

스마트 하수처리장 도입에 필요한 운전제어기술에 관한 연구

이지원·김유현·길경익[†]

서울과학기술대학교 건설시스템공학과

A Study on Operation Control Technology Required for Introduction of Intelligent Sewage Treatment Plant

Jiwon Lee·Yuhyeon Kim·Kyungik Gil[†]

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea
(Received : 8 March 2021, Revised : 9 February 2022, Accepted : 9 February 2022)

요약

스마트(Smart) 하수처리장은 하수처리 전 과정에 대한 ICT 기반의 실시간 모니터링, 원격 제어 관리 및 지능화 체계를 구축하여 안전하고 깨끗한 물환경을 조성하는 것을 의미한다. 이러한 스마트 하수처리장의 핵심이 되는 기술이 계측기를 활용한 운전제어 기술이라 할 수 있다. 본 연구진은 국내에서 진행중인 하수처리장 지능화 연구사업들을 참고하여 지능화사업 구축 시 필요한 운전제어 기술들을 분석하고 제시하였다. 분석 결과 규모별 제어, 반류수 제어, 연계처리수 제어, 약품량 제어, 동절기 운영제어, 총 유기탄소 제어까지 총 6개의 제어 기술에 대해 제시하였다. 규모별로는 소규모와 중규모 대규모로 구분할 수 있는 기준을 제시하였고, 반류수 제어의 경우 반류수를 관리할 수 있는 수질 및 유량 센서의 위치를 제시하였다. 연계처리수 제어의 경우 연계처리수가 하수처리장에 미치는 영향과 제어 지점을 제시하였으며, 약품주입량 제어의 경우 지능형 하수처리장 도입에 따라 약품 주입량을 최적화할 수 있는 시스템을 제시하였다. 동절기 운영의 경우 수온 저하에 따른 질산화 저하를 고려하였을 때 제어해야 하는 센서와 펌프를 제시하였다. 총 유기탄소 제어의 경우 향후 오염총량제를 고려한 연동 시스템을 제시하였다. 이러한 운전제어 시나리오들은 향후 지능형 하수처리 알고리즘과 시나리오에 사용될 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 인공지능, 스마트, 하수처리장, 운전제어기술

Abstract

Smart sewage treatment plant means creating a safe and clean water environment by establishing an ICT-based real-time monitoring, remote control management and intelligent system for the entire sewage treatment process. The core technology of such a smart sewage treatment plant can be operation control technology using measuring instruments. This research team analyzed and suggested the operation control technologies necessary for the establishment of the intelligent business by referring to the intelligent research projects of the sewage treatment plant in progress in Korea. As a result of the analysis, a total of six removal technologies were presented, including control by scale, reflow water control, linked treated water control, chemical quantity control, winter operation control, and total organic carbon control. By size, standards that can be classified into small and medium-sized large-scale are presented, and in the case of reflow water control, the location of water quality and flow sensors capable of managing reflow water is suggested. In the case of the linked treated water control, the influence and control points of the linked treated water on the sewage treatment plant were presented, and in the case of the chemical injection volume control, a system capable of optimizing the amount of chemical injection according to the introduction of an intelligent sewage treatment plant was presented. In the case of winter operation, the sensors and pumps to be controlled are suggested when considering the decrease in nitrification due to the decrease in water temperature. In the case of total organic carbon control, an interlocking system considering the total amount of pollution in the future was proposed. These operation control scenarios are expected to be used as basic data to be used in intelligent sewage treatment algorithms and scenarios in the future.

Key words : Artificial intelligence, smart, MWTs, operating control technology

[†]To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology
E-mail: kgil@seoultech.ac.kr

• Jiwon Lee Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology / Ph.D. Candidate (abcjeewon@seoultech.ac.kr)
• Yuhyeon Kim Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology / Undergraduate student (yuhyeon10@naver.com)
• Kyungik Gil Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology / Professor (kgil@seoultech.ac.kr)

1. 서 론

공공하수처리시설의 방류수 수질 기준은 2012년 총인 기준 강화에 따른 총인처리시설 설치를 통해 지속적으로 강화되었으며, 이러한 법령 강화에 따라 고도처리 개량 및 인 제거 설비 확충 등 꾸준한 하수도 사업 투자를 추진해왔다. 하지만, 이러한 하수도 관련 법령 강화와 사업 투자에도 불구하고 과거 5년간(2014~2018) 공공하수처리시설의 방류수 수질기준 초과 횟수를 살펴보면 2014년에는 하수도법 위반 건수 292건 중 방류수 수질 기준 초과는 202건(69.2%)이나, 2018년은 위반 건수 403건 중 방류수 수질 기준 초과가 288건(71.5%)으로 증가한 것으로 나타났다(환경부, 2019). 이러한 원인으로는 크게 유입 하수 농도의 증가와 운영자의 전문성 부족, 계측기의 유지관리 미흡 등으로 꼽을 수 있다.

지난 10년간 정부 정책에 따라 하수관로를 합류식에서 분류식으로 정비하는 하수관로 정비 임대형 민자사업(BTL)이 추진되었고, 지자체별 인근 가축분뇨, 산업폐수, 침출수, 음폐수 등 고농도의 하·폐수를 하수처리장으로 연계처리 하는 경우도 증가하여 지난 10년간 유입 수질 평균 농도 또한 BOD 기준 26%, TN 기준 18%로 증가하였다. 특히, 연계처리수는 공공 하수도 시설 운영관리 업무지침에 의하면 '설계유입 오염부하량의 10% 이내까지 전처리한 후 연계처리하여야 한다'고 명시되어 있으나(Lee and Gil, 2020), 짧은 시간 동안 갑자기 많은 양이 유입되거나 여러 종류의 연계처리수가 혼합될 경우 해당 기준을 초과해서 유입되더라도 감시하거나 적발하기가 쉽지 않은 상황이기 때문에 처리장 입장에서 운전부하가 가중되고 있다(Hong et al., 2006).

결국, 하수처리장의 운전 난도가 올라가면 사람의 경험으로 최적의 운영조건을 유지하는 것이 한계가 있고 비숙련된 인력이 상주하는 처리장은 휴먼에러가 종종 발생할 확률이 높아지게 된다. 물론 소규모하수처리장의 경우 이미 PLC(Programmable logic controller)를 이용한 원격감시제어장치를 통해 무인으로 운전하고 있으나, 이는 '자동화'에 그친 상태이며 '지능화'에 도달하지 못한 상태이다. 즉, 운전상의 문제점이 발견되었을 때 이를 자체적으로 해결할 수는 없으므로 무인장치라 하더라도 운전인력이 필요한 것은 마찬가지이다. 중·대규모의 하수처리장의 경우에 전자식 유량계는 변환기 및 검출기 노후화로 정도가 낮은 상태에서 가동되는 문제가 많으며, 차압식 유량계는 도압배관에 이물질로 인한 막힘, 변환기 부식 및 고장, 측정범위 불량의 문제가 발생하고 있다 (Kim et al., 2015). 또한 가장 설치가 많이 된 초음파식 수위계는 주로 거품이나 스킴, 와류가 발생하는 장소에 설치되어 고장 및 노후화가 잦은 편이다. 수질분석계는 pH, DO, MLSS, 슬러지농도계, COD, BOD, SS계 등이 설치되어 있는데 주로 유입과 유출부에만 설치가 되어있어 공정별 문제점을 파악하기가 쉽지 않고 각각의 계측기 가격이 높게 형성되어있어 지자체로서도 공정 별로 설치하기도 쉽지 않다.

따라서, 증가하는 하수처리장의 부하와 휴먼에러를 최소화하고, 노후화된 계측기를 관리하기 위해 스마트(Smart) 계측

시스템으로 정확한 진단 및 빅데이터 기반의 최적 의사결정 및 제어로 방류수 수질기준의 안정적 준수 및 운영비 절감을 위한 지능형 하수처리장이 필요한 시점이다. 여기서 스마트(Smart)의 사전적 의미는 "정보의 축적과 검색이 자연 언어로 이루어지면, 컴퓨터가 그 정보를 읽고 처리하여 상관도가 높은 것부터 순차적으로 검색 결과를 출력하는 대형 정보 검색 시스템"을 의미하고 있다. 이미 국내외적으로 스마트 하수처리장에 대한 국가 R&D 연구와 실증화가 이루어지고 있다. 다만, 아직까지는 자동화에 그치고 있어 이를 지능화 단계까지 가기 위해서는 고도화된 계측기와 더불어 계측기의 제어기술을 어떻게 관리할 것인지 다양한 제어 시나리오를 수립할 필요가 있다. 본 연구에서는 지능형 하수처리장에 도입할 수 있는 다양한 운전제어 시나리오를 제시하는 바이며, 향후 지능형 하수처리 알고리즘과 시나리오에 사용될 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구방법

2.1 스마트하수도 도입현황

국내에서는 계측기를 활용한 자동제어 기술과 관련된 연구 사업이 활발히 진행 중이며 아래 Table 1에 국내에 진행 중인 자동제어 기술 연구사업들을 정리하였다. 주로 환경부(한국환경산업기술원 포함)와 한국정보화진흥원 등에서 주관하여 진행 중에 있으며, 일부 지자체에 시범 성격으로 설치가 되어 파일럿 운전 중인 곳도 있으나 계측기 데이터를 자동으로 수집하는 것에 그치고 있는 실정이다. 본 연구에서는 해당 연구사업들의 연차보고서와 최종보고서 등을 참고하여 계측기의 종류와 운전제어 기술들을 검토 후 운전제어 시나리오를 작성하였다.

3. 연구결과

지능형 하수처리장의 핵심이 되는 운전시나리오를 제시하기 위하여 규모별 운영, 반류수 여부에 따른 운영, 연계처리수 운영, 동절기 운영, 총 유기탄소 운영에 대한 시나리오를 분석하였고 해당 연구 결과는 다음과 같다.

3.1 규모별 제어

지능형 하수처리장의 운전은 규모에 따라서 각종 계측기의 개수와 데이터 연동 여부가 달라질 것으로 예측된다. 하수도 통계(2019)에서는 일평균유량을 기준으로 500톤 미만(3,535개)과 이상(681개)으로 구분하여 통계화하였으나, 이는 500톤 미만의 소규모 하수처리장이 너무 많으므로 편의상 규모별 처리장의 개수를 고려하여 구분한 것이다. 하지만, 일평균유량 500톤 이상의 하수처리장 내에서도 규모의 범위는 500톤/일~1,630,000톤/일 정도까지 매우 넓다. 따라서, 500톤 이상의 하수처리장은 중규모와 대규모를 구분할 필요가 있다고 판단하여 규모별 전력량을 분석하였다. Fig.1은 일평균 하수처리량에

Table 1. Smart Sewerage research status in Korea

Project	Project A	Project B	Project C	Project D
Key word	Autonomous control	Measurement, optimum operation	Measurement, optimum operation	Big data, intelligent operation
Duration	'20.5~'25.12	'19~'20	'18.5~'19.9	'19.4~'20.12
Cost	7,300(million)	1,200(million)	947(million)	2,608(million)
Client	KEITI	MOE	Geumgang Office	NIA
Main contents	<ul style="list-style-type: none"> Virtual physics autonomous control element technology development Autonomous control integrated system development Virtual physics autonomous system construction Driving and commercialization promotion 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoring system construction Solution application and demonstration 	<ul style="list-style-type: none"> Basic data collection and analysis Sensor/measurement data analysis Derivation of optimal operating conditions 	<ul style="list-style-type: none"> IoT infrastructure construction Big data platform construction ICT-based intelligent system construction Advanced intelligent operation and management system
Object	<ul style="list-style-type: none"> 10% reduction in process control cost 15% reduction in maintenance cost 	<ul style="list-style-type: none"> Treatment stability Energy efficiency Commercial solution development 	<ul style="list-style-type: none"> Water quality improvement (10% improvement in nitrogen removal rate in winter) Power saving by 5% 20% reduction in total phosphorus drugs 	<ul style="list-style-type: none"> Provide optimal operation scenario Operation and maintenance cost reduction (7%) Greenhouse gas reduction (7%) Real-time fault diagnosis Prevention of environmental pollution accidents, etc.

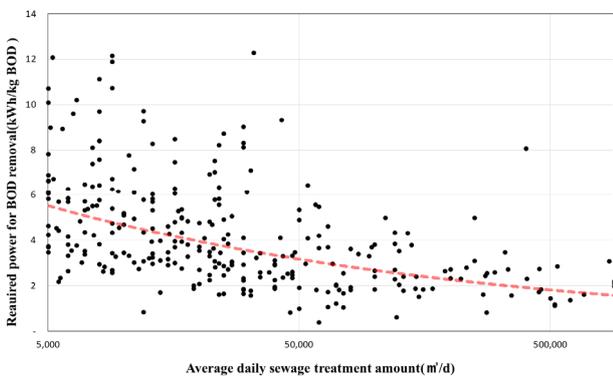


Fig. 1. Energy consumption according to average daily sewage flow

따른 BOD 제거 시 소비된 전력량을 정리한 결과이다. 상대적으로 일평균 하수처리량이 적을 때는 전력량이 상이한 것으로 나타났으나, 일평균 하수처리량이 커질수록 즉, 대규모 하수처리장일수록 전력량이 적어지는 것을 알 수 있다. 이를 중앙값을 기준으로 구분하였을 때 약 일평균유량 50,000톤을 기점으로 나누어지는 것을 확인할 수 있다. 분석 결과 50,000톤 미만인 하수처리장들은 1kg의 BOD를 제거 시 약 7.6kWh의 전력이 소비되나, 50,000톤 이상인 하수처리장들은 약 1.1kWh가 소비되어 전력소모량이 약 7배나 차이 나는 것으로 나타났다.

정리하면 일평균유량 500톤 미만인 소규모 하수처리장들은 규모에 맞는 계측기와 연동시스템을 도입하는 것이 타당하며, 일평균유량 500톤 이상인 하수처리장은 다시 중규모와 대규모로 구분하여 운전제어 기술을 도입할 필요가 있다. 특히, 전력

소모량이 큰 5만톤 미만의 하수처리장들을 대상으로 지능화 사업을 도입할 경우 사업효과가 극대화될 수 있을 것으로 판단된다. 이처럼 일평균유량으로 규모별 기준을 구분할 수도 있으나, 혐기소화조의 유무에 따라 중규모 하수처리장을 구분하기도 하므로 혐기소화조 설치 유무를 규모별 제어기준으로 세 워도 타당할 것으로 판단된다.

3.2 반류수 제어

반류수(Sidestream)는 하수처리장 유입하수와 비교하였을 때 그 유량은 매우 적으나(약 1 ~ 3%) 고농도의 오염물질(질소의 경우 최대 70%)을 함유하고 있어 수처리공정의 오염물 부하 증가 및 충격 부하를 유발하기 때문에 수처리공정 효율에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Gil and Im, 2011, 2012). 따라서 이러한 반류수를 제어하기 위해서는 농축조, 소화조, 탈수기 전후에 계측기를 달아 반류수의 양과 농도를 데이터화하고 추후 모델링의 요소로 분석하여 관리하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 계측기와 인발펌프를 연계시킬 수 있도록 제어한다면 슬러지처리 계통을 보다 최적화하여 운전할 수 있고, 이는 소화가스 발생량 및 탈수케이크 발생량을 최적화할 수 있을 것으로 기대된다. 물론 슬러지처리 공정이 없는 소규모 시설이나, 농축 탈수의 과정만 거치고 처리되는 간단한 슬러지처리 공정 시설인 경우는 반류수 영향 분석이 크게 상관없으나, 소화조 시설이 있는 비교적 중규모 이상의 하수처리장에서는 반류수가 수처리공정에 미치는 영향을 검토하려면, 최소한 반류수가 함유되는 지점(일반적으로 1차 침전지 전)에 수질 및 유량 센서를 설치하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

3.3 연계처리수 제어

가축분뇨, 분뇨, 음폐수, 침출수 등의 연계처리수를 연계하여 처리하는 인근 하수처리장들은 연계처리수의 농도와 부하를 실시간으로 확인할 수 없어 이를 처리하기가 어려운 지사체가 많은 것으로 보고되고 있다(KWWA, 2019). Fig. 2는 국내 연계처리와 관련된 문헌들을 참고하여 작성한 그래프이다. 그림을 보면 오염물질 항목(BOD, TN, TP)에 따라 전체 유입 부하의 약 19.4~28.7%까지 연계처리수에 의하여 유입 부하가 증가하는 것으로 나타났으나, 대부분 유입하수와 혼합되어 들어오거나 소화조로 직 투입되기 때문에 연계처리수가 수처리

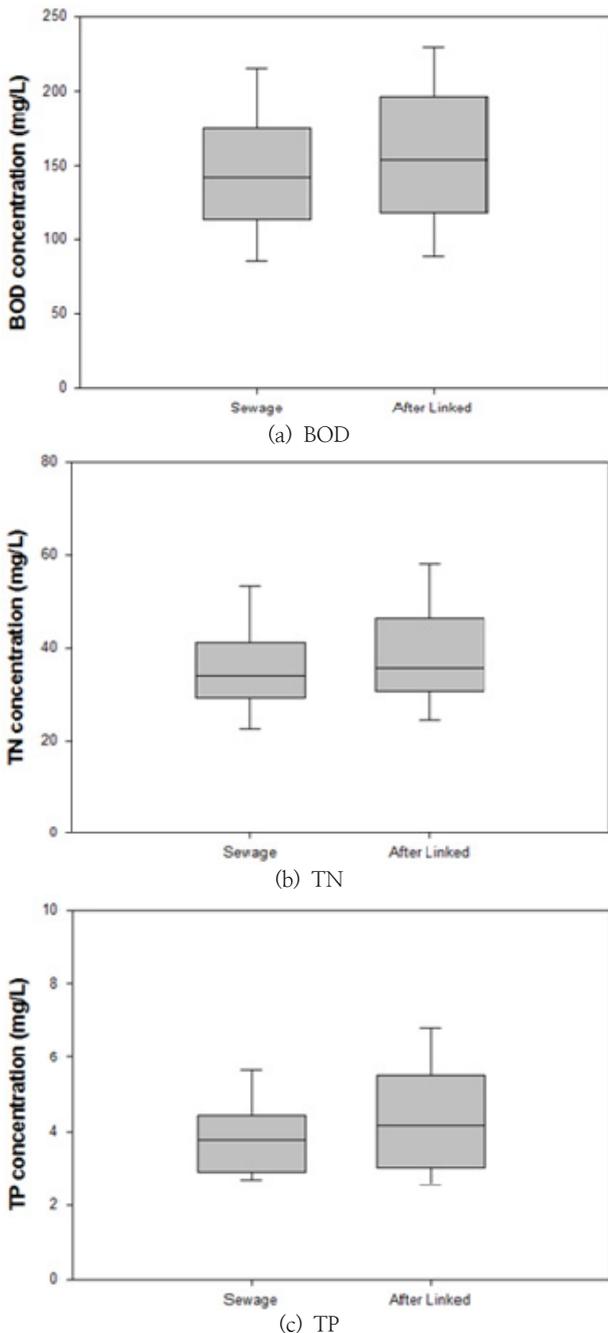


Fig. 2. Changes in the concentration of inflow sewage before and after the inflow of linked treated water

공정에 미치는 영향을 정확하게 파악하기 어렵다. 따라서 연계처리수가 하수처리장에 유입되는 지점에 수질 및 유량 센서를 설치하여 하수처리장 내 연계처리수의 물질 수지를 파악하는 것이 하수처리장 운영에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

3.4 약품량 제어

생물학적인 처리공정에서의 인(P) 처리는 미생물에 흡수된 형태로 제거되며, 화학적인 처리공정에서는 응집제와 화학적 또는 물리적으로 결합한 침전물의 형태로 제거된다. 입자성 인(P)은 고형물 제거 시 거의(0.05 mg/L 이하) 제거되지만, 인축적 미생물(PAO, phosphorus accumulation organisms)을 이용한 생물학적 인 제거 공정이나 화학침전을 이용하는 용존성 인 제거 공정에서는 0.1 mg/L 정도가 기술적 한계 농도로 보고되고 있다(Jeyanayagam et al., 2006). 즉, 매우 낮은 농도의 인을 방류하기 위해서는 생물학적 처리와 함께 물리화학적 처리의 병행이 요구된다는 의미이다(Kim et al., 2014). 특히, 국내에서는 부영양화의 주요 원인인 인을 제어하기 위해, 하수처리장 방류수 농도를 0.2ppm(1지역 기준)까지 강화하였기 때문에 이를 만족하기 위해서는 약품을 많이 사용하게 된다. Fig. 3은 국내 하수처리장에서 총인처리시설이 설치된 406개소의 연간 인 응집제 사용량과 비용을 정리하여 나타내었다. 응집제 1kg을 투입하는 데 드는 비용은 평균적으로 310원 정도로 나타났으며, 규모에 따라 다르겠지만 평균적으로 1개의 하수처리장에서 연간 약 418톤의 응집제를 사용하고 75백만원이 소요되는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 약품량과 비용을 절감하기 위해 응집제를 개선하기도 하고 자동 주입 시스템 등의 기술들도 연구되었다.

지능형 하수처리에서 약품 사용량을 절감하기 위한 제어 기술은 다음과 같이 정리할 수 있다. 먼저 송풍기, 인발펌프등을 최적화하여 운전한다면 인의 생물학적처리 제거효율이 향상될 때 총인처리시설에서의 응집제 투입량이 자동으로 조절 되도록 제어 시스템을 구축할 필요가 있다. 또한, 유입수의 C/N 비와 생물반응조에서의 탈질 효율을 파악해 외부탄소원(메탄올 등) 공급량도 조절될 수 있도록 제어한다면 지능화 이전과 비교하였을 때 약품에 드는 경비가 많이 절감될 것으로 기대된다.

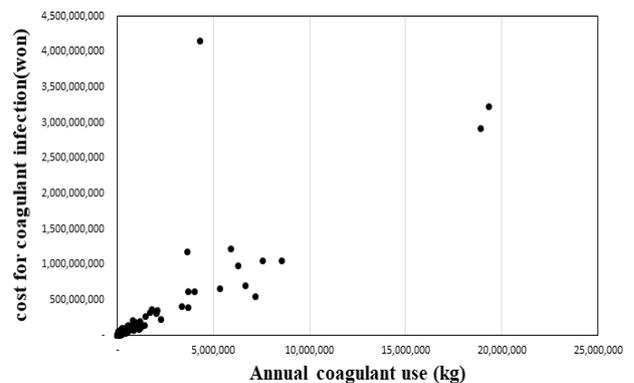


Fig. 3. Annual coagulant use and cost

Table 2. Operating control scenario for smart sewage treatment plant

Control type	Contents
Capacity	<ul style="list-style-type: none"> • Small : Daily average flow below 500m³ • Middle : Daily average flow 500~50,000m³ • Large : Daily average flow over 50,000m³
Return flow	<ul style="list-style-type: none"> • Thickening tank, Digestion tank, Dewatering tank : Water quality & flow sensor • Return flow confluence point : Water quality & flow sensor
Linked wastewater	<ul style="list-style-type: none"> • Linked wastewater entry point : Water quality & flow sensor
Coagulant dosage	<ul style="list-style-type: none"> • Depending on the biological phosphorus removal efficiency, the dosage of coagulant in the TP treatment facility is interlocked with the injection device. • Control of external carbon source injection amount according to C/N ratio and denitrification efficiency
Winter operation	<ul style="list-style-type: none"> • Control of internal/external transfer pumps and excess waste extraction pumps according to water temperature
Total organic carbon	<ul style="list-style-type: none"> • Calculate the total organic carbon load through the values of the total organic carbon concentration sensor and flow sensor, and link this to the total water pollution system

3.5 동절기 운영 제어

동절기 수온의 저하는 질산화 및 탈질 반응에 영향을 끼쳐 결과적으로 TN 제거율에 영향을 미치게 된다. 특히, 질산화 및 탈질 반응에 관여하는 미생물은 수온의 영향에 따라 동역학 계수에 큰 영향을 미치며 수온 10°C 저하시 증식속도가 2배 낮아지는 것으로 보고 되고 있다. 따라서 동절기에는 수온의 변화에 따라 수리학적체류시간(HRT)뿐만 아니라 고형물 체류시간(SRT)이 증가할 수 있도록 수온센서에 내·외부 반송펌프 및 인영찌꺼기 인발펌프가 연동되도록 제어할 필요가 있다.

3.6 총 유기탄소 제어

최근 공공수역의 난분해성 유기물질의 증가에 따른 원인 파악과 배출시설의 기여 여부, 분석기술의 발달, 물 관리수단의 고도화 필요성, 분석의 신속·편리성, 국제적 통용성 측면에서 새로운 유기물질 지표의 필요성이 꾸준히 제기되어왔고, 현행 추세는 총유기탄소(Total Organic Carbon, TOC)를 오염총량제의 대상물질로 도입하려고 있다. 2020년 공공폐수처리시설 방류수 수질기준에는 이미 COD 대신 TOC가 유기물질 측정 지표로 도입되었고, 공공하수처리시설도 2021년도부터 적용될 예정이다. 따라서, 방류지점의 TOC의 농도 센서를 통한 데이터가 유량 데이터와 함께(또는 부하 지표로) 국내 수질 오염 총량 시스템과 연동되도록 제어시스템이 구축된다면 향후 지자체에서 오염총량제 관리가 수월할 것으로 기대된다. 즉, 하수처리장에서의 TOC 제어가 실시간으로 수질 오염 총량 시스템에 반영되도록 한다면 스마트 하수처리를 넘어 스마트 행정 효율화가 될 것으로 판단된다.

앞서 분석한 다양한 운전제어 시나리오를 정리하면 Table 2와 같다.

4. 결 론

미래에는 휴먼에어로 인한 하수처리장 방류수 수질이 기준을 초과하는 문제를 최소화하기 위해 지능형 하수처리장 도입이 필요하다. 본 연구에서는 국내 지능형 하수처리장을 성공적

으로 도입하기 위한 운전제어 시나리오를 연구하였고, 총 6가지 운전제어 시나리오를 제안하였다. 먼저, 규모별로 제어시스템이 다르게 적용될 때 규모를 나누는 기준을 제시하였고, 방류수 제어의 필요성과 수질 및 유량 센서의 위치를 제시하였다. 그리고 연계처리수가 하수처리장에 미치는 영향과 제어 지점을 제시하였으며, 지능형 하수처리장 도입에 따라 약품 투입량을 최적화할 수 있는 시나리오를 제시하였다. 동절기 운영을 고려하였을 때 제어해야 하는 센서와 펌프를 제시하였고, 향후 총유기탄소를 관리해야 할 때 같이 고려해야 하는 점들을 제시하였다. 본 연구 결과는 향후 지능형 하수처리 알고리즘과 시나리오에 사용될 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2017R1D1A1B06035481)

References

- Choi, YI, Ko, MS, Yoon, TK, Han, YR, (2012). A Study on Improvements of Biological Treatment by Combined with Food Wastewater and Washing Wastewater In Leachate Treatment Plant. *J. of Koren Society of Environmental Technology*, 13(1), pp. 37-45 [Korea literature]
- Kim, SJ, Lee, JW, Gil, KI, (2019). Analysis of Proper Linked Treatment Load Using GPS-X Simulation. *J. of Wetlands Research*, 21(3), pp. 244-250 [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2019.21.3.244>] [Korea literature]
- Im, JY, Gil, KI, (2018). Analysis on effect of heavy metal and Retention time to nitrification using industrial wastewater. *J. of Wetlands Research*, 20(4), pp. 390-397 [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2018.20.4.390>] [Korea literature]
- Hong, SI, Lee, IK, Moon, CH, Kim, HW, (2006). Modeling

- performance of a wastewater treatment plant receiving effluent from a public Livestock wastewater treatment facility. *Korean Society Of Environmental Engineers*, 12, pp. 459–464 [Korea literature]
- Park, JH, Kang, SY, Kim, SH, (2016). Feasibility Study on the Treatment of Food Waste Leachate in Municipal Wastewater Treatment Facility. *J. of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 24(2), pp. 41–49 [<http://dx.doi.org/10.17137/korrae.2016.24.2.41>] [Korea literature]
- Han JE, Park, SH, Lee, WT, (2019). Influence of Effluent from a Sludge Carbonization Facility on Wastewater Treatability. *J. of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 27(1), pp. 57–64 [<https://doi.org/10.17137/korrae.2019.27.1.57>] [Korea literature]
- Yoo, KY, Jeong, JA, Youn, HH(2010). A Study on Optimum Business Size of Solid Waste Hauler on the Basis of Collection Cost in Seoul, *Seoul Studies*, 11(1), pp. 125–139 [Korea literature]
- Kim, DH, Park, HS, Park, WC(1991). Pollution Reduction Effects and Economic Analysis of Improved Septic Tanks, *J. of Korea Solid Wastes Engineering Society*, 8(2), pp.123–133. [Korea literature]
- Ryu, HD, Ahn, KH, Chung, EG, Rhew, DH, Kim, YS(2017). Recovery and Recycling of Nitrogen and Phosphorus as Struvite from Livestock Excreta. *J. of The Korean Environmental Sciences Society*, 26(1), pp.119–131. [Korea literature] [<https://doi.org/10.5322/JESI.2017.26.1.119>]
- Lee, YH, Oa, SW, Kim, YS, Park, JH(2014). Assessment of TOC Analysis Method for Livestock Manure including High Strength Solid Organics. *J. of Korean Society on Water Environment*, 30(5), pp.512–516. [Korea literature]