

OF2) SBR과 SBBR에서 유입 TOC 농도 변화에 따른 영양염류 제거 특성 비교

박영식, 정노성^{1*}, 김동석¹

대구대학교 보건과학부, ¹대구가톨릭대학교 환경과학과

I. 서 론

본 연구에서는 오수처리시설에 적용할 수 있는 시스템의 형태로서 연속 회분식 반응기 (sequencing batch reactor, SBR)와 연속 회분식 생물막 반응기(sequencing batch biofilm reactor, SBBR)를 수중의 질소와 인의 제거에 적용함과 동시에 일반적인 활성슬러지를 이용하여 질소와 인을 처리할 수 있는 슬러지로의 전환과정을 빠르게 하기 위한 연구의 일환으로서, anaerobic (anoxic)-oxic-anaerobic (anoxic) A₂O SBR과 A₂O SBBR에서 유기물, 질소 및 인의 제거 특성과 미세거동을 비교 관찰하였다. 특히, 유입 유기물의 농도를 변화시킨 조건에서 유기물과 질소·인의 제거특성을 효과적으로 조사함으로써 일반 활성슬러지의 질소·인 제거 활성슬러지로의 전환과정을 보다 정확하고 구체적으로 비교·고찰하였다. 또한, 활성슬러지의 변환과정에 따른 SBR과 SBBR내의 pH, DO 농도, 산화환원전위 (oxidation reduction potential, ORP)를 실시간으로 측정함으로써 활성슬러지 변환과정과 운전조건인자의 연계성을 함께 고찰하였다.

2. 연구방법

2.1. 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같이 2조의 반응조를 설치하여 운전하였다. 반응조는 크게 부유하는 미생물을 이용하는 A₂O SBR과 생물막을 도입한 A₂O SBBR 으로 대별할 수 있는데, 비포기-포기-비포기의 3단계 반응으로 구성하였다.

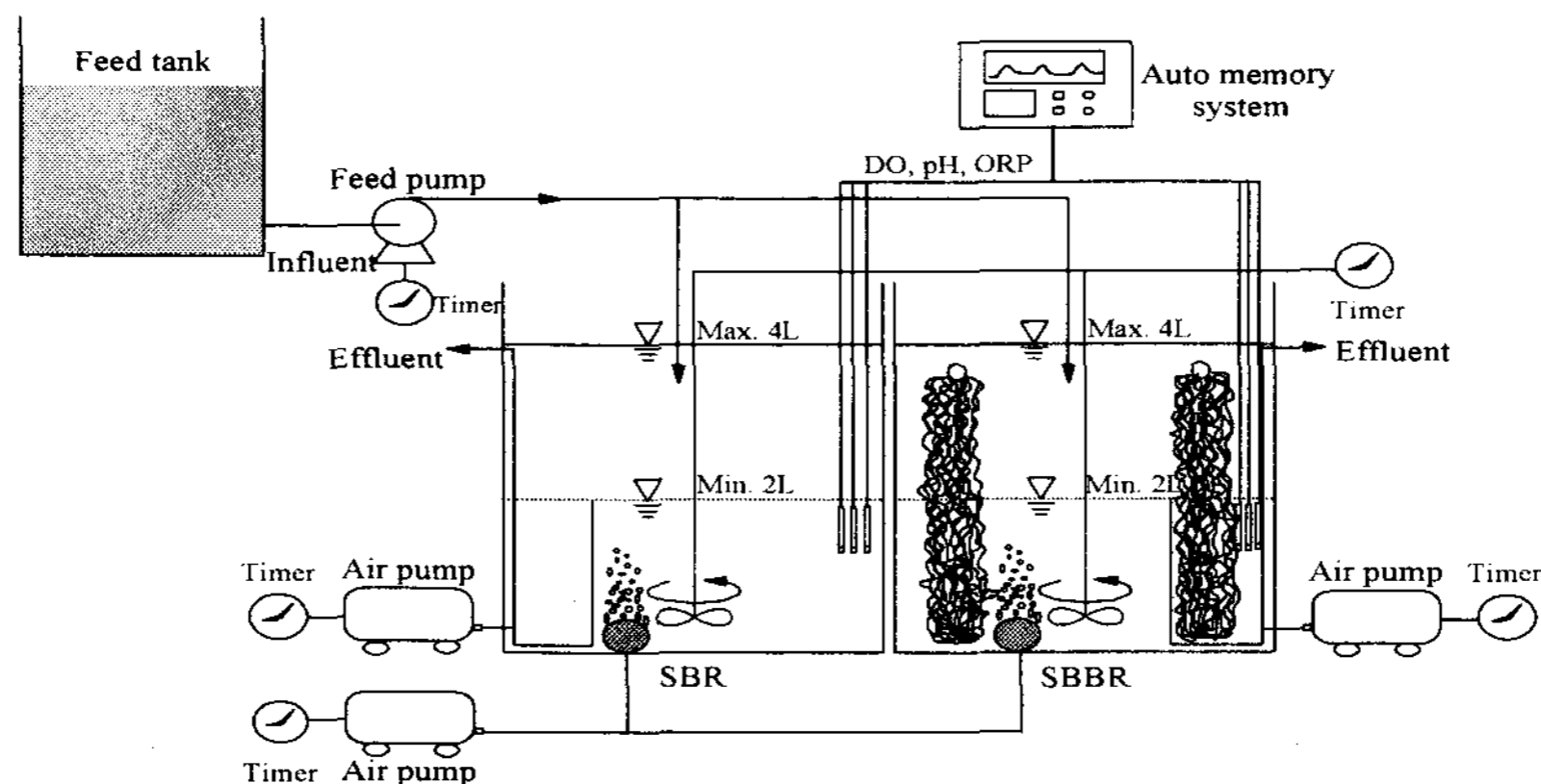


Fig. 1. Schematic diagram of SBR and SBBR systems.

폐수는 정량펌프를 이용하여 반응기 상부에서 매 주기마다 2 L씩 유입시켰으며, 처리수는 침전시간 30분 후 정량펌프를 이용하여 최대 유효 용적의 50 % 인 2 L를 유출시켰다. 비포기시 반응기 내의 혼합을 위해 반응기 하부에 자석교반기를 설치하여 약 100~150 rpm으로 교반시켰다. 포기시 공기 펌프를 이용하여 반응기 하부에 설치된 환형 공기 분산기를 통하여 공기를 주입시켰으며, rotameter를 설치하여 공기 주입량을 0.5 L/min로 유지하였다. 기질 공급, 배출, 포기 및 혼합 등의 조작은 timer를 이용하여 제어하였으며, 온도는 온도조절기를 반응기에 설치하여 20±1℃로 일정하게 유지하였다. 슬러지의 식종은 유기물 처리가 목적인 G시 하수처리장의 반송 슬러지를 채취하여 35 mesh의 체를 이용하여 협잡물을 제거하고, 2~3일 정도 포기시키면서 슬러지 상부에 발생하는 스크(scum)을 완전히 제거한 다음, 3~4차례의 수세과정을 거친 후, 포기시 MLSS가 2,500~3,000 mg/L가 되도록 각 반응기에 동일하게 주입시켰다. 전체적인 반응기의 슬러지 체류시간(sludge residence time, SRT)은 20~30일 정도로 유지하기 위해 일정 양의 슬러지를 매일 침전 시간 직전에 제거하였다.

2. 운전조건 및 분석방법

각 공정별 운전조건은 다음과 같다. 1주기는 12시간으로 하였으며, 전체적인 구성은 유입(30분), 1차 비포기(3시간 30분), 1차 포기(3시간 30분), 2차 비포기(3시간 30분), 침전(30분), 배출 및 휴지기간(30분)으로 하였다. 전체적인 비포기-포기에 소요되는 시간은 10시간 30분이고, 비포기에 7시간을 할당하였고 포기 시간은 3시간 30분이 되도록 하여 비포기와 포기 시간 배분이 약 2:1이 되도록 하였다.

분석은 실험이 각 유입 유기물 농도에서 의사 정상상태(pseudo steady state)에 도달한 다음 이루어졌고, 각 반응기내의 시료 채취는 30분 또는 1시간 간격으로 하였으며, 시료 채취 후 즉시 0.22 μm membrane filter로 여과하여 시료 내 존재하는 미생물을 완전히 제거한 다음 분석에 들어갔다. NH₄⁺-N와 MLSS는 Standard Methods에 따라 분석하였으며, 유기물의 농도는 TOC를 지표로 하여 TOC Analyzer (Schimadzu, TOC-5000A, Japan)를 이용하여 분석하였다. NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, PO₄³⁻-P의 농도는 Ion chromatography (Metrohm, Ion analysis version 2.0, Switzerland)를 사용하여 측정하였다. pH, DO 농도, ORP는 실시간 자동 측정기(Inolab Multi-Parameter Level 3)를 사용하여 분석하였다. 유입되는 폐수 중의 TOC 농도는 실험 목적에 따라 약 30 mg/L, 75 mg/L, 225 mg/L로 변화시키면서 실험하였고, NH₄⁺-N 농도는 15 mg/L, PO₄³⁻-P 농도는 16 mg/L로 일정하게 유지하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 생물학적 질소제거

유입 TOC의 농도를 30, 75, 225 mg/L로 변화시키면서 A₂O SBR과 A₂O SBBR에서 NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N의 1주기내 변화를 분석·관찰하였다(Fig. 2). 유입 TOC 농도를 30 mg/L로 저농도로 유지한 경우에는 의사 정상상태에 도달하는데 약 20일 정도가 소요되었고, 유입 TOC 농도를 증가시켜 75 mg/L로 유지시켜 실험한 경우는 약 45일이 경과되었

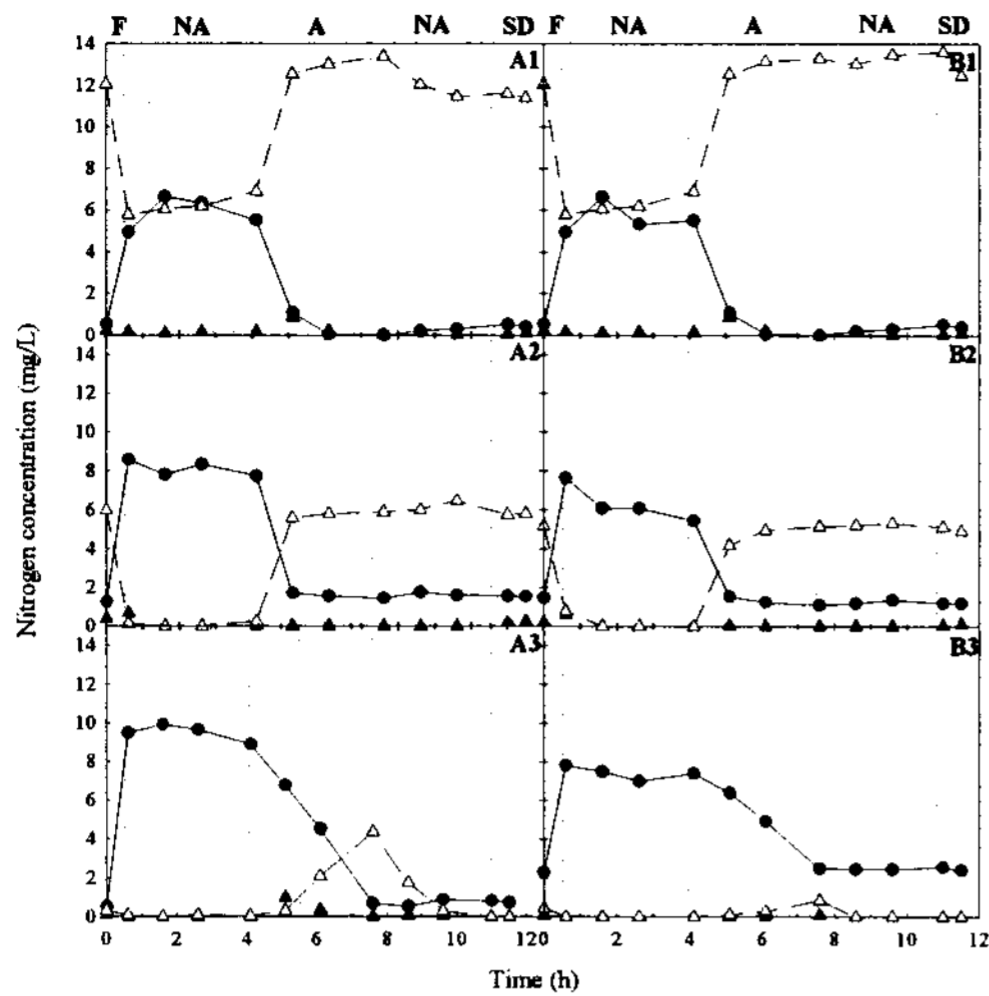


Fig. 2. Typical profiles of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (●), $\text{NO}_2^-\text{-N}$ (▲), $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (△) concentrations according to the variation of influent TOC concentrations (1, 30 mg/L; 2, 75 mg/L; 3, 225 mg/L) in (A) SBR and (B) SBBR. (F, feeding period; NA, non-aeration period; A, aeration period; SD, settling and drawing period)

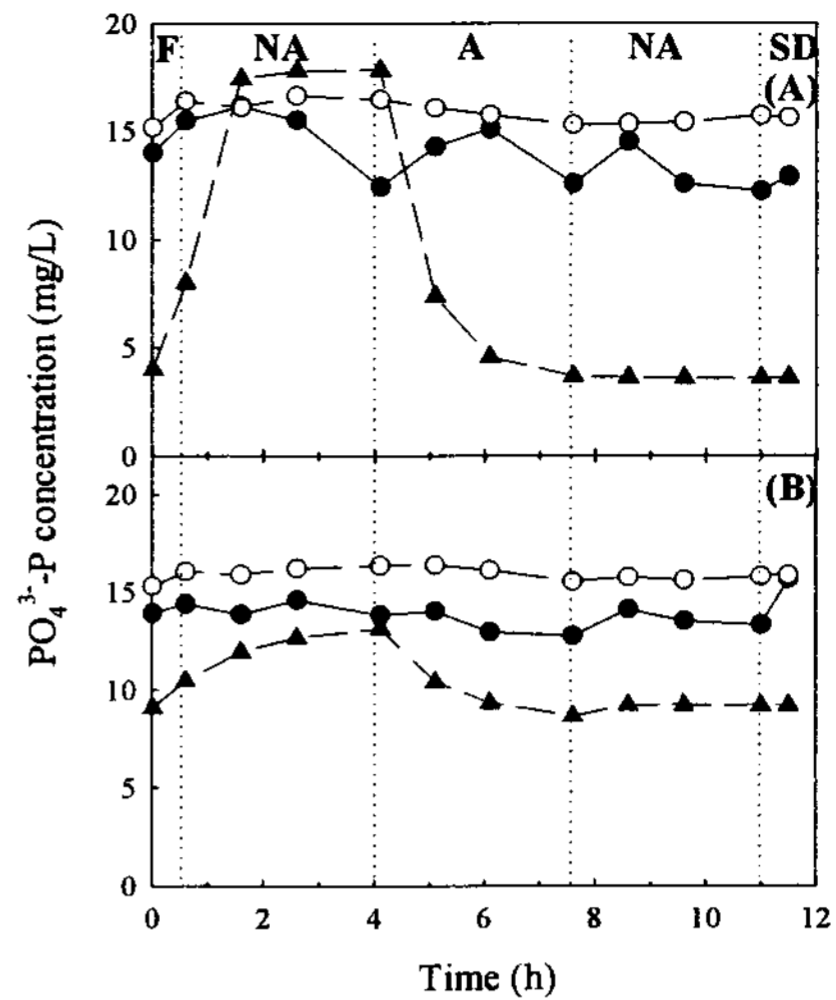


Fig. 3. Typical profiles of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentration according to the variation of influent TOC concentrations (●, 30 mg/L; ○, 75 mg/L; ▲, 225 mg/L) in (A) SBR and (B) SBBR. (F, feeding period; NA, non-aeration period; A, aeration period; SD, settling and drawing period)

으며, 유입 TOC 농도를 225mg/L로 높게 유지한 경우에는 32일 정도의 기간이 의사 정상상태에 도달하기 위해 필요하였다.

3.2. 생물학적 인 제거

유입 TOC 농도를 변화시키면서 SBR과 SBBR 내의 인 농도 변화를 관찰하였다(Fig. 3). 유입 TOC 농도가 비교적 낮은 30 mg/L와 75 mg/L에서는 65일 정도가 경과된 시점인데도 불구하고, SBR과 SBBR 모두에서 혐기상태에서의 인 방출과 호기 상태에서의 인 섭취 현상이 나타나지 않았다. 이는 생물학적 질소제거 공정 중 발생된 NO_3^- 가 완전히 제거되지 못하고 유입기간에 잔존하여 인의 방출을 방해하였고, 이는 인의 제거에 직접적으로 영향을 미친 것으로 판단된다. 유입 TOC 농도가 30 mg/L인 경우에는 10~12 mg/L의 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 가 존재하였고, 유입 TOC 농도가 75 mg/L일 때는 약 6 mg/L의 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 가 잔존함으로써 인의 방출에 영향을 미쳤다는 것은 매우 자명한 사실이다. NO_3^- 나 NO_2^- 가 존재하는 무산소 상태에서 *Acinetobacter* 등과 같은 인 제거 미생물들은 인 방출에 크게 저해 받는 것으로 알려져 있다.

3.3. 생물학적 유기물 제거

유입 TOC 농도변화에 따른 각 구간별 TOC 농도변화를 관찰하여 Fig. 4에 나타내었다. 유입 TOC 농도를 30 mg/L와 75 mg/L로 낮게 유지한 상태에서는, SBR과 SBBR 모두에서 유출수의 TOC 농도는 4~8 mg/L의 범위로 나타나, SBR과 SBBR에 따른 큰 차이가 나타

나지 않았으며 전체적으로 질소와 인을 적절하게 처리하기에는 부족한 상태라는 것을 알 수 있었다.

유입 TOC 농도를 225 mg/L로 증가시킴에 따라 각 반응영역별 TOC의 농도변화는 뚜렷한 차이를 나타내기 시작하였다. SBR에서는 유입 TOC 농도를 30, 75, 225 mg/L로 증가시킴에 따라 TOC 제거효율은 71%, 92%, 94%로 증가하였으며, SBBR에서는 각각 85%, 89%, 90%로 증가하는 것으로 나타나 TOC 농도가 높을수록 TOC 제거효율은 증가하는 것으로 나타났다.

3.4. pH, DO 농도 및 ORP의 변화

SBR과 SBBR 모두에서 유입 TOC 농도가 30 mg/L와 70 mg/L로 비교적 낮게 유지된 상태에서는 유입 TOC 농도가 225 mg/L로 높은 상태와 비교해 볼 때 pH의 변화도 크게 발생되지는 않았다(Fig. 5).

유입 TOC 농도를 225 mg/L로 유지한 상태에서, SBR에서의 pH 변화는 매우 뚜렷하게 나타났고, 전체적인 pH는 유입 TOC 농도가 낮을 때에 비해 감소하였으며 pH 변화폭도 크게 나타났다.

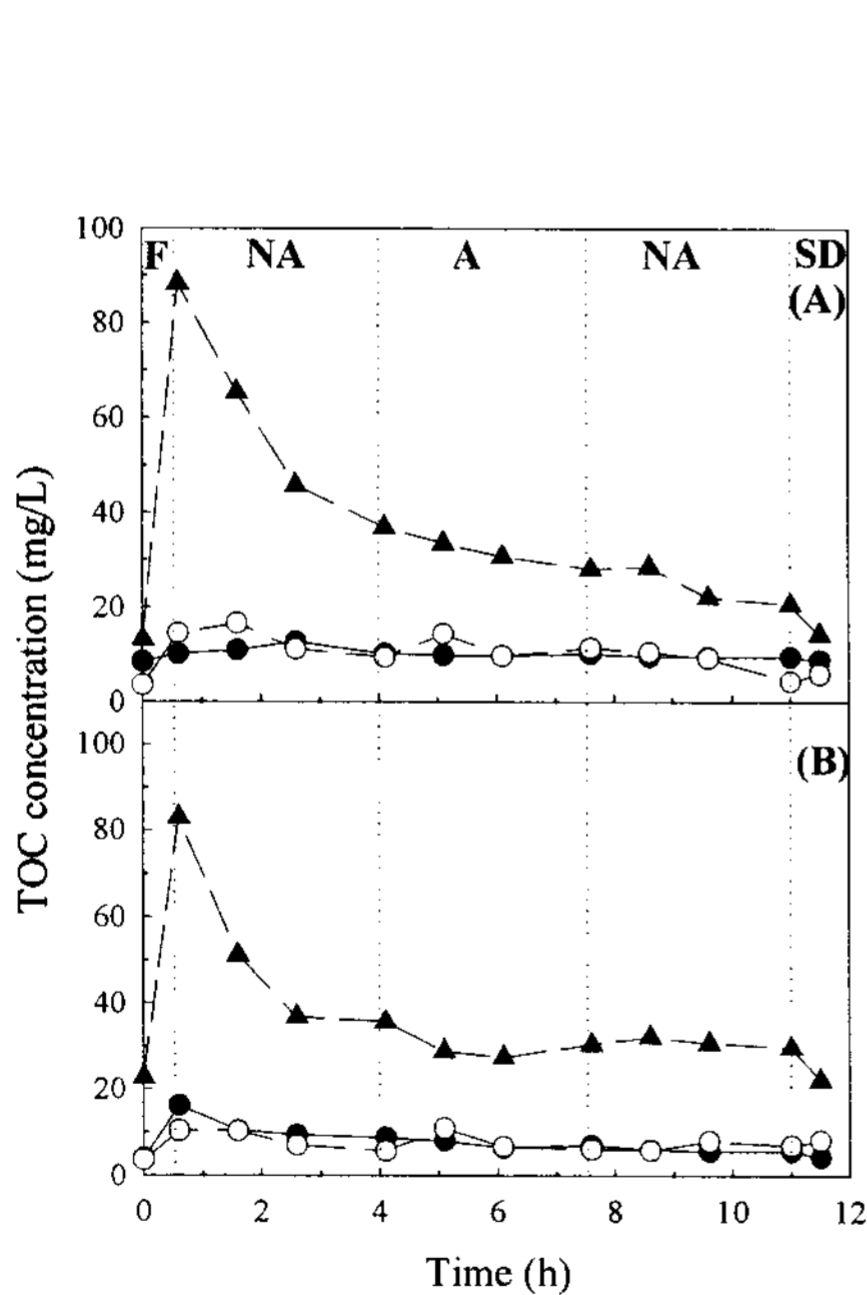


Fig. 4. Typical profiles of TOC concentration according to the variation of influent TOC concentrations (●, 30 mg/L; ○, 75 mg/L; ▲, 225 mg/L) in (A) SBR and (B) SBBR. (F, feeding period; NA, non-aeration period; A, aeration period; SD, settling and drawing period)

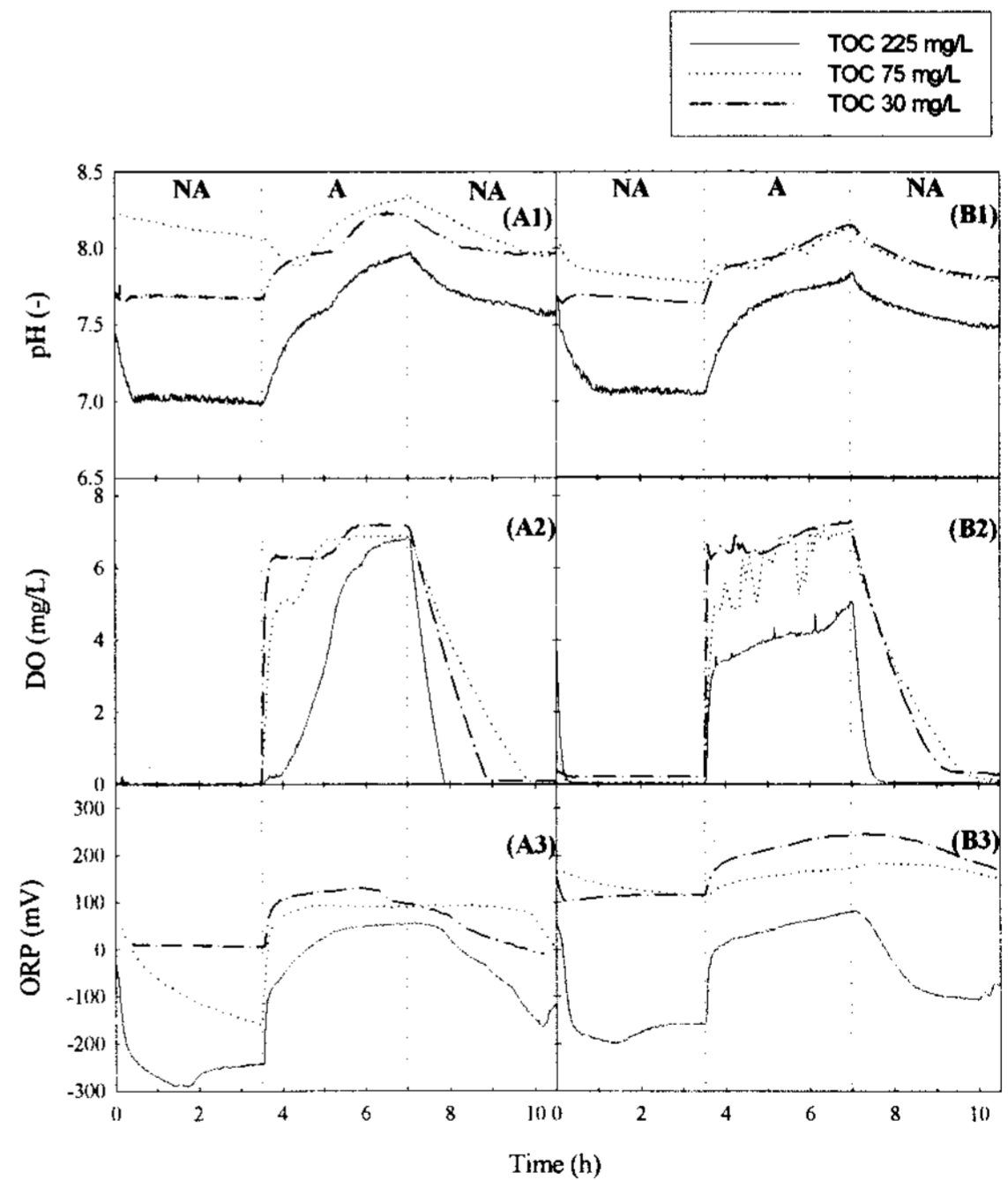


Fig. 5. Typical profiles of (1) pH, (2) DO concentration and (3) ORP according to the variation of influent TOC concentrations in (A) SBR and (B) SBBR. (F, feeding period; NA, non-aeration period; A, aeration period; SD, settling and drawing period)

4. 결 론

SBR과 SBBR을 이용하여 일반적인 활성슬러지의 질소·인 제거 슬러지로의 전환과정을 살펴보기 위하여 유입 TOC 농도를 변화시키면서 실험하였다. 유입 TOC 농도의 변화에 따른 질소·인 제거 특성의 변환과정을 각 반응별로 상세히 관찰하였고 각 반응별 운전조건 인자들(pH, DO 농도, ORP)을 연계하여 조사하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

생물학적 질소제거에 있어 유입 TOC 농도가 낮은 경우에는 SBR과 SBBR에서 큰 차이가 나타나지 않았으나, 유입 TOC 농도가 높은 경우에는 각 구간별 질소제거 거동에 있어 상당한 차이를 나타내었다. 특히, SBBR에서는 동시 질산화-탈질화에 의해 질소가 제거되는 특징을 나타내었는데, 전체적인 질소 제거효율에 있어서는 SBR 96%와 SBBR 88%를 나타내었다.

인 제거에 있어 유입 TOC 농도가 낮은 경우에는 SBR과 SBBR 모두에서 인 제거 효과는 관찰되지 않았다. 유입 TOC 농도가 높은 경우 SBR에서의 인 제거효율은 77.5%이고 SBBR에서는 42.5%로 나타나, 질소와 인의 제거효과는 SBR의 경우가 높은 것으로 관찰되었다.

유입 TOC의 농도가 증가할수록 pH, DO 농도, ORP의 변화가 뚜렷하게 나타났으며, SBBR에 비해 SBR의 경우에서 각 조절인자들의 구간별 특성(탈질화 완료시점, 질산화 완료 시점, 인 방출 및 인 섭취 완료 시점)이 뚜렷하게 표현되었다.

참 고 문 헌

1. 환경부, 2005. 환경백서. 533-540.
2. 신항식, 박홍식, 1990. 메디아를 함유한 연속 회분식 반응기를 이용한 폐수처리(I). 대한 환경공학회, 12(3), 73-82.
3. Woolard, C. R., 1997. The advantages of periodically operated biofilm reactors for the treatment of highly variable wastewater. *Wat. Sci. Tech.*, 35(1), 199-206.
4. 박민정, 김동석, 2004. 연속회분식 생물막 반응기(Sequencing Batch Biofilm Reactor)를 이용한 수중의 유기물, 질소 및 인의 동시 제거 관한 연구. 한국환경보건학회지, 30(2), 84-91.
5. 박영식, 김동석. 2005. 연속 회분식 반응기와 연속 회분식 생물막 반응기의 유기물, 질소 및 인의 동시 제거에 관한 비교 연구. 한국환경보건학회지, 31(2), 152-159.