

OF1) BNR 슬러지 유입비율에 따른 SBR의 초기 start-up과정의 영양염류제거 특성

정노성^{1*}, 박영식², 김동석¹

¹대구가톨릭대학교 환경과학과, ²대구대학교 보건과학부

1. 서 론

소규모 오수처리시설에서 널리 쓰이는 SBR(Sequencing Batch Reactor) 역시 여느 생물학적 처리시설과 마찬가지로 초기 start-up시 높은 질소·인 처리효율을 기대하기 힘든데, 이는 초기 처리시설의 설치시 미생물을 반응조에 식종하지 않은 채 운영을 하거나, 식종을 하더라도 적절한 최적의 식종 슬러지량을 결정하지 못하고 있기 때문이다.

본 연구에서는 Glucose를 탄소원으로 하여, pH로 조절을 하지 않은 SBR 하수처리시설의 초기 start-up시, 질소와 인 제거능이 없는 활성 슬러지에 일정 비율의 BNR (Biological Nutrient Removal) 슬러지를 식종하여 질소와 인 제거 슬러지로의 전환과정을 관찰하였다. 또한 FISH(Fluorences in situ Hybridization)을 통하여 슬러지 식종에 따른 반응조내의 미생물 군집 변화를 실험 경과에 따라 관찰 하였으며, DO, pH, ORP를 실시간으로 측정하여 반응과정을 모니터함으로써 미생물의 미세거동을 관찰하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

SBR 반응조는 Fig. 1과 같이 4개의 SBR을 설치하여 운전하였는데, 크게 비포기-포기-비포기의 3단계 반응으로 구성하였다.

각 반응조는 아크릴을 사용하여 150 x 150 x 250 mm의 크기로 제작되었으며, 유입 후 최대 용적량을 4 L, 최소용적량을 2 L가 되도록 하였다. 폐수는 정량펌프를 이용하여 반응기 상부에서 매 주기마다 2 L씩 유입시켰으며, 처리수는 침전시간 30분 후 정량펌프를 이용하여 반응기 최대 유효 용적의 50%인 2 L를 유출시켰다. 비포기시 반응기 내의 혼합을 위해

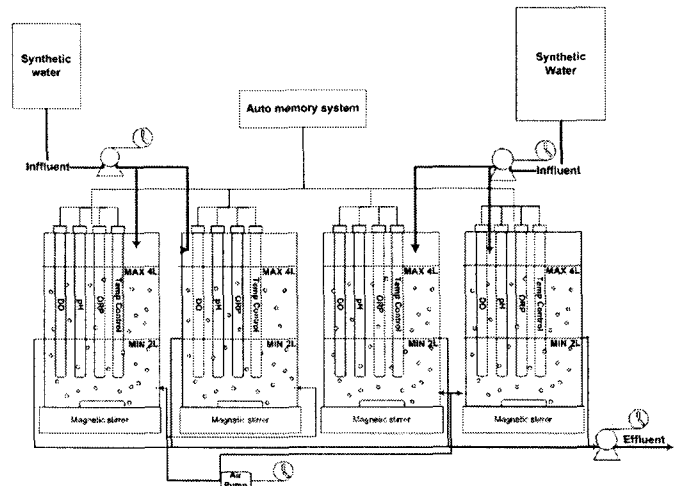


Fig. 1. sequencing Batch Reactor with activated sludge +BNR sludge

반응기 하부에 자석 교반기를 설치하여 일정하게 150rpm으로 교반시켰으며, 온도는 자동온도 조절기를 이용하여 $25\pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지되었다. 포기시 공기펌프를 이용하여 0.5L/min의 공기가 반응기 하부에 설치된 산기관을 통하여 주입되었다. 기질 공급, 처리수 배출, 포기 및 혼합 등의 조작은 timer를 이용하여 제어하였다. 반응 주기는 12h/cycle로 하였다. 반응단계는 유입, 혐기, 호기, 무산소, 침전, 배출, 휴지단계가 이루어지도록 하였으며 유입시간 30분을 포함한 혐기 단계가 3시간 30분, 호기단계와 무산소단계가 각각 3시간 30분으로 설정하였다. 또한 침전과 배출 단계를 1시간으로 하고 휴지 조건을 30분으로 설정하였다. 유입된 폐수 성분은 Table 1과 같으며, 농도는 TOC 240mg/L, $\text{NH}_3\text{-N}$ 40mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 15mg/L로 일정하게 유지되었다.

일반 활성슬러지는 K시의 하수처리장에서 채취하여 과폭기를 통하여 질소와 인 제거능력을 인위적으로 떨어뜨려 사용하였으며, BNR 슬러지는 질소와 인이 정상적으로 제거되는 반응조에서 채취하여 사용하였다(Fig. 2). 일반 활성슬러지는 각각 반응조당 MLSS 1,200 mg/L로 일정하게 유입하였으며 BNR슬러지는 각 반응조당 MLSS 0mg/L, 400mg/L, 800mg/L, 1200mg/L를 첨가하여 BNR의 비율이 전체의 0%, 25%, 40%, 50%가 되도록 하였다.

2.2. 실험 방법

각 반응기 내의 시료 채취는 약 30분 내지 1시간 간격으로 채취하였으며, 시료 채취 후 즉시 $0.2\mu\text{m}$ 인 membrane filter로 여과하여 시료 내 존재하는 미생물을 완전히 제거한 다음 분석에 들

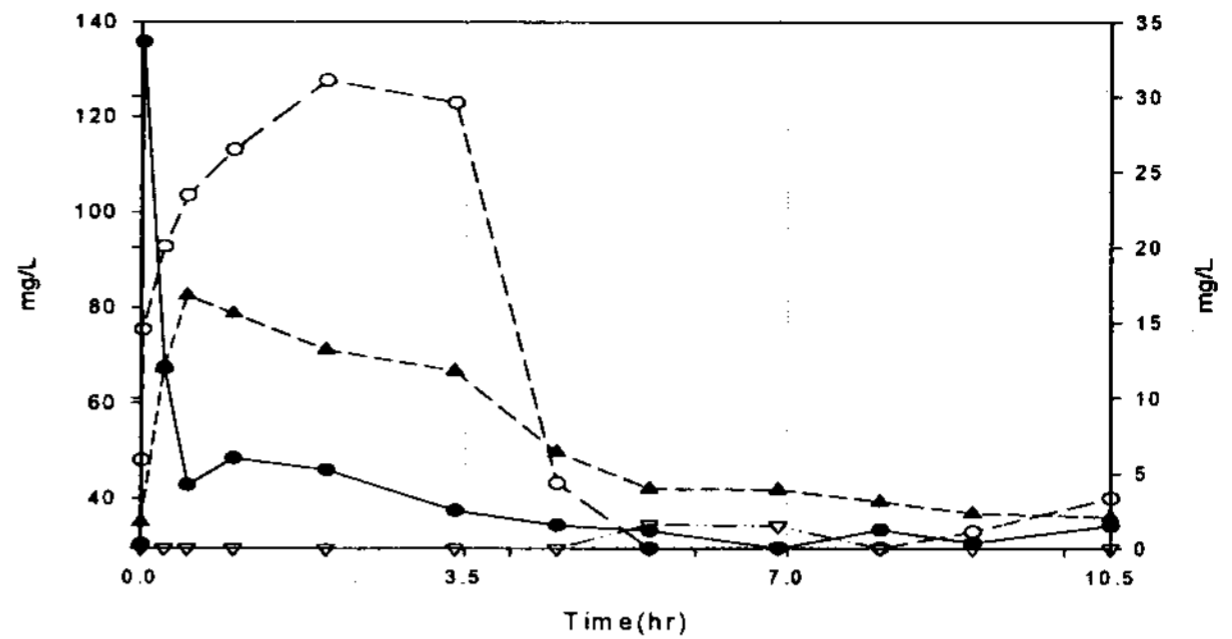


Fig. 2. Biological Nutrient removal Sludge (● : TOC, ○ : Phosphorus, ▲ : Ammonia, ▼ : Nitrite, ▽ : Nitrate)

Table 1. Compounds Concentration of Synthetic water

Compounds	Mg/L
Glucose	600mg/L
MgSO ₄ 7H ₂ O	50mg/L
MnSO ₄ 7H ₂ O	55mg/L
FeSO ₄ 7H ₂ O	2.22mg/L
KCl	7mg/L
(NH ₄)SO ₄	188.4mg/L
K ₂ HPO ₄	84.2mg/L
NaHCO ₃	300mg/L
CaCl ₂	3.76mg/L

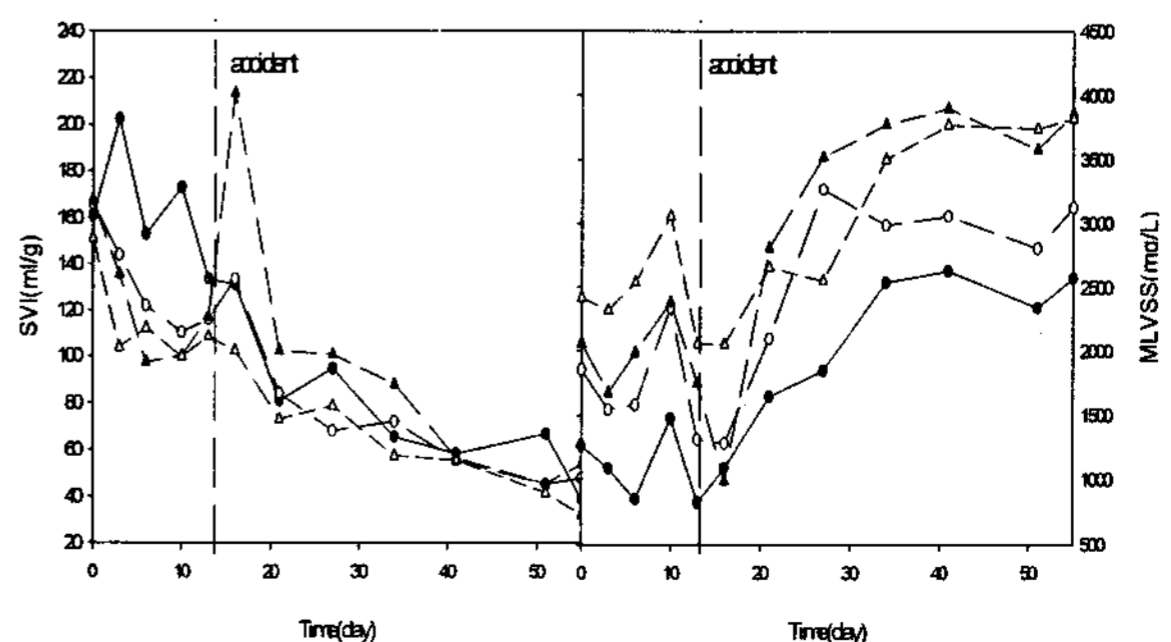


Fig. 3. MLVSS, SVI concentration variation in acivated sludge + BNR sludge.

어갔다. MLVSS는 Standard Methods[2]를 통하여 측정하였고, 유기물의 농도는 TOC(total organic carbon)를 지표로 이용하여 TOC analyzer (TOC-5000A, shimadzu, Japan)를 통하여 분석하였다. 아질산성 질소와 질산성 질소, 인산염 인은 Ion Chromatography (Metrohm, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. 암모니아성 질소는 HS 3100 Water Analyzer (Humas, Korea)를 이용하여 측정하였다. pH, DO, ORP는 실시간 자동 측정기 (Ino lab multi level 3, WTW, Germany)를 사용하여 측정하였다. 미생물의 군집변화를 보기 위한 FISH는 관련 논문(여상민, 2006)을 참고하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. BNR 슬러지 접종에 따른 MLVSS, SVI 농도 변화

MLSS와 MLVSS는 standard methods에 의해 측정하였다(APHA, 20th). MLSS와 MLVSS 농도의 변화는 4 반응조 모두 거의 동일한 증가 속도를 나타내었다.

SVI(Sludge Volume Index)에서는 Fig. 3에서 보는 것과 같이 4 개 반응조 모두 미생물의 양이나 종류에 상관없이 지속적으로 감소하였으며, 최종에는 60이하의 양호한 값을 나타내었다.

3.2. BNR 슬러지 접종에 따른 미생물 군집 변화.

Fig. 4와 같이 FISH를 통하여 미생물 군집의 변화를 관찰하였다. 각 반응조의 질산화와 인 축적에 관여하지 않는 미생물들이 급격히 증가하였고 상대적으로 아질산미생물과 질산화미생물, 인축적미생물들은 소량 증가·감소하였다.

3.3. BNR 슬러지 접종에 따른 유기물 제거 변화

유기물제거에서 유입이 진행되는 30분 동안 약 80%의 유기물이 제거 되었다. (Fig. 5) 유기물 제거효율은 BNR 슬러지가 가장 많이 접종된 Reactor 4 에서 가장 높은 값을 나타냈으나 Reactor 1,2,3과 근소한 차이를 보였다. 전체적으로 BNR 슬러지가 접종되었거나 되지 않았거나 별다른 차이 없이 모두 85%이상의 유기물 제거 효율을 나타내었다. 초기 유입부분의 급격한 유기물 제거는 유입과 함께 혐기 조건에서 지속적으로 교반이 이루어져 탄소원의 반응조내 확산이 원활함에 따라 미생물 표면에 직접적으로 흡착이 되거나 PHAs로 분해·축적된 것으로 판단된다(전체옥,2000). BNR 슬러지 접종 초기의 유기물 제거는 PAOs보다는 heterotroph에 의해 제거 되는 것으로 보는 것이 타당하다고 판단되며 BNR 슬러지의 접종은 유기물 제거에 별다른 영향을 끼치지 못하는 것으로 판단된다.

3.4. BNR 슬러지 접종에 따른 암모니아 변화

암모니아 제거에 있어서 접종에 따른 변화는 두드러지게 나타났다. (Fig. 6) 암모니아

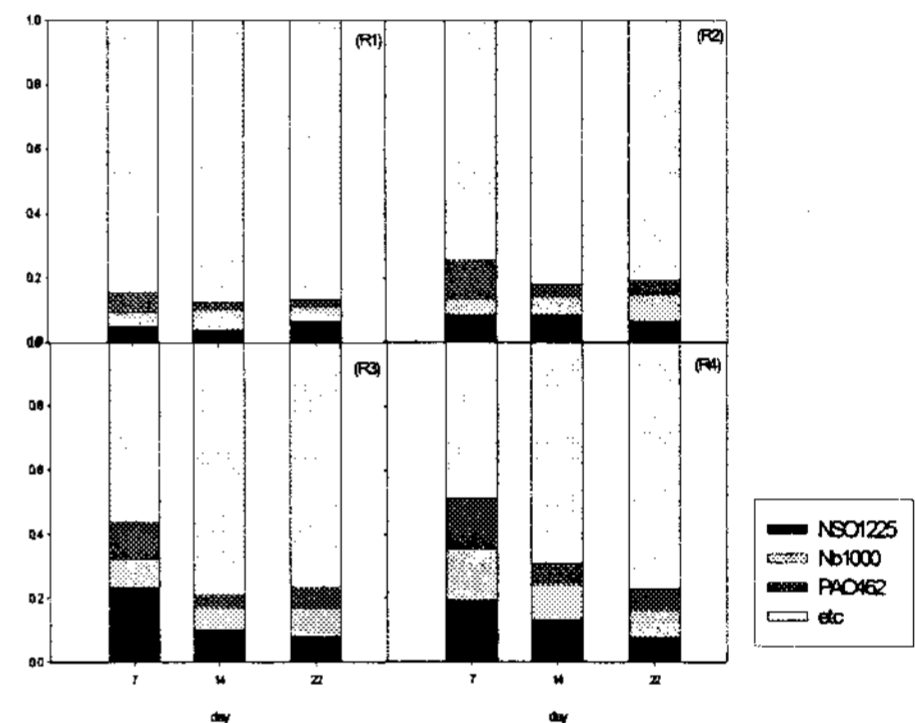


Fig. 4. microorganisms population variation in activated sludge + BNR sludge.

제거 효율을 비교하면 BNR 슬러지를 접종하지 않은 Reactor 1의 경우, 제거 효율 90%에 달하는데 27일이 경과되는 반면, BNR 슬러지를 접종한 Reactor 2,3,4의 경우, 7일의 경과 기간을 보였고, Reactor 4는 7일 만에 92%에 달하는 암모니아제거효율을 보였다.

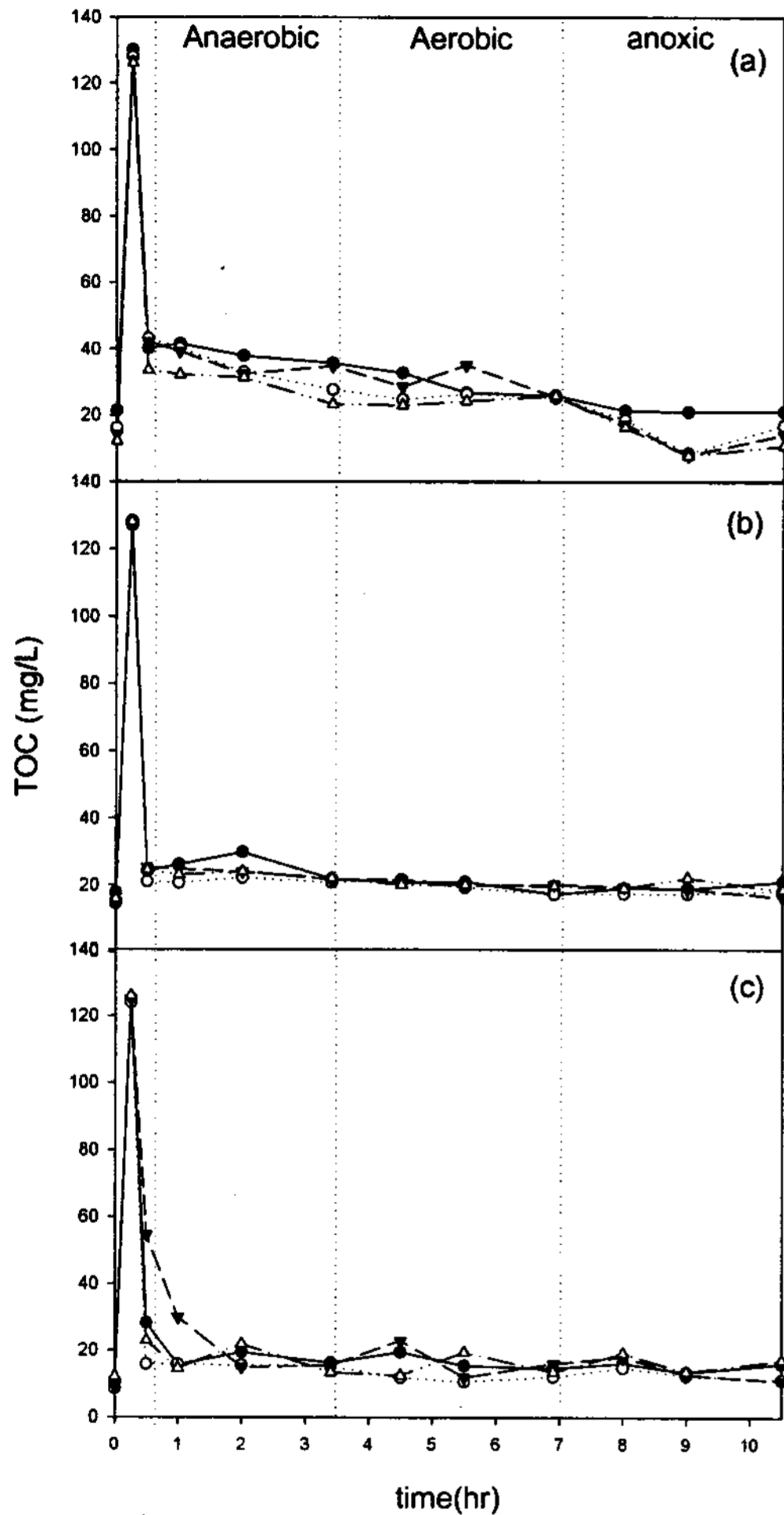


Fig. 5. Total organic carbon removal in activated sludge + BNR sludge ((a). 3 day; (b), 7 day; (c), 27 day; ●, R1; ○, R2; ▼, R3; Nitrite, △, R4)

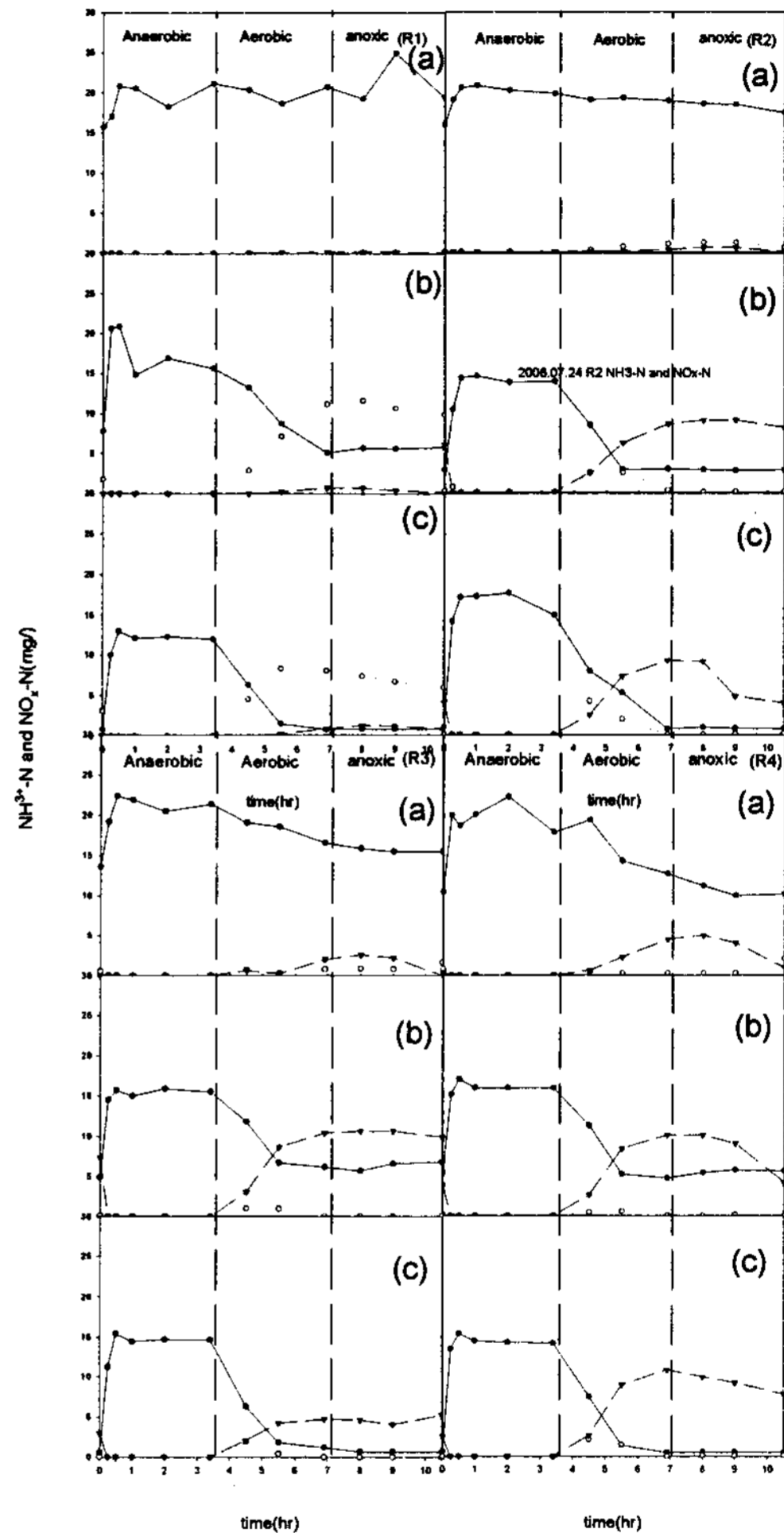


Fig. 6. Ammonia removal in activated sludge + BNR sludge. ((a), 3 day; (b), 7 day; (c), 27 day)

BNR 슬러지가 접종된 경우에는 15일이 경과되는 시점에서 각각 90%를 전후한 제거 효율을 보였으나 BNR 슬러지가 접종되지 않은 경우에는 15일이 경과되는 시점까지 약 35%를 보였다가 급격히 늘어나 6일 후에 70%의 제거 효율을 보였다(data not shown). 이미 상당한 질산화 미생물을 포함하는 BNR 슬러지를 첨가한 반응조에서는 기존의 미생물로 인하여 암모니아 제거 효율이 짧은 기간 내에 상당한 효율을 보인 반면, 그렇지 않은 반응

조는 제거 효율이 여타 반응조와 비슷해지는데 소요된 기간이 15일 이상 소모되었다. 또한 BNR 슬러지를 접종하지 않은 Reactor 1은 아질산화는 활발히 일어나는 반면 질산화가 충분히 일어나지 않아 불완전한 암모니아 제거를 나타냈다. 이는 느린 질산화 미생물의 성장으로 인한 현상임을 FISH를 통해 확인할 수 있었다. 질산화 미생물이 충분히 서식하고 있는 BNR 슬러지를 접종한 Reactor 2,3,4에서는 활발한 질산화와 성장을 확인할 수 있었다.

3.5. BNR 슬러지 접종에 따른 인 제거 변화.

인 제거에 있어 암모니아 제거와 마찬가지로 BNR 슬러지의 접종 정도에 따른 변화를 명확히 보여 준다. (Fig. 7) BNR 슬러지 접종에 따른 유입 인의 제거 효율을 보면 연구 시작 시점인 3일은 각각 7.6%, 20.93%, 10.11%, 28.21%의 제거 효율을 보였다. 6일째 되는 시점에서는 9.18%, 15.55%, 6.94%, 37.49%라는 제거 효율을 나타내었으며, 최종 분석에서는 42.06%, 49.33%, 58.31%, 65.97%의 제거 효율을 나타냈다. BNR 슬러지가 접종되지 않은 Reactor에서도 PAOs의 성장에 따라 인의 방출과 흡수를 나타냈으나 상대적으로 다른 Reactor에 비해 적은 인 제거 효율을 나타내었다. 시간이 지남에 따라 접종된 Reactor에서는 인 방출량이 높아진데 비해 비접종 Reactor는 처음과 같은 방출량을 보였다.

3.6. BNR 슬러지 접종에 따른 DO, pH, ORP 변화

pH, DO, ORP변화는 Fig. 8에서 볼 수 있다.

BNR 슬러지 접종에 따른 pH의 변화는 질산화 변곡점을 통하여 각 반응기의 특성이 나타났다. 연구 초반에는 암모니아의 분해가 원활하게 이루어 지지 않음에 따라 변곡점이 나타나지 않고 호기에 의한 완만한 그래프를 나타냈다. 시간이 흐름에 따라 각 반응기마

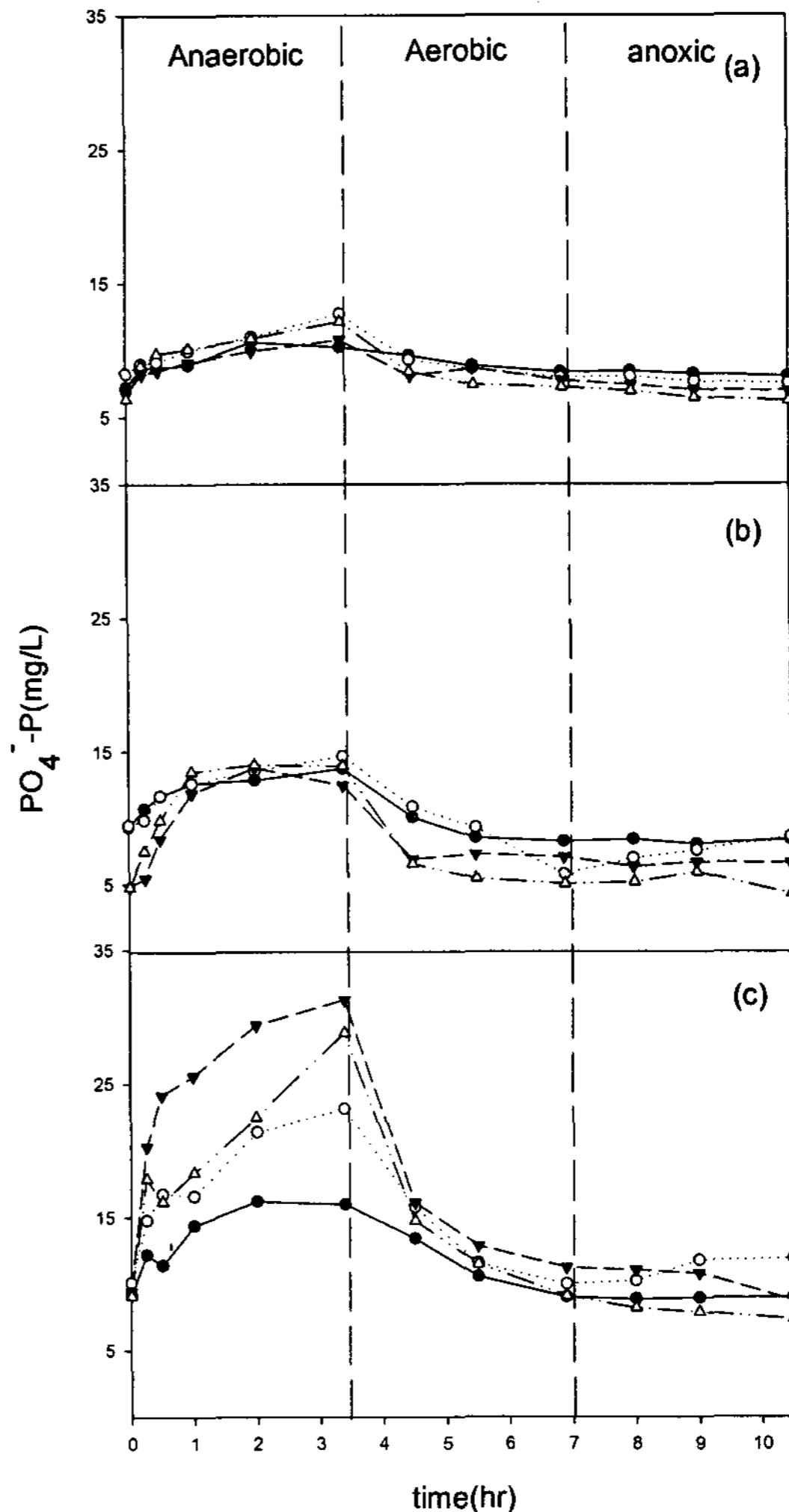


Fig. 7. Phosphorus removal in activated sludge + BNR sludge. ((a). 3 day; (b), 7 day; (c), 27 day; ●, R1; ○, R2; ▼, R3; Nitrite, △, R4)

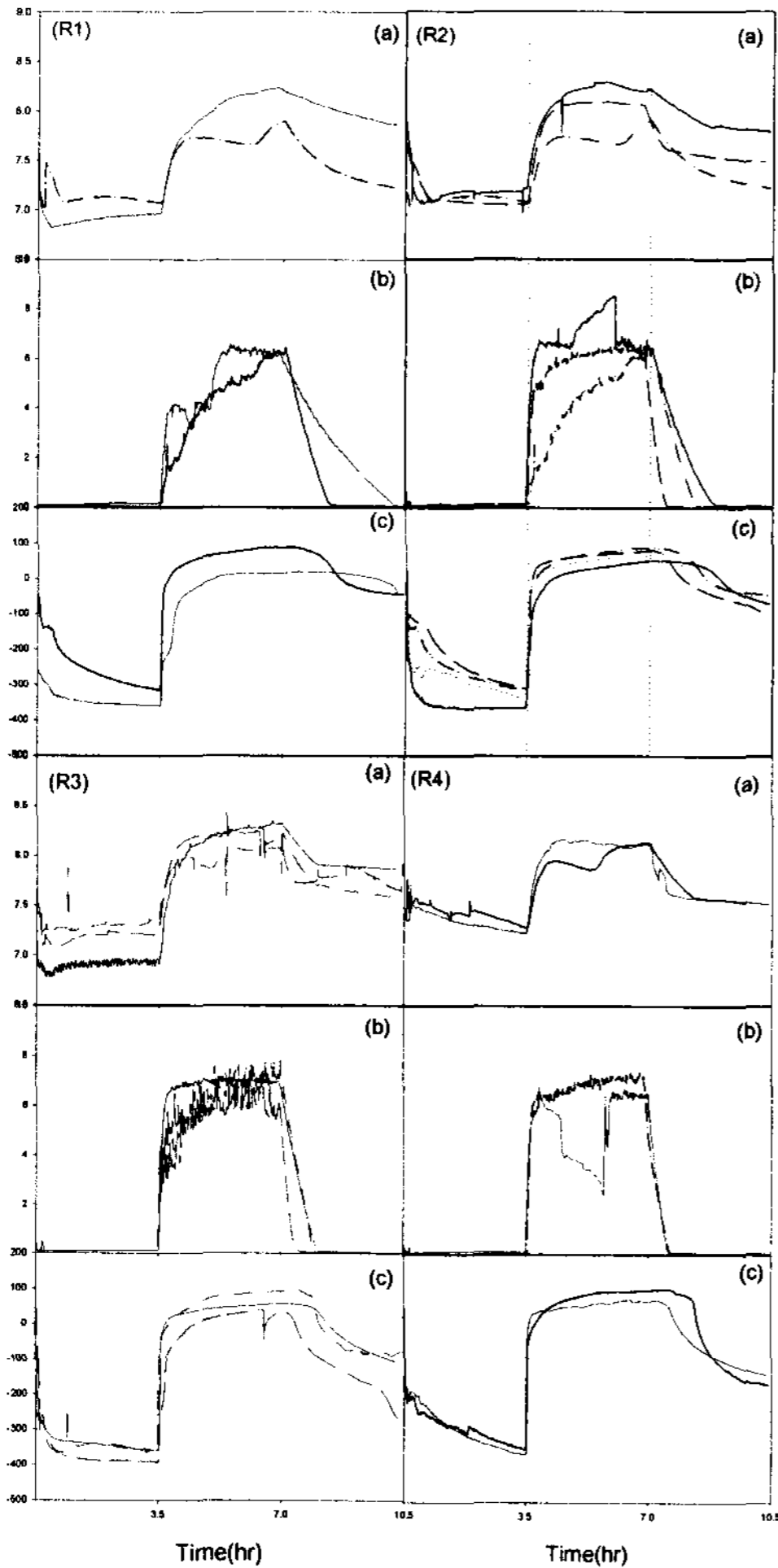


Fig. 8. DO, pH, ORP profile in activated sludge + BNR sludge. ((—), 3 day; (---), 7 day; (-·-·-), 27 day; (a), pH; (b), DO; (c), ORP)

무산소 단계에서는 반응조 내 DO가 존재할시 ORP graph가 떨어지지 않다가 DO농도가 0.5이하로 감소하였을 때부터 하향하기 시작했다. ORP graph를 통하여 반응조의 무산소 단계 여부를 확인할 수 있었다.

4. 요약

이번 연구에서는 pH 조작이 어려운 소규모 하수 처리장에서의 BNR 슬러지의 접종으로 인한 SBR start-up시 영양 염류 제거 특성 및 변화를 관찰 하였다.

1) 글루코즈를 탄소원으로 사용한 유기물 제거에 있어서 모두 85%이상의 높은 제거 효율을 보였으나 BNR 슬러지 접종 비율이나 유무에 따른 SBR의 유기물 제거에 미치는 영

다 질산화에 따른 변곡점이 나타났으며, 암모니아가 질산성 질소로 전환되는 시점으로 나타났다. 하지만 Reactor 1의 경우는 질산화를 완료하지 못하고 아질산성 질소로 잔존하였음에도 불구하고 변곡점이 나타난 것으로 보아 변곡점은 질산화가 완료되는 시점이 아닌 하수 내 완충능력과 암모니아 분해에 따른 산 생성 정도의 상호 관계에 따라 나타나는 것으로 판단된다. DO의 변화를 통해 반응기내 산소 소모를 확인하였다. 호기 단계에서 질산화가 마무리 되는 지점에서 DO graph의 기울기가 완만해지는 것을 확인하였다.

Reactor 1은 아질산화에 따라 상당량의 산소를 소비하였으나 질산화로 이어지지 못해 다음 단계인 무산소 구간에서 DO 그래프가 천천히 떨어지는 모습을 보였다. 이에 반해 Reactor 2, 3, 4의 경우 무산소 구간에서 Reactor 1에 비해 빠른 속도로 산소를 소비하였으나 호기 단계에서는 상대적으로 산소를 덜 소비하는 양상을 보였다.

ORP 변화에서는 혐기 구간내의 PAOs의 활동을 관찰할 수 있었다. 유입 비율에 따라 초반에는 상대적으로 평탄한 그래프를 보이는 반면 기간이 흐름에 따라 PO_4^-P 의 방출량이 증가할수록 그래프가 떨어지는 와중에 포기로 인한 ORP의 상승을 볼 수 있었다.

향은 미비한 것으로 나타났다.

2) 유입비율에 따라 암모니아 제거 효율은 BNR 슬러지 첨가 유무에 따라 바뀌었으며, 비율에 상관없이 첨가된 반응조는 7일 이내 82~98%에 달하는 제거율을 보였다.

3) 인 제거효율에 있어서는 유입비율에 따라 인 제거 효율이 증가하였으며, 첨가와 미첨가의 차이는 25%이상의 인 방출량 차이를 나타내었다.

4) 첨가한 BNR 슬러지의 비율이 전체의 40%이상일 때는 50%일 때와 큰 차이를 보이지 못했다.

5) FISH를 통하여 미생물 군집을 확인하였고 각 미생물들 간의 상대적인 비율과 heterotroph의 급격한 증식을 확인할 수 있었다.

6) pH, DO, ORP graph를 통한 Reactor의 실시간 조정 가능성을 볼 수 있었다.

7) BNR 슬러지를 접종하지 않을 경우, PAOs와 질산화 미생물의 성장이 더더 영양염류 제거가 어려웠다.

참 고 문 헌

여상민, 이영옥, 생물학적 인 제거 공정에서 탄소원에 따른 미생물군집구조의 변화, 대한 환경공학회지, Vol.28, No.2, 165p~172p

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Ed.

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

Che Ok Jeon, Jong Moon Park Enhanced biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor supplied with glucose as a sole carbon source. Water Research, Volume 34, Issue 7, 1 May 2000, Pages 2160-2170