

단일개체군 생물막 반응기를 이용한 페놀폐수의 효율적 처리

박근태, 이준훈, 이희정, 최정순, 손홍주*, 이상준
 부산대학교 미생물학과, *밀양대학교 생물공학과
 (051) 510-2268, FAX (051) 518-1688

Abstract

Phenol and other phenolic compounds are common constituents of aqueous effluents from processes such as polymeric resin production, oil refining and cokeing plants. Phenol is a both toxic and lethal of fish at relatively low concentrations e.g. 5-25 mg/L and imparts objectionable tastes to drinking water at far lower concentration. Therefore, the treatment of phenol effluent is important. Among the various techniques of phenol wastewater treatment, microbial treatment is a popular process. The breakdown of phenols by microorganisms has received considerable attention, because of its biochemical interest and its industrial importance in effluent treatment.

This research was performed to investigate the dynamics of microbial community, biofilm growth and the comparison of phenol removal efficiency by RBC (Rotating Biological Contactor) using *Rhodococcus* sp. EL-GT. The experiment was carried out at rotating speed of 10rpm and hydraulic retention time of 7 hours. As time passed, phenol removal efficiency was gained highly. The RBC using *Rhodococcus* sp. EL-GT completely degraded 15 mM.

서론

화학산업은 1950년대 이후 인류생활에 필수적인 생활용품 및 소재를 공급하면서 눈부시게 발전하여 왔지만 지구환경에 가장 위협적인 물질을 생산하는 가장 대표적인 공해산업으로 여겨지고 있다. 이들 산업에서 대표적으로 사용되는 원료가 페놀 및 페놀관련 화합물로서 염료·살리실산·피크르산 등의 유기물질, 코크스, 가정용 가스, 페인트, 플라스틱 제조, 직물 및 목재 가공, 제지, 제약, 제강, 정유 등의 산업에서 사용되고 페놀수지, 에폭시수지, 카보네이트수지 등의 합성수지, 제초제 2,4-D, 윤활유 정제시의 용매, 살리실산(salicylic acid, aspirin) 등 각종 제품의 제조 원료로서 이용되며 배출되는 폐기물은 원료로 사용되는 페놀 및 페놀화합물이 주요물질이다.¹⁻²⁾ 페놀은 고농도에서 생물학적 독성등으로 인하여 일반적인 하폐수 처리공정에서 처리가 불가능하며 물리화학적 처리방법을 사용하나 비용 및 여러 제반문제들이 수반된다. 따라서 페놀을 생물학적으로 처리하고자 하는 연구가 오래전부터 진행되어 많은 연구가 진행되어 왔으나 아직까지도 실제의 현장처리는 미비한 실정이다.³⁻⁵⁾

본 연구에서는 1,000 mg/l 이상의 고농도 페놀의 분해가 가능한 자연계 분리 *Rhodococcus* sp. EL-GT 균주를 경제적인 운전경비 및 고농도의 폐수를 처리하는 것이 가능한 것으로 알려져 있는 회전원판법에 단일개체군형태로 생물막을 형성시키고 페놀 폐수를 처리하면서 고농도의 페놀 및 독성난분해성 물질을 포함하고 있는 폐수를 효과적으로 처리하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 페놀 농도의 측정

Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA)의 colorimetric assay에 준하여 측정하였다.⁶⁾

2. 생물막의 무게, 두께,

반응기에서 미생물을 박리하고 vortex로 미생물 균집을 파쇄후 건조중량이 측정되어 있는 유리섬유여과지로 여과한후 여과지를 105°C에서 2시간동안 건조후 데시케이터에서 방냉하고 무게를 측정하여 건조무게로 하였다. 부착미생물의 젖은 무게는 분리된 아크릴 매질의 젖은 무게와 미생물을 박리한후 건조시킨 아크릴 매질의 무게차로 구하였다.

3. NH_4^+-N , $\text{NO}_2^- -\text{N}$, $\text{NO}_3^- -\text{N}$, pH, 용존산소량 측정

Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA) 및 환경오염 공정 시험법 수질 편에 준하여 측정하였다. 암모니아성 질소 (NH_4^+-N), 아질산성 질소 ($\text{NO}_2^- -\text{N}$), 그리고 질산성 질소 ($\text{NO}_3^- -\text{N}$)의 분석을 위해서는 각각 인도페놀법, 디아조화법, 자외선흡광광도법 및 분석 kit를 사용하였다. DO는 산소전극법을 이용한 DO meter로 측정하였고, pH는 pH meter로 측정하였으며 온도는 수온온도계를 이용하여 측정하였다.

4. 실험장치와 운전조건

폐수처리 반응기는 지름 15 cm, 두께가 0.3 cm인 원판과 2.5 cm × 2.5 cm 크기의 아크릴 판을 120 w 사포로 일정하게 연마한후, 원판에 2.5 cm × 2.5 cm 크기의 아크릴판을 원판에 8개씩을 일정한 위치에 각각 부착하였다. 반응기는 총 4단으로 구성하였고, 각 단마다 원판을 4개씩 설치하여 연속적으로 기질을 처리할 수 있도록 구성하였다.

단일개체군 생물막을 형성하기 위하여 분리된 *Rhodococcus* sp. EL-GT 균주를 사용하였다. Glucose를 유일탄소원으로 한 무기염배지에서 7 l jar fermentar (working volume, 5 l) 및 30 l의 pilot fermentor (working volume, 20 l)에서 24시간 배양한후 원심분리하여 상등액을 제거한뒤 동결건조한 분말을 500 mg/l의 농도로 반응기에 투입하였다. 이때의 생균수는 1×10^8 CFU/l로 유지되었다.

본 실험에 사용된 유입폐수는 반응기 부착 균주의 페놀분해 최적조건 배지와 같은 조성으로 제조한 페놀을 유일탄소원으로 한 합성폐수를 사용하였다. 실험 목적에 맞게 탄소원의 양을 조절하였다.

결과 및 고찰

1. 생물막의 성장과 특성

Rhodococcus sp. EL-GT를 이용한 단일개체군 생물막 반응기의 생물막은 기질과 미생물을 유입한 초기에는 균체로 보이는 아주 작은 흰색의 부착물이 조금씩 나타나서 3일정도 경과후에는 상당히 많은 양의 흰색 부착물이 전단에서 관찰되었다. 기질을 느린 유속으로 투입하면서 경시적으로 관찰한 결과 기질 투입 2일째 정도부터는 1단에서 흰색의 부착물이 증가하면서 분홍색을 나타내는 부분이 생겼다. 기질투입 3일에서 4일째 정도에 정상상태의 운전이 시작되면서 1단에서는 분홍색을 나타내는 부분이 매우 증가하여 거의 모든 부분이 분홍색을 나타내었다. 3-4일 경과후에는 2단에서도 분홍색의 막이 증가하였으며 3단과 4단

에서는 흰색 투명한 막이 증대되었고, 기질의 부하량이 증가하면서 다시 불투명한 무색의 막이 전단에 걸쳐서 증가하였으며 운전시작 60일 정도의 생물막은 잿빛색을 나타내는 끈적 끈적한 형태로 바뀌었다.

생물막반응기의 생물막 건조무게는 Fig. 1과 같다. 4단 모두 운전시작 15일만에 최대값을 나타내었고 20일째 약간의 감소를 보인후 일정한 무게를 유지하였다.

생물막 두께는 1단은 운전시작 10일, 2단은 운전시작 15일에 최고값을 나타내었고 약간의 탈리작용후 안정상태를 유지하였다. 그러나 후단인 3, 4단에서는 계속 증가하여 20일 정도에 안정된 값을 나타내었다.

2. 페놀폐수처리를 위한 생물막반응기의 특성과 분해율

페놀폐수처리를 위한 생물막 반응기의 온도에 대한 영향은 10°C에서는 분해율이 저조하였으며 생물막의 성장도 이루어지지 않는다. 20°C와 30°C에서는 모두 양호한 분해능을 나타내었으며 생물막의 성장도 잘 이루어졌다. 따라서 본 생물막 반응기를 운전하는데 있어서 여름과 같은 온도가 높은 계절에서는 운전에 대한 문제가 없으나 겨울같은 경우에는 수온을 올리는 방안을 강구하여야 한다.

pH에 의한 생물막반응기의 페놀분해능은 Fig. 2와 같다. 중성부근 pH와 pH 10까지도 운전이 가능하였으나 phenol의 분해능은 약간 떨어졌다. 페놀농도 10 mM 이상의 고농도에서도 안정한 상태의 운전이 가능하였고 20 mM의 경우에 반응기의 운전에 이상을 가져오고 페놀의 분해능이 현저히 저감되었다.

3. 생물막반응기의 용존산소, pH 및 질소 제거 효과에 대한 검토

안정상태에서 용존산소량은 3.2 ~5.5 mg/l의 분포로 분해를 담당하는 1, 2단에서 낮은 용존산소량을 보였고 3, 4 단에서는 약간 증가하였고 반응기의 생물막량이 증가하거나 기질 부하량이 증가하면 용존산소량이 1 mg/l 이하로저하되었다

생물막반응기의 pH는 안정상태에서 pH 7.3 ~7.5를 나타내었다. 1단에서 pH 7.4로 감소된후 후단까지의 큰 변화가 없이 지속되었다.

본 반응기의 경우 단일개체군 생물막반응기로서 일반적인 회전원판법에서 형성되는 질산화균 및 탈질담양균들의 균총이 정립될 가능성이 희박하며 실제로 유입수와 최종유출수간에 암모니아성 질소가 소량 감소되었을뿐 큰 변화가 없었다.

참고문헌

1. Gehm, H. W. and J. Bregman, 1976, Handbook of water resources and pollution control, Van Nostrand Rein hold Co., New York.
2. Sokol, W. and J. A. Howell, 1981, Kinetics of phenol oxidation by washed cells, *Biotechnol. Bioeng.*, 23 : 2039-2049.
3. Zilli, M., A. Lodi, M. D. Borghi, and G. Ferraiolo, 1993, Phenol removal from waste gases with a biological filter by *Pseudomonas putida*, *Biotechnol. Bioeng.*, 41 : 693-699.
4. Collins, L. D., and A. J. Daugulis. 1997. Characterization and optimization of a two-phase partitioning bioreactor for the biodegradation of phenol. *Appl. Microbiol Biotechnol.* 48 : 18-22.

5. K. Bandhyopadhyay, D. Das, B. R. Maiti. 1999. Solid matrix characterization of immobilized *Pseudomonas putida* MTCC 1194 used for phenol degradation. 1999. Appl. Microbiol. Biotech. 51:891-895
6. L. S.Clesceri, A. E. Greenberg. A. D. Eaton 1998, Standard methods for examinations of water and wastewater. APHA AWWA WEF.

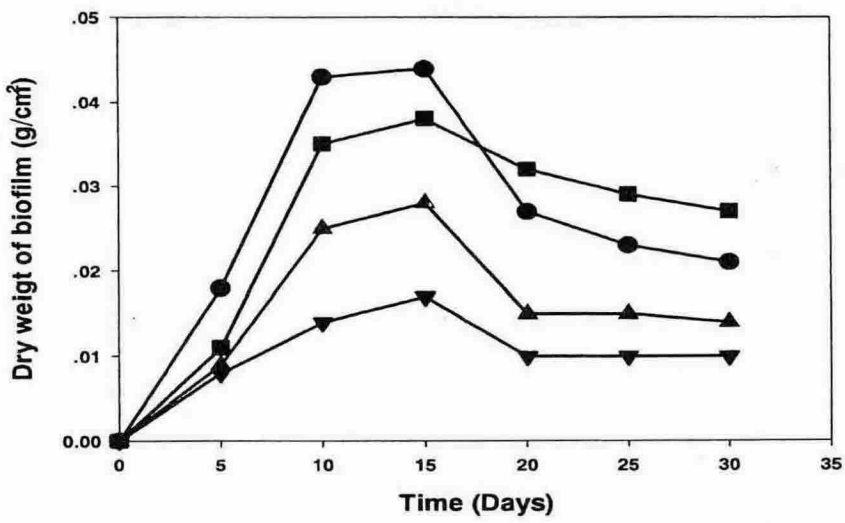


Fig. 1. Dry weight of biofilm. Symbols : —●—, 1st stage; —■—, 2nd stage; —▲—, 3rd stage; —▼—, 4th stage.

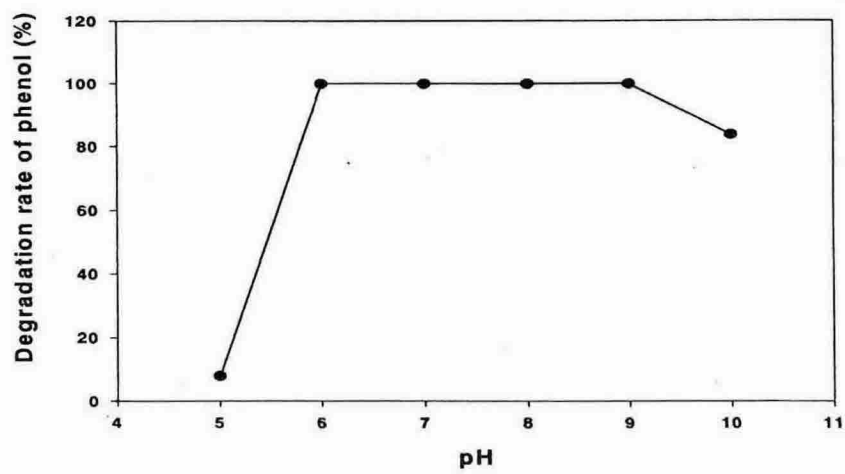


Fig. 2. Effect of pH on the degradation of phenol.