

## 유류오염토양에서 유류분해 미생물의 분리 및 peat moss를 이용한 오염토양 처리에 관한 연구

천미희\* · 손희정 · 김 철\*†

(주)티.엔.에이, \*동의과학대학  
(2007. 10. 1. 접수/2007. 10. 24. 채택)

## A Study on the Isolation of the Oil-degradation Microbes and Treatment Efficiency in the Oil Contaminated Soil with Peat Moss

Mi-Hee Chun\* · Hee-Jeong Son · Chul Kim\*†

\*Department of Human Environment, Dong-eui Institute of Technology, Yangji-5ro, Busanjin-gu, Busan 61-715, Korea  
Terra & Aqua Environmental Co., Ltd., 6-4 Namchun-2dong, Suyoung-gu, Busan, Korea

(Received October 1, 2007/Accepted October 24, 2007)

### ABSTRACT

Isolation and application of oil-degradation microbes from the oil-contaminated soil and the determination of optimal operation conditions about the peat moss, the addition for the oil-biodegradation. After all experiments, we have acquired three important conclusions: First, we found out the 4 microbes, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Kurtia sp.*, *Bacillus cereus*, with excellent capability for the oil-degradation; Second, the optimal operating conditions of the peat moss for TPH treatment were pH 7~8, temperature 25~30°C, water content 20%, mixing 2 times/day, addition volume 2%; Third, in case of the application to the oil-contaminated soil with 4 mixed microbes, the removal efficiency of TPH was increased from 54% to 83% in oil-contaminated soil and from 65% to 85% in oil-contaminated soil with the peat moss.

**Keywords:** soil, microbes, TPH, peat moss

### I. 서 론

1978년 미국의 Love Cannel 사건으로 토양오염의 심각성이 강조되기 시작하여 선진국을 중심으로 한 많은 국가들은 토양오염방지를 위한 각종 법률 제정 등을 통하여 토양오염지역 조사와 복원을 실시하고 있으며,<sup>1)</sup> 우리나라도 1996년 토양환경보전법과 그 하위법령 등을 통해 토양오염 유발시설, 오염물질 및 오염지역 복원 등을 지속적으로 감시 관리하고 있다.

토양오염을 유발하는 원인으로 폐기물 저장 및 매립 지역, 지하 유류 저장고의 유류 유출지역, 지하수오염 지역, 미관리된 유해물질 방출지역 등 매우 광범위하지

만 현재 주유소 등의 지하유류 저장고에서 유류의 누출에 의한 토양의 유류오염이 가장 높은 비중을 차지하고 있다.<sup>2)</sup> 1996년 현재 미국에서 사용 중인 지하저장 탱크는 약 100개소이며, 이중 약 30%가 누출이 있는 것으로 보고되었다. 우리나라에서도 유류 및 유독성 물질 저장시설이 전국적으로 약 15,500개소로 추산되고 이중 상당 부분에서 누출이 있을 것으로 추정된다.<sup>3)</sup>

우리나라의 토양환경법에서는 토양오염 시에는 오염 유발자에 의한 정화가 의무화되어있으므로 유류에 의한 토양 오염이 있는 주유소 소유자는 반드시 법적 규제 이하로 토양을 복원하여야 한다.

유류는 약 250종의 개별 화합물로 이루어져 있고 가솔린, 원유, 제트류, 케로신, 디젤, 등유 및 윤활유 등으로 나눈다. 일반적으로 토양의 유류 오염지역에서 발견되는 유류 오염물질의 종류는 매우 다양하다. 이들은 각각 물리·화학적 특성이 다양하므로 인체 및 환경에

†Corresponding author : Department of Human Environment, Dong-eui Institute of Technology  
Tel: 82-51-611-8782, Fax: 82-51-611-8783  
E-mail : charlie3255@hanmail.net

대한 위해성에 차이가 있으며, 오염 특성 및 처리 방법 도 다르다.<sup>4)</sup>

오염된 토양을 자연 상태로 환원하는 토양오염 복원 기술(remediation technology)은 1980년대 이후 미국을 중심으로 크게 발전하고 있으며, 현재 미국의 SITE (Surperfund Innovative Technology Evaluation) 프로그램에 등재된 기술만 200여개로 새로운 기술의 개발 못지않게 개발된 기술의 올바른 적용이 중요하게 되었다.<sup>5)</sup>

토양오염복원 기술은 물리화학적, 생물학적 처리방법이 있으며, 각각에 따라 세분화된 기술로 나뉜다. 이러한 복원기술들은 오염물질의 종류와 토양오염의 특성에 따라 적합한 방법이 적용되나 21세기에는 기존 복원기술의 한계성을 극복하고자 미생물을 이용한 생물학적 처리기술의 개발에 박차를 가하고 있다.

생물학적 토양 처리기술은 환경에 적응성이 용이하고 2차 환경오염의 발생이 적은 미생물 대사 작용을 통해 오염물질을 저감·분해하는 방법으로 토양 및 주변 환경에 대하여 2차적인 오염을 적게 배출하는 장점이 있다.<sup>6)</sup>

오염토양의 미생물학적 처리를 위한 기술적인 접근은 부적합한 환경조건, 적절한 분해 미생물의 경영조건을 개선하여 미생물의 분해활성을 높이는데서 시작된다. 이러한 기술로서 습도, 영양염류, pH 등 환경요인을 적절하게 유지시켜 토양 내에 존재하는 분해미생물의 활성을 높여 주는 방법인 biostimulation(영양분 및 전자 수용체의 공급)과 분해능을 가진 미생물을 생태계에 도입하여 전체 생태계 내의 유류오염물질 분해도를 높이는 기술인 bioaugmentation(외부미생물의 공급)으로 분류할 수 있다.<sup>7)</sup>

유류오염토양의 생물학적 처리를 위하여 원유를 분해하는 세균에 관한 연구가 오래전부터 시도되었으며 현재에는 석유분해균은 분리되어 분리원리를 해명하는 단계까지 연구가 진행되고 있다.<sup>9)</sup>

지금까지의 연구결과로는 *Pseudomonas sp.*, *Achromobacter sp.*, *Micrococcus sp.*, *Norcardia sp.*, *Arthrobater sp.*, *Corollospora sp.*, *Dendryhiella.*, *Providencia sp.*, *Flavobacterium sp.*, *Alterromonas sp.*, *Klebsiella sp.*, *Enterobacter sp.*, *Acinetobacter sp.*, *Klayvera sp.*, *Salmonella sp.*, *Spingobacterium sp.*, 등이 원유를 분해하는 능력이 있는 것으로 알려져 있다.<sup>10)</sup>

대부분의 유류 오염토양 내의 유류는 쉽게 분해되는 성분과 쉽게 분해되지 않는 성분이 공존하고 있으며, 일반적인 유류의 구성성분과 성분에 따른 생물학적 분해 용이도는 Table 1과 같다.<sup>11)</sup>

**Table 1.** Biodegradability and Constituents of TPH

Biodegradability	Example Constituents	Products in which Constituent is fund
More degradable	n-butane, n-pentane	Gasoline
	n-octane	
	Nonane	Diesel fuel
	Methyl butane	Gasoline
	Dimethylpentanes	Gasoline
	Methyloctanes	
	Benzenes, Toluene	Gasoline
	Ethylbenzene, Xylenes	
	Propylbenzenes	Diesel, Kerosene
	Decanes	Diesel
Less degradable	Dodecanes	Kerosene
	Tridecanes	Heating fuel
	Tetradecanes	Lubricating oils
	Naphthalene	Diesel
	Fluoranthene	Kerosene
	Pyrenes	Heating fuel
	Acenaphthalene	Lubricating oils

현재 국내 유류오염 토양의 생물학적 처리는 Landfarming과 Biopile 공정 등에 의해 이루어지고 있으나 오염 유류의 종류와 형태가 다양하므로 단일 미생물에 의한 복원의 경우 최종적인 분해 효율이 매우 불안정하다. 그러나 주유소 등 국지적 유류오염에 따른 복원의 경우에도 복원기간 영입에 막대한 지장을 초래할 수 있으므로 저비용으로 단기간 내 처리를 요구하는 경우가 대부분이다. 따라서 이러한 요구에 부응하기 위해서는 미생물의 활성을 촉진하는 처리제의 도입이 필요하며, 토착 미생물의 활성이 낮은 경우에는 유류분해 능력이 있는 미생물을 첨가하여야 한다.

현재 이러한 목적으로 첨가되는 미생물 활성처리제로 주로 peat moss를 사용하고 있으나 국내에서 적용한 유류오염 토양의 적용에 대한 운전인자에 대한 자료는 전무한 실정이다. 또한 국내외에서 시판되고 있는 미생물 제제도 역시 다양한 유류오염 유형과 적용하고자하는 토양의 특성에 대한 고려가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 향후 국내의 유류오염토양을 효율적인 처리를 위하여 유류분해 능력을 가진 토착미생물을 분리하고 유류오염 토양에서의 peat moss 적용에 대한 유류분해 효율의 정량화를 목적으로 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 유류분해 미생물의 분리 및 동정

유류로 오염된 주유소의 오염토양(TPH 약 6,000 mg/

**Table 2.** The BSM compositions used to separate microbes from oil contaminated soil

BSM compositions			
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5 g	*Trace element solution	
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2 g	MoO <sub>3</sub>	1.0 mg
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1 g	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	7.0 mg
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.2 mg	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.5 mg
CaCl <sub>2</sub>	10 mg	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1.0 mg
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	10 mg	MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	1.0 mg
Trace element sol.	2 ml	CoCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	1.0 mg
Yeast extract	0.2 g	NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	1.0 mg
NaCl	2 g	DI Water	1,000 ml
DI Water	1,000 ml		
pH	7.0		

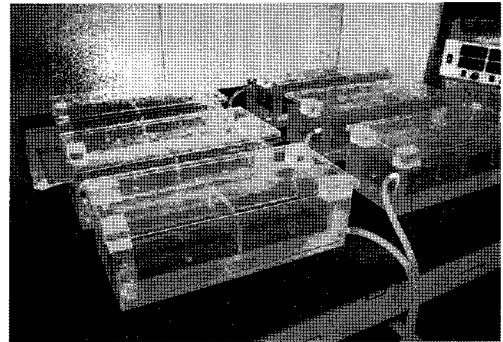
kg)을 250 ml의 무기염배지(BSM(Basal Salt Medium) : TPH 5%)에 첨가하여 와동 혼합배양기(100 rpm, 25°C)에서 20일 동안 배양하면서 세균수를 측정하고 TPH(Total Petroleum Hydrocarbon) 오염도양에서 성장한 균주 61종을 순수 분리하였다. 순수분리는 배양액 1 ml를 CGY(Casitone Glycerine Yeast) 배지에 도말하여 배지에 형성된 균주를 계대 배양하였다. 순수 분리된 61종의 균주를 경유, 등유 및 휘발유를 혼합하여 약 10%의 비율로 오염시킨 토양 15g에 1 McF의 농도로 멸균수에 혼합시켜 3 ml씩 첨가하여 성장률이 우수한 4종을 선정하였다.

균주의 동정은 그람염색, 생화학 반응실험, API ID 32GN, API ID 32E 및 Viteck 2(Biomereux)을 통하여 확인하였다.

분리된 균주의 배양과 탄화수소 분해율 측정 실험에는 Table 2와 같은 조성의 무기염 배지를 이용하였으며, 유류는 경유, 등유 및 휘발유를 혼합하여 4%가 되도록 하였다.

**2. Peat moss 및 미생물의 유류분해 효율 실험**

peat moss 및 미생물의 유류분해 효율 실험을 위하여 Fig. 1과 같은 Landfarming 형태의 반응기를 제작하였다. 일정한 온도를 유지하기 위하여 반응조의 외곽으로



**Fig. 1.** Photograph of the experimental apparatus.

20°C의 물을 순환시켰으며, 호기성 상태를 유지하고 낙하되는 미생물 등의 오염을 최소화하기 위하여 반응조 사이에 약 5 cm의 간격을 두고 덮개를 사용하였다.

1) Peat moss의 유류분해 효율 실험

Peat moss의 첨가에 따른 최적 운전인자를 결정하기 위한 실험은 Table 3과 같은 조건으로 실험을 수행하였다.

2) 미생물의 유류분해 효율 실험

유류오염토양 및 peat moss 혼합 유류오염토양에서 미생물에 의한 TPH 분해효율 검토를 위하여 미생물을 4% 유류가 첨가된 무기염배지에서 배양(25°C, 100 rpm, 7일)한 후 원심분리(4°C, 10,000 rpm, 10분, 2회)하였다. 원심 분리한 4종의 혼합현탁액(무기염 배지, 2.9 McF) 95 ml에 영양소(N:P=5:1) 5 ml의 비율로 토양(울산 H주유소) 500 g에 적용하였으며, 매일 1회 증류수 100 ml를 각 반응기에 골고루 살포하여 토양 뒤집기를 실시하였다.

**3. TPH 분석**

TPH는 토양시료 10~50 g을 비이커에 취하여 무수황산나트륨을 적당량 넣어 잘 흔들어 섞고 디클로로메탄 100 ml를 넣고 초음파추출기로 전처리하여 가스크로마토그래피(FID, Agilent 6890N)로 분석하였으며, 가스크

**Table 3.** Test factors of oil degradation with peat moss

Items	Contaminated soil		Peat moss add amount (g)	Treatment time (d)	pH	Temperature (°C)	Water content (%)	Mixing (frequency/d)
	Add amount (g)	TPH (mg/kg)						
pH	500	1,200	10	15		20	12	-
Temperature (°C)	500	1,200	10	15	4.6		12	-
Moisture (%)	500	1,200	10	15	4.6	20		-
Mixing (Frequency/d)	500	1,200	10	15	4.6	20	12	

**Table 4.** GC-FID conditions for analyze TPH

Items	Conditions
Detector	Agilent GC-FID (Model 6890N GC)
Column	HP-5 capillary column (30 m × 0.25 mm × 0.1 μm)
Carrier gas	N <sub>2</sub> (99.999%)
Carrier gas pressure	11.15 psi
Injector temperature	290°C
Detector temperature	300°C
Initial temperature	35°C (3 min)
Temperature rate	10°C/min 300°C (10 min)
Final temperature	60°C/min 310°C (40 min)

로마토그래피의 조건은 표와 같다. 본 실험에 사용한 Methylene chloride, Sodium sulfate, Anhydrous Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 시약은 기기분석용 특급시약을 사용하였으며, TPH 표준시약은 탄화수소 17가지가 혼합된 표준품을 희석하여 검량선용 표준용액으로 사용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 유류분해 균주의 특성 및 유류 분해능

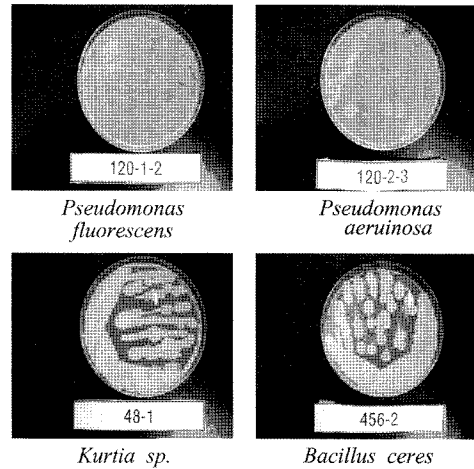
##### 1) 유류분해 균주의 특성

분리 유류분해 균주는 CGY 배지의 성장 모습이 Fig. 2와 같은 그람음성균인 *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruinaosa*와 그람양성균인 *Kurtia sp.*, *Bacillus ceres*로 동정되었다.

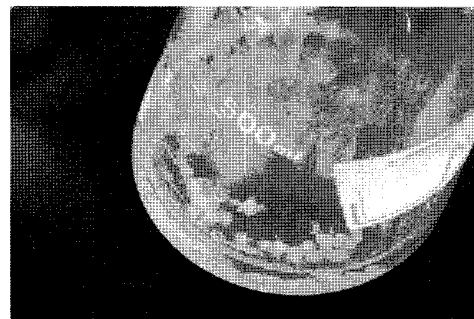
또한 TPH 분해 시험을 위한 유류분해 균주 4종을 혼합 배양 후 원심분리하여 수확한 세포는 Fig. 3과 같은 그레놀을 형성하는 특성을 보였다.

##### 2) 무기염배지에서 유류분해능

미생물의 Cell hydrophobicity, 유화도, TPH 분해 효율을 검토하기 위하여 4% 유류가 첨가된 무기염배지에서 25°C, 100 rpm에서 7일간 배양한 후 원심분리 (4°C, 10,000 rpm, 10분, 2회)하였다. 원심분리하여 수확한 cell을 다시 무기염배지에 2.0 McF로 현탁하여



**Fig. 2.** Oil degradable Microbes in CGY media.



**Fig. 3.** The culture fluid of oil degradation microbes (4species) of formative granule.

삼각플라스크에 50 ml로 넣고 동일한 조건으로 배양하여 cell hydrophobicity는 96%의 좋은 효율을 보였으며, 특히 생물계면제를 생산하는 것으로 알려진 *Pseudomonas aeruinaosa*는 가장 높은 유화도를 나타내었다.

#### 2. Peat moss의 유류분해 효율

##### 1) peat moss의 최적 운전조건

###### (1) pH

Peat moss에 TPH 분해에 대한 pH의 영향을 실험한

**Table 5.** Cell hydrophobicity, Emulsifying activity, TPH of microbes

Microbes	Items	Cell hydrophobicity (%)	Emulsifying activity	TPH (initial 40,000 mg/kg)	
				Concentration (mg/kg)	Removal efficiency (%)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>		97.0	0.013	5160	87.1
<i>Pseudomonas aeruinaosa</i>		96.4	0.602	4040	89.9
<i>Kurtia sp.</i>		96.7	0.024	5660	85.9
<i>Bacillus ceres</i>		96.3	0.077	4720	88.2

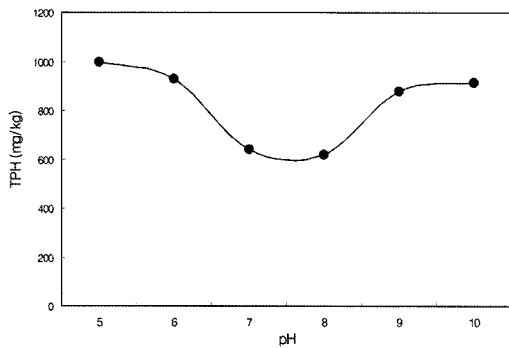


Fig. 4. TPH degradation with the pH.

결과 Fig. 4와 같이 산성영역인 pH 5~6 및 알카리 영역인 pH 9~10의 범위에서는 토양 내 TPH 분해효율은 비교적 낮은 것으로 나타났다. 따라서 peat moss 첨가 시 TPH 분해에 가장 좋은 효율을 보인 pH는 중성 및 약알카리 영역인 7~8로 나타났다.

#### (2) 온도

Peat moss의 TPH 분해에 대한 온도의 영향을 실험한 결과 Fig. 5와 같이 동절기 토양의 온도를 고려한 10°C에서는 약 12.5%의 낮은 TPH 분해효율을 보였으나 온도가 상승함에 따라 TPH 분해효율은 개선되는 것으로 나타났다. 특히 20~25°C에서는 48.3~54.2로 급격히 높아졌으며, 30~35°C에서는 58.3~60.0%로 TPH 분해효율이 상승하였다. 따라서 peat moss로 토양내 TPH를 감소하고자 할 경우에는 온도가 높아질수록 분해효율이 상승하므로 하절기 운전 시의 토양 온도조절은 고려할 필요 없는 것으로 판단된다. 그러나 동절기에는 TPH 분해효율을 상승시키기 위해서는 온도 조절이 필요하므로 온도조절을 위한 운영비를 고려할 경우 TPH 분해를 위한 최적 온도의 범위는 20~25°C로 결정하였다.

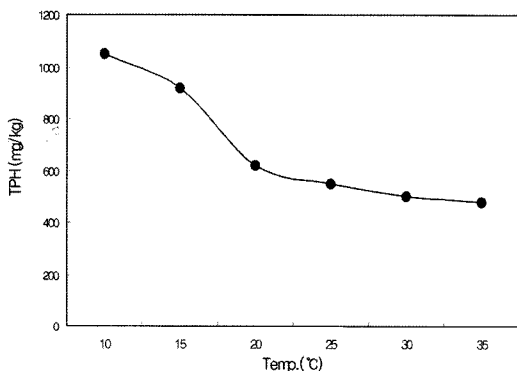


Fig. 5. TPH degradation with the temperature.

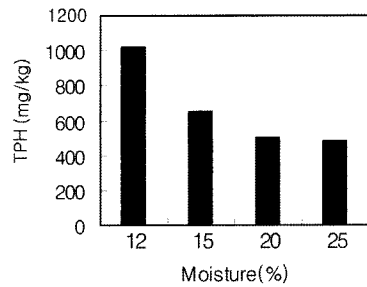


Fig. 6. TPH degradation with the water content.

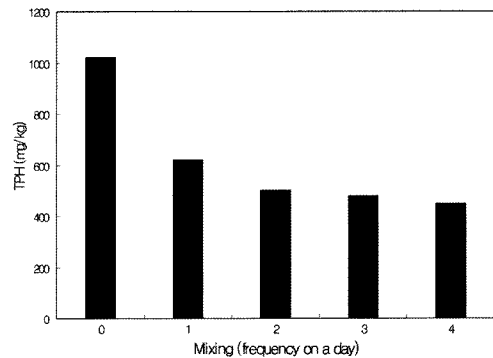


Fig. 7. TPH degradation with the mixing frequency.

#### (3) 함수율

Peat moss의 TPH 분해에 대한 토양 함수율의 영향을 실험한 결과 Fig. 6과 같이 초기 함수율 12%에서는 TPH는 15.0%의 분해효율을 보였으며, 함수율이 25%까지 증가함에 따라 TPH 분해효율도 60.0%까지 상승하였다. 그러나 실제 현장에서 운전비를 고려할 경우 TPH 분해를 위한 최적 함수율은 20% 정도가 적당한 것으로 판단된다.

#### (4) 혼합(뒤집기)

Peat moss의 TPH 분해에 대한 혼합의 영향을 실험한 결과 Fig. 7과 같이 혼합하지 않은 초기에는 TPH의 분해효율은 15.0% 정도에 그쳤으나 하루 1회 혼합을 실시한 경우 48.3%, 하루 2회 혼합을 실시한 경우 58.3%로 TPH 분해효율이 증가하였다. 하루에 3회 및 4회 실시한 경우 TPH 분해효율이 증가하기는 하였지만 현장의 적용을 고려하여 TPH 분해를 위한 최적 혼합회수는 1일 2회로 결정하였다.

#### 2) Peat moss의 최적 투입량 결정을 위한 실험

Peat moss의 최적 투입량을 결정하기 위하여 1)의 실험에 의한 최적운전조건(pH 7, 온도 25°C, 함수율 20%, 혼합 2회/일)으로 오염토 500 g에 대하여 peat moss 0, 5, 10, 15 및 20 g을 혼합하여 15일 동안 운

전한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Peat moss를 첨가하지 않은 경우와 5g을 첨가한 경우 약 45%로 유사한 분해효율을 보였으며, peat moss 10g 이상을 첨가한 경우에는 분해효율이 유사한 것으로 나타났다. 그러므로 유류오염 토양 500g에 대한 peat moss의 최적 투

입량은 10g으로 결정하였다.

3) 영양소 최적 주입량 결정을 위한 실험

Peat moss 처리시의 영양소 주입량을 결정하기 위해 1)의 실험에 의한 최적운전조건(pH 7, 온도 25°C, 함수율 20%, 혼합 2회/일)으로 오염토(500g)와 peat moss (10g)를 혼합하여 15일 동안 운전한 후 영양소를 분석한 결과 Table 6과 같이 나타났다.

토양에서 미생물이 1g의 hydrocarbon을 cell material로 전환할 때 약 150 mg의 N과 30 mg의 P가 필요한

Table 6. Amount used of nutrients(N, P) compare to TPH during 15 days

Items	Contaminated soil	Peat moss	Contaminated soil+Peat moss	
			Initial	After 15 days
Nitrogen (%)	0.027	0.734	0.107	0.082
Phosphate (mg/kg)	19.73	30.58	26.03	13.11
TPH (mg/kg)	700	2,000	1,200	420

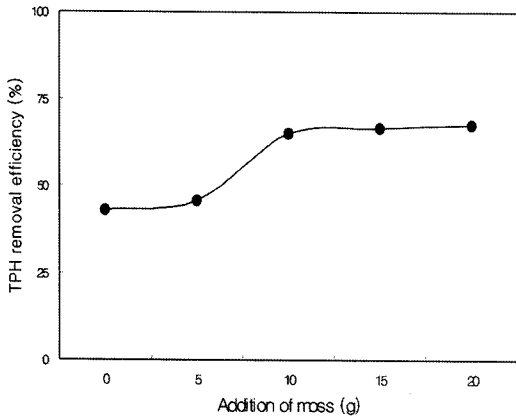


Fig. 8. TPH degradation with the addition amount of peat moss.

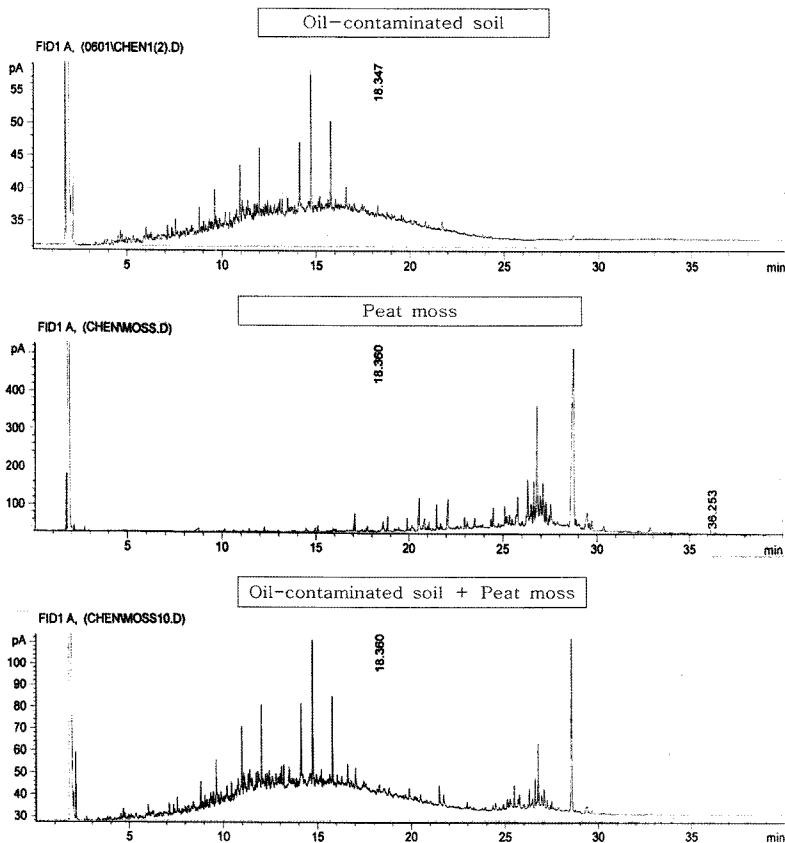


Fig. 9. The GC-FID of TPH according to the mixing of the contaminated soil and peat moss.

것으로 알려져 있다.<sup>12)</sup> 따라서 실험초기의 토양에서 질소와 인의 비율이 약 40:1로 TPH 분해에 따라 인의 소모가 모두 일어날 것으로 예상하였다. 그러나 15일 운전 결과 TPH 780 mg/kg 분해를 위한 질소의 소비는 약 250 mg/kg, 인의 소비는 약 13 mg/kg으로 나타났다.

한편 실험에 사용한 유류오염 토양의 TPH 농도가 약 700 mg/kg으로 분석되었으나 peat moss를 혼합한 경우 TPH 농도가 상승하였으므로 유류오염토양, peat moss 및 혼합시의 TPH를 측정할 결과 Fig. 10과 같은 GC-FID의 크로마토그램을 확인하였다.

유류오염토양의 경우에는 반응시간이 10분에서 20분 사이에 나타나는 C14~C20의 탄소를 갖는 경우에 의한 오염으로 나타났다. 그러나 peat moss는 반응시간이 17분대부터 30분 사이에 나타나는 C20~C36까지의 자체 탄소가 GC-FID 측정시에 TPH로 산정되어 유류오염이 없는 peat moss의 자체 TPH 농도가 약 2,000 mg/kg으로 분석되는 것을 확인하였다.

대부분의 석유류 탄화수소는 미생물의 작용에 의해 호기성 상태 하에서 H<sub>2</sub>O와 CO<sub>2</sub>로 분해된다. C10~C22 범주에 속하는 n-alkane, n-alkyle 방향족 및 기타 방향족화합물은 미생물에 대한 독성이 약하고, 석유류 제품은 가장 생분해가 잘되는 화합물이다. 그러나 이 범주의 blanch alkanes, cyclo alkane는 이들과 대응하는 n-alkane 및 방향족의 대응물질에 비해 일반적으로 생분해가 잘되지 않는다. 한편 C22 범주 이상에 속하는 n-alkane, n-alkyle 방향족 및 기타 방향족화합물은 독성과 수용성이 낮고, 상온 하에서는 고체 상태로 존재하려는 물질적 특성 때문에 생분해에 제한을 받는다. 그러므로 peat moss의 현장 적용 시에는 이러한 현상을 고려하여 적절한 선택과 대책이 필요할 것으로 판단된다.

### 3. 미생물을 유류분해 효율

분리된 미생물의 유류오염 토양에서의 유류분해 효율을 검토하기 위하여 유류오염토양 및 peat moss 혼

합 유류오염토양에 적용하여 앞선 실험으로 결정된 운전조건으로 15일간 처리한 결과를 Table 7에 정리하였다.

분리된 미생물을 첨가한 경우 TPH 분해효율이 유류오염 토양에서는 54%에서 83%로 증가하였으며, peat moss가 첨가된 유류오염 토양에서는 65%에서 85%로 증가하였다.

## IV. 결 론

향후 국내의 유류오염 토양의 효율적인 처리를 위하여 유류분해 능력을 가진 토착 미생물을 분리하고 유류오염 토양에서의 peat moss 적용에 대한 유류분해 효율의 정량화를 위한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 유류오염 토양에서 분리한 유류분해 균주 중 *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aseruinosa*, *Kurtia sp.*, *Bacillus ceres*가 유류분해능이 우수한 것으로 나타났다.

2. 유류오염 토양의 생물학적 처리를 위해 투입되는 peat moss는 TPH의 처리를 위하여 pH 7~8, 온도 25~30°C, 함수율 20%, 혼합은 2회/일, 첨가량 2%에서 운전하는 것이 최적으로 나타났다.

3. peat moss 자체적으로 함유된 탄소가 GC-FID 분석 시에 TPH로 산정되므로 peat moss 현장 적용 시에는 이에 대한 적절한 선택과 대책이 필요할 것으로 판단된다.

4. 분리된 미생물의 적용 시 유류오염 토양에서는 TPH의 분해효율이 54%에서 83%, peat moss가 첨가된 경우에는 65%에서 85%로 증가한 것으로 나타났다.

5. 미생물이 hydrocarbon을 cell materials로 전환할 때 N과 P의 비율이 일정한 것으로 알려져 있으나 본 실험 결과에서는 TPH 1g 분해에 소비되는 질소와 인의 비율이 peat moss 및 미생물의 첨가에 따라 상이한 것으로 나타났다.

Table 7. Efficiency of oil degradation by microbes

Items	No add of microbes				Add microbes			
	Contaminated soil		Contaminated soil+ peat moss		Contaminated soil		Contaminated soil+ peat moss	
	Initial	After Test	Initial	After Test	Initial	After Test	Initial	After Test
Nitrogen (%)	0.0269	0.0071	0.107	0.082	0.0654	0.027	0.185	0.073
Phosphate (mg/kg)	49.73	12.89	26.03	13.11	14.92	10.38	29.44	12.92
TPH (mg/kg)	700	320	1,200	420	700	120	1,200	180

### 참고문헌

1. Wayne G. Landis, Ming-Ho YU : Introduction to environmental Toxicology, LEWIS PUBLISHES, CRC PRESS, Inc., pp.3-4, 1995.
2. 박용하 외 5인 : 토양오염지역의 관리 및 복원방안 연구 I, KEI/2002/RE-07. 한국환경정 책평가연구원, 2002.
3. 박용하 외 4인 : 토양오염지역의 관리 및 복원방안 연구 II, KEI/2003/RE-13. 한국환경정 책평가연구원, 2003.
4. 한승호, 공성호, 강정우 : 유류오염토양/지하수 정화를 위해 개발된 DSB(Deep-Site Biopile)System 현장적용 특성. 한국지하수토양환경학회지, **10**(2), 28-34, 2005.
5. US EPA : Treatment technologies for site cleanup: Annual status report, 11th addition, EPA-542-R-03-009, 2004.
6. John T. Cookson, Jr. : Bioremediation Engineering: Design and application McGraw-Hill, Inc., pp. 1-21, 1995.
7. 김광현, 김위중, 이광배 : 식물병원균 *Pseudomonas syringae*에 대한 생물방제균 *Bacillus* sp. BT 182-3의 분리 및 특성. 한국환경보건학회지, **13**(3), 113-120, 1998.
8. 김지연, 김광현, 김병우, 이광배 : *Bacillus* sp.PY123균주가 생성하는 수용성 황색색소의 부분 정제 및 그 안정성. 한국환경보건학회지, **14**(4), 35-40, 1999.
9. 박미자, 박경식, 김승재 : PAC 및 PAS 첨가에 따른 상업용 액상 중균제의 총균수 변화에 관한 연구. 한국환경보건학회지, **16**(2), 79-90, 2001.
10. 배은영 : 석유화학단지 주변토양으로 부터 유류분해 미생물의 분리 및 오염 토양에서 적용. 여수대학교 석사학위논문, 2005.
11. FM von Fahnstock, GB Wickramanayake, RJ Kratzke, WR Major : Biopile Design, Operation and Maintenance Handbook for treating Hydrocarbon-contaminated soil, BATTELLE PRESS, pp. 2-59, 1998.
12. Morteza, S. and Azadeh, M. : Some aspects of bioremediation of soil contaminated with petroleum hydrocarbons, AFINIDAD LVI., pp.307-312, 1999.