

하수처리 모델링을 이용한 연계처리 시나리오별 운전조건 최적화

김성지·길경익[†]

서울과학기술대학교 건설시스템공학과

Optimization of Operating Conditions for Each Linked Treatment Scenario using Sewage Treatment Modeling

Sungji Kim·Kyungik Gil[†]

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea
(Received : 31 December 2020, Revised : 14 January 2021, Accepted : 14 January 2021)

요약

급속한 산업발전과 인구증가, 생활 수준의 향상으로 영양염류를 포함한 하·폐수 발생량이 매년 증가하고 있다. 증가하는 하·폐수 발생량과 더불어 미처리 연계처리수(분뇨, 가축분뇨, 산업폐수, 침출수, 음폐수) 또한 발생량이 증가하고 있고, 연계처리수 상당 수가 인근 하수처리장으로 연계하여 연계처리되고 있다. 연계처리수는 기존 유입하수와 비교했을 때 저유량 고농도의 특징을 가지고 있기 때문에 하수처리장에서는 방류수 수질 악화, 처리량 증가, 오염부하 증가, 충격부하 또는 중금속 유입 등과 같은 많은 문제점을 가지게 된다. 이와같은 문제를 해결하기 위해서 하수처리장에 연계 유입되는 연계처리수의 양 및 수질 등의 조사가 필요하고, 하수처리에 미치는 영향 등에 관한 연구가 필요하다. 따라서 본 논문은 연계처리수의 영향을 살펴보기 위해 4계절에 따른 수온조건을 고려했을 때 연계처리수의 영향 및 연계처리수 유입 유량 분배 등 영향인자를 고려하여 시나리오를 만들고 최적의 효율을 나타내는 조건을 분석하고자 한다.

핵심용어 : GPS-X, 모델링, 연계처리, 하수처리장

Abstract

Due to rapid industrial development, population growth, and improvement of living standards, the amount of sewage and wastewater, including nutrients, is increasing every year. In addition to the increasing amount of sewage and wastewater generation, untreated linked treated water (manure, livestock manure, industrial wastewater, leachate, food waste) is also increasing, and many of the linked treated water flows directly into nearby sewage treatment plants. The associated treated water causes many problems because of its own characteristics, low flow rate with high concentration compared to existing inflow sewage. In order to solve this problem, it is necessary to investigate the quantity and quality of the connected treated water which is flowed into the sewage treatment plant, and a study the effect on sewage treatment. Therefore, in this paper, we would like to examine the effect of the linked treated water. Seasonal effect associated with water pollution conditions was considered. In addition, a scenario was created through the distribution and inflow of connected treated water along with the water temperature conditions. Through scenario analysis, we intend to optimize the operating conditions of linked processing.

Key words : GPS-X, modeling, Linked Treatment, Sewage Treatment Plant

[†]To whom correspondence should be addressed.

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

• **Sungji Kim** Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea / Master's course (7im_sg@seoultech.ac.kr)
• **Kyungik Gil** Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea / Professor (kgil@seoultech.ac.kr)

1. 서 론

공공 하수처리구역 인구보급률, 고도처리인구 보급률, 하수도 설치율이 매년 증가하는 것과 같이 급속한 산업발전과 인구증가, 생활 수준의 향상으로 영양염류를 포함한 하폐수 발생량이 매년 증가하는 추세에 있다(Shin, 2016). 일반적으로 하수처리장에서는 처리 원수로서 도시하수가 유입되며 이러한 하수처리를 위한 계획, 설계 및 공사가 수행된다(Im and Gil, 2017). 특정 하수처리장에는 분뇨, 산업폐수, 침출수, 음폐수와 같은 미처리수가 연계 유입되어 연계처리되고 있다(Kim et al., 2007). 연계처리란 분뇨, 가축분뇨, 침출수, 기타 산업폐수 등 고농도의 폐수들을 인근 하수처리장으로 연계하여 해당 사업체의 부담을 덜어주는 시스템을 말한다(Lee and Gil, 2020). 연계처리를 시행하는 이유는 별도 처리시 강화된 방류수 수질기준을 만족할 수 있는 처리공정을 구성해야 하고, 시설 투자비, 유지관리 등 어려움이 있기 때문에 인근 하수처리장으로 연계처리를 진행하고 있다(Kim and Shin, 2012). 미처리 연계처리수의 경우 기존 유입하수와 비교했을 때 유입량은 미비하지만(Lee and Gil, 2020), 오염물질 농도 측면으로 살펴보면 기존 유입하수보다 매우 높은 특징을 가지고 있다(Kim et al., 2019). 이와 같은 특징 때문에 미처리 연계처리수는 부하 정도에 따라서 생물학적으로 처리되는 하수처리장에 운영에 영향을 줄 수 있다(Jeong et al., 2016). 하수처리장은 이와 같은 영향으로 방류수 수질 악화, 처리량 증가, 오염부하 증가, 충격부하 또는 중금속 유입 등과 같은 많은 문제점을 가지게 된다(Lee et al., 2020). 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 하수처리장에 연계 유입되는

연계처리수의 양 및 수질 등의 조사가 필요하고, 하수처리에 미치는 영향 등에 관한 연구가 필요하다(Kim et al., 2019). 본 연구를 진행하기 위해서 시간과 경제적 제약이 많은 실험적 방법보다는 수학적 활성슬러지 모델을 이용하여 연구가 이루어지고 있고, 수학적 모델을 통한 생물학적 공정의 해석은 짧은 시간에 최적 운전조건을 도출할 수 있으며, 반응기를 적절하게 운전하기 위한 비용도 불필요한 활성슬러지 모델을 활용하고자 한다(Chung et al., 2004). 모델링 프로그램은 Hydromantis에서 개발한 모델링 프로그램 'GPS-X'를 사용했다. 연계처리수의 영향을 살펴보기 위해서 4계절에 따른 수온 조건을 고려했을 때 연계처리시 방류수의 수질을 살펴보고자 했다. 방류수 수질이 가장 적게 상승하는 수온 조건을 고려하여 연계처리수 유입 유량 분배를 통해 영향인자를 조합하여 시나리오를 만들고 시나리오 중 최적의 효율을 나타내는 조건을 분석하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상 하수처리장

연구의 보편적 적용을 위해서 연구조건에 적합한 하수처리장을 선정해야 한다. 따라서 연구에 적합한 하수처리장을 아래 Fig. 1과 같은 과정을 통해서 연구대상 하수처리장을 선정했다. '하수도통계 2018'을 바탕으로 연계처리를 실시 여부에 따라서 분류한 결과 500m³/d 이상의 하수처리장 중 연계처리를 시행하는 하수처리장은 188개소로 조사되었고, 500m³/d 이하의 하수처리장 중 연계처리를 시행하는 하수처리장은 1개소로 조사되었다. 따라서 본 연구는 연계

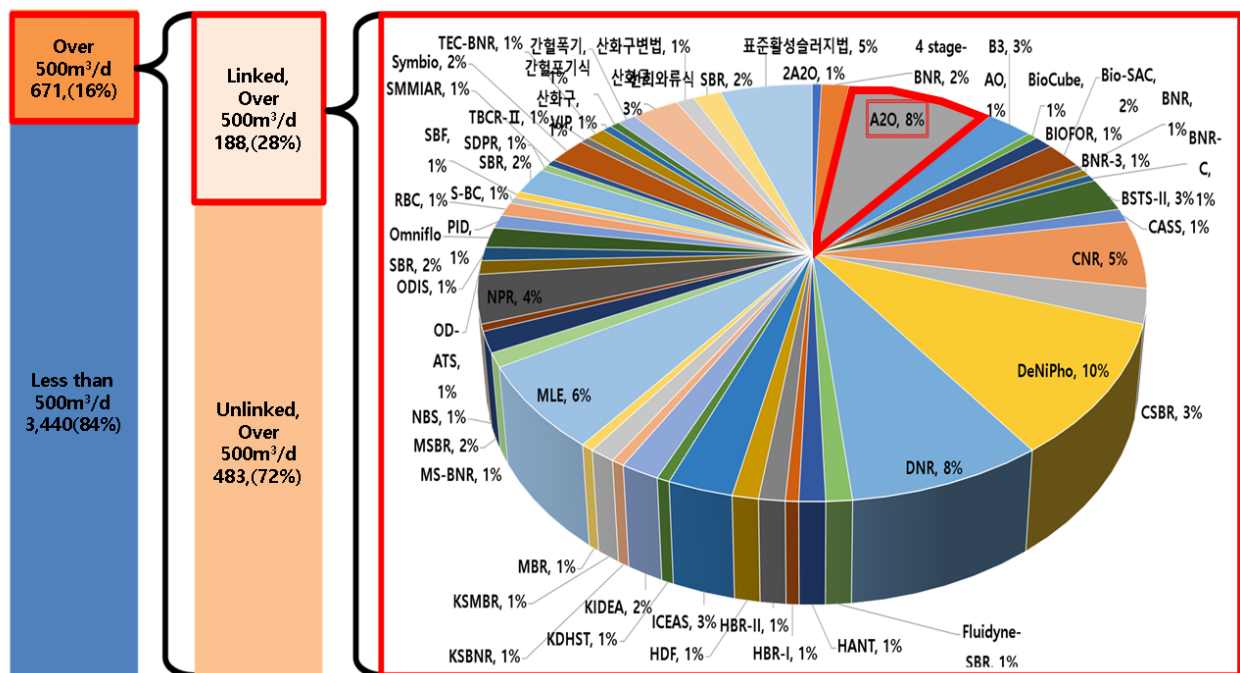


Fig. 1. Sewage treatment plant selection process for research

처리를 시행할 때를 모사하기 때문에 연계처리를 시행하는 하수처리장 중 연구대상 하수처리장을 선정하고자 했다. 따라서 국내 하수처리장 4,111개소 중 500m³/d이상의 하수처리장 조건과 연계처리를 시행하는 하수처리장 조건을 적용했을 때 188개소의 하수처리장이 조사되었다. 188개소의 하수처리장 중 공법별로 분류한 결과 A²O공법을 적용한 하수처리장이 많이 존재하는 것으로 조사되었고, 이와 같은 결과를 바탕으로 연구대상 하수처리장을 선정했다.

2.2 연구대상 하수처리장 적용 공법 및 주요시설 현황

연계처리 시나리오별 운전조건 최적화 연구를 위해서 선정된 하수처리장은 A²O공법으로 운영되고 있고, 시설 용량은 42,000m³/d로 조사되었다. 연구결과와 보편적 적용을 위해서 연구조건에 적합한 하수처리장을 선정하기 위해 하수도통계를 바탕으로 도출한 조건에 부합하는 것으로 판단되었고, 최종적으로 경상북도 칠곡군에 위치한 J하수처리장을 연구대상 하수처리장으로 선정했다. 연구대상 하수처리장에 적용된 A²O공법은 혐기조(Anaerobic), 무산소조(Anoxic), 호기조(Aerobic)로 구성된 생물반응조로 운전이 되고 있으며, 내부반송 및 침전지 슬러지 반송등으로 질소

및 인을 제거하는 공정이다. 혐기조에서 인을 방출시켜 호기조에서 미생물이 과잉섭취할 수 있도록하여 인을 제거하고, 무산소조에서 호기조에서 내부반송된 NO₃를 탈질시켜 질소를 제거하는 공법이다. 각 반응조의 크기 및 용량은 Table 1에 나타났다.

2.3 시뮬레이션 시나리오

본 연구에서는 모델링을 이용하여 연계처리시 하수처리장에 미치는 영향 및 연계처리시 연계처리 최적 조건분석을 진행하려고 한다. 따라서 다양한 시나리오를 적용하여 시나리오별 연계처리 최적화를 진행하고자 한다. 시나리오 구성시 주요 고려 인자는 수온, 생물반응조 개별 연계처리수 전량 유입, 생물반응조 연계처리수 분배 유입과 같은 조건을 활용하여 시나리오를 구성하고자 한다. 모델링을 활용하여 J하수처리장을 모사하는 시뮬레이터를 완성한 뒤 4계절의 영향을 고려할 수 있는 수온조건을 설정하고자 한다. 수온 조건은 10℃, 15℃, 20℃, 25℃로 설정했고, 설정한 결과를 바탕으로 하수처리장 방류수 수질에 적합한 조건을 사용하여 아래 Table 3의 시나리오를 적용하여 연계처리수 연계처리 최적화를 진행하고자 한다.

Table 1. Sewage treatment plant facility information

Facility		Facility Status & Scale				Facility Capacity
		W	L	H	EA	
Embarkation		6.3m	6.0m	4.6m	1	174m ³ /d
Primary Clarifier		6.5m	25m	3.0m	4	1,950m ³ /d
Bioreactor	Anaerobic	6.5m	7.0m	5.0m	4	6,110m ³ /d
	Anoxic	6.5m	7.0m	5.0m	4	
	Oxic	6.5m	33m	5.0m	4	
Clarifier		6.5m	33m	4.0m	4	3,744m ³ /d

Table 2. Sewage treatment plant optimization scenario

Parameter	Flow rate (m ³ /d)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	temp. (°C)	pH
Range	7,580~36,017	59~548	107~403	56~200	14~66	2~7	10~28	6~8
Average	13,014	220	240	117	45	5	20	7

Table 3. Characteristics of influent wastewater

Scenario	Sewage Treatment Plant(STP)	
①	Influent Tank 100%	STP impact analysis
②	Anaerobic Tank 100%	
③	Anoxic Tank 100%	
④	Aerobic Tank 100%	
⑤	Influent Tank(100%) : Anoxic Tank(0%)	Optimal condition analysis
⑥	Influent Tank(80%) : Anoxic Tank(20%)	
⑦	Influent Tank(60%) : Anoxic Tank(40%)	
⑧	Influent Tank(40%) : Anoxic Tank(60%)	
⑨	Influent Tank(20%) : Anoxic Tank(80%)	
⑩	Influent Tank(0%) : Anoxic Tank(100%)	

3. 연구결과 및 고찰

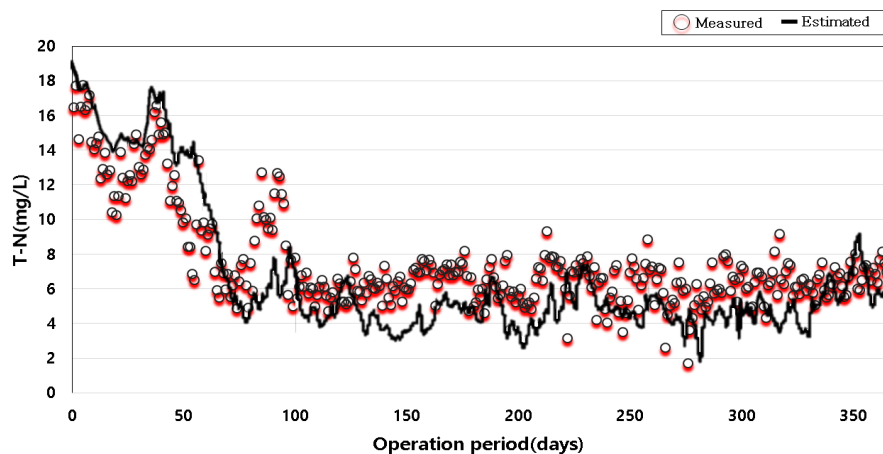
3.1 공정 시뮬레이터 구축 및 모델링

활성슬러지 공정 모델링을 위한 다양한 프로그램이 개발되었다. 이러한 Simulation program은 plant를 운전하고 설계하는데 기본이 되는 유입조건, 공정운전, 활성슬러지

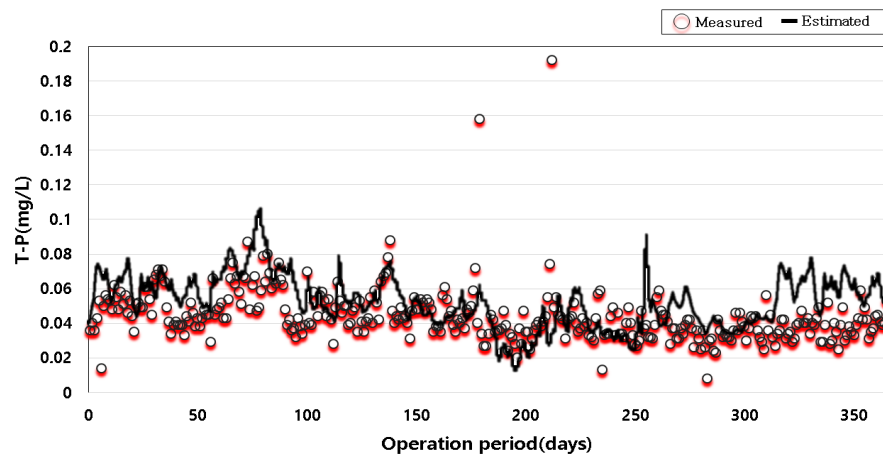
의 침전특성 등의 많은 parameter를 이해하는데 가장 강력한 tool이 되고 있다(Hydromantis Inc., 2001). 본 연구에서는 활성슬러지 모델을 기초로 한 프로그램 중 GPS-X를 이용하여 J하수처리장의 A²O 공정을 모사하고자 했다(Rho and Gil, 2007). J하수처리장을 모사하는 시뮬레이터를 제작하기 위해서 유입수 성상 분류, Lay-Out구성, 1차 시뮬레이션 평가(Default Value), 민감도 분석(ASM2d

Table 4. Results of Kinetics parameter estimation

Symbol	Unit	Default	Application	Symbol	Unit	Default	Application
Yh	gCOD/gCOD	0.62	0.59	nno3pao	—	0.7	0.8
Ypao	gCOD/gCOD	0.615	0.525	Kapao	gCOD/m ³	3	4
Yaut	gCOD/gN	0.14	0.13	Ko	gO ₂ /m ³	0.1	0.2
muh	1/d	5	6.505	Kno	gN/m ³	0.4	0.3
bh	1/d	0.3	0.1875	Kalk	mole/m ³	0.2	0.1
qpha	1/d	2	1.8	baut	1/d	0.10	0.13
qpp	1/d	1.4	1.2	KO ₂	gO ₂ /m ³	0.4	0.5
qpha	1/d	2	1.5	Kh	1/d	2	3
qpp	1/d	0.5	1.1	nno3	—	0.5	0.7
Kalk	mole/m ³	0.4	0.5	nfe	—	0.3	0.4



(A) T-N



(B) T-P

Fig. 2. Simulator model verification

를 구성하는 매개변수 중 대상 처리장에 크게 영향을 미치는 매개변수 도출), 매개변수 추정(민감도 분석을 통해 도출된 매개변수의 값 추정을 통한 모델의 최적화), 모델검증(모델 최적화에 사용되지 않은 데이터를 사용하여 예측 성능 평가)와 같은 과정을 통해 시뮬레이터를 제작했다. 민감도 분석 및 매개변수 추정을 위해 사용되는 생물학전 인자의 기본 값은 IWA Task Group에 의해 제시된 기본(Default)값을 50~200%의 범위에서 변화를 측정했다. 또한 매개변수 추정 및 모델검증 과정은 1년간의 J하수처리장의 유입수질 및 방류수질을 바탕으로 진행했고, 181일까지의 값을 매개변수 추정 181일 이후의 값은 모델검증을 위해 사용되었다.

3.2 하수처리장 수온조절을 통한 연계처리 최적수온 도출

J하수처리장을 모사하는 시뮬레이터를 완성하고, 연계처리시 적용할 수 있는 최적수온을 도출하고자 했다. J하수처리장의 4계절의 수온을 조사한 결과 평균적으로 봄 15℃, 여름 25℃, 가을 20℃, 겨울 10℃의 분포를 보였다. 따라서 각 계절을 대표하는 수온을 시뮬레이터에 적용하고, 방류수

의 T-N, T-P의 수질을 살펴보았다. 10℃조건에서 T-N 7.51mg/L~19.76mg/L(평균:14.00mg/L), T-P 0.0401mg/L~0.0971mg/L(평균:0.0744mg/L)로 나타났다. 15℃조건에서 T-N 6.77mg/L~18.12mg/L(평균:9.20mg/L), T-P 0.0511mg/L~0.1131mg/L(평균:0.0729mg/L), 20℃조건에서 T-N 3.61mg/L~9.91mg/L(평균:8.02mg/L), T-P 0.0511mg/L~0.1131mg/L(평균:0.0729mg/L), 25℃조건에서 T-N 5.07mg/L~11.22mg/L(평균:8.35mg/L), T-P 0.0391mg/L~0.2181mg/L(평균:0.0681mg/L)로 나타났다. 결과를 바탕으로 연계처리 최적수온을 분석한 결과 20℃조건에서 방류수 평균 T-N 8.02mg/L, 방류수 평균 T-P 0.0729mg/L로 나타났고, 다른 수온 조건에 비해서 낮은 방류수 수질을 나타냈다. 이를 통해 연계처리를 위해 최적수온을 도출할 수 있었다.

3.3 시뮬레이션 시나리오 적용을 통한 연계처리 최적 조건 분석

시뮬레이션 시나리오 적용을 통해 연계처리 최적 조건을 분석하기 위해서 시뮬레이터 데이터를 바탕으로 분석한 결

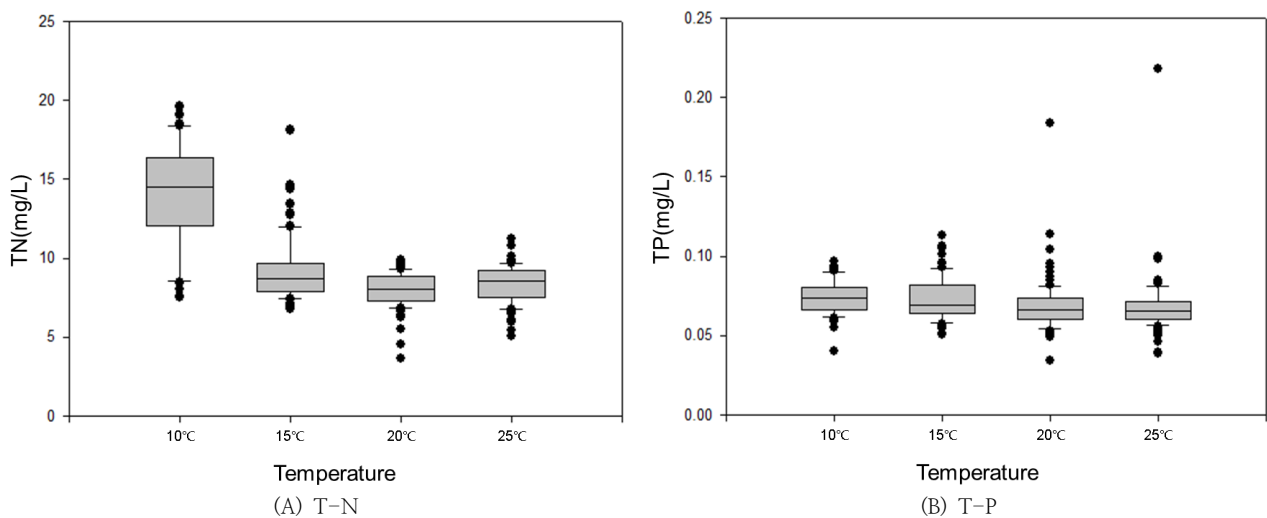


Fig. 3. Effluent quality according to temperature conditions

Table 5. Effluent quality by scenario condition

Scenario	T-N			T-P		
	Min (mg/L)	Max (mg/L)	Avg. (mg/L)	Min (mg/L)	Max (mg/L)	Avg. (mg/L)
J STP	1.68	17.73	7.58	0.0080	0.1920	0.0445
①	4.31	14.91	8.02	0.0248	0.0894	0.0682
②	4.27	14.91	8.37	0.0199	0.0829	0.0692
③	2.71	10.31	8.22	0.0097	0.1498	0.0671
④	2.51	10.23	8.42	0.0159	0.1491	0.0683
⑤	4.31	14.91	8.02	0.0248	0.0894	0.0682
⑥	3.97	9.21	8.15	0.0118	0.1259	0.0634
⑦	5.58	12.51	9.27	0.0498	0.1258	0.0819
⑧	5.43	13.98	9.16	0.0258	0.1198	0.0821
⑨	6.21	11.52	9.21	0.0137	0.1237	0.0774
⑩	2.51	10.23	8.42	0.0159	0.1491	0.0683

과 Table 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 또한 시나리오에 적용하기 위해서 앞서 도출한 최적수온 조건 20℃를 적용하여 수온조건, 생물반응조 개별 연계처리수 유입, 생물반응조 분배 유입과 같은 조건을 적용할 수 있었다. 연계처리시 하수처리장에 미치는 영향을 살펴보기 위해서 시나리오①~④과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 시나리오①~④중 연계처리수가 가장 적게 영향을 미치는 조건은 시나리오①(유입하수 전량 유입), 시나리오 ③(무산소조 전량 유입)으로 나타났다. 연계처리수를 연계처리하면서 평균적으로 기존 J하수처리장의 방류수 수질 대비 T-N과 T-P 각각 약 10%, 53% 정도의 농도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

연계처리수 전량 개별 반응조 유입시 방류수 수질이 가장 적게 상승하는 시나리오는 ①, ③번으로 나타났다. 각 시나리오는 유입하수, 무산소조에 전량 유입하는 경우로 연계처리수 유입 유량 비율을 조정하면서 시나리오 ⑤~⑩를 선정했다. ⑤번 시나리오의 경우 방류수질 평균 T-N 8.02mg/L, T-P 0.0682mg/L ⑥번 시나리오의 경우 평균 방류수질 T-N 8.15mg/L, T-P 0.0634mg/L ⑦번 시나리오의 경우 평균 방류수질 T-N 9.27mg/L, T-P 0.0819mg/L ⑧번 시나리오의 경우 평균 방류수질 T-N 9.16mg/L, T-P 0.0821mg/L ⑨번 시나리오의 경우 평균 방류수질 T-N 9.21mg/L, T-P 0.0774mg/L ⑩번 시나리오의 경우 평균 방류수질 T-N 8.42mg/L, T-P 0.0683mg/L로 나타났다. 시나리오 ⑤~⑩의 결과를 바탕으로 연계처리수 연계처리 최적 조건을 분석한 결과 기존 J하수처리장의 방류수 수질값을 기준으로 비교했을 때, T-P의 경우 시나리오 ⑥, 시나리오 ⑩, 시나리오 ⑤ 각각 42%, 51%, 53% 상승하는 것을 보였고, 시나리오 ⑥이 가장 적게 방류수 수질값이 상승하는 것으로 나타났다. T-N의 경우 시나리오 ⑤, 시나리오 ⑥, 시나리오 ⑩ 각각 6%, 8%, 8% 상승하는 것으로 나타났다. 이에 Y하수처리장의 경우 개별로 방류수 수질을 조절할 경우 T-P의 경우 시나리오 ⑥과 같이 T-N의 경우 시나리오 ⑤같이 운전하는 것을 고려해 볼 필요가 있는 것으로 나타났고, T-N과 T-P의 방류수 수질을 조절할 경우 시나리오 ⑥을 통해서 운전하는 것을 고려해 볼 필요가 있다는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

하수처리 모델링을 이용한 연계처리 시나리오별 운전조건 최적화를 위해 온도 및 다양한 시나리오를 적용하여 연구를 진행했다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 급속한 산업발전과 인구증가, 생활 수준의 향상으로 영양염류를 포함한 하·폐수 발생량이 매년 증가하고 있다. 증가하는 하·폐수 발생량과 더불어 미처리 연계처리수(분뇨, 가축분뇨, 산업폐수, 침출수, 음폐수)또한 발생량이 증가하고 있고, 연계처리수 상당 수가 인

근 하수처리장으로 연계하여 연계처리되고 있다.

- 2) 하수처리장에 미치는 영향 및 연계처리 최적 조건분석을 진행하기 위해서 다양한 시나리오를 구성 및 적용했다. 먼저 4계절 수온의 영향을 살펴보기 위해 J하수처리장의 수온 조건을 분석한 결과 각 계절마다 10℃, 15℃, 20℃, 25℃로 대표성을 나타냈다. 따라서 앞의 수온조건을 적용했고, 수온의 의한 영향을 살펴본 결과 20℃ 조건에서 T-N 8.02mg/L, 방류수 평균 T-P 0.0729mg/L로 나타났고, 다른 수온 조건에 비해서 낮은 방류수 수질을 나타냈다.
- 3) 앞서 도출한 최적수온 조건 20℃를 적용하여 생물반응조 개별 연계처리수를 유입했을 때를 모사하기 위한 시나리오①~④를 진행한 결과 연계처리수가 가장 적게 영향을 미치는 조건은 시나리오 ①, 시나리오 ③로 나타났다. 이를 바탕으로 ⑤~⑩ 시나리오는 유입하수, 무산소조에 전량 유입하는 경우로 연계처리수 유입 유량 비율을 조정하면서 시나리오 ⑤~⑩를 선정했다.
- 4) 연계처리 최적 조건을 분석한 결과 기존 J하수처리장의 방류수 수질값을 기준으로 비교했을 때, T-P의 경우 시나리오 ⑥, 시나리오 ⑩, 시나리오 ⑤ 각각 42%, 51%, 53% 상승하는 것을 보였고, 시나리오 ⑥이 가장 적게 방류수 수질값이 상승하는 것으로 나타났다. T-N의 경우 시나리오 ⑤, 시나리오 ⑥, 시나리오 ⑩ 각각 6%, 8%, 8% 상승하는 것으로 나타났고, 시나리오 ⑤이 가장 적게 상승하는 것으로 나타났다.

감사의 글

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

References

- Chung, CW, Shim, YS, Kim, TH, Park, HW (2004). Evaluation of External Carbon Source on the 2 stage Denitrification Process by Simulation of GPS-X, Korea Society of Water & Wastewater, 18(1), pp. 37-48 [Korea literature]
- Im, JY, Gil KI (2017). The Investigation and Improvement plan of Contracting-out municipal wastewater treatment plant system in Korea, Journal of Wetlands Research, 19(2), pp. 211-215 [Korean Literature] [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2017.19.2.211>]
- Jeong, DH, Cho, YS, Ahn, KH, Kim, ES, Kim, CS, Chung, HM(2016). A study on characteristics of influent and effluent pollutants in public sewage treatment works combined with industrial wastewater and landfill leachate, J. of Korean Society of Water and Wastewater,

- 30(6), pp. 673–682 [Korea literature] [DOI <http://dx.doi.org/10.11001/jksww.2016.30.6.673>]
- Kim, CG, Shin HG (2012). Determination of Optimal Livestock Wastewater Treatment Process for Linked Treatment in Sewage Treatment Plant, Korea Organic Resource Recycling Associationl, 20(3), pp. 52–59 [Korean Literature]
- Kim, SJ, Lee, JW, Gil KI (2019). The Effect of Sewer Pipe Retrofit on The Operation of Sewage Treatment Plant in Rural Area, Journal of Wetlands Research, 21(2), pp. 147–151 [Korean Literature] [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2019.21.2.147>]
- Kim, SJ, Lee, JW, Gil, KI (2019). Analysis of Proper Linked Treatment Load Using GPS-X Simulation, Journal of Wetlands Research, 21(3), pp. 244–250 [Korean Literature] [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2019.21.3.244>]
- Kim, YH, Park, HD, Kim, GT, Kang, MS, Ahn, CH, Moon, JH, Kim, IH, Cha, GJ(2007). Effects of Connected-Influent on Biological Treatment in Municipal Wastewater Treatment Plant, 2007 Korean Society of Environmental Engineers.
- Lee, HS, Lee, JW, Gil, KI (2020). The improvement of the operating process of sewage treatment plants in the upstream area of dam by MASS FLOWmodelling, Journal of Wetlands Research, 22(2), pp. 130–138 [Korean Literature] [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2020.22.2.130>]
- Lee, JW, Gil, KI (2020). Suggestions for Cost Improvement of High concentration Linked Treatment in Municipal Wastewater Treatment Plant, Journal of Wetlands Research, 22(2), pp. 129–144 [Korean Literature] [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2020.22.2.139>]
- Lee, JW, Gil, KI (2020). Suggestions for Cost Improvement of High concentration Linked Treatment in Municipal Wastewater Treatment Plant, Journal of Wetlands Research, 22(2), pp. 139–144 [Korean Literature] [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2020.22.2.139>]
- Rho, HY, Gil, KI (2007). Optimization of Operational Conditions of Existing BNR Process with Various C/N Ratio using Simulation Method, Journal of Korean Society on Water Quality, 23(3), pp. 367–370 [Korean Literature]
- Shin, CH (2016). GPS-X Based Modeling on the Process of Gang-byeon Sewage Treatment Plant and Design of Recycle Water Treatment Process, Journal of Environmental Science Internationa, 25(11), pp. 1493–1498 [Korean literature] [DOI : [10.5322 / JESI.2016.25.11.1493](https://doi.org/10.5322/JESI.2016.25.11.1493)]