

동절기 하수처리장에서 효율적인 질소제거를 위한 최적 HRT조합 도출에 관한 연구

A Study on Optimum HRT Combination for Efficient Nitrogen Removal at WWTP in Winter Days

길경익* · 이운길** · 노해연***

Gil, Kyung-Ik · Lee, Un-Gil · Rho, Hae-Yeon

Abstract

It has been reported that most wastewater treatment plants have difficulties in nitrogen removal during winter season due to declined activity of nitrifiers in the condition of low temperature. This study was conducted in order to find out optimum operating condition for efficient nitrogen removal in low temperature. A series of operating conditions with various HRTs of each tank were simulated using the GPS-X program. The optimum HRT combination for effective nitrogen removal was 0.3 hr/0.5 hr/1.36 hr/4.84 hr(PreAx/An/Ax/Ox) with 51.4% of T-N removal efficiency and 57.3% of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiency.

Key words : Nitrification, Modeling, GPS-X, ASM3, Bio-P

요 지

대부분의 하수처리장에서는 동절기에 수온저하로 인한 질산화 미생물의 활동저하 때문에 질소제거에 어려움을 많이 겪고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 하수처리 시뮬레이션 프로그램인 GPS-X를 사용하여 각조의 HRT를 변화시켜 저 수온시 효율적인 질소제거를 위한 HRT의 조합을 도출하고자 하였다. 본 연구에서 도출한 최적의 HRT 조합은 0.3 hr/0.5 hr/1.36 hr/4.84 hr(PreAx/An/Ax/Ox)이고 이때의 T-N 제거율은 51.4%, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 는 57.3%의 제거율을 보였다.

핵심용어 : 질산화, 모델링, GPS-X, ASM3, Bio-P

1. 서 론

우리나라는 동절기와 하절기의 수온차가 매우 크다. 특히 중부지방 동절기의 평균기온이 영하 10°C 이하로 떨어지는 일수가 많아 동절기 하수처리장 유입수의 수온이 평균 $8\sim 9^\circ\text{C}$ 로 낮다(신 등, 1997). 이는 미생물 활성도에 악영향을 미치고 특히 질산화 미생물의 활동성을 저하시켜, 유출수 중에 암모니아의 농도가 높게 유출되는 결과를 초래한다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 실험적 연구에는 많은 시간과 비용이 든다. 실험적 연구의 단점을 극복하고 수많은 하수처리공법을 객관적으로 평가하기 위해 많은 연구자들에 의해 생물학적 공정의 수학적 모델을 통한 연구가 활발히 진행 중이다.(IWA, 2000)

본 연구에서는 수학적 모델을 탑재한 하수처리장 시뮬레이션 프로그램인 GPS-X를 이용하여 동절기 하수처리장의 질산화 효율을 높이고 나아가 효율적으로 질소제거를 하기 위한

방법을 모색하고자 하였다.(정 등, 2004)

본 연구의 대상 처리장은 H 하수종말 처리장으로서 개략적인 모식도를 Fig. 1에 나타내었다.

먼저 동절기 질소제거를 위해 조절 가능한 운전인자 SRT, 호기조 포기량, 유입수 분배, 내부반송량 등을 변화시키면서 시뮬레이션 하였다. 그 결과 질산화 효율이 모두 10% 이내로 개선되어 큰 효과를 발견할 수 없었다. 이에 처리장의 근본적인 문제점을 파악하고자 한 결과, 현재 처리장의 유입유량은 설계보다 과다하게 유입되고 있어 각 조의 HRT가 설계 HRT보다 낮게 운전되고 있다. 따라서 처리장 증설이나 retrofit이 필요하다고 판단되었다. 본 연구에서는 하수처리장이 retrofit 할 경우를 고려하여, 동절기 질산화 효율을 높이기 위한 처리장 각 반응조의 최적의 HRT 조합을 시뮬레이션을 통해 찾고자 하였다.

*정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 교수 (E-mail : kgil@snu.ac.kr)

**서울산업대학교 토목공학과 석사

***서울산업대학교 토목공학과 석사

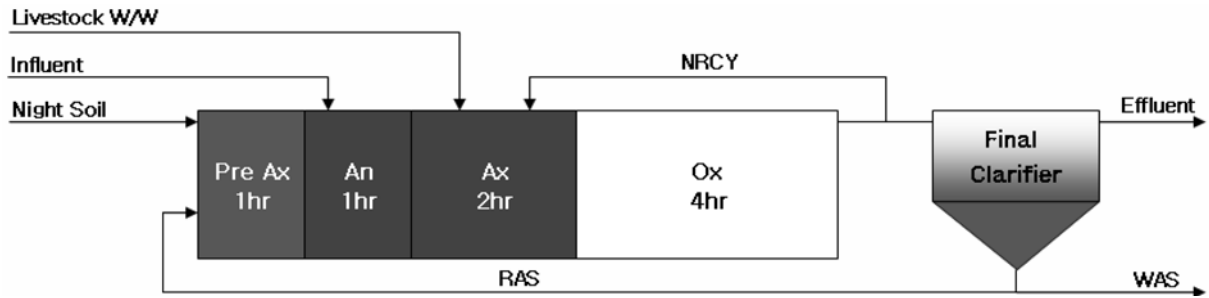


Fig 1. Configuration of 'H' wastewater treatment plant's process

2. 연구 과정 및 방법

본 연구에서는 Fig. 2와 같은 순서로 연구를 진행하여 동절기 질산화 효율을 높이기 위한 최적 HRT 조합을 찾고자 하였다.

2.1 유입수 성상분석

하수처리장 유입수의 성상은 하수의 발생원과 차집관거의 종류 등에 따라 큰 차이를 보인다. 따라서 하수처리 시스템의 정확한 모델링을 위해서는 모델에 입력하는 유입수의 성상을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 미생물의 호흡률 실험을 통해 유입수의 성상을 분석하였으며, 미생물은 H하수처리장 2차침전지 슬러지를 이용하여 실험하였다. 호흡률 실험 모식도를 Fig. 3에 나타내었다.

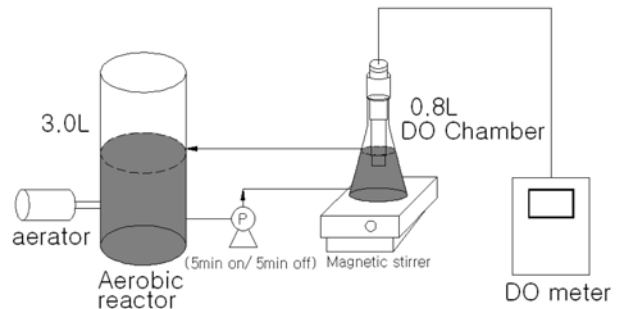


Fig 3. Experimental set-up of OUR measuring system

2.2 Layout 작성 및 시뮬레이션

2.2.1 민감도 분석 및 매개변수 추정

매개변수 추정은 GPS-X의 Optimize 기능을 사용하였고, 최적의 매개변수를 추정하기 위하여 IWA와 EAWAG에서 제시한 매개변수의 default값을 50~200%까지 바꾸어 가면서 시뮬레이션 하였다. 이 시뮬레이션을 통하여 계산된 값과 100일 동안의 현장운전 data와의 오차가 최소화되는 매개변수의 조합을 구하였다(노, 2007).

2.2.2 Layout 작성

Layout은 1차침전지 유출수부터 2차침전지까지 생물반응조



Fig 2. Process of Research

부분만 구축하였고, 반응조의 체적 및 공정흐름은 H 하수처리장 설계 및 운전자료를 바탕으로 구축하였다. 생물반응조의 모델은 Anaerobic조에서 NO_x로 인한 인방출 저해에 대한 내용을 고려한 있는 ASM3+Modified Bio-P module을 이용하였고, 2차 침전지는 침전효율을 고려하지 않았기 때문에 모델링시 일반적으로 사용하는 1 dimensional settling velocity model을 사용하였다(Gujer et al, 1999; Henze et al, 1999; Lee et al, 2006; Rieger et al 2001).

2.3 각 조의 최적 HRT 산정

하수처리장의 최적 운전인자 도출을 위하여 retrofit할 경우를 고려하여, 처리장의 현재 총 HRT를 유지하는 범위에서 각 반응조의 HRT를 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 수온조건은 H하수처리장의 동절기 평균수온인 7°C로 하였으며, 다른 운전조건은 처리장의 운전조건과 동일하게 하였다.

전탈질조의 HRT를 0.1 hr~0.9 hr, 혐기조의 HRT를 0.1 hr~0.9 hr, 무산소조의 HRT를 0.1 hr~2.1 hr까지 변화시켰으며, 호기조의 HRT는 총 HRT에서 전탈질조, 혐기조, 무산소조의 HRT를 뺀 값으로 하였다. 이러한 시뮬레이션 조건을 Table 1에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유입수 성상분석

유입수 성상분석결과를 Table 2에 나타내었다. 1차침전지 유출수는 ASM3에 제시한 값과 대체적으로 유사한 값을 보였고 분뇨는 총 COD 중 readily biodegradable COD(S₅)가 많은 양을 차지했다. 축산폐수는 1차적으로 고액분리를 거친 처리수이기 때문에 soluble성분이 많았다.

Table 1. Simulation conditions

Pre-Ax	Anaerobic	Anoxic						Oxic
0.1	0.1	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	HRT _{total} -(Pre Ax+An+Ax)
	0.3	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.5	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.7	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.9	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
0.3	0.1	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.3	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.5	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.7	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.9	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
0.5	0.1	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.3	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.5	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.7	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.9	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
0.7	0.1	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.3	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.5	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.7	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.9	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
0.9	0.1	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.3	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.5	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.7	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	
	0.9	0.1	0.5	0.9	1.3	1.7	2.1	

Table 2. Model compounds and wastewater compositions

Model Compound	ASM3	Influent		
		Sewage	Night Soil	Stock Water
TCOD	260(100%)	84 (100%)	17,380 (100%)	1,306 (100%)
S _I	30(11.54%)	10 (11.9%)	560 (3.2%)	184 (14.1%)
S _S	60(23.08%)	19 (22.6%)	6,220 (35.8%)	664 (50.1%)
X _I	25(9.7%)	10 (11.9%)	4,688 (27%)	110 (8.4%)
X _S	115(44.23%)	45 (53.6%)	5,912 (34%)	348 (26.6%)
T-N	25	16.7	2,324.4	212.6
T-P		1.4	259.2	16.7
C/N	7	3.83	5.22	4.76
Inflow (m ³ /day)		13,000	9.3	79.11
Percentage as influent flow		85.5	9.15	5.35

3.2 민감도 분석 및 매개변수 추정

민감도 분석결과를 Fig. 4에 나타내었고 매개변수 추정을 통하여 얻어진 매개변수들을 Table 3에 나타내었다. 이들 중 질소제거 관련 동력학계수 3개, 인제거 관련 양론계수 2개, 동력학계수 5개 등으로 대체적으로 질소와 인제거에 관련된 매개변수가 민감한 매개변수로 나타났다.

3.3 최적 HRT 선정

최적 HRT를 선정함에 있어 기존 T-P제거율은 유지하면서 T-N제거효율이 가장 좋은 경우를 선정하고자 하였다. 유출 T-P농도가 동절기 H하수처리장 평균 유출농도인 0.7이하인 경우에 한하여, 유출수 T-N농도가 가장 낮은 HRT조합을 선정하였고 그 조합을 보이는 혐기조의 HRT가 0.5hr일 때의

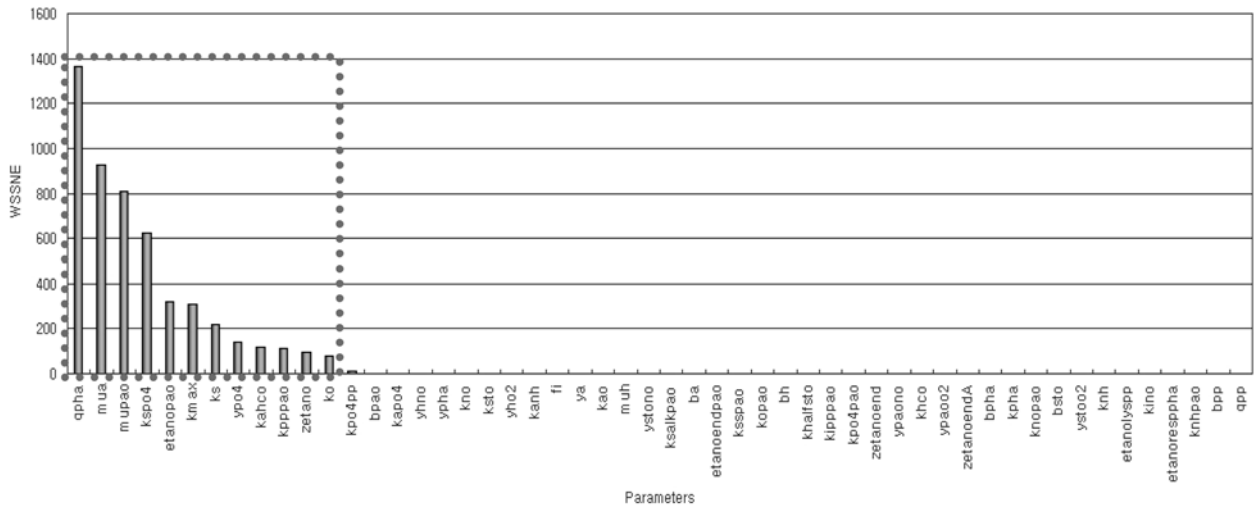


Fig 4. WSSNE of the sensitivity analysis

Table 3. Estimated sensitive parameter value of ASM3 + Bio-P

Parameter	Y_{PO4}	K_{maxPAO}	η_{NO}	K_o	K_s	K_{sPO4}	μ_A	K_{anhco}	q_{PHA}	μ_{PAO}	η_{NOPAO}	K_{PPPAO}
Default	0.35	0.2	0.6	0.2	2	0.11	1	0.5	6	1	0.33	0.05
Estimated	0.18	0.4	0.40	0.11	1.67	0.01	1.09	0.59	11.59	0.85	0.16	0.09

T-N 및 NH_4^+-N 농도를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다.

본 연구에서 산정한 최적의 HRT조합은 0.3 hr/0.5 hr/1.36 hr/4.84 hr(PreAx/An/Ax/Ox)로 이 때의 T-N 및 NH_4^+-N 의 농도는 9.42 mgN/L, 4.76 mgN/L로 유입량의 51.4%, 57.3%의 제거효율을 보였다. 또한 기존의 유출수질보다 T-N은 9.2%, NH_4^+-N 은 32.7%의 효율이 향상되었다. 이 때 T-P의 농도는 0.67 mg/L로 기존 처리장의 0.59 mg/L와 비슷한 제거율을 보였다.

4. 결 론

(1) 유입수 정상분석 실험결과 1차침전지 유출수의 분율은

ASM3에서 제시한 값과 유사한 결과를 보였고, 분뇨는 S_s 의 성분이 많았다. 축산폐수 처리수의 경우는 용해성 성분이 전체의 2/3정도로 높았는데 이는 1차적으로 고액분리를 거친 처리수이기 때문인 것으로 생각된다.

(2) 민감도 분석결과 12개의 민감한 매개변수를 선정하여 매개변수 추정을 실시하여 최적의 매개변수 조합을 찾아낼 수 있었다.

(3) 150가지의 HRT 조합들 중 T-N의 농도가 가장 적었을 경우의 HRT 조합은 0.3 hr/0.5 hr/1.36 hr/4.84 hr(PreAx/An/Ax/Ox)로 51.4%의 T-N제거 효율과 57.3%의 NH_4^+-N 을 보였다. T-N의 제거효율은 크게 증가하지 않았지만 NH_4^+-N 의 농도가 약 32.7% 정도 줄었기 때문에 방류

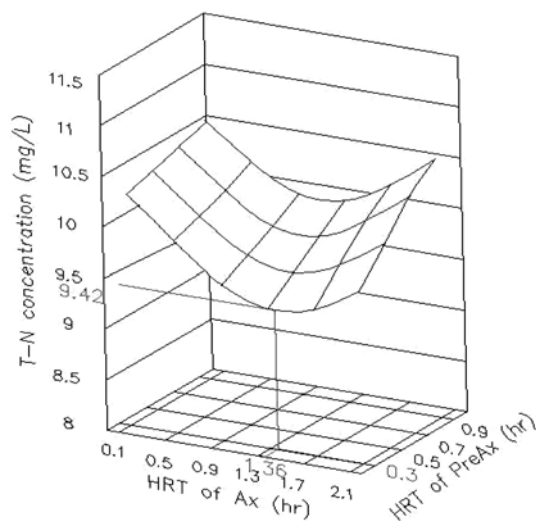


Fig 5. T-N concentration of effluent with simulation condition : 0.5hr(An)

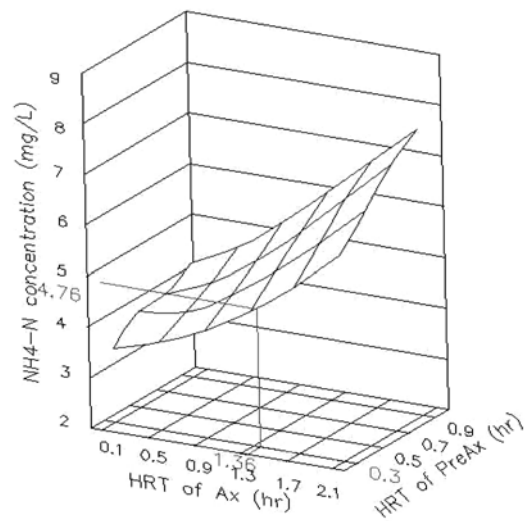


Fig 6. NH_4^+-N concentration of effluent with simulation condition : 0.5hr(An)

시 기존보다 수계에 미치는 영향이 적을 것으로 판단된다.

- (4) 질산화 효율이 증가한 반면 T-N제거효율이 높지 않은 것으로 보아 탈질이 원활히 이루어 지지 않은 것으로 판단되며, 증가한 NOx의 탈질을 위한 연구가 차후 수행될 예정이다.

Nomenclature

Y_{PO4}	Requirement of X_{PP}/X_{PHA} storage (P-release)
K_{maxPAO}	Maximum ratio of X_{PP}/X_{PAO}
η_{NO}	Anoxic reduction factor
K_o	Saturation constant for S_O
K_s	Saturation constant for substrate S_S
K_{sPO4}	Saturation constant for Phosphorous (as nutrient)
μ_A	Autotrophic maximum growth rate of X_A
K_{anhco}	Saturation constant for alkalinity
q_{PHA}	Rate constant for storage of X_{PHA}
μ_{PAO}	Maximum growth rate X_{PAO}
η_{NOPAO}	Anoxic reduction factor for endog. Respiration
K_{ppPAO}	Saturation constant for X_{PP}/X_{PAO}

참고문헌

노해연 (2007) 시뮬레이션 기법을 이용한 기존 BNR공정의 운전 조건 최적화, 석사학위논문, 서울산업대학교

신용배, 배우근, 강희만, 윤현식, 홍상기, 김송기, 유도윤 (1997) 온도변화에 따른 BNR 효율특성. *Bulletin of Environmental Sciences*, 제18권.

정창화, 심유섭, 김태형, 박철휘 (2004) GPS-X 시뮬레이션을 이용한 2단탈질 공정에서 외부탄소원 적용성 평가. 대한상하수도 학회논문집, 대한상하수도학회, Vol. 18, No. 1, pp.37-48.

Gujer, W., Henze, M., Mino, T., and Loosdrecht, M. C. M. V. (1999) Activated Sludge Model No. 3, *Water Science & Technology*, Vol. 39, No. 1, pp. 183-193.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M. C., Marais, G. v. R. and Loosdrecht, M. C. M. V. (1999) Activated Sludge Model No. 2d, *ASM2d*, *Water Science and Technology*, Vol. 39, No. 1, pp. 165-182.

IWA Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment (2000) *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. IWA publishing.

Lee, S.H., Ko, J.H., Kim, J.R., Kim, Y.J., Lee, J.J., Kim, C.W. and Lee, T.H. (2006) Identification of the adverse effect of nitrate on the phosphate release rate and improvement of EBPR process model. *Water Science and Technology*, Vol. 53, No. (4-5), pp. 115-123.

Rieger, L., Koch, G., Kuhni, M., Gujer, W., Siegrist, H. (2001) The EAWAG Bio-P Module for Activated Sludge Model No. 3. *Water Research*, Vol. 35, No. 16, pp. 3887-3903.

- ◎ 논문접수일: 2007년 08월 24일
- ◎ 심사의뢰일: 2007년 08월 27일
- ◎ 심사완료일: 2008년 04월 24일