

하수처리장의 효율적인 Blower Control Logic 개발을 위한 유입수질 기반 공기공급량 적용 연구

여우석* · 김종규**

Yeo, Wooseok*, Kim, Jong Kyu**

Application of the Proper Air Supply Amount Based on the Influent Water Quality for the Development of Efficient Blower Control Logic in Sewage Treatment Plants

ABSTRACT

The standards pertaining to the quality of discharged water in sewage treatment plants are strengthening, and accordingly, facilities in sewage treatment plants are being upgraded. In addition, the discharge water quality of sewage treatment plants must be maintained at a high level, and efficient sewage treatment plant operations have thus emerged as a very important issue. For the efficient operation of sewage treatment plants, this study applied a basic blowing amount calculation method based on sewage facilities to evaluate the required oxygen amount and blowing amount according to inflow water quality by logicizing various influencing factors. As a result of calculating the amount of air blown by applying actual April water quality data from sewage treatment plant A to the blower demand calculation developed through this study, it was found that the average amount of air blown was reduced by about 12%. When the blower demand calculation developed here is applied to an actual sewage treatment plant, the amount of air blown can be controlled based on the inflow water quality. This can facilitate the realization of an autonomous control of sewage treatment plants, in contrast to the existing sewage treatment operation method that relies on operational experience of operator. In addition, it is expected that efficient sewage treatment plants can be operated by reducing blowing amounts and power costs, which will contribute to both energy and carbon savings.

Key words : Influent water quality, Blower control logic, Oxygen demand, Aeration volume

초록

하수처리장의 방류수 수질기준이 강화되고 있으며, 이에 따라 하수처리장 시설도 고도화되고 있다. 또한 하수처리장의 방류수질은 높은 수준으로 유지되어야 하며, 이에 따라 효율적인 하수처리장 운영이 매우 중요한 이슈로 대두되고 있다. 본 연구에서는 하수처리장의 Blower Control Logic 개발을 위해, 하수도 시설기준의 기본 송풍량 산정 방식을 기반으로 유입수질에 따른 필요 산소량 및 송풍량을 산정하였다. 본 연구를 통해 A 하수처리장의 실제 4월 수질 데이터를 적용하여 송풍량을 산정한 결과, 평균적으로 약 12%의 송풍량이 절감이 될 수 있다는 것을 확인하였다. 본 연구에서 산정한 결과에 따라 Blower Control Logic을 개발하여 실제 하수처리장에 적용하게 된다면, 유입수질을 기반으로 송풍량 제어가 가능함에 따라 운전자의 경험에 의존하고 있는 기존의 하수처리 운영방식에서 벗어나 하수처리장 자율제어가 가능할 것으로 판단된다. 또한, 송풍량 및 전력비 절감이 이루어진 효율적인 하수처리장 운영을 기대 할 수 있으며, 이를 통해 불필요한 에너지 및 탄소 절감에 기여할 수 있을 것이라고 판단된다.

검색어 : 유입수질, Blower Control Logic, 산소요구량, 송풍량

* 신한대학교 스마트토목환경도시공학전공 박사과정 (Shinhan University · woosky@shinhan.ac.kr)

** 중신회원 · 교신저자 · 신한대학교 도시기반부동산학과 교수, 공학박사 (Corresponding Author · Shinhan University · jkim@shinhan.ac.kr)

Received November 24, 2021 / revised January 3, 2022 / accepted April 26, 2022

1. 서론

하수처리장의 방류수 수질기준이 강화되고 하수처리장의 방류수질을 안정적으로 유지함과 동시에 효율적인 하수처리장 운영의 필요성이 대두되고 있다(Kim, 2018). 과거에는 유기물을 주로 처리하였던 활성슬러지 공법에서 최근에는 인과 질소를 주로 제거하기 위한 고도처리공법으로 까지 발전이 이루어졌다(Kim et al., 2014).

고도처리공법의 생물학적 공법에서는 미생물이 하수 내 존재하는 유기물을 제거하거나 질산화(Nitrification)반응을 통해 질소를 변환시키기 위해 산소가 반드시 필요하며, 필요한 산소는 송풍기 제어를 통해 반응조로 공급하게 된다(Chang et al., 2020). 반응조에서 미생물이 유기물 산화 및 질산화 반응을 수행하기 위해서는 반응조 내 용존산소가 일정 이상 농도를 유지해야 한다. 반응조 내 용존산소가 부족하게 되면 사상균이 우점종이 되어 활성슬러지의 침전성 저해로 인하여 수질이 악화되며, 용존산소가 과다하게 존재할 경우 수처리 효율의 개선은 이루어지지 않으나 미생물에 의해 사용되지 않은 산소는 대기 중으로 이동하게 된다(Park and Noguera, 2004). 과도한 산소를 공급하게 되면 생물학적 인 제거(Biological Phosphorus Removal, BPR)의 효율이 저하되고, 산소가 부족하게 공급될 경우 질소제거의 효율은 증가시키지만 완전한 질산화 반응이 일어나지 못해 N_2O 가스 배출을 촉진되어 부가적인 환경문제를 유발하게 된다(Sun et al., 2019). 그러므로 하수처리장 내 적절한 산소를 공급하여 유입수질에 맞는 효율적인 하수처리장 운영이 필요한 상황이다(Chang et al., 2020).

또한, 현재 하수처리장 운영비용 중 전력비가 약 40%를 차지하고 있으며, 전력비용 중 송풍기 운영에 따른 전력 소비가 가장 많은 비율을 차지하고 있으며 이를 절감하기 위해 연구들이 활발하게 진행되고 있다(Lee et al., 2019). 이와 같은 문제점들을 해결하기 위하여 많은 연구들이 활발하게 진행되고 있다. DO와 pH를 기준으로 한 송풍량 제어(Korea Environment Corporation, 2006), 방류수의 TMS 값을 기반으로 한 송풍량 제어(K-water, 2009) 그리고 COD와 NH_4 를 추가 측정하여 송풍량 제어하는 방법들이 있다(Lee et al., 2019). 그러나 이러한 기존의 연구들은 실제 생물학적 처리시 요구되는 산소의 양을 정확하게 산출할 수 없는 한계점을 가지고 있다. 또한 이러한 연구들은 하수 성분, 용량과 같은 지역 및 환경에 따라 차이를 보이고 있어 범용적으로 적용하기에는 어려운 상황이다(Nam, 2020). 하수처리장으로 유입되는 하수의 수질과 같은 특성 및 성상에 따라 송풍량을 결정하는 것은 과거부터 매우 중요하다고 강조되어 오고 있다(Vase and Praet, 2002).

따라서 본 연구에서는 하수처리장 설계 시 사용되는 하수도 시설기준(KWWA, 2011)의 송풍량 계산식을 통하여 유입수질에

따른 필요 산소량 및 송풍량을 산정하여 장래 Blower Control Logic 개발을 위한 기초자료로 호라용하고자 한다. 기존 공법에서는 호기조의 DO농도와 질산화를 판단하는 암모니아 농도를 기준으로 제어를 실시하였으며, 이를 위하여 DO와 암모니아 농도에 대한 방류수 수질기준과 최대 최소값을 설정하여 Blower를 제어하였으나 본 연구에서는 유입수질을 처리하기 위해 필요한 산소량 및 송풍량을 기존 DO와 암모니아 농도 이외에도 호기조의 상태를 나타내는 질산성 질소(NO_3^-)와 2차 침전지로 방류되는 BOD (Biological Oxygen Demand), 수온 등과 같은 방류수 수질을 고려하여 하수처리장에서 유입수질에 따른 필요한 산소요구량 및 송풍량을 정확하게 산출하고자 하였다. 하수처리장의 현장 데이터를 통해 공기공급량 산정의 신뢰성을 검토하고 Blower Control을 실행하는 프로그램 제작 및 A_2O 공법과 MLE 공법 현장의 실제 송풍기 제어시설에 연동하여 송풍량 절감을 분석 및 영향 인자별 영향 정도 분석을 실시하고, 1년간의 송풍량을 측정용 통해 계절에 따른 송풍량 변화 추이 분석을 실시하는 Blower Control Logic 최적화를 이루기 위한 시리즈로 연구를 진행하고자 한다. 유입수질 기반 Blower Control Logic 개발을 위한 연구 시리즈 중 가상으로 Logic 적용 전·후의 따른 송풍량 절감 가능량을 분석하고자 A 하수처리장의 실제 현장 데이터 기반으로 필요 송풍량을 산출하였으며, 실제 운영된 송풍량과 비교하여 송풍량 절감율을 분석하였다. 이를 통해 운전자의 경험에 의존하고 있는 수동적인 제어 방식에서 벗어나 자율 제어가 가능한 효율적인 하수처리운영에 관련된 정보를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 공기공급량 산정

본 연구에서 유입수질 기반 산소요구량 산출 및 송풍량을 산출하기 위하여 하수처리장 설계 시 사용되어지고 있는 송풍량 계산식은 Fig. 1과 같다. 송풍량 산정식은 하수도 시설기준(KWWA, 2011)의 식을 활용 한 것이며, 유입하수의 BOD (Biological Oxygen Demand), T-N (Total Nitrogen), 유량, 암모니아(NH_4), MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid), DO (Dissolved Oxygen) 등 다양한 수질을 기반으로 유기물 산화, 질산화, 내생 호흡, 용존산소 유지에 필요한 산소요구량을 산출하며, 온도 및 수심과 같은 다양한 변수조건을 고려하여 송풍량을 산정하게 된다.

유입수질 기반 공기공급량은 그림 1과 같이 산정된다. 공기공급량은 하수도 시설기준(KWWA, 2011)에 따라 유기물 산화에 필요한 산소요구량(Oxygen Demand, OD1), 질산화(Nitrification)에 필요한 산소요구량(OD2), 미생물 내생호흡에 필요한 산소요구량(OD3), 반응조 내 용존산소 유지에 필요한 산소요구량(OD4)으로

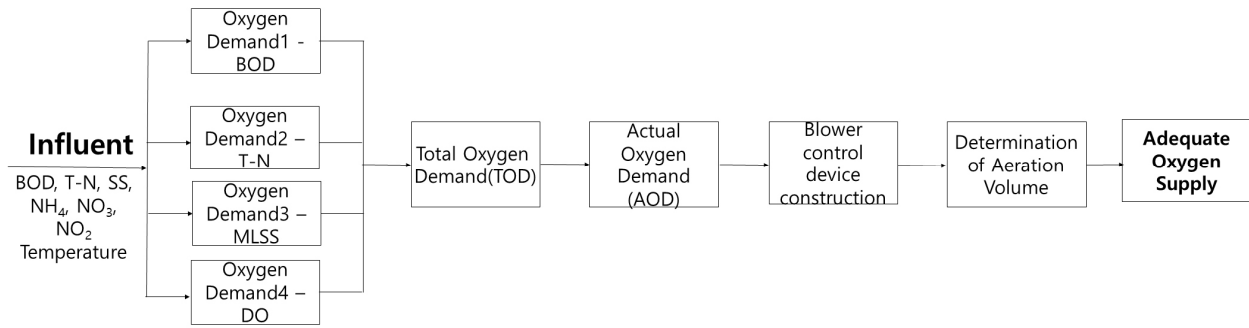


Fig. 1. Blower Control Logic Calculation Sequence

하수처리에 필요한 총 산소요구량(Total Oxygen Demand, TOD)을 산출하게 된다. 반응조 내 수온, 수심과 같은 현장의 변수조건을 고려하여 실제 산소요구량(Actual Oxygen Demand, AOD)을 산출하고, 산소에 관련된 변수들을 고려하여 송풍량(Aeration Volume)을 산정하게 된다.

2.2 총 산소요구량(Total Oxygen Demand, TOD)

총 산소요구량(Total Oxygen Demand, TOD)은 하수처리장 내 생물반응조에서 미생물들의 유기물 산화(OD1), 질산화(OD2), 내생호흡(OD3), 용존산소 유지(OD4) 반응에 필요한 이론적인 산소요구량의 합이다. 각각의 산소요구량은 Eqs. (1) ~ (4)로 산출이 가능하며, Eq. (5)와 같이 이들의 합을 통해 총 산소요구량이 산출된다(KWWA, 2011).

$$OD1 = 2.86 \times [C - (N \times 0.6)] \quad (1)$$

2.86 = 제거 BOD당 필요산소량(kg·BOD/kg·NO_x)
 0.6 = 단위 BOD제거에 필요한 산소량(kg·O₂/kg·BOD)
 C = 제거 BOD량(kg/day)
 N = 탈질량(kg/day)

$$OD2 = 4.57 \times C_{TN} \quad (2)$$

4.57 = 질산화 반응에 따라 소비되는 산소량(kg·O₂/kg N)
 C_{TN} = 질산화 대상 질소량(kg/일)

$$OD3 = B \times V \times X \times 10^{-3} \quad (3)$$

B = 단위 MLVSS당 내생호흡에 필요한 산소소비량(kg·O₂/kg MLVSS)
 V = 반응조 부피(m³)

$$X = \text{MLVSS 농도(mg/L)}$$

$$OD4 = DO_{\text{aerobic}} \times Q \times (1+R+r) \quad (4)$$

$$DO_{\text{aerobic}} = \text{호기조의 용존산소농도(mg/L)}$$

$$Q = \text{유입유량(m}^3\text{/day)}$$

$$R = \text{내부반송율(\%)}$$

$$r = \text{외부반송율(\%)}$$

$$\text{총 산소요구량(TOD, kgO}_2\text{/day)}$$

$$= OD1 + OD2 + OD3 + OD4 \quad (5)$$

2.3 실제 산소요구량(Actual Oxygen Demand, AOD)

실제 산소요구량(Actual Oxygen Demand, AOD)는 이론적 산소요구량인 총 산소요구량(TOD)에 산소포화농도, 수심, 수온, 산소전달계수(Volumetric Oxygen Transfer coefficient)등과 같은 실제 하수처리장 현장의 변수를 고려한 Eq. (6)을 통해 실제 필요한 산소요구량을 산정하게 된다(KWWA, 2011).

$$\text{실제 산소요구량(SOD, kgO}_2\text{/day)} = \frac{TOD \times C_{sw} \times \gamma}{\alpha \times 1.024^{(T-20)} \times ((\beta \times C_{st} \times \gamma) - C_a)} \quad (6)$$

$$TOD = \text{총 산소요구량(kgO}_2\text{/day)}$$

$$C_{sw} = \text{표준상태(20}^\circ\text{C)의 산소포화농도(mg/L)}$$

$$\gamma = \text{수심에 따른 보정계수}$$

$$\alpha = \text{산소전달계수(KLa) 보정계수}$$

$$T = \text{실제온도(}^\circ\text{C)}$$

$$\beta = \text{산소포화농도 보정계수}$$

$$C_{st} = \text{실제 반응조 수온의 산소포화농도(mg/L)}$$

$$C_a = \text{반응조 내 용존산소 농도(mg/L)}$$

2.4 송풍량(Aeration Volume)

송풍량(Aeration Volume)은 산소 전달율, 공기의 밀도, 공기 중 산소 함유 중량과 같은 공기 및 산소에 관련된 변수를 고려하여 Eq. (7)을 통해 표현된다. 송풍량 산정을 통해 하수처리장 내 Blower Control의 기준을 결정하게 되며, 최종적으로는 유입수질에 따른 Blower Control의 기준이 되는 가장 중요한 항목이다.

$$\text{송풍량(Aeration Volume, kg·O}_2\text{/day)} = \frac{SOD \times (273 + \frac{T}{273}) \times (1 + L)}{E_a \times 1.293 \times 0.232} \quad (7)$$

SOD = 실제 산소요구량(kg·O₂/day)

T = 실제온도(°C)

L = 여유율(%)

E_a = 산소전달율(%)

1.293 = 공기의 밀도(kgO₂/Nm³)

0.232 = 공기 중 산소함유 중량(kgO₂/Nm³)

2.5 유입 수질 기반 공기공급량 현장 적용

유입수질 기반 공기공급량의 송풍량 절감 효율을 분석하고자 MLE 공법을 적용한 서울특별시의 A 하수처리장을 대상 하수처리장으로 선정하였다. 송풍량 산정을 위해 A 하수처리장의 2021년 4월 1일부터 4월 30일까지 총 30일간의 수질 데이터를 사용하였다. A 하수처리장은 일일 최대 약 900,000 m³/d의 대용량의 하수를 처리할 수 있는 용량으로 설계되었으며, 약 490,213 m³/d의 용량의 제1처리장과 약 410,718 m³/d 용량의 제2처리장을 동시에 운영하고 있어 안정적으로 하수를 처리하고 있다. 본 연구에서는 제1처리

장을 대상으로 유입하수 기반 Blower Control Logic을 적용하여 송풍량 산정을 실시하였으며 실제 하수처리에 필요한 송풍량을 계산하였다. 연구기간 동안 A 하수처리장 포기조의 평균 DO 농도는 안전율을 고려하여 2.0 mg/L보다 높은 3.0 mg/L가 되도록 유지하도록 하였으며, 유입유량, 송풍량, 수온, pH 등 하수처리장 운영현황은 Table 1에 자세히 나타내었다. 평균유량은 405,113 m³/d으로 나타났으며 설계 용량보다 적게 유입되었으므로 안정적으로 하수처리가 이루어진 것으로 확인 할 수 있었다. 4월 월간 수질데이터를 통하여 OD1, OD2, OD3, OD4를 산출하고 산소요구량을 산출하였다. 산정된 산소요구량을 통해 하수처리장에 필요한 송풍량을 산정하였으며, 송풍량 산정을 통해 계산된 송풍량과 하수처리장의 실제 송풍량을 Eq. (8)에 대입하여 송풍량 절감율을 분석하였다.

$$\text{송풍량 절감율(\%)} = 1 - (\frac{A - B}{B}) \times 100 \quad (8)$$

A : 계산 송풍량(N·m³/day)

B : 실제 송풍량(N·m³/day)

3. 실험 결과

3.1 A 하수처리장 월간 수질 데이터 분석

본 연구에서는 서울시의 A 하수처리장의 4월 월간 하수 수질 자료를 대상으로 공기공급량을 산정하였다. 송풍량 산정 기간 동안의 A 하수처리장 수질을 분석하였으며, 수질데이터를 Table 2에 자세히 나타내었다. 평균적으로 A 하수처리장에서는 BOD₅는 99.0 % 제거하였으며, TOC는 94.3 %, SS는 98.47 %, T-N는 73.64 %,

Table 1. Sewage Treatment Plant A Operation Data

	Items	Min.	Max.	Ave.
Process Condition	Inflow rate (m ³ /d)	357,552	589,415	405,113
	Daily mean aeration volume (m ³ /d)	1,980,233	2,225,073	2,146,883
	Inflow BOD ₅ loading rate (kg/d)	35,207.7	121,843.2	73,858.0
	Inflow T-N loading rate (kg/d)	11,594.1	23,588.9	15,433.2
	Treated BOD ₅ loading late (kg/d)	39,545.3	120,017.8	71,123.1
	Temperature	15.8	19.1	17.1
Aeration Tank	pH	7.35	7.51	7.41
	Temperature	18.3	20.0	19.3
	pH	6.47	6.61	6.55
	DO	3.0	3.3	3.2
	MLSS	2,181	3,261	2,622
	SV ₃₀	30	60	41

Table 2. A Sewage Treatment Plant Water Quality Data

	Items	Min.	Max.	Ave.
Inflow	BOD ₅ (mg/L)	95.7	228.2	182.0
	TOC (mg/L)	46.1	171	119.8
	SS (mg/L)	95	155	123.5
	T-N (mg/L)	23.9	50.1	38.2
	T-P (mg/L)	3.1	4.6	3.9
Outflow	BOD ₅ (mg/L)	0.9	7.9	2.8 (99 %)
	TOC (mg/L)	2.6	8.7	6.3 (94.3 %)
	SS (mg/L)	1.0	6.5	2.8 (98.47 %)
	T-N (mg/L)	6.3	12.7	9.2 (73.64 %)
	T-P (mg/L)	0.03	0.4	0.2 (99.03 %)

T-P는 99.03 %의 제거효율을 기록하였다. 분석기간 동안의 수질은 신뢰성이 높은 데이터로서 본 연구에 적용하기에 적합한 것으로 볼 수 있다.

3.2 A 하수처리장 총 산소요구량(SOD) 산출

운영기간의 수질 데이터를 통해 산출된 산소요구량을 Fig. 2에 자세히 나타내었다. 하수처리장 생물학적 공법에서 활성슬러지가 하수 속의 유기물질의 농도인 BOD를 섭취하여 저분자 물질로 분해하는 과정에 필요한 산소량과 암모니아성 질소(NH₄)를 질산성 질소(NO₃)로 산화시키는 질산화(T-N) 공정에 필요한 산소량, 미생물이 생존을 위해 내생호흡에 필요한 산소량과 미생물이 산소를 전자수용체로 활용하여 유기물을 산화시키기 위해 포기조 내 용존 산소(Dissolved Oxygen, DO)를 적절한 농도로 유지하기 위하여 요구되는 산소량을 산출하였다.

송풍량 산정 결과 유기물 산화와 질산화에 필요한 산소요구량은 매일 유입되는 BOD 및 T-N 농도에 따라 달라지는 경향을 보이고 있으며, 내생호흡과 용존산소 유지에 필요한 산소요구량은 공정변화의 인자로서 산소요구량이 일정하게 유지되는 것으로 분석되었다. 내생호흡의 주요 인자인 MLVSS 농도는 일정하게 유지되었으므로 큰 변동을 보이지 않았으며, 본 산정식에서는 포기조 내 필요한 용존산소는 질산화가 일어나기 위한 최소 농도인 2 mg/L로 가정되었기 때문에 용존산소에 필요한 산소요구량 또한 일정하게 유지하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 유기물 산화 및 질산화에 필요한 산소요구량은 유입수질에 따라 달라지므로, 하수처리장에서 요구되는 산소량은 유입수질에 큰 영향을 받는 것으로 볼 수 있다(Kim et al., 2013). 총 산소요구량은 그래프에서 노란색 테두리(빨간색)로 표시된 질산화 과정에서 요구되는 산소요구량이 가장 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 보아, 질산화시 가장 많은 양의 산소를 요구하게 되는 것으로 볼 수 있다.

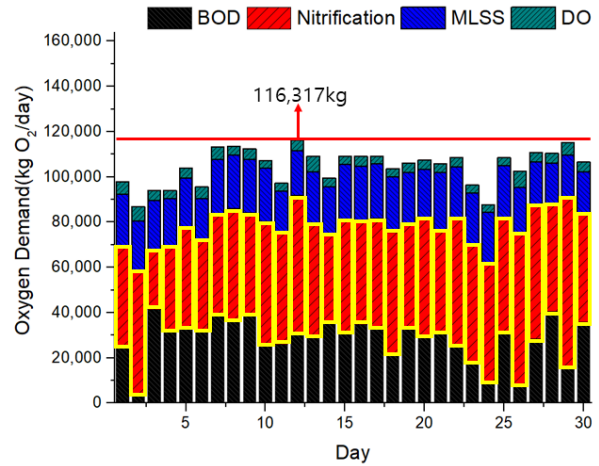


Fig. 2. Total Oxygen Demand (TOD) of Sewage Treatment Plant A

3.3 A 하수처리장 실제 산소요구량(AOD) 산출

생물학적 공정에서 요구되는 총 산소요구량(TOD)에 실제 수온, 산소포화농도, 수심, 용존산소 농도와 같은 변수조건을 고려한 실제 산소요구량(AOD)을 Fig. 3에 자세히 나타내었다. TOD는 AOD과 동일한 경향을 보이고 있으나, 실제 하수처리장의 변수인 수온, 산소포화농도와 같은 영향인자들이 고려되었기 때문에 전체적인 산소요구량은 증가하는 경향을 보이고 있다. 이를 통해 실제 하수처리장에서는 이론적 산소요구량 보다 더 많은 양의 산소를 요구하게 되는 것을 알 수 있다. TOD가 가장 높은 4월 12일에는 116,317 kg의 산소를 요구하고 있지만 하수처리장의 수온과 같은 변수를 고려하게 된다면 실제로는 172,093 kg의 산소가 필요하다는 결과를 얻었다. 이론적으로는 116,317 kg의 산소가 요구되지만, 실제로는 55,775 kg의 산소가 더 필요한 것으로 분석되었다. 현장의 변수는 매일 달라지게 되므로 이론적 산소요구량과 실제 산소요구량의 차이는 일정하지 않다는 것을 확인하였다. A 하수처리장에서

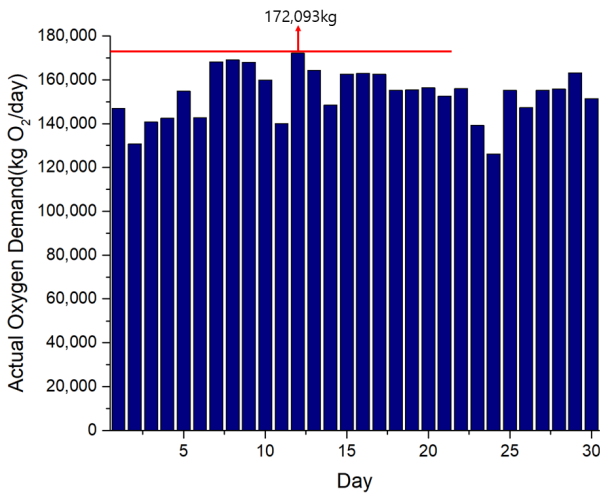


Fig. 3. Actual Oxygen Demand (AOD) of Sewage Treatment Plant A

는 일평균 TOD는 104,576 kg이며, SOD는 153,500 kg으로 약 48,924 kg의 산소를 더 요구하는 것으로 나타났다. 이는 실제 반응조의 수온, 수온에 따른 산소포화농도, 수심, 실제 수중의 용존 산소 농도와 같은 현장의 변수들이 고려되었기 때문에 요구되는 산소량이 증가하는 것으로 판단된다. 이를 통해 실제 현장에서는 이상적인 조건에서 필요한 산소요구량인 TOD보다 더 많은 양의 산소를 요구하는 것으로 볼 수 있다. 또한 현장의 변수를 고려하기 때문에 매일 요구되는 산소량 또한 차이를 보이게 된다.

3.4 A 하수처리장 공기공급량 산정 및 비교

하수처리장 내 실제 산소요구량(AOD)에 산소전달율, 공기 밀도 등 공기 및 산소와 관련된 변수들을 고려하여 Blower Control의 기준인 송풍량을 산정하게 된다. A 하수처리장에서 유입수질에 따른 하수처리장 내 필요한 송풍량을 산정하였으며, 실제 A하수처리장에서 사용된 송풍량과 비교한 결과를 Fig. 4와 Table 3에 자세히 나타내었다. 그래프에서 빨간색의 Actual은 실제 하수처리장에서 운영된 송풍량을 나타내었으며, 검은색의 Calculated는 Logic을 통해 계산된 송풍량을 나타내었다. 실제 송풍량은 계산된 송풍량과 차이를 보이고 있음에 따라 유입수질과 관계없이 실제 필요한 송풍량보다 과풍기하여 송풍기를 운영하고 있는 것으로 판단된다.

송풍량 산정 결과 A하수처리장에서는 1일부터 30일까지 송풍량을 모두 더해 평균한 결과 일평균 1,612,072 Nm²/day의 송풍량이 필요한 것으로 분석되었으며, 실제 하수처리장에서는 1,827,911 Nm²/day의 송풍량을 운영함에 따라 215.839 Nm²/day의 송풍량 차이를 보이고 있다. 이를 통해 평균적으로 A 하수처리장에서는 송풍기를 과풍기로 운영하고 있으며, 약 12 % 정도 송풍량을

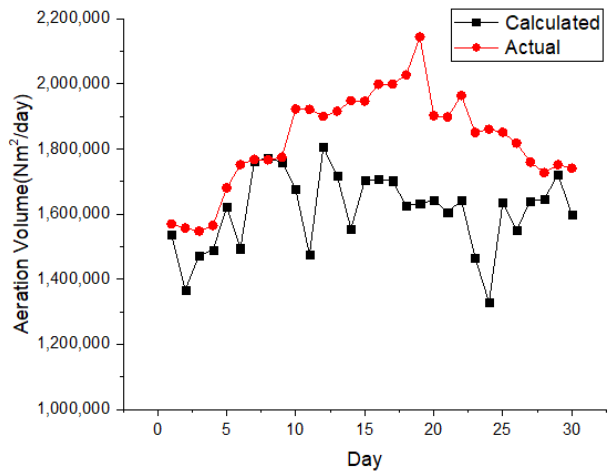


Fig. 4. Comparison of Blower Volumes Before and After Using the Blower Control Logic

Table 3. Blower Control Logic Before and After the Use of the Blower Volume Reduction Efficiency Analysis Result

	Calculated aeration volume (Nm ³ /day)	Actual aeration volume (Nm ³ /day)	Savings rate (%)
Ave.	1,612,072	1,827,911	12

절감 할 수 있을 것으로 나타났다. 이를 통해 실제 하수처리장에 유입수질 기반 Blower Control Logic을 개발하여 적용하게 된다면 하수 처리효율은 안정적으로 유지할 수 있으며, Blower Control을 통해 송풍량 절감을 통해 불필요한 에너지 및 탄소 발생 저감이 가능한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 하수처리장으로 유입되는 하수 수질에 따른 송풍량을 결정하기 위하여 하수도 설계 시 사용되고 있는 하수도 시설기준의 송풍량 계산식을 통하여 산정하였으며, 하수처리장의 유입수질에 따른 생물반응조 내 필요한 산소요구량 및 송풍량을 산정하였다. 이를 통해 송풍량을 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 통한 송풍량 절감 가능성을 살펴보고자 A 하수처리장의 4월 실제 수질데이터를 통하여 송풍량을 산정하였다. A 하수처리장에서는 평균적으로 215,839 Nm²/day의 송풍량을 절감할 수 있으며, 약 12 %의 송풍량 절감 효율을 얻을 수 있을 것이라고 분석되었다. 송풍량 산정 결과를 바탕으로 운전자 경험에 의존하고 있는 기존의 하수처리시설에 유입수질 기반 공기공급량 산정을 통한 블로워 제어기 이루어진다면, 송풍량 절감을 통해 불필요한 전력비 및 운영비 절감이 가능할 것으로 판단된다. 다만, 본 연구는 유입수질을 기반으로 하고 있으므로 유입수질을 정확하게 측정할 수 있는

센서 계측 시스템의 안정성이 확보되어야 하며, 장기간 운전을 통해 지속적으로 검증하는 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 환경산업산업기술의 상하수도 혁신 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(과제번호: 2020002700010).

References

- Chang, S. Y., Shin, P. S., Jeong, Y. K. and Choi, Y. J. (2020). "Development of air supply control technology in sidestream MLE process by measuring conductivity." *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 42, No. 3, pp. 97-109 (in Korean).
- Kim, B. S., Choi, M. Y., Kwon, H., Kim, J. M., Cha, W. O. and Chun, W. M. (2013). "The evaluation of effect indicators on estimation of aeration volume for wastewater treatment plants." *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 35, No. 1, pp. 38-44 (in Korean).
- Kim, J. T. (2018). "A Study on Strengthening option of T-N effluent water quality standards of sewage treatment plants." *Journal of Korean Society on Water Environment*, Vol. 34, No. 2, pp. 216-225 (in Korean).
- Kim, M. H., Ji, S. H. and Jang, J. H. (2014). "A study on energy saving effect from automatic control of air flow rate and estimation of optimal do concentration in oxic reactor of wastewater treatment plant." *Journal of Energy Engineering*, Vol. 23, No. 2, pp. 49-56 (in Korean).
- Korea Environment Corporation (2006). *Telemonitoring system construction process* (in Korean).
- Korea Water and Wastewater Works Association (KWWA) (2011). *Sewage facility standards* (in Korean).
- K-water (2009). *Development of self-diagnosis sewage treatment plant operation management system (commercialized version) and field application of actual sewage treatment plant* (in Korean).
- Lee, S. M., Kim, H. L. and Ki, K. S. (2019). "Study on the low energy sewage management based on pre-sensing technology and automatic blower control." *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol. 28, No. 6, pp. 592-603 (in Korean).
- Nam, E. S. (2020). "Optimization of activated sludge process in wastewater treatment system using explainable neural network." *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 69, No. 12, pp. 1950-1956 (in Korean).
- Park, H. D. and Noguera, D. R. (2004). "Evaluating the effect of dissolved oxygen on ammonia-oxidizing bacterial communities in activated sludge." *Water Research*, Vol. 38, No. 14-15, pp. 3275-3286.
- Sun, Y., Xin, L., Wu, G. and Guan, Y. (2019). "Nitrogen removal, nitrous oxide emission and microbial community in sequencing batch and continuous-flow intermittent aeration process." *Environmental Engineering Research*, Vol. 24, No. 1, pp. 107-116.
- Vase, J. L. and Praet, E. (2002). "On the use of fluorescence measurements to characterize wastewater." *Water Science & Technology*, Vol. 45, No. 4-5, pp. 109-116.