

## PG6 SBR 공정을 이용한 소규모 오수처리시설의 처리특성에 관한 연구

박민정\*, 김동석

대구가톨릭대학교 환경과학과

### 1. 서 론

생활수준의 향상과 산업의 발달로 말미암아 오폐수의 발생량과 오염물 부하량이 증가함으로써, 단위 수역에 따라서는 자정능력을 초과한 오염물의 유입에 따른 수질오염이 심화되어 국지적으로는 용수로서의 가치를 상실한 지역도 나타나고 있다.

우리나라에서 발생하는 오폐수는 하루 19,680 천톤에 이르며, 이중 생활하수 발생량은 하루 15,484 천톤에 이르러 약 79%를 차지하고 있다. 발생하는 오수의 76%인 11,678 천톤은 하수처리구역 내에서 발생하고 있으나, 하수관거의 정비 미흡, 하수종말처리시설의 시설용량 부족 등으로 인하여 실제 하수종말처리시설로 유입·처리되는 생활오수의 양은 이보다 적을 것으로 추정된다. 하수처리구역 외에서 발생하는 오수는 개별 건물에 설치된 오수처리시설로 유입·처리되도록 하고 있으나, 현재 수세식 화장실만 처리하는 단독정화조가 설치된 건물 및 방류수 수질기준이 BOD 기준 40 mg/L 내지 80 mg/L로 완화된 오수처리시설이 현존하고 있다.

하수처리구역이 아닌 농촌 지역과 같이 분뇨정화조 만을 갖춘 지역에서는 수세식 화장실 외에서 배출되는 잡배수는 분뇨정화조도 거치지 않은 미처리 상태로 공공수역에 방류되는 경우가 자주 발생된다. 따라서 농촌지역이나 상수원 보호구역에서 거주하는 사람이 각각 하루에 27 g의 생활잡배수 BOD와 32 g의 분뇨 BOD를 그대로 방류하여 수질오염의 주된 원인이 되고 있다. 또한, 농어촌 및 산간지역의 경우, 생활수준의 향상에 따라 종래 수거식 화장실에서 수거후 분뇨처리장에서 처리되던 분뇨가, 수세식 화장실의 증가로 분뇨정화조에서만 처리되어 방류됨으로써 오히려 수질오염을 가중시키는 결과를 초래하고 있다.

이와 같은 여러 문제점들 때문에 농촌 및 상수원 보호구역내의 오수와 분뇨들을 발생원에서 처리하기 위한 소규모 오수처리시설의 필요성이 부각되어, 환경부는 97년 7월부터 생활오수를 발생원에서 직접 처리하기 위해 하수처리장이 설치되지 않은 농어촌, 하천상류 및 소하천 인근 지역(유하거리 500 m)의 숙박업, 음식점, 목욕탕업 등에서 발생하는 오수와 생활잡배수를 동시에 처리할 수 있는 오수처리시설을 의무적으로 설치하도록 법규를 강화시켰다.

대형 하수처리장은 항상 관리인력이 상주하고 있고, 자동화된 설비가 비치되어 있을 뿐만 아니라, 계속적인 슬러지의 폐기가 가능하여 전체적인 하수처리장 관리에 대한 어려움이 적은 편이다. 이에 비해 소규모 오수처리시설은 관리인력이 따로 상주하지 않고 자동측정설비를 비롯한 자동화시설이 거의 없으며, 년 1회 정도의 오수처리시설 청소기

간에 슬러지를 배출 및 폐기시킬 수 있어, 시설의 관리 및 운영에 상당한 어려움이 있다. 그러므로 소규모 오수처리시설에서는 안정된 운전 및 관리가 보다 중요한 과제로 인식되고 있다.

또한, 최근 2~3년 전부터 우리나라에서도 대규모 하수처리장의 경우에는 건설 신기술이나 환경 신기술을 중심으로 질소와 인의 처리 개념이 도입된 다양한 공정들이 개발되었거나 개발되고 있으나, 기존의 소규모 오수처리시설은 단순히 BOD나 부유고형물(SS)의 제거에 만족하고 있고 현행 법규상에도 질소·인과 같은 부영양화 유발물질에 대한 규제가 없는 실정이다. 뿐만 아니라 소규모 오수처리시설을 제조하는 업체 또한 영세하여 BOD나 SS의 제거에 급급하여 질소와 인을 제거할 수 있는 기술력의 확보는 엄두도 못 내고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 미래 환경기준의 강화에 대비하고 하수처리구역이 아닌 지역의 수환경의 지속적인 보존과 영세한 환경업체의 환경기술 확보를 위하여 기존의 소규모 오수처리시설의 개선방안을 제시하고자 한다. 따라서 본 연구는 SBR(sequencing batch reactor, 연속 회분식 반응기) 공정을 소규모 오수처리시설에 응용하기 위한 기초 연구로서, 가능한 기존의 오수처리시설의 기본 틀을 유지한 상태에서, 1차 침전조와 2차 침전조에 여과조를 설치하여 SS(suspended solids, 부유 고형물)의 제거효율을 증진시킬 수 있는 방안을 마련하고 포기조를 생물막 공정과 SBR 공정이 복합된 공정으로 변형시킴으로써 질소 제거의 효율성을 검토하고 실제 현장 적용을 위한 기본 자료를 도출하고자 한다.

## 2. 실험재료 및 방법

전체적인 크기는 가로 550 mm, 세로 240 mm, 높이 260 mm의 장방형구조로서, 크게 유입조, 1차 침전-여과조, 1차 포기조 및 SBR(1), 2차 포기조 및 SBR(2), 3차 포기조, 2차 침전-여과조 등 6 구역으로 분할하였다. 반응기는 2 기를 제작하여 하나는 중앙에 1차 포기조와 2차 포기조를 설치하여 지속적인 공기공급이 이루어지도록 하여 호기성 반응만이 계속되도록 하였고, 다른 하나의 반응기는 1차 포기조와 2차 포기조 대신 SBR(1)과 SBR(2)를 설치하여 포기-비포기를 시간간격으로 번갈아 실시하여 호기-혐기 또는 호기-무산소 반응을 반복하는 연속 회분식 반응 시스템을 도입하였다.

유입조는 오수가 유입되어 저장되는 조로서 오수의 저장과 슬러지의 축적 및 저장을 주로 담당하는 조이다. 오수처리시설의 특징상 슬러지를 폐기시킬 수 없으므로 유입조가 슬러지의 저장에 많은 역할을 하게된다. 1차 침전-여과조에는 하부에서 70 mm의 높이에 60 mm의 두께로 합성 세라믹 매체(synthetic activated ceramic, SAC)를 bed 형태로 설치하였으며, 부유 고형물의 침전이 주요 목적으로 제작되었다. 1차 포기조 및 SBR(1)과 2차 포기조 및 SBR(2)에는 그물상 매체를 설치하여 생물막이 형성될 수 있도록 하였다. 그물상 매체는 비표면적이  $90\sim 220 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , void ratio가 0.94인 polyvinylchloride 재질로서 각 반응조내에 4개씩 세로로 설치하였다. 그물상 매체의 결보기 부파에 대한 충전율은 약 20 % 정도가 되도록 하였으나, 그물상 매체이므로 실제 충전율은 매우 낮았다.

3차 포기조에는 1차 포기조 및 SBR(1)과 2차 포기조 및 SBR(2)에 설치한 것과 동일한 그물상 매체를 충전율 20 % 정도로 설치하였다. 1차 포기조 및 SBR(1)과 2차 포기조 및 SBR(2)에서 미처리된 유기물의 제거 및 추가적인 질산화를 유도하기 위한 조로서 지속적인 포기가 유발되도록 유지하였다. 2차 침전-여과조는 미처리된 오수가 배출되기 전에 부유 고형물의 침전과 여과 및 생물학적 처리를 추가하기 위한 공정으로서, 1차 침전-여과조와 마찬가지로 합성 세라믹 매체를 충전시켰으며, 충전된 합성 세라믹 매체의 겉보기 충전 부피는 0.85 L 정도였다.

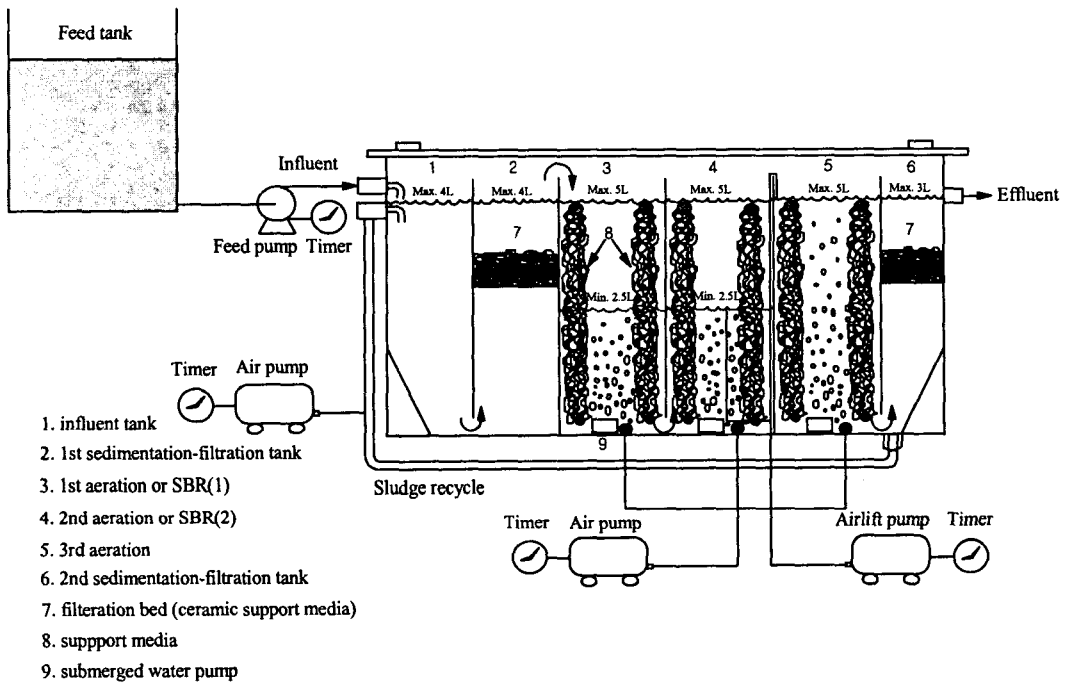


Fig. 1. Schematic diagram of conventional sewerage system (A type) and SBR applied sewerage system (B type).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 거시적 변화 관찰

A 유형에서는 초기 운전 30일전에는 20~110 mg/L 정도로 변화가 크게 나타났고 평균 63 mg/L 정도로 나타나, 전체적인 COD 처리효율은 68 %에 불과하였다. 그러나 초기 30일이 경과됨에 따라 유출수의 COD는 23~38 mg/L 정도로 변화 폭이 줄어들어 안정화되었고, 평균 유출수 농도도 32 mg/L 정도로 84 %의 향상된 COD 처리효율을 나타내었다. B 유형에서는 초기 10일 정도 경과되면서부터 13~30 mg/L의 비교적 안정된 유출수 수질을 나타내었고, 평균 유출수 농도는 20 mg/L로서 90 %의 비교적 높은 COD 처리효율을 나타내었다.

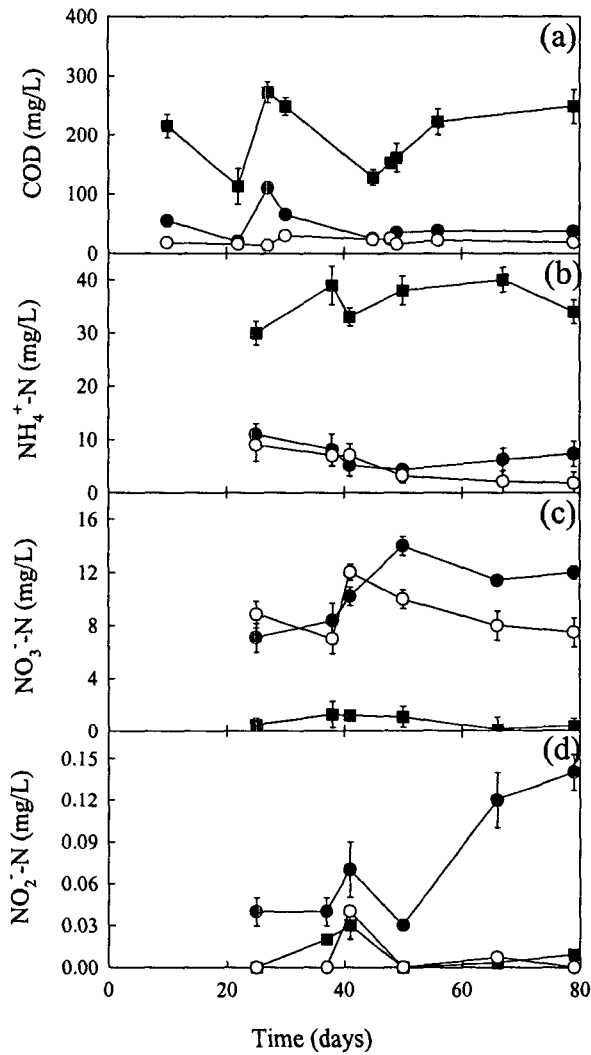


Fig. 2. Variation of COD,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  concentration in influent (■) and effluent of A type (●) and B type (○) according to time.

질산화의 경우 운전초기 40일 이전에는 A 유형과 B 유형의 유출수 중  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  농도가 약 8~10 mg/L로 70 %의 질산화 효율로 나타났고, 그다지 차이도 비교적 크게 나타나지는 않았다. 시간이 경과됨에 따라 질산화 정도에 따라 A 유형에서는 4~7 mg/L로 약 80 %의 질산화 효율을 나타내었고 B 유형에서는 1~3 mg/L로 93 %의 질산화 효율로서, 질산화에 대한 차이가 비교적 크게 나타났다.

A 유형에서는 유출수 중의  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  농도는 시간이 경과됨에 따라 7 mg/L에서 12 mg/L까지 증가되는 경향을 나타내었으며, 탈질화 단계가 없어 계속적으로  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 가 축적되었다. B 유형에서는 유출수 중의  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  농도가 시간에 따라 그다지 큰 변화없이 비교적 일정한 값을 나타내었고 60일 이후에는 8 mg/L 정도의 값으로 유지되었다.

### 3.2. 정상상태에서 반응조별 관찰

포기조 및 SBR(1)에서는 A 유형과 B 유형에 따른 뚜렷한 DO 농도의 차이를 나타내었다. A 유형에서는 지속적인 포기로 인하여 DO 농도가 4.2 mg/L였으나, B 유형에서는 그에 미치는 못하는 3 mg/L 정도로 나타났다.

1차 포기조 및 SBR(1)과 2차 포기조 및 SBR(2)의 경우, A 유형에서는 질산화만 이루어지므로 알카리도의 소모가 많아 100 mg/L 정도로 나타났으나, B 유형에서는 탈질화에 의한 알카리도 보충에 의해 알카리도는 170~200 mg/L로 나타나 알카리도의 소모는 A 유형에 비해 적은 것으로 나타났다. 최종 A 유형과 B 유형의 경우, 2차 침전-여과조에서의 알카리도는 각각 100 mg/L와 150 mg/L로 나타나 B 유형의 알카리도가 다소 높게 유지되고 있는 것을 알 수 있었다.

유입되는 SS는 1차 침전-여과조를 거치면서 상당량 제거되어 7~10 mg/L 정도로 나타나, 1차 침전-여과조의 필요성을 인식하게 해 주었다. 그 다음의 연속적인 공정을 거치면서 SS 농도는 2~3 mg/L 정도로 감소되어 탁월한 SS 제거 효과를 나타내었으며, A 유형과 B 유형의 차이는 크게 나타나지 않았다.

COD의 경우 1차 포기조 및 SBR (1)를 거치면서 65~70 %의 COD가 제거되어 30~45 mg/L로 나타났으나, 순수한 호기성 분해에 의한 유기물 제거량(A 유형)과 호기성 분해 및 탈질화에 의한 유기물 제거량(B 유형)은 큰 차이를 나타내지 않았다.

A 유형의 경우, 1차 포기조 및 SBR(1)와 2차 포기조 및 SBR(2)에서의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  농도는 5~9 mg/L였으나 B 유형에서는 7~12 mg/L로 나타나, B 유형이 A 유형에 비해  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 농도가 다소 높았는데, 이는 A 유형이 지속적인 호기성 상태를 유지함으로써 질산화가 활발하였기 때문인 것으로 판단된다.

A 유형에서는 최종 T-N 값은 24 mg/L 정도로 나타나 54 %의 T-N 제거효율을 얻을 수 있었으며,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 농도가 8 mg/L이고  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 농도가 13 mg/L 인 것을 감안해 보면 대부분의 유기질소는 제거된 것으로 판단된다. B 유형에서는 A 유형에 비해 T-N 값이 낮은 11 mg/L 정도로 나타나, A 유형 보다는 T-N 제거효율이 79 %로 높게 나타났다.

### 3.3. 1차 포기조 및 SBR(1)에서의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 및 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 변화

운전 주기 5시간 동안 1차 포기조 및 SBR(1) 내의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  및  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  변화를 관찰하였다. A 유형에서는 포기만 5시간 동안 계속되고, B 유형에서는 2시간 30분 동안의 포기 후 2시간 30분 동안 비포기 상태를 유지하였다.

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 경우, A 유형과 B 유형 모두 2시간 30분 동안의 포기기간동안  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 감소가 나타났다. A 유형의 경우 2시간 30분 동안의 추가적인 포기에도 불구하고  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 감소는 지속적으로 발생하기는 하였으나 그 양은 그다지 많지 않아 최종  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 농도는 5~6 mg/L로 나타났다. 또한 B 유형에서는 2시간 30분 정도 경과된 후 약 1시간 정도는 약간의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 감소는 있었으나 그 이후에는 6 mg/L 정도로 일정하게 유지되었다.  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 경우, A 유형은 초기 2시간 30분의 포기기간동안 지속적

인 증가 경향을 나타내다가 2시간 30분 이후의 추가 포기기간동안에는 그다지 큰  $\text{NO}_3^-$ -N의 증가를 나타내지 못하였다.

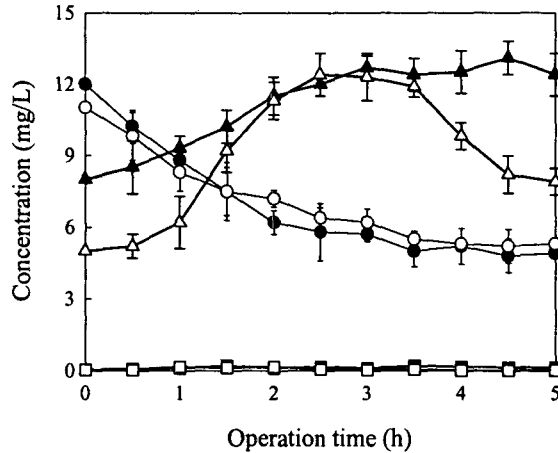


Fig. 3. Typical profiles in 1st aeration tank or SBR in A type (●  $\text{NH}_4^+$ -N, ▲  $\text{NO}_3^-$ -N, ■  $\text{NO}_2^-$ -N) and B type (○  $\text{NH}_4^+$ -N, △  $\text{NO}_3^-$ -N, □  $\text{NO}_2^-$ -N).

이에 비해 B 유형에서는 초기 1시간 정도의 포기기간에는 완만한  $\text{NO}_3^-$ -N의 증가를 보이다가 그 이후 1시간 30분 동안은 급격한  $\text{NO}_3^-$ -N의 증가를 나타내었다. A 유형과 B 유형 모두에서, 초기 30분에서 1시간 30분까지 약간의  $\text{NO}_2^-$ -N이 확인되다가 그 이후에는 거의 검출되지 않았으나, B 유형에 비해 A 유형에서 계속적으로 보다 많은  $\text{NO}_2^-$ -N가 검출되었다.

#### 참 고 문 헌

환경부, 2001, 환경백서, 449-456.  
 환경관리공단, 2002, 환경신기술 소개집, 8-100.  
 이규훈, 정은지, 박태주, 1996, SAC매체를 이용한 고정생물막 반응기에 의한 하수의 유기물질과 암모니아성 질소의 동시제거, 한국수질보전학회지, 12(4), 359-367.  
 APHA, AWWA and WEF, 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed., Washington D.C., USA.  
 Satoh, H., T. Mino and T. Matsuo, 1992, Uptake of organic substrates and accumulation of polyhydroalkanoates linked with glycolysis of intracellular carbohydrates under anaerobic conditions in the biological phosphorous removal process, Water Sci. and Technol., 25(5/6), 933-942.