

Rhodococcus sp. EL-GT와 Sludge를 이용한 호기성 생물막 반응기의 특성 및 페놀 처리

박 근 태 · 원 성 내 · 조 순 자 · 손 홍 주 · 이 건 · 이 상 준
부산대학교 미생물학과 · 밀양대학교 생물공학과
(2002년 3월 6일 접수; 2002년 6월 8일 채택)

Characteristics and Phenol Wastewater Treatment of Aerobic Biofilm Reactor Used *Rhodococcus* sp. EL-GT and Sludge

Geun-Tae Park, Seong-Nae Won, Sun-Ja Cho, Hong-Joo Son^{*}
Geon Lee and Sang-Joon Lee

Department of Microbiology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
^{*}Department of Biotechnology, Miryang National University, Miryang 627-702, Korea
(Manuscript received 6 March, 2002; accepted 8 June, 2002)

The research was performed to compare to the biofilm characteristics and phenol removal efficiency in RBCs(Rotating Biological Contactor) using *Rhodococcus* sp. EL-GT(single population) and activated sludge(mixed population) as inoculum. Both reactors showed similar tendency on variations of dry weight, thickness and dry density of biofilm. However, the growth of biofilm thickness in 3 and 4 stage of single population reactor has sustained longer than that of the mixed population reactor. Unlike the mixed population reactor, the dry density of biofilm in the single population reactor had a difference between 1, 2 stage and 3, 4 stage. The single population reactor was stably operated without the decrease of phenol removal efficiency in the range of pH 6~9 and 15mM phenol was completely degraded in these pH ranges. But in case of the mixed population reactor, the phenol degradability was dramatically decreased at over 5mM phenol concentration because of the overgrowth and detachment of its biofilm.

Key words : *Rhodococcus*, sludge, RBC, biofilm reactor

1. 서 론

생물막법은 적당한 집축재 표면에 형성된 생물막을 이용하여 오염물질을 제거하는 폐수처리의 한 방법으로서 호기성 생물막법과 혐기성 생물막법으로 대별된다. 호기성 생물막법으로 가장 대표적인 것이 회전원판법과 살수여상법이다. 그 중 회전원판법(RBC; rotating biological contactor)은 원판상에 부착한 미생물군에 의해 오염물질을 제거하는 폐수처리의 한 방법이다. 즉, 폭기조속에 원판을 40~70% 정도 침적, 저속으로 회전시키면서 오수를 유입시키면, 약 1~2주 사이에 원판의 회전에 의해

공기로부터 산소가 공급됨과 동시에 원판상에 미생물군이 부착, 번식하면서 수중의 오염물질을 분해한다. 활성슬러지법에 비해서 미생물량이 많고, 단시간의 집축으로도 높은 정화율이 얻어지며 부하변동에 강하고, 운전비용의 경제성과 오니 발생량이 비교적 적어 운전관리가 쉬운 장점을 가지고 있다.

이러한 RBC 공정은 1900년대 초 독일의 Weigand에 의해 연구가 시작되었고, 1964년 F. Popel에 의한 polystyrene 원판을 이용한 실험으로 인해 보다 체계적인 연구가 진행되었다.¹⁾ 이를 계기로 유럽 등지에서 널리 채용되기 시작하여 1970년대에 들어서는 미국을 비롯한 각국에서도 급속히 보급되었다. 국내는 1970년대 이후부터 김,^{2,3)} 전,⁴⁾ 강,⁵⁾ 유⁶⁾ 등에 의해 연구가 진행되어 왔다.

이러한 RBC 공법은 과거에는 주로 소규모의 생

Corresponding Author : Sang-Joon Lee, Department of Microbiology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
Phone : +82-51-510-2268
E-mail : sangjoon@pusan.ac.kr

활하수 처리용 또는 후처리용으로 사용되었으나 최근에는 대규모의 하수 처리시설과 고농도의 폐수에 많이 사용하고 있다. Bioreactor를 이용한 폐놀 제거공정에 대한 연구는 현재까지 많이 이루어졌으며, 특히 폐놀폐수의 분해에 관한 연구가 다수 보고되고 있지만 회전원판법에 의한 폐놀폐수 처리에 관한 연구는 아직까지도 미흡한 수준이다.⁷⁻¹³⁾

따라서 본 연구에서는 경제적인 운전경비 및 고농도의 폐수를 처리하는 것이 가능한 것으로 알려져 있는 회전원판법을 직접 제작, 운전하면서 폐놀 분해능을 살펴보았다. 고농도의 폐놀분해능을 가진 *Rhodococcus* sp. EL-GT 단일개체균을 원판에 부착시켜 생물막의 형성 및 폐놀분해 조건을 검토하였고, 또한 활성슬러지공법에서 사용된 혼합개체균인 활성슬러지를 원판에 부착시켜 생물막의 형성 및 폐놀분해 조건 등을 검토함으로써 고농도의 폐놀폐수를 효과적으로 처리할 수 있는 방법을 개발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 사용기구

식종을 위한 균주의 대량 배양을 위하여 Jar fermenter (B. Braum, Germany)를, 균체액의 동결 건조를 위하여 동결건조기(Samwon, Korea)를 사용하였다. 분광광도계는 Jenis-5 Spectrophotometer (MILTON ROY, USA)를, 냉동원심분리기는 Cent-

rikon T-124 (KONTRON, ITALY)와 HMR-1501V (HANIL, KOREA)를 사용하였다.

2.2. 실험장치와 운전조건

2.2.1. 실험장치와 기구

본 실험에 사용된 폐수처리 반응기는 박 등¹⁴⁾의 연구와 같이 지름 15 cm, 두께가 0.3 cm인 원판과 2.5 cm × 2.5 cm 크기의 아크릴판을 120 w 사포로 일정하게 연마한 후, 원판에 2.5 cm × 2.5 cm 크기의 아크릴판을 원판에 8개씩 일정한 위치에 각각 부착하였다.¹⁶⁾ 반응기는 총 4단으로 구성하였고, 각 단마다 원판을 4개씩 설치하여 연속적으로 기질을 처리할 수 있도록 구성하였다(Fig. 1).

2.2.2. 식종 미생물

단일개체균 미생물을 식종한 생물막 반응기는 박 등¹⁴⁾의 연구에서 사용한 *Rhodococcus* sp. EL-GT 균주를 사용하였다. Glucose를 단일 탄소원으로 첨가한 무기염배지 또는 LB배지가 첨가된 7 l jar fermenter (working volume, 5 l)에서 24시간 배양한 후, 원심분리로 상등액을 제거하여 동결건조한 분말을 500 mg/l의 농도로 반응기에 투입하였다. 이때의 생균수는 1×10^8 CFU/l로 유지되었다.

활성슬러지는 부산광역시 소재 장림 하수처리장 반송 슬러지를 순화기간 없이 MLSS 3000 mg/l로 조절하여 반응기에 투입하였다.

2.2.3. 기질 조성 및 운전조건

박 등¹⁴⁾이 사용한 폐놀분해 최적조건 배지에 폐놀을 단일 탄소원으로 첨가한 합성폐수를 사용하였으며, 실험 목적에 맞게 폐놀의 양을 조절하였다 (Table 1).

반응기 총 용적은 4.8 l이며, 수리학적 체류시간 (HRT)은 7시간으로 유지하였고, 반응기의 회전수는 10 rpm으로 조절하였다. 초기에 식종된 미생물이 기질에 부착되어 생물막을 형성하도록 하기 위해 이틀간 기질을 투입하지 않았다. 반응기내의 온

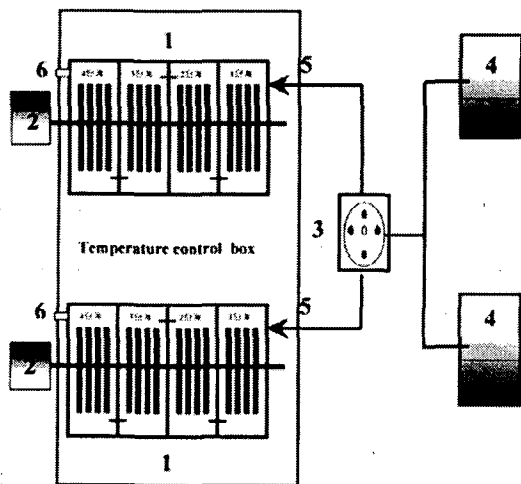


Fig. 1. Schematic diagram of experimental RBC system.

- 1: reactor,
- 2: motor,
- 3: peristaltic pump,
- 4: feed reservoir,
- 5: input,
- 6: output

Table 1. Composition of artificial wastewater

Phenol	3 ~20 mM
KH ₂ PO ₄	5.3 mM
Na ₂ HPO ₄	95 mM
NH ₄ NO ₃	18 mM
MgSO ₄ · 7H ₂ O	1 mM
CaCl ₂ · 2H ₂ O	50 μM
FeCl ₃	0.5 μM
pH	8.0±0.2
Temperature	30°C

도를 일정하게 유지하기 위하여 자동온도조절 장치를 사용하여 온도를 일정하게 유지하였고 (20 ± 2°C), 일정량의 폐수를 주입하기 위해 정량펌프를 사용하여 유입유량을 조절하였다. 각 반응기의 아크릴 표면에 일정량의 생물막이 가시적으로 보이기 시작하면 일정량의 폐수를 주입하여 운전을 시작하였고, 운전시 처리 수질의 농도가 큰 변동 없이 일정적으로 유지되었을 때를 정상상태 (steady state)로 간주하였다.

단일개체군 생물막 반응기와 혼합개체군 생물막 반응기는 폐놀 300 mg/ℓ (SCOD 700 ± 50 mg/ℓ)의 일정한 농도에서 생물막을 형성시켰고, 부하량은 20.0 g SCOD/m² · day였다.

2.3. 폐놀처리를 위한 생물막 반응기의 조건 검토

온도에 의한 폐놀처리의 영향을 검토하기 위하여 각각의 생물막 반응기 온도를 10°C, 20°C, 30°C로 설정하고 각 온도별에 따른 일정 기질부하에서의 폐놀 분해율과 생물막의 특성을 조사하였다. pH에 의한 영향은 각각의 생물막 반응기 pH를 5~10의 범위로 단계적으로 조정 한 후, 각 pH에 따른 일정 기질부하에서 폐놀 분해율과 생물막의 특성을 조사하였다. 또한 폐놀농도에 의한 영향은 생물막 반응기 pH 및 온도를 상기 실험결과에 따라 조정 한 후, 폐놀농도를 달리하면서 폐놀 분해율과 생물막의 특성을 조사하였다.

2.4. 분석방법

2.4.1. 폐놀 농도

Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA)의 colorimetric assay에 준하여 흡광도로 측정하였다.¹⁵⁾

2.4.2. 생물막의 젖은 무게 및 건조무게

반응기에서 분리한 2.5 cm × 2.5 cm 아크릴판을 20 ml의 PBS (NaCl 8 g, KCl 0.2 g, Na₂HPO₄ 1.44 g, KH₂PO₄ 0.24 g, pH 7.4, distilled water 1 ℓ)가 들어있는 시험관에 넣고 sonicator로 표면에 붙어있는 미생물을 박리하고, vortex로 미생물 군집을 파쇄하였다. 이 시료를 미리 건조중량이 측정되어 있는 유리섬유여과지로 여과한 후, 여과지를 105°C에서 2시간동안 건조하여 데시케이터에서 방냉하고 무게를 측정하여 건조무게로 하였다. 부착 미생물의 젖은 무게는 분리된 아크릴 매질의 젖은 무게와 미생물을 박리한 후 건조시킨 아크릴 매질의 무게차로 구하였다.

2.4.3. 생물막 두께와 생물막 건조밀도

생물막 두께와 밀도는 아크릴판에 부착된 미생물의 젖은 무게와 건조무게를 각각 측정하여 다음 식

으로 산정하였다¹⁶⁾.

$$\text{생물막 두께} = \frac{1}{*\rho_s} \cdot \frac{\text{부착미생물의 젖은 무게}}{\text{접촉여재의 표면적}}$$

(여기서, *ρ_s : 젖은 생물막의 비중)

$$\text{생물막 밀도} = \frac{\text{부착미생물의 건조 무게}}{\text{생물막 두께 접촉여재의 표면적}} \quad (\text{mg/cm}^3)$$

2.4.4. SCOD, NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, pH, 용존산소량 측정

SCOD는 Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA) 및 환경오염 공정 시험법 수질편에 준하여 과망간산칼륨법과 중크롬산칼륨법 및 COD 측정 kit(Hach, USA)를 사용하여 측정하였다.^{15,17)} 암모니아성 질소 (NH₄-N), 아질산성 질소 (NO₂-N), 그리고 질산성 질소 (NO₃-N)의 분석은 각각 인도페놀법, 디아조화법, 자외선흡광광도법 및 분석 kit를 사용하였다. DO (dissolved oxygen)는 산소전극법을 이용한 DO meter(YSI, USA)로 측정하였고, pH 및 산화환원전위는 Orion 920A pH meter (Orion CO., USA)로 측정하였으며, 온도는 수온온도계를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 생물막의 성장과 특성

3.1.1. 생물막의 경시적 형태 변화

Rhodococcus sp. EL-GT를 이용한 단일개체군 생물막 반응기의 경우, 기질과 미생물이 유입된 초기에 균체로 보이는 아주 작은 흰색의 부착물이 조금씩 나타나다가 3일정도 경과 후, 상당히 많은 양의 흰색 부착물이 모든 단(stage)에서 관찰되었다. 기질을 느린 유속으로 투입하면서 경시적으로 관찰한 결과, 기질 투입 2일째부터 1단에서 흰색의 부착물이 증가하면서 분홍색을 나타내는 부분이 생겼다. 기질투입 3일에서 4일째에 정상상태의 운전이 시작되면서 1단에서 분홍색을 나타내는 부분이 매우 증가하여 거의 모든 부분이 분홍색을 나타내었다. 3~4일 경과 후에는 2단에서도 분홍색의 막이 증가하였으며, 3단과 4단에서는 흰색의 투명한 막이 증가되었고, 기질의 부하량이 증가하면서 다시 불투명한 무색의 막이 전단에 걸쳐서 증가하였다. 운전시작 60일 경의 생물막은 잿빛색을 나타내는 끈적끈적한 형태로 전환되었다(Fig. 2).

활성슬러지를 식중한 혼합개체군 생물막은 기질이 유입된지 5일 경에 1단에서만 미생물이 보이기 시작하였다. 6일경에 짙은 갈색의 생물막을 2~4단

에서 관찰할 수 있었다. 1단에서는 하얀색의 생물막이 출현하기 시작하였고, 7일 경에 2단에서 기존의 생물막과 함께 하얀색의 생물막이 출현하였고, 3단과 4단은 기존의 생물막을 그대로 유지하였다. 1단과 2단은 과부하 운전으로 폐놀부하에 잘 견디는 *Zoogloea* sp.로 추정되는 미생물이 우점종으로 존재하였다.

3.1.2. 생물막의 건조무게

Rhodococcus sp. EL-GT를 이용한 단일개체군 생물막 반응기의 생물막 건조무게는 Fig. 3과 같다. 4단 모두 운전시작 15일만에 최대값을 나타내었고, 20일째 약간의 감소를 보인 후 일정한 무게를 유지하였다.

혼합개체군 생물막 반응기의 생물막 건조무게는 Fig. 4와 같다. 혼합개체군 생물막 반응기는 1단과

2단의 생물막은 초기에는 빠르게 성장하였으나, 10일경에 일시적인 생물막의 탈착 현상이 나타났다. 그 후 생물막이 계속 성장하여 약 14일 경에 건조무게가 1단에서 75.2 mg/cm², 2단에서 49.6 mg/cm² 까지 증가하였다. 생물막의 건조무게가 최대치에 도달하는 20일경에 1단에서 36.9 mg/cm², 2단에서 38.4 mg/cm²로서, 이후 정상적인 운전이 지속되는 동안 그대로 유지되었다. 1, 2단과는 달리 3, 4단의 경우 초기에는 일시적인 탈리 현상 없이 계속적으로 성장하였다. 3단에서는 14일경에 48.0 mg/cm², 4단에서는 10일경에 35.2 mg/cm² 으로 생물막의 성장이 최대치에 도달하였으나, 두 단 모두 20일경에 32.0 mg/cm² 로 유지되었다. 앞에서 보는 바와 같이 정상상태에서는 두 반응기 모두 후단(3~4단)보다 앞단(1~2단)에서 생물막 성장이 높은 것으로 나타났다. 이것은 부하를 가장 많이 받는 앞단에서 많은 생물들이 성장한 결과로 사료된다.

3.1.3. 생물막의 두께 및 건조밀도

Rhodococcus sp. EL-GT를 이용한 단일개체군 생물막 반응기의 생물막 두께는 Fig. 5와 같다. 1단은 운전시작 10일만에 6.3 mm, 2단은 운전시작 15일만에 8.0 mm로 최고값을 나타내었고, 약간의 탈리작용 후 안정상태를 유지하였다. 그러나 후단인 3단 및 4단에서는 계속 증가하여 20일 정도에 각각 10.5 mm, 9.8 mm를 나타내었고, 이후 계속해서 안정된 값을 나타내었다.

생물막의 건조밀도는 Fig. 6과 같다. 전단에 걸쳐서 10일째에서 최대값을 보였으며, 시간경과와 더불어 감소하였다. 1, 2단은 20일 이후에 일정한 값의 밀도를 보였으며 3, 4단보다는 밀도가 높았다.

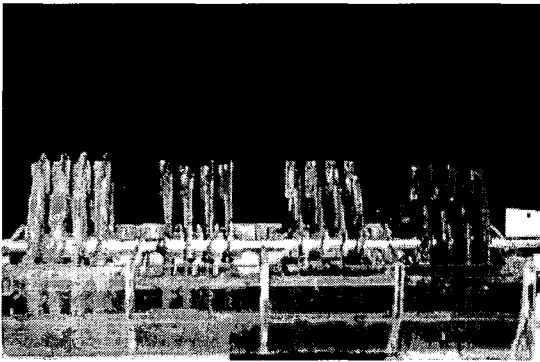


Fig. 2. Photograph of rotating biological contactor with *Rhodococcus* sp. EL-GT

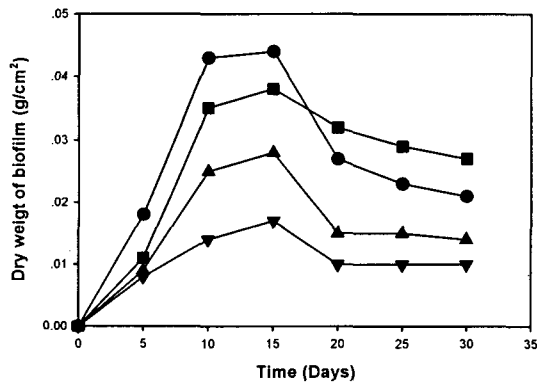


Fig. 3. Dry weight of biofilm with *Rhodococcus* sp. EL-GT.

Symbols,
 ● : 1st stage, ■ : 2nd stage,
 ▲ : 3rd stage, ▼ : 4th stage

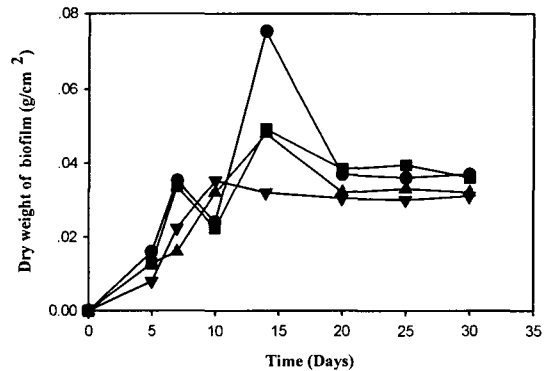


Fig. 4. Dry weight of biofilm with sludge.

Symbols,
 ● : 1st stage, ■ : 2nd stage,
 ▲ : 3rd stage, ▼ : 4th stage

Rhodococcus sp. EL-GT와 Sludge를 이용한 호기성 생물막 반응기의 특성 및 폐놀 처리

이것은 생물막 형성 초기에 과부하의 기질 유입으로 탈리 및 부착이 일정하게 이루어지면서 기질 유입에 따른 적절한 생물막이 완성된 것으로 보인다.

활성슬러지를 이용한 혼합개체군 생물막 반응기의 생물막 두께는 Fig. 7과 같다. 시간에 따른 생물막 두께 변화를 나타낸 것으로, 7일 경에 1단과 2단에서 일시적인 탈리 현상을 보였지만, 그 후 다시 빠르게 생물막이 성장하였다. 14일 경에 1단은 4.2 mm까지 성장하였지만 그 후, 두께가 3.5 mm로 유지되었다. 2단은 두께가 3 mm에 도달한 후, 2.3 mm로 유지되었으며, 3단은 2.9 mm에 도달한 후, 2.2 mm로 유지되었다. 4단의 경우 두께가 2 mm에 도달한 후, 약간의 생물막이 탈리되어 더 이상 두

꺼워지지 않았다. 생물막 두께는 선형적으로 증가하다가 일정 농도 이상에서는 일정한 값을 나타내었다. 두께가 최대치에 도달하는 시기는 두 반응기에서 차이를 보였지만, 유지되는 시기는 비슷하였다. 생물막이 두꺼워지면 기질 제거율이 증가하지만 일정 두께이상에서는 생물막 내부 물질전달 저항 때문에 기질 제거율이 일정하였다.

활성슬러지를 이용한 혼합개체군 생물막 반응기의 생물막 건조밀도는 Fig. 8과 같다. 3, 4단의 생물막 건조밀도가 가장 높았으며 1, 2단의 생물막 건조밀도는 낮은 경향을 보였다. 생물막 두께가 증가함에 따라 물질전달제한의 영향으로 기질부족현상이 발생하여 생물막 건조밀도는 감소하였다.

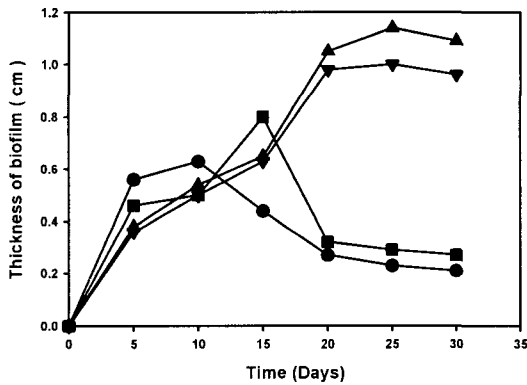


Fig. 5. Thickness of biofilm with *Rhodococcus* sp. EL-GT.

Symbols,
 ● : 1st stage, ■ : 2nd stage,
 ▲ : 3rd stage, ▼ : 4th stage

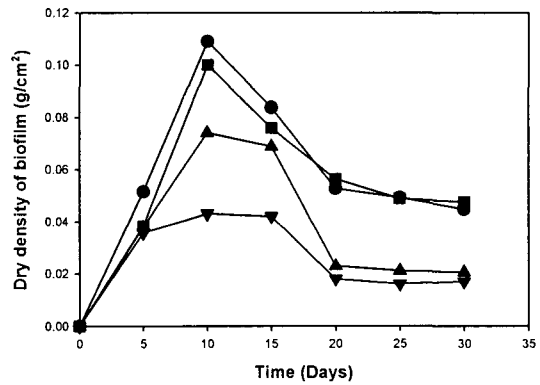


Fig. 6. Dry density of biofilm with *Rhodococcus* sp. EL-GT.

Symbols,
 ● : 1st stage, ■ : 2nd stage,
 ▲ : 3rd stage, ▼ : 4th stage

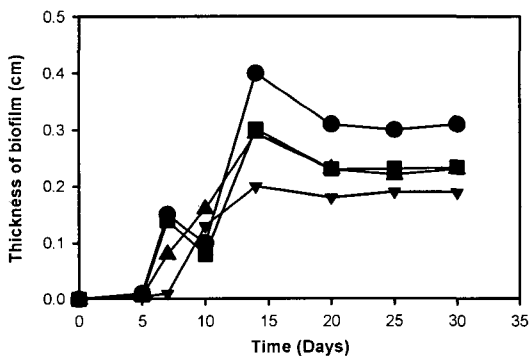


Fig. 7. Thickness of biofilm with sludge.

Symbols,
 ● : 1st stage, ■ : 2nd stage,
 ▲ : 3rd stage, ▼ : 4th stage

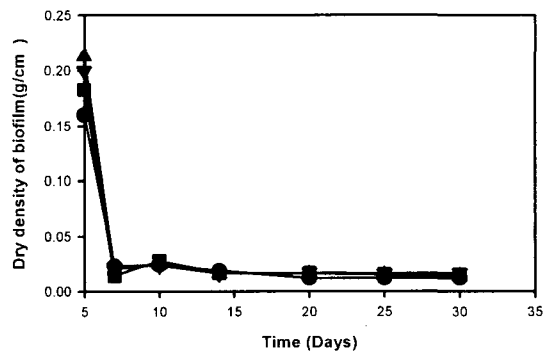


Fig. 8. Dry density of biofilm with sludge.

Symbols,
 ● : 1st stage, ■ : 2nd stage,
 ▲ : 3rd stage, ▼ : 4th stage

3.2. 페놀처리를 위한 생물막 반응기의 특성

3.2.1. 온도에 의한 영향

페놀폐수처리를 위한 생물막 반응기의 온도에 대한 영향은 Fig. 9와 같다. 단일개체군 생물막 반응기 및 혼합개체군 생물막 반응기 모두 10℃에서는 분해능이 저조하였으며, 단일개체군 생물막 반응기의 경우, 생물막의 성장도 이루어지지 않았다. 20℃와 30℃에서는 모두 양호한 분해능을 나타내었으며, 생물막의 성장도 잘 이루어졌다. 따라서 본 생물막 반응기를 운전하는데 있어서 여름과 같은 온도가 높은 계절에는 문제가 없으나 겨울에는 적절한 수온이 유지되어야 적절한 처리가 이루어질 것으로 추정되었다.

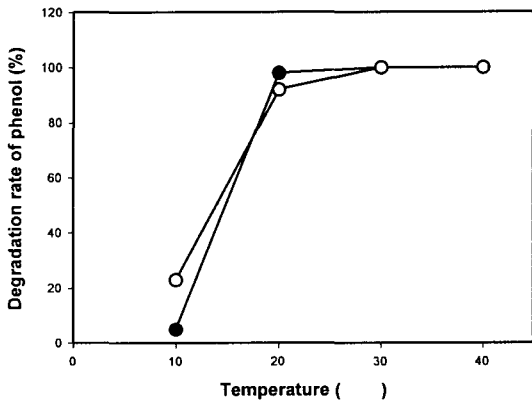


Fig. 9. Effect of temperature on phenol degradation in RBC with *Rhodococcus* sp. EL-GT and sludge.

Symbols,
 —●— : reactor with *Rhodococcus* sp. EL-GT,
 —○— : reactor with sludge

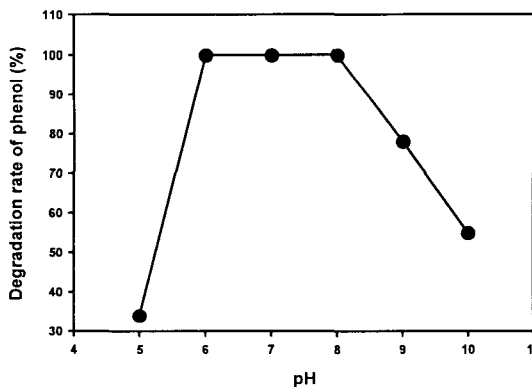


Fig. 11. Effect of pH on phenol degradation in RBC with sludge.

3.2.2. pH에 의한 영향

단일개체군 생물막 반응기의 경우 pH 6~9 에서 100%의 분해능을 보였으며, pH 10에서도 80% 이상의 분해능을 나타내었다(Fig. 10). 또한 단일개체군 생물막 반응기의 경우, 시간경과에 따라 생물막의 색깔이 분홍색에서 갈색으로 변화하였는데 이것은 고농도의 페놀존재시, pH가 강알카리성으로 이동하면 균체의 색깔이 짙은 갈색을 나타내는 현상¹⁴⁾을 잘 반영하고 있다. 활성슬러지를 이용한 생물막 반응기의 경우, pH 6~8 정도에서는 안정된 분해능을 보였으나 단일개체군에서 안정된 분해율을 보인 pH 8~9 의 영역에서는 그 분해능이 급격하게 감소하였다(Fig. 11). 비교적 고농도인 15mM의 phenol에

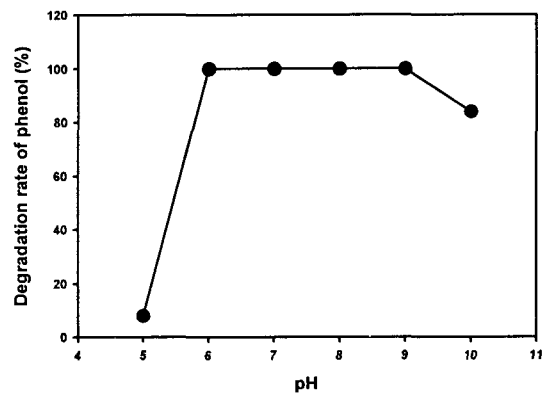


Fig. 10. Effect of pH on phenol degradation in RBC with *Rhodococcus* sp. EL-GT.

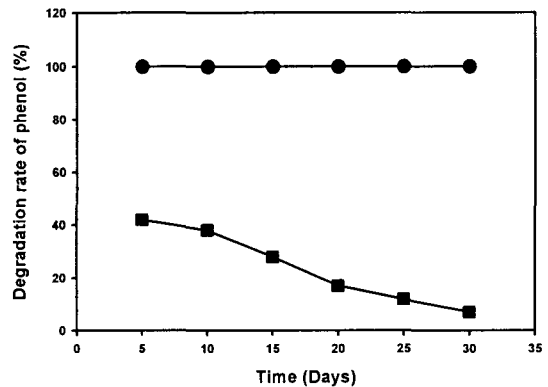


Fig. 12. Effect of pH on phenol degradation in RBC with *Rhodococcus* sp. EL-GT. The concentration of phenol is 15 mM.

Symbols, —●— : pH 6 ~ 9, —■— : pH 10

Rhodococcus sp. EL-GT와 Sludge를 이용한 호기성 생물막 반응기의 특성 및 페놀 처리

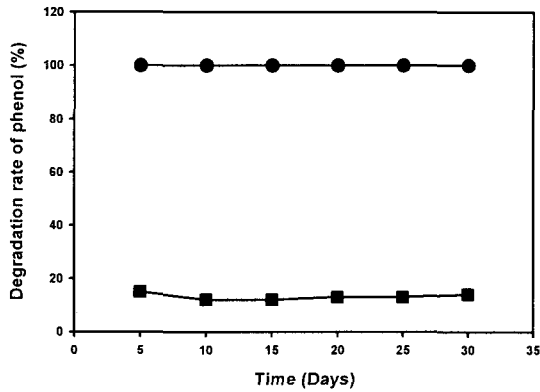


Fig. 13. Effect of concentration on phenol degradation in RBC with *Rhodococcus* sp. EL-GT. Symbols,
 ● : 3 mM ~ 15 mM, ■ : 20 mM

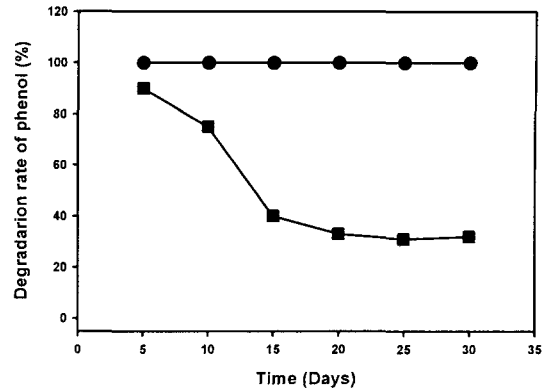


Fig. 14. Effect of concentration on phenol degradation in RBC with sludge. Symbols,
 ● : 3 mM, ■ : 5 mM.

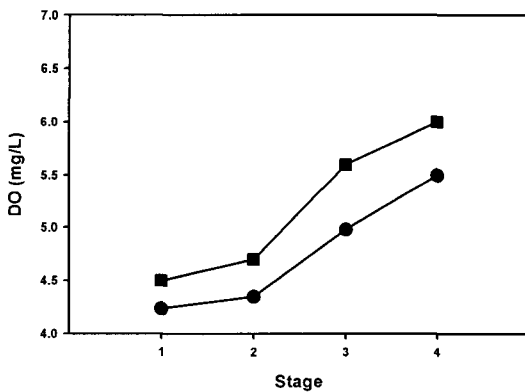


Fig. 15. Dissolved oxygen (DO) in each stage of RBC. Symbols,
 ● : RBC with *Rhodococcus* sp. EL-GT,
 ■ : RBC with sludge

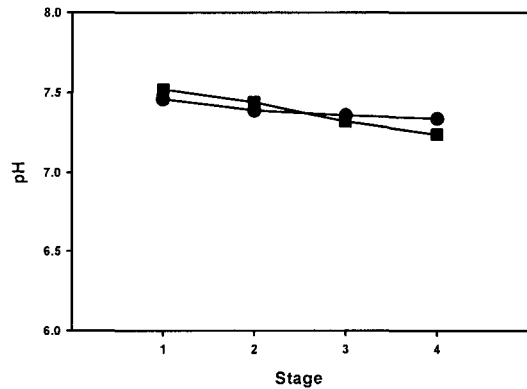


Fig. 16. pH in each stage of RBC. Symbols,
 ● : RBC with *Rhodococcus* sp. EL-GT,
 ■ : RBC with sludge

대한 단일개체군 생물막의 pH변화에 따른 phenol 분해능은 Fig. 12와 같다.

3.2.3. 페놀 농도에 의한 영향

단일개체군 생물막 반응기의 경우, Fig. 13에서 보는 바와 같이 10 mM (980 mg/l) 이상의 고농도 페놀에서도 안정한 상태의 운전이 가능하였다. 그러나 20 mM 페놀이 존재할 경우, 반응기의 운전이 이상현상이 초래되고, 그 결과 페놀의 분해능이 현저히 감소되었다. 혼합개체군 생물막 반응기의 경우, 5 mM 이상의 페놀에서 생물막의 탈리가 일어나면서 페놀분해능이 격감되었다 (Fig. 14).

3.2.4. 생물막 반응기의 용존산소 및 pH의 변화

단일개체군 생물막 반응기는 안정상태에서 4.2

~5.5 mg/l의 용존산소 분포를 보였다 (Fig. 15). 주로 분해를 담당하는 1, 2단에서 낮은 용존산소량을 보였고 3, 4 단에서는 약간 증가하였다. 그림에는 나타나지 않지만 반응기의 생물막량이 증가하거나 기질부하량이 증가하면 용존산소량이 0.7 mg/l 까지 저하되었다. 활성슬러지 생물막 반응기의 용존산소량은 4.5 ~ 6.0 mg/l로 1단에서 최저값을 나타내었고 후단으로 갈수록 증가하였다. 이 반응기 역시 초단에 기질부하량으로 인한 호흡량의 증가로 용존산소의 농도가 낮아진 것으로 사료되었다.

한편 단일개체군 생물막 반응기의 pH는 안정상태를 유지하면서 pH 7.4±0.1을 나타내었다. 1단에서 pH 7.4로 감소된 후, 후단까지 큰 변화가 없이

지속되었다. 혼합개체군 생물막 반응기의 경우에도 pH 7~8 사이를 유지하였으며, 1단에서는 pH가 조금 높게 나오고 후단으로 갈수록 조금씩 감소하였다(Fig. 16).

4. 결 론

본 연구에서는 페놀과 기타 페놀관련 화합물의 분해능이 우수한 *Rhodococcus* sp. EL-GT 단일개체군과 활성슬러지인 혼합개체군을 각각 식종한 회전원판법을 사용하여 생물막 특성과 페놀 처리 효율을 비교, 검토하였다. 생물막의 성장은 단일개체군이나 활성슬러지 모두 5~7일경에 완전한 운전이 가능토록 부착되었으며, 단일 개체군 반응기의 경우, 생물막이 균주의 색깔인 분홍색을 나타내었다. 두 반응기 모두에서 생물막의 건조중량 및 두께, 건조밀도 등은 비슷한 양상을 보였으나, 단일개체군 생물막 반응기의 3, 4단 두께 성장이 혼합개체군 생물막 반응기보다 오래 지속되었다. 단일개체군 생물막 반응기는 혼합개체군 생물막 반응기와 달리 건조밀도에 있어 1, 2단과 3, 4단과 차이가 컸다. 단일개체군 생물막 반응기는 pH 6~9의 범위에서 안정적으로 운전되었으며, pH 10에서도 적용이 가능하였다. 혼합개체군 생물막 반응기는 pH 6~8에서 안정된 분해능을 보였다. 단일개체군 생물막 반응기는 15 mM의 페놀을 4단에 걸쳐 완전히 분해하였으나, 혼합개체군 생물막 반응기는 5 mM이상의 농도에서는 생물막의 과도성장 및 탈리 등으로 인하여 분해능이 감소하였다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 수행된 연구의 일부이며 이에 감사를 드립니다 (1998-005-D00022).

참 고 문 헌

- 1) 정재춘, 한영수, 조남영, 1993, 회전원판법, 동화기술.
- 2) 김동진 외, 1983, 회전원판 면적 결정을 위한 실험연구, 대한환경공학회지, 5(1), 40-47.
- 3) 김상용, 1984, 체류시간과 회전원판속도가 회전원판 생물막법의 처리 효율에 미치는 영향, 대한토목학회 논문집, 4(3), 1-9.
- 4) 전기일, 1983, 회전원판법에 있어서 최적체류시간과 회전속도에 관한 실험적 고찰, 석사학위논문.
- 5) 강용태 외, 1985, Study on the wastewater treatment by RBC, KSCA-symposium., 542- 543pp.
- 6) 유재근 외, 1985, 동질기 회전원판을 이용한 제지폐수의 효율적 처리를 위한 연구, 국립환경연구소.
- 7) Wackett, L. P. and D. T. Gibson, 1983, Expression of naphthalene oxidation genes in *Escherichia coli* results in the biosynthesis of ondigo, Science, 222, 167-169
- 8) 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.
- 9) 정재춘, 차병훈, 1995, 페놀폐수를 처리하는 침적형 생물막 반응기에서 매질에 따른 미생물상의 차이, Kor. J. Appl. Microbiol. Bioeng., 23(4), 492-498.
- 10) 김우식, 염경호, 김응식, 1985, 유동층 반응기에서 *Candida tropicalis*균에 의한 페놀함유 폐수 처리에 관한 연구, Kor. J. Appl. Microbiol. Bioeng., 13(1), 33-39.
- 11) Okada, M., T. Nakamura, H. Ito, and A. murakami, 1991, Population dynamics of phenol degrading microorganisms in activated sludge process under the stress of phenolic wastewater, Wat. Sci. Tech., 23, 1001-1010.
- 12) Buitroni, G., A. Gonzalez, and L. M. Lopez-Marin, 1998, Biodegradation of phenolic compounds by an acclimated activated sludge and isolated bacteria, Wat. Sci. Tech., 37, 371-378.
- 13) Banerjee, G., 1997, Treatment of phenolic wastewater in RBC reactor, Wat. Res., 31, 705-714.
- 14) 박근태 외, 2001, 페놀폐수 처리를 위한 *Rhodococcus* sp. EL-GT와 활성슬러지를 이용한 호기성 생물막 반응기의 미생물 군집동태, 한국환경과학회지, 10(3), 239-245.
- 15) Clesceri, L. S., A. E. Greenberg, and A. D. Eaton, 1998, Standard methods for examinations of water and wastewater, APHA AWWA WEF.
- 16) William, G. C. and C. G. Kervin, Biofilms, 1990, John Wiley & Sons. Inc.
- 17) 환경오염공정시험법(수질편), 환경부