제1발표장

셀룰로오스 나노섬유의 제지산업으로의 활용
Applications of Cellulose Nanofiber (CNF) in Paper Industry

*조해민[1], 이지영[2+]
* Hae Min Jo [1], Ji Young Lee[2+]

[1] 경상국립대학교 농업생명과학연구원, [2] 경상국립대학교 환경재료과학과/농업생명과학연구원
[+] E-mail: paperyjy@gnu.ac.kr

Keywords: Nanocellulose, cellulose nanofiber (CNF), cellulose nanocrystal (CNC), application

1. 서론

셀룰로오스 나노섬유(cellulose nanofiber; CNF)는 천연 셀룰로오스 섬유를 다양한 처리를 통해 섬유폭을 100 nm 이하 수준으로 나노화한 기능성 천연섬유이다. CNF는 강한 결정체로 구성되어 있기 때문에 철금속에 비해 5배 높은 강도와 유리섬유의 1/10 이하의 열팽창계수를 가지고 있고 무엇보다도 식물자원으로 제조되기 때문에 지속가능한 차세대 소재로 평가받고 있다. 본 발표에서는 제지분야에서 CNF의 활용 기술과 향후 전망에 대해 소개하고자 한다.

2. 제지분야 활용 기술

2.1 지력증강제

은행권, 보안용지 등과 같은 특수지 분야에서는 종이의 내구성을 높이기 위해 다양한 지력증강제를 사용하고 있지만 대부분 친환경적이지 못한 단점이 있다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 CNF는 나노수준으로 크기가 작기 때문에 장섬유 사이에 존재하는 공극에 위치하면서 장섬유 간의 가교역할을 하여 종이의 강도를 향상시킬 수 있다. 특히 CNF는 목질계 섬유에서 유래한 친환경 소재이기 때문에 사용량의 제한이 없는 장점이 있다. 따라서 고부가가치 특수지의 지력증강제로의 활용성이 매우 높은 것으로 판단된다.

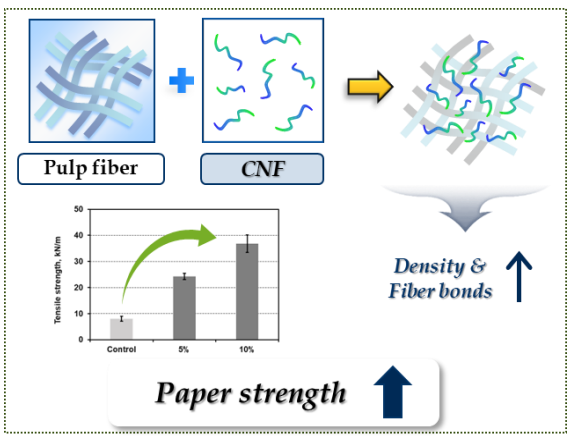


Fig. 1. Mechanism of paper strength enhancement.

2.2 배리어 코팅제

CNF는 기존 셀룰로오스 섬유보다 기계적 특성과 산소 투과를 차단하는 특성이 우수하며 수소결합을 통한 강한 네트워크를 형성하기 때문에 배리어 코팅제로 활용성이 높은 것으로 평가받고 있다. Fig. 2에서는 CNF의 배리어 코팅효과를 도시하였는데 종이 표면에 CNF로 코팅을 하면 종이의 다공성이 감소하면서 산소 투과율(oxygen transmission rate; OTR)이 급속히 낮아지게 된다. OTR이 낮은 포장용지는 신선도 유지가 가능한 기능성 포장에 활용할 수 있기 때문에 CNF를 이용한 배리어 코팅은 매우 유용한 기술로 평가된다.

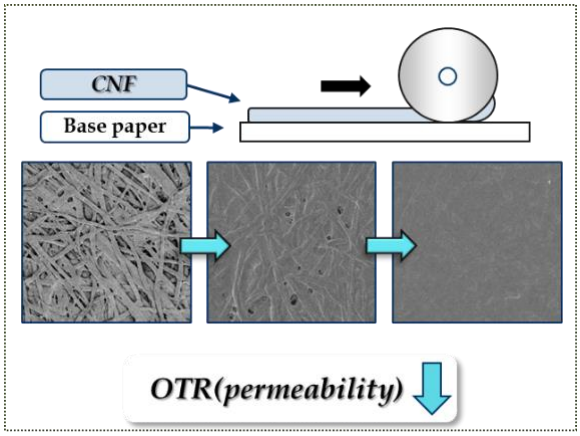


Fig. 2. Barrier coating effect using CNF.

3. CNF에 대한 전망

향후 세계적으로 셀룰로오스 나노섬유는 매우 다양한 분야에서 활용될 전망이고 세계 시장은 매년 급속히 성장할 것으로 예상된다. 해외 컨설팅업체(미국 Transparency사)와 일본 경제산업성에 따르면 다양한 산업에서 셀룰로오스 나노섬유의 수요가 매년 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 특히 2030년에는 전세계 시장이 5억 달러 이상으로 성장할 것이고 북중미, 유럽, 아시아(주로 일본, 한국, 중국)가 주요 시장을 형성할 것으로 예상된다. 주요 활용 분야로는 복합소재, 제지, 식품포장, 페인트, 에너지 분야 순으로 예측되고 있다. 그러나 CNF 시장의 성장을 견인하기 위해서는 CNF의 활용성을

높이기 위한 기술개발이 요구된다. CNF의 활용성을 높이기 위해서는 ① CNF의 생산성과 가격 안정성 확보를 위한 효율적인 생산기술, ② CNF의 분산성과 점도 조절기술, ③ 타 소재와의 상용성을 높일 수 있는 소수화 기술 등이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

사사
이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구 재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2022R1A2C1007565).

한지소재의 산업적 활용을 위한 친환경 수분산 폴리우레탄 수지 함침 한지필름 제조 및 특성 평가

Preparation and Properties of Eco-friendly Waterborne Polyurethane Impregnated Hanji for Industrial Application as Hanji Films

*박재형 [1†], 박현주 [1], 이지은 [1], 이진우 [1], 김창겸 [2]
*J.H. Park [1], H.J. Park [1], J.E. Lee [1], J.W. Lee [1], C.K. Kim [2]

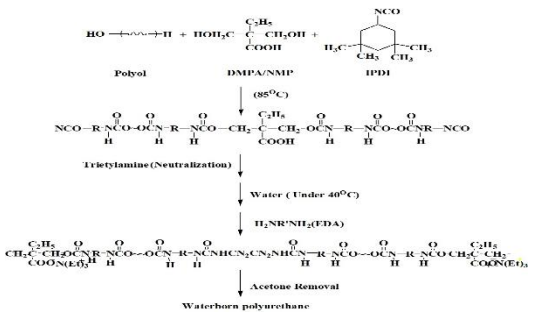
[1] 한국소재융합연구원, [2] (주)대진에스앤티
[†] E-mail: jhpark@kimco.re.kr

Keywords: Eco-friendly, Han-ji, WBPU, Impregnating

1. 서론

한지는 뽕나무 껍질을 가공하여 만든 종이로 한지의 주요한 성분인 셀룰로오스 섬유의 수산기로 인해 친수성이 우수하고 섬유 사이의 미세 기공으로 인해 다공성 구조를 가지므로 외부로부터의 오염에 취약하다. 이러한 한지의 특성을 보완하기 위해서는 셀룰로오스 섬유의 친수성을 조절하거나 섬유간 의 공극을 조절하는 표면처리가 필수적이다. 표면처리 또는 함침가공 방법으로 적용 할 수 있는 고분자 소재로는 우레탄, 아크릴, EVA 수지 등이 있으며, 친환경 소재로 널리 사용되기 때문에 용제형보다는 수성형이 더 많이 사용된다. 특히, 우레탄 수지는 soft segment 및 hard segment 조절을 통하여 강도 조절이 용이하고, 기계적 특성이 우수하며 수성형의 경우 VOCs를 함유하지 않아 친환경적이다. 박막형의 한지를 함침 가공하기 위해 수분산 우레탄계 코팅제로 한지를 처리함으로써 코팅막을 형성시켜 인장강도, 신장률 등의 기계적 강도가 향상되고, 내마모성, 접착강도를 증가시킬 수 있다. 본 연구에서는 다양한 폴리올 종류에 따른 수분산 폴리우레탄 수지를 합성하고, 합성 수지를 이용하여 한지를 함침시켜 한지의 내구성을 높이고 한지 소재의 상업적 응용을 위한 가능성을 검토하였다.

2. 수분산 폴리우레탄 수지 합성



Scheme 1. Synthesis process of WBPU coatings

3. 결과 및 결론

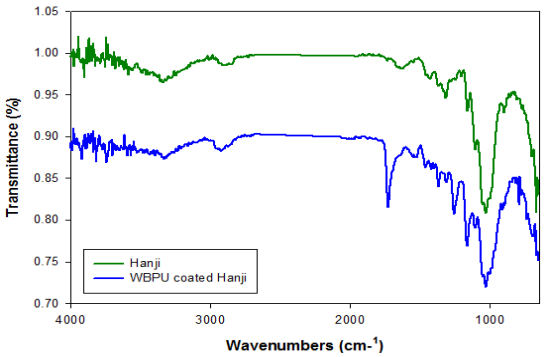


Fig. 1. FT-IR spectra of Hanji and WBPU coated Hanji

본 연구에서 폴리올 종류에 따른 수분산 폴리우레탄 코팅제를 합성 하고 종류에 따른 한지 함침 후 기계적 특성 및 표면 특성을 평가하였다. 그 결과 기존 한지보다 수분산 폴리우레탄 수지로 함침된 한지의 기계적 강도가 향상되는 것을 확인하였다. 그리고 물과 기름에 대한 내수성 및 발수성이 향상되었음을 확인하였다. 또한 기재 원단에 대한 접착강도도 증가함을 확인하였다. 따라서 한지의 친환경 수지를 이용한 함침 가공을 통해 강도 및 내구성 향상이 가능함을 확인하였으며 산업적으로 응용이 가능할 것으로 판단하였다.

참고문헌

[1] KJ Kim et al. J. Korea TAPPI. 43(2):40-48, 2011.
[2] KJ Kim et al. J. Korea TAPPI. 42(2):4,201.

감사의 글

본 연구는 중소기업기술정보진흥원에서 지원하는 중소기업 기술혁신개발사업(과제번호: S3257433)의 지원을 받아 수행되었습니다.

친환경 복합소재 적용을 위한 유기용매 공정 유래 섬유 소재 제조 특성 연구
Characterization of organosolv process-derived fiber materials for eco-composites application

*김강재 [1+], 김승근 [2], 권오훈 [3]
* K.J. Kim [1], S. G. Kim [2], O.H. Kwon[3]

[1] 경북대학교 산림과학조경학부 임산공학전공, [2] 지리산한지(유), [3] 에코융합섬유연구원
[+] E-mail: jaeya0624@knu.ac.kr

Keywords: Organosolv process, glycol ether, lignocellulosics, eco-composite

1. 서론

본 연구에서는 식품 포장을 위한 친환경 복합소재 개발의 일환으로 글리콜 에테르-유기용매 공정의 반응 조건을 달리하여 목질계 바이오매스로부터 다양한 물리 및 화학적 특성을 갖는 리그노셀룰로오스 미세섬유(lignocellulosic micro-fines, LCMFs)를 제조하고 재사용을 위한 회수 특성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서는 국내에서 자생하는 대표적인 침엽수종인 소나무(*Pinus densiflora*) 목분을 원료로 사용하였다. 유기용매 펄프화를 위한 반응시약은 BP 197°C의 0.99 비중을 갖은 글리콜에테르($C_6H_{14}O_3$)를 공정의 주요 용매로 사용하였으며 이 때 95%의 황산을 촉매로 사용하였다.

2.2 유기용매 공정

본 연구의 섬유화 및 용매 회수를 위한 유기용매 공정은 Kim 등(2020, 2022)의 연구[1,2]에 따라 진행하였다. Lab. scale용 microwave reactor를 이용하여 90초간 교반을 하며 반응을 진행하였다. 반응이 완료된 시료는 폐액과 LCMFs를 분리하여 세척 후 시료로 사용하였다. 반응 과정에서 발생되는 폐액은 상등액을 분리 및 농축하여 다음 공정의 용매로 재사용하였다.

3. 결과 및 고찰

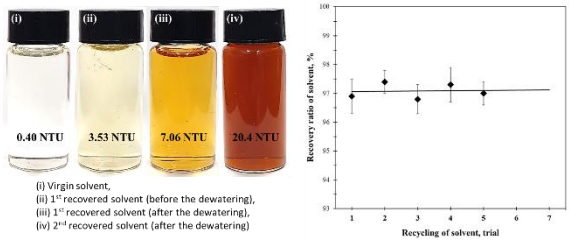


Fig. 1. Turbidity and solvent recovery of black liquor.[2)]

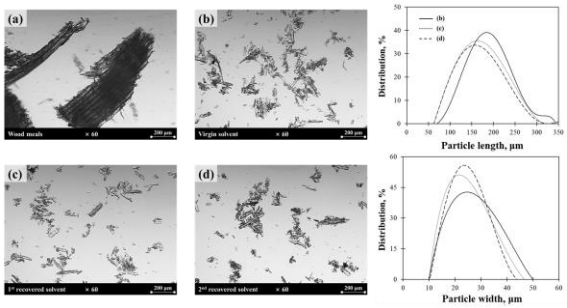


Fig. 2. Particle distribution of LCMFs.[2)]

Table 1 Neutral sugar content in LCMFs

Unit: %	Wood meals	Virgin solvent	1st recycling	2nd recycling
Total sugar	63.5	88.7	90.3	89.4
Glu.	67.2	90.9	91.5	91.2
Man.	16.8	5.2	4.9	5.0
Gal.	4.0	1.6	1.5	1.7
Xyl.	9.4	2.0	1.7	1.9
Ara.	2.6	0.3	0.4	0.2

4. 결론

본 연구에서는 유기용매 공정에 의해 제조되는 LCMFs와 공정 폐액을 회수하여 재사용하였을 때의 특성을 분석하였다. 그 결과, 용매 회수율은 약 97%이며 반복적으로 재사용하여도 용매 회수율은 비슷한 수준을 유지하였다. 이 때 얻어지는 LCMFs 또한, 수율 및 리그닌 함량 그리고 입자의 크기가 동일하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 다만, 이 공정을 통해 얻어지는 LCMFs는 주로 glucose 유래 성분만 존재하기에 용해용 섬유 제조에 가능성이 높은 소재로 확인되며 이후 연구에서는 재생 필름 및 복합화 특성을 연구해 보고자 한다.

참고문헌

[1] KJ Kim et al. *Eur J Wood Prod.* 78:821-829, 2020.
[2] KJ Kim et al. *Holzforschung* 76:535-543, 2022.
[3] KJ Kim *J. Korea TAPPI* 55(3):32-40, 2023.

자원 순환용 폐기물을 함유한 신발 창제품용 발포체의 발포 및 기계적 특성
Foaming and mechanical properties of foam for shoe sole products containing waste for resource recycling

*이지은[1+], 이진우[1], 이재영[1], 황재연[2], 채건하[2]
*Jieun Lee[1+], Jinwoo Lee[1], Jaeyoung Lee[1], Jaeyeon Hwang[2], Geonha Chae[2]

[1] 한국소재융합연구원, [2] ㈜지엔인터내셔널
[+] E-mail: jelee@kimco.re.kr

Keywords: Foam, recycle IP, Shoe sole, crosslinking, Expansion

1. 서론

고분자 발포체는 부피에 대한 무게비가 낮기 때문에, 재료 사용의 절감 및 경량화가 가능할 뿐만 아니라 원재료가 가지지 못하는 우수한 충격강도, 굴곡성, 단열성, 흡음성 등 여러 가지 특성을 가지고 있으므로 다양한 고분자 재료를 이용한 여러 가지 발포체가 등장하였다. 최근에는 양적 시장과 더불어 발포체 제조에 대한 기술에 대해서도 큰 발전을 가져왔을 뿐만 아니라, 2000년도 미 시장에서만 20억 달러 상당의 다양한 산업에 쓰였다.

특히, 고분자 발포체가 가장 많이 사용되는 신발산업의 소재 중에서 가장 많은 부피를 차지하는 미드솔 제품의 경우엔, 화학가교와 발포에 의해 그 성능이 완성되고, 환경 내구성이 우수하여 잘 썩지 않는 제품으로 인식되어 오고 있지만, 화학제품의 사용이 급속도로 증가하면서 다양한 환경 문제가 발생되면서, 플라스틱류의 사용을 줄이거나, 재활용 하려는 움직임이 커지고 있다.

현재 나이키를 비롯한 글로벌 빅브랜드에서 추구하는 방향은 제품 제작 시 생기는 낭비와 폐기물을 줄이는 것. 친환경에 적합한 제품을 만드는 것이라고 할 수 있음. 나이키 역시 페트병으로 유니폼을 만들거나 플라스틱을 대체할 소재를 찾는 식으로 오래 전부터 친환경을 위한 노력을 하고 있으며, 현재 폐기물로 만든 운동화를 출시한 상태이며, 나이키의 '스페이스 히피' 컬렉션은 어퍼에 사용된 소재는 나이키 공장에서 만들어지고 커팅 룸에서 잘려나간 티셔츠의 조각, 실 등을 모은 것이고 쿠셔닝은 미드솔 폐기물을 활용하였으며, 아웃솔의 고무는 신발을 만들고 남은 여러 고무 조각들을 갈아서 합친 것으로써 신발 구성요소의 대부분을 쓰레기에서 가져온 것이다.

폐기물을 적절한 처리와 첨가제의 사용을 통해 기존 제조 공정인 화학가교/발포 기술로 중창 생산이 가능할 경우 폐기물 처리가 문제가 되지 않으며, 재활용 소재가 기능성 스포츠화의 주력 소재가 될 수 있을 것으로 판단하고 기술 개발 가능성을 평가했으며, 적정한 modification과 발포 및 물성 보완을 도와줄 기능성 수지를 도입한 조성물을 사용할 경우 기존 화학가교발포 공정으로 저비중, 고탄성 중창 제조가 가능할 것으로 판단된다.

특히, 신발에서 가장 많은 부피를 차지하는 미드솔의 경우엔 화학가교와 발포에 의해 그 성능이 완성되고, 환경 내구성이 우수하여 잘 썩지 않는 제품으로 인식되어 오고 있다.

미드솔의 다양한 물성 중에서 낮은 밀도 및 반발탄성은 미드솔의 가장 중요한 물성이다. 낮은 밀도의 발포체를 얻기 위한 간단한 방법은 발포제를 더 사용하는 것이지만, 발포체의 기계적 특성은 밀도가 낮아짐과 동시에 감소하기 때문에 기계적 물성을 개선하기 위한 새로운 방법이 요구되고 있는 실정이다. 특히, 폐기물을 사용할 경우 신재에 비해서 물성이 감소할 수 밖에 없기 때문에 이를 보완할 수 있는 첨가제의 배합 최적화가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 신발용 창제품, 산업용 발포체 제품에서 발생하는 폐기물을 리사이클 하기 위해서 폐기물을 함유한 발포체용 복합 탄성 수지를 베이스 폴리머로 제작하고 기계적 물성과 발포성능을 향상시키기 위해서 다양한 첨가제 등을 추가하여 발포 상과 기계적 특성에 대해서 평가 하였다.



Fig. 1 Shoes made from recycled waste.

후기
본 연구는 2024년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S3375043]

케이블 트레이 적용을 위한 난연성을 가진 유리섬유 강화 복합재료 개발
Development of glass fiber reinforced polymer having flame retardancy for use cable tray

*이진우 [1], 이재영 [1,3], 심승보 [1], 안기열[2], 강종현[2], 이지은 [1+]
* J.W. Lee [1], J.Y. LEE [1,3], S.B. Sim [1], K.Y. An[2], J.H Kang[2], J.E. LEE[1+]

[1] 한국소재융합연구원, [2] ㈜ 제이엠지테크, [3] 한국해양대학교 신소재융합공학부
+ E-mail: jelee@kimco.re.kr

Keywords: Flame retardancy, Non-halogen flame retardants, Enclosed cable tray

1. 서론

케이블 트레이의 경우 최근 전선 또는 통화선의 화재로 인해 일대의 통신망이 마비가 되면서 케이블 트레이 소재의 난연성에 대해 문제시되고 있다. 섬유강화 복합재료의 경우 일반 금속보다 경량화가 가능하며 고분자 수지에 유리섬유, 마이카 섬유 등의 불연성 물질을 첨가하거나 난연제를 첨가함으로서 난연성을 향상시킬 수 있기에 복합재료의 난연성 향상 관해 많은 연구가 진행되고 있지만 비할로젠계 난연제에 대한 연구는 미비한 수준이다.[1][2] 본 연구에서는 케이블 트레이에 복합재료를 적용하기 위해 수지와 비할로젠계 난연제 첨가에 따른 유리섬유 강화 복합재료의 물성과 난연성을 평가하는 연구이다.

2. 실험 재료 및 방법

본 연구에서 강화재료로 평직 유리섬유를 사용하였으며, 메트릭스는 에폭시 수지(KFR-120, 국도화학)과 경화제(KFH-163, 국도화학)을 100:30의 혼합 중량비로 섞은 후 수산화마그네슘과 레오포스 난연제를 5 wt%, 10 wt%, 20 wt%만큼 교반하여 사용하였다. 또는 비닐에스테르 수지를 첨가제와 경화제 비율 100:1:1 로 섞어 사용하였다. 섬유와 교반된 메트릭스를 통해 VaRTM과정을 통해 GFRP를 제작하였다.

3. 실험 결과

기계적 물성의 경우 ASTM D 729를 통해 굽힘시험과 ASTM D5766 에 의거하여 오픈홀 인장 테스트를 진행하였다. 에폭시에 수산화 마그네슘을 첨가할 경우 수산화 마그네슘 입자를 통해 강화되는 효과가 보였지만 어느 수준 이상 첨가 시 입자의 과응집으로 인해 기계적 물성이 감소하였으다. 한편 레오포스를 넣은 경우 액상형 난연제를 첨가함으로서 수지의 점성에 변화를 보이며 수지의 점성이 낮아짐에 따라 섬유 함유량이 줄어들면서 기계적 물성에 영향을 주는 것을 확인하였다. Fig. 1은 난연제를 첨가한 유리섬유 강화복합재료의 기계적 물성을 나타낸다.

난연 시험의 경우 ASTM D2863에 의거하여 UL94 테스트를 진행하였으며, 에폭시 수지의 경우 난연제를 첨가하더라도 V-2등급이 나왔지만 비닐에스테르 수지의 경우 난연제 없이 V-0등급이 나오는 것을 확인하였다.

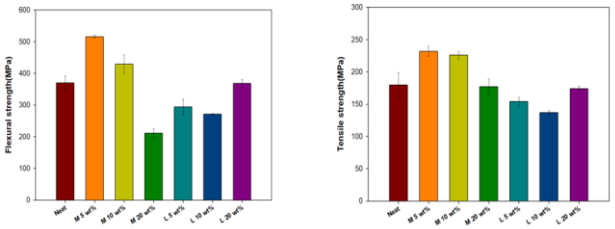


Fig. 1 Mechanical properties of glass fiber reinforced epoxy with flame retardants

4. 결론 및 향후과제

본 연구는 케이블 트레이 적용을 위해 난연성을 가지는 복합재료에 대해서 연구하였으며 이에 대한 기계적 물성 및 난연성을 평가하였다. 수산화 마그네슘과 같이 분말형 난연제를 첨가할 경우 과응집의 영향으로 인해 어느정도 이상의 함량에서는 기계적 물성이 저하하는 현상을 보였으며 레오포스와 같은 액상형 난연제 에서는 수지의 점성 변화에 따라 섬유 함량변화로 인해 기계적 물성이 저하되었다. 또한 난연성의 경우 에폭시 수지를 이용했을 경우 난연제를 첨가하더라도 좋지 못한 난연성을 보였지만 비닐에스테르 수지 이용 시 난연성이 향상되었다. 비닐에스테르 사용 시 난연성이 확보되었기 때문에 밀폐형 케이블트레이 설계를 통해 높은 내구성 및 외부 요인으로부터의 손상을 방지할 수 있으며, 유리섬유 강화 복합재료를 사용함으로써 케이블 트레이의 경량화에도 도움을 줄 수 있을 것이라 기대할 수 있다. 하지만 레오포스 첨가 시 기계적물성에 있어서는 경향이 잘 나타나지 않았기에 이에 대한 추가적인 분석은 필요한 것으로 보인다.

참고문헌

[1] Pérez-Salinas CF, et al. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019;628:12001.
[2] Chaturvedi S. et al. International Journal of Advances in Engineering & Scientific Research (IJAESR) 2014;1:1–7.

후기

본 연구는 2023년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [00257633]

수분노출 환경에서의 작용하중이 HNT 및 탄소섬유로 보강된 고분자 복합재료의 굽힘 거동에 미치는 영향

The Effect of Applied Load on the Flexural Behavior of Halloysite nanotube and Carbon Fiber Reinforced Epoxy under Water absorption

*이재영 [1,2], Sanjay Kumar [2], 이진우[1], 이지은[1], 김윤해 [2+]
* J.Y. Lee [1,2], Sanjay Kumar [2], J.W. Lee[1], J.E. Lee[1], Y.H. Kim[2+]

[1] 한국소재융합연구원, [2]한국해양대학교 신소재융합공학부
[+] E-mail: yunheak@kmou.ac.kr

Keywords: Applied load, Carbon fiber reinforced epoxy, Water absorption, Halloysite nanotube(HNT)

1. 서론

선박의 경우 처짐을 경험하기 때문에 수분 환경에서 applied bending load에 따른 굽힘 거동 을 분석하는 것은 굉장히 중요하다.[1][2] 한편 섬유와 수지 사이 가교 효과를 통한 계면 결합력 향상과 HNT의 소수성 특성 때문에 HNT를 사용한 나노 입자 강화 복합재료에 대한 연구가 이루어지고 있지만 applied load 환경에서의 HNT 사용에 대해서는 연구가 미비한 상황이다.[3] 따라서 본 연구에서는 HNT 강화 탄소 복합재료의 수분 노출 환경에서의 applied load에 따른 굽힘 거동에 관해 연구를 수행하였다.

2. 실험 재료 및 방법

본 연구에서 강화재료로 UD 탄소 섬유를 이용하였으며 에폭시: 경화제 비율 100:30 의 혼합 중량비로 사용하고 HNT는 에폭시의 0.5 wt%만큼 사용하였다. 교반된 수지와 섬유를 통해 VaRTM 공정을 거쳐 탄소 섬유 강화 복합재료를 제작하였다. 이후 흡습기에서 12 시간 동안 굽힘 시험에서 최고 하중의 변이에서 30 %, 50 %, 70 % 만큼의 변이를 주어 applied bending load를 작용하였다.

3. 결과 및 분석

먼저 HNT를 통해 탄소섬유강화 복합재료 보강으로 인해 굽힘 강도 및 굽힘 강성에 있어 각각 8 % 와 12 %의 상승을 확인할 수 있었다. applied bending load 부여 시 HNT 강화 시편과 일반 시편의 경우 60 % applied load 까진 큰 차이를 보이지 않았다. 80 % applied load 부여 시 HNT 강화 시편의 경우 5 %의 굽힘 강도 감소가 있었지만 일반 시편의 경우 15 %의 굽힘 강도 감소를 보였다. 이는 HNT의 가교 효과로 인해 applied load에 따른 기계적 강도 하락 폭을 감소시킨 것으로 보이며 이런 가교 효과는 시편 내 크랙의 진전을 막을 수 있다는 것을 보인다. 수분 노출 환경에서는 40 % applied load 까지는 상온에서 applied load를 주었을 때와 비슷한 경향을 보였지만 60 % 이상의 applied load 부터는 기계적 물성에 감소폭이 굉장히 컸다. 이는 수분 노출 환경에서 applied load 작용 과정에서 시편이 이미 파단이 되었음을 의미하며 이는 Stress-strain 커브의 변화를 통해 알 수 있다. Fig. 1은 Stress-Strain 커브를 나타낸다.

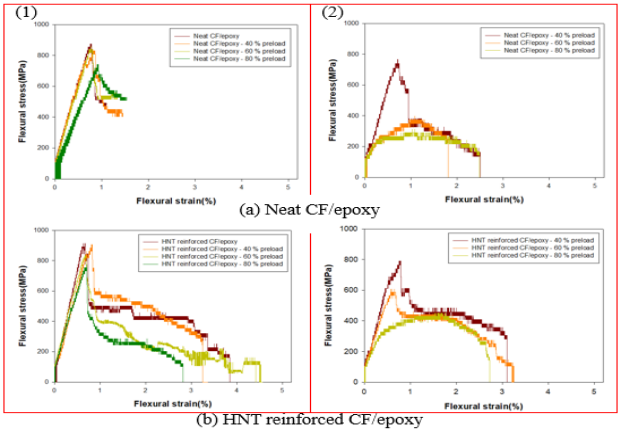


Fig. 1 Applied load에 따른 탄소섬유강화 복합재료의 응력-변형률 선도 (1) 일반 시편 (2) HNT가 첨가된 시편

4. 결론 및 향후과제

본 연구는 해양환경에서 applied bending load를 받는 복합재의 굽힘 거동을 분석하기 위한 실험이며 applied bending load와 흡습 유무, HNT 유무에 따른 선박 재료용 FRP에 대해 적절한 applied bending load 조건을 확인하였다. 상온에서는 일정 applied bending load 에서 기존 물성과 큰 차이를 보이지 않는 것이 확인되었지만, 흡습 환경에서는 applied bending load의 변화에 따라 기계적 물성이 크게 바뀌는 것이 나타나게 된다. 최적의 applied bending load 분석을 통해 추후, 선박용 FRP의 사용에 있어 최대 수화 무게를 예측하는데 있어 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

참고문헌

[1] Hwang D-W, et al. Modern Physics Letters B 2023;37:2340028.
[2] Starkova O, et al.Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 2012;43:1212–8. ht
[3] Kim S-Y, et al. Modern Physics Letters B 2022;36:2242039.

후기

본 연구는 산업통상자원부의 전략 핵심소재 자립화 기술 개발 사업[20013166]의 지원에 의한 연구임.

자동차부품 적용을 위한 50% 이상의 바이오매스로 보강된 폴리프로필렌 기반 복합재료의 기계적 특성평가

Mechanical properties of polypropylene-based composites reinforced with more than 50% biomass for application in automobile parts

*오경훈[1], 신재호[1], 최석규[1†], 허진혁[1], 황세종[2], 박기훈[2]

Kyunghoon Oh[1], Jaeho Sin[1], Seokkyu Choi[1], Jinhyuk Huh[1], Hyungjin Kim[1], Sejong Hwang[2], Kihoon Park[2]

[1]카이스(주), [2]대원케미칼(주)

† E-mail: skchoi@kaisinc.com

Keywords: Interior Parts(실내 내장재), Natural Fiber(천연소재), Composite material(복합소재), Co-injection(코인젝션), Eco-friendly(친환경)

최근 온실가스 발생 감축의 대응 방안으로 원료의 생산으로부터 제품 사용과 폐기, 재활용까지를 포괄하는 전과정 평가(Life Cycle Assessment, LCA)가 유럽연합을 중심으로 제도화 되고 있다. 글로벌 자동차 메이커에서도 자체 LCA 기준을 확립하고 제도화 할 계획을 수립하고 있어 친환경 및 재활용 소재의 적용 비율을 확대하는 것이 중요한 이슈로 부각되고 있다.

국내의 경우 친환경 차량의 등장과 함께 환경보호 측면에서 바이오소재의 적용 기술이 부각되기 시작하였다. 초기에는 소재 강성 부족으로 인해 기존 소재와 합금 형태로 친환경 소재의 적용을 확대하는 방식이었으며 점차 가격 경쟁력이 확보된 PP소재가 접목된 기능성 소재의 개발이 진행되었다. 최근에는 바이오 복합재, 폐자원 재활용 PA등 기존 석유계 플라스틱 성능보다 우수한 고성능 고함량 바이오 복합소재 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 내충격성을 개선한 목분/폴리프로필렌 복합소재를 개발하고 Co-injection 공법을 응용하여 코어층에는 목분/폴리프로필렌 복합소재, 스킨층에는 신(新)재를 적용하여 컬러 구현과 기계적 물성을 향상한 도어트림을 제작하여 그 성능을 평가하고자 하였다. 실제 차량에 대한 적용 가능성을 검증하기 위하여 목분/폴리프로필렌 복합소재의 기계적 강도, 내충격성 평가를 수행하였으며 VOC, 연소성, 내열사이클 특성을 평가하였다. 이를 바탕으로 자동차 내장 부품의 전과정 평가에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

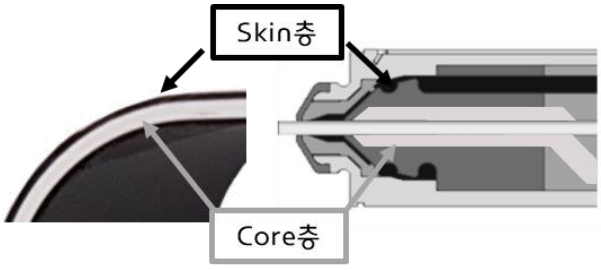


Photo. 1 Co-injection 공법



Photo. 2 Co-injection 공법 적용 도어트림

후기

* 본 연구는 한국산업기술진흥원 양산성능평가지원사업의 'P0023892 미래 모빌리티분야 수요-공급기업간 상생협력을 통한 양산성능평가개선 지원', 'P0024071 바이오매스 50% 이상 함유된 복합소재 활용한 자동차 내장 부품 개발' 과제로 수행된 연구결과임.

내화성능 향상을 위한 비할로겐계 난연제의 첨가에 따른 열가소성 복합재료의 난연 및 기계적 특성

Flame retardancy and mechanical properties of thermoplastic composite materials by adding non-halogenated flame retardants to improve fire resistance.

+이진우[1,+], 이지은[1], 박재형[1], 박현주[1], 오용환[2]
J.W.Lee[1,+], J.E. Lee[1], J.H.Park[1], H.J.Park[1], Y.H.Oh[2]

[1] 한국신발피혁연구원, [2]㈜국일인토트,
[+] E-mail: jwlee@kiflt.re.kr

Keywords: Flame Retardant, Thermoplastic, Mechanical properties, Particle reinforced Composites

폴리머 산업 및 응용 분야의 수요 증가 인해 많은 연구자들은 기계적 물성 및 전기적 차폐 성능 향상 등의 다양한 연구를 진행하고 있다. 난연성은 실제 점화가 일어나기 전에 공정이 종료될 수 있는 이러한 단계 중 하나에서 연소 공정의 중단에 의해 달성될 수 있습니다. 난연성을 획득하기 위해 사용되는 가장 신속한 방법은 공정의 특정 단계에서 연소를 방해할 수 있는 난연제를 혼합하여 결과 시스템이 만족스러운 난연성을 나타내도록 하는 것입니다. 고분자 재료는 탄소, 산소, 수소 원자를 주성분으로 하는 유기물질이기 때문에 대단히 연소하기 쉬운 물질이며, PE, PP, PS 등은 연소할 때 약 10,000 cal/g의 연소열이 발생하게 된다. 난연제란 연소하기 쉬운 성질을 가진 고분자 등의 재료에 할로겐, 인, 질소, 난연성 부여효과가 큰 화합물을 첨가하여 연소의 확대를 막아주기 위해 물리 화학적으로 개선하는 물질을 말하며 원재료 및 첨가물과의 혼합성이 우수하며 최종 제품이 요구하는 물성에 영향을 주지 않아야 한다. 무할로겐 난연제는 주로 무기수산화물, 발포성 난연제, 나노크기의 난연제 및 형광 함유 난연제 등이 사용되고 있다. 그 중 수산화마그네슘은 연소 시 H2O를 발생하여 수증기로 변하면서 연소성 가스를 희석시켜 연소점 주위의 온도를 낮추어 연소현상을 억제해 폴리머 발화를 억제하는 것 이외에도 효과적인 연기억제제 역할도 한다. 또한, 공급원이 풍부하고 분해온도가 비교적 높으며 낮은 독성 및 단열효과로 인해서 산업 응용 분야에서 널리 사용되고 있다.

무기 수산화물 중 하나인 수산화마그네슘은 난연성과 연기 억제를 동시에 향상시킬 수 있는 친환경 난연제로서 낮은 비용, 높은 열 안정성, 낮은 독성 및 단열 효과로 인해 산업 응용 분야에서 널리 사용되고 있다. 특히, 연소 시 수증기만 방출하기 때문에 가장 친환경적인 난연제 중 하나이며, 폴리머 발화를 억제하는 것 외에도 효과적인 연기 억제제 역할도 한다[14-17]. 그러나 수산화마그네슘의 고부하량이 단점으로 알려져 있어 수산화마그네슘을 다른 첨가제와 혼합하여 시너지 효과를 내는 것에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 높은 수준의 수산화마그네슘 충전재를 추가하기 때문에 복합 재료의 기계적 특성에 쉽게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

많은 양의 난연제를 첨가하면 열가소성 물질의 특성이 심각하게 저하될 수 있으며 가공 문제가 발생할 수도 있습니다. 폴리머를 가소화하는 난연제(FR)는 열 변형 온도와 같은 열적 특성을 감소시키는 반면, 녹지 않는 고체 첨가제는 충격 특성을 심각하게 저하시킬 수 있습니다.

본 연구에서는 무기계 난연제인 수산화마그네슘과 인계 난연제를 주 원료로 하여 실험을 진행하였다. 난연제의 사용량 증가에 따른 기계적 강도의 저하를 극복하기 위해서 수산화 마그네슘에 표면처리를 진행하여 사용량에 따른 기계적 특성의 변화를 관찰하였다. 표면 처리된 무기입자를 사용한 시편은 양호한 분산 상태와 인장 후에는 응력을 가한 방향으로 배열되어 있으며 Hole이 발생하지 않아 수지와 강한 결합 형성 상태를 확인하였다.

난연제 종류 및 함량에 따른 인장강도 및 경도 특성을 비교한 결과, 멜라민의 경우 난연제 사용량 증가에 따라 난연성이 증대되는 경향이 있으나 인장강도 및 굴곡강도가 저하되어 이에 대한 최적화 및 개선에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] H.M. Costa et al. *n. Polym. Test.* 24: 86–93, 2005.
[2] M. Zaverl et al. *J Appl Polym Sci.* 125: 324–331, 2012.
[3] I. Zembouai et al. *Journal of Environmental Polymer Degradation*,. 22: 449-459, 2014.

후기

본 연구는 2023년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [00219287]

플라스틱 대체 핸드폰 패키지용 친환경 몰드 개발
Development of eco-friendly mold for plastic alternative mobile phone packaging

*김승근 [1+], 권오훈 [2], 김강재 [3]
* S.G. Kim [1+], O.H. Kwon [2], K.J. Kim[3]

[1] 지리산한지(유), [2] ECO융합섬유연구원, [3] 경북대학교 산림과학조경학부
[+] E-mail: ksg2834@hanmail.net

Keywords: Cellphone, case, black, Mold paper.

1. 서론

환경부의 '자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률'에 의거하여 재활용의 용이성에 따라 포장재는 4개 기준으로 등급화가 되며 재활용이 어려운 소재는 포장재에 사용하는 것이 금지되며, 포장재 지질의 등급 평가와 표시가 의무화 및 강화되고 있다. 핸드폰 포장재를 친환경소재로 바꾸는 'S전자'의 자원 순환 3대 목표 수립에 대응하기 위하여 플라스틱 포장재료를 친환경 소재로 개발하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에 사용된 펄프는 캐나다산 소프트 펄프(NSK)를 사용하였으며 블랙염료(PG black TA), 레드계(RED 5BC) 를 사용하였다.

2.2 탈수촉진 고해공정

Wet-laid 초지 설비를 이용하여 시트 제조 후 재해리를 통해 몰딩공정으로 제조하는 공정으로 섬유해리 향상을 위한 Main plant Knife beater 및 Pulper를 가동 후 Canadian Standard Freeness tester를 이용하여 여수도를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 1 Pulp mold manufacturing process

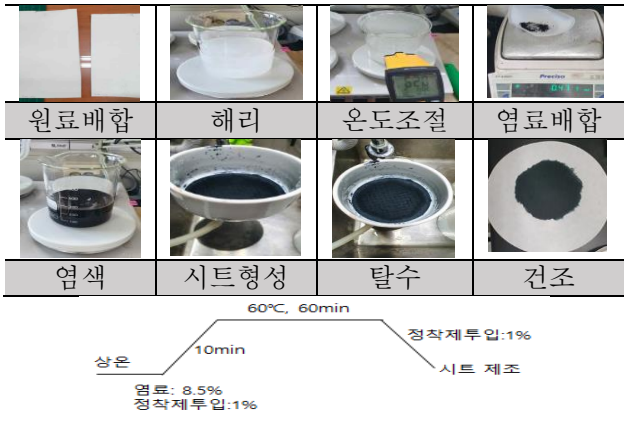


Fig. 1. Mold dyeing recipe

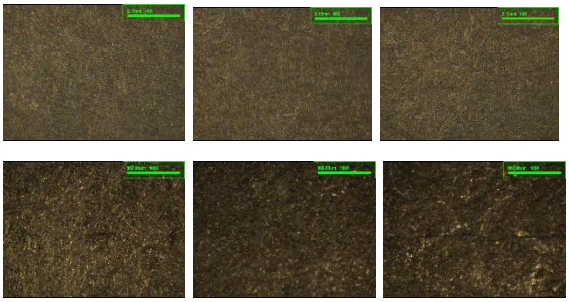


Fig. 2. Microscopic surface analysis

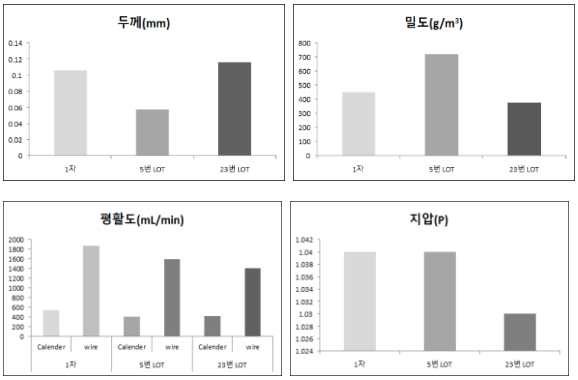


Fig. 3. Property of mold for paper

4. 결론

본 연구에서는 장섬유인 소프트 펄프의 비율이 높아지면서 섬유간의 공극을 막아 최적 비율 조건에 의해서 평활도가 향상되는 것을 관찰하였으며 샘플의 낮은강도와 지합을 통해 재고해에 적합한 샘플의 종류 선정이 가능하며 염색성 향상을 위한 조건 개발로 블랙계열의 레드계 포인트 향상된 제품개발이 가능하였다. 친환경 원료, 조제, 가공공정 검토를 통해 FSC Chain of Custody(COC) 인증 발급이 가능하였다.

항공용 복합소재 산업 및 기술 개발 동향
Trends of Aerospace composites industry and technology development

*현동근[1+], K.K.C. Ho[1], 전지현[1], 구지수[1]
* D.K. Hyun[1+], K.K.C. Ho[1], J.H. Jeon[1], J.S. Ku[1]

[1] 사이언스코(Syensqo)
[+] E-mail: dongkeun.hyun@syensqo.com

Keywords: OOA, VBO, RTM, Compression Molding, Thermoplastic

1. 서론

두가지 이상의 소재를 결합한 복합소재는 경량 및 고강성의 강점으로 항공산업의 주요 구조물로 이용되고 있다. 복합소재를 적용한 신기종의 개발로 인해 그 사용량이 급증하고 있으며, 소재 시장은 더욱 치열한 시장 경쟁 환경이 조성이 되고 있다. 전 세계 복합재료 시장은 22년부터 27년동안 약 6.45%의 연평균 성장률로 171억달러까지 성장할 것으로 예상하고 있다. [1]
항공 부품 제작사들의 다양한 제조 방식과 경쟁력 확보를 의한 새로운 제조 방식의 연구는 소재 시장에 큰 영향을 미쳤다. 현재의 항공용 복합소재 시장은 오토클레이브 방식의 복합소재와 탈오토클레이브 방식의 복합소재로 크게 나눠지는 추세이며, 효율적인 제작 방식을 위하여 대량 생산을 지원하는 저비용 고효율의 제조 방식을 극대화하기 위하여 고속 압축 성형을 지원하는 소재에 대해서도 많은 연구가 이뤄지고 있다. [2]

2. 복합소재 기술 개발 동향

2.1 공정 기술의 개발

기존의 오토클레이브 경화 공정을 탈피하여 오토클레이브를 사용하지 않는 탈오토클레이브 공정으로 기존과 동일한 품질의 복합소재 부품을 지원하는 소재들이 개발이 되고 있다. 대표 적인 공정으로는 Vacuum Bag Only (VBO), Resin Transfer Molding (RTM), Compression Molding (CM) 등이 있다. 특히 Compression Molding의 경우, EP2750소재 사용시 자동화 공정을 적용하기 용이하고 30분이내 부품을 생산 할 수 있다. [3]



Figure 1 Compression Molding using EP2750

2.2 소재 기술의 개발

기존 오토클레이브 공정에 초점을 둔 시장이 현재는 탈오토클레이브 공정에 맞는 소재들이 개발되고 있으며, 수지 역시 열경화성 수지가 아닌 내충격성이 뛰어난 열경화성 수지도 주목받고 있다.
VBO 공정에 맞추어 프리프레그 뿐만 아니라 호환이 가능한 접착 필름도 개발되고 있다. 해당 소재들은 오토클레이브 공정과 동일 품질을 제공하며, 고효율의 제조를 위해 간단한 경화 주기가 설계되어 있다.
RTM 공정을 위해 개발된 수지 중 EP2400의 경우 작업 수명이 길고 점도가 낮은 특징을 가지고 있으며, PR520은 변형성 및 내손상성이 뛰어나 금속 대체가 가능하다.
대량생산이 가능한 프레스 성형은 가장 빠르게 성장하고 있는 공정이며, 이를 위해 개발되는 소재들은 높은 기계적 성능과 빠른 공정을 제공한다. 열가소성 수지의 경우, 높은 내충격성, 기계적 물성 및 상온 보관의 용이성으로 인해 주목을 받고 있다. 성형시간 단축을 위한 여러 형태의 열경화성 수지가 개발되고 있으나, 열가소성 수지의 성형 시간은 매우 짧아 대량 생산에 매우 용이하다. 이런 특성을 토대로 개발된 Evolite 소재는 짧은 가공 시간과 용접 및 우수한 재활용성을 보여주고 있다

3. 결론

항공용 복합소재 산업은 기존 공정을 탈피하여 생산성 향상을 위해 새로운 공정 및 소재에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으며, 시장에 소개가 되고 있다. 가격경쟁력 확보 및 대량 생산 등을 통해 복합소재 산업은 더욱 성장할 것으로 예상이 되며, 부품 제작사 및 소재사의 긴밀한 협업관계가 이어질 것으로 전망된다.

참고문헌

[1] Composite Materials Market Analysis, www.technavio.com.
[2] Mario Danzi, “Manufacturing of Polymer Composites OOA Prepreg Technology”, CMASLab, ETH Zűrich, 2017.
[3] Syensqo Engineered Materials, CYCOM EP2750 TDS.

탄소섬유 응용 구조전지와 연구방향
Carbon fiber-reinforced structural batteries and the research direction

신길용, 소병준, 최유승, 이호연, *강태준+
G. Shin, B. J. So, Y. Choi, H. Lee, *T. J. Kang

인하대학교 기계공학과, +E-mail: tjkang@inha.ac.kr

Keywords: carbon fiber, structural battery, structural supercapacitor

1. 서론

구조 에너지 저장 복합체(energy storage structural composite, ESSC)는 하중을 지지함과 동시에 전기에너지를 저장할 수 있는 기능이 단일 구조 부재에 통합된 다기능 복합재료이다 [1]. 패널 구조물 및 높은 중량의 부품을 ESSC로 대체하여 전체 시스템의 무게와 부피를 획기적으로 줄일 수 있어, 전기차, 드론, UAM과 PAM 등 전기 구동의 미래 모빌리티 응용에 많은 관심을 받고 있다. 특히, ESSC의 전기적 직렬 적층을 통해 적측 복합 부재의 기계적 물성 조절은 물론, 실용적인 전압과 에너지 출력을 확보할 수 있다.

본 연구에서는 탄소섬유(carbon fiber, CF) 기반의 양극성 전류 수집층(bipolar current collector, bipolar CC)을 이용한 ESSC 적층 복합체에 대해 소개한다. 또한 적층 복합체 손상의 주요한 기작인 층간분리 문제를 해결하기 위한 기술적 접근과 향후 구조전지 연구 방향에 대해 논한다.

2. 연구 내용과 결과

ESSC의 출력과 에너지 밀도를 높이기 위해서는 직병렬 적층 구조가 요구된다. Bipolar CC 양면에 양극 혹은 음극재를 도포하여 각각의 ESSC를 두께 방향으로 적층하여 본 목적을 달성할 수 있다. 외부 도선을 이용한 일반적인 직병렬 방법과 비교해, 외부 도선을 통한 전하 전달의 저항을 없앨 수 있으며, 적층된 장치의 전체적인 무게와 부피를 줄일 수 있다. 이러한 bipolar 적층 구조를 구현하기 위해 CC는 양극과 음극 사이의 전기적 전도성이 확보되어야 하며, 동시에 적층된 셀 전해질 이온의 이동을 막아 자가 방전이 발생하지 않아야 한다. 특히, CC 표면에 탄소섬유를 노출시켜 양극과 음극재가 낮은 접촉 저항으로 도포될 수 있는 표면 형상을 가져야 한다.

Bipolar CC는 희생 필름을 탄소직물 양면에 부착하고, 그 사이 직물로 에폭시 레진을 진공 보조 수지 이송 성형법(vacuum assisted resin transfer molding, VARTM)을 활용해 주입 형성하여 제작하였다 (그림 1). 이후 제작된 CFRP bipolar CC 양면에 양극, 음극재를 각각 도포하여 전극을 형성하고, 전해질 층을 삽입 적층하여 ESSC 적층 복합체를 제작하였다 (그림 2). 이후, 제작된 단일, 적층 ESSC의 성능을 비교 평가하여 제안된 bipolar CC의 성능을 평가하였다.

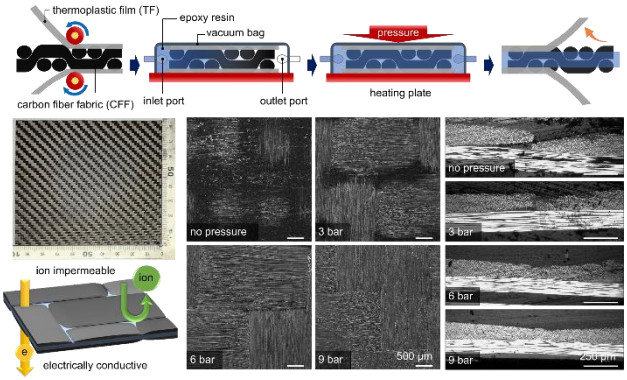


Fig. 1. Fabrication process of CFRP bipolar CC.

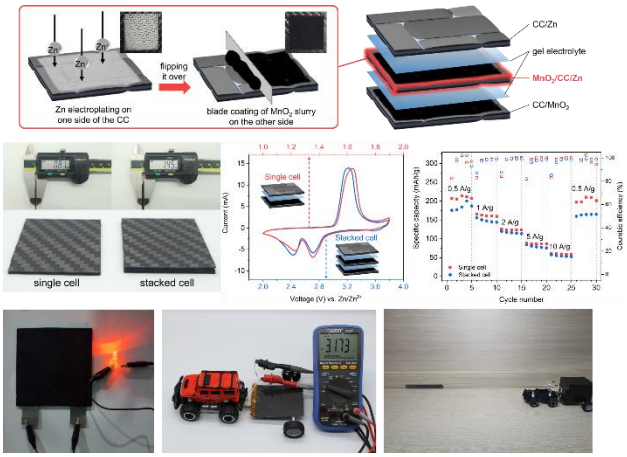


Fig. 2. Fabrication process of the stacked ESSCs.

3. 결론 및 향후과제

ESSC 적층 복합체는 출력 및 에너지 밀도를 높이기 위한 효과적인 설계 구조이나, 하중 인가 시 층간분리가 주된 손상이 요인이다. 이를 해결하기 위한 새로운 구조전지 디자인과 향후 기술의 실용화를 위한 연구 방향에 대해 논한다.

참고문헌

[1] Leif E Asp et al. *Funct. Compos.* 1:042001, 2019.

후기

보호연구지원사업(NRF-2022R1I1A2068579), 한국전자통신연구원 위탁과제(22YS1200)의 지원으로 수행되었음

Evaluation of a recycled carbon fiber material via a micromechanics-based approach

*Joao Henrique Fonseca [1], Giho Lee [1], Un Cheol Baek [1], Hyun-Seok Oh [1] and Seongha Oh [1+]
[1] MAXOFT Inc., R&D center
[+]E-mail: sh.oh@maxoft.co.kr

Keywords : Recycled carbon fiber, material characterization, micromechanics, finite element analysis

1. Introduction

This study evaluates the mechanical properties of a unidirectional (UD) and fabric recycled carbon fiber material using a hybrid experimental-numerical approach where carbon fiber yarn is reinforced with epoxy. Effective fiber and matrix properties are obtained and used to predict composite tensile and bending properties via a micromechanics-based finite element analysis.

2. Methodology

2.1 Physical testing: The composite consists of yarn reinforcement and epoxy. The yarn is composed of 40% recycled carbon fiber and 60% polyamide-6. A total of five UD and fabric ASTM specimen types [1] are utilized to evaluate the material properties (Fig. 1a), including tensile, compression and shear.

2.2 Virtual testing: In order to evaluate the material, a micromechanics-based analysis is carried out in MCQ-Composites software [2] to reverse-engineer the effective yarn and epoxy properties of both UD and fabric composites. Finally, the obtained properties are input into the finite element model to evaluate the strength of the material under tensile and bending loads, carried out in GENOA PFA [2].

3. Results and Discussion

Based on the experimental results, the fabric showed strong directional properties due to its waving characteristics. After reverse-engineering the material, linear, strength and nonlinear effective properties of the composite constituents are obtained. On the contrary of usual composite materials, the reinforcement is shown to present significant nonlinearity (Fig. 1b), mainly introduced due to the presence of poliamide-6 in its formation. Moreover, the effective properties of the fabric constituents are significantly affected due to waving. Finally, tensile and bending results obtained from GENOA PFA are shown in Fig. 2, where the effective yarn and epoxy properties are utilized as input. It can be seen that the simulation results successfully capture the complex behavior of the material under tension. Bending analysis is also carried out to obtain the strength results of the material (289 MPa).

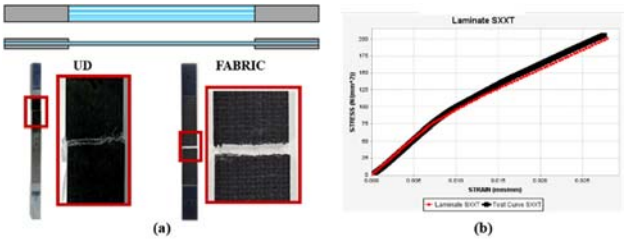


Fig. 1. Evaluation: (a) experiment (b) yarn nonlinearity.

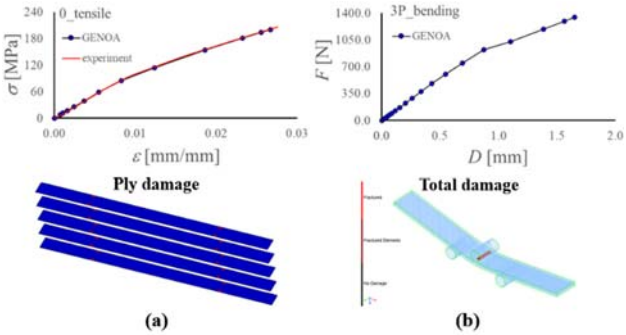


Fig. 2. Simulation results: (a) tensile (b) bending.

4. Conclusions and Future Work

Evaluation and reverse-engineering of a recycled composite material is conducted by integrating experimental data and a micromechanics-based numerical approach. The obtained results were input into a finite element model to accurately predict strength under tensile and bending loads. The assessment of the composite material and laminate optimization for structural applications are suggested as future studies.

References
[1] ASTM Annual Book of Standards, 2001.
[2] MCQ-Composites *Theoritical Manual.* Ver. 5. 2019, AlphaStar, 2019
[3] GENOA *Technical Manual.* Ver. 5. 2019, AlphaStar, 2019.

Acknowledgement
This work was supported by the Korea Carbon Industry Promotion Agency (No. G2820220800001).

불연속 탄소/에폭시 라미네이트의 기계적 특성에 대한 기하학적 치수 및 배열의 영향

Effect of geometric dimensions and arrangements on mechanical properties of discontinuous carbon/epoxy laminates

*김윤상[1], 고민정[1,2], 김상우[1], 김정수[1], 이정완[1], 이진우[1+]
* Yoon Sang Kim [1], Min Jeong Ko [1,2], Sang Woo Kim [1], Jung-soo Kim [1], Jungwan Lee [1], Jin Woo Yi [1+]

[1] 한국재료연구원 탄소복합재료연구실, [2] 부산대 고분자복합재료연구실
[+] E-mail: yjw0628@kims.re.kr

Keywords: Carbon fiber, Thermosetting polymer, Discontinuous laminate, Mechanical properties

1. 서론

현재 탄소섬유 강화 폴리머(CFRP)는 우수한 강도와 강성을 기반으로 다양한 형태의 경량 부품에 응용되고 있다. 구조물의 제조에서 불연속적 섬유 적층 구간이 필연적으로 존재하게 된다. 이러한 교차 구간을 보강하기 위해 섬유가 추가되면 두께와 섬유 체적율이 변하게 되며 과도한 수지 영역이 존재하게 된다. 본 연구에서는 섬유 교차 패턴 그리고 구간 간격과 범위에 따른 기계적 성능의 변화를 확인하였다.

2. 실험

본 연구에서 사용한 CFRP (CF 3327EPC, 한국카본)는 202.9 g/m^{2}의 탄소섬유 및 133.4 g/m^{2}의 레진 중량을 가지고 있으며 최종 레진 함량은 39.7% (60.3%의 탄소섬유 함량)로 설정되었다. 인장시험에 적용된 시험편은 평직 (plain weave) 형태의 직조 (fabric) 적층판으로 각 ply의 두께는 0.27 mm이다. 섬유의 교차 간격은 인장 시험편으로 제작될 판의 중심을 기준으로 각각의 직물이 1.5 mm, 3 mm, 6 mm 등 만큼 교차 되도록 설계하였다. 이러한 교차 간격이 적용됨으로써 ply 수가 증가됨에 따라 교차의 범위 또한 늘어나게 된다. 두께 게이지로 1.5 mm와 3 mm를 맞춘 상태에서 CFRP가 적층 되었다. 핫 프레스를 통해 진공 상태 하에서 성형되었으며 온도와 압력의 이력은 Fig. 1과 같다. 인장 시험편은 ASTM D3039에 의거하여 교차 구간이 중심에 위치하도록 제작하였다.

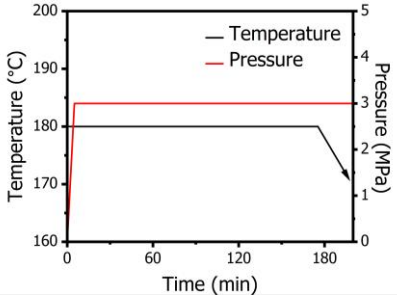


Fig. 1. 핫 프레스 공정 시간에 따른 온도와 압력 변화

3. 결과

한국카본에서 제공 받은 프리프레그는 문헌 상으로 warp 방향에 대하여 각각 642.2 MPa과 55.5 GPa의 인장강도와 영률로 보고가 되었다. 본 연구에서 인장강도는 663.2 MPa로 유사한 값을 보인 반면, 영률은 76.6 GPa로 상당한 차이를 나타냈다. 즉, 문헌 상에서 쓰인 탄소 섬유는 강성이 낮은 등급이었을 것으로 판단된다. 인장 강도는 프리프레그 사이의 교차 범위가 늘어날수록 증가하는 경향을 보였다. 또한, 동일한 간격이 적용된 복합재에서 두께가 큰 시험편의 인장강도가 더 높게 나오는 것이 관찰되었다.

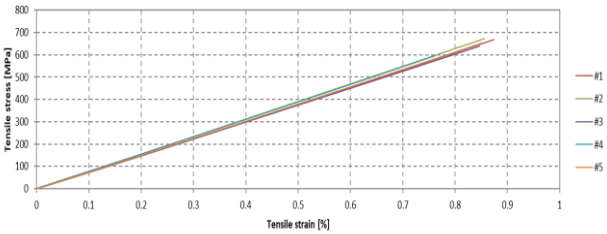


Fig. 2. 한국카본에서 제작된 CFRP의 인장 특성

참고문헌

[1] **Jung-Seok Kim** et al. *Compos Res.* vol.18, no.3, pp. 7-13, 2005.

Effect of Liquid Bio-Based Flame Retardant Treatment of Natural Fiber on Flame, Mechanical, and Thermal Properties of Epoxy Composites

*Maksym Li[1] and Jung-il Song[2+]
[1]Research Institute of Mechatronics, Changwon National University,
[2]Department of Mechanical Engineering, Changwon National University
+E-mail: jisong@changwon.ac.kr

Keywords: Eco-friendly, Epoxy, Natural fiber-reinforced composites

1. Introduction

Natural fiber-reinforced composites (NFRC) have garnered significant attention in various industries due to their exceptional properties. However, flammability is a key factor limiting the application areas of NFRC [1]. In addition, conventionally used synthetic flame retardants (FRs) affect the environment and reduce the mechanical properties of resulted composites [2]. To address these issues, in the current research, natural fiber was treated with liquid flame retardant based on lignin and silica extracted from rice husk. Further, the treated fiber was used to manufacture flame-retardant epoxy composite via a vacuum-assisted resin molding (VARTM) technique. This approach resulted not only in an increment of flame retardancy but mechanical properties as well. Overall, the research contributes to the development of environmentally friendly liquid flame retardant for natural fiber and their composites.

2. Methodology

50 g of rice husk was autoclaved under 126°C for 4 hrs. in 8% NaOH solution. Further, 100 ml of filtered extract (LSL) was reacted with a prescribed amount of DOPO (5%, 10%, and 15%) under a magnetic stirrer set to 60°C for 8 hrs. in the presence of triethylamine as a catalyst. Afterward, cotton fiber was dipped into the obtained liquid flame retardant, squeezed until it gained 150% of its original wet mass, and dried till stable mass. Six layers of resulted flame retardant cotton were infused with epoxy resin in a VARTM setup adjusted to 0.04 MPa and cured in the oven adjusted to 30°C for 12 hrs.

3. Results and Discussion

The effectiveness of liquid flame retardant was demonstrated by up 42.9% and 9.4% reduction of peak heat release rate (pHRR) and total heat release (THR), respectively for composite reinforced with fiber, treated with 10% DOPO-containing FR liquid (EP/L2) (Fig. 1). Furthermore, the horizontal fire test showed a 23% improvement in the burning rate. A flame-retardant mechanism, based on char and gas analyses confirmed the solid and gaseous action, beneficial for flammability reduction.

Improvement of mechanical properties was observed for composites reinforced with treated fiber. According to the tensile and flexural tests, liquid FR can improve composites' mechanical properties by up to 13.3%, as it is shown in Fig. 2.

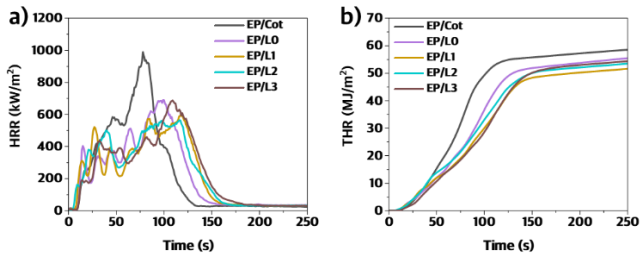


Fig. 1. (a) HRR and (b) THR of composites.

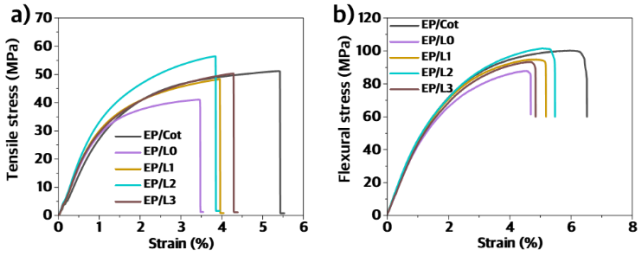


Fig. 2. (a) Tensile and (b) flexural properties.

4. Conclusions

In this study, flame-retardant epoxy composites were successfully manufactured using eco-friendly LSL-based treated natural fiber. EP/L2 showed the best performance expressed in 42.9% reduced pHRR and 23% reduced burning rate. The above results together with improved mechanical properties offer the great potential to expand the application areas of natural fiber and NFRC.

References
[1]Li M, et al *Prog Org Coatings.* 2022;172:107144
[2]Prabhakar MN, *Compos Part A Appl Sci Manuf* 2022;152:106674.

Acknowledgment
This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education and Ministry of Science and ICT (No. 2018R1A6A1A03024509 and 2023R1A2C1006234)

Woven Carbon Fiber based Porous $LiNi_{0.80}Al_{0.10}Ti_{0.05}Mg_{0.05}O_2$ Cathodes for 3D Printed Multifunctional Structural Battery

Biplab K. Deka, Hyung Wook Park*
Department of Mechanical Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology, UNIST-gil 50, Ulju-gun, Ulsan 44919, Republic of Korea
E-mail: hwpark@unist.ac.kr

Keywords: Structural battery, Carbon fiber, Energy harvesting, Energy storage, Multifunctionality.

1. Introduction

Structural energy storage devices such as, battery and supercapacitor are promising category in energy research as it serves dual purpose of offering energy storage function while retaining structural integrity to the device [1]. The carbon fibers that primarily utilizes as electrode material in these research has high mechanical strength and stiffness, lightweight and is non-corrosive in nature. The glass fiber or Kevlar fiber separator additionally improves the mechanical robustness of the device. The thermosetting polymer electrolyte in combination with ionic liquid and lithium salt generates electrical conductivity for the device [2]. However, there is an issue remains between the mechanical properties and electrical conductivity by the addition of inorganic salts combination.

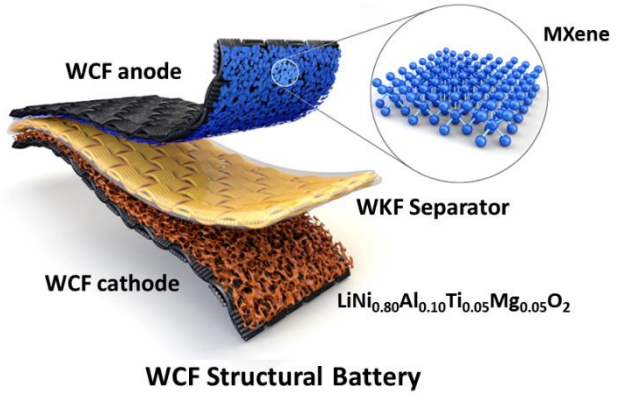


Fig. 1. Microstructure of the WCF structural battery.

2. Methodology

2.1 Development of electrodes

The cathode was developed by synthesizing porous $LiNi_{0.80}Al_{0.10}Ti_{0.05}Mg_{0.05}O_2$ on WCF. Initially, WCF was hydrothermally treated with a pre-defined molar ratios of $Ni(NO_3)_2.6H_2O$, $Al(NO_3)_3.9H_2O$, and $Mg(NO_3)_2.6H_2O$ in deionized water at 200 °C for 16 hrs. In the 2nd stage, the sample was treated with titanium butoxide for the TiO_2 coating. Finally, the sample was calcinated with $LiOH.H_2O$ at 300 °C to receive $LiNi_{0.80}Al_{0.10}Ti_{0.05}Mg_{0.05}O_2$ coated WCF. The separator was developed by 1% PVDF dip coated WKF in NMP solution. Simillarly, the anode was developed by 1% Mxenes ($Ti_3C_2T_x$) coationg in deionized water at 65 °C.

2.2. Fabrication of the device

The battery was manufactured by a 3D printing machine developed domestically. Before starting the printing, the printer bed was heated upto 60 °C to ensure quick curing process. The polyester based electrolyte mixing with $EMIMBF_4$ ionic liquid and Li-salt was input in the syringe. Initially, the nanoporous material grown cathode was placed in the printer bed and printing was done over the electrode at an particular speed. After completing the printing over the cathode, the separator was placed on the cathode and printing was done on it. Finally, the anode was placed on the separator layer and the printing was done over it. After completing the printing, the device was kept on the bed for another 3-4 hours for complete curing.

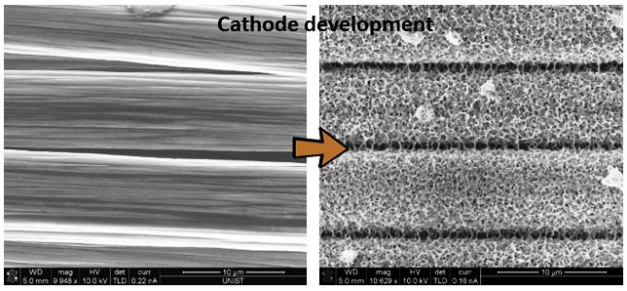


Fig. 2. SEM images of WCF- $LiNi_{0.80}Al_{0.10}Ti_{0.05}Mg_{0.05}O_2$ cathode.

3. Results and Discussions

The specific capacitance of the device was received about 1.12 $mAh.L^{-1}$ as compared to untreated woven carbon fiber of 0.012 $mAh.L^{-1}$. The device demonstrate 0.76 $Wh.L^{-1}$ of energy density and 22.51 $W.L^{-1}$ of power density. The device exhibits 98.23% of coulombic efficiency at various discharge current. The device retains 81% of capacitance retention after 1500 charge-discharge cycles with around 98% of coulombic efficiency. The mechanical strength and modulus of the device was impressive, viz. 688.7 MPa and 0.21 GPa, surpassing its base samples. The multifunctional performance of the device was good. This versatile device holds potential for use in self-charging vehicles, drone technology, as well as in the aerospace, sensor, and electronics industries.

4. Conclusions

The current research has yielded a structural battery with versatile applications, spanning from automobiles and sensors to self-charging instruments and various devices. This innovation provides enduring high energy storage capacity, high strength and robustness.

References
[1] BK Deka et al. *ACS Energy Letters*, 8:963-71, 2023.
[2] BK Deka et al. *Energy Storage Materials*, 43:402-10, 2021.

Acknowledgement
- National Research Foundation of Korea (2021R1I1A1A01060126).

Metal-Organic Framework-Derived Nickel Sulfide@Carbon for Energy Materials

*Do Van Lam [1+], Seung-Mo Lee[2,3] and Il-Kwon Oh[1]
[1] Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), [2] Department of Applied Nanomechanics, Korea Institute of Machinery and Materials (KIMM), [3] University of Science and Technology (UST)
[+]E-mail: hlamdo@kaist.ac.kr

Keywords : laser synthesis, metal sulfide, graphitic carbon, metal-organic framework

1. Introduction

Nickel sulfide with diverse phases (NiS_x) has been regarded as a noteworthy energy material because of its high capacity, abundant redox-active sites and rich interfaces [1,2]. However, it often requires a conductive support (e.g. carbon) to overcome its shortcomings of poor cycling stability and rapid capacity fading. Here, we showed that ultrasmall NiS_x nanoparticles embedded in conductive graphitic carbon (NiS_x@C) can be rapidly prepared via laser irradiation onto a sulfur-impregnated nickel-based metal-organic framework (S@MOF-Ni) for a high-performance energy material.

2. Methods

2.1 Preparation of S@MOF-Ni film: MOF-Ni was synthesized as described in a previous work [3]. MOF-Ni (100 mg) was then mixed with varying quantities of S (10, 20, 40, 60, and 100 mg). The resulting mixture underwent annealing at 155 °C for 5 h under N_2 atmosphere to yield S@MOF-Ni. Finally, the material was blended with poly(vinylidene difluoride) (PVDF) (10:1 wt%) in N-methyl 2-pyrrolidinone (NMP) and applied onto a Ni foil to fabricate S@MOF-Ni film.

2.2 Preparation of NiS_x@C by laser synthesis: A CO_2 laser (Coryart, Korea) was used to transform S@MOF-Ni into NiS_x@C. A piece of the S@MOF-Ni film was loaded into a chamber equipped with a ZnSe window. Laser synthesis was conducted at a power of 24 W under N_2 flow.

2.3 Electrochemical characterization: A three-electrode setup in a 6 M KOH solution was used to study electrochemical performances (VPS, Bio-Logic Science Instruments). A Pt coil and Ag/AgCl were used as the counter and reference electrode, respectively. The working electrode was prepared by mixing NiS_x@C, conductive carbon, and PVDF binder (8:1:1 wt%) with NMP solvent before being loaded on a Ni foam (~1.5 mg/cm^2).

3. Results and Discussion

NiS_x@C was rapidly prepared from S@MOF-Ni by laser synthesis (Fig. 1A). X-ray diffraction (XRD) patterns showed diffraction peaks of αNiS, NiS_2, and Ni_3S_2 in the resulting material, suggested the sulfurization of S@MOF-Ni (Fig. 1B). Transmission electron microscopy (TEM) image exhibited spherical nanoparticles of ~5 nm embedded in graphitic carbon shells (Fig. 1C), indicating the successful sysnthesis of the NiS_x@C composite.

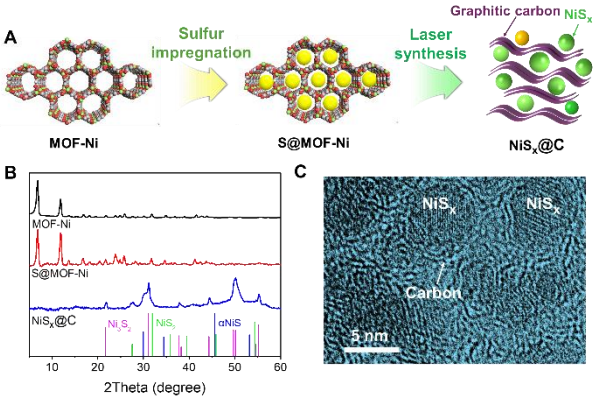


Fig. 1. (A) Synthesis of NiS_x@C, (B) XRD, (C) TEM

Cyclic voltammetry (CV) profiles of the composites showed one broad oxidation peak in the charging curve and two-to-three reduction peaks in the discharging curve, indicating the multiple faradaic reactions (Fig. 2A). The highest specific capacity of 800 C/g (1333 F/g) at 2 mV/s of NiS_x@C at S/MOF-Ni ratio of 20 wt% among the composites was thought to be due to its unique nanostructure and engineered multiphase (Fig. 2B).

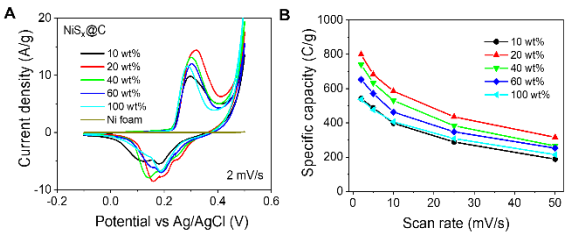


Fig. 2. (A) CV profiles, (B) Specific capacity.

4. Conclusion

We demonstrated that, via a facile and inexpensive laser synthesis, high-capacity NiS_x@C composite can be rapidly prepared from S@MOF-Ni within a few minutes. The laser synthesis could be a powerful tool for synthesizing various multiphased metal sulfides supported on graphitic carbon out of thousands of MOFs.

References
[1] P Geng et al. *Adv. Energy Mater.* 8, 1703259, 2018
[2] DV Lam et al. *Chem. Eng. J.* 437, 135237, 2022
[3] H Kim et al. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 11, 7018, 2019

Acknowledgement
This work was supported by the NRF grant funded by the Korea government (MSIT) (no. RS-2023-00302525).

장기간 자연환경 노출 탄소섬유 복합재 물성 변화 분석
Analysis of Changes in Properties of Carbon Fiber Composite Exposed Long-Term Environmental

***안교진 [1], 정유인 [1]**
*** K.J. An [1], Y.I. Jeong [1]**

[1]한국항공우주산업㈜
+ E-mail: kyojin.an@koreaaero.com

Keywords: Carbon Fiber Reinforced Plastics, Degradation, Exposed Long-Term, Properties, Statistical Analysis

1. 서론

탄소섬유 복합재(Carbon Fiber Reinforced Plastics, 이하 “복합재”)는 경량화, 고강도, 고내구성 등 우수한 물성을 가지는 소재로써 항공기 부품에 꾸준히 사용되고 확대해 나가고 있다. 탄소섬유와 기지(Matrix)로 구성된 복합재는 두 요소가 결합되어 형성이 된다. 그 중, 기지는 온도와 자외선에 민감하여 항공기 운용 중 고온/저온, 자외선 및 강우 등 자연환경 노출로 인한 화학적 요인에 의한 열화과정으로 물성 저하가 될 수 있다. 항공기는 운용 중에 불규칙하고 다양한 자연환경 조건에 노출된다. 따라서, 본 연구는 복합재를 자연 환경에서 장기간 자연환경 노출함으로써 복합재 물성 변화를 관찰 및 분석하여 항공기 운용 중 구조건정성에 어떠한 영향이 있는지를 확인하기 위해 수행하였다.

2. 장기간 자연환경 노출

2.1 자연환경 요인

자연환경에서는 온도, 습도, 자외선 노출량, 염분 등 다양한 요인이 존재한다. 이러한 조건을 온전하게 영향 받을 수 있는 위치를 선정하여 복합재 패널을 노출하였으며, 자연환경 요인에 대한 일지를 작성하여 데이터화 하였다.

2.2 시험 매트릭스

환경 노출 조건과 항공기에 적용되는 코팅여부에 따라 시편을 Table 1과 같이 구분하였다.

Table 1 Exposure and Paint Application Matrix

Exposure	Paint	Properties
Exposed	Coated	• Tensile Strength/Modulus • Compressive Strength • Interlamina Shear Strength ⋮
	Non-Coated	
Shaded	Coated	
	Non-Coated	

3. 시험 분석 결과

총 9차년 중 7차년까지 인장강도와 층간전단강도에 대한 노출/차단 환경과 코팅여부에 따른 연차별 데이터 추세를 평균의 95% 신뢰수준으로 확인하였다.

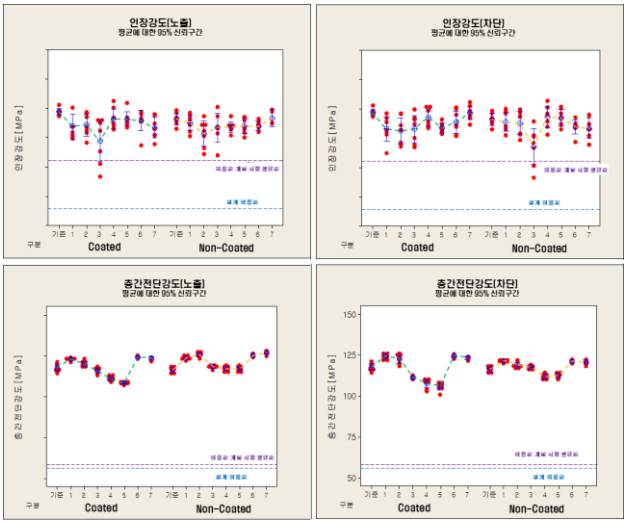


Fig. 1. Trends for Each Strength Data

각 강도에 대한 결과 데이터는 미시적으로는 일부 감소/증가하는 구간이 보이나 항공기에 적용된 설계 허용값(Fig. 1 파란 점선) 대비 상회하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론 및 향후과제

본 연구는 장기간 자연 환경노출에 따른 복합재 물성 변화를 분석하였다. 인장강도와 층간전단강도는 연차에 따라 물성의 변화는 있었으나, 유의미한 변화와 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. 운용 중인 항공기에 적용된 설계 허용값을 상회함에 따라 자연환경 노출에 따른 복합재 물성 저하는 운용에 영향이 없다고 판단된다. 향후 시험을 통해 물성 변화에 따른 경향을 관찰하고 추가적으로 환경요인과 상관관계를 분석하고자 한다.

수소탱크의 주행 중 안전성 평가 기술 실증

Development of safety evaluation technology for hydrogen tanks while driving

*곽성훈 [1+], 한인환 [1], 김재성 [2], 박종빈 [3], 배준호 [4], 김광복 [5], 김운경 [5], 박성훈 [5], 조용주 [6]
* S.H. Kwak [1+], I.H. Han [1], J.S. Kim [2], J.B. Park [3], J.H. Bae [4], G.B. Kim [5], U.K. Kim [5], S.H. Park [5], Y.J. Cho [6]
[1] 경북하이브리드부품연구원, [2] 고등기술연구원, [3] 한국섬유기계융합연구원, [4] ㈜케이알바트로스, [5] ㈜아이디케이
[6] 현대자동차㈜
[+] E-mail: ksh@ghi.re.kr

Keywords: Hydrogen, Tank, Vehicle, Driving, Simulation

1. 서론

수소탱크는 차량이 출고 되기전까지는 매우 엄격하게 안전과 내구성을 테스트하여 출고되고 있지만 고객에게 인도된 후에는 주행환경에 의한 누적결함이 발생한다해도 인식하기 어려운 문제가 있다. 본 연구에서는 수소탱크의 낙하충격시험과 진동시험을 교차반복함으로써 주행 중 발생할 수 있는 다양한 상황을 모사하여 가상 시험할 수 있는 평가 기반을 구축하였으며 수소차에 안전성 진단 모듈을 장착하여 주행 중 수소탱크의 누적된 결함을 분석하고 안전여부를 알려줄 수 있는 S/W를 개발하였다.

2. 연구방법

시험은 수소탱크의 가상시험과 실차실증시험 2종류로 구분하여 실시하였다. 가상시험의 경우 주행환경과 유사하도록 낙하충격시험기와 진동시험기를 교차하여 시험할 수 있도록 구축하였으며 실차실증시험은 수소차에 AE 센서를 부착하고 S/W와 연동하여 실차주행을 통해 누적된 결함 데이터를 수집/분하는 방법으로 실시하였다.

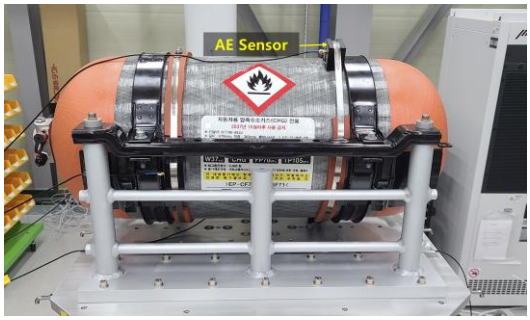


Fig. 1. Photo of virtual driving test

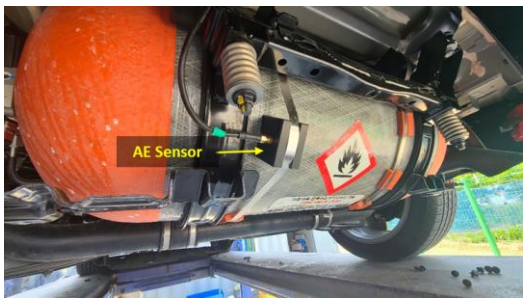


Fig. 2. Photo of actual car driving test

3. 실험결과

가상시험을 통해 수소탱크에 가해지는 Signal strength 결과가 10,000 nVs 이상이면 충격에너지도 상당히 높은 것으로 나타났으며, 이 후 진동시험에 의한 균열의 진전은 진행되지 않는 것으로 확인되었다.

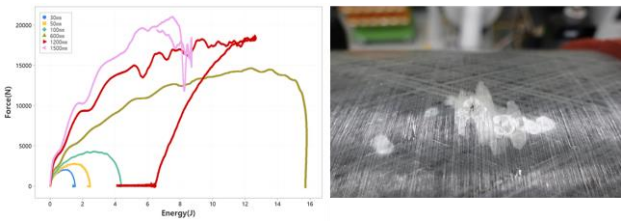


Fig. 3. Hydrogen tank drop impact test results

실차실증시험 결과 민감도가 높은 센서를 통해 많은 양의 환경데이터를 수집할 수 있었으며 특히 노면상에 존재하는 물에 의한 가벼운 충격신호까지도 수집할 수 있었다. 또한 수소탱크의 파열 시험으로 충격신호의 크기에 따라 A/B/C/D 등급으로 분류된 결과를 토대로 S/W와 연동을 통해 안전성을 실시간으로 확인할 수 있었다.

4. 결론 및 향후과제

충격시험과 진동시험을 교차 반복하여 시험을 수행하는 방법은 다양한 주행환경을 모사하기에 적합하였으며 실차주행 시험을 통해 수집한 누적된 결함데이터는 수소탱크의 안전성을 확보하는데 중요한 기초 자료가 될 것으로 판단된다. 향후 지속적인 시험을 바탕으로 수소용기의 결함을 체계화하여 나간다면 수소전기차 산업의 안전성을 확보하는데 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

[1] Yang, H. et al., High Temperature Tensile Stress Behavior of Hydrogen Vessel Composite Materials for Hydrogen Fuel Cell Bus, *Composites Research*, Vol. 35, No. 6, 2022, pp. 425-430.

후기

본 연구는 한국탄소산업진흥원의 '2021년 탄소융복합소재 부품 실증사업(G2820220600008)'의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다. 지원에 대해 진심으로 감사드립니다.

건물 및 상용차 연료전지용 카본복합소재 분리판 실증
Demonstration of Carbon Composite Separator for Buildings and Commercial Vehicle Fuel Cells

***서정혁 [1+], 강온유 [1], 김명주 [2], 김도열 [2], 강현묵 [3], 정한기 [3]**
*** J.H. Seo [1+], O.Y. kang [1], M.J. Kim [2], D.Y. Kim [2], H.M. Kang [3], H.G. Jung [3]**

[1] 비나에프씨엠㈜, [2] 에스퓨얼셀㈜, [3] 비나텍㈜
[+] E-mail: jhsuh@vina.co.kr

Keywords: Carbon fiber, Bipolar plate, Stack, Fuel cell.

1. 서론

본 연구에서는 일본의 탄소섬유 수입규제에 대응하기 위해 탄소복합재 분리판의 재료 공급의 국산화를 추진하고자 국내 탄소섬유 활용 및 전도성 개선용 탄소나노섬유를 개발하였고, 유로 디자인이 적용된 코아금형을 통해 해당 재료로 분리판 시제품을 제조하였으며, 해당 분리판이 적용된 연료전지 스택을 제작하여 평가하였다.

2. 실증 수행 내용

2.1 전도성 탄소나노섬유 개발

복합금속촉매를 이용하여 화학 기상 증착법으로 새로운 탄소나노섬유를 개발하여 전도성을 개선하였으며, 해당 재료로 분리판 시료를 성형한 후 비저항을 측정하였다. 기존 분리판 시편 대비 탄소나노섬유를 혼합한 시편이 약 14 % 정도 저항이 감소한 것을 확인하였다(Table 1.) .

Table 1. Resistivity measurement results of bipolar plates

Sample	Avarage resistivity(mΩ cm)
Reference	9.09
Applying CNF	7.61

2.2 탄소섬유 쵸핑 조건 최적화

일본 T사의 탄소섬유를 국내 소재로 대체하기 위해 해당 제품과 물성이 가장 유사한 국내 H사의 탄소섬유를 선정하여 쵸핑 테스트를 진행하였다. 목표 쵸핑 길이인 6 mm에 맞춰 최단기간 생산 조건을 확인하였다.

2.3 분리판 시제품 제작 및 평가

Table 2. Physical properties of the sample

Characteristic (units)	Target	Status
Areal specific resistance (mΩ cm^2)	<10	9.8
Flexural strength (Mpa)	>45	68.3
Electrical conductivity (S/cm)	>100	160

분리판 국산화를 위해 200/500 cm^2의 유효면적을 가지는 분리판 제작 설비 구축을 위한 해당 분리판 제작에 필요한 코아금형들을 제작하였고, 쵭파이버를 적용하여 강도를 개선시킨 분리판을 제작하였다. 먼저 무지 평판 제작 및 물성평가를 진행하여 수요처가 요구하는 물성 기준 달성을 확인하였고(Table 2), 이 후 유로 디자인이 적용된 금형으로 분리판을 제작하였으며, 애노드 및 캐소드 분리판의 접합 조건까지 최적화하였다.

2.4 스택 제작 및 평가

개발된 접합 분리판을 적용하여 5 kW 급 연료전지 스택을 체결하고 평가하였다(Fig. 1.).

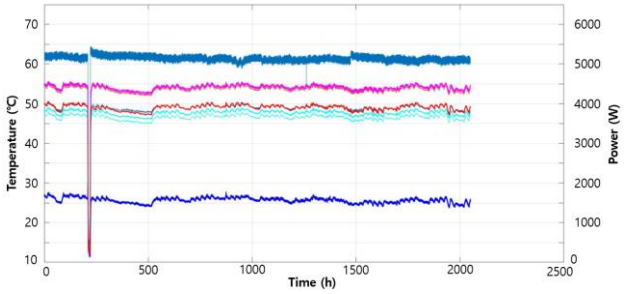


Fig. 1. Graph of 5 kw fuel cell stack evaluation.

시스템 정격 발전 시작 시 출력이 약 5.2 kW로 발전을 진행하였고, 약 2,000 시간 가동 시 5,125 W로 약 75 W 감소하였으며, 시스템 내구성은 0.0037 W/hr를 달성하였다.

3. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 복합금속촉매 다양한 반응 실험을 통해 전도성을 개선시킨 탄소나노섬유를 개발했고, 국내 H사의 탄소섬유의 평가를 통해 소재 국산화의 가능성을 확인하였다. 해당 탄소섬유를 탄소복합재 분리판에 적용하여 수요처 요구 물성을 충족하였고, 해당 분리판을 건물용 PEM연료전지 스택에 적용하여 우수한 성능을 확인하였다. 이 기술을 바탕으로 향후에는 전도성 탄소나노섬유를 분리판에 적용하여 스택 평가까지 진행할 예정이며, 모빌리티 및 산업용 기계에도 확장하여 적용할 수 있도록 연구를 진행할 예정이다.

후기
본 연구는 탄소융복합소재부품 실증사업(과제번호: G28 20220700007) 지원으로 수행되었습니다.

Composite core 적용 가공송전선의 실선로 실증 연구
Field Demonstration Study of Overhead Transmission Lines with Applied Composite Core

***신승현, 조민상, 안성연, 길진수, 변정훈, 윤창민, 박상욱, 신정인, 박도현[1]**
*** S.H. Shin, M.S. Cho, S.Y. Ahn, J.S. Gil, J.H. Byun, C.M. Yoon, S.Y. Park J.I. Shin, D.H. Park [1]**

[1] LS전선㈜
+ E-mail: bsshin@lscns.com

Keywords: Composite core, Overhead Transmission Lines, Field Demonstration

1. 서론

기존 설치되어 있는 ACSR 전선의 평균 사용 연수가 40년을 초과하여 교체 시기가 도래함에 따라, 증용량 저이도 전선에 대한 수요가 증대되고 있다. 탄소섬유복합재(CFRP)를 중심인장선으로 적용한 신전선은 기존 금속 인장선 전선 대비 이도 특성이 우수하고, 전력손실을 감소시킬 수 있어 에너지 효율 향상을 기대할 수 있다. 국내의 경우, 해당 제품의 적용이 5년 이내로 짧아, 실증 시험을 통한 신뢰성 검증이 필요한 상황이다. 본 연구에서는 Composite core를 적용한 가공송전선의 장기 내열 특성 평가 및 실선로에서의 성능을 검증하여 전선 교체 및 신설에 있어 대안을 제시하고자 한다.

2. Composite core의 장기 내열 특성 평가 및 수명 예측

초고압 가공송전선용 Composite core의 장기 내열 특성을 평가하고, 이를 바탕으로 40년 수명 온도를 예측하였다. Composite core를 구성하는 CFRP는 고온 환경에서의 장기 내구성이 중요한 변수로 작용한다. 이를 평가하기 위해, 다양한 온도 조건에서의 내열 시험을 실시하여, Composite core의 온도별 성능 저하를 측정하였다. 내열 시험 결과 Data를 기반으로 40년 수명 온도를 계산하였다.

3. 실선로 실증 평가를 통한 완제품 거동 특성 파악

실제 선로 환경에서 Composite core를 적용한 가공손전선의 실증 평가를 진행하여 실증 전선의 완제품 및 Core 건전성, 완제품 거동 특성을 확인하였다.[1] 한전 전력연구원의 대전류 실증 시험장에서 대전류 실증을 통해 전선의 처짐, 장력, 실증시의 환경조건별 비교를 통해 전선의 이상 유무를 확인하였다. 실증 시험 중 취득된 DB에서 특이점은 보이지 않았으며, 측정 항목별 기준을 모두 만족하는 것을 확인하였다. 전선 온도 특성에 따른 이도, 장력 비교 결과 실증 전선의 기준치를 만족하고 있다.

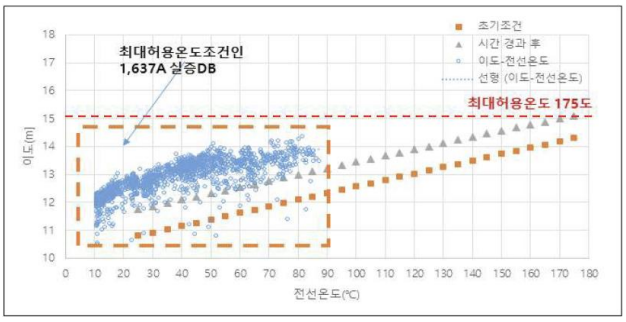


Fig. 1. Conductor Temperature-Sag Results

4. 결론

본 연구는 가공송전선용 Composite core의 장기 내열 특성 평가 및 실선로 실증 평가를 통해 Composite core의 장기적 성능과 신뢰성을 입증하였다. 이 결과는 전력 송전 분야에서의 복합소재 기술 혁신을 촉진하고, 탄소섬유복합소재의 상용화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 연구를 통해 확보한 장기 성능 및 실선로 실증 Data를 활용하여 탄소섬유 복합재를 활용한 중심인장선 신제품(연선형 등) 개발시 수명을 예측하는 것이 가능할 것으로 예상된다.

감사의 글

이 성과는 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국탄소산업진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (G2820220600045)

참고문헌

[1] 용량증대 신소재전선(LSCC) 실증시험 결과보고서, 한전 전력연구원, 2022.

EDM용 인조흑연블록의 제조 실증 및 ㈜카보랩의 인조 흑연 블록 연구
Manufacturing process of Artificial graphite blocks for EDM and Research progress of carbolab Co.Ltd

***김우석 [1]**
*** W.S. Kim [1]**

[1]Carbolab Co., Ltd., saneopdanjiro 245, eomo-myeon, kimcheon-si, Gyeongsangbuk-do
[+] E-mail: wskim@carbolab.co.kr

Keywords: Artificial graphite blocks, manufacturing progress, research progress

1. 서론

㈜카보랩은 연구 기반의 산업용 소재 전문 기업이다. 주 생산제품은 인조흑연, 내화단열재, 방열코팅 페이스트, 복합카본이 있다.

2. 인조흑연블록

인조흑연은 중간원료를 성형 및 흑연화 열처리한 성형체 또는 분말 상의 판상, 적층 형태의 탄소소재를 뜻한다. 가볍고 고온강도가 우수하며 전기 및 열전도성 그리고 열안정성이 우수한 소재이다. 등방성인조흑연블록, 이방성인조흑연블록, 음극재로 분류될 수 있으며 등방성인조흑연블록은 방전가공용 전극, 금형, 원자로 등에 사용된다. 이 중 방전 가공용은 전기전도성 및 열전도성이 우수하여야 한다. 원료의 분쇄, 혼합, 혼련 , 성형, 탄화, 함침, 흑연화를 거쳐 제조된다. 각각의 공정은 서로 연계되어 제품의 물성을 결정하기 때문에 공정 노하우가 중요하다.

3. 인조흑연블록 제조 공정 및 연구

㈜카보랩은 인조흑연블록 연구를 진행하고 있다. 원료를 분쇄한 후 필러와 바인더를 균일하게 혼합하는 과정을 혼련이라고 한다. 그 렇게 생성된 중간원료를 원하는 형상으로 성형을 진행한다. 성형방법으로는 CIP, 압출, 일축가압성형이 있다. 제조된 성형체는 700~1,200℃ 탄화 열처리를 하고 그 후 함침을 통해 내부 기공을 채워준다. 최종적으로 흑연화 열처리를 통해 제품을 생산한다.

㈜카보랩에서 생산하고 있는 인조흑연블록은 밀도는 1.75(g/㎤) 이상이다.



Fig. 1. Manufacturing precess of artificial graphite blocks.



Fig. 2. graphite blocks product



Fig. 3. EDM (electrical discharge nachine)

4. 결론 및 향후과제

인조흑연블록 물성 향상을 위한 연구를 끊임없이 진행하고 있으며 추후 밀도 1.82(g/㎤)이상의 물성을 구현하고 중대형 사이즈 고품질의 인조흑연블록을 제조하고자 한다.

참고문헌

[1] H.N.Youm, K. J. Kim, J. M. Lee and Y. J. Chung. Effects of impregnation on the manufacture of high density carbon materials, Journal of the Korean ceramic society, Vol.30, No.10, pp.852~858, (1993)

자동차 복합재료 개발 동향/전략
Development of Natural Fiber Reinforced Composite for Automotive Parts

박상윤[1], 박상선 [1]
S.Y. Park [1], S.S. Park [1+]

[1] 현대자동차 AVP본부
[+] E-mail: syoonpark@hyundai.com

Keywords: Advanced Vehicle Platform, Composites, Low-Cost Materials & Process, Automation

1. 서론

최근 고효율 · 친환경 자동차 기술 개발에 대한 요구가 증대되고 있는데, 경량화는 구동계 효율을 개선시켜 성능 향상을 극대화시킬 수 있고, 이로 인해 연(전)비향상을 도모할 수 있어서, 환경오염 방지와 함께 연(전)비개선을 위한 중요한 요소이다. 일반적으로 차량 경량화를 위해서는 (1) 신소재 개발, (2) 설계 최적화 그리고 (3) 성형 및 가공, 접합기술 개발 등 다양한 분야에서의 요소기술 개발이 필요하다.

이러한 경량화 요구가 증대됨에 따라 경량화 효과가 큰 차체 외판 (루프, 후드 및 트렁크 리드 등) 및 샤시 부품에 대한 탄소섬유 복합재 (CFRP; Carbon Fiber Reinforced Plastics) 적용 가능성에 대한 연구가 완성차 업체를 중심으로 활발히 진행되고 있다. 또한 최근에는 PBV (Purpose Built Vehicle), AAM (Advanced Air Mobility) 그리고 Robotics 등 다양한 미래 모빌리티 사업분야가 출현함에 따라 소량 · 다품종 요구조건에 부합하는 복합재료 설계/재료/해석/생산기술에 대한 기술 니즈가 증가되고 있다. 그럼에도 불구하고 초경량 소재로써 복합재료는 고강성, 고강도, 내식성 및 진동 흡수 능력 등의 많은 장점을 가지고 있으나, 공법 별 Cycle-Time에 따른 원가차이가 매우 크므로, 대량생산 시스템이 필수적인 자동차 산업에 적용되기 위해서는 소재 및 공법 개발 등 기반 기술 구축이 반드시 선결되어야 한다. 본 발표를 통해서 국내 · 외 복합재료 기술동향과 함께 미래 모빌리티 기술 대응을 위한 당사 복합재료 개발 전략에 대해 소개하고자 한다.

2. 본론

현재 글로벌 자동차 산업에서는 미래 사회 경량화 니즈와 소재 다원화 시대가 도래함에 따라 기존 내연기관 대량 생산 기술에서 M.E.C.A. (Mobility, Electrification, Connectivity, Autonomous) 기술로 급격하게 변화하고 있다. 이를 위해서 (1) 수요 다원화 대응, 차량 개발 Life-Cycle 단축 그리고 투자비 절감 목적 모듈형 차량 플랫폼 도입이 필요하며, (2)효율적인 경량화 기술 구현을 위한 경량 신소재 확대 적용이 필요하다. 이를 위해 국내외 자동차 OEM과 Tier-1 기업들을 중심으로 친환경차 전용 플랫폼 및 스마트 팩토리 생산 차종에 적합한 열경화성 · 열가소성 플라스틱 복합재료 개발을 진행하고 있으나, 기존 금속재 대비 높은 소재 가격 및 낮은 생산성 (Cycle-Time)으로 인한 "경제성 문제"와 "품질 안정화 문제" 등을 해결해야 대중화 가능할 것으로 예상된다.

이를 위해 Fig. 1에서 도해한 바와 같이 (1) 탄소섬유 및 중간재 (Prepreg) 가격에 대한 절감뿐만 아니라, (2) 소재 이방성 (Anisotropic) 특성을 고려 재료설계 단계에서부터 적층 패턴에 따른 최적화된 물성 도출, (3) 원소재 특성 및 공정변수 (Process Parameter) 간 상관 관계 연구, (4) 대량 생산 및 비용 절감을 위한 자동화 성형기술 연구 등 다양한 요소기술이 필요하다.

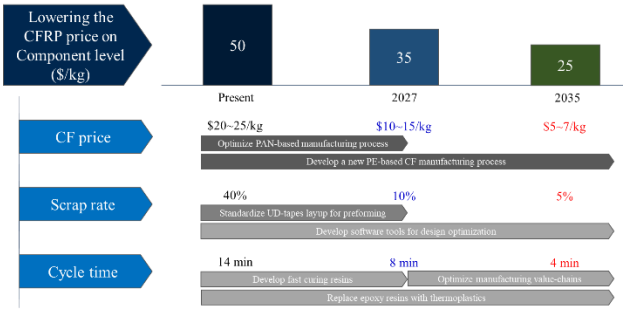


Fig 1. Low-Cost Carbon Fiber and Mass Production Road Maps for Future Mobility (Ref. : 2019 Aramco Non-metallic Symposium)

본 발표를 통해 글로벌 자동차 OEM/부품사/소재사 등 최신 기술 동향을 포함 국내 복합재료 부품 양산 기술 소개 및 향후 필요한 요소기술 (Fig. 2) 등에 대해서 소개하고자 한다.

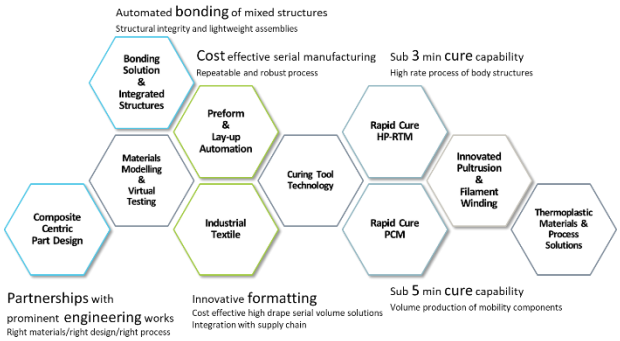


Fig 2. Enabling & Accelerating Lightweight Composite Solutions

본 문서는 현대자동차·기아의 정보자산으로 귀사와의 비밀유지계약 및 제반법률에 따라 법적 보호를 받습니다.

자동차용 복합소재 기술 동향 및 현대제철 개발 현황
Trends in Composite Materials Technology for Automotive Applications and Current Technological Developments at Hyundai Steel Company

***노희석 [1]**
*** H.S. Roh [1]**

[1] 현대제철연구소 모빌리티부품연구팀
+ E-mail: rhs0517@hyundai-steel.com

Keywords: Automotive, CFRP, Resin Transfer Molding, Compression Molding

1. 서론

현대제철은 현대자동차그룹의 철강사로서 전기로와 고로 제강을 통하여 철근, H형강, 강관, 자동차부품, 열연, 냉연코일 및 후판 등을 생산하여 건설, 자동차 및 조선산업 등 산업 전반에 공급하고 있다. 현대제철연구소는 철강재 이외에도 경량소재에 대한 연구도 진행중이며 그 중 하나로 경량 복합소재 부품화 기술 개발을 진행하고 있다.

2. 본론

2.1 자동차용 복합소재 기술 동향

자동차는 원가와 성능의 밸런스가 중요하여 가성비가 우수한 철강재가 주력 소재로 사용되어 왔으나 전동화 전환에 따라 차량의 중량저감가치가 상승하여 경량 복합소재의 적용이 증가할 것으로 전망된다. [1]

탄소섬유 복합소재는 1990년대 양산차의 모노코크 바디에 적용되기 시작했다. 이 시기에는 핸드레이업, 오토클레이브 기술을 사용하여 연산 100대 수준의 초고가 자동차에만 적용 가능하였다.

이후 복합소재를 생산량이 많은 대중적인 자동차에 적용하기 위한 기술 개발이 지속적으로 이루어졌다. 그 중 하나는 1992년 Dodge Viper에 적용된 유리섬유 외부 패널 제작 기술로 수지이송성형(RTM) 기술을 적용하여 연간 1,000대 이상 양산 가능하였다.

이후 더 생산 속도를 증가시키기 위해 2010년경 고압수지이송성형(HP-RTM) 기술이 개발되었다. 고압수지이송성형은 150bar 수준의 고압으로 주제와 경화제를 빠르게 혼합함으로써 10분 이내에 경화될 수 있는 속경화성 수지를 활용할 수 있게 하였다.

BMW는 탄소섬유 공급업체 SGL Carbon과의 협업을 통해 고압수지이송성형 기술을 적극적으로 개발하여 고성능차 M3의 루프 제작을 시작으로 전기차 i3, i8의 모노코크 바디를 거쳐 최신 전기차 iX의 차체 부품까지 CFRP로 제작하였다. BMW i3는 2013년부터 2022년까지 25만대 생산되어 연산 30,000대의 대중 전기차의 차체를 CFRP로 제작될 수 있음을 증명하였다. BMW 이외에도 Volvo, Ford의 복합재 판스프링 대량 제조에도 고압수지이송성형이 적용되었다.

수지이송성형 이외에도 압축성형 기술이 자동차 부품 생산에 널리 적용되었다. 압축성형 기술은 프레스를 활용한 복합재 제작 기술로 열경화성 혹은 열가소성 프레프레그, CF-SMC(Carbon Fiber Sheet Molding Compound) 혹은 건조 섬유와 수지를 활용할 수 있다. 압축성형기술은 BMW, 벤츠, 아우디, GM, 도요타 등 다양한 업체에서 차체, 샤시 부품을 제작하는데 적용되었다.

2.2 현대제철 개발 현황

현대제철은 자동차용 복합소재 부품 개발을 위해 2017년 CFRP 연구동을 구축하였다.

자동차 부품의 대량생산을 위해 고압수지이송성형, 압축성형기술을 적용하여 다수의 자동차 차체 부품을 선행 개발하였고 그 중 CFRP 후드는 500대 소량 양산되어 현대차 i30N Project C에 적용되어 기존 후드 대비 약 50% 경량화 하였다.

자동차의 중량저감가치를 고려할 때 CFRP는 여전히 고가이므로 일반차에 대량 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서 유리섬유와 같은 저가 복합재료를 활용하고 경량화 이외에 부가적인 기능 향상이 있는 복합재 개발에도 주력하고 있다.

3. 결론 및 향후과제

복합재료는 금속재 대비 경량화가 우수하나 높은 재료비와 낮은 생산성으로 인해 고도의 경량화가 필요한 곳에만 제한적으로 사용되고 있다. 경량 복합재료의 약점인 높은 제조 원가와 환경 문제(재활용 문제)를 극복한다면 미래 모빌리티 분야에서 활약이 예상된다.

참고문헌

[1] Current Trends in Automotive Lightweighting Strategies and Materials, Frank Czerwinski, Materials, 2021

본 문서는 현대제철의 정보자산으로 관련 법령에 의해 보호 받습니다.

코오롱 차량용 복합재료 기술 소개
Introduction to Kolon Vehicle Composite Materials Technology

*김동원[1]
* D.W. Kim [1]

[1] KOLON Glotech
+ E-mail: dongwon_kim1@kolon.com

Keywords: Composite materials, Lightweight, LFI

1. 차량용 복합재료 기술 트렌드

차량의 급격한 전동화(EV)로 인해, 차량의 공차 중량이 종전 대비 약 200kg 이상 증가 됨에 따라, 차량 경량화 설계에 대한 Needs가 급격하게 증가하고 있다. 또한 신규 EV 전용공장들을 준비함에 있어, 도장공정은 친환경 및 비용적 측면에 가장 걸림돌이 되는 공정이다. 차량 경량화 및 무도장 기술 확립을 위해 코오롱에서 개발중인 차량용 복합재료 기술을 에 대해 소개하려 한다.

2. 코오롱 차량용 복합재료 개발 현황

2.1 경량화 : 복합재 Leafspring

차량은 크게 심장에 해당하는 구동계(Power Train)와, 피부 및 골격에 해당하는 차체, 신경계에 해당하는 전장과, 근육계에 해당하는 샤시로 나눌 수 있다. 이중 복합재료 적용을 위해선 아래와 같이 많은 필요조건들이 따른다.

1) 높은 기계적 물성이 필요할 것. 2) 현 모듈 혹은 제품의 중량이 매우 무거울 것. 3) 제품의 가격이 종전 부품 대비 큰 차이가 없을 것. 이는 아래와 같은 이유에서 비롯된다.

1) 의 경우 일반적인 플라스틱 혹은 엔지니어링 플라스틱이 Cover할 수 없는 영역이어야만, 비록 값은 비싸지만 성능이 좋은 복합재가 적용 가능하며, 2)의 경우 경량화 할 수 있는 절대 중량이 커야 부품당 절감할 수 있는 절감중량이 효과적이다. 3)의 경우가 복합재 적용의 가장 큰 걸림돌로 작용하는데, 이는 최적 설계 및 기능통합을 통해 극복해야 하는 숙제이다.

코오롱 에서는 기능 통합 리프 스프링 연구를 통해, 경량화 뿐만 아니라, 가격경쟁력까지 확보한 서스펜션 시스템 개발을 진행하고 있다.



[코오롱 기능통합 스프링]

2.2 무도장 외판 : Long Fiber Injection

차량의 외판은 차량을 디자인을 표현하는 도구일 뿐만 아니라, 각종 법규 및 상품성 조건을 만족할 수 있는 구조적 강건함도 동반되어야 한다. 거기에 더해, 외부 환경의 변화를 최 외각에서 가장 먼저, 가장 오래 견뎌야 하는 혹독하고 가혹한 환경조건에 노출되어 있는 환경내구 부품이다.

구조적 강건함은 제품의 형상과 재질의 영역이지만, 환경 노출에 의한 내후성능은 지금까지 도장이 담당을 했다. 이를 위해 도장라인은 스틸이던 플라스틱이던 필수 공정으로 자리잡아 있다.

하지만 이는 신규라인을 설립함에 있어 많은 환경적, 비용적 제약으로 작용한다. 신규 도장라인 설치를 위해선 막대한 비용이 들 뿐만 아니라 친환경 규제에도 위반되는 사항들이 많다.

이를 극복하기 위해 코오롱 에서는 Painted Facesheet와 PU+GF 의 Co-Molding을 통해 구조적 강도-강성 뿐만 아니라 환경노출에 의해 발생할 수 있는 내후성, 내마모성, 내스크래치성을 도장없이 구현할 수 있는 기술을 개발 완료하였다.



[코오롱 무도장 외판재]

3. 결론 및 향후과제

복합재 Leafspring은 최적 설계 및 기능통합을 통해 기술적 한계를 극복하였고 실용화 단계에 있다. 경량화율은 최소 20%에서 최대 60%에 달하며, 원가 경쟁력 또한 확보되어 스틸과 동등 수준까지 이르렀다.

무도장 외판재 기술은 차량의 외판위치에 제약없이 전부분에 적용 가능하며, 다품종 소량생산 차량뿐만 아니라, 대량생산까지 가능한 전천후 공법으로 자리매김 중이다.

복합재료를 이용한 픽업 트럭의 플로우 베드 개발
Development of FLOW-BED for pick-up truck using composite materials

***임도완 [1], 이재섭 [1], 권영철 [1], 최치훈 [1]**
*** D.W. Lim [1], J.S. Lee [1], Y.C. Gun [1], C.H. Choi [1]**

[1] 한화첨단소재 연구소
+ E-mail: limdowan@hanwha.com

Keywords: Composite materials, Pick-up truck, Floor-bed

1. 서론

2023년도 상반기 글로벌 픽업트럭 판매량은 약 240만대로, 신차 판매량의 약 7%를 차지한다. 이중 미국이 글로벌 픽업트럭 판매량의 54%를 차지한다.[1]. 전세계 전기차 판매량은 지속적으로 증가하여 22년에 판매량 천만대를 달성하였다. 경량화가 중요한 전기차 픽업트럭의 경우, 복합소재 적용이 더욱 강화 될 것으로 예산된다[2]. 픽업트럭 시장 진입을 위해 국내 완성차 업체와 복합재 트럭베드 개발을 진행 하였다.

2. 본론1 복합재료 트럭베드 시장 분석

2.1 북미 픽업트럭 시장

2023년도 상반기, 미국 픽업트럭 판매량은 143만대로, 신차 판매량의 19%를 차지하며, 상위 5개 기업이 판매량의 91%를 차지한다. 상위 5개 기업은 Ford, Toyota, Chevrolet, Ram, GMC이다.

자동차 타입별 판매비율은 SUV 56%, Passenger car 21%, Pickup 19%이지만, 개별 차량의 판매량 순위는 1위~3위 모두 풀사이즈 픽업트럭이 차지 하였다. Ford F-Series(38만대), Chevrolet Silverado(26만대), Ram Pickup(22만대)의 판매량을 기록했다.

2.2 복합재료 적용된 픽업트럭 사례

픽업트럭에 복합재료가 적용된 사례는 1980년대 Ford ranger부터 SMC를 적용하여 현재까지 이어지고 있다.

2000년 초반부터 다양한 완성차 업체에서 복합재료가 적용된 픽업트럭을 출시하였다. 적용된 복합재료는 SMC가 주를 이루며, Ford, Toyota, Honda의 주요 차량에 적용되었다.

현재 복합소재가 적용된 차량은 GMC Sierra, Toyota Tacoma/Tundra, Honda Ridgeline, 현대 Santacruz, Rivian R1t이며, 적용된 소재는 SMC, LFT, CFRTP등 다양한 소재를 사용하고 있다.

3. 본론2 복합재료 픽업트럭 베드 개발

픽업트럭 베드는 외부 노출과 거친 사용환경에 대응하기 위해 다양하고 엄격한 평가가 수행되며, 이를 통과한 소재만 적용이 가능하다. 당사에서 개발한 소재는 SMC 소재를 이용하여 해당 규격을 만족하는 소재를 개발을 진행하여 레시피를 확보하였다. 하지만 SMC 특성상 장기 보관에 불리하여, 미국내 SMC 생산라인을 가진 IDI 소재를 이용하여 부품을 생산하였다.

금속대비 기계적 물성이 낮은 SMC는 비교적 설계 자유도가 높은 소재이다. 성형성이 우수하여, 가변두께와 립을 이용하여 구조 강성을 확보하였다. 아래 그림1은 성형된 플로우 베드이며 구조강성을 확보하기 위해 폼밍 구조를 적용한 것을 볼 수 있다. 이러한 활동을 통해 현재까지 2개 차종의 트럭베드를 양산하였다.



Fig. 1. Pickup Truck Floor Bed.

4. 결론 및 향후과제

복합재료 픽업트럭 베드를 개발하기 위해 내후성 및 강도/강성이 보강된 소재를 개발하였으며, 또한, 구조특성을 개선하여 기존의 금속 픽업트럭 베드와 동등 성능을 가진 픽업 베드를 양산 하였다.

향후 복합재료 픽업 트럭의 확대를 위해서는 생산 비용과 중량 절감에 중점을 둔 연구가 확대 되어야 할 것이며, 친환경적인 제품을 선보여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] Marklines.com
[2] 2017 Plastics in Automotive Conference

특별세션

전기차 전용 신개념 언더바디 구조 개발
Development of a new concept underbody structure exclusively for electric vehicles

*정윤성 [1], 김래형 [1], 김성구 [1], 김영수 [1], 박상언 [1], 손성만 [1+]
* Y.S. Chung [1], R.H. Kim [1], S.G. Kim [1], Y.S. Kim [1], S.E. Park [1], S.M. Son [1+]

[1] ㈜성우하이텍
+ E-mail: yschung@swhitech.com

Keywords: Cell To Body, Under Body, Platform, Electric Vehicle

1. 서론

전 세계적으로 차량 배기가스에 의한 CO_2 발생 증가와 같은 환경 문제 이슈가 대두되고 있다. 차량의 CO_2 배출량을 줄이기 위해 완성차 업체들은 친환경(HEV, PHEV, 전기, 수소 등)자동차 개발을 가속화하고 있으며 그 수요는 꾸준히 증가하고 있다. 이에 따라 다양한 방식의 배터리 시스템의 개발이 요구되고 있다. 본 연구에서는 다양한 방식의 배터리 시스템이 적용 될 수 있는 새로운 개념의 언더바디 구조를 개발하고자 한다.

2. 전기차 동향 및 신개념 언더바디 구조

2.1 국내외 친환경 자동차 동향

국내 완성차 업체인 H사는 2021년을 전동화 도약을 위한 원년으로 선포하고 2025년까지 23개 차종의 친환경 자동차 출시 및 판매량 100만대(시장 점유율 10%) 달성을 목표로 설정하여 개발 및 양산하고 있다. 전세계 완성차 업체들 역시 친환경 자동차 개발에 집중하고 있으며, 판매량도 증가 추세이다. 또한 다양한 방식의 배터리시스템이 적용 됨으로써 차량 제원 및 시스템 확장성에 대한 플랫폼, 성능 최적화와 동시에 차체 구조의 단순화, 전비 향상을 위한 차량 경량화 등과 동시에 구조 강성을 만족한 다양한 플랫폼의 변화 시도가 진행 중이다.

2.2 신개념 언더바디 구조

본 연구에서는 친환경 자동차의 다양한 플랫폼을 소화할 수 있는 다품종 소량생산이 가능하고 생산 공장의 간소화를 위한 부품 일체화 등 차량 플랫폼의 확장성과 차량의 구조 강성을 고려한 신개념 언더바디에 대한 개발을 진행하였다.



Fig. 1. Under Body Structure of New Concept.

3. 신개념 전기차 언더바디 구조 개발

친환경 자동차의 다양성을 만족하기 위해 시스템 확장성 대응 신개념 언더바디를 개발하고 성능 최적화 구현 및 부품 통합을 통해 차체 구조를 단순화 하였으며, 센터플로어 및 배터리 팩 케이스를 일체화한 CTB(Cell To Body) System 구조를 개발하였다. 또한 이를 검증하기 위한 다양한 컨셉 설계 및 검증 해석을 실시하였다.

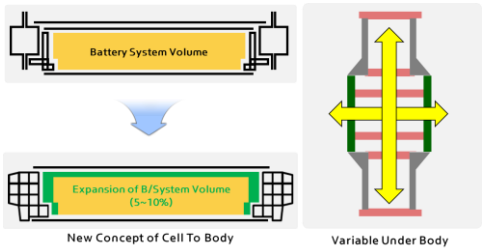


Fig. 2. New concept of variable under body.

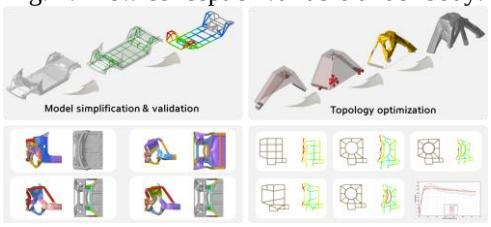


Fig. 3. Design optimization and analysis verification.

4. 결론 및 향후과제

친환경 자동차 수요가 증가하고 대중화하기 위해 다양한 컨셉을 소화할 수 있는 새로운 개념의 언더바디 구조가 필요하다. 다양한 컨셉과 경량화 및 충돌 안정성을 확보한 신개념 Cell To Body 구조의 언더바디를 개발하였으며, 기존 기술 대비 중량 절감, 재료비 감소 및 차량 구조 성능을 개선하였다.

향후 신개념 Cell To Body의 컨셉을 친환경 자동차에 적용하기 위한 기술사업화(성형, 접합 및 양산성 등) 연구 개발이 필요하다.

후기
이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20017447)

열가소성 UD Tape 기반 자동차 차체 구조용 샌드위치 패널 소재 개발
Development of sandwich panel materials based-on unidirectional thermoplastic composite for automotive structural parts

***안승현 [1+], 주원철 [1],**
*** Seunghyun Ahn [1], Wonchul Joo [1]**

[1] SK 이노베이션
[+] E-mail: seunghyun_ahn@sk.com

Keywords: UD tape, Sandwich panel, High glass fiber contents

1. 서론

최근 평판형 배터리 팩 플랫폼 기반의 전기차가 일반화 되고 다목적 모듈타입 차량 개발이 확대됨에 따라, 차량 내외장 부품의 평판화 및 대면적화 추세가 증가하고 있다. 또한 전비 개선을 위한 경량화가 필수적으로 요구됨에 따라, 복합재 기반의 부품 개발도 확대되고 있다. 샌드위치 구조의 복합소재는 단일 소재 대비 낮은 중량에서도 높은 구조 강성을 가지는 장점으로 차체 구조용 재료로 적용 가능성이 높다. 특히 재활용이 용이하면서도 높은 강도 및 강성을 가지는 열가소성 수지 기반 UD(Uni-directional) Tape은 다양한 Core 소재와 조합하여 성능 향상이 가능하다.

2. 고함량 UD Tape 소재 개발

UD Tape은 단방향으로 높은 인장강도를 가지는 얇은 시트 형태의 소재로, 일반적인 직조 공정 기반 Composite에 비해 제조 비용이 낮고, 다양한 적층 패턴 설계가 용이한 장점이 있다. UD Tape의 기계적 물성을 향상 시키기 위해서는 강화재 역할을 하는 유리섬유의 함량을 증가시키는 방법이 있는데, 이 경우 수지 함량이 낮아짐에 따라, 섬유를 고르게 펼치는 기술과 섬유 다발 사이로 수지 함침 효율을 높이는 수지 처방 설계가 중요하다. [1] 본 연구에서는 UD Tape 제조 공정 개발 및 수지 처방을 통해 높은 유리섬유 함량을 가지는 UD Tape을 개발 하였으며, 주요 물성은 아래 Table 1과 같다.

Table 1 Mechanical properties of SK UD tapes

GF contents (wt%)	60	70	80
Tensile strength (MPa)	780	870	960
Tensile modulus (GPa)	30	36	42

3. 샌드위치 패널 적용 구조용 부품 개발

샌드위치 이론에 따르면 Steel의 I-beam 원리와 같이 두께 증가에 따라 높은 강성 구현이 가능하다. 샌드위치 패널의 강성은 아래 (1)의 식과 같이 패널 두께에 가장 크게 영향을 받지만, Skin 소재의 두께 및 Elastic modulus도 중요한 인자로 알려져 있다.(D=flexural stiffness per unit length, E_{skin}=elastic modulus of skin, t= skin thickness, h=sandwich thickness) [2]

$$D = \frac{E_{skin} \cdot t \cdot h^2}{2} \quad (1)$$

높은 유리섬유 함량을 가지는 UD를 Skin 소재로 적용하였을 때 skin재의 elastic modulus 향상과 specific weight 대비 두께 증가 효과로 인해, 동일 중량 수준의 Al 및 Steel 소재 대비 높은 굴곡 강성 수준을 확인할 수 있었다. 이를 통해 정하중에 대한 지지가 필요한 차체의 바닥재 및 벽체용 패널에 적용 가능할 것이라 판단된다.

또한 열가소성 수지 기반의 UD Skin 및 Core 소재로 구성된 샌드위치 패널은 예열 후 상온 프레스 공정 적용으로 Thermoset 복합재 Skin 적용 샌드위치 패널 대비 짧은 시간 내에 연속 성형이 가능하며, Fig. 1과 같이 금속 소재 대비 복잡한 형상 성형도 가능하였다. 특히 단순한 Lamination 공정 적용 다양한 외장 필름 접착으로 표면 기능성 부여 및 외관 개선이 가능하였다.

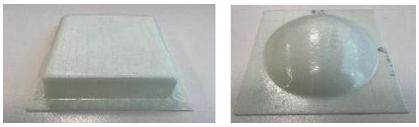


Fig. 1. Sample images after preheating & compression.

4. 결론 및 향후과제

열가소성 UD Tape 기반 샌드위치 패널은 대면적의 고강성이 필요한 차체 내외장 부품에 적합한 소재로써, 향후 고강성 UD Tape 과 다양한 Core 소재와의 조합을 통해 부품 별 요구 조건에 맞는 최적 구조의 샌드위치 패널 개발이 필요하다.

참고문헌

[1] M.S. Irfan et al. J. *Compos Mater.* 46(3):311-330, 2011.
[2] SAE International. ISBN 978-0-7680-7816-9.

수소저장용기 기술 동향
Technology trend of hydrogen pressure vessel

***허석봉 [1]**
*** SEOK BONG HEO [1]**

[1] 에테르씨티
[+] E-mail: sbheo@oneduksan.com

Keywords: Hydrogen, Hydrogen pressure vessel, Composite pressure vessel

1. 서론

전 세계적으로 수소자동차 보급 확대 및 수소충전소 구축 계획을 수립하고 미국, 중국, 일본, 유럽 등 주요 국가에서 수소자동차 보급과 수소충전소 구축에 노력 중이다. 우리나라는 현재까지 전국에 약 285기의 수소충전소가 운영 중이며, 2024년까지 385기 구축을 목표로 하고 있다.

2. 본론1 복합재료 수소저장용기 기술 동향

2.1 차량용 수소저장용기

차량용 수소저장용기는 플라스틱 라이너 위에 탄소섬유 복합재료로 보강된 Type4 복합재료 수소저장용기로 제작되고 있으며, 넥쏘와 같은 승용차용으로는 50리터급 중소형 수소저장용기가 사용되며, 상용차용으로는 175리터급 중대형 수소저장용기가 사용되고 있다. 차량용 수소저장용기의 경우 중요한 요소인 경량화기술, 원가절감기술, 대량생산기술 동향에 대해 살펴 보고자 한다.



Fig. 1. 차량용 수소저장용기.

2.2 운송용 수소저장용기

현재 수소충전소에 수소를 공급하는 방식은 기체수소를 수소 튜브트레일러를 이용하여 공급하는 방식이 주를 이루고 있으며, 수소충전소당 1.5기의 수소튜브트레일러를 확보하여 운영 중이다. 현재 운용중인 수소튜브트레일러는 총중량 30톤의 무게임에도 불구하고 1회 수소 운송량이 300kg에 불과하여, 도심속에 위치한 수소충전소에 대량의 수소를 공급하기에는 어려움이 많다. 이런 문제를 해결하기 위해 대용량 기체수소를 운송할 수 있는 Type4 수소용기 적용 대용량 수소운송기술의 현황과 기술 동향에 대해 살펴보고자 한다.



Fig. 2. 운송용 수소저장용기.

2.3 수소충전소용 수소저장용기

현재 수소충전소에 사용되는 수소저장용기는 주로 Type1 금속용기가 사용되고 있다. 가스 저장용기의 경우 고정식이므로 비교적 무게에 대한 제약이 적기 때문에 그동안 금속용기가 주로 사용되었으나, 협소한 충전소 부지를 효율적으로 활용하고, 충전소 내진설계의 강점을 살리기 위해 가벼운 Type 4 수소저장용기를 개발하는 기술 동향에 대해 살펴보고자 한다.



Fig. 3. 수소충전소 저장용 수소저장용기.

4. 결론 및 향후과제

차량용, 운송용, 저장용 복합재료 수소저장용기의 기술 동향에 대해 살펴보고 향후 개발이 필요한 기술적 과제에 대해 논의하고자 한다.

특별세션

프리프레그 압축성형 공법을 활용한 자동차 외판 성형기술
Exterior part molding for automotive using prepreg compression molding method

*이재원 [1]
* J.W. Lee[1]

[1] 도레이첨단소재 복합재료사업본부
+ E-mail: jaewon.lee.x1@mail.toray

Keywords: Fast curing prepreg, PCM(Prepreg compression molding)

1. 서론

자동차 등 대량 양산을 위한 부품에 CFRP가 적용되기 위해서는 새로운 소재와 성형기술이 요구된다. 통상적인 프리프레그 소재를 사용하여 오토클레이브 성형으로 부품을 제조하는 경우, 프리프레그의 경화 시간을 확보하기 위해 최소 수시간 이상의 공정 시간이 요구되며, 재단, 적층, Bagging 등 수작업에 의존하는 작업 공정은 비용 증가, Cycle time 증가로 이어져 대량 양산에 적합하지 않기 때문이다.

이에 속경화형 프리프레그 소재와 이를 압축성형공정을 통해 자동차 외판 부품을 제조함으로써, 대량 양산에 적합한 CFRP 성형기술을 개발하였다.

2. 압축성형용 프리프레그 개발

2.1 프리프레그 압축성형 공정의 요구사항

압축성형 공정으로 자동차용 부품을 대량 양산하기 위해서는 종래의 프리프레그보다 빠른 경화속도를 가지는 속경화성이 필요하다. 또한 도장 공정의 불량을 개선하거나 공정 비용을 줄이기 위해 성형 후 외관 품질이 확보되어야 한다. 공정 측면에서는 프리프레그를 사용할 경우 Drapeability의 한계가 있기 때문에 이에 적합한 공정의 개발 및 자동화를 고려한 공정개발이 요구된다.

2.2 압축성형용 프리프레그 특성

압축성형 공정에 부합하기 위해 프리프레그는 아래와 같은 특성을 갖도록 개발되었다. 첫째로, Cycle time 단축을 위해 150 ℃ 금형에서 5분 이내 경화가 가능하도록 개발하였으며, 이 조건에서도 기존 오토클레이브로 제작된 CFRP의 물성과 동등한 수준을 확보하였다. 또한 외관 품질 확보를 위해, 압축성형 중 레진 흐름성을 최적화하였으며, 이를 통해 탄소섬유의 Disorientation을 최소화하고, 표면의 레진층을 확보하여 미려한 외관을 확보하였다. 그리고, 추후 전착 도장 및 건조 공정에서 변형을 방지하기 위해 통상적인 프리프레그의 유리전도온도인 120~130 ℃ 보다 높은 160 ℃ 이상의 유리전이온도를 확보하였다.

3. 압축성형기술을 활용한 자동차 부품 성형

개발된 압축성형용 프리프레그를 활용하여 Roof rail, Center tunnel, Door outer 등의 부품 성형 시험을 진행하였고, 특히 Trunk lid와 같은 부품은 프리프레그를 사용하여 외판을 성형하고, CF-SMC를 사용하여 내판을 성형한 후 이를 접합, 조립 및 도장 공정까지 진행함으로써 양산성을 검증하였다.

개발한 CFRP Trunk lid의 경우, 외판 성형 기준 Cycle time을 약 15분 수준으로 단축할 수 있고, On line 도장을 통해 외관 품질이 확보됨을 확인하였다. 또한 최종 Trunk lid는 스틸 대비 약 60%의 경량화 효과를 확인하였다. 기존 오토클레이브 공법 대비, 압축성형 기술을 활용하여 자동차 부품을 대량 양산할 경우, 금형 투자비 등으로 인해 초기 부품 단가는 증가할 수 있으나, 년간 수천대 이상 양산할 경우 단가는 감소할 것으로 예상되며, 년간 수만대의 부품 양산을 고려할 때 압축성형공법에 의한 CFRP 부품 성형이 유리할 것으로 예상된다.



Fig. 1. Trunk lid outer part molding using prepreg compression molding method

4. 결론 및 향후과제

압축성형공법에 의한 CFRP 부품 제조가 대량 양산에 적합한 공정임을 확인하였다. 그러나, CFRP 부품이 양산 적용되기 위해서는 Cost down이 필수적이며, 특히 도장 전 전처리 공정에 대한 공정비 감소를 위해 소재, 공정 개발이 추가로 필요하다.

천연섬유 강화 자동차 용 복합재료 개발
Development of Natural Fiber Reinforced Composite for Automotive Parts

***신용현[1], 박상윤[1], 박상선[1]**
*** Y.H. Shin [1], S.Y. Park [1], S.S. Park [1+]**

[1] 현대자동차 AVP본부
[+] E-mail: crerdit@hyundai.com

Keywords: Natural fiber, Flax, Basalt, Automotive parts

1. 서론

천연섬유 (Natural fiber)는 생산 및 폐기 과정에서 이산화탄소 배출을 상당량 절감할 수 있으며, 특히 연속섬유의 경우 기계적 물성도 우수해 친환경 및 경량화를 동시에 만족시킬 수 있어, 기존 유리, 탄소섬유를 대체하는 소재로 각광받고 있다.[1] 아마 (Flax) 섬유는 식물계 인피섬유 (Bast fiber)로 천연섬유 중 물성이 우수해 생산량이 많은 유럽을 필두로 자동차 부품 개발이 활발히 진행 중이다. 실제 최근 기존 복합재료 성형 공법을 활용한 범퍼, 도어, 후드 등 다양한 외장 및 차체, 외판 부품을 각 자동차 OEM에서 소개하고 있다.

본 연구에서는 자동차 부품 목적에 맞는 천연섬유 선정, 섬유 전처리, 복합재 중간재 개발 및 여러 조건에 따른 재료물성 평가를 진행하고, 최종적으로 부품을 실제로 성형하여 천연섬유 복합재에 대한 기반 데이터를 축적하고자 하였다.

2. 본론

2.1 천연섬유 강화 프리프레그

본 연구에서 천연섬유 중 아마 섬유를 대상으로 진행하였으며, 단방향 섬유 (Amplitex 150, Bcomp) 와 2x2 능직 직물 (Amplitex 200, Bcomp) 에 에폭시 수지를 함침 시켜 복합재료 프리프레그를 제작하였다. 수지 함량은 섬유다발 (Tow)의 기공으로 인한 흡수율을 고려하여 중량 기준 50 %를 핫멜트 방식으로 함침 하였다. 현무암 섬유는 아마 섬유의 부족한 기계적 물성을 보강하기 위한 방안으로 그 효과를 검증하고자 하였고, 아마섬유와 동일한 방식으로 에폭시 수지 40 % 함침 하여 제작하였다.

Table 1 Types of Natural Fiber

Fiber	Flax			Basalt
	UD	Twill	Reinforcement	Twill
Supplier	Bcomp			Basaltex
Grade	Amplitex 150	Amplitex 200	powerRib	BAS 220T
Weight	150 gsm	200 gsm	235 gsm	220 gsm
CPT	0.29 mm	0.23 mm	-	0.20 mm



Fig 1. Pictures of Natural Fiber Raw Materials

프리프레그는 오토클레이브 (Autocalve) 공법으로 성형하여 평판을 제작한 후, 워터젯 (waterjet) 가공을 통해 시험편을 가공하였다. 인장/전단/압축 ASTM 국제 규격에 근거하여 평가 및 확보한 데이터를 기존 탄소/유리섬유 복합재와 성능 비교를 통해 천연섬유 복합재의 물성 수준을 파악하였다. 또한 섬유 표면처리, 수분 노출, powerRib 적용 및 아마/현무암 복합 적층에 따른 효과를 재료 평가를 통해 검증하였다.

2.2 자동차 부품 성형

아웃사이드 미러 커버, 스포일러 대상으로 부품을 성형하여 형상에 따른 성형성을 비교 검증하였다. 아마 직물을 활용하였으며, 두께를 고려하여 부품 별 3~4 ply를 금형에 적층 하여 125℃ 경화 조건으로 오토클레이브 성형을 통해 최종 부품을 확보하였다.


Fig 2. Flax Fiber Composite (L: O/S mirror, R: Spoiler)

3. 결론 및 향후과제

천연 연속섬유를 대상으로 재료 물성 검증 및 부품 성형을 진행하였다. 천연섬유는 적용 배경과 필요성이 명확한 소재이지만, 아직은 구조물로써 기존 섬유를 대체하기에 많은 연구가 필요하다. 특히 원소재의 균일한 품질 확보와 직조 기술, 그리고 수분, 온도 등 환경에 대한 성능 저하를 극복하기 위한 기술 개발이 선행돼야 할 것이다.

참고문헌

[1] K.L. Pickering et al. *Composite Part A*, Vol 83, 98-112, 2016

본 문서는 현대자동차·기아의 정보자산으로 귀사와의 비밀유지계약 및 제반법률에 따라 법적 보호를 받습니다.