

PG3 SBR과 SBBR에서의 공정 제어 parameter에 관한 비교 연구

박민정*, 김동석

대구가톨릭대학교 환경과학과

1. 서 론

폐수내의 영양염류로 알려진 질소나 인의 제거 방법은 일찍이 물리화학적인 방법을 이용하였으나 경제성의 문제로 최근에는 생물학적 방법이 주로 연구되고 있다. BNR (biological nutrient removal)공정에서 질소와 인을 제거하기 위해서는 질산화, 탈질화, 인 방출, 인 섭취 반응이 동시에 일어나야 한다. 따라서 이러한 반응에 관여하는 미생물의 대사작용에 적합한 조건인 혐기, 무산소, 호기상태가 유지되어야 한다. 이들 반응상태는 공간적으로 구분되어질 수도 있고, 시간적으로 구분되어 유지할 수도 있는데, 공간적인 공정으로는 Bardenpho, UCT, VIP등이 그 좋은 예이다. 하지만 이들 공정은 처리장의 부지면적을 많이 차지하며, 그만큼 건설비, 설치 및 유지 관리비가 많이 소요된다는 단점이 있다.

그에 반해 시간적으로 제어가능한 공정인 연속 회분식 반응기(Sequencing Batch Reactor, SBR)는 한 반응기 내에서 시간별로 혐기, 호기 및 무산소 조건을 형성시킴으로써 반응기 용적을 줄일 수 있는 것은 물론이고 질소와 인을 동시에 제거할 수 있는 특징이 있다. Irvine(1988)에 의해 비교적 체계화된 연속 회분식 공정은 하나의 연속 회분식 반응조에 일정시간 간격으로 폐수를 유입, 반응, 침전, 유출시킴으로써 쉽게 혐기 및 호기조건을 변경할 수 있는 특징이 있다. 부지면적, 건설비, 장치비를 줄일 수 있고 한 주기내 각 공정 시간배분을 통해 다양한 운전이 가능한 장점을 가지고 있다. 이러한 시간적 제어가 요구되는 공정에서는 포기·비포기를 주기적으로 반복하기 때문에 복잡성과 더불어 안정적인 운전을 위해서 공정제어 및 자동화의 필요성에 대한 인식이 요구되고 있다. 최근 하·폐수처리장에서 호흡률, ORP, pH, DO등 실시간 제어인자를 이용한 공정제어 기술이 관심의 대상이 되고 있다. 포기 비포기를 주기적으로 반복하는 SBR 및 간헐포기 형태의 BNR공정에서 포기 비포기의 주기 및 시간을 최적화해야 할 필요성을 크게 인식되고 있다.

1940년대에 활성슬러지 공정에 소개된 산화-환원전위(Oxidation-Reduction Potential: ORP)는 DO측정법에 대두로 인해 크게 각광받지 못했으나, 1970년대 질소 및 인의 동시 제거에 성공적으로 적용된 이후 그 가능성을 인정받고 있다. DO의 경우 미생물의 간접적인 지표로서 호기상태에서 유용하게 이용되지만, 혐기와 무산소 상태에서는 제어가 불가능하기 때문에 원활한 공정제어를 위해서는 다른 parameter가 필요하다. ORP-time profile은 생물학적 반응과 뚜렷한 상관관계를 가지는 특징이 있어 생물학적 상태를 실시간으로 제공하기 때문에 공정제어 parameter로 이용 가능하다. 또한 ORP는 on-line으

로 측정이 가능하고 자동제어 및 공정관리가 쉽기 때문에 ORP를 이용하여 DO제어 보다 효과적으로 적용시킬 수 있다. 최근 DO, ORP 뿐만 아니라 pH를 이용하여 제어하였을 경우, 질소 및 인의 제거효율이 크게 향상되며, 포기 및 비포기 시간의 자동화 공정에서 성공적인 결과가 보고되고 있다.

본 연구에서는 SBR에 DO, ORP, pH의 자동 제어 parameter로서의 가능성을 평가하고, 더 나아가 생물막을 적용시킨 생물막 연속회분식 반응기(sequencing biofilm batch reactor)를 이용하여 비교 연구하였다.

2. 실험방법 및 재료

반응조는 2개를 설치하여 운전하였는데, SBR과 SBBR에서 운전조건은 동일하게 유지하였고, SBR에는 생물막은 도입시키지 않은 부유 미생물 상태로 운전하였고, SBBR에는 여재를 충전하여 생물막을 형성한 상태에서 운전하여 비교실험을 하였다. 각 반응조는 5 mm 두께의 투명아크릴로 15 × 15 × 25 cm로 제작하여 유입 후 최대 유효 용적을 4 L, 유출 후 최소 유효 용적을 2 L로 하였으며, 실험에 사용된 미디어는 비표면적이 89~223 m²/m³인 polyvinylchloride 재질의 그물상 여재로 겉보기 용적으로 반응기 용적의 약 20 %가 되도록 충전시켰다. 비포기시 반응기의 혼합을 위해 magnetic stir를 반응기 상부에 설치하여 약 200~250 rpm으로 교반시켰다.

DO, pH, ORP의 측정은 실시간 자동 측정기(Inolab Multi-Parameter Level 3)를 사용하여 분석하였다. 기질공급, 처리수 배출, 포기 및 혼합 등의 조작은 timer를 이용하여 시간대에 따른 제어가 가능하도록 하였으며, 온도는 온도조절기를 반응기 상부에 설치하여 20 ± 1℃로 일정하게 유지하였다. 처리수는 30분간의 침전시간이 지난 다음 정량펌

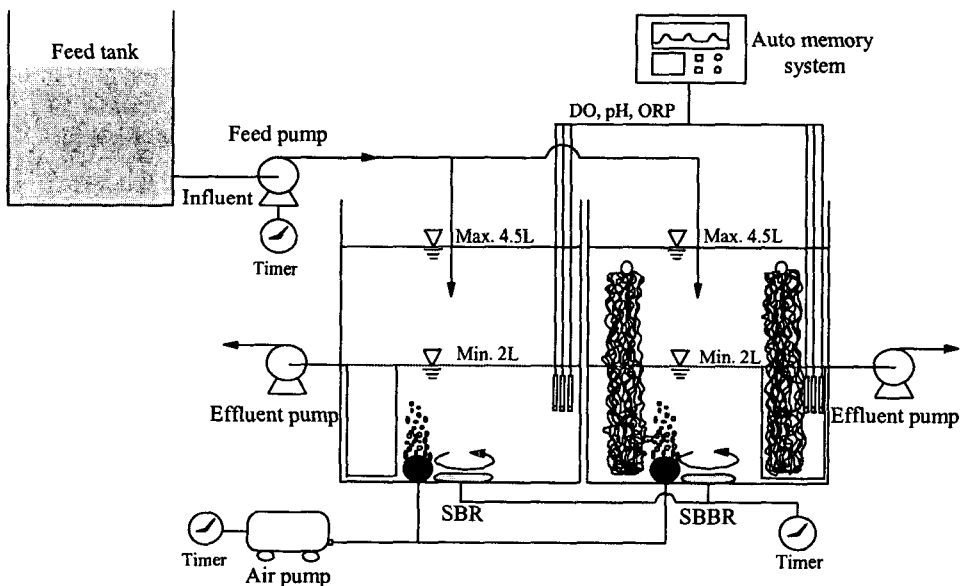


Fig. 1. Schematic diagram of SBB and SBBR.

프를 사용하여 배출시켰다. 실험에 사용된 합성폐수는 bacto-peptone과 glucose를 탄소원으로 사용하였으며, 주요 질소와 인은 각각 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 과 K_2HPO_4 에 의해 구성되었으며, 기타 각종 미량원소로 구성되어졌다.

3. 결과 및 고찰

3.1. SBR과 SBBR의 질소·인의 변화

유입 30분동안 비포기상태로 유지되며, draw후 반응기내 남아 있는 시료량과 거의 동일한 양이 유입되기 때문에 유입기간동안 반응기내 잔존해 있는 여러 가지 성분과 회석작용이 발생하게 된다. SBR과 SBBR 모두 유입기간 30분 후 NO_3^- -N의 농도가 거의 0 mg NO_3^- -N/L로 감소하였는데, 이 값은 순수한 회석작용에 의한 NO_3^- -N의 농도값인 1.9, 1.5, 2.8 mg NO_3^- -N/L보다 낮은 값이다. 비포기조건으로 30분 동안 유입시킨 후 조내의 인 농도는 SBR과 SBBR의 경우 유입인의 회석효과에 의한 인 농도보다 다소 높은 농도인 각각 16.5, 17.3 mg P/L의 농도를 나타내었다

유입기간동안 NO_2^- -N의 변화를 보면 유입수의 NO_2^- -N의 농도가 0 mg/L로 유입이 되는데, 유입이 완전히 끝난 뒤에도 NO_2^- -N의 농도는 거의 변화가 없다. 이는 일부 PAO에 의한 탈질화가 이루어진 것으로 판단된다. 최근 anoxic 기간에 nitrate를 최종 전자수용체로 이용하여 인을 섭취할 수 있으며 따라서 탈질반응도 동시에 진행시킬 수 있다는 연구가 이루어지고 있다.

SBR의 경우 포기시작 후 초기 1시간 동안 질산화 속도는 9 mg NH_4^+ -N/L·h 로 나타났으며, SBBR의 경우 4 NH_4^+ -N/L·h 으로 DO와 유기물이 접촉에 있어서 공간상 우위를 차지하는 SBR이 질산화 속도가 빨랐다. 반면에 포기 1시간 동안 인 섭취속도는 SBR과 SBBR 각각 15, 8 mg P/L·h으로 오히려 SBBR이 빠른 것으로 나타났다.

포기기간 동안 각 반응기의 인 섭취반응이 빠르게 일어났다. 몇몇 연구자는 탄소원 내에 글루코오스가 포함되었을 경우 소위 "G-bacteria"의 번성으로 인하여 생물학적 인 제거가 붕괴될 수 있다고 보고하였지만, 본 연구에서는 글루코오스와 peptone을 탄소원으로 사용된 반응기에서도 성공적인 생물학적 인 제거현상을 보여주었다.

3.2. DO, pH, ORP의 공정제어 가능성

비포기조건으로 유지된 유입기간 30분동안 SBR과 SBBR 모두 DO, pH, ORP의 변화가 발생하였다. 이 현상은 반응의 마지막 단계인 유출기간 15분 동안에도 마찬가지로 유출로 인한 물의 산란으로 인해 변화가 발생하였는데, 실제적인 반응과 직접적인 관련이 없는 이러한 현상은 자칫 실제공정에서 제어중 오류가 발생할 위험이 있어 유입과 유출기간의 불필요한 변화를 최소화할 필요성이 요구된다.

SBR의 경우 1차 비포기단계에서 DO농도가 0 mg/L로 원만한 비포기상태로 유지되었으며 pH와 ORP의 경우 계속적인 감소현상이 발생하였다. SBBR의 경우 DO농도가 0 mg/L로 원만한 비포기상태를 나타내었으며, pH는 변화가 거의 없는데 반해 ORP의 경우 비포기 초기 1시간 가량 상승현상을 보이다가 원만한 변화를 보였다.

포기기간중 SBR과 SBBR 모두 질산화 미생물에 의해 DO의 소비가 발생하며, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 농도가 0 mg/L가 되는 완전한 전환점에서 DO, pH의 뚜렷한 변곡점을 발견할 수 있었다. 하지만 ORP의 경우 SBR에서는 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 완전한 전환점이 나타났으나, SBBR의 경우 그 변화가 뚜렷하지 않아 SBBR의 경우 포기상태에서 ORP를 이용하여 공정을 제어하기 보다는 오히려 DO, pH를 이용하는 것이 나을 것으로 판단된다.

SBR과 SBBR 모두 비포기조건에서 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 농도가 0 mg/L가 되는 nitrate break-point는 나타나지 않았는데, 이는 반응기내의 유기물 부족으로 인한 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 가 완전한 탈질이 이루어지지 않아 제거가 잘 되지 않았기 때문으로 생각된다.

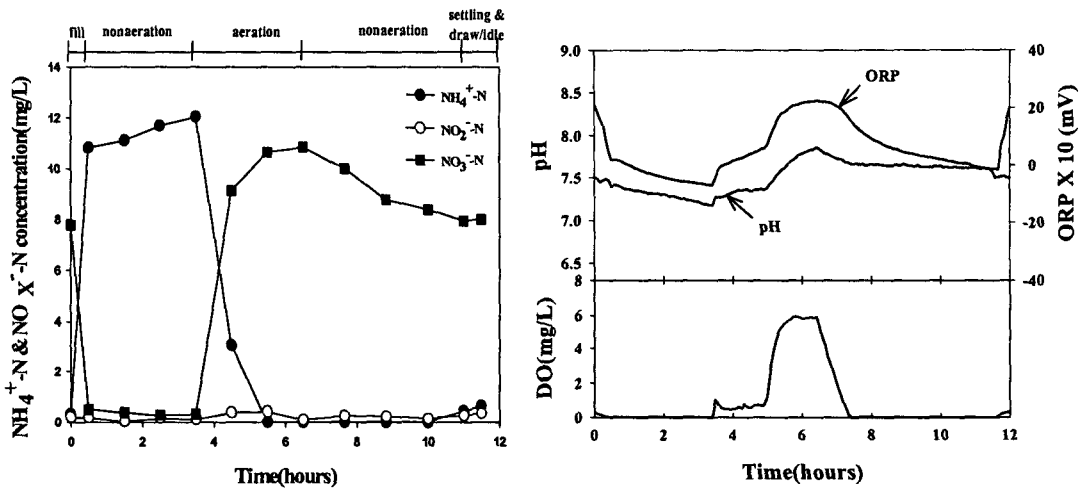


Fig. 2. Typical profile of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, DO, concentration with pH, ORP in the SBR.

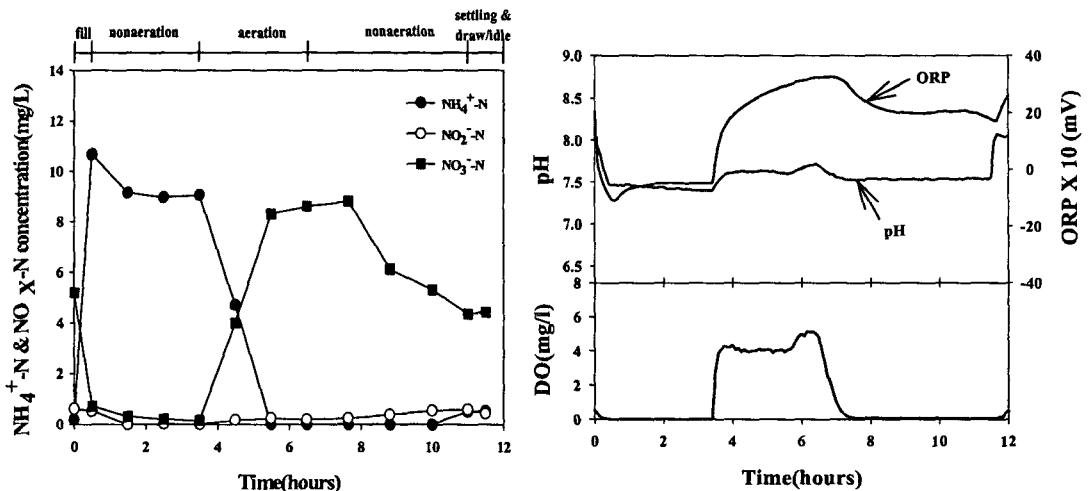


Fig. 3. Typical profile of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, DO, concentration with pH, ORP in the SBBR.

참 고 문 헌

- Irvine, R, L. and Ketchum, Jr, L. H., 1988 Sequencing batch reactors for biological wastewater treatment, *CRC Crit. Rev. Environ. Control.*, 18(4), 255~294.
- 한기백. 1998, 연속 회분식 반응기에 의한 유기물과 영양염의 동시 제거, 박사학위논문.
- 김홍태, 박창광, 신석우, 2002, SBR에서의 ORP를 이용한 반응기 최적화, *한국물환경학회지*, 18(6), 613~620.
- 이해군, 배준석, 최광수, 한기백, 김창원, 1998, 간헐폭기 활성슬러지에서 질소제거를 위한 폭기-비폭기 주기 및 ORP 적용성 평가, *대한환경공학회*, 20(1), 9-18.