

다공성 폐석회담체의 영양염류제거에 관한 연구

노성희*, 김선일
 조선대학교 화학공학과
 (roh-sh@hanmail.net*)

A Study on the Nutrients Removal of Multi-porous Waste Lime Support Carrier

Sung-Hee Roh*, Sun-Il Kim
 Department of Chemical Engineering, Chosun University
 (roh-sh@hanmail.net*)

서론

폐수로부터 질산염 또는 인산염 제거를 위해 이용되고 있는 기술로는 이온교환수지법, 생물학적 탈질, 화학적 환원, 역삼투압법, 전기 투석법, 화학적 침전법 등이 있다[1]. 생물학적 탈질공정은 유기물이 다량 함유된 폐수 처리에서 많이 사용되는 방법으로 가장 경제적이라고 알려져 있으나, 국내 폐수 특성상 대부분의 경우 외부 유기탄소원[2]의 공급이 필요하며 환경변화에 따른 시스템 제어가 어려운 문제점이 있다. 또한 최근에는 인 제거를 위한 응집 침전법에 대한 연구가 활발히 진행되어 응집제를 직접 포기조에 첨가하는 활성슬러지법 등이 개발되었지만, 고가의 약품비와 증가된 폐슬러지의 처분에 따른 문제점[3]이 발생되어 이러한 문제점들을 보완할 수 있는 새로운 인 제거 방법이 필요한 실정이다.

담체에 고정된 미생물을 이용하여 하·폐수를 처리하는 생물막 공정(biofilm process)은 부유 상태의 미생물을 이용하는 활성슬러지법과는 달리 담체에 미생물을 부착시켜 운전하는 방법으로 생물막내 미생물이 하·폐수와 접촉하는 형태 및 담체 종류에 따라 살수여상법, 회전원판법, 고정생물막 반응기 및 유동층 생물막 반응기 등으로 분류된다. 생물막 반응기는 담체에 미생물이 부착되어 생물막을 형성하므로 증식속도가 느린 미생물도 외부로 유출되지 않고 증식할 수 있어서 외부로 유출되는 슬러지량이 적고 미생물종이 다양하게 출현하여 온도, pH, 충격부하 및 난분해성물질에도 강하다. 또한 생물막을 형성하므로 활성슬러지법과는 달리 슬러지 팽화현상으로 인한 슬러지 부상 등이 없어 운전관리가 용이하며, 운전특성상 단위체적당 미생물농도를 높게 유지할 수 있다는 장점 때문에 현재 많은 연구가 진행되고 있다[4]. 생물막의 형성은 미생물이 담체표면에 전달되어 초기에 부착하는 초기 부착공정과 부착된 미생물이 성장하면서 생물막을 형성하는 생물막 성장공정으로 구분할 수 있다[5]. 미생물의 초기부착에는 담체의 표면 거칠기나 미세기공과 같은 요소들이 큰 영향을 미치므로 미세기공이 많거나 담체의 표면이 거칠어야 한다[6].

따라서 본 연구에서는 초기 미생물 부착이 용이하도록 높은 표면 거칠기를 가지며, 생물막이 잘 형성될 수 있는 기공이 큰 담체를 경제적인 방법으로 제조하고자 최근 발생량이 급격히 증가하여 처리·처분에 어려움을 겪고 있는 폐석회를 사용하여 담체를 제조하고, 합성폐수를 이용한 성능실험을 통하여 폐석회 담체의 적용가능성을 검토하였다.

실험

폐석회 담체는 ①혼합(폐석회, 커들란) ②pH 조절(pH 12 → pH 7) ③가열(120℃, 30min) ④건조(-70℃, 48hr) 과정을 거쳐 제조하였다. 반응기는 아크릴 재질을 사용하여 유효 용적 3L (반응영역 2L, 침전영역 1L) 규격으로 4조를 제작하여 사용하였으며, 폐석

회 담체를 철망에 넣어 반응기 내부 양쪽에 고정시키고, 반응기 중앙에 설치된 산기 장치를 이용하여 양쪽으로 순환되게 하여 반응기 내 DO 농도를 5 mg/L 이상으로 유지되도록 하였다. 본 연구에서 제조한 폐석회 담체는 한 변이 약 12 mm인 정육면체 기공성 구조이다.

활성슬러지는 광주 소재 하수처리장의 슬러지 반송라인에서 채취한 후 100 μm 체로 걸러서 이물질을 제거하여 실험실에서 합성폐수로 장기간 적응시킨 후 MLSS 농도 5,000 mg/L로 조절하여 담체에 고정화시켰으며, 빠른 초기 미생물 부착을 위해 하루동안 폭기만 하고 폐수를 유입시키지 않았다. 담체 충진을 변화에 따른 질소 및 인의 제거율을 알아보기 위하여 담체를 반응기 부피에 대해 각각 10%, 20% 및 30%를 충진 하였으며, 비교 실험을 위하여 하나의 반응기에는 담체를 충진 하지 않고 MLSS 농도를 3,000 mg/L로 맞추어 운전하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서 제조하여 영양염류 제거 실험에 사용한 담체 표면의 SEM 사진을 Figure 1에 나타내었다. Figure 1에서 보는바와 같이 담체 표면에 크기가 10~20 μm 정도인 기공과 50~100 μm 정도인 기공이 관찰되었으며, 기공이 없는 부분도 매우 거칠게 보였다. 거친 표면은 표면의 부착점이 많고 흡착된 미생물의 피난처가 되어 유체의 전단응력으로부터 미생물을 보호하여 미생물의 탈착속도가 감소하기 때문에 거친 표면이 미생물의 부착에 효과적이라고 보고된 이채남 등[7]의 연구결과와 비교할 때 제조된 담체는 표면이 충분히 거칠어서 미생물이 잘 부착될 수 있다고 사료되었다. 또한 담체 기공의 지름이 미생물 크기보다 1~5배 클 때 미생물 축적이 최대로 된다고 보고한 Murray[8]의 연구결과와 비교할 때 큰 기공을 가지는 담체가 미생물이 전단응력에 대해 잘 피난할 수 있어 개발된 담체의 표면은 미생물이 부착되고 생물막이 형성되어 군집을 이루면서 성장할 수 있는 서식처로 적합할 것으로 사료되었다.

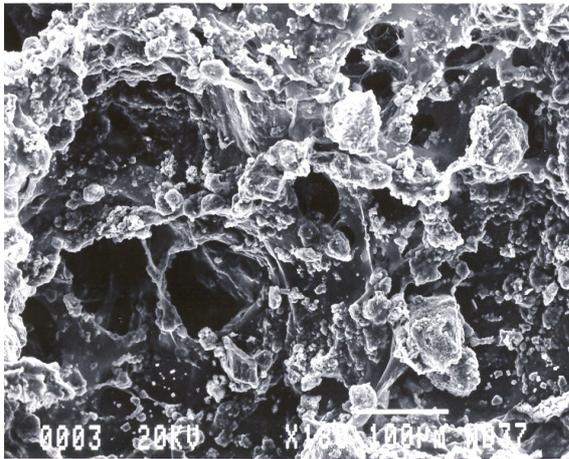


Figure 1. SEM photograph of the surface of waste lime support carrier.

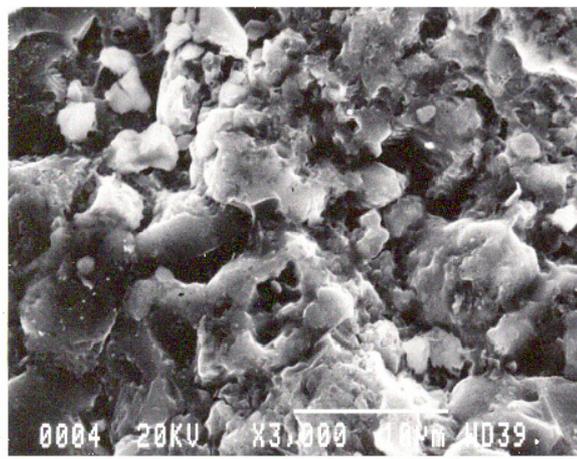


Figure 2. SEM photograph of the interior of support carrier after immobilization.

미생물을 담체에 고정화시키기 위하여 실험실에서 합성폐수로 장기간 적응시킨 MLSS 농도 5,000 mg/L가 들어있는 반응기에 담체를 충진시켜 2시간이 경과한 후 미생물이 철망과 담체에 부착되기 시작하는 것을 관찰하였다. 2일 후 고정화 담체의 생물막이 형태를 갖추었으나 부유하는 미생물도 다소 관찰되었다. 4일 후에는 생물막이 완전한 형태를

이루었으며, 반응기 내에 부유하는 미생물이 거의 존재하지 않았다. 운전 종료 후 담체에 부착된 생물막의 SEM 사진을 Figure 2에 나타내었으며, 내부 생물막이 큰 플러를 형성하고 있음을 알 수 있었다.

담체 충전율 변화에 따른 질소 및 인의 제거율을 알아보기 위하여 MLSS 농도 5,000 mg/L로 고정화시킨 담체를 반응기 부피에 대해 각각 10%, 20% 및 30%를 충전 하였으며, 비교 실험을 위하여 다른 하나의 반응기에는 담체를 충전 하지 않고 MLSS 농도를 3,000 mg/L로 맞추어 운전하였다.

Louis 등[9]의 실험결과에 의하면 담체 충전율이 증가할수록 반응기내 실 MLSS 농도를 높일 수 있기 때문에 SRT(mixed liquor SRT)를 동일하게 유지하여도 담체 충전율이 증가하면 실 SRT(effective SRT)는 증가하여 질산화율을 높일 수 있다. 또한 Moper[10]은 담체표면에서부터 담체중앙부 사이에 산소농도 구배가 형성되며, 질산성질소와 유기물이 담체의 기공을 통해서 담체 내부에 형성된 무산소지역에 도달했을 때 탈질산화가 이루어진다고 하였다. Figure 3에 나타낸바와 같이 반응기내의 담체 충전율에 따른 질소 제거율은 담체를 충전하지 않은 경우에는 60% 이하이었으나, 담체를 10%, 20% 및 30%를 충전한 경우에는 각각 78%, 84% 및 88%로 증가하였다. 이것은 담체 충전율이 증가할수록 반응기내 실 MLSS 농도 및 실 SRT가 증가하여 질산화율이 높아졌고, 담체 내부에 무산소상태가 형성됨으로 인하여 원활한 탈질산화가 이루어졌기 때문으로 사료된다. 또한 Figure 4에 나타낸바와 같이 인 제거율은 담체를 충전하지 않은 경우에는 10% 이하이었으나, 담체를 10%, 20% 및 30%를 충전한 경우에는 각각 69%, 82% 및 88%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.

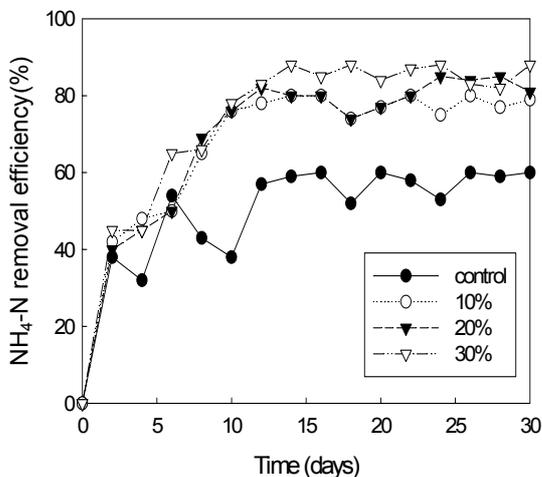


Figure 3. Variations of $\text{NH}_4\text{-N}$ removal efficiency at different packing ratio during operating times. (Temperature $25 \pm 1^\circ\text{C}$, Influent $\text{NH}_4\text{-N}$ 40 mg/L, HRT 12hr).

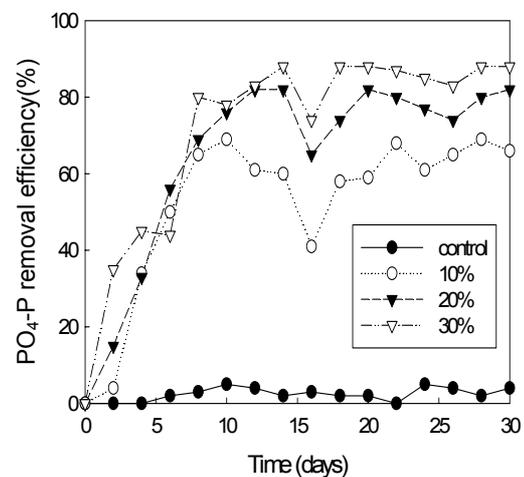


Figure 4. Variations of $\text{PO}_4\text{-P}$ removal efficiency at different packing ratio during operating times. (Temperature $25 \pm 1^\circ\text{C}$, Influent $\text{PO}_4\text{-P}$ 8 mg/L, HRT 12hr).

결론

본 연구에서는 폐석회를 재활용하기 위한 방안으로 폐석회를 이용하여 미생물 부착이

용이한 기공이 크고 높은 표면 거칠기를 갖는 담체를 제조하여 폐수 중의 영양염류 제거 가능성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 제조된 담체는 크기가 10~20 μm 정도인 기공과 50~100 μm 정도인 기공을 지닌 다공성 구조이며, 담체 표면이 충분히 거칠어서 미생물이 부착하기에 알맞은 생물막이 형성되어 군집을 이루면서 성장할 수 있는 서식처로 적합하였다.

2) 반응기내 담체 충전율에 따른 질소 제거율은 담체 충전율이 증가할수록 반응기내 실 MLSS 농도 및 실 SRT가 증가하여 질산화율이 높아졌고, 담체 내부에 무산소상태가 형성됨으로 인하여 원활한 탈질산화가 이루어졌다. 또한 인 제거율은 담체를 충전하지 않은 경우에는 10% 이하이었으나, 담체를 10%, 20% 및 30%를 충전한 경우에는 각각 69%, 82% 및 88%로 증가하였다.

따라서 폐석회를 친환경적으로 재활용하여 담체로 사용할 경우 폐수처리장의 영양염류 제거효율을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Wentzel, M.C., "Evaluation of Biochemical Models for Biological Excess Phosphorus Removal", *Wat. Sci. Tech.*, **23**, 567(1987).
2. Berreby, E., U. S. Patent 5, 062, 957(1991).
3. Van Dijk, J.C. and Braakeniek, H., "Phosphate Removal by Crystallization in a Fluidized Bed", *Wat. Sci. Tech.*, **17**, 133(1984).
4. 송승구, "담체의 물리화학적 특성이 생물막 형성에 미치는 영향", *첨단환경기술*, **11**, 2(1998).
5. Mittelman, M.W., "Characterization of Bacterial Biofilm Biomass Constituents, Community Structure and Methabolic Activity in Dynamic-Flow Test Systems", Ph. D. Thesis, Univ. of Tennessee, USA(1991).
6. 박영식, 서정호, 송승구, "담체의 소수성과 표면거칠기가 미생물 부착에 미치는 영향", *한국환경과학회지*, **6**(6), 689(1997).
7. 이채남, 박영식, 최윤찬, 송승구, "담체의 표면 거칠기와 전단응력이 미생물 부착에 미치는 영향", *부산대학교 환경연구보*, **13**, 39(1995).
8. Murray, W.D., "Effect of Support Materials on the Development of Microbial Fixed Films Converting Acetic Acid to Methane", *J. Appl. Bacteriol.*, **51**, 305(1981).
9. Louis, R.J. and Randall, C.W., "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), 357(1995).
10. Morper, M.R., "Upgrading of Activated Sludge Systems for Nitrogen Removal by Application of the LINPOR-CN Process", *Wat. Sci. Tech.*, **29**(12), 167(1994).