2023년 7월12일(수)~15일(토) 강릉세인트존스호텔

한국생산제조학회 2023 춘계학술대회

2023년 7월 12일 (수) 리셉션, 패널토의, 특별세션 13일 (목) 시상식, 논문발표, 특별초청강연 및 포럼, 전시회, 콜로퀴움, ISMNM 2023

> 14일 (금) 논문발표, 전시회, 리더스 미팅, ISMNM 2023

15일 (토) 부문·분과별 개별행사







SOLUTIONS의 위대한 여정은 계속됩니다.

DN솔루션즈는 지난 50년 동안 Machine Greatness의 가치를 중심으로 공작기계 업계 글로벌 리더로서의 명성을 쌓아왔습니다.

이제 새로운 시대가 시작됩니다. DN솔루션즈라는 새로운 이름과 함께 제품뿐만 아니라 통합 제조 솔루션을 제공하는 기업으로 역사를 이어갈 것입니다.

Manufacturing Solutions Leader, DN솔루션즈



f 🛗 🖸 in Learn more at DN-SOLUTIONS.COM

MOBILE MANIPULATOR

자율이동로봇

#다목적성----#전방향주행

--- 목적에 따라 다양한 센서와 워크 팔렛 통합 가능

모비

- Swerve drivetrian 기반 전방향 이동 가능한 구동계

#자율주행

협동로봇에 자율이동성을 더해 작업영역의 한계 초월

пеиготека

Киельствека

(주)뉴로메카 서울시 성동구 연무장5가길 7 현대테라스타워 W동 15F (04782)
 1661-0773 │ sales@neuromeka.com │ www.neuromeka.com

-









MaherBot. 최초의 카본 3D프린터 출시



CARBON FIBER EDITION

METHOD 에서 금속 부품을 3D 프린팅 탄소 섬유로 대체

METHOD의 독창적인 산업용 데스크탑 플랫폼에서 탄소 섬유 강화 나일론 및 기타 엔지니어링 등급 복합 부품을 강하고 정밀하게 프린팅



스팀솔루션 MakerBot 3D 프린터 한국 공식 총판 Steam Solution 02-499-8780 / steam15198@gmail.com









강성 및 내열성 확보, 금속 대체 부품

탄소 섬유 강화 나일론은 고강도, 경도 및 내열성으로 인해 구조적 어플리케이션 및 금속 대체 가능

- 우수한 강도 대 중량비 -110MPa TS -로봇 엔드 이펙터와 같은 경량 어플리케이션
- 엔지니어링 등급 강성 7600 Mpa 인장 탄성률 차량 브래킷과 같은 구조적 적용 및 검사 게이지
- 최적의 부하 184° 열변형온도 높은 내열성, 언더 후드 및 툴링 어플리케이션

METHOD의 우수한 나일론 탄소 섬유 부품

METHOD의 독창적인 특징 활용, 우수한 입체 강도 및 정밀한 탄소 섬유 부품 생산

- METHOD 의 가열챔버는 강하고 정밀한 부품 제공
- METHOD 의 초강성 프레임으로 인한 뛰어난 표면 조도
- 수용성 서포트 또는 신속한 출력을 위한 Break away 서포트 사용, 내부 캐비티를 포함한 가장 복잡한 형상 프린팅 가능
- MEDTHOD의 밀봉된 재료 삽입 공간은 재료 건조 유지, 더 나은 인쇄 품질 및 안정성 제공, 사전 인쇄 스풀 건조 기능을 통해 과 포화 재료 복구 지원

특 징

- 순환식 가열 챔버
- 복합 소재 및 서포트 재료용 성능형 압출기 포함
- 밀봉된 재료 삽입 공간
- 프린팅 전 재료 건조
- 초강력 금속 프레임
- 메이커봇 클라우드 연결

사 양

순환식 가열 챔버 METHOD 60°C | METHOD X 110°C

치수 정밀도 ± 0.2mm / ±0.007in 1

적층 해상도 Maximum Capability: 20 - 400 micron

조형 크기 Single Extrusion 19 L x 19 W x 19.6 H cm / 7.5 x 7.5 x 7.75 in

Dual Extrusion 15.2 L x 19 W x 19.6 H cm / 6.0 x 7.5 x 7.75 in

전원 사양 METHOD 100 - 240 V 400 W max.

METHOD X 100 - 240 V 3.9A - 1.6A, 50/60 Hz 8.1A - 3.4A, 50/60 Hz 800 W max.



스팀솔루션 MakerBot 3D 프린터 한국 공식 총판 Steam Solution 02-499-8780 / steam 15198@gmail.com



인공지능 기술을 탑재한 신개념 3D 소프트웨어





Powered by AI based Generative Design Technology







단일 플랫폼에서, 설계부터 PCB, 엔지니어링, 해석, 가공, 제작과 협업 및 통합관리까지

☆<u>학교 교수진/학생 만을 위한 부쓰입니다</u>

◆ 전시회 부쓰 방문 및 설문조사 후 : 소정의 상품 증정
-> 향후 추첨하여 추가로 스타벅스 커피 기프트 카드 전달

✤ 언제나 문의 가능 : Tel. 1588-0163 ㈜ 엠듀







3D 프린팅 토탈 솔루션 전문 기업 (주)프로토텍

세계 최초 풀컬러 복합재료 Stratasys 3D 프린터 컴팩트하고 견고한 금속 3D 프린터 - Desktop Metal, TRUMPF, Xact Metal 데스크탑부터 광대역까지 다양한 3D 스캐너 솔루션 업계 최초 AS9100 인증 획득, GMN(Global Manufacturing Network)멤버로 세계적인 제조 서비스 제공





본사 | 서울특별시 금천구 가산디지털1로 19, 대륭테크노타운18차 302호 대구지사 | 대구광역시 동구 동내로 70, 3D융합기술지원센터 609호 T. 02) 6959-4113 F. 02) 6959-4103 E. marketing@prototech.co.kr www.prototech.co.kr

과학기술사업화진흥원은 연구산업 육성 및 과학기술기반 질 좋은 일자리 창출을 통해 국민이 체감하는 R&D혁신에 앞장서겠습니다



연구성과활용·확산

- 성과활용 ·확산 정책기획 강화 및 성과활용 플랫폼 고도화
- 산·학·연 협력 활성화를 통한 연구성과 활용 촉진
- 실험실 창업 확대 및 기술사업화 전문인력 양성

연구산업진흥

- 시장수요 기반 연구산업 全분야에 대한 체계적 육성 및 지원 - 연구산업 시장 확대 및 산업 생태계 조성

< 연구산업 개념도 >



각 산업 분야별 정부 R&D 지원사업은 과학기술사업화진흥원 홈페이지 사업공고란에서 확인하실 수 있습니다.



www.compa.re.kr 대표전화 : 02-736-0047 F.02-736-9799 (07551) 서울특별시 강서구 양천로 570 NH서울타워 17층, 20층

디지털 제조장비 R&D 전문인력양성

산업의 4대 메가트렌드 대응 및 제조업 글로벌 경쟁력 강화 위한 디지털 제조장비 R&D 산업전문인력양성

문의처 주관기관 한국기계산업회 정책지원팀 02-369-7874

01 교육기관(다음 중 택1)

장비지능화분야(연세대학교, 단국대학교, 서울과학기술대학교)

• 스마트제어기, 장비 지능화 석·박사 과정 운영

생산유연화분야(한양대학교 ERICA)

유연생산/공정자동화 석·박사 과정 운영

운영최적화분야(한밭대학교)

• 제조셀 통합 운영솔루션 석·박사 과정 운영

02 교육대상

제조장비 및 관련 산업자동화분야 석·박사 교육을 희망하는 자

03 지원조건

- 모집인원 : 대학별 10명 내외
- 지원자격 : 4년제 대학 기계공학 또는 이공계열 유사전공 졸업예정자 및 학사학위 소지자
- 졸업요건 : 대학별 대학원 졸업요건과 본 사업에서 다음의 요건을 모두 충족
 - 각 분과에서 개설하는 디지털 제조장비 관련 교과 9학점이상 이수
 - 산학프로젝트 1건 이상 참여
 - 단기전문화과정 수료

04 교육혜택

- 두산공작기계, 현대위아, 현대로보틱스, 현대무벡스, 지멘스, 삼천리기계 등 32개사 기업수요를 반영한 디지털 제조장비 핵심기술 석·박사 융합교육과정 개발·운영
- 참여학생의 인건비 지원(석사 월 220만원, 박사 월 300만원 수준)
- 연구활동을 위한 실습비, 재료비, 교육비 등 연구비 지원
- 학생별 전담코디네이터 지정 및 관리를 통해 현장맞춤형 산학프로젝트 수행 기회 제공

🚺 한 밭 대 학 교

👜 한양대학교 ERICA

- 공모전, 인턴쉽, 각종 경진대회 참여 프로그램 지원

🔞 연세대학교 🚺 단국대학교 💦 서울과학기술대학교

• 참여기관

0

총괄 및 조정





ко/м 한국기계산업진흥회

사업 주관

* 문의 사항은(031-8040-6753 : 우성철 연구원)으로 연락 주시기 바랍니다.

- · 공장없는 제조기업 : 제품개발을 완료하였으나 생산설비가 없어 위탁의뢰를 통해 제품을 생산하는 기업
- · 소프트파워기업 : 제품생산을 지원(제품공정, 시뮬레이션, 디자인변경 등)하는 기업으로 엔지니어링, 디자인, 소프트웨어 등의 분야에 종사하는 기업
- : 금형, PCB, 3D 프린팅 기업 등 장비 및 시설 등 제조기반을 보유하여, 위탁을 받아 제품생산을 전문으로 하는 기업 · 전문제조기업
- * 용어정리

[공급자] 회원가입을 통한 홈페이지 내 기업정보 등록

[수요자] 회원가입을 통한 전문제조기업, 소프트파워기업 검색

전문제조기업 · 제품생산 의뢰자 대상 기업홍보 · 제품생산 위탁생산 수주가능성 제고

소프트파워기업 · 애로사항(제품설계, 공정 개선, 디자인 변경 등) 해결을 원하는 수주기업에 대한 홍보 및 수주가능성 제고



|플랫폼 이용시 이점 및 이용방법 기업정보를 플랫폼에 등록함으로써 생산을 의뢰하고자 하는 이용자들에 대한 홍보 및 제품생산 수주가능성 제고

플랫폼에 기업정보 등록(회원가입)

협조 요청사항

· 협업시스템 : 제품 위탁생산 의뢰자와 전문제조기업의 협업을 위한 공간 제공

· 기업매칭 : 사용자의 분류, 분야 등 검색조건에 따른 맞춤형 기업정보 제공

· 기업정보 : 기업의 기본정보(연락처, 주소 등) 및 주력분야, 주요생산품목, 홍보영상 등록 및 관리

플랫폼 주요 내용 구성

마련하고자 하오니 많은 관심과 가입을 부탁드립니다.

개요 제품개발을 완료하였으나 공장 및 생산설비가 없어 위탁생산을 업체가 필요한 [공장없는 제조기업]과 생산설비 등을 구비하고 요구 제품을 위탁생산 해주는 [전문제조기업]과의 연결을 시켜주는 온라인 플랫폼

「제조업 성장지원 협업플랫폼(Softpowerup)」을 개설하여 제조업체 간 정보교류 및 소통의 장을

│전문제조기업-공장없는 제조기업 연결 협업 플랫폼 (http://www.softpowerup.or.kr)

<u> 한국생산기술연구원은 아래와 같이 전문제조기업–공</u>장없는 제조기업을 연결해 주는

귀사의 무궁한 발전을 기원합니다.

제조업 성장지원 협업플랫폼



공장없는제조기업 · 자체 개발 제품의 위탁생산을 위한 전문제조기업 탐색 시간 및 비용절약

- 헬스케어 데이터를 연계 및 통합하여 수요자 중심의 헬스케어로 변화 가능

G

 (\mathfrak{R})

XNU

СКИ

aen 27

 (\mathbf{S})

KNU

- 지역사회소외계층의 정보공유 연계형 플랫폼을 활용하여 체계적 관리를 통한 사회 안전망 환보
- 비율을 높임으로써 인구소멸의 충격 완화
- 기업의 전문연구인력 공급 - 초고령사회로 진입한 강원도에서 고령층의 액티브시니어화를 추진하여 사회참여
- 강원도 내 대학을 중심으로 교육-산학공동연구-취업 연계를 통한 디지털헬스케어
- 사회적 측면
- 개인의 의료비 절감 및 중증질환 초기 치료 집중효과

NRF

- 개인의 건강정보 모니터링을 위한 디지털 기기와 어플리케이션 산업 활성화
- 빅데이터를 활용한 헬스케어 기기 및 신약 연구개발과 같은 신의료 기술 개발 활성화 - 빅데이터에 기반한 헬스케어 프로그램 개발 및 관련 산업 경쟁력 강화
- 데이터 플랫폼을 통한 병원, 연구소, 건강보험공단 등의 데이터 공유를 통한 경제손실 최소화
- 증가하는 고령층의 건강, 의료 수요에 맞는 신산업 육성
- 경제적·산업적 측면
- 디지털헬스케어 빅데이터 분석을 위한 IT 인프라 구축기술 및 노하우 확보
- 생체신호 측정을 위한 미래차기반의 생체모니터링 플랫폼 원천기술 확보 - 개인 활동량 측정 및 움직임 분석을 위한 모니터링 기술과 모션 트래킹 기술 강화
- 기술적 측면

기술개발과제의 기대효과



기술개발과제의 추진체계

기술개발의 필요성

m

김이프루

- 따른 데이터 베이스 구축을 위해 데이터 분석 및 공유 가능한 효율적
- 맞춤형 헬스케어로 패러다임 전환에 모니터링기술 및 통합 플랫폼 필요

라이프로그 데이터 필요

<u>76</u>0

- 헬스케어 4.0 달성을 위한 양질의

주관기관명: 강원대학교 (연구책임자: 김병희 교수/kbh@kangwon.ac.kr)

2/0/2/3 강원지역혁신플랫폼 디지털헬스케어사업 지정 소과제 1

Development of customized healthcare service based on life-log

협업기관명 : 연세대학교, 기톨릭관동대학교, 상지대학교, 송호대학교,강원대학교병원, 강원재활병원, 네이버

6

LIFE 비불릭 클라우드

LOG *XNU (12.0) at 2 (1) A 40 E 2 1771 4 0 2423 129924 8-7844 S 993 1991 88 분석영어리 대이티 전자리 및 차장 대이티 분석 (값유와 및 미식별환) (통계분석 및 A/분석) ------**** ß 0 (anti 300 ----분석결과 활용

라이프로그 빅데이터 기반 생활관리 플랫폼 구축 연구수행범위

서비스개발

I. 미래차 기반 개인건강 생체신호 모니터링 기술 및 플랫폼 개발



Driver Status Monitoring System Data acquisition from sensors/devices IRT : PR, BT, RR IMEGE : EOG, Face re GAS - CD & CO2 LEVEL 1:00 🛊 🚻 💿 🡤 Making ECG : HR Output 1 m Display Feedback to the Dri Bio-Signal ation

ng System

환자 유래 건강데이터 (Patient Generated Health Data : PGHD) 기반 라이프로그 빅테이터 취득

Unreal Engine

00

Virtual Reality D

활력징후 데이터 기반 건강상태 모니터링 한의학 체질/질환별 식품영양학적 식이요법 및 치료 PGHD 데이터 기반 낙상/재활 예측 및 부장예방 분석

Physical Rehabilitation Monitoring _ Injury shoulder range of motion data

.

Ⅱ. 환자유래 건강데이터 수집 및 응용기술 개발

데이터 안심존을 통한 PGHD 데이터 통합 및 분석기록 관리

tion data logging

Ⅲ. 라이프로그 빅데이터 분석 플랫폼 구축

ê

Network chipset (5G, WIR)

Data Base

Clouding Raw and processed data

ity data logging w / GR/s / LRS / 1

112

NAVER CLOUD PLATFORM URBAN A FIT



액티브시니어 맞춤형 스마트헬스케이 융합기술 전문인력양성 사업단 🌔 =

Advanced Education Center of Convergence Technology in Personalize Smart Healthcare System for Active Seniors



▮ 사업단의 필요성





 \bigcirc



BrainKorea 21

학생 모집





Korean Society of Manufacturing Technology Engineers



2023 춘계학술대회

Korean So Korean Society of Manufacturing Technology Engineers

인사말

오랜 사회적 거리두기와 위축된 일상에서 벗어나 올해에는 조금 더 자유로운 분위기 속에서 2023년도 한국생산제조학회 춘계학술대회를 개최하게 된 것을 기쁘게 생각합니다. 이번 학술대 회는 7월 12일부터 15일까지 솔향과 바다향이 가득한 낭만의 도시 강릉에서 열립니다.

한국생산제조학회는 4차 산업혁명 시대에 선도적으로 대응하며, 우리나라 생산제조분야가 처 한 위기상황을 극복할 수 있는 대안을 제시하려는 노력을 기울여 왔습니다. 이번 춘계학술대회 를 통하여 산·학·연·관 구성원들의 지혜를 모아 우리나라 생산제조 산업 및 기술의 지속가능한 혁신과 미래 경쟁력 확보를 위한 지원 방안을 모색하는 장을 마련하고자 합니다.

이번 학술대회에서는 생산제조분야의 혁신적인 연구들에 대한 319편의 학술논문 발표와 16개 대학, 연구기관과 기업이 참가하는 기업 및 연구실 전시회를 개최합니다. 또한, '반도체 제조장비 산업의 경쟁력 혁신'에 대한 특별초청강연 및 포럼, 콜로퀴움 등을 통해 산업계의 현황과 최신 기술동향을 소개하고 교류하며 우리나라 생산제조산업의 위기 극복을 위한 중지를 모으고자 합니 다. 특히, 이번 학술대회에서는 마이크로나노가공 주제의 국제학술대회인 제1회 International Symposium on Micro and Nano Manufacturing을 동시에 개최하여 관련분야 국내외 전문가들 과의 활발한 기술교류도 도모하고자 합니다.

이에 조직위원회에서는 회원님들의 관심과 격려에 부응하여 본 학술대회가 성공적으로 진행 될 수 있도록 최선을 다하겠습니다. 모쪼록 뜻깊은 이번 학술행사에서 폭넓은 최신의 정보를 교 환하시고, 진지한 대화와 토론의 장을 함께 만들어 주시는 주인공이 되시길 바랍니다.

부디 회원님들의 많은 관심과 성원을 부탁드리며, 이번 학술대회에 참석해주신 생산제조분야 의 모든 회원님께 학회를 대신하여 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 또한, 이번 대회를 준비하느 라 수고해주신 조직위원회 위원들과 행정 분과 및 학술 부문의 위원 여러분, 그리고 사무국 직 원 여러분께도 감사의 마음을 전합니다. 끝으로, 우리 학회 모든 회원님의 건승을 기원합니다. 감사합니다.

2023년 7월

사단법인 한국생산제조학회 회장 김 병 희 2023 춘계학술대회

조직위원장 지성철

목 차

7월 12일(수) [구두]

◎ Track 3 : 모바일 플랫폼 기반 가공시스템 핵심 기술

비젼 기반 3자유도 자세 측정 기술 ···································	2
모바일 가공기의 절대좌표 측정을 위한 고반복률 광섬유 레이저 개발 ···································	3
모바일 가공기의 가공성능 향상을 위한 주축전류 기반 채터 감지기술	4
보행형 모바일 가공기의 진동댐퍼 성능 검증	5
알리코 자석을 이용하여 탈부착이 용이한 전자기 자석 바퀴 설계	6

◎ Track 4 : 바이오융합 생산기술

과학벨트 국제비즈니스화 전략에 관한 연구	7
식물기반 바이오로직스 생산을 위한 침윤 공정 모듈화 개발	8
인공지능을 활용한 세포성장에 미치는 인자의 영향 분석	9
사용자 참여를 통한 제품 개발의 방법론적 프레임워크	0
PVDF를 이용한 수술용 로봇을 위한 3자유도 힘 센서 설계	1

7월 13일(목) [구두]

◎ Track 1 : 탄소융합 및 경량소재

실리콘 일라스토머 입자를 이용한 내삭마성 CFRP의 개발	• 13
피치 기반 활성탄소의 기공 크기 분포가 부탄 흡착 성능에 미치는 영향	14
저온에서 안정화된 폴리에틸렌계 활성탄소섬유의 제조 및 특성 ··································	• 15
투명 유리섬유 강화 에폭시 복합재 및 광학적 특성	• 16
결정성이 개선된 지속 가능한 폐시멘트/폴리락틱산 복합재의 특성	· 17
다중입도 혼합분말 적용 탄소섬유 시트 재단용 초경합금 커터 블레이드 개발 ···································	· 18

◎ Track 1 : 탄소융복합 소재부품산업 고도화 기반구축사업 진행 성과 발표

절연특성 및 방열특성이 보강된 배터리팩 케이스용 전착 절연코팅 기술개발	19
경질 폴리우레탄폼을 이용한 Long Fiber Injection 공정 최적화 연구 ···································	20
CFRP 부품 제작성을 고려한 복합소재 Ply 설계기법	21
상용차용 종치형 복합재 판스프링의 파라볼릭 형상 최적 설계	22
레이저 및 플라즈마 표면처리에 따른 접착강도 분석 ···································	23

☺ Track 1 : 제조엔지니어링

마그네슘 합금 골프채의 진동 전달 특성 분석	24
냉장고용 압축기 밸브의 충격 특성과 응력-수명 선도 구현에 대한 연구	25
왕복동 압축기 리드 밸브 시스템의 동적 거동에 대한 연구	26
최적화 기반 Inverse 방법으로 손상 연화를 고려한 손상 및 경화 모델 계수 결정	27
가변형 슬롯다이 코팅의 균일도 확보를 위한 토출 유량 정밀 측정 및 제어	28

◎ Track 2 : 초정밀가공

비정질 탄소 몰드를 이용한 LED 노광기용 비구면 렌즈 제작)
마이크로LED TFT를 위한 Ti thin film의 결함을 최소화한 펨토초 레이저 가공)
펨토초 펄스 레이저를 이용한 Micro-LED 전사 공정 연구	1
롤 성형 공정을 통한 금속 마이크로/나노 표면 빙결 방지 특성 향상	2

◎ Track 3 : 스마트 제조장비용 CNC시스템 전문인력양성

가공품 표면 결함 인식 장비를 위한 촬영 시스템 제작	33
고정밀 캠 감속기 신뢰성 성능평가를 위한 시스템 구축	34
주축 전력 기반 실시간 가공부하 모니터링 기술	35
이송계의 정밀 가감속 제어를 위한 토크 최적화 기술	36
언리얼 엔진 기반 디지털 트윈 환경의 다중 클라이언트 무선 통신 구축	37
접촉조건에 따른 직선운동 가이드의 운동 특성에 대한 연구	38
CNN을 활용한 베어링 결함진단 예측 모델 개발	39
오픈소스 CNC 기반 공작물 자동 공급장치 제어계 설계	40

◎ Track 3 : 액티브시니어 맞춤형 스마트 헬스케어 융합기술 전문인력양성

신호등 검출기와 고정밀지도 간 정보 연관 알고리즘 설계	
전도성 고분자 기반 나노입자를 통한 초고속 소형화 PCR 광원 모듈 개발	
이상적인 음부 혈류를 위한 안장 형상 설계	1
외부 간섭 요소 최소화를 위한 딥러닝 기반의 골전도 음성 신호 활용	

제 3자 안압 측정을 위한 비전 센서 기반 정렬 시스템 개발	45
다중 심층 신경망을 이용한 심전도 신호 분석 및 질병 분류의 정확도 평가	46
혈류 개선을 위한 심장 주기 동기화 저주파 전기 자극	47

Track 3 : 라이프로그 기반의 맞춤형 헬스케어 서비스 개발

클라우드 기반 데이터 안심존 구축 및 활용방안
다중소재 3D프린팅을 이용한 소프트 센서 설계 및 제작
딥러닝에 기반한 발가락 강도와 힘의 안정도를 이용한 낙상 위험 예측: 예측실험
류마티스관절염의 면역병리기전
카무트분말 함량 및 PH 등 레시피 조절을 통한 식빵제조 레시피 제안
혈액투석로 혈관의 기능이상 진단을 위한 분석기술 개발
스마트 모니터링 시스템을 이용한 스마트 케어
OpenCV를 적용한 신체 상태 인지 시스템 기초 연구
중년 여성의 체중부하 운동 시 스텝길이와 속도 변화가 하지 주요 근육에 미치는 영향
겨우살이 추출물의 콜라겐유도 류마티스 관절염 모델에서 염증 완화효과 ····································

Track 4 : 나노 및 센서 응용

RGB센서를 통한 합성수지 에멀젼 도료의 경화 상태 실시간 모니터링	58
알루미늄 표면에서 생성된 펨토초 레이저 유도 표면구조의 성장	59
UV-LED 광원을 이용한 NO ₂ /SO ₂ 가스 측정장치 개발	60

Track	Λ	٠	포기미
IIdCK	4	٠	굴니미

비파괴평가기법을 이용한 구조용 복합재료의 계면 및 파괴특성 평가	
용액원심방사법에 의한 필터용 PVAc/PP 나노섬유 제조	2
비트리머 기반의 재활용 가능한 에폭시 합성 및 특성 분석	3
초미세 발포성형품의 셀의 크기 및 밀도와 게이트 형상 간의 영향도 분석	1
현장중합을 이용한 PLA수지 기반 생분해 복합재료 제조	5
Carbon Black 첨가에 따른 액상 실리콘 고무의 기계적 특성 및 경화 거동	5
연속탄소섬유를 적용한 충격 흡수 구조체 제작 및 성능 평가	7

Track 5 : 자성소재 특화 3D프린팅 기술

자성소재의 3D 프린팅(PBF)의 활용에 관한 연구 김우종(㈜대건테크), 이재욱, 정효연(한국생산기술연구원), 이수봉, 이창빈(㈜대건테크)	68
Interlocking 구조의 연자성 소재 결합성 평가 및 시뮬레이션	69
레이저 적층 제조 공정으로 제조된 고규소 철강 소재의 집합조직 평가	70
3D 프린팅 적용 축방향 모터 설계 연구	71
L-PBF 공정에서 제약조건 샘플링을 이용한 순차적 최적화 프레임워크	72

Track 5 : 3D프린팅

FDM 3D 프린팅 유연센서 고찰 ···································	73
결정구조 모사 설계 방법을 이용한 응력제어 적층제조 기술	74
DED공정에서 잔류응력 측정 위치에 따른 잔류응력 변화 관찰	75
고속, 유연생산을 위한 로봇팔 기반 금속 적층 제조기술	76
DED 공정 실시간 모니터링 기반 적층형상 시뮬레이션	77

소결기반	적층제조를 위한	멀티모달	마이크로-나노	분말소재	개발	7	78
최준필	, 이필호, 정민교	, 허세곤,	하태호(한국기	계연구원)			

Track 6 : 첨단공작기계
자이로스코프를 이용한 고유연가공장비의 진동제어에 관한 연구
모니터링 시스템을 이용한 공구마모 예측 모델 개발
스핀들속도변동법을 이용한 채터 억제 기술 개발81 남수현, 변정인, 김혜인, 박경희(한국생산기술연구원)
스핀들의 진동 신호를 이용한 공작기계 상태진단 기술

Track 6 : 스마트 제조장비용 CNC 제어시스템 기술

가공면의 형상 예측을 통한 5축 CNC 보간기의 고정밀화 방법	83
공작기계 CNC 제어시스템의 사용성 분석 권상원, 권병찬, 김연오, 김동규(대구기계부품연구원), 인영렬(계명대학교 산학협력단)	84
갠트리형 공작기계 듀얼서보모터 정밀제어 알고리즘 개발	85
공작기계용 메인-서브 스핀들의 기본동기제어 구현 ···································	86
3축 공작기계의 열오차 모델링 조뢰, 김경호, 노승국, 송창규(한국기계연구원)	87
스마트 제조장비용 표준형 CNC 개발 및 성능검증 ····································	88

Track 7 : Agile Technology

절삭가공 지능화를 위한 제조 데이터의 생성과 저장	89
SEM 영상을 활용한 딥러닝 기반 Super Resolution 기술 및 영상 평가 연구	90
cBN 공구를 이용한 STAVAX 강의 마이크로 밀링 중 이송속도 및 반경방향 절삭깊이에 따른 표면거칠기에 관하 연구 ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	91
이동원(한국생산기술연구원, 인하대학교), 이현화, 김진수, 김종수(한국생산기술연구원)	
비전카메라를 이용한 로봇-공작기계 협업고도화 기술 개발	92
증강 현실 기능의 스마트 안경 기술 현황과 전망 ···································	93
배터리 전극의 효율적인 건조 및 기능화를 위한 광 에너지 주입 공정	94

7월 14일(금) [구두]

© Track 3 : FOMs I

Al 기반 스마트팩토리 공공지원정책 연구	6
인쇄공장의 FOM솔루션 활용을 위한 MES 개발 사례 연구	7
식품 제조기업의 FOM솔루션 기반 MES시스템 설계 및 개발 연구	8
중소기업의 탄소 절감을 위한 제조공정 4M 데이터 연동 FOM-ESG 경영관리 방법 연구	9
BOPP 필름 제조공장 FOMs 도입을 위한 선행 연구	0
의료기기 품질시스템 필수 요구 조건 적용 사례연구 - 일주기 스마트안경 개발및 시제품 제작 사례 중심	1

♥ Track 3 : FOMs II

FOMs 기반 제조기업 맞춤형 교육모델 개발을 위한 사례연구	102
DUI AI 솔루션을 활용한 산업 AI 내재화 ···································	103
FOMs 기술을 통한 호두과자 생산에 최적화된 Layout 구축방안 연구	104
FOM-Al적용을 통한 품질예측 및 생산효율화 연구: 화학반응 공정 중심 ···································	105
모빌리티 제어장치 오염물질 처리 데이터의 AI분석 연구	106
FOM 솔루션 기반 절삭공구 생산성 향상방안 연구	107

◎ Track 4 : 프린터블 일렉스로닉스 및 센서 응용 기술

종이 기판 상에서 레이저 유도 그래핀 형성	108
나노 매쉬 수용체를 통한 피부 부착형 센서 개발	109
신축 투명전극 기반 생체신호 센서를 활용한 인간-기계 인터페이스 개발	110
액체금속 기반 상온상압 솔더링 기법 개발	111

실시간 건강 상태 진단을 위한 전	<u>.</u> 자 피부 시스템 ······	112
권혁준(대구경북과학기술원)		

◎ Track 4 : 융합생산시스템

회전체 기계장비의 이상 탐지를 위한 머신러닝 알고리즘 개발	113
부분 열처리된 볼 스크류의 진직도 교정을 위한 전략 제시	114
스마트 공기살균기 시스템 고도화를 위한 실내 공기질 예측 모델 추천	115
보행위상 추정을 위한 멀티모달 센서 기반 내장형 데이터 획득 시스템 개발	116

◎ Track 5 : 금형 및 공구

DED를 이용한 다이캐스팅 금형 내 광섬유 센서 매립 공정에 관한 기초연구	117
2 Cavity 사형주조에서 무한궤도형 트랙슈 부품의 러그부 최적 설계	118
고령자의 근력 및 균형능력 강화를 위한 트램폴린 재활운동 시스템 개발 ······ 권혁동, 박진실, 하경수(㈜동아금속), 이수웅(한국생산기술연구원)	119
반려견 헬스케어용 운동시스템 개발······ 권혁동, 박진실, 하경수(㈜동아금속), 박동환(경북하이브리드부품연구원)	120
혼류생산 방식을 적용한 공조용 T형 덕트 금형 자동화 기술	121

◎ Track 5 : 스마트 제조 응용 기술

메타표면소자 기반 Low-beam 패턴 최적화 연구	122
전력 사용량 예측 AI 모델링 기반 에너지 효율화 연구	123
수처리시설 내 침액식 스크러버 시스템 적용을 통한 온실가스 저감 연구	124
원기둥 자석을 활용한 파워 인덕터 생산용 UV잉크 인쇄장치 연구	125

◎ Track 6 : 설계 및 응용

진동 노즐 예압축이 압축기 흡입밸브 거동에 미치는 영향	126
유한요소법을 이용한 SPR과 알루미늄 합금 3판의 접합 거동에 관한 연구	·· 127
저주파 소음 감쇠를 위한 음향 메타물질 설계	·· 128
전혈에서 cfDNA와 CTC 동시분리 가능한 액체생검용 Lab-on-a-Disc 및 사출금형 설계	·· 129

7월 13일(목)

[포스터발표]	
제푸석계 & 흐머데이터	
PVDF 필름을 이용한 키리가미 패터닝 큐브의 압전 특성 ···································	131
휴먼팩터 기반 EMS 기능 탑재 스마트웨어 제품 기획 연구	·· 132
전단공정 자율제조를 위한 제조데이터 프레임워크 설계 연구	·· 133
3D프린팅 기반 인체 보호용 플레이트 경량 설계 연구	·· 134
휴먼 데이터 기반 스쿼트 운동 자세 연구	·· 135
탄소융합 및 경량소재	
복합소재 구조물의 3D 프린팅 출력 조건에 따른 구조적 거동 특성 예측	136
Stearyl methacrlyate의 중합 기반 표면처리를 통한 스테인리스 강의 이형 특성부여에 관한 연구	·· 137
실란표면처리가 적용된 rCF/PP 습식 부직포 복합재의 전기적 특성 및 기계적 특성 ···································	·· 138
에너지 저장장치용 전기방사 탄소 나노 섬유 복합체	·· 139
SFT 펠렛을 이용한 r-CF/PA66 복합재 제조 및 특성 연구	·· 140
고순도 바이오 가스 정제를 위한 피치 기반 탄소분자체에 대한 연구	·· 141
EDLC 전극 활물질을 위한 전기화학성능이 향상된 asphalt-pitch기반 활성탄소의 제조 및 특성화 김주환, 조동신, 이혜민(한국탄소산업진흥원)	142
고함량 GNP 코어쉘을 이용한 높은 유연성과 전기전도성을 가지는 EMI 차폐 시트	143
용해 함침 기술을 적용한 열가소성 탄소섬유 복합재 함침 특성평가	•• 144
고세장비 수소저장용기 보스부의 패턴설계	·· 145

탄소융복합 소재부품산업 고도화 기반구축사업 진행 성과 발표	
Sheet Molding Compound용 MDI L.L 첨가 Styrene Free Vinylester 수지의 증점 거동 연구	146
Agile Technology	
레이저를 이용한 습윤성 표면의 상향식 제조	147
나노마이 <u>크로</u> 시스템	
저온에서 원자층 증착법으로 제작된 HfO2 박막의 특성 연구	148
원자층 증착법으로 제작된 ZnO 박막에 전기적, 광학적 특성 연구	149
기판 소재에 따른 금속 박막 표면 나노/마이크로 스케일 기계 가공 특성 연구	150
구리 금속 박막의 열처리에 따른 나노스케일 기계가공 특성 변화 분석	151
웨어러블 소자용 레이저 유도 그래핀 전극 제조 기술 권순근(한국기계연구원, 과학기술연합대학교), 최학종, 안준형(한국기계연구원), 임형준(한국기계연구원, 과학기술연합대학교), 김기홍, 최기봉(한국기계연구원), 이재종(한국기계연구원, 과학기술연합대학교)	152
마름모 단면 형상을 가진 미세 채널에서의 Poly(ethylene oxide) 농도 구배 기반 입자 사전 정렬 및 분리 박희범, 조영학(서울과학기술대학교)	153
전기 분무를 활용한 CNT가 포함된 알지네이트 입자 제작	154
평행사변형 채널 구조를 활용한 고 민감도 압력 센서 개발	155 .)
나노구조기반 항균 및 항바이러스 필름의 설계 및 제작	156
관성미세유체역학 기반의 미세플라스틱 제거용 수처리 시스템	157
phase-shift grating interferometry를 이용한 스캐닝 빔 간섭 리소그래피 빔 정렬 시스템 개발 오종은, Zhou Qi, Suryani Ika Oktavia, 강신일(연세대학교)	158
실리콘 이방성 식각을 이용한 적외선 반사방지구조 설계	159
편광 및 파장 의존 광섬유 시스템을 이용한 광 빗 플라즈모닉 위상 분광법	160
멀티 스케일에서 고속 고정밀 측정을 위한 광빗 기반 다파장 간섭계 개발	161
투명 자성 반도체의 자성 특성 정밀 제어를 위한 Co 박막층의 응집 제어	162

첨단공작기계

I

고출력 및 대용량 배터리 적용 고성능 전극단자 양산성능 개선 연구	• 163
3D CAD 모델링에서 소재 세팅 확인을 위한 측정 점 자동 추출 기능 개발	• 164
햅틱 디바이스를 활용한 디지털 트윈에서의 로봇 동작 경로 생성	• 165
동시 5축 윤곽제어에서 평엔드밀의 공구자세를 고려한 윤곽오차 모델	• 166
트랙 모션 캐리지 이송 블록의 가이드 롤러 베어링 수명 예측	• 167
Roller Type LM가이드의 강성 예측 ···································	• 168
폴리머	
미네랄 혼입에 따른 PPS 복합수지의 기계적 특성 변화	· 169
PET 압전 나노섬유를 이용한 에너지 하베스팅	• 170
미래 모빌리티 경량화를 위한 이종소재 접합기술	• 171
미세역학시험법에 의한 재활용 가능 Elium 수지/섬유 계면 특성 평가	• 172
전기차 경량화를 위한 이종소재 Variable Frequency Microwave(VFM) 공정 기술개발	· 173
전기차 경량화를 위한 이종소재 접합소재 개발	· 174
카메라모듈용 이중경화접착제의 경화 수축률 관찰····································	· 175
PA66/Aluminum 분말 복합소재의 열전도율 특성에 관한 연구 ···································	• 176
기판 지지용 나노 패턴 소프트 패드의 마찰 및 미끄러짐 특성 분석 ···································	· 177
제조엔지니어링	
굴착기용 틸트 로테이터의 신뢰성수명평가 방법에 대한 연구	• 178
최신 딥러닝 영상복원 모델에 기반한 JPEG 압축 영상의 블라인드 초해상화	• 179
인버터용 냉각모듈 개발을 위한 Cu 고온 물성 연구 ···································	· 180

	극박판 구리소재 성형해석을 위한 이방성 항복곡면 최적화	181
	이차전지 양극소재 통합처리장치의 코팅공정조건 최적화	182
	안전성과 경량화를 고려한 스냅핏의 구조 형상 최적설계	183
	반응표면법을 이용한 배터리 캐리어 경량화 설계	·· 184
1	초정밀가공	
	얇은 벽 형상을 갖는 방전전극소재의 동적하중에의한 가공변형 분석	·· 185
	경도, 접촉각, 저반사 특성 향상을 위한 플렉시블 보호 필름의 제작	186
	조이스틱 기반의 로봇 원격 작동 및 절삭 칩 감지 응용 ···································	·· 187
	화학기계연마 공정을 고려한 SiC 웨이퍼 연삭가공 형상 제어 기술	188
	시계열 신호처리 기반 SiC 웨이퍼 연삭공정 모니터링	189
	cBN 공구를 이용한 STAVAX 강의 마이크로 밀링 중절삭유 분사 형태에 따른 표면 거칠기에 관한 연구 이동원(한국생산기술연구원, 인하대학교), 이현화, 김진수, 김종수(한국생산기술연구원)	190
	Face Milling 가공시 전류센서를 이용한 공구 상태 예측 알고리즘	191
	자동차 변속기의 유성기어 캐리어 페이스밀 가공 모니터링	·· 192
	마이크로 LED 리페어를 위한 ITO 펨토초 레이저 미세가공	·· 193
	SERS용 Flat-top 사각빔을 이용한 ripple 구조의 주기적인 균일성 향상	·· 194
	머시닝센터에서의 입력성형 적용에 따른 원호보간 궤도 오차에 관한 연구	195
	하이브리드 양친매성 나노스파이크: 김서림 방지 및 생물 오염 방지를 위한 이중 기능 표면	196
	효과적인 열전달을 위한 자가접착 유연 히터 제작 ···································	·· 197

7월 14일(금)

[포스터발표 Ⅱ]

디지털제조장비	
공작기계용 고속 볼 스핀들의 진동 특성 연구	199
PDMS-유리 미세유체 디바이스를 이용한 입자의 연속 흐름 음파 트래핑 ···································	200
렌즈의 성형 공정에서 냉각조건에 따른 온도분포 해석적 연구	201
하이브리드 본딩을 위한 Cu/SiO ₂ 표면 전처리 연구	202
설계 및 CAE	
인공신경망을 이용한 대형 주철재의 균열 보수 예측 모델 ···································	203
열전소자를 이용한 소형장치의 항온 및 냉각 기술	204
Ball Spline 구조 적용을 위한 설계 과정에서의 동적 해석	·· 205
FEM을 통한 전기차용 드라이브 샤프트 열 해석 및 검증 ··································	206
인공신경망을 이용한 사출성형 CAE 최적 냉각시간 예측	·· 207
자작자동차 프레임에서 트러스 구조의 영향: 구조해석 및 설계 개선 연구	208
풍하중을 받는 재머 폴대의 구조적 휨 해석	209
구조 해석을 통한 ㄱ형강의 표준 치수 변화에 따른 영향도 평가	·· 210
전기 자동차용 커넥터의 사출성형 해석	·· 211
압축기 갭 유동에 따른 하우징 온도 및 방열 변화	·· 212
냉매 압축기에서 진동노즐을 이용한 예압축 수치해석	213
리니어 압축기에서 체크 밸브 피스톤을 활용한 예압축 수치해석	·· 214
진동 노즐 예압축에 따른 압축기 EER 변화	·· 215

음향 공동을 이용한 소음 저감과 환기가 동시에 가능한 창문 설계	216
청소기 소음 저감을 위한 음향 메타물질 설계	217
자작 전기차 선회능력 향상을 위한 조향장치 설계	218
Casing Rotator용 Slew Bearing의 동적 응력 해석	219
EMG 센서를 활용한 특수목적기계 회전 및 구동 제어장치의 근골격계 위험성 분석에 관한 연구	220
특수목적기계 소형 시뮬레이터의 조이스틱 제어장치가 운전자 상완 및 전완에 미치는 근골격계 위험성에 관한 연구	221
전기승용관리기 가상내구 시뮬레이션을 이용한 최적설계	222
Recurdyn을 이용한 초광폭 로타베이터 가속 내구 시뮬레이션	223
Al2198 판재의 롤 성형에 대한 수치 시뮬레이션	224
전기집진 발열을 활용한 습공기의 제습 변화 연구	225
3차원 수치해석을 이용한 양극소재 건조기의 전기히터 성능 분석 ···································	226
시뮬레이션 기반 자작 전기차 프레임의 경량화 설계	227
아두이노 기반의 저비용 전기 비저항 탐사 장비 개발 및 검증	228
다중 전극 배열 구조를 가진 전기 비저항 탐사 시스템을 위한 제어 스위칭 소자 설계	229
ET 및 HT 유형 사이클로이드 감속기의 접촉응력 비교	230
RRP 시스템의 롤러 반경 변화를 고려한 유한요소해석	231
Jig arm의 최적의 두께 선정을 위한 구조해석에 관한 연구	232
Jig system의 구조적 안정성 확보를 위한 구조해석에 관한 연구	233
쇼트 블라스트 공정의 Jig system의 Base부 안전성 확보를 위한 연구	234
폴리우레탄 폼이 적용된 사이드 프레임의 반력	235

장입재 충전상태의 정량적 최적화 ··································	236
물리엔진을 이용한 장입공정 시뮬레이션	·· 237
CAD STL Data 요소 재생성에 의한 공정해석용 3차원 요소품질 향상 기법	238
유도전동기 슬롯 형상 예측 정도 향상을 위한 Inverse Network의 적용	239
비교과 프로그램에서 실용적인 목공제품 제작에 대한 학생들의 인식	240
친환경 자동차 경량화를 위한 탄소복합소재 적용 임팩트 빔 굽힘해석	241
그린생산시스템	
동작 시간에 따른 전기집진기의 오존 발생량 비교에 관한 연구	242
고분자 전해질 다층 박막에서 백금 나노 입자의 층별 조립을 통한 PEMFC의 전기 촉매 성능 향상 조충연, 장익황, 윤민호, 정상훈(원광대학교)	243
고분자 전해질막 연료전지의 막전극 접합체의 전기화학적 특성에 균열이 미치는 영향	244
마이크로 그리드의 에너지 저장장치 활용 유무에 따른 그린수소 생산 비교	245
이차전지 후막전극 조성에 따른 율속성능 개선 ···································	246
복합 폴리머 전해질의 실리카 함량에 따른 전기 화학적 성질과 기계적 성질의 연관성	247
유한요소해석을 이용한 액화수소 왕복동 펌프 Rod의 열 및 구조 설계	248
안개수집기 포집 및 배수 효율 향상을 위한 표면 코팅과 구조 디자인 연구	249
Green Manufacturing을 위한 빅데이터 기반 자동 조명 센서 연구	250
전극 표면에 침투된 SDC 상위층을 이용한 저온용 고체산화물 연료전지의 성능 향상	251
이차전지 에너지밀도 향상을 위한 다공성 양극 후막 제조	252
FOPLP 기판 이송을 위한 진공모듈의 홀 간격에 따른 시뮬레이션 연구	253
선박용 폐열 리사이클링 시스템 기초연구	254

바이오/메디칼

고수율, 고효율 혈장 분리를 위한 탄성파 미세유체소자 ····································	· 255
핵산 추출을 위한 미세유체 칩 개발 및 추출 시험 ···································	· 256
3D 바이오프린터 이용한 심장 혈관 네트워크 개발······ 김주란(한국생산기술연구원)	· 257
나노섬유 고온 압착을 통한 기계적 물성치 개선에 관한 연구	· 258
3D 프린팅 격자 구조 패턴 조절을 통한 나노섬유의 기계적 물성치 조절	· 259
로봇을 이용한 피질골 시편 드릴링 공정 분석	· 260
당뇨병성 족부 치료를 위한 표피 성장인자를 포함한 히알루론산 기반의 생분해성 마이크로 나두 제조 및 특서부서	. 261
백수지, 이강파(㈜유머스트알엔), 한청수(㈜케이런), 권승혜(한국기초과학지원연구원), 이승준(서원대학교)	201
백신 경피전달을 위한 스피어 마이크로니들 에레이의 제조 및 특성 분석	· 262
머신 러닝 기반 비접촉 생체 신호 모니터링 시스템 설계	· 263

7월 14일(금)

[포스터발표 Ⅲ]

미래형자동차 기술융합혁신인재양성사업 대학연합 캡스톤디자인 성과 공유회	
실시간 영상처리 기반 자율주행 자동차	265
3상 인버터를 이용한 전동기 구동 시 중저속 영역에서의 평균 전류 복원 기법	266
LiDAR 신호처리 Study 및 SLAM 알고리즘 고도화	267
PLECS RT-BOX 활용을 위한 터미널 보드 제작	268
자율주행 기반 인도 제설용 로봇	269
FDC용 4상 인터리브드 부스트 컨버터	270
자율주행 모빌리티의 관제 시스템	271
다중 IMU Sensor Fusion용 데이터 측정 테스트베드 구축	272
지뢰 탐지 자율주행 로봇	273
모빌리티 기반 주차 관리 시스템 구현 ···································	274
자율주행 기반 분말 살포 차량 설계 및 성능 평가	275
ROS 기반 실외 자율주행 알고리즘 설계	276
OpenCV 기술을 활용한 2차 사고 방지 자율주행 안전 삼각대 개발	277
전자기유도를 이용한 배선용 차단기 성능개선	278
무선통신과 무게센서를 이용한 스마트 보관함	279
학습 역량 향상을 위한 간이 함수 발생기	280
Donor type 트리페닐아민 및 카르바콜 유도체 또는 유기 발광 다이오드를 사용하여 몇 가지 변형된 플루오린 코어	281
페로브스카이트 산화물 나노 섬유 촉매의 소성온도에 따른 전기화학적 특성 평가 ···································	282

스마트 제조 응용 기술

 DX 기반 탄소공급망 환경 전문인력 개발 ······	283
조상준, 박승호, 신성욱, 이현무, 오다훈, 장명진(한국공학대학교)	
중견기업 업종별 에너지 효율화기반 탄소자원화 특화 인력 양성	284
제조데이터 공유 협동모델 구축 데이터 신뢰성 연구	285
색변환 효율 향상을 위한 1차원 광자결정 형광체 연구	286
마이크로 LED 응용을 위한 3차원 광자결정 형광 필름 연구	287
천연 실크 고분자 기반 유연 전극 개발	288
과일 산도 감지를 위한 친환경 색변환 pH 센서 개발	289
용접결함 예방을 위한 YOLO를 활용한 스패터 모니터링	290

광에너지응용

레이저 가공에 의한 열가소성 CFRP에서의 접합 특성 연구	291
고출력 레이저 조건에 따른 웨이퍼 가공에서의 열영향 특성 연구	292
초음파 분무 열분해법을 통해 제조된 다공성 금속 산화물 복합화를 통한 전기화학 소자 성능 향상 연구 ···································	293

로봇 및 자동화

링크 길이 비율에 따른 정밀도와 출력을 고려한 델타로봇 형상 최적화
텍스트 기반 인간 동작 생성을 위한 트랜스포머 기반 모델의 positional encoding 영향 비교
DQN Rainbow 알고리즘을 이용한 테트리스 에이전트 ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
선형보간법을 이용한 6축 로봇의 예측 좌푯값 정확도 분석
YOLOv5를 이용한 생산품 외관 결함 검출 모델 개발
보이스 코일 모터를 이용한 5자유도 자기부상 시스템 설계
HRI를 위한 LiDAR 기반 객체 위치 측정 기술 개발

자유 형상의 측곡면 3축 버핑 경로 계산	301
협동로봇을 이용한 디지털 용접기 인터페이스 및 생산 자동화 용접 시스템 구축 개요	302
애커먼 기하학 기반 독립 4륜 AMR의 회전반경을 통한 종방향 횡방향 제어	303
소형 델타 로봇을 적용한 6축 로봇팔의 위치 오차 개선	304

융합생산시스템

CFRP 드릴링 가공신호 및 품질과의 연계성 분석)5
컨베이어 이송 방식을 적용한 경사 3차원 프린터의 설계에 관한 연구)6
회전축의 변형률 측정을 위한 무선 측정 시스템의 설계 및 구축)7

3D프린팅

3D Printing 및 탄화공정으로 제작된 기름 제거 구조	308
음향 방출을 이용한 SLA 출력물의 결함 감지를 위한 비파괴 검사	309
저온프린팅 기반 고분자 구조체 제작에 대한 연구	310
셀룰로오스 나노섬유 강화 3D프린팅 레진의 기계적 물성 평가	311
WAAM(Wire Arc Additive Manufacturing) 공정에서 외부 냉각에 의한 적층부 온도의 해석적 연구	312
금속 적층품 기공율 분석을 위한 고해상도 CT 이미지 활용 연구	313
Double-Layer-Blancket(DLB)을 이용한 3차원 곡면 투명전극 인쇄	314
더블레이어 블랑켓을 이용한 3차원 곡면 습도 센서 제작	315
DLP 3D 프린팅을 이용한 우주 부품용 세라믹 열처리 공정 연구	316
LPBF로 제조된 니켈기 초내열합금의 용융 에너지 밀도 크기에 따른 특성 변화	317
3D프린터를 이용한 다공성 추간체유합보형재의 물리적 특성 평가	318

진동및 제어
비상디젤발전기용 배전반의 내진안정성에 관한 연구
설계 구조 개선을 통한 반도체 검사장비 진동 저감 대책
금형 및 공구
평엔드밀의 공구 재종에 따른 플라스틱 금형강의 절삭특성 비교
인공신경망학습기법과 냉각 금형을 적용한 알루미늄 다단단조 공정설계
Filling Valve Mounting Bracket 성형 공정 개발

7월 12일 [수]



KSMTE ANNUAL SPRING CONFERENCE 2023
비젼 기반 3자유도 자세 측정 기술

김승만*, 김경호, 한성흠, 오정석, 노승국

Vision-based 3 DOF pose measurement

S. Kim^{*}, G. Kim, S. Han, J. S. Oh, S. -K. Ro

한국기계연구원

Key Words : Pose measurement, Photogrammetry, Vision

3. 실험 결과 및 고찰

1. 서 론

최근 항공, 선박, 플랜트와 같은 대형 구조물의 제조 및 보수를 위해 대형 공작물 위를 자유롭게 이동하며 정밀 가공 및 검사 등의 공정 수행 가능한 이동형 가공기에 대한 연구 및 상용화가 활발히 진행되고 있다. 이동형 가공 기의 공정 정밀도 확보를 위해서는 3자원 공간에서 정밀한 위치 및 자세 정 보를 획득하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 5 m 영역에서 0.05[°] 수준의 각 도 측정 정밀도를 확보할 수 있는 비젼 기반의 정밀 3자유도 자세(Roll, Pitch, Heading) 측정 기술을 개발하고 있으며, 이는 기존의 상용화된 센서 기반 자 세 측정 기술인 Inertial MEMS(IMU) sensor와 Fiber optic gyroscope(FOG) sensor의 Drift 적분 오차를 극복할 수 있는 방식으로 장시간 높은 정밀도를 유지할 수 있다.

2. 비젼 기반 3자유도 자세측정 기술

본 연구에서 개발하는 비젼 기반 이동형 가공기의 3자유도 자세 측정가술 은 총 3개의 핵심 요소 기술인, 거리측정 기반의 고속 줌렌즈 카메라, LED로 구성된 측정대상, 자세 도출 알고리즘 및 보정 기술로 구성된다. 비젼 기반 자세 측정 기술 개념은 다음과 같다. 레이저 추적 모듈로 측정 대상을 실시간 추적하며 추적 모듈에 장착된 거리측정기로부터 측정 대상과 추적 모듈 간의 거리를 측정한다. 측정된 거리 값을 기반으로 자세 측정 모듈 카메라의 줌 (Zoom) 및 포커싱(Focusing)을 고속으로 조절하여 4개 이상 다수의 LED 소 자로 구성된 대상을 거리에 상관없이 동일한 크기의 이미지로 실시간 촬영하 고, 촬영된 2D 이미지상에서 PnP(Perspective n point problem) 알고리즘을 적용 하여 3D 자세를 도출한다. 본 발표에서는 요소 기술이 통합된 비젼 기반 정 밀 자세 측정 모듈 및 이의 테스트 결과를 소개하고자 한다. 본 연구를 통해 이동형 가공기의 3자유도 자세를 측정하기 위한 비견기반 정밀 자세 측정 모듈을 개발하였으며, 현재까지 5m 거리 내에서 측정 타겟에 대한 자세 측정 성능(속도, 반복능)을 검증하였다. 본 비젼 기반 자세 측정 모 듈은 차후 레이저 추적기에 통합되어 넓은 3차원 영역을 이동하는 대상을 실 시간 추적하며 3자유도 자세를 측정하는데 활용할 계획이다.



Fig. 1 Concept of pose measurement system for mobile machine

후 기

본 연구는 한국기계연구원 기본사업(NK242A)과 한국산업기술평가관리원 (No. 20009622)의 지원을 받아 수행되었음.

참고 문 헌

 M. Faessler, E. Mueggler, K. Schwabe, D. Scaramuzza, 2014, A monocular pose estimation system based on infrared LEDs, IEEE International conference on Robotics and Automation, pp. 907–913.

모바일 가공기의 절대좌표 측정을 위한 고반복률 광섬유 레이저 개발

이주형^{1*}, 이우정¹, 김정윤¹, 김승만², 한성흠², 오정석²

Development of high repetition rate fiber laser for absolute coordinate measurement in mobile machining system

J. Lee^{1*}, W. Lee¹, J. Kim¹, S. Kim², S. Han², J. -S Oh²

서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과¹, 한국기계연구원 초정밀장비연구실²

Key Words : Fiber laser, Absolute distance measurement, Mode-locking

1. 서 론

수백 MHz 에서 수 GHz 의 펄스 반복률을 가지는 고반복률 펨토초 레이 저는 광 주파수 측정, 광 통신, 임의의 파형 생성, 천문 분광계 보정, 광학적 아날로그-디지털 변환, 마이크로파 생성 및 절대 거리 측정 등에 중요하게 활용된다. 특히 본 연구를 통해 개발되고 있는 모바일 가공기의 절대 좌표 측 정을 위한 절대거리측정기의 경우 발진기로부터 생성되는 펄스 반복 주파수 가 좌표측정 정밀도에 가장 큰 영향을 미치는 사양에 해당이 된다. 본 연구에 적용되기 위한 광섬유 레이저 광원의 반반복률을 증가시키기 위한 방안은 발 진기의 캐비티 길이를 단축하는 것이다. 하지만 이 방법은 펄스의 첨두출력 을 감소시키므로, 정상적인 단축 펄스 생성을 위해 필요한 비선형 모드 잠금 임계치를 유지하기 위한 제한점이 있다. 반면에, 레이저 광원의 반복률을 유 지하면서 추가적인 장치를 통합하여 더 높은 반복 주파수의 펄스를 생성하 는 펄스 교차 방법(pulse interleaving) 도 있으며, 이는 Fabry-Perot 에탈론, Mach-Zehnder 간섭계, 서브링 광섬유 공진기 등을 활용하여 구현이 가능 하다. 본 연구에서는 모바일 가공기에 적용하기 위한 고반복률 광섬유 레이 저 개발 방안에 대해 기존의 연구내용을 소개하고 기계가공, 조선 산업 현장 과 같이 외부온도 변화, 진동 충격등이 존재하는 극심한 환경에 적용하기 위 한 고반복률 펨토초 레이저 개발 결과를 공유하고자 한다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원 주요사업 일환인 "모바일 플랫폼 기반 가공시스템 핵심기술 개발"사업(NK242A, 2023.01.01~2023.12.31 의 지원에 의한 것입니다.

모바일 가공기의 가공성능 향상을 위한 주축전류 기반 채터 감지기술

심범식, 서민지, 김재은, 이원균*

Spindle-motor-current-based chatter detection technic for mobile machine tool

B. Sim, M. J. Seo, J. E. Kim, W. Lee*

충남대학교 기계공학부

Key Words : Mobile machining, Processing condition monitoring, Sensorless

1. 서 론

모바일 가공기는 대형 가공물 위를 이동하며 표면을 가공하는 장치로, 항 공, 선박 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 하지만 가동성 강화를 위한 소형 화, 경량화를 위해 강성이 제한되어 가공성능이 떨어지고, 장치 특성 상 기존 공작기계에 적용되는 가공성능 향상을 위한 제어 기술들의 적용이 어렵다. 채 터는 가공중에 발생하는 진동으로, 부품의 표면 거칠기와 정밀도에 부정적인 영향을 미친다.[1] 일반적으로 가속도센서, 공구동력계, 음향방출센서 등 다양 한 센서를 부착하고, 측정 데이터를 고속으로 분석하여 채터 발생여부를 판단 하는 기술이 사용되고 있다.[2] 하지만 이러한 방법은 가공물에 별도의 센서 를 부착하기 어렵고, 데이터의 실시간 고속 분석이 어려운 모바일 가공기에 적용하는데 한계가 있다. 본 연구에서는 모바일 가공기의 가공성능 향상을 위 한 주축전류 기반 채터 감지기술을 제안하였다. 이터캣(EatherCAT) 기반 제 어기에 의해 구동되는 3축 밀링가공기 테스트베드를 구축하여 모바일 가공기 와 유사한 환경을 구현하였으며, 다양한 조건에서의 가공실험을 통해 주축 전 류 기반 채터 감지 알고리즘을 검증하였다.

2. 실험 장치 구성

Fig.1은 주축전류 기반 채터 감지기술의 적용 및 검증을 위한 3축 가공기 테스트베드이다. 이송축 및 주축은 한국기계연구원에서 개발한 모바일 가공기와 동일한 이더캣 기반 제어기(TwinCAT3, Beckhoff)에 의해 제어된다. 이더캣 통신을 통해 드라이브의 데이터그램 안에 CoE(CAN application protocol over EtherCAT)에서 주축전류를 PDO(Process data object)로 설정하고, 이더캣 통신을 통해 1000Hz 주기 로 제어기로 주축전류를 전달한다. 채터 발생 감지 및 제안한 알고리 즘의 검증을 위해 가속도센서(356A02, PCB Piezotronics)와 신호수집장 치(NI 9234, National Instrument)를 이용하여 가속도를 모니터링하였다.

3. 채터 감지 알고리즘 및 실험

Fig. 2는 채터 감지 알고리즘이다. 가공 깊이의 영향을 줄이기 위해 전류의 Peak to Peak 값에 RMS 값을 나눠 정규화를 하였다. 실시간으로 추출된 주축



Fig. 1 Experimental setup





전류를 정규화한 값이 기 설정된 임곗값을 초과하는 경우 채티 발생으로 판 단하고 알람을 발생시킨다. Fig. 3은 채티 감지 알고리즘 검증을 위한 실험이 다. 채티 발생을 위해 1 mm ~ 6mm까지 반경방향 절삭 깊이를 늘려가며 가공 을 진행하였다. 채티 발생시 실시간 주축전류 모니티링을 통해 알람의 발생을 확인하였다.

4. 결 론

모바일 가공기의 가공성능 향상을 위해 낮은 주파수로 측정되는 전류를 이 용한 채터 감지기술을 제안하였다. 주축전류의 특징 추출 및 채터 발생 판단 알고리즘을 개발하였으며, 이더캣 기반 제어기에 의해 구동되는 3축 가공기 테스트베드에 적용하였다. 다양한 조건에서의 가공실험 결과 제안한 알고리 즘이 높은 정확도로 채터 발생을 감지하는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 2023년도 한국기계연구원 주요사업 "모바일 플랫폼 기반 가공시 스템 핵심기술 개발" 사업(NK236A)의 지원을 받아 연구되었음

- (1) Altintaş, Y., & Budak, E. (1995). Analytical prediction of stability lobes in milling. CIRP annals, 44(1), 357-362.
- (2) Kuljanic, E., Sortino, M., & Totis, G. (2008). Multisensor approaches for chatter detection in milling. Journal of Sound and Vibration, 312(4-5), 672-693.

보행형 모바일 가공기의 진동댐퍼 성능 검증

김대현*, 김창주, 이찬영, 노승국

Evaluation of vibration damper performances of a walking type mobile machine

D. H. Kim^{*}, C. J. Kim, C. Y. Lee, S. K. Ro

한국기계연구원

Key Words : Mobile machine, Passive damper, Vibration damping

1. 서 론

항공기 동체, 선박, 풍력발전기 등에 필요한 대형 공작물을 가공하 기 위해서는 가공물보다 1.5배에서 2배 이상 큰 가공장비를 사용하는 것이 일반적이다. 하지만 이러한 대형 가공장비는 구조적 강성이 높은 장점이 있는 반면 높은 투자비용, 넓은 설치공간, 낮은 에너지 효율, 공작물 사양 변화에 유연한 대응이 어려움 등의 문제점을 가지고 있 다. 대형 가공장비에 대한 대안으로 가공물보다 크기가 작으면서 가공 물을 타고 다니면서 드릴링이나 밀링 등의 절삭가공을 할 수 있는 이 동형(모바일) 가공시스템에 대한 연구가 진행되어 왔다. 본 논문에서 는 이동형 가공기의 황삭 밀링 가공성능을 향상시키기 위해 구조감쇠 를 위한 수동댐퍼를 설계하고 감쇠성능 평가결과를 소개하였다.

2. 수동형 댐퍼 설계

Z축 공진모드 감식를 위해 독일 하노버 IFW에서 수동형 감식장치 를 개발하였다. 목표는 가공에 영향을 주는 Z축 관련 공진모드인 100~200Hz 대역의 구조 감쇠로, 테스트베드를 이용하여 Oil pistion, friction damper, foam damper, particle damper 설계 및 감쇄효과를 검증하였으며, Oil piston damper를 최적화하여 사용하는 것이 가장 효과가 좋은 것으로 나타났으며, 테스트베드에서 Z축 위치에 따라 최 대 65% 감쇄효과(upper위치)가 나타나는 것을 확인하였다.

설계된 수동형 댐퍼를 실제 모바일가공기에 설치 및 작동이 가능하 도록 설계를 변경하여 제작하였고, Z방향 이송 시 모터로드 15% 이내 로 안정적으로 이송 가능함을 확인하였다.



3. 모바일 가공기의 구조 감쇠 성능 평가

Fig. 2와 같이 실제 가공위치인 Z축이 아래로 내려왔을 때, X방향, Y방향으로 압전소자 방식의 가진기를 이용하여 주파수 응담 함수를 측정하였다.





Fig. 2 Evaluation of structural damping performance using exciter

Fig. 3 에 댐퍼의 개수에 따른 X, Y방향의 가진실험 결과를 그래프 로 나타내었으며, Table 1에 동강성 값과, 구조 감쇠 증가 비율을 작 성하였다.

실험결과 댐퍼 개수 및 가진방향에 따라 구조 감쇠 성능이 다르게 나타났다. X방향으로 가진 했을 때 댐퍼가 2개 일 때 19.3%로 성능이 이 가장 좋게 나타났으며, Y방향의 경우는 댐퍼가 1개 일 때 11.9%로 성능이 가장 좋게 나타났으며, 2개일 때 5.8%로 줄어드는 것으로 나 타났다.



Table 1 damping performance evaluation result of the number of dampers

	X dire	ection (1	75Hz)	Y direction (155Hz)			
Number of dampers [ea]	0	1	2	0	1	2	
Dynamic Stiffness [N/ µ m]	0.843	0.948	1.006	1.635	1.830	1.731	
Rate [%]	-	12.3	19.3	-	11.9	5.8	

4. 결 론

대형 가공물 가공을 목적으로 하는 이동형 모바일 가공기 시작품의 황삭 밀링 가공성능을 향상시키기 위해 수동형 댐퍼를 설치하고 실험 적으로 평가하였다.

- (1) Kim, C. J, Kim, D. H, Hong, H. J, Ro, S. K, 2021, Cutting simulation of a mobile machine using a structure/feed drive/controller coupled model, Proceeding of KSMTE Annual Spring Conference.
- (2) Kim, C. J, Kim, D. H, Hong, H. J, Ro, S. K, 2020, *Evaluation* of a structure stiffness for mobile machining systems, Proceeding of KSMTE Annual Spring Conference.

알리코 자석을 이용하여 탈부착이 용이한 전자기 자석 바퀴 설계

김현수*, 이성철, 노승국

Design of EPM wheels that are easy to attach and detach using AlNiCo magnet

H. S. Kim^{*}, S. C. Lee, S. K. Ro

한국기계연구원

Key Words : Magnetic wheel, AlNiCo magnet, EPM(electro-permanent magnet)

1. 서 론

근래 산업인력이 감소하고 현장작업의 위험성과 반복성 그리고 환 경적인 문제로 인하여 로봇사용이 활성화 되고 있다. 선박의 경우 배 의 표면을 이동하는 로봇이 사용되는 데 여기에는 자석 바퀴가 장착되 어 있다. 자석바퀴는 대부분 영구자석을 사용하므로 로봇을 탈부착 할 때 다소의 불편함이 있다. 이에 따라 이러한 불편함을 해소하기 위해 다양한 방법들이 개발되고 있다[1]. 본 연구에서는 알리코 자석을 이 용하여 순간적인 전기적 신호만으로 자기력선의 방향이 스위칭 되는 마그네틱 휠을 설계하는 방법에 대해서 논하였다.

2. 마그네틱 휠 디자인

마그네틱 휠의 기본적인 부착력은 영구자석에서 나온다. 그러므로 영구자석의 자기력선 방향을 바꾸는 방법에서 탈부착이 용이한 마그 네틱 휠을 설계하였다. Fig. 1은 Nd 자석의 자기력선 방향을 무철심 전자석으로 바꾸는 방식이다. Fig. 2는 AlNiCo 자석의 힘을 부착력으 로 사용하는 방식이다. Fig. 3은 반달 모양의 Nd와 AlNiCo 자석을 조 합한 것이고, Fig. 4는 Nd와 AlNiCo 자석을 독립적으로 배치한 것이 다. Fig. 5는 AlNiCo 자석 안에 Nd 자석이 있는 구조이다.



Fig. 1 Magnetic wheel composed of Nd magnet and coil



Fig. 2 Magnetic wheel composed of AlNiCo magnet and coil



Fig. 3 Magnetic wheel composed of Nd, AlNiCo magnet and coil



Fig. 4 Magnetic wheel composed of one Nd, AlNiCo magnets and coils



Fig. 5 Magnetic wheel composed of Nd in AlNiCo magnet and coil

3. 실험 및 고찰

Fig. 1처럼 Nd 자석을 코일로 감을 경우 잔류자기가 남아 있고 전류 를 인가하는 시간이 다소 길었다. Fig. 2처럼 AlNiCo 자석의 경우 스 위칭은 잘 되었지만 대상체에서 한번 떨어지면 자기력이 약해졌다. Fig. 3처럼 Nd 자석과 AlNiCo 자석을 반달모양 만들어서 배치할 경 우 스위칭은 잘 되었지만 자기력이 약했다. Fig. 4처럼 한 개의 Nd 자 석과 여러 개의 AlNiCo 자석의 경우 스위칭은 잘 되었지만 휠 크기가 크고 이로 인해 자기력이 약했다. Fig. 5는 지금까지 위에서 진행된 방법들의 장단점을 검토하여 설계한 것으로 AlNiCo 자석 안에 Nd 자 석을 넣은 구조다. 이를 위한 자석은 현재 제작 중이며 위의 결과들을 토대로 볼 때 Fig. 5와 같은 구성은 자기력선 방향 전환 스위칭도 잘 되고 자기력도 강할 것으로 판단한다.



Fig. 6 Magnetic wheels switched by electrical signal

참고 문 헌

 Francisco Ochoa Cradenas, Design of novel adaptive magnetic adhesion mechanism for climbing robots in ferric structures, the thesis of Doctor of Philosophy, The University of Sheffield, November 2016.

과학벨트 국제비즈니스화 전략에 관한 연구

김학민*

A study on the establishment of strategy for international business of science belt

H. M. Kim^{*}

한양대학교 산학협력중점교수

Key Words : Science belt, Basic science research, Heavy ion accelerator, Translational research

1. 서론

우리나라는 창조적 연구환경 조성을 통해 세계적 두뇌가 모이고, 과 학과 비즈니스가 융합한 국가성장 거점으로서 충청권 일대에 과학벨트 를 조성하였다. 과학벨트는 기초연구의 거점기능을 수행하는 거점지구 와 거점지구의 연구성과를 연계·확산하는 기능지구라는 공간적 개념을 갖는다. 본 연구는 과학벨트의 기초연구환경을 성공적으로 구축하고, 기초연구와 비즈니스가 융합될 수 있는 기반을 마련하여 국가경쟁력을 도모함에 목적이 있다. 이를 위해서 기초과학연구와 과학기반산업을 상호협력·연계하여 국가 신성장 동력 창출과 과학적 비즈니스의 국가 성장거점으로 이끌 수 있는 정책적 수단을 강구하고자 한다.

2. 연구방법

과학벨트 내·외부환경 분석을 통해 과학벨트 주요 현황과 문제점을 진단하였다. 외부환경 분석은 사회·경제·정책 등의 관점과 주요국 사 례 중심으로 살펴보았으며, 내부 환경분석은 현재까지 정부에서 추진 한 현황과 자문위원회, 유관기관 인터뷰, 설문조사를 통해서 정책수요 조사를 실시하였다. 이와 같은 과학벨트의 국제비즈니스화 관점에서 도출한 주요 이슈와 시사점을 추진전략의 방향성 즉, 과학벨트의 국제 비즈니스화를 위한 전략적 세부이행방안을 도출함에 있어서 기초자료 로 활용하였다.



Fig. 1 Logic model to conduct research

3. 연구결과

과학벨트 내·외부환경 분석을 통해 도출한 시사점은 '과학지식의 사 업화 생태계 조성 및 역량 강화,' '중이온가속기 국제비즈니스 경쟁력 강화,' '타 산업과의 연계·협력방안 강구,' '글로벌 연구네트워크 강화,' '입주기업 지원서비스 강화'와 같이 크게 5개 부분으로 도출되었다.



Fig. 2 Implications derived from the environmental analysis of the science belt

클러스터 생애주기에 따른 정책적 지원에 있어서 김명진 외(2014)는 단계별 클러스터 성공요인을, Brenner & Schulump(2011)는 생애주기 에 적절한 정책적 수단을 제시하였다. 대체로 기반조성기는 기반구축 을, 형성·모색기에는 산·학·연 연계와 연구개발 능력을, 성장·안정기에 는 혁신클러스터 간 융합 및 시너지 발생을 성공요인으로 보았으며, 이 를 위한 정책수단으로써 기반조성기는 기반조성을 위해 인프라 구축, 신생기업지원, 네트워크 구축, 교육 및 인력양성에 힘을 쓰고 형성기· 모색기에는 비교적 네트워크가 활성화되고 산업간 활력을 줄 수 있도 록 벤처캐피탈, 교육, 금융 등 정책적 지원이 필요함을 강조하였다.

위와 같은 검토를 바탕으로 앞에서 도출한 과학벨트 환경분석을 통 한 주요 시사점인 5개 부문을 본 연구에서 추구하는 과학벨트 국제비 즈니스화를 위한 추진전략으로 전략화할 수 있었다.



Fig. 3 Direction of strategy

5개 부문의 추진전략은 각 부문별로 '중개·실증연구를 통한 연구개 발 역량 강화,' '거점지구-기능지구 간 비즈니스 네트워크 활성화,' '중 이온가속기 조기 활용 및 관련업종 육성지원,' '한국형 중이온가속기 의 국제비즈니스를 위한 준비,' '연구산업 특화 클러스터 조성,' '네트 워크 분석의 과학적 접근을 통한 글로벌 협력방안 강구,' '과학벨트 위 상 제고 및 Top Community와 네트워크 강화를 위한 홍보활동,' '공 동활용장비 지원체제 강화,' '벤처캐피탈 연계지원을 통한 연구개발중 심기업 육성'과 같은 9개 실천과제를 도출할 수 있었다.

- (1) Myung Jin Kim Eui-Jeong Jung. 2014. A Comparative Study regarding Provincially Promoted Innovation Clusters in Korea and Abroad: The Case of Research Triangle Park and Gyeonggi Innovation Clusters. The Korean Association of Professional Geographers 48(4): 409-423.
- (2) Brenner, T. and Schulump, C. 2011. Policymeasures and their effects in the differentphases of the cluster life cycle. RegionalStudies 45(10): 1363-1386.
- (3) Gartner Top 10 Strategic Technology Trends, https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/to p-technology-trends(Search date : August 1, 2022).

식물기반 바이오로직스 생산을 위한 침윤 공정 모듈화 개발

박진호^{1*}, 안준기¹, 정기호², 신진옥¹, 이동목³, 이준철¹, 곽시영²

Development of modularization of infiltration process for plant-based biologics production

J. H. Park^{1*}, J. K. Ahn¹, K. H. Jung², J. O. Shin¹, D. M. Lee³, J. C. Lee¹, S. Y. Kwak²

한국생산기술연구원 융합기술연구소¹, 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소², 한국생산기술연구원 바이오메디칼생산기술센터³

Key Words : Plant-based, Biologics, Infiltration, Modularization

1. 서 론

1999년 R. Fischer는 식물에서 재조합 단백질의 생산을 언급하였다 [1]. 최근 미국 FDA(Food and Drug Administration)가 이스라엘의 Protalix 祉가 당근 세포 배양을 통해 개발한 Elelyso[®]의 상업적 생산을 승인하면서 세계 최초의 식물 세포를 활용한 바이오의약품이 되었다. Elelyso[®]는 효소 결핍에 의한 질병인 고셔병(Gaucher disease) 치료제이 다. 기존의 고셔병 치료제인 Cerezyme[®]은 CHO(Chinese Hamster Ovary) 세포에서 생산되었으며 배양 과정에서 Calicivirus에 감염되어 문 제를 일으켰기 때문이다[2].

식물의 경우 태양 또는 빛 에너지를 활용하여 적은 비용으로 단백질을 대량생산할 수 있고, 미리 보관된 형질전환식물의 씨앗을 심어 생산량을 자유자재로 조절, 암세포를 인식하여 죽이는 역할을 하는 단일항체 (monoclonal Antibody)를 생산하는 데도 응용할 수 있어 매우 활발한 연 구가 이루어지고 있다. 다만, 아직 풀어야할 문제가 몇 가지 있는데 낮은 생산성, 형질전환식물 재배를 위한 넓은 공간, 높은 다운스트림 (Downstream) 공정비용 등이 해당된다[3].

또한, 식물기반 바이오 의약품 생산 공정은 아직 연구실 수준으로 비교 적 생산성이 낮은 편이며, 특히 형질전환을 위한 핵심 공정인 진공 침윤 (Vacuum Infiltration) 공정은 진공의 세기와 처리 시간에 따른 침윤효과 를 정량적으로 분석한 연구는 보고되었지만 실제 침윤을 일으키는 재가압 (Re-pressurization)에 대한 정량적인 접은은 아직 연구가 미비한 실정이 다[4].

따라서 본 연구는 식물기반 생산 시스템 공정에서 효율성이 낮은 진공 침윤(Vacuum Infiltration) 공정 및 모듈화 개발에 대해 논하고자 한다.

2. 진공 침윤공정 개발

진공 침윤의 원리는 진공을 가하여 식물 조직 내부의 공기를 제거하고, 다시 진공을 해제하여 아그로박테리아 침윤액이 식물 조직 내부로 침투하도록 하는 것으로, 진공은 침윤 공간을 확보하는 전처리 과정으로, 진공의 세기에 따른 침윤도 영향을 분석하기 위해 절대압 50~400 mbar에서 일정 시간 진공을 가한 후 신속히 진공을 해제한다.



Fig. 1 Fluorescent protein expression according to vacuum strength and air inflow rate

식물을 5일 동안 재배하여 잎을 대상으로 형광단백질의 발현을 UV 검 출기(302 nm)로 관찰할 수 있다. 진공의 세기가 강할수록(절대압이 낮을 수록), 공기 유입속도가 낮을수록 형광 단백질의 발현이 높아지는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 2 Concept of vacuum infiltration process module

진공 침윤 공정 자동화 수행을 위한 시작품 모듈화의 개념은 Fig. 2와 같으며, 시간에 따른 압력, 온도, 영상을 모니터링, 공기유입 및 공기배출 을 위한 Solenoid Valve 제어 가능하도록 시스템을 구성하였다. 압력, 온 도, 영상에 대해 데이터 취득이 가능하며, 공기유입과 공기배출을 위한 2 채널의 Solenoid Valve 제어가 가능하도록 시스템을 구성하였다.

3.결론

식물기반 바이오의약품 생산 공정에 핵심인 진공 침윤공정 개발을 위한 기초 실험을 수행하였으며, 공정의 편의성을 향상하기 위한 모듈화 개발 을 진행하였다. 식물 기반 단백질 생산기술은 대한민국의 미래 성장 동력 인 매우 중요한 바이오 기술 중의 하나이다. 향후 식물 기반 단백질 소재 의 산업화를 위한 생산 시스템 고도화 개발이 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 결과물은 한국생산기술연구원의 지원을 받아 연구되었습니다. 이에 관계자 분들께 감사합니다.

- (1) R. Fischer et al., Molecular Farming of Recombinant Antibodies in Plants, *Biol. Chem.*, 380, 825-839, 1999.
- (2) Ki-Beom Moon et al., Development of Systems for the Production of Plant-Derived Biopharmaceuticals, *Plants*, 2019.
- (3) Stefan Schillberg et al., Critical Analysis of the Commercial Potential of Plants for the Production of Recombinant Proteins, *Front. Plant Sci.* 10:720. doi: 10.3389/fpls.2019.00720.
- (4) Y.J. Kim, et al., Infiltration process optimization for plant-based next generation biologics production, KSMTE 2022 Fall.

인공지능을 활용한 세포성장에 미치는 인자의 영향 분석

남정호^{1*}, 곽시영^{1,3}, 이준철²

Analysis of factors affecting cell growth using artificial intelligence

J. H. Nam^{1*}, S. Y. Kwak^{1,3}, J. C. Lee²

한국생산기술연구원 스마트액상성형연구부문¹, 소재부품융합연구부문², 과학기술연합대학원대학교 융합제조시스템³

Key Words : Cell growth, Artificial intelligence, Linear regression

1. 서 론

줄기 세포(Y)는 성장을 위해 많은 성분(Xn)을 필요로 한다. 본 연구에 서 실험을 통해 얻어진 성분의 수치 데이터를 인공지능(AI) 분석을 통해 줄기 세포를 최대로 키우는 조합을 찾고, 어떤 성분이 줄기 세포에 큰 영 향을 미치는지 분석하였다.

본 연구에서 실험을 통해 얻어진 줄기 세포의 크기와 이에 필요한 24가 지 성분 121개의 수치 데이터를 Fig. 1과 같이 얻을 수 있었다. Fig. 1에 서 Y는 줄기세포의 크기를 나타내며 Xn은 이 때의 각 성분의 수치 값을 나타낸 것이다.

	Y	X1	X2	X 3	X4	X 5	X6	X7	X8	X 9	
0 44.49	789200	2.50000000	0.05000000	0.01000000	0.01500000	0.00050000	0.05500000	0.05000000	0.00000000	0.01200000	
1 53.50	772787	2.50000000	0.10000000	0.01000000	0.01500000	0.00105000	0.00500000	0.05000000	0.00020000	0.01200000	
2 50.18	916872	2.50000000	0.10000000	0.01000000	0.01500000	0.00050000	0.05500000	0.05000000	0.00020000	0.12000000	
3 57.53	972502	2.50000000	0.10000000	0.01000000	0.04500000	0.00050000	0.05500000	0.02000000	0.00000000	0.12000000	
4 49.91	352301	2.50000000	0.05000000	0.01000000	0.04500000	0.00105000	0.00500000	0.02000000	0.00020000	0.12000000	

Fig. 1 Experiment data table for cell growth

2. 연구 내용

2-1. 줄기 세포의 최대크기 성분 조합 분석

줄기 세포 Y가 최댓값을 갖는 여러 성분 Xn의 최적화 값을 찾아내기 위해 인공 지능의 다중선형회귀분석(Multiple Linear Regression) 방법 을 사용하여 학습 모델 을 분석하였다. 이를 위해 실험 데이터는 학습 데 이터 세트(Training Data)와 시험 데이터 세트(Test Data)로 8:2 비율로 분류하여 입력값(input layer)으로 사용하였고, 출력값(Output layer) 은 종속변수인 줄기 세포의 크기를 사용하여 분석하였다. 이를 통해 얻 어진 분석 결과를 실제 값과 예측 값으로 시각화하여 Fig. 2와 같이 표 현하였다.



Fig. 2 The result of Multiple Linear Regression

분석 점수(score) 값이 0.758으로 실험 데이터 모델을 예측함에 있어 실 제 실험 데이터와 차이가 있음을 알 수 있었다. 선형회귀분석을 수식화하 면 y=ax+b로 표현된다. 여기서 기울기 a는 w(weight) 가중치(또는 계수), b는 bias로 절편을 의미한다. 즉, 단순 비례관례로는 실험 데이터 모델을 예측하기 어려워 보다 적은 오차를 얻기 위하여 다항 회귀(Polynomial Regression)와 다중선형회귀(Multiple Linear Regression)를 사용하여 모델을 예측하기로 하여 실제 값과 보다 근사한 예측 값을 확인 할 수 있었다.

Fig. 3의 결과에서 알 수 있듯 차수(Degree)에 따라 2차 다항일 경우 0.909, 3차 다항은 0.984 분석점수로 실제 값과 근사한 결과를 얻었다. 하지만 차수가 높으면 현재 실험 데이터의 양과 분표가 많아 않아 과적합 (Over fitting)이 될 수 도 있다.



Fig. 3 The result Polynomial Regression(2Degree & 3Degree)

2-2. 줄기 세포 크기에 큰 영향을 주는 성분 분석

줄기 세포 크기에 어떤 성분이 큰 영향을 주는지 알아보기 위해 Heatmap 변수간 상관관계를 Fig. 5와 같이 시각화 하였다.



Fig. 4 The result of Heatmap

Heatmap의 변수의 크기가 클수록 줄기 세포 Y의 크기와 연관 관계가 크다고 보여진다. 그래서, X2, X4, X14 X16의 성분이 줄기 세포의 크 기에 큰 영향을 미칠 것으로 생각한다. 이를 위해 Lasso회귀분석(Lasso Regression)을 사용하였다. Lasso회귀분석은 몇몇 유의미하지 않은 계 수를 0으로 가깝게 하여 모델의 복잡성을 줄이는 사용하는 회귀분석이 다. 즉, 성분의 값이 0이 아닌 성분이 줄기 세포 크기에 다른 성분보다 큰 준다.

array([-0.	,	2.80865362,	-0.	,	-0.48324847	7,	-0.	,
-0.	,	-0. ,	-0.	,	-0.	,	-0.8542002	9,
Ο.	,	-0. ,	-0.	,	0.03156194	1,	-0.	,
2.67512136	3,	-0. ,	Ο.	,	-0.	,	-0.	,
-0.	,	O. ,	-0.	,	-0.	1)	

Fig. 5 Weight Result of Lasso Linear Regression

Fig. 5는 Lasso회귀 분석한 계수의 결과 값이 0이 아닌 X2, X4, X10, X14, X16으로 Heatmap분석과 비슷한 결과 얻었으며, 줄기 세포에 큰 영향을 성분을 알 수 있었다.

3. 결과 및 결론

줄기세포의 크기에 영향을 주는 성분을 분석하기위해 다항선형회귀분 석 사용한 결과 1차 76%, 2차 90%, 3차 다항일 경우 98% 정확성 얻었 다. 또한 24개 성분 중 4~5개 성분으로 단순화하여 성분 X2, X4, X14, 16이 줄기세포크기에 큰 영향을 미칠 것으로 판단하였다. 하지만, 현재 실험 데이터의 수와 분포가 많지 않아 보다 정확한 분석을 위해선 더 많 은 실험 데이터를 필요하다.

사용자 참여를 통한 제품 개발의 방법론적 프레임워크

박영수*, 윤상영, 변다니엘, 이선근

Methodological framework for product development process through user participation

Y. S. Park*, S. Y. Yoon, D. Byun, S. G. Lee

(주)유저커넥트

Key Words : Crowd-sourcing, User participation, New product development, Beta-testing, Usability evaluation

1. 서 론

최근 급속한 제조 기술의 발전은 중소기업의 생산성을 높이고, 글로벌 경쟁력을 강화하는 데 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 중소기업은 전문 기술과 전문인력에 대한 제한적인 접근성으로 인해 이러한 기술 발전의 혜택을 충분히 이용하기 어려운 상황에 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 크라우드소싱(Crowd-sourcing) 방식의 제품 개발 방법은 중소기업이 온라인 커뮤니티와 협력하여 필요한 서비스 를 얻을 기회를 제공할 수 있다. 특히 제품 디자인 및 개발(PDD: Product Design and Development)과정에서 크라우드소싱 서비스가 제공하는 온 라인 플랫폼과 도구들은 디자인 아이디어 생성이나 문제 해결과 같은 부 분에서 매우 유용하게 활용될 수 있다[1].

신제품의 시장 성공을 위해서는 사용자의 불편을 해소하고 요구사항을 충족시키는 것이 중요하다. 최근에는 빠르고 저비용으로 디자인 목업과 워킹 목업을 제작할 수 있는 Rapid Prototyping 기술의 발전으로 인해, 하드웨어 제품의 시제품에 대한 소비자 의견을 수집하는 노력이 계속되고 있다. 크라우드소싱 서비스를 활용한 신제품 베타 테스트 및 사용성 평가 는 다양한 계층의 잠재 소비자를 대상으로 온라인 공간에서 테스트를 수 행하는 방식으로, 시간과 비용을 최소화하여 효율적으로 테스트할 수 있 게 해준다. 또한 크라우드소싱을 통한 제품 개발 및 사용성 평가는 기존 전문가들의 참여에 비해 적은 비용과 짧은 기간에 다양한 실제 사용자를 참여 및 활용 할 수 있게 한다. 전문가를 활용한 전통적 방법으로 수행한 사용성 평가와 비교했을 때, 크라우드소싱을 통한 평가는 공통적인 문제 점을 찾아내는 데 도움이 되었을 뿐만 아니라, 전문가들이 발견하지 못한 문제점을 발견할 수 있는 장점이 있다[2]. 이러한 이유로 B2C 기업들은 크라우드소싱을 통해 제품 개발 기획 및 설계, 사전평가를 수행하기 위해 노력과 비용을 투자하고 있으며, 다양한 플랫폼 서비스가 이러한 니즈를 충족시킬 수 있도록 등장하고 있다.

본 연구에서는 제품 개발 단계와 시제품 평가 단계에서 클라우드소식 기법을 활용하여 실 사용자 참여형 제품 디자인 개발과 시장검증 테스트 및 사용성 평가를 수행하는 방법에 대해 논의하고자 한다.

2. 제품 디자인 개발 및 평가 프로세스

크라우드소싱을 활용한 제품 개발 및 평가 프로세스는 효율적이고 혁신 적인 방법이다. 다양한 참여자들의 아이디어와 전문성을 활용하여 제품 개발에 필요한 다양한 단계를 수행할 수 있다. 또한 크라우드의 다양성과 참여자들 간의 협업은 창의적인 아이디어를 발굴하고 제품 디자인의 품질 을 향상시키는 데 도움이 될 수 있다.

사용자 중심의 방법론적 프레임워크는 사용자의 요구사항과 선호도, 엔 지니어링 디자이너의 관점이 계속적이고 반복적으로 상호작용하 는 것을 목표로 한다. 이 프레임워크는 고객의 요구사항을 초기 시각화 하기 위해 디자인 프로세스의 각 단계에 사용자를 참여시킨다. 특히, 사용자는 제품 요구사항의 정의뿐만 아니라 개념 및 디자인 대안, 최종 프로토타입의 평 가에도 참여하게 된다. 본 프레임워크에서 다루는 디자인 단계는 개념 설 계 단계, 예비 설계 단계, 제품 초기 평가 단계로 구성된다. 개념 설계 단 계와 예비 설계 단계는 하나 이상의 요소 부품 및 외관 디자인을 개발하기 위해 수행되며, 초기 평가 단계는 사용자의 요구사항을 모두 만족하는 기 능, 디자인에 대한 시각적 총괄 평가를 수행한다. 크라우드소싱을 활용한 제품 디자인 개발 및 평가 프로세스는 Fig. 1과 같다.



Fig. 1 Process of crowd-sourcing NPD process

3. 결 론

크라우드소싱을 통한 제품 디자인 개발 및 평가는 전통적인 방법과 비 교하여 낮은 비용과 짧은 시간 내에 다양한 실제 사용자들의 참여와 평가 를 수행할 수 있는 장점이 있다. 이를 통해 제품의 시장 수용성과 경쟁력 을 향상시킬 수 있다. 그러나 문화적 차이와 협업의 어려움, 품질 관리와 평가 결과의 통합 등에 대한 현실적 한계점이 있으며, 이를 극복하기 위해 플랫폼 특성을 갖는 적절한 커뮤니케이션 채널과 평가 기법, 협업 도구 등 이 필요하다.

후 기

이 논문은 과학기술정보통신부가 지원한 '2023년도 연구산업육성사업 (프로토타이핑 전문기업 육성)'으로 지원을 받아 수행된 연구 결과입니 다. [과제명: 바이오 융합 공공기술 프로토타이핑 기술인큐베이팅사업]

- Todd Morgan et al., The role of customer participation in building new product development speed capabilities in turbulent environments, *Decis. Sci.*, 48(1), 150-175, 2017.
- (2) Di Liu et al., Crowdsourcing for Usability Testing, Proc. Assoc. Inf. Sci. Technol., 2013.

PVDF를 이용한 수술용 로봇을 위한 3자유도 힘 센서 설계

조방현¹, 박진호^{1*}, 이혜진²

Design of 3-DOF forces sensor for surgical robot using PVDF

B. H. Jo¹, J. H. Park^{1*}, H. J. Lee²

한국생산기술연구원 소재부품융합연구부문¹, 한국생산기술연구원 디지털전환연구부문²

Key Words : PVDF, Force sensor, Surgical robot

1. 서 론

로봇을 이용한 수술은 수술 기구의 소형화를 통해 최소침습수술(MIS, Minimally invasive surgery)을 가능하게 하여 환자의 빠른 회복과 적 은 통증 등 긍정적인 효과를 갖는다. 자칫 과도한 힘으로 장기의 손상이 나 출혈을 발생시킬 수 있어 수술 로봇의 기구부와 인체조직과의 상호작 용 힘 측정이 필요하다. 본 논문에서는 수술 로봇에 적용하여 힘 피드백 위한 센서를 설계하였으며, PVDF를 이용하여 3 자유도 힘을 측정하고 자 한다.

2. 센서 설계 및 제작

본 논문에서 사용하는 PVDF는 0.125mm 폴리에스테르 기판에 적층 되고 두 개의 압착 단자가 있으며, 폭이 25mm인 유연한 구조를 갖는다. Fig. 1은 센서의 구조를 나타낸다. 두께가 4mm인 Al7075 소재인 구조 에 3개의 PVDF를 120° 간격으로 부착할 수 있도록 가공하였다.



Fig. 1 Structure of sensor

센서 Plate의 수직 방향을 z 방향으로 설정하고 힘이 작용했을 때, 3등 분 되어 각 보에 작용한다고 간주하였다. x, y축 방향으로의 힘은 BMD (Bending moment diagram)를 통해 간단히 계산할 수 있다. 센서의 소 재와 파라미터를 Table 1에 나타내었다. 이를 이용하여 구조가 변형되지 않고 측정할 수 있는 최대 힘을 구할 수 있고, 최대 1.38 N으로 계산되었 다. 센서의 프레임은 3D 프린트를 이용하여 제작하였으며, 실험 장비는 Fig. 2에 나타내었다.

Table	1	Properties	and	Parameters	of	the	sensor
-------	---	------------	-----	------------	----	-----	--------

Property	Value	Parameter	Value
Yield strength	145 MPa	L	40 mm
Tensile strength	275 MPa	b	13 mm
Modulus of Elasticity	71.7 GPa	t	0.4 mm



Fig. 2 Experiment setup

3. 실험 결과 및 고찰



Fig. 3 Responses for each axis

dSPACE를 통해 1kHz sampling rate로 데이터를 획득하였으며, 10g, 20g, 34g, 44g, 87g의 무게추를 이용하여 3축 힘을 계산하였다. Fig. 3에 나타낸 것처럼 x와 y 방향의 힘은 3개의 PVDF 중 2개의 값이 같은 부호를 가지고 z 방향의 힘은 3개 모두 같은 부호 값을 갖는다. 각 PVDF에서 출력되는 전압값은 작용한 힘에 비례하므로 실험으로 획득한 데이터를 기반으로 선형회귀법을 이용하여 각 축 힘을 계산하는 비례상수 를 구할 수 있다. 계산된 비례상수를 검증하기 위해 실험에 사용하지 않은 무게추를 이용하여 3축 방향으로 힘을 측정하고 그 결과를 Fig. 5에 나타 내었다. 힘이 작용하고 짧은 시간 동안 loss 현상이 나타나는 PVDF의 응 답 특성을 고려했을 때, 실험에 사용한 무게와 잘 일치하는 것을 알 수 있다.



후 기

본 과제는 한국생산기술연구원 및 산업통상자원부의 지원으로 수행되 었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문 헌

 Mohsen M. D., Bijan S., Saeld N. and Julian S., 2014, Effects of realistic force feedback in a robotic assisted minimally invasive surgery system, Annals of the CIRP, 39. 517-521.

7월 13일 [목]



KSMTE ANNUAL SPRING CONFERENCE 2023

실리콘 일라스토머 입자를 이용한 내삭마성 CFRP의 개발

왕세준, 정진욱, 강형우, 김상엽*

Fabrication of CFRP with ablation resistance using particulate silicone elastomer

Se Jun Wang, Jinwook Jeong, Heongwoo Kang, Sang Yup Kim*

서강대학교 기계공학부

Key Words : Flame ablation, Particulate reinforcement, Composite laminate

1. 서 론

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)는 우수한 비강성 및 비강도로 우주 및 항공용 구조체의 경량소재로 널리 활용되고 있다. CFRP의 모재로 사용되는 고분자 수지 중 에폭시 수지는 높은 성형성 및 회학적 안정성을 가져 대 량생산에 적합한 물성을 갖고 있다. 하지만 에폭시 수지는 250°C이상의 고온 환경에서 빠르게 분해되는 낮은 내열성을 가지고 있어 우주발사체 등에 사용되지 못하는 한계가 있다. 본 연구에서는 실리콘 엘라스토머를 CFRP 내부에 입자형태로 첨가시켜 복합재료의 내삭마성을 향상시키는 연구를 진행하였다. 실리콘 엘라스토머는 2800 ℃ 고온의 환경에서 화학적 반응을 통해 SiO2로 변화하여 복합재에 내삭마성을 효과적으로 부여해주었을 뿐만 아니라 입자형 태로 가공되어 효율적으로 CFRP내에 함입되어 높은 fiber 함량을 유지하는 모습을 보였다.

2. 내삭마성 실험

실리콘 엘라스토머 입자는 5 wt% 알긴산나트륨수용액 300 ml에 10 g을 넣 어 300 mm으로 1분 회전하여 제작되었다. 제작된 엘라스토머 입자는 10 vol.% 로 CFRP 중앙 레이어에 함입되었다. 이후 VARTM공정을 이용하여 에폭시 수지를 주입하여 CFRP를 제작하였다. 제작된 CFRP는 40 x 40 mm로 성형되 어 HHO flame generator를 이용하여 내삭마성을 시험하였다. 내삭마성 실험은 불꽃이 각 시편을 통과할 때까지 진행되었다.



Fig. 1 Experimental setup

3. 실험 결과 및 고찰

제작된 시편은 시편의 이래에서 수직방향으로 불꽃을 통과시켜 불꽃이 시 편에 닿는 순간부터 시편을 뚫고 나오는 순간까지의 시간을 기록하였다. 정량 적 평가를 위해 내삭마성은 다음과 같이 설정하였다.

Ablation rate = t / τ

이 때,는 시편의 두께, τ는 불꽃이 시편을 통과하는 데까지 걸리는 시간이다. Table 1은 실리콘 엘라스토머를 넣지 않은 CFRP와 실리콘 엘라스토머를 입자형태로 가공하여 첨가한 CFRP의 내식마성을 비교한 표이다. 실리콘 엘 라스토머를 넣은 시편이 약 20% 높은 수치의 두께를 보였으나 불꽃이 통과 하는 시간이 실리콘 엘라스토머를 넣지 않은 시편에 비해 약 220% 증가하며

Table 1 Comparison of ablation rate						
	Neat CFRP	Si-particulate CFRP				
t (mm)	1.93	2.40				
τ(sec)	107	342				
Ablation rate	0.018	0.0070				

Fig. 2는 내삭마성 실험 이후 시편의 표면을 보여준다. Fig. 2(a)를 통해 CFRP내에 분포된 실리콘 엘라스토머 입자가 열에 의해 하얀색의 고체 실리 카로 변환되어 있는 모습을 볼 수 있다. 또한 실리콘 엘라스토머 입자를 넣지 않은 시편은 섬유끼리 분리되며 충에서도 박리가 진행됨을 확인할 수 있었으 나 실리콘 엘라스토머 입자를 넣은 시편은 실리카가 어느정도 시편의 형상을 유지해줌을 확인할 수 있었다.



Fig. 2 Surface of specimens after ablation test. (a) top surface of neat CFRP (b) bottom surface of neat CFRP (c) top surface of silicon elastomer particle embedded CFRP (d) bottom surface of silicon elastomer particle embedded CFRP

결과적으로, 입자형태로 가공된 실리콘 엘라스토머는 CFRP내에 함입되어 복 합재에 내삭마성을 부여하는 역할을 수행하였다. 이로 인해 불꽃이 시편을 통 과하는 시간을 약 220% 증가시킬 수 있었으며, ablation rate을 61%감소시킬 수 있었다. 또한, 내삭마성 실험에서 고온에 의해 생성된 실리카는 내열성을 부여 할 뿐 아니라 효율적으로 복합재의 형상을 유지시키는 역할을 수행하였다.

참고문 헌

 Yum, S. H., Lee, W. I., & Kim, S. Y. (2023). A comparison study of polymer-matrix nanocomposites as sacrificial thermal protective materials. Materials Today Communications, 105381.

피치 기반 활성탄소의 기공 크기 분포가 부탄 흡착 성능에 미치는 영향

김영준^{1,2}, 최용환¹, 김병주³, 이혜민^{1*}

Effect of pore size distribution on butane adsorption performance of pitch-derived activated carbon

Y. J. Kim^{1,2}, Y. H. Choi¹, B. J. Kim³, H. M. Lee^{1*}

한국탄소산업진흥원¹, 전북대학교², 전주대학교³

Key Words : Pitch, Micropore volume, Butane working capacity

1. 서 론

주요 대기오염원으로 알려진 자동차 배출가스는 환경에 대한 관심의 증대 로 규제되어 왔으며, 전 세계적으로 허용기준을 단계적으로 강화해가고 있는 추세이다. 이러한 요구조건을 충족하기 위해서는 배출가스 제거용 활성탄소 의 높은 흡착 성능이 요구되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 자동차 배출가스의 저감을 위한 pitch 기반 활성탄소를 제조 하였으며, 제조된 활성탄소의 기공 특성이 배출가스의 흡착 성능에 미치는 영 향을 butane의 흡착 거동을 통해서 확인하고자 한다.

2. Butane working capacity (BWC) 실험

본 BWC 실험에서 사용된 분말활성탄소는 피치로부터 수증기 활성화법으 로 제조되었다. 조립활성탄소는 수증기 활성화법으로 제조된 분말활성탄소를 CMC/PVA 바인더와 9:1 비율로 혼합하여 rotary tablet press장비로 제조되었다. BAX1100LD는 wood로부터 화학적 활성화법으로 제조되었고, 분말형태의 활성탄소는 성형장비를 통해 2mm 직경의 pellet 형태로 제조되었다. 이들은 각각 PAC-PD-H-활성화 시간, PAC-PT-H-활성화 시간으로 명명하였다. BWC 실험은 ASTM D5228 방법에 따라 평가되었다. Fig. 1은 실험에서 사용된 장치 의 계략도를 보여주고 있으며, butane 흡착 거동은 질량 변화부터 BWC를 통 해 계산되었다.



3. 실험 결과 및 고찰

PAC-PD와 PAC-PT, BAX1100LD의 기공 특성은 N₂/77K 등온 흡착/탈착 곡선으로부터 계산되었으며, 이는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Textural properties of PAC-PD, PAC-PT and BAX1100LD

Sample	SBET	V _{Total}	VMicro	V _{Meso}
PAC-PD-H-6	650	0.27	0.25	0.02
PAC-PD-H-9	1100	0.45	0.43	0.02
PAC-PD-H-12	1280	0.54	0.50	0.04
PAC-PD-H-15	1510	0.68	0.60	0.08
PAC-PD-H-18	1780	0.96	0.69	0.27
PAC-PD-H-19	1910	1.02	0.73	0.29
PAC-PT-H-6	650	0.27	0.25	0.02
PAC-PT-H-9	860	0.35	0.32	0.03
PAC-PT-H-12	1140	0.48	0.43	0.05

PAC-PT-H-15	1450	0.64	0.54	0.10
PAC-PT-H-18	1660	0.88	0.59	0.29
PAC-PT-H-19	1790	0.92	0.63	0.29
BAX1100LD	1640	1.18	0.57	0.61

Table 1은 활성화시간에 따른 textural properties를 보여준다. PAC-PD의 비표 면적과 총기공부파는 활성화 시간이 증가함에 따라 각각 650~1910 ㎡/g과 0.27~1.02㎡/g으로 관찰되었다. PAC-PT의 기공특성은 PAC-PD와 비교하였을 때, 비표면적과 총기공부피가 각각 3~6%, 0~9.8% 정도 감소되는 것으로 확인 된다. 이는 pellet 성형과정에서 사용된 바인더가 (10㎡) 활성탄소 기공 내부 에 침투 후 고착되어 기공을 막아, 총기공부피 감소가 (-9.8%) 되었다고 판단 된다. PAC-PT의 비표면적은 650~1790 ㎡/g까지 증가하였으며, PAC-PT-H-18, 19는 BAX1100LD보다 높은 비표면적이 관찰되었다. 반면, BAX1100LD의 비 표면적은 1640 ㎡/g 정도로 PAC-PT-H-18, 19와 비교하였을 때 낮은 수치를 나타내었지만 중기공부파는 1.5~2배 이상 관찰되었다. 이러한 결과를 통해 BAX1100LD는 mesoporous한 구조를 가지고 있는 것으로 관찰되며, PAC-PT 는 microporous한 구조를 가지고 있는 것 판단된다.



activity of PAC-PT with pore volume.

Fig. 2(a)는 PAC-PT의 미세기공부피에 따른 butane activity (BA)를 보여준다. PAC-PT의 BA는 활성화 시간이 증가됨에 따라 10.86 ~ 51.55%로 증가되었으 며, BAX 1100LD는 42.69%로 관찰되었다. 그 결과, BA는 PAC-PT-H-6 ~ 15 < BAX1100LD < PAC-PT-H-18 < PAC-PT-H-19의 순서로 관찰되었다. 앞선 Table 1에서 조립활성탄소의 미세기공 부피는 PAC-PT-H-6 ~ 15 < BAX1100LD < PAC-PT-H-18 < PAC-PT-H-19의 순서로 관찰되었다. 즉, 활성 탄소의 BA는 미세기공 부피에서 가장 큰 영향을 받는 것으로 판단된다. Fig. 2(b)는 PAC-PT의 PSD와 BA 사이의 상관관계를 나타낸다. PAC-PT의 BA는 1.0~2.0nm의 기공크기인 미세기공 부피에서 가장 큰 영향을 받는 것으로 확 인되었다. 결과적으로, 본 연구를 통해 활성탄소의 BA는 기공크기 1.0-2.0 nm 에서 미세기공 부피의 발달에 가장 큰 영향을 받으며, 활성탄소 흡착 성능에 중요한 인자임을 확인하였다.

- (1) Lee, H. M., Lee, B. H., Park, S. J., An, K. H., Kim, B. J., 2019, Pitchderived activated carbon fibers for emission control of lowconcentration hydrocarbon, Nanomaterials, 9(9), 1313.
- (2) Lee, B. H., Lee, H. M., Chung, D. C., Kim, B. J., 2021, Effect of mesopore development on butane working capacity of biomass-derived activated carbon for automobile canister, Nanomaterials, 11(3), 673.

저온에서 안정화된 폴리에틸렌계 활성탄소섬유의 제조 및 특성

강성현^{1,2}, 이혜민¹, 김관우^{1*}, 김병주^{3*}

Preparation and characterization of polyethylene-based activated carbon fibers stabilized at low temperatures

S. H. Kang^{1,2}, H. M. Lee¹, K. W. Kim^{1*}, B. J. Kim^{3*}

한국탄소산업진흥원 실용화개발실¹, 전북대학교 탄소소재파이버공학과², 전주대학교 신소재화학공학과³

Key Words: High-density polyethylene, Crosslinking, Activated carbon fiber, Steam activation

1. 서 론

최근 세계적으로 환경오염 문제가 부각됨에 따라 비표면적 및 흡착 성능 등이 우수한 다공성 탄소재료는 오염 물질 제거를 위한 흡수 재료로 널리 사용된다[1]. 다공성 탄소재료는 모양에 따라 활성탄(AC) 및 활성탄소섬유 (ACF)로 분류할 수 있다. ACF는 피치, 폴리아크릴로니트릴 및 셀룰로오스로 알려진 점탄성 재료로 제조된다. 섬유형상으로 인해 가공성이 우수하며, 표면에 10Å 이하의 미세기공이 균일하게 이루어져 있어서 빠른 흡착속도와 높은 비표면적을 가지고 있다. 하지만 ACF는 높은 가격으로 인해 사용처가 제한적이다. 이에 따라 ACF의 가격을 낮추기 위해 새로운 전구체 개발, 안정화 및 활성화 과정 개선을 위한 많은 연구가 수행중이다 [2]. 이중 전구체는 ACF의 가격구조에 큰 영향을 미치기 때문에 새로운 전구체의 개발이 필요하다. 폴리에틸렌은 가격이 저렴하며 ACF 제조시 회분이 적고 비표면적이 우수한 장점을 가지고 있다. 하지만 그 제조 공정에는 180°C 이상의 황산가교 공정이 포함되어 있어 섬유의 형태 변형 및 환경오염의 문제가 발생한다 [3].

본 연구에서는 전자선 조사 및 황산가교로 구성된 복합가교를 사용하여 고온의 황산가교 공정으로 인해 발생하는 문제점을 개선하고자 하였다. 제조된 고밀도 폴리에틸렌계 활성탄소섬유(HDPE-ACF)의 기공특성 및 기계적 강도를 분석하였다.

2. 샘플 제작 및 실험

본 연구에서 ACF 제조를 위한 전구체로 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)을 용융방사하여 직경 15~20 때의 섬유로 권취하였으며, 가교제는 황산을 사용하였다.

HDPE 섬유는 전자선 조사 및 황산가교로 구성된 복합가교를 통해 안정화 섬유를 제조하였다. 1차 가교는 전자선 조사기를 아용하여 1000, 1500, 및 2000 kGy의 조사선량이 되도록 전자선을 조사하였다. 복합가교는 1차 가교된 HDPE 섬유를 일정한 장력을 유지한 상태로 황산에 담지하여 100°C에서 30, 60, 90, 및 120 min 동안 가교하였다. 복합가교된 섬유는 증류수로 세척 후 80°C 건조오븐에서 24h 동안 충분히 건조하였다.

복합가교된 섬유를 700°C에서 lh 동안 질소를 퍼징하여 고밀도 폴리에틸렌계 탄소섬유(HDPE-CF)를 제조하였으며, 제조된 HDPE-CF를 900°C에서 40, 50, 60, 및 70 min 동안 수증기 활성화하여 HDPE-ACF를 제조하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Table 1은 HDPE-ACF의 textural properties를 보여준다. HDPE-ACF의 비표면적과 총기공부피는 각각 1360-2090 m²/g 및 0.60~1.30 cm³/g으로 관찰되었다. HDPE-ACF의 미세기공 부피는 활성화 시간이 증가함에 따라 HDPE-H-9-6까지 증기한 후 감소하였으며, 중기공 부피는 활성화 시간이 증가함에 따라 계속 증가하였다. 이는 HDPE-H-9-6까지는 비정질의 산화에 의해 미세기공의 부피가 지속적으로 증가하였으며, 중기공의 부피는 결정립의 가장자리 산화로 인해 증가된 것으로 판단된다. 또한 HDPE-H-97의 경우 미세가공의 부피가 감소하고 중기공의 부피가 중가하였다. 이는 과도한 burn-off로 인해 미세가공이 붕괴되어 중기공이 증가된 것으로 판단된다.

서로 다른 활성화 시간에서 제조된 HDPE-ACF의 비표면적과 인장강도의 관계를 Fig. 1에 나타내었다. HDPE-H-9-4에서 HDPE-H-9-6까지 활성화 시간이 증가함에 따라 HDPE-ACF의 비표면적은 1360 ㎡/g에서 2090 ㎡/g으로 증가하였으며, 인장강도는 263 MPa에서 78 MPa로 감소하였다. 하지만 활성화 시간을 70 min 으로 증가시켜도 비표면적 및 인장강도는 2007 ㎡/g 및 76 MPa로 활성화 시간에 따른 변화폭은 미미하였다. 이는 Table 1에서 알 수 있듯이 HDPE-H-9-6까지는 섬유 내부에 기공이 증가하여 인장강도가 감소하였으나, 60 min 이상의 활성화 시간은 비표면적에 큰 영향을 미치지 않아 변화폭이 미미하였다고 판단된다.

 Table 1 Pore characteristics of HDPE-ACFs according to activation times

Sample name	S_{BET} (m^2/g)	V _{Total} (cm ³ /g)	V _{Micro} (cm ³ /g)	V _{Meso} (cm ³ /g)	Activation yield (%)
HDPE-H-9-4	1360	0.60	0.51	0.09	56.8
HDPE-H-9-5	1740	0.82	0.65	0.17	42.2
HDPE-H-9-6	2090	1.24	0.79	0.45	22.5
HDPE-H-9-7	2007	1.30	0.60	0.70	13.0



Fig. 1 Relationship between specific surface area and tensile strength for the HDPE-ACFs according to activation times

참 고 문 헌

- (1) Kim, M. I., Im, J. S., Seo, S. W., Cho, J. O., Lee, Y. S., Kim, S., 2020, Preparation of pitch-based activated carbon with surface-treated fyash for SO₂ gas removal, carbon letters, 381.
- (2) Hassana, M. F., Sabrib, M. A., Fazalb, H., Hafeeza, A., Shahzada, N., Hussain M., 2020, Recent trends in Activated Carbon Fibers production from various precursors and applications–A comparative review, J. Anal. Appl. Pyrolysis, 104715.
- (3) Vekariya, R. H., Pate, H. D., 2020, Sulfonated polyethylene glycol (PEG-OSO₃H) as a polymer supported biodegradable and recyclable catalyst in green organic synthesis: recent advances, RCS Adv, 49006.

투명 유리섬유 강화 에폭시 복합재 및 광학적 특성

김동규^{1,2}, 김병주³, 김관우¹*

Transparent glass-fiber-reinforced epoxy composites and their optical characteristics

D. K. Kim^{1,2}, B. J. Kim³, K. W. Kim^{1*}

한국탄소산업진흥원¹, 전북대학교², 전주대학교³

Key Words : Refractive index, Transmittance, Transparent GFRP

1. 서 론

현재 전 세계는 NET-ZERO를 달성하기 위해 다양한 환경규제를 시행하고 있으며, 특히 자동차 업계는 규제의 영향을 많이 받기 때문에, 모빌리티 산업 분야에서는 연비 개선, 경량화 및 고성능 개발에 함을 쏟고 있다. 최근 모빌 리티 업계는 urban air mobility 및 purpose built vehicle의 개발과 A-pillars/B-pillars 등의 안전과 시야 확보를 위해 기존의 재료를 섬유강화복합재(fiber reinforced plastic, FRP)로 대체하려는 움직임이 있다. 이러한 FRP의 적용은 경 량화뿐만 아니라 직접적인 대면적 head-up-display 및 IT 분야의 flexible 디스 플레이 기판에도 활용될 수 있다. 하지만 일반적으로 FRP는 굴절률이 일치하지 않아 매트릭스와 섬유 사이의 계면에서 빛이 산란되어 광학적으로 반투명 하거나 불투명하다. 본 연구에서는 다양한 아민 경화제를 사용하여 투명한 유리섬유강화복합재 (glass fiber reinforced plastic, GFRP)를 제작하였으며 광학적 특성 분석하였다.

2. 실 험

에폭시 경화물 제작 방법은, 먼저 에폭시 수지와 다양한 아민 경화제 (PPG-400, PPG-230, IPDA, DDM, DDS)를 각각 비커에 화학 양론적 당량비에 기초하여 제조 후 핫플레이트 위에서 마그네틱바를 사용하여 20 min 동안 교 반하였으며 이때, 분말형 경화제인 DDM과 DDS는 각 80° C와 120° C 열 을 가하여 교반하였다. 교반이 완료된 후 진공오븐을 이용하여 IPDA, PPG-230, 그리고 PPG-400은 40° C 로 DDM과 DDS는 각 80° C와 150° C로 20 min간 탈포 하였다. 혼합물은 준비된 몰드에 부어 대류 경화 오븐을 사용하 여 10° C/min의 승온속도로 시차주사열량계(differential scanning calorimeter, DSC)분석을 통해 얻은 경화피크 온도를 적용하여 경화시켰으며, 위와 같이 제작된 샘플은 자동 연마장치를 사용하여 5×5×5 mm와 30×30×1 mm로 제작하였다. 투명 GFRP는 에폭시 경화물의 탈포 과정까지 동일하게 진행 후 준비된 몰드 위 유리섬유 1 layer에 혼합물을 붓고 hand lay-up 방식을 사용하 여 제작하였다. 대류 경화 오븐을 사용하여 10° C/min의 승온속도로 DSC분 석을 통해 얻은 경화피크 온도를 적용하여 경화시켰으며, 위와 같이 제작된 샘플은 자동 연마장치를 사용하여 30×30×1 mm로 가공하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

투과율이 높은 투명 GFRP를 만들기 위해서는 유리섬유와 matrix의 RI가 유사하도록 조정되어야 한다. FRP의 투과율은 섬유와 matrix 사이의 RI 매칭 과 상관 관계가 있으며, FRP는 다음과 같은 식으로 설명된다

$$T = \left[1 - 2Q_{ext}(\rho) \left(\frac{f}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}\right]^{\left(\frac{d}{R_f}\right)\left(\frac{f}{\pi}\right)^{\frac{2}{2}}}$$
(1)

여기서 T는 FRP의 투과율이며, Q_{ext} 는 scattering efficiency factor, ρ 는 섬유 를 통과하는 phase lag, f는 섬유의 부피 분율, d는 FRP의 두께이며, R_f 은 섬 유 반경이다. 위 식에서 FRP의 투과율은 phase lag의 함수로서 scattering efficiency factor에 따라 달라진다. 섬유를 통과하는 phase lag와 scattering efficiency factor는 이래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_{ext}(\rho) = 2\rho \int_{0}^{\pi/2} \sin(\rho \cos \gamma) \sin^2 \gamma d\gamma$$
(2)

$$\rho = 2\frac{2\pi}{\lambda}R_f \left| n^f - n^m \right| \tag{3}$$

여기서 γ는 유리섬유를 가로지르는 입사광의 각도, λ는 빛의 파장, n^f는 섬유의 RI, 그리고 n^m은 매트릭스의 RI이다. 식 (1)에서 볼 수 있듯이, 위상 지연이 증가하면 FRP의 투과율이 감소하므로 위상지연을 최소화하기 위해 유리섬유와 매트릭스의 RI를 최소화 해야한다. 따라서 고투과율의 투명 GFRP를 만들기 위해 매트릭스 RI값의 최적화는 매우 중요하다.

투명 GFRP를 만들기 위해 먼저 EP/아민 경화제 별 경화물의 투과율을 측 정하여 Fig. 1(a)에 나타내었다. 투과율 측정 결과, RI가 가장 낮았던 EP/PG-400의 589 nm에서 투과율이 89.98%로 가장 높았으며 RI가 가장 높았던 EP/DDS는 589 nm에서 투과율이 80.60%로 가장 낮은 값을 나타냈다. 이는 DDS가 aromatic ring과 sulphur atoms와 같은 높은 molar refraction을 갖는 구조 를 갖고 있기 때문에 RI가 높았으며, RI가 높을수록 굴절각이 커져 색수차가 발생하여 다른 샘플들 대비 상대적으로 투과율이 낮은 것이라 판단된다.

Fig. 1(b)는 hand lay-up 방법으로 제작한 투명 GFRP의 투과율을 보여준다. 경화물의 투과율이 가장 높고 유리섬유의 RI와 가장 비슷했던 EP/PPG-400-F 샘플이 589 nm 파장대에서 72.02%의 가장 높은 투과율을 보였다. 이는 유리 섬유와 EP/PPG-400의 RI 차이가 다른 샘플에 비해 차이가 적어 위상지연이 감소하여 투과율이 가장 높다고 판단된다. EP/PPG-400과 EP/PPG-400-F의 실 제 사진은 Fig. 1(c)에 나와있다.



Fig. 1 (a) Comparison of transmittances of cured products for different curing agents. (b) Comparison of transmittances of transparent GFRP for different curing agent. (c) Photographs of EP/PPG-400 and EP/PPG-400-F

참고 문 헌

 Zobeiry, N., Lee, A. and Mobuchon, C., 2020, Fabrication of transparent advanced composites, Composites Science and Technology, 232, 108281.

결정성이 개선된 지속 가능한 폐시멘트/폴리락틱산 복합재의 특성

이용민¹, 김관우¹, 양재연^{1*}, 김병주^{2*}

Characterization of sustainable waste cement/polylactic acid composites with improved crystallization properties

Y. M. Lee¹, K. W. Kim¹, J. Y. Yang^{1*}, B. J. Kim^{2*}

한국탄소산업진흥원 실용화개발 1실¹, 전주대학교²

Key Words: Polylactic acid, Nucleating agents, Waste cement, Crystalline properties, Mechanical properties, Biodegradation

1. 서 론

Recently, the use of disposable plastic products has increased owing to restrictions on the floating population and daily life control due to the coronavirus disease pandemic worldwide [1]. Common disposable plastics are mostly made of nondegradable polymer materials, and disposable plastics generated as waste are partially recycled and reused. However, most of these cause environmental challenges because of indiscriminate dumping or total disposal [2]. Therefore, to address these challenges, several studies have been conducted to reduce the amount of non-degradable polymers and replace them with biodegradable polymers. Among these biodegradable polymers, polylactic acid (PLA), which is a semi-crystalline polymer with excellent mechanical strength and thermal processability, is typically used. However, PLA is limited in various applications owing to its low crystallinity or slow crystallization rate, low heat distortion temperature, heat resistance, and moisture absorption. Nevertheless, these crystallization properties can be improved using a nucleating agent (NA). Generally, talc, sodium stearate, montmorillonite, and calcium carbonate (CaCO₃)-based NA [3] are used as NA. Among them, CaCO₃-based NA is primarily used because of its low shrinkage rate and low price compared with those of other NAs. Cement composites are used in structures such as buildings, bridges, and roads because of their excellent mechanical properties, durability, and interfacial adhesion with reinforcing bars. Structures that are old or have reached the end of their catastrophic life are being recovered and disposed of using landfill methods. Waste cement (WC) comprising inorganic compounds and CaCO3 was recycled as a NA in this study. As a NA, WC was mixed with PLA at various mixing ratios. Subsequently, the crystallinity, spherulite observation, and biodegradation characteristics of PLA were investigated.

2. 시편 제작

PLA was placed in an internal mixer heated at 180°C and allowed to melt for 10 min. Subsequently, the NA was added (0.5–2 phr) and mixed at 50 ppm for 10 min to obtain a mixture. The mixture was then heated at 180°C (10 °C/min) using a hot press, pressurized (50 bar) for 10 min, and then cooled at room temperature to obtain a PLA plate.

3. 실험 결과 및 고찰

The crystallite structure images of PLA and PWC composites were shown in Fig. 1. The high areas (light colors) in the AFM images are the crystalline areas of each specimen. It was observed that PLA has a slow crystallization rate and is semicrystalline and thus has low crystallinity. On the other hand, it was confirmed that the crystallinity of the PLAK-1 and PWC-1 specimens were improved compared to that of PLA. In addition, the PWC-2 was observed to have the best crystallinity due to the addition of an excessive amount of NA. Adding an excessive amount of the NA induced an improvement in crystallinity, which is considered to be related to a decrease in mechanical strength [4].



Fig. 1 AFM phase images demonstrating the formation of spherulite; (a) PLA, (b) PLAK-1, (c) PWC-1, and (d) PWC-2



Fig. 2 Mechanical properties of WC/PLA composites; (a) flexural strength, (b) flexural modulus, and (c) impact strength

The mechanical properties of PLA and PWC composites were shown in Fig. 2. The flexural strength of PLA and PWC increased by about 3.63% from 85.95 MPa (PLA) to a maximum of 89.07 MPa (PWC-1). In addition, it was confirmed that the flexural modulus increased by about 21.43% from 1.12 GPa (PLA) to a maximum of 1.36 GPa (PWC-2).

The impact strength values of PWC also exhibited a similar trend. PLA was calculated to be 15.24 J/m and increased to a maximum of 26.85 J/m under the PWC-1 condition. The mechanical properties of polymers are related to crystallinity, and the T_g of PLA and PWC is approximately 60°C. At room temperature, where the analysis was conducted, no fluidity was present in molecular chains [43,44]. This effect limited the increase in flexural strength, and it was confirmed that the reduction in flexural strength was larger than the increase in flexural modulus. It is judged that the WC was agglomerated and induced specimen failure. In addition, when the content of WC increases, a large amount of microcrystals are formed, and the interaction between crystals consumes a lot of energy from external impact, which is judged to lead to an improvement in impact strength.

- (1) Alfonso, M. B., Arias, A. H., Menéndez, M. C., Ronda, A. C., Harte, A., Piccolo, M. C., Marcovecchio, J. E., 2021, Assessing threats, regulations, and strategies to abate plastic pollution in LAC beaches during COVID-19 pandemic, Ocean Coast. Manag., 208, 105613.
- (2) Das, K. P., Sharma, D., Saha, S., Satapathy, B. K., 2021, From outbreak of COVID-19 to launching of vaccination drive: invigorating single-use plastics, mitigation strategies, and way forward, Environ. Sci. Pollut. Res. Int., 28, 55811-55845.
- (3) Piekarska, K., Piorkowska, E., Bojda, J., 2017, The influence of matrix crystallinity, filler grain size and modification on properties of PLA/calcium carbonate composites, Polym. Test., 62, 203-209.
- (4) Ren, Z., Dong, L., Yang, Y., 2006, Dynamic mechanical and thermal properties of plasticized poly(lactic acid), J. Appl. Poly. Sci., 101, 1583-1590.

다중입도 혼합분말 적용 탄소섬유 시트 재단용 초경합금 커터 블레이드 개발

송준혁^{1*}, 김기열²

Development of Cutter Blade for Carbon fiber sheet with Bi-modal Mixtures of WC

J. H. Song^{1*}, K. Y. Kim²

한국탄소산업진흥원¹, 하이엠시(주)²

Key Words : Bi-modal mixtures, Cutter blade, Carbon fiber sheet, Transverse rupture strength, Fracture toughness, Wear test

1. 서 론

탄소섬유복합재는 초경량 고강성 등 기계적 특성이 우수한 반면, 절 삭이 어려운 소재로써 난삭재로 분류된다. 특히, 탄소섬유 프리프레그 재단용으로 WC-Co계 초경합금 적용 커터 블레이드가 적용되고 있다. WC 입자 크기가 미세 할수록 경도와 인성이 향상되지만 충격강도는 저하되는 특성이 있다. 본 연구에서는 0.8µm와 4.0µm의 다중입도 WC 분말의 혼합비율 변화에 따른 항절력 및 파괴인성 변화를 평가하였다. 이를 적용하여 탄소섬유 시트 재단용 커터 블레이드를 개발하였다.

2. 다중입도 WC 소결체 제조 및 항절력시험에 의한 파민성 평가

본 연구에서는 서로 다른 입도인 미립의 0.8/m와 조립의 4.0/m를 가지는 WC의 혼합비율 변화에 특성 변화를 검토하였다. Table 1과 같이 94wt.%WC-6.0wt.%Co의 목적조성에서 서로 다른 입도의 WC 혼합 비율을 변화시켜 혼합 분말을 제조한 후 환봉 형상으로 성형하여 1390℃에서 55bar로 가압소결하여 소결체를 제조하였다.

WC의 입도크기 혼합비율에 따른 파괴인성을 평가하기 위하여 항절 력 시험을 수행하였다. Table 1에 WC 입자크기에 따른 소결체의 경 도, 항절력 그리고 파괴인성 결과를 나타내었다.

Table 2는 WC 입자 크기 변화에 따른 소결체의 경도, 항절력 변화 및 파괴인성 변화를 나타내었다. 항절력 비교 결과 90:10 WC를 사용 한 소결체의 경우 약 3,560MPa의 항절력을 나타냈고 80:20 WC를 사용한 소결체의 경우 약 3,860MPa의 항절력을 나타내었으며, 90:10 WC를 사용한 소결체의 경우 약 3,740MPa의 항절력을 나타내어 소 폭 감소하였다. 파괴인성은, 90:10 WC 소결체의 경우 26.0 $MPa \times m^{1/2}$, 80:20 WC는 40.0 $MPa \times m^{1/2}$ 으로 측정되었으며, 70:30 WC 소결체의 경우 40.2 $MPa \times m^{1/2}$ 으로 측정되었다.

WC 입자 크기 변화에 따른 소결체의 항절력 및 파괴인성을 비교한 결과, 93.1 HRA의 경도 및 3,860MPa의 항절력, 40.0 MPa × m^{1/2}의 파괴인성을 나타내는 80:20 WC 조성이 탄소섬유 시트 재단용 초경합금 소재에 가장 적합하다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 1 Formulation composition of WC-Co to WC particle size

Composition	WC	Mixture ratio to WC particle size		Co
	weight	4.0 µm	0.8 µm	weight
90:10 WC	04.0	90.0 wt.%	10.0 wt.%	()
80:20 WC	94.0 wt.%	80.0 wt.%	20.0 wt.%	6.0
70:30 WC		70.0 wt.%	30.0 wt.%	WL.70

Table 2 Mechanical properties of WC-Co to formulation composition

Composition	Hardness (HRA)	Transverse Rupture Strength(MPa)	Fracture Toughness $(MPa \times m^{1/2})$
90:10 WC	92.8	3,560	26.0
80:20 WC	93.1	3,860	40.0
70:30 WC	93.2	3,740	40.2

3. 탄소섬유 시트 재단용 커터 블레이드 개발

Fig. 1과 같이 WC의 다중입도 조성 80:20 WC를 이용하여 성형압 2.8 ton/cm 프레스공정을 통하여 초경디스크를 제조하였다. 소결된 디 스크를 가공하여 직경 32mm의 10각 커터 블레이드를 제조하였다.



Fig. 1 Cutter blade for carbon fiber sheet

Fig. 2 Wear test by cutting carbon fiber prepreg (cutting distance 100m)



Fig. 3 Wear test by cutting carbon fiber prepreg(cutting distance 100m)

Fig.2와 같이 탄소섬유 재단기를 이용하여 100m의 탄소섬유 프리 프레그를 절단하는 내마모 시험을 실시하였다. Fig. 3에서, 개발품이 상대적으로 마모가 적었으며, 기존 제품은 커팅 팁 부분에 소재 탈락 이 발생한 것을 확인할 수 있다. 즉, 탄소섬유 프리프레그 재단에 의한 마모시험에서 개발품이 기존 제품 대비 동등 이상의 마모 특성을 나타 내는 것을 확인할 수 있다.

- Yu, A. B. and Standish, N., 1987, Porosity Calculations of Multi-component Mixture of Spherical Particles, The University of Wollongong. Austria, Powder Technology, 52, 233-241.
- (2) Lifeng Ding, Ruslan L., 2009, A molecular dynamics sudy of sintering between nanoparticles, Computational Materials Science, vol45, 247-256
- (3) Kim, S. H., 2017, Compaction and sintering properties of Multimodal Micro-Nanopowder Mixture, Master's Dissertation, Graduated School of Hanyang University, Korea.

절연특성 및 방열특성이 보강된 배터리팩 케이스용 전착 절연코팅 기술개발

양재연^{1*}, 한웅¹, 김관우¹, 윤태윤²

Development of coating technology for battery pack case with enhanced insulation and heat dissipation properties

J. Y. Yang^{1*}, W. Han¹, K. W. Kim¹, T. Y. Youn²

한국탄소산업진흥원¹, 대영엔지니어링(주)²

Key Words : Electric car, Battery pack case, Insulation coating, Rechargeable battery

1. 서 론

전세계적으로 지구의 온난화 및 온실가스 감축 등으로 인하여 기존 화석 연료를 사용하는 자동차에서 급격하게 이차전지를 사용하는 전기자동차 (Electric car) 시장으로 아동하고 있다. 전기차에 사용되는 배터리는 충,방전시 열과 진동 등 외부 충격으로부터 보호하고, 배터리 팩(battery pack case) 케이 스의 고성능 요구에 따른 절연 성능 향상 기술 개발을 필요로 하고 있다. 이 려한 배터리 팩 케이스 절연 코팅(insulation coating)은 전기자동차 화재로부터 자동차를 안전하게 보호할 수 있는 기술로 점차 높은 신뢰성을 요구하고 있 으며, 전기차 제조업체에서는 절연특성 및 방열특성이 우수한 제품을 요구하 고 있다. 현재 이차전지(rechargeable battery) 배터리 팩 절연코팅은 에폭시 코 팅 후 분체 코팅을 진행하여 대부분 사용하고 있으나, 절연 성능 향상을 위하 여 액상 스프레이 코팅 및 분체 코팅으로 인해 도막 두꺼(100~200 µm)가 두 꺼운 단점이 있다. 이렇듯 두꺼운 도막으로 인해 배터리에서 발생하는 열을 효율적으로 방출할 수 없으며, 복잡한 형상의 배터리 팩 케이스는 균일한 코 팅이 불가하다 [1.2].

본 연구에서는 분체 도장 문제점의 솔루션으로 아크릴 전착도료를 이용한 절연 코팅을 통한 배터리 팩 절연 코팅 연구를 진행하였다. 또한 아크릴기반 전착도료와 피도물간 접착력 향상을 위하여 절연 코팅의 전처라공정으로 피 막공정을 실시하였으며, 최종적으로 제조된 배터리 팩 케이스용 시편은 전착 도장 평가 및 절연 전착도장 유효성 평가를 실시하였다.

2. 실험

본 실험에서 사용된 배터리 팩 케이스용 시편은 각각에 두께가 1 mm, 2 mm, 3 mm인 알루미늄 플레이트를 사용하였다. 알루미늄 시편은 전착 도장시 알루미늄 표면과 아크릴기반 전착도료간에 계면 박라를 최소회하기 위하여 전처리 공정으로 피막처리 공정을 실시하였다. 최종적으로 배터리 팩 케이스 용 시편은 연속공정으로 탈지 → 수세 → 피막처리 → 전착 코팅 → 건조 공정 순서로 제조하였다. 제조된 배터리 팩 케이스용 시편은 전착도장 평가 및 절연 전착도장 유효성 평가를 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 전착도료의 열경화반응(Dielectrric Analysis, DEA) 측정결과로 일반 적으로 이온점도는 수지의 이온화 반능과 이온화 상태에 따라 변화하며, 개발 도료의 경화거동에 영향을 미친다. Fig. 1에 나타내었듯이 승온에 따라 전착도 료의 이온화는 도료내 양이온을 생성하고, 경화시에는 이온화된 도료 중 양이 온이 이중결합을 생성하여 경화 반응에 참여하게 되는 것을 확인할 수 있었 다. 이러한 이온화 과정은 수지의 활성화를 촉진시켜 경화 반응속도를 증가시 키는 요인으로 판단된다. 또한, DEA 이온점도가 높을수록 frequency에 대한 수지의 굴절률이 높아지기 때문에, 광학적 특성에도 영향을 미칠 것으로 판단 됨. 따라서, DEA 이온점도는 열경화성 수지의 경화거동에 영향을 미치며, 이 는 수지의 이온화 반능과 이온화 상태에 따라 다르게 작용할 것으로 판단된



Fig. 2는 개발 전착도료 및 상용제품 도료의 Differential scanning calorimetry (DSC) 비교 측정결과로 약 75 ℃ 이상으로부터, 넓은 흡열반응의 피크를 나타었다. 상용제품 경우, 개발 도료에 비해 상대적으로 sharpe한 흡열 피크를 최대 120 ℃까지 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이는 DEA 결과와 유사하게 도료의 경화가동 온도를 예측할 수 있으며, 향후 연속식 건조공정 조건 최적화에 영향을 미칠 것으로 판단된다.



Fig. 2 DSC thermogram of coating resins

참 고 문 헌

- Saeed A., Jawed M., Fahad A. A., Mohsen S. 2023, Thermal management of a prismatic lithium battery pack with organic phase change material, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 104886.
- (2) Murugan M., Saravanan A., Elumalai P.V., Murali G., Dhineshbabu N.R., Kumar P., Afzal A. 2022, Thermal management system of lithium-ion battery packs for electric vehicles: An insight based on bibliometric study, Journal of Energy Storage, 104723.

경질 폴리우레탄폼을 이용한 Long Fiber Injection 공정 최적화 연구

강나루¹, 강창수¹, 문민석^{1,2}, 유명한^{1*}

Long fiber injection process optimization study using rigid polyurethane foam

N. R. Kang¹, C. S. Kang¹, M. S. Moon^{1,2}, M. H. Yoo^{1*}

한국탄소산업진흥원¹, 아이스퀘어드엠²

Key Words : Long fiber injection, Carbon fiber, Glass fiber, Polyurethane, Composites

1. 서 론

LFI 시스템은 경질 폴리우레탄폼(PU) 수지와 12.5~100mm 정도로 절 단된 섬유를 열린 금형 내부로 직접 분사하여 복합소재 제품을 성형하는 장비이다. 길게 절단된 섬유로 높은 강도를 확보할 수 있으며, 인서트 필 름을 통하여 추가적인 표면처리 공정이 필요없으며, 또한 낮은 압력에서 다양한 크기의 복잡한 제품을 생산하는데 적합하고 짧은 사이클 시간으로 높은 수준의 자동화가 가능한 시스템이다.^[1] 주로 전기차 및 대형수송장비 루프, 보닛, 범퍼 등의 부품 생산에 최적화된 시스템으로 고속 고압의 믹 싱 헤드, 섬유 공급/절단 시스템, Open Mold, 수지 고속 및 다축 분사기 술, 정밀 압축 성형 프레스, 공정 제어기술 등으로 구성된 장비이다.



Fig. 1 Composite manufacturing process using LFI equipment

2. LFI 공정 믹상헤드 설계

LFI 시스템의 핵심 기술은 수지와 섬유를 동시에 사출 가능한 믹싱 헤드 이다. 믹싱헤드는 섬유 피딩부와 컷팅부가 존재하며 해당 파트를 통해 섬유의 일정한 공급과 절단이 이루어진다. PU 수지를 이용한 LFI 시스템의 경우 폴리올과 이소시아네이트를 믹싱헤드 하우징 내부에서 혼합한다. 그 후 혼합된 PU용액과 절단된 섬유를 혼합함과 동시에 사 출을 진행한다. 믹싱헤드의 형상에 따라 내부 유동특성 분석을 통해 유로 형상 설계등의 연구가 필요하다. 섬유 컷팅부의 경우 Cutter의 내 구성 평가를 통한 최적 소재 선정이 필요하다.



Fig. 2 Injection device and mixing head structure of LFI equipment

3. 경질 폴리우레탄폼 수지를 이용한 복합재 성형연구

LFI 시스템은 믹싱헤드를 통해 섬유의 커팅과 동시에 PU 수지를 직 분사하는 공정으로 수지와 섬유가 단순 혼합을 통한 성형이 이루어지 므로 관련 연구가 필요하다. 이를 위해 섬유와 수지간의 젖음성 분석 을 통해 수지-섬유간의 계면 평가를 진행한다. 실험으로는 DCA 측정, 모세관 실험, 마이크로드롭렛 테스트등이 있다. 이와 같은 실험을 통해 서 섬유와 수지간의 젖음성을 평가하여 최적 수지 및 섬유의 선정이 가능하다.^[2]



Fig. 3 Dynamic Contact Angle measurements



Fig. 4 MicroDroplet test

4. 결 론

LFI 장비의 경우 최적 성형을 위해서 믹상헤드의 설계와 피딩부, 컷 팅부, Cutter의 내구성 평가등이 필요하다. 또한 경질폴리우레탄폼 수 지를 이용하여 복합재의 제조를 위해서는 섬유와 수지간의 젖음성을 평가하여 최적 성형에 관한 연구도 필요하다. 본 실험들을 통해서 폴 리우레탄을 이용한 LFI 공정의 최적 설계 및 복합재 생산의 최적화가 가능하다.

- Jung Chan Ha, "Development of the Long Fiber Injection Molding Process Using Glass Fiber Reinforced Poly-Dicyclopentadiene", 2019. 02
- (2) Seung Yoon Lee "Effect of glassfiber surface treatment on the wetting & impactstrength of the glass fiber reinforced polymer composites.", 2015

CFRP 부품 제작성을 고려한 복합소재 Ply 설계기법

안진우, 정재훈, 김성종*

Composite materials ply design technique considering CFRP details manufacturability

J. W. Ahn, J. H. Jung, S. J. Kim*

한국탄소산업진흥원

Key Words : CFRP, Shear angle, MBD, Stacking angle

1. 서 론

UAM과 같은 항공용 모빌리티의 연료전지 개발 분야와 PBV와 같은 목적 형 기반의 자동차 분야에 있어 에너지 기술 개발과 경량화를 위해 탄소섬유 를 아용한 CFRP 부품 설계제작이 널리 적용되고 있다. 이에 생산의 자동화 (automation)와 양산(mass production)을 고려한 CFRP 부품 제작의 복합소재 Ply 설계기법을 연구 기술하고자 한다.

2. 복합소재 Ply 적용 설계

설계부품의 단순 3차원 형상데이터와 2차원의 도면을 이용한 CFRP 부품 제작의 과거와 달리 현재는 3차원 형상의 설계데이터가 도면이며, 복합소재 Ply가 3차원 형상데이터에 반영한 모델기반(Model Based Definition, MBD)의 설계제작기법이 적용되고 있다. Fig. 1은 항공기 날개구조물의 복합소재 Ply 를 적용한 MBD 기반의 CFRP 부품 설계 형상을 보여주고 있으며, 적용한 복합소재 정보는 Table 1에 나타내었다.



(c) MBD Model (Composite plies) Fig. 1 Composite design for CFRP details with MBD

ruble i i i oper des for composite pry
--

Fabric Composites (Plain weave), orthotropic 2D				
Madulus [CDa]	Longitudinal, 0	70		
modulus [Gra]	Transverse, 90	70		
Shear Modulus [GPa]	τ12	5.0		
Poisson ratio	V 12	0.07		
Density [kg/m ³]	1,530			
Ply thickness [mm]	0.22			

복합소재 Ply가 적용된 MBD 기반의 CFRP 부품 설계데이터를 통해 생산 자동화를 위한 복합소재 Ply 정보 확인 및 자동 장비에서 적층을 위한 Ply 각 도별 절단 파일 추출과 자동 절단이 가능하다.

3. 결 과

CFRP 부품 제작의 자동 생산, 즉 자동 장비에서의 복합소재 자동 절단을

위해서는 Fig. 2와 같이 해당 부품 형상에 적용된 Ply의 적층 각도 별 전단각 (Shear angle) 변화 분석이 필요하다 [1].





Fig. 2에 볼 수 있듯이 적층 각도별 모든 복합소재 Ply에 대해 높은 전단각 변화를 보이는 Ply는 없었으며, 이를 통한 자동 생산을 위한 최종의 적층 각 도별 재단 파일을 Fig. 3과 같이 얻어낼 수 있다.



Fig. 3 Design of ply data for each stacking angle for NC cutting

후 기

본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업 항공용 모빌리티를 위한 연 료전지 경량화 기술개발 과제지원으로 수행되었음. (20213030030260)

참 고 문 헌

 Prodromou A G, Chen J. "On the relationship between shear angle and wrinkling of textile composite preforms" Composites Applied science and manufacturing: 491-504.

상용차용 종치형 복합재 판스프링의 파라볼릭 형상 최적 설계

노경욱, 김성종*

Optimal design of parabolic shape of longitudinal type composite leaf spring for commercial vehicles

Kyung Uk Roh, Seong-jong Kim*

(재)한국탄소산업진흥원

Key Words: Composite, Leaf spring, Finite element analysis, Optimal design

1. 서 론

상용차에 사용되는 충격 흡수 장치는 대표적으로 금속으로 제작된 판스프링 이 사용되고 있다. 그러나 금속 판스프링이 가지는 여러 문제점과 차량 경량화 에 대한 요구가 증가하면서 금속을 대체하기 위한 연구가 수행되고 있다[1,2]. 금속 판스프링은 여러 스프링을 겹쳐 놓은 구조로 적용되어 있다. 이러한 구 조로 인해 스프링 사이에서 소음이 발생하고 수분으로 인한 녹이 발생하는 단

점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 금속 판스프링의 재료를 복합재로 대체하 고 있다. 복합재로 제작된 판스프링은 금속 판스프링 대비 50% 이상의 경량화 가 가능하고 승차감 향상, 소음 절감, 내부식성 향상과 같은 장점이 있다(3,4).

본 연구에서는 종치형 판스프링 형상 설계를 위해 스프링 상수와 같은 설계 매개변수를 설정하고 자동화 프로세스를 통해 설계를 진행하였다. 산출된 두 께 및 형상을 반영하여 복합재 판스프링의 모델링 및 구조해석을 수행하였다.



Fig. 1 Steel leaf spring vs. composite leaf spring

2. 판스프링 설계 및 해석

판스프링의 길이 방향에 따른 두께를 설계 변수로 복합재 판스프링의 형상 설계를 진행하였다.

3점 굽힘 조건을 고려했을 때, 스프링의 단면이 동일한 경우에는 굽힘 모멘 트에 의한 길이 방향 응력은 중앙부가 최대이고 양 끝단으로 갈수록 줄어들 게 되지만, 두께 방향 전단 응력은 일정하게 된다.

반면에 길이 별 단면이 변화하는 포물선 형태의 스프링은 길이 방향 응력 은 일정하고 전단 응력은 양끝단에서 최대가 된다. 따라서 스프링 길이에 따 라 각 응력 분포를 일정하게 하기 위해 스프링의 중앙부는 포물선 형태로 설 계하고 양 끝단의 두께는 일정하게 설계할 필요가 있다.



Fig. 2 Optimal design of composite leaf spring

등방성 소재와 달리 복합재는 각 방향별 강성 및 강도가 다르기 때문에 방 향의 응력과 강도를 직접 비교하기 어렵기 때문에 강도비라고 하는 물리량을 적용하였다.

강도비는 각 방향에 따른 응력을 해당 강도로 나눈 값이라고 정의하고, 스 프링의 두께 분포를 결정하기 위해 길이에 따라 일정한 강도비가 되도록 하 였다.

계산된 길이 별 두께를 반영하여 Fig. 3과 같이 상용 소프트웨어를 사용하 여 판스프링을 설계하고, 구조해석을 진행하였다.



Fig. 3 Finite element model & Stress plot of composite leaf spring

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 상용차용 종치형 복합재 판스프링의 두께 형상을 최적화기 위해 강도비 개념을 도입하여 길이 방향 강도비와 전단강도비가 길이 방향 위치에 따라 일정하도록 두께 분포를 결정하였다. 상용 소프트웨어를 사용하 여 설계한 스프링 형상에 대해 구조해석을 수행하였다.

스프링의 개념설계 이후 바퀴 허브에 연결을 위한 조립체를 반영한 상세설 계 및 해석을 진행할 계획이다.

후 기

본 연구는 2023년도 정부(중소벤처기업부)의 재원으로 중소기업기술혁신개 발사업(강소기업100)의 지원을 받아 수행되었습니다. (\$3250575)

참 고 문 헌

- Jun K., et al., "A review on material selection, design method and performance investigation of composite leaf springs," *Composite Structures*, Vol. 226, 2019.
- (2) Ashwini, K., et al., "Design and analysis of leaf spring using various composites-an overview," *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 2, 2018, pp. 5716~5721.
- (3) Bhattacharjee, S, et al., "Composite leaf spring," Int. Res. J. Eng. Technol, Vol. 4, 2017, pp. 1534~1541.
- (4) Ma, L., et al., "Structure design of gfrp composite leaf spring: An experimental and finite element analysis," *Polymers*, Vol. 13, No. 8, 2021.

레이저 및 플라즈마 표면처리에 따른 접착강도 분석

신민하, 김성종*

Effect of laser and plasma surface treatment on adhesive bonding strength

Minha Shin, Seongjong Kim*

(재)한국탄소산업진흥원

Key Words : Adhesive bonding, Bonding strength, Surface treatment, Carbon fiber reinforced plastic, Laser, Plasma

1. 서 론

최근 고강도를 지니며 경량 소재에 대한 수요 증가로 기존 금속과의 접합에
대한 관심이 지대하다. 리벳팅과 같은 볼트 체결인 기계적 결합의 경우 응력 집
중, 균열 및 박리가 발생함에 따라 접착제를 사용한 화학적 결합이 주목받고 있
다[1,2]. 본 논문에서는 접착제의 접착강도 향상을 위해 레이저 및 플라즈마 표
면처리를 진행하였으며, 이에 대한 접착강도 변회를 분석하고자 한다.

2. 표면처리 및 접착강도 실험

접착강도 실험에 사용된 접착제는 1액형 에폭시 접착제로 유니테크 사의 Unicore2313을 사용하였으며, 흔히 자동차용 소재로 사용되는 CFRP, CR340(Steel), Al6061(Aluminum)을 실험 소재로 선정하였다. 또한, 이종 재료 에 대한 Single-lap strength 평가를 위한 ASTM 규격이 없기 때문에 ASTM 1002 및 5868을 참고하여 시편을 제작하였다 (Fig.1). 이종 소재 표면처리를 위해 레이저(M⁵BOX, Maxphotonics, China) 및 플라즈마(AP-4500R, AETP, Korea)를 사용하였으며, 비교군 샘플의 경우 ethanol 세척만 하여 실험을 진행 하였다. 표면처리에 따른 접착 강도를 측정하기 위해 AGX-199kN (SHIMADZU, Japan)를 사용하였으며, 속도는 5mm/min, 5회 반복하여 측정 하였다.



Fig. 1 Schematic of specimen for bonding strength test

3. 실험 결과 및 고찰

레이저 처리는 출력을 변수로 두었고, 속도는 이전 실험결과에 따라 750mm/s로 고정시켰다. 플라즈마 표면처리 역시 출력을 500W, 700W, 1000W 의 변수로 두었으며, 각 표면처리에 따른 접착 강도는 5번 측정하여 평균값을 사용하였다. 세척 시편 및 표면처리에 따른 접착강도값은 Fig.2, Table 1, 2에 나타내었다.



(a) Laser surface treatment (b) Plasma surface treatment

Fig. 2 Result of bonding strength according to surface treatment

Table 1 Bonding strength results of laser surface treatment (MPa)					
	5W	10W	15W	20W	
CFRP	25.88	24.70	23.49	19.49	
CR340	29.42	31.12	<u>32.11</u>	30.94	
Al6061	18.09	19.25	19.20	18.73	

Table 2 Bonding strength results of plasma surface treatment (MPa)

	Cleaning	500W	700W	1000W
CFRP	28.24	<u>29.17</u>	27.95	27.84
CR340	30.03	29.26	30.13	29.12
Al6061	19.36	<u>29.12</u>	17.96	28.75

Fig. 2 및 Table 1,2 결과에 따라 CFRP와 Al6061은 플라즈마 표면처리 500W의 출력에서 CFRP는 기존 시편 대비 3.29%, Al6061은 50.41% 향상된 값을 보였으며, CR340의 경우 레이저 표면처리 15W에서 약 6.93% 향상된 접착강도 값을 보였다. 또한, CFRP와 Al6061의 플라즈마 회학적 계면 처리 효과를 알아보기 위해 contact angle 측정을 통해 표면자유에너지(SFE)를 측정 값을 Figl.3에 나타내었다. 플라즈마 처리 후 주로 polar SE에 의해 SFE가 높 아지는 것을 확인하였고, 이로 인해 접착강도가 향상 된 것으로 사료된다.



Fig. 3 Surface free energy according to plasma surface treatment

플라즈마 처리의 경우 화학반응 메커니즘을 통해 손상을 최소화해 접착 강 도 향상을 나타낸 것으로 보이고, CR340의 경우 물리적 표면 처리로 거친 접 합 표면이 생성되어 mechanical interlocking 효과로 인해 접착 강도가 향상된 것으로 사료된다[3].

후 기

본 연구는 산업통상지원부 소재부품기술개발사업 (20010768, 1분이내 급속 경화가 가능한 고속공정용 고성능 이종재료용 접착소재)로 수행된 연구 결과 의 일부이며, 지원에 대해 진심으로 감사합니다.

참 고 문 헌

- A. Pramanik et al., 2017, Joining of carbon fibre reinforced polymer (CFRP) composites and aluminium alloy-A review, Composites Part A, 101 1-29.
- (2) Zhang, K., et al., 2013, A method A method for predicting the curing residual stress for CFRP/Al adhesive single-lap joints, Adhesion & Adhesives, 46, 7-13.
- (3) L.FM da Silva et al., 2007, Techniques to reduce the peel stresses in adhesive joints with composites, Adhesion & Adhesives, 27, 227-235.

마그네슘 합금 골프채의 진동 전달 특성 분석

정가영, 김윤식, 김종봉^{*}

Vibration characteristics of magnesium alloy golf club

G. Y. Jeong, Y. S. Kim, J. B. Kim*

서울과학기술대학교 기계자동차공학과

Key Words : Vibration, Rayleigh damping, Aliasing

1. 서 론

골프 putter는 사용자의 개인적인 기호와 취향에 영향을 많이 받는 장비다. 그에 따라 putter shaft의 재질과 형상 연구는 지속 적으로 이루어지고 있다. 본 논문에서는 상용 유한 요소 해석 프 로그램인 ABAQUS를 사용하여 골프채의 Rayleigh Damping 계 수를 추정하였고, 이를 바탕으로 magnesium alloy 골프채의 진동 전달 특성을 확인하였다.

2. 유한요소 해석

Impact hammer test를 유한요소 모델링하여 얻은 주파수 응답 그래프를 통해 Rayleigh damping 계수를 추정하였다. 데이터 샘 플링은 Aliasing 오류가 생기지 않는 주파수 400Hz까지 확인할 수 있도록 실험과 같이 0.00097s 당 1번으로 하였다.

Impact hammer test의 전산 모사로 추정한 damping ratio를 적용 하여 putting시 가속도 응답을 확인하였으며 이때 사용된 재료의 물성치는 Table 1과 같다. 골프채의 Shaft재료는 magnesium alloy 와 stainless steel 430 소재에 대해 진동 특성을 비교하였으며, Head 재료는 stainless steel 304 소재를 사용하였다. 골프공과 골 프채 Head 부분은 surface to surface contact 조건을 이용하였으며 Shaft의 중앙 부분과 Shaft grip의 중앙 부분의 가속도 데이티, grip 부분의 반력 데이터를 추출하여 진동 특성을 확인하였다.

Material	Young's Modulus (GPa)	Poisson's ratio	Density (kg/m ³)
Magnesium alloy	44	0.35	1800
Stainless steel 430	200	0.25	7750
Stainless steel 304	193	0.29	8000

3. 해석 결과

주파수응답해석을 통해 얻은 각 모델 별 Rayleigh damping의 계수는 Table 2와 같다. Fig. 1은 퍼팅 속도에 따른 그립 부분에 전달되는 가속도를 보여준다. 퍼팅 속도는 0.5sec 동안 회전한 각도인 35°, 25°로 선정하였다. 퍼팅 속도에 따른 골프채의 진 동 특성과 주파수 영역의 가속도를 확인하였으며 stainless steel에 비해 magnesium alloy shaft 모델이 최대 가속도가 작으며 감쇠 효과가 큰 것을 유한요소해석을 통해 확인하였다.

Table 2 Rayleigh damping coefficient				
Model	α	β		
Magnesium alloy	0.9	4.17e-5		
Stainless steel 430	0.2677	1.8e-5		



후 기

본 논문은 대학 창의적 자산 실용화 지원사업(과제번호 2022-0857)과 매시브랩 주식회사(MASSIVE LAB Inc.)의 지원을 받아 수행하였습니다.

- Lee, S., Lee, J. W., 2016, An analysis of error factors in impact hammer experiments to improve statistical - based models. Journal of the Korean Society of mechanics, vol. A 40.2 : 185-198.
- (2) Wang, B.T., Wu, G.Z., 2005, Modal Properties of Golf Club Wood Driver in Different Boundary Conditions, In The 13th National Conference on the Society Sound and Vibration, Zhanghua, Paper. No. C10.
- (3) Li, Y., Jiao, R., Zhang, B., Dong, B., Nguyen, V., & Li, A., 2023, Study on vibration characteristics of badminton racket embeed in acoustic black hole structure., Vibroengineering PROCEDIA, 49, 67-72.

냉장고용 압축기 밸브의 충격 특성과 응력-수명 선도 구현에 대한 연구

안준영¹, 김종봉^{2*}

A study on the impact characteristics and stress-life curve implementation of refrigerator compressor valve

J. Y. Ahn¹, J. B. Kim^{2*}

서울과학기술대학교 자동차공학과¹, 서울과학기술대학교 기계자동차공학과²

Key Words : Refrigerator compressor, Valve, Stress-life curve, Impact

1. 서 론

냉장고용 압축가는 냉장고의 부품 중 에너지 소비비율의 약 80%가량을 차지하는 부품이다. 따라서 다양한 기업에서 냉장고의 에너지 효율을 높이기 위해 냉장고용 압축기의 성능 향상 및 고효율화에 힘쓰고 있다. 본 연구에서는 고효율화 및 소형화를 진행중인 냉장고용 왕복동식 압축기에 조립되는 밸브의 파손 경향을 분석하였다. 기업에서 제공한 모델과 밸브 피로 시험으로 확보한 높이-수명 선도를 바탕으로 유한요소법(FEM)을 이용하여 실제 피로 시험과 동일한 밸브의 거동을 구현하였다. 제공받은 자료와 해석결과를 토대로 응력-수명 선도를 제시하였다.

본 연구에서는 흡입 밸브와 토출 밸브 두가지 모델을 사용하였다. 해석은 상용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS을 사용하였다. 실제 피로 시험 시 거동을 면밀히 분석하고 다양한 조건을 구현하기 위하여 ABAQUS subroutine을 이용하였다. 해석 결과는 Goodman 선도와 Gerber 선도와 같은 피로이론에 입각하여 분석하였다.

2. 연구 절차

선정된 흡입, 토출 밸브 모델은 압력을 가하거나 직접 들어 올라는 등의 조건을 부여하여 분석한다. 조건은 ABAQUS User-subroutine 을 아용하여 부여하였다. 이후 선정된 흡입, 토출 밸브 모델에 실제 Air-test 조건을 구현하여 충격에 의한 파손의 경향을 파악한다. 여기서 Air-test 는 기업에서 제시한 밸브 신뢰성 시험으로, 실제 시험 장면을 Fig. 1 에, 시험 결과 밸브를 Fig. 2 에 나타내었다. 각 해석 조건에 따른 밸브의 거동과 응력 분포와 기업에서 제공한 실제 Air-test 결과를 비교한다. 최종적으로 선정된 Air-test 해석 조건에서 도출된 응력-높이 선도를 분석한다. 이를 기업에서 시험 결과로 제시한 높이-수명 선도와 함께 분석하여 응력-수명 선도를 제시, 최종적으로는 실제 Air-test를 진행하지 않아도 파손 여부와 수명을 예측할 수 있게 한다.





Fig. 2 Air-test result of valve

Fig. 1 Actual scene of Air-test

3. 해석 결과

초기 유한요소 해석 결과 Fig. 3와 같이 밸브 충돌 부분의 중앙에서 최대 응력이 확인되었다. 하지만 실제 시험 결과 밸브 충돌 부분의 테두리에서 파손이 먼저 이루어지는 것을 확인하였고, 이에 따라 밸브의 해석 조건을 개선하였다. 공기압의 유동에 의해 밸브가 좌우 거동을 보이는 현상과 잔류 공기압으로 인한 감쇄 효과를 반영한 결과 Fig. 4와 같이 실제 시험의 파손 부위와 유사한 부분에서 최대 응력이 확인되었다.



Fig. 3 Analysis result for symmetric force conditions



Fig. 4 Analysis result for non-symmetric force condition

4.결 론

본 연구 결과 밸브는 좌우 거동을 보일 때 테두리부의 파손에 더 취약함을 확인하였다. 또한 기업에서 실시한 Air-test 시 잔여 공기압으로 인한 감쇄효과가 발생할 가능성이 높음을 확인하였다. 잔여 공기압으로 인한 감쇄효과는 충분히 크지 않을 경우 오히려 밸브의 파손 가능성이 높음을 확인하였다. Fig. 5와 같이 작성한 응력-수명선도는 파손 되지 않은 시험 조건에서만 Goodman 선도 이하의 응력을 보임을 확인하였다. 최종적으로 본 연구를 통하여 냉장고용 압축기에 조립되는 밸브의 응력 및 수명을 분석 및 예측하고 제품 개발에 있어 신뢰성을 확보할 것으로 기대하고 있다.



참고문 헌

- J. W. Kim, H. J. Kim, H. Y. Park, (1999), Valve Motions and Gas Pulsations of a Reciprocating Compressor, Journal of KSNVE 9 No.4(1999), 754-760.
- (2) H. K. Lee, (2016), A study on the Impact Reliability of a Compressor Valve for Refrigerators, Master. Thesis, Seoul National University of Science and Technology(2016), 14.

왕복동 압축기 리드 밸브 시스템의 동적 거동에 대한 연구

박정덕¹, 김종봉^{1*}, 김진국²

The study on the dynamic behavior of reciprocating compressor reed valve systems

J. D. Park¹, J. B. Kim^{1*}, J. K. Kim²

서울과학기술대학교 자동차공학과¹, ㈜LG전자²

Key Words : CFD, FEM, Fluid mechanics, Reciprocating compressor, Reed valve systems, Effective flow area, Effective force area

1. 서 론

리드 타입 밸브를 사용하는 압축기에서 밸브의 거동은 압축기의 성능과 수 명을 결정짓는 주요 연구 대상이다. 리드 밸브의 거동은 압축기의 질량 유량 을 제어하여 실린더 내부 압력을 변화시킴으로써 성능에 관여하고 밸브의 거 동으로 인해 발생하는 충격 응력은 압축기의 수명에 영향을 끼친다. 때문에, 본 연구에서는 리드 밸브의 동적 거동을 정교하게 모사할 수 있는 유체 이론 식인 유효 유동 면적과 유효 힘 면적의 수학적 모델을 개발하고 아를 활용하 여 압축기 성능 분석과 리드 밸브의 파손 경향성을 파악하고자 한다.

본 연구에서는 CFD와 FEM이 결합된 하이브리드 해석 기법이 사용되었다. 연구 순서로는 먼저 잘 알려진 상용 소프트웨어인 ANSYS-FLUENT를 사용 하여 CFD 해석을 수행, CFD 결과를 기반으로 유효 유동 면적과 유효 힘 면 적 모텔을 개발하였다. 그리고 개발된 유체 이론식은 Fortran code로 ABAQUS User-Subroutine에 적용하여 밸브의 동적 해석을 수행하였다. Fig. 1 은 압축기 밸브 시스템의 동적 해석 개념을 보여준다.



Fig. 1 Schematic of analysis model

2. 전산유체해석

전산유체해석에서는 포트의 직경(D_p), 밸브의 직경(D_v), 밸브의 열림 높이 (H)와 같은 Geometry 변수와 압축기 내부 압력의 차이(ΔP)가 해석 조건으로 사용되었다. 해석은 총 380을 수행하였으며 380개의 해석 결과를 바탕으로 유체 이론식이 개발되었다.

3. 유한요소해석

개발된 유체 이론식은 FEM 소프트웨어인 ABAQUS에 적용되어 압축기 Cycle 해석에 활용되었다. 피스톤 행정에 따른 복합 물리 현상이 구현된 압축 기 Cycle 해석을 통해 압축기의 성능과 거동, 그리고 밸브의 충격 응력을 분 석할 수 있었다. Fig. 2는 압축기 동적 해석 모델을 보여준다.



Fig. 2 Analysis model for valve dynamic analysis

4. 해석 결과 및 고찰

Fig. 3은 동적 해석을 통해 구한 압력-시간, 압력-부피, 그리고 흡입 및 토출 밸브 거동을 보여준다. 본 연구에서 결정한 이론 모델이 실험을 보다 잘 모사함을 알 수 있다.



후 기

본 논문은 LG전자의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

 Gasche, J., Arantes. D. and Andreotti. T., 2015, Pressure distribution on the frontal disk for turbulent flows in a radial diffuser, EXP. Therm. Fluid SCI. 60 317-327.

최적화 기반 Inverse 방법으로 손상 연화를 고려한 손상 및 경화 모델 계수 결정

이성진, 김종봉*

Determination of damage and hardening model parameters taking into account damage softening by an optimization-based inverse method

S. J. Lee, J. B. Jang^{*}

서울과학기술대학교 자동차공학과, 서울과학기술대학교 기계자동차공학과

Key Words : Damage model, Plastic constitutive model, Optimization-based inverse method, Damage evolution

1. 서 론

자동차 및 방위 산업에서 재료에 누적된 손상을 예측하는 것과 소성 변형 중에 발생하는 파손을 확인하는 것이 중요하다. 소성 변형에 의한 경화를 표 현하기위해 소성 구성 모델이 제안되었고, 누적된 손상에 의한 연화를 표현하 기위해 손상 모델이 제안되었다. 실험적으로 측정된 응력은 손상으로 인해 연 화되었기 때문에 소성 경화 모델은 손상 모델 계수와 함께 결정되어야 한다.

본 연구에서는 손상되지 않은 재료의 응력-변형률 관계를 손상 연화를 고 려하여 결정하였다. 경화 및 손상 모델 계수를 결정하는 방법론을 수치적인 분석을 통해 검증하였다. 최종적으로 제안한 방법을 사용하여 SGAFC 780 고 장력강의 모델 계수를 결정하였다.

2. 수치실험

선행 연구를 통해 알려진 DP 780 high strength steel의 경화 및 손상 모델 계 수를 사용하여 수치실험을 진행하였다. 경화 모델 계수는 Panich 등의 Modified Voce hardening model을 사용하였고 손상 모델 계수는 Amaral 등의 Johnson-Cook(J-C) damage model을 사용하였다. 경화 및 손상 모델 계수는 Tabel 1에 나타내었다.

 Table 1 Modified Voce Hardening and J-C damage model

 parameters of DP 780 high strength steel

Material	Modified	A	B_0	B_1	С
DP 780 bigb	Voce Hardening	956.47	358.60	279.40	25.32
strenoth	Johnson	ED0	D_l	D_2	D_3
steel	Cook Damage	0.005	0.94	-0.29	0.648

ABAQUS Dynamic/Explicit을 사용하여 가상의 인장 시험을 진행하였다. Table 1의 경화 및 손상 모델 계수를 해석에 적용하였고 ABAQUS 내장 Python 스크립트 기능을 사용하여 하중-변위 데이터를 추출하였다. 경화 및 손상 모델 계수 결정은 LS-OPT 프로그램을 통해 생성된 후보 모델 계수에 대한 해석에서 추출된 후보 하중-변위 데이터와 목적 하중-변위 데이터 사이 의 에러를 최소화하도록 한다.

최적화는 57번째 축차에서 종료 조건을 만족하여 종료되었다. 결정된 모델 계수를 사용하여 해석한 결과에 대한 하중-변위 곡선과 목적 하중-변위 곡선 을 비교하였을 때 잘 예측함을 확인하였고 제안한 방법이 타당함을 검증하였 다. Center Hole 시험편에 대해 경화만 고려하였을 때 하중-변위(검은색 실선), 경화와 손상을 고려하였을 때 하중-변위(파란색 실선), 목적 하중-변위(분홍색 파선) 그리고 손상-변위 곡선(빨간색 점선)을 Fig. 1 (a)에 나타내었다.

3. SGAFC 780 고장력강의 경화 및 손상 모델 계수 결정

제안한 방법의 타당성을 수치실험을 통해 검증하였고 SGAFC 780 고장력 강의 경화 및 손상 모델 계수를 결정하였다. 최적화는 36번째 축차에서 종료 조건을 만족하여 종료되었다. 결정된 모델 계수를 사용하여 진행한 해석과 실 험 결과를 비교하였을 때 잘 예측함을 확인하였다. Center Hole 시험편에 대해 경화만 고려하였을 때 하중-변위(검은색 실선), 경화와 손상을 고려하였을 때 하중-변위(파란색 실선), 실제 인장 시험 하중-변위(분홍색 파선) 그리고 손상-변위 곡선(빨간색 점선)을 Fig. 1 (b)에 나타내었다.



Fig. 1 Comparison of Load-Displacement curves obtained by FE analysis using the determined model parameters and Damage-Displacement curves for Center Hole specimen shape

후 기

이 성과는 국방과학연구소의 지원을 받아 수행되었음

- Gavrus A, Massoni E, Chenot JL. "An inverse analysis using a finite element model for identification of rheological parameters." J Mater Process Technol 1996; 60: 447–45
- (2) Panich S, Barlat F, Uthaisangsuk V, Suranuntchai S, Jirathearanat S. "Experimental and theoretical formability analysis using strain and stress based forming limit diagram for advanced high strength steels." Materials & Design 2013; 51: 756-766.
- (3) Amaral R, Santos AD, de Sá José C, Miranda S. "Formability prediction for AHSS materials using damage models." In J of Phys Conference Series. IOP Publishing, 2017; 012018.

가변형 슬롯다이 코팅의 균일도 확보를 위한 토출 유량 정밀 측정 및 제어

배예은, 윤경택, 이현호, 최영만*

Outlet flow-rate measurement and control for coating uniformity in variable-width slot-die coating process

Y. Bae, K.-T. Yoon, H. Lee, Y.-M. Choi*

아주대학교 기계공학과

Key Words : Slot-die coating, Pump control, Uniformity control, Flow-rate measurement

1. 서 론

가변형 슬롯다이 코팅 기술은 슬롯 다이 코팅에서 코팅 폭을 자유자재 로 조절할 수 있게 함으로써 다양한 형태의 코팅 형상을 제작할 수 있도 록 하는 첨단 생산 기술이다. 특히 다양한 형상의 디스플레이 제조에 있어 핵심적인 공정으로 주목 받고 있다. 이러한 가변형 슬롯 다이에서는 슬롯 폭의 가변에 의한 과도적인 응답에 의해 코팅 두께의 균일도 확보가 어렵 게 된다.

2. 코팅 유량 측정 시스템

Fig. 1과 같은 슬롯 다이 코팅 공정에서 균일도에 영향을 주는 인자는 매우 많지만 그 중에서 펌프 및 슬롯 다이 폭 가변에 의한 영향을 정확하 게 분석하기 위해서는 그에 따른 슬롯 노즐에서의 유량을 측정할 필요가 있다. 본 논문에서는 이를 위하여 Fig. 2와 같은 코팅 노즐에서 토출되는 유량을 측정하는 장치를 사용하였다. 유량 측정 장치는 정밀 저울 ((Mettler Toledo, WMS1203C)을 이용하여 토출되는 유량을 측정하고 이를 시간에 대해 차분하여 유량을 계산한다.



3. 실험 결과 및 고찰

먼저 가변이 없이 점도 5100 cps를 가지는 유체를 이용하여 시린지 펌 프에서 50 μL/s 의 일정한 유량을 공급하였다. 이 때 유량의 측정결과는 Fig. 3(a)와 같으며 펌프의 응답이 안정화되기까지 5초 정도의 시간이 걸 림을 알 수 있다. Fig. 3(b)와 Fig. 3(c)는 각각 슬롯 다이의 폭을 2.67 mm/s으로 15초간 각각 증가 및 감소시키면서 측정한 결과이다. 가변을 하는 경우는 펌프에 비해 즉각적인 유량의 변화를 가져오며 코팅폭을 증 가시키는 경우 유량이 감소하고, 코팅폭을 감소시키는 경우 유량이 증가 하며 가변이 정지되면 유량이 원래대로 회복된다.



Fig. 2 Flow-rate measurement system for variable-width slot-die coating









(c) Decreasing coating width

Fig. 3 Flow-rate measurement results

Fig. 4는 위와 같은 유량 측정 시스템을 이용하여 일정한 코팅 두께를 유지 하도록 펌프를 제어하는 방법을 나타난 블록 다이어그램이다. 일정 두께의 코팅을 위해서는 이론적으로 가변 폭에 비례해서 펌프의 유량이 제어되지만 Fig. 3과 같은 가변에 의한 영향이 고려되어야만 한다.



Fig. 4 Pump flow-rate control block diagram

후 기

This work was supported by the Technology Innovation Program (No. 20014812) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Republic of Korea).

참고문 헌

(1) K.-T. Yoon, J.-H. Bae, and Y.-M. Choi, "Practical Gravimetric Flow Rate Measurement Method for Slot-Die Coating Uniformity Evaluation." Journal of the Korean Society for Precision Engineering 40.2 (2023): 105-111.

비정질 탄소 몰드를 이용한 LED 노광기용 비구면 렌즈 제작

김영규^{1,2}, 노훈³, 김홍민⁴, 김석민^{1,2}*

Fabrication of glass aspherical lens for LED exposure using Vitreous Carbon mold

Y. K. Kim^{1,2}, X. Lu³, H. M. Kim⁴, S. M. Kim^{1,2,*}

중앙대학교 기계공학부¹, 중앙대학교 컴퓨터공학부², 연변대학교 컴퓨터공학부³, ㈜ GoodPNC⁴

Key Words : Vitreous carbon mold, Glass molding process, Glass aspherical lens, LED exposure

1. 서 론

노광기는 semiconductor를 제작하는데 널리 쓰이고 있다. 기존의 노광기는 수 은 램프를 광원으로 사용해 왔으나, 수은의 환경적 위험성과 에너지 소모가 심 하며, 온도 유지를 위한 cooling 시스템이 필요하고, 수명이 짧다는 단점이 있다. 이에 비교적 에너지 소모 및 발열이 적고 환경적 위험성이 낮으며 수명이 긴 light emitting diodes (LEDs)로 대체하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기 존에 1개의 수은 램프에서 발생 가능한 빛의 에너지를 발생하려면 약 200개의 LEDs가 필요하다. 효율적인 LEDs의 빛을 활용하기 위해서 집광용 렌즈와 빛 의 우수한 uniformity를 위한 fly eye lens등의 광학 시스템이 필요하다. LEDs의 경우 ultraviolet (UV) 파장대역을 사용하기 때문에 광학용 렌즈는 기존의 저가로 제작이 가능한 플라스틱이나 제작이 상대적으로 용이한 저융점 유리를 이용한 광학 렌즈의 사용이 불가능하다. 따라서 고융점 유리를 이용해야 하며, 또한 효 율을 높이기 위해서 구면 수차를 줄여줄 고융점 비구면 렌즈의 설계 및 제작이 필요하다. BK7은 기존에 UV 파장대의 빛을 투과하는 구면 렌즈로써 널리 사용 되어 왔으며 비구면 BK7 렌즈의 경우 대량 생산이 어렵고 높은 제작 단가로 인해 대량의 비구면 렌즈가 필요한 노광기에 사용하기 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 Vitreous Carbon mold (VCM)을 이용한 유리성형 기술을 활용하 여 노광기용 다수의 비구면 BK7 렌즈의 설계 및 제작을 진행하였다.

2. VCM 제작 및 유리 성형

본 연구팀에서는 기존에 VCM을 아용한 유리 성형을 통해 마스터 몰드에서 VCM까지 약 22.5%의 수축이 발생한다는 것과 제작 공정에서 발생하는 수축 오차가 약 1%내외 발생한다는 것을 확인하였다. [1, 2] 따라서 비구면 BK7 렌즈 를 설계하는 과정에서 최대 1% 수축 오차에 의한 decenter가 발생하더라도 광 학계를 투과한 LEDs의 빛이 90% 이상의 조도 uniformity와 평균 조도가 27mW/cm²가 되도록 상부 형상은 직경 100 mm 높이 250 µm로, 하부는 직경 6.2 mm 및 conic 상수 -0.5, 높이 4mm로 디자인하였다. 또한 렌즈 전체 직경은 14 mm 그리고 전체 두께는 6.5 mm로 디자인하였다. 기존의 22.5%의 수축을 보 정하기 위해 수축 보정을 진행한 알루미늄 금속 마스터를 상부와 하부로 나눠 설계하였으며, 이에 align을 위한 보조 구조물을 추가 설계하여 금속 마스터 몰 드를 제작하였다. 제작된 금속 마스터 몰드에서 Polydimethylsiloxane (PDMS)를 도포하여 상부와 하부의 PDMS replicas를 제작하였으며, 제작된 PDMS replicas 에 furan 수지 (Resol형 Alcohol용성 수지, Kangnam Chemical Co. Ltd, Republic of

Korea)와 ethanol, 황산을 90:9:1 wt%로 혼합한 furan 혼합체를 도포하고 100 ° C까지 느린 승온 속도로 5일간 경화를 진행하여 furan precursors를 제작하였다. 제작된 furan precursors는 진공분위기에서 15일간 매우 느린 승온 속도로 1000 ° C까지 탄화 공정을 진행하여 상부와 하부의 VCMs을 제작하였다. 한번의 furan precursors를 제작할 때 6 sets를 제작하였으며, 한 번에 다수의 비구면 BK7 렌즈 를 제작하기 위해 개별 기압이 가능한 multi-rod 시스템을 적용한 Infrared ray 열 선 유리 성형 기기를 제작하였고 이를 이용하여 1차 유리 성형을 진행하였다. 1 차 VCMs를 이용하여 제작된 비구면 BK7 렌즈는 FormTalysuff (FTS, TALYER HOBSON. Inc., United Kingdom) 를 이용하여 측정한 결과 상부는 ± 5µm로 하 부는 ± 120µm의 형상오차가 발생하였다. 이는 VCM 제작공정에서 발생하는 수축 오차와 유리와 VCM의 열팽장 계수의 차이에 의해 발생하는 형상 오차가 합쳐져서 발생하였기 때문에 이를 마스터에서 VCM의 수축률로 보정하지 않고 마스터에서 비구면 BK7 렌즈의 수축률인 25.5%로 1차 보정을 진행하여 2차 마스터 몰드를 제작하였다. 제작된 2차 마스터에서 위와 같은 방식으로 8개의 2차 VCMs를 제작하였으며, 이를 이용하여 약 140개의 비구면 BK7 렌즈를 제 작하였다.



Fig. 1 Schematics of fabrication process for aspherical BK7 lens and VCMs

3. 실험 결과 및 고찰

제작된 140개의 비구면 BK7 렌즈 모두 형상 오차를 측정할 수 없어서 랜덤 으로 3개의 비구면 BK7 렌즈를 선정하였으며, FTS를 이용하여 형상 오차를 측 정한 결과 상부는 ± 3 µm 이내, 그리고 하부는 ± 7 µm 이내로 측정되어 수축 오차인 1% 이내의 형상오차로 제작되었다. 또한 위에서 선정된 3개의 비구면 BK7 렌즈는 OptiCentric® 100 (Trioptics.com, U.S.A) 장비를 이용하여 편심을 0°, 45°,90°,135°, and 180° 회전시켜 측정한 결과 각각 평균 9.53', 8.86', 그리고 7.17' 로 제작되었음을 확인하였다. 이를 다시 광학 시뮬레이션을 통해 decenter의 양 을 시뮬레이션 한 결과 최대 23 µm, 22 µm, 그리고 18 µm로 제작되었음을 예측 되었으며, 이는 수축 오차에 의해 발생 가능한 120 µm의 decenter보다 작게 제 작되었다. 이에 제작된 140개의 비구면 BK7 렌즈를 설계된 광학 시스템에 적 용시켜 노광기를 제작하였으며, 최종 광학 성능을 확인하기 위해 400 mm X 500 mm의 철판에 4 X 4개의 빛의 세기를 측정하는 senso를 부착하여 노광되는 위 치 set up하여 측정을 진행한 결과 평균 조도는 28.5mW/cm², 조도 uniformity는 94.7%로 목표인 평균 조도 27 mW/cm², 조도 uniformity 90%이상을 달성하였다.

후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (No. 2022R111A1A01071884) 및 교육부의 재원으로 BK21 FOUR(Foresting Outstanding Universities for Research)의 지원 받아 수행된 연구임 (No.120SS7609062)

참 고 문 헌

- Kim, Y. K., Haq, M. R., & Kim, S. M. (2019). Glass molding of all glass Fresnel lens with vitreous carbon micromold. Optics Express, 27(2), 1553-1562.
- (2) Kim, Y. K., Ju, J. H., & Kim, S. M. (2018). Replication of a glass microlens array using a vitreous carbon mold. Optics express, 26(12), 14936-14944.

마이크로LED TFT를 위한 Ti thin film의 결함을 최소화한 펨토초 레이저 가공

최준하^{1,2}, 조성학^{1,2*}

Minimizing defect on Ti thin film femtosecond laser ablation for TFT of µ-LED

J. Choi^{1,2}, S. H. Cho^{1,2*}

한국과학기술연합대학원대학교 나노메카트로닉스학과¹, 한국기계연구원 나노융합장비연구부 나노공정장비연구실²

Key Words : Femtosecond laser ablation, Ti thin film, Flat-top beam, Burr, Ripple

1. 서 론

마이크로 LED는 기존의 LED와 OLED보다 더 작은 사이즈의 크기를 가 지고 있으며 무기물 기반이기에 내구성이 높아 수명이 길고, 전력 효율이 높 다는 특징을 가지고 있다. 현재의 마이크로 LED는 다양한 디스플레이 산업 적용을 위해 최적화 과정이 진행중이다. 하지만 생산 수율의 한계로 인해 여 러 개선이 필요한 상황이다. 우리는 여러 제조 공정 중 마이크로 LED를 부 착하는 TFT 기판에서의 개선에 집중하였다. 마이크로 LED의 생산 수율을 높이는 방법중에는 리페어라는 방법이 존재한다. TFT부분에서 마이크로 LED 리페어 방법으로는 크게 두가지로 나뉘어진다. 첫째, TFT 회로 제작 중 잘못 증착되어 연결되어야 하나 분리된 부분에서 추가적 증착과정을 통해 연 결하는 방법. 둘째, TFT 회로 제작 중 잘못 증착되어 분리되어야 하나 연결되 어 있는 부분을 펨토초 레이저를 이용해 부분적으로 가공하여 분리하는 방법 이다. TFT부분에서의 리페어는 불량이 발생한 마이크로 LED의 수율을 매우 높일 수 있으나 주변부 및 하부 재료에 데미지 및 영향을 주어서는 안된다. 리페어 중 발생하는 데미지 및 영향은 이후 추가적인 박막 증착 및 공정에 문제가 될 수 있다. 우리는 두가지 리페어 공정 중 펨토초 레이저를 이용해 부분적으로 가공하는 방법에 집중하였고 TFT에서 gate electrode material and pad electrode 로 사용되는 Ti의 명확한 가공을 자세히 조사하였다.

2. 펨토초 가공 실험

우리는 타켓 샘플을 가공하기 위해 1030 파장, 4mm raw beam diameter의 펨토초 레이저를 사용한다. Raw beam은 가우시안 빔의 프로파일을 가진다. 하지만 이번 실험에서는 가우시안 빔과 플랫 탑 빔을 모두 사용하기 위해 Fig. 1와 같은 빛의 경로가 형성된다. 플랫탑 빔이란 빔 프로파일이 사각형이며 균질한 인텐시타를 가지고 있는 빔을 의미한다. 플랫 탑 빔을 만들기 위해서 는 mechanical slit과 tube lens를 사용한다. Mechanical slit은 가우시안 빔의 인텐시티가 낮은 주변부를 잘라 높은 인텐시티의 중심부만을 남겨준다. Tube lens는 빔의 포커싱 위치를 조절하여 OB에 빔이 입사하도록 한다. OB를 통 과한 빔은 slightly defocusing되어 균질하고 모서리가 clear한 사각형의 빔 프 로파일을 획득하게 된다. 사용되어지는 타켓 물질은 sodalime glass (1t)에 Ti 100 nm가 증착된 샘플로 마이크로LED의 TFT에서 사용되어지는 Ti thin layer에 적용을 목적으로 한다. Ti 100nm는 e-beam evaporator (KVET-C500200, Korea Vacuum)를 이용하여 증착되었다. 가공된 Ti thin film은 confocal microscopy (VK-X1000 Series, KEYENCE), FE-SEM (Sirion, FEI) and atomic force microscopy (AFM, XE-100, PSIA)에 의해 분석되었다.



Fig. 1 Experimental setup



이번 실험에서는 마이크로 LED의 TFT의 깔끔한 가공을 위해 펄스 파워 와 펄스 수를 변수로 하여 레이저를 조사한다. 펨토초레이저로 펄스를 조사 한다 하여도 가공이 발생한 샘플의 표면에서는 ripple, burr, substrate ablation 등의 결함이 발생할 수 있다. Ripple의 경우 미세한 가공을 위해 낮은 파워와 많은 수의 펄스를 조사할 경우 발생할 수 있다. Burr의 경우 가우시안 빔을 이용한 가공으로 인해 주변으로 가공물질을 밀어내는 tensile strength가 발생 하게 되고 높은 파워의 펄스를 조사할수록 더 큰 burr가 생성되는 경향을 보 인다. Substrate ablation의 경우 substrate가 가공될 정도의 너무 높은 파워가 조사될 경우 substrate까지 가공되어 원하지 않는 영역까지 가공이 발생하게 된다. 우리는 ripple, burr, substrate가 발생하지 않는 적절한 수준의 펄스 파 워, 펄스 수를 설정하였고 이를 COMSOL Multiphysics를 이용해 시뮬레이 션을 하였으며 최종적으로 Ti 100nm를 결함을 최소화하여 깔끔한 가공에 성 공하였다.

- (1) Huang, Y, Hsiang, E. L, Deng, M. Y, and Wu, S. T, Light Sci. Appl., 9.1, (2020) 105.
- (2) Wu, T, Sher, C. W, Lin, Y, Lee, C. F, Liang, S, Lu, Y, Chen, S. W. H, Guo, W, Kuo, H. C, and Chen, Z, Appl. Sci., 8.9, (2018) 1557.
- (3) Huang, Y, Tan, G, Gou, F, Li, M. C, Lee, S. L, and Wu, S. T, J. Soc. Inf. Disp., 27.7, (2019) 387-401.

펨토초 펄스 레이저를 이용한 Micro-LED 전사 공정 연구

임재승^{1,2}, 강수민¹, 한성흠¹, 이재학¹, 박아영¹, 송준엽¹, 한승회², 김승만^{1*}

A Study on Micro-LED transfer process using fs pulse laser

J. S. Lim^{1,2}, S. Kang¹, S. Han¹, J. Lee¹, A. -Y. Park¹, J. Song¹, S. Han², S. Kim^{1*}

한국기계연구원¹, 전남대학교 기계공학부²

Key Words : Micro-LED, Femtosecond pulse laser, Blister

3. 실험 결과 및 고찰

1. 서 론

100 때 이하 크기를 갖는 Micro-LED는 높은 발광효율, 낮은 소비전력, 고 휘도, 빠른 응답속도, 긴 수명, 패널 사이즈 확장에 제한이 없는 장점을 가지 며, 특히 고휘도 특성으로 주간 시인성이 우수하여 대형 사이니지부터 스마 트폰, 자동차 HUD, 노트북 BLU, 최근에는 VR/AR의 고해상도 소형 디스플 레이까지 적용이 시도되고 있다. 하지만 아직까지 양상에 적합한 고 수율, 고 생산성의 Micro-LED 패널 제조 공정이 부재하여 높은 단가를 형성하고 있으 며, 이를 해결하기 위해서는 Micro-LED 칩을 패널로 옮기고 접합하는 전사 접속 공정에서 높은 수율과 생산성 확보가 요구된다. 최근 Micro-LED 칩을 패널로 전사하고자 다양한 방법들이 제안되고 있으며, 특히 높은 정밀도로 고 속의 전사 공정이 가능한 레이저 기반의 전사 기술이 각광을 받고 있다.

본 연구에서는 고해상도 Micro-LED 디스플레이 구현을 위해 고속, 고정밀 전사가 가능한 기포(Blister) 생성 기반의 레이저 유도 전사를 구현하였다. Micro-LED 칩의 레이저 유도 전사는 레이저 광이 투과할 수 있는 투명한 캐 리어 웨이퍼 아래면에 동적 릴리즈 레이어(Dynamic Release Layer, DRL)를 코 팅하고 그 아래 Micro-LED를 부착한 후, 투명한 캐리어 웨이퍼와 DRL 사이 에 레이저를 조사하여 생성되는 폴리머 기포(Polymer Blister)에 의해 Micro-LED 칩을 밀어내어 디스플레이 기판으로 전사하는 공정이다. 본 연구에서는 폴리머 기포 생성 기반 레이저 유도 전사의 메커니즘을 분석하고, 펨토초 펄 스 레이저와 나노초 펄스 레이저의 광 변수 조건에 따른 기포 생성과 Micro-LED 칩 전사 경향성 비교 연구를 수행하였다.

2. 레이저 기반 Micro-LED 칩 전사 실험

본 Micro-LED 칩의 레이저 유도 전사 실험에서는 DRL층이 코팅된 글라스 웨이퍼에 펨토초 펄스 레이저와 나노초 펄스 레이저를 각각 레이저 스캐너를 통해 고속으로 조사하여 실험을 진행하였으며, 레이저의 에너지 밀도를 변수 로 하여 폴리머 기포의 지름과 높이, Micro-LED 칩의 전사 속도 및 회전 경 향성을 비교하는 연구를 수행하였다.



Fig. 1 Experimental setup for Micro-LED transfer process

Fig. 2는 DRL층이 코팅된 글라스 웨이퍼에 펨토초 펄스 레이저와 나노초 펄스 레이저를 조사 했을 때 생성된 폴리머 기포의 지름과 높이, Micro-LED 칩의 전사 속도를 에너지 밀도에 따라 나타낸 그래프이다. 두 레이저의 동일 한 에너지 밀도에서 생성된 폴리머 기포를 비교하면 펨토초 펄스 레이저가 지름이 작고 높이는 높은 경향성을 보인다. 이는 두 레이저의 빔 사이즈는 동 일하지만 펨토초 펄스 레이저의 경우 짧은 펄스 폭으로 인해 열영향이 적고, 또한 DRL층의 흡수율이 적은 근적외선(Near-infrared, NIR) 파장에서 가우시 안 빔 형상 중 출력이 높은 일부분만 다광자 흡수(Mutiphoton absorption)을 통 한 가공이 가능하여 지름이 작은 폴리머 기포가 생성 되는 것으로 고려된다.



Fig. 2 Polymer Blister height, diameter, diameter-to-height ratio, and Micro-LED transfer rate according to energy density Fig. 3 Micro-LED transfer image taken by highspeed camera

후 기

본 연구는 한국산업기술평가관리원(No. 20018154, RS-2022-00154703) 의 지원을 받아 수행되었습니다.

- Electrical & Electronic Materials(E2M), Volume 34 Issue 2, Pages. 12-22, 2021, 1226-7937 (pISSN)
- (2) Kattamis, Brown, Arnold (Finite element analysis of blister formation in laser-induced forward transfer)
- (3) Alan T. K. Godfrey, L. N. Deepak Kallepalli, Jesse J. Ratté, P. B. Corkum (Femtosecond-Laser Induced Blister Formation on Polymer Thin Films)
- (4) Alan T. K. Godfrey*, L. N. Deepak Kallepalli, Jesse J. Ratté, Chunmei Zhang* and P. B. Corkum (Femtosecond-laserinduced nanoscale blisters in polyimide thin films through nonlinear absorption)

롤 성형 공정을 통한 금속 마이크로/나노 표면 빙결 방지 특성 향상

변성용^{1,2}, 김영규^{1,2}, 이성민¹, 김주완^{1,2}, 김석민^{1,2}*

Enhancement of anti-icing properties on metal micro surfaces through roll molding process

S. Y. Byun^{1,2}, Y. K. Kim^{1,2}, S. M. Lee¹, J. W. Kim^{1,2}, S. M. Kim^{1,2*}

중앙대학교 기계공학부¹, 중앙대학교 컴퓨터공학부²

Key Words : Vitreous carbon film mold, Roll forming, Micropattern, Anti-icing

1. 서 론

Micro/nano processing technology는 micro 패턴이 있는 표면의 탁월한 기능 성에 대한 관심을 불러 일으켰다. 이 발전은 전통적 재료의 한계를 넘어섰으 며, 그 응용 분야는 Anti-Icing, Boiling heat transfer, 마찰/마모 및 저항력 감소, 오염 방지 등 다양하다. 특히 Heat pump system에서 얼음의 형성은 열교환 시 스템의 효율을 감소시키는 문제 및 생성된 성애를 제거하기 위한 추가적인 에너지가 소요되는 에너지 손실을 야기한다. 이러한 빙결 현상을 줄이기 위해 마이크로/나노 구조를 활용하여 소수성 표면을 형성하는 연구가 활발히 진행 되고 있으며 마이크로/나노 소수성 표면에서 빙결 현상이 감소하는 이유는 소수성 표면의 특성에 따라 응축된 입자들이 응집되고, Cassie-Baxter 조건에 서 응축된 물방울과 표면 사이의 접촉 면적이 감소하여 열전달이 감소하기 때문이다. [1] 빙결 방지 기능성 표면을 구현하기 위해 nano imprinting 기반의 플라스틱 마이크로/나노 기능성 표면에 대한 연구가 널리 진행되고 있으나 플라스틱 소재의 열전달의 한계로 인해 Heat pump system에 직접적으로 사용 되기에는 어려움이 있다. 따라서 뛰어난 열전도성을 가진 금속 표면에 마이크 로/나노 구조를 형성하는 기술이 요구된다. 금속 표면에 마이크로/나노 구조 를 형성하는 기술로는 회학적 혹은 전기회학적인 방법을 활용하여 무작위로 마이크로/나노 구조를 형성하나 이는 원하는 구조를 형성할 수 없다는 단점 이 있다. 반면 구조물의 형상을 제어가능한 기술로는 photo lithography와 etching공정을 활용하여 제작은 가능하지만 고가의 생산 비용으로 인해 대면 적에 적용할 수 없다는 점에서 산업적 응용에 한계가 있다.

본 연구에서는 대면적의 금속표면에 기능성 빙결 방지 표면을 제작하기 위 한 기술로 마이크로 나노 패턴을 갖는 Roll Mold를 활용하여 Roll to plate을 통 해 금속에 직접적인 마이크로나노 구조물 복제 기술을 개발하였으며, 빙결 방지 특성을 분석하였다.

2. Roll Mold 제작 및 금속 기능성 표면 제작

Vitreous Carbon (VC)는 고온에서 우수한 기계적 물성치를 가지고 있기 때문 에 금속 성형을 위한 mold로써 주목받고 있는 소재이며 선행 연구를 통해 VC Plate mold를 제작하여 Direct metal forming technique으로 디스크 타입 알루미늄 시편에 기능성 표면을 성공적으로 복제함으로써 가능성을 확인하였다. [2] 따라 서 본 연구에서는 대면적 금속 표면 기능성 마이크로나노구조 구현을 위한 롤 압연공정에 사용될 비정질 탄소(VC)-그라파이트 복합구조 롤 몰드를 활용하였 다. VC-그라파이트 복합 구조 롤 몰드는 VC Film 몰드를 제작하여 롤러 베이스 그라파이트에 곡면 라미네이팅을 통해 제작하였다. Fig. 1과 같이 잔공 분위기에 서 탄화 후 탄소 산출량이 높은 폴리머 소재로 Poly imide (PI) film과 그의 전구 체인 Poly amicacid (PAA)를 활용하여 VC film 몰드를 제작하였다. PI의 전구체 인 PAA는 다량의 자일렌과 같은 용매제를 함유하기 때문에 열경화 중에 용매 의 증발로 인한 수축이 있다.[3] 따라서 초기에 PDMS Imprinting 전에 heating을 통해 용매를 미리 증발시켜 수축량을 감소하는 공정을 추가적으로 진행하였으 며 수축률이 45%에서 25%로 감소하였다. 본 연구에서는 직경 70 µm, 높이 38 μm, 주기 175 μm의 micropost 패턴이 Photolithography와 Reactive Ion Etching (RIE)을 이용하여 제작된 Silicon 마스터를 적용하였다. Fig. 1 에서 Hard Baking 을 진행하였을 때 직경 52 μm, 높이 30 μm, 주기 175 μm로 측정되었으며 최종

적으로 진공 분위기에서 PI Film 몰드를 탄화함으로써 직경 72 µm, 높이 17 µm, 주기 148 µm의 Micro hole을 가진 VC Film 몰드를 제작하였다. 제작된 VC Film 몰드의 폭은 40mm이며 롤 몰드의 직경은 40mm를 적용하였다.



Fig. 1 Schematics of fabrication process for VC film mold

제작된 Roll mold를 활용하여 너비 30mm, 길이 100mm인 알루미늄 합금 시 편인 AA1060 Plate에 Imprinting을 진행하였으며 공정 조건은 시편의 온도를 500°C, 롤 몰드의 온도를 450°C 그리고 240kgf의 하중을 주었고 성형된 시 편을 측정한 결과 직경 72 µm, 높이 17 µm, 주기 148 µm로 측정되었다. 표면의 소수성 특성을 얻기 위해서는 계층적인 마이크로/나노 구조물과 낮은 표면 에 너지를 가져야 하는 것이 잘 알려져 있다. [4] 알루미늄을 끓는 물에 넣어 열처 리를 하게 되면 나노 수준의 꽃과 같은 구조물을 형성하게 된다. [5] 반면 알루 미늄은 금속소재 특성상 높은 표면에너지를 갖고 있기 때문에 표면에너지를 낮 추기 위해 화학적 처리가 필요하다.

알루미늄 표면에 산화층에 n-alkanoic acid와 화학적 작용을 하여 Self-assembled monolayers가 형성되고 이 SAM층으로 인해 소수성을 갖게 된다. 따라서 성형 된 시편을 끓는 물에 10분간 처리하고 Dodecanoic acid를 이용해 알루미늄 표면 의 chemical modification을 진행함으로써 기능성 표면을 제작하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

제작된 시편의 소수성을 확인하기 위해 물방울과의 접촉각을 측정하였고 Micropillar가 없는 영역인 Bare영역은 접촉각이 87.88° Micropillar가 성형된 Rolled영역은 접촉각이 143.15°로 측정되었으며 이를 통해 마이크로/나노 구 조물의 소수성 특성을 확인하였다. 또한 빙결 방지 특성을 확인하기 위해, 시 편 위에 물방울을 올려두고 시편을 냉각하여 그 액적이 다 어는데까지 걸리 는 시간을 측정하는 방법인 Icing Delay Time을 확인하였고 그 결과 Bare영역 은 액적이 다 어는데까지 걸린 시간이 105s가 걸린 반면 Rolled영역은 471s로 대략 5배가량 증가하는 것을 확인하였다.

후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021R1A2C200445811).

참 고 문 헌

- Andrew D Sommers and Anthony M Jacobi 2006, Creating micro-scale surface topology to achieve anisotropic wettability on an aluminum surface, J. Micromech. Microeng. 16 1571 (2)
- (2) Kim, Y. K., Ju, J. H., & Kim, S. M. (2018). Replication of a glass microlens array using a vitreous carbon mold. Optics express, 26(12), 14936-14944.
- (3) Siqing, S., Wu, H., & Takahara, (2012) A. Morphology of nanoimprinted polyimide films fabricated via a controlled thermal history. Polym J 44, 1036–1041.
- (4) M. Nosonovsky, B. Bhushan, (2007) Hierarchical roughness makes superhydrophobic states stable, Microelectron. Eng. 84 382–386.
- (5) Jafari, R., Farzaneh, M. (2011) Fabrication of superhydrophobic nanostructured surface on aluminum alloy. Appl. Phys. A 102, 195–199.

가공품 표면 결함 인식 장비를 위한 촬영 시스템 제작

표진우¹, 김동현³, 김진구², 곽호택², 장인배³, 김병희³, 박용재^{3*}

Production of imaging system for workpiece surface defect detection equipment

G. W. Pyo¹, D. H. Kim³, J. G. Kim², H. T. Kwak², I. B. Chang³, B. H. Kim³, Y. J. Park^{3*}

강원대학교 스마트헬스 과학기술 융합학과¹, (주)CAE테크놀러지², 강원대학교 메카트로닉스 공학과³

Key Words : Defect detection, Inspection system, Surface defect

1. 서 론

가공품 생산 공정 간 다양한 표면 결함이 발생할 수 있다. 기존에는 이 러한 표면 결함을 육안으로 직접 확인을 하는 방식으로 탐지하였지만 컴 퓨팅기술이 기하급수적으로 발전하면서 이러한 결함 인식 시스템은 머신 러닝을 이용하여 구현이 가능해졌다. 본 연구는 머신러닝을 이용하여 가 공품 표면 결함 탐지⁽¹⁾가 이루어지기에 적합한 환경을 찾기 위해 다양한 조명⁽²⁾ 및 카메라 세팅 값을 변경하며 실험한다.

2. 실험장비 설계

본 실험장비의 도면은 Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 프레임, 이동부, 광 원으로 이루어져 있다. 프레임은 30×30 크기의 알루미늄 프로파일을 이 용하여 제작되었으며 바닥 면을 제외한 모든 면에 검은색 아크릴판을 부 착하여 외부에서 빛이 입사되지 않도록 제작하였다. 이동 부(카메라 거치 대, 기어)는 3d 프린팅되어 기어 메커니즘을 통해 40도에서 134.5도까지 이동할 수 있다. 동력원으로 Nema 17 스테퍼 모터를 사용하였고 4.5도 단위로 움직이도록 설정하여 카메라의 각도에 따라 표면 결함의 가시성을 확인할 수 있도록 제작하였다. 조명으로는 12V LED 바 형태의 조명을 사용되었다. 실험은 조명의 위치(상단, 하단)와 조명 방식(간접, 직접)으 로 나누어 진행하였으며 카메라는 see3cam 제품을 사용하였다. 표면 결 함의 종류로는 여러 가지가 있지만, 스크래치(scratch) 결함을 기준으로 실험을 진행하였다.



Fig. 1 Experiment equipment

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2와 Table 1에서 확인할 수 있듯이 조명의 종류와 조명의 위치에 따라 총 네 가지 경우의 수를 실험하였다. 간접 조명이 상단에 위치하였을 때(Fig 2, a) 카메라가 112 도 위치에서 표면 결함이 가장 잘 보였다. 간 접 조명이 하단에 위치하였을 때(Fig. 2, b) 모든 각도에서 표면 결함이 보이지 않았다. 직접 조명이 상단에 위치하였을 때(Fig. 2, c) 카메라가 112 도에 위치하였을 때 표면 결함이 가장 잘 보였다. 직접 조명이 하단 에 위치하였을 때(Fig. 2, d) 카메라 위치가 107.5 도일 때 표면 결함이 가장 잘 보였다. 네 가지 경우 중에 직접 조명이 하단에 있는 경우에 표면 결함이 가장 잘 보였다.

 Table 1 Best camera angle for each lighting condition for surface defect visualization

	Lighting type	Lighting	camera angle
	Lighting type	location	(degree)
(a)	Indirect	Upper	112
(b)	Indirect	Lower	40
(c)	Direct	Upper	112
(d)	Direct	Lower	107.5



(a) Indirect upper lighting. camera (b) Indirect lower lighting. camera at 112 degrees at 40 degrees



(c) Direct upper lighting. camera (d) Direct lower lighting. camera at 112 degrees at 107.5 degrees

Fig. 2 conditions where the surface defects are most visible for different lighting conditions and different camera angles

하단 직접 조명이 가장 잘 보인 이유는 조명이 가공품 표면과 평행에 가까운 위치에서 스크래치가 발생한 지점에서 그림자가 잘 생기기 때문이 라고 예상할 수 있다.

향후 연구에서는 조명의 위치를 더욱 세분화하고 카메라의 위치를 다양 하게 배치해서 실험을 진행할 예정이다.

- (1) R. Hao, B. Lu, Y. Cheng, X. Li, and B. Huang, "A steel surface defect inspection approach towards smart industrial monitoring," J Intell Manuf, vol. 32, no. 7, pp. 1833 - 1843, Oct. 2021, doi: 10.1007/s10845-020-01670-2.
- (2) M. Jomirina, "Improvement Techniques for Separation Performance of Direct Light and Indirect Light," Master's thesis, Changwon University, 2009.

고정밀 캠 감속기 신뢰성 성능평가를 위한 시스템 구축

최인식¹, 기범근¹, 김현동², 한상권², 서영호¹, 김병희¹, 박용재^{1*}

Construction performance evaluation system of high precision cam reducer

I. S. Choi¹, B. G. Ki¹, H. D. Kim², S. K. Han², Y. H. Seo¹, B. H. Kim¹, Y. J. Park^{1*} 강원대학교 스마트헬스 과학기술 융합학과¹, (주)양헌기공²

Key Words : Cam reducer, Servo cam drive, Encoder, Evaluation system

1. 서 론

캠 감속기는 기계부품 중 하나로써, 다양한 산업 분야에서 일련의 동작을 제어하는 데 사용되며 특히 로봇공학, 자동차, 공장 자동화 시 스템 등에 널리 사용된다. 고정밀 캠 감속기는 동작 정확도를 높이고 불필요한 에너지 소비를 최소화하는 것을 가능하게 하므로 더욱 정밀 하고 효율적인 감속기가 필요하다. 이러한 감속기의 성능 측정 및 평 가를 위해선 고가의 시스템을 갖추거나, 외부 측정기관을 통해 진행해 야 하는데 이때 고액의 비용과 상당한 시간이 소요되는 문제점이 발생 한다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 안정적인 공급과 유지보수에 대한 비용 및 시간 감소 효과를 위한 자체적인 감속기 신뢰성 성능평 가 시스템을 설계했다.

2. 본론

Fig. 1은 본 연구에서 제안하는 성능평가 장비의 모식도이다. 입력 축과 출력축의 모터가 토크 트랜스듀서를 통해 평가를 위한 캠 감속기 에 동력을 전달하고 이후 각 축의 엔코더를 통해서 각도 변화를 계측 하는 시스템으로 구성했다. 각도 변화를 통해서 감속기의 비틀림 강성 (Torsional stiffness), 백래시(Backlash), 히스테리시스 로스 (Hysteresis loss), 로스트 모션(Lost motion) 등 다양한 지표의 데이 터를 확보할 수 있다.

Fig. 2는 Fig. 1의 성능평가 장비 모식도를 바탕으로 하여 설계한 측 정 시스템 도면이고 Table 1에 명시된 장치를 통해 측정 시스템을 제 작했다.



Fig. 1 Schemactic diagram of test equipment

3. 결론

본 연구에서는 고정밀 캠 감속기의 성능을 더 빠르고 정확하게 확인 할 수 있는 성능평가 시스템을 설계 및 구축했다. 이를 감속기 연구개 발 단계에 적용하여 비용 및 시간적 손실을 줄이고 생산성 및 제품 개 선 연구에 활용할 수 있을 것으로 예상한다.



Fig. 2 Evaluation system drawing

Table 1 Device list for test equipment

Equipment	Manufacturing company	Model	note
Input shaft	HICEN		Motor :
motor	HIGEN	HMAKIN33-AD00	3.5kW
Output shaft	CIEMENIC	SIMOTICS	Motor :
motor	SIEWIENS	1PH8163	14.5kW
Input shaft		UTM2 20Nm	Capacity :
torque meter	UNIFULSE	UTW12-2010111	20Nm
Output shaft		UTM2 200Nm	Capacity :
torque meter	UNIFULSE	011W12-2001NIII	200Nm
Input shaft			Sensitivity :
encoder	HEIDENHAIN	KOD 800	0.0005deg
Output shaft		BOD 000	Sensitivity :
encoder	HEIDENHAIN	KOD 800	0.0005deg

후 기

이 연구는 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기 술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0020616, 2022년 산업혁신 인재성장지원사업)

참고 문 헌

 H. M. Saputra, A. Nurhakim and M. N. Firdaus, 2019, Servo Motor Controller Device for Stewart Platform Based on Simple Pulse Generator, 2019 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications(ICRAMET), pp. 104-108.

주축 전력 기반 실시간 가공부하 모니터링 기술

심범식, 오준영, 이우진, 최성진, 이원균*

Real-time cutting force estimation based on power consumption of the spindle motor

B. Sim, J. Y. Oh, W. J. Lee, S. J. Choi, W. Lee*

충남대학교 기계공학부

Key Words : Cutting load, Smart machine tool, Machine tool

1. 서 론

가공부하는 절삭가공 시 공구와 피삭재 사이에 발생하는 힘으로, 공정상태 를 나타내는 주요 인자다. 실시간으로 공정상태를 모니터링하기 위해 일반적 으로 공구 또는 피삭재에 공구동력계, 가속도센서 등 다양한 센서를 부착하여 가공부하를 직접 측정하거나 추정하는 가술이 사용된다.[1] 하지만 고가의 센 서를 사용하기 때문에 시스템 구축 비용이 높아 실제 제조공정에 사용되는 다수의 공작기계에 적용하기에는 한계가 있다. 또한 주축 전류와 토크상수를 이용하여 가공부하를 예측하는 방법이 사용되고 있으나, 구동토크로부터 가 공부하를 추출하는 과정에서 정확도가 떨어져 가공부하의 정확한 예측이 어 럽다. 본 연구에서는 주축 전력을 이용하여 가공부하를 실시간으로 모니터링 하는 기술을 제안하였다. 주축 전업과 전류의 실시간 모니터링 시스템이 적용 된 3축 공작기계 테스트베드를 구축하고, 다양한 공정 조건에서 주축 전력을 이용하여 계산된 가공부하를 공구동력계에서 측정된 실제 가공부하와 비교함 으로써 제안한 기술의 정확도를 검증하였다.

2. 실험 장치 구성

Fig. 1은 주축 전류 및 전압의 실시간 측정 시스템이 적용된 3축 공작기계 테스트베드이다. 주축 전류와 전압을 측정하기 위해 24 bit ADC(Analog to Digital Converter)가 적용되었으며, 50 kHz 샘플링이 가능한 전압 측정 모듈(NI 9225, National Instruments)과 전류 측정 모듈(NI 9247, National Instruments)을 상용 수직형 3축 머시닝센터 (DNM4500, DN Solutions)에 설치하였다. 실제 가공부하를 측정하기 위해 테이블과 지그 사이에 공구 동력계(9257B, Kistler) 를 설치하고, 전압수집장치(NI 9215, National Instruments)를 이용하여 가공부하



Fig. 1 Experimental setup



를 측정하였다.

3. 가공부하 추정 알고리즘

가공 중 주축 전력을 실시간으로 계산하기 위해 Fig. 2와 같이 전압, 전류 측정 회로를 구성하고, Blondel's Theorem을 이용하여 다음과 같이 주축 전력 을 계산하였다.[2]

$$P_{U} = A_{U}(V_{U} - V_{W}), P_{V} = A_{V}(V_{V} - V_{W})$$
(1)

$$P_{U} + P_{V} = A_{U}V_{U} + A_{V}V_{V} - (A_{U} + A_{V})V_{W}$$
(2)

$$P_{U} + P_{V} = A_{U}V_{U} + A_{V}V_{V} + A_{W}V_{W} = P_{\star}$$
(3)

$$P_{t} = A_{U}V_{UW} + A_{V}V_{VW}$$
(4)

계산된 주축의 전력(P_t)에서 무부하 상태의 전력 P_{t_air} 을 뺀 뒤, 스핀들의 각 속도 ω 로 나누어 스핀들 부하 (T_{LP})를 식 (5)와 같이 도출하였다.

$$T_{LP} = \frac{P_t - P_{t_air}}{\omega}$$
(5)

주축 전류 기반 가공부하 모니터링을 위해 식 (6)과 같이 3상의 교류 전류를 등가의 직류 전류로 환산한 RMS(Root Mean Square) 값을 사용하여 주축 전 류를 구하였다.

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{I_U^2 + I_V^2 + I_W^2}{3}}$$
(6)

위 식을 바탕으로 주축 전류, 주축 전력을 이용한 가공부하 실시간 모니터링 시스템을 구축하고, 공구동력계를 이용하여 측정한 실제 가공부하와 비교함 으로써 제안한 방법의 정확도를 검증하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 주축 전력을 이용하여 가공부하를 실시간으로 모니터랑하는 기술을 제안하였다. 주축 전압과 전류의 실시간 모니터링 시스템이 적용된 3 축 공작기계 테스트베드를 구축하고, 주축 전력 기반 가공부하 추정 알고리즘 을 정리하였다. 다양한 조건에서의 가공 실험 결과 제안한 가공부하 추정 알 고리즘이 높은 정확도로 실제 절삭부하를 추정하는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원 (P0020616,2022년 산업혁신인재성장지원사업)의 지원을 받아 수행된 연구임.

- Ertunc, H. M., & Oysu, C. (2004). Drill wear monitoring using cutting force signals. Mechatronics, 14(5), 533-548.
- (2) Tektronix (2013), The Fundamentals of Three-phase Power Measurements, Technical Report, Tektronix.

이송계의 정밀 가감속 제어를 위한 토크 최적화 기술

신진섭¹, 박재우², 김병희^{1,2}, 이정완², 최인휴³, 박용재^{1,2*}

Torque optimization technology for precise acceleration and deceleration control of transport systems

J. S. Shin¹, J. W. Park², B. H. Kim^{1,2}, J. W. Lee², I. H. Choi³, Y. J. Park^{1,2*}

강원대학교 스마트 헬스 과학기술 융합학과¹, 강원대학교 기계융합공학과², (주)씨에스캠³

Key Words : Torque control, Cyclic synchronous torque mode, TwinCAT 3, LinuxCNC

1. 서 론

현대 산업 분야에서는 정밀한 가공에 대한 요구가 증가하고 있다. CNC 시 스템의 핵심 요소인 이송계는 가공 작업에 필수적인 구성요소로서, 고속 고정 밀 이송을 위해 토크 제어가 필요하다. 본 연구에선 토크 제어를 위한 Cyclic Synchronous Torque(CST) 모드를 TwinCAT3와 LinuxCNC로 개발한다.

2. TwinCAT 3 CST 모드 개발

서보 드라이브는 Deta 사의 ASDA-A2-E 모델을 사용하였다. CST 모드를 위해선 위치 제어와 속도 제어를 PC에서 수행해야 한다. 이를 위해 NC 커널 의 위치 제어 신호를 위치 제어 루프의 명령으로 사용하고 서보 드라이브의 실제 위치 신호를 위치 제어 루프의 피드백으로 사용하였다. 위치 제어 루프 는 PID로 구성되어 있다. 위치 제어 루프의 출력은 속도 명령으로 사용되며 속도 제어 루프의 명령으로 사용된다. 서보 드라이브의 실제 속도 신호를 속 도 제어 루프의 피드백으로 사용하였다. 속도 제어 루프의 출력을 토크 제어 명령으로 사용하여 Target torque(6071h)에 입력하였다.

일련의 과정들은 TwinCAT 3로 진행하였다. Tc2_ControllerToolbox의 PID Function block을 사용하여 명령과 피드백을 연결하였고 이득을 조절했다. 위 치 제어 루프와 속도 제어 루프 모두 P 제어를 하였고 이득은 각각 30, 500이 다.



Fig. 1 Schematic diagram of CST mode

3. 결과 및 고찰

0서부터 500mm까지 1500mm/min으로 이동하라고 명령을 내렸다. Fig. 2와 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 모터가 위치 제어 명령을 추종하지만 고주 파의 진동이 발생한다. 속도 제어 명령과 실제 속도가 명시되어 있는 Fig. 4를 보면 이러한 고주파 진동을 더욱 명확하게 관찰할 수 있다.

고주파 진동 문제를 해결하기 위해 속도 제어 명령과 속도 피드백을 주파수 영역에서 분석할 예정이다. 이를 바탕으로 이득 튜닝을 진행하고 저역 통과 필터를 설치하여 진동을 저감할 계획이다.

TwinCAT 3에서의 CST 모드를 바탕으로 LinuxCNC에서의 CST 모드 를 개발할 예정이다.



참고 문 헌

- El Ouanjli, N., Derouich, A., El Ghzizal, A., Motahhir, S., Chebabhi, A., El Mourabit, Y., & Taoussi, M. (2019). Modern improvement techniques of direct torque control for induction motor drives—A review. Protection and Control of Modern Power Systems, 4(1), 11.
- (2) Sun, P., Liu, Q., Ding, J., & Pi, S. (2017). Open CNC system design for multiple intelligent functions based on TwinCAT and .NET framework. 2017 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), 910–915.

언리얼 엔진 기반 디지털 트윈 환경의 다중 클라이언트 무선 통신 구축

조영준¹, 정민², 김병희², 임경률³, 장인배^{1*}

Wireless communication of multi-client in digital twin environment based on unreal engine

Y. J. Cho¹, M. Jeong², B. H. Kim², G. R. Lim³, I. B. Chang^{1*}

강원대학교 기계융합공학과¹, 강원대학교 스마트헬스과학기술융합학과², (주)코닉오토메이션³

Key Words : Digital twin, Industry 4.0, Smart factory, Smart manufacturing, Unreal engine

1. 서론

4차 산업혁명 이후 제조공정 전반의 효율적 물류 관리와 생산성 증대 및 지능화를 위하여 스마트 팩토리 시스템이 적용되고 있다.^[1] 이러한 스마트 팩토리 시스템 중 디지털 트윈 기술은 실시간 시뮬레이션 및 공정 피드백 제어가 가능함으로 제조환경에서의 활용성이 높다.^[2] 이를 구현하기 위해 물리 현상을 기반으로 지능화 시뮬레이션이 가능한 언리얼 엔진을 사용하 여 디지털 트윈 환경을 구축하고자 한다. 본 연구에서는 실제 모델과 언리 얼 엔진의 가상환경 간 실시간 데이터 교환을 위한 다중 클라이언트 데이 터 통신처리를 목표로 한다.

2. 본론

본 연구는 실제 스마트 제조 환경의 다중 클라이언트 연결 환경을 모사하 기 위해 유무선 환경을 구성하고 통신을 진행하였다. 이에 대한 환경의 모식 도는 Fig. 1과 같다. 클라이언트로 ESP32를 사용하여 C# 기반 서버와 무선 TCP/IP 통신을 진행하였고 언리얼 엔진은 서버와 유선으로 연결되어 TCP/IP 통신을 진행하였다.



TCP/IP Socket 연결과 데이터 처리를 진행하기 위해 FreeRTOS를 사용하여 ESP32 클라이언트를 제작하였다. TCP/IP 연결, 데이터 파싱 (Parsing), 데이터 송신과 같은 Task를 우선순위에 맞추어 처리하도록 Fig. 2 (a) 와 같이 구성하 였다. Fig. 2 (b)는 C# 기반 서버 코드의 일부로 클라이언트들의 연결에 대해 Thread를 생성하여 수신되는 데이터를 각 클라이언트별로 처리하도록 구성하 였다. 언리얼 엔진 상에서 서버와 데이터 송수신 구현을 위해 언리얼 엔진의 Blueprint 기능을 사용하여 Fig. 3과 같이 구성하였다.



Fig. 2 Composed Code



Fig. 3 Unreal Engine TCP Blueprint

3. 결과 및 고찰

C#기반 서버의 Console Windows를 통해 언리얼 엔진과 2대의 ESP32 클라 이언트의 연결이 진행되었음을 Fig. 4 (a)와 같이 확인하였으며 다수의 클라이 언트가 전송한 데이터를 무선연결을 통해 언리얼 엔진에서 수신함을 Fig. 4 (b) 와 같이 확인하였다. 추후 송신받은 데이터를 기반으로 언리얼 엔진 상에서 디지털 트윈 된 물체의 실시간 시뮬레이션을 진행하고, 사뮬레이션 된 값을 통해 각 클라이언트의 제어가 가능할 것으로 기대된다.



후 기

이 연구는 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원 의 지원을 받아 수행된 연구임(P0020616,2022년 산업혁신인재성장지원사업)

참 고 문 헌

- (1) Baicun Wang, Fei Tao, Xudong Fang, Chao Liu, Yufei Liu, Theodor Freiheit, 2021, Smart Manufacturing and Intelligent Manufacturing: A Comparative Review, Engineering, Volume 7, Issue 6, 738-757, https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.07.017
- (2) G. Shao, S. Jain, C. Laroque, L. H. Lee, P. lendermann and O. Rose, 2019. "Digital Twin for Smart Manufacturing: The Simulation Aspect", 2019 Winter Simulation Conference (WSC), pp. 2085-2098
접촉조건에 따른 직선운동 가이드의 운동 특성에 대한 연구

김동욱, 정영훈*

Dynamic properties identification of Linear Motion(LM) guide according to contact conditions

D. U. Kim, Y. H. Jeong*

경북대학교 기계공학과, 경북대학교 기계공학부

Key Words : Linear motion guide, Friction, Stribeck curve

1. 서 론

선형 운동은 공작기계, 반도체, 나노제조와 비슷한 의료분야 등 다양한 산 업의 시스템을 제조하는데 중요한 역할을 한다. 특히, 선형 운동 테이블을 위 한 대표적인 메커니즘 중 하나는 볼 스크류 및 직선운동 가이드를 사용하는 것이다. 직선운동가이드는 구름 운동을 활용하여 직선운동에서의 마찰력을 경감한 부품으로, 높은 강성과 위치 결정도를 가지며 직선 운동과 반복 운동 이 필요한 공정에 활용된다. 직선운동 가이드의 베어링에서 구름저항에 의해 발생하는 마찰과 강성은 공작기계의 위치 정확도와 성능을 결정지을 뿐만 아 니라, 공작기계 이송계의 수명과 내구성에 직접적인 영향을 미친다. 이러한 측면에서, 마찰력 신호를 활용하여 직선운동 가이드와 블록의 조립 품질을 평 가하고 고장진단에 적용할 수 있다. 본 연구에서는 직선운동 가이드의 구름저 항 데이터 확보를 위해 실험 장비를 구성한다. 또한 직선운동 가이드의 강성 을 측정하기 위해 정정격하중 실험을 진행한다.

2. 접촉조건에 따른 직선운동 가이드의 운동특성 측정

본 연구에서 실험 조건은 아래 표에 나타내었다. Table 1 과 같이 실험 파라 미터를 세팅한 후, 직선 이송부를 왕복 운동을 하며 실험측정부에서 마찰신호 데이터와 리니어 엔코더의 신호를 동기회하여 데이터를 수집하였다. 마찰력 에 대한 실험은 5 회 반복으로 진행하였고 측정된 데이터에 대한 평균값을 구하였다. 또한 표준편차는 5회동안 측정한 데이터를 통해서 구하였다. 마찰 력 데이터는 이송부가 .300 mm 를 왕복 운동시 저장된 데이터 중에서 등속구 간인 부분의 데이터를 저주파 통과 필터링한 후 사용되었다. 측정된 마찰력 데이터를 그래프로 나타낸 후 쿨롱(Coulomb), 점성(Viscous) 마찰력와 스트라 이벡 효과(Stribeck effect)의 변화를 확인하였다.

Table 1 I	Experimental	conditions
-----------	--------------	------------

SHS45C Ball retainer				
윤활	Dry surface, ISOVG 32, ISOVG 68, ISOVG 220			
접촉 조건	볼의 직경, 볼의 개수			
정정격하중 속도 (mm/min)	0.5			



Fig. 1 Ball retainer LM guide with Friction force respect to ball diameter



Fig. 2 Ball retainer LM guide with Friction force respect to lubrication

3. 결 론

본 연구에서는 THK사의 SHS45C 볼 리테이너를 사용하여 연구를 진 행하였다. 윤활조건의 변화에 따라 쿨롱 마찰력은 변하지 않고 점성 마 찰력은 ISOVG 68부터 확인할 수 있었다. 접촉면적이 감소할수록 마찰 력과 쿨롱, 점성 마찰력, 스트라이벡 효과와 강성의 감소를 확인할 수 있었다. 또한, 접촉면적이 감소하더라도 마찰력의 추세는 거의 변하지 않았다. 같은 접촉면적에서 속도에 따른 마찰력을 비교 했을 때 점성 마 찰력은 ISOVG 68 보다 ISOVG 220이 더 큰 값을 가지는 것을 확인하 였다.

후 기

이 성과는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원, 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. P0020616, 20023026)

참 고 문 헌

- Pawełko, P., Berczyński, S., & Grządziel, Z. (2014). Modeling roller guides with preload. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 14, 691-699.
- (2) Cheng, D. J., Yang, W. S., Park, J. H., Park, T. J., Kim, S. J., Kim, G. H., & Park, C. H. (2014). Friction experiment of linear motion roller guide THK SRG25. *International journal of precision engineering and manufacturing*, 15, 545-551.
- (3) Cheng, D. J., Park, J. H., Suh, J. S., Kim, S. J., & Park, C. H. (2017). Effect of frictional heat generation on the temperature distribution in roller linear motion rail surface. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31, 1477-1487.

CNN을 활용한 베어링 결함진단 예측 모델 개발

차예나¹, 권병수¹, 김재현², 서영호¹, 김병희¹, 박용재¹*

Development of a bearing fault diagnosis and prediction model using CNN

Y. N. Cha¹, B. S. Kwon¹, J. H. Kim², Y. H. Seo¹, B. H. Kim¹, Y. J. Park^{1*}

강원대학교 기계융합공학과 메카트로닉스전공¹, (주)SPM Instrument Korea²

Key Words : Bearing fault diagnosis, Convolutional neural network, Feature extraction, Imaging

1. 서 론

회전 기계의 정상적인 작동은 베어링의 상태에 크게 좌우된다. 다른 기 계요소와 비교할 때 베어링은 고온, 높은 회전 속도 및 고부하와 같은 가 혹한 작업 조건에 장기간 노출되어 결함이 발생하기 쉽다. 통계에 따르면 기계적 결함의 약 45~55%가 베어링 결함에 의해 발생하고 있어 베어링 결함 진단의 중요성과 필요성을 반영하고 있다[1, 2].

지난 수십 년간 베어링 결함진단에 대한 많은 연구가 진행되어 왔고 대 부분의 연구는 분류 측면에서 매우 우수한 결과를 도출하였으나, 학습용 데이터를 얻기 위해 제조 환경과 유사한 베어링 결함 유도 실험을 진행한 연구만으로는 충분한 데이터를 확보할 수 없어 실제 산업현장에서 발생하 는 다양한 잡음과 간섭 등의 요소에 대응하기에는 어렵다는 한계점이 있 었다. 실제 산업현장의 적용에 관련된 문제를 고려할 때 다양한 요소를 효과적으로 대응하고 처리할 수 있는 AI를 접목한 지능형 베어링 결함진 단 방법에 대한 필요성이 증가하고 있으며, 최근 인공지능 및 센서 기술의 발전으로 많은 지능형 베어링 결함진단 접근 방식이 제안되었다. 지능형 결함진단 방법은 크게 기계학습, 딥러닝, 전이 학습 방법의 세 가지 범주 로 나눌 수 있다[3]. 베어링 결함진단 알고리즘의 핵심은 특징 추출 및 패 턴 인식이며, 대표적인 딥러닝 모델인 CNN(Convolutional Neural Networks)은 특징 추출 및 분류 작업에 최적화된 모델로 회전 기계 및 기계요소의 진동이나 소리 특성에 대한 패턴들을 이해하고 이상 패턴을 탐지하는 분야에서 광범위하게 적용되고 있다.

이에 본 연구에서는 실제 산업현장에서 수집한 데이터를 활용하여 CNN 기반의 베어링 결함 분류 알고리즘 모델을 구축하고, 정상과 비정 상 상태를 분류하여 제조업 현장 등의 사용자에게 결함 발생 요소, 결함의 종류 및 원인 등을 알려 줄 수 있는 베어링 결함진단 예측 모델을 구현하 고자 한다.

2. 결함진단 예측 모델 구축

CNN 기반 결함진단 예측 모델은 Anaconda 배포판의 일부인 Spyder IDE(Integrated development Environment) 내에서 Python 프로그래 및 언어를 사용하여 구축하였으며, 개발 프로세스는 Google에서 개발한 TensorflowTM API를 활용하였다. 전압으로 된 원본 데이터를 고속 퓨리에 변환(Fast Fourier Transform, FFT)하여 주파수 특성을 명확하게 시각화하였으며, 입력 및 출력 크기를 유지하기 위해 원본 이미지에 Padding 매개변수를 'Same'으로 설정하였다. 여러 층의 합성곱 (Convolution)과 Max Pooling을 통해 결함 특징을 추출하였으며, 과적 합 방지를 위해 각 층의 끝에 Drop out을 0.5로 추가하여 50%의 뉴런을 무작위로 비활성화하였다. 활성화 함수(activation function)는 인공 신 경망에서 가장 많이 사용되고 있는 ReLU를 선택하고, 베어링의 정상 및 비정상을 분류하기 위해 이진분류 모델인 Sigmoid 함수로 설계하였다. 이에 따라 구축된 CNN 기반의 베어링 결함 진단 모델의 구조를 Fig.1에 나타내었다.

학습에 활용된 산업현장 데이터는 가속도 센서를 회전 기계의 베어링 부근의 수평축, 수직축, 축 방향 총 3개의 위치에 설치하였고, 1시간 동안 1분 간격으로 1초에 50KHz로 측정한 총 239개의 진동데이터를 확보하 였다.



Fig. 1 Architecture of a CNN-Based Prediction Model

3. 결함진단 예측 모델의 학습 및 결과

데이터의 수집 환경에 따른 결함 분류 모델을 구성하기 위해 전체 239 개의 데이터 중 총 입력 데이터는 92개로 정상 46개, 비정상 46개를 선정 하여 구성하였다. 80개는 학습 데이터로, 나머지 12개의 데이터는 평가 데이터로 선정하였고, 학습의 반복 횟수(epoch)는 300회로 진행하였다. Table 1은 학습된 결함진단 모델을 이용하여 베어링의 정상 및 비정상 유무에 대한 정확도를 판별한 결과로, 결함 분류 정확도가 75%, F1 점수 는 67%로 낮게 나왔다. Clustering 진행 결과 베어링 결함 종류 형태에 따른 분류에 대한 가능성을 확인하였다. 이를 통해 향후 입력 데이터를 추가하고, 전처리 과정 및 결함 분류에 최적화된 알고리즘을 도입한다면, 데이터가 충분하지 않은 환경에서도 베어링 결함 분류의 정확도를 높인 알고리즘을 개발하여, 산업현장의 기계 유지보수 및 안전성 향상을 위한 실용적인 도구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

	-
Matric	Value(%)
Accuracy	75%
Error Rate	25%
Sensitivity/Recall	67%
Speccificity	89%
Precision	67%
F1-Score	67%

Table 1 Evaluation of a Defect Diagnosis Model

- X. Chen, R. Yang, Y. Xue, M. Huang, R. Ferrero, & Z. Wang. 2023. Deep Transfer Learning for Bearing Fault Diagnosis: A Systematic Review Since 2016. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 72, 1-21. Art no. 3508221.
- (2) M. El Hachemi Benbouzid. 2020. A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection, in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 47, no. 5, pp. 984-993.
- (3) Yaguo Lei, Bin Yang, Xinwei Jiang, Feng Jia, Naipeng Li, Asoke K. Nandi 2020. Applications of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap. Mechanical Systems and Signal Processing, 138, 106587. ISSN 0888-3270.

오픈소스 CNC 기반 공작물 자동 공급장치 제어계 설계

권순환¹, 황인태¹, 김범수¹, 박대유², 김병희¹, 박용재^{1*}

Design of control system for open source CNC based automated workpiece changer

 S. H. Kwon¹, I. T. Hwang¹, B. S. Kim¹, D. Y. Park², B. H. Kim¹, Y. J. Park^{1*}

 강원대학교 스마트헬스 과학기술 융합학과¹, (주)화천기공²

Key Words : Open source CNC, LinuxCNC, Automatic workpiece changer

1. 서 론

가공 공정 자동화는 현대 제조 산업의 핵심 요소 중 하나이며, 공작 기계를 제어하는 CNC(Computer numerical control) 성능의 지속적 인 발전에 크게 기인하고 있다. 그러나 기존 폐쇄적으로 관리되는 상 용 CNC의 경우 새로운 제어 알고리즘의 적용이 어려우며 타 제조사 장치들과의 호환성이 낮은 단점이 있다. 이에 반해 개방형 CNC는 이 식성, 확장성, 상호운용성이 뛰어나며, 특히 개방형 제어 시스템인 LinuxCNC는 오픈소스 기반의 공작기계용 CNC 소프트웨어로, HAL (Hardware abstraction layer)을 활용한 다양한 하드웨어 연결이 가능하 다는 장점이 있다[1, 2]. 이에 본 연구에서는 LinuxCNC 기반 공작물 자 동 공급장치(Automatic workpiece changer, AWC) 제어계의 개념 설 계를 제안한다.

2. AWC 주요 가능 분석 및 구조화

Fig. 1은 AWC의 개념적 설계 예를 나타낸다. AWC는 공작물 캐리 어(Workpiece carrier)의 공작물(Workpiece)을 작업대(Workspace) 에 로드(Load)한 다음 클램프(Clamp)를 조여 공작물을 고정한다. 이 후 공작물은 CNC에 의해 가공되며, 가공이 완료되면 클램프를 풀고 완성된 공작물을 작업대에서 꺼내 공작물 캐리어로 운반하여 고정한 다. 이때, 공작물 운반에는 그리퍼가 사용된다. Fig. 2는 AWC 과정을 세분화하고, LinuxCNC와 외부 디바이스, 또는 이기종 CNC와의 데 이터 송수신 관계를 도식화한 결과를 나타낸다.



3. 결론 및 고찰

본 연구에서는 개방형 오픈소스인 LinuxCNC를 기반으로 하는 AWC의 개념 설계를 제안하였다. LinuxCNC를 AWC의 제어기로 사 용하면 이식성, 확장성, 상호운용성뿐만 아니라, CNC의 가격 경쟁력 또한 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

향후 개념적으로 설계한 AWC 하드웨어를 제작하고, LinuxCNC를 사용하여 구동시키는 것을 목표로 한다. 또한, 이기종 CNC와의 인터 페이스를 구축하여 공작물 로드, 가공, 공작물 언로드(Unload)의 전 과정을 수행할 수 있도록 할 예정이다.



- Mekid, S., P. Pruschek, and J. Hernandez. "Beyond intelligent manufacturing: A new generation of flexible intelligent NC machines." Mechanism and Machine Theory 44.2 (2009): 466-476.
- (2) Bu-Hai, Shi, Wang Yong-Zhi, and Ding Chuan. "A design of realtime communication based on EtherCAT in industrial robot control system based on LinuxCNC." 2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC). IEEE, 2017.

신호등 검출기와 고정밀지도 간 정보 연관 알고리즘 설계

최영권^{1*}, 민경원²

Design of data association algorithm between traffic light detector and high-definition map

Y. Choe1*, K. W. Min2

강원대학교 메카트로닉스공학전공/스마트헬스 과학기술 융합학과¹, 한국전자기술연구원 모빌리티플랫폼연구센터²

Key Words : Autonomous driving, Traffic light, Data association

1. 서 론

신호등 인지 시스템은 높은 수준의 자율주행시스템 구성을 위해서 필수적이다. 일반적인 신호등 인지 시스템은 이미지 상에서 신호등을 찾아내는 검출 과정, 신호를 분류하는 과정, 시간에 따른 공간적 변화 와 신호 변화를 지속적으로 추정하는 추적 과정의 순으로 진행된다. 이때 추적 과정을 위해서는 Fig. 1에 도시한 것과 같이 추적 중인 신호 등 트랙과 새로이 분류된 정보 간의 정보 연관(data association) 과정 이 필요하다[1, 2]. 본 논문에서는 신호등의 위치를 포함하는 고정밀지 도를 기반으로 신호를 추적하는 시스템을 위해, 센서 장착 오차 및 항 법 정보 오차를 고려한 신호등 정보 연관 알고리즘을 제시하고 초기 검증을 수행한다.



Fig. 1 Schematic diagram of traffic light perception system

2. 불확실성을 고려한 신호등 검출 정보 연관 알고리즘

기존의 연구에서는 정보 연관 단계에서 가장 가까운 이웃을 선택하는 알고리즘(nearest neighbor association)을 이용한다 [3]. 이러한 방법은 투영 과정에서의 오차가 통제된 상황에서는 간단하면서도 효과적이지만 오차가 존재하는 상황에서는 잘못된 정보 연관으로 인해 신호 추적에 오류를 유발할 수 있다. 본 연구에서는 센서 장착 오차, 항법 정보 오차 등을 직접 모델링하여 이를 공통된 공간에 투영함으로써 연관 가능한 모든 상황을 고려한다.

정보 연관에는 크게 두 가지의 기준을 사용한다. 첫째로 신호등 위 치의 이미지 상에서의 픽셀 좌표이고, 두 번째로 신호등의 깊이다. 신 호등 위치의 이미지 상 불확실성은 차량의 3차원 위치/자세 불확실성, 카메라 장착의 위치/자세 불확실성, 고해상도 지도 상 신호등의 3차원 위치의 불확실성을 투영함으로써 계산한다. 신호등 깊이의 불확실성 은 도로교통법 시행규칙에 따른 신호등 각 구의 표준 길이를 이미지 상의 픽셀 길이로 투영함으로써 고려할 수 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

경기도 성남시 일대에서 수집된 영상과 차량 항법 데이터에 제시한 알고리즘을 적용한다. Fig. 2는 교차로 부근에 차량이 위치하는 예시 로 마젠타 색상의 타원은 차량 항법 정보의 위치 오차를 나타낸다. Fig. 3의 타원들은 같은 순간의 신호등 위치의 이미지 상 불확실성을 나타낸다. Fig. 3으로부터 횡방향의 차량 위치의 큰 불확실성이 가까 운 신호등의 이미지 상 좌우 불확실성을 키우는 것을 올바르게 반영하 고 있음을 확인할 수 있다.



Fig. 2 Example of vehicle location and its uncertainty (dashed-magenta ellipse: vehicle position uncertainty)



Fig. 3 Uncertainty projected onto the image in the situation of Fig. 2 (dashed-magenta ellipses: uncertainties of the traffic light images)

본 연구 결과는 추적 과정을 위한 정보 연관 단계뿐만 아니라, 사전 에 ROI(region of interest) 설정을 필요로 하는 신호등 검출 알고리즘 의 ROI 설정 기법으로 응용할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

신호등 검출기 모델을 제공해준 Ganzorig Gankhuyag와 차량 데이 터를 제공해준 박진만, 심영보에게 감사합니다. 이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-00391, "자율주행 레벨4급의 기능안 전성 자율주행 인공지능 컴퓨팅 모듈 개발")

참고문헌

- Behrendt, K., Novak, L., Botros, R., 2017, A deep learning approach to traffic lights: Detection, tracking, and classification, 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1370-1377.
- (2) Diaz-Cabrera, M., Cerri, P., Medici, P., 2015, Robust real-time traffic light detection and distance estimation using a single camera, Expert Systems with Applications, 42(8), 3911-3923.
- (3) Jang, C., Cho, S., Jeong, S., Suhr, J. K., Jung, H. G., Sunwoo, M., 2017, *Traffic light recognition exploiting map and localization at every stage*, Expert Systems with Applications, 88, 290-304.

전도성 고분자 기반 나노입자를 통한 초고속 소형화 PCR 광원 모듈 개발

김민세^{1,2}, 장현우^{1,3}, 김난현^{1,2}, 장웅기^{1,3}, 최성욱^{1,3}, 김현욱^{1,2*}

Development of a high-speed miniaturized PCR illumination module using conductive polymer-based

nanoparticles

M. S. Kim^{1,2}, H. W. Jang^{1,3}, N. H. Kim^{1,2}, W. K. Jang^{1,3}, S. W. Choi^{1,3}, H. -O. Kim.^{1,2*}

강원대학교 스마트헬스기기 과학기술 융합학과¹,강원대학교 생물공학전공²,강원대학교 기계의용공학전공³

Key Words : Conductive polymer, Nanoparticle, PCR, Illumination module, High-speed

1. 서 론

코로나19 펜데믹 등 감염병이 지속적으로 출현하고 있으며 이로 인한 경제 적 사회적 피해가 발생하고 있다. 이렇듯 정확하고 신속한 의료 및 맞춤형 분 자 진단 기술 개발은 전염성이 높은 바이러스의 확산을 방지하고 감염병 대 응에 매우 중요하다. 그러나 기존의 RT-PCR은 검출시간이 2시간으로 다소 느리고 고가의 대형 장비이기 때문에 현장 진단이 불가능하여 즉각적인 대처 가 어려운 상황이다. 본 논문에서는 전도성 고분자 기반 나노입자를 사용하여 기존 분자 진단의 문제점을 해결하는 초고속 소형화 RT-PCR 광원 모듈을 개 발하고자 한다.

2. 실험

본 실험의 목표인 신속하고 빠른 분자 진단을 위해 전도성 고분자 나노입 자를 이용할 것이다. 전도성 고분자 나노입자를 형성 후 UV spectrophotometer를 통해 흡광 파장을 측정한다. FE-TEM(transmission electron microscope)을 통해 입자의 크기, 형태와 구조를 확인하였다. 본 실험에서는 전도성 고분자 나노입자 형성 data를 추출 후, 입자에 laser을 조사하여 온도 변화를 확인 한 data를 획득하여 광원 모듈을 설계할 예정이다.



Fig. 1 PCR using Conductive Polymer-Based Nanoparticles

3. 실험 결과 및 고찰

전도성 고분자 기반 나노입자 형성 확인을 위해, 흡광 데이터를 획득하였으며, 400 nm에서 나타나는 특이적인 흡광 파장은 Fig.2에 나타내었다. 전도성 고분 자 기반 나노입자의 코어-쉘 구조를 가지는 형태학적 특성 확인을 위해, TEM 이미지 데이터를 얻었으며, Fig.3에 나타내었다. 형성된 전도성 고분자 기반 나노입자를 808 nm의 파장대를 가지는 레이저를 60초 동안 조사하였을 경우 에 대한 온도 변화에 따른 그래프를 Fig.4에 나타내었다.



Fig. 2 Absorbance spectrum Conductive Polymer-Based Nanoparticles.







Fig. 4 Laser-induced particle temperature variation based on PWM(Pulse Width Modulation) control.



- Kim, Bong Kyun, et al. "Ultrafast Real-Time PCR in Photothermal Microparticles." ACS nano 16.12 (2022): 20533-20544.
- (2) Zhou, J., Lu, Z., Zhu, X., Wang, X., Liao, Y., Ma, Z., & Li, F. (2013). NIR photothermal therapy using polyaniline nanoparticles. Biomaterials, 34(37), 9584-9592.
- (3) Li, L., Liang, K., Hua, Z., Zou, M., Chen, K., & Wang, W. (2015). A green route to water-soluble polyaniline for photothermal therapy catalyzed by iron phosphates peroxidase mimic. Polymer Chemistry, 6(12), 2290-2296.

이상적인 음부 혈류를 위한 안장 형상 설계

고상호¹, 김학선¹, 두해봉¹, 하호진^{1*}, 김용주²

Design of bicycle saddle's geometry for optimized pudendal blood flow

S. H. Ko¹, H. S. Kim¹, H. F. Du¹, H. J. Ha^{1*} , Y. J. Kim²

강원대학교 스마트헬스 과학기술 융합학과¹, (주)휴안²

Key Words : Blood flow, Finite Element Method, MRI

1. 서 론

과잉 영양과 에너지 절약이 중요한 요즘 자전거를 타서 직장에 출근 하거나 자전거 동호회에서 장거리 라이딩을 줄곧 하는 등 자전거를 이 용하는 추세가 늘어나고 있다. 자전거 이용자가 늘어남에 따라 기존의 자전거에서 해결되지 않은 불편함을 호소하는 사람들도 같이 늘어나 고 있다. 대표적으로 안장과 관련한 불편함이 있는데, 양쪽 좌골에 자 전거 이용자의 모든 상체 하중이 지지되어 음부 근방의 신경뿐만 아니 라 음부 혈관(Pudendal blood vessel)도 짓눌리게 된다. 이로 인해 장 시간동안 자전거를 이용하는 사람들에게 다리가 저리거나 혹은 비뇨 기과적인 불편함 및 더 큰 문제들을 야기하는 경우가 종종 있다. 따라 서 이렇게 좌골에 의해 음부 혈류가 방해하지 않는 안장의 형상을 개 발하고자 한다.

2. 유한요소해석을 통한 하중 분석

본유한 요소 해석을 통해 안장에 가해지는 하중을 분석하였다. 하중 은 좀 더 나은 정확성을 위해 사람 모형 및 골반의 형상을 사용하였고 여러 가지 안장 물성을 바꿔가며 진행하였다. 또한 골반뼈가 있을 때와 없을 때를 구분하여 진행하였다.



Fig. 1 Finite Element Method

3. 실험 결과 및 고찰

AE구조 해석 시, 골반 뼈를 반드시 고려해야 한다는 것을 확인하였다. 골반뼈 유무에 따른 인체모델에 발생하는 접촉압력 등을 비교한 결과, 관 련 해석 시 골반뼈가 반드시 필요하였고, 골반 뼈를 고려할 때와 하지 않 았을 때의 엉덩이의 변형 양상과 접촉 면압이 크게 변화하였다. 또한 인체 모델에 발생하는 접촉 면압을 예측하였으며 이를 통해 통증 부위가 유추 가능하였다.



Fig. 2 Comparision of deformation between cases with and without considering pelvis



Fig. 3 Comparision of normal pressure between cases with and without considering pelvis

참고문헌

(1) Eadric Bressel, Tracey Reeve, Dan Parker and John Cronin, 2007, *Influence of bicycle seat pressure on compression of the perineum: A MRI analysis,* Journal of Biomechanics

외부 간섭 요소 최소화를 위한 딥러닝 기반의 골전도 음성 신호 활용

송희주¹, 손세강¹, 유선아¹, 김병희¹, 이창환², 황향희¹, 김현욱¹, 이형석^{1*}

Utilizing deep learning for bone-conducted speech signals to minimize external interference factors

H. Song¹, S. Sun¹, S. Yu¹, B. H. Kim¹, C. -H. Lee², H. Huang¹, H. -O. Kim¹, H. Lee^{1*}

강원대학교 스마트헬스 과학기술 융합학과¹, (주)엠아이제이²

Key Words : Bone conduction, Bone-conducted speech signals, Automatic speech recognition, Deep learning

1. 서 론

소리를 듣고 인식하는 방법은 크게 두 가지로, 공기전도 (AC, air conduction) 와 골전도 (BC, bone conduction) 방식이 있다. 공기전도 방식은 소리의 진동이 공기를 타고 외이, 고막, 달팽이관을 거치게 되면서 변환된 전기에너지가 뇌 로 전달되는 반면, 골전도 방식은 소리의 진동이 고막을 거치지 않고 뼈와 근 육을 통해 바로 내이로 전달된다는 점에서 차이를 보인다. 공기전도 마이크를 적용한 음성인식 기술은 이미 상당 부분 발전되어 음성 비서 서비스와 같이 일상 속에 널리 사용되고 있지만, 외부 잡음으로 인하여 정확한 의미가 전달 되지 않거나 다른 사람의 목소리를 함께 인식하는 등 공기전도 방식이 지니 고 있는 한계점을 그대로 지니고 있어 이를 극복하기 위한 다양한 알고리즘 이 개발되고 있다. 그 중 골전도 신호를 바탕으로 공기전도 신호의 잡음을 제 거하여 사용자의 음성 명료도를 확보하고자 하는 연구가 다수 존재하는데, 이 역시도 공기전도 신호의 잡음과 골전도 신호의 잡음이 중첩되어 제거해야 할 잡음의 크기가 커진다는 문제점을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 딥러닝 아키텍처를 활용하여 피부를 타고 전달된 사용자의 목소리 데이터와 동시에 녹음된 공기전도 데이터를 대응시키고자 하며, 시끄러운 환경 속에서도 명확 한 음성 인식이 가능하도록 하고자 한다.

2. 실 험

다양한 환경 조건을 구현하기 위하여 스피커 (Creative PEBBLE V2)를 책상 위에 배치하였으며, 주변 소음 크기를 평균화하기 위하여 소음 측정기 (CEM DT95)로 실시간 데시벨 데이터를 확보하였다. 골전도가 진동하는 파장 데이 터임을 고려하여 피에조 센서 (Piezoelectric sensor)로 제작된 콘택트 마이크를 스테레오 형태로 구축한 후 골전도 신호를 추출하였다. 이때, 기존의 골전도 헤드셋에 적용할 수 있도록 콘택트 마이크를 유양돌기 쪽에 배치하였으며, 3D 프린터(Flashforge creator pro 2)로 고정 틀을 제작하여 실제 제품과의 유사 성을 확보하였다. 콘텐서 마이크(Lewitt LCT440 Pure)는 입으로부터 약 20cm 떨어진 거리에 배치한 상태로 공기전도 데이터 확보하는 데에 사용되었다.





Fig. 1 Experimental setup and diagram

3. 실험 결과 및 고찰

콘택트 마이크는 울리지 않는 허공에 배치하였을 때 주변의 말소리와 소음 이 녹음되지 않음을 확인하였다. 또한, 사람의 피부와 접촉했을 때 전달되는 진동에 의하여 신호가 검출된다는 점을 고려하여 콘택트 마이크가 골전도 신 호만을 추출할 수 있다고 판단하였다. 해당 골전도 데이터를 입력 값으로 설 정하고 공기전도 데이터를 출력 값으로 설정하여 딥러닝을 진행하였고, 특정 단어가 결과값으로 정상적으로 도출되었음을 확인하였다.



Fig. 2 Air-conducted speech signals of the specific Korean word 'Sagwa,' meaning 'apple,' were recorded for five times



- McBride, Maranda, et al., 2011, The effect of bone conduction microphone locations on speech intelligibility and sound quality, Applied ergonomics, 42.3, 495-502.
- (2) Zhou, Yi, et al., 2020, A real-time dual-microphone speech enhancement algorithm assisted by bone conduction sensor, Sensors, 20.18, 5050.
- (3) Putta, Venkata Subbaiah, A. Selwin Mich Priyadharson, and Venkatesa Prabhu Sundramurthy, 2022, Regional Language Speech Recognition from Bone-Conducted Speech Signals through Different Deep Learning Architectures, Computational Intelligence and Neuroscience, article ID 4473952.

제 3자 안압 측정을 위한 비전 센서 기반 정렬 시스템 개발

권순환¹, 김루나¹, 신소진¹, 이우영¹, 장웅기¹, 강진희², 김병희^{1*}

Development of a vision sensor-based alignment system for third-party pressure measurement

S. H. Kwon¹, L. N. Kim¹, S. J. Shin¹, U. Y. Lee¹, W. K. Jang¹, J. H. Kang², B. H. Kim^{1*} 강원대학교 스마트헬스 과학기술 융합학과¹, 씨엔브이텍(주)²

Key Words : Active senior, Non-invasive pressure measurement, Glaucoma

1. 서 론

최근 통계에 따르면 녹내장 발병률이 꾸준히 증가하고 있으며, 특히 연령대가 높아질수록 녹내장 환자의 수도 증가하는 경향을 보인다. 녹 내장이란 눈으로 받아들인 빛을 뇌로 전달하는 시신경에 이상이 생겨 시야결손이 나타나는 질환으로, 백내장, 황반변성과 더불어 3대 실명 원인 질환으로 꼽힌다[1, 2]. 이러한 녹내장은 말기에 이르도록 자각증 상이 없는 경우가 많아 정기검진을 통해 조기에 발견하여 적절한 치료 를 받는 것이 중요하다.

안압 상승은 녹내장의 주요 발병 원인으로, 안압 측정을 통한 녹내 장 진단이 가능하다. 그러나 현재 사용되는 데스크탑형 안압 측정기는 진료실과 안압 측정실 사이를 이동해야 하는 번거로움이 있으며, 특히 거동이 불편한 노인들은 많은 시간이 소요된다. 이에 반해 휴대용 안 압 측정기는 의료진이 환자의 안압 측정 시 측정기와 각막 중심과의 정렬을 확인하기 어렵다는 문제가 있다. 정밀한 안압 측정을 위해서는 측정기의 중심축과 각막의 중심축이 일치해야 하므로, 정렬 여부를 확 인할 수 없다면 안압 측정값을 신뢰하기 어렵다. 따라서 본 연구에서 는 제 3자 안압 측정을 위한 비전 센서 기반의 정렬 시스템 개발을 목 적으로 한다. 이 시스템은 제 3자가 환자의 눈과 측정기 간의 정렬 상 태를 실시간으로 확인하고, 정확한 안압 측정을 수행할 수 있도록 보 조한다.

2. 정렬 시스템 구조 및 정렬 여부 판단 방법

휴대용 안압 측정기는 휴대성이 용이해야 하므로 다수의 센서 부착 으로 인한 비대화를 지양해야 한다. 또한, 정렬 여부 판단의 실시간성 을 확보해야 하므로 최소한의 센서 및 연산량을 필요로 하는 방법이 적용되어야 한다. Fig. 1은 정렬 시스템의 단면을 나타내며, 측정부 중 심에 위치한 보조 광원과 카메라로 구성된다.

정밀한 안압 측정을 위해서는 측정부의 중심축과 각막 중심축이 일 치해야 한다. 즉 위치뿐만 아니라, 각도도 정렬되어야 한다. 측정부와 각막의 위치 및 각도가 정렬되면 측정부 중심에서 방출되는 보조 광원은 Fig. 2(a)와 같이 각막의 중심 위치에서 원형으로 반사된다. 측정부와 각 막의 각도가 정렬되지 않으면 보조 광원은 Fig. 2(b)와 같이 원형이 아닌, 타원형으로 반사된다. 따라서 카메라로부터 얻어지는 이미지에서 각막과 각막에 반사되는 보조 광원을 검출하고, 각막의 중심 위치와 보조 광원이 반사되는 위치 및 보조 광원이 반사되는 모양을 분석하여 정렬 여부를 판 단한다.



Fig. 1 Design of Alignment System



3. 결론 및 고찰

본 연구에서는 제 3자 안압 측정을 위한 비전 센서 기반 정렬 시스 템을 개발하였다. 이 시스템은 의료진이 안압 측정 시 측정기와 각막 의 정렬 상태를 실시간으로 확인하고 조정할 수 있도록 한다. 이를 통 해 녹내장의 조기 발견과 적절한 치료에 기여할 것이며, 특히 노인 환 자나 거동이 제한된 환자들에게는 이동 시간과 불편을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대한다.

- Hye-Won Kim, Xue-feng Zhang, Yong-Soo Kim and Il-Hong Jung. "Comparison of the Performance of CNN Models for Retinal Diseases Diagnosis." Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, 32.1 (2022): 51-60.
- (2) Sang-Kwan Lee and Seong-Kon Kim. "Detection of the Optic Disk Boundary in Retinal Images Using Inward and Outward Curve Evolution." The Korea Contents Association, 5.6 (2005): 138-145.

다중 심층 신경망을 이용한 심전도 신호 분석 및 질병 분류의 정확도 평가

최성욱^{1,2*}, 정지명², 이솔희², 왕배령², 장웅기², 황향희^{2,3}, 하석진^{2,4}

Accuracy evaluation of electrocardiogram signal analysis and disease classification using

multilayer deep neural networks

S. W. Choi^{1,2*}, J. M. Jeong², S. H. Lee², P. N. Wang², W. K. Jang², H. H. Hwang^{2,3}, S. J. Ha^{2,4}

강원대학교 기계의용공학과¹, 강원대학교 스마트 헬스 과학기술 융합학과², 강원대학교 스포츠과학과³, 강원대학교 생물공학과⁴

Key Words : Multiple deep neural network, ECG analysis algorithm, Continuous vital signal, Disease type classification

1. 서 론

국내 의료기관들은 빅데이터 구축을 위해 입원실 중환자실의 환자 감시장 치로부터 생성되는 생체데이터를 저장하고 있으나 수치적 데이터를 분석하 기 위한 인력의 부재 및 인공지능의 부재로 인해 불필요한 파형 데이터만 축 적되는 상황이다. 생성된 데이터 중 80%는 전문가의 해석이 필요한 데이터 임에도 불구하고 인력이 부족하고 자동분석을 위한 소프트웨어가 없는 문제 로 진료 및 연구에 활용하지 못하였으며 시설 및 장비의 충원이 없을 경우 상 당한 데이터가 버려질 것으로 예상된다. Ecg를 분석하기 위한 심층 신경망 기 술이 연구되고 있으나 진료 및 연구에 활용 가능한 정밀 파라미터를 제공하 지 않으며, 정확도가 낮고, 고도의 연산을 수행하기 위한 장비의 추가 확보가 필요하다.

2. 재료 및 실험

본 연구를 진행하기 위해 Physionet에 저장되어 있는 CEBS(Combined measurement of ECG) Dataset와 심전도 시뮬레이터(ProSim 4)의 Dataset을 사용 하였다. Table 1에 Physionet에 CEBS Dataset은 19-30세 사이의 젊은 정상인 10 명을 대상으로 Biopac MP36(Santa-Barbara, CA, USA)를 이용하여 측정한 2채 널 ECG의 lead I & II 데이터가 저장되어 있다. 심전도 시뮬레이터는 AFib Coarse, AFib Fine, PVC, VTach(160bpm, 200bpm), Vfib Coarse, Vfib Fine, TV Paced 75bpm, 2nd Deg AV Block의 10가지 부정맥 질환 데이터를 이용하여 m-DNN에 의해 생성된 파라미터는 질환별 특성을 확인 할 수 있으므로, m-DNN 딥러닝 분석을 통해 질환 구분이 가능하다.

Table 1 Comparison of surface roughness (m)

Number	Gender	Age	Beats for a minute	HR(bpm)	HRV(msec)
B_1	Male	30	65	65.3	26.2
B_2	Female	28	62	61.8	44.5
B_3	Female	25	71	71.5	51.1
B_4	Male	23	63	63.2	62.2
B_5	Female	22	71	71.1	38.0
B_6	Male	23	59	58.8	80.7
B_7	Male	30	53	53.8	38.8
B_8	Male	19	93	92.4	62.9
B_9	Male	24	62	62.2	79.9
B_10	Male	26	61	61.6	30.6

m-DNN는 4개의 특이점 가진 심층신경망 필터를 각각 1개씩 제작하였으며 심층신경망 필터를 제작하기 위해서 4개의 정답데이터가 제작되었다. 입력 데이터는 각 심층신경망 필터에 동일하게 입력된다. 정답데이터는 자체 제작 된 프로그램을 이용하여 정해진 특이점이 있는 위치에 '1'을 기록하고 특이점 이 없는 위치에 '0'을 기록하였다. 학습데이터에 사용되는 입력데이터는 P, QRS, T 파형의 Width, Wave Area, Interval, Voltage Average로 구성되어 있으며 심층신경망 필터에 사용되는 출력데이터는 입력데이터의 판정영역에 해당 하는 12개의 데이터이다. 따라서 임의의 ECG 데이터는 (n, 63)개의 입력데이 터와 (n, 12)개의 출력데이터가 만들어지며 심층신경망 필터의 입력층과 출력 층도 각각 63개의 뉴런과 12개의 뉴런으로 구성되었다. Fig. 1은 4개의 심층신 경망을 통해 ECG 파라미터를 분석하여 질환 분류를 하기 위한 알고리즘이다.



Fig. 1 Composition of DNN Filters & DNN Disease classification algorithm

3. 실험 결과 및 고찰

m-DNN 심층신경망 필터에서 76,923개의 입력데이터와 정답데이터를 딥러닝 시켰다. Fig. 2과 같이 Epoch이 100일 때 Total, P, QRS, T의 정확도는 각각 77.5%, 79.5%, 71.6%, 77.1%였으며, Epoch이 1,000일 때 각각 99.1%, 98.9%, 98.2%, 99,1%였다. Epoch이 100일 때와 비교하여 각각 21.6%, 19.4%, 26.6%, 22.0% 상승하였다.



Fig. 2 Accuracy of (a) Total, (b) P Wave, (c) QRS Wave, (d) T Waver to the epoch during deep learning of DNN Filters

참고문헌

- (1) Kim, H., Yazicioglu, R. F., Merken, P., Van Hoof, C., & Yoo, H. J., 2009, ECG signal compression and classification algorithm with quad level vector for ECG holter system, IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 14.1: 93-100
- (2) Goldberger, Ary L., et al., 2000, PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals., PhysioBank circulation, 101.23 : e215e220.

혈류 개선을 위한 심장 주기 동기화 저주파 전기 자극

정민¹, 김예진¹, 유영민¹, 장웅기¹, 하호진², 하석진³, 박희원⁴, 김병희^{1*}

Cardiac cycle-synchronized Low-frequency Electrical stimulation to improve Blood flow

M. Jeong¹, Y. J. Kim¹, Y. M. Ryu¹, W. K. Jang¹, H. J. HA², S. J. HA³, H. W. Park⁴, B. H. Kim^{1*}

강원대학교 스마트헬스 과학기술 융합학과¹, 강원대학교 기계의용공학전공², 강원대학교 생물공학전공³, 강원대학교 병원 재활의학과⁴

Key Words : Cardiac cycle, Synchronized, Low-frequency, Electrical stimulation, Blood flow

1. 서 론

혈전증이란 응고된 혈액이 혈관 내에 쌓여서 막히는 질환으로 팔, 다리, 폐 등 다양한 곳에 생길 수 있다. 특히 다리에 위치한 정맥에서 혈전이 생기는 경우가 많고, 쌓여있던 혈전이 아동하게 되면 다른 혈관을 막아 치사율이 높 은 색전증으로 이어질 수 있다. 이러한 질환은 혈관 손상, 혈류 속도 저하, 등 의 아유로 발병되며, 수술 후 와상 환자 및 거동이 힘든 노인 등 장시간 움직 이지 못하는 사람에게 발병할 가능성이 크다.

혈전증과 색전증의 발병률은 2006년부터 2020년까지 지속적으로 증가하고 있다. 이를 예방하기 위하여 혈류 속도를 높여 혈류량을 증가시키는 등의 방 법을 사용하고 있으며 혈류 개선을 위한 방법으로 순차 압박 장치 및 전기 자극 방치 등을 활용한 연구가 진행되고 있다. 순차 압박 장치는 공기 팽창식 슬리브를 착용 후 발끝부터 순차적으로 공압으로 다리를 압박하여 혈류를 상 승시키는 방식으로 혈류가 상승할 때 공압이 같이 압박해 주어 혈류를 개선 시킬 수 있지만 땀이 발생하거나 부종이 감소하면서 시간이 지남에 따라 효 율성이 떨어질 수 있다. 전기 자극 장치는 정맥 근처 근육에 전기 자극으로 근육을 움직여 혈류를 개선하는 방식으로 근육 근처에 부착하여 사용하기 때 문에 순차 압박 장치의 단점을 개선할 수 있을 뿐만 아니라, 순차 압박 장치 보다 혈류 개선에 더 도움이 된다는 연구들이 진행되어 왔다.

따라서 본 연구에서는 종이리에 저주파 전기 자극기를 부착하고 심장 박동 주기와 동기회하여 다리 정맥의 혈류 개선에 대해 연구하고자 한다.

2. 본 론

본 연구는 저주파 자극기를 좋아리에 부착 후 심장 주기와 동기화하여 자 극을 주는 방식으로 진행되었다. Fig 1과 같이 심장 박동 센서 경량화를 위해 ECG 센서의 R파와 심장 박동 센서를 비교하여 검증 후 심장 박동 센서를 사 용하였고, 전기 자극을 위해서 근육에 전기 자극을 줄 수 있는 저주파 자극기 를 사용하였다.

Fig 2는 본 실험을 위해 제작된 기기의 플로우 차트이다. 실험 대상에게 착 용 후 기기와 센서를 초기화 하였으며 안정된 상태에서 심장 박동 측정을 시 작되도록 하였다. 안정된 상태의 심장 박동이 측정된 후 다시 심장 박동을 측 정하였고 심장 박동과 전기 자극의 동기화를 위해 정맥에서 혈류가 지연되는 시간을 계산하여 전기 자극을 주었다. 또한 혈류 개선에 대한 측정 대상으로 부터 피드백에 따라 자극 강도를 조절할 수 있도록 기기를 구성하였다.





(b)Heart rate Sensor



Fig. 2 Flowchart of Device

3. 실험 결과 및 고찰

전기 자극 방식을 사용함에 따라 순차 압박 장치에 비해 효율성도 개선된 것을 확인하였다. 기존 순차 압박 장치의 경우 큰 장비를 움직이고 슬리브를 탈착해야 할 뿐만 아니라 슬리브 세척도 필요하다. 하지만 전기 자극 방식의 기기를 사용함으로써 작은 제어기와 센서를 사용하고 일회성 패드를 사용하 여 위생적인 문제 또한 해결할 수 있다.

본 연구의 목적인 혈류 개선을 위한 심장 박동에 동기화된 전기 자극 신호 를 2가지로 평가하였다. 심장 박동 센서 경랑화를 위해 ECG 센서와 심장 박 동 센서의 신호를 기반으로 전기 자극 신호를 발생시켰으며 유사한 시간에 전기 자극을 줌으로써 심장 주기에 동기화할 수 있는지 검토하였다. 또한, 사 용자에 따라 전기 자극 강도에 대한 반응이 다르기 때문에 사용자에 적합하 도록 전기 자극 신호 강도를 조절할 수 있는지 검토하였다.

추후 연구에서는 심장 박동 동기화 전기 자극기와 비동기 자극기를 유사한 환경과 조건에서 측정하여 도플러 초음파를 통해 혈류 개선에 대해 비교 검 증을 실시하여 본 연구의 타당성을 증명하고자 한다.

참고 문 헌

- Huh, K., Na, Y., Kim, Y. E., Radnaabaatar, M., Peck, K. R., & Jung, J. (2021). Predicted and observed incidence of thromboembolic events among Koreans vaccinated with ChAdOx1 nCoV-19 vaccine. Journal of Korean Medical Science, 36(27).
- (2) Jawad, H., Bain, D. S., Dawson, H., Crawford, K., Johnston, A., & Tucker, A. (2014). The effectiveness of a novel neuromuscular electrostimulation method versus intermittent pneumatic compression in enhancing lower limb blood flow. Journal of Vascular Surgery: Venous and Lymphatic Disorders, 2(2), 160-165.
- (3) Sasaki, K. I., Matsuse, H., Akimoto, R., Kamiya, S., Moritani, T., Sasaki, M., ... & Fukumoto, Y. (2017). Cardiac cycle-synchronized electrical muscle stimulator for lower limb training with the potential to reduce the heart's pumping workload. Plos one, 12(11), e0187395.

Fig. 1 ECG sensor and heart rate sensor for device validation

클라우드 기반 데이터 안심존 구축 및 활용방안

안치성, 김기영

Method for building and utilizing a cloud-based data safe zone

An chi sung

어반에이핏

Keywords : Cloud, AI, Bigdata, Data analysis

Data Box Frame은 안전하고 효율적인 데이터 분석을 위한 플랫폼으로, 보안 기능, 사용성, 첨단 인프라, 부가 기능 등을 제공한 다. 보안 면에서는 데이터 반출을 엄격히 통제하고 접속자 관리를 강화한다. 사용성 면에서는 관리용 콘솔을 통해 쉽게 환경을 구축하고 운영할 수 있다. 첨단 인프라로는 다양한 서버 및 클러스터를 제공하며, 부가 기능으로는 데이터 관리와 분석 결과 반출 등을 지원한다. 이를 통해 Data Box Frame은 효율적이고 안전한 데이터 분석을 가능케 한다.

다중소재 3D프린팅을 이용한 소프트 센서 설계 및 제작

박용재, 기범근

Design and Fabrication soft sensors with 3D printing with multi-material

Yong Jai Park, Beom Gun Ki

강원대학교

Keywords : Addtive manufacturing, Sensor, Soft robot, Design, Multi-material

본 연구는 다중소재 3D프린팅 기술을 이용해 소프트 로봇 구조 내부에 회로를 삽입한 소프트 센서를 설계하였다. 이는 복잡한 형상을 만들어낼 수 있는 적층 제조 방법으로 완성된 통합 구조를 한 번에 출력하였고, 이에 따라 조립 과정이 필요 없으므로 소형 화 및 효율적인 설계가 가능하다. 다중소재 출력 방법으로 카본 나노 튜브(CNT)가 혼합된 전도성 필라멘트를 사용하였으며, 병렬 회로에 대한 전기적인 특성과 CNT 입자의 물리적 변화에 대한 특성을 이용한 회로를 설계하고, 접촉 센서와 힘 센서를 제작하여 측정을 통해 그 성능을 확인하였다. 이를 통해 간편하게 제작하고 교체가 가능한 소프트 센서 설계를 목표로 하였다.

딥러닝에 기반한 발가락 강도와 힘의 안정도를 이용한 낙상 위험 예측: 예비실험

윤태진, 김진선

Prediction of falls risk using toe strength and force steadiness based on deep learning: A preliminary study

Tejin Yoon, Jin Seon Kim

강원대학교

Keywords : Active seniors, Toe strength, Force steadiness, Accelerometer, Deep learning, LSTM

낙상은 노인들에게 가장 흔하게 발생하며, 노인의 생명을 위협하는 심각한 문제 중 하나이다. 예비 노인을 대상으로 낙상 위험도 를 예측하여 선제적으로 낙상을 예방하고 관리하는 방법이 필요하다. 본 연구는 향후 상대적으로 낙상 가능성이 높은 중년여성을 대상으로 한 예비실험이다. 딥러닝 알고리즘을 사용하여 예측모델을 만들었으며, 발가락 근력 및 힘 안정성 데이터 등을 입력변인 으로 하여 낙상 위험도 예측의 가능성을 테스트하였다. 본 연구의 결과는 향후 현장 적용이 가능한 낙상 예측 모델 개발을 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

류마티스관절염의 면역병리기전

권보인, 한윤지

Immune mechanisms of rheumatoid arthritis

Bo-In Kwon, Yoon-Ji Han

상지대학교

Keywords : Rheumatoid arthritis, Th17, Th1, Rheumatoid factor, wind-dampness

기생류는 한의학에서 전통적으로 관절통에 사용되어 왔습니다. 본 연구에서는 세종류의 기생류 (상기생, 곡기생, 겨우살이)를 비 교하여 류마티스 관절염의 완화효과를 비교하였습니다. 콜라겐 유도 관절염 모델을 이용하여 혈정 및 관절조직 샘플을 비교하여 발병률, 부종등의 임상점수, 관절조직 병리상태 및 염증반응 정도를 확인하였습니다. 세 종류의 기생류에서 모두 IL-1 beta, IL-6, IL-17a. TNF-alpha 및 intereron gamma와 같은 염증수준이 감소하는것을 확인하였습니다. 또한 골 미란정도와 조직 병리적 염증 침윤도 감소한것을 확인하였습니다. 따라서, 이러한 기생류가 류마티스 관절염 완화에 활용될 수 있을것으로 생각됩니다.

카무트분말 함량 및 PH 등 레시피 조절을 통한 식빵제조 레시피 제안

김나영

Suggestions for bread making recipes with recipe adjustments such as kamut flour content and pH

Na Young Kim

송호대학교

Keywords : Kamut flour, Bread recipe, Food quality research

카무트는 고대 이집트에서 재배된 호라산 밀의 원시품종으로, 크고 긴 낟알을 가지며 식이섬유, 셀레늄, 폴리페놀 등이 풍부하다. 카무트를 사용한 파스타와 빵은 항산화 효소 활성 증가, 항염증 효과, LDL 콜레스테롤 및 혈당 감소 효과를 보인다. 또한 카무트는 식이섬유, 필수아미노산, 비타민, 무기질이 풍부하여 혈당 상승을 억제하고 비만을 예방하는 데 효과적이다. 하지만 카무트 분말은 일반적인 강력분 대비 5~10배 가량 비싸며, 함량이 높아질 수록 식빵의 품질이 낮아지는 단점이 있다. 본 연구에서는 카무트식빵의 품질을 개선하기 위해 카무트 분말 함량과 pH 등의 레시피 조절을 제안하였다.

혈액투석로 혈관의 기능이상 진단을 위한 분석기술 개발

박성민

Development of analytical techniques for diagnosing vascular dysfunction in hemodialysis

Sung Min Park

강원대학교 병원

Keywords : Vascular dysfunction, Hemodialysis, Analytical techniques, Diagnostics, Vascular health

혈액투석은 만성신장질환자에게 시행되는 중요한 시술이다. 대부분의 환자는 자가혈관 또는 인조혈관 투석을 받으며, 투석로 기 능 이상은 흔한 합병증 중 하나이다. 투석로 기능 이상은 혈관외과 의사의 진찰, 청진, 초음파, 인공신장실, 간호사의 관찰 및 투석 기의 알람으로 진단된다. 이후 발견된 이상 진단에 따라 치료가 이루어진다. 투석로 기능 이상은 재발 확률이 높은 합병증이며, 조기 진단과 예측은 중요하다. 이 발표에서는 혈액투석로 기능 이상을 조기 진단하기 위해 혈액투석기 데이터와 환자의 임상 데이 터를 종합적으로 분석하는 과정을 소개한다. 초음파 영상 데이터, 임상 데이터, 혈액투석기 데이터 등을 활용하여 분석과 예측 모델 의 개발을 진행할 예정이다.

스마트 모니터링 시스템을 이용한 스마트 케어

박지훈

Smart care using smart monitoring system

JiHoon Park

지오멕스소프트

Keywords : Fall, bedsore, deep learning, smart hospital, Action classification

평균 수명의 증가로 65세 이상 노인이 급진적으로 증가하고 최근 요양병원 또는 병원 등에서 거동이 불편한 환자가 욕창 또는 낙상하여 부상 또는 사망하는 사례가 빈번하게 발생하고 있다.

본 연구에서는 환자의 병실 생활 영상을 이용한 영상처리기법으로 AI 행동인식 모델을 통해 욕창, 낙상, 이탈 징후로부터 조기에 보호하고 효율적으로 간호 관리 업무를 수행하도록 병원 내 안전사고 모니터링 솔루션을 개발하였다.

본 연구에서는 Panoptic-DeepLab(Google 2020) 모델 구조에 기초하여 실내 top-view fisheye-image에 적합하게 튜닝한 AI모델로 환자, 의료인 구분, 병실환경 인식 및 환자 행동인식을 통해 낙상경보/사고, 욕창경보, 자리비움 등의 정보를 제공한다. 병실내 안전 위험 발생 시 의료인에게 내용을 전달하여 신속히 대응할 수 있도록 하여 실증기간동안 10초이내에 의료진이 대응하는 결과를 확인할 수 있었다.

OpenCV를 적용한 신체 상태 인지 시스템 기초 연구

조근식, 기범근, 박용재*

A basic study on the physical condition recognition system using OpenCV

G. S. Cho, B. G. Ki, Y. J. Park*

강원대학교 스마트헬스과학기술융합학과

Key Words : OpenCV, Physical condition recognition, Body state recognition, Image processing

1. 서 론

최근 의료기술의 발달로 인하여 고령화 사회로 진입하면서 신체의 이상을 사전에 인지하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 최근 OpenCV 즉, 딥 러닝 이미지 프로세싱 라이브러라를 이용한 시스템이 하나의 예시로 주목받 고 있다. 이는 손동작 인식, 안면인식 등 다양한 응용 연구들이 진행되고 있 다. 이에 본 연구진은 OpenCV를 이용하여 신체의 각 부분을 타켓으로 상태 인지를 할 수 있을 것으로 보고 기초 연구를 진행한다. 본 연구에서는 어깨의 움직임 각도를 측정하는 연구와 안면 비대칭을 인지하는 연구를 진행하였다.

2. OpenCV를 이용한 신체 상태 인지 시스템

본 연구에서는 OpenCV를 아용하여 어깨의 움직임 각도와 안면 비대창을 인지하는 연구를 진행하였다. 어깨의 움직임은 실시간으로 측정하기 위하여 영상을 통한 이미지 분석방법을 아용하였다. 이는 카메라의 영상에서 Pivot과 Target을 설정하고 아들의 각 RGB 색상 범위를 지정하고 영역을 구분해 도 심의 좌표를 계산한 후 어깨의 관절 가동범위인 Range of motion(ROM)를 측 정한다. 어깨의 부상을 판단하는 움이는 Raspbeny Pi 4B와 카메라 모듈로 구 성하여 진행하였다. 안면 비대칭 인식 시스템은 안면 마비 즉, Bell's palsy(벨 마비)를 기준으로 인지하는 연구를 진행한다. 이는 표정변화에 따른 부위별 안면근육을 인지하여 근육의 좌우 차이를 수치적으로 벨 마비의 임상적 수준 을 판별하기 위한 도구인 Nottingham System(NS)을 측정하고 House-Brackmann Grading System(HBGS)을 통해 등급으로 나타내어 OpenCV로 마 비 정도를 수치화해 시스템을 구성하였다. 이는 일러스트로 나타낸 가상의 안 면 비대칭 환자 모델을 통해 비대칭 인지 연구를 진행하였다.





3. 실험 결과 및 고찰

어깨의 움직임 각도 측정과 안면 비대창을 측정하기 위하여 OpenCV로 실험을 진행한 결과는 다음과 같다. 어깨의 움직임 각도 측정은 팔과 몸에 색상이 다른 마커를 부착하여 이들의 도심좌표를 인식해 어깨의 움직임 각도를 측정하는 실험을 진행하였다. 어깨의 구동 각도를 보기위한 팔 움 직임 방법은 90도 굽혀 옆으로 움직이는 External rotation과 앞으로 올라는 Forward elevation 방법으로 5번 측정하여 평균 값을 도출하였다. 이 결과 고니어미터를 아용하여 측정한 값과 최대 0.99 %의 오차를 보이며 정확성 이 뛰어남을 확인할 수 있었다. 이 실험 데이터의 값은 Table 1의 값과 같 다. 또한, 안면 비대칭 시스템을 구성하여 안면 비대칭 모델에 각 안면 부 위의 위차를 머신러닝을 통하여 학습시키고 이를 측정한 결과 Table 2와 같이 결과가 도출되었다. 표정 변화에 따른 좌우 안면 근육의 변화를 인식 하는 방식으로 앞서 설명한 벨 마비 임상적 등급 판별 도구인 NS는 100에 가까울수록 대칭에 가까우며 HBGS는 1~6으로 분류되며 숫자가 클수록 중증 비대칭을 나타낸다.

Table 1 Experimental results of shoulder angle measurements

	Measurem	Measurement		
	Goniometer (degree)	OpenCV (degree)	error (%)	
Forward elevation	169.92	168.24	0.99	
External rotation	80.37	79.69	0.85	

Table 2 Measurement results for the NS and HBGS

No	S:4.	Raise eyebrowClose eye tightlySmile	S	NS	НВ		
· Side	Side	△SO to IO (pixel)	△SO to IO (pixel)	△LC to M (pixel)	Sum	(%)	GS
1	Left	26.3	21.7	39.6	87.6	07.2	2
1	Right	29	19.2	37	85.2	97.3	2
2	Left	30.8	7.3	16.9	55	00.6	2
2	Right	25.7	10.5	18.6	54.8	99.0	4
2	Left	1.6	16.6	1.7	19.9	20.5	4
3	Right	18.4	16.6	32.5	67.5	29.3	t
4	Left	28.6	17.5	17.5	63.6	70.1	2
4	Right	23	11	10.6	44.6	/0.1	3
5	Left	2.4	6.9	16.7	26	96.4	2
3	Right	2.9	8.4	18.8	30.1	00.4	2

본 연구에서는 OpenCV를 이용하여 어깨의 움직임 각도와 얼굴의 비대칭 을 인식하는 기초 시스템을 구성하여 검증하였다. 이를 통하여 비전 인식 시 스템으로도 대상의 상태나 움직임을 인식하는데 문제가 없었으며 비전인식 시스템의 적용 방안에 대하여 하나의 방향성을 확인할 수 있었다. 또한, 이 기술을 이용하여 사전에 자가검진을 하고 문제를 확인해 볼 수 있을 것이며 OpenCV를 다양한 연구에 적용할 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- (1) R. Shrivastava, "A hidden Markov model based dynamic hand gesture recognition system using OpenCV", in 2013 3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC), Ghaziabad: IEEE, 2 2013, pp 947–950. doi: 10.1109/IAdCC.2013.6514354.
- (2) N. Boyko, O. Basystiuk, Shakhovska, "Performance Evaluation and Comparison of Software for Face Recognition, Based on Dlib and Opencv Library", in 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv: IEEE, 8 2018, pp 478–482. doi: 10.1109/DSMP.2018.8478556.

중년 여성의 체중부하 운동 시 스텝길이와 속도 변화가 하지 주요 근육에 미치는 영향

김진선^{1*}, 이주성^{1,2}, 보보쩌¹, 윤태진^{1,3*}

Effects of step length and speed on muscles of the lower extremities during weight-bearing exercise

in middle-aged women

J. S. Kim^{1*}, J. S. Lee^{1,2}, Bo Bo Kyaw¹, T. J. Yoon^{1,3*}

강원대학교 스마트헬스 과학기술 융합학과¹, 데상트코리아 신발R&D센터 휴먼퍼포먼스랩², 강원대학교 체육교육과³

Key Words : Weight-bearing exercise, Musculoskeletal modeling, Individual muscle force, Middle-aged women

1. 서 론

노화로 인한 근기능저하는 상체에 비해 하체에서 더 심하고 빠르다.⁽¹⁾ 특히, 근파워의 경우 남성에 비해 여성이 더 크게 약화가 되기 때문에 보행능력의 저하, 낙상 등과 관련하여 절대적으로 근력이 약한 여성 노인에게 더 큰 문제가 된다. 불행히도, 노화로 인한 하체 근육의 구조적 기능적 변화는 노년에 이르기 전에 진행되², 중년 여성을 위한 선제적인 근육 운동이 필요하다. 체중부하 운동은 특별한 지식이나 기구가 필요하지 않아 중년 여성의 다리 가능 향상에 적당한 운동이다. 하지만, 동일한 운동도 다양한 방식(자세, 속도)으로 수행되기 때문에 전체적인 운동강도는 물론, 목표로 하는 각 근육의 운동량을 산출하기 힘들다. 따라서, 본 연구는 근골격계 모델링을 이용하여 대표적인 체중부하 운동의 하나인 런지 동작 시 스텝길이와 속도 조건에 따라 하체 주요 근육들에 가해지는 함을 비교 분석하는 것이다.

2. 실험 방법

본 연구는 신체건강한 중년여성 9명(Mean±SD; age: 50.1±4.5yrs; mass: 57.2±7.3kg; height: 160.0±7.7cm; BMI: 23.0±2.4kg/m²)을 대상으로 진행하였다. 연구참여자의 신체 정보와 전방 런지 동작 시 신체 관절의 3차원 좌표를 획득하기 위해 적외선 카메라(Prime 13, Natural Point Inc, USA)와 분석 프로그램(Motive ver. 2.3.0)이 사용되었다. 역동역학 분석 데이터 획득을 위하여 3축 방향의 지면반력과 모멘트를 측정하였으며(OR6-7-2000, AMTI, USA), 개별 근육에 가해지는 힘을 추정하기 위하여 근골격계 모델링 프로그램(OpenSim, ver. 3.3)을 사용하였다.



Fig. 1 Inverse dynamics model simulation diagram

체중부하 운동은 전방 런지 동작으로 하였으며, 런지 동작 시 스텝길이(step length)는 연구참여자의 다리길이(대전자와 가쪽복사뼈 사이)를 100으로 하여 각각 80, 90, 100으로 설정하였다. 런지의 속도는 메트로놈을 이용하여 분당 30, 40, 50 bpm으로 설정하였다. 목표로 하는 실험 동작이 최대한 일치하도록 하였으며, 각 조건의 동작을 최소 5회 반복하며 실험조건에 맞는 3회의 동작을 분석에 사용하였다. 모든 동작은 모션 캡처 시스템과 지면반력기를 이용하여 각각 100Hz와 1000Hz로 샘플링하였다. 운동학적 및 운동역학적 자료는 Visual3d 프로그램을 이용하여 신호처리 후, OpenSim 프로그램에 입력할 파일을 추출했다. 이후, 최종적으로 OpenSim 프로그램을 이용하여 신제 스케일(body scaling), 역운동학(inverse kinematics), 역동역학(inverse dynamics), 정적최적화(static optimization) 과정을 거쳐 하지 개별 근육의 힘을 산출하였다.



⁺ p<0.05 vs. 50 bpm; ^{*} p<0.05 vs. L 100; § p<0.05 vs. L 80

중년 여성을 대상으로 전방 런지 동작 시 스텝길이와 속도 변화에 따라 하지 개별 근육에 가해지는 힘을 비교 분석하였다. 그 결과 체중부하 운동 시 자세와 속도의 다양한 변형이 주요 하지근육에 가해지는 힘에 영향을 미치는 것으로 확인하였다(Fig. 2). 이러한 결과는 중년 여성의 하체 근육의 기능 유지 및 증진을 위한 점진적인 부하의 원리에 입각한 과학적인 운동 처방에 관한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

- Lee, Y.-S., Chang, L.-Y., Chung, W.-H., Lin, T.-C., & Shiang, T.-Y. (2015). Does functional fitness decline in accordance with our expectation?-a pilot study in healthy female. *BMC Sports Sci Med Rehabil*, 7(1), 17.
- (2) Phillips, K. C., Noh, B., Gage, M., & Yoon, T. (2022). Neural and muscular alterations of the plantar flexors in middle-aged women. *Experimental gerontology*, 159, 111674.

겨우살이 추출물의 콜라겐유도 류마티스 관절염 모델에서 염증 완화효과

한윤지¹, 권보인^{1,2}

Mistletoe extract alleviates collagen-induced rheumatoid arthritis in a mouse model

Y. J. Han¹, B. -I. Kwon^{1,2}

상지대학교 한의과대학¹, 상지대학교 한의학연구소²

Key Words : Mistletoe, Rheumatoid arthritis, Th17 cell

1. 서 론

겨우살이는 동북아시아에서 류마티스성 관절염의 치료 및 예방에 전통 적으로 사용되어 왔습니다. 류마티스 관절염(RA)는 연골을 파괴하는 자 가면역 질환입니다. 한약은 반응성이 낮거나 부작용을 유발하는 표준 RA 치료제의 대안으로 사용될 수 있습니다.

2. 류마티스 관절염 완화효과 실험

이 연구에서 우리는 세 종류의 겨우살이 추출물을 이용하여 DBA/1 마 우스에 제2형 collagen유도 류마티스 관절염 완화효과를 관찰하였습니 다. 또한, 관련 염증지표의 변화를 관찰하여 그 약리기전 또한 확인하였습 니다.



Fig. 1 Experimental protocol

3. 실험 결과 및 고찰

세 종류의 겨우살이 추출물이 CIA유도 류마티스 관절염의 관절 변형 완화 효과를 확인하였습니다 (Fig2, Fig3). 또한 IL-1beta, IL-6, IL-17a, TNF-a 및 inteferon gamma 염증매개체의 수준이 감소하는 것 을 확인하였습니다 (Fig4).



Fig. 2 Effect of VCE, TCE and TSE on the progression of arthritis in CIA mice



Fig. 3 Effect of VCE, TCE and TSE on bone erosion around joints in CIA mice



Fig. 4 Effect of VCE, TCE and TSE on secretion of inflammatory cytokine in CIA mice

Fig 2와 3을 통해서 제시한 바처럼 류마티스 관절염으로 인한 관절변 형의 효과를 육안적으로 관찰하였고 또한 microCT 스캔을 통해 골 변형 형의 정도를 정량화 하였습니다. 또한, 그 염증완화기전을 확인하여 약리 효과를 추가적으로 규명하였습니다. 추가적으로, 비장에서 활성 보조T제 포의 비율 및 혈액에서 collagen 특이 항체의 농도를 확인하여 겨우살이 추출물의 효과를 확인하여 핵심적인 세포매개 염증완화 효과를 규명하였 습니다.

참고문헌

 Brand, D.D., Latham, K. A., Rosloniec, E.F., 2007, Collagen-induced arthritis, Nature protocols 2(5) 1269-1275.

RGB센서를 통한 합성수지 에멀젼 도료의 경화 상태 실시간 모니터링

이용석¹, 이동현¹, 양성백², 권동준^{1*}

Real-time monitoring of curing state of synthetic resin emulsion paint through RGB sensor

Yongseok Lee¹, Donghyeon Lee¹, Seong Baek Yang², Dong-Jun Kwon^{1*}

경상국립대학교 나노신소재공학부', 경상국립대학교 그린에너지융합연구소²

Key Words: Color sensor, Real-time monitoring, Emulsion paint

1. 서 론

페인트 코팅은 페인트를 표면에 얇게 도포한 후 도포된 페인트가 고체 필름 형태로 전환되므로 페인트가 도포된 표면에 매끈한 질감, 착색 및 도포대상의 보호 가능을 제공한다. 그러나 페인트를 코팅할 때 건조가 완전히 진행되지 않 을 경우 페인트의 가능을 온전히 이행하지 못한다. 그리고 수성 페인트의 경우 완전건조가 되지 않으면 물과 접촉하여 페인트칠이 지워질 수 있고, 또한 재도 장시 도막의 두께를 일정하게 조절하지 못하면 도막을 보호하지 못하는 문제 점이 있다.

페인트의 건조시간은 각 회사의 페인트 종류에 따라 다양하다. KS M 5001에 따르면 페인트의 건조상태를 확인하기 위해서는 도막을 손이나 솜으로 직접 접촉하여 확인하야 한다. 직접 접촉하여 확인하는 경우에는 도막이 지워지거 나 손에 묻어 처리하기 곤란한 점이 있다. 이러한 손상과 불편함을 감소시키기 위하여 직접 접촉하지 않고 건조상태를 확인할 수 있는 방안이 필요하다.

본 논문에서는 페인트 건조상태에 따라 색상변화가 일어날 때 RGB 센서로 측정된 색상을 실시간 모니터랑하여 수치회하고, 정량적 분석을 통하여 건조 상태에 따른 색상 변화를 도출하였다. 특정 파장에서 시료를 통과하는 빛의 흡 수를 통하여 적색, 녹색, 청색의 0~255사이의 RGB값을 도출하여 경화상태를 실시간으로 감지할 수 있다.

2. 실험

페인트는 합성수지 에멀젼 도료를 사용하였으며, 아두이노 컬러센서 TCS34725 및 TCS3200을 사용하였다. Fig. 1. a는 TCS34725 센서를 까운 홀더 에 화이트 페인트 코팅이 되어진 시멘트를 측정하는 그림이며 Fig. 1. b는 TCS34725에 앞면이며 포토다이오드로 LED에 반사된 빛을 감지하여 RGB 값을 도출하였다. 홀더는 3D 프린팅으로 각 센서의 크기에 맞추고, 지면으로 부터 1cm 띄운 외부의 빛을 차단하였다. 또한 페인트를 시멘트위에 롤러를 사용하여 얇게 도포 시켜 실험을 진행하였다. 시멘트의 각 레드, 그린, 블루, 블랙, 화이트, 그레이 색상에 페인트를 코팅할 것이며 시간에 따른 페인트의 경화 상태를 센서를 통해 RGB값을 도출하였다.



Fig. 1 (a) Color detection of paint using the color sensor attached to the holder, (b) Front of holder

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2는 TCS34725센서를 사용하여 130분간 화이트 페인트의 RGB값을 나 타냈으며 18분 전까지 RGB의 각 값들이 동일하게 감소하였다. 이는 페인트 의 용제인 물이 증발하여 광택이 없어짐으로써 점차 색상이 어두워졌다. 18분 부터 20분까지 유지되었으며 이 때 물이 완전히 증발 된 상태이다. 20분에서 약 100분 가량 RGB 값이 전체적으로 증가 하였는데 용제가 날아간 뒤로 페 인트 내에 일부 입자들의 가교가 일어나면서 코팅 색상이 밝아졌다. 115분 이후로는 수치가 안정화 되었다.



Fig. 2 TCS34725 value of white paint via TCS34725

RGB색과 블랙 그리고 그레이 색상을 측정하였다. 각 색상에 따른 경향을 확인 할 수 있었으며, 다른 센서인 TCS3200을 이용하여 같은 경향이 일어나 는 지 및 페인트의 경화 시간을 알아낼 수 있었다.

4. 결 론

본 실험으로 컬러센서를 통하여 페인트가 완전히 건조되었는지를 접촉을 하지 않아도 알 수 있었다. 페인트가 경화될수록 색상이 어두워지는 것을 확 인 할 수 있다. 각각의 색상의 페인트가 건조 됨에 따라 RGB값의 변화 정도 를 알 수 있었다. 컬러 센서를 이용하여 유성도료와 같은 다른 종류의 페인트 건조 상태를 알 수 있을 것이며, 그에 따른 자동화를 통하여 실시간으로 건조 과정을 모니터링 할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술정보통신부 및 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원 [신진연구지원사업 (RS-2023-0021194461382116530001), 3단계 산학연협력 선 도대학 육성사업(LINC 3.0, 1345356213 (LINC3.0-2022-11))]을 통해 진행한 연 구결과입니다. 이에 감사의 인사를 올립니다.

- (1) Mohamed Amine Alaya1, Zsolt Tóth1, Attila Géczy2, Applied Color Sensor Based Solution for Sorting in Food Industry Processing, Periodica Polytechnica Electrical Engineering and Computer Science, 63(1), pp. 16–22, 2019.
- (2) Geandre de Carvalho Oliveira, Caio Cesar Souza Machado, Dayane Karine Inácio, João Flávio da Silveira Petruci, Sidnei G. Silva, RGB color sensor for colorimetric determinations: Evaluation and quantitative analysis of colored liquid samples, Talanta, Volume 241, 2022, 123244, ISSN 0039-9140.
- (3) Johannes T.P. Derksen, F.Petrus Cuperus, Peter Kolster, Paints and coatings from renewable resources, Industrial Crops and Products, Volume 3, Issue 4, 1995, Pages 225-236, ISSN 0926-6690.

알루미늄 표면에서 생성된 펨토초 레이저 유도 표면구조의 성장

박태훈^{1,2}, 이효수¹, 이해중¹, 김지성³, 홍원표³, 황택용^{4*}

Structural growth of femtosecond laser-induced surface structures on Al

T. H. Park^{1,2}, H. S. Lee¹, H. J. Lee¹, J. S. Kim³, W. P. Hong³, T. Y. Hwang^{4*}

한국생산기술연구원 산업소재공정연구부문¹, 인하대학교 신소재공학과², 대한오케이스틸(주)³, 한국생산기술연구원 금형성형연구부문⁴

Key Words : Laser-induced surface structures, Femtosecond laser ablation, Microscale structure fabrication

1. 서 론

금속 표면에 펨토초 레이저를 조사할 때 펄스수, 편광방향, 에너지 밀도등 다양한 변수를 제어함으로써 나노 및 마이크로 크기의 구조들 이 금속표면에서 레이저-물질 상호작용을 통해 자발적으로 유도된다. 레이저 유도 표면 구조중 비교적 높은 에너지 밀도조건에서 생성되는 원뿔/스파이크 구조는 금속표면에서 가시 및 적외선 파장의 빛 흡수를 향상시키고, 초친수성에서 초발수성까지 넓은 범위에서 표면 젖음성 을 제어 할 수 있다. 이러한 특성들은 표면 구조의 크기, 모양, 밀도, 표면에서의 화학물질 흡착에 의해 크게 영향을 받으므로 금속표면의 기능성 제어를 위해서는 레이저 유도 구조의 형성 메커니즘에 대한 연 구가 필수적이다.

이전 연구들에 따르면, 원뿔/스파이크 형태의 펨토초 레이저 유도구 조의 초기 생성 및 성장은 무작위 방향성을 가지는 나노스케일의 거칠 기나 레이저 조사 충격으로 생성된 용용금속 표면의 capillary wave등 에 의해서 시작된다고 알려져 있으며, 이러한 경우 레이저 조사에 따 른 ablation이 동반되기 때문에 대부분의 표면 구조는 레이저 조사이 전의 본래 표면 높이보다 낮은 곳에 형성된다.

이와 달리 본 연구에서는 순수 알루미늄 판재 표면에 펨토초 레이저 를 조사하여 기존에 관찰되었던 원뿔/스파이크 형태의 구조와 달리 구 조의 윗 부분이 비교적 평평한 주상절리 형태의 구조물이 레이저가 조 사되지 않은 표면보다 높은 위치에 형성되는 것을 확인하였다. 이는 기존에 알려진 형성 메커니즘과는 다르게 레이저 빔 조사로 인해 ablation되었던 나노 및 마이크로 스케일의 금속입자들의 재중착에 의 한 것으로 판단된다.

2. 실험방법

본 연구에서는 순수 알루미늄 판재(순도 99.99%)에 Ti:sapphire 기 반 펨토초 레이저를 조사하여 알루미늄 표면에 마이크로 스케일 기둥 구조를 형성시켰다. 연구에 사용된 레이저의 중심파장 및 반복률은 각 각 800nm과 5kHz이며 사용된 펄스의 폭 및 최대에너지는 각각 33.6fs 와 1.2mJ이다. 시편에 조사되는 레이저 플루언스 제어를 위해 반파장판과 편광판을 결합하여 펄스 에너지를 정밀하게 조절하였으 며, XY 2축 스테이지 위에서 초점거리가 100mm인 plano-convex 렌 즈를 사용하여 집광하였다. 형성된 구조물들의 표면형상과 3차원 프로 파일은 주사전자현미경(SEM, scanning electron microscope)과 공초 점 레이저 주사현미경(CLSM, confocal laser scanning microscope) 을 활용하여 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

알루미늄 표면에 펨토초 레이저 유도 구조를 만들기 위해, 선형 편광된 레이저 빔을 레이저 플루언스 범위 0.23-0.39 J/cm² 로 조사하였고, 그 결과를 그림 1에 나타내었다. 앞서 언급했듯이, 사용된 범위의 레이저 플 루언스 조건에 대해 구조의 상단 표면은 거의 평평하게 나타났으며, 레이 저 플루언스와 비례하여 구조는 성장하였다.



Fig. 1 SEM images of fs laser-induced structure produced with various laser fluences at 5000 pulses of irradiation. The inset in each image indicates the central region of the irradiated spot

그림 2는 펄스 수에 따른 기둥 구조의 성장을 보여주며, 레이저 펄스 수가 증가함에 따라 높이가 증가하는 것을 볼 수 있다.



Fig. 2 Morphological profiles of fs laser-induced structures produced with various pulse numbers at a laser fluence of 0.39 J/cm². The height was measured with respect to the original surface.

Acknowledgment

This work was supported by the Technology development Program (S3193463) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea) as "Development of Eco-friendly Color Coated Steel by Femtosecond Laser".

- T.Y. Hwang, A.Y. Vorobyev, C. Guo, Formation of solar absorber surface on nickel with femtosecond laser irradiation, Appl, Phys, A 108 (2012) 299-303.
- (2) K.M. Tanvir Ahmmed, C. Grambow, A.M. Kietzig, Fabrication of micro/nano structures on metals by femtosecond laser micromachining, Micromachines 5 (2014) 1219-1253.
- (3) C.A Zuhlke, T.P.Anderson, D.R.Alexander, Formation of multiscale surface structures on nickel via above surface growth and below surface growth mechanisms using femtosecond laser pulses, Opt.Express 21 (2013) 8460.

UV-LED 광원을 이용한 NO2/SO2 가스 측정장치 개발

이성민¹, 변성용^{1,2}, 김영규¹, 이호림³, 박일화³, 김용완³, 김석민^{1,2}*

Development of NO₂/SO₂ gas detection system using UV-LED light source

S. M. Lee¹, S. Y. Byun^{1,2}, Y. K. Kim¹, H. R. Lee³, I. H. Park³, Y. W. Kim³, S. M. Kim^{1,2*}

중앙대학교 기계공학과¹, 중앙대학교 컴퓨터공학과², 제스엔지니어링³

Key Words: UV-Light-emitting diode (UV-LED), Non-dispersive ultra-violet (NDUV), Drift, Compensation

1. 서 론

질소 산회물 및 황 산회물은 화석 연료의 연소에서 배출되어 인간에 해를 끼치는 매우 유명한 화학 물질이다. 따라서 한국환경공단에서는 일정 규모의 사업장에 대해 전국적인 네트웍을 형성하여 국내 고정 대기 오염원의 관리를 진행하고 있다. 대기오염물질을 배출하는 사업장에서는 의무적으로 굴뚝 TMS(Tele Monitoring System)를 설치하여 24시간 오염물질 배출 상황을 모니 터링 및 보고를 해야 하며 그 정보는 cleansys 홈페이지에서 확인된다. 이를 위해 배출 가스를 실시간 감시할 수 있는 검출 장치 기술의 개발이 매우 중 요하다. 유해 물질이 특정 자외선 영역대의 빛을 흡수하는 현상을 이용한 NDUV(Non Dispersive Ultra-Violet) 검출 방식은 inline 측정이 가능하고 수분 에 대한 간섭이 낮아 발전소 등의 TMS에 널리 활용되고 있다. 기존의 NDUV 검출방식 가스센서는 일반적으로 단파장 UV 영역에서 강한 광량을 방출하는 중수소 램프 광원을 사용하나, 중수소 램프 광원의 짧은 수명으로 인한 잦은 교체 및 램프의 방열을 위한 복잡한 방열구조 문제가 존재한다. 최 근 단파장 UV LED의 개발이 이루어져 기존의 중수소 램프 광원을 대신하여 UV LED를 이용한 NDUV 가스센서에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [1]. 장시간 가동되는 TMS 용 NDUV 가스센서 개발에 있어 장기 신뢰성의 확보가 매우 중요하나, UV LED 광원의 열화 및 온도 영향 등으로 인한 드리 프트 현상으로 인해 장기 신뢰성 확보에 어려움이 있다.[2] 본 연구에서는 LED 광원을 이용하여 석탄, 석유 등의 화석연료가 연소할 때 배출되는 질소 산화물(NO2) 및 황산화물(SO2)의 모니터링을 위한 가스 검출 시스템의 개발 과 더불어 신뢰성 향상을 위한 드리프트 보상에 대하여 연구를 진행하였다.

2. UV LED 가스 센서 시스템 구조 설계

본 연구에서 사용된 UV LED 가스센서의 경우 특정물질의 농도에 따른 빛 의 감소를 나타내는 물리적인 법칙인 Beer-Lambert Law를 아용하였다.

 $A = \epsilon \ell c$

이 식을 통해 온도, 압력이 동일할 때 흡광도 A는 가스의 몰 흡광계수 또 는 흡수율인 ɛ, 빛의 path length인 ℓ (여기선 가스 셀의 길이) 그리고 가스의 농도 c에 비례하는 관계를 가진다는 것을 알 수 있다. 본 실험에서는 ɛ와 ℓ 은 상수이며 이는 곧 알고 있는 가스 농도에 따른 광 투과율의 curve를 통해 미지의 가스 농도를 검출할 수 있다는 의미를 내포한다.

본 논문에서 다룰 유해 가스 NO, 와 SO, (NOx/SOx) 검출을 목표로 하여 검출 시스템을 제작하였다. 광원 LED의 선정을 위해 각 가스의 흡광 스펙트 럼을 조사하였으며 그 결과 NO₂ 405 nm, SO₂ 275 nm peak 파장을 목표 광원 으로 선정하였다.



Fig. 1 Schematic of gas detection system

LED는 각각 파장이 405nm(NO₂)와 275nm(SO₂)인 것을 사용하였고 Figure 1과 같이 길이 250mm 직경 25mm인 알루마늄 Gas cell을 사용하여 Photo diode에서 빛을 측정할 수 있도록 설계하였다. 또 성능을 향상하기 위해 band pass filter를 사용하였으며 Amplifier를 아용하여 신호 값을 증폭하였다.

3. UV-LED의 드리프트 보상

개발한 가스 센서를 이용하여 가스 검출 테스트를 진행하였다. 가스는 Mass Flow Controller(MFC)를 이용하여 질소, 이산화황 (1000 ppm), 이산화질소 (1000 ppm) 가스의 유량을 조절하고 혼합하여 테스트가 진행되었으며, 검출 장치 작동 후 Input voltage와 신호 값의 calibration을 위해 임의로 장치에 들어 가는 전력을 조정하여 얻은 데이터로 calibration curve를 작성 후 보상은 작성 된 calibration curve를 통해 input voltage의 값을 검출 장치 신호 값으로 calibration한 값과 나누어 Beer-Lambert 식에 적용하여 농도를 구하였다. 가스 는 가스 농도 별 측정 값을 먼저 측정하여 가스 calibration curve를 구하고 환 경부에서 고지한 환경 측정기기 구조, 성능 세부 기준에 근거한 테스트 절차 를 구성하여 진행되었으며 각 가스의 주입시간은 5분씩 6시간동안 한 번의 사이클로 구성하였다. 최종적으로 9번, 총 54시간 동안 테스트를 진행하였으 며, Input Voltage를 이용한 보상 전과 후의 드리프트 및 성능을 평가하였다. 그 결과 보상 전 제로 가스가 주입되는 동안의 신호 값이 54시간 동안 20 ppm이 변화하지만 보상 후 5 ppm의 변화까지 줄어드는 것을 확인하였으며 직선성의 경우 보상 전 9번의 반복 테스트 중 200 ppm 가스 (측정 범위의 20%)에서 최대 6.3%값이 보상 후 최대 2.6%값으로 줄어드는 것을 확인하였 다. 직선성은 주입가스 농도와 검출 값의 오차를 주입가스 농도로 나눈 후 100을 곱하여 얻었다.

본 연구를 통해 Input Voltage를 측정하고 보상하면 LED를 이용한 측정장 치의 드리프트를 보상할 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국중부발전 현장기술개발 사업 "NOx/SOx 측정장치 핵심부품 UV 램프 센서 국산화 및 분석장치 개발"의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문 헌

(1) Higashi, R., Taniguchi, Y., Akao, K., Koizumi, K., Hirayama, N. and Nakano, Y., 2014, A NOx and SO2 gas analyzer using deep-UV and violet light-emitting diodes for continuous emissions monitoring systems, Proc. SPIE 9003, Light-Emitting Diodes: Materials, Devices, and Applications for Solid State Lighting XVIII, 90031

(2) G. C. M. Silvestre, M. T. Johnson, A. Giraldo, J. M. Shannon, 2001, Light degradation and voltage drift in polymer light-emitting diodes, Applied Physics Letters, Volume 78, Issue 11

비파괴평가기법을 이용한 구조용 복합재료의 계면 및 파괴특성 평가

권동준^{1,2*}, 양성백²

Evaluation of interfacial and fracture property of structural composites using NDE

Dong-Jun Kwon^{1,2*}, Seong-Beak Yang²

경상국립대학교 나노신소재공학부 고분자공학전공', 경상국립대학교 그린에너지융합연구소2

Key Words : Micromechanical test, Interface, Fracture, Fiber, Composites

1. Introduction

Here, we investigate the impact of thermoplastic PP fiber contents (from 25 to 75 wt%) in c-GF/PP commingled yarn on mechanical properties of the yarn itself and woven fabrics (2:2 twill) by conducting tensile, compressive, flexural, impact tests, and dynamic mechanical analysis (DMA) with different temperatures. Moreover, degree of impregnation and adhesion properties are characterized by void content, FE-SEM, and interlaminar shear strength. From the results, we finally suggest optimum composite ratios of GF and PP for high-throughput and mechanically reliable c-GF/PP composite products. By observing the change in fiber arrangement with content, the optimum composition of the GF/PP composites was investigated.

2. Experimental



Fig. 1 Schematic of manufacturing for c-GF/PP composite using commingled yarn

To prepare c-GF/PP commingled yarn, was used in combination with a GF (SE1500, Owens Corning Inc., U.S.A.) and PP fiber (30PP, Large Co., LTD., Korea) using air jet method. Diameters of PP and glass fibers are 30 um and 16 um, respectively. Figure 1(f) shows the schematic process of lamination of c-GF/PP fabrics by sandwitching the fabrics with another two PP films using a heatsealing laminator (Xperion Co., LTD, Italy) to produce the final products. To melt and cool down the lamination products, heating and cooling steps are employed during the lamination process. where 280, 260, and 240 oC for the first three rollers are applied to heat up the laminated composites, and 80 and 40 oC for the last two rollers are applied to harden the final products, respectively. The pressures between rollers are maintained at 5 MPa. Machine direction (MD) is the rolling-in-and-out direction from the machine, and transverse direction (TD) is the direction perpendicular to MD. Thickness of c-CF/PP composite is 1 mm. For mechanical tests, specimens are prepared in accordance with experiment standards (size: 300 * 300 mm, temperature: 280 °C in a closed mold, pressure: 5 MPa, duration time: 10 sec).

3. Results and Discussion

Continuous fiber reinforcements are embedded in thermoplastics to enhance mechanical strengths of the composite materials, and their application extends to parts for vehicles. In this study, we fabricated comingled yarn mixed with glass fiber and polypropylene fiber, and investigated mechanical properties and degree of impregnation of glass fibers in the composites by varying polypropylene contents. We found that the mechanical properties of the thermoplastic composites are deviated from common predictions at the PP content of 60wt%, where inhomogeneously commingled yarns start occurring, which can result in unpredictable mechanical properties of final products when the polypropylene content is ≥ 60 wt%. Dynamic mechanical analysis data confirms that the polypropylene content of ≤ 50 wt% allows for suitable plasticity and provides controllable mechanical properties to the thermoplastic composites



Fig. 2 Tensile load and width of commingled yarn with different PP wt%

4. Conclusions

The ultimate goal of development of c-GF/PP composites is to obtain well-arranged continuous GF/PP composite. In high PP content c-GF/PP composites (>60 wt% PP), however, high fluidity of PP at conditions for process of plasticity hinders maintaining structure integrity, destroying GF structures. Therefore, the optimum PP content for c-GF/PP composite production is estimated to be 50 wt% or less PP.

Acknowledgements

This work was supported by Ministry of Science and ICT, Ministry of Education, and National Research Foundation of Korea [Basic Science Research Program (RS-2023-0021194461382116530001), "Leaders in Industry-university Cooperation 3.0" Project, 1345356213 (LINC3.0-2022-11)].

References

- (1) Shin P. S., Baek Y. M., Kim J. H., Kwon D. J., 2023, The factor influencing self-sensing property of carbon fiber, Composites Science and Technology, 238, 110017.
- (2) Kwon, D. J., Kim, N. S. R., Jang, Y. J., Yang, S. B., Yeum, J. H., Jung, J. H., Nam, S. Y., Park, Y. B., Ji, W., 2021, Investigation of impact resistance performance of carbon fiber reinforced polypropylene composites with different lamination to applicate fender parts, Composites Part B: Engineering, 215, 108767.

용액원심방사법에 의한 필터용 PVAc/PP 나노섬유 제조

양성백¹, 이동현², 이용석², 남상용^{1,2}, 권동준^{1,2*}

Fabrication of poly(vinyl acetate)/polypropylene nanofibrous mat by

solution centrifugal spinning for filter application

Seong Baek Yang¹, Donghyeon Lee¹, Yong Seok Lee², Sang Yong Nam^{1,2}, Dong- Jun Kwon^{1,2*}

경상국립대학교 그린에너지융합연구소', 경상국립대학교 나노신소재융합학부²

Keywords: Poly(vinyl alcohol), Centrifugal spinning, Air-filtration, Nanofiber

1. 서 론

미세먼지 및 각종 대기오염 물질에 의한 환경오염이 진행되고 있고, 효과적 으로 여과할 수 있는 필터에 대한 필요성이 증가하고 있다. 또한 폐수에 미세 한 유적이 현탁 되어 있을 때, 이를 분리하기 위한 유수분리 장치의 관심도 증가하고 있다. 과거에는 방사(spinning) 기술의 한계로 인하여 마이크론 섬유 기반의 필터를 주로 사용하였지만, 최근에는 나노 크기의 섬유를 제조할 수 있어 나노섬유 부직포의 특성 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 전기방사 (electrospinning) 기술은 고전압으로 인한 안전성 문제 및 낮은 생산성 등이 단점으로 지적되고 있다. 그러나 원심방사 (centrifugal spinning, forced spinning) 의 경우에는 높은 생산성을 가져 차세대 나노섬유 제조법으로 주목받고 있다 [1].

본 연구에서는 폴리프로필렌 (PP) 마이크론 부직포를 기재로 하고, 용액원 심방사법을 이용하여 상단에 폴리아세트산비닐 (PVAc)을 방사함으로써, PVAc/PP 이층구조의 부직포를 제조하였다. 또한 나노섬유의 최적 조건을 확 립하고, 필터용 부품으로서의 가능성을 확인해 보았다.

2. 원심방사에 의한 나노섬유 제조 및 특성분석

나노섬유를 제조하기 위한 용액을 제조한 뒤 원심방사 장치 (Fig. 1)를 이용 하여 방사를 진행하였다. 직경이 150 mm의 방사디스크를 사용하였고, PVAc 의 농도는 5 wt.%로 용매는 에틸알코올을 사용하였다. 방사디스크의 회전속 도는 6,000 mm부터 1,000 mm 간격으로 10,000 mm까지 속도를 변화시켜 방 사를 진행하였고, 채집부에는 PP 부직포를 방사디스크와 20 mm 떨어뜨려 배 치시켰다. 채집된 이중구조의 PVAc/PP 나노섬유 부직포는 주사전자현미경을 통하여 형태를 분석하였고, 공기투과도는 ASTM D737 규격에 의거하여 평가 를 진행하였다. 또한 분진포집효율은 NaCl 에어로졸과 파라핀 오일 에어로졸 방법을 사용하였다. 6/28/2023



Fig. 1 Schematic illustration of centrifugal solution spinning system [2].

3. 실험 결과 및 고찰

용액 원심방사의 최적 섬유형성 조건을 확인하기 위하여 용액의 농도 및 방사디스크의 회전속도를 다양하게 조절하여 방사를 진행하였다. 방 사된 섬유의 형태를 분석한 결과 용융 원심방사 및 전기방사를 통한 섬 유형성 메커니즘과 상당히 유사한 경향을 보였다. 원심방사에 의한 섬유 형성 원리에 의하여 고분자 jet의 분리 및 연신이 일어나는 과정에서 원 심력에 의한 전단응력이 임계점 이상으로 작용하여 다양한 형태의 섬유 가 형성되었음이 확인되었다. 방사디스크의 회전속도가 증가함에 따라 섬유의 직경은 감소하는 경향을 보였고, 방사된 섬유의 배향도 (degree of alignment, %)는 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 방사디스크의 회전속도가 증가될수록 고분자 jet의 stretching이 증가하기 때문에 섬유의 배열 (orientation)이 증가되는 것으로 사료된다.



Fig. 2 FE-SEM images of centrifugal spun PVAc/PP nanofibrous nonwoven depend on various disk's velocities ((a) 6,000 rpm, (b) 8,000 rpm, (c) 10,000 rpm).

공기투과도의 경우에는 섬유의 직경이 감소될수록 이중구조의 섬유부직포 구조에서 점점 빽빽하게 채워지기 때문에 부직포내 기공면적이 감소하였고, 결국 공기투과도가 감소하는 것으로 사료된다. 그러나 과도한 조건에서 방사 가 진행되었을 경우 섬유의 직경이 감소하지만, 공기투과도가 증가하는 점이 발생하게 되는데, 이는 높은 회전력에 의한 강한 전단응력으로 사절이 많이 발생되어 공기투과도가 다소 증가되는 것으로 사료된다.

분집포집효율의 경우, 회전속도가 증가함에 따라 나노섬유의 직경은 감소 되고 이에 따라 분집포집효율이 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 회 전속도 9,000 ppm이상의 속도에서 방사된 나노섬유는 사절이 다소 생기거나 균일한 형태를 가지지 못하기 때문에 분집포집효율이 다소 감소하는 현상이 발생되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 원심방사법을 이용하여 나노섬유를 제조하였고, 그 특성분 석 및 필터로의 가능성을 확인하였다. 방사디스크의 속도가 증가될수록 섬유 의 직경이 감소하였고, 섬유 직경이 감소될수록 필터효율이 증가됨을 확인할 수 있었다. 현재는 체계적으로 설계된 방사장치가 다른 방사법보다 국내에 잘 구축되지 않았지만, 향후 체계적으로 설계된다면 생산속도가 높기 때문에 현 재의 나노섬유 가격을 감소시킬 수 있어 나노섬유의 대량생산화 및 경제성에 유리할 것으로 전망된다.

후 기

본 연구는 과학기술정보통신부 및 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원 [신진연구지원사업 (RS-2023-0021194461382116530001), 3단계 산학연협력 선 도대학 육성사업(LINC 3.0, 1345356213 (LINC3.0-2022-11))]을 통해 진행한 연 구결과입니다. 이에 감사의 인사를 올립니다.

- Xue, J., Wu, T., Dai, Y., Xia, Y., 2019, Electrospinning and Electrospun Nanofibers: Methods, Materials, and Applications, Chemical Reviews, 119(8), 5298.
- (2) Yang, S. B., Lee, J., Park, J. M., Jung, J. H., Kim, T. Y., Kim, K. Y., Lee, S. J., Yeum, J. H., 2022, Preparation of poly(vinyl alcohol)/polypropylene nano-filter by high speed centrifugal solution spinning. Textile Coloration and Finishing, 34(1), 20-26.

비트리머 기반의 재활용 가능한 에폭시 합성 및 특성 분석

이동현¹, 이용석¹, 양성백², 권동준^{1,2*}

Synthesis and characterization of recyclable epoxy based on vitrimer

Donghyeon Lee¹, Yong Seok Lee¹, Seong Baek Yang², Dong-Jun Kwon^{1,2*}

경상국립대학교 나노·신소재공학부 고분자공학전공¹, 경상국립대학교 그린에너지융합연구소²

Keywords : Vitrimer, Disulfide, Epoxy, Self-healing

1. 서 론

에폭시는 접착성, 내열성 및 기계적 강도가 우수하고, 주제와 경화제의 조 합에 따라 수지의 특성을 변화시킬 수 있기 때문에 접착제, 구조용 복합재료 로써 토목, 기계, 전기 등의 분야에서 다양하게 사용되고 있다. 에폭시를 포함 한 열경화성 고분자는 경량성과 우수한 기계적 특성으로 다양한 분야에서 사 용되고 있지만, 고분자 사슬과 시슬 사이의 공유결합에 의한 영구적 가교때 문에 재활용이 불가능하다는 단점을 지니고 있다.

지난 2011년 Ludwik Leibler 연구팀은 새롭게 제시한 동적 공유결합을 지닌 Vitrimer에 대해 보고하였으며, 열경화성 고분자가 지닌 정적 가교결합과 달 리 동적 가교결합을 지니고 있어 결합의 교환반응에 의해 가교결합이 재생성 된다. 이 반응에 의해 자가치유 특성을 부여하여 재료 자체의 수명을 늘리거 나 고온에서의 간단한 가공성을 부여할 수 있고, 형상기억 특성을 부여할 수 있다. 열경화성 고분자에 동적 공유결합을 지니게 하여 열경화성 고분자의 단점을 보완할 수 있다.

본 연구에서는 disulfide metathesis 방법 (Fig. 1)을 사용하여 에폭시 고분자 에 자가치유 특성, 재활용 특성을 부여하였다.





2. Disulfide 에폭시 합성 및 자가치유

본 연구에서 사용한 disulfide 작용기를 포함한 에폭시는 2,2disulfanediyldiethanol을 epichlorohydrin과 합성한 1,2-bis(2-(oxiran-2ylmethoxy)ethyl)disulfide를 사용하였고, 푸리에변환적외선분광법 (FTIR)과 핵 자기공명('H-NMR) 분석을 통해 합성됨을 확인하였다. 합성은 Fig. 2의 도식 대로 진행하였다.



Fig. 2 Synthesis scheme of disulfide epoxy.



상용에폭시에 합성된 에폭시를 첨가제로 사용하여 에폭시를 배합하였고, 아민계 경화제를 사용하여 경화시킨 뒤 자가치유 특성 분석을 진행하였다. 자 가치유 특성 분석은 상용에폭시와 disulfide 작용기가 포함된 에폭시의 비율을 조절하여 기계적 방법과 화학적 방법으로 진행하였다.

3. 결론 및 고찰

본 연구에서는 상용에폭시에 자가치유 특성을 부여하기 위하여 disulfide metathesis 방법으로 에폭시를 합성하여 첨가하였다. 자가치유 특성이 없는 상 용에폭시에 disulfide 작용기를 첨가함으로써 자가치유 특성이 발현됨을 기계 적 특성 및 형태학적 분석을 통하여 확인할 수 있었다. 그러나 자가치유 특성 은 있지만, 원재료의 성능과 비교하였을 때 다소 물성이 저하되는 것을 확인 할 수 있었다. Disulfide기는 자가치유 특성을 발현시키는 작용기로써, 후속연 구로 물성저하 없는 자가치유 발현 조건을 확립하는 연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 과학기술정보통신부 및 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원 (신진연구지원사업 (RS-2023-0021194461382116530001), 3단계 산학연협력 선 도대학 육성사업(LINC 3.0, 1345356213 (LINC3.0-2022-11)))을 통해 진행한 연 구결과입니다. 이에 감사의 인사를 올립니다.

참 고 문 헌

- Cengiz, N., 2020, Glutathione-responsive multifunctionalizable hydrogels via amine-epoxy "click" chemistry, European Polymer Journal, 123, 109441(1-7)
- (2) Ludwik. L., 2013, Vitrimers: A new class of polymer materials, Abstacts of papers of the american chemical society, 1155

초미세 발포성형품의 셀의 크기 및 밀도와 게이트 형상 간의 영향도 분석

김미진¹, 최재혁^{2*}

A study on the effect of the gate shape of mucell injection molding on cell size and density

M. J. Kim¹, J. H. Choi^{2*}

광주대학교 미래융합기술공학부¹, 광주대학교 융합기계공학과²

Key Words : Foaming injection molding, Mucell, CAE

1. 서 론

초미세 발포성형 공정은 용융 수지에 N₂, CO₂ 등 다양한 발포 가스를 이용 기포를 생성시켜 다공성의 제품을 생산하는 공정이다. 경량화에 효 과적이나 내충격성이 저하되고 표면에 Silver mark, Swirl mark 등의 외관 불량이 나타날 수 있다. 이러한 단점을 보완하고자 공정 조건 최적화 에 대한 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서는 발포 공정에서 주요 인자 인 압력과 관련이 높은 게이트 형상에 대하여 연구를 진행하였다. 대표적 으로 현장에서 많이 사용되는 게이트 5종을 선정하였고, 해석을 통해 각 게이트 별 셀의 크기와 밀도 변화를 분석하였다.

2. 발포 성형 사출 해석

대상 제품으로는 가로 210mm, 세로 205mm, 두께 2.5t의 사각 시편 을 사용하였다. 게이트의 종류는 총 5종을 사용하였으며 Fig. 1에 나타내 었다. 소재는 PP(LupolTE-5108)를 사용하였고 발포 가스는 N₂다. 용용 온도는 210도, 금형 온도는 60도, 충진 시간은 2초로 하였고, 제품 부피 의 90%가 충진된 후 발포 과정으로 넘어가도록 해석 조건을 지정하였다. 포괄적인 경향 분석을 위하여 가스 함량은 1.5, 2.5, 3.5wt%로 3가지 조 건을 사용하였다. 상용 사출성형 해석 프로그램인 Moldex3D를 이용 FIM(Foaming injection molding) 해석을 수행하였고 결과를 비교하였 다.



3. 실험 결과 및 고찰

발포율에 따른 결과를 확인했을 때 모든 게이트 형상에서 동일한 경향 이 나타났다. 발포율이 높을수록 셀의 크기는 작아졌으며 반면 셀의 밀도 는 높아졌다. 게이트 형상에 따른 결과를 확인하기 위하여 Edge gate의 결과를 기준으로 삼아 다른 게이트들과의 결과 차이를 백분율로 나타내어 Fig. 2에 표시하였다. 이때 AVG는 평균값을, SD는 표준편차값을 의미 한다. Fig. 2에 의하면 Fan gate와 Film gate에서 유의미한 차이가 발견 되었으며 특히 표준편차에서 유독 낮은 값이 나타남을 확인하였다. 이를 제품과 게이트의 접촉 면적의 차이로 인한 결과로 판단하였고, 본 내용을 검증하기 위한 추가 해석을 수행하였다.



Fig. 2 Result of injection molding analysis

Fan gate와 Filme gate 중 더 큰 차이가 나타난 Film gate를 추가 해 석 대상으로 택하였고, 제품과 게이트의 접촉 면적을 다르게 하여 3가지 의 모델링을 해석 및 비교하였다. 기존 치수를 사용한 모델링의 경우 225mm²의 면적을 지니었고, 접촉 면적은 유지하면서 게이트의 두께를 줄이고 길이를 늘려 225mm²의 접촉면적을 지니는 Case와 게이트의 두 께는 유지하면서 길이를 늘려 접촉면적이 308mm²인 Case를 추가로 모 델링하였다.



추가 해석 결과를 비교하였고 Fig. 3에 나타내었다. 셀 사이즈와 밀도 모두 평균값의 경우 1% 내외로 큰 차이가 나타나지 않았다. 표준편차의 경우 접촉 면적을 증가시켰을 때 셀 사이즈는 15.4% 감소, 셀 밀도는 22.5% 감소하였다. 결과적으로 초미세 발포 성형 공정에서 제품과 게이 트의 접촉 면적이 발포 셀의 크기와 밀도 표준편차에 유의미한 영향을 줌 을 확인하였다.

후 기

본 연구는 2023년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연 구임 [S3364180]

참고문 헌

 Cakir. S., Aycicek. M., Altun. E. and Akinci. A., 2018, *The* effect of foaming agent on mechanical and physical properties of Polypropylene, Materials Science Advanced Composite Materials, 2:1 1-7.

현장중합을 이용한 PLA수지 기반 생분해 복합재료 제조

김선주¹, 이범주¹, 김정원¹, 박현진¹, 남병욱², 최인규², 양세준², 유형민^{1*}

Manufacturing biodegradable composite material based on PLA resin using in-situ polymerization

S. J. Kim¹, B. J. Lee¹, J. W. Kim¹, H. J. Park¹, B. U. Nam², I. G. Choi², S. J. Yang², H. M. Yoo^{1*}

한국기술교육대학교 기계공학부', 한국기술교육대학교 응용화학공학과2

Key Words : In-situ polymerization, PLA, Biodegradable

1. 서 론

기존의 PLA 성형법은 수지의 높은 점도로 인해 고온 고압의 에너지요구도가 높은 성형 시스템이 필요 했다. 수지의 점도가 높아 강화 섬유 함량이 높일 경우 수지가 섬유에 제대로 함침 되지 않아 섬유 내부에 기공이 발생하는 문 제가 있었으며, 프레스 몰드 사용시 강화 섬유가 변형되어 기존 설계 물성 달 성에 어려움이 있고, 복잡한 형상 성형에 어려움이 있다. 이러한 문제를 해 결 하고자 monomer상태의 수자를 이송시켜 중합하는 현장 중합법(In-Situ Polymerization)을 사용하여 PLA 복합재료를 제작하고자 한다.

2. 실험 방법

본 PLA 복합재료 제조에는 Thermo Fisher Scientific사의 L-lactide에 Sigma Aldrich 사의 Tin(II)와 Dodecanol을 촉매와 개시제로 사용하여 개환 중합법 (opening ring polymeryzation)으로 중합 하였으며, 섬유는 Mosci사의 의 섬유 가 PLA 중합에 방해 되는 것을 방지 하기 위해 진공 건조기에서 24시간 동 안 섬유를 건조 하였다. Airtech사의 실란트 테이프(GS-213) 배깅 필름 (WL7400)등을 이용하여 VA-RTM 공정을 통해 시편을 제작 하였으며, 섬유 에 수지 이송 후 3시간동안 가열하여 수지를 중합 시켰다. 수지이송에는 PTFE를 사용 하였다. 시편 제작후 Waters Coporation사의 ACQUITY APC System 사용하여 GPC(Gel Permeation Chromatography)로 분자량을 확인 하였으며 SEM으로 함침도를 확인하였다.



Fig. 1 Experimental setup

3. 실험 결과 및 고찰







Fig. 3 SEM Image Revealing Resin Impregnation Level in Fibers

Fig. 2는 GPC를 통해 분자량을 분석한 값이며, (a)는 섬유에 있는 PLA의 분자량, (b)는 플라스크에서 중합된 PLA의 분자량이다.(b)에 비해 (a)가 낮은 분자량을 보였으며, 이는 섬유에 있는 수분이 PLA중합에 영향을 미친 것으로 사료된다. 수지 주입 전과 후를 비교 했을때 7.22g의 수지가 증가 하였고, 아래의 식으로 부피분율을 계산 하였을 때, 약 40% 섬유 부피분율을 가지는 것으로 나타났다.Fig. 3는 SEM을 통하여 섬유 함침도를 보았을 때, 가공이 적고 양호하게 함침이 것을 확인 할 수 있다.

$$\rho_{GF} = 2.7g/cc, \ \rho_{PLA} = 1.23g/cc$$

$$V_{GF} = \frac{m_{GF}}{\rho_{GF}} = \frac{8.61g}{2.7g/cc} = 3.18cc$$

$$V_{PLA} = \frac{m_{PLA}}{\rho_{PLA}} = \frac{7.22g}{1.23g/cc} = 5.99cc$$

후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.NRF-2021R1G1A1006606)

- LOUISY, Elodie, et al. Preparation of grass fabric/poly (Llactide) composites by Thermoplastic Resin Transfer Molding. *Polymers*, 2019, 11.2: 339.
- (2) SHINNO, Kazuya, et al. Solid-state postpolymerization of L-lactide promoted by crystallization of product polymer: An effective method for reduction of remaining monomer. Macromolecules, 1997, 30.21: 6438-6444.

Carbon Black 첨가에 따른 액상 실리콘 고무의 기계적 특성 및 경화 거동

이범주, 김선주, 김정원, 박현진, 안지수, 유형민^{*}

Mechanical properties and curing kinetics of liquid silicone rubber filled with carbon black

B. J. Lee, S. J. Kim, J. W. Kim, H. J. Park, J. S. Ahn, H. M. Yoo*

한국기술교육대학교 기계공학부

Key Words : Liquid silicone rubber, Carbon black, Mechanical properties

1. 서 론

액상 실리콘 고무(LSR)는 우수한 열적 적합성을 가지며, 양호한 유동성으 로 제품 구현이 용이하여 의료, 자동차 등 다양한 분야에서 널리 사용되고 있 다. 최근 유연 센서의 개발이 진행되면서 전도성 탄성체 제조에 초점이 맞춰 지고 있으며, 탄성 재료로는 실리콘과 같은 탄성체가, 전도성 상을 부여하는 나노 재료로는 Carbon Black, CNT 등이 주로 사용되고 있다. 특히 실리콘은 기계적 강도와 내유성이 다른 고무 대비 낮은 특성을 가지고 있어 이를 보강 하기 위하여 LSR에 Carbon Black을 첨가하였고, 복합체의 물성을 파악하기 위하여 기계적 거동 및 경화 거동을 측정하고 분석하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 사용 재료로 LSR은 KCC-SL7270을, Carbon Black은 Sigma Aldrich-1333 86 4를, 용매로는 Toluene을 사용하였다. LSR B용액에 Toluene용 매를 이용하여 Carbon Black을 분산시킨 후 LSR A 용액과 1:1 배합비로 시편 을 제작하였다. 시편 제작 시 Qmesys社의 Hotpress QM900A를 이용하여 170°C, 25min의 조건으로 제조하였다. 시험은 ASTM 규격에 따라 (ASTM D-395, ASTM D-695, ASTM D-471) 영구압축줄음 시험, 압축 시험, 팽윤 시험을 진행하였고, DSC 측정을 통한 경화 거동을 관찰하였다.



Fig. 1 Experimental samples





Table 1 Swelling ratio and Compression Set results

Туре	24h Swelling ratio Q%	24h Compression Set C%
CB 0wt%	4.51	4.04
CB 0.5wt%	3.14	4.71
CB 1.5wt%	2.96	5.05
CB 3wt%	3.05	5.72

Table 2 Swelling ratio and Compression Set results

Туре	DSC Enthalpy
CB 0wt%	8.0554J/g
CB 0.5wt%	8.1021J/g
CB 1.5wt%	8.2844J/g
CB 3wt%	8.4540J/g

압축시험 결과, Carbon Black을 첨가할수록 탄성계수가 증가하는 경향을 보 였다. 팽윤 시험과 영구압축줄음 시험을 진행하였을 때, Carbon Black의 험량 이 증가할수록 팽윤율이 감소하는 경향을 보였고, 영구압축줄음은 증가하는 경향을 보였다. 팽윤율의 감소를 통해 내유성이 증가하였고, 영구압축줄음의 증가로 영구적 탄성 회복력은 감소했다는 점을 알 수 있었다. 또한 DSC 측정 을 통하여 Carbon Black 험량이 증가할수록 총반응열량이 소폭 증가한다는 점을 알 수 있었다. 이는 Carbon Black이 LSR의 가교에 관여하여 가교밀도를 상승시키고, 내유성 보강에 긍정적인 영향을 미친 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 중소벤처기업부의 2022년도 중소기업기술혁신개발사업 (과제번 호 : S3269454) 지원을 받아 수행 된 연구결과 입니다.

- Mostafa, Ahmed, et al. Effect of carbon black loading on the swelling and compression set behavior of SBR and NBR rubber compound s. *Materials & Design*, 2009, 30.5: 1561-1568.
- (2) Kumar, Vineet, et al. Silicone rubber composites reinforced by carbon nanofillers and their hybrids for various applications: A revie w. *Polymers*, 2021, 13.14: 2322.
- (3) Song, Pan; Song, Jianan; Zhang, Yong. Stretchable conductor based on carbon nanotube/carbon black silicone rubber nanocomposites with highly mechanical, electrical properties and strain sensitivity y. Composites Part B: Engineering, 2020, 191: 107979.

연속탄소섬유를 적용한 충격 흡수 구조체 제작 및 성능 평가

허진명¹, 박민서¹, 신정민¹, 임채현¹, 정지호¹, 조락균^{1*}, 김충수²

Development of reinforce regular hexagonal - honeycomb (RRH-H) structure for energy absorber

J. M. Heo¹, M. S. Park¹, J. M. Shin¹, C. H. Lim¹, J. H. Jung¹, N.-K. Cho^{1*}, C. S. Kim²

서울과학기술대학교 Manufacturing Systems and Design Engineering학과¹, 한국생산기술연구원²

Key Words: CFRP, Anisoprint, Specific energy absorption, Reinforce regular hexagonal - honeycomb (RRH-H) structure

1. 서 론

현대 산업환경에서의 안전 요구 사항 증가에 따라 충격 및 파손을방지하기 위한 충격 흡수제의 개발 연구가 활발하게 진행되고 있다[1]. 본 논문에서는, 보강 정 육각 벌집(RRH-H)[2] 형태의 충격 흡수 구조채를 동 부피내 단위 셀 의 길이를 변화시키며 충격 흡수 성능을 비교하였다. RRH-H 구조체는 탄성 과 복원력이 뛰어난 TPU(Thermoplastic polyurethane) 재료를 사용하여 3D printer를 활용해 제작하였다. RRH-H 구조체의 거동 및 충격 에너지 흡수 성 능을 압축 실험과 FEA를 통해 비교 및 검증하였다. 또한, 연속탄소섬유 (CFRP: Continuous Fiber Reinforced Polymer)의 부피 분율을 다르게 적용하여 충격 에너지 흡수 성능을 비교함으로써 충격 구조체를 최적화하였다.

2. 압축 실험 및 FEA

Anisoprint A4 3D printer[1]로 제작된 RRH-H 구조체를 Salt사의 ST-1001(20 kN) 만능 시험기를 사용하여 압축 실험을 진행하였다. Fig. 1 (a)은 RRH-H 구 조체의 단위 부피와 높이, 두께, 셀 길이의 수치를 보여준다. 단위 셀의 길이 를 5, 10, 15 mm로 나누어 설계하여 구조체의 밀도를 변화시켰다. 또한, 상용 CAE 프로그램 ABAQUS를 사용해 준 정적(Quasi-static) 압축 상황에서의 FEA를 수행하였다. Fig. 1 (b)은 FE 모델을 보여주고 있으며, 실험과 동일한 조 건을 구성하기 위해 강체 판을 위, 아래로 구성하여 준 정적 해석을 진행하였다.



Fig. 1 (a) Dimension and (b) FE Model of RRH-H Structure

3. 실험 결과 및 고찰

RRH-H 구조체의 압축 실험과 FEA를 통해 힘-변위 그래프를 얻었고, 이를 사용하여 단위 질량 당 에너지 흡수량(SEA: Specific Energy Absorption)를 계산하여 각 구조체의 무게와 함께 Table 1에 나타내었다. CFRP를 적용한 구조체는 CFRP 부피 분율에 따른 에너지 흡수량을 Table 2에 나타내었다. 또한, 최대 압축 시 구조체의 압축 거동과 FEA 해석 결과 를 Fig. 2에 나타내었다.



Fig. 2 Compression Test and FE Predicted Behavior of RRH-H Structure

Table 1과 같이, RRH-H 구조체의 단위 셀의 길이가 줄어들수록 SEA가 향상되었다. CFRP를 추가한 구조체의 경우, Table 2와 같이 기존 RRH-H 구조 체와 무게는 동일하지만 SEA는 최대 25 % 향상되었다. 또한, CFRP의 부피 분율이 증가할수록 SEA가 증가함을 확인하였다.

Table 1 Mass and SEA Comparison of RRH	-H Structures
--	---------------

	L20		L15		L10	
	EXP	FEA	EXP	FEA	EXP	FEA
Mass (g)	30		43		70	
SEA (J/g)	0.514	0.495	0.739	0.690	1.120	1.190

Table 2 Mass and SEA Comparison of CFRP Structures

	L20_M_05		L20_M_10		L20_M_15	
	EXP	FEA	EXP	FEA	EXP	FEA
Mass (g)	30		30		30	
V_{f} (%)	5		10		15	
SEA (J/g)	0.520	0.558	0.594	0.606	0.554	0.661

본 논문에서는, RRH-H 구조체의 셀의 길이에 따른 SEA를 평가하여, 요구 되는 충격 흡수 성능에 맞게 구조체의 밀도를 선택할 수 있는 기준을 제시하 였다. 또한, CFRP를 RRH-H 구조체에 적용하였을 때, 동일한 무게 조건에서 향상된 충격 흡수 성능을 보여주었다.

- Johnstonand Kazancı, Z.R. (2021). Analysis of additively manufactured (3D printed) dual-material auxetic structures under compression. Additive Manufacturing, 38, p.101783. https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101783.
- [2] HeMa, D., Zhang, Z. and Yao, L.Q., (2015). Mean compressive stress constitutive equation and crashworthiness optimization design of three novel honeycombs under axial compression. International Journal of Mechanical Sciences, 99, pp.274–287. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2015.05.021.
- [3] Anisoprint. (2020). Desktop Anisoprinting. https://anisoprint.com/solutions/desktop/.

자성소재의 3D 프린팅(PBF)의 활용에 관한 연구

김우종^{1*}, 이재욱², 정효연², 이수봉¹, 이창빈¹

A study on the use of 3D printing (PBF) in magnetic materials

W. J. Kim^{1*}, J. W. Lee², H. Y. Jeong², S. B. Lee¹, C. B. Lee¹

㈜ 대건테크¹, 한국생산기술연구원²

Key Words : Micro endmilling, Acoustic emission, Surface texture

1. 서 론

자성 소재를 활용하려는 다양한 방법 중 최근에는 3D 프린팅을 활용 하여 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 연 자성 소재인 구리 소재를 활 용한 다양한 부품이 제조되고 있다. 본 논문에서는 연 자성 소재인 구 리 부품을 3D 프린팅으로 출력하여 형상의 자율성과 구리 브레징에서 볼수 없는 기계적 물성치에 대한 접근을 통해 새로운 구리 부품의 제조 생산 방법을 개발하고자 한다.

2. 자성소재 3D 프린팅 제조 실험

본 3D 프린팅 장비를 사용하여 실험에 사용된 연자성체 구리 분말의 경 우 구리 함유량이 99.00이상%의 구리 분말을 중심으로 대건테크 3D 프 린터 장비인 M13Cu를 사용하여 실험을 하였다. 일반적으로 사용되는 fiber 레이저를 사용하였고 레이저의 출력은 1,000W 출력의 레이저를 사 용하였으며 한 레이어 간의 간격은 50/m의 3D 출력조건인 레이저 출력과 해칭거리, 스캔 속도 등의 변수를 주어 가장 안정적인 출격을 할 수 있는 조건을 찾아서 출력을 하였으며 출력 이후에는 열처릴 등을 거쳐 직접 고 주파 제조 장비에 탑재하여 성능 시험을 하였다



Fig. 1 Experimental setup

3. 실험 결과 및 고찰

3D 프린팅의 구리 부품의 최적의 출력을 위해 다음과 같은 결과를 얻었다.

큐브 시편을 제작의 분석을 통하여 에너지 밀도에 따른 CT 촬영를 통한 내구 기공 확인을 하였으며 전자 현미경을 통한 표면 및 표면 조도를 확인 하여 구리 분말의 적층제조 값을 확인 구리적층의 부품과 가공 용접 이후 제품의 고주파 발생기의 제조 2장비 부품 수명 비교확인

Table	1	3D	printed	specimen	output	conditions

	-		-	-	
	Layer thickness	Hatching distance	Laser power	Scan speed	Energy densit
A			580 W	550 mm/s	292.9 J/mm ³
В	20	120	600 W	550 mm/s	303.0 J/mm ³
с	- 30 μm	120 μm	580 W	600 mm/s	268.5 J/mm ³
D			600 W	600 mm/s	277. 8 J/mm



Fig. 2 Cube specimen surface



Fig. 3 CT scan of a specimen

참고 문 헌

 M. C. Kang 2023High-Thermal Conductivity Copper Lamination Technology, 3D Printing Research Association Newslette 23-01

Interlocking 구조의 연자성 소재 결합성 평가 및 시뮬레이션

김예림^{1,2}, 김은아², 이학성^{3*}

Additive manufacturing and simulation of interlocking structures in Fe-based soft-magnet materials

Y. R. Kim^{1,2}, E. A. Kim², H. S. Lee^{3*}

한국재료연구원 분말연구본부¹, 부산대학교 재료공학부², 동아대학교 신소재공학부³

Key Words : Additive manufacturing, Soft magnet, Interlocking structure

1. 서 론

금속 3D 프린팅 기술은 다양한 형상을 자유롭게 제작할 수 있어 최 신 제조기술로 주목받고 있다. 특히, 차세대 자동차의 등장으로 모터 등의 자성 부품 생산에 활용하고자 하는 연구가 진행되고 있고, 고밀 도를 유지하면서 철손 감소를 위한 절연층 구조 설계 및 제작 기술이 필요하다. 2개 이상의 부품을 결합시는 interlocking구조는 후공정을 통해 고밀도, 저철손을 달성할 수 있지만, 적층제조 중 발생하는 열변 형, 표면조도 저하 등으로 인해 결합 가능성을 평가할 필요성이 있다. 본 연구에서는 interlocking 구조 제작 및 결합성 테스트를 수행하고, 적층제조시뮬레이션과 연계하여 살펴보고자 한다.

2. Interlocking 구조 적층제조 및 시뮬레이션

본 실험에서 아래의 모델 interlocking 구조를 연결부위의 두께에 따라 6종(0.5mm~1.0mm까지 0.1mm간격)으로 Concept Laser M2 장비를 사용하여 그림 1과 같이 제작하였다. 적층제조 방향을 Build Plate에 수평인 방향과 수직인 방향으로 만들어 균일한 힘을 줄 수 있 는 전용 지그를 제조하여 결합테스트를 수행하여 두께 별로 결합여부 를 정성적으로 측정하였다.

또한, 유한 요소법을 이용한 상용 적층 시뮬레이션(Autodesk Netfabb LocalSimulation)을 통해서 적층방향에 따른 열변형을 예측 하여 적층방향에 따른 결합방향에 영향을 미치는 변형량을 정량적으 로 계산하였다.



Fig. 1 Modeling of interlocking structures and their additive manufacturing

3. 실험 결과 및 고찰

연결부위의 두께가 다른 6종의 시편을 2가지 적층제조 방향으로 총 12개의 interlocking 구조를 제작하여 결합 테스트를 수행하여 그림2 에 적층제조 방향별로 결합결과를 정성적으로 정리하였다.

a)								(b)							
289	t	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	20123	t	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
	0.5	0	0	0	0	0	0		0.5	0	0	0	0	0	0
	0.6	0	0	0	0				0.6	0	0	0	0	0	0
	0.7	0	0	0	0	X	X		0.7	0	0	0	0	0	0
	0.8	0	0	0	х	х	X		0.8	0	0	0	0	0	х
	0.9	0	Δ	X	х	х	X		0.9	0	0	0	0		х
	1.0	0		X	х	X	X		1.0	0	0	0	х	X	х

Fig. 2 Joinability test of interlocking structures: (a) a parallel and (b) perpendicular to the build plate



Distortion structure (Scale Factor: x10)

Fig. 3 Simulations of the distortion in connecting arm as function of thickness manufactured in parallel to the build plate



Fig. 4 Simulations of the distortion in perpendicular to the build plate

결합 구조에서 Build plate에 수평으로 제작한 경우에는 연결부위가 0.1mm 이내에서 열변형으로 인해서 뒤틀림이 생기는 방면 수직으로 제작하면 연결 부위는 균일한 방향으로만 변형이 일어난 것을 시뮬레 이션을 통해서 알 수 있다. 이러한 계산 결과는 모델 실험과 일치되는 결과를 도출할 수 있으며, 수직으로 제작하는 경우에는 연결부위가 생 성될 때 적층제조 단면적이 수평으로 제작하는 경우보다 작아 균일한 변형이 발생된 것으로 판단된다.

기존의 절삭가공과 마찬가지로 제조 방법에 따라 정밀한 형상 제어 가 필요한 경우에는 적충제조 방향, 레이저 파워, 스캔 스피드 등 공정 변수에 따라 변형량을 예측하고 최적화를 시킬 필요가 있다. 본 발표 에서는 변형량 최적화를 위한 시뮬레이션과 모텔 실험을 소개하고자 한다.

- Chaudhary, V, Mantri, S.A, Ramanujan, R. V, Banerjee, R, 2020, Additive manufacturing of magnetic materials, Progress in Materials Science, 114, 100688.
- (2) Goll, D, Schuller, D, Martinek, G, Kunert, T, Schurr, J, Sinz, C, Schubert, T, Bernthaler, T, Riegel, H, Schneider, G, 2019, *Additive manufacturing of soft magnetic materials and components*, Additive Manufacturing, 27, 428-439.

레이저 적층 제조 공정으로 제조된 고규소 철강 소재의 집합조직 평가

이한솔¹, 최준필², 이학성³, 김예림⁴, 김종렬^{1*}

Evaluation of texture in high silicon steel manufactured by laser additive manufacturing

H. S. Lee¹, J. P. Choi², H. S. Lee³, Y. R. Kim⁴, J. R. Kim^{1*}

한양대학교 재료화학공학과¹, 한국기계연구원², 동아대학교³, 한국재료연구원⁴

Key Words : Laser additive manufacturing, High silicon steel, Texture

1. 서 론

적층 제조 공정의 장점 중 하나는 주조 등 기존 야금학적 제조 공정 비 해 형상에 대한 제약이 매우 적다는 데에 있다. 따라서 적층 제조 공정을 이용한다면 전기차나 로봇의 핵심 부품인 모터에서 더 높은 출력과 효율 을 갖는 구조를 상대적으로 쉽게 구현할 수 있으므로, 기존의 2D형상에서 axial 모터와 같은 형태의 구현이 가능하다.

모터에 사용되는 대표적 연자성 소재는 Fe-Si 합금이다. 이 합금의 자성 특성은 결정 방위에 매우 민감한 것으로 알려져 있다. 따라서, 사용조건에 따라서 압연 공정과 열처리 공정을 통해 cube 혹은 goss 집합조직을 제조 하여 모터 특성 향상에 크게 공헌하고 있다. 그러나, 형상 이방성 부여를 위하여 적층 제조 공정을 통해 제조된 Fe-Si 소재의 경우 집합조직에 관한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 고규소 Fe-Si 합금을 레이저 적층 제조 공정을 통해 제조 하고 레이저 조사 속도와 레이저 출력을 다양하게 변화시켰을 때 나타나 는 집합조직의 변화를 관찰하였다.



2. 실험 방법

선택적 레이저 용융법(selective laser melting)을 통해 Fe-65 wt % Si분말 소 재를 1 cm x 1 cm x 1 cm 크기로 조형하였다. 대표적인 공정 변수와 레이저 조 사 전략을 Fig. 1에 나타내었다. 선 에너지(E)는 레이저 출력을 레이저 조사 속도로 나눈 값이다. 공정 중 레이어 두께(layer thickness)와 해치 간격(hatch space)은 각각 40 (m와 80 (m으로 고정하였다. 조형체의 집합조직을 평가하 기 위하여 관찰면을 SiC를 이용하여 연삭 후 진동연마기를 통해 최종 연마하 였다. 멜트풀과 미세조직을 관찰하기 위하여 연마된 시료를 나이탈 에칭하 였다.

3. 실험 결과 및 고찰

15 개의 시료에 대해 각각의 멜트풀 크기와 집합조직 분석을 수행한 결과, 멜트풀의 깊이(d) 대 너비(w) 비율(d/w)과 이 때의 레이저 조사 속도(v)와의 조합이 시료가 갖는 우선 배향을 결정하는 중요한 인자임을 확인하였다.

Fig. 2는 시료가 갖는 결정학적 방위과 멜트풀을 분석한 결과이다. (d/w)/v 의 값이 높을 때 조형체는 적층 방향(BD)을 따라 (111) 면의 우선 배향을 나 타내었다. 이는 결정 성장이 멜트풀의 중심을 향해 45도의 각도를 이루며 성 장한 결과이다. 그런데 주목할 점은 멜트풀 우측에 위치하는 결정은 결정학 적으로 쉬운 성장 방향인 <100>이 아닌 <110> 방향으로 성장하였다는 것이 다. 이는 바로 이전 레이어에 만들어진 멜트풀의 좌측 결정의 결정 방위를 따 라 에피택시얼 성장(epitaxial growth)한 결과로 판단된다. 따라서 적층 제조 공정에서 특정 집합조직이 형성됨에 있어서 온도 구배뿐 만 아니라 인접 멜 트풀 간의 기하적인 관계가 매우 중요함을 시사한다. 반면 (d/w)/v의 값이 낮을 때 조형체는 적층 방향을 따라 (100) 면의 우선 배향을 보여주고 있다. 이 때 결정 성장 방향은 멜트풀 중심을 향해 수직 혹은 평행하였으며 쉬운 성장 방향인 <100> 방향과 일치함을 확인하였다.



Fig. 2 texture and melt-pool structure for 4 different samples



Fig. 3 texture window as function of (d/w) and \boldsymbol{v}

Fig. 3은 각 시료의 d/w 값을 v의 함수로 표현한 도표이다. 도표 내에서 시 료가 갖는 집합조직에 따라 (110)과 (100), 이 둘의 혼합 영역 총 세 영역으 로 표현할 수 있었다. d/w가 약 0.4이고 v가 800~1000 mm/s일 때 아주 강 한 cube 집합조직을 얻을 수 있었다.

참고 문 헌

 Garibaldi, Michele, et al. "Metallurgy of high-silicon steel parts produced using Selective Laser Melting." Acta Materialia 110 (2016): 207-216.

3D 프린팅 적용 축방향 모터 설계 연구

표현조, 홍민기, 이예서, 김원호*

Design of axial flux motor using 3D printing

H. J. Pyo^{*}, M. K. Hong, Y. S. Lee, W. H. Kim^{*} 가천대학교 전기공학과

Key Words : 3D printing, 3D printing motor, Axial flux motor

1. 서 론

최근 3D 프린트 시장이 확대됨에 따라 3D 프린트를 활용하여 많은 구성품들이 제작되고 있다. 3D 프린트의 장점으로는 다품종 소량 생 산이 가능하다는 것이다. 기존 소품종 대량 생산의 산업에서 변화가 이루어지고 있으며, 필요한 물품을 바로 생산 할 수 있는 3D 프린트 기술이 각광받고 있다. 3D 프린트를 활용한 모터의 경우 기존 전기강 판을 적층하여 설계를 진행하는 radial flux 모터에서 적층 강판 활용 이 힘들고 제작이 용이하지 않은 axial flux 모터에 적용이 유의미한 결과를 나타낸다. Axial flux 모터의 경우 기존 radial flux 모터 대비 높은 토크 및 출력 밀도를 보여주지만 제작 시 어려움이 있어 흔히 사 용되지 않는 단점이 있다. 따라서 소품종 대량 생산에 유리한 3D 프린 트 기술을 활용하여 모터를 설계 하면 정밀한 제작이 가능하여 axial flux 모터 설계 시 단점을 보완할 수 있는 장점이 있다. 하지만 3D 프 린트 적용 가능한 연자성 재질의 경우 철손 특성이 기존 SMC에 적용 되는 somaloy 재질 대비 매우 높다. 따라서 본 논문에서는 3D 프린팅 을 활용하여 모터 설계 시 철손을 저감하는 방안에 대한 연구를 진행 하였다 [1],[2].

2. 3D 프린팅 모터 재질에 대한 연구

Fig. 1의 coreloss data 특성을 보면 자속포화밀도가 높아짐에 따라 손실 비율이 커짐을 볼 수 있다. 부하 시 모터의 포화밀도는 대략 1.5[T] 정도이며 200[Hz]의 경우 1.4[T]에서 철손은 기존 Somaloy 대비 3배 높고 400[Hz]의 경우 5.5배가 높은 것을 알 수 있다. 3D 프 린팅 가능 재질의 경우 주파수가 커질수록 불리한 구조이며 이에 따라 재질의 특성을 고려하여 극수 및 슬롯수 조합을 선정해야 한다. 고정 자 코어의 포화가 철손에 영향을 주기 때문에 치 포화를 풀어주는 연 구를 진행해야 한다.



Fig. 1 Somaloy and 3D Printed Core Coreloss Data

3. 3D 프린팅 적용 철손 저감 AFPM 모터 설계 및 결론

Axial flux 모터의 철손 저감 가능한 구조를 연구하기 위해 극 수 슬 롯 수 조합을 확인해야 한다. Axial flux 모터의 경우 치 집중권으로 권 선을 감을 수 있는 극 슬롯 수의 구조를 가져간다. 예를 들면 8극 12슬롯 (2:3) 또는 16극 12슬롯(4:3)과 같이 치 집중 구조로 권선을 감을 수 있 는 구조를 사용한다. 극수 슬롯 수에 다른 권선 계수를 Fig. 2에 나타낸 다. 철손 저감을 위해 극 슬롯 수 조합 중 극수가 적으며 슬롯 수가 가장 적은 8극 9슬롯으로 axial flux 모터 설계를 진행하였다.

극수/슬롯수	6	9	12	15	18
4	0.866				
6		0.866			
8	0.866	0.945	0.866	0.621	
10	0.5	0.945	0.933	0.866	0.647
12		0.866			0.866
14	0.5	0.617	0.933	0.951	0.902
16	0.866	0.328	0.866	0.951	0.945
18					
20	0.866	0.328		0.866	0.945
22	0.5	0.617		0.621	0.902
24		0.866			0.866

Fig. 2 Winding Factor of Poles / Slots Combination Table 1 Comparison target and design motor performance

		Target	3D Printing	
No-Load @1,000 rpm	Phase EMF [Vrms]	4.16	4.49	
Load	Input Current [Arms]	12.4		
@3,750 rpm	Torque [Nm]	1.46	1.39	

3D 프린팅 적용 가증 재질의 철손 특성을 고려하여 적은 극수 선정을 통해 철손 주파수를 줄이는 방향으로 극 슬롯 수를 선정했다. Fig. 3은 target 모터와 3D 프린팅 적용 모터의 부하 시 포화자속 밀도를 보여준 다. Table 1은 타겟 모터와 설계 모터의 성능을 보여준다.



Fig. 3 Comparison of Target and 3D Printing Motor magnetic Flux Density

3D 프린팅 활용 모터 설계 시 철손 저감이 중요하며 이에 따라 철손 저감이 가능한 극 슬롯 수를 선정하여 3D 프린팅 활용 axial flux 모 터를 설계하였다. 8극 9슬롯의 치 집중권 구조의 AFPM모터를 설계 하였고 동일 부피에서 목표 500[W] 급 모터를 설계 하였으며 모터의 성능을 FEA를 통해 검증하였다.

- B. Scheerlinck, "3-D Eddy current and fringing-flux distribution in an axial-flux permanent-magnet synchronous machine with stator in laminated iron or SMC", IEEE Trans on Mag, vol. 51, Nov 2015
- (2) Xiaoguang Wang, "Iron Loss and Thermal Analysis of High Speed PM motor Using Soft Magnetic Composite Material", Electrical Machines and Systems (ICEMS) 2019 22nd International Conference on, pp. 1-4, 2019

L-PBF 공정에서 제약조건 샘플링을 이용한 순차적 최적화 프레임워크

최준필¹, 송병욱^{1,2}, 이필호¹, 정민교¹, 송여울¹, 신동운¹, 김용래¹, 허세곤¹, 이창우¹, 하태호^{1*}

Sequential optimization framework using constrained sampling in L-PBF process

J. P. Choi¹, B. U. Song^{1,2}, P. H. Lee¹, M. K. Jung¹, Y. U. Song¹, D. Shin¹, Y. Kim¹, S. G. Heo¹, C. W. Lee¹, T. Ha^{1*}

한국기계연구원 3D프린팅장비연구실¹, KAIST 기계공학과²

Key Words : L-PBF, Selective laser melting (SLM), Process modeling, Optimization of process parameter

1. 서 론

L-PBF 공정 내에서 공정 조건의 조합에 따라 출력물의 성능에 영향을 미 치기 때문에 최적의 공정 조건을 찾는 연구가 많이 진행되었다. 최적화는 많 은 실험 비용을 요구하기 때문에 필요한 샘플 수를 줄일 수 있는 최적화 방 법에 대한 연구들이 진행되고 있다. 본 논문에서는 시편성능을 최적화하기 위 한 순차적 최적화 방법을 제안하고 Fc-4.5Si 소재에 대해 제안된 방법을 평가 한다. 제안된 방법에서는 큐브의 밀도를 만족시키는 공정영역에서 제약조건 샘플링 방법을 이용해 보다 적은 수의 자성 시편으로 최적의 공정조건을 찾 을 수 있음을 보여준다.

2. 실험 조건

본 논문에서는 성능 측정을 위해 큐브와 토로이드 시편이 사용되었다. 여기 서 큐브는 상대밀도를 측정하기 위해, 토로이드 시편은 자성특성을 측정하기 위해 제작되었고, 각각 아르키메데스 밀도측정방법, B-H 분석기를 통해 성능 이 측정되었다. 공정 변수는 L-PBF에서 주요 공정 변수로 알려진 레이저 파 워(Laser power), 스캔 속도(Scan speed), 해치간격(Hatch distance)를 사용하였고 아들의 범위는 Table 1에 나타내었다. M2 GE Additive 장비를 통해 시편은 제 작되었으며, 레이어 두꺼(Layer thickness) 및 충별 스캔 회전각도는 50 µm, 90° 로 고정되었다.

Table 1 Range of process parameters

	Range		
Laser power (W)	50 ~ 370		
Scan speed (mm/s)	800 ~ 2800		
Hatch distance (µm)	50 ~ 150		

3. 순차적 최적화 프레임워크

자성특성 측정 데이터의 획득은 일반적으로 상대밀도 측정보다 비싼 비 용을 요구하기 때문에, 적은 횟수의 토로이드 시편 제작을 위한 순차적 최 적화 프레임워크를 제안한다. 먼저 전체 공정조건 영역에서 큐브 샘플 제 작을 위한 실험계획법(Design of experiment, DoE)을 진행한다. 총 100개의 큐브가 제작되었고 이 결과를 바탕으로 가우시안 프로세스 회귀(Gaussian process regression, GPR) 모델을 만들어 상대밀도가 95%가 넘는 공정 조건 영역을 확보한다. 그 다음 제약조건 샘플링 방법을 사용해 토로이드 시편 제작의 DoE를 진행한다. 여기서는 50개의 토로이드 시편이 제작되었다. 토로이드의 자성 특성 데이터가 얻어지면 자성 특성에 대한 GPR 모델을 만들고 최종적으로 다목적 최적화를 수행하게 된다. Fig. 2는 제안된 최적화 프레임워크를 도식적으로 나타낸다.



Fig. 2 Proposed sequential optimization framework

4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 3(a)와 (b)는 각각 큐브의 높은 상대밀도를 보장하는 영역 및 토로이드 의 높은 상대밀도를 보장하는 영역과 자성특성의 최적의 공정조건을 나타낸 다.



Fig. 3을 통해 형상이 비교적 단순한 큐브의 상대밀도를 만족시키는 영역이 보다 넓음을 알 수 있다. 또한, 제안하는 방법을 통해서 공정 조건의 사전 정 보가 없는 재료인 Fe4.5Si의 공정조건을 효율적으로 선택할 수 있음을 보여 준다.

- Oliveira, João Pedro, A. D. LaLonde, and J. Ma., 2020, Processing parameters in laser powder bed fusion metal additive manufacturing, *Materials & Design* 193, 108762.
- (2) Mutua, J., Nakata, S., Onda, T., and Chen, Z. C., 2018, Optimization of selective laser melting parameters and influence of post heat treatment on microstructure and mechanical properties of maraging steel. Materials & Design, 139, 486-497.
- (3) Goll, D., Schuller, D., Martinek, G., Kunert, T., Schurr, J., Sinz, C., and Schneider, G., 2019, Additive manufacturing of soft magnetic materials and components, Additive Manufacturing, 27, 428-439.

FDM 3D 프린팅 유연센서 고찰

이선곤*

A study on FDM 3D printing flexible sensors

S. K. Lee*

인하대학교 기계공학과

Key Words : 3D printing flexible sensor, Printing bending sensor, Printing strain sensor

1. 서 론

인간의 편리성 향상을 위한 유연전자 디바이스(flexible electronic devices)는 다양한 분야에서 연구와 개발이 이루어지고 있다.

유연전자 디바이스는 구부릴 수 있으며(bendable), 신축이 가능하고 (stretchable), 말을 수 있으며(rollable), 접을 수(foldable) 있어야 하 며 궁극적으로 입을 수(wearable) 있어야 한다.

본 논문에서는 다양한 유연전자 디바이스 중 제작이 간단하고 직관 적 판단이 가능한 웨어러블 유연 센서의 FDM(Fused Deposition Modeling) 3D-프린팅 제작으로 그 성능을 고찰하고자 한다.

이는 FDM 3D-프린팅 활용 범위를 단순한 구조체의 제작에서 벗 어나 다양한 응용분야 확대로 FDM 3D-프린팅 활성화에 기여하기 위함이다.

2. FDM 3D 프린팅 유연 센서

3D-프린팅 유연굽힘센서의 원리는 전도성 카본블랙(carbon black) 인 Natureworks 4043D 전도성 PLA (conductive PLA)로 프린팅 된 박판(thin plate) 전극의 전기저항특성을 이용하여 센서의 변위를 측정 하는 원리이다.

3D프린팅 전극은 취성(brittleness)의 특성을 지니고 있어 전극의 변 위를 지지하기 위하여 유연한 폴리우레탄으로 전극의 지지체를 구성 하였다. Fig. 1은 FDM 3D-프린팅 유연센서의 제작과정 중 밴딩 테스 트를 위한 유연센서 제작과정을 나타낸 것이다.



Fig. 1 Fabrication of 3D-Printing flexible sensor

실험 결과 및 고찰

Fig. 2는 3D-프린팅 유연센서의 반복 밴딩 실험 결과를 나타낸 것으 로 3D-프린팅 유연굽힘센서의 10mm 중앙부위 굽힘 및 복귀 5회 반 복실험 결과이다. 굽힘 변위에서 전기저항은 Hilbert curve 전극센서 가 Straight curve 전극센서 보다 낮은 값을 나타내고 있다. 이는 FDM 3D-프린팅 공정에서 고온 압출노즐의 연속적인 움직임 거리가 Hilbert curve 보다 Straight curve 전극이 길기 때문에, 고온압출과 상온적층(급냉)에 의한 폴리머 결정입자 불안정성이 Straight curve 전극 센서가 크기 때문이다.

Fig. 3는 3D-프린팅 유연센서의 스트레칭 반복 테스트 결과를 나타 낸 것이다.



Fig. 2 10mm Bending displacement - Resistance curve



Fig. 3 Strain displacement - Resistance curve

Fig. 3은 길이 방향에 대한 스트레칭 유연 센서의 성능 그래프이다. 유연 센서를 자체 길이 대비 25% 증가와 1초 대기 그리고 복귀 10회 반복실험 결과이다. 센서의 변위 곡선과 전기저항 변화 그래프는 서로 안정적으로 일 치하는 패턴을 나타내고 있음을 알 수 있다.

FDM 3D-프린팅 유연센서의 경우 밴딩 보다는 직선 스트레칭 결과의 변위 일치도가 뛰어남을 알 수 있다.

이러한 연구결과는 크기와 모양에 의해 제한되지 않고 여러 자유도의 다 양한 3D 프린팅의 유연한 전자 장치를 제작하는 데 매우 유용할 것이다.

후 기

본 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임('20014105')

참고 문 헌

(1) Lee, S. K., Kim, Y. R., Park, J. H., Kim, J. H., 2018, "Study on Electrical Characteristics of FDM Conductive 3D Printing According to Annealing Conditions," KSM, Vol. 17, No. 6, pp. 55~60.
결정구조 모사 설계 방법을 이용한 응력제어 적층제조 기술

이학성^{1*}, 김은아^{2,3}, 김예림^{2,3}

Design for additive manufacturing inspired by crystal structure to control mechanical properties

H. S. Lee^{1*}, E. A. Kim^{2,3}, Y. R. Kim^{2,3}

동아대학교 신소재공학부¹, 한국재료연구원 분말연구본부², 부산대학교 재료공학부³

Key Words : Design for additive manufacturing, Crystal inspired, 3D printing

1. 서 론

금속 3D 프린팅 기술은 자유로운 형상 제작이 가능하여 최신 제조 기술로 주목받고 있다. 최근 생체모방 등 설계 방법을 계산하고 기능 을 부여하려는 노력이 진행되고 있고, 재료의 결정구조를 모사하여 충 격 성능을 향상시킨 설계 방법이 제안되었다. 입계 구조, 침입형 원소 로 인한 구조 강화, 다른 결정구조의 혼합을 통한 비대칭 변형 등 재료 내의 기계적 물성 강화기구를 사용하여 최종 제품의 물성을 설계 제어 하려고 하는 노력이 지속되고 있다. 특히, 입계를 추가하였을 때 물성 변화를 예측하는 연구를 하고 있지만, 단일 계면에 대한 물성 제어는 모델의 제한으로 인해 어려움이 있었다. 본 연구에서는 계면에 대한 원자 구조 연구가 2개의 단결정을 붙인 bicrystal방법을 통해서 진행 된 것과 같이 계면 구조의 변화가 기계적 물성에 어떤 영향을 미치는 지 살펴보고자 한다.

2. 계면 모델링과 적층제조

본 실험에서 주기적인 계면의 원자 구조를 모델링할 때 사용하는 CSL(Coincident Site Lattice)를 이용하여 격자구조를 모델링하였다. Support없이 적층제조가 용이한 BCC(Body Centered Cubic)기반의 원자 모델을 이용하였으며, 원자 간의 결합을 모델링하여 [001]∑ 5(430)//(005) 입계 구조를 선택하였다. 해당 계면 구조에 대해서는 이 미 Bicyrstal과 양자역학 구조 시뮬레이션을 통해서 복합세라믹인 SrTiO₃에서 관찰된 바가 있다.

반복적인 규칙성을 고려하여 그림 1과 같이 4종류의 계면을 포함하고 있는 원자모텔을 설계하여 원자 간의 결합거리를 고려하여 격자구조를 생 성하였다. 입계를 1개 포함하고 있는 구조인 (a), (b)와 2개의 입계구조를 통해서 힘이 가해지는 부분이 동일한 대칭형태인 (c), (d)를 실제 Concept Laser M2 장비를 이용하여 SUS316L 소재로 만들어 압축실 험을 실시하였다.



Fig. 1 Schematic figure of CSL grain boundary and 4 lattice structures including grain boundaries

3. 실험 결과 및 고찰

연결 구조가 다른 4개의 시편중 동일한 구조인 (a), (b)를 제외하고 3종의 구조에 대해서 압축테스트를 2회 반복 실험을 하였다. BCC 형 태의 X격자에서는 수직을 걸리는 하중에 대해서 응력이 크게 작용하 여 압축면과 평행인 (001)방향의 격자가 우선 변형이 되었다. 이후 (430)방향의 격자의 변형이 일어나며, 해당 과정에서 계면의 역할 을 압축실험을 통해서 살펴보았다. 동영상 촬영을 통해서 압축률에 따라 서 격자가 어떻게 변화되는지 영역별로 확인할 수 있었으며, 2개의 입계 를 포함하고 있은 구조의 경우의 압축테스트 결과에 큰 차이가 있다. Fig. 2(b)의 경우에는 압축 실험 중 변형이 발생하기 쉬운 (001)면이 압축면 근처에 있고 변형가능영역이 좁아 계면을 중심으로 압축이 진행되었지 만, Fig. 2(c)는 가운데부분에서 변형이 시작되어 넓은 영역에서 변형이 일어나고 이후 (430)의 압축이 수행되어 2단계의 변형 거동을 확인을 수 있었다.



Fig. 2 Compression test for 3 model structures

계면의 영향을 정량적으로 평가하기 위해서는 Fig. 2(c)와 같이 두 계면이 기계적 물성에 미치는 영향을 명확히 하면 추가적인 연구를 체 계적으로 수행할 수 있다. 본 발표에서는 재료 계면 구조에서 Cut-off radius를 달리하여 결합상태를 바꾸었을 때 변형이 시작되는 응력을 제어할 수 있는 추가적인 압축실험을 시행하였다.

적층제조 기술은 자유로운 형상으로 제작하는 것을 가능하게 하였 는데, 이를 위한 설계 기술의 바탕을 원자모델링 기술을 도입하여 활 용할 수 있음을 본 발표를 통해서 살펴보고자 한다. 다양한 계면에서 의 원자 구조 모델링은 수행되어 있어, 이를 적층제조 특화설계에 어 떻게 적용할 수 있을지 고찰하였다.

- Pham, M. S, Liu, C, Todd, I, Lertthanasarn, J, 2019, Damage-tolerant architected materials inspired by crystal microstructure, Nature, 565, 305-311.
- (2) Lee, HS, Mizoguchi, T, Yamamoto, T, Kang, SJL, Ikuhara, Y, 2011, *Characterization and atomic modeling of an asymmetric* grain boundary, Physical Review B, 84, 195319

DED공정에서 잔류응력 측정 위치에 따른 잔류응력 변화 관찰

우수성¹, 이기용², 백경윤^{3*}

Observation of residual stress for the distance from deposited region using Direct energy deposition

S. S. Woo¹, K. Y. Lee², G. Y. Baek^{3*}

광주대학교 미래융합기술공학과¹, 한국생산기술연구원², 광주대학교 융합기계공학과³

Key Words : Direct energy deposition(DED), Residual stress, Finite element simulation

1. 서 론

3. 실험 결과 및 고찰

Direct energy deposition (DED)는 고출력 레이저를 이용하여 금속 표면에 직접 적층하는 공정으로 금속의 표면 강화 및 수리에 효과적으 로 사용된다. 하지만, 적층제조공정은 반복되는 용용과 응고로 인해 모재와 적층부에 응력이 발생하게 되고, 이는 완전 냉각 이후에도 잔 류응력으로 존재하여 제품의 변형을 유발하기도 한다. 따라서 본 연구 에서는 적층공정과 완전 냉각 이후의 응력 거동을 유한요소해석을 통 하여 예측하고, 실제 잔류응력과 비교 검증하여 해석의 신뢰성을 검증 하고자 한다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 Direct energy deposition

본 연구에 사용된 모재는 50mm×100mm×10mm의 크기의 AISI D2를 사용하였으며, 금속분말은 50 ~ 150μm 직경의 AISI M4을 사용하였다. 공정 조건은 Table 1에 나타냈다.

2.2 Residual stress measurements

잔류응력은 잔류응력 측정 위치에 따라 비교하였으며 시편은 Fig. 2 에 나타내었다. 잔류응력은 동일한 지점에서 적층 공정 전, 후의 잔류 응력을 측정하여 비교하였다. 잔류응력측정에는 비파괴측정 방법인 X -ray diffraction(XRD) 기술을 사용하였다.

2.3 Finite element method

적층 공정 해석은 Simufact welding S/W를 이용하였으며, 해석에 사 용된 조건은 Table 2에 나타냈다. 해석 모델은 시험편과 동일한 크기로 모델링 하였고, 적층 경로는 MX CAM 프로그램으로 작성된 G-code를 이용하여 실험과 동일한 적층 경로로 설정하였다. 해석에 사용된 요소는 289,872개이며, 303,685개의 질점이 사용되었다.

Laser power (W)	800
Scanning speed (mm/min)	850
Powder feed rate (g/min)	4.5
Powder gas (L/min)	2.5

Table 1 Parameters for DED processing





Fig. 1 DED processing

cessing Fig. 2 Distance from deposited regions Table 2 Boundary condition for FEM

•	
Laser power (W)	800
Scanning speed (mm/min)	850
Efficiency	0.2
Gaussian parameter	3

Convective heat transfer (W/m²K) 20

적층 공정 해석 결과, 적층 공정 반복되는 용융과 응고에 의해서 응력 변 화가 나타났으며(Fig. 3), 냉각이후 최종적으로 인장응력이 나타났다(Fig. 4). Fig. 5는 실제 모재에 잔류응력 결과를 나타내고 있다. 적층 전 모재에서 일정한 압축 응력이 잔류하고 있었다. 이는 제조과정에서 압연에 의한 것으 로 예상된다. 적층후 압축잔류응력은 감소하는 경향을 나타내었다. 측정위 치 비교결과, 적층부 영역에 가까워질수록 감소되는 경향이 크게 나타났다. 이는, 적층부가 냉각되면서 수축하는 영향을 받은 것으로 예상된다.



5. 결 론

본 연구는 DED 공정 후, 적층 제조품에 존재하는 잔류응력을 예측하 기 위하여 유한요소해석을 통하여 추정하였으며, 실제 실험을 통하여 검 증하였다. 해석결과, 적층과정에서 응력거동이 발생하였으며, 모재부에서 는 냉각이후 인장응력이 잔류하였다. 실제 실험에서는 기존에 압축잔류응 력이 나타났으며, 감소되는 경향을 나타내었다. 따라서, 유한요소해석을 통하여 적층과정 중 응력변화와 잔류응력을 예측 가능하였다.

후 기

본 논문은 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다. (과제관리번 호: 2021RIS-002)

참고문 헌

(1) Wei Chen, Lianyong Xu, Yongdian Han, Lei Zhao, Hongyang Jing, 2021, Control of residual stress in metal additive manufacturing by low-temperature solid-state phase transformation: An experimental and numerical study, Additive Manufacturing, Volume 42, 2021.

고속, 유연생산을 위한 로봇팔 기반 금속 적층 제조기술

김대중*

Robotic arm-based metal additive manufacturing technology for high-speed, flexible production

D. J. Kim^{*}

(주)에이엠솔루션

Key Words : Industrial Robot, LWDED(Laser Wire Direct Energy Deposition), Metal additive manufacturing, Flexible production

1. Abstract

산업용 금속 적층 제조산업은 광범위한 어플리케이션으로 미래의 디지털 제조를 이끄는 핵심기술로 발전하고 있다.

기존 고부가가치 산업인 항공우주, 국방, 원자력, 의료산업을 시작으 로, 최근에는 적층 제조 기술의 진입장벽을 낮추고, 제조기술로 활용 하기위해서 자동차 및 전자산업과 소재부품 제조산업에서 적층제조 (AM) 기반의 생산기술 확립을 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

본 발표에서는 로봇팔 기반의 고속, 유연생산이 가능한 레이저 와이 어 적층제조 기술을 바탕으로 산업별 제조업의 특성을 정확하고, 신속 하게 반영하여, 고객의 니즈에 따라 최적화된 기술을 빠른시간네에 도 입하기 위한 방향을 모색하고자 한다. 또한 금속 적층 제조기술의 지 속적인 성장을 통해 기술의 자립화를 확보하여, 사업모델의 고도화 및 수익성을 높이고자 한다.

2. Introduction

향후 적층제조 장비들은 측정 소프트웨어부터 적층, 후가공, 검사 까지 모든 단계가 통합된 지능형 장비의 형태로 진화할 것이다. 이에 당사는 사람이 개입하지 않아도 스스로 판단하고 최종제품을 완벽히 제조해내는, 스마트한 기술을 구현해내고자 한다. 또한 디자인과 설계 에 구애받지 않고 복잡한 형태의 결과물을 만들어낼 수 있는 3D프린 팅은 경량화가 반드시 필요한 항공·우주 분야에서 가장 유리하기 때문 에, 자체 개발한 3D프린팅 기술에 로봇 어플리케이션을 더해 내구성 까지 갖춘 제품 생산에도 기여할 것이다.



Fig. 1 로봇팔 기반 금속 적층 제조시스템

3. 고속, 유연생산을 위한 로봇팔 기반 금속적층 응용

경제적인 레이어와이어 적층기술을 바탕으로 시스템부터 공정까지 고객에게 필요한 솔루션을 제공하여 금속적층 제조기술 기반의 생산 확립 및 지속 가능한 제품의 제조와 품질을 보장 한다. 또한 차세대 제조 혁신기술의 금속 적층 제조기술로 탈산소화, 스마트 네트워크 구 축 등 미래제조산업의 요구사항에 대처하고, AI가 핵심이 되는 디지털 팩토리 제조업에서도 작은 규모의 중소기업도 성장할 수 있는 돌파기 술을 기술을 만들어낼 수 있다.



Fig. 2 레이저 와이어 금속 적층 제품

4. 제조업의 완벽한 플랫폼화

레이저를 이용한 고속,정밀 적층제조 기술 솔루션을 제공하고 있는 에이엠솔루션즈는 높은 정밀도를 갖춘 설비를 통해 우주발사체 연료 탱크와 바디 등을 생산하고자 하며, 빠르고 경제적인데다 사용 편리성 까지 우수한 시스템을 기반으로, 로봇을 이용한 컨테이너 형식의 작은 제조 공장을 고안해냈다.

뿐만 아니라, 항공우주, 중공업, 국방분야의 수요연계를 통해, 금속적 층제조기술을 통한 협업과 레퍼런스를 지속적으로 확대하고 있다. 이처럼 미래 제조업의 완벽한 플랫폼화 실현을 꿈꾸며 로봇 상용화를 위한 시스 템을 제안하는 에이엠솔루션즈는 4차 산업혁명에 발맞춘 3D프린팅 테크 놀로지의 혁신을 거듭해나가고 있다.

DED 공정 실시간 모니터링 기반 적층형상 시뮬레이션

허세곤*, 정민교, 하태호

Real-time process monitoring based simulation of deposited geometry in DED process

S. Heo^{*}, M.-K. Jung, T. Ha

한국기계연구원 첨단생산장비연구부

Key Words : DED(directed energy deposition), 3D printing, Additive manufacturing, Digital twin

1. 서 론

DED(Directed Energy Deposition) 기술은 레이저와 같은 고에너 지원을 이용하여 모재를 녹여 용융풀을 형성하고 동시에 금속 분말을 공급하여 용융 및 적층을 통해 조형하는 공정이다. DED 공정을 비롯 한 금속 적층제조 기술에 대한 관심과 연구가 증가하고 있으며, 최근 에는 기술의 가능성 검증 단계를 넘어 생활소비재, 에너지, 금형, 국방 에 이르기까지 다양한 산업 부품 생산에 적층제조 기술을 적용하기 위 한 노력이 지속되고 있다. 그러나 DED 기술은 공정 인자가 매우 다양 하고 그 관계가 복잡하여 해석 및 모델링이 난해하며, 이로 인해 안정 적인 적층 수행과 적층된 부품의 품질을 예측하는 것이 어렵고 경험적 지식에 의존하는 경우가 많다. 특히, DED 공정에서는 동일한 소재와 적층조건에서도 모재 및 적층물의 형상에 따라 열확산 및 온도분포가 달라져 적층량이 달라지며, 적층 높이에 따라 각 층마다 적층량의 차 이가 발생하기도 한다. 또한, 코너 구간에서 제어기의 가감속 특성에 따라 적층량이 달라진다. 적층형상을 예측하기 위해 상용 해석 소프트 웨어 및 다양한 시뮬레이션이 개발되었지만, 복합한 물리현상과 경계 조건에 대한 모델의 부재 혹은 부정확성으로 인해 앞서 설명한 것과 같은 적층형상을 정확히 예측하는 것은 쉽지 않다. 실제 각 장비마다 광학계 특성, 적층 노즐의 형상, 공급 가스 유동 등의 많은 조건이 다 르다. 이러한 오프라인 공정 해석 및 시뮬레이션 기법의 한계를 극복 하기 위해 실제 장비 및 공정 모니터링 및 실시간 연동을 통해 공정 상태를 정확하게 예측 및 진단하는 기술이 필요하다.

이 연구에서는 DED 공정에서의 적충형상 예측을 위한 실시간 공정 모니터링 기반 적충형상 시뮬레이션을 제안한다.

2. 적층형상 시뮬레이션 모델

제안 모델은 DED 공정 중 어느 순간에서의 적층 위치와 그 위치에 서의 소재 적층량을 이용하여 적층형상을 시뮬레이션한다. 적층 위치 는 적층물 표면과 적층노즐 사이의 거리인 스탠드오프(stand-off) 거 리와 제어기로부터 획득한 실시간 이송계 위치 정보를 이용하여 알 수 있다. 스탠드오프 거리는 실시간 용용풀 모니터링 이미지에서의 용응 풀의 중심위치를 이용하여 계산된다.¹ 이러한 과정으로 계산된 적층 위치는 다양한 상용 제어기의 보간 특성을 반영하기 때문에 코너 구간 에서의 가감속 및 시간에 따른 적층경로를 정확히 알 수 있다. 매 적층 위치에서의 소재 적층량은 용용풀 열화상 이미지 정보와 실험적인 데 이터를 통해 유추된다. 향후에는 인공지능을 활용하여 소재 적층량을 보다 정확하게 모델링할 수 있을 것으로 기대된다. 적층물 형상은 덱 셀(dexel) 알고리즘을 사용하여 기하학적으로 표현된다.

3. 시뮬레이션 검증

Fig. 1은 이 연구에서 사용된 분말 방식 DED 시스템을 보여준다. 열원으로 파장 1070 nm의 파이버 레이저를 사용하였으며, 4-제트(jet) 분사 노즐과 고정밀 분말공급장치, 개방형 제어기(Turbo PMAC, OMRON)로 구성되어 있다. 900~2,000℃ 고온대역 열화상 카메라 2 대를 사용하여 실시간 용용풀 모니터링 시스템을 개발하였다.



Fig. 1 Experimental setup



(a) Actually deposited workpiece (b) Simulated workpiece Fig. 2 Comparison between experimental and simulated workpiece

개발된 모델을 검증하기 위해 적층 실험과 적층형상 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 이송계 위치 정보는 약 20Hz 빈도로 제어기에서 획득하였으며, 용용풀 모니터링 및 소재 적층은 약 100Hz 빈도로 수행되었다.

Fig. 2는 실제 적층물과 시뮬레이션된 적층물 형상을 보여준다. 실 제 장비 및 공정 모니터링 정보를 기반으로 실제 적층형상을 매우 유 사하게 시뮬레이션하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 DED 장비 및 공정 모니터링을 통한 적층물 형상 시 뮬레이션 기술을 개발하였다. 이는 실시간 용용풀 모니터링과 이송계 의 위치 정보를 활용하여 텍셀 알고리즘 기반으로 적층물 형상을 시뮬 레이션하는 기술이다. 검증 실험을 통해 개발된 시뮬레이션은 성공적 으로 실제 적층형상을 예측함을 확인하였다. 이는 DED 공정 실시간 디지털트윈 개발 및 이를 이용한 장비와 공정 지능화 핵심기술로 활용 될 것으로 기대된다.

후기

이 연구는 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(No. 20023042)

참 고 문 헌

 Heo, S., Jung, M.-K., Ha, T., *Real-time Deposited Geometry Monitoring Based Deposition Path Planning in DED Process*, Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Spring Conference 2022, 106.

소결기반 적층제조를 위한 멀티모달 마이크로-나노 분말소재 개발

최준필*, 이필호, 정민교, 허세곤, 하태호

Development of multimodal powder mixtures for sinter-based additive manufacturing

J. P. Choi*, P. H. Lee, M. K. Jung, S. G. Heo, T. Ha

한국기계연구원 3D프린팅장비연구실

Key Words : Sinter-based additive manufacturing, Multimodal powder mixtures, Densification, Microstructure

1. 서 론

Metal Additive Manufacturing (AM) has experienced significant growth in fabricating precision PM parts with a wide range of structures and complex geometries. This can be achieved through various processes, including direct melting techniques such as laser and electron beam melting, as well as sinterbased AM techniques like extrusion or binder jetting. The focus of this study is on the challenge of additive manufacturing of multimodal metal powder mixtures, specifically bimodal micro-nano and trimodal micro-nano powders. This research builds upon our extensive exploration of sintering and powder injection molding techniques for these powders. In particular, we provide an overview of the investigations on the consolidation of hierarchy-structured nanopowder agglomerates and their related applications in net-shaping nanopowder materials.

Understanding the nanopowder agglomerate sintering (NAS) process is essential for the processing of net-shaped nanopowder materials and components with small and complex shapes. The key concept of the NAS process is to enhance material transport by controlling the powder interface volume of nanopowder agglomerates. Based on this concept, we have proposed a new idea for achieving full density processing in the fabrication of micro-powder injection-molded parts using metal nanopowder agglomerates produced through hydrogen reduction of metal oxide powders. Studies on the full density sintering of die-compacted and powder injection-molded Fe-based nano-agglomerate powders are introduced and discussed in terms of the densification process and microstructure. The findings of this study have the potential to be applied in sinter-based additive manufacturing processes.

2. 결 과

Figure 1 shows a schematic illustration of the densification process by controlling agglomerate size [1]. The agglomerate powder compact exhibits a bimodal pore distribution comprising nanoscale intra-agglomerate pores and micron-scale inter-agglomerate pores. While the nano-sized intra-agglomerate pores are easily eliminated during the course of sintering, the micro-sized inter-agglomerate pores remain and restrain densification (Figure 1a). By controlling the agglomerate size distribution, the compacted part has a homogeneous or narrow pore size distribution (Figure 1b) and can achieve full densification after sintering. The structural modification of the agglomerate nanopowders by controlling agglomerate size might be a key technology to obtain smaller and narrower pore size distributions. This describes the full density processing of net-shaped Fe-based nanopowder agglomerates by controlling agglomerate size in terms of the densification process and microstructure.



Fig. 1 Schematic illustration of pore size distribution in agglomerated nanocrystalline powder (a) without and (b) with controlling of distribution of agglomerate size

The key issue for the application of nanopowder to engineering parts is how to consolidate the powder into the sintered part with full density and nanograined microstructures, especially through pressureless sintering [2]. As described above, it was reported that the bimodal type of grain boundaries in Fe-based nanopowder alloys, consisting of nano-sized grain boundaries and agglomerate boundaries, act as high diffusion paths for the densification process.

3. 결 론

In this paper, we reviewed our investigations on the consolidation of hierarchy-structured Fe-based nanopowder agglomerates in terms of the densification process and microstructure. We also introduced their application studies for processing net-shaped parts. Understanding the NAS process is essential for processing net-shaped nanopowder materials and components with small and complex shapes. The key concept of the NAS process is to enhance material transport by controlling the powder interface volume of nanopowder agglomerates. We found that the enhanced sintering effect at low temperatures is evidence of the NAS process, which is primarily driven by the densification process along hierarchical boundaries consisting of two high diffusivity paths: agglomerate and nano-grain boundaries. This experimental evidence provides a new idea for full density processing in fabricating micro-PIM parts using metal nanopowder agglomerates. In conclusion, the optimization of agglomerate size control of nanopowder is a breakthrough for processing net-shaped Fe-based nanopowder materials.

참 고 문 헌

- (1) Lee, J.S.; Kang, Y.S.; Kwon, S.K.; Cha, B.H.; Qin, X.Y., Adv. Powder Technol. 15, 639-655, 2004.
- (2) Groza, J.R. Nanosintering. Nanostr. 12, 987-992, 1999.

자이로스코프를 이용한 고유연가공장비의 진동제어에 관한 연구

심종엽*, 노승국, 황주호

Vibration control of serial-structure flexible machine with gyroscope moment actuator

J. Shim^{*}, S. K. Ro, J. Hwang

한국기계연구원 첨단생산장비연구부 초정밀장비연구실

Key Words : Vibration control, Gyroscope, Flexible machine, Milling, Moment actuator

1. 서 론

최근 다관절 구조의 기계 등 고유연 형태 가공기를 이용한 기계 절 삭가공 기술에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 고유연 가공기의 다 양한 가공물 형태 및 필요사항에 알맞는 가공기 구조를 적용할 수 있 고 작은 공간에 6자유도의 공구 경로를 구현할 수 있는 장점이 고절삭 력이 요구되는 응용에도 적용 범위를 넓히려는 산업적 요구가 반영되 고 있는 것이다. 본 논문에서는 이러한 고유연가공기의 큰 단점 중 하 나인 낮은 고유진동수 및 정/동 강성을 극복하기 위하여 자이로스코프 모멘트 구동기를 이용한 능동제어 기술에 대하여 논하고자 한다.

2. 고유연 가공기 구조 동특성 및 모멘트 구동기

실험에 사용된 고유연가공기는 KUKA사의 산업용 로봇으로서 KR-50 시리즈 제품이며 총 6자유도를 갖고 있고 벨트 및 감속기를 이 용하여 구동되는 일반 상용 로봇이다. 가공기의 end-effector에 Fig. 1 과 같이 가공용 스핀들을 부착하여 실험하였으며 스핀들은 30,000 rpm까지 회전이 가능하며 공구는 콜렛 ER25를 이용하여 장착된다. 고유연가공기의 구조 상 가공기의 위치 및 자세에 따라서 정/동 특성 이 많이 변하며 특히 일반적인 머시닝센터 대비하여 정강성의 크기가 매우 작으며 1차 고유진동수도 1/5 이하로 낮고 또한 동강성 또한 절 삭 가공에 사용하기에는 부족한 특성을 보유하고 있다.



Fig. 1 Flexible machine for milling operation





Fig. 1에서 보이는 P1~P3의 위치에서 impact test를 통한 주파수 응 답함수(FRF)를 실험적으로 획득했으며 Fig. 2의 결과에서 볼 수 있듯 이 1차 진동모드는 10Hz 이하에서도 발생하며 2차 진동모드는 20Hz 근방에서 관찰된다. 이러한 저주파의 진동모드는 동강성의 크기도 작 아서 10,000rpm 스핀들 회전을 이용한 밀링가공에서도 쉽게 큰 진폭 의 진동을 야기하는 것으로 실험에서 관찰된다. 또한, 이러한 저주파 의 진동모드는 특히 중절삭 응용에서 1,000rpm 이하의 절삭가공에서 채터현상을 동반한 큰 진동을 야기하여 고유연가공기의 활용에 제한 을 갖게 한다.



Fig. 3 Developed gyroscope for moment force control

Fig. 3에서 이러한 저주파의 진동을 능동제어 기법을 이용하여 상쇄 제어를 수행하기 위하여 개발한 Fly-wheel 형태의 스핀들이 내장된 자이로스코프를 보이고 있다. 스핀들의 직경은 90mm 이며 20,000rpm까지 회전가능하고 장치 크기를 최소화 하기 위하여 에어 터빈을 이용하여 회전하게 된다. 간이 실험장치에서 수행한 5Hz 외란 의 제어 성능을 Fig. 4에서 보이고 있다.



Fig. 4 Vibration supression result by gyroscope actuator

참 고 문 헌

- Law, M., Rentzsch, H. and Ihlenfeldt, S., 2015, Development of a Dynamic Substructuring Framework to Facilitate in Situ Machining Solutions Using Mobile Machine Tools, Procedia Manufacturing. 1~12.
- (2) Lazar, M., 2012, Cutting Force Modelling for Drilling of Fiber-reinforced Composites, EPFL Ph.D Thesis.

모니터링 시스템을 이용한 공구마모 예측 모델 개발

김혜인, 남수현, 박경희, 구정인^{*}

Development of tool wear estimation model using monitoring system data

H. I. Kim, S. H. Nam, K. H. Park, J. I. Koo*

한국생산기술연구원 스마트생산시스템 연구부문

Key Words : Tool status classification, Tool wear estimation, Data imbalance, Prediction accuracy, Productivity

1. 서 론

공구의 파손 및 마모는 표면 품질 저하로 인한 불량품 발생을 유발하므로 공구 교체 시기 최적화를 통한 생산성 향상이 필수적이다. 이를 위해 가공 공 구의 잔여수명(Remaining Useful Life)을 도출하는 관련 연구가 활발히 이루어 지고 있으며, 그 중 공구마모 예측 연구가 주를 이루고 있다[1]. 하지만 기존 연구에서는 주로 절삭력, 공구 표면 온도 데이터를 이용하여 공구마모를 예측 하기 때문에 현장 적용이 어렵다는 문제점이 존재한다[2]. 또한 학습모델을 이용할 경우, 공구 상태(Initial wear, Stable wear, Accelerated wear)에 따른 데이 터 특성을 반영하지 않은 채 학습함으로써 예측 정확도가 현저히 낮은 구간 이 존재한다는 한계점이 발생한다[3].



이에 본 연구에서는 공구마모 예측 시 발생하는 데이터 불균형 문제를 해 결하기 위해 먼저 공구 상태 분류 모델을 구축한 뒤, 해당 결과를 이용한 공 구마모 예측 모델을 개발하고자 한다.

2. 공구마모 예측 모델 구축

공구마모 예측 모델 구축을 위해 가공공정 모니터링 데이터를 수집한다. 해 당 데이터에는 가공조건과 센서 데이터가 포함된다. 해당 데이터를 학습모델 에 사용하기 용이한 형태로 가공하기 위해 가공구간만을 추출한 뒤, 기술통계 량을 도출하여 학습모델의 input feature로 활용한다.

공구 상태 분류를 위해 DNN(Deep neural network)를 구성하여 다중 분류 작 업을 수행한다. 이를 위해 출력층의 활성화 함수는 소프트맥스 함수를 사용하 였다.



Fig. 2 Research framework

공구마모 예측 모델을 위해 훈련 데이터를 기반으로 상태 별 사전학습모델 을 구축한다. 이 때 공구 상태 분류는 공구마모 기울기가 크게 변하는 변곡점 을 기준으로 분류하여 각 상태 별 사전학습의 훈련데이터로 사용되었다.

학습에 사용되지 않은 실험데이터에 대해 공구 상태 분류 모델을 적용한 뒤, 결과에 해당되는 구간의 사전 학습모델에 입력 데이터로 제공된다. 이를 통해, 해당 시점의 공구마모 값을 예측할 수 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서 사용된 데이터는 터닝 가공 데이터로, SMC440 소재를 feed = 0.1mm/rev, RPM = 1183, ap = 0.15mm 조건으로 가공하였다. 동일 가공조건을 12번 반복한 실험 데이터 중 11개의 실험 데이터를 훈련 데이터로 사용하였으며, 훈련에 사용하지 않은 실험데이터를 결과 검 중 및 성능 평가에 활용하였다.

분류 모델을 적용한 경우 공구마모 예측의 평균 정확도는 약 94.08%로 도 출되었으며, 이는 기존 방법으로 공구마모를 예측한 경우보다 약 3.3% 정확 도가 향상된 결과이다.

기존 방법을 적용한 경우, Accelerated wear에 대한 정확도가 다른 구간에 비 해 특히 낮은 것을 확인할 수 있다(Fig. 3(a)). 하지만 제안된 방법을 적용할 경 우, Accelerated wear에 대한 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)가 11.03에 서 4.29로 개선된 결과를 나타냈다. 실험 결과, 제안된 방법을 통해 데이터 불 균형 문제를 해결하고 더 높은 예측 정확도를 얻을 수 있다는 사실을 확인하 였다.



Fig. 3 Comparison of Predicted and Actual Values (a)Convention method, (b) Proposed method



- Zhou, Y., Liu, C., Yu, X., Liu, B., & Quan, Y., 2022, Tool wear mechanism, monitoring and remaining useful life (RUL) technology based on big data: a review. SN Applied Sciences, 4(8), 232.
- (2) Lubis S, Sobron L, Rosehan et al., 2020, Tool wear analysis of coated carbide tools on cutting force in machining process of AISI 4140 Steel[J]. IOP Conf Series Mater Sci Eng 852(1):012083.
- (3) Dongdong K, Yongjie C, Ning L., 2020, Monitoring tool wear using wavelet package decomposition and a novel gravitational search algorithm–least square support vector machine model[J]. Proc Inst Mech Eng 234(3):822–836.

스핀들속도변동법을 이용한 채터 억제 기술 개발

남수현, 변정인, 김혜인, 박경희^{*}

Development of chatter suppression technique with spindle speed variation

S. H. Nam, J. I. Byun, H. I. Kim, K. H. Park*

한국생산기술연구원 청정기술연구소

Key Words : Chatter suppression, Spindle speed variation, Machining stability

1. 서 론

절삭가공 중 채티가 발생할 경우, 가공 표면품질 저하 및 공구의 파손 등의 원인이 된다[1]. 이러한 채티를 억제하기 위한 다양한 연구가 수행되어 왔으 며 그 중 가장 효과적이고 실용적인 기술 중 하나가 스핀들속도변동법(SSV; Spindle Speed Variation)을 이용한 가공 기술이다[2]. 본 연구에서는 이전 연구 로부터 밝혀진 SSV를 통한 채티 억제 메커니즘에 기반하여 가공 안정성을 극대회할 수 있는 새로운 SSV 프로파일을 구축하였으며, 실험을 통한 유효성 검증을 수행하였다.

2. 채터 안정성 극대화를 위한 SSV 프로파일 구축

이전 연구로부터, 스핀들의 회전 속도의 변화율에 비례하여 채터 주파수 변 화한다는 사실을 확인하였다[3]. 채터는 일반적으로 공진점 부근에서 발생하 기 때문에, 채터 주파수의 변화는 주파수응답함수(FRF; Frequency Response Function)를 축소시키게 된다. 따라서, 동일한 절삭력이 발생할 경우 발생하는 진동의 크기는 감소하게 되므로 시스템은 안정화된다. 일반적으로 사용되는 TSSV(Triangular Spindle Speed Variation)의 경우, Fig. 1과 같이 속도가 변화함 에 따라 1회전 당 속도변동율(Acceleration rate)이 함께 변화하는 특징을 갖는 다. 즉, FRF의 축소율이 속도변동구간에 따라 상이하므로 채터 억제 효과 또 한 변화하게 되어 부분적으로 채터가 성장하는 문제점이 존재했다. 이러한 문 제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 속도변동율을 항상 일정하게 유지하 는 CAR-SSV(Constant Acceleration Rate-SSV) 프로파일을 구축하였다.



Fig. 1 Profiles of spindle speed and acceleration rate

3. 유효성 검증 결과 및 고찰

본 연구에서 구축한 CAR-SSV의 유효성을 검증하기 위하여 시간 영역 시 뮬레이션 및 검증 실험을 수행하였으며 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 결과 로부터, 설정 기준 회전속도 및 속도 변동주기에 관계없이 CAR-SSV의 설정 속도변동율이 증가할수록 채터 안정성이 크게 향상되는 것을 확인하였다. 즉, 채터 안정성을 향상시키는 방법론이 매우 명확하다는 사실을 밝혀냈다.



Fig. 2 Critical cutting width against set acceleration rate

다음으로, 기존 TSSV와 CAR-SSV의 채터 안정성을 비교하기 위한 실험을 수행하였으며 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 두 종류의 SSV 프로파일로 인 해 발생하는 모터의 발열량이 동일하도록 설정한 조건에서의 결과를 나타낸 다. CAR-SSV의 경우, TSSV와 비교하여 약 40% 높은 절입량 조건에서 가공 을 수행하였지만 오히려 채터의 평균 진폭이 더 작은 결과를 나타냈다. 또한, 피삭재와 공구가 접촉하는 순간에 발생하는 강제진동 구간을 제외한 모든 구 간에서 매우 작은 진동 신호가 관찰되었다.



Fig. 3 Comparison of experimental results between (a) CAR-SSV under 3.5mm and (b) TSSV under 2.5mm



- Tobias S. A., Fishwick W. Theory of regenerative machine tool chatter. The engineer 1958; 205.7: 199-203.
- [2] Quintana G., Ciurana J. Chatter in machining processes: A review. International Journal of Machine Tools and Manufacutre, 2011; 51(5), 363-376.
- [3] Nam S., Hayasaka T., Jung H., Shamoto E. Proposal of novel chatter stability indicies of spindle speed variation based on ist chatter growth characteristics. Precision Engineering 2020; 62: 121-133.

스핀들의 진동 신호를 이용한 공작기계 상태진단 기술

황주호^{1,2*}, 류엔민둥², 심종엽¹, 송창규¹

Condition monitoring technology for machine tools based on spindle vibration signals

J. Hwang^{1,2*}, D. Nguyen², J. Shim¹, C. Song¹

한국기계연구원¹, 과학기술연합대학원대학교²

Key Words : Spindle, Sensor data, Machine tool, Edge computing, Bearing fault diagnosis, Thermal effect diagnosis

1. 서 론

본 논문은 CNC와 센서로부터 공작기계의 상태 데이터를 수집하여 스마트 HMI 시스템과 연동하여 상태 진단 및 보정 데이터를 생성하 는 신호 획득장치와 임베디스 SW 시스템을 개발하는 것을 목표로한 연구결과이다. 이를 위해 고속 신호처리 DAQ 모듈의 설계, 스핀들 베 어링의 상태 진단 및 열변형 모델, 공작기계 수집 통합관리 시스템 프 레임워크 구축이 주요 연구개발 목표아며, 임베디드 신호처리 엣지는 DAQ와 HMI 또는 예지보전 운영시스템의 사이에서 데이터 가공 및 알고리즘 구동을 수행하는 노드로 작동하며 관련된 연구를 위한 기초 연구를 공유하고자 한다.

2. 스핀들 진단을 위한 고속신호처리 모듈

응용프로그램의 예로 스핀들의 이상상태는 베어링의 결함이 나타 나는 메카니즘에 따라 두 가지로 나누어서 생각할 수 있으며 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 스핀들의 제작, 취급불량이나 운전 미숙 등에 의한 충격에 의하여 생기는 고장 주파수 기반의 진단이며 또다른 하나는 정상적인 운전으로 인하여 특별한 고장이 발생하는 것이 아니 라 윤활 및 마모에 의하여 수명이 다하여 생기는 특정 진동의 증가를 중점으로 진단 기능 개발을 수행 중이다.

스핀들의 이상상태는 베어링의 결함이 나타나는 메카니즘에 따라 두 가지로 나누어서 생각할 수 있으며 크게 두가지로 나눌 수 있다. 하나는 스핀들의 제작, 취급불량이나 운전 미숙 등에 의한 충격에 의 하여 생기는 고장 주파수 기반의 진단이며 또다른 하나는 정상적인 운 전으로 인하여 특별한 고장이 발생하는 것이 아니라 윤활 및 마모에 의하여 수명이 다하여 생기는 특정 진동의 증가를 중점으로 진단 알 고리즘을 개발하였다.



Fig. 1 Schematic diagrams for spindle status based on sensor signals

3. 베어링 특화 신호 처리 기술

베어링 고장진단을 위한 임베디드 SW의 구성은 아래 그림과 같이 구 성하여 개발 중이다.

공작기계의 센서 신호는 그림과 같이 DaQ 보드의 임베디드 SW를 통하여 전술한 베어링 데이터를 필터와 ICPE 트렌스듀서를 통하여 진 동데이터를 받고 이를 고속 A/D 컨버터를 통하여 신호를 취득하도록 되어있다. 획득된 시계열 데이터는 DaQ 모듈에서 FFT 등의 처리를 담당하도록 되어있고 이후 기초데이터를 고속신호처리의 Edge노드에 서 분석하여 데이터를 축적하여 분석한다. DAQ 및 고속신호처리 모 듈 엣지노드에서 분석된 데이터는 HMI상의 App을 통하여 핸들링하 고 셋팅하여 CNC와 연동되도록 되어있다.



Fig. 2 Schematic diagrams of embedded SW for spindle diagnosis

Fig. 3은 스핀들 노후가 진행된 상태의 진동 신호를 비교한 것이다. 기계의 진동 값은 특정 속도, 특정조건으로 매일 1회 1분간 데이터를 획득하여 비교 분석하였으며 실제 공작기계 스핀들에 대하여 실험한 결과이다. 아래 그림은 무인화된 데이터 수집 장치에 포팅하여 30일간의 누적된 데이터 실증하여 측정된 값에 대한 다섯가지 파라미터를 측정한 결과이다. 시험 분석을 통하여 한단간의 측정 데이터를 기준으로 표준편 차(σ)의 5배 크기를 경고수준 10배 수준을 고장 수준으로 사용자에게 제시하고자 하며 사용자가 오랜 시간 동안 사용하면서 축적된 데이터를 기준으로 경고 및 고장의 수준을 변경가능 하도록 설정되어 있으며 이는 유용한 결과를 보임을 알 수 있다.



Fig. 3 Fault Diagnosis Embedded Algorithm Test for Machining Center

참고 문 헌

(1) Wang, W. R., & Chang, C. N., "Dynamic analysis and design of a machine tool spindle-bearing system," Journal of Vibration and Acoustics, 116(3), pp. 280~285, 1994.

가공면의 형상 예측을 통한 5축 CNC 보간기의 고정밀화 방법

강정모, 김다영, 안은별, 박재현, 박동혁 지성철*

A method for enhancing the precision of a five-axis CNC interpolator based on the prediction of geometric form errors on machined surfaces

J. M. Kang, D. Y. Kim, E. B. An, J. H. Park, D. H. Park, S. C. Jee* 단국대학교 기계공학과

Key Words : Five-axis CNC machining, CNC interpolator, Delaunay triangulation, Form accuracy

1. 서 론

5축 CNC(Computerized Numerical Control) 공작기계의 고품위 가공을 위하여, 공구경로 진행방향을 따라 연속된 소수의 직선보간 (G01) 지령들을 선독(look-ahead)하고 부드러운 곡선으로 실시간 근 사하여 보간하는 스무딩 보간 방법에 대한 연구들이 진행되어오고 있 다. 최근에는 직선보간된 경로와 스무딩 곡선의 편차를 의미하는 스무 딩 허용오차를 제한할 수 있는 스무딩 곡선 보간 방법들이 제안되었으 며, 이는 일부 상용 CNC에서 제공하고 있는 고급 보간 기능의 방식과 유사하다. 하지만 이러한 스무딩 보간 방법들은 NCK(Numerical Control Kernel)상에서 선독(해석)된 순서에 종속되어 소수의 G01 지 령에 대한 정보만을 활용하는 한계점이 있다. 이러한 경우 G01 경로 의 분포에 따라서 공구경로 진행방향에 대한 가공면의 품위 향상에는 기여할 수 있으나, 간격방향에 대한 가공면의 품위 향상을 보장하기 어렵다는 한계점이 존재한다.

본 논문에서는 가공면 전반에 대한 품위 향상을 위하여 각 스무딩 곡선 부근의 가공면 형상을 예측하고 스무딩 허용오차를 가변하는 방 식으로 동시 5축 CNC 보간기의 고정밀화를 위한 방법을 제시한다. 공구경로 간격방향을 따라 발생하는 스캘럽 오차(scallop error)의 편 차를 형상편차로 정의하였으며, 스무딩 허용오차의 조정을 통하여 가 공면의 형상편차가 가공면 전반을 따라 균등히 분포하도록 하여 가공 면의 품위를 향상시키는 것을 목표로 하였다.

2. 제시된 5축 CNC 보간기의 고정밀화 방법

5축 CNC의 고정밀 보간 방법은 CNC의 파트 프로그램 선독 순서 대로 3개 또는 4개의 연속된 G01 지령만을 활용하여 보간경로를 B-spline 또는 NURBS(Non-Uniform Rational B-Spline)⁽¹⁾ 등으로 정의된 곡선으로 변환하는 공구경로 스무딩 방법⁽²⁾이 대표적이다. 하 지만 이러한 방법들은 스무딩 곡선 생성 시 공구경로 간격방향으로의 가공 품위 개선을 보장할 수 없으므로 가공면 전반에 대한 품위 향상 을 기대하기 어렵다. 본 논문에서는 동시 5축 가공 시 공구의 형상을 고려하여 Delaunay triangulation에 기반한 가공면의 국부적인 형상 예측 방법을 제시하였다(Fig. 1). 또한, 예측된 가공면의 형상정보와 NCK 내 선독 순서에 관계없이 해석을 완료한 선독부 내의 정보들을 활용하여 스캘럽 오차를 예측하고 스무딩 허용오차를 조정하여, 스무 딩 보간 시 공구경로 간격방향으로의 스캘럽 오차의 편차를 균일하게 유지시킴으로써 가공면 전반에 대한 품위를 향상시키고자 하였다.



Fig. 1 Schematic diagram of CAD model (surface) prediction using Delaunay triangulation

3. 시뮬레이션 결과 및 결론

제시된 방법의 평가를 위하여 Fig. 2(a)와 같이 상용 CAD/CAM 소 프트웨어를 활용하여 자유곡면 형상의 CAD 형상을 정의하고, GOI 지령에 기반한 파트 프로그램을 생성하였다. 평 엔드밀에 대한 파트 프로그램 정보를 바탕으로 Delaunay triangulation을 활용한 CAD 형 상 예측 결과는 Fig. 2(b)와 같다. 형상 예측을 통한 스무딩 허용오차 조정 전 후에 따라 공구경로 간격방향 형상편차(스캘럽 오차의 편차) 를 추정한 결과는 Fig. 3과 같다. 제시된 방법 적용 시 공구경로 간격 방향을 따라 발생하는 최대 형상편차의 크기가 30%이상 감소되었다 는 점에서, 제시된 방법이 5축 CNC 보간기의 고정밀화를 위한 방법 으로 활용될 수 있음을 보여준다.





Fig. 3 Prediction results of form deviations on machined surfaces depending on the application of the proposed method

후 기

본 연구는 산업통상자원부 지원의 "스마트 제조장비용 CNC 제어시 스템 기술 개발(과제번호 20012834)" 과제와 "2023년 산업혁신인재 성장지원사업(과제번호 P0012744)"에 의하여 수행되었음

- (1) Piegl, L. and Tiller, W., 1997, *The NURBS Book*, 2nd Edition, Springer, Berlin.
- (2) Sun, Shujie. and Altintas, Y., 2021, A G³ continuous tool path smoothing method for 5-axis CNC machining, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 32, pp.529-549.

공작기계 CNC 제어시스템의 사용성 분석

권상원^{1*}, 권병찬¹, 김연오¹, 김동규¹, 인영렬²

Usability analysis of CNC control system for machine tools

 S. W. Kwon^{1*}, B. C. Kwon¹, Y. O. Kim¹, D. G. Kim¹, Y. R. In²

 (재)대구기계부품연구원 첨단공구가공사업단¹, 계명대학교 산학협력단²

Key Words : Machine tools, Computer numerical control, Human machine interface, Usability analysis, Human factors

1. 서 론

사용성(Usability)은 일반적으로 사용자의 신체적 특성이나 성별, 나 이, 지식에 관계 없이 사용자가 쉽고 편리하게 제품을 사용할 수 있는 정도를 의미하며, 사용성 분석은 보다 효과적이고 효율적인 제품 개발 을 위해 필요한 평가 방안 중 하나라고 할 수 있다. 한편 제조산업에서 많은 비중을 차지하는 공작기계의 CNC 제어시스템은 해외의존도가 높은 제품으로 국산화 개발이 일부 이루어졌지만, 사업화까지는 미치 지 못하였고 따라서 지금까지 국내에서는 CNC 제어시스템의 사용성 에 대해 보고된 바가 없다.

2. 사용성 분석

사용성 분석은 사용 시나리오상의 과제를 수행함에 있어 제품의 효 과성, 효율성, 만족도를 분석하기 위해 진행되며, 본 과제를 통해 개발 된 KCNC 제어시스템 표준형 모델(HX2.5)을 대상으로 구축된 테스 트베드(3축 MTC)를 통해 진행하였다(Fig. 1). Fig. 2에 나타낸 것과 같이 밀링 가공 시나리오를 기반으로 국내에서 CNC 제어시스템에 있 어서 많은 점유율을 차지하는 F사(3명, Group A), M사(3명, Group B), S사(3명, Group C)의 CNC 제어시스템을 다년간 사용한 경험이 있는 현장의 가공 전문가 9명을 대상으로 진행하였다.



(a) Testbed for usability analysis (b) HMI of KCNC control system (3-axis MTC) (ver. standard) Fig. 1 Target of usability analysis



Fig. 2 Product usage scenario(milling machining)

제품 가공에 있어서 준비단계~완료단계(공구, 시편, NC 프로그램은 제공)까지 참여자가 수행하며, 이때 관찰자는 단계별 모니터링 및 인 터뷰를 통해 결과를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

사용성 분석 결과, 효과성은 진행자의 도움 없이 참여자 스스로 작 업을 완료했는지를 나타내는 지표로써 각 세부 과제에 대한 작업수행 여부를 Y(Yes), Di(Difficulty), Cc(Close call), N(No)으로 구분하였 다. 또한, 작업수행을 모두 마친 시험 참여자를 대상으로 Likert 5점 척도 기반의 사용성 만족도 평가지를 사용하여 설문 인터뷰를 진행하 였으며, 데이터는 효율성과 만족도로 분류하였다. 전체 평균 효과성은 작업수행 성공률 87.1%을 보였으며(Fig. 3 (a)), Likert scale 5점 척 도 기준 Group A의 효율성은 평균 3.49점으로 보통에 가깝고, Group B는 평균 4.44점으로 매우 만족에 가까우며, Group C는 평균 4.40점 으로 만족에 가깝다(Fig. 3 (b)). 그리고 "Task 2. 가공 위치 설정"에 서 가장 낮은 점수가 나타났다(Fig. 3(c)). 사용 만족도의 경우 Group A는 평균 3.79점으로 만족에 가깝고, Group B와 C는 각각 평균 4.67 점, 4.45점으로 매우 만족에 가깝게 나타났다(Fig. 3 (d)).



(c) Distribution of the mean value(d) Total average and deviation of of efficiency by participant group satisfaction by participant group

Fig. 3 Usability analysis results

후 기

이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연 구비 지원에 의한 연구임(No.20012834, 스마트 제조장비용 CNC 제어시 스템 기술 개발).

참고문 헌

 Kwon, S.W, Kim, D.G, Kim Y.O, 2020, Usability Analysis Method for Smart CNC Controller, Proceedings of the KSMTE Autumn Conference, 48-48.

갠트리형 공작기계 듀얼서보모터 정밀제어 알고리즘 개발

권순환¹, 신진섭¹, 최인휴², 김병희^{1*}

Development of precision control algorithm for dual servo motors in Gantry-type machine tool

S. H. Kwon¹, J. S. Shin¹, I. H. Choi², B. H. Kim^{1*}

강원대학교 스마트헬스 과학기술 융합학과¹, (주)씨에스캠²

Key Words : Gantry-type machine tool, Precision control, Yaw error

1. 서 론

공작기계에서 이송계 정밀제어는 최상의 가공 품질을 제공하기 위 해 필수적으로 고려되어야 하는 핵심 사항이다. 특히 갠트리형 공작기 계 듀얼축 이송에서 발생하는 요오차는 기계 부품들의 불균형한 응력 과 부하 발생으로 인한 기계 수명 감소와 가공정밀도 저하 등의 문제 를 일으킬 수 있으므로, 요오차를 최소화하고 정확한 제어를 하기 위 한 적절한 보정 과정 도입 및 고정밀 부품 사용이 중요하다.

갠트리형 공작기계 이송계에 볼 스크류를 사용하는 경우, 요오차는 볼 스크류의 피치오차에 영향을 받으므로 고정밀 볼 스크류를 사용하 면 요오차를 개선할 수 있다. 하지만 볼 스크류의 정밀도가 높아질수 록 가격은 기하급수적으로 증가하므로, 정밀도가 낮은 볼 스크류를 사 용하더라도 정밀제어가 가능한 보정 알고리즘 적용이 필요하다. 이에 본 연구에서는 C7급 볼 스크류(±50μm/300mm)를 사용하는 캔트리 형 공작기계의 듀얼축 요오차를 개선하는 방법을 제시한다.

2. 정렬 시스템 구조 및 정렬 여부 판단 방법

갠트리형 공작기계 듀얼축 이송시험에서 요오차 측정 결과, C7급 볼 스크류의 과도한 피치오차로 인해 97μm 이상의 요오차가 발생했다. 이를 개선하기 위해 Fig. 1과 같이 선형인코더를 사용한 구간별 피치오차 가감 보정을 수행하였다. Fig. 2는 피치오차 보정 전후 요오차 측정 결과 를 나타내며, 피치오차 보정 후 요오차 측정값은 20μm 이하로 측정되어 약 80% 개선되었음을 확인할 수 있다.

듀얼축에서 각 이송축 서브시스템의 속도동기오차는 요오차를 증가 시키는 또 다른 원인 중 하나이다. 이를 개선하기 위해 듀얼축 속도동 기오차를 보상하는 방식을 적용하였다. Fig. 3(a)와 같이 Y축 위치지 령을 기반으로 Y1, Y2축을 독립적으로 제어하는 기존의 병렬 동기제 어 방식에서 Fig. 3(b)와 같이 속도동기오차 보상게인(k_1)을 이용하여 축 별 속도지령을 가감하는 방식으로 변경하였다.



Fig. 1 Diagram of pitch error compensation algorithm



Fig. 2 Results of before and after pitch error compensation yaw error measurement



Fig. 3 Schematic diagram (a) Parallel synchronous control, (b) Synchronous error compensation parallel synchronous control



Fig. 4 Maximum yaw error by velocity synchronization error

3. 실험 결과 및 고찰

속도동기오차 보상게인을 최적화하기 위해 이송속도 및 k_1 에 따른 요 오차 측정 시험을 수행하였고, Fig. 4는 그 결과를 나타낸다. 실험 결과 k_1 이 0.25와 0.75 사이인 구간에서 상대적으로 작은 요오차가 발생하는 것을 확인하였고, 이를 통해 본 연구에서 제안하는 속도동기오차 보상제 어 알고리즘의 요오차 개선 성능을 검증하였다.

참고문 헌

 Sato, R. and Tsutsumi, M. (2005, January). Modeling and controller tuning techniques for feed drive systems. In ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (Vol. 42169, pp. 669-679).

공작기계용 메인-서브 스핀들의 기본동기제어 구현

강유수¹, 윤원준², 조정훈^{1*}

Implementation of basic synchronous control of main-sub spindle for machining center

Y. S. Kang¹, W. J. Yoon², J. H. Jho^{1*}

케이씨엔씨주식회사¹, 씨에스캠주식회사²

Key Words : CNC, Main-sub synchronous control, Spindle

1. 서 론

최근 CNC 기반의 공작기계는 다품종 소량 생산, 다양한 특수 기능이 요구되고 있다.[1] 특히 생산성을 높이기 위한 기능의 탑재는 CNC에 필 수 요구사항이다. 공작기계의 생산성을 높이기 위해 이송축의 고속화, 주 축의 고속화, 다축 동기화[2], 제어계의 고정밀화[3] 등의 연구 개발이 행 해지고 있다. 본 연구에서는 앞서 말한 기능 중 메인-서브 스핀들의 동기 제어에 관한 연구 내용을 소개한다. 메인-서브 스핀들의 간단한 동기제어 기능은 국산화 CNC인 KCNC 제어기에서 개발했으며, 간단한 실험을 통 해 개발된 기능을 검증한다.

2. 메안서브스핀들 동기제어

본 연구에서 KCNC에 구현된 메인-서브 스핀들의 동기제어는 KCNC 제어기 HMI에서 설정이 가능하다. Fig. 1은 KCNC 제어기의 시스템 설정 HMI 화면이다. 시스템 설정 HMI 에서는 공작기계에 사용될 축의 좌표 및 회전축을 설정한다. 스핀들 축의 경우 메인스핀들 번호를 부여하며, 부여된 스핀들은 S 지령으로 제어가 가능하다.

본 연구에서의 목적은 메인스핀들과 서브스핀들을 동일한 S 지령으로 동기화하여 메인-서브 스핀들의 기본적인 동기제어 구현에 있다. 기본 동 기제어를 위해 설정된 메인스핀들을 서브스핀들이 참조할 수 있는 기능을 구현하였다. Fig. 2는 KCNC 축 설정 HMI 화면이다. 축 설정 화면에서 서브스핀들 축의 파라미터 설정 중 메인스핀들을 참조할 수 있는 기능을 구현하였다. 해당 기능은 1 개의 메인축에 최대 3개의 서브축이 동기하여 제어될 수 있도록 제한하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig.3은 동일한 S지령으로 1 개의 메인스핀들과 2 개의 서브스핀들을 구동한 결과를 보여준다. 시험에 사용된 모터는 서보모터로 동일한 S 지 령에 대해 메인-서브 스핀들이 동기제어 기능이 잘 작동 되고 있음을 확인 하였다. 향후 메인-서브 스핀들 동기제어에 필요한 기능들을 점검하여 고 도화된 동기제어 알고리즘을 KCNC 제어기 내부에 탑재할 예정이며, 구 동계의 경우도 스핀들 구동계로 변경하여 실증을 할 예정이다.

	HMI	医中门管	- 900 6678	÷	963 5	시스템	21 # 2	2hili 1	川養石	프로그램
^			설명				8	- E	값	번호
					크기	방향 운전 비미	्यम्	10		
				1:API)	l 신택 (@NC	TO 운전 영영	ALI			
			(4))에 1:즉시 차	법(0:Wait E)	iode 처리 방	TC	0		
			특설정	8						
		10) (1 寺)	7 V:8 W:9 S	8:5 0:6 0:	1 Y:2 Z:3 A:4	C속 설정 (X:	CN			
		10) (2 😤) 👘	7 V:8 W:9 S	B:5 C6U:	1 Y:2 Z:3 A:4	C훈 설정 (X)	- OI			
		10) (3 考)	7 V.8 W.9 S	B:5 C:6 U:	1 Y.2 Z.3 A.4	C독 설정 (X;	CN			
		10) (4 즉)	7 V:8 W:9 S	B:5 G6 U:	1 V:2 Z:3 A:4	C즉 실정 (X:	ON	10		1PP 0076
		10) (5 4)	7 V:8 W:9 S	B:5 C:6 U:	1 Y:2 Z:3 A	କେ ଖ୍ରଷ (X:	CN			PP-0077
		10) (6 🖘)	7 V:8 W:9 S	B:5 C:6 U:	1 Y:2 Z:3 A:4	CR 설정 (X:	CN	10		1PP-0078
			시)(1 축)	비동시 1:동-	반족) 선택 (0;	시제어죽(보)	동사	1		1PP-0106
			시) (2 즉)	비용시 1:8-	만족) 선택 (0:	내게어죽(보)	-87			
			A) (3 @)	비중시 단종/	<u>영</u> 속) 신택 (0:	12000				
			41)(4 寄)	비동시 1:동/	1축) 선택 (0;	시계이축(보)	동/			
			4)(5축)	비동시 1:동/	반축) 선택 (0:	시 제어축(보)	87			
			니) (6 속)	비용시 1:6/	<u>반</u> 속) 전백 (0:	니 페이숙(보)	الح			
						이 스펜들 번호	al s			
						1이브 스뮌글	2V			
					(SSSC)	년들 동기제이	스			
						1 Z축 변수	ul 9			
×		The owned	the state of the set							

Fig. 1 KCNC System setting HMI

프로그램	사용자 7	가용 1 - 2년	8.2 시스템 태크로 6축 I/0.설전 ቘ수기는 HMI
번호	값	단위	설명 ^
			Servo amp; Spindle Common Parameter
			Axis Type Setting (0:No Use, 1:Servo, 2:Spindle)
			AIB No. or ECAT No.
			Axis Port No.
			CNC amp; Drive Interface Type (1:Analog, 3:ECAT, 4:AIB32)
			스핀들 축 실정
			모터/드라이브 종류 (1:일반스킨들,2:Digital,3:서보모터)
			masterspindtenumber
	0.000		· 각 기어단의 백래취 양 (#1)
	0.000		· 각 기어단의 벽레쉬 양 (#2)
	0.000		각 기어단의 백래쉬 양 (#3)
	0.000		- 각 기여단의 백래쉬 양 (#4)
			기어 변속 단수
			각 기여단의 스핀을 모터 측 기이의 있수 (#1)
			각 기어단의 스킨들 모터 즉 기어의 잇수 (#2)
			각 기어단의 스킨들 모터 측 기어의 잇수 (#3)
			- 각 기여단의 스핀들 모터 측 기어의 잇수 (#4)
			각 기어단의 스킨들 기계 족 기어의 잇수 (#1)
			각 기어딘의 스탠들 기계 측 기어의 윗수 (#2)
			각 기어단의 스핀들 기계 즉 기어의 잇수 (#3)
COP MARC			2) alorini v NE alek a loko ola /w/

Fig. 2 KCNC Axis configuration HMI



Fig. 3 Result of main-sub spindle synchronous control

후 기

이 논문은 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT)의 연구비 지원(No.20012834)에 의한 연구 결과임.

- Tsutsui, K., Kaji, K., Naito, K., Chujo, N., and Mizuno, T., 2021, *High-performance Synchronized Control between Spindle* and Servo Motors for CNC Equipment, International Journal of Informatics Society, 13(2). 93-103.
- (2) Toutant, R., Balakrishnan, S., Onyshko, S., & Popplewell, N., 1993, *Feedrate compensation for constant cutting force turning*, IEEE Control Systems Magazine, 13(6). 44-47.
- (3) BICKEL, Robert J., 1992, Synchronization of multiple-axis systems subject to periodic disturbances, In: ASME Japan/USA Symp. Flexible Automation, 2. 821.

3축 공작기계의 열오차 모델링

조뢰, 김경호^{*}, 노승국, 송창규

Thermal error modeling of three-axis machine tools

L. Cao, G. Khim^{*}, S. -K. Ro, C. -K. Song

한국기계연구원 첨단생산장비연구부 초정밀장비연구실

Key Words : Machine tools, Thermal error modeling, Key temperature position

1. 서 론

공작기계의 열오차는 공작기계 전체 오차의 40~70%를 차지하며 가공 정밀 도를 크게 저하시키는 주요 원인 중의 하나이다. 이러한 문제를 해결하기 위 해서는 공작기계의 설계 단계에서 기계 구조물의 열대칭 설계와 냉각 시스템 의 설계 등을 통해 열오차를 1차적으로 억제할 수 있지만, 공작기계 내 외부 열원 때문에 열오차가 필연적으로 발생할 수 밖에 없다. 따라서 이러한 열오 차를 감소시키기 위해서 열오차 보정 방법이 많이 사용되고 있으며, 열오차에 대한 모델링이 매우 중요하다³. 본 연구에서는 데이터 기반의 열오차 모델링 방법을 사용하여 공작기계에서 온도와 TCP에서의 열오차의 변화를 측정한 다음, 온도와 열오차 사이의 수학적 모델을 구축한다. 실험실 조건에서 공작 기계 작동 시에 공작기계의 온도를 실시간으로 측정하여 TCP에서의 열오차 를 예측하였다.

2. 열오차 실험 및 결과

본 연구에서는 X, Y, Z 축 스트로크가 각각 550, 550, 220 mm인 3축 공작기 계 테스트베드를 대상으로 열오차 실험을 진행하였다. Fig. 1와 같이 총 23개 의 온도 센서를 설치하였고, 변위센서를 이용하여 TCP에서의 열오차를 측정 하였다. 환경 온도의 변화 및 주축과 각 이송계 작동의 영향을 고려하였으며, 열오차 모델의 규명 실험 조건 및 검증 실험 조건은 Fig. 2에 나타내었다. 각 조건에 대한 온도 센서 및 X, Y, Z 방향의 열오차 측정 결과는 Fig. 3과 같다. 참고로, 검증 실험에서 최대 열오차는 Y 방향에서 발생하여 -33.8 µm로 나타 났다.



Fig. 1 Experimental setup

	Identi	ficatio	n c	ond	litic	on (2	24 ł	iou	rs)			Verif	ication	condition	(6.5 h	ours)
Time (ho	ur)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	1	1	1	1.5	1
rpm(% × 1	Max)	50	0	0	0	0	0	0	0	50	0	50	50	50	50	0
	X	0	0	2	0	0	0	0	0		0	1.2	0	0		0
Axis (m·min ⁻¹)	Y	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	1.2	0	1.8	0
	Ζ	0	0	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0.8		0

Fig. 2 Experimental conditions

3. 열오차 모델링 및 예측 결과

본 연구에서는 키 온도를 선택하기 위하여 회색 상관분석, 열오차 민감도 해석 및 퍼지 클러스터링이 조합된 방법을 사용하였다. 규명 실험 결과를 기 반으로 23개의 후보 온도 중에서 열오차 모델링에 필요한 8개의 키 온도를 선택하였으며, 이 키 온도는 Fig. 1에 나타난 S3, X2, X3, Y3, Z2, E1, L1, 그리고 L2 위치에 있다.



Fig. 3 Experimental results

다중 회귀 분석 모델을 사용하여 열오차 모델을 구축하였고, 모델의 피팅 및 예측 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 모델의 검증 결과에서 X, Y, Z 방향의 최 대 잔여 오차는 각각 0.9, 4.6, 3.0µm이다. 또한 잔여 오차 및 측정된 열오차의 평균제곱근을 사용할 때, X, Y, Z 방향의 열오차 모델의 예측 정확도는 각각 73.4, 95.4, 80.3%이다.



본 연구는 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (Nos. 20021902 and 20012834).

- (1) Ramesh, R., Mannan, M.A., and Poo, A.N., 2003, Thermal error measurement and modeling in machine tools. Part I. Influence of varying operation conditions, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 43 391-404.
- (2) Mayr, J., Jedrzejewski, J., Uhlmann, E., et al., 2012, Thermal issues in machine tools, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 61 771-791.
- (3) Kim, K.-D., Kim, M.-S., and Chung, S.-C., 2004, Real-time compensatory control of thermal errors for high-speed machine tools, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 218 913-924.

스마트 제조장비용 표준형 CNC 개발 및 성능검증

최인휴*, 심주현, 강윤성

CNC development and performance verification for smart manufacturing equipment

I. H. Choi^{*}, J. H. Shim, Y. S. Kang

씨에스캠(주) CNC사업부

Key Words : CNC, Control, Reliability,

1. 서 론

CNC는 제조장비의 모든 기능을 자동 제어하는 모듈로 스마트 제조장 비와 스마트공장 운영시스템을 연계하는 스마트 제조의 핵심 요소이며, 제조장비의 '두뇌' 역할을 수행하며, 이를 사용하여 생산하는 가공품의 품질, 부가가치, 생산성을 좌우한다. 그러나, CNC는 Siemens, DMG-Mori, Mazak, Fastems 등 CNC 메이커 또는 CNC 자체 기술력 을 가진 글로벌 공작기계 메이커가 기술을 독점하고 있다. 이에, 최근 산 학연 컨소시움을 구성하여 경쟁력 있는 국산 대체재의 확보하는데 힘을 모으고 있으며, 외산 CNC 선진사에 대항하여 저가 국산 장비 일부에만 채택되고 있는 CNC를 차세대 유망 수출품목으로 전환하고자 매진하고 있다. 이에 본 고에서는 고신뢰성 스마트 제조장비용 표준형 CNC의 HW 개발과 이에 대한 기능 성능 시험을 수행하고 그 결과를 분석한 내 용을 소개한다. 또한, 공작기계에 적용될 수 있는 고신뢰성/고정밀 스마트 CNC 제어기 HW는 PC기반 HW로 확장성을 극대화하는 전략을 채택하 여 PC기반 CNC의 메인 CPU의 성능 핵심인자와 실시간 성능 시험 결과 와 주변장치인 IO 모듈과 MPG, 그리고, 인터페이스 모듈의 개선 설계 및 제작한 결과를 제시하고자 한다

2. CNC HW 개발

Fig. 1은 공작기계에 적용될 수 있는 고신뢰성/고정밀 스마트 CNC 제 어기이며, PC기반 CNC로 구성되었고, 메인 CPU의 성능 핵심인자와 실 시간성능에 대한 성능을 검증하고자 한다.



Fig. 1 Design of CNC System

Fig. 2는 주변장치로 개발된 키보드 입력장치, IO 모듈과 MPG의 사양과 실물 사진이며, 일반 IO, OP 전용 IO모듈, 총 3종의 IO모듈을 제공한다.

3. CNC 성능 검증

Fig. 3은 CNC의 핵심성능을 시험하기 위한 시험장치이며, 총 12축 이 송용 서보모터와 IO 1024/1024, 2개의 OP로 2채널을 구성한 장치이다.



Fig. 2 Peripheral devices with the developed CNC



Fig. 3 Configuration of CNC Test Equipment

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 기계산업핵심기술개발 사업의 일환으로 수행되었다. [20012834, 과제명: 스마트 제조장비용 CNC 제어시스템 기 술 개발]

참고 문 헌

 Choi In-Hugh, Yang Min-Yang, Hong Won-Pyo, Jung Tae-Sung, 2005, Curve interpolation with variable feedrate for surface requirement, Int. journal of advanced manufacturing technology v.25 no.3/4 pp.325-333.

절삭가공 지능화를 위한 제조 데이터의 생성과 저장

이동윤*, 이훈희

Creating and storing manufacturing data for intelligent machining process

D. Y. Lee*, H. H. Lee

한국생산기술연구원

Key Words : Machining, Digital thread, Manufacturing data, Data management

1. 서 론

디지털 전환은 단순히 물리적인 요소를 디지털화하는 것을 넘어 디 지털 기술을 활용해 비즈니스 절차를 개선하는 데 중점을 두고 있다. 제조업에 디지털 기술이 도입되면서 많은 양의 데이터가 생성되고 있 으며, 이러한 데이터를 효과적으로 활용하기 위한 데이터 분석이 중요 해지고 있다. 그러나 제조 데이터의 다양한 형식으로 인해 제조 데이 터 분석을 위한 데이터 통합에 많은 어려움이 있고, 이를 해결하기 위 해 디지털 쓰레드 개념이 도입되고 있다. 디지털 쓰레드는 제조 단계 별로 사용되거나 생성되는 제조 데이터를 연계하여 컨텍스트 (Context) 기반으로 데이터 간 상호 참고가 가능하도록 지원하는 데이 터 구조 체계이다. 본 논문은 절삭가공 공정을 대상으로 디지털 쓰레 드를 구현하기 위해 각 제조 단계별로 제조 데이터를 생성하고 저장하 는 방법에 대해 제안하고 있다.

2. 절삭가공용 디지털 쓰레드 구현

그림 1은 본 논문을 통해 고려하고 있는 절삭가공 분야의 디지털 쓰 레드를 구현하기 위한 데이터의 생성과 저장 범위를 보여주고 있으며, 절삭가공이 이루어지는 현장에서 필요하거나 생성되는 데이터를 생성 되는 순서대로 나열하고 있다. 제품 형상과 품질 정보를 포함하고 있 는 CAD 모델로부터 시작하여, CNC 공작기계에서 사용하기 위한 공 구경로와 공구경로 생성에 활용되는 가공전략 및 가공조건 데이터는 STEP 표준을 사용하여 중립적인 형식으로 저장하도록 구현하였다. 제안된 절삭가공용 디지털 쓰레드는 공구경로를 확인하고 공정 최적 화에 활용하기 위해 사용되는 가상가공 (Virtual machining, VM) 데 이터를 포함하도록 구현하였다. CAD-CAM-VM 데이터는 대부분 하 나의 제품과 공정을 기준으로 일회성으로 생성되는 특징이 있다. 반 면, 작업 현장에서 가공 중에 발생하는 모니터링 신호와 제품을 측정 한 데이터를 제품이 가공될 때마다 생성되는 특징이 있다.

3. 디지털 쓰레드 가사화 모듈

본 논문에서 제안한 절삭가공 분야의 디지털 쓰레드 프레임워크의 기능을 검토하기 위해 디지털 쓰레드 조회 및 가시화 모듈을 구현했 다. 제안된 디지털 쓰레드 프레임워크를 통해 관리되는 정보는 생성 순서대로 품질정보가 포함된 CAD 정보, CAM 정보, 가상가공정보, 모니터링정보 및 측정 정보이다.



Fig. 1 Digital thread viewer (CAM, VM)

4. 디지털 쓰레드의 활용

제품을 가공할 때 수집되는 모니터링정보를 원인으로 가공된제품의 측정값을 결과로 놓고 상관관계를 분석하는 것이 보통 과거에 모니터 링기술을 활용하는 방법이었다. 본 논문을 통해 제안된 디지털 쓰레드 를 통해 가상가공기술의 예측 물리량을 조회할 수 있으면, 모니터링신 호와 측정값 간의 상관관계 분석에 도움이 될 것이다. 특히, 가상가공 기술을 통해 공구의 이송에 따라 계산된 가공 깊이 및 가공 폭과 같은 가공조건은 추가적인 원인으로 상관관계 분석에 활용할 수 있다.



Lee, H. H., Lee, D. Y. 2023, *Digital Thread for Machining Process*, J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 40, No. 5, pp. 373-381.



Fig. 1 Implementation of digital thread for machining process

SEM 영상을 활용한 딥러닝 기반 Super Resolution 기술 및 영상 평가 연구

노진성^{1*}, 김찬기¹, 김중배²

Deep learning-based super resolution and image evaluation techniques using SEM images

J. Rho^{1*}, C. K. Kim¹, J. B. Kim²

한밭대학교 기계공학과¹, 공주대학교 기계자동차공학부²

Key Words: Deep learning, Convolutional neural network, Scanning electron microscopy, Super resolution

항상 높았다.

1. 서 론

반도체 소자의 미세화로 인해 반도체 소자 측정 및 분석에 사용되는 영상 의 품질 항상이 필요하다. 특히 SEM 영상 품질 항상에 딥러닝 방법이 도입 되면서 반도체 뿐만이 아니라 다양한 분야에서 이를 활용하고 있다. 본 연구 에서는 반도체 분야에서 SEM 영상 품질 향상을 위해 다양한 매개변수를 조 정하여 신경망의 성능을 항상시키고, 이렇게 향상된 영상의 품질을 신경망의 신뢰성을 검증하기 위해 질적, 양적으로 평가하였다. 반도체 구조 중에 NAND channel hole의 영상의 Convolutional Neural Network(CNN) 기법을 사 용하여 초고해상도 영상을 얻었다. 최적의 신경망을 찾는 과정에서 Single Image Super Resolution(SISR) 결과 이미지의 품질을 영상의 품질을 나 타내는 지표인 Peak Signal to Noise(PSNR)과 Structure Similarity Image Measurement (SSIM)를 이용하여 결과 영상의 품질을 비교 평가하였다. 그러나 영상 품질을 정량화 한 수치 결과와 육안으로 직접 확인한 영 상 대비 결과가 다르게 나타나는 것을 확인하였고, 이를 극복하고자 영상의 품질을 대비(Contrast)를 기반으로 정량화 할 수 있도록 Modulation Transfer Function(MTF)를 사용하였다.

2. Deep Learning 모델

다양한 매개 변수인 층의 깊이, 훈련 데이터 증강 방식, 훈련 영상 유형 및 훈련 영상 개수의 변화를 통해 Very Deep Super Resolution(VDSR)을 사용하여 반도체 소자 SEM 구조 이미지의 품질을 향상시키는 모델을 개선했다[1,2]. 훈련 영상의 유형에서는 그림 1처럼 일반 영상과 SEM 영상을 조합하여 훈련 영상에 변화를 주어 반도체 소자 구조에 가장 적합한 모델을 생성하였다. 또 한, 변경된 여러 VDSR 모델의 결과 영상을 정성적으로 평가하고, PSNR과 SSIM을 이용하여 정량적 평가를 진행하였다.



Fig. 1 Training image types: (a) Optical images and (b) SEM images

3. 실험 결과 및 고찰

그림 2에서 볼 수 있듯이 Scaling 계수가 1.5인 SR 영상을 시각적으로 평가 하기 위해 각 SR 영상의 세부 부분을 확대하여 비교하였다. 분명히 VDSR은 bicubic interpolation보다 NAND channel hole 구조와 같은 반도체 소자의 형태 를 영상 대비 측면에서 항상시킬 수 있었다. 또한, PSNR과 SSIM이 scaling 계 수가 작아질수록 정확도가 떨어지는 반면, 대조가 0.5일 때의 공간 주파수 값 을 나타내는 MTF 50%의 값을 기준으로 측정한 결과에서는 VDSR의 값이





Fig. 2 SR images using (a) bicubic interpolation and (b) VDSR (Scale factor = 1.5)

본 연구를 통해서 NAND channel hole 구조를 촬상한 SEM 영상을 DL 방 법을 통해 영상의 품질을 강화한 결과에서 기존의 보간법보다 선명한 영상을 얻을 수 있었을 뿐만 아니라 이를 정량적으로 비교한 결과 수치적으로 향상 됨을 확인할 수 있었다. 적절한 SR 모델 간의 비교 분석을 위해 정량적 평가 를 진행하였고, 이 과정에서 신경망 모델 간에 PSNR과 SSIM을 사용하여 진 행한 정량적 평가와 시각적 판별을 통한 정성적 평가가 일치하지 않는 경우 도 있었다. 따라서, PSNR과 SSIM을 사용한 영상 품질 향상 정량 평가가 보 완되어야 한다고 판단했다. 이를 위해 렌즈의 성능을 확인할 때 사용하는 MTF 곡선을 도입하여 SR 영상에서의 영상 품질수치 측정을 하는 것을 제안 하였다.

- (1) Jiwon Kim, Jung Kwon Lee and Kyoung Mu Lee, 2016, Accurate Image Super-Resolution Using Very Deep Convolutional Networks, Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
- (2) Dong, C., Loy, C. C., He, K., Tang, X., 2015, Learning a deep convolutional network for image super-resolution, Image Super-transactions on patter analysis and machine intelligence, 38(2), 295-307.

cBN 공구를 이용한 STAVAX 강의 마이크로 밀링 중 이송속도 및 반경방향 절삭깊이에 따른 표면거칠기에 관한 연구

이동원^{1,2}, 이현화¹, 김진수¹, 김종수^{1*}

A study on the surface roughness depending on feed rate and radial depth of cut

during micro-milling on STAVAX steel with cBN tool

D. W. Lee^{1,2}, H. W. Lee¹, J. S. Kim¹, J. S. Kim^{1*}

한국생산기술연구원 금형성형연구부문¹, 인하대학교 기계공학과²

Key Words : cBN(cubic boron nitride) tool, Depth of cut, Feed rate, Micro milling, Micro pattern, Surface roughness, STAVAX steel

1. 서 론

STAVAX 강은 SUS420J2 계 금형강으로 고경도이며(≤HRc 52) 내마모성과 내식성이 우수하여 다양한 금형의 소재로 사용된다. 특히 경면 가공성이 우수하여 광학용 플라스틱 부품 제조를 위한 금형 소재 로 적합하다. 하지만 높은 크롬(Cr) 함량으로 인하여 피삭성이 저하되 기 때문에 가공을 위해서는 적절한 공구와 가공조건의 선정이 필요한 재료이기도 하다.

광학용 플라스틱 부품 중 차량용 라이트 가이드는 LED(Light Emitting Diode) 광원의 조도, 배광 등의 제어와 방열구조 개선 등을 위해 사용된다. 이러한 라이트 가이드는 수 십 nm 수준의 표면 거칠기 를 갖는 마이크로 패턴을 이용하여 광원을 제어하는 기능을 수행하기 때문에, 이를 제조하기 위해서는 높은 표면품위의 미세패턴 금형 가공 기술이 요구된다.

본 연구에서는 고품위의 표면을 갖는 마이크로 패턴 제작을 위하여 절삭조건 중 이송속도(Feed rate)와 반경방향 절삭깊이(Radial depth of cut)의 변화에 따른 피삭재의 표면 거칠기를 관찰하기 위한 마이크 로 절삭 가공 실험을 수행하였다.

2. 가공실험 및 표면조도 측정

2.1 가공실험

실험은 3축 CNC 가공기(RXP 801 Z2; röders)를 사용하여 15×15 mm 영역에 높이 0.06 mm, 피치 0.4 mm의 계단 형태 마이크로 패턴을 직경 0.15mm인 cBN(cubic boron nitride) 볼 엔드밀로 절삭 가공 시 케이스 별로 이송조건과 반경방향 절삭깊이를 달리하여 수행되었다. 실험 의 변수인 이송조건과 반경방향 절삭깊이는 공구 제조사의 권장조건을 기 준으로 각각 3수준으로 선정하여 총 9개 케이스의 실험을 수행하였고 절 삭 조건을 Table 1에 나타내었다. 또한 실험은 Oil Mist 환경에서 진행 되었다.

Table 1 Cutting condition									
Level	Spindle speed,	Feed rate,	Depth of cut, mm						
	RPM	mm/min	Radial	Axial					
1		320	0.002						
2	40,000	560	0.0035	0.006					
3		800	0.005						

2.2 표면 거칠기 측정

가공실험이 완료된 시편은 3차원 공초점 레이저 현미경(OLS5100, Olympus)을 이용하여 표면 거칠기를 측정하였다. 각 케이스 당 9개 지 점에서 표면 거칠기 데이터를 획득하였으며, 표면 거칠기 파라미터 중 Ra 값을 비교하여 결과를 분석하였다.

3. 결 론

본 연구에서 고품위 표면을 갖는 마이크로 패턴을 제작하기 위하여 이송속도와 반경방향 절삭깊이 변화에 따른 표면거칠기를 관찰하기 위한 절삭 가공 실험을 수행하였다. 각 실험 케이스 별 Ra 값의 평균 을 비교한 결과 반경방향 절삭깊이가 가장 작은 0.002 mm에서 이송 속도가 증가할수록 Ra 값이 감소하는 경향을 보이나 절삭 깊이 0.0035 mm 일때는 이송속도 증가에 따른 Ra 값의 변화가 뚜렷하지 않았으며, 절삭 깊이 0.005 mm에서는 피드가 증가할수록 Ra 값 또한 증가하는 경향을 보였다. 또한 반경방향 절삭깊이 0.002 mm에서 피 드가 증가할수록 Ra 값의 편차가 감소하는 것을 확인하였다. 결과적 으로 작은 절삭깊이에서 빠른 이송속도로 가공 시 균일하고 낮은 Ra 값을 갖는 표면 가공에 유리함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 한국생산기술연구원 및 산업통상자원부의 소재부품산업기술 개발기반구축사업의 '글로벌 시장진출을 위한 차세대 자동차용 R100µm, Ra20nm급 디지털 라이트닝 초미세 Light Guide 모듈 금형성형기술 개 발(KM230100, 20019131)'과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

- Lee, S.C, Park, J.N, Kim, S.J, Cho, G.J, 2010, A Study on Boring of Plastic Mould Steel, Proceeding of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 232-237.
- (2) Lee, D.W and Lee, S.K, 2013, Technology Market Analysis for Automotive LED Headlamp Development, Korea Institute of Science and Technology Information

비전카메라를 이용한 로봇-공작기계 협업고도화 기술 개발

이재학*, 이재준

Development of cooperative technology between machine tool and robot by using vision camera

J. H. Lee*, J. J. Lee

한국생산기술연구원 디지털전환연구부문

Key Words : Machine tool, Robot, Vision camera, Machine tending, Tool wear

1. 서 론

산업현장의 인건비 증가와 근로자 수 감소로 인하여, 공작기계와 같 은 전통 산업군의 로봇을 이용한 자동화 기술도입이 가속화 되고 있 다. 하지만 산업현장의 작업자들은 협동로봇에 대한 이해도가 낮아 로 봇이 설치된 이후에 공정이나 작업물이 변경되었을 때의 티칭포인트 변경이나 로봇경로 수정이 어려운 상황이다. 본 논문에서는 이를 간편 화하기 위한 비전카메라로 물체의 위치를 계산하는 티칭리스 머신텐 딩 기술의 개발과 로봇-공작기계 협업 Cell을 모니터링하고 가시화하 는 App의 개발에 대해 다룬다.

2. 시스템 구성 및 이미지 분석 프로그램 개발

아래 그림과 같이, 6축 로봇 그리퍼에 비전카메라를 부착하고, 로봇 컨트롤러 및 제어 PC를 연동하는 시스템을 구축하였다. 비전카메라 는 코그넥스 社의 In-sight 7905 모델을 사용하였고, 로봇은 스토브리 社의 TX2-90 모델을 사용하였다. 로봇 컨트롤러와 비전카메라는 중 간에 위치한 허브를 통해 연결되고, 제어 PC 또한 허브와 연결되어 비 전카메라와 로봇의 실시간 데이터를 수신할 수 있게 하였다. 모든 연 결은 TCP-IP연결을 통해 구성하였다.



Fig. 1 System Configuration

티칭리스 머신텐딩 기술구현을 위해서는 공작물의 위치와 크기를 인식할 수 있어야 하며, 본 연구에서는 이를 위해 파이썬의 ArUco Marker 라이브러리를 사용하였다. ArUco 라이브러리는 이미지에 있 는 마커를 기반으로 타 물체의 위치 및 크기, 각도를 계산할 수 있도록 하는 라이브러리로서, Fig. 2와 같이 비전카메라로 촬용한 이미지를 기반으로 물체를 인식하는 파이썬 프로그램을 작성하였다.



Fig. 2 Python Program for Obejct Detection

3. 티칭리스 머신텐딩 기술 개발

로봇 그리퍼로 물체를 잡기 위해 물체의 x,y 좌표와 각도를 추출하고, 이렇게 추출된 텍스트 데이터를 로봇 컨트롤러로 전송하고, 로봇 컨트롤러에 작성한 로봇 프로그램이 파이썬 프로그램이 추출한 x,y좌 표, 그리고 사전 설정한 z좌표로 이동하도록 하였다. 로봇이 해당좌표 로 이동한 후에는 그리퍼를 제어하여 물체를 잡도록 하였다. 이렇게 구성한 티칭리스 머신텐딩 기술에 대해 Fig. 3와 같이 검증을 진행하였 다. 실제 구동시에는 ArUco 마커 없이도 구동되도록 프로그램을 학습 시켜서 구성하였고, 물체가 임의의 위치에 있어도 물체를 잡을 수 있으 며, 실제 공작기계에 넣을 수 있다는 것을 확인하여 티칭리스 머신텐딩 프로그램의 구동을 확인하였다. 또한, 이러한 공정을 모니터링 할 수 있는 협업cell 모니터링 프로그램도 Fig. 4와 같이 가시화 하는 App의 개발도 완료하였다.



Fig. 3 Endmill cutting force simulation result



Fig. 4 Visialization App of Machine Tool-Robot System

참고문 헌

 Jia. F, Ma. Y, Ahmad. R, 2021, Vision-Based Associative Robotic Recognition of Working Status in Autonomous Manufacturing Environment Procedia CIRP, 2021, 104, 1535-1540.

증강 현실 기능의 스마트 안경 기술 현황과 전망

Van Truong Vu, Van Viet Luu, 이호철*

Applications and perspectives of smart glasses technology for the augmented reality

Van Truong Vu, Van Viet Luu, Hocheol Lee*

Hanbat National University

Key Words: Augmented reality, Virtual reality, Smart glasses, Holography, Lenslet array

1. Motivation

With the rapid progress in high-speed communication and computation, augmented reality (AR) and virtual reality (VR) are emerging as advanced display platforms, enabling more immersive interactions between humans and digital content. However, achieving exceptional visual performance while maintaining a compact and lightweight neareye display module poses significant challenges for optical engineering. Augmented reality (AR) and virtual reality (VR) headsets are now being recognized as interactive displays of the future, capable of delivering vivid three-dimensional (3D) visual experiences [1, 2]. These technologies have valuable applications in various fields, including education, healthcare, engineering, and gaming...

2. Approach

Figure 1 illustrates the basic components of augmented reality and virtual reality systems. AR/VR systems utilize a near-eye display setup, where a small image is enlarged to generate a large virtual image within the user's field of view. In virtual reality, this display system is non-transparent, obstructing the user's perception of the real world and immersing them solely in a virtual environment. Conversely, augmented reality employs a see-through display system that superimposes virtual content onto the user's real-world view.



Fig. 1 Basic components of (A) augmented reality and (B) virtual reality systems

3. Discussion

Due to the specific optical requirements of near-eye display systems, certain trade-offs often arise in the optical domain. Two significant challenges include the bulkiness of the optics systems and the limited field of view offered by displays, resulting in relatively large smart glasses in terms of both visibility and weight. Consequently, smart glasses devices would become more popular if they were lighter, more comfortable to wear, and could be used for extended periods. In this regard, Fresnel lenses, known for their thin and lightweight characteristics, hold potential for application in AR/VR systems [3, 4]. Specifically, microlens arrays and lenslet arrays are crucial components in the next generation of 3D imaging systems due to their favorable optical properties, including an exceptionally large field of view angles, minimal aberration and distortion, high temporal resolution, and infinite depth of field.



Fig. 2 The diagram of the curved lenslet array provides a large field of view

References

- A. Maimone, J. Wang, Holographic Optics for Thin and Lightweight Virtual Reality, ACM Trans. Graph. 39(4), 67 (2020).
- (2) Xiong, J., Hsiang, EL., He, Z. et al, Augmented reality and virtual reality displays: emerging technologies and future perspectives, Light Sci Appl 10, 216 (2021).
- (3) V. Vu, H. Yeon, H. Youn, J. Lee, and H. Lee, High diopter spectacle using a flexible Fresnel lens with a combination of grooves, Opt. Express 30, 38371-38382 (2022).
- (4) Bang, K., Jo, Y., Chae, M., & Lee, B, Lenslet VR: Thin, Flat and Wide-FOV Virtual Reality Display Using Fresnel Lens and Lenslet Array, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 27(5), 2545–2554 (2021).

배터리 전극의 효율적인 건조 및 기능화를 위한 광 에너지 주입 공정

석재영^{1*}, 우규희², 권신²

Photonic energy insertion process for efficient drying and functionalization of battery electrodes

J. Y. Seok^{1*}, K. Woo², S. Kwon²

서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과¹, 한국기계연구원²

Key Words : Lithium-ion batteries, Silicon anodes, Flashlight annealing

1. 서 론

전기차의 급격한 시장확대와 더불어, 이차전지에 대한 수요가 급증하고 있 다. 특히, 이차전지에서 핵심적인 역할을 하는 전극과 그 제조 기술 개발이 중요한 요소가 된다. 한편, 탄소 중립과 연계하여 에너지 효율이 높은 친환경 제조기술 또한 중요한 화두이다. 이러한 관점에서, 이차전지 전극의 제조 과 정에서 가장 에너지를 많이 소모하는 건조 공정의 효율을 증진하는 기술 연 구는 높은 중요도를 가지며¹¹, 이에 본 연구에서는 광 에너지를 주입을 통해 이차전지 전극 건조 효율을 극대화하고 다양한 조건의 주입 조건에 따라 전 극 표면에 발생하는 다양한 파생적인 가능화 효과를 분석한 결과를 보고한다.

2. 이차전지 전극 플래쉬 광 조사 실험

본 실험에서는 실리콘 음국재 기반 이차전지 음국에 광 에너지를 조사하고 효과를 분석하였다. 광 에너지 조사를 위해서 Novacentrix 社의 PulseForge 장 비를 활용하였으며, Xenon lamp 기반의 넓은 스펙트럼을 갖는 광 조사 장치이 다. 광 에너지의 강도는 J/cm² 단위로 제어되며, 조사 시간은 100~1000 µsec 사이로 정밀하게 제어될 수 있다. 비교적 약한 강도의 광을 긴 시간 동안 조 사한 경우와 강한 강도의 광을 짧은 시간 동안 조사한 경우를 나누어, 그 효 과를 각각 살펴보았으며, 강한 강도의 광을 장시간 조사하는 경우, 열처리 과 정에서 전극의 과도한 팽창과 수축에 의해 내부의 균열(Crack)을 유발하며 전 극에 큰 손상을 일으키기에, 실험의 범위에서 제외하였다.



Fig. 1 Schematics of flashlight-irradiation processes on silicon anodes

3. 실험 결과 및 고찰

저강도 장시간 혹은 고강도 단시간 광 에너지 주입의 경우, 각각 독특한 효 과를 나타낼 수 있음을 확인했다. 광 에너지 주입을 통한 에너지 전달은 기본 적으로 전극 물질의 광 흡수와 빠른 온도의 상승, 그리고 전극 물질 주변으로 의 열 전달 순서로 이뤄진다. 광 흡수는 전극 상단 표면부터 발생하여, 열처 리 공정 시 자연스럽게 깊이 방향의 온도 구배가 발생하게 되는데, 특히 광 조사 시간이 짧을수록 이러한 온도 구배 특성은 더욱 심화되는 특성이 있다.

저강도 장시간(0.77 J/cm² for 1 ms) 광 에너지 주입은 전극의 상단부를 보다 집중적으로 건조시키고 전극의 하단부는 건조가 비교적 덜 발생한다. 이에, 복합재 하단부에 함유된 바인더의 높은 유연성이 유지된다. 기존 진공 열처리 로 전극 전체를 완벽하게 건조시킨 경우 바인더 전체가 경화되어, 충전 방전 중에 발생하는 전극 물질의 부피 변화에 전극복합재가 깨지고 박리되는데, 광 에너지를 통해 열처리한 경우 전극 복합재가 안정적으로 유지됨을 확인할 수 있다(Fig. 2 참조)



Fig. 2 SEM images of electrode structures prepared by vacuum annealing (left-side) and flash annealing (right-side), respectively

고강도 단시간(1.8 J/cm² for 0.15 ms) 광 에너지 주입은 이차전지 전 극의 최상단 표면에 큰 영향을 미치며, 두 가지 주요 효과가 있는 것으로 분석된다. 전극 내의 고분자 바인더의 탄화로 인한 표면 탄 소막의 형성, 그리고 표면 산화로 인한 전해액의 젖음성 증가 효과 이다(Fig. 3 참조). 이를 통해 전기전도도와 이온전달특성이 동시에 증진되며, 전기화학적 반응 속도를 향상시키고, 결과적으로 이차전 지 충전 속도 증가에 기여함을 확인하였다.



Fig. 3 XPS (C 1s) and wetting angle analyses of battery electrodes after high-intensity and short-pulsed flash irradiation

참 고 문 헌

(1) Kumberg, J.*, Bauer, W., Schmatz, J., Diehm, R., Tonsmann, M., Muller, M., Ly, K., Scharfer, P., Schabel, W., 2021, Reduced Drying Time of Anodes for Lithium-Ion Batteries through Simultaneous Multilayer Coating, Energy Technol., 9, 2100367.

7월 14일 [금]



KSMTE ANNUAL SPRING CONFERENCE 2023

AI 기반 스마트팩토리 공공지원정책 연구

김상락*, 이경우, 박재영, 박소희

A study on the public support policies for AI-enabled smart factories

S. R. Kim*, K. W. Lee, J. Y. Park, S. H. Park

울산연구원

Key Words : Technology, Manufacturing data, Artificial intelligence, Smart factory

1. 서 론

최근 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 기술의 발달로 스마트팩 토리 고도화에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 AI 기술의 적용과 유지보수, 비용 등의 문제로 기업이 독자적으로 AI 기반 스마트팩토리 고도화를 추진하기에는 한계가 있다.

따라서 본 논문에서는 기업이 AI 기반 스마트팩토리를 고도화하는데 필요한 정책적 지원 방안을 연구하였다. 스마트팩토리와 AI 전문가를 대 상으로 AI 기반 스마트팩토리 고도화 방안에 대해 초점집단인터뷰 (Focus Group Interview, FGI)를 진행하였고, FGI 결과를 바탕으로 공 공부문 지원 전략과 과제를 제시하였다.

본 논문에서 제시한 지원정책은 AI 기반 스마트팩토리 고도화를 통 한 국내 제조업 경쟁력 강화에 도움이 될 것으로 기대된다.

2. 연구 방법

본 연구는 Morgan, Krueger, & Scannell(1998)에 의해 제안된 절차에 따라 수행되었다. 과정은 총 5단계로 ①연구계획서 및 질 문지 작성 ⇒ ②전문가 섭외 ⇒ ③전문가 자문 ⇒ ④전문가 자 문 내용 분석 ⇒ ⑤전략과 과제 도출 순으로 진행하였다⁽¹⁾.

3. 연구 내용

전문가 FGI의 내용을 바탕으로 키워드를 분석한 결과, AI 기반 스마트 팩토리 고도화 방안 마련 시 고려할 사항으로 '기술(Technology)', '데이 티(Data)', '기업(Company)', '인력(Manpower)', '문제(Problem)' 관련 부문에 해결해야 할 과제가 많은 것으로 확인되었다. 5개의 키워드에 해 당하는 자문 내용을 정리하면 Table 1과 같다⁽²⁾.

Table 1 Advisory contents

Keyword	Advisory contents
Technology	 Development of original AI technology The importance of high-quality data for the development of AI technology Need to develop blockchain technology to mitigate manufacturing data sharing risks
Data	 Lack of useful data inside SMEs Insufficient data available on KAMP(Korea AI Manufacturing Platform) Cleansing imprecise data takes too much time
Company	 Support for professional manpower and government consulting for AI to boost SMEs' competitiveness with AI Need to grow AI experts through in-house training and technology acquisition
Manpower	 Lack of AI experts Build a talent development platform to enhance AI technology competitiveness Implementation of a support project dispatching AI experts as partners from the parent company Universities and companies jointly open data science departments to secure AI manpower
problem	 Data sharing issues that need to be addressed to solve manufacturing problems with AI technology A knowledge gap between professors and field practitioners Difficulty in discovering smart factory problems that can be solved with AI technology Incorrect results due to lack of understanding of the field

Table 2 The 5 strategies challenges	
출된 공공부문의 추진전략과 과제는 Table 2와 같다 ⁽²⁾ .	
자문 내용을 바탕으로 AI 기반 스마트팩토리 구축 지원을 위해 5	Ē

Strategies	Challenges
Promote the use of AI in manufacturing	 Standardization of manufacturing data Establish a manufacturing data/AI technology bank Establish joint research labs for AI manufacturing Construction of a manufacturing data sharing communication network
Original and applied AI research in manufacturing	 Development of a manufacturing data/AI technology trading platform Development of manufacturing data acquisition/sharing/control technology Development of manufacturing data 'KAMP' linked technology Development of main industry intelligence technology
Fostering AI talent in manufacturing	 Formation of a consultative body between AI education institutions Enterprise-customized AI training University-company joint AI laboratory operation AI manufacturing technology competition held AI education support project for cultivating practical talent
Fostering small but strong AI companies in manufacturing	 Fostering of manufacturing data and AI technology brokerage companies Establishiment and operation of a manufacturing data/AI technology open market Enactment of an artificial intelligence industry promotion ordinance Designation of an AI manufacturing industrial complex Fostering of companies specializing in manufacturing data consulting, purification, analysis, and visualization Operation of a Manufacturing AI Service Support Center Pilot project for manufacturing data sharing
Strengthening AI networks in manufacturing	 Establishment of a Manufacturing Data and AI Technology Sharing Promotion Council Promotion of manpower and technical cooperation with external AI organizations

4. 결론

본 연구를 통해 AI 기반 스마트팩토리 지원정책으로 활용할 수 있는 전략과 과제를 도출하였다. 스마트팩토리 고도화를 위해서는 AI 기술 적용이 필수적이지만, 기업이 독자적으로 추진하기가 어렵기 때문에 공공의 도움이 절실하다. 연구 결과로 제시된 전략과 과제가 공공 정책으로 추진되어 국내 제조업 경쟁력 강화에 활용되기를 기대한다.

- Morgan, D. L., Krueger, R. A., & Scannell, A. U., Planning Focus Groups, Sage, 1998.
- (2) Ulsan Metropolitan City, 'A study on strategies to create an Ulsan-type AI innovation ecosystem for the advancement of key industries and the development of future new industries', 2020.12.31.

인쇄공장의 FOM솔루션 활용을 위한 MES 개발 사례 연구

최순우, 김재하, 윤동민, 김수영*

A case study on MES development for the use of FOM solutions in printing factories

S. W. Choi, J. H. Kim, D. M. Yun, S. Y. Kim*

호서대학교 AI스마트팩토리융합공학과

Key Words : FOMs(smart-Factory Operation Managements), MES, Kiosk, 4M

1. 서 론

제조기업의 생산성 향상을 위해서는 제조현장에서 생성된 Raw Data의 4M(Man, Machine, Material, Method) 기준의 기업 맞춤형 표준화와 SW 기반의 공장운영관리 시스템 구축이 필요하다. 제조공 장의 ERP, MES/POP 등 IT솔루션에 축적된 Raw data (기술과 노하 우)를 활용하여 공정분석 및 문제해결 방향과 요구사항을 도출할 수 있어야 하며, 작업자/설비/제품과 비가동/불량 등 각 요인별 데이터 분 석으로 기업의 기술경영지표를 달성하고 각 부서 임직원들이 지속적 으로 생산성 향상을 위해 데이터 기반의 스마트한 공장운영관리를 할 수 있도록 제조현장 4M 데이터가 유기적으로 연결되는 변화관리 시스템 구축이 필요하다[1]. 인쇄공장은 휴대폰박스, 케익상자, 자동차 부품 라벨 등의 제품을 고속 롤 인쇄기 및 접철 장치, 합지 장치 등의 설비를 활용하 여 제조하는 공장이다. 다양한 품종, 일화성 품종으로 생산관리 및 낭비개 선에 어려움이 많다. 이에따라 생산성 향상을 위한 기반을 확보를 위하여 MES 솔루션 구축을 하고 FOM솔루션과 연동을 할 수 있도록 구축하여 생산성향상을 이룩하려 한다. FOM솔루션을 효과적인 활용을 위해서는 4M(사람,설비,재료,공정)의 정확한 입력이 필요하다. 대부분의 중소기업 은 현장에서 작업자가 입력하기 어려워 관리자가 종이 문서로 작업일지를 통해 자료를 접수하고 데이터화를 위해 MES에 입력하고 있다. 그에 따 라 입력에 휴먼 에러가 발행하고 각자의 표현으로 비가동과 불량요인을 기입하여 데이터 집계에도 어려움이 많다. 이에 대한 대안으로 현장에 kiosk를 배치하여 입력하게 하고 있으나 장갑을 끼고 있고 작업 환경이 열악한 상황에서 터치 화면에 입력을 하는 것은 또 하나의 일로 되어 활 용이 떨어진다. 본 연구에서는 인쇄공장의 FOM솔루션 활용을 위한 MES 개발 사례를 통하여 FOM활용을 높이기 위한 File Set 구성을 위 한 준비, 열악한 제조현장에서 입력하기 용이한 Easy-kiosk, FOM 솔루 션과 MES 솔루션 연동을 위한 방법을 제안한다.

2. 본 론

FOM(smart-Factory Operation Management) 솔루션은 제조기업 제의 생산성향상에 초점을 맞춘 데이터 분석 솔루션으로, 생산성·비가 동·불량·부적합 기준의 19가지 생산관리지표와 세부생산관리지표로 나누어 다차원 분석을 수행할 수 있다. 또한, 생산관리지표의 유기적 연결을 통해 생산현장 4M 분석/관리, KPI 분석/관리, 세부분석, 변화관 리 등을 원활하게 수행할 수 있는 솔루션이다[2].

2.1 4M 관리를 위한 품목 및 비가동/불량 요인 코드 체계 재수립

정확한 4M 관리를 위해 사례의 인쇄공장은 주문 품종의 다양하고 일 회성 품종이 많음에 따라 품목별 가동,비가동, 불량등의 관리를 위해 제품 을 크기(유사분류)와 종이재질, 인쇄방법로 대분류하고 주문사양으로 분 류하고, 비가동요인과 불량 요인을 재분류 및 통합과정을 거쳐 코드 체계 를 재수립하였다.

2.2 4M 입력 개선을 위한 Easy-kiosk 개발

Easy-kiosk는 Man의 정보는 안면카메라로 통해 인식하게 하고 (작업 자 수준별 화면 제공), Machine의 정보는 OPC UA 데이터 수집 장치를 통해 자동으로 수집되게 하고, 품목/재료, 가동시간, 비가동정보 등의 정 보는 화면호출 버튼과 다이얼 입력을 통하여 입력할 수 있게 하여 작업자 의 입력을 최소화하였고, 열악한 환경에서도 간단한 절차를 통하여 입력 할 수 있게 하였다(Fig. 1).



Fig. 1 Easy Kiosk

2.3 FOM 솔루션과 MES 솔루션 연동을 위한 방법 FOM 솔루션과 MES 솔루션 연동을 위해서는 OPC UA 데이터 수집 장치, Easy-Kiosk, 데이터 수집 DB서버, MES 솔루션, FOM솔루션 연 동을 위한 FOM DB서버, FOM 솔루션으로 구성되고 MES 솔루션에는 FOM 파일셋 생성을 위한 REST API을 활용한 FOM 파일셋 생성 프로 그램을 포함하고 있다(Fig. 2).



Fig. 2 FOM solution and MES solution linkage structure

3. 결론

인쇄제조기업에 적합한 생산성 고도화와 경쟁력 향상을 위해서는 인쇄 공정의 4M 데이터를 유기적으로 연결하고 변화관리를 할 수 있는 기반 구축이 필요하다. 이를 위하여 폼목 및 비가동/불량 코드 체계를 재수립하 였고, Easy-kiosk를 개발하여 작업자 상황/수준별 화면 및 입력장치를 제 공하여 입력을 위한 별도의 시간을 배제하였다. 또한 MES-FOM 연동 API를 통하여 FOM을 활용한 실시간 변화관리를 할 수 있게 하여 생산 성 향상에 중요한 역할을 수행할 것이다.

- S.Y. Kim. (2018). "A case Study of the Introduction of Smart Factory Operation Management(FOM) in the fourth Industrial Revolution Era", *Korean Association of Computers and Accounting*, 16(1), 43-62.
- [2] S.Y. Kim, Y.S. Shin (2016). Introduction to Smart Factory FOM(smart-Factory Operation Management)

식품 제조기업의 FOM솔루션 기반 MES시스템 설계 및 개발 연구

손경섭, 조경찬, 김재하, 김수영*

A study on the design and development of MES system based on FOM solution of food manufacturers

K. S. Son, K. C. Cho, J. H. Kim, S. Y. Kim*

호서대학교 AI스마트팩토리융합공학과

Key Words : FOM(smart-factory operation management), MES(manufacturing execution system), Smart factory, 4M

1. 서 론

스마트공장 3만개 보급·확산사업을 통해 많은 수의 국내 중소제조 기업은 MES(manufacturing execution system)시스템을 구축·운영하 고 있다. 그 중 식품 제조기업의 구축 비중은 타 업종에 비해 높지 않 다. 따라서 스마트공장 등을 통한 MES시스템 도입 시 우수사례 등을 통한 벤치마킹 등이 어렵고, MES시스템을 구축하더라도 시스템을 통 한 단순한 데이터 누적이 대부분이고, 데이터 활용을 통한 효율적인 공장운영관리는 어렵다.

FOM Solution은 제조기업 생산,자재,설비,품질관련 데이터를 대상 으로 하여 FOM솔루션을 통해 일반관리, 비교분석, 상급관리 등의 유 기적이고 다양한 형태의 다차원 분석을 제공함으로써 기업 생산성 향 상, 제조 프로세스 개선, 품질수준 향상 등에 필요한 의사결정을 지원 하는 소프트웨어 기반의 솔루션이다.

본 연구에서는 FOM Solution 기반의 MES시스템의 설계와 개발방 법을 연구를 통해 식품 제조기업 표준 프로세스에 최적화 된 MES시 스템 환경운영을 제공하고, FOM Solution과의 데이터 연동을 통한 4M기반의 다양한 분석을 제공하고자 한다.

2. FOM Solution 기반 MES시스템 설계

본 연구에서 FOM Solution 기반의 MES시스템 설계를 위해서는 첫 번째 FOM Solution 분석에 필요한 FOM Data File set 6종에 대한 이해가 필요다(Fig. 1).

• FOST STATUS	u qui rue Commu						
Column	DataType	Scale	Remark	Column	DataType	Scale	Remark
생산일자	Date	10	yyyy-MM-dd	효율	Decimal	18, 1	
Shift	Text	2	주간/야간	C/T	Decimal	18, 5	
대분류	Text			비가동	Text		
중분류	Text			비가동시간	Integer		시/분
소분류	Text			부적합	Text		
설비	Text			부적합수량	Integer		%, ppm
제품	Text			불량	Text		
작업자	Text			불량수량	Integer		%, ppm
실적	Decimal						
계획	Integer						
작업시간	Integer		시/분				

Fig. 1 FOM file set define(manual qpr file)

두 번째 FOM File set 데이터 수집을 위한 식품 제조기업의 업무와 데이터 분석이 수행 되어야 한다(Fig. 2).



Fig. 2 Production process analysis

마지막으로 FOM File set 기준의 MES시스템 프로세스를 설계(Fig. 3), 및 FOM File set과의 연결을 설정한다(Fig. 3).

FOM Column	MES Table	MES Colum	Mapping	Remark
생산일자	공항병 생산실적	WK_DT	06	
Shift	공동별 생산실적	DT_BC	OK	
대분류	사업장 정보	BS_CD	OK.	분·지정정보 - 변경 가능
중분류	공정별 생산실적	PRC_CD	OK.	생산공정 - 변경 가능
소분류	@ ¶MASTER	IIM_CLS	OK.	양금종류
성비	공정별 생산실적		OK.	
제상	공정별 생산실적	ITM, NM	OK.	
작업자	작업자실적			
실적	공항별 생산실적	WRK_QTV	OK	
214	공동병 상산계획	PLAN_QTY	OK.	
학업시간	공정별 생산실력	WK_TM	OK.	
0.8				014 8
G/T				이적용
间升等	비가동 실적	stop_cD	OK	
비가동시간	비가동 실적	STOP_NM	0%	
부적함				
부칙활수량				0,48
영양	불량실적	BAD_CD	OK	
불량수량	불량실적	BAD_QTY	OK	

Fig. 3 MES System Table Column to FOM File Set Mapping

3. FOM Solution 기반 MES시스템 개발

MES시스템의 개발은 FOM Solution 기반으로 설계된 프로세스를 바 탕으로(Fig. 4), FOM File Set 제작을 위한 생산실적 중심의 4M데이터 연결 관리가 될 수 있어야 한다.



Fig. 4 Process for developing MES (POP) system based on FOM solution

수집되는 생산실적 데이터는 ①생산설비 가동시간, ②생산설비 비 가동요인과 발생시간, ③생산 작업자와 작업시간, ④불량요인과 발생 수량, ⑤투입자재와 투입량 등의 정보와 유기적인 연결을 통해 수집되 고, 관리되어야 한다.

4. 결 론

이와 같이 FOM Solution 기반의 MES시스템의 설계와 개발은 식 품 제조기업의 효과적인 MES시스템 구축을 가능하게 하고, MES시 스템에 수집되는 데이터를 FOM Solution에 연결하여 다양한 분석과 변화관리, 의사결정을 제공함으로써, 제조데이터 활용 향상과 함께 공 장운영 최적화를 가능하게 한다.

참고문 헌

 S.Y. Kim, Y.S. Shin (2016). Introduction to Smart Factory FOM(smart-Factory Operation Management)

중소기업의 탄소 절감을 위한 제조공정 4M 데이터 연동 FOM-ESG 경영관리 방법 연구

김재하, 김순철, 이영철, 윤동민, 김수영*

A study on the FOM-ESG management method using 4M data for carbon reduction in SMEs

J. H. Kim, S. C. Kim, Y. C. LEE, D. M. Yun, S. Y. Kim*

호서대학교 AI스마트팩토리융합공학과

Key Words : FOMs(smart-Factory Operation Managements), ESG(Environment, Social, Governance), 4M, Multidimensional analysis, Organic analysis

1. 서 론

국내외 제조기업들의 ESG 경영이 중요한 이유는 국내외 제조기업 과 소비자들이 사회,환경 문제에 관심을 보이고 있다. 2025년 부터 자 산 2조원 이상 기업 대상 ESG 보고 공시 의무화를 추진하며, 2030년 모든 상장사 공시 의무화 예정으로 ESG 공시에 대한 정책정 중요성이 증가하고 있다. 현재 국내 대기업들은 자체적으로 ESG를 대응하고 있 으나 앞으로의 공급망 실사가 있기 때문에 협력사 까지 ESG 대안을 마련해야한다. 현재 중소 제조기업의 ESG 대응에 대한 방향성과 핵심 플랜의 부재가 있다. ESG에 대한 규제는 있지만, ESG의 활성화를 위 한 정책적 대응 방안과 범 기업적 대응 방안인 핵심 플랜은 부족한 상 황이다. 'K-ESG 가이드라인을 통한 E. S. G. 평가결과 분석 및 평가 지표 개선방안 연구'(한국법제연구원, 2022.09.22)에 따르면 현재 국 내외 600여개의 평가지표가 운용되고 평가기관이 난립하고 있어 기업 에 혼란을 가중시킨다. 중소제조기업의 설비 및 인력 투자를 최소화 한 데이터 기반으로 ESG를 표준화·개선할 수 있는 솔루션이 필요하 다. 본 연구에서는 국내의 중소제조기업의 ESG를 위한 데이터 기반으 로의 정량적 지표설정과 정성적 지표의 데이터 게더링/측정 방법 연구 그리고 제조기업의 4M 기반 양질의 생산 데이터와 연동 분석이 가능한 FOM-ESG 융합 솔루션 개발을 위한 방법론을 제안한다.

2. 본 론

FOM(smart-Factory Operation Management) 솔루션은 제조기업 체의 생산성향상에 초점을 맞춘 데이터 분석 솔루션으로, 생산성·비가 동·불량·부적합 기준의 19가지 생산관리지표와 세부생산관리지표로 나누어 다차원 분석을 수행할 수 있다. 또한, 생산관리지표의 유기적 연결을 통해 생산현장 4M 분석/관리, KPI 분석/관리, 세부분석, 변화 관리 등을 원활하게 수행할 수 있는 솔루션이다[1]. FOM 솔루션과 ESG 경영지표 연동을 통한 스마트공장운영관리, 4M 변화관리 그리 고 ESG관리 시스템을 개발을 한다. FOM-ESG를 바탕으로 ESG와 중소기업의 생산성 개선을 동시에 도모할 수 있도록 지원한다.

2.1 FOM-ESG 아키텍처 설계

중소기업의 생산성 향상과 낭비 절감을 위해 FOM-ESG의 다차원 분석을 통해 문제의 가시화 및 개선활동을 수행 지원의 방법론으로 기 존의 FOM솔루션의 기능을 통해 제조현장의 유기적인 데이터분석과 다차원분석을 통해 현장의 낭비&저해요인을 분석하고 ESG 지표와의 연계성연구를 통해 최적화된 ESG경영지표를 개발하고 연계된 데이터를 FOM-ESG Data file set 연동 시스템을 설계한다(Fig. 1).



Fig. 1 FOM-ESG Process Structure

2.2 FOM-ESG 지표 측정 및 계량화 방법 도출

FOM-ESG Environment 항목 연동을 위해서는 도출된 각 부분의 정량적/정성적 지표에 대한 측정 방법을 분석해야하고 최적화하여야 한다. 측정된 ESG 지표의 계량화 방안을 도출해야한다. 정성적 ESG 지표는 FOM 솔루션 내부의 보고서 내보내기를 통해 글로벌 ESG 가 이드라인의 데이터 스트럭쳐에 연동하는 방식으로 보고서를 자동 생성한 다(Fig. 2).



2.3 FOM 로직 알고리즘의 연동을 통한 FOM-ESG #5000 code Environment 항목 분석 방법

ESG 환경(Environment)측면에서 발생하는 낭비&저해를 분석하 며 동시에 종합·제품·설비·작업자·요인 등의 생산량·비가동·불량·부적 합에 대한 정보를 종합분석 및 세부추적분석하며, 현장의 낭비&저해 요인을 분석할 수 있는 기능, 정량적인 ESG 지표와 함께 생산량·비가 동·불량·부적합 기준의 As-Is와 To-Be를 비교할 수 있는 기능, 기업 한 해의 ESG 관련 전사적인 목표를 설정하고 목표 대비 달성율과 그 에 대한 미달수량·손실금액·저해요인을 확인하여 경영자 관점에서 필 요한 KPI를 직관적으로 확인&의사결정을 지원하는 기능, ESG 지표 표준화를 통해 데이터 및 프로세스의 표준화 미흡으로 인해 자주 발생 하는 데이터 기입 오류와 수정사항 등을 쉽게 반영할 수 있도록 하는 기능, FOM-ESG Data-file set(에너지소비량, 탄소배출량, 폐기물 배 출 및 재활용, 수질오염물질 배출, 대기오염물질 배출, 원부자재사용량, 재생 원부자재 활용, 작업자 안전) 관련 연동 시스템을 설계한다.

3. 결 론

FOM-ESG 개발을 통해 중소제조기업을 위한 ESG 지표개발 및 표 준화된 가이드 라인이 만들어지고 더 나아가 업종별, 산업별, 기업규 모 등 ESG의 요구사항에 따라 ESG 핵심 의제를 발굴하고 효율적으로 관리할 수 있을 것 이다. FOM-ESG를 활용한 경영진단 지표를 개발하 고, 컨설팅에 활용함으로써 ESG에 대한 중소기업의 어려움을 해소되고 중소기업의 특수성을 고려한 ESG 경영의 선도 모텔을 개발하여 효율적 인 공장운영관리와 제조기업의 생산성 항상과 낭비제거에 중요한 역할을 수행할 것이다.

참고 문 헌

 S.Y. Kim, Y.S. Shin (2016). Introduction to Smart Factory FOM(smart-Factory Operation Management)

BOPP 필름 제조공장 FOMs 도입을 위한 선행 연구

이호영¹, 김순철², 김한승¹, 이은석¹, 김수영^{2*}

A study on the introduction of FOMs in BOPP film manufacturing plant

Ho Young Lee¹, Soon Chul Kim², Han Seung Kim¹, Eun Suk Lee¹, Su Young Kim^{2*} (주)화승케미칼¹, 호서대학교 대학원 AI스마트팩토리융합공학과²

Key Words : FOM(smart-factory operation management), Data reliability, MI-NPS(mata intelligent new production system)

1. 서 론

생산실행의 고도화 및 스마트팩토리의 완성을 통한 제조 혁신을 위 해서는 DCS (Distributed Control System), MES (Manufacturing Execution System), 설비 고장 예지 센서, Vision 시스템 및 각종 수 기 기록물 등에서 취득되는 4M (man, machine, material, method)관 점의 비정형 데이터를 표준화하고 실시간 통합, 가공, 요인별 상관분 석을 통해 유의미한 통계를 추출한 후 이를 시각화하여, 즉각적인 의 사결정이 가능한 시스템에 의한 문제해결 및 이를 통한 제조경쟁력 향 상이 필요하다.

본 연구에서는 BOPP 필름 제조공장의 생산실행의 고도화 및 스마 트팩토리의 완성을 위해, 제조현장 변화관리 도구인 FOMs Control Tower 모델 도입 전 단계로 현재의 공장운영 모습을 진단(As is)하였 고, 도입 후 기대되는 운영모텔(To be 모델)을 특정하였으며 추진 방 법론(Methodology)을 계획하였다.

2. 'A'사 BOPP 필름 공장운영 진단

'A'사 BOPP 필름제조공장은 대표적인 대규모 장치산업으로서 설비적으로는 제조공정이 분산제어시스템을 통해 제어되는 자동화 공정이며, 각종 4M데이터들은 MES, CMMS(Computerized maintenance management system), DCS, 설비 고장 예지센서 및 각종 수기 기록물 등으로부터 취득되고 있다. 하지만, 각각의 시스템과 제조현장의 기록물의 데이터 들은 각각의 시스템에서는 Rawdata Keeping 및 활용되고 있으나, 데이터의 비정형성, 비표준화 문제로 인해 시스템간 데이터 통합 (Data Integration)이 이루어지지 않고 있으며, 특히 MES의 경우에는 같은 시스템 내에서도 공정 간에 Data 연결이 매우 미흡한 상황이다. 그 결과, 연간 취득되는 수백만 행의 레코드 셋이 실시간으로 통합, 가공, 요인별로 다차원적으로 상관분석된 유의미한 통계를 추출, 시각 화되지 못하고 있어 현장에서의 비가동, 불량, 부적합 등 생산성 저해 문제해결 시에 과학적, 통계적 의사결정에 한계가 있고, 4M 관점의 새 로운 변화관리를 통한 제조혁신모델 도입이 절실한 상황이다.

3. BOPP 공장 제조혁신 방법론으로서의 FOMs

진단 결과를 개선하기 위한 방법론으로서 FOM (smart-Factory Operation Management) 솔루션을 사용하고자 한다. FOM 솔루션은 FOMs Platform을 구성하는 4개의 시스템(FOM, CPS, PBL, FEM) 가 운데 제조공정의 4M 데이터를 FOM Code Number 1000(생산량), 2000(비가동), 000(불량), 4000(부적합)의 19개 컴포넌트를 유기적으로 연결 및 분석하여 제조업체의 불필요한 낭비요인과 생산성저해요인을 변화관리하여, KPI(Key Performance Indicator)에 대한 최적화를 수행 한다. [1]

FOM 솔루션을 활용하여 생산량, 비가동, 불량, 부적합 등 생산성 저해요인의 변화관리를 위해서는 FOMs file-set이 준비되어야 하는 데, 현장 수기 기록물은 csv file로 MES, DCS, CMMS Server DB(Data Base)의 수백만행의 레코드 셋은 FOM Assist 로 비정형 데 이터를 가공, 재활용이 가능한 표준 데이터 셋으로 통합할 수 있다.

Fig. 1은 FOMs 구조, code 체계, 추진 방법론의 도식이다.



Fig. 1 FOMs Package Structure

4. FOMs To be 모델

향후 FOMs 도입과 각종 시스템에을 분산된 수백만행의 데이터셋을 FOM Assist로 통합하여, BOPP 제조공장에서의 4대 생산성 저해 요인 (생산량, 비가동, 불량, 부적합)의 변화관리 혁신이 기대된다.



Fig. 2 Data Integration in BOPP Film Line

4. 결 론

모든 산업이 고도화되고 있는 4차 산업혁명 시기의 제조업 기업의 제조 경쟁력은 과거와 같이 소수 뛰어난 인재 그룹의 리더쉽과 관리력에 의존 하여서는 확보될 수 없다. 진정한 제조경쟁력 혁신을 위해서는 소수 인재 에 의존하지 않는 시스템에 의한 과학적, 통계적 방법에 의해 신속하게 의사결정하여 문제를 해결하는 데이터 경영의 실현과 기업문화 정착이 필 요하다.

참고문 헌

[1] Kim, S. Y., 2018, A Case Study of the Introduction of Smart Factory Operation Management(FOM) in the fourth Industrial Revolution Era, Korean Association of Computers and Accounting, 16:1, 43-62,

의료기기 품질시스템 필수 요구 조건 적용 사례연구

- 일주기 스마트안경 개발 및 시제품 제작 사례 중심 -

김영진^{1*}, 황인환¹, 유은주¹, 김수영²

A case study on the medical device GMP application

Y. J. Kim^{1*}, I. H. Hwang¹, E. J. Yoo¹, S. Y. Kim²

오송첨단의료산업진흥재단 첨단의료기기개발지원센터¹, 호서대학교 소재부품장비스마트팩토리학과²

Key Words : ISO13485, Medical device, Dynamic posturgraphy, Manufacturing innovation, FOMs

1. 서 론

의료기기 품질시스템 제도는 의료기기의 설계·개발, 생산, 시판 후 관리 등 전 과정에 대한 품질경영시스템의 확보를 통해 안전(Safe), 유효 (effective)하며, 의도된 용도(intended use)에 적합한 품질의 제품을 일관 성 있게(consistently) 제조·판매됨을 보장할 수 있는 최소한의 요구조건이 다.[1]

의료기기는 사람의 생명 또는 건강에 직·간접적으로 영향을 미치는 제품 으로 그 특성 때문에 높은 수준의 품질관리가 필요하다. 따라서 작업자나 관리자가 일으키는 착오, 혼동 등 실수 최소화, 세균이나 이물질에 의한 의 료기기 오염방지, 검증되지 않은 원자재 사용 방지 및 공정변수로 인한 품 질변화 최소화, 일정수준 이상의 품질을 보증할 수 있는 체계 유지를 종합 적으로 고려해야 한다.[2]

일주기스마트 안경은 인류의 유전자에 각인된 생체시계에 의하여 24시 간을 주기로 반복하는 호르몬 등 생체신호의 규칙적인 리듬인 일주기 리듬 이 불규칙적인 청색광에 의해 교란되어 멜라토닌 호르몬 분비의 24시간의 주기성과 관련된 신진대사의 불균형을 치료하는 의료기기이다.

본 연구에서는 신경계와 내분비계의 일주기리듬의 교란에 따라 유발하는 수면장애, 집중력 및 면역력 약화, 우울증, 불면증 등 다양한 질병을 예방하 고 치료하기 위한 의료기기의 품질시스템 필수 요구 조건의 적용을 고려하 여 개발 및 시제품 제작 사례 연구를 제안하고자 한다.[3]

2. 의료기기 품질시스템 필수 요구 조건

의료기기의 품질은 환자와 사용자, 혹은 다른 사람의 안전뿐만 아니라 제 품의 효과성에 직접적인 영향을 준다. 이에 대부분의 국가 규제 제도에서는 의료기기 제조사와 공급사가 내부 품질 경영 시스템에 대해 독립적인 심사 및 검증을 받도록 요구하고 있다. 검증된 품질 시스템을 수립하지 않는 의 료기기는 국가별 진입이 거부될 수 있으며 이는 기업의 손실이 될 수 있다. ISO(국제표준화기구)는 ISO 13485를 개정하여 설계 및 개발, 생산, 저 장, 배송, 설치, 서비스, 최종해체, 의료기기의 폐기, 그리고 설계 및 개발

8, 제8, 일시, 에시, 되장에지, 여교가기의 제기, 그러고 일시 및 개일 또는 공급과 관련된 활동을 포함한 전 과정 단계를 위한 요구사항을 명시한 다. 또한 이 국제규격의 요구사항은 공급자 또는 조직에 제품을 제공하는 기타 다른 외부 이해관계자(예:원자제, 부품, 하이부품, 의료기기, 멸균서비 스, 교정서비스, 배송서비스, 유지보수서비스)에 의하여 사용될 수 있다. 또 한 품질시스템 안에서 적용되는 규제적 요구사항은 국가별, 지역별 차이가 있을 수 있다.

품질시스템의 필수 요구사항은 고객만족에 필요한 제품의 기술적 요구사 항 그리고 안전과 성능을 위해 적용되는 규제적 요구사항에 상호보완 하는 이 국제규격 내에서 품질경영시스템 요구사항이 명시되어 있음을 강조하고 있다. 따라서 a) 조직의 환경, 변화 그리고 의료기기의 적합성을 가지는 조 직의 환경 영향, b) 조직의 변화하는 요구사항들, c)조직의 특정 목표, d) 조직이 제공하는 제품, e) 조직의 고용프로세스, f)조직의 규모 및 조직의 구조, g) 조직의 활동에 적용되는 규제적 요구사항 등을 기반으로 전략적 결정을 수행할 필요가 있다.

품질시스템을 만족하기 위한 필수 요구사항으로는 품질방침 및 품질목표 의 문서화, 품질매뉴얼, 문서화된 절차와 기록들, 프로세스의 효과적인 기 획, 운영 및 통제를 보장하기 위한 문서 및 기록, 적용되는 규제적 요구사항 에 의하여 명시된 기타 다른 문서를 포함하도록 한다.

3. 일주기스마트 안경 개발 및 시제품 제작

일주기리듬이 교란되면 불면증 등 수면질환, 우울증, 정서질환, 그리고 암(유방암, 대장암)과 대사성 질환의 발병확률을 높이는 원인이 된다. 이 로 인해 미국 WHO는 교대근무에 의한 일주기리듬의 교란을 2급 발암 물질로 지정하고 있다.

현대인들은 무분별한 조명의 사용으로 빛 공해에 노출을 피할 수 없고, LED램프의 에너지 효율의 향상과 급속한 모바일 환경의 도래로 심각한 일주기리듬의 교란이 발생하고 있음.

이와 같은 문제를 개선하기 위해 바이오 조도 및 광치료 LED 및 전자 회로로 구성된 일주기스마트 안경을 통해 일상 생활에서 노출된 빛을 바 이오조도계로 정량적 분석을 수행하고, 인체 심부체온등의 생체신호를 통 해 일주기리듬의 교란을 정상화 할 수 있는 일주기 스마트 안경을 개발 및 제작하였다. 개발한 일주기 스마트 안경은 의료기기 품질시스템 확보 를 위한 전기계계적 안전성 및 생체적합성 분야 필수 성능 검증을 완료하 였으며, 인허가를 위한 임상을 준비 중에 있다. 또한 국내외 디자인 상을 수상하고, 과기부 지원사업 단계평가에서 최우수 평가를 받았다.



Fig. 1 Prototype(left) and Report/Prize(Right)

4. 결 론

의료기기는 사람의 생명 또는 건강에 직·간접적으로 영향을 미치는 제 품이라는 특성으로 제품의 효용성 및 안전성을 유지가 필수적이다. 비록 그 제품의 위해도가 높지 않다 하더라도 결과에 미치는 영향이 클 수 있 기 때문이며, 만약 제조 기업에서 이를 사전에 인지하지 못한다면, 최종 인허가를 받지 못하는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 일주기스마트안경 을 설명하고 이를 개발 및 시제품 제작을 위한 품질시스템 필요 요구 조 건을 소개함으로써, 향후 의료기기를 제조하고자 하는 기관에서 필수적으 로 적용해야 함을 사례 연구로 제시하고자 한다.

후 기

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2016R1A5A1921651).

- Ministry of Food and Drug Safety 2021 Medical device GMP Guide(6)
- [2] Medical device Act Article6, 10, 12, 13, 15, 28, 45
- [3] S.Y. Kim, Y.S. Shin (2016). Introduction to Smart Factory FOM(smart-Factory Operation Management)

FOMs 기반 제조기업 맞춤형 교육모델 개발을 위한 사례연구

장오성, 김재하, 박용록, 장재훈, 김수영*

A study for the development of a customized traning model for manufacturing companies based on FOMs

O. S. Jang, J. H. Kim, Y. R. Park, J. H. Jang, S. Y. Kim*

호서대학교 AI스마트팩토리융합공학과

Key Words : FOM(smart-factory operation management), Smart factory, PBL(problem based learning), Educational model

1. 서 론

국내 제조기업에서 주로 다품종 소량 생산을 수행하고 현장에서 발생되 는 많은 데이터들이 수작업으로 기록되고 작업이 종료된 시점에 취합하게 된다. 그러나 이러한 과정에서 발생될 수 있는 오기, 누락, 중복 등으로 인하여 데이터의 신뢰도가 낮아지게 되고, 이를 이용한 생산성 저해 요인 도출 및 도출된 요인에 대한 분석과 개선 효과를 검증하기 어렵게 한다. 따라서 체계적이며 효율적인 데이터관리가 가능하고 공정의 다차원 분석 으로 상황 변화에 유연하게 대응하고 상시 바뀌는 작업자로 인해 제조기 업 맞춤형 교육 모델이 필요하다. 본 연구에서는 제조기업의 Raw 데이터 를 FOM Data File Set(manual qpr, manual reject, manual abnormal, manual downtime, manual limit, manual cost)으로 체계 적으로 분리해 생산능력 관리와 생산성 저해 요인들의 유기적인 분석을 수행하고 의사결정을 통해 개선 요소를 도출하며 다양한 개선 데이터를 적용하고 시뮬레이션을 통한 4M 최적화로 생산효율에 미치는 예상 효과 를 검증하는 FOMs(smart-Factory Operation Management) Package 기술을 일부 활용해 교육모델 개발을 위한 FOM 프로세스 기반 사례를 연구한다[1].

2. FOM 시스템 적용 진단·분석

FOMs Package의 구성요소인 제조기업 문제 중심의 교육을 수행하는 PBL(Problem Based Learning)과 FOM 시스템을 이용해 진단 · 분석을 수행한다. FOM 시스템은 FOM 솔루션과 FOM 프로세스로 구성되어 있다. FOM 솔루션은 FOM 19개 코드별 유기적 분석과 4M 데이터 다차원 분석을 해 비교분석과 변화관리를 수행하며 FOM 프로세 스는 기업의 핵심 성과 지표를 관리하며 컨설팅 및 교육을 수행한다. 두 개의 시스템이 연동되어 있어 지속적으로 업데이트와 관리를 수행할 수 있다. 적용 사례 기업은 자동차 부품 절삭가공 제조기업으로 1년치 데이 터를 적용해 분석했다²¹.

2.1 FOM 솔루션

FOM 솔루션은 데이터 다차원 분석을 하기 위한 시스템으로 #1000 (생산량), #2000(비가동), #3000(불량), #4000(부적합)으로 관리번호로 구성되어 있으며 Fig. 1과 같이 디스플레이 되며, FOM 코드별로 모든 항목들이 유기적으로 연결되어 있어 Fig. 2와 같이 지정된 제품을 통해 비가동요인, 불량요인, 부적합요인에을 분석하고 저해요인에 대한 손실비 용을 확인 가능하게 된다. 이렇듯 다차원분석 및 추적관리를 통해 지속적 인 변화관리를 수행한다.



Fig. 1 Display by FOM Code

2.2 FOM 프로세스

FOM 프로세스는 진단-분석-적용-유지-최적-교육 6단계로 구성되어 있고 Fig. 1의 화면을 통해 진단-분석을 수행해 현재 제조기업의 문제점 과 상황에 대해 파악을 하고 문제가 있는 4M에 대해 진단-분석을 통해 검증하고 도출하고 추적관리한 결과를 기반으로 의사결정을 도출하고 교 육을 통해 제조기업 맞춤형 교육을 제시할 수 있게 된다.

3. 분석 결과

작업자를 기준으로 월별 중 생산 달성율이 가장 낮은 달과 작업자에 대 해 Fig. 2와 같이 비가동요인, 불량요인에 대해 분석을 하고 손실 비용을 확인하고 제조기업 맞춤형 교육을 제시한다. 비가동 요인으로 초중종검 사, 인원결원 교육/조회, 불량관련이 있으며 불량 요인으로는 H:거리 전 장, I:외경베어링, 찍힘/긁힘 등 발생하고, 총 손실비용으로는 68,737,429 원으로 확인된다. 따라서 교육 및 개선안으로는 인원결원에 대해서 현장 인원 보충 및 현장 작업자에 대해 제조기업별 표준 작업, 제품 검수 및 작업 공정에 대한 OJT 교육을 제시한다.

24	21.0	NO	844	M71#	27	***	电对着 22.8	Py (4월 안)			
		100.0%	75.1%	11.7%	0.3%	0.0%				요민(4)	손실비용
SDV-1	저물-46	29.3%	71.0%	14.3%	0.3%	0.0%	12.8hr	6.0hr	1.9r		67, 194, 5
5DV-2	제품-46	20.0%	68.6%	15.4%	0.1%	0.0%	56.0%	35.2%	6.6%	조중중검사	41,879,5
001004	제품-46	18.7%	80.3%	10.0%	1.1%	0.0%				인형형원	29,176,0
CNN-020	78-46	18.7%	80.7%	10.0%	0.0%	0.0%	소용용감사	인왕작용	(学会)头教」	교육/조회	4,648,6
SDV-1	제품-48	6.8%	89.0%	9.3%	0.1%	0.0%		00.000			
M-SDVW	저릎-86	6.5%	76.4%	0.0%	0.0%	0.0%		() L)		单世 (S)	순당역용
							3788	Bea	444		1,542.8
							72.5%	15.7%	7.0%	Hc가리 전장	1,062,5
							and the	. Allera		1:\$P\$ 2 기타	368,0
							~ 거리 친화	1.11首次日1	23 40923	1:92경 베이종경	72,3

										88	****

Fig. 2 Analysis of worker tracking management with FOM Solution

4. 결 론

본 연구는 데이터들의 FOM 코드별 유기적인 분석을 수행하고 의사 결정 및 개선 요소를 도출하는 FOMs Package를 이용해 절삭가공 기 업의 1년치 Raw 데이터 수집을 통해 FOM Data File set 전처리 하 고 FOM 솔루션으로 다차원 분석 및 추적관리를 수행하고 FOM 프로 세스를 통해 분석한 결과를 기반으로 중소 제조기업의 맞춤형 교육을 통해 생산성 저해요인을 줄여나가고 변화관리를 수행하며 생산 효율 이 향상됨과 효율적인 공장 운영으로 생산성 및 제품의 품질 향상을 통한 제조경쟁력 향상에 기여할 것이다. 이렇듯 다양한 산업군별 FOM 코드별로 진단 · 분석을 통해 변화해나가며 도출된 문제를 줄이 기 위해 표준 교육 모텔 연구 개발을 통해 지속적으로 개선활동 및 맞 춤교육을 수행해 나가야 된다.

- [1] S.Y. KIM (2021). Smart manufacturing innovation based on FOMs(smart-Factory Operation Managements), 57-57.
- [2] Jae Hyuk Kim, Su Young Kim.(2021).Productivity Analysis Method based on Manufacturing Big-data using the FOM System in the FOMs Package.Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 30(4), 259-268.

DUI AI 솔루션을 활용한 산업 AI 내재화

이창선*, 홍정범

Industrial AI internalization using DUI AI solution

C. S. Lee*, J. B. Hong

인하대학교 제조혁신전문대학원

Key Words : Document user interface, Converged solution, AI, Domain knowledge

1. 서 론

2022년 7월에 산업 디지털 전환 촉진법이 제정되었다. 촉진법에 의 거해 산업부 장관을 위원장으로 하는 제1회 산업 디지털 전환 위원회 가 2023년 1월에 개최되었다. 동 위원회에서 "산업 AI 내재화 전략" 이 심의 확정되었다. 내재화는 AI를 활용하는 수요 기업의 능력을 제 고하는 활동이다. 제조 지식과 AI 코딩 지식이 융합되어야 한다는 공 감대는 형성되어 있지만, 융합의 구체적 방법론이 부족한 상황이다.

2. DUI AI 솔루션 개요

AI 솔루션 개발의 성공을 위한 제조 전문가의 역할은 막중하다. 적 절한 AI 솔루션 개발 목표 설정, 데이터와 판단 기준 제공, 예측 결과 의 제조 지식 기반 검증, 솔루션의 활용 등이 제조 전문가의 역할이다.



Fig. 1 Design of Custom AI Solution

AI 솔루션은 설계와 제작을 거쳐 개발된다. 설계는 목표를 선정하고 결 과를 활용하는 제조 전문가가 해야 하지만, 기존의 AI 솔루션 개발은 AI 코딩 전문가가 설계와 제작을 하였다. 그 이유는 설계와 제작이 명확한 구분 없이 모두 코딩에 의해 이루어졌기 때문이다. 따라서 제조 전문가의 역할은 제한적이었다. 코딩을 모르는 제조 전문가가 설계할 수 있는 방법 론이 DUI AI 솔루션이다. 제조 전문가는 코딩이 아닌 DUI 엑셀 파일로 설계를 한다. AI 코딩 전문가가 개발한 분석 엔진은 설계대로 산출물을 생성한다. 설계사가 설계 도면을 작성하면 시공사가 도면대로 시공하여 건축물을 완공하는 방식과 같다

제조 전문가는 두 개의 설계를 해야 한다. 하나는 AI 솔루션 설계이고, 두 번째는 AI 분석 산출물 설계이다. 두 개의 설계는 모두 엑셀 DUI 파 일로 이루어진다. AI 코딩 전문가가 AI 분석 엔진을 만들고, 제조 전문가 가 솔루션 설계 DUI를 만들어 결합시키면 맞춤 AI 솔루션이 개발된다. 맞춤 AI 솔루션에 산출물 설계 DUI를 입력하면 예측 산출물이 제작된다.



Fig. 2 Seperation of Design and Production of AI Solution

3. DUI 설계

DUI 엑셀 파일을 이용하여, AI 솔루션 구조 설계, 데이터 맞춤 전처리 설계, 화면 설계 등을 할 수 있다. 이러한 설계는 AI 분석 엔진과 결합하 여 맞춤 솔루션을 완성한다. 분석 엔진이 있으면 제조 전문가는 설계 변경 에 의해 맞춤 솔루션 자가 개발이 가능하다.

	구조	□ 분석 데이	터셋 구	조	□ 메뉴	구조	5		•	모델	구조			
년 1	전처리	□ 개별 전처	리		- 병합	전치	리		۵	분석	전처리	ļ.		
	화면	0 소상 화면	0	생플링	화면	. 0	모델	재학습	화면	0	예측	화면	 최적화	화면

Fig. 4는 충별화 분석을 위해 데이터를 추출하는 샘플링 화면용 DUI 엑 셀 파일이다. Fig. 5는 설계대로 생성된 샘플링 화면의 일부분을 보여 준다.

a		c		(a)				
PART NAME	PART_FACT_SERIAL	시간 위치 등	Injection_Time	timeinjection	Max_Injection_Pressure	최대 사용 압력	Barrel_Temperature_1	배철 온도 1
EQUP_CD		압력 등	Filling_Time	timefilling	Max_Switch_Over_Pressure	최대 변환 압력	Barrel, Temperature, 2	배월 온도 2
PassOrfall		85.8	Plasticizing_Time	저창시간.	Max_Back_Pressure	최대 후방압력	Barrel_Temperature_3	배월 온도 3
Reason			Cycle_Time	영산주기	Average_Back_Pressure	평균 추양압력	Barrel_Temperature_4	배탈 온도 4
			Clamp_Close_Time	클램프 고정시간		-	Barrel_Temperature_5	배달 문도 5
3			Cushion Position	보압스크류위치			Barrel Temperature 6	배열 문도 6
1			Switch_Over_Position	답력절환위치			Hopper_Temperature	후려 운도
1			Plasticizing_Position	계량완료위치			Mold_Temperature_3	금행 온도 3
			Clamp_Open_Position	공형 개방 위지			Mold_Temperature_4	공형 문도 4
			Max_injection_Speed	최대 사출 속도				
			Max_Screw_RPM	스쿠류 최대 RPM				
			Average_Screw_RPM	스크류 왕군 RPM				

Fig. 4 Design of Sampling Screen

au (te)	Seeding Sampling	lavel BR	-	a	tion in the		and the second	ogen		
187.9X N	DerGrafe1									
	52-144	TREAM	184.40	100.02111		2010-02				24.45
fails cauge lagest y	yyy can dd									
482	Applies Million			시간 위치 등		압력동			22.5	
S VONTRE:	brez		ternite to 2	40 00	814 B	49 0 24	0	11-11 11-1 11-11-1-1-1 11-1-1-1-1-1-1-1-	95	48
# OVT WIS SOE MLDG TEH			time they		242.00	24		*****		
W D(1 WH NEW WEDG HM			10.00		103 0.00	0.00		MERCI		
w HEEMOLDG			생산수지		85 10	0.4		MI 2 4 4		

Fig. 5 Sampling Screen

자가 개발한 맞춤 솔루션에 산출물 설계를 입력하면 다양한 EDA (Exploratory Data Analysis) 산출물, 기계학습 산출물, AI 예측 산출물 들이 화면에 혹은 HTML 파일로 생성된다.

AI	□ 기계학습	□ 예측 모델 개발	미 예측 솔루션 개발	고 최적화 솔루션 개발
EDA	□ 샘플링	□ 기초 통계	□ 그래프	고 집계표

4. DUI 설계 장점

첫 째, AI 나 코딩을 모르는 제조 전문가가 AI 솔루션을 자가 개발할 수 있으므로, AI를 더 폭 넓게 활용할 수 있으며, 제조 지식을 탑재하기가 용이하다. 둘 째, 제조 전문가가 솔루션을 재설계하여 개조할 수 있으므 로, 제조 기업의 보안성이 강화된다. 셋 째, 설계와 제작을 분리하였기 때 문에, AI 솔루션 개발 생산성이 높아진다.

참 고 문 헌

 J. H. Son, 2022, Role Allocation between AI Expert and Domain Expert, Technology and Innovation, vol 453.

FOMs 기술을 통한 호두과자 생산에 최적화된 Layout 구축방안 연구

이인희, 양해성, 김수영*

The study on the establishment of optimal layout for walnut cookie production through FOMs

I. H. Lee, H. S. Yang, S. Y. Kim*

호서대학교 AI스마트팩토리융합공학과

1. 서 론

많은 국내 식품 제조 기업은 고객의 다양한 요구와 강화되는 식품위생법, 날로 치열해지는 경쟁 속에 살아남기 위해서는 경쟁력 확보와 고객 만족 경영을 위해 노력하고 있다. 그러나 한계에 도달한 생산 설비와 암묵지에 의해 운영되는 제조 현장으로 인해 생산량의 정체와 성장의 한계에 도달하고 인력난으로 인해 많은 어 려움을 겪고 있다. 기업이 지속적인 성과와 수익을 창출하기 위해서는 데이터 기반 스마트 제조 현장 구축과 생산 프로세스를 최적화하고 생산능력 극대화를 위한 방 법을 강구해야 한다. 이를 해결하기 위해서는 4M(Man, Machine, Material, Method) 기반의 공장 운영 관리로 혁신적인 생산능력 관리, 최적화된 경영전략을 수립할 수 있는 프로세스 정립이 필요하다.

본 연구에서는 천안 특산품인 호두과자 H 기업을 대상으로 제조 현장에서 FOM(Smart-Factory Operation Managements) 솔루션의 다차원 분석을 통해 호두과자 생산에 최적화된 신공장 Layout을 구축하는 데 있어 제일 많이 고려해야 할 요인을 도출하고자 한다.

2. FOM 솔루션 및 데이터 수집

본 연구에서 사용하는 FOM 솔루션은 제조 공정에서 발생된 데이터를 4M 관점에서유기적인 연관성을 고려하여 생산량, 비가동, 불량코드별로 분류하여 분석을 수행한다...2].

분석에 사용된 데이터는 MES 및 작업자 개인이 작성한 워크시트를 기반으로 수집, 분석하여 FOM 솔루션 적용 전에 Manual qpr로 변환하여 분석하였다.



Fig. 1 data acquisition & analysis sequence of FOM solution

3. 사례 분석 결과 및 논의

본 연구에 적용된 H사의 공정은 「원료 투입 - 굽기 - 내포장 - 금속검출 검사 - 외포장1 - 외포장2」 과정으로 이루어진다. 원료 투입부터 완제품 단 계까지 각 단계에서 수집된 데이터로 FOM을 적용하여 As-Is 분석을 수행하였 다. 분석에 적용된 제품은 호두과자 30알 제품을 기준으로 한다.



Fig. 2 호두과자 제조 공정별 소요시간

1개 완제품이 나오는데 소요되는 Cycle time은 399.9s/30알 이다. 총 Cycle time 중 38.8%에 해당하는 155s가 공정 사이의 대기시간 및 이동시간으로 차 지하고 있다.

FOM을 적용하여 As-is를 분석한 결과 4월 비가동시간이 계획 작업시간 1346.5시간에서 404.2시간으로 30%를 차지하였다.



Fig. 3 Share of Machine Downtime

As-is 분석 결과 제조 과정에서 공정이 각각 독립된 형태로 존재하고 있어서 공정 간 이동을 위한 대기, 이동시간이 전체 비가동 시간에 큰 영향을 주고 있었다. 대기이동시간과 점심시간이 각각 6.3%, 27.3%를 차지하고 있는 문제점으로 파악되었다.

이에 대한 원인을 분석해 보면 현재 공정 간 이동 시 인력에 의해 수작업으 로 이동됨에 따라 대기시간 및 이동시간이 불규칙하다. 이를 개선하기 위하여 베이커기 제조 속도와 포장기 속도를 맞추고, 각 공정 간 인력에 의한 수동방식 공급에서 컨베이어 형태의 자동방식 공급으로 변경하여 생산량을 10%이상 상 향, 비가동 50% 하향하여 개선 시나리오를 설정하여 To-be 데이터를 생성하 고 시뮬레이션을 통해 개선 효과를 예측하였다.



Fig. 4 As-is, To-be 데이터 비교 분석 결과

개선 시나리오 적용 결과 대기 및 이동시간을 줄이고, 생산량을 늘림으로써 비가동은 30%에서 15%로 개선되었고, 생산량은 87.4%에서 95.9%로 8.5% 향상되었다.

4. 결론

본 연구에서는 H사 제조 공장의 최적 Layout을 구축하기 위한 주요 요인을 도 출하기 위해 FOM 솔루션을 이용하였으며, FOM 분석 및 시뮬레이션 결과 우선 적으로 고려해야 되는 부분이 대기 및 이동시간이었다. 이는 데이터 기반 공장 운 영 관리를 위한 FOM 솔루션을 통한 지속적인 변화관리를 함으로써 중소 호두과 자 제조 기업의 프로세스를 최적화 시켜 기업의 안정성과 수익성을 향상시킬 수 있음을 보여준다. 식품 제조업체의 스마트화 공장 운영관리 전환 및 프로세스 재정 립은 경쟁력 향상과 경영 혁신으로 탁월한 기업 성과를 창출할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- J.H. Kim, S.Y. Kim(2021), "Productivity Analysis Method based on Manufacturing Big-data using the FOM System in the FOMs Package", Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 30(4), 259-268.
- [2] S.S. Oh, H..S. Yang, B.S. Bae, Y. Kim(2021), "Application of FOM Methodology for 4M Optimization Based on the Data of Manufacturing Process of Mechanical Parts", Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 30(6), 456-464.

FOM-AI적용을 통한 품질예측 및 생산효율화 연구: 화학반응 공정 중심

남기선, 오상석, 장재훈, 김수영^{*}

FOM-AI application optimization study : PAC manufacturing process

Key Sun Nam, Sang Suk Oh, Jae Hoon Jang, Su Young Kim*

호서대학교 대학원 AI스마트팩토리융합공학과

Key Words : FOM(smart-factory operation management), Reaction process, PAC(poly aluminum chloride), SVM(support vector machine)

1. 서 론

최근 AI 기술은 생산공정의 품질 예측, 공정 최적화, 설비 이상 감지, 설비 예방 보전, 수요 예측 등 다양한 측면으로 제조 현장에 적용되는 사례가 증가하고 있다.

품질관리 분야에서는 이미지 처리 기술을 사용하여, 제품의 농 도, 불성, 외관 불량, 치수 오차, 결함 등을 자동으로 감지하고, 품 질 이슈를 조기에 대응함으로써 제조공정에서 제품이 확보되며, 공정관리 분야에서는 데이터 분석과 최적화 알고리즘을 활용하여 생산계획, 자재 관리, 작업 스케줄링 등을 효율적 관리로 비가동 및 생성 향상에 많은 도움이 되고 있다. 그러나 중소기업의 경우 데이터 전문가 부족으로 제조 현장 관리에 필요한 정보 파악 및 데이터 분석력이 부족하여 AI 기술의 활용이 제한적이다. 이러한 문제를 해결하고자 본 연구에서는 FOM 솔루션에서 제공하는 File Set 즉 Manual qpr, Manual abnormal, Manual cost, Manual limit, Manual reject로 제조공정의 필요한 데이터의 표준을 설정을 필요 데이터를 확보하였다. PAC 제조공정을 대상으로 제조공정의 데이 터 수집 및 분석 표준을 설정하고 AI 솔루션을 활용 제조공정의 데이터에 대한 적용 및 검증을 통해 현장 적용성을 확보하였다.

2. 사례기업 현황 및 분석 방법

본 연구에서는 정수장 및 하수처리 용 응집제 제조 전문기업의 주력 제품인 폴리염화알루미늄(PAC, poly aluminum chloride) 제 조공정을 대상으로 수행했다.

사례기업은 2020년도에 MES를 도입하여, 공정 데이터를 계속 축적하고 있으나, 공정작업은 숙련된 작업자의 경험치에 의존하 고, 공정품질은 반응-희석공정 이후에 Batch 별로 샘플링 검사를 수행함으로써 품질보증이 불가능하였다. 따라서 불량으로 인한 재 작업 및 폐기가 발생하고, 공정 운영 과정에서 낭비(Lead Time, 및 인력 추가 투입)가 많이 발생하고 있다.

Input	Mixing	Reaction	Dilution	Output
 Aluminum oxide Input quantity Content Moisture 	-Mixed Lot No -Temperature -Pressure -Mixing time	-Reaction Lot No. -Reactor code -Temperature -Pressure - heating time -Retention time	-Dilution Lot No. -Amount of reactants -the amount of water -Dilution time	(Aluminum Chloride) -Concentration – PH -Turbidity -Specific gravity
Hydrochloric acid Input volume Concentration	(Mixture) -Composition of mixture - degree of mixing	(Reaction Lot No. -Reactor code -Temperature -Pressure -heating time -Betention time	(Dilution Material) ☞ Output	-Productivity -Defect rate -Production lead time -Manufacturing cost -Energy consumption

Fig. 1 PAC manufacturing process

문제해결을 위해 PAC 제조 프로세스에 대한 파라미터를 파악하 고 검증하였으며, 공정의 성과를 확인하고, FOM-AI 솔루션으로 빅데이터 분석을 수행하여 AI 솔루션을 실증하였다.

[Fig. 2]와 같이 공정 설비데이터를 센서-PLC를 통하여 자동으 로 수집 시스템을 구축하고, 배치별 샘플링 측정한 품질데이터를 수집하여 학습용 DB풀 구축한다. 학습 모델을 통하여 데이터를 학습시키고 AI 모델링을 통하여 실시간 공정 데이터로 품질을 예 측한다.



Fig. 2 FOM-AI utilization research process

AI 모델링에는 SVM(support vector machine)를 적용하였으며, 서포 트벡터머신 기법은 흔히 사용되는 신경망보다 사용이 간단하고 백터 들 평면을 이용하여 불류를 수행하게 만들어진 알고리즘이며, 최적의 결정 경계를 찾아 주기 때문에 최적값을 찾거나 예측하는 곳 등 복잡한 비선형 데이터 분류를 위해 자주 사용된다^[1].

본 연구에 적용한 FOM솔루션은 제조현장의 데이터를 4M 기반 다차원 분석으로 문제해결를 수행하는 솔루션으로 Group 1(생산 점유율, 달성률), Group 2(비가동, 불량, 부적합), Group 3(성관리, 데이터 정합성)에 따른 분석 기능이 있다²¹.

3. FOM-AI 적용 결과

본 연구에서는 FOM Solution을 활용하여 MES에 수집된 데이터 를 FOM Data File Set로 변환하고, FOM솔루션에 적용하여 Group 3(성과관리, 데이터 정합성) 분석을 수행하여 데이터 정합성을 검 증하였다⁽³⁾.

이를 기반으로 AI 솔루션을 통한 빅데이터 분석 및 모델링을 수 행하고, 희석 공정에 대한 품질을 예측하여 재작업 최소화 및 반응 공정에 대한 최적화가 가능하므로, 일일생산량(ton/day)이 개선 전 86ton에서 개선 후에 90ton으로 약 4.6%의 생산성 향상 효과를 얻 었으며 주문 생산리드타임(day)은 개선 전 8일에서 개선 후 7일로 약 12% 단축됨을 확인하였다.

또한 사례 검증을 통해 적용한 AI 솔루션이 95%의 정확도 (accuracy)의 성능을 확인하였다.

4. 결 론

FOM-AI를 활용하여 화학 반응공정에 대한 품질 예측 체계를 수립 하고, 반응-희석 공정에 대한 공정 최적화 레시피를 도출하였으며, 반 응공정에서 온도 상승 조절(승온) 과정의 최적화 레시피를 도출하였 다. 이러한 연구 결과를 통해 정량화, 표준화된 승온 시간 도입 및 전 체 공정시간의 수치화를 통한 공정 일정 관리가 가능해진다.

- Cha, H. J., Lim, J. M., "An Analysis of Quality Prediction on Injection Molding Process Using Machine Learning Algorithm", KIIE 2022 Fall conference, 2932-2937.
- [2] S.Y. Kim(2018), "A case Study of the Introduction of Smart Factory Operation Management(FOM) in the fourth Industrial Revolution Era", Korean Association of Computers and Accounting,16(1), 43-62.
- [3] Jang, J. H., Kim, S. R., Bae, B. S., Kim, S. Y. Kim. (2022), "Improved Reliability of Manufacturing Process Data Using FOMs(smart-Factory Operation Management) Solution", J. of KSMTE, 31(3), 216-223.

모빌리티 제어장치 오염물질 처리 데이터의 AI분석 연구

김용홍^{1*}, 김성수¹, 양해성¹, 김재홍¹, 임호섭²

A study on AI analysis of mobility control device pollutant treatment data

Y. H. Kim^{1*}, S. S. Kim¹, H. S. Yang¹, J. H. Kim¹, H. S. Lim²

신라대학교 기계공학과¹, ㈜싸인랩²

Key Words : Ballsting device, Failure prediction, Big data, AI analysis

1. 서 론

육해공 모빌리티 중 하나인 선박의 해운·조선산업에서는 친환경·2 차산업 기술·초대형 선박 등의 이슈가 떠오르고 있으며, ESG(환경·사 회·지배구조) 경영이 화두가 됨에 따라 환경적인 측면에서 많은 제재 가 이루어지고 있으며 특히, 일본 후쿠시마 원전 오염수 방류에 따른 해수오염에 친환경적 기술 연구의 필요성이 대두됨에 따라 밀접한 관 련이 있는 선박 평형수의 수처리 장치의 신뢰성 분석 기술을 연구 하고자 한다.

2. 오염 방지 모빌리티 장치 데이터의 AI 분석

선박평형수 처리장치(BWMS, Ballast Water Management System)의 친환경적 시스템 장착과 선박 평형수 처리장치의 작동 여 부를 선박 내 자체 로그에서 확인할 수 있으나, 일시적인 오류인지 제 품의 고장인지 확인이 어려워 고장 발생 후 엔지니어가 방선해야 하 며, 고장 발생부터 엔지니어 방선까지의 경제·시간적 비용 절감 필요 한 경우가 발생한다. 이 장치 가동은 선박이 운항 중일 때 에 선박 평 형수 처리장치의 로그데이터를 분석하여 오류의 심각도를 판단하고 있으나, 심각한 문제가 자주 발생하는 경우 실시간 대처는 하지 못하 는 실정이다.

본 연구에서는 고장의 원인을 지능적으로 탐지하고 고장을 예측하는 모델과 문제에 대한 해결책과 엔지니어 병선 필요 유무를 결정하는 모델 구성 방법 및 운항 중에 일어나는 많은 불량,위험 요소를 해소 할 수 있는 현장data 지원 구축 알고리즘을 구축하기 위하여 스마트 시스템 구축시 현장 관리 체크시스템 없이 생산성 향상에만 집중하여 불량 data 수집을 방지하기 위한 AI system 구성을 위한 기반 프로세스 를 개발하였다. (Table 1)

Table	1	Process	factor
Innic		11000000	Inctor

목표	구 축 항 목	세부 항목
AAS	Data 수집 연계가능 모델링	빅데이터 실시간분석 및 이상발생 실시간 처리
H/W시스템	디지털 데이터 수접시스템 개발 (H/W)	평형수 처리장치 디지털 데이터 수집시스템
	로그데이터 전처리	Ballasting, DeBallasting의 로그데이터 가공
데이터셋 구축	결함유형별 데이터셋 구축	원인 분석 및 결함예측을 위한 데이터셋, 해결방법 결정을 위한 데이터셋으로 분류하는 기준 정립 및 분류된 데이터셋 구축
Al이상/ 결함 탐지	Ballasting/Deballasting 운영설비 이상/ 결함 탐지	유형별 이상/ 결함 탐지 모델링 보완 및 고도화
미니터리	방선 여부 의사결정	엔지니어 방선 여부 의사결정지원
그너너당	글로벌 모니터링	운항 선박의 선박평형수 운영 모니터링

3. 분석 결과 및 고찰

첫째, 해당 장비의 빅데이터 실시간 분석을 위한 데이터 수집, 분석을 위한 장비의 관리 분석도구로서 AAS(Asset Administration Shell)를 적용하여 장비 구성 모델링을 선행 구성하였다.

둘째, 데이터 전처리 분석 프로세스에서 사용 데이터는 DATA, PMU, TSU, ECU, ANU 항목을 일정 간격으로 각 장치의 고유값이 기록하여 EVENT에서 에러 발생 시 기록을 하며 DATA_DEVICE, OPTIME_ EVENT에서는 다른 테이블과 병합시 사용하는 KEY값 에러 테이블로 하고 EVENT TABLE에서 M_CODE, ERR_CODE가 100 이상인 값은 모두 에러라고 판단하여 그 외 M_CODE, ERR_CODE 값이 100 미만이거나, 721, 718, 704로 기록된 값은 에러 대상에서 제외하는 프로 세스를 잡았다. 에러 테이블은 아래와 같이 잡았다. 에러 테이블을 대상으 로 비정상 데이터 제거하는데, 이상치 제거를 위해 각 데이터의 추세와 특이사항 파악 후 이상치로 판단되는 값을 제거하여 이상처리한 전의 값 과 후의 값을 얻게 되었다.(Fig.1)





테스트 결과는 정밀도77%, 재현율 80%가 도출되었다. (Fig. 2)



Fig. 2 Model Analysis 50 cases(Normal : 20, abNormal : 30)

4. 결론 및 향후계획

본 연구에서는 AI모델 성능에서 유의미한 결과 도출을 확정하는네는 많은 실험을 통한 Learning Rate, Batch Size 등 하이퍼 파라미터 조정, 차원축소, 파생변수 활용 등 모델 학습에 사용하는 데이터셋 재설계가 필 요하며 시계열 데이터 적용 가능한 다른 딥러닝 모델 실험이 있어야 적용 가능하다는 결론을 내릴 수 있었다.

AI 모델링과 함께 진행해야할 장비 데이터 분석(AAS)에 유효성 검증 은 기본 AAS 모델링만 진행하였고 AI모델링의 유의미한 결과 도출시 무선통신(5G, wifi, 위성통신)에 대한 실시간 피드백 시스템도 즉시 적용 가능하도록 AI 분석 데이터의 주변 인프라의 고도화를 추진하겠다.

후 기

이 연구는 산업통상자원부 '자동차산업기술개발사업'의 재원으로 한국산 업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구임(2023년 2차년도 사업, 과제 번호 : 2023-03-007).

참고 문 헌

 Erdal Tantik, 2017, Integrated Data Model and Structure for the Asset Administration Shell in Industrie 4.0 Procedia CIRP Volume 60, 2017, Pages 86-91

FOM 솔루션 기반 절삭공구 생산성 향상방안 연구

유한솔, 김재하, 손경섭, 김수영*

A study on improve productivity of cutting tools based on FOM solution

H. S. Yoo, J. H. Kim, K. S. Son, S. Y. Kim^{*}

호서대학교 AI스마트팩토리융합공학과

Key Words : FOMs(smart-Factory Operation Managements), Smart factory, Manufacturing innovation

1. 서 론

절삭공구란 자동차, IT, 기계, 의료 등 핵심 산업에 필수적으로 뒷받침되 어야 하는 제품이며, 전 세계 약 40조원의 규모로 움직인다. 최근 부품의 경 량화 및 소형화 트렌드에 따라 CFRP 등 난삭소재 채택률이 증대하고 있기 에 해외 유수의 브랜드 제품들이 주로 판매되고 있으며, 기술력을 보유하지 못한 업체들은 점차 하락하는 추세이다. 더불어 주요국가의 고금리 장기화 와 자국우선주의가 확산됨에 따라 수출시장도 부정적 전망이 확대되고 있 다. 이러한 부정적 이슈들을 타파하고 최적 제조시스템을 구축하기 위해서 는 제조 현장에서 생성되는 Data를 기반으로 생산성 및 생산성 저해요인을 예측/평가하고 정보화 및 자동화 관점에서 4M(Man, Machine, Material, Method)을 유기적으로 연결하여 변화관리 최적화를 수행하여야 하며, 이를 위해 스마트제조혁신을 이끌어가는 중소기업 문제해결형의 디지로그(디지 털 기술+아날로그적 사고)융합 솔루션이 필요하다[1].

본 연구에서는 제조기업의 스마트한 공장운영관리를 위한 FOM 솔루션 을 활용하였다. 이 모델은 제조시스템, 생산시스템, 정보시스템의 계층별 4M 데이터가 유기적으로 연결되어 통합시스템으로 구성되어 있으며 생산 량, 비가동, 불량, 부적합을 지속적으로 변화관리하며 제조기업의 스마트제 조혁신을 데이터기반으로 고도화하는 디지로그융합 솔루션이다[2].



Fig. 1 FOMs Methodology

2. 제조현장 변화관리를 위한 분석 및 계획

다품종 소량생산의 제조방식을 띄고있는 D社는 '기초'수준의 스마트 공장을 구축한 기업이며, 잦은 세팅으로 인한 비가동 및 불량이 이슈되고 있으며 제품별 공정이동 간의 비효율성과 병목현상이 심화되는 것을 알 수 있었다.(Fig. 2)



Fig. 2 Process flow chart by product

또한 기초DATA의 수집만 이루어지고있는 현 PROCESS에서 핵심설 비에 센서연동을 통한 비가동···부적합·불량등의 DATA를 수집 및 실시 간 이상감지 및 알림을 통한 무인화생산을 하고자 한다.(Fig. 3) 또한 수 집된 DATA를 FOM솔루션을 활용한 다차원분석을 통해 생산성향상에 대한 검증을 할 계획이다.



Fig. 3 Facility and process management business model

3. FOM 솔루션 기반의 기업맞춤 문제해결 방안

이러한 환경을 구축 후 현장에서 수집되는 4M 데이터들을 FOMs 방 법론에 따라 유기적으로 연결하여 통합관리 되도록 해야하며, 기술경영관 리지표를 도출하기 위해 FOM Code별 분석/변화관리분석/비교분석 /Outlier분석을 수행한다. 또한 빅데이터 분석에 의한 최적화를 수행하며, 분석된 결과를 토대로 맞춤 교육을 진행하여 생산성 향상을 도모한다.



Fig. 4 Period Analysis by FOM solution

이러한 개선활동을 통해 종국에는 FOMs 방법론에 따라 정보기술(IT), 자동화기술(AT), 운영기술(OT)을 융복합한 맞춤형 스마트공장 구축실현 이 가능할 것이다.

4. 결 론

D社 FOM 솔루션 적용 및 운영을 통한 핵심성과지표 DATA의 변동 성을 관찰, 연구하여 실질적인 효과검증 및 FOMs를 대표하는 비즈니스 모델의 역할을 할 수 있을 것이다. 특히 D社와 같은 다품종소량 제조기 업의 특성에 맞춘 주요지표관리가 된다는 결과를 통해, 모든 기업의 특성 에 맞춘 유연한 프로그램 적용이 가능하다는 것과 기업능률향상에 기여할 수 있음을 검증한다.

- S.Y. Kim. (2018). "A case Study of the Introduction of Smart Factory Operation Management(FOM) in the fourth Industrial Revolution Era", *Korean Association of Computers and Accounting*, 16(1), 43-62.
- [2] S.Y. Kim, Y.S. Shin (2016). Introduction to Smart Factory FOM(smart-Factory Operation Management)

종이 기판 상에서 레이저 유도 그래핀 형성

윤상진, 정영주, 민진기, 고승환*

Optimization of laser-induced graphene formation on biodegradable paper substrate

S. J. Yoon, Y. J. Jung, J. K. Min, S. H. Ko*

서울대학교 기계공학부 응용나노 및 열공학 연구실

Key Words : Paper electronics, Laser-induced graphene, Bio-degradable

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1(a)는 레이저 변수에 따른 형성된 LIG를 나타낸 것이다. 레이

1. 서 론

그래핀(Graphene)은 우수한 전기 아동도와 높은 표면적 대 부피바를 가지 고 있어 온도와 가스 센싱에 적합하다. 최근에는 그라파이트 옥사이드 (Graphite oxide)의 박리나 화학 가상 증착(Chemical Vapor Deposition)에서 벗 어나 폴리마이드(Polymide)에 레이저를 조사하여 그래핀(Laser-induced graphene, LIG)을 합성하는 연구들이 수행되고 있다. 하지만 탄소 전구체로서 의 폴리마이드는 생분해성이 아닌 성질로 인해 친환경적인 전자기기를 만드 는데 한계가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 나무나 잎과 같은 생분해 가능한 기판에 LIG을 적용하는 연구가 수행되고 있다. 종이 기판은 생분해가 가능하 며 재활용이 가능한 친환경적 재료이며 높은 유연성과 저비용, LIG의 가공이 가능하다는 점 등 LIG 형성에 유리한 특성을 갖추고 있다. 하지만 얇은 종이 기판은 화학적 전처리 과정이 필요하거나 펄스 빔을 아용한 고출력 레이저가 요구되는데 이를 통해 형성된 LIG 전극은 종이 기판 위에 구조가 안정적으로 유지되지 못한다는 단점이 존재한다. 본 연구에서는 이를 대체할 수단으로 낮 은 전력으로 연속파 레이저를 아용하여 기판에 손상을 입히지 않고 LIG를 형 성하고자 한다.

2. 변수에 따른 LIG 특성 실험

기계적, 전기적으로 안정한 LIG를 형성하기 위해서 레이저 조사가 LIG 형 성에 미치는 영향을 파악하는 실험을 실시하였다. 본 실험에서 녹색 종이를 LIG를 형성하는 기판으로 사용했으며 레이저 파워와 스캔 속도를 달리하여 LIG 샘플 (size = 4 cm × 4 cm)을 제작하였다. 종이 기반의 LIG의 화학적 특 성 평가와 함께 기계적 강도를 검증하기 위해 굽힘 실험(bending test)도 실시 하였다. LIG 전극의 기계적 안정성을 조사하기 위해 굽힘 정도에 따른 저항을 측정하였고 굽힘을 1000번 이상 반복하는 동안 저항의 변화도 측정하였다. 각 실험에 따라 나타난 LIG의 특성은 Fig. 1과 같다.



저 파워가 높고 스캔 속도가 낮은 조건에서는 높은 레이저 에너지 밀도로 인해 종이 기판에 손상이 발생한 반면에 낮은 에너지 밀도 조건에서는 LIG가 형성되기 위한 충분한 에너지가 전달되지 않아 부분적으로 패턴이 발생하였다. (b)는 레이저 변수에 따른 형성된 LIG의 저항을 측정한 결과이다. 전기 전도도는 레이저 에너지 밀도 가 높아질수록 향상되는 경향을 보였으며 레이저 파워가 100 mW이 고 스캔 속도가 10 mm/s인 경우 가장 낮은 105Ω sq⁻¹의 저항이 나타 났다. (c)는 스캔 속도를 20 mm/s로 고정하고 파워에 따른 라만 스펙 트럼을 측정한 결과이다. 실험 결과 100 mW에서 명확한 2D 피크와 2차 산란이 나타나서 레이저 조사에 의해 종이 기판에서 다층의 그 래핀이 합성되었음을 확인할 수 있었다. (d)는 종이 기판 위에 기계 적, 전기적으로 안정한 LIG 형성을 위한 조건을 찾기 위해 레이저 파워를 100 mW로 고정한 뒤 스캔 속도에 따른 기판과 LIG의 두께 를 SEM으로 측정한 결과이다. 스캔 속도가 느린 경우 종이 기판에 손상을 입혀 기계적, 전기적으로 연결이 끊어진 것으로 나타난 반면 에 최적화된 스캔 속도의 경우 기판을 손상시키지 않고 원하는 단 면 부분만 LIG로 변환되었다. (e)는 초점을 달리하여 레이저를 조사 했을 때의 결과로 초점에서 벗어날수록 선 폭이 더 넓게 나타났다. (f)는 Ib/IG와 I2D/IG를 통해 LIG의 화학 구조를 측정한 것으로 초점 에 상관없이 LIG의 성질이 일정하게 나타났다. (g)는 굽힘 반복 실 험 세팅을 나타낸 것으로 LIG와 전선의 연결은 기계적 응력에 취약하기 때문에 Egaln을 사용하여 전선을 LIG 전극에 연결한 뒤 누출을 막기 위해 Egaln을 캡슐화하였다. (h)는 곡률 반경에 따른 저항을 측정한 결과로 LIG 전극은 최대 2.5 mm인 곡률 반경의 기계적 응력을 견딜 수 있 는 것으로 나타났다. (i)는 곡률 반경을 3.1 mm로 하여 1000회 이상 의 굽힘 실험을 실시했을 때의 저항을 측정한 것으로 1000회 이상

참고문 헌

이 지속되는 동안에도 저항 변화가 일정하게 나타났다.

- (1) Tao, L. Q., Tian, H., et al. (2017). An intelligent artificial throat with sound-sensing ability based on laser induced graphene. *Nature communications*, 8(1), 14579.
- (2) Nandy, S., Goswami, S., et al. (2021). Cellulose: a contribution for the zero ewaste challenge. Advanced Materials Technologies, 6(7), 2000994.
- (3) Dresselhaus, M. S., Jorio, A., & Saito, R. (2010). Characterizing graphene, graphite, and carbon nanotubes by Raman spectroscopy. *Annu. Rev. Condens. Matter Phys.*, 1(1), 89-108.
- (4) Le, H. D., Ngo, T. T. T., et al. (2013). Synthesis of multi-layer graphene films on copper tape by atmospheric pressure chemical vapor deposition method. Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, 4(3), 035012.

Fig. 1 Optimizing fabrication parameters for LIG formation

나노 매쉬 수용체를 통한 피부 부착형 센서 개발

이진우, 김건규, 김민, 고승환^{*}

Development of a skin-adhesive sensor using nano mesh receptors

J. W. Lee, K. K. Kim, M. Kim, S.H. Ko*

서울대학교 기계공학부

Key Words : Nanomesh, Skin-adhesive, Stretchability, Ag-Au core-shell

1. 서 론

피부 부착형 센서에 대한 수요가 늘어남에 따라 신 축성은 높고, 피부 염증 반응을 일으키지 않는 소재와 구조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 Ag-Au 코어-쉘 구조를 활용하여 나노 매쉬 수용체를 구성하고, polyurethane(PU)을 코팅하여 공기 투과성과 스크래치에 대한 내구성을 높인 기판이 없는 피부 부착형 센서를 개발하였다.



제작된 센서를 손가락 마디를 따라 손목까지 이 어 붙인 뒤, 무작위의 손가락 움직임을 진행하면 매 쉬 수용체의 기공 크기가 변화한다. 이에 따라 저항 의 변화가 발생하고, 해당 변화를 손목 부분에 위치 한 wireless 모듈에서 측정한다.



3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2 Finger Bending Test

Proximal interphalangeal(PIP)가 단독으로 움직였을 때와 metacarpophalangeal (MCP)가 단독으로 움직였 을 때를 구분하는 것이 손의 모양을 구분하는 데에 있 어 중요하다. 본 논문에서 제시한 센서에서는 변형이 PIP와 MCP 사이 관절에 집중되어 저항 변화가 Fig. 2 와 같이 다른 양상으로 나타나기 때문에 이를 구분할 수 있다.



손목의 움직임 또한 상하좌우 및 기울어짐에 따른 저항 변화가 Fig. 3과 같이 명확하게 다른 형태로 측정 되기 때문에 손의 움직임을 쉽게 구분할 수 있다.

참고문헌

- 1) Bergquist, Taylor, et al. "Interactive object recognition using proprioceptive feedback." *Proceedings of the 2009 IROS Workshop: Semantic Perception for Robot Manipulation, St. Louis, MO.* 2009.
- 2) Emmorey, Karen, Rain Bosworth, and Tanya Kraljic. "Visual feedback and self-monitoring of sign language." *Journal of Memory and Language* 61.3 (2009): 398-411.
- Proske, Uwe, and Simon C. Gandevia. "The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force." *Physiological reviews* (2012).
신축 투명전극 기반 생체신호 센서를 활용한 인간-기계 인터페이스 개발

박정재, 김민우, 고승환^{*}

Human-machine interface using electrophysiology sensor based on stretchable and transparent conductor

J. J. Park, M. Kim, S. H. Ko*

서울대학교 기계공학부

Key Words : Stretchable conductor, Transparent conductor, Electrophysiology sensor, Human-machine interface

1. 서 론

웨어러블 일렉트로닉스 연구가 활발히 이루어짐에 따라 다양한 형태의 인 간-기계 인터페이스 기술이 등장하고 있다. 본 논문에서는 생체신호를 이용 한 새로운 개념의 인간-기계 인터페이스를 제시하고자 한다. 이를 위해 레이 저 공정을 활용하여 신축 투명전극 기반 생체신호 센서를 제작하고, 사람의 뇌파(electroencephalogram; EEG), 심전도(electrocardiogram; ECG), 안전도 (electrooculogram; EOG) 근전도(electromyogram; EMG) 등 생체신호를 측정하 여 성능을 확인하였다. 최종적으로 사람의 근전도 신호로 드론을 제어하는 생체신호 센서 기반 인간-기계 인터페이스를 구현해 개발 기술의 유용성을 입증하였다.

2. 생체신호 센서 개발

본 연구에서 개발한 생체신호 센서는 금속 나노와이어 퍼콜레이션 네트워 크로 구성된 신축 투명전극을 기반으로 하고 있다. 투명전극은 기본적으로 금 속 나노와이어 네트워크가 무색의 폴리이미드(colorless polyimide; cPI) 기판에 박혀 있는 구조를 가진다. 여기에 레이저 패터닝 공정으로 커팅 패턴(cutting pattern)을 넣어 신축성을 부여한다. 매우 얇은 두께(<10 um)를 가지는 신축 투명전극은 피부와 빈틈없는 연결(conformal contact)을 형성하여 전기적 잡음 없이 뇌파, 심전도, 근전도와 같은 미세한 생체전기신호를 감지할 수 있다. Fig. 1은 레이저 공정과 이를 통해 제작된 생체신호 센서의 모식도를 나타낸 것이다.



Fig. 1 Schematic of laser process and electrophysiology sensor

3. 실험 결과 및 고찰

생체신호 센서를 사용해 사람의 생체신호 네 가지 근전도, 심전도, 안전도, 뇌파를 측정하였다. 사람의 전완근 부위에 센서를 부착해 근육이 수축(flexion) 하거나 이완(extension)할 때 나오는 근전도 신호의 세기를 측정했다. 그리고 가슴 부위에서 측정된 심전도 신호에서 명확한 형태의 QRS complex가 나타 나는 것을 확인했다. 안전도 신호는 눈의 움직임으로부터 측정되는데, 본 실 혐에서는 눈의 깜빡임 횟수에 따라 뚜렷한 피크(peak)가 나타나는 결과를 얻 었다. 뇌파는 주파수에 따라 분류되는 델타파, 세타파, 알파파, 베타파, 감마파 등의 신호로 구성되어 있다. 본 실험에서는 주로 휴식 상태에 발생하는 10 Hz 부근의 알파파를 측정하였다. 각 생체신호의 측정 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 본 연구에서는 양 팔에 생체신호를 부착하여 근전도 신호를 측정하고, 그 신호로 드론을 제어하는 인간-기계 인터페이스를 구현했다. Fig. 3(a)는 본 연 구에서 구현한 인간-기계 인터페이스의 개념도와 측정한 양 팔의 근전도 신 호를 나타낸 것이다. Fig. 3(b)는 양 팔의 동작으로 표현한 명령(command)과 명령에 따라 제어되는 드론의 움직임을 나타낸 것이다.



Fig. 2 Various electrophysiology signal measurements



(b) Control motions and corresponding commands

Fig. 3 Human-machine interface using electrophysiology sensor

참 고 문 헌

- Jeong, J. W. et al., 2013, Materials and optimized designs for human-machine interfaces via epidermal electronics, Advanced materials, 25:47, 6839-6846.
- (2) Shyu, T. C. et al., 2015, A kirigami approach to engineering elasticity in nanocomposites through patterned defects, Nature materials, 14:8, 785-789.

액체금속 기반 상온상압 솔더링 기법 개발

김민우, 박정재, 고승환*

Development of liquid metal based room temperature soldering technique

M. Kim, J. J. Park, S. H. Ko*

서울대학교 기계공학부

Key Words : Liquid metal, Soldering, Stretchable electronics

1. 서 론

스트레쳐블 일렉트로닉스에서 가장 기본이 되고 중요한 요소는 신축성 회 로이므로 수많은 신축성 전극이 개발되어 옴. 그러나 진정한 의미의 스트레쳐 블 일렉트로닉스를 구현하기 위해서는 전극 개발 뿐만이 아니라, 이같이 개발 된 전극과 기개발된 고도의 전자 칩과의 전기, 기계적 연결이 필수적임. 본 논문에서는 레이저 가공을 통한 액체 금속은 나노와이어 복합체의 프리스탠 딩화 및 솔더링 물질로써의 쓰임을 제시함.

2. 프리스탠딩 액체금속 복합체를 통한 신축성 솔더링

레이저를 통해 액체금속은 나노와이어 복합체를 프리스탠딩화할 수 있음. 레이저가 해당 복합체에 조사되면, 순간적으로 초고온환경이 조성되어 베타 갈륨 옥사이드가 형성되게 되고, 이 물질은 식각 용액에 저항성을 가짐. 그에 비하여, 레이저가 조사되지 않은 영역에는 비결정질의 갈륨 옥사이드가 형성 되고, 이 물질은 식각 용액에 저항성이 없음. 이 성질을 활용하여 액체금속 복합체를 프리스탠딩화 할 수 있음. 이렇게 형성된 프리스탠딩 액체금속 복합 체를 특정 전극과 상용 칩을 솔더링하는데 활용하였음.



Fig. 1 Freestanding liquid metal thin film

3. 실험 결과 및 고찰

프리스탠딩 액체금속 복합체가 신축성 솔더링에 활용가능한 지를 알아보기 위하여 다양한 전기기계적 물성 실험을 진행하였음. 첫 번째로 Fig. 2는 프리 스탠딩 액체금속 복합체의 전기기계적 성질임. 전기적으로 굉장히 안정적이 고 우수하며, 만 번이 넘는 반복 실험에서도 안정적으로 작동함을 확인하였음.



Fig. 2 Electromechanical behavior of the composite



Fig. 3 Electromechanical behavior of the composite in harsh condition



Fig. 4 Electromechanical behavior of the composite as a solder

Fig. 3는 앞선 실험에서 두 개의 구리 전극 간격을 거의 접하게 하였을 때의 거동을 본 것임. 보이는 바와 같이 5mm가 넘게 늘어나는 와중에도 전기 저 항이 거의 변하지 않는 것을 확인함. 반복 실험도 마찬가지로 안정적인 거동 을 보임.

Fig. 4는 프리스탠딩 액체금속 복합체가 솔더로 쓰였을 때의 거동을 본 것 임. 본 실험은 아래에 구리 전극 두 개를 설치해두고, 그 전극들 사이를 복합 체를 솔더로 활용하여 제로옴 저항칩을 솔더링한 후, 신장시킨 결과를 그래프 로 제시한 것임. 보이는 바와 같이, 6mm가 넘게 늘어나는 와중에도 전기 저 항이 거의 변하지 않으며, 반복실험에서도 크게 변하지 않는 것을 확인함.

참 고 문 헌

 Liu, S., Shah, D. S., & Kramer-Bottiglio, R. (2021). Highly stretchable multilayer electronic circuits using biphasic gallium-indium. *Nature Materials*, 20(6), 851-858.

실시간 건강 상태 진단을 위한 전자 피부 시스템

권혁준*

E-skin for real-time healthcare monitoring systems based on nature mimetic structure through laser process

H.-J Kwon*

대구경북과학기술원 전기전자컴퓨터공학과

Key Words : Laser process, Nature-inspired platform, Healthcare, E-skin

1. 서 론

웰빙 시대에 발맞춰 다양한 웨어러블 헬스케어 소자 연구가 진행 중이며 이 중 사람의 인공피부 및 착용형 전자 센서 기술들은 신체 건강 정보들을 개인 스마트폰으로 전달할 수 있게 되면서 매우 큰 관심을 끌고 있다. 하지만 피부 부착형의 플랫폼의 경우 소자의 구조와 특성, 전자 재료 등의 발전에도 불구하고 일상생활 속의 다양한 움직임, 생체 분비물 등으로 인해 안정적으로 하루 종일 사람의 피부의 생체 신호를 실시간으로 모니터링 하는 것은 생각 처럼 쉽지 않다. 이에 따라 본 연구에서는 격렬한 운동이나 긴박한 응급 상황 처럼 다양한 상황 속에서도 안정적인 생체 정보 수집을 가능케 하는 피부 부 착형 헬스케어 모니터링 시스템을 개발하였다.

2. 자연 모사 적용 전자 피부 플랫폼 설계

본 연구에서는 피부 착용감과 착용성을 높혀 24시간 일상생활을 하면서도 큰 무리 없이 실시간으로 생체 신호 (체온, 습도, 특정 움직임)를 측정하여 응 급 상황을 감지하는 진단 시스템을 Fig. 1과 같이 설계하였다. 이를 구현하기 위해 제안한 전자 피부 플랫폼은 다양한 자연 모사 구조 (뱀의 구불거림, 거 미줄, 나뭇가지 등 자연 계층적 구조, 종이공예의 복합 구조)를 통해 3차원 방 향의 변형에 대한 기계적 및 전기적 안정성을 가진 (변형율은 매우 작으면서 큰 변형이 가능) 센서 구조와 높은 산소 침투성(~80 g/mh)과 높은 부착력 (~200 gf/12mm), 그리고 생체 친화적인 물질의 패치 구조를 가진다. 또한 이 러한 복잡한 구조를 자유자재로 디자인할 수 있다는 디지털 레이저 공정을 적용하여 공정시간을 수 십초 이내로 손쉽고 값이 싸게 제작하여 일화용 스 마트 반창고에도 적용 가능함을 확인하였다.



Fig. 1 Overall design for nature-inspired strain-free platform

3. 실험 결과 및 고찰

개발된 실시간 건강 진단 시스템은 블루투스 무선 연결 환경을 통해 개인 의 스마트폰과 연결이 가능하게 하여 사용 편의성을 높였으며 서버와의 클라 우드 환경을 통해 실시간으로 건강 진단 정보를 저장하여 자신의 건강 진단 이력을 손쉽게 확인할 수 있다.

또한, 사람 피부의 최대 연신률인 30% 범위 이내, 외에서 본 자연 모사 적 용 전자 피부 플랫폼 구조는 3차원 변형 시 국부적으로 1×10⁷ N/m² 이하의 상대적으로 작은 내부 응력이 발생하고 이는 탄성 변형 구간 내에 위치하여 물리적 변형에 대한 우수한 기계적, 전기적 안정성을 보여주었다 (Fig. 2).



Fig. 2 Stretching experiment along with FEM simulation and electrical performance changes with mechanical strain

Fig. 3에서 보는 것과 같이 본 실시간 건강 상태 진단을 위한 전자 피부 센 서 시스템의 전기적 특성은 사람의 체온을 측정할 수 있는 30-45도 온도 및 습도(20-80% RH) 범위에서 우수한 선형성을 가질 뿐만 아니라 실시간 측정 환경에서도 재현성있는 안정성 및 정확성을 확인할 수 있다.



참 고 문 헌

- (1) Gandla, S., Chae, H., Kwon, H.-J., Won, Y., Park, H., Lee, S., Song, J., Baek, S., Hong, Y.-D., Kim, D. Kim, S., 2022, Ultrafast Prototyping of Large-Area Stretchable Electronic Systems by Laser Ablation Technique for Controllable Robotic Arm Operations, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 69 4245-4253.
- (2) Lee, S., Gandla, S., Naqi, M. Jung, U., Kang, S., Youn, H. S., Lee, Y., Kwon, H.-J., Kim, H., Lee, M. G., Kim, S., 2020, All-day Mobile Healthcare Monitoring System Based on Heterogeneous Stretchable Sensors for Medical Emergency, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 67 8808-8816.

회전체 기계장비의 이상 탐지를 위한 머신러닝 알고리즘 개발

김병섭*, 백승국

Development of machine learning algorithms for anomaly detection of rotating mechanical equipment

B. -S. Kim*, S. G. Baek

한국기계연구원 초정밀장비연구실

Key Words : Anomaly detection, Machine learning, Rotating mechanical equipment, Autoencoder

1. 서 론

기계장비의 상태 진단을 위해 머신러닝 알고리즘을 사용하려면 학습을 위 한 많은 기계 상태 데이터가 필요하다. 일반적으로 기계장비가 정상 상태일 때의 기계 신호 데이터는 쉽게 다량으로 취득할 수 있는 반면에 비정상 상태 의 데이터는 측정 자체가 쉽지 않고 데이터의 양도 상대적으로 적다. 비정상 데이터 확보의 어려움을 회피하는 방안으로, 인공지능에서 이상 탐지 (Anomaly Detection)는 정상 상태 만의 데이터로 그 특성을 알고리즘에 학습 시킨다. 훈련에서 보지 못한 비정상 상태의 데이터가 알고리즘에 들어오면 훈 련된 데이터와 다른 신호 특성 때문에 알고리즘의 예측 오차가 커지는 현상 을 이용하여 이상 상태임을 판별해낸다.

본 연구에서는 공개 데이터인 미국 신시내티대학의 IMS (Intelligent Maintenance System) 베어링 데이터셋을 아용하여 이상 탐지를 위한 여러가지 데이터 전처리 방법과 신경망 구성을 수행하고 회전체 베어링의 가속도 신호 를 처리하여 기계장비의 건강 지수(Health Index)를 구축하는 방안을 제시한다.

2. 회전체 베어링 가속도 신호 및 전처리

IMS 베어링 데이터셋은 4개의 베어링으로 지지된 축을 2.7톤의 하중에 2,000rpm으로 회전시키면서 베어링 고장까지 10분 간격 20,480Hz의 샘플링 속도로 가속도 신호를 1초 동안 연속적으로 수집한 것이다.





이상 탐지를 위한 데이터로 3개 데이터셋의 전반부 50%를 정상 상태의 신 호라고 가정하고 사용하였다. 초기 데이터 일부를 제외하고 데이터셋 1에서 는 1,000개, 데이터셋 2에서는 491개, 데이터셋 3에서는 3,161개를 평균이 0 이 되도록 조정하여 훈련 데이터로 삼았다. 여기서 각 1개의 데이터는 4개 베 어링에서 각각 수집된 20,480Hz 샘플링 주기, 1초간의 가속도 신호이며 데이 터 양이 많기 때문에 시간 영역과 주파수 영역으로 나누어 특성값을 추출하 였다. 시간 영역 특성은 Mean, RMS, Kurtosis, Skewness, Peak to Peak, Crest Factor, Shape Factor, Impulse Factor, Margin Factor, asinh()의 표준편차, atan()의 표준편차로 1개 데이터는 4개 가속도 신호에 대해 각기 11개 값을 갖기 때문 에 44개의 특성값으로 나타내어진다. 주파수 영역 특성은 Discrete Wavelet Transform (DWT)과 Short Time Fourier Transform (STFT)의 2가지로 처리하였 다. DWT의 경우 reverse biorthogonal wavelets, rbio3.1을 사용하여 13개의 레벨 로 가속도 신호를 분해한 후에 각 레벨에서 Mean, Median, RMS, Entropy, Zero Crossing 등 12개의 통계값을 계산하였다. 따라서 1개 데이터는 DWT 처리 시에 12×13×4=624개의 특성값으로 나타내어진다. STFT는 각각의 가속도 신 호를 500×10 크기의 이미지로 처리하여 1개 데이터는 20,000개의 특성값이 존재한다.

3. 이상 탐지 알고리즘의 훈련 및 비교 결과

아상 탐지 알고리즘으로 Isolation Forest, One Class SVM (Support Vector Machine)을 포함하여 여러가지 Autoencoder (AE) 구조를 실험하였다. 결론적으로 LSTM (Long Short-Term Memory) AE를 아용하여 신호 복원할 때 MAE (Mean Absolute Error)값을 건강 지수로 사용하는 것이 좋은 결과를 보였다. 이 상 탐지 알고리즘이 비정상 상태로 판단하는 경계값(Threshold)은 정상 상태 데이터의 MAE값 분포에서 평균+5.2×표준편차로 설정했는데 이 값은 MAE 가 Gaussian 분포를 가진다고 가정했을 때 99.99%의 MAE가 포함되는 영역 을 나타낸다. 알고리즘의 비교 과정에서 좋은 건강 지수라고 판단하는 기준은 정상 상태 데이터에 대해서는 건강 지수의 변동폭이 작으며 베어링 상태가 악화되는 비정상 상태 과정에서는 단조적인 증가세 (혹은 감소세)가 명확해야 함을 고려하였다.



Fig. 2 MAE from LSTM-AE with DWT processed bearing signals

위 좌측 그림에 정상 상태 데이터에서 계산된 이상 탐지 경계값 0.55을 나 타냈고, 우측 그림에서는 세로축을 로그 단위로, 3개 데이터셋을 정상 상태부 터 고장 시까지 이상 탐지용 LSTM-AE를 통해 MAE를 계산하여 나타내었다. 3개 데이터셋 모두 MAE가 베어링 상태가 악화되면서 이상 탐지 경계값 (붉 은선)을 넘어 고장 날 때까지 점차 증가하며 이러한 MAE의 변화를 회전체 기계장비의 건강 지수로 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) Zhao, Z., Li, T., Wu, J., Sun, C., Wang, S., Yan, R., Chen, X., 2020, Deep learning algorithms for rotating machinery intelligent diagnosis: an open source benchmark study, arXiv preprint, arXiv:2003.03315v3.
- (2) Gousseau, W., Antoni, J., Girardin, F., Griffaton, J., 2016, Analysis of the rolling element bearing data set of the center for intelligent maintenance systems of the university of Cincinnati, HAL Open Science: Charenton, France.

부분 열처리된 볼 스크류의 진직도 교정을 위한 전략 제시

신지현^{1,2}, 김상원³, 윤희찬², 윤해성^{1,2*}

Straightening strategy for partially heat-treated ball screws

J. H. Shin^{1,2}, S. W. Kim³, H. C. Yoon², H. S. Yoon^{1,2*}

한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부¹, 한국항공대학교 스마트항공모빌리티학과², 덕흥㈜ 연구개발팀³

Key Words: 3-point bending, Ball screw, Plastic deformation, Straightening, Strategy

1. 서 론

볼 스크류는 회전 운동을 선형 운동으로 변환하는 기계 요소로, 높은 효율, 정확도, 부하 용량으로 공작기계에 일반적으로 사용되는 기계 부품이다. 볼 스크류의 피로수명 및 성능을 증대시키기 위해 흔히 부분 열처리를 시행하는 데, 이는 볼 스크류의 부분적 물성치 변화 및 열변형을 야기한다. 그러나 낮 은 진직도는 곧 공작기계의 효율 저하로 이어지며, 흔히 3점 굽힘 방식을 사 용하여 볼 스크류에 임의로 소성 변형을 발생시켜 처짐을 제거하는데 이를 진직도 교정이라 한다. 본 논문에서는 볼 스크류의 진직도 교정 시 형상에 따 라 스트로크를 결정하는 모델을 작성하고, 정확한 프로파일 획득 방법 및 효 율적인 진직도 교정 과정을 제시하고자 한다.

2. 스트로크 결정 모델

상용 진직도 교정 장비를 모사한 3점 굽힘 장비를 사용하여, 스트로크를 100 – 150 μm 단위로 증가시키며 가압 전, 가압 중, 가압 후 볼 스크류에 작 용한 스트로크 및 소성 변형을 측정하였다. Fig. 1은 실험장비 사진을 나타내 며, 최대 출력 3톤의 공압 부스트 프레스(DBP-3P, 동진기계상사) 및 상용 장 비와 동일한 사양을 갖는 지그, 프레스 펀치, LVDT 센서(DP-10V, 동도테크 ㈜) 등으로 구성되었다. 본 실험에서 사용된 볼 스크류의 재질은 SS5C이며 그 직경, 피치에서 각각 2수준을 가진다. 각 형상에서 스트로크 대비 소성 변 형량을 비교하고, 직경, 형상, 열처리 깊이가 소성 변형에 미치는 영향을 분석 하였다. 아를 기반으로 형상 및 스트로크에 따른 소성 변형 예측 모델을 작성 하였다.



Fig. 1 Experimental setup

3. 프로파일 측정 및 가시화

현재 상용 장비는 측정 지점을 고정하고 시편을 각도별로 회전시키며 각 각도에서의 변위를 측정하고, 전체 프로파일을 획득한다. 또한, 각 지점 에서 측정한 변위 중 가장 큰 값을 최대 처짐으로 판정한다. 그러나 기존 의 방식은 센서의 고정 위치에 의한 오차와 볼 스크류의 처짐을 구분할 수 없다. 이에 센서 오차를 보정하여 보다 정확한 프로파일을 획득하는 새로 운 측정 방식을 제시하였다. 해당 방식을 이용하여 기존에 비해 정확한 최 대 처짐량 및 처짐 위치를 획득하였으며, 획득한 정보 및 소성 변형 예측 모델을 이용하여 진직도 교정에 필요한 스트로크를 계산할 수 있었다.

4. 결 론

제시한 진직도 교정 과정에 따라 볼 스크류의 프로파일을 획득하고, 이 를 기존 방식으로 획득한 프로파일과 비교하였다. 또한, 계산한 스트로크 를 적용한 진직도 교정을 실행하여 전략의 유효성을 검증하였다. 본 연구 는 잔류 응력의 재분배 및 가압 위치의 선정을 통한 더욱 효율적인 가압 전략의 연구로 이어 나가고자 한다.

후 기

이 연구는 2023년도 정부(중소벤처기업부)의 재원으로 중소기업기술정 보진흥원의 지원(No. S2956127) 및 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 BK21 FOUR 사업의 지원을 받아 수행되었으며 (No. 5199990714521), 이에 감사드립니다.

- (1) Zhang, Y., Lu, H., Zhang, X., Fan, W., Ling, H., Wei, Q., & Ma, M., 2018, A novel analytical model for straightening process of rectangle-section metal bars considering asymmetrical hardening features. Advances in Mechanical Engineering, 10(9), 1687814018799158.
- (2) Pei, Y. C., Wang, J. W., Tan, Q. C., Yuan, D. Z., & Zhang, F. 2017, An investigation on the bending straightening process of D-type cross section shaft. International Journal of Mechanical Sciences, 131, 1082-1091.
- (3) Lasaosa, A., Gurruchaga, K., Arizti, F., & Martinez-De-Guerenu, A., 2017, Induction hardened layer characterization and grinding burn detection by magnetic Barkhausen noise analysis. Journal of Nondestructive Evaluation, 36(2), 27.
- (4) Oluyemi, D. O., Oluwole, O. I., & Adewuyi, B. O., 2011, Studies of the properties of heat treated rolled medium carbon steel. Materials Research, 14, 135-141.
- (5) Huang, S. J., Semenov, V. I., Shuster, L. S., & Lin, P. C., 2011, Tribological properties of the low-carbon steels with different micro-structure processed by heat treatment and severe plastic deformation. Wear, 271(5-6), 705-711.

스마트 공기살균기 시스템 고도화를 위한 실내 공기질 예측 모델 추천

Vandha Pradwiyasma Widartha¹, 김주희², 이수연³, 김창수^{1*}

Recommendation of predictive model of indoor air quality in enhancing smart air sterilizer system

V. P. Widartha¹, J. H. Kim², S. Y. Lee³, C. S. Kim^{1*}

부경대학교 정보시스템학과¹, 부경대학교 컴퓨터공학과², (주)정록³

Key Words : : Indoor air quality, Predictive model, Air sterilizer system

1. Introduction

Indoor air quality pollution is as deadly as outdoor air quality when it has dangerous concentrations. Moreover, about 90% of human activ ities are carried out indoors, engaging in various activities such as wor k, studying, and other pursuits. Some substances found in indoor air p ollution include particulate matter (PM2.5, PM10), carbon dioxide (CO 2), carbon monoxide (CO), and volatile organic compounds (VOCs). I f these substances reach high concentrations, they can have adverse ef fects on human health and environment [1] [2]. In this research, we ai m to develop a predictive model to enhance the existing air sterilizer device, in particular supporting the auto-control system development. T he model uses historical sensor data to predict future Indoor Air Quali ty Score in real-time to then be used as the basis for building an auto -control for air sterilizer system. The several algorithm is used to provi de an approriate recommendation algorithm based on data pattern and its correlation.

2. Building the Predictive Model of Indoor Air Quality

In machine learning algorithm, predictive model may also be referred to as supervised algorithm. The data is retrieved from BuildThing IAQ device which store data regularly per second. Preprocessing is performed initially and the Indoor Air Quality data is retrieved from April 18 to May 24 2023. It has 444 rows data for further analysis, then proceed to data processing and creating model.



Fig. 1 Workflow of Smart Air Sterilizer System

Data preprocessing is performed by handling missing value, remove duplicate data, find the data correlation among data and select the feature based on correlation coefficient value. Afterwards, supervised learning algorithm including Random Forest, XGBoost, Support Vector Machine and Neural Network is applied as predictive model to build model. The final stage of this workflow is model deployment which is also the basis for developing auto-control system.

3. Analysis and Result

According to table 1, the correlation among data indicates that the IAQ Score as target or output has strong negative correlated with features including PM2.5, PM10, PM1, CO₂, TVOC, and temperature while humidity on the contrary. The negative correlation means if the feature's value is higher the IAQ Score will be low. Hence, the data interrelated, all of

feature is used in building model stage. Data is splitted into two parts with proportion of 80% for training set and 20% for testing set. During the analytical data stage, it showed that all features of particulate matters data (PM 2.5m PM10, PM1) have outliers, Nevertheless, the models yield the good result over 80%.

 Table 1 The Correlation Coefficient Matrix

	IAQScore	PM25	PM10	PM1	002	TVOC	Temperature	Humidity
IAQ Score	1	-0.0841	-0.0872	-0.1623	-0.9225	-0.8974	-0.714121	0.611907
PM25	-0.0841	1	0.96032	0.91981	0.09413	-0.0571	0.156676	-0.523053
PM10	-0.0872	0.96032	1	097033	0.09847	-0.056	0.164324	-0.500725
PM1	-0.1623	0.91981	097033	1	0.16568	0.01108	0.261807	-0.547786
CO2	-0.9225	0.09413	0.09847	0.16568	1	0.90131	0.579788	-0.619748
TVOC	-0.8974	-0.0571	-0.056	0.01108	0.90131	1	0.633147	-0.577131
Temperature	-0.7141	0.15668	0.16432	0.26181	0.57979	0.63315	1	-0.644662
Humidity	0.61191	-0.5231	-0.5007	-0.5478	-0.6197	-0.5771	-0.644662	1

The result of the algorithms are evaluated by Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and R2 Score. According to table 2, there are two predictive model which have the R2 Score is 98%, that means both models are best possible score.

The Random Forest or XGboost has similar characteristics, particularly in handling non-linear relationships, robust in handling noise and outlier. In this case, the Random Forest algorithm is more stable since the score of MAE is lower than XGBoost. In addition, both algorithms are able to leverage parallel processing to speed up training and prediction processes.

Table 2 The Predictive Model Result

Algorithm	MSE	RMSE	MAE	R2
Random Forest	2.264	1.504	0.565	0.981
Support Vector Machine	14.993	3.872	2.142	0.879
XGBoost	1.939	1.392	0.620	0.984
Neural Network	14.008	3.753	2.645	0.886

All of predictive model has a good score entirely, however, due to sensor data has possibility to send anomaly data, then XGBoost and Random Forest algorithm is recommended to be used for Indoor Air Quality Data. In term of further implementation, the predictive model is deployed to be applied by air sterilizer system to build auto-control system.

Acknowledgement

This research was financially supported by the Institute of Civil Military Technology Cooperation Funded by the Defense Acquisition Program Administration of Korean Government (22-DC-CH-13).

References

- M. Margam, 2022, Predictive Modelling, in Text Mining for Information Professionals: An Uncharted Territory, Springer Nature, pp. 213-242.
- (2) T. M. Alessandra Cincinelli, 2017, Indoor Air Quality and Health, International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 14, no. 11, p. 1286
- (3) A. D. Bank, "Air Quality in ASIA, Why is It Important and What Can We Do?," ADB, Manila, 2022.

보행위상 추정을 위한 멀티모달 센서 기반 내장형 데이터 획득 시스템 개발

온장훈^{1,2}, 김명섭¹, 장가람¹, 박재한^{1,2*}

Development of embedded data acquisition system based on multimodal sensor for gait phase estimation

J. H. On^{1,2}, M. S. Kim¹, G. R. Jang¹, J. H. Park^{1,2*}

한국생산기술연구원¹, 과학기술연합대학원대학교²

Key Words : Multimodal sensor, Embedded data acquisition system, Gait phase estimation, Wearable robot suit

1. 서 론

최근 웨어러블 보행보조 로봇이 노약자와 장애인을 위해 적용되는 추세이 며, 그에 따라 보행 보조에 활용될 수 있는 보행위상 추정에 대한 연구의 중 요성이 높아지고 있다. 정확한 보행위상의 추정을 위해서는 다중/다수의 센서 로부터 다양한 데이터를 얻을 수 있는 멀티모달(Multimodal) 센서 정보가 유 용하다. 본 연구에서는 멀티모달 센서 기반 내장형 데이터 획득 시스템을 통 해 사용자의 보행위상을 추정하고자 하였다.

2. 시스템 구성

센서 시스템의 구성을 위해 굽힘센서(Flex Sensor), 인장센서(Stretch Sensor), 근전도센서(Electromyography Sensor)를 사용하여 멀티모달 센서 시스템을 구 성하였다. 센서 신호를 획득 가능한 데이터로 얻기 위해 인터페이스 회로를 설계하였다. 굽힘센서의 각도 및 인장센서의 길이 변화에 따라 달라지는 센서 신호를 측정 가능한 데이터로 출력하기 위해 최적의 저항 값을 설정하였으며, 근전도센서의 출력 신호를 중폭하여 데이터의 범위와 감도를 향상시킬 수 있 는 센서 인터페이스 회로를 구성하였다. 생체 데이터의 수집 및 처리를 용이 하게 하기 위해 구성된 센서 인터페이스 회로는 12채널의 내장형 제어기와 연결하였다. 이에 따라 측정된 생체 신호 데이터는 호스트 PC로 받아 저장하 였다.



Fig. 1 Photo of wearing the multimodal sensor system and block diagram showing the data acquisition system

3. 실험 방법 및 결과

다리의 움직임을 감지하기 위해 굽힘센서를 무릎 후면과 고관절에, 인장센 서는 무릎 전면과 엉덩이와 허벅지 사이 부분에, 근전도센서는 대퇴직근과 비 복근에 부착하여 걷기, 뛰기와 같은 다양한 동작들에 대하여 데이터 획득 실 험을 진행하였다. 실험 결과, 멀티모달 센서에서 출력된 신호 데이터로부터 걷기, 뛰기와 같은 동작들에 대하여 보행위상 추정에 활용 가능한 데이터를 취득할 수 있었다.



Fig. 2 Walking experiment and acquisition data result graph



4. 결 론

본 연구를 통해 보행위상 추정을 위한 멀티모달 센서 기반 내장형 데이터 획득 시스템을 개발하였다. 멀티모달 센서에서 출력된 신호 데이터로부터 걷 기, 뛰기와 같은 동작들에 대하여 보행위상 추정에 활용 가능한 데이터를 취 득하였다. 획득한 데이터 분석을 통해 웨어러블 로봇의 근력보조 시스템에 적 용 가능할 것으로 기대된다.

참고문 헌

 Kang, Inseung, et al. "Real-time gait phase estimation for robotic hip exoskeleton control during multimodal locomotion." IEEE robotics and automation letters 6.2 (2021): 3491-3497.

DED를 이용한 다이캐스팅 금형 내 광섬유 센서 매립 공정에 관한 기초연구

장지훈¹, 심도식², 백경윤^{3*}

Preliminary research on embedding process of fiber optic sensors in die casting mold using DED

J. H. Jang¹, D. S. Shim², G. Y. Baek^{3*}

광주대학교 미래융합기술공학과¹, 한국해양대학교 해양신소재융합공학과², 광주대학교 융합기계공학과³

Key Words : Directed energy deposition, Fiber optic sensor, Die casing mold, Temperature measurement, Hardness, Tensile strength

1. 서 론

현재 다이캐스팅 공정에서 금형의 온도 변화는 제품의 품질을 결정 하기에 매우 중요하며, 주로 K-type 열전대를 내부에 삽입하여 온도 변화를 측정하는 방식이 사용되지만, 이는 한 지점을 측정하여 전체 금형의 온도를 추정하는 방식으로 정확한 온도변화를 관찰하기에는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 단일회선으로 다 지점의 온도측 정이 가능한 광섬유 센서를 Directed Energy Deposition (DED)공정 으로 매립하여 다이캐스팅 공정 중 실시간으로 금형의 온도 변화를 측 정하는 방법을 연구하고, 적층부의 신뢰성 확보를 위해 기계적 물성 평가 및 온도 변화 관찰 등의 실제 공정 적용을 위한 기초연구를 진행 하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험재료

본 연구에서는 다이캐스팅 금형소재로 사용되는 AISI H13 소재를 모재로 사용하였고, 적층제조용 금속분말도 동종소재 분말을 사용하 였다. H13의 분말은 직경 50/m~150/m 내외의 구형이다(Fig. 1). H13 의 화학조성비는 Table 1에 나타냈다.

2.2 DED 적층 실험

적층제조 공정은 사전 도출된 Table 2의 공정조건에서 수행되었 고, 인장 시편과 경도 시편을 각각 제작하였다. Fig. 2의 (a)에서는 DED 공정을 통한 제작 과정의 모습을 나타내고 있다.

2.3 광센서 매립 및 온도변화 관찰

Fig. 2의 (b)에 광섬유 센서 보호튜브의 깊이 별 매립 형상을 나타냈 다. 매립된 보호튜브에 광섬유 센서를 삽입하여 핫플레이트 온도 3 0℃에서 200℃까지의 온도변화를 비교하였으며, 단일회선에서 3지점 의 온도 변화를 1800초 동안 측정하였다.

	Table 1	Chemical	compositi	ons of Al	SI H13	
С	Cr	Fe	Mn	Мо	Si	V
0.4	5.2	Bal.	0.4	1.3	1.0	1.0

Table 2 D	ED process conditions
-----------	-----------------------

Laser poewer [W]	850
owder Feed Rate [g/min]	5
Nozzle Speed [mm/min]	800



Fig. 1 H13 powder particle shapes



Fig. 2 (a) DED process, (b) Deposited protection tubes

3. 매립된 적층부 기계적 특성 평가

Table 3은 DED적층을 통해 제작된 시편과 비적층된 시편의 평균 인장강도와 경도를 나타내고 있다. 기존 모재와 비교했을 때, 적층된 시편의 인장강도가 평균 656.134 Mpa로 더 높게 나타났으며, 모두 모 재부에서 파단이 발생하였다. 따라서 적충부의 인장강도는 더 높을 것 으로 판단된다. 경도는 평균 53.8 HRC로 모재보다 높은 것을 확인할 수 있으며, 일반적으로 열처리된 H13소재와 유사하게 나타났다.

Table 3	Tensile	test	and	hardness	test	results	(average)

Specimen	Tensile strength [Mpa]	Hardness [HRC]
Non-deposited H13	648.495	15.08
Deposited H13	656.134	53.8

4. 광센서 온도 민감도 평가

광섬유 센서 매립을 통하여 실시간으로 다 지점 온도 변화를 수집할 수 있었으며, Fig. 3은 측정한 결과를 나타내고 있다. 표면으로부터의 매립 깊이에 따른 목표 온도 도달 시간 및 온도 편차가 크게 발생하지 않았다.



5. 결 론

본 연구는 다이캐스팅 금형 내 광섬유 센서 매립 공정에 관한 기초 연구로서, 단일회선으로 다 지점 온도변화를 실시간 관찰이 가능하였 다. 광센서의 매립 깊이 별 온도 민감도는 큰 차이가 나타나지 않았다. 또한, 적층 제조 공정 후 기계적 물성 분석 결과 모재와 동등한 물성을 나타내었다. 향후, 실제 다이캐스팅 금형에 적용하여 공정 중 온도 데 이터를 확보할 예정이다.

후 기

본 결과물은 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받 아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다. (과제관리 번호: 2021RIS-002)

참고문 헌

 Long, A., Thornhill, D., Armstrong, C., &Watson, D. (2012). *Predicting die life from die temperature for high pressure dies casting aluminium alloy.* Applied thermal engineering, 44, 100-107.

2 Cavity 사형주조에서 무한궤도형 트랙슈 부품의 러그부 최적 설계

이창희^{1*}, 박철우¹, 박정도¹, 오정환¹, 정민지¹, 박동환²

Optimal design of lug part for caterpillar track shoe parts in 2 cavity sand casting

C. H. Lee^{1*}, C. W. Park¹, J. D. Park¹, J. H. Oh¹, M. J. Jeong¹, D. H. Park²

동일금속(주)¹, 경북하이브리드부품연구원²

Key Words : 2 cavity, Sand casting, Caterpillar, Track shoe, Optimal design

1. 서 론

무한궤도형 굴삭기의 구동방식은 동력원에 의해 스프라켓을 회전시키 고 회전력이 트랙슈에 전달되어 구동되는 방식이다. 특히, 트랙슈의 러그 는 스프라켓의 회전력을 전달받는 부위로 내부 결함이 없어야 한다. 본 연 구는 2 Cavity 사형주조에서 무한궤도형 트랙슈 부품의 러그부를 주조 응 고해석을 통하여 최적 설계하였다.



Fig. 1 Driving method of caterpillar excavator

2. 냉금방안 설계

주조방안 설계에서 내부 수축결함을 제어하기 위해서는 압탕의 위치, 크 기를 고려해야 하며, 제품 형상에 따라 냉금을 사용하여 방향성 응고를 촉 진시켜 내부 수축결함을 제어할 수 있다. 하지만 냉금으로 인해 표면 결함 이 발생할 수 있으며, 적절한 위치에 사용되지 않을 경우 방향성 응고를 방해하여 내부 수축결함이 발생 될 수 있다. 따라서 적절한 위치 및 적절한 크기의 냉금을 사용해야 하며, 여러 변수를 고려하여 최적의 냉금방안을 설계하였다.



Fig. 2 Undercarriage system

3. 결과 및 고찰

기존 1 Cavity와 달리 2 Cavity에서 냉금방안을 적용하여 설계하였으나, 러그부 내부에 수축결함이 확인되었다. 이를 개선하고자 러그부 주변의 냉 금방안 일부를 수정하여 내부 수축결함 발생을 억제하고 냉금 크기와 위 치를 변경하여 최적 설계하였다.



Fig. 3 Result of interpretation on solidification of improved cooling method

후 기

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부의 중소기업기술혁신개발사업(과제 번호 : \$3239749)에 의하여 지원되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

- (1) Han, J. J, Kwon, H. W, 2011, Effects of Alloying Element and Grain Refinement on the Tensile Properties of Mg-Alloy Casted with Sand Mold, Journal of Korea Foundry Society, 31:4 212~217.
- (2) Kim, M. G, Hwang, S. M, 2018, Behavior of Eutectic Si and Mechanical Properties of Sr Modified Al-7Si-0.35Mg alloy with Solid Solution Treatment for Sand Casting, Journal of Korea Foundry Society, 38:1 1~8.
- (3) Kang, D. M, Park, K. D, Park, J. H, 2011, *High Temperature Creep Strength of Mg-Nd-Zr-Zn Alloy in Sand Castings*, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 10:6 83~88.
- (4) Naotoshi, K, Liu, Z, Takao, K, 2010, Vacuum Degassed and Controlled Atmosphere Casting Process Applied in High Alloyed Steel Casting, Journal of Korea Foundry Society, 30:2 55~59.

고령자의 근력 및 균형능력 강화를 위한 트램폴린 재활운동 시스템 개발

권혁동¹, 박진실¹, 하경수¹, 이수웅^{2*}

Development of a trampoline rehabilitation exercise system to strengthen the muscle strength and balance ability of the elderly

H. D. Kweon¹, J. S. Park¹, K. S. Ha¹, S. W. Lee^{2*}

㈜동아금속¹, 한국생산기술연구원²

Key Words : Trampoline, Muscle strength, balance ability, Rehabilitation exercise system

1. 서 론

근감소증은 근육의 양, 근력, 근 기능이 모두 감소하는 신체 기능이 저 하되는 것이 특징인 질환이다. 특히 근감소증 환자는 걸음걸이가 늦어지 고 근지구력이 떨어지며 일상생활이 어렵고 다른 사람의 도움이 자주 필 요하며, 낙상, 골절 등이 쉽게 발생되는 질병이다. 따라서 지금까지 근감 소증을 예방하기 위한 트램펄린 운동에 대한 여러 연구가 수행되었으며 트램펄린을 훈련한 환자들은 근력과 균형에서 상당한 향상을 보이고 있다 [1,2]. 운동의 효과를 체계적으로 관리하기 위해서는 정량화된 데이터를 모니터링하고 진단할 수 있도록 효과를 정량화할 필요가 있으며, 노약자 들이 지루하지 않게 운동을 계속할 수 있도록 하는 것도 필요하며, 본 연 구에서는 근감소증을 앓고 있는 노약자의 근력 및 균형능력 향상을 위해 트랙펄린과 ICT를 기반으로 한 재활운동 시스템을 제안한다.

2. 스마트 트램폴린 재활운동시스템(S-TRES)

그림 1은 우리가 개발한 S-TRES(Smart- Trampoline Rehabilitation Exercise System)의 시스템 개요를 보여주고 있다. S-TRES의 하드웨어 는 언웨이트 시스템과 통합된 트램펄린 본제, 동작 인식을 위한 카메라(1 메가픽셀 깊이 카메라, 12메가픽셀 RGB 카메라) 및 발 위치/누름 깊이(8 메가픽셀/30fps, 시야각: 175°), 컨텐츠 디스플레이용 모니터, 컴퓨터 (CPU: Intel Core i5, GPU: GeForce 660, 슈퍼), RAM : 8GB)로 구 성되며, 이 시스템은 동작인식을 포함한 운동 데이터의 실시간 계산을 위한 것임. S-TRES의 소프트웨어는 실시간 동작 인식 알고리즘, 발 위치 /누름 깊이 인식 알고리즘, 근력 및 균형 능력 향상을 위한 근감소증 환자 및 노약자용 게임 콘텐츠, 실시간 운동 동작 평가 알고리즘으로 구성되어 있다.



Fig. 1 System overview of the S-TRES





Fig. 2 Algorithm flow and result of real-time motion recognition and evaluation

S-TRES는 그림 2와 같이 사용자의 움직임을 실시간으로 인식하고 평가 할 수 있으며 노약자들이 게임 콘텐츠 기반 운동을 통해 균형감각, 근력 강 화 등의 재활훈련의 결과를 정량적으로 평가할 수 있다. S-TRES의 프로토 타입을 이용한 기초 실험 결과, 실시간 모션 인식 성능은 98% 이상, 무개증 심 위치 정확도는 94.3%의 정확도로 평가되었음. S-TRES의 효과, 사용성 및 안전성 평가는 "IEC62366-1:2015/AMD1:2020 의료기기의 사용적합 성 엔지니어링 적용" 규격에 의거하여 진행하였다.

3. 결 론

- (1) S-TRES의 실시간 모션 인식을 포함한 성능이 기본 실험을 통해 검 증되었음.
- (2) S-TRES의 설문평가 결과 전체 평균 효과성은 성공률 99.7%이었으며, Likert scale 4점, 척도 기준 안전성은 평균 4.80점으로 매우 만족에 가깜고, 편의성은 평균 4,67점, 조작 및 기능성은 평균 4.53 점으로 매우 만족에 가깝다는 것으로 평가자들이 제품의 안전성, 편의성, 조작 및 기능성에 매우 만족함을 나타내었음.
- (3) 향후. 노약자 및 근감소증 환자들을 대상으로 시제품의 임상시험을 진행할 계획임.

- M. Posch, et al., "Effectiveness of a Mini-Trampoline Training Program on Balance and Functional Mobility, Gait Performance, Strength, Fear of Falling and Bone, Mineral Density in Older Women with Osteopenia", *Clin. Interv. in Aging*, 14, pp. 2281-2293, 2019.
- (2) M. V. Franchi, et al., "Bouncing Back! Counteracting Muscle Aging With Plyometric Muscle Loading", *Frontiers in Physiology*, 10(178), pp. 1-11. 2019.

반려견 헬스케어용 운동시스템 개발

권혁동¹, 박진실¹, 하경수¹, 박동환^{2*}

Development of a exercise system for pet dog healthcare

 H. D. Kweon¹, J. S. Park¹, K. S. Ha¹, D. H. Park^{2*}

 ㈜동아금속¹, 경북하이브리드부품연구원²

Key Words : Healthcare system, Twoway communcation, Autonomy exercise, Utilization rate, Pet dog

1. 서 론

최근 급부상하는 국내 펫헬스케어 시장이 또 하나의 가족이 된 반려 동물들을 위해 펫휴머니제이션(반려동물의 인간화)을 반영한 펫 푸드 및 영양제, 질환별 진단키트와 치료제, 건강보험과 가전 등 다양한 제 품과 서비스를 선보이면서 더욱 고부가가치화 되면서 성장을 거듭하 고 있다. 반려동물의 건강하고 행복한 삶에 대한 관심이 높아지며 자 연스럽게 반려동물 헬스케어 시장이 성장하고 있는 것이다. '반려인의 45%가 본인의 건강관리를 위한 지출보다 반려동물 건강관리를 위한 지출이 더 컸다고 대답한 미국의 한 설문조사 결과는 반려동물 헬스 케어 산업에 대한 관심과 성장성을 잘 보여 주고있으며, 인구고령화, 1인 가구 증가 등 고도 산업사회[1] 진입에 따른 인간이 겪는 정신적 공황과 외로움을 극복하고, 또한 다양한 반려동물을 위한 새로운 서비 스를 위해 반려견 관점에서의 훈련 컨텐츠와 연계된 헬스케어 기능 등 이 구비된 제품의 개발이 필요하다.

2. 반려견 헬스케어 운동시스템(P-DHES)

Fig. 1은 우리가 개발할 P-DHES(Pet Dog Healthcare Exercise System)의 시스템 최종 목표를 보여준다. Fig. 2, 3은 ESDH의 요소기 술 및 구성요소를 나타내고 있으며, P-DHES의 하드웨어는 양방향 소통 및 모니터링[2]을 위한 스피커 및 마이크 내장된 카메라, 영상 스트리밍 서비스 및 화상통화를 위한 15" 태블릿 PC, 사료를 토출하기 위한 스텝 핑 모터(2.4W), 트레드밀 시스템 동작을 위한 100W DC 모터으로 구성 되어있다. 또한 옵션 기능으로 반려견의 심박을 측정하기 위한 심박측정 센서를 포함하고 있으며, ESDH 제어 및 반려견의 운동데이트 등 정보 제공을 위한 안드로이드 및 iOS용 앱 등으로 구성되어있다.





Fig. 2 Components of the Pet dog Healthcare System



Fig. 3 An Elemental Technology of Pet dog Healthcare Exercise System

P-DHES는 Fig 3와 같이 요소기술들에 대한 소음 55dB, 앱성능 95%, 내구성 12,000회, 속도정밀도 90% 등으로 Proto Type으로 테스 트진행하였음.

3. 결 론

P-DHES는 본 연구에서 반려견 헬스케어 및 운동시스템으로 제안 하였으며, 성능에 대한 기본 실험은 완료하였으나, 반려견의 자율운동 및 이용률 등에 대한 실험을 '23년 말 1차 진행 예정임.

- Korea Development Institute, "Population Structure Aging and Industrial Structure,", Economic Humanities Social Studies Association Cooperative Research Series,06-05-02, 2006.
- (2) Jung yong-jin, "A Study on the Design of Dog Monitoring Robot," The Korea Contents Association, Vol.17, No.8, pp.463-471, 2017

혼류생산 방식을 적용한 공조용 T형 덕트 금형 자동화 기술

박동환^{1*}, 김선희², 최종준²

T-shaped duct mold automation technology for air conditioning applied with mixed production method

D. H. Park^{1*}, S. H. Kim², J. J. Choi²

경북하이브리드부품연구원¹, 광신공조²

Key Words : T-shaped duct, Mold automation technology, Air conditioning, Mixed production method, Curling

1. 서 론

국내 덕트 부품 제조기업들은 대부분 영세기업으로 수작업 의존율이 높 으며 작업자의 노동에 의한 제조방법으로 생산성이 낮고, 제조현장 환경도 열악한 상황이다. 공조용 T형 덕트는 배관 연결을 위해 사용하므로 연결부 위의 접합을 위하여 취급이 용이해야 한다. 공조용 T형 덕트는 용융아연도 금 강판 소재를 주로 사용하며, 여러 공정의 치구를 활용하여 수작업에 의 하여 판금 기능자가 제조하므로 생산성이 저하되며, 작업자의 숙련에 따라 덕트 제조 품질에 대한 산포가 발생하기도 한다. 이에 본 연구는 혼류생산 방식을 적용하여 공조용 T형 덕트 부품의 금형 자동화 기술을 연구하였다.

2. 소재 물성 시험

피가공 소재 물성을 파악하기 위하여 인장시험을 수행하여 기계적 성질 을 확인하였다. 시험에 사용된 소재는 SGCC(소재두께 0.5mm) 이며, 시험 편은 Fig. 1과 같이 KS B 0801 13B호 시편 규격으로 표점거리 50mm, 너비 12.5mm로 와이어 커팅 가공하여 제작하였다. 인장시험은 10톤 만능재료시 험기(UTM)에서 시험속도 5mm/min로 인장하였다. 인장시험 결과 인장강 도 388MPa, 연신율 30.8%로 나타난다.



Fig. 1 Tensile test specimens

3. 실험 결과 및 고찰

기존 공조용 T형 덕트는 규격별 치구를 활용하여 2개의 부품을 T형 덕 트로 조립할 때 방향성과 컬링 후 끼임으로 착탈이 어려운 문제가 발생하 였다. 2개의 부품을 T형 덕트로 조립할 때 구조적으로 기술적 애로가 발생 하지 않도록 착탈 작업 시 밴딩 형상과 걸림 현상을 여러 각도로 시뮬레이 선하여 최적화 조건을 도출하였다. 덕트 부품 5종에 대한 제조 장비의 컬 링 공용화를 위하여 부품 사양별 지그를 설계하여 원터치 교체와 턴테이 블 회전방식으로 제작하였다. 본 연구는 T형 덕트 부품 사양별로 흔류생산 방식을 적용하여 공조용 T형 덕트 부품의 금형 자동화 기술을 연구하였다.



Fig. 2 T-shaped duct product



Fig. 3 Curling operation equipment of T-shapes duct product

후 기

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부의 공정품질기술개발사업(과제 번 호: S3210691)에 의하여 지원되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

- Park, D. H, Gu, J. J, 2014, Experimental Study of New Welding Assembly Technology Applied with Mixed-Model Production Method, KSMTE, 23:6 602~608.
- (2) Moon, D. H, Lee, Y. H, Shin, Y. W, 2018, The Effect of Mixed-Model Production in Automotive Body Shops Considering Assembly Methods and Part Transfer Policies, JKIIE, 44:5 391~403.

메타표면소자 기반 Low-beam 패턴 최적화 연구

신성욱^{1*}, 박승호¹, 조상준¹, 이현무¹, 전광진², 현진우³

Machined surface texture monitoring using acoustic emission signals in micro milling process

S. U. Shin^{1*}, S. H. Park¹, S. J. Cho¹, H. M. Lee¹, K. J. Kwang², J. W. Hyun³

한국공학대학교¹, ㈜유트로닉스², 메타틱스³

Key Words : AFLS, MSE, Hot spot, SEM

1. 서 론

기존 차량용 적응형 전조등 시스템(Adaptive Front-Lighting System, AFLS)^[1]은 Halogen, HID 및 LED lamp를 사용하고 있으며, Cut-off 장치를 사용하므로 광 효율 저하 및 기계적 안정성 등의 단점이 존재한다. 레이저 다이오드 광원과 메타표면소자를 사용하여 AFLS 광 학 패턴을 형성하는 경우 Cut-off 장치를 사용하지 않아 광 효율의 개선 과 시스템의 단순화를 기대할 수 있다. 그러나 메타표면소자의 가공은 나노미터 단위로 진행되므로, 오차로 인한 문제가 발생한다.

본 논문에서는 메타표면소자의 가공 오차로 인하여 발생하는 문제를 확인하고 광학 패턴의 최적화를 통하여 개선하고자 한다.

2. 본 론

본 연구에서의 메타표면소자는 525nm의 광선을 타겟으로 Quartz를 1 차, 2차 Mask를 통해 식각하여 4-Level로 제작하였다.

그림 1은 메타표면소자를 통해 형성된 배광을 B plane 기준 고니오포 토미터로 측정한 결과이다. 각각 B50L, BR, BLL, BRR 지점에서 관련 규정^[2]을 초과하는 광량이 측정되었다. 특히, Hot spot의 생성지점인 75R 지점에서의 광량은 150,090cd로, 기준치 44,100cd의 340%에 해 당하는 광이 측정되었다.



Fig. 1 Photometric IES image

표1은 전자 주사 현미경(Scanning Electronic Microscope, SEM)을 통해 메타표면소자의 각 Level의 깊이를 측정한 결과이다. 3rd Level은 1차 Mask를 통하여 형성되었으며, 2rd, 4th Level은 2차 Mask를 통하 여 형성되었다. SEM 측정 결과, 1차 Mask에 의한 식각 깊이는 설계 깊이보다 17% 얕았으며, 2차 Mask에 의한 식각 깊이는 설계 깊이보다 16.4% 11.0% 깊음을 확인하였다.

Field tracing 기반 시뮬레이션 프로그램인 VirtualLab Fusion을 활용하여 각 Mask의 깊이 편차에 의해 발생하는 현상을 시뮬레이션하였다. Mask 1의 편차 증가는 Hot spot 현상이 발생하며 Mask 2의 편차 증가는 회절 대칭 현상이 발생함을 확인하였다. 이를 통하여 H-H, V-V 라인을 기점으로 하는 지점에서의 패턴이 중첩되어 규정상 광도를 초과함을 확인하였다.

Table 1 Comparison of etching depth (nm)

Laval	Etching	Eman noto	
Level	Design	Result	Error rate
2nd	297(279~314)	247(238~251)	+16.4%
3rd	580(566~592)	676(635~721)	-17.0%
4th	877(845~906)	974(958~992)	+11.0%



그림 2는 광에 대한 규정상 광량을 초과하는 지점의 대칭점 광량을 최적화하여 표 1과 같은 깊이 편차를 가지는 조건에서 시뮬레이션을 진행한 결과로, 75R, B50L, BR, BLL, BRR 지점에서 광량의 감소를 확인하였다.

Table 2 Comparison of intensity (cd)

Measure		Intensity	
point	Regulation	IES image	Simulation
75R	44,100 or less	150090	44205.6
B50L	350 or less	538.8	254.4
BR	1750 or less	7026.2	1728.8
BRR	3550 or less	407.2-7969.8	127.1~3269.9
BLL	625 or less	258.6-6600.4	68.4~638.5

3. 결 론

본 논문에서 메타표면소자의 1차, 2차 Mask의 오차로 인하여 회절 대칭 현상과 Hot spot 현상이 발생함을 확인하였다. 현 공정 단계에서 의 깊이 편차는 각 Level에 따라 +16.4%, -17.0%, +11.0%로, 1차 Mask 2차 Mask의 깊이 편차는 각각 Hot spot 현상과 회절 대칭 현상 의 원인임을 확인하였다. 이러한 현상에 영향을 줄이기 위하여 배광패 턴을 수정하였으며, 각 지점에 광도가 규정에 알맞음을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

연구 결과를 토대로 메타표면소자 설계에 적용할 경우, 공정 오차에 따른 깊이 편차로 인한 광도 오차 개선을 기대할 수 있다.

후기

본 성과물은 교육부 소관의 3단계 산학연협력 선도대학 육성사업 (LINC3.0)과 2023년도 정부(환경부)의 재원으로 한국환경산업기술원 의 지원을 받아 수행된 연구(DX기반 탄소공급망 환경 전문인력 양성) 를 통해 작성됨을 밝힙니다.

- Hyounggu Kim, Byungdo Kang, Hosang Lee, Jaeseung Sin, Junyeong Park, 2009. *The Development of Adaptive Headlamp for Road Lighting Under Rainy Weather*, Korean Society for Ergonomics, 132-137.
- [2] Standards for installation and luminous intensity of conversion beam headlamps (Related to Article 38 Paragraph 3 Item 3).

전력 사용량 예측 AI 모델링 기반 에너지 효율화 연구

조상준^{1*}, 이진수¹, 박승호¹, 현동훈¹, 천선일²

AI modeling for power consumption prediction for energy efficiency enhancement

S. J. Cho^{1*}, J. S. Lee¹, S. H. Park¹, D. H. Hyun¹, S. I. Chun²

한국공학대학교¹, (주)씽크포비엘²

Key Words : AI, Energy efficiency, LSTM

1. 서 론

최근 한국의 경우 1인당 온실가스 배출량은 1990년 6.8톤에서 2018년 14.1톤으로 증가하고, 전 세계 에너지 관련 온실가스 배출량 은 40.8 Gt/CO2 eq로 2019년 대비 최고 수준을 기록하는 등 온실가 스 관련 환경문제가 대두되고 있다. 우리나라는 산업 부분의 에너지 소비 부분이 상대적으로 높은 편으로, 국내에서 추진하는 2050 탄소 중립을 위해서는 산업 부분의 온실가스 배출량을 줄여 저탄소화 하는 과정이 필수적이다. 이러한 대량의 데이터를 받아 파악하고, 처리하고 결과를 도출하는 과정을 효율적으로 관리하기 위해 사용량을 예측하 는 AI 모델을 개발하고자 한다.

2. 본론

본 논문에서는 한전 전력 플래너를 통해 수요기업 공장의 사용량 raw 데이터를 수집하여 모델 개발에 활용하였다. 이러한 raw 데이터를 활용 하기 위해 표준형식으로 가공하는 전처리 과정을 진행하여 가공된 데이터 세트를 획득한다. 다양한 공장에서 데이터를 받아와 진행하기에 데이터 정규화를 통해 기능을 비슷한 규모로 변환해 모델의 성능과 훈련 안전성 을 향상한다. 알고리즘 모델로는 다변량 LSTM 모델을 선택하여 훈련을 진행하였다.

3. 실험 및 결론

다변량 LSTM 모델을 사용하기 위해 데이터 세트에서 사용량(kWh), 역률(%), 전류(A), 유효전력량(kWh), 무효전력량(kVarh)을 취한다. 이 를 통해 사용량(kWh)을 예측하므로 Y 구간에서는 다른 변수들을 제외한 다. 훈련을 위해 한 번에 사용할 수 있는 파라미터의 수인 배치는 73으로 설정하고, 반복 횟수는 50회 반복/epoch를 사용하여 모델을 훈련하였다.

Layer (type)	Output Shape	Param #
lstm_1 (LSTM)	(None, 50)	11200
dense_1 (Dense)	(None, 1)	51
Total params: 11,251		
Trainable params: 11,25	51	
Non-trainable params: 4		

Fig. 1 Summary of LSTM Model

모델의 교육/학습을 Weights & Biases라는 MLOps 플랫폼을 사용하 여 시각화 하였다. 이 플랫폼으로 교육 mse, 유효성 검사 mse, 트레이닝 손실, 검증 손실 4가지 측면을 모니터링 하였다. Fig. 2는 모든 공장에 대 한 학습곡선이다.



Fig. 2 Learning Curve

Fig. 2와 같이 훈련 세트와 검증 세트의 그래프가 비슷하게 iteration 10을 기준으로 0으로 하강하는 형태를 보인다. 이는 과적합이 발생하지 않고 안정적으로 학습하고 있음을 의미하며, LSTM을 이용한 모델 학습 의 유효성을 확인하였다.

Factory	code	RMSE_Scaler	Accuracy_Scaler
1	1100	0.038864143	96.11358568
	1101	0.07030233	92.969767
	1102	0.04260708	95.73929198
	1103	0.038836837	96.11631632
	1120	0.035198014	96.48019858
	2100	0.045425568	95.45744322
	2120	0.055342004	94.46579963
	2140	0.068071254	93.19287464
	2160	0.066044584	93.39554161
		Total Accuracy	94.88120207

Fig. 3 Overall Accuracy of KEPCO Data

Fig. 3은 정규화된 RMSE 공식을 이용하여 모든 공장의 KEPCO 데 이터의 전체 정확도를 정리한 표이다. 전력 사용량 예측 모델의 전체 정확 도는 94.9%로 사용량 예측 시뮬레이션이 가능하며 효율적 에너지 관리 에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 논문은 과학기술정보통신부 소관의 민간위탁사업과 2023년도 정부 (환경부)의 재원으로 한국환경산업기술원의 지원을 받아 수행된 연구 (DX기반 탄소공급망 환경 전문인력 양성)임을 밝힙니다.

- H. H. Lee, N. Y. Hong, T. W. Lee, 2022, Comparison of prediction for multivariate time series between LSTM and VARX, Journal of the Korean Data And Information Science Society, 35-47.
- (2) E. M. Kim, B. H. Lee, 2003, Performance and Root Mean Squared Error of Kernel Relaxation by the Dynamic Change of the Moment, Journal of Korea Multimedia Society, 788-796.

수처리시설 내 침액식 스크러버 시스템 적용을 통한 온실가스 저감 연구

오다훈^{1*}, 강성린¹, 유경선¹, 장여진²

A study on GHG reduction through the application of an immersion scrubber system in water treatment facilities

D. H. Oh^{1*} , S. L. $Kang^1$, K. S. Yoo^1 , Y. J. $Jeong^2$

한국공학대학교 IT반도체융합공학과¹, ㈜한국이엔지²

Key Words : Microbubble, GHG(Greenhouse Gas), Aeration, Nitrification

1. 서 론

현재 국내를 비롯한 세계 각국은 탄소중립 기조를 고려한 에너지 사용 절감 및 온실가스 배출 저감의 방법론에 대하여 논의되고 있다. 이에 따 라 기후변화에 대응하기 위한 각 국가 간 협약의 방법론은 구체적인 계획 에 따라 수립 및 실행되고 있다. 본 논문에서는 국가기초시설인 수처리시 설에 마이크로 버블을 적용하여 수처리 공정을 보다 효율적이고 경제적인 타당성에 맞추어 온실가스 배출량을 줄일 수 있는 방법론을 제시하고자 한다.

2. 하폐수처리시설의 마이크로 버블 적용

본 프로세스는 침액식 스크러버 시스템(DIWS, Dip Injection Wet Scrubber)을 이용하여 Fig. 1과 같은 직경이 50ጦ 이하인 마이크로 버블 을 수중에 발생시킨다. 적용조건은 각 조의 면적이 9㎡인 Denipho 공정 을 기반으로 유입량 1,000㎡, pH 12.5, 3~5㎡/min의 공기량, 72시간의 운영시간을 적용한다. 변경 사항은 기존 운전 온도인 30℃를 70℃로 변 환하여 적용한다.



Fig. 1 Microbubble diffuser and microbubble shape

Fig. 2는 하·폐수처리시설의 Denipho 공정 중 각 조마다의 N₂O의 배 출계수(하·폐수 유입량·㎡당 N₂O 배출량·mg)를 나타내며 제1조(혐기조) 의 배출계수는 16.3mg/㎡, 제2조(간헐 호기조) 65.6mg/㎡, 제3조(간헐 호기조) 51.1mg/㎡, 제4조(호기조) 129.5mg/㎡이다. 즉 제4조인 호기조 에서 가장 높은 값의 N₂O 배출계수를 보이며, N₂O의 일당 평균 배출량 을 산정하면 약 14.465mg/d로 산정할 수 있다.



Fig. 2 N₂O Emission factors for Denipho process

하·폐수처리시설에서의 N₂O 발생 메카니즘은 다음과 같다. Nitrogen Oxides(N₂O, NO, NO₂ 등)는 하·폐수의 생물학적인 탈질화, 화학적 탈 질화, 질산화에서 배출되는 것이 대부분으로 생물학적 질산화는 NH₃-N → NO₂⁻ → NO₃ 순서로 진행된다. 다음 공정인 생물학적 탈질화는 질소 가스가 형성되는 과정인 NO₃-N → NO₂⁻ → NO⁻ → N₂O → N₂의 순 으로 이루어지게 된다. 즉 생물학적 질산화/탈질화 공정은 호기 공정에서 진행되는 질산화 과 정에서의 호기성미생물의 활성 정도에 따라 질산화율이 결정된다. 질산화 율은 N₂O 배출량과 반비례하며, 질산화 이후 일어나는 탈질화 과정에 N₂O 배출량에 반비례하게 된다. 따라서 호기성미생물의 활성 정도는 수 중의 DO 농도와 호기성미생물 간의 접속 시간 및 접촉면적에 비례하므 로 즉 마이크로 버블의 분당 84mm의 느린 상승 속도는 수중의 DO 농도 를 저에너지로 높게 유지할 수 있으며 마이크로 버블의 상승 속도는 식 (1)인 stokes' law에 따라 증명할 수 있다.

$$Vs = \frac{\rho g d^2}{18\mu} \tag{1}$$

V_s: 마이크로 버블의 상승 속도, ρ: 액체의 밀도, g: 중력가속도, d: 마이크로 버블의 직경. μ: 유체의 점도이다. 즉 마이크로 버블의 상승 속도는 버블의 직경의 제곱에 비례하므로 마이크로 버블의 직경이 작아질수록 마이크로 버블의 상승 속도는 감소하게 된다.

3. 온실가스 간접 배출량

기존 Denipho 공정 호기조에서의 제거 효율을 x %로 가정한다. x % 의 효율을 내기 위해 호기조에 폭기를 위해 사용되는 송풍기의 전력량을 마이크로 버블 산기장치에 적용할 때 기존 x % 보다 높은 (x + α)%의 효율을 호기조에서 보이게 된다. 따라서 기존 x %의 효율을 적용하기 위 해 사용되는 기존 전력량의 약 50%로 유지할 수 있다. 이에 대한 근거로 첫째 기존 송풍기를 활용한 폭기공정은 0.5~0.7kg/c㎡의 저압가스는 분사 해야 하지만, 마이크로 버블 산기장치를 활용한 폭기공정의 경우 0.03~0.05kg/c㎡의 초 저압 가스를 분사하기 때문에 압력 발생을 위한 전 력량이 1차적으로 감소하게 된다. 둘째 마이크로 버블 산기장치의 경우 산기장치의 설치 수심이 기존 송풍기의 설치 수심인 기존 대비 1/2을 줄 일 수 있어 풍압(Pa)에 따른 전력 소비율을 줄일 수 있다. 즉 전력 소비량 이 감소하게 되면 하 폐수처리장에서의 온실가스 간접배출인 Scope 2 배 출량 산정 시 전력 사용량 감소율과 비례하여 온실가스 배출량이 감소하 게 된다.

후 기

본 성과물은 중소벤처기업부 소관의 메타버스 기반 탄소중립 폐수처리 장 플랫폼 기술 개발 사업과 2023년도 정부(환경부)의 재원으로 한국환 경산업기술원의 지원을 받아 수행된 연구(DX 기반 탄소 공급망 환경 전 문인력 양성)임을 밝힙니다.

- G. Nam and J. Jung / Ecology and Resilient Infrastructure (2016) 3(4): 256-262
- (2) H. J. Yang and J. M. Park and M. J. Kim / Estimate of Nitrous Oxide Emission Factors from Municipal Wastewater Treatment Plants (2008): 1281-1286
- (3) J. O. Jung and Y. J. Jung / Industrial Wastewater Treatment Containing High Concentration of Ammonia with Low Energy Micro-Bubble Reactor (2016): 286-291

원기둥 자석을 활용한 파워 인덕터 생산용 UV 잉크 인쇄장치 연구

이현무^{1*}, 김윤철¹, 강응철², 이진국², 강성린¹

A study on UV ink printing device for power inductor production using cylindrical magnet

H. M. Lee^{1*}, Y. C. Kim¹, E. C. Kang², J. K. Lee², S. L. Gang¹

한국공학대학교¹, (주)대영테크²

Key Words : Power inductor, Cylindrical magnet, Printing press

1. 서 론

전자기기에 들어가는 파워 인덕터는 전류의 변화량에 비례해 전압을 유 도함으로써 전류의 급격한 변화를 막고 전기 잡음을 걸러내는 필터 등으 로 사용된다. 파워 인덕터는 수동소자로 D램에 전력 효율을 높이기 위한 필수 부품이다. 2022년 메모리 반도체 기업들은 DDR4에서 DDR5로 사 용화 계획을 발표하였고, DDR5 전환에 파워 인덕터 수요 증가가 기대되 고 있는 상황이다. D램 특성상 DDR5로 전환이 단기간에 마무리 되지 않아 향후 4~5년간 지속되기에 이로 인한 수요증가를 기대 할 수 있다. 이와같이 지속성장이 가능한 파워 인덕터 생산 효율을 증가 시킬 수 있는 장치 개발, 즉 원기둥 자석을 활용한 파워 인덕터 생산용 UV잉크 인쇄 장치가 필요하다.

본 연구에서는 원기둥 자석을 활용하여 파워 인덕터 생산용 UV 인쇄 장치를 원기둥 자석의 자력 형성이 상, 하로 형성되게 연구하여 제품 고정 시 제품이 뒤집히거나, 세워지는 현상을 방지하는 기술을 적용하여 인쇄 진행시 품질 소모성 자재(제판, 스퀴지)의 파손을 방지하고 인쇄 품질을 향상시키도록 연구하였다.

2. 본 론

파워 인덕터 윗면, 아랫면, 옆면에 UV경화형 솔더레지스트 잉크를 끊 임 없이 인쇄하는 방법으로, 파워 인덕터 4면의 표면 두께를 10~30µm으 로 끊김 없이 연결하기 위한 제판을 설계하였다. 원기둥 자석의 자력 형성 이 상, 하로 형성되게 하기 위해 원기둥 마그네틱 자력 형성을 바꿔 제대 로 안 착할 수 있는 원기둥 마그네틱을 연구하여 UV 잉크 전용 제판에 연결하는 방식으로 설계하였다.



Fig. 1 Cylindrical Magnet

원기둥 자석을 활용한 UV 잉크 스크린 인쇄 설비는 기본형 인쇄 장비 에 수동으로 제품을 투입한 후 인쇄 공정^[1]이 시작된다. 제품 투입 후 인 쇄 공정 전 패드 표면 클리닝을 진행하고, 인쇄판 위치에서 잉크를 픽업한 다. Heating Box에서 패드 균등 건조공정을 가져 패드 표면에 픽업 되어 온 잉크를 강제로 건조하여 제품에 인쇄 시 번짐이나 튀는 불량 현상을 개선한다. 최종적으로 최대 1ton의 힘으로 누를 수 있는 모터를 이용하여 패드 형상이나 경도와 상관없이 잉크가 패드의 곡면에 전체적으로 펴지게 하는 과정을 진행한 후 한 번 더 같은 과정을 반복하여 인쇄를 진행한다. 파워 인덕터 Edge 부 인쇄를 하기 위하여 설계를 수정하였는데, 파워 인 덕터 외각보다 Edge 부를 크게 제작한 후 오버랩하여 스크린 인쇄방식을 선택한 후 제품이 0.05mm 돌출되게 구성하여 인쇄되도록 설계하였다. 파워 인덕터 UV 잉크 인쇄 시 표면상태, Edge 부 넘침 상태, 잉크 투과 율, 트레이 고정 여부 등이 품질에 영향이 있는지 검토하기 위해 원기둥 자석 전용 트레이에 맞추는 방법으로 제판 개구부 치수를 변경하여 도 면을 수정 한 후 4가지 과정의 테스트를 진행하였다.



Fig. 2 Test Process

테스트 과정에서 패드의 형상 및 경도는 Pine Hole, Ink Splash, Saw Edge, Ink 미도포 등 인쇄 품질에 영향을 주는 요소들을 확인하 여, 잉크 잔량 제거를 위한 UV Cleaning 장치로 인쇄 후 패드에 남은 잔량의 제거가 연속적으로 이루어져 제품 인쇄 품질 향상이 이루어짐을 확인하였다.

3. 결론

본 연구에서는 2D 평면 인쇄만 가능한 UV 잉크를 스크린 인쇄에 적합 하게 원기둥 자석을 접목시켜, 3D 입체 형상 인쇄를 위한 파워 인덕터 생산용 UV 잉크 전용 제판과 생산수율 및 생산성 향상을 위한 UV Cleaning 장치를 접목 시킨 원기둥 자석을 활용한 파워 인덕터 생산용 UV 잉크 생산 장치를 연구하였다. 인쇄 장치를 통해 한번에 100EA 씩 작업이 가능하여 보다 빠른 생산을 할 수 있어 전 세계적으로 우상향하는 파워 인덕터 시장에 영향을 줄 것이다.

후 기

본 성과물은 2023년도 정부(환경부)의 재원으로 한국환경산업기술 원의 지원을 받아 수행된 연구임(DX기반 탄소공급망 환경 전문인력 양성)을 밝힙니다.

참고문 헌

 Yea-Seol Park, Seung-Kyun Kang, Ju-Yong Lee. (2021).3D Printed Electronics Research Trend. Journal of Microelectronics and Packaging, 28(2), 1-12.

진동 노즐 예압축이 압축기 흡입밸브 거동에 미치는 영향

전재민¹, 이영림^{2*}

Effect of vibrating nozzle pre-compression on the behavior of compressor suction valve

J. M. Jeon¹, Y. L. Lee^{2*}

공주대학교 기계자동차공학부 기계설계공학전공¹, 공주대학교 기계자동차공학부²

Key Words : Vibrating nozzles, Linear compressor, Pre-compression, Valve behavior

1. 서 론

압축기는 냉장고 전력에 약 80%를 사용하고 있다. 이는 압축기의 효율이 전력소비에 중요한 요점이라는 것을 나타낸다. 국제적으로 전 력 소비량을 줄이기 위한 노력이 꾸준히 이루어지고 있다. 이에 따라 가정용 냉장고, 업소용 냉장고 이외에 압축기가 적용되는 산업 전반에 걸쳐 고효율 압축기에 필요성이 증가하고 있다. 본 연구에서는 진동노 즐을 이용하여 압축기 흡입밸브를 통해 유입되는 냉매의 질량유량을 증가시키고자 하였다. 진동노즐은 노즐과 디퓨저로 이루어져 있으며 진동파트와 고정파트로 이루어져 있다. 진동노즐이 진동하며 생성한 예압축 효과가 압축기 피스톤헤드에 장착된 흡입밸브 거동에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

2. 실험 방법

Fig. 1은 진동노즐 Model 1의 세부 치수를 나타낸다. 진동노즐은 광경 화성 레진 3D프린터로 제작하였다. Fig. 2는 실험장치의 개략도를 나타 낸다. 리니어 압축기의 선형왕복운동을 구현하기 위해 크랭크 시스템을 이용하였다. 모터에서 발생한 회전운동은 크랭크 시스템에서 직선운동으 로 변환되어 진동파트와 연결된다. 리니어 압축기의 피스톤은 진동노즐의 압축실과 연결된다. 압축된 공기는 압축실을 지나 리니어 압축기 피스톤 헤드에 장착된 흡입밸브를 통해 토출되게 된다. 이때 흡입밸브 변위측정 은 KEYENCE LK-G3000를 사용하였다. Table 1은 본 연구에서 실험 한 진동노즐의 제원을 나타낸다.



Fig. 1 Schematic of vibrating nozzles in a linear compressor



Fig. 2 Schematic of the experimental equipment

Table 1 Specification of the vibrating nozzles			
Models	Dimension(mm)		
	(Vibrating part - Stationary part)		
Model 1	14.6 - 14.6		
Model 2	8.0 - 14.6		
Model 3	4.0 - 14.6		
Model 4	14.6 - 8.0		
Model 5	8.0 - 8.0		
Model 6	4.0 - 8.0		

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 리니어 압축기의 효율을 개선하기 위해 진동노즐을 이용하여 발생한 예압축효과가 흡입밸브 거동에 미치는 영향을 알아보았 다. Fig. 3은 RPM과 진동노를 진폭에 따른 압축기 흡입밸브의 거동을 나타낸다. RPM이 증가함에 따라 흡입밸브의 변위도 선형적으로 증가하 였으며 진동노를 진폭이 증가함에 따라 흡입밸브의 변위도 선형적으로 증가하였다. 예압축 효과로 인한 흡입밸브 열림량 증가는 압축기 내부로 유입되는 냉매의 유량을 증가시켜 압축기 효율을 증가시키는 것을 기대 할 수 있다. 향후 진동노즐이 발생시키는 압력에서 흡입밸브 거동에 미치 는 요소를 확인하여 보다 효율적인 예압축 방법에 관한 후속연구가 필요 하다.



Fig. 3 Variations of normalized displacement with stroke and RPM

참 고 문 헌

- Jae Min Jeon and Young Lim Lee, 2023, "A Study on the Feasibility of Pre-compression in linear Compressors Using Fluid Diode", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 22(3), pp.55-60.
- (2) Il Sun Hwang and Young Lim Lee, 2021, A Study on the Cooling of High Temperature Refrigerant Inside a Compressor using Compressor Body Vibration, Journal of the Korean Society of Mechanical Technology, Vol. 23(1),pp. 50-55.

유한요소법을 이용한 SPR과 알루미늄 합금 3판의 접합 거동에 관한 연구

장형석, 윤승민, 박희수, 이대국, 김상열*

A study on the joint behavior of self-piercing rivets in and aluminum alloy 3 plates using FEM

H. S. Jang, S. M. Yun, H. S. Park, D. G. Lee, S Y. Kim*

인하대학교 첨단소재공정공학과

Key Words : SPR(self-piercing rivet), FEM(finite element method), Aluminum alloy, 3 plates

1. 서론

자동차 연비 향상과 차체 경량화를 위해 다양한 소재의 조합이 증가 하였다. 이 중에서도 셀프 피어싱 리벳 (Self-Piercing Rivet, 이하 SPR)은 용접이 어려운 이종소재를 접합하는 기계적 접합 방법으로 다 양한 연구가 진행되고 있다. 그러나 3판 SPR 접합 연구는 현재 접합 기술 추세와 비교해 매우 적으며, 이종 재료들의 조합에 대한 체계적 인 선행연구가 요구된다. 이종소재의 접합 과정에서 해석적 방법을 도 입하면, 체결의 적합성과 시험 결과의 예측을 통해 경제적이고 시간적 이점을 얻을 수 있다. 본 연구는 해석적 방법을 적용하여 SPR과 알루 미늄 합금 소재의 3판 접합에 대한 해석과 실제 인장시험 결과의 일치 여부를 확인하였다.

2. 해석 조건

SPR 접합 공정은 Fig. 1과 같이 구성하여 배열하며, 기계적 물성은 Table 1과 같이 정리하였다. 펀치는 아래 방향으로 100 mm/s의 속도 로 설정되었고, SPR의 높이인 9 mm 만큼 하강 후 정지한다. 홀더는 10,000 N의 힘을 아래로 가해 판재를 고정하며, 다이는 이동 없이 고 정 상태로 유지되었다. 인장해석은 접합해석 이후 이루어지며, 중판을 고정하고 상판에 위 방향으로 0.033 mm/s의 속도를 부여하였다. 상판 이 파단되어 접합 부분에서 분리되는 시점에서 해석은 정지된다.



Fig. 1 (a) Joint configuration diagram of SPR, (b) Definition of parameters for joint of SPR

Table 1 Mechanical properties for SPR jointing (MPa)

Material	Material	YS	UTS
SPR	AISI 1045	1259	1825
Top plate	AA6014-T6 1.5t	175	283
Middle plate	AA6451-T6 2.0t	316	340
Bottom plate	AA6451-T6 2.0t	316	340

3. 해석 결과 및 고찰

SPR 단면 특성에 대한 접합의 매개변수는 Fig. 1(b)와 같으며, ST 는 SPR 접합 전 SPR 생크 두께 (Shank Thickness, 이하 ST)의 정의 이다. 또한 FL은 플레어링 (Flaring, 이하 FL)으로 생크의 수평 방향 크기, IL은 인터로크 (Interlock, 이하 IL)로 중판 파괴 후 하판으로 진 입한 생크의 수평 방향 소성 변형량, PR은 페니트레이션 (Penetration, 이하 PR)으로 SPR이 이종소재를 관통한 수직 방향 소성 변형량 등을 의미한다. 접합해석에 대한 유효성 검증을 위해 실제 접합과 해석 간의 접합형 상을 Fig. 2(a)와 같이 비교하고, 해석 및 실제 접합 결과는 Fig. 1(b) 에 정의된 매개변수를 사용하여 Table 2와 같이 정리하였다. 또한 인 장시험은 Fig. 2(b)와 같이 진행하여 비교하였다.



Fig. 2 Comparison of SPR FE Model and Experiment

Table 2 Comparison of FE Model and experimental results on the joint of SPR joint and aluminum alloy 3 plates (mm)

	FL	IL	PR
Experiment	4.00	0.53	6.10
FE Model	4.00	0.43	6.20
Error	0.00	0.10	0.10

4. 결 론

본 연구에서 FL, IL, PR의 오차는 0.10mm 이하로 Table 2과 같다. 그러나 인장시험 결과 해석과 실제 사이에 2.5배의 변위 차이가 존재 하였다. 실제 인장시험에서는 판재가 십자(+)로 교차되어 시험하나 해 석에서는 축 대칭으로 시험하였기에 연신율 차이가 발생하였다. 인장 강도의 해석 결과는 4,023 N으로 실제 접합 결과인 3,835 N과 188 N의 차이를 보였지만 오차율은 0.05 이내로서 비교적 작은 오차범위 로 나타난다.

따라서 이러한 해석결과는 DEFORM 2D를 이용한 SPR 접합 모사 로 접합의 적합성 검증 및 체결력 예측 가능성을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2021년 정부(중소벤처기업부)의 재원으로 중소기업기술정보 진흥원의 지원과 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기 술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (S3073212, 2021 년 중소기업기 술혁신개발사업), (P0008425, 2023년 산업혁신인재성장지원사업)

- Xu, Y., 2006, Effects of factors on physical attributes of self-piercing riveted joints, Science and Technology of Welding and Joining. 11:6, 666-671.
- (2) Abe, Y., T. Kato, and K. Mori., 2009, Self-piercing riveting of high tensile strength steel and aluminium alloy sheets using conventional rivet and die, Journal of materials processing technology. 209:8, 3914-3922.

저주파 소음 감쇠를 위한 음향 메타물질 설계

이인호, 한인격, 윤관호*

Acoustic metamaterials for broadband soundproofing in low frequency

I. H. Lee, I. K. Han, G. H. Yoon*

서울과학기술대학교 MSDE학과

Key Words : Acoustic metamaterial, Low frequency, Broadband soundproofing, Destructive interference, Ventilation

1. 서 론

최근 산업 전반에 걸쳐 소음 제어의 필요성이 대두되었다. 기존의 방식은 크기가 크고 무거우며, 소음 제어와 동시에 환기가 잘 안된다는 단점이 있다. 이러한 기존 방식의 한계점을 극복하기 위해 음향 메타물질이 고안되었다 (1, 2). 고안된 음향 메타물질들은 기존의 방식과 비슷한 수준의 소음 감솨를 보 이며 동시에 환기가 가능했다. 하지만, 감쇠 주파수 영역이 상대적으로 좁아 감쇠 영역을 넓히기 위한 연구가 현재 활발히 진행되고 있다 (3,4). 본 연구에 서는, 저주파 영역에서 넓은 소음 감솨를 위한 미로형 음향 메타물질을 설계 하였다. 상용 수치 해석 프로그램인 COMSOL Multiphysics를 통해 설계된 구 조의 방음 효과를 확인할 수 있었으며, 실험을 통해 그 효과를 증명하였다.

2. 음향 메타물질 모델링 및 시뮬레이션

방음 효과와 원활한 환기를 위해 상쇄 간섭을 유도하는 미로형 음향 메타 물질을 고안하였다. 해당 메타물질은 가운데의 열린 영역(region 1)과 주변부 의 미로 영역(region 2)으로 나눠져 있다 (Fig. 1(a)). 환기가 충분히 가능한 구 조를 위해 열린 영역의 바율은 10.24 %로 정해졌다 (Table 1). 기존의 미로형 음향 메타물질과는 다르게, 미로의 끝 부분에 출구를 만들어 입사하는 음파가 구조 뒤로 빠져나올 수 있게 만들었다 (Fig. 1(b)). 서로 다른 두 영역(region 1, region 2)을 통과한 음파가 구조 뒤에서 상쇄 간섭을 일으키도록 설계되었다.



Fig. 1 Schematics of designed metamaterial and results of simulation

Table 1 Parameters of the designed metamaterial (unit: mm)

h	r 1	r 2	w	d	θ_{1}	θ_2
30	16	50	1	10	35°	35°

설계된 음향 메타물질은 COMSOL Multiphysics를 통해 방음 효과를 확인 하였다. 공기의 밀도와 음파의 속도는 각각 1.21 kg/m³와 343 m/s로 설정되었 으며, 공기와 벽 사이의 큰 임피던스 차이를 고려하여 모든 벽들은 rigid walls 로 설정되었다. 그 결과, 603 Hz와 988 Hz에서 상쇄 간섭을 확인하였다 (Fig. 1(c)). 입사하는 음파의 세기가 95% 손실되는 영역, 즉 투과손실이 약 13 dB 이상 나오는 영역대는 577 Hz부터 1033 HZ로 저주파 영역에서 456 Hz의 넓 은 감쇠 영역을 보였다 (Fig. 1(d)).

3. 실험 및 고찰

사뮬레이션을 통해 확인한 메타물질의 방음 효과를 증명하기위해 임피던스 튜브(SKC, ZL-100)를 사용한 실험을 진행하였다. 시편은 ABS-30 물질로 fused deposition modeling (FDM) 방식을 통해 제작하였다. 시편을 임피던스 중 앙에 위치시킨 뒤 400 Hz부터 1200 Hz 사이에서 선형 옥타브 간격으로 측정 하였다. 그 결과, 피크 주파수에서 투과 손실이 낮아졌지만, 전반적인 경향성 이 사뮬레이션과 비슷함을 확인하였다.



4. 결 론

본 연구를 통해 저주파 영역에서 넓은 소음 감쇠를 위한 미로형 음향 메타 물질을 설계하였다. 설계된 메타물질을 통해 구조 뒤에서 상쇄 간섭을 유도하 여 방음 효과를 확인하였다. 577 Hz 와 1033 Hz 사이, 456 Hz의 넓은 저주파 영역에서 음파의 세기가 95% 이상 손실됨을 확인하였다.

- Kumar, S. and Lee, H. P., 2020, Labyrinthine acoustic metastructures enabling broadband sound absorption and ventilation. Applied Physics Letters, 116(13), 134103.
- (2) Ghaffarivardavagh, R., Nikolajczyk, J., Anderson, S. and Zhang, X., 2019, Ultra-open acoustic metamaterial silencer based on Fano-like interference, Physical Review B, 99(2), 024302.
- (3) Xiao, Z., Gao, P., Wang, D., He, X. and Wu, L., 2021, Ventilated metamaterials for broadband sound insulation and tunable transmission at low frequency, Extreme Mechanics Letters, 46, 101348.
- (4) Chen, A., Zhao, X., Yang, Z., Anderson, S. and Zhang, X., Broadband labyrinthine acoustic insulator, Physical Review Applied, 18(6), 064057.

전혈에서 cfDNA와 CTC 동시분리 가능한 액체생검용 Lab-on-a-Disc 및 사출금형 설계

황철진^{1*}, 이정원¹, 홍석관¹, 이성훈²

Design of Lab-on-a-Disc and injection mold to obtain cfDNA and CTC from whole blood

Chul Jin Hwang^{1*}, Jeong-Won Lee¹, Seok-Kwan Hong¹, Sung-Hun Lee² 한국생산기술연구원 금형성형연구부문¹, ㈜클리노믹스 암유전체연구소²

Key Words : Liquid biopsy, Lab-on-a-Disc, Cell free DNA, CTC, Injection mold

1. 서 론

고형암 환자의 경우 암의 전이과정이나 그 이전 단계에서부터 환부에서 부유성을 획득한 암세포가 혈액에 순환하고 있음이 알려져 있고, 이를 CTC (순환 종양 세포; Circulating Tumor Cell)이라고 총칭한다. CTC 이외에도 혈액 내로 배출된 사멸한 세포의 DNA, 즉 세포유리 DNA(cell free DNA, cf DNA) 중에서 암에서 기원한 DNA를 분석하는 기법이 많은 관심을 끌고 있으며, 방법이 상대적으로 간단하기 때문에 민감도와 정확도에 문제가 있음에도 불구하고 많은 연구가 진행되고 있다. CTC 및 cfDNA는 적혈구 대비 매우 낮은 농도로 희귀하며, 농축 과정 중에 세포 의 활성이나 형태 (morphology)를 유지한 상태로 확보하여, 분리 이후 진단에 용이하게 진단체를 확보하는 것이 관건이다.

2. cfDNA와 CTC 동시분리 Lab-on-a-Disc 설계

혈액 내 CTC(순환종양세포) 농축과 동시에 혈장(plasma) 내부의 세 포유리 DNA(cell free DNA, cf DNA)를 오염 없이 분리가 가능하도 록 하는 Lab-on-a-Disc 진단시스템을 설계하고, 이를 구현하기 위한 사 출금형을 설계하였다.



Fig. 1 Schematic of quarter disc-shape LODs for (a) the concentration of CTCs and (b) the isolation of cfDNA inside blood plasma from whole blood. Each LOD consists of three main injection-molded components 본 연구에서 개발된 자동화된 밸브 조절이 가능한 Lab-on-a-Disc를 통 해 (1) 전혈로 부터 CTC 농축 성능 80% 이상 확보, (2) 원심분리된 혈 장(plasma) 내 잔존 cfDNA 분리, (3) 두 기능을 동시에 30분 이내에 수 행할 수 있었다.



Fig. 2 Injection molded LOD assemblies with a membrane filter, elastomer valves

후기

본 연구는 범부처전주기 의료기기개발사업 (RS-2020-KD000019)의 지원으로 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Kim, Y.J. *et al.* A Method for Early Diagnosis of Lung Cancer from Tumor Originated DNA Fragments Using Plasma cfDNA Methylome and Fragmentome Profiles. Mol Cell Probes 2022, 66, 101873, doi:10.1016/j.mcp.2022.101873.
- (2) Lee, B.S. *et al.*, Fully Integrated Lab-on-a-Disc for Simultaneous Analysis of Biochemistry and Immunoassay from Whole Blood. Lab Chip 2011, 11, 70-78, doi:10.1039/c0lc00205d.

7월 13일 [목]



KSMTE ANNUAL SPRING CONFERENCE 2023

130

PVDF 필름을 이용한 키리가미 패터닝 큐브의 압전 특성

송유준, 조형진 송지현*

Piezoelectric property of Kirigami patterned cube using PVDF film

Y. J. Song, H. J. JO, J. H. Song*

단국대학교 기계공학과

Key Words : Piezoelectric, Flexible, Kirigami, 3D structure

1. 서 론

최근 유연 전기소자에 대한 관심이 높아지고 있다. 유연 전기소자는 플 렉시블 디스플레이, 웨어러블센서, 바이오센서 등 다양한 측면에서 활용 되고 있다. 이러한 유연 전기소자의 유연성은 소재 자체의 유연성이나 기 능적인 구조로 얻게 된다. 그 중 기능적 구조는 오리가미¹⁾, 키리가미²⁾, 서 팬타인 구조 등 신축 가능한 구조를 활용하여 소자에 신축성을 부여하거 나 향상시킨다. 본 연구에서는 유연한 압전 Polyvinylidene fluoride (PVDF) 필름에 키리가미 패터닝 가공을 통해 신축성을 부여했다. 키리 가미 패터닝 필름을 큐브 형태로 조립하여 인장되었을 때 발생하는 압전 현상을 측정하였다.

2. 키리가미 패터닝 압전 큐브

PVDF 필름에 레이저 커팅을 통해 Fig. 1의 키리가미 패턴을 새겼다. 하나의 패턴이 새겨진 정사각형의 한 변의 길이는 20 mm이다. 레이저 커팅을 마친 필름은 큐브 형태로 조립되었다. 큐브 내부에 구슬을 넣으면 가속도에 따라 Fig. 2와 같은 형태로 인장된다.(Fig. 3) 스테이지에 의해 큐브가 가속도를 받으면 구슬은 정지관성 때문에 이동방향의 반대방향에 마주한 면과 부딪히게 된다. 이때 부딪힌 면은 구슬에 의해 변형이 일어나 고 압전 현상에 의해 전압의 변화가 발생한다. 가속도에 따른 각 면의 변 형을 발생 전압을 이용하여 측정하였다.



Fig. 1 Kirigami patterned cube planar Fig. 2 Stretched kirigami patterned cube

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 큐브에 10 mm/s²부터 40 mm/s²의 가속도를 5 mm/s² 간격으로 10회 가했을 때 발생한 전압을 막대그래프로 표현했다.(Fig. 4) 가속도에 따라 큐브는 6 ~ 36 mV의 발생전압을 출력했다. 발생전압과 가속도의 선형적인 상관관계를 확인했다.



experiment

Fig. 3 Schematic illustration of the Fig. 4 Generated voltage depend on acceleration



큐브에 다른 방향의 가속도가 가해졌을 때 윗면을 제외한 4개의 면에서 발생하는 전압을 측정했다. 큐브에 서로 다른 방향의 40 mm/s²의 가속도 를 가했을 때 각 면에서 발생하는 전압을 확인했다. Fig. 5는 각 면의 수 직한 방향(Fig. 3의 초록색 화살표)으로 가속도를 가했을 때 4면의 발생 전압을 보여주는 Raw data 그래프이다. 앞선 실험에서 언급했듯 구슬이 이동방향 반대편 면을 변형시키는 것을 확인했다. 또한 가속도가 가해졌 을 때 1개 면에서만 전압 신호가 발생하는 것을 확인했다. 이를 통해 가속 도의 크기 뿐만 아니라 4가지의 가속도 방향도 센싱할 수 있다는 것을 확 인했다.

4. 결론

신축성은 낮은 PVDF 필름에 키리가미 패턴을 추가해 신축성을 부여 했다. 또한 전개도 모양으로 잘라 큐브의 형태로 제작했다. 제작된 큐브 안에 구슬을 넣어 가속도를 가하면 구슬에 의해 큐브에 변형이 일어나고 전압 변화가 발생한다. 가속도의 크기에 따른 발생 전압을 실험을 통해 확인했다. 4개의 방향으로 가속도를 가했을 때 4개의 면의 전압의 변화를 확인하여 방향에 따른 큐브의 전압 파형을 확인했다. 본 연구는 실험을 통해 키리가미 패터닝 큐브가 방향 및 크기의 센싱이 가능한 가속도 센서 로 활용 가능함을 확인했다.

후 기

본 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구 재단의 지원과 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기 술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임.(NRF-2021R1G1A1093618, P0012744)

- (1) Chung, J., Song, M., Chung, S. H., Choi, W., Lee, S., Lin, Z. H., ... & Lee, S. (2021). Triangulated cylinder origami-based piezoelectric/triboelectric hybrid generator to harvest coupled axial and rotational motion. Research.
- (2) Kim, Y. G., Song, J. H., Hong, S., & Ahn, S. H. (2022). Piezoelectric strain sensor with high sensitivity and high stretchability based on kirigami design cutting. npj Flexible Electronics, 6(1), 1-8

휴먼팩터 기반 EMS 기능 탑재 스마트웨어 제품 기획 연구

장수진, 이나라, 김준, 윤정민*

A study on planning of smart wear products with human factor-based EMS functions

Soojeen Jang, Nara Lee, Joon Kim, Jung Min Yun*

한국생산기술연구원 국가산업융합센터

Key Words : Human factor, EMS, Smart wear

1. 서 론

의료재활, 고령자 및 장애인 등 취약계층을 위한 다양한 스마트웨어 및 관련 기기가 개발되고 있으며, 최근에는 다이어트, 체형관리 목적으로 전기 근육 자극(electrical muscle stimulation, EMS) 제품들이 사용되고 있는 추 세이다. 새로운 스마트웨어 개발 및 성공적 사업화를 위해서는 기획 단계부터 시장 수요를 반영한 제품설계가 중요하며, 특히 사용자의 환경 등 휴먼팩 터를 고려하여 제품 관련 요구사항 도출이 중요하다. 이에 따라 본 연구 에서는 사용자 특성을 고려하여 체중 관리, 근력 강화 등 운동 효과를 향상시키는 EMS 기능이 탑재된 스마트웨어 제품을 기획하고자 한다.

2. 실험설계

본 논문에서는 EMS 기능 탑재 스마트웨어 신규 제품 기획을 위해 20~50대 성인 남녀 101명 대상으로 설문조사와 인터뷰를 통해 성별, 연령 등 기본정보와 라이프 스타일, 신기술 수용도, 웨어러블 디바이스 및 EMS 제품 사용 경험과 기대 효과, 제품 유형 선호도, 위험지각 및 구매 의도 를 조사했다. 수트형, 조끼형, 상하의 분리형, 레깅스형 및 부위별 사용을 포함 한 5가지 컨셉별 서비스 아용 및 구매 의사와 아용 방식에 대한 수요 조사를 진행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

건강 관심도에 대해 전체의 약 57%가 [건강 증진에 관심이 많은 편이다]에 긍정적인 응답을 보였으며, 신기술 수용도에 대해 약 54%가 [새로운 제품이 나 서비스를 사용하는데 관심이 있는 편이다]에 긍정적인 응답을 보여 EMS 스마트웨어에 대한 관심을 이끌어낼 수 있을 것으로 보인다.



EMS 스마트웨어가 제공하는 기능에 대한 선호도 조사 결과, 전체의 약 83%가 [건강관리를 위한 생체신호(심박/걸음수 등) 측정]이 필요하다고 응답하였으며, 전체의 70% 이상이 [나은 수면 습관을 제공하기 위한 기 능]과 [활동량 파악 및 동선 기획/관리 등을 위한 GPS 측정 기능]이 필요하 다고 응답하였다.



Fig. 2 EMS smart wear function preference

5가지 제품 유형별 사용 의사 조사 결과, 모든 유형에서 전체의 70% 이상이 제품을 사용해 볼 의사가 있다고 응답하였다. 높은 비율로 긍정 응답을 보인 유형은 [부위별 사용](약 87%)과 [상하의 분리형](약 79%) 임을 알 수 있다.



Fig. 3 Intention to use each EMS smart wear product type

가장 높은 선호도를 보인 [부위별 사용]과 [상하의 분리형]의 서비스 이 용 및 구매 의사 조사 결과, 두 유형 모두 전체의 70% 이상이 [운동관리 시스템(어플)] 이용 의사에 긍정적으로 응답하였으며, 전체의 50% 이상 이 [맞춤형 PT 서비스]와 [EMS 트레이닝 서비스]를 이용할 의사가 있다 고 응답하였다.





설문에서 도출한 사용자 특성 및 제품 선호도 등 휴먼팩터 관련 조사 결과는 EMS 기능 탑재 스마트웨어의 제품 형태와 기능 설계 에 반영할 수 있으며, 제공 서비스에 대한 수요를 파악하고 기획하 는 데 활용할 수 있다.

Acknowledgements

This work was funded by grants from the Korea Ministry of Economy and Fianace(Grant-#EH220003)

참고문헌

 Dangelico, R. M., Alvino, L., & Fraccascia, L. (2022). Investigating the antecedents of consumer behavioral intention for sustainable fashion products: Evidence from a large survey of Italian consumers. *Technological Forecasting and Social Change*, 185, 122010.

전단공정 자율제조를 위한 제조데이터 프레임워크 설계 연구

원찬희*, 이동윤

Research for manufacturing data framework for autonomous manufacturing in shearing process

C. H. WON*, D. Y. Lee

한국생산기술연구원 융합기술연구소 디지털전환연구부문

Key Words : Shearing process, Manufacturing data, Framework, Sheared edge quality

1. 서 론

작업자 중심으로 일부 또는 전체의 공정 조건의 제어 및 조정만이 가능했 던 제조 현장에서, 최근 제조공정의 다양한 데이터 및 자체 최적 라우팅이 가 능한 자율제조 기술 실현을 위한 연구가 증대되고 있다. 프레스 성형공정 중 대표적인 공정 중 하나인 전단 공정은 최근 초고강도 소재의 개발과 함께 성 형 중 전단면에서 발생하는 파단 문제가 증가함에 따라 전단 품질 확보에 대 한 요구가 증대되고 있다 [1].

소재의 전단면의 품질 및 파단 저항성은 소재 고유의 물성치와 전단 공정 조건인 펀치와 다이의 간극, 성형 속도, 블랭크 기압력, 금형의 마모도 등 다 양한 인자에 의해 결정이 되며, 기존작업자의 작업 경험에 의해 공정조건의 제어 및 조정이 가능하였다. 특히, 소재 물성과 공정 조건이 복합적 연계되어 제품의 품질을 결정하기 때문에 [2-3], 이에 대한 상관관계 분석 등을 위해서 는 제조데이터의 프레임워크를 구성하고, 주요 인자에 대한 도출이 필요하다. 본 연구에서는 주요 인자 도출을 위한 인자별 기초 물성 평가를 통해 주요 인자를 도출하고, 전단 공정에 있어 자율 제조를 위한 프레임워크를 설계하여, 추후 전단 품질 예측 또는 전단 공정 제어 등에 적용하고자 한다.

2. 프레임워크 설계를 위한 데이터 수집

본 연구에서는 초고강도 강재인 TRIP1180 1.2t 소재를 활용하여, DIC (Digital Image correlation)기법을 적용한 인장실험을 통해 소재의 고유 물성 및 파단특성에 대한 데이터를 수집하였다. 전단공정의 핵심인 클리어런스는 7.5% 4부터 20.0% 7까지 간극을 조절하며, 하여, 10mm/sec의 속도로전단실험을 수행하였다. 전단된 시편을 활용하여, 전단면에 따른 엣지파단 변형률의 변화 를 분석하기 위해, 한쪽면에 전단면 부과한 시료의 반대편에 인장시편 형상으 로 가공한 인장 실험(Sheared-edge tensioning test)을 통해 데이터를 수집하였다. 그리고, 전단후 형성된 가공경화 특성을 분석하기 위해 전단면의 경도를 측 정하여 데이터를 수집하였으며, 기타 공정정보에 대해서는 각 공정정보를 매 칭하였다. 또한, 1만타 이상 고강도 소재 전단에 활용한 금형을 적용하여, 금 형의 마모에 따른 전단품질 데이터를 수집하였다.



Fig. 1 Schematic diagram for obtaining shearing process data set

3. 전단 제조공정 프레임워크 설계 결과 및 고찰

데이터 수집결과를 바탕으로, 전단 제조공정의 프레임워크를 설정하기 위 해, 파라미터를 선정하고, 각 파라미터별 세부 인자로 분류하였다. 파라미터 로는 강종별 고유 물성, 전단공정 조건, 전단면의 기하학적 형상, 전단면의 가 공경화 특징으로 구분할 수 있다.

첫째, 고유 물성 파라미터에서 영향을 주는 인자로 소재의 항복강도, 고유 연신율 및 파단변형률, 가공경화 지수가 있으며, 공정조건 파라미터에는 금형 간극, 전단 속도, 블랭크 가압력, 전단금형의 기하학적 마모도 특성으로 분류 된다. 그리고, 전다면의 기하학적 형상의 경우 Roll over, sheared zone, fracture zone, Burr zone의 길이 비율정보와 전단면에 형성된 가공경화 최대값 과 Burr 에서 형성된 가공경화 값으로 구성할 수 있다.

이렇게 분류된 파라미터 및 전단 제조데이터들은 전단공정 중 실시간 수집 할 수 있는 '상형 금형 이동거리에 따른 하중, 진동, 변형률'데이터와 매칭되 어, 전단품질을 예측하는데 활용될 수 있다.

그 방법으로, 프레스에 로드셀을 설치하여 수집된 아송거리에 따른 하중 및 진동 제조데이터를 소재의 고유 물성데이터와 매칭 및 분석하여, 전단품질의 기하학적 형상특성을 예측하고, 금형포스트의 변형률, 공정, 소재 가공경화 데이터와 매칭 및 분석하여 전단면에 형성된 가공경화 특성을 예측할 수 있 다. 이를 통해, 전단 제조공정에서 소재와 공정조건을 기초 조건으로 넣고, 하 중, 진동 변형률 데이터 실시간 수집 및 특징점 추출을 통해 전단품질과 엣지 파단변형률 예측 및 이를 방지하기위한 클리어런스 추천 등 공정 피드백 제 어 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 한국생산기술연구원 기관주요사업의 "DNA 플랫폼 기반 자율제 조 기술 (KITECH EH-23-0006)의 지원으로 수행한 연구입니다.

- (1) Shih, H.-C., Constantin C., and Ming F. S., 2010, The effects of AHSS shear edge conditions on edge fracture." International Manufacturing Science and Engineering Conference. Vol. 49460.
- (2) Feistle, M., Kindsmüller, A., Pätzold, I., Golle, R., and Volk, W., 2022, Influence of sheet metal pre-forming on edge crack sensitivity using an AHSS steel grade. International Journal of Material Forming, 15(4), 50.
- (3) Lee Shih, H. C., Hsiung, C. K. and Wendt, B., 2014, Optimal production trimming process for AHSS sheared edge stretchability improvement, SAE Technical Paper, No. 2014-01-0994.

3D프린팅 기반 인체 보호용 플레이트 경량 설계 연구

윤성현¹, 이명수¹, 정석환², 노현준², 임성한^{1*}

3D printing based plate light weight design study for human body protection

S. H. Yoon¹, M. S. Lee¹, S. H. Jung², H. J. No², S. H. Rhim^{1*}

단국대학교 공과대학 기계공학과¹, 단국대학교 대학원 기계공학과²

Key Words : 3D printer, Protector, Lightweight, Infill pattern, Infill density, Impact energy

1. 서 론

3D 프린터는 4차 산업혁명 기술 중 하나로써, 제조 산업, 의료 산업, 건설 산업 등 많은 분야에 활용되고 있다. 본 연구는 3D 프린터를 이용 해 출력한 인체 보호용 플레이트의 두께, 내부 채움 밀도(Infill density) 를 변경시키며 다양한 충격에너지를 가하여 균열 발생 여부를 확인한다. 해당 데이터를 이용해 그래프를 작도하여 보호용 플레이트의 적합성 영 역을 직관적으로 확인하고 특정 충격 에너지에 대해 최대 경량화 조건을 찾는다.

2. 실험 조건

본 연구에 이용된 프린터는 적층형 (FDM) 방식을 채택한 3D 프린 터 (Bambu Lab X1-Carbon Combo, China)이며, PLA-PLUS 필라 멘트를 사용했다. 인체 보호용 플레이트의 사이즈는 70mm x 70mm 이며 두께는 총 3가지로 10mm, 20mm, 30mm로 설정하였다. 또한 인체 보호용 플레이트의 내부 채움 밀도는 20%, 40%, 60%, 80%로 설정하였으며, 내부 채움 패턴(Infill pattern)은 높은 내부 채움 밀도에 서도 기존 패턴을 유지할 수 있는 Grid로 설정하였다. 플레이트에 가 한 충격에너지는 10J, 14J, 18J이다.



3. 실험 및 결과 분석

본 연구에서는 자체 제작한 낙하충격시험기를 사용하였으며, 낙하판 위 에 시편을 고정시킨 후, 낙하 추를 낙하시켰다. 시험편에 10J, 14J, 18J의 충격에너지를 가하기 위해서 5kg의 낙하 추를 약 0.2m, 0.29m, 0.37m 높이에서 자유낙하 시켰다. 이때 충격 에너지는 낙하 전 낙하 추의 퍼텐셜 에너지로 계산하였다.

각 내부 채움 밀도 및 두께 조건 별로 3회씩 낙하충격 시험을 수행하여, 3회 모두 균열이 발생하지 않은 경우 'O'로 표시하였으며, 1회 이상 균열 이 발생한 경우로 'X'로 표시하여 실험 결과를 구분하였다. 이에 대한 결 과는 Fig. 2과 같다. Fig. 2에서 x축은 내부 채움 밀도를 나타내며, y축은 출력물의 두께를 나타낸다. 두께가 증가할수록 충격에너지 흡수성이 증가 하는 것을 확인할 수 있으며, 내부 채움 밀도가 증가할수록 충격에너지 흡수성이 증가하는 것을 볼 수 있다.



4. 결 론

본 연구에서는 인체 보호용 플레이트를 3D 프린터로 출력함에 있어서 내부 채움 패턴은 Grid로 설정하고, 두께, 내부 채움 밀도, 충격에너지를 시험 변수로 하여 파손 여부를 확인하였다.

국가기술표준원의 롤러스포츠보호장구 안전기준에 의하면 18J의 충격 에너지는 25kg 이하 체중에 대한 팔꿈치 보호대의 충격에너지 임계값이 다. 즉 팔꿈치 보호대로 사용할 수 있는 기준 충격에너지인 18J에서 균열 이 발생하지 않은 플레이트 중 최대 경량 플레이트의 파라미터는 두께 30mm, 내부 채움 밀도 40%이며 무게는 81g이다. 또한 최대 중량의 플 레이트의 파라미터는 두께 30mm, 내부 채움 밀도 80%이며 무게는 141g이다. 따라서 최대 경량 플레이트를 사용한다면 최대 중량 플레이트 대비 42.55%의 무게 감소 효과를 볼 수 있다.

후속 연구에서는 본 논문을 기반으로 개인 맞춤형 보호대를 제작하는 연구를 진행할 예정이다.

후기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 "산업혁신기반구축 사업"(과제번호 P0014717) 으로 수행된 연구결과 입니다.

- Compton, B. G, Lewis, J. A, 2014, 3D-printing of lightweight cellular composites Advanced Materials, Advanced Materials, 26. 5930-5935.
- (2) Pradeep Kumar Mishra, P. Senthil, S. Adarsh, M.S. Anoop, 2021, An investigation to study the combined effect of different infill pattern and infill density on the impact strength of 3D printed polylactic acid parts, Composites Communications, 24. 1-6.

휴먼 데이터 기반 스쿼트 운동 자세 연구

최예지¹, 홍윤지², 임성한^{1*}

Human data-based study of squat exercise posture

 Y. J. Choi¹, Y. J. Hong², S. H. Rhim^{1*}

 단국대학교 공과대학 기계공학과¹, 단국대학교 대학원 기계공학과²

난국내악교 농과대악 기계농악과, 난국내악교 내악원 기계농악과

Key Words : Squat posture, Plantar pressure sensor, IMU sensor

1. 서 론

스쿼트는 근력운동 중 하나로, 운동 성능 및 부상 예방을 위하여 정확 한 자세 분석이 필요하다. 따라서 움직임을 정확하게 측정하기 위해 다양 한 센서를 이용하는 기술이 중요해졌으며, 본 연구에서는 IMU 센서와 족 저압 센서를 결합한 측정 시스템을 개발하여, 스쿼트 동작 분석의 정확도 를 높이는 것을 목표로 한다. 이를 통해 상세하고 신뢰성 높은 스쿼트 자 세 분석에 기여할 것으로 기대된다.

2. 실험방법

본 실험은 20대 남녀 각 1명씩 맨몸 스쿼트 자세를 5번씩 진행하였다. 피험자는 허리, 양쪽 앞 허벅지, 양쪽 앞 발목에 버튼이 위로 오도록 IMU 센서를 착용한 채로 Fig. 1과 같이 어깨너비만큼 발을 벌리고, Toe out 30°인 상태로 인솔을 밟고 진행하였으며, 스쿼트 자세는 허벅지와 바닥이 평행할 때까지 내려가도록 요청하였다. 스쿼트 자세 측면을 녹화하였다.





Fig. 1 Photographs of participants in squatting posture



3. 실험 결과 및 고찰

스쿼트 5회를 실시하는 동안, IMU센서로는 128Hz 샘플링 주파수로 리, 좌/우 허벅지, 좌/우 발목 총합 데이터(남:2,906개, 여:2,460개 데이 터)를 얻었고, 인솔에 부착된 족저압 센서 좌/우 데이터 세트(세트 당 남 :806개 여:655개의 데이터)를 획득하였다. 각각의 데이터를 시간대별로 동기화하고, 스쿼트 자세 시작에서 종료까지의 데이터를 추출하였다.

IMU 센서 데이터는 가속도, 자이로 센서 데이터를 각각 저역, 고역 통 과 필터에 통과시킨 후 조합하여 각 센서의 단점을 보완하는 상보필터로 누적오차를 줄이면서 각도를 계산하였다.⁽¹⁾ 착용한 모든 센서는 y축으로 회전 운동을 하기에 pitch 각도로 스쿼트 각도를 표현하였다. Fig. 3(b)는 Fig. 3(a)의 변화 각도이다.



족저압 데이터는 압력센서의 위치(P)와 압력 값(F)으로 족저압 중심 (COP)의 위치를 계산하였다.

$$COP_{a} = \sum_{i=1}^{4} \frac{(P_{a,i} \times F_{a,i})}{\sum_{i=1}^{4} F_{a,i}}$$

스쿼트하면서 앉을 때와 올라올 때를 분리 후, (0, 0)이 양발의 COP 중점이라고 하면 COP 위치의 치우쳐짐을 바탕으로 자세를 판단한다.



position changes (b) COP position changes

Fig. 4 COP position measured by plantar pressure sensor

스쿼트 동작 중 스쿼트 각도의 변화(Fig. 3)와 COP의 위치 변화(Fig. 4)의 그래프를 통해, 허리는 30~45°, 허벅지는 90°±5°, 발목은 10~25°, 족저압은 COP가 중심(압력이 발바닥 모든 면에 분포됨)일 때를 정상 자세라고 추정하여, 두 피험자의 스쿼트 자세의 정상 유무를 판단하였다.

Table 1 Squat posture judgment result

	여자		남자		
	앉을 때	일어날 때	앉을 때	일어날 때	
허리	5° 뒤로 하기	정상	10° 뒤로 하기	허리 유지 필요	
허벅지	15° 더 내리기	정상	정상	정상	
발목	정상	정상	정상	정상	
발 분포	정상	오른발 앞하중 심함	오른발 뒷하중 심함	오른발 뒷하중 심함	

Fig. 3과 피험자의 측면 녹화 영상의 각도와 비교하였을 때, 비슷한 값 을 도출하였고, Fig. 4와 인솔 제작사의 실시간 COP 위치와 거의 같다. 따라서, 스쿼트 자세 판단이 하나의 센서만 사용했을 때보다 더 상세하 게 이루어질 수 있다. 하지만 이 정상 기준은 개인에 따라 다를 수 있으므 로 사용자에게 맞게 스쿼트 자세를 판단해주는 것을 목표로 한다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 "산업혁신기반구축 사업"(과제번호 P0014717) 으로 수행된 연구결과 입니다.

- Hyo-Sung Joo, Ji-Hwan Woo, 2020, Development of a Squat Angle Measurement System using an Inertial Sensor, JKCS, 355-361.
- (2) Seojung Min, Jung Kim, 2015, Inertial Motion Sensing-Based Estimation of Ground Reaction Forces during Squat Motion, KSPE, 377-386.

복합소재 구조물의 3D 프린팅 출력 조건에 따른 구조적 거동 특성 예측

이긍현¹, 장다영², 선채림², 곽윤기³, 윤민호⁴, 한장우^{1*}

Prediction of mechanical behavior of composite structure according to various 3D printing conditions

G. H. Lee¹, D. Y. Jang², C. R. Seon², Y. K. Kwak³, M. H. Yoon⁴, J. W. Han^{1*}

금오공과대학교 기계설계공학과¹, 금오공과대학교 기계공학과², 국방과학연구소 미사일연구원 제2유도무기체계단³, 서울시립대학교 기계정보공학과⁴

Key Words : Continuous fiber reinforced composites, 3D printing, Nozzle path, Mechanical properties, Tensile strength

3. 3D 프린팅 출력 조건이 반영된 구조 해석

복합소재 구조물에 대한 3D 프린팅 출력 과정에서 수지 및 강화섬유의 종류, 노즐 경로 등과 같은 다양한 공정 조건이 종합적으로 고려된 구조 해석을 수행함으로써, 3D 프린팅 출력물에 대한 보다 정확한 설계 및 해 석 방안을 제시하고자 하였다. Digimat S/W를 활용하여 노즐 경로/소재 특성에 따른 온도 분포, warpage 등을 분석하고자 하였으며, 나아가 Digimat 및 상용 구조해석 S/W인 Abaqus의 연동을 통해 3D프린팅 출 력 과정에서 노즐 경로에 따른 이방 물성이 종합적으로 반영된 구조 해석 을 수행하고자 하였다. 상기 3D 프린팅 공정 연계 구조 해석을 통해 다양 한 3D 프린팅 공정 조건들이 실제 출력물의 거동 특성에 무시할 수 없는 영향을 미치며, 이에 따라 3D 프린팅 출력물에 대한 설계 과정에서 이러 한 공정 변수들을 고려해야 한다는 사실을 확인할 수 있었다 (Fig.2).



Fig. 2 Additive manufacturing-structural coupled analysis

후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2022R1C1C1012599).

참고 문 헌

 Fuda N., Weilong C., Jingjing Q., Junhua W., Shiren W., 2015, *Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling*, Composite Part B, 80, 369~378.

1. 서 론

최근 4차 산업 혁명의 도래와 함께 수요자 맞춤형 다품종 소량 생산을 위한 기술이 지속적으로 요구되고 있으며, 이러한 제품 생산 패러다임 변 화에 따라 3D 프린팅 공정 기술에 대한 관심 또한 증가되고 있는 상황이 다. 그 중 FDM (Fused Deposition Modeling) 기반 3D 프린팅 공정 기술은 장비의 내구성이 우수하여 유지 보수가 수월하며, 연속섬유/단섬 유 등과 같은 강화섬유 적용을 통한 고강도 경량 구조물에 대한 3D 프린 팅 출력이 용이하다는 장점으로 인해 FDM 공정 기술에 대한 다양한 연 구가 진행되고 있다. 상기 장점에도 불구하고 FDM 기반 3D 프린팅 출 력물의 경우 출력 과정에서 필연적으로 공극이 발생되며, 이로 인해 노즐 경로에 따라 소재의 기계적 물성이 방향성을 가질 수 있기 때문에 설계 및 해석 과정에서 다양한 변수들을 종합적으로 고려해야 하는 상황이다. 이에 따라 본 연구에서는 연속섬유 강화 고강도 경량 복합소재 활용 3D 프린팅 출력물에 대한 효과적인 설계/해석 방안을 제시하고자 하였다. 이 를 위해 수지 및 강화섬유의 종류, 노즐 경로 등과 같은 다양한 3D 프린 팅 공정 조건에 따른 출력물 구조적 특성 분석 및 실험적 검증을 병행하 고자 하였다. 나아가, 이러한 3D 프린팅 공정 변수들이 종합적으로 고려 된 구조 해석을 진행함으로써 고강도 경량 복합소재 구조물에 대한 3D 프린팅 출력 과정에서 보다 효과적인 설계 방안을 제시하고자 하였다. 상 기 3D 프린팅 공정 변수들이 종합적으로 고려된 구조 해석 방안의 성능 을 검증하기 위해 실험적 데이터와의 비교/분석을 병행하고자 하였다.

2. 연속섬유 강화 복합소재 3D 프린팅 출력물 특성 분석

본 연구에서는 연속섬유 강화 복합소재 구조물에 대한 출력이 가능한 Markforged 사의 Mark Two 3D 프린팅 장비를 활용하여 출력물에 대 한 특성을 분석하고자 하였다. 복합소재의 모재로 나인론 계열 강화 소재 인 Onyx를 사용하였으며, 연속섬유 강화재로써 Carbon Fiber를 고려하 였다. 또한, 노즐 경로 설정을 통해 Fig. 1과 같이 0도, 45도 및 90의 조 합으로 강화재의 적층 각도를 고려하였다. 출력물에 대한 거동 특성을 분 석하기 위해 ASDT D638 규격 인장 시편을 고려하였으며, 출력 조건에 따른 인장 강도를 비교/분석하였다.



Fig. 1 Stacking angle of continuous carbon fiber

Stearyl methacrlyate의 중합 기반 표면처리를 통한 스테인리스 강의 이형 특성 부여에 관한 연구

강승인¹, 권민호¹, 백현종^{1,2}, 성동기^{1,2*}

A study on surface treatment of stainless steel for granting demolding ability through polymerization of stearyl methacrylate

S. I. Kang¹, M. H. Kwon¹, H. J. Paik^{1,2}, D. G. Seong^{1,2*}

부산대학교 응용화학공학부¹, 부산대학교 고분자공학과²

Key Words : Fiber-reinforced plastic, Liquid composite molding, Demolding, Surface treatment

1. 서 론

최근, 대부분의 고분자 및 고분자 복합재료 산업에서 소형화되고 다양한 디자인 을 지니는 제품에 대한 요구가 증가하면서, 제품의 탈형에 대한 관심과 중요도가 매우 높아졌다. 기존에는 금형 표면을 연마하여 표면의 거칠기와 마찰력을 줄이는 물리적 처리방법이나 이형제를 금형 표면에 코팅하는 화학적 처리 방법을 통해 금 형과 제품의 분리를 쉽게 진행하고 있다 [1]. 하지만, 이러한 기존의 방법들은 내구 성이 한정돼 지속적인 관리가 필요하고 추가적인 표면처리를 위해서는 공정을 중 단하여 금형을 교체해야 하므로 생산성을 저해시키는 문제가 발생하고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 소수성을 지니는 단량체인 stearyl methacrylate(SMA)를 금형의 주 소재인 스테인리스강 표면에 중합 및 성 장시키는 방식으로 코팅하여 반영구적인 이형 능력을 부여하고자 하였다. 부여된 이형 능력은 lap shear test를 통해 평가됐으며, 표면처리가 되지 않은 샘플 및 시판 중인 이형제를 코팅한 샘플 들과 비교 분석을 진행하여 안정성과 가능성을 검증하 였다 [2].

2. 이형 특성 부여 실험

본 이형 특성 부여 실험에서는 금형의 대표적 소재인 스테인리스강 SUS304 (SUS) 를 준비하였다. SUS의 표면에 이형 특성을 부여하기 위한 고분자 소재는 소수성 단 량체인 stearyl methacrylate (SMA)를 선정하여 간단한 용액 중합을 통해 SUS 표면 에 고분자 사슬을 성장시켰다. 용액 중합을 통해 성장한 SMA는 성공적으로 SUS 표면에 layer를 형성하였다. 고분자 중합 상태는 푸리에 변환 적외선 분광법 (FT-IR) 을 통해 확인하였으며 육안으로도 중합이 진행된 것을 확인하였다.

부여된 이형 특성의 평가는 lap shear test를 통해 진행하였다. Lap shear test는 일반 적으로 점,접착제의 점착 또는 접착력을 평가하는 시험이지만 본 연구에서는 제품이 금형에서 탈형되는 과정에서 발생하는 벽면의 전단 마찰력을 모사할 수 있는 실험으 로서 이형 특성을 정량적으로 평가하기 위해 선정하였다.

시편은 다음과 같이 준비하였다. 표면의 상태가 동일한 2개의 샘플을 준비하고 끝 부분에 gap gauge를 부착하여 샘플 사이에 적절한 간격을 만든다. 2개의 샘플 사이에 존재하는 간격에 에폭시 수지 (Resoltech CO, LTd., France)를 주사 후 12시간 상온 에서 경화한다. 에폭시 경화 후 2개의 샘플이 접착 됬음과 틀어짐이 발생되지 않음이 확인되면 시편이 완성된다. 본 연구에서는 미처리 샘플(Neat), 시판 이형제를 코팅한 샘플(RA), poly stearyl methacrylate를 코팅한 샘플(p-SMA), 총 3중의 샘플에 대한 시편을 제작하고 lap shear 강도를 측정 및 비교 분석하였다.



Fig. 1 Prepared p-SMA lap shear test specimens: (a) prepared samples, (b) samples after measurements

3. 실험 결과 및 고찰

SMA를 용액 중합을 통해 성장시켜 합성한 p-SMA의 확인은 FT-IR을 통해 진행 하였다. Fig. 2에서 확인할 수 있듯이 Neat SUS에서는 아무런 피크가 나타나지 않는 반면 p-SMA에서는 2971 cm⁻¹ 과 1752 cm⁻¹에서 각각 C-H와 C=O 피크가 나타나 p-SMA의 합성이 정상적으로 이뤄진 것을 확인하였다.



Fig. 2 Confirmation of p-SMA condition: (a) FT-IR measurement, (b) p-SMA coated SUS samples

Lap shear test의 결과는 Fig. 3에서 확인할 수 있듯 표면처리를 하지 않은 Neat 에서 가장 높은 113.2 MPa의 lap shear 강도를 나타냈다. RA의 경우 27.7 MPa의 lap shear 강도를 보이며 Neat 대비 75.5% 감소한 결과를 나타냈다. 본 연구에서 제안한 방법을 통해 제작한 p-SMA는 RA보다 더 낮은 16.56 MPa의 lap shear 강도를 나타냈으며 이는 Neat 대비 85.3% 감소한 값으로 기존 시판 이형제보다 도 약 10% 우수한 수준의 이형 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 3 Lap shear strength measurement results

4.결 론

본 연구에서는 SUS 표면에 SMA를 용액 중합을 통해 성장시켜 p-SMA layer를 형성 하는 것으로 이형 특성을 부여하는 표면처리 방법을 제안하였다. FT-IR 측정과 육안 관 찰을 통해 성공적으로 p-SMA layer가 형성된 것을 확안하였고 lap shear test를 통해 부여 한 이형 특성을 정량적으로 비교 분석하여 본 연구에서 제안한 방법의 우수성을 증명하 였다. 얻어진 결과를 기반으로 했을 때, p-SMA layer 형성은 현재 시판 중인 이형제보다 우수한 이형 특성을 금형에 부여할 수 있음을 확인하였고 추후 진행할 연구에서 제안한 방법에 대한 내구성을 증명한다면, 다양한 산업 분야의 공정에서 최적 금형 개발을 통해 높은 생산성을 유지할 수 있는 차세대 기술이 될 것이라고 판단한다.

참 고 문 헌

- (1) Delaney K.D., Bissacco G. and Kennedy D., 2012, A structured review and classification of demolding issues and proven solutions, 27:77-90.
- (2) da Silva L.F.M., Rodrigues T.N.S.S., Figueiredo M.A.V., de Moura M.F.S.F., Chousal J.A.G., 2006, Effect of adhesive type and thickness on the lap shear strength, 1091-1115.

실란표면처리가 적용된 rCF/PP 습식 부직포 복합재의 전기적 특성 및 기계적 특성

송여준 ^{1,2}, 김동규 ^{1,2}, 강성현 ^{1,2}, 김병석 ², 김관우 ¹*

Electrical and mechanical properties of rCF/PP wet-laid nonwoven composites with silane surface treatment

Y. J. Song^{1,2}, D. G. Kim^{1,2}, S. H. Kang^{1,2}, B. S. Kim², K. W. Kim^{1*}

한국탄소산업진흥원¹, 전북대학교²

Key Words: CFRP, Recycled carbon fiber, Non-woven, Surface treatment, Silane

1. 서 론

3. 실험 결과 및 고찰

최근 몇 년 동안탄소섬유강화플라스틱(CFRP)은경량 구조 재료로 많은 관심을 끌고 있으며 높은 비강도, 내식성, 내열성 등의 장점으로 인해 자동차, 스포츠, 항공 우주와 같은 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다 [1]. 이런 우수한 특성들로 인해 CFRP의 수요량이 증가함에 따라 CFRP 폐기물 발생량 또한 증가하고 있으며 폐 탄소 섬유의 양은 2040년까지 386,000톤에 이를 것으로 예상된다 [2]. 그중 폐 탄소섬유강화열경화성플라스틱(CFRCP)은 재활용이 힘들고 자연분해가 어려워 보통 매립이나 소각의 방법으로 처리하여 환경오염에 악영향을 끼친다. 따라서 탄소배출 및 폐기물 발생량을 줄이기 위해 탄소섬유(CF)를 재활용하고 더불어 상용 탄소섬유와 유사한 물성을 지닌 재활용 탄소섬유(rCF)를 화수하기 위한 연구가 진행되고 있다.

일반적으로 CFRP 폐기물에서 재활용한 CF는 단섬유 형태로 화수되기 때문에 응용분야에 제한적이다. 따라서, wet-laid, carding, air-laid 방법으로 부직포를 제작하여 응용분야를 넓혀 가고있다. 하지만 제작된 부직포는 rCF와 matrix의 결합력이 부족하여 CFRP 제작 시 물성이 저하될 수 있기 때문에 표면처리는 필수적이다. 표면처리에는 다양한 방법들이 있지만 그중 실란처리는 CF와 상호작용할 수 있는 다양한 작용기를 제공한다. 실란의 다양한 작용기는 CF 표면에 습윤성과 CF와 matrix 간의 상용성을 향상 시킬 수 있고 화학적 가교가 생성될 수 있으며 실란처리 된 CF표면 작용기와 강한 공유 결합을 형성하여 복합 재료의 계면 결합력을 향상 시킬 수 있다 [3].

본 연구에서는 wet laid 장비로 분산 과정 중 사용되는 수용액을 실란 용액으로 대체하여 rCF와 폴리프로필렌(PP)섬유의 분산과 표면처리를 동시에 진행하였으며, rCF/PP 습식 부직포 매트를 제작하였다. 최종적으로 rCF/PP 습식 부직포 매트를 사용하여 rCFRP 제작 후 기계적 물성, 전기적 특성, EMI 차폐 성능을 평가하였다.

2. rCF 실란처리 부직포 제조 실험

2.1 실란 용액 제조

비커에 에탄올과 증류수를 95:5 wt% 비율로 첨가하여 60℃ 온도에서 15 min 동안 교반하였다. 이후 혼합 수용액에 1, 2, 3 그리고 4 wt.% 실란 커플링제(3-aminopropyl)triethoxysilane (APTES, 98% Sigma-Aldrich, USA)를 첨가 후 60℃에서 15 min 동안 추가 교반하여 실란 용액을 제조하였다.

2.2 부직포 제조

실란 용액은 60°C로 유지하에 rCF(6 mm, Catack-H, Korea)와 PP(6 mm, Nycontech, Korea)를 혼입(30:70 wt%) 후 homogenizer를 아용해 3500 pm으로 20 min 동안 분산시켰다. 분산된 섬유 혼합물은 자체 제작된 wet-laid 장비를 사용하였고, iron mesh에 용액을 여과시켜 부직포를 제작하였다. 제작된 부직포는 상온에서 30 min pre-drying 후 80°C 오븐에서 4h 건조되었다.

rCF 표면 처리에 따른 관능기 변화를 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)을 아용하여 측정해 Fig. 1에 나타내었다.rCF는 3440 cm⁻¹, 1600 cm⁻¹, 및 1000 cm⁻¹에서 산소 관능기인 하이드록실 그룹(O-H), 카르복실기 그룹(C=O), 그리고 카복실 그룹 (C-O) 스트레칭 피크가 관찰되었다. 이는 폐 CFRP 재활용 공정 중 화학적 처리로 인하여 rCF 표면에 산소 관능기가 형성되었다고 판단된다.



또한, rCF-S의 1000~1100 cm⁻¹에 새로운 Si-O-Si, Si-O-C 피크가 형성된 것을 확인하였는데, 이러한 피크는 실란 커플링제의 Si-OR 그룹이 가수분해를 거쳐 Si-OH 그룹을 형성 후 rCF표면의 O-H 그룹과 수소 결합을 형성하고, 축합 반응을 한 후 서로 가교되어 Si-OX 그룹이 형성된 것으로 보인다. 이러한 피크 형성은 매트릭스와 rCF 사이의 계면 결합력을 향상시켜 인장강도, 굴곡강도 및 충격강도 등 기계적 물성 향상에 도움을 줄 수 있다고 판단된다.

- Takuma, H., Hiroki, I., Suguru, T., Natsuki, I., 2022, Recovery of carbon fiber from prepreg using nitric acid and evaluation of recycled CFRP, Composites Part B: Engineering, 109560.
- (2) Wei, Y., Hadigheh, S. A., 2023, Development of an innovative hybrid thermo-chemical recycling method for CFRP waste recovery, Composites Part B: Engineering, 110786.
- (3) Wen, Z., Xu, C., Qian, X., Zhang, Y., 2019, A two-step carbon fiber surface treatment and its effect on the interfacial properties of CF/EP composites: The electrochemical oxidation followed by grafting of silane coupling agent, Applied Surface Science, 546-554.

에너지 저장장치용 전기방사 탄소 나노 섬유 복합체

송윤재, 장하나, 안효진*

Electrospun carbon nanofiber composite for energy storage devices

Y. -J. Song, H. -N. Jang, H.- J. Ahn*

서울과학기술대학교 신소재공학과

Key Words : Electrospining, Carbon nanofiber, Composites

1. 서 론

최근 배터리 음극 소재에 대한 관심이 높아지면서, 우수한 물리적/화학적 안정성 및 높은 전기전도도를 지니는 탄소 소재에 대한 관심이 집중되고 있다. 특히 전기방사 공정을 통해 제작된 탄소 나노 섬유(Carbon nanofiber, CNF)의 경우 약 100~500nm의 직경을 가지는 1차원 구조의 나노 섬유로 뛰어난 역학적 특성을 가진다. 본 논문에서는 이러한 탄소 나노 섬유를 복 합화하여, 고속 성능이 우수한 음극재를 합성하였으며, 이에 따른 소재의 전기회학 성능을 확인하였다.

2. 전기방사 실험

본 실험에서는 탄소 나노 섬유 복합체를 제조하기 위해 전기 방사법을 사 용하였다. 용액 제조를 위해 Polyacrylonitrile(PAN, Aldrich)와 Cobalt chloride hexahydrate(CoCl₂· 6H₂O)를 동시에 N,N-dimethylformamide(DMF, Aldrich) 안 에서 5시간 동안 용해시켰다. 제조된 용액을 바늘이 연결된 syringe 내부로 옮 긴 후, DC power supply를 통해 13kV의 고전압을 인가하였다. Syringe의 feeding rate은 0.03ml/h로 설정하였으며, 바늘과 포집판의 거리는 15cm로 고 정하였다. Fig. 1은 실험 장치 및 As-spun carbon nanofiber의 실험 모식도이며, 포집판에 얻어진 as-spun은 공기 중에 안정화 시킨 후, 질소 분위기에서 800 ℃ 의 온도로 탄화 시켰다. 최종적으로 만들어진 탄소 섬유를 공기 중에서 열 처리하여 탄소 나노 섬유 복합체를 제조하였다.



Fig. 1 Experimental schematic

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2는 전기 방사법을 통해 제조된 탄소 나노 섬유의 FESEM 이미지이며, (a)는 Bare CNF, (b)는 Co₃O₄/CNF이다. 모든 이미지들은 1차원 나노선 형상을 보여주며, 이는 효율적인 전자 이동을 제공한다. Fig. 2(a)에서는 표면이 매끈한 fiber 형상을 나타내고 있으며, (b)에서는 내재된 Cobalt 입자가 산화되면서 porous한 구조를 구축했다.



Fig. 2 FESEM images obtained from (a) Bare CNF, (b) C03O4/CNF.



Fig. 3에서는 Bare CNF와 Co₃O₄/CNF의 전기화학적 특성을 나타낸다. Rate performance의 측정을 통해 100~2000mA/g 까지의 모든 구간에서 Co₃O₄/CNF의 성능이 더 우수한 것을 확인할 수 있었다. 특히 Co₃O₄/CNF 샘 플의 경우 1500mA/g과 2000mA/g에서 성능 차이가 크지 않은 것을 확인할 수 있는데, 이는 샘플의 porous한 구조에 의해 높은 확산 속도를 구축한 것으 로 사료되다.

- Sung, K.-W., Ahn, H.-J., 2022, Hierarchical carbon nanofibers@tin sulfide nanotube with sulfur-doped carbon layer for ultrafast lithium-storage capability, Int. J. Energy Res., 46, 18518-18528.
- (2) Kim, K.-H., Song, Y.-J., Ahn, H.-J., 2023, Protein-assisted bendable Cu-free anode: Hydroxy-functionalized mesoporous carbon matrix for flexible Li-ion batteries, Appl. Surf. Sci., 608, 155084

SFT 펠렛을 이용한 r-CF/PA66 복합재 제조 및 특성 연구

성광찬^{1,2}, 김동규^{1,2}, 이용민^{1,2}, 김병석², 한 웅^{1,2*}, 양재연^{1*}

Manufacturing and characterization of r-CF/PA66 composites using SFT pellet

G. C. Seong^{1,2}, D. K. Kim^{1,2}, Y. M. Lee^{1,2}, B. S. Kim², W. Han¹, J. Y, Yang^{1*}

한국탄소산업진흥원¹, 전북대학교²

Key Words : r-CF, PA66, Short fiber thermoplastic, Pellet, Mechanical properties

1. 서 론

탄소섬유강화복합소재(carbon fiber reinforced plastic, CFRP)는 탄소섬유를 이용하여 제조한 복합재료로서 가벼우면서도 높은 내구성 및 기계적 특 성이 우수하여, 우주·항공 및 자동차 등 수송기의 경량화를 통해 다양한 응용분야에 각광받고 있다. 이러한 우수한 물성으로 인해 CFRP 대한 수 요는 전세계적으로 지난 20년 동안 대략 연간 12.5%의 성장률로 급증했 으며, 이러한 많은 수요로 인해 CFRP 생산 공정 시 발생하는 폐기물과 사용 후 전량 폐기되는 폐CFRP 양이 급격히 증가하고 있다. 폐CFRP를 포함한 발생 폐기물들은 전량 소각하거나 매립을 하는 공정을 통해 폐기 하였으나, 탄소중립 선언을 통한 전세계적인 경제 패러다임은 순환경제 로 전환되고 있다. 이에 따라 순환경제 흐름에 맞춰 지속가능한 소재 개 발을 위하여 폐CFRP 재활용에 대한 연구들이 많이 진행되고 있다. 폐 CFRP에서 재활용 공정을 통해 회수되는 재활용 탄소섬유(recycled-carbon fibers, r-CF)는 원소재인 탄소섬유 대비 약 90% 물성이 유지되며 이를 업 싸이클링을 통해 열가소성 복합재료로 재사용하고 있다 [1.2]. 일반적으로 열가소성 복합재료에 사용되는 기지재(matrix)는 폴리에틸렌(polyethylene, PE), 폴리아미드(polyamide, PA), 폴리염화비닐(polyvinyl chloride, PVC) 등과 같은 열가소성 수지를 사용하며, 열성형한 후에도 다시 재가열하여 재사 용이 가능한 특성으로 인해 압출성형 및 시출성형 방법을 사용하여 능률 적으로 가공할 수 있는 장점이 있다. 그 중에서도 폴리아미드66 (Polyamide 66, PA66)는 높은 결정화도와 내열성, 뛰어난 내마모성, 우수한 기계적 강도 등 의 장점을 가지고 있다. 이러한 PA66는 자동차 부품 등 높은 기계적 물성을 요구하는 응용분야에 사용되며, 절연체로서 전기 및 전자 제품과 같은 실생활 에 널리 사용되고 있다 [3,4].

본 연구는 폐CFRP 재활용 공정에서 회수된 r-CF를 활용하여 열가소성 수 지인 PA66와 함께 복합재료로 제조되었다. 제조된 복합재료의 r-CF 함량이 미치는 영향은 열적 및 기계적 분석을 통해 고찰하였다.

2. 실험방법

열가소성 복합재료 제조는 매트릭스인 PA66(Ultranid A3W BLACK 00464 Polyamide, BASF, Germany)를 사용하였으며, 강화재로는 r-CF (6 mm, CATACK-H, Korea)를 사용하였다. 제조 시 점도저하를 방자하기 위하여 PA66는 잔공 오븐 80°C에서 24시간 동안 건조하여 수분을 제거하였으며, 동 방향 이축 압출기(d = 25 mm, L/D = 24)를 사용하여 용융 압출을 통해 다양한 r-CF 함량비에 따라 PA66와 함께 혼합하였다. 압출조건은 공급 영역에서 다이 까지 6구간으로 배럴의 첫번째 구역 온도는 220°C 시작으로 구역에 따라 각각 230°C, 240°C, 250°C, 260°C, 270°C 로 설정하였다. 배럴의 중간 구역에 있는 측 면 공급 주입구를 통해 r-CF를 함량별(0, 5, 10, 15, 20 wt%)로 첨가하여 200 mm 스크류 속도로 압출물을 제조하였다. 압출물은 수조에서 냉각시킨 후 Short Fiber Thermoplastic(SFT) 펠렛회(pelletizing)하여 오븐 80°C에서 24시간 동안 건조하여 수분을 제거하였다. 제조된 r-CF/PA66 펠렛은 사출속도는 150 mm/s, 사출 압력은 약 240 MPa, 사출 성형부의 사출용적은 1347 cm³인 금형 몰드를 사용하여 최종적으로 복합재를 제조하였다. 다양한 r-CF 함량으로 제조된 r-CF/PA66 복합재의 열적 특성은 시차주사열량계(Differential Scanning Calorimetry, DSC), 열중량분석(Thermo gravimetric analysis, TGA)을 통해 분석하 였으며, 기계적 특성은 만능물성시험기를 사용하여 굴곡강도, 인장강도를 분석 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰



Fig. 1 DSC thermograms of the PA66

Fig. 1은 PA66의 DSC 결과로 260℃에서 Tm이 나타난 것을 확인할 수 있 었으며, 이러한 결과를 통하여 압출 및 사출 성형을 r-CF/PA66 복합재를 제 조하였다. 이는 DSC 결과를 통하여 r-CF/PA66 압출 및 사출 성형의 온도조 건 확립에 있어서 최적화할 수 있었으며, r-CF/PA66 복합재 성형온도 구간 (Tmi, Tm, Tm)은 240~272℃로 하였다.

- Yu, A., Y., Bang, S., P., 2021 Eco-friendly recycling of carbon fiber reinforced plastic, Journal of KIC News, 24, 31-37
- (2) Atif, J., Ilhan, O., Joshua, C., O., Joseph, T., E., Mohammad, R., H., 2023 Do technology and renewable energy contribute to energy efficiency and carbon neutrality? Evidence from top ten manufacturing countries, Sustainable Energy Technologies and Assessments:103084
- (3) B., V., Lingesh, B., N., Ravikumar, B., M., Rudesh (2019) Mechanical characterization of hybrid thermoplastic composites of short carbon fibers and PA66/PP, IJACS, 4(4), 425-434
- (4) Thomason, J., L., Ali, J., Z., (2009) The dimensional stability of glass-fire reinforced polyamide 66 during hydrolysis conditioning, Composite Part A:625-634

고순도 바이오 가스 정제를 위한 피치 기반 탄소분자체에 대한 연구

이병훈¹, 김병주², 이혜민^{1*}

A study on petroleum pitch-based carbon molecular sieve for high purity biogas purification

B. H. Lee¹, B. J. Kim², H. M. Lee^{1*}

한국탄소산업진흥원 실용화개발1실¹, 전주대학교 탄소나노신소재공학과²

Key Words : Carbon molecular sieve, Gas purification, High purity biogas

1. 서 론

지구온난화로 환경오염에 대한 관심이 증가함에 따라 화석연료를 대체할 수 있는 친환경 에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 친환경 에너지 중 수소 에너 지는 온실가스를 배출하지 않으며, 대부분 수입에 의존하고 있는 화석연료와 달 리 다양한 방식으로 국내 생산이 가능해 에너지 자립에 기여할 수 있다. 다양한 수소 생산 방식 중 바이오 가스 정제를 통한 수소 생산은 다른 저탄소 생산 기 술과 비교하여 높은 경제성을 가지고 있으나, 바이오 가스 정제를 위한 탄소분 지체는 100% 수입에 의존하고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 수급 가능한 전구체인 피치로 바이오 가스 정제를 위한 탄소분자체를 개발하고자 하였으며, 개발된 피치 기반 탄소분자체의 가스 분리능을 평가하였다.

2. 실험

본 연구에서 탄소분자체는 각기 다른 조건으로 가공구조가 제어된 피치로 부터 제조되었으며, 기공구조 제어 후 2mm 펠렛으로 성형하였다. 탄소분자 체의 가스 분라능은 자체 제작된 PSA(Pressure swing adsorption) 모사 시스템 으로 평가하였으며, 평가를 위해 H/CH4/CO₂(33.3%, 33.3%, 33.3%)가 혼합된 가스를 사용하였다. PSA 모사 시스템의 가스 분리 가동은 사중극자 질량분석 기(Quadrupole Mass Spectrometer)를 사용한 파과곡선으로 분석하였다.



3. 실험 결과 및 고찰

표 1은 개발된 피치 기반 탄소분자체의 기공 특성과 강도를 나타내며, 각각 273K/CO₂ 등은 흡착곡선과 강도 평가 규격(ASTM D3802-16)으로부터 계산 되었다. 피치 기반 탄소분자체는 열처리 온도에 따라 PCMS-T700~1000로 명 명하였다.

Table 1. Textural p	operties and hardness of CMS
---------------------	------------------------------

Sample	V _{Total} (cm ³ /g)	Hardness (%)
PCMS-T700	0.11	94
PCMS-T800	0.07	94
PCMS-T900	0.07	94
PCMS-T1000	0.02	93
Carbotech CMS	0.12	90

표 1에서 피치 기반 탄소분자체의 총 기공부피는 열처리 온도가 증가함에 따라 0.11m³/g에서 0.02m³/g로 감소되는 것으로 관찰되었으며, 강도의 변화는 관찰되지 않았다. 총 기공 부피의 감소는 열처리 온도가 증가함에 따라 탄소 결정립이 재정립되어 가공이 수축된 영향으로 판단된다.

그림 2는 PSA 모사 시스템에서 탄소분자체를 통과 후 배출되는 가스를 Q-MS로 분석한 결과이다. Q-MS로 분석된 각 가스의 강도변화는 다른 가스의 강도변화에 영향을 미칠 수 있으며, 이러한 문제는 가스 분리 거동을 분석하 는데 있어 고려되야 한다.



Fig. 2 Breakthrough curves of CMS according to heat treatment temperature

본 연구에서 탄소분자체는 이산화탄소(3.3Å)와 메탄(3.8Å)의 분리를 위한 것이며, 이는 정밀하게 조절된 탄소분자체의 기공 구조(기공 직경)에 의해 결 정되는 것으로 알려져 있다.

그림 2는 7bar에서 분석된 탄소분자체의 가스 분리 거동을 나타내며, 열처 리 온도가 탄소분자체의 가스 분리 거동에 영향을 미치는 것으로 관찰되었다. 또한, 탄소분자체는 수소를 흡착하지 않는 것으로 확인되었다.

PCMS-T700은 메탄과 이산화탄소를 분리하지만, 분리 초기에 메탄을 일부 흡착하는 것을 관찰되었다. 이후 열처리 온도가 증가된 PCMS-T800은 메탄 이 일부 흡착되는 문제가 개선되었으며, 이산화탄소의 파과시간이 소폭 증가 되었다. 이는 앞선 기공 부피의 변화와 같이 탄소결정립의 재정립으로 기공 직경이 수축되어, 탄소분자체의 기공 직경이 작아져 이산화탄소보다 분자크 기가 큰 메탄의 흡착이 감소된 것으로 판단된다. 결과적으로 열처리 온도에 의해 탄소분자체의 기공 직경이 조절되었으며, 이로써 메탄이산화탄소 분리 능이 향상된 것으로 판단된다. 이후 1000°C이상에서 열처리된 PSMS-T1000 은 기공 직경 뿐만 아니라 총 기공부피가 감소되어, 메탄과 이산화탄소를 모 두 흡착하지 못하는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) Goldy Shah, Ejaz Ahmad, K.K. Pant, V.K. Vijay, 2021, Comprehending the contemporary state of art in biogas enrichment and CO₂ capture technologies via swing adsorption, Int. J. Hydrogen Energy, 46, 6588-6612.
- M.M.A Freitas, J.L Figueiredo, 2001, Preparation of carbon molecular sieves for gas separations by modification of the pore sizes of activated carbons, Fuel, 80, 1-6.

EDLC 전극 활물질을 위한 전기화학성능이 향상된 asphalt-pitch기반 활성탄소의 제조 및 특성화

김주환, 조동신, 이혜민*

Preparation and characterization of asphalt pitch-based activated carbons with enhanced electrochemical performance as EDLC electrode materials

J. H. Kim, D. S. Jo, H. M. Lee*

한국탄소산업진흥원 실용화개발1실

Key Words : Activated carbon, Asphalt Pitch, Steam activation method, EDLC

1. 서 론

Electric double layer capacitor (EDLC)는 표면 전하 흡착 반응에 의한 에너지 저장 메커니즘을 가지며, Li-ion battery (LIB)와 다르게 출력특성이 매우 높은 에너지 저장 장치이다. 최근 EDLC는 고출력 특성이 요구되는 산업 (신재생 에너지, 친환경 자동차 등)에서 중요성이 점차 증가되고 있다. EDLC의 전극 활물질은 많은 양의 이온을 저장할 수 있도록 높은 비표면적과 우수한 전기 전도도 특성을 갖는 야자계 활성탄소가 주로 사용되고 있다. 하지만 야자계 활성탄소는 미세기공이 발달된 기공특성을 갖기 때문에 수질정화, 에어필터 등 다양한 산업에서 활용되고 있어 공급량이 부족한 상황이다. 또한 전구체인 야자껍질은 아열대기후의 지역에서만 생산되기 때문에 사용량이 증가되고 있 는 활성탄소 전구체로서 한계점이 존재한다. Asphalt pitch는 석유 산업의 부산 물로써 회분 험량이 낮고 발달된 흑연구조를 가지고 있어 높은 탄화수율을 갖는다. 특히, asphalt pitch는 석유 산업 부산물이기 때문에 가격이 매우 저렴 하며, 환경적인 요인에 영향을 크게 받지 않고 활성탄소 전구체로 원활한 공 급이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 수증기 활성화법을 통해 asphalt pitch 기반 고 비표면적 중기공성 활성탄소를 제조하여 상용 활성탄소 (YP-50F)를 대체하고 EDLC 전극 활물질로 활용하고자 한다.

2. 실험

본 실험에서 활성탄소의 전구체는 가격이 매우 저렴하여 경제성을 갖는 asphalt-pitch를 사용하였다. Asphalt-pitch는 수증기 활성화법을 통해 고비표면 적 중가공성 활성탄소로 제조되었으며, 제조된 활성탄소는 CMC, SBR, PTFE 의 바인더와 도전제를 이용하여 전극으로 제조되었다. 제조된 전극은 CR2032규격으로 1 M Tetraethylammonium tetrafluoroborate (TEABF4) in Propylene Carbonate (PC) 전해액과 함께 코인셀 EDLC로 제작되었다. 제작된 슈퍼커패시티는 galvanostatic charge/discharge test, cyclic votammetry 그리고 임 피던스 분광법을 통하여 전기화학특성이 평가되었다.

3. 실험 결과 및 고찰

표 1은 asphalt-pitch 기반 활성탄소 (Pitch AC)의 기공특성을 나타낸다.

Table 1 Textural properties of asphalt pitch-derived activated carbons as a function of various steam activation condition

Sample	S _{BET} (m ² /g)	V _{Total} (cm ³ /g)	V _{Micro} (cm ³ /g)	V _{Meso} (cm ³ /g)	Yield (%)
Pitch AC-6	990	0.42	0.38	0.04	62.0
Pitch AC-7	1340	0.60	0.51	0.09	44.3
Pitch AC-8	1500	0.70	0.53	0.17	37.3
Pitch AC-9	1820	0.98	0.62	0.36	21.7
Pitch AC-12	2040	1.51	0.67	0.84	6.0
YP-50F	1710	0.79	0.62	0.17	-

Table 1에서 Pitch AC의 비표면적과 총기공 부피는 활성화 시간이 증가함에 따라 각각 990-2040 m²/g과 0.42-1.51 cm³/g으로 관찰되었다. 또한 Pitch AC-9

는 상용활성탄소와 유사한 비표면적을 갖고 있음에도 불구하고 높은 중기공 부피 (0.36 cm³/g)가 관찰되었다.



Fig. 1 Cycle voltammograms of bamboo-derived activated carbon at various scan rate; (a) 5 mV/s, (b) 400 mV/s

Fig. 1는 다양한 주사속도에서 Pitch AC의 CV곡선을 나타낸다. Pitch AC4를 제외한 모든 Pitch AC의 CV곡선은 5 mV/s 주사속도에서 직사각형의 이상적 인 형태로 관찰되었으며, 주사속도가 증가함에 따라 내부저항의 증가로 직사 각형의 형태에서 leaf 형태로 바뀌었다. 그러나 Pitch AC-9의 CV곡선은 모든 주사속도에서 가장 큰 면적이 관찰되었으며, 400 mV/s에서 곡선의 변형이 가 장 적게 관찰되었다. 이는 Pitch AC-9의 비표면적과 중기공 비율이 다른 활성 탄소보다 우수하기 때문으로 판단된다.



Fig. 2 The specific capacitance of Pitch AC as a function of discharge current density

Fig 2는 다양한 전류밀도에 Pitch AC의 비축전용량 변화를 나타낸다. 모든 Pitch AC의 비축전용량은 전류밀도가 증가함에 따라 ohmic resistance가 증가 되어 감소되었다. Pitch AC의 비축전용량은 0.1 A/g과 10.0 A/g에서 각각 43.6-84.6 F/g과 7.5-66.4 F/g으로 관찰되었다. Pitch AC의 비축전용량은 활성화 시간 이 증가함에 따라 증가되었으며, 비축전용량 감소율은 활성화 시간에 따라 감 소되었다. 특히, Pitch AC-9는 0.1 A/g의 전류밀도에서는 YP-50F보다 낮은 비 축전용량이 관찰되었지만, 10.0 A/g의 전류밀도에서는 YP-50F보다 높은 비축 전용량이 관찰되었지만, 10.0 A/g의 전류밀도에서는 YP-50F보다 높은 비축 전용량이 관찰되었다. Table 1에서, Pitch AC-9의 미세기공 부피는 0.62 cm³/g으 로 YP-50F와 동일하게 관찰되었지만, 증가공 부피는 0.36 cm³/g으로 YP-50F 보다 약 2배 이상 높게 관찰되었다. 즉, Pitch AC-9는 YP-50F와 달리 중기공이 발달된 기공특성을 갖기 때문에 가장 우수한 출력특성을 갖는 것으로 판단된 다. 결과적으로, Pitch AC는 우수한 기공특성 및 전기화학특성으로 인해 상업 용 EDLC용 활성탄소를 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

Kim, J.H., Lee, H.M., Jung, S.C., Chung D.C., Kim B.J., 2021, Bamboo-Based Mesoporous Activated Carbon for High-Power-Density Electric Double-Layer Capacitors, Nanomaterials, 11, 2750.

고함량 GNP 코어쉘을 이용한 높은 유연성과 전기전도성을 가지는 EMI 차폐 시트

정주라, 강기환^{*}, 김원석^{*}

EMI shielding sheet with high flexibility and electrical conductivity using a core-shell containing high-content GNP filler

Ju-Ra Jeong, Gi-Hwan Kang*, Won-Seok Kim*

Research and Development Division, Kcarbon R&D Center

Key Words : Graphene Nanoplate, Core-shell, Electromagnetic wave absorption, Flexibility

1. Introduction

Forming electrically conductive network structures using coreshells has been well proven to efficiently improve electrical and electromagnetic interference (EMI) shielding performance due to the easy connection between the shells [1-3]. However, up to now, the core-shells has been mainly limited to low-content core-shells.

2. Preparation of CNT/TPU core-shell



Fig. 1 Schematic diagram of samples prepared with core-shell through heat blow

We propose a strategy to form an electrically conductive network structure as a core-shell with up to 63wt% of conductive filler. The TPU as core material was slightly melted by a heat blowing process and GNPs as shell material were attached on the surface of TPU to prepare a core-shell with a high content of GNPs as shown Fig. 1. The prepared core-shell was compression-molded at a temperature of 120°C to fabricate a flexible EMI shielding sheet (H-GNP/ST).



Fig. 2 Schematic diagram of Heat blow method

3. Results & discussion

The electrical conductivities of H-GNP/ST in the planar and vertical directions were about 6540 S/m and 5.5 S/m, respectively, which was significantly higher than that of the general composite. H-GNP/TPU showed an excellent EMI shielding effectiveness of 57.7 to 92.4dB in the frequency range of 0.1~3GHz at a thickness of 0.5mm as shown Fig. 2. In addition, the H-GNP/TPU composite

material provided stable electrical conductivity and EMI shielding performance even after the peeling test and bending test.







Fig. 4 Shielding effectiveness of H-GNP/TPU, R-GNP/TPU, GNP/TPU

4. Conclusions

In this study, the high electrical conductive sheet using a core shell coated with a high content of GNP filler is expected to be used in various applications due to high EMI shielding performance and easy process.

References

- (1) K. Dai, S.G. Zhao, W. Zhai, G.Q. Zheng, C.T. Liu, J.B. Chen, et al., 2013, Composites, Part A, 55 11-18.
- (2) C.H. Cui, D.X. Yan, H. Pang, L.C. Jia, Y. Bao, X. Jiang, et al., 2016, Chin. J. Polym. Sci., 34 1490-1499.
- (3) F.E. Alam, J. Yu, D. Shen, W. Dai, H. Li, X. Zeng, et al., 2017, Polymers 9 662.

용해 함침 기술을 적용한 열가소성 탄소섬유 복합재 함침 특성평가

김미정, 강창수*, 유명한

Manufacturing and impregnation properties of thermoplastic carbon fiber composites using solvent

impregnation technology

M. J. Kim, C. S. Kang*, M. H. Yoo

한국탄소산업진흥원

Key Words : CFRP, Thermoplastic resin, CF UD Tape

1. 서 론

최근 이슈가 되고 있는 환경문제에 대한 선제적 대응방안으로 고강도 경량 화 특성을 확보하기 위한 연구가 다양한 산업분야에 걸쳐 활발히 진행되고 있 다. 이와 관련하여, 서로 다른 두 재료의 특성을 혼합하여 중량대비 높은 강성 을 구현할 수 있는 섬유 강화 복합 재료의 적용 분야가 꾸준히 확대되고 있다. 그 중에서도 CFRTP(Continuous Fiber Reinforced Thermoplastics)는 대표적인 복 합재료 중 하나로 고강도 경량 특성을 제공하며, 성형성, 양산성, 표면 품질이 우수하여 양산 복합재료로 주목받고 있다. 열가소성 섬유강화 복합소재는 기 존에 사용된 열경화성 복합소재에 비해 재활용이 가능하고 성형시간이 단축되 는 장점이 있으나 용융점도가 높아 섬유 함침도가 낮다는 단점이 있다.

본 연구에서는 열가소성 수지의 높은 점도로 인한 낮은 함침도를 개선하기 위해 열가소성 수지를 용매에 용해시킨 후 섬유에 함침 시키는 용해 함침법을 이용하여 탄소섬유 CF UD 테이프를 제조하였으며, 제조 공정 변수를 다양하 게 하여 UD 테이프의 함침도 및 표면 상태를 관찰하였다.

2. CF UD Tape 제작

본 연구에서는 효성 24K TANSOME 섬유와 개발 m-PPO 수지를 사용하였으며, 제조된 CFUD Tape의 섬유침투 및 표면특성을 평가하였다.

개발 m-PPO 수지에 적합한 용매를 찾기 위해 벤젠, 톨루엔, 자일렌 등 방 향족 탄화수소 용매와 클로로프롬, 클로로벤젠 등 할로겐화 탄화수소 용매, 폼산 등에서 m-PPO 수지의 용해도를 비교 분석하였고, 실험 결과 formic acid 를 용매로 사용하였을 때 추가로 가열하지 않고 m-PPO수지가 잘 녹는 것을 확인하였다. 용해함침 방식을 이용하여 UD Tape를 제작 하였을 때 성능의 저 하가 일어나는지 확인하기 위해 기존의 m-PPO 수지와 m-PPO 수지를 formic acid에 용해-건조 과정을 거친 m-PPO 수지를 DSC 분석한 결과 아래 표와 같 이 유사한 수치를 나타내었고, 이는 용해 함침법을 이용하여 UD 테이프를 제조할 수 있는 가능성을 보여준다.

m-PPO 수지의 최적 공정 조건을 찾기 위해 수지 공급 속도, 섬유 이동 속 도, 건조 조건 등 다양한 변수로 제조하고 함침 특성을 비교하였다.



Fig. 1 DSC result of dried m-PPO resin

Table 1 Melting and crystalline temperature of dried m-PPO resin

	Orginal m-PPO	Melt & Dry m-PPO
Melting Temp.	263.1 °C	262 °C
Crystalline Temp.	231.7 °C	230 °C

3. 실험 결과 및 고찰

고 가능성 열 가소성 수지를 용매에 용해시킨 후 섬유에 함침시키는 용해 함침 방식 탄소섬유 UD 테이프의 제조 가능성은 포름산 수지를 통해 확인되 었고, 제조된 UD 테이프의 섬유 함침도는 섬유의 이동이 느리고 섬유에 가 해지는 압력이 높을수록 높았으나, 0.6m/s 이하의 속도에서는 섬유에 완전히 함침되지 않고 섬유 표면층에서 건조된 상태로 존재하는 것을 확인하였고, 60° C 이하의 건조 온도에서는 포름산이 완전히 제거되지 않음을 확인할 수 있었 다. 또한 함침다이에서 가해지는 압력이 너무 높을 경우 섬유에 손상도가 높 아진다는 것을 확인하였다. 향후 공정조건 및 단계를 추가하여 공정조건을 최 적화하고 생산성을 높이며 공정조건별 물성평가를 실시할 예정이다.

후 기

이 연구는 2021년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원 (KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임. (20011408, 수소전기차 전장부품의 경랑화를 위한 열가소성 복합소재 및 부품 성형공정기술 개발)

참고 문 헌

(1) Mahmood M.S, Majid J. O.,2009, compressivercompres of glass-fiber reinforced polymeric composites to increasing compressive strain rates, Composite Structures, 517~523.

고세장비 수소저장용기 보스부의 패턴설계

고관호^{*}, 강정석, 정근성

Pattern design for the boss of a hydrogen storage vessel with high slenderness ratio

K. H. Ko*, J. S. Kang, G. S. Jung

한국탄소산업진흥원

Key Words : Hydrogen pressure vessel, Filament winding, Burst pressure

1. 서 론

수소연료전지자동차의 공간 효율성을 높이기 위하여 용기의 형상이 직 경 대비 길이가 긴 고세장비를 갖는 수소저장용기에 대한 연구가 진행되 고 있다. 본 진흥원에서는 이러한 고세장비 수소저장용기의 요소부품 중 보스부에 대한 연구를 진행하고 있으며, 초기 사전 단계에서 보스부 설 계에 대한 기밀성능을 확보하였다. 따라서, 본 논문에서는 구조해석을 통한 저장용기의 와인딩 패턴설계를 진행하고 파열시험 결과를 비교하고 자 한다.

2. 와인딩 패턴 설계

고세장비 수소저장용기 보스부의 와인딩 패턴설계는 전형적인 용기의 보스부 형상이 아닌 피팅부의 구조를 갖기 때문에 헬리컬 각도에 대한 자 유도가 제한된다. 또한 별도의 고세장비용 공정개발이 동시에 이루어지고 있어 본 논문에서는 두가지의 패턴안을 제시하였다. 헬리컬(50°)로만 이 루어진 패턴안과 후프/헬리컬로 구성된 일반적인 패턴안을 제시하였으며 두 패턴에 대한 파열압 비교를 하고자 한다.

사용된 소재는 E사의 T700급 Towpreg 소재를 사용하였으며 용기제 작 공정과 동일한 와인딩 공정을 통해 시편을 제작한 후 ASTM 시험규격 에 따라 시험을 진행하였다. Table 1은 소재물성에 대한 시험결과를 나타 내었다.

Table 1 Material properties

E1(GPa)	156	V12	0.31
E ₂ (GPa)	9.6	G ₁₂ (GPa)	4.7
X _t (MPa)	3,078	S ₁₂ (MPa)	63.6
Y _t (MPa)	50.1		

설계파열압은 1,575bar이며 ABAQUS WCM을 사용하여 구조해석 을 진행하였다. 첫 번째 설계안은 해석을 통해 설계파열압을 견딜 수 있는 헬리컬(50°)의 레이어수를 예측하였다. 두 번째 설계안은 첫 번째 설계안 과 동일한 두께 내에서 축방향의 하중을 견딜 수 있는 헬리컬의 레이어수 를 결정하고 실린더를 후프로 보강하는 설계를 진행하였다. 구조해석 결 과, 첫 번째 설계안은 subroutine 코드인 UVARM4에서 전단 파손이, 두 번째 설계안도 약 1900bar에서 전단에 의한 파손이 발생할 것으로 예 측되었다.



(a) UVARM4 of first design (b) UVARM4 of second design Fig. 1 Analysis results for the designs

3. 시험 결과 및 고찰

파열시험 결과, 헬리컬로만 구성된 첫 번째 패턴안(Fig. 2(a))은 사진과 같이 1,595bar의 파열압에 의한 실린더 파손이 발생하였다. 두 번째 패턴 안(Fig. 2(b))의 경우, 1,997bar의 압력까지 파열압이 증가하였으며 보스 부 분리에 의한 파손이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.



(b) Test product of second design before and after experiment

Fig. 2 Burst test results for the two designs



Fig. 3 Burst pressure curves for two pattern designs

본 연구에서는 구조해석을 통해 패턴설계에 대한 파열압을 예측하고 실 험을 통해 결과를 비교하였으며, 와인딩 패턴에 따른 파손모드 또한 확인 할 수 있었다. 추후 동일한 패턴안의 시험품을 가지고 수압반복시험을 통 해 보스구조에 대한 분석을 진행할 예정이다.

후 기

본 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부) 재원으로 한국산업기술평 가관리원의 전기차플랫폼 공용화를 위한 수소차용 비정형 수소저장장치 개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 : 20011919)

참고문 헌

 Jang, K.S., Hong, M.S., 2018, Safety Evaluations for Defects in CNG Pressure Vessels, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 27:5. 430–438.
Sheet Molding Compound용 MDI L.L 첨가 Styrene Free Vinylester 수지의 증점 거동 연구

이주희, 최문우, 허몽영*

Research of thickening behavior of styrene free vinylester resin for sheet molding compound application

J. H. Lee, M. W. Choi, M. Y. Huh* (* E-mail : herpoly@gmail.com)

한국탄소산업진흥원

Key Words : Sheet Molding Compound, Vinylester, MDI L.L, Thickening

1. 서 론

Sheet Molding Compound(SMC) 공정은 탄소섬유 중간재의 연속적인 제조 가 가능한 공정으로 높은 작업성을 지녀 경쟁력 있는 탄소섬유 복합재 제조 공정이다.

Styrene은 낮은 점도와 높은 증점성능을 지녀 SMC 제조에 사용되었다. 하 지만 styrene의 독성, 신경 손상 위험성, 높은 휘발성 특성으로 인해 styrene의 사용에 대한 규제가 점점 강화되고 있다. 이에 산업에서는 styrene을 대체할 수 있는 희석제에 대한 수요가 증가하고 있다.

본 연구에서는 styrene 대체 가능성이 있는 희석제를 선정하여 증점성능을 확인하였다. 또한 대체 희석제의 증점성능을 강화시키기 위해 Vinylester에 MDILL을 첨가하여 결과를 분석하였다[1-2].

2. 실 험

2.1 MDI L.L 첨가 Vinylester의 합성

YD-128 에폭시(국도화학)와 methacrylic acid(대정화금)를 Triphenylphospine (Sigma Aldrich) 촉매하에 반응시켜 vinylester를 합성하였다. 합성된 vinylester 를 Ethylene glycol dimethacrylate(그린케미칼, EGDMA), 1,4-Butanediol diacrylate(Sigma Aldrich, BDDA), Tripropylene glycol diacrylate(그린케미칼, TPGDA), Trimethylolpropane triacrylate(그린케미칼, TMPTA)로 희석한 뒤 methylene diphenyl diisocyanate L.L (금호미쓰이회학, MDI L.L)과 반응시켜 isocyanate 첨가 vinylester를 합성하였다.

2.2 증점 측정

합성된 vinylester를 45℃ 오븐에서 3hr 동안 항온 시킨 뒤 증점제를 첨가하 여 증점 성능을 확인하였다.

중점제는 CBU-813(켐베이스)을 사용하였고 점도계는 Brookfield사의 DV3LB를 사용하였다.

2.3 IR 측정

Vinylester에 MDI L.L 첨가 후 변화된 분자구조를 확인하기 위하여 IR 분 석을 진행하였다. IR 장비는 Perkin Elmer사의 Spectrum3를 사용하였다.



Fig. 1 Viscosity of vinylester with different diluent

SMC에 적용 가능한 점도인 3,000cP에 도달하도록 희석제를 첨가하여 증 점실험을 진행하였다. 3hr부터 증점이 시작된 Styrene과 비교하였을 때 BDDA 는 3hr 이상부터, TMPTA는 4hr이상부터, EGDMA와 TPGDA는 6hr 이상부터 증점이 시작된 것을 확인하였다.



Fig. 2 IR graph of vinylester, MDI L.L and vinylester added with MDI L.L

Vinylester와 MDI LL의 반응 여부를 확인하기 위하여 vinylester, MDI LL, MDI LL이 20% 첨가된 vinylester, MDI LL이 30% 첨가된 vinylester의 IR 분 석을 진행하였다.

MDI LL에서 나타났던 isocyanate 피크가 vinylester와 MDI LL이 첨가된 vinylester의 그래프에서 관찰되지 않았다. 또한 MDI LL 첨가 이후 NH 피크 가 형성됨을 확인하였다. 시라진 isocyanate 피크와 형성된 NH 피크를 통해 vinylester와 MDI LL이 반응한 것을 확인하였다.

4. 결론 및 향후과제

증점 실험을 통하여 Styrene 대체 희석제의 SMC 적용 가능성을 확인하였 고 IR 분석을 통해 vinylester와 MDI LL이 성공적으로 반응하였음을 확인하 였다.

향후 MDI L.L. 첨가가 수지의 증점성능에 미치는 영향을 증점실험을 통해 확인하여, 대체 희석제들의 SMC공정 적용 가능성을 확인할 것이다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 소재부품 기술 개발 사업의 고주파 유도가열 기반 성형 시스템 및 PBV 차량 외판 개발 과제의 지원으로 수행되었음. (과 제번호: 20022538)

참고 문 헌

- Study on Rheological Behavior of Vinyl Ester Resin During Thickening, JOURNAL OF VINYL & ADDITIVE TECHNOLOGY, 2016.
- [2] S. Oprea, S. Vlad, A. Stanciu, M. Macoveanu, (2000), Epoxy urethane acrylate. Eur. Polym. J. 36, 373.

레이저를 이용한 습윤성 표면의 상향식 제조

박성진, 백승현, Jibi Jais, 김선영, 김순욱, 강봉철*

Addictive manufacturing for wettability surface using laser

S. J. Park, S. H. Back, J. Jais, S. Y. Kim, S. W. Kim, B. C. Kang*

국민대학교 기계공학부

Key Words : Addictive manufacturing, Laser fabrication, Surface texturing

1. 서 론

습윤성 제어 기술은 표면에 기능성 표면을 생성하여 자기 세정 효과를 부여하거나 표면의 소수/친수성 조절을 이용해 랩온어칩(Lab on a chip) 기 술에 활용되는 등 기계, 전자, 바이오, 에너지 등 다양한 산업 분야에서 사 용되는 기술이다. 기능성 습윤성을 제어하기 위해 포토리소그래피 (Photolithography), 임프린팅(Imprinting), 전기방사(Electrospinning) 등의 방 법이 이용되는데 기존의 습윤성 제어 기술들은 고가의 장비를 이용한 반 복적이고 복잡한 단계를 거치거나 고진공과 같은 특수한 환경이 필요하며 환경 유해 물질을 배출하는 등의 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 나노 입자에 레이저를 조사하여 기능성 습윤 표면을 친환경적 이고 간단하게 제조하는 방법을 제안한다. 나노 입자에 레이저를 조사하여 순간적인 소결 반응을 유도하여 멀티스케일 구조를 형성하고 기능성 습윤 표면의 특성을 평가하였다.

2. 이론 및 실험

2.1 실험 장치 및 재료

실험에서는 근적외선 파장의 레이저를 사용하였다. 나노입자를 코팅 한 후 2-axis Galvanometer Scanner와 F-Theta 렌즈를 이용하여 실험하 였다. 제작된 샘플을 자가조립단막층 용액을 적용하였다.

2.2 실험 결과

소수성의 접촉각은 레이저 출력과 레이저 이송속도에 따라 조절되 었다. 레이저 출력에 따라 표면 접촉각은 150°가 넘는 초소수성을 보 여주었다.

3. 결 론

본 연구에서는 특수한 환경이나 장비가 필요하지 않은 One-Step 공 정을 통해 초소수성/초친수성 표면을 제작하였다. 평균 접촉각 154.5° 의 초소수성 표면과 평균 접촉각 12.55°의 초친수성 표면을 각각 제조 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국연구재단의 지원으로 수행되었음. (Grant No.2023R1A2C100544511)

참고문 헌

(1) Back, S.H, Kim, S.B, Kwon, S. G., Park, J. E., Park, S. Y., Kim, J. Y., and Kang, B., 2018, Silicon Nanocanyon: One-step bottom-up fabrication of black silicon via in-lasing hydrophobic self-clustering of silicon nanocrystals for sustainable optoelectronics. ACS Appl. Mater. Interfaces, 10(42), 36523-36530.

저온에서 원자층 증착법으로 제작된 HfO₂ 박막의 특성 연구

김수연, 이승훈, 조인호, 김정환*

Characteristics study of HfO₂ thin film grown by atomic layer deposition at low temperatures

Suyeon Kim, Seung-Hun Lee, In Ho Jo, Jeong Hwan Kim*

한밭대학교 신소재공학과

Key Words : Atomic layer deposition(ALD), HfO2, Oxide film coating, Thin film

3. 실험 결과 및 고찰







Fig. 2 The refractive index (measured at 633 nm) and film growth per cycle with respect to the process temperature

ALD 반응에 의한 증착 속도를 조사하기 위해 Fig. 1와 같이 ALD 사이 클 수에 따른 HfO₂ 박막의 두께 변화를 Ellipsometer를 아용하여 분석했다. 그 결과 두께가 선형적으로 증가하였으며 이를 통해 저온에서도 자기 제한적 표면 반응이 발생한다는 사실을 확인하였다. Fig. 2는 공정 온도에 따른 증착 속도 변화와 굴절률 변화를 나타낸 그래프이다. 증착률은 저온인 80 °C에서 가 장 컸으며, 온도가 증가할수록 GPC는 감소한 반면 굴절률은 증가하였다. XPS 분석 결과 저온일수록 불순물과 산소공공이 증가했으며, 이로 인해 전기적 특 성이 저하되었다. 또한 XRR 분석 결과 공정 온도가 증가할수록 밀도가 증가하 였다(데이터는 보여주지 않음).

참고문 헌

 [1] Chemical structures and electrical properties of atomic layer deposited HfO₂ thin films grown at an extremely low temperature (≤100 °C) using O₃ as an oxygen source, Applied Surface Science, 292, 852–856 (2014)

1. 서 론

최근 플렉서블 소자를 개발하기 위해 투과성이 좋고 유연성이 우수한 유기물 기반의 플라스틱 기판이 연구되고 있다. 이를 구현하기 위해 주로 제안되고 있 는 플라스틱 소재인 PET와 PVC은 투명하고 가격이 저렴하며 가공에도 용이하 다는 장점이 있다. 하지만 열안정성이 낮아 기존의 비교적 고온에서 이뤄졌던 공정의 온도에서는 심각하게 변형이 된다는 문제점이 있다. 유연 소재 대부분 의 유리전이온도가 100 ℃ 부근이므로 이와 같이 고온에 민감한 소재를 적용하 기 위해서는 저온 공정의 적용이 필수적이다. 박막 중착 방법 중 하나인 원자층 증착법(Atomic layer deposition)은 전구체(precursor)와 반응물(reactant)을 기 판 표면에 번갈아 공급하여 자기 제한적(self-limiting) 표면화학 반응에 의해 박막을 원자층 단위로 쌓는 기술이다. 이러한 원리로, 원자 단위로 박막 두께 조절이 가능하여 균일한 도포성, 우수한 단차 피복성을 나타내며, 또한 플라스 틱 기판에 적용이 가능한 저온에서 공정이 가능하다는 장점이 있다[1]. HfO2는 Si 기판 사이의 계면이 열역학적으로 안정하고 트랩 밀도가 낮기 때문에 유전체 재료로 널리 연구되어 온 소재이다. 특히, 높은 유전상수와 넓은 밴드갭을 가지 며 화학적 안정성, 낮은 누설 전류 등 우수한 특성을 갖고 있는 물질이다. 따라 서 본 연구에서는 원자층 증착법을 사용하여 플라스틱 기판에 적용 가능한 온 도 범위인 저온에서 HfO2 박막을 제작하고 그 특성을 연구하려 한다. 기존의 공정 온도보다 낮은 온도에서 박막이 증착될 경우 반응에 필요한 열에너지가 부족하여 특성이 저하될 가능성이 있다. 그러므로 회학적, 물리적 그리고 전기 적 특성을 분석하여 공정 온도가 박막의 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실 험 과 정

ALD를 이용하여 HfO₂ 박막을 제작하는데 사용된 Hf의 전구체 는 (Tetrakis-ethylmethylaminohafnium)이며, 산화제와 퍼지가스 로는 각각 H₂O와 Ar을 사용했다. ALD 공정 온도는 저온에서 80 ℃, 100 ℃, 120 ℃로 설정했으며, 고온에서의 특성과 비교하기 위해 대조군으로 250 ℃에서도 HfO₂ 박막을 제작했다. 박막의 두 께는 Ellipsometer를 이용해 측정하여 증착 속도와 ALD의 자기 제 한적 반응을 확인했으며 굴절률의 측정도 진행했다. 또한 전기적 특 성은 상부전극을 제작하여 Metal-Insulator-Semiconductor 구조를 이용해 유전율과 누설전류를 측정했다. 그리고 XPS 분석을 통해 화 학적 특성을 분석하고, XRR을 통해 박막의 물리적 특성을 조사했 다.

원자층 증착법으로 제작된 ZnO 박막에 전기적, 광학적 특성 연구

금미진¹, 김수연¹, 이승훈¹, 조인호¹, 황해인², 김정환^{1,2*}

A study on the electrical and optical properties of ZnO thin film grown by atomic layer deposition

M. J. Kum¹, S. Y. Kim¹, S. H. Lee¹, I. H. Jo¹, H. I. Hwang², J. H. Kim^{1,2*}

한밭대학교 응용소재공학과¹, 한밭대학교 신소재공학과²

Key Words : Atomic layer deposition(ALD), ZnO, Transmittance, Band gap, Thin film

1. 서 론

ZnO 박막은 큰 밴드 갭(3.37eV)으로 인해 가시광선에 대한 투과성 이 우수하고, 전기적, 광학적으로도 흥미로운 특성 때문에 디스플레이 패널, 투명하고 유연한 전자 장치, 태양전지, 발광 다이오드와 같은 수 많은 기술 응용 분야가 있는 직접적이고 넓은 밴드갭 n형 반도체이다. 광대역 투명성과 조정 가능한 전자 전도성으로 인해 ZnO는 박막 트랜 지스터(TFT), 박막 및 실리콘 광전지에 적용하기에 적합하다. 또한 ZnO 박막의 필수 응용 분야는 물리적, 전기적 및 광학적 특성의 조정 가능한 제어에 크게 의존한다. 따라서 ZnO 박막의 이러한 기능적 특 성은 박막의 특정 목적 요구 사항을 충족하도록 적절하게 조정되어야 한다. 특히, 전기 저항은 광전자 응용을 위한 ZnO 박막의 가장 중요한 특성 중 하나로 간주 된다. 뛰어난 전자 수송 특성과 높은 홀 이동도를 갖는 전도성 ZnO 기반 투명 전도성 산화물층에 대한 여러 연구도 보 고되었다. 또한 ZnO 박막의 코팅은 Å 수준에서 필름 두께에 대한 정 밀한 제어가 필요하며 중요한 것은 표면 손상을 유발하지 않아야 한 다. 원자층 증착법(Atomic Layer Deposition, ALD)는 이러한 문제를 충족시키는 기술이다. 원자층 증착(Atomic Layer Deposition, ALD) 기술은 (1) 전구체(precursor) 공급, (2) 여분 제거, (3) 반응물 (Reactant) 공급, (4) 여분 제거 순으로 4가지 단계의 1 Cycle로 구성 되며, 전구체의 표면과 반응에 뒤이어 주입되는 반응물과 반응하여 원 자층 두께 수준의 박막을 쌓아 올릴 수 있는 기술로 금속 산화물, 질화 물, 금속 등 다양한 물질 증착이 가능하다. 또한, 자기 제한적인 (self-limiting) 박막 성장 메커니즘을 가지고 있으며, 우수한 단차 피 복성과 정밀한 두께 제어로 고품질의 박막을 증착하는 것이다. 낮은 온도에서의 공정이 가능하므로 플렉서블한 소자 적용을 위한 낮은 공 정이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 박막 트랜지스터(TFT), 박막 및 실리콘 광전지에 적용 할 수 있는 ALD로 증착된 ZnO 박막의 증착 온도 범위에 따른 전기적, 광학적 특성을 연구하였다.

2. 실험 방법

연구에 사용된 기판은 p-type Si wafer, 100 nm SiO₂, glass로, Zin c의 전구체(precursor)로는 DEZ(diethylzinc)를 사용하였으며, 산화제 (oxidant)는 H₂O, Purge gas로는 Ar을 사용하였다. 증착 온도는 100 ℃, 120℃, 150 ℃, 200 ℃로 설정하였다. 그리고, 전구체와 산화제 의 노출 시간과 퍼지 시간을 변경하며 박막을 증착하였다. 박막의 두 께와 굴절률은 Ellipsometer를 이용해 측정하였고, 분광 광도계(UV-Vis)로 투과율과 밴드갭을 분석하였다. 또한 제작된 ZnO 박막의 표면 형상은 AFM으로 분석을 진행하고, Hall measurement 분석을 통해 전자의 농도와 이동도, 비저항을 비교하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1 은 ZnO의 ALD 공정 전구체 공급 시간과 산화제 공급시간, 그리고 퍼지시간에 따른 박막 두께 변화를 보여준다. 이를 통해 최적 ALD 공정은 DEZ feeding time 1.5 s, DEZ purge time 20 s, H₂O feeding time 2 s, H₂O purge time 40 s 임을 확인하였다. 그리고, Cycle 수 변화에 따른 두께 변화 측정을 통해, ALD 박막의 성장률 (Growth rate)를 분석하였으며, 공정 온도에 변화에 따른 ZnO 박막의 전기적, 광학적 특성 및 표면 구조 분석을 진행하였다.



Fig. 1 Saturation curves of (a) DEZ feeding, (b) DEZ purge (c) H₂O feedingand (d) H₂O purge

참고문헌

 Park J, Tae Hoon Jung, 2015, The growth behavior and properti es of atomic layer deposited zinc oxide films using hydrogen peroxide (H₂O₂) and ozone(O₃) oxidants, Ceramics Internationa 1, Vol. 41, 1839:1845

기판 소재에 따른 금속 박막 표면 나노/마이크로 스케일 기계 가공 특성 연구

조인호¹, 이승훈¹, 김수연¹, 금미진¹, 황해인², 김정환^{1,2*}

A study on nano/micro scale machining characteristics of metal thin film surfaces according

to substrate materials

 I. H. Jo¹, S. H. Lee¹, S. Y. Kim¹, M. J. Kum¹, H. I. Hwang², J. H. Kim^{1,2*}

 한밭대학교 응용소재공학과¹, 한밭대학교 신소재공학과²

Key Words : Machining, Thin film, Surface pattern, Sputtering(PVD)

1. 서 론

나노/마이크로 스케일 기계 가공이란 피삭재의 불필요한 부분을 절 삭공구를 이용하여 제거함으로써 기능에 요구되는 치수, 형상을 나노/ 마이크로 스케일로 가공하는 것을 말한다. 최근 산업의 발달에 따라 특정 용도에 적합한 기능성 재료에 대한 필요성이 증가하고 있으며, 전자재료 분야에서도 나노 혹은 마이크로 단위의 두께를 갖는 박막 재 료의 사용이 증가하면서 박막 표면 패턴 가공 기술에 대한 관심과 수 요가 커지고 있다. 현 산업에서의 미세 패터닝 방법으로 리소그래피 방식이 많이 사용되어지고 있으며, 이 방식은 단순한 형상의 패턴 가공은 가능하지만, V 형태와 같은 형상의 패턴 가공 시 복잡한 공 정을 필요로 하며, 가공된 패턴의 형상 자유도가 낮다는 한계점이 있다. 하지만 기계 가공을 활용할 경우 공구 형상에 따라 가공 패턴 이 형성되기 때문에 형상 자유도를 높일 수 있으며, 가공 소재에 대 한 제한이 없어 리소그래피와 차별화되는 기술을 확보할 수 있다. 그리고 박막 재료는 벌크 재료에 비해 작은 두께를 갖고 있고, 최근에 는 기판에 증착되는 박막의 두께가 더 얇아지기 때문에 박막 표면의 패턴 가공 시 기판의 영향을 무시할 수 없게 되었다. 표면 패턴 가공 시 깊이와 폭을 결정하는 매개변수로 수직방향에 작용하는 수직하중 을 통해 절삭 공구의 침투 깊이가 결정되고, 이후 박막 재료뿐 아니라 기판의 기계적 물성을 고려해서 평가되어야 한다.

본 연구에서는 Glass, Si wafer, PI film등 3가지 기판에서 금속 박 막 표면의 nm에서 µm 깊이까지 정밀하게 기계 가공을 하여 기판에 따 른 기계 가공 특성을 비교하고자 한다. 실험의 결과는 정성적 분석과 정량적 분석을 통해 비교하고자 하며, 향후 더욱 다양한 기판에서의 기계 가공 특성을 연구하여 미세 패턴 기술인 리소그래피와 차별화되 는 기술을 확보하고자 한다.



Fig. 1 Schematic diagram of the mechanism of machining

2. 실험 방법

본 나노/마이크로 스케일 기계 가공 실험은 Glass, Si waper, PI film 등 3가지 기판에 표면 코팅 기술인 물리적 증착(PVD)의 스퍼터 링(Sputtering)을 이용하여 금속 박막을 증착하였다. 이후 박막 표면 에 기계 가공 특성 보기 위해 나노스케일의 낮은 하중 영역에서 하중 의 정밀한 제어와 측정을 위한 높은 정밀도의 Force gauge를 사용하 였고, 금속 박막의 균일한 가공 특성을 위해 절삭 공구는 경도가 높고, 압축력에 대한 항복강도(130~140 Gpa)가 높아 고압 실험에 많이 사용 되어지는 다이아몬드를 이용하여 금속 박막 표면을 가공하였다. 이후 표 면 형상 파악을 위해 SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용하 여 관찰하였고, AFM(Atomic Force Microscopy)을 이용하여 깊이와 폭을 분석하고, 나노인텐테이션(Nano-Indentation)을 이용하여 금속 박 막의 깊이에 따른 경도 및 탄성계수를 측정하여 금속 박막 표면 가공 특 성에 대해 비교 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Glass, Si wafer, PI film등 3가지 기판에 따른 금속 박막 표면의 가 공 결과, 동일 인가 하중에서 가공 깊이와 폭의 차이를 확인할 수 있었 다. 또한, 각 시편에서 인가 하중에 따라 가공의 깊이와 폭은 비례하여 증가하였고, 이는 절삭 공구의 곡률반경을 따라 가공되었음을 의미하 며, 수직방향에 대한 인가 하중이 잘 전달되었음을 확인할 수 있었다. 동일 하중에서 기판의 달라짐의 따라 가공의 깊이와 폭은 박막 뿐만 아니라 기판의 영향을 추측하고 있으며, 나노인텐테이션을 통해 박막 의 깊이에 따른 경도와 탄성계수를 측정하였고, 이러한 결과를 토대로 가공 특성을 정성적 및 정량적으로 정리하였다.



Fig. 2 Processing pattern shape of thin film surface

참 고 문 헌

- Kang, Y. J, Baeg, J. H, 2020, Measurement of Intrinsic Hardness of Deposited Chromium Thin Films by Nanoindentation Method and Influencing Factors, KJMM, Vol. 58, No. 3, 207-215
- (2) Park, W. K, Lee, D. M, Hong, W. H, 2011, A Study on Basic Research Trends of Ultra-Precision Machining Technology in Korea, KSMTE, Vol. 20, No. 1, 86-95

구리 금속 박막의 열처리에 따른 나노스케일 기계가공 특성 변화 분석

황해인¹, 조인호², 이승훈², 김수연², 금미진², 김정환^{1,2*}

Analysis of changes in Nanoscale machining properties according to heat treatment of Cu metal thin film

H. I. Hwang¹, I. H. Jo², S.-H. Lee², S. H. Kim², M. J. Kum², J. H. Kim^{1,2*}

한밭대학교 신소재공학과¹, 한밭대학교 응용소재공학과²

Key Words: Nanoscale machining, Sputtering, Rapid Thermal Process(RTP), Thin film

1. 서 론

현재 반도체, 디스플레이 산업은 계속 성장 중이며 요구되는 성능 또한 증가하고 있다. 크기는 줄이고 성능을 향상시키기 위해 소자의 크기를 점차 줄여 nanoscale까지 이르게 되었다. 현재 산업에서 미세 패터닝 방법으로는 lithography 방식이 주로 사용되고 있으며, lithography 방식은 단순한 형상과 vertical 적인 패터닝만 가능하며, 패턴의 깊이 정도를 조절하는 것에 어려움이 있다. 따라서 lithography 방식은 가공된 패턴 형상의 자유도가 낮다는 한계점과, 가공 시 복잡한 공정이 필요로 한다는 단점이 존재한다. 낮은 형상의 자유도와 복잡한 공정 과정을 극복하기 위해 기계가공을 활용할 경우 간단한 공정이 가능하며, 공구 형상에 따라 패턴이 가공되어 다양한 패턴이 형성되기 때문에 형상의 자유도를 높일 수 있다.

이에 본 연구는 반도체, 디스플레이 산업에서 대표적으로 많이 사용 되는 Cu 금속 박막의 nanoscale 기계가공 패턴에 영향을 주는 인자 중 열처리를 통한 박막의 경도와 결정립 크기 등 박막의 특성의 변화 로 인한 가공 형상의 변화를 비교 분석하고자 한다. 이후 박막의 기계 적 특성에 따른 절삭 가공 기술을 최적화하고자 한다. 더 나아가 디스 플레이, LED, 반도체 배선 등의 리페어(Repair) 공정에서 사용되는 기존 레이저 방식의 공정 대신 기계 절삭 가공을 적용하여 공정의 자 유도와 복잡한 공정과 고온을 동반하지 않는 기계가공을 적용하고자 한다.

2. 실험 방법

열처리로 인한 소재 특성 변화에 따른 nanoscale 절삭 가공 실험은 기판의 결정 영향성을 배제하기 위해 glass 기판을 사용하였으며, 기 판은 세척 후 PVD 공정 중 Sputtering을 활용하여 박막을 증착하였 다. 박막과 기판과의 접착력을 높이기 위해 Ti ~ 50nm 증착 후 Cu 박막을 ~1 µm 증착하였다. 이후 Rapid Thermal Process (RTP) 을 이용하여 200, 400, 600°C에서 각각 열처리를 30초 동안 진행하였다. 기계적 절삭 가공은 낮은 하중 영역에서도 정밀한 제어와 측정을 할 수 있는 Force gauge를 사용하였고, 다이아몬드를 이용한 절삭력이 뛰어난 Edge byte type의 공구를 이용하여 구리 금속 박막의 표면에 기계적 가공을 하였다. 기계적 특성을 분석하기 위해 Nano indentation을 활용하여 각 시편의 경도를 측정하였고 X-ray diffraction (XRD)를 통해 결정립 크기를 확인하였다. 표면 형상과 가공 깊이 등을 파악하기 위해 Scanning Electron Microscope (SEM) 과 Atomic Force Microscope (AFM)을 통해 관찰하였다. 이를 통해 가공된 형상의 기계적 특성에 따른 가공 특성의 변화를 분석하였다.



Fig. 1 Schematic of nanoscale machining process



Fig. 2 SEM image of machining shape

3. 실험 결과 및 고찰

열처리에 따른 Cu 박막의 nanoscale 절삭가공 실험은 각 as deposition, 200, 400, 600°C 열처리 시편의 가공 후 형상을 비교 분석 하여 가공 특성의 변화를 확인하였다. 열처리 온도에 따른 Cu 박막 의 기계 가공 형상 변화는 SEM, AFM를 통해 확인하였으며, Cu 박 막의 기계적 물성 변화는 XRD, Nano indentation을 통해 확인하였다.

참고 문 헌

- Analysis of Variantion of Specific Cutting Resistance in Nanoscale Cutting. The Korean Society of Manufacturing Process Engineer, Vol.19 No.11 pp.23.28 (2020)
- (2) The Effect of Grain Size and Film Thickness on the Thermal Expansion Coefficient of Copper and Silver Thin Films. Korean Journal of Metals and Materials, The Korean Institute of Metals and Materials, Vol.48 No.12 pp.1064-1069 (2010)

웨어러블 소자용 레이저 유도 그래핀 전극 제조 기술

권순근^{1,2*}, 최학종¹, 안준형¹, 임형준^{1,2}, 김기홍¹, 최기봉¹, 이재종^{1,2}

Fabrication of laser-induced graphene electrode for wearable electronic devices

S. Kwon^{1,2*}, H-J. Choi¹, J. Ahn¹, H. Lim^{1,2}, G. Kim¹, K-B. Choi¹, J. Lee^{1,2} 한국기계연구원(KIMM) 나노공정장비연구실¹, 과학기술연합대학교(UST)²

Key Words : Laser-induced graphene, Wearable electronic device, Porous structure

1. 서 론

개인 맞춤형 의료소자, 바이오 소자 및 초소형 에너지 소자 기술 개 발이 진행되면서 다양한 형태의 웨어러블 소자에 대한 요구와 연구가 증가하고 있다. [1] 웨어러블 소자를 구성하는 핵심 부품인 전극은 소 자의 응용에 따라 다양한 특성이 요구되며, 전극 제조방법으로는 고전 도성 나노소재 기반의 잉크를 이용한 프린팅 공정이 주로 이용된다. [2] 그래핀은 탄소 나노소재의 일종으로 넓은 표면적, 우수한 전기전 도도, 화학적 안정성의 장점을 바탕으로 웨어러블 전극소재로 많은 주 목을 받고 있다. 본 연구에서는 고출력 레이저 조사를 통하여 고품질 의 레이저 유도 그래핀 전극을 제조하고 이를 웨어러블 기판에 적용시 켜 웨어러블 전극으로서 사용한 결과를 소개한다.

2. 레이저 유도 그래핀 전극 제조

본 연구에서는 고출력 레이저 조사를 통하여 폴리머 필름으로부터 고품질의 레이저 유도 그래핀 (Laser-Induced Graphene, LIG) 전극 을 제작하였다. 수 와트(W) 이상의 고출력을 갖는 장 파장 (λ: 10.6 μm)의 CO₂ 레이저를 폴리이미드 (Polyimide, PI) 필름에 조사하게 되 면 PI 표면에 흡수된 열에너지에 의하여 레이저 조사 면에서 LIG 필 름이 형성된다. 제작된 LIG는 그래핀, 흑연과 유사한 결정성을 가지며 우수한 전기전도성과 다공성의 특징을 가진다.

LIG 전극을 웨어러블 기판인 섬유 혹은 타 폴리머 기판으로 전사하 기 위하여 열전사 (Thermal transfer) 공정을 수행한다. 열전사 공정은 기판의 유리 전이온도 (Glass transtion temperature)이상의 온도 조건 에서 일정 압력을 가할 때 기판 위 점착층 혹은 폴리머가 용융되어 다 공성의 LIG전극으로 침투하여 LIG전극과 결합하여 PI 필름으로부터 LIG를 박리하여 전사하는 공정이다.



Fig. 1 Schematic diagram on fabrication of LIG electrode for wearable electronic devices

3. 웨어러블 소자 적용 및 평가

그림 2는 열전사 공정을 통하여 PI 기판 위에 있는 LIG 패턴 전극 을 섬유 및 타 폴리머 (예: PMMA) 기판 위로 전사한 실험 결과이다. 특히 섬유 기판의 경우, 점착층을 포함한 열전사 종이를 활용하면 제 안한 열전사 방법대로 LIG 전극의 전사가 가능하다. 열전사 종이를 활용한 경우는 점착층의 유리전이온도 150℃ 부근에서, PMMA 필름 기판의 경우 유리전이온도 100℃ 부근에서 압착을 진행하게 된다.



Fig. 2 (a) LIG pattern transferred various wearable substrates. Cross-sectional SEM images of (b) LIG on a PI film and (c) LIG on a cotton fabric substrate

이렇게 열전사 공정을 수행하여 섬유 기판 위에 배선 전극 및 슈퍼 커패시터 전극을 제작할 수 있다. (Fig 3. 참고)



Fig. 3 Application of LIG electrodes for functional wearable electronic devices

후 기

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 나노소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호: NRF-2022M3H4A4097530). 또한, 2023년도 한국기계연구원 주요 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호: NK242C).

참고문 헌

- (1) Jia, R, Shen, G, Qu, F, Chen, D, 2020, Flexible on-chip micro-supercapacitors: Efficient power units for wearable electronics, Energy Stroage Mater. 27, 169-186.
- (2) Kim, J, Kumar, R, Bandodkar, A.J, Wang, J, 2017, "Advanced Materials for Printed Wearable Electrochemical Devices: A Review", Adv. Electron. Mater., 3, 1600260

마름모 단면 형상을 가진 미세 채널에서의 Poly(ethylene oxide) 농도 구배 기반 입자 사전 정렬 및 분리 ^{박희범, 조영학'}

Particle prefocusing and separation based on Poly(ethylene oxide) concentration gradient in microchannel with rhombic cross-sectional shape

H. B. Park, Y. H. Cho*

서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

Key Words : Viscoelastic fluid, Rhombic microchannel, Particle focusing, Poly(ethylene oxide)(PEO)

1. 서 론

최근 점탄성 유체 내에서 입자 집중 및 분리에 대한 연구는 간단하고 높은 분리 해상도, 저비용 및 생체 적합성 등의 장점으로 인해 활발히 이루어지고 있다 [1,2]. 점탄성 유체 내에서의 입자 거동은 관성력과 탄성력의 영향을 받 아 탄성관성 집중 (elasto-inertial focusing)이 나타나는 것으로 알려져 있으며, 추가로 미세유체 채널 단면의 둔각을 가지는 벽면은 탄성력 증가로 인한 더 강력한 입자 집중 현상을 만들 수 있다 [1]. 최근 연구에서는 PEO (poly(ethylene oxide)) 점탄성 유체의 농도 구배 (concentration gradient)를 이용 하여 입자 크기에 따른 분리가 가능함을 보였다 [2].

본 연구에서는 이전 연구에서 제안된 마름모 단면 형상의 채널을 이용하여 탄성·관성 집중 현상 및 PEO 농도 구배를 이용하여 미세 입자를 분리할 수 있음을 보인다. 제작된 미세유체 디바이스를 이용하여 다양한 농도 구배를 가 지는 점탄성 유체 내에서 크기별 입자들의 거동을 관찰하고, 아들의 집중 및 분리를 보인다.

2. 실험 및 분석

이전 연구 [3]에서 제안된 마름모 단면 현상의 채널과 2개의 입구 및 13개 의 출구로 구성된 미세유체 디바이스를 제작하였다 (Fig 1). 점탄성 유체에 포 함된 미세 입자는 2개의 측면 주입구로부터 주입되며, 농도 구배를 가지는 점 탄성 유체는 중앙 주입구를 통해 주입된다 (sheath flow 형성). 초기 채널의 측 벽으로 사전 정렬된 입자는 마름모 채널 내 농도 구배에 의해 유체 계면에 사전 집중 (prefocusing)되고, 채널 폭이 확장되는 부분에서 입자 크기별 탄성 력과 관성력에 의한 측면 이동 속도 차이로 입자 크기에 따른 분리가 이루어 진다.

12, 5, 2.1 μm 입자에 대해 분리 실험을 수행하였으며, 유량, 채널 길이 및 PEO 농도 구배에 따른 최적의 분리 조건을 찾고자 하였다. 실험을 통해 2.1 μm 입자에 대해 유체 계면에의 사전 집중을 위해 15 mm의 채널 길이와 최 적의 유속 190 μ/min (sample flow rate: 10 μ/min, sheath flow rate: 180 μ/min)을 도출하였으며, 해당 유속에서 모든 실험을 진행하였다. Fig. 2는 해당 유량에 서 PEO 농도 구배에 따라 입자들이 이동하여 확장부에서 분리되는 것을 보 여준다. Fig. 2(b)에서 보듯이 12 μm 입자는 확장부 채널 중앙으로 이동하여 Outlet 3을 통해 분리된 반면, 5 μm 입자는 탄성력이 보다 약하여 Outlet 2로 분 리되었다. 마지막으로 가장 작은 크기의 2.1 μm 입자는 유체 계면을 따라 이 동하여 Outlet 1로 분리되었다. 이는 입자 크기에 따라 유체 계면에서의 탄성 력 및 관성력의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구에서는 미세 입자들의 크기에 따른 분리를 위해 점탄성 유채를 기 반으로 마름모 단면의 채널 (채널 길이: 15 mm)과 sheath flow 채널을 가지는 미세유체 디바이스를 제작하였다. 실험을 통해 적절한 농도 구배 및 유량 (sample flow rate 10 µl/min, sheath flow rate 180 µl/min)에 대해 12,5,2.1 µm 입자 들의 분리가 가능함을 보였다. 추후 연구에서는 혈액 내의 백혈구, 적혈구 및 혈소판의 분리 실험을 진행할 예정이다.







(c) Side PEO : 420 PPM, Center PEO : 550 PPM

Fig. 2 Experimental results of particle separation based on the different PEO concentration gradients

Acknowledgment

This work was supported by Korea Institute of Radiological and Medical Sciences (50538-2022) funded by the Korean government Ministry of Science and ICT.

참 고 문 헌

- Raoufi, M.A., et al. (2019). "Experimental and numerical study of elasto-inertial focusing in straight channels." Biomicrofluidics 13(3): 034103.
- [2] Cheng, Y., et al. (2023). "Poly (ethylene oxide) concentration gradient-based microfluidic isolation of circulating tumor cells." Analytical Chemistry 95(6): 3468-3475.
- [3] Kim, U., et al. (2022). "Particle focusing in a straight microchannel with non-rectangular cross-section." Micromachines 13(2): 151.

전기 분무를 활용한 CNT가 포함된 알지네이트 입자 제작

강성도, 박유진, 송민규, 김민기, 배종혁, 배성재*

Fabrication of alginate particles containing CNT using electrospray

S. D. Kang, Y. J. Park, M. G. Song, M. G. Kim, J. H. Bae, S. J. Bai*

단국대학교 기계공학과

Key Words : Hydrogel, CNT, Alginate, NMP, Electrical conductivity

1. 서 론

하이드로젤이란 고분자 물질 중 하나로 수용성 고분자가 화학적 혹은 물리 적인 결합으로 3차원 구조를 형성하고 있는 물질이다. 이러한 하이드로젤은 90%가 물로 이루어져 있을 정도로 친수성이며, 안정성이 입증되어 다양한 분 야에 사용되고 있다.

본 연구에서는 전기 분무 공정을 통해 마이크로 크기의 하이드로젤 입자를 제작하였다. 이러한 하이드로젤 입자는 50 µm 이하의 알지네이트와 탄소 나 노 튜브(CNT)가 포함된 형태로 제작하였으며, 이후 하이드로젤 입자의 특성 을 평가하기 위해 전기전도도를 측정하여 전기회학 특성을 평가하였다.

2. 이론 및 실험

D.I water 45 ml와 PBS(X10) 용액을 5 ml를 충분히 섞어 medium을 만든 후 Sodium Alginate 0.5 g을 넣고 30분 Vortex로 혼합하여 1 %(w/v)의 알지네이트 용액을 만든다. 그 후 CNT를 섞어주는데 이때 CNT는 발데르발스 힘에 의해 여러 가닥이 뭉친 형태로 나타날 수 있어 분산제와 초음파를 통해 분산시킨 후 알지네이트 용액과 섞어준다.

알지네이트 용액을 주사기 펌프로 압출하면 바늘 끝에서 물방울이 형성되 는데 이때, 전압을 인가하면 바늘과 페트리 접시 사이에서 정전기력, 표면 장 력 등으로 CaCl2 용액이 담긴 페트리 접시로 분무되어 하이드로젤 입자를 제 작한다.

평균 크기 40 µm 하이드로젤 입자를 만들기 위해 처음 전압 12 kV, 유속 0.25 ml/h, 바늘과 페트리 접시 사이의 거리 85 mm로 전기 분무 공정을 하였 다. 이때 입자의 크기를 결정하는 가장 중요한 요소는 페트리 접시와 바늘 사 이의 거리인데 거리의 변화에 따른 하이드로젤 입자 크기 변화를 측정하기 위해 전압과 유속은 12 kV와 0.25 ml/h로 고정하였으며, 바늘과 페트리 접시 의 거리가 가까워질수록 입자의 크기가 커지는 것을 확인할 수 있었다.

본 실험에서 설정한 비교군은 총 3가지로 알지네이트 용액만 사용해 만든 하이드로젤 입자, DI water를 통해 분산시킨 CNT를 사용한 하이드로젤 입자, 분산제와 초음파를 통해 분산시킨 CNT 용액을 사용한 하이드로젤 입자 이렇 게 총 3가지를 통해 실험을 진행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

전기 분무 공정을 통하여 만들어진 3가지의 하이드로젤 입자를 현미경으로

측정하였다. Fig. 1을 통해 (a) 하이드로젤 입자, (b) 분산제와 초음파를 통해 CNT를 분산시켜 만든 하이드로젤 입자. (c) DI water에 CNT를 분산시킨 하이 드로젤 입자의 크기와 분산 정도를 확인할 수 있었다. CNT의 분산 정도는 50 µm 이하의 균일한 크기의 알지네이트 입자에서 확인하였으며, 분산제와 초 음파로 만든 CNT에서 뭉친 현상 없이 가장 분산이 잘된 결과를 확인하였다.

전기전도도는 Alginate 용액, 분산제와 초음파를 통해 분산된 CNT 용액, water + CNT 용액, CaCl2 총 4가지 용액으로 측정하였으며, 전기방사 전 입자 가 없는 원액의 상태의 용액과 전기방사 후 입자가 생성된 용액 두 가지로 나누어 측정하였으며 결과는 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Figures before and after electrospinning for each solution

	Before electrospraying	After electrospraying	
Alginate	17.44 mS/cm	52.1 mS/cm	
Conditioning Agent + Ultrasonic wave CNT	18.16 mS/cm	47.2 mS/cm	
Water + CNT	17.58 mS/cm	49.2 mS/cm	
CaCl ₂	55.5 mS/cm		

전기방사 전 CNT가 포함되고 분산이 더 잘 되는 용액일수록 전기전도도가 높게 나온 것을 확인할 수 있다. 반대로 전기방사 후의 결과를 보면 아무것도 없는 Alginate 입자의 전기전도도가 가장 높게 나왔으며, CNT의 분산이 가장 잘 된 분산제와 초음파를 통해 분산된 CNT 용액의 입자가 전기전도도가 가 장 낮게 나온 것을 확인할 수 있다. CNT가 고르게 분산된 알지네이트 입자의 경우 전도도가 낮아진 이유에 대해서는 단일 입자의 전도도, 크기 차이, 형상 등에 대한 세부적인 분석을 통한 추가 실험을 통해 확인할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- (1) Rastogi, R., Kaushal, R., Tripathi, S. K., Sharma, A. L., Kaur, I., & Bharadwaj, L. M. (2008). Comparative study of carbon nanotube dispersion using surfactants. Journal of colloid and interface science, 328(2), 421-428.
- (2) Zhang, W. J., He, X. M., 2009, "Encapsulation of Living Cells in Small (similar to 100 mu m) Alginate Microcapsules by Electrostatic Spraying: A Parametric Study", Journal of Biomechanical Engineering-Transactions of the Asme, Vol. 131.



(a) Hydrogenic particles using only an Alginate solution

with dispersant

water and CNT Fig. 1 Measurement of hydrogel microscopy according to experimental conditions

154

평행사변형 채널 구조를 활용한 고 민감도 압력 센서 개발

차수진¹, 김규빈¹, 박민주¹, 심혜우¹, 오별님¹, 조영서², 조영학², 김현수^{1*}

Implementation of high sensitivity pressure sensor based on parallelogram channel structure

S. J. Cha¹, G. B. Kim¹, M. J. Park¹, H. W. Sim¹, B. Oh¹, Y. Cho², Y. Cho², H. S. Kim^{1*}

광운대학교 전자공학과¹, 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과²

Key Words : Parallelogram channel, Pressure sensor, MEMS fabrication

1. 서 론

본 논문에서는 마이크로 스케일의 평행사변형 채널 구조를 가지는 고 민감도 압력 센서를 반도체 기반의 MEMS 공정을 활용하여 구현하였다. 다양한 압력에 대한 평행사변형 채널 압력 센서의 저항 변화율을 측정하 고, 기존 직사각형 채널 압력 센서와 성능 비교를 통해 개발된 압력 센서 의 효용성을 증명하였다.

2. 평행사변형 채널 압력 센서 제작

본 논문에서 구현한 마이크로 스케일의 고 민감도 압력 센서는 liquid metal이 채워진 평행사변형 채널의 구조를 가지며 정확한 압력 인가를 위 한 압력 키로 구성되어 있다(Fig. 1a). 평행사변형 채널을 가진 압력 센서 는 직사각형 채널의 압력 센서와 달리 기하학적으로 왼쪽과 오른쪽의 모 서리 형태가 다르므로, 압력이 인가되었을 때 다른 저항 변화를 나타내게 되고, 이로 인해 압력인가 방향을 구별할 수 있다(Fig. 1b).



Fig. 1 (a) A 3D schematic showing the developed pressure sensor comprising a parallelogram channel structure.
(¬) Parallelogram Channel (└-) Pressure Key
(b) Deformation of the pressure sensor when pressure is applied from

the left and the right.

평행사변형 채널 압력 센서 공정 방법은 다음과 같다. GXR 601을 사 용하여 Photolithography를 진행하였다. 이후 KOH 용액을 이용하여 70°C로 300μm 이방성 Etching을 진행하였다 (etch rate: 0.66 μm/min)[1]. 이를 통해 음각의 삼각형 패턴과 사다리꼴 패턴을 제작하였 다. 사다리꼴 패턴을 양각으로 제작하기 위해 Hot embossing 공정을 수 행하였다. 최종적으로 음각의 삼각형 패턴을 가진 Wafer와 양각의 사다 리꼴 패턴을 가진 Master Mold를 구현하였다.



Fig. 2 The fabrication process of the developed pressure sensor

이후 PDMS 용액을 이용하여 Soft lithography 과정을 진행하였다. Wafer와 Master mold에서 떼어낸 삼각형과 사다리꼴 패턴 replica에 O2 plasma process 후, Align 공정을 진행하여 평행사변형 채널의 PD MS 디바이스를 완성하였다(Fig. 2).

액체 금속으로는 안정성이 높은 GaIn Alloy를 사용하였다. 액체 금속 을 평행사변형 채널에 주입하고 와이어를 연결하여 최종적으로 평행사변 형 채널을 가지는 압력 센서를 제작하였다(Fig. 3).



Fig. 3 Image as showing (a) The fabricated pressure sensor and (b) the cross-section of the parallelogram channel structure.

3. 실험 결과 및 고찰

Impedance Analyzer와 Push-pull gauge를 이용하여 평행사변형 채 널 높이 300/m와 너비 200/m를 가지는 압력 센서에 대해, 3가지 다른 압력(15N, 30N, 45N)을 인가하여 저항 변화율을 측정 및 분석하였다. 또한 평행사변형 채널을 기준으로 왼쪽과 오른쪽에 압력을 가한 경우, 즉 압력의 방향성에 따른 저항 변화율을 비교 분석하였다.

동일한 채널 높이와 너비를 가지는 직사각형 채널 구조의 압력 센서를 제작하여 위와 동일한 실험을 진행하여 채널 구조에 따른 센서의 저항 변 화율을 비교하였으며, 그 결과는 Fig. 4에 나타내었다.



Fig. 4 Analysis and comparison of the resistance change rate between the parallelogram and rectangluar channel pressure sensors under increasing pressure conditions (15, 30, 45 N)

직사각형 채널 압력 센서는 왼쪽과 오른쪽에 동일 압력을 가하였을 때 저항 변화율이 유사하게 나타났다. 반면 평행사변형 채널 압력 센서는 왼 쪽 방향 대비 오른쪽 방향에 압력을 가했을 때 저항 변화율이 더 높게 나 타나는 것을 확인하였다. 나아가 직사각형 채널 대비 평행사변형 채널의 저항 변화율이 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 직사각형 채널 압력 센서보 다 평행사변형 채널 압력 센서가 고 민감도를 가진다는 것을 확인하였다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 직사각형 대비 평행사변형 채널 압력 센서 의 효용성을 증명하였다.

참고문 헌

(1) Ji, H. Y, Lee, J. H, Park, J. W, Kim, J. W, Kim, H. S, Cho, Y. H, 2022, High-Aspect-Ratio Microfluidic Channel with Parallelogram Cross-Section for Monodisperse Droplet Generation, Biosensors 2022, 12, 118.

나노구조기반 항균 및 항바이러스 필름의 설계 및 제작

이재원¹, 이준호¹, 정명영^{1,2*}

Design and fabrication of nanostructure based antibacterial and antiviral films

J. W. Yi¹, J. H. Lee¹, M. Y. Jeong^{1,2*}

주식회사 이에스피앤메딕¹, 부산대학교 광메카트로닉스공학과²

Key Words : Nanostructure, Photocatalyst, Localized surface plasmon resonance(LSPR), Antibacterial, Antiviral

1. 서 론

최근 세계적인 감염병의 잇따른 유행에 의하여, 공중보건 및 감염예 방에 대한 관심과 수요가 높아졌다. 대표적으로 국내에서는 엘리베이 터 버튼, 손잡이 등에 항균필름을 부착하는 등의 변화가 있었다.

그러나 이러한 항균, 항바이러스성 필름은 주로 구리, 은으로 제작되 어 성능의 발현에 수 시간 이상이 걸리고, 바이러스에 대한 성능이 불 투명한 단점이 있어, 이러한 단점을 보완한 항균, 항바이러스성 필름을 설계하여 제작하고자 하였다.

본 연구에서는 균의 부착 및 번식이 어려운 나노구조와 플라즈모닉 광촉매 두 가지 요소의 결합을 통하여 보다 빠르고 높은 성능을 발현 하는 항균, 항바이러스성 필름을 제작하였고, 항균, 항바이러스 시험을 통하여 성능을 확인하였다.

2. 나노구조 설계

나노구조의 설계는 COMSOL 프로그램을 이용하여 나노입자를 평 면과 나노구조를 만들어 나노입자의 광 흡수율을 비교하여 진행하였 다. 나노구조와 광촉매를 함께 형성하면 표면 플라즈몬 공명 현상 (LSPR)을 통하여 광촉매의 광 흡수율이 향상되는 효과를 기대하여 나 노구조의 폭을 변화하며 시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과로, 나노입 자의 광 흡수율이 나노구조가 있는 경우에 나노구조가 없는 경우보다 약 2~5배 이상 향상되었다.



Fig. 1 Absorbance change of photocatalyst through simulation

3. 필름 제작 공정

COMSOL 프로그램을 이용하여 설계한 나노구조를 필름의 표면에 적용하여 실제 필름을 제작하였다. 공정은 나노임프린트 리소그래피 방식을 활용하여 제작되었다. 몰드상에 광촉매 스프레이코팅 이후 섭 씨 80도에서 40초간 건조하여 표면에 광촉매 입자를 형성하고, 해당 몰드를 활용하여 UV 나노임프린트 공정 진행을 통하여 필름 표면에 나노 구조와 광촉매가 결합된 형태를 형성하였다.

나노 구조의 크기는 성형 이후 약 220 nm의 피치를 가졌다.



Fig. 2 Antibacterial and antiviral film production process through nanoimprint process



광촉매 스프레이 코팅

Fig. 3 Manufacturing process of antibacterial and antiviral film through roll-to-roll imprint lithography

앞서 제작한 항균, 항바이러스성 필름을 대량으로 제작하기 위해서 는 롤투롤 임프린트 방식으로의 전환이 필요하다고 판단되어, 나노 구 조를 롤투롤 기기를 통하여 성형하고, 후에 광촉매 건조과정을 추가하 여 필름의 대량 제작을 진행하였다.

롤투롤 공정의 이동속도는 120cm/min 으로 진행하였고, 365 nm 파 장의 UV를 이용하였다.

5. 제작품의 항균성

해당 방식으로 제작된 필름을 JIS Z 2801 방식을 활용하여 대장균에 대한 항균성을 측정하였고, 초기에 316개이던 대장균 콜로니가 20분 경 과시에 콜로니가 하나도 남지 않아, 빠르고 우수한 항균성을 보였다.

	일반 필름	나노구조 필름	광촉매코팅 필름	나노구조 +광축매
Omin		3	16	
10mins	123(61.0%)	91(71.2%)	21(93.3%)	15(95.2%)
20mins	154(51.2%)	149(52.8%)	13(95.8%)	0(100%)
30mins	44(86.0%)	66(79.1%)	7(97.7%)	0(100%)
		0분 →	10분 ••••••••••••••••••••••••••••••••••••	

Fig. 4 Antibacterial test result

본 연구를 통하여 제작한 광촉매, 나노구조 기반 항균성 필름을 통 하여 추후 공공시설 및 기관 등에 활용하여 향상된 공중보건과 감염병 예방효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

참고 문 헌

- (1) Boldogkői, Z., Csabai, Z., Tombácz, D., Janovák, L., Balassa, L., Deák, Á., ... & Dékány, I. (2021). Visible Light-Generated Antiviral Effect on Plasmonic Ag-TiO2-Based Reactive Nanocomposite Thin Film. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 9, 709462.
- (2) Lv, S., Du, Y., Xie, B., Xu, Q., & Li, C. (2023). Multifield Coupling of Local Surface Plasmon Resonance-Assisted Au-TiO2 Photocatalysis Considering Bimodal Resonance and Superposition Effect. physica status solidi (b), 260(2), 2200312.

관성미세유체역학 기반의 미세플라스틱 제거용 수처리 시스템

강병주, 김대용, 임현태, 조상일, 김지윤, 이예은, 전형국*

A benchtop water purification system for microplastic removal using inertial microfluidics

B. Kang, D. Kim, H. Lim, S. Cho, J. Kim, Y. Lee, H. Jeon*

서울과학기술대학교 MSDE학과

Key Words : Inertial microfluidics, Microplastic, Particle separation

4. 실험 결과 및 고찰

20-30 μm 크기의 미세플라스틱이 포함된 음용수를 아용하여, 개발한 미세 플라스틱 제거 시스템의 성능을 검증하였다. Table 1은 시간에 따른 저장부와 출수부 샘플의 입자 농도 (10 μL 당 입자 개수, 헤모사이토미터로 측정)와 정 화율을 나타낸다 (처리속도: 100 mL/min). 미세플라스틱 입자가 제거된 정화 수가 연속적으로 출수부를 통해 배출되게 됨에 따라, 저장부의 입자 농도는 점차 증가하게 된다. 저장부의 오염수의 입자 농도가 증가함에도 불구하고, 출수부의 정회수의 입자 농도는 매우 낮게 유지되었으며, 정화율 또한 전체 작동 기간 중 95% 이상으로 높게 유지됨을 확인하였다 (평균 정화율: 97.5%).



(59 particles /10 µL)



(b) Purified water (2 particles /10 μL)

Fig. 3 Analysis of particle density using hemocytometer

Table 1 Analysis of purification performance

	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min
Input (#/10 μL)	59	101	114	126	185
Output (#/10 μL)	3	3	2	3	2
Purification Rate (%)	95.65	97.03	98.25	97.62	98.92

참 고 문 헌

- (1) X. Lim, Microplastics are everywhere but are they harmful?, *Nature* 593, 22 (2021).
- (2) H. Jeon et al., Fully-Automated and Field-Deployable Blood Leukocyte Separation Platform Using Multi-Dimensional Double Spiral (MDDS) Inertial Microfluidics, *Lab Chip* 20, 3612 (2020).
- (3) H. Jeon et al., Engineering a Deformation-Free Plastic Spiral Inertial Microfluidic System for CHO Cell Clarification in Biomanufacturing, *Lab Chip* 22, 272 (2022).
- (4) T. Kwon et al., Microfluidic Cell Retention Device for Perfusion of Mammalian Suspension Culture, *Sci. Rep.* 7, 1 (2017).

1. 서 론

플라스틱 사용의 폭발적 중가에 따라 미세플라스틱의 흡수로 인한 인체 위 해성 문제가 대두되고 있으며, 특히 플라스틱 병의 음용수 섭취는 미세플라스 틱 유입의 주된 경로 중 하나인 것으로 알려져, 음용수 내의 미세플라스틱 제 거를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다 (1). 본 연구에서는 관성미세유체역학 장치 기반의 미세플라스틱 제거용 수처리 시스템을 개발하였다. 개발한 미세 플라스틱 제거 시스템은 별도의 필터 사용 없이 미세 플라스틱을 연속적으로 분리/제거할 수 있어, 주기적인 필터 교체/관리가 요구되고 사용에 따라 성능 이 저하되는 종래의 필터 기반의 수처리 시스템의 문제점을 해결할 수 있다.

2. 기기 구동원리 및 방식

나선형 관성미세유체역학 장치 내에서 입자의 거동은 나선형 마이크로 채 널의 안쪽 벽면 (inner wall) 방향의 lift force와 바깥쪽 벽면 (outer wall) 방향의 Dean drag force의 영향을 받는다 [2]. 두 힘의 크기가 입자의 크기에 따라 변 화함을 이용하여 입자들을 크기에 따라 분리할 수 있으며 (2-4), 나선형 관 성미세유체역학 장치는 다음의 주요 특성을 가지고 있다: 1) 비표지 (labelfree), 2) 높은 처리량 (디바이스당 수 mL/min 수준), 3) 연속적 구동 (continuous operation).



Fig. 1 Particle removal using spiral inertial microfluidics (3, 4)

본 연구에서는 음용수 내의 미세플라스틱을 제거하기위해 나선형 관성미세 유체역학 장치를 개발/활용하였으며, 장치의 효과적인 작동을 위하여 다이어 프램 펌프, 3-way 볼 밸브, 유량조절기, 수위센서 등의 유체흐름 제어 장치들 을 도입하였으며, 아두이노 칩 기반의 마이크로컨트롤러를 이용하여 자동화 된 미세플라스틱 제거 시스템을 개발하였다. 개발한 자동화된 미세플라스틱 제거 시스템의 작동과정은 다음과 같다. 1) 작동버튼을 누르면 펌프의 작동이 시작되고, 저장부에 있던 오염수가 밸브를 지나 나선형 관성미세유체역학 장 치로 주입되어 미세플라스틱 입자 제거가 진행된다. 2) 미세플라스틱 입자가 제거된 정화수는 출수되고 입자를 포함한 오염수는 저장부로 되돌아가 다시 분리 과정을 거치게 된다 (closed-loop operation). 3) 사용자가 정지 버튼을 누 르거나, 센서가 저장부의 설정된 수위를 감지하면 작동이 정지되며, 밸브의 경로 변경을 통한 공기 유입으로 유체 경로 안의 잔여 입자들이 제거된다.



(a) Operation Diagram (b) A cross-sectional view Fig. 2 Configuration of the automated microplastic removal system

phase-shift grating interferometry를 이용한 스캐닝 빔 간섭 리소그래피 빔 정렬 시스템 개발

오종은, Zhou Qi, Suryani Ika Oktavia, 강신일*

Development of beam alignment system in scanning beam interference lithography

using phase-shift grating interferometry

J. E. Oh, Q. Zhou, I. O. Suryani, S. I. Kang*

연세대학교 기계공학과

Key Words: Scanning beam interference lithography, Beam alignment, Parallel scanning

1. Introduction

In order to manufacture semiconductors, optical devices, sensors, displays, etc. in which periodic nanostructure patterns are utilized, the need for large-area, high-resolution, and high-precision exposure technologies has been recognized⁽¹⁻²⁾. Among them, scanning beam interference lithography is a process of scanning after forming an interference pattern, and is specialized in manufacturing low-cost, large-area, high-resolution periodic nanostructures. However, if an alignment error occurs in which the scan direction and the direction of the interference pattern do not match, contrast deterioration occurs due to smearing⁽³⁾.

In this study, true parallel scanning was implemented by developing an alignment error measurement system using phaseshift grating interferometry and a piezo mirror control system.

References

- (1) Pati, G. S. et al. Generalized scanning beam interference lithography system for patterning gratings with variable period progressions. Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena. 20, 2617-2621 (2002).
- (2) Gu, Y. et al. Holographic waveguide display with large field of view and high light efficiency based on polarized volume holographic grating. IEEE Photonics Journal. 14, 1-7 (2021).
- (3) Chang, C. H. Multilevel interference lithography--fabricating sub-wavelength periodic nanostructures. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, (2008).

실리콘 이방성 식각을 이용한 적외선 반사방지구조 설계

석수연¹, 김영규¹, 이성민^{1,2}, 김석민^{1,2*}

Design of Infrared Antireflection Structure Using Silicon Anisotropic Etching

S. Y. Seok^{1,2}, Y. K. Kim^{1,2}, S. M. Lee^{1,2}, S. M. Kim^{1,2*}

중앙대학교 컴퓨터공학과', 중앙대학교 기계공학과²

Key Words: anti-reflection, Inverted pyramid, Total transmittance, Optimization

1. 서 론

장 7-14 μm에서 평균 투과율을 목적함수로 최적화 과정을 수행하였다.

적외선은 가시광선인 적색의 빛보다 파장이 긴 전자파로, 통상 0.75㎞에서 1000㎞의 파장 범위의 전자파를 적외선으로 분류한다. 적외선 광학 시스템은 군사, 산업 및 농업 생산, 의약 및 우주 기술에서 널리 사용되며 주로 원적외 선 (7 µm ~14µm) 대역을 감지하여 열화상 이미지를 구축하기 위해 사용된 다 [1]. 열화상 카메라의 렌즈 소재로 널리 사용되는 칼코게나이드 소재는 약 2.4 내외의 높은 굴절율을 가지며 이로 인해 약 20% 내외에 프레넬 반사가 발생한다 (단일 렌즈 양면 기준 40% 반사).

프레넬 반사를 최소화하기 위해 다충 박막 코팅이 일반적으로 사용되고 있으나, 코팅충의 박리에 따른 생산 수율 하락 및 내구성 저하의 문제를 갖는다. 이에 점진적인 굴절률 변화를 구현하는 기능성 초미세 구조를 이용한 반사 방지(anti-reflection; AR) 구조가 널리 연구되고 있다.

AR 기능성 초미세구조를 제작하기 위해 자연에서 볼 수 있는 디자인적 요 소들이나 생물체 특성에 영감을 얻어 많은 생체 모방 연구가 진행되고 있다. [2][3] 그러나 점진적인 형상 변화가 필요한 AR 기능성 초미세 구조의 특성 상 공정 단계가 복잡하거나, 생산성이 낮은 문제를 갖는다.

본 연구에서는 실리콘 웨이퍼의 단순한 이방성 습식 식각 공정을 통해 음 각의 피라미드 구조를 형성할 수 있는 KOH wet etching 공정을 이용하여 음 각의 피라미드 형상을 갖는 점진적인 형상 변화 구조 마스터의 최적 설계를 수행하였다.

2. Modeling 및 유리 성형

본 연구를 통한 광학 simulation에서 피라미드 구조의 최적의 투과율을 가 지는 패턴을 설계하고 그에 따른 실험을 진행하고자 하였다. 이를 위해 Synopsys사의 광학 simulation tool 중 하나인 Rsoft®를 사용해 사뮬레이션을 진행하였다.

최종 비구면 렌즈 소재로 사용할 SomoIR사의 적외선 칼코게나이드 렌즈용 소재 (Infrared Chalcogenide SOMO Glass; CG2)의 재료 굴절률을 대입하였고 해석을 통해 3-D 피라미드 사각뿔 구조의 모양과 치수를 최적화하고자 하였 다. 본 해석에 사용한 광원은 상부에서 피라미드 사각뿔 패턴 표면에 입사하 는 평면파로 가정하였다. 사각뿔의 설계 변수는 사각뿔의 주기 (Period; P) 와 사각뿔 사이의 간격 (Gap;G)으로 설정하였으며, 사각뿔의 변의 길이는 P-G로 결정되고, 사각뿔의 높이는 KOH wet etching 공정의 특성상 tan(54.74)*(P-G)/2 로 결정되었다. 설계변수 P는 1 µm에서 5 µm까지 1 µm의 간격으로 5개의 step을 주었고 G는 0.25 µm부터 1 µm까지 0.25 µm의 간격으로 4개의 step 값을 변화시켰다.

RCWA Simulation 해석 영역은 사각뿔 구조가 일정 주기를 반복하는 점을 고려하여 X 축과 Y축 방향으로 -P/2 ~ P/2에서 진행되었고, 또한 Z축 방향으로 다각뿔의 하부 하단 0.5 μm 위치부터 사각 뿔의 최대 높이 + 0.5 μm 위 치까지 설정되었다. Harmonics는 6으로 설정하였다. 그림 1은 해석에 사용된 Rsoft 모델 및 해석 영역을 보여준다.

해석과정에서 상기 언급한 대로 피라미드 구조의 설계 매개변수를 작동 파



Fig. 1 figure of inverted pyramid 3-D modeling

3. Simulation 결과 및 고찰

Simulation 결과 P가 1 µm 와 2 µm일 경우에 목표 파장으로 설정한 7-14 µm에서 평균적으로 가장 작은 투과율 차이를 보여주었다. 또한 G가 0.25 µ m 일 때 가장 높은 투과율 값을 보여주었으며, P가 2 µm일 때, 1 µm일 경우 보다 평균적으로 약 8% 높은 수치를 띄었다. P가 3 µm일 때 전체 7 µm ~9 µm 범위에서 수치의 변화가 크나, 10 µm에서 다른 P보다 가장 높은 투과율 이 측정되었다. 반면 P가 4 µm 와 5 µm일 경우, G가 작아질수록 점차 낮아 지는 투과율을 확인하였다.

최종적으로 P가 3 μm이며 G가 0.25 μm 일 경우 가장 높은 투과율을 가졌 으나 특정 범위를 제외하면 2 μm에서 가장 안정적으로 높은 투과율을 얻을 수 있었다. 따라서 패턴이 없는 칼코게나이드 소재의 투과율은 71%로 약 10% 상승되는 결과를 달성하였다.

추후 더 많은 step을 통해 최적값을 찾고 Simulation을 거쳐 얻은 결과를 바 탕으로 실리콘 웨이퍼에 Patterning하기 위한 수산화 칼륨 (KOH) etching 공정 을 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (No. 2021R1A2C2004458) 및 교육부의 재원으로 BK21 FOUR(Foresting Outstanding Universities for Research)의 지원 받아 수행된 연구임 (No.120SS7609062)

참 고 문 헌

- Byrnes, J.: Unexploded Ordnance Detection and Mitigation. Springer, Berlin (2009)
- (2) Bhushan, B. and Jung, Y. C. (2011). Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction. Prog. Mater Sci., 56-1
- (3) Ding, B., Wang, M. R., Wang, X. F., Yu, J. Y. and Sun, G. (2010). Electrospun nanomaterials for ultrasensitive sensors. Mater. Today, 13-16

159

편광 및 파장 의존 광섬유 시스템을 이용한 광 빗 플라즈모닉 위상 분광법

박영호, 김대희, 이인재, 박준형, 김승우, 김영진^{*}

Frequency-comb-referenced plasmonic phase spectroscopy based on polarization and wavelength-dependent optical fiber system

Y. H. Park, D. H. Kim, I. J. Lee, J. H. Park, S. W. Kim, Y. J. Kim*

하국과학기술원 기계공학부

Key Words : Plasmonics, Surface plasmon resonance, Frequency comb, Nano grating

1. 서 론

금속 표면에서 발생하는 표면 플라즈몬 공진 현상은 빛을 파장 이하의 나 노 구조체에 구속함으로써 외부 굴절률 변화에 매우 민감하게 반응하여 바이 오 센싱[1], 화학 성분 및 광학 필티[2] 등에 쓰인다. 논문에서는 광섬유 기반 의 공통경로 헤테로다인 플라즈모닉 위상 분광 시스템을 제안하며 플라즈모 닉 위상 분광의 안정도를 기존의 마하 젠더 간섭계 기반의 위상 분광시스템 보다 높이고자 한다. 그리고 편광 의존 나노 구조체인 금 나노 회절격자의 kHz급 나노 구조체의 변위 변화를 측정하려 한다.

2. 나노 구조체 위상 측정 실험

본 실험에서 제안된 위상 측정 시스템은 혜테로다인 간섭계이며, 안정화된 광빗으로부터 1530 mm와 1564 mm의 연속파 레이저를 추출하는 안정화 및 주 입 잠금 회로와 광섬유 소자로 구성된다. 이 구성에서 FPBS는 AOM 소자를 지나는 빛과 그렇지 않은 빛의 편광 방향을 수직으로 정렬하여 각각 금 회절 격자에 대해 TM, TE 편광이 만족하도록 한다. AOM을 통과한 빛은 40 MHz 의 주파수 변화를 겪는다. Fig. 1은 간섭계 개형을 보여주고 있으며, 각 편광의 빛은 편광 의존 나노 구조의 편광 별로 서로 다른 표면 플라즈몬 공명 특성 에 의해 서로 다른 위상 변화를 겪게 된다. 두 수직한 편광의 빛은 편광기를 통과하면서 간섭하며 편광 간 위상 차 정보를 담은 40 MHz 맥놀이 신호를 생성한다. 그리고 WDM을 아용하여 두 검출기에서 1530 nm와 1564 nm 파장 의 맥놀이 신호를 검출한다.



3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서 제시하는 광섬유 기반의 헤테로다인 간섭계의 측정 안정도를 기존 시스템과 비교하여 평가하기 위해 두 시스템에서의 결과를 시간에 대한 위상으로 비교하였다. 500초 동안 두 시스템의 위상을 측정한 결과가 Fig.2 로 나타나며, 붉은 색으로 표시된 것이 이 논문에서 제안하는 시스템의 위상이다. 기존 연구 결과의 위상 편차는 10 deg었던 것이 본 연구에서는 0.5 deg 수준으 로 작아졌다. 다만, 붉은색 데이터에서 위상의 drift 현상을 볼 수 있는데 이는



인젝션 락킹의 불안정도에 의한 것으로 분석 가능하다.

Fig. 3의 왼쪽은 금 나노 회절격자 구조체의 기판에 부착된 PZT의 구동을 가해 회절격자 변위의 동적 변화를 유도하는 개념도이다. PZT는 금 나노 회 절격자의 변위 방향으로 부착되어 스트레안을 발생시킨다. 오른쪽 그림은 TM과 TE 편광의 상대 위상 차 변화를 위상 측정기로 실시간 측정한 결과이다. 위상 측정기의 최대 샘플링 한계로 인해 발생하는 나이키스트 주파수가 500 Hz 이므로 얼라이어싱이 발생하지 않는 주파수 범위인 50~200 Hz의 동 적 거동을 측정했다. 기존 연구는 짧은 시간 평균의 환경 잡음에 취악한 특성에 따라 0.02 Hz의 낮은 주파수의 동적 변화만을 측정할 수 있었지만 본 시스템을 통해서 측정한 결과 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz의 높은 주파수에서의 변화에 서도 동적변화를 측정할 수 있었다. Fig.3의 오른쪽 사진이 그 결과를 보여준다. 시간 축에서 측정된 결과를 푸리에 변환하여 파워 스펙트럼 밀도를 분석한 결과 50 Hz와 200 Hz의 PZT 구동에서 40 dB의 신호 대 잡음 비(SNR)를 보였으며 100 Hz의 구동에서는 30 dB의 SNR을 보였다. 구동 주파수마다 측 정되는 위상의 진폭과 SNR이 달라지는 이유는 PZT의 주파수 의존성에 의한 것이다



Fig. 3 1D gold nano grating and PZT modulations

금 나노 회절격자를 아용한 동적 거동 측정에서 사용된 PZT의 최대 변형 률 값을 기반으로 계산한 최대 변위 변화량은 1.4 nm였으며 위상 변조 잔폭 인 1 deg를 이용해서 측정 민감도를 계산하였다. 이를 통해 측정 분해능을 계 산한 결과 0.064 초 시간 평균에서 최대 28.7 pm의 분해능을 갖는 것으로 계 산되었다. 즉, 본 실험을 통해서 1.4 nm의 변위 변화를 최대 28.7 pm의 분해능 으로 측정하였다.

이후 본 연구에서 제시한 광 빗 기반 고정밀 플라즈모닉 위상 분광 시스템 을 이용해서 단분자급 고속 가스 거동 및 유체 거동 등의 실험에도 응용할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- (1) Jose Garcia-Guirado, Raul A Rica, Jaime Ortega, Judith Medina, Vanesa Sanz, Emilio Ruiz-Reina, and Romain Quidant, 2018, Overcoming Diffusion-Limited Biosensing by Electrothermoplasmonics, ACS Photonics, 5(9), 3673-3679.
- (2) Ortuno, R., et al., 2009, Midinfrared filters based on extraordinary optical transmission through subwavelength structured gold films. Journal of Applied Physics, 106(12), 124313.

160

멀티 스케일에서 고속 고정밀 측정을 위한 광빗 기반 다파장 간섭계 개발

박준형, 김대희, 함지원, 이인재, 박영호, 김승우, 김영진*

Frequency-comb-referenced multi-wavelength interferometry for high-precision and high-speed

measurements in multi-scale

J. H. Park, D. H. Kim, J. W. Hahm, I. J. Lee, Y. H. Park, S. W. Kim, Y. J. Kim*

한국과학기술원(KAIST) 기계공학부

Key Words : Surface metrology, Frequency comb, Multi-wavelength interferometry, Exact fraction method, 3-D profile measurement

1. 서 론

초정밀 산업분야에서 높은 집적도와 효율을 위해 반도체 패키징의 중요성 이 높아지고 있다. 최근에는 회로를 수직 적층하여 구성하는 3차원 집적 기술 이 주목을 받음에 따라서, 산업에서는 인터커넥트(interconnect)의 높이를 고분 해능으로 측정하여 제품의 품질을 관리하려는 수요가 증가하고 있다 [1]. 이 러한 칩과 칩, 칩과 기판 사이를 연결하는 수백 μm 높이 범프의 단차 측정과 칩과 기판에 존재하는 μm 이하 높이 패턴을 측정하기 위해서는 고단차에서 높은 수준의 분해능을 가지는 3차원 형상 측정 시스템이 필요하다.

2. 광빗 기반 다파장 간섭계

본 연구에서는, 불연속적인 고단차 표면 시편의 3차원 형상 측정 및 복원을 위한 광빗 기반의 고정밀, 고속, 환경 둔감한 다파장 간섭계를 개발하였다.

1550 nm 중심 파장의 펨토초 펄스 레이저를 루비듐 원자 시계에 안정화시 켜 만들어진 높은 안정도의 광빗(Optical Frequency Comb)을 구성하고, 4개의 단색광 레이저 다이오드를 광빗의 이차조화파에 각각 위상 잠금하여 주파수 표준에 소급하는 광원 안정도를 확보하였다.

광원 사이의 파장 간격은 넓게 선택해 초기 주파수 체인 비율을 5~10배 수준으로 낮춰 외란에 대해 둔감한 다파장 간섭계를 설계하였다. 이를 통해, 본 연구에서 사용된 다파장 간섭계는 5 nm 분해능으로 위상 모호성 없이 측 정 가능한 최대 거리(non-ambiguity range, NAR)를 40 mm 수준으로 확장할 수 있었다.



Fig. 1 The configuration for frequency-comb-referenced multiwavelength interferometry

3. 형상 복원 알고리즘

본 연구에서는 위상오차들의 실효값이 등가 파장의 길이에 비례하는 경향 성을 이용해 참값을 찾는 속도를 최적화하고 합치법의 형상 복원 신뢰도를 높였다. 이는 기존의 반복적인 합치법 알고리즘보다 10⁶배 빠른 속도 및 20% 높은 신뢰도를 보인다. 더 나아가, 노이즈에 둔감한 임의 위상 추출 알고리즘 (arbitrary-bucket algorithm) [2], 500 μs의 빠른 파장 스위칭 및 픽셀 당 300 ns의 빠른 형상 복 원을 통해서 진동 외 다른 환경 변화와 같은 위상 오차 효과를 크게 제거하 였다.



Fig. 2 Result of 3-D profile measurement (left) gauge block (right) VLSI specimen

광빗 기반 다파장 간섭계를 통해 게이지 블록과 VLSI 시편을 위상 천이 방 식으로 측정하고 최적화된 합치법을 통하여 획득한 형상을 복원하였다. 500 μm 공칭 치수를 가지는 게이지 블록은 8.2 nm 불확도로 500.008 μm 측정되 었다. 4.427 μm 공칭 치수를 가지는 VLSI 시편은 65 nm 불확도로 4.411 μm 로 측정하였다.

측정 속도의 경우, 광 스위치와 카메라로 인하여 136.4 ms, 형상 복원에 각 각 38.9 ms, 77.8 ms가 소요되었다.

참 고 문 헌

- Hyun, S., Choi, M., Chun, B. J., Kim, S., Kim, S. W., & Kim, Y. J. 2013, Frequency-comb-referenced multi-wavelength profilometry for largely stepped surfaces. Optics Express, 21(8), 9780-9791.
- (2) Kong, I. B., Kim, S. W. 1995, Portable inspection of precision surfaces by phase-shifting interferometry with automatic suppression of phase-shift errors. Optical Engineering, 34(5), 1400-1404.

투명 자성 반도체의 자성 특성 정밀 제어를 위한 Co 박막층의 응집 제어

이승훈, 조인호, 김수연, 김정환*

Aggregation of Co thin film layer for precise control of magnetic properties in transparent magnetic semiconductor

S.-H. Lee, I. H. Jo, S. Kim, J. H. Kim*

한밭대학교 응용소재공학과

Key Words: Sputtering, Rapid thermal process(RTP), Aggregation

1. 서 론

투명 자성 반도체는 메모리, 디스플레이, 센서 및 바이오 등의 분 야에 적용 가능한 차세대 전자 소자를 구성하는 혁신적인 소재 중 하나이다. 이는 전자 스핀을 제어할 수 있는 자성 특성과 전하 이동 의 조절이 가능한 반도성을 결합함과 동시에 밴드 갭에 따라 변하는 광학적 특성을 고려한 소재이다. 이를 활용하여 소자 및 device 설계 의 최적화와 제작 공정의 개선을 통해 효율성을 향상시키고 안정성 과 신뢰성을 개선하는 연구가 진행되고 있다. 투명도 확보를 위해선 3 eV 이상의 넓은 밴드 갭을 갖는 산화물 반도체가 유리하며, 금속/ 산화물/금속의 접합에서 전자 스핀 방향에 따라 전하의 이동 속도를 증가시킴으로써 에너지 효율이 높여 초고속 비휘발성 메모리 및 logic 소자로 활용하여 소자의 저전력화 및 고기능화를 실현시킬 수 있다.

자성 반도체로 쓰이는 강자성 재료는 Fe, Ni, Co 등의 합성물 또는 희토류와의 합성 금속으로 이루어진 diluted magnetic semiconductor (DMS)가 있으나 도핑 균일성 한계와 낮은 상전이 온도, 작은 상온 강자성 특성의 문제점이 있다. 이에 본 논문에서는 자성 재료와 반 도체 재료의 합성물이 아닌 Co layer 위에 산화물 반도체 소재를 증 착 할 경우, 상호작용을 높이기 위해 표면적을 넓힐 수 있도록 열처 리를 통해 응집되는 Co의 거동을 연구하고자 한다.

2. 실험 방법

본 Co layer의 응집 제어 실험을 위해 사용된 박막 공정은 물리적 기상 증착 (PVD) 장비 중 하나인 sputter을 이용하였다. Co 박막은 SiO₂ 기판 위에 Co (99.95%) 타켓을 Ar 분위기에서 radiofrequency (RF) power를 이용하여 약 10, 15 그리고 20 nm 두께로 증착하였다. Sputtering 공정은 상온, 2 µTorr의 base pressure, 10 mTorr의 working pressure에서 진행되었다. 이 후, rapid thermal process (RTP)를 이용해 H₂/N₂의 혼합 가스 환원성 분위기에서 800~1000 ℃ 및 열처리 시간 에 따라 응집되는 변화를 확인하였다. SiO₂ 위에 응집된 구형의 Co 의 *크*기와 간격은 scanning electron microscope (SEM)과 energy dispersive spectrometer (EDS)으로 확인하였으며, 광학적 특성 평가를 위해 UV-visible spectrophotometer를 이용하였고, 자기적 특성은 상온 에서 vibrating sample magnetometer (VSM)을 통해 측정하였다. 또한, 전기적 특성은 hall measurement으로 확인하였다.



Fig. 1 Experimental schematic using RTP

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2는 RTP의 열처리 후, 각각 10, 15, 20 nm 샘플의 SEM 사 진이다. 열처리는 모두 900 °C, 300초 동안 공정 압력 100 Torr에 서 진행하였으며, 두께 증가에 따라 구형의 Co의 응접된 크기는 평균 반지름 180.5 nm에서 333.0 nm까지 증가하였다. 이는 sputtering 후 연속적인 균일한 박막에서 고온에 의해 random한 site에 nanocluster가 형성되고, 주변의 Co가 응집되면서 나타나는 형상이라고 확인된다. [1, 2]



Fig. 2 SEM image of (a) 10 nm, (b) 15 nm, and (c) 20 nm sample

참 고 문 헌

- Khojasteh, M., Kresin, V. V., 2017, Influence of Source Sarameters on The Growth of Metal Nanoparticles by Sputter-Gas-Sggregation, Appl Nanosci, 7:875-883.
- (2) Nguyen, T., Ho, H. L., Kotecki, D. E., Nguyen, T. D., 1996, Reaction Mechanism of Cobalt with Silicon Dioxide, J. Appl. Phys, 79, 1123.

고출력 및 대용량 배터리 적용 고성능 전극단자 양산성능 개선 연구

정우영^{1*}, 김효성¹, 정근호¹, 차선오², 이충원²

Improvement of mass production performance high-performance lead Ass'y for high-power and high-capacity battery

W. Y. Chung^{1*}, H. S. Kim¹, G. H. Jung¹, S. O. Cha², C. W. Lee²

한국자동차연구원¹, 풍산DAK²

Key Words : xEv, Secondary battery, Pouch cell battery, Lead Ass'y, Improvement of mass production performance

1. 서 론

전세계적으로 xEV 시장이 급격하게 성장함에 따라, 핵심부품 중 하나 인 이차전지 시장은 급성장하고 있다. 이차전지는 포장형태에 따라 파우 치형, 원통형, 각형으로 구분되며, 이 중 파우치형 배티러는 부피대비 고 효율이 가능하며, 각형이나 원통형 대비 다양한 타입으로 생산이 가능하 다는 장점이 있다. 고용량, 장수명 등 성능이 향상된 파우치형 배티리를 xEV에 적용하기 위해서는 파우치형 배터리의 필수부품인 Lead Ass'y에 대한 개선이 필요하며, 또한 늘어나는 수요량에 따른 공급량을 만족시키 기 위해 양산성능의 향상이 필요하다.

본 연구는 고출력 및 대용량 배터리 적용을 위한 Lead Ass'y 부품에 대한 양산성능 및 개선을 진행하였다.



Fig. 1 Lead Ass'y

2. 양산 성능 개선 및 평가

이차전지의 에너지 용량 증가 및 고출력이 요구됨에 따라, Lead Ass'y 또한 고출력 및 고용량을 위한 전도성 증가와 내구수명 증대를 위해 두께 를 향상시켰으며, 이를 양산 라인에 적용하여 안정적인 제품을 생산하고 자 하였다. 이 때, Lead Metal은 양극의 경우 알루미늄이 적용되며, 음극 의 경우 니켈 또는 구리에 니켈을 도금한 것을 사용한다. 이를 고려하여 양산 설비를 도입하였다.



Fig. 2 Improved Production Facilities

도입된 양산 설비를 이용하여 생산된 Lead Ass'y에 대해 내전해액성 시험, 내화학성 시험, 굽힘성 시험, 도금두께 편차 시험, 표면저항 시험, 접합강도 시험, 무게변화율 시험등을 진행하여 Lead Ass'y에 대한 양산 성능 평가를 진행하였다.

3. 결 론

생산된 Lead Ass'y의 성능향상을 확인할 수 있었으며, 이를 통해서 양 산 성능이 개선되었다고 볼 수 있다. 따라서, 본 연구를 통해서 경시변화 억제력이 우사한 고용량 이차전지용 Lead Ass'y 양산화를 기대할 수 있 으며, Lead Ass'y 소재의 고성능화를 만족, 이를 통한 xEV용 고용량 이 차전지의 고안정성 확보 및 확대 적용을 기대할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국 산업 기술진흥원 양산성능평가 지원 사업의 '(P00 21665) 친환경 스마트 미래자동차 수요-공급기업간 상생협력을 통한 양 산성능 기술 자립화'과제로 수행된 연구결과입니다.

3D CAD 모델링에서 소재 세팅 확인을 위한 측정 점 자동 추출 기능 개발

이승환^{*}, 조현용, 박대유

Development of automatic extraction of measurement points to confirm material setting in 3D CAD modeling

S. H. Lee*, H. Y. Cho, D. Y. Park

화천기공(쮸)

Key Words : Measurement point extraction, Workpiece modeling, OpenCV, Vision algorithm, CAM API

1. 서 론

생산성 향상을 위해서 금형 사용 수명 연장에 대한 요구가 높아지고 있다. 이를 위한 열처리 작업 필요성이 증가하고 있으나, 시작 소재부터 열처리할 경우, 가공 비용 및 시간 증가로 인한 문제점이 발생하여 중간 가공을 마무리 한 후, 열처리를 진행하고, 가공을 다시 진행하는 형태의 작업이 요구된다. 이 러한 작업에 필수적으로 동반되는 소재 탈착 및 재 세팅 작업에 대한 상황이 발생하게 되는데, 이와 같이, 공작물을 가공하다가 탈착한 경우에는 공작물을 다시 고정시키거나 부착, 조립 등을 할 때 오차가 발생할 수 있기 때문에, 가 공 공정을 재개하기 전에 공작물을 재 측정을 하여야 한다. 기존에는 작업자 가 직접 측정 장치를 조직하여 측정 공정을 수행해야 하므로, 작업 인력이 필 수적으로 요구되고 작업 시간이 증가할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 공작물을 대상으로 OpenCV(Open Source Computer Vision Library) 기능을 활용해 수행되는 측정 공정을 자동화 할 수 있는 공작물의 측정 점을 추출하는 시스템에 대해 기술한다.

2. 모델링 캡처와 2D 측정 점 검출

모델링을 캡처하기 이전에 측정 점을 검출할 면들의 색상을 변환 시켜 주어야 한다. 특정 색상을 인식하여 윤곽선을 검출하는 OpenCV 함수를 사용하기 위함이다. 측정 점을 검출할 면들은 모델의 상하좌 우 평면들과 모델의 상면 중 가장 넓이가 큰 면이다. 상하좌우 평면 들은 CAM API를 통해 3D CAD 모델링의 속성 정보를 이용하여 평면 인 면들 중에 수직이고 외곽 측정 점을 가지고 있는 면들로 인식하 여 색상을 변환한다.

측정 점을 추출할 면들의 색상 변경이 완료 되었다면 모델의 TOP, FRONT, LEFT, RIGHT, BACK의 뷰로 캡처를 진행한다. 캡처가 완료되 면 OpenCV API의 함수를 사용하여 특정 색상을 인식해 해당 면의 윤 곽선을 추출한다. 윤곽선 추출이 완료되면 윤곽선의 측정 점들이 배 열로 저장이 된다. 배열로 저장된 포인트와 비교해서 임의의 측정 점 이 해당 면에 들어오는지 판단한다. 이러한 과정을 거치면 상황에 맞 게 원하는 측정 점을 자동으로 검출할 수 있다.

3. 3D 측정점 변환

검출한 측정 점은 각 면에 맞게 2D 좌표와 px단위로 검출되기 때 문에변환 과정이 필요하다. px단위를 mm 단위로 변환하기 위해서 변환 상수를 구해야 한다. 변환 상수는 3D CAD 모델의 크기를 구 하고, 이미지에서 색상이 변한 면이 아닌 촬영된 모델의 크기를 px단위로 인식한다. 또한, 원점에 따라 상하좌우 이미지에 대한 실 제 기계 좌표가 다르게 출력되어야 한다. 원점은 변수 처리가 되 어있어 해당 원점에 대해 변수를 바꾸어 주면 해당되는 좌표계가 출력되게 된다.

4. 구현 결과 및 고찰

구현된 프로그램을 실행시키면 Fig. 1과 같이 측정 점이 검출되는 것을 볼 수 있다. 본 연구의 대한 전체 프로세스는 Fig. 2와 같다. 이렇 게 측정 점이 검출되면 측정점을 이용한 측정 프로그램을 구동하여 소재의 직진도, 직각도, 홀 직경 등을 확인할 수 있다. 이를 통해 가 공 공정에서 작업자의 개입이 필요 없는 공작물 측정 자동화 기술을 구현하였다. 개발된 기술을 보완하여 가공 완료 후 품질 확인을 위한 측정 점 추출 기능으로 전개할 계획이다.



Fig. 1 Result of Point Extraction.



후 기

본 연구는 산업기술혁신사업 과제(20012807) 연구비 지원으로 진행 되었습니다. 이에 감사 드립니다.

참고 문 헌

(1) "OpenCV-Open Computer Vision Library", http://opencv.org

햅틱 디바이스를 활용한 디지털 트윈에서의 로봇 동작 경로 생성

손성곤¹, 배승우¹, 전상현¹, 전현섭², 정영훈¹

Generating robot motion path in digital twin using haptic device

 S. G. Son¹, S. W. Bae¹, S. H. Jeon¹, H. S. Jeon², Y. H. Jeong¹

 경북대학교 기계공학부¹, 경북대학교 일반대학원 기계공학과²

Key Words : Digital twin, Unity, Haptic device, Collaborative robot, ROS

1. 서 론

디지털 트윈이란 현실 세계의 기계나 장비 등을 컴퓨터 속 가상세계에 구현한 것으로 제조, 에너지, 물류 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 본 논문에서는 디지털 트윈 기술을 활용하여 공작물을 가공할 때 발생하는 칩을 제거한다. 산업용 진공청소기가 부착된 6축 로봇의 이동 경로를 생 성한 뒤, 경로 데이터를 전송한다. 이후 시뮬레이션을 통해 안정성을 평가 하고 실제 로봇이 작업을 시행하도록 했다.

2. 개발 내용

본 연구에 활용되는 모델은 협동 로봇(M0609, Doosan Robotics)이 며 개발의 전체적인 흐름은 다음과 같다.

실제 작업환경과 동일한 모델을 Unity 상에서 구현하여 로봇의 이동 경로를 3D Systems사의 햅틱 디바이스로 작성한다. Unity 내에서 작성 한 경로 데이터를 변환한 뒤, ROS Bridge를 통해 전송한다. 이후 시뮬레 이션을 통해 충돌 및 작동 이상 여부를 확인하고, 실제 로봇을 작동하도록 한다.

3. 개발 결과

Fig. 2는 실제 작업환경과 동일한 모델을 가상공간인 Unity에 구현한 모습이다. 구현된 가상 작업환경은 마우스를 통해서 조작할 수 있다. Fig. 3을 보면 햅틱 디바이스를 이용해서 Unity 내에 경로를 생성하였다. 생성 된 경로는 가시화되어 Unity상에서 볼 수 있으며, 해당 경로는 Gcode로 변환되며 시뮬레이션을 통한 검증 후에 실제 로봇이 움직이게 되는 경로 가 된다. Fig. 4에서는 로봇을 시뮬레이션하여 충돌 혹은 작업반경 초과 여부와 같은 이상을 확인한다. 로봇을 실제로 작동시켜 가공시 발생한 칩 의 청소 공정을 진행하였다. 로봇이 작동하기 전, 그리고 로봇이 작동한 후의 결과물로부터 로봇이 지나간 경로를 따라 칩이 성공적으로 제거된 것을 확인하였다.



Fig. 1 Basic conceptual diagram of system



Fig. 2 Work environment



Fig. 3 Path generation using haptic-based digital twin



Fig. 4 Collision simulation using digital twin environment

후 기

이 성과는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술 평가관리원, 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20015060, P0020616)

참고문 헌

- Huitaek Yun, Martin B.G. (2022), Immersive and interactive cyber-physical system (I²CPS) and virtual reality interface for human involved robotic manufacturing, Journal of Manufacturing Systems, 234~248.
- (2) Jin Won Lee, Jae Hyung Kim, Hamza Khan, Saad Jamshed Abbasi, Min Cheol Lee (2022), Unity-Based Haptic Device Implementation of a Virtual Robot Manipulator Operation System, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 740-748.
- (3) Young-Joon Lee, bong-su Hwang, ha-yeon Son, Seung-yeon Han, kyong-jin Jo, Eun-han Kim (2022), Development of Rhythm Game using Unity Engine.Proceedings of KIIT Conference, 530-533.

동시 5축 윤곽제어에서 평엔드밀의 공구자세를 고려한 윤곽오차 모델

박재현, 강정모, 김다영, 안은별, 김지현, 장동건, 지성철*

New contour error model considering tool orientation of flat end mill in cross-coupling controller of five-axis machine tools

J. H. Park, J. M. Kang, D. Y. Kim, E. B. An, J. H. Kim, D. G. Jang, S. C. Jee*

단국대학교 기계공학과

Key Words : Five-axis machine tool, Cross-coupling controller, Flat end mill, Tool orientation, Contouring accuracy

1. 서 론

CNC(Computerized Numerical Control) 공작기계에서 일반적으로 사용되는 독립축 제어방식은 위치추적 성능 향상에 주안점을 두므로 윤곽 추종 성능 향상을 보장하지 않는다. 가공정밀도는 위치추적 성능보다 윤 곽추종 성능에 더욱 영향을 받으므로 CNC의 윤곽추종 성능 향상을 위하 여 윤곽오차를 직접적으로 제어하는 방식인 윤곽제어기에 대한 연구들이 진행되어 오고 있다. 5축 CNC 공작기계는 직선 이송축과 회전축의 움직 임이 유기적으로 연동되어 있으므로, 과도한 회전축의 움직임은 가공정밀 도가 저하되는 직접적인 요인이 될 수 있다.

본 논문에서는 동시 5축 윤곽제어 시 평엔드밀의 공구자세를 고려한 새 로운 윤곽오차 모델을 제시한다. 제시된 모델은 평엔드밀의 형상을 고려 하여 5축 CNC 공작기계에서 발생하는 윤곽오차를 직선 이송축의 움직임 에 반영하여 제어함으로써, 회전축의 추가적인 움직임을 방지하고 5축 CNC 공작기계의 연동제어 방식을 간소하였다.

2. 제시된 새로운 윤곽오차 모델

기존의 동시 5축 윤곽제어기(1)는 공작물좌표계 상에서 공구위치에 가 장 가까운 3개의 보간점을 기반으로 윤곽오차 모델과 공구방향오차를 각 각 계산하고, 역기구식과 자코비안 행렬 연산 등을 통하여 기계좌표계에 서 보상하는 방법이다. 이러한 방법은 공구방향오차를 회전축 움직임에 추가 반영하는 방식으로 공구자세를 직접적으로 제어하고 모델이 복잡하 며, 평엔드밀의 형상을 반영하지 못한다.

제시된 5축 윤곽오차 모델은 평엔드밀을 대상으로 Fig. 1에 도시된 것 과 같이 공구중심점(tool center point)을 포함하고, 기준 공구방향 벡터 (tool orientation)가 법선벡터인 평면을 활용한다. 공구위치와 보간경로 상의 최근접 지점(nearest point)을 앞서 정의된 평면상에 정사영 시킴으 로써 투영점(projected point)의 위치를 계산한다. 투영점과 최근접 지점 간의 거리를 윤곽오차로 정의하며, 이는 평엔드밀의 공구형상과 기준 공 구방향 벡터오차가 모두 반영된 윤곽오차를 의미한다.



Fig. 1 New contour error model considering tool orientation of flat end mill in cross-coupling controller



Fig. 3 Comparison of contour errors between the existing contour error model and the proposed contour error model

3. 결과 및 고찰

Fig. 2에 정의된 5축 공구경로를 대상으로 기존의 윤곽오차 모델과 제 시된 윤곽오차 모델을 연동제어기에 각각 반영하여, 제시된 윤곽오차 모 델을 평가하였다. Fig. 3은 5축 무부하 테스트지그를 활용하여 제시된 윤 곽오차 모델을 기반으로 윤곽오차를 계산한 결과이다. 제시된 윤곽오차 모델 적용 시 최대 윤곽오차가 91.6 /៣에서 75.2 /៣로 약 18% 감소하 였으며, 이를 통하여 제시된 윤곽오차 모델이 기준 공구방향 벡터오차를 잘 반영하고 있음을 확인하였다. 따라서 제시된 윤곽오차 모델은 복잡한 5축 CNC 공작기계의 윤곽오차 모델의 간소화를 위한 방법으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

후기

본 연구는 산업통상자원부 지원의 "스마트 제조장비용 CNC 제어시스 템 기술 개발(과제번호 20012834)" 과제와 "2023년 산업혁신인재성장 지원사업(과제번호 P0012744)"에 의하여 수행되었음

참고문 헌

 Byun, J. H., Jee, S. C., 2010, 5-Axis Cross-Coupling Control System Based on a Novel Real-Time Tool Orientation Error Model, Journal of the Korean Society for Precision Engineering Vol. 27, No. 8, pp. 48-53

트랙 모션 캐리지 이송 블록의 가이드 롤러 베어링 수명 예측

정효진*, 박현섭, 박태성, 김동원, 원영석, 한희도

Guide roller bearing life prediction of track motion carriage transfer block

H. J. Jung*, H. S. Park, T. S. Park, D. W. Kim, Y. S. Won, H. D. Han

㈜에스비씨리니어

Key Words : Track motion carriage system, Guide roller bearing, Rating life

1. 서 론

자동차 생산 및 자동화 조립 라인에 설치되는 트랙 모션 캐리지 시스템 은 중량물 적재 능력, 고속 주행 안전성, 정밀성, 복합적인 부하 하중의 수용 능력이 필요하며 운전조건은 적재중량 최대 4,000kgf, 이송속도 최 대 1.7m/s로 운용되고 있다. 가혹한 조건에서 사용되는 캐리지 시스템은 정밀성, 안정성 확보를 위하여 이송 구동계 핵심 부품인 가이드 롤러 베어 링의 수명 평가 및 이송블록 Layout 설계의 최적화가 필요하다.

캐리지 시스템의 구조 및 적재물이 단순한 경우, 이론적으로 수식화한 계산 방밥으로 베어링에 작용하는 부하 하중을 산출하여 베어링의 이론 수명을 계산할 수 있다. 그러나 최근 생산 라인의 품질확보 및 생산성 향 상을 위해서 다수의 멀티 로봇 캐리지 시스템으로 변화되는 추세이며, 이 러한 캐리지 시스템은 구조가 복잡하여, 베어링에 작용하는 부하 하중을 산출하기가 쉽지 않다.

본 연구에서는 정적인 상태에서 캐리지 시스템의 이송 블록에 발생하는 반력을 해석하여 베어링 수명 예측과 이송 블록 Layout 설계를 최적화 하고자 한다.



Fig. 1 Track motion carriage system



Fig. 2 Robot carriage system and guide bearing 3D CAD Model

2. 비선형 접촉해석 및 베어링 수명 예측

본 연구에서 해석은 상용 소프트웨어인 ANSYS Motion를 이용하였 다. 해석 시간을 단축하기 위해 캐리지 시스템의 Main frame, Robot table, Robot, lift module, drive module은 강체(Rigid body)로 Flat Rail, Guide bearing, Block, Slide plate는 유연체 (Flexible body) 해 석 모델을 적용하여 상대 거동이 가능하도록 Joint 기능으로 각 Body를 서로 연결 후, 비선형 접촉 해석을 수행하였다. 캐리지 시스템의 구조물은 Earth Gravity, 로봇 Payload에 따른 하증 및 경계조건, Reaction force Fig. 3과 같이 나타내고, 각 이송 블록에 발생하는 Z축의 반력을 적용하여, 각 이송 블록의 베어링 수명을 예측하여 Table 1과 같이 나타낸다.



(c) Reaction force

Fig 3 Load and boundary condition for dynamic analysis

Table 1 Rating life of guide rolling bearing, Ls

Block No.	Pw [N]	Ls [km]
1	9,503	154,709
2	23,830	7,220
3	15,604	29,619
4	3,418	4,676,765
5	3,554	4,103,434
6	17,680	19,532
7	35,623	1,890
8	19,037	15,263
9	619	1,387,857,545
10	3,285	5,337,029
11	345	9,781,747,887

3. 해석 결과

본 논문에서는 Table 1과 같이 캐리지 시스템의 이송 블록별 Z축의 반 력을 적용하여 각 이송 블록별 베어링의 수명 검토를 수행하였다. 베어링 수명 예측은 이송 블록의 Layout에 따라 큰 차이가 발생하였다. 본 연구 의 베어링 수명 예측 결과는 캐리지 시스템의 부하 하중이 고르게 분산될 수 있도록 이송 블록 Layout 최적화를 위해 설계 시 활용할 것이다.

참고문헌

- (1) Essential Concepts of Bearing Technology
- (2) ISO 281:2007 Rolling bearings Dynamic load ratings and rating life

Roller Type LM가이드의 강성 예측

정효진*, 박현섭, 박태성, 김동원, 원영석, 한희도

Rigidity prediction of roller type LM guides

H. J. Jung*, H. S. Park, T. S. Park, D. W. Kim, Y. S. Won, H. D. Han

㈜에스비씨리니어

Key Words : LM guide, Roller, Rigidity

1. 서 론

Roller Tpye LM가이드는 고정밀, 고강성을 요구하는 CNC공작기계, 검사장치, 반도체 제조장비 등 각종 정밀기계에 필수로 들어가는 핵심부 품이다. Roller Type LM가이드는 정밀기계의 전체 강성에 큰 영향을 미 친다. 설비에서 필요로 하는 강성에 따라 LM가이드에 예압이 부여되며, 최적 예압 설계를 통해 정밀도 및 제품 수명을 높일 수 있다. FEM해석을 통해 LM가이드의 강성을 예측하고. 강성 실험으로 검증하며, 최적 예압 설계를 하고자 한다.

2. 주요 개발 내용

2.1. FEM 해석

Roller Type LM 가이드의 강성 예측을 위해 LM가이드 블록의 궤도 부에 경예압 K2(0.08C), 중예압 K3(0.13C)의 하중을 부여하여, 궤도부 의 변형을 예측하고 블록의 변형을 FEM해석 하였다. 해석 시간을 줄이 기 위해 Half-Modeling으로 해석을 진행하였다.



Fig. 1 Analysis Model



Fig. 2 Total Deformation

Table 1 Result						
SBR45	K0	K2	K3			
SDR45	[0.0C]	[0.08C]	[0.13C]			
상부 궤도	45°	44.974°	44.907°			
하부 궤도	45°	45.038°	45.061°			
합각	90°	90.012°	89.968°			





3. 결론

LM가이드의 K2, K3 예압을 부여하여 FEM 해석을 진행하였고, 예압 에 따른 궤도면 각도 변화 및 블록 변형량을 확인 후 설계에 반영하였다. 해석결과를 토대로 생산된 제품으로 강성 시험을 진행하여 강성 예측 결 과를 검증하였다. 강성 시험 결과 경예압 K2(0.08C)의 블록의 변형은 최 대 25, m, 중예압(0.13C)의 블록의 경우 최대 17, m의 변형됨을 확인하였 다. 예상했던대로 중예압에서 더 높은 강성값을 보였으며, 위 시험 결과를 토대로 강성을 예측하여 궤도부 최적설계를 진행할 것이다.

후 기

본 논문은 산업통상자원부의 "수요-공급 협력 기반 제조장비 전주기 신 뢰성 향상 기술 개발(20014857)-국산정밀가공장비 신뢰성 입증을 위한 장비 신뢰성평가 기술개발(20014727)"를 통해 수행함

참고문 헌

(1) Essential Concepts of Bearing Technology

(2) ISO 14728-1 Rolling bearings - Linear motion rolling bearings

미네랄 혼입에 따른 PPS 복합수지의 기계적 특성 변화

박정연¹, 윤언경¹, 윤선진², 윤길상^{1*}

Changes of mechanical properties of PPS composite incorporation with minerals

J. Y. Park¹, E. K. Yoon¹, S. J. Yoon², G. S. Yoon^{1*} 한국생산기술연구원 금형성형연구부문¹, (주)디팜스테크²

Key Words : PPS(Polyphenylene sulfide), Glass fiber, Mineral, Mechanical strength, Von mises stress of molded products

1. 서 론

폴리페닐렌설파이드(Polyphenylene sulfide)는 열적 안정성과 기계적 강도, 고유의 난연성과 내화학성, 전기적 특성이 우수한 반결정성(semicrystalline) 슈퍼엔지니어링 열가소성 고분자로서 가동 시 고열이 동바되 는 자동차, 항공, 전자전기 분야에 많이 활용되고 있다. 는 방향으로 전개 되어지고 있다. PPS 수지는 단독으로 사용하기 보다는 기계적 강도 확보 를 위해 유리섬유를 컴파운딩하거나, 난연성 및 치수 안정성을 확보하기 위해 규조토 등의 미네랄을 첨가하기도 한다. 본 연구에서는 유리섬유가 공통으로 혼합된 PPS 복합수지에 대하여 미네랄 함유 여부에 따른 기계 적 특성 변화를 확인하고, 사출성형품에 형성된 응력을 예측하고자 한다.

2. PPS 복합수지 제조공정

PPS 복합수지에 사용된 기본수지는 Toray사의 A900(밀도: 1.34 g/ c㎡, spiral flow: 20 cm @ melt temperature 320 ℃, injection pressure 980 bar)를 이용하였다. 유리섬유는 Owen Corning에서 제 조한 910-10P(직경 10 µm, 길이 4 mm)를, 미네랄 필러는 규조토를 사용하였다. 압출기에 PPS 기본수지 60wt%, 유리섬유 40wt%를 압출 기에 넣고 혼합하여 PPS-GF40 펠렛을 제조하고, PPS 기본수지 35%, 유리섬유 40wt%, 규조토 25%를 압출기에 넣고 혼합하여 PPS-GF/M 65 펠렛을 제조하였다.

3. 기계적 특성 결과 및 고찰

위에서 제조한 2종류의 PPS 복합수지 펠렛을 이용하여 KS M ISO 527-2의 1A형 인장시편을 사출성형한 뒤 미세만능재료시험기 (Z010TE, Zwick, Germany)를 이용하여 인장강도, 영율 및 길이/두 께방향 포아송비를 측정하였다. 또한 인장시편과 런너 부산물을 각각 직경 6 mm, 길이 10 mm로 절단하여 열팽창계수 측정용 시편으로 가공 한 뒤, 열기계분석기(TMA 402 F1, Netzsch, Germany)를 이용하여 수지유동방향(CTE a 1) 및 수직방향의 열팽창계수(CTE a 2)를 측 정하였다.



Fig. 1 Specimen for thermal expansion coefficient measurement

PPS GF 복합수지에 미네랄을 첨가함으로써 영율은 2.42% 증가한 반면, 인장강도는 5.03%, 연신율은 33.33% 감소함을 확인하였다. 한 편, 미네랄 첨가에 따라 포아송비 차(v2-v1) 76.27%, 열팽창계수의 크기 및 차이(al-a2)는 40.84% 감소하는 것으로 나타났다. 향후 선 행연구결과 도출한 점도특성값과 함께 사출성형해석용 물성데이터 (*.udb)를 제작하여 사출성형해석을 수행하고, 성형품에 분포되는 잔 류응력에 영향을 미치는 주요 소재특성이 기계적 특성인지 규명할 예 정이다.



Fig. 2 S-S curve (left) and Poisson's ratio derivation range(right)

Table 1 Comparison of mechanical properties of PPS composites

properties	Young;s Modulus (Yield), MPa	Tensile strength, ⊮Pa	elongation, %
PPS-GF40	11,165.85	135.08	1.56
PPS-GF/M65	11,435.93	128.29	1.04
properties	Poisson's ratio v 1, v 2	CTE al	CTE a 2
PPS-GF40	0.358/0.417	1.715e-5	3.816e-5
PPS-GF/M65	0.344/0.358	1.288e-5	2.531e-5`

후 기

This study has been conducted with the support of the Minstry of Trade, Industry and Energy as "Development of Injection Mold Technology of High Efficient Thermal Management Module Parts for Echo Friendly Automobiles (20013675)".

참고문헌

- Kwang-Yeol, H., et al., 2016, A Study on Properties of the Glass Reinforced PPS Composites for Automotive Headlight Source Module, Composite research, 29(5), 293-289.
- (2) Jeong-Yeon, P. et al., 2023, Comparison of Shrinkage Characteristics of PPS Composites by Measurement Range of Coefficient of Thermal Expansion, DESIGN & MANUFACTURING Spring Conference, 47.

PET 압전 나노섬유를 이용한 에너지 하베스팅

윤혜진¹, 이용석¹, 이동현¹, 양성백², 권동준^{1,2*}

Energy harvesting using PET piezoelectric nanofibers Hye Jin Yoon¹, Yong Seok Lee¹, Donghyeon Lee¹, Seong Baek Yang², Dong-Jun Kwon^{1,2*} 경상국립대학교 나노·신소재공학부 고분자공학전공¹, 경상국립대학교 그린에너지융합연구소²

Key Words : Piezoelectric, PET nanofibers, Electrospinning, Energy harvesting

1. 서 론

현재 지구 온난회와 환경 파괴로 인해 재생 가능한 에너지원의 수요가 증가 함에 따라 주변환경에서 낭비되는 에너지를 활용하는 에너지 하베스팅에 대한 연구는 큰 관심을 받고 있다. 기계적 에너지가 전기적 에너지로 변하는 능력인 압전 효과는 에너지 하베스팅 분야에서 많이 연구되어 왔다. 압전에너지 하베 스팅 가능 발현을 위한 섬유소재 제조는 압전 소재를 sol-gel법, 열처리법, 증착 법, 코팅법 등으로 도입하는 방법으로 제조되나 본 연구에서는 고분자 소재를 이용한 전기방사법을 이용하여 압전 나노섬유를 제조할 것이다. 고분자 소재는 세라믹 소재만큼 우수한 특성을 나타내지는 않지만 독성이 없고 유연하다는 장 점을 가지고 있다. 따라서 친환경, 생체적합성, 유연성 등을 필요로 하는 분야 등 다양한 분야에 활용 가능하다. 본 연구에서는 여러 압전 고분자 소재 중에서 도 재활용 빈도가 높은 PET(poly(ethylene terephthalate))소재를 이용한 압전 나노섬유를 만들어 에너지 하베스팅을 수행하고자 한다.

본 연구의 최종 목표는 친환경적이고, 향상된 압전 특성을 가진 고분자 압전 나노섬유를 제작하는 것이다. 목표를 달성을 위해 전기방사법을 통해 압전 특 성을 가진 PET 나노섬유를 제작하고, 전기방사를 위한 용액 제조 시 사용되는 TFA(Trifluoroacetic acid)와 같은 강산의 사용 비율을 줄이는 방향으로 진행하고 자 하였다.

2. PET 용액 제조 및 전기방사

전기방사를 위해 Fig. 1과 같이 전기방사 장치를 설치하였고, PET를 TFA와 DCM(Dichloromethane) 용매에 녹여 PET 용액을 제조하였다. 이때 TFA: DCM= 10:0, TFA: DCM=8:2, TFA: DCM= 6:4, TFA: DCM=:5:5, TFA: DCM= 4:6, TFA: DCM=3:7, TFA: DCM=2: 8와 TFA의 비율을 줄여 나가는 방향으로 실험 조건을 설정하여 20wt%의 PET 용액을 제조하였다. 각기 다른 비율로 제조된 용액을 25℃의 온도에서 Voltage 14.7Kv, Current 0.001mA의 실험 조건 을 가지고 전기방사를 진행하였다.



High Voltage Power Supply Fig. 1 Schematic diagram of electrospinning apparatus

3. Nanofiber Membrane Device



Fig. 2 PET Nanofiber Membrane Device

전기방사된 PET 나노섬유의 압전 특성의 확인을 위해 Nanofiber Membrane Device를 제조하였다. (1,2) Fig 2와 같이 위에서부터 아래 순서 대로 PI encapsulation layer, copper tape, Al top electrode, nanofiber membrane, bottom Al electrode, bottom copper tape, PI substrate의 순서대로 device를 제작하였다. 이후 Device에 Woofer를 통해 기계적인 응력을 가해 주고 Copper tape에 오실리스 코프를 연결하여 출력되는 Voltage 값을 통해 압전 특성을 확인하였다.

4. 결과 및 고찰

본 연구는 PET 재활용 및 제조 공정에서 발생하는 강산 용매 비율을 낮춘 압전 나노섬유를 제작하여 친경적인 생산이 이뤄지도록 하였다. 고분자 소재 를 이용한 압전 나노섬유는 인체 주위의 환경과 인체 활동의 상호작용으로부 터 발생하는 친환경 에너지(잔동, 열, 빛 등)를 수확 및 변환하는 웨어러블한 섬유소재로 활용 가능하다. 압전 소자의 우수한 유전 및 압전 특성은 무선 또 는 자체구동 전자장치 및 센서를 위한 기계적 에너지 수확 및 저장 요소로서 의 응용 가능성이 예상된다. 그러나 에너지 하베스팅 기술은 여전히 도전과제 를 안고 있다. 효율성 향상, 장치의 안정성 및 신뢰성 개선, 설계의 최적화 등 의 문제에 대한 연구와 개선이 필요하다. 더불어, 산업회와 상용화를 위한 기 술적, 경제적인 측면에서의 도전도 극복되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원 [신진연구지원사업 (RS-2023-0021194461382116530001), 3단계 산학연협력 선 도대학 육성사업(LINC 3.0, 1345356213 (LINC3.0-2022-11))]을 통해 진행한 연 구결과입니다. 이에 감사의 인사를 올립니다.

참고 문 헌

- Mousa, Hamouda M., et al. "A hybrid triboelectric and piezoelectric nanogenerator with α-Al2O3 NPs/Doku and PVDF/SWCNTs nanofibers." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 656 (2023): 130403.
- (2) Yang, Jiang, et al. "Piezoelectric enhancement of an electrospun AlNdoped P (VDF-TrFE) nanofiber membrane." *Materials Chemistry Frontiers* 5.15 (2021): 5679-5688.

미래 모빌리티 경량화를 위한 이종소재 접합기술

장유영¹, 양성백², 권동준^{1,2,3*}

Dissimilar material bonding technology for lightweight future mobility

Y. Y. Jang¹, S. B. Yang², D. J. Kwon^{1,2,3*}

경상국립대학교 나노·신소재공학부 고분자공학전공¹, 경상국립대학교 그린에너지융합연구소², 경상국립대학교 나노신소재융학공학과³

Key Words : Dissimilar bonding, Dissimilar joints, Lightweight, Future mobility

1. 서 론

IPCC 기후보고서에 따르면 산업혁명 이후 지구 표면온도가 계속적으로 증 기함에 따라 자연재해, 식량난, 해수면 상승 등의 부정적인 효과가 증기할 것 으로 예상했다.

이에 따라 EU는 온실가스 배출을 막기위해 온실가스 배출 규제를 시행했 다. 이러한 규제에도 운송수단을 이용하기 위해서는 차량부문에서의 온실가 스 배출을 줄이기 위해 전기차로의 전환, 차량공유, 에너지 효율 증가 등 연 료나 차량 자체의 이용을 줄이는 방안이 필요하다. 그럼에도 차량은 쓰이기 때문에 궁극적으로 차량에서 소비되는 에너지를 감소시킬 필요가 있다. 차량 자체의 무게가 줄어듦에 따라 연비가 증가하기 때문에 차량에서 소비되는 에 너지를 근본적으로 감소시킬 수 있다.

따라서 본 논문에서는 미래 모빌리티 경량화를 위한 소재에 집중하여 조사 하였고 이종소재의 접합방법과 조인트 품질 향상을 위한 방법, 접합 조인트의 강도를 조사하였고 앞으로의 방향성을 제시하였다.

2. 본 론

차량 자체에서 소비되는 에너지를 줄이기 위해서는 차량 소재의 경랑화가 필요하며 탑승자의 안전을 보호 하기위해서는 가벼울 뿐만 아니라 견고하기 도 해야 한다.

따라서 본 논문에서는 기계적 접합, 열 융합 접합, 회학적 접합, 나아가 접합 부의 접합 강도를 향상시키기 위한 방법을 조사하였고 접합 소재의 테스트 방법과 최근의 이종 소재 접합에 대한 연구를 기반으로 한 접합 조인트의 접 합 강도에 대하여 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

접합 조인트의 접합 강도를 강화, 품질을 향상시키기 위해서 접합 소재에 적당한 손상을 가하거나 아노다이징 처리를 하여 접착효과에 추가적으로 접 착제와 소재 간의 기계적 체결 또는 화학적 상호작용을 만들어 접합력을 향 상시키거나, 기계적 또는 열 융합 접합에서 접착제를 같이 사용하여 접합 시 생긴 미세 균열을 도포하거나, IMC로 인한 응력 집중을 완화, 접합부 자체를 도포하여 부식 열화부터 보호하는 등의 연구가 이루어지고 있음을 확인했다.

이를 바탕으로 여러 논문에서 연구된 조인트의 접합부의 테스트 결과를 취 합한 결과 다음과 같은 그래프를 얻을 수 있었다.



Fig. 1 The tensile strength of the bond between dissimilar materials joined by chemical bonding



Fig. 2 The bonding loads between dissimilar materials using mechanical bonding



Fig. 3 The tensile strength of the bonding properties between dissimilar materials joined by thermal fusion bonding

CFRP를 아용한 접합의 경우 회학적, 기계적 접합에서 많이 연구되고 있으 며 용접 접합의 경우 접합이 시도되고 있으나 같은 용접 접합의 방법에 비해 서는 강도가 미비한 편이다. AL소재를 아용한 접합이 가장 많이 연구되고 있 으며 어떤 AI합금을 사용하였는가에 따라 접합 강도의 차이가 많이 나고 있 다. 다만 이번 결과에서 아쉬운 점은 기계적 접합의 경우 접합부의 면적을 정 확히 알 수 없어 강도가 아닌 하중으로 표현되었다는 점이다. 접합부의 형상 에 따라 하중은 얼마든지 달라질 수 있으며 이러한 경우 객관적인 강도의 파 악이 안된다는 단점이 있다. 따라서 앞으로의 미래 모빌리티의 발전을 위하여 면적이 불분명한 접합 방법에 대한 강도를 특징하는 테스트 방법을 고안해야 할 필요가 있음을 제시한다.

참 고 문 헌

- (1) SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6)
- (2) Kim, Minjoo, "A Study on the European Commission's Proposal on Post-2020 CO2 Emission Targets for Cars and Vans", KOREA LEGISLATION RESEARCH INSTITUTE, 2018
- (3) M. Muratori, P. Jadun, B. Bush, D. Bielen, L. Vimmerstedt, J. Gonder, C. Gearhart, D. Arent, Future integrated mobility-energy systems: A modeling perspective, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 119, 2020, 109541, ISSN 1364-0321

미세역학시험법에 의한 재활용 가능 Elium 수지/섬유 계면 특성 평가

이재인¹, 이동현¹, 이용석¹, 양성백², 권동준^{1,2*}

Evaluation of interfacial properties between recyclable Elium resin and various fibers using micromechanical testing methods

Jaein Lee¹, Dong Hyeon Lee¹, Yong Seok Lee¹, Seong Baek Yang², Dong-Jun Kwon^{1,2*}

경상국립대학교 나노신소재공학부 고분자공학전공¹, 경상국립대학교 그린에너지융합연구소²

Key Words: Elium, Micromechanical testing, Interfacial property

1. 서 론

최근 건설, 해상 등 다양한 산업에서 탄소섬유 또는 유리섬유를 활용한 복 합재료 사용이 증가하고 있다. 그 이유는 높은 강도 대 무게 비율, 우수한 강 성 등 장점 때문이다. 하지만 복합재료는 수명이 어느 정도 정해져 있기 때문 에 폐기를 해야 할 상황이 생긴다. 일반적으로 복합재료는 매립과 소각을 통 해 폐기하게 되는데, 이 과정에서 발생되는 오염물질은 엄격한 환경규제 때문 에 문제가 된다. 따라서 복합재료의 재활용이 더욱 중요해지고 있는 상황이다. 그래서 재활용이 가능한 복합재료를 만들기 위해 Elium 수지가 개발되었다. Arkema 사의 연구팀은 해양분이에서 열가소성 Elium 수지를 실제로 재활용 에 성공한 연구결과를 발표한 바 있다 (1). Fig. 1 구조식은 peroxide 개시제로 인해 Elium이 중합되는 과정이다 (2).

본 논문에서는 재활용이 가능한 성질을 갖는 Elium 수지를 아용하여 복합 재료를 제조할 때 다양한 섬유와 Elium 매트릭스 간의 계면 특성을 확인하고, 미세역학시험법을 통해 평가하였다.



Fig. 1 Free radical polymerization of Elium with peroxide initiator

2. 실험

먼저 강화섬유로 사용되는 탄소섬유, 유리섬유, 아라미드섬유 등 여러 가지 섬유의 특성을 단섬유 인장 실험을 통해 분석하였다. 그리고 이 다 양한 섬유들과 Elium 수지 간의 계면 평가를 실시하였다. 계면 평가는 미세역학시험법 중에 microdroplet pull-out test 방법을 이용해 진행하 였다. (Fig. 2)



Fig. 2 Schematic sketch of the microdroplet pull-out test specimen(3)

3. 결과 및 고찰

미세역학시험법을 통해 여러 가지 섬유들과 Elium 수지와의 계면전단

강도 및 층간전단강도를 계산했을 때 섬유들 간의 특성 차이로 인해 각 섬유와 Elium 수지와의 계면 친화도가 다르게 나타났다. 단섬유 인장 실험의 결과 섬유 마다 특성이 다르다는 것을 알 수 있었는데 이를 통해 섬유마다 Elium과의 계면 특성이 다를 수 있을 것이라는 예상을 할 수 있었다.

복합재료에서 계면 특성은 접합 강도나 내구성을 결정하기 때문에 중요 하다. 따라서 Elium 수지와 다양한 섬유 간의 계면 특성을 평가해 본 것은 재활용이 가능한 복합재료를 만드는데 중요한 시도라고 볼 수 있다.

4. 결 론

복합재료를 만들 때 유리섬유와 탄소섬유가 강화섬유로 주로 사용되지만 초고분자량 폴리에틸렌이나 초고분자량 폴리프로필렌, polyester 등 의 섬유들도 강화 섬유로 활용되기 시작했다(4). 미세역학시험법을 활용 해 여러 섬유들과 Elium의 계면을 평가한 이 논문의 방식을 통해 기존 의 섬유들과 새로 등장하는 섬유들 중에 어떤 섬유가 강화 섬유로 사용되었을 때 가장 Elium과 계면 특성이 뛰어난지 밝힌다면 재활용이 가능하고 우수한 접합 강도와 내구성까지 갖춘 최적의 복합재료를 만들 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술정보통신부 및 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원 (신진연구지원사업 (RS-2023-0021194461382116530001), 3단계 산학연협력 선 도대학 육성사업(LINC 3.0, 1345356213 (LINC3.0-2022-11))을 통해 진행한 연 구결과입니다. 이에 감사의 인사를 올립니다.

참고 문 헌

- (1) Haithem Bel Haj Frej, Romain L'eger, Didier Perrin, Patrick lenny, Pierre G'erard, Jean-François Devaux, 2021, Recovery and reuse of carbon fibre and acrylic resin from thermoplastic composites used in marine application, Resource, Conservation & Recycling, 173, 105705
- (2) M.E. Kazemi, Logesh Shanmugam, Dong Lub, Xiaogang Wang, Bowei Wang, Jinglei Yang, 2019, Mechanical properties and failure modes of hybrid fiber reinforced polymer composites with a novel liquid thermoplastic resin, Elium. Composites Part A. 125, 105523.
- (3) Zuo-Jia Wang, Dong-Jun Kwon, Ga-Young Gu, Hak-Soo Kim, Dae-Sik Kim, Choon-Soo Lee, K. Lawrence DeVries, Joung-Man Park, 2013, Mechanical and interfacial evaluation of CNT/polypropylene composites and monitoring of damage using electrical resistance measurements, Composites Science and Technology, 81. 69-75
- (4) Somen K. Bhudolia, Goram Gohel, Durga Vasudevan, Kah Fai Leong, Pierre Gerard, 2023, Delamination behaviour and surface morphology of wholly thermoplastic composites using different ultra-high molecular weight thermoplastic fabrics with pristine and toughened Elium resin under Mode I loading. Composites Part A, 164, 107273

전기차 경량화를 위한 이종소재 Variable Frequency Microwave(VFM) 공정 기술개발

박인경^{1*}, 백지원², 정진호¹, 김준영¹, 남재도¹

VFM bonding of dissimilar materials for electric vehicle weight reduction

I. -K. Park^{1*}, J. W. Baek², J. H. Jung¹, J. Y. Kim¹, J.- D. Nam¹

성균관대학교¹, (주)원케미컬²

Key Words : Dissimilar material, Bonding, Variable frequency microwave, Curing, Thermoset polymer

1. 서 론

전기차의 배터리 무게로 인한 차체 무게 증가로, 차량 경량화에 대한 소재와 공정 연구가 활발히 진행중이다. 차체경량화를 위한 알루미늄과 CFRP를 저온에서 접합 시키기 위해서는 접착제의 특성도 중요하지만, 기존의 경화 공정과 는 차별화된 경화 방식이 필요하다. 기존 공정보다 저온에서 단시간에 이종소재를 접합할 수 있는 Variable-Frequency Microwave (VFM) 경화 공정 기술을 개발하고자 한다.

2. 이종소재용접착제를 이용한 VFM접합

Microwave 가열기술은 에너지의 즉각적인 침투와 흡수로 기존의 컨 벡션오븐을 이용한 가열공정의 열전도보다 에너지 전달이 빨라 가열이 효 율이 높으며 분자의 움직임까지 더해져 소재를 낮은 온도에서 단시간에 경화가 가능하게 한다.[1-3]

VFM 경화방식은 기존 열경화에 비해 낮은 온도에서도 높은 경화도를 기대할수 있으므로 고신뢰성이 요구되는 자동차용 이종소재접합에 응용 함으로써 기술 경쟁력을 확보할 수 있다. 또한 서로 다른 이종소재 접합의 경우 경화온도와 시간에 따른 warpage발생 차이로 인해, 접합후의 장기 신뢰성에도 문제가 된다.

본 연구에서는 기존 convectionoven 과 VFM경화 방식을 통해 이종 소재 접합용 접착제의 경화반응을 비교 관찰하였다.



Fig. 1 Principle of VFM curing that enables low temperature & fast cure

3. 실험 결과 및 고찰

동일한 이종소재용 접착제를 이용하여, 알루미늄과 CFRP를 경화방식 을 변경하여 접합하였다. 경화 방식에 따른 접착제의 경화도와 경화후의 접합면 파단을 관찰하였다.



Fig. 2 Al/CFRP bonding with dissimilar material adhesive

본 연구에서 제안하는 VFM 경화공정은 경화방식의 차이로 컨벡션오 븐의 열경화보다 경화시간이 단축되고 단위시간당 경화 처리 속도를 향상 시킴을 관찰할 수 있었다. 접합이 까다로운 이종소재를 대상으로 VFM 경화공정 도입시에 기존 컨벡션오븐 대비 낮은 온도에서 경화가 가능하였 다. 또한 접합공정 중 발생하는 thermal stress와 warpage 개선도 가능 함을 확인하였다.

참고문 헌

- (1) Kenji Tanaka, Sue Ann Bidstrup Allen, and Paul A. Kohl, 2007, Variable Frequency Microwave Curing of Amide-Epoxy Based Polymers, IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS AND PACKAGING TECHNOLOGIES, VOL. 30, NO. 3.
- (2) Piyachat Wattanachai and Christian Antonio, 2002, Comparison of Conventional and Variable Frequency Microwave Curing of SU8 Photoresist: Effects on the Dielectric, Thermal, and Morphological Properties, ENGINEERING JOURNAL Volume 20 Issue 5, 169-186.
- (3) RAVINDRA V. TANIKELLA, SUE A. BIDSTRUP ALLEN, PAUL A. KOHL, 2006, Variable-Frequency Microwave Curing of Benzocyclobutene, International Journal of the Korean Society of Precision Engineering. 1:1 127-132.

전기차 경량화를 위한 이종소재 접합소재 개발

백지원^{1*}, 박인경²

Development of adhesives for dissimilar materials of electric vehicles weight reduction

J. W. Baek^{1*}, I. K. Park²

(주)원케미컬¹, 성균관대학교 산학협력단²

Key Words : Car weight reduction, Dissimilar materials, Electric vehicles

1. 서 론

전기차 경량화를 위한 금속과 고분자 소재 접합을 위하여, 이종소재용 접착제 개발 및 적용이 활발히 진행되고 있다. 대표적인 경량 소재로 사용 되는 알루미늄과 CFRP의 접합 시, CFRP의 비금속적인 특성으로 용접 이 불가능하므로 기존에 사용되던 SPR • 클린칭 기술외에 접착제를 이용 한 접합 방법이 사용된다. 자동차 소재의 접합을 위하여 접착력은 높으면 서도, 연성과 고강성을 갖는 접착제 특성이 요구 되어진다. 이러한 특성을 반영하여 고온 안정성이 높은 에폭시 수지를

기본으로 한 접착제를 개발하였고, 접착제의 조성 및 경화 조건에 따른 물성과 피착재 파단면 변화를 관찰하였다.

2. 접착제의 유연특성 부여

본 연구에서는 고강도 및 고연성 특성을 갖는 접착제 개발을 위해, 에 글리시딜 말단 올리고머를 첨가하여 수지 자체에 유연특성을 부여하였다. 이러한 특성 부여로 에폭시 수지의 경화 후 기계적 물성 개선을 위해 다 관능성 실리콘 화합물 합성 관능기가 포함되어 상온 가사 시간이 길면서 도 유연한 특성을 유지할 수 있게 되었다.



Fig. 1 Structure of Glycidyl-terminated flexible oligomer

3. 실험 결과 및 고찰

기존 에폭시 수지는 높은 가교밀도로 인하여 박리나 충격에 매우 취약 한 특성을 나타낸다. 에폭시 접착제의 접합강도는 레진, 경화제, 첨가제 등 성분에 영향을 받으며, 접합부 설계를 통해 접합강도를 증가시킬 수 있다. 에폭시 수지에 아크릴/ 우레탄 관능기를 도입하여 인성을 높일 수 있게 개질하고 첨가량과 분자량 조합을 통하 Tg와 가교밀도의 감소 없이 접합강도를 상승시키는 연구를 진행 하였다



Fig. 2 Adhesive modulus measurement by DMA



Fig. 3 Fracture surface of Al and CFRP adhesive bonding

Fig. 3는 개발된 접착제를 이용하여, 알루미늄과 CFRP를 접합하였다. 각각 상온/40℃/60℃에서 경화 조건에 따른 피착재의 파단면을 관찰하 였다. 이상적인 파단 현상은 피착재 사이에서 발생하는 계면 파단 형태이 다. 경화 공정 온도가 증가할수록 계면 파단 현상이 뚜렷하게 관찰되었고 접합강도 역시 증가함을 알수 있었다.

참고문 헌

- S.H. Chowdhury,D.L. Chen,2013,Lap shear strength and fatigue behavior of friction stir spot welded dissimilar magnesium to aluminum joints with adhesives, 562 (2013) 53-60
- (2) J.B. Jordon, J.B. Gibson, M.F. Horstemeyer, H.EI. Kadiri, J.C. Baird, A.A. Luo, Small Fatigue Crack Growth Observations in an Extruded Magnesium Alloy, Mater. Sci. Eng. A 528 (22-23) (2011) 6860-6871

카메라모듈용 이중경화접착제의 경화 수축률 관찰

백지원^{1*}, 고용호², 이태익², 강동길³

Observation of curing shrinkage rate of dual curing adhesive for camera module

J. W. Baek^{1*}, Y. H. Ko², T. I. Lee², D. K. Kang³

(주)원케미컬¹, 한국생산기술연구원², 성균관대학교 산학협력단³

Key Words : Camera module, Dual cure adhesives, Cure shrinkage rate

1. 서 론

자동차 전장용 센싱 카메라는 카메라 모듈 렌즈 접합 전후의 해상도 변 화 방지를 위하여, dual cure adhesives를 이용한 접합기술이 활발히 사 용되고 있다. 듀얼규커 접합소재는 UV와 열경화를 병용하는 경화 방식으 로 주로 카메라 모듈의 접합에 사용된다. 이미지 센서와 렌즈의 해상도를 조절하고 1차적으로 UV경화를 통해 렌즈와 이미지 센서를 임시고정 및 중심조정 해준 뒤, UV가 조사되지 않는 부위를 2차적으로 열을 이용해 완전 경화시켜 카메라 모듈의 높은 해상도와 고 신뢰성을 확보하여 준다. 본 연구에서는 UV와 열 경화 단계별 접착제의 수축률을 관찰하여, 경 화 단계별 수축률의 원인을 파악하고 접착제의 조성변화와 공정변화를 통 하여 경화조건 최적화를 수행하였다.

2. 접착제의 조성별 경화 거동 분석

카메라 모듈용 dual cure 접착제의 조성에 따른 경화거동을 DSC를 이 용하여 관찰하였다. 카메라 모듈 열 경화 조건인 80℃에서 50분 이내 90% 이상의 경화도를 목표로 접착제를 설계하였다.



Fig. 1 Curign behavior measurement by DSC

3. 실험 결과 및 고찰

이렇게 개발된 접착제를 이용하여 TMA와 현미경을 이용하여 경화 단 계별 수축률을 관찰하였다.



Fig. 2 Adhesive shrinkage measurement by TMA



\backslash	Test 1		Test 2		Test 3				
	Before (µm)	After (µm)	Change (%)	Before (µm)	After (µm)	Change (%)	Before (µm)	After (µm)	Change (%)
40min	6065.9	6057.1	▼0.1	6062.9	6075.8	▲0.2	6049.1	6056.2	▲0.1
50min	6048.5	6039.9	▼0.1	6063.6	6055.9	▼0.1	6038.3	6032.3	▼0.1
60min	6108.9	6091.6	₹0.3	6116.8	6104.7	▼0.2	6097.3	6093.7	▼0.1
70min	6091.6	6091.5	0.0	6129.1	6100.8	▼0.5	6036.5	6043.8	▲0.1
80min	5851.4	5859	▲0.1	5878.3	5870.5	▼0.1	5843.8	5845	0.0
90min	6065.7	6083	▲0.3	6091.4	6095.5	▲0.1	6067	6049.8	▼0.3

Fig. 3 Cure shrinkage measurement using a microscope

Fig. 3은 디지털 현미경을 이용하여, 접착제의 수축률을 측정하고 그 변화량을 나타내었다. UV경화 후, 열 경화조건에서 경화 시간이 증가할 수록 수축률 역시 증가함을 관찰할수 있었다.

참고 문 헌

- (1) Lolei[®] Khoun, Pascal Hubert.,2010,Cure Shrinkage Characterization of an Epoxy Resin System by Two in Situ Measurement Methods 31:1603–1610.
- (2) Carl Fredrik Carlborg, Alexander Vastesson 2014, Functional off-stoichiometry Thiol-ene-epoxy Thermosets Featuring Temporally Controlled Curing Stages via an UV/UV Dual Cure Process, 52, 2604–2615.

PA66/Aluminum 분말 복합소재의 열전도율 특성에 관한 연구

전유재*, 김호권, 성승호

A study on the thermal conductivity characteristics of PA66/Aluminum powder composite materials

Y. J. Jeon*, H. K. Kim, S. H. Seong

여주대학교 의료재활과학과

Key Words: Composite materials, Thermal conductivity characteristics, FEM, Numerical analysis, PA66, Aluminum powder

1. 서 론

복합재료를 통한 새로운 시스템 개발에 있어 물리적 특성을 이해하고, 확인 하는 것은 매우 중요하다. 복합재료의 많은 응용분야에서 열 및 기계적 특성 등은 분석이 필요하다. 또한, 서로 다른 물리적 특성을 갖는 두 가지 이상의 재료를 결합하여 높은 등급의 균질성을 가진 향상된 재료를 얻을 수 있는 가 능성은 경제 및 환경을 고려하여 전 세계적으로 따라야 하는 실제 추세와 일 치한다[1]. 다양한 복합소재에 대한 연구는 오늘날 그 응용분야를 지속적인으 로 발전시켰으며, 두 물질을 혼합함으로써 금속과 고분자의 중간에 있는 특성 을 갖는 복합 구조물을 얻을 수 있는 장점이 있다. 따라서, 복합소재를 개발 하기 위해서는 여러가지 특성을 고려해야 한다. 2종재료를 혼합한 복합소재 개발에 있어 기계적 강도나 열적 특성에 대한 결과를 정량화 시키고, 예측하 는 방법도 필요하다[2]. 본 연구에서는 재활용 소재를 활용하여 물리적 특성 및 가공성 등을 확보할 수 있는 친환경 복합재료를 개발하기 위해 PA66와 Aluminum Powder(AP)를 선정하여 유한요소해석(Finite Element Method, FEM) 및 수치해석을 수행하고, 열도율 특성에 따라 비교 분석하였다.

2. 실험방법

PA66기반 AP의 FEM을 하기위해 Representative Volume Element (RVE)는 Fig. 1과 같이 모델링하였다. 박스안의 입자는 AP 이며, 그 외 공간은 PA66으 로 채워져 있다. AP 배열은 BCC구조를 모시하였으며, RVE 크기는 8 세 X 8 세 X 8 세로 설정하였다. AP 크기를 변화시켜 AP volume fraction (VF) 5~68%까지 모델링 하였다. 68%의 AP 부피분율은 RVE에 들어갈 수 있는 이론적 최대 부피분율이다. 수치해석 모델은 Cheng and Vachon [3], Lewis and Nielsen [4], Maxwell [5], Russell [6]을 선정하여 수행하였다.



Fig. 1 Mesh modeling with AP volume fraction (VF)

3. 실험 결과 및 고찰

FEM 및 수치해석 결과, AP의 부피분율이 높아짐에 따라 열전도율이 지속 적으로 상승하는 것을 확인하였다. AP 부피분율 30%까지는 FEM 및 수치해 석 결과값의 차이가 크지 않다는 것을 확인하였지만, 이론 최고치 68% AP 부 피분율에서는 차이가 크게 나타나는 것으로 나타났다. 특히, Cheng and Vachon 모델과 Maxwell모델에서의 해석 결과값의 폭이 가장 크게 나타났다. Maxwell모델의 수치해석 결과는 AP 부피분율 50% 까지는 FEM 결과와 가 장 유사한 곡선을 나타냈다. 하지만, 이론 최고 부피분율에서는 Lewis and Nielsen모델 해석 결과값과 차이가 가장 작은 것으로 나타났다.



Fig. 2 Machined surface texture according to cutting condition 4. 결론 및 향후 과제

본 연구에서 수행된 이론적 검증 PA66과 AP가 완전 결합을 이룬 가정하 에 산출된 열전도율 예측 값으로,FEM과 수치해석 결과값을 통해 상대적으로 낮은 30% 이하의 AP 부피분율에서는 연전도율을 예측하는데 신뢰할 수 있 다고 판단되지만,30% 보다 높은 AP 부피분율에서는 해석 결과 값에 따라 신 뢰하기 어렵다고 판단된다. 향후 최적의 복합소재를 개발하기 위해서는 실험 적 검증을 통해 AP 부피분율에 따른 보정인자 개발 및 신뢰할 수 있는 해석 기법을 정립할 필요성이 있다.

후 기

This work has supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2022R1G1A1012340).

참고문 헌

- Afilipoaei, C., & Teodorescu-Draghicescu, H. (2020, December). A review over electromagnetic shielding effectiveness of composite materials. In Proceedings (Vol. 63, No. 1, p. 23).
- (2) Jeon, Y. J., Yun, J. H., & Kang, M. S. (2022). Analysis of Elastic Properties of Al/PET Isotropic Composite Materials Using Finite Element Method. Materials, 15(22), 8007.
- (3) Cheng, S. C., & Vachon, R. I. (1969). The prediction of the thermal conductivity of two and three phase solid heterogeneous mixtures. International Journal of Heat and Mass Transfer, 12(3), 249-264.
- (4) Lewis, T. B., & Nielsen, L. E. (1970). Dynamic mechanical properties of particulate-filled composites. Journal of applied polymer science, 14(6), 1449-1471.
- (5) Maxwell, J. C. (1954). Electricity and magnetism (Vol. 2). New York: Dover.
- (6) Russell, H. W. (1935). Principles of heat flow in porous insulators. Journal of the American Ceramic Society, 18(1-12), 1-5.

기판 지지용 나노 패턴 소프트 패드의 마찰 및 미끄러짐 특성 분석

김진석*

Analysis of friction and slip characteristics of nano-patterned soft pad for substrate support

J. S. Kim^{*}

한국생산기술연구원 디지털전환연구부문

Key Words : Nano structure, Glass substrate, Soft pad, Friction, Slip

1. 서 론

현재의 OLED 증착 공정에는 Metal Mask가 사용되며, 챔버 안에 2장의 유리기판이 배치되는 구조가 적용 중이다. 유리기판 2장 배치 구조는 유리기판 교체시 발생하는 공정중단 시간을 최소 화하고 오염 을 최소 화 할 수 있는 장점이 있으나 공정 장비 및 이송로봇의 크기가 커져야 하는 단점이 있다. 현재 양산 수준은 6세대급의 OLED가 양산 중이다. FDP(Flat Display Panel) 분야에서 유리기판 이송 로봇은 대 기환경에서 이송하는 로봇과 진공환경에서 기판을 이송하는 진공물류 분야로 분류되며, 유리기판의 경우 고속 이송시 슬립 및 처짐량을 최 소화 하기 위한 정적/동적 설계/제작이 중요하다. 특히 유리기판의 크 기가 대면적화 되면서 슬립 및 처짐량은 더욱 커지게 된다. 이를 극복 하기 위해 소프트 패드의 소재 및 형상에 대한 고려가 필요하다. 본 연구에서는 대면적 유리 기판 반송시스템용 소프트 패드의 하중/온도/ 접촉 환경 등을 고려한 마찰특성 향상을 위해, 나노패턴을 적용한 소 프트 패드 소재를 개발하였다. 실리콘 소재의 패드에 선폭 500nm, 피 치 200nm, 높이 1-3um의 선형 패턴을 적용하여 마찰특성을 향상시켰 다. 나노 패턴 소재는 전자빔을 활용한 lithography, etching, 전해도금 등의 공정방법을 활용하여 제작하였고, 마찰특성 평가를 위해, 몰딩 방법을 활용하여 블록형태의 소재를 제작 후 마찰력 및 미끄러짐 테스 트를 진행하였다.

2. 나노 소프트 패드 마찰력 측정

Fig. 1은 제작된 나노 소프트 패드의 형상을 나타내며, Fig. 2는 개 발된 소재의 마찰 특성 평가를 위한 테스트 장치의 구성을 나타낸다. 개발된 소재의 마찰 성능 비교를 위해 기존에 주로 사용되는 기판지지 용 소프트 패드인 Viton 소재와 초내열 실리콘 소재의 마찰력 평가를 함께 진행하였다. 또한, 나노 패턴의 영향력 비교를 위하여 나노 패턴 이 없는 동일한 블록 형상을 가지는 소재의 마찰력도 함께 비교 평가 하였다. 마찰력 평가는 대기와 진공 환경에서 하중 조건 70g, 140g, 210g에서 2mm/s의 속도로 10mm 이송하였을 때 마찰력을 측정하였 으며, 각 조건별 10회 반복 실험 후 평균값으로 평가 하였다.



Fig. 1 Photograph of nano-patterned soft pad



Fig. 2 Schematic description of the friction test

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 3(a)는 대기환경에서 측정한 하중별 마찰력 측정 결과이다. 하 중이 증가함에 따라 모든 조건에서 마찰력이 증가하는 경향이 나타났 으며, 기존에 주로 사용되는 Viton소재 및 초내열 실리콘 소재와 비교 하였을 때, 본 연구에서 개발된 나노 패턴 소프트 패드의 마찰력이 월 등히 높게 나타남을 확인하였다. 또한, 나노패턴의 유무에 따라 마찰 특성이 70%이상 증가 함을 확인하였다. 마찰력이 증가하는 원으로는 나노 크기의 기둥 형상에서 반데르발스의 힘을 유발하여 마찰력이 증 가하는 것으로 사료 된다.



Fig. 3(b)는 진공 환경에서 측정한 하중별 마찰력 측정 결과이다. Fig. 3(a)의 대기환경에서의 측정 결과와 거의 비슷한 결과를 나타내 었다. 이 결과로 나노패턴과 글라스 사이의 진공에 의한 접촉으로 마 찰력이 증가하는 것이 아님을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 연구비 지원으로 수행되고 있으며 이 에 감사 드립니다.(No 20015739)

참고문 헌

- (1) Fabrice D., Denis M., Alain K., 2009, *Sliding friction at elastomer/glass contact: Influence of the wetting conditions and instability analysis,* Tribology International, 42. 149-159.
- (2) V.. Shmucler, A. Moshkovich, A. Verdyan, L. Rapoport, 2005, Static and Kinetic Friction of Smooth Glass Surfaces Rubbed with Silicone Liquids, WTC2005, 1-9.

굴착기용 틸트 로테이터의 신뢰성수명평가 방법에 대한 연구

김성현*, 이주홍, 조유희, 방혜진, 박종원

Approaches for determining reliability life assessment methods of tilt-rotators for excavators

S. H. Kim*, J. H. Lee, Y. H. Cho, H. J. Bang, J. W. Park

Department of Reliability Assessment, Korea Institute of Machinery and Materials

Key Words : Attachments for construction machinery, Reliability Assessment method, Tilt-rotator system

1. 서 론

건설현장에서는 작업방식에 따라 다양한 굴착기용 어태치먼트를 적용 하고 있으며, 작업시간 단축과 편의를 위해 어태치먼트의 탈·부착 및 각 도제어로 작업 효율향상을 위해 틸트 로테이터를 사용하고 있다. 틸트 로 테이터형 커플러는 양쪽 유압실린더 모듈이 추가되어 어태치먼트 작업의 각도제어를 용이 하게 하여 핵부품의 성능유지가 중요하다. 하지만 가혹 한 환경조건에 따른 진동 및 충격으로 인해 씰의 마모 등에 인한 고장으 로 성능저하가 발생하고 이는 안전성과 작업효율 저하 등의 문제점이 발 생되고 있다. 따라서 본 논문에서는 틸트 로테이터형 커플러의 수명을 검 중 하고 작업 안정성을 확보하기 위해 고장분석을 실시하고 가속수명방법 을 반영한 수명평가방법을 결정하기 위한 접근 방법에 대한 것 이다.

2. 틸트 로테이터 일반 사항

건설기계의 스마트화에 따른 자율굴착기를 대응을 위한 어태치먼트의 높은 제어 응답성이 요구되며 그 스텝응답특성 70ms 이하, 정밀제어 성능 지표의 분해능 0.01 deg, 반복 정확도 3%이하, 수명은 1년에서 산업고도화 에 따라 2년으로 확대 요구되고 있는 실정이다. 최근에는 탈부착 편리성을 위한 전 원터치 오일퀵 방식이 요구되고 있으며 비가시권 작업 지원 및 작업효율 향상을 위한 3D 가시화와 틸트 로테이터에 각종 센서를 부착하여 굴착기 MG(Machine Guidance) 또는 MC(Machine Control) 시스템과 연동 기술을 적용 하고 있다. 다양한 환경에서의 요구되는 사용시간과 물리량 을 만족하는 틸트 로테이터가 요구되고 있는 실정이다.



Fig. 1 Conceptual diagram of Tilt-rotator usage in various environments

3. 신뢰성평가 정립을 위한 접근

틸트 로테이터형 커플러를 하나의 시스템으로 접근하여 각 주요 구성품 에 대한 잠재적 고장모드 및 고장원인을 추정, 해결 방안 모색하는 접근이 필요하다. 신뢰도 결정에 있어 Top Down방식인 시스템-모듈-부품의 목표 수명을 설정위한 신뢰도 할당의 접근으로 시간을 단축 할 수 있으나, 모듈, 부품, 소재의 신뢰성정보가 부족한 경우는 대표적 주 고장모드의 접근이 오류를 범할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 고장모드 및 메커니즘 분석(FMMA: Failure Modes and Mechanisms Analysis), 치명도 메트 릭스 분석(CMA: Criticality Matrix Analysis), 고장모드, 영향 및 치명 도 분석(FMECA: Failure Modes, Effects and Criticallity Analysis) 결함 나무 분석(FTA: Fault Tree Analysis) 품질 기능 전개(QFD :2-stage Quality Function Deployment)등의 고장해석을 병행하여 오류 를 최소화 할 수 있다. 수명 및 성능지표의 많은 데이터가 확보 될 경우 인공지능으로 95%이상의 높은 정확도로 예측하는 연구도 수행되었으며[1], 직접 수명 평가시 현장작동조건을 고려한 평가법도 연구 되었다[2],[3]. 주 고장메커니즘의 해당 부품의 소재 및 용접 특성으로 고려하여 소재 단 위에서 수명을 평가하기도 한다[4]. 정확한 설계정보가가 있다면 시물레 이션 해석기반으로 평가를 하기도 한다[5].



틸트 로테이터의 요구 신뢰도는 보증기간이 2년이고, 권장정비주기가 3개월인 점을 감안하여, 1년간 평균 사용시간인 2,200시간에서 작업시간 을 75 %인 1,650시간으로 추정하여 보증 수명은 B5수명 660시간, 신 뢰 수준은 80 %의 일반적인 사례로 나타내보면 다음과 같다.

$$t_n = B_{100p} \cdot \left[\frac{\ln(1 - CL)}{n \cdot \ln(1 - p)} \right]^2$$

여기에서, 제조사, 제품사양, 사용환경에 따라 상이 할 수 있다. 이때 보 정계수를 적용 할 수 있으며 암반의 분포와 강도, 작동 빈도수 등 현장작 동 조건을 고려하여 보정계수를 2가지 이상을 적용할 수 있다. 가혹한 시 힘 조건을 설정 할 수 있으며 가속수명 시험 필요시 가속 계수 도출은 역 승모델, 아레니우스모델, 복합모델 등 주 고장모드와 고장메커니즘을 고 려하여 가속모델을 적용 한다.

후기

본 연구는 산업통상자원부의 "신뢰성기반활용지원사업"과 기본사업인 "기계류/메카트로닉스 부품·장비 신뢰성평가 연구시설 (N-facility) 및 핵 심 요소 기술 고도화 사업"으로 수행되었으며, 이에 지원 및 도움을 주신 관련기관에 감사 드립니다.

참고문헌

- Kim, Sung-Hyun, Jong-Won Park, and Jae-Hoon Kim. 2023. "Comparative Analysis of Machine Learning Approaches to Predict Impact Energy of Hydraulic Breakers" Processes 11, no. 3: 772. https://doi.org/10.3390/pr11030772
- (2) Kin, SH., Park, JW. & Kim, JH. Functional data analysis for assessing the fatigue life of construction equipment attachments. J Mech Sci Technol 35, 495-506 (2021). https://doi.org/10.1007/s12206-021-0108-0
- (3) Kim, S. H., Park, J. W., Chang, M. S., & Kim, J. H. (2019). Study on fatigue life prediction of vibro-hammer structure using field data. Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, 43(11), 811-820.
- (4) Oh, K. K., Kim, J., Kim, Y. W., Park, J. Y., Yang, G. S., Park, J. W., & Kim, S. H. (2014). Fatigue Characteristics on Welded Joint of Gear Box-Shank in Vibro Ripper for Rock Crash. Journal of the Korean Society of Safety, 29(6), 28-33.
- (5) Kim, S. H., Chung, J., Baek, D. C., & Park, J. W. (2019). Modeling and Simulation for Predicting the Impact of Hydraulic Breaker. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 20(2), 741-749.

최신 딥러닝 영상복원 모델에 기반한 JPEG 압축 영상의 블라인드 초해상화

남윤찬¹, 나송주¹, 조영수¹, 이지호², 문병현², 강석주^{1*}

Blind super-resolution of JPEG compressed images based on the latest deep image restoration models

Y. C. Nam¹, S. J. Na¹, Y. S. Jo¹, J. H. Lee², B. H. Moon², S. J. Kang^{1*}

서강대학교 전자공학과¹, 삼성전자²

Key Words: Blind super-resolution, Image deblocking

1. 서 론

초해상화 기술이란 저해상도 영상을 고해상도 영상으로 복원하는 기술로써 최근 딥러닝 기법의 적용으로 주목할 만한 성능 향상을 이루었다. 하지만 딥 러닝 네트워크는 특정한 환경에서 학습되고 나면 그 환경에서 벗어난 데이터 에 대해 성능이 하락하는 문제점을 가지고 있으며 이는 초해상화 기술의 적 용에 있어서도 주요한 문제 중 하나이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 알 수 없는 열화가 적용된 저해상도 영상을 고해상도 영상으로 복원하는 연구가 활 발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 열화 된 저해상도 영상을 end-to-end 기 법으로 한 번에 복원하는 방법과 순자적으로 영상을 복원한 후 초해상화 기 술을 적용하는 두 가지 방법을 적용하여 최종 결과물의 성능 도출 및 분석을 통해 열화 된 영상의 초해상화에 유리한 방법론을 실험적으로 비교한다.

2. 방법론

본 논문에서는 영상에 down-sampling 적용 후에 JPEG 압축을 적용한 영상 에 대한 복원 성능을 측정하기 위해 실험을 진행하므로, 여러 열화 정보를 학 습하여 noise, blur JPEG deblocking 등을 함께 고려하는 최신 블라인드 초해상 도 복원 모델인 FeMaSR [1]과 다양한 강도의 JPEG 압축으로 생기는 JPEG artifact를 적응적으로 제거하는 최신 deblocking 모델인 Wang *et al.* [2]을 사용 하여 열화 된 영상을 복원한다. 먼저 down-sampling 과 JPEG 압축으로 열화 된 영상에 FeMaSR [1]만을 적용하여 end-to-end로 열화 된 영상을 복원하고, 열화 된 영상의 JPEG artifact를 Wang *et al.* [2]로 먼저 제거 한 후에 FeMaSR [1]로 초해상화 복원을 적용하여 영상을 복원하는 두 가지 방법론을 사용한다. 이 두 가지 방법론을 사용하여 복원된 영상에 대해서 성능을 평가하고, 이에 대한 분석을 진행한다.



3. 실험 결과 및 고찰

본 논문은 영상을 down-sampling 후에 JPEG 압축을 적용한 AIM 2022 challenge [3]의 검증 데이터셋을 이용하여 실험을 진행하였다. 실험에 활용된

테스트 셋은 원본 고해상도 영상에 4배 down-sampling을 적용한 후 영상의 압축 정도를 나타내는 quality factor (QF)를 각각 10, 40으로 설정하고 영상을 압축하여 생성되었다. 우리는 각각의 QF에 대해 두 가지 방법론을 적용하였 으며, 결과 영상에 대해 peak signal-to-noise ratio (PSNR)과 structural similarity index measure (SSIM)을 측정하여 결과를 비교하였다. 추가적으로 고전적인 영상 보간 기법인 bicubic 보간 알고리즘을 사용하여 최신 모델을 사용한 두 가지 방법론의 정량적인 성능 비교를 진행한다.

Table 1 Quantitative Results

PSNR/ SSIM	Bicubic	FeMaSR	Wang et al + FeMaSR
QF=10	22.54 dB/0.6116	23.96 dB/0.6602	24.94 dB/0.7208
QF=40	24.66 dB/0.6705	25.97 dB/0.7096	27.09 dB/0.7641

Table 1과 Table2의 실험 결과에서 FeMaSR [1]만을 단일로 사용했을 경우 보다 Wang et al. [2]를 이용하여 deblocking을 먼저 수행한 후에 FeMaSR [1]을 이용하여 블라인드 초해상화를 진행하는 것이 모든 압축 정도에서 더 좋은 성능을 나타내었다.

그 원인은 한 번에 여러 열화를 단일 모델을 이용하여 end-to-end로 복원하 는 것은 매우 어려운 과제이며, FeMaSR [1]의 경우 여러 열화 영상을 초해상 화로 복원하는 end-to-end 모델이지만 여러 강도의 JPEG 압축을 고려하지 못 하기 때문이라고 볼 수 있다. 따라서 앞 단계에서 Wang *et al.* [2]과 같이 여러 단계의 JPEG 압축을 고려하는 모델을 사용하여 FeMaSR [1]이 복원해야 할 열화를 줄여 줌으로써 end-to-end 방식보다 더 좋은 성능을 낼 수 있었다. 따 라서 본 실험을 통해서 영상에 열화가 심한 경우 end-to-end 보다 순차적으로 여러 모델을 적용하는 것이 더 좋은 성능을 얻을 수 있다는 결과를 도출하였 다.

감사의 글

본 연구는 삼성전자의 지원과 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원 으로 한국연구재단-나노미래소재원천기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연 구임(No. 2020M3H4A1A02084899)

참고문 헌

- Chen, Chaofeng, et al. "Real-world blind super-resolution via feature matching with implicit high-resolution priors." Proceedings of the 30th ACM International Conference on Multimedia. 2022.
- (2) Wang, Xi, et al. "JPEG Artifacts Removal via Contrastive Representation Learning." European Conference on Computer Vision. 2022.
- (3) Yang, Ren, et al. "Aim 2022 challenge on super-resolution of compressed image and video: Dataset, methods and results." European Conference on Computer Vision. 2022.

인버터용 냉각모듈 개발을 위한 Cu 고온 물성 연구

김용배^{1,2}, 임성식¹, 김보형^{1,2}, 이혜진^{1*}

Study on high-temperature properties of Cu for the development of cooling modules for inverters

Y. B. Kim^{1,2}, S. S. Lim¹, B. H. Kim^{1,2}, H. J. Lee^{1*}

한국생산기술연구원¹, 인하대학교 기계공학과²

Key Words : Electric vehicle, Inverter, Copper, Heat sink,

1. 서 론

최근 전기자동차의 핵심인 배터리와 모터 개발이 점진적으로 이뤄지고 있으며, 그중에 배터리 개발은 여러 기업과 연구소에서 전기 자동차의 주 행 거리를 연장하고 충전 시간을 단축시킬 수 있는 배터리 기술 개발 방 향으로 연구되고 있다. 배터리 개발을 통해 자동차 성능을 높이는 연구는 활발한 반면 배터리 개발에 따라 충전전압이 높아지면서 전력 변환 시 급 격히 열이 급격히 증가하게 되고, 이에 따라 냉각모듈의 성능향상을 위한 연구가 다양하게 진행 되고 있다.[1]

본 연구에서는 이러한 열을 냉각 시켜주는 모듈을 개발하는데 필요한 소재의 고온 물성 연구들 통해 최적 성형 방법을 찾는데 필요한 물성 연 구를 진행 하였다. 기존 Al 보다 열전도율이 2배 이상 높은 Cu 재질을 적용한 "인버터용 냉각모듈" 제조를 위한 최적 성형 방법을 해석하기 위 한 Cu 고온 물성 연구를 진행 하였다.

2. 공정 설계를 위한 Cu 소재의 동적 물성 실험

방열판의 냉간성형은 1500톤 이상의 고하중으로 인해 금형설계와 공 정장비 선정에 큰 어려움이 있다. 고하중 성형에서 오는 여러 문저점을 보완하고 정확한 소재의 물성을 파악하여 성형방법 선정 및 공정설계에 반영하고자 방열판 소재인 Cu 소재에 대한 열간 동적 물성 실험을 수행 하였다. 실험 장비는 아래 Fig. 1에 있는 Gleeble 3500 System을 사용 하였다.



Fig. 1 Gleeble3500 System

냉간성형의 어려움으로 인한 온간성형을 고려하여 실험 조건은 온도조 건 100℃에서 500℃ 까지 100℃간격으로 5조건을 선정하였고, 성형 속 도를 고려하기 위한 총 5개의 속도 조건 1/s, 5/s, 10/s, 15/s 20/s 으로 선정 하였다. 실험 반복 횟수는 3회 반복으로 동일한 경향을 갖는지 확인 하였으며 상이한 결과 발생시 추가 실험을 통해 결과를 보완하였다. 아래 Fig. 2 실험조건을 나타내었다.



Fig. 2 Testing Conditions

3. 동적 물성 실험 결과

다른 소재와 유사하게 온도가 낮으며 변형률 속도가 높을수록 재료의 강도가 커지는 것을 관찰 하였다. 압축과정 중 발생하는 변형에너지로 인 한 온도 상승으로 응력 값이 떨어지는 것을 확인 할 수 있었고 이는 온도 보정을 통해 좀더 정확한 데이터 확보를 하였다.



Fig. 3 Stress-Strain Curve with Respect to Temperature Variation during Forming



Fig. 4 Comparison of Stress-Strain Curve before and after Temperature Compensation

4. 결 론

진행한 동적 물성 실험을 바탕으로 소재의 냉간성형시 문제점을 온간성 형으로 진행할 때 250MPa 정도의 응력하에서 성형을 위해서는 약 30 0℃ 정도의 온간성형이 필요할 것으로 판단된다.

향후 물성 DB를 기반으로 성형 해석을 통한 최적 공정개발을 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 산업통산자원부 중견기업상생혁신 R&D사업(과제번호: NK220062)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문 헌

 Wang, Xiongfei, et al. "Cooling Strategies for Power Electronics in Electric and Hybrid Vehicles: A Comprehensive Review." Applied Thermal Engineering, vol. 111, 2017, pp. 1341-1353. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.08.100

극박판 구리소재 성형해석을 위한 이방성 항복곡면 최적화

김보형^{1,2}, 김용배^{1,2}, 임성식², 김민기^{2*}

Optimization of anisotropic yield surface for forming analysis of ultra-thin copper sheet

B. H. Kim^{1,2}, Y. B. Kim^{1,2}, S. S. Lim², M. Kim^{2*}

인하대학교 기계공학과¹, 한국생산기술연구원²

Key Words : Ultra-thin copper sheet, Forming analysis, Anisotropy, Yield surface, Finite element method

1. 서론

최근 음파를 활용한 미세먼지 수집 방법이 주목받고 있다. 본 연구에서 는 진동판의 성능 향상을 위해 기존 펄프 소재를 고강성 박판 소재로 대 체하고, 극박판 소재의 최적 공정 조건을 찾아내기 위해 최적화된 항복곡 면을 도출하였다. 반구형 펀치 성형 시험에서의 실제 변형률 분포와 해석 결과를 비교 분석하여 신뢰성을 검증하였다.

2. 인장 실험

본 연구에서는 Cu 소재(99.9% Cu, 0.15t)의 압연 방향에 따른 물성을 파악하기 위해 SHIMADZU 만능 시험기를 사용하여 인장 실험을 진행 하였다. ARAMIS DIC 시스템으로 변위 및 변형률을 측정하였다. Swift 모델과 Voce 모델을 사용하여 얻은 해석 결과를 실험 결과와 비교하였 다. Fig. 1에서 Swift 모델을 사용한 해석 결과가 실험 결과와 높은 유사 성을 보였다. 유사성이 높은 경화법칙 모델을 사용함으로써 해석 결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.



인장 방향 별 항복응력과 R-값을 이용하여 항복함수의 계수값을 최적 화해야 정확한 이방성 항복곡면을 결정할 수 있다. Hill48 모델을 사용 하였으며, 평면 응력 조건에 대한 4개의 계수값을 최적화하는 코드를 개 발하였다. 매개변수의 조합에 따라 변화하는 항복응력, R-값 그리고 항 복곡면의 형태를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 항복응력을 주로 고려한 경우 변형률의 유사성이 부족하였고, R-값에만 초점을 맞춘 경우 항복응 력과 유사성이 부족하였다. 항복응력과 R-값을 모두 고려한 경우 두 가 지 측면을 균형 있게 고려한 결과를 확인할 수 있었다.



3. 반구형 펀치 성형 시험 및 성형해석

본 연구에서는 극박판 소재에 대한 반구형 펀치 성형 시험과 ARAMIS DIC 시스템을 통한 변형률 분포 측정을 수행하였으며,



ABAQUS 2017 implicit을 기반으로 반구형 펀치 성형 공정의 유한요 소 모델링을 수행하였다. 마찰계수에 따른 변형률 분포를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 펀치와 접촉하는 영역의 변형률은 마찰계수에 따라 크게 변화하였고, 특히 마찰계수 0.2일 때 가장 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 실험과 해석 결과의 높은 유사성을 통해 최적화된 항복곡면의 신뢰성을 확인할 수 있다.



4. 요약 및 결론

본 연구에서는 인장 실험을 통해 이방성 항복곡면을 결정하였다. 유한 요소 모델링을 활용하여 반구형 펀치 성형 공정의 변형률 분포 결과와 비교하여 검증하였고, 실험과 해석에서 유사한 변형률 분포를 얻을 수 있 었다. 본 연구를 통해 정확한 박판 성형 해석 조건을 찾아내고, 시험 조 건을 변경하여 해석을 수행함으로써 최적의 공정 조건의 도출이 가능해 질 것이다.

참고 문 헌

- Y. B. Kim, J. S. Lee, S. S. Lim, B. H. Kim, H. J. Lee., 2022, A study process to form a diaphragm, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 181-181.
- (2) Mu, Z., Zhao, J., Meng, Q., Zhang, Y., & Yu, G., 2022, Limitation analysis of the Hill48 yield model and establishment of its modified model for planar plastic anisotropy, Journal of Materials Processing Technology, 299, 117380.
이차전지 양극소재 통합처리장치의 코팅공정조건 최적화

박철우^{1*}, 길건우¹, 김기윤¹, 김소리¹, 이용남¹, 송정훈², 김재중²

Optimization of coating process conditions of secondary battery cathode material integrated processing device

C. U. Bak^{1*}, G. W. Gil¹, K. Y. Kim¹, S. R. Kim¹, Y. N. Lee¹, J. H. Song², J. J. Kim²

대성기계공업(주)¹, 포항산업과학연구원²

Key Words : Secondary battery, Cathode material, High nickel, Dryer, Surface coating, Spray system

1. 서 론

최근 이차전지 산업에서 전기차의 성능 및 주행거리 향상을 위해 하 이니켈 양극소재의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 양극소재의 Ni 함 량 증가는 배터리 고용량화의 장점이 있으나 전해액과의 부반응으로 인한 소재의 불안정성 등의 이유로 양극소재의 표면에 적정 코팅을 통 한 전해액과의 반응을 억제하는 기술이 요구되고 있다. 본 논문에서는 월간 약 4톤 규모의 양극소재의 코팅 처리가 가능한 건조/코팅/열처리 기능이 통합된 양극물질 통합처리장치를 제작하여 이를 통해 생산된 코팅 양극소재의 전기적 성능을 평가하였다.

2. 실 험

본 실험에 사용된 통합처리장치의 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 최 적 공정조건을 도출하기 위해 공정의 핵심 변수인 1) 코팅 용액의 농 도, 2) 코팅 공정 시 소재 온도, 3) 열처리 시간에 따른 양극소재의 성 능을 분석하였다. 소재의 균질성 확보를 위해 건조/코팅/열처리 공정 시 교반작업이 수반되었으며, 교반 속도는 최적 건조 성능을 나타내는 10 ~ 30rpm으로 선정하였다. 양극소재 표면의 균질한 코팅을 위해 이 류체 노즐을 이용한 스프레이 분사 방식의 코팅을 수행하였다. 이를 통해 획득한 코팅 양극소재는 코인셀을 이용하여 전기적 용량을 분석 하였다.



Fig. 1 Cathode material coating system using ePSMD(electric heater-based ploughshare mixing dryer) -300 L

3. 실험 결과 및 고찰

한 배치 내 임의의 다섯 영역에서 양극소재를 샘플링하여 표면 분 석, 초기 전기용량, 충·방전 사이클 분석을 수행하였다. 코팅용액의 농 도 별 주사전자현미경 사진을 Fig. 2에 나타내었으며, 공정 변수에 따 른 결과를 Table 1, 2, 3에 나타내었다.



Fig. 2 Sample surface morphology changes according to the concentration of the coating solution. (a) pristine (b) 500ppm (c) 750ppm (d) 1000ppm

Table 1 Comparison of initial capacity according to concentration of coating solution

		pristine	500ppm	750ppm	1000ppm
Cha.	mAh/g	230.56	232.92	232.51	234.25
Dch.	mAh/g	209.35	207.30	209.08	213.26
Eff.	%	90.80	89.00	89.92	91.04

 Table 2 Comparison of cycle retention according to the concentration of coating solution

		pristine	500ppm	750ppm	1000ppm
1^{st}	mAh	203.77	204.08	203.66	207.51
50 th	/g	179.69	186.35	184.93	19096
cycle retention	%	88.18	91.31	90.80	92.02

Table 3 Comparison of initial capacity according to drying temperature and heat treatment time

		80°C, 3h	120°C, 3h	120°C, 4h	120°C, 5h
Cha.	mAh/g	233.92	232.51	233.25	233.72
Dch.	mAh/g	211.20	209.08	208.48	209.89
Eff.	%	90.29	89.92	89.38	89.81

표면 모폴로지 분석 결과 코팅 소재의 표면은 코팅재가 균일하게 코팅 되었음을 확인하였으며(Fig. 2), 초기 및 충·방전 반복 수행 후 전기 용량 분석 결과 코팅용액의 농도가 1000 ppm, 코팅 공정 시 소재의 온도가 80℃, 그리고 3시간 동안 열처리한 조건에서 전기용량이 가장 높게 나타 났다. 본 연구를 통해 양극소재 습식코팅 기술을 확보하였으며, 이 후 대 용량 양극소재 코팅이 가능한 생산설비 개발에 활용할 예정이다.

후 기

이 연구는 2021년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(과제번호: 20016080)

참고문 헌

(1) Dong Hyup Jeon, Sangwon Kim, Jae-Joong Kim, Suhyun Lee, Young Je Kim, Sang-cheol Nam, Jung-Hoon Song, 2022, Electrochemical Performance of LBO-coated Ni-rich NCM Cathode Material: Experimental and Numerical Approaches, Journal of The Electrochemical Society, 169 110533

안전성과 경량화를 고려한 스냅핏의 구조 형상 최적설계

오민성¹, 홍석무^{2*}

Snap-fit structure optimization design considering safety and light weight

M. S. Oh¹, S. M. Hong^{2*}

공주대학교 자동차공학전공¹, 공주대학교 미래자동차공학부, 그린카기술연구소²

Key Words : Snap-fit, Light weight, Design optimization, Design variable, Finite element analysis

1. 서 론

최근 자동차 생산에서 스냅핏 구조는 가장 간편한 결속 장치로써 조립과 분리가 간편하고 생산품의 조립 단가를 줄일 수 있으며, 특히 분리력은 큰 반 면 결합력은 작게 만들 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 앞서 기술한 스냅핏의 강점을 극대화하기 위해 중량 최 소회를 목적 함수로 설정하는 최적회를 진행한다. 스냅핏의 형상에 대한 최적 화 설계를 위해 최적 설계기법을 이용하고 결정된 치수에서 일정 정규분포를 가지는 설계 변수를 도입하여, 스냅핏 구조의 중량을 최소화하는 제품 설계 연구를 수행하였다.

2. 스냅핏 형상 최적 설계

스냅핏을 이루는 형상은 잠금 형상, 위치 형상, 강화 형상 세 가지로 이루 어져 있다. 잠금 형상은 분리를 방지하는 물리적인 접촉면을 제공하여 결합 과정을 완성한다 따라서 스냅핏의 설계 시 고려되어야 하는 설계 변수 (Design variables)는 Fig. 1와 같이 X₁, X₂, X₃으로 각각 높이(height), 폭(width), 두께(thickness)으로 설정하였으며, 목적함수(Object function)는 스냅핏 부품의 무게로 지정하였다. 본 설계 문제에서는 중량이 최소화되면서 허용할 수 있는 허용 응력 이상을 만족시키는 것을 제한 조건으로 삼았다. 대부분의 스냅핏의 경우 체결/탈거의 형태가 반복적으로 발생하므로 반드시 항복강도 및 항복 변형률을 고려하여 설계되어야 하며, 항복 강도의 70% 미만의 범위가 추천된 다. 따라서 구속 조건으로는 $\sigma \leq 0.7\sigma_{uts}$ 로 설정하였다. 여기서 스냅핏의 물 성은 Plastic, PET (amorphous)으로 해당 물성의 인장강도는 57.45 MPa이며, 스 냅핏의 적절한 변형을 위한 강성을 적용하기 위해 구속 조건으로 $\sigma \leq$ 40.215 MPa로 설정하였다.



Fig. 1 Snap-Fit structure and design variables

3. 최적화 결과

본 연구에서는 상용 최적 설계 S/W인 optiSLang을 활용하여 메타 모델링 기법을 아용해 최적 설계를 수행하였다. 먼저 민감도를 확인하기 위하여 샘플 링 기법 중 한 가지인 Space filling Latin hypercube Sampling 기법으로 88개의 샘플링을 진행하고 이에 대한 분석을 진행한 결과 weight에 관한 민감도의 결과는 width 57.3 %, thickness 28.6 %, height 17.6 % 순서로 민감도가 높은 것 을 확인하였으며, strength는 height 55.4 %, thickness 47.8 %, width 0.2 % 순서로 민감도가 높은 것을 확인하였다. 이때의 CoP(Coefficient of Prognosis)는 100% 로 이는 설계 변수 X1, X2, X3를 통해서 목적함수를 온전히 제어 가능함을 나 타낸다. 이는 Fig. 2에 도시하였다. 민감도 확인 결과 3가지 변수 모두 weight 에 대한 목적함수에 영향을 미칠 수 있는 수준이기 때문에 설계 변수에 대한 제약 없이 최적화 해석 또한 진행하였다. 최적화 해석에 앞서 민감도를 확인 하고 최적 설계를 수행한 결과, 주어진 설계 요구사항을 모두 만족하면서도 정상적으로 수렴하는 모델을 제작하였으며 그에 대한 해석 또한 진행하였다. 이는 Fig. 3에 도시하였다.



Fig. 2 Sensitivity to weight(a) and to strength(b) of three design variables



Fig. 3 Optimization model and analysis results

4. 최적화 결과

본 논문에서는 스냅핏 중량을 최소화하는 최적설계를 수행하였다. 스냅핏 의 중량을 최소화하도록 설계변수 높이, 폭, 두께 3가지를 설정하였으며 목적 함수을 중량의 최소화로 설정하여 중량 계산 및 정강성 해석을 수행하였다. 그 결과, 모든 설계 요구사항을 만족하면서 목적함수인 중량을 초기모델에 최 대 60.9% 감소시킨 최적해를 구하였다.

본 연구를 통해 제시된 메타모텔 기반 최적설계의 유용성 및 유효성을 입 증하였다.

- (1) Son, I. S. and Shin, D. K., 2017, Optimum Design of Lock Snap-fit Using Design of Experiment, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 18: 3, 378-385.
- (2) Lee, M. h., Bang, S. h. and Joo, Y. J., 2017, Doghouse Stud Design Optimization, The Korean Society of Automotive Engineers, 791-791.

반응표면법을 이용한 배터리 캐리어 경량화 설계

홍석무^{1*}, 황순재², 오민성³, 설우철⁴, 유문구⁴, 정영구⁵

For commercial hydrogen-powered heavy-duty trucks using the response surface method battery carrier lightweight model design

S. M. Hong^{1*}, S. J. Hwang², M. S. Oh³, O. C. Sul⁴, M. G. Yoo⁴, Y. G. Chung⁵

공주대학교 기계자동차공학부', 공주대학교 미래융합공학과², 공주대학교 미래자동차공학부³, (주)원효⁴, (주)공감 공학⁵

Key Words : Design variable, Equivalent stress, Finite element analysis, Battery carrier, Weight reduction

1. 서 론

상용 수소전기 대형트럭의 성능이 증가함에 따라 요구되는 배터리의 크기 와 용량은 증가하였고 이로 인해 배터리의 무게 또한 크게 증가하였다. 배터 리의 무게 증가로 인해 배터리를 고정해주는 부품인 배터리 캐리어에 가해지 는 하중 또한 높아졌다. 이를 해결하기 위해 소재 변경 및 두께 증가 등의 개 선을 진행하였지만 너무 과도한 개선은 중량을 증가시키고 이는 차량 성능 감소의 원인이 된다. 따라서 본 연구에서는 배터리 캐리어 경령화를 목표로 해당 부품의 소재를 변경하고, 복합재를 적용하였다.

2. 해석 모델 및 해석 조건 설정

배터리 캐리어 경량화 모델 개발에 앞서 기존 모듈을 해석적으로 확인하여 비교값의 기준을 수립하기위해 처짐량 도출 해석을 수행하였다. 해석 모델은 원본에서 채결 모델을 삭제 후 홀을 제거하였으며, 접합부는 bonding 조건을 적용하였다. 배터리 모듈의 모델은 생략하고, point mass로 230 kg의 중량을 각 각 적용하였다.

3. 소재 변경을 통한 경량화

배터리 캐리어의 메인 프레임을 기존 steel에서 aluminum으로 재질을 변 경한 결과, 36.7% 경랑화에 성공하였다. 그러나 메인 프레임에서 발생한 최대 응력이 30.2% 증가하였다. 기존 모델과 동등한 응력이 발생하도록 복합재를 적용 및 두께 변경을 통해 보강을 진행하였다.



Fig. 1 Stress analysis result of battery frame (A) steel material application model (B) aluminum material application model

4. 복합재 적용 및 단면 최적화

기존 모델에서 응력을 보강하기 위해 복합재 적용을 진행하였으며, 그 결과 기존 모델 대비 메인 프레임에서 발생하는 응력이 1.1 % 감소하였다. 추가적 인 응력 개선을 위해 두께 변경이 가능한 요소 4개(Al_Th-1,2,3,4)를 설계 변 수로 지정했고, 배터리 캐리어 경량회를 목적 함수로 설정하였다. 설계 변수 가 응력을 최소화시키는 정도를 파악하기 위해 민감도 조사를 시행하였고, 그 결과 모든 변수가 신뢰 구간의 민감도를 가짐을 확인하였다. 따라서 변수를 제거하지 않고 반응표면법을 진행하였다. 반응표면법을 통해 결정계수 97.42 % 를 가지는 반응 표면 법의 회귀 모델 식을 도출하였다. 이를 통해 응력이 54.5 MPa이 발생하는 설계 변수 값인 Al_Th-1=3.4 mm, Al_Th-2=13.2 mm, Al_Th-3=6.4 mm, Al_Th-4=2.8 mm를 도출하였다. 최적화된 설계 변수를 적용 하여 동일 한 조건으로 유한요소해석을 진행한 결과 29.7% 경량화를 만족하 면서도 기존 모델 대비 최대 응력이 0.18 % 차이로 유사하게 나타나도록 진 행된 것을 확인하였다. 최종적으로 배터리 캐리어의 경량화를 진행하면서도 기존모델과 동등한 응력이 나타나는 캐리어 모델을 제시하였다.



Fig. 2 Sensitivity analysis - Pareto Chart



Fig. 3 Stress analysis result of battery frame (A) steel material application model (B) Composites and aluminum material application model



Fig. 4 Optimized battery carrier model

참 고 문 헌

(1) Lee, H. T., Park, S. H., Choi, B. H., Kim, B. G., Kim, H. S., Hong, S. M., 2023, Light Weight of the Leg rest Module using the Response Surface Method, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Socie, 24 : 2 568-575

얇은 벽 형상을 갖는 방전전극소재의 동적하중에의한 가공변형 분석

하석재^{1*}, 이종훈¹, 박준일¹, 남하늘¹, 한민정¹, 김지훈²

Analysis of machining deformation by dynamic cutting forces for discharge electrode with thin-walled

S. J. Ha^{1*}, J. H. Lee¹, J. I. Park¹, H. N. Nam¹, M. J. Han¹, J. H. Kim²

동서울대학교 미래자동차학과¹, 인하대학교 기계공학과²

Key Words : Micro-rib with thin-walled, Micro endmilling, Dynamic cutting force, Deformation of micro-rib

1. 서 론

일반적으로 마이크로 스케일의 얇은 벽(Micro thin walled)의 두께 는 약 100/m 이하이고 세장비(aspect rations)가 10 이상인 캔틸레버 구조를 갖는다. 이러한 마이크로 스케일의 얇은 벽은 마이크로 연료 전지, 마이크로 채널 및 방전 전극 등으로 광범위하게 적용되고 있다. 미세 격벽 형상을 갖는 부품 중 BiTS(Burn-in and Test Socket)는 컴퓨터 메모리, 프로세서와 같은 반도체 칩을 PCB 및 보드 기판에 영

구 납땜이 아닌 탈착이 가능한 커넥터 형태로 실장 시켜 주는 소켓을 의미한다. 현재 BiTS 소켓은 반도체 칩 크기 및 피치가 고집적화가 되 어가고 있으며, 미세 피치를 갖는 소켓 제작을 위해 두께가 얇은 코어 가공용 방전 전극을 가공하기 위한 고속 가공 기술이 요구된다.

본 연구에서는 두께 0.2mm, 세장비가 3:1인 미세 격벽 형상 가공을 위하여 미세 절삭 가공 시 작용하는 동적하중과 마이크로 리브 변형에 대한 관계를 분석하였다.

2. 마이크로 리브 절삭가공

본 마이크로 리브 절삭가공에서는 Fig. 1과 같이 마이크로 리브형상 가공에서는 동적하중에 의해 리브가 변형되는 시점은 마이크로 리브 형상에 인접한 절삭볼륨(cutting volume)을 제거할 때 발생한다고 가 정하였다. 따라서 동적하중과 마이크로 리브 변형과의 관계 분석 실험 에서의 절삭조건은 절삭공구 반경방향 깊이는 고정시키고, 공구 축방 향 깊이를 증가시키면서 하중-변형량 관계를 분석하였다.

본 가공 실험에서 사용한 피삭재는 방전전극용 단조동을 사용하였으며, 직경 500µm인 마이크로 엔드밀을 사용하였다. 가공조건은 스핀 들 회전수 30,000rpm이며, 축방향 절입량을 0.05~0.4mm 변화시키고, 이송속도를 60~300mm/min 변화시키면서 가공을 수행하였다.



실험 결과 및 고찰

마이크로 리브 가공 시 동적하중과 변형량의 관계를 분석하기 위해 절삭조건을 이용하여 절삭공구 한 날에 작용하는 면적을 계산하고. 가 공 된 리브 형상을 공구현미경으로 변형형상을 측정하여 절삭면적과 변형량의 관계 그래프를 작성하였다. Fig. 2는 마이크로 리브 절삭가 공 시 절삭면적과 리브 변형량의 관계 그래프를 나타낸다. 또한, Fig. 3은 두께 200/m, 길이 600/m, 종형비(1:3)에 해당하는 마이크로 리브 형상 가공을 위해 산출된 관계 그래프에서 가공조건을 선택하여 가공 한 리브 이미지를 나타낸다. 절삭 가공 후 마이크로 리브의 변형값 측정결과는 설계치수보다 약 5% 정도의 오차가 발생하였는데, 이는 마이크로 절삭가공의 셋업에 의한 오차, 공구 원점 및 공작물 셋팅 오차로 판단되며, 최종적으로 마 이크로 리브의 변형량은 약 7.02µm로 확인 되었다. 따라서 두께 비율 4% 이내의 가공 정밀도를 갖는 것을 확인하였다. 향후 마이크로 리브 의 폭은 유지하고 종횡비 비율을 증가시킬 수 있는 가공 기술에 관한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.







Fig. 3 SEM image for micro rib

후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 을 받아 수행된 연구임(No. RS-2022-00166428)

- (1) Qi Sun, Jianzhong, Pengfei Li, 2022, Simulations and Experiments on the Micro-Milling Process of a Thin-Walled Structure of Al6061-T6, Materials, 15, 3568.
- (2) Xikun Gao, Xiang Cheng, Siying Ling, Guangming Zheng, Yang Li, Huanbao Liu, 2022, *Research on optimization of micro-milling process for curved thin wall structure*, Precision Engineering, 73, 296-312.

경도, 접촉각, 저반사 특성 향상을 위한 플렉시블 보호 필름의 제작

김민정¹, 곽영소¹, 심동혁¹, 박채연¹, 정다연¹, 이승현¹, 김민욱², 옥종걸², 전형국^{1*}, 안지환^{1,3*}

Improving performance in hardness, contact angle, and low reflectance of flexible protective film

M. Kim¹, Y. Gwak¹, D. Sim¹, C. Park¹, D. Jung¹, S. Lee¹, M. Kim², J. G. Ok², H. Jeon^{1*}, J. An^{1, 3*}

서울과학기술대학교 MSDE학과¹, 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과², 포항공과대학 기계공학과³

Key Words : PEALD, R2P NIL, Al₂O₃ thin film, Flexible film

1. 서 론

플렉시블 디스플레이에 대한 관심이 증가함에 따라, 유연기판용 보호 필름에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.(1) 그러나, 현재 유연기판 보 호 필름은 여전히 낮은 경도, 고반사율, 지문 자국 등의 문제를 갖고 있 다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 Roll-to-Plate nanoimprinting lithography (R2P NIL) 기법을 도입하여 나노구조를 제작하고, plasma-enhanced atomic layer deposition (PEALD) 를 이용하여 알루미나 박막 을 증착하여 개선된 필름을 제작하였으며, 실험을 통해 최적의 나노구조, 박막 두께, 공정 온도 조건을 도출하였다.

2. 실험 과정

Fig. 1은 R2P NIL 공정으로 제작된 PUM-3300 레진 나노 구조와 PEALD 방식의 알루미나 박막의 제조 공정을 보여준다. R2P NIL 공정에 서 레진에 조사된 방사선의 파장 범위는 210-400nm이다. PEALD 공정에 서 알루미나 박막을 증착하기 위해 precursor gas로 trimethylaluminum (TMA), reactant gas로 oxygen plasma가 사용되었다.



Fig. 1 Schematics of nanostructure fabrication processes (a) Preparation the master mold; (b) Resin pouring on the mold; (c) Curing & Demolding; (d) Al₂O₃ deposition with the use of PEALD

PEALD 공정의 온도(40, 80℃), 알루미나 박막의 두께 (0, 34, 54, 74nm), 나노 구조물의 간격 (150, 200, 300nm)을 조정하여 필름의 성능평가를 진 행하였다. 평가항목은 표면 crack 면적, 투과도, 접촉각, 반사도이다. 실험 과정은 다음과 같다. 먼저, 평평한 PET 기판을 대상으로 PEALD 공정에 서의 온도와 알루미나 박막의 두께를 결정한다. 그 다음, 나노 구조를 대 상으로 나노 구조물의 간격을 변수로 설정하여 샘플들을 비교한다. 마지 막으로, 알루미나 박막이 증착된 나노 구조를 대상으로 간격을 변수로 설정하여 최적의 간격을 선택한다.

3. 실험 결과 및 고찰

증착 파라미터의 최적화 결과는 다음과 같다. 알루미나의 최적 증착 온도인 75℃(2)와 비슷한 80℃일 때 더 높은 오일 접촉각을 나타내며, 증 착 두께가 증가할수록 오일 접촉각이 증가하는 경향성을 보였다. 필름이 두꺼울수록 박막 균열이 잘 발생하지 않는다는 점과 경제성까지 고려했 을 때, 최적 두께는 74mm로 결정되었다. 이를 기반으로, 150-300mm 간격 의 나노 구조의 성능을 비교하였다. 나노 돌기 간격이 감소함에 따라 오 일 접촉각은 증가하고 반사도는 감소하였으며, 모든 샘플의 투과도는 86% 를 만족하였다. 이는 나노 돌기가 모여 있을수록 고체 계면에 공기가 잘 갇히고 반사도가 낮아지는 경향(3)(4)이 있기 때문이다. 따라서 최종 디자 인은 증착 파라미터 (80℃, 40nm)와 150nm의 나노 돌기 간격으로 결정되 었다.



Fig. 2 Results comparing bare film and nano-alumina film: (a) pencil hardness (b) transmittance (c) oil contact angle (d) reflectance

Fig. 2 는 최종 디자인으로 제작된 필름의 성능을 나타낸다. Fig. 2(a)는 연필 경도가 2H만큼 향상됨을 보여준다. Fig. 2(b)는 일반 필름, 제작한 필 름 그리고 50,000번의 굽힘 테스트를 진행한 필름의 투과도로, 잦은 사용 을 한 후에도 약 86% 이상의 투과도를 유지할 수 있음을 보여준다. Fig. 2(c)는 제작한 필름에서 일반 필름에 비해 오일 접촉각이 43% 향상되었 음을 나타낸다. 마지막으로, Fig. 2(d)는 제작한 필름의 반사도로, 특정 파 장 내에서 저반사 필름의 요구사항인 2%의 반사도를 확인하였다.

4. 결 론

이 연구는 PET 필름에 나노 구조 및 알루미나 박막을 적용하여 플렉 시블 보호 필름의 성능을 향상시키는 방향을 목표로 진행되었다. 공정을 진행한 후, 경도, 접촉각, 저반사 성능의 향상을 확인하였고, 동시에 필요 한 투과도와 굽히는 힘에 대한 저항력을 확보하였다. 이 연구는 유연 기 판 필름 기술 개발에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

- Lee, H., Ji Seo, Y., Kim, J., Jun Bae, M., Hwang, S., Gun Bae, J., Bo Lee, W. and Yoon, H. (2022). Function transformation of polymeric films through morphing of surface shapes. Chemical Engineering Journal, 434, p.134665.
- (2) Ahn, J., Ahn, C., Jeon, S. and Park, J. (2019). Atomic Layer Deposition of Inorganic Thin Films on 3D Polymer Nanonetworks. Applied Sciences, 9(10), p.1990.
- (3) Mitra, S., Gunda, N.S.K. and Mitra, S.K. (2017). Wetting characteristics of underwater micro-patterned surfaces. RSC Advances, 7(15), pp.9064–9072.
- (4) Sun, T., Shui, F., Ning, T., Guo, W. (2022). Tunable Antireflection Properties with Self-Assembled Nanopillar and Nanohole Structure. Nanomaterials, 12(24).

조이스틱 기반의 로봇 원격 작동 및 절삭 칩 감지 응용

이지은, 전현섭, 이승준, 정영훈*

Joystick-based remote control of a robot and its application to cut chip detection

J. E. Lee, H. S. Jeon, S. J. Lee, Y. H. Jeong*

경북대학교 기계공학부

Key Words: ROS, Open CV, Image processing, linear regression

1. 서 론

절삭가공시에 발생하는 칩은 제거해야 하며, 이는 제품의 정확도와 품질을 유지하기 위해 필수적이다. 일부 현장에서 칩 제거는 수동으로 공기 흡입을 진행하거나 손으로 직접 칩을 제거하는 방식을 사용하고 있다. 그러나 작업 시간과 비용을 절감하기 위해 자동화 칩 제거 시스템이 필요하다. 본 연구에 서는 협동 로봇 기반 자동화 칩 제거 시스템을 고안하였다. 6축 협동 로봇에 부착된 카메라로 칩의 유무를 감지하고 위치 좌표를 알아내어 최적의 칩 제 거 경로를 구축하고자 한다. 또한, 엔지니어가 더욱 직관적으로 실시간 제어 를 할 수 있는 조이스틱을 활용하여 로봇제어를 진행하는 방안을 고안하였다.

2. 실 험

이미지 처리는 영상처리 오픈 소스 라이브러리(python CV2)를 사용한다. 칩 형상 특징을 고려해 물체의 코너 점을 검출하는 가속 세그먼트 테스트 (FAST, Features from Accelerated Segment Test) 알고리즘을 사용하여 칩의 좌 표를 확인한다.

조이스틱(Ps4)와 협동로봇은 두산로보틱스에서 제공되는 로봇운영체제 패 키지(ROS package)와 오픈 소스인 조이 노드(joy node)를 연동시켜 조그(jog) 메시지 파일을 사용한 통신을 진행한다. 로봇운영체제(ROS) 상에서 키 맵핑 을 진행하고 그에 따라 조그 명령어를 사용해 로봇을 작동시킨다. 로봇의 기 본 준비 자세는 조인트 좌표 [0,0,90,0,90,0]으로 고정 후 테스크 Z좌표값 280 으로 설정하였다. 준비 위치에서 로봇 좌표계와 픽셀 좌표계를 교정한 결과 1 픽셀 당 3mm로 나타났고 이를 이용하여 영상처리 라이브러리(python CV2)에 서 감지한 칩의 픽셀 좌표를 로봇 좌표계로 변환하였다.



Fig. 1 Robot based machining cell



Fig. 2 FAST-based cut chip detection results (a) original image (b) detected cut chip

3. 결 론

본 연구에서는 로봇운영체제((ROS)를 매개체로 조이스틱과 협동 로봇 간 통신을 진행하고 수집한 이미지를 바탕으로 칩을 감지하고 좌표를 찾아내었 다. Fig.2는 영상처리 라이브러리(Python CV2)의 가속 세그먼트 테스트(FAST, Features from Accelerated Segment Test) 알고리즘을 이용해 칩을 감지한 결과 이다. 칩의 픽셀 좌표와 조이스틱으로 로봇을 동작했을 때 로봇운영체제 내에 서 받아오는 실시간 로봇 좌표, 이 두 좌표를 교정시켜 픽셀 좌표를 로봇 좌 표로 변환시킴으로써 칩의 좌표를 로봇 기준 좌표로 구현하였다.

후 기

이 성과는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업 기술평가관리원, 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구 임(No. 20015060, P0020616)

- (1) Pelossof, R., Miller, A., Allen, P., & Jebara, T. (2004, April). An SVM learning approach to robotic grasping. In IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004 (Vol. 4, pp. 3512-3518). IEEE.
- (2) Hortal, E., Planelles, D., Costa, A., Iánez, E., Úbeda, A., Azorín, J. M., & Fernández, E. (2015). SVM-based brain-machine interface for controlling a robot arm through four mental tasks. Neurocomputing, 151, 116-121.
- (3) Yamano, K., Tanaka, K., Hirayama, M., Kondo, E., Kimuro, Y., & Matsumoto, M. (2004, September). Self-localization of mobile robots with RFID system by using support vector machine. In 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (IEEE Cat. No. 04CH37566) (Vol. 4, pp. 3756-3761). IEEE.

화학기계연마 공정을 고려한 SiC 웨이퍼 연삭가공 형상 제어 기술

이상직*, 김노원, 강필식

Shape control technique for SiC wafer grinding considering chemical-mechanical polishing

S. J. Lee*, R. W. Kim, P. S. Kang

한국생산기술연구원

Key Words : Silicon carbide, Wafer grinding, Shape control, Modeling and simulation

1. 서 론

단결정 SiC (silicon carbide)는 기존 Si (silicon)에 비해 전력변환 효율이 높고, 내열성 및 내전압 특성이 우수하여 차세대 수송시스템, 신재생에너지 부문에서 요구되는 고전력의 변환·변압·분배·제어를 위 한 전력반도체 기판소재로 주목받고 있는 난삭성 전기전자 재료이다. 다. 본 연구에서는 SiC 웨이퍼의 높은 형상정밀도 확보를 위하여 화학 기계연마 (chemical-mechanical polishing) 공정을 고려한 웨이퍼 연 삭에서의 형상제어 기술을 개발하고자 하였다.

2. 회학기계연마 공정에 의한 웨이퍼 형상

SiC 웨이퍼의 제조를 위해서는 단결정으로 성장된 잉곳을 다이아몬 드와이어로 절단 (multi-wire sawing)한 후, 양면 래핑 (double side lapping), 단면 기계연마 (diamond mechanical polishing)를 거쳐 단 면 화학기계연마를 통해 최종 형상정밀도와 표면정밀도를 확보한다. 웨이퍼는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 단면 화학기계연마 공정 고유의 재료제거 메커니즘으로 인하여 볼록한 형상으로 가공되는 것이 일반적이 다[1]. 이를 개선하기 위해서는 화학기계연마 이전에 웨이퍼의 재료제거 분포를 고려하여 웨이퍼 형상을 가공하는 것이 필요하나, 양면 래핑과 단 면 기계연마 공정은 연마정반 형상을 가공물에 전사하는 정압가공방식을 적용하므로 그 형상을 제어하는 것이 대단히 어렵다.



Fig. 1 Schematic view of CMP and SiC polished-wafer

3. 웨이퍼 연삭 공정을 통한 형상 제어

웨이퍼 연삭 가공은 Fig. 2와 같이 컵형 숫돌 (cup-type) 숫돌의 원 주가 가공 웨이퍼의 중심에 위치하도록 기구적으로 배치하고, 숫돌과 웨이퍼를 상대 회전시키면서 미세 절입하여 표면과 형상을 생성하는 인피드 (in-feed) 가공방식이 널리 적용되고 있다[2].



Fig. 2 Wafer grinding process and wafer shape control

웨이퍼의 가공 형상은 숫돌과 웨이퍼의 회전축 간의 경사각 (tilting angle)에 의해 결정되며, 본 연구에서는 기존 연구 모델에 기초하여 새 로운 웨이퍼 형상 제어 방법과 모델을 개발하였다. 형상 모델링 및 해 석 결과, Fig. 3과 같이 각 조정점 A와 B의 조정을 통해 다양한 형상의 웨이퍼 가공이 가능할 수 있음을 확인하였다.



제안된 새로운 형상 모델링 및 해석기법을 활용하여 화학기계연마 공정 이후에 높은 형상정밀도를 확보할 수 있는 연삭가공 형상을 도출 한 결과는 Fig. 4와 같다.



후 기

본 연구는 2021년도 산업통상자원부 '소재부품기술개발사업' (No. 20017246, 고기능성 연마윌 적용을 통한 SiC 단결정 웨이퍼 정밀가 공 기술 개발)과 2022년도 산업통상자원부 '기계·장비산업기술개발' (No. 20018376, 600mm급 대면적 FOPLP 기판 가공을 위한 전자동 지 능형 복합 연삭시스템 개발) 의 지원을 받아 수행되었음.

- Chen, K.S., Yeh, H.M. and Chen, Y.T., 2009, Finite-element analysis on wafer-level CMP contact stress: reinvestigated issues and the effects of selected process parameters, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 42, 1118-1130.
- (2) Sun, W, Pei, Z. J, Fisher, G. R, 2004, OFine Grinding of silicon wafers: a mathematical model for the wafer shape, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 44, 707-716.

시계열 신호처리 기반 SiC 웨이퍼 연삭공정 모니터링

김노원*, 이상직

Monitoring of SiC wafer grinding process based on time series signal processing

RohWon Kim^{*}, SangJik Lee

한국생산기술연구원 정밀기계공정제어연구그룹

Key Words : SiC wafer, Grinding, Monitoring, Acoustic emission sensor(AE), Accelerometer, Time series signal processing

1. 서 론

탄소규제 및 친환경에너지 정책의 일환으로 전기 자동차에 대한 수 요가 급증함에 따라 전력반도체에 사용되는 SiC 웨이퍼의 사용량이 증가하고 그에 따른 성장, 가공 등의 공정기술에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. SiC웨이퍼의 핵심가공공정은 원하는 두께에 도달하기 위한 연삭공정으로 연삭숫돌 입도, 공정조건, 숫돌 마멸상태 등에 의 해 두께 편차(TTV), 표면 스크레치, 크랙 등의 품질에 영향을 받는다. 따라서 본 논문은 연삭공정의 효율 및 균일한 품질을 위해 AE, 가속 도, 전류센서의 다중센서를 부착하고 시계열 신호처리 기반 연삭공정 을 모니터링하였고, 연삭공정의 특성을 분석하였다.

2. 연삭 모니터링 시스템

본 실험은 인피드방식의 연삭기로 4인치 SiC 웨이퍼를 가공하였고 숫돌은 400 Mesh, 휠속도 1250RPM, 테이블속도 200rpm, 연삭속도 0.7 µm 조건으로 50 µm 를 가공하였다. 스핀들과 테이블에 진동검출을 위 한 가속도, 숫돌 및 가공상태 검출을 위한 AE센서, 가공부하상태 검출 을 위해 모터 드라이브에 전류센서를 부착하였다. 신호수집속도는 AE RMS, 전류센서는 1kHz, 가속도 센서는 10kHz이며 신호수집 및 처리 는 PXI(National Instrument)를 이용하였다. Fig.1은 실험장치 구성 도 이고, 수집된 신호는 노이즈제거를 위한 필터적용 및 시계열 신호 처리인 RMS변환하였다.



Fig. 1 Experimental setup

실험 결과 및 고찰

SiC 웨이퍼의 연삭가공은 급속이송 후 ①안전이송, ②1차 가공, ③ Spark-out, ④두께측정, ⑤2차 가공, ⑥Spark-out, ⑦두께측정 순으 로 진행되고, 이때 발생한 스핀들 및 테이블의 AE, 전류, 가속도 센서의 신호는 Fig. 2에 나타내었다. 동일한 가공조건에 대해 Fig. 2(a)~(d)의 경우 정상상태 연삭공정의 신호이고, Fig. 2(e)~(h)는 연삭 숫돌에 눈막 힘이 발생한 경우에 대한 신호이다. 정상가공에서는 가공이 진행될수록 가공 AE RMS, 전류 RMS 및 숫돌 회전방향인 Y축 가속도 RMS는 증 가하였고 숫돌에 의해 웨이퍼에 힘이 가해지는 Z축 방향 가속도 RMS는 감소하였으며, 2차가공의 경우 일정한 가공량에 의해 부하가 유지되었다. 숫돌에 눈막힘이 발생한 경우, AE RMS와 전류 RMS는 가공 중 신호 증가량이 작고, 눈막힘에 의해 AE, 전류 모두 급격히 증가하였다.



(c) Y-axis Acc. RMS : Normal(d) Z-axis Acc. RMS : Normal



(g) Y-axis Acc. RMS : Fault (h) Z-axis Acc. RMS : Fault Fig. 2 Result for SiC wafer Grinding process

가속도 RMS의 경우 Y축 방향 성분은 증가하고 Z축 방향 성분은 그 변화량이 크지 않는데, 이는 숫돌은 계속회전하고 있으나 숫돌 눈 막힘에 의해 실제 가공이 이뤄지지 않았기 때문에 Z축 방향 가속도 성 분 감소량이 거의 없다. 또한 웨이퍼 두께측정 결과 눈막힘에 의해 거 의 절삭이 이뤄지지 않았음을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 2023년도 산업통상자원부의 '소재부품기술개발사업' (No. 20017246, 고기능성 웨이퍼 연마휠 적용을 통한 SiC 단결정 웨 이퍼 정밀가공 기술 개발) 및 산업통상자원부 '기계·장비산업기술개발' (No. 20018376, 600mm급 대면적 FOPLP 기판 가공을 위한 전자동 지 능형 복합 연삭시스템 개발)의 지원을 받아 수행되었음

참고문 헌

(1) Chien-Sheng L. and Yang-Jium O., 2020, Grinding Wheel Loading Evaluation by Using Acoustic Emission Signals and Digital image processing, sensors, 39. 517-521.

cBN 공구를 이용한 STAVAX 강의 마이크로 밀링 중 절삭유 분사 형태에 따른 표면 거칠기에 관한 연구

이동원^{1,2}, 이현화¹, 김진수¹, 김종수^{1*}

A study on the surface roughness depending on cutting fluid type

during micro-milling on STAVAX steel with cBN tool

D. W. Lee^{1,2}, H. W. Lee¹, J. S. Kim¹, J. S. Kim^{1*}

한국생산기술연구원 금형성형연구부문¹, 인하대학교 기계공학과²

Key Words : cBN(cubic boron nitride) tool, Cutting fluid type, Micro milling, Micro pattern, Surface roughness, STAVAX steel

1. 서 론

LED(Light Emitting Diode) 기술의 발전으로 LED 램프의 크기, 소비전력, 수명, 휘도 등에 대한 개선이 이루어졌고, 차량용 할로겐 램 프를 대체하고 있는 추세이다. 차량용 램프에 적용되는 LED는 조도, 배광, 방열구조개선 등을 위하여 라이트 가이드가 적용된다. 이러한 라이트 가이드의 마이크로 패턴에는 수 십nm 수준의 표면거칠기(Ra) 가 요구되기 때문에 라이트 가이드 제조용 금형을 제작하기 위해서는 라이트가이드와 동일한 수준의 표면거칠기를 갖는 마이크로 패턴 가 공기술이 요구된다.

한편 STAVAX 강은 상용화 된 SUS420J2 계 금형강으로 내식성과 내마모성이 우수하며, 특히 경면 가공성이 우수한 강종으로 평가되어 라이트 가이드와 같은 광학용 플라스틱 렌즈 금형소재로 적합하다. 하 지만 크롬(Cr)함량이 높기 때문에 타 강종 대비 상대적으로 피삭성 측 면에서 불리하므로 적절한 공구와 가공조건이 요구되는 소재이다. 본 연구에서는 STAVAX강에 마이크로 패턴 가공 시 가공조건 중 절삭 유의 분사형태가 표면 거칠기에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 절삭 가공 실험을 수행하였다.

2. 가공실험 및 표면거칠기 측정

2.1 가공실험

본 실험 전 피삭재는 계단 형상의 마이크로 패턴을 갖도록 초경 공구를 이용하여 황삭 및 중삭 가공을 수행하였다. 본 실험의 대상은 정삭 공정이 며 사용공구는 Φ0.15 mm의 cBN(cubic Boron Nitride)소재의 2날 볼 엔드밀을 사용하였다. cBN은 다이아몬드 다음으로 경도가 높은 인공소 재로 내열성이 우수하고 철(Fe)과 반응하지 않아 특수강 절삭 공구로서 적합하다. 모든 가공은 3축 CNC 가공기(RXP 801 Z2; röders)를 사용 하였으며 절삭유 분사 형태 이외의 가공조건은 동일하게 적용하였다. 가 공조건은 공구 제조사가 권장하는 조건의 70% 수준으로 적용하였으며, Table 1에 가공실험 조건을 표기하였다.

Table I Machining condition	Table	1	Machining	condition
-----------------------------	-------	---	-----------	-----------

Mashining condition	Case No.						
Machining condition	1	2					
Spindle speed, RPM	40,000						
Feed rate, mm/min	560						
Radial depth of cut, mm	0.0035						
Axial depth of cut, mm	0.0)06					
Cutting fluid type	Oil Liquid Oil Mist						

2.2 표면 거칠기 측정

가공된 시편은 3D 레이저 공초점 현미경(OLS5100, Olympus)을 이 용하여 표면거칠기(Ra)를 측정하였다. 표면거칠기는 공구 진행방향과 직 교 방향으로 측정하였으며, 각 케이스 별 등간격으로 9개 지점을 측정하 였다.

3. 결 론

본 연구에서는 cBN 공구를 사용하여 STAVAX 강에 마이크로 패 턴을 가공 시 절삭유 분사 형태 중 Oli Liquid와 Oli Mist가 표면 거칠 기에 미치는 영향을 관찰하기 위한 가공실험을 수행하였고 각 case의 Ra 값을 측정하여 비교하였다.

각 case의 9개 측정지점 Ra 값의 평균은 Oil Liquid를 적용한 가공 시 Ra 128.3 nm, Oil Mist를 적용한 가공 시 Ra 122.56 nm로 약 4.5 %의 차이로 Oil Mist를 적용한 가공에서 상대적으로 Ra값이 낮게 가 공된 것을 관찰 할 수 있었다. 또한 표준편차는 Oil Liquid 적용 시 61.28 nm, Oil Mist 적용 시 52.25 nm로 약 16.1%의 차이를 보였다. 결과적으로 Oil Mist를 적용한 가공이 상대적으로 균일한 고품위의 표면가공에 유리함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 한국생산기술연구원 및 산업통상자원부의 소재부품산업 기술개발기반구축사업의 '글로벌 시장진출을 위한 차세대 자동차용 R100, m, Ra20nm급 디지털 라이트닝 초미세 Light Guide 모듈 금형 성형기술 개발(KM230100, 20019131)'과제의 지원을 받아 수행되었 습니다.

- Lee, D.W and Lee, S.K, 2013, *Technology Market Analysis for* Automotive LED Headlamp Development, Korea Institute of Science and Technology Information
- (2) Lee, S.C, Park, J.N, Kim, S.J, Cho, G.J, 2010, A Study on Boring of Plastic Mould Steel, Proceeding of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 232-237.
- (3) Rowe, W.B, 2009, *Chapter 3 Grinding Wheel Developments*, Principle of Modern Grinding Technology, 35-58

Face Milling 가공시 전류센서를 이용한 공구 상태 예측 알고리즘

류제두*, 황경환, 김성렬*

A study on learning algorithm for predicting tool condition in face milling using current sensors

Jedoo Ryu*, KyungHawn Hwang, SungRyul Kim*

한국생산기술연구원 정밀기계공정제어연구그룹

Key Words : Face milling, Tool life, Spindle motor current, Learning algorithm

1. 서 론

절삭가공에 있어서 공구의 상태는 제품의 품질에 영향을 미치는 주 요 가공 모니터링 요소이다. 특히 평면가공에 사용되는 Face milling 은 가공작업 요구에 따라 적절한 인서트 형상과 구조를 선택하는 것이 중요하며, 이를 통해 가공 효율성과 품질을 향상시킬 수 있다.

공구의 상태를 모니터링하기 위한 연구들은, 최근 IT 및 인공지능 기술과의 접목으로 작업자에 의한 경험 및 판단에 기반한 공구 마모/ 파손에 의한 교체시점 판별에서, 다양한 센서 데이터 기반 고장/진단 및 예지 기술을 도입하여 공구의 교체여부를 예측하고 있다. 그러나, 다양한 센서 데이터를 수집하여 공구의 상태를 판단하여 최적의 공구 교체 시점을 찾기에는 한계가 있고, 실제 현장에 적용하기 어려운 단 점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 가공부하와 공구상태의 연관성을 추출하기 위해 스핀들의 전류신호에서 공구상태와 연관된 특징 데이터를 추출 하고, 인공지능 학습을 통해 공구교체 시점을 판별하기 위한 예측 알 고리즘을 개발하여 실제 현장 가공기계에서 성능평가하였다.

2. 시스템 구성 및 실험

가공기 스핀들 인버터에 전류센서를 부착하였으며, 이를 데이터수 집장치(NI사 PXI)에서 샘플링 1kHz로 데이터를 수집할 수 있도록 구 성하였다. 공구의 인서트는 실험 전후 광학현미경으로 마모량을 측정 하여 정상공구, 비정상공구로 구별하여 실험을 진행하였다.

측정된 전류데이터는 동일 가공시 데이터를 추출하고 이를 FFT하 여 특정 주파수 변화를 확인 하여 공구상태에 따른 주파수 변화를 확 인하였고, 이러한 특징이 학습에 적용할 수 있도록 STFT를 하여 전류 데이터를 이미지화하였다.



Fig. 1 MCT Monitoring System



Fig. 2 Sensor Data Processing

학습모델은 ResNet-34를 이용하였으며, 취득된 데이터를 공구 상태 에 따라 라벨을 부여하고 8:2로 학습데이터와 검증데이터로 나누어 에 포크 50회를 진행하여 97.1689%의 높은 정확도를 가진 결과를 얻었 다.





3. 결 론

본 연구는 전류 센서 데이터를 이용하여 공구상태를 확인할 수 있는 학습알고리즘을 개발하고 이를 현장에 적용하여 성능을 확인하였다. 전류센서는 상대적으로 저렴하고 설치가 용이하여 본 연구가 현장에 적용될 가능성이 높을 것으로 생각된다. 향후 가공부하 예측 및 표면 조도 상태 예측 등에 관한 연구를 진행할 계획이다.

후기

본 논문은 한국생산기술연구원 기본사업 "현장설비 부착형 극저온 통합가공시스템 개발 (KITECH EH-23-0011)" 의 지원으로 수행한 연구입니다.

참고문 헌

(1) R. W. Kim, S. R. Kim.(2022), Real-time Tool Condition Monitoring in Milling Process for Digital Twin, Korean Society for Precision Engineering, 667-667.

(2) R. W. Kim, S. R. Kim.(2022), Real-time Tool Wear Monitoring of Face Milling by Multi-sensor, Korean Society for Precision Engineering, 318-318.

(3) C. M. Kim, S. R. Kim, K. H. Hwang, J. M. Ko.(2015), Monitoring of CFRP Cutting Processing using Abrasive Water jet, Korean Society for Precision Engineering, 53-54.

자동차 변속기의 유성기어 캐리어 페이스밀 가공 모니터링

황경환*, 류제두, 김성렬*

Monitoring of face milling process for automotive transmission planetary gear carrier

K. H. Hwang^{*}, J. D. Ryu, S. R. Kim^{*}

한국생산기술연구원

Key Words : Face milling, Monitoring system, Planetary Gear Carrier,

1. 서 론

자동차 부품 산업은 다양한 규제와 요구 사항의 증가로 인해 가공 공정을 개선하고, 불량률을 최소화하여 제품의 품질과 신뢰성을 향상 을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 유성기어 캐리어의 작은 부품 크기와 복잡한 형상은 가공 중에 발생할 수 있는 오차와 결함 가 능성을 증가 시킨다. 따라서, 본 논문에서는 자동차 변속기의 유성기 어 캐리어의 품질 향상을 위해 페이스밀 가공 모니터링 시스템을 개발 하고 절삭공구의 이상상태를 검출 하였다.

2. 가공 공정 모니터링 시스템

가공 공정 감시를 위해 아래의 그림과 같이 시스템을 제작함. 시스 템은 전원 노이즈제거를 위한 필터와 공정 상태 정보 수집을 위해 장 비에 설치된 가속도, 전류, 힘, AE(Acoustic Emission) 등의 센서에서 출력되는 신호의 A/D 변환을 위한 모듈과 측정된 신호의 수집을 위해 고속 신호처리 및 수집, 산업 환경에 강인한 데이터수집 기반 컨트롤 러를 적용하였다. 또한, 모니터링 프로그램 구동을 위해 임베디드 싱 글보드 컴퓨터를 선정하여 시스템 내에 설치하였다.



Fig. 1 Face milling process monitoring system

3. 실험방법 및 결과

공정 모니터링을 위해 Fig. 2와 같이 센서를 설치하였으며, 공정 모 니터링 시스템을 이용하여 정상상태와 이상상태 공구를 변경하여 4 ~80회 가공 시 데이터 수집 및 분석을 수행하였다. 스핀들의 회전속 도의 가공거리를 고려하여 데이터 수집 속도를 선정하였으며, 가공 기 기 구동, 정지, 절삭유 분사 등의 상태에서 센서 신호의 주파수 분석을 통해 노이즈에 해당하는 주파수영역을 검출하고 이를 바탕으로 필터 를 적용하여 노이즈 성분을 제거 후, 신호를 분석하였다.



Fig. 2 Sensor setup and tools for Tool state data acquisition



Fig. 3 Polynomial Fitting Results of Tools in Normal and Abnormal States



Fig. 4 Frequency Analysis Results of Current Signals

Fig.3 은 공구상태에 따른 AE RMS 신호의 변화를 나타낸 그래프이 며, 마모 진행됨에 따라 감소하는 경향이 나타났다. 이는 공구에서 소재를 가공 부분의 형상의 마모가 진행됨에 따라 제품의 미시적 변형이나 파괴 에 의해 발생되는 음향이 감소하기 때문에 나타나는 판단된다. 평균값으 로 변환 후 다항식 피팅Polynomial fitting)을 통해 계산하여 계수와 이 를 이용한 식을 정의한 한 결과 공구의 초기 AE RMS 신호의 크기가 변 화하여도 공구의 마모 판단이 가능하였다.

Fig. 4는 전류 신호의 주파수 분석결과를 나타내며, 마모된 공구로 가 공 시 주파수는 감소하고 진폭의 크기는 증가하였다. 공구의 마모가 진행 됨에 따라 가공의 참여하는 공구의 부분의 변형(마모, 파손 뭉개짐 등)으 로 가공력이 감소되고 모터의 부하는 증가로 인한 현상이다. 특징 추출을 위해 STFT 신호처리 기법을 적용한 결과, 정상 및 마모 상태의 공구는 이미지 패턴이 다르게 나타나며, 이를 기반으로 인공지능 적용을 위한 데 이터 세트 구축이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2023년도 기획재정부의 중소·중견기업 생산기술 실용화 및 기술지원사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (No. 1711175151, 부산권 첨단장비활용 종합기술 지원사업)

참고문 헌

(1) B. S. Wan and M. C. Lu., and S. J. Chiou., 2022 Analysis of Spindle AE Signals and Development of AE-Based Tool Wear Monitoring System in Micro-Milling, Journal of Manufacturing and Materials. Processing, 6, 42. 1-17.

마이크로 LED 리페어를 위한 ITO 펨토초 레이저 미세가공

엄은향^{1,2,3}, 최준하^{1,2}, 조성학^{1,2*}

Laser micromachining of ITO film for micro LED repair

E. H. Eom^{1,2,3}, J. Choi^{1,2}, S. H. Cho^{1,2*}

한국과학기술연합대학원대학교 나노메카트로닉스학과', 한국기계연구원 나노융합장비연구부 나노공정장비연구실², 한밭대학교 화학생명공학과³

Key Words : Micro LED, ITO(Indium Tin Film)

1. 서 론

마이크로 LED는 고해상도, 전력효율, 플렉시블 구현, 장수명 등의 측면에 서 우수한 특성과 다양한 응용분야로 차세대 디스플레이로 각광을 받고 있다. 전력효율은 웨어러블, 스마트폰, 테블릿pc 등 무선 기기들의 배터리 용량 측 면에서 최대 해결 과제의 하나이다. 마이크로 LED는 기존 디스플레이보다 전력소모가 매우 적어 대용량 배터리 탑재가 어려운 스마트 워치 등 소형 웨 어러블 디스플레이에 적합하다. 마이크로 LED는 웨어러블 디스플레이를 비 롯하여 자율주행 자동차 센서, 바이오헬스케어, loT통신, 로봇 산업 등 핵심 분야에는 모두 마이크로 LED 기술과 긴밀하게 연결되어있다.또한 마이크로 LED는 LED칩 자체를 발광 소재로 화면을 구현하기 때문에 OLED와 같이 컬러 필터와 BLU(Back Light Unit)가 필요가 없으며, 유기재료로 기반으로 수 분 및 외부 환경에 민감하여 추가 공정이 필요했던 OLED와 달리 마이크로 LED는 무기물 기반의 디스플레이로 외부환경에 민감하지 않다. 이렇듯 마이 크로 LED의 상용화가 절실한 실정이다. 그러나 현재 마이크로 LED 양산화 에서 가장 큰 문제점은 생산수율이 떨어진다는 점이다. 현재 30 수준의 생산 수율이 구현되어 있지만 산업적으로 사용되기 위해서는 60 수준의 레벨에 도달해야된다. 생산수율을 높이기 위한 방법으로 리페어가 있다. 리페어는 마 이크로 LED 자체를 레이저로 제거하거나 불량이 난 위치의 옆지점에 추가적 인 레이저 처리를 통해서 새로운 마이크로 LED를 부착하는 방법이 있다. 리 페어를 위한 두 방법 모두 마이크로 LED의 TFT 기판에 레이저 처리를 해야 한다. TFT의 구성 성분으로는 Ti, Ni, ITO가 주를 이루고 있다. ITO는 산화 인 듐 (In2O3)과 산화 주석 (SnO2)으로 구성되어 있으며, 가시광선 영역에서 투 과 특성이 우수하고, 높은 전도도를 갖는 상온에서 안정한 산회물이다.가시광 선 영역에서의 높은 투명성과 높은 전도도 특성으로 디스플레이를 비롯한 광 전자소자와 광학 애플리케이션 제조를 위한 투명전극으로 폭넓게 사용되고 있다.이에 따라 디스플레이와 전자 산업에서는 ITO 가공을 위해 다양한 기술 들이 연구되고 있으며, ITO 미세 가공 깊이를 제어하는 방법을 찾는 것은 마 이크로LED 분야 기술의 성공적 구현에서 중요한 역할을 한다. 본 실험에서 는 TFT의 구성 성분 중 하나인 ITO의 가공 특성에 대해 보고한다

2. 실 험

본 연구에서는 ITO의 미세 가공을 위해 펨토초레이저를 샘플에 조사하였 다. 조사한 레이저의 조건으로는 100kHz의 반복률, 190 fs 펄스폭 기반과 펄 스 fluence, 펄스 수를 변수로 하였다. 동시에 마이크로 LED에 적용될 미세 가공을 위해서는 균질한 깊이 컨트롤이 요구되어 지는데, 이를 위해 flat-top beam을 사용하여 미세 가공을 진행하였다. flat-top beam이란, 사각형의 빔 형 태화 균질한 beam intensity를 가진다. 이를 통해 ITO의 미세가공뿐만 아니라 최소 가공 깊이 데이터를 획득할 수 있다.



Fig. 1 Experimental setup

3. 실험 결과 및 고찰

ITO를 가공하기 위해서 0.263J/cm 부터 0.81J/cm 의 fluence, 1발에서 5발까 지의 펄스를 조사하였다. 너무 낮은 플루언스에서의 레이저 조사는 샘플 표 면의 불균질성에 의해 균질한 가공이 진행되지 않았다. 그러나 ablation threshold에서는 적절한 fluence에서는 균질한 가공이 진행된 것을 확인할 수 있었다. 추가적인 펄스에 의해 가공된 결과로는 particle이 생성된 것을 확인 할 수 있었다. 이는 바닥면의 Si wafer가 가공된 것으로 substrate까지 가공되 어 원하는 영역 이상이 가공된 것이라고 볼 수 있다. 때문에 적절한 fluence와 적절한 펄스 수를 설정하여 ITO만을 깔끔하게 가공 할 필요가 있다.



Fig. 2 Optical image of ITO ablation on Si wafer

- (1) Harilal, S. S., Freeman, J. R., Diwakar, P. K., & Hassanein, A.,2014, Femtosecond Laser Ablation: Fundamentals and Applications. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, 143–166
- (2) Kim, H.-Y., Choi, W.-S., Ji, S.-Y., Shin, Y.-G., Jeon, J.-W., Ahn, S., & Cho, S.-H.,2018, Morphologies of femtosecond laser ablation of ITO thin films using gaussian or quasi-flat top beams for OLED repair. Applied Physics A, 124(2).
- (3) Kim, H.-Y., Choi, W.-S., Ji, S.-Y., Shin, Y.-G., Jeon, J.-W., Ahn, S., & Cho, S.-H.,2018, Morphologies of femtosecond laser ablation of ITO thin films using gaussian or quasi-flat top beams for OLED repair. Applied Physics A, 124(2).

SERS용 Flat-top 사각빔을 이용한 ripple 구조의 주기적인 균일성 향상

최준하, 조성학*

Periodic uniformity enhancement of ripple structure using flat-top square beam for SERS J. Choi, S. H. Cho*

한국과학기술연합대학원대학교 나노메카트로닉스학과, 한국기계연구원 나노융합장비연구부 나노공정장비연구실

Key Words: Ripple, Flat-top beam shaping, Hot spot, Femtosecond laser, Surface-enhanced Raman scattering(SERS)



Ripple은 주기적인 라인 구조물로 펨토초레이저가 샘플 표면에 ablation threshold보다 약간 높은 파워를 가지고 적절한 조건이 만족되었을 때 생성된 다. 생성되는 원리로는 다음과 같다. 표면의 인텐시티는 불균질 흡수와 샘플 표면의 거칠기의 곱과 비례하는데 불균질 흡수는 surface plasmon에 영향을 받고 생성되는 라인 구조물의 간격은 surface plasmon에 영향을 받게 된다. 이 려한 주기적인 라인 구조물의 ripple은 optics, fluidics, biomedicine, chemistry, mechanical engineering등 다양한 분야에서 사용되고 구체적으로 structural color, controlling hydrophobicity, surface-enhanced Raman scattering등에 사용된다.

2. 펨토초 가공 실험

우리는 타켓 샘플을 가공하기 위해 1030 파장, 4mm raw beam diameter의 펨 토초 레이저를 사용한다. Raw beam은 가우시안 빔의 프로파일을 가진다. 이 번 실험에서의 첫번째 주제는 주기적인 라인 구조물을 ripple을 이용해 제작 하는 것이다. 기존의 주기적인 라인 구조물은 포토리소그래피, 나노임프린트, 금형제작 등의 방법을 이용하여 제작되었다. 이 경우 많은 시간, 금액, 복잡한 공정과정, 정밀하고 비싼 장비, 친환경적이지 못한 회학약품들을 요구한다. 하지만 ripple의 경우 펨토초레이저 시스템한 구성되어 있다면 위의 한계들을 극복하며 주기적인 라인 구조물 제작이 가능하다. 이를 이용한 기존의 여러 연구들이 존재한다. 하지만 이전의 연구들은 가우시안 빔을 이용하여 ripple을 제작하였다. 가우시안 빔의 경우 중심부의 인텐시티가 높고 주변부의 인텐시 티가 낮은 가우시안 빔 프로파일의 형태를 가지고 있다. Ripple은 제작될 때 펄스 폭, 펄스 파장, 펄스 fluence, 펄스 인텐시티, 펄스 수 등 다양한 조건들에 영향을 받게 된다. 때문에 불균질한 인텐시티는 불균질한 주기의 ripple을 유 도하게 된고 불균질한 주기는 불균질한 전자기장을 유도하게 된다. 이는 일정 한 수행능력을 가져야하는 여러 적용분야에서 낮은 효율을 가지게 한다. 때문 에 균질한 주기의 ripple이 요구되어진다.

이번 실험에서의 두번째 주제는 플랫탑 빔을 이용하여 ripple을 제작하는 것이다. 앞서 설명했듯이 가우시안 빔은 가우시안 빔 프로파일을 가지고 있어 불균질한 ripple을 형성하게 된다. 때문에 기계식 슬릿을 아용하여 가우시안 빔의 악한 인텐시티 부분을 제거하며 튜브렌즈를 아용해 빔의 포커싱 위치를 조절한다. 결과적으로 균질한 빔 인텐시티의 플랫탑빔을 획득하였고 이를 이 용해 ripple을 제작하여 균질한 주기의 라인 구조물을 획득한다.플랫탑 빔의 경우 모든 focal point에서 optical breakdown이 발생하지 않게 빔의 경로와 파 워를 설정하였으며 optical setup의 설계상 항상 slit의 image가 샘플 표면에 전 사할 수 있도록 하였다.



Fig. 1 Experimental setup

3. 실험 결과 및 고찰

이번 실험에서는 가우시안 빔과 플랫탑 빔을 이용하여 ripple을 제작하고 주기성을 분석하였다. 1D FFT를 아용하여 주기성을 평가한 결과 플랫탑 빔을 이용하여 제작한 ripple이 가우시안 빔으로 제작한 ripple보다 균질한 주기성 을 가지고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 가우시안 빔으로 제작한 ripple의 경우 선폭에 따른 추가적인 주기를 확인할 수 있었으며 이는 6 µm이 다. 때문에 특정한 주기만을 보유하고 있는 플랫탑으로 제작한 ripple이 여러 적용분야에 더 적합하다고 표현할 수 있다. 동시에 제작한 ripple을 SERS의 substrate로 사용하였다. Ripple에 20nm의 Au를 증착시키고 메틸렌블루 용액 을 5µL 떨어뜨려 라만 신호를 분석하였다. 1620 wavenumber/cm⁻¹에서 라만 인텐시티를 측정한 결과 가우시안 빔으로 제작한 ripple보다 플랫 탑 빔으로 제작한 ripple에서 더욱 일정한 라만 인텐시티가 측정되는 것 을 확인할 수 있었다. 이는 더 높은 재현성을 가지고 있음을 의미하며 SERS 신호 분석에서는 플랫탑 빔으로 제작한 ripple이 사용하기에 적절 함을 의미한다.

- (1) Bonse, J, Höhm, S, Kirner, S. V, Rosenfeld, A, and Kruger, J, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 2017, 23, 109–123.
- (2) Sipe, J. E, Young, J. F, Preston, J. S, and van Driel, H. M, Phys. Rev. B. 1983, 27.2, 1141.
- (3) Huang, M, Zhao, F, Cheng, Y, Xu, N, and Xu, Z, ACS Nano. 2009, 3, 4062–4070.

머시닝센터에서의 입력성형 적용에 따른 원호보간 궤도 오차에 관한 연구

고강호¹, 홍성욱²*

A study on track error in circular interpolation due to input shaping for machining center

K. H. Ko¹, S. W. Hong^{2*}

한국폴리텍대학 구미캠퍼스 기계시스템과¹, 금오공과대학교 기계시스템공학과²

Key Words : Machining center, Input shaping, Circular interpolation

1. 서 론

최근 머시닝센터의 이송 시스템은 고속화를 통한 높은 생산성을 달성하 기 위해 구조적으로 경량화되고 있으며, 고정밀 위치 제어기술이 적용되 고 있다. 이같은 고속 경량 이송 시스템은 고속 이송으로 인해 이송 중 잔류진동이 발생하게 되어 시스템의 성능 저하 및 가공 정밀도에 영향을 미치게 된다. 이송 시스템의 잔류진동을 억제하기 위해 다양한 기술이 적 용되고 있지만, 그 중에서 입력성형기법(Input Shaping Method)은 기준 입력 명령을 시스템의 특성 정보를 기반으로 수정한 후, 새롭게 만들어진 입력 명령을 가하여 진동 상쇄효과를 얻을 수 있도록 하는 것이다. 본 논 문에서는 3축 수직 머시닝센터의 이송시스템에 직선 및 원호 복합 공정에 서 입력성형기법을 적용하여 원호보간 궤도 오차를 개선할 수 있는 방법 을 제안하였다.

2. 시뮬레이션

직선+원호 복합 공정에 입력성형을 적용하였고, 시뮬레이션을 위해 Fig. 1에 보인 것과 같이 설치된 공작물의 X축과 Y축 측면에 가속도 센 서를 부착하여 고유진동수를 측정하였다. 가공 경로는 X축 직선 이송 20mm, 원호보간 구간의 반경 20mm, Y축 직선 이송 20mm 후 정지하 게 된다. 입력성형기는 XY방향이 이방성을 보이고 있으므로 양방향에 대 해 2개의 고유진동수를 모두 고려한 최소 임펄스 다모드 입력성형기를 적 용하였다. Fig. 2는 이송속도 100mm/s, 감속 비율을 40%로 하고 입력 성형을 적용한 궤도 프로파일과 기준 입력 명령의 궤도 프로파일을 나타 반다. Table 1은 시뮬레이션 조건과 오차의 양상을 보여준다. 오차율은 이송속도가 커질수록 증가함을 볼 수 있으며, 원호궤도 진입 전에 감속을 하는 것이 오차를 개선할 수 있음을 알 수 있다.



Fig. 1 Experimental setup



Fig. 2 Track of circular motion with Vmax = 100mm/s and 40% velocity reduction during circular interpolation

Table 1 Simulation results for combined linear and circular cutting process

		01		
Circular		Velocity		
internalation	Natural	reduction	Maximum	Orbital
merpolation	frequency	rate	velocity	error
radius	(Hz)	(% of Max.	(mm/s)	(%)
(11111)		velocity)		
		40	100	0.0270
20	X : 46	40	200	0.1075
20	Y : 131	1	100	0.1051
		1	200	0.3546

3. 실험 결과 및 고찰



Fig. 4 Circular arcs in Al6061 Vmax100 Z-0.05

가공된 시편은 원호보간 구간의 궤도를 측정하기 위해 이미지 치수 측 정 시스템 IM-8000을 이용하였다. Fig. 3과 4는 SM20C와 Al6061을 이송속도 100mm/s, 가공깊이 0.05mm 조건에서 원호보간 구간의 궤도 를 측정한 결과를 나타낸다. 이미지 치수 측정 결과, 원호보간 구간에서는 입력성형이 적용되면서 감속이 40% 적용된 것이 기준 원호 궤도(R18.5) 에 가장 근접하게 나타났다. 이를 통해 속도 변화가 원호반경에 영향을 미치게 되며 감속을 통해 원호보간 궤도 오차를 개선할 수 있음을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 머시닝센터의 2축 이송계에 입력성형기법을 적용하여 직선+원호 복합 공정에서 발생하는 원호보간 궤도 오차를 개선할 수 있음 을 시뮬레이션과 실험을 통해 확인하였다.

참고문헌

- (1) Hong, S. W., 2014, Input shaping method for mechanical vibration control, Choas Book.
- (2) Kang Ho Ko, Jin Uk Sim, Seong-Wook Hong. 2022, Application of Input Shaping to a CNC Laser Processing Machine to Enhance Processing Precision, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 31(5), 346-352.

하이브리드 양친매성 나노스파이크: 김서림 방지 및 생물 오염 방지를 위한 이중 기능 표면

장혜진, 이상현, 강민수, 선가현, 김소미, 정훈의*

Hybrid amphiphilic nanospikes: A dual-function surface for antifogging and antibiofouling

H. Jang, S.-H. Lee, M. Kang, K. Sun, S. Kim, H. E. Jeong*

울산과학기술원 기계공학부

Key Words : Micro/nano fabrication, Nanostructures, Amphiphilic, Antibiofouling, Antifogging, Wetting

1. 서 론

최근 수십 년 동안 습윤 제어, 생물 오염, 김서림 방지 등 기능성 표면 개발 연구가 활발히 이루어졌다. 이러한 표면은 생체의료 기기, 광학 기기, 미세 유 체 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 그러나 기존의 많은 연구는 장기 안정 성, 효과 및 비용 효율성 측면에서 한계가 있다. 이 연구에서는 우수한 김서 림 방지 및 항생물 오염 특성을 결합한 이중 기능 표면을 제안한다. 이러한 표면은 친환경적이고 생체 친화적인 "오염 방지"특성의 polyethylene glycol (PEG) hydrogel, "오염 방출" 특성의 oleamide (OA) 및 "오염 물질 제거" 특성의 nanoscale spike (NS)를 하나의 유연한 플랫폼 내에 시너지 효과를 내도록 통 합하였다. 이러한 친환경성, 다기능성, 장기적인 안정성 및 효능, 비용 효율성 을 하나의 유연한 플랫폼에 결합하여 이전 접근 방식의 한계를 해결한다.

2. 하이브리드 양친매성 나노 스파이크의 제작

본 연구진은 포토리소그래피 공정을 사용하여 negative NS array의 Si master mold를 제작하였다. PEGDMA+OA(1~5wt%) solution을 70°C에서 자기 교반 하에 준비 한 뒤, solution에 photoinitiator를 섞고 mold에 drop-cast하였다. 그 뒤, PET film을 덮고 UV를 2분동안 조사하였다. UV 경화 후, 제작한 샘플을 master mold에서 분리하였다 (Fig. 1(a)). Fig. 1(b, c)의 SEM, AFM결과를 통해 NS array의 팁 직경(50nm), 베이스 직경 (200nm), 높이 (350nm), 피치 (500nm) 임을 확인하였음. Fig 1(d)의 1H NMR을 통해 OA-PEGDMA가 잘 결합되어 OA-PEG copolymer가 형성되었음을 확인하였음.



Fig. 1 Fabrication of the OA-PEG-NS Hybrid

3. 실험 결과 및 고찰

Fig 2를 통해 glass, PEGDMA, OA의 단일 특성 표면에 비해 OA-PEG copolymer 표면에서 OA 함량이 증가함에 따라 OA-PEG copolymer의 분자간

거리가 증가함에 따라 흡수 퍼짐 특성이 증가되어 접촉각이 낮아짐을 확인할 수 있었다.



Fig. 2 Time-dependent wetting behaviors of the prepared samples

Fig. 3에서 물방울의 표면 김서림 현상을 관찰하였다. 소수성 특성의 OA 표 면과 친수성 특성의 PEGDMA 표면에 비해 OA-PEG 표면이 액적을 더 잘 흡수하고 퍼트려 향상된 김서림 방지 성능을 나타내었다. 또한 Fig. 4에서 glass, PEGDMA, OA의 단일 특성 표면에 비해 OA-PEG copolymer 표면에서 친수성 PEG의 수화층 형성 특성 및 소수성 OA의 박테리아 표면 방출 특성, NS 구조의 박테리아 사멸 특성의 결합으로 OA-PEG copolymer의 향균 성능 이 높음을 확인하였음.



Fig. 4 Antibiofouling performance of samples

후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) (2019M3C1B7025092) and the Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI) in Korea (RE202101396)

참 고 문 헌

(1) H. Jang, G. Choi, M. Kang, S. Kim, M. Seong, S.-H. Lee, H.W. Park, and H. E. Jeong, 2022, Dynamically Actuating Nanospike Composites as a Bioinspired Antibiofilm Material, Compos. Sci. Technol., 220, 109267.

효과적인 열전달을 위한 자가접착 유연 히터 제작

박성진, 최건준, 이상우, 정훈의^{*}

Fabrication of self-interfacing flexible heater for effective heat transfer

S. Park, G. Choi, S. Lee, H. E. Jeong*

울산과학기술원 기계공학부

Key Words : Micro/nano fabrication, Photolithography, AgNWs heater, Bioinspired adhesive, Heat transfer

1. 서 론

효과적인 열전달을 위해서는 두 접촉체 사이의 열 접촉 저항을 최소화하는 것이 가장 중요하다. 기존의 열 접촉 방식은 높은 TCR, 약한 계면 접착력, 외 부 압력의 필요성, 낮은 광학적 투명성 등의 한계가 있다. 본 연구에서는 이 러한 한계를 극복하는 자가접착 유연 히터(SFH)를 소개하고자 한다. SFH는 강력한 반데르발스 기반의 기계적 접촉을 형성하고 외부 압력이나 회학적 표 면처리 없이도 평면 및 굴곡있는 기판에 대해서 낮은 저항의 열 접촉을 가진 다. 개발된 히터는 자연모사 접착구조와 은나노와이어(AgNW) 네트워크로 구 성된 격자구조를 통합된 디자인이다. SFH는 최대 538.9kPa의 접착력으로 대 상 기판에 강력한 부착력을 보인다. 동시에 밀접하게 접촉된 표면을 통해 효 율적인 열 전달을 촉진하여 0.012 m2 K kW-1의 낮은 TCR을 나타냅니다. 특 히 이 장치는 외부 압력, 열 계면 재료 또는 표면 화학 물질에 의존하지 않고 도 이러한 성능을 보인다. 강력한 접착력과 향상된 열 전달 특성을 가지는 자 가접착 유연 히터는 열전달 분야의 다양한 어플리케이션으로 활용할 수 있음 을 보여준다. 이러한 어플리케이션은 외부 압력이나 추가적인 화학적 표면 처 리 없이도 높은 열전달 성능, 강력한 접착력 및 투명성, 유연성을 가질 수 있 다.

2. 자가접착 유연 히터의 특성 실험

본 연구진이 제작한 자가접착 유연 히터는 자연모사 접착구조와, 전도성 격 자구조가 통합된 디자인을 가지고 있으며, 버섯모양과 같은 접착구조의 직경 은 10 µm, 팁 사이즈는 3 µm이며, 격자구조의 폭은 20 µm 이다. 포토 리소 그래피, 소프트 몰딩, 스프레이 코팅 등의 공정을 통해 제작된 자가접착 유연

히터는 Fig 1A 와 같이 주사전자현미경을 통해 미세구조를 관찰할 수 있다. 자가접착 유연 히터의 추가적인 특성(접착력, 전도성, 투명도) 을 측정하기 위한 추가적인 실험을 진행했으며, 자연모사 접착구조의 pillar pitch 를 다양하 게 조절하여 실험한 결과 pillar pitch 20 μm 에서 최대 511.4 kPa의 접착성능을 보였으며, 가해지는 압력에 관계없이 높은 수준의 접착 강도를 가졌다. 접착 강도와 투명도는 전도성(은나노와이어의 코팅 량) 에 따라 성능이 달라지는 것을 확인하였다 (Fig. 2B).



Fig. 1 (A) SEM images of the flexible heater, (B) adhesion, sheet resistance, and transmittance measurements

3. 실험 결과 및 고찰

자가접착 유연 히터가 높은 수준의 열전달 성능을 가지는 것을 중명하기 위해 굴곡이 있는 원통형 평면에서 열전달 실험을 진행하였다. 실험 셋업은 Fig. 2 와 같으며, 자연모사 접착구조가 있는 히터와 그렇지 않은 히터를 동시 에 반 원통형 구조물에 부착하였다. 열전달 과정은 IR 카메라로 촬영되었으 며, 실험 결과는 Fig. 3 과 같다.



Fig. 2 Experimental setup of the heat transfer and IR image



Fig. 3 Measurement of the heat transfer performance of the SFH

Fig. 2, 3 과 같이 SFH는 굴곡이 있는 표면에서도 열손실이 거의 없는 매우 높은 수준의 열전달 성능을 보였다. 반면 밀접한 접착이 불가능한 NFH의 경 우, 표면에서 열이 고르게 전달되지 않았으며, 최종적인 상태에서도 2~3 ℃ 가량 열손실이 발생하였다. 위의 실험을 통해 본 연구진이 개발한 우수한 열 전달 특성을 지니는 자가접착 유연 히터가 다양한 어플리케이션에 범용적으 로 활용할 수 있음을 보였다.

후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF-2021R1A2C3006297) and the National Research Foundation of Korea (NRF-2019M3C1B7025092)

- (1) M. Seong, I. Hwang, J. LEE, and H. E. Jeong, 2020, A pressureinsensitive self-attachable flexible strain sensor with bioinspired adhesive and active CNT layers, Sensors, 6965.
- (2) I. Hwang, M. Seong, H. Yi, H. Ko, H.-H. Park, J. Yeo, W.-G. Bae, H. W. Park, and H. E. Jeong, 2020, Low-resistant electrical and robust mechanical contacts of self-attachable flexible transparent electrodes with patternable circuits, Adv. Funct. Mater., 2000458.

7월 14일 [금]



KSMTE ANNUAL SPRING CONFERENCE 2023

198

공작기계용 고속 볼 스핀들의 진동 특성 연구

장윤혁¹, 강지완¹, 맹희영^{1,2*}

Analysis of vibration characteristics in high-speed spindles for machine tools

Y. H. Jang¹, J. W. Kang¹, H. Y. Maeng^{1,2*}

서울과학기술대학교 기계설계로봇공학과', 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과2

Key Words: Mandrel, Induction heating, Heating system, Thermal equilibrium, High frequency

1. 서 론

고속 볼 스핀들은 공작기계의 핵심 부품이다. 현장에서 공작기계가 설계 수 명보다 짧은 시간에 파손되는 경우가 있어, 이에 대한 원인을 파악하고 소비자 의 사용 환경을 고려한 공작기계를 제작할 필요가 있다. 본 연구에서는 스핀들 의 고장 원인 중 하나인 진동의 영향을 확인하고자 한다. 이를 위해 기존의 스 핀들 수명 시험 장치에 가진 모터를 부착하여 Magnitude를 비교한다.

2. 가진 영향성 평가 방법

스핀들의 가진이 없는 상태와 가진 주파수를 40 Hz 에서 73.4 Hz 까지 1.7 Hz씩 상승 시키는 것으로 총 21가지 가진 단계를 설정하였다. 가진 영향성에 대한 평가는 주파수 영역의 에너지 Magnitude(m/s²)에 대해 모든 주파수에 서의 RMS와 10 points에 대한 RMS로 비교 평가 하였다. 또한 자기상관함수 에 따라750hz 가동상태의 시스템 공명 주파수는 62.5hz로 알 수 있다.

$$E_{all} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} f(X_i)^2} \quad (1) \quad E_{max} = \sqrt{\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} f(Xmax_i)^2} \quad (2)$$

3. 가진 시험 장치 구성

고속 볼 스핀들과 시험용 테스트 벤치 그리고 가진 모터와 가속도 센서로 실 험 장치를 구성하였다. 데이터 수집은 DAQ와 LabVIEW를 활용하였다. Test 별 10분간 가진 실험을 수행하며 실험 종료 전 10초의 데이터를 수집하였다.



4. 실험 결과 및 고찰

가진 실험 결과 46.7hz의 가진 주파수가 주어졌을 때 FFT 그래프 상 모든 영역에 대한 RMS가 가장 큰 것으로 나타났다. 하지만 Magnitude 최댓값 10점 RMS에 대한 평가 결과는 46.7hz에서 가장 큰 값을 보인다.

Table 1 The energy evaluation on characteristic points	
--	--

Excitation	RMS in total	RMS in 10 max point
0hz	11,512	546,281
63.4hz	13,127	717,581
46.7hz	11,577	506,358



Fig. 2 The energy evaluation on total points



Fig. 3 The energy evaluation on maximum 10 points

주파수 영역의 모든 실험의 Magnitude 발생 경향성을 확인해 보면 스핀들 회전 주파수(750hz), 내장 모터 주파수(1,000hz)와 더불어 7 개 지점에서 100,000 m/s² 이상의 Magnitude 가 발생함을 확인하였다. 전체 지점에 대한 RMS 값이 63.4hz 에서 가장 높은 이유는 시스템 공명을 야기하여 가진 주파수로 가 진동 주기를 조성하기 때문으로 알 수 있다. 또한 진동영향성은 가진 주파수의 크기에 상관이 없음을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원 (P0012744, 2023년 산업혁신인재성장지원사업)과 정부(과학기술정보통신부)의 재원 으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2022R1A4A1032030).

- Tea-hong Lee., 2016, A Study on Diagnosis and Prognosis for Machining Center Main Spindle Unit, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15 No.4, pp.134~140
- (2) Doo-young Lee., 2014, Resonant HCF Testing for Determination of Fatigue Strength, Journal of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, vol 2014 No.4, pp.240~241

PDMS-유리 미세유체 디바이스를 이용한 입자의 연속 흐름 음파 트래핑

장재경¹, 이상욱², 조영학^{1*}

Continuous flow acoustic trapping of particle using PDMS-glass microfluidic device

J. K. Jang¹, S. W. Lee², Y. H. Cho^{1*}

서울과학기술대학교 일반대학원 기계설계로봇공학과¹, 피씨엘(주)²

Key Words : Acoustic trapping, Particle counting, PDMS-glass microfluidic device

1. 서 론

기존의 유세포분석기 (flow cytometry)를 아용한 입자의 분석 및 계수는 입 자 또는 세포의 흐름을 단일 라인으로 집중시켜 빠른 속도로 다양한 종류의 샘플을 분석할 수 있는 방식이라는 장점이 있지만 비용적인 측면이나 공간적 인 측면에서 많은 단점을 가지고 있다 [1,2]. 본 연구에서는 PDMS와 유리로 간단하게 제작한 미세유체 디바이스 내에서 음파 트래핑을 통해 입자들을 계 수하였다. 연속적인 유체 흐름 내에서 다량의 입자들을 단일층으로 집중시켜 한번에 계수를 진행하여 기존의 유세포분석기와 비슷한 처리량을 가지면서도 보다 저렴하고 일화용으로 사용가능한 입자 계수 디바이스를 제안한다.

2. 실험 및 결과

본 연구에서는 glass와 PDMS를 이용하여 미세유체 디바이스를 제작하고, 제작된 디바이스를 이용해 연속 유체 흐름 속에서 입자들을 단일층으로 집중 시키는 실험을 진행하였다. Fig. 1은 음파 트래핑 디바이스의 제작공정으로, glass 기판 위에 PDMS를 200 µm 높이로 spin coating을 진행한 후 PDMS를 cutting하여 500 µm 폭의 채널을 제작하였다. 이후 glass 기판의 drilling을 통 해 inlet과 outlet을 제작하고, glass와 PDMS를 O2 plasma 처리를 통해 bonding 을 하였다. 최종적으로 inlet과 outlet에 대한 tubing 후 glass 기판에 PZT를 부 착하여 디바이스를 완성하였다.

Fig. 2는 제작된 디바이스의 채널 내에서 입자들의 위치를 보여주는 단면도 이며, Fig. 3은 채널의 위에서 보았을 때 입자들의 집중 정도를 보여준다. DI water에 12 µm 형광입자를 섞어 만든 샘플을 다양한 유량으로 디바이스에 흘 려주면서 PZT에 전압을 걸어주었다. PZT에 전압이 가해지지 않아 입자들이 trapping 되지 않은 경우에는 채널 내에서 입자들이 여러 층을 이루며 흘러가 게 되고, 반면 Fig. 2와 같이 PZT에 전압을 가해 채널 중앙에 노드점이 형성 되면 유체 채널을 흘러가는 입자들이 힘을 받아 채널 내의 중앙으로 trapping 되어 집중되는 것을 관찰하였다.





Fig. 2 Schematic view of microchannel cross-section and particle trapping using acoustic force



Fig. 3 Schematic top view of particle trapping in microchannel (a) before and (b) after acoustic force applied

Fig. 4는 10 μ/min의 유량에 대해 PZT를 이용하여 입자들을 채널 중앙의 단일층으로 trapping한 전후의 현미경 사진을 보여준다. PZT에 전압을 가하기 전의 경우 채널 내에서 입자들이 여러 층으로 움직여 현미경 관찰 시 초점이 맞지 않으며 (Fig. 4(a)), 채널 높이 (200 μm)에 맞는 3.75 MHz의 전압을 가하 게 되면 입자들이 채널의 중앙으로 trapping되어 모든 입자들의 초점이 정확 하게 맞아 뚜렷한 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 4 Optical images of 12 μm particles (a) before and (b) after trapping (flow rate: 10 μl/min)

3. 결 론

본 연구에서는 기존의 유세포분석기와 달리 glass와 PDMS를 아용하여 저 렴하고 일화용으로 사용가능한 입자 trapping 디바이스를 제안하였다. 연속 유 체 흐름 속에서 acoustic force를 아용해 입자들을 채널 중앙으로 trapping 시키 게 되면 이미지 처리를 통해 입자 계수가 가능할 것으로 기대된다. 추후 연구 에서는 다양한 크기의 입자들에 대해 sheath flow 채널을 추가하여 보다 쉽고 간단히 입자들의 계수가 가능한 디바이스를 제작할 예정이다.

후 기

This work was supported by Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) grant funded by the Korea Government(MOTIE) (P0012744, The Competency Development Program for Industry Specialist)

- (1) Chen, Y., et al. "Standing surface acoustic wave (SSAW)-based microfluidic cytometer." Lab on a Chip 14(5) (2014): 916-923.
- (2) Adan, A., et al. "Flow cytometry: basic principles and applications." Critical Reviews in Biotechnology 37(2): 163-176.

렌즈의 성형 공정에서 냉각조건에 따른 온도분포 해석적 연구

홍정택¹, 정선빈², 홍지현², 문건호³, 김영복⁴, 정동연⁵, 박근², 박창용^{2*}

Thermal distribution in the cooling process of lens molding : an analytical study

J. T. Hong¹, S. B. Jeong², J. H. Hong², G. H. Moon³, Y. B. Kim⁴, D. Y. Jung⁵, K. Park², C. Y. Park^{2*}

서울과학기술대학교 정밀기계기술연구소', 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과², 서울과학기술대학교 대학원³, 한국광기술원⁴, ㈜대호테크⁵

Key Words : Glass molding process, Heat transfer, Temperature distribution, Stress distribution

1. 서 론

최근 구면 수차가 발생하지 않고 광통신 특정이 뛰어난 비구면 렌즈에 대 한 수요가 증가하고 있다. 현재 비구면 렌즈의 양산에는 GMP(Glass Molding Process) 공정이 활용되고 있다. GMP 공정은 가열, 가압, 냉각 과정이 고온, 고압 조건에서 진행되며, 이 과정에서 렌즈의 품질 및 파손 여부는 공정 온도 및 압력, 공정 시간에 직접적으로 영향을 받는다. 특히 대구경 렌즈의 경우, 가열 및 냉각에 오랜 시간이 소요되며 렌즈 파손 가능성이 매우 커진다. 이에 따라 대구경 렌즈 대량 생산을 위해 공정 조건에 대한 연구는 필수적이다. 따 라서, 본 연구는 대구경 렌즈의 GMP 공정에서 공정 온도, 시간 등의 조건이 렌즈 내 온도 분포와 열응력에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 공정 조건 및 경계 조건

본 연구에서는 대구경 비구면 렌즈 성형 시 공정 조건에 의한 렌즈의 온도 분포 및 응력 분포를 예측하기 위해 ANSYS를 사용하여 Transient 열전달 및 구조해석을 수행하였다. Fig. 1은 금형과 렌즈의 구조를 나타낸 것이다. 전체 성형과정 중 냉각과정에 대하여 공정 시간을 조절한 모델, 공정 단계를 조절 한 모델을 선정하여 비교하였다. 경계 조건은 실제 성형을 모시한 실험에서 얻은 데이터를 활용하였다. 공정 단계는 최대 응력을 줄이기 위해서 2단계, 3 단계로 나누어 해석을 수행하였고, 공정 시간은 각 공정 당 300s, 700s 조건으 로 전체 2단계에서 수행하였다. 금형의 재료는 상하부 core와 sleeve는 W.C, stopring은 SUS316, lens는 D-ZLaF52LA를 사용하였다.



Fig. 1 Large-diameter aspherical Lens mold modeling

3. 해석 결과 및 고찰

본 연구에서는 공정 조건 변화에 따른 렌즈의 온도 및 응력 해석을 수행하였다. 공정 조건 중 공정 시간과 공정 온도가 미치는 영향을 분석하기 위해 Case를 두 개로 나누어 해석을 진행하였다. Case 1과 2는 기존과 동일한 온도 조건 하에서 공정 시간을 증가시키고, Case 3과 4는 단계를 추가하여 온도 조 건을 세분화하였다.

Fig. 2에서 공정 시간을 늘렸을 때, 렌즈 내부 응력의 큰 감소는 없는 것으로 나타났다. 300s 조건은 다음 공정 단계로 넘어가는 지점에서 응력이 700s

의 조건보다 높다. 이는 렌즈의 직경이 증가할수록 충분한 냉각 시간이 필요 하지만, 300s에서 충분한 냉각을 거치지 못하고 다음 공정으로 넘어가 온도차 가 더욱 커지고 응력 또한 증가하였다. 공정별 온도 차가 유지되어 렌즈 내부 온도 차에 큰 변화가 없고, 따라서 렌즈 내부 응력 또한 동일한 수준을 유지 함을 의미한다.

Fig. 3에서 공정 단계를 추가하여 공정 온도 차를 감소시켰을 경우, 렌즈 내 부 최대 온도 차에 비례하여 내부 응력 또한 감소되었다. 이는 공정별 온도 간격을 줄이는 것이 렌즈 내부 응력에 직접적인 영향이 미침을 의미한다.



process time



후 기

이 연구는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원 의 지원(P0012744, 2023년 산업혁신인재성장지원사업)과 지식경제부의 재원 으로 산업기술평가원(20010775)을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문 헌

 Allen Y. Yi, Anurag Jain, 2005, Compression Molding of Aspherical Glass Lenses-A Combined Experimental and Numerical Analysis, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 88, No. 3, pp.579-586.

하이브리드 본딩을 위한 Cu/SiO₂ 표면 전처리 연구

김인주¹, 이우경², 이시예², 김성동^{2*}

Surface pre-treatment of Cu/SiO₂ for hybrid bonding

I. J. Kim¹, W. K. Lee², S. Y. Lee², S. D. Kim^{2*}

서울과학기술대학교 일반대학원 기계설계로봇공학과', 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과²

Key Words : Hybrid bonding, Pre-treatment, Plasma

1. 서 론

반도체 소자는 무어의 법칙에 따라 트랜지스터의 집적도를 높이는 방향으 로 소형화가 이루어져 왔다. 트랜지스터의 집적도를 높이기 위해 이제까지는 FAB 공정에서 배선의 피치를 줄이는 방향으로 기술이 개발되어 3nm 공정까 지 개발이 되었다. 그러나 FAB 공정에서 피치를 줄이는데 한계에 도달하였 고 패키징의 개발을 통해 무어의 법칙을 이어가고자 첨단 패키징이 대두되고 있다. 첨단 패키징 기술 중 하나인 하이브리드 본딩은 절연체와 Cu를 동시 에 접합하는 기술이다. 현재 패키징 기술은 미세 피치 구현을 위해 Cu pilar bump를 사용하고 있고, 모세관 현상을 이용한 underfill 공정으로 bump 사 이를 절연체로 채우고 있다. 그러나 피치가 더 작아지게 되면 underfill 공정 으로는 bump사이를 채울 수 없어 절연체인 SiO₂와 Cu를 동시에 접합하는 하이브리드 본딩 기술이 주목을 받게 되었다.

SiO₂는 표면의 회학반응으로 접합을 하므로 표면에 -OH를 형성하기 위한 처리가 필요한 반면 Cu는 self-diffusion으로 접합을 하기 때문에 CuOx의 유무가 접합에 영향을 미칠 수 있어 산화물을 제거하는 처리가 필요하다. 하 이브리드 본딩 기술로는 SAB(Surface Activated Bonding), 플라즈마 처리 등 전처리를 아용하여 접합하는 기술, adhesive layer를 아용하여 접합을 하는 기 술 등이 연구되고 있다.

본 연구에서는 SiO₂와 Cu의 표면에 다양한 전처리를 통해 동시 접합이 가 능한 조건을 조사할 예정이다. plasma, wet treatment 등 다양한 전처리가 SiO₂ 접합에 미치는 영향에 대해 조사하였다. Cu 표면의 SiO₂ 접합 전처리를 하였을 때 CuOx의 발생여부와 산화물의 두께에 따라 접합에 미치는 영향과 전기적인 특성을 조사하였다.

2. SiO₂/Cu 표면 전처리 실험

SiO₂의 본딩은 CMP, Cleaning, plasma, wet treatment, pre-bonding, Annealing 순으로 실험 진행하였다. SiO₂ 본딩 실험을 위해 4인치 웨이퍼 위에 300nm 두께의 산화막을 PECVD 방식으로 증착한 시편을 사용하였다. 10nm 두께 CMP한 시편과 아닌 시편을 사용하였다. Cleaning은 70도로 가열한 RCA-1 (DI:H2O2:NH4OH=1:1:5)용액에 10분, 희석한 HF (DI:HF=100:1)용액에 20초 처리하였다. Plasma 처리는 O2 기체를 사용하였고 3sccm에서 10분 동안 처리하였다. wet treatment는 NH4OH(29%)용액에 1분간 처리 후 DIW 처리하였다. DIW처리 시간은 1분~20분 사이로 하였다. Pre-bonding은 1분간 손으로 누르는 방식으로 진행하였고 누르기 전에 표면에 물을 한 방울 떨어뜨려 본 당하였다. annealing은 진공오븐에서 300도에서 5시간 동안 처리하였다.

Cu 본딩 실험은 Si 웨이퍼에 sputter 방식으로 Ti 50nm/ Cu 300nm 증착한 시편을 사용하였다. Cu 표면에 O2 plasma를 3sccm, 10분 처리하였고 또한 시 편 얼라인 하여 본딩 장비에서 30Mpa 압력으로 누르며 300도, 1시간 동안 본 딩하였다. 표면 처리한 시편은 XPS를 통해 표면 분석을 진행하였고 본당한 시편은 SEM 촬영을 통해 본딩 여부를 확인하였다. 본딩 시편의 전기적 특성 을 보기 위해 켈빈 구조를 제작하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Table 1은 공정 변수에 따른 SiO₂ 본당 여부를 보여주는 표이다. CMP, plasma 처리, wet 처리 후 pre-bonding 시 표면에 DIW를 한 방울 떨어뜨린 후 본당한 시편이 접합이 되었고, Fig. 1(a)는 접합된 SiO₂ 시편의 단면 SEM 이미 지 이다. SiO₂의 경우 CMP를 한 시편만 본당이 되는 것을 확인하였고 AFM 을 통해 CMP 전후의 표면 거칠기를 확인하였고 CMP를 한 시편의 표면이 더 거칠게 측정이 되었다(Table 2). 이는 표면이 거칠어 표면의 접촉면적을 높 여 접합에 기여했음을 의미한다.

Fig. 1(b)는 Cu 표면에 O2 plasma 처리를 하여 접합한 시편의 단면을 촬영 한 SEM 이미지이다. Cu 계면에서 접합이 이루어져 있고 계면 사이의 얇은 막은 O2 plasma로 CuOx이 형성되었음을 알 수 있다.

Table 1 Results of SiO2 bonding. Bond quality (bonded : O, not bonded : X)

CMP	Cleaning	Plasma treatment	Wet treatment	Pre-bonding	Bond Quality
Х	0	0	0	bonding -> 20min	Х
0	0	0	0	bonding -> 20min	Х
0	0	0	0	20min -> Water droplet - > bonding -> 20min	Х
0	0	0	0	Water droplet -> bonding -> 20min	0
Х	0	0	0	Water droplet -> bonding -> 20min	Х
0	0	0	0	DIW dipping 20min -> Water droplet -> bonding	Х
0	0	0	0	DIW dipping 20min -> Dry-> bonding	Х



Fig. 1 SEM image of the cross-section of (a) the SiO2 bonding interface and (b) Cu bonding interface

Table 2 Comparison	of surface roughness	with and without CMP
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	

	Ra(nm)	Rpv(nm)	Rq(nm)
CMP(O)	17.110	147.890	20.751
CMP(X)	1.236	16.237	1.593

후 기

이 연구는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원 (P0012744, 2023년 산업혁신인재성장지원사업), 산업통상자원부와 KSRC 지원 사업 인 미래반도체소자 원천기술개발사업(20019469)의 연구결과로 수행되었음

참 고 문 헌

(1) Kang, Q., Wang, C., Li, G., Zhou, S. and Tian, Y. (2021a), "Low-temperature Cu/SiO 2 hybrid bonding using a novel two-step cooperative surface activation", 2021 22nd International Conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT), pp. 1-5

인공신경망을 이용한 대형 주철재의 균열 보수 예측 모델

천위안¹, 조석수^{2*}

Prediction model for cracks repair in large cast iron components using artificial neural networks

Y. Chen¹, S. S. Cho^{2*}

강원대학교 대학원 기계-컴퓨터-산업경영공학과¹, 강원대학교 기계시스템공학부 기계설계공학전공²

Key Words : Crack repair lock, Crack repair model, Artificial neural network

1. 서 론

금속은 물리적인 손상을 입을 경우, 단순히 파손되는 것뿐만 아니라 가 시적이거나 가시적이지 않은 균열이 발생할 수 있으며, 금속 재료표면 또 는 표면 아래에 균열이 형성된다. 기존의 장비 수리 방법인 용접 수리 공 정이나 접착 수리 공정 등은 사용 중에 제한을 받는 경우가 있다. 따라서 본 연구에서는 대형 주철 구조물이 구조 하중을 받아 균열이 발생된 부품 에 균열 보수 락이라는 냉간체결도구를 적용하여 균열이 발생된 부품을 서로 기계적으로 연결시켜 균열 발생 부분과 균열 미발생 부분에서 구조 하중을 서로 분담하도록 하는 긴급 균열 보수 방법을 개발하였다.

2. 본 론

Fig. 1은 균열 보수 락을 나타낸 것이다. 동시에 JT Z 4006-80¹⁾의 지도성 기술 문건인 선박 기계 부문의 금속접합보수기술²⁾을 기초로 균열 보수 락 치수를 균열 보수 락의 넥(neck) 폭 b₁을 매개 변수로 하여 나타 낸 것이다. 본 연구에서 균열 발생 부품으로 사용되는 GC 150과 균열 이 발생된 부분을 보수하기 위한 균열 보수 락 재료인 SCM 440의 기계 적 성질을 나타낸 것이다.²⁾



Fig. 1 Crack repair lock

Fig. 2(a)는 대형 주철 구조물에 발생된 균열을 Fig. 1의 균열 보수 락을 이용하여 균열을 보수한 결과의 일부분을 무한 평판에 나타낸 것이 다. 균열 성장을 억제하기 위하여 Fig. 2(b)는 균열 보수 모델을 균열 방 향의 수직 방향에 대한 대칭성과 균열 보수 모델의 선형 주기성 방향에 대한 수평 방향 대칭성을 고려한 2차원 유한요소해석모델로 구성한 것이 다. 유한요소모델의 높이 h와 폭 b₂가 최대 주응력에 미치는 영향을 연구 하기 위해, 본 연구에서는 Fig. 2에 나타난 모델을 기반으로 Ansys Workbench 유한요소분석 소프트웨어를 사용하여 유한요소분석을 수행 하였다. h 값은 70, 85, 100, 115, 130, 145, 160, 180, 200, 220, 250, 300, 350, 400으로 선택되었으며, b₂ 값은 10, 25, 40, 55, 70, 85, 100, 150, 200, 250, 300으로 선택되었다. 부하 하중은 1MPa로 설정되었다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 높이 h와 폭 b2가 최대 주응력에 미치는 영향을



Fig. 2 Finite element model for crack repair process using crack repair lock



Fig. 3 The regression plots of train, test, validation and overall dataset

예측하기 위해 인공신경망 (Artificial Neural Network) 기술을 활용 하여 Matlab R2022를 통해 모델을 개발하였다. Fig 3에서 학습의 회 귀 값은 0.9868이고, 테스트는 0.995이며, 검증 역시 0.99606이다. 회 귀 값은 1에 가까워져 있어서, 인공신경망(ANN) 모델이 학습된 데이 터셋의 동작을 아주 잘 포착하고 학습할 수 있다는 것을 나타내었다.

- JT, 1980, Ship machinery parts metal fastening repair process, JT/Z 4006-1980, Shanghai.
- (2) Wankar, A., Bayas, J., Mishra, H., 2016, Relation between Hole Diameter to Width Ratio & SCF of Rectangular Plate Having Central Circular Hole, IJARIIE, 2:2 129-138.

열전소자를 이용한 소형장치의 항온 및 냉각 기술

조영태^{1*}, 마상동², 임광희³

Constant temperature and cooling technology of small devices using thermoelectric module

Y. T. Cho^{1*}, S. D. Ma², K. H. Im³

전주대학교 공과대학 기초과학과¹, (주)다원물산², 우석대학교 기계자동차공학과³

Key Words : Thermoelectric module(TEM), Unitization, Cool block, Heat sink, Small device cooling

1. 서 론

반도체 산업의 고집적화로 인해 전자제품들의 고성능화 및 IT산업의 발전으로 인해 모든 산업 및 의료, 산업의 융·복합화로 고성능화가 추구 되고 있다. 모바일 기기 및 생활 가전의 고성능 소형화 및 고기능화가 진 행되고 있으며, 특히 정수기의 경우에서도 기존 컴프레서 냉각방식을 열 전소자(TEM)로 대체를 통해 진동 및 소음 저감과 소형 및 슬림형 디자 인을 구현하는 등의 다양한 가전에 적용되고 있다. 최근에는 정밀 온도제 어를 통한 가정용 식물재배기가 출시되어 시장이 활성화되고 있다. 또한 각종 소형 장치 및 기기의 냉각 및 항온 기술에 적용되어 신규 개발이 요 구되고 있다. 특히 반도체 제조라인의 각종 장치의 발열에 대한 냉각과 항온 유지를 위해서 열전소자를 활용하는 경우가 늘어나고 있다.

본 연구에서는 가정용 정수기의 냉수통의 냉각을 위해 열전소자를 적용 하는 과정에서 방열판 적용 공간이 한정된 상태에서 최대 냉각 성능 유지 및 향상을 위해서 방열판의 미미한 변경에 따른 방열효율에 대해 검토하 였고, 혐기 배양기의 항온유지 장치에 적용방향을 확인하였다.

2. 열전소자 유닛화 적용 냉수 탱크

가정용 소형정수기의 냉수는 기존 컴프레서 타입이 대부분이었으나, 최근들어 열전소자를 이용는 사례가 점차 늘어나고 있는 추세다. 이는 전기냉각 방식으로 냉매를 사용하지 않는 친환경적인 방식으로 소형화 가능하고 제품 디자인의 변경이 용이한 장점이 있다. 그러나 기존 열전 소자를 냉각부위에 직접 접촉시키고 반대편에 방열판을 조립하는 일반 적 조립방식이 주를 이루고 있으며, 이는 조립편차 및 결로 등으로 열전 소자의 내구성 문제와 성능저하가 발생하고 있다.

따라서 열전소자의 내구성 향상과 조립 성능 유지를 위해서 Fig. 1과 같이 열전소자를 유닛화하여 적용함으로서 열전소자의 방습 및 편하증 등에 의한 내구성을 향상시켰다. 열전소자 내부의 n, p형 반도체 칩과 전극 등을 습기로부터 보호하고 쇼트 방지를 위해서 실리콘 또는 에폭 시로 밀봉처리에 사용하는데, 수년간 사용함에 따라 기존 조립방식은 열 전소자의 냉각 및 가열의 반복으로 밀봉재의 시효경화로 세라믹 판으로 부터 박리가 일어나게 되고, 습기가 침투하여 내부 부식이 발생하여 제 품 불량으로 이어진다. 이를 방지하기 위한 방안으로 열전소자를 유닛화 함으로서 사용 내구성을 향상시켰다.

열전소자를 유닛화하고 방열판 규격을 Fig. 2와 같이 4가지 모델 (No.1~No.4)에 대해 조립하여 냉각성능을 확인하는 테스트를 실시 하였다. 방열판은 No.3은 155×140×32t mm, 44핀이고, 나머지 3종은



Fig. 1 Assembly diagram of the thermoelectric module unit in the cooling water tank



Fig. 2 Cross section of AL heat sink models



No	o. 1 No. 2							No. 3						No. 4									
Time Only	Sensor	top	micicle	bettern	Heat Sink	Time Column	Sensor	top	middle	bottom	Heat Sink	Time	Sensor	tep	middle	bettom	Heat Sink	Time	Sensor	top	middle	bottor	Heat Sink
0	36.8	32.1	21.9	315	29.1	0	317	32	21.7	31.6	20.4		28	31.2	30.9	30.6	26.8	-0	21.5	21.5	31.5	28.2	35.5
5	25.2	31.3	29.4	26.7	46.4	5	25.4	31.8	29.9	26.9	43.5	5	23.6	29.8	28.2	25	41.8	5	25.2	31.2	29.4	26.3	42.6
12	22.5	29.4	26.2	25.6	45.4	10	22.3	25.7	261	234	43.8	10	28.5	- 28	24.5	21.4	42.5	34	222	32	21	22.3	42.8
15	20.2	27	23.4	21.2	45.9	15	15.6	27	23	20.6	43	15	17.8	25.4	21.3	16.7	42.7	15	19.8	26.5	22.8	20.2	42.8
20	16.5	24.6	25.9	12.5	45.6	20	17.2	244	20.5	10.2	42.9	20	15.6	22.8	16.8	16.3	42.4	20	17.5.	24.1	20.3	17.0	42.2
25	16.1	22.3	18.9	16.9	45.6	25	15.1	21.6	18.1	15.8	442	25	13.6	20.5	16.6	14.3	42.5	25	15.5	21.8	18.1	15.8	41.5
30	14.5	20.3	17	15.1	45.3	-30	124	15.4	161	-3.9	441	30	112	15.4	147	12.5	42.2	30	157	19.7	76.7	13.3	41.4
35	12.8	18.4	15.3	13.5	44.8	35	11.8	17.5	14.3	12.3	44.3	35	10.4	16.5	13	10.8	41.7	35	12.1	17.7	14.3	12.2	41
45	THE	16.7	11.7	11.8	409	-40	16.5	15.9	12.6	10.9	43.9	40		14.9	35.6	-84	41.5	40	60.0	16.1	-927	957	-45.5
45	10.1	15.3	12.3	10.6	44.8	45	9.3	144	11.5	9.5	- 44	45	7.8	11.4	10.1	8.1	41.3	45	9.2	14.4	11.2	9.2	40.5
50	31	13.9	112	9.5	44.5	- 50	6.1	13.2	10.3	8.5	434	-50	1.8	52,1	169	1	41	- 50	8.1	13	9.9	8	40.4
55	82	12.5	10.1	8.6	44.4	55	73	11.9	92	7.5	43.8	.55	63	11	7.9	6.3	-41	55	7.1	11.7	8.5	7	40.1
-00	72	11.0		75	445	.00	0.0	32.9	62	0.3	43.7	60	0.1	- 10	72	- 29	-40.0	00	- 63 -	10,4	7.6	0.1	40.5
65	6.5	10.6	8.1	6.7	44.3	65	62	9.9	7.4	6.2	43.5	65	62	9	6.7	5.8	41.1	65	5.9	9.1	6.6	5.5	40.5
70	62	97	75	6.3	44.4	79	61	89	65		412	70	. 6	7.7	6.7	57	-41	30	5.9	7.8	- 18	42	40.1
75	6 :	87	6.8	5.9	43.0	75	6.1	83	6.4	5.8	43.4	0	5.8	54	49	54	- 41	75	6,2	7.3	6.1	5.6	39.5
00	6.3	87	67	61	42.2	00		7.5	6.2	23	434	80	3.6	1.8	3.9	32	41.1	80.	6.2	6.5		- 22	. 39.7
85	6.3 :	14	: 6.3		122	85	6	7.6	: 6.1	5.8	43.3	65	5.4	0.5	2.6	4.8	41.1	1000	5.8	1	3.5		40.3
194	20		34	2,0	46.5			nn.			410	90	(34%)	-0.4	0.7		40.6	- Sec		- 11		4.4	-N-
64	5.9	1.8	4.5	5.4	42.8	80	6.1	6.7	5.9	3.8	428	85	54	-0.9	0	3	40.8	85	5.2	0.3	21	4.4	421
100	0.0		1.07	2.5	46.7	100	U.C.	.0.7	20	10/201	10488.0	100	33	-1,4	-0.6	44	40.1	300	3		1.3	3.8	423
100	33	2.5	6.7		12.5	105	6.1	0,4	5.8	57	43	105	49	-1.9	-1.2	1.6	40.6	105	5.2	-0.3	1	3.3	42.9
1.00	24		4.8		44.5	110	100		2.0		ALC: NOT THE OWNER.	190	1	-22	-1.6		793	110	2.6	-43.5	- 6.5		
1D	21	25	: 3/9	- 4/	42.8	115	0.3	6.0	: 59	: 39	43.1	115	3./	-2,6	-22	0.4	40.5	115	5.4	-0.9	: 0,1	: 25	42.8
140				40	- N. P.	140	11.1			1.39	44	1.04	1.1	0.4	0.4		41	1200	_				

150×140×32t mm 47핀 구조이다. 이들 방열판은 넓이, 높이 및 핀 규 격의 미소한 차이로 질량이 다르고, 46~121 g의 중량차를 갖는다.

3. 유닛화 및 방열판 성능 테스트

기생산되고 있는 제품으로 방열판의 사이즈 적용에 한계가 있는 상태에 서 AL 방열판의 미미한 규격변화에 따른 냉수통의 냉각 성능 테스트를 실시하였다. 실험을 위한 주위 온도는 30℃에서 2시간 동안 진행하였다. 그 결과 Table 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 모델 No. 4와 No. 3의 경우가 온도제어 포인트가 되는 냉각센서의 온도가 6도 전후에 도달하는 시간이 70, 80분으로 빨랐다. No. 3의 경우 폭이 5mm 넓고 핀수가 3개 적고 No. 4의 경우고 핀이 얇아 핀 간격이 상대적으로 미미하지만 약간 넓어 중량이 적지만 냉수의 요구온도 빨리도달함을 알 수 있었다. 이는 방열판의 중량 및 구조가 냉각 성능에 미치는 영향이 중요함을 알 수 있 었다. 이를 바탕으로 열전소자를 이용한 혐기 배양기의 항온 유지 및 제습 장치의 구조 설계에 활용하고자 한다.

후 기

본 성과물은 중소벤처기업부에서 지원하는 2022년도 창업성장기술개 발사업(No. S3316503)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문 헌

 Cho, Y. T., Ma, S. D., Im, K. H., 2021, Unitization of thermoelectric module for cooling of small water purifier, KSMTE Annual Spring Conf., 225.

Ball Spline 구조 적용을 위한 설계 과정에서의 동적 해석

강남수, 최정연, 김세은, 전용호, 이문구*

Dynamic analysis in the design process for applying Ball Spline structure

N. S. Kang, J. Y. Choi, S. E. Kim, Y. H. Jeon, M. G. Lee*

아주대학교 기계공학과

Key Words: Ball Bearing, Ball Spline, Spline nut, Finite element method, drive shaft

1. 서 론

볼 스플라인은 볼의 회전 운동을 통해 특정 축에 선형 및 회전 운동을 전 달하는 기구이다. 해당 메커니즘은 Fig. 1과 같이 샤프트 축과 스플라인 너트, 두 요소를 중심으로 회전 운동과 병진 운동이 일어난다.



Fig. 1 Structure of Ball Spline

상기 기구는 마찰의 의한 손실이 적어 높은 동하중 전달에 유리하며, 백래 쉬가 없다는 장점을 가진다. 이러한 장점으로 반도체, 로봇 등 다양한 분야에 적용되며, 본 연구에서는 전기차에서 요구하는 드라이브 샤프트 성능을 만족 시키기 위해 해당 메커니즘을 적용하고자 한다. 시제품을 이용한 실험과 제작 의 한계로 인해 유한요소해석법(Finite element method)를 적용하여 시뮬레이션 을 통한 설계과정에서 적합성을 확인하고자 한다.

2. 볼 베어링과 스플라인의 모델링

본 연구에서는 전기차 구동 시 드라이브 샤프트로부터 휠 측으로 토크를 전달하는 베어링에 볼 스플라인 구조를 적용하고자 한다. 전기차는 기존 내연 기관 대비 최대 토크가 높고, 고강도 및 높은 내구성을 요구한다. 가혹한 환 경 내에서 안정적인 성능 구현을 목표로 하여, 해당 구조를 적용하였을 때 일 어난 동적 거동을 해석적으로 확인하고자 하였다. 회전 운동과 병진 운동에 대해 Fig. 2에 간단한 모델링을 도시하였다.



(a) Rotation motion

(b) Linear motion

Fig. 2 Motion setup

Ansys 프로그램을 사용하여 두 모델을 3차원 유한요소로 구성하였으며, 구 조 해석을 통해 거동 시 응력 분포 및 변형이 일어난 위치에 대한 시뮬레이 션을 진행하였다. 적용된 물성은 Table 1과 같이 베어링 설계 시 주로 사용되 는 AISI 4340이다. 각 모델의 경우 운동 조건이 다르기 때문에 Fig. 2 (a)에는 회전 및 토크를, Fig. 2 (b)에는 병진 운동을 위한 조건을 부가하였다. Table 2는 모델링에 가해지는 각각의 경계 조건이다.

Table 1 Material				
	Outer	Inner	Ball	Unit
Poisson's ratio		0.29		
Yield strength		470	MPa	
Young's modulus	200		GPa	
Shear modulus		75.7		GPa

3. 모델링 구성 및 경계조건 설정

본 연구팀은 해당조건에서 목표 성능에 달성하기 위한 전달 효율을 95% 이상을 목표로 한다. 베어링 거동을 분석하기 위한 초기 경계 조건은 Table 2 와 같다.

Table 2 Initial Boundary condition

	Value	unit
Rotational velocity	700	rpm
Linear velocity	5	m/s
Torque	500	Nm
Load	500	Ν

상기 Table과 같이 경계조건을 설정하여 해석을 진행한 결과 부품에 가해 지는 응력의 최대 값은 약 27 MPa이다. 따라서 항복 강도를 넘지 않으므로 선정한 물성이 높은 응력을 견디기에 적합함을 확인하였다.

4. 고 찰

본 연구에서는 볼 스플라인 메커니즘을 해석적으로 분석하여 전기차용 드 라이브 샤프트가 요구하는 성능을 만족시킬 수 있는지 확인하고자 하였다. Ansys 프로그램을 사용하여 해당 기구의 회전 및 병진 운동에 대하여 시뮬레 이션을 진행하였다. 동적 거동 분석을 통하여 최종적으로 선정한 물성이 고응 력이 발생하는 부품에 적용하기에 적합함을 확인하였다. 회전 및 병진 운동을 하는 모델에 대하여 목표 성능을 약 90% 이상 만족한다고 판단하였다.

상기 메커니즘은 병진과 회전 운동을 통해 고 토크를 효율적으로 전달함을 목표로 한다. 추후 회전과 병진 운동이 함께 일어나는 모델에 대하여 해석적 접근이 필요하며, 해당 과정에서 선정한 물성과 설계에 대한 적합성 확인이 필요하다.

후 기

이 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임. (No.20020730).

⁽¹⁾ Lee, H., Jeong, J. Y., Cho, H., & Oh, B.-ki. (2021). Analysis of contact force and plastic deformation of parts in C.V. Joint for passenger car using quasi-static analysis. Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, 29(5), 485–492

FEM을 통한 전기차용 드라이브 샤프트 열 해석 및 검증

김세은¹, 김현태¹, 이문구¹, 한상원², 박정률², 전용호^{1*}

Driveshaft thermal analysis and verification for electric vehicles through FEM

S.E. Kim¹, H. T. Kim¹, M. G. Lee¹, S. W. Han², J. L. Park², Y. H. Jeon^{1*}

아주대학교 기계공학과¹, 서한이노빌리티 기술연구소²

Key Words: Constant velocity joint, Ball joint, Finite element method, Thermal structure coupling analysis

1. 서 론

탄소 저감 및 이상 기후에 대한 관심이 증가하면서 내연기관 대신 전기자 차에 대한 관심이 높아지고 있다. 그와 함께 수요 및 개발이 증가하면서 많은 연구가 이루어진다. 기존 내연기관과 달리 전기자동차는 모터를 사용함으로 써 최대 토크가 높고, 고강도 및 높은 내구성을 요구한다.

본 연구에서는 가혹한 환경 내에서도 안정적인 성능 구현을 위한 등속 조 인트 개발을 목표로 하고 있다. 시제품을 이용한 시험의 한계를 극복하기 위 해 설계 과정에서 유한요소 해석을 통한 설계의 적합성을 확인하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 해석 경계조건 설정

본 연구에서는 등속 조인트에서 휠 측으로 회전력을 전달하는 조인트를 볼 타입 조인트로 설계하였다. 실제 자동차 주행 시 조인트에서 일어나는 물리적 거동을 해석적으로 확인하고자 하였다. 자동차의 휠이 토크를 전달받아 빠르 게 회전할 시 조인트 내부에서 외륜, 내륜 등에서 볼과 마찰이 일어날 때 발 생하는 열을 예측하고자 하였다. 본 해석에 사용 되어진 물성은 Table 1과 같 다. 내륜에 높은 토크가 인가되었을 때, 각 부품 간에 일어나는 마찰 및 열에 의한 변형을 확인하기 위하여 모든 contact 조건을 frictional로 두었다. 실제 구동 상황과 유사한 상황에서의 변형 정도 관찰을 위해 모든 부품은 soft 조 건으로 설정하였다. Initial condition 및 토크에 대한 조건은 Table 2와 같다.

Table	1	Materia
-------	---	---------

	Outer	Inner	Cage	Ball
Young's Modulus (GPa)		2	10	
Poisson's ratio		0	.3	

Table 2 Initial condition			
Initial Temperature	30 .6°C		
Initial angular velocity	144.72 rad/s		
Torque	800 $N \cdot m$		

2.2 해석 결과

높은 토크를 인가하였을 때 발생하는 응력을 확인하고자 Explicit 해석을 진 행하였다. 본 해석에 사용한 드라이브 샤프트의 고정형 조인트는 Fig 1과 같 다. Ansys Ls-dyna 프로그램을 사용하여 열 구조 연동 해석을 진행하였으며, Ls-prepost 프로그램을 사용하여 후처리 작업을 진행하였다. 이후 해당 고정형 조인트가 구동할 시 주요 마찰이 일어나는 구간을 특정하여 접촉 영역을 검 토하였으며, 선정한 물성이 고응력이 발생하는 부품에 적합함을 확인하였다. 이후 Fig. 2와 같이 마찰로 인해 열이 발생하는 구간을 특정하여 해당 영역에 서 발생하는 열 유속을 추출하였다.

각 Node의 열 유속을 Ansys transient thermal 프로그램을 사용하여 조인트부 가 장시간 구동할 시 누적되는 입열량을 예측하기 위한 열해석을 진행하고자 하였다. Ansys 프로그램에서 이전 해석과 동일하게 격자를 구성한 후 약 9400 개의 Node에 1회전 시 발생한 열 유속을 적용하였다.





Fig. 1 Ball type Birfield joint

Fig. 2 contact Area

해당 해석 결과의 신뢰성을 높이고자 실제 등속 조인트가 구동할 시 발생 하는 온도 변화를 열화상 카메라를 통해 측정하였다. 약 540초 동안 회전 시 측정되는 최대 온도는 88.6 ℃이다.

본 연구에서는 열 해석 결과 발생하는 온도의 최대 값이 실측 값과 5%이 하의 오차를 갖는 것을 목표로 하였다.



Fig. 3 Analysis result of thermal

시뮬레이션 해석 결과 예측 값은 평균적으로 87°C 로 실제 측정 값과 약 2% 의 오차를 갖는 것을 확인하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 볼 타입 조인트를 적용한 등속 조인트 개발을 위하여 실제 구동 상태를 유한요소해석법으로 모델링 및 모사하였다. 해석 결과 선정한 물성이 높 은 응력이 발생하는 부품에 적합함을 확인하였고, 구조적으로 적절한 설계가 이 루어졌음을 확인하였다. 또한 등속 조인트가 장기간 회전할 시 발생하는 열량에 대해 실측 값과 예측 값이 약 2%의 오차를 갖는 것을 확인하였다.

후 기

이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임. (No.20020730)

참 고 문 헌

(1) Lee, H., Jeong, J. Y., Cho, H., & Oh, B.-ki. (2021). Analysis of contact force and plastic deformation of parts in C.V. Joint for passenger car using quasi-static analysis. Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, 29(5), 485–492.

인공신경망을 이용한 사출성형 CAE 최적 냉각시간 예측

홍승혁, 이영조, 송동근, 유호준, 권예림, 김정수, 이수민, 조구영*

Prediction of the optimal cooling time for the injection molding CAE by artificial neural networks

S. H. Hong, Y. J. Lee, D. G. Song, H. J. Yoo, Y. R. Kwon, J. S. Kim, S. M. Lee, G. Y. Cho*

단국대학교 기계공학과

Key Words : Injection molding, Artificial neural network, CAE(Computer-Aid-Engineering)

1. 서론

3. 인공신경망 모델 구축 및 냉각시간 예측 결과

사출성형 시 제품의 냉각과정에서 전체 성형 시간의 23를 소요하게 된다. 제품 성형시 냉각 시간을 줄일 수 있다면 제품의 생산성을 향상 시킬 수 있다. CAE(Computer Aid Engineering) 해석 시 실제 성형 가능한 범위의 공정 변수를 얻기 위한 해석은 많은 시간이 소요된다. 또한, 긴 시간의 냉각 시간을 설정하게 되면 해석 시간도 오래 걸리는 데다가 실 제 사출성형 시 제품의 생산성을 저하시킨다. 따라서, 사출성형 해석 데 이터를 통해 인공지능 모델을 구축하여 실제 사출성형 해석을 진행하지 않아도 최적의 냉각시간을 예측하였다.

2. 사출성형 CAE 해석을 통한 데이터 획득

냉각시간 예측 모델 구축을 위해 Fig. 1(a)의 보빙 모델을 사용하였다. 최적 의 냉각시간 데이터를 얻기 위해 Fig. 1(b)의 Percent frozen layer를 사용하여 제 품의 고화율 100%인 시점을 확인하였다. 사출성형 해석 데이터를 안공신경 망 구축에 사용하기 위해 Table 1의 성형조건 범위를 고려하였다. 또한, 실험 계획법을 통한 64개의 공정조건으로 얻은 데이터와 임의로 선정한 공정조건 8개의 공정조건으로 해석조건을 획득하였다. 모델 구축 시 입력 데이터로는 사출성형 CAE 공정조건(성형 온도, 금형 온도, 사출 시간, Velocity/Pressure 전환 시점, 보압 크기, 보압 시간)을 사용하였고, 출력 데이터로는 Percentage frozen layer 결과 값을 통해 고화율 100%인 시점을 사용하였다.



(a) Bobin Model

(b) Percent frozen layer (cutting x-z plane)

Fig. 1 CAE Model used this study

Table 1 Range of injection molding conditions applying to CAE

Range	Melt temperature [°C]	Mold temperature [°C]	Injection time [s]	V/P switch -over [%]	Packing pressure [MPa]	Packing time [s]
Max.	240	60	2.5	99	50	15
Min.	210	40	1	96	35	6

사출성형 CAE(Computer Aid Engineering, Moldflow)를 이용하여 얻은 해석 데이터에 대한 인공신경망 구조는 배치 정규회(Batch normalization), 아담스 (Adams) 최적화 도구, Elu 활성함수(Activation function), L2 규제(Regularization) 를 사용하여 [10-9]의 구조로 냉각시간 예측 모텔을 구성하였다. 예측 모델의 성능을 평가하기 위해 모델 구성에 사용되지 않은 8개의 test 데이터를 사용 하였다. RMSE(Root Mean Square Error)의 값을 통해 예측 모델을 평가한 결과 해석 데이터와 예측 데이터는 0.19 s의 차이를 보였다. Fig. 2에서 볼 수 있듯 해석 데이터와 예측 데이터는 전체적으로 유사한 값을 보였다.



fig. 2 Result of Cooling time predict ANN mode (73~80 : test data of CAE)

후 기

- 이 논문은 중소벤처기업부 '스마트제조혁신기술개발사업(R&D)'의 재 원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2023 년 사출성형품의 품질 고도회를 위한 실시간 사출성형 품질예측 솔루 션 개발 사업, No. RS-2022-00140364).
- (2) 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지 원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00213741).
- (3) 이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 산국산업기술 진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0017120, 2023년 산업혁신인재 성장지원사업)

- (1) Gevrey, Muriel, Ioannis Dimopoulos, and Sovan Lek. "Review and comparison of methods to study the contribution of variables in artificial neural network models." Ecological modelling 160.3 (2003): 249-264.
- (2) Jun-han Lee., Jong-sun Kim 2020, A study on the stability control of injection-molded product weight using artificial neural network, The Korean Society of Industry Convergence, 23-5, 773-787.

자작자동차 프레임에서 트러스 구조의 영향: 구조해석 및 설계 개선 연구

조규현¹, 강연준¹, 허진호¹, 윤영채¹, 문준민¹, 유경미², 조성진², 이상욱^{2*}

Effect of truss structure on self-made car frame : structural analysis and design improvement sudy Gyu Hyeon JO¹, Yeon Jun Kang¹, Jin Ho Heo¹, Young Chae Yun¹, Jun Min Mun¹, Kyung Mi YU², Seong Jin CHO², Sang Wook LEE^{2*} Undergraduate student, Wonkwang University¹, Graduate student, Mechanical Engineering, Wonkwang University²

Key Words : Self-made car frame, Structural Analysis, Truss Structure, Total Deformation, Maximum Stress

1. 서 론

대학생 자작 자동차 대회장에서는 좁은 대회장으로 인해 충돌 사고가 빈번 하게 발생한다. 자작자동차의 충돌에 따른 변형은 안전성과 운전자의 생명을 보호하는데 결정적인 역할을 한다. 따라서 자작자동차를 설계하거나 제작할 때 충돌 시 변형을 고려하여 적절한 변형을 갖도록 하는 것이 중요하다. 트러 스 구조는 공학 분야에서 중요한 역할을 하고 있으며, 삼각형의 형태를 이용 하여 하중을 강체 구조에 고르게 분산시키게 도움을 주며 전체 구조의 안전 성을 높여준다. 이 연구에서는 자작자동차 프레임에 트러스 구조를 설계한 후, 주행 중 발생하는 충돌에 대한 프레임의 응력과 변형 해석을 진행하여 분 석한 결과를 제시한다.

2. 차량 설계

스페이스 프레임(Space Frame)은 경량, 고강성일 뿐만 아니라 수제작이 비 교적 용이한 장점이 있어 경주용차에 주로 적용이 되고 있다. 본 연구에서는 SolidWorks를 사용하여 차량 프레임을 설계하였으며 구조 보강의 적용 유무 에 따라 Fig. 1과 같이 두 가지 프레임을 검토하였다. 구조 보강은 Truss structure frame에 기반하여 옆면 양쪽과 앞뒤에 삼각형 형태로 설계하였다. 사 용된 프레임의 파이프 직경은 외경 25.4mm, 내경 23.9mm로 설정하였다.



(a) Model A : Non-Truss structure frame : Tr Fig. 1 CAD Model

(b) Model B : Truss structure frame lodel

3. 구조해석 및 결과 분석

해석을 위해 ANSYS mechanical (V2023R1)을 사용하였다. 설계한 CAD 파 일을 Space Claim에서 불러와 beam element를 사용하여 1차원 모델링을 생성 하였다. Beam element는 1차원 구조 해석을 진행하는데 계산 효율성과 구조물 단순화 등 여러가지 장점을 가지고 있다. 모델링된 구조물(frame)로 수치해석 을 위한 요소를 생성하고 대상에 적용할 재료 특성과 경계조건을 설정한다. 차량의 제일 앞부분인 전면 범퍼에 1,000N의 외력을 적용하고, 타이어가 부 착될 부분을 고정하여 차체에 작용하는 응력 및 변형량을 검토하였다.

구조해석 결과, 두 모델의 total deformation과 maximum stress는 Table 1, Fig. 2와 같이 나타났다. Model A에서는 5.37mm의 최대 변형량과 최대 응력 31.87MPa을 보이고, Model B에서는 2.68mm의 최대 변형량과 최대 응력

23.65MPa을 보여 트러스 구조 보강을 적용한 Model B가 Model A보다 변형 이 적음을 알 수 있다. Model A에서 힘이 전체적으로 분산되지 않고 노드에 집중되기 때문이다. 두 모델 모두 차량의 앞쪽에서 받은 힘 때문에 전면의 큰 응력이 작용하고, 변형이 생기는 것으로 보여진다.

Table 1 Total Deformation and Maximum stresses of different frame models

	Model A	Model B
Total Deformation (Max)	5.37 [mm]	2.68 [mm]
Maximum Stress (Max)	31.87 [MPa]	23.65 [MPa]



Fig. 2 Total Deformation of different frame models

본 연구는 자작자동차 형상을 직접 충돌 실험을 하지 않고도 응력과 변형 을 분석하여 차량의 내구성과 안전성을 향상 시킬 수 있다. 하중 조건은 응력 과 변형에 영향을 미치고, 구속 조건은 움직임에 영향을 미친다. 향후 자작자 동차의 하중과 구속조건을 다양하게 변경하여 구조해석 결과 분석할 것이다. 이를 통해 설계와 제작에 응용하여 안전성과 성능을 개선한 프레임을 제작할 예정이다.

참 고 문 헌

(1) Choi Kye Kwang, Jae Ung Cho.(2020). A Study on Structural and Fatigue Analysis due to Shape of Self-made Car Frame.KSMT,22(3),411-416.

풍하중을 받는 재머 폴대의 구조적 휨 해석

손영진, 김재성*

Analysis of structural flexural of Jammer Pole with wind loads

Y. J. Son, J. S. Kim*

한밭대학교 디지털제조사업단

Key Words : Jammer, Pole, Structural flexural, Wind load

1. 서 론

최근 들어 드론 산업이 급격하게 확장되며 무단 비행이나 사생활 침해 등 드론을 사용한 불법 행위가 증가하고 있다. 이에 대응하기 위해 전파 방해 장 치인 재마를 여러 지역 건물 옥상에 설치되고 있으며 전파 방해 장치를 통해 GPS 수산을 방해하여 위치 정보나 시간 등 치명적 차질을 줌으로 드론 범죄 를 줄여가고 있다. 또한 재머의 전파 발생기가 타깃을 원활하게 하기 위해 흔 들림이 적어야 하며 건물위에 설치되기 때문에 구조적 특성을 고려해야 한다. 본 연구에서는 태풍 매미 정도의 풍하중으로 재머가 설치된 폴대를 가했을 때 변하는 휨 정도를 연동해석을 통해 평가하였다. 본 연구대상 모델은 총 3 개의 케이스로 진행하였으며 폴대의 축 방향으로 0°, 45°, 90° 회전하며 해석 을 진행하였다.

2. 해석조건 및 방법

본 연구대상 모델 형상 및 해석조건은 Figure 1과 같다. 해석에 불필요한 부 분을 제거하고 형상을 (A)에서 (B)로 단순화하여 격자 품질을 향상하도록 유 도했다. 물성은 스틸 재질이며 재머와 폴대가 고정되어 있다는 가정하에 일체 형으로 설계를 변경하였다. 폴대는 건물 옥상에서 설치할 위치에 콘크리트 작 업을 한 후 폴대의 바닥면과 볼트작업을 통해 고정시키는 방식이다. 본 연구 는 재머가 설치된 폴대 자체의 휨을 분석하는 연구임으로 폴대의 바닥면을 고정하여 해석을 진행하였다. (B)의 해석 모델 방향을 기준으로 왼쪽에서 오 른쪽으로 태풍 매미의 풍속 60m/s의 유속을 가하였다.



(A) Jammer and Pole 3D CAD (B) Boundary Condition of analysis Fig. 1 Simplification 3D CAD and Boundary Condition analysis

3. 실험 결과 및 고찰

태풍 매미가 발생하였을 때 재머 폴대에 가해지는 압력은 Fig. 2와 같이 나 타났다. 압력은 Local 기준(해석모델 각 면에 가해지는 압력의 범위)으로 도 출하였다. Fig. 2에서 위의 그림은 태풍이 해석모델을 지났을 때 Streamline으 로 표현한 것이며 이래 그림은 해석모델 면에 가해지는 압력을 정면으로 나 열해 놓은 것이다. 결과는 정면(0°)에서 태풍이 불었을 때 2291Pa로 압력이 가장 크게 발생하였다.



Fig. 2 Pressure data derived from Fluent analysis results

유동해석을 통해 도출한 해석모델의 표면압력 정보를 구조해석 모델에 적 용하여 최대 변화량을 확인하였다. 그 결과 3개의 케이스 전부 재머의 끝 부 분 드론 건에서 변화량이 크게 발생하였으며 90°일 때 2.3mm로 가장 많이 변화하였다.



각 케이스의 응력을 도출한 결과 재머와 폴대가 연결되는 부분에서 최대응력 이 발생하였다. 90°일 때 최대응력은 77.1MPa 발생했으며 스틸 재질이므로 항 복강도는 240MPa으로 안전율은 3.1로 분석되었다. 각 결과값은 Table 1과 같다.



Table 1 Summary of Pressure, Maximum Deformation, Maximum

Stress Results for each Case

Case	Pressure	Max. Deformation	Max. Stress
0°	2291 Pa	0.42 mm	10.28 MPa
45°	2191 Pa	2 mm	59.78 MPa
90°	2231 Pa	2.3 mm	77.11 MPa

⁽¹⁾ Lee, I. J., Choi, S. H., Joo, I. O., Jeon, J. W., Cha, J. H., Ahn, J. Y., 2022, Technical Trends on Low-Altitude Drone Detection Technology for Countering Illegal Drones, Electronics and Telecommunications Trends 37:1 10-20

구조 해석을 통한 ㄱ형강의 표준 치수 변화에 따른 영향도 평가

안석호, 김재성*

Evaluation of the influence of the standard section dimensions of structural steel angles through structural analysis

S. H. Ahn , J. S. Kim^{*}

한밭대학교 디지털제조사업단

Key Words : Equal angles, Structural analysis

1. 서 론

건축물이 점점 증가하고 높아짐에 따라 철골 구조의 수요가 급증하 고 있다. 철골 구조는 서로 다른 구조의 보 또는 기둥들의 연결을 하는 장치로서 과도한 힘이 발생하여 한번 휘어지면 다른 모든 건축물에 영 향을 미쳐 문제가 발생하게 된다. 철골 구조 중 하나인 ㄱ형강은 단면 형태가 ㄱ모향 제품으로 철탑 부재나 선각 보강재, 트러스 등 보강재 로 많이 사용되어 안정성의 판단이 중요하다. 본 논문은 ㄱ형강의 규 격에 따라 각 변수가 변함에 따라 발생하는 응력 변화의 추이를 제시 하여 필요 장소에 안전한 형강의 사용이 가능하도록 구조 해석을 진행 하였다.

2. ㄱ형강 해석 조건

본 해석에 사용한 형강은 등변 ㄱ형강으로 한국산업표준에서 제공 한 치수를 기준으로 해석을 진행하였다. 그 치수와 무게는 Fig. 1 과 같다.

각 변의 길이는 25*25에서 250*250까지로 이루어져 있으며 각 길 이에 따라 가능한 형강의 두께 및 모서리 부분의 라운드 값을 이용하 여 제작하게 되어있다. 이에 따른 단면적, 단위 무게, 단면 계수를 제 공함으로써 규격에 맞는 제품 설계를 하도록 하였다. 본 해석에서는 중간 크기인 75, 90, 100의 형강을 이용하여 길이, 두께, 라운드에 따 른 영향도를 분석하려고 한다.



Fig. 2 Analysis conditions and Method of Angles

Fig. 2와 같이 □ 형강을 생성한 후 아랫면을 Fixed joint로 묶 고(B) 힘이 가장 많이 발생하는 한 면의 상단부에 1,000N의 힘을 생성시켜(A) 발생하는 응력 분석을 진행하였다.





Fig. 3 Von Mises stress of 100*100, 7 Angles

Fig. 3과 같이 ㄱ형강이 휘어지는 아랫부분에 모든 모델에서 가 장 큰 힘이 발생하였다. 그에 따른 결과는 Table 2와 같다.

Table 1 Von Mises stress of Angles

	75*75	90*90	100*100
7	19.64MPa	19.86MPa	20.30MPa
10	8.65MPa	8.94MPa	9.96MPa
13	4.81MPa	5.01MPa	5.86MPa

75*75, 90*90, 100*100의 길이를 가진 ㄱ형강의 두께를 7, 10, 13 으로 변경하여 해석한 결과 길이의 변화에 따라선 점점 증가하는 추세 를 보이나 큰 차이를 보이지 않았고 규격에 따른 라운드의 변화가 해 석 결과에 큰 영향을 미치지 않았다. 하지만 두께를 변화시키는 경우 7~13까지 최대 75.5% 차이를 보여 유의미한 결과를 보였다.

본 연구에서는 3가지의 변수를 이용하여 해석을 진행하였으나 추후 연구를 통해 모든 치수의 형강의 해석을 통해 안정성을 검증 및 기존 등변 ㄱ형강뿐만 아니라 부등변 ㄱ형강과 부등변 부등후 ㄱ형강의 해 석을 통해 모든 ㄱ형강의 영향도 및 최대 응력을 판단하여 안정성을 검증하고자 한다.

- Myong Jae Heo, Hong Geun Kim, Won Gu Choi.(2011). A Study on the Simple Design Method of Semi-Rigid Connection with Angle in Steel Structure. Journal of Korean Society of Steel Construction,23(3),261-273.
- (2) Yang, Jae-Guen, Kim, Ki-Hwan, Kim, Ho-Keun. (2004). An Analytical Model for Calculating Initial Stiffnesses of Double Angle Connections. Korean Association for Spatial Structures ,4(4),55-63.

전기 자동차용 커넥터의 사출성형 해석

이수연¹, 표병기², 정주호^{2*}

A study on the injection molding analysis of connectors for electric vehicles

S. Y. Lee¹, B. K. Pyo², J. H. Jung^{2*}

한국생산기술연구원¹, ㈜브이엠테크²

Key Words : Connector, Injection molding, CAE, MAPS-3D

1. 서 론

사출 성형 공정은 일반적으로 플라스틱을 공정에 사용하지만 유리 섬 유, 탄소 섬유, 고무와 같은 강화제를 첨가해 순수한 플라스틱보다 강한 기계적 강도를 지니게 할 수 있는 특징이 있다.

기존에는 개별 제품을 따로 성형하여 조립하는 공정을 거쳤지만, 인서 트 사출, 이중 사출 또는 이종 간의 이중 사출과 같은 특수공정을 통해 제품을 조립하는 과정을 생략할 수 있으며 제품 조립 과정에 필요한 볼트 체결, 융착 또는 접착 공정 없이 각 소재 간의 표면 점착 특성을 이용하여 제품이 결합되어 생산되는 친환경적 특성이 있다.

하지만 이중 사출은 1개의 사출기로 2개의 제품이 포함된 금형을 제어 하고, 서로 다른 소재를 1차 및 2차 금형에 적용하게 되므로 공정 제어가 까다롭고, 제품의 치수 안정성, 2차 성형 중에 발생 되는 1차 성형물과의 접착 제어가 어려운 단점이 있다. 전기 자동차 충전용 커넥터의 경우 커넥 터의 좌우 부품을 동시에 성형하는 멀티 캐비티 패밀리 몰드로 제작되고, PC를 1차 사출로 성형한 이후 2차 사출 시에는 TPC를 적용하는 이중 사출 공정에 따라 생산되는 제품이다. 하지만 1차 성형품을 성형하는 과 정에서 제품 들림 현상의 과도 변형이 발생하게 되며, 성형이 완료된 PC 부위에 과도한 후변형이 발생되는 문제를 지니고 있다.

본 논문에서는 이중 사출 공정에서 발생되는 변형으로 인한 제품 조립 불량 문제 해결을 위하여 ㈜브이엠테크의 MAP-3D를 활용하여 1차 및 2차 사출 과정에서 제품의 과도 변형을 최소화 할 수 있는 공정 조건 및 설계 조건을 도출하고자 한다.

2. 해석 방법 및 내용

성형 해석을 위하여 제품에 대한 모델 형상을 확인한 결과 제품의 1차 성형품은 내부에 장착되는 부품의 특성상 외관은 동일하게 구성되나, 좌 우 부품의 내부는 다르게 설계되었다. 따라서 러너 시스템을 대칭으로 설 계하게 되면 좌우 캐비티의 유동 불균형 및 압력 불균형이 발생하게 되므 로 좌우측의 변형을 동일하게 제어할 수 있는 조건 검색이 필요하였다.



Fig. 1 Runner placement and form of primary product

해석을 위한 재료 물성의 측정 및 DB 구축을 위하여 수지는 제조사에 서 제공되는 방법에 따라 건조 및 전처리를 수행하였으며, 열적 특성을 파악하기 위하여 시차주사열량계를 통한 측정을 수행하였다. 1차 성형품 의 성형 조건은 고정측 금형은 60℃, 이동측 금형은 50℃로 금형 온도를 제어하였다. 또한, 사출 속도는 금형을 3초 충전할 수 있도록 설정했으며, 게이트가 설치되는 위치가 2차 성형 시 은폐되는 위치임에 따라서 게이트 를 통과하는 시점에 발생할 수 있는 플로우 마크(Flow mark)를 방지하 기 위한 다단 제어는 설정하지 않았다. 2차 사출에서는 1차 금형의 상하측 온도 제어 및 사출 시간은 동일하게 하고 수지 용융 온도만 수지 추천 온도인 230℃로 제어 하였다.

3. 해석 결과 및 고찰

양산 조건에 따른 1차 성형품(PC)의 성형성 및 불량 예측 결과 보스 및 리브가 복잡하게 연결된 영역의 온도가 70~150 ℃까지 올라가는 핫 스폿(Hot spot)이 발생되는 현상이 나타났다. 해당 핫 스폿에 의해서 제 품의 사이클 타임이 증가하거나, 타 부위 대비 수축이 크게 발생함에 따른 제품의 불균일 변형의 원인이 될 수 있을 것으로 판단되었다. 또한, 두 제 품의 내측 형태가 다르게 설계됨에 따라서 두 제품의 압력 분포가 균일하 지 못하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 양산 조건에 따른 제품의 변 형 결과는 제품의 길이 방향으로 들리는 형태로 나타나며 최대량은 0.52mm로 확인되었다.



Fig. 2 Results of analysis of product deformation according to mass production process

제품에서 발생되는 들림 변형은 과도한 보압에 따른 응력이 주요 원인 으로 추측되어 보압 조건을 변경한 해석을 통해서 검증하여 2차 성형품의 조건 변경에 따른 변형 감소를 확인 하였다. 그리고 유동 불균형 현상을 수정을 위해 기존의 1차 성형품의 금형 및 게이트를 변경하도록 하였다. 성형 조건 역시 사출 성형 해석을 통해서 평탄도 편차가 가장 낮게 나타 나는 최적의 조건을 설정하였다.

본 연구를 통해 이중 사출 공정에서 발생되는 변형 문제를 재료의 재질 및 전체 제품 대비 비율에 따라서 1차 사출 성형 공정의 안정화가 중요한 인자임을 규명하였으며 그에 따른 추가적인 공정 최적화를 통해서 최종 성형품이 완성되는 2차 사출 공정의 최적화 및 제품 치수 안정화를 얻을 수 있었다.

최적화된 이중 사출 조건을 적용하여 제품에서 발생되는 변형량을 0.2mm 이하로 제어할 수 있었고, 기존에 발생되었던 제품 성형 시 변 형에 따른 좌우 제품 조립 불량 현상을 제거할 수 있었다.

이 논문은 산업통상자원부의 '엔지니어링SW 활용보급 기반구축' 사업 의 지원을 받아 연구되었음.(과제번호 N0002103)

참고문 헌

 Chang-Hyun Park, Hee-jae Ahn, Dong-Hoon Choi, Byung-Gi Pyo, Two Stage Design Optimization of an Automotive Fog Blank cover for Enhancing its Injection Molding Quality, KSAE, pp.130-136, 2010.

압축기 갭 유동에 따른 하우징 온도 및 방열 변화

오수환¹, 박진규¹, 이영림^{2*}

Variations of housing temperature and heat release rate with gap flow in linear compressors

S. H. Oh¹, J. K. Park¹, Y. L. Lee^{2*}

공주대학교 기계자동차공학부 기계설계공학전공¹, 공주대학교 기계자동차공학부²

Key Words : Gap flows, Housing temperature, Heat release rate, Linear compressor

1. 서 론

리니어 압축기 개략도를 Fig. 1에 나타냈다. 리니어 압축기 효율은 바 디내부 과열도에 영향을 받는다. 모터의 작동으로 인해 과열도가 증가하 게 되면 냉매의 밀도가 감소하고 압축실에 유입되는 냉매의 질량유량이 감소하여 압축기 효율이 저하된다. 따라서 본 연구에서는 과열도를 감소 시켜 냉매의 질량유량을 증가하는 것이 목표이다. 이를 위해 피스톤의 왕 복운동으로 인하여 발생하는 바디의 진동에너지를 활용하고자한다. 바디 의 진동으로 인하여 바디와 하우징 사이의 갭에서 유동이 발생한다. 이를 이용하여 갭 사이 리브와 파티션이 갭유동 속도를 증가시켜 과열도를 감 소시킬 수 있는지 알아보았다. 이를 위해 Fig. 2와 같이 바디와 하우징을 단순한 실린더와 피스톤 형상으로 대체하고 실린더에 리브와 파티션을 추 가하였다. 그 결과 속도가 증가하였고 방열량이 증가함을 확인하였다. 방 열량 증가는 압축기 과열도를 감소시킬 수 있으므로 냉동기 EER 향상을 기대할 수 있다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 파티션과 리브추가에 따른 하우징 표면온도, 하우징 내 부 온도, 방열량을 구하기 위해 실험을 진행하였다. Fig. 2에 측정 위치와 개략도를 나타냈다. 리니어 압축기 내부 온도 환경을 맞추기 위해 모터가 작동하는 위치에 카트리지 히터를 이용하였다. 하우징 내부 온도와 더불 어 하우징 표면 온도도 측정하여 외부로 방출되는 열유속을 알아보고자 하였다. 온도 측정은 T-type 열전대를 사용하였다.



Fig. 1 Schematic of the linear compressor^[1]



Fig. 2 Schematic of the experimental equipment

Table 1 Minimum gap based on model				
Models	Minimum Gap Size (mm)			
Case 1	6			
Case 2	4			

2

3. 결과 및 고찰

Case 3

Fig. 3은 피스톤이 작동할 때 하우정 표면 온도를 기본모델인 Case 1 을 기준으로 Case 2, Case 3 온도를 나타냈다. 하우징 표면 온도가 높을 수록 방열량이 증가하므로 갭 유동에 따라서 하우징 온도가 증가하고 방 열량이 증가했음을 알 수 있다. 이는 과열도를 감소시켜 압축기의 냉력 및 EER을 향상시킬 수 있음을 의미한다.



Fig. 3 Variations of normalized housing temperature with case

- (1) Hwang, I. S. and Lee, Y. L. 2022, Study on the performance of linear compressor with suction system shapes using a transient CFD model, JMST, Vol. 36, 1809~1816.
- (2) Oliver, m. j., Diniz, M. C., Deschamps, C. J. 2017, Predicting the temperature distribution and suction gas superheating of an oil-free linear compressor, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, Vol. 231, 47~56.
- (3) Han, S. H. and Lee, Y. L. 2022, Improvement of Compressor EER Based on Shape of Gap Flow Passage, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 21(3), 63-69.

냉매 압축기에서 진동노즐을 이용한 예압축 수치해석

박진규¹, 이영림^{2*}

Numerical study of pre-compression with vibrating nozzles in a refrigerant compressor

J. K. Park¹, Y. L. Lee^{2*}

공주대학교 기계자동차공학부 기계설계전공¹, 공주대학교 기계자동차공학부²

Key Words : Pre-compression, Vibrating nozzles, Refrigeration compressor, CFD

1. 서 론

Fig. 1에 진동노즐의 개략도를 나타냈다. 진동 노즐은 리니어 압축기의 피스톤 왕복운동으로 인해 발생하는 압축기 바디의 진동에너지를 사용하 여 구동된다. 이러한 진동노즐을 이용하여 진동노즐의 형상에 따른 예압 축효과를 CFD를 사용하여 알아보았다. 진동노즐을 통한 예압축으로 인 해 흡입 밸브가 열리는 시간을 앞당겨 압축실 내로 들어가는 냉매의 질량 유량을 증가시켜 압축기의 성능을 향상시킬 것으로 예상된다.

2. 진동 노즐 수치해석

본 연구에서는 3차원, 압축성, 비정상상태, 난류유동으로 유동을 고려 하였다. 왼쪽 노즐은 움직이게 하고 오른쪽 노즐은 정지시켜 해석을 진행 하였다. 진동노즐이 움직임을 구현하기위해 동격자의 레이어링 기법을 사 용하였다.

Fig. 2에 진동노즐 격자 시스템을 나타냈다. 본 연구에서 고려한 유동 은 3차원, 압축성, 비정상상태, 난류유동이나 해석 시간이 길게 요구되어 격자 시스템을 최소화하는 축대칭 모델을 사용하였다. 또한, 격자는 삼각 형 및 사격형 격자로 구성되어있다. 이때 사각형 격자는 동격자의 레이어 링 기법이 적용된 곳에 사용했다.

본 연구에서는 스트로크와 RPM은 고정시키고 왼쪽 노즐의 직경 중 작 은 쪽의 직경을 변화시켜 예압축 효과를 알아보았다.



Fig. 2 Mesh system of an axi-symmetric model for the vibrating nozzles



Fig. 3 Dimension of the vibrating nozzles[unit: mm]

Table 1 Specifications of the models				
Models	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D_1/D_2	
Model 1	10	8.24	1.22	
Model 2	10	7.32	1.37	
Model 3	10	6.36	1.57	
Model 4	10	5.34	1.87	
Model 5	10	4.23	2.37	

3. 결과 및 고찰

Table 1은 각 모델의 직경과 직경비에 대한 제원을 보여준다. Fig. 3은 직경비에 따른 한 주기 동안 압축실의 평균 압력 변화를 나타냈다. 이때 고려된 주파수는 1000 rpm, 스트로크는 15mm, D₁은 10mm 로 고정한 후 D₂의 수치를 변경하며 평균압력을 측정하였다. 직경비가 증가함에 따 라 평균압력도 급격하게 증가한다. 이는 노즐의 직경이 작아질수록 압축 효과가 증가함을 의미한다.



Fig. 4 Variation of average pressure in a compression chamber with diameter ratio

참고문헌

- S. J. Park, I. S. Hwang, W. Oh and Y. L. Lee, 2017, A study on cycle performance variation of a linear compressor considering valve behavior, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 31, pp. 4481–4488.
- (2) Hwang, I. S. and Lee, Y. L. 2022, Study on the performance of linear compressor with suction system shapes using a transient CFD model, JMST, Vol. 36, 1809~1816.
- (3) J. M. Jeon, Y. L. Lee, "A Study on the Feasibility of Pre-compression in linear Compressors Using Fluid Diode", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 22, No. 3, pp. 55~60, DOI:https://doi.org/10.14775/ksmpe.2023.22.03.055

리니어 압축기에서 체크 밸브 피스톤을 활용한 예압축 수치해석

김동규¹, 전재민¹, 이영림²*

Numerical study of pre-compression using check valve piston in a linear compressor

D. K. Kim¹, J. M. Jeon¹, Y. L. Lee^{2*}

공주대학교 기계자동차공학부 기계설계공학전공¹, 공주대학교 기계자동차공학부²

Key Words : Check valve piston, Pre-compression, Linear compressor, CFD

1. 서 론

체크 밸브 피스톤으로 구성된 예압축 시스템의 개략도를 Fig. 1에 나타 냈다. 리니어 압축기에서 피스톤의 왕복운동 시 압축기 바디로부터 진동 에너지가 발생한다. 이때 발생하는 진동에너지로 체크 밸브 피스톤을 움 직여 발생하는 예압축 효과를 CFD를 이용하여 알아보았다. 체크 밸브 피 스톤을 활용한 예압축을 통해 압축실로 유입되는 흡입 밸브의 개방 타이 밍을 앞당겨 질량유량을 증가시킴으로써 압축기의 성능 향상을 기대해볼 수 있다.

2. 체크 밸브 피스톤 수치해석

본 연구에서는 3차원, 압축성, 비정상상태, 난류유동을 고려하였다. 냉 매의 유입부 쪽에 위치한 체크 밸브 피스톤이 움직이고, 흡입밸브 이전에 정지노즐을 배치하여 예압축 효과를 향상시키고자 하였다. 체크 밸브 피 스톤의 움직임을 구현하기 위해 동격자의 레이어링 기법을 사용하였다. 체크 밸브는 초기에 닫힌 상태에서 움직이기 시작하여 압축실 내부의 냉매를 압축한다. 피스톤의 변위가 최대가 되는 지점까지 체크 밸브를 닫 은 채로 움직여 냉매가 압축됐을 때 체크 밸브를 개방함으로써 최대한의 압축 효과를 노린다. 체크 밸브가 열린 상태로 피스톤이 초기 위치로 돌아 오게 되면 체크 밸브가 다시 닫히고 이를 반복한다.

Fig. 2는 체크 밸브 피스톤의 격자 시스템을 보여준다. 본 연구에서는 3차원, 압축성, 비정상상태, 난류유동을 고려하였으나 해석 시간을 단축 시키기 위해 격자 수를 최소화한 축대칭 모델을 사용하였다. 이 때 사용된 격자는 삼각형과 사각형 격자로 구성되어있으며, 사각형 격자는 동격자의 레이어링 기법이 적용된 곳에 사용했다. 본 연구에서는 rpm 및 스트로크 의 변화에 따른 체크 밸브 피스톤의 예압축 효과에 대해 알아보았다.





Fig. 2 Mesh system of an axi-symmetric model with the check valve piston

Table 1	Specifications	of the	models	
 1		<u> </u>	1 ()	

Models	Stroke(mm)			
Model 1	2.5			
Model 2	5			
Model 3	7.5			
Model 4	10			

3. 결과 및 고찰

Table 1은 각 모델의 스트로크에 대한 제원을 보여준다. Fig. 4는 10mm 스트로크일 때 압축실 최대 압력을 기준으로 무차원한 압력비를 보여준다. 이때 회전수는 2000rpm으로 고정하였고, 스트로크를 변경하며 각각의 최대 압력을 예측하였다. 그 결과 스트로크가 증가함에 따라 압축실 최대 압력이 증가함을 알 수 있다. 이러한 최대 압력 증가는 예압 축 효과를 극대화하여 밸브의 타이밍 및 개도를 변화시켜 냉매의 질량유량을 증가시킬 수 있다. 따라서 예압축 효과를 최적화하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.



- S. J. Park, I. S. Hwang, W. Oh and Y. L. Lee, 2017, "A study on cycle performance variation of a linear compressor considering valve behavior", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 31, pp. 4481~4488.
- (2) Hwang, I. S. and Lee, Y. L. 2022, "Study on the performance of linear compressor with suction system shapes using a transient CFD model", JMST, Vol. 36, 1809~1816.
- (3) J. M. Jeon, Y. L. Lee, "A Study on the Feasibility of Pre-compression in linear Compressors Using Fluid Diode", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 22, No. 3, pp. 55~60.

진동 노즐 예압축에 따른 압축기 EER 변화

이영림*

Variations of compressor EER with pre-compression of vibrating nozzles

Y. L. Lee*

공주대학교 기계자동차공학부

Key Words : Vibrating nozzles, EER, Linear compressor, CFD

1. 서 론

진동 노즐로 구성된 예압축 시스템이 장착된 리니어 압축기 개략도 를 Fig. 1에 나타냈다. 리니어 압축기 효율은 흡입밸브를 통과해서 압 축실로 들어오는 냉매의 질량유량에 많은 영향을 받는다. 따라서, 본 연구에서는 압축실로 유입되는 냉매의 질량유량을 증진시키기 위하여 피스톤의 운동으로 발생하는 압축기 바디의 진동에너지를 이용하고자 한다. 이를 위해 압축기 바디의 진동으로 구동되는 한 쌍의 진동 노즐 을 고려하였다. 이러한 진동 노즐을 이용하여 예압축을 할 때 진동 노 즐의 형상에 따른 압축기의 EER의 변화를 알아 보았다.

CFD 해석을 위하여 Fig. 2와 같이 압축기를 흡입계 형상을 제외하고 는 모두 단순화하였고 흡입 시스템 중간에는 한 쌍의 진동 노즐을 고려하 였다. 본 연구에서는 진동 노즐의 각도를 변화하면서 압축기의 EER 변화 를 살펴보았다. 그 결과 진동 노즐의 예압축 효과는 밸브의 개폐시기를 변화시켜 압축실로 유입되는 냉매 유량을 증가시켰다. 이러한 냉매 질량 유량 증가는 압축기 냉력을 증가시키고 또한 EER을 증가시키는데 기여 할 수 있다. 향후 진동 노즐의 다양한 형상 및 운전 조건에 따른 EER 변 화에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

2. 진동 노즐 수치해석

본 연구에서는 한 쌍의 진동 노즐에 따른 냉매 질량유량 및 밸브 개 폐 시기, EER 변화를 알아보기 위하여 압축기 사이크 해석을 CFD 해 석을 수행하였다. Fig. 2에 압축기 사이클 CFD 해석을 위한 격자 시 스템을 나타냈다. 격자의 형태는 사각형 및 삼각형 격자가 혼재되어있 다. 이때 사각형 격자는 셀 존(cell zone) 형상이 비교적 단순하거 나 동격자를 위해 고려한 레이어링 기법(layering method)이 적용 되는 곳에 사용되었다. 본 연구에서 고려한 압축기 유동은 3차원, 비 정상상태, 압축성, 난류유동이다.



Fig. 1 Schematic of vibrating nozzles in a linear compressor



Fig. 2 Mesh system of the compressor model

Table 1 Valve opening and closing timing								
Models	Opening advance(ms)	Closing advance (ms)						
No nozzle	reference	reference						
Nozzle A	0.02	-0.01						
Nozzle B	0.04	-0.01						

3 결과 및 고착

진동노즐이 없는 모델과 진동노즐을 장착한 모델 간의 밸브 개폐시 기를 Table 1에 나타냈다. 이러한 결과에 의하면 진동노즐 장착 시 압 축밸브의 열림시기를 앞당길 수 있고 닫힘시기는 늦출 수 있다. 따라 서, 냉매의 질량 유량은 이에 비례해서 증가되었다고 사료된다.

Fig. 3에 진동 노즐에 따른 압축실로 유입되는 냉매의 질량유량 변 화를 나타냈다. 진동 노즐이 없는 경우 대비 노즐 A를 장착한 모델은 약 0.9% 정도의 질량유량 증가를 보여주었고, 노즐 B를 장착한 모델 은 약 1.2%의 증가를 보여주었다. 이는 압축기의 냉력은 질량유량 중 가에 비례해서 증가하였음을 의미한다. 또한 압축기일이 냉력보다 적 게 상승한다면 압축기의 EER도 증가 가능성이 있다. 향후 다양한 진 동 노즐 형상을 고려하여 냉력을 향상시키고 EER 또한 획기적으로 증 가시킬 수 있는 진동 노즐 최적화에 관한 연구가 필요하다.





- (1) S. J. Park, I. S. Hwang, W. Oh and Y. L. Lee, 2017, A study on cycle performance variation of a linear compressor considering valve behavior, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 31, pp. 4481~4488.
- (2) Hwang, I. S. and Lee, Y. L. 2022, Study on the performance of linear compressor with suction system shapes using a transient CFD model, JMST, Vol. 36, 1809~1816.

음향 공동을 이용한 소음 저감과 환기가 동시에 가능한 창문 설계

고혜민, 박성혁, 박신주, 이민규, 황인겸, 윤관호*

Design of ventilated soundproof window based on acoustic cavity

H. M. Ko, S. H. Park, S. J. Park, M. G. Lee, I. K. Hwang, G. H. Yoon*

서울과학기술대학교 MSDE학과

Key Words : Acoustic metamaterial, Ventilation, Traffic noise, Transmission loss, Sound blocking

1. 서 론

음향 메타 물질이란 자연계에 존재하지 않는 물리적 성질을 가지기 위 해 인공적으로 설계된 물질이다. 이는 주거 및 상업용 건물, 철도 및 공항 등과 같이 다양한 환경에서 소음 저감을 하는데 사용된다. [1] 현대 사회에 서 심각한 문제 중 하나인 교통 소음 역시 음향 메타물질을 활용하여 해결 할 수 있다. 본 논문에서는 음향 공동을 활용하여 1000Hz 주변 주파수 대 역의 교통 소음을 차단함과 동시에 환기를 가능하게 하는 창문을 설계하 고자 한다.

2. 시뮬레이션 및 임피던스 튜브 실험

본 연구에서는 음파의 반사, 굴절 및 공명현상을 이용한 소리 차단 현상 을 해석하기 위해 유한요소해석 소프트웨어 COMSOL Multiphysics를 이용 하였다.

Fig. 1은 시뮬레이션을 통해 최적화된 단위 구조체 및 차수, 단위 구조체의 주기적인 배열로 이루어진 meta-cage, 그리고 단위 구조체의 배열을 통해 제작한 창문의 사진을 보여주고 있다. 음향 메타물질로 구성된 구조체의 성능을 평가하기 위해, 임피던스 튜브(ZL100)를 활용하여 구조체의 투과 손실(Transmission Loss)을 계산하였다. 이를 위하여 두 개의 도파관에 각각 음파 분리법을 적용하는 4-Microphone method를 적용하였다. 실험에서 사 용한 최적화된 단위 구조체는 두 개의 아크릴 판이 평행하게 배열된 형태 이며, 중앙의 구멍을 통하여 환기가 가능하게 했다.



Fig. 1 (a) Unit cell made of acrylic, (b) Dimension of unit cell (*l* (lattice constant)=150mm, *t* (thickness of the plate)=5mm, *h* (cavity height)=20mm, *d* (hole diameter)=35mm), (c) Meta-cage, and (d) Ventilated soundproof window

이러한 단위 구조체는 공동(Cavity)와 목(Neck)으로 구성된 헬름홀츠 공명 기(Helmholtz Resonator)와 유사한 구조를 가진다. [2] 헬름홀츠 공명기의 공명 주파수(Resonant frequency)는 공동과 목의 기하학적인 정보에 의해 결정된다. 이러한 특성을 이용하여 단위 구조체의 공명 주파수를 교통 소음의 피크 주 파수와 일치시켰다. 또한, 실험 과정에서 누음을 최소화기 위하여 Pressure sensitive adhesion (Blu-tack)을 사용하여 단위 구조체와 임피던스 튜브 사이의 틈을 최소화했다.

3. 실험 결과 및 고찰

단위 구조체의 소음 주파수 별 투과손실에 대하여 COMSOL Multiphysics 를 통한 시뮬레이션 결과, 임피던스 튜브를 통한 실험 결과, 그리고 meta-cage 를 통한 실험결과를 Fig. 2에서 그래프로 비교하였다.



그 결과 시뮬레이션과 임피던스 튜브 실험 결과가 일치하는 것을 알 수 있고, meta-cage를 통한 실험 결과 역시 비슷한 경향성을 보였다. 또한, 교통소음의 피크 주파수인 1000Hz 대역에서 투과손실이 가장 높은 것을 확인할 수 있다. 또한, 앞서 제작한 단위 구조체의 주기적인 배열을 통하여 Fig. 1-(d)와 같이 소음 저감과 환기가 동시에 가능한 창문을 만들 수 있고, 이는 교통 소음이 심한 도로변 근처 주거지역에 활용될 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 교통 소음의 피크 주파수인 1000Hz 주변 주파수 대역에서 의 소음을 효과적으로 줄이기 위하여 두 개의 평행한 아크릴판과 cavity가 결 합된 구조를 설계하였다. 또한 COMSOL Multiphysics 시뮬레이션 결과와 임 피던스 튜브 투과 손실 실험의 비교를 통하여 단위 구조체의 소음 저감 효과 를 확인하였다.

- (1) Cui, X., Liu, C., Shi, J., Shen, C., Liu, X., Lai, Y., 2022, A Flexible Meta-Curtain for Simultaneous Soundproofing and Ventilation, Symmetry, 14, 2348
- (2) Ryu, H., Chung, S.J. and Lee, J.W., 2014, Design of a Helmholtz Resonator for Noise Reduction in a Duct Considering Geometry Information: Additional Relationship Equation and Experiment, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, 38(4), pp. 459–468.

청소기 소음 저감을 위한 음향 메타물질 설계

김서현, 한인격, 이예원, 천수빈, 윤관호*

Acoustic metamaterial for noise reduction in vacuum cleaner

S. H. Kim, I. K. Han, Y. W. Lee, S. B. Cheon, G. H. Yoon*

서울과학기술대학교 MSDE학과

Key Words : Acoustic metamaterial, Noise reduction, Destructive interference, Ventilation, Vacuum cleaner

1. 서 론

3. 시뮬레이션 및 실험 결과 비교

진공 청소기는 생활 가전 제품들 중에서도 상대적으로 큰 소음을 발생시킨 다. 이는 주 소음원인 팬 모터 소음 제어에 있어, 환기성이 보장되어야 한다 는 조건이 방음 구조 설계의 제약을 만들기 때문이다. 이러한 어려움을 극복 하기 위해, 환기성과 방음성을 동시에 갖추는 음향 메타물질의 구조와 적용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 (1, 2). 본 연구에서는, 청소기 소음 저감을 위해 미로 구조를 활용한 음향 메타물질을 제작하였다. 상용 수치 해석 프로 그램인 COMSOL Multiphysics를 통해 구조체를 설계하였으며, 실험을 통해 청소기의 소음 저감 효과를 확인하였다.

2. 청소기 소음 측정 및 음향 메타물질 설계

청소기 소음의 측정은 소음계(LION, NL-52A)를 통해 후면 배기구에서 30 cm 떨어진 지점에서 이루어졌으며, 주 소음은 1500 Hz~2000 Hz 대역에서 발 생하였다 (Fig. 1(a)). 음향 메타물질의 설계는 참고 문헌 (1)의 구조에서, 미로 의 형상 변경 및 구조체의 치수 최적화를 통해 주 소음 주파수 대역에서 높 은 투과 손실을 가지도록 하였다 (Fig. 1(b)). 구조체는 중심부의 열린 영역과 주변부의 미로 영역으로 이루어져 있다 (Fig. 1(c)). 횡방향과 종방향의 구조들 이 규칙적으로 배열 되어있으며, 입사하는 음파가 미로를 거쳐 통과할 수 있 다 (Fig. 1(d)). 구조체의 방음은 각 영역을 통과한 음파 간의 상쇄 간섭을 통 해 이루어지며, 원활한 환기를 위해 20%의 열린 영역이 사용되었다 (Table 1).



(c) Perspective view (d) Cross-sectional view Fig. 1 Noise spectrum of vacuum cleaner and designed metamaterial

Table 1 Dimension of the designed metamaterial (unit: mm)

\mathbf{r}_1	r ₂	lı	l2	W 1	W ₂	d	t
22.5	50	15.2	1.35	1	1	3	25

음향 메타물질이 설치된 청소기는 주 소음 대역 (1500 Hz ~ 2000 Hz)의 피 크 소음이 30 dB, 전체 소음이 10 dB 감소된 측정 결과를 보였다 (Fig. 2(a)). 소음의 실질 감소폭과 시뮬레이션으로 얻은 투과 손실을 비교를 통해, 1500 Hz ~ 2000 Hz 대역에서의 소음 저감 경향성이 유사함을 확인하였다 (Fig. 2(b)). 실험 과정에서 메타 물질 시편은 ABS-30 물질과 fused deposition modeling (FDM) 방식으로 제작되었다. 해당 시편은 청소기의 후면 배기구에 설치하였 으며, 이전과 동일한 방식으로 청소기 소음을 측정하였다. (Fig.2 (c)).



4. 결 론

본 연구를 통해 청소기 소음 저감을 위한 미로형 음향 메타물질을 설계하였 다. 해당 메타물질이 설치된 청소기는 주 소음 대역 (1500 Hz~2000 Hz)의 피 크에서 30 dB, 전체 소음이 10 dB 저감된 결과를 보였다.

- Chen, A., Zhao, X., Yang, Z., Anderson, S. and Zhang, X., Broadband labyrinthine acoustic insulator, Physical Review Applied, 18(6), 064057.
- (2) An, K. Y., Kwon, H., Jang, J.-Y. & Song, K. Acoustic metamaterial design for noise reduction in vacuum cleaner. J Mech Sci Technol 36, 5353–5362.
자작 전기차 선회능력 향상을 위한 조향장치 설계

김동민, 이종선*

Steering design for improving cornering capability in self-made electric vehicles

D. M. Kim, C. S. Lee*

한동대학교 기계제어공학부

Key Words : Self-made electric vehicle, Steering system, Ackermann, Anti-Ackermann, Vehicle design

1. 서 론

본 논문에서는 KSAE(대학생 자작전기차 대회) 출전용 전기 자동차의 조향 장치 설계 해석을 통한 차량의 선회능력 향상을 목적으로 한다. 작년 대회에 출전한 차량의 선회반경이 너무 커서 코너링 성능에 지장이 있었으므로, Ackemann 조향장치의 너클암과 타이로드 사이의 사각 형성을 방지하면서 차량의 선회반경을 최소회하는 데 연구의 목적을 두었다.

2. 설계 방법

지난 대회 차량와 새로 설계한 차량 조항장치의 제원은 Table 1과 같다. 선 회 시 기하학적 조건을 만족하는 전방 내외륜 조향각과 애커만 효율은 식 (1), (2),(3)에서 계산된다.

	Old Vehicle	New Vehicle
Wheel base(L)	1300 mm	1307.5 mm
Tread(t)	1000mm	1000mm
Rack-pinion length	360 mm	300 mm
Rack-pinion max travel distance	±56 mm	±50 mm
Ideal δ_o	24.83°,	24.97°
Ideal δ_i	37.24°,	37.45°

able	1	Com	parison	of	vehicle	s	pecifications	
	-	~~		•••		~	peentenerono	

Т

$$\delta_i \approx L/(R+t/2) \tag{1}$$

 $\delta_o \approx L/(R-t/2)$ (2)

Ackermann Ratio = $Real(\delta_i - \delta_o)/Ideal(\delta_i - \delta_o)$ (3)

본 연구에서는 Solidworks에서 애커먼 조향을 구현하여 랙-피니언 아동에 따른 바퀴 각도와 조향 장치의 길이 변화를 관찰했다. 지난 대회 차량의 경우, 랙-피니언과 타이로드의 통합 길이가 짧아 랙-피니언 아동 시에 사각이 쉽게 발생하였기 때문에, 실제 휠 각도는 Table1에 도시된 각도 값에 미치지 못했다. 따라서 최소회전 반경이 크게 증가하였다. 본 연구에서는 최소회전반경 2.6m 이하를 구현함과 동시에 너클암 길이 85~95mm, 사각 170°이하를 목표로 설계를 진행하였다. 아를 위하여 기존 랙피니언의 길이를 300mm에서 700mm로 연장하였다. 랙-피니언의 연장길이를 700mm로 고정하고, 사각방지 각도를 170도로 둔 상태의 전륜 축으로부터 랙-피니언의 거리를 조정하면서, 좌우바퀴의 조향각 변화, 애커만 효율, 최소선회반경을 비교하였다. (Fig. 3)



Fig. 3 Final Steering System (mm)

3. 결과 및 고찰

Table 2에 전륜 축과 랙-피니언의 거리를 56,57,58,59,60 mm로 변화시키면 서 계산된 좌우바퀴의 최소회전반경과 조항각 변화, 애커만 효율을 비교하였 다. 전륜 축과 랙-피니언의 거리가 커질수록 너클암을 짧아지고, 선회 반경은 커지며, 내외 조항각의 차는 줄어들어 애커먼 효율이 증가한다. 전륜 축과 랙-피니언의 거리와 너클암 길이의 변화양은 무시할 수 있을 만큼 작음을 확인 하였다. 최소회전반경과 애커먼 효율은 Tread-off 관계에 있으며, 코너링 능력 향상에 핵심적인 인자임을 알 수 있다. 또한, 59mm를 기준으로 값이 상하로 변함에 따라 전륜 연장선이 후륜 연장선에서 멀어지는 것을 발견했다. 따라서, 목표한 선회반경을 충족하며, 가장 높은 애커먼 효율을 갖는 동시에 전륜 연 장선이 후륜 연장선과 가장 수렴하는 전륜 축과 랙-피니언의 거리 59mm를 최종적으로 선정하였다.

Table 2를 통해 새로 설계된 차량에서 최소회전반경을 22% 줄였으며 Ackermann 구현율을 13% 개선하였음을 알 수 있다.

 Table 2 Comparison of cornering capability depending on distance
 between front wheel axis and Rack-Pinion axis

Distance	Knuckle Arm	Minimum Turning Radius	δ_o, δ_i	Ackermann Ratio
56mm	90.5mm	2331mm	29.25° , 47.77°	148 %
57mm	90.45mm	2410mm	29.68°, 47.49°	143 %
58mm	90.4mm	2495.15mm	30.11°, 47.22°	139 %
59mm	90.35mm	2587mm	30.54°, 46.95°	131 %
60mm	90.3mm	2686mm	30.96°, 46.68°	126 %

⁽¹⁾ Verma, S.S., Rohith, K., Prasad, A.S., Teja, E.H., Sai, M.V., 2019, Design and Comparative Analysis of Ackermann and Anti-Ackermann Steering Systems, International Journal of Research and Analytical Reviews, 6:1

Casing Rotator용 Slew Bearing의 동적 응력 해석

차영택, 장홍석, 이연호, 김정구, 최성준*

Dynamic stress analysis of slew bearing for casing rotator

Y. T. Cha, J. H. Jang, Y. H. Lee, J. G. Kim, S. J. Choi*

한국생산기술연구원

Key Words : Casing rotator, Slew bearing, Stress analysis

1. 서 론

Casing Rotator는 교각 등의 지지를 위한 Pile을 지하에 타설하기 위 해 강관을 회전시켜 지하에 삽입하는 장비이다¹⁾. 강관의 원활한 회전을 위해 Slew Bearing이 적용되었으며, 강관 삽입 시 적용되는 Insert Force와 회전 속도조건으로 인한 Slew Bearing의 파손여부를 확인하기 위해 동적응력 해석을 실시하였다.



Fig. 1 Casing Rotator

2. 해석 구성

해석의 효율성을 위해 Slew Bearing의 볼 3개의 구간에 해당하는 부분을 떼어내어 Fig. 2와 같이 동적응력해석을 실시하였으며, 해석조 건은 Table 1과 같다. 이 때, Insert Force는 Rotation 시작 0.1초 후 계단(Step) 함수로 적용하였다.



Fig. 2 Configuration of Dynamic Stress Analysis

Table 1 Conditions of Dynamic Suess Analysis					
EE Model	Total Nodes	58,346			
FE WIOdel	Total Element	28,193			
Load	Insert Force	41,086N(3 ball)			
Loau	Rotation Speed	2.34 rpm			
Constraint	Slew Bearing Bottom	X,Y,Z,RX,RY,RZ(Fixed)			
	Rotation Center	X,Y,Z,RX,RY(Fixed)			
	D	SCM440			
	Raceway	(YS=900MPa)			
Material	Ball	SUJ2 (YS=1370MPa, Quenching, Tempering)			

3. 해석 결과 및 결론

해석 결과 Ball의 최대응력이 1,121MPa, Upper와 Lower Raceway 의 최대응력이 298.2MPa로 나타났으며, 각 소재의 항복응력이내에 존재함을 확인하였다. 따라서, Casing Rotator의 Insert Force와 Rotation Speed는 적절한 것으로 판단된다.



Fig. 3 Simulation Result

참고 문 헌

 Yeonho Lee, Youngtaek Cha, Sungjoon Choi.(2021). A study on the optimization for minimizing deformation due to casing clamping of 3.6m class casing rotator. KSME 2021 Spring Conference, 9-9.

219

EMG 센서를 활용한 특수목적기계 회전 및 구동 제어장치의 근골격계 위험성 분석에 관한 연구 ^{김정구*}, 차영택

A study on the risk analysis of musculoskeletal system for special purpose machine rotation and drive control using EMG sensor

J. G. Kim^{*}, Y. T. Cha

한국생산기술연구원

Key Words : Motion analysis system, IMU sensor, Musculoskeletal system

1. 서 론

재난·재해 대응 특수목적기계 개발을 위해 국내 여러 사고·사례를 확인 하고 훈련 시나리오를 제작하였다. 대규모 지진에 의해 리조트 내 강당 건물이 붕괴되어 구조를 위하여 험지 돌파 및 구조대 투입로 개척을 위하 여 이동하는 것으로 가정하였다. 원형인 굴삭기를 참고하여 2개의 패들을 조작하여 좌·우의 무한쾌도의 전·후진 및 좌·우 회전을 조작하며, 패들 장 치의 스윙을 이용하여 상부체의 회전을 구현하도록 제작하여 소형 시뮬레 이터를 제작하였다.



Fig. 1 Special Purpose Equipment Responding Disasters

재난·재해 상황에서 인명 구조 및 수색을 위해서 장시간 운전으로 운전 자의 근골격계 위험성이 증대 된다. EMG 센서를 활용하여 근골격계 위 험성에 대하서 분석하고 운전자를 보호하기 위한 시스템 개발에 활용하고 자 한다.

2. 근골격계 위험성 평가 실험 방법

본 근골격계 위험성 평가를 위하여 일반도로, 경사지, 힘지, 단차지대를 주행하는 작업 모델을 만들어 수행하고, 작업 수행 시 운전자의 EMG 센 서를 부착하여 움직임을 측정 후 평가를 진행하게 된다. EMG 센서는 작 업의 특성을 반영하여 좋아리와 발목 근육의 비골근(Peroneus), 내측·외 측 비복근(medial·lateral head Gastrocnemius), 비장근(Soleus), 전경 골근(Tibialis anterior) 5곳에 부착하였다.



Fig. 2 Test Model

3. 실험 결과 및 고찰

EMG 센서를 이용한 측정 데이터에 대한 Standard EMG Analysis 실시하였다.



(b)-2 Averaged Mean Amplitude / Aver All Periods Fig. 3 Standard EMG Analysis

Fig. 3에서 (a)와 (b)의 분석결과 전경골근, 외측 비복근, 비골근 순으 로 근골격계 위험성이 높게 나타났다. 이는 지형에 따른 조작 및 속도 제 어를 위하여 발목의 움직임이 높아 위험성이 높은 것으로 보이며, 전경골 근의 피로감이 쌓여 정강이 통증 및 비복근의 순간적인 수축으로 인한 파 열이 발생할 수 있을것으로 판단된다.

특수목적기계 소형 시뮬레이터의 조이스틱 제어장치가 운전자 상완 및 전완에 미치는 근골격계 위험성에 관한 연구 김정구*, 차영택

A study on the risk of musculoskeletal system by joystick control device in small simulator of special purpose machine on driver's upper arm and front arm muscle

J. G. Kim^{*}, Y. T. Cha

한국생산기술연구원

Key Words : Risk of musculoskeletal, EMG sensor, IMU sensor, Risk Analysis

1. 서 론

3. 실험 결과 및 고찰

굴삭기의 조이스틱 제어장치를 활용한 재난·재해 대응 특수목적기계 소 형 시뮬레이터를 제작하였다. 특수목적기계의 로봇팔은 인간의 팔의 움직 임을 모사하여, 3차원 공간상에서 6축으로 작동하며, 각 관절의 제어를 위하여 조이스틱 조종기에 많은 기능을 구현할 수 있도록 되어있다. 따라 서 여러 동작을 수행하기 위해서는 손목, 팔꿈치, 어깨 관절에 부하가 발 생하기에 IMU Sensor와 EMG(근전도) Sensor를 부착하여 작업 수행 시 움직임에 위험성 분석을 하고자 한다.

2. 근골격계 위험성 측정

골격의 동적 데이터 확보를 위하여 IMU Sensor를 어깨, 팔꿈치, 손목 에 설치하였으며, 각 관절의 움직임에 따른 관절의 각도를 측정하여 기준 위치에 비하여 각도의 변화가 심할 경우, 관절의 움직이기 위한 근육과 관절에 위험성이 증가하기 이를 3구간으로 나눠 분석하였다. 근전도 계측 장비의 제한에 의하여 회전과 움직임이 많은 오른쪽 상완과 전환근에 대 하여 측정을 진행하였다. 상완의 근육의 위험성을 측정하기 위하여, 어깨 의 회전과 3차원 움직임을 담당하는 전면, 측면, 후면 삼각근, 어깨와 팔 꿈치 관절 굽힘과 폄을 담당하는 상완이두근 및 상완삼두근에 EMG(근전 도) Sensor를 설치하였으며, 이전 IMU Sensor를 측정 결과를 바탕으로 위험성이 높게 나타난 손목의 움직임은 장요측 수근 신근과 요측 수근 굴 근에 설치하였다. Fig. 1과 같이 오른팔에 8개의 EMG Sensor를 부착하 고 Test Model을 수행하여 측정한 값을 분석하였다.



Fig. 1 Sensor Attachment Position

Fig. 2의 IMU Sensor를 이용한 Angle analysis 결과이며, Fig. 3 Standard EMG Analysis 결과를 나타내고 있다.



Fig. 2 IMU Angle Analysis



계측 분석 결과 제어를 위하여 조이스틱에 부착된 부수적인 컨트롤러를 조작함에 따라 손목과 손가락의 움직임이 늘어나기에 전완근의 근골격 위 험성이 제일 높게 나타났으며, 제어장치를 장시간 조작할 경우 정중신경 이 눌리게 되어 수근관증후군(손목터널증후군)이 발생할 가능성이 높다. 또한 조이스틱을 회전하여 제어하는 동작으로 인하여 어깨 관절의 회전이 동반되고 이로 인하여 상완 이두근, 상완삼두근, 삼각근에 일정량의 부하 가 발생함을 알 수 있었다.

전기승용관리기 가상내구 시뮬레이션을 이용한 최적설계

이종원¹, 이현우¹, 김수민¹, 정환홍², 이충호^{1*}

Optimal design electric riding cultivator of using virtual durability simulation

J. W. Lee¹, H. W. Lee¹, S. M. Kim¹, H. H. Jung², C. H. Lee^{1*}

전주대학교 산업공학과¹, (주)정원 SFA²

Key Words : Virtual durability Test, Stress analysis, Safety coefficient, Electric riding cultivator

1. 서 론

승용관리기가 주행하는 노면의 특성상 일반 노지와는 다르게 밭 농지는 여러 환경적 요인으로 비정형 장애물과 경사가 존재한다. 이로 인해 프레 임, 차축 등 각부에 많은 하중, 진동, 비틀림과 같은 물리적 변화가 발생하 게 되어 다양한 물리적 변화를 견딜 수 있는 안정적인 프레임의 형상이 필요하다. 본 논문에서는 Recurdyn을 이용하여 4-Post road simulator 를 구성하고 KS 진동시험 규격을 적용하여 유연체 해석 시뮬레이션을 수 행하였다. 이후 가상 진동 내구 시뮬레이션에서 도출된 응력세기(Stress intensity)를 기준으로 구조해석을 수행하였다. 보강대를 모델링하여 취 약부를 개선하였으며 Inventor를 이용하여 보강대의 두께를 도출하는 최 적설계 연구를 수행하였다.

2. Recurdyn을 이용한 가상내구 시뮬레이션

Recurdyn을 이용하여 최적의 결과 도출과 시뮬레이션 시간 단축을 위 해 상부를 방제기, 약액 탱크, 운전석 및 상판 3부분으로 나누어 모델링 단순화를 진행하였다. 운전석 및 상판은 시제품의 중량인 584.55kg, 방 제기 모듈은 302.74kg으로 설정하였다. Recurdyn의 R-Flex기능을 이 용하여 상단 부분은 솔리드 타입의 메시로 모델링하였으며 하단 부분은 두께가 얇은 파이프 형태로 쉘 타입 메시로 모델링 후 두께 3mm를 설정 하였다. 승용관리기 프레임의 모든 용접부에 Node를 생성하여 고정 구속 조건을 설정하고 RecurDyn을 이용하여 Fig. 1의 (A)와 같이 4-Post Road Simulator를 한국생산기술연구원(김제)의 4-Post 로드 시뮬레이터 (NTS코리아)의 실제 사양을 참고하여 모델링하였다. 개발하고자하는 승 용관리기는 총 887.29kg으로 KS B ISO 5007 (농업용 차륜형 트랙터 - 운전석 - 전달 진동의 시험실 측정)의 1급 트랙터 기준을 참고하여 주파 수(f)는 0.89Hz, 진동 가속도(A)는 2.26m/s²로 선정하였다. 주파수 변 위, 속도 및 가속도 관계식 $D = A / (2\pi f)^2$ 를 이용하여 최대 진동 변 위(D) 72.3mm를 산출하였다. 가속도와 변위를 포함한 모션식을 입력 후 10초, 1,000Step으로 가속 내구 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 결과, Fig. 1의 (B)와 같이 좌·우측 궤도륜 모두 궤도의 장력을 조절하는 프레임과 승용관리기의 하중을 지지하는 프레임에서 Stress intensity가 최대로 나타났다. 좌측 궤도륜의 상단은 최대 174.9MPa, 중간에서는 최 대 138.09MPa, 하단에서는 최대 166.07MPa이 도출되었으며 좌측 용 접부에서는 최대 501.46MPa로 가장 큰 Stress가 도출되었다. 우측 궤도 류의 상단에서는 최대 146.14MPa이 도출되었으며 중간에서 최대 122.85MPa, 하단에서는 최대 132.23MPa이 도출되었다. 우측 용접부 에서는 최대 255.05MPa이 도출되었다. 양쪽 궤도의 용접부에서 가장 큰 Stress가 도출되었으며 우측보다 좌측에서의 용접부 Stress 차이는



Fig. 1 4-post road simulator modeling with RecurDyn (A), simulation result of weak part (B)



Fig. 2 Optimal thickness analysis for 3 support frame

약 1.96배가 도출되어 배터리의 배치 등 무게 중심이 좌측으로 기울어져 있어 도출된 결과로 사료되어 시제품의 설계 개선이 필요한 것으로 나타 났다.

3. 시뮬레이션 결과 및 최적설계

시뮬레이션으로 도출된 취약부에 대해서만 응력해석을 진행하고 용접 부에 고정구속 조건을 설정해서 도출된 최대응력 501.46*N/mm*²을 최대 하중으로 부여하여 해석하였다. 소재는 냉간 성형 직사각 탄소강관 (STKR400)으로 지정하였다. 구조 해석 결과, 변위는 3.812mm, 최대 폰미세스 응력은 483.7MPa이었으며 궤도의 장력을 조절하는 부분의 옆 면의 위·아래 부분이 약 0.88ul로 낮은 안전계수가 도출되었다. 이후 보 강대를 부착하였으며 보강대의 위치는 주응력의 방향을 고려하여 위쪽에 부착하였다. 보강대의 최적 두께 산출은 3mm~15mm까지 반복 계산을 하였으며 보강대를 1개 부착하였을 경우 최대 폰미세스 응력은 143.4MPa, 최소 안전계수는 2.95ul, 최적 두께는 15mm로 도출되었다. 보강대를 2개 부착하였을 경우에는 최대 폰미세스 응력은 144.6MPa, 최 소 안전계수는 3.7ul, 최적 두께는 11.571mm로 도출되었다. Fig. 2와 같이 보강대를 3개 부착할 경우에는 최대 폰미세스 응력은 92.65MPa, 최소 안전계수는 4.64ul, 최적 두께는 12.083mm로 도출되었다.

4. 결 론

RecurDyn의 유연체 해석인 RFlex를 활용하여 가상내구 시뮬레이션 에서 도출된 최대응력을 외력으로 부여하고 취약부에 대하여 구조해석을 진행하였으며 보강대를 부착하여 안전계수를 검토하며 최적 두께를 산출 하였다. 좌·우측의 Stress 불균형을 해결하고 연구 개발 중인 전기 구동 승용관리기 시제품 개선 연구에 반영할 계획이며 향후 실차검증을 통한 신뢰성 확보 연구를 수행할 계획이다.

후 기

본 논문은 2022년도 농림축산식품부 친환경 동력원 적용 농기계 기술 개발사업(1222-0088)으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문 헌

 J. D. Hwang, S. J. Cho, C. S. Kim, S. H. Kang., A Study on the Vibration Test and Analysis for the Sun Shield Roof of Heavy Construction Equipment", KSPE, 2012, 1,089-1090 (2 pages)

Recurdyn을 이용한 초광폭 로타베이터 가속 내구 시뮬레이션

이종원¹, 이현우¹, 강한경¹, 강희용², 이충호^{1*}

Accelerated durability simulation of tractor rotavator using Recurdyn

J. W. Lee¹, H. W. Lee¹, H. K. Kang¹, H. Y. Kang², C. H. Lee^{1*}

전주대학교 산업공학과¹, (주)로봇팜²

Key Words : Rotavator , Recurdyn, Accelerated durability simulation

1. 서 론

로타리 작업기는 파종 및 이식 작업을 위한 밭 농지 준비 작업에 사 용된다. 로타리 작업기가 작업을 하며 기계의 진동과 트랙터의 엔진 진동 등 다양한 외력이 로타리 작업기로 전해진다. 이로 인해 많은 진 동과 비틀림 같은 물리적인 변화가 발생한다. 본 논문에서는 로타리 작업기의 취약부 도출을 위한 연구를 수행하였다. 트랙터의 건인력을 제외하였으며 로타리 작업기의 좌우에 흔들림을 주파수로 적용하였 다. Recurdyn을 이용하여 축 고정 파이프와 폴딩 부분을 유연체 해석 시뮬레이션을 수행하여 취약부를 도출하였다.

2. 연구 방법

Recurdyn으로 최적의 결과값 도출과 시뮬레이션 소요시간 단축을 위해 상커버와 스키드, 뒷커버, 경운날 및 로타리축을 하나의 파트로 단순화하였다. 총 중량 804.75kg을 설정하고 축 고정 파이프와 폴딩 부분에 메시 모델링을 진행하였다. 축 고정 파이프는 5mm의 두께이 며 폴딩 부분은 6mm 두께이다. 축 고정 파이프와 폴딩 부분에 페이스 를 생성하여 생성한 페이스를 기준으로 쉘 타입의 메시로 모델링하였 다. 이후 접촉 조건에 알맞게 Node를 생성하였으며 Node Constraint 를 이용하여 고정 구속 조건을 설정하였다. Fig. 1과 같이 주파수 진동시험을 위한 장치를 모델링하였다. 주파수에 따른 변위로 진동 을 전달하기 위해 밑에 4개의 실린더가 구성되어있다. 주파수와 진 동가속도는 KS B ISO 5007을 참고하였으며 로타리 작업기는 150 마력 이상급 트랙터에 장착하게 된다. 매시퍼거슨의 트랙터와 존디 어의 트랙터의 150마력 트랙터 중량은 7,300kg이상으로 3급 트랙 터 시험이 적용된다. 3급 트랙터 시험은 주파수 변위 0.89Hz ~ 11.22Hz이며 진동 가속도는 0.84m/s² ~ 1.74m/s²이며 진동 변위 는 0.17mm ~ 55.6mm로 산출된다. 또한, 농촌진흥청 농업기술포털 인 농사로의 로타리 작업기 작업 방법에는 로타리 작업기 흔들림이 좌·우 2.5cm ~ 5cm로 명시되어있다. 이를 참고하여 주파수는 0.89Hz, 진동가속도는 1.74m/s², 진동 변위 55.6mm를 적용하여 가 속도와 변위를 포함한 모션식을 주파수 진동시험을 위한 실린더에 설 정하였다. 10초 500step으로 가속 내구 시뮬레이션을 진행하였다.



Fig. 1 Device modeling for frequency vibration tests



Fig. 2 Simulation result of weak part (A)and position of output node(B)



Fig. 3 Simulation result of stress intensity (x-axis : time, y-axis : stress, unit : MPa)

3. 결 론

시뮬레이션 결과, Fig. 2의 (A)와 같이 축 고정 파이프에서 127.14MPa로 가장 높은 Stress가 도출되었다. 이후 높은 Stress가 도 출된 부분을 기준으로 Fig. 2의 (B)와 같이 4개의 Out put node를 생 성하여 시간에 따른 Stress intensity의 변화를 확인하였다. Fig. 3과 같이 최상단에 위치한 a점에서의 최고 Stress는 112.16MPa으로 도출 되었으며 b점에서는 최고 Stress가 56.2MPa가 도출되었고 c점에서 최고 Stress는 60.04MPa가 도출되었으며 d점에서 최고 Stress는 119.47MPa가 도출되었다. 축 고정 파이프에서 도출되는 Stress가 축 고정 파이프의 소재(STPG370) 인장강도인 373MPa보다 3.12배 낮게 나타났다. 또한, 폴딩 부분에서 도출된 Stress는 26.55MPa로 폴딩 부 분 소재(SS400)의 인장강도인 400MPa보다 낮게 도출되어 안전하다 고 사료된다. 향후 취약부들에 대한 보강과 최적설계 이후 신뢰성 확 보 연구를 수행할 계획이다.

후 기

본 논문은 중소벤처기업부 2021년도 중소기업 구매조건부 신제품개발 사업(S3171883) 연구 수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문 헌

 D. K. Lee, S. J. Cho, J. G. Kim, J. S. Park, H. J. Shin.(2022). Improvement of Structural Parts for Agricultural Implements Module ksmte symposium Proceedings, pp. 202-202.

Al2198 판재의 롤 성형에 대한 수치 시뮬레이션

이제민^{1*}, 모용선², 박건태², 김석³, 조영태^{3*}

Numrical simulation of roll forming of Al2198 plate

J. M. Lee^{1*}, Y. S. Mo², G. T. Park², S. Kim³, Y. T. Cho^{3*} 창원대학교 스마트제조융합협동과정¹, 엔디티엔지니어링(주)², 창원대학교 기계공학부³

Key Words : Roll forming, Plastic deformation, Work hardening, Spring back

1. 서 론

민간이 주도적으로 우주개발에 참여하는 "뉴 스페이스(New Space)" 시대로 진입하면서 인공위성, 초고속 통신 및 우주 관광과 같이 소형 발사 체 시장의 규모가 확대되고 있다. 소형 발사체의 경쟁력을 확보하기 위해 제작방법과 경량화 등을 위한 연구가 진행되고 있다. 롤 포밍 공정은 롤러 를 이용하여 제품에 연속적으로 힘을 인가하여 소성변형(Plastic deformation) 유발하는 성형 가공방법으로 가공경화(Work hardening) 로 강도가 증가하며, 제품의 외관 및 치수의 정밀도가 좋으며 고속생산이 가능한 경제성이 뛰어난 가공방법이다. 본 연구에서는 소형 발사체 추진 제 탱크의 실린더 제작방법으로 롤 포밍 공정 이용하여 Al2198 판재의 가공성 및 특정 곡률을 갖는 가공조건을 선정하기 위한 시뮬레이션을 진 행한다.

2. 롤 포밍 시뮬레이션

본 롤 포밍 공정에 대한 시뮬레이션의 기본 개요는 Fig. 1과 같다. 실린 더 판재는 8mm 두께에 754×5400mm의 면적을 가지고 있으며, 반지름 이 145mm인 상부 롤러와 사이드 롤러를 가진다. 또한, 판재의 이송속도 는 3.5m/min, 사이드 롤러 사이의 간격은 180mm이다.



추진제 탱크로 사용되고 있는 소재에 대한 물성은 Table 1에 나타내었다. 알루미늄-리튬 기반의 Al2198이 경량화 측면에서 우수하다.

Tuble 1 Hoperties propential unit materials						
	Ti-6Al-4V	Al2219	Al2198			
Density [kg/m ³]	4122	2840	2780			
Elastic Modulus [GPa]	113	73.8	76.5			
Poisson's ratio	0.34	033	0.3			
Yield Strength [MPa]	860	324	453			
UTS [MPa]	930	455	500			

Table 1 Properties propellant tank materials

3. 실험 결과 및 고찰

ANSYS Mechanical module을 사용하여 직경이 1000mm가 되도록 변수를 조정하여 해석을 진행하였다. 롤러와 판재의 접촉조건은 Friction 0.2이며, 상부 롤러가 h만큼 하강한 후, 하부의 사이드 롤러가 한 방향으 로 회전된다. 롤러의 변형은 없다고 가정을 하고, 판재에만 Flexible 조건 을 주었다. 판재에 가해지는 Stress, Plastic strain, Reaction force data 를 얻고 변형된 판재의 직경은 이미지를 추출하여 CAD 프로그램으로 측 정하였다.









(a) Deformation of plate due to lowering of upper roller

(b) Deformation of plate by side roller rotation

Fig. 2 Deformation shape of plate by analysis result

Fig. 2(a)는 상부 롤러가 h만큼 하강했을 때의 변형 형상이고 (b)는 사 이드 롤러 회전에 의한 판재의 변형결과이다. 스프링백(Spring back)영 향을 포함한 상태에서 상부 롤러가 8.7mm 만큼 하강했을 때, 판재에 가 해지는 Stress는 588MPa, Plastic strain은 0.0058mm/mm, Reaction force는 169kN, 직경은 1008mm이 됨을 확인할 수 있었다.

후 기

이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 을 받아 수행되었다(NRF-2019R1A5A8083201)

- Bhujangrao, T., Veiga, F., Penalva, M., Costas, A., & Ruiz, C., 2022, Three-dimensional finite element modelling of sheet metal forming for the manufacture of pipe components: Symmetry considerations. Symmetry, 14(2), 228.
- (2) Sang Hwa Jeong, Sang Hee Lee, Gwang Ho Kim, Jae Sang Kim, Jong Tae Kim., 2008, A Study on Roll Forming Simulation of Under Rail, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 17(3), 78-85.

전기집진 발열을 활용한 습공기의 제습 변화 연구

차인표, 정택언, 윤현준, 최철준*

A study on the dehumidification change of wet air using electrical precipitation heat

I. P. Cha, T. E. Jung, H. J. Yun, C. J. Choi*

한국전자기술연구원

Key Words : Filter, Dust, Electric precipitation, Humid air, Multi-physical analysis

1. 서 론

제습기의 기본 동작원리는 공기 중의 습기를 흡입하여 증발기와 응 축기를 활용하여 공기 중의 습기를 제거, 습기가 제거된 공기를 밖으 로 배출시켜 실내 습도를 줄이고 있다.제습기 또는 에어컨 등의 제습 모듈에 증발기와 응축기가 포함되면서 제품의 부피가 커질 수 밖에 없 다. 본 논문에서는 전기집진의 고전압을 활용한 발열을 이용하여 습한 공기의 습도를 줄이고자 한다.

2. 습공기 전기집진 시스템 조건

전기집진을 활용한 1.4m 크기의 공기정화 시스템을 제작하여 실험 을 수행하였다. 공기정화 시스템은 1,000×600×1,414 mm 의 크기이 며 공기정화 시스템 내 7kV 고전압 발생기를 활용하여 전기집진 공기 정화 원리로 미세먼지 및 유해가스를 제거하고 있다. 7kV 고전압을 인가하였을 때 발생되는 발열을 활용하여 제습량을 확인하고자 공기 정화 시스템을 시험 챔버 내 설치하여 습도의 변화를 확인하고자 한 다. Fig. 1은 제작 완료한 공기정화 시스템의 모습이며 Fig. 2는 공기 청정기 다목적인증 성능평가 시스템의 시험 챔버 내 공기정화 시스템 을 설치한 모습이다. 공기청정기 다목적인증 성능평가 시스템 챔버는 29.5 ± 1 m² 의 공간 체적을 갖고 있다.



Fig. 1 Air purification system



Fig. 2 Dehumidification test evaluation in the chamber

3. 실험 결과 및 고찰

시험 방법은 챔버 내 습도 65% 이상 설정 후 6시간 동안 공기정화 시스템을 가동하여 챔버 내 습도량의 변화를 관찰하고자 한다. 이때 챔 버 내 자연감소로 발생되는 습도량은 제외하여 운전감소 때 제습량을 평 가하고자 한다. Fig. 3에 자연감소 및 운전감소 때 습도량 변화를 나타내 었으며, 시험 시작 전후 측정된 습도량 수치를 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Humidity Operation Test Results

	자연감소 시작	자연감소 종료	운전감소 시작	운전감소 종료
습도량	67.3 %	61.1 %	67.3 %	44.3 %



Fig. 3 Changes in humidity of natural decay and operated decay

전기집진을 활용한 공기정화 시스템을 제작하여 제습량을 평가해본 결 과, 6시간 운전 시 자연감소로 인한 제습량을 제외하였을 때 총 16.8%의 제습량을 확인할 수 있었다. 이는 전기집진은 제품을 가동시키기 위해 고 전압의 인가가 필요하고 카본 브러쉬를 활용하였을 때 모듈에서 발열이 발생한다는 점을 이용하여 흡입된 습공기가 제습된다는 것을 확인하였다. 또한, 물 입자는 전체 분자는 중성이지만 국소적으로 전하를 가지고 있고 이는 대전체로 가능하기 때문에 전기집진 기술로 집진이 가능하다고 분석 하였다.

후 기

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부의 기술개발사업에 지원에 의한 연구임. [RS-2022-00140400]

참고문헌

- Lee, H. S., Kim, J. H., Kim, H. H., Atsushi O., 2008, Development of Collection Efficiency in Electrostatic Precipitator Using Electrospray, KOSAE, 449-450
- (2) Lee, M. H., K. Cho, Apoorva P. Shah, Pratim Biswas, 2005, Nanostructured sorbents for capture of cadmium species in combustion environments, Environ. Sci. Technol, 39, 8481-8489

3차원 수치해석을 이용한 양극소재 건조기의 전기히터 성능 분석

박철우*, 김기윤, 길건우, 이용남

Analysis of electric heater performance of cathode dryer using 3D numerical analysis

C. U. Bak*, K. Y. Kim, G. W. Gil, Y. N. Lee

대성기계공업(주)

Key Words : Thermal analysis, Dryer, Electric heater, Simulation, Optimal design

1. 서 론

전세계적인 기후 변화로 인해 탄소 저감에 관련된 규제들이 강화되고 있으며, 최근 ESG 경영에 대한 인식이 대두되고 있어 공정 설비에 대한 에너지 고효율화 및 탄소 저감을 추구하는 기술방향으로 전개되어지고 있다. 본 논문에서는 이차전지 소재인 양극재 건조용 설비의 3D 열 해석 모델을 개발하고, 실제 실험과 비교하여 해석 모델의 타당성을 검증하였다.

2.건조기 승온 실험

아래 Fig. 1과 같이, Pilot(300L) 설비를 활용하여 본 실험을 진행하 였으며 본 설비는 전기히터로부터 내부 건조실이 가열되는 구조를 지 녔다. 본 실험을 진행하면서, 건조실 외부 표면온도 450℃ 세팅에 따 른 실시간 소요 전류량을 측정하였으며, 건조실 외부 표면 7개의 구역 의 온도를 2 지점씩 총 14회 측정하였다.



Fig. 1 Electric Heating Based Dryer

3. 3치원 수치해석 모델 개발

아래 Fig. 2에 설비의 모델을 나타내었으며, 본 해석 모델에서 핵심 요소인 전도, 대류, 복사 열전달을 보다 정확하게 해석하기 위하여 열 전달이 활발하게 일어나는 부분에 대해 사각형 열전달 요소를 사용하 여 총 810만개의 격자를 생성하였다. 실험에서 얻은 정상상태의 소요 전류량 데이터를 기반으로 전체 소요 전력을 계산하여 열 유속 조건을 설정하였다.



Fig. 2 Electric Heating Based Dryer 3D Model

4. 결과 및 고찰

건조기 승온 실험의 온도 구배(Fig. 3)에 나타난 바와 같이, 온도의 정 상상태 도달까지 약 130분 소요 되었으며, 건조실 외부 표면의 구역 중 점검구(Manhole) 및 가스배출구 (Gas vent line)등 타 장치로 인해 열선 이 배치되지 않아 상대적으로 열밀도가 낮은 3구역 및 6구역에서 415℃ 로 세팅온도 450℃에 도달하지 못하였다.



Time, min

Fig. 3 Temperature profile with increasing temperature by zone

아래 FIg. 4에 해석 모델의 정상상태에서의 온도 분포를 나타내었 다. 실험 결과와 마찬가지로, 상대적으로 열밀도가 낮은 3구역에서 425℃의 온도로 가장 낮은 온도로 나타났으며, 히터가 부착되지 않은 좌우 측면부에 430℃로 상대적으로 낮은 온도를 보였다.



Fig. 4 Contour of steady-state temperature distribution

실험과 해석 결과에 대한 상대 오차율은 최대 8%(33℃)로 나타났으며 (Table 1), 이는 실제 외부 공기의 유속, 온도 등 상태와 해석 조건이 상이하 여 대류에 의한 방열량 차이가 발생하였고, 특히 타 장치로 인해 열밀도가 낮은 3구역과 6구역에서 가장 큰 차이가 발생한 것으로 사료된다.

Table 1 Comparison of steady state temperature

	Experimental	Analysis	Error
1 Zone	449℃	448.5℃	0.1%
2 Zone	454 °C	448℃	1.3%
3 Zone	415℃	445℃	7.2%
4 Zone	446℃	450℃	0.9%
5 Zone	450℃	449 ℃	0.2%
6 Zone	415 °C	448 ℃	8.0%
7 Zone	435℃	434℃	0.2%

본 연구에서는 실험 및 수치해석 모델의 결과를 비교하여 타당성을 검 증하였으며, 해석 모델을 통해 다양한 설계 변수를 적용하여 성능을 분석 하여 전기히터의 최적 설계에 활용할 예정이다.

후 기

이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20016080)

참고문 헌

 Obula Reddy Kummitha, B.V.R. Reddy, 2017 Thermal Analysis of Cylinder block with fins for different materials using ANSYS, materialstoday PROCEEDINGS, 8142-8148

시뮬레이션 기반 자작 전기차 프레임의 경량화 설계

국진호, 이종선*

Simulation-based light weight design of a self-made electric vehicle frame

J. H. Kook, C. S. Lee*

한동대학교 기계제어공학부

Key Words : Self-made electric vehicle, Car frame, Stress, Deformation, Torsional stiffness

1. 서 론

본 논문에서는 자작전기차대회 출전용 전기자동차 프레임의 응력과 변 형 해석을 통한 차량의 경량화에 목표를 둔다. CAE 시뮬레이션 기반으로 프레임의 적절한 재질 및 두께를 선택하고, 안전율을 고려하여 경량화된 프레임 모델을 개발하고자 한다.

2. 해석 조건

자작 전기차 에는 더블 위시본 기반으로 벨 크랭크를 사용한 서스펜션 구조가 적용되었다. 프레임의 형상과 하중조건 및 경계조건이 Fig. 1에 도시되었다. 프레임은 대회 규정을 만족하는 조건 하에, 바깥 직경이 10.5mm, 17.3mm. 21.7mm, 27.3mm로 이루어진 2mm 두께의 원형 파이프 형태를 사용하였다.

경계조건의 경우 어퍼암과 로워암이 암이 연결되는 네 바퀴의 총 16곳 의 위치에서 8개 레벌루트 조인트 연결부에 차량 종방향 회전 자유도만을 허용하였다. 각 바퀴부 모델의 역학해석을 통해 지면 반력에 의한 벨 크랭 크 현가장치 연결부의 하중을 구하여 벨 크랭크가 연결되는 프레임 8곳에 부여하였다. 코너링 조건에서는 정적 해석에서 사용하는 기본 중력 가속 도(1G) 외에 횡방향 가속도 0.7G를 추가하였고, 브레이킹 조건에서는 종 방향 가속도 0.7G를 추가하였다.



Fig. 1 Load and boundary conditions applied on car frame using ANSYS Static at 0.7G cornering condition.

3. 해석 결과

ANSYS를 사용하여 총 세가지 정적해석을 수행하였다.(정지상태, 0.7G 코너링, 0.7G 브레이킹) 세가지 조건의 해석 결과, 프레임은 코너 링 조건에서 가장 높은 응력을 받는다.(Fig. 2) 전기차 모터부와 운전자 하중이 많이 걸리는 차량의 뒷부분에서 더 큰 응력이 나타났다.



Fig. 2 Von-Mises stress distribution in car frame

Table 1에는 세가지 해석에서 프레임의 최대 연직 변형량, 최대응력 및 안전율을 나타내었다. 프레임 재질 SCM440의 항복 응력인 834MPa을 기준으로 Von-Mises 응력 최소 안전율은 8.22 이었다.

Table 1 Maximum Von-Mises stress and vertical deformation

	deformation	Stress	Safety factor
static	1.99[mm]	94.8[MPa]	8.80
cornering	2.11[mm]	101.4[MPa]	8.22
braking	1.99[mm]	94.4[MPa]	8.83

한편, 해석결과를 기반으로 Goodman 피로선도로 피로안전계수를 확 인하였다. 인장강도 930 MPa, 수정내구한도 125.6MPa를 설정하고, 편 진 응력을 가정하였다. 계산 결과, 코너링 조건에서의 최소 피로 안전 계 수는 2.18, 정적 및 브레이킹 조건에서는 2.33이었다.

프레임의 비틀림강성을 확인하기 위해, 차량의 최후방부 두 곳에 고정 조건을 부여하고 프레임 앞쪽 로워암이 걸리는 위치에 좌우 1800N의 힘 을 연직 및 반대 방향으로 가하였다. 계산 결과, 최대 변형량은 132.8mm 이며, 비틀림강성은 25.2N·m/degree였다.

4. 결 론

지난대회 때에 제작하였던 프레임은 27kg의 질량을 가졌으나, 본 프레 임의 경우 최대응력으로 100MPa 수준에서 18kg의 질량을 달성하였다. 정적 응력의 안전율은 8.0 이상이며, 피로 안전율은 2를 초과하므로 충분 히 안전하다고 판단된다. 안전율에 충분한 마진이 있으나, 부품간의 호환 성, 용접 편의성 등을 고려해 설계는 적절하다고 판단된다. 해석모델을 통 해 차량의 연직 처짐량은 2mm 수준이며, 비틀림강성은 25.2N·m/ degree임을 알 수 있었다.

참고문 헌

 Ji-hoon Park, Dong-hoon Han, Ji-hoon Park, Jong-sun Lee.(2021). Light-weighted frame design of self-made electric vehicle for mileage improvement. KSAE Spring Conference Proceedings, (), 654-655.

아두이노 기반의 저비용 전기 비저항 탐사 장비 개발 및 검증

장홍석, 이홍석, 이연호, 차영택, 최성준*

Development and verification of low cost electrical resistivity tomography equipment based on Arduino

H. S. Jang, H. S. Lee, Y. H. Lee, Y. T. Cha, S. J. Choi*

한국생산기술연구원

Key Words : Electrical resistivity tomography, Arduino, Resistivity meter

1. 서 론

ERT(Electrical Resistivity Tomography)는 전기 저항률을 측정하 여 지하 구조의 영상화를 가능하게 하는 널리 사용되는 방법이다. 특 히, 지반 구조, 지하수, 환경 오염, 산사태 모니터링 등을 위해 활용되 고 있다. ERT 측정의 원리는 두 개의 전류 전극을 통해 전류를 주입하 여 생성된 전기장을 통해, 두 개의 전압 전극으로 지반의 전기 비저항 을 계측하는 방식이다. 전력 전달, 제어, 계측, 노이즈 필터 등을 위한 다양한 전기적 회로와 장치들로 인해 상용 ERT 장비의 비용은 소규모 프로젝트와 개발도상국이 이용하는 데에 고가를 형성한다.

본 연구에서는 아두이노 기반의 비교적 저렴한 MCU 시스템을 개 발하고, 장비를 구성하는 다양한 모듈들을 직접 제작하여 저비용의 전 기 비저항 탐사 장비를 개발하였다. 또한, 상용 장비와 비교시험을 통 해 개발 장비의 성능을 검증하였다.

2. 아두이노 기반의 전기 비저항 탐사 장비

개발된 ERT 장비는 아두이노 기반의 메인 제어모듈과 지반의 전기 장 생성을 위한 전류인가 모듈, 지반의 비저항 측정을 위한 전압계측 모듈, 다중 전극 운용을 위한 스위칭 시스템, 원격/원거리 측정을 위한 무선 모듈 그리고 이동식 측정을 위한 배터리로 구성되어 있다. 그리 고, 테블릿을 이용하여 무선 데이터 계측이 가능한 프로그램도 개발하 였다.

전력 송신을 위한 회로와 데이터 계측을 위한 제어 회로는 직접 설 계를 하였으며, ERT 장비 개발에 필요한 모든 요소들은 구매하기 쉽 고 가격이 저렴한 부품들로 사용하였다. 그림 1은 제작된 ERT 장비를 나타낸다.



Fig. 1 Low Cost Electrical Resistivity Tomography Equipment

3. 필드 세험 및 성능 검증

장비의 성능 검증을 위해, 필드 시험과 동시에 지반의 전기 비저항 을 계측하여 상용 장비와의 성능 검증을 수행하였다. 시험장의 같은 위치에서의 측정한 row data와 역산을 통한 결과를 비교하였다. 표 1은 개발 장비와 상용 장비(MINISTING R1)의 raw data를 직 접 비교한 자료이며, 오차율이 5% 이내로 비교적 낮은 것을 확인할 수 있다. 그림 2는 raw data 역산을 통한 2차원 데이터를 나타내며, 개발 장비와 상용 장비의 결과가 유사한 것을 확인할 수 있다.

Fable	1	Comparison	of	field	test	results

측정	개발 장비	상용 장비	오차율
위치	Apparent Res	istivity [ohm·m]	[%]
1	90.35	91.63	1.40
2	111.51	107.59	3.64
3	136.1	130.96	3.92
4	143.84	145.23	0.96
5	175.35	175.66	0.18
6	180.86	178.36	1.40
7	188.79	179.96	4.91



Fig. 3 Comparison of inversion results

참고문 헌

(1) Rémi Clement, Yannick Fargier, Vivien Dubois, Julien Gance, Emile Gros, Nicolas Forquet, 2020, OhmPi: An open source data logger for dedicated applications of electrical resistivity imaging at the small and laboratory scale, HardwareX, 8, 2468-0672.

다중 전극 배열 구조를 가진 전기 비저항 탐사 시스템을 위한 제어 스위칭 소자 설계

장홍석, 이연호, 이홍석, 차영택, 최성준*

Control switching device design for electrical resistivity tomography system with multi-electrode array

H. S. Jang, Y. H. Lee, H. S. Lee, Y. T. Cha, S. J. Choi*

한국생산기술연구원

Key Words : Electrical resistivity tomography, Switching device, Multi-electrode

1. 서 론

Electrical Resistivity Tomography(ERT)는 지하 구조의 영상화를 가능하게 하는 널리 사용되는 지구 물리학 기술이다. ERT는 전기 저 항률을 측정하여 지반 내부의 전기적 특성을 시각화하는 데에 활용된 다. ERT는 측정 방법에 따라 1차원, 2차원 및 3차원 탐사로 구분된다. 1차원 탐사는 수직 탐사의 목적으로 활용되고 있으며, 2차, 3차원 탐 사는 주로 넓고 깊은 지반의 구조를 분석하는 목적으로 활용된다. 2차 원 이상의 다중 채널 ERT는 다수의 데이터를 동시에 측정할 수 있으 며, 시간 절약과 높은 정밀도를 가진다. 다만, 이를 위해 복잡한 하드 웨어 구성과 까다로운 데이터 후처리 과정이 필요하다. 또한, 전극의 개수가 늘어날수록 측정 시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

본 연구에서는 다중 전극 배열 구조를 가진 ERT의 제어 스위칭 소 자를 설계하여, 하드웨어 개수를 절약하고 전력 분산을 줄일 수 있다. 특히, 3차원 탐사를 위한 다중 전극 배열에 유리하며, 전극의 개수가 증가하더라도 제어가 용이한 장점이 있다.

2. 다중 전극 배열 구조를 가진 전기 비자항 탐사 시스템

기본적으로 전기 비저항 탐사 장비는 그림 1과 같이 구성되며, 전력 계(전류계), 전압계, 컨트롤러의 비교적 간단한 구조이다. 전류 인가를 위한 전극 2개와 전압 계측을 위한 전극 2개를 사용한다. 전극의 위치 에 따라 지반(지하)의 측정 위치가 변하기 때문에 4개의 전극만 사용 하게 된다면, 매번 매설통해 전극을 변경하거나 케이블 교체가 필요하 다. 다수의 전극을 동시에 활용하는 경우, 별도의 스위칭 소자가 필요 하다.

최근에는 다중 전극 제어 문제를 해결하기 위해 스위칭 박스가 개발 되어 활용되고 있으며, 케이블 커넥터의 수작업 교체를 통한 스위칭 방식이 다수를 이루고 있다. 전극의 개수가 제한적인 경우, 스위칭 스 시템 자동화를 통한 측정이 가능하지만, 전극의 개수가 증가할수록 스 위칭 소자의 개수도 동시에 증가하여 하드웨어 크기와 제어가 고려되 어야 한다.



Fig. 1 Schematic diagram of ERT test

3. 다중 전극 스위칭 시스템 설계

본 연구에서는 다중 전극을 효율적으로 운용하기 위해, 전극 스위칭 시스템을 설계하였다. 1차원, 2차원 및 3차원 ERT 측정이 모두 가능 하며. 비교적 간단한 스위칭 구조를 통해 다중 전극 운용의 단점을 보 완할 수 있다. 그림 2는 제안된 다중 전극 스위칭 구조이며, 기존 2D 스위치 구조의 최종단에서 확장시켜 3D 측정이 가능하도록 설계하였다. 3D 스위치 영역에서 배열만 추가로 확장 시킨다면, 그림 3과 같이 전극 배치를 두 개의 라인은 물론 여러 개의 라인으로 활용이 가능하다.



Fig. 2 ERT switch structure design



Fig. 3 Multi-electrode layout of ERT

그림 3은 24개의 전극을 2개의 라인으로 배열하여 총 48개의 전극 을 운용하는 모습을 나타낸다. 아두이노 기반의 MCU를 활용하여 170여개의 Digital I/O를 제어하도록 설계하였다. 3D 측정을 위한 전 극 라인이 증가하게 된다면, 스위치 전체의 개수가 동일하게 증가하는 것이 아니라, 증가하는 전극의 개수만큼만 스위칭 소자가 증가하게되 어 다중 배열에 유리한 장점을 가진다.

참고문 헌

(1) Xin Xia, Yu-Ying Pan, Xiao-Lei Liu and Yong-Gang Jia.,2021, *Hierarchical Electrode Switching Device Design for Distributed Single-Channel Electrical Resistivity Tomography System*, Appided sciences, 11, 5746.

ET 및 HT 유형 사이클로이드 감속기의 접촉응력 비교

권순만^{1*}, 이용호²

Comparison of contact stress for ET and HT type cycloidal reducers

S. -M. Kwon^{1*}, Y. H. Lee²

창원대학교 기계공학부¹, 창원대학교 대학원 기계설계공학과²

Key Words : Cycloid reducer, Equidistant shortened epitrochoid, Equidistant extended hypotrochoid, Contact stress, Finite element analysis

1. 서 론

일반적으로 링 기어(ring gear)가 핀(pin) 치형이고 유성기어(planet gear)는 에피트로코이드 오프셋(equidistant shortened epitrochoid) 치 형인 사이클로이드 감속기(이하 ET 감속기)가 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 유성기어가 핀 치형이고 링 기어가 하이포트로코이드 오프셋 (equidistant extended hypotrochoid) 치형인 사이클로이드 감속기(이 하 HT 감속기)를 고려하였고, 이의 내구설계를 위해 동일 설계제원으로 설계한 ET 및 HT 감속기에 대해 유한요소(FE) 강도해석을 수행하여 치 면 접촉응력 특성을 비교 고찰하고자 한다.

2. 치형설계

적재 및 이송을 위한 AGV 구동용 외경 ϕ 110 (mm), 29:1 사이클 로이드 감속기(정격출력토크 65 Nm)의 설계제원을 Table 1과 같이 고 려하였다. 이때 제작된 감속기 치형의 백래시(backlash)를 검토하기 위 해 오버 핀 이두께 측정(measurement over pins)을 고려하였으며, ET 및 HT 감속기의 이론적 DOP^[1] 및 DBP^[2]는 각각 81.0906(ϕ 6.0), 66.1816(ϕ 6.0)으로 제시할 수 있다.

Description	Values			
Description	ET	HT		
Pinwheel PCR, R (mm)	37.5	36.25		
Pin radius, R_r (mm)	2.25	2.25		
Profile modification coefficient, x (/)	0.2	0.2		
Number of ring gear teeth, N_2 (/)	30	30		
Number of planet gear teeth, N_3 (/)	29	29		
Face width, b (mm)	7.0	7.0		

Table 1 Design specifications for cycloid reducers

Table 1의 설계제원에 따른 ET 감속기 및 HT 감속기의 설계 형상은 Fig. 1과 같다.

DOP, M (mm)

DBP, M (mm)

81.0906 (*\phi* 6.0)

66.1816 (*φ* 6.0)

ET029-110

HT029-110



3. FE 강도해석

우선 ET 감속기의 치면 접촉응력 FE 해석결과(374.23 MPa)를 이론 적 결과(376.68 MPa)와 약 1% 이내로 일치시킨 후, 동일한 메쉬를 적 용하여 HT 감속기의 FE 해석을 수행하였다. 이때 해석을 위한 반시계방 향 입력토크는 정격출력토크 값을 고려하였다.



(b) HT029-110: $(\sigma_e)_{max}$ =269.14 (MPa)

Fig. 2 Finite element analysis results (von-Mises stress)

4. 결 론

ET 및 HT 유형 사이클로이드 감속기를 동일 제원으로 설계하였으며, FE 해석 비교 결과 HT 감속기가 ET 감속기보다 현저히 낮은 치면 접촉 응력(약 28% 저감)이 발생함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 중소벤처기업부의 기술혁신개발사업의 일환으로 수행하였 음. [S3276835, 로봇관절 및 공작기계용 50arcsec급 하이엔드 정밀감속 기 개발]

- Kwon, S. -M., 2019, DOP(External gear), Korea Copyright Commission, C-2019-027923, Republic of Korea.
- (2) Kwon, S. -M., 2021, DBP(hypotrochoid), Korea Copyright Commission, C-2021-013596, Republic of Korea.

RRP 시스템의 롤러 반경 변화를 고려한 유한요소해석

권순만^{1*}, 이용호²

Finite element analysis considering tolerance of roller radius in RRP system

S. -M. Kwon^{1*}, Y. H. Lee²

창원대학교 기계공학부¹, 창원대학교 대학원 기계설계공학과²

Key Words : RRP(roller rack and pinion), Roller radius, Finite element analysis, Contact force, Tooth root bending stress

1. 서 론

Fig. 1과 같은 RRP 시스템^[1] 또한 제작 시 롤러반경 치수의 공차는 불 가피하며, 이를 고려한 응력해석은 엄밀치형 기반의 해석적 방법 접근이 곤란하여 전산원용해석 등을 통한 접근이 필요하다. 이에 본 연구에서는 조립거리(mounting distance)는 일정하고 랙의 롤러반경 변화(δ_t)만 발 생하는 조건에 대하여 유한요소해석을 통해 치면 접촉력 변화와 이뿌리부 위험단면의 굽힘응력 변화를 검토하고자 한다.



Fig. 1 RRP system

2. 설계 제원

본 논문에서 검토한 RRP 시스템의 설계제원은 Table 1과 같으며, 이 때 고려한 3가지 롤러반경 공차(δ_t)는 설계 롤러반경(R_r)이 45 mm 일 때 각각 0.0/-1.0/-2.0 mm 이다.

Table	1	Design	specifications	for	an	RRP	system
-------	---	--------	----------------	-----	----	-----	--------

Description	Values			
Rack pitch, p	192 (mm)			
No. of pinion teeth, z		9		
Roller(or pin) radius, R_r		45 (mm)		
Tolerance of radius, δ_t (mm)	0.0	-1.0	-2.0	
Mounting distance, MD		285 (mm))	
Addendum extension factor, β	1.41			
Contact ratio, ϵ		1.58		
Face width, b	128.6 (mm)			
AGMA derating factor, k_∞		1.0		
AGMA elastic coefficient, C_p	188	3.74 (MPa	a ^{1/2})	
Permissible load, F_P		490 (kN)		

3. 접촉력 및 굽힙응력 비교

상용 소프트웨어 ANSYS[®]을 이용하여 접촉력을 구하고, 굽힘응력은 위험단면에서 인장하중을 받는 지점의 등가응력을 구하였다.



4. 결 론

Figs. 2, 3에서 나타낸 바와 같이 하중전담(single tooth contact) 구간 에서는 롤러반경 감소에 따른 접촉력과 굽힘응력의 변화가 거의 없지만, 하중분담(double tooth contact) 구간에서는 다소 증가함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 중소벤처기업부의 기술혁신개발사업의 일환으로 수행하였 음. [S3276835, 로봇관절 및 공작기계용 50arcsec급 하이엔드 정밀 감 속기 개발]

참고 문 헌

 Kwon, S.-M., Kim, J.Y., Lee, Y.H., "Strength Design of Pinions for Pin Jack-type Sluice Gates," J. KSMTE, 31:4247-254, https://doi.org/10.7735/ksmte.2022.31.4.247.

Jig arm의 최적의 두께 선정을 위한 구조해석에 관한 연구

윤현승¹, 오원빈¹, 최헌주¹, 정성환¹, 윤주희², 최주희², 김일수^{1*}

A study on structural analysis for selecting the optimal thickness of Jig arm

H. S. Yun¹, W. B. Oh¹, H. J. Choi¹, S. H. Jung¹, J. H. Yun², J. H. Choi², I. S. Kim^{1*}

목포대학교 기계공학과¹, (주)뉴텍²

Key Words : Jig arm, Equivalent stress, Ansys, Shot blast

1. 서 론

Table 1 Structural analysis case selection of jig arm

크레인 붐이 크레인에 매달린 상태로 높은 높이에서 이동함으로써, 이동 작업 시 Shot room의 바닥에 크레인 붐이 추락하여 쇼트 블라스 트 장비의 손상 등의 위험이 발생할 수 있는 문제점이 있다. 이에 따라 크레인 붐의 쇼트 블라스트 공정 시 Jig system을 통한 고정으로 소재 의 뒤틀림을 방지할 수 있고, 다품종 소량생산 시스템에 적합한 유연 성 있는 Jig system을 개발하고자 한다.

구조해석은 기계제품의 개발에 있어서 기계의 안전성에 가장 큰 영 향을 미치는 단계로 정의하며, 연구개발의 능력을 판가름하는 척도로 나타낸다.

따라서 본 연구 과제에서 쇼트 블라스트 공정의 크레인 붐 가공 전 용 Jig system의 Jig arm부의 과도 해석과정을 통하여 응력 취약부를 도출하였으며, Jig arm의 최적의 두께를 선정하였다.

2. 구조해석

Jig system의 구조해석을 위한 3D 모델링을 나타내며, 본 해석은 조선 기자재 하중에 의한 Jig system의 구조적 안정성을 확보하고자 하였다. Jig system의 Jig arm부는 최대 500kg 달하는 자중이 가반되 기 때문에 하중이 가장 많이 분포되는 부품이다. 따라서 Jig system 굽힘에 대한 강성을 모두 고려한 설계가 필요하므로, Fig. 1과 같이 Jig arm의 두께를 2.8mm, 3.0mm, 3.2mm로 총 3가지 케이스를 선정 하여 모델링을 수행하였다.

구조해석을 위한 격자(Mesh)는 Tetrahedron 구조의 격자를 설정하 였으며, 격자의 크기는 5mm로 선정하여 컴퓨터 시뮬레이션 모델 (FEM)은 Fig. 2와 같이 생성하였다. Jig system의 총 절점 수 1,541,146개, 요소 수는 1,041,486개로 구성됐다. 구조해석의 경계조건 으로 Jig system의 재질은 SS400을 적용하였고, 중력과 하중을 인가하였 다. Table 1은 Case 선정 및 경계조건을 나타냈다.





Fig. 2 Selection of conditions for structural analysis

Case no.	Level	Load
	1	300kg
Case 1	2	400kg
	3	500kg
	1	300kg
Case 2	2	400kg
	3	500kg
	1	300kg
Case 3	2	400kg
	3	500kg

3. 결론

구조해석 결과값을 기반으로만 Jig arm을 제작할 때 Case 3의 두 께가 두꺼워 Case 1~2 보다 안전하고 최대응력이 낮지만, 과대 설 계되어 제작비가 증가함을 확인하였다. 따라서, Jig arm에서 500kg 의 하중이 발생했을 때, 발생하는 응력대비 파손 응력을 계산한 결 과를 각각 2.9471, 3.6149, 4.1240의 안전율을 나타냈으며, 이와 같은 결과값을 기반으로 Jig arm의 적정수준의 폭은 3.2mm일 때 가장 양호한 결과를 나타냄을 확인하였다.

최종적으로 Jig arm의 최적 설계는 3.2mm로 선정함으로써, 추후 시제품 제작 시 불필요한 예산 낭비를 방지하고 Jig system의 충분 한 구조적 안정성을 확보할 수 있었다.



후 기

본 결과물은 한국생산기술연구원의 뿌리산업 선도기업 육성사업 뿌 리공정 혁신지원 사업의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문 헌

(1) Lee, S. H, Yang, D. H, Cha, S. H, Kim, C. E, Lee, Y. S, 2023, A Study on the Structure and Vibration Stability of Automatic Lathe Structure, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 22, No. 4, pp. 98~10

Jig system의 구조적 안정성 확보를 위한 구조해석에 관한 연구

최헌주¹, 오원빈¹, 윤현승¹, 정성환¹, 윤주희², 최주희², 김일수^{1*}

A study on structural analysis for securing structural stability of Jig system

H. J. Choi¹, W. B. Oh¹, H. S. Yun¹, S. H. Jung¹, J. H. Yun², J. H. Choi², I. S. Kim^{1*}

목포대학교 기계공학과¹, (주)뉴텍²

Key Words : Jig system, Structural analysis, Total deformation

1. 서 론

Table	1	Structural	analysis	case	selection	of	Jig	system	
							· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	~,~	

기존의 크레인 붐 제작 업체에서는 쇼트 블라스트 공정으로 가공 시 고 정 방식이 정착되어 있지 않아 나무 받침대나 바닥에 거치하여 공정을 진 행하는데, 이 경우 크레인 붐의 아랫부분은 추가 작업이 필요하여 이중의 작업시간이 소요된다. 기존 방법으로 크레인 붐을 불안정하게 고정된 상 태에서 가공할 경우, 제품의 완성도를 저하시키거나 불량률이 증가할 수 있으므로, 크레인 붐의 이탈을 방지하고 완전히 고정할 수 있는 Jig arm 부 및 지지부, 가해지는 외력을 방지하기 위한 Base 부 개발을 통한 쇼트 블라스트 공정의 크레인 붐 가공 전용 Jig system 개발을 하고자 한다. 따라서, 본 연구에서는 Jig system을 개발하고자 상세설계를 수행하였 으며, Mesh 설정 및 경계조건 선정을 통한 구조해석을 수행하여 조선 기 자재의 중량에 따른 Jig system의 안전성을 확보하고자 하였다.

2. 구조해석

Jig system 구조해석을 위한 유한 요소 모델은 Autodesk inventor를 사용하여 3D 모델링을 수행하였고 Fig. 1과 같이 나타낸다. 구조해석 격 자는 Tetrahedrons 구조의 격자를 적용하였고, 격자의 크기는 5mm로 선정하여 Fig. 2와 같이 나타낸다. 모델링에 사용된 총 전 점수는 154,357개, 요소수는 104,457개로 구성됐다.

구조해석의 경계조건으로 Jig system의 재질은 SS400을 적용하였고, Jig system의 Bottom 부가 고정되기 때문에 Fixed support를 적용하였 다. 실제 환경과 동일하게 경계조건을 적용하기 위해 - Y 방향으로 Standard earth gravity를 설정하였으며, 조선 기자재 무게인 30N, 40N, 50N의 힘을 가하여 구조해석을 수행하였다. Table 1에 선정한 경 계조건을 나타냈다.



Fig. 1 Jig system 3D modeling



Fig. 2 Mesh creation of jig system

Case no.	Load
Case 1	30N
Case 2	40N
Case 3	50N

3. 결론

Jig system에 조선 기자재 중량이 작용하는 최대 50N의 힘을 가하여 구조해석을 수행한 결과 Total deformation은 최대 0.18373mm, Safety factor는 4.6649를 예측하였고 Fig. 3에 나타냈다. 안전율은 산업 안전보건기준에 명시되어 있는 안전율을 만족하는 것으로 확인된다.

따라서, 구조해석을 통해 추후 시제품 제작 시 불필요한 예산낭비를 방 지하고 Jig system의 충분한 구조적 안정성을 확보할 수 있을 것으로 확 인된다.



후 기

본 결과물은 한국생산기술연구원의 뿌리산업 선도 기업 육성사업 뿌리 공정 혁신지원 사업의 연구 수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문 헌

(1) Song, Y. J, Kim, S. D, Roh, C. I, Kim, S, Won, J. B, Park, J. S, Song, C. K, 2023, *Improving Precision of a Ram-Type Vertical Machining Center Using Finite Element Analysis*, Korean Soc. Mech. Eng. A, Vol. 47, No. 5, pp.393-399.

쇼트 블라스트 공정의 Jig system의 Base부 안전성 확보를 위한 연구

정성환¹, 오원빈¹, 최헌주¹, 윤현승¹, 윤주희², 최주희², 김일수^{1*}

A study on securing the safety of the base part of the jig system of the shot blasting process

S. H. Jeong¹, W. B. Oh¹, H. J. Choi¹, H. S. Yun¹, J. H. Yun², J. H. Choi², I. S. Kim^{1*}

목포대학교 기계공학과¹, (주)뉴텍²

Key Words : Jig base, Ansys workbench, Mesh, Modeling

1. 서 론

기존 쇼트 블라스트 공정은 작업자가 일일이 각각의 가공 대상물을 정확한 위치에 Setting 해야 하는 번거로움이 있으며, 각 가공 대상물 의 고정을 위하여 전용으로 제작되는 클램핑 유닛이 부족한 문제점이 있다. 또한 작업자가 공정 시 발을 크게 다치는 등 현장에서 매일 사고 가 끊임없이 발생하고 있으며, 기계의 상당수가 긴급 상황이 발생할 경우 수동으로 기계를 멈출 수 있지만 종종 사고가 발생한 뒤에 멈추 는 경우가 많아 원천적으로 초기 대응이 불가능한 상황이다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 Jig system 개발을 통한 조선 기 자재의 뒤틀림 등의 현상을 안정되게 방지하여 크레인 붐의 품질을 개 선할 수 있으며, 크레인 붐 교체 시 신속하고 안전하게 장착할 수 있 고, 작업상의 안전과 편리함을 도모할 수 있는 등 작업성을 향상시킬 수 있다.

따라서 본 연구 과제에서 쇼트 블라스트 공정의 크레인 붐 가공 전 용 Jig system의 Jig base부의 과도 해석과정을 통하여 응력 취약 부 를 도출하였으며, Jig base 안전성을 확보하였다.

2. 구조해석

Fig. 1은 Autodesk inventor를 활용한 Jig system의 전체적인 형상 모델링을 수행하였다. Fig. 2는 구조해석을 위한 Jig system의 Base 부 모델링을 진행하였다. 구조해석을 위한 격자는 크기는 3mm, 조밀 한 격자를 생성하기 위해 Fig. 3과 같이 나타냈다

Jig base부의 구조해석을 위한 경계조건 입력값은 실제 환경과 비슷 하게 설정하기 위해 중력 9.81m/s²을 인가하였으며, Jig system을 고 정하고 있는 Jig base 부에 Fixed support를 설정하였다. 또한 Jig system을 지표면에 평행한 상태에서 조선 기자재 하중이 집중되는 Jig base 상부에 하중을 인가하였다. Table 1은 구조해석을 위한 해석 조 건을 나타냈다.



Fig. 2 Modeling of jig base



(a) Advanced sizing (b) Span angle center Fig. 3 Result of structural analysis

Table 1 Structural analysis case selection of jig base

Case no.	Level	Load
	1	300kg
Case 1	2	400kg
	3	500kg

3. 결 론

Case 별 구조해석 확인 결과, 총 변위는 Jig system의 Base 부 roller에서 가장 많은 변위가 발생하고 있는 것을 확인하였다. 조선 기 자재 최대 하중인 500kg의 힘을 Jig arm에 가했을 때, Case 별 총 변 위는 각각 0.07541mm, 0.08121mm, 0.82145mm로 확인됐다. 본 해 석 결과는 탄성변형을 동반하기 때문에 조선 기자재가 제거될 경우에 Jig arm이 원상태로 복구되는 지점에 대한 검토가 요구된다.

후 기

본 결과물은 한국생산기술연구원의 뿌리산업 선도기업 육성사업 뿌 리공정 혁신지원 사업의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

- Lim, J. H, Lee, B. I, Song, Y. J, Kim, S, D, Roh, C. I, Song, C, K, 2023, Structural Analysis of a Hollow Intermediate Shaft for Mass Reduction, Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 22, No. 1, pp. 8-15.
- (2) Park, B. H, Choi, H. J, 2023, A Study on the Design of Automatic Tool Change based on Roller Gear Cam by Finite Element Analysis, Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 22, No. 1, pp. 82-88.

폴리우레탄 폼이 적용된 사이드 프레임의 반력

이현승, 방성한, 정우석, 이재철^{*}

Reaction force of side frame applied with polyurethane foam

H. S. Lee, S. H. Bang, Y. S. Jeong, J. C. Lee*

한국생산기술연구원 융합기술연구소 소재부품융합연구부문

Key Words : Side frame, Polyurethane foam, Reaction force, Impact test

1. 서 론

전기차의 전/후방 충돌에 비해 측면충돌이 상대적 취약할 것으로 판단되며, 이에 따라 보호 강화가 요구된다. 이에 배터리 모듈을 차체와 연결하는 용도 의 사이드 프레임(Side frame)에 내충격재인 폴리우레탄 폼을 적용하여 충격 력 전달을 최소화하는 연구를 진행하였다.

2. 사이드 프레임의 충격 시뮬레이션

내충격재는 폴리우레탄 폼 중 사용온도범위가 −30~70°C로 성형 및 계절 별 기온에 적합한 Getzner사의 Sylodamp 제품을 사용하였다. 이 제품의 단위 면적 당 에너지 흡수량은 25.8 mJ/mm²로 산출되었다. 사이드 프레임에 내충 격재를 삽입한 내충격 구조물은 Fig. 1과 같다.



Fig. 1 Impact-resistant structure for shock absorption

충격 시뮬레이션을 위해 Fig. 2와 같이 유한요소모델을 작성하였고, 경계조 건과 하중조건을 부여하였다. 고정판 위에 시험편이 Y축 기준(중력방향)으로 세워져 있고, 3kg의 실린더 형상 임팩터(Impactor)를 1,200mm에서 낙하시켜 시험편과 충돌시켰다. 이 때 고정판의 반력(Reaction force)을 확인하였다.



Fig. 2 Finite element model, boundary condition and load condition

3. 사이드 프레임의 충격 시험



Fig. 3 Specimens and equipment for impact test

시뮬레이션과 같이 내충격재로 인해 반력이 감소하는지를 확인하기 위해 시험편을 제작하여 충격 시험을 수행하였다. 자석에 붙는 재질의 임팩터와 이 를 지탱할 수 있는 낙하 충격 시험기 그리고 0.1ms 단위로 측정이 가능한 하 중 측정기를 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

충격 시뮬레이션 결과에서 내충격재를 삽입한 내충격 구조물이 사이드 프레 임 보다 더 적은 변형량을 보였다. 사이드 프레임 기준으로 내충격재 SP30을 적용한 내충격 구조물은 최대변형량이 23.4%, 내충격재 SP100을 적용한 내충 격 구조물에서는 31.4% 감소하였다. 반력에서도 사이드 프레임의 반력은 1,893N으로 산출되었고, SP30을 적용한 내충격 구조물의 반력은 1,656N으로 사 이드 프레임 대비 12.5% 감소하였다. 그리고 SP100을 적용한 내충격 구조물의 반력은 1,637N으로 사이드 프레임 대비 13.5% 감소하는 것으로 산출되었다.



Fig. 4 Simulation result of impact test

충격 시험 결과에서는 사이드 프레임의 최대 반력이 4,545N으로 측정되었다. 이에 비해 내충격재 SP30을 적용한 내충격 구조물의 반력은 4,208N으로 사이드 프레임 대비 7.4% 감소하였다. 그리고 SP100을 적용한 내충격 구조물의 반력은 3,819N으로 사이드 프레임 대비 16.0% 감소하였다.



시뮬레이션의 반력 결과와 충격 시험의 반력 측정 결과가 동일한 경향을 보였다. 그리고 이 결과를 바탕으로 충격 하중에 적합한 내충격재를 적용하면 사이드 프레임의 충격 흡수율을 높일 수 있다는 결론을 얻었다.

참고문 헌

 Jeong, M.-H., Kim, Y.-I., Park, G.-J., 2021, Nonlinear dynamic response structural optimization for the structure integrating the body-in-white and battery pack of an electric vehicle considering a side pole impact test, Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, 29(7), 683-691.

장입재 충전상태의 정량적 최적화

이상환*

Quantitative optimization of packing state of charge material

Sang-Hwan Lee*

한국생산기술연구원 스마트액상성형연구부문

Key Words : Charge material, Packing state, Quantitative optimization

1. 서 론

용해로 내부의 장입재 충전 상태는 용해 에너지 절감 차원에서 매우 중요한 요소이므로 [1], 이를 체계적으로 분석 평가하는 연구가 필요 하다. 본 연구에서는 다양한 생압고철의 용해로 충전 거동을 시각화하 고, 충전 상태를 정량화하기 위한 시뮬레이션을 진행하였다.

2. 연구 방법

시뮬레이션 도구로써 Maya 소프트웨어를 활용하였다. 실제 용해로 와 맞춤형 설계 생압고철 등의 정보에 기반하여, 용해로와 생압고철을 모델링 및 렌더링하였다. 300mm 정육면체 생압고철, 맞춤형 정육면 체 생압고철, 맞춤형 원기둥 생압고철 등의 충전 상태를 비교 평가하 였다. 맞춤형 생압고철의 경우, 1, 2, 4, 6t/h 용량의 용해로에 맞춤형 크기로 설계하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1는 1, 6t/h 용량의 용해로에 일반 생압고철의 충전 상태를 3차 원적으로 시각화 시뮬레이션한 결과이다. 장입 개수가 1t/h 용해로에 서는 3개인데, 6t/h 용해로에서는 17개가 된다. 일반 생압고철의 경우, 용해로 용량이 클수록 장입 개수가 많게 된다.



Fig. 1 Packing states of 300mm cubic press scraps

Fig. 2는 용해로 맞춤형 크기의 정육면체 생압고철의 충전 상태를 시뮬레이션한 결과이다. 맞춤형 정육면체 생압고철을 사용하게 되면, 장입 개수가 모든 용해로에서 3개로 모두 똑같다.



Fig. 2 Packing states of customized cubic press scraps

Fig. 3은 용해로 맞춤형 크기와 형상의 원기둥 생압고철의 충전 상 태를 시뮬레이션한 결과이다. 맞춤형 원기둥 생압고철을 사용하게 되 면, 모든 용량의 용해로에서 장입 개수가 단 1개이다.



Fig. 3 Packing states of customized cylinder press scraps

일반 생압고철과 다양한 맞춤형 생압고철의 초기 장입 후 장입 개수 를 Table 1에 정리하였다. 맞춤형 생압고철을 사용하면, 장입 개수를 줄일 수 있어 장입 공정이 효율화되고, 용해 에너지 효율화 측면에도 도움이 된다.

rubic i charging number of futious press setup.	Fable	1	Charging	number	of	various	press	scraps
---	--------------	---	----------	--------	----	---------	-------	--------

	Meltin	ig capacity	of furnac	e (t/h)
	1	2	4	6
Cubic (300mm)	3	4	11	17
Cubic (customized)	3	3	3	3
Cylinder (customized)	1	1	1	1

초기 장입 후 충전 밀도를 Table 2에 정리하였다. 충전 밀도가 낮으 면, 유도가열 효율이 낮고, 방열 이동 통로가 많아서, 용해 에너지에 악영향을 미친다. 일반 생압고철의 경우, 충전밀도가 2.0t/m³ 이하로 낮다. 충전 밀도가 2.0t/m³ 이상으로 높은 구간의 범위에는 맞춤형 크 기의 다양한 생압고철이 모두 포함된다. 형상까지 맞춤형으로 한 경 우, 충전 밀도가 2.9t/m³ 이상으로 높다. 충전 밀도 수치 2.0t/m³는 저 충전과 고충전 상태를 구분하는 기준이라고 판단된다.

Table	2	Packing	density	(unit	:	t/m')	of	various	press	scraps
-------	---	---------	---------	-------	---	-------	----	---------	-------	--------

	Meltin	Melting capacity of furnace (t/h)						
	1	2	4	6				
Cubic (300mm)	2.0	1.3	1.7	1.7				
Cubic (customized)	2.0	2.3	2.1	2.4				
Cylinder (customized)	2.9	3.3	3.5	3.6				

참고 문 헌

 Lee, S.H, 2017, Measures to reduce energy consumption in foundries to respond to energy paradigm shift, Journal of Korea Foundry Society, 37, 61-74.

물리엔진을 이용한 장입공정 시뮬레이션

이상환*

3D simulation of charging process using physics engine

Sang-Hwan Lee*

한국생산기술연구원 스마트액상성형연구부문

Key Words : Charging process, 3D simulation, Physics engine

1. 서 론

주철 주조 시, 용해로 내 장입된 재료의 충전 상태는 에너지 효율에 크게 영향을 미치는 요소지만 [1], 그 상태를 파악하는 것은 쉽지 않 다. 본 연구에서는 주조공장에서의 장입재 충전 거동을 3차원적으로 시각화하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 연구 방법

장입공정의 3차원 시각화 시뮬레이션을 위한 도구로써 Maya 소프 트웨어를 활용하였다. 양산 제조 현장의 실제 정보를 바탕으로 장입재 와 용해로의 모델링 및 렌더링을 진행하였고, Fig. 1과 같이 시뮬레이 션하였다. 생압고철의 크기, 형상 조건은 300mm 정육면체로 하였고, 용해로의 용량 조건은 1, 2, 4, 6t/h로 하여 각각 시뮬레이션하였다.



Fig. 1 Simulation procedure

3. 결과 및 고찰

주철 주조공장에서 현장 작업자들이 실제로 장입하는 것처럼 시뮬 레이션을 진행하였다. Fig. 2는 300mm 정육면체 생압고철을 6t/h 용 해로에 충전하는 거동을 3차원 시각화 시뮬레이션한 결과이다.



Fig. 2 Packing behavior of press scraps by 3D visual simulation

본 시뮬레이션을 통해 장입 및 충전 전 과정이 시간 흐름에 따라 애 니메이션으로 시각화되는데, Fig. 2는 장입 단계 중에서 몇 개의 중간 상태를 선별하여 시간 순서대로 나열한 것이다. 생압고철의 충전 거동 이 물리엔진에 의해 매우 사실적으로 모사되었다.

이론적 한계에 도달한 이상적인 충전 상태와 제조 현장의 실제 상황 을 모사한 현실적인 충전 상태를 비교하였다. 초기 장입 단계를 마친 후의 장입 개수를 Table 1에 정리하였다. 용해로 용량이 2t/h 이하인 경우, 이상적인 초기 장입 개수와 현실적인 초기 장입 개수가 같다. 용 해로 용량이 4t/h 이상인 경우, 두 개수 간에 차이가 발생한다. 용해로 수평 단면 내 포함되는 생압고철이 2개 이상이면, 현실적인 시뮬레이 션 결과 자체에서 편차가 발생할 수 있다. 작업자의 실제 공정에서도 이러한 편차는 발생하게 되는데, 작업 숙련도와 관계되는 사항이다.

Table 1 Charging number of cubic press scraps in various furnaces

	Melti	ng capacity	of furnace	: (t/h)
	1	2	4	6
Theoretical limit	3	4	15	24
Worker's practice	3	4	11	17

초기 장입 단계를 마친 후의 중량 백분율을 Table 2에 정리하였다. 용해로 용량이 2t/h 이하인 경우, 이상적인 초기 장입 중량 비율과 현 실적인 초기 장입 중량 비율이 같다. 용해로 용량이 4t/h 이상인 경우, 용해로 수평 단면 내 포함되는 생압고철이 2개 이상이 되기 때문에 이 상적, 현실적 비율 간에 차이가 발생하게 된다.

Table 2 Charging weight percentage of cubic press scraps in various furnaces

	Melti	ng capacity	of furnace	e (t/h)
	1	2	4	6
Theoretical limit	74%	49%	92%	98%
Worker's practice	74%	49%	67%	70%

물리엔진에 기반한 3차원 시각화 시뮬레이션을 활용하여, 제조 현장 의 장입재 충전 거동 및 상태를 매우 현실적으로 잘 모사할 수 있는 것을 확인하였다. 이상적인 충전 상태와 현실적인 충전 상태를 비교하 였다. 두 충전 상태 간에 차이 및 원인 등을 시뮬레이션에 의한 시각화 및 정량적 비교 결과를 통해 체계적으로 검토할 수 있었다.

참고 문 헌

 Lee, S.H, 2017, Measures to reduce energy consumption in foundries to respond to energy paradigm shift, Journal of Korea Foundry Society, 37, 61-74.

CAD STL Data 요소 재생성에 의한 공정해석용 3차원 요소품질 향상 기법

남정호^{1*}, 곽시영^{1,2}

3D element quality improvement technique for process analysis by CAD STL data element regeneration

J. H. Nam^{1*}, S. Y. Kwak^{1,2}

한국생산기술연구원 스마트액상성형연구부문¹, 과학기술연합대학원대학교 융합제조시스템²

Key Words : STL, Mesh generation, Mesh quality, Process analysis

1. 서 론

캐드(CAD)는 컴퓨터 지원 설계(computer-aided design)의 약어로, 전산을 활용한 설계 또는 제도를 의미하며 공학, 건설 등 다양한 분야에 서 주로 사용하는 프로그램이다. 캐드의 STL(Stereolithography) 파일 은 3D 인쇄와 CAD(Computer Aided Design)에 일반적으로 사용되는 파일 포맷이다. STL 파일은 스케일 정보가 없으며 단위는 임의적입니다. STL 파일은 3차원 객체의 표면 기하학만을 설명하고 있어 이를 그대로 공학용해석용 요소로 그대로 사용하기에는 무리가 있다. 공학용 해석 요 소로 사용하려면 STL의 삼각망을 공학용 요소로 사용가능한 삼각망으로 재구성하고 이를 사용해 3차원 요소를 생성하여 사용하여야 한다.

본 연구에서는 삼각망 재생성 도구로 CM2 MeshTools을 사용하였고, 보다 높은 요소의 질(Quality)을 만들기 위해 STL의 삼각망 노드의 특정 한 크기를 정보를 주어 3차원 요소 생성 프로그램을 개발하였다.

2. 연구 내용

캐드 STL파일을 Import후 요소 생성 커널인 CM2 MeshTools 사용 하여 요소 생성을 하였다. Fig. 1과 같이 3차원 모델을 Import한 후 요소 생성에 필요한 파라미터인 요소의 최소 길이(Min Length), 요소의 최대 길이(Max Length), 요소를 병합할 수 있는 요소의 허용 크기(Merge Tolerance), Patch를 형성할 수 있는 요소간의 허용 평면각도(Patch Tolerance)를 지정하여 사용자가 원하는 크기와 형태의 요소를 생성하도 록 하였다.



Fig. 1 Method of the mesh generation of 3D Model

3차원 모델을 일정 요소 크기로 요소를 생성하면 제품의 두꺼운 부분이 나 특정 영역에서 요소가 많이 생성된다. 요소가 많을수록 해석 시간 증가 되고, 컴퓨터 메모리 등 리소스를 많이 사용하게 된다. 또한 3차원 특정영 역에서는 삼각망의 형상비가 좋지 않은 요소 망이 생성된다. 이를 해결하 기 위해 불필요한 영역에 요소수를 감소시키거나 특정영역에 요소를 조정 함으로써 전체적인 요소수를 감소시키거나 전체적인 요소 형상을 변경할 수 있도록 하였다.



Fig. 2 Specific size in specific area & Mesh Result

Fig. 2와 같이 특정 영역에 마우스 등 UI를 사용하여 사용자가 지정하는 요소 크기의 값을 지정하여 요소를 생성하였다.



Fig. 3의 결과와 같이 특정영역에 요소 크기를 지정하여 요소를 생성하 여 요소 수를 현저하게 줄일 수 있었다.



Fig. 4 Method of element quality improvement

해석의 정확도를 향상시키려면 요소의 형상비가 중요하다. Fig. 4와 같이 요소 형상비가 좋지 않은 영역에 특정 크기의 값을 지정하여 Fig. 4와 같이 요소의 형상비를 개선 할 수 있었다.

3. 결과 및 결론

3차원 모델이 복잡할 경우 해석에 필요한 요소를 만들기 어렵다. 이를 해결하기 위해 모델의 특정 영역에 특정 크기의 값을 주어 요소를 생성하 여 요소의 수를 줄임은 물론 요소의 풀질을 향상시킬 수 있었다. 위 결과 로 해석의 속도를 빠르게 함은 물론 해석의 정확성에 필요한 요소의 품질 을 향상시키는 요소 생성 기법을 개발하였다.

유도전동기 슬롯 형상 예측 정도 향상을 위한 Inverse Network의 적용

조부성, 한석영*

Application of inverse network for improving slot shape prediction accuracy of induction motor

B.-S. Jo, Y.-S. Han*

한양대학교 기계공학부

Key Words : Artificial intelligence, Inverse network, Induction motor, Slot shape design

1. 서 론

본 연구의 목적은 inverse network를 활용하여 목표 성능을 만족하는 유도전동기의 슬롯 형상을 예측하는 것이다. 전통적인 설계 방법론은 설 계 변수의 변화에 따른 결과를 평가하는 것을 반복하면서 목표 성능을 달 성하는 설계안을 찾는다. 이는 계산 비용이 많이 들고 시간이 많이 소모되 며 숙련된 엔지니어의 경험과 전문지식에 크게 의존한다. Inverse design 은 주어진 성능 목표를 만족하는 설계를 직접 찾는 과정을 말하며 이를 위해 inverse network를 도입하였다. Inverse network는 설계 변수와 성능 간의 복잡한 관계를 학습하여 주어진 성능 목표를 만족하는 형상을 실시간으로 도출할 수 있다. 이는 반복적인 설계 과정을 거치지 않고도 가능하며, 따라서 계산 비용도 크게 줄일 수 있다.

2. Inverse network를 이용한 유도전동기 슬롯 형상 설계

입력된 유도전동기의 효율을 만족하며 일정값 이상의 기동토크가 보장 된 유도전동기의 슬롯 형상을 예측하고자 하였다. 이를 위해 사용된 슬롯 의 형상변수들은 Fig. 1과 같이 정의하였다. LHD를 통해 실험점을 생성 하고, 2D-FEA MATLAB 코드를 사용하여 학습 데이터를 생성하였다. 이렇게 생성된 데이터는 두 개의 forward network 학습에 사용되었다. 이 두 네트워크는 목표 효율을 만족하며 기동토크 조건을 만족시키는 inverse network를 학습시키는 데 사용하였다. Inverse network를 학습 된 2개의 forward network에 연결하고, 두 네트워크의 가중치를 고정시 킨 채 inverse network만 학습을 진행하였으며, 해당 구조는 Fig. 2에 나 타내었다. Fig. 3은 inverse network가 2004 epoch에 걸쳐 훈련되어 0.1267의 validation loss를 달성했음을 보여준다. 마지막으로, 학습한 결과에 대한 검증은 서로 다른 50개의 성능 목표에 대해 inverse network가 예측한 설계를 MATLAB 코드를 통해 해석함으로써 네트워 크 학습결과의 유효성을 확인하였다.



Fig. 1 Slot shape variables of the stator and rotor slots



Fig. 2 Inverse network architecture



Fig. 3 Training result of the inverse network

3. 결 과

Table 1은 50개의 서로 다른 목표 성능에 대해 inverse network가 생 성한 목표 성능과의 오차를 보여준다. 모든 목표 성능에 대해 0.05% 미 만의 낮은 오차는 inverse network가 원하는 목표 성능과 거의 일치하는 설계안을 생성한다는 것을 보여준다. 본 연구는 유도전동기 설계에서 inverse network의 높은 예측 정확도를 확인하였으며, 이는 다양한 공학 분야의 설계에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

No.	Target Performance	Analyzed Performance	Error	No.	Target performance	Analyzed Performance	Error
1	95.02	95.03	0.01%	26	94.56	94.54	0.02%
2	95.01	95.02	0.01%	27	94.54	94.52	0.02%
3	94.96	94.97	0.01%	28	94.53	94.50	0.03%
4	94.95	94.97	0.02%	29	94.51	94.47	0.04%
5	94.93	94.95	0.02%	30	94.48	94.46	0.02%
6	94.91	94.91	0.00%	31	94.46	94.44	0.02%
7	94.90	94.90	0.00%	32	94.44	94.44	0.00%
8	94.89	94.88	0.01%	33	94.42	94.43	0.01%
9	94.86	94.85	0.01%	34	94.39	94.40	0.01%
10	94.84	94.82	0.02%	35	94.38	94.38	0.00%
11	94.83	94.82	0.01%	36	94.35	94.36	0.01%
12	94.81	94.80	0.01%	37	94.34	94.35	0.01%
13	94.80	94.79	0.01%	38	94.33	94.36	0.03%
14	94.77	94.77	0.00%	39	94.31	94.33	0.02%
15	94.74	94.75	0.01%	40	94.30	94.31	0.01%
16	94.72	94.72	0.00%	41	94.25	94.29	0.04%
17	94.71	94.70	0.01%	42	94.26	94.28	0.02%
18	94.68	94.70	0.02%	43	94.25	94.26	0.01%
19	94.67	94.67	0.00%	44	94.24	94.25	0.01%
20	94.66	94.66	0.00%	45	94.22	94.22	0.00%
21	94.62	94.61	0.01%	46	94.21	94.20	0.01%
22	94.61	94.59	0.02%	47	94.19	94.19	0.00%
23	94.60	94.58	0.02%	48	94.16	94.15	0.01%
24	94.59	94.57	0.02%	49	94.14	94.13	0.01%
25	94.58	94.56	0.02%	50	94.13	94.12	0.01%

Table 1 Verification of Inverse network design performance

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP) 의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호: 20202020800200).

- Kim, S., Jwa, M., Lee, S., Park, S., & Kang, N. (2022). Deep learning-based inverse design for engineering systems: multidisciplinary design optimization of automotive brakes. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 65(11), 323.
- (2) Liu, D., Tan, Y., Khoram, E., & Yu, Z. (2018). Training Deep Neural Networks for the Inverse Design of Nanophotonic Structures. ACS Photonics, 5(4), 1365.

비교과 프로그램에서 실용적인 목공제품 제작에 대한 학생들의 인식

김성일*

A study on students' recognition for making practical woodworking products in extracurricular programs

S. I. Kim^{*}

세한대학교 기술교육과

Key Words : Recognition, Woodworking products, Extracurricular program

1. 서 론

우리 생활에서 필요한 다양한 창의적인 제품이 개발되고 있다. 제품 제 작 교육에서는 제품 아이디어 구상, 디자인, 설계 제작과정에서 융합교육 필요성과 전공역량 강화 교육에 도움이 되어야 함을 강조한다. 학교생활 에서 필요한 제품 제작을 위한 것은 제품을 제작하는 것이므로 어려운 문 제이지만, 제품 아이디어를 얻는 방법과 재학생들의 요구사항과 사용자의 요구에 의한 제작되는 것이라면 학교현장에서 많이 사용할 수 있는 것이 므로 제작 후 성취도도 뿐만 아니라 만족도도 높을 것이라고 판단된다. 제품 제작의 설계 및 제작에 주도적인 역할을 담당하는 기계공학 분야 에서는 제품 설계와 제작에 관련된 교과목을 통해서 이론을 배우고 있지 만 제품 아이디어에서 제작까지 이론을 바탕으로 한 제작 체험 기회는 부 족한 형편이다.

따라서 본 연구의 목적은 사용자의 요구에 바탕을 둔 실생활에 필요한 목공 제품을 제작하면서 요구되는 지식뿐만 아니라 아이디어 구상방법, 모델링, 제작 과정을 통합한 비교과 프로그램을 통해 제품 제작 교육에 대한 학생들의 인식을 분석하고자 한다.

2. 실용적인 제품 아이디어 구상과 제작 활동

최근 대학 교육은 창의성과 문제해결 능력 향상에 중점을 두고 있을 뿐 만 아니라 협동능력, 의사소통능력, 융합능력 등의 향상에도 집중하고 있 다. 학교현장에서 활용할 수 있는 목공 제품 제작은 비교과프로그램에서 1학년 신입학생들을 대상으로 16시간 동안 진행하였다. 제작 목적은 전 공 교과목과의 연계, 융합기술, 설계능력, 제작 능력을 체험할 수 있도록 하는 것이었다. 학생들은 모둠으로 편성하였고 아이디어 구상을 위해 디 자인 싱킹 교수·학습법을 활용한 결과 목공 제품은 야외 테이블이 선정되 었다. 비교과 프로그램에 참여한 학생들은 창의성, 목공에 대한 지식, 디 지털 설계를 경험해 보지 않은 학생들로 제품을 제작해봅으로써 융합 교 육을 체험하는 경험을 갖도록 하는 점에 초점을 맞추었다. 아이디어 선정 과 함께 모둠원들은 역할을 나누었고, 각 역할별로 교육과 컨설팅을 실시 를 하면서 틴커캐드를 활용한 설계, 디자인 등 목재의 크기와 형상을 설계 하였다(Fig. 1 참조). 학생들은 기존의 따라하기 식에 익숙해져 있어 처음 에는 어려워했지만 문제를 해결해가면서 완성하였다.



Fig. 1 Idea sketch and 3D modelling



제품을 제작하면서 제품 크기에서는 인간공학 문제가 대두되었으며, 설

계에서는 디자인과 스케치, 컴퓨터를 위한 시각화를 위한 입체도 설계 방 법, 조립을 위해서는 안정적인 구조 및 조립 방법, 제작방법 등 다양한 어 려움이 있었다. 이 비교과 프로그램은 목재를 절단하여 제공한 것이 아닌 학생들이 테이블의 크기도 정하였으며, 3차원 설계를 위한 제도의 필요 성, 조립을 위한 조립 방법도 구상해야 했고, 목재를 조립한 뒤에도 안전 해야 하므로 안전한 제품이어야 하며 구조적인 안전성을 위해 힘과 관련 된 학문의 필요성도 알게 되었다.

이 교육 프로그램을 통해 학생들은 아이디어 구상방법, 스케치 방법, 3 차원 입체도 설계 및 2차원 제도 방법, 목재 절단 및 조립 방법, 디자인, 기계 및 공구 사용방법 등을 배우게 되었다고 한다. Fig. 2는 제품 제작 후 휴게실에서 활용하고 있는 사진을 보여주고 있다. Fig. 3은 비교과프 로그램에서 실용적인 목공 제품 제작을 통한 학생들의 인식을 프로그램 전과 프로그램 후의 설문조사결과(5점 척도)를 분석하여 평균값을 보여준 다. 프로그램 전과 프로그램 후의 만족도는 4.92→4.26, 흥미도는 4.92 →4.26, 융합교육 정도는 3.83→4.14로 향상되었음을 보여주어 학생들 은 비교과프로그램 교육에 대한 만족도가 높아졌음을 보여주었다.



 (a) Assembled product
 (b) level of satisfaction average
 Fig. 2 Manufacturing product and level of satisfaction in pre-program and after-program

4. 결 론

학교생활에서 필요한 제품을 구상하고 제작하는 과정에서 학생들은 디 자인 싱킹 교수·학습법을 통해 아이디어 구상 방법을 배우게 되었고, 제 작 전에 아이디어 스케치와 시각화를 위한 입체도, 2차원 치수 도면을 그 려보면서 제도의 필요성을 알게 되었다. 제작하는 과정에서 직접 수치를 결정하고 절단 과정 및 조립 과정에서 어려움이 있었지만, 문제를 해결해 가면서 제작하게 되어 융합교육의 필요성을 느꼈다. 프로그램 전에 비해 프로그램 후가 만족도와 흥미도가 높아짐을 보였다. 또한 직접 제작한 제 품을 활용하게 되어 성취감도 높다고 한다.

참고 문 헌

 Kim, S. I, 2019, A Study on the Effect of Students' Problem Solving Ability and Satisfactions in Woodworking Product Making Program Using Design Thinking, Korean Institute of industrial Educations, Vol. 44, No. 2. 142~163.

친환경 자동차 경량화를 위한 탄소복합소재 적용 임팩트 빔 굽힘해석

김상유^{1*}, 김재열², 고정민¹, 이상헌³, 최현범³, 이서한³, 채일석⁴

Impact beam finite element analysis of carbon composite material for lightweight future car

S. Y. Kim¹, J. Y. Kim^{2*}, J. M. Ko¹, S. H. Lee³, H. B. Choi³, S. H. Lee³, I. S. Chae⁴

조선대학교 일반대학원 기계시스템·미래자동차공학과¹, 조선대학교 기계공학과², ㈜호원³, 뉴흑석 자동차정비공업사⁴

Key Words : Lightweight, Carbon composite material, Impact beam

1. 서 론

미래차 개발 증가로 안전성 및 경량화를 만족하는 차체 부품 개발이 증가하고 있다. 알루미늄 및 탄소복합소재재질을 통한 중 량 절감 및 안전 성 확보 가능한 차체부품에 대한 기술개발이 진행되고 있으며, 도어 임팩 트 멤버는 도어 인너 판넬과 아우터 판넬 사이에 조립 된 부품으로 도어 의 정강성 확보와 측면충돌에 대하여 탑승자 보호를 위 한 필수부품이다. 본 연구에서는 임팩트 멤버의 구성 부품인 임팩트 빔에 대해 탄소복합 소재 적용에 대한 굽힘해석을 진행하여 임팩트 빔 소재 적정성을 확인하 고자 한다.

2. 해석 및 결과

해석소프트웨어인 ANSYS를 이용하여 유한요소해석을 진행하였으며, 정강성해석 조건으로 Fig. 1과 같이 양 Fix하여 임팩트 빔 가운데 위치에 -Y축 방향으로 0.1mm/s와 10,000kgf의 외력을 가하는 조건으로 탄소 복합소재 적용 임팩트 빔의 적정성을 확인하였다. 그 결과 탄소복합소재 적용시 기존소재에 비해 근소하게 탄성등가응력이 높게 나왔으며, 최대 변형량 또한 탄소복합소재가 우수하게 확인되었다.



Fig. 1 Experimental setup



Fig. 2 Analysis Result Stress(Existing Material)



Fig. 3 Analysis Result Deformation(Existing Material)



Fig. 4 Analysis Result Stress(CFRP)



Fig. 5 Analysis Result Deformation(CFRP)

3. 결 론

탄소복합소재 적용 임팩트 빔 적정성에 대한 검증 방법으로 굽힘해석을 진행한 결과 CFRP소재가 Steel 소재에 비해 더 많은 탄성응력을 확인할 수 있었으며, 더 적은 변형량을 확인 할 수 있어 임팩트 빔의 CFRP소재 적용이 가능할 것으로 사료된다.

동작 시간에 따른 전기집진기의 오존 발생량 비교에 관한 연구

고정민¹, 김재열^{2*}, 강복순³, 김규훈⁴

A study on the comparison of ozone generation in electrical precipitators by operating time

J. M. Ko¹, J. Y. Kim^{2*}, B. S. Kang³, K. H. Kim⁴

조선대학교 기계공학과 대학원¹, 조선대학교 기계공학과², (유)1급 한국자동차 서비스³, (주) 붐모터스⁴

Key Words : Electrostatic precipitator, Fine dust, Air pollution

1. 서 론

최근 미세먼지로 인해 여러 나라에서의 피해가 심각해지고 있다. 실내 에 유입되는 초미세먼지에 노출되어 호흡기 질환 등의 발병으로 인해 인 체에 가해지는 위험성이 심화 되고 있다. 실내 미세먼지 농도를 절감하고 자 전기집진기를 사용할 때 발생 되는 오존 또한 인체에 유해하다.

본 연구에서는 집진기 동작 시 발생 되는 오존의 발생량과 기준치의 발 생량의 비교 값을 알아보고자 한다.

2. 오존 발생량 실험

오존 발생량 실험을 위해 30루베 챔버에서 오존 측정량은 mg/hr로 시 험을 진행한다. 오존 관리 기준에 따른 실내 오존 측정량은 8시간에 0.06 PPM이하, 1시간 0.1 PPM이하를 기준으로 측정한다.

동작 시간에 따라 발생하는 오존을 측정하는 실험을 진행했다. 4, 6, 8 시간 별 실험을 진행하여 4시간 동작 시 오존은 0.0316PPM, 6시간시 0.0278PPM, 8시간 시 0.0195PPM의 값을 얻었다. 이때 각각 발생하는 오존량의 값을 얻어 기준값과 비교한 값을 표로 나타내었다.

Table 1. Comparison of ozone generation

	초기농도	최대농도	발생량
동작 전	0.001	0.002	0.001
동작 후	0.0188	0.0388	0.0199



Fig. 1 4-hour Ozone generation measurement







Fig. 3 8-hour Ozone generation measurement

3. 결 론

오존 발생량 실험을 진행하며 얻은 오존값과 기준 값이 되는 실내 오존 발생량 값을 비교하였다. 4, 6, 8시간 별 실험 평균값은 Fig. 1, Fig. 2와 Fig. 3에 따라 약 0.0258PPM이 되고 기준 값은 0.06PPM으로 기준값 대비 실험 평균값은 약 1/2이하의 오존 발생량을 확인할 수 있었다.

실제 오존 발생량과 기준 오존 발생량의 비교 값에 따라 오존 발생량이 안전함을 확인하였다.

고분자 전해질 다층 박막에서 백금 나노 입자의 층별 조립을 통한 PEMFC의 전기 촉매 성능 향상 ^{조충연,} 장익황, 윤민호, 정상훈

Conformation dependent-electrocatalytic performances of polyelectrolyte multilayer thin films

C. Y. Cho^{*}, I. W. Chang, M. H. Yoon, S. H. Jeong

원광대학교 창의공과대학 탄소융합공학과, 원광대학교 창의공과대학 기계공학과

Keywords: Proton exchange membrane fuel cells, Layer-by-layer, Cyclic voltammetry, Polyelectrolytes, Pt nanoparticles

The investigation of electrochemical attributes of metal nanoparticles (NPs), exemplified by platinum (Pt), ensconced in polyelectrolyte multilayer (PEM) thin films fabricated via the layerby-layer (LbL) assembly technique forms the focal point of this study. This research endeavors to ascertain the viability of these polymer films as nanoreactors within the realm of proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) technology. Critical to this inquiry is the alteration of pH assembly conditions related to weak polyelectrolytes, comprising cationic polymer, branched polyethyleneimine (BPEI), and polyacrylic acid (PAA). A detailed examination ensues, covering growth and mass growth behavior, surface morphology, internal structure, and the mechanical robustness of the resulting PEMs. Subsequent to the assembly of BPEI/PAA thin films, Pt NPs are incorporated via an ion exchange protocol. The next step involves a comprehensive investigation of the Pt NPs-infused LbL thin films. The focus lies on the electrocatalytic active surface area (EASA), Pt utilization efficiency, and the inherent electrochemical potential. In the course of this research, an outstanding electrochemical performance is observed in the 10BPEI/4PAA films. This extraordinary behavior is credited to the highly interconnected architecture of the film that fosters an optimal and homogeneous dispersion of Pt NPs, thereby enhancing transport properties to the NP surface.

Acknowledgement

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (2022-0-00943).

고분자 전해질막 연료전지의 막전극 접합체의 전기화학적 특성에 균열이 미치는 영향

권예림, 유호준, 김정수, 송동근, 이영조, 홍승혁, 이수민, 조구영*

Effects of cracks on electrochemical characteristics of membrane electrode assemblies of polymer electrolyte membrane fuel cells

Y. R. Kwon, H. J. Yoo, J. S. Kim, D. K. Song, Y. J. Lee, S. H. Hong, S. M. Lee, G. Y. Cho* 단국대학교 기계공학과

Key Words : PEMFC, MEA(membrane electrode assembly), EIS(electro impedence spectroscopy), Crack

1. 서 론

고분자 전해질막 연료 전지(PEMFC)의 MEA(Membrane Electrode Assembly)는 고분자 전해질(Nafion®)과 Pt/C 로 구성된다. 그러므로 PEMFC의 전기화학적 특성은 MEA의 이온전도도, 기체투과도, Pt loading, 다공성 등의 특성에 크게 영향을 받는다. 이러한 MEA 성능 결 정 요인들은 핫 프레스 온도 및 압력과 같은 제조 요소로 달라 질 수 있 다. 제조 요소와 마찬가지로 MEA의 특성은 보관 변수에 따라 변경될 수 있다.

본 논문에서는 MEA가 보관중 접혀서 파손되었을 때의 성능을 전기 화학적 특성을 평가하여 기계적인 파손의 영향을 확인하였다.

2. 실험

본 연구에서는 4.96cm²의 활성화 면적을 갖는 상용 MEA (CNL MEA C Type)와 상용 GDL (SGL GDL 39BB)을 사용하였다. MEA 의 Nafion® 은 NR211 (Chemours)로 제작되었고, Ionomer는 D521 (Chemours)로 제작되었다. MEA 전극의 Pt Loading은 Anode와 Cathode 모두 0.4mg/cm²이다.

연료전지 특성 평가는 상온(25℃)에서 진행하였다. Fuel Cell Test Station (워나, Korea)을 사용하여 PEMFC의 연료극에는 H2를 공급 하였고, 공기극에는 막가습기를 이용하여 가습한 공기를 공급하였다. 두 기체의 온도는 25℃로 공급되었다.

연료전지의 전기화학적 특성을 측정하기 위하여 상용 Potentiostat (HCP-803, BioLogic, France)을 사용하였다. 연료전지의 전기화학적 거동을 분석하기 위하여 j-V-P(전류밀도-전압-출력밀도) 곡선과 전기화 학 임피던스 분광법(Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS) 를 측정하였다.

Fig. 1(a)에는 MEA가 접혀서 파손되는 개략도를 나타내었으며, Fig. 1(b)에는 개략도를 실제 적용한 이미지를 나타내었다.





(a) Schematics of press

(b) Experiments

Fig. 1 experiments set-up

3. 실험 결과 및 고찰

접힌 MEA 의 활성화 면적에 48 시간 동안 압력을 가하여 MEA의 파 손을 유도하였다. 이후 파손된 MEA로 연료전지의 전기화학 특성을 평가 하였다. Fig. 2(a)에 연료전지의 j-V-P 곡선을 나타내었다. 48 시간 동안 접힌채로 압력을 가해진 MEA를 사용한 PEMFC 성능이 감소하였다.

Reference의 max power density는 544*m W/cm*²이고, 접힌 mea 의 max power density는 453 mW/cm²으로 16.7% 성능이 하락한 것 을 Fig. 2(a)를 통하여 볼 수 있다. 또한 Fig. 2(b)를 보면 catalyst layer 가 접혀서 crack이 발생한 것을 관찰할수 있다.

선행 연구에 따르면 GDL(gas diffusion layer)과 CL(caltalyst layer) interface 공극은 flooding으로 이어지고 접촉 면적을 감소시킨다고 보고 되었다.[2] 접힌 mea의 max power density가 감소한 이유는 crack으로 인해 CL과 GDL사이에 계면공극이 발생하여 성능이 하락한 것으로 판단 된다.



(a) j-V-P curves of PEMFCs

(b) Image the mea with mechanical crack

Fig. 2 experiments conclusion

후 기

- (1) 이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기 술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20213030030260, 항공용 모 빌리티를 위한 연료전지 경량화 기술 개발)
- (2) 이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 산국산업기술 진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0017120, 2023년 산업혁신 인재성장지원사업)
- (3) 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지 원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00213741).

- O'hayre, R., Cha, S.-W., Colella, W., Prinz, F. B., (2016). Fuel cell fundamentals. John Wiley & Sons.
- (2) Ming Chen, Chen Zhao, Fengman Sun, Jiantao Fan, Hui Li, Haijiang Wang, (2020) Research progress of catalyst layer and interlayer interface structures in membrane electrode assembly (MEA) for proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) system, eTransportation, 5, 2590-1168

마이크로 그리드의 에너지 저장장치 활용 유무에 따른 그린수소 생산 비교

박연욱, 배지웅*

Comparison of green hydrogen production without or with energy storage utilization in microgrid

Y. Park, J. Bae*

한양대학교 기계공학부

Key Words: Green hydrogen production, Renewable energy, Water electrolysis, Energy storage system, Micro grid, Simulation

1. 서 론

그린수소는 풍력, 태양광과 같은 신재생에너지로 수전해 장치를 작동시켜 생산한다. 신재생에너지의 불안정한 전력공급 특성은 수전해 장치 운영에 악 영향을 끼친다. 한 예로, 수전해 장치는 공칭부하 일정 비율(10-40%) 이하에 서 산소 수소 기체 혼합에 의한 폭발위험이 증가해 작동이 중단되어야 하고, 이는 그린수소 생산성 및 경제성을 떨어트린다. 본 연구에서는 그린수소 생 산 요소가 포함된 마이크로 그리드를 구성하고, 이를 시뮬레이션 하여 에너 지 저장장치 사용으로 수전해 장치로의 전력 공급을 안정시켜 그린수소 생산 성과 경제성을 향상시킬 수 있는 방안에 대해 논의해보고자 한다.

2. 그린 수소 생산 그리드 구성 및 시뮬레이션

본 연구에서는 에너지 저장장치(Energy storage system, ESS)를 활용한 마이 크로 그리드 모델과 활용하지 않은 모델을 비교하였다. (Fig. 1) 이는 시뮬레이 션을 통해 구현하였으며, 수전해 장치, 에너지 저장시스템, 컨버터, 태양광 및 풍력 발전 요소 등에 대한 파라미터 및 데이터를 설정하였다. 하루 24시 중 낮 시간은 6-18시, 그 외 시간은 밤 시간으로 설정해 시간에 따른 재사용 에너지 의 간헐적 특징을 반영하도록 하였다. 수전해 장치의 작동 중단 거동은 공칭 부하의 10%에서 일어나도록 설정해, 에너지저장장치의 효과를 보수적으로 평가하도록 하였다. 시뮬레이션 시간은 180시간으로 설정하였고, 두 모델에 서 수소생산에 투입되는 총 에너지는 같도록 조정하였다.



Fig. 1 Micro grid model of green hydrogen production without (a) and with (b) ESS

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

데이터셋은 10초 단위로 얻어, 180시간 동안 총 64,000여개의 데이터 셋을 얻었다. 먼저, 에너지 저장 장치를 사용하지 않은 모델과 사용한 모델의 시간 에 따른 수소생산량을 비교하였다(Fig. 2). 또한, 그린수소 생산에 있어 신재생 에너지의 변동성에 ESS가 미치는 영향을 파악하기 위해,두 모델에서의 낮과 밤 시간의 시간당 수소생산량 평균값을 비교하였다 (Fig. 3).



Fig. 2 Green hydrogen production without and with ESS



Fig. 3 Green hydrogen production rate of the two models at total day and night

Fig. 2에서, 180시간동안 에너지 저장장치를 사용한 경우 218 kg, 사용하지 않은 경우 168 kg로 약 30% 더 많은 수소를 생산하였다. 이는 ESS를 사용하지 않은 경우, 태양광 발전이 불가능한 밤 시간에 재생 에너지 발전량이 일정량 이하로 떨어져 수전해 장치의 작동이 중단되었기 때문으로 해석된다.

또한, Fig. 3와 같이 두 모델에서 밤과 낮 시간 각각에서의 시간당 수소생산 량의 평균값을 비교하였다. 낮 시간 동안의 시간당 수소 생산량은 ESS를 사 용하지 않은 모델의 경우 1.76 kg/h, 사용한 모델의 경우 1.93 kg/h, 밤 시간 동 안은 0.01 kg/h, 0.41 kg/h로 ESS를 사용한 모델이 낮과 밤 시간 모두 시간당 수 소 생산량이 많았다. 이때, 두 모델에서 낮과 밤시간의 생산량 차이를 보면 ESS를 사용하지 않은 모델의 경우 1.75 kg/h, 사용한 모델의 경우 1.52 kg/h 로 ESS를 사용한 모델에서 차이가 적었다. 이는 그린수소 생산 마이크로 그리드 에서 에너지 저장장치 사용으로 신재생 에너지의 간헐성으로 인한 수전해장 치의 불안정한 수소생산 특성을 완화시킬 수 있음을 시사한다.

참고문헌

P. Haug, B. Kreitz, M. Koj and T. Turek, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (2017) 15689–15707.

이차전지 후막전극 조성에 따른 율속성능 개선

이민규, 배지웅*

Performance improvement of rate capability by adjusting thick electrode composition for secondary batteries

M. LEE, J. BAE^{*}

한양대학교 기계공학부

Key Words : Thick electrode, Li-ion battery, Rate capability, NCM622, Carbon black, PVDF

1. 서 론

지구온난화가 세계적인 이슈가 되면서, 화석 연료를 대체할 이차전지의 중 요성이 점차 커지고 있다. 다양한 분야에 이차전지가 활용됨에 따라 고용량 배터리의 필요성이 대두되고 있고, 후막전극을 이용하여 고용량 배터리를 제 조하고자 한다. 전극의 두께를 70µm에서 320µm로 증가할 때 부피 에너지 밀 도가 19% 개선되기 때문이다.^[1] 그러나 후막 전극은 표면 균열과 높은 내부 저항이라는 문제점이 있다.^[2] 따라서 이번 연구는 표면 균열과 내부 저항을 모두 최소화하는 최적의 조성을 찾으며 동시에 고성능 이차전지를 위한 최적 의 고에너지 밀도 조성을 찾는 것을 목표로 했다.

2. 실험 과정

NCM622:Carbon Black:PVDF를 90:5:5wt%로 섞고 NMP 용매 2ml을 용매 로 슬러리를 제조하였다. Thinky mixer를 이용하여 15분,2000rpm으로 믹싱 작 업을 진행한 후, 이를 Al 호일에 올려 놓은 상태에서 1050µm의 닥터 블레이 드로 캐스팅 작업을 수행하였다. 120°C 오븐에서 3시간 동안 건조 작업을 진 행하였고, 완성된 전극을 수동 편치 절단기를 통해 직경 13mm의 크기로 절 단한 후 전극의 표면 상태를 관찰하였다. Carbon Black과 PVDF의 비율만을 조절하여 비율에 따라 *C_XP_Y* (X:Y=CB:PVDF)로 지정하고 동일한 공정으로 다른 조성 비율의 전극을 제조했으며, 배터리 셀 조립을 통해 성능을 테스트 했다. C4P6부터 C2P8까지 프로토타입 전극을 제조한 후, PVDF가 많을수록 표면 균열이 감소하는 것을 확인했다. 이를 Carbon Black의 양으로 인해 바 인더 역할을 하는 PVDF의 양이 상대적으로 부족하다고 유추하였다.





Fig. 1 surface of (a) C2P8 (b) C4P6 and SEM image of (c) C2P8 (d) C4P6

Table 1 Results of Each Casting					
	C4P6	C35P65	C3P7	C25P75	C2P8
mg/cm^2	41.9	43.41	45.47	41.68	45.76
mAh/cm^2	6.704	6.946	7.276	6.668	7.322



Fig. 2 (a) EIS results and (b) Total resistances of LiNMC electrodes (orange: C4P6, gray: C2P8, and blue: C3P7).

Carbon Black과 PVDF의 비율에 따라 표면 균열 상태와 내부 저항이 달라진 다는 것을 확인했다. Fig. 1(a)와(b)를 통해 PVDF의 양이 많아질수록 표면 균 열이 적어지는 것을 알 수 있었고, Fig. 1(c)와 (d)의 마이크로 단위의 SEM 사 진을 통해 이를 확인할 수 있었다. Fig. 2(a)를 통해 각 C4P6, C3P7 그리고 C2P8의 내부 저항 상태를 확인했으며, Fig. 2(b)를 참고하여 C3P7의 Peak의 총 저항 값이 가장 작다는 것을 확인했다. 이와 같은 결과를 통해, 전기 전도 역할을 하는 도전재가 내부 균열에는 부정적인 영향을 주는 한편, 일정 양의 경우 내부 저항에 도움이 된다는 것을 파악할 수 있었다.^[2] 따라서 더 많은 조 합들을 통해 표면 균열과 내부 저항에 최적화된 조성을 탐구해야 한다.

참고문 헌

(1) A. M. Boyce, D. J. Cumming, C. Huang, S. P. Zankowski, P. S. Grant, D. J. Brett and P. R. Shearing, ACS Nano, 2021, 15, 18624–18632.

(2) J. Wu, Z. Ju, X. Zhang, K. J. Takeuchi, A. C. Marschilok, E. S. Takeuchi and G. Yu, Nano Letters, 2021, 21, 9339–9346.

복합 폴리머 전해질의 실리카 함량에 따른 전기 화학적 성질과 기계적 성질의 연관성

조민, 배지웅*

Correlation between electrochemical and mechanical properties according to SiO₂ content in composite polymer electrolyte

M. Cho, J. Bae*

한양대학교 기계공학부

Key Words : CPE, SSE, SiO₂, PEO, Li metal Battery, Ionic conductivity

1. 서 론

액체 전해질을 사용하는 리튬이온 배터리의 누수 가능성, 화재 위험성, 높은 제조 단가 등의 이유로 인하여 고체 전해질을 이용한 전고체전지에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{[11} 이 중 특히 폴리머를 이용한 고체 전해질이 차세대 전해질로 주목받고 있는데, 실리카를 혼합하여 셀 성능 을 높인 복합 전해질에 관한 연구가 다수 진행되었다.^{[21} 그러나 실리카 함 량에 따른 이온 전도도 향상 경향성과 그 이유는 아직 명확하게 밝혀지지 않았다. 이에 실리카 함량에 따른 폴리머 복합 고체 전해질의 전기화학 및 기계적 특성의 경향을 분석하여 각 특성들 간의 연관성을 찾고자 한다.

2. 전해질 성능 및 강성 테스트

2-1. EIS Test

셀을 조립하여 전해질 자체 이온 전도도를 알아보기 위한 임피던스 분 석(EIS: electrochemical impedance spectroscopy)를 진행하였다. EIS 분석을 통해 전해질 저항을 측정하였으며 식(1)에 기반하여 이온 전 도도를 계산하였다. 이때, L은 전해질의 두께 (cm), A는 전해질의 면적 (cm²)을 뜻한다.

$$\sigma = \frac{L}{R^* A} \text{ (S/cm^2)} \qquad (1)$$

2-2. 인장 시험

전해질 필름을 ISO-527-2 type 1BA 규격으로 균일하게 절단하여 2kgf 로드셀을 이용해 인장 시험을 진행하였다. 필름이 파단 될 때까지 일 정한 인장력을 주어 각 샘플 들의 기계적 강성을 측정하였다. 데이터 수집 및 분석은 Helio 7 program을 이용하였다.

2-3. Cell Cycle Test

실리카의 함량이 0, 2, 10 wt%로 다른 복합전해질을 제작하여 Fig 2.과 같은 구조의 셀을 조립하였다. 충방전을 100회 진행하고 셀의 용량보존율 을 측정하였다.



Fig. 1 (a) Ion Conductivity according to SiO2 content, (b) Ionic Conductivity at 60° C

이온 전도도를 계산한 결과 실리카 wt%이 증가함에 따라 이온 전도도가 증가하다가 2wt%에서 최댓값을 보이고 이후로는 오히려 감소하는 경향을 보였다. 이는 실리카가 폴리머 필름에 추가되면 폴리에틸렌옥사이드를 비정 질 상으로 만들고 실리카의 입자 계면을 통해 Li 이온의 전도성을 높이기 때문이다.[3] 그러나 일정 임계점 이상으로 실리카가 증가하면 오히려 실리 카 입자가 응집하며 이온 전도도가 감소하게 된다.[4]



Fig. 2 (a) Max Stress, (b)x Elastic modulus comparison

인장 시험으로 응력-변형도 곡선을 그리고 극한 강도, 탄성계수 값을 계산하였다. 전반적으로 실리카 wt%가 증가할수록 기계적 강성이 증가 하는 경향을 보였으나, 2wt% 까지의 탄성계수 값은 오히려 감소하는 것 을 볼 수 있다. Fig 2.-(b)와 Fig 1.-(b)를 비교해 보았을 때, 이온 전도 도와 탄성계수 값은 반비례 한다.

3-3. Cell Cycle test 결과

Table 1 Capacity retention rate comparison

	PEO	2wt%	10wt%
Capacity retention rate	23.31%	39.96%	61.3%

충방전 결과를 바탕으로 최고 비용량 대비 충방전 100회 후의 비용량을 비교한 용량 보존율을 계산하였을 때, 실리카 함량이 높아질수록 증가하는 경향을 보였는데, 이것은 입자들 사이의 강한 결합에 의한 것으로 기계적 강 성과 연관 지어 설명할 수 있다. 입자 사이의 강한 결합은 이온 전도도와 기계적 강성의 향상 및 셸 성능에 기여하는데[5], 실리카가 증가하면 결합이 강화되지만, 과량의 실리카는 폴리에틸렌옥사이드와 함께 응집 효과를 일으 켜 이온 전도도를 감소하게 만든다. 그러나 입자들 간의 결합은 더욱 강화되 기에 기계적 강성과 셸 수명 성능은 증가하는 것으로 추정된다. 이를 통해, 실리카의 함량에 따라 전해질의 성능이 어떻게 변화하는지 알 수 있으며 적 절한 이온 전도도와 셸 수명 성능을 얻기 위해서는 강한 결합이 일어나면서 도 응집 효과는 과하게 일으키지 않는 실리카 조성비를 찾는 것이 복합 폴리 머 전해질 제작의 주요 과제라는 사실을 알 수 있다.

- Zhuo Li, Jialong Fu, Xiaoyan Zhou, Siwei Gui, Lu Wei, Hui Yang, Hong Li, and Xin Guo, Advs. 10 (2023) 2201718
- [2] Santosh Mogurampelly and Venkat Ganesan, Macromolecules. 48(8) (2015) 2773-2786
- [3] Sanaz Ketabi and Keryn Lian. Elect Acta. 103 (2013) 174-178
- [4] Wei Liu, Seok Woo Lee, Dingchang Lin, Feifei Shi, Shuang Wang, Austin D. Sendek and Yi Cui, Nat Energy 2. 35 (2017) 17035
- [5] Dingchang Lin, Wei Liu, Yayuan Liu, Hye Ryoung Lee, Po-Chun Hsu, Kai Liu, and Yi Cui, Nano Lett. 16(1) (2016) 459-465

유한요소해석을 이용한 액화수소 왕복동 펌프 Rod의 열 및 구조 설계

김현세^{1,2*}, 함영복¹, 박중호¹, 임의수¹

Thermal structural analysis of a liquid hydrogen reciprocating pump using finite element methods

H. Kim^{1,2*}, Y.-B. Ham¹, J. Park¹, E. Lim¹

한국기계연구원 고효율에너지기계연구부¹, 과학기술연합대학원대학교 융합기계시스템학과²

Key Words : Finite element methods, Liquid hydrogen pump, Coupled-field analysis, Reciprocating, Plunger

1. 서 론

온실가스를 저감하기 위한 노력이 세계 각국에서 이루어지고 있으며, 이의 일환으로 수소를 이용한 자동차, 선박, 드론 등에 대한 연구가 활발 히 이루어지고 있다 [1,2]. 수소를 생산하여, 이송하고, 이를 충전소에 공 급하는 데 수소 탱크, 펌프 등의 개발이 필요하다 [3]. 수소를 액화시켜, 이동, 저장할 경우 부피가 줄어드는 장점이 있어, 비용을 줄일 수 있다. 본 연구에서는 액화수소를 충전소에 저장할 때 필요한 고압 펌프를 개발 하고자 하였다. 이 고압 펌프는 왕복동 방식이며, 기존에 개발된 펌프와는 다른 구조를 가지고 있다 (Fig. 1). 이를 위해, 본 논문에서는 유한요소해 석을 이용한 액화수소 펌프 Rod의 열 및 구조 설계를 수행한 결과를 설 명하고자 한다. 극저온의 환경에서 작동하므로 열해석과, 고압의 힘을 이 겨내야 하므로 구조해석을 수행하였다.

2. 열구조 연성 해석

수소를 액화하여, 낮은 온도로 만들어 주는 것이 중요하다. 한편, 펌프 의 Rod는 상온에서 저온까지 온도분포가 있는 경우, 변형이 일어나게 되 며, 이를 예측하여 설계하는 것이 필요하다. 상용 유한요소해석 프로그램 인 Ansys를 이용하여 열-구조 연성 해석을 수행하였다. 상부 20℃ 하부 -250℃ 일 때, 변형량을 예측하였다. Rod의 재료는 SUS 316L이고 탄 성계수 E=193 GPa을 입력하였다. 그리고 이번에는 Rod가 실축일 경우 와 중공축일 경우의 변형량을 계산하여 비교하였다.







3. 결과 및 고찰

상부 20℃ 하부 -250℃ 일 때, 변형량을 예측한 결과 변형량은 최대 dx=8.7 µ m, dy=500.0 µ m 로 계산되었다. Fig. 2(a)에 변위해석결과가 나와 있고, (b)에는 온도분포가 나와 있다. 그리고 하중 307 kN을 가했을 때, 실축 D=60 mm인 경우, 169 µ m, 동일 단면적의 D1=80 mm, D2=53 mm인 경우, 역시 같은 값을 보여주었다(Fig 3). 본 펌프는 극저 온의 환경에서 작동하는 만큼, 해석 조건 기준 y 방향 변형량이 온도에 3배 민감한 것으로 보인다. 또한 상온에서 제작한 피스톤의 x 방향 변형 량도 수십 µ m로 예측되므로 벽면과의 누설도 고려되어야 한다. 향후 이 결과를 활용한다면, 좀 더 효율적으로 펌프의 개발이 가능할 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 산업통상부 한국에너지기술평가원 (KETEP) 에너지기술개 발사업 (20203010040020, 액화수소 충전소용 100 kg/h, 90MPa급 극 저온 왕복동 펌프 개발)의 지원으로 수행되었음.

- Sdanghi, G., Maranzanab, G., Celzarda, A., Fierroa, V., 2019, *Review of the current technologies and performances of hydrogen compression for stationary and automotive applications*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 102, 150-170.
- (2) Han, J., Feng, J., Chen, P., Liu, Y., and Peng, X., 2022, A review of key components of hydrogen recirculation subsystem for fuel cell vehicles, Energy Conversion and Management: X, 15, p. 100265.
- (3) Petitpas, G., and Aceves, S. M., 2018, Liquid hydrogen pump performance and durability testing through repeated cryogenic vessel filling to 700 bar, Int. J. of Hydrogen Energy, 43:39, pp. 18403-18420.

안개수집기 포집 및 배수 효율 향상을 위한 표면 코팅과 구조 디자인 연구

전우민¹, 류건석¹, 최장혁¹, 신지우¹, 이다은¹, 한건구¹, 김관래^{1*}, 안지환^{1,2*}

Surface coating and structural design study for enhancing capture and drainage efficiency of fog collectors

W. Jeon¹, G. Ryu¹, J. Choi¹, J. Shin¹, D. Lee¹, G. Han¹, K. Kim^{1*}, J. An^{1,2*}

서울과학기술대학교 MSDE학과¹, 포항공과대학교²

Key Words: Atomic layer deposition, Alumina, Water collecting efficiency, Surface wettability, Laplace pressure, Honeycomb structure

1. 서 론

안개수집기는 전세계적인 담수 부족 문제를 해결하기 위한 대안 중 하나로 떠오르고 있다. 하지만, 기존 장치는 재래 방식의 폴리머 그물망으로 물 수집 효율에 한계가 있다. 따라서, 안개 수집 효율을 개선하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 가운데¹⁾ 본 연구에서는, 안개 수집 그물망의 포집 효율을 개선 하기 위해 PEALD (Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition) 방식을 이용 하여 친수성 Al₂O₃ 박막층을 중착하였으며, 배수 효율을 개선하기 위해 방향 성 흐름이 유도되는 그물망 구조를 설계했다.

2. 물 수집 효율 개선 그물망 설계

습윤성 개선을 위해 PEALD 방식을 활용한 ALO3 박막층을 시편에 증착 하여 친수성 표면으로 개질한다. 또한, 배수 효율 개선을 위해 라플라스 압력 구배를 통한 방향성 액적 유동 원라를 적용하여 설계한 벌집 형태의 그물망 디자인을 적용한다. 본 연구에서 사용된 시편은 70×50×1 mm³의 규격을 가 지고 있으며 MJP방식의 3D-프린터를 통해 사출되었다 (Fig.1). 안개 지역의 완벽한 구현을 위해 총 두 가지의 상황이 조성되었다². 첫째는 액체 상태의 안개 입자 포집을 위한 실험으로, 안개 입자를 1시간동안 가했을 때의 물 수 집량과 액적 이동 추이를 관찰하였다. 밀폐된 아크릴 챔버(30×25×35 cm³) 내에 가습기와 선풍기로 일정한 온습도와 풍속(15~20°C, 90~100%, 2.0~2.5 m/s)의 안개 지역 상황을 가정했다. 두번째는, 기체 상태의 수증기를 새벽 시 간의 온도 차이로 인한 응축 실험으로, 펠티어 쿨라를 이용해 시편은 5~10° C, 대기 중은 25~30° C 범위로 유지되었다.



Fig. 1 (a) Raschel Mesh, (b) Wire mesh, (c) Honeycomb mesh

3. 실험 결과 및 고찰

실험은 크게 증착 사이클에 대한 물 수집 효율 비교와 그물망 구조 간 수 집 효율 비교로 설계되었다. 실험 결과 PEALD 공정으로 Al₂O₃ 박막층이 300 cycle 증착된 시편이 기존 그물망 대비 포집 효율이 약 1.9배 향상된 결 과를 보였다 (Fig. 2(a)). 벌집 모양으로 설계된 시편은 기존 Raschel 또는 Harp 모양의 그물망에 비해 배수 효율이 약 1.5배 향상된 결과를 보였다 (Fig. 2(b)). 벌집 구조에 Al₂O₃ 박막을 증착한 후 실험을 진행한 결과, 집수 효율이 2.532배 향상됨을 확인할 수 있었다(Table 1).



Table 1 Summary of Water Collecting Efficiency Improvement





(b) Test Result on different types of mesh structure Fig. 2 Water Collecting Test Result

4. 결 론

본 연구에서는 안개 포집을 위한 친수성 표면 개질 및 배수 효율 향상을 위한 벌집형태 그물망 구조 설계가 이루어졌다. 친수성 표면 및 벌집 구조 그 물망을 이용한 안개 수집기는 기존 장치 대비 약 2.5배 향상된 집수 효율을 보였다.

- Rivera, J. de D. (2011). Aerodynamic collection efficiency of fog water collectors. Atmospheric Research, 102(3), pp.335–342. doi:https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.08.005.
- (2) Seo, D., Lee, J., Lee, C. and Nam, Y. (2016). The effects of surface wettability on the fog and dew moisture harvesting performance on tubular surfaces. Scientific Reports, 6(1). doi:https://doi.org/10.1038/srep24276.

Green Manufacturing을 위한 빅데이터 기반 자동 조명 센서 연구

최연지¹, 장호영², 김창수^{1*}, 황현숙³

Big data-driven automated lighting sensor research for green manufacturing

Y. Choi¹, H. Y. Jang², C. S. Kim^{1*}, H. S. Hwang³

부경대학교 정보시스템¹, 부경대학교 컴퓨터공학², 한영디에스㈜³

Key Words : IoT, Green manufacturing, Lighting, Automatic system

1. 서 론

Green Manufacturing을 위한 공장의 자동 조명 제어는 지속가능성을 증가 시키고 에너지 절약을 통해 Green Manufacturing의 목표인 환경 오염을 방 지하여 전력 사용으로 인한 온실 가스 배출량을 감소시킴으로써 실현할 수 있다 [1][2]. 본 논문에서는 공장의 과도한 전력 사용을 대비하여 에너지 절 약을 위한 빅데이터 기반의 단계별 Green Manufacturing 조명 자동 조절 시 스템의 개발을 제안한다. 제안하는 방법은 Philips Hue Bridge와 스마트 조명, 라즈베리파이를 와이파이로 연결하여 환경 요인 센서 데이터를 실시간으로 수집하고 요인 간 분석을 통하여 자동제어를 목적으로 한 시스템을 개발한다. 다양한 실내 환경 요인들을 고려하여 일출, 일몰 시각, 날씨, Light Dependent Resistors (LDR) 센서를 통하여 생활 반경 데이터를 수집한다. 조명 자동제어 시스템 구현을 통해 실시간으로 수집되는 환경 요인 빅데이터를 활용하여 추 후 다른 에너지 관리 방법들과 비교해 공장 내부에 사용되는 소비 전력의 과 도한 사용을 줄이는 성능을 가져오고 실시간 데이터 전송을 가능하게 하여 사용자 편의를 제공을 기대할 수 있다.

2. 조명 센서 자동 조절 시스템 개발

자동 조명 조절 센서 시스템을 개발하기 위해 사용되어진 IoT 디바이스로 는 Philips Hue Bridge이며 이는 스마트 조명과 연결하여 조명을 제어할 수 있 도록 한다. 또한, 라즈베리파이를 설치하여 API 값을 웹 서버에서 Philips Hue Bridge로 전달이 가능하며 이러한 기능을 통해 빅데이터 기반의 제어가 가능 하도록 하였다. Fig. 1은 개발된 시스템의 흐름도를 보여주고 있다. 웹서버에서 기존의 조명 밝기 데이터를 조회하여 와이파이를 통해 라즈베리파이로 데이 터를 전달한다. 라즈베리파이에서 Philips Hue Bridge를 통해 Philips Hue 스마 트 조명을 조절할 수 있는 API를 사용하여 ZigBee통신망을 통해 Philips Hue 스마트 조명의 밝기를 조절한다.



3. 실험 결과 및 고찰

실험 데이터는 부경대학교 u-IT 도시방재 및 공간정보 연구실에서 실시간 으로 수집한다. 현재까지 수집된 데이터의 개수는 총 20,000개이다. 데이터의 종류에는 조명에 영향을 미치는 환경적 요인에 대해 파악하기 위해 실시간 날씨 정보, 출근 및 퇴근 시간, LDR 센서를 연결하여 데이터를 수집하였다. 따라서 데이터 요인간의 분석을 위해 사용된 요인의 개수는 총 4개이다. 이러 한 환경 요인 데이터를 수집하기 위해 클라우드 기반의 서버에 웹 서버와 데 이터베이스 서버를 구축하여 실시간으로 데이터를 수접하고 저장, 수정, 삭제 기능이 가능하도록 웹 서버에서 어플리케이션을 개발하였다. 데이터를 저장 하는 주기는 10분이다. Table 1 은 조명 센서의 자동 조절을 위한 실시간 수집 데이터 형식을 나타낸다. Fig. 2는 클라우드 서버와 웹서버, 데이터베이스 서버 의 구조를 나타낸다.



Fig. 2 Cloud server structure

자동 조명 센서 시스템은 조명을 끄고 키는 기능만을 수행하는 것이 아닌 조도를 조절하며 적당한 수준의 밝기를 자동으로 유지할 수 있는 기능을 가 지고 있다. 또한 모바일 앱을 통해 조명의 원격 조절이 가능하며 공장 내 사 람이 없을 경우 알람을 통해 사용자로 하여금 조명 소등 추천 알림을 주어 전력 사용의 낭비를 방지하는 이점이 있다. 이러한 기능은 Philips Hue 스마트 조명을 사용하였으며 조명을 조절하는 데에는 3가지의 밝기 레벨을 가지고 있다. Philips Hue 스마트 조명은 0W에서부터 100W까지 조절이 가능하다. 향 후에는 본 연구에서 개발된 수집 서버에 수집된 빅데이터를 기반으로 조명 센서의 밝기를 자동으로 조절하고 그에 따라 전력의 사용을 절감 및 온실가 스 배출을 줄여 Green manufacturing의 목표를 달성할 수 있도록 할 계획이다.

Table 1 Big data format for lighting control system

Datetime	Weather	Rainfall	LDR
2023-06-01 12:10:00	Sunny	False	800
2023-06-01 12:20:00	Cloudy	False	798
2023-06-01 12:30:00	Sunny	False	787

후 기

본 연구는 2023 현장연계 미래선도인재양성 지원사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

- Xia, T., An, X., Jian, Y., Xu, Y., Zheng, M. and Pan, E., 2023, Efficient Energy Use in Manufacturing Systems – Modeling, Assessment, and Management Strategy., Energies, 16, 1095.
- (2) Oh, E., Son, S. Y., 2022, Toward dynamic energy management for green manufacturing systems., IEEE Communications Magazine, 54, 10, 74-79.

전극 표면에 침투된 SDC 상위층을 이용한 저온용 고체산화물 연료전지의 성능 향상

김재민¹, 정희윤¹, 위시은¹, 천시현¹, 김아영¹, 박건우¹, 최민기^{2*}, 심동하^{1*}, 안지환^{1,3*}

Performance improvement of low-temperature solid oxide fuel cell using SDC overlayer infiltrated on the electrode

J. Kim¹, H. Jeong¹, S. Wi¹, S. Cheon¹, A. Kim¹, G. Park¹, M. Choi^{2*}, D. Shim^{1*}, J. An^{1,3*}

서울과학기술대학교 MSDE학과¹, 서울과학기술대학교 미래에너지융합학과², 포항공과대학교 기계공학과³

Key Words: LT-SOFC, Infiltration, SDC, Over-layer

1. 서 론

고체 산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)는 에너지 전환 효율성이 높으며 연료 선택의 폭이 높은 에 너지 변환 장치이다[1]. 하지만 높은 온도(800~900°C)에 서 작동하기 때문에 상용화에 어려움이 있다. 이를 극복 하기 위해 약 450°C의 낮은 온도에서 작동하는 LT-SOFC (Low-Temperature SOFC)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. 본 연구에서는 저온용 SOFC 상용화를 위해 백금 캐소드에 침투법을 이용해 SDC (Samarium Doped Ceria)를 코팅하였다. 전기화학적 성능을 측정하여 최대전력밀도와 열적 내구성 향상을 확인하였다.

2. 실험 과정

YSZ (Yttria Stabilized Zirconia) 전해질 위에 스퍼터링 공정으로 180nm의 백금 전극을 각각 증착하였다. 탈이온 수와 에탄올을 용매로 이용하여 SDC 침투 용액을 제작한 다. 백금 캐소드 위에 0.01M(몰농도), 0.005M, 0.0025M 용액을 침투시킨 후 용매 증발을 위해 70° C에서 1시간 건조 후, 600° C에서 2시간 소결하였다. 제작된 셀은 LAMBDA system 사의 Potentiostat을 이용하여 최대전력 밀도와 열적 내구성을 비교하였다. 또한 JEOL 사의 SEM 을 이용하여 단면, 표면을 관찰하였고 EDS를 통해 원소 분석을 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1(a)은 각 샘플의 최대전력밀도를 확인하기 위한 IVP 그래프이며, 침투된 SDC 상위층 샘플들은 대조군 0M 보다 성능이 높아진 것을 확인할 수 있다. 또한 SDC 의 몰농도가 높아질수록 성능이 향상되는 것을 볼 수 있 다. 특히 0.01M(4.75mW/cm²) 은 대조군 0M (1.22m W/cm²)에 비해 최대전력밀도가 약 289% 증가하였다. 이 결과의 원인은 SDC가 전극에 침투하여 삼상계면의 밀도 를 높였을 것으로 추정된다.

Fig. 1(b)는 각 샘플의 열적 내구성을 확인하기 위해 6시 간동안 측정된 전류값을 나타낸 그래프이다. 0.0025M, 0.005M, 0.01M 샘플은 열적 내구성이 각각 39%, 55%, 58% 향상되었다. SDC 몰농도가 증가할수록 열적 내구성 이 향상되었다. 이는 SDC가 백금 사이로 침투하여 물리 적 제약을 가해 열화를 막은 것으로 보인다.



Fig. 1 (a) Current density-voltage and power density curves at 450 °C (b) Current change of SOFCs for 6 hours

4. 결 론

이 연구는 전극에 침투된 SDC 상위층을 통하여 저온 고체 산화물 연료전지의 성능을 향상시키기 위해 진행되 었다. 전극의 성능 향상은 전기화학적 성능 분석으로 규 명되었다. 이를 통해 공기극의 최대전력밀도와 열적 내구 성이 0.01M 샘플에서 각각 289%, 58% 향상된 것이 확인 되었다. 이 연구 결과는 고성능의 저온 고체 산화물 연료 전지의 개발에 기여할 수 있다.

참고문 헌

[1] O'Hayre, R.P. et al, Fuel Cell Fundamentals. Hoboken, (NJ: John Wiley & Sons Inc,2016),12.

[2] Hong, S. *et al.*, 2017, 'Enhanced thermal stability of a gadolinia-doped Ceria capped metal electrode for durable low-temperature solid oxide fuel cells', *Journal of The Electrochemical Society*, 164(13). doi:10.1149/2.0261713jes.

이차전지 에너지밀도 향상을 위한 다공성 양극 후막 제조

안진형, 배지웅*

Manufacture of porous thick electrode for improving energy density of secondary batteries

J. An, J. Bae*

한양대학교 융합기계공학과

Key Words : Thick electrode, Li-ion battery, Slurry casting, Porosity

1. 서 론

휴대용 전자기기와 전기 자동차 시장의 급속한 성장으로 인해 리튬 이 온 배터리의 성능, 특히 더 긴 배터리 수명과 더 높은 에너지 밀도에 대 한 연구가 강조되고 있다⁽¹⁾ 양극 후막은 스택을 쌓을 때 활물질을 제외 한 나머지 요소의 비율을 최소화하고 그만큼 양극 활물질의 비율을 높 일 수 있기 때문에 에너지 밀도를 크게 향상시킬 수 있다⁽²⁾⁽³⁾ 하지만 양극 후막은 높은 밀도로 인해 전해질의 침투가 어려워 리튬 이온이 쉽 게 이동하지 못하는, 즉 이온 전도도가 낮다는 문제가 있다⁽⁴⁾ 따라서 본 연구에서는 양극 후막을 사용하여 에너지 밀도를 향상시킴과 동시에 기공을 형성하여 리튬 이온의 이동을 용이하게 하고, 나아가 기공의 크 기와 곡률을 조절하여 후막의 이온 전도도 저하 문제를 해결하고자 한 다.

2. 실험 과정

2.1 Wet Process

본 연구에서는 양극 후막을 제조할 때 습식 공정을 통해 제조하였으며, 아 래 Table 1의 파우더 조성비로 실험을 진행하였다.

Table 1 Powder o	composition	ratio of	Thick	Electrode
------------------	-------------	----------	-------	-----------

Powder Case	NMC622	Super P	PVDF	NaCl
1	1.8g	0.06g	0.14g	0.5g (20wt%)
2	1.8g	0.04g	0.16g	0.5g (20wt%)
3	1.8g	0.06g	0.14g	0.86g (30wt%)
4	1.8g	0.04g	0.16g	0.86g (30wt%)
(5)	1.8g	0.06g	0.14g	2g (50wt%)
6	1.8g	0.04g	0.16g	2g (50wt%)

양극 파우더(NMC622 : Super P : PVDF)의 중량비는 9:0.3:0.7, 9:0.2:0.8이 되 도록 1.8g:0.06g:0.14g과 1.8g:0.04g:0.16g의 두 케이스로 나누어 진행하였으며, NaCl은 전체 파우더의 20wt%, 30wt%, 50wt%가 되도록 0.5g, 0.86g, 2g을 각 케이스별로 투입하였다. 그 다음 NMP 용액을 각각 2㎡씩 투입하고 mixer를 통해 잘 섞어줘서 shury를 제조하였다. 그 뒤 알루미늄 호일(current collector) 에 doctor blade를 사용하여 shurry casting을 진행한 후 120°C 오븐에 건 조시켜 NMP를 말려주면 NaCl이 20wt%, 30wt%, 50wt% 포함된 양극 후막이 완성된다.



Thick Electrode

Fig. 1 Process of making porous thick electrode using NaCl

완성된 양극 후막을 다공성으로 만드는 과정을 Fig. 1에 도식적으로 표현하 였다. NaCl이 물에 잘 녹는 성질을 이용하여 후막의 NaCl을 DI water에 용해 시키고 다시 건조시켜 DI water를 말려주면, NaCl 결정이 있던 자리는 빈공간 으로 남게 된다. 인위적으로 형성된 이 빈공간(기공)을 따라 리튬 이온은 기 존의 양극 후막에서 보다 집전체로 원활하게 이동할 수 있게 될 것이다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 SEM Images and EIS test result



Fig. 2 SEM images of surface of the (a) conventional thick electrode, (b) Porous thick electrode with 20wt% NaCl



Fig. 3 Ion conductivity comparison graph

Fig. 2는 (a) NaCl이 없는 양극 후막과 (b) NaCl로 기공을 형성해준 양극 후 막의 표면을 SEM images를 통해 보여주며, Fig. 3은 NaCl의 유무에 따른 이온 전도도를 비교한 그래프이다. SEM image를 통해 NaCl을 사용한 후막이 다공 성 구조가 되었음을 확인하였으며, EIS test를 통해 Fig. 3과 같이 다공성 후막 이 가공이 없는 후막보다 이온 전도도가 크게 향상되었음을 확인하였다. 이를 통해 후막에 가공을 형성해주는 것은 이온 전도도 향상에 매우 중요한 역할 을 하며 필수적인 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Y. Kuang, C. Chen, D. Kirsch and L. Hu, Advanced Energy Materials, 9 (2019), 1901457.
- (2) M. Singh, J. Kaiser and H. Hahn, Journal of The Electrochemical Society, 162 (2015).
- (3) Z. Du, D. L. Wood, C. Daniel, S. Kalnaus and J. Li, Journal of Applied Electrochemistry, 47 (2017), 405–415.
- (4) D. J. Amot, K. S. Mayilvahanan, Z. Hui, K. J. Takeuchi, A. C. Marschilok, D. C. Bock, L. Wang, A. C. West and E. S. Takeuchi, Accounts of Materials Research, 3 (2022), 472–483.

FOPLP 기판 이송을 위한 진공모듈의 홀 간격에 따른 시뮬레이션 연구

고민성^{1,2}, 윤이섭¹, 김덕기¹, 공정식¹, 이주형², 김성철³, 백승엽^{1*}

Simulation according to hole spacing of the vacuum module for FOPLP substrate transfer

M. S. Ko^{1,2}, Y. S. Yun¹, D. G. Kim¹, J. S. Kong¹, J. H. Lee², S. C. Kim³, S. Y. Baek^{1*} 인덕대학교 융합기계공학과¹, 서울과학기술대학교 기계설계로봇공학과², 에이엠테크놀로지(주)³

Key Words : FOPLP, Vacuum module, Simulation

1. 서 론

현재까지 반도체 산업은 무어의 법칙에 따라 비약적인 발전을 해왔 다. 하지만, 전공정(Front-End)에서의 기술개발 한계와 생산원가 상승 으로 인해 실리콘 관통 전극(TSV)를 이용한 3D 패키지나 웨이퍼 레 벨 패키지(WLP)와 같은 후공정(Back-End) 기술개발이 요구되고 있 다. 후공정 중에서도 칩 내부에만 배치하던 입출력(I/O)단자를 칩의 바깥 영역까지 확장시켜 패키징하는 팬-아웃 웨이퍼 레벨 패키지 (FOWLP)나 팬-아웃 패널 레벨 패키지(FOPLP) 공정이 큰 주목을 받 고 있다. 이 공정들은 별도의 인쇄회로기판(PCB)을 사용하지 않고 패 키징하여 기존 패키지 대비 두께를 절반 수준으로 줄일 수 있고, 칩과 메인보드 사이의 배선이 짧아져 반도체 성능이 우수해진다. 특히, FOPLP 공정은 사각형으로된 패널에 다수의 칩을 생산하기 때문에 원 형의 웨이퍼에 생산하는 FOWLP 공정보다 약 3~5배 많은 칩을 생산 할 수 있다. 이에 FOPLP 공정을 이용한 양산화 연구가 활발히 진행되 고 있으며, FOPLP 기판을 연삭하는 시스템이 개발 및 설계되고 있다. 본 연구에서는 대면적의 기판을 안전하게 이송하기 위한 진공모듈을 설계하고, 진공 홀의 간격에 따른 기판의 변형량을 분석하였다.

2. 진공모듈 설계 및 해석조건 설정

FOPLP 기판 연삭시스템은 크게 연삭장비, 세정장치 그리고, 기판 을 연삭장비로 옮기고 가공이 완료된 기판을 다시 세정장치로 옮기는 이송로봇으로 구성되어 있다. 이송로봇에는 기판을 흡착하는 진공모 둘이 장착되어 있는데, 대면적의 기판을 손상없이 이송하기 위해서는 기판에 균일한 진공압이 작용되어야 한다. 이에 진공모듈 설계단계에 서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 적절한 진공 홀의 간격을 알아내고자 하였 다. Fig. 1은 진공모듈을 설계한 모습을 나타내며, 진공 홀의 개수는 16개 로 일정한 간격으로 배치하되 끝 홀 간격을 450, 475, 500mm로 조절하 여 총 3개의 모델을 설계하였다. 해석조건으로는 진공 홀과 기판이 접촉 되는 부분을 Bonded 조건으로 설정하고, Fig. 2와 같이 이송 중 기판의 변형량을 분석하기 위해 기판에 중력(Gravity)과 이송가속도(Feed Acceleration)를 부여하였다. FOPLP 기판은 이종소재로 총 500, m의 두께를 가지며 250, m는 구리(Copper), 250, m는 에폭시 레진(FR-4) 재 질로 설정하였다.



Fig. 2 Gravity & Feed Acceleration Settings





Fig. 3 Deformation of FOPLP Substrate

ANSYS 프로그램을 이용하여 총 3개의 진공모듈 모델을 통해 기판의 변형량을 분석하였다. Fig. 3은 기판의 변형량(Deformation)을 계산한 결과를 나타내며, (a)진공 홀 끝간 간격이 450mm일 때 기판의 최대 변형 량은 약 0.62mm, (b)진공 홀 끝간 간격이 475mm일 때 기판의 최대 변 형량은 약 0.31mm, (c)진공 홀 끝간 간격이 500mm일 때 기판의 최대 변형량은 약 0.35mm로 나타났다. 따라서, 16개의 홀을 가진 진공모듈의 끝 홀 간격은 475mm로 배치하는 것이 가장 적절할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 기계·장비산업기술개발 "600mm급 대면 적 FOPLP 기판 가공을 위한 전자동 지능형 복합 연삭시스템 개발" 과제번호(20018376) 연구비 지원으로 진행되었다.

참고문 헌

 A. Y. Moon, S. D. Kim, "Process Induced Warpage Simulation for panel Level Package", J. Microelectron. Packag. Soc., 25(4). 41-45 (2018).
선박용 폐열 리사이클링 시스템 기초연구

장성철^{1*}, 박운재¹, 이현¹, 조정식²

A basic study on the waste heat recycling system for ships

S. C. Jang^{1*}, W. J. Park¹, H. Lee¹, I. J. S. Cho²
 한국폴리텍Ⅳ대학 충주캠퍼스 지능형기계과¹, 더에버원㈜ 기술연구소²

Key Words : Recycling system, Organic Rankine cycle, Waste heat

1. 서 론

고온의 폐열은 효율적인 설비운영 및 에너지 절감 효과가 크기 때문에 관련 산업계에서 많이 활용되고 있지만, 150~200℃ 이하의 중저온 폐 열은 대부분 버려지고 있는 실정이며, 환경문제, 화석에너지 절감 등 글 로벌 환경 이슈에 대응하기 위해서는 경제성 있는 저온 폐열 회수 기술 개발이 필요한 실정이며, 발전효율을 높일 수 있다는 장점으로 인해 폐열 발전 시장은 연평균 5%로 성장하고 있는 것으로 파악되고 있다. 본 연구 에서는 선박 중저온 폐열 발전용 ORC(Organic Rankine Cycle, 유기 랭킨사이클)로써 디젤 엔진, 가스 엔진, 가스 터빈 등에서 나오는 배기가 스의 폐열을 이용하여 동력원인 전기를 발생시키는 장치에 대한 열교환 방식의 기초 연구를 수행하고자 한다.

2. 개발대상 제품

선박의 에너지효율을 극대화하기 위하여 선형, 추진계통 개선 및 신재 생에너지 적용 등 다양한 기술들이 개발되고 있으며, 선박 주엔진의 폐열 을 이용한 발전 시스템은 보조 추진동력원으로 활용되어 에너지효율설계 지수(EEDI) 상에서 CO2 배출량을 획기적으로 저감시키는 효과를 기대 할 수 있다. 일반적인 유기랭킨 사이클은 Fig. 1 에서와 같이 펌프(Pump), 증발기(Evaporator), 터빈(Turbine) 그리고 응축기(Condenser) 등으로 구성되어 있으며, 이상적인 사이클의 각 과정은 펌프에서의 압축 과정, 증발기에서의 흡열 과정, 터빈에서의 팽창 과정, 응축기에서의 방열 과정 으로 구성된다. 유기랭킨 사이클은 기본적으로 증기터빈을 작동하기 위 한 랭킨사이클과 동일하나, 작동유체가 물이 아닌 유기물을 사용하는 것 이 특징이다.



3. 개발대상 제품

육상 시스템의 경우 열교환기를 이용하여 폐열원과 냉매 사이에 직접 열교환이 가능하지만, 선박에서는 유기냉매를 폐열원에 직접 접촉시키는 것은 폭발, 화재 위험이 있기 때문에 신청업체의 시스템에서는이코노마 이저 후단에 열교환기를 설치하고 가압된 물을 순환수 펌프를 이용하여 유기랭킨 사이클 내의 열교환기에 열원을 전달하는 방식을 사용하고자 한다. 기존 시스템의 경우 선박의 한정된 공간 특성을 극복하고자 전열면 적이 큰 판형 열교환기를 2중으로 배치하여 시스템을 소형화 시키고 열 효율을 높이고자 하였으나, 부하 변동이 크고 압력 제어의 한계로 실증 적용에 실패하였다. 개발품의 경우 최초 예비가열기에 전열면적이 큰 판 형 열교환기를 적용하고, 증발기에는 다관식(Shell & Tube) 열교환기를 적용하여 시스템의 컨트롤 및 안정성

을 높이는 방식으로 개선 테스트 하였으나, 2단 구성으로는 열원 부하 변동에 대한 효율저하 현상으로 목표대비 발전량이 안정적이지 못하였 고, 포화증기에 남은 수분 등에 의한 날개 부식 및 마찰파손으로 터빈 수 명이 급격히 저하되는 문제점 등이 발생하였다. 개발 시스템(Fig. 2 참 조)은 작동유체의 승온 및 과열증기상태로 만들기 위해 판형 열교환 방 식의 1단 예비가열기(Preheater)를 구성하여 고압작동유체를 20bar, 3 7℃에서 약 108℃로 1차 승온시키고, 2단 증발기(Evaporator)에서는 20bar, 127℃로 승온 및 과열증기로 증발시킨 후, 3단 판형 열교환 방 식의 과열기(Superheater)를 통해 20bar, 133 ℃의 고압 과열증기 발생 시켜 터빈(Tubine)을 회전하여 발전되는 원리이다. 본 연구에서는 선박 용 10kW급 Pilot Scale 고효율 폐열 발전시스템을 개발하고자 하며, 개 발 제품은 3단 접촉을 통한 열전달 효율 극대화를 통해 시스템 발전효율 10% 이상을 달성하고자 하며, 부하 변동이 심한 선박 운전조건에서 안 정적으로 시스템을 구동시키는 것을 목적으로 한다. 기존에 대기로 버려 지던 150~200℃ 사이의 배기가스의 열원을 회수하여 선박 발전기의 일 정 부분을 대체하게 되며, 추가 동력생산으로 전체 선박 시스템의 효율을 향상시킬 수 있다.



①Preheater ②Evaporator ③Superheater ④Turbine ⑤Condenser ⑥Water pump ⑦Refrigerant tank ⑧Refrigerant pump(vertical)



Fig. 2 Structure of Developed Products

4. 결 론

본 연구에서는 선박 중저온 폐열 발전용 ORC 시스템에 대한 열교환 방식의 기초 연구를 수행하여 부하 변동이 심한 선박 운전조건에서 안정 적으로 시스템을 구동시키는 것을 목적으로 한다. 기존에 대기로 버려지 던 150~200℃ 사이의 배기가스의 열원을 회수하여 선박 발전기의 일정 부분을 대체하게 되며, 추가 동력생산으로 전체 선박 시스템의 효율을 향 상시킬 수 있다.

후 기

본 연구는 지역특화산업육성 R&D 과제(S3365037)로 수행되었으며, 관제자분께 감사함을 전합니다.

고수율, 고효율 혈장 분리를 위한 탄성파 미세유체소자

김민지¹, 추승희², 한병조³, 남정훈^{3*}

Acousto-microfluidics for high-throughput, high-efficiency blood plasma extraction

M. J. Kim¹, S. H. Choo², B. J. Han³, J. H. Nam^{3*}

인천재능대학교 AI학부 사물인터넷전공¹, 인천대학교 생명공학부 나노바이오전공², 인천재능대학교 디지털바이오테크과³

Key Words : Surface acoustic wave, Blood plasma, Extraction, High-throughput, High-efficiency

1. 서 론

혈액은 적혈구, 백혈구, 혈소판, 혈장 등으로 구성된 대표적인 생체유체로 서, 혈액으로부터의 혈장 분리는 혈장 내에 존재하는 단백질, 핵산, 병원균 등 의 다양한 바이오마커에 대한 임상 진단을 위한 전처리로 필수적인 과정이다. 이를 위해 혈액 내에 높은 농도로 존재하는 적혈구를 제거하는 것이 중요한 데, 기존 기술로는 원심분리법이 널리 사용되고 있다. 그러나 이는 고가의 대 형장비로, 많은 샘플양, 별도의 파이펫팅 작업 등이 필요하여 임상 현장에서 쓰이기에 한계점이 존재한다. 이러한 한계점 극복을 위해 최근 크게 발달된 미세유체소자 기술을 활용하여 다양한 혈장 분리가 시도되고 있으며, 본 연구 에서는 그 중 표면탄성파 기술을 활용하여 고효율, 고수율로 혈장을 분리해낼 수 있는 소자를 개발하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서 사용된 표면탄성파 발생 미세전극은 압전기판 (lithium niobate, LiNbO3, Y-cut, X-propagation, NEL Crystal Co., Fukushima)에 패터닝하여 이용 하였다. 이 때, 사용한 전극의 작동주파수는 $f_w = c/\lambda$ (c는 압전 기판 표면 에서의 파의 전달 속도, λ는 표면탄성파의 파장)를 통해 7.57MHz로 고정되었 다. 실험에 사용한 미세유동채널은 너비 600 µm, 영역별 높이 20 µm (H1), 60 µm(Hz)의 단차형 단면의 일자형 미세유동채널로 설계하였다. 별도의 도움 유 체 없는 단일 입구와 혈액 세포 제거 및 혈장 추출을 위한 2개의 출구로 구성 되었다. 미세유동채널은 일반적인 반도체 식각공정을 통해 제작되었으며, polydimethylsiloxane (PDMS) 채널은 oxygen plasma 장비를 통해 미세전극이 패터닝된 압전기판에 비가역 접합하였다. 접합 과정에서 기울어진 정상표면 탄성파 (tilted-angle standing surface acoustic wave, TA-SSAW)를 이용하기 위하 여 미세전극과 미세유동채널은 약 2°의 각도를 갖도록 접합하였다 (Fig. 1(a)). 이를 통해 미세유동채널과 발생된 정상표면탄성파는 Fig. 1(b)에서 보이는 바 와 같이 2°의 각도를 갖도록 구성된다. 미세유동채널로 주입된 입자/세포는 유동방향과 특정 각도를 갖는 정상표면탄성파를 따라 높은 채널 쪽으로 이동 한다. 혈액 내의 고농도 적혈구가 미세유동채널 내의 벽 쪽으로 이동하면 채 널 벽면 근처의 헤마토크릿이 국부적으로 높아지게 되고, 이로 인해 해당 부 분의 점도 역시 증가하게 된다. 결과적으로 증가된 점도로 소자의 처리 효율 이 떨어지기 때문에기존 표면탄성파 기판 미세유체소자에서는 고농도 적혈구 가 포함된 전혈을 사용하기 어렵다. 하지만 본 연구에서 고안된 미세유동채널 은 한쪽 벽면 근처의 높이를 높게 제작하여 국부적으로 해마토크릿이 큰 폭 으로 증가하지 않도록 하여 전혈을 다루면서 고수율, 고효율 혈장 분리가 가 능하도록 하였다.



Fig. 1 Schematic of tilted-angle SSAW device

3. 실험 결과 및 고찰

연속 유동상에서 전혈로부터 적혈구를 제거하여 고순도 혈장을 고수율, 고 효율로 추출하기 위하여 다양한 유동율별 표면탄성파에 의해 적혈구가 제거 되는 정도를 평가하였다. 이론적으로 높은 유동율 조건에서 세포가 표면탄성 파의 작동 영역을 지나가는 시간이 짧아지기 때문에 탄성파력의 영향을 상대 적으로 적게 받게 되므로, 소자의 처리 효율은 떨어진다. Fig. 3은 유동율 20, 60, 100, 200 µl/min의 조건으로 전혈이 미세유동채널 내에 주입될 때, 고정된 TA-SSAW 작동 조건 (7.57 MHz, 20V)에서 적혈구의 유동분포를 보여준다.

60 μ/min의 유동율 조건까지 적혈구는 모두 높이가 높은 쪽 (H₂)의 벽면으 로 이동하여 높이가 낮은 쪽 (H₁)으로는 흘러가지 않고, 출구 B 쪽으로 흘러 나감을 확인할 수 있다 (Fig. 3(a, b)). 그러나 유동율이 100 μ/min으로 높아졌 을 경우, 일부 적혈구가 TA-SSAW에 의해 모두 밀리지 못하고 출구 A 쪽으 로 흘러나가 추출되는 혈장의 순도가 떨어졌을 것을 예상할 수 있다 (Fig. 3(c)). 유동율이 더 높아졌을 경우 (200 μ/min, Fig. 3(d)), 많은 수의 적혈구가 출구 A 쪽으로 흘러나가는 것이 관찰되어 혈장 분리의 목적에 적합하지 않음 을 확인할 수 있다.



Fig. 2 Flow rate-dependent flow characteristics of red blood cells in TA-SSAW device for blood plasma separation

현재의 고정된 조건 및 고정된 미세유동채널에서는 헤마토크릿 40%의 전 혈을 이용할 때 100 μ/min의 유동율에서 적혈구를 모두 제거할 수 있는 것으 로 확인되었다. 향후 소자의 수율 및 효율, 추출되는 혈장의 순도를 향상시키 기 위하여 미세유동채널의 형상과 크기 (높이 차이 및 너비 바율), 표면탄성 파의 파장 등에 대한 최적화 과정을 추가적으로 수행할 것이다.

후 기

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학연협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- (1) Kim, B., You, D., Kim, Y., Oh, I., and Choi, S., 2018, Motorized smart pipette for handheld operation of a microfluidic blood plasma separator, Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 267, p.581-588.
- (2) Karthick, S. and Sen. A.K., 2018, Improved Understanding of Acoustophoresis and Development of an Acoustofluidic Device for Blood Plasma Separation, Physical Review Applied, Vol. 10, No. 3, p. 034037.

핵산 추출을 위한 미세유체 칩 개발 및 추출 시험

오재환¹, 진재호¹, 권다인¹, 강도현², 김관오², 윤재성², 유영은^{2*}

Development and test of micro-fluidic chip for nucleic acid extraction

J. H. Oh¹, J. H. Jin¹, D. I. Kwon¹, D. H. Kang², K. O. Kim², J. -S. Yoon², Y. -E. Yoo^{2*}

(주)네오나노텍¹, 한국기계연구원²

Key Words : Nucleic acid extraction, Micro-fluidic chip, Molecular diagnositc, PCR, Sample preparation

1. 서 론

바이러스, 박테리아 혹은 암과 같은 질병에 대한 유전자 수준에서의 정 밀한 판단을 위해서 표준적인 진단 기술로 활용되고 있는 유전자 증폭에 의한 분자진단은 진단 시료로부터 증폭 대상이 되는 핵산을 분리하고 농 축하는 전처리 과정이 필요하다. 핵산 추출은 시료에 포함된 바이러스, 박 테리아 혹은 세포 등을 용해 (lysis)하고 핵산을 분리 정제하는 과정으로 구성되며, 일반적으로 원심분리기 및 실리카 분리막 혹은 실리카가 코팅 된 자성입자 등을 이용하여 시료와 시약의 혼합 및 세정을 반복하며 이루 어진다[1]. 이와 같은 핵산추출 과정은 여러 단계의 수작업이 필요하거나 대형 장비의 사용이 필요하며, 소규모의 병원이나 일상의 현장에서의 사 용은 매우 제한적이다.

본 연구에서는 일반인이 현장에서 전문 장비 없이 신속하고 용이하게 핵산 추출을 할 수 있는 미세유체 칩의 구조 및 공정을 설계하고, 제작된 미세유체 칩을 이용하여 핵산추출 실험을 통하여 특성을 분석하였다.

2. 핵산 추출 미세유체 칩 제작 및 추출 실험

핵산 추출 미세유체 칩은 바닥 면에서 미세유로로 연결되며 육각형으로 배치된 6개의 챔버와 챔버에 투입된 용액의 유동을 위하여 음압을 적용하 기 위한 포트로 구성되며, 각 챔버는 최대 1ml의 용액을 담을 수 있도록 설계하였다(Fig. 1). 미세유체 칩의 전체적인 크기는 55mm × 55mm이 며, 내화학성이 우수한 엔지니어링 플라스틱인 PEEK 모재를 가공하여 제작하였다. 미세유체 칩을 이용한 핵산 추출 과정은 다음과 같다. 각 챔 버에 핵산 추출에 사용되는 시약과 시료를 순서에 따라 투입한 후 음압 포트를 통하여 주사기 혹은 진공 펌프를 이용하여 음압을 적용하면 포트 로부터 가까운 위치에 있는 챔버의 용액이 미세유로를 통하여 흐르게 된 다. 이후 챔버의 용액이 모두 흘러 나간 후 챔버로 공기가 유입되지 못하 도록 챔버를 막아주면, 다음 챔버의 용액이 미세유로를 통하여 흐르게 되 며, 앞에서의 과정을 반복하면 챔버에 투입된 여러 시약을 이용한 순차적 인 공정을 구현할 수 있다. 이때 흡입 포트에 핵산이 고정 혹은 부착될 수 있는 실리카 분리막을 탑재하고 이를 통하여 용액을 흐르게 하면, 미세 유로를 따라 흐르며 시약과 혼합되어 용해된 시료에 포함되어 있는 대상 체로부터 추출된 핵산이 분리막에 고정되고, 이어지는 세정 및 회수 (elution) 용액의 유동 과정에서 유전자 증폭 과정에 적용된 핵산 농축액 을 회수하게 된다. 핵산 추출 실험을 위하여 H1N1 바이러스 시료와 상용 판매 중인 전처리 시약(Direct-zol, RNA Miniprep plus, Zymo Research)을 사용하였으며, 핵산추출 용액에 대해 파장별 흡수도 측정 및 유전자 증폭을 수행하여 특성을 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

미세유체 칩을 이용하여 추출된 핵산 시료에 대한 RNA의 순도를 나타내는 260nm와 280nm 파장에서의 흡광도 비율은 Table 1과 같 으며, 일반적으로 유전자 증폭에 적합한 범위로 알려진 1.8 ~ 2.0 사이 에 위치하여, 핵산 추출이 잘 이루어졌음을 확인하였다. 또한 실험을 통하여 추출된 핵산시료와 상용화된 H1N1 바이러스 핵산 추출 키트 를 사용하여 추출된 핵산시료에 대한 유전자 증폭(PCR) 결과를 Fig. 2에 나타내었으며, 상용 전처리 키트를 이용한 증폭 결과와 유사 수준 의 증폭 결과를 얻어 미세유체 칩에 의한 핵산 추출 방법의 유효성을 확인하였다.



Fig. 1 Micro-fluidic chip for nucleic acid extraction

Table 1 Absorbances measured at 260nm and 280nm for RNA samples extracted using micro-fluidic chip and its ratios





Fig. 2 PCR results based on RNA samples extracted using micro-fluidic chip and conventional sample preparation kit

참고문 헌

 Gautam, A. (2022). Spin Column-Based Isolation of Nucleic Acid. In: DNA and RNA Isolation Techniques for Non-Experts. Techniques in Life Science and Biomedicine for the Non-Expert. Springer, Cham.

3D 바이오프린터 이용한 심장 혈관 네트워크 개발

김주란*

Development of vascularized cardiac tissue network via a 3D bioprinter

Jooran Kim*

한국생산기술연구원 섬유연구부문

Key Words: 3D Bioprinting, Gelatin, Vascular, Tissue engineering

1. 서 론

3D bioprinting is a widely used technology to dispense cell-laden biomaterials for rapid fabrication of complex 3D tissue constructs or artificial organs. In this study, we developed heterogeneous cell-laden microchannel network using human umbilical vein endothelial cellcardiomyocytes by a direct patterning with a 3D bioprinter. This system also facilitated cell alignment and migration within each construct and promoted vascular network with high cell viability. Calcium imaging was used to optically probe intracellular calcium ion signals during excitationcontraction coupling in cardiomyocytes within 3D vascular network. The cell-laden 3D constructs could be extended to serve as in vitro models for clinical cardiovascular disease researches and cardiovascular tissue regenerations.

2. 마이크로 엔드밀링 실험

The advantages of bioprinting 3D cell-laden mesh structures which mean embedding of living cells for tissue engineering applications

Bioink: biological and mechanical properties are needed in regenerative tissue engineering

(a) enables simultaneous multi-materials deposition,

(b) homogeneous cell distribution and defined positioning of various cells in desired region

(c) uses bioinks formulations that induce the spreading and migration of embedded cells

(d) allows the post-seeding of an additional cell type on top of the bioprinted scaffold

Hydrogel ink?

- Alginate-calcium chloride e.g.) calcium alginate because of its easy process-ability rapid gelation, and nontoxic-Ionically

- Gelatin methacryloyl (GelMA)-UV is used for cell encapsulation to form a chemically stable hydrogel when exposed to light (UV 360~380 nm)



Fig. 1 Photocross-linking reaction of GelMa

3. 실험 결과 및 고찰

This part explains how cell laden Gelma 3D scaffolds to regulate cardiomyocytes' interaction and optimize the cell activity within this system.

- Cell line: H9C2, rat cardiomyocytes, 1 X 10⁷ cells / mL

- Bioprinter: a deposition speed at 3, 5, 7, 10, or 15 mm/s using needle size (26G, 0.3 mm)



Fig. 2 3D bioprinter and cardiac patches depending on deposition speeds



Fig. 3 DAPI/F-actin Imaging, (a) 3 DIV and (b) 10 DIV

10 DIV showed vascularization of H9C2 cells on the outer surface of constructs
 Increased the porosity of hydrogel allowing cell migration to the edges of each fiber.

- The crosslinked GelMa hydrogels permit cells to enzymatically degrade and remodel the hydrogel



Fig. 3 z-stack imageing of F-actin after 10 DIV

- Increased deposition speed shows higher proliferation - the thickness of construct shows lower proliferation



Fig. 4 MTT assay depending on a deposition speed

- In this study, highly transparent, biocompatible, and stable cardiac patch with H9C2 cells were produced by a rapid and effective 3D bioprinting method that mimics the micro-level cardiac tissues

 Development of new cardiac-specific bioinks, using tailored biomaterials and precisely tuned selection of macromolecules, could be a great step forward toward clinical bioprinting



(1) Adv. Mater. 2016. 28, 67-684

나노섬유 고온 압착을 통한 기계적 물성치 개선에 관한 연구

서민재¹, 김동욱², 정영훈^{1*}

Improvement of mechanical properties of nanofibers using thermal pressing

M. J. Seo¹, D.U. Kim², Y. H. Jeong ^{1*}

경북대학교 기계공학부', 경북대학교 일반대학원 기계공학과2

Key Words : Nanofiber, Hot-pressing, Mechanical properties

1. 서 론

3. 나노섬유의 인장 실험

나노섬유는 직경이 100 nm 이하의 초극세 섬유를 의미한다. 또한 제조방법 이 다양하게 존재한다. 나노섬유의 가장 큰 장점으로는 미세한 직경을 가지며 부피에 비해 큰 표면적을 가진다는 점이다. 높은 기계적 특성과 유연성을 가 진다. 본 연구에서는 최근 의료, 환경, 전자공학 등 다양한 분야에서 활용되고 있는 나노섬유에 압력, 온도, 시간을 변인으로 설정하여 기계적 특성을 조절 하기 위한 목적으로 진행하였다. 기계적 물성평가를 위해 만능시험기를 사용 하여 수행하였다. 시편은 직사각형 매트형태이며 길이 50 mm, 너비 6 mm 두 께는 두 가지 30 µm, 60 µm로 진행하였다. 나노섬유의 고온 압착 실험 전, 후 의 두께변화를 측정하였다. 인장시험의 인장 속도는 1mm/min으로 진행하였 다.

2. 나노섬유의 고온 압착 실험

나노섬유의 고온 압착 실험 장치는 Fig. 1와 같은 방식으로 설치했다. 열압 착 금형 상하판은 평행하게 설치하였고 타이머(Timer)를 사용하여 시간을 조 절하였다. 온도제어기(Temperature controller)를 사용하여 온도를 세팅한 후 비 접촉식 적외선 온도계로 정확한 온도를 체크하였다. 압력조정기(Pressure regulator)를 이용하여 압력을 조절하였다. 아래 Table 1의 조건을 사용하여 나 노섬유의 기계적 물성 향상을 위한 실험을 진행하였다. 시편의 경우 직사각형 매트형태로 길이 50 mm, 너비 6 mm, 두께는 30 μm, 60 μm의 Nanofiber로 실 험을 진행하였다.

마이크로미터를 이용해 실험 전, 실험 후의 나노섬유 두께를 측정하고, 두 께변화율을 계산하였다.



Fig. 1 Experimental setup

Table 1 Conditions for thermal pressing

	Nanofiber thickness (µm)	Pressure (Mpa)	Time (min)	Temperature (°C)
(a)	30, 60	1	5, 15, 30	35, 40, 45
(b)	30, 60	2	5, 15, 30	35, 40, 45
(c)	30, 60	3	5, 15, 30	35, 40, 45

나노섬유의 고온 압착을 통해 제작된 나노섬유는 인장실험(tensile test)을 통 해 기계적 물성차를 확인하였으며, 기계적 물성평가를 위해 만능시험기 (universal testing machine, Instron 3344, Intron, Norwood, MA, USA)를 사용하였 다. 인장 시험을 위한 인장 속도는 1 mm/min으로 진행하였다.



Parameter (Unit)	Value			
Universal testing machine (UTM: 3400 series, Instron)				
Crosshead speed (mm/min)	1			
Repetiton	10			

Fig. 2 Tensile testing machine

4. 결 론

본 연구에서는 나노섬유에 고온 압착 실험을 진행한 시편의 기계적 물성치 를 확인하였다. 기계적 물성치 평가를 통해 제작된 시편의 인장 강성 (tensile stiffness)를 확인하였다. 압력, 시간, 온도 조절에 따라 기계적 물성치의 조절 가능성을 확인하였다.

후 기

이 성과는 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No.2021R1A2C2014364)

참 고 문 헌

- Dzenis. Y., 2004, "Spinning Continuous Fibers for Nano technology," Science, Vol. 304, No. 5679, pp.1917~1919
- (2) Shuang, Z. M., Zhang, Y.Z., Kotaki, M. and Ramakrishna, S., 2003, "A Review on Polymer Nanofibers by Electrospinning and Their Applications in Nanocomposites," Composites science and technology, Vol. 63, No. 15, pp. 2223~2253
- (3) Z. Wang, R. Sahadevan, C. Crandall, T. J. Menkhaus, and H. Fong, "Hotpressed PAN/PVDF hybrid electrospun nanofiber membranes for ultrafiltration," Journal of Membrane Science, vol. 611. Elsevier BV, p. 118327, Oct-2020.

3D 프린팅 격자 구조 패턴 조절을 통한 나노섬유의 기계적 물성치 조절

권영준, 김동욱, 이승준, 정영훈*

Mechanical properties of nanofibers by 3D printing lattice structure control

Y. J. Kwon, D. U. Kim, S. J. Lee, Y. H. Jeong*

경북대학교 기계공학부

Key Words: 3D printing, Lattice structure, Nanofiber, 3point bending test

1. 서 론

직경이 100 nm 이하의 초극세 섬유를 나노섬유라고 지칭하며 다양한 방법 으로 제조된다. 나노섬유의 가장 큰 장점으로는 미세한 직경을 가지며 부피에 비해 큰 표면적을 가진다는 점이다. 그리고 높은 기계적 특성과 유연성을 가 진다. 본 연구에서는 최근 다양하게 활용되고 있는 나노섬유의 굽힘(bending) 특성을 조절하기 위해 용융 압출 기반의 3D 프린팅을 사용하여 나노섬유 위 에 생분해성 고분자 기반의 구조물을 제작하였다. 3D 프린팅으로 제작된 구 조물의 기계적 물성치를 확인하기 위해 만능시험기를 사용하여 3점 굽힘 시 험 (3point bending test)를 진행하였다.

2. 3D 프린팅 구조물의 제작 및 기계적 물성치 평가

제작된 구조물은 다음과 같은 과정을 통해 기계적 물성치를 확인하였다. 굽힘 강성 측정은 3점 굽힘 시험 (3point bending test) 로 진행하였으며 속도는 5 mm/min로 진행하였다. 제작된 시편의 3D 프린팅 형태에 대한 대표치수를 아용하여 강성을 조절할 수 있음을 확인하였다. Fig. 1에서는 프린팅 구조물과 나노섬유-프린팅 구조물을 보여주며 Fig. 2는 프린팅 구조물의 굽힘을 보여주 며 Fig. 3에서는 3점 굽힘 시험 (3point bending test) 과정을 보여준다.



Fig. 1 Lattice pattern membrane / Lattice pattern membrane with nanofiber



Fig. 2 Bending of membrane



Fig. 3 3point bending test

3. 결 론

본 연구에서는 용융 압출 기반의 3D 프린팅을 이용하여 나노섬유 위에 구조물을 제작하였다. 제작된 나노섬유 구조물은 기계적 물성치 평가를 통해 제작 조건에 따라 강성 변화를 확인하였다. 제작된 구조물의 각도 가 감소하거나 나노섬유의 두께가 증가할 수록 강성은 증가하였다. 제작 된 나노섬유 구조물은 위치에 따른 맞춤형 유연구조물 제작 및 적용 가 능성을 확인하였다.

후 기

이 성과는 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No.2021R1A2C2014364)

- Shi, Y., Liu, J., Yu, L., Zhong, L. Z., & Jiang, H. B. 2018. β-TCP scaffold coated with PCL as biodegradable materials for dental applications. Ceramics International, 44:13, 15086-15091.
- (2) Fujihara, K., Kotaki, M., & Ramakrishna, S. 2005. Guided bone regeneration membrane made of polycaprolactone/calcium carbonate composite nano-fibers. Biomaterials, 26:19, 4139-4147.
- (3) Hämmerle, C. H., Schmid, J., Lang, N. P., & Olah, A. J. 1995. Temporal dynamics of healing in rabbit cranial defects using guided bone regeneration. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 53:2, 167-174.

로봇을 이용한 피질골 시편 드릴링 공정 분석

하주형, 김도영, 김동민*

Cortical bone specimen drilling process analysis using a robot

J. H. Ha, D. Y. Kim, D. M. Kim*

한국생산기술연구원, 경남대학교

Key Words : Cortical bone, Robot machining, Drilling

1. 서 론

대퇴골 경부의 피질골은 골조직과 간질조직으로 구성되며 골격질량 의 80%를 차지하는 주요 신체구조 중 하나이다. 이는 굽힘 및 비틀림 에 대한 높은 저항을 가지고 뼈의 강도를 결정짓는 중요한 역할을 한 다. 따라서 정형외과, 치과, 신경외과에서 외과적 골절 치료를 위한 피 질골 드릴링 공정은 수술에 필수적인 부분이다. 하지만 피질골 드릴링 은 온도 상승에 의한 열성 골 괴사(Thermal osteonecrosis)를 일으키 거나 높은 힘과 토크로 인해 골 파괴(Osteoclasia), 공구파손(Tool breakage)을 초래한다. 본 논문에서는 공구동력계(Dynamometer)와 열화상 카메라(Thermal camera)를 이용해 피질골 시편에 작용하는 기계적 또는 열적 상태를 분석하고, 획득한 데이터를 기반으로 낮은 추력과 토크, 온도감소를 목적으로 최적의 가공조건을 제시한다.

2. 피질골 시편 드릴링 실험

본 실험에 사용 된 시편은 57mm×10mm 크기를 가지며 실제 인간 의 피질골과 유사한 물성 값을 갖는 피질골 시편 Bonesim 1800 이 사용되었다. 시편은 Test bed에 지그를 부착해 단단히 고정시켰다. 실 험에 사용된 로봇은 UR10e 모델로 최대 10kg의 페이로드, 1300mm 의 반경 범위를 가지고 있고 공구는 티타늄 소재의 3mm×150mm 드 릴이 사용되었다. 먼저 터치 펜던트로 MoveJ와 MoveL을 이용한 수 직 드릴링 모션을 프로그래밍 하였다. 이후 별도로 구성된 RPM발전 기(RPM generator)를 로봇 Wrist에 연결하여 드릴을 회전시켰으며 피질골 시편 드릴링 실험을 통해 추력과 토크에 대한 데이터는 Dewesoft sirius DAQ를 통해 수집되었고 열화상카메라와 초고속카 메라를 통해 시편의 온도변화상태, 칩의 배출상태를 확인하였다.



Fig. 1 Experimental setup of robot drilling test

Table	1	Drilling	processing	conditions
	_		P	

	RPM	Feed(mm/min)	coolant	
(1.)	6000	24		
(2.)	7000	24	Der	
(3.)	6000	42	Dry	
(4.)	7000	42		



3. 실험결과 및 논의

Fig. 2 Force and Temperature according to cutting conditions

Fig. 2(a)와 (b), (c)를 통해서 이송속도와 RPM의 증가 또는 감소에 따른 절삭력의 변화를 확인 할 수 있고, (d)를 통해서 동일한 RPM에 서 이송속도가 증가하면 온도가 감소하는 것을 확인했으며, 이는 드릴 링 시간이 단축되어 뼈로 전달되는 열전달이 감소한 것으로 보인다. 해당 결과들을 통해 절삭력은 RPM에 큰 영향을 받고, 온도는 이송속 도에 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다. 피질골의 낮은 온도를 유지시키 기 위해선 높은 이송속도가 요구될 것으로 예상된다. 또한 골 괴사를 방지하기 위해서 보다 낮은 온도가 요구됨에 따라 냉각수의 사용 혹은 드릴링 가공 공정에 추가적인 변화를 주어야 한다.

후 기

본 연구는 2023년 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었으며(1711192579), 한국생산기술연구원의 청정생 산시스템 핵심기술 연구사업의 지원을 받아 수행하고 있는 '미래 산업 환 경 대응 홀로닉 생산시스템 기술 개발(No. KITECH-EO-23063)'과제에 서 수행된 연구임.

- (1) Wang, W., Shi, Y., Yang, N., & Yuan, X. (2014). Experimental analysis of drilling process in cortical bone. Medical engineering & physics, 36(2), 261-266.
- (2) Augustin, G., Zigman, T., Davila, S., Udilljak, T., Staroveski, T., Brezak, D., & Babic, S. (2012). *Cortical bone drilling and thermal osteonecrosis*. Clinical biomechanics, 27(4), 313-325.
- (3) Feldmann, A., Wandel, J., & Zysset, P. (2016). *Reducing temperature elevation of robotic bone drilling. Medical engineering & physics*, 38(12), 1495-1504.

당뇨병성 족부 치료를 위한 표피 성장인자를 포함한 히알루론산 기반의 생분해성 마이크로 니들 제조 및 특성분석 백수지¹, 이강파¹, 한청수², 권승혜³, 이승준^{4*}

Preparation and characterization of hyaluronic acid-based biodegradable microneedles loaded

with epidermal growth factor for treatment of diabetic foot

S. J. Baek¹, K. P. Lee¹, C. S. Han², S. H. Kwon³, S. J. Lee^{4*}

㈜유머스트알엔 1, ㈜케이런 2, 한국기초과학지원연구원 3, 서원대학교 제약공학과 공정개발연구실 4

Key Words: Microneedle, Diabetic foot, Epidermal growth factor, Skin wound healing

1. Introduction

Diabetic foot refers to the pathogenesis of the foot associated with diabetes and includes a wide range of diseases underlying ulcers and neuropathy. According to a 1999 World Health Organization (WHO) report, 422 million people worldwide suffered from diabetes in 2015. Approximately 20% of diabetic patients require treatment for foot lesions, and lower extremity amputation was required in 14-24%. The limitations of surgical correction or surgical treatment have still not been addressed considering that half of the patients treated for diabetic foot have a risk of recurrence within five years. Therefore, there is an urgent need to develop a drug delivery system for the treatment of diabetic feet. Microneedle patches are used in transdermal drug delivery systems. Biodegradable and dissolvable microneedles are particularly effective for drug delivery. Therefore, hyaluronic acid microneedles may be effective in drug delivery for treating diabetic ulcers, considering the properties such as physical strength, skin permeability, and drug delivery efficiency. Epidermal growth factor (EGF) activates diverse cell signals to promote cell growth, proliferation, angiogenesis, and skin regeneration. EGF binds to EGF receptor and acts on major signaling pathways such as the extracellular signalregulated kinase (ERK1/2), protein kinase B (AKT), and phosphoinositide 3kinase (PI3K) signaling pathways. Recently, EGF injection was been considered for clinical application as one of the treatment strategies for diabetic foot ulcers. It is necessary to study biodegradable microneedles loaded with EGF as an innovative diabetic foot treatment method. In this study, we utilize the established process for manufacturing cone-shaped hyaluronic acid microneedles(MNs) containing EGF and confirm the efficacy of microneedle patches in wound healing and angiogenesis via in vivo and ex vivo experiments. The results suggest that biodegradable MNs patches loaded with EGF are promising for the treatment of diabetic foot.

Preparation of EGF-loaded MNs patch (MPEGF)

A MNs metal master(MMM) is a milling technique used for diamond wheels and chemical vapor deposition. To prepare the silicon mold, the silicon rubber solution (polydimethylsiloxane: PDMS, ELASTOSILR RT623A, Wackers), silicone hardening agent (ELASTOSILR RT623B, Wackers), and silicone softening agent (AK35C, Wackers) (9:1:3) were mixed and then poured into the MMM. After degassing in a vacuum chamber, the mixture of solidification was performed in an oven at 60 $^{\circ}$ C for 8 hours. The MPEGF were fabricated by simple molding process and by casting a mixture solution containing 4% (w/w) HA, 1% (w/w) collagen, 1% (w/w) trehalose and 10ppm (w/w) EGF in distilled water.

3. Results & Discussion

As shown in Figure 1, EGF-loaded microneedle patch was successfully fabricated from MMM and PDMS molds. The microneedle mold consisted of 493 microneedle

arrays. The microneedle mold height was approximately 250 µm and the base width was 200 µm. To study the characteristics of MPEGF, the morphology of the microneedles was analyzed using SEM (Figure 2(a)). The microneedles were uniformly prepared and had a pyramidal shape.



Fig. 1 Microneedle manufacturing process(a), Photomicrograph of microneedle master(b) and mold(c)

L929 cells were seeded in 96-well plates and treated with MPEGF at various concentrations (6.25, 12.5, 25, 50, and 100%) for 24 h. As shown in Figure 2(b), the cytotoxicity of 100% MPGF was 14.66±1.02% compared to that of the untreated group. Subsequent experiments therefore used 100% MPEGF. Based on these results, it was extrapolated that MPEGF should not show any indirect or direct toxic effects in vivo. As shown in Figure 2(c), EGF increased the wound healing area to 337.5±33.8% compared with the untreated group. MPEGF also significantly induced the scratch wound healing area to 285.1± 7.9%. Western blotting analysis was performed to determine whether MPEGF can regulate mitogen-activated protein kinase. The stability of MPEGF was verified by evaluating its toxicity in L929 cells. MPEGF induces wound healing of skin keratinocytes and induces signal activation of MAPK. It also induces angiogenesis. These results suggest that in biodegradable microneedles, MPEGF can potentially act in the treatment of infection, wound skin healing, and diabetic foot treatment requiring neovascularization.



Fig. 2 SEM images of EGF-loaded MNs(a), effects of MPEGF on L929 cell viability(b) and effects of MPEGF on HaCaT cells scratch wound healing(c)

참 고 문 헌

- (1) A. Ndip, L. Ebah, A. Mbako, Int. J. Gen. Med., 5, 129 (2012).
- (2) S. J. Lee et al, *Polymer(Korea)*, 46(6) 783 (2022).
- (3) S.J. Lee, Appl. Chem. Eng., 32(5) 556 (2021).

백신 경피전달을 위한 스피어 마이크로니들 에레이의 제조 및 특성 분석

김지연¹, 임정희², 김병일², 이정건², 이승준^{1*}

Fabrication and characterization of spear microneedle array for vaccine transdermal delivery

J. Y. Kim¹, J. H. Im², B. I. Kim², J. G. Lee², S. J. Lee^{1*}

서원대학교 제약공학과 공정개발연구실¹, ㈜에스스킨²

Key Words: Microneedle, Spear, Vaccine

1. 서 론

병의원 및 보건소 등의 다양한 의료기관에서 치료제나 백신을 맞을 때 사 용되는 피하주사는 빠른 속도로 약물을 체내에 전달해 주는 역할을 하는 도 구로서 의료발전에 많은 기여를 하고 있으나, 이러한 피하주사 전달 방식의 경우에는 활성약물의 전달효율은 우수하지만 전문적인 의료가술이 필요하여 자가투여가 힘들고 활성약물 투여 시 바늘의 통증과 감염의 위험성이 존재한 다는 약점을 가지고 있다. 또한, 경구제형으로 약물을 복용하는 방법은 주사 제와 같은 위험요인이 덜 하지만 많은 양의 약물전달에 한계가 있다. 이에 최 근 들어 피하주사의 전달효과를 유지하되 주사바늘에 대한 환자의 고통과 두 려움을 피하면서 편리하고 안전하게 사용할 수 있는 미세 크기의 주사바늘이 형성된 마이크로니들(microneedles, MNs)이 의료현장에 점점 보급되어 활용 되어 지고 있다.

MNs은 피부 각질층의 부위에 마이크로 크기의 미세 바늘로 물리적인 미세 한 구멍들을 뚫어 그 미세한 통로를 이용하여 활성약물을 효과적으로 전달하 는 방식으로 기존의 경피약물전달시스템(Transdemal Drug Delivery System, TDDS)의 문제점인 각질층에 의한 활성물질전달 한계를 보완하여 극복할 수 있는 방식으로 최근 MNs 기술을 활용한 활성성분 전달에 관한 다양한 연구 들이 수행되어 지고 있다.1-3

이에 본 연구개발을 통해 백신을 피부를 통해 전달하기 위한 스피어 형상 의 마이크로 나들을 제조하고 그 특성을 확인 하였다. 특히, 나들의 메트릭스 로 사용되는 생분해성 고분자인 히알루론산(hyaluronic acid, HA)의 다양한 분 자량 범위에 따라 MNs를 제조하였고, 수분보유능력, 열에 대한 독특한 안정 성, 수분활성도를 낮추어 보존성을 향상시키기 위해 첨가되는 Trehalose의 함 량비에 따른 MNs의 표면형상의 변화를 확인하였다. MNs의 기계적강도를 평 기하기 위해 고분자막(polymer membrane)과 Porcine back skin를 이용하여 투 과도를 측정하였고, 전자주사현미경(SEM)를 통해 Spear 타입의 MNs 형상을 확인하였다. MNs기술을 활용한 약물전달시스템 연구개발은 백신경피전달시 스템 분야의 새로운 기반 기술로 활용될 것으로 기대된다.



Fig. 1 Schematic diagram of Spear Microneedle Array for Vaccine Transdermal Delivery

2. 스피어 마이크로니들 어레이의 제조

2.1 실험재료

본 연구를 위해 사용된 trehalose, trypan blue 0.4% solution 과 고분자막으로 사용된 Strat-M® Membrane Transdermal Diffusion Test Model은 Sigma-Aldrich 사에서 구입하여 사용하였으며, 히알루론산(HA, bio sodium hyaluronate, avg. Mw(molecular weight) 1.0 MDa, 300kDa, 50kDa)과 MNs의 원판(master)는 높이 (hight) 750um과 width 250um의 Aspect Ratio 3.0 (3:1), Pitch 500um로 설계하여 (주)에스스킨에서 개발 제작하여 제공 받아 사용 하였다. 또한, MNs의 PDMS(Polydimethylsiloxane) 탄성몰드를 제작하기 위해 ELASTOSIL® RT 623 A와 ELASTOSIL® RT 623 B 그리고 AK 35(C)는 Wacker chemicals Inc.에 서 구입하여 사용하였다.

2.2 실험

Microneedles(MNs) 탄성 몰드를 제작 하기 위해 스피어 형상의 니들 원판 (master)을 페트리디쉬(petri dish)에 넣고 고정시킨 후, ELASTOSIL® RT 623 A 와 ELASTOSIL® RT 623 B, 그리고 AK 35(C) 세가지 성분의 시약을 함량비에 따라 RT 623 A와 B의 성분 비율은 A:B=90:10 으로 AK 35 C의 함량비를 A 와 B의 전체 % 함량에 대하여 30% 함량비로 첨가하여 PDMS 탄성몰드를 제 조하였고, 각 avg. Mw에 따른 HA을 matrix로한 MNs를 각각 제조하기 위해 각각의 HA 4%에 대하여 Trehalose 0%, 1%, 5%, 10% 의 비율로 혼합하여 각각 의 혼합용액을 제조하였다. 제조된 용액은 PDMS 탄성몰드의 MNs 구조 안으 로 도포 될 수 있도록 몰드 표면에 용액을 도포하고 도포 된 용액을 넓게 편 후, 저온(2°C-8°C)하에서 원심분리기(1000 rpm/1 min, Labogene 1248R, Korea) 와 진공챔버(550 mmHg)을 이용하여 기포를 제거하여 탄성몰드에 완전히 채워 충진한다. 용액이 채워진 탄성몰드를 상온하에서 desiccator(RH20%, KDD-50D, GOODSGOOD, Korea)을 이용하여 overnight 건조시킨 뒤 PDMS탄성몰드와 성형된 MNs를 분리(demolding)하여 니들 원판(master)의 형태와 동일한 형상 을 가진 Spear MNs array 제형 샘플을 제조하였다.



Fig. 2 Process flow for the fabrication of Spear MNs array

Avg. Mw 1.0MDa HA의 경우, 용해 후 점도가 높아 충진 공정시 microbubbles의 영향으로 일부 미성형 영역이 발생 할 수 있었으며, trehalose 조성 비 10% MNs array의 경우, 백화 현상이 육안으로 확인 되었으며, SEM를 통해 MNs 표면상태 및 스피어 형상을 확인 하였다. 백신경피전달패치로 향 후 응 용되기 위해서는 피부 각질층을 뚫고 삽입되어야 하기 때문에 고분자 인조막 (Strat-M™ Membrane, Millipore)과 Bio-membrane인 porcine back skin (Micropig® Franz Cell Membrane), FCM, Apures, Korea)에 대한 피부 투과도 (permeability intensity)를 측정하여 기계적 특성을 확인하였다.

- (1) S.J. Lee, J.C. Kim, and Y.M. Huh, Polymer(Korea), 46(6) 783 (2022).
- (2) J.A. Kim, S.C. Park, S.J. Lee, and J.C. Kim, *Cellulose*, 29(18) 9881 (2022).
- (3) S.J. Lee, Appl. Chem. Eng., 32(5) 556 (2021).

머신 러닝 기반 비접촉 생체 신호 모니터링 시스템 설계

채은주, 김동현, 강신일*

Design of contact-free vital sign monitoring system based on machine learning algorithm

E. J. Chae, D. H. Kim, S. I. Kang*

연세대학교 기계공학과

Key Words : Contact-free, Biological signal, Machine learning

1. 서 론

3. 실험 결과 및 고찰

생체 신호는 병원에서 환자의 생리 기능을 판단하는 지표가 될 뿐만 아니 라 웨어러블 기기를 통해 일상 생활에서 사용자의 건강 상태를 확인하는데 활용되고 있다. 기존에는 심전도 센서, 광혈류측정센서, 자동전자혈압계와 같 은 접촉 방식의 측정 장치를 통해 심박수, 호흡수, 산소포화도, 혈압 등의 생 체 신호를 측정하였다. 그러나 측정 장치와 피부 사이의 직접적, 장기적 접촉 은 사용자의 신체적 부담을 야기하고 활동에 제약을 발생시킨다는 한계가 존 재한다. 본 논문에서는 비접촉 방식의 센서를 사용하여 생체 신호를 획득하고 머신 러닝 알고리즘을 통해 심박수, 호흡수를 예측 및 모니터링할 수 있는 시 스템을 개발하고자 한다.

2. 비접촉 생체 신호 모니터링 시스템 구성 및 실험

본 비접촉 생체 신호 모니터링 시스템의 전체적인 구성은 Fig. 1와 같다. 심 장 박동 시 혈액의 방출에 인해 발생하는 신체 움직임을 측정하기 위해 필름 형태의 압전 소자를 1x4 array로 피실험자 아래에 위치하였다. 센서를 통해 획 득된 신호는 데이터 수집 과정에서 발생한 노이즈를 필터링한 후, 일반 성인 의 심박수와 호흡수를 반영한 주파수 영역에서 신호처리를 수행하였다. 이는 머신 러닝 모델의 학습 데이터 중 입력값으로, ECG 센서와 벨트형 호흡 측정 센서로부터 획득한 심박수와 호흡수는 출력값으로 활용되었다.



Fig. 1 System diagram

본 시스템을 통해 피실험자 데이터를 획득하여 학습 데이터 세트를 7:3으 로 나누어 모델 학습에 활용하였다. 필터링 된 심박 및 호흡 신호는 학습된 머신 러닝 모델을 통해 심박수와 호흡수를 예측하는데 사용되었다. 심박수 및 혈압수 예측 모델은 평균 제곱근 오차(Root mean square error, RMSE)를 통해 예측값과 측정값의 차이를 확인하였다.

- Liu, Jihong, Meilin Liu, Yu Bai, Jiahao Zhang, Hongwei Liu, and Wenbin Zhu, 2020, Recent Progress in Flexible Wearable Sensors for Vital Sign Monitoring, Sensors 20, no. 14: 4009.
- (2) Sadek, I., Biswas, J., & Abdulrazak, B, 2019, Ballistocardiogram signal processing: a review. Health information science and systems, 7(1), 10.
- (3) D. Heise, L. Rosales, M. Skubic and M. J. Devaney, 2011, Refinement and evaluation of a hydraulic bed sensor, Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 4356-4360.

7월 14일 [금]

포스터 Ⅲ 발표 논문

KSMTE ANNUAL SPRING CONFERENCE 2023

264

실시간 영상처리 기반 자율주행 자동차

박미주, 조해민, 강지원, 강창묵*

Autonomous vehicles using real-time image processing

M. J. Park, H. M. Cho, J. W. Kang, C. M. Kang*

인천대학교 전기공학과

Key Words : Autonomous vehicles, Lane detection, Camera calibration, Pure-pursuit

1. 서 론

최근 졸음운전, 도로 위 교통사고가 빈번하게 발생하면서 자율주행 자 동차와 관련된 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 이러한 연구는 주로 사 람의 눈을 대신할 영상처리 방법으로 차선 인식 알고리즘 방식으로 구현 되고 있다. 위 방식들의 경우 자율주행 자동차 실험장비는 넓은 장소에서 동작시킬 수 있다는 공간적 제약이 있다. 본 연구에서는 비교적 작은 유아 용 자동차를 이용하여 자율주행 자동차를 구현하였다. 자동차에 내장된 모터는 일반 DC 모터로 내장된 가변저항이 없다. 저비용 연구를 목적으 로 연구를 진행하였다.

2. 자율주행 자동차 실험 및 장비

2.1 자율주행 자동차 실험 장비

본 자율주행 자동차 실험에서는 유아용 자동차를 이용하여 자율주행 자 동차를 구현하였다. 실험 장비는 모터 드라이버(SZH-GNP522) 3개, 아 두이노 보드(Mega2560) 1개, 초음파 센서(HC-SR04) 5개, logitech C920 카메라 2개를 사용하였다.



Fig. 1 autonomous vehicles, practice driving track floor plan

2.2 자율주행 자동차 실험 과정

2.2.1 Camera calibration, warp matrix

Camera calibration을 이용하여 2차원 이미지의 왜곡을 보정한다. Warp matrix를 이용하여 input으로 첫 번째 파라미터는 source image 이고, 두 번째 파라미터는 pixel의 위치가 바뀌는지 정해주는 warping function이다. 각각의 pixel에서 이에 대응되는 source pixel의 위치를 계산하고, function은 source pixel의 위치로부터 pixel 값을 현재 target 으로 pixel의 위치에 복사한다.



Fig. 2 Driving track, camera warp matrix 2.2.2 Sobel edge detection



이미지 처리에서 가장자리 차선을 인식하였다. sobel 처리한 이미지를 warp_matrix로 변환한다. 인식된 차선을 polynominal을 이용하여 3 차 함수로 나타낸다.

Fig. 3 Sobel processed image

2.2.3 차선 인식을 위한 색 필터 적용

차선 인식 정확도를 높이기 위한 카메라 색 필터를 적용한다. MATLAB을 이용하여 색을 추출한 후 gaussian distribution 함수를 근 사하여 생성한 filter mask를 사용하여 필터 처리한다.



Fig. 4 Original image, colorfilter gray, gaussian blur 2.2.4 Sliding window (curves)

이미지 sobel 처리로 polynominal을 사용하여 차선을 3차 함수로 나 타낸다. sobel 처리가 완벽하지 않아 주행 중 장애물이 인식된 경우, 장애 물을 차선으로 인식할 위험이 있기에 사각형 sliding window를 차선 위 에 그린다.



Fig. 5 Sliding window line recognize

2.2.5 Pure-pursuit

Polynominal을 이용하여 차선의 3차 함수를 이용하여 pure-pursuit 식(1)로 x, y값과 전륜 조향각 delta 값을 추출하였다. open-loop 시스템 으로 delta*Kgain을 바탕으로 Fig.5와 같이 파란 점으로 주행할 지향점 을 나타내었다. 자율주행 자동차는 stealing wheel을 조향하여 자율주행 하다.

$$\begin{array}{l} x^{2} + y^{2} = l^{2} \quad d = r - x \qquad & (1) \\ x + d = r \qquad & (r - x)^{2} + y^{2} = r^{2} \\ r^{2} - 2rx + x^{2} + y^{2} = r^{2} \\ 2rx = l^{2} \\ r = l^{2}/2x \\ 1/r = 2x/l^{2} \end{array}$$

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 유아용 자동차를 이용하여 실제 차량과 비슷한 실시간 영상처리 자율주행 자동차를 구현하였다. 유아용 자동차에 내장된 일반 DC motor로 open-loop 시스템 자율주행으로 자율주행 자동차에 있는 카메라가 차선 인식 영상처리하였다. 유아용 자동차에 내장된 motor로는 자동차가 주행 중 조향각과 속도를 알기 어렵다는 한계를 발견했다. 향후 가변저항이 부착된 motor를 변경하여 PID 제어기 closed-loop 시스템 자율주행 자동차를 연구해 볼 예정이다.

참고문 헌

 Kim, Kwansuk Yang, Junsang Yun, Sungho Hwang., 2013, Development of Path Plan Algorithm and Electric Vehicle Platform for Autonomous Driving. The Koran Society of Automotive Engineers spring conference, (), 1772-1775.

3상 인버터를 이용한 전동기 구동 시 중저속 영역에서의 평균 전류 복원 기법

황준식, 채민석, 윤재건, 최현규*

Average current reconstruction technique in the medium-low speed range for electric motor operation using a three-phase inverter

Jun-sik Hwang, Min-seok Chae, Jae-keon Yoon, Hyeon-Gyu Choi*

인천대학교 전기공학과

Key Words : Single Shunt Resistor, Dead-Zone, Phase Current Reconstruction, Pulse Width Modulation, 3-Phase Inverter

ABSTRACT

본 논문에서는 직류단 단일 전류 센서를 이용하는 3상 인버터 시스템에 서 평균 전류를 복원하는 스위칭 기법을 제안한다. 일반적으로, 전류 복원 불가 영역을 회피하기 위해서 스위칭 전압을 주입하는 방법이 널리 사용 된다. 하지만 초고속 모터 등 임피던스가 작은 모터에서는 큰 전류 리플로 인해 복원된 전류와 실제 전류간의 오차로 인해 제어 성능이 저하되는 문 제가 발생한다. 본 논문에서는 스위칭 캐리어의 위상 변동을 이용하여 전 류 복원 가능 영역을 확장하는 방법을 제시하고, 샘플링 주파수를 스위칭 주파수의 절반으로 낮춤으로써, 스위칭 주기 내의 평균 전류를 정확하게 측정할 수 있는 방법을 제시한다.



Fig. 1 Voltage region selecting PWM method in proposed method

3상 인버티를 이용한 모터 제어 시스템에서 그림 1과 같이 직류단 단일 전 류 센서를 이용한 전류 복원 기법은 비용 효율적이고, 회로의 소형화가 가능 하여 중소형 기기에 많이 적용되어왔다. 이에 따라 3상의 전류를 복원할 수 없는 Dead zone을 전압을 주입하여 회피하는 기법들이 연구되어 왔다[1]. 그 러나 기존의 기법으로 전류를 복원 시 평균전류를 복원하지 못하여 복원 오 차가 존재한다. 특히 저속 구동 영역에서는 전류 복원 과정에서 전압 왜곡이 크게 발생하여 소음이 크게 증가한다는 문제가 있다[2]. 본 논문에서는 전압 왜곡 없이 평균전류를 온전히 복원하며 특히 저속의 영역에서 기존의 기법보 다 크게 성능이 향상된 PWM기법 및 전류 복원 기법을 제안한다.

2. 본 론

기존의 SVPWM(Space Vector PWM)방식으로 인버터를 구동 시, 그림2의 표시된 구역에서 유효벡터 인가시간이 짧아져 dead zone이 생기는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 영벡터 구간을 대신하여 유 효전압 벡터를 인가하는 AZSPWM(Active Zero State PWM)방식을 이용하여 기존 SVPWM 스위칭 방식에서 영벡터였던 구간에 i_{4} 를 샘 플링하여 3상의 전류를 복원하는 방식을 제안한다. 본 방식을 이용하면 복잡 한 연산 없이 그림3과 같이 전체 주기에서 오직 2개의 구간만 나누어 주면 된다. 아래 절에서 dead zone을 회피하는 방식을 그림3의 구역에 따 라 나누어 소개할 것이다.



Fig. 2 Voltage region selecting PWM method in proposed method. Fig. 3 PWM waveform of the conventional (upper) and proposed method (lower).

3. 실험 결과 및 고찰 Table 1 Experiment Condition Table

	기호	값	단위
Dc 링크 전압	V_{dc}	15	V
극 수	Р	2	-
권선 저항	Rs	0.26	Ω
인덕턴스(d 축, q 축)	L_d, L_q	31 / 31	μH
스위칭 주파수	$f_{\scriptscriptstyle SW}$	100	kHz



Fig. 4 Current waveform of actual phase current and reconstructed phase current in proposed method



Fig. 5 Current waveform of actual phase current and reconstructed phase current in traditional method

참 고 문 헌

- J. I. Ha, "Voltage Injection Method for Three-Phase Current Reconstruction in PWM Inverters Using a Single Sensor," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 3, pp. 767-775, 2009, doi: 10.1109/TPEL.2008.2009451.
- (2) Y. S. Lai, Y. K. Lin, and C. W. Chen, "New Hybrid Pulsewidth Modulation Technique to Reduce Current Distortion and Extend Current Reconstruction Range for a Three-Phase Inverter Using Only DC-link Sensor," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 3, pp. 1331-1337, 2013, doi: 10.1109/TPEL.2012.2207406

LiDAR 신호처리 Study 및 SLAM 알고리즘 고도화

유서영¹, 한예지², 조해석³, 유재성⁴, 김수환⁴, 전광길^{2*}

Advances LiDAR signal processing study and SLAM algorithms through robot platform connections

S. Y. Yu¹, Y. J. Han², H. S. CHO³, J. S. YOO⁴, S. H. KIM⁴, G. G. Jeon^{2*}

인천대학교 컴퓨터공학부¹, 인천대학교 임베디트시스템공학과², 인천대학교 무역학부³, 인천대학교 전기공학과⁴

Key Words : LiDAR, SLAM, CPD algorithm, automatic driving

1. 서 론

최근 대형 공장 및 산업 현장에서의 커뮤니케이션 이슈와 안전 문제가 증가하고 있다. 본 논문에서는 24시간 공장 및 산업 현장을 다니며 라이다 스캔을 진행하는 자율주행 스캔 로 봇을 이용해 안전 문제를 진단하고 예방할 수 있도록 실내 공간에 대한 지도를 작성하는 연구를 하고자 한다.

2. 라이다 맵핑 실험

본 라이다 맵핑 실험에서 사용되어진 라이다 센서는 SMART CITY LIDAR(VL-R300)로 1개의 채널을 가지고 있으며, 300°의 HFOV와 0.25°의 분해능을 기준으로 LiDAR 데이 터를 수집한다. 최대 15Hz의 scanning frequency를 가지고 있으며, 0.1m~30m 범위까지 탐 지 가능하다. -40°C~80°C의 온도에서 작동하며, 너비 66mm, 높이 78mm의 센서이다. 입력 전압은 10-32VDC를 사용하고, Safety, SLAM, Drone, Robot 분야에 효과적으로 적용 할 수 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

18개의 지점에 대해 LiDAR 데이터를 수집하였으며, LiDAR 신호는 1초 동안 15개의 데 이터를 획득하였다. 정량적인 분석을 위해 각도와 거리로 이루어진 LiDAR RawData를 XYZ 좌푯값으로 변환하여 가공이 이루어지는 0초에서 2초 동안의 영역을 분석하였다. 데 이터 변환 과정 및 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 또한 변환한 XYZ 좌표값은 알고리즘 적용 을 위해 MATLAB의 pointCloud 변수 형태로 변환하였다.



Fig. 2 Data preprocessing for LiDAR SLAM

ICP(Iterative Closet Point) 알고리즘은 스캔 매칭 방법(Scan matching method)의 대표적 인 알고리즘이다. Source point cloud가 Target point cloud와 정합할 수 있도록 반복적으로 가장 가까운 point를 찾고 transformation matrix를 구하는 알고리즘이다. MATLAB의 pcregistericp(moving.fixed, 'Metric', 'pointToPoint') 함수를 활용해 구현할 수 있으며, Fig. 3 는 ICP 알고리즘을 활용한 정합 결과를 보여주고 있다.



Fig. 3 Result of matching using ICP algorithm

정합된 Point Clouds가 High Accuracy를 보이는 것을 고칠할 수 있었다. 이러한 결과를 통해 ICP 알고리즘의 장점인 높은 정확성과 간단한 알고리즘으로 구현 및 이해가 용이하다 는 단순성 등을 확인하였다. 그러나 Outlier에 대해 민감하여 노이즈가 많은 환경에서 성능 이 저하될 수 있으며 비정형 데이터를 처리하기에 비적합하여 G-ICP 알고리즘을 제안하 게 되었다. G-ICP(Iterative Closet Point) 알고리즘은 Target point의 점과 점 사이에 있는 가상의 평면을 만들어 Source point에서 가장 가까운 점을 고르는 알고리즘이다. MATLAB의 pcregistericp(moving, fixed, 'Metric', 'planeTo Plane'), pcregistericp(moving, fixed, 'Metric',' pointToPlane') 함수를 통해 구현할 수 있으며, Fig. 4는 ICP 알고리즘을 활용한 정합 결과를 보여주고 있다.



Fig. 4 Result of matching using G-ICP algorithm

정합 결과를 통해 G-ICP 알고리즘의 특징인, Outlier에 대해 ICP 알고리즘보다 강하여 노이즈가 많은 상황에 적합하다는 장점을 확인할 수 있었다. 이러한 G-ICP 알고리즘은 계산 효율성이 높으며 비정형 데이터를 처리할 수 있도록 설계되었다는 장점이 있다. 그러나 큰 점 집합 또는 고차원 공간에서 높은 계산 복잡성을 가지며 초기 정렬이 불량하면 정확 도가 매우 낮을 수 있다는 단점이 있다는 것을 탐구할 수 있었다. CPD(Coherent Point Drift) 알고리즘은 GMM 매개변수를 활용하여 매핑을 업데이트하며, 이 과정을 반복함으로써 최적의 정합을 구하는 알고리즘이다. GMM은 가우시안 분포가 여러 개 결합된 것을 의미하며, GMM 매개변수는 중앙값을 의미하는 평균과 군집의 모양 및 분포를 정의하는 분산, 각하위 분포에 속하는 데이터 비율을 뜻하는 혼합계수로 구성되어 있다. MATLAB의 pregisterepd(movingDownsampled, fixedDownsampled) 함수를 활용해 구현할 수 있으며, Fig. 5는 CPD 알고리즘을 활용한 정합 결과를 보여주고 있다.



Fig. 5 Result of matching using CPD algorithm

CPD 알고리즘은 빠른 계산이 가능하며, 잡음이 많은 데이터를 처리하기에 적합하다. 하지만 데이터가 사전에 정렬되어 있다고 가정하기 때문에, 초기 정렬에 대해 민감하다. 그리고 매끄러운 표면을 통해 수집된 데이터라고 가정 하고 정합을 진행하기 때문에 울퉁불퉁한 곳에 대한 데이터를 수집했을 경우 정합 성능이 떨어질 수 있다는 단점이 있다.

참 고 문 헌

(1) Ayrat, A. R., et al., 2017, Coherent Point Drift for Lidar Odometry and Mapping

(2) Myronenko, A., & Song, X., 2010, Nonrigid point set registration: Coherent Point Drift

(3) Myronenko, A., & Song, X., 2009, Coherent Point Drift algorithm: Geometric alignment of nonrigid point sets

(4) R. Rusinkiewicz & M. Levoy, pp. 145-152, 2001. "Efficient variants of the ICP algorithm," Proceedings of the Third International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling (3DIM)

(5) Segal, A., Haehnel, D., & Thrun, S., 2009, "Generalized-ICP." Robotics: Science and Systems (RSS).

(6) Chen, Y., & Medioni, G., 1991, "Object modeling by registration of multiple range images." Image understanding workshop.

(7) Zhang, Z., & Singh, S., 20(11), 3788-3802, 2019. "A Review of Recent Advances in Lidar SLAM." IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems

PLECS RT-BOX 활용을 위한 터미널 보드 제작

오준수, 신아영, 김경찬, 최현규*

Designing a terminal board for PLECS RT-BOX utilization

J. S. Oh, A. Y. Shin, G.C. Kim, H.G. Choi*

국립인천대학교 전기공학과

Key Words : HILS, PLECS, RT-BOX

1. 서 론

HILS(Hardware In the Loop Simulation) 시스템은 가상의 하드웨어 시스템을 구현하고, 이를 실시간으로 모델링 및 시뮬레이션 할 수 있는 시스템을 말한다. HILS 시스템을 사용하게 된다면 가상으로 실험을 구현할 수 있게 되어 실험 의 안정성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 제어기 성능 검증 및 시스템 구성 비 용 또한 절감할 수 있게 된다. 본 과제에서는 PLECS에서의 HILS인 RT-BOX 를 사용하고 제어하기 위해 제어 보드와 RT-BOX를 연결하는 터미널 보드를 제작하여 전력전자 회로 모델링 및 제어 시스템 개발에 아용하고자 한다.

2. 제작 및 실험

2.1 RT-Box와 제어 보드의 디지털 신호 연결

RT-Box에서는 5V의 디지털 신호를 사용하지만 제어 보드에서는 3.3V를 사용하고 있기 때문에 제어 보드에서 나오는 디지털 신호를 RT-Box에서는 받을 수 있지만 RT-Box에서 나오는 디지털 신호는 제어 보드에서 받을 수 없게 된다. 따라서 Transceiver인 SN74LVCH16T245DGGR 소자를 사용하여 RT-Box에서 나오는 디지털 신호를 제어 보드에서 받을 수 있도록 5V를 3.3V 신호로 바꿔주었다.

2.2 RT-BOX와 제어 보드의 아날로그 신호 연결

RT-BOX에서는 10V의 아날로그 신호를 사용하지만 제어 보드에서는 5V를 사용하고 있기 때문에 10V를 5V로 바꿔줘야 한다. 이는 OP Amp를 증폭비가 0.25가 되도록 설계하여 RT-BOX에서 받은 10V를 2.5V로 만들어 주고 REF3425SQDBVRQ1 레귤레이터 소자에서 2.5V를 받아 5V로 만들어 주었다. 이 5V 아날로그 신호는 2차 능동 필터인 Sallen-key filter를 사용해서 노이 즈를 저감하였다. 차단 주파수는 동작 주파수 20kHz보다 약 4배 정도 큰 75.8kHz로 하였고, Q값은 시뮬레이션을 통해 최적의 값인 0.699로 선정하였다.



Fig. 1 Experimental setup

3. 실험 결과 및 고찰

RT-BOX와 제어 보드의 디지털 신호 연결이 되는지 확인하기 위해서 SN74LVCH16T245DGGR 소자 출력이 제어 보드에서 받을 수 있는 3.3V인 지 확인하였다. Fig. 2를 보면 출력이 3.3V라는 것을 확인할 수 있다.

	•			1 0045 4 C20 V 0045 45 0000V 254 V A.7.200 V
1 2.69 V 🚯 2.99 V		40000	* 2.500.50V	1 0 1 101
				1145 av

Fig. 2 SN74LVCH16T245DGGR device output

RT-BOX와 제어 보드의 아날로그 신호 연결이 되는지 RT-BOX에서 받은 10V가 최종적으로 5V가 나오는 것을 Fig. 3으로 확인하였다. 또한 출력단에 있는 Sallen-key filter가 75.8kHz보다 큰 100kHz 파형은 감솨하게 만들고, 20kHz 파형은 그대로 출력하는 것으로 보아 2차 능동 필터가 제대로 동작하는 것을 알 수 있다.



Fig. 3 Analog out signal



Fig. 4 Sallen-key filter

참 고 문 헌

- Cha, I. H., Seo, Y. T., 2019, Power electronics simulation software, Introduction to PLECS. KIPE MAGAZINE,24(5),50-53.
- (2) Gang, D. H., Modeling and control validation of power electronic circuits using RT-Box, and implementation of Hardware-in-the-Loop (HIL) simulation. KIPE MAGAZINE, 23(6),41-45.

자율주행 기반 인도 제설용 로봇

박규철, 김대현, 이동형, 이승한, 강창묵^{*}

Autonomous snow removal robots in pedestrian roads

Kyu Cheol Park, Dae Hyeon Kim, Dong Hyeong Lee, Seung Han Lee, Chang Mook Kang*

인천대학교 전기공학과

Key Words : ROS, Self-driving robot , Path-planning

1. 서 론

눈이 내리고 기온이 낮은 겨울철, 행인들이 인도에서 넘어지고 다치는 낙상 사고가 끊임없이 발생하고 있다. 제설작업이 도로 위주로 진행되고 있는 반면 에, 인도는 그러지 못하였다. 또한 제설 장비가 대부분 5~15[t]의 무게가 나가 는 크기로 차도에서만 지나다닐 수 있는 한계점이 존재하였다. 따라서 인도에 쌓여있는 눈을 효과적으로 제설하기 위해서 자율주행 플랫폼을 기반으로 한 소형 로봇인 LIMO'를 도입하게 되었다.

LIMO가 움직이면서 아두이노 보드와 초음파 센서를 통해 사물 간의 거리 를 인식하고 설정해둔 프로그래밍에 따라서 인도의 눈을 잔디로 밀어버리는 형식을 고안하였다.

이때, LIMO 앞면에 넉가래를 결합하였고 이를 리니어 모터를 통해 움직임 을 조절하게 된다.

그리고 2개의 리니어 모터 길이 변화를 줌으로써 넉가래에 기울기가 생겨 효과적으로 눈을 치울 것으로 기대하고 프로젝트에 임하게 되었다.

2. 실험 및 장비구성

Image: Series of the series

3. 초음파 거리 센서와 리니어 모터의 구동 방식



먼저 넉가래의 기울기를 발생하기 위한 리니어 모터의 구동 방식은 다음과 같다.

초음파 거리 센서가 LIMO와 사물 간의 거리를 0.5[m] 이하로 인식하게 되면 <u>리니어</u> 모터의 축이 들어가게 되고, 0.5[m] 초과로 인식하게 되면 <u>리니어</u> 모터의 축이 나오게 된다.

Symbol	Function	Ch.A	Ch.B	
DIR	모터 방향 변경	D12	D13	_
PWM	PWM 입력	D3	D11	
	<표 A> M	otor Shield - Pin Map	e	

1. 인도에 있는 눈을 제설하게 되며 받은 잔디로 쌓이게 하고, 차도로는 행이지 않도록 한다. 4 2. 로봇은 파란색 선이 표시된 경로로 이동한다. 3. 로봇은 양원에 부착된 초음파 거리 선서를 통해서 나무와의 거리를 경찰한다. 1. 인도에 있는 눈을 제설하게 되며 연구 환경 가 않으며 부착된 초음파 거리 선서를 통해서 나무와의 거리를 수정한다. 4. 측정한 거리를 통해서 리니어 모터의 길이를 제어하여 떡가지함기 등 조정한다. 4. 측정한 가리를 통해서 리니어 모터의 길이를 유해야 다. 5. 로봇이 가까운 적의 리니어 모터는 최소 길이이고, 반대쪽의 리너어 오러는 최소 길이이고, 반대쪽의 리너어 오러는 최소 길이에 유지한다. 5. 로봇이 주행을 마치게 되면 인도 위의 눈은 전부 차측의 잔디로 보이 것인 옷 4. 또 주도 5. 로봇이 주행을 마치게 되면 인도 위의 눈은 전부 차측의 잔디로 보이 것이 같다.

<그림 B> 시나리오 구상도



5. 시나리오 HW / SW 동작 및 설명

6. 결론 및 고찰

LIMO와 리니어 모터를 아용한 넉가래의 움직임 즉, 인도에서의 제설작업 을 확인하였다. 그 결과 넉가래의 기울기 조절을 통해 눈을 모으는 과정에서 손실을 최소화할 수 있었으며, 차도로 눈이 떨어지는 상황 또한 줄일 수 있었 다. 간단한 트랙 일지라도 LIMO에 좌표를 어떻게 찍어주는지에 따라 동선 이 달라지고 이를 최적화하기 위해서 많은 시행착오를 겪어야 하는 점이 필 연적인 것을 느끼게 되었다.

참 고 문 헌

 Shin.Y.W , 2014, Development of Intellectual Online Coverage Path Planning Algorithm for Cleaning Robot

4. 시나리오 개요 및 구상도

FDC용 4상 인터리브드 부스트 컨버터

김원준¹, 김민재¹, 장근호¹, 이준형¹, 이상윤², 윤한신^{1*}

Four - phase interleaved boost converter for FDC

W. J. Kim¹, M. J. Kim¹, G. H. Jang¹, J. H. Lee¹, S. Y. Lee², H. S. Youn^{1*}

인천대학교 전기공학부¹, (주)용인전자²

Key Words : 4-phase, Boost converter

1. 서 론

낮은 전압의 수소연료전지와 높은전압의 인버터 사이에 승압형 FDC컨버터가 필요하다. 기존 부스트컨버터의 경우 입력 전류 리플이 크다는 잔점이 존재한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 4개의 부 스트 컨버터를 병렬로 구성하고 위상 차(90°)를 두어 구동하여 입력 전류의 리플을 저감하고 동작 주파수를 증가하는 효과를 가져오려고 한다.

2. 4상 인터리브드 부스트 컨버터의 파라미터

본 실험에서는 입력전압 200V와 출력전압 400V, 전력은 1.6kw이 고 듀티0.5와 스위칭 주파수는 50kHz로 기본 파라미터를 설정하였다. 또한 494.13uH의 단일 인덕터(Ferrite core(PQ3220), 52turn)로 4개 와 200pF의 커패시터 사용하였다. PWM은 90° 위상 차를 두어 실행 하였다. Fig. 1은 실험 파라미터를 표로 나타낸 것이며, Fig. 2는 90° 위상 차를 가진 PWM 신호 파형이다.



3. PSIM 시뮬레이션 회로도 및 파형

Fig. 3은 4상 인터리브드 부스트 컨버터의 PSIM 회로도이다. Fig. 4에서 위의 파형은 위상 차가 발생한 인턱터 전류 파형이다. 이때 상 의 중첩으로 인해 입력 전류 리플이 상쇄 될 것이다. Fig. 4의 아래 파 형에서 입력 전류 리플이 감쇄함을 확인할 수 있었다. 따라서 인터리 빙 방식을 통해서 입력 전류 리플이 저감됨을 알 수 있었다. 동일한 입력 전류 리플 사양에서 단일 부스트 컨버터에 비해 상전류 리플을 크게 확보 할 수 있어 필요한 인덕컨스가 감소한다는 장점을 가진다.



Fig. 3 PSIM 회로도

Fig. 인덕터 전류 파형

4. 실험 결과

Fig. 5는 4상 인터리브드 부스트 컨버터의 실제 실험 사진이다. 본 실험에서는 4개의 인덕터를 직접 감아 설계하고 원하는 인덕턴스의 값을 맞추었고, center-tap보드를 이용하여 4개의 스위치를 구성하였 다. Fig. 6 오실로코프 파형에서 보시다시피 듀티 0.5에서 입력 전류 리플이 거의 없음을 확인할 수 있었다. 입력 전압 200V에서 출력 전 압이 400V로 승압하였다. 또한 인덕터 전류의 위상 차를 확인 할 수 있었다. 따라서 승압 특성을 가진 동시에 입력 전류 리플이 저감되는 인터리브트 부스트 컨버터를 설계하였고 이는 전기차 연료 전지에서 사용될 수 있을 것이다. 즉 기대효과는 리플 저감의 효과로 품질 및 손실 관점에서 효율 향상되고, 필요한 인덕턴스의 감소로 인한 크기 및 비용 절감의 용이성이 증가한다.



Fig. 5 4상 인터리브드 부스트 컨버터



참고 문 헌

- Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, Power Electronics Converters, Application and Design, 2nd ed., Hohn Wiley & Sons, Inc., 1995.
- (2) Muhammad Harunur Rashid, Power Electronics-Circuits, Devices and Applications, 2nd ed., Prentice-Hall International, Inc., 1993.
- (3) John G.Kassakian, Martin F. Schlecht, George C. Verghase, Principles of Power Electronics, Addison-Weley Publishing Company, Inc., 1991.

자율주행 모빌리티의 관제 시스템

송기훈¹, 김민찬², 임지훈¹, 전수연¹, 강창묵^{3*}

Management system for autonomous driving mobility

G. H. SONG¹, M. C. KIM², J. H. LIM¹, S. Y. JEON¹, C. M. KANG^{3*} 인천대학교 정보통신공학과¹, 인천대학교 메카트로닉스학과², 인천대학교 전기공학과³

Key Words : Mobility, Fleet management system

1. 서 론

자율주행 모빌리티의 관한 연구가 계속하여 발전하고 있음에 따라 모빌 리 시스템의 제어나, 관리 분야의 중요성이 강조되고 있다. 이에 본 프로 젝트는 ㈜아이비스에서 개발중인 자율 주행 모빌리티의 관제 웹 모델을 만드는 것이며, 실제 좌표를 입력하여 경로를 보여주고 제어할 수 있는 기능이 있는 웹이다. 본 프로젝트의 목적은 자율주행 모빌리티의 관리를 수행할 수 있는 웹을 개발하는 것으로 구체적인 목표는 (1) 자율주행 모 빌리티의 경로 추적, (2) 자율주행 모빌리티의 움직임 조작이다.

2. 설계

VS CODE를 이용하여 로컬 호스트 서버를 구축하였으며 개발에 필요 한 필수 기능들을 구현하였다.



왼쪽의 화면에 보이는 것과 같이 사이 트에 접속하게 되면 관제시스템의 관리자 만 로그인하여 접속 할 수 있도록 로그인 페이지를 구현하였다. 주어진 관리자 아 이디를 입력하게 되면 로그인을 성공할 수 있다.

로그인을 하게 되면 메인페이지로 이동

지도를

+-(VEHiCLE1,2) 왼쪽 상단에 있는 두

개의 버튼은 두개의 각 모빌리티들의 경

이용하였다.

있다

하게 된다. +카카오 MAP API를 가져와

로를 따로 확인할 수 +(GO,STOP,RESET) 모빌리티의 간단한 조작을 위한 버튼으로서 모빌 리티의 움직임과 설정을 초기화할 수 있다.

서

실제



VEHiCLE1,2의 각 모빌리티의 좌표를 입력하게 되면 맵에 보이는 선 과 같이 경로가 이어지는 모습 을 볼 수 있다. 이 기능을 구현함으로써 모빌리티의 좌표를 입력하여 실제 경로가 어떻게 되는지 눈으로 쉽게 확 인할 수 있다. 맵 아래의 칸에서는 입력한 좌표값을 수식으로 보여주고 있다.





4. 알고리즘 구현



왼쪽의 코드는 주어진 좌표중 연 속되는 두 개의 좌표 사이의 있을 수 있는 좌표들을 간격을 두고 구할 수 있도록 알고리즘을 구현하였다. 이어지는 각 좌표의 사이에 있는 좌 표를 10개씩 추출하였다.

왼쪽의 지도는 VEHCLE1을 GO버튼을 이용해 실행시킨 모습이 다. 지도에 보이는 자동차 모형이 좌 표의 시작점에서 부터 도착지점까지 순차적으로 움직이게 된다.

<그림4>에서 구한 좌푯값을 이용 해 자동차모형이 입력된 좌푯값 하 나하나를 지나치게 된다. 또한, STOP 버튼을 이용해 움직이고 있 🐘는 자동차 모형을 멈추게 할 수 있으

며, 다시 GO버튼을 활용해 멈춘 지점에서 다시 움직이게 구현하였다

5. 결론

본 프로젝트에서는 자율주행 모빌리티의 관리,조작을 하기 위한 관제시 스템 웹을 제작하였다. 실제로 자율주행 모델은 계속해서 발전되고 있는 만큼 이러한 모빌리티의 관제 시스템은 필수 적으로 개발 되어야 한다. 이에하여 주어진 좌표를 입력 하였을 때 웹 상에서 모빌리티 모델이 정확 하게 이동하는지를 보는 것이 목표였으며, 더욱 자세한 값을 처리하기 위 해 좌표 사이의 값 을 세세하게 구하여 정확한 모델을 구현하였다. 향후 프로젝트에선 카카오 맵 상에서 발생할 수 있는 작은 좌표 변동사항들과 자율주행 모빌리티에서 일어날 수 있는 오류들을 보완시키기 위 한 작업 을 해야할 것이다. 또한 실제 모빌리티의 이동중에 일어날 수 있는 실생활 문제들을 어떻 게 해결해 나갈것인가에 대한 연구도 진행할 예정이다.

다중 IMU Sensor Fusion용 데이터 측정 테스트베드 구축

박이형², 김영근¹, 이보형¹, 강성민³, 강창묵^{1*}

Data measurement test-bed manufacture for Multi-IMU Sensor fusion

Y. H. Park¹, Y. G. Kim², B. H. Lee², S. M. Kang³, C. M. Kang^{2*} 인천대학교 임베디드시스템공학과¹, 인천대학교 전기공학과², 인천대학교 전자공학과³

Key Words : Multi-IMU, Sensor fusion

1. 서 론

무역투자진흥공사의 20년도 자료에 따르면, 글로벌 스마트 센서 부분별 시장규모 및 전망중 모션 및 동체감지센서의 시장규모 및 전망은 전체 센 서 시장의 3위를 차지할 정도로 시장의 규모가 크다. 또한 향후 60억 달러 규모의 시장에서 160억 달러 규모의 시장으로 변화할 것으로 예측되는데, 관련 제반 기술의 확보가 중요한 시점에 도달하였다.

이러한 추세에 맞추어, 저가형 IMU Fusion을 활용하여 고가의 IMU성 능에 추종하는 기술을 개발할 경우 관련 IMU 센서 시장에 새로운 패러다 임을 제공할 수 있다. 또한 미사일이나 우주선에 활용되는 고가, 고성능의 IMU를 사용하는 것의 대안으로 저가형 IMU의 Fusion을 활용함으로써 가격 대비 성능(가성비)의 측면으로 접근한다면 고가 IMU 센서를 사용하 지 않는 대안시장을 만들 수 있다.



2. Multiple IMU Fusion 과정

Multiple IMU Fusion이란 다수의 관성측정센서의 데이터를 융합하여 통합되고 정합된 하나의 가상 IMU 데이터를 도출하는 과정을 의미한다. 다음과 같은 구조의 IMU 융합을 통해 Fusion을 진행할 수 있는데, 그에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.



개별의 IMU는 IMU0, IMU1, IMU2…의 순서대로 구분되며, 가속도 를 측정하는 Accel과 각가속도를 측정하는 Gyro를 x,y,z에 대해 측정할 수 있다. 이렇게 측정된 값을 원값인 RAW데이터라고 표현하는데, 이는 IMU 센서가 가지고 있는 오차인 Bias를 제거하지 않은 값이다. 따라서 Bias를 제거하는 과정인 Offset을 제거하는 과정을 거친다. 이후 개별 IMU들에 대해 통합하는 과정인 Integration을 거쳐 최종적으로 Roll, Pitch, Yaw를 도출하기 전의 데이터를 추출한다.

이를 구축하기 위해 개별의 IMU들에 대해 I2C 직렬 통신을 활용하여 데이터를 불러온다. 이후 Processing 툴을 활용하여 그래프를 그려 플렛 폼이 정상적으로 동작하는지 확인할 수 있다.



3. 제작 과정





연결했다.

설정

0x10

0v10

0x00

0x3B

0x43

IMU와 만능기판의 배선 작업을 진행했다.

4. 설계도 및 레지스터 구성



5. 결과 및 기대효과



다음은 구성된 테스트배드에 기반하여 Processing Tool로 UI를 구성 하고 필터의 유무에 따른 데이터를 시각화한 모습이다.

이와 같이 본 프로젝트의 테스트배드를 통해 Imu Fusion 테스트 및 데 이터화에 대한 다양한 실험을 진행할 수 있다.

IMU Fusion 실험 및 테스트에 대해 용이한 사용이 가능할 것으로 기 대한다.

참고문 헌

(1) 김지연 외 3인, 2020, GPS-free Localization Based on Multiple IMUs and Federated Filter Fusion, ICROS, 26:9. 708-714.

지뢰 탐지 자율주행 로봇

김동화, 박정은, 이재학, 이재혁, 황치영, 조구영*, 임성한*

Mine detection autonomous robot

D. H. Kim, J. E. Park, J. H. Lee, J. H. Lee, C. Y. Hwang, G.Y. Cho*, S. H. Rhim*

단국대학교 공과대학 기계공학과

Key Words : Mine detection, Autonomous, Robot, Arduino

1. 서 론

유실 지뢰 및 미제거 지뢰 등으로 인한 인명 피해, 환경 파괴 등의 많은 문 제가 매년 지속적으로 발생하고 있으며, 이러한 문제를 예방하기 위한 지뢰 탐지 및 제거 작업에 무인 로봇이 적극적으로 활용되고 있다. 본 논문에서는 무인 자율주행 및 지뢰 탐지와 표시 기능을 갖춘 지뢰 탐지 로봇을 설계하고, 이를 프로토타입으로 제작하여 기능 구현의 가능성을 확인하고자 한다.

2. 센서 기반 자율주행

본 지뢰탐지 자율주행에서는 측면과 전방의 장애물 유무를 판단하기 위해 초음파 센서와 라이다 센서, 지뢰를 탐지하기 위해 금속 탐지 센서를 사용하 였다. 자율주행 순서는 다음과 같다. 먼저, 초음파 센서로 지면과의 거리를 조 절하여 탐지하기 적합한 거리를 유지한다. 정해진 구역을 따라 자율주행 도중 라이다 센서가 장애물을 감지하면 피해간다. 주행 중 지뢰를 금속 탐지 센서 가 감지하면 소리를 내면서 로봇이 정지한 후 분말을 분사하고 처음 출발 장 소로 복귀한다. Fig. 1은 정해진 구역을 탐지하는 방법을 보여주고 있으며, 로 봇의 평균 속도는 0.1m/s이며, 가동시간은 1시간으로 정하였다.

전 후 직진 20초 전 후 직진 4초 전 후 직진 20초 전 후 직진 4초 1전 후 직진 20초
で非

Fig. 1 Autonomous driving sequence

3. 설계 및 프로토타입 제작

야지에서 주행하기 위해 제품의 바퀴를 무한궤도로 설계제작하였다. 또한, 아두이노를 사용하여 금속 탐지 센서, 초음파 센서, 라이다 센서를 연결하여 이를 바탕으로 한 제어시스템 구축을 통해 로봇 전체의 움직임을 제어하였다. 알고리즘과 블록다이어그램 및 회로도를 Fig. 2에 나타내었으며 완성된 제품 의 3D 도면과 실제 사진은 Fig. 3에 나타내었다.



Fig. 2 Algorithm and Block Diagram and Circuit Diagram

Fig. 3 Design and prototype of mine detection autonomous robot



(a) Designated zone detection





(b) Obstacle avoidance



(c) Mine detection (d) Powder spraying Fig. 4 Mine detection autonomous robot function process

Fig. 4(a)는 지정 구역을 탐지하는 과정이며, Fig. 1의 과정으로 탐지한 다. (b)는 주행 중 장애물을 회피하는 과정으로 라이다 센서를 통해 전 방 120°~160° 영역을 감지한다. 장애물 회피 후 다시 자율주행 시퀀 스로 주행한다. (c)는 지뢰 탐지 후 분말을 분사하여 표시를 하고 처음 출발 장소로 복귀하는 과정이다.

4. 결 과

지뢰 탐지 자율주행 로봇을 설계하고, 이를 프로토타입으로 제작하여 가능 구현의 가능성을 확인하였다. 다만, 가능 구현 및 확인 목적으로 설계제작된 로봇이라 내구성 확보와 가능 향상을 위한 추가 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 정부(교육부-산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P002094, 2022년 미래형자동차 기술융합 혁신인 재양성사업)

- (1) Lee, S. H., Ko, J. S., Jung, Y. H., Shin, H. S., Kim, C. J., Lee, S. Y., Han, C. S., 2007, A Study on the Driving Analysis of Tracked Robot, Proceeding os the KSME Conference, 0.5a 867-872.
- (2) Lee, S. H., Han, C. S., 2008, Design and Feasibility Study of a Tracked Robot for Landmine Detection, Jornal of the Korean Society for Precision Engineering Vol. 26, No. 3, 68-72.
- (3) Lee, Y. J., Chang, Y. H., Ryoo, Y. J., 2016, Platform Design of Caterpilar Typed Electrical Vehicle, Journal of Korean Institute of Intelligent Systems Vol. 26, No. 4, 279-285.

모빌리티 기반 주차 관리 시스템 구현

김산, 민경원, 박정렬, 오수민, 최예지, 이희윤*

Implementation of a mobility-based parking management system

S. Kim, G. W. Min, J. R. Park, S. M. Oh, Y. J. Choi, H. Lee*

단국대학교 기계공학과

Key Words : Mobility platform, Parking management system

1. 서 론

최근 차량 이용이 많은 주차시설에는 LPR(License Plate Recognition), 주차 관제 시스템이 구축되어 있다. 하지만 이 시스템은 주차시설 이용자 가 주차 가능 위치 확인 및 이용 시간 등 주차 관련 정보를 실시간을 확인 하기 어렵다. 또한 주차시설 관리자는 시스템의 초기 설치 비용이 부담이 며, 제한된 공간에서만 설치할 수 있다는 단점이 있다. 따라서 기존의 LPR 시스템의 단점을 극복하기 위해 본 시스템을 구축했으며, 특히 제한 된 공간 외에서의 주차 관리 시스템 구축과 기존 시스템보다 경제적으로 주차장 통합 관리 시스템 구현에 목적을 두었다.

2. 모빌리티 하드웨어 설개

본 모빌리티는 ROS 기반으로, 라즈베리파이4에 Webcam, 2D LiDAR 센서, 아두이노 보드를 연결해 같은 Wifi 환경 내에서 노트북 과 Topic을 공유하며 아두이노 보드로 모터를 구동한다. 2D LiDAR 센서로 Mapping, Localization과 경로를 지정하고, Webcam을 이용 해 차량 번호판을 인식한다. 센서들을 통해 인식한 정보를 사용자가 확인할 수 있도록 웹페이지에 주차 관련 정보를 실시간으로 전달한다. 또한 좁은 공간인 주차장의 특성을 고려해, 지게차의 동작 원리를 바 탕으로 전륜 구동 및 후륜 조향으로 회전반경을 최소화한다. 조향장치 는 Watt II 6절 기구로 제작하여 Ackerman Geometry에 근접하도록 링크 길이를 정했으며, 직진 시에 후륜이 Toe in 하도록 설계했다.



Fig. 1 Steering design Watt II(left) and Ackerman Geometry(right)



YDLiDAR G4 Arduino Mega Fig. 2 Wiring Diagram with used components for sensing and control

3. 주차 관리 시스템 설계

차량 번호판 인식을 위해 차량 번호판 인지를 Yolov5s 모델을 이용 해서 구현했다. 라즈베리파이4에 연결된 Webcam의 영상을 노트북에 서 구독하여 차량 번호판이 인지되면 Boundingbox를 생성 및 캡처하 고 Python의 Pytesseract를 이용해 차량 번호를 추출한다. 추출한 차 량 번호를 웹페이지에 전달하여 사용자가 확인할 수 있다.



Fig. 3 Process of license plate recognition and web page transmission

4. 결 론

본 연구에서는 주차장 관리가 가능한 자율주행 기반 모빌리티 플랫 폼의 시제품을 설계 및 구현하였다. 향후 플랫폼의 조향장치 성능 개 선 및 소프트웨어 보완을 통한 개선에 관해 연구를 진행 예정이다.



Fig. 4 Modeling(left) and Actual(right) appearance of mobility

후 기

이 연구는 정부(교육부-산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진 흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (P0022094, 2022년 미래형자동차 기술융합 혁신인재양성사업)

- Park D. G, Kim K. R., Jang J. W., Kim D. H., 2021, ROS-based Control System for Localization and Object Identification of Indoor Self-driving Mobile Robot. Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. A, 45(12), 1149-1160.
- (2) Kwon H. H., Park S. H., Im J. H., Jang S. W., Kwak T. W., 2019, A Study on Rapberry Pi and OCR-based Vehicle License Plate Recognition Portable Module Development. Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference, 26(2), 615-618.

자율주행 기반 분말 살포 차량 설계 및 성능 평가

장윤호, 이동현, 조재희, 오세원, 문현수, 조구영, 임성한*

Design and performance evaluation of powder spraying autonomous vehicle

Y. H. Jang, D. H. Lee, J. H. Cho, S. W. Oh, H. S. Moon, G. Y. Cho, S. H. Rhim^{*} 단국대학교 공과대학 기계공학과

Key Words : Powder, Dispersion, Spray, Motor, Motor driver, Chain, Gear, Auto-drive

1. 서 론

큰 차량이 작업하기에 제한적인 골목길, 경사로 혹은 위험지대에서 스스로 움직이며 분말을 살포하는 장치를 설계할 필요성이 있다. 중력 에 의해 떨어진 분말을 팬을 이용해 물리적인 힘과 원심력으로 고르게 살포한다. 용도에 따라 염화칼슘(CaCl2), 살충제, 동물기피제 등을 채 워 다목적으로 사용할 수 있고 자율주행하며 목표를 달성하는 분말 살 포 차량을 설계하고자 한다.

2. 본론

구동 및 주행은 모터를 이용한다. 구동부 모터축과 구동축을 커플링 으로 연결해 동력 전달하고 스프로킷휠과 체인을 연결해 종동축을 구 동한다. 이때 같은 방향의 종동축을 체인으로 구속해 무한궤도의 구동 방식에 따라 구동한다. 또한 살포 팬 역시 모터로 구동하며 좌, 우 구 동모터, 살포 모터 총 세 개의 모터는 각각의 모터드라이버로 출력과 방향을 제어한다.

본 설계제작품은 사람의 보행속도를 고려하여 1.03 m/s로 제작하였 다. 300W 동력을 출력하는 모터 2개를 사용하고 정격 전압이 12V, 정격 전류가 40Ah 배터리 하나를 사용한다. 구동에 사용되는 축은 강 도 설계와 강성 설계를 통하여 안정성을 확인하였으며 SUJ2 재질을 사용한다. 무게중심과 분포 하중에 대한 안정성은 Inventor 응력해석 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 살포기 설계에서 유효 살포폭을 도로 의 폭, 제설 기준 등을 고려해 2m로 설정하였다. 분말 투척 속도나 토 크 등을 고려하여 5W의 출력동력과 150rpm의 각속도를 가지는 모터 를 사용하였다.



Fig. 1 Spray wheel and chain structure

제작품의 제어는 아두이노와 모터드라이브로 구동모터를 제어한 후 커 플링을 통해 구동축으로 동력을 전달한다. 뒤에 설치된 종동축은 스프로 켓휠과 체인을 통하여 동력이 전달되어 전진, 후진 및 방향 전환을 한다. 방향 전환은 전차의 무한궤도와 동일한 원리를 적용하여 서로 다른 모터 2개의 방향 차이로 회전을 한다. 그리고 본 오토모빌이 장애물을 마주쳤 을 시 전방 1m 이내에 장애물이 감지되면 모터의 작동을 멈추어 충돌을 예방한다. 이 때 장애물이 사라지면 다시 모터를 작동시켜 구동을 재개한 다. 움직이지 않는 장애물이 인식되면 몇 초 후 방향을 전환하여 비켜가도 록 설계했다. 설계의 주목적인 분말 살포 기능은 모터에 의해 작동하는 살 포 팬이 일정한 각속도로 회전하기 때문에 중력에 의해 떨어지는 분말을 균일하게 분사할 수 있게 한다. 분말을 소모하여 저장하는 통 안에 분말이 부족하게 된다면 분말의 높이를 측정하는 초음파 센서로 이를 인식하여 구동을 멈추고 원래 위치로 돌아온다. 3. 결론



Fig. 2 3D Modeling and actual appearance of vehicle

설계한 제작품의 사양은 다음과 같다. 크기는 가로*세로*높이 1004*900*480(mm³)로 다소 제한적인 환경에서 구동되기에 충분한 크 기로 설계하였다. 최대 주행 속력은 1.03(m/s), 살포 분당회전수는 150 (rpm), 살포량, 배터리 용량에 따른 구동범위는 3.5*40(m²)로 설정하였 다. 또한 정격전압 12V, 동력 300W인 모터를 사용해 충분한 동력을 설 정하였다. 프레임은 주로 알루미늄으로 구성되었으며 외부 마감, 받침대 역할은 아크릴판을 이용해 구성하였다. 3D프린터로 제작한 살포기 부분 은 PLA소재로 출력하였고 이외에도 축 SUJ2소재, 휠 플라스틱, 고무 등 의 소재로 구성되었다.

모빌리티의 살포 범위 측정 및 구동은 초음파센서를 통해 구현하였 다. 살포범위의 경우 벽간 거리 계산을 통해 왕복 회전수가 결정되었 다. 3.5m의 폭을 가진 벽에 대해 3회 왕복운동 하였으며 거리지정 값 40m에 대해 정상 작동함으로써 초기 성능과 일치함을 확인하였다. 반 면 살포팬의 유효 살포폭은 최대 1.3m로 초기 설정한 2m의 유효 살포 폭에 비해 35%의 오차율을 보였다. 이를 통해 실제 제설제의 살포율 은 0.05kg/s로 초기 설계값인 0.08kg/s보다 더 적게 살포되는 것을 확인 할 수 있다.

후 기

본 연구는 정부(교육부-산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥 원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0022094, 2022년 미래형자동차 기술융합 혁신인재양성사업)

- J. Y. Lee, H. S. Kim, I. B. Lee, S. H. Seo, S. W. Jeon, D. J. Kim, 2014, *Development of Spraying Equipment for Snow Clearing*, Science On, 7-32
- (2) Daedong Industrial Co., Institute of Technology, Taeseong Industrial Co., 2017, Compact Snow Removing Equipment & Standard Process Development R&D Report, Science On, 70-285
- (3) D.G. Yun, J.H. Jeong, *Performance and Adequate Usage of Deicing Materials*, 2006, Korean Society of Road Engineers, 55-64
- (4) N.Y Jeong, 2020, Mechanical Engineering Design, Hakjin Books

ROS 기반 실외 자율주행 알고리즘 설계

윤성현, 강지훈, 김동민, 이명수, 허재웅, 이희윤*

Designing an outdoor autonomous driving algorithm based on ROS

S. H. Yoon, J. H. Kang, D. M. Kim, M. S. Lee, J. W. Huh, H. Lee*

단국대학교 기계공학과

Key Words : Autonomous driving, Lane detection, Object detection, Path tracking, ROS

1. 서 론

자동차 업계에서는 최근 몇 년간 자율주행 분야에 많은 관심과 투자 가 이루어지고 있다. 이에 본 연구는 ROS(Robot Operating System) 기반으로 자율주행플랫폼(ERP-42)을 이용하여 자율주행 시스템을 구 현한다.

2. 본론

2.1 Lane Detection & Stop line detection



Fig. 1 Result of lane detection & stop line detection

OpenCV와 Python을 이용하여 차선인식 알고리즘을 구현하였다. 해당 알고리즘은 bird eye view와 sliding window를 주요 기법으로 사용하며, ROI 설정을 통해 도로 노면 표시를 차선으로 인식하는 오류를 방지하였다. 다음으로 정지선 검출 알고리즘은 가우시안 필터링, bird eye view, 이진화, 엣지 검출, ROI 설정의 이미지 전처리 과정을 거치고 OpenCV의 findcontour 함수를 이용하여 정지선의 윤곽선의 정보를 추출하였다. 최종적으로 해당 윤곽선의 폭과 높이를 분석하여 정지선을 판단하였다.

2.2 2D Detection



Fig. 2 Result of 2D Object Detection

교통 신호의 2D 객체인식을 위해 YOLOv5를 활용했다. 학습시킨 class는 사람, 신호등, 표지판 등으로 총 12개이다. 빛의 방향 및 세기, 거리를 고려한 다양한 이미지로 학습 data를 구성하였고, Train과 Validation, Test 학습 데이터의 비율은 6:2:2로 학습시켰다. 학습 결 과의 성능 평가는 각 객체마다 계산한 Precision, Recall, 그리고 학습 결과의 최종 성능치를 비교했을 때, 최종적으로 0.92의 높은 성능치를 기록하여 해당 객체인식 기술을 자율주행기술에 적용시킬 수 있음을 확인하였다.

2.3 3D Detection



Fig. 3 Result of Point Cloud Preprocessing & Clustering

3차원 라이다(VLP-16)로 얻은 포인트 클라우드 데이터에 RANSAC을 활용한 바닥제거, Voxel을 활용한 다운샘플링, 원기둥 좌표계 변환을 통한 FOV설정 등의 전처리 과정을 적용하였다. 이를 통해 알고리즘에 필요한 포인트만 남기고, 계산 부하를 최소화할 수 있었다. 전처리 과정을 거친 포인트 클라우드 데이터들은 클러스터링 을 적용하여 PID 제어를 활용한 라바콘 경로주행, 동적장애물 회피, 주차공간 인식 및 주차, 카메라와 라이다 퓨전을 통해 객체 거리 계산 등에 사용했다.

2.4 Path Tracking

생성된 Global path를 따라 차량을 주행하기 위해서 경로 추종 알고리즘 Pure pursuit와 Stanley method를 통합한 알고리즘을 사용하였다. 두 알고리즘으로 계산한 조향각을 차량의 속도, heading error(차량의 yaw와 경로의 곡률 차이)에 따라 가중치를 선형적으로 제어하여 최종 조향각을 구하는 방법을 사용하였다.

$$k_{Stan} = 0.03v_{car} + 0.2 + \frac{0.8}{90^{\circ}} w_{car - path}$$
(1)

$$k_{Pure} = -0.03 v_{car} + 0.8 - \frac{0.8}{90^{\circ}} w_{car - path}$$
(2)

차량이 저속이고 heading error가 작을수록 Pure pursuit에 가중치를 준다. 차량이 고속이고 heading error가 클수록 Stanley method에 가중치 를 주게 된다. 만약 두 가중치가 0보다 작거나 1을 초과할 때는 두 가중치 값을 1,0으로 지정한다. 두 가중치를 이용하여 최종 조향각을 구하는 식은 아래와 같다.

$$\delta = k_{Pure} \cdot \delta_{Pure} + k_{Stan} \cdot \delta_{Stan} \tag{3}$$

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 자율주행 시스템을 4가지의 파트로 나누어 구성했다. 각 파트 별 알고리즘을 설계한 뒤, smach machine을 이용하여 알고리 즘을 통합했다. 향후 터널과 같이 GPS 통신이 불가능한 지역과 고속 도로의 톨게이트 구역에 대한 대응 전략을 추가하여 실제 도로 상황에 서의 자율 주행 성능을 향상시키고자 한다. 또한 라이다-카메라, 라이 다-IMU 등의 센서 퓨전을 통해 주행 환경 인지 능력을 높여, 더욱 안 전한 자율주행 시스템을 설계하고자 한다.

후 기

이 연구는 정부(교육부-산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술 진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0022094, 2022년 미래형자동 차 기술융합 혁신인재양성사업)

참고문 헌

 Dong Yeon Yu, Dong Gyu Kim, Ho Seung Choi, Sung Ho Hwang, 2020, Hybrid Control Strategy for Autonomous Driving Systemusing HD Map Information, Journal of Drive and Control 17(4), 80-86.

OpenCV 기술을 활용한 2차 사고 방지 자율주행 안전 삼각대 개발

김은수, 백승훈, 이호성, 피유신, 한현도, 지성철, 송지현*

Development of autonomous driving safety tripod using OpenCV to prevent secondary accidents

E. S. Kim, S. H. Baek, H. S. Lee, Y. S. Phee, H. D. Han, S. C. Jee, J. H. Song

단국대학교 기계공학과

Key Words : Autonomous driving, Safety tripod, OpenCV, Sensor fusion

1. 서 론

고속도로 내에서 사고 등으로 인해 차량 주행이 불가능할 때, 차량 후 방으로 목표 거리(주간 100m, 야간 200m)만큼 직접 걸어가 안전 삼각대 를 설치해야 한다(도로교통법 시행규칙 제121호 제40조 1항). 이러한 위 혐으로 인해 안전 삼각대를 설치하는 과정에서 또는 설치하지 못해 발생 하는 2차 사고를 방지하기 위해 자율주행 기능이 있는 안전 삼각대를 설 계해서 교통안전과 운전자의 안전을 보장하고자 한다.

2. 제품의 필요성 및 핵심기술

본 제품을 설계하기 전 1차 구매자로 예상되는 운전자 150명을 대상 으로 설문조사를 진행한 결과, 응답자 중 82.5%는 설치 시 안전 문제가 있었다고 답했고, 93.5%는 설치상의 안전 문제가 해결되는 삼각대의 구 매 의향이 있다고 답했다. 구매 의향이 없는 응답자의 대부분은 보관 시 부피 차지를 염려하여 구매의향이 없다고 하였다. 따라서 차량에 보관하 는 방법을 제공하고, 합리적인 부피로 제작한다면 경쟁력을 가진다고 판 단하였다.

본 제품은 핵심기술인 OpenCV 기술을 이용해 차선을 인식하기 위해 여러 단계를 거친다. 원본 영상의 노이즈를 줄이기 위해 흑백화 및 블러 (Blur) 처리 후 모서리(Edge) 검출 시도를 한다. 그 뒤 관심 영역을 지정 해 효율적인 데이터 수집을 한다. 마지막으로 차선을 찾고 모서리 부분에 선을 그린 뒤 원본 영상에 선을 덮어 차선 인식을 수월하게 한다. 설문조 사 결과를 토대로 제품의 방향성을 정립하였고, 핵심기술의 구현을 위해 Table 1과 같은 부품을 선정하였다.



Fig. 1 The process of recognition

Fal	ble	1	Parts	and	functions	of	the	product
-----	-----	---	-------	-----	-----------	----	-----	---------

주요 부품	기능
Camera	 자율주행을 위해 OpenCV 기술을 이용하 여 차선 인식 및 주변상황 파악
Radar	- 장애물의 거리 및 속도 분석
Photoresistor	- 주/야간 인식 후 부품 제어
Bluetooth 5.0	- 제품과 스마트폰 데이터 통신
LED	- 야간 상황 및 차선 인식을 위한 부품
Siren	- 청각적 상황 인지를 위한 부품

3. 시제품 제작 및 시스템 구축

해당 시스템을 위한 하드웨어로는 사고 시 상황을 알리기 위한 자율 주행 삼각대와(Fig, 2a), 백업 제어 및 디스플레이를 통해 상황을 인식 할 스마트폰(Fig. 2b)이 있다. 차선을 인식하여 자율주행으로 목표 지점 까지 안전하게 도착해 사고를 알리는 것이 시스템의 주 목적이다. 만약 자율주행 중 문제 발생 시 스마트폰을 통해 상황을 인지하고, 백업 제어 (수동 주행)로 전환하여 목표 지점까지 도착시킨다. 목표 지점 즉, 본 제 품의 이동거리는 주행거리를 측정하는 Wheel odometry를 통해 결정 되다.

본 제품은 캠을 통한 데이터(차선, 차량, 보행자 등)와 레이다를 통한 데이터(거리, 속도, 장애물 등)를 Sensor fusion한다. AI 알고리즘을 적 용하여 이러한 빅데이터로 주변 환경을 효율적으로 분석하도록 시스템을 구축하였다. 본 시스템은 사고 발생 시 LED 및 사이렌을 독립 제어하고, 주변 상황에 따라 주행 유형을 선택한다. 자율 주행 시 장애물이 없다면 설정된 거리까지 이동한 뒤 텍스트 상자를 통해 도착 상황을 전달한다. 장애물 감지 시 정지하고 텍스트 상자를 통해 감지 상황을 전달한 후, 수 동 주행으로 전환한다. 상황 종료 시 제어버튼을 통해 제품이 180° 회전 후 자율 주행으로 회수된다(Fig. 2c). 이동거리는 본 제품의 속력과 모터 구동시간을 분석하여 설정한다.





후 기

이 연구는 정부(교육부-산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥 원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0022094, 2022년 미래형자동차 기술 융합 혁신인재양성사업)

참고문 헌

 Wei Hou, Zhenzhen Wu, Jung, H. K., 2022, Video Road Vehicle Detection and Tracking based on OpenCV, J. Inf. Commun. Eng., 20(3) 226-233.

전자기유도를 이용한 배선용 차단기 성능개선

곽근영, 이호준*, 정형근*

Performance improvement of circuit breakers using electromagnetic induction

G. Y. Kwak, H. J. Lee*, H. K. Joung*

청주대학교 전기제어공학과

Key Words : MCCB(Molded Case Circuit Breaker), External magnetic field, Arc current, Lorentz force, Reduced cut-off time, Securing reliability

1. 서 론

산업에서 사용되는 전력이 증가함에 따라 안전 보장을 위한 배선용 차단기(MCCB)의 중요성이 증대되었다. 따라서 본 논문에서는 배선 용 차단기의 차단시간 단축 및 신뢰성 확보를 목적으로 실험연구를 진 행하기로 한다. 배선용 차단기 성능개선을 위해 외부 자계를 도입하 고, 이를 통하여 아크 전류의 제어를 유도하기로 한다. [1]



Fig. 1 Flow of fault current according to the presence or absence of an external magnetic field

Fig. 1에 따르면 배선용 차단기의 차단 성능을 향상시키기 위해서는 발 생 된 아크가 스플리트 플레이트로 옮겨가는 시간을 줄여야 한다. 따라서 플레밍 왼손 법칙과 아크 전류에 외부 자계를 적용하여, 스플리트 플레이 트 방향으로 힘을 발생시킨다. 그로 인해 차단시간을 단축하고, 차단 실패 를 줄여 신뢰성의 확보가 가능해지도록 한다. [2]



Fig. 2 Fault current application device and external magnetic field application contact for arc generation

Fig. 2는 고장전류 인가 장치와 외부 자계를 인가하여 생성된 아크 제 어를 확인하기 위한 접점 구성 장치이다. 27mm의 간격으로 분리된 전극 사이에는 얇은 전선이 연결되고, 이 전선을 통해 과전류가 흐르게 된다. 전선은 연소되고 이때 생성된 아크는 신장되어 MCCB의 스플리트 플레 이트로 신장 되는 것과 동일하게 모의가 가능하다. [3]

3. 실험 결과 및 고찰

아래의 Fig. 3을 보면 아크의 열과 에너지로 인해 그을림이 생성되는데 본 연구에서는 기름종이를 이용하여 빨간 원 속의 그을림을 확인할 수 있었 고 이를 통해 아크의 이동을 시각적으로 확인할 수 있다. 자계가 인가되지 않았을 때, 아크의 경우 얇은 전선 왼쪽 부근에 생성된다. 이것은 접점의 왼쪽에 얇은 전선을 붙여, 전류가 흐를 때 구조에 의해



Fig. 3 Arc movement according to external magnetic field application

작용하는 힘이 왼쪽 방향 (음의 방향)으로 작용했기 때문이다. [4] 그러나, 외부 자계를 인가한 기름종이를 확인해보면 그을림이 오른쪽 방향 (양의 방향)으로 이동했음을 확인할 수 있다. 이는 플레밍의 왼손 법칙에 의해 로렌츠 힘이 오른쪽 방향으로 작용했기 때문이다. 본 실 힘 결과는 외부 자계에 의해 아크가 더 빨리 확산 될 수 있음을 보여준 다. 외부 자계를 통한 아크의 빠른 신장은 차단기 에너지 소호를 담당 하는 스플리트 플레이트로 아크를 빠르게 이동시켜, 차단기의 차단시 간 단축이 가능하다. [5]

실험 결과, 5A의 전류로 생성된 자기장에서 아크는 로렌츠 힘에 의 해 유도한 방향으로 움직이는 것을 확인했고, 이를 통해 실제 MCCB 에 적용하면 아크의 신장, 이동 속도가 증가하여 전체 차단시간이 감 소할 것으로 예상된다. 추후 환경이나 주변 환경 조건에 따라 추가적 인 MCCB의 성능개선이 필요할 때 외부 자기장을 활용할 수 있을 것 으로 기대된다. [6]

- SY B.Ys, C.Hu, G.Hs, C.Hs, "Magnets for the stability of DC power grids Electric Field Characteristics of Arc-Induced DC Circuit Breaker Combined with ", Journal of Superconductivity and Novels", vol. 32, pp. 1143-1148, 2019.
- (2) M. Song, S. Dai, C. Sheng, L. Zhong, X. Dian, P. Luo, L. Li, T. Ma, "Applying time-varying resistance optimization for resistive superconducting current limiter in VSC-HVDC system," Journal of Superconductivity and Noval magnetism, vol. 34, pp. 1047-1057, 2021.
- (3) B. Li, "Improved Decoupling Control Strategy for MMC HVDC Systems Connected to Weak AC Power Grids," Journal of Electrical Engineering and Technology, 2021. https://doi.org/10.1007/s42835-021-00945-9.
- (4) J. Xu, L. Gao, G. Zhou, "VSC DC "Design of Flux-Coupled Fault Current Limiters for Grids" Journal of Power Electronics, 2021. https://doi.org/10.1007/s43236-021-00327-4.
- (5) L.Sh, "Superconductive and electromagnetic properties of YbaCuO using an effective melt growth process," Journal of nanoscience and nanotechnology, vol. 20, pp. 6827-6830, 2020.
- (6) L. Tan, PP Chen, X. Zhao, JH Zhu, J. Fang, "Analysis of Current Limiting Performance of New DC SFCLs in VSC-HVDC Systems", Journal of Superconductivity and Noval magnetism, vol. 32, pp. 2235-2245, 2019.

무선통신과 무게센서를 이용한 스마트 보관함

송수진, 이호준*, 정형근*

Smart storage box using wireless communication and weight sensor

S. J. Song, H. J. Lee*, H. K. Joung*

청주대학교 전기제어공학과

Key Words : Arduino, Bluetooth module, Wireless communication, Smart storage box, Weight sensor, Internet of Things(IoT)

1. 서 론

이동식 보관함의 수요가 증가하고 있는 현대 사회에서 중요한 물품을 안전하고 효율적으로 보관하고 관리하는 것은 매우 중요하다. [1] 예를 들어 의료 환경에서 의약품 보관의 경우에는 빠르게 보관하고 높은 수준 의 안전성과 보안성을 요구한다. 따라서 본 논문은 앱 인벤터를 [2] 사용 하여 스마트폰과의 연동을 통해 효율적이고 안전한 보관을 가능하게 하는 스마트 보관함을 제안한다.

2. 스마트 보관함의 구성

Fig. 1의 스마트 보관함 내부의 물건 적재 여부를 판단하기 위해 무게 측정 방식을 선택했다. 5kg 모델의 무게 센서를 사용하여 시스템의 동작 확인과 디버깅을 수행한다. 이 무게 센서는 설치와 연결이 쉽고 작은 무게 범위에서 정확한 측정이 가능하여 디버깅 용도로 적합하다. 무게 센서에 서 측정된 값을 아두이노로 전송하기 위해 HX711 모듈을 사용한다.



Fig. 1 Smart Storage Box Circuit Diagram

Fig. 2 Smart Storage Box Arduino Code

Fig. 2의 본 시스템에서 사용되는 아두이노 프로그래밍 코드는 LED를 활용하여 물건의 존재 여부를 표시하며, 200g 이상의 물건이 적재될 경 우 LED가 점등이 되도록 프로그래밍 되었다. 또한 HX711 무게 센서로 부터 측정된 무게를 읽어와 블루투스 모듈로 전송한다. [3] 스위치의 값 이 1일 때 서보모터를 180도 회전시키고, 0일 때 서보모터를 0도로 회전 시킨다. 아두이노는 무게 센서를 사용하여 보관함 내에 물건이 있는 경우 무게 값을 읽어와 녹색 LED를 켜고, 없는 경우 적색 LED를 켠다.

3. 구현 방법

Table 1 Smart Storage Box Hardware Specifications and Description

센서	연결 방법
전원	VCC: +5V, GND: GVD
리기터 피	디지털 핀에 센서와 장치의 디지털 핀 연결
너지털 펀	INPUT/OUTPUT 모드로 설정 가능
아날로그 핀	아날로그 핀에 센서의 출력을 연결
bluetooth 모듈	TX(송신)과 RX(수신)을 연결
(HC-05)	RX(수신)-디지털 8번에 연결
중량 및 앰프	SCK(클럭핀)-디지털 3번
모듈(HX711)	DOUT(DATA)-디지털 2번에 연결
LED	녹색 LED - 디지털 10번 , GND
LED	적색 LED - 디지털 11번 , GND
스위치 및	스위치 - 디지털 12번 , GND
서브모터	서보모터 - 5V , 디지털 6번 , GND

4. 구현 결과 및 결론



Fig. 3 Smart Storage Box Actual Implementation <Before Loading> Fig. 4 Smart Storage Box Actual Implementation <After Loading>

Fig. 5는 물건을 넣기 전에 측정한 코드이며 Fig. 6은 무게를 고려하여 스마트 보관함 내부에 물건이 200g 이상이 적재될 경우에 녹색 led에 불 이 점등되는 코드이다.

Output Serial Monitor ×	Output	Serial Monitor ×
Message (Enter to send message to 'Arduino Mega	Message	(Enter to send message to 'Arduino Mega
Weight: 128.00 g	Weight:	2534.00 9
Weight: 101.00 g	Weight:	2595.00 9
Weight: 94.00 g	Weight:	2619.00 9
Weight: 58.00 g	Weight:	2631.00 9
Weight: 58.00 g	Weight:	2576.00 9
Jeight: 118.00 g	Weight:	2578.00 9
Jeight: 82.00 g	Weight:	2517.00 9
Jeight: 62.00 g	Weight:	2455.00 9
Jeight: 62.00 g	Weight:	2402.00 9
Jeight: 61.00 g	Weight:	2335.00 9
Jeight: 51.00 g	Weight:	2335.00 9

Fig. 5 Weight Measurement Code <Before Loading> Fig. 6 Weight Measurement Code <After Loading>

본 논문에서 제안하는 스마트 보관함은 최신 IoT 기술을 적용하여 실 시간 정보 제공 및 원격 모니터링 기능을 통해 물품을 효과적으로 관리할 수 있다.

- (1) K. J. Kim, A Study on the Perceived Value and Intention to Use Unmanned Delivery Storage Boxes in Apartment Houses, Chungnam National University Management and Econnomy Research Institute, vol.43, no.1, pp.115-134, 2021
- (2) B. H. Kim, App Inventor Open Source Modification and Implementation, The Korea Information and Communication Association, v.22, no.2, pp.221-226, 2018
- (3) D. S. Wang, Development of Software Mobile Controller Content Using Bluetooth Module, a paper by the Korea Internet Broadcasting and Communication and TV Association, v.9, no.5, pp.39-44, 2009

학습 역량 향상을 위한 간이 함수 발생기

오승미, 이호준*, 정형근*

Simplified function generator to improve learning capabilities

S. M. Oh, H. J. Lee*, H. K. Joung*

청주대학교 전기제어공학과

Key Words : Function generator, Digital breadboard, AD9833 module

1. 서 론

공과대학에서 사용되는 함수 발생기와 브레드보드는 큰 크기와 무거운 무게로 인해서 제한된 장소에서만 사용이 가능하다는 단점이 있다. 또한 최근 2020년도 COVID-19의 영향으로 전 세계적으로 사회적 거리두기 로 인하여 학습의 질은 더욱더 떨어지는 경향이 있었다. [1] 이러한 문제 점을 보완하기 위해서 본 논문에서는 소형화된 함수 발생기를 제작할 예 정이다.

2. 모듈 기반 함수 발생기 실험

본 함수 발생기 실험에서는 함수 파형을 출력하기 위해서 마이크로 컨 트롤러(Arduino)와 함수 발생기 모듈(AD9833 DDS)을 사용한다. DDS (Direct Digital Stnthesis)는 직접 디지털 신호를 생성하는 기술로, 일반 적인 아날로그 주파수 발생기보다 더 높은 주파수 정확도와 대역폭. 더 낮은 잡음 수준, 더 높은 분해능 등을 가지고 있다. [2]

AD9833 모듈은 SPI(Serial Peripheral Interface) 버스를 통해 제어 된다. 마이크로컨트롤러에서 SPI 인터페이스를 통해 주파수와 위상 레지 스터에 값을 입력하면, 이 값을 이용하여 출력 신호가 생성된다. 앞서 소 개한 모듈을 사용하여 Fig. 1의 함수 발생기를 만들기로 한다.



Fig. 1 Function Generator Circuit Diagram based in Arduino and AD9833

Fig. 2의 디지털 브레드보드는 회로도에는 VCC로 할당된 커넥터와 여 섯 개의 토글스위치가 포함되어 있으며, 이 스위치들은 하나의 커넥터와 연결되어 있다. [3]



Fig. 2 Digital Breadboard PCB Board Circuit Diagram

실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안하는 휴대용 간이 함수 발생기는 다양한 파형을 생성 하고 출력할 수 있으며, 함수 발생기를 이용하여 아날로그 회로나 디지털 회로를 실험하거나, 신호를 생성하고 조절할 수 있다. Fig. 3은 간이 함수 발생기를 구현한 것이다.



Fig. 3 Simplified Function Generator Implementation



Fig. 4 AE RMS according to cutting condition

Fig. 4의 파형을 보면 정현파에서 발생한 잡음 문제가 발생하기 때문에 향후에는 전압 영역을 적절하게 설정하고, 그라운드 연결을 개선하여 잡 음을 줄이는 연구를 진행할 예정이다.

- (1) Seo Jeong-Man, "A study on average changes in college students' credits earned and grade point average according to face-to-face and non-face-to-face classes in the COVID-19 situation" Journal of The Korea Society of Computer and Information. Vol. 28. No 3. March 2023, pp.167-176.
- (2) Ha Jae-seung, "A Study on the Implementation of a 6-channel Double-Side Band (DSB) Modulator Using Direct Digital Synthesis (DDS)", Journal od the Korea Computer Industy Society, 2 (8), pp.1063-1068, 2001
- (3) Heo Kyung, "Implementation of Switch-based LED Art Logic Circuit for Basic Digital Logic Circuit Practice", Practical Engineering

Donor type 트리페닐아민 및 카르바졸 유도체 또는 유기 발광 다이오드를 사용하여 몇 가지 변형된 플루오린 코어

배준호¹, 김유진², 박소희², 김보미^{1*}

Fluorene core with several modification by using donor type triphenylamine and carbazole derivatives for organic light emitting diodes

J. H. Bae¹, Y. J. Kim², S. H. Park², B. M. Kim^{1*}

원광대학교 화학융합공학과¹, 원광대학교 화학공학과²

Key Words: Organic light-emitting diodes, Fluorene, Hole transporting material, Triphenylamine, Carbazole

1. ABSTRACT

Fluorene based molecules have wide range of application in organic light emitting diodes (OLEDs). In our work, two new materials were designed and synthesized: N1-(4-(diphenylamino)phenyl)-N4,N4-diphenyl-N1-(9,9diphenyl-9H-fluoren-7-yl)benzene-1,4-diamine (FLU-DTPA) and N,Nbis(4-(9H-carbazol-9-yl)phenyl)-9,9-diphenyl-9H-fluoren-2-amine (FLU-DCAR). These newly synthesized materials were applied as hole transporting material in yellow phosphorescent OLEDs. The FLU-DCAR based yellow phosphorescent device showed high current and external quantum efficiencies of 44.25 cd/A and 17.8%, respectively. The recorded efficiency of FLU-DCAR is better than that of triphenylamine based FLU-DTPA (32.54 cd/A, 12.8%) and reference 1,1-Bis [(di-4-tolylamino) phenyl] cyclohexane TAPC (20.45 cd/A, 14.91%).



3. Results and discussion



Fig. 1 (a) Differential scanning calorimetry (DSC) and (b) thermal gravimetric analysis (TGA) of FLU-DTPA and FLU-DCAR



Fig. 2 UV–Vis absorption, photoluminescent spectra room temperature (RTPL) low temperature (LTPL) of FLU-DTPA and FLU-DCAR







4. Conclusion

In summary, two new materials were designed and synthesized: N1- (4-(diphenylamino)phenyl)-N4,N4-diphenyl-N1-(9,9-diphenyl-9H-fluoren-7yl)benzene-1,4-diamine (FLU-DTPA) and N,N-bis(4-(9H-carbazol-9yl)phenyl)-9,9-diphenyl-9H-fluoren-2-amine (FLU-DCAR) between fluorene core and carbazole/triphenylamine moieties. We have utilized our synthesized materials as hole transporting material in yellow phosphorescent OLEDs. The FLU-DCAR based yellow phosphorescent device showed high current and external quantum efficiencies of 44.25 cd/A and 17.8%, respectively. The recorded efficiency of carbazole based FLU-DCAR is better than that of triphenylamine based FLU-DTPA (32.54 cd/A, 12.8%) and reference 1,1-Bis [(di-4-tolylamino)phenyl] cyclohexane TAPC (20.45 cd/A, 14.91%). This study will bring an interesting way of utilizing fluorene core in OLED material application.

References

- Li C, Wei J, Han J, Li Z, Song X, Zhang Z, Wang Y. Efficient deep-blue OLEDs based on phenanthro[9, 10-d] imidazole-containing emitters with AIE and bipolar transporting properties. J Mater Chem C 2016;4(42):10120–9.
- (2) TagareJ, Vaidyanathan S. Recent development of phenanthroimidazolebased fluorophores for blue organic light-emitting diodes (OLEDs): an overview. J Mater Chem C 2018;6(38):10138–73
- (3) BraveenthR, Bae HW, Ko IJ, QiongW, Nguyen QPB, JayashanthaPGS, Chai KY. Thermally stable efficient hole transporting materials based on carbazole and triphenylamine core for red phosphorescent OLEDs. Org Electron 2017;51:463–7

페로브스카이트 산화물 나노 섬유 촉매의 소성온도에 따른 전기화학적 특성 평가

박지우², 황시원¹, 주용완^{1*}

Evaluation of electrochemical properties according to calcination temperature of perovskite oxide nanofiber catalyst Ji-Woo Park², Si-Won Hwang¹, Young-Wan Ju^{1*}

원광대학교 화학융합공학과¹, 원광대학교 화학공학과²

Key Words : Calcination temperature, Electrocatalyst, Nanofiber, Perovskite oxide

SSC1000

OER 활성을 향상시킨다고 보고된다.

1. 서론

에너지 변환 및 저장 시스템인 금속공기전지와 연료전지는 현재의 환경 및 에너지 문제를 해결하기 위한 가장 효과적이고 효율적인 시스템으로 주목 받고 있다. 이러한 금속공기전지와 연료전지는 환경 친화적이고 에너지 밀도 가 높지만 산소 환원 반응(ORR)과 산소 발생 반응(OER)의 속도가 느리기 때 문에 상용화에 제한이 있다. 귀금속 촉매의 낮은 안정성으로 ORR/OER에 대 한 비귀금속 촉매에 대한 연구가 필요하다.

2. 실험

본 연구에서는 간단한 공정으로 높은 비표면적, 구조/크기의 조절이 용이 한 전기방사를 아용하여 페로브스카이트 산화물 SmosSnoSCoO3(SSC) 나노섬 유를 제조하였다. 이러한 SSC 나노섬유는 973-1273K의 다양한 온도 범위에 서 소성되었다. 제조된 SSC 나노섬유의 특성을 분석하고, 전기화학 활성 평 가를 진행하였다.



Fig. 1 Schematic diagram of the electrospinning apparatus

3. 실험 결과 및 고찰

제조된 SSC 나노 섬유의 결정상 및 형태를 확인하기 위하여 XRD 및 FE-SEM 분석을 수행하였다. Fig. 2과 같이 SSC700에서는 불순물이 관찰되었으며, SSC800부터 페로브스카이트 구조의 SSC 단일 피크가 나타내었다. 또한 Fig. 3(a-d)를 통해 SSC800이 다공성의 튜브와 유사한 섬유가 합성된 것을 보여준 다. 이는 SSC800 샘플이 다공성 구조로 인하여 높은 비표면적과 많은 산소 활성 사이트를 제공할 것이라고 제안된다.



Fig. 3 FE-SEM image of (a) SSC700 (b) SSC800 (c) SSC900 (d) SSC1000

Table 1 The comparison of SSAs, and XPS O 1s ratio					
Sample	Specific surface area (m²/g)	O 1s O _{absorbed} /O _{Lattice}			
SSC700	4.1452	5.39			
SSC800	7.9353	5.61			
SSC900	3.5709	5.33			

2.0969

Table 1에서 제조된 샘플의 비표면적 및 O Is XPS 스펙트럼은 격자 산소와 흡착된 산소의 비율을 보여준다. SSC800이 SEM에서 확인된 다공성 구조로 인하여 가장 높은 비표면적 값을 나타낸다. SSC800을 제외하고 소성온도가 증가할수록 비표면적은 감소하게 되는데 이는 입자 성장에 기인한다. Oatsetted/OLatize 비율은 SSC800이 5.61의 값으로 가장 많은 oxygen vacancies를 가지고 있음을 나타낸다. 이러한 많은 Oxygen vacancies의 존재는 ORR 및

5.20



Fig. 4 (a) ORR curves (b) OER curves of SSC nanofibers

제조된 SSC 나노 섬유들의 전기화학적 활성을 평가하기 위하여 Fig. 4에서 같이 ORR 및 OER 분석을 수행하였다. Fig. 4(a)에서 SSC800이 가장 낮은 개 시전위, 전류밀도 값으로 높은 활성을 나타냈다. 이는 높은 비표면적 값, oxygen vacancies, 다공성 구조로 인한 표면 산소 교환 반응의 면적을 높여 ORR 성능을 향상시킨다. 또한 Fig. 4(b)에서도 SSC800이 많은 oxygen vacancies의 존재로 가장 높은 OER 활성을 나타냄을 확인했다. SSC800이 ORR/OER에 적합한 촉매로 작용함을 나타낸다.

- (1) Oh, G. Y., Ju, Y. W., Kim, M. Y., Jung, H. R., Kim, H. J., & Lee, W. J. (2008). Adsorption of toluene on carbon nanofibers prepared by electrospinning. *Science of the Total Environment*, 393(2-3), 341-347.
- (2) Kim, H. Y., & Ju, Y. W. (2021). Influence of cobalt dopant in NiFe_{2-x}Co_xO4 (0≤ x≤ 2) on electrochemical catalytic properties. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(77), 38191-38197.
- (3) Park, J. W., & Ju, Y. W. (2022). Evaluation of Bi-Functional Electrochemical Catalytic Activity of Co₃O₄-CoFe₂O₄ Composite Spinel Oxide. *Energies*, 16(1), 173.

DX 기반 탄소공급망 환경 전문인력 개발

조상준*, 박승호, 신성욱, 이현무, 오다훈, 장명진

Development of environmental specialists for carbon supply chain based on DX

S. J. Cho*, S. H. Park, S. W. Shin, H. M. Lee, D. H. Oh, M. J. Jang

한국공학대학교

Key Words : Carbon neutrality, Digital transformation, Carbon supply chain, Net-zero

1. 서 론

세계 각국은 기후변화대응에 대한 국제적 공조 필요성을 인식하고, 탄소중립을 활용하고자 한다. 이에 탄소중립을 법제화한 14개 국가를 포함한 140여 개 국가가 탄소중립을 선언한 상황이다. 이에 한국 역시 기후변화 대응 기술개발촉진법 제정, 탄소중립 위원회 신설 등 기후변 화에 대응하며 2050 탄소중립을 국가비전으로 선정하였다. 그러나 탄 소중립을 위한 기술 등이 뒷받침되지 않고 있는 우리나라 중소기업들 의 생존과 경쟁력에 부담이며, 이에 탄소중립 실현을 위한 인력 양성 의 필요성을 확인하여 관련 환경 전문인력을 개발 하고자 한다.

2. 본론

국제적으로 이슈화되고 있는 탄소중립에 대해 기업들이 얼마나 인 지하는지 파악하기 위해 안산·시흥스마트허브에 위치한 기업들에 탄 소중립, ESG 데이터 관리 준비, 기업공개 보고서 발행 여부, 탄소중립 에 대한 교육의 필요성에 대해 설문한 결과 70.7%의 기업이 관리가 부족하며, 교육의 필요성에 대해 94.67%가 필요하다 답하였다.



Fig. 1 Survey Results

이에 탄소중립 혁신센터를 개소하고, AI탄소중립융학공학과와 연계 하여 재직자를 모집하여 매 학기 2개 이상의 교과목을 신규 개설하여 진행한다. 또한 전일제 학생들을 대상으로 탄소중립 융합트랙을 신설 하여 탄소중립 교육과정을 이수하는 석·박사 과정을 진행한다. 이를 통해 산업계, 지자체 등 현장에서 탄소중립 상황을 정량적으로 평가할 수 있는 환경전문가 양성을 위한 교육 과정을 개발하였다.



Fig. 2 AI Carbon Neutral Department Recruitment Pamphlet

Fig. 3(a), (b)같이 한국공학대학교와 SEP 협동조합이 운영하는 세 미나와 연계하여 산학연계세미나를 진행해 한국공학대학교 가족회사 와 회원사 등을 대상으로 탄소중립 특성화대학원 사업 홍보, 신규 산 학연계프로젝트 · 인턴쉽 발굴 및 취업 연계 방안을 마련한다. Fig. 3(c)는 국제산학연계세미나를 진행하여 해외 탄소중립 전시회 및 탄소 중립 시장개척단 활동 연계형 국제세미나를 진행하여 해외 네트워크 를 개척하고자 한다.



(a) Smart Energy Platform Technology Conference





(b) Smart Energy Platform Friday Salon



(c) International Industry-Academia Collaboration Seminar

(d) Steering Committee

Fig. 3 Industry-Academia Collaboration Seminar

Fig. 3(d)는 총괄운영위원회를 운영하여 탄소중립 특성화 교육과정과 산학연계프로젝트등 운영 전반에 관해서 검토하고 조언하며, 위원회에 기 업책임자도 참여하여 기업에서 필요로 하는 탄소중립 지식과 접목되어 현 장에 적합한 학생과 채용 네트워크를 형성한다.

3. 결론

탄소중립 전문 인력 개발을 통해 전문인력들을 개발하고, 사후관리를 통해 수요기업·기관과 대학원이 업무협력을 체결 후 자연스럽게 채용과 연계하며, 채용수요조사를 통해 수요에 맞는 교과과정을 지속적으로 개발 할 예정이며, 이를 바탕으로 탄소중립 기반 신재생에너지, AI, 스마트 제 조 등의 주력 산업의 국산화, 고도화에 기여하고, 에너지 관련 산업의 국 내 시장 대응뿐만 아니라 해외시장에 대응할 수 있는 기틀을 마련할 수 있을 것으로 기대되다.

후 기

본 논문은 한국공학대학교와 2023년도 정부(환경부)의 재원으로 한국 환경산업기술원의 지원을 받아 수행된 연구(DX기반 탄소공급망 환경 전 문인력 양성)임을 밝힙니다.

- (1) T. Y. Kim, J. K. Ko, M. S. Moon, Y. Y. Kim, H. K. Kim, S. J. Min, H. Y. Kim, Y. S. Lee, 2021, A Study on Issues and Implications on Net-zero Transition in Economics and Industries, Journals of the GRI, 1-128.
- (2) J. K. Ko, D. Y. Kim, J. I. Lee, M. J. Ye, 2022, Measures to Manage Excessive Energy-Consuming Business Entities for Carbon Neutrality in Gyeonggi-do, Journals of the GRI, 1-180.

중견기업 업종별 에너지 효율화기반 탄소자원화 특화 인력 양성

박승호*, 김윤철, 현동훈

Fostering professionals in carbon-free based on energy dfficiency by industry of mid-sized companies

S. H. Park*, Y. C. Kim, D. H. Hyun

한국공학대학교

Key Words : Carbon free, Mid-sized company, Net-zero, Fostering professionals, ESG

1. 서 론

국제 사회는 기후위기 대응을 위해 2015년 파리협정에서 산업혁명 이전 대비 지구 평균온도가 2℃이상 상승하지 않도록 목표를 설정하 고¹¹⁻⁴¹ 실제적 달성을 위한 재원, 이행점검 등에 대한 구체적인 계획을 수립하였다. 이에 한국 역시 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 제정, 탄소중립위원회 신설등 기후변화에 대응하며 2050 탄소 중립을 국가비전으로 선정하였다. 기업들 또한 환경문제에 대응 하기 위하여 ESG경영 논의가 확산되고 있다. 그러나 현실적으로 탄소중립 을 위한 기술 등이 뒷받침 되지 않고 있는 우니라라 중견·중소기업의 생존과 경쟁력 부담으로 작용하고 있어 대학에서는 기업의 온실가스 관련 에너지 특성을 파악하고, 탄소중립 실행 계획에 맞게 추진할 수 있는 탄소중립 전문인력 양성을중립을 위한 전문인력을 양성 필요성 을 확인하였다.

2. 본론

반월시화 국가산업단지 내 위치한 한국공학대학교는 산업통상자원 부 주도 설립목적에 맞게 현장맞춤형 기술혁신 인재 육성을 수행하고 있다. DX(Digital Transformation) 기술을 기반으로 안산·시흥 기업 들의 '2050 탄소중립' 실현과 탄소중립 전문인력 양성을 위해 한국공 학대학교는 탄소중립혁신센터를 개소하였다.



Fig. 1 Opened the Carbon Neutral Innovation Center

Fig. 2 Establishment of AI Carbon Neutral Convergence Track

탄소중립 전문인력 양성을 위해 AI탄소중립융합트랙(대학원 과정)을 신설하여 정책과 기술을 연계하여 함께 교육을 진행하고, 단순한 이론 교 육이 아닌 산단 내 기업의 실제 데이터를 활용하여 에너지 관리, 가시화, 효율화, AI를 활용한 절감방안 도출 등의 교육을 진행하였다.

3. 결 론

한국공학대학교 탄소중립혁신센터는 DX전환 기술을 기반으로 탄 소중립 혁신을 위한 프로젝트를 발굴·추진하고 기업 ESG 탄소중립 기술 연구개발을 산학협력을 통해 진행하였다. Fig. 3은 안산·시흥 스 마트허브 대중상생ENR(ESG, Net-Zero, RE100) 공급망 협업 시스템 을 구축하여 기업의 환경/에너지경영추진을 지원할 방법론이다.

AI탄소중립융합트랙과정에서는 'AI탄소중립융합특론', '온실가스 Scope특론', '온실가스에너지혁신' 3과목을 신규수업을 개설하였으며 '스마트에너지', '산학연계프로젝트2' 기존 2과목을 개편하여 교육하 였다. 개설된 신규과목에 맞춰 탄소중립교재 3권을 개발하였다.



Fig. 3 ENR Supply Chain System Methodology



Fig. 4 Scan of Corporate Production Facility

Fig. 4는 산단 내 기업과의 산학연계프로젝트로 Matterport사의 Matteport Pro2 장비를 이용하여 기업 생산시설을 스캔하였다. 스캔한 데이터를 바탕으로 디지털 트윈 및 매핑을 하여 에너지 사용량 모니터링 시스템 구축 기반을 마련하였다.

산학연계프로젝트 에너지진단 및 진단 보고서를 작성함으로써 과제 에 참여하는 중견기업의 실제 데이터를 기반으로 한 에너지 분석 및 AI 시뮬레이션을 통해 기업의 효율적인 탄소중립 달성 방안과 RE100 달성을 위한 솔루션을 배우는 교육을 진행하였다.

후 기

이 과제는 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지 기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20224000000200, 중견기 업 업종별 에너지 효율화기반 탄소자원화 특화 인력양성)

- (1) Doo. Su. Kim & Byoung. Hee. Lee & In. Huh. (2022). A Study on Domestic and International Climate Crisis Response Legislation Trends for 'Carbon Neutral 2050'. Hannam University Science and Technology Law Research Institute, 28(1), 95-137.
- (2) Ji. Young. Kong & Sang. Min. Cho. (2021). Towards Net-Zero Emissions: Energy System Integration and Policy Direction for New and Renewable Energy. Korean Society of Resources Engineering, 59(1), 99-112
- (3) Young. Oh. Chun. (2022). Review of Global Carbon Neutral Strategies and Technologies. Journal of the Korean Institute of Mineral and Energy Resources Engineers, 59(1), 99-112.
- (4) Sang. Chul. Park. (2022). A Study on Climate Change and Building for the EU's Carbon Neutral Economic System. Korean Journal of EU Studies, 27(1), 5-40.
- (5) Dong-Yub Lee & Gwi-Gon Kim. (2021). Effects of Perceived Interactions of Digital Transformed Services on Intention to Accept Technology. Digital Convergence Research, 19.11, 287-300.

제조데이터 공유 협동모델 구축 데이터 신뢰성 연구

신성욱¹, 이원진¹, 김태훈¹, 박용준², 유경선¹, 민경택^{1*}

A study on data reliability establishment of manufacturing data sharing collaboration model

S. U. Shin¹, W. J. LEE¹, T. H. Kim¹, Y. J. Park², K. S. Yoo¹, K. Min^{1*}

한국공학대학교¹, ㈜건우정공²

Key Words : Test evaluation, Data sharing cooperative model

1. 연구 배경

4차 산업혁명에 대응하기 위하여 중소 제조기업은 Know-how를 데 이터화하고 기업 간 정보 공유를 통하여 기업 경쟁력을 강화하고 있 다. 현재 반월·시화산단 소재의 중소 금형 제조기업은 제조데이터 공 유 협동모델 구축을 통하여 스마트 생산관리 시스템 도입을 위한 노력 을 하고 있다. 그러나 설계 및 가공 데이터, 가공과정에 따른 색상 표 기, 가공 공구 정밀도 등의 표준화가 이루어지지 않아 공유 과정에서 어려움을 겪고 있다.

본 연구에서는 중소 금형 제조기업의 스마트 생산관리 시스템^[1]을 통하여 얻은 데이터에 항목 성능 지표를 적용함으로써 데이터의 신뢰 성에 기여하고자 한다.

2. 평가 항목 선정 및 시험평가

본 논문에서는 금형 제조기업의 특성상 발생하는 외주작업에서의 제작 데이터 수정 및 변경을 클라우드 서비스를 통해 공유함으로써 전 체 공수를 줄이고, 불량률을 개선하기 위하여 수행되었다. 이 과정에 서 공구측정 정확도, 측정 정보 게더링 시간, 재고 데이터 조회 속도, 가공데이터 산출시간, 재고 파악 시간 총 5가지 평가 항목을 선정하였 으며, 이 중 공구측정 정확도, 가공데이터 산출시간 2가지에 대하여 평 가를 진행하였다.

그림 1은 공구측정 정확도에 대한 측정을 진행하는 사진이다. 이는 설계데이터와 가공데이터의 형상 오차의 최소화를 위하여 필요한 지 표로, 기존 측정 방식은 작업자가 공구를 버니어캘리퍼스 및 육안으로 검사하였으나, 개발 이후 툴 프리세터를 통한 정밀측정을 진행하였다. 이때의 측정 방식은 툴 프리세터에 대상공구를 장착하여 5회 측정 시 의 편차를 평가하여 표 1과 같이 나타내었다. 이때의 편차는 0.003mm 로 평가 기준 정밀도인 0.02mm 미만을 만족하여 기준치 이상의 정밀 도를 확인하였다.



Fig. 1 Test of Tool measurement accuracy by tool presetter

Table 1 Result of accuracy test(mm)

Measurement result					Deviation
1st	2nd	3rd	4th	5th	0.003
1.928	1.929	1.927	1.926	1.927	

그림 2는 가공데이터 산출시간 설계데이터를 산출하는 과정을 나타 낸 사진으로, CAM(Computer Aided Manufacturing)^[2]에서 가공데 이터를 라이브러리로 활용하여 설계데이터를 기반으로 산출하는 시간 을 측정하였다. 기존 가공데이터의 산출은 모든 설계데이터를 반수동 으로 가공하여 작업하였으나, 라이브러리를 활용하여 자동으로 가공 을 진행한다. 이 과정에서 소요된 시간은 20.5분으로, 기준시간 30분 이내를 만족함을 확인하였다.



Fig. 2 Test of design data calculation time based on processing data

3. 기대 효과 및 활용 방안

적합성평가기술은 제품에 대한 안전성을 평가하여 제품의 신뢰성을 높이고 기술의 향상을 유도한다. 본 논문과 같은 차세대 융합기술에 대한 효율적인 적합성평가기술의 적용은 국산 개발제품의 국내외 시장 진출을 위한 상품화를 선도하고 국내기업의 글로벌 경쟁력을 확보 시킬 수 있다. 이를 위해 평가기술을 확보하여 미래의 성장동력인 중 소·벤처기업의 혁신성장을 주도할 수 있다. 또한, 미래의 소·부·장을 비롯한 국내 제조·기간산업의 기틀을 마련하여 국가 경쟁력의 제고를 기대할 수 있다.

후 기

본 성과물은 산업통상자원부 소관의 산업혁신 인재성장지원사업(적 합성평가기술 전문인력양성사업)과 2023년도 정부(환경부)의 재원으 로 한국환경산업기술원의 지원을 받아 수행된 연구(DX기반 탄소공급 망 환경 전문인력 양성)로 작성됨을 밝힙니다.

- [1] Son, K. S, Kim. J. H, Jang. O. S, Kim. S. Y, 2022, A study on the improvement of real-time data gathering MES program for smart-factory operation managements(FOMs) in automotive parts injecting and assembly plant, KSMTE, 27-27.
- [2] Kim. S. C, 2022, Comparison of internal fit of a 3-unit bridge based for CAD/CAM according to the fit evaluation method, Korean Society of Industry and Academic Technology, 100-106

색변환 효율 향상을 위한 1차원 광자결정 형광체 연구

이원진¹, 김태훈¹, 임준규¹, 민경택^{2*}

1D photonic crystal phosphors for efficient color conversion

W. Lee¹, T. Kim¹, J. Lim¹, K. Min^{2*}

한국공학대학교 IT반도체융합공학과¹, 한국공학대학교 나노반도체공학과²

Key Words : Photonic crystal, Phosphor, Photonic band-edge, Nanoimprint lithography

1. 서 론

조명, 바이오, 디스플레이 등 광원의 파장 변환을 위하여 광범위하게 사용 되는 형광체의 광발광 효율에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으며, 대부분의 연구들은 형광체의 내부양자효율(IQE) 등 화학적 물성을 개선하기 위한 재료 적인 측면에 치중하고 있다. 한편 본 연구에서는 형광체의 물질 자체가 아닌 광소자의 구조적인 측면으로 접근하여 형광체의 광발광, 혹은 색변환 효율을 증가시키는 방법을 제안한다. 형광체를 1차원 광자결정(photonic crystal; PhC)의 형태로 가공하고 이를 광밴드에지(photonic band-edge; PBE) 파장 의 빛으로 여기시킴으로써, 형광체에 의한 여기광의 흡수 효율을 증가시키고 결과적으로 색변환 효율을 개선하고자 한다. 구체적으로는 격자 구조(grating) 의 형태로 가공된 형광체의 표면에 고굴절률의 유전체 박막을 적정 두께로 증착함으로써, 1차원의 광자결정 형광 필름을 구현하였다.

2. 1차원 광자결정 형광체 설계 및 제작

본 연구에서는 적색 발광하는 rhodamine 6G(R6G) 유기 형광 염료가 도핑 된 cellulose acetate(CA, n~1.4) 고분자를 사용하여 형광 필름을 제작하였으 며, 박막 형성을 위한 고굴절률 유전체 물질로는 나이오븀 산화물(Nb₂O₅, n~2.5)을 도입하였다. 1차원 광자결정 형광체 구조의 광밴드구조 분석 및 광 발광 효율 최적화를 위하여 시간영역유한차분법(Finite-difference timedomain; FDTD)에 기반한 전산모사를 수행하였다.



Fig. 1 (a) Schematic of the 1D PhC phosphor structure. (b) Simulated electric field profile(|E|) of the PBE resonance mode.

제안된 1차원 광자결정 형광체 구조의 모식도는 Fig. 1a와 같다. 광자결정 형광체 구조의 모델링을 위하여 형광체 격자 구조의 주기(Λ), 채움비(ff), 깊 이(d), 고굴절률 박막 두께(t) 등의 구조 변수에 따라 입사광의 흡수율의 변화 를 확인하는 FDTD 전산모사가 선행되었다. 특히 광밴드에지 공진 파장이 1 차원의 광자결정 구조에 입사하는 경우, 공진 모드의 전기장이 고굴절률 박 막의 주변으로 강하게 국지화되는 것을 확인하였다 (Fig. 1b). 광밴드에지 모 드의 전기장 국지화는 형광체 구조의 표면 전체에 걸쳐 나타나며, 이 때 형광 물질에 의한 여기광의 강한 흡수를 기대할 수 있다 [1.2].

광자결정 형광체의 광밴드에지 공진 파장은 광자결정의 주기에 크게 의존 한다. 주기가 500, 600, 700 nm에 해당하는 광자결정의 여기광 흡수율을 각 각 계산한 결과 약 398, 451, 511 nm의 파장에서 각각 흡수율 피크 값이 나 타나는 것을 예측할 수 있었다. 특히 600 nm 주기의 광자결정 형광체의 경우, 조명 및 디스플레이 디바이스의 여기광 파장으로 주로 활용되는 450 nm의

청색광으로 여기하기에 가장 유리하다.



Fig. 2 (a) SEM image and (b) photographed image of the 1D PhC phosphor. (c) Fluorescence spectra of reference and PhC phosphor films.

1차원 광자결정 형광체 제작을 위하여 나노임프린트 기반의 격자 구조 제 작 방법을 도입하였다. 레이저 간섭 리소그래피 방법으로 수백 nm 주기의 격 자 구조 패턴을 실리콘 기판 표면에 제작하여 마스터 몰드로 활용하였다. 이 후 마스터 몰드 상에 hard PDMS와 soft PDMS를 순차적으로 경화시켜 패턴 이 복제된 PDMS 몰드를 제작하였다. 제작된 PDMS 몰드 위에 R6G 염료 가 도핑된 CA 고분자 용액을 부어 건조시킨 후 분리하여 격자 구조가 패터 닝된 형광 필름을 제작할 수 있다. 최종적으로 고분자 격자 구조 상에 나이오 븀 산화물을 스퍼터링 방법으로 증착하여 광자결정 형광 필름을 구현하였다 (Fig, 3a,b).

중심 파장이 450 nm에 해당하는 청색 LED 광원을 이용하여 제작된광자 결정 형광 필름을 여기하였고, 그 결과 레퍼런스 대비 약 2.3배 이상 향상된 색변환 효율이 관측되었으며 발광량의 증대가 육안으로도 구별 가능할 정도 로 뚜렷하게 나타났다 (Fig. 3c).

3. 결과 및 고찰

나노임프린트 방법을 통해 1차원의 광자결정 형광 필름을 구현하였고, 이 를 광밴드에지 여기 파장의 광원으로 여기시킨 결과 레퍼런스 대비 2.3배 이 상의 색변환 효율이 관측되었다. 광흡수율 증대를 위하여 광자결정 구조를 도입한 본 연구 결과는 색변환에 기반한 조명 및 디스플레이 분야 뿐만 아니 라, 형광체 및 수광 소자가 활용될 수 있는 다양한 산업 분야에 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 한국연구재단 과학기술분야 기초연구사업(과학기술정보통신부, 2021R1C1C1007405) 및 한국산업기술진흥원의 2023년 산업혁신인재성장 지원사업(산업통상자원부, P0017907)의 지원을 받아 수행되었음.

참 고 문 헌

- Min, K. *et al.*, 2017, A colloidal quantum dot photonic crystal phosphor: nanostructural engineering of phosphor for enhanced color conversion, Nanoscale 9, 8703.
- (2) Lee, J., Min, K., Park, Y., Cho, K. S. and Jeon, H., 2018, Photonic crystal phosphors integrated on a blue LED chip for efficient white light generation, Adv. Mat. 30, 1703506.

마이크로 LED 응용을 위한 3차원 광자결정 형광 필름 연구

김태훈¹, 이지원¹, 이원진¹, 민경택^{2*}

3D photonic crystal phosphor films for micro-LED applications

T. Kim¹, J. Lee¹, W. Lee¹, K. Min^{2*}

한국공학대학교 IT반도체융합공학과¹, 한국공학대학교 나노반도체공학과²

Key Words : Photonic crystal, Inverse opal, Photonic band-edge, Color-conversion, Micro-LED

1. 서 론

광자결정(Photonic crystal: PhC)은 굴절률이 서로 다른 두 가지 이상의 물 질이 공간 상에 주기적으로 배열된 구조이다. 광자결정의 광밴드구조에서 광 밴드에지(Photonic band-edge; PBE) 파장에 해당하는 빛은 광자결정 구조 내에서 군속도가 0에 근접하여, 빛과 매질 사이의 상호작용이 극대화될 수 있음이 널리 알려져 있다. 본 연구에서는 형광 물질을 주기적인 3차원의 광 자결정 형태로 조성하고 광밴드에지 파장의 여기광을 이용함으로써, 형광체 를 효율적으로 여기시키는 방법을 제안한다. 나아가 제작된 3차원 광자결정 형광 필름을 마이크로 LED 발광소자에 적용하여 색변환 효율의 향상을 실험 적으로 검증하였다.

2. 3차원 광자결정 형광체 제작

PMMA 나노구체의 자가조립법을 이용하여 제작된 면심입방구조의 3차원 광자결정 오팔 템플릿 상에 실크 피브로인 수용액을 도포하여 오팔의 빈 공 간(void)에 침투시킨 뒤, 아세톤 등을 이용하여 PMMA 나노구체를 선택적 으로 제거하면 역오팔의 3차원 광자결정 구조가 형성된다. 실크 피브로인 고 분자에 로다민6G 등 형광 물질을 도평함으로써, 형광물질이 주기적으로 배 열된 광자결정 형광 필름이 구현될 수 있다 (Fig. 1). 이 때, 실크 피브로인 역 오팔 구조는 제작에 사용된 PMMA 나노구체의 지름에 비례하여 격자 상수 및 광밴드갭 파장이 결정된다.



Fig. 1 (a) Fabrication steps for 3D PhC phosphor films SEM images of 3D PhCs (b) w/o phosphors and (c) w/ phosphors.

3. 실험 결과 및 고찰

시간영역유한차분법 기반의 시뮬레이션을 통해 3차원 광자결정의 광밴드 에지 공진 파장의 분석 및 입사광의 흡수 효율을 예측할 수 있다. 광밴드에지 효과로 인한 여기광의 흡수율 증가 및 광발광 효율 향상을 실험적으로 관측 하기 위하여, 제작된 형광필름을 광밴드에지 파장의 빛으로 여기하고 형광 스펙트럼 측정을 진행하였다. 특히 광자결정 형광 필름의 마이크로 LED 디 스플레이 응용 가능성을 실험하기 위하여, 소자 크기가 수~수십 µm에 이르 는 다양한 크기의 청색 마이크로 LED 발광소자를 여기 광원으로 활용하였다. 광밴드에지 공진 효과의 유효성을 검증하기 위하여 다양한 주기의 광자결 정 형광 필름 및 레퍼런스 벌크 필름의 광발광 측정하였다 (Fig. 2). 측정 결 과, 여기 광원의 중심 파장인 450 nm와 광밴드에지 파장(\Ame)의 일치도가 가 장 높은 주기(A) 221 nm의 광자결정 형광필름에서 가장 강한 형광 세기가 관 측되었다.



Fig. 2 (a) Fluorescence spectra of reference and PhC phosphor films. Photographed images of (b) reference and (c) PhC phosphor films

본 연구에서는 3차원 광자결정의 광밴드에지 공진현상을 기반으로 형광체 의 색변환 효율을 항상시키는 방법을 제안하였다. 특히 마이크로 LED 청색 발광 소자를 여기 광원으로 사용하였을 때, 3차원 광자결정 형광 필름의 형광 세기가 레퍼런스 형광필름 대비 약 1.5배 이상 향상된 것이 실험적으로 관측 되었다. 광소자의 구조적 관점에서 접근한 본 연구의 기본 원리는 유기 염료, 양자점, 나노 입자 등 형광체의 종류에 국한되지 않으며, 마이크로 LED에 기 반한 차세대 디스플레이나 광응용 산업분야의 첨단 디바이스 개발에 크게 유 용할 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 한국연구재단 과학기술분야 기초연구사업(과학기술정보통신부, 2021R1C1C1007405) 및 한국산업기술진흥원의 2023년 산업혁신인재성장 지원사업(산업통상자원부, P0017907)의 지원을 받아 수행되었음.

참 고 문 헌

- (1) Min, K. *et al.*, 2017, A colloidal quantum dot photonic crystal phosphor: nanostructural engineering of phosphor for enhanced color conversion, Nanoscale 9, 8703.
- (2) Lee, J., Min, K., Park, Y., Cho, K. S. and Jeon, H., 2018, Photonic crystal phosphors integrated on a blue LED chip for efficient white light generation, Adv. Mater. 30, 1703506.
- (3) Min, K., Kim, S. and S Kim, 2017, Deformable and conformal silk hydrogel inverse opal, Proc. Natl. Acad. Sci. 114, 6185.

천연 실크 고분자 기반 유연 전극 개발

이현수¹, 김도윤¹, 박원준¹, 한민우¹, 임준규^{2*}, 민경택^{1*}

Development of flexible electrodes based on natural silk biopolymer

H. S. Lee¹, D. Y. Kim¹, W. J. Park¹, M. W. Han¹, J. Lim^{2*}, K. Min^{1*}

한국공학대학교 나노반도체공학과¹, 한국공학대학교 IT반도체융합공학과²

Key Words : Biopolymer, Silk fibroin, Silver nanowire, Flexible electrode

1. 서 론

유연성을 가진 전극은 "커브드", "폴더블", "롤러블" 등의 키워드로 대표되 는 차세대 디스플레이 산업과 "웨어러블", "전자피부" 등의 개발이 본격적으 로 대두되는 바이오/헬스케어 산업에서 필수적인 요소이다. 기존 디스플레이 제품에서 주로 사용되는 ITO (Indium Tin Oxide) 등의 무기물 기반의 전극 제품들은 유연성이 부족하여 휘어지거나 신축성이 필요한 전자제품에 활용되 기에는 한계가 있다. 이를 극복하기 위하여 유연성이 보장된 고분자 등의 유 기물 기판의 표면에 전도층을 삽입하는 방식으로 유연 전극이 개발되고 있다. 한편, 누에고치에서 추출 가능한 천연 물질의 일종인 실크 피브로인은 가 공성이 용이하고, 제작 과정이 경제적이며, 인체 및 환경에 무해하여 다양한 연구 분야에서 관심을 받고 있는 바이오 고분자 물질이다. 실크 피브로인 고 분자 필름은 가시광선 영역에서 투명하고, 유연성 및 물리적/화학적 내구성 이 준수하므로, 투명성을 가진 유연 전극 기판의 소재로서 적합하다. 실크 피 브로인 고분자 기판에 전도성이 높은 은나노와이어(silver nanowire; AgNW) 를 집적하여 유연 전극을 구현할 수 있다 [1]. 본 연구에서는 은나노와이어를 실크 고분자 필름 상에 집적하고, 이 때 은나노와이어 네트워크의 형성 조건 에 따라 달라지는 유연 전극 기판의 물성을 분석하였다.

2. 유연 전극 제작 과정

천연 누에고치로부터 실크 고분자를 수용액의 상태로 추출하는 방법에 대 해서는 이미 잘 알려져 있다 [1]. 우리는 누에고치 실크로부터 세리신 고분자 를 제거하고 인체에 무해한 피브로인 고분자만을 추출하여 본 연구에 활용하 였다.



Fig. 1 (a) Fabrication steps of flexible silk/AgNW electrodes. (b) Photographed image of the electrodes.

유연 전극의 제작 과정은 Fig. 1a와 같다. 우선 실리콘 기판 위에 은나노와 이어 용액을 부어 24시간 건조함으로써, 은나노와이어 네트워크를 기판 상에 생성한다. 이후 실크 피브로인 수용액을 은나노와이어가 코팅된 실리콘 기판 위에 붓고 48시간 건조한다. 이 과정에서 실크 피브로인 고분자가 은나노와 이어 네트워크의 빈 공간으로 침투하여 굳어지게 되고, 완전히 건조된 고분 자 필름을 실리콘 기판 위에서 떼어내면 은나노와이어가 집적된 실크 피브로 인 유연 전극을 얻을 수 있다(Fig. 1b).

3. 실험 결과 및 고찰

유연 전극 필름의 제작할 때 사용된 은나노와이어 수용액의 농도에 따라 최종적으로 제작된 유연 전극의 전기적/광학적 물성이 달라질 것으로 예상된 다. 우리는 다양한 농도(0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 wt%)의 은나노와이어 용 액을 사용하여 유연 전극 샘플을 제작하였다(Fig. 2a).



Fig. 2 (a) Photographed images of silk/AgNW electrodes.(b) Optical transmission spectra and (c) I-V curves of the silk/AgNW electrodes.

가시광 파장 대역의 빛을 전극 필름에 조시하여 반대편 광수집기에 도달한 빛의 양을 측정함으로써, 필름의 광투과도를 분석할 수 있다(Fig. 2b). 전극 제작에 사용된 은나노와이어 용액의 농도가 높을수록 나노와이어 네트워크가 밀하므로, 광투과도가 저해되는 것은 명백하다. 은나노와이어 용액의 농도가 0.3 wt% 이상에서는 가시광 대역 평균 투과도가 1% 이하의 값을 가지며, 전 극의 투명성을 찾아볼 수 없다.

또한, 소스미터(Keithley 2450) 장비를 이용한 I-V 커브 측정을 통해 제작 된 전극의 전기저항 값을 분석할 수 있다(Fig. 2c). 은나노와이어가 밀하게 분 포되어 있을수록 은나노와이어 사이의 접촉 면적이 증가하고 전극의 전기 전 도도가 높을 것은 명백하다.

우리는 천연 실크 고분자와 은나노와이어 기반의 유연 전극을 개발하였으 며, 제작에 사용된 은나노와이어 용액의 농도에 따라 전극의 전기적, 광학적 특성을 조절할 수 있다. 이후의 연구로 유연 전극의 휨이나 구부림 특성에 따 라 변화하는 전기적 물성 및 내구성을 연구할 필요가 있다. 본 연구에서 개발 된 유연 전극은 부품의 유연성이 필요한 차세대 디스플레이 산업은 물론, 생 체친화적 소재의 중요성이 대두되는 바이오 헬스케어 산업 등 다양한 분야에 서 활용될 수 있을 것으로 기대되다.

후 기

본 연구는 한국연구재단 과학기술분야 기초연구사업(과학기술정보통신부, 2021R1C1C1007405) 및 한국산업기술진흥원의 2023년 산업혁신인재성장 지원사업(산업통상자원부, P0017907)의 지원을 받아 수행되었음.

참 고 문 헌

 Min, K. et al. (2017). Biocompatible, optically transparent, patterned, and flexible electrodes and radio-frequency antennas prepared from silk protein and silver nanowire networks, RSC Adv., 7, 574-580

과일 산도 감지를 위한 친환경 색변환 pH 센서 개발

손재환¹, 김민성¹, 소영완¹, 이지원², 임준규², 민경택^{1*}

Development of eco-friendly and biocompatible colorimetric pH sensors for monitoring of fruit acidity

J. Son¹, M. S. Kim¹, Y. W. So¹, J. Lee², J. Lim², K. Min^{1*}

한국공학대학교 나노반도체공학과¹, 한국공학대학교 IT반도체융합공학과²

Key Words : Cellulose acetate, Anthocyanin, Colorimetric pH sensor, Fruit acidity

1. 서 론

필름이나 지류의 색상 변화를 통해 외부의 환경 변화를 감지하는 색변환 (colorimetric) 센서는 정량적 데이터 수집의 어려움에도 불구하고, 별도의 복 잡한 전원 공급 장치 없이 간편하고 경제적으로 제작 및 사용이 가능하다는 장점을 가진다. 색변환 센싱 도구의 대표적인 예시로 17세기에 발명된 리트 머스 시험지는 용액의 pH를 빠르고 쉽게 감지할 수 있는 도구로서, 경제적인 가격에 상용화되어 일상에 널리 사용되고 있다.

한편, 실크 피브로인(silk fibroin)이나 셀룰로오스(cellulose)와 같이 자연에 서 추출 가능한 천연 고분자 물질은 다루기 쉽고 인체와 환경에 무해하여 다 양한 연구 및 산업 분야에서 관심을 받고 있다. 또한 자색 고구마나 적색 양 배추 등에서 추출 가능한 천연 유기 염료인 안토시아닌(anthocyanin)은 pH 에 대한 색상의 반응성이 매우 높아 지시약으로 사용하기에 적합하다 [1].

본 연구에서는 안토시아닌이 도핑된 천연 고분자를 활용하여 필름 형태로 사용할 수 있는 색변환 센서를 구현하였다. 제안된 색변환 센서는 pH에 대한 색변화가 명료하고, 사용 후 폐기 절차가 친환경적이며, 인체에 무해한 천연 소재만으로 이루어져 바이오 응용 소재로서 유리하다. 특히, 본 연구에서 구 현된 색변환 센서를 과일과 같이 산미(acidity)가 중요한 음식물의 pH를 감 지하는 용도로 활용하고자 한다.

2. 색변환 필름 제작

셀룰로오스 아세테이트(cellulose acetate; CA) 분말을 디아세톤알코올 (diacetone alcohol)에 용해시킨 뒤, 적색 양배추를 끓여 추출한 안토시아닌 용액과 혼합한다. 혼합된 용액을 평평한 PET 기반에 붓고 24시간 건조하여, 보라색의 고분자 필름을 제작할 수 있다 (Fig. 1).



Fig. 1 (a) Extraction of anthocyanin from red cabbages. (b) Anthocyanin-doped CA solutions. (c) Colorimetric sensor films.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 제작된 고분자 필름을 다양한 pH의 용액에 노출 시키는 경우 pH의 정도에 따라 색상 변화가 뚜렷하다. 특히 중성에서 보라색 을 띄는 고분자 필름이 노출된 용액의 산성이 강할수록 (pH가 낮을수록) 밝 은 자주색 계열로 필름의 색상이 변화하였으며, 반대로 고분자 필름이 노출 된 용액이 염기성일수록 (pH가 높을수록) 어두운 남색 계열로 필름이 색상 이 변화하는 것이 명료하다.





식용 과일의 당도, 혹은 과즙의 pH 측정은 과일의 산마를 객관적으로 판단 하는데 있어서 중요한 지표가 될 수 있다. 본 연구에서는 과일의 산미와 당도 가 하루 단위의 짧은 숙성 기간 동안에도 명료하게 변화함에도 불구하고, 육 안으로는 그 구분이 쉽지 않은 과일 망고를 대상으로 색변환 고분자 필름을 사용하였다.

연구에서 도입한 망고를 상온에서 숙성시키면서 이틀 간격으로 망고의 상 태 변화를 관찰하였다 (Fig. 3). 우선 별도의 pH 미터기를 이용하여 망고 과 즙의 pH 변화를 확인하였으며, 최초 강한 산성(pH = 2.69)을 나타내던 망고 의 pH가 시간이 지날수록 점차 증가하였고 일주일이 지나 상한 망고의 과즙 은 약한 산성(pH = 4.98)을 나타냈다.

동시에 망고에 부착한 고분자 색변환 센서 필름의 색상 변화를 관찰하였으 며, 최초 밝은 자주색의 필름 색상이 시간이 지날수록 어두운 보라색으로 변 화하는 것을 확인하였다. 필름의 색상 변화는 매우 즉각적이며, 육안으로 구 분할 수 있을 정도로 명료하다.





본 연구에서는 셀룰로오스 고분자와 안토시아닌 염료와 같이 인체에 무해 한 자연 추출물만으로 이루어져 음식물에 사용하기에 안전한 필름 형태의 색 변환 센서를 구현하여 과일의 숙성 정도에 따른 뚜렷한 색상 변화를 관찰하 였다. 개발된 색변환 센서는 특히 육안으로 숙성 및 부패 정도의 구분이 어려 운 음식물의 상태를 모니터링하는데 있어 매우 유용할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국연구재단 과학기술분야 기초연구사업(과학기술정보통신부, 2021R1C1C1007405) 및 한국산업기술진흥원의 2023년 산업혁신인재성장 지원사업(산업통상자원부, P0017907)의 지원을 받아 수행되었음.

참 고 문 헌

 Min, K., Kim, S. and Kim, S., 2018, Silk protein nanofibers for highly efficient, eco-friendly, optically translucent, and multifunctional air filters, Sci. Rep. 8, 9598.
용접결함 예방을 위한 YOLO를 활용한 스패터 모니터링

김범진¹, 서보욱¹, 김석^{1,2}, 조영태^{1,2*}

Spatter monitoring using Yolo to prevent weld defect

B. J. Kim¹, B. W. Seo¹, S. Kim^{1,2}, Y. T. Cho^{1,2*} 창원대학교 스마트제조전공¹, 창원대학교 기계공학부²

Key Words : YOLO, Deep learning, Spatter monitoring, Object detection, Byte tracking

1. 서 론

스패터란 용접 중 전류 및 전압 조건의 오류, 빠른 용접 속도, 전극 의 상태나 재료의 특성 등의 이유로 발생하는 작은 금속 조각이다. 이 것은 모재에 고착되어 외관의 표면이 거칠어지고 가공 및 도장이 어려 우며, 설비 작동에 악영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 용접 결함 예 방을 위해 스패터의 양을 식별하여 결합 여부를 예측하기 위한 모니터 링 시스템의 개발을 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해 객체 감지와 분류를 위한 딥러닝 기반 알고리즘인 YOLO를 사용하였다. 이를 통해 스패터 입자를 탐지하는 시스템을 제작하였다. 이를 통해 용접 작업 과정에서 발생하는 스패터를 모니터링하며, 결함 발생 여부를 사전에 파악하여 신속한 조취를 취할 수 있도록 돕는다. 추가적인 연구를 통 해 범용적인 시스템을 만들고 실제 생산 환경에 적용하고, 용접 공정 의 안정성과 품질을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

2. 학습 모델 제작 및 적용

먼저 훈련용 데이터를 제작하기 위해 용접 스패터 사진에서 스패터 입자들의 라벨링을 진행하였다. 라벨링이란 데이터를 인공지능이 스 스로 학습할 수 있도록 물체가 있는 위치 크기 등을 입력하고 그 이름을 표시해 주는 작업이다. 본 연구에서는 Fig. 1(a)와 같이 Arc 와 Spatter 두 개의 Class로 분류하여 라벨링 데이터를 제작하였다. 총 60개의 데이 터를 제작하였고, 50개를 학습 데이터로 10개를 검증 데이터로 분류하였 다. 가중치를 Yolov8n 사용하였고, 최적화 함수는AdamW, 배치 사이즈 는 8, Epoch수는 50으로 설정하여 학습을 진행하였다. 모텔의 전반적인 성능을 나타내는 F1 Curve는 0.644에서 0.63으로 나왔다. F1 Curve란 모델이 찾은 객체 중에서 실제로 정답인 객체의 비율인 정밀도 와 실제 정답인 객체 중에서 모델이 정확하게 감지한 객체의 비율인 재현율의 조 화평균으로 구해지는 그래프이다. 또한 Fig. 1(b) 와 같이 분류 모델 성능 평가 지표인 Confusion Matrix에서 Arc와 Spatter의 매칭 정확도가 각 각 1.00, 0.67로 나왔다.



Fig. 1 (a) Arc and spatter labeling results in weld pictures (b) Confusion matrix of the trained model

제작한 학습 모델을 용접 초고속 카메라 영상에 적용했을 때 아크와 스패터를 감지하는 것을 Fig .2 (a)와 같이 확인할 수 있었다. 동영상을 객체 탐지 모델을 적용하였을 때 프레임별로 객체 탐지를 진행하고 영상으로 다시 합친다. 이 때 감지된 스패터의 개수를 프레 임 별로 셀 수 있지만, 새로 생성되고 없어지는 스패터가 있어 총 량을 판단하기는 어렵다. 그래서 프레임별로 중복되는 개수를 제외하기 위 해 ByteTrack 알고리즘⁽¹⁾을 사용하였다. 그러나 적용하였을 때 연산 량이 늘어나 객체 감지에 불안정한 모습을 보이고, ID Switch현상도 일어나 트래킹 기법을 모델에 적용하는 데 있어 최적화가 필요하다.



Fig. 2 (a) Object detection result by applying deep learning model to welding image (b) ByteTracking algorithm⁽¹⁾

3. 결론 및 계획

YOLO 모델을 활용해 스패터 객체 탐지 딥러닝 모델을 제작하였 다. 제작된 모델을 실제 용접 영상에 적용하였을 때 스패터 입자들과 열원인 아크를 잘 인식하는 것을 확인하였다. 또한 프레임별로 중복되 는 스패터의 개수를 제외하고 총 량을 파악하기 위해 트래킹 기법중 하나인 ByteTrack알고리즘을 적용하였다. 그러나 연산량의 증가로 인 해 객체 감지에 누락되는 입자가 늘어난 모습을 보이고 ID Switch현 상도 일어나 불안정한 모습을 보인다. 이후 모델을 안정화하고 다양한 용접 환경에서의 데이터셋을 추가학습하여 범용적인 모델을 만들고 실제 용접 현장에서 적용해 용접 결함여부를 예측해 보는 것을 목표로 한다.

후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019R1A5A8083201)

참고 문 헌

 Zhang, Yifu, et al. "Bytetrack: Multi-object tracking by associating every detection box." Computer Vision-ECCV 2022: 17th European Conference, Tel Aviv, Israel, October 23-27, 2022, Proceedings, Part XXII. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022.

레이저 가공에 의한 열가소성 CFRP에서의 접합 특성 연구

왕환, 김지훈, 우성철, 정성균, 김주한*

A study on analysis for shear stress strength of CFRTP using laser surface treatment

H. Wang, J. H. Kim, S. C. Woo, S. K. Cheong, J. Kim*

서울과학기술대학교 기계공학과

Key Words: Carbon fiber reinforced thermal polymers(CFRTP), Laser, Joining

1. 서 론

탄소섬유 복합재료(CFRP)는 중량 대비 높은 강도, 내식성, 내피로성, 재 활용성 등의 특성을 가지고 있어 항공우주 및 자동차산업 등의 분야에서 점차 다양하게 사용되고 있다[1]. 특히 재활용이 가능한 열가소성 CFRP인 CFRTP의 산업에서의 적용이 넓어짐에 따라 많은 경우에 금속과의 접합을 통해 응용되고 있다.

일반적으로 사용되는 이종 간의 접합 방법에는 볼트 너트, 리벳, 용접, 융 착, 접착제 등이 있으며 그 중 접착제 접착 공정은 균일한 수용력 분포, 고강 도 및 경량화의 특성을 가지고 있다. 접착제를 이용한 접착 과정에서 표면 전 처리는 품질 안정성에 중요한 요소이다. 또한 레이저 처리는 소음, 공구마 모 등과 같은 기계적인 가공에 의해 발생되는 요소들을 없앨 수 있 는 좋은 이점을 가지고 있다.

현재 CFRTP의 표면을 레이저에 의한 미세가공 처리를 통한 접합 에 대한 연구는 최근에 들어 활성화되고 있다. 그러나 레이저 가공 파라미터 의 요소가 CFRTP와 금속 간의 접합 성능에 미치는 영향에 관한 연구는 적었다[2]. 본 연구에서는 레이저를 이용하여 CFRTP의 표면을 미세 가공 을 하여 그 처리 표면을 분석하였고, 알루미늄과의 접착강도에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 시편 재료의 CFRTP는 두께 2mm의 단방향의 탄소섬 유 폴리아미드 6(CF/PA6) 복합 재료의 필름을 적충하였다. 금속시편으로는 알루미늄 합금(Al 6061) 2mm를 사용하였다.

펄스 폭 1064n, 레이저 세기 8W의 펄스 레이저 가공 시스템을 사용하여 CF/PA6 표면의 패턴을 Fig. 1과 같이 적용하여 가공하였다. 직조 방향에 따라 표면 가공된 시편의 접합 강도를 실험하였고 결과 데이터를 수집 분석하였다.



Fig. 1 The relationship between laser processing direction and carbon fiber arrangement direction.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2는 섬유방향에 대하여 수평, 수직으로 레이저 처리 후 인장 전단 강 도를 측정한 결과를 나타낸다. 최대 인장 전단 강도를 비교해 볼 때표면 미처 리에 비해 인장 전단 강도가 크게 향상된 것을 알 수 있다. 따라서 탄소섬유의 배열방향과 레이저 가공방향과 평행할 때 복합재료의 접합 강도가 가장 효과 적으로 나타낸다.

Laser 가공 시 열영향부(HAZ)가 가공 영역 주위에서 생성되며 탄소 섬유는 탄소섬유 정렬방향과 정렬방향에 수직방향 두개의 축을 가지고 있으며 열확산의 속도는 탄소섬유 정렬방향에 수직한 방향에서 낮아지 며 HAZ의 발생과 이로 인한 탄소섬유의 매트릭스부분에서 이탈되는 현상들이 발생된다.

최적의 표면 가공 품질을 얻기 위해서는 탄소섬유의 수직방향의 가공 이 필요하다. 그러나 섬유방향과 평행방향으로 레이저 가공은 접합 강 도를 보다 크게 향상을 시킨다.



Fig. 2 Lap shear strength of adhered CF/PA6 and Al alloy samples.

4.결론

CFRTP와 금속 간의 접합 성능은 레이저 표면 처리 패턴에 의해 개선될 수 있으며 이에 대한 공정의 최적화가 필요하다.

후기

본 연구과제는 산업통상자원부의 국제공동기술개발사업 (No. P0017233)에서 지원을 받아 수행되었습니다

참고문헌

- (1) Tan, Caiwang, Jianhui Su, Yifan Liu, Ziwei Feng, Xiaoguo Song, Xinbo Wang, Bo Chen, and Hongbo Xia. "Enhanced interfacial bonding strength of laser bonded titanium alloy/CFRTP joint via hydrogen bonds interaction." Composites Part B: Engineering (2022): 109966.
- (2) Fischer, F., S. Kreling, P. Jäschke, M. Frauenhofer, D. Kracht, and K. Dilger. "Laser surface pre-treatment of CFRP for adhesive bonding in consideration of the absorption behaviour." The Journal of Adhesion 88, no. 4-6 (2012): 350-363.

고출력 레이저 조건에 따른 웨이퍼 가공에서의 열영향 특성 연구

김지훈, 우성철, 김주한*

Thermal effects of wafer processing according to high-power laser conditions

J. H. Kim, S. C. Woo, J. Kim*

서울과학기술대학교 기계공학과

Key Words : High power laser, Wafer, Heat affected zone

1. 서 론

고출력 레이저는 반도체 제조 산업에서 중요한 역할을 한다. 현재 반도체 산 업은 더욱 높은 집적도와 더 작은 칩 크기를 요구하고 있어 고출력 레이저에 대한 수요가 늘어나고 있다[1]. 그러나, 고출력 레이저를 이용한 웨이퍼 가공 에서 웨이퍼 표면에 열이 집중되어 웨이퍼 재료의 손상이나 변형을 초래할 수 있다[2]. 고출력 레이저를 효과적으로 사용하기 위해 환경조건 그리고 레 이저 조건에 따른 웨이퍼와 레이저 간의 상호작용에 대한 이해가 필요하다. 본 연구에서는 냉각조건 및 레이저 가공조건에 의한 물질제거 및 열영향부 (HAZ) 형성을 전산 해석 실험을 통해 확인했다.

2. 전산 해석 실험

냉각조건 및 레이저 가공조건에 의한 웨이퍼와 레이저 간의 상호작용을 확인하기 위해 COMSOL Multiphysics 5.6을 이용했다. 타켓물질은 실리콘 웨이퍼이며, 형상은 φ1.4x0.7mm의 원판이다. 레이저 펄스는 구형파이며 범직경은 5μm, 에너지 밀도는 가우시안 형태로 타켓중앙에 집속된다. 환경 조건으로 자연대류와 강제대류를 적용했다. 강제대류에서 냉각유체는 공 기이며, 타켓중앙으로 수직으로 노즐에서 뿜어져 나온다. 물질제거를 모사 하기 위해 임계온도 이상에서 형상 변형이 가속되는 조건을 사용했다. Time step은 0.01초로 10초 동안 발생한 레이저에 의한 물질제거와 온도분 포를 분석해서 열영향부영역을 간접적으로 평가했다.



simulation

3. 실험 결과 및 고찰

광열 에너지 흡수 후 물질제거가 일어나고, 주변영역으로 열이 확산하여 온 도분포가 Fig. 2와 같이 나타났다. 온도구배를 분석했을 강제대류는 자연대류 대비 열이 빠르게 소산되는 것을 Fig. 3을 통해 알 수 있으며, 강제대류는 표 면의 온도가 상대적으로 낮았다. 800°C이상의 영역의 크기를 비교했을 때 크 기가 줄어, 열영향부영역이 감소한 것으로 판단된다. 냉각조건에 따른 절삭깊 이를 비교했을 때, 강제대류 적용 시 물질제거량이 상대적으로 감소했다. 레 이저 열 가공에서 냉각유체를 이용한 냉각효과를 전산 해석을 통해 확인한 결과, 냉각유체를 이용한 열영향부영역의 감소효과를 얻을 수 있었다.



(b) Forced convection Fig. 2 Temperature profile according to cooling conditions



Fig. 3 Temperature gradient of the central point over time

후 기

본 연구과제는 산업통상자원부의 국제공동기술개발사업 (No. P0016249)에 서 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Cho, G. W., Park, H. J., 2010, Laser processing technology in semiconductor and display industry, KSPE, 32-38.
- (2) Song, K. H., Cho, Y. K., Kim, B. C., Kang, D. S., Cho, M. W., Kim, J. S., Ryu, B. S., 2015, Analysis of cutting characteristics of the sapphire wafer internal laser scribing process for LED chip, JKAIS, 5748-5755.

초음파 분무 열분해법을 통해 제조된 다공성 금속 산화물 복합화를 통한 전기화학 소자 성능 향상 연구

정석준, 성기욱, 고근영, 이창용, 안효진*

A study on high performance electrochemical devices with porous metal oxide composite synthesized by

ultrasonic spray pyrolysis method

S. -J. Jeong, K. -W. Sung, G. -Y. Ko, C. -Y. Lee, H. -J. Ahn*

서울과학기술대학교 신소재공학과

Key Words : Ultrasonic spray pyrolysis, Porous metal oxide, Electrochemical performance

1. 서 론

전 세계적인 에너지 수요의 증가는 에너지 고갈 문제에 대한 경각심을 고취시키고 있으며. 이를 대비하기 위한 효율적인 에너지 저장 소자 개발 과 에너지 절약 기술이 각광받고 있다. 그중에서도 리튬이차전지, 연료전 지, 전기변색 소자 등과 같은 전기화학 에너지 저장 소자의 성능향상을 위한 연구들이 대두되고 있다. 전기화학 소자의 성능향상을 위해서는 소 자를 구성하는 활물질, 전해질, 전도층의 성능을 높이는 방법이 있다. 그 중에서도 활물질은 전기화학 소자의 에너지 저장 성능을 결정짓는 가장 중요한 역할을 하며, 구성되는 물질 형상에 따라 소자 성능에 직접적으로 영향을 끼치게 된다. 특히 활물질과 다공성 금속 산화물과의 복합화에 대 한 연구는 전기변색 소자와 같은 전기화학 소자의 다기능화를 이룰 수 있 는 중요기술로 여겨져 왔다. 본 연구에서는 초음파 분무 열분해법을 통해 합성된 다공성 금속 산화물과 용매 열 합성법을 통해 우수한 전기화학적 활성도를 가지는 활물질 층을 개발하였다. 우수한 전기화학적 활성도는 금속 산화물의 높은 전기전도도와 다공성 구조로 인해 향상된 비표면적을 통해 구현되었다. 본 연구는 각각 다른 다공성 금속 산화물 첨가량을 가지 는 전이금속산회물막이 적용된 전기화학 반쪽 셀을 구현하였고, 전기화학 소자의 성능 향상 메커니즘을 체계적으로 분석하여 규명하였다.

2. 초음파 분무 열분해법을 통한 다공성 금속 산화물 제조

본 연구에 사용된 초음파 분무 열분해 장비는 가열로가 수직으로 향해 져 있어, 초음파를 통해 미세화된 액적이 가열로를 거쳐 분말이 합성되는 과정을 보여준다. 장비의 모식도는 Fig. 1(a)에 나타내었으며, 이를 통해 합성된 다공성 금속 산화물은 Fig. 1(b)에 나타낸 열수합성법을 통해 합 성된 바나듐 산화물과의 복합화를 진행하였다. 복합화된 용액을 통해 상 용 불소 도핑된 주석 산화물 유리 기판에 스핀 코팅방법을 통해 박막을 형성하였고, 박스로 열처리를 통해 다공성 금속 산화물이 바나듐 산화물 과 복합화된 박막을 얻었다.



Fig. 1 (a) Ultrasonic spray pyrolysis methode and (b) solvothermal method

3. 실험 결과 및 고찰



Fig. 2 (a) porous FTO microsphere, (b) bare V₂O₅, and (c) V₂O₅-FTO2



Fig. 3 (a) porous FTO microsphere, (b) bare V₂O₅, and (c) V₂O₅-FTO2

Samples	T _{bleacked} (%)	T _{colored} (%)	Transmittance modulation (%, 415 nm)	Coloration Speed (sec)	Bleaching Speed (sec)	CE (cm²/C)
bare V2O5	59.53	9.51	50.02	4.8	5.3	53.17
V2O5-FTO1	61.19	10.04	51.15	3.9	5.7	59.98
V2O5-FTO2	63.8	10.01	53.79	2.1	4.1	68.76
V-Os-FTO3	54.42	9.19	45.23	3.9	7.6	47.62

Table 1 Electrochromic performances

Fig. 2(a)는 제조된 다공성 금속 산화물의 TEM 이미지를 보여주며, Fig. 2(b)와 2(c) 각각은 바나듐 산화물 박막, 바나듐 산화물 박막과 복합 화된 다공성 금속 산화물을 나타낸다. 또한 제조된 박막의 전기화학적 성 능을 Fig. 3에 나타내었으며 수치를 Table 1에 나타내었다. 이는 다공성 금속 산화물의 높은 전기전도성과 넓은 비표면적으로 인해 전기화학적 성 능이 증가하여 빠른 변색/소색 속도 및 높은 가시광선 투과도 변화율을 보여주었다.

- [1] Gooodenough, J. B, Kim, Y, 2010, *Challenges for rechargable Li batteries*, Chem. Mater., 22, 587-603.
- [2] Liu, W, Zhang, X, Liu, J, Ma, X, Zeng, Liu, P, Xu, T, 2017, Electrochromic properties of organic-inorganic composite materials, J. Alloy. Compd., 718, 379-385.
- [3] Ling, H, Wu, J, Su, F, Tian, Y, Liu, Y.J, 2021, Automatic light-adjusting electrochromic device powered by perovskite solar cell, Nat. Commun., 12, 1010.

링크 길이 비율에 따른 정밀도와 출력을 고려한 델타로봇 형상 최적화

이승우¹, 정수진², 강해원², 제형구², 김효영^{2*}

Delta robot optimization considering effect of link length ratio on the precision and motor output

S. W. Lee^{1*}, S. J. Jung², H. W. Kang², H. G. Je², H. Y. Kim^{2*} 한국공학대학교 기계공학과¹, 한국공학대학교 메카트로닉스공학부²

Key Words : Parallel robot, Optimization, Precision, Kinematics

1. 서 론

델타 로봇은 베이스에서 유니버셜 조인트로 연결된 세 개의 팔을 가진 병렬 로봇의 한 종류로 링크비율에 따라 그성능이 달라지게 되다. 본 연구 는 워크스페이스 내에서 관절의 최대각도와 허용각도를 비교하고 링크 길 이 비율에 따른 정밀도와 출력을 고려하여 형상 최적화를 진행하였다.

2. 유니버셜 조인트 각도 시뮬레이션

설계인자는 링크 4개의 길이로 내측 암과 외측 암의 길이, 베이스와 엔 드이펙터의 반지름(내접원)이다. 목표 워크스페이스는 400x400x150mm 이며 간섭을 피하기 위해 유니버셜 조인트의 허용각도는 65도로 제한하였 으며 엔드이펙터는 기구적 구속에 의해 xy평면과 항상 평행을 이루고 있 고 회전하지 않게하였다. 따라서 최대 각도는 엔드이펙터가 워크스페이스 의 꼭지점(-200,-200)에 위치했을 때 외측 암AB를 xz평면에 정사영 시킨 선ab와 xy평면이 이루는 각을 통해 구할 수 있다.[Fig. 1]



3. 링크 길이 비율에 따른 시뮬레이션

링크 길이 비율은 내측암/(외측암 + 내측암)으로 내측과 외측 암의 길 이 합은 810mm으로 고정하고, 비율 0.25, 0.35, 0.45, 0.5에 대해 각각 최하단 기준부터 시작하여 최초로 만족한 워크스페이스의 윗면의 높이에 서 (200,200)에서 (-200,-200)으로 엔드이펙터에 작용하는 하중 없이 1.1m/s²으로 0.5초 가속, 0.5초 등속, 다시 1.1m/s²으로 0.5초간 감속을 적용하였다. Solidworks Motion Study를 통해 각각의 경우 각속도와 모터의 구동 토크를 구하여 [Fig. 2]와 같이 모터 출력을 얻었으며, 이를 통해 모터 3개의 에너지 평균을 구했다[Table, 1]. 또한 각 비율에 대해 스텝각 1.8도, 모터의 회전각도 -35도~105도로 적용하였을 때 목표 워크 스페이스 이내에서 관절의 허용 각도를 만족하는 경우 Matlab을 통해 [Fig. 3]와 같이 최초 워크스페이스를 나타내는 초록색 큐브를 형성하였 고 엔드이펙터의 가능한 모든 위치를 보라색 점으로 표시하였다.

Table 1 average of 3 motor of torque and energy according to link length ratio

	0.25	0.35	0.45	0.5
torque (N • m)	1.49	2.10	3.15	3.90
energy (J)	1.29	1.77	2.39	2.97



link length ratio 0.50

Fig. 2 power according to link length ratio



Table 1을 통해 비율이 증가할수록 모멘트 팔의 길이가 길어짐에 따라 구동토크가 커져 소비 에너지가 증가함을 알 수 있다. 또한 [Fig. 3]을 통 해 비율이 증가할수록 엔드이펙터가 도달할 수 있는 최대 높이는 증가하지 만 폭이 다소 좁아지고 스텝각 당 내측 암과 외측 암의 접점의 변위가 커 져 위치 정밀도가 낮아짐을 알 수 있다. 최종적으로 워크스페이스, 관절 허 용각도, 비율을 제한조건으로 두어 베이스 반지름 150mm, 엔드이펙터 반 지름 50mm, 내측 암의 길이 210mm, 외측 암의 길이 600mm를 구했다.

4. 결론

본 연구는 델타로봇의 암 링크 길이 비율에 따른 워크스페이스 분포. 정밀도, 소비 에너지를 고려하여 0.25를 최적의 비율로 정하고 유니버셜 조인트의 허용각도를 제한하여 최적화를 수행했다. 향후에는 델타로봇의 대칭 및 비대칭 형상 플랫폼에 대해 모드해석과 조화 응답 해석을 수행하고, 진동특성이 더욱 우수한 형상 설계와 재료선택 연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 성과물은 중소벤처기업부에서 지원하는 2022년도 산학연 플랫폼 협 력기술개발사업(1425170628)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문 헌

(1) Chan Hun Park.(2013).Design of high speed parallel robot, KSPE, 41-42

텍스트 기반 인간 동작 생성을 위한 트랜스포머 기반 모델의 positional

encoding 영향 비교

강찬희², 염수웅¹, 강석주^{1*}

Comparison of positional encoding impact on transformer-based text-to-human motion generation models

C. H. Kang², S. W. Yeom¹, S. J. Kang^{1*}

서강대학교 전자공학과¹, 서강대학교 인공지능학과²

Key Words : Automation, Human motion generation

1. 서 론

최근 인간형 로봇은 인간의 행동, 표정 등을 모방하는 방식으로 발전되어왔 다. 이러한 로봇들의 자연스러운 행동을 평가하기 위해, 자연어 처리 기반 인 간 모션 생성 모델을 사용하여 성능 비교를 위한 데이터를 생성할 수 있다. 본 논문에서는 텍스트를 이용하여 인간의 모션을 생성하는 모델 중 높은 성 능을 보이는 트랜스포머 기반 모델에 대하여 positional encoding이 결과에 어 떤 영향을 주는지 실험적으로 비교한다.

2. 방법론

본 실험에서 사용하는 모델은 T2M-GPT[1]로 Vector Quantized Variational Autoencoder(VQ-VAE)[2]를 이용하여 인간의 모션을 codebook vector를 사용 하여 인코딩하고, 이를 GPT와 유사한 구조를 가진 모델인 motion GPT를 이용하여 모션에 대응하는 code vector를 생성한다. 실험에서는 motion GPT의 트랜스포머 구조에서 입력에 positional encoding을 적용하지 않을 때와 적용할 때를 비교하여 positional encoding이 모션 데이터 생성에 어떤 영향을 미치는 지 살펴본다.



Fig. 1 Structure of Motion-GPT [1]

3. 실험 결과 및 고찰

우리는 HumanML3D [3] 데이터셋을 이용하여 각 모델을 학습하였으며, 이 데이터셋은 인간의 모션과 그 모션을 설명하는 텍스트 설명 쌍으로 구성되어 있다. T2M-GPT [1] 모델 기준으로, positional encoding 유무에 따른 FID, Diversity, R-Precision(Top1, Top2, Top3), Multimodality (MModality), Multimodal-Distance (MM-Dist)를 정량적으로 평가하였다. 위의 평가 지표는 T2M-GPT [1]의 지표를 사용하였다. Positional encoding이 있는 경우에는 기존 T2M-GPT [1] 논문을 참고하여 결과를 비교하였다.

훈련은 Nvidia RTX 3090 GPU 1개를 사용하여 총 300k iteration 훈련하였다. 훈련 시간은 약 100시간 소요되었으며, batch size는 128, learning rate는 0.0001 에 고정하여 사용하였다. Optimizer는 positional encoding을 사용한 모델과 동 일하게 AdamW [4]를 사용하였다.

모델의 성능을 평가하는 과정은 단일 횟수로 평가하지 않고, 30번 반복하여 평가지표 독립적으로 추출하고, 이들의 평균 값으로 최종 지표를 도출하였다. 이는 Diversity, MModality등과 같이 임의로 motion feature 또는 motion sequences에서 추출하므로, 무작위성에 따른 편차를 억제하기 위해 평균적 지 표를 사용하는 것이 필요하기 때문이다.

Table I Quantitative Results (Generation Qualit

	FID↓	Diversity↑	MModality↑	MM-Dist↓
w.o. PE	0.2756	10.1894	3.162	3.52
with. PE	0.1844	9.8306	3.285	3.730

Table 2 Quantitative Results (R-Precision)

	Top1↑	Top2↑	Top3↑
w.o. PE	0.5020	0.6888	0.7826
with. PE	0.5153	0.6902	0.7866

Table 1의 결과를 통해 diversity를 제외한 모든 부분에 대해 정량적인 지표 가 positional encoding을 사용할 때가 positional encoding을 사용하지 않을 때 보다 더 우수한 것으로 나타났다. 하지만, 높은 diversity에도 불구하고 FID가 현저하게 낮은 것으로 보아, 현실적(realistic)이지 못한 모션을 생성하였기 때 문에 diversity가 상승하였다.

결론적으로, 자연어 처리 분야와 함께 시간적으로 연속적인 motion을 예측 하는 작업에서 높은 성능을 보이는 트랜스포머를 사용할 경우, positional encoding이 모션 시퀀스의 시간적인 순서를 모델이 고려할 수 있도록 하기 때문에, 결과적으로 자연스러운 모션 생성에 긍정적인 영향을 작용한다는 사 실을 실험을 통해 확인하였다.

후 기

이 논문은 2022년도 정부(신업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원 의 지원을 받아 수행된 연구임(P0020535, 2022년 산업혁신인재성장지원산업)

- (1) Zhang, Jianrong and Zhang, Yangsong and Cun, Xiaodong and Huang, Shaoli and Zhang, Yong and Zhao, Hongwei and Lu, Hongtao and Shen, Xi, T2M-GPT: Generating Human Motion from Textual Descriptions with Discrete Representations, Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2023
- (2) Aaron van den Oord, Oriol Vinyals, Koray Kavukcuoglu, Neural Discrete Representation Learning, Neural Information Processing Systems (NIPS 2017)
- (3) Chuan Guo, Shihao Zou, Xinxin Zuo, Sen Wang, Wei Ji, Xingyu Li, and Li Cheng. Generating diverse and natural 3d human motions from text. In Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2022
- (4) Ilya Loshchilov and Frank Hutter. Decoupled weight decay regularization. In International Conference on Learning Representations, 2019

DQN Rainbow 알고리즘을 이용한 테트리스 에이전트

박관우, 김정수*

Tetris agent using deep reinforcement learning algorithm

Kwan-Woo Park, Jung-Su Kim*

서울과학기술대학교

Key Words : Micro endmilling, Acoustic emission, Surface texture

1. 서 론

강화 학습은 학습하는 에이전트가 주어진 환경에서 받는 상태나 에 이전트의 상태를 이용하여 환경에서 행동하며 보상을 받고 하나의 에 피소드 동안 받는 보상의 누적 합을 최대화하도록 학습하는 방법이다. 따라서 강화 학습은 환경이 주어지는 분야에서 사용하는 방법으로 대 표적으로 로봇, 제어 등이 있다. 최신 강화 학습 알고리즘들은 뉴런 네 트워크를 사용하는 딥러닝과 같이 사용하여 심층 강화 학습으로 사용 한다. 본 논문에서 사용할 실험 환경은 테트리스 게임이다. 테트리스 는 고전 게임 종류 중 한 개로 총 7개의 도형을 가지고 한 행을 채울 때마다 긍정적인 보상을 받는다. 따라서 보상을 받기 어려운 희귀 보 상 환경 문제를 다룰 수 있다. 본 논문에서는 DQN (Deep Q-Network) 알고리즘을 기본으로 좋은 성능을 보여준 다양한 기법을 활용하여 하나로 합친 Rainbow DQN 알고리즘을 이용하여 테트리스 환경을 학습시킨 결과를 보여준다 [1,2].

2. 심층 강화 학습

모든 강화 학습은 마르코프 결정 과정을 가지고 있다. 자신이 학습하고 자 하는 (*S*, *A*, *P*, *R*, γ)를 잘 정의해야 그만큼 학습의 의미가 명확해지 고 쉬워진다. 본 논문에서 사용하는 환경은 Fig. 1과 같은 테트리스 환경 이며 7x14의 크기를 가지고 있다. 따라서 상태 *S*는 Fig. 1을 간단한 이미 지 처리 과정을 거쳐 이진화로 만들어서 화면을 그대로 사용한다. 행동 *A* 는 그룹 행동을 정의하여 사용한다. 7x14크기에서는 총 28개의 행동 종 류를 정의할 수 있다. 예를들어 그룹 행동 1번의 경우 오른쪽으로 1번 움 직인다. 그룹 행동 21번의 경우 3번 회전 후 왼쪽으로 2번 움직인다. 상태 전이 확률 P는 현재 상태에서 행동을 하면 얻는 다음 상태의 확률을 나타 내고 본 논문에서는 1로 고정한다. 보상 함수 R은 다음과 같이 정의한다.

$r_t = r_{clear} + r_{hole}$	(1)
$r_{clear} \in \{0, 1, 3, 6, 10\}$	
<i>r_{hole}</i> =−0.01×구멍의 개수	

이때 r_{clear} 는 한번에 지운 행의 개수를 의미하며 한번에 많은 행을 지울 수록 높은 보상을 받는다. r_{hole}은 각 행마다 비어있는 구멍의 개수를 나타 내며 구멍을 채우도록 에이전트가 학습하도록 도움을 주는 역할을 한다. 마지막으로 감가율 γ는 0.99로 고정한다. 본 논문에서 사용하는 Rainbow DQN에 활용된 기법은 Double DQN, Prioritized Experience Replay(PER), Dueling DQN, Multi-step learning, Categorical DQN, Noisy Networks이다. Double DQN은 Target Q 네트워크를 추가하여 학습의 안정성을 높여주고 PER은 데이터가 쌓이는 buffer에서 의미 있는 데이터의 가중치를 높이는 방식이다. Dueling DQN은 Q 네트워크의 출력 구조를 바꿔서 Advantage function을 이용 해 새롭게 Q 값을 계산하는 방식이다. Multi-step learning은 업데이트 과정에서 t 스텝에서의 결과만을 가지고 업데이트 하는 것이 아닌 t+n 스 텝까지의 결과를 이용하여 업데이트하는 방법이다. Categorical DQN은 C51로도 불리며 O 네트워크의 값을 하나의 스칼라 값이 아닌 이산 확률 분포로 나타내고 분포의 기댓값을 이용해서 Q 함수를 계산하는 방식이 다. Noisy Networks는 탐험을 위해서 Q 네트워크 가중치에 가우시안 노이즈를 추가해 주는 방식이다. 기본 DQN까지 추가해 총 7개의 기법이 하나로 합쳐진 알고리즘이 Rainbow DQN이다.



Fig. 1 Environment Setup

3. 실험 결과 및 고찰

학습에 사용한 하드웨어는 CPU AMD Ryzen 5 5600X, GPU NVIDIA GeForce RTX 3080Ti를 사용하여서 Rainbow DQN에 사용되는 모든 알고리즘을 총 10만번 학습시켰다.



Fig. 2 Result graph

Fig. 2는 학습 하는 동안 지운 줄의 개수를 나타낸다. 일반적으로 탐험을 위한 epsilon-greedy 정책이 없는 알고리즘인 Noisy Network와 Rainbow DQN이 초반부터 학습에 좋은 모습을 보여주고 다른 알고리즘 들은 epsilon이 충분히 줄어든 후반에 학습이 잘 된 모습을 보여준다. 학습 시간은 모든 데이터 가중치를 계산해야 하는 PER이 포함된 알고리즘 이 느린 모습을 보여주며 학습 결과는 Rainbow DQN과 Noisy Network가 비슷한 모습을 보여준다. 환경이 더욱 어려운 조건이라면 Rainbow DQN이 더 좋은 모습을 보여줄 것으로 예상한다.

- (1) Hessel, Matteo and Modayil, Joseph and Van Hasselt, Hado and Schaul, Tom and Ostrovski, Georg and Dabney, Will and Horgan, Dan and Piot, Bilal and Azar, Mohammad and Silver, David, *Rainbow: Combining improvements in deep reinforcement learning.* Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence. Vol. 32. No. 1. 2018.
- (2) V. Mnih, K. Kavukcuoglu, D. Silver, A. Graves, I. Antonoglou, D. Wierstra, and M. Riedmiller, "Playing atari with deep reinforcement learning," arXiv preprint arXiv:1312.5602, 2013.

선형보간법을 이용한 6축 로봇의 예측 좌푯값 정확도 분석

이서진, 김재성*

Analysis the predictive coordinate value accuracy of 6-joint robot using linear interpolation

S. J. Lee, J. S. Kim*

한밭대학교 디지털제조사업단

Key Words : Meta-verse, Meta-factory, Linear-interpolation

1. 서 론

4차 산업혁명 시대에 메타버스 시장 규모의 성장을 바탕으로 메타버스 기술은 SNS, 게임 등 다양한 매체에서 활용되고 있다. 이에 산업현장에 서도 생산성 향상 및 운영의 효율성을 이유로 업무에 메타버스 시스템을 도입하며 '스마트팩토리'와 '메타버스'가 합쳐진 '메타팩토리'라는 새로 운 개념도 등장하였다. 하지만 산업현장에 메타버스를 도입하기 위해서는 업무의 오류를 방지하기 위하여 가상현실과 실제 공간의 오차를 최소화 하는 노력이 필요하다. 때문에 정확하고 신속한 데이터의 전송이 중요하 나, 로봇에서 수집되는 모든 데이터의 송수신에는 가상현실 공간의 모션 딜레이나, 산업용 로봇 과부하 등 여러 문제가 발생할 가능성이 높다. 본 논문에서는 로봇과 메타버스 시스템에 무리를 주지 않는 최소한의 데이터 로 선형보간법 이용해 모션을 구현한 경우 실제 로봇과 메타버스 로봇의 좌표값 오차율을 확인하고 이를 실제 산업현장에 적용할 수 있는지 확인 하고자 한다.

2. 로봇 전체 데이터 추출 및 선택 데이터 선형보간

본 실험에 사용한 산업용 로봇은 Kawasaki Robotics의 BX165L 로 봇을 사용하였으며, 해당 로봇은 총 6개의 축을 가지고 있다. 로봇에서는 30초 동안 각 축 별로 회전한 각도를 추출하였으며, 0.05초 간격의 원본 데이터(각 축 데이터 600개)와 원본 데이터에서 1초 간격의 선택 데이터 (각 축 데이터 30개)를 추출하였다. 선택 데이터는 각 축에 선형보간법을 사용하여 원본 데이터와 같은 시간 간격으로 데이터를 증폭한다. Fig. 1(a)는 각 축의 각도 전체 데이터를 그래프로 나타낸 것이고, (b)는 선택 데이터를 전체 데이터와 같은 시간 간격으로 증폭시켜 나온 데이터를 그 래프로 나타낸 것이다. 두 그래프의 전체적인 그래프 동향은 차이가 없으나, (b)에 비해 (a)가 더 완만한 그래프를 보여주고 있는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 1 Graph of each axis rotation value by data interval

Fig. 2(a)와 (b)는 전체 데이터와 선택 데이터를 기반으로 추출한 로봇 의 좌표값 데이터를 그래프로 표현한 것이다. Fig. 1과 비슷하게 Fig. 2도 전체적으로 비슷한 그래프의 동향을 보여주고 있다. (a)의 세밀한 좌표 이 동이 (b)에서는 생략 되었으나, 실제 로봇에 데이터를 적용하여 모션을 생성하는 경우에는 사람이 육안으로 차이를 인지하기 어려운 정도의 차이 로 판단된다.



각각의 데이터에서 로봇 끝단의 좌푯값을 설정한 뒤 추출할 수 있 는 가장 많은 데이터를 추출하여 독립표본 t-검정을 통해 원본 데이 터와 선형보간으로 생성된 데이터의 통계적 차이 유무를 확인하고자 하다.

3. 실험 결과 및 고찰

로봇의 30초 동작 동안 x, y, z 좌표를 각 2500개 씩 추출하였으 며, 원본 데이터 동작의 좌푯값과 보간 데이터 동작의 좌푯값을 각 독립표본 t-검정을 통하여 비교한 결과 Table 1과 같은 결과가 도출 되었다.

Table 1 Robot coordinate value independent sample t-test results

	x	у	z
t	-0.086352	-0.25881	0.19753
df	4998	4997.9	4998
p-value	0.9312	0.7958	0.8434

Table 1에서 x, y, z 모두 p값이 0.05보다 크기 때문에 귀무가설이 채 택되어 각 좌표는 통계적으로 유의미한 차이가 없다는 결론이다. 즉, 전체 데이터와 보간 데이터에는 통계적으로 유의미한 차이가 없기 때문에 선택 데이터를 보간법을 활용하여 증폭시켜 사용하는 것에 대해 문제가 없음을 알 수 있었다. 이 실험 결과는 추후 산업용 로봇에 대한 메타버스 시스템 을 개발할 때 데이터 송수신으로 인한 과부하 발생 문제 개선에 대해 활 용 가능하다고 판단된다.

참고문헌

- Seok, K. H, 2022, Metaverse web platform and service status, The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, 39:6. 49-56.
- (2) Kim, J. H, Shin, D. G, Park, S. H, Jin, M, 2019, Shoe Midsole Adhesive Application of robot using Joint Space Interpolation, Proceedings of the KSMPE Conference, 1. 12.

YOLOv5를 이용한 생산품 외관 결함 검출 모델 개발

김진구*, 곽호택

Developing for AI surface defect detection model based on YOLOv5

J. G. Kim^{*}, H. T. Kwak

㈜씨에이이테크놀러지

Key Words : Surface defect detection, YOLOv5, Al sheet, Configuration model, Rolling process

1. Introduction

생산품의 외관 결함은 완제품의 성능 저하와 치명적인 불량을 유발 한다. 문제 방지를 위해 생산품은 검사 공정을 걸쳐 양품을 선별한다. 그러나 산업 기술의 발달로 결함의 사이즈가 감소하고 형태가 다양해 져 기존의 검사 방법(육안 검사)로는 결함 검출률이 감소하고 있다.

본 연구에서는 YOLOv5를 이용하여 생산품의 외관에서 결함을 검 출하는 모델을 개발하였다. 해당 모델을 이용하여 생산품의 외관을 검 사하는 시스템을 구축하고자 한다.

2. Method

본 연구에서는 객체 탐지 알고리즘인 YOLOv5를 이용하여 알루미 늄 박판 외관의 결함을 검출하는 AI 모델을 개발하였다. 알루미늄 박 판 외관 결함 중 크랙(Crack)과 핀홀(Pin-hole)을 검출 대상으로 선정 하여 데이터를 수집하였다. 수집한 데이터의 수가 모델을 개발하기에 불충분하여, 결함을 정의한 후 알루미늄 박판 외관에 결함을 생성하여 이미지 데이터를 증강하였다. 이미지 데이터는 Blur. Canny edge detect, Morphology conversion 등의 필터링 방식을 적용하여 크랙 클래스 400개, 핀홀 클래스 1600개를 수집하였다. 각각의 데이터는 훈련, 평가, 테스트로 7:2:1로 데이터 세트를 분리하여 개발을 진행하 였다. 높은 정확도와 빠른 검출 속도를 가진 모델을 개발하기 위해 YOLOv5의 구성모델(Configuration model)의 Depth multiple, Width multiple 변수를 변경하여 모델을 훈련하였다. YOLOv5에서 기본으로 주어진 YOLOv5s, YOLOv5n, YOLOv5m, YOLOv5l, YOLOv5x 구성모델을 먼저 테스트하여 변수 설정값의 초깃값을 설 정하였고, 이후 값을 변동하여 높은 정확도 및 빠른 검출 속도를 가지 는 모델을 개발하였다.



(a) Crack class

(b) Pin-hole class

Fig. 1 Crack & Pin-hole class image

Table 1 variable of yolov5 configuration model

	Depth_multiple	Width_multiple
yolov5l	1	1
yolov5_ct8	1	0.95

3. Result

YOLOv5에서 기본으로 주어진 구성모델 중 YOLOv51 (Depth_mu ltiple=1, Width_multiple=1)로 훈련한 검출 모델이 정확도 93.3% (All 클래스 기준), 속도 0.389ms로 가장 높았다. YOLOv51의 변수값 을 기준으로 변동시켜가면서 정확도를 비교했다. 가장 성능이 뛰어난 모델의 구성모델은 YOLOv5_ct8(Depth_multiple=1, Width_multipl e=0.95)였으며, 정확도 94.8%(All 클래스 기준), 속도 0.395ms의 성 능을 보여주었다. YOLOv5_ct8로 개발한 검출 모델은 YOLOv51로 개발한 검출 모델보다 속도가 느리지만, 정확도에서 더 높은 성능을 보여주어 최종 검출 델로 선정하였다.

최종 결함 검출 모델로 테스트 데이터에서 결함 검출 시, 클래스별 로 혼동되는 결함은 없었지만 검출하지 못하는 결함은 존재하여 정확 도 성능이 떨어진 걸 확인하였다.

Table 2 Prediction of yolov5 configuration model

	All	Crack	Pin-hole	Time(ms)
yolov5l	0.933	0.918	0.947	0.389
yolov5_ct8	0.948	0.946	0.949	0.395



Fig. 2 Defect detection

4. Conclusion

본 연구를 통해 알루미늄 박판 결함을 객체 인식 알고리즘을 통해 검출이 가능하다는 것을 증명하였다. 그러나 검출 모델의 정확도가 낮 고 주변 환경(빛, 배경 등)에 의해 검출 정확도가 달라져 실전에 적용 하기에는 부족하다. 향후 실질적인 시스템을 구축하여 실제 검사 공정 현장에서의 주변 환경 조건을 통제하고 결함 데이터를 수집하여 정확 도를 높일 예정이다. 그리고 추가적인 이미지 전처리 기법을 적용하여 불필요한 노이즈 및 주변 환경에 대한 영향을 최소화할 예정이며, 새 로운 객체 인식 알고리즘 또한 적용하여 정확도가 높고 속도가 빠른 결함 검출 모델을 개발할 예정이다.

참고문 헌

 J. Shi, J. Yang, Y. Zhang, "Research on Steel Surface Defect Detection Based on YOLOv5 with Attention Mechanism", Ele ctronics, vol 11, p 3735, 2022, doi: 10.3390/electronics112237 35.

보이스 코일 모터를 이용한 5자유도 자기부상 시스템 설계

김민석, 오지훈, 안다훈*

Design of 5DOF magnetic levitation system using voice coil motors

M. S. Kim, J. H. Oh, D. Ahn*

서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

Key Words : Magnetic levitation, Gravity compensator, Voice coil motor

1. 서 론

정밀 모션 시스템은 일반적으로 마이크로미터 이상의 정밀도로 위치결정 작업을 수행하기 위해 정밀 가공 및 측정 장비에 사용되며 안내 기구로서 기 계 베어링, 에어 베어링 등이 사용된다. 그러나 기계 베어링의 경우 직접적인 마찰, 마모로 인한 파티클 생성과 오염 가능성이 존재하며, 에어 베어링의 경 우 깨끗한 공기가 필수적이며 여과 및 압력유지 장치가 차지하는 부피가 크 고 진공 환경에 적용하기 부적합하다.

자기부상 시스템의 경우 움직이는 부상체(Mover)와 고정부(Stator) 사이에 연결장치가 필요 없고 영강성을 유지할 수 있으므로 마찰의 제약이 없고 비 접촉식 구동기가 안내 역할도 수행하여 고도의 정밀도를 구현하는 데 적합하 다. VCM(Voice Coil Motor, 보이스코일모터)는 매우 간단한 구조로서 비접촉 력을 갖기 때문에 자기부상 시스템에 널리 사용된다. 기존의 직선형 VCM을 이용한 자기부상 시스템[1]은 회전이 불가능한 구조를 갖고 있었으나 본 연구 에서는 회전이 가능한 원호형 VCM의 구조를 제안한다. 또한, 전력소모를 줄 이기 위한 중력보상장치, nulling 제어를 고려한 5자유도 안내 및 구동 구조를 제안하며 중력, 온도, 외란과 같은 환경조건을 고려한 힘 요구 기준을 수립하 여 그 유효성을 검증하였다.

2. 설계 및 해석

본 연구에서 제안하는 새로운 구조의 자기부상 시스템은 Fig 1과 같으며 3 개의 CVCM(Circular Voice Coil Motor)과 4개의 HVCM(Horizontal Voice Coil Motor)으로 구성된다. CVCM은 θ_x , θ_y , Z 방향 3축 구동력을 발생시키며 HVCM은 X, Y방향 2축 구동력을 발생시킨다. 따라서, 부상체는 5자유도 방 향으로 안내 및 구동하며 나머지 하나의 자유도인 θ_z 방향으로는 구속없이 자유롭게 회전할 수 있다. VCM 각각의 단면과 구동력의 발생 방향을 Fig. 2 에 나타내었다. 전력 소모를 줄이고, 안정된 부상력을 인가하기 위해 CVCM 은 중력 보상 장치(Gravity Compensator)를 포함하고 있으며 이는 자기부상을 위한 자석(M1)과 중력보상을 위한 자석(M2) 사이의 자기력을 이용한다. 제안 된 자기부상 시스템은 안정된 자기부상 상태(원점) 기준 Z방향의 이동 변위 는 ±2 mm, X, Y방향의 이동 변위는 ±1 mm를 목표로 설계되었다.



Fig. 1 3D View of Magnetic Levitation System



the front cross-sectional view of HVCM

제안된 스테이지의 목표 성능을 달성하기 위한 부상방향 힘(부상력)과 반경 방향 힘을 확인하기 위해 유한요소해석 시뮬레이션(ANSYS, Maxwell 3D)을 사 용하여 설계 변수인 자석과 코일의 치수를 변경하며 전자기 해석을 수행하였다. 설계 조건은 부상부의 질량(약 7 kg)에 상응하는 중력보상력, 최대 전류 인가 시 VCM의 정상상태 온도 40℃ 이하, 3 Hz 1 mm 또는 80 Hz 0.1 µm (VC-A 기 준[2]) 외란 보상력 이상의 구동력이다

Table I Porce and Criteria of Magnetic Devitation System				
	Criteria [N]		Force [N]	
Gravity Compensator	$F_{G. C.} > m_{Mover} * g$	68.7	83	
CVCM	$T_{CVCM} < 40^{\circ} \text{C}$ $F_{CVCM} > F_{G. C.} - m_{Mover} * g $	14.3	74	
HVCM	$T_{HVCM} < 40^{\circ}\text{C}$ & $F_{HVCM} > m_{Mover} * (2\Pi f)^2 * X$	2.7	9	

able 1 Force and Criteria	of Magnetic Levitation	n Systen
---------------------------	------------------------	----------

(F_{G C}:중력보상을 위한 힘, F_{CVCM}: CVCM 부상방향 힘 F_{HVCM}: HVCM 반 경방향 힘, **m_{Mover}: 부상체의 질량, g**: 중력가속도, **T_{CVCM}, T_{HVCM}: 전류 인** 가 시 CVCM, HVCM 온도, f: 진동수, X: 이동변위)

Table 1은 최종적으로 도출된 시뮬레이션 결과이며 각각 중력보상장치. CVCM 및 HVCM에 도출된 힘을 보여준다. 해석 결과 제안된 구조는 모든 설계 목표치를 만족하는 것을 볼 수 있다. 중력 보상 장치는 83 N, CVCM은 74 N의 부상력을 낼 수 있으며, HVCM은 9 N의 반경 방향 힘을 낼 수 있어 목표 성능을 만족함을 확인하였다. 따라서 중력보상장치를 통해 CVCM의 부 상력 없이 부상부를 부상시킬 수 있는 것을 확인하였으며, CVCM의 여분의 힘을 통해 6 kg 이하의 대상체를 추가적으로 올려놓았을 경우에도 안정된 상 태의 자기부상이 가능한 것을 알 수 있다.

3. 결 론

새로운 원호형 VCM 구조에 기반한 자기부상시스템의 환경 조건을 고려한 힘 요구 기준을 수립하였다. 힘 해석을 통해 중력보상장치와 CVCM, HVCM 모두 목표 성능을 만족시키는 구동력이 도출된 것을 확인할 수 있고, 설계변 수인 자석과 코일의 적합한 치수를 도출할 수 있다.

중력보상장치를 통해 전류의 공급 없이 물체를 부상시킬 수 있으며 이를 통해 전력 소모를 줄일 수 있다. 또한 CVCM에서 발생한 여분 힘을 활용하 여 부상부의 질량 증가 시 이를 보상할 수 있다. 향후, 제안된 자기부상 시스 템의 5자유도에 대한 제어를 통해 보다 정밀한 위치보정 연구 및 θ_z 방향으 로 회전할 수 있도록 6자유도 자기부상 시스템 개발을 수행할 예정이다.

후 기

이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (NRF-2022R1F1A1074850)으로 수행되었습니다. 본 연구는 산업통상자원부 소재부품기 술개발사업의 일환인 "Fanout 반도체 PR 패턴 고속 자동 검사장비 개발 (과제번호 20018441)" 사업의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] Kim, J. Y., Ahn, D., 2020, Analysis of High Force Voice Coil Motors for Magnetic Levitation, Actuators, 9, 133, MDPI.
- [2] Gordon, C. G., 1999, Generic vibration criteria for vibration-sensitive equipment, Optomechanical Engineering and Vibration Control, 3786, 22-33, SPIE.

HRI를 위한 LiDAR 기반 객체 위치 측정 기술 개발

김대근, 강종현*, 민경준

Development of LiDAR-based Object Localization Technology for HRI

D. K. Kim, J. H. Kang*, K. J. Min

단국대학교 기계공학과

Key Words : LiDAR, Object Localization, HRI

1. 서 론

본 연구에서 로봇이 교수자의 손으로 하는 행동을 따라하도록 하기 위해 LiDAR(L515, Intel 사)를 통하여 교수자특정 물체의 3차원 좌표를 측정하는 기술 을 제안하고자 한다. 영상데이터에서 딥러닝 프레임 워크인YOLOv5를 통해 물체의 위치 추정 후 픽셀 좌표를 획득한다. 획득한 픽셀 데이터를 카메라의 왜곡 보정을 통하여 3차원 깊이 데이터에서 실제 공간 좌표로 변환하였다. 이를 바탕으로 물체의 정확한 좌표를 측정하여 움직임을 추적한다.

2. Object Detection

본 연구의 기반 연구인 손가락 인식 정확도와 정밀도를 측정하기 위한 구성은 <Fig 1.>와 같다. 기존 연구에서는 MediaPipeHands솔루션을 이용하여 손가락 끝 의 정확한 픽셀 위치(U, V) 를 획득한다. Object Detection 을 위하여 <Fig 2.> 와 같이 ToFSensor 를 이용하여 Laser의 정보를 얻는다. YOLOv5를 이용하여 BBOX를 추출하고 해당 픽셀의 위치를 깊이 지도에 정렬 시킨 후 해당 점의 깊이 값 Z를 얻는다. Deprojection및 카메라 왜곡 보정 함수를 통하여 실제 좌표 (X, Y) 를 계산한다. 이 프로세스는 <Fig 3.>와 같다. <Fig 1.>와 같이 1번에서 25번까지 각 타점 사이의 간격을 150mm로 설정 후 각 타점에 손을 가져간 뒤 해당 위치와 상하좌우 타점의 길이를 측정하여 정확도를 측정하였다. 각 타점의 간격, 표준편차를 표현하였다. 동일한 측정을 25회 반복하였고 1,500mm,2,100mm, 2,700mm 의 거 리에서 측정하였다. MediaPipeHands와 센서의 측정오차를 알아보기 위해 손끝이 정지 상태일 때의 반복 정밀도 측정을 진행하였다. 한 위치에서 멈춰 있을 때의 오차 를 측정하였다. 센서는 손의 높이와 동일한 높이에서 촬영하였으며 1,500mm에서 100mm 씩 증가하여 3,200mm 거리까지 200회 반복 측정하였다.



Fig. 1 System diagram Fig. 2 Object Detection using ToF Sensor

3. 실험 결과 및 고찰

최대 손인식 거리는 2,500mm로 측정 되었다. MediaPipeHands의 인식률은 손 멸림 현상을 알아보기 위하여 오차와 STD를 구하였다. 가로오차 평균 3.00mm, 세 로오차 평균 2.81mm로 측정 되었다. 거리가 증가함에 따라 손 인식의 오차가 줄어 드는 경향을 보인다. 각 격자의 STD는 <Fig 7.>와 같이 거리가 증가할 수 록 낮은 표준편차를 보여 먼 거리에서의 정확한 측정이 가능하다. 거리 별 반복 정밀도는 거 리가 증가해도 오차율이 일정하였다. 이에 대해 <Fig 8.>에서 오히려 거리가 증가할 수록 오차가 줄어드는 경향을 보였다. <Fig 9.> 에서 오히려 거리가 증가할 수록 오차가 줄어드는 경향을 보였다. <Fig 9.> 에서는 3차원 좌표를 이용하여 실제 크기와 비교하였다. 평균적으로 6mm의 오차를 보였고, 최대 오차는 13mm의 오차 물 보였다. YOLOv5를 이용하여 <Fig 10. (a)>와 같이 Blue, Red Color에 대한 물제를 인식하였다. <Fig 10. (b)>를 이용하여 검출된 물체의 깊이 값을 추정하였 다. 트레이닝 데이터는 5400개의 데이터를 사용하였다.

Blue, Red Color 인식된 물체를 <Fig 11.>을 이용하여 3D 공간좌표 상에 나타 내 보았다. Blue Color의 경우 Red Color에 비해 RGB값이 Background와 겹쳐 오 인식이 되는 경향을 보였다. 추후 연구에서는 Red, Blue, Green, Yellow Color 등을 이용하여 다양한 객체에 대한 인식을 진행할 예정이고, 트레이닝 데이터 역시 대폭 증가시킬 계획에 있다. 이 연구를 통하여 로봇에 정확한 객체의 좌표가 필요한 분야에서 응용이 가능할 것으로 예상된다. 도색공의 작업동작, 바리스타의 손동작등 숙련 작업공의 동작을 그대로 수행 할 수 있는 분야에 응용이 예상된다. 트레이닝에 사용된 예시인Circle Ball은 Object Detection만 진행했으므로, 후속연구에서 <Fig 12.>처럼 모형 스프레이를 제작하여 작업자의 행동을 로봇에게 보내, 로봇이 작업을 수행할 수 있을 것으로 기대 된다.



Fig. 3 System Process



- (2) Zhang, F., Bazarevsky, V., Vakunov, A., Tkachenka, A., Sung, G., Chang, C. L., & Grundmann, M. (2020). Mediapipe hands: On-device real-time hand tracking. arXiv preprint arXiv:2006.10214.
- (3) Agrwal, D., & Bharti, P. S. (2021). Implementing modified swarm intelligence algorithm based on Slime moulds for path planning and obstacle avoidance problem in mobile robots. Applied Soft Computing, 107, 107372.

자유 형상의 측곡면 3축 버핑 경로 계산

권병민¹, 김성환^{2*}

Calculation of 3-Axis buffing path for a free form side surface

B. M. Gwon¹, S. H. Kim^{2*}

서울과학기술대학교 기계설계로봇공학과¹, 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과²

Key Words : 3D scan, Free form surface, Buffing

1. 서 론

파이론재질의 운동화 바닥재(sole)는 표면품질을 높이기 위해 혹은 다른 구성품과의 접착력을 향상시키기 위해 그 표면을 솔로 문질러 벗 겨내는 버핑 가공이 필요하다. 그런데 중창은 생산 방법의 특성에 의 해 매 제품마다 크기와 형상이 조금씩 달라지게 된다. 따라서 제품마 다의 형상차이에 대응하여 정확한 버핑을 가능하게 하기 위해, 매 제 품을 3D스캔하여 3축으로 가공경로의 계산과 이의 오차분석에 대해 본 논문에서 기술하고자 한다.





2. 스캔데이터 및 버핑 경로 획득

전체 기구는 ①중창을 스캔하는 스캔 부분, ②스캔 데이터를 사용 하여 계산된 버핑 패스대로 가공하는 버핑 부분, ③스캔한 중창을 버 핑 부분까지 보내는 회전축으로 구성되며 Fig. 2(a)와 같다.



Fig. 2 Buffing Machine

버핑 기구는 지나친 복잡성을 피하기 위해 3축으로 구성한다. 이는 Fig. 2(b)와 같이 ①중창의 회전, ②버핑 툴을 전후진, ③버핑 툴의 기울임이다. 이때 버핑 툴의 회전축은 버핑면에서 반지름만큼 곡면법 선 벡터만큼 떨어진 위치이며 다음 단계를 거쳐 계산된다.

- (단계 1) 스캔 데이터를 직선 근사하여 가공면의 기울기를 측정한다. 이때 최외곽점을 기준으로 상단(upside), 하단(downside), 평균(average) 및 더 긴쪽(longer)을 각각 사용할 수 있다.
- (단계 2) 법선 벡터(normal vector)를 계산한다. 스캔 데이터를 사용한 기울기와 양옆의 데이터를 사용하여 법선 벡터를 계산한다.
- (단계 3) 법선 벡터 방향으로 버핑 툴의 반지름만큼 스캔 데이터를 오 프셋 한다.
- (단계 4) 오프셋 한 데이터를 직선 근사한다. 이때 버핑 툴은 회전 스테이지의 중심 방향으로만 틸팅이 가능하므로 해당 구속 조건을 만족하도록 직선 근사하여 툴의 축을 구한다.



(a) Sole (b) Mean slope of surface (c) Offset of slopeFig. 3 Scan Data and Buffing Path

3. 오차 계산 및 고찰



Fig. 4 Test Jig

3축 가공에 의한 오차를 분석하기 위해 Fig. 4과 같은 타원뿔대의 정규 형상을 가상으로 가공할 때의 오차를 계산한다. 오차는 얻어낸 버핑 툴의 중심을 법선 벡터의 곡면쪽 방향으로 오프셋 시켜 버핑되는 라인과 실제 스캔 된 라인 사이의 단위 길이당 면적으로 정의한다. 구해진 오차는 Fig. 5, 버핑 영역은 Fig. 6(a)와 같다. Fig. 6(b)는 비교를 위해 구한 5축 가공 을 수행했을 때의 버핑 결과이다.



(a) 3-Axis Buffing (b) 5-Axis Buffing

Fig. 6 Buffing Result

위와 같은 오차는 5축 가공대신 3축으로 근사시켜 발생하는 기하학적 오차에서 기인한다. 위의 분석에 의한 최대오차 0.81mm는 허용범위 내 에 있다. 이는 3축 기구로 그 복잡도를 실용 수준으로 감소시킴이 타당한 설계임을 보여준다. 한편 버핑 모듈의 무게에서 오는 관성 등으로 인한 가공 오차도 존재한다. 기구 관성 오차는 후속 연구로 다루어져 해결되어 야 한다.

후 기

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기 술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0008473, 2023년 산업혁신 인재성장지원사업)

참고문헌

 Hwang, G. D, Choi, H. S, Cho, S. D, 2006, *Development of* a New Buffing Robot Manipulator for Shoes, Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 23, No. 7, 76-83.

협동로봇을 이용한 디지털 용접기 인터페이스 및 생산 자동화 용접 시스템 구축 개요

한덕현^{1*}, 고종철²

Overview of digital welding machine interface and production automation welding system construction using

collaborative robots

D. H. Han^{1*}, J. C. Koh²

고등기술연구원 신소재공정센터¹, ㈜포스테크²

Key Words : Collaborative robots, Digital welding machine, Automation welding system, MES(Manufacturing Execution System)

1. 서 론

제조 산업은 자동화에 대한 수요가 높아지면서 협동로봇 및 디지털 용 접기 장비에 대한 투자가 증가하고 있습니다. 또한, 코로나19 팬데믹이 작업장의 안전성에 대한 관심을 증가시킴에 따라, 로봇과 디지털 용접기 와 같은 자동화 기술에 대한 수요는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 이중 협동로봇은 사용자와 함께 작업하는 로봇으로, 복잡하고 반복적인 작업을 자동화하는 데 이상적이다. 또한 사람의 안전을 위협하지 않으면서 사람 이 일반적으로 수행하기 어렵고, 위험한, 지루한 작업의 수행이 가능하다. 예를 들어, 용접 작업은 고온과 밝은 빛, 그리고 유해한 가스 때문에 작업 자에게 위험성이 높고, 협동 로봇을 이용하면 이러한 위험을 최소화할 수 있다. 디지털 용접기는 용접 매개 변수를 정확하게 제어할 수 있어 일관된 용접 품질을 제공하여 용접 공정의 품질과 효율성을 향상으로 불량률을 줄이고 생산성을 높입니다. 또한, 디지털 용접기는 사용자가 매개 변수를 미리 설정하고 저장할 수 있어 반복 작업을 더욱 간편하게 만들 수 있는 장점이 있다.



Fig. 1 Domestic and international cooperative robot manufacturers

본 연구에서는 협동 로봇을 활용한 디지털 용접 시스템과 생산(용 접) 공정 자동화를 목표로 하였으며, 이를 위한 정량적 목표를 다수 확 인하여 해당 목표들의 당위성을 확인하고자, 디지털 용접기와 협동 로 봇 간의 연결 인터페이스 개발, 용접 공정 변수의 디지털화를 통한 데 이터화, 통합 데이터베이스를 활용한 소프트웨어 개발 등을 계획하고 있다.

Table 1 Development of interface between co-robot and digital welding machine

order	Need for development co-robot & welding machine interface	Need for dataization through digitalization of variables required for welding
1	Design of interface	Data collection
2	Software development	Data transformation
3	Integration	Data normalization
4	Testing	Data analysis
5	Validation	Data visualization
6	Distribution	

2. 본 론

협동로봇과 디지털 용접기의 인터페이스 개발을 위해서는 Table 1과 같이 인터페이스 디자인, 소프트웨어 개발, 통합, 테스트 및 검증 배포를 통해 검증되어야 하며, 용접에 필요한 모든 공정 변수는 디지털화를 통한 데이터화가 필요하다. 이에 데이터 수집, 데이터 변환, 데이터 정규화, 데 이터 분석, 데이터 시각화를 통한 데이터 확보를 필요로 하고, 마지막으로 협동로봇 및 디지털 용접기의 통합 데이터 베이스 사용 소프트웨어 개발 을 통해 최종 용접 데이터 확인 및 불량 공정 검수 용접기 조작 등을 가능 하도록 해야한다.

3. 결 론

협동로봇과 디지털 용접기의 인터페이스 개발과 생산 자동화 용저버 시 스템을 구축 하기 위해서는 다음과 같은 검증 목표를 통하여 기술이 개발 되면 디지털 용접기 인터페이스 및 생산 자동화 용접 시스템을 구축하는 데 용이 할 것으로 사료된다.

1. 통신 모듈 인터페이스 제어 응답시간: 통신 모듈 인터페이스 제 어 응답시간을 측정은 용접 로봇 시스템 간의 효율적인 통신을 보장하 기 때문이다. 빠른 응답시간은 공정에서 발생할 수 있는 오류를 신속 하게 해결하고, 최적의 상태를 유지하는 데 중요할 것으로 사료된다.

2. 통신 모듈 제어 성공률: 용접 로봇과 통신 모듈 간의 일관성과 신 뢰성을 보장하며, 이를 통해 용접 공정의 안정성이 증가할 것으로 사 료된다.

3. 용접 모니터링 변수: 용접 공정에서 중요한 변수는 전류 전압 와 이어 송급 송도 등이 있으며, 이를 모니터링을 통해 공정의 품질을 평 가하고 불량률을 줄일 수 있다. 이는 공정에서 발생할 수 있는 문제를 신속하게 인식하고 수정하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

4. 소프트웨어 및 앱의 시험 평가: 소프트웨어 및 앱의 시험은 용접 로봇 시스템의 동작 신뢰성을 확보하고, 수요 고객에게 품질 보증을 제공하고, 고객 만족도를 높일 수 있을 것으로 사료된다.

5. 불량 확인 정확도: 본 지표는 제품의 생산 품질 보증과 불량률 감 소를 수치적으로 표현하여, 높은 정확도로 제품 반환 및 재작업을 줄 일 수 있을 것으로 사료된다.

6. 협동로봇 교시 후 위치 반복 정밀도: 협동 로봇의 정확성과 일관 성을 보장하는데 중요한 지표이다. 높은 정밀도는 제품의 품질을 향상 시키고, 제품의 불량률을 줄이는 데 도움이 됨에 따라 중요한 지표로 사료된다.

7. 용접 신호 측정 시스템 전압/전류 오차: 용접 공정과 협동로봇의 모니터링 데이터의 가장 중요한 변수로써 정확성과 안정성을 보장함에 추 가적인 지표로 설정해야 한다.

참고문 헌

(1) Kim, J.S., Lee, K.H., Joo, Y.H., Koh, J.C., and Yun G.Y., 2023, Comparative analysis of weldability using a three-point bending test of a movable iron core welder and a digital welder that outputs a sine wave, JCCT, Vol.9, No.1 605-611.

애커먼 기하학 기반 독립 4륜 AMR의 회전반경을 통한 종방향 횡방향 제어

두국진, 강태한, 백종현, 이승준*

Vertical and horizontal direction control through the rotation radius of an independent 4-wheel AMR based

on Ackerman geometry

K. J. Doo, T. H. Kang, J. H. Baek, S. J. Lee*

(주)언맨드솔루션

Key Words : Ackerman geometry, Autonomous mobile robot, Four-Wheel drive

1. 서 론

최근 자동화 공장, 물류창고 등에서 자율이동로봇(AMR)의 활용도가 높아 짐에 따라 다양한 메커니즘의 모델이 개발되고 있다. 다양한 주행환경에서 자 율이동로봇의 주행성능 확보를 위해 4WD 메커니즘을 도입하고 있으며 좁은 구역에서 회전반경을 확보하기위해 독립 4WS 메커니즘이 도입되고 있다.(1) 또한 회전 시 타이어 슬립을 최소화하기위해 애커먼 기하학을 반영한 횡방향 제어 방식을 도입하고 있다.(2)

본 논문에서는 독립 4륜 자율이동로봇의 종빙향 횡방향 제어를 위해 로봇 의 회전반경과 목표속도 값을 이용하여 애커먼 기하학을 기반으로 각 종/횡 방향 모듈의 제어 값을 도출하고 실제 독립 4륜 AMR에 적용하였다.

2. 애커먼 기하학을 통한 제어 값 도출

애커먼 조향 원리란 곡선 주행 시 차량의 내륜과 외륜 조향각의 관계를 나 타내는 원리이며 기하학을 통해 표현이 가능하다. 애커먼 기하학을 적용하여 시스템의 질량중심과 내륜, 외륜이 회전중심을 공유하면 로봇이 회전운동 시 슬립을 최소화할 수 있다.

AMR의 특성상 저속으로 운행하기에 회전중심에서의 각속도와 로봇 질량 중심에서의 Yaw rate는 동일하다고 가정하였다. 또한 전후륜 조향 특성상 회 전 시 타이어 슬립과 로봇의 슬립각은 미소하기에 무시하였다. 또한 전륜과 후륜은 대칭 관계이므로 전륜에 대한 값을 도출하여 후륜에 대입하였다.



Fig. 1 4WS/4WD AMR modeling based on Ackerman geometry

AMR의 특성상 저속으로 운행하기에 회전중심에서의 각속도와 로봇 질량 중심에서의 Yaw rate는 동일하다고 가정하였다. 또한 전후륜 조향 특성상 회 전 시 타이어 슬립과 로봇의 슬립각은 미소하기에 무시하였다.

사인법칙을 이용하여 회전반경과 내외륜 조향각에 대한 관계식을 도출하였으며, 각속도법칙을 이용하여 로봇의 목표속도 값과 내외륜 속도값에 대한 관

계식을 도출하였다.

$$\delta_i = \arctan\left(\frac{L}{2R - W}\right)$$
, $\delta_o = \arctan\left(\frac{L}{2R + W}\right)$
Fig. 2 Function of steer angle – rotation radius

$$V_i = \frac{LV_c}{2Rsin(\delta_i)} \qquad , \qquad V_o = \frac{LV_c}{2Rsin(\delta_o)}$$

Fig. 3 Function of wheel speed - rotation radius, steer angle

3. 시험 결과 및 고찰

도출한 관계식을 통해 실제 로봇의 회전반경에 대한 각 종횡방향 모듈의 제어 값 경향성을 파악하였으며, 로봇의 회전반경 0.8m와 목표속도 2m/s에 대한 실제 주행 모듈의 속도 피드백 데이터를 분석하였다.



Fig. 4 wheel speed & steer angle data (K : 0.8 - 10m, Vc : 2.0m/s) Wheel speed of $Vc \propto Vi$, Vo (R : 0.8m, Vc : 2.0m/s)

본 논문에서는 독립 4륜 자율이동로봇의 종병향 횡방향 제어를 위해 로봇 의 회전반경과 목표속도 값을 이용하여 애커먼 기하학을 기반으로 각 종/횡 방향 모듈의 제어 값을 도출하고 실제 독립 4륜 AMR에 적용하였다. 실제 적용 결과 회전반경 0.8 - 10m 까지의 내외륜의 조향각 경향성을 확인할 수 있었으며, 목표 속도에 대한 내외륜의 속도 데이터도 경향과 동일하다는 것 을 파악하였다. 추후 도출한 관계식을 독립 4륜 AMR의 동역학 시뮬레이션 에 적용하여 보다 정확한 로봇의 동특성과 주행 궤적 추정할 예정이다.

후 기

본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과 제번호 RS-2023-00240992)

- Gukseong.Woo.(2020).A Study on the Four Wheel Steering Actuator.KSAE 2020, 434-437.
- (2) Kil Soo Lee, Young Jin Lee, Yung Ho Koh, Myoung Kook Kim, Man Hyung Lee. (2009).Steering Control of Independent 4 Wheels Vehicle Applied Ackerman Geometry. KSAE 2009, (),74-79.

소형 델타 로봇을 적용한 6축 로봇팔의 위치 오차 개선

김혜성*, 오우진, 박세현, 오수경, 정명진

Improved position error of 6-axis robot arm with small delta robot

H. S. Kim*, W. J. Oh, S. H. Park, S. G. Oh, M. J. Chung

한국공학대학교 메카트로닉스공학부

Key Words : Small delta robot, Possible to combine, Error feedback, Automatic control system

1. 서 론

로봇팔을 이용한 반복 동작은 제조 산업에서 자동화와 생산 효율성을 증가시키는 핵심적인 역할을 수행한다. 그러나 반복적인 동작은 로봇팔의 링크, 기어 등의 마찰 문제, 그리고 센서로 인한 오차 문제가 발생할 수 있다. 이러한 오차는 반복 동작에서 점차 누적되며, 생산 효율성 측면에서 로봇팔의 활용을 제한하는 요소가 된다. 이에 본 논문은 6축 로봇팔의 그 리퍼에 델타 로봇을 결합하여 오차를 개선하는 제조 시스템을 제안한다. 델타 로봇은 병렬 링크 구조로 인해 높은 정밀도와 반복성을 제공하며, 로봇팔의 오차를 보상할 수 있는 능력을 갖추고 있다⁽¹⁾. 이를 통해 오차를 최소화하고 생산 효율성을 향상하는 방안을 제안한다.

2. 본론

Fig. 1(a)와 같이 기존 6축 로봇팔에 로봇 제작사의 PC 제어 프로그램 을 통해 반복적인 동작을 명령한다. Fig. 1(b)와 같이 기존의 로봇팔 그리 퍼 부분에 소형 델타 로봇을 장착하고, 나타나는 오차 데이터를 지속적으 로 피드백하여 델타 로봇의 정밀한 위치를 제어한다.





Fig. 2와 같이 오차 피드백 기반 델타 로봇 제어시스템은 카메라를 통해 측정된 오차 값을 노트북에서 객체 추적 알고리즘을 통해 처리한 다⁽²⁾. 기준 좌표와 오차 좌표 사이의 차이를 x 좌표와 y 좌표로 분리하 고 TCP/IP 통신을 이용하여 STM 32 제어기로 실시간으로 전송한다. STM 32 제어기에서는 수신된 오차 값을 이용하여 미리 정의된 제어 알고리즘(Fig. 3)에 따라 델타 로봇의 움직임 명령을 생성하여 전달하 고, 이를 통해 오차를 최소화하고 델타 로봇의 정확한 위치 제어를 수 했하다⁽³⁾.



Fig. 2 Automatic control system for error feedback (a) Reference position (b) Error position



3. 실험 결과

Fig. 4(a)에서 기존 6축 로봇팔의 10회 반복 동작 결과 오차가 5.00mm로 측정된 것을 보여주고 있다. Fig. 4(b)는 소형 델타 로봇을 기 존 로봇팔의 그리퍼에 결합한 후 오차가 2.02mm로 감소하였음을 보여준 다. 이러한 결과는 소형 델타 로봇의 결합이 기존 로봇팔 작업에서 오차를 효과적으로 감소시킬 수 있음을 나타낸다.



Fig. 4 Error measurement (a) 6-axis robot arm (b) robot arm equipped with a small delta robot

(b)

(a)

4. 결 론

본 연구에서는 로봇팔의 반복 동작에서 발생한 오차를 개선하기 위한 소형 델타 로봇을 결합한 자동 제어시스템을 제안하였다. 기존 로봇팔과 델타 로봇을 부착한 로봇팔의 반복 동작 오차를 측정하기 위해 컴퓨터 비 전을 사용하였고, 비전 알고리즘을 사용하여 반복 동작 오차를 측정하였 다. 해당 시스템은 델타 로봇 결합 이전 대비 59.6% 오차 개선을 하였고, 더 높은 정확성을 바탕으로 생산 효율성의 증가를 검증하였다.

참고문헌

- Rey, L., and R. Clavel. "The delta parallel robot." Parallel Kinematic Machines: Theoretical Aspects and Industrial Requirements. Springer London, 1999.
- (2) Gi-beom Song, Yong-jun Yang and Sang-gu Lee. "An Object Tracking Technique on OpenCV-based CMT Algorithm Using Raspberry Pi." Journal of the Korean Society for Information Processing 24.2 (2017): 895-898.
- (3) Seong-Il Kim, Jun-Ho Hong and Dongwon Shin. "Modeling and Motion-control for a Light-weight Delta Robot" Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 3, 2018.

CFRP 드릴링 가공신호 및 품질과의 연계성 분석

주송현^{1,2}, 신강우¹, 김태곤¹, 김성현¹, 송경은¹, 이석우¹, 남정수^{1*}

Analysis of the correlation between hole quality and the signal in CFRP drilling

H. Y. Ju^{1,2}, K. Shin¹, T. -G. Kim¹, S. H. Kim¹, K. Song¹, S. -W. Lee¹, J. Nam^{1*}

한국생산기술연구원¹, 중앙대학교 대학원 기계공학과²

Key Words: CFRP, Drilling, Hole quality, Frequency analysis, Filter

1. 서 론

탄소섬유복합재(Carbon Fiber Reinforced Plastics, CFRP)은 무게 저감 및 고강도로 다양한 산업에 적용되고 있다. 특히 항공기, 자동차 등 운송 및 의 료 및 첨단 산업에도 적용되면서 수요가 크게 증대되고 있다. 하지만, 탄소섬 유복합재는 생산과정에서 칩이 부스러기로 발생하여, 공구 마모 촉진 및 가 공 품질저하와 같은 문제가 발생한다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위 한 다양한 공정기술연구가 수행되고 있다.¹

따라서 본 논문은 탄소섬유복합재 드릴링 가공 공정을 수행하였고, 공구동력 계 및 가속도 센서 데이터의 주파수와 가공 품질간의 상관관계를 분석하였다.

2. CFRP 드릴링 실험

Fig. 1에서 볼 수 있듯이, 공구동력계(Type 9272B, KISTLER), 가속도센서 (607A61, IMI)를 활용하여 탄소섬유복합재 드릴링 공정 데이터를 수집하였다. 실험 조건은 공구 회사가 추천한 조건으로 선정하여 실험을 진행하였다.



Fig. 1 Experimental setup

Table 1	l Exper	imental	condition
---------	---------	---------	-----------

Fiber Orientation	[Woven/-45/0/45/90/- 45/0/45/90/-45/0/45/90/- 45/0/45/90/- 45/90/45/0/45/90/90/- 45/0/45/90/-45/0/45/90/90/- 45/0/45/90]s, T-1000, Toray
Size(mm)	95*95*16
Tool diameter(mm)	8
Tool helix angle(°)	30
Feed rate(mm/min)	106

3. 실험 결과 및 결론

공구동력계 및 가속도센서 데이터를 주파수 분석을 진행하였다. Filtering, STFT(Short-Time Fourier Transform)을 적용하여, 가공 시 발생하는 주파수 대 역을 분석하였다. 또한, Hole의 Profile을 레이저 현미경으로 추출하여, 데이터 간의 상관관계를 분석하였다.

그 결과, Hole profile와 Tooth passing frequency간의 관계를 확인하였다. Hole 의 품질이 저하될때, Tooth passing의 amplitude가 증가하는 관계를 갖는다. 자 세한 실험 결과는 Fig. 2에서 볼 수 있다.



후 기

본 연구는 산업통상자원부의 산업혁신기반구축사업의 일환으로 수행함. [P0021527, 과제명: 경량소재 가공시스템 품질·신뢰성 평가기술 연구기반 구축].

참고문 헌

(1) Arun Kumar Sharma, A study of advancement in application opportunities of aluminum metal matrix composites. Materialstoday: proceedings. 2020; 26: 2419-2424.

컨베이어 이송 방식을 적용한 경사 3차원 프린터의 설계에 관한 연구

안성익¹, 황용우¹, 박지민¹, 이길용^{1,2*}

A study on the design of a conveyor-driven inclined 3D printer

S. I. An¹, Y. W. Hwang¹, J. M. Park¹, G. Y. Lee^{1,2*}

금오공과대학교 기계공학과¹, 금오공과대학교 기계공학과 항공기계전자융합전공²

Key Words : Inclined 3D printer, Additive manufacturing, Conveyor, 3D printer

1. 서 론

적층제조 기술을 통해 복잡한 형상의 제품을 상대적으로 쉽고 빠르게 제작 할 수 있다. 또한 다른 제조 방식과 달리 재료 낭비가 거의 없으며, 후처리 과 정을 거의 필요로 하지 않는다는 장점을 가지고 있다. 이러한 이유로 적층제 조 가술은 오늘날 기술적 중요성과 파급력이 큰 기술로 각광받고 있다.¹¹ 다 양한 방식의 적층제조 기술 중 필라멘트 재료의 압출에 기반한 FDM (Fused deposition modeling) 방식의 3차원 프린터가 널리 활용되고 있으며, 일반적으 로 적층 단면과 높이 방향(Z 축)이 수직으로 배치되는 형태를 갖는다. 때문에 최종 출력물의 높이가 제한된다는 단점이 있으며, 이에 대한 대안으로 적층 단면과 높이 방향을 수직이 아닌 각도로 배치한 경사 프린터에 관한 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 컨베이어 이송 방식에 기반한 경 사 3차원 프린터를 설계 및 제작하고 기초 실험을 통해 성능을 평가하고 결 과에 대해 토의한다.

2. 경사 3차원 프린터의 설계

Fig. 1에 보인 바와 같이 볼 스크류와 래크 기어를 이용하여 2축 (XY)모션 스테이지를 설계 및 제작하였다. 래크 기어 상에 프린팅 노즐이 장착되어 이 송될 수 있도록 설계하였으며, 각 축은 스텝모터를 통해 구동된다. XY 모션 스테이지는 적층면과 45도 기울기를 갖도록 설계를 수행하였다.

컨베이어 벨트를 아용하여 적충면과 나란한 방향으로 Z 축 이송이 가능하 도록 설계하였으며, 컨베이어는 타이밍 벨트와 스텝모터를 이용하여 구동될 수 있도록 설계하였다. 컨베이어 하단에 적충면의 장력을 유지할 수 있는 롤 러와 히팅 베드가 위치하도록 설계를 진행하였다. 3D 프린터의 3축 모션 제 어를 위하여 아두이노 기반 MCU(Micro Controller Unit)를 아용한 모션 제어 기를 제작하여 기초 실험에 활용하였다.



Fig. 1 Inclined 3D printer

3. 결과 및 고찰

본 연구를 통해 컨베이어 이송 방식을 이용한 경사 3차원 프린터를 설계 및 제작하였으며, 모션 제어기를 적용하여 기초 실험을 수행하였다. 기초 성 능평가를 수행하고 관련 연구에의 응용 가능성을 검증하였으며, 본 연구 결과 를 기반으로 향후 프린팅 노즐과 히팅 시스템 등을 적용하여 출력물을 제작 하고 성능 평가를 수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 중소벤처기업부의 2023년도 중소기업 R&D 역량제고사업 맞춤형 기술파트너 지원사업(00255697)과 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (과제번호 20017462)

참 고 문 헌

(1) Anketa, J., Ikshita, C., Ishika, W., Ankush, R. and Haq, Mir Irfan Ul, 2022, 3D printing – A review of processes, materials and applications in industry 4.0, Sustainable Operations and Computers, 3, 33-42.

회전축의 변형률 측정을 위한 무선 측정 시스템의 설계 및 구축

최승현¹, 박지민¹, 이길용^{1,2*}

Design a wireless monitoring system with strain measurements for a rotating shaft

S. H. Choi¹, J. M. Park¹, G. Y. Lee^{1,2*}

금오공과대학교 기계공학과¹, 금오공과대학교 기계공학과 항공기계전자융합전공²

Key Words : Wireless measurement, Rotating shaft, Strain measurement, Real-time monitoring

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구를 통해 회전축의 변형률을 측정하고 무선으로 데이터 수집 및 모 니터랑을 수행할 수 있는 시스템을 설계 및 구축하였으며, 기초 실험을 통해 기초 성능평가를 수행하고 관련 연구에의 응용 가능성을 검증하였다. 추가 실 험 및 분석을 통하여 회전축의 운전조건에 따른 회전축의 변형률과 건전성 간의 상관관계를 파악하고, 회전축계의 손상 및 고장 위험을 예지할 수 있는 연구로 확장할 계획이다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원(과제 번호 20017462)과 중소벤처기업부에서 지원하는 2022년도 산학연 플랫폼 협 력기술개발사업(S3312001)의 연구수행으로 인한 결과물임.

참 고 문 헌

 A. Sofi, J. Jane Regita, Bhagyesh Rane, Hieng Ho Lau, 2022, Structural health monitoring using wireless smart sensor network – An overview, Mechanical Systems and Signal Processing, 163, 108113.

1. 서 론

구조물의 안전성 평가를 위해 유선 통신에 기반한 방법은 많은 수의 센서 를 데이터 수집 장치 등과 연결하기 위하여 전체적인 시스템이 복잡해 지고, 특히 센서가 부착된 대상물과 유선으로 연결된 수집 장치 등의 상대 운동에 제약이 크다. 또한, 센서와 데이터 수집 장치 간의 유선 연결 길이가 길어질 경우 외부로부터의 전파 간섭 및 신호 왜곡의 문제가 발생하게 되어 측정의 신뢰성을 저하시킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 무선 센서 네트 워크를 이용한 무선 모니터링 시스템이 연구되고 있으며, 무선 측정 장치에서 고려해야 할 중요한 요소는 무선 도달 거리 및 데이터 전송용량, 각 측정장치 간의 시간 동기화 등이다.^[1] 본 연구에서는 회전축의 변형률 측정을 위한 무 선 측정 및 모니터링 시스템을 설계 및 구축하고, 이를 활용하여 회전축의 무 선 변형률 측정 기초 실험을 수행하고 결과에 대해 토의하고자 한다.

2. 무선 측정 시스템

실험을 위해 휘트스톤브리지(Wheatstone Bridge)와 블루투스 모듈, 아두이노 기반 MCU(Micro Controller Unit), 배터리 등으로 구성된 무선 변형률 측정 시 스템을 설계 및 제작하였다. 제작된 무선 변형률 측정 시스템을 모터로 구동 되는 회전축계에 장착하여 실험을 수행하였으며, 회전축에서 측정된 변형률 신호를 블루투스 모듈을 통해 PC로 전송 받아 모니터링을 수행하였다.



Fig. 1 Wireless strain measurement system



Fig. 2 Experimental setup

3D Printing 및 탄화공정으로 제작된 기름 제거 구조

김주완^{1,2}, 변성용^{1,2}, 이성민¹, 김영규¹, 김석민^{1,2}*

Oil removal structure made by 3D printing and carbonization

J. W. Kim^{1,2}, S. Y. Byun^{1,2}, S. M. Lee¹, Y. K. Kim¹, S. M. Kim^{1,2*}

중앙대학교 기계공학과¹, 중앙대학교 컴퓨터공학과²

Key Words : Vitreous carbon, 3D printing, Oil removal

1. 서 론

석유는 산업혁명 이후 지금까지 꾸준히 여러 분야에 다양하게 이용되며 그 수요는 점점 증가하여 왔다. 하지만 석유는 특정한 지역에서만 생산되기 때문 에 대부분 유조선을 이용한 운송이 이루어진다. 이러한 운송과정에서 예상치 못한 자연재해나 사람의 실수로 기름 유출 사고가 발생하기도 한다. 이때 기 름 유출로 인해 생태계에 매우 해로운을 영향을 미친다. 때문에 최대한 빠른 시간에 기름만 분리하여 제거하는 것이 중요하다.

한편 기름 제거를 위해 물과 기름을 분리하는 연구가 많이 진행되었다. 물 과 기름이 섞인 상태에서 선택적으로 기름만 흡수하기 위해 초소수성을 띄는 다공성 폴리머 소재, Carbon Nanotube(CNT), Reduced Graphene Oxide(RGO) 등 다양한 소재로 하여 스펀지구조로 제작한다. [1,2] 하지만 이러한 흡수재는 기 름을 흡수한 이후 외부 힘을 가하여 흡수된 기름을 짜내는 과정이 필요하다. 이 과정에서 기름 흡수 소재들이 손상되는 문제와 많은 양의 기름을 한 번에 흡수하지 못하기 때문에 기름 제거에 소요되는 시간이 매우 길어지는 단점이 있다.

본 연구에서는 Stereolithography(SLA) 3D printing을 아용해 Ultraviolet(UV) curable resin을 재료로 한 micro size 구멍을 가지는 Mesh 구조를 제작한 이후 진공 탄화를 통해 우수한 기계적 물성치와 초소수성 특징을 가지는 Vitreous carbon(VC) 소재의 Mesh 구조로 변화시켜 물과 기름의 혼합물에서 기름만 선택적으로 투과한 후 Pumping system을 이용하여 투과된 기름을 수거할 수 있도록 제작하였다. 이러한 방식은 지속적으로 기름 제거 구조 내에 유입된 기름을 Pumping하여 제거할 수 있으며, 기존에 이용되던 흡수제 방식의 기름 을 짜내는 과정이 필요하지 않기 때문에 구조의 사용 내구성이 증가한다.

2. 기름 제거 구조 제작 및 기름 제거 실험

본 실험에서 제작된 기름 제거 구조의 디자인은 윗면이 뚫린 육면체 쉘 형 태로 설계하였다. 가로, 세로, 높이, 두께가 각각 64.8mm, 60.0mm, 62.4mm, 2.4mm로 정하고 각 단위 격자 하나의 크기는 한 변이 600 μm인 정사각형의 중앙에 400 μm×400 μm의 구멍이 뚫린 형태로 정하였다. SLA 3D 프린터를 이용하여 기름 제거 구조를 출력한 후 진공 상태의 Fumace에 1000°C까지 10°C/min의 Heating rate로 가열하며 탄화를 진행하여 가로, 세로, 높이가 각각 24mm, 21mm, 22mm이고 Mesh 구멍은 가로×세로 약 150 μm×150 μm인 VC 소재 기름 제거 구조를 제작하였다.



Fig. 1 Schematics of fabrication process for VC oil removal

structure

유출 상황을 가정하였다. Rotary pump를 이용해 Impinger 내부를 대기압보다 낮은 압력상태를 만들어 그 압력 차이를 이용해 기름 제거 구조 내부로 유입 된 기름이 Impinger 내부에 차오르도록 구성하였다.

기름 제거 실험 장치는 기름 제거 구조에 고무관을 통해 Impinger와 Rotary pump와 연결하여 제작하였고 비커에 증류수와 식용유 혼합물을 채워서 기름



3. 실험 결과 및 고찰

기름 제거 실험 결과, 증류수와 식용유 혼합물이 담긴 비커 내부에 기름 제 거 구조를 띄워 올리면 초소수성을 띄는 VC 소재 기름 제거 구조의 특성 때 문에 Micro size(150 µm×150 µm) 구멍을 통해 증류수와 식용유 혼합물에서 식용유만 내부로 선택적으로 유입된다. 이를 Pumping system을 통해 지속적 으로 Oil reservoir에 제거함으로써 VC 소재의 기름 제거 구조를 아용해 증류 수와 식용유 혼합물에서 식용유만 선택적으로 제거가 가능함을 확인하였다.

탄화 공정은 1000°C의 고온에서 진행되기 때문에 탄화 이후 기름 제거 구 조의 수축과 변형이 발생하였다. 수축률은 약 63%로 측정되었고 열변형으로 인해 기름 제거 구조의 휘어짐이 확인되었다. 추후 연구에서는 초기 3D printing 과정에서 수축률을 고려한 설계가 필요하며 탄화 공정 조건 최적화를 통해 열변형을 최소화하여 기름 제거 구조 제작 공정을 개선할 수 있다.

후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021R1A2C200445811).

- Gui, X., Li, H., Wang, K., Wei, J., Jia, Y., Li, Z., ... & Wu, D. (2011). Recyclable carbon nanotube sponges for oil absorption. Acta Materialia, 59(12), 4798-4804.
- (2) He, Y., Liu, Y., Wu, T., Ma, J., Wang, X., Gong, Q., ... & Gao, J. (2013). An environmentally friendly method for the fabrication of reduced graphene oxide foam with a super oil absorption capacity. Journal of hazardous materials, 260, 796-805.

음향 방출을 이용한 SLA 출력물의 결함 감지를 위한 비파괴 검사

이신엽¹, 남재현^{2,3}, 김효정², 이주헌¹, 이희환^{2,4}, 강영규⁴, 이성환^{3*}

Non-destructive testing for fault detection of SLA outputs using acoustic emission

S. Y. Lee¹, J. H. Nam^{2,3}, H. J. Kim², J. H. Lee¹, H. H. Lee^{2,4}, Y. G. Kang⁴, S. H. Lee^{3*}

한양대학교 HYU-KITECH 공동학과¹, 한양대학교 에리카 캠퍼스 기계설계공학과², 한양대학교 기계공학과 BK21 FOUR ERICA-ACE Center³, (주)대영파워펌프⁴

Key Words : Stereolithography(SLA), Acoustic emission(AE), Non-destructive test, AE_{RMS}

1. 서 론

제조 산업이 Industry 4.0으로 발전함에 따라 다품종 생산을 하기위한 방법 들이 연구되며, 3D 프린팅은 다품종 대량생산이 가능하다는 점에서 효율적인 생산 방법이라는 평가를 받고 있다. 적층 제조 방식의 FDM (Fused Deposition Modeling) 3D 프린팅이 가장 많이 활용되는 방식이나 낮은 표면 정밀도 및 치수 정확도 등의 문제로 제조 산업에서의 적용 한계점을 갖고 있 다. 반면에 SLA(Stereolithography) 방식의 3D 프린팅은 FDM보다 4배 높 은 정밀도를 가지고 있으며, 프로토타입 및 다품종 대량 생산에 적합하다는 장점을 가진다.[1] 하지만 내부 공동 부를 가지는 형상의 경우 내부 잔여 액 체를 경화하는 추가적인 공정이 필요하다. 내부의 잔여 액체와 공동 등 내부 결함을 감지하기 위해서는 x-선 단층 촬영이 활용되고 있지만, 3차원 검사의 경우 1시간 이상의 시간이 소요되는 문제로 인해 산업 현장에 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 SLA 제품의 외부 및 내부의 결함을 물질 변형으로 인 한 탄성파를 통해 감지할 수 있는 음향방출 센서를 이용한 결함 감지법을 제 안한다.

2. AE를 통한 비파괴 실험

본 실험에서 사용된 시편은 Sindoh 사의 A1 + SLA 프린터에서 출력하였으며, 시편의의 설계의 경우 하중 조건 및 프린터의 출력방향을 고려하여 임의 적으로 여러가지 결함이 발생할 수 있도록 설계하였다. 그중 시편 조건은 정상 시편(Normal)과 Small hole, Big hole, Layer defect, Side defect으로 분류 하였다(Fig, 1).



음향 방출을 사용한 내부 결함 검사 실험 설정은 Fig. 2에서 확인할 수 있다. 신호 수집에는 WSα 센서를 사용하였으며 Table 1을 통해 AE 센서 신호 획득 조건을 보여준다. 신호 발생의 경우 Mistras 사의 FieldCAL 신호 발생 기를 사용하여 90 dB, 60 kHz의 신호를 인위적으로 발생시켰다.



Fig. 2 Experimental setup for SLA internal fault detection

Table 1	AE Signal	Acquisition	Conditions	for	WSa Sensors
---------	-----------	-------------	------------	-----	-------------

Threshold (dB)	27
Sampling rate (MHz)	5
Length (k)	2
Gain (dB)	20
Node gain (dB)	40

3. 실험 결과 및 고찰

결함 별로 10초 동안 수집한 신호에 대하여 분석하기 위해 Matlab을 이용 하여 AE raw 데이터에 대하여 신호 처리 후 AE_{RMS} 값으로 변환해 분석하였 다. AE_{RMS} 값은 Fig.3을 통해 알 수 있다.



각 결함 신호의 AE_{RMS} 값은 Normal 0.0371, Small hole 0.0319, Big hole 0.0216, Layer defect 0.0168, Side defect 0.0108 로 나타났다. 결함의 유형과 크기에 따라 상이한 AE_{RMS} 값을 보였으며, 결함의 정도가 커질수록 AE_{RMS}의 크기가 작아지는 것을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 AE_{RMS}값을 기준으 로 결함의 정도에 따른 분류가 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

(1) Kafle, A., Luis, E., Silwal, R., Pan, H. M., Shrestha, P. L., & Bastola, A. K. (2021). 3D/4D Printing of polymers: Fused deposition modelling (FDM), selective laser sintering (SLS), and stereolithography (SLA). Polymers, 13(18), 3101.

저온프린팅 기반 고분자 구조체 제작에 대한 연구

이유진¹, 김정화^{1,2}, 정영훈^{1*}

Study on fabrication of a PLGA scaffold using low temperature 3D printing

Y. J. Lee¹, J. H. Kim^{1,2}, Y. H. Jeong^{1*}

경북대학교 기계공학부¹, 경북대학교 기계연구소²

Key Words: 3D printing, PLGA, Scaffold, Syringe

1. 서 론

3D 프린티가 산업 현장에 도입되며 기술적으로 큰 발전을 야기해왔다. 제 조업, 건설, 디자인, 교육 등에서 많은 변화를 이끌고 있는데 특히 의료 분야 에서 개인 맞춤형 의료, 생체 조직 공학 등에 쓰이며 큰 영향을 주고 있다. 그 중 3D 구조체인 스캐폴드(scaffold)는 조직 공학 분야에서 주로 사용되는 개 념으로 생체의 조직 재생을 위한 기반체 역할을 하는 구조물을 지칭한다. 조 직 재생, 세포 성장 등을 지원하기 위해 사용되는데 조직이 형성될 때까지 안 정성을 유지한다. 또한 신체 내에서 대부분 분해되거나 대체된다는 특징이 있 다. 주로 스캐폴드를 제작하기 위해서는 생분해성 폴리머, 고분자 등이 이용 된다. 특히 PLGA는 주로 의약품 전달 시스템에서 사용되는 물질로, 생분해 성 폴리머로서 안전하고 생체적으로 호환성이 뛰어나다는 특징을 가지고 있 다. 따라서 이러한 성질을 지닌 PLGA를 활용해 스캐폴드 구조체를 3D 프린 티를 이용해 제작하고자 한다.

3D 프린팅에는 열가소성 수지를 이용해 프린팅 하는 FDM 방식 액체 광경 화성 수지를 이용해 프린팅 하는 SLA 방식, 가루 형태의 재료와 레이저를 이 용해 프린팅 하는 SLS 방식 등이 있다. FDM(Fused Deposition Modeling) 은 열가소성 수지의 재료를 녹여 압출하고, 적층으로 쌓아 올리는 방식으로 상대 적으로 사용이 쉽다는 장점을 갖고 있는 가장 대표적인 3D 프린팅 방식이다. 하지만 이는 고온에서 열가소성 수지를 용융해 프린팅 하는 방식이므로, 대부 분 60°C 내외에서 변성되는 단백질이나 고분자와 같은 소재는 이용하기 어 렵다는 단점이 존재해 고분자를 프린팅 하기에 적절하지 않다. 따라서 일반적 인 FDM 방식으로는 고분자를 프린팅 할 수는 없다. 위 단점을 보완하기 위 해 본 연구에서는 이 점을 고려하여 실린지 펌프를 이용해 저온 3D 프린터를 구성했다. 또한 위 장비를 이용해 PLGA 구조채를 제작하고 평가했다.

2. 저온 프린팅 기반의 구조체 제작

본 연구는 1축 선형 작동장치를 이용한 헤드 모듈을 제작하여 Z축에 부착 하였다. 부착된 헤드 모듈은 용액이 담겨있는 주사기를 일정하게 밀어낼 수 있도록 하였으며, 이때 주사기 안에 담겨있는 용액은 일정한 유량으로 미세 노즐(nozzle)을 통해 토출 되었다. 또한 작동장치의 이동 속도에 따라 주사기 의 우량을 조절 가능하게 하였다. 주사기를 일정한 온도로 유지시키기 위해 히터를 주사기에 부착하였으며, 이때 주사기를 고온 가열 시 열에 의한 작동 장치의 연결 부분의 변형과 파손을 막기 위하여 내열성이 좋은 폴리카보네이 트(Polycarbonate)의 소재를 사용하여 주사기와 작동장치사이의 열을 차단하 도록 설계하여 제작했다. 주사기 내부에 주입된 고분자는 약물 봉입이 가능하 여 약물 방출이 가능하며 우수한 생분해성, 생제적합성 소재인 PLGA(Poly (lactic-co-glycolic acid))를 사용하였다. PLGA와 용매는 주사기 내부에 주입되 었으며, 주사기 앞부분에 결합된 미세 노즐을 통해 일정한 유량으로 토출 되 어 구조체를 제작할 수 있도록 하였다. 이때, X-Y축 스테이지는 일정한 속도 로 이동하며 구조체를 적층 형태로 제작할 수 있도록 하였다.



Fig. 1 Image of printed structure

3. 구조체 제작 결과 및 평가

저온 프린팅 기반의 구조체를 제작하였으며, Fig. 1(a, b)에 일반 현미경과 주 사전자현미경(Scanning electron microscope)으로 관찰하여 이미지로 나타내었 다. Image J 프로그램을 사용하여 평균 직경을 측정하였으며, 이때 평균 직경 은 0.540mm으로 균일하게 제작됨을 확인하였다. 또한 표면은 매끄럽게 제작 되어 구조체로서 적합함을 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 실린지 펌프를 이용하여 저온 3D프린팅을 구성하였으며, 생 체적합성 및 약물 봉입이 가능한 고분자 PLGA을 이용하여 구조체가 제작 가능함을 보였다. 따라서 향후 PLGA 구조체에 약물을 봉입하여 약물 방출이 가능한 구조체를 제작하여 조직공학 및 바이오 분야에 적용가능성을 평가할 계획이다.

후 기

이 성과는 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A2C2014364)

참 고 문 헌

- Guo,S.Z., Heauxey.M.C., and Therriault D. "Pro-perties of polylactide inks for solvent-cast printing of three-dimensional freeform microstructures," Lang-muir 2014, 30, 1142-1150.
- (2) Xu, C., Bouchemit, A., L'Espérance, G., Lebel, L.L., and Therriault, D. "Solvent-cast based metal 3D print-ing and secondary metallic infiltration." Journal of Materials Chemistry C 2017, 5, 10448-10455.

셀룰로오스 나노섬유 강화 3D프린팅 레진의 기계적 물성 평가

권혁배, 박승호, 이현택*

Mechanical properties of cellulose nanofiber-reinforced 3D printing resin

H. B. Kwon, S. H. Park, H. T. Lee*

인하대학교 기계공학과

Key Words : Cellulose nanofiber, 3D printing, Composite, Mechanical properties, UV curable resin

1. 서론

셀룰로오스 나노섬유(Cellulose nanofiber, CNF)는 높은 종횡비 때문 에 우수한 비표면적, 비강도를 가지고, 엃힘 구조(entangled network)를 이룰 수 있기 때문에 복합재료의 강화제로 사용 시에 큰 강도과 강성을 부여할 수 있기 때문에 다양한 분야에서 검토되고 있다. 본 논문에서는 광경화 3D프린팅용 레진에 셀룰로오스 나노섬유를 첨가하여 이에 대한 기계적 물성 증진 효과를 확인하고자 한다.

2. 실험 및 측정

CNF/Acetone 현탁액에 실란 커플링제인 TMPSM를 CNF/Acetone 현탁액의 중량 대비 넣고, 2시간 동안 교반하여 TMPSM을 가수 분해하였다. 이후 CNF/Acetone을 용매치환과 실란 처리를 하기 위해서, 50도 로 가열한 후, 기계적 교반과 더불어진공에서 Acetone을 제거하였고, 이과정 중 PEGDA(Poly(ethylene glycol) diacrylate)를 2시간동안 적가하며 CNF-TMSPM/PEGDA 현탁액을 제조하였다. 제조가 끝난 후, CNF-TMSPM/PEGDA 현탁에 상용 UV경화 에폭시 수지인 EBECRYL® 605를 혼합하고, 균질한 분산 및 수분 제거를 위해 진공 조건하에서 기계적 교반을 24시간 이상 진행하였다. 3D 프린팅 전 Photoinitiator인 Diphenyl(2,4,6-trimethylbenzoyl)phosphine Oxide 와 UV absorber인 4-Methoxyphenol를 각각 PEGDA/EBECRYL® 605의 넣고 빛이 투과되지 않는 암막 안에서 교반하여 CNFR(Cellulose nanofiber reinforced resin)를 제조하였다.

Metrix		ix (C)	: (C)								
CNE	CNF	TMPSM	600) (g)	CNF 하으랴	TPO	4-MEHQ				
(g) A	ion 0.5wt% PEG (g) B of B DA (g) (g) (g)	PEG DA (g)	EBEC RYL ®605 (g)	(%) (A/C)	0.5wt% of C	0.5wt% of C					
0	0	0			0						
1.5	150	0.75							0.25		
3	300	1.5	240	360	0.50	3	3				
4.5	450	2.25						0.75			
6	600	3			1.00						

Table 1 Composition of CNFR

인장 강도은 ASTM D638-03의 국제 규격에 준수하였으며, 시험 속 도는 5mm/min이고, 5회 반복하여 진행하였다. 각 시험의 결과 값은 횟수에 대해 평균값을 통해 산출하였고, 특성을 대표할 수 있는 결과 를 그래프로 나타내었다.



실험 결과 및 고찰

Fig. 1 Representative tensile testing curves

전체적으로 기계적 물성이 향상되었으며 함유량에 따라 증진 효과를 확 인할 수 있다. 강화제로 CNF가 혼합될 경우, neat resin에 비해 상대적으 로 강도가 향상되었다. 이는 CNF가 레진에 균일하게 분산되어, CNF와 레진 matrix사이에 응력 전달이 원활하게 되기 때문일 수 있다. 이러한 향상 효과는 0.75%까지 확인할 수 있다. 그러나 함유량이 증가한 1%는 강도가 조금 감소한 것으로 보인다. 이러한 감소 효과는 CNF의 섬유간의 상호작용으로 인해 응집 경향이 강하기 때문이다. [1] 또한 CNF의 함유 량에 따라 변형률이 감소함을 관찰하였다. 이는 고분자 체인의 움직임을 어렵게 만드는 고 종횡비의 경질섬유 추가로 변형율의 감소를 설명할 수 있다. [2]

결과적으로 CNFR 레진의 기계적 물성은 넣지 않은 것에 대비해 인장 강도, 굴곡 강도가 개선됨을 보여준다. 0.75wt%에서 CNF가 균일하고 미세한 분산으로 인해 가장 높은 강화 효과를 보여주며, 최상의 조합인 것으로 확인할 수 있다

- Saba N., Mohammad F., Pervaiz M., Jawaid M., Alothman O.Y., Sain M., 2017, *Mechanical, morphological and structural* properties of cellulose nanofibers reinforced epoxy composites, International Journal of Biological Macromolecules, 97, 190-200
- (2) Mariana P., Guillermina A., Ilona R., Norma E. M., 2011, Structure and properties of nanocomposite films based on sodium caseinate and nanocellulose fibers, Journal of Food Engineering, 103, 76-83.

WAAM(Wire Arc Additive Manufacturing) 공정에서 외부 냉각에 의한 적층부 온도의 해석적 연구

김한얼¹, 김동현², 이춘만^{2*}

An analysis of temperature distribution for deposited part by external cooling in WAAM

H. E. Kim¹, D. H. Kim², C. M. Lee^{2*}

창원대학교 스마트제조융합협동과정¹, 창원대학교 메카트로닉스연구원²

Key Words: Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM), Directed Energy Deposition (DED), Thermal analysis, External cooling

1. 서 론

적층 제조(Additive Manufacturing, AM)은 최근 4차 산업혁명이 각광받으 며 몇 년간 기술이 급속도로 발전하고 있는 제조 방법으로 Powder Bed Fusion(PBF)과 Directed Energy Deposition(DED) 두 공정으로 나누어진다.

PBF 공정은 금속 분말을 베드에 얇게 도포하고 고출력 레이저 빔(Laser Beam)이나 전자 빔(Electron Beam)으로 부분 조사(Irradiation)해 소결 시키 거나 용융 시키는 방식으로 형상을 제작한다. 또한 DED 공정은 물체의 표면 에 금속 분말 또는 와이어를 공급하는 동시에 아크(Arc), 전자 빔, 레이저와 같은 고에너지 열원을 아용하여 재료를 용융 시켜 적층 하는 방식으로 형상 을 제작한다.

DED 공정 중 하나인 와이어 아크 적층 제조(Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM) 공정은 PBF 방식보다 적층 속도가 빠르고 와이어 재료 및 아크 장치를 사용하기 때문에 바용이 상대적으로 저렴하다는 장점이 있다. 하지만 WAAM 공정은 아크로 인한 높은 입열량으로 인해 적충부에 잔류응력과 형상 왜곡을 발생시킨다. 이를 감소시키기 위하여 물이나 공기를 이용한 외부 냉각(External Cooling)이 최근에 연구되고 있다.

본 연구에서는 WAAM 공정에서 높은 입열량으로 발생하는 적충부의 잔류 응력과 형상 왜곡을 줄이기 위한 외부 냉각 효과를 열해석을 통해 분석하고 자 한다.

2. 열 해석

본 연구에서는 상용 소프트웨어인 Ansys Workbench를 이용하여 열해석을 수행하였다. WAAM 공정에서 사용되는 모재는 SUS316으로 면적은 60mm x 120mm, 두께는 10mm이고, 와이어는 SUS316을 사용하였다. 다음 Fig. 1과 같이, 외부의 냉각이 없는 Normal 상태의 적충, 공기를 이용한 강제 대류 상 태의 적충 및 Water Channel을 활용한 적충 조건을 선정하여 해석을 진행하 였다.







Fig. 2 Analysis Result (a) Normal WAAM, (b) Air Cooling WAAM, (c) Water Cooling WAAM

3. 결 론

Fig. 2에는 Normal Cooling, Air Cooling 및 Water Cooling에 의한 열 해석 결 과를 보여준다. 해석 결과는 Normal Cooling에 비해 Air Cooling과 Water Cooling 두가지 경우 모두 Cooling의 효과가 나타났다. 하지만 Air Cooling의 경 우 Cooling의 효과가 미비하였지만 Water Cooling의 경우 Cooling의 효과가 크게 나타났다.

Water Cooling은 생산현장에서 구현하기가 어렵고 Air Cooling은 구현하기 가 비교적 쉬우나 Water Cooling의 냉각 효과가 크고 Air Cooling에서 분사된 압축 Air가 Shield Gas를 방해하는 효과가 있으므로 Water Cooling 방법이 현 장에 적용하기가 더 타당할 것으로 예상된다,

향후 연구에서는 냉각 효과 뿐만 아니라 잔류 응력 및 잔류 변형에 대한 효과도 연구할 예정이다.

후 기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF2022R1A2B5B0300188412).

- Hackenhaar, W., Mazzaferro, J. A., Montevecchi, F., & Campatelli, G. (2020). An experimental-numerical study of active cooling in wire arc additive manufacturing. Journal of Manufacturing Processes, 52, 58-65.
- (2) Gudur, S., Nagallapati, V., Pawar, S., Muvvala, G., & Simhambhatla, S. (2021). A study on the effect of substrate heating and cooling on bead geometry in wire arc additive manufacturing and its correlation with cooling rate. Materials Today: Proceedings, 41, 431-436.

금속 적층품 기공율 분석을 위한 고해상도 CT 이미지 활용 연구

성성현¹, 김효규¹, 모찬빈¹, 김성탁¹, 권오형^{1*}, 장경영²

A study on utilization of high-resolution CT images for porosity analysis of metal additive-manufactured parts

S. Sung¹, H.-K. Kim¹, C. Mo¹, S. Kim¹, O. Kwon^{1*}, K.-Y. Jhang²

한국생산기술연구원 강원본부¹, 한양대학교 기계공학부²

Key Words: High-resolution Computer Tomography, Laser Powder Bed Fusion, Acoustic emission

1. 서 론

Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) 방식의 금속 적층 기술은 경량 설계, 부품 수 감소, 맞춤형 정밀제작 등의 장점 때문에 항공, 발전, 의료 산업 분야를 중 심으로 활발히 연구, 개발되고 있으나 공정 중 발생하는 내부 기공에 의해 금 속 적층품의 품질이 저하되는 문제가 있다. 따라서, 금속 적층품의 내부 상태 를 직접 관찰하고, 모니터링 기술을 이용해 간접적으로 내부 상태를 예측할 수 있는 기술의 중요성이 부각되고 있다[1]. 본 연구에서는 L-PBF 장비에서 레이저 스캔 속도 별 SUS316L 적층 시편을 제작하였으며, 적층품 내부에 존 재하는 기공의 형태를 고해상도 CT 이미지를 이용해 확인하였고, thresholding image segmentation 방법을 이용해 기공율을 분석하였다. 추가로, 공정 중 수 집한 Acoustic Emission(AE) 신호와 내부 기공율 간의 상관관계도 분석하였다.

2. L-PBF 적층 실험 및 CT 이미지 취득

본 실험은 Farsoon FS121M 장비로 SUS316L 분말을 이용해 지름 3mm, 높 이 15mm 원가둥 형태의 시편을 제작했으며, 공정 조건은 레이저 파워를 310W로 고정하고 레이저 스캔 속도를 800,1100,1400,1700 mm/s로 선정하였 다. 모니터링을 위해 IDK-AES-H150 AE 센서를 사용했고, 시편 제작 후 Xradia Versa 510 CT 장비로 기공 분석을 진행했다. Fig. 1은 사용한 장비와 장 착 개략도이다.



Fig. 1 (a) Farsoon FS121M, (b) Xradia Versa 510, (c) Experimental setup for L-PBF machine with AE monitoring

3. CT 이미지 전처리

각 공정 조건 별로 얻은 CT 이미지에서 가장 중간에 위치한 100장의 이미 지로 기공율을 계산했다. Canny 알고리즘을 이용하여 시편 영역을 찾아내 시 편 영역 안쪽의 black pixel을 기공으로 인식하는 코드를 작성했다. 그러나 각 공정 조건 마다 pixel intensity가 변해서 공정 조건 별 threshold 최적화를 진행 했다. Threshold 기준값을 찾기 위해 threshold값을 0부터 256까지 순차적으로 변화시키면서 CT 이미지의 white pixel의 개수의 변화율이 일정해지는 threshold 구간을 조사했다. Threshold값이 140부터 185까지 구간에서 white pixel 개수의 변화율이 일정 영역에서 기공을 가장 잘 인식하는 값을 threshold 값으로 선정했다. Fig. 2는 기공으로 인식된 black pixel을 빨간색으로 나타낸 것이다.



Fig. 2 CT image indicating where the pores existed as red colors 4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 3은 AE 신호와 CT 기공율 양상을 비교한 그래프이다. 스캔 속도가 증 기함에 따라 밀도가 감소하는 경향을 보이며 AE 신호 역시 전반적으로 감소 하는 추이를 보인다. 레이저 스캔속도가 증가함에 따라 밀도가 감소한 이유는 melt-pool에 주입되는 에너지가 감소해 melt-pool끼리 제대로 겹치지 않아 발 생하는 void형 기공이 발생해 밀도가 하락한 것으로 보인다. 마찬가지로, AE 신호 역시 melt-pool에 주입되는 에너지가 적어서 AE energy가 하락하는 양상 을 보인 것으로 사료된다. CT 이미지를 활용하여 금속 적층품의 기공율을 분 석할 수 있었고, AE 신호와의 비교도 수행할 수 있었다.



Fig. 3 Correlation between CT data and AE energy

Acknowledgement

본 연구는 한국생산기술연구원 뿌리핵심기술연구사업 (딥러닝 기반 3D CT 이미지 안공지능 학습 및 해상도 향상 기술 개발 (KITECH EM-23-0003))의 지원으로 수행하였음.

참 고 문 헌

 Seleznev, M., Gustmann, T., Friebel, J. M., Peuker, U. A., Kühn, U., Hufenbach, J. K., Biermann, H., & Weidner, A. (2022). In situ detection of cracks during laser powder bed fusion using acoustic emission monitoring. Additive Manufacturing Letters, 3.

Double-Layer-Blancket(DLB)을 이용한 3차원 곡면 투명전극 인쇄

원미진, 조남주, 이현아, 김동수*

3D curved transparent electrode printing using Double-Layer Blanket(DLB)

M. J. Won, N. J. Cho, H. A. Lee, D. S. Kim*

한밭대학교 창의융합학과

Key Words : Reverse offset, Double-layer blanket, 3D curved

1. Introduction

Printed electronics utilizes graphic printing technology and specialized materials to create thin, flexible, and eco-friendly electronic devices.[1] Various printing processes, such as reverse offset, are being explored to achieve high-resolution printing and stable print quality. Research is also focused on developing printing techniques for 3D curved surfaces, including the optimization of pressure and speed variables to ensure printability and achieve optimal results for micropatterns on both flat and curved substrates.

2. Experiment

The DLB reverse offset printing process involves spin-coating conductive ink on a bottom substrate, transferring the ink to a DLB roll, using an etched plate (cliché) to remove unnecessary patterns, and finally printing the desired pattern on a 3D curved surface. The DLB reverse offset printer consists of three suction plate modules, a DLB roll module, and a control unit. The printer operates by controlling the printing pressure and speed to ensure proper transfer and separation of the ink film. The DLB roll used in this process is composed of a silicone rubber roll and a PDMS-covered blanket sheet, providing elasticity for printing on curved surfaces. The cliché is manufactured through photolithography, and silver ink with specific properties is used for the printing process.



Fig. 1 Double-layer blanket (DLB) reverse offset printing process. (a) Spin coating (b) Ink transfer from bottom blanket to roll blanket (c) Off from roll blanket to Cliché (d) Pattern set (e) Transparent electrode

3. Result

Patterns were printed on a 3D curved surface at different pressures, and the results were compared with the designed cliché pattern. The surface morphology of the printed patterns was analyzed using SEM. The images of the printed patterns showed fine printability for the vertical micropatterns at speeds ranging from 0.25 mm/s to 1 mm/s.

However, the horizontal patterns exhibited uneven printing of the line edges. At a speed of 4 mm/s, the ink film was not adequately dried, resulting in streaks between the patterns. The tearing of the ink film was more favorable in the machine direction than in the cross direction.



Fig. 2 (a) Horizontal and vertical printing patterns according to the DLB offset roll speed change in the transfer step. (b,c) Horizontal and vertical printing pattern according to the DLB offset roll speed change and pressure change in the off step

The study involved designing patterns with widths ranging from 30 μ m to 60 μ m. The optimized printing pressure of 29.4 N was found to produce patterns most similar to the line width of the cliché. Images of transparent electrodes with metal mesh and honeycomb structures printed on a 3D curved surface are shown in Figure 3b, with SEM images (a) and (c) showcasing each transparent electrode. Additionally, Figure 3d and Figure 3e display 3D images and measurements of surface roughness, line height, and line width using a contactless 3D surface profiler.



Fig. 3 (b) Printed transparent electrodes on a 3D curved surface and SEM images of the printed (a) metal mesh and (c) honeycomb, Table 3. 3D image and roughness profile of metal mesh transparent electrodes and (d), (e) the 3D image and roughness profile, measured using a 3D scanner, of metal mesh type and honeycomb pattern transparent electrodes. (f) Optical transmittance spectra of metal mesh and honeycomb transparent electrodes. (g) Sample possibilities printed on various curved surfaces

Acknowledgements

This research was supported by Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) grant funded by the Korea Government(MOTIE). (P0012744, HRD program for industrial innovation)

Reference

(1) Dai, Jie, et al. "Printed gas sensors." Chemical Society Reviews 49.6 (2020): 1756-1789.

더블레이어 블랑켓을 이용한 3차원 곡면 습도 센서 제작

오경석, 이현아, 김동수*

Fabrication of 3D curved humidity sensor using double layer blanket

G. S. Oh, H. A. Lee, D. S. Kim*

한밭대학교 창의융합학부

Key Words: 3D curved, Double layer blanket, Humidity sensor

1. 서 론

인쇄전자 기술은 인쇄가 가능한 기능성 전자 잉크 소재를 이용해 저렴한 프린팅 공정을 통해서 다양한 전자소자를 제작하는 기술로써, 차세대 ICT 기 기 제작에 적합한 전자제품을 생산하는데 적합한 공정기술로 잘 알려져있다. 본 논문에서는 Rigid한 블랑켓이 아닌 Soft 한 더블레이어 블랑켓을 이용한 리버스 옵셋 프린팅 공정을 이용하여 곡면 또는 3D 구조체 위에 인쇄하여 습 도 센서를 제작하였고 센서의 특성을 분석하였다.

2. 곡면 센서 제작

본 곡면 센서 제작 실험에서 전극으로 사용되어진 잉크는 전도성 Ag 잉크 로 ANP 회사로부터 구입하였다. 리버스 옵셋 프린팅 공정에 사용되는 블랭 킷은 PDMS 기반 블랭킷을 아용하였으며 Fujikura(일본)에서 구입했다. 습도 센서의 감지 물질로는 CNF(Cellulose nano fiber)을 아용하였으며, 디스펜서 (MUSASHI Dispenser Shot Mini 200SX) 를 아용하여 코팅하였다.

센서는 저항타입의 원리를 기반으로 하며 3D 기판에 IDE(Interdigitated Electrode) 패턴 인쇄 후 셀룰로오스 나노섬유 감지층을 코팅하는 것으로 제 작된다. 센서 작동의 기본 원리는 CNF 감지 물질에 물 분자의 흡수로 인해 필름의 전기 전도도가 증가한다는 것이다. Fig. 1는 더블레이어 블랑켓을 이용 하여 제작되는 3D 습도 센서의 모식도이다.



Fig. 1 Fabrication process of printed 3D humidity sensor

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 플랫한 유리기판 및 3차원 곡률반경을 갖는 유리기판에 전 극을 인쇄하였다. 리버스 오프셋 인쇄는 PDMS Blanket Roll을 통해 처음 기판 에서 대상 기판으로 고정된 설계 패턴을 전달하는 원리에 따라 작동한다. 제 작된 Ag IDE 및 습도 센서는 SEM, X-선 회절(XRD) 및 3D profiler 시스템을 통해 특성을 확인하였다. Fig, 2(a)는 제작된 센서의 단면 SEM image 이다 (b) 는 CNF 감지물질의 표면 SEM image 이다.





Fig. 2 (a) cross-sectional SEM image of humidity sensor (b) Surface SEM image of CNF thin film



Fig. 3 AE RMS according to cutting condition

Fig. 3은 평면 기판과 3D curved 기판 위에 제작된 센서의 성능을 비교한 데 이터 이다. 제작된 센서는 평면과 곡면 기판에서 크게 차이가 없는없는 것 보 아 곡면 등의 3D 구조체 위에 센서를 제작할 수 있다는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- Nguyen, H. A. D.; Shin, K.-H.; Lee, D. Effect of process parameters on fidelity of printed line width in high resolution roll-to-roll gravure printing. Jpn. J. Appl. Phys. 2014, 53 (5S3), 05HC04.
- (2) Kim, H. C., Kim, J. W., Zhai, L., & Kim, J. (2019). Strong and tough long cellulose fibers made by aligning cellulose nanofibers under magnetic and electric fields. Cellulose, 26, 5821-5829.

DLP 3D 프린팅을 이용한 우주 부품용 세라믹 열처리 공정 연구

이재휘, 심재호, 김동수*

Study on heat treatment process of ceramics for space parts using DLP 3D printing

J. H. Lee, J. H. Sim, D. S. Kim*

한밭대학교 창의융합학과

Key Words : Digital light processing, Ceramics, 3D printing, Sintering, Debinding, Space parts

1. Introduction

Ceramics have excellent properties such as hardness and thermal and low permittivity, manufacturing ideal for spacecraft parts. Therefore, researchers have studied using 3D printing for manufacturing various form factors of space parts. In this study, the characteristics of debinding and sintering processes for ceramics manufactured using digital light processing (DLP) 3D printing technology were studied.

2. Experiment

The heating rate for the debinding process was set to 0.5 °C/min to minimize thermal stress. The holding times at 250, 400, and 550 °C that exhibited distinct endothermic peaks in the DSC curve were 4, 5, and 6 hours, respectively, and after heating to 900 °C to improve mechanical strength, the sample was cooled naturally. Sintering was carried out by heating to 600 °C at 4.0 °C/min, then proceeding to 1100, 1200, and 1300 °C at 1.0°C/min, with a holding time of 5 hours in Figure. 1.



Fig. 1 Debinding and sintering profiles

3. Results and Discussion

Fig. 2 shows the shrinkage rate of the green body printed by DLP 3D printing, the debinded body (maintained for 6 hours), and the sintered body at 1300 °C. The sintered body exhibited significant shrinkage due to the decomposition of the photosensitive polymer. Among them, the highest shrinkage rate was observed after debinding, and anisotropic shrinkage was indicated. The anisotropy of shrinkage depends on the actual dimensions of the sample (length-width ratio, length-height ratio, and porosity).



Fig. 2 Machined surface texture according to cutting condition

 Table 1 Physical properties of the ceramic sample according to sintering temperature

Comulo	Weight loss rate	X, Y and Z linear	Density
Sample	after debinding (%)	shrinkage (%)	(g/cm ³)
1100℃	60	16.9/20/15.1	1.10
1200℃	60	20.8/20/21.2	1.14
1300℃	60	22.1/21.6/28.5	1.36

Table 1 presents the physical properties of the ceramics according to the sintering temperature, including the weight loss rate after debinding, linear shrinkage rate, and density. The weight loss rate was found to be the same, while the linear shrinkage rate and density increased with higher sintering temperatures.

Accordingly, the density of the sample sintered at 1300 $^{\circ}$ C was 1.36 g/cm³, with linear shrinkage rates along the x, y, and z axes of 22.1, 21.6, and 28.5 %, respectively.



Fig. 3 Cross-sectional SEM images of ceramic bodies according to different temperatures with debinding steps A, B and C

It can be seen that the number of pores gradually decreased with the increasing debinding holding time in Figure. 3. Further, it can be seen that the densification gradually formed with the increasing sintering temperature. In conclusion, the SEM images showed that the debinding and sintering processes were optimal when using the C step for debinding and a sintering temperature of 1300 $^{\circ}$ C.

Acknowledge

This paper was supported by Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) grant funded by the Korea Government(MOTIE) (P0023691, HRD Program for Industrial Innovation)

References

(1) Chen, Z.; Li, Z.; Li, J.; Liu, C.; Lao, C.; Fu, Y.; Liu, C.; Li, Y.; Wang, P.; He, Y. 3D printing of ceramics: A review. J. Eur. Ceram. Soc. 2019, 39, 661-687.

(2) Mamatha, S.; Biswas, P.; Ramavath, P.; Das, D.; Johnson, R. Effect of parameters on 3D printing of alumina ceramics and evaluation of properties of sintered parts. J. Asian Ceram. Soc. 2021, 9, 858-864.

LPBF로 제조된 니켈기 초내열합금의 용융 에너지 밀도 크기에 따른 특성 변화

김우성*

Variation in the properties of nickel-based superalloys fabricated LPBF process with melt energy density

W. S. Kim^{*}

한국생산기술연구원 대경본부 스마트제조기술연구그룹

Key Words : Ni based superalloy, Laser powder bed fusion, High temperature property, Microstructure

1. 서 론

적층제조 기술 중 금속 소재를 활용하는 LPBF (Laser Powder Bed Fusion)는 어떤 공정변수를 적용하였는가에 따라 As-built 샘플의 내 부 결함률, 표면 조도, 밀도와 같은 샘플의 품질이 달라진다. 적용되는 공정변수에 의해 금속분말에 가해지는 열에너지 밀도는 달라진다. 해 당 에너지 밀도는 As-built 샘플을 이루는 molten pool의 형태 및 크 기 그리고 잔류 변형량에 영향을 미친다. 본 논문에서는 샘플의 결함 률은 유사하지만, 적층 중 적용된 에너지 밀도는 서로 다른 두 시편을 선정하여 적층 공정에서 에너지 밀도가 As-built 샘플의 고온 특성에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 고찰하였다.

2. 레이저 용융 금속 적층 실험

본 연구에서는 Ni기 초내열 합금인 Hastelloy X를 활용하여 Fig. 1 과 같이 10×10×20 mm 크기의 As-built 샘플을 다양한 공정 조건으 로 제작한 뒤 단면 공극률과 밀도측정으로 시편의 결함률을 평가하였 다. Hastelloy X 주조재보다 낮은 공극률과 높은 밀도를 가지는 샘플 들 중, 공정에 적용된 레이저 에너지 밀도가 60 J/mm³, 87 J/mm³ 로 서로 다른 두 시편은 결함률은 유사하였지만, 미세조직 및 물성에서 차이를 보였다. 두 샘플의 적층 조건은 Table 1에 나타내었다. 두 시편 은 적층 방향에 따른 물성 이방성을 제거하기 위해 1177 ℃에서 30분 동안 후열처리한 뒤 고온 인장 시험을 실시하였다.



Fig. 1 As-built sample fabrication results and measurement map of cross-sectional porosity for determining optimal process conditions

3. 실험 결과 및 고찰

적용되는 에너지 밀도가 높아질 수록 molten pool의 크기와 molten pool을 형성하는 cell/columnar structure의 크기가 증가하는 것을 각 각 광학현미경과 주사전자현미경으로 관찰된 이미지인 Fig. 2를 통해 확인할 수 있다.

Table 1 Comparison of stacking process conditions (µm)

Energy density	60 J/mm ³	87 J/mm ³
Laser Power	160 W	240 W
Scan speed	800 mm/s	800 mm/s
Layer thickness	30 µm	30 µm





(b) As-built sample with an energy density of 87 J/mm³

Fig. 2 The morphology and microstructure of the molten pool of as-built samples with applied different energy density

에너지 밀도 차이에 따른 As-built 샘플의 고온인장 강도 차이는 크 지 않지만, 연신률은 상대적으로 낮은 에너지 밀도가 적용된 As-built 샘플이 약 7% 더 높은 값을 가진다 (Fig. 4). 이는 낮은 에너지 밀도가 적용된 경우, 적층 중 molten-pool에서 발생되는 온도구배에 의해 발 생하는 인장 잔류응력의 크기가 감소하여, 샘플의 낮은 내부 변형량을 야기하기 때문인 것으로 사료된다. 후열처리 이후 변화된 미세조직 형 태 및 크기는 물성의 변화에 큰 영향을 미쳤다.



Fig. 3 Engineering stress-strain curves at high temperature (816 °C) and optical microscopy images of the post heat-treated samples

참고문헌

- Harrison, N.J., Todd, I., Mumtaz K., 2015, Reduction of micro-cracking in nickel superalloys processed by Selective Laser Melting: A fundamental alloy design approach, Acta Mater., 94. 59-68.
- (2) Jang, J.E., Kim, W.S., Sung, J.H., Kim, Y.J., Park, S.H., Kim, D.H., 2022, Microstructural Control Strategy Based on Optimizing Laser Powder Bed Fusion for Different Hastelloy X Powder Size, Materials, 15.18. 6191.
- (3) Karapuzha, A.S., Fraser, D., Schliephake, D., Dietrich, D., Zhu, Y., Wu, X., Huang, A., 2021, *Microstructure, mechanical* behaviour and strengthening mechanisms in Hastelloy X manufactured by electron beam and laser beam powder bed fusion, J. Alloys Compd., 862. 158034.

3D프린터를 이용한 다공성 추간체유합보형재의 물리적 특성 평가

주민정¹, 임권묵², 박성준^{1*}

Mechanical performance evaluation of lumbar porous interbody fusion cage using a 3D printer

M. J. Ju¹, K. M. Lim², S. J. Park^{1*}

한국교통대학교 기계공학과 대학원¹, 주식회사 에이스메디코프 연구소²

Key Words : Inerbody fusion cage, Additive manufacturing, Structural stiffness

1. 서 론

고령화 사회를 넘어 초고령화 시대가 본격화 되면서 척추관 협착증 및 퇴행성 척추 등의 요추 퇴행성 질환의 수술적 치료로 이탈되고 변형된 추 간체를 제거하고 추간체 유합보형재를 삽입하여 척추체의 원래의 디스크 높이를 회복하고 척추체를 하나로 유합 시키는 대표적인 수술적 치료법으 로 추간체유합술이 사용되고 있다. 기존 PEEK 추간체유합보형재는 표면 이 매끄러워 골유합이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 이러한 단점을 줄이 기 위해 다공성 구조에 맞춘 3D프린팅 추간체유합보형재를 연구되고 있 다. 따라서 본 연구팀은 3D프린팅 기술로 제조된 다공성 구조의 추간체 유합보형재를 설계하고 시제품 제작하여 상용화 되어 있는 PEEK 추간체 유합보형재와 기계물리적 특성을 비교 하였다.

2. 설계 및 시제품 제작

추간체유합보형재는 Solidworks (Dassault Systmes)을 이용하여 외 형을 설계 하였고, 3-matics(Materialise)을 이용하여 다공성 구조를 구 현하였다. 이를 DMP Flex350(3d Systems)장비를 활용하여 제작하였 다. 고정밀 레이져가 금속 파우더 입자에 조사되어 얇은 수평 금속 레이어 를 선택적으로 충충이 쌓는 방식인 DMP(Direct Metal Printing)방식을 이용하 였다.

3D프린팅 추간체유합보형재의 주요치수는 버니어켈리퍼스를 이용하여 측정되었고 주요 공차는 ±0.1mm 이내이며, Porous구조의 치수는 SEM 를 이용하여 측정하였으며 공차는 ±0.05mm, Porosity는 65~68% 이내 로 정교하게 제작되었다.









3. 성능시험 및 결론



Fig. 3 Mechanical performance test of the Lumbar porous cages

기계적 성능시험은 추간체유합보형재의 표준평가 방법인 ASTM-F2077방법에 따라 정적압축시험 및 압축전단 시험으로 분류하여 진행했으며 각 5회씩 시험을 진행했다.

정적 압축 및 압축-전단 시험은 시제품을 Metal Blocks에 장착하고 ASTM 2077-18 Standard에 따라 시험하였고 변위-하중 그래프를 이용 하여 강성도(Kd), 항복강도(Yied load), 최대강도(Ultimate load)를 구 하였다. 시험의 평균 및 표준 편차를 산출하였다.

	PEEK Cage			3D Ti Cage			
구분	강성도	항복강도	최대강도	강성도	항복강도	최대강도	
	(N/mm)	(N)	(N)	(N/mm)	(N)	(N)	
정적압축	11,700	11,500	13,200	17,550	17,365	19,932	
압축전단	4,870	4,760	5,300	7,451	7,282	8,003	

본 연구는 3D프린팅 추간체유합보형재의 기계적 성능 및 안전성을 평 가하기 위해 시험을 통하여 기존에 상용화 되어 있는 PEEK제품과 비교 분석하였다. 정적압축 및 정적압축전단 시험에서의 강성도는 PEEK 대비 53% 증가한 값을 보여줬으며, 항복강도나 최대강도는 51% 증가한 값이 수행한 시험을 통해 기존 기존 PEEK 제품보다 해당 연구에 한해서는 우 수한 기계적으로 안전성을 보인다고 판단된다.

상용화되기 위해서는 골과 유사한 격자 및 기공율 구현하는 기술, 침강 및 동적 시험 등 추가적인 연구등 추가로 필요 할 것으로 사료 된다.

후 기

본 연구는 2023년도 한국교통대학교 교내 학술 연구비 지원을 받아 수 행한 연구임.

참 고 문 헌

- The Results of Posterior Lumbar Inter-body Fusion using PEEK Cage and Pedicle Screw Stabilization in Degenerative Lumbar Spinal Disorders, J Korean Orthop Assoc 2007.
- (2) Design and Biomechanical Verification of Additive Manufactured Composite Spinal Cage Composed of Porous Titanium Cover and PEEK Body, Appl. Sci. 2019.

비상디젤발전기용 배전반의 내진안정성에 관한 연구

김재실*, 이훈, 권기남

A study on the seismic stability of control panel for an emergency diesel generator

C. S. Kim*, H. Lee, K. N. Kwon

창원대학교 기계공학부

Key Words : Seismic stability, Mode frequency, Control panel, Emergency diesel generator

1. 서 론

현재 생산되는 비상발전기용 배전반의 경우 내진 설계가 이루어지지 않은 상태가 많고 지진 등과 같은 외부로부터의 강한 진동이나 충격이 가해질 때 진동을 완벽히 흡수할 수 없는 구조일 가능성이 크다. 만약 내진 안정성에 문 제가 있을 경우 적절한 발전용량을 지속적으로 얻을 수 없게 되므로 진동영향 평가(내진설계)에 대한 대책 방안 마련은 반드시 필요한 실정이다. 그러므로 기존의 배전반에 대해 내진해석을 실시하여 내진 안정성을 검토하고자 한다.

2. 내진 검증 야론

본 연구에서 검증하고자 하는 배전반은 내진 범주 III급에 해당되어 일반 산업 기준에 따라 내진 설계를 실시하며 이에 따른 구조 설비의 검증 과정은 Fig. 1에 따른다.



Fig. 1 Diagram of Seismic Analysis

3. 배전반 모델링 및 모드해석

Fig.2는 CATIA S/W를 이용하여 배전반의 3D 모델링을 생성하였다. ANSYS Workbench Modal Analysis 해석툴을 사용하여 배전반의 1~3 차 모드 형상 및 주파수를 파악한다. Modal 해석 결과 배전반의 1~3차까지 의 모드 주파수는 Table 1과 같이 Cut-off Frequency인 33Hz를 넘지 못 하였으며 동적해석을 실시하여 내진안정성을 확인하고자 한다.

Table	1	Mode	Natural	Frequency	of	Control	Panel
-------	---	------	---------	-----------	----	---------	-------

Mode	Frequency [Hz]
1 st	22.067
2 nd	24.676
3 rd	26.792



Fig. 2 Modeling of Control panel



Fig. 3 Results of Modal Analysis

4. 내진해석

Modal 해석 결과 Cut-off Frequency인 33Hz에 미치지 못하였으므로 지진해석의 하중조건인 Normal, OBE, SSE를 적용하여 내진안정성을 확 인한다. 지진 하중 조건인 OBE 및 SSE는 Floor Response Spectra에 OBE는 SSE 감쇠비 2%값의 1/2을, SSE는 감쇠비 3%를 적용하였고⁽¹⁾ 해당 응답 스펙트럼을 ANSYS Workbench Resoponse Spectrum에 적 용하여 해석을 진행하였다. 배전반의 허용응력은 Table 2와 같다.

해석결과 자중에 의한 Normal Condition은 약 74MPa이므로 허용응 력보다 낮은 값이 나왔다. Upset Condition은 약 130MPa이고 Faulted Condition은 약 227MPa로 결과값이 나왔다.

Table 2 Loading condition and Allowable stress

Operating	Loading	Allowable Stress(Mpa)	
Condition	Combination	ASIC	value
Nomal	D.W	0.6×Sy	150
Upset	D.W + OBE	1.33×0.6×Sy	199.5
Faulted	D.W + SSE	0.95×Sy	237.5

5. 결론

배전반의 소재인 SS400의 항복강도는 250MPa이고 하중조건에 따른 허용응력은 Normal 150MPa, Upset 199.5MPa, Faulted 237.5MPa이 다. 내진해석결과 Normal 하중조건에서 74MPa, Upset 하중조건에서 130MPa, Faulted 하중조건에서 227MPa으로 허용응력보다 낮은 값을 나타내어 내진안정성을 확인할 수 있었다. 그러나 안전율 및 외력에 의한 변수 발생을 고려한다면 설계 보완이 필요하다고 판단된다.

참고문 헌

(1) Ha, N. G, Kim, C. S, 2022, A Study on the Seismic Isolated Bed System Considering the Seismic Stability of an Emergency Diesel Generator, Journal of Korean Society of Industry Convergence Vol.25 No.6, 1156-1163.

설계 구조 개선을 통한 반도체 검사장비 진동 저감 대책

유승하, 김상엽, 권용찬, 전용호, 이문구*

A systematic way of vibration reduction for a semiconductor inspection equipment

S. H. Yu, S.Y. Kim, Y. C. Kwon, Y. H. Jeon, M. G. Lee*

아주대학교 기계공학과

Key Words: Semiconductor, FEM analysis, Vibration control, Precision inspection equipment, Structural improvement

1. 서 론

최근 인공지능 응용 분야가 확대되면서 고성능 데이터 처리를 위한 3차원 반도체의 수요가 증가하고, 반도체 생산 기술과 검사 기술의 고정밀화, 소형 화가 지속적으로 요구되고 있다. 특히, 시스템 반도체 패키징 공정을 위한 정 밀 검사장비에 대한 수요가 증가하고 있다.

검사 장비가 설치되어 작동되는 현장에는 다양한 내외부 가진원들이 존재 하며, 공진 주파수와 가진 주파수가 일치할 경우 공진이 발생하여 검사 정밀 도 저하와 검출 오류 증가로 이어진다. 이러한 위험 가진원들은 일반적으로 150Hz 미만의 주파수를 가지며, 반도체 고정밀 검사를 위해 검사 장비의 구 조 강성을 개선하여 공진 회피 설계를 수행한다.

2. FEM 모델 분석

분석 효율성을 높이기 위해 역학적 우선 순위를 고려하여 검사 시스템을 단순화한다. 공진 주파수 분석과 동적 거동 관찰을 위해 Modal analysis를, 외 부 가진에 대한 반응 관찰을 위해 Harmonic analysis를 수행한다. [2]



Fig. 1 Modeling of inspection equipment (a) Simplified CAD model, (b) ANSYS FE model

개별 부품부터 전체 시스템까지 순차적인 해석을 통해 공진의 원인을 검사 헤드 고정부의 강성 부족(a), 개방된 힘 루프 구조에 설치된 광학계(b), 지지대 에서 멀리 떨어진 무게중심(c) 등으로 판단했다. (Fig. 2)

3. 구조 개선

앞서 서술한 저주파 공진을 해결하기 위해 검사 모듈 구조를 Fig. 3와 같이 개선했다. 평판 리브를 추가하여 클램핑 강성을 높이고, 외팔보를 닫힌 구조 로 변경하고, 평형추(Counterweight)를 헤드 뒷면에 추가하여 질량 불균형을 줄인다. 이러한 설계 개선으로 구조 강성을 높이고, 공진 주파수를 증가시키고, 공진으로 인한 변형이 감소한다.



Fig. 2 three causes of structural flexibility (a) Insufficient clamping, (b) Open cantilever, (c) Overhang center of mass



Fig. 3 Structural improvement of inspection equipment (a) adding rib to plate connection, (b) closing force loop, (c) adding counter weight

Table 1 Improved	l resonant	frequency	and	deforma	tion
------------------	------------	-----------	-----	---------	------

Lowest mode	Frequency [Hz]	Deformation [mm]	
Initial	108.2	0.0224	
Improved	166.6	0.0190	

3. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 반도체 검사 장비의 설계 과정에서 FEM 분석을 이용하여 동적 거동을 예측하고, 설계 구조 개선을 통해 저주파(<150Hz) 공진을 방지 한다. 앞서 서술한 방법을 통해 가장 치명적인 공진(c)의 주파수를 54% 증가 시키고 공진 변형량을 15% 감소시켰다. 차후 연구에서는 개선된 모델을 재해 석 하고 추가 개선을 실시할 예정이다.

이와 같은 시스템 강성 개선은 디스플레이 제조 장비, 우주 관측 광학 장비 및 이차전지 제조 장비 등에서도 응용이 가능하다.

- Tsung-Chia Chen, Yong-Jun Chen, Ming-Hung Hung, Jui-Pin Hung, "Design analysis of machine tool structure with artificial granite material" pp. 8~9.
- (2) ANSYS Fluent Tutorial Guide 2020 R2, 2020

평엔드밀의 공구 재종에 따른 플라스틱 금형강의 절삭특성 비교

박정연¹, 김성규¹, 홍석관¹, 이채환², 윤길상^{1*}

Comparison of cutting characteristics of plastic mold steel according to tool materials of flat end-mills

J. Y. Park¹, S. K. Kim¹, S. K. Hong¹, C. H. Lee², G. S. Yoon^{1*}

한국생산기술연구원 금형성형연구부문¹, (주)신라엔지니어링²

Key Words : Plastic mold steel, End milling, Tool material, Tool wear

1. 서 론

최근 베트남이 글로벌 생산기지로서 부상함에 따라 국내·외 제조기 업 및 금형업체 또한 제조공장을 베트남으로 이전하는 추세이다. 해외 금형업체의 저가 물량공세에 대응하고 시장경쟁력을 확보하기 위해서 는 제조단가, 특히 기존의 기계적 강도를 확보하면서 가격이 저렴함 플라스틱 금형강에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있다. 그러나 최근 개발소재에 대한 평가 및 검증은 대체로 부족한 상황이다. 본 논문에 서는 AISI P20 계열의 플라스틱 금형강 2종에 대하여 평엔드밀의 공 구 재종 별 가공실험을 수행한 다음 공구 마모 이미지를 획득하여 마 모특성을 분석, 이를 통해 동일한 규격의 두 소재의 절삭 가공성을 비 교하고자 한다.

2. 엔드밀링 실험

본 엔드밀링 실험에서 사용되어진 피삭재는 국내 플라스틱 금형강 생산업체 S社에서 개발·제조한 AISI P20 계열 S1, S2 소재이며, 경도 는 HRC 38~41로 유사하다. 엔드밀링 실험에 사용한 공구의 형상은 직경 16 mm인 2날 평엔드밀(2F end mills)이며, 재종은 코발트 8% 고 속도 공구강(HSS Co8% M42, 이하 "HSS") 및 텅스텐 카바이드(이 하 "WC")이다. 엔드밀 마모는 측정방법 KS B ISO 8688-2에 의거하 여 엔드밀 날의 최대 마모량 0.3 mm에 도달할 때 까지 절삭을 수행하 여 절삭 부피량을 계산하였으며, 공구 날 마모 측정은 엔드밀 2날 플 랭크 마모를 실측하였다. 엔드밀링 실험은 Fig. 1과 같이 구성하였으 며, 실험조건은 공구사(YG-1)에서 제시하는 조건을 따랐으며 Table 1 에 나타내었다.



Fig. 1 End-milling experiment setup

Table 1 End-milling condition

plastic mold steel	S1		S2	
Tool material	HSS	WC	HSS	WC
RPM	364	1,417	364	1,417
Feed(m/min)	59	143	59	143

3. 실험 결과 및 고찰

공구 마모 이미지는 단위 절삭 길이(5.44 m)당 획득하였으며, 공구 마모량은 실측하여 평균 마모값을 계산하였다. 이를 기반으로 Fig. 2 와 같이 피삭재의 절삭 부피(cm)에 따른 공구 마모량(mm) 그래프를 도 출하였다. 실제 공구마모량이 0.3 mm에 도달하여 엔드밀 가공을 중단 한 사례는 없었으며 HSS공구의 경우 피삭재 표면에 뜯김현상 (non-cutting)으로, WC공구의 경우는 국부 파손으로 인해 가공이 중 단되었다.



Fig. 2 Cutting voluem of plastic mold steel vs tool ware

최대 절삭부피는 WC 공구가, 공구의 마모량은 HSS공구가 높게 나 타났다. 이는 WC공구가 경도는 높으나 취성 파괴가 발생하기 쉽기 때 문이다. 4개 실험에서 절삭성 및 제조단가를 개선한 S2 소재가 S1 소 재보다 최대 절삭 부피값이 더 높았으며, 이는 경도값이 유사한 S2 소 재의 절삭성이 상대적으로 우수하다고 판단할 수 있다.

본 실험을 통해 베트남 현지 시장에서 가격경쟁력 및 품질을 확보할 수 있는 AISI P20계열 소재의 우수한 절삭성을 정량적으로 확인할 수 있었다. 향후 일정한 품질의 금형강 소재 생산을 위해서 지속적인 절 삭성 검증이 필요할 것으로 판단된다.

Acknlowledge

This study has been conducted with the support of the Korea Institute of Industrial Technology as "Development of Machining Technology for Low-Price Mold Special Steel for Export to Vietnam(KITECH JE-23-0020)".

참고문헌

- KS, 2018, Tool life testing in millilng- Part 2 : En d milling., KS B ISO 8688-2, Republic of Korea
- (2) Aldo Braghini Junior, Anselmo Eduardo Diniz and Fernando Teixeira Filho, 2009, Tool wear and tool life in end milling of 15-5 PH stainless steel under different cooling and lubrication conditions, International Journal Advanced Manufacturing Technology. 756~764.

인공신경망학습기법과 냉각 금형을 적용한 알루미늄 다단단조 공정설계

이인규¹, 이성윤¹, 황선광¹, 조아라¹, 정명식¹, 박재욱², 황원석², 이상곤^{1*}

Process design of aluminum multistage forging process using artificial neural network and cooling die

I. K. Lee¹, S. Y. Lee¹, S. K. Hwang¹, A. R. Jo¹, M. S. Jeong¹, J. W. Park², W. S. Hwang², S. K. Lee^{1*}

한국생산기술연구원 스마트제조기술연구그룹', 대한메탈 주식회사 기술연구소²

Key Words : Aluminum forging, Artificial neural network, Cooling die

1. 서 론

알루미늄 합금은 차량 경량화를 위해 적용되는 대표적인 경량소재로 그 적 용 범위가 지속적으로 증가되고 있으며, 단조공정을 통해 다양한 차량 부품들 이 제조되고 있다. 알루미늄 합금의 경우 스틸 소재 대비 성형성이 열악하기 때문에 적합한 단조공정 설계가 매우 중요하다. 본 연구에서는 자동차 조향장 치 모듈에 적용되는 알루미늄 파이프 요크 성형을 위한 다단 단조공정을 설 계하였으며, 이를 위해 인공신경망학습기법과 냉각 금형을 적용하였다. 설계 된 공정에 대하여 현장 실험을 통해 타당성을 평가하였다.

2. 요크 다단단조 공정설계

본 연구의 목표 제품은 Fig. 1의 파이프 요크이며, Fig. 2와 같이 총 6공정의 다단단조공정을 적용하였다. 6공정 중 OP10의 성형하중이 가능 높으며, OP10 의 성형하중 저감을 위해 마찰상수(m), 펀치 모서리 라운드 반경(R), 그리고 펀치 성형압출각을 공정변수로 하여 인공신경망학법기법을 적용하여 OP10의 하중을 최소화하는 공정변수를 설정하였다. 성형해석을 통해 실험계획법으로 도출된 공정변수 조합에 대한 성형하중을 평가하였으며, 이들을 학습데이터 로 활용하여 하중이 최소화되는 변수조합을 설정하였다. Fig. 3에 각 조건에 대한 성형하중과 이를 이용해 신경망학습으로 예측된 성형하중을 나타내었다. 신경망학습 결과 마찰상수 0.05, 펀치 라운드 반경 0.9mm, 그리고 성형압출 각 9.0~에서 성형하중이 가장 낮음을 알 수 있었다.





Fig. 3 Predicted load by ANN

포머를 활용한 알루미늄 다단단조공정의 경우 성형 싸이클이 빨라 성형 중 지나친 온도상승으로 인해 표면부 결함 발생 가능성이 높다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 Fig. 4와 같이 성형 중 지나친 온도상승 억제를 위해 냉각유를 활용한 냉각 금형을 적용하였다. 냉각 금형 적용 결과 성형 중 100℃ 이상 유지되던 온도를 20℃ 이하로 낮출 수 있었으며, 이를 통해 온도 상승에 따른 소착, 역압출 등의 결함 방지가 가능할 것으로 판단되었다.



3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 5에 설계된 공정을 통해 성형한 알루미늄 파이프 요크를 나타내었다. 실험결과 치수정도 및 표면상태가 우수한 요크 성형이 가능하였으며, 향후 다 양한 알루미늄 단조품 제조에 확대 적용이 가능할 것으로 판단된다.



Fig. 5 Manufactured aluminum pipe yoke

후 기

본 연구는 한국생산기술연구원의 지원(과제번호: JH230007, IR230012)으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- Lee, S. J., Lee, J. H., Joo, K. M., Woo, J. H., 2017, Effects Analysis of I-Shaft Torque Modulation according to the Ture Position of Yoke Bearing Hole, Tans. of KSME, 25:6, 742-749.
- (2) Lee, S. M. Lee, I. K., Lee, S. Y. Hwang, S. K., Park, J. W., Hwang, W. S., Moon, Y. H., Lee, S. K., 2023, Study on the Cold Forging Process of Aluminum Pipe Yoke using Sliding Die for Reducing Friction, Tans. Mater. Process., 32:1, 5-11.

Filling Valve Mounting Bracket 성형 공정 개발

윤재정^{1*}, 조상열²

Research on the development of mounting bracket for filling valve

J. J. Yun^{1*}, S. Y. Cho²

(재)경북하이브리드부품연구원¹, (주)지엘에스²

Key Words : Filling valve, Mounting bracket, Molding process, Bending, Trimming

1. 서 론

Filling Valve는 차량의 Air Suspention에 장착이 되는 부품으로 Filling Valve를 차체에 고정시켜 주는 Mounting Bracket 부품의 최적 성형 공정에 대한 연구를 진행하였다.



Fig. 1 Diagram of Mounting Bracket

2. 소재 물성 시험

성형해석을 위한 소재의 물성 확인을 위해 Mounting Bracket 소재 (SAPH440, 2t)에 대한 인장시험을 진행하여 해석용 물성 데이터(True strain-True stress)를 확보하였다.



Fig. 2 Result of Tensile Test

3. Mounting Bracket 성형해석

Mounting Bracket 부품의 최적 성형 공정 조건을 도출하기 위하여 금 형을 디자인하고 SIMUFACT.FORMING S/W를 활용하여 총 4가지(2 공정~4공정) 조건으로 성형해석을 진행하고 최적 공정을 도출하였다. 4 공정(Stamping - Bending - Piercing - Trimming), 3공정(Trimming - Stamping+Bending - Piercing), 2공정(Tri mming+Piercing ↔ Stamping+Bending)으로 해석을 진행하였으며 해석결과 2공정 (Stamping+Bending - Trimming+Piercing)으로 진행시 Bracket 형상 을 만족시키는 최소 공정을 확인하였다.



(a) Case Study 1 - 4 Process



4. 실험 결과 및 고찰

Mounting Bracket 최적 공정 도출을 위해 성형해석 S/W를 활용하여 최소 공정(2공정)으로 성형이 가능한 공정 조건을 도출 하였다.

후 기

본 논문은 중소벤처기업부에서 지원하는 2021년 구매조건부신제품개 발사업(국내수요처)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고 문 헌

 Chang Hee Suh, 2012, The Effects of Process Parameters of Multi-Stage Forming on Springback for a U-Channel made of Ultra-High-Strength Steel, KSME-A, pp. 283~288.





일러두기

- 이 자료는 한국연구재단이 2023년부터 본격적으로 추진하고 있는 "건전한 학술생태계 구축을 위한 캠페인"의 일환으로 제작되었습니다. 대학 등 연구기관에서는 이 자료를 해당 기관의 사정에 맞게 활용 하시기 바랍니다.
- 이 자료에 등장하는 부실의심 학술지는 논문에 대한 동료평가 등이 부실한 학술지로서 약탈적 학술지를 포괄하는 넓은 개념입니다.
- 문의처 : 한국연구재단 연구윤리지원센터 윤리정책팀 권태환 (042-869-6649)
CONTENTS

	들어가며	05
Π.	부실의심 학술지의 특징과 주의사항 1. 부실의심 학술지란?	06
	2. 부실의심 학술지의 발생 요인	
	3. 부실의심 학술지의 규모	
	4. 부실의심 학술지의 폐해	
	5. 부실의심 학술지의 특징	
	6. 부실의심 학술지의 위험도 분류	
	7. 부실의심 학술지 리스트	
	8. MDPI와 부실의심 학술지 논쟁	
Ⅲ.	<mark>부실의심 학술지에 대한 연구자들의 경험과 인식</mark> 1. 세계 연구자들의 부실의심 학술지에 대한 경험과 인식 2. 한국 연구자들의 부실의심 학술지에 대한 경험과 인식	14
IV.	부실의심 학술지 이용 예방 방법	16
V.	맺음말	18





부실의심 또는 약탈적 학술지 이용 예방







> 연구개발 투자 확대에 따라 연구논문 출판 수가 꾸준히 증가

우리나라의 연구개발 투자는 매년 꾸준히 증가하여 정부연구개발 예산은 2023년 기준 약 31조원, 국가 총 연구개발비는 2021년 기준 약 102조원으로 세계 5위의 수준에 이르렀습니다. 연구개발 투자 증가에 힘입어 우리나라의 SCI급 학술지 논문 출판 실적도 1980년 141편에서 2021년 약 8만 3천여편으로 급성장하여 세계 12위 수준을 유지하 고 있습니다.

> 부실의심 학술지 논문의 증가에 대한 사회적 지적과 비판

이러한 양적 성장에도 불구하고, 최근 국회와 언론 등에서는 우리나라의 연구자들이 질적 수준이 부실한 것으로 의심받고 있는 해외 학술지에 게재하는 논문의 비율이 상당이 높다는 것을 지적하고 있습니다. 특히, 국가연구개발사업의 성과 중 부실의심 학술지 출판비율도 무시하지 못할 수준에 이르렀다고 비판하고 있습니다.

> 부실의심 학술지에 대한 주의와 경계가 필요

이에 연구자 여러분께서는 국가연구개발 성과물을 학술논문으로 게재할 때 부실의심 학술지를 피하고, 모범적인 관례를 따르는 학술지를 이용하여야 하겠습니다. 특히 평소에 잘 모르는 학술지에 논문을 투고하려는 경우에는 이 자료에서 제시한 사항들을 참고 하여 해당 학술지의 부실 여부를 신중하게 진단해 보시기 바랍니다.





1. 부실의심 학술지란?

부실의심 학술지가 무엇인지 대해 국제적으로 합의된 정의는 없습니다. 그렇지만 학술 발전과 지식 진보를 위해 모범적으로 동료심사를 실시하는 학술지와 달리 상업적 이익추구 때문에 동료심사를 부실하게 실시하는 학술지를 부실의심 또는 약탈적 학술지라 부르고 있습니다. 이들은 정당한 학술지 처럼 보이게 하여 순진한 연구자를 속이기 때문에 해외에서는 대체로 약탈적 학술지(Predatory Journal) 라고 부르고 있습니다.

2. 부실의심 학술지의 발생 요인

전통적인 학술출판 모델은 출판사가 독자들에게 구독료를 받아 논문들을 학술지의 형태로 발행하고 보급하는 방식이었습니다. 이러한 모델에서는 출판사가 독자들을 통해 이익을 창출하기 때문에 학술지에 게재되는 논문들의 질적 수준 관리가 비교적 쉬웠습니다.

그런데 인터넷이 발달하면서 학술지 출판 모델이 급격하게 변화되었는데, 이를 촉발시킨 것이 2002년 부다페스트 오픈 액세스(Budapest Open Access Initiative (BOAI)) 선언이었습니다. 이 선언 이후 과학의 개방과 공유를 통한 글로벌 난제 해결을 촉진하기 위한 오픈 액세스(OA) 운동이 본격화 되었습니다. 오픈 액세스 방식 출판의 가장 두드러진 특징은 학술논문의 게재비용을 저자 등 논문 게재를 원하는 자가 부담하고 논문은 인터넷을 통해 무료로 개방하는 것입니다. OA 출판 모델은 현재도 계속해서 늘어나고 있습니다.

그러나 이를 악용해 논문에 대한 제대로 된 동료심사를 하지 않고 고액의 논문 게재료를 받아 수익을 창출하는 기업형 학술출판이 나타났고, 그 결과 부실하거나 약탈적인 학술출판이 생겨나게 되었습니다. 참고로 국제한림원연합회는 1. 학술출판의 상업화, 2. 정량적 연구업적 평가, 3. 부실한 동료심사 등을 약탈적 학술활동을 유발하는 3대 요인으로 꼽고 있습니다(IAP, 2022).

[약탈적 학술활동을 유발하는 3대 요인]

학술출판의 상업화

정량적 연구업적 평가

부실한 동료심사

※ 출처 : Inter-academy partnership (IAP) (2022), Combating predatory journals and conferences.



3. 부실의심 학술지의 규모

결론부터 말하자면 부실의심 학술지의 정확한 이용 규모는 파악하기 어렵습니다. 그 이유는 앞서 언급한 바와 같이 공식적인 부실의심 학술지 리스트가 없기 때문입니다. 그러나 여러 학자들이 비올 리스트(Beall's List)나 캐벨스(Cabells)社의 약탈적 학술지 보고서(Predatory Reports) 등을 활용하여 부실의심 학술지 이용 규모를 추정하고 있습니다.

국제한림원연합회가 캐벨스社의 약탈적 학술지 보고서를 활용하여 분석한 바에 따르면, 2022년 기준으로 부실의심 학술지는 전 세계적으로 약 15,500개가 넘는데 그 수가 매년 증가하고 있는 것으로 추정된다고 합니다(IAP, 2022). 이코노미스트지(The economist)도 같은 자료를 근거로 2010년에 약 1,000개 가량이던 부실의심 학술지가 2018년에는 약 13,000개로 증가하였다고 보도하였습니다.



한편, 핀란드 학자들이 2014년 판 비올 리스트를 기준으로 996개의 약탈적 학술출판기업에서 발행 하는 11,873개 학술지를 분석한 결과에 따르면, 부실의심 학술지의 출판 규모가 2010년에 약 5만 3천건 에서 2014년 약 42만건으로 증가한 것으로 나타났습니다(Shen & Björk, 2015).



4. 부실의심 학술지의 폐해

부실의심 혹은 약탈적 학술지에 논문을 게재한 경우 연구자에게 발생할 수 있는 가장 심각한 문제는 연구자의 연구결과를 제대로 인정받지 못하게 될 수 있다는 것입니다.

또한, 국제한림원연합회에 따르면 약탈적 학술지는 좋은 연구를 사장시키거나 빈약한 연구를 확산 시킴으로써 학술 생태계를 망가지게 합니다(IAP, 2022). 이를 좀 더 구체적으로 살펴보면, 약탈적 학 술지는 품질이 보장되지 않은 연구결과를 유통함으로써 잠재적으로는 "새로운 지식의 손실", "연구 시 간과 자원의 낭비", "연구결과의 왜곡과 가치 저하", "연구결과를 활용한 증거기반 공공정책의 훼손"을 초래하게 됩니다(IAP, 2022).



※ 출처 : Inter-academy partnership (IAP) (2022), Combating predatory journals and conferences.



5. 부실의심 학술지의 특징

현재까지 부실의심 학술지가 무엇인지 대해 국제적으로 합의된 정의는 없습니다. 그러나 연구자들에게 다량의 학술 출판을 압박하는 학계의 분위기와 오픈 엑세스 출판 방식 등을 악용하여 연구자들을 유혹 하는 속성을 생각하면 부실의심 학술지의 특징을 유추할 수 있습니다. 부실의심 학술지의 특징은 매우 다양하나, 국제한림원연합회는 주요 특징으로 다섯 가지를 들고 있습니다(IAP, 2022). 또, 국제한림원 연합회는 부실의심 학술지의 약탈적 사기 행위가 계속 진화하고 있어, 부실의심 학술지와 일반적 학술지 간의 구분이나 경계가 점점 어려워지므로 특별한 주의가 필요하다고 강조하고 있습니다(IAP, 2022).





6. 부실의심 학술지의 위험도 분류 (IAP, 2022)

국제한림원연합회는 부실의심 학술지를 위험 정도에 따라 고위험에서 저위험까지 6개 등급으로 구분 하면서 그 특징을 다음과 같이 설명하고 있습니다.



※ 출처 : Inter-academy partnership (IAP) (2022), Combating predatory journals and conferences.

첫 번째 등급은 사기성 학술지(Fraudulent journals)입니다.

이들 학술지는 저명한 학술지와 유사한 학술지 이름을 사용하여 연구자를 속이는 등 부정한 방법을 사용하고 있습니다. 참고로 국제한림원연합회는 이 유형에 속하는 대표적인 출판사로 오믹스출판그룹 (OMICS Publishing Group)을 지목하고 있습니다.

두 번째 등급은 기만성 학술지(Deceptive journals)입니다.

이들 학술지는 편집위원회의 구성을 속이거나 동료심사, 출판 비용 등을 속이는 행위를 저지르고 있습니다.

세 번째 등급은 학계에서 통용하기 어려운 저품질 학술지

(Unacceptable low-quality journals)입니다.

이들 학술지에 출판된 논문은 학계에서 받아들이기 어려운 주장을 펼치거나 제대로 된 증거가 없는 논문들을 출판하는 학술지를 의미합니다.



네 번째 등급은 저품질 학술지(Low-quality journals)입니다.

이들 학술지는 불투명한 출판 정책을 가지고 있으면서 청탁 등을 통해 논문을 출판하여 논문의 질이 떨어지는 특성이 있습니다.

다섯 번째 등급은 저품질 가능성을 내포한 학술지

(Well-intentioned, promising low-quality journals)입니다.

출판사에서 질 낮은 학술지를 줄이려는 노력을 하므로 향후 발전할 가능성이 있는 학술지를 가리킵니다.

여섯 번째 등급은 의심스런 학술지(Questionable quality journals)입니다.

이들 학술지는 다른 약탈적 학술지에 비해 상대적으로 위험도는 낮지만, 여전히 주의를 기울여야 하는 학술지입니다. 이들 학술지는 빠른 동료심사를 약속함으로써 논문의 질이 의심스러운 면이 있지만 전통 학술지와 유사한 방식으로 동료심사를 진행합니다. 참고로 국제한림원연합회는 이 유형에 속하는 대표적인 출판사로 MDPI를 지목하고 있습니다.

국제한림원연합회가 분류한 바와 같이 부실의심 학술지는 그 위험 정도에 따라 고위험과 저위험으로 구분할 수 있습니다. 그러나 위험도가 낮다고 해서 반드시 부실의심 학술지가 아니라고 단정할 수 없다는 점을 명심해야 합니다.

연구자 여러분께서는 이러한 학술지 분류등급을 인지하시어 "의심스러운 출판 정책을 가지고 있거나, 동료심사가 지나치게 빠르거나, 종종 질이 낮은 논문들을 출판하는 학술지들"에 대해서는 정밀하게 점검하신 후 논문을 투고하시기 바랍니다.





7. 부실의심 학술지 리스트

결론부터 말하자면 누구나 인정할 수 있는 공신력이 있는 부실의심 학술지 리스트는 없습니다.

그러나 전 세계 많은 학자들은 콜로라도덴버대학교 도서관 사서였던 제프리 비올(Jeffery Beall)이 만든 부실추정학술지 리스트인 '비올 리스트(Beall's List)' 또는 학술분석 전문기업인 캐벨스(Cabells) 社가 만든 '약탈적 학술지 보고서(Predatory Reports)'를 활용하여 부실의심 학술지 현황을 분석하고 있습니다.

이들 리스트가 부실의심 학술지를 파악하는데 매우 유용하다는 점은 부인할 수 없습니다. 그러나 이는 국제 학술단체가 공식적으로 인정하는 리스트는 아닙니다.

참고로 일부 국가에서는 이들 리스트를 활용하거나 자체적으로 부실의심 학술지 리스트를 만들어 제공 하여 연구자들이 해당 학술지를 활용할 때 주의하여 사용하도록 하고 있습니다. 예를 들어 중국 과학원 에서는 국제학술지 조기경보목록(2021)을 공포하였고, 노르웨이 고등교육역량위원회에서는 X등급 (Level-X)인 약탈적 학술지 리스트를 제공하고 있습니다.



8. MDPI와 부실의심 학술지 논쟁

최근 국내·외 학계에서 부실의심 학술지 논쟁과 관련하여 찬반 논쟁이 가장 뜨거운 출판사가 바로 MDPI인데, 그 성장세가 매우 가파릅니다.

MDPI는 2018년에 약 6만 7천편의 논문을 출판하였으나, 2021년에는 3.6배가 증가한 24만편의 논문을 출판하였습니다. 이를 통해 MDPI는 2021년에 전 세계 연구자들로부터 약 8,477억원의 논문 게재료를 받은 것으로 추정됩니다.

이러한 MDPI 급성장의 배경은 부실출판으로 의심받고 있는 빠른 논문심사와 특별호(special issues) 논문의 과도한 발간인데, 이것이 부실논쟁의 핵심이기도 합니다. 참고로 MDPI는 2021년 기준 383개의 학술지들이 논문 투고에서 게재 승인까지 평균 38일이 소요되는 것을 자랑스럽게 선전하고 있습니다.

참고로 대한수학회는 2021년에 익명의 외국 수학자로부터 MDPI가 발간하는 특정 학술지(M** 저널 등)에 대한 우려 메일 수신 후 학회 회원들에게 MDPI 논문을 연구실적에서 불인정할 것을 권고한 바가 있고, 일부 대학에서는 신임교원 임용 시 MDPI의 특정 학술지(S** 저널 등)을 연구실적으로 인정하지 않은 사례가 있습니다.

구분	2018	2019	2020	2021
논문 투고(SUBMISSIONS RECEIVED) <단위 : 1,000건>	165.5	269.1	381.1	481.1
논문 출판(ARTICLES PUBLISHED) <단위 : 1,000건>	67.3	106.2	165.2	240.5
논문 투고부터 출판까지의 기간 <단위 : 일> (MEDIAN TIME : SUBMISSION TO PUBLICATION)	39	39	35	38
MDPI 출판 학술지 수	203	218	299	383
WEB OF SCIENCE 등재 MDPI 학술지 수	137	153	162	205
SCIE / SSCI 등재 MDPI 학술지 수	52	75	84	98
SCOPUS 등재 MDPI 학술지 수	118	140	165	179
MDPI 학술지 논문 게재료(APCs) <2021 기준>	500 ~ 2,400 <평균 : 1,258> 스위스프랑			
MDPI 전체의 논문 게재료 총액 추정치 <2021 기준>	481,100건 * 1,258프랑 * 1,401원 = 약 8,477억원			

[MDPI의 논문 출판 실적 관련 주요 통계]

※ 출처 : MDPI Annual Report 2021 통계 재구성





1. 세계 연구자들의 부실의심 학술지에 대한 경험과 인식 (IAP, 2022)

국제한림원연합회는 2022년 보고서를 통해 전세계 112개국의 1,872명의 연구자들을 대상으로 부실 의심 또는 약탈적 학술행위에 대해 시행한 설문조사 결과를 발표하였습니다.

이 조사에 따르면 전세계 연구자 82%는 약탈적 학술지 논문 게재 등의 문제가 해당 국가에 이미 심각한 수준이거나 급증하고 있다고 응답하고 있습니다. 또 연구자의 11%가 약탈적 학술지에 논문을 투고한 경험이 있으며, 8%는 자신이 약탈적 학술지를 이용하였는지 여부를 모른다고 응답하였습니다.



[약탈적 학술활동이 성행하는 정도]

※ 출처 : Inter-academy partnership (IAP) (2022), Combating predatory journals and conferences.

2. 한국 연구자들의 부실의심 학술지에 대한 경험과 인식

한국연구재단은 2022년 4월에 3,268명의 연구자들을 대상으로 부실의심 학술지와 학회에 대해 설문조사를 실시하였습니다.

이 조사에 따르면, 우리나라 연구자의 28.3%는 부실의심 학술지의 존재를 모르거나 부정하는 것으로 나타났고, 34.5%의 연구자는 부실의심 학술지 예방 안내를 받지 않았거나 모른다고 응답하였습니다. 한편 부실의심 학술지 이용이 발생하는 이유는 1. 연구자의 인식 부족(23.8%), 2. 연구자 소속기관의 업적평가(23.7%), 3. 연구비 지원기관의 연구업적평가(21.1%), 4. 낮은 연구 수준(19.4%) 순으로 분석 되었습니다.

[해외 부실의심 학술지/학술대회 존재 인식 여부]



[부실의심 학술지/학술대회 예방 안내 수신 여부]

[부실의심 학술지/학술대회 이용 이유]

23.8%

23.7%

21.1%

19.4%









특정 학술지가 부실한지 여부를 점검하는 방법은 크게 두 가지로 구분할 수 있습니다. 첫째는 **학술지에 대한 자가 점검 사이트나 툴을 활용하는 방법**이고, 둘째는 **학술지에** 대한 Black 또는 White List를 활용하는 방법입니다.

> 자가 점검 사이트 활용

연구자 여러분께서 평소에 잘 모르는 학술지를 이용하고자 하는 경우, 아래 사이트 등 다양한 자가 점검 사이트나 툴을 활용하여 해당 학술지의 부실 여부를 점검하시기 바랍니다.



[국내외 연구자들이 많이 활용하는 자가 점검 사이트(예시)]

건전학술활동지원 시스템(SAFE) <https: safe.koar.kr=""></https:>	● 개별 학술지의 SCI/SSCI, SCOPUS, DOAJ 등재 등에 대한 다양한 정보를 제공<한국과기술정보연구원(KISTI)이 운영>
Think-Check-Submit 캠페인 <http: thinkchecksubmit.org=""></http:>	 ISSN International Center 등 글로벌 학술출판단체들이 공동으로 참여 하는 약탈적 학술지 점검 운동 Think : 연구결과를 믿을 만한 저널에 투고하려고 하나요? Check : 투고하기로 선택한 저널에 대한 주요 사항을 점검하시기 바랍니다. Submit : 향후 경력에 도움을 줄 것이라 생각되면 투고하십시오.

> 블랙 또는 화이트 리스트 참고

학술지에 대한 리스트를 활용하는 방법은 가장 간편한 방법이지만, 전적으로 신뢰할 수 있는 리스트가 존재 하지 않기 때문에 활용 시 세심한 주의가 필요합니다. 그 이유는 특정 학술지가 창간 초기에는 부실하였지만 점차 일반적인 학술지로 진화하는 경우도 있고, 그 반대 경우도 있기 때문입니다. 따라서 학술지를 블랙 리스트 또는 화이트 리스트로 분류하는 제도의 도입은 신중해야 하며, 제도를 도입하기 위해서는 해당 연구기관이나 학술단체 구성원들의 동의가 있어야 할 것입니다. 참고로 현재로선 미국 등 선진 국가들이나 글로벌 학술단체 들이 공통으로 인정하는 리스트는 없습니다.



[학술지에 대한 블랙 리스트(예시)]

일부 국가 공적기관 작성	 노르웨이 고등교육역량위원회 X등급(약탈적) 학술지 리스트 <https: forside="" kanalregister.hkdir.no="" publiseringskanaler=""></https:> 중국 과학원 국제저널 조기경보목록 <http: 202101="" kyjz="" t20210101_5849507.html="" www.igg.cas.cn="" xwzx=""></http:>
개인 또는	 Beall's List < https://beallslist.net/> Retraction Watch Hijacked Journals Checker
민간회사 작성	< https://retractionwatch.com/the-retraction-watch-hijacked-journal-checker/> Cabells 社의 Predatory Reports < https://www2.cabells.com>, (유료 서비스)





연구자 여러분의 소중한 연구성과가 그 가치를 온전히 인정받기 위해서는 논문이 출판될 학술지를 신중하게 선택해야 합니다.

이에 연구결과를 논문으로 출판 예정이면 해당 학술지가 모범적인 동료심사의 관례를 따르고 있고 관련 학계 에서 신뢰받는 건전한 학술지인지를 점검해야 합니다.

아울러 연구자께서 지도하고 있는 학생이나 연구원이 연구결과를 논문으로 출판하고자 하는 경우, 해당 학술지가 관련 학계에서 인정할 수 있는 곳인지 확인하고 조언을 제공해야 합니다.

참고로 평소에 잘 모르는 학술지를 이용하고자 할 때에는 다양한 점검 도구를 활용하여 사전에 점검해 보시 기를 권고합니다.

| 국제한림원연합회가 연구계에 권고한 사항

- 🚹 약탈적 학술지의 위험을 최소화시키기 위해 세심하게 주의하십시오.
- 2 알면서도 약탈적 학술지를 이용(출판, 인용 등)하는 것을 멈추어야 합니다.
- 학생들을 적절하게 지도하기 위해서는 약탈적 학술지 문제에 대해 지도교수나 멘토는 책임감을 가져야 합니다.
- 🙆 학술지들이 무분별하게 보내는 스팸메일을 무시하시기 바랍니다.
- 6 연구자들은 동료심사 모범 사례에 익숙해져야 하며, 역량 강화를 위해 동료심사자로서 봉사해야 합니다.
- 6 정량 평가보다 질적 평가를 옹호하는 협의체에 적극적으로 참여하십시오.

※ 출처 : Inter-academy partnership (IAP) (2022), Combating predatory journals and conferences.

| 참고문헌

Inter-academy partnership (IAP) (2022), Combating predatory journals and conferences.

Shen, C., & Björk, B. C. (2015). 'Predatory'open access: a longitudinal study of article volumes and market characteristics. BMC medicine, 13(1), 1-15.

The economist (May 30th 2020), How to spot dodgy academic journals









2023년 교육자료

부실의심 또는 약탈적 학술지 이용 예방

발	행	일	2023년 4월 21일
발	행	인	이광복
발	행	처	대전광역시 유성구 가정로 201 한국연구재단
편		집	연구윤리지원센터
디 자 인 / 인 쇄		인 쇄	디자인심원 042)486-5777

※ 이 책자의 파일은 한국연구재단(nrf.re.kr)과 연구윤리정보포털(cre.re.kr)에서 다운로드 할 수 있습니다.

2023 한국생산제조학회 춘계학술대회 논문집

발행일 2023년 07월 12일 (반년간)

발행인 김 병 희

- 편집인 김석민
- 발행소 사단법인 한국생산제조학회 서울시 용산구 한강대로 372 센트레빌 아스테리움 서울 에이동1206호

E-mail info@ksmte.kr

Homepage https://ksmte.kr

- 전 **화** 02-501-9172
- **팩 스** 02-501-9173

ISSN 2508-5387

- ※ 원고, 광고, 기술지원 접수 : 김혜원 (전화 02-772-9172)
- 인 쇄 도서출판 한림원(주)서울특별시 중구 퇴계로51길 20 1303(오장동, 넥서스타워)전화 02-2273-4201, 팩스 02-2279-9083E-mailhanrim@hanrimwon.com



| 한국생산제조학회

서울특별시 용산구 한강대로 372 센트레빌 아스테리움 서울 A동 1206호 TEL : (02)501-9172, (02)310-9172, (02)772-9172 FAX : (02)501-9173 www.ksmte.kr