

SBR 공정에서 외부탄소원 주입율과 온도의 영향

노성희, 김선일*
 조선대학교 화학공학과
 (sibkim@mail.chosun.ac.kr*)

Effects of External Carbon Source Dosage and Temperature in the SBR Process

Sung-Hee Roh, Sun-Il Kim*
 Dept. of Chemical Engineering, Chosun University
 (sibkim@mail.chosun.ac.kr*)

서론

일반적으로 생물학적 탈질공정은 유기물이 다량 함유된 폐수 처리에서 많이 사용되는 방법으로 가장 경제적이라고 알려져 있으나, 국내 폐수 특성상 대부분의 경우 외부탄소원(external carbon source)의 공급이 필요하며 환경변화에 따른 시스템 제어가 어려운 문제점이 있다. SBR(Sequencing Batch Reactor) 공정은 활성슬러지법의 변형공법으로서 한 반응기 내에서 유입, 반응, 포기, 침전, 배출이 연속적으로 일어나는 운전방식으로 2차 침전지나 반응 슬러지가 필요 없고, 반응단계에서 포기에 의해 질산화가 일어나며, 포기 후 비포기 교반운전단계에서 무산소상태가 진행되므로 탈질이 일어나게 된다.

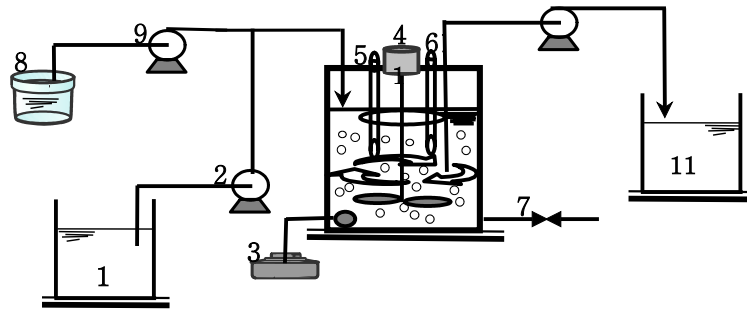
생물학적 처리공정에서 만족할만한 처리수를 얻기 위해서는 유입수의 유기물 농도와 총질소 농도의 비(C/N비)가 적절히 유지되어야 한다. 또한 생물학적 방법으로 인을 제거하기 위해서는 인 제거 미생물이 잘 성장할 수 있는 환경조건을 제공해 주어야 하며, 과잉 인 제거 미생물이 쉽게 선택적으로 성장할 수 있는 적절한 유기물 농도와 인 농도의 비(C/P비)를 유지할 수 있도록 외부탄소원을 공급해 주어야 한다[1, 2]. 인 제거 미생물은 혐기상태에서 세포내에 축적되어 있던 poly-P가 가수분해 되면서 발생하는 에너지를 이용하여 연속적으로 유기산을 섭취하고, 이를 PHB(Poly- β -Hydroxyl Butylate)로 전환시켜 세포내에 저장시키는 능력을 가지고 있다. 외부조건이 호기상태로 전환되면 방출되었던 인산은 다시 poly-P의 형태로 저장되며, 혐기상태에서 생성된 PHB는 분해되어 에너지로 이용하게 된다. 그러므로 PHB와 poly-P의 생성은 인 제거기작에 있어서 중요한 특징으로 고려된다[3]. 최근 생물학적 영양염류 제거를 위한 외부탄소원으로 이용 가능한 아세트산 및 메탄올 등을 이용한 많은 연구가 진행되고 있는데, 아세트산은 실제 적용시 pH 조절의 어려움과 비용이 고가인 문제점이 있고, 메탄올의 경우에는 일부 슬러지의 적응성과 탈질속도 저하가 문제점으로 지적되고 있다[4, 5]. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 국내에서는 외부탄소원의 대체 방안으로 1차 슬러지나 유기성 도시폐기물을 산발효시켜서 얻은 상등액을 메탄올이나 아세트산 대신 외부 탄소원으로 활용하는 방안이 적극 검토되고 있다[6, 7].

따라서 본 연구에서는 현장에서 이용 가능한 1차 슬러지를 발효시킨 유기산을 C/N비가 낮은 국내도시의 하·폐수 처리에 외부 탄소원으로 공급하여 유기성 폐기물의 자원화를 극대화하고자 하였다. 또한 생물학적 영양염류 제거를 위한 외부탄소원으로서 1차 슬러지 발효액의 효과에 대하여 알아보하고자 낮은 C/N 비 하수의 SBR공정에 1차 슬러지 유기산 발효액을 공급하여 발효액 주입율과 온도 변화에 따른 유기물 및 영양염류 제거효율을 조사하였다.

실험

본 연구에 사용된 발효 슬러지의 원료로는 하수 처리장의 1차 슬러지를 공급 받아 세

척수로 희석시켜 안정시킨 후 사용하였으며, Hanil R & D사의 Bio G-8 Batch Top Fermentation System을 이용하여 30°C(±2°C)에서 10일간 발효시켰다. 발효조의 교반 속도는 80 rpm으로 일정하게 유지시켰으며, 발효 기간 동안 슬러지의 pH는 조절하지 않았다. 충분히 발효된 슬러지는 4,000 rpm에서 10분간 원심분리 한 후 상등액에 1N NaOH를 주입하여 pH 7로 조절하였다. SBR 실험에 사용되는 유기산 발효액은 4°C에서 냉장 보관하였으며, 시료는 각각의 SBR 반응기의 sample port를 이용하여 초기 150 mL를 순환시켜 준 후 50 mL를 채취 즉시 GF/C filter와 0.45 μm membrane filter로 여과하여 standard method[8]에 의하여 분석하였다. SBR 공정의 반응기는 아크릴 재질을 사용하여 총용적 5 L인 원통형 구조로 4조를 제작하였으며, Figure 1에 나타낸바와 같이 각 반응기내에 교반기 및 산기 장치를 설치하여 원활한 혼합과 폭기를 유도하였으며, 유입 및 유출 펌프에 타이머를 부착하여 운전조작이 자동제어 되도록 하였다.



- | | | |
|------------------|-------------|-------------------|
| 1. Influent tank | 5. DO probe | 9. Pump |
| 2. Pump | 6. pH probe | 10. Pump |
| 3. Air pump | 7. Valve | 11. Effluent tank |
| 4. Stirrer | 8. FFW tank | |

Figure 1. Schematic diagram of sequencing batch reactor system.

활성슬러지는 하수처리장 반응슬러지를 약 1개월간 합성기질로 순치시킨 슬러지를 MLSS 3,000 mg/L로 맞추어 각 반응기에 분주하였다. 총용적 5 L인 SBR 공정반응기의 유효용량은 3 L로 운전하였으며, 각 운전주기의 유입과 유출시간동안 1.5 L의 처리용량을 유입, 배출시켰다. SBR의 운전주기는 Figure 2에 나타낸바와 같이 24시간을 1cycle로 하여 운전하였다. 각 반응기에 유기산 발효액을 무산소단계 초기에 주입하였으며, 하나의 반응기는 비교실험을 위하여 유기산 발효액을 주입하지 않았다(RUN 1). 유기산 발효액 주입율은 각 반응기 내 C/N비를 각각 5(RUN 2), 10(RUN 3), 20(RUN 4)으로 맞추어 증가시켰으며, 외부탄소원으로 유기산 발효액 주입에 따른 각 운전조건의 운전단계별 DO 및 pH의 거동을 조사하였다. 또한 각 반응기의 반응 온도를 10~30°C로 변화시켜 유기산 발효액 주입 및 온도 변화에 따른 유기물과 영양염류의 제거 특성을 조사하였다.

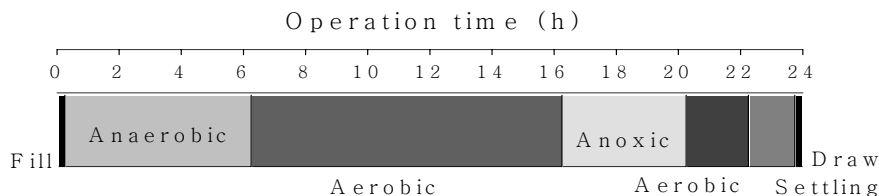


Figure 2. Operation time distribution in a cycle.

결과 및 토론

질소와 인을 동시에 제거하기 위한 SBR 공정에서 각 운전조건에 대한 적절한 DO와 pH의 유지는 매우 중요하며, 생물학적 질소·인 제거 공정의 인 제거 bacteria가 혐기단계에서 원활한 인 방출을 하기 위한 DO의 제한 농도는 0.3 mg/L 이하이며, 무산소단계에서 탈질반응을 위한 DO의 제한 농도는 0.2 mg/L 이하로 유지되어야 한다[9]. Figure 3에 나타낸바와 같이 각 운전조건별 1 cycle 동안의 운전단계에 따른 DO의 거동은 유기산 발효액을 주입하지 않은 RUN 1의 경우와 유기산 발효액을 주입한 RUN 3의 경우 모두 반응 초기 안정된 DO 농도가 혐기와 무산소단계에서 0.1 mg/L 이하의 농도로 유지되므로 인 방출 및 탈질산화 기작에 산소가 방해요소로 작용하지 않음을 알 수 있었다. 각 운전조건별 1 cycle 동안의 pH 변화는 유기산 발효액을 주입하지 않은 RUN 1의 경우 호기단계 초기의 pH 7.3에서 호기단계 종료 직전에는 pH 6.5까지 감소하였고, 유기산 발효액을 주입한 RUN 3의 경우에는 6.7에서 6.2까지 감소하였는데, 이것은 호기단계에서는 질산화 반응결과 H^+ 생성으로 인하여 pH 감소 현상이 일어난 것으로 사료된다. 또한 혐기단계에서는 초기에 탈질산화로 인하여 pH가 증가하고 그 후 지방산 생성으로 인하여 pH 감소 현상이 일어났다. 따라서 고농도의 질소원을 함유하는 폐수의 영양염류 제거 공정에서 pH가 중요한 변수로 작용하고 있음을 알 수 있었다.

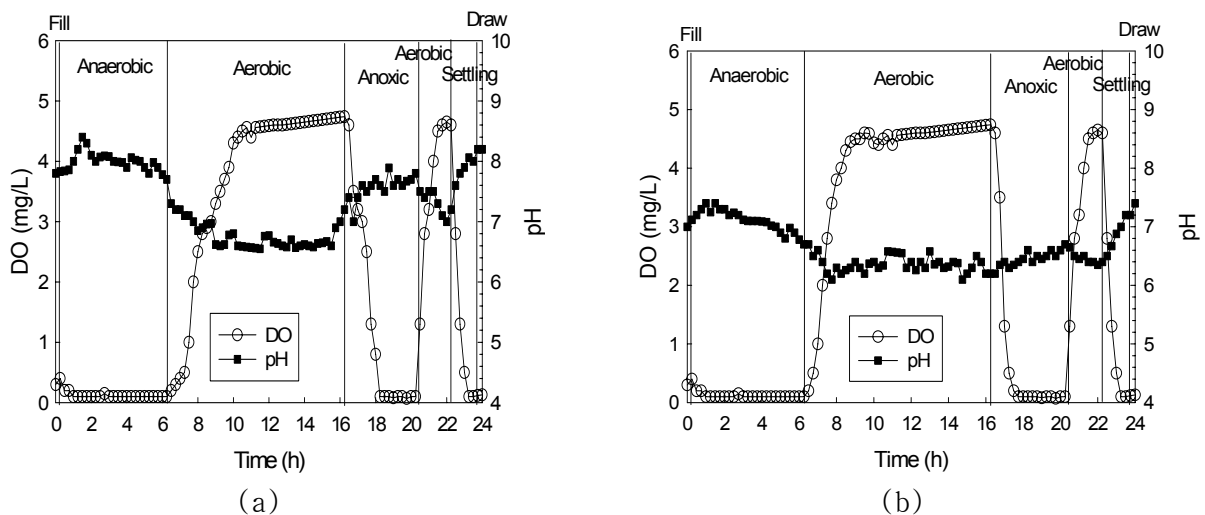


Figure 3. Temporal variation DO and pH in a cycle; (a) RUN 1, (b) RUN 3.

외부탄소원으로 유기산 발효액 주입을 증가에 대한 각 SBR 공정의 반응 온도를 10~30°C로 변화시켜 영양염류 제거율을 조사하여 Figure 4, 5에 나타내었다. 유기산 발효액을 주입하지 않은 Run 1의 경우 SCOD 제거율은 반응 온도 20°C~30°C에서는 72% 정도로 유지되었으며, 반응 온도 10°C 부근에서는 70% 정도로 감소하였다. 유기산 발효액을 주입한 RUN 2, RUN 3 및 RUN 4의 경우 SCOD 제거율은 20°C~30°C에서는 각각 71%, 69% 및 65% 정도로 유지되었으며, 반응 온도 10°C 부근에서는 각각 69%, 68% 및 63% 정도로 약간 감소하였다. 이것은 반응 온도 저하로 인하여 미생물의 활성이 저하되어 SCOD 제거율이 감소하게 된 것으로 사료된다.

Figure 4에 나타낸바와 같이 암모니아성 질소 제거율은 유기산 발효액 주입을 증가에 따른 RUN 1, RUN 2, RUN 3 및 RUN 4의 경우 반응 온도 20°C~30°C에서는 각각 81%, 91%, 97% 및 98% 정도로 유지되었으며, 반응 온도 10°C 부근에서는 각각 50%, 55%, 60% 및 65% 정도로 급격하게 감소하여 생물학적 질소 제거는 반응 온도의 영향을 크게 받음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 질산화가 5~45°C 범위에서 가능하고 질산화 최적온도는 25~35°C임을 제시한 Eckenfelder[10]의 연구결과와도 일치한다.

Figure 5에 나타낸바와 같이 유기산 발효액을 주입하지 않은 Run 1의 경우 용존성 인의 제거율은 반응 온도 20°C~30°C에서는 37% 정도로 유지되었으며, 반응 온도 10°C 부근에서는 32% 정도로 약간 감소하였다. 한편 유기산 발효액을 주입한 RUN 2, RUN 3 및 RUN 4의 경우에는 유기산 발효액 주입율이 증가함에 따라 용존성 인의 제거율은 20°C ~ 30°C에서는 각각 55%, 75% 및 80% 이상으로 증가하였고, 반응 온도 10°C 부근에서는 각각 51%, 72% 및 77% 정도로 나타났으며, 반응 온도 변화에 따른 영향이 크지 않았다. 따라서 외부탄소원으로 주입한 유기산 발효액이 유기물 및 영양염류 제거에 효과적으로 이용되었으며, 20°C 미만의 낮은 온도에서는 미생물 중 질산화균이 탈질균보다 온도에 민감하게 영향을 받아 활성이 감소하였고 상대적으로 인 제거율은 온도보다 SRT 나 BDCOD 농도에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

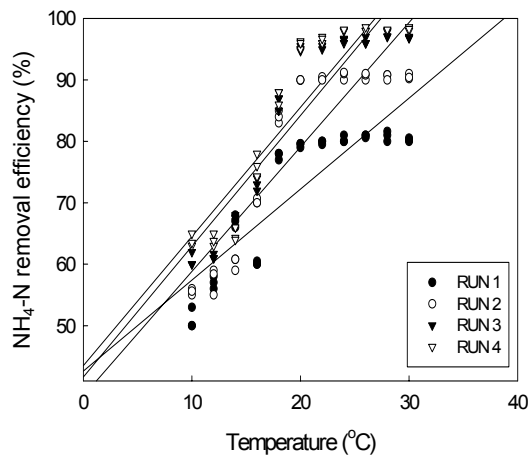


Figure 4. Variations of $\text{NH}_4\text{-N}$ removal efficiency according to the operating temperature.

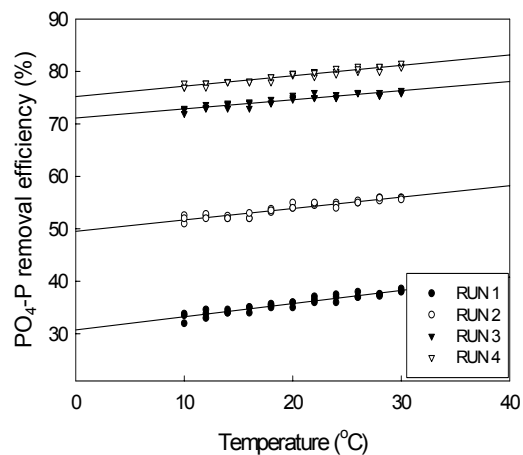


Figure 5. Variations of $\text{PO}_4\text{-P}$ removal efficiency according to the operating temperature.

참고문헌

1. M. Okada, *Wat. Sci. Tech.*, **23**, 755 (1991).
2. M. H. Bate and A. Torabian, *Wat. Res.*, **15**, 99 (1996).
3. V. Arun, T. Mino and T. Matsuo, *Wat. Sci. Tech.*, **21**, 363 (1990).
4. T. Kuba and M. C. M. Van Loosdrecht, *Wat. Res.*, **30**(7), 1702 (1996).
5. A. Grabinska-Loniewska, *Wat. Res.*, **25**, 1575 (1991).
6. K. M. Lee, J. S. Noh and J. D. Noh, *J. Korean Society of Environmental Engineers*, **18**(2), 235 (1996).
7. S. K. Park, B. G. Kim, I. S. Seo and S. I. Lee, *J. Korean Society on Water Quality*, **17**(2), 261 (2001).
8. APHA-AWWA-WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Ed., Washington D. C. (1995).
9. H. Terai and T. Mori, *Bot. Mag.*, **38**, 231 (1975).
10. W. W. Eckenfelder, *Industrial Water Pollution Control* by McGraw-Hill, Inc. (1989).