

통합운영시스템과 Retrofitting 기법을 이용한 하수처리장의 고효율·초집적화

지재성 · 박재로 · 윤영한

한국건설기술연구원 국토환경연구부

Development of Integrated Operation & Management System and Retrofitting Technique for the High Efficiency and Compactness of STP

Jaе-Sung Gee · Jaе-Ro Park · Young Han Yoon

Environmental Research Department, Korea Institute of Construction Technology

1. 연구목적 및 내용

최근 국내 환경부에서는 방류수역의 수질보전을 위하여, 2008년 1월 1일부터는 4대강 수계를 포함하는 모든 지역에 강화된 수질기준을 적용하기로 하였다. 이에 따라 2004년 이후부터 고도처리시설 설치사업을 시행하고 있는데, 기존 하수처리시설을 시설개량방식(Retrofitting)에 의하여 고도처리공법으로 전환할 경우, 기존까지는 정밀한 운영실태 분석없이 모든 처리장에 고도처리시설이 설치되어야 하는 것으로 인식하거나 과도한 설제로 증축하는 사례가 있어, 많은 건설 투자비가 소요되고 처리효율이 떨어지는 결과로 이어졌다. 최근 까지 국내에 도입되고 있는 하수처리공법은 해외에서 도입된 활성슬러지공법의 변형들로써, 하수배제방식이 대부분 합류식으로 되어 있는 것과 유기물 농도는 낮은 반면 영양염류의 농도가 높은 국내 하수특성이 고려되지 않고 적용된 경우가 많아, 높은 처리효율을 보이지 못하고 있다.

또한, 환경부에서 추진하고 있는 ‘상하수도 정보화 사업’에 따라, 하수처리장과 같은 환경시설의 자동화 및 원격관리를 위한 시설의 무인 자동화 및 원격제어 통합 시스템 개념이 도입될 필요성이 대두되었다.

이에 따라 본 과제에서는 하수처리 시설의 고효율·초집적 기술개발을 세부기술목표로 ‘하수처리장의 retrofitting을 위한 최적화운영시스템 및 고도처리공정 기술개발’을 수행하게 되었다. 과제의 주된 내용은 향후 강화되는 법적 수질기준을 만족시키기 위한 하수고도처리공법(HASP, Hybrid Activated Sludge Process)과 개발될 공정을 모니터링, 제어 및 예측할 수 있는 하수처리시설의 통합제어운영시스템(IMET, Integrated Monitoring & Electronic Tuning)을 개발하여, 고도처리효율을 증대시키고 시설 운영관리의 원격·자동화관리 시스템 구축으로 경영개선 및 최적 성능발현을 통한 시설의

집적화를 도모하는 것이다.

2. 관련기술의 국내외 동향

2.1. 국외 현황

유럽에서는 유럽 공동체 소속의 국가의 하수처리시설을 대상으로 자동화 및 원격 통합 관리를 적용하기 위해 환경공학 기술과 제어측정기술을 접목하여 현장에 적용하는 SMAC (Smart Control of Wastewater Treatment System) Project(2001-2004)를 90년대 후반부터 준비, 진행하여 왔다.

SMAC Project에서는 STAR(Superior Tuning And Reporting)의 개념을 이용하여 환경기초시설 제어 및 통합관리를 수행한다. 실시간 수질 모니터링 및 제어용 센서 선정, 고도처리공정을 제어하기 위한 논리 및 제어기 개발, 자동제어 실현 예측기기 및 장비, 인터페이스 개발, 운전감시 및 자료분석 시스템 개발 등이 그 내용이다.

본 연구수행 결과, 덴마크의 Helsingor 하수처리장에서는, 화학약품 소비량 85% 절감, 유출 N 농도 30% 감소, 유출수의 BOD 25% 감소, 처리장의 수리학적 용량 25% 증가를 가져온 것으로 보고하고 있다. 그리고 유럽공동체 전체의 환경기초시설에 통합제어시스템을 적용했을 경우, 약 100억 유로화(약 14조원 이상)의 잠재적 효과를 가져다 줄 것으로 평가하고 있다.

2.2. 국내 현황

국내에서는 환경부에서 추진하고 있는 ‘상하수도 정보화 사업(e-상하수도)’ (환경부, 2000)과 정보통신기술의 급격한 발전 및 보급으로 환경기초시설 자동화 분야의 발전이 기대되고 있다. 수처리 시설의 민영화로 앞으로 운영의 경제성, 편의성, 투명성 제고의 측면에서 실시간 모니터링 및 자동화 기술에 근거한 원격통합관리시스템의 수요가 늘어날 전망이다. 실제로 1990년대 말부터 하수종말처리장의 자동화를 위한 많은 연구가 많은 학자 및 기술자들에 의하여 이루어지고

E-mail: yoyoon74@kict.re.kr

Tel: 031-9100-397

Fax: 031-9100-291

있다. 그 결과로, 학계 및 산업계의 많은 연구팀에서는 원격 통합관리 전문가시스템, 관리자 제어 시스템과 같은, 환경기초시설의 자동화를 위한 통합제어 및 운영관리 시스템 개발에 박차를 가하고 있다. 실제로 국내 많은 하수종말처리장에는 수질 계측기를 기반으로하는, 모니터링 시설은 갖추고 있어 현장의 운영사항을 한 자리에서 인지할 수 있는 시스템을 갖추게 되었다. 그러나, 원활한 운영·관리가 이루어지지 못하고 있고 처리시설의 제어를 위한 기능은 배제되어 있으며, 국내 실정에 맞지 않는 기술로 적용되어, 하수처리시설의 통합제어에 있어 앞서있는 외국 선진국에 비해서는 다소 미약한 실정이다.

3. 기술개발 수행내용 및 현황

3.1. 기술개발 내용

수처리선진화사업을 통하여 본 과제에서 이룩하려는 기술개발의 목표는 하수처리시설을 고효율화 및 초집적화 할 수 있는 통합운영시스템과 retrofitting 기술을 개발하는 것이다. 통합운영시스템(IMET)은 실시간 수질계측장비를 이용하여 생물반응조의 상태를 모니터링하고, 단계별 제어를 할 수 있는 펌프 및 밸브 등의 제어장비와 전 공정을 자동으로 제어할 수 있도록 하는 PLC 로직, 생물반응조 상태에 따라 PLC 조건을 변화시킬 수 있는 통합시스템으로 구성된다.

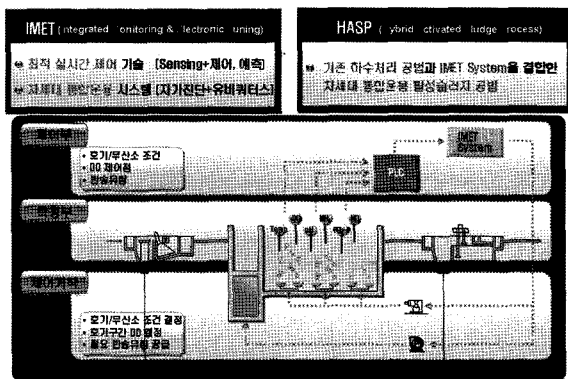


Fig. 1. 과제의 기술개발 개념도.

Retrofitting 기술로 개발하고 있는 하수고도처리공법인 HASP 공정은, 현재 우리나라에 가장 많이 보급되어 있는 전통 활성슬러지공법이 적용된 하수처리장을 대상으로 하여 개발되고 있는 공정으로, 유기물 제거만을 하고 있는 처리장을 고도처리까지 가능하게 할 수 있는 공법이다. 이를 위하여 최소한의 기존 시설물 변경을 실시하고, 혐기, 무산소, 호기적 조건 조성을 위한 공기공급량 조절을 위한 DO 제어법 및 생물반응조 내의 활성도를 높이기 위한 슬러지의 거동제어법 등을 기반으로 운영된다. 이러한 제어들은 통합운영시스템(IMET)에 의하여 실시간으로 이루어지며 상호 연동되어 생물반응조의 상태를 최적화 시키게 된다.

1단계 연구를 통하여, 고도처리공정을 적용할 대상 하수처리장을 선정하여 자동화설비 및 시설공사를 수행하였으며, 개발하려는 통합운영자동제어시스템의 기본 로직 및 Algorithm 개발을 위하여 현장 모니터링 자료분석을 수행하였다. 이후, 2단계 1차년도 연구를 통하여, 대상 하수처리장의 자동화 시스템 시설공사를 마무리하여 통합운영시스템 적용과 고도처리공정의 시운전을 통한 실증시설의 개선을 도모하였고, 국내 하수처리장의 운전개선관련 자료분석과 하수처리시설 성능개선 효율평가를 통하여 공정별 문제점 파악, 운영개선 실증사례 등이 조사되었다.

개발하려는 통합운영자동제어시스템(IMET)이 운영되기 위해서는 현장(생물반응조)의 수질 상태를 정확하게 파악할 수 있는 각종 수질센서의 보급과 센서로부터 전달되는 전기적 신호를 기계적 신호로 전환시켜주는 전기 계장 시스템이 요구된다. 생물반응조의 센서는 pH, DO(ORP), 유입 및 반응유량, 유입 및 유출 nutrient농도(BOD, NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻ 등), 반응조내 미생물량(MLSS or SS), 온도(Temp.) 등을 실시간으로 측정하는 계측장비와 장비를 통하여 D/B로 구축되는 시설로 구성되고, 센서를 통하여 계측된 data에 의하여 다양한 조건 및 운전로직에 따라, 처리공정을 제어할 수 있는 PLC (Programmable Logic Control) 구동장치가 구축되어야 한다.

2단계 2차년도에는 1차년도에 구축된 통합운영시스템과 고도처리공정의 본격적인 시운전을 통하여 시설보완을 추가하고, 지속적인 시운전을 통하여 제어시스템에 의한 유기물 및 영양물질의 효과적인 제거가 되도록 고초처리공정의 운영인

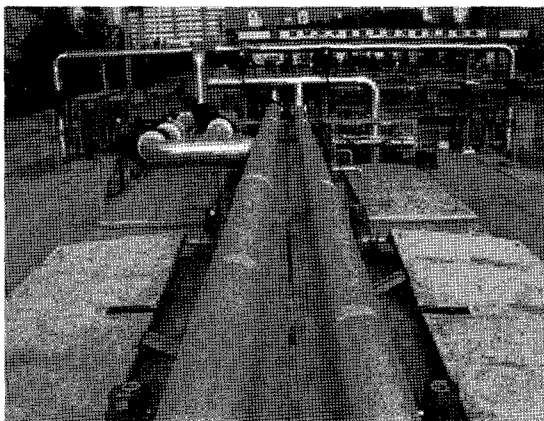
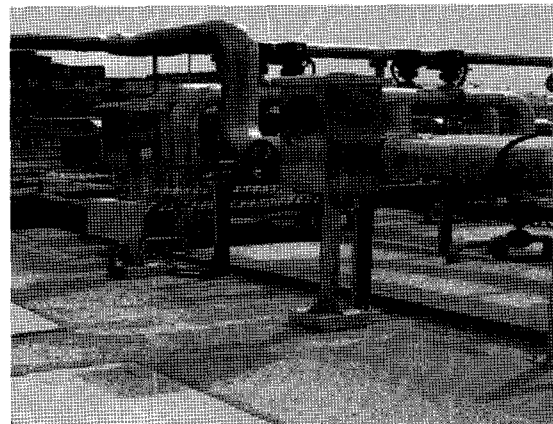


Fig. 2. 실증시설 전경.



자(반응조 DO 농도에 의한 송풍량 제어, 포기조 내 적정 미생물농도 유지 등) 제어방안을 구축하려 한다.

3.2. 기술개발 수행현황

통합운영제어시스템(IMET)을 적용하기에 앞서, 개발하려는 고도처리공정(HASP)에 적합한 생물반응조의 미생물을 성장시키기 위하여, 3월 말부터 가운전을 수행하였다. 다음 그래프는 가운전을 통하여 생물반응조의 미생물 농도변화와 질소농도변화를 모니터링한 결과이다. 초기에는 미생물 농도변화에 따라 질소농도의 변화가 크게 나타났으나, 점차로 시간이 경과할수록 안정화되어 처리된 질소농도 변화가 낮아지면서 처리수의 수질이 향상되고 있음을 보이고 있다(Fig. 3 및 Table 1).

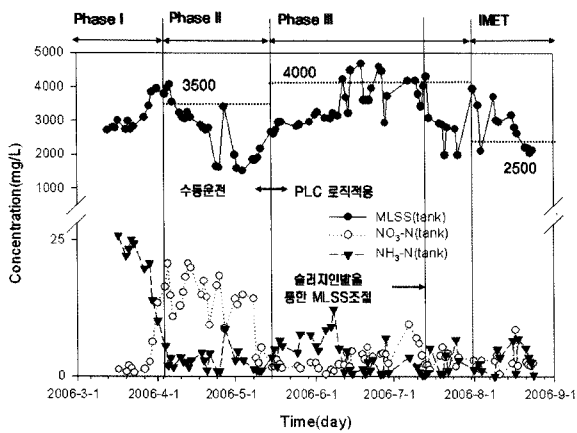


Fig. 3. HASP 실증시설 Phase 운전별 MLSS 농도 변화.

Phase I 기간에는 질산화 미생물의 우점화를 위하여 반송을 증대를 통한 미생물농도(MLSS) 증가 및 공기 공급량을 높였으며, Phase II 기간에는 포기조 미생물농도 유지 및 반송을 조절을 통한 최종침전지내 슬러지량 확보를 실시하였다. 인위적인 운전이 필요하였으므로 Phase II까지는 수동

운전을 실시하였고, Phase III 기간부터는 전 시스템의 자동화 운영을 위하여, Phase I, II 운전기간동안 구축한 PLC 로직을 적용하였다. 최근까지의 Phase 운전별 처리수질을 살펴보면 다음과 같다.

Table 1. HASP 공법의 유출수질(mg/L) 및 제거효율(%)

Item	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Pre-operation
BOD ₅	20.4(82.6)	15.9(86.8)	12.7(87.7)	방류수질 기준치 이하
SS	6.9(93.6)	15.0(85.2)	6.6(93.6)	
T-N	25.6(9.2)	21.5(24.2)	9.1(68.4)	
T-P	2.1(50.1)	2.2(40.0)	1.5(47.6)	

Phase I의 초기운전에서는 단기간내에 높은 미생물농도 증가로 인하여 BOD의 처리수질이 불안정 하였으나, 점차로 안정된 수질을 보여 최근에는 법적 방류수 수질기준 이하로 유출되고 있다. T-N 및 T-P의 경우는, 유입수질의 C/N 비가 낮아 영양염류제거를 위한 고도처리가 어려울 것으로 판단되었으나, 생물반응조내 높은 미생물 확보, 교대간헐포기, 유입수 및 반송수의 선택적 유입위치변경 등을 적용한 HASP 공법을 적용한 이후에 T-N 처리율이 높아졌다. 그러나 T-P 제거율은 연구과제의 목표설정치보다 낮아, 생물학적인 인제거를 위한 추가적인 연구가 더 필요할 것으로 예상된다.

4. 향후 추진계획

현재 2단계 2차년도 연구로서, 경기도 하수처리시설에 10,000톤/일의 규모로 실증시설을 운영·연구개발하고 있으며, 시스템 적용을 통하여 실증시설의 자동화 운전 최적화에 힘쓰고 있다. 즉, 최종적으로 하수처리시설의 통합운영을 위한 자동제어시스템(IMET)을 고도처리공정(HASP)에 탑재하여 실증시설 적용성을 평가 및 분석하여, 대상 하수처리장의 Retrofitting 기법을 제안하는 것이 본 연구의 계획이다.

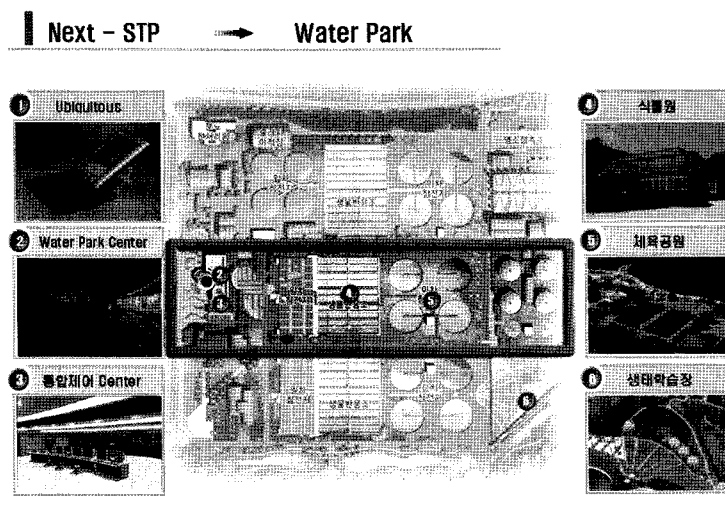


Fig. 4. 통합운영제어시스템 적용 후, 하수처리시설의 활용방안.

5. 활용방안 및 기대효과

통합운용자동제어시스템(IMET)을 탑재한 Retrofitting 고도처리공정(HASP)은 기존 활성슬러지공법이 적용된 하수처리시설을 대상으로, 시설개량을 통한 고도처리공법 전환이 요구되는 시설을 대상으로 하고 있다. 기존 하수처리시설을 그대로 활용하고 최소한의 시설공사를 통하여 본 시스템을 설치 및 시공을 할 수 있어, 별도의 고도처리공정 시공·건축을 위한 자본 및 에너지가 절약될 수 있는 특징이 있다. 생물반응조의 상황에 따른 간헐포기실시와 내부교반시설이 불필요하여 운영비의 절감이 기대된다. 또한 환경공학기술(ET)에 정보공학기술(IT)의 접목이 요구되는 융합기술로써, 국내 의적으로도 경쟁력을 키울 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구를 통하여, 실증운전 및 운영분석에 의한 IMET system을 탑재한 HASP 공정을 개발하고, 하수처리장 최적 Retrofitting 패키지 공정 구성기술을 마련하며, 이를 기반으로 ‘하

수처리장 고효율·초집적 설계, 시공, 운전 및 유지관리·진단지침’을 마련한다면, 향후 시설개량운전방식이 요구되는 하수처리시설의 제도적 장치에 기여 및 활용될 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) 환경부, 2003년말 기준 하수처리장 운영현황(2004).
- 2) 환경부, 환경관리공단, 2003년 하수처리시설 기술진단 사례집(2004).
- 3) 윤영한, 해외(유럽)출장 보고서-유럽의 선진하수처리기술 적용 성공사례 조사 및 하수처리장 방문, 한국건설기술연구원(2005).
- 4) 윤영한, 기존 하수처리장의 Retrofitting을 위한 HASP(Hybrid Activated Sludge Process)공법의 적용성 연구, 대한환경공학회 2006 춘계학술연구발표회(2006).