

오염지반 복원공법분석 및 고찰

(The restoration-method of contaminated ground process and investigation)

노시원¹⁾, Si-Weon Noh, 윤준영²⁾, Jun-Young Youn, 이영생³⁾, Yeong-Saeng Lee

¹⁾ 경기대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University

²⁾ 경기대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University

³⁾ 경기대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University.

SYNOPSIS : In this paper, conventional biological treatment methods to compensate for the shortcomings bio-Ceramic -technology to develop fusion as a preliminary step of the analysis and review process to restore contaminated soil and BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, xylene) contaminated by Soil physical and mechanical properties were analyzed. As a result, pollution levels and other contaminants by supporting the sample tests carried out by mechanical properties testing, and the difference between unpolluted soil were compared.

Key words : BTEX, restoration-method

1. 서 론

1.1 연구의 필요성

최근 급속한 산업화에 따라 원유, 석탄, 원자력 등의 사용이 빈번해지고 있으며 이로 인한 부가적 문제점들 즉 누출로 인한 지반오염 문제들이 심각해지고 있다. 지반오염의 경로를 살펴보면 대략적으로 <그림 1> 과 같고 이로 인하여 지하수도 오염이 되어 문제가 더 커질 수 있다. 지반오염의 특성은 만성적이고, 개선(또는 복원)이 매우 어려우며 시간 및 경제적 처리 비용이 만만치 않다는 것이다. 지반이 본격적으로 오염되었을 경우 이를 정화 또는 차폐하기 위하여 치러야 하는 대가가 막대한 것을 생각해 볼 때 지반환경 오염에 대한 대처가 필요한 시기이다.

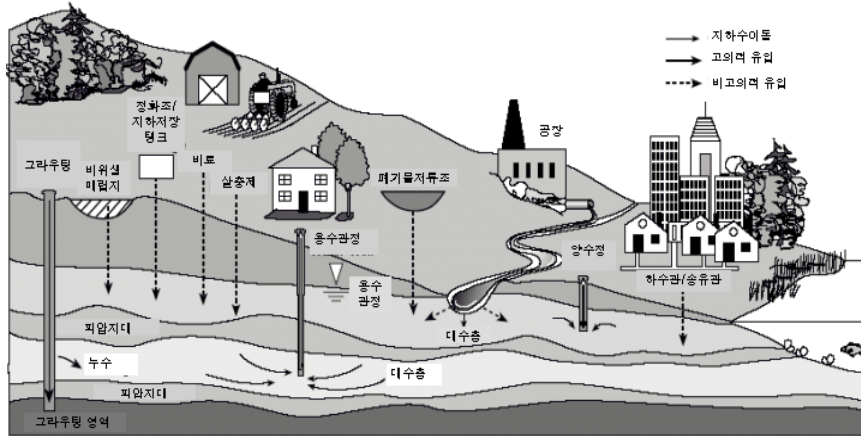


그림 1. 지하오염경로(지하수 수질보전 종합대책, 2005)

1.2 연구 배경 및 목적

과거로부터 생활 및 산업변화에 따라 관심의 대상이 되고 있는 오염의 변천 과정을 살펴보면 대기오염, 수질오염, 폐기물, 지반 및 지하수 오염으로 변화 되는 경향을 나타내고 있으며 이러한 오염대상을 통제하는 방법도 처리, 저장, 수송, 처분 그리고 정화(remediation; clean up)로 변화되어 가는 현상을 나타내고 있다.

전 세계적으로 산업발달의 가속화와 인구증가로 말미암아 부수적으로 발생하는 방대한 양의 도시, 산업, 준설, 광산, 핵 등의 폐기물과 점점 사용량이 증가하고 있는 화학약품, 유류, 농약, 방사성 물질 등의 부적절한 취급과 처분으로 인하여 지반의 오염이 심화되어 가고 있다. 국내의 경우, 위생 매립 시스템을 갖추지 않아 천 여 개 이상의 불량매립장, 유해 폐기물을 취급하는 각종 화학공장 그리고 전국 각지에 산재하고 있는 주유소의 지하 유류저장 탱크 및 지하비축기지, 과다 농약 살포지역, 광산지역 등의 주변 지역 지반오염이 되어 심각한 환경문제가 야기되고 있다.

예를 들어 난지도매립장과 같이 과거로부터 특별히 위생처리를 하지 않고 단순 투기가 이루어진 매립장의 경우 주변으로 매립장내 오염수가 유출되어 인근 지반, 지하수 및 하천이 오염된다. 이와 같이 지반 및 지하수가 오염 될 경우 환경적인 측면에서는 인간 및 자연 생태계에 나쁜 영향을 미치며 지반 공학적인 측면에서는 원지반이 가지고 있는 고유한 물리, 화학, 역학적 특성이 변하게 된다.

여러 오염원 중, 유류로 오염된 지반의 경우 BTEX로 오염된 지반은 휘발성과 독성이 있다. 따라서 본 연구에서는 BETX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)에 의해 오염된 지반이 보이는 특성 연구와 오염지반 복원공법을 고찰 하였다.

2. 본 론

2.1 오염지반 복원공법 분석

본 연구에서는 급속한 산업화에 따라 원유, 석탄, 원자력 등의 사용이 빈번해지므로 인한 부가적 문제점들 즉 누출로 인한 지반오염 문제들과 지반이 본격적으로 오염되었을 경우 이를 정화 또는 차폐하기 위하여 유기오염물질로 오염된 지반복원 기반기술의 개발을 위하여 자연친화적이며 경제성이 높은 통합형 토목-소재-생물/환경 복원기술을 개발하기 위한 준비단계로 기존의 오염지반 공법의 분석 및 고찰, 오염원의 자료수집, 분석한 결과 국내에서는 오염지반을 재이용하여야 하기 때문에 정화한 후 사용가능하도록 지반을 환경 친화적으로 복원하는 것이 중요하다. 아래 그림 2.은 국내 오염지반정화기술 적용현황으로써 대부분 생물학적 정화기술을 사용하였음을 볼 수 있다.

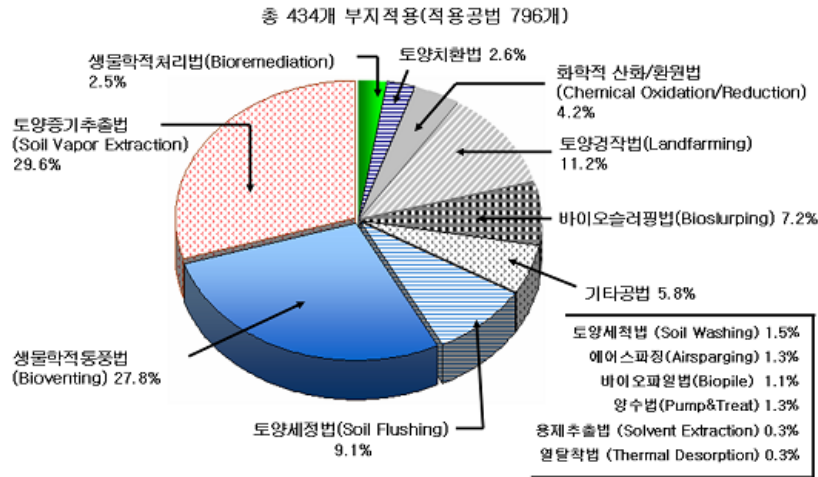


그림 2. 국내 오염지반정화사업 적용기술현황 (2000~2006년)(환경부,2007)

그러나 생분해를 이용하는 기술은 처리기간이 길고 많은 영향인자들에 의해 처리효율이 통제를 받는 단점을 가지고 있기 때문에 긴급히 오염지역을 정화해야 하는 경우에는 적용이 용이하지 않다. 또한 미생물에 의한 분해가 가능한 유기물이라도 난분해성인 물질인 경우 분해하는데 수년이 걸리거나 때때로 오염물질이 초기 오염물질보다 독성 및 이동성이 증가된 중간생성물질을 생성하여 지하수까지 오염을 확산시키기도 한다. 생물학적 처리기술은 처리효율과 안정성을 높일 경우 다른 기술에 비해 가장 환경 친화적이고 경제적인 방법으로 알려져 있으며, 이를 위해서 미생물과 효소 등을 효과적으로 탐지할 수 있는 담체의 개발이 요구된다. 그러나 세라믹 담체분야에서 나노~마이크론까지의 연속 기공체 제조에 대한 연구가 확립되어 있지 않으며, 미생물과 효소에 적합한 최적의 기공구조(기공 크기와 분포 등)에 대한 체계적인 연구는 물론 다공체 표면특성과 미생물의 부착조건에 대한 실증연구도 이뤄지지 않고 있는 것으로 분석되었다.

2.2 BTEX 오염지반의 공학적 특성

본 연구에서는 세라믹-바이오 복합공정 적용지반 해석이론을 구축하기 위해 BTEX에 의해 오염된 흡시료에 대하여 기본 물성치를 구하고 강도 특성 시험을 실시하였다.

2.2.1 오염 흡의 물리적 특성

(1) BTEX의 특징

가솔린은 원유생산물의 대표적인 물질로서 다양한 탄화수소로 구성되며, 연료로서 요구되는 성능과 환경 규제기준에 따라 정제시 그 성분함량이 조정된다. 가솔린의 18 % (Wet.) 이상을 구성하는 BTEX (benzene, toluene, ethylbenzen, o-, m-, p-xylene)는 주로 유류저장탱크와 다양한 산업공정으로부터 배출된다. BTEX는 다른 가솔린 성분 중에서 상대적으로 물에 대한 용해성이 크며, 인체에 유독하며, 특히 benzene은 대표적인 발암성 물질로 분류된다. 유류 탄화수소인 BTEX는 NAPLs (Non-Aqueous Phase Liquids) 상태로 지하에 존재한다. 대수층에서 소수성 물질인 방향족 탄화수소는 토양에 흡착되어 오염을 악화시켜 지하수의 오염원으로 오랜 시간 동안 존재하고 NAPL의 질량변화는 매우 느린 속도로 변화한다. BTEX는 휘발성 단일 방향고리 탄화수소류로서 휘발유의 18~30%를 차지하고 있으며(Cline, 1991). 독성 및 발암성을 나타내며, 높은 용해도로 인해 지하수 및 토양에 널리 퍼질 수 있는 문제가 있어 이들 물질에 대한 처리 기술 개발이 시급한 실정이다. 또한 위 물질에 의한 토양과 지하수의 오염은 장기적이고 광범위하여 처리에 긴 시간과 막대한 경비가 소요된다.

(2) BTEX의 처리방법 특성

유류 오염 토양/지하수에 대한 생물학적 처리 방법 중, biopile 공법은 유류에 오염된 토양을 쌓아두고 폭기, 영양물질, 수분을 가함으로써 호기성 미생물들의 활성을 극대화시켜 오염원을 제거하는 공법이다. 이 공법은 pile에 강제적으로 공기를 주입하는 방법으로 설계 및 설치가 쉽고 유기물질에 대한 생분해가 효과적이며 다양한 오염물질과 현장조건에 맞게 적용할 수 있지만, 오염물질의 95% 이상 제거가 어렵고, 식물 복원공법(phytoremediation)은 식물을 이용하여 토양 및 지하수를 정화시키는 환경복원기술이다. 이 공법은 환경친화적이며 2차 부산물의 발생이 적다. 그리고 저농도 오염물질이 넓은 지역에 분포하고 있을 때 효과적이다. 단점으로 식물의 성장 기간을 거쳐야 하므로 처리속도가 늦고, 처리 토양의 깊이에 그 한계가 있다. 바이오벤팅(bioventing)기술은 석유화합물질에 의해 오염된 토양에 성공적으로 적용되어 왔다. 이 기술의 장점은 장치 설비가 쉽고 다른 복원기술과 쉽게 결합되어 사용될 수 있고, 처리 기간이 짧고 배출가스의 처리가 필요 없다. 하지만 이 기술의 단점으로 고농도의 오염물질은 미생물에 활동을 저해 할 수 있고, 투수성이 낮거나 점토 함유량이 높은 토양에는 적용할 수 없으며 불포화지역에만 효과적이다.

(3) BTEX 오염 흙의 물리적 특성

BTEX로 오염된 흙과 일반 흙 이 물성적으로 어떠한 차이를 나타내는가를 알기 위하여 BTEX오염이 심한 흙과 덜 심한 흙, 두 오염 시료에 대한 체분석 및 비중계 분석, 액·소성한계 시험, 비중시험을 실시하여 다음에 나타내었다.

본 연구를 위하여 BTEX 오염이 심한 흙과 덜 심한 흙 두 가지 시료를 채취하여 실험에 적용하였다.

(a) BTEX 오염이 심한 흙

BTEX 오염이 심한 흙, 오염이 덜 심한 흙에 대한 입도분포곡선은 그림 3.과 같고 기본물성 값은 다음 표 1.과 같다.

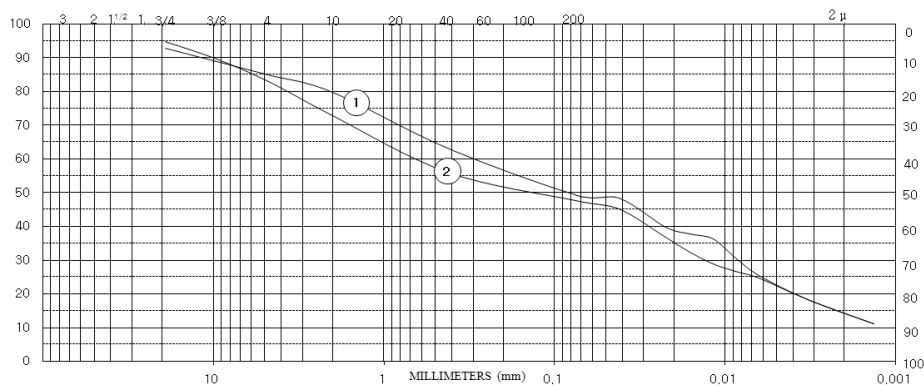


그림 3. ①:오염 심한 흙, ②:오염 덜 심한 흙

표 1. 오염이 심한 흙

액성한계(LL)	소성한계(PL)	소성지수(PI)	비중(G_s)	분류(통일분류법)
42.9	26.8	16.1	2.53	SC ; 자갈 섞인 점토질 모래
42.1	25.9	16.1	2.56	SC ; 자갈 섞인 점토질 모래

본 시료의 경우 통일분류법에 의해 모두 자갈 섞인 점토질 모래(SC)로 분류 되었다.

(4) BTEX 오염 흙과 일반 흙의 물리적 특성 분석

오염 흙의 물리적 특성 차이를 보면 액성한계의 경우 두 시료 모두 일반 모래의 성향을 보이고 통일분류법상 자갈 섞인 점토질 모래(SC)로 분류되었다. 본 연구의 BTEX 오염 흙의 경우 비중이 2.53, 2.56로 두 흙 모두 일반 흙 보다 약 0.1 이상 작았다. 이는 휘발성인 BTEX에 오염으로 인하여 비중이 0.1이상 작아진 것으로 추정된다. 또한 BTEX오염이 심한 흙의 비중은 2.53, BTEX오염이 덜 심한 흙의 비중은 2.56인데 이 또한 BTEX 함량과 연관된 것으로 보인다.

2.2.2 BTEX 오염 흙의 역학적 특성

(1) BTEX 오염 흙의 전단강도

BTEX 오염 흙의 강도 특성을 구하기 위하여 오염 시료에 대한 직접전단 시험을 수행하였다. 시험결과 다음과 같은 값을 구하였다.

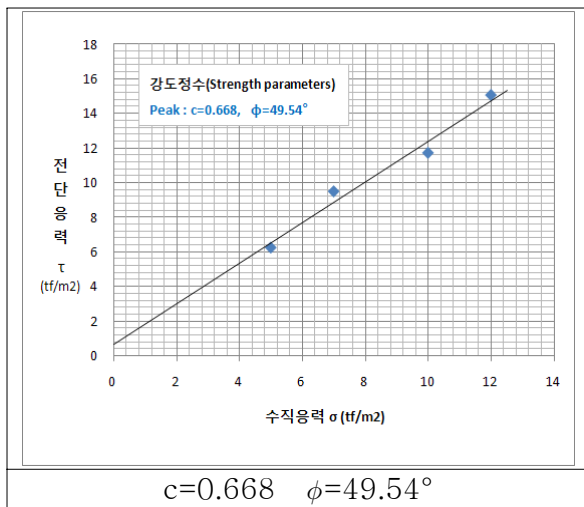


그림 5. 오염이 심한 흙의 c , ϕ 값

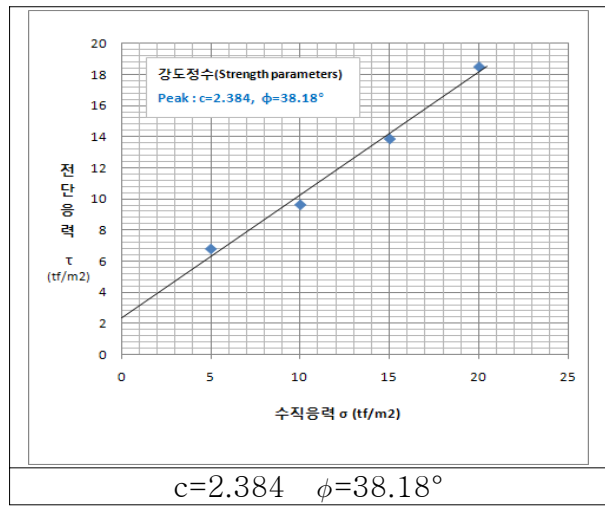


그림 6. 오염이 덜 심한 흙의 c , ϕ 값

오염이 심한 흙의 경우 점착력은 거의 없고 내부마찰각이 약 50°에 가깝게 나타났다.

표 3. 오염시료의 점착력과 내부마찰각

구분	오염이 심한 흙	오염이 덜 심한 흙
점착력(c)(kg/cm^2)	0.668	2.384
내부마찰각(ϕ)	49.54°	38.18°

(3) BTEX 오염 흙과 일반 흙의 공학적 차이

BTEX로 오염된 흙의 내부마찰각(ϕ) 값을 일반적인 흙의 내부마찰각(ϕ) 값과 비교했을 때 오염이 심한 흙($\phi=49.54^\circ$)의 경우, 모래질 자갈의 경우($\phi=50^\circ$)와 비슷하고 오염이 덜 심한 흙($\phi=38.18^\circ$)의 경우, 입도가 불량한 모래($\phi=34^\circ$)와 입도가 양호한 모래($\phi=45^\circ$) 사이의 값을 갖는 것으로 나타났다.

3. 결론

BTEX 오염 흡과 일반 흡의 물리적 특성 차이와 역학적 특성 차이를 비교 하였다. 물리적 특성 비교결과 다음과 같았다.

1. BTEX로 오염된 흡이 일반 흡에 비해 비중이 대략 0.1작게 나타났다.
2. 내부마찰각은 BTEX 오염이 심한 흡의 경우에는 모래질 자갈에 가깝게 나타났다.
3. BTEX 오염이 덜 심한 흡의 경우에는 입도가 불량한 모래와 입도가 양호한 모래의 사이 값으로 나타났다.

본 연구는 적은 시료를 통한 실험으로 이의 확인을 위하여 더 많은 공시체에 대하여 실험이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국토해양부, “토양 및 지하수 오염과 NAPL처리, 시공지침서”
2. 고성환 외 1명(2003), “오염토양 복원기술 동향”, 연구동향 제4권 제1호, pp.97~99.
3. 권호진, 박준범, 송영우, 이영생(2001), “토질역학”, 구미서관, 제2장 흡의 기본적 특성, 제8장 흡의 전단 강도, 14장 지반환경공학
4. 권호진(1997), “유기화합물로 오염된 지반의 정화에 관한 고찰” 산업기술연구 Vol.11 No.11, pp.23~34
5. 김영욱(2005), “지반오염 현황 및 전망”, 지반 Vol.21 No.11, pp.14~25
6. 박규홍, 권호진, 박준범(1996), “지반오염물질의 특성과 정화(LNAPL을 중심으로)”, 대한토목학회지 Vol.44 No.11, pp.69~75
7. 박정구(2007), “지하수, 토양오염의 현상 및 복원기술 동향” 코넥틱 레포트
8. 박준범, 이기호, 박기홍, 김동진, 박상규(2001), “농약에 의한 지반오염 및 정화”, 한국지반공학학회지 Vol.17, No.8, pp.23~30
9. 신은철, 이재범(1995), “원유로 오염된 사질토의 공학적 특성”, 95 봄 학술발표회 논문집, pp129-134
10. 신은철, 이재범(1997), “원유로 오염된 지반의 역학적 특성”, 한국지반공학학회지 Vol. 13 No. 6, pp37-43
11. 조태룡, 이영생(2000), “산업용 기름으로 오염된 지반의 강도특성에 관한 연구”, 한국지반공학학회논문집 제16권 제2호, pp.125~134
12. 최재영(2007), “국내외 토양 및 지하수 오염정화 기술 연구, 기술동향” 코넥티 레포트
13. 환경부(2002), “산업단지 토양환경조사 사업 추진계획”
14. 환경부(2007), “오염토양 정화방법 가이드라인”
15. 환경부(2005), “지하수 수질보전 종합대책”
16. 환경부(2003), “토양복원 기술 및 사례집”
17. 환경부(2004), “폐금속광산 주변 토양관리 종합계획”
18. 환경부 토양지하수과(2007), “오염토양정화방법”
19. Braja M Das(2010), “Principles of Geotechnical Engineering”, 6th ed., THOMSON
20. Domenic Grasso(1993), “Hazardous Waste Site Remediation” Lewis Publishers”
21. North Atlantic Treaty Organization(1993), Demonstration of Remedial Technologies for Contaminated Land and Groundwater, Final Report, volume 1