

Innovative Solution for Soil Remediation, **KET**

복원사례 발표

한국환경기술(주) 대표이사 김 수 곤

Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

1

회사 소개

사업분야

- 환경부주관 차세대핵심환경기술개발사업 주관연구기관
(자연환경 오염토양(지하수)의 정화 복원기술 분야)
- 오염토양/지하수 복원 및 정화
- 토양/지하수 오염진단, 조사, 감정
- 토양오염유발시설 관리, 보수, 교체
- 하천 및 해양 유류오염 방재 작업
- 지하수 개발 및 이용 시공

Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

2

회사 소개

핵심기술

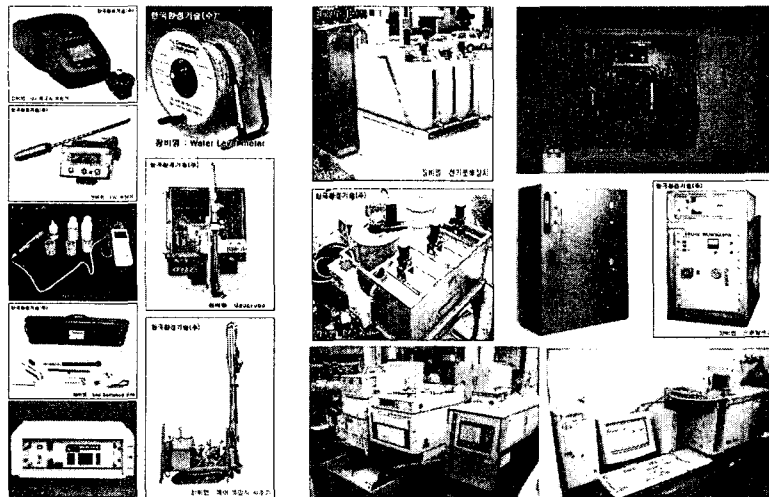
- KET-COP
 - 특허 등록 제 0353113 호, 제 0367293 호
 - Ozone, RPCs (Radical Producing Compounds)를 이용한 오염물질 산화 공정
- KET-SVE
 - 불포화대/포화대 오염물질 동시 추출 가능
 - 제약조건이 적어서 국내외 오염부지에 적용성이 뛰어나
- Electrokinetic Technology (EK)
 - Kaist와 공동 연구 중(환경부 차세대사업 과제)
- Permeable Reactive Barrier (PRB)
 - Kjist와 공동 연구 중(건기원 연구과제)

Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

3

회사 소개

보유장비



Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

4

회사 소개

사업실적

적용기술구분 기술적용업종구분	토양오염진단		오염토양복원		토양오염유발 시설 관리, 보수, 교체
	Phase I, II	RI/FS	In-Situ	Ex-Situ	
주 유 소	71	50	73	37	3
섬 유 화 학	3	1	5		
폐기물처리장	1	1	2	1	
석 유 화 학	19	15	17	12	1
주 택 단 지	3	2	2		3
자 동 차 제 조		5	5		2
기 계 제 조	5		2		2
군 부 대	1	1		1	
계	103	75	106	51	11

Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

5

00공군부대 오염토양복원공사

공사기간: 2002.10.2 ~12.10

Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

6

오염부지의 일반현황

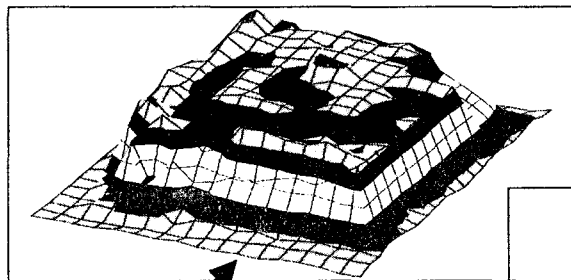
■ Site Background

- 수년 전 부대 내로 유입되던 송유관(JP-8)에서 누출사고 발생.
- 오염된 토양을 전량 굴착하여, 부대 내 연병장에 야적.

■ Site Geology

- 오염물질의 종류: 주로 JP-8이며, 국부적으로 Diesel로 복합오염
- 토양특성: 주로 sand와 silt로 구성, 위치에 따라 다량의 clay 존재
- 정밀조사 결과(2001.8.14, (주)오이코스에서 실시)
 - * BTEX 농도: 최고 1,861.455 mg/kg
 - * TPH 농도: 최고 3,258 mg/kg

오염부지의 일반현황



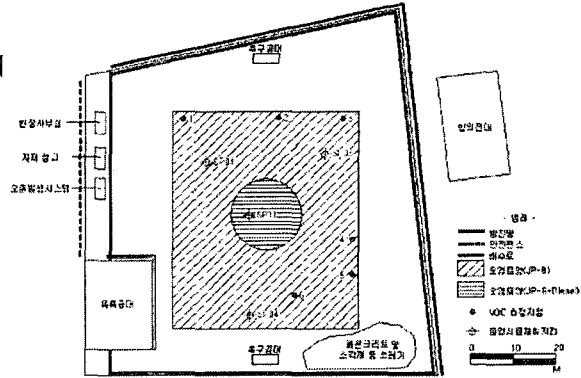
야적오염토양 사진촬영 정면



1단계 부지특성조사

토양오염도조사

- 조사목적
 - 토양의 현재 오염농도 및 토성 파악
- 조사내용
 - 오염토양시료 채취
 - 토성 및 TPH 분석
 - VOC 측정



Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

1단계 부지특성조사

토양오염도조사

- 조사결과
 - TPH 오염농도: 2,385.2 ~ 162,156.0 mg/kg
 - VOC 농도: 대기 중 VOC 농도는 0.0 ppm

시료채취 지점	pH	TPH 농도 (mg/kg)	비고
1-1	9.5	92,766.8	JP-8과 Diesel로 복합 오염
1-2	8.9	111,893.6	
1-3	6.6	103,028.3	
1-4	7.9	114,880.7	
1-5	8.1	162,156.0	
2	7.4	2,385.2	JP-8로 오염
3	6.3	3,560.7	
4	6.9	5,634.0	

VOC 측정지점	VOC 농도 (ppm)	비고
1	235.6	토양 속으로 센서를 삽입하여 측정
2	193.7	
3	45.8	
4	23.1	
5	16.4	
6	0.0	대기 중 VOC 측정

Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

Pilot test 1 (생물학적 처리)

- 생물학적 처리 Pilot test 내용
 - 미생물제제(Oil-Sponge™, EPA 승인제품) 160 kg을 오염토양 8 m³와 교반 (미생물제제/오염토양 비율 = 약 0.013)
 - 교반 후 미생물이 충분히 서식하도록 수분을 유지함(70 % 이상)
 - 약 10일간 처리 후, 무작위로 토양시료 2개를 채취하여 분석
- 생물학적 처리 Pilot test 결과
 - 오염농도가 최고 53 %까지 제거되었으나 복원기준에는 미달
 - 이는 주위 기온이 내려가서 미생물의 활동이 위축된 것으로 판단

토양시료	처리 전 시료	생물학적 처리1	생물학적 처리2
TPH 농도(mg/kg)	7,822	4,421	3,661

Pilot test 2 (KET-COP)

- KET-COP Pilot test 내용
 - RPCs 농도별로 test 실시(5 %, 15 %, 30 %)
 - RPCs/토양비율별로 test 실시(RPCs/토양= 0.1, 0.2, 0.5)
 - 토양 속 철함량 조사
 - : Odyssey DR/2500 Spectrophotometer로 측정
 - 측정 결과, 토양 속 철함량이 0.5 ~ 0.9 %로 확인됨
 - FS/RPCs비율은 토양 속 철함량 조사 자료를 토대로 Lab test 결과, 1/1000(15 % RPCs 기준)이 최적비율로 적용
 - 각 단계별로 2회 이상 실시한 후, 무작위로 토양시료 18 개를 채취하여 농도 분석 실시
- KET-COP Pilot test 결과
 - 전 시료 오염농도가 복원기준인 TPH 800 mg/kg을 만족
 - RPCs 농도는 15±3 %, RPCs/토양비율은 0.13±0.02로 결정

Pilot test 2 (KET-COP)

■ KET-COP Pilot test 결과 (토양시료 TPH 분석 결과)

토양시료	처리내용		TPH 농도(mg/kg)	
	RPCs 농도	RPCs/토양 비율	1차	2차
원시료	-	-	100,412	74,750
1	5	0.1	584	467
2	5	0.2	612	440
3	5	0.5	141	489
4	15	0.1	285	356
5	15	0.2	340	201
6	15	0.5	277	554
7	30	0.1	449	249
8	30	0.2	423	376
9	30	0.5	251	199

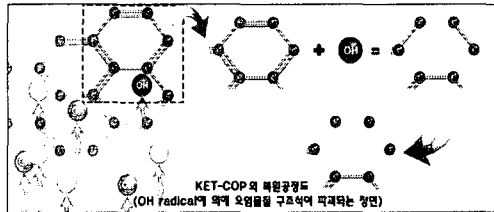
KET-COP 공법 개요 1

■ Chemical Oxidation

: Ozone(O₃), Hydrogen Peroxide(H₂O₂), Potassium Permanganate (KMnO₄) 등 산화제를 오염토양 내로 주입하여 오염물질을 CO₂나 H₂O로 완전히 산화분해하거나, 자연상태에 존재하는 물질로 변형시켜 오염토양/지하수를 복원하는 기술

■ KET-COP

KET-COP 공법은 Ozone과 RPCs(Radical Producing Compounds)를 산화제로, 자체 개발한 산화촉진제(FS, RPC2 등)로 한 CO공법으로, KET만의 Know-How와 장비를 바탕으로 오염토양/지하수를 복원하는 공법 (특허 제 0353113 호)



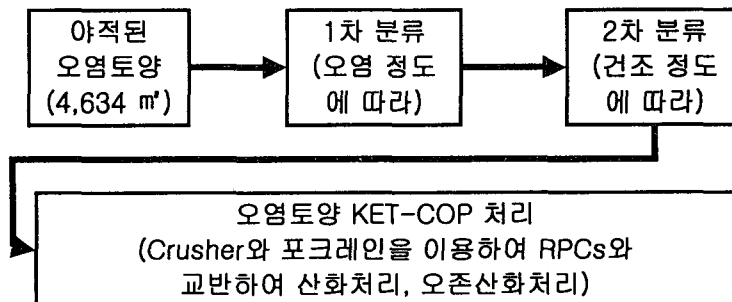
KET-COP 공법 개요 2

KET-COP의 장점	적용 대상 물질
In-Situ/Ex-Situ 정화공정 지하수 추출 및 2차 처리가 필요 없음 오염물질에 대한 직접적인 산화분해 가능 유기물, 무기물 동시 제거 가능 1년 이내의 빠른 공정 산화공정 조절 가능 경제적으로 유리 RPCs/오존의 효율적인 subsurface distribution 반응최종산물의 환경친화적 특성 신뢰성	석유계 탄화수소 염소계 탄화수소 PAHs (Polynuclear Aromatic Hydrocarbons) PCP (Pentachlorophenol) 무기물 페놀과 PCB 박테리아와 바이러스 COD와 BOD

- ▶ KET-COP의 적용 현장
 : 주유소, 석유화학공장, 폐기물처리장, 석유화학공장, 매립장, 토목건설현장 등

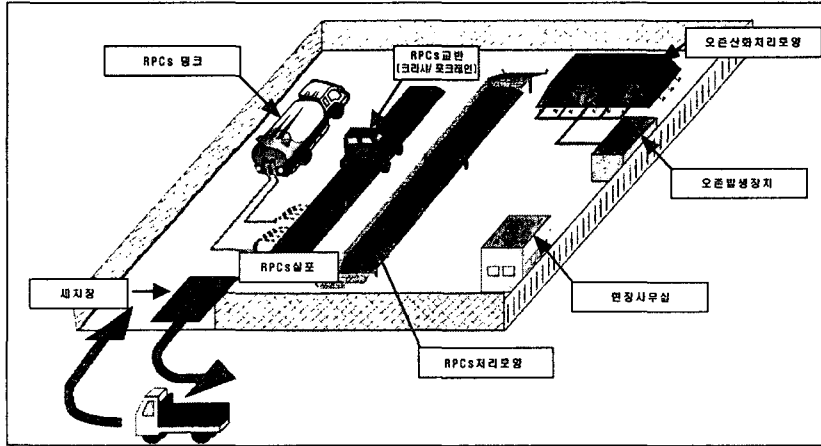
KET-COP 복원공정도

- 공정 개요**
 : 야적된 오염토양을 오염 정도와 건조 정도에 따라 분류하여 각각에 적합한 비율의 RPCs/FS를 교반하여 오염물질을 산화 제거
- 복원공정도**



2단계 Pilot test & 복원 설계

KET-COP 복원조감도

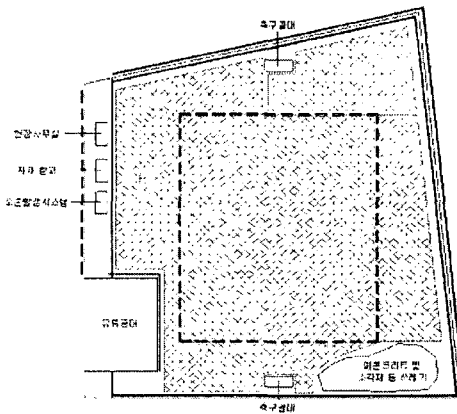


Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

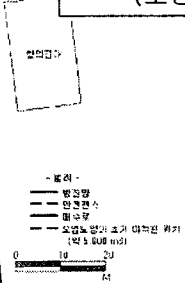
17

3단계 복원시공 및 운전

오염토양 1차 분류



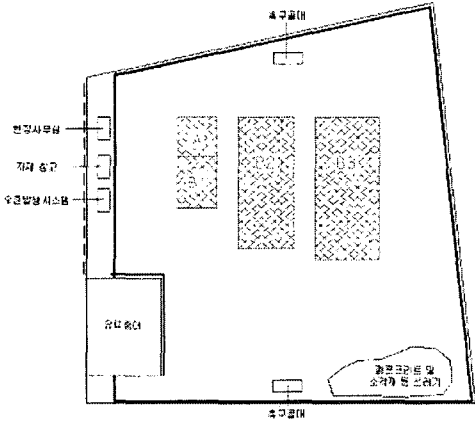
- 오염 정도에 따른 분류
- 분류 결과
 - 비교적 오염이 낮은 토양 (토양A): 374 m²
 - 비교적 오염이 심한 토양 (토양B): 4,260 m²



Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

18

오염토양 2차 분류

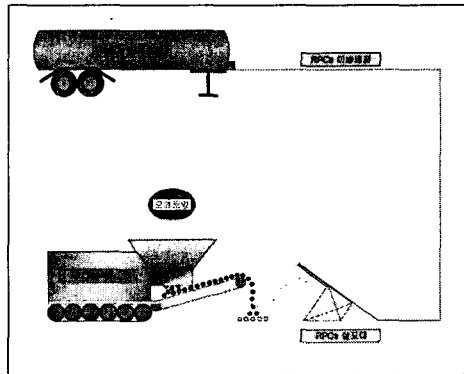


- 건조 상태에 따른 분류
- 분류 결과
 - 건조 상태가 양호한 토양 (토양B1): 473 m²
 - 건조 상태가 불량하고 오염 정도가 낮은 토양 (토양B2): 1,704 m²
 - 건조 상태가 불량하고 오염 정도가 심한 토양 (토양B3): 2,083 m²

오염토양 KET-COP 처리 1

◆ Crusher를 이용한 오염토양 산화처리

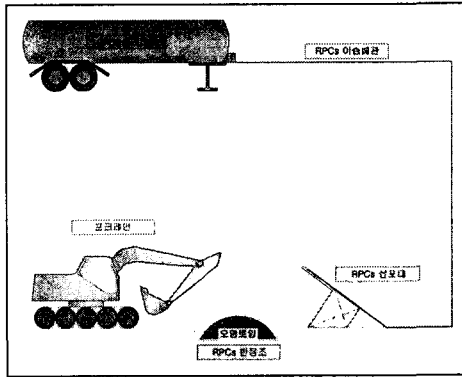
- 건조 상태가 양호한 토양 (토양A, 토양B1)
- 토양처리량 : 847 m³
- RPCs 소모량 : 101.7 ton(12%)
- RPCs/토양비율 : 0.12
- FS 소모량 : 82 kg



오염토양 KET-COP 처리 2

◆ 포크레인을 이용한 오염토양 산화처리

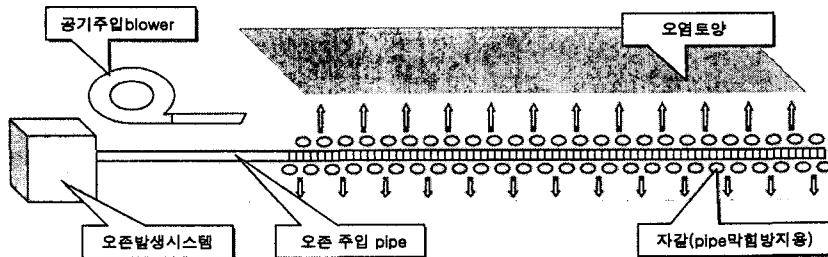
- 건조 상태가 불량한 토양 (토양B2, 토양B3)
- 토양처리량 : 3,787 m³
- RPCs 소모량 : 545.7 ton(16%)
- RPCs/토양비율 : 0.14
- FS 소모량 : 773 kg



오염토양 KET-COP 처리 3

◆ 오염토양 오존산화처리

- 오염토양을 L 50 m x W 20 m x H 2 m (1,000 m³)로 구축
- 오존발생기 용량: 120 gO₃/hr
- 오존주입 pipe를 3 m 간격, 16 본을 설치
- 오존 주입은 4 분 씩, 3 시간 씩 주입



4단계 복원모니터링

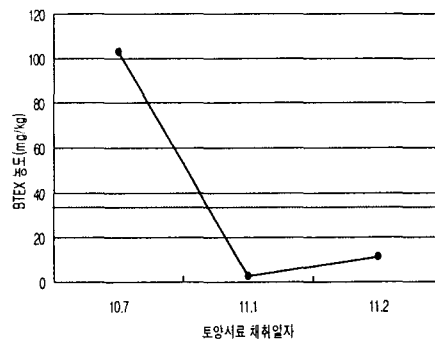
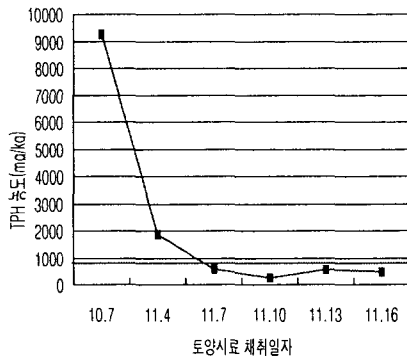
복원모니터링

- pH: 5.4 ~ 8.9
- VOCs
 - 주2회 간격으로 총 16회 측정
 - 측정 결과, 전 회에서 0.0 ppm 으로 나타남
- TPH: 주2회 간격으로 총 5회 분석
- BTEX: 총2회 분석
- 기타: 수분함량, 유기물함량 분석
- QA/QC
 - 현장관리인이 QA/QC를 총괄하며, 시료채취분석계획 수립 및 운영
 - TPH, BTEX는 환경부에서 인정한 토양오염조사기관에 분석 의뢰
 - 시료 채취 내역 및 분석 결과 문서화

4단계 복원모니터링

복원모니터링

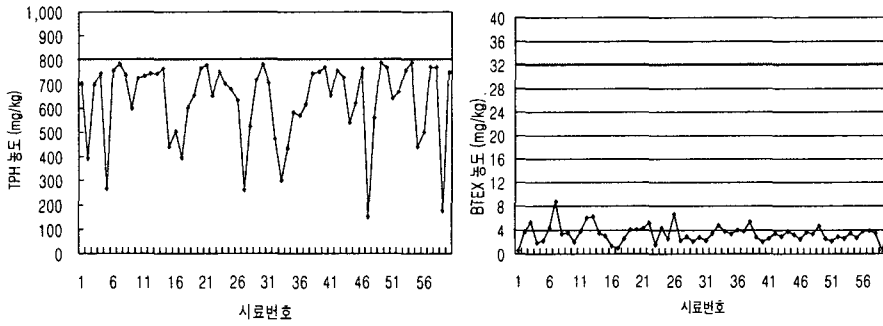
- TPH, BTEX 농도 시간별 변화 그래프



5단계 복원 사후 단계

완료검사

- 총 33 개 지정에서 60 개의 토양시료를 채취
- 분석 결과, 복원기준(TPH 800 mg/kg 이하, BTEX 32 mg/kg 이하) 만족

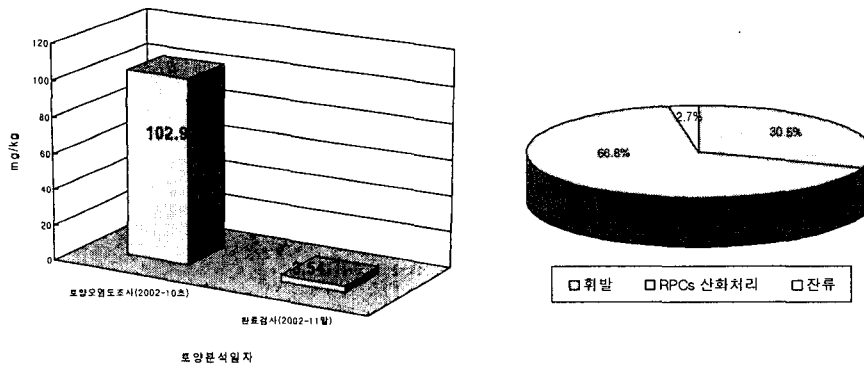


Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

25

5단계 복원 사후 단계

BTEX 제거율

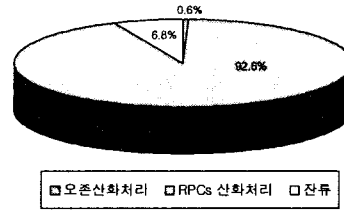
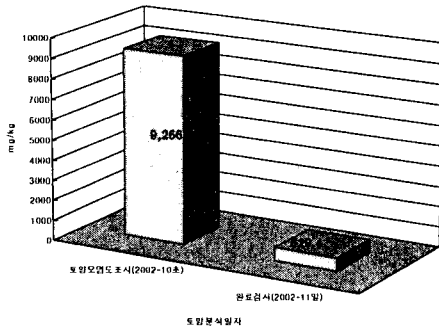


Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

26

5단계 복원 사후 단계

TPH 제거율



Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

27

5단계 복원 사후 단계

토양환경에 미치는 영향

- DOC (Dissolved Organic Carbons)가 증가
- pH가 감소
- 용출되는 유기물 농도가 증가(증가된 유기물은 분자량 500 ~ 1,000 dalton 범위에 있는 성분들로 구성)
- 토양미생물이 재성장하는데 좋은 환경을 조성할 수 있음

Korea Environmental Tech Inc. Tel: 052-223-0952~3, Fax: 052-223-1113

28