한국철도학회논문집
제12권 제5호 2009년 | pp. 788-792

철도 차량기지의 토양오염 실태 조사

Investigation of Soil Pollution Status for Railroad Depot

어성욱† · 이태규*
Seong-Wook Oa · Tae-Gyu Lee

Abstract Railroad is well known for eco-friendly transportation system. But, for past few decades, there might be happened many contamination acts in railway facility sites. Industrial and municipal solid wastes produced to maintain and fix trains were dumped to underground of railroad depot area. To develop and reconstruct this area, we should remediate the contaminated soil and ground water. This study was conducted to evaluate the soil pollution status of railroad depot and propose the optimum remediation processes. Our investigation showed that main pollutants sources were TPH and some heavy metals from the dump site. The surveying results for the soil under rail track and crossing nose areas showed TPH contamination from crossing nose area causing lubricant agent. It could be use and rehabilitate the railroad facility areas to an intended purpose with an application of well designed in-situ and ex-situ remediation processes.

Keywords : Railroad depot, Soil pollution, TPH, Heavy Metal, Remediation

요 지 철도는 그동안 친환경 교통수단으로 알려져 왔다. 그러나 토양환경보전법 제정 이전 수십 년간 인지하지 못하는 토양오염들이 철도 시설 부지에서 유발되어 왔다. 철도차량기지 등에서는 철도차량 유지관리 및 수선을 위해 사용되어진 많은 폐기물과 유기용제들이 부지 내에 투기되어온 것들이 사실이다. 이들 부지의 개발과 활용을 위해서는 과거의 오염지역에 대한 정화가 선결되어야 하는데, 본 연구는 차량기지의 토양 오염현황과 복원 대책을 제안하기 위해 수행되어 졌다. 차량기지 내 폐기물 투기 지역에서는 유류오염물질인 TPH 성분과 몇몇 중금속 성분이 토양오염 기준치를 초과하는 것으로 나타났으며, 기지 내 선로와 분기기에 대한 조사에서는 분기기 하부에서 유류오염물질이 관측되었다. 원위치, 또는 굴착 후 정화 등의 방법이 오염정화를 위해 적용되어질 수 있으며, 현장의 특성을 고려하고, 모의시험을 통해 적절한 정화 방법을 채택할 경우 현장의 오염정화를 완성할 수 있을 것이다.

주 요 어 : 철도차량기지, 토양오염, TPH, 중금속, 오염복원

1. 서 론

국내 대도시의 철도 차량기지는 부지 당 최소 10만 평방미터 이상의 대단지로 구성되어 있으며, 부지의 지표면은 레일만이 부설되어 있고 입체적인 공간은 미개발되어 있는 실정이다. 토양환경보전법 제정 이전부터 운영되어 오던 이러한 철도 차량 기지들은 부지 내 대부분의 지역이 대단위매립장, 철도 정비창 등으로 이용되어 왔으나, 철도 현대화 및 사업 다각화로 이러한 차량기지에 대한 새로운 건설 사업이 요구되고 있다[1]. 현행 토양 환경보전법 상에서는 이러한 부지의 활용을 위해서는 과거 폐기물, 폐유 등의 불법 매립으로 야기된 토양 오염 현황을 조사하고 이를 요구되는 수준으로 복원하는 사업이 필요하다[2].

토양환경보전법에서 규정하고 있는 토양오염의 정의는 사업 활동이나 기타 사람의 활동으로 인해 토양이 오염되는 것으로서, 사람의 건강이나 환경에 피해를 주는 상태를 말한다. 또한 토양오염물질이라 함은 토양오염의 원인이 되는 물질로써 환경부령이 정하는 것을 말한다[3]. 과거 토양환경보전법이 수립되기 이전, 많은 양의 산업폐기물 및 폐수가 토양에 무단 투기 및 매립 되었던 것이 사실이며, 이는 산업화 이후 전 세계적으로 광범위하게 진행되어온

† 책임저자 : 정회원, 우송대학교 철도건설환경공학과 교수
E-mail : swoa@wsu.ac.kr
TEL : (042)629-6715 FAX : (042)636-2674
* 정회원, 우송대학교 철도건설환경공학과 교수

것이 확인되어지고 있다. 국내 철도 차량기지 및 철도 시설 부지도 예외는 아니어서, 부지 활용을 위한 사업 진행시 사업 준비단계에서 많은 철도차량기지 부지에서 토양오염실태가 발견되어지고 있다[4]. 이들 토양 오염현황 및 대책에 대한 사전 인지와 적절한 대책가 없을 경우, 사업의 지체와 사업비의 증대를 초래할 수 있다. 본 논문은 ○○ 철도차량기지 현대화 사업을 위해 진행된 토양오염 현황 조사를 근거로, 시설 부지를 활용한 사업계획시 반드시 고려해야할 토양오염 실태조사 및 대처 방안을 제시하기 위해 수행되어 졌다. 토양환경보전법상의 토양오염기준이 최근 개정되면서, 대상 부지를 보다 세분화하고 이전 기준에 비해 오염항목별, 대상 지역별 상당한 변화가 이루어져 2010년 1월 1일 부로 시행예정이다. 유류물질과 중금속류가 주 오염물질인 철도시설부지의 토양오염은 이번 법 개정으로 인해 보다 세밀한 관리 기준에 의해 적용 되어질 예정이다. 따라서 이에 대한 충분한 이해를 통해 철도 시설부지의 개발, 개량 사업을 진행하여야만 효율적으로 소기의 성과를 얻을 수 있을 것이다

2. 관련 기준 및 조사방법

2.1 철도시설 관련 토양환경보전법의 이해

우리나라는 1996년 1월 6일부터 토양 환경 보전법이 시행되어 토양 오염 문제에 대한 법적 관리 체계를 제도적으로 마련하였으며 2009년 6월 25일자로 개정되어 2010년1월 1일 시행예정으로 되어 있는데, 2002년 법 개정을 통해 현재 중금속, 유류(동식물성 제외)와 PCB 등 16개 항목을 토양 오염 물질로 규정하고 있다[2]. Table 1은 2010년 개정 예정인 토양환경보전법 상에서 철도시설부지에 적용하는 각 항목의 변동 내용을 비교표로 작성한 것이다. 이에 따르면, 중금속 항목의 경우 카드뮴의 기존 우려기준이 12 mg/kg에서 60mg/kg으로 변하는 등 대부분 항목의 기준이 크게 완화된 것으로 보인다. 그러나 변경 기준의 적용시 토양내 중금속의 분석 방법이 기존의 단순 용출시험에서 왕수시험법에 의한 전함량 분석 방법으로 바뀌면서, 경우에 따라서는 더 강화된 기준일 수도 있다. 또한 유류성분의 경우에도 석유계총탄화수소(TPH)는 거의 유사하지만, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌 성분을 나타내는 BTEX의 경우 과거에는 4가지 항목의 합으로 관리를 하였지만 변경된 기준은 각각의 개별 항목으로 관리함으로 보다 엄격한 관리 기준이 설정된 것이다. 또한 벤조(a)피렌 항목이 신설되었는데 이는 폐 침목을 사용한 지역에만 한정 적용하는데, 철도 부지의 경우 간과할 수 없는 항목이 신설된 것이다.

Table 1. Soil pollutants limits for railroad facility area
[unit : mg/kg]

constituents	anxiety limit		counterplan limit	
	"Na" Area		3 Area	
	current	modified	current	modified
Cadmium	12	60	30	180
Copper	200	2,000	500	6,000
Arsenic	20	200	50	600
Mercury	16	20	40	60
Lead	400	700	1,000	2,100
Chromium(+6)	12	40	30	120
Zinc	800	2,000	2,000	5,000
Nickel	160	500	400	1,500
Fluorine	800	800	2,000	2,000
Organic P Complex	30	30		-
PCB	12	12	30	36
Cyanide	120	120	300	300
Phenol	20	20	50	50
Oil				
-(BTEX)	80		200	
Benzene		3		9
Toluene		60		180
Ethyl benzene		340		1,020
Xylene		45		135
-(TPH)	2,000	2,000	5,000	6,000
TCE	40	40	100	120
PCE	24	25	60	75
Benzo(a)phyrene		7		21

2.2 현장 조사방법

○○ 철도차량기지의 토양오염도 조사를 위해 과거 근무자를 대상으로 한 토지 이력 조사를 수행하였으며, 부지내 사업 대상 구역 폐기물 매립지역과 레일 및 분기기 중심으로 토양오염조사를 통해서 오염된 부지의 정성·정량 분석을 실시하였다. 일반적으로 토양오염 조사시 시료채취 지점 선정은 Fig. 1과 같이 조사대상 내의 예상되는 오염의 가능성이 높은 지점을 선정하고 사각격자법과 삼각격자법을 병용하여 시료채취 지점을 선정하여, 시료채취 간격을 결정한다[5]. 이러한 방법을 고려하여 본 조사 대상지는 Fig. 2와 같이 사전 조사를 통해 인지한 오염 개연성이 높은 폐기물 매립지와 철도 레일 및 분기기 주변지역을 중심으로 52개 지점을 선정하여 토양샘플 채취 작업을 수행하였다.

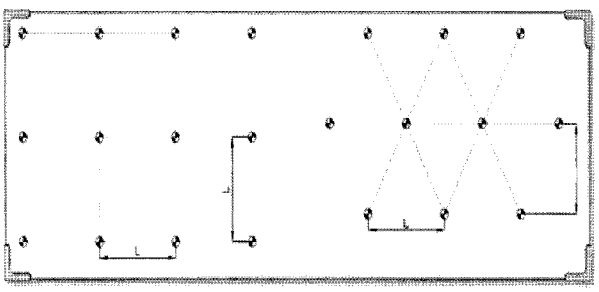
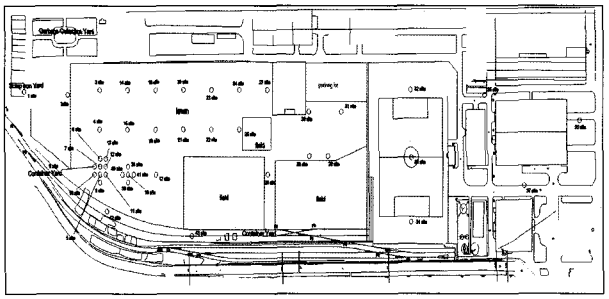
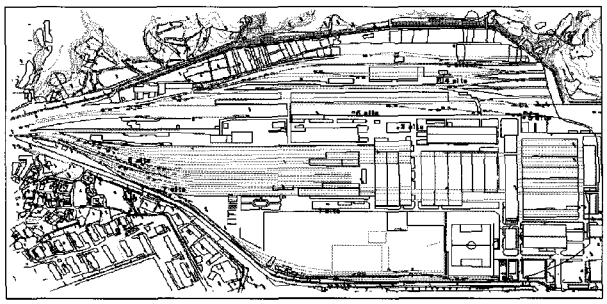


Fig. 1. Sampling planning



(a) Dump site



(b) Track and crossing nose area

Fig. 2. Soil sampling point

2.3 시료채취와 화학적 분석방법

토양시료 채취는 모종삽과 Geoprobe 장비를 이용하여 채취하였다. 시료 채취는 각각의 시추공에 대해 표층및 심도 1~1.5m 간격으로 오염원 및 관능에 의한 확인에 따라 불연속적으로 시료를 채취하였으며 일부 지점에서는 회수율을 고려 채취심도를 달리하였다. 채취된 시료는 광구병 및 폴리에틸렌봉지에 담아 4°C 이하로 보관 분석하도록 하였다. 중금속(Cd, Cu, Pb, Cr, Zn, Ni, Hg, As) 항목은 채취한 토양 시료를 자연건조 시켜 토양오염공정시험법상에 나와 있는 전처리 방법으로 전처리한 후 원자흡광도계(Shimadzu AA-6701F)로 분석하였다. TPH(석유계총탄화수소)는 채취한 토양을 함수율 실험과 동시에 토양을 전처리하여 Gas Chromatography(Agilent 7890A)로 분석하였다[5].

3. 토양오염도 조사결과

3.1 오염개황 조사 결과

조사 대상 철도 차량기지는 과거 콘크리트 폐기물 및 작업장 폐기물을 부지 내 투기한 이력이 조사되었으며, 이에 대한 1 차적인 정비작업이 시행된 적이 있었다. 이와 관련하여 부지내의 토양오염물질은 주로 작업장에서 발생한 유류 및 세척용제에 의한 것으로 추정되어 이에 대한 조사를 실시하였다. TPH(석유계총탄화수소)및 중금속(Cd, Pb, Zn)에 의한 오염도 분석 결과 일부 지역에서 토양오염 우려기준을 초과하는 농도치가 검출되었다. TPH(석유계총탄화수소)분석 자료를 보면 폐기물 매립지역에서는 경유 및 등유 계통, 철도 분기기 지역에서는 윤활유 계통에 의해 토양오염 우려기준치를 초과하는 농도치가 검출되었으며, 폐기물 매립지역에서 카드뮴과 납이 우려 기준을 초과하였고, 레일 및 분기기 지역에서 아연 항목이 우려기준을 초과한 것으로 확인되었다. 폐기물 매립지역의 경우 여러 종류의 중금속(구리, 크롬, 아연, 니켈, 수은, 비소) 항목이 검출되었지만 우려기준을 초과하지는 않는 것으로 나타났다. 또한 주변 환경 및 지하수 조사에서 지하수내에 TCE가 검출되는 것으로 나타났는데, TCE는 과거 기계류의 세척 용제로 사용되어지던 물질로, 군사기지, 차량기지, 기계류 공장 지역에서 검출되어 지는 항목이다. TCE는 치명적인 발암물질로 알려져 현재는 그 사용이 금지되어있는 물질이나, 휘발성이면서도 비중이 물보다 큰 물질의 특성으로 인해 일단 토양 환경내로 배출되게 되면, 지하수의 바닥까지 침투하여 불투수면에 장기적으로 존재하는 관리 및 제어가 매우 어려운 오염물질이다[6].

3.2 폐기물 매립지 오염분포도 및 오염범위

본 조사 대상 부지에서 채취한 시료의 정량분석 결과 토양시료 농도와 부지좌표를 이용하여 대상 부지의 오염분포도를 Fig. 3에 나타내었다. 대상 지역의 지표하 4m까지의 깊이에 따른 분석 결과, 대부분의 오염물질은 지표하 1m와 3m 사이에 존재하는 것으로 나타났다. No. 16지점의 지표하 2.5m 지점에서 TPH 2,057mg/kg, 그리고 No. 21지점의 지표하 2.0m 지점에서 카드뮴이 14.37mg/kg, No. 25지점의 1.0m 지점에서 납이 750.89mg/kg으로 검출되어 토양오염 우려기준을 초과한 것으로 분석되었다. .

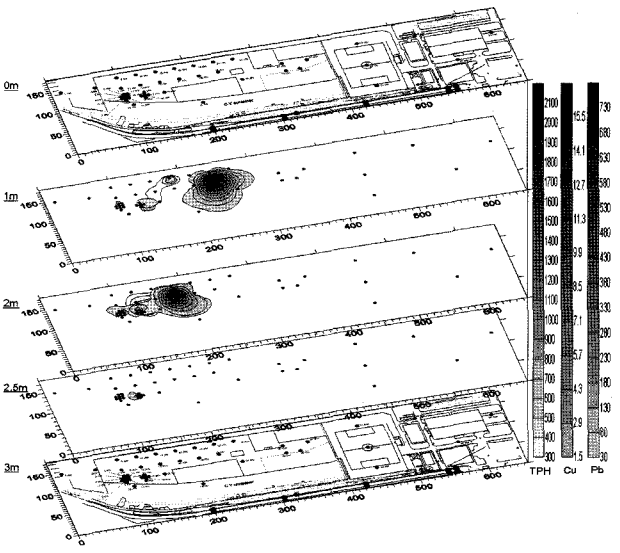


Fig. 3. Pollutants diffusion diagram in dump site

폐기물 매립지역에 대한 오염 확산 모델링을 통해 토양오염 우려기준을 초과하는 오염 범위를 추정한 결과를 Table 2에 정리하여 나타내었다. 부지 내 추정 오염심도는 지표하 0m~3.0m로 나타났는데, TPH에 의한 오염 정화 대상면적은 81m^{2}이며, 처리대상 총 용적은 243m^{3}인 것으로 나타났다. 콘크리트 등의 건설폐기물이 주 구성물질인 폐기물 매립구역은 총 15,560m^{2}에 23,340m^{3}에 달하는 것으로 나타나, 이 폐기물의 적정 처분이 우선적으로 수행되어야할 것으로 밝혀졌다.

Table 2. Assumed contaminants locations

Constituents	dump site	No.16 (TPH)	No.21 (Cd)	No.25 (Pb)
assumed depth(m)	1~2.5	0~3.0	0~2.5	0~2.0
assumed area (m^2)	15,560	81	60.1	180.1
assumed volume(m^3)	23,340	243	150.2	360.2

3.3 레일 및 분기기 주변지역의 오염도

차량기지내의 레일 및 분기기 하부의 토양에 대한 오염도 조사결과 레일 하부에서는 일부 지점에서 아연성분에 의한 오염이 검출되었으며, 전반적으로는 기타 오염물질이 검출되지 않은 반면, 분기기 하부 토양은 TPH, 즉 유류에 의한 오염이 다수 관측되었다. 조사한 철도 분기기 지역 분석결과 표토 No.5, No.8, No.9지점에서 각각 2428mg/kg, 2693mg/kg, 3393mg/kg의 TPH가 검출되어 토양오염우려기준인 2,000 mg/kg을 초과한 것으로 나타났다. 분기기 자갈도상은 비표면적이 작아서 우려기준은 초과하지 않았지만, 기준치에 거의 근접하는 TPH가 측정되었다. 부지내 레일 하부 조사 결과에서는 No. 6 지역의 표토(0~0.5m)에서

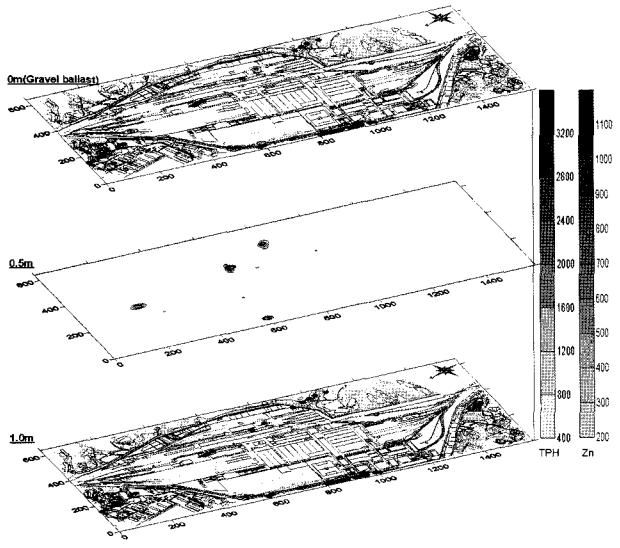


Fig. 4. Pollutants diffusion diagram in track and crossing nose area

만 Zn이 1126.5mg/kg 검출되어 우려기준을 초과 하였다. 여러 지점의 레일 하부 토양에서 기타 중금속 성분의 토양오염 물질이 검출 되었지만 우려기준을 초과하지는 않았다. Fig. 4는 조사 대상 시설의 지점별, 깊이별 토양오염 분포도를 나타낸 것이다.

3.4 적용 가능한 오염정화 방법

오염토양을 정화하는 방법으로는 크게 원위치 (In-Situ) 정화방법과 굴착 후 반출(Ex-Situ)하여 정화하는 방법으로 크게 구분할 수 있다[7]. 기본적으로 오염토양이 발견될 경우 오염의 이동 및 이차 오염 방지를 위하여 원위치 정화방법의 적용을 원칙으로 하나, 부득이한 경우 정화 사업자로 하여금 반출정화를 할 수 있게 하고 있다. 반출 정화를 하게 되면, 토양오염 부지에서 오염물질을 굴착 제거한 후 외부의 처리시설에서 단기간에 처리를 마치게 되므로, 신속한 부지의 활용이 가능하게 된다. 그러나 오염물질의 이동 및 확산 방지를 위해 그 적용을 엄격히 제한하고 있으며, 반출 정화가 가능한 경우는 토양환경보전법의 시행규칙 제19조에 따라 다음의 5 가지 경우로 제한하고 있다[2]. 반출정화가 가능한 경우는 1. 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』에 의한 도시지역안의 건설공사현장 등 2. 토양오염물질 운송차량의 전복 등 긴급한 사고로 인한 경우 3. 오염토양이 5m^3 이하인 경우 4. 오염토양의 정화 조치명령을 받은 자가 오염토양 정화공사를 시행하였으나 오염물질의 종류, 오염정도 및 기술적 한계 등으로 최초 조치명령기간 내에 이를 완료하지 못한 경우 5. 토양오염이 발생한 부지가 같은 시·군·구내에 흩어져 있는 경우 오염부지의 소유자 또는 오염원인자가 같고 각각의 오염부지에 토양정화시설을 모두 설치하기 곤란하여 토양정화업자가 오염부지 중 어느 한 곳에 설치한 시설을 이용하여 한꺼번에 정화하는 경우이다. 철도시설물 공사 지역의 경우 위의 1. 항에 해당하는 도시지역안의 건설공사현장인 경우에 반출정화가 가능하다.

원위치오염복원방법은 오염토양을 굴착하지 않고 원 상태에서 정화하는 방법(In-Situ)과 굴착 후 현장에서 처리하는 굴착정화(On-site)방법으로 나눌 수 있다. 원칙적으로 오염 확산의 방지를 위해 원위치복원 방법이 바람직하나 정화가 완료되는 시점까지 장기간 동안 토지 사용에 제약이 따른다는 점에 적용의 한계가 있다. 철도 시설공사의 대부분의 경우가 공사기간을 정해놓고 진행되며, 한정된 토지자원을 활용해야 한다는 점에서 적용이 제한되고 있다. 원위치 오염복원방법으로는 물리화학적인 열탁착, 유류분해 미생물을 활용하는 생물학적인 방법, 지하수의 흐름을 활용하는 Pump & treat 방법 등이 있다[8,9]. 굴착 후 현장 정화를 하는 방법으로는 세척제를 이용한 토양 세척법이나

화학적인 약품을 이용하는 산화/환원 방법 등이 있다[10]. 최적 적용 공정을 선정하기 위해서는 현장 오염물질 종류, 농도, 수분 함유량, 산소 함유량, 미생물, 영양분, 토양 pH 등을 고려하여 결정하여야 하며, 오염물질의 제거 효과는 오염물질의 형태와 농도, 토양의 형태, 온도, 수분, 오염토양 생성율, 적용 횟수, 휘발성 등에 따라 크게 다르게 나타나므로 현장 특성을 충분히 고려한 후 모의 시험을 통해 결정하는 것이 바람직할 것이다[11-13].

4. 결 론

○○ 철도차량기지에 대한 부지 내 토양오염도조사 결과를 통해, 토양환경보전법 제정 이전의 부적절한 폐기물 관리 실태를 발견할 수 있었으며, 철도 시설지역의 토양 오염 발견시 대처 방안을 제시할 수 있었다. 본 조사 연구를 통해 다음의 결론을 도출할 수 있었다.

1. 차량기지 등의 철도 시설물 지역에서 일반폐기물 및 산업 폐기물의 매립으로 인해 TPH 항목의 유류오염이 발견되었으며 카드뮴, 납 등의 중금속이 검출되었다. 또한 부지 내부의 지하수로부터 유독성 발암물질인 TCE성분도 발견되었다.

2. 차량기지내의 레일 및 분기기에 대한 조사결과 레일 하부에서는 아연을 제외하고는 거의 오염이 발견되지 않은 반면, 많은 지점의 분기기 하부에서 TPH 항목이 검출되어 분기기 하부에 대한 유류 오염 관리의 필요성이 제기되었다.

3. 철도 시설 부지에서 토양오염물질 발견시 정밀조사를 통한 오염물질의 종류와 농도, 처리 대상 범위를 산정하고 적합한 처리방법을 결정하여야 한다. 적용 방법은 부지의 형편과 관련 법규에 따라 정할 수 있는데, 최적 적용 공정의 선정을 위해 세밀한 사전 조사와 모의시험 등이 요구되어진다.

참 고 문 헌

1. 김정태 외(2006), "차량기지내 철도 운행시 발생되는 진동 특성에 관한 연구," 한국소음진동공학회 논문집, Vol. 16, No. 3, pp.219-225.
2. 환경부(2009), "토양환경보전법."
3. 김경웅 외(2007), "토양오염복원기술", 신광 문화사, pp.2-10.
4. 김희만 외(2009), "철도부지의 유류 및 중금속 복합오염에 대한 처리성 실험연구," 2009년 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 307-308.
5. 환경부(2007), "토양오염공정시험방법."
6. 환경부(2004), "중금속 등 환경오염물질에 의한 건강영향."
7. Ground-water Remediation Technologies Analysis Center(1997), In Situ Flushing, Technology Overview Report TO-97-02.
8. U.S. EPA(1995), "In Situ Remediation Technology Status Report: Thermal Enhancements," EPA/542-K-94-009.
9. U.S. EPA(1998), "Field Applications of In Situ Remediation Technologies: Chemical Oxidation," EPA/542-R-98-008.
10. Chapelle, F. H.(2001), "Oxidation reduction processes in ground-water systems." In: Ground-water microbiology and geochemistry, 2nd edn. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 282-320.
11. Hageman, J. K., Jack, J. D., Field, J. A., Buscheck, T. E., and Semprini, L.(2001), "In situ anaerobic transformation of trichlorofluoroethene in trichloroethene-contaminated groundwater." Environ. Sci. Technol. 35, 1729-1735.
12. Kim, Y., Semprini, L. and Arp, D. J.(1997), "Aerobic cometabolism of chloroform and 1,1,1-trichloroethane by butane-grown microorganisms." Bioremediation J. 2, 135-148.
13. Rittmann, B.E. McCarty, P.L.(2000), "In Environmental Biotechnology: Principles and Applications." McGraw-Hill, p. 768.

접수일(2009년 8월 24일), 수정일(2009년 9월 7일),
게재확정일(2009년 9월 27일)