

GPS-X 시뮬레이션을 이용한 적정 연계처리부하량 분석

김성지·이지원·길경익[†]

서울과학기술대학교 건설시스템공학과

Analysis of Proper Linked Treatment Load Using GPS-X Simulation

Sungji Kim·Jiwon Lee·Kyungik Gil[†]

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

(Received : 09 August 2019, Revised: 27 August 2019, Accepted: 27 August 2019)

요약

급격한 산업발전과 인구증가로 인해 최근 지자체 및 하수처리장에서 하수처리장으로 연계하여 처리하는 연계처리수가 많은 문제를 나타내는 것으로 조사되었다. 연계처리수는 일반하수대비 저유량 고농도의 특성을 가지고 있다. 따라서 이러한 특성은 공공하수처리시설의 하수처리 난이도 및 하수처리 단가를 증가시키는 영향을 미친다. 하수처리단가를 증가시키는 많은 영향인자 중 '연계처리부하/설계유입부하(%)'가 가장 상관성이 높은 인자로 도출되었고, 그 후 공공하수처리시설 선정 및 모델링을 통해 4계절의 영향을 고려한 온도 조건 및 '연계처리부하/설계유입부하(%)' 증가 조건에 따른 설계방류수질 초과 범위를 조사했다. 그 결과 TN의 경우 5°C, 10°C, 20°C, 25°C 조건에서 각각 '연계처리부하/설계유입부하(%)'가 각각 19.7%, 22.6%, 25.1%, 27.7%로 나타났고, TP의 경우 5°C, 10°C, 20°C, 25°C 조건에서 각각 '연계처리부하/설계유입부하(%)'가 각각 10.7%, 12.2%, 15.6%, 17.5%로 조사되었다

핵심용어 : 연계처리, 공공하수처리장, 하수처리단가, GPS-X모델링

Abstract

Due to the industrial development and population growth, it has recently been shown that there are many problems caused by the rinked treatment water in local governments and sewage treatment plants. The rinked treatment water has a characteristic of low flow rate and high concentration unlike general sewage. These characteristics increase sewage treatment difficulty and sewage treatment fee of sewage treatment facilities. Among the many influencing factors that increase sewage treatment unit cost, 'linked treatment load/design inflow load (%)' was derived as the most correlated factor. Through the selection and modeling of sewage treatment plants, the excess scope of design discharge water quality was investigated under the conditions of temperature and the conditions of 'linked treatment load/design inflow load (%)' taking into account the effects of the four seasons. The study found that for TN, 'linked treatment load/design inflow load (%)' was 19.7%, 22.6%, 25.1% and 27.7%, respectively, under conditions of 5° C, 10° C, 20° C and 25° C. In case of TP, 'rinked treatment load/design inflow load (%)' was 10.7%, 12.2%, 15.6% and 17.5% at 5 °C, 10 °C, 20 °C, and 25 °C, respectively, under conditions of 5° C, 10° C, 20° C and 25° C.

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

1. 서 론

우리나라의 공공하수처리구역 인구보급률은 전국 평균 93.6%로 나타났고, 고도처리인구 보급률의 경우 전국 평균 90.9%로 조사되었다(MOE 2017). 이와 같은 보급률은 OECD 국가 중에서도 상위권에 속하는 수준의 수치이다. 이러한 높은 하수도 보급률과는 별개로 급격한 산업발전과 인구증가로 인해 최근 하수종말처리장에서는 처리 원수로

서 도시하수가 유입되며 이러한 하수 처리를 위한 계획, 설계 및 공사가 수행된다. 특정 하수종말처리장에는 분뇨, 산업폐수, 침출수와 같은 미처리수가 연계 유입되어 처리되고 있다. 연계처리수의 경우 하수처리장 유입 하수량 대비 유량이 낮은 특성을 나타내고, 일반하수의 오염물질 농도보다 고농도의 특성을 나타내는 것으로 조사되었다. 이러한 연계 유입수는 부하 정도에 따라서 생물학적으로 처리되는 하수종말처리장의 운영에 영향을 줄 수 있다(Kim et al., 2007). 연계처리수는 중금속 및 휘발성 유기물질을 함유할 가능성이 높은 배출수를 연계 처리할 때에는 공공하수처리시설 입장에서 각별한 주의가 필요하다. 이를 위해 환경부 및 지자체에서도 축산폐수, 분뇨 및 음식물 처리시설 배출수 등

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

을 연계처리하는 경우 총 질소 및 총 인의 설계 유입 하수 부하량의 10%이내까지 전 처리한 후 연계처리해야 하는 것과 같은 연계처리 지침과 공공하수처리시설 운영·관리 지침을 마련하고 있다(MOE 2011; MOE 2014a; Jeong et al, 2016). 이러한 결과는 공공하수처리시설 즉, 하수처리장 연계처리 서비스 제공자의 경우 전체적인 하수처리 단가가 상승하게 되는 영향을 받는다. 따라서 연계처리와 하수처리 단가와와의 상관성이 높은 인자를 활용해 모델링을 기반으로 공공하수처리시설에서 연계 유입되는 연계처리수의 수용 가능한 범위를 살펴보고, 연계처리수가 유입되었을 때 하수 처리에 미치는 영향에 관한 연구를 진행하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 대상 하수처리장 선정

전국의 공공하수처리시설을 대상으로 국내 총 하수처리장 시설의 개소 수 조사결과 총 4072개소수로 조사되었다. 총 공공하수처리시설의 시설용량에 따라서 500m³/일 이상 및 미만으로 분류 결과 500m³/일 이상 시설 630개소, 500m³/일 미만 시설 3,442개소로 조사되었다. 조사된 시설을 바탕으로 중규모 이상의 시설용량을 대상으로 선정했고, 500m³/일 이상 시설 중 연계처리수를 연계처리하는 하수처리장의 개소 수는 190개소로 조사되었다.

500m³/일 이상의 중규모하수처리시설 및 연계처리수를 연계처리하는 공공하수처리장을 대상으로 공법분류에 따른 분류 결과 A²/O공법이 큰 보편성을 나타내는 것으로 조사되었다. 다음과 같은 결과는 Fig. 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 최종적으로 조사된 500m³/일 이상의 중규모하수처리시설 및 연계처리수를 연계처리하고, 보편적으로 사용하고 있는 A²/O공법을 적용한 공공하수처리장을 대상으로 연구대상 하수처리장을 선정했다.

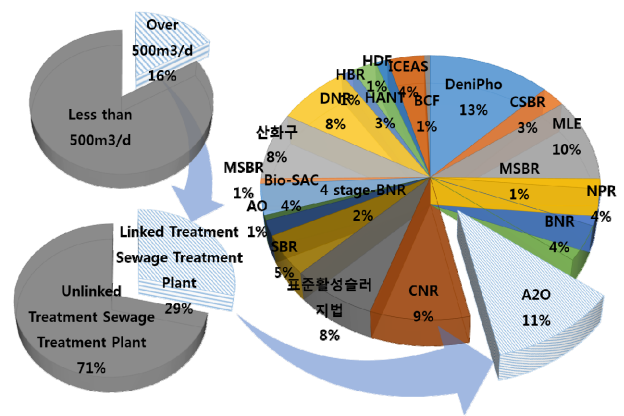


Fig. 1. Classification of the process for sewage treatment plants over 500m³/d

2.2 대상 하수처리장 적용 공법 및 주요시설 현황

선정된 연구대상 K공공하수처리장은 A²/O공정(고도처리 공정) 및 중력식 침유 여과기(3차처리공정)으로 운전하고 있다. K공공하수처리장의 처리용량은 450,000m³/일(1단계 : 271,000m³/일, 2단계 : 179,000m³/일)이다.

GPS-X 프로그램을 통한 K공공하수처리장의 모델링 구축 시 Table. 1과 같이 주요시설 현황 및 각 공정 규격에 대한 제원을 입력했다. GPS-X 프로그램상 공정은 K공공하수처리장의 처리공정도를 바탕으로 모델링을 구축했다.

K하수처리장의 2018년 1년 동안 4계절의 영향을 고려했을 때 세부운전인자들의 평균값은 다음과 같다. 유입유량은 (1단계 : 287,242m³/일, 2단계 : 124,205m³/일), 내부반송율은 (1단계 : 130%, 2단계: 221%), 외부반송율 (1단계 : 30%, 2단계 : 66%), SRT (1단계 : 68d, 2단계 : 137d), MLSS (1단계 : 8,426mg/L , 2단계: 5,348mg/L) 였다. K 하수처리장의 하수유입현황은 Table. 2과 같다.

Table 1. Overview of Sewage Treatment Plant

Content		1st step		2st step		
		Volume		Volume		
Mainstream	Pump	69~90m ³ /min	5	50~100m ³ /min	4	
	Blower	370Nm ³ /min	4	430Nm ³ /min	3	
	Grit chamber	111.8m ³	4	81.9m ³	4	
	Primaries	1,890m ³	15	1,607m ³	15	
	Bioreactor	Anaerobic	1,481m ³	12	273m ³	42
		Anoxic	2,242m ³	12	942m ³	21
		Oxic	5,154m ³	12	930m ³	42
Clarifier	3,623m ³	12	2,381m ³	15		
Content		Volume				
Sidestream	Thickner	705m ³		4		
	Digester	4,985m ³		8		
	Dewatering	30m ³ /h		5		
	Gas tank	8,000m ³		1		

Table 2. Characteristics of influent wastewater

Content		Flow rate (m ³ /d)	BOD	COD	SS	TN	TP	
1st step	Design	Concentration(mg/L)	271,000	193	136	198	51	6
		Load(kg/d)		52,303	36,856	53,658	13,821	1,626
	Average 2018	Concentration(mg/L)	287,242	140	92	186	36	4
		Load(kg/d)		40,214	26,426	53,427	10,341	1,149
2st step	Design	Concentration(mg/L)	179,000	193	136	198	51	6
		Load(kg/d)		52,303	36,856	53,658	13,821	1,626
	Average 2018	Concentration(mg/L)	124,205	119	74	132	33	3
		Load(kg/d)		14,780	9,191	16,395	4,099	373

2.3 공정 시뮬레이터 구축 및 모델링

ASM(Activated Sludge Model)과 같은 기초적인 biological dynamic model을 기반으로 물질수지를 활용하는 방법 등의 다양한 접근이 가능하며 유입유량, 농도 및 운전 시간 등에 따라 변하는 동적인 특성을 갖고 있는 하수처리 공정 시뮬레이션은 주로 운전자의 숙련도, 공정 설계 개선 최적화를 위해 사용된다. 이러한 Simulation Program은 Plant를 운전하고 설계하는데 기본이 되는 유입조건, 공정운전, 활성슬러지의 진전특성 등의 많은 Parameter를 이해하는데 가장 강력한 Tool이 되고 있다(Hydromantis inc., 2001). 본 연구에서는 대상 K하수처리시설에 연계처리시 영향을 검토하는데 다양한 시뮬레이션 프로그램이 있지만 본 연구에서는 GPS-X 프로그램을 활용했다. GPS-X 프로그램을 활용한 이유는 도시 및 연계처리 시설에 대한 모델링과 시뮬레이션을 위한 다목적 프로그램으로 유입조건, 공정운전 등 매개변수를 활용하여 동력학적 수확모델과 시뮬레이션으로 고정 안정도 평가가 가능하기 때문이다(MOE 2011). 본 연구에서는 활성슬러지 모델을 기초로 한 프로그램 중 GPS-X를 이용하여 K하수처리장의 A²/O 공정을 모사하고자 하였으며 Fig. 2 연구대상 하수처리장의

처리공정을 바탕으로 layout을 구성했다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 모델링 구축 및 매개변수를 이용한 모델의 검증

추정한 매개변수가 K하수처리장을 잘 모사하는지 검증하기 위해 365일간의 K하수처리장 운전 data와 추정된 매개변수 값을 이용해서 모델을 검증했다. 이때 사계절의 영향을 고려하기 위해서 2018년 1월~6월 (0일~181일)은 Calibration(보정)과정을 진행했고, 2018년 7월~12월 (181일~365일) Verification(검증) 과정을 진행했다. 본 연구에 사용된 Biological 모델과 Influent model은 각각 ASM, COD states를 사용하였다. 이 과정에서 운전 인자의 적절한 선택을 위해 현장의 운전조건을 기반으로 유입수와 유출수의 수질이 근접하게 되는 운전인자를 시행착오로 수행하고, 아래 Table. 3와 같은 인자값을 사용했다.

위의 입력한 물리데이터와 시행착오로 얻은 운전인자를 사용해서 1년의 data를 실제 방류수질과 모델링을 통해서 얻은 모델링값 Veridation을 통해서 K하수처리장을 대표하는 모델링을 완성했다.

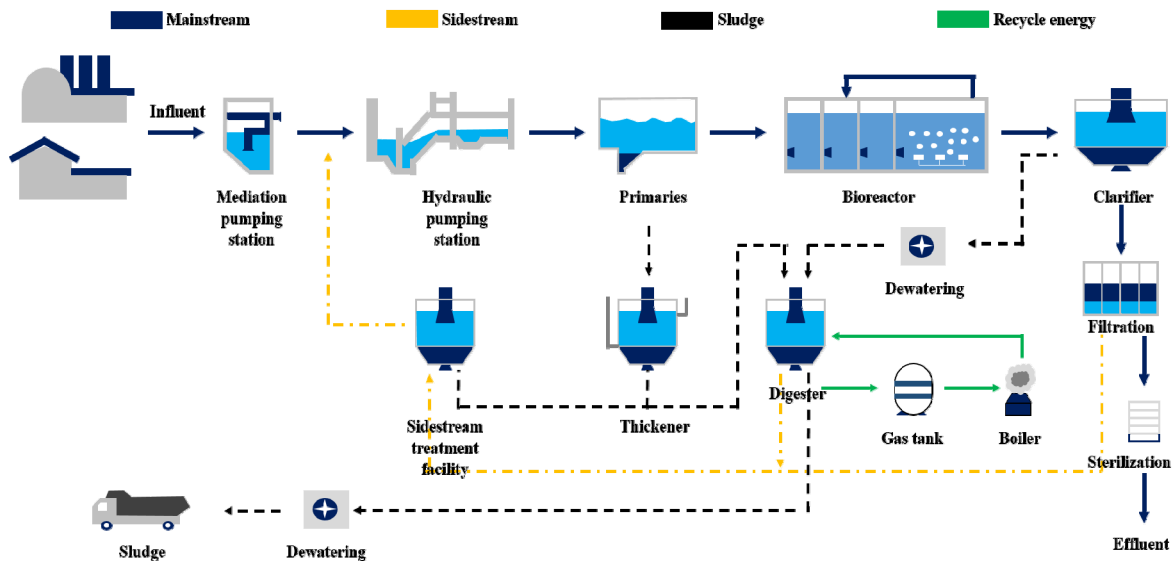


Fig. 2. Schematic diagram of wastewater treatment process

Table 3. Model compounds and wastewater compositions

Symbol	Unit	Default	Application	Symbol	Unit	Default	Application
Yh	gCOD/gCOD	0.62	0.49	nno3pao	-	0.7	0.8
Ypao	gCOD/gCOD	0.615	0.525	Kapao	gCOD/m ³	3	4
Ypo4	gP/gCOD	0.3	0.3	Ko	gO ₂ /m ³	0.1	0.2
kmax	gP/gCOD	0.24	0.24	Kno	gN/m ³	0.4	0.5
Yaut	gCOD/gN	0.14	0.13	Kpo4	gP/m ³	0.01	0.01
prodfsi	gCOD/gCOD	0	0	Kalk	mole/m ³	0.2	0.1
muh	1/d	5	6.505	muaut	1/d	1	1
bh	1/d	0.3	0.1875	baut	1/d	0.10	0.15
nno3het	-	0.7	0.7	KO2	gO ₂ /m ³	0.4	0.5
qpha	1/d	2	1.5	Knh4	gN/m ³	1	1
qpp	1/d	1.4	1.0	Kalk	mole/m ³	0.4	0.5
Kf	gCOD/m ³	3	3	Kh	1/d	2	3
Ka	gCOD/m ³	3	3	nno3	-	0.5	0.6
qpha	1/d	2	1.5	nfe	-	0.3	0.4
qpp	1/d	0.5	1.1	Kx	-	0.1	0.1

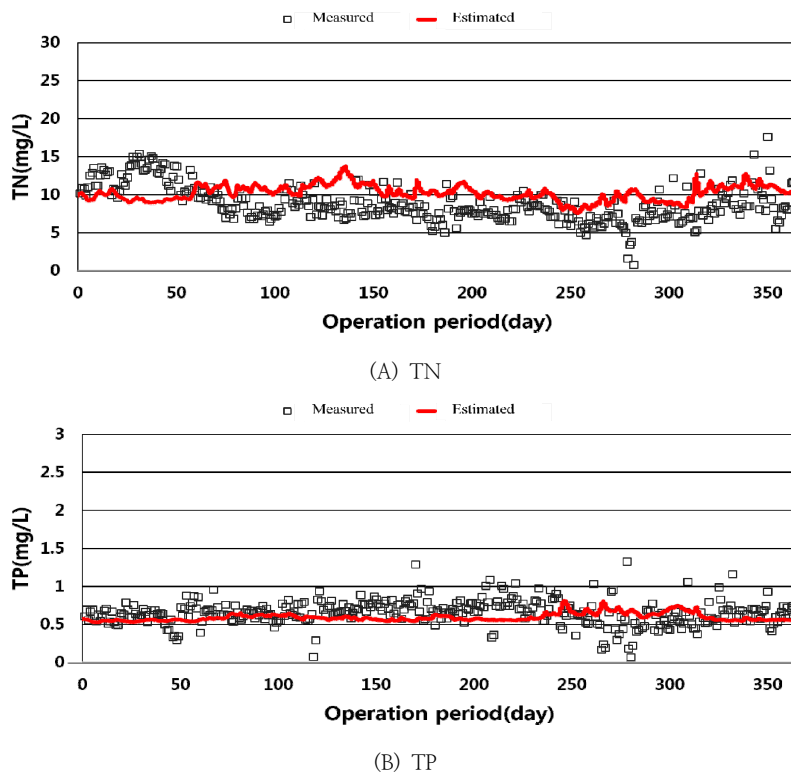


Fig. 3. Veridation of estimated parameter

3.2 연계처리부하/설계유입부하(%)에 따른 적정 연계처리부하량 분석

연계처리수의 경우 기존 유입하수량 대비 저유량 고농도의 특성을 가지고 있다. 따라서 하수처리장 운영에 영향을 크게 미치는 것으로 나타났다. 하수처리단가와 다양한 인자와의 상관성을 분석했다. 연계처리수 종류, 유입량, 유입 부하, 하수처리시설 운영 기간, 규모(용량) 관계를 분석했으

나 상관성을 찾기 어려웠다. 이렇게 다양한 인자 중 ‘연계처리부하/설계유입부하(%)’를 그룹화 했을 때 하수처리비용과 상관성을 크게 나타내는 것을 확인할 수 있다.

이와 같은 결과를 바탕으로 연계처리부하/설계유입부하(%)를 증가시킬 때 K하수처리장의 설계방류수질을 만족하는 범위를 찾아 보았다. 기존의 K하수처리장의 연계처리부하/설계유입부하는 TN 18.4%로 나타났고, 이 후 연계처리부하/설계유입부하를 증가시킨 결과 25.1%되었을 때 설계

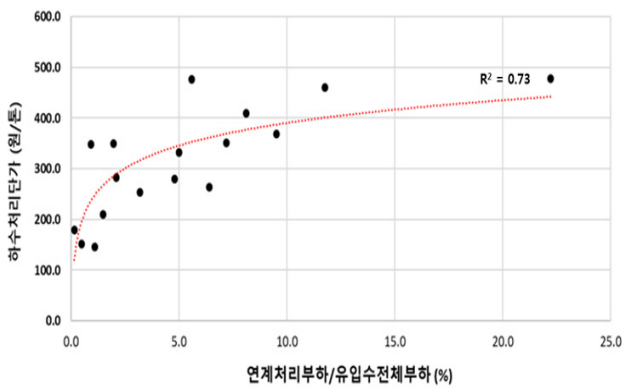


Fig. 4. Correlation Analysis of Sewage Treatment Unit Price

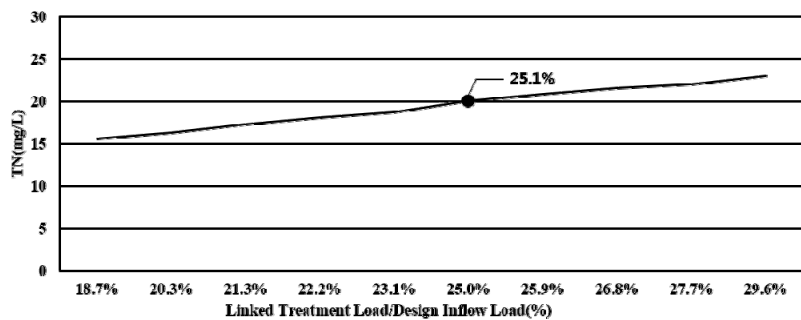
방류수질 TN기준 20mg/L를 초과하는 것으로 나타났다. TP의 경우는 기존 연계처리부하/설계유입부하는 TP 9.7%로 나타났고, 이 후 연계처리부하/설계유입부하를 증가시킨 결과 15.6%되었을 때 설계방류수질 TP기준 1mg/L를 초과하는 것으로 나타났다. TN의 경우 연계처리부하/설계유입부하(%)가 0~25.1% 까지 K하수처리장의 설계방류수질을 만족하는 것으로 나타났고, TP의 경우 연계처리부하/설계유입부하(%)가 0~15.6% 까지 설계방류수질을 만족하는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 추후 연계처리비용 산정 과정에서의 영향인자로 고려 될 것으로 판단된다.

3.3 온도에 따른 적정 연계처리부하량 분석

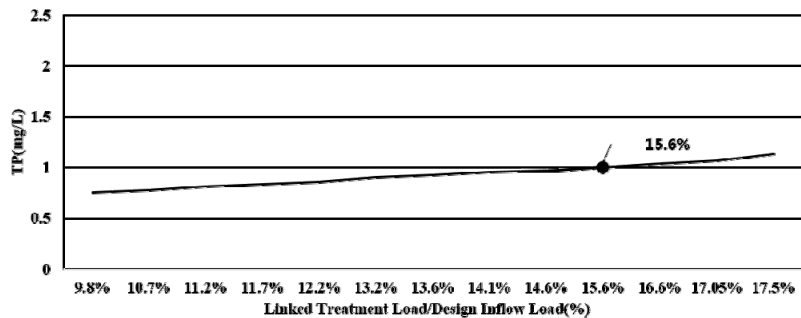
K하수처리장을 대표하는 모델링을 이용해서 총질소·총인의 유입오염부하량이 설계유입오염부하량 대비 최대 처

리 가능농도를 분석했다. 다양한 조건에서의 총질소·총인의 유입오염부하량이 설계유입오염부하량 대비 최대 처리 가능농도를 알기위해서 연계처리부하/설계유입부하(%)를 증가시켰을 때 방류수 수질기준(설계방류수질 TN : 20mg/L, TP : 1mg/L)을 초과할 때의 연계처리부하/설계유입부하(%)를 찾고, 봄, 여름, 가을, 겨울 4계절의 영향을 고려하기 위해서 온도조건을 추가해서 최대 처리 가능 농도를 찾아보았다. 이러한 조건에 따른 결과값은 Fig. 6에 나타났다.

결과적으로 현재 K 하수처리장의 연계처리부하/설계유입부하(%)는 20℃에서 18.4%로 나타났다. 그 후 연계처리부하/설계유입부하(%)를 증가시켰을 때 TN기준 방류수질을 초과할 때의 연계처리부하/설계유입부하(%)는 25.1%로 나타났다. 약 6.7% 차이가 나는 것으로 조사되었다. 온도에 따른 영향을 알아보기 위해서 5℃, 10℃, 25℃ 일때의 방류수질을 초과할때의 연계처리부하/설계유입부하(%)를 알아본 결과 5℃일 때의 경우 19.7%, 10℃일 때의 경우 22.6%, 25℃일 때의 경우는 27.7%로 나타났고, 기존 20℃에서의 연계처리부하/설계유입부하(%)간의 차이는 각각 1.3%, 4.2%, 9.3%로 조사되었다. TP의 경우 연계처리부하/설계유입부하(%)는 20℃에서 9.7%로 나타났다. 그 후 연계처리부하/설계유입부하(%)를 증가시켰을 때 방류수질을 초과할 때의 연계처리부하/설계유입부하(%)는 15.6%로 나타났다. 약 5.9% 차이가 나는 것으로 조사되었다. 온도에 따른 영향을 알아보기 위해서 5℃, 10℃, 25℃ 일때의 방류수질을 초과할때의 연계처리부하/설계유입부하(%)를 알아



(A) TN



(B) TP

Fig. 5. Linked Treatment Load/Design Inflow Load(%)

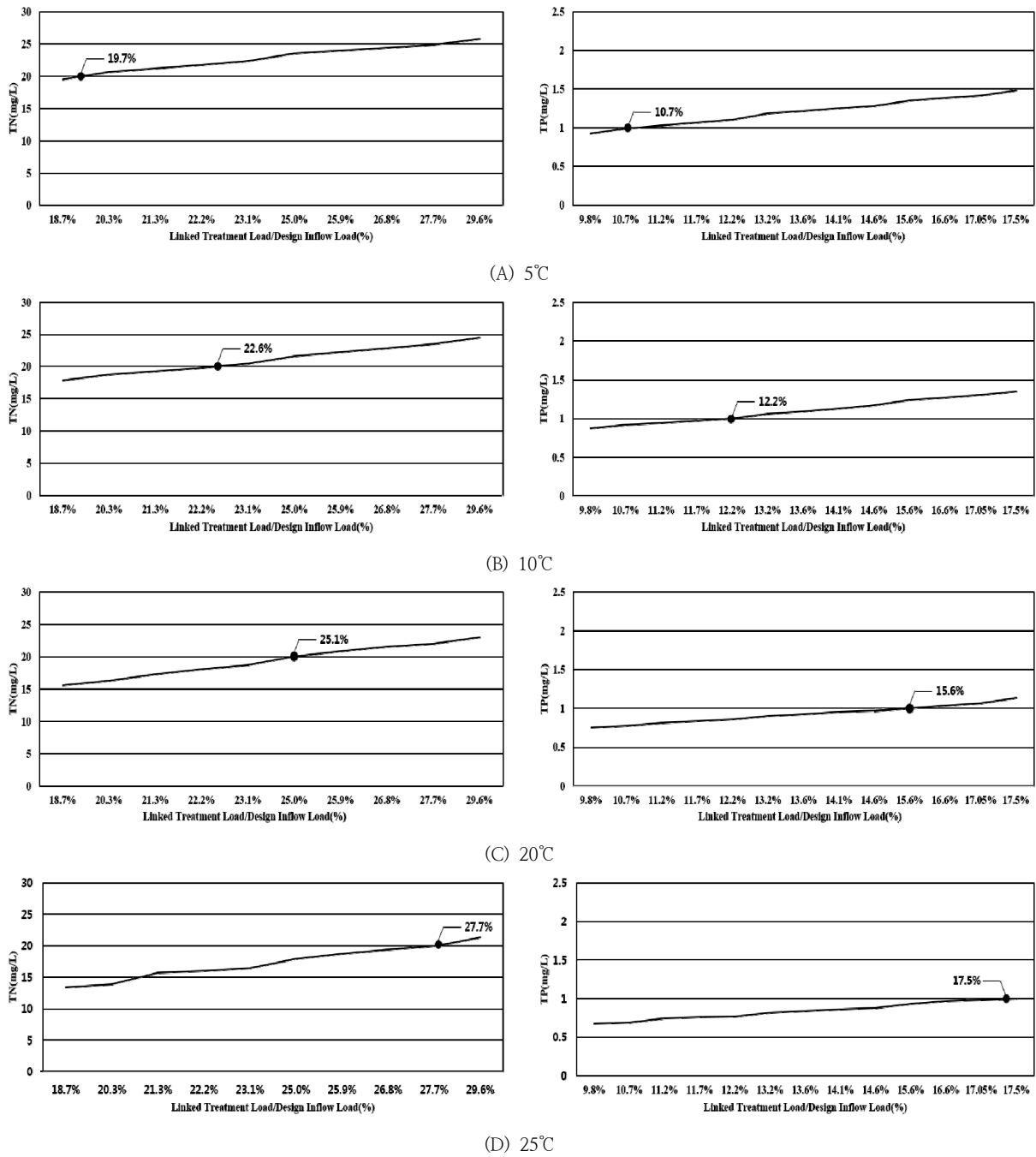


Fig. 6. Discharge Water Quality Satisfaction Range According to Temperature Conditions

본 결과 5°C일 때의 경우 10.7%로, 10°C일 때의 경우 12.2%, 25°C일 때의 경우는 17.5%로 나타났고 기존 20°C에서의 연계처리부하/설계유입부하(%)간의 차이는 각각 1.0%, 2.5%, 7.8%로 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. TN, TP의 온도에 따른 연계처리부하/설계유입부하(%)에 대한 영향을 알아 보았다. 온도가 낮을 때는 미생물의 활성이 저하되어서 연계처리부하/설계유입부하(%)의 범위가 가장 낮은 것으로 조사되었다. 따라서 계절에 따른 적정 범위를 도출할 수 있었고, 그에따라서 유동적으로 연계처리를 유입량을 결정할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 모든 온도

를 고려하여 설계방류수질을 초과하는 범위는 TN의 경우 19.7%~27.7%로 나타났고, TP의 경우 10.7%~17.5%로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 연계처리수가 유입되었을 때 하수처리단가 및 하수처리에 미치는 영향 등에 관한 연구를 진행했다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 급격한 산업발전과 인구증가로 인해 최근 지자체 및

하수처리장에서 하수처리장으로 연계하여 처리하는 연계처리수가 많은 문제를 나타내는 것으로 조사되었다. 연계처리수의 경우 일반하수 대비 저유량 고농도의 특성을 가지고 있다. 이러한 특성은 공공하수처리시설의 하수처리 단가를 상승시키는 영향을 준다. .

2) 연계처리수의 영향으로 하수처리단가가 상승할 수 있는 인자들과의 상관성 분석결과 ‘연계처리부하/설계유입부하(%)’와의 상관성이 가장 높은 것으로 조사되었다. 이 후 K하수처리장의 물리적 데이터와 운전조건 데이터를 통해 공정 시뮬레이터 구축 및 모델링을 진행했다. 최종적으로 상관성 분석을 통해 얻은 인자와 모델링을 활용해서 ‘연계처리부하/설계유입부하(%)’의 상승에 따른 설계방류수질 초과 구간을 조사했다.

3) TN의 경우 설계방류수질 20mg/L일 때, 5°C, 10°C, 20°C, 25°C 조건에서 각각 ‘연계처리부하/설계유입부하(%)’가 각각 19.7%, 22.6%, 25.1%, 27.7%로 나타났고, TP의 경우 설계방류수질 1mg/L일 때, 5°C, 10°C, 20°C, 25°C 조건에서 각각 ‘연계처리부하/설계유입부하(%)’가 각각 10.7%, 12.2%, 15.6%, 17.5%로 조사되었다.

4) 연구를 통해서 하수처리단가와 상관성이 높은 인자를 확인했다. 이를 바탕으로 모델링을 통해서 연계처리부하/설계유입부하(%)과 온도조건에 따른 설계방류수질 초과 범위를 조사했다. 이는 적정 연계처리 유입량을 결정하고, 또한 연계처리 서비스 사용자와의 객관적인 연계처리 서비스 사용 요금 산정시 중요한 인자로 사용될 것으로 보인다.

사 사

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

References

- Kim, YH, Park, HD, Kim, GT, Kang, MS, Ahn, CH, Ji, HM, Kim, IH, Chae KJ(2007). Effects of Connected-Influent on Biological Treatment in Municipal Wastewater Treatment Plant, *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 2007(12), pp. 72-78 [Korean Literature]
- Ministry of Environment(MOE) (2011). Study on appropriate treatment & management of the public sewage treatment works entering the industrial wastewater.
- Ministry of Environment(MOE) (2014a). Guideline for operation and management of public sewage system.
- Ministry of Environment(MOE) (2014a). Guideline for operation and management of public sewage system.
- Jeong, CH, Sim, YS, Kim, TH, Park, CH(2004). Evaluation of External Carbon Source on the 2 Stage Denitrification Process by Simulation of GPS-X, *J. of the Korean Society of Water and Wastewater*, 18(1), pp. 37-48 [Korean Literature]
- Hydronmantis inc., GPS-X technical reference, p XVIII (2001).
- Choi, HN, Cho, EH, Kang, HG, Park, JH, Kang, SH(2015). A study on application eco-friendly follow-up process connected with livestock wastewater treatment plant using the upflow constructed wetland, *J. of Korean Society of Water and Wastewater*, 29(3), pp. 359-370 [Korea literature] [DOI <http://dx.doi.org/10.11001/jksww.2015.29.3.359>]
- Im, JY, Gil, KI(2016). Effect of sewage flow on treatment efficiency of small wastewater treatment plant in rural community, *J. of Wetlands Research*, 18(3), pp. 267-274 [Korea literature] [DOI <http://dx.doi.org/10.17663/JWR.2016.18.3.267>]
- 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 lechate, *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, YH, Park, HD, Kim, GT, Kang, MS, Ahn, CH, Ji, HM,