

enbiochem

# **BioSolve에 의한 토양오염정화**

**In-Situ Bioremediation for Oil contaminated Soil**

(주) 엔바이오켄  
(02)584-5326

# 토양에 고착된 비수용상액체

(NAPL=Non-Aqueous Phase Liquid)

- 토양은 지상이나 지하에 유출된 비수용상액체 오염을 가질 수 있다.
- 오염물이 지상.지하에 유출되었을 때 비수용상액체 (NAPL:Non Aqueous phase Liquid )는 비이동성 droplet나 ganglia 로 토양에 축적될 때까지 분리 액상으로 하양 이동하는 경향이 있고 토양 matrix 쪽으로 분산하는 경향이 있다.
- NAPL은 고투과성 소로로 흐르는 경향이 있고 저 투과성 층으로 퍼지는 경향이 있다.
- 토양 matrix에서 비수용상 액체의 성질은 다음에 모든 형태나 또는 그 중 하나로 될 수 있다.
  - vapor 상으로 머무르거나 증발한다.
  - 토양 표면에 흡착한다.
  - 토양 수분 속으로 용해한다.

# 토양 MATRIX에서 비수용상액체(NAPL)의 성질

- vapor 상으로 머무르고 증발한다.
- 토양 속의 수분에 용해된다.
- 토양표면에 흡착한다.

# 토양에 고착된 비수용상액체

비수용상 액체의 이행경로에 있는 지하수면의 경우에 그 소로(the path)는 비수용상 액체의 비중으로 측정된다.

- 고비중의 비수용상 액체(DNAPL's)는 지하수 보다 높은 비중을 갖고 따라서 하행 이행을 계속하고 수중 밑바닥에 퍼지게 된다.
- 저 비중의 비수용상 액체(LNAPL's)는 지하수 보다 낮은 비중을 갖고 지하수 상부에 퍼지게 된다.
- 양쪽의 경우에 어느 정도의 오염물이 고정된 입자(droplets)나 Ganglia 로 될 때까지 비수용상 액체는 토양 matrix 내로 분산한다.

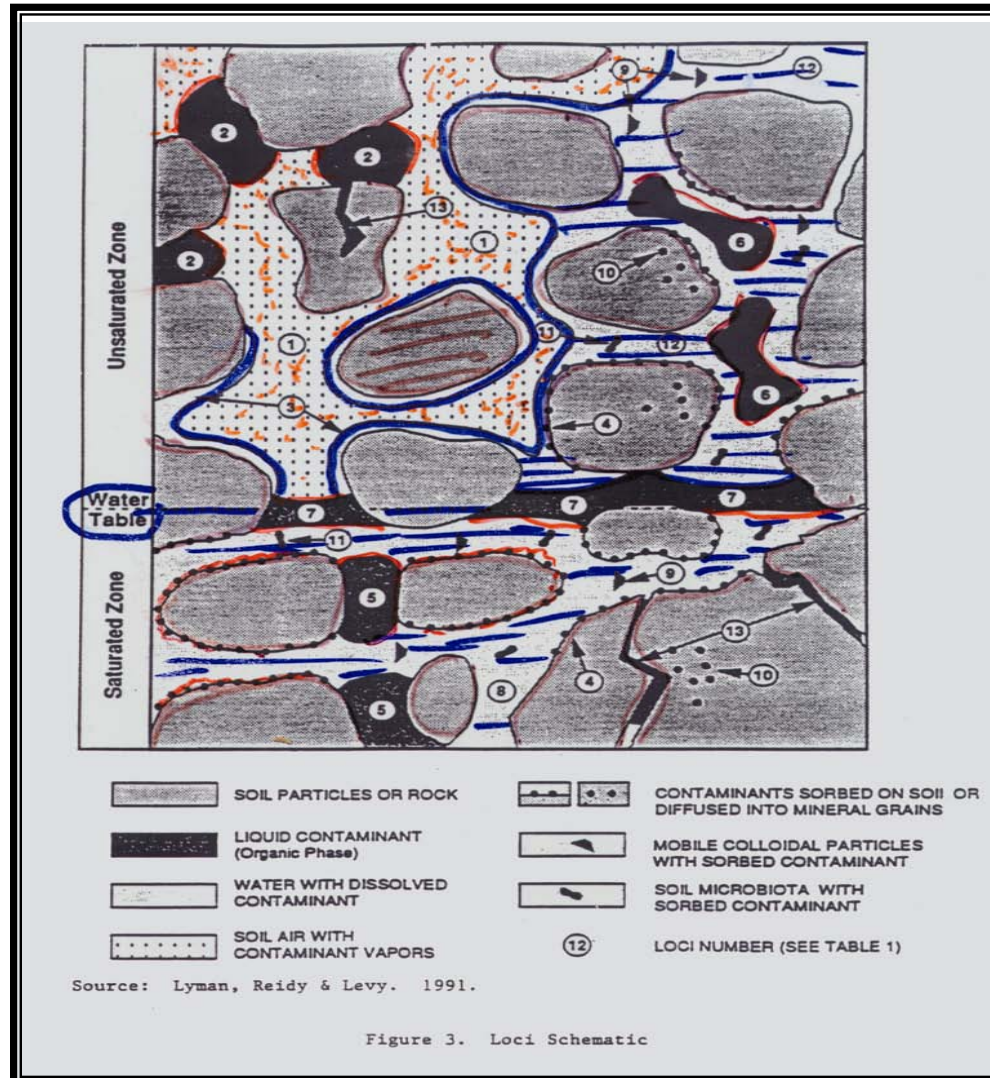
비수용상 액체는 통상적으로 수중에 5~1,000mg/l 의 저용해도를 갖는다.

규정은 요구 정화로서 훨씬 낮은 농도를 요구할 수 있다.

오염물의 낮은 방출은 이송처리법 (pump& treat) 진공 추출법(vacuum extraction) 땅속 미물 정화법 (in- situ bioremediation)과 같은 많은 전통적인 토양처리 system의 효율을 제한했다.

이것은 정화 공정이 요구한도에 도달하기 위해서는 너무 많은 시간이 걸렸기 때문이다.

# 토양 MATRIX에서 비수용상 액체의 성질

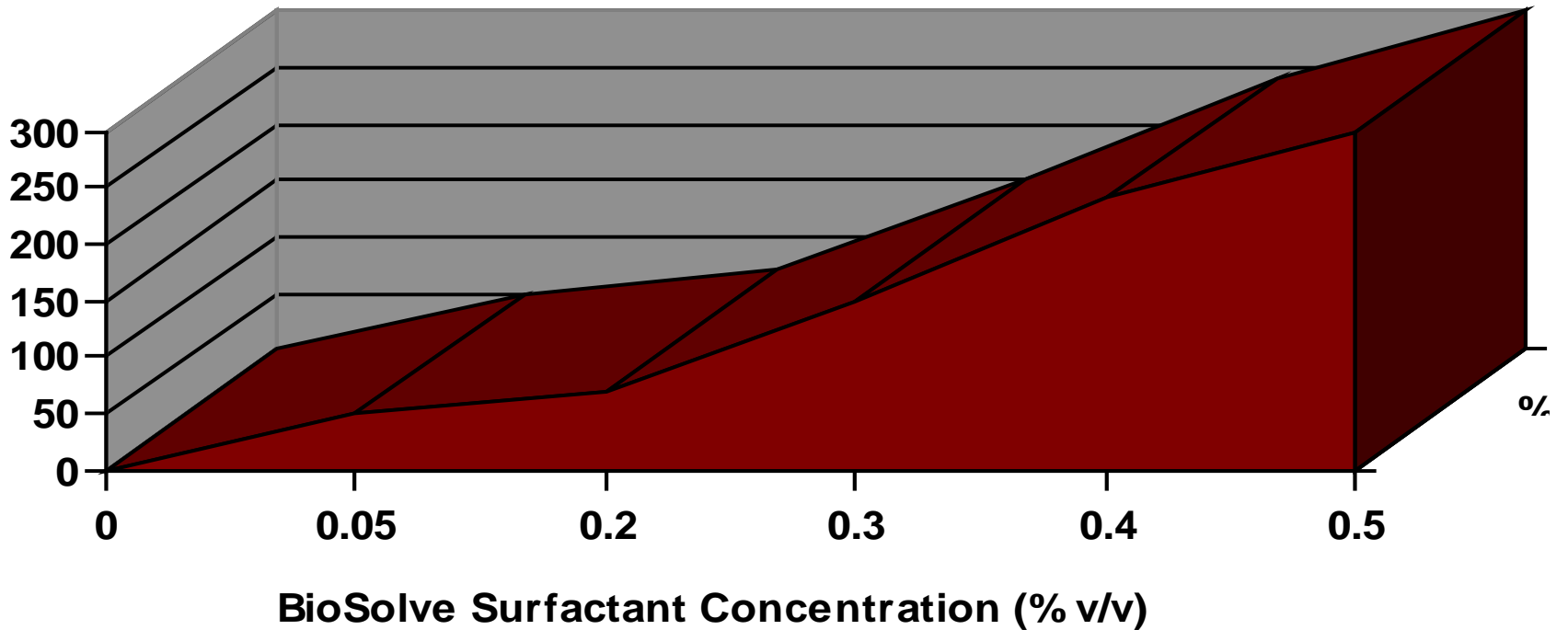


# 계면활성제 사용

- 고정화된 비수용상 액체의 낮은 방출에서 오는 문제를 극복하기 위해 사용된 기술중의 하나는 계면활성제로서 오염물(NAPL)을 용해화 하는것이다(Edwards, D. A. et al).
- 계면활성제는 회수 효율과 이동성을 촉진시키기 위해 저 비중의 비수용상 액체를 유화할 수 있다. (Chevalier et al., 1997; Abdul et al., 1990).  
많은 경우에, 계면활성제가 비수용상액체 분해미생물에 독성이 없다면 이기술은 미생물정화를 증진 시킬 있다.  
계면활성제가 대부분의 경우에 미생물정화를 증진한다는 것이 알려졌다.
- 계면활성제는 미생물 정화 공정에서 필수적이다. (Lange, S. and Wagner, F).  
이것은 미생물이 소수성 유기화합물을 용해하기위해 계면활성제를 만들어 낸다는 것에 근거한 것이다.(Lange,S.andWaner,F)
- 계면활성제가 미생물에 의해 생산 또는 만들어지든 계면활성제는 표적화합물을 용해 하기위해 양쪽으로 작용한다. 계면활성제는 두 경로로 작용할 수 있다.
  - (1) 용해성(용해도)을 증가시킨다.
  - (2) 계면장력을 더 낮춘다.(이동성)

# 특수 계면활성제를 이용한 미생물정화의 촉진

■ % Dispersion (mg/l)



# 계면활성제 사용

- 낮은 계면 장력은 NAPL을 고정시키는 모세관 힘(capillary forces)을 감소 시키므로 비수용성 액체(NAPL)의 이행을 증가시킨다.
- 용해성은 Emulsion으로서 water phase로 토양에 흡착 되어있는 비수용성 액체를 이동시킨다.  
비수용성 액체(NAPL)가 용해화 한 다음에야 미생물에 의해 신진대사(소화)에 이용 될 수 있다.
- Utah에 있는 Hill Air Force Base 에서 지휘된 일차적 현장 연구결과, 계면 활성제는 99% 제거율에 도달했다.
- 계면활성제의 독성과 미생물 분해성은 미생물 정화 system의 효율을 좌우하기 때문에 미생물 정화에서 역시 중요한 인자이다.
- 저독성이고 높은 미생물 분해성인 많은 계면 활성제가 있다.  
우리가 경험했던 이러한 화합물중의 하나는 화재 진압용으로서 사용되었던 특허 (BioSolve) 제품이다.
- 이 제품은 화합물을 물에 봉입(encapsulates)하는 계면활성제로서 작용하여 VOC's를 증발할 수 없도록 한다. 그것이 화재 억제제 로서 작용케 하는 방법이다.
- BioSolve®는 VOC 증기를 억제하는 성능을 입증한 Test를 통해서 UL과 ULC에서 인증 받았다.



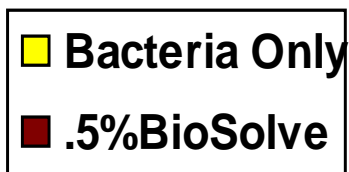
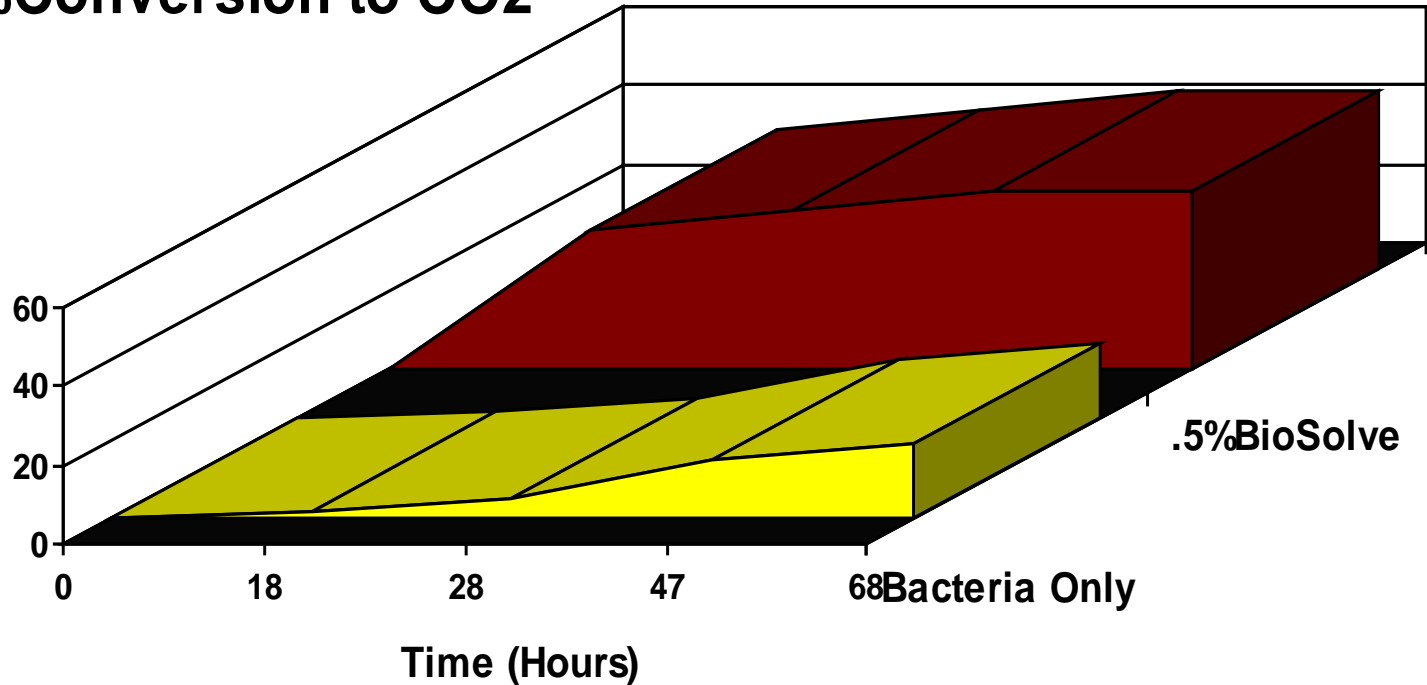
# 계면활성제 사용

- 화합물이 봉입된 후, BioSolve®는 수중(aqueous phase)에 극히 작은 micelle을 만들어 보통의 계면활성제 보다 많은 화합물을 분산하는 경향이 있다.  
이 분산 작용은 많은 화합물을 미생물이 이용할 수 있도록 만든다.
- 미생물 분해에서 어떤 연구는 carbon 기재가 근접해 있을 때 최저 속도를 보여 주고 있다.(Churchill,S. A. et al).  
따라서 화합물이 물에 많이 분산되면 될수록 미생물이 이용할 수 있다.
- 미생물 분해에 적합하게 제조된 계면활성제를 첨가하는 중요한 이유는 process 속도를 증가 시키기 위한 것이다.
- process를 촉진하는 충분한 계면활성제를 만드는 일은 미생물에게는 많은 시간이 걸린다. 어떤 경우에 ,미생물은 미생물 분해를 시작하기 위한 충분한 계면활성제를 생산할 수 없다.

# 계면활성제 존재유무에 따른 CO<sub>2</sub> 전환율

(CO<sub>2</sub> Conversion using WITH & WITHOUT SURFACTANT)

**%Conversion to CO<sub>2</sub>**



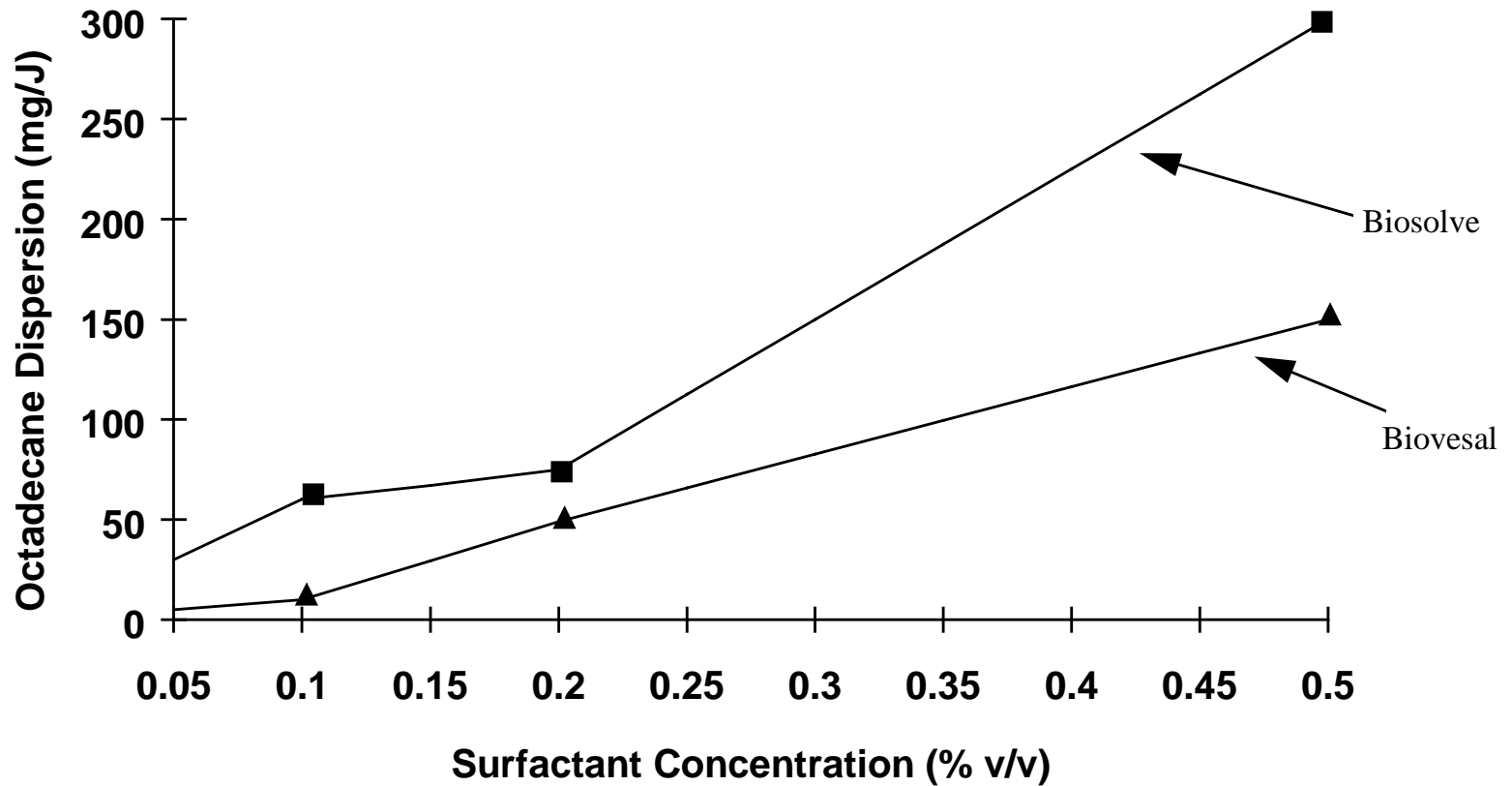
# OCTADECANE의 水分散과 CO<sub>2</sub>

## 2 개의 다른 계면활성제를 사용한 OCTADECANE의 水分散과 CO<sub>2</sub>전환율

Alabama 대학에서 상업적으로 이용할 수 있는 2개의 계면활성제를 사용한 octadecane의 용해도 Test와 carbon의 CO<sub>2</sub> 전환 Test는,

- (1) BioSolve<sup>®</sup> 는 0.1 %~o 0.5% 농도에서는 他 계면활성제보다 50%~ 100%까지 octadecane 을 분산했다.
- (2) 68 시간 후 BioSolve<sup>®</sup> 는 48% CO<sub>2</sub> 전환율을 ,박테리아만을 사용한 것은 19% CO<sub>2</sub> 전환율 가졌다는 것을 보여주었다.

# 두 계면활성제의 OCTADECANE 水分散



# ALKANE분해에서 계면활성제의 효과

미국 피츠그대학 에서, NETAC(National Environmental Technology Applications Center)에 의한 Biosolve test는 다음Sample에 대한 Hydrocarbon 분해체의 미생물학적 숫자를 비교하는 시험을 행했다.

- Control(공시험)
- Control + 영양제
- Control + 영양제 + BioSolve®

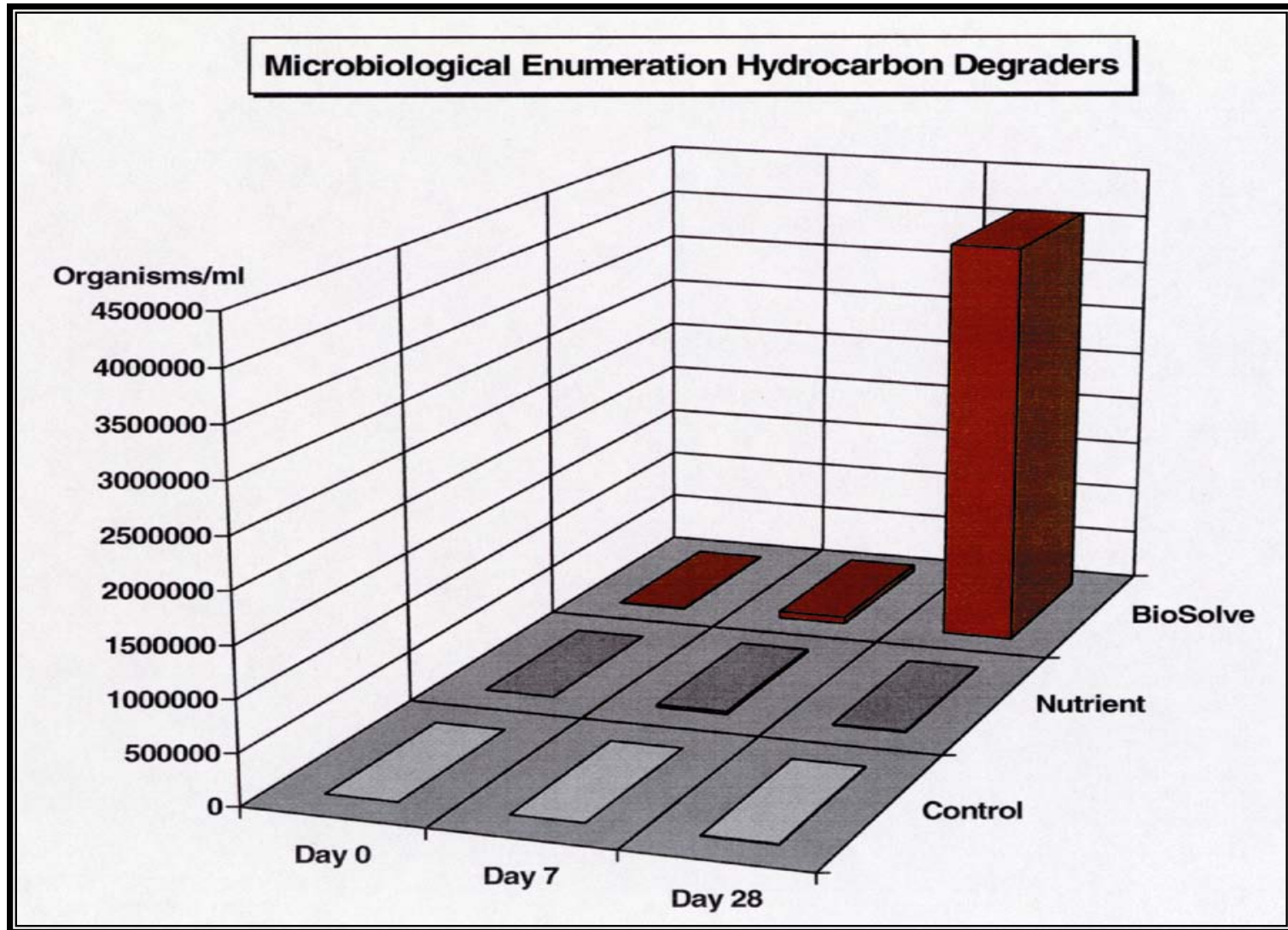
이test는 (1) 28일후,Control과 영양제Sample이 단지 100,000 이하 미생물개체/ml를 갖 인것에 반하여, Biosolve는 4,500,000미생물개체/ml을 갖었다.

(2) 28일후, Biosolve Sample은 7,500ppm의 Hydrocarbon을 갖고, 영양제만의 Sample은 17,500pp의 Hydrocarbon을 갖인것에 반하여 Control은 아직 25,000ppm의 Hydrocarbon을 갖고있다.

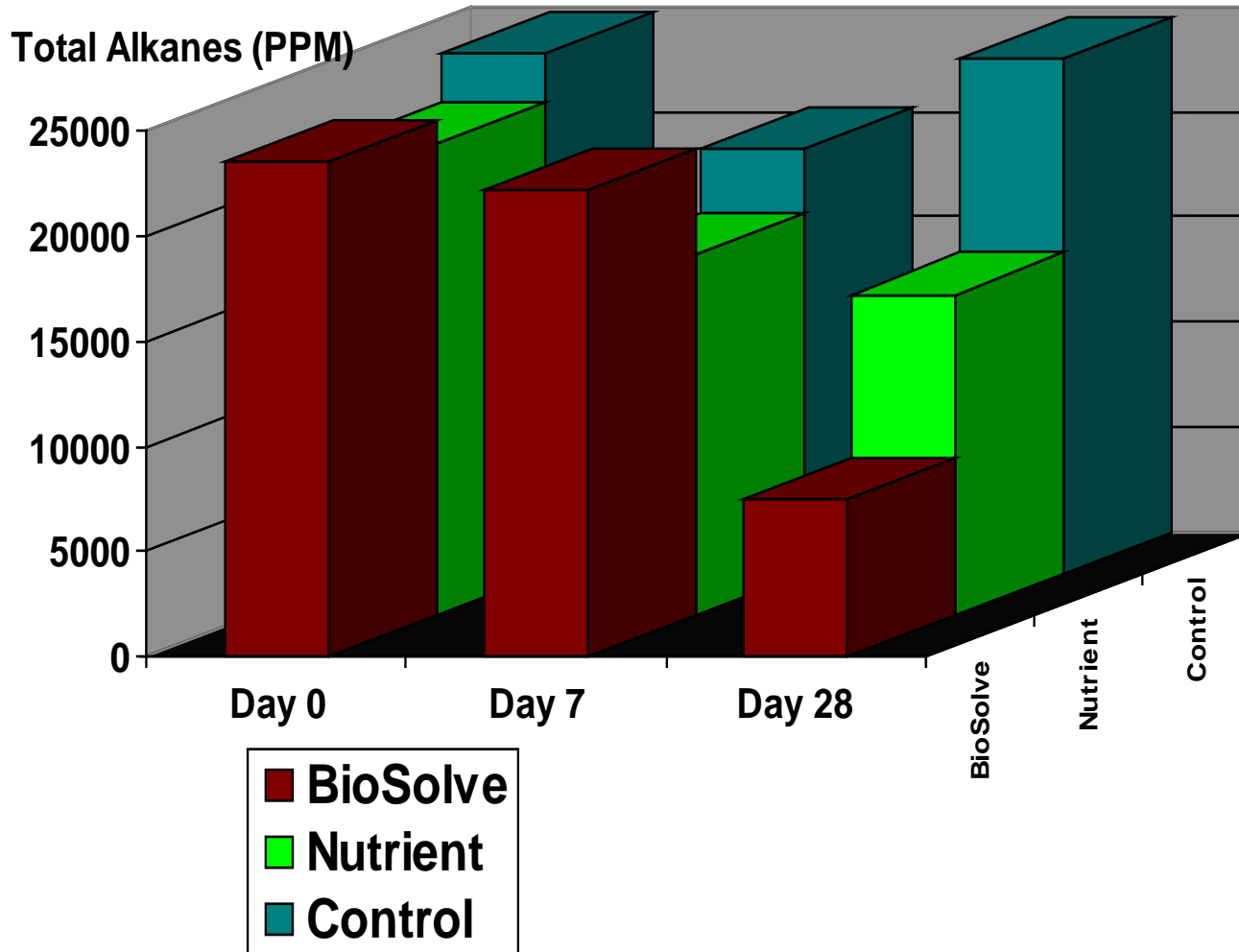
이시험은 계면활성제가 미생물수와 hydrocarbon 분해를 촉진한다는 것을 보여주고있다.

대부분의 일반적 Hydrocarbon분해체인 미생물은 호기성 미생물 이라는것에 주목해야한다.(산소를 필요로하고 H<sub>2</sub>O와 CO<sub>2</sub>를 생성한다.)

# Hydrocarbon분해체의 미생물숫자



# Alkane분해에 대한 계면활성제 효과



# 계면활성제를 사용한 CO2생성Test

호기성 미생물활성을 평가하는 방법중의 하나는 Carbon의 CO2전환을 측정하는 것이다.

다음 5종의 CO2전환test는 Alabama대학에서 지휘 되었다.

5종test에서 사용된 계획안의 요약은 다음과 같다.

- o 각test를 위하여 충분히 혼합된 토양이나 바다 모래량은 동일한 2part로 나누어 졌다.
- o 각part는 그속에 혼합된 오염물을 표시하는 동일한량의 방사선carbon을 갖었다.
- o 각part는 동일량의 혼합수를 갖었고 1part는 단지 물만을, 다른1part는 물 + 계면활성제를 갖었다.
- o 각part는 봉입되어 CO2전환율이 측정 되었다.
- o 각각의 5종test시편은 상이한 상태의 오염물 또는 다른 오염수준을 갖었다.



# 계면활성제를 사용한 CO2생성TEST 계획안

- 토양을 혼합하여 둘로 나눔.
- ADD=오염물이 표시된 방사선carbon part.
- ADD=물part,1part는 단지 물만을 또다른 1part는 물 + 계면활성제.
- 봉입하고 CO2 전환율을 측정.
- 상이한 type의 오염물 혹은 상이한 오염도를 갖인 5종test.

# TEST #1

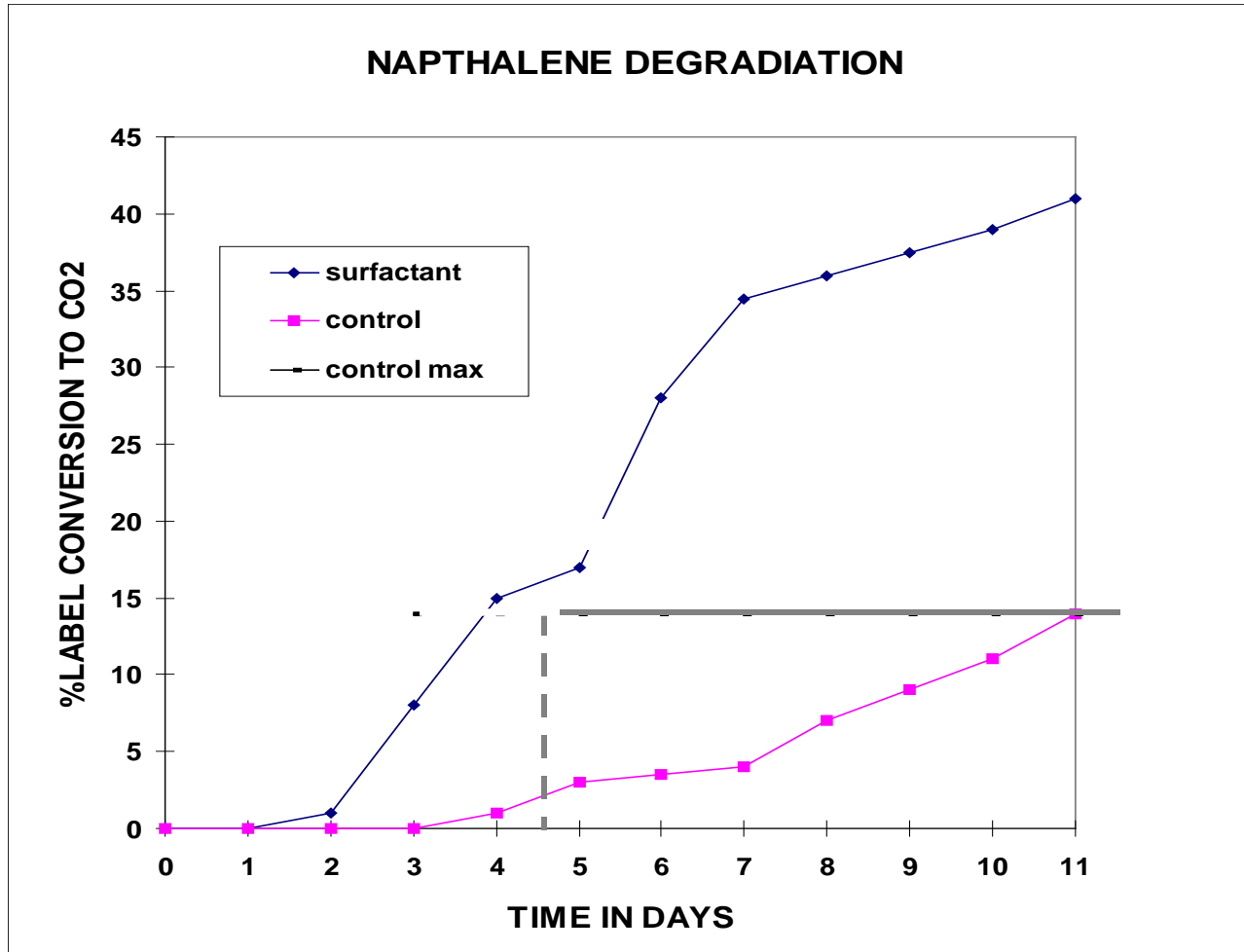
오염된 곳에서의 첫test는 비교적 정제된 저비중의 hydrocarbon 이었다.

11일후, Control의 CO2전환율은 약14.75%, 계면활성제(Biosolve)는 3.85일에 동일한 수준에 도달했다.

이것은 계면활성제가 2.88배에 가까운 미생물 정화공정을 빠르게 한다는 것을 의미한다.(11일/3.85일=2.88)

# TEST #1

## 저비중 정제Hydrocarbon



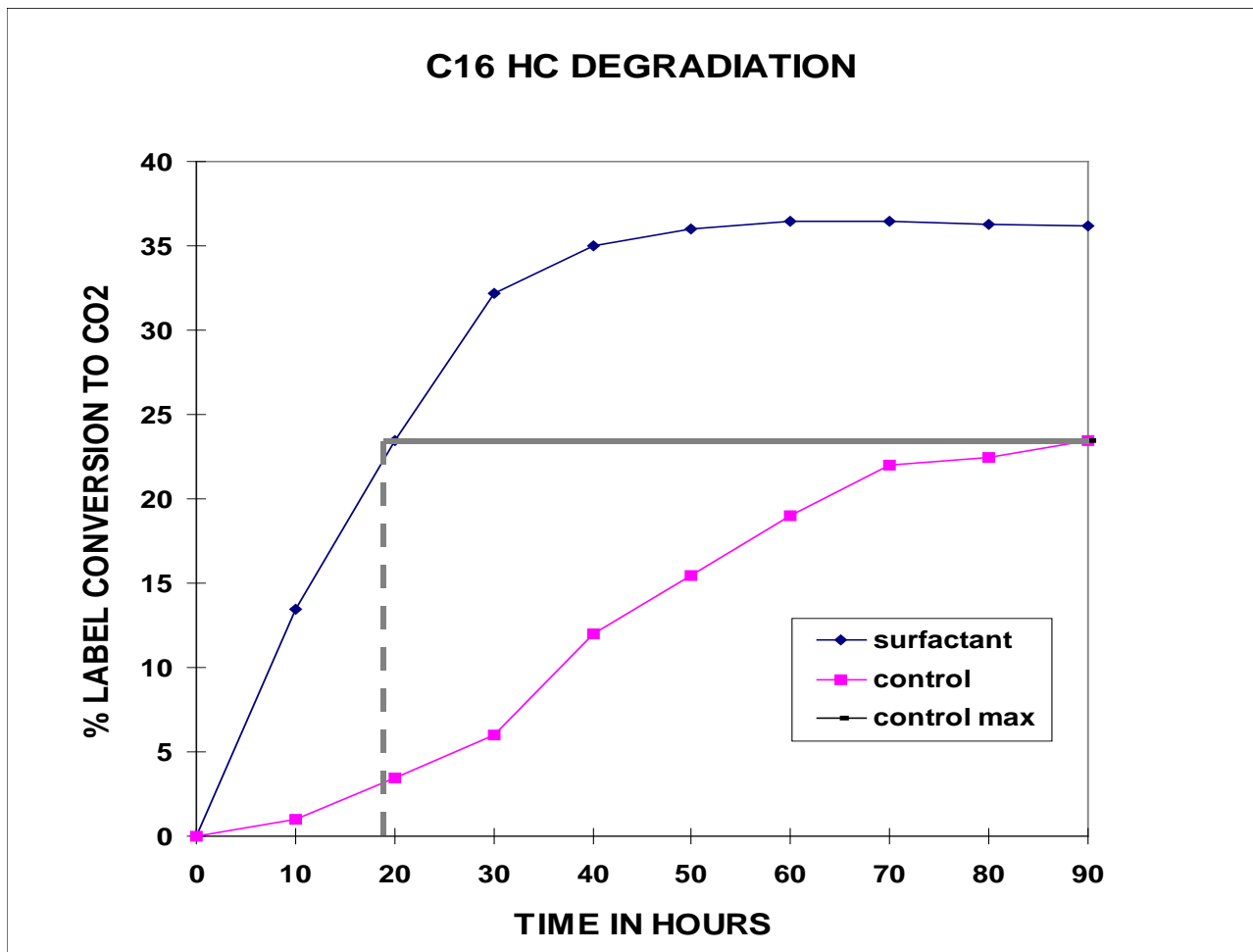
# TEST #2

Test #2는 오염물로 crude oil을 사용했다.

Control part test(空test)는 90시간후 CO2 전환율 23.5%에 도달 했고, 계면활성제는 17시간에 동일 수준에 도달 했다.

이것은 계면활성제가 5배 이상으로 process를 촉진했다는 것을 의미한다.

# TEST #2 원유오염



# TEST #3

Tests #3와 #4는 원유로 test 했다.

이 시험에서 차이점은 oil이 토양을 어떻게 오염시켰는가에 대한 것이다.

Test#3는 pipeline 파손이 있는 건조한 땅(육지)을 가상한 것이다.

Oil이 땅에 부어지고 혼합된 다음에 물의 첨가가 수반되거나 물 + 계면활성제의 첨가가 수반되고 다시 혼합되었다.

이것은 토양이 먼저 물로 적셔 젖을 때 보다 많은 oil침적토양 표면을 만들어 내는 경향이 있다는 것을 보여주기 위함이다.

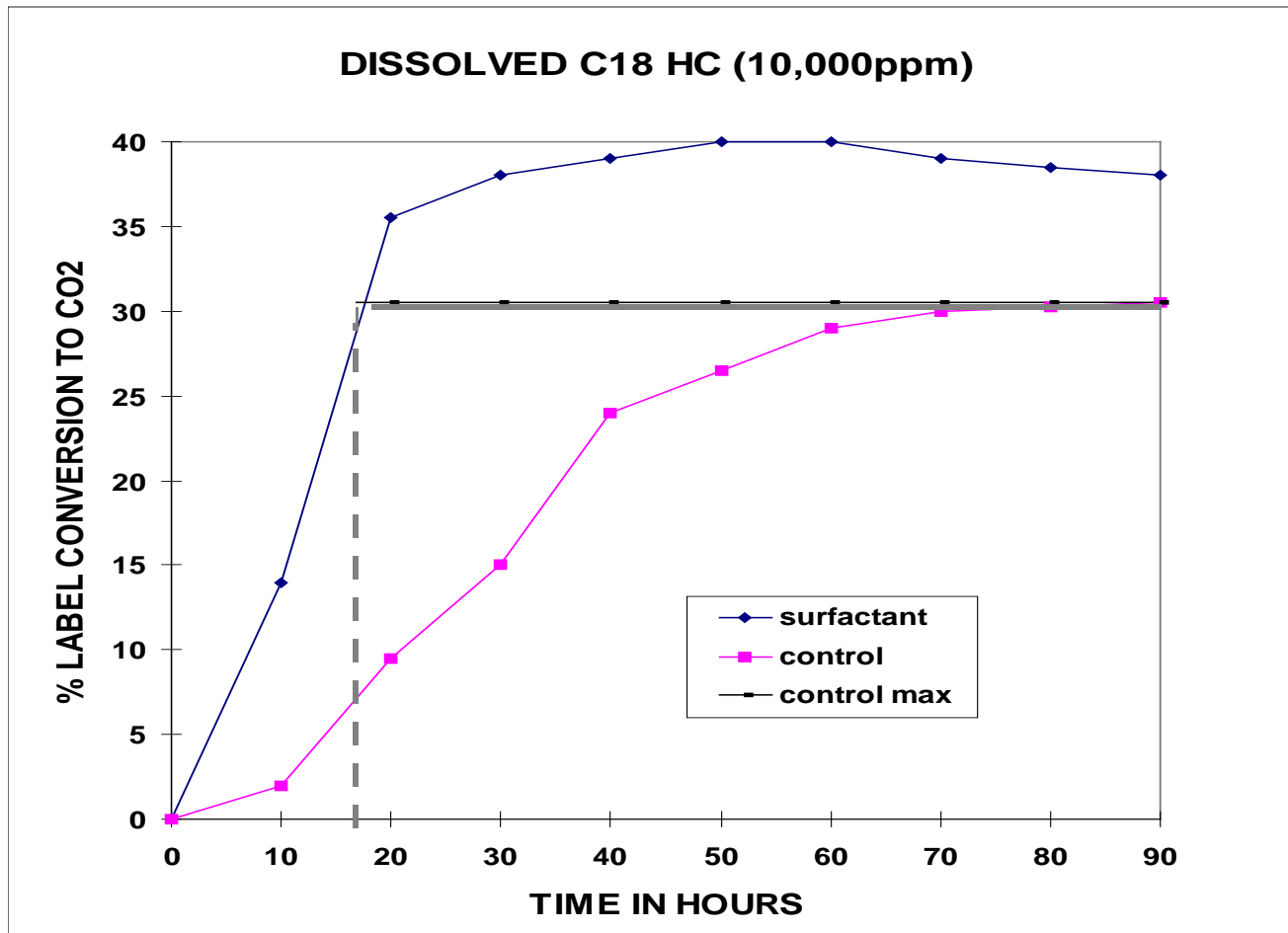
(즉 건조한 지표에 oil이 먼저 부어지면 물이 먼저 부어졌을 때 보다 오염면적이 더 많아진다.)

Control test는 120시간후 CO2전환율 8.33%에 도달했고 계면활성제는 약21.2 간에 동일한 전환율에 도달했다.

이것은 계면활성제가 약6배의 빠른 속도이다.

# TEST #4

## 水沈積 토양 에서의 원유



# TEST #4

Test #4는 강물인 fresh water spill을 가상했다.  
토양이 물로 적셔진 다음 oil은 토양에 부어지  
기 前에 물과 혼합 되었다.

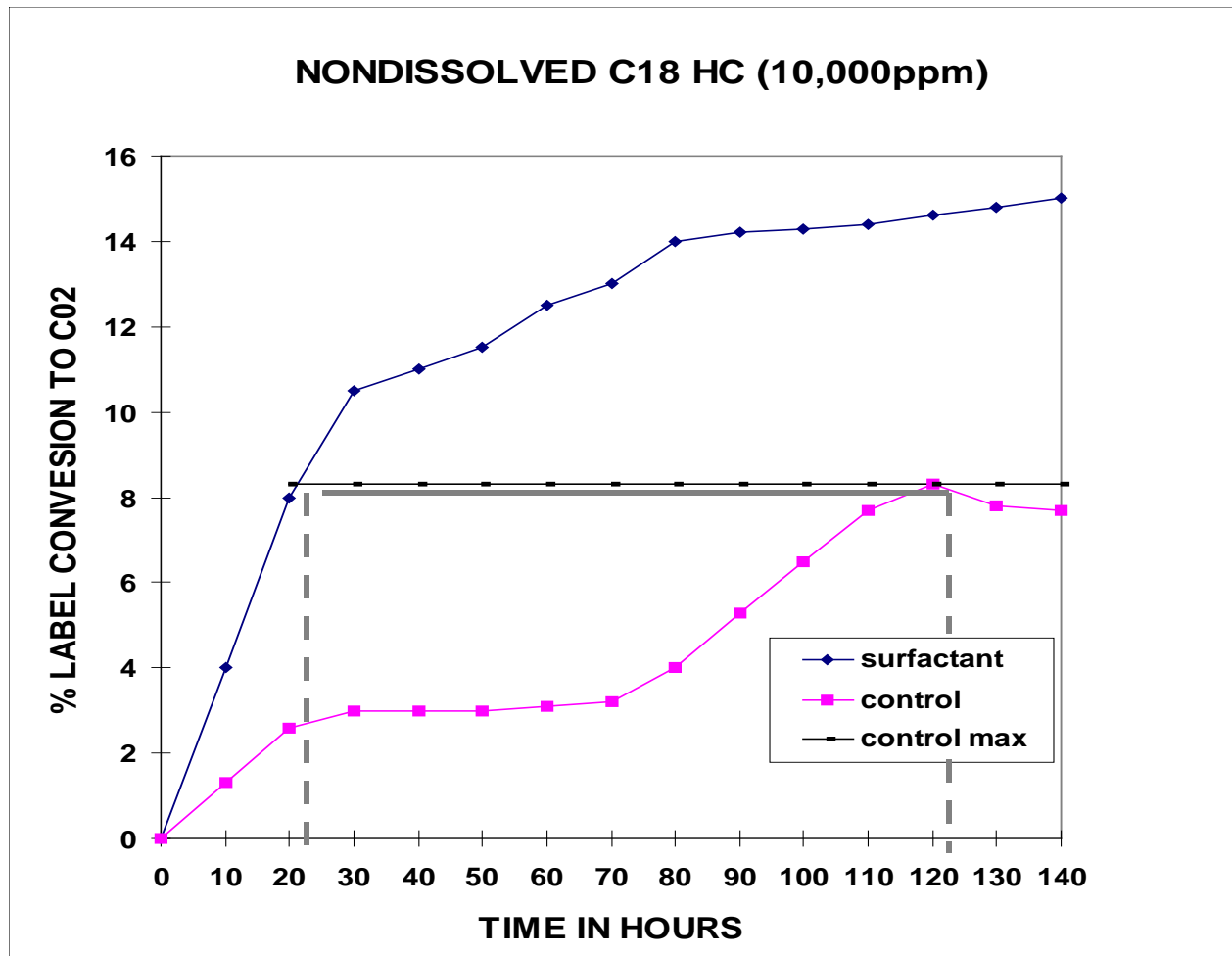
Control(空test)은 90시간에 CO2 전환율 30.5%에 도달했고,  
계면활성제는 17시간에 동일한 전환율에 도달했다.

이것은 계면활성제가 5배 이상의 빠른 속도이다.



# TEST #3

## 건조한 토양에서의 원유



# TEST #5

Test #5는 바닷물(소금물)이 있는 해변상에 Oil유출을  
가상 했다.

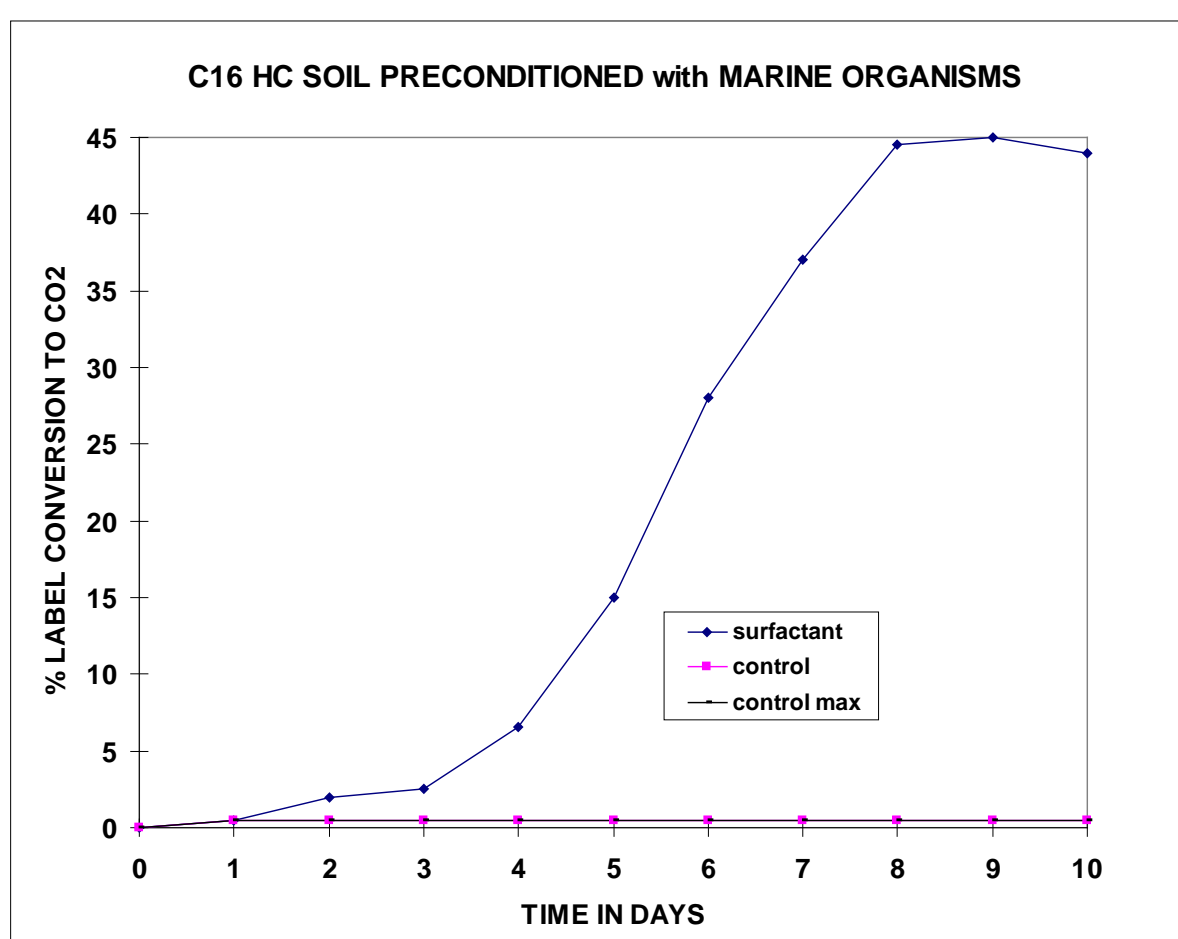
토양은 미리 7일 동안 해양미생물로 조정되었다.

이경우 Control은 매우 적은 정화기능을 나타냈다.

계면활성제는 8일에 45%CO<sub>2</sub> 전환율을 보여주었고,  
해양미생물 만으로는 정화를 시작하지 않으나,

계면활성제는 미생물정화를 시작할수 있다는 것을 나타낸다.

# TES #5 해변모래 에서의 원유



# Biosolve와 일반 계면활성제의 비교

자연적 미생물정화가 현저히 중단된 원유가 유출 된지 오래된 장소를 정화하기 위한 test program이 있었다.

Test series는 열대성 기후에서 5년된 중질유 오염물로 처리 되었다.

Test는 특별히개발된 미생물배양체를 갖인 Bioreactor, 영양제를갖인 Bioreactor, 폭기되는 Bioreactor, Control(空test) 로서,

하나의 Reactor는 (미생물,영양제,폭기)없이 설치된 4개의 Reactor로 구성 었다.

계획안 반응기 #1은 단지 오염된 토양만 갖고있다.

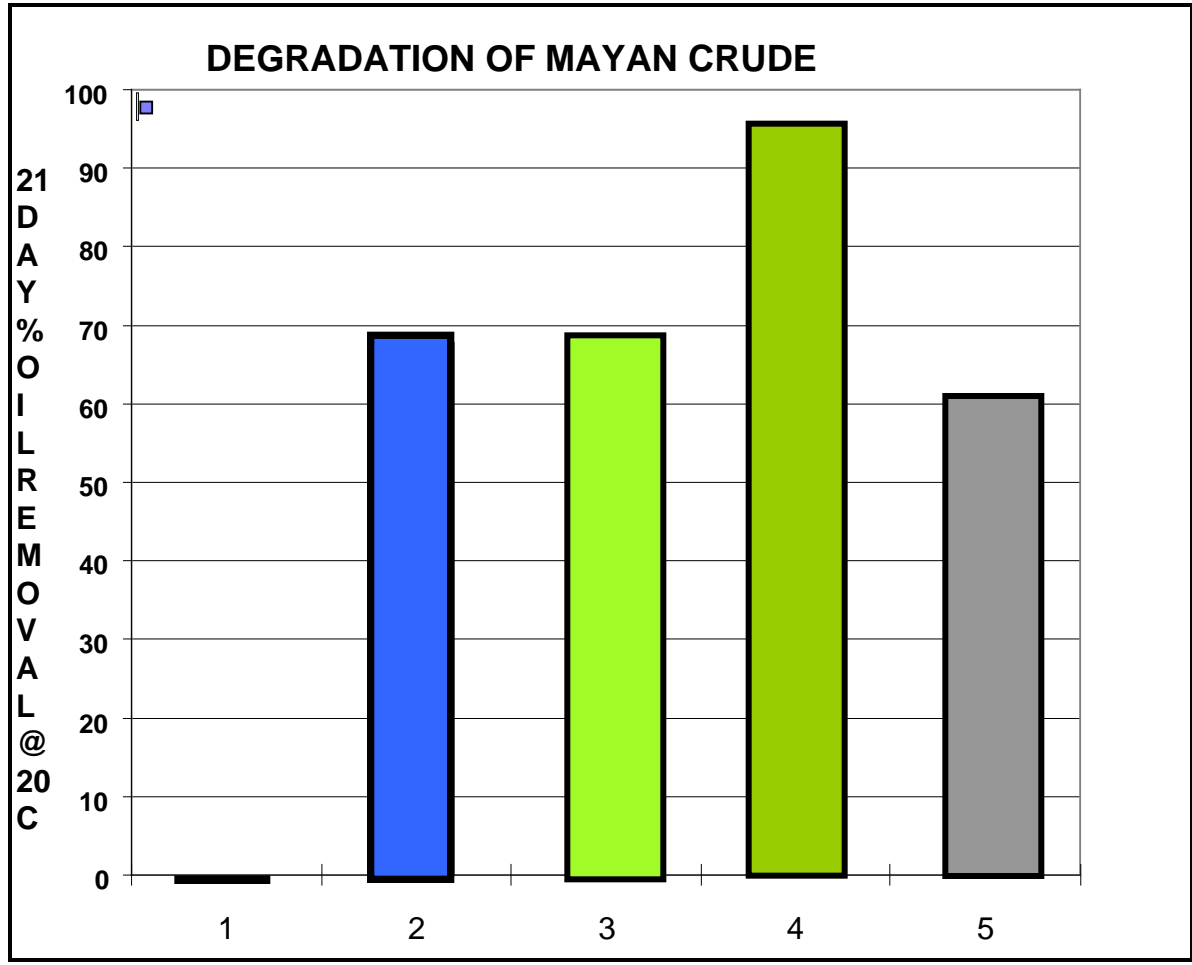
반응기 #2는 미생물, 영양제, 폭기system을 갖고있다.

반응기 #3은 미생물, 영양제, 폭기system, 0.5%Biosolve를 갖고 있다.

반응기 #4는 미생물, 여양제, 폭기system, 5%Biosolve를 갖고있다.

반응기 #5는 미생물, 영양제, 폭기system, 일반계면활성제를 갖고 있다.

# 계면활성제 비교



- # 1  
오염된 토양
- #2  
오염된 토양.  
미생물,영양제,  
폭기
- # 3  
미생물,영양제,  
폭기  
0.5%biosolve
- # 4  
미생물,영양제,  
폭기,  
5.0%biosolve
- # 5  
미생물,영양제,  
폭기,  
계면활성제.

## Biosolve와 일반계면활성제 비교

### Test 결과는:

- 반응기 #1은 crude oil의 미생물정화가 완전히 중단되어 0%제거율을 갖었다.
- 반응기 #2는 미생물,영양제,폭기를 사용 하므로서 69%의 미생물정화가 일어났다.
- 반응기 #3은 저농도의 계면활성제는 효과가 적거나 없어서 69%의 제거율을 갖었다.
- 반응기 #4는 고분자량의 hydrocarbon을 용해 할 수 있는 5.0%의 biosolve는 95%의 제거율을 갖고 ,21일후에는 他test物이 6배 이상의 오염물을 남긴것에 반하여 5%의 biosolve는 단지 5%만의 오염물을 남겨 미생물정화를 촉진했다.
- 반응기 #5는 일반적인 계면활성제가 미생물정화 process를 실제적으로 얼마만큼 늦추는가를 보여주었고, 일반 계면활성제는 60%의 제거율을 갖었다. 어떤 계면활성제는 미생물정화를 심각하게 늦추는 경향이 있다 (Falat ko,D.M.,et al.).

# 오염된 토양에서의 계면활성제 유무와 세정

**Control test(空test)**는 River side에있는 California대학에서 지휘되었고, 시험은 Autoclave內에 소독한 자갈과 토양matrix를 충전하여 28일의 incubation기간 CO<sub>2</sub>생성을 측정하였다.

시험 계획안의 요약은 다음과 같다.

- **Test # 1**은 토양matrix 와 물 만을 충전.
- **Test # 2**는 토양 과 물,Biosolve를 충전.
- **Test # 3**은 토양 과 물,Hydrocarbon을 충전.
- **Test # 4**는 토양 과 물,Hydrocarbon,3%Biosolve충전.

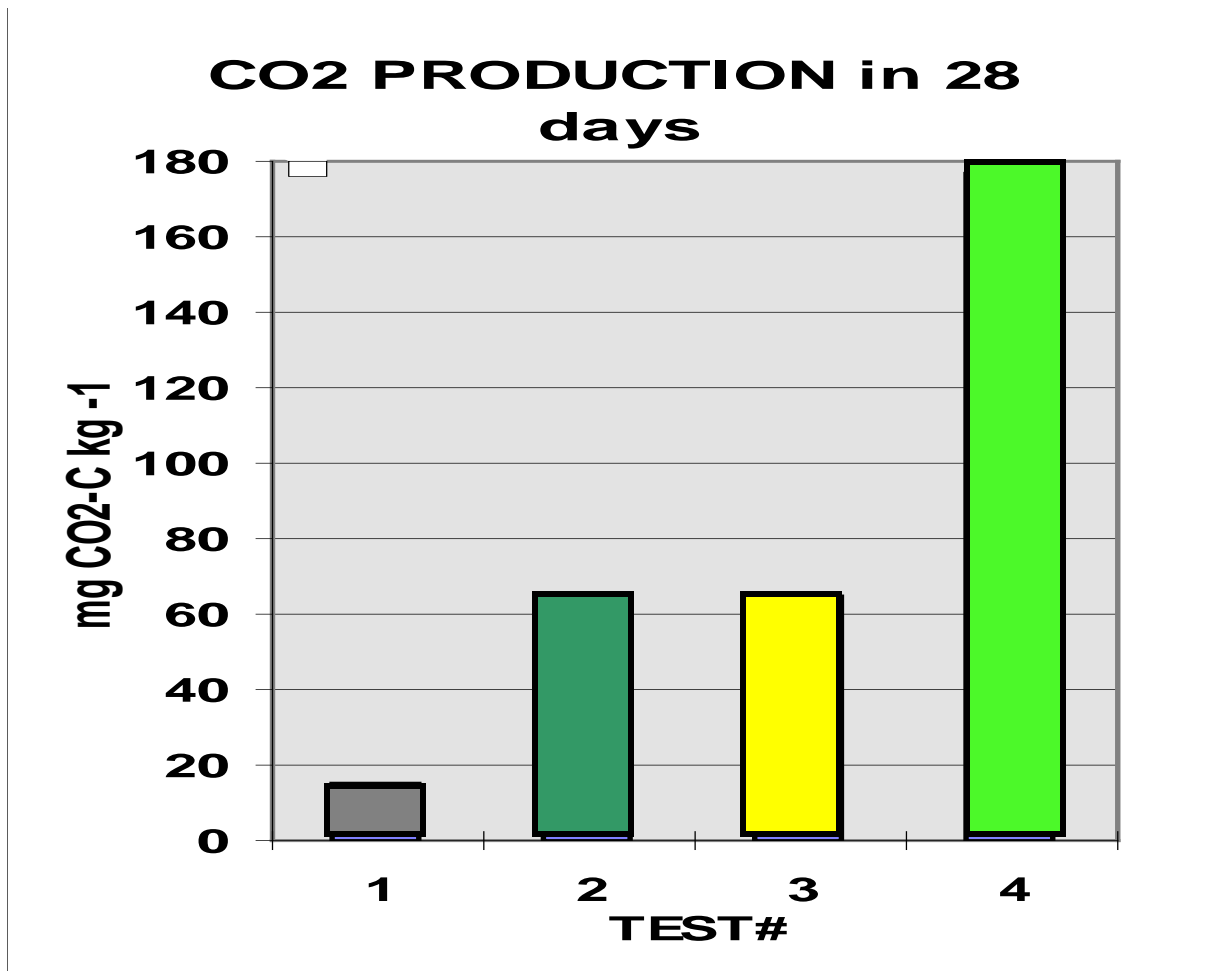
# 오염된 토양에서의 계면활성제 유무와 세정

이 test는 다음과 같은 것을 보여주고 있다.

- 토양matrix는 미생물이 CO<sub>2</sub> 15mg을 생성하기 위한 충분한 Hydrocarbon을 함유하고 있다.
- Biosolve는 CO<sub>2</sub> 63mg을 생성함으로써 미생물분해를 할 수 있다.
- Hydrocarbon은 미생물의 먹이원 으로서 69mg의 CO<sub>2</sub>를 생성했다.
- Biosolve는 CO<sub>2</sub> 175mg을 생성함으로써 보조먹이원 으로 이용 할 수 있는 Hydrocaebon을 더많이 만들었다.



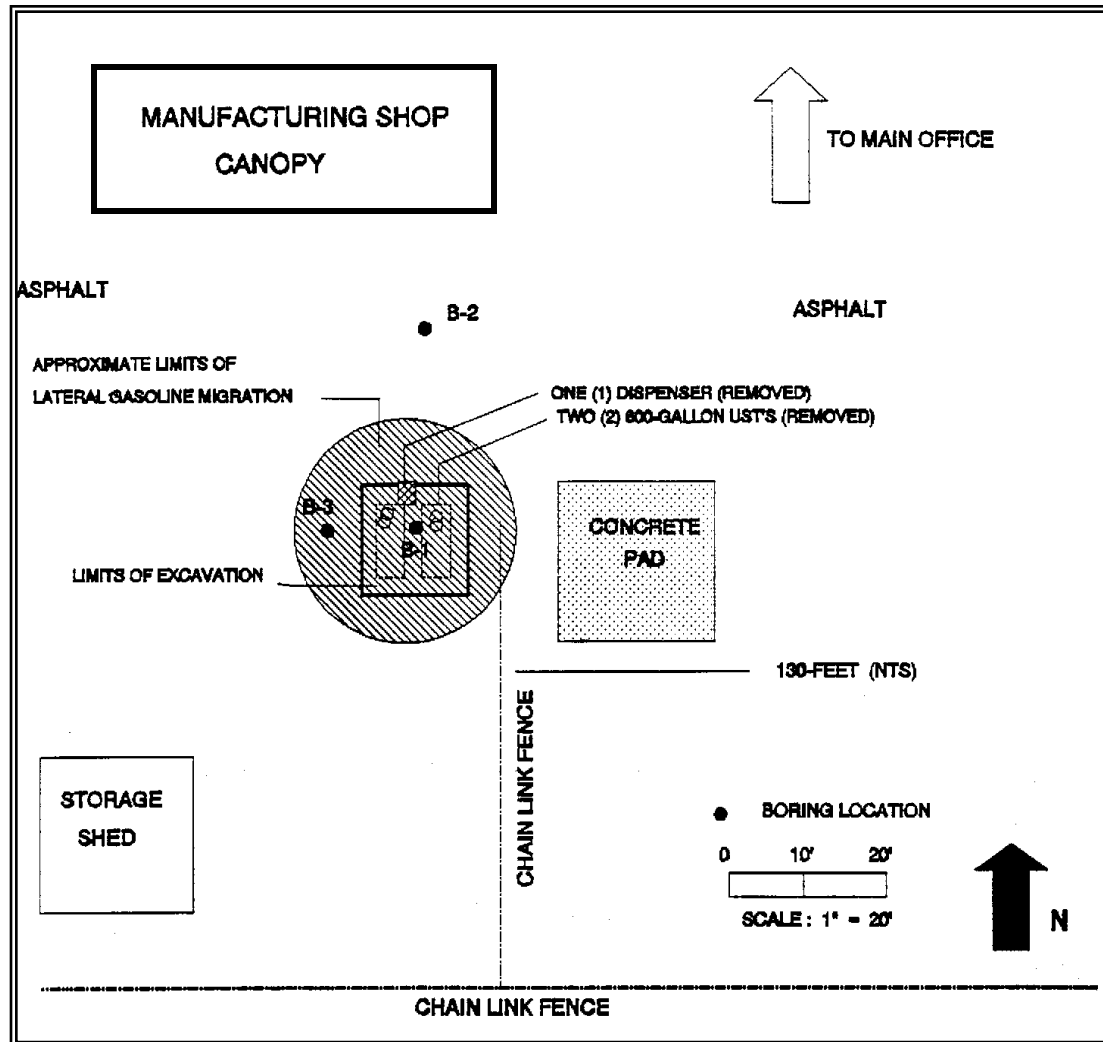
# 오염된 토양에서의 계면활성제 유무와 세정



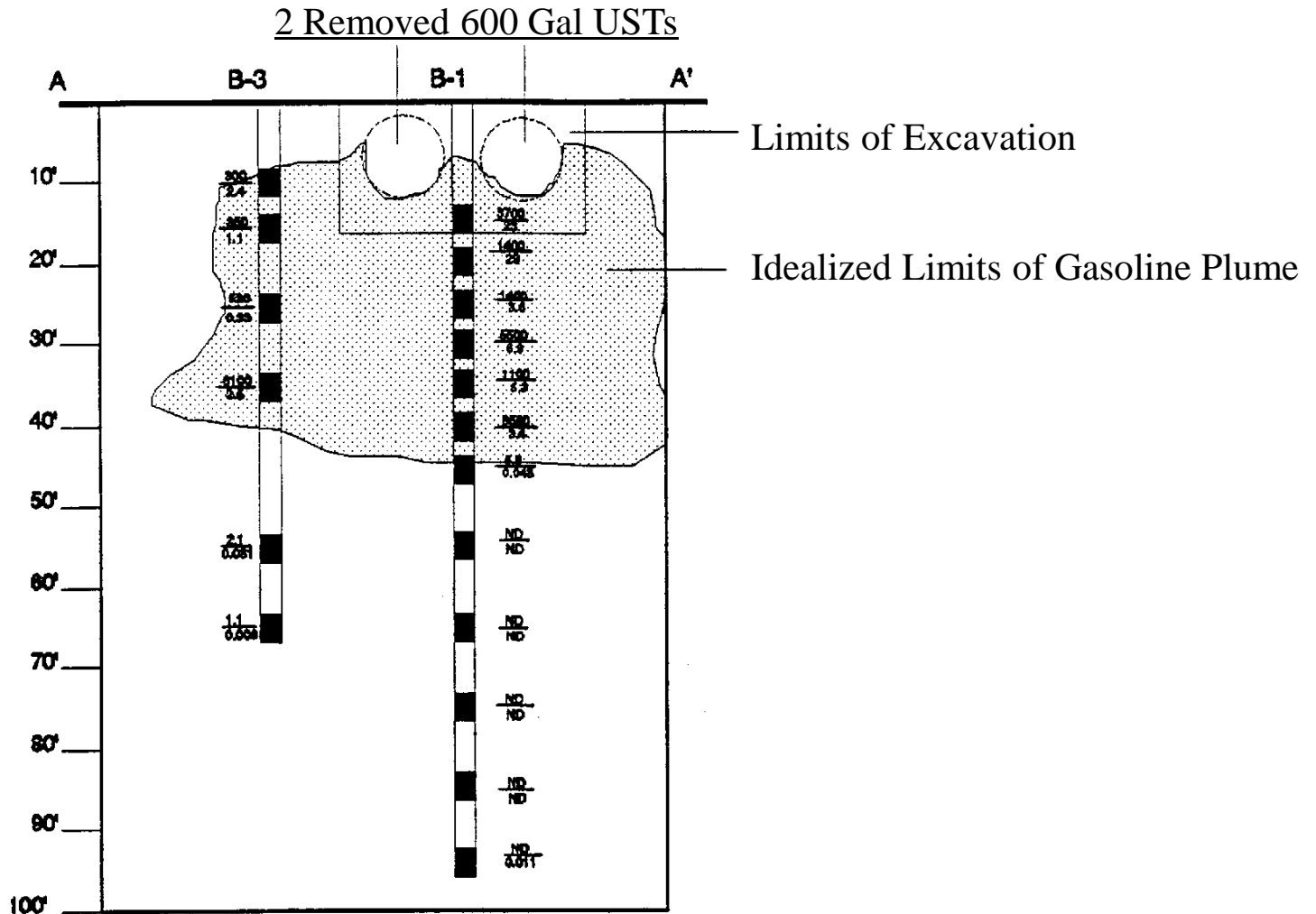
## TESTS

- #1 소독토양+  
水
- #2 소독토양+  
水+biosolve
- #3 소독토양+  
水+Oil
- #4 소독토양+  
水+Oil+  
biosolve

# 땅속에서 미생물정화를 증진시키는 계면활성제-사례연구



# 땅속에서 미생물정화를 증진시키는 계면활성제-사례연구

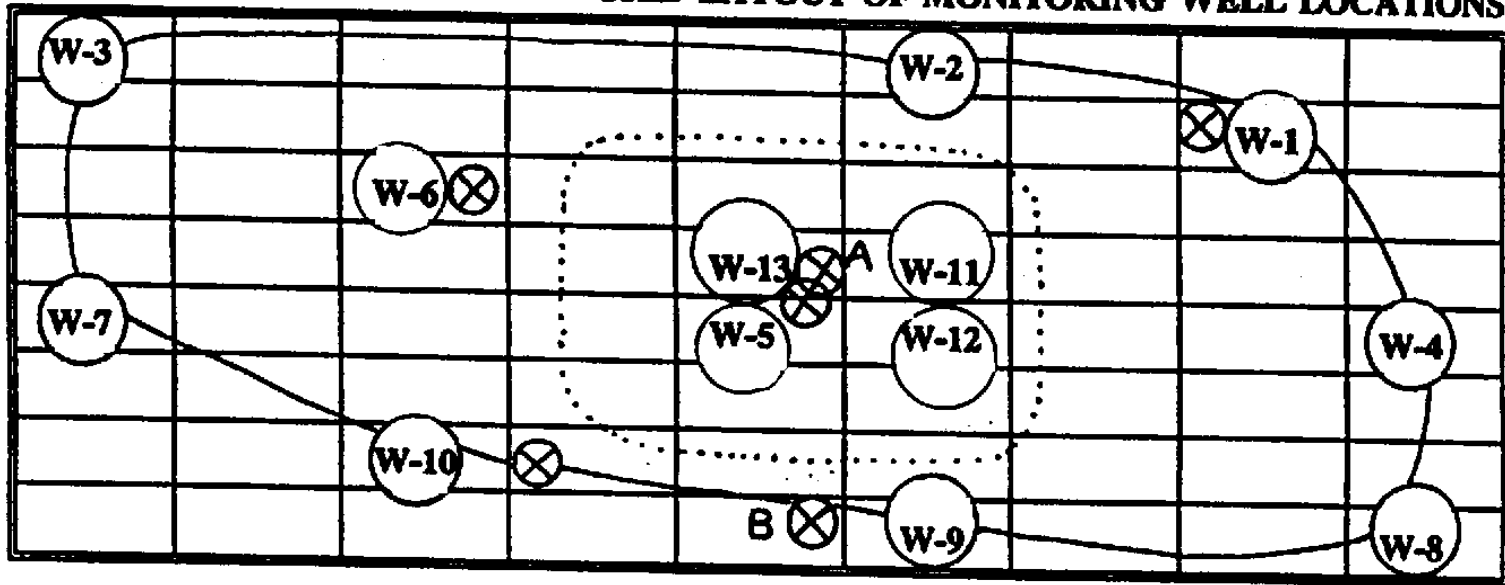


# 땅속에서 미생물정화를 증진시키는 계면활성제-사례연구

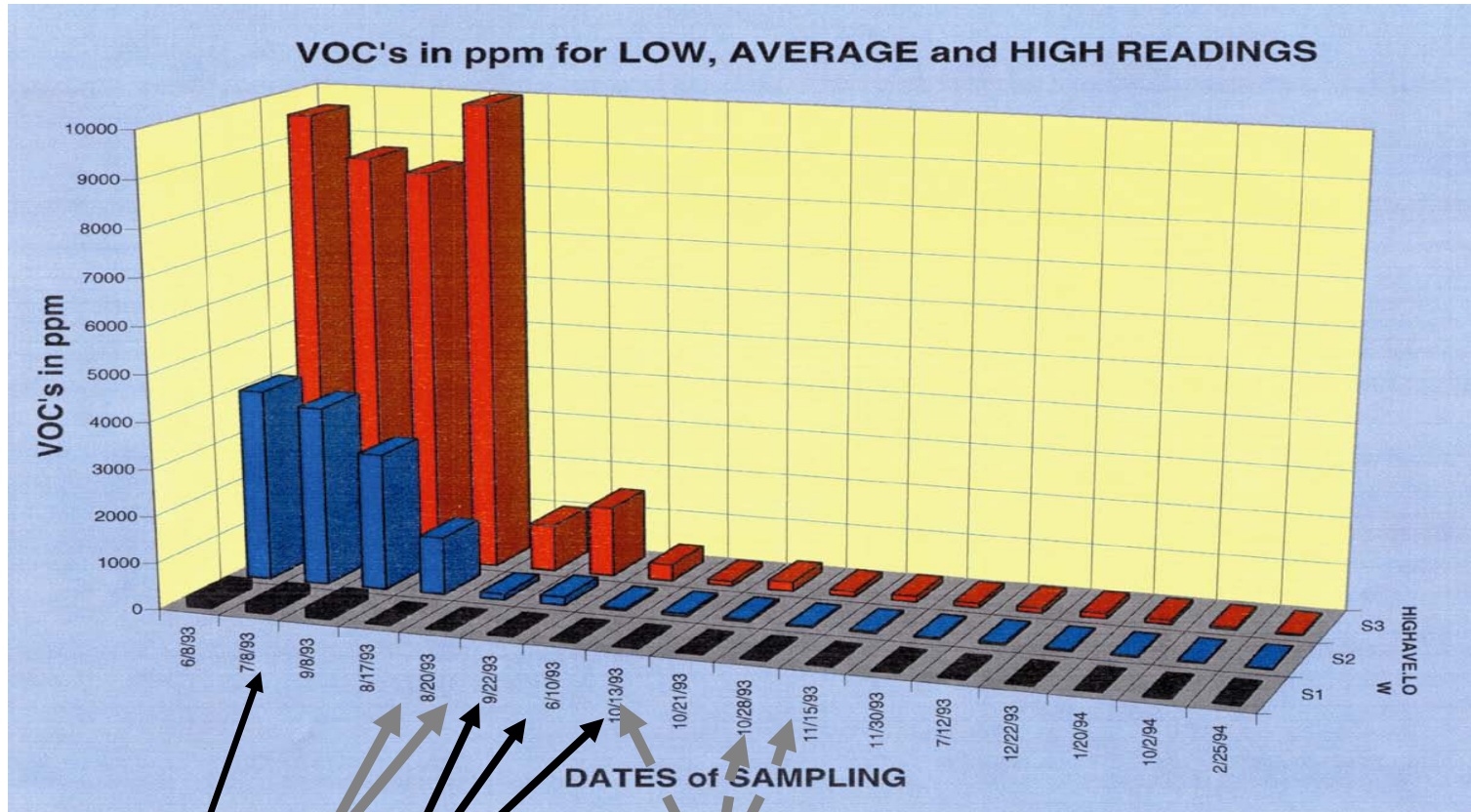
**LEGEND** (NOT TO SCALE)



**ERNST MANUFACTURING SITE - GRID LAYOUT OF MONITORING WELL LOCATIONS**



# 땅속에서 미생물정화를 증진시키는 계면활성제-사례연구



Biosolve 첨가날자  
물과 영양제 첨가날자

## 땅속(地中)에서 미생물정화를 증진시키는 계면활성-사례연구

작업일	상세한 활동	VOC LOW	in AVE	ppm HIGH
93.8.6	관정설치와 첫판독.	210	4100	9600
93.8.7.	새로운 관정에 영양제와물을 처음첨가.	200	3835	8750
93.8.9	두번째 영양제 처리, vapor 회수기 설치.	200	2925	8500
93.8.17	OVA/PID voc 판독을 위한 한개의 관정만 제외하고 모든관정에 2%biosolve 처리.	9	1230	10000
93.8.18	미생물,영양제,Biosolve 주입			
93.8.20	VOC 측정을 위한 OVA/PID 판독.	10	119	1000
93.9.10	Biosolve,영양제 주입.			
93.9.22	Biosolve,영양제 주입,OVA/PID 판독.	18	177	1500
93.10.1	Biosolve,영양제 주입.			
93.10.6	Biosolve,영양제 주입,OVA/PID 판독.	10	45	350
93.10.13	VOC 측정을 위한 OVA/PID 판독.	15	54	104
93.10.21	//	14	49	200
93.10.28	OVA/PID 판독,영양제,Biosolve 주입	12	31	110
93.11.15	VOC 측정을 위한 OVA/PID 판독	10	36	120
93.11.30	//	10	31	86
93.12.7	OVA/PID 판독,영양제,Biosolve 주입	10	38	100
93.12.22	VOC 측정을 위한 OVA/PID 판독,토양 sample 채취.	10	26	105
94.1.10	영양제,Biosolve 주입			
94.1.20	OVA/PID 판독,영양제,Biosolve 주입.	5	22	80
94.2.10	VOC 측정을 위한 OVA/PID 판독.	8	16	50
94.2.25	//	5	12	28
94.3.1	<b>TEST 토양은 측정범위 이하였다.</b>	.005	.005	.005
94.5.15	위치 폐쇄			

# 고강도처리(High Intensity Treatment=HIT)한 주유소-사례연구

- **5/29/93-4/16/97**까지, **pump**기초 밑에서 **LNAPL**(저비점 비수용상액체) 이 변화없이 수동적으로 퍼내지고 있었다.
- 비용을 절감 할 수 있는 영구적인 정화**System**도 없는 도심지역 이고 수용기도 없었다.
- **3개의 監視井**과 **11SFX0.03F=170gals**의 토양**Boring**.
- **NJ허가**.
- **7/23/97**, **2%Biosolve 250gals(946L)**을 주입하고 **SURGE**를 막았다.
- **7/24/97**, **2개의 관정(Well)**은 진공**Truck**과 연결했다.
- **7/24/97**, **HC Vapor 35.7gals(135L)**와 **Emulsion 255gals(965L)**을 회수했다.
- **8/11/97**, 저비중 석유계 **Hydrocarbon(LPH)**은 검지되지 않았다.
- **9/2/97**, 저비중 석유계 **Hydrocarbon(LPH)**은 검지되지 않았다.

# Hydrocarbon세정을 위하여 계면활성제를 사용하는 사례연구

SEAR (Surfactant Enhanced Aquifer Remediation=수중정화를 증진시키는

계면활성제)의 pilot 계획이 GES (Ground Water & Environmental Services, Inc.

=지하수와 환경서비스社.)에 의해 지휘 되었다.

New Jersey.Wall의 GES는 주유소가 자리잡았던 위치에서 자랄수 있는 조건(살아갈수 있는 조건으로서, 근원적 지역정화를 위한 땅속계면활성제 세정법(in-situ surfactant flushing)에 대하여 평가 했다.

연구 지역은 다음 조건을 갖고있다.

- 표면밑(subsurface)의 성층igraphy는 고운모래와 clay를 갖인 slit로 구성 되어 있다.
- 지하수 깊이는 약4~5feet(122~152.4cm) 정도 이다.
- Hydraulic Gradient(수리기울기)는 0.04feet/foot, Hydraulic Conductivity(수리전도도)는  $3.45\text{cm}\times 10^{-5}/\text{sec}$  이다.
- LNAPL(저비중 비수용상 액체)은 1개의감시정 에서 존재 했다.
- Hydrocarbon-impact지역(LNAPL과 잔류LNAPL)은 약300ft<sup>2</sup>(27.87m<sup>2</sup>), 평균두께는 약6~8in(15.24~20.32cm)로 산정되었다.

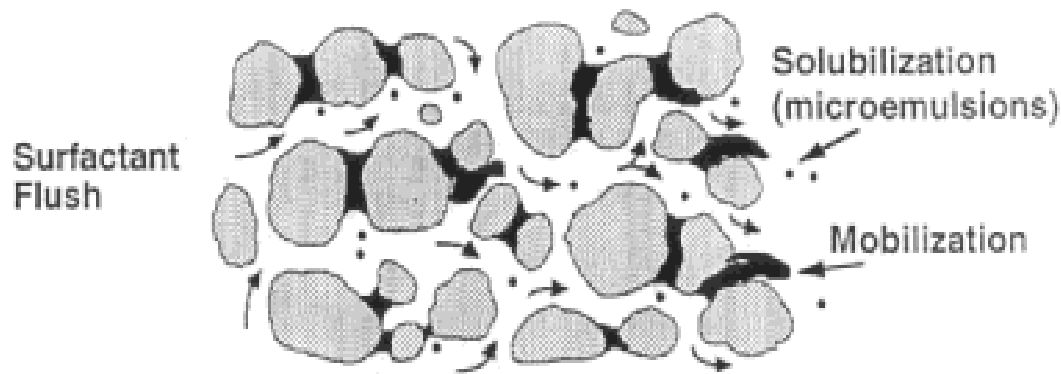


# 계면활성제 용액의 사용

## Surfactant Application

---

Trapped Oil at Residual Saturation



Flushing with water will not remove all of the trapped product because of capillary attraction and sorption. Surfactants can increase contaminant solubility by forming micelles and microemulsions or can mobilize entrapped contaminants by reducing interfacial tensions.

---

물(水)로의 세정은 모세관 인력(흡인력)과 흡착력 때문에 모두 제거되지 않음.  
계면활성제는 micelle과 microemulsion을 형성함으로 오염물의 용해도를 증가시킬 수 있고,  
또한 계면장력을 감소시켜 내벽에 끈 오염물을 이동시킬 수 있음

# Hydrocarbon세정을 위한 계면활성제 사용사례 연구

수행된 활동은 다음과 같다.

- 1993년5월~1997년4월 사이에 impacted well內에 LNAPL(저비중 비수용성 액체)의 두께는 Water-table(지하수면) 변동 때문에 sheen으로부터 0.30feet(91.5cm) 범위에 있었다.

수동배출(손으로 퍼냄)은 최소의 LNAPL 회수를 가져왔다.

LNAPL의 계속적인 발생과 최소두께는 Smear-zone에 Capillary entrapment(모세관현상)을 나타냈다.

- 1997년6월에 GES는 New Jersey주 환경보호부에 SEAR Pilot 연구를 제안했고 3개의 감시정 속으로 2%Biosolve(v/v%) 약250gals(946L)를 주입했다.
- 1997년6월에 MethylBlue활성물질 (MBAS=MethylBlueActiveSubstances)에 대한 기준선 지하수분석이 실시되었다.

# Hydrocarbon세정을 위한 계면활성제 사용사례 연구

- 1997년7월 : 계면활성제 주입직전 LNAPL monitoring은 0.28feet(8.53cm)의 두께를 나타냈다.
- 1997년7월 : 2%Biosolve 약155gals(587L)이 Impacted well과 2개의 closet monitoring well속으로 gravity/siphon공급법으로 주입되었다.
- 24시간후, LNAPL-impacted well과 2번째 계면활성제 주입정 으로부터 Total phase(vapor&liquid phase)가 회수 되었다.
- 3.5시간후에, 또다른 하나의 LNAPL-impacted well은 off-line(비직결 line)으로 놓여있었고 3번째 주입정에 대한 회수가 시작되었다.
- 추가적으로 2%Biosolve용액 20gals(75.7L)가 LNAPL-impacted well 內로 주입되었다.
- 회수뒤 추가1.5시간후 1개의 관정은 off-line(비직결line)으로 되었고 LNAPL-impacted well은 시험여유를 위해 (추가1시간) on-line(직결 line) 뒤쪽에 배치되었다.

# Hydrocarbon 세정을 위한 계면활성제 사용사례 연구

Phase(相)을 회수하는 동안 다음과 같은 것이 관찰되었다.

- LNAPL-impacted well로부터 유입 vapor농도는 5,550~50,000ppm (v/v농도)의 범위에 있었다.
- 다른 injection point로부터 유입된 vapor농도는 50ppm과 4,000ppm, 22ppm과 33ppm(v/v농도) 사이로 각각 달랐다.
- LNAPL-impacted well로부터 계산된 hydrocarbon vapor 제거속도는 0.94~9.90lbs/hr.(427~4,495g/hr.)의 범위에 있었다.
- 다른 injection well로부터 계산된 제거속도는 다른 것이 0.01lbs/hr. (4.54g/hr.)에 머물고 있을 때 1개는 0.01~0.56lbs/hr.(4.54~254.2g/hr.) 범위로 각각 달랐다.
- Vapor phase로 제거된 hydrocarbon 축적물은 35.7lbs(16.2kg)로 계산되었다.
- 추가적으로, hydrocarbon-impacted ground water와 유화된 LNAPL 255gals (965L)이 phase를 회수 할때 제거되었다.  
LNAPL이 유화된 수용상으로 회수 되었을 때 회수된 LNAPL의 부피는 실제적으로 측정될 수 없었다.
- Post injection ground water sample의 시험분석은 0.11mg/L과 0.09mg/L의 MBAS농도를 나타냈다.

# Pilot계획의 결론

Pilot test 계획의 결론:

지하수 monitoring은 SEAR(수중정화를 증진시키는 계면활성제) pilot test가 현장의 어떠한 well에도 LNAPL이 존재하지 않다는 것을 나타낼 때 날자 별로 처리했다.

SEAR pilot test study는 연료분배기 구조물지역 에서 LNAPL 존재를 효과적으로 완화했다는 결론을 얻었다.

현장 정화활동으로서, 자연적 감소를 제안하는 작업계획이 NJDEP에 제출 되었고 최근에 검토중에 있다.

# 고강도 기술에 의한 주유소 처리비용

## 비용비교

High Vacuum Dual Phase Extraction (고진공 2相추출법)	\$200,000- \$250,000 (약2억~2.5억원)
Groundwater Recovery/ Vapor Extraction (지하수 회수/증발추출법)	\$175,000- \$225,000 (약1.75~2.25억원)
Groundwater Recovery (지하수 회수법)	\$100,000- \$150,000 (약1.0억~1.5억원)
Soil Vapor Extraction (토양증발 추출법)	\$100,000- \$150,000 (1.0억~ 1.5억원)
HIT (High Intensity Targeted Remediation) (고강도 표적 정화법)	\$4,000- \$5,000 (0.4억~0.5억원)

# 결론

- Bench scale과 현장scale test에서, 미생물정화는 계면활성제 사용을 통해서 속도를 증가시킬 수 있다는 것을 나타내고 있다.
- 미생물정화는 계면활성제 사용을 통해서만 일어날 수 있다는 사례가 있다.  
이것은 해변모래에 대한 control CO2 생성test에서 입증되었다.
- Field test는 계면활성제 사용이 땅속처리(in-situ)에서 이용될 수 있다는 것을 보여 주었다.

또한 계면활성제 사용을 통해서, NAPL(비수용상 액체)의 땅속 용해성과 이동성이 더 좋다는 것이 증명되었다.

(Fountain,J.C.,and C.Waddell-Sheets), (Fountain,J.C.),  
(Wayt,H.J.and D.J.Wilson), (Vigon,B.W.and A.J.)