

# 연속회분식 반응 공정에서 동역학적 계수 및 미생물합성에 사용된 영양물질 산정

지대현 · 신상우 · 이광호 · 이재근<sup>\*†</sup>

충북대학교 도시공학과  
<sup>\*</sup>대전발전연구원

## Estimation of Kinetic Coefficient and Assimilated Nutrients Mass in SBR Process

Dae-Hyun Ji · Sang-Woo Shin · Kwang-Ho Lee · Jae-Kune Lee<sup>\*†</sup>

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University  
<sup>\*</sup>Daejeon Development Institute

(Received 24 May 2007, Accepted 17 August 2007)

### Abstract

In this study, we investigated the variations of the kinetic coefficients and Chemical Oxygen Demand (COD), N and P mass used for assimilation of a sequencing batch reactor (SBR) system with the variation of SRTs; SRTs of 7.5, 10.0, 12.5, 15.0 and 20.0 days were tested in one cycle of SBR operation to determine the optimum conditions for the operation of the SBR and estimate its COD, nitrogen and phosphorus removal efficiencies. The SBR system was operated under the conditions as follows: an operation time of 6 hours per cycle, a hydraulic retention time (HRT) of 12 hours, an influent COD loading of 0.4 kg/m<sup>3</sup>/day, and an influent nitrogen loading of 0.068 kgT-N/m<sup>3</sup>/day. The yield coefficient (Y) and decay rate coefficient (k<sub>d</sub>) were estimated to be 0.4198 kgMLVSS/kgCOD and 0.0107 day<sup>-1</sup> by calculating the removal rate of substrate according to the variation of SRT. Considering total nitrogen amount removed by sludge waste process, eliminated by denitrification, and in clarified water effluent with reference to 150 mg/cycle of influent nitrogen amount, the percentage of nitrogen mass balance from the ratio of the nitrogen amount in effluent (N output) to that in influent (N input) for Runs 1~5 were 95.5, 97.0, 95.5, 99.5, and 95.5%, respectively, which is well accounted for, with mass balances close to 100%.

**keywords** : Decay rate coefficient, N mass balance, Sequencing batch reactor, Sludge retention time, True yield coefficient

## 1. 서론

우리나라의 경우 하수처리장 시설은 대부분이 대도시를 중심으로 건설되어 왔으나 상수원은 오히려 대도시 지역의 최상류 지역인 소규모 읍·면단위지역의 오염원으로부터 영향을 받는 경우가 많아, 최근에 와서는 이들 상류지역인 읍·면단위의 소규모 처리시설이 필요한 시점에 있다. 이에 대한 공법으로는 시설면에서 소규모이고, 운영면에서는 간단하며, 제거대상 물질에 따른 처리정도에 따라 변경할 수 있는 SBR 공법이 적정한 것으로 판단된다(Arora et al., 1985; Battistoni et al., 2003; Silverstein et al., 1983). 이러한 SBR 공법은 유입부하의 변화에 적응성이 있어 부하변동이 큰 위탁시설과 같은 대상지에 적용하기에 용이하다(Okada et al., 1986; Rim et al., 1997).

SBR공법은 반응조건을 ‘무산소/혐기/호기’와 같이 각 구간을 적절히 배분하여 운전할 경우, 무산소구간에서는 탈질소화 반응이 일어나고, 혐기구간에서는 유기물 섭취와 인의 방출이 일어나며, 호기구간에서는 섭취된 유기물의 산화,

인의 과잉섭취 및 질산화반응이 일어나, 동일 반응기에서 유기물 및 영양염류를 동시에 제거할 수 있는 특징을 가지고 있다(Alleman et al., 1980; Pochana et al., 1999a; Sin et al., 2004). 그러나, 기존의 연구들은 SBR공법의 다양한 운전구간에 따른 질소 및 인의 거동에 따른 분석이 이루어지지 않아 효율적인 운전조건을 선택하는데 어려움을 겪고 있다(Shin et al., 2007). 이에 본 실험은 미생물반응조의 운전인자 중 SRT가 7.5~20 일의 5단계(Run 1~5)로 변화함에 따른 미생물 생산계수(Y) 및 내생감소계수(k<sub>d</sub>)를 산정함과 동시에, 미생물합성에 필요한 COD, N 및 P의 소요량을 산정하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험 장치

본 연구를 실행하기 위하여 사용된 SBR 반응조는 Fig. 1에서와 같이, 용적 10 L의 아크릴 반응조와 Feed tank, 그리고 자동운전을 위한 부속장치로 구성하였다. Feed tank에서 주입되는 시료는 정량펌프에 의해 반응조로 5 L/cycle씩 83.3 mL/min의 속도로 무산소 구간에서 유입시켰으며, 3일에 1회 이상씩 정량펌프를 보정하여 주입량에 변화가 없도록

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
dlworms@hanmail.net

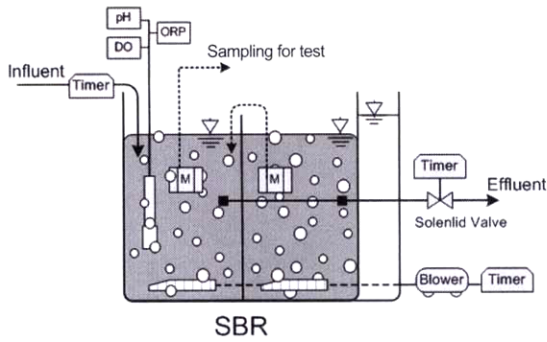


Fig. 1. Schematic diagram of SBR.

Table 1.  $Q_{WASTE}$  mass according to SRTs

	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5
SBR volume (L)	10	10	10	10	10
SRT (days)	7.5	10.0	12.5	15.0	20.0
$Q_{WASTE}$ (mL/d)	1,333	1,000	800	667	500

하였다. SBR 반응조는 10 L의 반응용적을 가지고 있으며, 반응조내 무산소구간에서는 미생물과 반응액의 교반을 위해서 60 RPM의 교반모터를 사용하였고, 호기구간에서는 포기를 위하여 산기장치들, 그리고 침전 후 고액분리된 상등액의 자동유출을 위하여 배출구간에 Solenoid valve를 사용하였다. 또한 시간변화에 따른 운전구간별 특성을 부여하기 위해 타이머를 설치하였다.

Table 1에는 SRT를 조정하기 위해서 10 L의 SBR 반응조에서 폐기시키는 슬러지의 양을 나타냈다. 슬러지 폐기시키는 정확한 Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS) 농도를 알 수 있으며 인의 과잉섭취가 최대가 되는 침전 직전 호기구간에서 실시하였다.

### 2.2. 실험 방법

SRT는 7.5, 10.0, 12.5, 15.0, 20.0 일의 5단계로 변화시켜 이를 Run 1~5로 하였다.

COD 부하는 소규모 하수처리장의 유입 유기물부하에 해당하는 0.4 kgCOD/m<sup>3</sup>/day였으며, HRT는 12 hrs로 하였다. pH는 질산화 및 탈질이 일어나는데 알맞고 아질산염의 축적이 일어나지 않는 범위인 6.8~7.5를 유지시켰으며, 수온은 반응조 주위에 수욕조를 설치하여 20~22°C로 유지하였다. 또한, Dissolved Oxygen (DO)는 무산소 및 혐기구간에서 용존산소의 영향을 받지 않게 하기 위하여 0.2 mg/L 이하, 호기구간에서는 원활한 유기물 산화 및 질산화를 위하여 2~6 mg/L를 유지하였다.

실험에는 Table 2와 같이 일정한 유기물부하 및 질소부하를 유지하기 위하여 합성하수를 사용하였으며, COD는 200 mg/L, TN 30 mg/L, TP 6 mg/L, 그리고 알칼리도 150 mg/L를 유지하였다.

SBR 운전은 Fig. 2와 같이 1-cycle이 '무산소(I), 호기(I), 무산소(II), 호기(II), 침전, 상등수 유출'의 구간으로 구성하였고, 이때 무산소(I) 구간은 반응조에 남아있는 질소산화물이 유입수의 탄소원과 반응하여 탈질이 일어남과 동시에

Table 2. Composition of synthetic wastewater

Composition	Conc. (mg/L)
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> as COD	200
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> as NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	30
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> as PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	6
NaHCO <sub>3</sub> as Alkalinity	150
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O, FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O CuCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O, ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O NiSO <sub>4</sub> · 6H <sub>2</sub> O, CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	Small amount

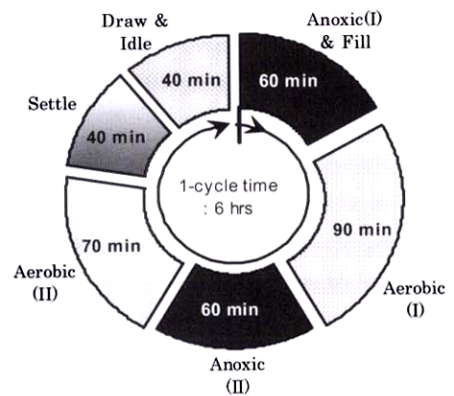


Fig. 2. Time variation of 1-cycle operation condition.

인의 방출을 도모하였으며, 호기(I) 구간에서는 주입된 유입수 내의 유기물 및 암모늄을 산화시킴과 동시에 미생물의 인 과잉섭취를 위하여 포기를 하였고, 무산소(II)구간에서는 호기(I)구간에서 산화된 질소산화물이 미생물에 흡착되어 있던 유기물 및 미생물 자산화에 의하여 얻어진 에너지로 탈질이 되도록 하였다(Obaja et al., 2003). 마지막 호기(II)구간에서는 이전 구간에서 산화되지 못한 유기물 및 암모늄을 완전히 산화시킴과 동시에 침전상태에서 일부 무산소조건 때문에 슬러지 부상이 발생되지 않도록 하기 위하여 포기 하였으며, SRT 조절을 위한 슬러지배출을 실시하였다. 이후 40 분간의 침전시간 동안에 슬러지와 반응액을 분리시킨 후, 반응조 용적 50%에 해당하는 상등수를 배출시켰다.

암모늄, 질산성 질소, 아질산성 질소 및 총인은 UV spectrometer(Helios α, Unicam, UK)로 Standard Method에 의하여 측정이 되었다. 또한 COD, TSS 및 VSS도 Standard Method에 의하여 측정되었다.

### 2.3. SRT에 따른 기존 SBR 특성 연구

SRT는 생물학적 처리공법에서 적정 MLSS 및 Food to Microorganism (F/M) 비를 유지하기 위하여 조절하는 주요 인자이며, 이로 인하여 미생물 성장 및 영양염류 제거효율이 변화할 수 있다.

Gupta 등(1996)은 25일 이상의 SRT에서 TKN의 제거효율이 거의 비슷하다고 발표하였으며, Brdjanovic 등(1998)은 SRT에 영향을 주는 인자들로 온도, 최대 PHA, 혐기-호기 반복회수, 전자수용체의 종류 등을 예로 들었다. 정(1999)은 SRT를 다르게 운전한 SBR 실험에서, 긴 SRT일

때 미생물의 양이 많아 질소충격부하에도 안정적인 유기물 제거효율을 나타냈다고 하였지만, SRT가 길면 폐슬러지 제거로 인한 인의 제거효율이 떨어지게 되며 소규모 하수처리장의 경우 폐슬러지가 다량으로 발생하여 유지관리에 큰 어려움이 따르는 문제점이 있다고 하였다. 그리고, Bernal-Martinez 등(2000)은 SRT 연장은 유기물흡착 및 산화를 일으키는 MLSS농도 증가로 COD 제거율을 향상시킬 수 있다 하였다. 또한 Kargi 등(2002)은 SRT 증가함에 따라 인 제거율 감소, MLSS농도 증가 및 Sludge Volume Index (SVI)가 증가한다고 발표한 바 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 미생물생산계수(Y) 및 내생감소계수(k<sub>d</sub>)

미생물 반응조에 유입되는 기질의 일부는 새로운 미생물로 변환되고, 다른 일부는 무기물 및 유기물의 최종생성물로 변환되는데, 여기에서 미생물생산계수(Y)는 유입 COD의 미생물로의 변환율을 나타낸 것이다. 또한, 하수처리에 있어서 반응조 내의 미생물은 모두 대수성장기에 있는 것이 아니어서 내생호흡, 사멸 및 타 미생물에 의한 포식도 고려하여야 하는데, 이러한 작용에 의한 미생물의 감소비율을 내생감소계수(k<sub>d</sub>)라고 한다. 이에, 식 (1)의 SRT 및 반응조 내에서 미생물에 의해 제거된 기질의 관계를 이용하여 Fig. 3을 얻을 수 있었다. 이에 의하여 본 연구의 SBR에서는 미생물생산계수 0.4198 kgMLVSS/kgCOD, 내생감소계수 0.0107 day<sup>-1</sup>을 구할 수 있었다.

Kulikowska 등(2007)의 SBR에서는 미생물 생산계수(Y) 0.628~0.616 mgVSS/mgCOD, 내생감소계수(k<sub>d</sub>) 0.032~0.006 day<sup>-1</sup>로 본 연구와 비슷한 결과를 나타냈으며, Fan 등(1996)은 실제 가정하수를 대상으로 0.61 kgVSS/kgCOD의 값을 나타냈다. 또한, Mixed Liquor Volatile Solids (MLVSS)와 MLVSS에 포함되 있는 COD와의 비율은 미생물을 구성하기 위하여 요구되는 COD의 양을 구하는 방안을 제시하였다(Fan et al., 1996).

$$\frac{1}{SRT} = Y \times \frac{(C_{IN,COD} - C_{EFF,COD})}{HRT \times C_{VSS}} - k_d \quad (1)$$

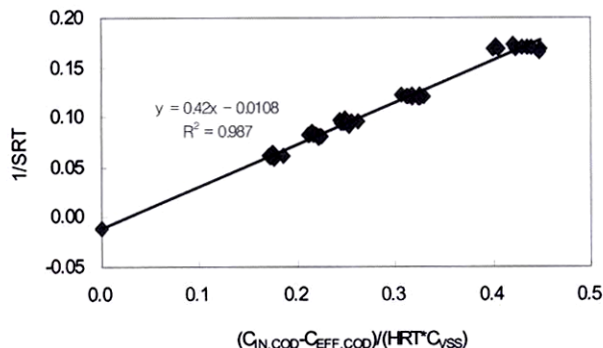


Fig. 3. Relationship between different SRTs and COD oxidation.

Fig. 4는 SBR 운전에 따른 유출수내 질소를 암모늄과 산화질소로 분류하여 질소제거율을 계산하였다. 유출질소 성상은 암모늄이 0.03~0.14 mg/L, 산화질소가 8.5~9.8 mg/L로, 유입 암모늄 대부분이 산화되어 배출되는 특성을 나타냈다. 또한 질소 제거율은 SRT가 길어질수록 Run 1~5에서 각각 62.5%, 64.7%, 65.2%, 66.7% 및 66.9%로 다소 증가하였지만, 이는 실험오차 수준으로 큰 영향을 주지 못하였다.

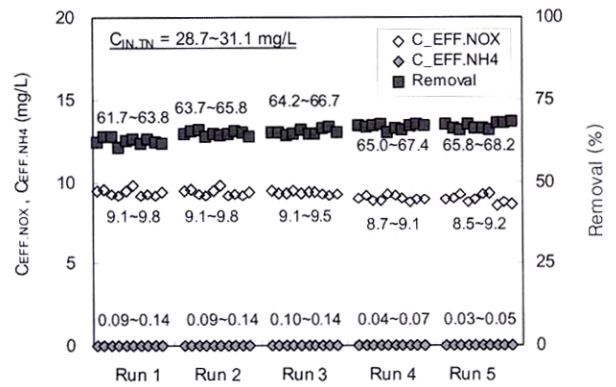


Fig. 4. Nitrogen removal trend at different SRTs.

#### 3.2. 인 제거 및 인 물질수지

Fig. 5에는 인의 유입농도, 유출농도 및 인제거율을 나타냈다. 인 유입농도는 5.80~6.02 (평균 5.90) mg/L를 유지하였으며, 이에 따른 C/P 비는 약 34 kgCOD/kgP였다. 유출 인농도는 SRT가 7.5 일로 가장 짧은 Run 1에서 3.05~3.14(평균 3.12) mg/L로 유출되어 47.1%의 가장 높은 제거효율을 보였으며, SRT가 10.0, 12.5, 15.0 및 20.0일로 길어질수록 유출수 농도가 3.30, 3.58, 3.79 및 4.09 mg/L로 높아져 제거율 또한 43.7, 39.9, 35.8 및 31.0%로 감소하는 경향을 보였는데, 이는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 SRT가 짧을수록 미생물에 의한 무산소(I)구간의 인 과잉방출량이 많아 후속하는 호기구간에서의 인 과잉섭취량이 증가하였기 때문으로 사료된다.

Table 3에는 잉여슬러지로 폐기되는 미생물의 양(M<sub>WASTE,VSS</sub>) 및 폐기 미생물에 함유된 인의 비율을 나타내고 있다. 이를 보면 폐슬러지에 함유된 인의 양은 Run 1~5에서

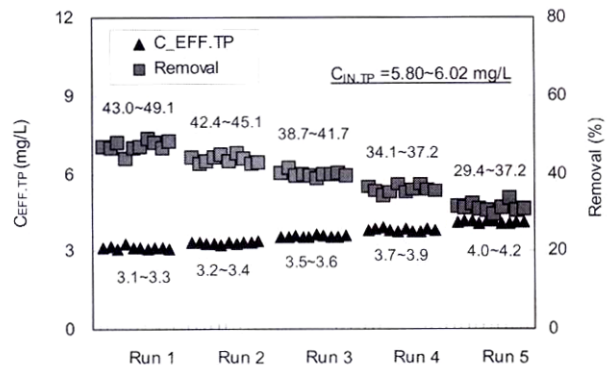


Fig. 5. Phosphorus removal trend at different SRTs.

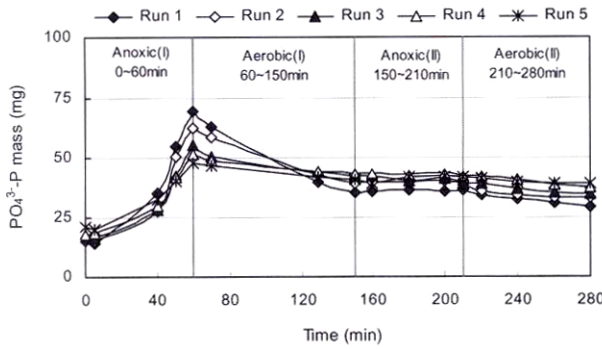


Fig. 6. Variation of  $PO_4^{3-}P$  with different SRTs.

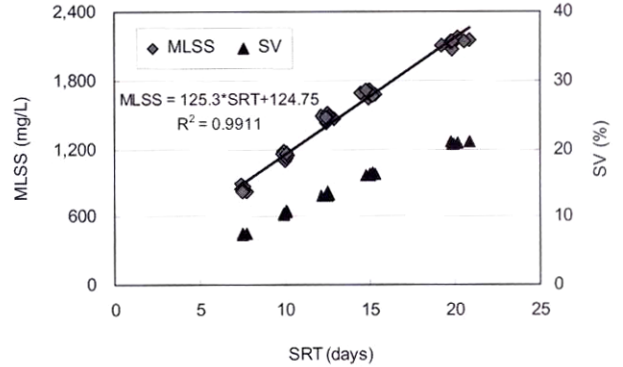


Fig. 8. Variation of MLSS concentration at different SRTs.

Table 3. Removed P mass according to SRTs

	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5
MLSS <sup>1)</sup>	790	1,107	1345	1,582	2,032
$M_{WASTE,VSS}$ <sup>2)</sup>	282.1	276.8	269.0	263.7	254.0
$M_{WASTE,P}$ <sup>3)</sup>	49.27	46.25	42.94	40.20	36.22

Unit 1) MLSS (mg/L)

2)  $M_{WASTE,VSS}$  (mg $M_{WASTE,VSS}$ /cycle)

3)  $M_{WASTE,P}$  (mgP/mg $M_{WASTE,VSS}$ )

49.3, 46.3, 42.9, 40.2 및 36.2 mgP/g $M_{WASTE,VSS}$ 로 SRT가 증가할수록 점차 감소하여, SRT 증가에 따른 인제거율 감소를 설명하고 있다.

### 3.3. COD 제거와 SV

Fig. 7에는 유입 COD 농도 192~207(평균 200.2) mg/L에 대한 유출농도 및 제거율을 나타내었다.

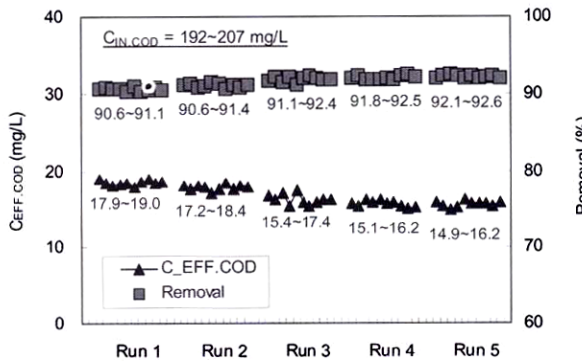


Fig. 7. COD removal trend at different SRTs.

유출 COD농도는 Run 1~5에서 SRT가 증가할수록 18.5, 17.9, 16.3, 15.7, 15.6 mg/L로 약간 감소하는 경향을 보였는데, 이는 Bernal-Martinez 등(2000)의 연구에서와 같이 SRT 증가로 MLSS 농도가 증가하여 유기물을 흡착, 산화시킬 수 있는 미생물의 양이 많아졌기 때문으로 사료된다. 그러나 15.0 일(Run 4) 이상의 SRT에서는 COD 제거율이 거의 일정하였다. 그러므로 유입 유기물을 보다 효과적으로 제거하기 위해서는 되도록 높은 SRT에서 운전하는 것이 유리하다고 판단된다. 또한, SRT의 증가는 Fig. 8과 같은 MLSS와 SV의 관계를 나타냈다. 이는 Kargi 등(2002)의 연구에서 SRT 20일까지는 SRT의 증가와 함께 MLSS의 농도

Table 4. F/M ratio (kgCOD/kgMLVSS/day) according to SRTs

	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5
F/M ratio	0.472	0.350	0.273	0.236	0.189

또한 증가한 바와 같이, MLSS 농도와 반응조 내 SV가 상승하였다. 본 실험에서는 SV가 가장 높은 SRT 20.0 일(Run 5)에서도 SV 20.7%의 낮은 수치를 유지하여, 반응조 용적 50%의 상등수가 유출되는 운전특성을 고려하면 침전 슬러지가 배출될 가능성은 적다고 판단된다.

F/M비는 Table 4에 나타난 바와 같이 Run 1~5에서 0.472~0.189 kgCOD/kgMLSS/day를 나타냈다. 낮은 MLSS 농도로 인하여 F/M비가 낮을 경우에는 반응조 미생물의 분산성장이 형성되어 유출수의 미생물 함유량이 증가할 수 있으며, 유입 오염부하가 순간적으로 증가할 경우 F/M 비가 급증할 우려가 있어 유기물 및 암모늄의 산화에 어려움을 겪을 수 있다. 반면에 F/M 비가 낮아지면 반응조에 편플록이 형성되어 침전이 불량해질 우려가 있을 수 있다(Ng et al., 2000). 이에 유입 오염부하의 순간적인 상승에 대한 유출수질 안전성 및 침전능력의 확보를 위해서는 SRT를 12.5~20.0 일의 조건에서 운영하는 것이 바람직하다고 사료된다.

### 3.4. 미생물 합성에 소요된 COD, TN 그리고 TP 양

동화작용에 있어서 미생물은 COD 및 N, P를 대표적인 세포 구성요소로서 필요로 한다. 또한, 정상상태에서 미생물 합성에 소요되는 이러한 영양물질은 폐슬러지로 폐기되는 양과 같다는 전제에서 다음과 같은 식을 성립시킬 수 있다.

세포합성에 소요되는 COD는 식 (2)와 같이 잉여슬러지 배출량 및 COD의 MLVSS 전환율  $f_{CV}$ 를 이용하여 계산하였다(WRC, 1984). 본 연구에서  $f_{CV}$  값은 Schroeter 등(1982)이 제시한 1.48과 Fan 등(1996)이 제시한 1.44의 평균치인 1.46을 사용하였다.

$$M_{WASTE,COD} = f_{CV} \times C_{WASTE,VSS} \times Q_{WASTE} \quad (2)$$

$$= f_{CV} \times \frac{C_{WASTE,VSS} \times V}{SRT \times (24/T)}$$

$$f_{CV} = \frac{C_{VSSCOD}}{C_{VSS}} \quad (3)$$

미생물 내에 존재하는 질소는 반응조 내 MLVSS의 질소 전환율  $f_N$ 을 이용하여 다음 식 (4)로 계산하였다. 또한 식 (5)의  $f_N$  값은 0.1(Baker et al., 1995; WRC, 1984)을 사용하였다.

$$M_{WASTEN} = f_N \times C_{WASTE VSS} \times Q_{WASTE} \quad (4)$$

$$= f_N \times \frac{C_{WASTE VSS} \times V}{SRT \times (24/T)}$$

$$f_N = \frac{C_{VSSN}}{C_{VSS}} \quad (5)$$

인은 슬러지 내에 함유되어 있던 것이 잉여슬러지로 폐기됨으로써 제거가 이루어진다. 이에 식 (6)과 같이 세포합성에 소모된 인의 양을 계산하였다.

$$M_{WASTE P} = M_{IN.P} - M_{EFF.P} \quad (6)$$

$$= C_{IN.P} \times Q - C_{EFF.P} \times Q$$

이에, 위의 식 (2), (4), (6)을 이용하여 미생물 동화에 사용된 COD, 질소 및 인의 양을 Table 5에 나타냈다. 이에 COD 소요량은 Run 1에서 368.2 mgCOD/cycle이 소요되었던 것이 점차 감소하여 Run 2~5에서는 376.8, 366.3, 347.9, 326.9 mgCOD/cycle가 소요되어 약 11.2%가 감소하였는데, 이는 SRT의 증가로 인한 미생물 동화량 감소 때문으로 사료된다. 질소의 미생물 동화량 또한 Run 1~5에서 25.2, 25.8, 25.1, 23.8 및 23.4 mgN/cycle로 7.1%가 감소하였으며, 인의 경우에는 13.9, 12.8, 11.6, 10.6 및 9.0 mgP/cycle로 약 35%가 감소하였다. 이와 같이 SRT가 증가할수록 미생물동화에 필요한 COD, 질소 그리고 인의 소요량이 감소하여, SRT를 증가시켜 운전할 경우 이들을 제거하기 위한 다른 운전조작이 필요할 것으로 사료된다.

유입 COD 1,000 mg/cycle, 질소 150 mg/cycle, 인 30 mg/cycle 중, 미생물동화에 사용된 각 기질의 비율을 아래

**Table 5.** COD, T-N and T-P mass (mg/cycle) for assimilation according to SRTs

	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5
COD	368.2	376.8	366.3	347.9	326.9
T-N	25.2	25.8	25.1	23.8	23.4
T-P	13.9	12.8	11.6	10.6	9.0

**Table 6.** COD, T-N and T-P conversion rate (%) for assimilation according to SRTs

	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5
COD	36.8	37.7	36.6	34.8	32.7
T-N	16.8	17.2	16.7	15.9	14.9
T-P	46.3	42.7	38.5	35.3	30.0

의 Table 6에 나타내었다. 이를 보면, 미생물 합성에 사용된 질소는 15.5~17.4%에 그쳤지만, COD는 32.7~36.8%, 인은 30.4~47.1%의 비율을 나타내었다. 이에 미생물 동화 작용에 의한 영양물질의 제거비율은 전체적으로 높은 비율을 차지하지 않는 것으로 나타났다. 이에 추가적인 COD 제거를 위해서는 유기물 산화, 인의 제거 및 탈질에 에너지원 공급으로써 제거율을 높이는 조건을 조성해줄 필요가 있으며(Pochana et al., 1999b), 질소 및 인의 제거에 있어서도 무산소/혐기/호기조건의 조합 및 기타 영향인자를 적용함으로써 제거효율을 높여야 한다.

### 4. 결론

SBR 운전인자로 SRT를 변화시킨 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 소규모 처리를 위한 SRT를 위해서는, 슬러지 폐기량이 적게 나오게 하기 위해서 되도록 긴 SRT를 적용하는 것이 적당할 것으로 사료된다. 인의 제거를 목적으로 한다면 되도록 짧은 SRT를 유지하여야 하지만, 암모늄의 완전산화를 위해서는 SRT 10일(Run 2) 이상이 요구되었다.
- 2) SRT 및 COD 산화에 의하여 얻어진 미생물생산계수( $Y$ )는 0.4198 kgMLVSS/kgCOD, 내생감소계수( $k_d$ )는 0.0107 day<sup>-1</sup>로 산정되었다.
- 3) SRT가 7.5일(Run 1)에서 20일(Run 5)로 변화함에 따라, 미생물합성에 소요되는 COD, N, P의 양을 유입 COD, N, P의 양으로 나눈 비율의 변화를 보면, COD는 4.1%, N은 1.9%, P는 16.3%의 감소를 보여 P가 SRT에 대하여 가장 민감하게 반응하였음을 알 수 있었다.

### 기호설명

- $Y$  : true yield coefficient (kgCOD/kgCOD)
- $k_d$  : decay rate coefficient (d<sup>-1</sup>)
- $SRT$  : Sludge Retention Time (days)
- $HRT$  : Hydraulic Retention Time (hrs)
- $T$  : 1-cycle operation Time (hrs)
- $V$  : SBR Volume (L)
- $Q$  : Average influent flow per cycle (L/cycle)
- $Q_{WASTE}$  : Average waste sludge flow per cycle (L/cycle)
- $C_{VSS}$  : Concentration of VSS inside the reactor (mg/L)
- $C_{IN,COD}$  : Concentration of COD in the influent (mg/L)
- $C_{EFF,COD}$  : Concentration of COD in the effluent (mg/L)
- $C_{IN,TN}$  : Concentration of total nitrogen in the influent (mg/L)
- $C_{EFF,NOX}$  : Concentration of NOx-N in the effluent (mg/L)
- $C_{EFF,NH4}$  : Concentration of NH<sub>4</sub>-N in the effluent (mg/L)
- $C_{IN,P}$  : Concentration of phosphorus in the influent

	(mg/L)
$C_{EFF,P}$	: Concentration of phosphorus in the effluent (mg/L)
$C_{VSS,COD}$	: Concentration of COD by the sludge waste process (mg/L)
$C_{WASTE,VSS}$	: Concentration of VSS removed by the sludge waste process (mg/cycle)
$M_{IN,P}$	: Amount of phosphorus in the influent (mg/L)
$M_{EFF,P}$	: Amount of phosphorus in the effluent (mg/L)
$M_{WASTE,COD}$	: Amount of COD removed by the sludge waste process (mg/cycle)
$M_{WASTE,N}$	: Amount of nitrogen removed by the sludge waste process (mg/cycle)
$M_{WASTE,P}$	: Amount of phosphorus removed by the sludge waste process (mg/cycle)
$M_{WASTE,VSS}$	: Amount of VSS removed by the sludge waste process (mg/cycle)
$f_N$	: Nitrogen fraction in the waste sludge (mgN/mgVSS)
$f_{CV}$	: COD fraction in the waste sludge (mgCOD/mgVSS)

### 참고문헌

- 정진영, 연속회분식 반응기를 이용한 고농도 암모니아성 질소 함유폐수의 처리, 공학박사학위논문, 한국과학기술원 (1999).
- Alleman, J. E. and Irvine, R. L., Storage-induced denitrification using sequencing batch reactor operation, *Water Research*, **14**, pp. 1483-1488 (1980).
- Arora, M. L., Dewin, F. B. and Margaret, B. U., Technology evaluation of sequencing batch reactors, *JWPCF*, **57**(8), pp. 867-875 (1985).
- Baker, P. S. and Dold, P. L., COD and nitrogen mass balances in activated sludge systems, *Water Research*, **29**(2), pp. 633-643 (1995).
- Battistoni, P., Angelis, A. D., Boccadora, R. and Bolzonella, D., An automatically controlled alternate oxic-anoxic process for small municipal wastewater treatment plants, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **42**, pp. 509-515 (2003).
- Bernal-Martinez, A., Gonzalez, O. and Gonzalez-Martinez, S., Nutrient removal and sludge age in a sequencing batch reactor, *Bioprocess Engineering*, **23**, pp. 41-45 (2000).
- Brdjanovic, D., Loosdrecht, M. C. M., Hooijmans, C. M., Alaerts, G. J. and Heijnen, J. J., Minimal aerobic sludge retention time in biological phosphorus removal system, *Biotechnology and Bioengineering*, **60**(3), pp. 326-332 (1998).
- Fan Xiao-Jun, Urbain, V., Qian, Y. and Manem, J., Nitrification and mass balance with a membran bioreactor for municipal wastewater treatment, *Wat. Sci. Tech.*, **34**(1-2), pp. 129-136 (1996).
- Gupta, S. K. and Sharma, R., Biological oxidation of high strength nitrogenous wastewater, *Water Research*, **30**(3), pp. 593-600 (1996).
- Kargi, F. and Uygur, A., Nutrient removal performance of a sequencing batch reactor as a function of the sludge age, *Enzyme and Microbial Technology*, **31**, pp. 842-847 (2002).
- Kulikowska, D., Klimiuk, E. and Drzewicki, A., BOD<sub>5</sub> and COD removal and sludge production in SBR working with or without anoxic phase, *Bioresource Technology*, **87**, pp. 1428-1432 (2007).
- Ng, W. J., Ong, S. L. and Faisal, H., An algorithmic approach for system-specific modelling of activated sludge bulking in an SBR, *Environmental Modelling & Software*, **15**, pp. 199-210 (2000).
- Obaja, D., Mace, S., Costa, J., Sans, C. and Mara-Alvarez, J., Nitrification, denitrification and biological phosphorus removal in pigerry wastewater using a sequencing batch reactor, *Bioresource Technology*, **87**, pp. 103-111 (2003).
- Okada, M. and Sudo, R., Performance of sequencing batch reactor activated sludge processes for simultaneous removal of nitrogen, phosphorus and BOD as applied to small community sewage treatment, *Wat. Sci. Tech.*, **18**, pp. 363-370 (1986).
- Pochana, K., Jürg, K. and Paul, L., Model development for simultaneous nitrification and denitrification, *Wat. Sci. Tech.*, **39**(1), pp. 235-243 (1999a).
- Pochana, K. and Jürg, K., Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification(SND), *Wat. Sci. Tech.*, **39**(6), pp. 61-68 (1999b).
- Rim, Y. T., Yang, H. J., Yoon, C. H., Kim, Y. S., Seo, J. B., Ryu, J. K. and Shin, E. B., A full-scale test of a biological nutrients removal system using the sequencing batch reactor activated sludge process, *Wat. Sci. Tech.*, **35**(1), pp. 241-247 (1997).
- Schroeter, W. D., Dold, P. L. and Marais, G. v. R., *The COD/VSS ratio of the volatile solids in the activated sludge process*, Research Report, W45, Department of Civil Engineering, University of Cape Town (1982).
- Shin, S. W., Ji, D. H., Lee, J. K. and Lee, K. H., Comparison of nitrogen removal characteristics and nitrification/denitrification rate in SBR using real and synthetic wastewater, *KSWST*, **15**(2), pp. 47-55 (2007).
- Silverstein, J. and Schroeder, E. D., Performance of SBR activated sludge process with nitrification/denitrification, *JWPCF*, **55**, pp. 377-384 (1983).
- Sin, G., Insel, G., Lee, D. S. and Vanrolleghem, P. A., Optimal but robust N and P removal in SBRs: A model based systematic study of operation, *Water Sci. Technol.*, **50**, pp. 97-105 (2004).
- WRC, Theory, Design and Operation of Nutrient Removal Activated Sludge Processes, *Water Research Commission of South Africa* (1984).