

공학석사 학위논문

유류오염된 연안 토양의 유분제거를 위한
시스템에 관한 기초연구

A study on oil removal system for the polluted coastal soil

지도교수 박한일



2008 년 2 월

한국해양대학교 대학원

해양개발공학과

권강민

본 논문을 권강민의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 : 공학박사 최경식 (인)

위 원 : 공학박사 박한일 (인)

위 원 : 공학박사 서영교 (인)



2008년 2월

한국해양대학교 대학원

해양개발공학과

권 강 민

A study on oil removal system for the polluted coastal soil

By

Kang-min Kwon

Department of Ocean Development Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

ABSTRACT

A lot of waste oil or oil mixtures like fuel oil and lubricant oil can be leaked to coastal water and soil due to destruction of vessel, industrial work and military operation. The soil in the accident was seriously polluted by waste oil or oil mixtures. It is urgently necessary to research on cleaning up and restoring from the polluted soil by environment-friendly and economical methods. Physical and chemical washing method which was adopted in this thesis can also prevent and decrease subsequent pollution. In this research, experiment was conducted for the choice of a proper surfactant. Data were collected for the surfactant and analyzed to verify the Alkyl Polyglucoside(APG)'s effectiveness. In this experiment, when APG was used as the surfactant, substantial reduction of Total Petroleum Hydrocarbon(TPH) was observed. TPH test was conducted by changing time period, APG density, and types of soil. 99% of polluted oil was removed by 1st washing. It is expected that if the polluted soil was washed with fresh water once again, the better result would be observed.



목 차

ABSTRACT	i
목 차	ii
그림 목차	iv
표 목차	v
1. 서 론	1
1.1 연구배경 및 동기	2
1.1.1 EXXON VALDEZ호 오염사고	2
1.1.2 Sea Prince호 오염사고	4
1.1.3 프리스티지호 오염사고	6
2. 오염토양의 처리기술	7
2.1 오염토양의 처리기술 개요	7
2.1.1 오염토양의 정화 및 복원 기술의 개요	7
2.2 친환경 오염토양 복원기술 동향	10
3. 유류오염토양의 유분제거 시스템 구축	11
3.1 유류오염토양의 물리·화학적 처리	11
3.1.1 유분제거 처리의 개요	11
3.1.2 계면활성제의 종류와 선정	12
3.2 APG(Alkyl Polyglucoside)	15
3.2.1 APG(Alkyl Polyglucoside)의 특징	15
3.2.2 APG와 Oil의 반응	16
3.3 유분제거 시스템	18
3.3.1 유류오염토양의 복원공법 처리공정	18
3.3.2 입자가 큰 유류오염토양으로부터 기름제거방법	19
3.3.3 흙이나 모래만으로 구성된 오염토로부터 유분제거공정	23
4. 유분제거 기초실험	28
4.1 사용 토양	28
4.2 실험방법 및 데이터 수집방법	28
4.2.1 시료의 종류와 인공오염방법	28



4.2.2 계면활성제의 선정	29
4.2.3 기름성분 분석방법	29
4.3 유분제거 실험결과 및 고찰	29
4.3.1 계면활성제의 농도에 의한 세척율	29
4.3.2 세척시간에 따른 세척율	31
4.3.3 기초실험결과에 대한 분석	32
4.3.4 기초실험결과에 대한 고찰	33
4.3.5 처리 과정별 오염토의 성상 확인(Laboratory photo)	36
4.4 요소기술	39
4.4.1 유류의 종류	39
4.4.2 온도에 의한 점도의 변화 확인	39
4.4.3 표면에 부착된 기름성분의 탈리를 위한 최적온도	40
4.4.4 공기부상기술	41
4.4.5 거품제거 기술	41
5. 결 론	43
참고 문헌	44



그림 목차

[그림 1-1] Exxon Valdez호 유류오염사고	3
[그림 1-2] 사고 선박과 기름 유출 범위	4
[그림 1-3] 사고선박인 M.V Sea prince호와 사고 현장인 소리도 해안	5
[그림 1-4] 침몰된 프리스티지호와 오염된 해안(검은 부분은 기름)	6
[그림 3-1] APG 분자구조	16
[그림 3-2] APG에 의한 기름의 탈리 작용	17
[그림 3-3] 유류오염토양 복원공법 처리공정 개략도	19
[그림 3-4] 오염토 불림 및 이송 Screw 장치	21
[그림 3-5] 자갈이나 바위가 없는 오염토 처리	24
[그림 3-6] 유수분리공정	26
[그림 4-1] 계면활성제의 농도별 용액제조	30
[그림 4-2] 인공오염 사질 토사에 대한 계면활성제의 농도별 상태	30
[그림 4-3] 인공오염 점토질 토사에 대한 계면활성제의 농도별 상태	30
[그림 4-4] 인공오염 점토질 토사에 대한 시간대별 농도별 세척상태	31
[그림 4-5] 3시간 이후 인공오염 점토질 토사의 세척상태	31
[그림 4-6] 3시간 이후 인공오염 사질 토사의 세척상태	32
[그림 4-7] 처리시간별 오염된 점토질 토사 TPH 제거율	34
[그림 4-8] 농도별 오염된 점토질 토사 TPH 제거율	35
[그림 4-9] 농도별 오염된 사질 토사 TPH 제거율	36
[그림 4-10] 실험용 흙의 입자	37
[그림 4-11] 흙과 기름의 혼합 상태	37
[그림 4-12] 모래와 기름, APG의 혼합 상태	37
[그림 4-13] 기름이 제거된 흙의 상태	37
[그림 4-14] 실험용 모래의 입자	38
[그림 4-15] 모래와 기름의 혼합 상태	38
[그림 4-16] 모래와 기름, APG의 혼합 상태	38
[그림 4-17] 기름이 제거된 상태	38
[그림 4-18] 연료유의 온도, 점도 선도	40
[그림 4-19] 미립 공기방울 공급 장치	41
[그림 4-20] 물방울에 의한 거품 제거기술	42



표 목차

<표 1-1> 2006년도 유류 입. 출항 통계(해양수산부 통계자료)	2
<표 1-2> 사고개요	2
<표 1-3> 방제자재 동원 내역 및 비용	3
<표 1-4> 환경피해사항	3
<표 1-5> Sea Prince호의 제원과 사고당시 잔존 연료유 및 원유	5
<표 1-6> 씨프린스호의 동원인원 및 장비 기자재	5
<표 2-1> 오염토양 처리기술 및 공정 개요	8
<표 3-1> 유류오염토양의 복원공법의 처리공정의 절차	18
<표 4-1> 시료의 종류	28
<표 4-2> 처리시간별 점토질 토사(A시료) 시험결과	32
<표 4-3> 농도별 점토질 토사(A시료) 시험결과	33
<표 4-4> 농도별 사질 토사(B시료) 처리결과	33
<표 4-5> 연료유의 종류와 성상	39



1. 서 론

최근 산업 및 군사 활동 등에 필수적으로 사용되는 각종 유류의 취급과정에서 발생되는 유류 및 유성혼합물의 누설·누출로 해상이나 육상의 오염이 심각한 수준에 달하고 있다. 따라서 국토 및 선박사고로 인한 오염 처리 차원에서 오염원을 근본적으로 제거하는 노력과 함께 유류에 오염된 토양의 복원을 위한 가장 효과적이고, 경제적인 연구가 시급하게 필요하다.

특히 유류에 의한 토양오염 원인은 선박사고로 인한 기름유출, 지하에 매설되어 있는 유류저장시설로부터의 누유, 각종 산업 활동에 의하여 발생된 폐유의 방출, 유류이송과정에서의 사고에 의한 유출 및 기타 유류가 포함된 지정폐기물의 불법매립 등에 의해서 주로 발생한다. 이렇게 오염된 토양을 정화하여 복원하는 것은 막대한 비용과 시간이 소요된다. 이러한 오염은 지하수와 하천에까지 확산되어 국민건강 및 환경상의 위해는 물론 토양 생태계에 악영향을 초래하고 있으므로 친환경적이고, 경제적인 오염 토양의 정화 및 복원의 기술개발은 매우 중요하다.

우리나라의 경우, 날로 심각해지고 있는 토양오염문제에 체계적으로 대처하고 토양 환경을 보전하기 위하여 1995년 토양환경보전법이 제정되었다. 국가(또는 지방자치단체)로 하여금 토양보전을 위한 정책반영, 토양오염현황 등과 함께 오염토양의 정화 및 복원에 관한 사항이 포함된 토양보전기본계획을 수립·시행하도록 하는 책무와 오염 토양의 정화기준 및 정화방법 등을 규정하고 있다.

본 연구에서는 유류오염지역의 오염토양에 대한 효과적인 유분제거처리방법을 개발하기 위하여 유류오염토양 중의 유분제거와 관련된 효율적인 시스템 구축을 제안하였다. 아울러 오염토양의 복원과정에서 2차 오염을 최소화 하기위해 천연 계면활성제를 조사하여 선정하고, 선정된 계면활성제를 사용하여 인위적으로 오염시킨 유류오염 토양의 세척효과를 검증하고자 한다. 이에 대한 연구결과는 물리·화학적 처리방법의 토양세척기법을 산업 현장에 적용하는데 목적이 있다. 아울러 본 연구는 태안에서 일어난 유류오염사고에 의한 해양오염토양의 근본적인 정화작업을 수행하는 것에도 응용이 가능할 것으로 사료된다.



1.1 연구배경 및 동기

우리나라의 석유 수입과 수출 물량은 세계 4위로 2006년 12월 30일 기준 한국의 항구에 입출항한 원유와 석유는 131,093,050톤이고 석유정제품은 60,441,716톤이며 석유가스는 47,046,084이다. 총 항구로 유입된 유류 물동량은 238,580,850톤이고 수출된 유류 물동량은 88,095,462톤이며 연간 입·출된 유류 물동량은 326,676,312톤에 달한다. [1]

<표 1-1> 2006년도 유류 입·출항 통계(해양수산부 통계자료)

종류	2006년 입출항 유류 화물량		비고
	입항	출항	
원유, 석유	131,093,050	8,061,907	총 수출입 물량 326,676,312톤
석유 정제품	60,441,716	77,025,163	
석유가스류/ 기타가스류	47,046,084	3,008,392	
	238,580,850	88,095,462	

해양에서 일어나는 선박사고로 인한 유류오염 처리 및 군 부대와 미군 부대에서 사용하는 연료유와 윤활유 등의 수요급증과 각종 유류로부터 발생되는 폐유 처리 시 많은 비용과 환경적인 어려움으로 인하여 안이한 방법으로 불법 처리를 해온 결과 많은 토양오염이 유발되었다. 이러한 유류 오염사고와 관련한 국내·외 사고사례는 다음과 같다.

1.1.1 EXXON VALDEZ호 오염사고

<표 1-2> 사고개요

일 시	장 소	오 염 원			오염물질 및 수량
		선 명	톤 수	선 종	
1989.3.24 00:04	알래스카 남서부	EXXON VALDEZ	263,755	유조선	원 유 41,000톤

1) 사고경위 및 조치



1989년 3월 23일 저녁 미국 ALASKA주 발데즈항에서 약 20만톤(100만 D/M)의 원유를 적재하여 로스엔젤레스 롱비치항을 향해 출항하여 알래스카만 내 PRINCE WILLIAMS 해협 선박 통항로 하행선을 따라 항해하던 중 89년 3월 24일 00:04분 경, 대형 빙산을 급히 피하기 위해 통항로를 이탈하면서 BLIGH 암초에 좌초하였다.

2) 방제사항

(1) 방제기간 : 약 6개월

(2) 방제인원 및 방제장비, 기자재(1일 최대 동원 시)

<표 1-3> 방제자재 동원 내역 및 비용

인원	선박	항공기	기름 분	유회수기	회수유	폐기물 수량	방제비용
12,000	1,400척	84대	304,800M	1대	9,800 KL	25,000톤	12억 8천만\$ 육. 해상 포함

<표 1-4> 환경피해사항

물 새	독 수 리	오 토 새	피 해 보 상
33,126	138	980	7천5백만 \$

* 사고당시 연어 어획량이 2,500만 마리에서 사고 후 1,500만 마리 감소.



[그림 1-1] Exxon Valdez호 유류오염사고

3) 이 사고로 미국 알래스카에서 러시아 까지 1,900Km에 이르는 해안과 바다를 오염시켰다. 해안의 오염된 기름을 제거하는 비용 등 총 방제 기간은 수년이 소요되었으나 원상회복은 18년이 지난 지금에도 완벽하게 되지 않아 후유증이 심각하며 이에 소요된 직접적인 방제 비용이 12억 8천만 달러(\$)가 소요되었다.

4) 미국과 해운 선진국에서는 이와 유사한 사고를 방지하기 위하여 국제해사기구(IMO)¹⁾에서는 선박 또는 해양시설로부터 발생하는 유류오염사고를 방지하거나 효과적인 방제를 위하여 선박 또는 해양시설로부터 기름 오염에 의한 비상계획(SOPEP)²⁾을 국제협약으로 채택하여 현재까지 전 세계 해운국가의 선박과 해양시설에서 시행되고 있다.



[그림 1-2] 사고 선박과 기름 유출 범위

1.1.2 Sea Prince호 오염사고

Sea Prince호(유조선, 144,567t)는 광양항 호남정유 부두에 접안하여 원유 하역작업 중 태풍경보를 통보 받고 피항하던 중 7월 23일 14:05경 태풍에 밀려 기관실 부위가 작도에 부딪쳐 기관이 멈추고 기관실에 화재가 발생한 상태에서 표류하다 7월 23일 15:58경 여천군 남면 소리도 남쪽 끝단 암초에 좌초, 적재되어 있던 잔존 연료유 및 원유 717.6톤이 유출되었다.

- 1) International Marine Organization, 영국 런던에 본부를 둔 U.N 산하 해사전문기구(한국은 A 이사국임)
- 2) Ship Board Oil Pollution Emergency Plan, 유류오염사고 시 선박에서의 보고, 비상조치를 위한 국가, 회사 및 방제 전문회사와 연계하여 효과적이고 신속한 조치를 취할 수 있도록 한 국제협약(한국 : 해양경찰청 주관 전문기관 : 한국환경관리공단(ex 한국해양오염방제조합))



<표 1-5> Sea Prince호의 제원과 사고당시 잔존 연료유 및 원유

선 명	제 원	승선원	국 적	선 중	적재유(톤)
Sea Prince	144,567톤 길이: 313m 폭 : 56m	20명	싸이프러스 (호유해운)	유조선 (원유선)	원유 : 83,000 B-C : 1,400 B-A : 100

1) 오염범위

해안 지역은 전남 여천군 돌산읍, 남면, 화정면 해안 약 46.9km 해안이 오염되었으며 특히 소리도, 안도, 금오도, 돌산도 일부 해안지역의 오염이 극심하였다.

2) 방제조치

해안에 표착된 방제는 여천군, 거제시 등 시·군이 주관되고 선주측과 계약에 의해 이루어졌으며 경찰기동대, 군 장병, 자원봉사대의 지원으로 표착유 방제가 이루어졌다. 해안유착유는 흡착재, 걸레 등으로 닦아내는 수작업(일명 개담기)에 의존하여 많은 인력이 소모되었다. 해안 방제는 12월 31까지 6개월 동안 대부분 완료되었으나 오염이 심했던 소리도 일부해안은 96년 7월까지 1년 4개월 동안 제거작업을 실시하였다.

<표 1-6> 씨프린스호의 동원인원 및 장비 기자재

기관별	인원	장 비		방 제 기 자 재			
		선박 (척)	항공기 (대)	유회수기 (대)	오일펜스 (m)	유흡착제 (Kg)	유처리제 (톤)
계	166,905	8,295	45	126	13,766	239,678	717.6



[그림 1-3] 사고선박인 M.V Sea prince호와 사고 현장인 소리도 해안



유조선 Sea Prince호의 오염사고가 발생한지 10년이 지난 지금도 해변의 모래와 자갈을 파면 정화되지 않은 현상이 많이 남아있다³⁾. 이와 관련하여 기름으로 오염된 해안의 토양은 근본적으로 정화될 필요가 있다.

이러한 해안·육지의 오염사고로 인한 토양은 매우 심각한 정도로 오염되어 본래 토양의 기능을 상실하게 되며, 미군부대가 떠나간 자리, 군부대가 주둔하고 있는 자리 또한 대부분의 토양이 오염되어 국가적인 과제로 원상회복 시킬 필요가 있다.

1.1.3 프리스티지호 오염사고

2002년 스페인의 남단 지중해에서 대형 유조선 프리스티지호는 선박의 노후로 인해 선체가 두 동강으로 파손되어 수십 만 톤의 기름이 지중해로 유출된 오염사고가 발생하였다. 스페인은 이 사고지역을 재난으로 선포 하는 등의 국가적 문제로 다루는 조치를 취하였다. 이와 같은 대형 오염사고는 전 세계적으로 매년 여러 건에 달하고 있으며 이로 인한 피해액도 천문학적인 금액에 달한다.



[그림 1-4] 침몰된 프리스티지호와 오염된 해안(검은 부분은 기름)

3) KBS 환경 스페셜 “지워지지 않는 흔적들, Sea prince호 사고 10주년 특별기획”

2. 오염토양의 처리기술

2.1 오염토양의 처리기술 개요

2.1.1 오염토양의 정화 및 복원 기술의 개요

오염토양의 정화를 위하여 현행 토양환경보전법에서 요구하는 방법과 절차를 준수해야 하므로 다음과 같은 정화계획 수립을 위하여 고려할 사항과 정화장소에 따른 처리방법 및 처리기술을 구분하였다.

1) 오염토양의 정화계획 수립 시 고려할 사항

(1) 정화대상 부지의 특성

- ① 부지의 입지 및 주변의 환경 여건 등 지형학적 특성
- ② 토양 및 지하수와 관련한 수리·지질학적 특성
- ③ 오염물질의 종류, 농도 및 오염범위 등

(2) 정화 목표

- ① 오염물질 정화 또는 저감 목표치 설정
 - ② 정화기간 및 소요비용 고려
- ##### (3) 정화기술의 선정
- ① 오염물질 정화 또는 저감 목표치 달성여부
 - ② 정화대상 오염물질과 정화방법의 적합성 여부
 - ③ 정화기간 및 소요비용의 충족여부
 - ④ 대상기술의 적용이 토양환경에 미치는 영향
 - ⑤ 대상기술의 상업화 정도

(4) 사후 모니터링 방안



(5) 정도(QA/QC)관리방안

2) 정화장소에 따른 방법

(1) 현장 내 정화(On Site) : 오염부지 내에서 직접 정화하는 방법

① In-situ (오염토양을 수거하지 않고 현장에서 정화)

② Ex-situ (오염토양을 수거하여 부지 내 다른 장소에서 정화)

(2) 현장 외 정화(Off Site) : 오염토양을 부지 밖으로 반출하여 정화하는 방법

3) 주요 토양복원기술 중 오염토양에 대한 처리방법에 따른 오염토양 처리기술 및 처리기술별 공정의 개요는 아래의 <표2-1>과 같다.

<표 2-1> 오염토양 처리기술 및 공정 개요

기술명		공정 개요
물 리 · 화 학 적 처 리 방 법	토양세정법 (Soil Flushing)	오염물 용해도를 증대시키기 위하여 첨가제를 함유한 물 또는 순수한 물을 토양 및 지하수에 주입하여 오염물질을 침출 처리하는 방법
	토양증기추출법 (Soil Vapor Extraction)	추출정을 굴착·설치하여 감압하에서 압력구배를 형성시킴으로써 토양내의 휘발성 오염물질을 휘발·추출하는 방법
	토양세척법 (Soil Washing)	오염토양을 굴착하여 토양입자 표면에 부착된 유·무기성 오염물질을 세척액으로 분리시켜 이를 토양 내에서 농축·처분하거나, 재래식 폐수처리방법으로 처리하는 방법
	용제추출법 (Solvent Extraction)	오염토양을 추출기내에서 용제(solvent)와 혼합시켜 용해시킨 후 분리기에서 분리하여 처리하는 방법
	화학적 산화/환원법 (Chemical oxidation/Reduction)	오염된 토양에 오존, 과산화수소 등의 화합물을 첨가하여 산화/환원 반응을 통해 오염물질을 무독성화 또는 저독성화시키는 방법
	고형화/안정화법 (Solidification/Stabilization)	오염토양에 첨가제(시멘트, 석회, 슬래그 등)를 혼합하여 오염성분의 이동성을 물리적으로 저하시키거나, 화학적으로 용해도를 낮추거나 무해한 형태로 변화시키는 방법



	동전기법 (Electrokinetic Separation)	투수계수가 낮은 포화토양에서 이온상태의 오염물(음이온·양이온·중금속 등)을 양극과 음극의 전기장에 의하여 이동을 촉진시켜 오염물질을 처리하는 방법
열적처리방법	열탈착법 (Thermal Desorption)	오염토양내의 유기오염물질을 휘발·탈착시키는 기법이며, 배기가스는 가스처리 시스템으로 이송하여 처리하는 방법
	소각법 (Incineration)	산소가 존재하는 상태에서 871~1,205℃의 고온으로 오염토양 내의 유기오염물질을 소각·분해시키는 방법
	유리화법 (Vitrification)	굴착된 오염토양 및 슬러지를 전기적으로 용융시킴으로써 용출특성이 매우 적은 결정구조로 만드는 방법
	열분해법 (Pyrolysis)	산소가 없는 혐기성 상태에서 열을 가하여 오염토양 중의 유기물을 분해시키는 방법
생물학적처리방법	생물학적 분해법 (Biodegradation)	영양분과 수분(필요 시 미생물)을 오염토양내로 순환시킴으로써 미생물의 활성을 자극하여 유기물 분해기능을 증대시키는 방법
	생물학적 통풍법 (Biodegradation)	오염된 토양에 대하여 강제적으로 공기를 주입하여 산소농도를 증대시킴으로써 미생물의 생분해능력을 증진시키는 방법
	토양경작법 (Landfarming)	오염토양을 굴착하여 지표면에 깔아놓고 정기적으로 뒤집어줌으로써 공기 중의 산소를 공급해 주는 호기성 생분해 공정법
	바이오파일법 (Biopile)	오염토양을 굴착하여 영양분 및 수분 등을 혼합한 파일을 만들고 공기를 공급하여 오염물질에 대한 미생물의 생분해능을 증진시키는 방법
	식물재배 정화법 (Phytoremediation)	식물체의 성장에 따라 토양내의 오염물질을 분해·흡수·침전 등을 통하여 오염토양을 정화하는 방법
	퇴비화법 (Composting)	오염토양을 굴착하여 팽화제(bulking agent)로서 나무조각, 동식물 폐기물과 같은 유기성 물질을 혼합하여 공극과 유기물 함량을 증대시킨 후 공기를 주입하여 오염물질을 분해시키는 방법
	자연저감법 (Natural Attenuation)	토양 또는 지중에서 자연적으로 일어나는 회석, 휘발, 생분해, 흡착 그리고 지중물질과의 화학반응 등에 의해 오염물질 농도가 허용 가능한 수준으로 저감되도록 유도하는 방법



2.2 친환경 오염토양 복원기술 동향

최근 국내에서 환경 관계법령들이 토양이나 지하수의 오염방지를 위한 수동적인 규제로부터 오염된 토양이나 지하수의 복원까지 요구하는 능동적인 방향으로 개정되었다. 이러한 법 개정으로 인하여 오염된 토양이나 지하수를 효과적으로 복원시킬 수 있는 새롭고 혁신적인 해법에 대한 관심이 증대되고 있다.

국외에서는 1980년대 말부터 적극적인 노력들이 기울어져 국가적인 지원을 바탕으로 오염된 토양과 지하수를 정화하는 기술들에 대한 많은 연구와 개발 및 현장적용 사례들이 있다. 특히, 미국에서는 'Superfund Project'라는 국가적인 연구지원계획하에 다양한 오염토양과 지하수 복원기술들이 개발되어 검증되면서 실제 오염현장에 적용 가능한 기술들이 선별되어 상업적인 기술들로서 고려되고 있다.

국내의 경우, 효과적이고 경제적인 오염토양·지하수 복원기술들의 개발 연구는 미흡한 상태이다. 그러나 최근 2002년도에 마련된 국가기술지도(NTRM)상에서 생태계·오염토양·지하수 복원 기술은 중요한 세부기술로 다루어지고 있다. 개발된 기술 중 생물학적 복원기술은 오염토양이나 지하수에 있는 토착미생물이나 또는 새로 주입한 미생물 종들을 이용하여 오염물질을 생분해시켜서 그 독성을 감소시키거나 제거하는 원리를 이용한 것으로, 생물학적 복원기술에 대한 연구는 개별 오염물질 종류에 따라서 효과적으로 분해할 수 있는 미생물 종들을 발견하고 선별이 가능하다. 뿐만 아니라 미생물 종들의 분해능을 최대로 증폭시키기 위한 “미생물 분해능 향상기법”을 개발하는데 초점을 두었다. 생물학적 복원기술은 실제 오염된 현장에 적용되어 그 적용타당성이 입증되었으나 미생물을 이용하여 오염된 토양 및 지하수를 복원하는 기술은 중금속과 같은 무기 오염물질의 제거에 효과적이지 못하며, 비교적 장시간이 소요된다. 오염물질이 생분해됨으로써 생성되는 중간 부산물에 대한 독성평가가 지속적으로 수반되어야 할 뿐만 아니라, 여러 가지 변수에 의해 복원 후 효율성을 예측하는 것이 매우 어렵다는 점들이 앞으로 극복해야 할 문제점들이라고 할 수 있다.

생물학적 복원기술과 더불어 지금까지 수많은 물리·화학적 복원기술들이 개발되어 검증되어 왔고, 물리·화학적 복원기술은 다양한 물리·화학적 원리들이 복합적으로 적용되고 있다. 대표적인 물리·화학적 복원기술로는 굴착, 토양세척 및 세정, 고형화·안정화, 열탈착, 토양증기 추출법, 그리고 동전기법 등이 있다.



3. 유류오염토양의 유분제거 시스템 구축

본 기술은 현장에 설치된 장치를 이용하여 유류에 오염된 토양을 물리·화학적인 처리방법에 의해 복원하는 공법이다. 유류에 오염된 토양을 적정 입도로 파쇄한 후, 파쇄한 오염토 또는 오염된 흙과 모래를 식물성 계면활성제 0.3% 용액에 3시간동안 불린다. 불림된 오염토는 배토기를 통하여 진동고압살수기를 통과함으로써 기름에 오염된 토양에서 기름이 탈리된다.

3.1 유류오염토양의 물리·화학적 처리

3.1.1 유분제거 처리의 개요

토양세척기법은 적절한 세척제를 사용하여 토양입자에 결합되어 있는 오염물질의 표면장력을 약화시킴으로써 기름으로 오염된 토양으로부터 유류를 분리시키는 물리·화학적 처리 방법의 일종이다.

토양의 오염된 유류성분을 제거하기 위한 토양세척기술은 NAPLs(non-aqueous phase liquids)로 오염된 토양에 적절한 계면활성제를 사용하여 토양입자에 결합되어 있는 유해유기물질의 표면장력을 약화시키는 원리이다. 계면활성제의 CMC(Critical Micelle Concentration)값 이상의 농도에서 유기오염물질이 미셀(micelle)구조 내부로 분배되는 용해화 과정과 토양 내 NAPLs가 계면활성제에 의해 표면장력이 감소하여 이동성이 생기는 이동화 과정을 기초로 하여 오염물질의 제거가 이루어진다. 따라서 토양에 오염된 유류를 분리하여 제거하기 위해서 계면활성제의 선정은 경제성과 처리 효율성 면에서 매우 중요한 요소 중의 하나이다. [6],[7]

계면활성제의 용액을 이용하여 기름으로 오염된 토양에 세척기법을 적용하기 위하여 기존의 계면활성제로 많이 사용되고 있는 화학 계면활성제가 난분해성이고, 환경에 대한 유독성을 가진다. 오염을 유발하여 제처리비용이 소요되는 문제점을 가지고 있는 점을 고려하여 친환경적이면서, 경제성이 있는 계면활성제를 선정하기 위하여 각종의 계면활성제의 종류와 성분 및 처리효과에 대한 사항들을 조사하고 분석하였다. 야산에서 채취한 토양과 해변에서 채취한 모래에 대한 시료에 시료중량 대비 약 4%의 폐유

를 섞어서 인위적으로 토양을 오염시킨 후 선정된 계면활성제를 이용하여 토양세척기
법으로 유류오염토양의 세척효율을 검증한 후 시스템에 적용하였다.

3.1.2 계면활성제의 종류와 선정

토양세척기법은 물이나 계면활성제 등과 같은 세정제를 사용하여 유류로부터 오염
된 토양에서 오염물질인 유류의 분리를 가속화시키는 기술로 계면활성제 등과 같은
세정제의 선정이 매우 중요하다.

1) 계면활성제의 분류

계면활성제를 분류하는 기준은 여러 가지가 있으나 이온성에 따라 분류를 하면 화
학적으로 수용액에서의 이온해리의 여부에 따라 이온성 계면활성제(ionic surfactant)
와 비이온성 계면활성제(nonionic surfactant)로 구분된다. 이온성 계면활성제는 수용
액에서 해리하여 이온 혹은 이온미셀(ionic micelle)을 생성하여 계면활성을 나타낸다.
비이온성 계면활성제는 수용액에서 해리되는 관능기를 갖지 않으면서도 계면활성을
나타내는 것이다. [2],[3]

이온성 계면활성제는 이온해리가 되는 이온의 종류에 따라 분류되며, 그 이온이 음
이온이거나 양이온, 또는 이들 두 가지 이온성을 모두 나타내는 양쪽성이냐에 따라, 음
이온성 계면활성제(anionic surfactant), 양이온성 계면활성제(cationic surfactant),
양쪽성 계면활성제(amphoteric surfactant)의 3종류로 구분되어진다. 이 밖에도 물에
불용성인 유용성 계면활성제도 있으나 그 중요성이나 생산량의 측면이 수용성 계면활
성제보다 매우 적기 때문에 이는 분류에서 생략하였다.

거의 모든 계면활성제는 이온성이나 비이온성에 관계없이 계면활성제의 본체를 형
성하는 기본체(basic surfactant)와, 기본을 수용성으로하는 수용성 그룹(solubilizing
group)을 보유하고 있다. 기본은 직쇄탄화수소 사슬과 측쇄탄화수소 사슬을 보유한
탄화수소그룹(hydrocarbon group) 또는 이러한 종류의 그룹이 혼합되어 있거나 또는
고리형의 화합물로 되어 있는 등 여러 종류의 것으로 구성될 수 있다. 이들 모두가 기
름의 종류에는 잘 용해하지만 물에는 용해하기 어려운 성질을 보유한 비교적 탄화수
소그룹으로 구성되므로, 이 그룹을 소수성부(hydrophobic group), 혹은 친유성부
(lipophilic group)라고 한다. 따라서 이러한 기본으로 구성되면, 물에는 용해되지 않



으므로, 이 소수성부를 가용성으로 하기 위해서는 친수성부 혹은 소수성부가 결합되어야 한다. [4],[8]

(1) 음이온성 계면활성제

음이온성 계면활성제는 친수성부이며, 많은 제품에 존재하는 것은 카르복시산, 황산에스테르, 술폰산 등의 3종류로 대개는 이들의 가용성 염으로 사용하고 있다. 이들 중에서 내경수성, 내가수분해성, 내염석성 등의 안정성이 가장 저조한 것은 카르복시산 염이고, 가장 우수한 것은 술폰산 염이며, 황산에스테르 염은 이들의 중간에 위치하고 있다.

계면활성제의 전체적인 안정성은 소수성부와도 관계가 있고, 원칙적으로 소수성부는 알킬기, 이소알킬기, 벤젠고리 및 나프탈린 고리와 같은 탄화수소기를 갖는 것이 가장 안정적이다. 또한 이들 소수성부 내부에 에테르 결합을 갖는 것도 위와 마찬가지로 유사한 안정성을 보인다. 산·아미드결합, 술폰아미드도 위와 마찬가지로 유사하겠지만, 에스테르결합이 존재하는 것은 안정성이 가장 나쁘다.

따라서 계면활성제로서의 다른 특성을 무시하고 전체적인 안정성만을 비교할 경우 탄화수소그룹에 술폰산이 결합된 석유술폰네이트, ABS, Nekal B 등이 가장 안정한 계면활성제이다. 에스테르결합을 갖는 소수성부에 황산에스테르가 결합된 Vel, Arctic, Syntex M 등은 가장 불안정한 계면활성제에 속한다.

(2) 양이온성 계면활성제

역성비누(invert soap) 혹은 양이온성 비누(cationic soap)라고 불리는 양이온성 계면활성제는 소수성부의 경우에 음이온성 계면활성제와 같이 종류가 많다. 친수성부의 경우에는 조염하여 얻은 제1~제3급 아민을 함유하는 단순한 아민염과 제4급 암모늄염이 대부분이다.

그 이외에 포스포늄, 술폰늄염 등 이른바 오늄(onium)화합물이라고 하는 것들이 극소수를 차지하고 있다. 이들 중에서 제4급 암모늄염이 가장 중요하며, 다섯 가지의 함 질소화로서 사슬형 알킬에 결합한 것뿐만 아니라 고리형 질소화합물, 예컨대 피리딘염, 퀴놀린 및 이미다졸류 등의 함 질소형태로 고리화합물의 경우에도 중요한 것이 많다.



(3) 비이온성 계면활성제

친수성부로 이온화되지 않는 계면활성제의 일종으로써, 소수성부를 물에 녹이기 위해서 여러 히드록시기를 갖거나 혹은 비교적 친수성부의 기능성은 적지만 분자 내에 에스테르, 산아미드 및 에테르 결합을 가지고 있다. 비이온성 계면활성제로는 최근 개발한 폴리옥시에틸렌 축합형 제품이 가장 널리 쓰이고 있으며, 이것 이외의 구조로 복잡한 여러 종류의 계면활성제가 개발되어 비이온성 계면활성제의 중요성을 더해주고 있다.

(4) 양쪽성 계면활성제

소위 양쪽성 비누(amphoteric soap)라고 불리는 양쪽성 계면활성제는 분자 내에 음이온으로서 카르복시기, 술폰산기, 술폰산에스테르기를 함유하며, 양이온으로서 아민 특히 제4급 암모늄 형태의 질소기를 함유하는 형태의 질소기를 함유하는 형식의 비누가 많다. 그 예로 베타인, 술폰베타인, 술페이트베타인 및 이미다졸린형 계면활성제를 들 수가 있다.

이상과 같이 화학구조적 측면에서 크게 이온성 계면활성제와 비이온성 계면활성제로 분류하여 간략히 예를 들어 살펴보았다. 하지만 실제로는 이상의 구조를 보유하고 있지 않은 다양한 형태의 계면활성제가 존재하고 있다.

2) 계면활성제의 선정

한 분자 내에 친수성기와 소수성기의 화학적 작용기를 모두 가지고 있는 계면활성제는 소수성기를 이루고 있는 알킬사슬의 길이가 길수록 유기오염물에 대한 용해도가 증가하고, 친수성기가 클수록 감소하게 된다.

일반적으로 알킬사슬의 길이가 길수록 계면활성제의 토양에 대한 흡착량이 증가하는 경향을 보이게 된다. 소수성기가 우세하면 유기오염물에 대한 용해능력은 증가하는 반면, 토양에서의 흡착량이 증가하여 미셀의 감소에 의한 용해능력의 감소를 초래하므로 용도에 알맞은 적절한 계면활성제를 선택하는 것이 중요하다.

계면활성제를 종류별로 비교해 보면, 양이온성 계면활성제는 유기오염물에 대한 용해도는 우수하지만, 음전하를 띠는 토양 입자에 흡착하는 경향이 강하고 생분해도가



낮은 편이어서 토양정화에는 선호되지 않는다. 음이온성 계면활성제는 토양 흡착능력이 작고 유기오염물에 대한 제거효율도 높은 편이며, 비이온성 계면활성제는 일반적으로 경제적이며 용해도도 양호한 편이다.

계면활성제를 토양정화에 이용할 경우의 단점으로는 계면활성제가 토양에 붙어 있는 유기오염물 표면에 단층이나 복층의 형태로 흡착되어 유기오염물의 탈착을 방해한다. 복원 종료 후에 토양 공극수의 계면활성제 농도가 낮아지면서 흡착된 계면활성제가 미셀을 형성하여 유기오염물의 유동성을 오히려 증가시키기도 하고, 때로는 복원 종료 후 남아있는 계면활성제가 오염원으로 작용하여 2차 토양오염을 유발한다.

따라서 본 연구에서는 친환경적이며, 독성이 거의 없고, 음이온활성제와 혼용 시 여러 상승효과를 나타내며, 기포성 및 기포안정성이 우수하고, 내경수성과 lime soap dispersing ability가 좋으며, 단백질을 변성시키지 않는 장점과 더불어 자연계에 다량으로 존재하는 당을 원료로 하며, 생분해성과 안정성이 우수하고, 비교적 거품이 많이 일어나면서, 화학적으로 안정한 특징이 있는 비이온성 계면활성제인 APG(Alkyl Poly Glucosides)를 선정하였다. 인위적으로 유류를 오염시킨 실험대상 시료의 기초실험에 APG 계면활성제를 사용하여 그에 대한 세척효율을 확인하고, 시스템의 물리·화학적 처리방법에 적용하였다.



3.2 APG(Alkyl Polyglucoside)

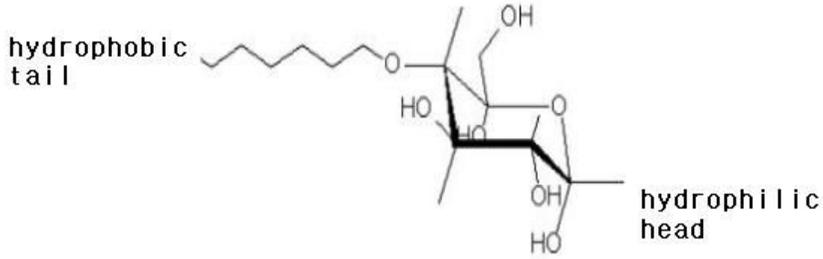
3.2.1 APG(Alkyl Polyglucoside)의 특징

천연계 비이온 계면활성제 APG(Alkyl Polyglucoside)는 옥수수 성분의 글루코스 와 팜, 야자유에서 얻어지는 지방 알코올을 이용하여 합성된다. 유류오염에 대한 APG alkyl chain 길이별 세정력은 계면 장력이 낮을수록, 단위 면적당 흡착량이 많을수록 우수한 세척력을 나타낸다.

계면활성제는 분자 구조상 한 분자 내에 친수성 부분(hydrophilic group)과 소수성 부분(hydrophobic group)을 동시에 갖는 양친매성 구조로 되어있다. 이 양친매성분의 종류와 형태, 크기, 결합 위치 및 균형 상태 등 여러 가지 화학구조의 특성에 따라 서로 다른 물질의 계면에 작용하여 선택적 배향을 일으킴으로써 상호 흡착이 일어



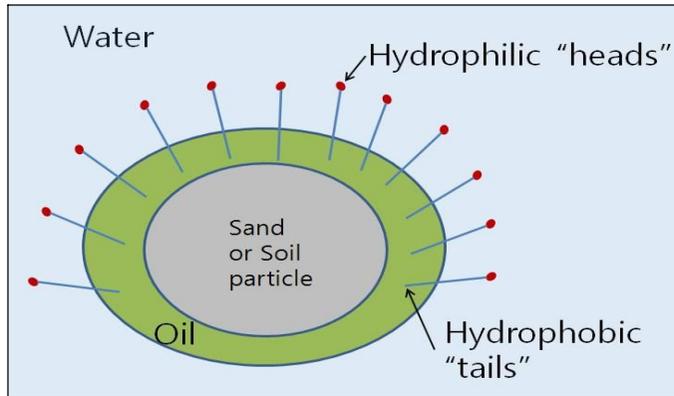
나 계면의 물리적 현상 및 그 성질을 변화시킨다. [5],[9]



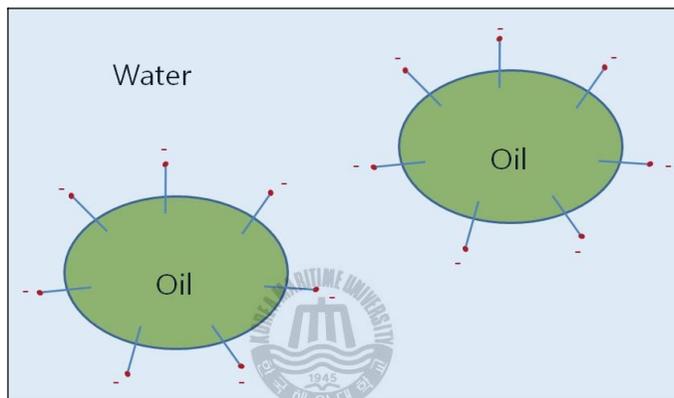
[그림 3-1] APG 분자구조

3.2.2 APG와 Oil의 반응

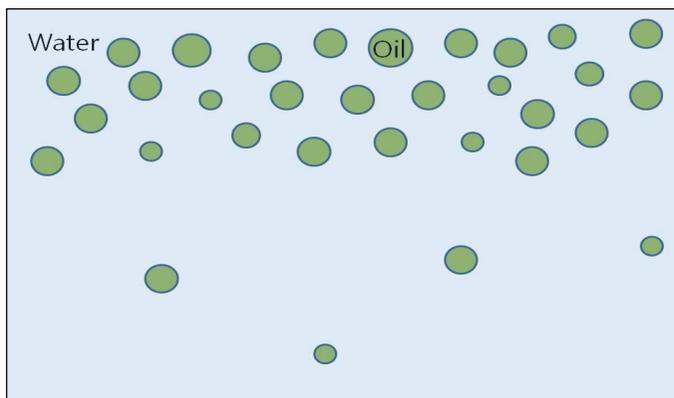
기름은 항공유, 휘발유, 경유 또는 중유 등으로 구분하고 있으며 이러한 기름은 상온(20~25℃)에서 자체 점도에 의해 응집하는 성질을 가지고 있다. 이로 인한 기름이 흙, 모래 또는 자갈에 접착하거나 응집된 경우 유성분만을 분리하는 방법은 극히 제한적이다. 흙 또는 모래에 유분이 혼재되어 있을 경우 계면활성제를 청수에 용해하여 일정농도로 하면 [그림 3.2]와 같이 기름성분이 탈리되어 유분을 효과적으로 제거할 수 있다.



1단계 계면활성단계



2단계 분리단계



3단계 부상 및 안정화 단계
[그림 3-2] APG에 의한 기름의 탈리 작용

3.3 유분제거 시스템

3.3.1 유류오염토양의 복원공법 처리공정

본 연구에 사용되는 유류오염토양의 처리방법은 유류에 오염된 토양을 적정 입도로 파쇄한 후, 이에 세척수를 고압 분사함으로써 복원하도록 하고, 세척된 토양을 재생하여 조골재와 세골재로 분리 회수하도록 하는 공법이다. 그리고 세척공정에 의해 토양으로부터 분리된 유류는 별도로 분리하여 수거하고, 세척수는 반복하여 사용한다. 이로써 복원과정에서 2차적인 환경오염의 우려를 없도록 하고, 토양복원에 소요되는 비용과 시간을 대폭 줄일 수 있다는 장점이 있다.

유류오염토양의 복원공법의 처리공정의 절차는 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 유류오염토양의 복원공법의 처리공정의 절차

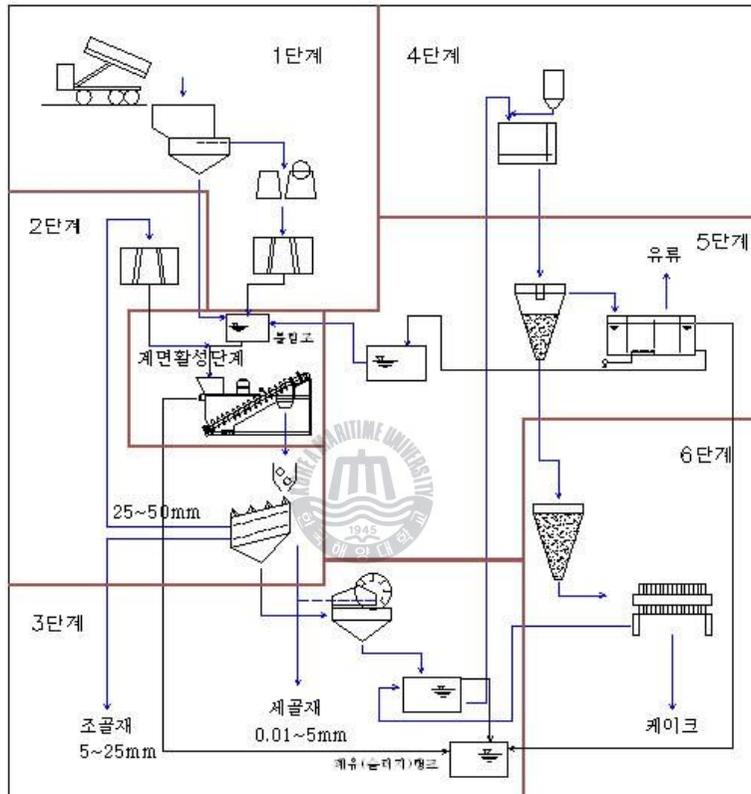
공정단계	공정개요
1단계	오염토양을 입도 50mm이하의 입자로부터 분리, 파쇄(1차, 2차 파쇄)
2단계	2차 파쇄된 토사는 불림조로 이송, 이송된 토사는 계면활성되며, 계면활성된 토사는 처리장치로 이송, 이송된 토사는 upscrew에 의해 배토장치로 이송, 배토장치를 거친 토사는 고압진동스크린을 통과 시 유분이 세척됨
3단계	5mm이하의 토양입자와 세척수 및 탈리유류의 혼합액을 분급기에 유입시켜 입도 0.01~5mm의 세골재를 분리, 배출수는 집수조로 이송됨
4단계	잔여토분과 유성혼합물은 반응조에서 미세입자를 제거하기 위하여 응집제를 투입함
5단계	응집제거가 가해진 잔여토분은 6단계로 이송되고, 유성혼합물은 유수분리장치로 이송, 이송된 유성혼합물 중 기름성분은 다단계격막의 유수분리장치에서 기름성분을 분리함(육상기준 5ppm)
6단계	침전조의 저부로 배출된 잔여토분은 탈수되어 케이크화 되고, 탈수액은 다시 집수조로 이송됨
비고	특히 오염토양의 성상은 함수율이 높은 이토 또는 사질토인 경우 1단계는 생략하고, 2단계부터 6단계의 공정이 이루어짐



3.3.2 입자가 큰 유류오염토양으로부터 기름제거방법

일반적인 육상의 유류오염토양이나 작은 바위나 자갈과 혼재되어 있는 해변으로부터 기름제거를 할 경우 다음의 6단계의 공정을 거쳐 정화한다. 본 유류오염토양의 유분제거방법에 관한 공정은 1단계에서 6단계로 나누며 자세한 기술은 다음과 같다.

시스템의 유류오염토양의 복원공법 처리공정 개략도는 [그림 3-3]과 같다.



[그림 3-3] 유류오염토양 복원공법 처리공정 개략도

1) 파쇄단계

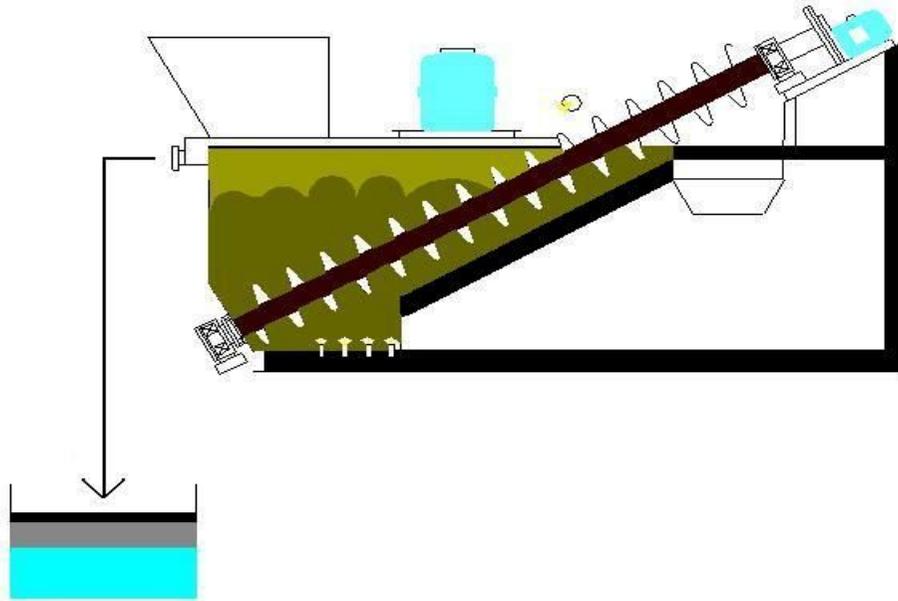
제1단계는 오염토양 중 입자가 큰 바위 또는 자갈 등을 입도 50mm 이하가 되도록 분리, 파쇄하는 단계로서, 이는 경질토사나 자갈이 섞인 토사의 경우 또는 오염토양 내에 오염토양이 견고하게 덩어리져 있거나 입도가 큰 입자가 포함된 경우에 이들 입자의 표면부 미세크랙 등을 통해 일정 깊이 내부로 스며든 유류는 표면부의 세척만으로는 제거되지 않는다. 이들을 적정 입도로 파쇄 함으로써, 내부에 스며든 오염 유류들도

다음 단계에서 고압 세척수의 분사에 의해 충분히 세척될 수 있도록 하기 위함이다.

본 단계에서 오염토양을 진동하는 피더스크린이 구비된 피더를 거치도록 하여 50 mm 이하의 입도를 갖는 토양립은 통과시키되, 50mm를 초과하는 입도를 갖는 토양립은 걸러내어 1차 파쇄기와 2차 파쇄기에 의해 50mm 이하의 입도를 갖도록 파쇄하게 된다. 입도가 큰 토양립을 입도가 작은 크기로 부순다는 것은 비능률적이고 또 기계가 고장을 일으키는 원인이 되므로, 50mm를 초과하는 입도를 갖는 토양립의 파쇄는 1차 파쇄기에 의해 먼저 입도 100mm 이하로 파쇄한다. 그리고 2차 파쇄기에 의해 50mm 이하로 파쇄하는 것과 같이 다단계로 설계함으로 효율을 극대화 할 수 있다.

2) 계면활성단계

사고 또는 자연 상태에서 금이 간 자갈이나 모래 또는 풍암 등은 연료유나 윤활유에 오랜 시간 동안 방치될 경우에는 기름성분이 자갈 또는 바위사이로 침투하여 자갈이나 바위 중의 유분농도는 매우 높아진다. 이러한 자갈이나 바위는 쥔 크락사와 콘 크락사를 거쳐 원하는 입자로 파쇄시켜 비이온 계면활성제인 0.3% APG 용액에 3시간동안 침전된 후 고압 진동탈수기를 거쳐 유분 농도를 환경기준치 범위내로 만든다. 1회 세척으로 부적합할 경우 또는 안정성을 고려하여 2, 3회 재 세척한다. 이때는 오염토사를 매립하지 않고 모래나 자갈로 재사용 할 수 있다.



[그림 3-4] 오염토 불림 및 이송 Screw 장치

상기 1차 파쇄기는 통상의 조크러셔, 2차 파쇄기는 콘 크러셔로 구성하였다. 다만, 오염토양이 실트나 점토, 사질토 또는 이들의 혼합물로 이루어진 보통토사로서 입도 50mm를 초과하는 토양립을 포함하지 않는 경우와 오염토양의 성상이 수분을 많이 함유하는 이토 또는 사질토인 경우에는 본 단계를 생략하였다. 특히 오염토양이 수분을 많이 함유하는 진흙이나 사질토인 경우에는 오염토양을 오염토 집하탱크에 저장한 후 또는 현장에서 바로 준설펌프를 이용하여 오염토를 저장 및 계면활성 시스템(Storage and emulsified treatment system)으로 이송한다.

오염토 저장 및 계면활성 시스템(Storage and emulsified treatment system)은 본 기술 중 핵심적인 기술로 오염토양이 별도의 투입호퍼를 거쳐 공급된 물과 혼합된다. 분리조에서는 오염토양과 물이 혼합되고, 이에 계면활성제 저장탱크(또는 외부에 설치된 저장탱크와 연결된 주입구)를 통해 계면활성제가 투입된 후 교반된다.

오염토 중에서 기름과 흙 사이의 접착된 상태를 분리하기 위하여 탱크 하부에 다수 개의 에어노즐을 설치하여 고압의 공기를 분출하여 공기방울이 미세하게 파쇄되면서 기름과 흙 등의 접착력을 완화시키고 동시에 효과적인 부상을 촉진시킨다.

상기와 같이 오염토의 저장 및 계면활성 시스템은 토양 세척 기법의 일종으로 토양 입자표면에 접촉되어있는 기름분의 표면 장력을 약화시킴으로써 기름으로 오염된 토양으로부터 유류를 분리시키는 물리화학적(physical & chemical treatment) 기술이다.

이와 같이 본 연구의 오염토 저장 및 계면활성시스템은 계면활성제의 CMC (Critical Micelle Concentration ratio)값 이상의 농도에서 유기 오염물질이 교질입자(micelle)구조 내부로 분배되는 용해화 과정과 토양 내 비 수용성 액상(NAPLs)⁴⁾이 계면활성제에 의해 계면 장력이 감소하여 이동성이 생기는 이동화 과정을 기초로 하여 오염물질의 제거가 이루어진다.

세척액의 농도는 APG가 0.1~3.0 중량%가 적절하다. 분리조에는 오염토양과 물 및 APG가 혼합되는데, 이 때 사용되는 APG는 물과 APG의 전체 혼합량에 대하여 0.1~3.0 중량%가 되도록 한다. 또한 혼합하여 세척하는 시간은 초기 3시간이 적당하다.

계면활성단계는 다양하게 실시할 수 있는데, 상기의 경우는 오염토양을 처리하는 일정한 장소에서 행하는 경우이다. 이와 별도로 오염된 원지반에서 오염토양을 터파기할 때 APG 혼합액을 분사하여 미리 혼합함으로써, 터파기하는 동안과 오염토양 처리 장소로 이동되는 시간동안 계면활성 작용이 일어나도록 하여 시간적인 효과를 얻을 수 있다.

블립탱크(조)는 여러 개를 직, 병렬로 조합하여 3시간 단위로 선택적으로 이용하여 항상 APG에 적정 불림상태의 오염토를 처리장치로 보내어 연속작업을 할 수 있다. 장치에 있어서의 이송 스크류는 유류와 분리된 토양을 상부로 이송시킴과 동시에 회전에 의해 교반의 역할을 하기도 한다. 블립탱크에서 불려진 오염토는 일정비율로 APG와 혼합되고, 처리장치에서는 공기방울에 의해 일부의 기름성분은 토양과 분리되면서, 토양은 처리장치의 하부로 침강하고, 분리된 유류와 부유성 찌꺼기들은 상부로 부유하게 된다. 상부로 부유된 기름은 별도의 집유탱크로 드레인(drain)되어 집유탱크로 이송된다.

4) NAPLs : Non aqueous phase liquids



분리조의 상부에는 에어노즐이 설치되어 있어, 이로부터 분출되는 공기가 분리된 유류와 찌꺼기들을 배출구 쪽으로 불어 이송시킴으로써 이송 스크류에 유류가 붙지 않게 된다. 분리된 토양은 이송 스크류에 의해 상부로 이송되며, 이송 스크류의 상단부에 위치한 배출호퍼로 배출되고, 배출호퍼를 통과하는 토양은 배토장치로 이송된다.

3.3.3 흙이나 모래만으로 구성된 오염토로부터 유분제거공정

오염토양의 현장에서 가까운 위치로부터 유류에 오염된 흙, 모래, 자갈 및 바위 등은 가까운 장소에서는 컨베이어로 이송시키고 약간의 거리가 있는 경우에는 포크레인 과 덤프트럭을 이용하여 처리장치로 이동시켜 3.3.2와 같은 공정을 거쳐 유류오염토양 으로부터 기름성분을 분리시키는 공정으로 처리 과정은 다음과 같다.

1) 2단계

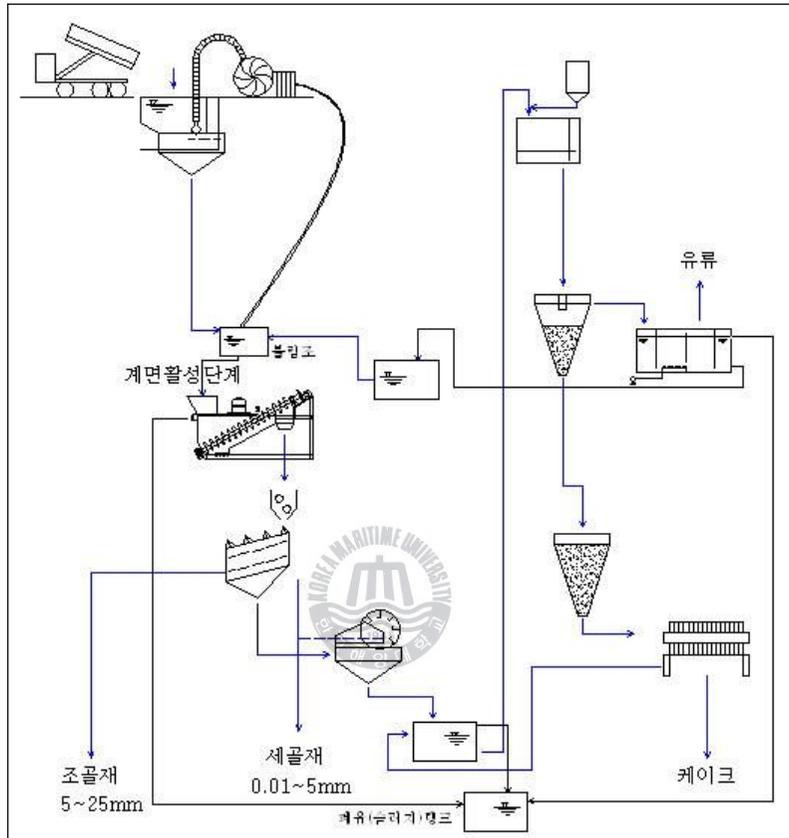
제2단계는 제1단계를 거쳐 입도 50mm 이하로 분리, 파쇄된 토양을 진동스크린세척기에서 세척함과 동시에 세척된 토양으로부터 입도 5~25mm의 조골재를 분리해 내는 단계로서, 토양립에 부착되어 토양을 오염시키고 있는 유류가 본 단계에서 고압수 세척에 의해 토양립으로부터 탈리된다.

상기 진동스크린세척기는 세척수 탱크와 연결된 다수개의 세척노즐이 구비되어 이 세척노즐로부터 고압으로 분사되는 세척수가 토양립의 표면에 부착된 유류를 탈리시키게 된다. 또한, 상기 진동스크린세척기에는 상하 2단의 스크린으로 설치한다.

상단 스크린은 25~50mm의 입도를 갖는 토양립이 걸러지고 하단 스크린은 5~25mm의 입도를 갖는 토양립이 재생 조골재로서 걸러지며, 나머지 5mm 이하의 입도를 갖는 토양립은 탈리된 유류 및 세척수와 함께 진동스크린세척기의 저부로 배출된다. 상단 스크린에 의해 걸러진 입도 25~50mm의 토양립은 3차 파쇄기에 의해 입도 25mm 이하의 토양립으로 파쇄된 후 반복하여 진동스크린세척기를 거치도록 한다. 즉, 입도가 25~50mm인 토양립의 경우에는 한번 세척이 이루어진 후 25mm 이하의 입도로 파쇄되어 또 다시 세척이 이루어지게 하여 세척도가 극대화되도록 한 것이다. 본 단계에서도 오염토양이 함수율이 높은 이토(진흙)나 함수율이 높은 사질토와 같은 경우에는 상기 3차 파쇄기에 의한 파쇄작업은 필요하지 않을 것이다. 상기 3차 파쇄기 역시 통상의 콘 크러셔 등으로 할 수 있다. 그리고 상기 진동스크린세척기의 상단부에는 오염된 토



양립에 대한 세척력을 향상시킬 수 있도록 오염 토양립을 물로 불리는 한편 진동스크린세척기의 상단 스크린 상부에 오염 토양립이 고루 흩뿌려지도록 비비면서 탈리시키는 기능의 배토장치를 설치한다. 이 배토장치를 통해 상기 제1단계를 거쳐 분리, 파쇄된 오염 토양립이 상기 진동스크린세척기로 공급한다.



[그림 3-5] 자갈이나 바위가 없는 오염토 처리

2) 3단계

제3단계는 입도 5mm 이하의 토양립과 세척수 및 탈리 유류의 혼합액을 분급기에 유입시켜 이로부터 입도 0.01~5mm의 세골재를 분리해 내는 단계이다. 상기 제2단계의 진동스크린세척기의 저부로 유출된 입도 5mm 이하의 토양립과 세척수 및 세척에 의해 토양립으로부터 탈리된 유류의 혼합액을 분급기에 유입시킨다. 원심력과 유체항력에 의해 입도 0.01~5mm의 토양립은 분급기의 외주부로 모아 세골재로서 분리해내고, 입도 0.01mm 이하인 미분 상태의 잔여 토분(슬러지)과 세척수 및 탈리 유류의 혼합

액은 분급기의 중심부에 모아 분급기의 저부로 배출하여 폐수 집수정에 집수한다. 상부에 부상된 기름은 별도의 드레인 탱크로 집유시킨다.

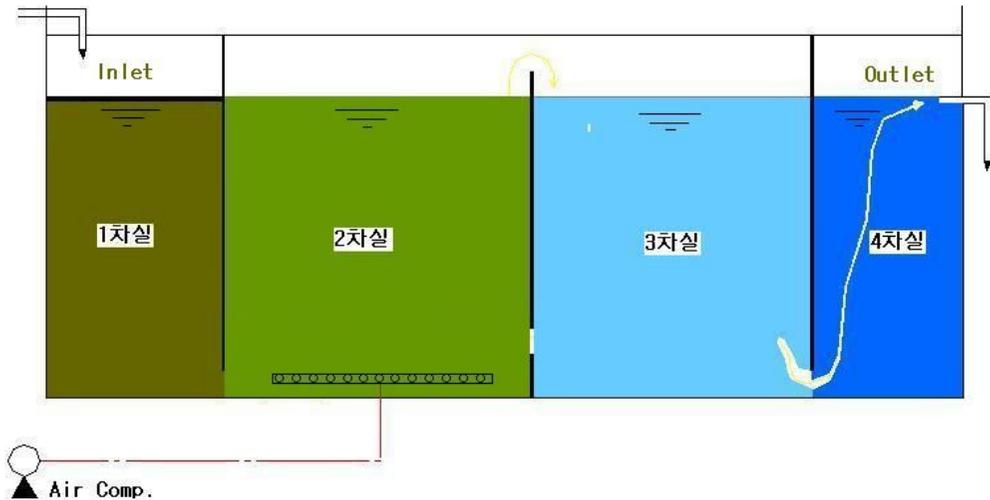
3) 4단계

제4단계는 잔여 토분과 세척수 및 탈리 유류의 혼합액을 약품 반응조에 유입시켜 응집제를 가하고 교반하는 단계이다. 오염 토양으로부터 복원된 조골재와 세골재가 분리되고 남은 잔여 토분과 세척수 및 탈리 유류의 혼합액은 마치 뽕물과 같이 미분상태의 잔여 토분이 세척수와 탈리유류에 현탁되어 있는 폐수상태로 폐수집수정에 집수된다. 다음 단계에서 잔여 토분을 응집, 침강시킴에 의해 용이하게 분리할 수 있도록 하기 위해 이 혼합액을 약품반응조에 유입시켜 이에 약품탱크로부터 공급되는 응집제를 첨가한다. 이때, 응집제가 혼합액에 균일하게 섞이도록 적절히 교반시킨다.

4) 5단계

제5단계는 응집제가 가해진 잔여 토분과 세척수 및 탈리 유류의 혼합액을 침전조에 유입시켜 잔여 토분과 세척수 및 탈리 유류를 각각 층상으로 분리하는 단계이다. 침전조에서 입도 0.01mm 이하인 잔여 토분은 응집제의 작용으로 응집되어 침전조의 하부로 침강하게 되고 액상인 세척수와 탈리 유류는 침전조의 상부에서 비중 차에 의한 분리가 이루어진다.





[그림 3-6] 유수분리과정

이렇게 응집되고 침강된 잔여 토분은 침전조의 저부로 배출시키는 한편, 상부의 세척수와 탈리 유류는 침전조의 상단부로 월류(Over flow)시켜 배출시킨다. 이 때 유류는 비중이 작아 세척수의 상부로 부상함으로써 오염 토양립으로부터 탈리된 모든 유류가 일부 세척수와 함께 침전조로부터 월류되어 배출하게 된다.

5) 6단계

제6단계는 침전조의 저부로 배출된 잔여 토분을 농축, 탈수하고, 침전조의 상부로 overflow된 세척수와 탈리 유류를 각각 분리시키는 단계이다. 침전조의 저부로 배출된 잔여 토분을 농축조에서 농축시킨 후 탈수기에서 탈수시켜 케이크화(Cake)하여 수거한다. 침전조의 상부로 월류된 세척수(Over flowed water)와 탈리 유류(Separated oil)의 혼합액은 유수분리기를 거치도록 함으로써 유류를 세척수로부터 분리한다. 이렇게 부상 회수된 유류는 폐유처리시설로 보내지며, 유류가 제거된 세척수는 수관을 통해 세척수 탱크로 보내어져 제2단계에서 재이용 되도록 한다.

한편, 탈수기에서 발생한 수분은 다시 폐수집수정으로 보내어 역시 재이용되게 한다. 그러므로 제1단계 내지 제3단계는 과쇄와 세척에 의해 오염토양을 복원하여 조골재와 세골재를 회수하는 공정이고, 제4단계 내지 제6단계는 오염된 세척수에 대한 수

처리 공정이라 할 수 있다.

이와 같이 본 기술은 오염토양을 적정 입도로 파쇄하여 세척함으로써 세척에 의해서도 충분한 유류제거 효과를 가져올 수 있도록 하고, 각 단계가 연속적으로 이루어지는 연속 프로세서이므로 오염토양의 복원에 걸리는 시간이 대폭 줄어들게 된다. 그리고 복원에 사용되는 세척수는 오염 유류가 제거되어 계속적으로 순환되어 반복 활용되므로, 오염 토양의 복원에 따른 2차 오염의 염려가 없다. 뿐만 아니라 비이온성 계면활성제인 APG(Alky1 POLY Poly Glucosides)를 사용한 계면활성단계를 가짐으로써, 계면활성제에 의한 2차 오염을 방지하고, 파쇄된 오염토 등을 효과적으로 재생할 수 있다.

작업이 완료된 후 최종 처리수 또는 사용수는 폐수처리장으로 위탁 처리하고 탈수 케익은 관리형 매립장에 위탁처리하고 정화된 토양립, 세골재 또는 조골재 등은 건설 기초자재 또는 재료로 재활용 가능하다.



4. 유분제거 기초실험

4.1 사용 토양

본 연구의 유분제거 실험에 사용한 오염토양 시료는 부산시 서구 장림동 야산에서 채취한 토양으로 채취한 토양 중 큰 입자의 토양과 이물질을 제거하기 위하여 #4체(4.75mm)로 체 거름을 하고, 체 거름한 토양을 중량 250g 대비 4%인 10g의 폐유(MF-30)를 섞어서 Total Petroleum Hydrocarbon(TPH)기준 약 40,000ppm의 인공 유류오염토양을 만들어서 3일 이상 보관 후 실험대상 시료로 사용하였다.

4.2 실험방법 및 데이터 수집방법

현장 적용을 위한 설계 인자 및 최적의 처리 조건을 규명하고자 계면활성제의 종류와 농도 그리고 처리시간별 처리 정도 등을 고려한 최적의 세척효율을 검토하기 위하여 다음과 같이 실험을 하였다.

4.2.1 시료의 종류와 인공오염방법

1) 시료의 종류

실험에 사용한 시료는 <표 4-1>와 같으며, 채취한 토양에 토양중량대비 약 4% 폐유를 균일하게 섞어 제조하였다.

<표 4-1> 시료의 종류

구분	토양	인공오염토양
A 시료	점토질 토사[250g]	폐유(MF-30)[10g, 토양 중량대비 4%]
B 시료	사질 토사[250g]	폐유(MF-30)[10g, 토양 중량대비 4%]

2) 실험방법

실험방법은 500ml 비커(Beaker)에 점토질 토사와 사질 토사를 전자저울(일본, AND사, 사용범위 : 4g~3,100g)에 계량하여 250g을 넣고, 폐유(MF-30)를 토양 중량 대비 약 4%를 첨가하여 균일하게 교반시켜서 인공오염토양 시료를 제조하였다. 그



리고 계면활성제를 농도 비율별로 각각 제조하여, shaking한 후 육안으로 농도별 세척효과를 관찰하고, 인공오염토양 시료에 대해서 가장 세척효과가 좋아 보이는 적정농도를 선정하였다.

인공오염토양시료에 대해 선정된 농도별 계면활성제를 넣은 후 시간대별 세척효율을 검증하기 위하여 관찰하였으며, 세척된 시료를 농도별·시간대별로 샘플을 채취하였다. 1차 세척된 시료에 대해서는 공인기관에 의뢰하여 기름성분함유량의 시험결과를 얻었다.

4.2.2 계면활성제의 선정

천연 비이온성 계면활성제인 Alkyl Polyglucoside(APG)를 구입하여 적용하였으며, 본 제품은 낮은 독성과 높은 생분해도를 가지고 있으며, 식품세척에도 사용되는 계면활성제로서 매우 친환경적인 물질로 Swedish Society for Nature Conservation에 의해 승인받은 계면활성제이다.

4.2.3 기름성분 분석방법

기름성분 분석방법은 폐기물공정시험방법(환경부고시 제2004-185호)에 근거한 중량법으로 노말헥산 추출시험방법을 적용하였으며, 국가공인검사기관인 한국건자재 시험연구원에 검사를 의뢰하여 분석하였다.

4.3 유분제거 실험결과 및 고찰

4.3.1 계면활성제의 농도에 의한 세척율

본 실험에서는 각각의 시료에 물 400cc와 계면활성제의 농도를 [그림 4-1]과 같이 원액기준 각각 0.3%, 0.6%, 1.8%, 3%, 6%, 12%로 용액을 제조하였다. 제조한 세척제를 투입하여, 인공오염 사질 토사 [그림 4-2]와 인공오염 점토질 토사 [그림 4-3]과 같이 유류오염토양 시료에 대한 각각의 세정효율을 관찰하였다.

인공오염 점토질 토사의 세척상태를 육안으로 관찰해 보면, APG 0%일 때 점토질 토사의 내부 및 위 부분에 기름의 함유량이 많이 내포되어 있음을 알 수 있다. 가장 세척효과가 좋아 보이는 것은 세척액의 계면활성제 농도가 원액의 0.6%~3%일 때이다.





[그림 4-1] 계면활성제의 농도별 용액제조



[그림 4-2] 인공오염 사질 토사에 대한 계면활성제의 농도별 상태



[그림 4-3] 인공오염 점토질 토사에 대한 계면활성제의 농도별 상태

4.3.2 세척시간에 따른 세척율

인공오염 점토질 토사에 대한 농도별 계면활성제 용액 중에 가장 세척율이 좋아 보이는 0.3% 용액을 선택하여 0.5시간, 1.5시간, 3시간, 24시간에 걸쳐서 [그림 4-4]~[그림 4-6]과 같이 시간대별 세척율의 변화를 관찰한 결과, 시간이 많이 경과할수록 상층에 분리된 기름의 농도가 짙어짐을 알 수 있었다.



[그림 4-4] 인공오염 점토질 토사에 대한 시간대별 농도별 세척상태



[그림 4-5] 3시간 이후 인공오염 점토질 토사의 세척상태



[그림 4-6] 3시간 이후 인공오염 사질 토사의 세척상태

4.3.3 기초실험결과에 대한 분석

1) 처리시간별 오염된 점토질 토사(A시료) 실험결과

계면활성제의 농도 0.3%를 적용하여 처리시간별 오염된 점토질 토사에 대한 시험 결과는 <표 4-2>과 같다.



<표 4-2> 처리시간별 점토질 토사(A시료) 시험결과 (단위 : mg/kg)

구분	처리시간(h)	0.5	1.5	3	24	비고
	계면활성제 농도					
A 시료 (4% 폐유오염)의 처리율(%)	용액 농도(3.0%)	1,026	720	832	597	
	제거율(%)	97.44	98.20	97.92	98.51	

2) 농도별 오염된 점토질 토사와 사질 토사의 실험결과

계면활성제의 농도를 각각 0.3%, 0.6%, 1.8%, 3%, 6%, 12%로 적용하여 Batch 실험의 처리시간별 오염된 점토질 토사와 사질 토사에 대한 시험결과는 <표 4-3>~<표 4-4>와 같다.



<표 4-3> 농도별 점토질 토사(A시료) 시험결과

(처리 시간 : 3시간 기준)

구분	구분		3시간 기준	제거율(%)	비고
	계면활성제 농도				
A 시료 (4% 폐유오염) 의 처리율(%)	용액 농도(0.3%)		92	99.77	
	용액 농도(0.6%)		475	98.81	
	용액 농도(1.8%)		1,711	95.72	
	용액 농도(3.0%)		3,447	91.38	
	용액 농도(6.0%)		4,890	87.78	
	용액 농도(12%)		2,261	94.35	

<표 4-4> 농도별 사질 토사(B시료) 처리결과

(처리 시간 : 3시간 기준)

구분	구분		3시간 기준	제거율(%)	비고
	계면활성제 농도				
B 시료 (4% 폐유오염) 의 처리율(%)	용액 농도(0.3%)		1,033	97.42	
	용액 농도(0.6%)		1,024	97.44	
	용액 농도(1.8%)		1,530	96.18	
	용액 농도(3.0%)		1,136	97.16	
	용액 농도(6.0%)		4,154	89.62	
	용액 농도(12%)		3,438	91.41	

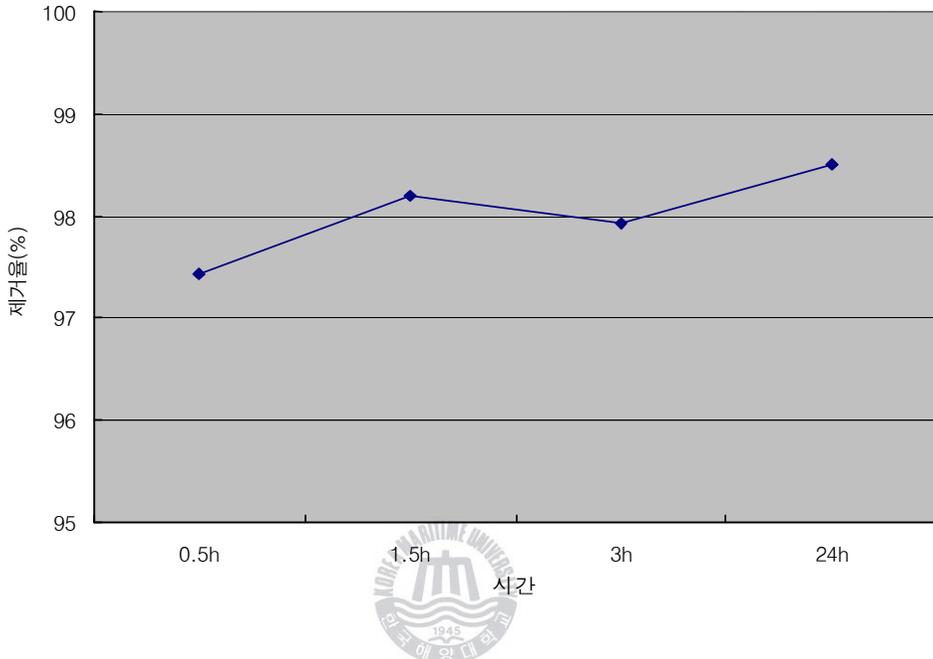
4.3.4 기초실험결과에 대한 고찰

1) 처리시간별 오염된 점토질 토사(A시료) 실험결과에 대한 고찰

계면활성제의 농도 0.3%를 적용하여 시간대별 오염된 점토질 토사에 대한 처리시간별 TPH 제거율을 고찰해보면 초기 1시간에서 3시간까지의 세척효율은 비슷하게 나타났다. 약 24시간이 경과함에 따라 TPH 제거율이 약 1%정도 증가하였다. 실험결과로 처리시간이 경과함에 따라 인공오염토양의 TPH 제거율이 증가함을 알 수 있었다. 그러나 처리시간대별 제거율의 변화추이는 비슷하지만 TPH 제거율은 매우 양호하게 나타남을 알 수 있었다.



본 실험결과는 인공오염토양시료를 세척용액만으로 1차 세척한 것임에도 초기 3시간까지의 제거율이 매우 우수하게 나타났다. 초기 유분을 제거 한 후 2차 세척을 해준다면 보다 짧은 시간 내에 세척효율은 좋아질 것으로 판단된다.



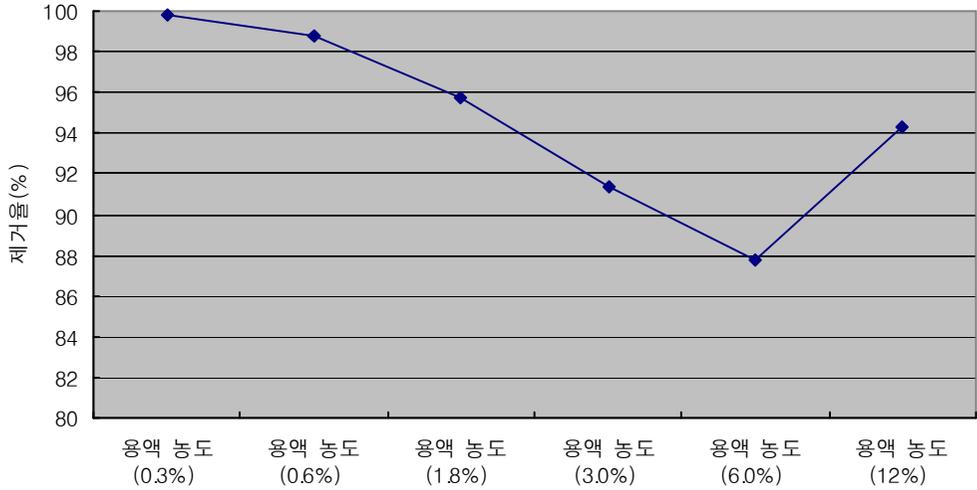
[그림 4-7] 처리시간별 오염된 점토질 토사 TPH 제거율

2) 농도별 오염된 점토질 토사(A시료) 실험결과

농도별 세척효율을 분석한 결과 [그림 4-7]와 같이 계면활성제 농도가 0.3%에서 가장 TPH 제거율이 좋은 것으로 나타났다. 그러나 0.3% 농도 이상에서는 오히려 TPH 제거율이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 요인은 세척용액만으로 1차 세척한 결과로 세척액에 의해 용해된 TPH가 점토질 토사의 점착력에 의해 공극사이에 잔존해 있는 유분에 의한 것으로 사료된다. 따라서 재차 물로 세척을 해준다면 TPH 제거율은 매우 향상될 것으로 판단된다.

실험결과에 의해서 1차 세척 시에 농도를 0.3%로 한다면 오염된 점토질 토사의 세척에 있어 매우 경제적이며, 효과가 있을 것으로 판단된다.





[그림 4-8] 농도별 오염된 점토질 토사 TPH 제거율

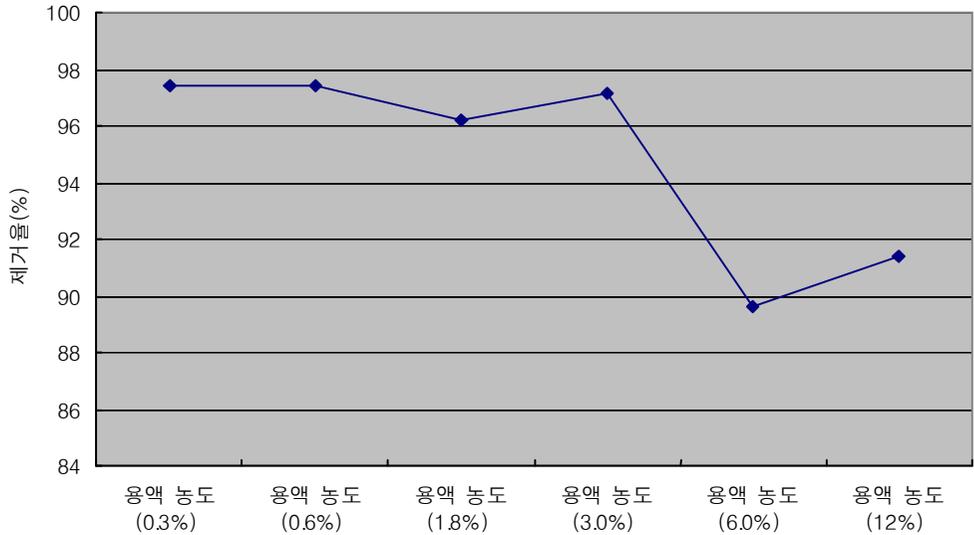
3) 농도별 오염된 사질 토사(B시료) 실험결과

오염된 사질 토사의 농도별 세척효율은 [그림 4-9]과 같이 세척액의 용액농도가 0.3%~3%에서 가장 TPH 제거율이 좋은 것으로 나타났으며, 농도가 6%로 증가함에 따라 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

본 실험결과에서도 인공오염토양시료를 세척용액만으로 1차 세척한 결과에 의해서 나타난 것으로 세척액에 의해 용해된 TPH가 점토질 토사에 비해서 사질 토사의 공극이 크므로 1.8%~3% 농도범위에서 세척율이 다소 높은 것으로 판단된다.

또한 현장 적용 시에는 물에 의한 재 세척을 해준다면 효율은 매우 향상될 것으로 판단되며, 또한 1차 세척 시에 농도를 0.3% 정도 한다면 오염된 사질 토사의 세척에 있어 매우 경제적이며, 효율적인 효과가 있을 것으로 판단된다.

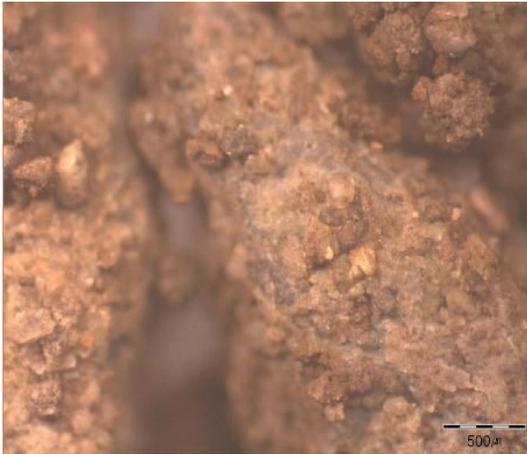




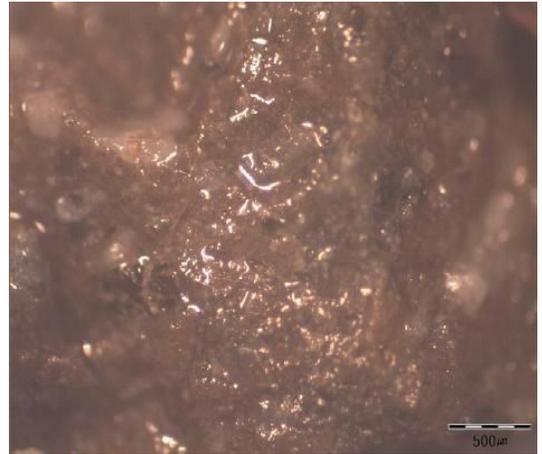
[그림 4-9] 농도별 오염된 사질 토사 TPH 제거율

4.3.5 처리 과정별 오염토의 성상 확인(Laboratory photo)

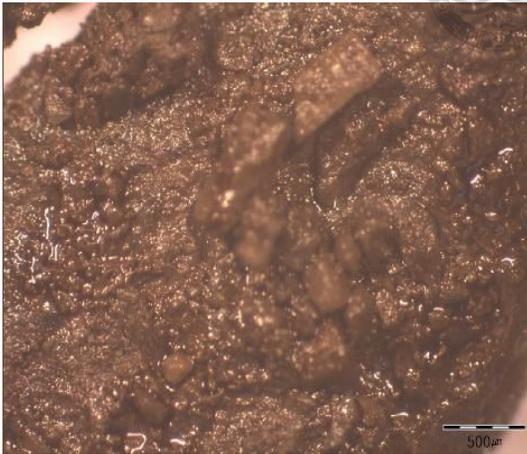
측정 오염토의 성상을 확인하기 위하여 흙, 모래로 나누어 각각의 성상(모래, 기름과 혼합, APG 처리 및 유분제거 후)별 상태를 미세 확대 촬영하였다. [그림4.10]~[그림4.13]은 흙의 성상별 사진이고, [그림4.14]~[그림4.17]은 모래의 성상별 사진이다. 아래의 그림에서 보이듯이 APG에 의해 처리된 입자의 사진에서는 유류성분이 거의 사라진 것을 확인할 수가 있다.



[그림 4-10] 실험용 흙의 입자



[그림 4-12] 모래와 기름, APG의 혼합 상태

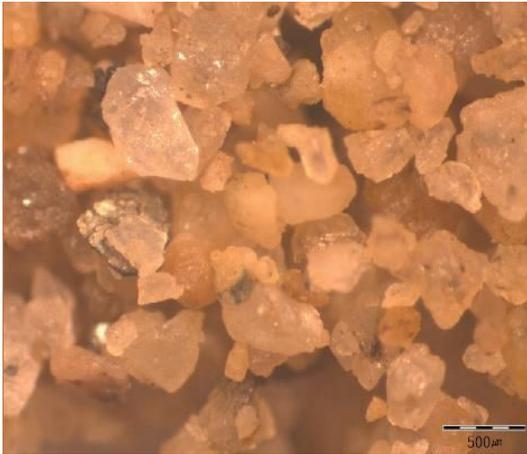


[그림 4-11] 흙과 기름의 혼합 상태



[그림 4-13] 기름이 제거된 흙의 상태





[그림 4-14] 실험용 모래의 입자



[그림 4-16] 모래와 기름, APG의 혼합 상태



[그림 4-15] 모래와 기름의 혼합 상태



[그림 4-17] 기름이 제거된 상태



4.4 요소기술

오염토(흙, 모래, 자갈)에 부착된 기름분을 탈리시키는 과정에서 효과를 증진시키기 위하여 정온유지, 공기부상 및 거품제거 기술을 적용하였다.

4.4.1 유류의 종류

자동차, 선박 등에서 사용하는 기름은 크게 연료유와 윤활유로 나눌 수 있다. 연료유는 일반적으로 항공유(Mogas), 휘발유(Gasoline), 경유(Light oil), 디젤유(Diesel oil), 벙커A(Bunker A oil), 중유(Heavy fuel oil)로 나누고 윤활유는 엔진오일(Engine oil), 실린더 오일(Cylinder oil) 등으로 나눌 수 있다.

<표 4-5> 연료유의 종류와 성상

연료성상 연료종류		동점도 50℃ m ² /sec	물과 침전물 부피(%)	회분 부피(%)	황분 무게(%)	비고
경유	육상용	1.9-5.5	0.15	0.02	0.43	Diesel Engine연료
	해상용	1.5-6.0	0.20	0.01	1.0	발전기 엔진용
등유	보일러용	1.3-1.4	0.15	0.1	0.1	등유와 경유의 혼합(Blending)
	실내용	-	-	0.1	0.1	
중유	A	20이하	0.5	0.05	2.0	공장 연료용 (대형보일러)
	B	50이하	0.5	1.0	3.0	선박용 예열하여 사용
	C	540이하	1.0	-	4.0	선박용 예열하여 사용

4.4.2 온도에 의한 점도의 변화 확인

경유 계통의 연료유는 점도가 낮으므로 온도에 관계없이 유동성이 좋으며 대부분 빠른 시간 안에 휘발하여 문제가 없다.

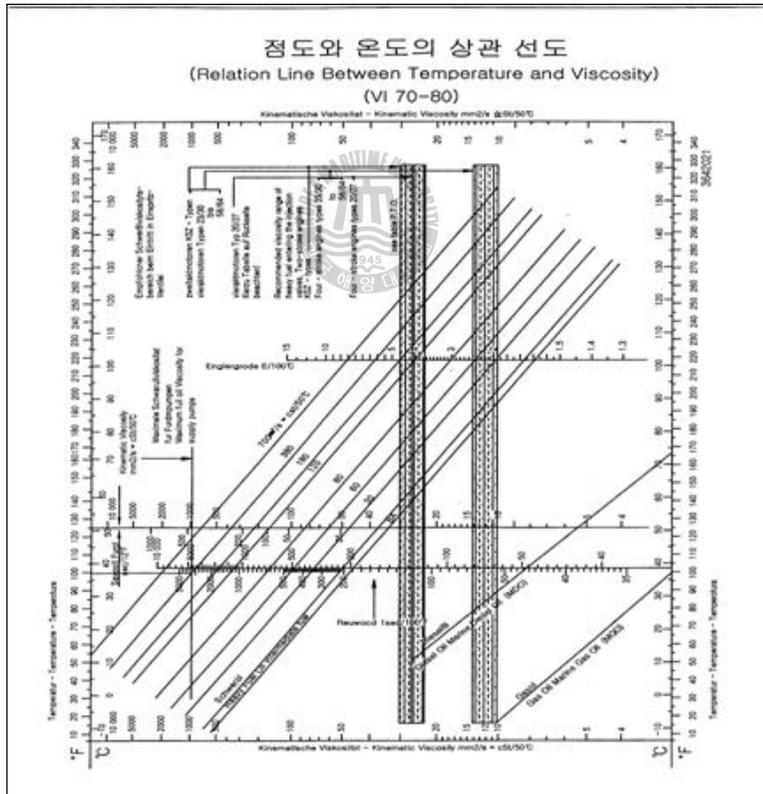
현재 해양시설, 미군부대, 군부대, 저유시설 등으로부터 문제되는 유종은 중질유 계

통이다. 이들 기름은 온도가 저하되면 점도가 높아 유동성이 없어지고 부착된 기름의 탈리효과가 떨어진다.

4.4.3 표면에 부착된 기름성분의 탈리를 위한 최적온도

미군부대 또는 한국의 부대는 연료유 계통의 오염도가 많으며 이들 중 일반 경우는 점도가 낮아 가열하지 않아도 유동성이 좋다. 그러나 B 중유 또는 C 중유의 경우에는 가열하지 않았을 경우 점도가 높아서 오염토의 모래, 흙 또는 자갈에 부착된 기름성분이 계면활성제의 기름성분 분해 작용에도 불구하고 고점도로 인하여 탈리효과가 저하된다.

이러한 문제를 개선하기 위하여 수온을 일정한 온도 이상으로 유지하여 적정점도를 유지하기 위한 일정 온도 이상으로 유지가 필요하다.



[그림 4-18] 연료유의 온도. 점도 선도

4.4.4 공기부상기술

장치의 하부에는 비중이 높은 오염토(비중 약 2.5)가 산재되어 있고 용기에는 계면활성제 용액과 미세 오염토가 불규칙하게 분포되어있다. 용기내의 기름성분은 쉽게 부상(10Cm/sec)되지만 일부 유화된 기름 또는 유화수(Emulsified oil or emulsified water)는 부상 시 많은 시간이 소요된다. 그러므로 미립자의 공기방울을 장치 하부에서 공급하여 미립자 유분의 부상을 촉진시킨다.

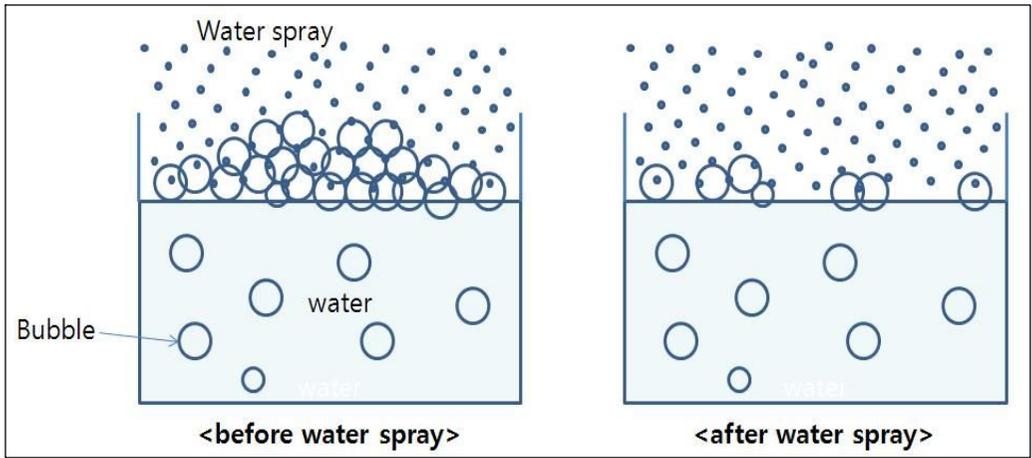


[그림 4-19] 미립 공기방울 공급 장치

4.4.5 거품제거 기술

계면활성제를 사용하여 오염된 흙을 불린 후 미세 공기방울을 일으키면 이들 기포는 표면에서 다량의 거품을 만든 상태에서 오랜 시간동안 유지된다. 거품은 다량의 기름성분을 함유(Contained oil)하고 있으므로 장치 밖으로 넘치면 2차 오염을 유발한다. 바람에 의하여 거품군이 장치 외부로 날려 또 다른 오염원이 된다.

이러한 거품을 제거하기 위하여 1.2M 높이에서 직경 1mm의 물방울(Water drop)을 연속적으로 분사시켜 거품의 표면에 낙하시키다. 낙하된 물방울은 표면장력에 의해 거품의 표면에 떨어짐으로 거품의 형상은 깨어지고 보통의 물로 됨으로 거품 표면에 있던 기름성분이 장치의 외부로 흘러내리는 등의 2차 오염이나 번거로움이 없어진다.



[그림 4-20] 물방울에 의한 거품 제거기술



5. 결 론

본 연구에서는 해양 유류사고에 의해 오염된 토양을 처리하기 위한 방법을 연구하였다. 유류에 오염된 토양의 정화를 위하여 오염토양에 잔재하는 기름을 제거하는 방법 중의 하나인 토양세척기법을 적용하여 시스템 구축을 제안하였다. 그리고 인공 오염시킨 시료에 대한 토양세척기법으로 유류제거 실험과 분석을 하였다. 토양의 중량대비 4%의 기름으로 인공 오염시킨 점토질과 사질토의 시료에 대해서 천연 비이온 계면활성제를 이용하여 유류제거율에 대한 기초실험을 실시하였다.

다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 바위, 자갈 또는 모래의 미세공간에 함유된 기름성분을 제거하기 위하여 입자를 파쇄하여 유류오염토의 유분을 효율적으로 제거하는 시스템을 제안하였다.

2. 자료 조사 및 분석을 통하여 천연 계면활성제인 APG를 선정함으로써 2차 오염을 방지할 수 있다.

3. 기초실험에서 선정한 천연 계면활성제(APG)를 이용한 배치실험결과, 처리시간별 TPH 제거율은 처리시간이 경과함에 따라 인공오염 토양의 TPH 제거율이 증가하였다.

4. 오염된 점토질 및 사질토를 세척한 결과 계면활성제의 농도가 0.3%~3%일 때 가장 좋은 TPH 제거율이 나타났으며, 농도가 6% 이상일 때는 오히려 TPH 제거율이 점차 감소하였다.

5. 1차 세척에 의한 기름 제거율은 약 87~99% 정도의 효과가 있음을 확인하였다. 현장 적용 시에는 세척수를 이용해 재세척한다면 더욱 경제적이고, 효율적일 것으로 판단된다.

아울러 본 연구는 유류오염토양에 대한 기름 제거방법의 기초연구로서 현장 적용 실험은 현재 태안에서의 유조선 사고로 인한 오염된 해변에서 이루어지도록 준비하고 있다. 실제 제작된 장비로 실험을 수행하여 얻은 데이터를 수집·분석하여 좀 더 세부적인 사항을 적용한다면 시프린스호 오염사고, 태안 오염사고 등 향후 유류오염 현장의 근본적인 복원 시 원활한 처리가 이루어질 수 있을 것이다.



참고 문헌

- [1] 해양수산통계, 2007, “선박의 입출항 동향”, 해양수산부.
- [2] 농업기반공사, 2002, 육군 구정비창 오염부지 정화사업 공법 실증 시험 최종보고서, pp.833.
- [3] 최상일 외 2명, 1997, “소수성 유기오염물질로 오염된 토양에 대한 혼합 계면활성제를 이용한 토양세척기법의 적용성 연구”, Journal of the Korea of Groundwater Environment, Vol. 4, No. 2, pp.103-108.
- [4] 윤여경, 최규석, 1994, “Alkyl Polyglucoside 계면활성제의 물리적 거동에 관한 연구”, Journal of the Korean Industrial and Engineering Chemistry. Vol.5, No.3, pp.451-456.
- [5] 이민희 외 4명, 2002, “계면활성제 원위치 토양 세정법을 이용한 유류 오염 지역 토양·지하수 정화 실증 시험”, 한국지하수토양환경학회지, Vol. 7, No. 4, pp.77~86.
- [6] West C.C., Harwell J. H., 1992, “Surfactants and subsurface remediation”, Environmental Science & Technology, Vol. 26, No. 12, pp. 2324-2330.
- [7] Harwell J.H., 1992, “Factors Affecting Surfactant Performance in Groundwater Remediation Applications”, in Transport and Remediations of Subsurface Contaminants, ACS Symposium Series 491, pp.124.
- [8] Ward A. J., 1990, “Kinetic of solubilization in surfactant-based systems”, Surfactant Science Series, Vol. 55, pp.237~273.
- [9] 특허청, 2001, “정밀화학원제”, 2001 신기술 동향 조사 보고서.

