

Research Paper

사전감지기술 및 송풍량 자동제어를 기반으로 한 저에너지 하수관리기술에 관한 연구

이승명* · 김한래* · 기경서**
(주)아쿠아테크*, 무안군 상하수도사업소**

Study on the Low Energy Sewage Management Based on Pre-sensing Technology and Automatic Blower Control

Seungmyoung Lee* · Hanlae Kim* · Kyoungseo Ki**

R&D Center, AquaTech*
Water and Sewage Office, Muan-Gun**

요약: 본 연구는 하수처리시 가장 많은 에너지가 소비되는 송풍기의 효과적인 제어를 통한 저에너지 하수 관리기술 구현에 관한 것으로, 미생물에 필요한 산소의 양을 산정함에 있어 생물반응조내 운전지표나 방류수의 원격수질감시체계(Tele-Monitoring System, TMS) 데이터를 활용하는 기존방식과 달리 하수처리 시설로 유입되는 하수의 COD_{Cr}, NH₄⁺-N 농도변화를 유입단에서 미리 감지하여 송풍에너지를 절감하고자 하였다.

사용된 사전감지기술은 기존 상용화된 제품과 비교 시 높은 상관관계를 보였다. 사전감지기술과 연계하여 송풍기를 자동제한한 결과 인력에 의한 수동제어방식에 비해 평균 9.9%의 송풍에너지를 줄일 수 있음이 확인되었다.

이처럼, 유입단에서 유입하수를 사전감지할 경우 실시간으로 유입수질의 변동과 및 송풍량 제어가 가능해져 인력에 의한 수동운전방식에 의존하고 있는 다수 하수처리시설에 적용시 저에너지 하수처리를 기대할 수 있으며, 이를 통해 온실가스 배출 절감에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어: 유입하수 농도, 사전 모니터링, 송풍기 제어, 에너지 절감, 온실가스 절감

Abstract: This study is about the implementation of low energy sewage management technology through effective control of blower which consumes the most energy in sewage treatment. In calculating the amount of oxygen required for microorganisms, unlike the existing method using the operating index in the bioreactor or TMS data in the discharge port, the COD_{Cr} and NH₄⁺-N concentration changes in sewage flowing into the sewage treatment plant were detected in advance before entering the bioreactor and the amount of air was controlled based on this. The pre-sensing

was found to have a high correlation compared with conventional products. As a result of blower control, it was possible to save about 9.9% energy more than the manual control. Consequently, this study suggested the possibility of blower's real-time control combined with pre-sensing technology. Also, it is expected that the low energy sewage treatment can be applied to sewage treatment facilities dependent on operation by manpower, and it will contribute to the reduction of greenhouse gas emissions.

Keywords : Sewage Concentration, Pre-Sensing, Blower Control, Energy Saving, Greenhouse Gas Emissions Reduction

I. 서론

우리나라는 2009년 온실가스 감축을 위한 국가 온실가스 중기 감축 목표를 대내외로 발표하였으며, 온실가스 감축 목표 달성을 위한 로드맵 수립(2014년), 배출권 거래제시행(2015년), 각국에서 2015년에 계획하여 결정한 기여율을 근거로 2030년까지 37.0% 감축 등 온실가스 감축을 위한 여러 가지 기반을 구축하였다. 하지만, 2016년 기준 연간 온실가스 배출량은 694.1 백만톤CO₂eq로 1990년 대비 온실가스는 약 136.9% 증가하였고, 매년 증가하는 추세이다. 증가 이유로는 경제성장에 따른 전력수요증가, 산업발전, 수송량 증가 등이 있고, 우리나라에서 연간 배출되는 온실가스 중 비중이 가장 높은 것은 87.1%를 차지한 에너지로 나타났다. 이처럼 기후변화 협약에 대처하기 위한 국가적인 수준의 에너지 대책 마련이 시급하며, 국가차원에서 다양한 에너지 대책을 수립·시행하고 있다(National Inventory Report 2018).

범정부적으로 추진 중인 “저탄소 녹색성장” 정책에 부합하기 위해 2010년 환경부는 에너지 다소비 시설인 하수처리시설에 녹색기술을 적용하여 에너지를 절감하고 청정에너지를 생산하는 “하수처리시설의 에너지 자립화 기본계획”을 발표하였다. 에너지 자립화 기본계획에 의하면 0.8%에 불과한 공공하수처리시설 에너지 자립률을 2030년까지 50.0% 달성을 목표로 3단계에 걸쳐 에너지 고효율설비 도입 지원, 미활용에너지(소화가스, 수소력, 하수열) 이용지원 및 자연 에너지(풍력, 태양광)생산 지원 등을 추진할 계획이다(Cho et al., 2012).

하수처리시설에서의 사용되는 에너지 중 98.6%가

전력으로 사용하고 있다고 보고된 바가 있다(Korea Environment corporation 2008). 또한, 매년 전력비의 증가율이 약 10.0%로 보여지며, 증가되는 원인으로서는 처리수질기준 강화에 따른 처리수질 개선여부, 고도처리 등이 있다(Korea Environment corporation 2008; Ministry of environment 2009; Ministry of environment 2010a).

일반적인 하수처리시설에서 사용되는 에너지 중 가장 많은 양을 송풍기가 소비하는 것으로 알려져 있으며, 송풍기의 적절한 가동에 의해 전력소비를 줄이는 많은 노력이 진행되고 있다. 대표적인 사례로는 생물반응조 내 운전지표(DO, pH 등)에 기초하여 송풍기를 자동제어하거나 방류수의 TMS측정값을 토대로 송풍량을 제어하는 경우를 들 수 있다(Korea environment corporation 2006; K-water 2009). 하지만, 이와 같은 방법은 하수처리공정에서의 미생물 종 특성상 하수의 성분, 발생 및 배제 등 다양한 조건에 영향을 받기 때문에 지역 및 환경에 따라 매우 상이하게 나타내는 것으로 보고되었다(Henze 1992; Kim et al., 2004). 따라서, 유입하수의 변동을 보다 빠른 시간에 파악하여 신속히 송풍량을 제어하는 것에 대한 기술개발이 시급한 실정이며, 이를 위해 하수처리장으로 유입되는 유입수에 대한 특성 및 성상 파악이 매우 중요하다는 것은 여러 연구자에 의해 강조되어 왔다(Olsson & Nielsen 1997; Vase & Praet 2002).

하수처리장에서 유입되는 하수의 성상 및 변동파악을 위해 급속 미생물 호흡을 측정장치와 SS 및 EC로 구성된 소프트웨어 센서부를 이용하여 유입수내 COD성분과 질소성분을 구분하는 방법과 이를 계측

장비로 구현하여 COD, BOD, TN, NH₄⁺-N 항목에 대해 최대 20분 이내로 분석한 사례가 보고되었다 (Kim et al. 2010). 또한, 산란광과 형광을 활용하여 SS, COD항목에 실시간 모니터링이 가능하다고 보고 하였다(Kim et al. 2004).

최근에는 기존의 전극방식 외에 유입하수에 직접 침지하여 별도의 전처리나 시약투입 없이도 측정이 가능한 흡광방식을 활용한 모니터링 사례가 점차 증가하고 있으며, 그 대표적인 예로는 UV-COD센서와 형광 DO센서를 들 수 있다(Kwak et al. 2014). UV-COD센서의 경우 하수중 유기물의 성상을 파악하는데 널리 활용되어 왔고(Anthony 2001), 형광센서의 경우 흡광을 이용한 분석법을 기반으로 높은 감도 및 형광을 띠지 않는 물질에 대해서는 영향을 적게 받기 때문에 검출을 목적으로 하는 성분만 검출하는 선택성 등 여러 가지 장점을 가지고 있는 것으로 보고되었다(An 2017).

이에 본 연구에서는 흡광방식으로 측정되는 CODcr 센서와 NH₄⁺-N 성분만 특정 파장에서 발광하는 형광막 기반의 NH₄⁺-N센서를 활용하여 하수처리시설로 유입되는 오염물질의 농도를 유입단 단계에서 미리 감지하고 이를 통해 송풍량을 자동 조절함으로써 적절한 송풍기의 작동시간으로 수동운전방식보다 저에너지 하수처리를 구현함과 동시에 인력에 의한 수동운전에 의존하고 있는 많은 하수처리시설의 운영자

에게 운영관련정보의 제공 및 하수처리전략을 수립하는데 도움을 주고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상시설

본 연구에서는 유입하수농도를 사전감지 후 송풍 에너지 절감 테스트를 위해 질소, 인제거 고도처리공정이 적용된 실규모 I 하수처리시설(설계용량 3,000 m³/d)을 Test-bed로 선정하였다. 처리단계는 유량조정조, 1차 침전지, 유입분배수로, 생물반응조, 2차 침전지, 후처리(총인처리), TMS, 방류의 단계로 이루어져 있으며, 사전감지장치는 1차 침전지 후단의 유입분배수로에 설치하여 분석을 진행하였다(Figure 1).

I 하수처리시설로 유입되고 있는 하수의 유량과 현재 운영되고 있는 수질현황은 Table 1과 같다.

또한, 유입하수의 유량변동성을 파악하기 위해 시간대별 유량변화를 살펴본 결과, 평균유량은 86 m³/hr로 나타났으며, Figure 2에서 볼 수 있듯이 유량조정조의 활용 및 유입펌프의 인버터 제어 등으로 인해 시간대별 큰 편차 없이 일정하게 유입되는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서, 본 처리장의 경우 유입유량의 변동보다는 유입농도의 변동에 따라 송풍량이 크게 좌우될 것으로 예측되었다.

연구대상시설은 그동안 운영자가 원격수질감시체

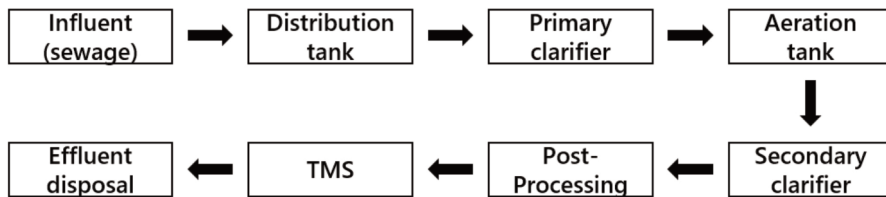


Figure 1. Flow diagram of sewage treatment plant.

Table 1. Influent and effluent conditions of test-bed plant

Influent conditions		Effluent conditions	
Flow	2,190 m ³ /d		
CODcr	85.28 mg/L	CODcr	4.29 mg/L
T-N	11.86 mg/L	T-N	2.36 mg/L
T-P	4.1 mg/L	T-P	0.09 mg/L

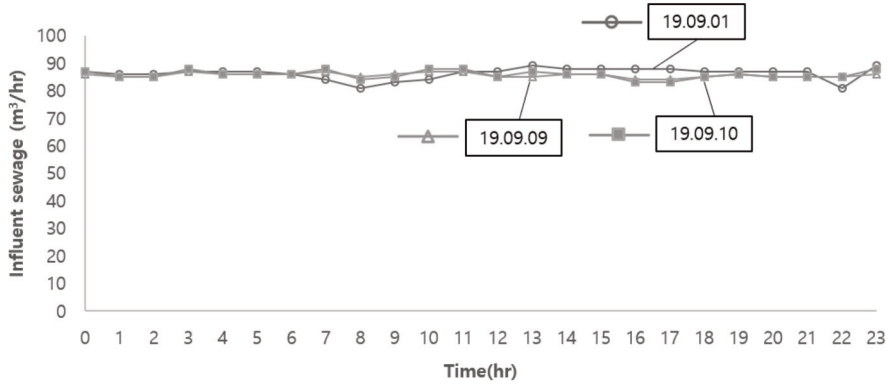


Figure 2. Variation of influent flow in test-bed plant.

계(TMS)의 데이터나 생물반응조의 운전지표(DO 등)를 수시로 모니터링하여 송풍기 가동시간을 조절하여 왔으며, 국내 타 하수처리시설에 비해 유입수 농도가 낮아 송풍기를 간헐적으로 운영하였다. 이와 같이 간헐폭기방식은 시간에 의한 고정운전방법과 DO 등 계측기를 통한 가변운전방법으로 크게 나눌 수 있는데, 시간고정운전방법의 경우 유입하수의 부하변동이 발생할 경우 과폭기나 폭기량 부족이 발생하기 쉽다. 반면, 계측기를 통해 DO농도를 간헐적으로 변화시켜 운전 시 하수처리공정의 DO농도제어에 효율적이라는 결과를 얻은 연구가 있다(Holenda et al. 2008). 하지만, DO농도제어에 의한 가변제어방법의 경우 생물반응조에서 계측된 데이터를 활용하다보니 부하변동에 신속하게 대응하기에는 무리가 있다.

2. 사전감지기술

본 연구에서는 유입되는 하수의 오염농도를 생물반응조 이전단계에서 사전에 감지하기 위해 1차 침전지 후단 유입분배조에 A사의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 측정 센서(형광측정방식, AS N-1901)와 COD_{Cr} 측정 센서(UV흡광측정방식, AS C-1901)를 침지한 후 측정하였다(Figure 3).

또한, A사의 센서에 대한 데이터 정확성을 확인하기 위해 농도가 상이한 하수대상으로 이화학적 분석을 병행하였으며, 분석기기로는 H사의 분석장비(H사, DR3900)를 활용하였다.

본 연구에서는 유입하수중의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도와 COD_{Cr} 농도를 사전감지 후 송풍기를 제어하기 위해 사전감지장치로부터 수집된 데이터를 DB화하여 PLC로 전

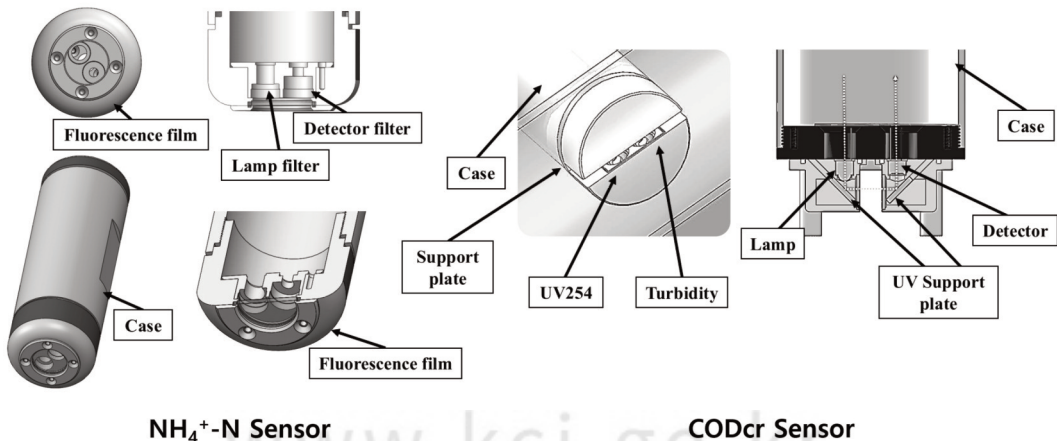


Figure 3. Influent monitoring sensor used this study.

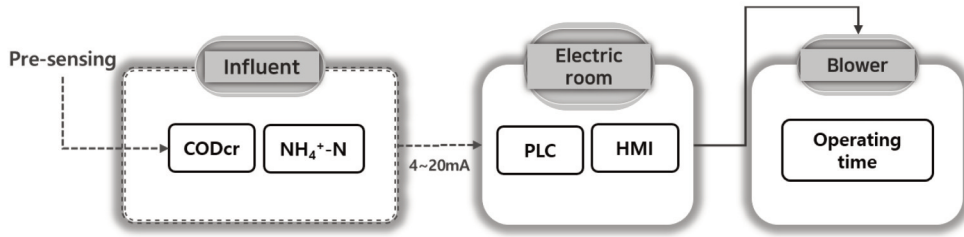


Figure 4. Blower control system of test-bed plant.

달하고, 이를 HMI에서 설정한 값과 비교하여 송풍기 가동시간을 조절할 수 있도록 구성하였다(Figure 4). HMI의 설정값은 시간대별 변화특성을 최대한 반영하기 위해 1시간 간격으로 갱신토록 하였으며, 현재 입력되는 값과의 수시비교를 통해 송풍기의 가동 및 정지시간을 조정하도록 반영하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 사전감지기술의 정확성 및 현장적용성 평가

본 연구에서 유입하수농도의 사전감지기술로 활용된 A사의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 센서와 COD_{Cr} 센서에 대한 현장 적용성 및 정확성을 평가하기 위해 이화학적 측정방식(Standard Method)에 의한 분석값과 사전감지센서에 의해 측정된 값을 상호 비교하였다. 비교결과, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 항목에서는 R^2 값이 0.98로 높은 상관도를 나타내었으며, COD_{Cr} 항목의 경우에도 R^2 값이 0.98

로 나타나 본 연구에 활용된 사전감지기술은 유입수 모니터링을 위한 장비로 활용 가능성을 확인하였다.

송풍기 자동제어를 위한 기초자료를 확보하기 위해 청천시 시간대별 유입수의 농도를 측정된 결과, COD_{Cr} 의 농도는 평균 132.3 mg/L(108.0 mg/L ~ 156.0 mg/L)으로 나타났으며, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 농도는 평균 12.0 mg/L(11.2 mg/L ~ 19.7 mg/L)으로 나타났다. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 는 11시에서 12시 사이에 최대치를 나타내었다(Figure 6). 이와 반대로 비가 오는 날에는 평소와는 다른 패턴을 보였는데, COD_{Cr} 의 농도는 평균 72.9 mg/L(31.9 mg/L ~ 91.9 mg/L)으로 평소보다 약 44.9% 낮아지고, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 도 평균 11.4 mg/L(10.1 mg/L ~ 12.9 mg/L)으로 청천시보다 큰 편차 없이 일정한 농도로 계속 유입되는 것을 확인할 수 있었다(Figure 7).

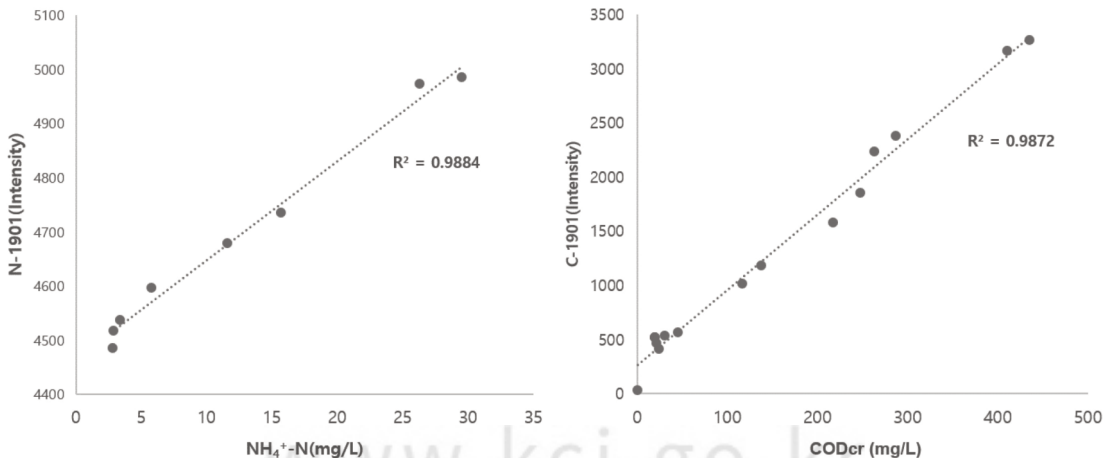


Figure 5. Regression analysis between standard and this study's sensor.

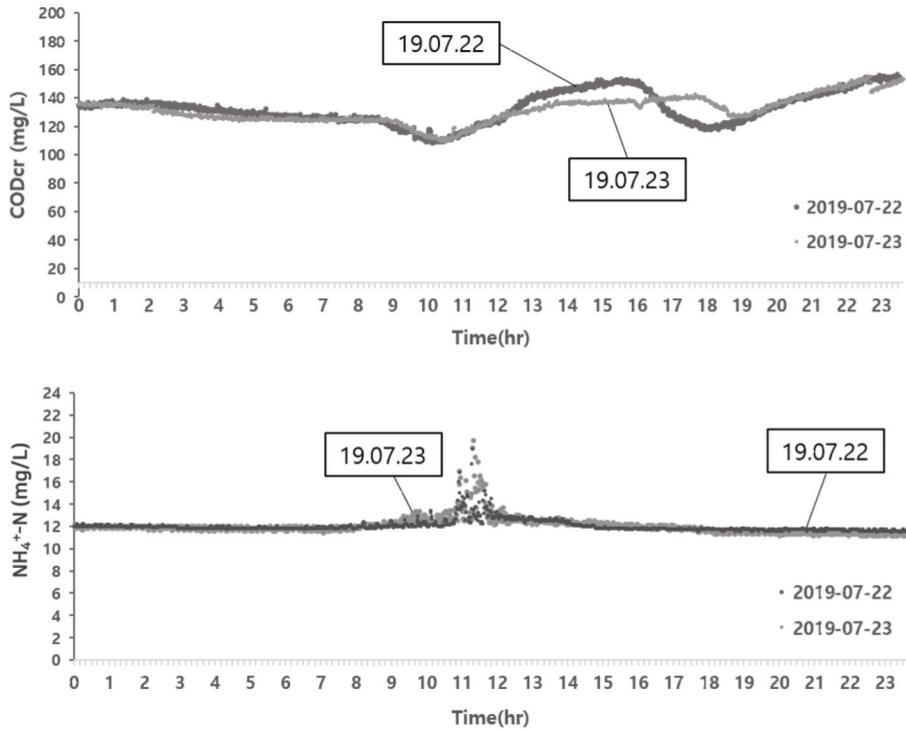


Figure 6. A variation of influent concentration in sunny day.

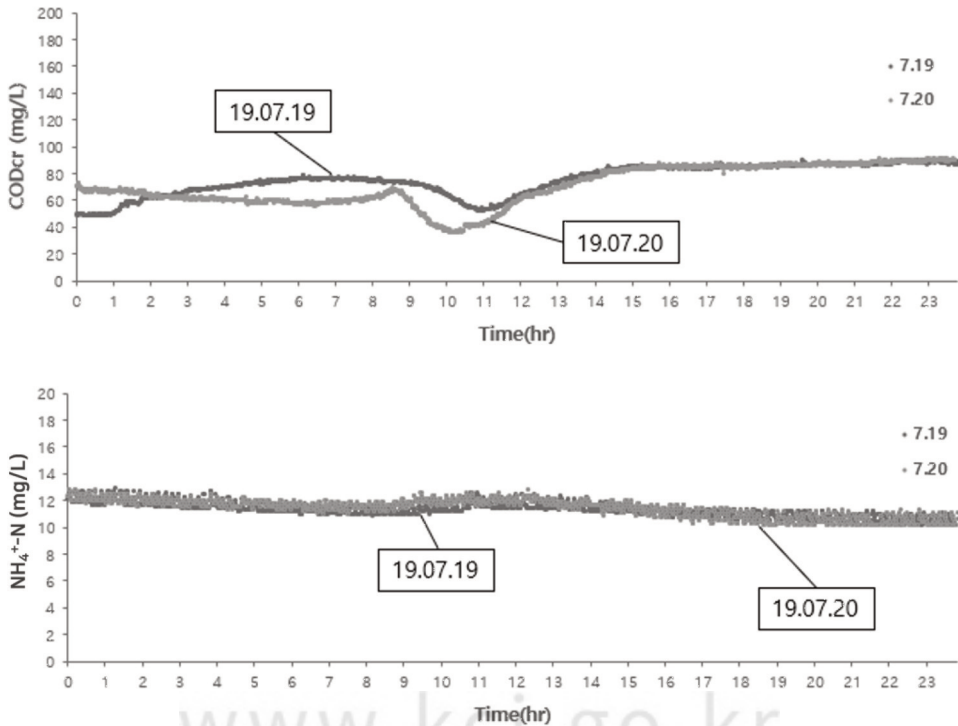


Figure 7. A variation of influent concentration in rainy day.

2. 사전감지값을 토대로 한 송풍량 조절방안 도출

본 연구에서는 사전감지값을 토대로 송풍량 제어에 있어 운영의 연속성을 위해 기존 운영중인 운전패턴을 최대한 유지하면서 변경 가능한 방법을 모색하고자 하였으며, 이에 기존 설정된 운전주기와 동일하게 1시간 간격의 동작주기를 갖도록 설정하였다. 동작주기내에서의 송풍기 가동 및 정지시간 설정은 기존 동작주기동안 축적된 사전감지데이터의 평균값을 취하여 이를 기준 값(Setpoint)으로 설정한 후 현재 시점의 측정값과 비교함으로써 송풍기 가동시간을 사전감지값에 따라 조절되도록 구성하였다(Figure 8).

3. 사전감지기술을 연계한 송풍기제어 알고리즘 도출

사전감지값을 기반으로 한 송풍량조절방안을 바탕으로 송풍량의 설정에 영향을 미치는 인자별 기여도, 유입유량 등을 감안하여 송풍기 제어알고리즘을 구축하였다(Figure 9). 송풍기제어알고리즘은 송풍량에 영향을 미치는 두 가지 항목(CODcr과 NH₄⁺-N)을 모두 고려하여 작성되었으며, 각 항목별 공기량산정 기여도를 감안하여 기준 값(Pre-Sensing Factor, PSF)을 식 (1)과 같이 산출하였다. 식 (1)에서 (a)는 유기물(BOD)을 산화 시키는데 필요한 산소 요구량을

예측하기 위한 것으로서, 유기물(BOD) 1.0 mg을 산화 시키는데 필요한 산소량은 0.5~0.7 mg인 것으로 알려져 있다. 하수의 경우 BOD값이 CODcr값의 절반 수준임을 감안하여 0.3 mg으로 설정하였다. (b)는 암모니아성 질소(NH₄⁺-N)를 산화 시키는데 필요한 산소 요구량을 예측하기 위한 것으로서, NH₄⁺-N 1.0 mg이 질산염으로 산화되는데 필요한 이론적 산소 요구량으로 4.6 mg을 설정하였다. CODcr_{present}와 NH₄⁺-N_{present}는 현재 유입되는 CODcr와 NH₄⁺-N값 (mg/L)으로 사전감지장치를 통해 측정되며, 측정된 값을 각각의 Factor값으로 보정하여(a×CODcr_{present} + b×NH₄⁺-N_{present}) 현재 유입되는 농도의 산소요구량 PSF_{present}를 산정할 수 있다. CODcr_{past}와 NH₄⁺-N_{past}는 기존 DB값에 저장되어있는 값으로 이전 1시간 평균 농도를 산출하여 적용하였다. Q_{present}은 현재 유입되는 유량(m³/hr)이고, Q_{past}는 이전 1시간동안 유입된 양의 평균값으로 설정되었다. 산출된 PSF값의 변화에 따라 송풍기의 가동시간 및 회전수를 자동으로 제어할 수 있도록 구성하였다.

$$PSF = \frac{(a \times CODcr_{present} + b \times NH_4^+ - N_{present}) \times Q_{present}}{(a \times CODcr_{past} + b \times NH_4^+ - N_{past}) \times Q_{past}} \quad (1)$$

본 실증시설에 적용한 자동제어 알고리즘은

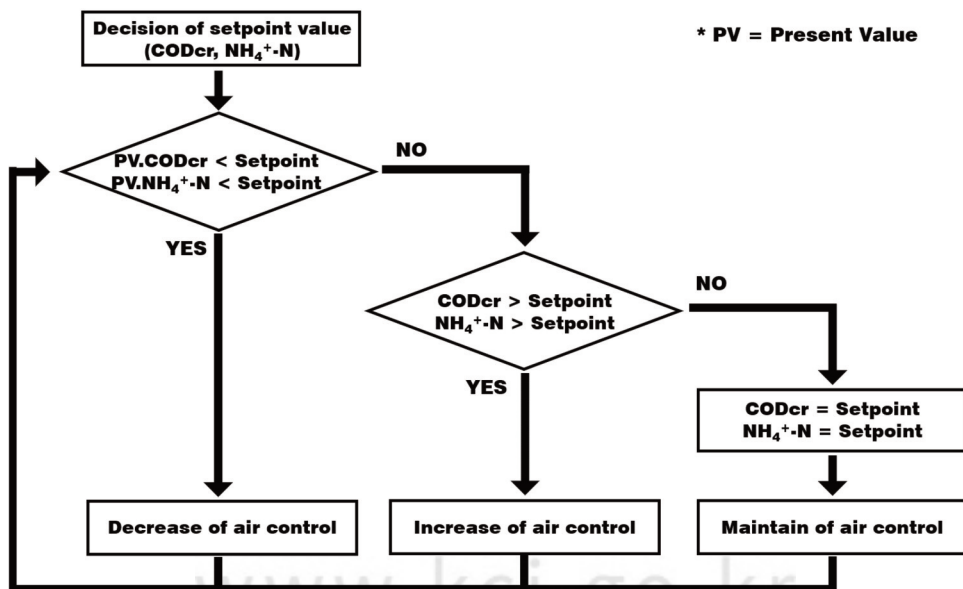


Figure 8. Decision diagram of set-point for blower control.

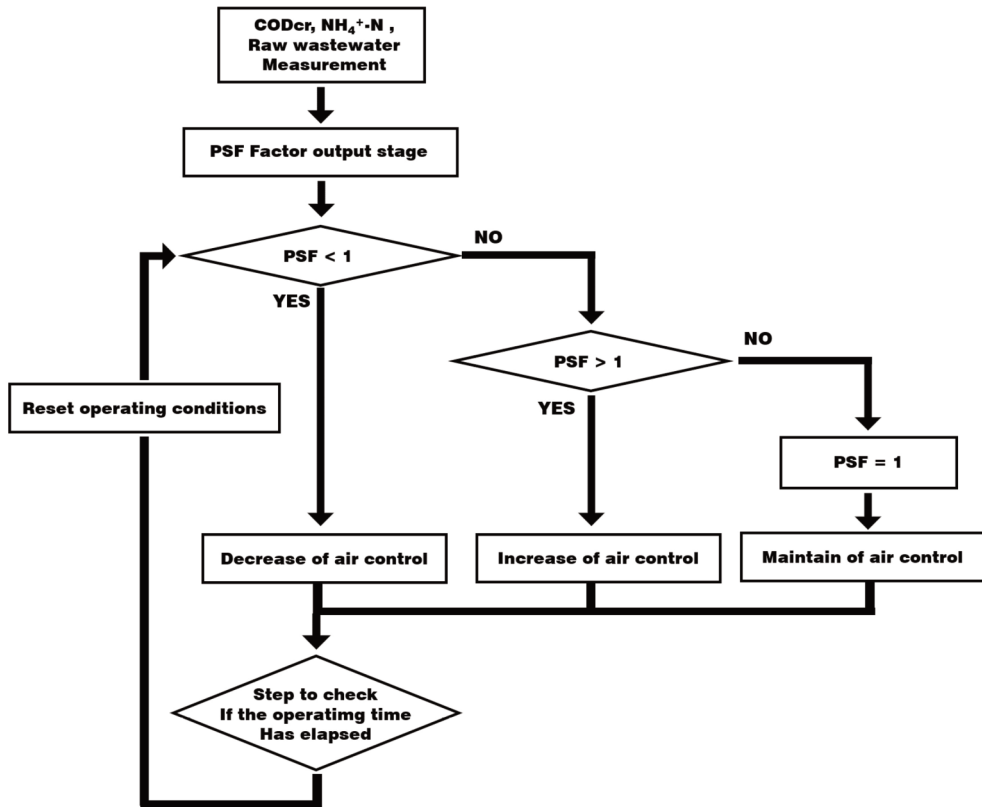


Figure 9. Control algorithm specialized in this study.

Figure 9와 같으며, 산출된 PSF값의 변화에 따라 송풍기의 가동시간이 자동으로 변경되도록 구성하여 인력에 의한 수동제어시와의 에너지절감율에 대한 비교에 활용하였다.

4. 에너지절감 운영결과

사전감지기술이 연계된 송풍기 자동제어시스템을 실증시설에 적용하여 운영을 실시하고자 하였으며, 이를 수동제어시와 비교함으로써 본 연구를 통해 송풍기의 가동시간이 어떻게 변화하는지를 평가하고자

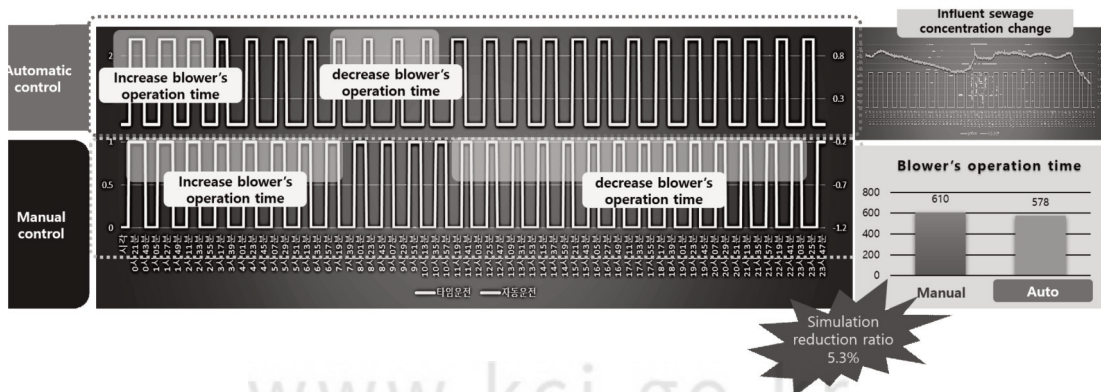


Figure 10. Result of simulation control by blower control algorithm of this study.

하였다. 실증플랜트에 적용하기 전 송풍기를 연동하지 않은 상태에서 송풍기 가동 시뮬레이션 프로그램으로 우선 수행한 결과 수동제어대비 약 5.3%의 송풍기 가동시간이 절감 가능한 것으로 예측되었다 (Figure 10). 이와 같은 수치는 기존의 인력에 의한 수동운전방식대비 에너지 절감에 큰 차이가 없는 수치인데, 이는 본 실증시설이 인력에 의한 수동조절이

기는 하지만 운영자에 의한 가동시간이 수시조절로 운영되어 불필요한 시간의 상당 부분이 줄어들었기 때문으로 사료 된다. 시뮬레이션결과를 통해 송풍기 가동시간의 절감이 가능할 수 있음을 확인하였으므로 실증시설을 대상으로 실제 운전을 실시하였다. 사전 감지기술을 기반으로 송풍기 자동제어를 한 결과, 실시간으로 유입되는 하수의 오염농도값을 표현한

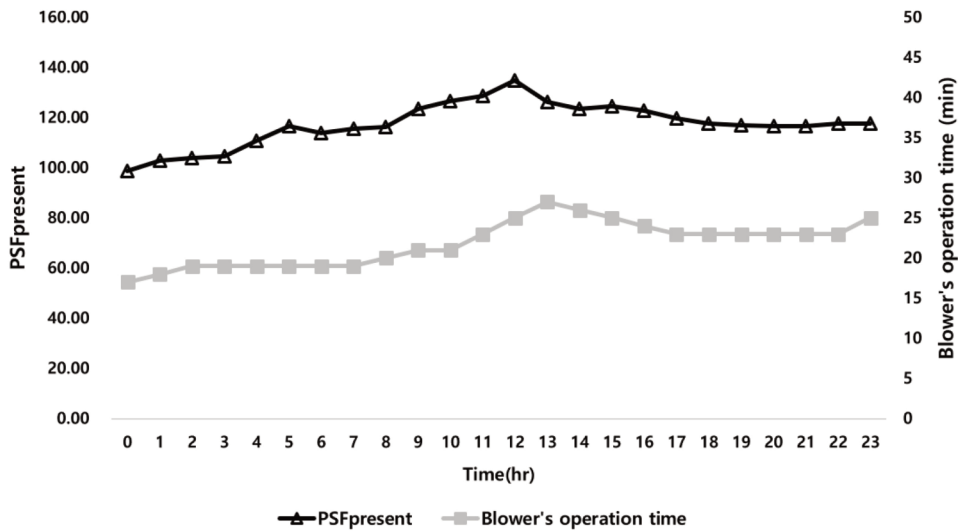


Figure 11. Hourly variations of PSF_{present} and blower's operation time

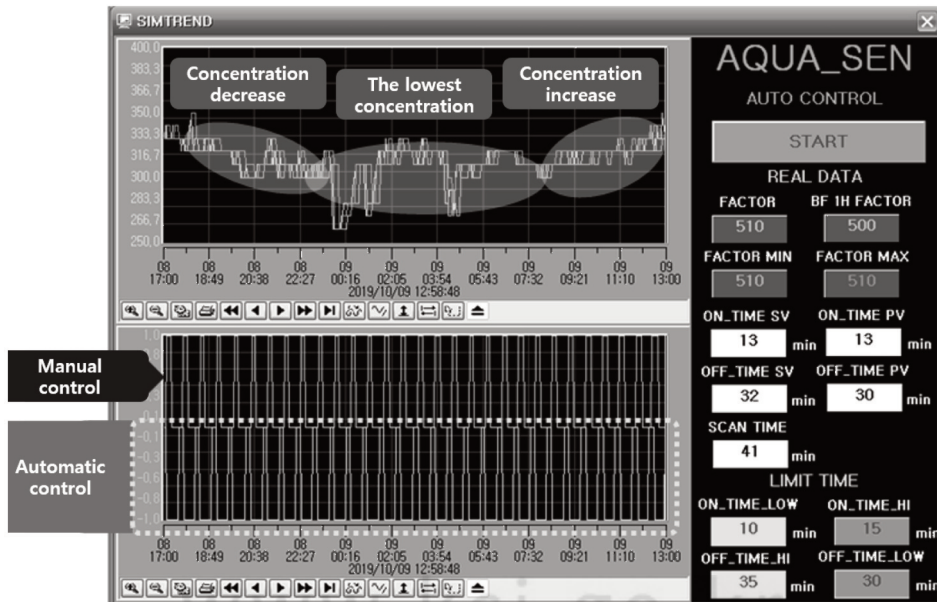


Figure 12. Result of actual control by blower control algorithm of this study.

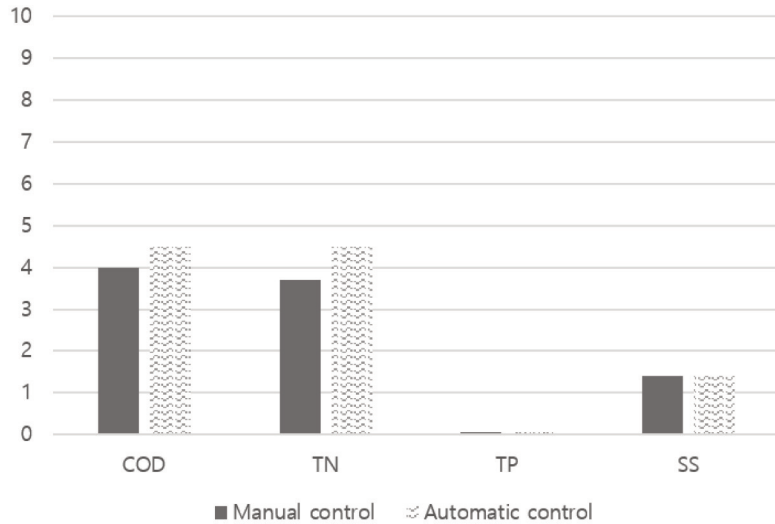


Figure 13. Comparison with water quality of effluent in manual and automatic control.

Table 2. Electric power indirect emission factor

Classification	EF _j		
	CO ₂ (kgCO ₂ /kwh)	CH ₄ (gCH ₄ /kwh)	N ₂ O (gN ₂ O/kwh)
Average (2007~2008)	0.4653	0.0054	0.0027

PSF_{present} 값의 변화함에 따라 송풍기 가동시간도 같이 변화하였다(Figure 11).

송풍기 수동제어시 전력량이 평균 165.6 kwh로 나타난 반면, 자동제어시에는 평균 149.2 kwh로 나타나 수동제어 대비 평균 9.9%(최소 6.8% ~ 최대 14.2%)의 감소가 이루어진 것으로 파악되었다(Figure 12).

또한, 송풍기 자동제어에 따른 방류수질의 변화를 살펴본 결과, Figure 13과 같이 COD_{cr}, TN, TP의 경우 수동제어 시 각각 4.0 mg/L, 3.7 mg/L, 0.06 mg/L에서 자동제어 시 4.3 mg/L, 4.5 mg/L, 0.05 mg/L로 수동제어에 비해 큰 차이를 나타내지 않아 자동제어로 인한 수질의 악화는 발생하지 않는 것으로 나타났다.

이와 같이 사전감지기술을 기반으로 송풍기를 자동제어시 에너지 절감 효과가 나타나는 것으로 보였으며, 절감된 에너지는 식 (2)로 온실가스 배출량을 산출할 수 있다. GHG Emissions는 전력사용에 따른 온실가스 배출량을 나타낸 것이고, Q는 외부에서 공급받은 전력 사용량, EF_j는 전력 간접배출계수로

Table 2와 같다. 평균 전력으로 온실가스 배출량은 산출한 결과 하루 기준 7.63 kgCO₂/kwh, 0.09 gCH₄/kwh, 0.04 gN₂O/kwh의 온실가스 배출량 절감이 가능한 것으로 예측되었다.

$$CHG\ Emissions = Q \times EF_j \quad (2)$$

IV. 결론

본 연구에서는 광학기반의 사전감지기술을 통해 실증 하수처리시설로 유입되는 하수의 농도를 파악하여 가능성을 살펴보고, 이를 연계한 송풍기 자동제어 및 에너지절감 가능성을 살펴보고자 하였다. 사전감지기술로 활용된 형광기반의 NH₄⁺-N 센서와 흡광기반의 COD_{cr} 센서는 하수시료를 대상으로 이화학적 분석방법과 비교한 결과 R²값이 0.98 이상의 높은 상관성을 갖는 것으로 나타나 충분히 유입하수의 모니터링에 활용 가능할 것으로 판단되었다. 또한, 이를 활용하여 송풍기를 제어한 결과 기존 인력에 의한 수동운전대비 자동운전이 가능했으며, 송풍기 가동시

간 절감률 또한 시물레이션 시 5.3%, 실제 운전 시 평균 9.9%의 효과가 나타나는 것으로 예상되었다. 이와 같은 절감률을 송풍기 동력으로 환산하면, 수동운전 대비 일일 16.4 kwh 에너지를 절감할 수 있는 것으로 나타났으며, 이는 연간으로 환산하면 5,986.0 kwh의 에너지 절감효과를 얻을 수 있는 것으로 산출되었다. 이는 2,785.3 kgCO₂/kwh, 32.3 gCH₄/kwh, 16.2 gN₂O/kwh의 온실가스 배출량 절감으로 환산할 수 있어, 본 제어방식을 인력에 의해 수동운전을 하는 하수처리시설에 확대 적용할 경우 온실가스 저감에도 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 다만, 본 연구에 대한 사전감지기술의 경우 센서계측에 기반을 두고 있으므로 장기간 운전을 통해 시스템의 안정성을 확인하고 현재 예측된 결과에 대해 지속적으로 달성 가능성을 검증할 필요가 있을 것으로 사료되어, 후속 연구를 통해 이에 대한 추가 검증을 실시 할 예정이다.

사 사

본 연구는 무안군과 환경부 “글로벌탑 환경기술개발사업”(과제번호:2016002210007)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- An KD. 2017. Study on fluorescent sensors for the detection of L-arginine and L-asparagin. Graduate school chonnam national university. Jeonnam. Korea. [Korean Literature]
- Anthony CE. 2001. Determination of nitrate in water containing dissolved organic carbon by ultraviolet spectroscopy. International journal of environmental analytical chemistry. 80.
- Cho ES, Han DH, Ha JS. 2012. Energy Efficiency Evaluation of Publicly Owned Wastewater Utilities. Journal of Environmental Policy and Administration. 11(4): 85-105. [Korean Literature]
- Henze M. 1992. Characterization of Wastewater for Modeling of Activated Sludge Processes. Water Sci. Technol. 25(6): 1-15.
- Holenda B, Domokos E, Rédey Á, Fazakas J. 2008. Dissolved oxygen control of the activated sludge wastewater treatment process using model predictive control. Comput. Chem. Eng. 32. 1270-1278.
- K-water. 2009. Development of self-diagnosis sewage treatment plant operation management system (commercialized versio) and field application of actual sewage treatment plant. [Korean Literature]
- Kim DH, Kim HJ, Jeong TH. 2004. Respirometry for the Assessment of Organics Biodegradability in Municipal Wastewater. Journal of Korean Society of Water and Wastewater. 18(1): 29-36. [Korean Literature]
- Kim KJ, Lee SH, Nam SC, An KH. 2004. Realtime monitoring of wastewater by optical sensor system: SS and COD Measurement using fluorescence/scattering light. Journal of korean society of environmental engineers. 112-117. [Korean Literature]
- Kim YK, Chae SK, Han IS, Kim JH. 2010. Real water quality prediction for evaluation of influent characteristics in a full-scale sewerage treatment plant. Journal of environmental impact assessment. 19(6): 617-623. [Korean Literature]
- Korea environment corporation. 2006. Tele-monitoring system construction process. [Korean Literature]
- Korea environment corporation. 2008. [Korean Literature]
- Kwak HM, Kwon MH, Choi GW, Jung YS, Jung CH, Park KH, Suhn OJ, Kim JH. 2014. Development and characterization of

- optical dissolved oxygen sensor based on the fluorescence detection. Journal of the korea academia-industrial cooperation society. 15(1): 569-574. [Korean Literature]
- Lee KS, Kim M, Kim JR, Yoo CK. 2014. Optimal DO Setpoint Decision and Electric Cost Saving in Aerobic Reactor Using Respirometer and Air Blower Control. Korean Chem. Eng. 52(5): 581-586. [Korean Literature]
- Ministry environment. 2009. Public sewage treatment facility operation management status anlysis. [Korean Literature]
- Ministry environment. 2010a. Feasibility study on energy independenc of climate change public sewer system. [Korean Literature].
- National Inventory Report. Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea. 2018. [Korean Literature]
- Olsson L, Nielsen J. 1997. On0line and in situ monitoring of biomass in submerged cultivations. TIBTECH. 15. 517-522
- Vase JL, Praet E. 2002. On the use of fluorescence measurements to characterize wastewater. Wat. Sci. Tech. 45(4-5): 109-116.