

SM-SBR 공정을 이용한 영양염류 제거 특성에 관한 연구

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

A Study on the Nutrient Removal Characteristics Using SM-SBR Process

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

서론

각종 오염물질에 의한 수질오염 문제가 크게 대두되면서, 일반적인 생물학적 공정에서 주로 처리되는 부유물 및 유기물뿐만 아니라 부영양화의 원인이 되는 영양염류 제거를 위한 고도처리 공정이 요구되고 있다. 또한 용수의 재활용이 가능한 수질을 충족시키기 위해서도 유기물 및 영양염류 제거의 고도처리 공정이 필수적이다. 최근에는 경제적인 문제를 안고 있는 물리·화학적 고도처리 공정 대신에 미생물의 생물학적 메커니즘을 이용하여 유기물과 영양염류를 동시에 처리하는 생물학적 영양염류 제거(BNR, Biological Nutrient Removal) 공정을 많이 이용하고 있다[1].

BNR 공정에는 Bardenpho, Phoredox, UCT(University of Cape Town), VIP(Virginia Initiative Plant), A²/O(Anaerobic/Anoxic/Oxic), SBR(Sequencing Batch Reactor) 공정 등이 있으며, 이 공정 중 SBR 공정을 제외한 여타의 공정들은 모두 연속 흐름 혼합형 반응조(CFSTR, Continuous Flow Stirred Tank Reactor) 형태이다[2]. CFSTR은 호기조, 혐기조 및 침전조 등을 구분하여 설치하여야 하기 때문에 넓은 부지를 차지할 뿐만 아니라 공정 자체도 복잡하여 고도의 운전기술을 요하고, 공정수의 내부순환 등에 의한 과도한 운전비 지출로 인해 중·소규모 단위의 하·폐수처리장에는 적합하지 않다. 이에 반해, SBR 공정은 혐기(무산소), 호기, 침전 및 처리수의 배출 등의 조작이 단일 반응조 내에서 가능하고 유지관리비가 적게 소요되어 소규모 하·폐수처리장을 요하는 읍, 면 단위의 농촌이나 관광단지 등에 도입이 가능하다. 한편 MBR(Membrane Bioreactor) 공정은 기존 생물학적 처리공정과 달리 부유고형물이 없는 깨끗한 유출수를 안정적으로 얻을 수 있으며 미생물의 농도를 높게 유지할 수 있어 처리 효율을 높일 수 있고, 미생물과 처리수를 분리하기 위한 최종 침전조가 필요치 않으므로 부지면적도 줄일 수 있어 소규모화를 꾀할 수 있다[3]. 그러나 분리막 여과시 발생하는 농도분극현상과 막 오염이라는 문제점을 안고 있어 많은 장점을 가지고 있음에도 불구하고 공정의 효율성과 경제성을 떨어뜨리게 된다. 이에 대한 방안은 지속적으로 연구되고 있으며 앞으로 해결되어야 할 중요한 과제이다.

따라서 본 연구에서는 막 결합형 활성슬러지 공정의 장점에 고효율 소규모 폐수처리 공정을 접목한 침지형 막 결합 회분식 반응조(SM-SBR, Submerged Membrane coupled with Sequencing Batch Reactor)를 이용하여 유기물과 영양염류 동시 제거를 위한 SM-SBR 공정의 운전주기 변화에 따른 막 여과 특성 및 처리효율을 조사하여 수자원 재활용 시스템으로서의 적용가능성을 알아보았다. 또한 SM-SBR 공정의 성능 평가를 위하여 동일한 운전 주기의 MBR 공정 실험을 수행하여 막 여과 특성 및 처리효율을 비교 검토하였다.

실험

본 실험에 사용한 반응조는 투명 아크릴 재질의 유효 부피(effective volume) 27 L,

운전주기당 처리 부피(working volume) 9 L인 직사각형(30×30×45 cm) 구조로 제작하여 사용하였다. 분리막은 정밀여과(MF, Microfiltration) 중공사형 막 모듈(SUR234LF, Mitsubishi Rayon Co., Japan)을 사용하였으며, 분리막의 특성을 Table 1에 나타내었다. 막 투과압력 측정을 위해 막 모듈 상단에 PVC 관을 연결하여 압력계를 설치하였으며, 반응조 내 호기 조건과 공기방울에 의한 상향류 발생을 유도하여 분리막 표면의 케이크 층을 억제하고자 반응조 하단에 산기장치를 설치하여 공기를 공급하였다. 원수 유입량 및 처리수 유출량의 자동 조절을 위하여 유입 및 유출 펌프에 타이머를 설치하였고, 막의 물리적 손상을 최소화하기 위하여 흡입펌프와 산기장치에 자동제어 타이머를 설치하였다.

유기물과 영양염류 동시 제거를 위한 SM-SBR 공정의 운전주기 변화에 따른 막 여과 특성 및 처리효율을 알아보기 위하여 투과플럭스를 30 L/m²h로 일정하게 유지하고 운전주기를 6, 8, 12 h/cycle로 변화시켜 운전하여 투과 압력과 처리수의 수질을 조사하였다. 또한 SM-SBR 공정의 성능 평가를 위하여 동일한 운전 조건의 MBR 공정 실험을 수행하여 막 여과 특성 및 처리효율을 비교하였으며, 운전조건을 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Specifications of the Membrane

Manufacturer	Mitsubishi Rayon Co.
Module type	Hollow fiber
Pore size	0.4 μm
Material	Polyethylene
Hydrophile property	Hydrophilic
Surface area	0.2 m ²
Outer diameter	540 μm
Inner diameter	360 μm

Table 2. Operating Condition for the Experiment

Operating Condition	Value
Temperature (°C)	20 ~ 25
Flux (LMH(L/m ² h))	30
TMP (kPa)	< 30
Air flow rate (LPM(L/min))	6
DO (mgO ₂ /L)	< 6
MLSS (mg/L)	4,000 (\pm 500)
SRT (day)	30
Effective volume (L)	27
Working volume (L)	9
Pulsation time (min)	5 / 1

결과 및 토론

각 공정에 대한 총 운전기간 동안 유입수, 반응조 내 혼합액, 처리수의 용존 유기물 농도 및 제거효율을 Figure 1에 나타내었다. 각 공정에서 운전주기가 증가함에 따라 최종 처리수의 용존 유기물 제거율이 증가하였으며, 운전주기 12 h/cycle에서 SM-SBR 및 MBR 공정의 최종 처리수의 용존 유기물 농도는 평균 7.1 및 7.8 mg/L로 97% 및 96%의 높은 제거효율을 보였다. 장[4]의 연구 결과에서와 같이 기존 활성슬러지 공정에 분리막을 결합한 SM-SBR 공정 및 MBR 공정의 유기물 제거효율이 높게 나타났다. 이것은 분리막에 의한 고액분리 과정에서 부유고형물 뿐만 아니라 고분자 형태의 유기물도 동시에 배제할 수 있으므로 생물학적 분해 기회를 증진시켜 높은 유기물 처리효율을 얻을 수 있었으며, 침전분리에 따르는 미생물 유실이 발생하지 않아 반응조 내에 다양한 미생물군을 유지할 수 있어 유기물의 생물학적 분해가 향상되었기 때문으로 사료된다.

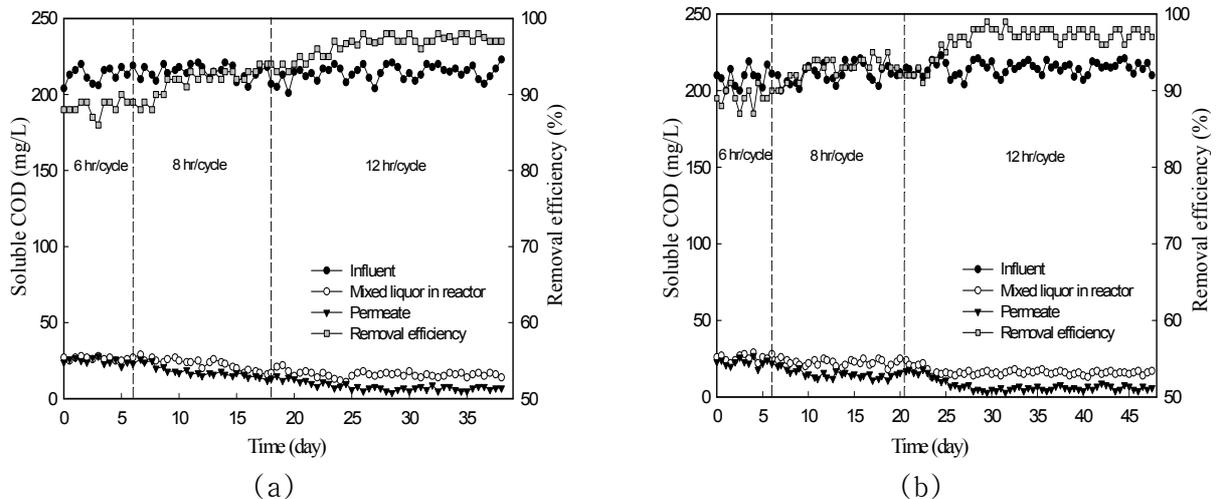


Figure 1. Variation of COD concentration and removal efficiency of each cycle in (a) SM-SBR, (b) MBR.

SM-SBR 공정 및 MBR 공정의 운전주기 변화에 따른 영양염류 제거효율을 조사하여 각각 Figure 2 및 Figure 3에 나타내었다.

운전주기가 6, 8, 12 h/cycle로 증가함에 따라 SM-SBR 공정에서는 단위 주기 내 호기/무산소 단계 시간의 연장으로 인하여 질산화 및 탈질화가 원활하게 이루어져 질소 제거율이 증가하였으며, 처리수 방출을 위한 막 여과 단계에서 막의 유동을 위한 재폭기로 인해 잔류 암모니아성 질소의 질산화로 인하여 질소 제거율이 증가하였다(Fig. 2(a)). 그러나 MBR 공정에서는 폭기 후 무산소 단계의 부재로 탈질화가 이루어지지 않아 수계내의 질소 성분은 질산화에 의한 아질산성 질소나, 질산성 질소로 전환된 형태로만 존재하게 되어 질소 제거율이 낮게 나타났다(Fig. 3(a)).

생물학적 인 제거 메커니즘은 혐기 조건의 인 과잉방출이 이루어지고 혐기 조건에서 호기 조건의 전환을 통해 미생물에게 압박을 주어 필요 이상의 인을 섭취하게 하여 인을 과잉 섭취한 미생물을 포함한 잉여 슬러지를 일정량 폐기함으로써 인을 제거하게 된다. 결국 생물학적 인 제거에 있어서 인 방출이 일어나지 않으면 즉, 혐기 조건이 주어지지 않으면 위와 같은 인 제거 메커니즘을 기대할 수 없게 되며 혐기 조건에서의 인 방출량에 따라서 생물학적 인 제거 정도가 결정된다. 본 연구의 SM-SBR 공정에서는 운전주기를 6, 8, 12 h/cycle로 증가시킬수록 단위 주기 내의 초기 혐기 단계 증가로 인해 인 방출이 원활하게 이루어져 인 제거율이 36.8, 47, 65.4%로 증가하였다(Fig. 2(b)). 그러나 MBR 공정에서는 혐기 단계의 부재로 인하여 운전주기 변화에 관계없이 8~22%의 낮은 인 제거율을 나타내었다(Fig. 3(b)).

결론

SM-SBR 공정의 운전주기 변화에 따른 막 여과 특성은 운전주기를 6~12 h/cycle로 증가시킬수록 막 오염이 감소되어 운전기간이 연장되었다. 운전주기를 6, 8, 12 h/cycle로 증가시키기에 따라 질소 제거효율은 각각 50%, 67%, 88%로 증가되었고, 인 제거 효율은 각각 36.8%, 47%, 65.4%로 증가되었다. 유기물 제거효율은 운전주기의 변화에 관계없이 90% 이상의 높은 제거효율을 나타내었다. 따라서 분리막에 문제가 발생하지 않는 범주에서의 정상적인 막 결합형 활성슬러지 공정을 운전할 경우 처리수의 재이용 가능성은 매우 높을 것으로 기대되며, 특히 SM-SBR 공정은 유기물 및 영양염류 동시 처리를 위한 소

규모 고효율 처리시설로서 수자원 재활용 시스템으로 실제 적용이 가능할 것으로 사료된다.

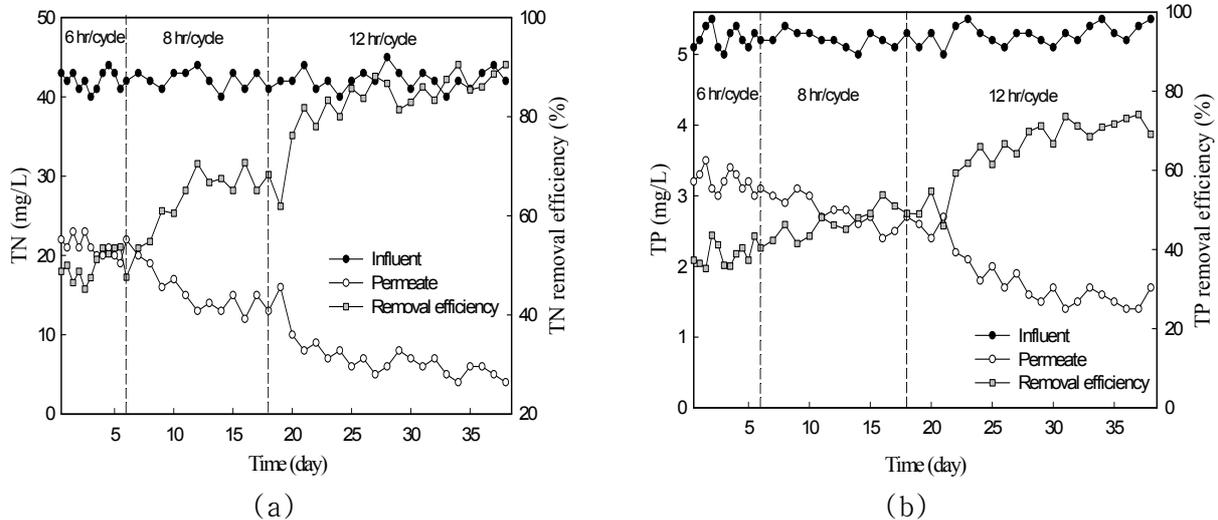


Figure 2. Variation of (a) TN, (b) TP concentration and removal efficiency of each cycle in SM-SBR.

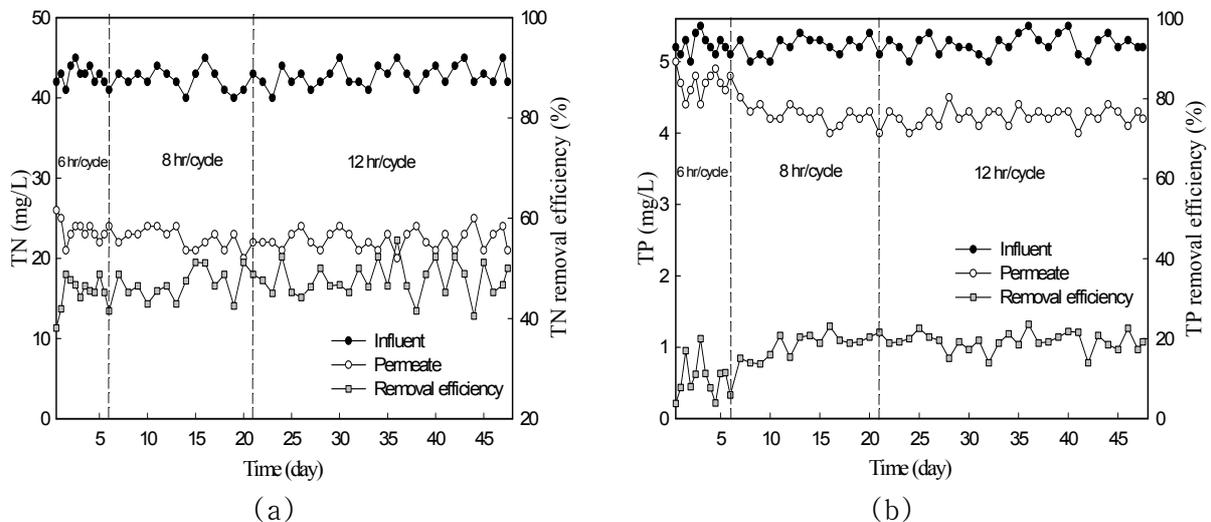


Figure 3. Variation of (a) TN, (b) TP concentration and removal efficiency of each cycle in MBR.

참고문헌

1. C. W. Randall, J. L. Barnard and H. D. Stensel, Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal, Technomic Pub., Lancaster (1992).
2. M. C. Wentzel, G. A. Ekama and G. V. R. Marais, *Wat. Sci. Tech.*, **25**(6), 59 (1992).
3. M. Mayhew, T. Stephenson, *Environ. Tech.*, **18**, 883 (1997).
4. I. S. Jang, Ph. D. Dissertation, Seoul National Univ., Seoul, Korea(1996).