

## 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 신 생물학적 고도처리 (병렬 고도처리) 공법 개발

### Developing a New BNR (Parallel BNR) Process by Computer Simulation

이병희<sup>1,\*</sup> · 이용운<sup>2</sup>

Lee, Byonghi<sup>1,\*</sup> · Lee, Yong-Woon<sup>2</sup>

1 경기대학교 토목환경공학부

2 전남대학교 공과대학 건설지구환경공학부

(2002년 7월 11일 접수, 2002년 12월 3일 최종수정논문 채택)

#### Abstract

Since Korean government imposed a stricter regulation on effluent T-N and T-P concentrations from wastewater treatment plant, a new process has to be developed to meet these rules and this process should remove T-N and T-P, economically, from weak wastewater that is typical for Korea's combined sewer system sewage. In this study, a computer simulator, BioWin from EnviroSim, Inc. was used. Three processes — A2/O, Modified Johannesburg, UCT- had been simulated under same operational conditions and a new process — Parallel BNR Process - had been developed based on these simulation results. The Parallel BNR process consists of two rows of reactors: One row has anaerobic and aerobic reactors in series, and the other row has RAS anoxic1 and RAS anoxic2 reactors in series. In order to ensure anaerobic state in anaerobic tank, a part of influent is fed to RAS anoxic1 tank in second row. This process had been simulated under same conditions of other three processes and the simulation results were compared. The results showed that three existing processes could not perform biological phosphorus removal when the average influent was fed at any operation temperatures. However, the Parallel BNR process was found that biological phosphorus removal could be performed when both design and average influent were fed at any operation temperatures. This process showed the T-N concentration in effluent had a maximum value of 15mg/L when design influent was fed at 13°C and a minimum value of 14mg/L when average influent was fed at 20°C. Also, T-P concentrations had a maximum value of 1.3mg/L when average influent was fed at 20°C and a minimum value of 1.1mg/L when design influent was fed at 13°C. Based on these results, we found that this process can remove nitrogen and phosphorus biologically under any operational conditions.

**Key words:** Anoxic, anaerobic, parallel BNR, simulation, limiting factor

**주제어:** 무산소, 혐기, 병렬고도처리, 모의실험, 한계요소

\*Corresponding author Tel: +82-31-249-9737, Fax: +82-31-244-6300, E-mail: bal@kyonggi.ac.kr (Lee, B.H.)

## 1. 서론

이용 가능한 수자원의 부족은 기 사용한 수자원을 다시 사용하는 방안에 대한 연구를 시작케 하였고, 이에 따라 하수처리장의 처리수를 수자원으로 재 활용하는 방안이 강구되기 시작하였다. 1970년대 까지의 하수처리의 개념은 처리장 방류수가 자연에 부정적인 영향을 안주는 정도의 처리만을 고려하여 하수 중의 유기물만 처리하였으나, 하수 처리수의 재 이용 개념이 도입되기 시작한 1980년대 부터는 하수로부터 부영화를 유발하는 질소 및 인 도 함께 제거하는 방안이 강구되기 시작하였다. 이 같은 이유로 국내에서도 2001년 10월에 하수도법 시행 규칙을 개정하여 2006년까지 4대강 유역에 위치한 모든 하수처리장의 처리수에 대해 보다 엄격한 총 질소 및 총 인에 대한 배출수기준을 제시하였다(환경부, 2001b). 이 규칙은 배출수 총 질소 및 인 농도를 계절에 따라 다르게 명시하였는데, 동절기인 12월부터 3월까지의 총 질소는 60mg/L, 총 인은 8mg/L로 각각 명시하였고 이를 제외한 4월부터 11월까지의 총 질소는 20mg/L, 총 인은 2mg/L가 되도록 하였는데, 2000년 하수도 백서에 의하면 총 182개 중 47개의 하수처리장 처리수의 평균 총 질소 농도는 20mg/L 이상을 나타냈고, 23개 처리장의 처리수 평균 총 인농도는 2mg/L를 넘는 것으로 나타나, 이들 처리장이 4대강 유역에 위치한 경우에는 2006년까지 동절기를 제외하고는 질소 및 인 제거시설을 설치해야 하는 것으로 나타났다(환경부, 2001a).

하수 중의 질소 및 인을 제거하기 위해 물리·화학적 및 생물학적 공법이 적용되는데, 경제적인 이유로 생물학적 공법이 가장 광범위하게 적용되고 있다. 생물학적 공법이 개발·적용된 곳은 이용 가능한 수자원이 부족한 남아프리카 공화국, 미국 캘리포니아주, 하수 처리수를 호수에 저장하여 이를 상수로 사용하는 스웨덴, 그리고 다량의 질소 및 인이 배출되어 만(灣)의 부영화를 발생시켜 생태계에 심각한 문제를 가져다 준 미국 Chesapeake Bay 주변을 들 수 있다. 이들 지역은 각 지역이 가지는 하수 특성, 기후 조건, 그리고 처리수 배출 기준을 고려하여 각 지역에 조건에 적합한 생물학적 고도

처리시스템을 개발·적용하고 있는데, 이들 지역 대부분의 하수 집수 시스템은 분류식으로 되어 있어 하수 농도가 국내 하수처리장 유입수보다 높은 것이 특징이다.

1990년대 초반 국내에 적용된 생물학적 공법은 이들 지역에서 개발된 기술을 도입하여 적용하였으나, 현재는 국내 실정에 적합한 기술을 개발·적용하고 있다. 국내 실정에 적합한 생물학적 공법을 개발하기 위해서는 합류식 하수 집수시스템으로 인해 선진국에 비해 그 강도가 약한 국내하수, 그리고 동절기를 제외하고 처리수 총 질소 및 총 인 농도가 각각 20mg/L 및 2mg/L인 처리수 배출 농도, 그리고 경제성을 고려해야 하는데, 이를 충족하기 위한 기술 개발 시간을 최대한 단축하기 위해서 컴퓨터 모델을 사용하여 여러 가지 다른 조건을 상정하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하고 이를 기초로 하여 신 기술을 개발하는 것이다.

컴퓨터 모델은 1980년대초 생물학적 고도 처리에 대한 연구를 시작한 남아프리카 공화국에서 개발되어 1987년에 IWA(International Water Association)의 전신인 IAWPRC(International Association on Water Pollution Research Control)이 Task Group를 구성하여 생물학적 유기물 및 질소제거를 시뮬레이션할 수 있는 Activated Sludge Model(ASM) No. 1을 발표하고(Henze *et al.*, 1987) 1995년에는 생물학적 유기물, 질소 및 인 제거를 시뮬레이션할 수 있는 ASM No. 2가 발표되었다(Henze *et al.*, 1995). 이 이후에는 ASM No. 2를 변형한 다수의 모델이 발표되었고, 또한 이를 이용한 고도하수처리장 설계 및 운전 최적화에 대한 결과가 발표되었다(Buhr *et al.*, 2001, Bratby *et al.*, 2001).

## 2. 연구 방법

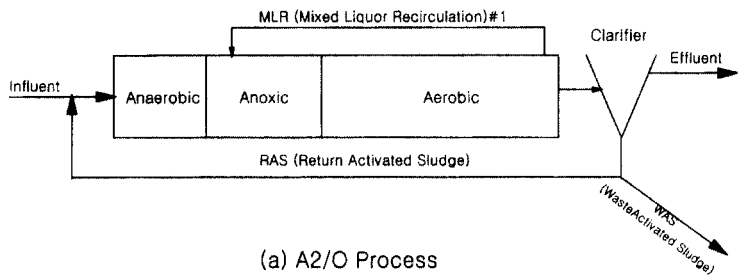
컴퓨터 시뮬레이션을 이용해서 국내 하수특성에 적합하고, 국내 처리수 배출수 기준을 충족시키고, 기존 다른 공법에 비해 시설 및 운전비가 저렴한 공법을 개발하기 위해서는 같은 운전 조건에서 기존의 알려진 공법들에 대한 시뮬레이션을 수행하여 각 공법이 가지는 장단점을 파악하는 것이 일차적으로 수행되어야 한다. 그러므로 기존에 알려진 공

법을 효과적으로 시뮬레이션할 수 있는 프로그램을 사용해야하는데, 본 연구에서는 생물학적 유기물, 질소 및 인 제거 뿐 만 아니라 혐기조의 혐기반응 및 침전지를 시뮬레이션할 수 있는 캐나다의 EnvironSim사의 BioWin을 사용하였다. 이 프로그램은 ASM No.2를 기본으로 개발된 것으로 효과적으로 생물학적 고도처리 시스템을 시뮬레이션하는 것으로 알려져 있다.

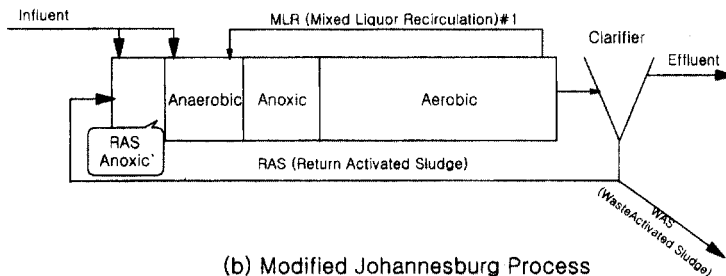
본 연구에서의 기존에 알려진 공법 중 시뮬레이션 대상으로 선정한 공법은 Fig. 1에서 공정도를 보여주는 A2/O 공법, 변형 Johannesburg공법, UCT 공법이며 각 공법에서 각 반응조의 수리학적 체류 시간은 Table 1에서 보여주는 바와 같이 동일하게

설정하였다. 그리고 유입수 조건은 Table 2에 있는 바와 같이 대표적인 국내 신설 하수처리장 설계 유입수 수질(설계 수질)(경기도, 2001)과 2000년 K광역시 2단계 평균 유입수 수질(평균 수질)(환경부, 2001a)을 기준으로 하여 각각 운전 온도 13°C와 20°C로 설정하여 각 반응조에서의 질소 및 인 성분의 농도와 처리수 수질을 파악하였다. 본 연구에서 각 공법의 슬러지 일령(Sludge Retention Time, SRT)은 17.6일로 동일하게 설정하였다.

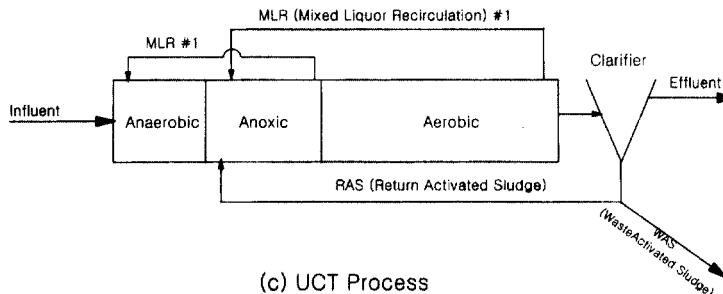
그리고 BioWin을 구성하고 있는 모든 모델 변수들은 프로그램의 기본값을 사용하였으나, 질산화 미생물 비 최대 성장률은 최근 연구 결과 발표(Barnard *et al.*, 2001)를 근거로 해서 20°C에서 0.6



(a) A2/O Process



(b) Modified Johannesburg Process



(c) UCT Process

Fig. 1. Studying processes.

**Table 1.** HRTs of each reactor and total HRTs for studying processes

Processes	Reactors	Anoxic			Aerobic	Total
		Anaerobic	RAS Anoxic	Anoxic		
A2O		1hr	N/A	2.5hrs	4.5hrs	8hrs
Modified Johannesburg		1hr	0.5hr	2hrs	4.5hrs	8hrs
UCT		1hr	N/A	2.5hrs	4.5hrs	8hrs

**Table 2.** Pumped flow with respect to influent flow, Q, and number of pumps in each process

Pump	Process	A2O	Modified Johannesburg	UCT
Flow of MLR #1		2Q	2Q	2Q
Flow of MLR #2		N/A	N/A	0.8Q
Flow of RAS		0.8Q	0.8Q	0.8Q
Total Pumped Flow		2.8Q	2.8Q	3.6Q
Numbers of Pump within system		2	2	3

Note: Q = influent flow for each process  
N/A = not applicable

**Table 3.** Influent characteristics for simulations

Item	Conditions	
	Design	Average
BOD	140	117
TSS	130	123
T-N	35	32.5
T-P	5	3.4

일<sup>-1</sup>로 설정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. A2/O공법

Fig. 1의 (a)는 A2/O공법을 보여주고 있고, Table 4의 A2/O열은 운전조건 변화에 따른 각 반응조에서의 질소 및 인 성분을 보여주고 있다. 설계 및 평균 수질 그리고 반응조 온도 13°C와 20°C에서의 처리수 암모니아 농도가 되는 호기조(Aerobic)의 암모니아농도는 유입수 수질과 관계없이 13°C에서는 2.5mg/L, 20°C에서는 0.7mg/L를 보여주어 질산화에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 혐기조(Anaerobic)의 NO<sub>x</sub>-N(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)농도는 온도에

관계없이 0mg/L에 가까웠으나, 무산소조(Anoxic)에서는 온도 20°C, 설계농도 유입시에는 NO<sub>x</sub>-N농도가 0mg/L가 된 반면에 다른 조건에서 어느 정도의 농도가 나타났다. 호기조의 경우에 NO<sub>x</sub>-N농도는 유입수 농도가 높을수록, 운전온도가 높을수록 그 농도가 높은 것으로 나타났는데, 이는 농도가 높을수록 질산화율이 높아서 발생한 현상으로 판단된다. PO<sub>4</sub>-P농도의 경우에 있어서는 운전온도 13°C, 설계수질 유입 시를 제외하고는 혐기조에서의 인 방출이 없는 것으로 나타났는데, 이는 13°C의 경우 다른 조건에서 보다 낮은 질산화율로 인해 혐기조로 공급되는 NO<sub>x</sub>-N 총량이 적은 것으로 인해 발생된 것으로 사료된다. 이 표에서 보는 바와 같이 낮은 처리수 PO<sub>4</sub>-P농도를 보장해주는 혐기조에서의 인 방출이 13°C에서 설계수질 유입시에만 발생하여 호기조의 PO<sub>4</sub>-P농도가 1mg/L 이하를 보여주고 있으나, 인 방출이 발생 안되는 20°C 설계수질 유입시에는 그 농도가 3mg/L까지 올라가는 것으로 나타났다. 그리고 평균수질 유입 시에는 온도에 관계없이 혐기조의 인 방출이 발생되지 않아 호기조의 PO<sub>4</sub>-P농도는 1.7mg/L를 나타내었다. 그러므로 Table 1의 사양을 가지는 A2/O공법을 국내 하수처리에 적용하는 경우 생물학적 인 제거에 문제가 있

는 것으로 나타났다.

### 3.2. 변형 Johannesburg공법

Fig. 1의 (b)는 변형 Johannesburg공법(modified Johannesburg)를 보여주고 있는데, Johannesburg 공법의 반송슬러지 무산소조에 유입수를 유입시키는 공법이다. 본 연구에서는 총 유입수의 10%가 이 반응조에 유입되는 것으로 하여 Table 1의 사양을 갖고 Table 3의 운전조건에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. Table 4의 Modified Johannesburg 열은 각 반응조에서 암모니아성, NOx-N 질소 및 PO<sub>4</sub>-P 농도를 보여주는 것으로 운전온도가 13°C인 경우 호기조에서는 유입수질과 관계없이 2.5mg/L 정도를 보여주었고, 20°C에서는 0.7mg/L 정도를 보여주고 있어 질산화에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 혐기조 NOx-N농도는 운전 조건에 관계없이 0mg/L 정도를 보여주고 있어 혐기조의 혐기성은 유지된다고 판단되었다. 호기조에서의 PO<sub>4</sub>-P농도는 혐기조 인 방출이 관찰되는 설계수질 유입시

는 0.8mg/L 내외를 보여주고 있으나, 인 방출이 관찰 안되는 평균수질 유입시에는 그 농도가 1.7mg/L 이상이 되는 것으로 나타났다. 그러므로 Table 1의 사양을 갖는 변형된 Johannesburg공법을 국내 하수에 적용하는 경우 평균 수질 유입시 생물학적 인 제거에 문제가 있는 것으로 나타났다.

### 3.3. UCT공법

Fig. 1의 (c)는 UCT공법을 보여주고 있는데, 이 공법은 혐기조의 슬러지 공급을 침전조에서 직접하지 않고 무산소조에서 하도록 하여 효과적으로 혐기조의 혐기성 유지를 위해 개발되었다. Table 1의 사양을 가지고 Table 3의 운전 조건에서 시뮬레이션을 수행한 결과는 Table 4의 UCT 열에 있다. 이 표에서 보여주는 바와 같이 처리수의 암모니아성 질소 농도가 되는 호기조 질소 농도는 다른 공법과 큰 차이가 없는 것으로 나타났고, NOx-N농도도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. PO<sub>4</sub>-P농도는, 다른 공법과 같이 평균 수질 유입시에는 혐기조에

Table 4. Concentrations of NH<sub>3</sub>-N, NOx-N and PO<sub>4</sub>-P in each reactor for each process under various operational conditions

Process Cond.	Reactor	A2O				Modified Johannesburg				UCT			
		13°C	20°C	13°C	20°C	13°C	20°C	13°C	20°C	13°C	20°C	13°C	20°C
Elem.	Des.	Des.	Avg.	Avg.	Des.	Des.	Avg.	Avg.	Des.	Des.	Avg.	Avg.	
Anaerobic	NH <sub>3</sub> -N	16.54	15.84	15.22	14.33	16.87	16.05	15.69	14.84	19.51	19.08	18.21	17.73
	NOx-N	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	PO <sub>4</sub> -P	11.35	2.62	1.56	1.85	14.18	13.52	1.70	1.71	17.37	17.41	1.70	1.71
Anoxic	NH <sub>3</sub> -N	9.58	8.14	8.92	7.62	9.63	8.29	8.88	7.60	9.19	8.2	8.54	7.49
	NOx-N	1.67	0.00	1.87	2.98	2.66	3.14	1.29	2.18	4.90	5.43	2.75	3.40
	PO <sub>4</sub> -P	6.01	2.71	1.58	1.76	7.24	7.00	1.62	1.68	7.30	7.34	1.61	1.66
Aerobic	NH <sub>3</sub> -N	2.53	0.67	2.49	0.67	2.49	0.67	2.44	0.67	1.94	0.59	2.07	0.61
	NOx-N	7.75	6.69	7.86	9.51	8.79	9.82	7.33	8.75	11.17	12.14	8.89	9.00
	PO <sub>4</sub> -P	0.82	2.78	1.67	1.66	0.75	0.87	1.71	1.79	0.58	0.62	1.70	1.78
RAS Anoxic	NH <sub>3</sub> -N	N/A	N/A	N/A	N/A	5.70	4.11	5.57	4.03	N/A	N/A	N/A	N/A
	NOx-N	N/A	N/A	N/A	N/A	3.65	4.47	3.52	4.70	N/A	N/A	N/A	N/A
	PO <sub>4</sub> -P	N/A	N/A	N/A	N/A	1.34	1.42	1.70	1.77	N/A	N/A	N/A	N/A

Note: Cond. = operation conditions

Elem. = elements

13°C Des. = Design influent characteristics with 13°C of reactor temperature

20°C Des. = Design influent characteristics with 20°C of reactor temperature

13°C Avg. = Average influent characteristics with 13°C of reactor temperature

20°C Avg. = Average influent characteristics with 20°C of reactor temperature

N/A = not applicable

서의 인 방출이 관찰이 안 되었는데, 이는 UCT공법이 혐기조의 MLSS(Mixed Liquor Suspended Solids)농도를 높게 유지시킬 수 없어 혐기조가 가질 수 있는 미생물 양이 적기 때문이 것으로 사료된다. 즉, UCT를 제외한 다른 공법은 반송슬러지가 혐기조에 유입되는 관계로 반송슬러지 반송율이 유입수량의 100%인 경우, 혐기조의 MLSS 농도는 반송슬러지의 1/2이 되나, UCT공법의 경우에 있어서는 무산소조로부터 혐기조로 MLSS가 공급되는 관계로 이차 내부반송(Fig. 1 (c)의 MLR #2)수량이 유입수량의 100%가 되는 경우 혐기조의 MLSS농도는 무산소조의 1/2이 되어 혐기조의 MLSS농도가 다른 공법에 비해 1/2로 줄어들게 되어 시스템 전체적으로 혐기조가 가질 수 있는 MLSS 총량이 줄어들게 된다. 그러므로 평균 수질 유입시 UCT공법에서 생물학적 인 제거를 수행하기 위해서는 혐기조의 크기를 다른 공법에 비해 크게 해야 되는 것으로 관찰되었다.

3.4. 병렬 고도처리공법(parallel biological nutrient removal process)

기존의 공법은 분류식 하수집수 시스템이 일반화된 지역에서 개발된 공법이라 A2/O를 제외하고는 분류식 수질과 유사한 설계수질이 유입되는 경우에는 온도와 관계없이 질소 및 인 제거가 잘되는 것으로 나타났으나, 현재 국내 하수처리장 유입 평균 수질이 유입되는 경우, 생물학적 인 제거는 어느 공법에서도 안 되는 것으로 나타났다. 그러므로 현

재 국내 하수로부터 효과적으로 생물학적 질소 및 인 제거를 수행할 수 있고 또한 장차 예상되는 수질, 즉 설계 수질의 하수가 유입되는 경우에도 효과적으로 생물학적 질소 및 인 제거를 수행할 수 있는 공법이 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 개발되었다. Fig. 2는 개발된 병렬 고도처리공법을 보여주고 있는데, 혐기조(Anaerobic)와 호기조(Aerobic)가 한 행을 이루고 있고, 또 한 행은 반송슬러지 무산소조1(RAS Anoxic1)과 와 반송슬러지 무산소조2(RAS Anoxic2)로 구성되어 있다. 반송슬러지 무산소조1은 Johannesburg공법의 전 무산소조와 같이 내생탈질이 발생되는 반송슬러지내의 NOx-N을 제거하는 반응을 수행한다. 반송슬러지 무산소조2로의 MLSS 공급은 반송슬러지 무산소조1과 혐기조로부터 이루어지며, 유입수의 20%가 반송슬러지 무산소조2로 유입되어 탈질에 필요한 유기물을 공급토록 하였다. Table 5는 병렬 고도처리공법 각 반응조 체류시간을 보여주고 있고, Table 6은 Fig. 2의 각 line별 유량을 유입수량 Q에 대비한 유량 및 이송방법으로 나타내었다. 이 Table에서 보여주는 바와 같이 이 시스템에서 요구되는 펌프의 수는 1개이며 펌프로 이송되어야 할 총 유량은 유입수 유량 대비 2.3배(2.3Q)로, 다른 공법에 비해 필요한 펌프 개수와 펌프되는 수량이 적은 것으로 나타났다.

Table 7은 각 반응조에서의 암모니아성 질소 농도를 보여주고 있는데, 유입 수질과 관계없이 13°C에서는 2.2mg/L 정도, 20°C에서는 0.6mg/L를 나타내고 있어 안정적으로 질산화가 수행되는 것으로

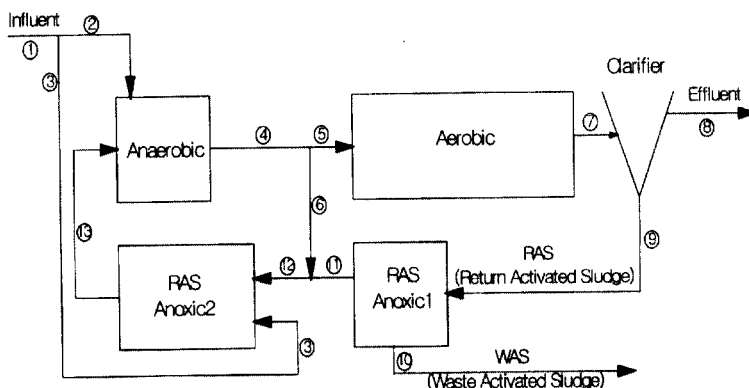


Fig. 2. Parallel BNR process.

**Table 5.** HRTs for each reactor and total HRT for the parallel BNR process as hour

Reactor	Anaerobic	Aerobic	RAS Anoxic1	RAS Anoxic2	Total
HRT, hr	1	4.5	2	0.5	8

**Table 6.** Flows with respect to influent flow, Q, and transport methods for each line in parallel BNR process

Line No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
Flow	1Q	0.8Q	0.2Q	3.09Q	2.09Q	1Q	2.09Q	0.99Q	1.1Q	0.01Q	1.09Q	2.09Q	2.29Q
Transport Methods	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G or P	G	G	P

Note: 1) Line numbers are corresponding to those in Fig. 2

2) G: gravity flow

3) P: pumping

4) WAS(Waste Activated Flow) was assumed as 0.01Q

**Table 7.** Concentrations of NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>x</sub>-N and PO<sub>4</sub>-P in each reactor for the Parallel BNR process under various operational conditions

Reactor	Conditions. Elem.	13°C	20°C	13°C	20°C
		Des.	Des.	Avg.	Avg.
Anaerobic	NH <sub>3</sub> -N	15.32	14.55	14.12	13.31
	NO <sub>x</sub> -N	0.00	0.00	0.00	0.00
	PO <sub>3</sub> -P	17.47	17.61	7.37	6.77
Aerobic	NH <sub>3</sub> -N	2.2	0.65	2.18	0.64
	NO <sub>x</sub> -N	11.43	12.29	11.15	11.99
	PO <sub>3</sub> -P	0.63	0.67	0.89	1.02
RAS Anoxic1	NH <sub>3</sub> -N	10.75	9.64	10.07	9.01
	NO <sub>x</sub> -N	0.10	0.14	0.95	1.21
	PO <sub>3</sub> -P	10.76	10.24	4.22	3.97
RAS Anoxic2	NH <sub>3</sub> -N	2.72	1.18	2.78	1.27
	NO <sub>x</sub> -N	8.82	9.63	9.21	10.01
	PO <sub>3</sub> -P	0.76	0.81	0.97	1.11

Note: Cond. = operation conditions

Elem. = elements

13°C Des. = Design influent characteristics with 13°C of reactor temperature

20°C Des. = Design influent characteristics with 20°C of reactor temperature

13°C Avg. = Average influent characteristics with 13°C of reactor temperature

20°C Avg. = Average influent characteristics with 20°C of reactor temperature

나타났다. 처리수 농도가 되는 호기조의 NO<sub>x</sub>-N 농도는 11-12mg/L의 범위를 갖는 것으로 나타나 설계 수질 유입시의 UCT공법을 제외한 다른 공법에 비해 높은 것으로 나타났다. 혐기조에서의 인 방출은 운전 조건 변화에 관계없이 발생하는 것으로 나타나, 처리수 PO<sub>4</sub>-P농도가 되는 호기조 PO<sub>4</sub>-P농도는 0.6-1.0mg/L의 범위를 갖는 것으로 나타나, 기존 다른 공법과는 달리 평균 수질이 유입되는 경우 효과적으로 생물학적 인 제거를 수행하는 것으로 나타났다.

병렬 고도처리 공법이 평균 수질 유입시에도 생물학적 인 제거를 수행할 수 있는 것은 UCT공법의 단점으로 나타난 낮은 혐기조 MLSS농도를 높게 유지할 수 있기 때문인 것으로 판단되었다. 시뮬레이션에 의하면 평균 수질이 유입되는 경우 UCT공법의 혐기조 MLSS 농도는 1,500mg/L가 되는 반면에 병렬 고도처리공법의 경우에 있어서는 3,000mg/L가 되어 같은 수리학적 체류시간에서 2배의 혐기 미생물 총량을 가질 수 있는 것으로 나타났다.

### 3.5. 공법별 처리수 총 질소 및 인 농도

BioWin이 이차 침전지 및 고형 질소 및 인 농도를 시뮬레이션할 수 있는 관계로 공법별 처리수 총 질소 및 인 농도를 운전 조건별로 파악할 수 있다. Fig. 3은 공법별 처리수 총 질소 농도를 보여주는 것으로 설계 수질이 유입되는 경우 병렬 고도처리

**Fig. 3.** Effluent T-N concentrations in each process under various operational conditions.

공법이 설계 및 평균 수질 유입시 14-15mg/L의 범위를 갖는 것으로 나타났고, UCT공법의 경우에 있어서는 설계 수질 유입시 14-15mg/L, 평균 수질 유입시에는 12-13mg/L의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 그리고 그 밖의 공법들은 A2/O를 제외하고는 운전 조건에 관계없이 11-12mg/L 정도의 범위에 있는 것으로 나타났다. 온도가 증가함에 따라 T-N 농도가 떨어지는 것은 20°C에서의 높은 질산화 및 탈질율로 인해 탈질되는 질소가 많기 때문이라 사료된다. A2/O공법의 경우에 있어서는 20°C 설계수질이 유입되는 경우에는 그 농도가 9mg/L까지 떨어지는 것으로 나타났다. Fig. 4는 처리수 총 인 농도를 보여주는 것으로 병렬 고도처리 공법의 경우에 있어서는 온도가 증가함에 따라 총 인 농도가 증가하는데, 이는 온도 증가에 따라 탈질량이 증가하고 이에 따라 인 제거에 필요한 유기물이 감소하기 때문이라 판단된다. 설계수질 유입시에는 1mg/L 내외, 그리고 평균수질 유입시 1.2mg/L 내외를 보여주고 있다. A2O공법의 경우에는 혐기조에서 인 방출이 관찰되는 13°C 설계수질 유입시에는 1.4mg/L를 보여주고 있지만, 인 방출이 관찰 안되는 20°C에는 3.0mg/L까지 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 그 밖의 공법은 설계 수질 유입시 변형 Johannesburg공법, UCT공법 순으로 그 농도가 떨어지는 것으로 나타났으나, 평균수질이 유입되는 경우에는 2.0mg/L 부근까지 그 농도가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 이들 공법이 평균 수질 유입시 인 제거 미생물 성장 조건을 충족시켜주지

**Fig. 4.** Effluent T-P concentrations in each process under various operational conditions.

못한 것에 기인한 것으로 사료된다.

운전 조건에 관계없이 혐기조에서 인 방출이 관찰되는 병렬고도처리 공법의 경우, 처리수의 총 질소 농도는 최대 15mg/L로 다른 공법에 비해 높았지만, 총 인의 경우에 있어서는 최대 1.2mg/L를 보여주고 있어 다른 공법에 비해 최대 40% 정도 낮은 것으로 나타나, 국내 하수의 어떤 조건에서도 배출수 방류기준을 안전하게 충족시킬 수 있는 것으로 판단되었다. 이 같은 시뮬레이션 결과를 보았을 때, 국내 하수에 있어서는 설계 및 평균 수질에 관계없이 생물학적 고도처리에 있어서 유기물이 한계 요소(limiting factor)라 판단되었다. 즉, 생물학적인 제거와 생물학적 질소제거는 한정된 유기물을 사용하고 있어 상호 반대작용을 하는 것으로 나타났다. 그러므로 생물학적인 제거 조건이 충족되어 인 제거에 유기물이 사용되면, 질소제거에 사용될 유기물 총량이 부족하여 총 질소 농도는 증가하게 되며 그렇지 못하면 총 질소 농도는 감소하게 된다. 이 같은 이유로 한정된 유기물을 가지고 생물학적 고도처리를 하는 경우에는 처리수 배출기준을 충족시킬 수 있도록 유입수의 유기물을 효과적으로 생물학적 질소 및 인 제거에 분배시킬 수 있는 시스템 구성이 필수적이며 병렬고도처리 공법이 이를 충족시키는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

국내 하수가 가지는 여러 가지 조건을 설정하고, 이를 기본으로 하여 기존에 알려진 처리 공법을 컴



퓨터 시뮬레이션을 수행하고 이를 근거로 신 공법을 개발한 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 국내 하수처리장의 설계 수질이 유입되는 경우에는 A2/O공법을 제외하고는 기존에 알려진 고도처리 공법이 생물학적 질소 및 인 제거를 할 수 있는 것으로 나타났으나, 평균 수질이 유입되는 경우, 기존에 알려진 고도처리 공법은 생물학적 인 제거를 수행하지 못하는 것으로 나타났다.

2) 생물학적 질소 및 인 제거를 국내 하수처리에 적용하는 경우, 하수 중의 유기물이 한계요소로 나타났으며, 이의 효율적인 분배가 국내하수의 고도처리에 가장 중요한 것으로 나타났다.

3) 본 연구에서 개발된 병렬 고도처리공법은 국내 하수가 가지는 여러 조건에서도 효과적으로 생물학적 질소 및 인 제거를 수행하는 것으로 나타나, 배출수 총 질소농도는 설계 수질이 유입되고 반응조 온도 13°C인 경우 최대 15mg/L, 평균 수질이 유입되고 반응조 온도 20°C인 경우 최소 14mg/L이 되는 것으로 나타났다. 그리고 배출수 총 인 농도는 평균 수질이 유입되고 반응조 온도 20°C인 경우 최대 1.2mg/L, 설계 수질이 유입되고 반응조 온도 13°C인 경우 최소 1.1mg/L로 나타나, 배출수 수질은 운전 조건 변화에 민감하지 않은 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 지아이(주) — www.gix.co.kr — 의 연

구 개발 사업의 일환으로 개발되었으며 연구 결과는 지아이(주)가 특허 출원중입니다.

## 참고문헌

- 경기도 (2001) 구갈하수처리장 기본설계 보고서.  
환경부 (2001a) 하수도 통계.  
환경부 (2001b) 하수도법 시행규칙 — 2001년 10월 5일 개정.  
Barnard, J.L., Weston, P. and Coleman, P. (2001) Design and Operational Considerations for the Largest SBR Plant, *Proceedings of the Water Environment Federation 74th Annual Conference & Exposition*, Atlanta, Georgia, USA, October 13-17.  
Bratby, L., Johnson, D., Parker, B., Van Derveer (2001) Are activated sludge simulation models useful to operators?, *Proceedings of the Water Environment Federation 74th Annual Conference & Exposition*, Atlanta, Georgia, USA, October 13-17.  
Buhr H., Lee M., Narayanan B., Leveque, E., Pai P., Johnson W., Dold, P. (2001) Using computer simulation to optimize BNR design. *Proceedings of the Water Environment Federation 74th Annual Conference & Exposition*, Atlanta, Georgia, USA, October 13-17.  
Henze, M., Grady, C.L.P., Gujer, G.V., Marais, R. and Matsuo, T. (1987) Activated Sludge Model No. 1, *LAWPRC Scientific and Technical Report No. 1*, London, IAWPRC.  
Henze, M., Grady, C.L.P., Gujer, G.V., Marais, R. and Matsuo, T. (1995) Activated Sludge Model No. 2, *LAW Scientific and Technical Report No. 3*, London, IAW.