

## 4단 간헐포기 공정의 운전조건이 고도처리에 미치는 영향

최용범<sup>1</sup>, 이정규<sup>1</sup>, 한동준<sup>2</sup>, 권재혁<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>강원대학교 환경공학과, <sup>2</sup>강원도립대학 소방환경방재과

### Effect of Advanced Wastewater Treatment by Variations Operating Conditions of 4-stage Intermittently Aerated Activated Sludge process

Yong-Bum Choi<sup>1</sup>, Jeong-Gyu Lee<sup>1</sup>, Dong-Joon Han<sup>2</sup> and Jae-Hyouk Kwon<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Environmental Engineering Kangwon National University

<sup>2</sup>Dept. of Fire-Environmental & Gangwon Provincial College

**요약** 본 연구는 간헐포기 공정을 이용하여 생활하수의 고도처리 효율을 증진시키는 방안을 제시하고자 수행되었다. 운전기간동안 유기물 제거효율 검토 결과, HRT 9hr 이상에서 TCODcr와 TBOD의 제거효율은 각각 91.1~96.3%와 91.4~97.5%로 높은 제거효율을 나타냈으나, HRT가 6hr에서는 각각 86.9~90.5%, 88.0~90.9%로 제거효율이 감소된 것으로 조사되었다. NH<sub>3</sub>-N은 HRT 9hr 이상에서는 95% 이상의 높은 제거효율을 나타냈으며, T-N 제거효율은 HRT 9~12hr에서 67.6~76.7%, HRT 6hr에서는 50%로 감소되었는데 이는 탈질에 필요한 탄소원이 부족하기 때문이다. 운전기간동안 T-P 제거효율은 평균 32%로 낮게 조사되었는데 강화되는 법적기준을 준수하기 위해서는 반응조 후단에 화학적 인 제거 공정이 필요한 것으로 사료된다.

**Abstract** An evaluation of the organic matter removal efficiency showed high removal efficiencies of 91.1~96.3% and 91.4~97.5% for TCODcr and TBOD5, respectively, for 9hr or longer of HRT. However, the removal efficiencies decreased to 86.9~90.5% and 88.0~90.9%, respectively for 6hr of HRT. NH<sub>3</sub>-N showed a high removal efficiency of 95% or higher for 9hr or longer of HRT. The total nitrogen removal efficiency was 67.6~76.7% for 9~12hr of HRT, and it decreased to 50% for 6hr of HRT, which seems to be due to the insufficient carbon source required for denitrification. The T-P removal efficiency was 32% on average. To comply with the legal standards, a chemical phosphorus removal process is needed after the reactor.

**Key Words** : Advanced Wastewater Treatment, Intermittently Aerated Activated Sludge Process, Municipal Wastewater

### 1. 서론

국내 하수처리장의 톤(ton)당 처리비용은 '00~'09년까지 4.2~9.8%씩 증가해 왔으며, 장차 방류수질 강화로 수질기준을 초과하는 시설이 늘어날 것으로 예상된다[1]. 일반적으로 국내에서 적용된 하폐수 처리공정은 표준 활성슬러지법, 접촉 산화법, 살수여상법, 회전원판법 등이 있으며, 이중 유기물 제거효율이 비교적 좋은 활성슬러지

공정이 보편적으로 사용되고 있다. 그러나 활성슬러지공정은 유기물 제거에는 효과적이거나 질소(T-N)와 인(T-P)과 같은 영양염류 제거에는 적합하지 않아 강화되는 방류수질기준을 유지하기 어렵다. 따라서 전국의 활성슬러지공정은 점차 고도처리 공정으로 전환되고 있다.

상업화에 성공적으로 적용된 대표적인 고도처리공정으로 A<sup>2</sup>O, Bardenpho, UCT 공정 등이 있다. 이들 공정들은 처리 효율적 측면에서는 안정적이거나, 유지관리상 고

\*Corresponding Author : Jae-Hyouk Kwon (Kangwon University)

Tel: +82-33-570-6577 email: environ4@kangwon.ac.kr

Received October 24, 2012

Revised (1st January 9, 2013, 2nd February 4, 2013)

Accepted February 6, 2013

도의 기술을 요구하고 있다[2]. 최근에는 반응조의 운전 방식을 고정하지 않고 폐수의 특성에 따라 운전방식을 변화시킬 수 있는 간헐포기와 같은 dynamic state 운영방식이 많이 적용되고 있으며, 제거효율을 증가시키기 위하여 용존산소나 ORP를 이용하여 시스템을 제어하고 있는 추세이다[3]. 그러나 가동 중에 있는 처리시설들을 새로운 시설로 변경할 경우 경제적인 문제가 발생하게 된다. 따라서 이러한 단점을 해결하고자 현재 처리시설에서 운전방식을 전환시켜 영양염류를 효과적으로 처리할 수 있다면 경제적인 방법이 될 것이다.

본 연구에서 적용한 간헐포기 활성슬러지 공정은 각 반응조 운전조건을 호기, 무산소, 혐기 공정으로 전환시킴으로서 유입수의 특성에 따라 운전조건을 전환시킬 수 있는 장점이 있다. 현재 간헐포기 활성슬러지 공정을 적용할 때 단일(sing-stage) 공정보다 2단(two-stage)등의 다단으로 운영하는 것이 질소 및 인의 처리효율에 효과적이라고 보고되고 있다[3].

본 연구에서는 경제적인 공정으로 관심이 점차 증가되고 있는 간헐포기 공정을 이용하여 생활하수의 고도처리 효율을 증진시키는 방안을 제시하고자 수행되었다. 특히 반응조내의 질소거동을 관찰함으로써 간헐포기 공정의 효율적 운영 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 실험재료 및 방법

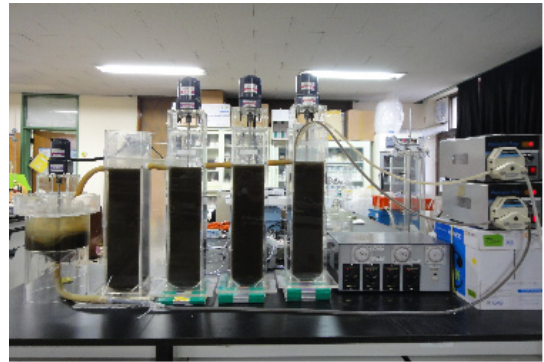
### 2.1 실험재료 및 장치

본 연구에 사용된 시료는 S시 하수종말처리장의 유입수를 사용하였으며, 성상변화를 최소화하기 위하여 1일 1회 채취하였다. Table 1은 운전기간동안 유입하수 성상을 분석한 결과로, TCODcr은 172~278mg/L, TBOD는 100~177 mg/L로 조사되었으며, T-N은 25~39mg/L, T-P는 3.0~7.0mg/L 범위로 조사되었다.

[Table 1] Characteristics of raw wastewater  
(Unit : mg/L, except pH)

Items	Range	Average
SS	50~102	76
pH	6.7~7.2	7.0
TCODcr	172~278	214
SCODcr	100~145	119
TBOD <sub>5</sub>	100~177	128
SBOD <sub>5</sub>	41~105	73
T-N	25~39	33
NH <sub>3</sub> -N	25~39	32
T-P	3.0~7.0	4.2
Alkalinity(as CaCO <sub>3</sub> )	140~190	170

본 연구에 사용된 반응조는 Fig. 1에 제시한 바와 같이 4-stage로 구성되어 있으며, 각 반응조의 유효 용적은 5.0L로 투명한 아크릴수지를 이용하여 제작하였다. 또한 효과적인 혼합을 위해 반응조 하단에는 회전반경이 큰 프로펠러를 설치하였다. 침전지 형태는 원형으로 하단에 경사를 두어 슬러지층의 반송 및 인출이 쉽게 제작하였다.



[Fig. 1] Photograph of laboratory unit

### 2.3 운전 및 분석방법

운전기간동안 유기물 부하는 0.36~1.00kg TCODcr/m<sup>3</sup>·d의 범위였으며, HRT는 6~12hr, 미생물 농도는 3,200~4,000mg/L로 유지하였다. 포기시 용존산소는 2~3mg/L로 유지하였고, 비포기 조건에서 용존산소가 0.2mg/L 이하로 감소하는데 걸린 시간은 10분 이내로 짧았기 때문에 혐기, 호기 조건 변환이 원활하게 이루어졌다. 각 반응조의 포기/비포기 교차시간은 1시간으로서 1, 3단 반응조의 포기/비포기 주기를 같게 설정하고, 1, 3단 반응조가 포기되는 동안 2단 반응조가 비포기로 운전되며, 4단 반응조는 상시 포기되는 간헐포기 방식을 적용하였다.

[Table 2] Operational conditions of reactor

Items	Operational Range
Hydraulic retention time(hr)	6~12
MLSS(mg/L)	3,200~4,000
Aeration/Non-Aeration time(hr)	1 / 1
Sludge return ratio (%)	50~100
TCODcr VLR(kgCODcr/m <sup>3</sup> d)	0.36~1.00
Operating Temperature(℃)	23±1
Operating Period(days)	100

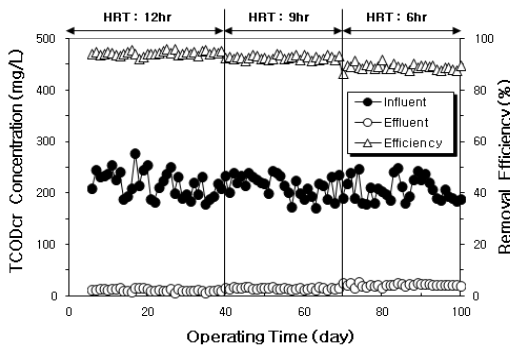
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 유기물 거동

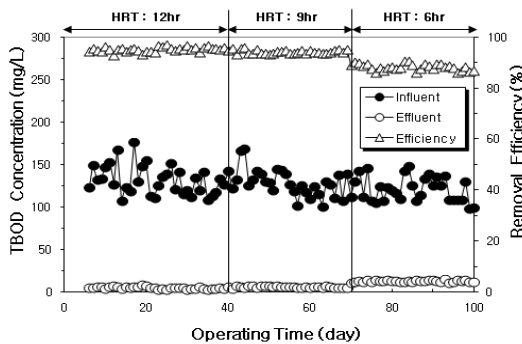
운전기간동안 유기물의 농도변화는 Table 3과 Fig. 2 와 3에 제시하였다.

[Table 3] Variation of CODcr, BOD concentration according to HRT

Items	Inf. Conc. (mg/L)	Eff. Conc. (mg/L)	Rem.(%)		
			HRT(hr)		
			12	9	6
TCODcr	172 ~278	8.0 ~28.0	94.4 ~96.3	91.1 ~92.1	86.9 ~90.5
SCODcr	100 ~145	6.0 ~21.0	93.3 ~95.0	88.2 ~89.1	82.4 ~88.0
TBOD	100 ~177	3.2 ~15.4	94.2 ~97.5	91.4 ~93.0	88.0 ~90.9
SBOD	41 ~105	2.2 ~10.1	95.5 ~97.0	92.7 ~94.6	86.2 ~92.6



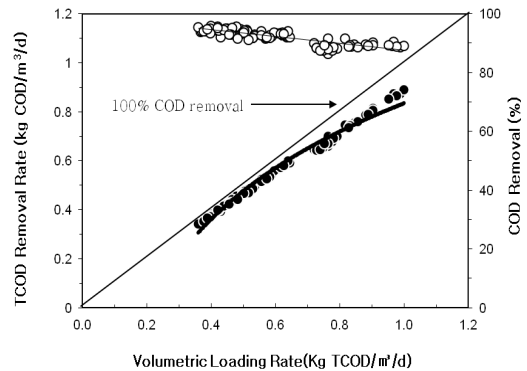
[Fig. 2] Variation of TCOdcr concentration during operating time



[Fig. 3] Variation of TBOD concentration during operating time

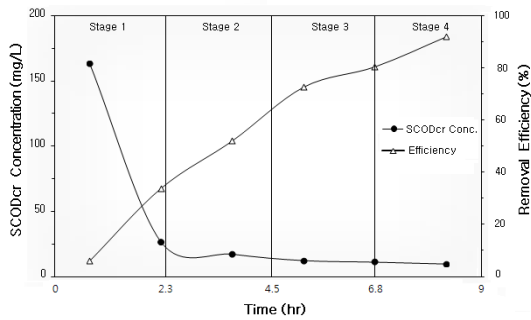
운전기간동안 유입수의 TCOdcr 농도는 172~278mg/L 범위였으며 HRT 9hr 이상에서 91.1~96.3%의 제거효율을 나타냈다. SCODcr의 제거효율 역시 HRT 9hr 이상에서 88.2~95.0%로 높은 제거효율을 보였으나 HRT 6hr에서의 TCOdcr와 SCODcr 제거효율은 각각 86.9~90.5%, 82.4~88.0%로 감소되는 것으로 나타났다. 운전기간동안 BOD의 농도변화는 HRT 9hr 이상에서는 TBOD와 SBOD 91.4~97.5%, 92.7~97.0%로 높은 제거효율을 나타냈으며, HRT가 6hr로 감소되었을 경우 CODcr의 경우와 마찬가지로 제거효율이 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 유기물 부하에 따른 제거율을 나타낸 것으로 유기물부하는 0.36~1.00kgCODcr/m<sup>2</sup>·d 범위에서 운전되어졌으며, 0.72kgCODcr/m<sup>2</sup>·d 이하에서 평균 90% 이상의 제거효율을 나타냈다. HRT와 유기물 부하를 고려하였을 경우 90% 이상의 제거효율을 얻기 위한 최적 HRT는 9hr 인 것으로 조사되었다.



[Fig. 4] TCOdcr removal efficiency due to VLR

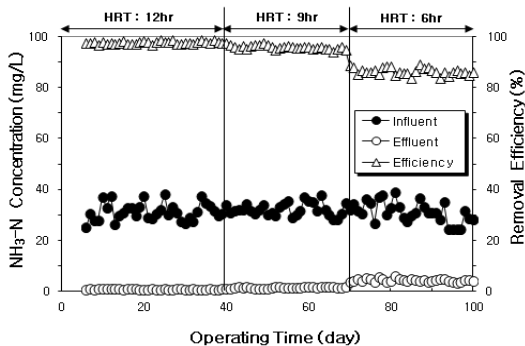
본 연구의 반응조는 4단으로 구성되어 있기 때문에 반응조 내부에서의 유기물 거동이 중요한 인자이다. Fig. 5는 HRT 9hr에서 반응조 내부의 유기물(SCODcr) 거동에 대하여 제시하였다. 유기물 제거는 stage 1에서 83.7%의 높은 제거율을 나타냈으며, stage 2 이상에서의 제거효율은 미미하였다. 반응조내 유기물 거동에 대하여 살펴본 결과, 쉽게 분해되는 물질은 stage 1에서 대부분 제거되며 그 이후 천천히 분해되는 물질들이 stage 2 이상에서 제거되는 것으로 조사되었다. Ralph 등(1982)과 John 등(1981)은 질산화 반응시 유기물 농도가 질산화의 제한인자로 작용한다고 보고하고 있는데[7,8], Fig. 5에서 나타난 유기물 제거 특징은 질산화 과정에서 유리한 요인으로 작용할 것으로 판단된다.



[Fig. 5] Variation of SCODcr concentration in each reactor of 4-stage

### 3.2 질소 거동

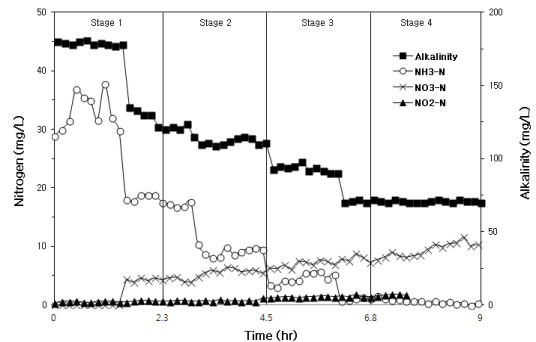
운전기간동안  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 농도변화는 Fig. 6에 제시하였다. HRT에 따른 제거효율은, 9hr 이상에서 95.0~98.8%의 효율을 나타냈다. HRT 감소에 따른  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 제거율이 감소된 이유를 Songming 등(2001)은 질산화 미생물의 성장속도가 종속영양 미생물의 성장 속도에 비해 상대적으로 느리기 때문에 질산화 작용이 저해된다고 보고하고 있다[5]. Painter 등(1977)은 질산화 반응에 관여하는 질산화 미생물의 pH 영향을 감소시키기 위해서는 폐수내 alkalinity가  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 10배 이상 되어야 한다고 보고하였는데[6], 본 연구에서는 5~7배 정도 높은 것으로 조사되었다. 또한 질산화과정에서 소비되는 alkalinity는 반응조 내 유기물 농도가 제한인자로 작용한다고 보고되고 있는데[7,8], Randolph와 Yu(1982)는 도시하수처리 연구결과 pH 7.5~8.0에서 1.0mg/L의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 이 질산화 됨에 따라 8mg/L의 alkalinity가 소모된다고 발표하였다[9].



[Fig. 6] Variation of  $\text{NH}_3\text{-N}$  concentration during operating time

Fig. 7은 HRT 9hr에서 운전기간 동안 반응조내 질소와 alkalinity 농도변화를 제시하였는데,  $\text{NH}_3\text{-N}$  농도는 점

차 감소되고  $\text{NO}_2\text{-N}$ 과  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 비율이 증가하였으며, 질산화가 진행될수록 alkalinity 농도 또한 점차 감소되는 것으로 조사되었다. 운전기간동안 질산화와 alkalinity 소모율은 Table 4에 제시하였다. 운전기간동안 질산화율은 0.72~0.98 $\text{mgNH}_3^+\text{-N}_{\text{rem}}/\text{gMLVSS}\cdot\text{hr}$  였으며, alkalinity 소모율은 6.82~7.05 $\text{mgAlk}_{\text{rem.}}/\text{mgNH}_3^+\text{-N}_{\text{rem.}}$ 로 Randolph와 Yu(1982)의 연구결과와 유사하게 나타났다.



[Fig. 7] Variation of nitrogen and alkalinity concentration in each reactor of 4-stage

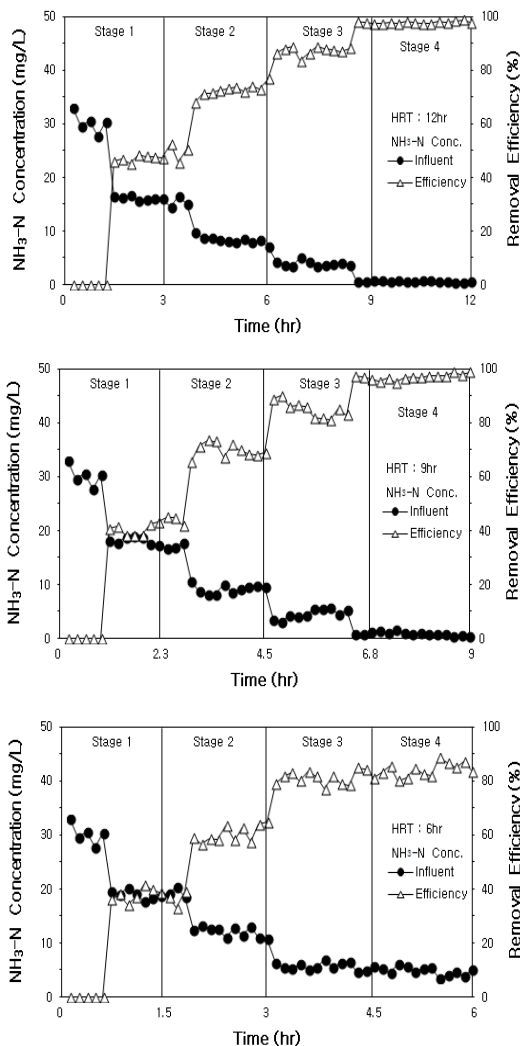
[Table 4] Nitrification rate and alkalinity consumption rate with HRT

Items	HRT(hr)		
	6	9	12
Nitrification rate ( $\text{mgNH}_3^+\text{-N}_{\text{rem}}/\text{gMLVSS}\cdot\text{hr}$ )	0.72	0.95	0.98
Alkalinity consumption rate ( $\text{mgAlk}_{\text{rem.}}/\text{mgNH}_3^+\text{-N}_{\text{rem.}}$ )	6.82	6.94	7.05

Table 5와 Fig. 8은 HRT(6~12hr)에 따른 stage 별  $\text{NH}_3\text{-N}$  제거효율을 제시하였다. 반응조 내  $\text{NH}_3\text{-N}$  제거효율을 검토한 결과 1에서 4 stage로 진행될수록  $\text{NH}_3\text{-N}$ 에 제거효율이 증가하였다. 특히 HRT 12hr에서는 stage 1과 2에서의 제거효율이 각각 45.2~52.5%, 67.9~79.7%로 조사되었으며, stage 3과 4는 각각 83.6~88.9%, 97.4~98.0%로 높은 제거효율을 나타냈다. HRT에 따른  $\text{NH}_3\text{-N}$  제거효율은 HRT 12hr에서 가장 높았으며, HRT 6hr에서 가장 낮은 것으로 조사되었다. 최종 제거효율은 HRT 9hr 이상에서는 97.4~99.0%의 높은 제거효율을 보였으나 HRT 6hr에서는 82.3~88.5%로 제거효율이 감소되었다. 따라서 3.1 유기물 거동의 결과와  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 제거효율을 검토한 결과 높은 유기물 및  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 제거효율을 얻기 위해서는 HRT 9hr가 적합한 것으로 판단된다.

[Table 5] Variation of NH<sub>3</sub>-N removal efficiency in each reactor of 4-stage (Unit : mg/L)

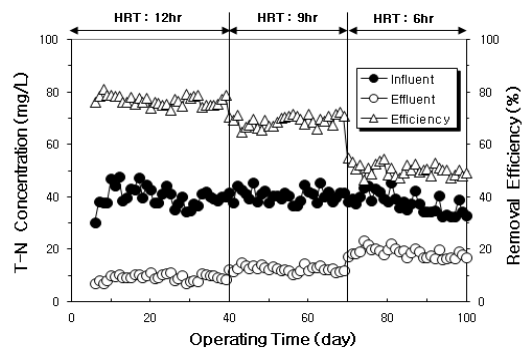
Items	Stage	Rem.(%)		
		HRT(hr)		
		6	9	12
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	Stage 1	33.1~41.6	38.0~44.9	45.2~52.5
	Stage 2	56.7~64.6	65.6~73.4	67.9~79.7
	Stage 3	77.0~83.6	81.0~88.5	83.6~88.9
	Stage 4	80.0~85.6	94.8~97.4	97.4~98.0
Total Removal		82.3~88.5	97.4~98.7	97.7~99.0



[Fig. 8] Variation of NH<sub>3</sub>-N concentration in each reactor of 4-stage

Fig. 9는 운전기간동안 질소 농도 변화에 대하여 제시하였다. 운전기간 동안 유입 T-N 농도는 30~48mg/L 였으며, 유출은 7~23mg/L 범위로 HRT에 따라 유출수 농도가 증가하는 것으로 조사되었다. HRT 9~12hr에서 제거효율은 67.6~76.7%를 나타냈으나, HRT가 6hr에서는 평균 51%로 감소하였다.

이런 결과는 3.1절 유기물 거동의 Fig. 5와 함께 설명할 수 있다. 탈질화 과정에 관여하는 미생물은 임의성 중속영양 미생물(heterotrophs)로 반응조내 무산소 상태의 유지와 전자공여체(electron donor)인 유기탄소원이 필수적으로 필요하다. 그러나 Fig. 5의 유기물 제거 특성을 살펴보면 stage 1에서의 유기물(SCODcr)의 83%가 제거되어 탈질과정에서 소모되는 탄소원이 부족하기 때문에 효율적인 T-N 제거가 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 따라서 효율적인 질소 제거를 위해서는 탄소원의 주입이 필요한 것으로 사료된다.



[Fig. 9] Variation of T-N concentration during operating time

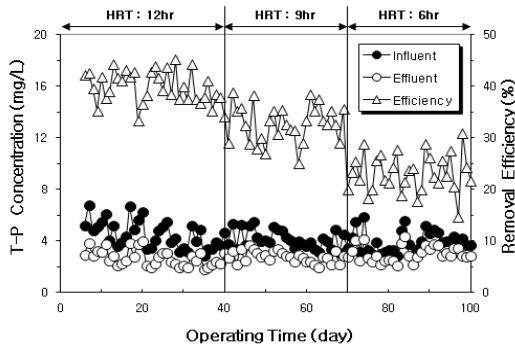
### 3.3 인 거동

운전기간동안 T-P의 유입농도는 평균 4.2mg/L 이었으며 유출수 평균 농도는 2.9mg/L로 조사되었다. 제거효율을 살펴보면 HRT 9~12hr에서는 25.5~44.0% 정도가 제거되었으나, HRT가 6hr에서는 17.0~25.2%로 효율이 감소하였다.

T-P의 제거효율은 유기물 및 질소와 밀접한 관계가 있는데 Ekama 등 (1984)은 Phoredox 공정의 경우 완전한 탈질을 이룬 후 TKN/COD비 0.07~0.08의 범위에서 과도한 T-P 제거가 가능하지만 TKN/COD비 0.08 이상인 경우 완전한 탈질을 이루어도 인 제거는 잘 이루어지지 않는 것으로 보고하고 있다[10].

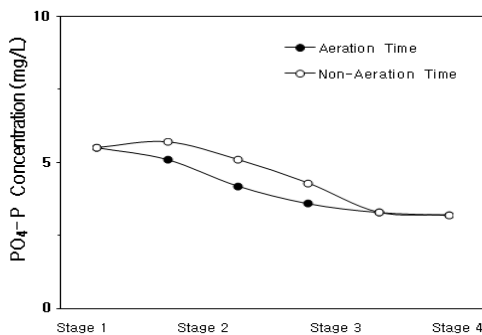
인은 호기와 무산소 단계에서 혐기 상태의 방출(release)보다 훨씬 더 많은 양이 축적(uptake)되는데 이러한 방출과 축적의 차이를 순 인 제거(net-p-elimination)이

라고 한다. 이러한 호기와 무산소 조건이 반복되는 공정을 시행함으로써 미생물들은 인이 복합 인으로 세포 안에 더 많이 저장할 수 있도록 활성슬러지 안에 농축되어 활성 슬러지 양이 증가하면 잉여슬러지로 제거함으로써 제거하게 된다[12].



[Fig. 10] Variation of T-P concentration during operating time

Fig. 11은 호기와 무산소 조건에서 반응조 내 인산염 ( $PO_4\text{-P}$ )의 농도변화를 제시한 것이다. 인산염 농도를 분석한 결과, 무산소 상태가 호기 상태보다 stage 1은 11.9%, stage 2와 3은 각각 21.4%와 19.4%가 더 높은 것으로 조사되었다. 이는 무산소 조건에서 인의 release가 이루어지고 호기 조건에서 인의 uptake가 발생한다는 Choi (2007) 등의 연구결과와도 일치하는 것이다. 따라서 생물학적 인 제거는 호기-무산소 조건의 조화를 통하여 제거할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 운전기간동안의 T-P의 평균 제거효율을 32% 이하로 조사되어 만족할 만한 결과를 얻기가 어려웠다. 따라서 앞으로 강화되는 법적기준을 유지하기 위해서는 응집제 주입과 같은 화학적 처리가 필요할 것으로 판단된다[11].



[Fig. 11] Variation of  $PO_4\text{-P}$  concentration in each reactor of 4-stage

## 4. 결론

4-Stage 간헐포기공정을 이용한 생활하수의 유기물 및 영양염류 제거특성에 대한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

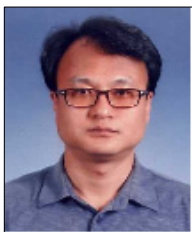
1. HRT 9hr 이상에서의 TCODcr와 TBOD<sub>5</sub>의 제거효율은 각각 91.1~96.3% 와 91.4~97.5%로 높은 제거효율을 나타냈으나, HRT가 6hr 에서의 제거효율은 각각 86.9~90.5%와 88.0~90.9%로 감소되는 것으로 조사되었다.
2.  $NH_3\text{-N}$ 은 HRT 9~12hr 범위에서 95.0~98.8% 범위의 높은 제거효율을 보였으나, HRT가 6hr 로 짧아짐에 따라 90.0~91.9%으로 감소하였으며, 질산화 과정에서 alkalinity 소모량은 6.82~7.05mg/L로 조사되었다.
3. 총 질소의 제거효율은 HRT 9~12hr 에서 67.6~76.7% 이었으며, HRT 6hr에서는 평균 50%로 조사되었는데, 이는 탈질에 필요한 탄소원이 부족하기 때문에, 효율적인 질소제거를 위해서는 탄소원의 주입이 필요하다.
4. 운전기간동안 T-P 제거효율은 평균 32%로 낮게 조사되었는데 강화되는 법적기준을 준수하기 위해서는 반응조 후단에 화학적 인 제거 공정이 필요한 것으로 판단된다.

## References

- [1] Kaejoon Woo, Hyosoo Kim, et al., "Development and Evaluation of Model-based Predictive Control Algorithm for Effluent  $NH_4\text{-N}$  in A<sup>2</sup>/O Process", *Journal of Korean Society of environmental Engineers*, Vol. 33, No. 1, pp. 25~31, 2011.
- [2] Kwan-Yong Lee, Chaang-Seock Choi, et al., "Control of the Aeration and Non-Aeration Periods by the Utilization of Dissolved Oxygen Profile at a sequence Batch Reactor(SBR)", *Journal of Korean Society of environmental Engineers*, Vol. 25, No. 8, pp. 1032~1037, 2003.
- [3] Won-Ho Lee, In-Seok Seo, et al., "Simultaneous Removal of Nitrogen and Phosphorus in Swine Wastewater by 4-stage intermittently Aerated Activated Sludge System", *J. KSWQ*, Vol. 13, No. 3, pp. 331~338, 1997.
- [4] APWA, AWWA, and WPCF, "Standard Methods for the

- Examination of Water and Wastewater”, 20th ed. 1999.
- [5] Songming Zhu, Shulin Chen, "Effects of organic carbon on nitrification rate in fixed film biofilters", *Aquacultural Engineering*, Vol. 25, pp. 1~11, 2001.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8609\(01\)00071-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8609(01)00071-1)
- [6] Painter, H. A., "Microbial Transformations of Inorganic Nitrogen”, *Prog. Wat. Tech.*, 8(4/5), pp. 3~29, 1977.
- [7] Ralph, L. E.c et al., "RBC for BOD and Ammonia Nitrogen Removals at Princeton Wastewater Treatment Plant", *Proc. 1st Intern. Conf. on Fixed-film Biological Process*, 2, pp. 590~616, 1982.
- [8] John, A. H., and Roy, D. M., "Operational Problems with Rotary Biological Contactors”, *JWPCF*, Vol. 53, No. 8, pp. 1283~1293, 1981.
- [9] Randolph, G. D., and Yu, T. S., "Assessments of Kinetic Performance of a Rotating Biological Contactor System”, *Proc. 1st Intern. Conf. on Fixed-film Biological Process*, 1, pp. 233~260, 1982.
- [10] Ekama, G. A., and Marais, G. V. R., "Theory, Design and Operation of Nutrient Removal Activated Sludge Processes”, *Water Research Commission*, Pretoria, South Africa, 1984.
- [11] Cheng, W. P., Chi, F. H. and Yu, R. F., "Effect of phosphate on removal of humic substances by aluminum sulfate coagulant”, *Colloid and Interface Sci*, Vol. 272, pp. 153~157, 2004.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2003.08.074>
- [12] Choi, H. J., Lee, S. M., "Characteristics of biological phosphorus removal in the MBR”, *Journal of Korean Society of environmental Engineers*, Vol. 29, No. 2, pp. 197~204, 2007.

**최 용 범(Yong-Bum Choi) [정회원]**



- 1999년 2월 : 강원대학교 환경공학(공학석사)
- 2011년 2월 : 강원대학교 환경공학(공학박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 환경공학과 강원도립대학 소방환경방재과 강사

<관심분야>  
수질관리, 고도처리

**이 정 규(Jeong-Gyu Lee) [정회원]**



- 2011년 2월 : 강원대학교 환경공학과(공학사)
- 2012년 2월 : 강원대학교 환경공학과(공학석사)

<관심분야>  
수질관리, 고도처리

**한 동 준(Dong-Joon Han) [정회원]**



- 1992년 2월 : 강원대학교 토목공학과(공학석사)
- 1996년 8월 : 강원대학교 토목공학과(환경공학 박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 강원도립대학 소방환경방재과 교수

<관심분야>  
수질관리, 고도처리

**권 재 혁(Jae-Hyok Kwon) [정회원]**



- 1990년 8월 : 강원대학교 토목공학과(공학석사)
- 1994년 8월 : 강원대학교 토목공학과(환경공학 박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 환경공학과 교수

<관심분야>  
수질관리, 고도처리