

해양유류오염 방제를 위한 생물유화제 생산세균의 분리 및 특성

손 홍 주* · 차 미 선 · 김 희 구 · 이 건 · 이 상 준
부산대학교 환경문제연구소* · 부산대학교 미생물학과
(1997년 5월 15일 접수)

Isolation and Characterization of a Bioemulsifier-Producing Bacterium for Marine Oil Spill Bioremediation

Hong-Joo Son*, Mi-Sun Cha, Hee-Gu Kim, Geon Lee, and Sang-Joon Lee
*Institute of Environmental Studies and Department of Microbiology,
Pusan National University, Pusan 609-735
(Manuscript received 15 May 1997)

Microorganisms producing bioemulsifier were isolated from the sea water in Pusan coastal area. The isolated strain which had the highest emulsification activity and stability was identified as the genus *Acinetobacter* from the results of morphological, cultural and biochemical tests and named *Acinetobacter* sp. EL-C6 for convenience. The compositions of optimum medium for emulsification of crude oil by *Acinetobacter* sp. EL-C6 were crude oil 2.0%, NH_4NO_3 0.2%, K_2HPO_4 0.01%, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.0%, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.1% and NaCl 3.0% at initial pH 7.5 and 30°C, respectively. The cultivation for emulsification of crude oil was carried out in 500ml shaking flask containing 100ml of the optimum medium at 30°C. The highest emulsification was observed after 5 days. The utilization on the various hydrocarbon of the *Acinetobacter* sp. EL-C6 showed that utilization of n-alkane compounds were better than that of aromatic compounds. Among the petroleum compounds, crude oil was best utilized by the *Acinetobacter* sp. EL-C6.

Key words : *Acinetobacter* sp. EL-C6, crude oil, emulsification

1. 서 론

해양 유류오염은 선박사고, 선박운항, 해상작업 및 정유공장 폐수의 유입 등 다양한 경로를 통하여 일어나며, 해양으로의 유입량은 연간 3, 200만톤에 달하는 것으로 추정된다(해양경찰대, 1990). 우리나라 역시 해양 유류오염의 주된 원인이 선박운항 등의 해상활동과 산업활동에 있으며, 중화학공업과 산업생산시설이 주로 항만에 위치해 있어 유류를 함유한 폐유의 무

단방류 및 사고로 인해 직접적으로 연안해역에 유입되는 경우가 다발적으로 일어나고 있다(박중연 외, 1988).

유류는 100여종 이상의 유해화합물을 함유하고 있어, 이러한 화합물이 해수에 용존될 경우 food chain의 가장 하등한 단계인 미생물과 어류의 체내에 1차적으로 축적되고, 결국에는 사람에게까지 전달된다. 더욱이 우리나라는 삼면이 바다인 반도국가로서 연안지역은 양식업,

어업 등 국가경제상 매우 중요한 구실을 하고 있기 때문에 유류오염은 어장 및 양식장에 대규모의 피해를 줄 뿐만 아니라 해양생태계를 파괴하고 해양의 쾌적성을 저하시키고 있다.

현재 해양으로 유출된 유류의 확산을 막기 위해 유류방제벽을 설치하여 유류를 흡착, 수거, 소각 등의 방법으로 제거하고 있다. 그러나 이 방법은 기상이나 유류의 크기나 성상에 따라 효율이 낮은 경우가 많다. 이러한 경우에 주로 사용되는 방법이 유분산제를 살포하여 유출유를 분산시킴으로써 미생물에 의한 분해도를 높이는 방법이다(Atlas와 Bartha, 1973). 그러나 이 방법 역시 유류제거에는 효과가 있지만 유류의 유해성분은 그대로 남게 되고, 유분산제 자체가 갖는 독성으로 인해 2차적인 오염문제가 발생한다(Corner *et al.*, 1968; Starr *et al.*, 1981). 따라서 유류오염 피해를 극소화하고 수자원 및 연안환경 보전을 위해서는 해양 유류오염방지를 위한 처리 기술의 개발이 필수적이며, 분해속도는 느리지만 해양정화작업으로 아주 이상적인 미생물학적 제거방법의 확립이 무엇보다도 필요하다.

이러한 유류오염 문제를 미생물학적 측면에서 해결하고자 하는 노력은 Zobell이 석유탄화수소를 분해하는 미생물이 자연계에 널리 분포하고 있고, 그 종류가 매우 다양함을 밝힌 이후 본격화되었으며, 현재에도 수생태계내에서 유기물 분해자 역할을 하는 종속영양세균의 자정능력을 이용하여 유류오염 문제를 해결하려는 연구가 많이 수행되고 있다(Atlas와 Bartha, 1973; 이정대 외, 1992; Floodgate, 1972). 특히 Zobell(1947)에 의해 미생물유래 계면활성제의 존재가 확인된 이후, 많은 종류의 미생물에서 이러한 물질의 생산이 확인되었다.

미생물에 의해 생산된 계면활성제는 alkane 화합물을 미세한 입자로 유화시켜 미생물과의 접촉면을 넓혀줌으로써 보다 쉽게 분해될 수 있도록 하며, 생물계면활성제 자체도 생분해가 가능하다. 이러한 사실은 유류유출에 의한 해양오염에 응용될 수 있음을 시사한다(Gutnick와 Rosenberg, 1977; Park과 Park, 1988). 이러한 관점에서 볼 때, 계면활성제중 그 응용성이 가장 큰 생물유화제(bioemulsifier)는 현재까지 문제시되어온 합성유화제의 대체

품으로서 그 사용이 확대될 것으로 추정되며 폐수처리, 토양의 재활성화, oil recovery 등에도 크게 기여할 것으로 추정된다(Ahearn, 1969).

따라서 본 연구에서는 만성적 유류오염지역으로 간주되는 부산항일대에서 채수한 해수에서 유화제를 생산하여 유류를 분해하는 균주를 분리한 후, 유분산도 및 유화안정성이 뛰어난 균주를 선정하여 분류학적 위치를 검토하였으며, 유류의 유화 최적조건을 확립하는 한편, 해양환경인자의 영향에 대해서도 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 원유 유화균주의 분리 및 동정

원유를 유화하는 균주를 분리하기 위하여 해양경찰대에서 정규 수질조사지역으로 지정한 부산항일대의 해수를 채수하여 유류분해세균의 분리를 위한 시료로 사용하였다. 시료를 인공해수 무기염배지에 접종하여 25℃, 200rpm으로 회전진탕배양한 배양액을 적당히 희석한 후, 2% NaCl이 첨가된 trypticase soy 한천평판배지에 도말하여 48시간동안 배양하였다. 배지상에 나타난 colony를 선별, 이것을 다시 인공해수 무기염평판배지에 접종함으로써 순수분리하였다. 이때 사용한 인공해수 무기염 배지는 NaCl 200mM, MgSO₄ · 7H₂O 50mM, KCl 10 mM, CaCl₂ · 2H₂O 10mM의 조성을 갖는 인공해수에 Tris-HCl 100mM, NH₄Cl 19 mM, K₂HPO₄ 0.33mM, FeSO₄ · 7H₂O 0.1mM, crude oil 0.2-2.0%가 함유된 것이었다. 공시균으로 선정된 분리균주의 분류학적 위치를 검토하기 위하여 형태학적, 배양적, 생화학적 제 특성을 Manual of Methods for General Bacteriology(Gerhardt *et al.*, 1981), Biochemical Tests for Identification of Medical Bacteria(Macfaddin, 1980)에 준하여 조사하였으며, 이 결과를 기초로 하여 Bergey's Manual of Determinative Bacteriology(Krieg와 Holt, 1974)와 Bergey's Manual of Systematic Bacteriology(Krieg와 Holt, 1984)에 따라 동정하였다.

2.2 원유의 유화최적조건 검토

공시균의 원유에 대한 유화최적조건을 검토하기 위하여 인공해수 무기염배지를 기본배지

해양유류오염 방제를 위한 생물유화제 생산세균의 분리 및 특성

로 하여 200rpm으로 5일동안 회전진탕배양 하면서 원유의 농도, 각종 질소원, 배양온도 및 pH에 따른 생육도 및 유분산도를 측정하였다. 또한 해수는 매우 복잡한 mineral water 이기 때문에 각종 무기염 농도에 따른 원유의 유분산도를 측정하였으며, 통기량이 원유를 유화하는데 미치는 영향을 알아보기 위하여 500ml shaking flask에 인공해수 무기염배지를 각각 50, 100, 150, 200, 250 및 300ml 씩 넣어 배양시킨 후, 유분산도 및 생육도를 측정하였다.

2.3 공시균에 의한 각종 hydrocarbon 분해 특성 검토
탄소원으로 사용했던 원유대신 bunker-A

등의 원유관련 화합물, hexadecane 등의 n-alkane 화합물, phenol 등의 방향족화합물을 각각 0.5%씩 첨가하여 30℃, 200 rpm으로 배양하여 공시균의 생육능을 조사함으로써 공시균의 유기물 분해자로서의 특성을 살펴 보았다.

2.4 생육도 및 유분산도 측정법

공시균의 생육도는 분광광도계를 이용한 탁도로서 나타내었다. 즉 배양액 10ml에 5ml의 클로로포름을 첨가하여 1분간 진탕한 후, 다시 1분간 정치시킨 다음 상층액 2ml를 뽑아 660nm에서 흡광도를 측정하여 생육도를 나타내었다(Flemming et al., 1994). 그리고 유분산도는 배양액을 강하게 진탕한 후, 배양액 5ml를 다른 시험관에 즉시 옮겨 5분동안 정치

Table 1. Taxonomical characteristics of the isolated strain EL-C6

Contents	Results
<i>Morphological characteristics</i>	
Shape	short rod
Cell size(μm)	0.2 x 0.4
Motility	nonmotile
Gram stain	negative
Type of cell division	simple division
<i>Cultural characteristics</i>	
Colonies	circular, convex entire, wetted
Colony surface	smooth
Colony color	orange
Colony opacity	opaque
Hydrolysis of gelatin	negative
<i>Biochemical characteristics</i>	
Catalase test	positive
Voges-Proskauer test	negative
Oxidation-fermentation test	negative
Cytochrome oxidase test	negative
β-Galactosidase test	negative
Arginine dehydrolase test	positive
Lysine decarboxylase test	negative
Ornithine decarboxylase test	negative
Citrate utilization	negative
H ₂ S production test	negative
Urease test	negative
Tryptophan deaminase test	negative
Indole production test	negative
Nitrate reduction test	positive

시킨 다음, 액의 중간부위로부터 2ml의 액을 뽑아내어 540nm에서 흡광도를 측정함으로써 조사하였다(Jobson, 1972).

3. 결과 및 고찰

3.1 원유 유화균주의 분리

부산항 일대 10곳의 해수를 채수하여 인공 해수 무기염배지에서 농화배양을 실시한 결과, 원유를 분해할 수 있는 100여 균주를 순수분리하였다. 일반적으로 유류의 분해는 생물유화제를 생산하여 유류를 분해하는 유화균주와 생물유화제의 생산없이 유류를 분해하는 자화균주로 구분(Atlas, 1981)이 되는데, 본 연구에서도 이러한 두 유형의 세균들이 분리되었다. 따라서 분리된 균주들의 배양액 상태를 관찰하여 유화균주 28주를 선별하였으며, 그 중 유분산능이 가장 우수한 균주 EL-C6를 공시균으로 최종선정하여 실험에 사용하였다.

3.2 공시균의 분류 및 동정

공시균의 형태학적, 배양적, 생화학적 특성을 조사하여 분류학상의 위치를 검토한 결과는 Table 1에서 보는 바와 같다. 공시균주는 끝이 둥근 단간균으로 운동성이 없는 Gram 음성균이었다. 육즙 한천평판배지상에 형성된 colony는 둥글고 습윤한 상태의 중앙이 볼록한 convex형이었고, 붉은색을 띄며 불투명하였다. 또한 본 공시균주는 catalase test, arginine dehydrolase test 및 nitrate reduction test에 대해서는 양성반응을 나타내었고, 나머지의 모든 test에 대해서는 전부 음성반응을 나타내는 생리학적 특성을 가지고 있었다. 이상의 실험결과를 Bergey's Manual of Determinative Bacteriology와 Bergey's Manual of Systematic Bacteriology와 비교 검토한 결과, 본 공시균은 *Acinetobacter*속으로 동정되어, 편의상 *Acinetobacter* sp. EL-C6으로 명명하여 본 실험에 사용하였다.

3.3 원유의 유화최적조건

원유는 미생물의 탄소원 및 에너지원으로 이용되는 반면, 다양한 용해성 독성성분이 함유되어 있어 미생물의 성장을 저해하는 성질을 가지고 있으므로 원유의 농도는 세균의 성

Table 2. Effect of crude oil concentration on emulsification and growth by *Acinetobacter* sp. EL-C6

Concentration (%)	Growth (at 660nm)	Emulsification (at 540nm)
None	-	0.02
0.1	1.36	3.12
0.5	2.15	4.09
1.0	2.66	4.64
1.5	3.27	6.22
2.0	3.41	6.64
2.5	2.76	5.09
3.0	1.21	4.33
3.5	0.78	2.15
4.0	0.47	1.62

Table 3. Effect of nitrogen source on emulsification and growth by *Acinetobacter* sp. EL-C6

Nitrogen source (0.1%)	Growth (at 660nm)	Emulsification (at 540nm)
None	0.37	1.08
NH ₄ Cl	3.09	6.99
NH ₄ NO ₃	3.46	8.25
(NH ₄) ₂ SO ₄	1.48	4.09
NaNO ₂	0.42	0.79
NaNO ₃	0.43	0.85
KNO ₃	2.87	6.27
Urea	2.36	5.16
Bactopeptone	2.34	4.27
Beef extract	1.89	2.99
Malt extract	1.93	3.54
Yeast extract	8.67	7.18
Tryptone	2.25	5.41

장과 유화활성에 영향을 미친다. 따라서 원유의 농도에 따라 *Acinetobacter* sp. EL-C6의 생육도 및 유분산도를 측정된 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. 원유농도 2%까지는 쉽게 유분산이 되는 반면, 3% 이상에서는 유분산도가 감소하는 동시에 균의 생육도도 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 고농도의 원유에 공시균이 노출될 경우, 그 독성으로 인해 균체생육이 저해되고 결과적으로 유분산도가 감소되는 것을 의미한다.

유류농도가 정해진 상태에서 인공해수 무기염배지에 무기질소원 및 유기질소원을 각각 0.1%의 농도로 첨가하여 *Acinetobacter* sp. EL-C6의 유분산도 및 생육도를 측정된 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다. 균체생육은 유기질소원이 무기질소원에 비해 전반적으로 우수하게 나타났으나, 유분산도는 다소 떨어지는

Table 4. Effect of NH_4NO_3 concentration on emulsification and growth by *Acinetobacter* sp. EL-C6

Concentration (%)	Growth (at 660nm)	Emulsification (at 540nm)
0.05	0.76	4.58
0.1	3.14	7.26
0.15	3.47	8.71
0.2	4.18	9.21
0.25	3.81	8.88
0.3	3.22	8.33
0.35	2.01	5.26
0.4	1.00	4.60

Table 5. Effect of K_2HPO_4 concentration on emulsification and growth by *Acinetobacter* sp. EL-C6

Concentration (%)	Growth (at 660nm)	Emulsification (at 540nm)
None	0.29	0.64
0.001	1.24	4.12
0.005	2.23	7.66
0.01	3.99	9.34
0.05	4.22	8.44
0.1	3.16	5.97
0.5	1.27	4.71

경향이 있었다. 그리고 질소원이 첨가되지 않은 배지에서도 생육이 가능하였는데, 이것은 공시균이 유류를 분해하는 과정에서 생성된 질소성분때문인 것으로 추측된다. 유기질소원 중에서 yeast extract, 무기질소원 중에서는 NH_4NO_3 가 유분산도 및 균체생육이 가장 우수하게 나타났다. 경제성을 고려하여 NH_4NO_3 를 질소원으로 선택하여 본 실험에 사용하였다. 최적질소원으로 선정된 NH_4NO_3 의 농도에 따른 영향을 조사하기 위하여 NH_4NO_3 의 농도를 0.05%에서 0.4%까지 단계적으로 조절하여 *Acinetobacter* sp. EL-C6의 생육도 및 유분산도를 측정 한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같이 0.2%일때 균체생육 및 유분산도가 가장 우수하게 나타났다.

탄소원 및 질소원이 결정된 배지에 인산염으로 첨가된 K_2HPO_4 의 농도를 0.001-0.5%까지 조절하여 공시균의 생육도 및 유분산도를 측정 한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같다. 즉, 인산염이 결핍될 경우, 균체생육 및 유분산도가 매우 저조하였으나 0.01%일때 유분산도가 가장 우수하였으며, 균체생육은 K_2HPO_4 농도가 높아질수록 우수하였다. 이것은 해양에

Table 6. Effect of temperature on emulsification and growth by *Acinetobacter* sp. EL-C6

Temperature (°C)	Growth (at 660nm)	Emulsification (at 540nm)
4	0.25	0.51
20	1.84	4.69
25	2.25	5.28
30	3.31	6.97
37	2.07	6.21
44	0.32	0.96

Table 7. Effect of pH on emulsification and growth by *Acinetobacter* sp. EL-C6

Initial pH	Growth (at 660nm)	Emulsification (at 540nm)
5.0	0.48	0.81
6.0	0.91	1.59
6.5	1.66	2.56
7.0	3.78	5.75
7.5	4.14	7.78
8.0	4.09	7.19
8.5	2.40	3.60
9.0	0.83	1.21
10.0	0.39	0.65

서 유류의 생물학적 분해에는 인산이 제한요인으로 작용함을 시사한다. 따라서 유류의 분해를 위하여 반드시 적정농도의 인산을 첨가하여 주는 것이 효과적일 것으로 사료된다. 해양에서 인산염의 과다한 투입으로 인한 부영양화를 고려하여 K_2HPO_4 의 최적농도를 0.01%로 결정하였다.

해수는 다양한 무기염들이 복합적으로 구성된 mineral water이기 때문에 이들은 해양에서 유류분해세균의 생육에 상당히 복합적인 영향을 미칠 것으로 생각된다. 따라서 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 및 NaCl 의 농도를 단계별로 조절하여 그 영향을 검토한 결과 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 는 1.0%에서, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 는 0.1%에서 각각 높은 유분산도를 나타내었으며, 특히 3.0%의 NaCl 에서 가장 높은 유분산도 및 균체생육을 나타내어 유류로 오염된 해양환경에 충분히 적용가능할 것으로 생각된다(자료 미제시).

석유 탄화수소의 분해는 매우 광범위한 온도 범위에서 일어난다고 알려져 있다. 따라서 *Acinetobacter* sp. EL-C6에 의한 원유의 유분산도에 미치는 온도의 영향을 알아보기 위하여

Table 8. Effect of aeration on emulsification and growth by *Acinetobacter* sp. EL-C6

Volume of medium (ml/500ml shaking flask)	Growth (at 660nm)	Emulsification (at 540nm)
50	2.99	7.93
100	3.15	6.91
150	2.41	5.59
200	1.82	5.02
250	1.26	3.99
300	0.87	3.04

4℃, 20℃, 25℃, 30℃, 37℃ 및 44℃의 범위로 단계적으로 조절하여 배양 후, 유분산도 및 생육도를 측정 한 결과는 Table 6에 나타내었다. 전반적으로 균체생육 및 유분산도는 20℃-30℃에서 우수하였으며, 4℃와 44℃에서는 균체생육과 유분산이 거의 나타나지 않았다. 이와같은 결과는 *Acinetobacter* sp. EL-C6가 중온성 세균이라는 사실을 시사한다.

배지의 초발 pH를 4.0에서 10.0까지 단계적으로 조절하여 공시균의 유분산도 및 균체생육을 조사한 결과는 Table 7에서 보는 바와 같이 pH 7.0-8.0에서 가장 높은 유분산도와 균체생육을 보임으로써, *Acinetobacter* sp. EL-C6가 일반적인 해수의 pH 영역인 약알칼리성에서 최적으로 작용할 수 있음을 알 수 있었다.

Acinetobacter sp. EL-C6의 생육과 유분산도에 미치는 통기량의 영향을 조사하기 위하여 500ml shaking flask에 배지를 50ml-300ml까지 단계별로 첨가하여 생육도 및 유분산도를 측정 한 결과는 Table 8에서 보는 바와 같다. 즉, 배지량이 50ml 및 100ml일 때 유분산도가 우수하였으나 배지량이 증가하여 통기량이 적어질수록 균체생육은 물론, 유분산도도 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 공시균은 호기적 조건하에서 더 효과적으로 유류를 분산시킬 수 있었다.

3.4 유화최적조건에서의 생육 및 유분산도

상기에서 결정된 *Acinetobacter* sp. EL-C6의 유화최적배지조건하에서 일정한 시간간격으로 생육도 및 유분산도를 경시적으로 측정 한 결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 36시간의 유도기를 거친 후, 대수증식기 초기부터 균

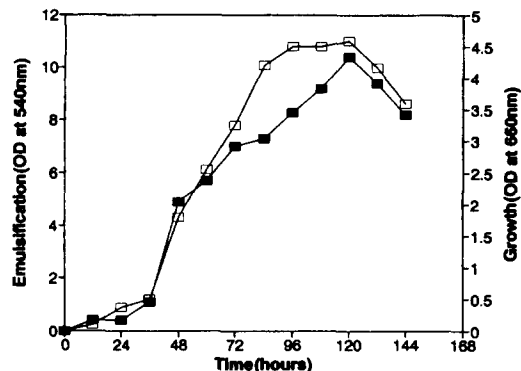


Fig. 1. Time courses of cell growth and emulsification of *Acinetobacter* sp. EL-C6 on the optimum medium at 30℃. -■-: emulsification, -▲-: cell growth

체생육과 거의 비례적으로 유분산도가 급격히 증가하였으며, 최대정지기 말기인 배양 120시간에 이르러 완만한 속도로 감소하였다. 따라서 본 공시균에 의한 유분산제의 생산은 growth-associated type임을 알 수 있었다.

3.5 Hydrocarbon 분해특성

유류의 유화에 있어 탄소원으로 사용되었던 원유대신 원유의 구성성분인 여러가지 hydrocarbon을 각각 0.5%의 농도로 첨가하여

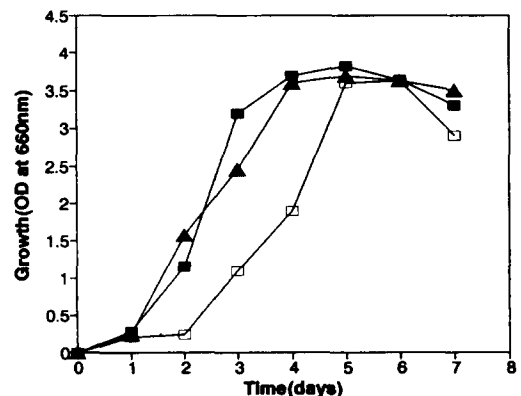


Fig. 2. Utilization of petroleum compounds by *Acinetobacter* sp. EL-C6. -■-: crude oil, -□-: bunker-A, -▲-: bunker-B

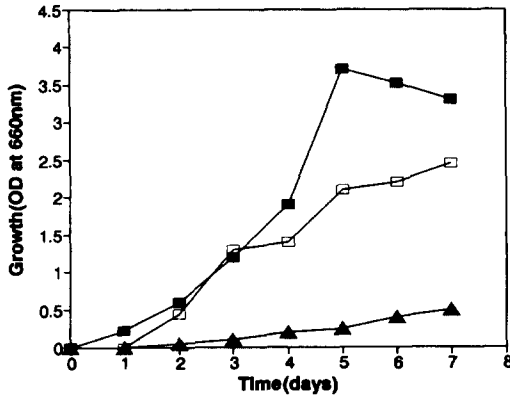


Fig. 3. Utilization of n-alkane compounds by *Acinetobacter* sp. EL-C6.

-■-: hexadecane, -□-: dodecane, -▲-: paraffine

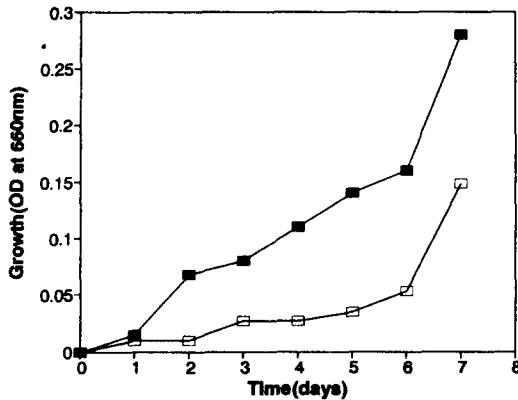


Fig. 4. Utilization of aromatic compounds by *Acinetobacter* sp. EL-C6.

-■-: phenol, -□-: toluene

배양하면서 자화능을 조사하였다. *Acinetobacter* sp. EL-C6은 bunker oil(Fig. 2) 및 직쇄형 탄화수소에 대해서 우수한 생육능을 나타내었는데, 특히 hexadecane에 대해 매우 우수한 생육능을 나타내었다(Fig. 3). 반면 toluene은 거의 자화할 수 없었으며, phenol에서는 긴 유도기 후에 비로소 생육하기 시작함을 알 수 있었다(Fig. 4). 이상의 결과를 통해 *Acinetobacter* sp. EL-C6는 원유, bunker oil 및 직쇄형 탄화수소에 대해서는 높은 분해능을 나타내나, 방향족화합물은 분해하지 않는다는 것을 간접적으로 추측할 수 있었다. 결과적으로 *Acinetobacter* sp. EL-C6는 다양한 hydrocarbon들을 이용할 수 있기 때

문에 균체의 대량배양과 유분산제의 정제가 성공적으로 수행될 경우, 환경정화에 크게 도움이 되리라 사료된다.

4. 결 론

만성적 유류오염지역인 부산항 일대에서 해수를 채취하여 유류분해세균을 분리하였다. 그중 생물유화제(bioemulsifier)를 생산하여 유류를 분해하는 세균중 유분산도가 가장 우수한 균주를 선정하여 동정한 결과, *Acinetobacter* 속으로 밝혀졌다. 원유의 유화를 위한 최적배지조성은 원유 2.0%, NH_4NO_3 0.2%, K_2HPO_4 0.01%, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.0%, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.1%, NaCl 3.0%, 초발 pH 7.5였으며, 30℃에서 5일간 배양하였을 때 유분산도 및 생육도가 가장 높았다. 원유를 구성하는 난분해성 hydrocarbons에 대한 분해능을 조사한 결과, n-alkane 화합물이 aromatic 화합물에 비해 비교적 잘 분해되었으며, 각종 유류중에서 원유가 가장 잘 분해되었다.

감사의 글

본 논문은 환경기술·산업개발연구센터(RRC/IETC)의 지원에 의하여 연구되었으며, 깊은 감사를 드립니다(RRC 과제번호: 96A-10-01-02-3).

참고 문헌

- 박중연, 박인식, 서근학, 홍용기, 1988, 해양세균 *Achromobacter* sp. M-1220 균주에 의한 bunker-C oil의 유화, *Kor. J. Microbiol. Bioeng.*, 16(5), 384-388.
- 이정대, 황열순, 이기순, 이진영, 김상중, 1992, 경기만에서 석유분해 세균의 분포 및 석유분해능, *Kor. J. Microbiol.*, 30(3), 187-192.
- 양 경찰대, 1990, 한국의 해양오염 현황과 대책, 시험연구보.
- Ahearn, G.P., 1969, Surfactants for oil recovery, *J Am. Oil Chem. Soc.*, 46, 540-580.
- Atlas, R.M., 1981, Microbial degradation of petroleum hydrocarbon : an environmental perspective, *Microbiological Review*, 45(1), 180-209.

- Atlas, R.M. and R. Bartha, 1973, Effect of some commercial oil herders dispersants and bacterial inoculum on biodegradation of oil in sea water, 283-289, In D.C. Ahearn and S.P. Meyer(ed), The microbial degradation of oil pollutants, Louisiana State University Publ., LSU-SG-73-01, Baton Rouge, LA.
- Corner, E.D.S., A.J. Southward and E.C. Southward, 1968, Toxicity of oil spill removers(detergent) to marine life, *J. Mar. Biol.*, 48, 29-47.
- Flemming, C.A., K.T. Leung, H. Lee, J.T. Trevors and C.W. Greer, 1994, Survival of *lux-lac*-marked biosurfactant-producing *Pseudomonas aeruginosa* UG2L in soil monitored by non-selective plating and PCR, *Appl. Environ. Microbiol.*, 60, 1606-1613.
- Floodgate, G.D., 1972, Microbial degradation of oil, *Mar. PolBull.*, 3, 41-43.
- Gerhardt, P., R.G.E. Murray, R.N. Costilow and E.W. Wester, 1981, Manual of Methods for General Bacteriology, American Society for Microbiology, N. Y.
- Gutnick, D.L. and E. Rosenberg, 1977, Oil tankers and pollution : a microbiological approach, *Annu. Rev. Microbiol.*, 31, 379-394.
- Haferburg, D., R. Hommel, 1986, Extracellular microbial lipids as biosurfactants, *Advan. Biochem. Engineer, Biotechnol.*, 33, 54-69.
- Jobson, A., F.D. Cook and D.W.S. Westlake, 1972, Microbial utilization of crude oil, *Appl. Microbiol.*, 23, 1082-1089.
- Krieg, N.R., and J.G. Holt, 1974, Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 8th ed., The William and Wilkins Co., U.S.A.
- Krieg, N.R., and J.G. Holt, 1984, Bergey's Manual of Systematic Bacteriology Vol. 2., The William and Wilkins Co., U.S.A.
- Macfaddin, J.F., 1980, Biochemical Tests for Identification of Medical Bacteria, The Williams and Wilkins Co., Baltimore.
- Park, J.Y., and I.S. Park, 1988, Emulsification of bunker-C oil by a marine bacterium *Achromobacter* sp. M-1220, *Kor. J. Appl. Microbiol. Bioeng.*, 16(5), 384-389.
- Parkinson, M., 1985, Biosurfactants, *Biotech. Adv.*, 3, 65-86.
- Starr, M.P., N. Stlop, H.G. Truper, A. Balows and H.G. Schleger, 1981, The Prokaryotes Vol. 2, Springer-Verlag.
- Zobell, C. E., 1947, Bacterial release of oil from sedimentary materials, *Oil Gs. J.* 46, 62-67.