

생물정화용 제품의 유류분해능 비교

김상진* · 신수경

한국해양연구소 해양생물연구부

최근 유류에 오염된 환경을 회복시키기 위하여 생물정화 방법이 널리 이용되고 있다. 따라서 유류오염 환경을 처리하기 위한 생물정화용 생물제제가 보편화되면서 외국으로부터 많은 제품이 국내로 유입되고 있다. 그러나 국내에는 이와 같은 제품의 규격기준이나 표준 실험방법이 체계화되어 있지 않고 또한 효용성에 대한 실제 실험결과가 없는 상태이다. 그러므로 본 실험에서는 일부 유류처리용 생물제제 5종을 대상으로 유류분해율에 대한 실험을 수행하였다. 실험결과 대부분의 제품들은 함유된 화학유분산제에 의해 유류분산능을 나타내었고 유류분해율은 매우 낮은 것으로 나타났다. 일부제품(D)의 경우에는 해수에 분포되어 있는 토착 유류분해세균의 유류분해도를 오히려 저해하는 결과를 나타냈다. 이와 같은 실험의 결과로 미루어 향후 생물정화용 제제의 규격기준 및 표준 실험방법을 국내에도 확립할 필요가 있고, 그러므로서 효율적인 생물정화 기술방법 사용이 활성화될 수 있을 것이다.

KEY WORDS □ Oil bioremediation, bioremediation agent, oil biodegradability

해양 유류오염은 1967년 영국해협에서 초대형 유조선인 Torrey Canyon호가 침몰하면서 세인의 관심이 집중되기 시작하였다. 국내의 경우에도 원유 도입량의 증가는 유류 해상수송량의 증가와 선박의 대형화를 초래하였고 이로 인한 해상물동량의 증가는 유류오염 사고빈도를 급증시키고 있다(3). 1990년도에 들어 국내에서 연속적으로 발생한 대형 유류오염사고 중 사회적으로 관심을 끌었던 사고는 다음과 같다. 1990년 7월 15일 인천항에서 17,284톤 유조선 코리아 씨니힐호와 12,644톤 유조선 코리아 호프호가 충돌하여 병커-C유 1,500 kL가 유출되어 부근 해상 및 해안을 오염시켰다(8). 1993년 9월 27일 전남 여천시 묘도동 동쪽 0.8마일 해상에서 8,959톤 화물선과 481톤 유류바지선 제5금동호가 충돌하여 적재된 병커-C유 1,228 kL가 유출되어 해상 및 6개 시도 해안 약 157 km를 오염시켰다(7). 1995년 7월 23일 144,567톤 유조선 씨프린스호가 여수 남쪽 해상 소리도의 암초에 좌초되어 원유 및 연료유 약 5,000여톤이 유출되어 부근 해안 약 47 km가 오염되었다(6). 1995년 9월 20일 1,591톤 유조선 제1유일호가 부산 남형제도 인접 암초에 좌초되어 예인 중 침몰하여 적재유 B-C유와 연료유가 일부 유출되어 연안 총 56 km를 오염시켰다(6).

이와 같은 사고의 방제작업은 해상과 해안 방제작업으로 나뉘어지는데 해안 방제작업에는 유흡착제, 결레 등으로 닦아내는 일명 개담기라는 수작업에 의존하여 많은 인력이 소모된다. 대형사고가 빈번히 발생하면서 해안 생태계의 오염 방제작업이 주로 물리적 방법으로 제한되어 수행하면서 그 효율성이 매우 낮아 생물학적 처리기술의 개발이 필요하게 되었고 국내에서도 관련된 생물정화기술에 대한 연구가 시작되었다(1).

탄화수소 분해에 있어 미생물의 중요성은 이미 오래전부터 알려져 왔고 이에 관련된 많은 연구가 수행되고 있다(9, 12, 14). 1989년 미국 EPA 주도하에 Prince William Sound에서 진행된 생물정화 연구에서 유류로 오염된 해안의 미생물 군집이 Exxon Valdez호 사고에 의해 유출된 Prudhoe Bay 원유를 분해하는 높은 능력을 나타내고 있다는 결과가 보고되었다(13). 이 연구에서는 다양한 무기영양염제의 첨가로 자연계의 유류 생분해율을 높일 수 있다는 결론을 내렸다. 그 이후 이와 같은 무기영양물질의 첨가뿐 아니라 유류분해 능력이 높은 미생물을 동시에 첨가하여 자연계의 유류분해율을 높일 수 있다는 가능성에 대한 논란이 있었다(12). 1990년 2월 미국 EPA는 알래스카에 오염된 유류를 신속히 분해할 수 있는 미생물제제 제품의 성능을 조사하였다(15, 16). 이 실험에서 40개의 제품 중 11개가 선발되었고 그 중 10개 제품이 유류분해율과 미생물성장에 미치는 영향을 실험실내 실험을 거쳐 분석한 후 우수한 2개 제품의 야외실험이 수행되었다.

선진국에서는 유류 생물정화용 제품에 대한 관심이 높아지면서 이와 같은 제품의 성능과 독성을 검사하는 표준방법의 확립을 시도하기 시작하였다. 북미권의 미국과 캐나다는 각국의 환경청이 협동하여 범람하고 있는 생물제제 제품의 간단한 평가를 위한 실험실 실험방법을 정립하고 이에 대한 부분적인 보안을 계속 진행하고 있다(10).

국내에서도 폐수처리 시설 등에서 다양한 종류의 미생물 제제가 사용되고 있다. 뿐만 아니라 최근 유류분해용 미생물제제 제품이 다량 유입되고 있으나 이에 대한 평가방법도 확립되어 있지 않을 뿐 아니라 수입제품의 효능에 대해서도 판매원의 자료에 의존하는 실정이다. 따라서 본 실험에서는 국내에 반입된 유류분해용 미생물제제의 효능을 파악하였고, 이 결과에 의해 국내의 향후 미생물제제에 대한 실험방

*To whom correspondence should be addressed

법 확립 및 제품기준에 관한 필요성에 대해 고찰을 하였다.

재료 및 방법

생물정화용 제품

시험대상 제품은 Oppenheimer fomular I, Envirozyme, Bi-chem 1008, Oil eater, Putidoil의 5가지 종류이며 무작위로 A, B, C, D, E로 명명하여 실험하였다. 또한 본 연구실에서 개발한 유류분해용 미생물제제를 비교 실험하였다(2, 4, 5). 실험대상인 제품에는 유류분해 미생물이 포함되어 있으며 일부제품은 유화물질이 포함되어 있거나 유류분해 효소가 함유되어 있다.

배양조건

제품 A, B, C의 경우는 250 ml flask에 최소영양염 액체 배지(Table 1) 50 ml을 넣은 후 멸균하여 에너지원 및 탄소원으로 Arabian light crude oil을 최종농도 1%(v/v)가 되게 넣어주었다. 각각의 생물정화 제품을 배양액의 1.0%(w/v)로 넣어준 후 25°C에서 3일간 교반배양(120 rpm)하였다. 대조구는 제품첨가를 제외하고 모든 조건을 똑같이 하여 수행하였다.

제품 D의 경우는 250 ml flask에 해수 100 ml과 Arabian light crude oil을 1%(v/v) 넣어주었으며 비교 실험을 위하여 해수에 원유만 넣어준 대조구, 해수에 원유와 N/P원은 Table 1에 나타난 비율로 넣어준 실험구. 해수에 원유와 제품 D(1.25 ml)을 넣어준 실험구, 해수에 원유와 제품 D와 N/P원을 넣어준 실험구, 해수에 원유와 멸균한 제품 D를 넣어준 실험구, 멸균한 해수에 원유와 제품 D를 넣어준 실험구로 나누어 25°C에서 7일간 교반배양(120 rpm)하였다.

제품 E의 경우에는 250 ml flask에 숙성된 해수 50 ml과 N/P원으로 NH_4Cl 과 K_2HPO_4 을 Table 1에 나타난 비율로 각각 넣고 멸균한 후, 에너지원 및 탄소원으로 Arabian light crude oil과 Buncker C oil을 각각 1%씩 넣었고 제품 E를 각각 0.5%, 1.0%, 1.5% 넣어 온도별로 5°C, 15°C, 25°C에서 교반배양(120 rpm)하였다. 배양시 유화정도를 관찰하였고, 5°C에서는 6일간, 15°C, 25°C에서는 4일간 배양한 후 배양액 내에 잔존하는 유류를 chloroform으로 추출, 분획하여 aliphatic 성분과 aromatic 성분의 양을 측정하였다.

잔류 유류의 추출 및 분획

배양 후 시료를 분액깔대기로 옮긴 후 표준물질로 stearyl alcohol(Sigma chemical co.)을 첨가하여 동량의 chloroform으로 3회 반복 추출하였다. 추출이 끝난 시료는 무수 황산나

Table 2. Analysis condition of gas chromatography for the detection of remaining aliphatic hydrocarbon fraction

Instrument	HP 5890 series II (Hewlett Packard)
Integrator	HP 3396 series II (Hewlett Packard)
Column	25 m \times 0.32 mm \times 0.17 μm Cross linked Methyl Silica Column
Detector	FID(Flame Ionization Detector)
Injection volume	1 μl
Temperature	Detector 280°C Injector 260°C
Temperature program	Initial 100°C Rate 8°C/min Final 280°C Final time 7.5 min
Carrier gas	High purity nitrogen
Columnhead pressure	4 kgf/cm

트륨 2 g과 Copper 5 mg을 올린 여과지(Whatman No. 4)에 통과시켜 수분, 황성분 등을 제거하였다. 추출된 잔류유류의 chloroform 성분은 rotary evaporator(Eyela)를 이용하여 농축시켰다. 추출된 유류의 분획에는 silica-alumina column을 이용하였다(17). 내경 18 mm의 glass column에 silica gel을 3.5 cm 높이로 충전한 후 alumina를 1.5 cm가 되게 충전하였다. 여기에 농축된 추출시료를 얹은 다음 hexane과 chloroform 각 20 ml을 전개시킨 후 농축하여 hexane층은 aliphatic hydrocarbon 성분을, chloroform층은 aromatic hydrocarbon 성분을 분석하는데 이용하였다.

Aliphatic hydrocarbon 및 aromatic hydrocarbon 분석

위 과정을 거친 준비된 시료에서 aliphatic hydrocarbon의 분석을 위해서는 gas chromatograph(HP 5890)을 이용하였으며 분석조건은 Table 2와 같다. 또한 C_{17} /Pristane ratio와 C_{18} /Phytane ratio를 분석하여 세균에 의한 유류분해 여부를 확인하는 지표로 삼았다(11).

Aromatic hydrocarbon을 분석할 경우는 일정량의 추출유류를 chloroform으로 희석하여 Spectrofluorometer(Hitachi model F-2000, excitation 270 nm, emission 370 nm)로 형광도를 측정 후 standard curve로부터 aromatic hydrocarbon의 양으로 계산하였다(4).

결과 및 고찰

시험한 생물정화용 제품 A, B, C는 육안으로 관찰한 유화 정도가 대조구에 비해 월등히 뛰어났으나(자료 미제시) aliphatic hydrocarbons과 aromatic hydrocarbons의 분해율은 A의 경우 aromatic hydrocarbons 33%, B, C의 경우 aliphatic hydrocarbons 12, 11%로 낮게 나타났다(Table 3).

생물학적인 분해지표로 사용되는 C_{17} /Pristane과 C_{18} /Phytane 값은 배양 후 제품 C를 첨가한 경우 각각 1.9, 1.3으로 대조구에 비해 현저히 낮은 값을 나타내었고 제품 B의 경우 전자의 비율이 3.7로 대조구에 비해 낮게 나타났다(Table 4). 이 제품의 경우 첨가 원유의 가지달린 alkane보다 직쇄상의

Table 1. The composition of mineral salts medium(pH 7.5)

Ingredients	
NH_4Cl	3.0 g
K_2HPO_4	1.8 g
Arabian light crude	10 ml
Aged sea water	750 ml
Distilled water	250 ml

Table 3. Reduction rate of aliphatic and aromatic hydrocarbons after incubation with the product A, B and C

	Reduction rate(%) of	
	Aliphatic hydrocarbons	Aromatic hydrocarbons
Control	0	0
A	0	33
B	12	0
C	11	0

Reduction rates were calculated as following:
 the remaining amounts of aliphatic and aromatic hydrocarbons in A, B and C products experiments after 3 days incubation
 $\times 100(\%)$
 the remaining amounts of aliphatic and aromatic hydrocarbons in the control experiment after 3 days incubation

alkane 화합물을 우선적으로 분해하고 있음을 알 수 있었다. 이 경우 제품에 함유된 유류분해 미생물에 의한 유류의 부분적 분해가 일어난 것으로 사료되나 aliphatic hydrocarbons의 분해율은 각각 12, 11%로 매우 낮은 유류분해 세균의 농도가 높지 않거나 그 활성이 낮은 것으로 사료된다.

제품 D의 실험결과 D를 넣어준 시료의 유화정도가 첨가하지 않은 실험구에 비하여 월등히 뛰어났으며 멸균한 D를 넣어주었을 경우에도 유화정도는 변함없이 좋았고 또한 N/P첨가 유무에 관련이 없이 유화가 일어났다. 유화현상은 제품을 넣어준 후 즉시 일어났고 시간이 경과해도 더 이상 진행되지는 않았다. 이와 같은 결과로 미루어 본 제품에는 화학적 유분산제가 함유되어 있는 것으로 사료된다. 그러나 유류오염된 해수에 제품 D는 첨가하지 않고 N/P만을 첨가해준 실험구의 경우(I) 시간이 지남에 따라 원유가 유화되었으며 7일 후에는 제품 D를 넣어준 시료와 비교하여 차이가 없었다.

배양 7일 후 해수에 원유만 첨가한 대조구의 잔류 aliphatics, aromatics 유류량에 대한 각 실험구의 잔류 aliphatics, aromatics 유류량 감소율을 백분율로 표시하였다(Table 5). Aliphatic hydrocarbons의 감소율은 해수에 N/P를 첨가한 실험구(I)가 79%로 제일 높게 나타났다. 그러나 제품 D에 N/P를 넣어준 실험구(III)가 N/P만을 넣어준 실험구(I)에 비해 약 10% 정도로 낮게 나타나 제품 D를 첨가할 경우 오히려 감소율이 낮아짐을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 제품 D에 함유된 성분이 자연 해수에 분포되어 있는 세균의 유류분해능을 저해하므로써 유류 감소율이 낮아진다는 것을 시

Table 4. C₁₇/Pristane and C₁₈/Phytane ratios after 3 days incubation with the products A, B and C

	C ₁₇ /Pristane	C ₁₈ /Phytane
Control	5.6	2.9
A	6.0	2.6
B	3.7	2.6
C	1.9	1.3

Table 5. Reduction rates of hydrocarbon components in each condition compared to the remaining amounts of hydrocarbon components in the control test after 7 days incubation

Test conditions	Reduction rate(%) of	
	Aliphatic hydrocarbons	Aromatic hydrocarbons
Control: Sea water+oil	0	0
I: Sea water+oil+N/P	79	94
II: Sea water+oil+D	-	32
III: Sea water+oil+D+N/P	69	59
IV: Sea water+oil+Sterilized D	35	43
V: Sterilized sea water+oil+D	-	10

-: not determined.

사한다.

Aromatics 그룹의 경우에도 N/P를 첨가한 실험구의 경우 (I) 94%로 제일 높은 감소율을 나타내었고 제품 D를 첨가한 경우(III) 59%로 오히려 감소율이 낮아졌다. 또한 제품 D를 멸균하여 첨가한 경우(IV)가 멸균하지 않고 첨가한 경우(II)보다 오히려 감소율이 다소 높게 나타났다. 한편 멸균된 해수에 원유와 제품 D를 첨가한 실험구(V)의 경우 aromatics 분해율은 약 10%로 제품 D를 첨가하지 않고 원유만을 해수에 첨가한 대조구에 비해 높지 않은 분해율을 나타냈다. 이상의 결과로 미루어 제품 D에는 열에 의해 변성되는 특정 성분이 함유되어 있는 것으로 사료되고, 이 성분이 해수에 존재하는 자연 유류분해 세균의 유류분해도를 저해하므로 생물정화용 제제로 적합하지 않다는 결과를 얻었다.

또한 해수에 제품 D를 첨가하던지 않던지간에, N/P 영양 물질을 공급한 경우(I, III)가 N/P를 첨가하지 않은 경우(II, IV, V)보다 aliphatics, aromatics 화합물의 분해능이 모두 높았다. 이 결과는 해수에 분포된 토착 유류분해 세균이나 제품 D에 함유된 물질 모두 유류감소 과정에 무기영양물질인 질소와 인을 요구하고 있다는 것을 시사한다.

Table 6에는 배양 7일 후 각 실험구의 C₁₇/Pristane, C₁₈/Phytane 비율을 나타내었다. 실험구 I의 경우 C₁₇/Pristane, C₁₈/Phytane 비 감소율이 각각 1.3, 0.9로 가장 높게 나타나 이 실험구의 유류분해는 미생물에 의해 선택적 분해과정이 진행되었음을 시사하고 있다. 반면 다른 실험구의 경우에는 유류분해율이 다소 일어났음에도 불구하고(Table 5) C₁₇/Pristane, C₁₈/Phytane 비율은 대조구에 비해 별로 감소되지 않거나 실험구 V의 경우에는 오히려 높은 C₁₇/Pristane, C₁₈/Phytane 비율이 관찰된 것으로 미루어 생물화학적 분해보다

Table 6. C₁₇/Pristane and C₁₈/Phytane ratios after 7 days incubation

Test conditions	C ₁₇ /Pristane	C ₁₈ /Phytane
Control: Sea water+oil	3.8	2.8
I: Sea water+oil+N/P	1.3	0.9
II: Sea water+oil+D	3.9	2.8
III: Sea water+oil+D+N/P	3.8	2.7
IV: Sea water+oil+Sterilized D	3.8	2.7
V: Sterilized sea water+oil+D	4.7	2.8

Table 7. Reduction rates of aliphatic and aromatic hydrocarbon of Arabian light crude oil after the incubation with the product E

Conc. of product Incubation temp.	Reduction rate(%) of					
	Aliphatic compound			Aromatic compound		
	0.5%	1.0%	1.5%	0.5%	1.0%	1.5%
5°C	6	18	24	10	2	6
15°C	11	16	12	17	36	4
25°C	15	16	26	9	33	11

*Reduction rate(%)=[amount of remaining hydrocarbons in the control test - amount of remaining hydrocarbons in the test under the different experimental conditions]/amount of remaining hydrocarbons in the control test × 100

는 다른 요인에 의한 분해가 이루어졌음을 알 수 있었다. 이 제품이 효소제제라는 것을 감안하면 함유된 효소의 유류분해에는 가지달린 alkanes과 직쇄상의 alkanes 분해에 관여하는 효소가 동시에 작용하는 것으로 사료된다.

제품 E의 배양실험 결과, 원유를 기질로 넣어주었을 경우에 제품 E의 농도와 배양온도에 관계없이 유화정도는 모두 높았으며, Bunker C유의 경우에는 배양액 내에서 뭉쳐진 상태로 존재하고 이 현상은 특히 낮은 온도의 경우에 더욱 심하였다. 원유를 넣어준 배양액의 경우 유화정도는 매우 좋았으나 gas chromatography 분석결과 aliphatic 성분이 6-26% 정도로 감소되었으며 특히 제품 E를 1.5% 넣어주고 25°C에서 배양한 경우 26%로 제일 높은 감소율을 나타내었다(Table 7). 25°C 배양에 비하여 5°C 배양할 때 제품첨가 농도에 따른 감소율의 차이가 두드러지게 나타났고 15°C에서는 제품농도 증가에 따른 분해율 상승의 경향성을 관찰할 수 없었다. 제품을 0.5% 첨가한 경우 25°C에서 제일 높은 감소율을 나타냈다. 한편 aromatics의 경우에는 2-36%의 감소율을 나타내었고 aliphatic 성분의 결과와는 다른 양상을 나타내었다.

생물학적인 분해정도를 나타내는 C₁₇/Pristane과 C₁₈/Phytane ratios 또한 control과 비교하여 거의 변화가 없는 것으로 보아 생물학적인 분해는 거의 일어나지 않은 것으로 사료된다(Table 8).

김 등(2,4)은 *Pseudomonas* sp., *Acinetobacter* sp., *Moraxella* sp., *Candida lipolytica*로 구성된 유류분해용 미생물제제를 이용하여 실험한 결과를 보고하였다. 원유농도 5%에서

Table 9. Reduction rates of aliphatic and aromatic hydrocarbons of Bunker C oil after incubation with the product E

Conc. of product Incubation temp.	Reduction rate(%) of					
	Aliphatic compound			Aromatic compound		
	0.5%	1.0%	1.5%	0.5%	1.0%	1.5%
5°C	0	0	0	11	22	0
15°C	0	0	4	0	6	17
25°C	3	3	25	20	20	24

*Reduction rate(%)=[amount of remaining hydrocarbons in the control test - amount of remaining hydrocarbons in the test under the different experimental conditions]/amount of remaining hydrocarbons in the control test × 100

나머지 배양조건은 위 실험과 같은 조건으로 이 미생물제제를 비교실험한 결과 aliphatic 성분 93% 이상, aromatic 성분 91% 이상이 3일 이내에 분해되었고, C₁₇/Pristane and C₁₈/Phytane 비율은 0값으로 감소되었다. 이 실험에서 나온 결과와 현재 실험에서 미생물제제의 일종인 제품 E를 첨가하고 최적조건하에서 원유의 aliphatics, aromatics 감소율 26, 36%와 비교할 경우, 제품 E의 유류감소율은 매우 낮음을 알 수 있었다.

Bunker C유의 감소율 결과는 Table 9와 같이 aliphatic 성분은 거의 감소가 일어나지 않았으나 제품 E를 1.5% 넣어주고 25°C에서 배양했을 때 25%로 최대 감소율을 나타냈다. Aromatic 성분의 경우는 11-24%가 분해되었으며 25°C에서 배양한 경우 20%의 감소율을 나타내었으나 감소율에 대한 온도의존성을 관찰할 수 없었다. C₁₇/Pristane 비율은 1.1-1.8 범위로 원유에 비해 낮은 비율을 나타냈으나 대조구에 비해 큰 변화는 관찰할 수 없었다(Table 10). C₁₈/Phytane 비율은 2.4-3.3 범위로 대조구에 비해 큰 변함이 없으므로 생물학적인 분해는 거의 일어나지 않은 것으로 사료된다.

이상의 결과로 실험대상인 5개 제품은 모두 제품을 첨가한 즉시 유화능을 나타낸 한편 시간이 경과되어도 지속적인 유화가 일어나지 않는 결과로 보아 유분산제가 함유되어 있는 것으로 사료된다. 특히 제품 D의 경우에는 멸균을 한 후 첨가해도 유화현상이 나타난 것으로 미루어 이 제품은 생물에 의한 유화능이 아니라 화학적 유분산제가 첨가된 것으로 추측된다. 김 등(4)이 보고한 바와 같이 유류오염 생물정화 과정 중 화학적 유분산제가 유류분해 과정을 저해하는 현상

Table 8. C₁₇/Pristane and C₁₈/Phytane ratios of Arabian light crude oil after incubation with the product E

Conc. of product Incubation temp.	C ₁₇ /Pristane				C ₁₈ /Phytane			
	none	0.5%	1.0%	1.5%	none	0.5%	1.0%	1.5%
5°C	5.9	6.1	6.2	6.1	3.2	3.2	3.2	3.0
15°C	6.1	7.0	6.3	6.1	3.0	2.8	3.2	2.3
25°C	6.0	6.1	6.1	6.7	3.1	3.1	3.0	3.0

Table 10. C₁₇/Pristane and C₁₈/Phytane ratios of Bunker C oil after incubation with the product E

Conc. of product Incubation temp.	C ₁₇ /Pristane				C ₁₈ /Phytane			
	none	0.5%	1.0%	1.5%	none	0.5%	1.0%	1.5%
5°C	1.3	1.1	1.4	1.1	2.9	2.4	2.6	2.8
15°C	1.3	1.4	1.4	1.3	2.9	3.2	3.3	3.2
25°C	1.3	1.3	1.2	1.8	2.9	2.8	2.8	2.8

을 고려해 볼 때 화학 유분산제가 함유된 제품의 사용은 오히려 생물정화 과정 중 자연계에 분포되어 있는 유류분해 토착 세균의 유류분해능을 저해할 가능성이 있다.

본 실험대상 제품은 유류분해 미생물 혹은 효소가 첨가된 생물제제로 알려져 있으나 모든 제품의 유류분해도는 대체적으로 낮은 결과로 나타났다. 뿐만 아니라 제품 D를 처리한 실험구에서 관찰한 바와 같이 그 일부 성분이 자연계의 유류분해 미생물군집의 활성을 저해하여 D제품으로 생물정화할 경우 오히려 악영향을 미칠 가능성도 배제할 수 없다. 이와 같은 결과의 원인으로는 먼저 제품의 보존방법이 적합하지 않은 것으로 사료된다. 물론 모든 제품은 상온에서 보존가능한 것으로 표시되어 있으나 이와 같은 보존방법으로는 유통과정 중 유류분해 세균의 활성을 유지시키는데 문제가 있는 것으로 판단된다(2, 4). 두번째로는 이상의 제품은 모두 외국에서 유입된 것으로 그 규격기준이 확실하지 않은 것이 현실이다. 따라서 이와 같은 제품들을 향후 국내에 사용하기 위해서는 엄격한 제품기준 마련이 시급하며 철저한 관리체계 수립이 이루어져야 할 것이다. 또한 이와 같은 생물정화용 제제의 실험실내 실험 및 야외실험에 대한 기준 확립도 선진국(10, 15) 수준으로 이루어져야 할 것이다.

감사의 말

본 연구는 환경부와 과학기술처의 지원에 의한 환경공학 기술 개발사업(G-7 project)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 김상진 외 10인. 1993. 해양유류오염 방제 및 환경 회복기술 개발. 환경처, 과학기술처. 환경 선도기술 개발사업 1단계 1차년도 보고서 9-4-2, p. 179.
- 김상진 외 10인. 1994. 해양유류오염 방제 및 환경 회복기술 개발. 환경처, 과학기술처. 환경 선도기술 개발사업 1단계 2차년도 보고서 9-4-2, p. 214.
- 김상진. 1994. 해양유류오염과 유류방제 기술. 향만 12, 88-96.
- 김상진 외 9인. 1995. 해양유류오염 방제 및 환경 회복기술 개발. 환경처, 과학기술처. 환경 선도기술 개발사업 1단계 3차년도 보고서 9-4-2, p. 293.
- 김상진 외 11인. 1996. 생물학적 유류오염 저감기술 활용. 환경처, 과학기술처. 환경 선도기술 개발사업 2단계 1차년도 보고서 9-4-2, p. 245.
- 이봉길. 1995. 유류오염 현황과 대책. 해양오염 방제기술에 관한 세미나. 1995. 11. 16, p. 3-16.
- 주문휘. 1994. 유류오염 발생현황 및 방제대책. Proceedings of Blue Marine Seminar '94 in Seoul, Oct. 5-6, p. 6-1~6-16.
- 해양경찰청. 1992. 해양오염 방제('92), p. 78.
- Atlas, R.M. 1981. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons; An environmental perspective. *Microbiological Reviews* 45, 180-209.
- Blenkinsopp, S., G. Sergy, Z. Wang, M.F. Fingas, J. Foght and D.W.S. Westlake. 1995. Oil spill bioremediation agents-Canadian efficacy test protocols. In Proceedings of the 1995 Oil Spill Conference (Prevention, Behaviour, Control, Cleanup). American Petroleum Institute Pub. No. 4620, Washington, D.C., p. 91-96.
- Blumer, M., M. Ehrhardt and J.H. Jones. 1973. The environmental fate of stranded crude oil. *Deep-sea Res.* 20, 239-259.
- Leachy, J.G. and R.R. Colwell. 1990. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbiological Reviews* 54, 305-315.
- Pritchard, P.H., R. Araujo, J.R. Clark, L.D. Claxton, R. B. Coffin, C.F. Costa, J.A. Glaser, J.R. Haines, D.T. Heggem, F.V. Kremer, S.C. McCutcheon, J.E. Rogers and A.D. Venosa. 1990. Interim Report: Oil spill bioremediation project. U.S. Environmental Protection Agency, Office of research and development, Washington, D.C., p. 220.
- Swannel, R.P.J., K. Lee and M. McDonagh. 1996. Field evaluations of marine oil spill bioremediation. *Microbiological Reviews* 60, 342-365.
- Venosa, A.D., J.R. Haines, W. Nisamanepong, R. Govind, S. Pradhan and B. Siddique. 1991. Protocols for testing bioremediation products against weathered Alaskan crude oil. In Proceedings of the 1991 Oil Spill Conference (Prevention, Behaviour, Control, Cleanup). American Petroleum Institute Pub. No. 4529, Washington, D.C., p. 563-570.
- Venosa, A.D., M. Kadkhodayan, D.W. King, B.A. Wrenn, J.R. Haines, T. Herrington, K. Strohmeier and M.T. Suidan. 1993. Testing the efficacy of oil spill bioremediation products. In Proceedings of the 1993 Oil Spill Conference (Prevention, Behaviour, Control, Cleanup). American Petroleum Institute Pub. No. 4580, Washington, D.C., p. 487-493.
- Wade, T.L., E.L. Atlas, J.M. Brooks, M.C. Kennicutt II, R.G. Fox, J. Sericano, B. Garcia-Romero and D. De-Freitas. 1988. NOAA Gulf of Mexico Status and Trends Program: Trace organic contaminant distribution in sediments and oysters. *Estuaries* 11, 171-179.

(Received April 30, 1997/Accepted June 15, 1997)