

MASS FLOW 모델링을 통한 댐상류지역의 공공하수처리시설 공정개선방안

이현섭·이지원·길경익[†]

서울과학기술대학교 건설시스템공학과

The improvement of the operating process of sewage treatment plants in the upstream area of dam by MASS FLOW modelling

Hyunseop Lee·Jiwon Lee·Kyungik Gil[†]

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

(Received : 24 May 2019, Revised : 15 January 2020, Accepted : 19 May 2020)

요약

2017년 기준 서울시 및 광역시의 하수도 보급률은 90% 이상의 높은 하수도 보급률을 보이며, 국내하수처리장의 개소 수는 2010년 3,064개에서 2017년 기준 4,072개로 약 25% 증가 증가하였다. 그중에서도 SBR계열 공법으로 운영 중인 하수처리장은 현재 585개로 2010년 대비 17% 증가한 것으로 나타났다. 상수원의 수질 개선과 소규모하수도 시설의 운영개선을 위해 안동 임하댐 권역 내 하수처리장 500m³/일 이상 3개소 및 500m³/일 미만 46개소, 총 49개소 시설을 대상으로 모델링을 적용하여 공정개선방안을 연구하였다.

모델링을 위한 개선안으로 5년간 운영자료 등을 검토하여 후보군을 도출하였다. 49개소의 시설은 총 12가지 종류의 공법으로 운영되고 있으며, 이 중에서 SBR공법의 500m³/일 이상 시설 1개소와 500m³/일 미만의 46개소를 3개 유형으로 그룹 분류를 하여 운영 개선이 가능한 9개소를 선정하였다. 500m³/일 이상 1개소에 모델링을 적용한 결과, SRT 조절을 통해 방류수 수질 개선이 가능했으며, 소규모 처리장 9개소에 적용한 결과 총 인의 제거율을 최대 14.4% 개선할 수 있는 것으로 나타났다. 이에 본 연구의 결과자료는 공공 하수처리시설 및 마을 하수도 시설에 대한 개선 및 운영 개선 방안으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 공정개선, 모델링, 마을하수도, 질소, 인

Abstract

As of 2017, the sewerage penetration rate of Seoul and metropolitan cities is more than 90%, and the number of domestic sewage treatment plants increased by 25% from 3,064 in 2010 to 4,072 in 2017. Among them, sewage treatment plant operated by SBR system is 585, which is 17% higher than 2010. In order to improve the water quality of the water source and improve the operation of the small sewage facilities, the improvement of the process was studied by applying the modelling to 49 facilities of the sewage treatment plant in Andong Imha dam area with more than 500m³/day 3 places and 46 places less than 500m³/day.

As an improvement plan for modelling, candidate data were derived by reviewing operation data for 5 years. 49 facilities are operated by 12 types of operating processes. Among them, 1 place more than 500m³/day with SBR method and 9 facilities with less than 500m³/day were selected by dividing 46 sites into 3 types. As a result of applying modelling to more than 500m³/day, it was possible to improve the quality of discharged water through SRT control and it was found that applying model to sites of small scale treatment plants can improve the removal efficiency of TP by up to 14.4%. As a result, the data of this study could be used to improve and improve the operation of sewage treatment plants and RCSTP(Rural Community Sewage Treatment Plant).

Key words : Process improvement, modelling, RCSTP, nitrogen, phosphorus

[†] To whom correspondence should be addressed.

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

- **Hyunseop Lee** Hyunseop Lee Department of Civil engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea/ Master's course (urfl2118@hanmail.net)
- **Jiwon Lee** Jiwon Lee Department of Civil engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea/ Ph.D. candidate (abcjeewon@seoultech.ac.kr)
- **Kyungik Gil** Kyungik Gil Department of Civil engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea/ Professor (kgil@seoultech.ac.kr)

1. 서 론

국내 하수처리 방법은 대부분 생물학적 처리기법이 활용되고 있으며, 크게는 유기물질 및 SS등의 입자성 물질을 제거하는 표준활성슬러지공법과 질소, 인까지 처리가능한 생물학적 고도처리공법으로 구분할 수 있다(Abusam, A et al., 2001). 또한, 미생물 종의 구성과 증식유무, 종류, 고액분리의 방법에 따라서 A2O, 담채, SBR, 막계열 등으로도 공정을 분류할 수 있다(Henze, M et al., 1986). 2017년 기준 국내 하수처리시설은 500m³/일 이상 시설이 649개소로 운영되고 있으며, 공법별로 A2O, 담채공법 계열 순이 많은 것으로 나타났으나, 500m³/일 미만 공공하수처리시설은 SBR공법계열이 가장 많은 것으로 조사됐다. 최근 국내 하수처리시설의 유입수질은 상승하고 있으며, 그 이유는 분류식화 및 관거정비 등에 의해 상승되고 있는 것으로 보고되고 있다. 환경부 하수도통계에 의하면 유입수의 상승에 따라 계획유입수질을 초과하는 시설의 수가 증가하고 있으며, 2017년 기준 BOD 236개소(38.9%), T-P 129개소(24.1%)로 계획유입수질을 초과하는 시설의 수가 증가하고 있다(MOE, 2018). 특히, 소규모 하수도시설은 저부하 저유량으로 유입수가 유입되며, 강우 시 순간적으로 급증하는 유량 탓에 미생물 유실 및 C/N비 저하 등으로 인해 시설운영에 문제가 발생하고 있는 실정이며(Im et al., 2014), 가구별로 거리가 있는 마을 하수도시설에 대한 적절한 조사결과수집 및 조치가 부족한 실정이다(Im et al., 2013). 이러한 마을 하수도는 낙동강과 같은 주요 상수원지역의 호소 및 습지의 수질 관리와도 연관이 있기 때문에 정부차원에서 수질오염총량제 등을 도입하여 관리를 실시하고 있으나, 마을 하수처리장에 하수고도처리 공법을 적용하기에는 관리자의 숙련도나 경험을 요구하기 때문에 현실적으로 어려운 것이 사실이다(S.H. Isaacs et al., 1995). 하지만, 하수처리장의 방류수 수질기준은 지속적으로 강화되고 있으며 주변 수역의 수질개선을 위해 마을하수처리장에도 고도처리 공법적용이 필요한 시점이다(Lee et al., 2017). 따라서, 본 연구에서는 댐상류지역 하수도시설의 운영현황을 분석하고 운영상의 문제점과 개선방안을 도출함으로써, 하수처리시설의 운영효율 향상 및 안정적인 방류수질을 확보하고, 하수처리시설 운영개선을 통해 시설운영과 시설환경을 개선하고자 한다(Kim et al., 2019). 또한 기존의 마을하수도는 도시 지역의 하수처리장과는 다르게 주로 유기물과 부유물질을 처리하는 공법이 주를 이루었으나, 본 연구에서는 하수처리 모델링 프로그램 'MASS FLOW(UNU)'를 사용하여 영양염류 개선방안을 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 연구대상지역

연구 대상 지역은 주요 상수원으로 사용되는 안동·임하댐

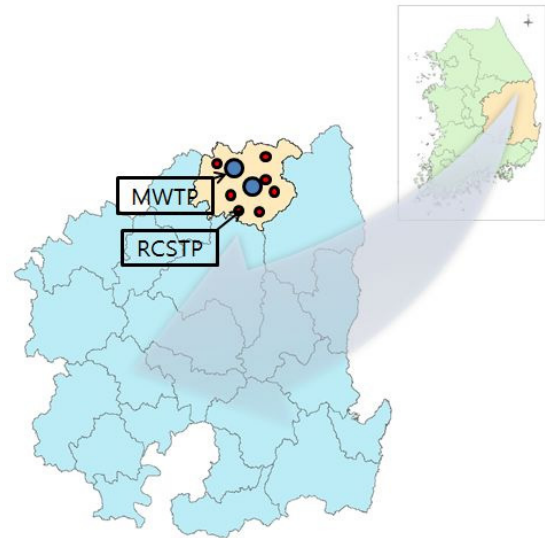


Fig. 1. Map of researched MWTP (Municipal Wastewater Treatment Plant)

Table 1. Characteristics of the study targets

Parameter		Sewage treatment plant
Capacity	more than 500m ³ /day	3
	below 500m ³ /day	46
Treatment Process		Air-Vent SBR and 11 others
Discharge area		Nakdong River

인근 낙동강 상류에 설치 및 가동 중인 49개 공공 하수처리시설 및 마을 하수처리시설을 대상으로 하였으며 조사 대상 시설의 위치는 Fig. 1과 같고, 조사 대상 시설의 처리공법, 시설현황은 Table 1과 같다.

2012~2016년까지 운영자료를 분석하였으며, 현장조사를 통해 BOD, COD, SS, T-N, T-P 5개 항목을 수질오염공정시험방법에 따라 분석하였다. 모델링을 위한 개선안 도출처리장은 5년 운영자료 등을 검토하고 개선 대상 처리장 후보군을 도출하였다. 도출방법은 500m³/일 이상 시설 1개소에 적용된 개선방안을 소규모처리장에 적용하기 위한 3가지 유형으로 그룹 분류를 선행하였으며 도출된 처리시설에 대한 공정모델링 결과를 통해 효율 개선 효과를 예측하였다. 예측은 하수처리와 관련된 유입조건, 공정운전 등 매개변수를 활용하여 동력학적 수확모델과 시뮬레이션으로 고정 안정도 평가가 가능한(MOE 2011) 'MASS FLOW'를 사용하여 영양염류 개선 방안을 분석하였다.

안동 임하댐 권역 49개소 공공 하수처리시설 공법분류 결과 500m³/일 이상 시설로 봉화, 춘양, 영양 3개소와 500m³/일 미만 시설 46개소로 총 49개소이며, Table 2와 같이 공법은 선회와류식 SBR(Sequencing Batch Reactor)을 대표로 회분식공법이 78%이며 부착성장형이나 복합형의 경우 운전의 안정성이나 수질 기준 측면에서 공법 자체의 개선이나 시설 교체 검토되었다. 처리용량 50~100m³/일 이 20개소로 가장 많은 분포를 하고 있다.

Table 2. Operating process classification in sewage treatment plants

Large(count)	Middle(count)	Small(count)	Representative(count)
Suspended growth(47)	Continuously(4)	Nutrient(1)	BSTS- II (1)
		BOD(3)	KDHST(3)
	Batch(39)	Nutrient(39)	Air Vent SBR(13), KM-SBR(5),IC-SBR(2), AOSB(5),BCS- II (12), Modified batch activated sludge method(1)
	Membrane(4)	Nutrient(4)	SAM(1),KSMBR(3)
Attached growth(1)	Continuously(1)	Nutrient(-)	-
		BOD(1)	Contact oxidation(1)
Hybrid(1)	Continuously(1)	Nutrient(1)	Sewage merger treatment(1)
		BOD(-)	-

2.2 연구대상 시설 선정

운영자료와 설계자료 및 운영자의 의견 등을 종합적으로 검토하고 개선 대상 처리장 후보군을 도출하였다. 다수의 공공 하수처리시설을 모두 정밀 분석하기에는 어려움이 있으므로 SBR공법 중 500m³/일 이상 규모의 1개 처리장은 운영자료 및 설계자료 분석을 수행하였으며, 500m³/일 미만 규모 46개에 대한 선정은 방류수질과 유량 정보에 대한 분석을 통해 Table 3과 같이 3개 유형으로 그룹 분류를 선행하였다.

유량의 변동성을 기준으로 시설의 유형을 분류하기 위해 유입 수량의 설계용량 초과일수가 5% 미만의 처리장을 Type 1, 5~17%를 Type 2 및 17% 이상을 Type 3로 분류하였다. 하수도 시설기준 적정유입 Type 1(70~80%), 과부하유입 Type 2(90% 이상), 빈 부하유입 Type 3 (60% 이하)로 분석되었다. Table 4를 보면 Type 1과 Type 2 중 선회화류식 SBA이며, 운영개선을 통해 수질개선이 가능한 처리시설 9개를 선정하였다.

대표 공법으로 선회화류식 SBR 공법이 적용되었고, Fig. 2와 같이 운전이 이루어지고 있다. 선회화류식 SBR 공법의 주요 특징은 DO를 예측·제어하여 유입수의 농도에 맞춰 공

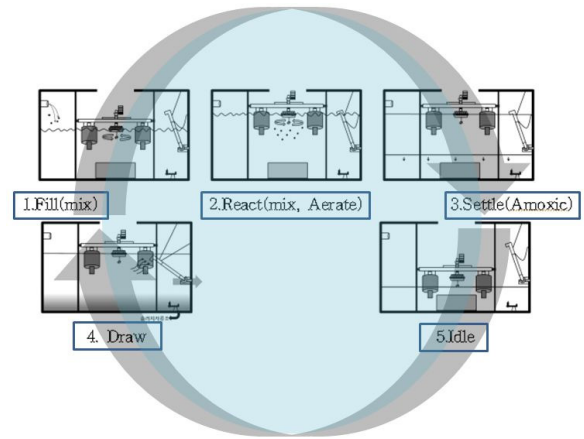


Fig. 2. Configuration of SBR process

Table 3. Classification condition by operating process type

Type	Condition
Type 1	1. Sufficient margin of facility capacity, treated water quality always meet discharge standard 2. The average flow rate is the appropriate inflow of facility capacity 3. Less than 5% of design capacity exceeded days
Type 2	1. Improvement of water quality and stability of operation through improvement of operation 2. Average flow rate is the empty load inflow or overload inflow of facility capacity 3. Less than 5~17% of design capacity over days
Type 3	1. Substantial improvement is needed, such as serious deterioration, substitution of facility capacity or construction method. 2. Over 17% of designed capacity exceeded

Table 4. Sewage treatment plant derived by type

Parameter	MWTP	RCSTP							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Capacity of plants (m³/day)	3,000	400	370	180	170	110	80	70	50
Treatment amount (m³/day)	2,730	338	485	148	123	94	57	97	30
Treatment method	Air-Vent SBR								
Waters of disposal	Nakdong River								
Type	Type 1	Type 2		Type 3		Total			
	31	12		6		49			

Table 5. Scale relative to influent design standard in Andong

Content	Flow rate(m ³ /day)	BOD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
Max	1.39	1.62	1.48	1.64
Min	0.15	0.43	0.63	0.80
Average	0.72	1.07	1.02	1.09

Table 6. Scale relative to effluent design standard in Andong

Content	Flow rate(m ³ /day)	BOD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)
Max	1.17	1.07	1.40	1.38
Min	0.24	0.14	0.18	0.04
Average	0.57	0.46	0.70	0.68

기 공급 및 교반이 가능한 경제적인 운영이 가능하다는 점이다. 공정구성은 유입단계-반응단계-침전단계-배출-휴지로 구성되어있으며, 유출수는 Air-Vent식 배출장치로 방류할 수 있는 하수 고도처리공법이다(Ali R. Dincer et al., 2002).

2.3 유입수와 방류수

공공 하수처리시설 운영의 안정성 분석을 위해 5년간의 운영자료에 대한 통계분석을 하였다. 5년간의 운영자료의 유입 및 유출 평균을 Table 5, Table 6에 나타냈다. 유량의 경우 평균적으로 설계기준을 고려한 가장 적정한 수준의 평균 유량이 유입되고 있으나 5년 평균 50% 미만의 수리학적 저부하로 운영되고 있는 처리장도 12개(24%)로 분석되었다. 유입수질의 경우 안동 임하 권역의 전체 평균은 3개 항목 모두 5년 평균 수질이 설계수질을 초과 유입되고 있는 것으로 나타났으며, 개별처리장별로는 BOD 기준 A시의 a시설 설계수질의 1.39배로 가장 높게 나타났고 B군의 b시설이 0.43으로 가장 낮은 비로 유입되고 있는 것으로 나타났다.

설계방류수질(보증수질)에 대한 4년 평균 방류수질의 비는 BOD 기준 0.24~1.14로 전체 평균 0.57, T-N 기준 0.18~1.40으로 평균 0.70으로 안정적인 수질을 보여 주고 있으며, 특히 보증수질에 대한 운영수질의 최대비가 BOD, T-N 안정된 처리능을 보여 주고 있는 것으로 분석되었다.

특히, 49개소 중 평균 방류수의 BOD가 설계 보증수질의 50% 미만인 처리장이 24개소(49%), T-N의 경우 다소 낮은 19개소(39%)로 가장 양호한 처리가 수행되고 있는 것으로 조사되었으나 B군 C시설(KDSHT)의 경우 4개 항목 모두 설계 수질 기준을 초과한 수질이 나타나고 있어 기존의 오수정화조 방식의 처리시설로는 현재의 수질 기준 충족이 어려울 것으로 검토되었다.

3. 연구결과

3.1 방류수질분석

수질의 경우 순간 수질 기준임을 고려 BOD의 경우 설계

방류수질(보증수질) 기준을 한 번도 초과하지 않은 처리장은 Type A, 초과일수 5% 이내의 처리장을 Type B, 그 이상은 Type C로 분류하였다. T-P의 경우 겨울의 영향 등을 고려해 BOD보다 여유를 두고 7.5% 초과 일수를 Type B와 Type C의 경계로 분류하였다. Type B에 분류되고 SBR 공법이며, 운영개선을 통해 수질개선이 가능한 처리시설 9개를 선정하였다. 방류수의 BOD를 기준으로 분류한 경우 Type A와 Type B가 각각 25개소로 유사하게 분포하고 T-P를 기준으로 분류한 경우 Type A와 Type B가 각각 25개소와 18개소로 Type A의 유형이 많고, Type C는 6개소로 분석되었다.

Fig. 3은 방류수질이 설계기준 근처에 도달하거나 초과 가능성이 있는 시설을 나타냈다. 방류수 수질 분석 및 샘플링 비교를 보면 유량 및 수질을 검토 결과 TP의 설계방류수질이 근접해있는 처리시설이 많은 것으로 검토되었다. 현장조사결과 BOD, SS 수질 기준의 초과 가능성이 있었으며, TN, TP 또한 개선이 필요한 것으로 분석되었다.

3.2 개선방안

Fig. 4와 Fig. 5는 공공 하수처리시설의 다년간의 운전결과로 유입 유량은 Type 1 그룹으로 분류되며 수리학적으로 안정적이거나 처리수질은 BOD 기준 Type B 그룹, T-N 기준 Type C 그룹으로 나타났다. 방류수의 T-N 농도가 설계 방류 수질 초과일수 7.5%를 웃도는 것으로 분석되며 질소관리가 요구되는 처리장으로 선별할 수 있다.

최근 연평균 SRT는 20.9일로서 계절별로 18.4~25.6일로 질산화를 고려하는 경우 충분한 SRT조건에서 운전되며, 2016년 19.1일로 최근 SRT가 감소하였으며, 질산화율이 95%로 평균 89%에 비해 개선되었는데 원인은 반응조의 DO가 연평균 2.16mg/L, 동계에는 2.18mg/L로 개선된 영향으로 판단된다. 동계 질산화율의 추가적인 개선이 필요한 것으로 질산화율의 안정성을 위해 SRT연장 운전으로 안정적인 질산화율의 확보를 고려해야 한다. 2013년 13.4mg/L에서 2016년 7.4mg/L까지 거의 절반이 감소하여, 2013년 이후 매년 처리수의 질소 농도가 개선되고 있는 것으로 나타나 반응조 DO 개선에 의한 질산화 효율의 개선에 의한

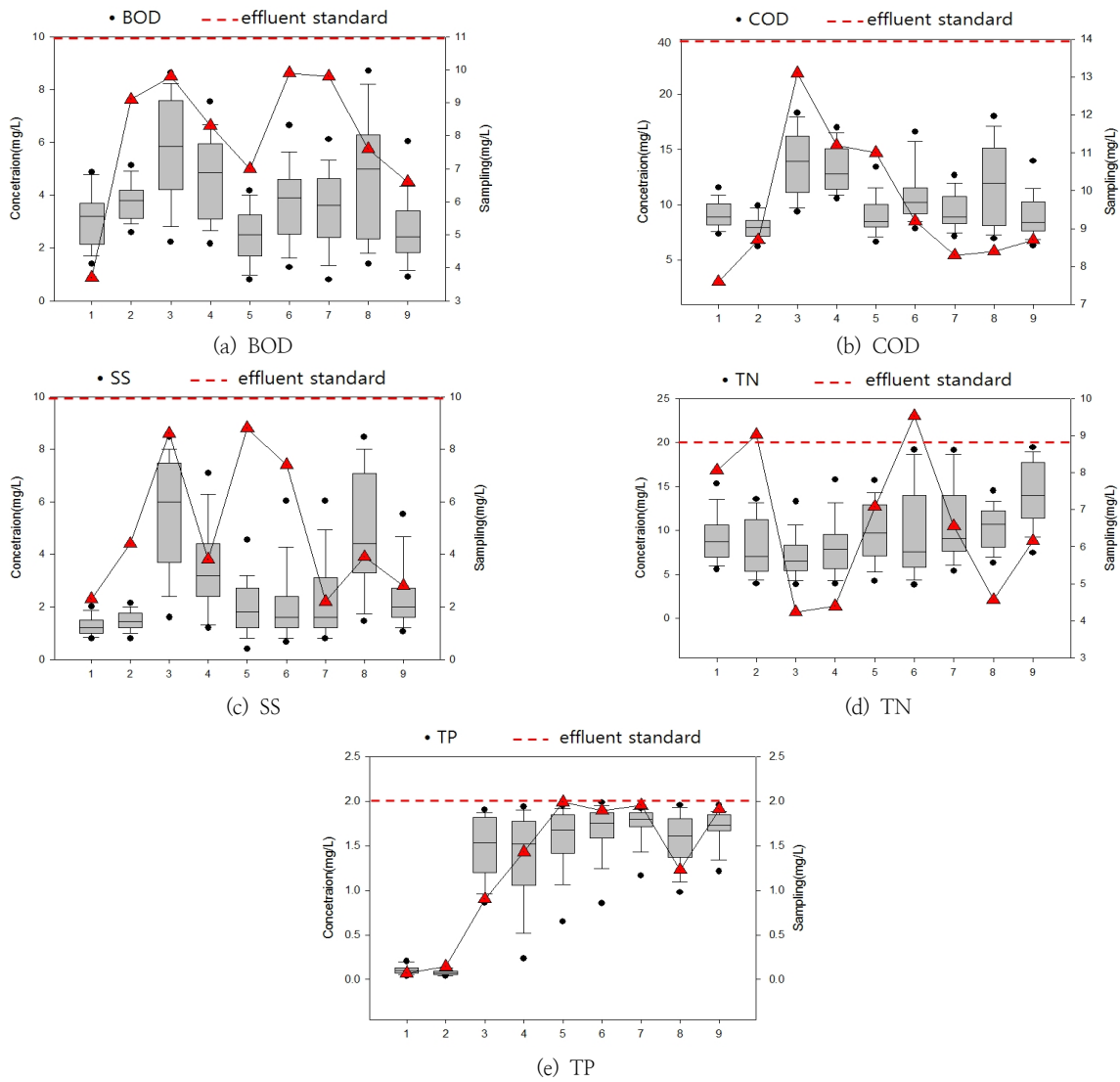


Fig. 3. Water quality analysis and sampling comparison

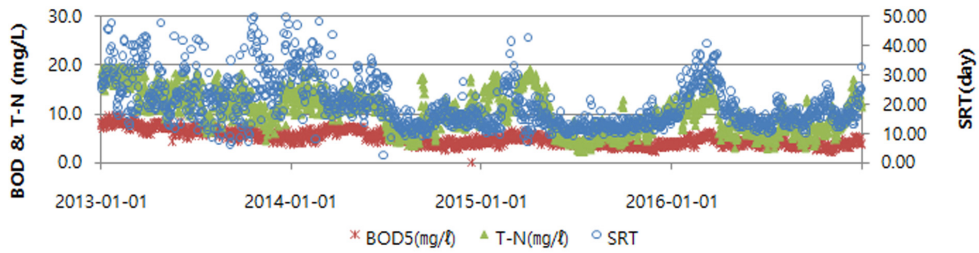


Fig. 4. BOD and T-N concentrations by SRT

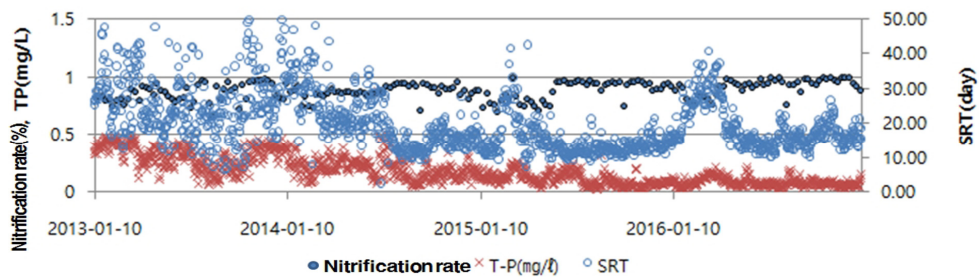


Fig. 5. T-P concentration and nitrification rate by SRT

탈질 성능이 개선되었으며, 추가 개선을 위해서는 용존산소 농도를 동계 약 2.5mg/L 내외까지 개선하고 하계에는 운전 DO를 약 2mg/L 미만으로 운전해 질산화물의 탈질을 위한 무산소 시간 확보로 하계 탈질 효율 개선할 수 있다.

3.3 모델링 적용 평가

사업 대상인 500m³/일 이상 규모 1개 시설과 소규모 9개 시설에 대한 현황 분석 및 문제점과 개선안 도출은 수행되었으나 모든 시설에 대한 개선안의 적용 효과를 전산모사를 통해 검토하기에는 다소 어려움이 있어 개선안 적용 대상 선정 처리장을 대상으로 전산모사를 통해 검토하였다

(A. Olav Silkers et al., 2002).

개선방안을 적용하는 시설에 대해 평가를 하는 상용화된 모델이 있으나, 모의 인자 등의 제한성이 있다(Kishida, N et al., 2006). 효과분석을 위한 방법 중에는 모델을 활용하는 방법이나 기초적인 biological dynamic model을 기반으로 물질 수지를 활용하는 방법 등 다양한 접근 가능하며 (Brdjanovic, D et al., 1998), 유입 폐수의 유량, 농도 및 운전 시간 등에 따라 변하는 동적(dynamic)인 특성이 있는 하수처리 공정 시뮬레이션은 공정 설계 및 개선, 제어 및 최적화를 위해 사용된다. 미생물의 성장 등 인자들은 Table 7, Table 8에 나타냈고, default 값을 사용하였으며 이러한

Table 7. Model compounds and wastewater compositions

Factor	Unit	Default	Design	Note
Yh	gCOD/gCOD	0.63	0.59	Het yield coefficient
Ypao	gCOD/gCOD	0.625	0.625	PAO yield coefficient
Ypo4	gP/gCOD	0.4	0.4	PO4 released/PHA stored
kmax	gP/gCOD	0.34	0.34	maximum ratio of poly-P in PAOs
Yaut	gCOD/gN	0.24	0.23	Aut yield coefficient
prodfsi	gCOD/gCOD	0	0	production of si in hydrolysis
muh	1/일	6	6.705	het max growth rate
bh	1/일	0.4	0.1975	lysis and decay rate constant
nno3het	-	0.8	0.8	denitrification reduction factor
qpha	1/일	3	1.6	rate constant for storage of PHA
qpp	1/일	1.5	1.0	rate constant for storage pf poly-P
Kf	gCOD/m ³	4	4	sf half sat. coeff. for het
Ka	gCOD/m ³	4	4	sa half sat. coeff. for het
qpha	1/일	3	1.6	rate constant for storage of PHA
qpp	1/일	1.5	1.0	rate constant for storage pf poly-P
nno3pao	-	0.8	0.8	reduction factor for anoxic activity
Kapao	gCOD/m ³	4	4	sa half sat. coeff. for PAO
Ko	gO2/m ³	0.2	0.2	oxygen half sat. coeff.
Kno	gN/m ³	0.5	0.5	nitrate half sat. coeff.
Kpo4	gP/m ³	0.01	0.01	phosphate half sat. coeff.
Kalk	mole/m ³	0.1	0.1	alk. half sat. coeff.
muaut	1/일	1	1	max. growth rate
baut	1/일	0.15	0.15	decay rate
KO2	gO2/m ³	0.5	0.5	O2 half sat. coeff. for aut
Knh4	gN/m ³	1	1	NH4 half sat. coeff. for aut
Kalk	mole/m ³	0.5	0.5	alk half sat. coeff. for aut
Kh	1/일	3	3	hydrolysis rate
nno3	-	0.6	0.6	ax hyd. reduc. factor
nfe	-	0.4	0.4	an hyd. reduc. factor
Kx	-	0.1	0.1	xs half. sat. coeff.

Table 8. Model compounds and wastewater compositions

Factor	Unit	Design	High	Low	Average	Note
si	g/m ³	23	24	15	21	soluble inert
sf	g/m ³	123	141	56	72	fermentable
sa	g/m ³	64	72	31	41	VFA
xs	g/m ³	89	102	44	61	slowly BD
xi	g/m ³	18	21	9	13	particulate inert
xh	g/m ³	17	20	9	12	heterotrophs
xaut	g/m ³	0	0	0	0	autotrophs
xpao	g/m ³	0	0	0	0	PAOs

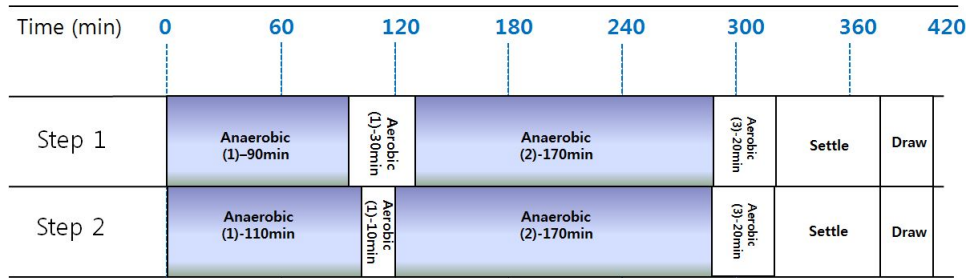


Fig. 6. Bioreactor operating cycle in STP

많은 인자의 실질적인 조사가 선행되기 어려우며 모델링의 예측의 현실성이 저하되는 원인이지만 인자의 선택을 위해 운전조건을 기반으로 수행착오를 통해 수질이 근접하게 되는 운전인 자를 선택하였으며, 개선안의 평가를 수행 모델링 전문기업인 UNU에서 개발한 전산모사 프로그램을 사용하였다(Chua, A. S. M et al., 2003).

현장 운전조건을 포함하여 다양한 조건에서 모델링을 실시하였다. 다만 이번 연구에서는 모델링의 한계와 분석을 동반하지 않았으며, 모델링 인자는 default 값을 적용하였으며, 모델링적용 운전 인자는 수온 12.4℃, 반응조 MLSS 2,660mg/L, 잉여슬러지 인발량 14.7m³/day이며 SRT는 26.3일을 적용하였다. Fig. 6은 선회와류식 SBR공정의 운전 주기를 나타냈는데 420분을 기준으로 하루 3.4회 반복된다.

본 연구에서는 총인 처리효율을 개선하기 위해 1 cycle의 운전 시간 및 SRT에 변화를 주어 모델링을 실시하였다. Fig. 6에 나타는 것처럼 1 cycle 420분, 하루 4 cycle로 생물 반응조를 운전하였으며, 처리성을 강화하기 위해 공정을 혐기-호기-침전-배출로 3단계로 단순화하여 시뮬레이션

하였다.

TP 처리효율을 위해 혐기운전시간 20분 증가, 호기 운전 시간 20분 감소 운전하고, SRT를 감소하였으며, 잉여슬러지는 17.9m³/일로 조정한 결과를 Table 9에 나타냈다. T-P 개선안을 Phase 1~3조건으로 모사하였다. Phase 1은 검증 단계이며, Phase 2와 Phase 3은 SRT조정하여 모델링을 실시하였다. Phase 3의 처리수질은 BOD 5.6mg/L, COD 4.6mg/L, SS 4.4mg/L, T-N 12.7mg/L, T-P 0.36mg/L로 나타났다. 유기물제거는 큰 효과를 보지 못하였지만, T-P는 12.2%의 개선 효과를 나타냈다. SRT가 줄어들면서 슬러지 인발량이 줄어들고 침전효율이 좋아지게 되면, T-P의 생물학적 제거 방법(Luxury uptake)특성상 총인 제거 효율이 개선되는 것으로 판단되었다.

모델링을 위한 개선안 도출 후보군에대한 모델링을 실시하였다. Table 10에 결과처럼 소규모 처리장에 적용한 결과. Case 1의 처리수질은 T-P 0.40~0.43mg/L로 나타났다. SRT를 조절한 Case 2의 처리수질은 T-P 0.36~0.40mg/L로 나타났다. T-P의 개선효과는 평균 8.5%로 나타났다. 최대 T-P는 14.4%의 개선효과를 나타냈다.

Table 9. Operation parameters for modelling

Parameter	Unit	Operation data	modelling		
			Phase 1	Phase 2	Phase 3
Influent	m³/day	488	488	488	488
MLSS	mg/L	2,660	2,671	2576	2,429
Excess sludge	m³/day	14.7	14.7	15.7	16.5
SRT	day	26.3	19.9	18.7	17.9
BOD	mg/L	-	5.7	5.7	5.8
COD	mg/L	-	10.1	4.6	4.6
SS	mg/L	-	4.6	4.6	4.4
T-N	mg/L	-	12.796	12.8	12.7
T-P	mg/L	-	0.396	0.41	0.36

Table 10. Operation parameters for modelling

Parameter	Unit	Actual	Case1	Case2/IE(%)	
1	T-P	mg/L	0.40	0.39	2.8
2		mg/L	0.42	0.40	4.1
3		mg/L	0.42	0.40	5.3
4		mg/L	0.41	0.36	12.2
5		mg/L	0.41	0.37	10.0
6		mg/L	0.43	0.40	7.0
7		mg/L	0.41	0.38	7.1
8		mg/L	0.41	0.35	14.4
9		mg/L	0.41	0.36	13.4

4. 결 론

본 연구는 안동임하댐권역 공공하수처리시설의 공정개선 방안 및 효율 개선 방안을 마련하고자 후보군을 도출하여 모델링 분석을 실시하였다. 그 결과를 바탕으로 도출된 결과는 다음과 같다.

- 안동 임하댐권역 49개소 중 500m³/일 이상 대표시설의 모델링 분석 자료는 5년간의 방류수 농도 분석한 결과 조사 기간 동안 방류수 수질 기준은 모두 만족하였다. 대표 MWTP의 동계 질산화율의 추가적인 개선이 필요한 것으로 질산화율의 안정성을 위해 SRT연장 운전으로 안정적인 질산화율의 확보를 고려해야 할 것으로 판단된다. 또한 방류수 T-P 농도 실측 분석 결과가 0.4mg/L로 분석되었으며 수질 기준 농도를 초과할 가능성이 있어 이에 대한 예방 방안이 필요할 것으로 판단된다.
- 대표 MWTP 모델링 결과를 바탕으로 T-P 처리 효율 개선 방안은 선화아류식 SBR 공정에서 혐기 및 호기 구간간의 운전시간 증가 및 SRT 변화로 분석되었다. 특히, 안정적인 질산화가 가능한 범위에서 SRT는 약 9일 정도 줄여 운전을 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 마을하수도의 동절기 T-P 처리 효율 개선방안으로 활용 될 수 있을 것이다.
- 소규모처리시설 모델링을 위한 개선안 도출 후보군에 대한 모델링을 실시하였다. SRT를 조절한 처리수질 결과는 T-P 0.36~0.40mg/L로 평균 8.5%의 개선효과를 보였으며 C소규모처리시설은 14.4%로 가장 높은 개선 효과를 보였다.

감사의 글

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

References

- Ali R. Dincer and Fikret Kargi (2000) Kinetics of sequential nitrification and denitrification processes, *Enzyme and Microbial Technology*, 27, pp. 37-42.
- Abusam, A., Keesman, K.J., van Straten, G., Spanjers, H. and Meinema, K. (2001) Sensitivity analysis in oxidation ditch modelling: the effect of variations in stoichiometric, kinetic and operating parameters on the performance indices, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 76: 430-438
- Henze, M., Grady, C.P.L.Jr., Gujer, W., Marais, G.v.R. and Matsuo, T. (1986) [IAWQ Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment] Activated sludge model No. 1, Scientific and Technical Reports No. 1, IAWQ
- S. H. Isaacs and M. Henze (1995) Controlled carbon source addition to an alternating nitrification-denitrification wastewater treatment process including biological P removal, *Water Research*, Vol. 29, No. 1, pp. 77-89
- Ali R. Dincer, Fikret Kargi (2002), Kinetics of sequential nitrification and denitrification processes, *Enzyme and Microbial Technology* 27, 37-42.
- A. Olav Silkers, N. Derwort, J. L. Campos Gomez, M. Strous, J. G. Kuenen (2002) Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite in one single reactor, *Water Research*, Vol. 36, 2475-2482 (2002)
- Brdjanovic, D., Slamet, A., van Loosdrecht, M. C. M., Hooijmans, C. M., Alaerts, G. J., Heijnen, J. J., (1998) Impact of excess aeration on biological phosphorus removal from wastewater, *Wat. Res.*, 32, 200-208.
- Kishida, N., Tsuneda, S., Sudo, R., (2006) Anaerobic/oxic/anoxic granular sludge process as an effective nutrient removal process utilizing denitrifying phosphate-accumulating organisms, *Wat. Res.*, 40, 2303-2310.
- Chua, A. S. M., Takabatake, H., Satoh, H., Mino, T. (2003) Production of polyhydroxyalkanoates (PHA) by activated sludge treating municipal wastewater: effect of pH, sludge retention time (SRT), and acetate concentration in influent, *Wat. Res.*, 37, 3602-3611.
- Filipe, C. D. M., Lee, JY, Gil, KI (2017). Effect of MLSS and Micro-algae on Nitrification based Photosynthetic Oxygen, *J. of Wetlands Research*, 19(4), pp.508-514 [Korea literature] [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2017.19.4.508>]
- 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 [Korea literature] [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2019.21.3.244>]
- Im, JY, Gil, KI (2014). Analysis of RCSTP Treatment Efficiency using BCS-II Process: Case Study of An-dong City, *J. of Wetlands Research*, 16(4), pp.423-431 [Korea literature] [<https://www.earticle.net/Article/A244781>]
- Im, JY, Gil, KI (2014). A Study of RCSTP Nutrient Removal Efficiency in Winter Season, *J. of Wetlands Research*, 16(3), pp.363-370 [Korea literature] [<https://www.earticle.net/Article/A232304>]
- Im, JY, Gil, KI (2013). Analysis of RCSTP Wastewater Characteristics and Installed Treatment Process in Bong-Hwa Gun, *J. of Wetlands Research*, 15(4), pp.453-460

[Korea literature] [[G704-002159.2013.15.4.002](#)]

Park, MS, Im, JY, Gil, KI(2017). Analysis of RCSTP And MWTP Pollutants Treatment Efficiency in Bong-Hwa Gun, J. of Wetlands Research, 19(1), pp.69-79 [Korea literature] [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2017.19.1.069>]

[19.1.069](#)]

Ministry of Environment(MOE) (2011). Study on appropriate treatment & management of the public sewage treatment works entering the industrial wastewater.