

## 2단 간헐 포기조의 포기/비포기 시간비에 따른 영양염류 제거특성

김 흥 태 · 신 석 우 · 오 상 화 · 권 성 현\*  
경북대학교 토목공학과, \*경상대학교 해양환경공학과  
(2004년 1월 14일 접수; 2004년 7월 19일 채택)

### Nutrients removal on Oxidic/Anoxic time ratio in 2-stage-intermittent-aeration reactor

Hong-Tae Kim, Seok-Woo Shin, Sang-Hwa Oh and Sung-Hyun Kwon\*

Department of Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

\*Department of Marine Environmental Engineering, KyeongSang National University, Jinju 660-710, Korea

(Manuscript received 14 January, 2004; accepted 19 July, 2004)

This study was conducted to remove organics and nutrients using 2 stage intermittent aeration reactor. First reactor, using suspended microbial growth in intermittent aeration instead of anaerobic reactor in the typical BNR process, used minimum carbon source to release P, and it was possible to reduce ammonia loading going to second reactor. In the second reactor, using moving media intermittent aeration, it was effective to reduce nitrate in non-aeration time by attached microorganisms having long retention time. In aeration time, nitrification and P uptake were taken place simultaneously.

From the experiment, two major results were as follows.

First, the removal of organics was more than 90%, and optimum aeration/non-aeration time ratio for organic removal was corresponded with aeration/non-aeration time ratio for nitrogen removal.

Second, in the first reactor, optimum aeration/non-aeration time ratio was 15/75 (min.) because it was necessary to maintain 75 min. of non-aeration time to suppress of impediment of return nitrate and to lead release of phosphate. In the second reactor, optimum aeration/non-aeration time ratio was 45/90 (min.).

Key Words : Intermittent Aeration, Biological Nutrients Removal(BNR), Carbon Source, Oxidic/Anoxic Time ratio

#### 1. 서 론

질소와 인과 같은 영양염류는 부영양화를 유발하는 주요물질로 최근에 이들의 적절한 처리가 요구되고 있다. 질소와 인을 동시에 제거하는 공법으로는  $A_2O$ , MUCT, Bardenpho, VIP 등 다수의 공법이 개발되어 있으나 우리나라 하수 처리장의 경우, 유기물질의 농도가 상대적으로 낮기 때문에 기존의 활성 슬러지 공정에서 BNR(Biological Nutrient Removal)공정으로 변형하여 운영하여도 효과적인 T-N 제거는 어려운 실정이다. 최근에는 이러한 문제점들을

을 해결하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 생물학적으로 질소 및 인을 처리하는 경우, 영양염류의 제거효율은 유입수의 특성에 크게 영향을 받는다. 도시하수의 경우 1 mg/L의  $NO_3^-$ -N을 탈질 소화시키는데 탄소원으로 약 8.6 mg/L의 COD농도가 필요하고, 유출수중의 T-P 농도를 1 mg/L이하로 하기 위해서는 BOD/T-P비가 20이상이어야 하며, 1 mg/L의 인을 제거하는데 약 50 mg/L의 COD 농도가 필요한 것으로 보고되고 있다<sup>1)</sup>.

간헐포기 공정은 질소 및 인 제거에 필요한 유입수내 유기물질을 효과적으로 활용할 뿐만 아니라 기존의 공간적인 개념에서 새로운 시간적인 개념의 반응기작이다. 또한 기존의 활성 슬러지 공정에 단지 공기의 주입여부에 따라 적용이 가능한 방법이며 단일 반응조에서 유기물질과 질소제거 및 과잉

Corresponding Author : Hong-Tae Kim, Department of Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea  
Phone : +82-53-950-5611  
E-mail : htkim@knu.ac.kr

인 섭취까지 수행함으로써 기존 BNR 공법에서 여러 대의 반응조를 사용하는 대신 하나의 반응조를 사용함으로써 보다 경제적인 방법으로 인식되고 있다<sup>2,3)</sup>. 또한 회전매체를 가진 반응조에 간헐포기방식을 채택한 공법은 질소, 인 제거 미생물의 활동에 적합한 환경을 인위적으로 조성하여, 영양소를 효과적으로 제거할 수 있으며, 회전매체의 부착미생물과 부유미생물의 동시확보로써 미생물의 체류시간을 길게 유지하여, 동적부하나 충격부하에서도 안정된 운전을 가능하게 함으로써 영양소 제거에 유리한 조건을 가진다.

기존의 혐기조와 간헐포기조로 이루어진 공정의 경우, 혐기조에서 과도한 인 방출로 인한 탄소원의 소모로 간헐포기 반응조에서는 탈질에 필요한 탄소원의 부족현상이 관찰되었으며, 이로 인해 전체적인 질소제거효율의 저하가 초래되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 2개의 반응조를 모두 간헐포기조로 운영하고 두 번째 반응조에는 회전매체를 사용하여 포기/비포기 시간비에 따르는 제거효율의 변화를 연구하여 최적의 포기/비포기 시간비를 도출하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

실험에 사용된 반응조의 모식도는 Fig. 1에 나타내었는데, 제 1 반응조는 높이가 큰 원통형 반응조를 사용하여 효율적인 흐름이 유지되도록 하였고, 제 2 반응조에는 원판형의 회전매체를 포함하는 직육면체 형태의 반응조를 사용하였다. 제 1 반응조의 체적은 각 Csa의 HRT에 따라 1.35 L와 1.58 L로

조절하였으며 제 2 반응조의 경우 6.5 L였다. 제 2 반응조에 사용된 원판형 회전매체의 경우 지름이 12 cm인 아크릴 원판을 1.4 cm간격으로 23개를 사용하였다. 미생물의 농도를 일정하게 유지하기 위하여 침전지에서 제 1반응조로 슬러지 반송을 하였다. 반응조 교반을 위해 제 1 반응조는 교반모터를 사용하였으며, 제 2 반응조는 회전매체를 이용하여 교반하였다. 또한 간헐 포기를 실시하기 위해 각 반응조에 산기관과 타이머를 장착하여 운전하였다. 자세한 반응조의 제원은 Table 1에 나타내었다.

### 2.2. 실험방법

#### 2.2.1. 운전조건

반응조는 외부의 온도를 일정하게 유지하기 위해서 20°C로 유지되는 항온실에서 운전하였으며, 실험 기간 중 포기시 각 반응조의 DO농도는 약 4.0 mg/L를 유지하였고 pH는 운전기간동안 전 반응조에 걸쳐 7.0~8.0사이였다. 제 1 반응조의 MLSS농도는 2500~3500 mg/L, 제 2 반응조의 MLSS농도는 3000~4000 mg/L를 유지하였다. 본 연구에 사용된 유입수는 대도시 하수종말처리장의 유입수를 사용하였으며, COD, T-N, 그리고 T-P 농도를 조절하기 위하여 각각  $C_6H_{12}O_6$ ,  $NH_4Cl$ ,  $KH_2PO_4$ 를 사용하였다. 또한, 유입수내 pH를 조절하기 위해서는  $NaHCO_3$ 를 사용하였다. 본 실험에 사용된 유입수의 성상은 COD, T-N,  $PO_4^{2-}$ -P가 각각 290~320 mg/L, 26~30 mg/L, 5.1~6.1 mg/L였다. 본 연구는 포기/비포기 시간비에 따라 질소와 인의 제거특성을 조사하였으며, 포기/비포기 시간비를 제외한 다른 반응인자는 일정 범위 내에서 고정하여 수행하였다. 수

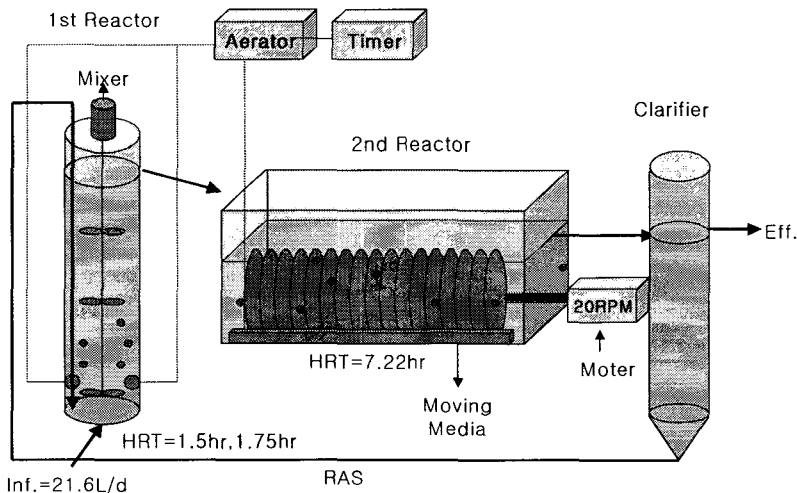


Fig. 1. Schematic Diagram of Reactor.

## 2단 간헐 포기조의 포기/비포기 시간비에 따른 영양염류 제거특성

Table 1. Description of Reactor

Items	Description
Reactor	· 1st Reactor: Cylindrical Acryl Plastic(Φ7.7cm×H40cm) Effective Volume: 1.35L, 1.575L · 2nd Reactor: Rectangular Acryl Plastic(36cm×16.2cm×18cm) Effective Volume: 6.5L
Media	Shape: Circle(Φ12cm×23 EA) Spacing: 1.4cm Material: Acryl
Mixer	Induction motor-24 (220V, 60Hz, 1500rpm)
Aerator	Bar type Aerator
Pump	Cole-Parmer, NO.7553-77, (6~600rpm)
Timer	TYP 026.1 (220V, 60Hz), 15min×96 Scales

Table 2. Cycle Time of Intermittent Aeration

Case	HRT(hr) 1st Reactor/ 2nd Reactor	1st Reactor			2nd Reactor		
		aeration/ non-aeration(min)	aeration : non-aeration	HRT/ cycle	aeration/ non-aeration(min)	aeration : non-aeration	HRT/ cycle
1	1.5 / 7.22	30 / 60	1 : 2	1	45 / 60	1 : 1.33	4.13
2	1.5 / 7.22	15 / 75	1 : 5	1	45 / 60	1 : 1.33	4.13
3	1.75 / 7.22	30 / 75	1 : 2.5	1	45 / 60	1 : 1.33	4.13
4	1.75 / 7.22	15 / 75	1 : 5	1.17	60 / 90	1 : 1.5	2.89

질분석은 Standard Methods<sup>7)</sup>에 의하여 분석하였다.

### 2.2.2. 운전방법

본 실험은 2단 간헐 포기조로 유기물질, 질소, 인의 제거에 관하여 연구하였다. 제 1 반응조를 혐기조 대신 부유성장 간헐포기조로 대체함으로써 비포기시 인 방출에 필요한 최소한의 탄소원만 사용하고 또한 포기시 약간의 질산화를 동시에 수행함으로써 제 2 반응조로 들어가는 암모니아 부하량을 줄일 수 있다. 전체적으로 짧은 HRT(1.5 h, 1.75 h)에 간헐포기를 실시함은 인방출을 수행함과 동시에 제 2 반응조에서 탈질반응에 필요한 탄소원을 확보하기 위함이다. 제 1 반응조의 포기/비포기 시간비는 30/60(min), 15/75(min), 30/75(min)로 변화를 주었다. 제 2 반응조의 경우, 회전매체를 가진 간헐포기 반응조를 사용함으로써, 회전매체의 긴 체류시간에 의한 비포기시 탈질수행과 포기시간동안 질산화와 인 섭취가 가능하도록 유도하였다. 제 2 반응조의 HRT는 제 1 반응조보다 상당히 긴 7.22 hr으로 고정하여 간헐포기를 실시하였으며, 포기/비포기 시간비는 각각 45/60(min)과 60/90(min)로 변화시켰다. 2개의 반응조만을 사용함으로 기존의 BNR공정에 비해 부지확보가 용이하고 최적의 포기/비포기 시간비를 도출함으로써 질소 및 인제거 성능을 극대화 되도록 하였다.

각 Case별 반응조 운전조건은 Table 2에 나타내었다. Case 1과 3의 경우 제 2 반응조의 포기/비포기 시간비는 고정하고 제 1 반응조의 포기/비포기 시간비에서 비포기 시간을 변화 시켰으며, Case 2와 4의 경우는 제 1 반응조의 포기/비포기 시간비는 고정시키고 제 2 반응조의 포기/비포기 시간비를 변화시켰다. 각 반응기의 HRT와 포기/비포기 주기를 비교해 보면 제 1 반응조의 경우, 인방출에 최소한의 탄소원을 소비할 수 있도록 하기 위해 약 1회 정도의 주기를 가지며 제 2 반응조의 경우, 탈질효율을 높이기 위하여 최소 2회 이상의 주기를 가지도록 하였으며, 전체적으로는 비포기 시간을 길게 운전하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Table 3은 각 Case별 실험결과를 나타내었다. 간헐포기를 수행하였기 때문에 각 반응기내의 시료는 포기와 비포기 마지막 순간에 각각 채취하였다.

Case 1을 제외하고는 모든 Case에서 인 방출 현상이 관찰되었으며 이는 간헐포기에서 인 방출을 위하여 최소한의 비포기 시간이 필요하며, 방출되는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 농도를 고려하여야 함을 알 수 있다. 본 실험에서는 유출수내 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 반응으로 인한 제 1 반응조의 인 방출 저해를 방지하기 위하여 Case 2,

Table 3. Operating Results of each case

Case	HRT (hr) (1st/2nd)	aeration/ non-aeration (min)	Item	Inf. (mg/L)	1st Reactor				2nd Reactor			total removal (%)
					non aeration (mg/L)	aeration (mg/L)	mean (mg/L)	removal (%)	non aeration (mg/L)	aeration (mg/L)	mean (mg/L)	
1	1.5/7.22	30/60 (1st R)	COD <sub>Cr</sub>	294.88	58.72	42.88	50.80	82.77	20.38	21.32	20.85	92.93
			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.00	0.56	3.60	2.08		8.68	9.21	8.95	
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	26.40	6.81	4.72	5.77	78.14	0.51	1.22	0.87	96.72
		45/60 (2nd R)	T-N	26.40	7.37	8.32	7.85	70.27	9.19	10.43	9.81	62.84
			PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	5.40	3.41	2.01	2.71		1.89	1.80	1.85	65.83
2	1.5/7.22	15/75 (1st R)	COD <sub>Cr</sub>	306.71	46.62	36.48	41.55	86.45	14.26	13.64	13.95	95.45
			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.29	0.33	0.88	0.61		5.54	5.94	5.74	
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	26.23	7.83	7.22	7.53	71.29	1.75	1.29	1.52	94.21
		45/60 (2nd R)	T-N	26.52	8.16	8.10	8.13	69.34	7.29	7.23	7.26	72.62
			PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	5.12	9.69	6.02	7.86		1.00	0.68	0.84	83.59
3	1.75/7.22	30/75 (1st R)	COD <sub>Cr</sub>	316.67	49.98	33.29	41.64	86.85	15.64	16.12	15.88	94.99
			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.00	0.67	4.11	2.39		10.00	9.56	9.78	
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	29.82	9.58	7.45	8.52	71.43	0.66	1.07	0.87	97.10
		45/60 (2nd R)	T-N	29.82	10.25	11.56	10.91	63.41	10.66	10.63	10.65	64.30
			PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	6.19	8.24	4.86	6.55		1.01	0.86	0.94	84.89
4	1.75/7.22	15/75 (1st R)	COD <sub>Cr</sub>	297.64	50.13	29.13	39.63	86.69	10.94	10.99	10.97	96.32
			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.28	0.16	0.96	0.56		6.30	6.53	6.42	
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	27.01	10.14	9.23	9.69	64.12	2.01	2.10	2.06	92.39
		60/90 (2nd R)	T-N	27.29	10.30	10.19	10.25	62.44	8.31	8.63	8.47	68.96
			PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	5.65	18.80	10.39	14.60		1.62	1.49	1.56	72.48

3, 4에서 경우처럼 제 1 반응조가 75분 이상의 비포기 시간을 필요로 하였다.

### 3.1. 유기물질

유기물질은 Table 3에 나타난 바와 같이 각 Case에 상관없이 90%이상의 COD 제거효율을 나타내었다. 이는 혐기상태에서 인 제거 미생물들이 인을 방출하는 과정에서 에너지원으로 COD농도의 약 70~80%를 소모하며 무산소 상태에서는 탈질소화의 탄소원으로 COD 농도가 제거되었기 때문에 사료된다. 본 반응조는 간헐포기로 수행되기 때문에 유기물질은 제 1 반응조의 경우, 비포기시 인 방출과 반응되는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 탈질에 탄소원으로 유기물질이 사용되었고 제 2 반응조의 경우, 포기시 유기물질 산화와 비포기시 질산화된 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 탈질에 주로 사용되었다. 제 1 반응조가 전체적으로 짧은 HRT로 운전되었음에도 불구하고 상당량의 유기물질이 제거되었으며 이는 비포기 시간에 인방출과 반응되는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N제거에 상당한 유기물을 소모하였기 때문이다. 전 Case에서 유기물질 제거에서는 뚜렷한 차이가 보이지 않았으며 간헐포기 시간을 변형하여 운전하였지만 유기물질 제거효율에는 큰 영향을 주

지 않은 것으로 나타났으며 비교적 비포기 시간이 길수록 제거효율이 약간 높은 경향을 보였다. 즉 포기/비포기 시간비 변화가 유기물질의 제거에 직접적인 영향을 미쳤다고 보다는 질산화, 탈질반응에 의한 질소제거 공정에서 탄소원 공급에 따른 간접적인 영향으로 사료되었다<sup>4)</sup>. 따라서 유기물질의 제거를 위한 최적의 시간비 선택은 질소제거를 위한 포기/비포기 시간비와 일치한다고 할 수 있다. 본 실험에서 제 1 반응조의 인방출과 반응되는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 제거를 위해 비포기 시간은 적어도 75분 이상 유지되어야 한다. 제 2 반응조 경우, 45분의 포기 시간에 질산화가 거의 수행되었으나, 질산화로 인해 증가한 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 탈질을 상당히 저조하였는데, 이는 제 2 반응조내의 탄소원 부족이 가장 큰 원인으로 사료되었으며, 주어진 유입수 조건내에서 탈질을 향상 위해서는 제 2 반응조의 비포기 시간의 경우 약 90분 정도로 증가가 요구되었다.

### 3.2. 질소

본 공정의 총질소 제거효율은 각 Case에서 약 62~72%였으며, 유출 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 농도는 5.74~9.78 mg/L였다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 경우 Fig. 2와 Table 3에서 보이듯

이 전체적으로 90%이상의 질산화를 보인다.

$\text{NO}_3^-$ -N의 경우 질소제거 효율에 결정적인 영향을 미친 항목으로 본 연구에서 가장 저조한 제거 효율을 나타내었다. Fig. 3을 보면 제 1 반응조의 포기 시간이 30분인 경우(Case 1, 3)와 15분인 경우(Case 2,4)의 질산화정도를 비교할 수 있다. 제 2 반응조의 경우  $\text{NO}_3^-$ -N제거를 위해 긴 HRT로 운전되었음에도 불구하고 유출되는  $\text{NO}_3^-$ -N의 농도는 상당히 높았다. 이는 제 2 반응조로 유입되는 유기물질의 양이 부족할 결과로 사료되나, Randall 등이 주장하고 있는  $8.6 \text{ mg COD/mg NO}_3^-$ -N<sub>rem</sub> 보다는 상당히 적은 양이다<sup>1)</sup>. 또한 제 1 반응조에서 시간비가 30/75(min.)에서 인제거 기작과 질산화가 어느 정도 발생하였으므로 제 2 반응조의 포기 시간을 감소시켜, 제한된 탄소원을 이용한 탈질을 유도하기 위해 상대적인 비포기 시간의 증가가 필요한 것으로 사료된다. 제 2 반응조에서 최소 45분의 포기 시간에도 질산화가 거의 완료되었으므로, 제 2 반응조의 포기/비포기 시간비는 45/90(min.)이 적당한 것으로 조사되었다. 그러나 질산화 반응은 양호한 편이나 제 2 반응조 비포기시 탈질 효율이 떨어져 전체적인 T-N제거율은 저조한 편이다. Case 1과 3의 제 1 반

응조의 경우 약 70%정도의 질산화를 보이고 있으며 이것을 통하여 제 1 반응조의 경우 30분 이상의 포기는 불필요한 것으로 판단된다. 즉 제 1 반응조에서 인 방출을 유도하기 위해서는 포기/비포기 시간비가 15/75(min.)정도가 적당한 것으로 사료되었다.

### 3.3. 인

생물학적 인 제거 공정에서 유입수의 COD:P의 비율은 매우 중요한 인자이며, 이 비율은 먹이의 분배를 결정하여, 서로다른 미생물 종의 군집을 결정하게 된다. 실험기간동안 본 공정의 COD:P의 비율은 약 50:1에서 유출수의  $\text{PO}_4^{2-}$ -P농도는  $2.0 \text{ mg/L}$  이하를 유지하였다<sup>5)</sup>.

본 실험에서 인은 각 Case별로 다양한 결과를 보였으며, Fig. 4에서 처리효율은 포기/비포기 시간비에 따라 상당한 차이를 나타내었다. 특히 제 1 반응조의 포기/비포기 시간비에 따라 유출수의 농도 변화가 상당히 심하였다. 전체적으로 제 1 반응조에서 방출된 인의 양이 약 2 배가되는 Case 2와 3의 경우가 최적의 제거효율을 나타내었으며, 제 1 반응조의 HRT가 상대적으로 길어지는 Case 3과 4의 경우는 같은 비포기 시간이라도 포기시간의 정도에 따라 인 방출양에 상당한 차이를 나타내었다. 제 1 반응조에서 인방출은 반송되는  $\text{NO}_3^-$ -N의 영향을 직접 받게 되나, 비포기 시간이 75분 이상이 되면 그 저해현상을 무시할 수 있을 것으로 사료된다. 제 2 반응조의 경우 Case 2,3 그리고 4에서 보이듯이 45분의 포기시간에도 인 섭취현상을 보이고 있다. 또한 제 2 반응조의 비포기 상태에서 인의 방출이 우려될 수도 있으나 간헐포기조에서 유기물질의 농도가 낮고  $\text{NO}_3^-$ -N의 농도가 약  $10 \text{ mg/L}$ 를 유지하기 때문에 미생물들의 인 방출현상은 관찰되지 않았다<sup>6)</sup>. 유기물질의 농도가 높은 경우는  $\text{NO}_3^-$ -N의 농도가 높아도 인을 방출하지만 유기물의 농도가 낮은 경우는 호기상태뿐만 아니라 무산소 상태에서

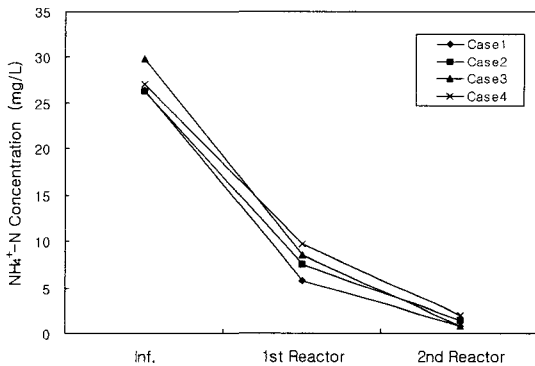


Fig. 2. Variations of Ammonia at each case.

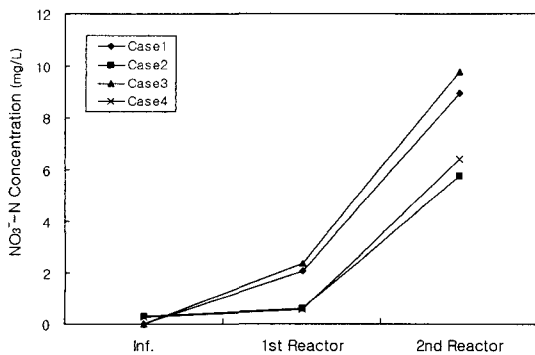


Fig. 3. Variations of  $\text{NO}_3^-$ -N at each case.

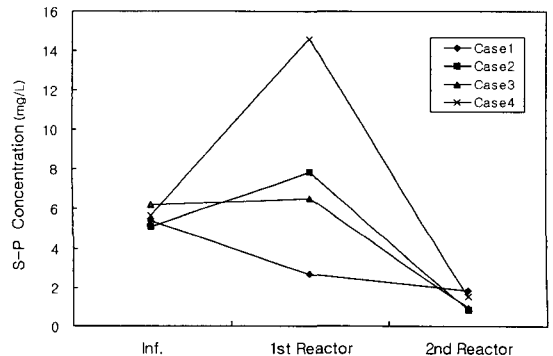


Fig. 4. Variations of Phosphorus at each case.

도 인을 섭취하는 경우가 관찰되고 있으며 이러한 미생물을 탈질 인 제거 미생물이라 하며 인섭취와 동시에 탈질을 수행하는 것으로 알려져 있다. 이 경우 혐기조에서 미생물 체내에 저장한 PHB를 무산소 상태에서 전자 수용체로써 외부 탄소원 대신에 사용함으로써 탈질과 인섭취를 동시에 수행한다.

#### 4. 결 론

본 연구는 기존 BNR공정의 혐기-호기-무산소 반응조 중 혐기조 대신에 부유성장 미생물을 이용하는 반응조에 간헐포기 공정을 도입하고, 호기, 무산소조를 동시에 수행하는 회전매체를 가진 간헐포기조를 사용하여 포기/비포기 시간비에 따른 유기물질과 질소 및 인의 제거특성에 관하여 조사하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 반응조 전체 유기물질의 제거율은 90%이상으로 나타났으나, 전 Case에 걸쳐 간헐포기 시간을 변형하여 운전하였지만 유기물질 제거효율에는 큰 영향을 주지 않은 것으로 나타났으며 비교적 비포기 시간이 길수록 제거효율이 약간 높은 경향을 보였다. 또한 유기물질 제거를 위한 최적의 포기/비포기 시간비는 질소 제거를 위한 포기/비포기 시간비와 거의 일치하였다.
- 2) 제 1 반응조에서 인 방출을 유도하고 반송  $\text{NO}_3^-$ -N의 저해현상을 억제하기 위해서는 비포기 시간을 75분이상 유지가 필요하며, 이 경우 본 연구에서는 약 6 mg/L까지는 인 방출을 저해하지 않는 것으로 조사되었으며, 이에 따라 제 1 반응조의 적정 포기/비포기 시간비는 15/75 (min.)으로 나타났다. 또한, 제 1 반응조에서 포기/비포기 시간비가 30/75(min.)에서 인섭취 기작과 질산화가 발생하였으므로 제 2 반응조의 경우에도 포기/비포기 시간비를 줄여 제한된 탄소원에서 내생탈질을 유도하기 위해 상대적인 비포기 시간의 증가가 필요한 것으로 조사되었다. 본 연구에서 제 2 반응조의 적정 시간비는 45/90(min.)으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Randall, C. W., J. L. Barnard and H. D. Stensel, 1992, Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal, Technomic Publishing Company, Inc., 16-20pp.
- 2) Koottatep, S., C. Leesanga and H. Araki, 1994, Intermittent aeration for nitrogen removal in small aerated lagoon, Wat. Sci. Tech., 28(10), 335-341.
- 3) Zhao, H. W., D. S. Mavinic, W. K. Oldham and F. A. Koch, 1999, Controlling factors for simultaneous nitrification and denitrification in a two-stage intermittent aeration process treating domestic sewage, Wat. Res., 33(4), 961-970.
- 4) Zhao, H. W., D. S. Mavinic, W. K. Oldham and F. A. Koch, 1998, Factors affecting phosphorus removal in a two-stage intermittent aeration process treating domestic sewage, Wat. Sci. Tech., 38(1), 115-122.
- 5) Osada, T., K. Haga and Y. Harada, 1991, Removal of Nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process, Wat. Res., 25(11), 1377-1388.
- 6) Kousei, S., Y. Yasuji, T. Kazushi, O. Sachiko and M. Yutaka, 1996, Development of 2-reactor intermittent-aeration activated sludge process for simultaneous removal of nitrogen and phosphorus, Wat. Sci. Tech., 34(1-2), 111-118.
- 7) APHA, AWWA and WEF, 1998, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition.