

막 결합형 고정상 생물막 공정에서 막 여과 특성에 관한 연구

노성희, 김선일*

조선대학교 화학공학과

(sibkim@mail.chosun.ac.kr*)

A Study on the Filtration Characteristics in Membrane-Coupled Fixed Phase Biofilm Process

Sung-Hee Roh, Sun-Il Kim*

Dept. of Chemical Engineering, Chosun University

(sibkim@mail.chosun.ac.kr*)

서론

유기물 제거를 위한 생물학적 처리방법으로 사용되고 있는 활성슬러지 공정은 과도한 폭기소 용량을 필요로 하고 슬러지 팽화현상이 자주 발생되며 부하 변동에 대처하는 능력에 한계가 있어 운전과 유지관리에 난점이 많은 것으로 알려져 있다. 이러한 결점을 보완하는 방안으로 담체를 이용한 생물막 공정은 미생물에게 담체 내부의 넓은 부착면적을 제공함으로써 부유 미생물뿐만 아니라 부착 미생물의 존재로 인한 고농도의 미생물을 이용하여 처리효율을 증가시킬 수 있는 장점을 지니고 있다. 그러나 이와 같은 활성슬러지 공정이나 담체 공정들은 생물학적으로 분해 가능한 용존 물질을 제거한 후 미생물과 처리수를 분리하기 위한 침전조가 사용되고 있다. 위의 두 공정에서 사용되는 침전조는 운전조건에 따라서 변하는 슬러지의 침강 속도에 의해 성능이 크게 영향을 받으며, 침전조 설치에 따른 넓은 부지면적이 필요하여 경제적인 제약이 따르는 문제점이 있다¹⁾. 특히 유동상 생물막 반응조는 일반적인 활성슬러지 공정보다 침전 성능이 낮은 단점이 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 고정상 생물막 공정에 침지형 중공사 분리막을 결합한 새로운 형태의 공정이 막결합형 고정상 생물막 공정이다.

최근까지 활성슬러지 반응조에 분리막을 결합한 공정에 대한 연구보고는 많이 이루어진 반면, 고정상 생물막 반응조에 분리막을 결합한 새로운 공정에 대한 연구보고는 아직까지 거의 이루어지지 않고 있다. 특히 막결합형 고정상 생물막 공정은 기존의 MBR공정과 달리 반응조 내에 고품상 담체가 존재하여 막 오염 특성이 다르게 나타난다.

따라서 본 연구에서는 침지형 MBR 공정에서 부영양화를 유발하는 영양소 중 하나인 인의 제거율을 향상시키고 막 오염을 완화시키고자 본 연구실에서 폐석회와 무기바인더를 사용하여 제조한 담체를 이용한 막결합형 고정상 생물막 공정에서 공기 유량 및 담체 충진을 변화에 따른 막 여과특성을 조사하고 유기물 및 영양염류 제거 특성을 비교하였다.

실험

본 연구에서는 폐석회로 제조한 담체를 이용한 막 결합형 고정상 생물막 공정에서 공기 유량 및 담체의 충진을 변화에 따른 막 여과특성을 조사하고 유기물 및 영양염류 제거 특성을 비교하였다.

담체에 미생물을 성장시키기 위하여 본 연구실에서 제조한 직경 2~5 mm인 bead type의 폐석회 담체를 활성슬러지 반응조에 약 2주 동안 침지·순환시켰다. 미생물 농도를 5,000 mg/L 정도로 부착 성장시킨 담체를 철망에 넣어 MBR 내부에 고정시켰다.

막 결합형 고정상 생물막 공정에서 MBR 내로 유입되는 공기의 유량이 너무 적거나 담체를 너무 많이 충진하면 공기의 순환이 잘 이루어지지 않는다. 따라서 본 연구에서는 공기 유량을 5~9 LPM으로 조절하면서 담체 충진율을 10~30%로 변화시켜 실험을 수행하여 적정 공기 유량 및 담체 충진율을 조사하였으며, 운전 조건을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Operating Condition for the Experiment

Operating Condition	Value
Temperature (°C)	25(±2)
Flux (L/m ² hr)	18
TMP (kPa)	< 30
Air flow rate (L/min)	5~9
Media volume fraction (%)	10~30
DO (mgO ₂ /L)	< 6
MLSS (mg/L)	4,000 (±500)
HRT (hr)	12
Working volume (L)	50
Pulsation time (min)	5 / 1

결과 및 토론

1) 공기 유량 및 담체 충전율 변화에 따른 막 여과 특성의 비교

공기 유량 및 담체의 충전율을 변화에 따른 막 여과 특성을 비교한 결과 20%의 동일한 담체 충전율을 조건에서 공기의 유량이 증가할수록 막 여과 시간이 증가하였다 (Fig. 1). 이러한 경향성은 담체 충전율을 변화시킬 경우에도 유사한 결과를 나타낼 것으로 예측된다. 또한 5 LPM의 동일한 공기 유량에서 담체 충전율이 증가할수록 막 여과 시간이 증가하였으며, 20% 이상의 충전율에서는 큰 변화를 보이지 않았다(Fig. 2). 따라서 공기 유량과 담체 충전율이 증가할수록 막 오염이 완화되어 막 여과 시간이 증가하며, 반응조 내 충전된 담체 사이로 원활한 공기 순환이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

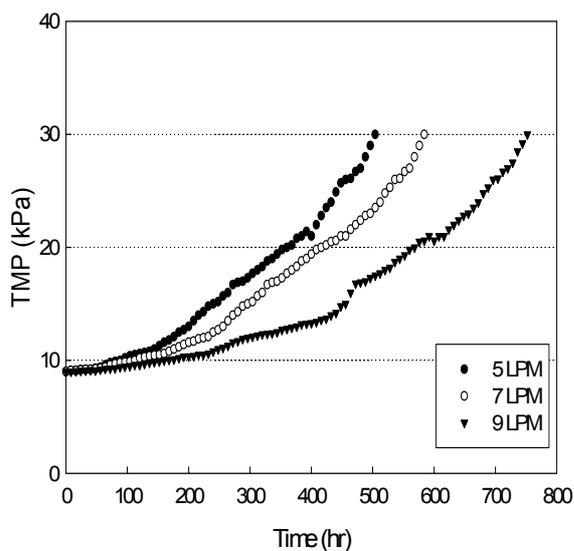


Fig. 1. Effect of air flow rate on TMP (using 20% support carrier volume fraction).

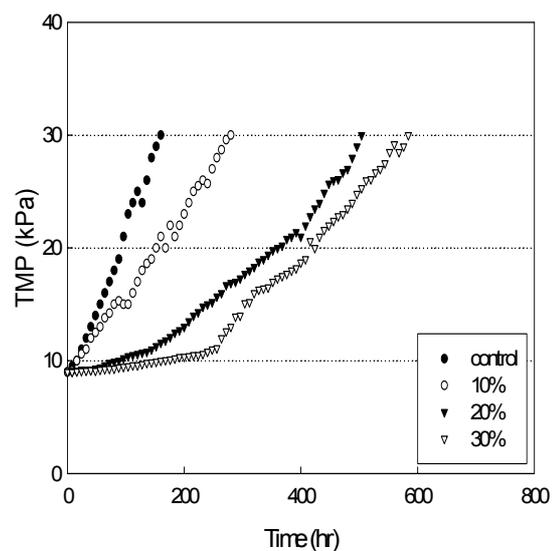


Fig. 2. Effect of support carrier volume fraction on TMP (at 5 LPM air flow rate)..

2) 영양염류 제거 특성

본 연구에서는 막 결합형 고정상 생물막 공정에서 반응조 내 유입 공기 유량을 5 LPM 으로 일정하게 유지시키고 담체 충진을 변화에 따른 영양염류 제거 특성을 비교하였다.

Fig. 3에서 보는바와 같이 폐석회 담체의 표면에 크기가 10~50 μm 정도인 기공이 관찰되었으며, 기공이 없는 부분도 거칠게 보였다. 담체의 거친 표면은 흡착된 미생물의 피난처가 되어 유체의 전단응력으로부터 미생물을 보호하여 미생물의 탈착속도를 감소시킬 수 있으며²⁾, 지름이 큰 기공을 가진 담체는 미생물의 축적을 최대로 유지할 수 있다³⁾. 그러므로 본 연구에서 제조한 폐석회 담체는 표면이 충분히 거칠어서 미생물이 잘 부착될 수 있으며, 충분한 크기의 기공 구조로 되어 있어 미생물이 생물막을 형성하여 군집을 이루면서 성장할 수 있는 서식처로 적합할 것으로 사료되었다. 운전 종료 후 고정상 담체에 형성된 생물막의 SEM 사진을 Fig. 4에 나타내었으며, 폐석회 담체에 부착된 내부 생물막은 큰 플러클을 형성하고 있음을 알 수 있었다.

막 결합형 고정상 생물막 공정에서 담체 충진을 변화에 따른 질소 및 인의 제거율에 대하여 알아보기 위하여 MLSS 농도 5,000 mg/L로 고정화시킨 담체를 반응기 부피에 대해 각각 10%, 20% 및 30%를 충진하여 막 여과 실험을 수행하였다. 또한 비교 실험을 위하여 담체를 충진 하지 않고 MLSS 농도를 4,000 mg/L로 맞추어 막 여과 실험을 수행하였다. 담체 충진율이 증가할수록 반응기내 실 MLSS 농도를 높일 수 있기 때문에 실 SRT (effective SRT)가 증가하여 질산화율을 높일 수 있으며⁴⁾, 담체표면에서부터 담체중양부 사이에 산소농도 구배가 형성되어 탈질산화가 이루어진다⁵⁾.

MBR 내 담체 충진율 증가에 따른 질소 제거율은 담체를 충진하지 않은 경우에는 60% 이하이었으나, 담체를 10%, 20% 및 30%를 충진한 경우에는 각각 82%, 88% 및 91%로 증가하였다. 이것은 담체 충진율이 증가할수록 반응조내 실 MLSS 농도 및 실 SRT가 증가하여 질산화율이 높아졌고, 담체 내부에 무산소 상태가 형성됨으로 인하여 원활한 탈질산화가 이루어졌기 때문으로 사료된다. 인 제거율은 담체를 충진하지 않은 경우에는 10% 이하이었으나, 담체를 10%, 20% 및 30%를 충진한 경우에는 각각 72%, 85% 및 89%로 증가하였으며, 이것은 폐석회 담체의 주성분인 칼슘 이온과 폐수 중의 인산 이온이 반응하여 난용성의 hydroxyapatite ($\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$)로 생성되어 인 제거율이 증가한 것으로 사료된다. 또한 담체 충진율을 증가시킴에 따라 막 오염이 완화되어 막 여과 시간을 연장시킬 수 있었으며 안정된 처리효율을 얻을 수 있었다.

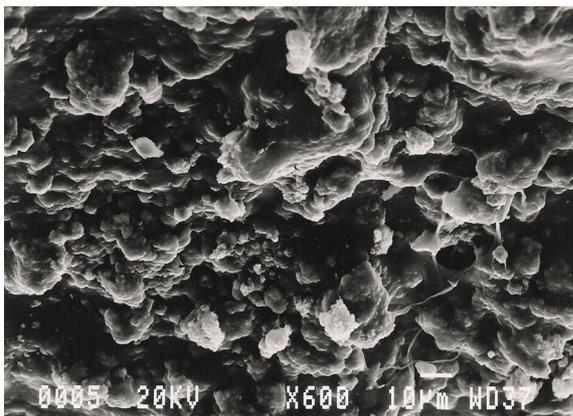


Fig. 3. SEM image of the surface of waste lime support carrier

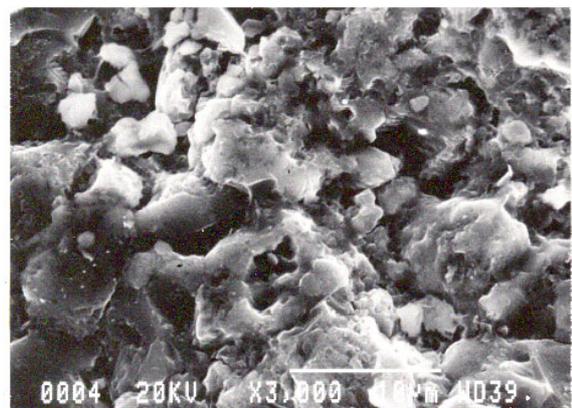


Fig. 4. SEM image of the interior of support carrier after immobilization.

결론

본 연구에서는 폐석회로 제조한 담체를 이용한 막 결합형 고정상 생물막 공정에서 공기 유량 및 담체의 충진율 변화에 따른 막 여과특성을 조사하고 영양염류 제거 특성을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 공기 유량 및 담체의 충진율 변화에 따른 막 여과특성을 비교한 결과 20%의 동일한 담체 충진율 조건에서 공기의 유량이 증가할수록 막 여과시간이 증가하였다. 또한 5 LPM의 동일한 공기 유량에서 담체 충진율이 증가할수록 막 여과 시간이 증가하였으며, 20% 이상의 충진율에서는 큰 변화를 보이지 않았다. 따라서 막 오염을 완화시키고 막 여과 시간을 증가시키기 위해서는 반응조 내 충진된 담체 사이로 원활한 공기 순환이 이루어져야 할 것으로 사료된다.
- 2) MBR 내 담체 충진율 변화에 따른 질소 제거율은 담체 충진율이 증가할수록 반응조내 실 MLSS 농도 및 실 SRT가 증가하여 질산화율이 높아졌고, 담체 내부에 무산소상태가 형성됨으로 인하여 원활한 탈질산화가 이루어졌다. 또한 인 제거율은 담체를 충진하지 않은 경우에는 10% 이하이었으나, 담체를 10%, 20% 및 30%를 충진한 경우에는 각각 72%, 85% 및 89%로 증가하였다.
따라서 폐석회 담체를 이용한 막결합형 고정상 생물막 공정은 막 오염을 완화시켜 막 여과 시간을 연장시킬 수 있으며, 영양염류의 제거효율을 향상시키고 안정된 처리효율을 얻을 수 있으므로 용수 재활용을 위한 고도처리 시스템으로서 매우 효과적이라고 사료된다.

참고문헌

1. A. D. Bailey, G. S. Hansford and P. L. Dold, *Wat. Res.* **28**:297-301, 1994.
2. 이채남 · 박영식 · 최윤찬 · 송승구. "담체의 표면 거칠기와 전단응력이 미생물 부착에 미치는 영향." 부산대학교 환경연구보, **13**:39, 1995.
3. W. D. Murray, *J. Appl. Bacterial.* **51**:305, 1981.
4. R. J. Louis and C. W. Randall, Utilization of a Sponge Media Integrated Fixed-Film Activated Sludge Process for Treatment of a High Strength, High Ammonia Industrial Wastewater, in Proceedings of WEFTEC '95 68th Annual Conference & Exposition, WEF, Florida, **3**(2), 1995.
5. Morper, M. R.. "Upgrading of Activated Sludge Systems for Nitrogen Removal by Application of the LINPOR-CN Process." *Wat. Sci. Tech.* **29**:167, 1994.