

미생물제제의 해상유출유 분해 효과에 대한 연구

임재동* · 윤종휘** · 김인수**

*한국해양대학교 대학원 박사과정, **한국해양대학교 해양경찰학과 교수, 한국해양대학교 토목환경시스템공학부 교수

A Study of the Effectiveness of Bioremediation Agents to degrade the spilled oils on waters

Jae-Dong Lim.* · Jong-Hwui Yun** · In-Soo Kim***

*Doctor course, Graduate School of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Division of Maritime Police Science, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

***Division of Civil and Environmental System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 해상에서의 대형 유류유출 사고 발생으로 인한 유류오염은 해양 생태계에 치명적인 영향을 미치게 되고, 최종적으로는 인간에게 심각한 위협을 초래하게 된다. 따라서 해안을 접한 많은 나라들은 방제기술 향상을 위한 많은 노력을 하고 있다. 미생물제제를 이용한 유류 제거는 몇몇 국가에서 2차적인 방제방법이나 다른 방제 방법의 대안으로 제한적으로 사용하고 있다. 본 논문에서는 향후 유류사고 발생시 적용을 위해 미생물제제의 분해 효과와 영향을 실험실 규모의 실험을 통해 찾아보았다. 본 논문에서 유출유에 대한 미생물제제의 효과와 효율은 단기적으로 실험실에서 행해진 실험의 결과이므로 실제와는 많은 차이가 있다는 것을 염두에 두고 차후에는 장기적인 현장실험을 통한 미생물 제제를 이용한 유출유의 방제 가능성을 찾아보아야 할 것이다.

핵심용어 : 미생물제제, 해상 유출유, 유류오염, 유류오염 방제

ABSTRACT : When large-scale oil spill happens, it will put the fatal impact on the ecosystem, ultimately harm human being seriously. Accordingly every coastal country invests to improve response technologies, of which oil removal by use of bioremediation agent is taken to be secondary or alternative cleanup method in a specific spilled area. In this regards, the author attempts to find out the efficiency and effectiveness of bioremediation agent to oil slick by laboratory experiment as well as the possibility of bioremediation application to future spill accident and gets the some results. In this study, the effectiveness and efficiency of bioremediation agent to oil slick is examined by short-term laboratory test and it is found that bioremediation agent can degrade oils effectively. however, considering the environment of spill site is quite different from that of lab, the author will carry on the on-scene test of bioremediation for longer period to look into the possibility of bioremediation agent as one of oil spill response methods.

KEY WORDS : Bioremediation agent, spilled oil, Oil pollution, Oil pollution response

1. 서 론

원유는 중요한 에너지원으로서 전 세계적으로 널리 사용되고 있고 우리나라의 경우에도 사용되는 에너지의 절반을 넘게 차지하고 있다. 기름은 선박사고, 운항상 과실, 자연적 누출, 해상에서의 기름 생산, 산업폐기물 및 도시하수 등 다양한 경로를 통하여 해양에 유입되며, 해양으로의 유입량은 연간 3,200만 톤에 달하는 것으로 추정된다(해양경찰청, 1990). 향후 석유 에너지의 사용량이 급증하고, 이에 따라 유조선의 물동량이 증가함에 따라 대형 유출사고 등에 의한 해양오염이 더

욱 심각해질 것으로 예상된다.

해양유류유출 사고는 수백억 원에 이르는 방제비용과 피해 배상금 이외에도 어족자원의 고갈, 해양환경의 파괴, 산업시설의 가동 중단 등을 유발시켜 엄청난 금액의 경제적인 피해와 환경회복에 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 유류는 100여종 이상의 유해화합물을 함유하고 있어 유류오염사고로 해수에 용존될 경우 먹이 사슬의 가장 기초 단계인 미생물과 어류의 체내에 1차적으로 축적이 되고 결국에는 최종 소비자인 인간에게까지 전달된다. 또 유출유는 해안에 부착되어 해양생물을 치사시키고, 장기간 잔류하여 생태계를 변화시키기도 하고, 해수욕장 폐쇄 및 친수공간을 오염시켜 인간의 레크리에이션 활동을 방해하기도 한다. 이와 같은 해양유류오염에 의한 피해

* 정희원 jdim@hhu.ac.kr

** 정희원 jhyun@mail.hhu.ac.kr 051-410-4279

의 심각성을 인식하여, 일찍부터 연안국에서는 당사국의 사정에 적합한 해양오염방지, 대비 및 방제 대책을 수립하여 유출 유에 의한 피해를 최소화하려고 노력해 왔다.

한편 해양유류오염사고가 발생하면 기계적 포집 및 회수방법, 화학적 분산제 사용, 현장소각 등의 방제 방법이 사용되고 있다. 이러한 방법들은 그 나름대로의 문제점들을 지니고 있고 그러한 문제들로 인해 사용에 많은 제한이 있는 실정이다. 이와 같은 해양유류오염 방제기술의 문제점을 해결하고 저렴한 비용으로 해양특성에 적합하고 2차오염의 문제가 없는 방제기술의 개발이 절실히 요구되고 있다. 이들 중 미생물제제에 의한 방법은 현재 보편적으로 사용되고 있는 것은 아니지만 앞으로 새로운 처리기술로 적용하기 위하여 현장실험 및 연구가 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는, 유류오염 사고가 빈번하게 일어나는 부산항내에서 채수된 해수에 미생물제제를 접종하여 유류분해 성능 파악 및 유류의 최적분해 조건을 찾고 해양환경인자의 영향에 대해서도 조사하였다. 또한 미생물제제의 기름 분해·처리 효율성에 대한 조사·분석을 통해 추후 해양오염방제의 보조적 방법으로서의 채택 가능성에 대해 검토하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험 재료

2.1.1 미생물제제

본 실험에 사용된 미생물제제는 미국 B사에서 유류 오염 토양의 복원용으로 개발되어졌다. 본 미생물제제는 유류의 분해에 유용한 미생물임이 입증되어 해상유출유 처리에도 그 효과가 기대되어졌다. 본 미생물제제에는 계면활성제, 영양분, 안전하고 무병원성으로 변형된 몇 종의 Bacillus bacteria를 포함한다. 본 연구에 사용된 미생물제제에는 2000억 개체/gal의 비율로 미생물이 포함되어 있고, 기본적으로 본 제제의 미생물은 포자 형태로 존재하고 있다. 환경이 변화하게 되면 포자는 활성을 띠게 된다. 계면활성제는 본 제제를 유류에 첨가할 때 유류 표면의 표면 장력을 파괴하고, Hydrocarbon으로 이루어진 화합물을 유화시키며, 고분자를 저분자로 잘게 쪼개어 미생물의 침투와 분해를 용이하도록 한다. 영양분은 미생물에 의한 생분해를 용이하도록 도와주기 위한 기본적인 물질들로 이루어진다. 미생물의 경우, 전 세계 토양 어디서나 발견되는 박테리아 중에서 유류분해와 유기오염물질의 분해에 탁월한 박테리아를 선택하여 배양한 것이다.

현재 본 제품은 다음과 같은 미국 정부기관과 주정부의 승인을 획득하였다.

- U. S. Environmental Protection Agency: listed as a bioremediation agent on the National Contingency Plan
- USDA
- Texas Commission on Environmental Quality (TCEQ)
- Texas Department of Transportation (TxDOT)

- Louisiana Department of Environmental Quality
- State of New Mexico - Environmental Quality
- Arizona Department of Environmental Quality
- Florida Department of Environment Protection
- State of California - Office of Spill Prevention and Response

2.1.2 시험유류

본 실험에 사용된 시험대상 유류는 원유의 경우 아라비안 중질원유, 아라비안 경질원유와 제품유로는 벙커-C유, 경유를 사용하였다.

실험에 사용된 원유의 성상을 Table. 2-1에 나타내었다.

Table 2-1 Properties of oils for experiment

Official Crude Name	Gravity	SG	Viscosity	Sulfur	Nitrogen	Pour point
	°API	60/60	cSt @60°F	wt. %	wt. %	
Arabi an Heavy	27.4	0.8905	47.72	2.80	0.16	-49°F
Arabi an light	33.4	0.8581	12.19	1.77	0.09	-65°F
Diesel	16.4	0.1	50	0.26	-	0°C
Bunke r-C	36.3	0.83	5.2	1.29	-	0°C

* SG (60/60) : [specific gravity @60°F]/[specific gravity of water @60°F]

* Pour point : the lowest temperature at which an oil will flow

2.1.3 배지 및 배양조건

미생물 재제가 유류 분해에 미치는 영향을 평가하기 위하여 LB broth, 살균된 해수에 액체배양 하였다. LB broth는 10g/L bacto tryptone, 5g/L bacto yeast extract, 10g/L NaCl 으로 구성되어 있으며, pH는 7.0±0.2로 적정하여 사용하였다. 실험에 사용한 해수는 한국해양대학교 근해의 해수를 채취하여 GF/C filter로 여과하여 해수중의 미생물을 제거하고 사용하였다. 모든 배지는 121°C에서 15분간 autoclave하여 살균하였다. 각 microcosm에 사용된 미생물 제제 농도와 유류의 종류 및 농도는 Table 2-2와 같고, 각 microcosm에서 미생물이 유류분해에 미치는 영향을 평가하였다. 각 microcosm은 25°C, 180rpm으로 7일간 배양 하였다.

2.1.4 시험구 설치

시험구의 설치는 "Evaluation Methods Manual Oil Spill Response Bioremediation Agent, Tier II, 1993"에 의하여 디자인 하였으며 유류분석 및 호흡량측정, O.D.측정 시험구를 나누어 준비하였다. 유류분석 및 O.D.측정 시험구의 경우 250 ml 플라스크에 해수 100ml를 넣고 0.5%(v/v)유류를 종류별로

첨가한 뒤 미생물 제제를 0%, 1%, 5%, 10% 농도로 첨가하여 실리콘마개로 밀폐시켰고, 호흡량 측정을 위해 Respirometer 장치용 시료병에 해수 500ml와 각각 유류를 첨가하고, CO2 포집제로 NaOH를 넣은 후 0%, 1%, 5%, 10% 농도로 미생물 제제를 첨가하여 시험구를 설치하였다.

Table 2-3 Experimental conditions for microcosm test for oil degradation effected by microorganisms agent.

Microcosm	materials added (v/v)	Concentration of Microorganisms (v/v)
1	100ml MSM + 0.5% glucose	5%
2	100ml TAB	5%
3	100ml sterilized seawater	5%
4	100ml sterilized seawater	1%
5	+	5%
6	5% Bunker-C oil	10%
7	100ml sterilized seawater	1%
8	+	5%
9	5% Diesel oil	10%
10	100ml sterilized seawater	1%
11	+	5%
12	5% Arabian Light	10%
13	100ml sterilized seawater	1%
14	+	5%
15	5% Arabian Heavy	10%

2.2 실험방법

일반적으로 미생물에 의한 유류분해 정도를 알아보기 위한 실험에는 미생물에 대한 수치를 측정하는 방법과 유류량의 변화를 측정하는 방법이 있다. 우선 미생물 측정 방법에는 미생물이 유류를 탄소원으로 이용하며 성장하는 동안 소모하는 O₂의 양을 측정하거나, 미생물의 호흡으로 인해 발생하는 CO₂ 량을 측정하여 미생물의 생장을 가늠할 수 있는 호흡량 측정 방법이 있고, 단위 용량에 포함된 미생물의 개체수를 MPN법으로 측정하여 미생물의 개체수 변화를 통해 유류분해 정도를 간접적으로 측정하는 방법과, 흡광광도법에 의한 미생물의 밀도를 측정하는 방법이 있다. 이러한 방법들은 유류분해 정도를 직접적으로 알아볼 수는 없으나 미생물의 개체수 변화에 의해 유류분해 정도를 간접적으로 알 수 있다. 이러한 실험과 함께 유류의 잔류량을 측정하는 방법을 같이 사용하여 유류분해 정도를 측정하는 실험을 주로 실행한다. 잔류유류를 측정하는 방법은 GC/FID(Gas Chromatography / Flame Ionization Detection)를 사용하여 지방족 탄화수소와 방향족 탄화수소의 peak를 첨가해준 표준물질과의 비로 분해율 측정하는 방법과 유류의 중량 분석을 통해 실험후의 유류의 중량

변화를 통해 분해 정도를 알 수 있다. 본 연구에서는 미생물의 호흡량과 O.D.(Optical Density)측정을 통해 미생물의 개체수 변화를 알아보고 이와 병행하여 유류의 중량분석을 통해 미생물에 의한 유류의 분해 정도를 알아보기 위한 실험을 행하였다.

2.2.1 미생물 개체밀도 측정

미생물의 성장률을 측정하기 위하여 시간에 따른 세포수를 측정해야 하며 이 세포수를 측정하기 위해 광학밀도(O.D., Optical Density)를 이용한다. 기질인 유류를 분해하여 성장되는 미생물의 성장률을 분광광도계(Jasco V-500 UV-VIS Spectrophotometer)를 사용하여 660nm에서 시간에 따른 O.D.를 측정하여 미생물 성장률을 평가하였다.

2.2.2 호흡률 측정

미생물의 활성을 평가하기 위해 호흡률 측정 장치(respirometer, AER-204)를 사용하였다. 호기성 미생물들은 최종 전자수용체(electron acceptor)로서 산소를 이용한 이화작용에 의해 유기물질을 소비하기 때문에 공급되는 산소의 양으로 특정기질이나 특정 조건에 대한 미생물의 활성을 평가할 수 있다. 장치의 작동 원리는 미세한 압력변화를 탐지 할 수 있는 기압 측정 장치와 연결된 밀폐된 용기 내에서 미생물 활성에 의해 소비된 산소량만큼 압력 변화가 발생하게 되고 그 압력의 변화량만큼 초순도의 산소를 일정한 양으로 공급된다. 이때 공급된 일정한 산소의 부피를 기록하게 된다. 압력변화 과정은 먼저 미생물이 용기내의 용존산소를 소모함으로써 액체와 기체상태의 산소 평형이 깨져 기체상의 산소가 액체로 전달되며 미생물의 호흡으로 발생된 CO₂는 장치한 NaOH용액에 흡수 시킨다. 장치의 모식도를 Fig 2-1에 나타내었다.

본 연구에 사용된 미생물 호흡률 장치의 구성은 생물학적 반응용기와 교반기, 산소유량측정장치로 구성되어 있다.

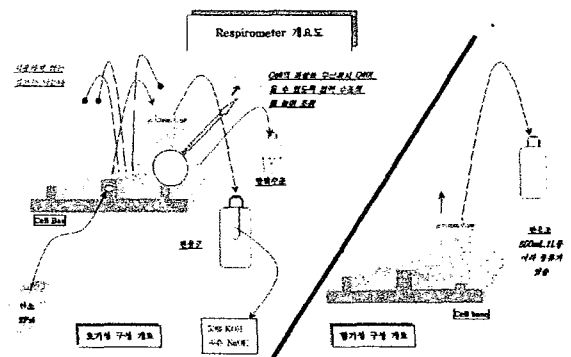


Fig. 2-1 Mimetic diagram of anaerobic and aerobic respiration rate measuring equipment

2.2.3 노말 핵산 중량 분석법

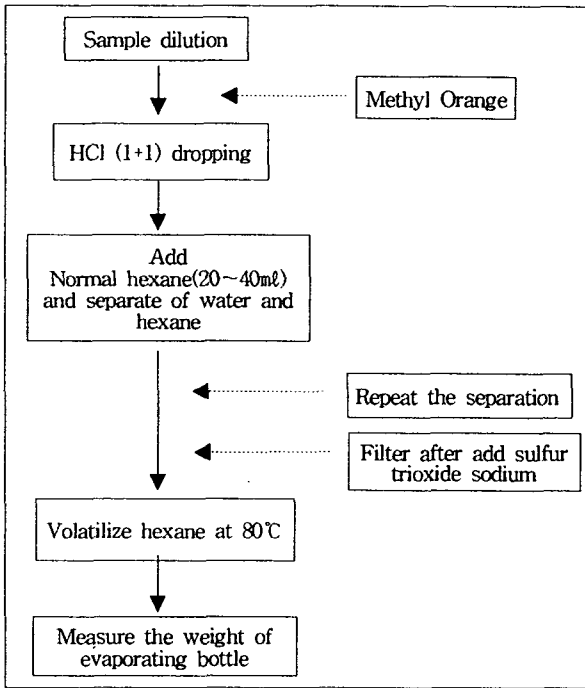
미생물 활성 테스트가 끝난 후에 시료 내에 잔존하는 유류성 물질을 분석하기 위하여 시료의 pH를 4이하의 산성으로

하여 노말 헥산층에 분리되는 물질을 노말 헥산으로 추출하여 노말 헥산을 증발시킨 잔류물로부터 구하는 방법을 사용하였다. 정량범위는 5~200mg/L이고 표준편차는 20~5%이다. 시료 중 비교적 휘발되지 않은 탄화수소, 탄화수소 유도체, 그리스 유상물질이 노말 헥산층에 분리되는 성질을 이용한 방법으로 시료를 직접 사용하여 노말 헥산추출이 가능한 물질을 흡착시키고 여과하여 노말 헥산을 증발시켜 잔유물의 무게를 측정하여 초기 증발점시 무게와 비교해 정량한다.

노말헥산 추출물질 농도

$$[ppm] = (A - B) \times \frac{1000}{V}$$

- A : 실험 후의 증발용기의 무게
- B : 실험 전의 증발용기의 무게
- V : 시료의 양



3. 실험 결과

3.1 O.D.를 이용한 미생물 개체 밀도 측정

본 연구에서는 미생물 제제에 의한 유류분해 효과를 측정하기 위하여 microcosm을 설치하였다. Microcosm은 4개의 microcosm을 1 set로 하여 4 set를 설치하였으며, 4 종류의 유류(Bunker-C, Diesel, Arabian Light, Arabian Heavy)를 5%(v/v) 첨가하였고, 미생물 제제를 0%, 1%, 5%, 10%(v/v)의 비율로 첨가하였다. 24시간마다 660nm에서 흡광도를 측정하여 O.D.를 측정하였다.

3.1.1 Bunker-C유

미생물 제제의 Bunker-C유의 분해를 알아보기 위한 미생물 개체 밀도를 측정된 결과 Fig. 3-1과 같이 나타났다.

Fig. 3-1과 같이, 배양액 내에 미생물을 넣지 않고 Bunker-C유만을 첨가한 control의 경우 시간이 경과하는 것과 무관하게 지속적으로 O.D.가 제로에 가까운 무변화 상태를 유지하였고, 반면에 미생물 제제를 첨가한 실험구는 시간이 경과함에 따라 O.D.가 일정수준까지 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 미생물 제제 농도에 따른 O.D.의 증가율은 초기에는 1%에서보다는 5, 10%에서 증가율이 더 크게 나타났고 시간이 지날수록 증가율이 비슷해지는 경향을 나타내었다.

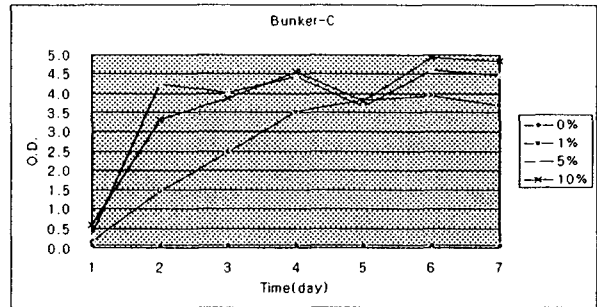


Fig. 3-1 Variation of O.D. on Bunker-C oil with Bioremediation Agent concentration.

3.1.2 Diesel 유

미생물 제제의 Diesel유의 분해를 알아보기 위한 미생물 개체 밀도를 측정된 결과 Fig. 3-2와 같이 나타났다. Fig. 3-2는, 배양액 내에 미생물을 넣지 않고 Diesel유만을 첨가한 control의 경우 시간이 변화에 따라 O.D.의 값은 제로로 일정하게 유지되었고, 반면에 미생물 제제를 첨가한 실험구는 시간이 경과함에 따라 O.D.가 일정수준까지 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 미생물 제제 농도에 따른 O.D.의 증가율은 초기에는 1%, 5%, 10% 모두 비슷한 비율로 증가하였으나 시간이 지남에 따라 1%보다는 5%, 10%의 증가율이 더 크게 나타났다.

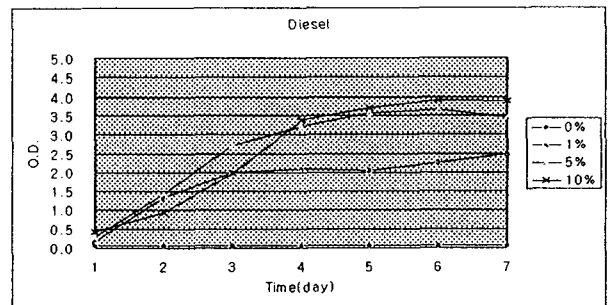


Fig. 3-2 Variation of O.D. Diesel oil with Bioremediation Agent concentration.

3.1.3 Arabian Light

미생물 제제의 Arabian Light의 분해를 알아보기 위한 미생물 개체 밀도를 측정된 결과 Fig. 3-3과 같이 나타났다.

Fig. 3-3과 같이, 배양액 내에 미생물을 넣지 않고 Arabian Light만을 첨가한 control의 경우 시간이 경과하는 것과 무관하게 지속적으로 O.D.가 제로에 가까운 무변화 상태를 유지하였고, 반면에 미생물 제제를 첨가한 실험구는 시간이 경과함에 따라 O.D.가 일정수준까지 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 미생물 제제 농도에 따른 O.D.의 증가율은 초기에는 10%, 1%, 5%의 순으로 높은 증가율을 보였으나 시간이 지남에 따라 1%는 일정 수준을 유지하는 반면 5%, 10%의 증가율은 더 크게 나타났다. Diesel유나 Bunker-C에 비하여 Arabian Light의 변화율이 크게 나타났고 초기에 1%가 5%에 비해 높게 나타난 것은 실험상의 오차로 발생한 것 같다.

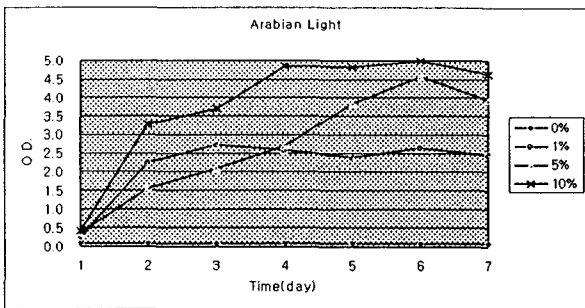


Fig. 3-3 Variation of O.D. on Arabian Light with Bioremediation Agent concentration.

3.1.4 Arabian Heavy

미생물 제제의 Arabian Heavy의 분해를 알아보기 위한 미생물 개체 밀도를 측정된 결과 Fig. 3-4와 같이 나타났다. Fig. 3-4와 같이, 배양액 내에 미생물을 넣지 않고 Arabian Heavy만을 첨가한 control의 경우 시간이 경과하는 것과 무관하게 지속적으로 O.D.가 제로에 가까운 무변화 상태를 유지하였고, 반면에 미생물 제제를 첨가한 실험구는 시간이 경과함에 따라 O.D.가 일정수준까지 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 미생물 제제 농도에 따른 O.D.의 증가율은 미생물 제제 농도별로 크게 차이가 나지 않았으며, 일정 수준까지 지속적으로 증가하였다.

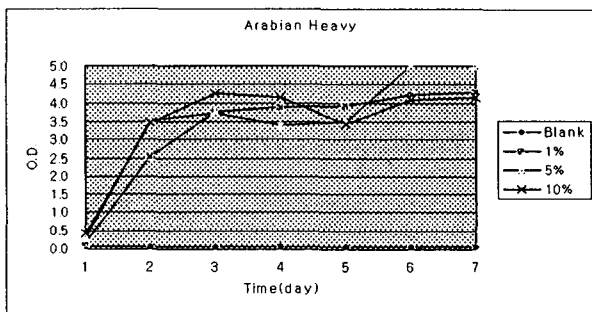


Fig. 3-4 Variation of O.D. on Arabian Heavy with Bioremediation Agent concentration.

Fig. 3-5는 미생물 제제에 의한 유류분해 효과를 측정하기 위하여 microcosm을 설치한 사진이다.

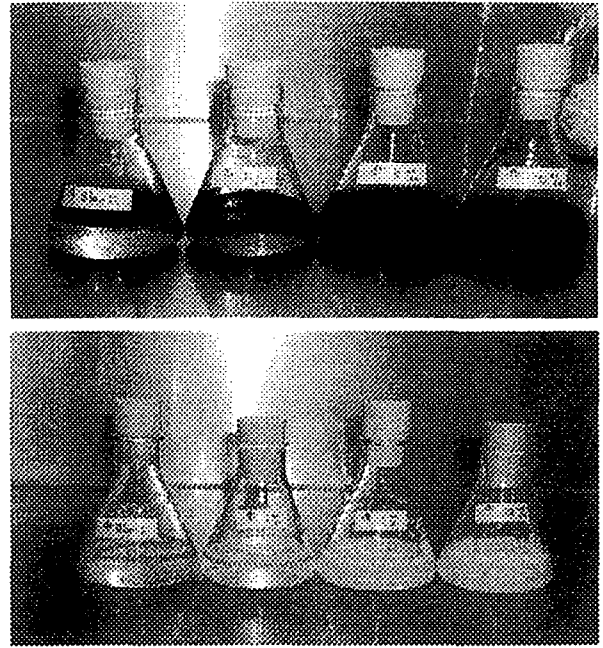


Fig. 3-5 Picture of concentration on culture flask

3.2 미생물 호흡률 측정

처리구의 조건은 미생물 O.D. 및 헥산 노르말 추출시의 microcosm과 동일한 조건으로 미생물 제제 농도, 유류의 농도를 조절하였으며 교반기를 이용하여 혼합하였고 각 유류에 대한 호흡률 측정결과는 Fig. 3-6, 3-7, 3-8, 3-9와 같이 나타났다. 각 유류에 대해 미생물의 농도를 달리하여 호흡률을 측정된 결과 4 종류의 유류 모두에서 미생물 제제 농도가 높을수록 산소 호흡률이 높게 나타나는 것을 확인하였다. Fig. 3-6, 3-8, 3-9에서 보는 바와 같이 Bunker C유, Arabian Light, Arabian Heavy의 경우는 실험 시작일로부터 20~24시간 내에는 호흡률이 제로 상태였으나 20~24시간 정도가 지나면서 호흡률이 급격하게 증가하였고, 40~48시간 정도가 지나자 호흡률이 일정한 수준을 유지하였다. 그러나 Diesel유의 경우는 실험 시작일로부터 60시간 까지는 호흡률이 제로 상태였으나 60~70 시간 사이에 호흡률이 급격하게 증가하면서 일정 수준을 유지하였다.

Fig. 3-6에서 보는 바와 같이 Bunker C유의 경우 미생물 제제의 농도가 1% 일 경우 12mg, O₂, 5%의 경우 17mg, O₂, 10%의 경우 23mg, O₂ 정도로 측정되었다. Arabian Light의 경우 Figure 3-7과 같이 미생물 제제 농도가 1% 일 경우 24mg, O₂, 5%의 경우 30mg, O₂, 10%의 경우 39mg, O₂ 정도로 측정되었다. Arabian Heavy의 경우 미생물 제제 농도가 1% 일 경우 18mg, O₂, 5%의 경우 25mg, O₂, 10%의 경우 30mg, O₂ 정도로 측정되었다(Figure 3-9). 그리고 Diesel유의 경우 1% 일 경우 6mg, O₂, 5%의 경우 12mg, O₂, 10%의 경우 14mg, O₂ 정도로 측정되었다.

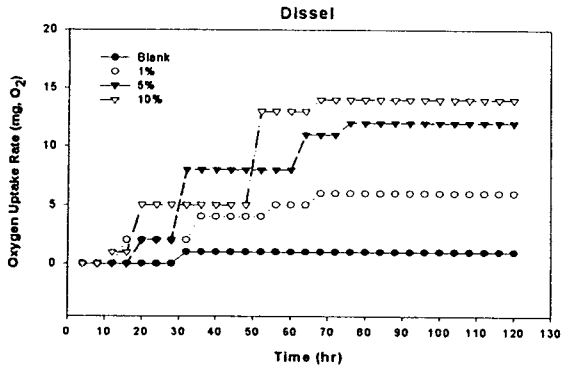


Fig. 3-7 Variation of Oxygen Uptake Rate on Diesel with Bioremediation Agent concentration.

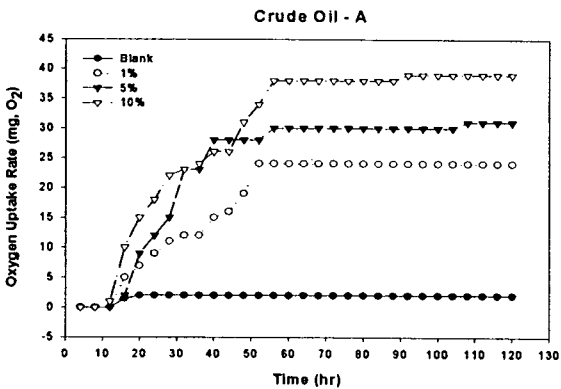


Fig. 3-8 Variation of Oxygen Uptake Rate on Arabian Light with Bioremediation Agent concentration.

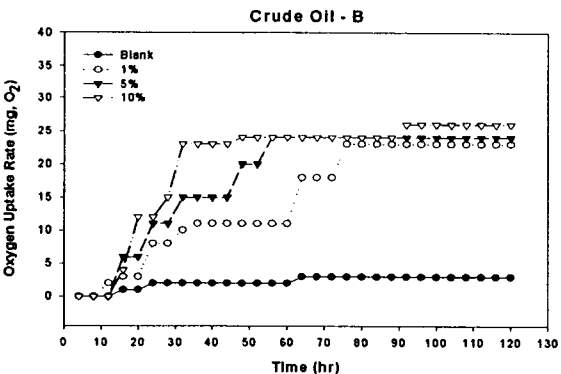


Fig. 3-9 Variation of Oxygen Uptake Rate on Arabian Heavy with Bioremediation Agent concentration.

3.3 미생물제제를 투여 후 유류의 잔류량

본 연구에서는 미생물 제제의 유류 분해 정도를 알아보기 위해 노말 헥산 중량분석법을 이용하였다. 처리구의 조건은 미생물 O.D. 및 호흡률 측정시의 처리구와 동일한 조건으로 미생물 제제 농도, 유류의 농도를 조절하였으며 교반기를 이용하여 혼합하였고 각 유류의 미생물 제제 투입 처리 후 잔류량을 측정된 결과는 Table 3-1과 같다. Table 3-1에서 Blank는 유류에 미생물 처리제를 추가 하지 않은 것으로 이 데이터는 실험 기간 내에 유류가 다른 분해 기작이 없이 풍화로 인

해 손실된 후의 값과 실험 과정 중에 휘발되는 성분이 제외된 값이므로 각각의 유류에 대한 Blank값과 미생물 처리제를 투입한 측정값을 비교해 보면 각각의 처리 정도를 알 수 있다.

Bunker-C 유의 경우에는 1% 일때는 약 6%정도가 처리되었고, 5%에서 12%, 10%에서 27%정도가 처리되었다. Diesel이나 Crude Oil의 경우도 미생물 제제의 투입 농도에 따라 처리증도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 미생물 처리제는 특성상 처리 기간이 길지만 본 연구에서는 제한된 시간 사용으로 인해 7일간 실험을 수행하여 본 데이터를 얻을 수 있었다.

전체적으로 실험을 통하여 미생물제제에 대한 유류의 분해능을 살펴보았다. 하지만 실제 처리현장에서의 처리시 현장의 환경을 고려하지 않아 처리효율의 변화를 정확하게 예측할 수는 없지만 본 결과를 통하여 미생물제제를 적용하여 유류를 처리할 수 있다는 것을 관찰하였다.

Table 3-1 Data of Oil weight after treated (unit. mg)

	Bunker C	Diesel	Arabian Light	Arabian Heavy
Blank	3.89	3.33	3.47	3.87
1%	3.66 (94%)	3.11 (93%)	3.13 (93%)	3.78 (98%)
5%	3.41 (88%)	2.87 (86%)	2.85 (82%)	3.43 (89%)
10%	2.84 (73%)	2.19 (66%)	2.26 (65%)	2.76(71%)

4. 결 론

본 연구에서는 미생물제제의 분해효과를 알아보기 위하여 부산항내에서 채수된 해수를 사용하여 미생물제제를 접종한 후 유류분해 성능 파악 및 유류분해의 최적조건을 찾고 해양환경인자의 영향에 대해서 조사·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 4종류의 유류를 미생물제제가 함유된 microcosm에 첨가하여 흡광도를 측정된 결과 흡광도의 O.D. 값이 일정한 수준까지 증가하였고 높은 미생물 성장률이 나타났고 유류분해 효율도 우수하였다.
2. Diesel유 보다는 Bunker-C유, Arabian Light, Arabian Heavy 3종류의 유류가 미생물 활성화에 좀더 효과적이었고 유류의 제거효율이 높게 나타났다. Bunker-C, Arabian Light, Arabian Heavy에서 미생물제제에 포함된 미생물들이 더 이용하기 쉽고 유류 분해율도 높게 나타났다.
3. 미생물제제의 농도가 높을수록 처리효율이 높은 것으로 나타났고 유류의 종류에 따라 분해능의 차이가 나타났다.

미생물의 성장률이 높고 분해 후 유류의 잔류량이 낮아 유류오염지역에서 연속적인 처리가 가능하였고, 다른 2차 오염물질을 형성하지 않아 환경친화적인 방제처리기술 중의 하나이다.

참 고 문 헌

- [1] 해양경찰청, "한국해양오염 현황과 대책", 시험연구보고서, 1990
- [2] 김향미, "천연분말상 유흡착제가 유류분해에 미치는 영향", 한국해양대학교 석사논문, 2002
- [3] International Maritime Organization, "Impact of oil and related chemicals on the marine environment", Reports and Studies, No. 50, 1993
- [4] 해양경찰청, "미생물처리제(생물정화제)형식승인제도 도입을 위한 연구용역", 2002.
- [5] 윤종휘, "해양유류오염방제", 일오출판사, 1999
- [6] 강창구, "국내 해양유류오염사고 현황 및 대책", 첨단환경기술, 2월호, 2-15, 1998
- [7] 이진석, 박성진, 박상호, 김인수, "해양오염제거용 천연분말상 유흡착제의 흡착특성", 해양환경안전학회지, &91), 7-14, 2001
- [8] "해양 유류오염 방제 및 환경회복기술개발", 한국해양연구소 p36, 1993
- [9] 이종화 "해양오염", 신광문화사, 1998
- [10] Kim, T. H., Lee, J. H., Oh, Y. S., Bae, K. S., and Kim, S. J., "Identification and characterization of an oil-degrading Yeast, *Yarrowia lipolytica* 180", J. of Microbiology, 37(3), 128-135, 1999
- [11] Dutta, T. K., and Harayama, S., "Analysis of long side chain alkylaromatics in crude oil for evaluation of their fate in the environment", Environ, Sci. and Tech., 35, 102-107, 2001
- [12] Ehrhardt, M., "Photo-oxidation product of fossil fuel components in the water of Hamilton Harbour", Mar. Chem., 22, 85-94, 1987
- [13] Oil Spill Response Field Guide (CGC, 1995)
- [14] J. B. Eweis, S. J. Ergas, D. P. Y. Chang, E. D. Schroeder, "Bioremediation Principles", McGraw-Hill inc., P120-136, 1998
- [15] J. M. Baker "Marine ecology and oil pollution", a division of John Willy and Sons Inc., P207-287, 1976
- [16] Allas, R. M., and Bartha, R., "Microbial ecology; Fundamentals and applications", Forth edition, Benjamin / Cummings Publishing Company, Inc. 1998
- [17] Bishop, Paul L., "Maritime pollution and its control", Mcgrow-Hill Companies, Inc. 1983
- [18] <http://www.kmprc.or.kr/info/respsystem.htm>