

## SBR공정의 무산소-호기 구간반복에 따른 영양염류 제거 특성

# Characteristics of Nutrient Removal with Variation of the Anoxic-Oxic Phase Repetition in Sequencing Batch Reactor Process

이 재 근<sup>1)</sup> · 임 수 빈<sup>†</sup>

Lee, Jaekune · Yim, Soobin

**ABSTRACT** : This study was performed to investigate the characteristics of nutrient removal by Sequencing Batch Reactor (SBR) system, which could achieve high removal efficiencies of nitrogen and phosphorus and make it possible convenient management and operation. In this study, dissolved oxygen (DO), chemical oxygen demand (COD), nitrogen, and phosphorus in SBR system were examined by variation of anoxic-oxic phase repetition in order to optimize an operational method. The 1~4 times of anoxic-oxic phases (Run 1~4) were repeated during 1 cycle operation period. As the repetition frequency increased, it was more difficult to maintain DO condition enough for denitrification. The SBR system showed high COD removal efficiency more than 91% regardless of operational condition. About 68% of nitrogen removal rate was obtained in conditions of 2 or 3 times repetition of anoxic phases, in which NO<sub>x</sub>-N among discharged total nitrogen account for more than 99%. Approximately 40% of phosphorus was eliminated in the conditions of 1~3 times of anoxic phase repetition.

**Keywords** : Sequencing Batch Reactor, Nitrogen, Anoxic phase, Oxic phase

**요 지** : 본 연구에서는 소규모 처리공법으로서 질소와 인을 효율적으로 제거할 수 있으며, 관리 및 운전이 용이한 연속회분식반응조(SBR)공정의 영양염류 제거특성에 대하여 연구하였다. 특히, 질소의 탈질 및 인의 과잉섭취에 영향을 미치는, 무산소구간의 반복 횟수에 따라 변화하는 용존산소, COD, 질소 및 인의 반응특성을 파악하여 SBR공정의 무산소-호기 구간반복에 따른 운전특성을 파악하고자 하였다. 이에 호기-무산소구간을 1~4회 반복하여 Run 1~4의 실험을 수행한 결과, 무산소구간의 반복횟수가 많아질수록 탈질을 위한 낮은 용존산소 유지가 어려운 것으로 나타났다. COD 제거율의 경우 운전에 상관없이 모두 91% 이상의 양호한 결과를 나타냈으나, 추가적인 무산소구간이 없을 때 효율이 약간 더 우수하였다. 질소제거에 있어서는 무산소구간이 2회 및 3회 반복되었을 때 약 68%의 높은 제거율을 나타냈으며, 배출되는 질소의 구성은 99% 이상이 NO<sub>x</sub>-N 이었다. 인 제거에 있어서는 무산소구간이 1회~3회 반복되었을 때 약 40%의 양호한 제거효율을 나타냈다.

**주요어** : 연속회분식반응조, 질소, 무산소 구간, 호기 구간

## 1. 서 론

최근 우리나라는 수질오염총량제도의 이행에 따라 배출 부하량의 감축이 필요한 상황이며, 상수원 보호구역 지정 등에 의하여 소규모 하수처리시설의 운전이 증가하고 있는 실정이다. 이에 소규모 처리시설에 적용 가능한 공법 중, 영양염류 제거능력이 크고 다양한 운전조건의 변화를 통하여 하수의 처리능력을 높일 수 있는 SBR 공법의 적용이 현재 증가하고 있는 추세이다(Irvine et al., 1983; Silverstein et al., 1983; Palis et al., 1985; Grace et al., 1994).

기존의 전형적인 SBR공정 운전방식은 1-cycle을 운전하는데 있어 유입수가 주입되는 동안 교반을 통하여 용존산소가 없는 무산소조건을 유지시키고, 유입수 주입이 완료

되면 포기를 통하여 침전단계 전까지 호기조건을 유지시키는 “유입(무산소)-운전(호기)-침전-배출”공정이었다. 이러한 운전방식은 조작성이 비교적 간단하지만 호기시간 동안 산화된 질산염 등이 탈질될 기회가 적어 높은 질소 제거효율을 기대하기가 어렵고, 상대적으로 긴 호기구간의 구성으로 인하여 반응조 내 미생물들이 내생성장상태에 이르게 되어 핀플록을 형성시킬 수 있게 된다. 또한, 호기 구간동안 산화된 산화질소를 효율적으로 제거시키지 못하게 됨에 따라 질소 제거효율이 떨어지고 유입수의 주입 대기시간이 길어지는 단점도 발생된다. 이러한 운전상의 문제점을 해결하기 위하여 Lee 등(2007, 2008)은 무산소 및 호기구간의 2회 교대반복을 통하여 탈질기회를 확대시키는 연구를 수행하였으며, 최근에는 몇몇 연구자들에 의해

1) 정회원, 대전발전연구원 책임연구원

† 정회원, 경성대학교 건설환경공학부 교수(E-mail : ysb9643@ks.ac.kr)

여 SRT, HRT, 운전시간 배분의 변화 및 유입 배분 등의 조건을 변화시켜 영양염류 제거효율을 향상시키는 연구도 진행되어 왔다(신상우 등, 2007; 지대현 등, 2007; 이광호 등, 2005a; 이광호 등, 2005b). 이러한 운전상의 최적화를 위한 연구들에도 불구하고 실제 현장에서 운전되고 있는 대부분의 SBR공정은 호기구간의 운전시간이 고정되어 있기 때문에, 호기시간이 부족할 경우에는 암모늄이 완전 산화되지 못하게 되어 질소의 효율이 떨어지고 반대로 호기구간이 과잉 배정될 경우에는 암모늄이 완전 산화되었음에도 불구하고 불필요한 포기가 계속 이루어져 비효율적으로 SBR공정이 운전되고 있는 실정이다. 또한 SBR공정의 효율적인 운전을 위한 연구들이 현재 진행되고 있지만 무산소 및 호기구간의 반복횟수 변화가 질소 및 인 제거 효율에 미치는 특성에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 동일 운전시간동안 무산소 및 호기구간의 반복횟수가 유기물 및 영양염류 제거에 미치는 영향을 파악하고 SBR 공정의 질산화, 탈질 및 인제거의 특성을 분석하여 최적의 SBR 운전 cycle을 제시하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

본 연구에 사용된 SBR공정은 그림 1에 나타낸 바와 같이, 반응용적 10L의 SBR반응조를 중심으로, 미생물의 원활한 혼합을 위한 60 RPM의 교반모터, 5L/hr의 속도로 유입수를 주입하기 위한 정량펌프, 5L의 상등수를 배출하기 위한 solenoid valve 그리고 위 기기들의 자동운전을 위한 타이머를 SBR 공정 시스템에 설치하였다.

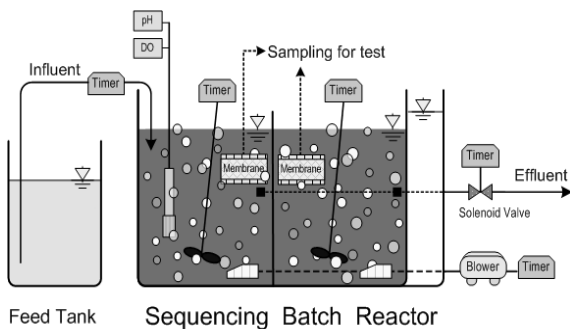


그림 1. 실험에 적용된 SBR공정의 모식도

표 1. SBR의 운전조건

COD Load (kgCOD/m <sup>3</sup> ·d)	N Load (kgTN/m <sup>3</sup> ·d)	MLSS (mg/L)	SRT (days)	HRT (hrs)	DO (mg/L)		pH
					Anoxic (Ano)	Oxic (Oxic)	
0.4	0.06	1,395~1,425	12.5	12	0.1 <	1.5-6.0	6.8-7.5

본 실험의 운전조건은 표 1에 나타낸 바와 같이, DO는 무산소구간의 탈질 및 인 방출을 위해서 0.1mg/L 이하를 유지하도록 하였으며, 호기구간에는 유기물과 암모늄의 원활한 산화 및 인의 섭취를 위하여 1.5~6.0mg/L를 유지하였다. pH는 미생물의 탈질 및 질산화가 방해되지 않도록 6.8~7.5를 항상 유지하도록 하였다. MLSS 농도는 무산소-호기구간의 변화에 상관없이 1,395~1,425mg/L로 거의 일정한 수준을 유지하였다. 일정 F/M비 및 SRT의 조절을 위해서 침전이 되기 직전에 800mL/day의 슬러지를 매일 제거해 주었으며, 이때 슬러지 체류시간은 12.5 days이었다. HRT는 1 cycle당 5L의 유입수가 주입되게 하여 12hrs를 유지하도록 하였다.

실험에 사용된 유입수는 합성하수로서, 주입 농도는 COD 200mg/L, TN 30mg/L로 COD 유입부하 0.4kgCOD/m<sup>3</sup>·d 및 TN 유입부하 0.06kgTN/m<sup>3</sup>·d를 나타냈다. 유입수 조성은 일반하수 수준으로 조성하기 위하여 C시 하수처리장의 유입수질과 동일하게 구성하여 표 2와 같이 조제하였다.

### 2.2 실험 방법

SBR공정 운전에서 1-cycle에서의 구간 분류는 Irvine 등(1983)과 Lee 등(2007)이 제안한 바와 같이, 1-cycle에 “운전-침전-유출”의 순서로 반응이 진행될 수 있도록 구성하였다. 단, 반복구간 횟수에 따라 운전구간의 무산소 및 호기구간이 1~4회씩 반복되도록 하여 각 반복회수에 해당하는 조건 Run 1~4를 운전하였으며, 이에 대한 상세내용은 그림 2에 나타내었다. Run 1~4의 운전에서 1-cycle 운전시간은 총 360분으로 운전개시 시작(T<sub>0</sub>)에서 운전후 280분(T<sub>280</sub>)까지는 미생물과 유입하수가 반응하는 운전구간이었다. 다음으로 280분~320분(T<sub>280</sub>~T<sub>320</sub>)의 구간은 반응조 내 슬러지를 반응액과 고액분리시키는 침전구간이었으며, 마지막으로 320~360분(T<sub>320</sub>~T<sub>360</sub>)구간은 슬러지와 분리된 처리수를 배제시키는 유출구간으로 구성하였다. 유

표 2. 합성하수의 조성

Composition	Conc. (mg/L)
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> as COD	195~208
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> as NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	29.5~31.5
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> as PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	5.9~6.1
NaHCO <sub>3</sub> as Alkalinity	140~160

	$T_0$	$T_{40}$	$T_{80}$	$T_{120}$	$T_{160}$	$T_{220}$	$T_{240}$	$T_{280}$	$T_{320}$	$T_{360}$	
Run 1	Ano (I)		Oxic (I)						Settlement	Draw	
Run 2	Ano (I)		Oxic (I)			Ano (II)		Oxic (II)		Settlement	Draw
Run 3	Ano (I)		Oxic (I)	Ano (II)	Oxic (II)	Ano (III)	Oxic (III)		Settlement	Draw	
Run 4	Ano (I)		Oxic (I)	Ano (II)	Oxic (II)	Ano (III)	Oxic (III)	Ano (IV)	Oxic (IV)	Settlement	Draw

그림 2. 1-cycle의 운전구간 동안의 시간배분

입수는 첫 번째 무산소구간(Ano(I))에 5L가 전량 주입되게 하였으며 이후 220분의 운전구간 동안 운전특성에 따라 무산소 및 호기구간을 적절히 분배하였다.

운전구간 중 무산소 조건에서는 Lee 등(2007)이 제시한 바와 같이 탈질 및 인의 방출이, 호기구간에서는 유기물, 암모늄의 산화 및 인의 방출이 이루어질 수 있도록 DO농도를 조정하였다.

운전구간 동안 반응액에 용존되어 있는 산화질소 및 암모늄 농도를 슬러지와 분리·산정하기 위하여 시료는 중공사막(Mitsubishi, Japan)을 이용하여 해당반응시간에 반응조에서 즉시 채취하였다. 이와 같이 중공사막을 이용한 시료 채취는 시간경과에 따라 미생물이 반응액내 기질의 변화를 억제하여 보다 정확한 실시간 농도를 얻을 수 있었다.

시료에 대한 암모늄 및 산화질소의 농도는 Standard Method에 의한 UV 분광광도계(Helios, Unicam, UK)를 이용하여 측정하였다(APHA, 1998). 중크롬산칼륨을 이용한 COD 실험을 Standard Method에 의거하여 실험하였다. 또한, 용존산소 측정을 위해서는 DO analyzer(YSI 58, USA)를 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

기존의 SBR공정의 운전방식은 Run 1과 같이 1-cycle의 유입수 주입시에 무산소(I)구간을 두어 산화질소의 탈질작용 및 인의 방출을 유도하였다. 그러나 이러한 방식은 주입되었던 암모늄이 호기(I)구간에서만 산화되었을 경우 추가 탈질 제거시킬 수 있는 기회가 상실됨으로써 높은 질소 제거효율을 기대할 수 없게 된다. 이에 본 연구에서는 ‘무산소-호기’구간의 반복횟수를 1회~4회(Run 1~Run 4)로 하여, 무산소(II)~(IV)구간 및 호기(II)~(IV)구간에 따른 산화질소의 탈질기회를 증가시키도록 실험을 하였으며, 이에 따른 유기물 및 영양염류의 제거 특성을 다음과 같이 검토하였다.

#### 3.1 용존산소 농도 특성

SBR공정을 운전하는데 있어 용존산소 농도는 가장 중

요한 운전인자중의 하나이다. 탈질조건을 만족시키기 위해서 호기구간에서 무산소구간으로 변환시킬 경우 용존산소 농도는 저감되는데, 이 때 용존산소 농도 저감속도는 생물 반응조의 SRT, 유입 COD부하, MLSS 농도 등의 조건에 의해 변화하게 된다. 따라서 본 연구에서는 운전조건별 (Run1~4) DO 농도변화를 파악하여 최적 DO농도에 이르는 데 소요되는 시간을 운전조건별로 조사하였으며 결과는 그림 3에 나타내었다. 실험결과 탈질을 위한 DO 조건인 0.2mgO<sub>2</sub>/L 이하로 소요되는 시간은 무산소(I)구간에서 6~7분, 무산소(II)구간에서는 12~14분, 무산소(III)구간에서는 16~18분 그리고 무산소(IV)구간에서는 20분 이상이 요구되었다. 따라서 최적 DO조건에 이르는 데 소요되는 시간이 비교적 긴, Run 3에서의 무산소(III)구간과 Run 4에서의 무산소(III)구간 및 무산소(IV)구간은 탈질의 조건을 갖추는데 적합하지 못하였다. 따라서 탈질을 위하여 호기구간 및 무산소구간을 여러 번 반복하는 것 보다는 산화된 질소가 완전 탈질이 이루어지도록 연속적으로 충분한 무산소구간을 배치하는 것이 효과적이라고 판단된다.

식 (1)에 의해 운전조건별 DO농도 변화( $\Delta DO$ )를 그림 4에 나타내었는데,  $\Delta DO$ 가 0보다 작으면 호기구간에서 무산소구간으로, 0보다 크면 무산소구간에서 호기구간으로 변환되는 것으로 간주할 수 있으며, 0 부근에서 안정되어

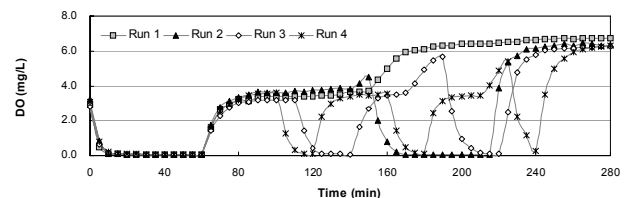


그림 3. SBR의 1-cycle 동안의 용존산소 농도

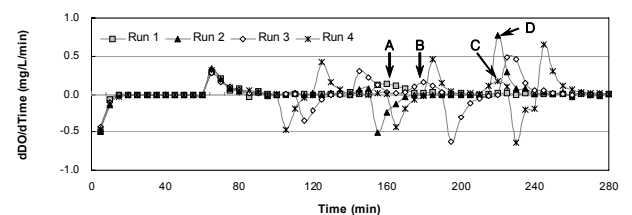


그림 4. SBR의 1-cycle동안의 용존산소농도 증감의 변화

있으면 각 구간에서 안정된 상태에 도달한 것으로 파악할 수 있다. 또한, Run 1은 A지점, Run 2는 D지점, Run 3는 B지점 그리고 Run 4는 C지점에서  $\Delta DO$ 가 갑자기 증가하는 경향을 나타냈는데, 이는 호기구간이 지속됨에 따라서 유기물 및 암모늄( $NH_4^+-N$ )이 거의 산화됨으로써 미생물의 DO의 사용이 줄어들어 반응조 내 DO농도가 증가하는 것으로 판단된다. 따라서 호기구간의 시간분배시, 시간에 따른 DO농도의 변화를 적절히 이용하면 호기시간을 낭비하지 않도록 운전구간을 효율적으로 배정할 수 있을 것으로 사료된다.

$$\frac{\Delta DO}{\Delta T} = \frac{\Delta DO_j - \Delta DO_i}{\Delta T_j - \Delta T_i} = \Delta DO \quad (1)$$

### 3.2 COD 제거효율

‘무산소-호기’구간의 반복횟수에 따른 Run 1~4의 유입 COD농도는 그림 5에 나타난 바와 같이 194~207(평균 200.1)mg/L로 0.40kgCOD/m<sup>3</sup>/day의 COD부하로 운영되었다. 또한, 유출 COD농도는 무산소구간이 1회 있는 Run 1에서 15.3~16.8(평균 15.9)mg/L, 2회 반복되는 Run 2에서 16.6~18.7(평균 17.5)mg/L, 3회 반복되는 Run 3에서 16.4~17.9(평균 17.2)mg/L 그리고 4회 반복되는 Run 4에서 16.5~17.9(평균 17.2)mg/L를 나타내, Run 1의 COD 제거율이 운전조건의 결과보다 우수하였음을 알 수 있었다. 이는 Run

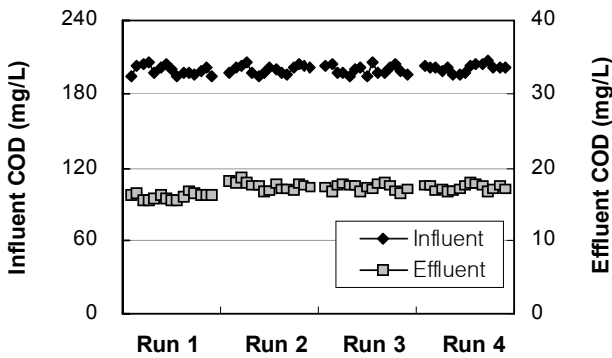


그림 5. 유입 및 유출 COD 농도의 변화

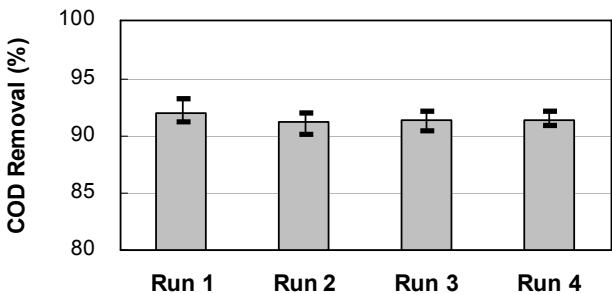


그림 6. 운전조건 변화에 따른 COD 제거율

1이 Run 2~4에 비하여 호기구간의 운전시간이 60분정도 길었기 때문에 유기물을 산화시킬 수 있는 기회가 많았기 때문인 것으로 판단된다. COD 제거율은 그림 6에 나타난 바와 같이 Run 1~4에서 각각 92.0, 91.2, 91.4 및 91.4%의 양호한 제거효율을 나타냈다.

### 3.3 질소 제거효율

반응조에 주입되는 질소의 유입농도는 그림 7에 나타난 바와 같이 31.0~33.1(평균 32.3)mg/L로 0.06kgTN/m<sup>3</sup>/day의 TN부하로 운전되었다. 유출되는 질소성분을 보면 Run 1~4에서 산화질소( $NOx^-N$ )가 각각 12.4~13.8(평균 13.2)mg/L, 9.9~10.4(평균 10.1)mg/L, Run 3에서 10.0~10.7(평균 10.4)mg/L 그리고 Run 4에서 11.2~12.5(평균 11.8)mg/L를 나타냈다. 또한 암모늄( $NH_4^+-N$ )의 경우 각각 0.05~0.10(평균 0.07)mg/L, 0.05~0.12(평균 0.08)mg/L, 0.04~0.11(평균 0.10)mg/L 그리고 0.05~0.15(평균 0.10)mg/L를 나타내어, 운전조건에 상관없이 유출수 99% 이상의 대부분을 산화질소( $NOx^-N$ )의 형태로 배출하고 있었다.

그림 8은 운전 변화에 따른 질소(TN) 제거율을 나타내고 있는데, Run 1~4에서 각각 58.5%, 68.6%, 68.1% 그리고 63.5%로 호기 및 무산소구간이 2회 및 3회 반복되는 Run 2 및 Run 3의 질소제거효율이 타 운전조건의 결과보다 높은 것으로 나타났다. 이는 Run 1의 경우 호기(I)구간에서 산화된 질소가 추가 탈질 될 기회가 없었으며, Run 4의 경우는 한 구간에 20분씩 분배된 무산소(II), (III) 및

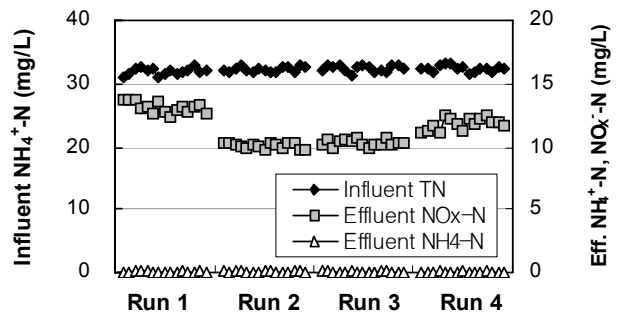


그림 7. 유입 및 유출 질소 농도의 변화

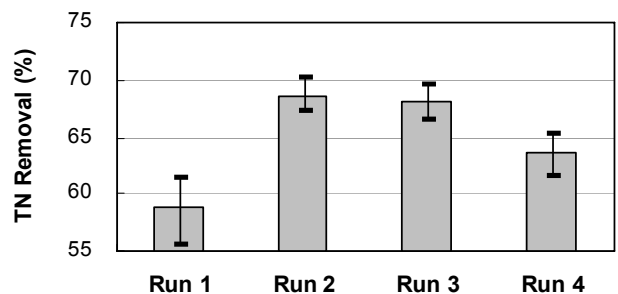


그림 8. 운전조건 변화에 따른 TN 제거율

(IV)구간동안 탈질을 위한 용존산소농도 유지가 어려웠기 때문에 사료되므로, 탈질을 위해서는 Run 3와 같이 최소 30분 이상의 지속시간이 필요할 것으로 판단된다.

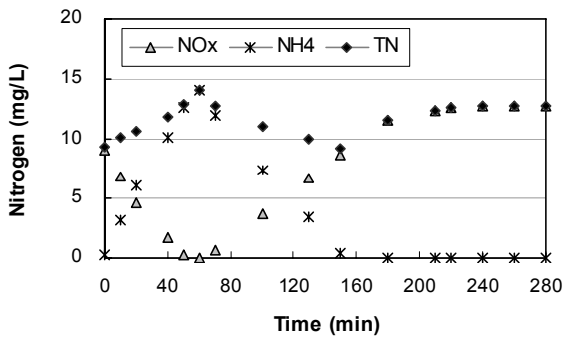


그림 9(a). Run 10에서 1-cycle 동안 질산성질소, 암모늄 및 TN의 농도 변화

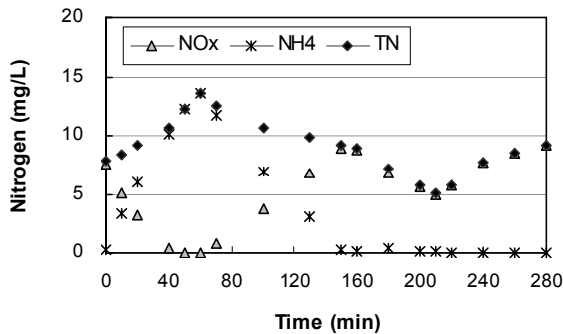


그림 9(b). Run 2에서 1-cycle 동안 질산성질소, 암모늄 및 TN의 농도 변화

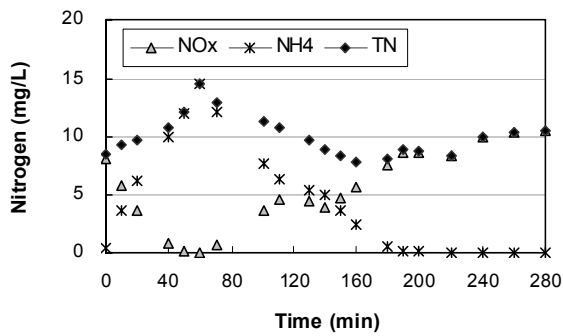


그림 9(c). Run 3에서 1-cycle 동안 질산성질소, 암모늄 및 TN의 농도 변화

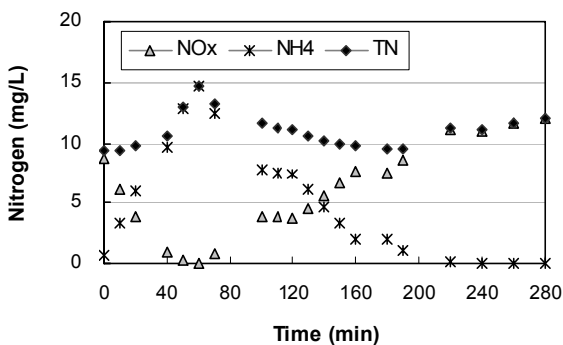


그림 9(d). Run 4에서 1-cycle 동안 질산성질소, 암모늄 및 TN의 농도 변화

그림 9(a)~(d)에서는 각 운전에서의 산화질소, 암모늄 및 총질소 농도의 변화를 나타내고 있는데, 각각의 무산소 구간에서 탈질 제거되는 패턴을 볼 수 있다. 특히 무산소(I)구간을 제외하면 Run 2의 무산소(II)구간과 Run 3의 무산소(II) 및 (III)구간의 산화질소( $\text{NO}_x\text{-N}$ ) 농도가 크게 감소하는 경향을 나타냈다.

### 3.4 인 제거효율

그림 10에는 SBR공정 반응조에 주입되는 인의 유입농도를 나타냈는데, 5.81~6.12(평균 6.00)mg/L의 값을 나타냈다. 유출 인 농도는 Run 1~4에서 각각 3.58~3.71(평균 3.63)mg/L, 3.47~3.63(평균 3.55)mg/L, 3.59~3.63(평균 3.55)mg/L 그리고 3.89~4.02(평균 3.96)mg/L을 나타냈다. 운전 조건 변화에 따른 TP 제거율을 나타낸 그림 11에서 보듯이, Run 1~4조건에서의 TP 제거율이 각각 40.1%, 40.0%, 39.1% 및 33.9%로 Run 1~3의 운전조건하에서는 거의 비슷한 제거율을 나타냈으나 Run 4에서는 상대적으로 낮은 인 제거효율이 나타났는데, 이는 과도한 무산소-호기구간의 반복으로 용존산소가 인의 방출을 위한 기본 조건이 잘 이루어지지 않았기 때문으로 판단된다.

## 4. 결 론

SBR공정의 운전에서 무산소 및 호기구간의 반복횟수를

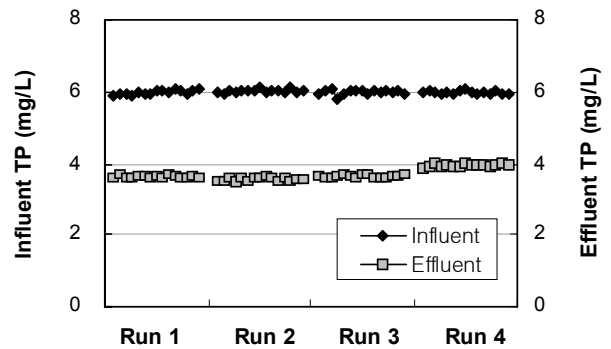


그림 10. 유입 및 유출 인 농도의 변화

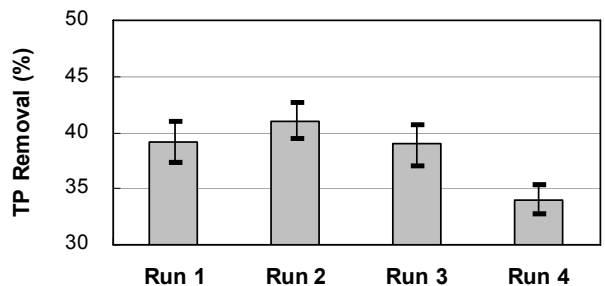


그림 11. 운전조건 변화에 따른 TP 제거율

조정함에 따른 유기물 및 영양염류의 제거특성에 관한 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 추가적인 무산소구간이 존재하는 운전조건 Run2~4에서 탈질조건을 충족시키는 용존산소 농도로 변환되는데 최소한 12~20분 정도의 시간이 소요되는 것으로 파악되었다. 또한 SBR공정에서 무산소 및 호기구간의 반복조건에 따른 유기물 및 암모늄의 적절한 산화를 위한 포기시간을 용존산소 농도의 변화율에 따라 적정 시기를 제시할 수 있었다.
- (2) COD는 추가적인 무산소구간의 운전이 없었던 Run 1 운전조건에서 92.0%의 양호한 제거효율을 나타냈으며, 다른 운전조건 Run2~4에서도 COD 제거율 대부분은 91% 이상의 제거효율을 나타냈다.
- (3) 질소제거에 있어서는 운전조건 Run 2 및 Run 3에서 각각 68.6% 및 68.1%으로 비교적 높은 제거효율을 나타냈으며, NO<sub>x</sub>-N이 유출질소 형태의 99% 이상을 차지하였다. 따라서 SBR공정 반응조로 유입된 암모늄의 대부분이 NO<sub>x</sub>-N 형태로 산화되었음을 알 수 있었다.
- (4) 인은 무산소-호기 구간의 반복이 과도하게 진행되었던 운전조건 Run 4를 제외한 Run 1~3의 운전조건에서 약 40%의 비슷한 제거효율을 나타냈다.

## 감사의 글

이 논문은 2008년도 경성대학교 학술연구 지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 참고 문헌

1. 신상우, 지대현, 이재근, 이광호 (2007), 생하수 및 합성하수를 사용한 SBR공법에서 질소의 제거특성 및 질산화/탈질율 비교, *한국수처리학회지*, Vol. 15, No. 2, pp. 47~55.
2. 이광호, 이재근 (2005a), SBR 운전 구성시간 변화에 따른 질소거동의 특성, *대한토목학회지*, Vol. 25, No. 2B, pp. 173~179.
3. 이광호, 이재근 (2005b), SBR 공정에서 유입수의 유입량 분배에 따른 질소 물질수지, *한국수처리학회지*, Vol. 13, No. 2, pp. 79~86.
4. 지대현, 이광호, 이재근 (2007), SBR공법의 HRT 변화가 질소 및 인의 거동에 미치는 특성, *한국수처리학회지*, Vol. 15, No. 3, pp. 23~31.
5. APHA, AWWA and WEF (1998), Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20th ed., *APHA, AWWA and WEF*, Washington.
6. Grace L.W.L., and Tam N.F.Y. (1994), Operating strategy of a sequencing batch reactor for simultaneous removal of wastewater organic matter and nutrients, *Resour. Conser. Recy.*, Vol. 11, pp. 209~223.
7. Lee, J.K., Lee, K.H. and Yim, S.B. (2007), Optimization of nitrogen removal in a sequencing batch reactor system by variation of the time distribution, *J. Environ. Sci. Heal.*, Vol. 42A, No. 11, pp. 1655~1663.
8. Lee, J.K., Lee, K.H., Yim, S.B., Choi, C.K. (2008), Mass balance of nitrogen, and estimates of COD, nitrogen and phosphorus used in microbial synthesis as a function of sludge retention time in a sequencing batch reactor system, *Bioresource Technology*, Vol. 99, No. 16, pp. 7788~7796.
9. Irvine, R. L., Ketchum, L. H., Breyfogle, R. and Barth, E. F. (1983), Municipal application of sequencing batch treatment at Culver, Indiana, *JWPCF*, Vol. 55, pp. 484~488.
10. Palis, J. C. and Irvine, R. L. (1985), Nitrogen removal in a low-loaded single tank sequencing batch reactor, *JWPCF*, Vol. 57, pp. 82~86.
11. Silverstein, J. and Schroeder, E.D. (1983), Performance of SBR activated sludge process with nitrification/ denitrification, *JWPCF*, 55, pp. 377~384.

(접수일 2008. 11. 10 심사일 2008. 11. 11 심사완료일 2008. 12. 16)