

## 연속회분식반응조를 이용한 생물학적인 인 제거 연구

양형재, 신용배<sup>\*</sup>, 정윤철<sup>\*\*</sup>, 최훈근

국립환경연구원 수질연구부

\*한양대학교 토목환경공학과 \*\*한국과학기술연구원 환경연구센터

### Biological Phosphorus Removal using the Sequencing Batch Reactor Process

Hyung-Jae Yang, Eung-Bai Shin<sup>\*</sup>, Yun-Chul Chung<sup>\*\*</sup>, Hun-Geun Choi

*Water Quality Research Department, National Institute of Environmental Research*

*\*Dept. of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University*

*\*\*Environment Research Center, Korea Institute of Science and Technology*

#### Abstract

A bench-scale reactor using SBR process was experimented with an synthetic wastewater. The main purpose of this investigation was to evaluate applicability in the field and process removal efficiencies in terms of BOD and T-P and its corresponding kinetic parameters. Removal rate of phosphorus was 77% in terms of total phosphorus. Effluent concentrations were 9.8mg/ℓ BOD and 1.1mg/ℓ T-P. Effluent quality was maintained consistently stable by controlling decant volume and operating cycles. The efficiency for phosphorus removal was increased due to decrease in BOD-SS loading value in the range of  $0.25 \leq \text{aeration time ratio} \leq 0.52$ .

**KEYWORDS** : SBR, Bench-scale, Phosphorus Removal, BOD-SS loading, Aeration Time Ratio

## 1. 서 론

본 논문에서 연구대상으로 한 연속회분식(SBR) 처리공법은, 간단한 기계조작에 의하여 쉽게 운전조건을 바꿀 수 있어 질소, 인의 동시 제거가 우수한 간헐포기 시스템으로서<sup>1)</sup>, 하나의 반응조에서 하수의 유입, 반응, 침전, 배출 과정이 이루어지므로 처리장 부지면적이 적게 소요되며 수량 및 수질의 변화에 탄력적으로 대응할 수 있는 장점을 지니고 있다<sup>2)</sup>. 1980년대 Arora 등<sup>3)</sup>이 미국, Canada, Australia에서 SBR이 설치·운전되고 있는 현장방문 조사보고서에서는 모든 처리장에서 성공적으로 운전되고 있다고 하여 많은 관심을 가지게 되었다. 유흥업소 등에서 상수원으로 배출되는 오수에 대하여 SBR공법을 적용하여 인 제거를 위한 처리 메카니즘을 규명하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

실험장치는 Fig. 1과 같이 시료저장조, 시료 주입 펌프, 반응조, 포기장치, 교반기 등으로 구성되어 있다. 시료의 주입은 정량펌프를 사용하여 일정량이 반응조로 유입되도록 하였다. 10 l 크기의 반응조에는, 처리수의 배출량을 3 l, 4 l, 5 l, 6 l로 변화시킬 수 있도록 배수구를 만들었으며 운전 mode에 따라 일정한 시간에 작동, 정지되면서 운전이 이루어지도록 하였다.

### 2.2 실험방법

각 공정별 운전시간은 Fig. 2에서와 같이 Fill 30분, 유입 후 혐기 90분, 호기 250분, 침전 및 배출 각각 50분, 마지막 휴지기는 10분으로 하고 유입 및 반응기간 370분간 계속 Mixing 하였다. 유입 초기에  $\text{NO}_3^-$ 의 환원이 촉진되도록 유입시간을 30분으로, 충분한 인의 섭취를 위해 호기성 시간을 250분으로 하였으며 실험 온도는 20°C, pH는 평균 7.5로 유지하였다. 시료의 주입시에 채취하여 1일 3회 운전중 1회에만, DO 및 pH는 매회 측정하였으며 포기중 DO농도는 4.8mg/l 정도였다.

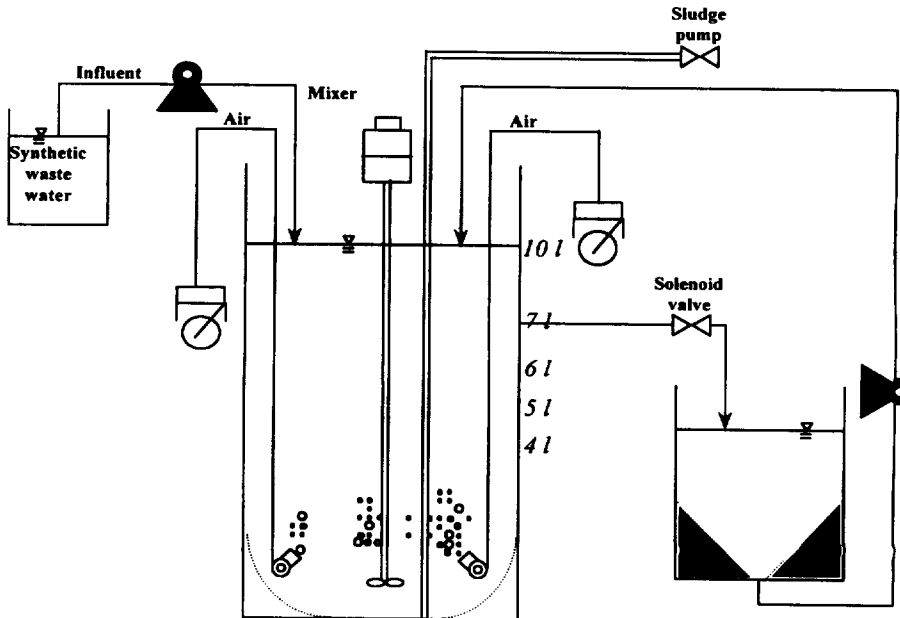


Fig. 1 Schematic diagram of Laboratory apparatus for SBR

본 실험에 사용된 시료는 합성폐수를 사용하였으며, 우리나라의 생활오수와 비슷한 질소 및 인의 농도를 유지하기 위해 BOD 200mg/l, COD 250mg/l T-N 35mg/l, 그리고 T-P 5mg/l의 농도가 되도록 조제하여 4°C에 보관하였다.

거의 최소치에 도달하는 Phosphorus Luxury Uptake 현상을 보여 주었다. 일반적으로 생물학적 처리법에서 인 제거량과 SRT의 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있고 SRT가 긴 만큼 Sludge 생성율이 저하하기 때문에 인 제거율도 나빠진다<sup>5)</sup>.

Mode 1 (3-cycle/d) for SBR

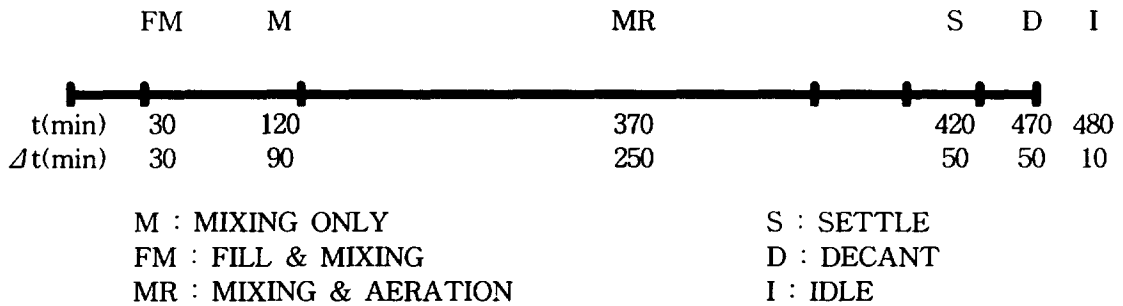


Fig. 2 Operating Cycle Mode for SBR

### 3. 결과 및 고찰

#### 3. 1 유입수의 특성

시료는 가정오수와 비슷한 성상을 유지하도록 하였다. 운전중 항상 같은 시료를 사용하면서 방류수를 채취하여 분석할 때에 유입수도 같이 실시하였다. 유입수의 BOD, SS, T-N 및 T-P의 평균농도는 각각 190.5mg/l, 150.1mg/l, 36.8mg/l 및 4.8mg/l 정도였다.

#### 3. 2 인 제거 효과

##### 3. 2. 1 인의 과잉섭취

운전 기간중의 인의 방출과 과잉섭취에 따른 농도변화에 대한 관찰을 위해 유입수를 30분마다의 농도를 표시한 결과 30분 후에 12mg/l, 2시간 후에는 23mg/l까지 증가하였다. 이 혐기성 기간동안 COD는 계속 감소하는 직선을 나타낸다<sup>4)</sup>. 포기시작 1, 2시간후 55% 및 80%, 그리고 3시간 후에 약 0.9mg/l 정도로

$$\Delta P / \Delta BOD = P_x \cdot Y_{max} / (\theta_c \cdot k_d + 1)$$

- 여기서,  $P_x$  : sludge의 인 함유율
- $Y_{max}$  : 제거된 BOD에 대한 sludge 생성율
- $\theta_c$  : SRT
- $k_d$  : sludge의 내생호흡속도 계수

##### 3. 2. 2 포기시간비 변화에 따른 인 제거율

T-P의 제거율은 70%~90%범위로 그 평균 제거효율은 83% 정도의 비교적 높은 제거효율을 나타내었는데, 이는 유입기간을 30분으로 하여 인의 방출과 섭취에 방해물질인 질산성질소를 초기에 환원하였기 때문으로 보인다. 한편, 회분식활성슬러지법에는 혐기공정을 설정하지 않는 경우에도 침전 배출공정중의 슬러지 zone에는 혐기상태가 일어나기 때문에 설계 및 운전조건의 설정에 따라서는 질소 및 인의 동시제거가 가능하다.

Fig. 3은 3-cycle/d 운전에서 포기시간비

변화에 의한 BOD-SS부하와 제거효율과의 관계를 나타낸 것이다. 포기시간비가 0.25, 0.31, 0.38(BOD-SS부하를 각각 0.19, 0.16 및 0.13 kg-BOD/kg-SS·d)로 증가함에 따라 T-P의 제거효율은 증가하여 포기시간비 0.52에서 최대효율 79%에 도달한 후, 점차적으로 다시 감소하는 경향을 보이고 있다. 따라서, 본 SBR에서 T-P제거를 위한 3-cycle/d 운전에서는 포기시간비는 0.52를 넘지 않는 것이 경제적인 운전방법으로 관찰되었다.

용하여 인의 섭취가 일어나는 것과 같은 결과를 보인다고 하였다.

혐기성기간중 질산성질소의 농도가 인 제거 효율에 미치는 영향을 관찰한 결과, 유입이 시작된지 약 10분 후의 혐기성기간중 질산성질소의 농도 약 10mg/l 증가할 때 인의 처리효율은 약 10% 감소하는 것으로 나타났으며, 이들간의 상관관계는 매우 높았다(r=0.9580). 질산염의 증가는 인 방출의 저해를 촉진하므로 호기성기간중 인의 섭취에 방해물질로 작용한

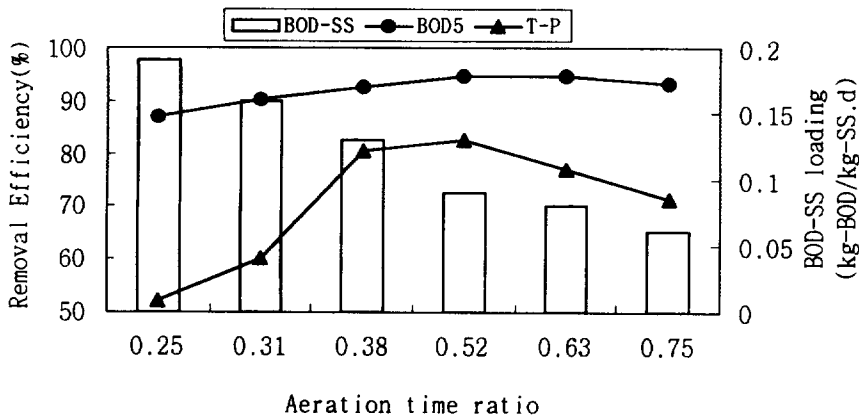


Fig. 3 Variations in BOD, T-N and T-P Removal Efficiencies with Various Aeration time Ratio

3.2.3 질산성질소 농도변화에 따른 인 제거율

질산화물이 혐기성조에 있으면 탈질균들과 탈인균들 사이에 탄소원인 BOD로 인하여 서로 경쟁을 하기 때문에 탈인균들의 인 방출이 감소한다. Rensink<sup>6)</sup>는 생물학적인 인 제거가 일어난 실험 반응조의 슬러지 이용 연구를 통해 질산염은 Anaerobic/Anoxic기간중 인 방출에 커다란 영향을 미친다고 하였다. Barnard<sup>7)</sup>는 산화질소가 생물학적인 인 제거를 억제시키거나 완전히 방해한다고 하였고, Manning<sup>4)</sup>은 질산염의 증가는 인 방출을 억제하므로 호기성 기간에서 인의 섭취를 방해한다고 하였다. Kuba 등<sup>8)</sup>은 혐기성조내에 질산염이 유입될 경우 정상적인 인 방출이 일어나지 않고 미생물들이 탄소원과 질산염의 산소를 이

것으로 생각된다.

3.2.4 BOD-SS loading 변화에 따른 제거효율

본 논문에서 표시된, BOD-SS loading은 다음과 같이 계산한다.

$$(kg-BOD/kg-SS \cdot d) = \frac{1}{e} \cdot \frac{n}{m} \cdot \frac{Cs}{CA}$$

- 여기서, e : 포기시간비, n : 1일 cycle 수
- 1/m : 배출율
- CA : MLSS농도(mg/l)
- Cs : 유입하수의 평균 BOD5(mg/l)

다음의 Fig. 4에서는 포기시간비를 고려한

F/M비 형태인 BOD-SS부하 값의 변화에 따른 인의 제거효율 변화를 설명한 그림이다. BOD-SS부하 값이 증가함에 따라 처리효율은 뚜렷이 감소하는 것으로 나타났다( $r=0.9652$ ). 인의 회귀직선에서 BOD-SS부하값의 범위 0.04~0.23(kg-BOD/kg-SS·d)에서 제거효율은 85.8%~63.5%로 나타났으며, 이 식을 만족하는 포기시간비의 범위는  $0.25 \leq \text{aeration time ratio} \leq 0.52$ 인 것으로 나타났다. T-P의 제거효율을 70% 및 80%이상의 안

정된 수질을 유지하기 위해서는 BOD-SS부하 값을 각각 0.17(kg-BOD/kg-SS·d) 이하 및 0.09(kg-BOD/kg-SS·d) 이하로 유지하여야 하는 것으로 관찰되었다.

### 3. 3 반응조내 미생물상의 분포

지금까지 보고된 연구결과에 의하면 무산소-호기 운전 시스템에서 사상균은 거의 나타나지 않는다고 하였다<sup>9)</sup>. 본 SBR실험에서는 슬러지의 침전불량과 슬러지 bulking의 원인으로 알

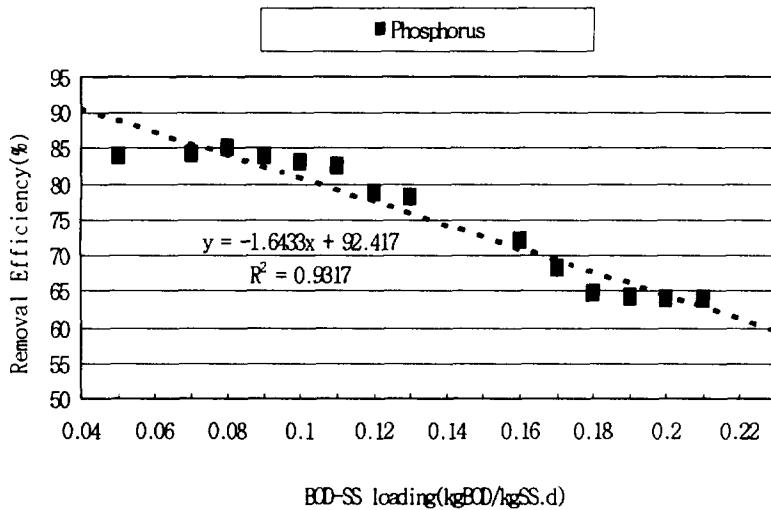


Fig. 4 Variation in T-N and T-P Removal Efficiencies with Different BOD-SS loading

Table 1 Protozoa and Metazoa Observed during the Study

| Functional group     | Functional Subgroup | Observed Species       |
|----------------------|---------------------|------------------------|
| Ciliated Protozoa    | Stalked             | <i>Vorticella</i> sp.  |
|                      |                     | <i>Opercularia</i> sp. |
|                      | Free Swimming       | <i>Epistylis</i> sp.   |
| Flagellated Protozoa | Crawling            | <i>Litonotus</i> sp.   |
|                      |                     | <i>Euplotes</i> sp.    |
| Flagellated Protozoa |                     | <i>Aspidisca</i> sp.   |
| Flagellated Protozoa |                     | <i>Bodo</i> sp.        |
| Metazoa              | Rotifers            | <i>Rotaria</i> sp.     |

려진 filamentous organism은 발생하지 않았다. 이 기간중 발생한 우점종을 Table 1에 표시하였다. 초기단계에서 섬모상 원생동물문에서는 *Vorticella sp.*, *Opercularia sp.*, *Epistylis sp.*, *Aspidisca sp.* 등이 우점종으

로 나타났고 Metazoa군에서는 *Rotaria sp.* 등이 우점종으로 나타났다. 자주 포기량을 변화시켜 슬러지 bulking에 대비하고, DO농도, F/M비 등의 조절로 사상균을 제어하였다.

#### 4. 결 론

소규모 처리장의 인 제거를 위한 본 SBR적용실험에서 제거효율과 메카니즘에 대해 규명하고 포기시간비가 오염물질 제거에 미치는 영향과 이들 인자를 종합하여 산정한 BOD-SS부하 값의 변화에 따른 인 제거 효율을 분석한 결과에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) BOD-SS loading 값의 변화와 인 제거 효율과의 관계 분석에서, BOD-SS부하가 증가함에 따라 인 제거효율은 감소하는 것으로 나타났으며, 이때의 포기시간비의 적정 범위는,  $0.25 \leq \text{aeration time ratio} \leq 0.52$ 였다.

2) T-P 제거효율 70% 및 80% 이상의 안정된 처리수질을 유지하기 위한 BOD-SS부하는 각각 0.17 및 0.09(kg-BOD/kg-SS · d)이하로 나타났다.

3) 3-cycle/d 운전조건에서, T-P제거효율은 포기시간비 0.52에서 Peak를 보이고있다. 따라서 본 SBR실험에서 포기시간비 0.52 미만으로 설정하는 것이 경제적인 운전방법인 것으로 판단되었다.

4) 인의 방출과 과잉섭취에 관찰에서, 유입후 30분 후에 12mg/l, 2시간 후에는 23mg/l 까지 증가하였다. 포기의 중단과 함께 농도는 급격히 감소하여 1, 2시간후 각각 약 55%, 80% 감소하여 3시간 후에 거의 최소치에 도달하고 그 농도는 약 0.9mg/l 정도였다.

## 참 고 문 헌

1. U.S. EPA, *Summary Report Sequencing Batch Reactors*, EPA/625/8-86/011 (1986).
2. Rim, Y. T., Yang, H. J., Yoon, C. H., Kim, Y. S., Seo, J. B., Ryu, J. K., Shin, E.-B., A Full-Scale Test of a Biological Nutrients Removal System using the SBR Activated Sludge Process, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 35, No. 1, 241-247 (1997).
3. Arora, M. L., et al., Continuous Studies in the Removal of Phosphorus by the Activated Sludge Process, *Chem. Engr. Prog. Symp. Ser.*, 67, 117 (1970)
4. Manning, J. F. Jr., *The Biological Removal of Phosphorus in a Sequencing Batch Reactor*, Ph.D. Dissertation, University of Notre Dame (1986).
5. Fukase, T., Shibata, M., Miyaji, Y., 生物에 의한 窒素, 磷 同時除去, 用水と 廢水, Vol. 34, No. 10 (1992).
6. Rensink, J. H., Biological P-Removal in Domestic Wastewater by the Activated Sludge Process, *Presented at the 5th European Sewage and Refuse Symposium*, Munchen Germany, Proceedings 487-502 (1981).
7. Barnard, J. L., A Review of Phosphorus Removal in the Activated Sludge Process, *Water SA.*, Vol. 2, 136-144 (1976).
8. Kuba, T. A., Wachtmeister, Loosdrecht van M. C. M., and Heijnen, J. J., Effect of Nitrate on Phosphorus Release in Biological Phosphorus Removal System, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 30, 263-269 (1994).
9. Jenkins, D., Richard M. G., and Daigger, G. T., *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*, Water Research Commission and US EPA, April (1986).