

Rhodococcus sp. EH741에 의한 Hexane 생분해 특성

이은희 · 조경숙[†]

이화여자대학교 환경학과

(2005년 11월 29일 접수, 2006년 1월 29일 채택)

Characterization of Hexane Biodegradation by *Rhodococcus* sp. EH741

Eun-Hee Lee · Kyung-Suk Cho[†]

Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University

ABSTRACT : As a strain EH741, having an excellent hexane degradability, was isolated from bacterial consortium using hexane as a sole carbon and energy source. EH741 was identified as a *Rhodococcus* sp. and the addition of a surfactant, Pluronic F68(PF68), for increasing hexane solubility couldn't enhance the specific growth rate of the isolate EH741 in the mineral salt medium supplemented with hexane as a sole carbon source(hexane-BH medium). In the hexane-BH medium, the maximum specific growth rate (μ_{max}) of this strain was 0.04 h^{-1} , and the maximum hexane degradation rate (V_{max}) and saturation constant (K_s) were $161 \mu\text{mol} \cdot \text{g-DCW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ and 10.5 mM , respectively. *Rhodococcus* sp. EH741 was one of excellent microorganisms for hexane biodegradation processes.

Key Words : Hexane, Biodegradation, *Rhodococcus*, Surfactant, Volatile Organic Compound

요약 : Hexane을 유일 탄소·에너지원으로 하여 농화배양한 배양액으로부터 hexane 분해능이 우수한 EH741 균주를 순수 분리·동정하였고, 분리균주에 의한 hexane 생분해 특성을 조사하였다. EH741 균주는 *Rhodococcus* sp.로 동정되었고, 액상 배양계에서 hexane 용해도를 향상시키기 위해 첨가한 계면활성제 Pluronic F68(PF68)은 hexane 생분해 속도에 영향을 미치지 않았다. Hexane을 유일 탄소원으로 첨가한 무기염 배지에서 EH741의 최대 비성장속도(μ_{max})값은 0.04 h^{-1} 이었고, 최대 hexane 분해속도(V_{max})와 포화상수(K_s)는 각각 $161 \mu\text{mol} \cdot \text{g-DCW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 및 10.5 mM 이었다. *Rhodococcus* sp. EH741은 hexane 처리를 위한 생물학적 공정에 유용하게 활용될 것으로 사료된다.

주제어 : 핵산, 생분해, *Rhodococcus*, 계면활성제, 휘발성 유기화합물

1. 서 론

현재 토양과 지하수 오염물질 관리에 대한 전 세계적인 관심이 증대 되고 있는 가운데, 난분해성 유기 화합물을 분해하는 미생물의 이용과 생물학적 처리의 효과에 대한 관심이 증가되고 있다.¹⁾ 휘발성 유기화합물(VOCs)은 오늘날 전 세계적으로 처리해야 할 오염물질 중 상당부분을 차지하고 있는데, 이는 석유화합물(petroleum hydrocarbon)과 연료의 많은 부분이 VOC로 이루어져있기 때문이다.¹⁾ VOC는 독성과 물에 대한 용해성을 동시에 갖고 있기 때문에 그들의 지표수와 식수의 유입이 관심이 되고 있다. VOC의 대표적인 물질로는 alkanes, aromatics, cyclic alkanes, branched alkanes, PAHs(polycyclic aromatic hydrocarbons) 등이 있다. 이 중 alkane은 다른 VOC 계열의 물질에 비해 생분해되기 쉽다고 알려져 있으나, 짧은 사슬의 alkane은 휘발성이 크고 용해도가 낮기 때문에 생분해가 곤란하다.^{2,3)} 대표적인 VOC인 he-

xane은 주로 용매로 사용된다. Hexane은 지하저장탱크, 저유소와 다양한 산업 공정 등으로부터 대기, 수계 및 토양으로 배출된다.⁴⁾ Hexane은 다른 VOC 화합물들에 비해 휘발성이 크며, 신경독성물질로 알려져 있다. Hexane은 높은 소수성 물질로 용해도가 0.013 g/L (at 20°C)이고 Henry 상수가 53으로 같은 VOC 계열의 화합물인 toluene에 비해 용해도가 100배 정도 낮다.^{5,6)} 이러한 이유로 alkane 계열인 hexane은 구조적으로는 분해가 더 용이하지만 용해도 차이 때문에 미생물 특히 세균에 의한 생분해는 낮게 나타나고 있다. 그 이유는 물질을 생분해 시키는 미생물의 경우 액상에 존재하므로 VOC의 가스상에서 액상으로의 이동이 전체 반응 속도를 좌우하는데 용해도가 낮은 hexane의 경우 물질의 액상으로의 전이가 어렵기 때문이다.^{3,7)}

Hexane 생분해 연구는 주로 biofilter를 이용한 hexane 폐가스 처리에 집중 되어 있다.⁵⁻⁸⁾ 그러나 hexane 폐가스 처리에 앞서 hexane 생분해 특성에 대한 선행연구가 이루어지지 않았기에 이에 대한 연구가 필요하다.

본 연구진은 hexane 분해용 미생물 consortium을 개발하기 위해 유류오염 토양을 집종원으로 하고 hexane을 유일탄소원으로 공급하여 농화배양을 수행한 결과, hexane을 효율적

[†] Corresponding author
E-mail: kscho@ewha.ac.kr
Tel: 02-3277-2393

Fax: 02-3277-3275

으로 생분해하는 균주를 분리 및 동정하였으며, 이를 이용하여 hexane 생분해 특성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. Hexane 분해 미생물

Hexane 분해용 미생물 consortium 개발을 위해 유류 오염 토양을 미생물 접종원으로 이용하여 다음과 같이 농화배양을 수행하였다. 우선 토양 10 g에 멸균수 10 mL을 넣고 180 rpm에서 30분간 교반한 후, 상등액을 1.2 L 혈청병에 넣었다. 여기에 Bushnell-Hass(BH) 배지 50 mL, trace element 용액 50 μ L를 넣었다. BH 배지의 조성은 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.409 g/L, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 0.0265 g/L, KH_2PO_4 1 g/L, NH_4NO_3 1 g/L, $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ 6 g/L, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0.0833 g/L이다. 또한 trace element 조성은 $FeCl_3$ 17 g/L, $CaCl_2$ 0.6 g/L, $ZnSO_4$ 0.2 g/L, $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2 g/L, $MnSO_4$ 0.2 g/L, $CoCl_2$ 0.8 g/L, H_3BO_3 0.1 g/L, $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ 0.3 g/L이다. Hexane의 용해도를 증가시키기 위해 계면활성제인 Pluronic F68 (PF68, Sigma, USA)를 최종 농도가 2.5%(w/v)가 되도록 BH 배지에 첨가하였다.³⁾ 혈청병을 부틸마개와 알루미늄 캡을 이용하여 밀폐시킨 후, 실린지를 이용하여 hexane(99.5%, Duksan Pure Chemical Co., Korea)을 0.5 mL 주입하였고, 30°C, 180 rpm에서 26일 동안 배양 하였다. 이렇게 해서 얻은 배양액은 상기와 동일한 새 배지에 5%(v/v) 접종하여 상기와 동일한 조건에서 계대배양하였다. 이와 같은 방법으로 4회 계대배양하여 얻은 농화배양액을 hexane 생분해용 consortium OH로 명명하였고, 이 consortium으로부터 hexane을 분해하는 균주를 순수하여, 분리균주에 의한 hexane 생분해 특성을 조사하였다.

2.2. Hexane 분해 균주의 분리 및 배양

Hexane 분해능이 우수한 혼합 미생물 배양액 consortium OH를 연속희석(serial dilution)하여 배양액을 10^5 에서 10^8 까지 LB agar plate에 도말 한 후 30°C에서 4일 배양하였다. Plate에 성장한 colony 중에서 colony 형태와 색을 기준으로 3종의 colony를 선별하여 이를 다시 BH 배지 10 mL이 들어 있는 600 mL 혈청병 접종하였다. 균 접종 후 부틸마개와 알루미늄 캡을 이용하여 혈청병을 밀폐시킨 다음 유일탄소원으로 hexane을 2 μ L 첨가하였다. 첨가한 혈청병을 30°C, 180 rpm에서 배양하였고 배양 중 3~4시간마다 혈청병 headspace 가스를 채취하여 hexane 농도를 분석, 분리균의 hexane 분해능을 평가하였다. 실험 결과 EH741 균주만이 hexane 분해능을 보였다.

2.3. Hexane 생분해에 미치는 계면활성제 PF68의 영향

Hexane 생분해용 순수균 EH741을 1.2 L 혈청병에 유일탄소원으로 hexane을 10 mL/L 첨가한 BH 배지(hexane-BH 배지)를 이용하여 30°C, 180 rpm에서 7일 동안 전배양 하였다. Hexane 생분해에 미치는 계면활성제 PF68의 영향을 조

사하고자, PF68 첨가유무로 조건을 달리한 1.2 L 혈청병에 BH 배지 50 mL, 접종원으로 전 배양액을 5%(v/v)를 접종한 후 부틸마개와 알루미늄 캡으로 밀봉하였다. Hexane을 0.05 mL(7.7 mM) 주입하고 30°C, 180 rpm에서 배양 시키면서 배양액의 세포 농도를 600nm에서 측정하여 PF68의 영향을 조사하였다.

또한, EH741 균주의 생물유래 계면활성제 생산 여부를 확인하기 위해 surface tensiometer 21(Fisher Scientific, USA)를 이용하여 표면장력을 측정하였고, 이 균주에 의한 생물유래 계면활성제생산여부를 간접적으로 평가하였다.

2.4. Hexane 분해 순수균의 동정

Hexane 분해능이 확인된 EH741을 동정하기 위해 16S rDNA 분석방법을 이용하였다. EH741의 콜로니(colony)를 0.5 N NaOH 30 μ L에 현탁시킨 후 90°C에서 30분간 가열시켜 균체를 lysis 시켰고, 이에 따라 추출된 genomic DNA를 template로 이용하여 polymerase chain reaction(PCR)을 수행하였다. DNA template를 1 μ L, primer Bf27과 Br1492를 각각 20 pmol, BSA를 0.5 mg/mL, dNTP를 0.2 mM, 10 \times buffer 2.5 μ L를 넣고 total volume이 25 μ L가 되도록 dH₂O로 채웠다. 이때, 사용한 primer는 universal primer로 Bf27(5'-AGA GTT TGA TCM TGG CTC AG-3')과 Br1492(5'-TAC GGY TAC CTT GTT ACG ACT T-3')이다. PCR은 다음과 같은 조건으로 수행되었다. 95°C에서 5분간 pre-denaturation 시킨 후, 95°C에서 30초간 denaturation, 60°C에서 30초 동안 annealing, 72°C에서 30초간 extension 시키는 과정을 28 cycles를 반복시켰다. 그 후 final extension을 72°C에서 5분간 유지하였고, 증폭이 끝난 후에는 4°C로 유지되도록 수행하였다. PCR로 증폭된 DNA는 commercial kit인 QIAquick PCR purification kit(QIAGEN GmbH, Hilden, Germany)를 이용하여 정제한 후, sequence 분석을 의뢰하였다. 분석된 염기서열은 Basic Local Alignment Search Tool(BLAST) algorithm을 사용하여 Genbank database와 비교하였다. Hexane 생분해용 consortium으로부터 hexane 분해능이 우수한 EH741을 Genbank에 등록하였다(accession no. AY878703).

2.5. Hexane 분해 활성 분석

EH741 전배양액 10 mL을 원심분리(9000 rpm, 10 min)하여 회수한 균체를 멸균수로 2회 세척한 후, BH 배지 10 mL에 현탁시켰다. 이 균체 현탁액을 600 mL 혈청병에 넣고 부틸마개와 알루미늄 뚜껑으로 병 입구를 밀봉하였다. 실린지를 이용하여 hexane을 각각 1~10 μ L(1.6~7.7 mM) 주입한 후 30°C, 180 rpm에서 배양하였다. 배양 3~4시간마다 혈청병 headspace 가스를 채취하여 가스 중의 hexane 농도를 가스크로마토그래피를 이용하여 분석하였다. 또한, EH741 균체 농도를 측정하기 위해 배양 시간별로 배양액을 300 μ L 채취하여 600 nm에서 흡광도를 측정하였다. 배양시간에 따라 hexane 농도가 감소하는 그래프의 기울기로부터 hexane 분해속도를 계산하였다. 각 hexane 농도별로 얻은 hexane 분해속

도를 Michaelis-Menten식에 기초한 Lineweaver-Burk plot하여 얻은 y절편 값과 직선의 기울기로부터 최대 hexane 분해속도(V_{max})와 포화상수(K_s)를 구하였다.

한편, 유일 탄소원으로 hexane을 제공한 배지에서 EH741의 비성장속도를 얻기 위해, 1.2 L 혈청병에 BH 배지 50 mL, hexane 0.01, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5 mL(1.6~77.4 mM) 및 접종원으로 전 배양액을 5%(v/v)를 접종한 후 30°C, 180 rpm에서 배양 시키면서 배양액의 농도를 600 nm에서 측정하였다. 균주가 지수적으로 증가하는 시기의 비성장속도를 기질농도별로 구하여 Monod 식을 이용해 최대 비성장속도(μ_{max})값과 포화상수(K_s)값을 구했다.

2.6. 분석 방법

Hexane 분석은 가스 크로마토그래피(M600D, Younglin, Korea)를 이용해 측정하였고, SUPELCOWAX 10™(30 m × 0.32 mm × 0.25 μm film thickness) 컬럼과 불꽃 이온화 검출기(FID)를 사용하였다. 오븐 온도는 100°C, 주입부 온도 230°C, 검출부 온도는 230°C로 설정하였다.

3. 결과

3.1. Hexane 분해 순수균 분리

Hexane 분해능이 우수한 consortium OH에서 3종의 colony를 분리하여 각 분리균의 hexane 분해능을 조사한 결과를 Fig. 1에 도시하였다. 실험 결과 EH741 균주는 유도기 없이 hexane을 분해할 수 있었으나, EH81과 EH82 균주는 배양 50시간 이상 배양하여도 hexane 분해능이 관찰되지 않았다. 초기 hexane 농도가 450 ppmv일 때 EH741 균주는 약 50시간 후에 hexane을 거의 100% 분해하였다. EH741은 150~450 ppmv의 고농도 hexane에서는 consortium OH와 비슷한 분해 속도를 보였지만, 150 ppmv 이하의 저농도에서

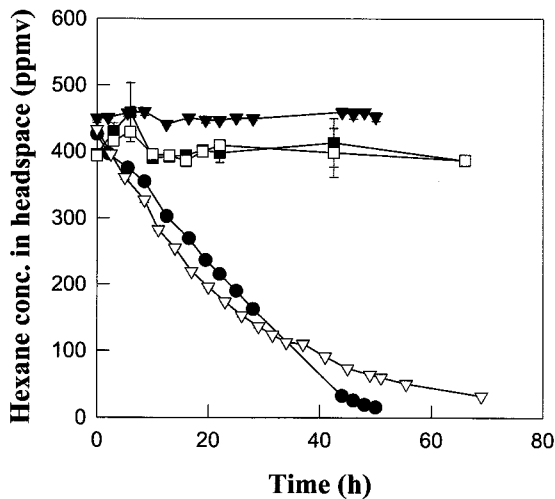


Fig. 1. Comparison of hexane degradation by isolates. ●, EH741; ■, EH81; □, EH82; ▽, Consortium OH; ▼, Control.

는 consortium OH보다 분해속도가 오히려 증가되었다(Fig. 1). EH81과 EH82 균주는 형태적으로 노란색의 둥근 colony를 형성하였으나, hexane 분해 활성을 보이는 EH741 균주의 colony는 형태적으로는 오렌지색의 부정형이고, 현미경 상의 균주 모양은 구형이었다.

Hexane 분해 균주인 EH741을 alkaline lysis 방법으로 DNA를 추출하여 증폭시킨 후 sequence를 알 수 있었다. 이를 BLAST database와 비교 분석한 결과 EH741은 PCB 분해 균주인 *Rhodococcus ruber*와 93%로 가장 유사하였고, EH741은 *Rhodococcus* sp.로 동정되었다.

3.2. Hexane 생분해에 미치는 계면활성제 PF68의 영향

EH741 균주의 hexane 생분해에 미치는 계면활성제 PF68의 영향을 조사하고자, PF68의 첨가 유무에 따른 EH741 균주의 성장을 조사하였다(Fig. 2). EH741은 PF68의 첨가 유무에 관계없이 약 50시간의 유도기 후에 성장하기 시작하였고, 80시간 후 세포농도가 0.7 g · kw · L이 까지 성장하였다. 비성장 속도 또한 PF68의 유무에 관계없이 0.04 h⁻¹로 동일하였다. PF68이 hexane 생분해에 긍정적인 영향을 미치지 않는 것으로 사료되어 미생물 성장속도와 hexane 분해속도 실험은 PF68 없는 조건에서 수행되었다.

3.3. EH741의 미생물 성장 속도 측정

유일 탄소원으로 hexane만을 첨가한 BH 배지에서 EH741의 성장속도를 비교하기 위해 hexane을 1.6 mM에서 77.4 mM 첨가하여 균주 성장을 측정하였다(Fig. 3). EH741은 약 5시간 정도의 유도기 후 성장하기 시작하였고, hexane 첨가량이 증가할수록 성장속도도 증가하였으며, 고농도 hexane 주입에 의한 성장 저해현상은 관찰되지 않았다. Hexane 농도 변화에 따른 성장속도를 도시한 결과(Fig. 3(b)) 전형적인 Monod model에 일치함을 알 수 있었고, 최대 성장속도(μ_{max})와 포화상수(K_s)는 각각 0.04 h⁻¹와 11.9 mM이었다(Table 1).

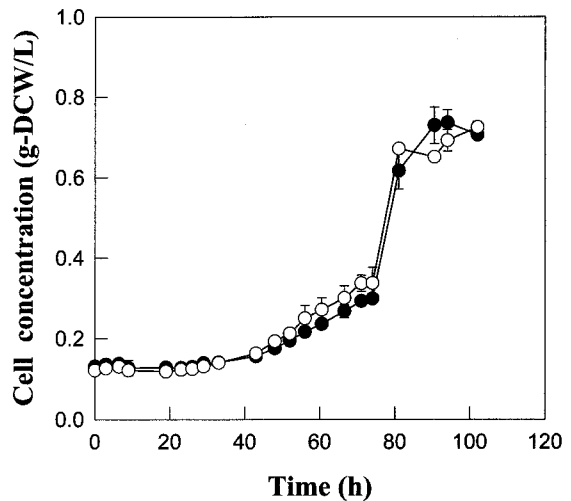


Fig. 2. Effect of surfactant addition on cell growth of EH741. ●, w/PF68; ○, w/o PF68.

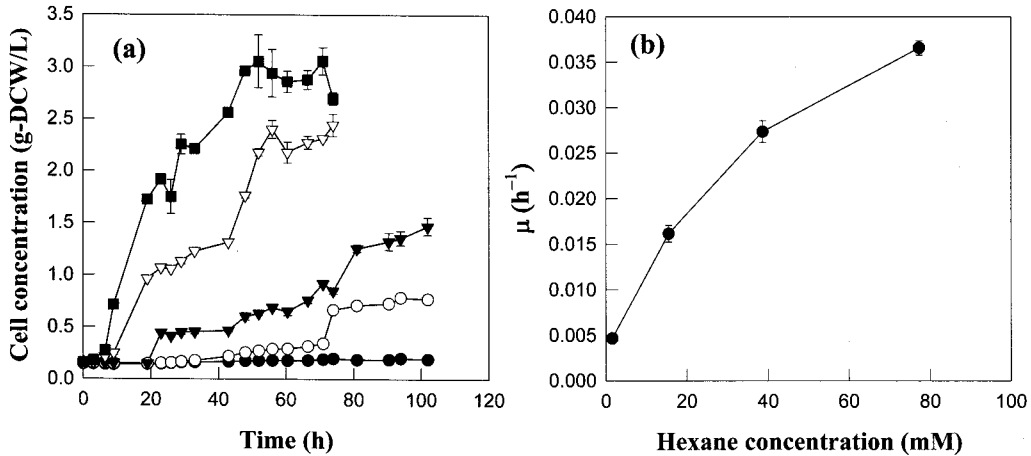


Fig. 3. Growth of the EH741 in the liquid media containing different concentrations of hexane. (a) Time profiles of growth. (b) Relationship between hexane concentration and specific growth rate. Hexane concentration(mM) : ●, 1.6; ○, 7.7; ■, 15.5; ▲, 38.7; □, 77.4.

Table 1. Comparisons of hexane degradation rate and specific growth rate

Parameters	Values
Maximum hexane degradation rate ($\mu\text{mol} \cdot \text{g-DCW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	161
Saturation constant for hexane degradation (mM)	10.5
Maximum specific growth rate (h^{-1})	0.04
Saturation constant for growth (mM)	11.9

시간 이내에 분해되었다.

EH741의 hexane 비분해속도는 hexane의 농도가 증가함에 따라 1.6 mM까지는 거의 선형적으로 증가하였고, 그 이상에서는 완만하게 증가하였다. 각 농도별로 구한 hexane 분해 속도로부터 최대 분해속도(V_{max})와 포화상수(K_s)를 구한 결과, V_{max} 는 $161 \mu\text{mol} \cdot \text{g-DCW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 이고 K_s 는 10.5 mM 이었다(Table 1).

3.4. EH741의 hexane 분해 활성

EH741의 hexane 분해속도에 미치는 hexane 농도의 영향을 조사한 결과를 Fig. 4에 도시하였다. EH741은 유도기 없이 hexane을 분해할 수 있었는데, 이는 이들을 hexane-BH 배지에서 전 배양하여 hexane 분해효소가 유도되었기 때문으로 사료된다. 또한, 실험에 적용한 농도 7.7 mM까지도 hexane에 의한 저해작용 없이 분해가 가능하였다. 가장 높은 hexane 농도인 7.7 mM을 첨가한 경우, 첨가한 hexane의 대부분이 70

4. 고찰

Alkane 계열인 hexane은 구조적으로는 분해가 용이하지만 용해도가 낮기 때문에 미생물에 의한 생분해가 낮게 나타나고 있다.^{5,7)} 기상의 오염물질을 생분해시키는 미생물은 액상에 존재하므로 기상의 오염물질의 액상으로의 물질전달 속도가 전체 반응속도를 좌우하는 율속단계로 작용하는데 용해도가 낮은 hexane은 액상으로의 전이가 어렵기 때문이다.^{3,7)} 이러한 문제를 해결하기 위하여, PF68 계면 활성제³⁾를 배지

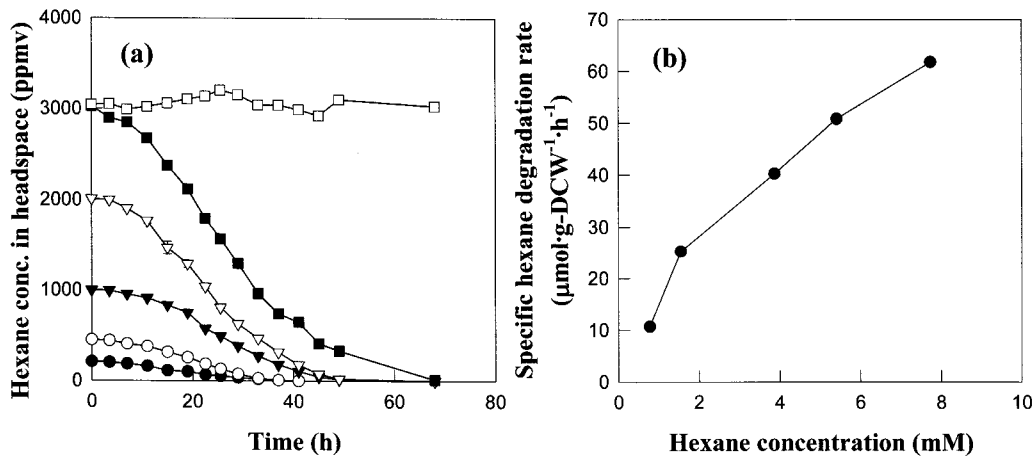


Fig. 4. Hexane degradation by EH741 in the liquid media containing different concentrations of hexane. (a) Time profiles of hexane degradation. (b) Relationship between hexane concentration and specific degradation rate. Hexane concentration(mM) : ●, 0.8; ○, 1.6; ▼, 3.9; ▽, 5.4; ■, 7.7; □, control.

에 첨가하여 hexane을 유일 탄소원으로 이용하는 미생물 consortium을 개발하였고 hexane 분해능이 우수한 *Rhodococcus* sp. EH741 균주 분리에 성공하였다. 본 연구로부터 얻은 EH741에 PF68을 적용한 결과 계면활성제 유무에 관계없이 hexane 7.7 mM에서 비성장 속도는 모두 0.04 h^{-1} 로 동일하였다. 즉, 농화배양 초기에는 계면활성제 첨가에 hexane 생분해 속도가 증진되었으나, EH741 배양액에서는 이러한 증진효과는 관찰되지 않았다.

Hexane 분해능이 우수한 EH741의 hexane을 유일 탄소원으로 첨가한 배지에서 최대 hexane 분해 속도는 약 $161 \mu\text{mol} \cdot \text{g-DCW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 이었다(Table 1). Hexane 생분해에 대한 연구 부족으로 다른 연구 결과와 이번 실험과의 직접적인 비교는 어렵지만, Höhener 등이 연속 배양장치를 이용하여 측정된 consortium의 hexane 생분해 속도는 최대 $102 \mu\text{mol} \cdot \text{g-DCW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 이었고,⁹⁾ Oliviera와 De França은 *Pseudomonas aeruginosa*를 접종원으로 airlift 생물반응기를 이용하여 hexane 제거 실험을 수행하였는데, 최대 hexane 생분해 속도는 $62.2 \mu\text{mol} \cdot \text{g-DCW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 이었다.⁸⁾ Arriaga와 Revah는 consortium을 이용한 회분식 실험에서 최대 hexane 생분해 속도가 $29 \mu\text{mol} \cdot \text{g-DCW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 라고 보고하였다.⁵⁾ 이처럼 이번 연구에서 개발한 EH741은 기존에 발표된 균주에 비해 hexane 분해능이 우수하였다. *Rhodococcus* sp. EH741 균주가 hexane과 같은 용해도가 낮고 휘발성이 강한 물질을 분해할 수 있는 것은 다음의 2가지 때문으로 사료된다.

첫째로, *Rhodococcus* sp.는 체외로 생물유래 계면활성제(biosurfactant)를 생산할 수 있는 균으로, 생물유래 계면활성제는 합성 계면활성제보다 더 효과적인 것으로 알려져 있다.^{10,11)} 실제로 EH741을 hexane-BH 배지에 배양하였을 때 거품이 발생된 것으로 보아 *Rhodococcus* sp.에 속하는 EH741도 생물유래 계면활성제를 생성하는 것으로 보인다. EH741의 hexane 생분해에 있어, 생물유래 계면활성제가 hexane의 액상으로의 분산을 증가시켜 미생물의 생분해를 촉진시키는 역할을 하는 것이다. 특히 초기에 hexane 분해 consortium 개발 시 계면활성제(PF68)를 주입하였지만, EH741을 이용하여 PF68이 hexane 분해에 미치는 영향을 조사한 결과, PF68의 유무에 관계없이 유도기, 비성장 속도에는 차이가 나타나지 않았다(Fig. 2). PF68은 물에 잘 녹고, 생물체에 무해하며 생분해 되지 않고, *Mycobacterium* sp.의 hexane 분해 속도를 증가시킨다고 알려져 있다.³⁾ 그러나 앞의 결과는 계면활성제가 hexane의 용해도를 증가시켜 hexane 분해를 촉진시킬 것으로 예상한 가설과 상반된 결과로, 이는 *Rhodococcus* 자체의 생물유래 계면활성제가 hexane 생분해에 더 효과적이기 때문인 것으로 사료된다. 실제로, EH741의 균 배양액의 표면장력 측정결과 약 30 dynes/cm 로, PF68을 2.5% 함유한 43.4 dynes/cm 보다 더 낮은 값을 보였다. Finnerty 등의 연구에 따르면 몇몇 생물유래 계면활성제는 합성계면활성제에 비해 더 효과적이고 생분해되기 쉬우며 덜 무독하다고 보고하였다.^{10,11)} 이러한 이유로 EH741 역시 PF68 첨가하지 않은 경우에도 첨가한 것과 같이 동일한 결과가 나타난

것으로 사료된다.

EH741의 hexane 분해능이 우수한 두 번째 이유는 *Rhodococcus* sp. 세포벽의 특징 때문이다. *Rhodococcus* sp.는 세포벽에 소수성 특징을 가진 mycolic acid의 aliphatic chain을 가지고 있다.¹²⁾ 세포벽의 소수성 성질 때문에 hexane과 같은 물질을 세포벽에 쉽게 부착시킨 후 분해한다. EH741 역시 *Rhodococcus* 균주의 특징으로 인해 용해도가 낮은 hexane을 빠르게 분해할 수 있었다. EH741과 달리 EH81과 EH82의 경우 hexane 분해능이 나타나지 않았는데, 이러한 균들은 EH741 균주가 분해한 hexane의 분해 산물을 이용해 성장하는 것으로 사료된다. 본 연구를 통해 개발한 *Rhodococcus* sp. EH741 균주는 hexane 배출공정으로부터 hexane 폐가스처리를 위한 biofiltration 공정 적용에 유용한 생물자원이 될 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2004년도 한국학술진흥재단(KRF-2004-041-D00377)과 한국과학재단 차세대 비아오 환경기술 연구센터(R11-2003-006)지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Attway, H. H. and Schmidt, M. G., "Tandem biodegradation of BTEX components by two *Pseudomonas* sp.," *Curr. Microbiol.*, **45**(1), 30~36(2002).
2. Gibson, D. T., "Microbial degradation of organic compounds," Marcel Dekker, INC(1984).
3. Kastner, J. R., Thompson, D. N., and Cherry, R. S., "Water-soluble polymer for increasing the biodegradation of sparingly soluble vapors," *Enzyme Microb. Tech.*, **24**(1-2), 104~110(1999).
4. Amouric, A., Verhé, F., Auria, R., and Casalot, L., "Study of a hexane-degrading consortium in a biofilter and in liquid culture: biodiversity, kinetics and characterization of degrading strains," *FEMS Microbiol. Ecol.*, **55**(2), 239-247(2005).
5. Arriaga, S. and Revah, S., "Improving hexane removal by enhancing fungal development in a microbial consortium biofilter," *Biotechnol. Bioeng.*, **90**(1), 107~115(2005).
6. Zhu, X., Suidan, M. T., Pruden, A., Yang, C., Alonso, C., Kim, B. J., and Kim, B. R., "Effect of substrate henry's constant on biofilter performance," *J. Air Waste Manage. Assoc.*, **54**(4), 409~418(2004).
7. Spigno, G., Pagella, C., Fumi, M. D., Molteni, R., and De Faveri, D. M., "VOCs removal from waste gases: gas-phase bioreactor for the abatement of hexane by *Aspergillus niger*," *Chem. Eng. Sci.*, **58**(3-6), 739~746(2003).

8. Oliveira, F. J. S. and De França, F. P., "Performance of an internal-loop airlift bioreactor for treatment of hexane-contaminated air," *Appl. Biochem. Biotechnol.*, **121-124**, 581~592(2005).
9. Höhener, P., Duwig, C., Pasteris, G., Kaufmann, K., Dakhel, N., and Harms, H., "Biodegradation of petroleum hydrocarbon vapors: laboratory studies on rates and kinetics in unsaturated alluvial sand," *J. Contam. Hydrol.*, **66**(1-2), 93~115(2003).
10. Finnerty, W. M., "Biosurfactants in environmental biotechnology," *Curr. Opin. Biotechnol.*, **5**(3), 291~295(1994).
11. Philp, J. C. and Bell, K. S., "Applied studies with bacteria of the genus *Rhodococcus* relevant to treatment of land and water contaminated by industrial processes," In, *Proceedings of the International Symposium on Industrialization and the Environment*; Taejon National University of Technology, Seoul, Korea. Taejon University, Korea, pp. 105~126(1995).
12. Neu, T. R., "Significance of bacterial surface-active compounds in interaction of bacteria with interfaces," *Microbiol. Rev.*, **60**(1), 151~166(1996).