

모델링 기반의 선회와류식 SBR 공법이 적용된 하수처리장 및 마을하수도 동절기 총인 개선방안 연구

이현섭·임지열·길경익*

서울과학기술대학교 건설시스템공학과

Analysis on Retrofit Method to Improve TP treatment efficiency in Air-vent SBR process installed MWTP and RCSTP during winter based on Modeling

Hyunseop Lee·Jiyeol Im·Kyungik Gil[†]

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea

(Received : 03 December 2018, Revised: 02 May 2019, Accepted: 20 May 2019)

요약

상수원의 상류 및 인근 지역의 경우, 개발 제한으로 인해 상대적으로 하수도 보급률이 낮은 지역이 많다. 이는 지속적으로 상수원 오염에 영향 미치며 이를 방지하기 위한 방안으로 하수도 보급 및 기존 시설의 개선 등의 방안이 제시되고 있다. 본 연구에서는 안동댐과 임하댐 상류에 위치하고 있으며, 선회와류식 SBR공법이 도입된 A하수처리장 모델링을 통해 동절기 마을하수도 방류수 수질 개선 방안을 마련하기 위한 연구를 실시하였다. 5년(2012년 ~ 2016년)간의 운전자료를 바탕으로 모델 구축-검증을 실시하였다. 모델링 결과, SRT 조절을 통해 동절기 방류수 수질 개선이 가능할 것으로 분석되었으며, 각 방류수 수질 기준 별 개선 효과는 BOD 1.8%, COD 54.5%, SS 4.3%, T-N 0.8%, T-P 7.7%로 나타났다. 본 연구를 통해 도출된 동절기 하수처리장 방류수 수질 개선을 위한 방안은 유사한 공법이 도입된 하수처리장 및 마을하수도의 운영 개선 방안으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 상수원, 마을하수도, 질소, 선회와류식

Abstract

In the upstream and nearby areas of the water source, there are many areas where the sewerage penetration rate is relatively low due to development restrictions. This has been continuously affecting the pollution of the water source. As a measure to prevent this, method of distributing sewage and improving existing facilities are suggested. In this study, A MWTP(Municipal Wastewater Treatment Plant) using the Air-vent SBR process located at upstream of An-dong and Im-ha Dam was selected as a modeling facility. And, the retrofit method to improve the effluent from RCSTP(Rural Community Sewage Treatment Plant) was induced based on A MWTP modeling result. The model construction and verification were carried out based on the operating data for 5 years (2012 ~ 2016). As a result, it was analyzed that the water quality of the effluent during the winter could be improved through control of cycle time in Air-vent SBR process and decreasing SRT (BOD: 1.8%, COD: 54.5%, SS: 4.3%, T-N: 0.8% and T-P: 7.7%). This research suggests that result of this research can be utilized as a retrofit method to improve the effluent overall treatment efficiency of the MWTP and the RCSTP which have similar operation process.

Key words : Water source, RCSTP, Nitrogen, Air Vent

1. 서 론

2016년 하수도통계에 의하면 전국 하수도 보급률은 93%로, OECD 국가 중에서도 상위권에 속한 높은 수준의 하수도보급률을 달성하였다(환경부, 2016). 그러나 이러한 높은 하수도 보급률은 평균적인 수치이며, 상대적으로 발전이 늦은 지역은 아직

하수도보급이 미비한 수준이다. 특히 본 연구에서 조사한 경상북도 A군의 하수도보급률은 62%에 불과하다. 또한 A군 내 하수도 보급률이 가장 높은 지역은 86%이며, 가장 낮은 지역은 30%로 같은 군내에서도 보급률에 큰 차이를 보였다. 이와 같은 지역은 주로 상수원 상류 및 인근에 위치한 경우가 많으며, 안정적인 수자원 확보에도 영향을 미친다. A군의 경우, 경북 지역의 상수원인 안동댐과 임하댐 상류에 위치하고 있으며, 농촌지역이기 때문에 생활용수나 상업용수 이외에 농업용수 및 가축분뇨 등의 고농도 오염물질을 포함하고 있는 하수가 다량 발생된다. 하지만 하수도보급률이 낮아 미처리된 하수가 일부 수계로 유입되고 있는

[†] To whom correspondence should be addressed.
Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea,
E-mail: kgil@seoultech.ac.kr

실정이다(Im and Gil, 2011a, 2011b; Koh, 2002). 하수처리장의 방류수 수질기준이 강화됨으로써 주변 수역의 수질개선을 위해 마을하수처리장에도 고도처리 공법적용이 필요한 시점이다. 특히, 동절기의 경우 집중적인 유지관리가 이루어지는 하수처리장에서도 영양염류 처리의 어려움이 있다(Gil et al2008).

도시지역의 공공하수처리장(Municipal Wastewater Treatment Plant)은 유기물처리 중심의 활성슬러지 공법뿐만 아니라 부영영화의 주 유발물질인 질소나 인을 포함한 영양염류 제거를 위해서 하수고도처리공법을 적용하고 있다. 그러나 이러한 도시지역의 하수처리발전에 비하여 마을하수처리장의 하수처리 수준 및 운영기술의 성장은 보급률에서부터 뒤쳐져 있는 실정이다. 우선 하수처리장의 생물학적 공정의 거동이 매우 복잡하여 공정 상태를 확인하기 어렵고 확인하기 위해서는 여러 가지 분석이 필요하다. 또한 하수처리장의 운전은 관리자의 숙련도나 경험이 필요하기 때문에 마을 하수처리장에 하수고도처리 공법을 적용하기는 쉽지 않다. 이는 마을하수도(Rural Community Sewage Treatment Plant)에서도 필연적으로 발생할 수밖에 없는 문제로 이에 대한 대처 방안이 검토되어야 한다. 하수처리장의 운전특성을 예측하여 운영자료를 축적할 수 있고 최적의 운전 의사결정이 가능하여 일반적으로 하수처리장 개선 방안 마련을 위해서는 운영 결과 및 현장 자료를 바탕으로 모델링을 활용한다(Kang, 2008). 특히, 최근에는 하수처리시설 공정을 활성슬러지 모델(Activated Sludge Model, ASM)을 기반으로 물질수지를 활용하는 방법이 주로 활용되고 있다(Petersen, 2001; Olsson and Newell, 1999). ASM을 기반으로 개발된 상용화된 프로그램으로는 Aquasim, Mass Flow 및 GPS-X 등이 대표적이다. 그중 MassFlow는 다년간 상하수도 설계분야 경험이 축적된 국산 소프트웨어이며, 수처리 플랜트 최적설계 및 진단을 위한 정보를 제공하는 정상상태 모의 및 용량계산을 지원하는데 적합하였다.

하지만, 마을하수도의 경우 소규모로 운영되며 처리장 모델링을 위한 자료 확보의 어려움이 있다(Lee, 2003). 따라서 본 연구에서는 A군의 마을하수도와 동일한 공법이 적용된 인근 C하수처리장의 모델링 분석을 통하여 A군 마을하수도의 동절기 영양염류 개선 방안을 분석하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 Researched MWTP

A군은 경상북도 최북단에 위치해 있으며, 면적은 약 1,200 km²이고, 인구는 약 3만명이며, 대구 및 경상도 지역의 주요 수원인 낙동강이 A군을 통해 흐른다. 본 연구에서 모델링 대상으로 지정한 하수처리장은 A군 춘양면 소로리에 위치한 C 마을하수처리장으로서, 시설용량은 800m³/day이며, 설계 유입수질은 BOD 179mg/L, COD 141mg/L, SS 188mg/L, T-N 45.9mg/L, T-P 4.8mg/L이다. 최종 방류수 설계기준은 BOD 10mg/L, COD 40mg/L, SS 10mg/L, T-N 20mg/L, T-P 0.5mg/L 이하로 계획되어 있다. C하수처리장은 1일 하수처리용

량 500m³/day 이상 시설로 법정 방류수 수질기준은 BOD 10.0mg/L, COD 40.0mg/L, SS 10.0mg/L, T-N 20.0mg/L, T-P 0.5mg/L 이하로 정해져있다.

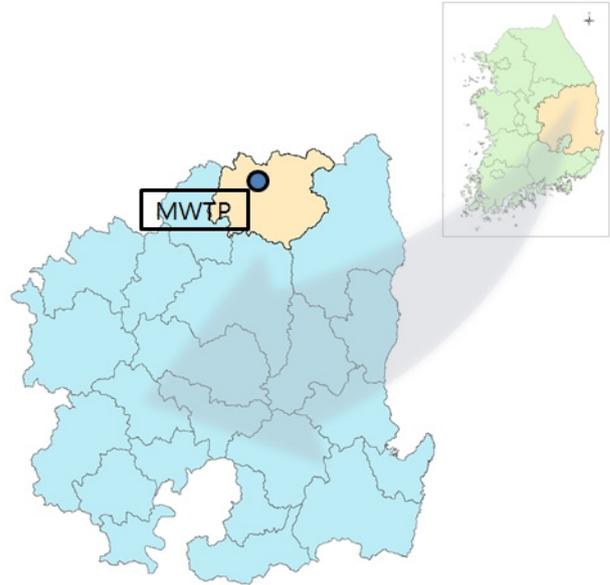


Fig. 1. Map of researched MWTP

Table 1. Characteristics of C MWTP

Parameter	C MWTP
Capacity of C MWTP	800 m ³ /day
Sewage Flow	652 m ³ /day
Treatment Process	Air-Vent SBR
Discharge area	Nakdong River

2.2 Treatment Process

마을하수도와 C하수처리장에는 동일하게 선화와류식 SBR (Sequencing Batch Reactor) 공법이 적용되었다. 본 공법의 주요 특징으로는 속도가변형 부유식 포기장치의 회전수와 DO

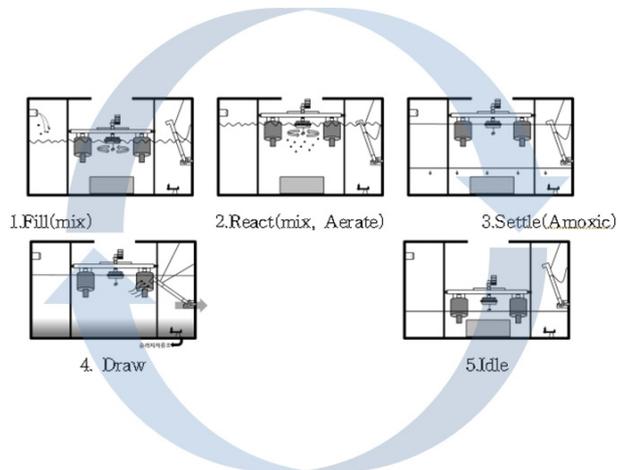


Fig. 2. Configuration of Air-vent SBR process

계측기에 의한 DO농도를 예측·제어하여 유입수의 농도에 따라 공기 공급 및 교반 제어가 가능한 경제적인 운영이 가능하다는 점이다. 공정구성은 유입(인 방출, 유기물제거)-반응(탈질, 질산화)-침전(고액분리)-배출-휴지(인방출 및 완충단계)로 구성되어 연속순환하여 하수를 처리도록 구성되며, 또한 유출수는 Air-Vent식 배출장치로 원활하게 방류할 수 있는 하수 고도처리공법이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Characteristics of sewage

Fig. 3는 5년간(2012 ~ 2016) C MWTP의 연 평균 월 평균 유입 하수의 오염물질 농도를 정리하였다. 최근 5년간 평균유입수질을 살펴보면, 운전 인자의 적절한 선택을 위해 필요하며, 현장의 운전조건을 기반으로 유입수와 유출수의 수질이 근접하게 검증하고 운전인자를 시행착오로 다수 수행할 자료로 활용하였다. 각 연차 별 유입 하수 농도의 큰 차이는 보이지 않았으며, 5년 평균 하수의 평균 오염물질 농도는 BOD 202.1mg/L, COD 120.8mg/L, SS 155.4mg/L, T-N 52.8mg/L

그리고 T-P 5.1mg/L로 조사되었다. Fig. 3 (a) ~ (b)는 연 평균 오염물질 농도를 보여주고 있으며, (c) ~ (g)는 각 월 별 오염물질 평균 농도를 확인 할 수 있다.

Fig. 3를 보면 알 수 있듯이 지난 5년간 BOD, T-N 및 T-P 항목은 대부분 설계유입농도를 초과 하는 것으로 나타났다. 또한 강우가 집중되는 여름철에는 희석효과에 의해서 유입농도는 봄철이나 겨울철에 비해 낮은 특징을 보였다. 전반적으로 하수 내 오염물질의 변동 폭은 월 및 계절별로 큰 차이가 있는 것으로 조사되었으며, 이는 하수처리구역 내 강우량 및 지역 내 산업 특성 (농업 및 축산업이 주요 산업, 봄철 비료 사용)에 의한 것으로 판단된다.

3.2 Characteristics of effluent

Fig. 4는 C MWTP 방류수 내 주요 수질 항목 (BOD, COD, SS, T-N 및 T-P)의 최근 5년간 수질분석결과를 분석하였다. 5년 간 방류수 평균 오염물질 농도는 BOD 3.8mg/L, COD 7.7mg/L, SS 4.1mg/L, T-N 7.7mg/L 및 T-P 0.2mg/L로 분석되었다. 연평균 및 일평균 방류수 내 오염물질 농도를 기준으로 조사 기간 동안 모든 항목에서 방류수 수질

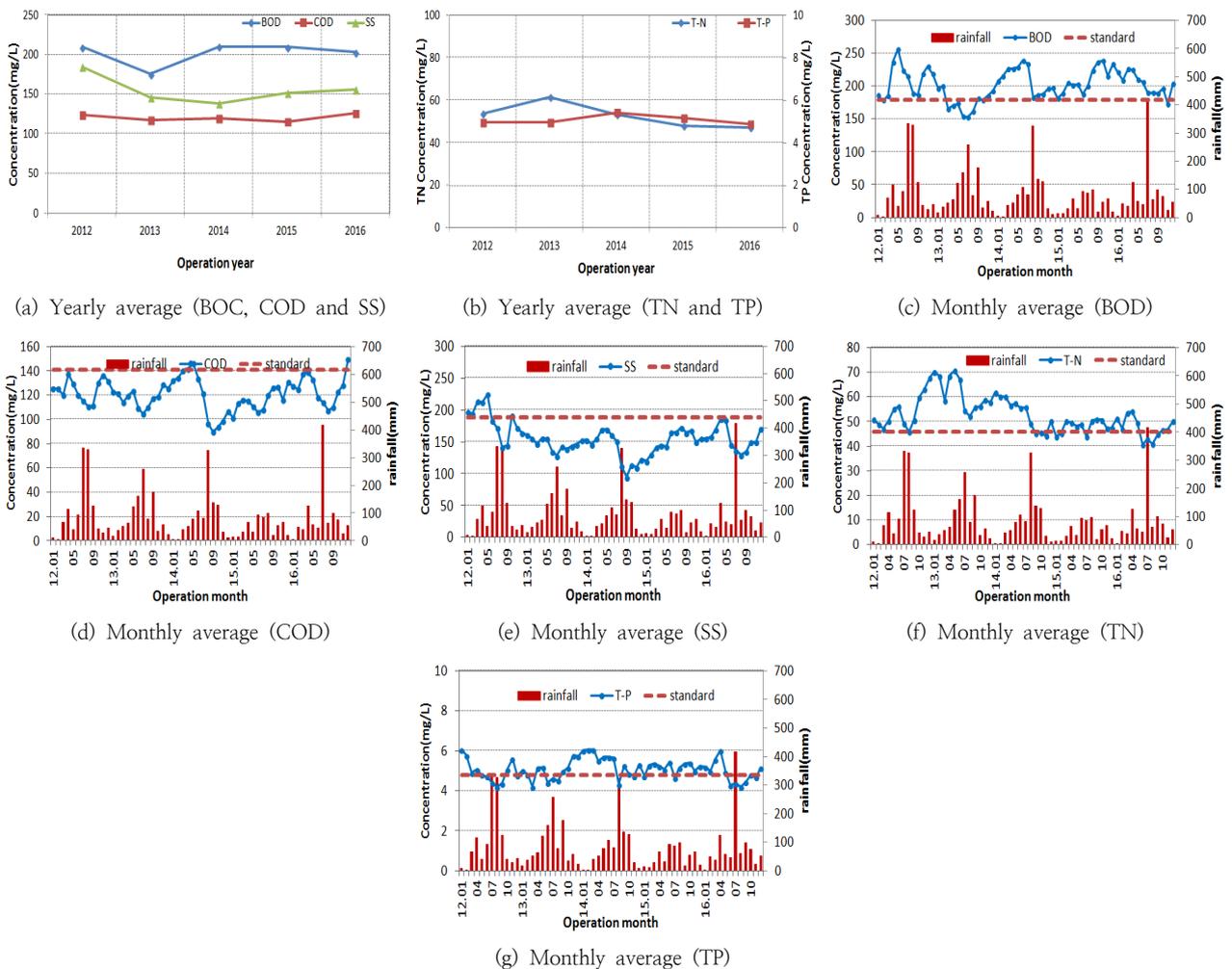


Fig. 3. Characteristic of sewage during last 5 years

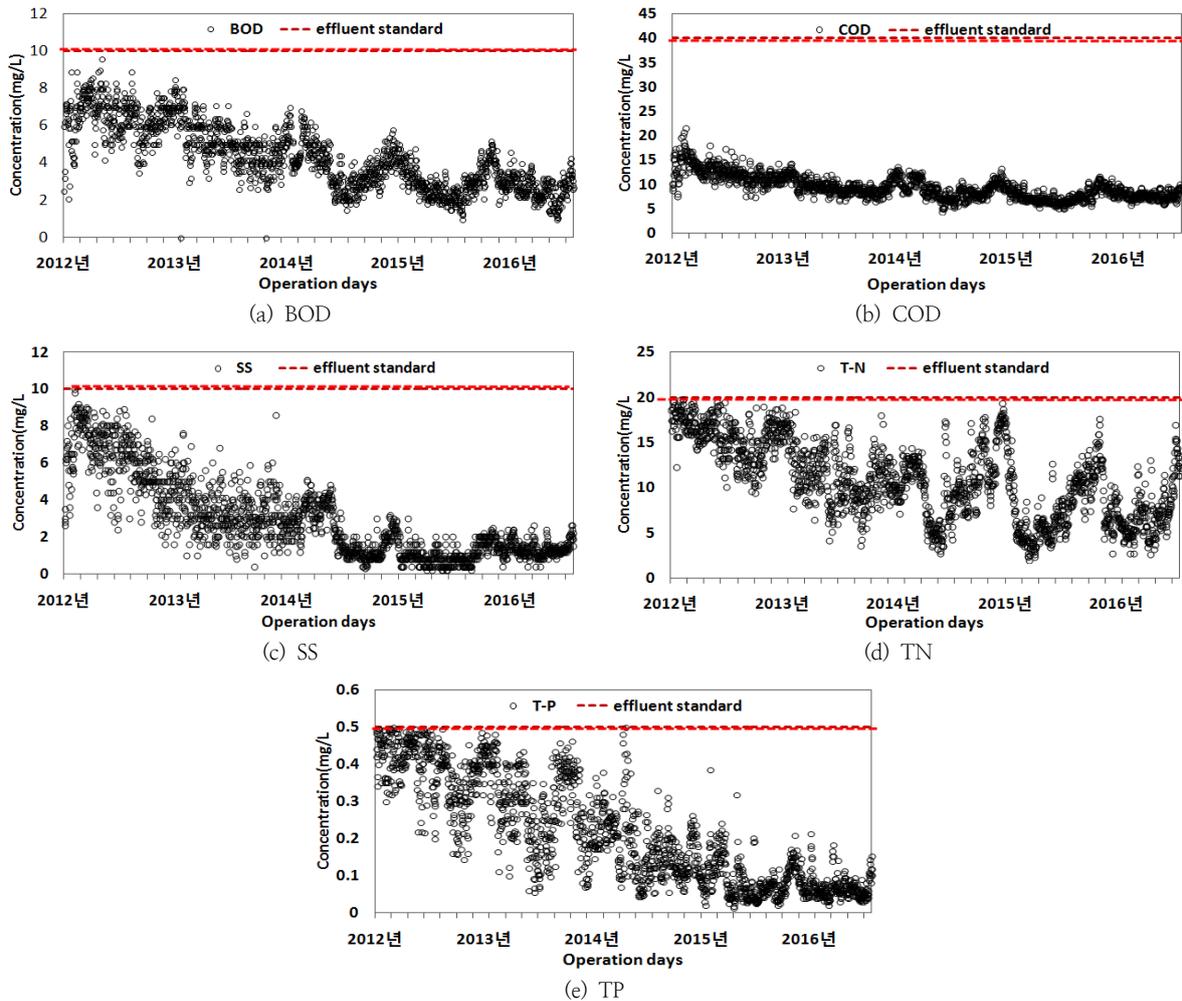


Fig. 4. Concentration of effluent during last 5 years

기준을 준수한 것으로 나타났다. 또한 최근 1년간 방류수질 농도를 기준으로 분석하여도 BOD 2.1 ~ 4.4mg/L (2.9mg/L), COD 7.3 ~ 10.1mg/L (8.1mg/L), SS 1.2 ~ 1.9mg/L (1.4mg/L), T-N 5.2 ~ 13.4mg/L (8.3 mg/L) 그리고 T-P 0.05 ~ 0.1mg/L (0.07mg/L)로 전체적으로 방류수 수질기준 이내로 방류되고 있음을 확인하였다. 하지만, T-P의 경우 실측 방류수 모니터링을 통해 분석한 결과 동절기 0.4mg/L로 방류수 수질기준에 근접한 수준 분석된 경우가 있어, 방류수 수질 기준 농도를 초과할 가능성이 있을 것으로 판단된다. 따라서 T-P 처리수질 악화를 예방할 수 있는 방안 수립의 필요성을 뒷받침한다.

3.3 Modeling result

C MWTP의 실제 운전조건을 기반으로 다양한 조건에서 모델링을 실시하였다. 다만 이번 연구에서는 모델링의 한계와 분석을 동반하지 않았으며, 기타 생물학적 동역학계수 등의 모델링 인자 생산이 불가능한 상황을 고려하여 인자는 default 값을 사용하여 수치를 적용하였다. 본 연구에서는 국내 모델링 전문기업인 UNU에서 개발한 활성슬러지모델(AS2d) 기반의

모델링 프로그램 ‘MASS FLOW’를 사용하였다.

구축한 수질 예측 모델링에 입력 데이터는 C MWTP의 2012 ~ 2016년 평균 동절기 데이터를 이용하여 산정하였으며, 평균 유입 수질은 BOD 188.9mg/L, COD 120.9mg/L, SS 146.4mg/L, T-N 56.9mg/L 및 T-P 5.1mg/L이었다. 선화와류식 SBR조의 유출 수질은 BOD 5.7mg/L, COD 10.1mg/L, SS 4.6mg/L, T-N 12.8mg/L 및 T-P 0.4mg/L로 나타났다. 모델링에 활용한 주요 운전 인자의 기본 값은 수온 12.4°C, 반응조 MLSS 2,660mg/L, 잉여슬러지 인발량 14.7m³/day 이에 따른 SRT는 26.3일을 적용하였다.

Fig. 5는 C MWTP의 선화와류식 SBR 공법의 운전 주기를 나타냈는데 420분 1주기를 기준으로 하루 3.4회 반복된다. 그리고 1주기의 구성은 ‘혐기 - 호기 - 침전 - 배출’ 4단계로 이루어져있다. 본 연구에서는 총인 처리효율을 개선하기 위해 1주기의 운전 시간 및 SRT에 변화를 주어 모델링을 실시하였다.

혐기 운전시간 20분 증가, 호기 운전시간 20분 감소 운전으로 변경하였으며, 질산화 영향이 없는 범위로 SRT를 변화시켜 모델링 하였다. 동절기 T-P 개선 조건은 Case 1 ~ 3으로 실시하였다. Case 1은 현재 운전인자들을 동일하게 모사하였을 때,

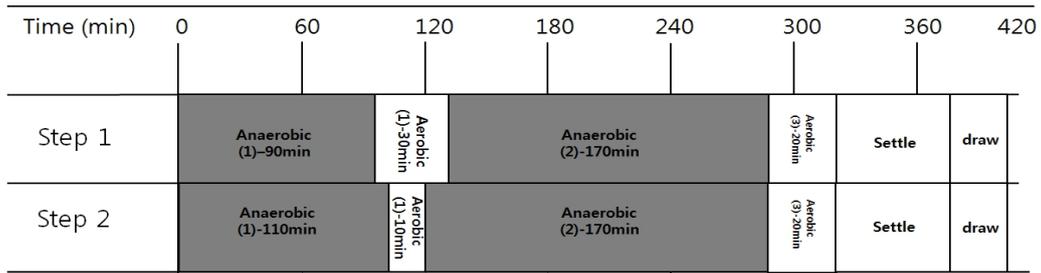


Fig. 5. Bioreactor operating cycle in C MWTP

Table 2. Operation parameters for modeling

Parameter	Unit	Operation data	Modeling		
			Case 1	Case 2	Case 3
Influent	m ³ /day	488	488	488	488
MLSS	mg/L	2,660	2,671	2576	2,429
Excess sludge	m ³ /day	14.7	14.7	15.7	16.5
DO	mg/L	2.0	2.0	2.0	2.0
temperature	°C	12.4	12.4	12.4	12.4
SRT	day	26.3	19.9	18.7	17.9

올바른 결과가 나오는지 검증하기 위한 조건이었다. Case 2와 Case 3은 SRT를 감소시켜 모델링을 실시하였으며, 이에 따른 입력 운전인자들은 Table 2에 비교하여 나타내었다.

Fig. 6에서는 모델링 결과를 바탕으로 각 오염물질 항목 별 처리 효율 개선 효과를 분석하였다. Case 1과 Case 2의 방류수 수질은 BOD 5.7mg/L, COD 4.6mg/L, SS 4.6mg/L, T-N 12.8mg/L 및 T-P 0.41mg/L 그리고 BOD 5.7mg/L, COD 4.6mg/L, SS 4.4mg/L, T-N 12.8mg/L 및 T-P 0.39mg/L로 예측되었다. 방류수 수질 농도 예측 결과 COD를 제외한 수질 개선 효과는 미비한 것으로 나타났으나, 방류수 수질기준 0.5mg/L를 만족시키는 것으로 나타났다. SRT를 17.9일로 감소시켜 모델링을 실시한 Case 3의 방류수 수질은 BOD 5.6mg/L, COD 4.6mg/L, SS 4.4mg/L, T-N 12.7mg/L 및 T-P 0.36mg/L로 예측되었으며, 앞 선 Case 1과 Case 2와 다르게

T-P 처리 효율 개선효과는 약 7.7%를 보였다. 이와 같은 모델링 결과를 바탕으로 동절기 T-P 개선효율 방안은 호기조와 혐기조의 시간 증대 및 SRT 조절로 정리될 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 A군 마을하수도 동절기 하수처리 효율 개선 방안을 마련하고자 A군 마을하수도과 동일한 공법이 도입된 C MWTP의 모델링 분석을 실시하였다. 그 결과를 바탕으로 도출된 결과는 다음과 같다.

- C MWTP 모델링 분석 자료 확보를 위해 5년간의 유입 하수 농도 분석 결과 T-P의 경우 5.1mg/L이며, 계절적으로 유입 농도의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 봄철의 경우 해빙 효과 및 비료 살포 등에 의해 상대적으로 높은 농도를 보였으며, 여름철의 경우 집중 강우로 인해 상대적으로 낮은 농도를 보인 것으로 판단된다.
- C MWTP 모델의 검증 자료 확보를 위해 5년간의 방류수 농도를 분석하였으며, 조사 기간 동안 C MWTP의 방류수 수질 기준은 모두 만족하였다. 단, 동절기 방류수 T-P 농도 실측 분석 결과가 0.4mg/L로 나타나 방류수 수질 기준 농도를 초과할 가능성이 있어 이에 대한 예방 방안이 필요할 것으로 판단된다.
- C MWTP 모델링 결과를 바탕으로 동절기 T-P 처리 효율 개선 방안은 선회화류식 SBR 공정에서 호기와 혐기 구간 의 시간 증대 및 SRT 조절로 분석되었다. 특히, 안정적인 질산화가 가능한 범위에서 SRT는 약 9일 정도 줄여운전을 실시할 경우 약 7.7%의 T-P 처리 효율의 개선 효과를 기대할 수 있는 것으로 예측되었다. 이와 같은 결과는 C MWTP와 유사한 하수처리장을 포함한 마을하

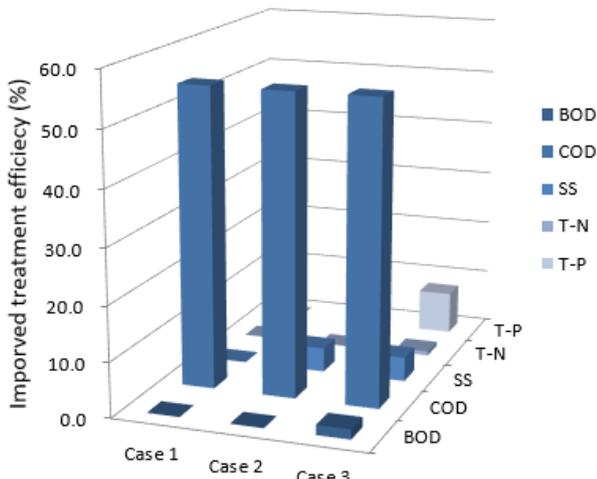


Fig. 6. Improved treatment efficiency in case 1, 2 and 3

수도의 동절기 T-P 처리 효율 개선방안으로 활용 될 수 있을 것이다.

사 사

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- Ali R. Dincer and Fikret Kargi (2000) Kinetics of sequential nitrification and denitrification processes, *Enzyme and Microbial Technology*, 27, pp. 37-42.
- Henze, M., Grady, C. P. L. Jr., Gujer, W., Marais, G. V. R. and Matsuo, T. (1987) Activated Sludge Model No. 1., *IAWQ Scientific and Technology report No. 1*, London, UK.
- Irvine, R. L., Ketchum, L. H., Breyfogle, R. and Barth, E. F. (1983) Municipal application of sequencing batch treatment at Culver, Indiana, *JWPCF*, 55, pp. 484-488.
- Im, JY and Gil, KI (2013). Analysis of RCSTP Wastewater Characteristics and Installed Treatment Process in Bong-Hwa Gun. *Journal of Wetlands Society*, 15(4), pp. 453-460. [Korean Literature]
- Im, JY and Gil, KI (2014). Analysis of RCSTP Treatment Efficiency using BCS-II Process : Case Study of An-dong City. *Journal of Wetlands Society*, 16(4), pp. 423-431. [Korean Literature]
- Im, JY and Gil, KI (2014). A Study of RCSTP Nutrient Removal Efficiency in Winter Season. *Journal of Wetlands Society*, 16(3), pp. 363-370. [Korean Literature]
- Gil, KI, Im, JY, Jung, DG. (2012). Research Paper : Analysis of RCSTP Sewage Characteristics and Treatment Efficiency in Rural Area. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 28(6), pp. 851-858. [Korean Literature]
- Kang, K. W., Yoon, M. O., Lee, H. C. and Hwang, I. J. (2012) A study on the availability with failure rate of process for LNG plant, Kor. *Air-Conditioning Refri. Eng*, 24(4), pp. 358-363. [Korean Literature]
- Lee, J.K., Lee, K.H. and Yim, S.B. (2007) Optimization of nitrogen removal in a sequencing batch reactor system by variation of the time distribution, *J. Environ. Sci. Heal.*, 42(11), pp. 1655-1663. [Korean Literature]
- Lee, H. C. and Hwang, I. J. (2011) A study on the evaluation of RAM performance for test-bed of LNG plant, *Proceeding of SAREK 2011 Summer Conference*, pp. 281-284.
- Sharma, R. M. and Kumar, S. (2008) Performance modeling incritical engineering systems using RAM analysis, *Reliability Eng. Syst. Safety*. 93, pp. 891-897.

〈저자소개〉

Hyunseop Lee

Seoul National University of Science and Technology
Master course / urfl2118@hanmail.net

Jiyeol Im

Seoul National University of Science and Technology
Research fellow / dlawuf@seoultech.ac.kr

Kyungik Gil

Seoul National University of Science and Technology
Professor / kgil@seoultech.ac.kr