

ORIGINAL ARTICLE

GPS-X 기반 모델링에 의한 강변사업소 처리효율 분석 및 반류수 처리 공정 설계

신춘환*

동서대학교 에너지환경공학과

GPS-X Based Modeling on the Process of Gang-byeon Sewage Treatment Plant and Design of Recycle Water Treatment Process

Choon Hwan Shin*

Department of Energy & Environmental Engineering, Dongseo University, Busan 47011, Korea

Abstract

The efficiencies of Gang-Byeon sewage treatment facilities, which are based on GPS-X modelling, were analysed and used to design recycle water treatment processes. The effluent of an aeration tank contained total kjeldahl nitrogen (TKN) of 1.8 mg/L with both C-1 and C-2 conditions, confirming that most ammonia nitrogen ($\text{NH}_3^+\text{-N}$) was converted to nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^-\text{-N}$). The concentrations of $\text{NH}_3^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ were found to be 222.5 and 227.2 mg/L, respectively, with C-1 conditions and 212.2 and 80.4 mg/L with C-2 conditions. Although C-2 conditions with higher organic matter yielded a slightly higher nitrogen removal efficiency, sufficient denitrification was not observed to meet the discharge standards. For the total nitrogen (T-N) removal efficiency, the final effluent concentrations of T-N were 293.8 mg/L with biochemical oxygen demand (BOD) of 2,500 mg/L, being about 1.5 times lower than that (445.3 mg/L) with BOD of 2,000 mg/L. Therefore, an external carbon source to increase the C/N ratio was required to get sufficient denitrification. During the winter period with temperature less than 10°C, the denitrification efficiency was dropped rapidly even with a high TKN concentration (1,500 mg/L). This indicates that unit reactors (anoxic/aerobic tanks) for winter need to be installed to increase the hydraulic retention time. Thus, to enhance nitrification and denitrification efficiencies, flexible operations with seasons are recommended for nitrification/anoxic/denitrification tanks.

Key words : GPS-X modelling, Recycle water, C/N ratio, Denitrification, T-N removal efficiency

1. 서론

급속한 산업 발전과 인구증가, 생활수준의 향상으로 유기물과 영양염류를 포함한 하폐수 발생량이 매년 증가하는 추세에 있다. 이런 하폐수를 적절한 처리 없이 그대로 자연수계로 방류할 경우 수계수질을 악

화시키는 등 심각한 문제점들을 야기하고 있다. 또한 세계 기후변화에 따른 물과 에너지에 대한 중요성이 강조되고 있는 가운데 국내 각 하수처리장은 에너지를 적게 소비하는 기술을 적용하거나 운전 방법 개선을 통해 처리효율을 높이는 방안을 강구하는 것이 절실하다 (Gude, 2016; Oh et al., 2010).

Received 9 August, 2016; Revised 14 October, 2016;

Accepted 17 November, 2016

*Corresponding author : Choon Hwan Shin, Department of Energy & Environmental Engineering, Dongseo University, Busan 47011, Korea
Phone: +82-51-320-1787
E-mail: 6116shin@gdsu.dongseo.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이에 따라 하·폐수처리의 제거효율 상상을 위해 기존의 유기물제거 공정에서 나아가 부영양화의 주요 원인물질인 영양염을 제거하는 고도처리공법의 도입이 활발히 진행되고 있다. 또한, 오염물질 총량규제 등으로 신설되는 하수종말처리장은 물론, 기존의 하수종말처리장도 시설 개선을 통해 영양염류 제거공정을 도입하고 있다(Lee and Kim, 2013).

국내 대부분의 하·폐수 처리시설은 질소 제거를 위한 공정으로 생물학적 독립영양질산화/종속영양탈질을 응용한 공법을 시행하고 있으나 국내 하수는 낮은 C/N비 때문에 과다한 산소와 외부 탄소원이 추가적으로 요구되어 운전비용이 고가이며 유기물 양이 과다하거나 부족할 때 각각 유출수 오염과 아질산성 질소의 축적을 초래하기도 한다(Rittmann and McCarty, 2001). 또한 소화상징액, 농축상징액 및 탈리여액으로 구분되는 반류수는 발생 공정에 따라 C/N비가 다소 차이가 있지만 공통적으로는 T-N 농도가 높은 특징을 가지고 있기 때문에 하수처리공정의 단위 공정으로 반송되어 유입될 경우에는 T-N농도 부하가 상승되는 요인을 제공하고 있으며 C/N비가 낮은 합류식 하수관거 유입수로 인하여 T-N제거에 저해요소로 작용하고 있다(Geroge et al., 2003).

특히 부산 강변하수처리장의 경우, 강우시 우수가 전량 생물반응조로 유입되는 구조로 되어있기 때문에 강우량이 20 mm/h를 초과한 경우에는 설계유량을 초과하는 일수가 많아지는 영향으로 인하여 수질농도가 낮아지게 되고 이는 C/N비를 낮추어 T-N 제거효율을 저하시키는 원인으로 나타나고 있다. 이에 부산시에서는 안정적인 T-N처리를 위한 방안으로 기존 시설을 modified ludzak ettinger (MLE) 공정으로 전환하여 반류수의 질소부하를 줄이기 위한 처리 공정 설치를

추진 중에 있다. 이에 따라 본 연구에서는 효과적인 반류수처리 공정의 설계 및 운전 조건의 기초 자료를 제공하기 위해 GPS-X 기반의 모델링을 통해서 시설용량 및 운전조건의 적정성을 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 강변하수처리장의 공정 분석

부산 강변사업소는 A²/O공정(고도처리공정)과 중력식 침유여과시설(3차처리공정)을 운영하고 있으며 처리용량은 450,000 m³/d(1단계: 271,000 m³/d, 2단계 179,000 m³/d)이다. A2O공정의 처리수는 최종침전지에서 고액 분리된 후 중력식 침유여과 시설(gravity fiber filter; GFF)로 이송되어 미량의 부유물질(suspended solid; SS)을 제거하고 소독 후 최종 방류되는 공정으로 운영되고 있으며 이에 따른 처리 효율은(2014.01 ~ 2015.09) Table 1과 같다.

강변하수처리장은 강우시 우수가 전량 생물반응조로 유입되는 구조로서 강우량이 20 mm/h를 초과한 경우에는 설계유량을 초과하는 일수가 증가함에 따라 수질농도가 낮아지고 이는 C/N비를 낮추어 T-N 제거효율을 저하시킨다는 결과(BECO, 2015)와 Table 1의 처리효율을 Modeling 조건으로 선택하였다.

2.2. 반류수 처리시설 용량 추정

2.2.1. 사용 시뮬레이터

본 연구에 사용된 시뮬레이터는 그래픽기반의 GPS-X이며 Biological모델과 Influent model은 각각 ASM1(Henze et al., 1987), BOD based를 사용하였다. GPS-X(BOD 기반 ASM1모델) 시뮬레이터는 하·폐수처리공정 분석용 모델로서 생물학적 공정의 부유

Table 1. The water quality of Gang-byeon sewage treatment plant

Content	BOD	COD	SS	T-N	T-P
Influent (mg/L)	78.5-307.5 (166.8)	39.5-168.5 (87.6)	76.0-430 (191.5)	21.265-120.4 (44.210)	2.326-7.299 (4.144)
Effluent (mg/L)	2.6-6.8 (4.3)	4.9-23.5 (12.5)	1.2-14.3 (3.4)	4.616-25.345 (13.194)	0.052-1.367 (0.396)
Total removal efficiency (%)	97.4	85.7	98.2	70.2	90.4

*() means average values

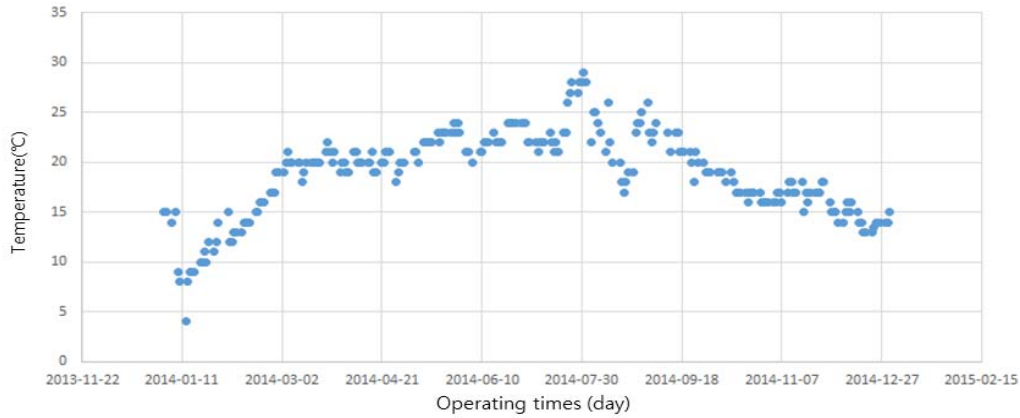


Fig. 1. Temperature change in the G- sewage treatment plant.

/부착 공정 설계 및 검/보정을 통해 이상적인 플랜트를 설계하기 위한 최적의 프로그램이며 초보자 및 현장 운전자에게 적합한 모델로서 잘 알려져 있다 (Nasr et al., 2011).

2.2.2. 공정 설계 입력자료

반류수의 총질소를 효과적으로 처리하기 위해서는 MLE 공정의 도입이 필요하다는 보고서(BECO,

2015)의 결과에 따라 반류수 저감시설의 반응조별 HRT 산정과 최적 운영 조건을 선택하기 위하여 외부 탄소원을 주입하여 BOD를 2,000 mg/L(C-1), 2,500 mg/L (C-2) 로 조절한 Table 2의 조건을 입력값으로 사용하였다. 또한 동절기 질산화율 저하에 대한 검토를 위해서 Fig. 1과 같은 온도변화(5 ~ 30°C)에 따른 유출수 수질변화를 예측하였다.

Table 2. The modeling input data for estimating operational conditions of the rejected water treatment plant

Index	Unit	C-1	C-2
Volume	Anoxic reactor	2040	2040
	Aerobic reactor	2448	2448
	Clarifier	480	480
HRT	Anoxic reactor	35	35
	Aerobic reactor	42	42
	Clarifier	8	8
	Total	85	85
Influent BOD*	mg/L	2000	2500
Influent TKN	mg/L	1102	1102
Inflow rate	m ³ /d	1400	1400
Excess sludge	m ³ /d	127.1	127.1
Internal recycle (2Q-2.19Q)	m ³ /d	3066	3066
Returned sludge (0.9Q-0.92Q)	m ³ /d	1288	1288
DO	mg/L	1.5	1.5
Alkalinity	mole/m ³	110	110

* External carbon source was added

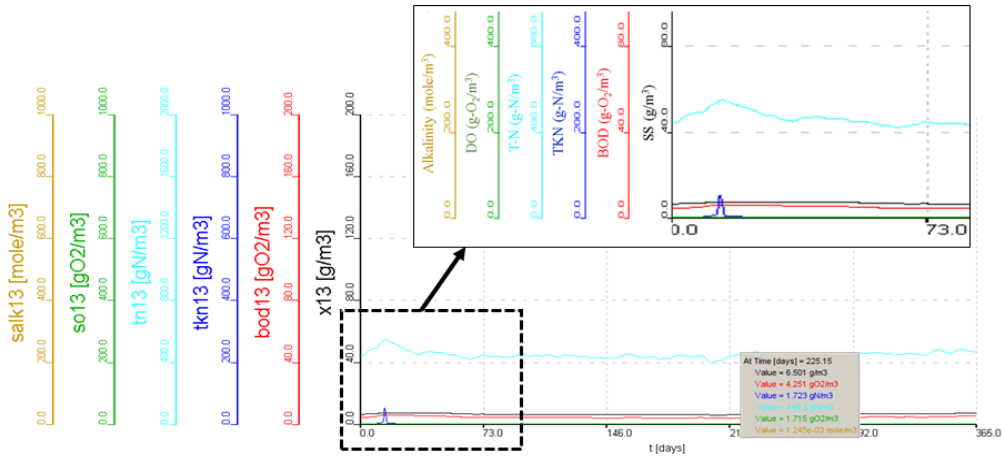


Fig. 2. The modeling results of effluent from rejected water treatment plant according to temperature.

3. 결과 및 고찰

3.1. BOD 부하에 따른 유출수 농도 변화

일자별 침전조 유출수의 알카리도(1~1,000 mole/m³: 노란색), O₂ (1~1,000 gO₂/m³: 녹색), TN (1~2,000 gN/m³: 하늘색), TKN (1~1,000 gN/m³: 파란색)의 변화량과 BOD(1~200 gO₂/m³: 빨간색)와 SS(1~200 g/m³: 검은색)의 변화량에 관한 모델링 graph를 나타내었으며(Fig. 2), graph 내부의 변화 값을 계산하여 Table 3에 나타내었다. 또한, BOD농도에 따른 처리효율은 Table 4에 정리하여 나타내었다.

C-1(2,000 mg-BOD/L)과 C-2 (2,500 mg-BOD/L) 조건 모두에서 포기조 유출수의 TKN의 농도가 1.8 mg/L으로 낮았기 때문에 암모니아성 질소의 대부분은 질산성 질소로 전환이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, C-1조건에서 무산소조의 NH₃⁺-N가 222.5 mg/L, NO₃-N 가 227.2 mg/L, C-2 조건에서 NH₃⁺-N가 212.2 mg/L, NO₃-N 가 80.4 mg/L로 확인되어 유기물 농도가 높은 C-2조건에서는 다소 높은

반응 효율을 보이고는 있으나 방류수 조건을 만족하는 탈질 반응은 원활하게 수행되지 않는 것으로 판단하였다.

따라서, TN 제거 효율에서는 유입수 BOD 농도가 2,500 mg/L인 경우에는(C-2) 최종 유출수의 TN농도가 약 293.8 mg/L으로 BOD 농도 2,000 mg/L일 때 (C-1) 445.3 mg/L 보다 약 1.5배정도 낮게 나타난 결과로 부터 무산소조에서의 탈질반응은 유기물 농도의 영향을 받는 것을 확인 할 수 있을 뿐만 아니라 질산화되지 않는 질소는 유입된 난분해성 유기질소와 질산성 질소 및 세포합성에 이용된 질소를 포함하고 있는 것으로 추정되기 때문에 원활한 탈질을 위해서는 C/N 비 상승을 위한 유기물로서 외부탄소원 공급이 필수적임을 알 수 있다.

3.2. 동절기 질산화를 모델링 결과

대부분의 하수처리장에서는 동절기에는 수온저하로 인한 질산화 미생물의 활동저하 때문에 질소제거 효율이 저하되는 현상을 보이고 있다(Gil et al., 2008).

Table 3. Identification of modeling graph

Index	SS (g/L)	BOD (gO ₂ /L)	TKN (gN/L)	TN (gN/L)	Alkalinity (mole/L)
Value	6.31-7.72 (6.86)	4.08-6.32 (4.78)	1.68-5.87 (2.15)	401-552 (451.67)	0.69-1.77 (1.5)

*() means average values

Table 4. The modeling results of rejected water treatment plant according to BOD concentrations

Index	Unit	C-1			C-2		
		Anoxic reactor	Aerobic reactor	Effluent	Anoxic reactor	Aerobic reactor	Effluent
TSS	g/m ³	4,217.9	4,083.4	-	4,935.5	4,758.0	-
VSS	g/m ³	3,523.0	3,388.6	-	4,240.2	4,062.7	-
NH ₃ ⁺ -N	g/m ³	222.5	0.4	-	212.2	0.4	-
NO ₃ ⁻ -N	g/m ³	222.7	443.6	-	80.4	292.0	-
SS	g/m ³	-	-	6.8	-	-	7.2
BOD	g/m ³	-	-	4.6	-	-	4.9
TKN	g/m ³	-	-	1.8	-	-	1.8
TN	g/m ³	-	-	445.3	-	-	293.8
Excess sludge	m ³ /d	-	-	127.1	-	-	140.0
	g/m ³	-	-	7,750.5	-	-	9,031.4
Alkalinity	mole/m ³	-	-	6.1	-	-	18.2
SRT	day	-	-	18.9	-	-	17.2

따라서 본 연구에서는 동절기 수온저하에 따른 영향을 확인하기 위하여 TKN 농도를 높게 설정하여 모델링하였다. Table 5에 나타난 모델링 결과에서 보면 TKN을 1,500 mg/L로 고정시키고 BOD를 2,000, 2,500, 3,000 mg/L로 변화시켰을 때 유출수의 T-N이 각각 892, 687.9, 535.8 g/m³으로 나타나 T-N 저감에 가장 큰 영향을 끼치는 인자는 BOD부하에 따른 년간 유출수의 농도 변화의 결과에서와 같이 유기물 농도인 것을 알 수 있다. 이때 유출수의 TKN 평균 농도는

2.2-2.4 g/m³로 유지되었기 때문에 무산소 및 포기조의 용량은 적절한 것으로 나타났다. 하지만, 10℃이하에서는 TKN이 1,500 g/m³의 고농도로 유지 된다고 하여도 동절기를 제외한 기간에서는 유출수의 TN이 C-1 조건에서 445.3 g/m³, C-2조건에서 293.8 g/m³과 비교하면 같은 BOD조건에서 각각 892.0 g/m³, 687.9 g/m³로 나타나 Fig. 2의 하늘색과 파란색 그래프에서 확인 할 수 있는 바와 같이 동절기의 질산화율이 급격히 떨어졌기 때문에 유입 유기물 농도가 일정한 경우

Table 5. The modeling results of effluent from rejected water treatment plant according to BOD

Conditions	TKN	BOD	TKN	BOD	TKN	BOD
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
	1,500	2,000	1,500	2,500	1,500	3,000
SS	6.48-7.91		6.83-8.65		7.2-9.99	
(g/m ³)	(7.05)		(7.53)		(8.1)	
BOD	4.39-6.48		4.42-7.05		4.49-8.03	
(g/m ³)	(5.05)		(5.28)		(5.61)	
TKN	1.67-2.27		1.77-8.17		1.81-8.15	
(g-N/m ³)	(2.25)		(2.33)		(2.4)	
TN	659-972		625-815		458-688	
(g-N/m ³)	(892)		(687.9)		(535.8)	
O ₂	0.0907-2.03		0.916-1.83		1.16-1.85	
(g-O ₂ /m ³)	(1.5)		(1.5)		(1.5)	

*() means average values

에는 무산소/호기조의 용량을 증가시켜 HRT를 상승시키는 동절기용 단위 반응조를 설치하여 질산화 및 탈질 효율 상승을 위한 질산화/무산소/탈질 반응조의 계절에 따른 탄력적 운전을 권장하고자 한다.

4. 결론

부산 강변하수처리장의 처리효율을 입력값으로 GPS-X 기반의 시뮬레이터를 이용한 모델링 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 포기조에서는 유출수의 TKN의 농도가 C-1과 C-2 조건 모두에서 1.8 mg/L으로 낮기 때문에 암모니아성 질소의 대부분은 질산성 질소로 전환이 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

2) 무산소조에서는 C-1의 조건에서 $\text{NH}_3^+\text{-N}$ 가 222.5 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 227.2 mg/L, C-2 조건에서 $\text{NH}_3^+\text{-N}$ 가 212.2 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 80.4 mg/L로 확인되어 유기물 농도가 높은 C-2조건에서는 다소 높은 질소제거 효율을 보이고 있으나, 방류수 조건을 만족하는 탈질 반응은 원활하게 수행되지 않는 것으로 판단하였다.

3) T-N 제거효율의 경우, 유입수 BOD 농도가 2,500 mg/L인 경우에는 최종 유출수의 T-N농도가 약 293.8 mg/L으로 BOD 농도 2,000 mg/L일 때 445.3 mg/L 보다 약 1.5배정도 낮게 나타났다. 따라서, 원활한 탈질을 위해서는 C/N비 상승을 위한 외부탄소원 공급이 필요한 것으로 나타났다.

4) TKN이 1,500 mg/L의 고농도로 유지되어도 10℃ 이하의 동절기에서는 질산화율이 급격히 떨어졌기 때문에 무산소/호기조의 용량을 증가시켜 HRT를 상승시키는 동절기용 단위 반응조를 설치하여 질산화 및 탈질 효율 상승을 위한 질산화/무산소/탈질 반응조의 계절에 따른 탄력적 운전을 권장하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 부산환경공단 연구 보고서의 일부를 이용하여 2016년 부산지역녹색환경 지원센터의 연구비 지원(과제번호: 16-4-10-13)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- BECO, 2015, Technical report, Analysis of process efficiency for the improvement of sewage treatment plant.
- Geroge, T., Franklin, L. B., Stensel, H. D., 2003, Waste-water engineering treatment and reuse - Edition 4th., Metaclf & Eddy Inc.
- Gil, K. I., Lee, U. G., Rho, H. Y., 2008, A study on optimum HRT combination for efficient nitrogen removal at WWTP in winter days, Journal of Koreans Society of Hazard Mitigation, 8, 165-169.
- Gude, V. G., 2016, Wastewater treatment in microbial fuel cells - An overview, Journal of Cleaner Production, 122, 287-307.
- Henze, M., Grady, C. P. L., Gujer, W., Marais, G. V. R., Matsuo, T., 1987, A general model for single-sludge wastewater treatment systems, Water Res., 21, 505-515.
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Van Loosdrecht, M. C. M., 2000, Activated sludge models: ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3 IWA Scientific and Technical No.9. IWA Publishing.
- Korea Water and Wastewater Works Association, 2011, Sewage system standard(ministry of environment), Korea Water and Wastewater Works Association, 28, 871-881.
- Lee, J. S., Kim, J. W., 2013, Creative economy and water industry, Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning, Issue Paper 2013-07.
- Nasr, M. S., Moustafa, M. A. E., Seii, H. A. E., Kobrosy, G. E., 2011, Modelling and simulation of German BIOGEST/EL-AGAMY wastewater treatment plants - Egypt using GPS-X simulator, Alexandria Engineering Journal, 50, 351-357.
- Oh, S. T., Kim, J. R., Premier, G. C., Lee, T. H., Kim, C., Sloan, W. T., 2010, Sustainable wastewater treatment: How might microbial fuel cells contribute, Biotechnology Advances.
- Phillips, H. M., Sahlstedt, K. E., Frank, K., Bratby, J., Brennan, W., Rogowski, S., Pier, D., Anderson, W., Mulas, M., Copp, J. B., Shirodkar, N., 2009, Waste-water treatment modelling in practice: A collaborative discussion of the state of the art, 59, 695-704.
- Rittmann, B. E., McCarty, P. L., Environmental biotechnology: Principles and Applications, 2002, Mc Graw Hill.