

# 도로 및 철도사업의 토양분야 환경영향평가 사례연구

신경희

---

## 연구진

연구책임자 신경희 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)

---

## 연구자문위원

이정호 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)

황상일 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)

© 2015 한국환경정책·평가연구원

---

**발행인** 박광국  
**발행처** 한국환경정책·평가연구원  
세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지  
B동(과학·인프라동) (우편번호) 30147  
전화 044)415-7777 팩스 044)415-7799  
<http://www.kei.re.kr>

**인 쇄** 2015년 11월 16일  
**발 행** 2015년 11월 19일  
**등 록** 제17-254호(1998년 1월 30일)  
**ISBN** 978-89-8464-947-7 93530

---

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처 표시해 주십시오.  
신경희. 2015. 「도로 및 철도사업의 토양분야 환경영향평가 사례연구」. 한국환경  
정책·평가연구원.

---

값 5,000원

# 서 언

개발사업으로 인한 환경영향을 피하거나 제거 또는 감소시킬 수 있는 방안을 마련하기 위해 ‘환경영향평가’가 실시되고 있으며, 사업착공 후 미치는 영향을 조사하기 위한 ‘사후 환경영향조사’ 제도도 마련되어 있습니다. 그러나 개발사업으로 인한 영향이 장기간에 걸쳐 누적적으로 발생하는 경우 그 영향예측에 한계가 있을 수 있으며, 사후적인 영향에 대해서도 현 제도 내에서 조사하기 어려운 실정이기도 합니다. 특히, 도로 및 철도사업에 의한 토양오염은 자동차 배기가스의 침전, 중금속 함유 우수의 침투, 선로 마찰로 인한 분진 침전 및 윤활유의 유출 등으로 인해 장기적·누적으로 발생하는 경우가 많아 환경영향평가에서 실질적으로 영향예측 및 저감방안이 마련되지 못하고 있습니다.

본 연구에서는 국내 토양오염 조사 자료를 분석하여 도로 및 철도 운영으로 인한 토양오염 발생개연성을 확인하였습니다. 국내의 사례와 지침 분석결과를 토대로 제시된 도로 및 철도사업에 대한 환경영향평가 시 개선방안은 향후 해당 사업으로 인한 토양오염 발생을 저감할 수 있을 것으로 기대됩니다.

본 연구의 책임을 맡아 수행해주신 신경희 박사를 비롯하여 자문위원으로 연구의 질 향상에 도움을 주신 황상일 박사와 이정호 박사께도 감사의 말씀을 올립니다.

2015년 11월

한국환경정책·평가연구원

원 장 박 광 국



# 국문 요약

본 연구는 도로 및 철도 운영으로 인한 토양오염의 발생 정도를 관련 조사 자료를 토대로 확인하고 국내외 환경영향평가 사례 및 지침들을 조사·분석하여 향후 도로 및 철도사업의 환경영향평가 시 적용 가능한 운영 시 오염 저감방안의 도입 가능성을 확인하고자 수행되었다.

기존 도로 및 철도로 인한 토양오염 유발 여부 및 정도를 파악하기 위해 환경부의 '토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과' 자료, 학술논문 및 언론보도 자료를 조사하였다. 조사결과, 오염 수준은 우려 기준에 비해 낮은 수준이나 도로 및 철도부지의 경우 공장용지와 유사하게 평균보다 매년 다소 높은 값을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 실태조사 결과에서도 교통관련시설지역이 매년 우려 기준을 초과하는 지점에 포함되는 등 도로 및 철도시설로 인한 오염개연성을 확인하였다. 언론보도와 학술논문 자료를 통해서도 토양오염 발생 사례를 알 수 있었다.

도로 및 철도사업의 환경영향평가가서 작성현황을 살펴보기 위한 국내 조사로는 (전략)환경영향평가서의 전문검토기관인 KEI의 평가서 작성 가이드라인의 내용을 중점적으로 조사하였으며, 국외 조사로는 미국의 대규모 도로사업 및 철도의 환경영향평가서(Environmental Impact Report, EIR)와 관련 지침을 조사하였다. 국내 환경영향평가서의 경우 모든 사업에 해당하는 공통사항인 지장물 조사 및 오염현황조사에 국한되어 평가가 이루어지고 있었으며, 저감방안 또한 공사 시 폐유 및 화약류 관리에만 한정되어 있었다. 도로 및 철도사업 공통으로 운영 시 장기적 토양오염에 관한 고려가 미미한 실정이었다.

미국 환경영향평가서 조사 결과에 따르면, 수질과 폐기물 분야에서 중금속과 유류에 의한 토양오염을 다루고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 장기적·누적적인 영향을 강조하고 있었으며, 가솔린의 배기가스 영향 및 납 함유 페인트를 오염원으로 평가하고 있었다. 또한 저감시설로서 Bio-filtration과 같은 보다 적극적인 우수 유출 관리를 도입하도록 제안하고 있는 것이 특이한 사항이었다.

이러한 연구결과를 바탕으로 도로 및 철도시설 운영 시 토양오염 발생을 저감하기 위한 환경영향평가 개선방안을 제안하였다. ① 수환경 분야의 우수처리계획의 보완: 현재 우수 처리와 비점오염 저감을 위해 설치되는 저류형과 여과형 처리시설의 설치와 연계하여 장기적으로는 우수 내 중금속과 유류 등의 오염물질을 수집, 처리하는 기술 또는 장치의 도입을 유도할 필요가 있다. ② 폐기물 분야와의 연계: 철도시설의 경우 선로에 의한 영향이나 철도차량에 의한 오염보다는 차량기지 시설로 인한 오염개연성이 높다. 이는 적절한 유류보관과 관련 폐기물의 처리가 중요함을 의미한다. ③ 생물학적 처리 또는 생물학적 저감의 도입: 장기적·누적으로 영향이 나타난다는 특징을 고려하여 볼 때, 생물학적 처리의 개념을 적극 도입하는 것이 효과적일 수 있다. 식물정화기법과 같이 저농도·광범위의 토양 오염에 효과적인 처리기술의 도입 가능성을 고려해야 한다. 마지막으로 식물정화기법의 기본개념과 처리 효율 관련 내용을 담은 지침과 국내 가로수 조성 관련 지침 조사를 통해 식물정화기법의 도입 가능성을 제시하였다.

주제어: 토양오염, 도로 및 철도사업, 장기적·누적적 영향, 식물정화법

# 차 례

---

제1장 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 연구 내용 및 구성	2
제2장 도로 및 철도로 인한 토양오염 현황	3
1. 토양측정망 및 토양오염 실태조사	3
가. 제도 운영	3
나. 도로 및 철도부지 토양오염도	7
2. 국내외 오염사례	13
가. 언론보도	13
나. 학술논문	15
다. 오염특성	20
제3장 도로 및 철도사업의 환경영향평가 현황	21
1. 국내 사례	21
가. 환경영향평가서 작성 및 검토	21
2. 국외 사례	23
3. 시사점	28
제4장 환경영향평가 개선방안	30
1. 환경영향평가서 작성 개선방안	30

2. 식물정화공법 적용 가능성 검토 .....	32
가. 국외 가이드라인 및 학술논문 .....	32
나. 국내 조경 기준 .....	38
참고문헌 .....	41
Abstract .....	43

## 표 차례

---

<표 2-1> 연도별 오염도 현황 .....	7
<표 2-2> 지점별 측정목적에 따른 선정기준 .....	10
<표 2-3> Average Total Pb Concentration of Surface Soil and Stormwater Runoff from Different Highways in California .....	16
<표 2-4> Assumed Contaminants Locations .....	20
<표 4-1> 가로유형별 수종표 .....	39

## 그림 차례

---

<그림 2-1> Depth vs. Pb, Zn, and Cu .....	18
<그림 3-1> Project vicinity .....	24
<그림 3-2> Project location .....	26
<그림 4-1> Schematic mechanisms of phytostabilization .....	34

# 제1장 서론

## 1. 연구 배경 및 목적

「환경영향평가법」에 따른 환경영향평가의 대상사업 중 선형사업으로 분류할 수 있는 사업은 에너지 개발사업인 송전선로의 건설, 도로의 건설사업에 해당하는 도로, 도시철도, 궤도 건설과 철도의 건설사업으로 분류되는 철도시설이 이에 속한다.

선형사업 중 도로 및 철도사업은 자동차 배기가스의 침전, 중금속 함유 우수의 침투, 선로 마찰로 인한 분진 침전 및 윤활유의 유출 등을 유발하며 이는 주변 토양오염을 발생시킬 가능성이 있다. 그러나 이러한 영향은 장기간 누적으로 인해 발생하는 경우가 대다수여서, 환경영향평가 제도에서 규정하고 있는 사후환경영향 조사 기간에는 그 영향을 확인할 수 없다. 이러한 사유로 현재의 환경영향평가에서는 도로 및 철도사업에 대해서는 운영 시 영향예측 및 저감방안에 대한 평가가 실질적으로 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

도로 및 철도사업에 대한 환경영향평가 시에는 공사 시 철거 대상 지장물로 인한 토양오염 여부 조사, 철거대책 및 폐유보관시설 관리 등에만 초점을 맞추고 있다. 따라서, 앞서 기술한 장기적으로 발생하는 오염의 정도를 확인하고 이를 저감할 수 있는 저감방안에 대해서는 추가적으로 고려가 가능한지에 대한 조사가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 도로 및 철도 운영으로 인한 토양오염 발생 정도를 기존 관련 토양오염 조사자료 등을 활용하여 확인하였다. 또한 국내외 환경영향평가 사례 및 관련 지침들을 조사·분석하여 향후 도로 및 철도사업의 환경영향평가 시 적용 가능한 운영 시 오염 저감방안의 도입 가능성을 확인하고자 한다.

## 2. 연구 내용 및 구성

본 연구에서는 기존 도로 및 철도로 인한 토양오염 유발 여부 및 정도를 파악하기 위해 ‘토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과’ 자료, 학술논문 및 언론보도 자료를 조사하였다. ‘토양측정망 및 토양오염 실태조사’의 경우 매년 전국적으로 실시되고 있는 조사로서 오염도 변화 추이도 살펴볼 수 있는 자료이다.

도로 및 철도사업의 환경영향평가서 작성현황을 살펴보기 위한 국내 조사로는 (전략)환경영향평가서의 전문검토기관인 한국환경정책·평가연구원의 평가서 작성 가이드라인의 내용을 중점적으로 조사하였다. 이는 평가서 환경영향평가서 초안을 작성하는 데 있어 중점적으로 다루어야 할 조사항목, 영향예측, 저감방안 등을 제안하고 있는 자료이다. 토양과 지형지질 항목을 포함하는 토지환경 분야와 비점오염원 관리를 다루고 있는 수환경 분야를 살펴보았다. 국외 조사의 경우 사례 조사 및 지침분석을 실시하였으며, 환경평가 사례의 경우 대규모 도로사업 및 철도의 환경영향평가서(EIR)의 토양 및 지질학(soil and geology) 관련 항목을 중점적으로 조사하였으며, 관련 지침의 경우 환경평가 및 표토 보전 관련 가이드라인의 마련 여부 및 세부 사항을 조사하였다.

해당 사업으로 인한 토양오염의 현황과 환경영향평가에서의 조사예측, 평가 및 저감방안의 조사결과를 바탕으로 한 국내 환경영향평가의 향후 개선점과 국외 사례 분석결과 도출된 평가방법의 향후 국내 적용 가능성 및 한계점을 도출하고자 하였다.

## 제2장 도로 및 철도로 인한 토양오염 현황

도로 및 철도로 인한 토양오염의 개연성을 확인하기 위해 ‘토양측정망 및 토양오염 실태조사’ 결과를 수집·분석하였다. 이 토양오염도 조사의 제도 운영과 관련된 사항을 간략히 살펴보고, 2007년부터 2013년도까지의 조사보고서를 살펴보았다. 국내의 오염사례 조사는 언론보도 자료 및 연구결과 자료를 수집하였다.

### 1. 토양측정망 및 토양오염 실태조사

#### 가. 제도 운영<sup>1)</sup>

##### 1) 토양측정망

##### 가) 조사 및 관리

##### ○ 설치목적

- 전국적인 오염추세를 파악하여 토양오염예방 등 토양보전정책 수립의 기초 자료로 활용하기 위함

##### ○ 조사 항목

지목	조사 항목	
전, 답, 과수원, 임야, 목장용지, 공원, 유원지, 체육용지, 하천부지, 학교용지, 종교용지	중금속	Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr+6, Zn, Ni
	일반항목	CN, 유기인(전, 답, 과수원, 체육용지에 한함)
	산도	pH
도로, 대, 공장용지, 철도용지, 잡종지	중금속	Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr+6, Zn, Ni
	일반항목	PCBs, CN, 페놀류, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, TPH, 불소, TCE, 벤조피렌
	산도	pH

1) <http://sgis.nier.go.kr/>

○ 조사 기간

- 시료채취: 매년 3~4월(농경지), 3~6월(기타 지역)
- 시료분석: 3~12월

○ 조사 주기

- 오염부하에 의한 급격한 토양질의 변화가 일어나지 않는 토양특성을 고려하여 각 지점에 대한 조사 주기는 격년제로 운영

나) 보고 및 검증

○ 운영기관

- 측정결과 보고 및 토양오염 우려기준 초과지역 토양정밀 조사 실시
- 토양측정망 조사결과를 작성하여 다음 연도 1월 31일까지 환경부에 보고하고, 이를 토양지하수정보시스템(<http://sgis.nier.go.kr>)에 입력
- 측정망 운영결과 토양오염 우려기준 초과지역에 대하여는 토양정밀 조사지침에 따른 정밀조사를 실시하고, 그 결과를 작성하여 다음 연도 4월 30일까지 환경부에 보고

○ 국립환경과학원

- 각 운영기관에서 입력한 측정결과 등에 대해 자료 검증 및 통계분석 수행
- 측정자료의 검증을 위해 특이 측정값 등에 대한 검토를 하고, 필요시 운영기관을 통한 확인을 실시하고 정도 관리 및 교육 등 실시
- 특이 측정값의 검색 및 관리를 위한 전산 프로그램을 개발하여 운영하고, 기능을 지속적으로 개선

## 2) 토양실태조사

### 가) 조사계획 수립

#### ○ 조사지역 선정

- 시·도지사 또는 시장·군수·구청장은 관할 구역 안의 산업단지 및 공장 지역, 공장폐수유입지역, 원광석·고철 등의 보관·사용지역, 금속제련소 지역 등 토양오염우려지역 종류별로 자료조사, 현지방문 등을 통하여 토양오염 가능성 여부에 대하여 판단함
- 관할 구역 내에 사용 중이거나 사용종료 후 사후관리 중인 폐기물 매립 시설에 대하여는 3년에 1회 이상 실태조사가 실시될 수 있도록 매년 대상 시설을 선정할 것

#### ○ 조사계획 보고

- 시장·군수·구청장은 토양오염실태조사 예상지역으로 선정한 지역에 대해 조사순위를 정하여 조사 전년도 12월 말까지 관할 시·도지사에게 보고함

### 나) 조사 및 분석

#### ○ 조사기관

- 시·도지사 또는 시장·군수·구청장은 조사 업무를 토양관련전문기관인 토양오염조사기관에 위탁할 수 있으며, 이러한 경우 담당 공무원의 입회 하에 시료를 채취함
- 시·도보건환경연구원에서는 시·도 또는 시·군·구 담당 공무원을 대상으로 시료채취방법 등을 사전 교육하여야 하며, 필요시 시·도 또는 시·군·구 공무원과 합동으로 시료를 채취함

○ 조사항목

- 「토양환경보전법」 제2조 제2호 및 동법 시행규칙 별표 1의 규정에 의한 토양오염물질로서 시·도지사 또는 시장·군수·구청장이 주변 토양 오염원, 토지사용이력 등을 감안하여 토양오염의 가능성이 높은 토양 오염물질 및 토양 pH를 조사항목으로 함

(가) 중금속류의 경우 주된 중금속과 함께 부수적으로 검출될 수 있는 중금속을 추가로 조사함

(나) 유류의 경우 유종에 따라 BTEX, TPH 중 해당 항목을 조사함

(다) 유기용제류의 경우 TCE, PCE를 모두 조사함

○ 조사기간

매년 3~10월

다) 보고 및 검증

○ 조사결과 보고방법

- 시·군·구청장은 토양오염 실태조사 결과 보고서를 매년 12월 31일까지 시·도지사에게 제출
- 토양오염도현황은 토양지하수정보시스템에 입력
- 시·도지사는 토양오염 실태조사 결과를 취합·평가하여 다음 연도 1월 31일까지 환경부에 보고함

○ 보고시기

- 사업추진사항: 매년 7월까지
- 사업완료보고: 사업완료 시

## ○ 자료관리

- 기록유지: 시료채취기록부 및 시험기록부는 3년간 보관
- 자료관리: 환경부에 보고된 자료는 국립환경과학원에서 검증 및 통계 분석을 거쳐 토양지하수정보시스템에 정보화 및 DB 구축 관리

## 나. 도로 및 철도부지 토양오염도

## 1) 토양측정망

## 가) 연도별 오염도 현황

2013년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과(환경부·국립환경과학원, 2014)에 따르면 2006년부터 2013년까지 도로 및 철도용지의 오염도 현황은 다음 표와 같다. 전국평균값과의 차이는 각 항목별로 다르나 전반적으로 전국평균값에 비해 도로 및 철도용지가 모든 항목에서 높은 값을 나타내고 있었다.

〈표 2-1〉 연도별 오염도 현황

(단위: mg/kg)

구분	연도별	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr(VI)	Zn	Ni	F	CN	TPH
계	'06	0.076	3.587	0.481	0.025	5.395	0.000	82.318	10.222	280.109	0.010	16.207
	'07	0.063	3.799	1.064	0.053	5.068	0.000	83.324	11.052	209.941	0.003	21.557
	'08	0.049	3.521	0.241	0.037	4.042	0.013	82.682	9.150	215.473	0.001	16.449
	'09	0.059	2.994	0.338	0.042	3.903	0.048	73.197	8.624	193.519	0.005	20.489
	'10	1.094	19.934	4.821	0.030	26.763	0.142	78.563	12.759	196.773	0.008	36.870
	'11	1.293	23.756	5.641	0.038	35.825	0.351	89.227	15.494	203.426	0.007	36.641
	'12	0.996	21.010	5.050	0.041	27.292	0.088	82.871	13.460	226.573	0.001	0.000
'13	0.179	21.586	5.636	0.033	25.045	0.065	86.328	14.199	222.771	0.001	21.000	
도로	'06	0.093	6.108	0.800	0.068	6.442	0.000	103.693	10.484	290.927	0.010	41.400
	'07	0.143	4.786	1.371	0.163	10.507	0.000	119.458	12.190	268.791	0.003	26.491
	'08	0.033	3.123	0.196	0.019	4.686	0.016	115.577	10.699	269.923	0.002	24.272
	'09	0.055	2.959	0.427	0.053	3.172	0.035	102.296	6.764	196.654	0.001	36.328
	'10	1.076	19.905	5.776	0.021	28.853	0.327	90.641	11.872	210.748	0.007	50.914
	'11	1.237	25.977	6.418	0.025	34.057	0.267	99.017	19.211	194.801	0.003	49.421
	'12	1.254	22.479	4.709	0.033	28.339	0.088	94.219	14.593	262.696	0.004	40.601
'13	0.262	24.820	5.387	0.031	26.809	0.021	104.138	14.876	250.839	0.002	37.077	
철도용지	'06	0.088	3.597	0.768	0.054	4.539	0.000	120.38	11.353	329.093	0.004	38.993
	'07	0.092	5.755	1.433	0.052	6.257	0.000	151.513	13.513	242.718	0.011	74.738
	'08	0.074	8.932	0.701	0.027	6.209	0.016	113.723	10.203	260.775	0.001	28.106
	'09	0.097	4.276	0.390	0.035	6.177	0.080	87.285	6.251	211.577	0.009	31.039
	'10	1.231	26.497	6.602	0.027	32.669	0.100	102.658	12.793	257.035	0.008	51.195
	'11	1.394	31.601	6.902	0.041	50.878	0.329	126.008	15.489	225.329	0.087	58.741
	'12	1.117	29.584	6.007	0.025	34.736	0.287	121.774	16.383	245.017	0.001	92.934
'13	0.178	37.669	7.044	0.026	35.530	0.042	133.746	16.327	256.207	0.030	51.303	

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

토양측정망의 경우 도로에 대해서는 70~80여 개 지점, 철도용지에 대해서는 20~35개 지점 정도를 선정하여 토양오염도를 매년 측정하고 있었으며, 2007년부터 2013년 토양측정망 결과 중 도로 및 철도용지와 관련 내용을 발췌하여 보면 다음과 같다.

[2007년도 조사결과]

- 토지용도별로는 공장, 도로, 철도용지 등 산업활동이나 운송과 관련한 지역에서 카드뮴, 구리, 납, 아연 등 중금속 항목이 평균치보다 다소 높게 나타남
- 특히 도로에서는 수은이, 철도용지에서는 시안, TPH의 오염도가 우려기준의 10% 내외였으나 전체 평균보다는 3배 이상 높게 나타남
- 도로, 철도용지의 경우 카드뮴, 비소, 납이 각각 연도별 증가 추세로 나타남

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

[2008년도 조사결과]

- 토지이용별 공장용지, 철도용지 등 산업활동과 관련한 지역에서 카드뮴, 구리, 납, 아연, TPH 항목이 평균보다 높게 나타남
- ※ 유기인, PCB, 페놀, BTEX, TCE, PCE는 모든 토지용도에서 불검출
- 철도용지에서는 구리, 비소, 납, TPH, 공장용지에서는 수은, 도로용지에서는 아연, 불소가 최대농도를 보임
- TPH는 토지용도별로 대지, 공장용지, 도로용지, 철도용지 모두에서 연도별 증가 추세로 나타남

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

[2009년도 조사결과]

- 토지이용별 공장용지, 도로 등 산업활동과 관련한 지역에서 카드뮴, 구리, 아연, 니켈, 비소 항목이 평균보다 높게 나타남
- ※ PCB, 페놀, TCE, PCE는 모든 토지용도에서 불검출
- 도로용지에서는 아연, BTEX, TPH, 공장용지에서는 카드뮴, 구리, 수은, 납, 불소가 최대농도를 보임
- TPH는 대지, 공장용지, 도로용지, 철도용지에서 연도별 증가 추세로 나타남

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

## [2010년도 조사결과]

- 공장용지, 철도용지 등 산업활동과 관련한 지역에서 카드뮴, 구리, 납, 아연 항목이 높게 나타남
- ※ 유기인, PCB, TCE, PCE는 모든 토지용도에서 불검출
- 카드뮴, 구리, 납, 아연은 공장용지에서, 불소, 벤젠, 톨루엔, 크실렌, TPH는 철도용지에서, 비소와 시안은 과수원에서 각각 높게 나타남
- TPH는 대지, 공장용지, 도로용지, 철도용지에서 연도별 증가 추세이나, '10년 현재 오염수준은 우려기준(1지역)의 7.4%임

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

## [2011년도 조사결과]

- 오염영향지역(도로, 철도, 산업)의 경우, 배경농도지점(자연)에 비해 중금속 평균 농도가 3.3(비소)~23.1(아연) %로 다소 높게 나타났음
- 전·답의 중금속 평균 농도를 비교한 결과, 오염영향지역(도로)의 전·답에서 납(7.2%), 오염영향지역(철도)의 전·답에서 카드뮴(37.6%)과 비소(7.2%)가 배경농도지점(농경지)에 비해 다소 높게 나타났음
- ※ 오염영향지역 : 도로, 철도, 산업 등 오염원의 지속적인 오염물질 퇴적으로 인한 토양농도 변화를 파악하기 위한 전·답 등 지역

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

오염수준은 우려기준에 비해 낮은 수준이나 도로 및 철도부지의 경우 공장용지와 유사하게 평균보다 매년 다소 높은 값을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 해당 토양오염물질은 TPH와 BTEX와 같은 유류를 포함하여 비소, 카드뮴, 납 등과 같은 중금속에 이르기까지 다양하게 나타나고 있었다. 즉, 산업용지와 유사한 정도의 오염개연성이 있음을 간접적으로 보여주는 결과라고 할 수 있겠다.

토양측정망의 경우 전국적인 오염추세를 파악하기 위함이 기본 목적이며, 전국적으로 1500여 개 정도의 지점에 대해 측정을 실시하게 되는데, 지목변경 등으로 인해 지점이 변경되는 비율은 30% 정도 내외라 할 수 있다. 예를 들어, 2011년도에는 2010년 대비 1521개 지점 중 608개의 지점이 변경되었다(환경부·국립환경과학원, 2012).

〈표 2-2〉 지점별 측정목적에 따른 선정기준

목적		정의	선정 기준	대상 지목
① 배경농도 지점	자연	토양의 교란이 일어나지 않았고, 오염영향이 적은 지역	- 도로, 철도로부터 100m 이외, 산업단지로부터 2km 이외 - 잔적층 지대	임야, 종교용지 등
	농경지	오염원으로부터 영향을 받지 않는 농경지	- 도로, 철도로부터 100m 이외, 산업단지로부터 2km 이외	전·답·목장용지·과수원 등
② 오염영향 지역	도로	도로로부터 오염물질의 비산 등으로 영향을 받을 가능성이 있는 지역	- 도로교통량 5천대 이상 도로로부터 50m 이내에 위치한 농경지, 과수원, 목장용지 등	도로에 인접한 전·답 등
	철도	철도로부터 오염물질의 비산 등으로 영향을 받을 가능성이 있는 지역	- 철도로부터 50m 이내에 위치한 농경지, 과수원, 목장용지	철도에 인접한 전·답 등
	산업단지	산업단지로부터 오염물질의 비산 등으로 영향을 받을 가능성이 있는 지역	- 화학물질배출량 5톤/년 이상의 산업단지로 또는 사업장으로부터 1km 이내에 위치한 농경지, 과수원, 목장용지 등	산업단지에 인접한 전·답 등
③ 사람활동 지점		사람의 활동시 토양접촉 및 비산으로 토양흡입 가능지역	- 인구 5천명 이상 읍면동 내 운동장, 놀이터, 공원	대지, 공원, 체육용지 등
④ 하천 주변 토양지점		하천토가 퇴적되어, 홍수기 외에는 노출 되는 하천변 토양	- 하천변에 위치하여 홍수 시 외에는 수면밖으로 노출 되는 하천 주변 토양 - 농경지 또는 공원 등으로 사용되는 부지는 제외	하천
⑤ 지하수수질 연계지점		지하수 오염감시 전용 측정망 인근 지역	- 지하수 오염감시 전용측정망 지점 상류 지역에서 선정	전 지목
⑥ 토양질 변화 관측지점		그동안 토양측정망 운영 결과 토양질 변화 가능성이 높은 지점	- 토양측정망운영결과 허용 한계가 우려기준을 초과 하는 지점	전 지목

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

지점별 측정목적에 따른 선정기준을 살펴보면, 도로 및 철도는 산업단지와 함께 오염영향지역으로 분류하고 있으며, 도로와 인접한 전과 답에서 시료를 채취하고 있음을 확인할 수 있다. 산업단지와 유사한 오염개연성을 지닌 개발사업임에도 불구하고

하고 환경영향평가 시 저감방안에 대한 구체적인 작성이 이루어지지 않고 있는 현황의 문제점을 확인할 수 있었다.

## 2) 토양실태조사

실태조사 지역 중 도로 및 철도 관련 지역은 ‘교통관련시설지역’에 해당되며, 세부적으로는 세차장, 운전학원, 차고지, 주차장, 공업사, 도시철도(오페수처리장), 철도기지, 자동차매매센터 등이 이에 속한다.

2008년부터 2013년까지의 실태조사 결과요약 내용 중 교통관련시설지역에 대한 내용을 발췌하면 다음과 같다.

### [2008년도 조사결과]

- 108개 토양오염 우려기준 초과지역 중 공장 및 공업지역(21개, 19.4%), 금속광산 주변지역(21개, 19.4%), 원광석·고철 야적지역(20개, 18.5%), 폐기물적치·매립·소각 지역(19개, 17.6%), 교통관련시설지역(12개, 11.1%) 순으로 토양오염 우려기준 초과 지점이 많았음
- 아연은 공장 및 공업지역, 원광석·고철 야적지역, 금속제련소 주변지역, 폐기물 적치·매립·소각지역, 교통관련시설지역, 기타 토지개발 등 지역에서 토양오염 우려기준을 초과

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

### [2009년도 조사결과]

- 아연, 니켈의 경우 공장 및 공업지역, 금속제련소 및 금속광산 주변지역, 불소의 경우 교통관련지역, 폐기물 적치·매립·소각 등 지역, 기타 토지개발 및 어린이놀이터 지역, 구리의 경우 금속광산 주변지역에서 우려기준의 40~60%로 나타남

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

[2010년도 조사결과]

- 42개 토양오염 우려기준 초과지역 중 교통관련시설지역(11개, 26.2%), 공장 및 공업지역(9개, 21.4%), 금속광산지역(7개, 16.7%), 폐기물적치·매립·소각 등 지역(5개, 11.9%)순으로 토양오염 우려기준 초과지점이 많았음
- TPH는 교통관련시설지역에서 주로 토양오염 우려기준이 초과되었으며, 비소는 금속광산지역, 아연과 납은 공장 및 공업지역과 교통관련시설지역 등에서 토양오염 우려기준을 초과
- 아연의 경우 금속제련소 주변지역, 불소의 경우 지하수축정망기준 초과지역 등 환경부 중점관리 대상지역, TPH의 경우 교통관련시설지역에서 토양오염 우려기준의 약 40~90% 수준으로 나타남

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양축정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

[2011년도 조사결과]

- 토양오염 우려기준 초과 41개 지역은 폐기물적치·매립·소각 등 지역 및 금속광산지역(각 10개, 24.4%), 교통관련시설지역(6개, 14.6%), 공장 및 공업지역(4개, 9.8%) 등의 순임
- TPH는 교통관련시설지역 및 폐기물적치·매립·소각 등 지역, 비소는 금속광산지역, 아연은 폐기물적치·매립·소각 등 지역에서 주로 초과

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양축정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

[2012년도 조사결과]

- 토양오염 우려기준 초과 55개 지역은 폐기물처리 및 재활용 관련 시설, 원광석·고철 등의 보관·사용지역(각 14개, 25.5%), 교통관련시설지역(10개, 18.2%), 광산지역(6개, 10.9%) 등의 순임

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양축정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

[2013년도 조사결과]

- 토양오염 우려기준 초과 61개 지역을 오염원지역별로 구분하며 금속광산주변지역(16개소, 25.8%), 교통관련시설지역(13개, 21.0%), 폐기물처리 및 재활용 관련 시설(12개, 19.4%) 등의 순으로 나타남
- 비소는 금속광산주변지역, 아연은 폐기물처리·재활용 관련 지역 및 금속광산주변지역, TPH는 교통관련시설지역에서 주로 기준을 초과함

자료: 환경부·국립환경과학원(2014), 「2013년도 토양축정망 및 토양오염 실태조사 결과」.

조사결과를 보면 매년 토양오염 우려기준을 초과하는 지점에 교통관련시설지역도 포함되어 있는데, 이를 통해 주로 TPH가 초과하는 지점이 교통관련시설지역에 해당됨을 알 수 있었다. 앞서 설명한 바처럼, 교통관련시설로 분류되어 있는 지점은 주로 세차장, 운전학원, 차고지, 주차장, 공업사, 도시철도(오폐수처리장), 철도기지, 자동차매매센터 등이 해당되며, 이 중 철도기지가 본 연구에서 살펴보고자 하는 철도사업으로 인한 토양오염 여부를 확인하기에 가장 적합한 지점으로 분류할 수 있겠다. 철도기지의 경우 오염발생 빈도가 비교적 높은 편이며, 다음 절에서 살펴볼 철도 관련 오염사례도 주로 철도 차량기지 운영에 따른 사례가 많다. 철도 선로 운영과 관련한 오염은 실태조사 결과보다는 토양측정망의 결과를 활용하여 분석하는 것이 적절하다고 할 수 있다.

토양실태조사의 경우 지자체별로 매년 토양오염 우려지역을 선정하여 실시하는 조사로서, 조사 지점이 매년 2000여 개 정도이며 유동적이다.

## 2. 국내외 오염사례

### 가. 언론보도

#### 1) 철도

철도 관련 언론보도 자료 조사결과, 철도부지의 경우 선로에 의한 장기적인 오염 보다는 철도 차량기지에 관한 기사가 대부분이었으며, 오염물질도 유류오염물질에 관한 내용이 대다수였다. 최근 보도된 오염 관련 내용은 다음과 같다.

### “부산지역 철도부지 중금속 오염 심각”

이헌승 의원 국정감사서 제기

부산 부산진역과 가야차량기지에 중금속과 독성 오염물질로 인한 토양오염이 심각한 것으로 나타났다.

국회 국토교통위원회 이헌승 의원이 16일 철도공사와 환경부로부터 받은 ‘2012년 토양측정망 및 토양오염 실태조사’ 자료에 따르면 옛 부산진역 인근 부산진차량사업소의 경우 납이 2천16mg/kg으로 기준치인 700mg/kg을 3배가량 넘겼고, 벤젠은 5.5mg/kg으로 기준치 3mg/kg을 초과했다.

이곳의 벤조피렌도 58.9mg/kg로 기준치 7mg/kg를 8배 이상 넘어섰다. 측정지역은 부산진역사 뒤편 경부선 철도가 지나가는 인근 지역 3곳으로, 지난해 5~11월 조사한 결과다. 가야차량기지(부산차량사업소)의 경우도 석유계총탄화수소(TPH)가 1만219mg/kg로 기준치인 2천mg/kg을 5배가량 넘어선 것으로 나타났다.

이헌승 의원은 “이번 조사에서는 부산역 주변이 빠졌지만 부산시가 추진 중인 부산역 일원 종합개발사업을 하면서 부산역 일대의 토양오염 문제도 부각될 가능성이 있다”며 “전국적으로 철도부지에 대한 정확한 오염조사와 함께 오염정화 작업을 위한 대책 마련이 시급하다”고 지적했다.

-이종민 기자-

자료: <http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2013/10/16/0200000000AKR20131016128400051.HTML?input=1179m>

## 2) 도로

도시의 경우는 철도에 비해 언론에 의한 보도 횟수는 많지 않았으나 최근 도로변 중금속 함유 산나물과 관련한 보도가 있었다.

### 경기지역 도로변 썩 30%서 납 초과검출

경기지역 도로변에 자생하는 썩의 30%에서 기준치를 초과한 납이 검출됐다. 경기도보건환경연구원은 10일 지난해 1년간 도내 12개 시·군 도로변의 토양과 썩을 대상으로 납과 카드뮴 등 중금속 7개 항목에 대해 실시한 오염실태 조사 결과를 발표했다. 결과에 따르면 토양 시료 41개에 함유된 중금속은 모두 우리나라 산림토양 평균값보다 낮아 비교적 안전한 것으로 나타났다. 차량운행 대수 및 도로 연령과 토양오염도의 상관관계도 낮았다. 하지만 썩 시료 37개 가운데 30%에 달하는 11개에서 납이 기준치 이상 검출됐다. 검출 농도는 0.335~1.821mg/kg으로 식품의약품안전처의 식품공전 안전기준(0.3mg/kg)을 최대 6배 이상 초과했다.

-윤종열 기자-

자료: <http://economy.hankooki.com/lpage/society/201503/e20150310203331117920.htm>

## 나. 학술논문

철도와 도로변 토양의 오염도를 조사한 국내외 연구결과의 주요 내용을 요약 정리하면 다음과 같다.

### 1) Trend and Concentration of Legacy Lead(Pb) in Highway Runoff<sup>2)</sup>

#### ○ 주요 연구내용

- 캘리포니아 주 32, 23번 도로 주변지역 도로 우수 유출(runoff)에 의한 중금속 토양오염 조사

#### ○ 연구배경

- 1920~1970년대 초, 다량의 납을 가솔린 페인트 등에 사용하여 다양한 경로(대기, 음용수, 식품, 오염토양, 비산먼지 및 페인트)로 노출되어 공중보건에 악영향을 줌. 1973년부터 EPA에서 납 함유를 규제했으나 현재까지도 완전 제거는 이루어지지 않았음

#### ○ 연구목적

- 도심-비도심 간 토양층에 따른 토양 내 납(Pb) 농도 평가
- 도심-비도심 간 우수 유출 후 납 농도 평가
- 고속도로 우수 유출 후 납 농도와 도로 주변 토양오염에 따른 상관관계
- 도로 주변 토양오염 원인 조사
- 납 규제 후 수질개선 고찰

#### ○ 연구방법

- 연구자료는 캘리포니아 주 고속도로(statewide highway) 우수의 특성과

2) Trend and Concentration of Legacy Lead(Pb) in Highway Runoff(2012)에서 발췌·정리

납 농도에 관한 두 개의 연구결과에서 발췌, 우수 유출 조사는 2000~2003년 10월에서 4월까지 우기 동안 진행함

○ 연구결과

- 연평균 차량이동(AADT)에 따라서 도심-비도심 구간을 구분하여 납 농도를 비교했을 때 도심구간, 우수 유출량이 많은 곳의 농도가 더 높고 대부분 상층부(0~15cm)에 오염이 집중되어 깊은 토양층일수록 납의 농도가 낮음
- 이전 연구들과 비교해봤을 때 2000년 기준으로 전보다 후가 납 농도가 낮음
- 동위원소 분석을 통해  $^{206}Pb/^{207}Pb$  와  $^{208}Pb/^{207}Pb$  을 비교했을 때 우수 유출 시 검출된 비율과 가솔린에 사용된 비율이 일치하지 않음

〈표 2-3〉 Average Total Pb Concentration of Surface Soil and Stormwater Runoff from Different Highways in California

Location	Major city	HWY type based on traffic level	Average top soil total Pb concentration from nearby highway soil (mg/kg)	Average total Pb concentration from highway runoff during the same period (µg/L)
North	Eureka	Rural	98	4.5
North	Chico	Rural	42	8.2
North	Sacramento	Urban-medium	200	17.5
North	San Francisco	Urban-high	387	42.7
Central coast	San Luis Obispo	Urban-medium	234	19
Central	Bakers Field	Urban-medium	141	31
South	Los Angeles	Urban-high	275	100.2
South	Riverside	Urban-high	71	28.7
Central-inland		Urban-low	Not measured	3.3
South	Fresno	Urban-medium	Not measured	17.4
South	San Diego	Urban-high	331	114.6
South	Santa Anna	Urban-medium	371	68.8

자료: Masound, K(2012), *Trend and Concentration of Legacy Lead(Pb) in Highway Runoff*.

## ○ 결론

- 관측된 납의 농도는  $0.5\sim 752\mu\text{g}/\ell$ 로 다양하지만 도로주변의 평균값은  $70\mu\text{g}/\ell$ 로 비슷하고 도심지역이 비도심 지역보다 55% 더 높음. 강우량이 많았던 시기에는 근소하게 증가함. 토양 상부층(0~15cm)의 농도가 하부층(45~60cm)의 농도보다 1.5~163배가량 높고, 상부층의 납 농도와 침출수 납 농도 간의 상관관계( $R^2 = 0.69$ )가 있었음

2) Heavy Metal Contamination in Soils of Urban Highways(2001)<sup>3)</sup>

## ○ 연구내용

- 오하이오 주 75번 도로 신시내티 지역의 중금속 우수 유출 조사

## ○ 연구방법

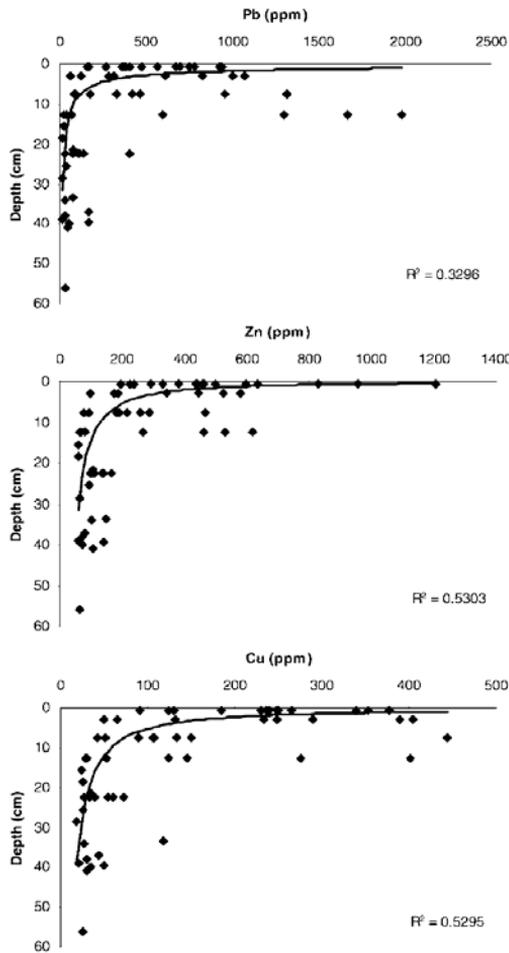
- 토양을 깊이에 따라 채취하여 순서대로 유기 탄소(organic C), 교환이온(exchangeable ion), 추출(metal extraction) 및 점토광물 유형(clay mineral type)을 조사

## ○ 연구결과

- Bulk chemistry(X-ray fluorescence): 납(Pb)의 농도는 10~15cm 깊이에서 최대 1980ppm까지 측정되고 아연(Zn)은 0~1cm 깊이에서 1426ppm까지 측정됨. 납(Pb), 아연(Zn), 구리(Cu)는 상부층에 오염이 집중된 반면 니켈(Ni), 크롬(Cr)의 농도는 깊이에 따라 서서히 감소함
- Organic C: 유기탄소량과 중금속 함유량은 대체로 비례하였음. 중금속이 함유된 토양깊이와 유기탄소와의 상관관계를 볼 때 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn), 니켈(Ni), 크롬(Cr) 순으로 유기탄소와의 관계가 더 명확하였음

3) Heavy Metal Contamination in Soils of Urban Highways: Comparison between Runoff and Soil Concentrations at Cincinnati, Ohio(2001)에서 발췌·정리

- Exchangeable ion(ICP): 암모늄이온( $NH_4^+$ )과의 이온교환정도를 측정하였을 때 칼슘(Ca)을 제외하고 5% 전후로 나타남
- Metal extraction(AAS): 2g 토양시료로 연속추출을 실시하였을 때 평균값은 매우 낮았음
- Clay mineral type(X-ray diffraction): 토양의 특성은 위치나 깊이에 따라 큰 변화는 없고 카올리나이트(kaolinite)와 스멕타이트(smectite)로 이루어져 있음



〈그림 2-1〉 Depth vs. Pb, Zn, and Cu

## ○ 결론

- 대부분의 중금속은 15cm 깊이 이내에 존재하였고, 그 농도가 깊이와 반비례, 유기탄소양과 비례함
- 하지만, 토양의 투수능력 때문에 깊이보다는 유기탄소의 영향이 더 큼. 연속 추출(sequential extraction)에서 중금속은 불용성 유기물에 고정되어 있었음
- 물질수지(Mass balance) 계산결과 납은 주로 배기가스(가솔린)에 기인함

3) 철도 차량기지의 토양오염 실태조사(2009)<sup>4)</sup>

## ○ 연구목적

- ○○ 철도 차량기지의 현대화 사업을 위해 진행된 토양오염 현황 조사를 근거로, 시설 부지를 활용한 사업계획 시 반드시 고려하여야 할 토양오염 실태조사 및 대처방안을 제시하기 위해 수행함

## ○ 현장조사 방법

- 사전 조사를 통해 인지한 오염개연성이 높은 폐기물 매립지와 철도 레일 및 분기기 주변지역을 중심으로 52개 지점을 선정하여 토양샘플 채취 작업을 수행함

## ○ 조사결과

- 차량기지 등의 철도 시설물 지역에서 일반폐기물 및 산업 폐기물의 매립으로 인해 TPH 항목의 유류오염이 발견되었으며 카드뮴, 납 등의 중금속이 검출됨 또한 부지 내부의 지하수로부터 유독성 발암물질인 TCE 성분도 발견됨

---

4) 철도 차량기지의 토양오염 실태조사(2009)에서 발췌·정리

- 차량기지 내의 레일 및 분기기에 대한 조사결과 레일 하부에서는 아연을 제외하고는 거의 오염이 발견되지 않은 반면, 많은 지점의 분기기 하부에서 TPH 항목이 검출되어 분기기 하부에 대한 유류오염 관리의 필요성이 제기됨

〈표 2-4〉 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 <sup>2</sup> )	15,560	81	60.1	180.1
assumed volume(m <sup>3</sup> )	23,340	243	150.2	360.2

자료: 어성욱, 이태규(2009), 「철도 차량기지의 토양오염 실태조사」.

#### 다. 오염특성

국내 언론보도 및 국내외 학술논문 연구자료의 결과에 따르면, 도로의 경우 주요한 오염유발 원인은 배기가스와 오염된 우수의 침투에 의한 것으로 확인되었다. 차량 통행량 및 사용연료에 따른 배기가스 성분의 영향을 받을 수 있음을 확인하였고, 우수에 의한 오염도 상당한 것으로 보였다. 중금속의 경우 장기간의 누적영향으로 예상할 수 있으며, TPH와 같은 유류의 경우 그 생분해 정도를 고려하여 본다면, 중금속보다는 단기간에 나타난 오염으로 예상할 수 있다.

철도의 경우 선로 하부에서의 오염에 대한 보고는 많지 않았으며, 대부분의 오염 사례가 차량기지 및 폐기물의 부적절 관리에 의한 오염으로 판단되는 경우가 많았다. 대규모 기지시설이 필요하며, 폐기물이 다량 발생할 수 있는 사업의 특성상 오염의 개연성이 높음을 시사한다. 다만, 선로 주변의 토양오염도에 대한 영향을 파악할 수 있는 자료는 많지 않았다.

## 제3장 도로 및 철도사업의 환경영향평가 현황

본 장에서는 환경영향평가서에서 토양오염에 대한 조사, 예측 및 저감방안 수립이 어떻게 이루어지고 있는지 살펴보고자 하였다. 몇몇 대표 사업의 환경영향평가서의 작성내용을 살펴보고자 하였으나 지장물의 존재 여부 및 노선연장에 따른 작성의 수준 차이가 커, 본 장에서는 관련 연구보고서의 내용을 인용하여 작성 현황을 살펴보고자 한다. 환경영향평가서 작성 현황 및 주요 검토사항은 「KEI 검토의견을 중심으로 한 환경영향평가서 작성 가이드라인 및 매뉴얼-도로건설분야(2011)」과 「KEI 검토의견을 중심으로 한 환경영향평가서 작성 가이드라인 및 매뉴얼-철도건설(2010)」의 내용을 살펴보았다.

국외 사례의 경우 사업유형별 가이드라인 형태보다는 공통사항을 담고 있는 자료가 많아 두 사업의 환경영향평가서(EIR)의 내용을 조사하였다.

### 1. 국내 사례

#### 가. 환경영향평가서 작성 및 검토

##### 1) 도로

현황조사 시에는 특정토양오염유발시설을 포함한 지장물, 폐광산 및 불법매립지의 분포 여부를 중점으로 토양오염원을 파악하는 것이 주요사항이다.

가이드라인(한국환경정책·평가연구원, 2011)에서 제시하고 있는 현황파악 시 주요 고려사항은 다음과 같다.

- 계획 노선 편입지역 내 철거예정 지장물 중 토양환경보전법상의 토양오염물질(17종)의 보관·취급 여부를 현지탐문 및 문헌자료를 통해 조사
- 토양오염유발시설에 해당하는 경우 ‘토양환경평가지침(환경부 고시)’에 제시된 기초조사의 평가 방법 및 절차에 따라 토양오염 개연성 조사 실시

- 이를 바탕으로 실측조사를 위한 지점 수 및 위치를 결정하여 오염 현황을 파악
- 토양오염물질을 보관·취급하였을 경우 지장물의 토양을 대상으로 추가로 실측조사를 실시하여 오염 유무를 판단
- 시설현황(용량 등)을 명시한 후 ‘토양환경보전법’ 관련 규정에 의거하여 정기적으로 실시한 과거 토양오염 검사(토양오염도 검사 및 누출검사 등) 및 정화 기록(필요시)을 명시하고 철거 시 영향예측 및 저감방안 제시
- 특정토양오염관리대상시설에 해당하지 않을 시 당해 주유소 토양을 대상으로 추가로 실측조사를 실시하여 오염 여부를 판단
- 기존 주유소 철거에 의해 발생할 수 있는 토양오염을 예측하고, 오염유발 가능성이 있을 경우 이를 정화할 수 있는 구체적인 저감방안 수립

이러한 현황조사는 도로사업에 국한되는 사항이라기보다는 일반적인 부지의 오염도를 조사하기 위한 기본적인 사항으로 모든 개발사업에 공통적으로 적용되는 내용으로 볼 수 있다.

영향예측과 관련해서는 공사 시 성토를 위한 반입토사에 대해서는 토양오염도 검사를 실시한 후 반입토록 하고 있으며 폐유 발생 및 화약류 사용에 의한 토양오염 가능성을 평가하도록 하고 있다.

저감방안으로는 폐유 보관시설 및 적절한 위탁처리 여부, 그리고 화약류에 대해서는 적절한 보관 장소를 확보하도록 하고 잔존 화약류의 여부를 확인하는 사항이 제시되고 있었다.

그러나 차량의 운영으로 인한 영향에 대한 예측 및 저감방안은 구체적으로 작성되지 않고 있으며 전문가 검토 또한 이루어지고 있지 않은 실정이다.

## 2) 철도

도로사업과 유사하게 현황조사 시에는 특정토양오염유발시설을 포함한 지장물,

폐광산 및 불법매립지의 분포 여부를 중점으로 토양오염원을 파악하는 것이 주요 사항이다.

영향예측과 관련해서는 추가적으로 차량기지에 대한 영향예측 및 저감방안을 수립하도록 가이드라인(한국환경정책·평가연구원, 2010)에서 다음과 같은 내용이 제시되어 있었다.

- 사업 지구 내 차량기지 설치 시 다음의 사항을 파악하여 토양오염 방지계획 수립
- 차량기지 내의 주요 시설물 배치도 및 토양오염관리대상시설 존재 유무 파악
- 토양오염관리대상시설이 존재하는 경우, 각 시설별 토양오염물질의 종류, 용량, 용도 등 명시
- 토양오염관리대상시설별 토양오염 방지계획

사후환경영향조사계획 수립 시에도 도로사업과는 다르게 운영 시 조사내용이 포함되어 있는 경우가 많은데, 이는 차량기지 내 정기적인 토양오염도를 측정하는 것을 목적으로 하고 있다.

## 2. 국외 사례

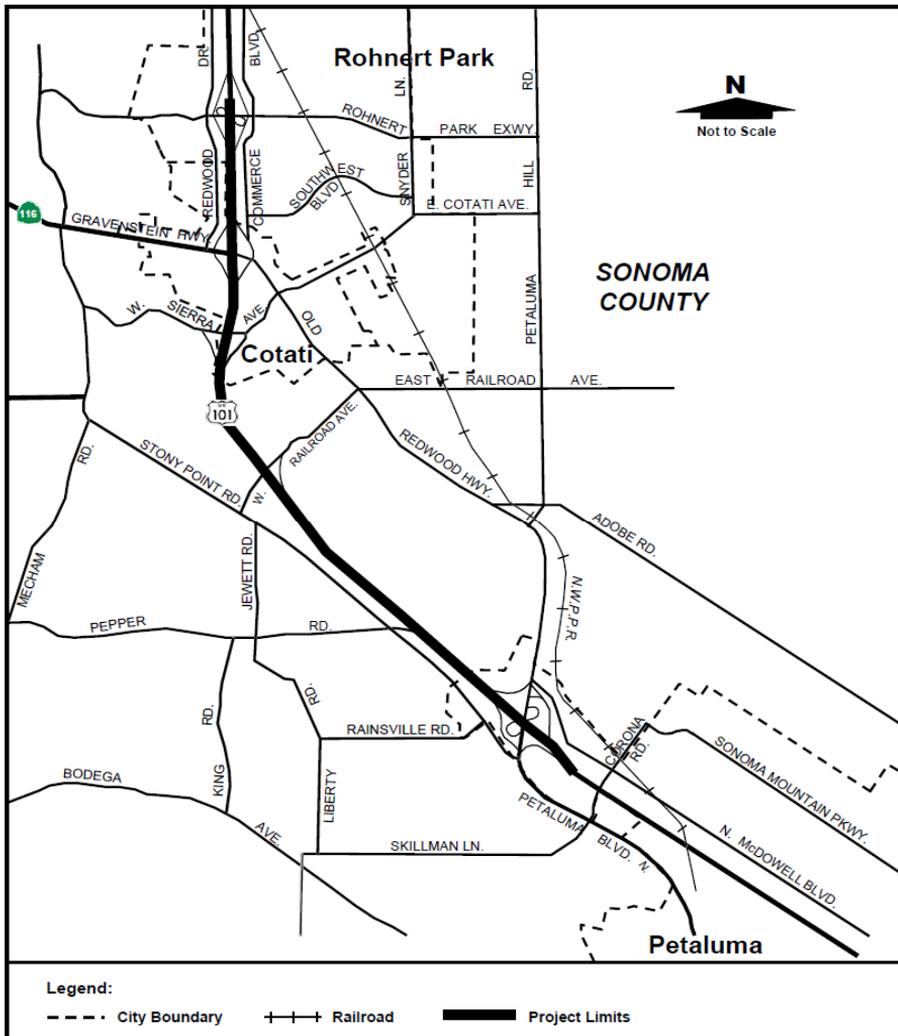
미국 환경영향평가서의 두 가지 사례를 조사하였으며, 토양 및 지형지질에 해당되는 내용을 중심으로 분석하였다. 환경영향 및 저감방안의 내용을 살펴보았으며, 사업의 간단한 개요와 함께 정리하였다.

### 1) 고속도로 건설사업

미국의 고속도로 건설사업 “Highway 101 from Old Redwood Highway to Rohnert Park Expressway”에 대한 환경영향평가서(Environmental Assessment/Final Environmental Impact Report)의 내용 중 사업개요와 환경영향 및 저감방안의 주요용은 다음과 같다.

○ 사업 개요

- Highway 101 다인승차량(HOV) 차선 확장 공사사업으로서 사업 구간은 'Old Redwood Highway Interchange in Northwestern Petaluma' 부터 'Rohnert Park Expressway Interchange in Rohnert Park' 까지 10km 구간을 대상으로 함



자료: Highway 101 from Old Redwood Highway to Rohnert Park Expressway/EIR

〈그림 3-1〉 Project vicinity

- 환경영향 및 저감방안(Affected Environment, Environmental Consequences, and Avoidance, Minimization, and/or Mitigation Measures)

[수질 및 도시 우수 유출(Stormwater Run-off) 분야]

- 관련법은 ‘Federal Clean Water Act Section 401, 402’이며, 현재 상황은 인도 배수구를 통해 물이 밖으로 배출되는 상황으로 조사됨
- 우수 유출로 인한 중금속, 유기물, 기름 유출이 우려됨
- 저감방안으로는 도로 포장과 배수로 시스템 정비의 추가 실시를 제안 (토양침식에 의한 장기적 대안은 구체적으로 제시되어 있지 않음)

[유해폐기물(Hazardous Waste/Materials) 분야]

- 오염원 물질 조사를 위해서는 오염물질 누출 예상 지역을 위험도 상중하로 나누어 평가
- 납 성분 페인트와 석면 유출을 고려(최초에 도로 건설 시 사용)
- 가솔린에서 나온 ‘Aerially Deposited Lead’의 영향을 고려
- 저감방안으로는 작업장 안전규칙 준수와 강우 시 오염 방지대책(Storm Water Pollution Prevention Plan, SWPPP)을 강구해야 함(EPA 기준)
- 지하수 오염 방지 대책이 필요함(Water Quality and Storm Water Run-off에 따른 기준)
- 납과 석면 성분 물질 취급 시 누출 주의와 석면관리규정 준수가 필요하며, ‘Aerially Deposited Lead’에 대해서 위험도를 측정하고 최적관리기술(Best Management Practice)을 적용해야 함

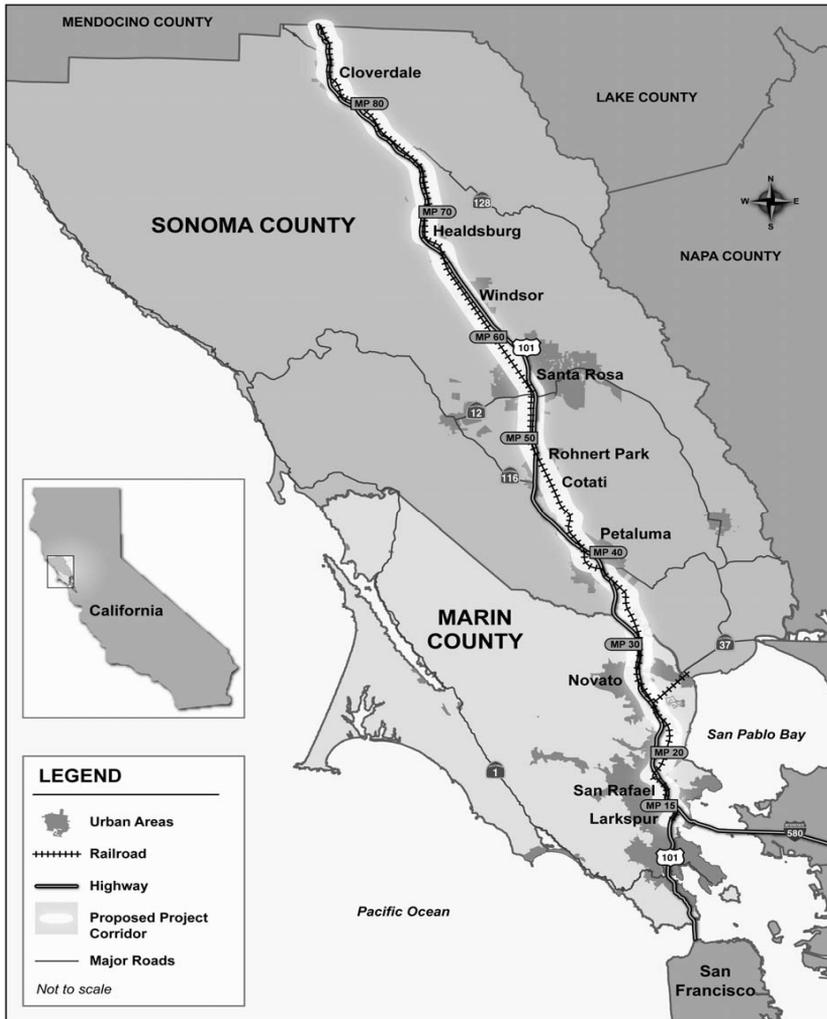
## 2) 철도 건설 사업

미국의 고속철도 건설사업 ‘Sonoma-Marin Area Rail Transit(SMART)’에 대한 환경영향평가서 초안(Environmental Assessment/Draft Environmental Impact

Report)의 내용 중 사업개요와 환경영향 및 저감방안의 주요 내용은 다음과 같다.

○ 사업 개요

캘리포니아 주 ‘Sonoma-Marin County’ 지역에 연장 70마일 규모로 DMUs (Diesel Multiple Units) 철도·역을 건설하는 사업임



자료: Sonoma-Marin Area Rail Transit(SMART)/EIR

〈그림 3-2〉 Project location

○ 환경현황, 영향 및 저감방안(Environmental setting, Impacts and Mitigation Measures)

[수자원 분야]

- 장기적 영향이 중요
- 공사로 인한 유량변화 등은 적을 것으로 예상되지만 오염물질 배출 최소화를 위해 배수시설 정비 등을 통해 공사지역의 수역 내 수질과 우수관리 개선방안을 수립해야 함
- 주차장이나 관리시설에서 우수 유출에 의한 오염물질이 증가할 수 있으므로 개발사업 계획에 우수 유출에 대한 대책으로 Bio-filtration 같은 시설이 포함되어야 함
- 누적영향은 주변 비점오염원(농경지)에 비해 공사면적이 작기 때문에 공사로 인한 영향은 작을 것으로 추정

[폐기물 분야]

- 관련 기준으로는 연방법인 ‘Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act(유해폐기물 처리 및 유출 시 처리 관련법)’, ‘Resource Conservation and Recovery Act’, ‘유해폐기물 전과정평가 관련법’ 과 자치주(캘리포니아)의 법인 ‘California Department of Toxic Substance Control(유해폐기물 관리법)’에 따른 사항을 제시함
- 영향 및 저감방안에 대해서는 공사 중 폐놀, 크레졸 등의 유출 위험이 있으므로, 오염물은 규제에 따른 처리장에서 처리하도록 하고 인부들에게 안전규칙 교육을 실시하도록 함
- 굴착 시 토양오염으로 인한 지하수 오염의 우려가 있으나, 지하수 수역과 공사지역이 떨어져 있어 지하수 오염 우려는 적음. 그러나 인부들의

피부·호흡계에 영향이 있는 물질이거나 휘발성 물질의 경우 특수 훈련을 받은 인부가 처리하여야 함

- 11개의 다리에 납 성분 페인트 또는 석면이 있을 수 있으나, 사용된 석면은 잘 부서지지 않으므로 노출 우려가 적고 납 성분 페인트는 다시 페인트를 칠하면서 제거하고 다리 아래 수역으로 버려질 가능성이 있음
- 누적영향으로는 주변 다른 공사와 맞물려 지속적인 오염이 있을 수 있으므로, 규정을 준수하여 숙련된 인부가 누적영향을 최소화하여야 함

### 3. 시사점

미국의 철도와 도로건설사 업에 대한 환경영향평가서(EIR)의 내용을 조사한 결과, 다음의 몇 가지 사항을 확인할 수 있었다.

- 수질(우수 Run-off)과 폐기물 분야에서 중금속과 유류에 의한 토양오염을 다루고 있음
- 장기적·누적적인 영향을 강조하고 있음
- 가솔린의 배기가스 영향 및 납 함유 페인트를 오염원으로 평가하고 있음

국내 환경영향평가의 경우 수환경에서 비점오염원 관리를 위해 우수 배제시설 설치를 유도하고 있으나, 중금속 및 유류에 대한 내용을 구체적으로 다루지 않는 것과 대조적이었다. 또한 토양 및 지질학 항목을 포함하는 토지환경 분야에 국한되지 않고, 수환경과 폐기물 분야에서 차량 및 기차 운영에 의한 중금속 및 유류 오염을 함께 다루고 있는 것이 국내 환경영향평가서의 작성 현황과 달랐다.

저감시설로서 Bio-filtration과 같은 보다 적극적인 우수 유출 관리를 도입하도록 제안하고 있는 것이 특이한 사항이었다.

국내 우수처리계획에서는 기본적으로 저류지 설치를 선정하고 있으며, 추가적인

저감시설로 장치형 시설을 도입하는 경우가 있으나 이 장치의 제거효율은 BOD, TSS, T-N 및 T-P로 평가되는 것에 국한되어 있다.

앞서 소개한 Bio-filtration의 구체적인 설계사항을 살펴볼 수 있는 자료는 없었으나, Bio-filtration이라는 용어로 예측할 수 있는 사항은 유기물을 포함한 저감시설로서 유류 및 중금속 처리에 효과가 있는 장치를 포함하는 것으로 판단된다.

## 제4장 환경영향평가 개선방안

### 1. 환경영향평가서 작성 개선방안

도로 및 철도의 운영으로 인한 오염개연성은 알려져 있으나 이에 대한 구체적인 조사결과들을 토대로 한 분석이 부족한 실정이다. 본 연구에서는 이를 전국적으로 조사되고 있는 토양측정망과 토양오염 실태조사 결과를 토대로 확인하였고, 일부 사이트들에 대한 국내 언론보도와 학술논문, 그리고 국외 자료를 통해 확인하였다. 이처럼 운영 시 장기적이고 누적적인 토양오염영향이 발생하고 있음에도 불구하고, 현재의 환경영향평가서 작성 시에는 운영 시의 오염발생을 저감하기 위한 저감대책의 수립이 이루어지지 않고 있으며, 구체적인 저감대책 기술을 설계하기 위한 영향 예측은 전무한 상태이다. 이와 달리 국외의 경우 배기가스와 우수 유출 등으로 인한 중금속 및 유류오염을 영향으로 분류하여 예측하고 수환경 분야 및 폐기물 분야에서도 저감방안을 수립토록 하고 있었다.

국외 사례에서는 저감방안으로 제시된 우수시설과 더불어 Bio-filtration 개념을 도입하는 시도도 있었으며, 이는 생물학적인 저감 개념을 도입한 것으로 미국의 대규모 주차장 주변에 오염저감을 위한 생물학적 처리공법(Bioremediation)의 한 분야로 판단된다. 철도시설의 경우 폐기물의 부적절한 관리로 인한 유출 방지는 향후 국내 평가 시에도 적용이 가능한 부분으로 추가적인 기술적 타당성 검토 등이 필요하지는 않다. 하지만, 우수처리시설을 위한 Bio-filtration의 적용이나 이를 확대하여 생물학적인 처리의 한 가지인 식물학적 처리공법(phytoremediation) 등의 적용이 가능한지에 대해서는 향후 기술적, 경제적 타당성 등을 추가로 검토할 필요가 있겠다.

운영 시 토양오염 환경에의 영향을 저감하기 위한 향후 도로 및 철도사업의 환경영향평가 개선방안을 다음과 같이 제안할 수 있다.

- 수환경 분야의 우수처리계획 보완: 현재 저류지 형태의 저감방안이 주를 이루고, 일부 장치형 처리시설의 도입을 통해 BOD, T-N, T-P 등의 저감효율을 높이고자 하는 기술이 도입되고 있는 상황이다. 장기적으로는 중금속과 유류 등의 오염물질을 수집, 처리하는 기술 또는 장치의 도입을 유도할 필요가 있다. 이를 위해서는 우선 중금속과 유류 오염물질 유입의 정도를 모니터링 하여 영향 정도를 파악하여야 한다. 이를 위해서는 현재의 사후환경영향조사의 조사 항목에 기존의 조사항목 이외에 주요 중금속 항목과 TPH 등의 유류항목을 추가하여 영향을 모니터링 하여야 한다. 이를 바탕으로 영향의 정도를 파악하고 이에 적절한 수준의 저감기술의 도입을 시도하여야 할 것이다.
- 폐기물 분야와의 연계: 철도시설의 경우 선로에 의한 영향이나 철도차량에 의한 오염보다는 차량기지 시설로 인한 오염개연성이 높다. 이는 적절한 유류 보관과 관련 폐기물의 처리가 중요함을 시사한다. 운영 시 폐기물 발생량에 대한 보다 면밀한 예측이 요구되며 차량시설에 대해서는 산업단지의 토양오염 저감대책 수준의 관리방안이 도입될 수 있도록 하여야 한다.
- 생물학적 처리 또는 생물학적 저감의 도입: 장기적·누적으로 영향이 나타난다는 특징을 고려하여 볼 때, 생물학적 처리의 개념을 적극 도입하는 것이 효과적일 수 있다. 저농도 토양오염이고, 광범위하게 나타나는 토양오염의 경우 가장 비용·효과적으로 적용 가능하다고 평가되고 있는 처리기술이 생물학적 처리기술이며, 특히 식물정화기법이 대표적이다. 도로변 토양의 오염은 광범위하고 저농도로 나타나며, 운영 시 주변 토양의 관리 주체가 사업자가 아닌 해당 지자체로 볼 수 있기에 처리기술의 적용 용이성 및 비용 등에서 식물정화 기법이 큰 장점을 갖는다.

본 연구에서는 식물정화기법의 기본개념을 관련 지침의 내용을 바탕으로 다음 절에서 소개하고자 하였으며, 저감효율과 관련한 연구결과를 토대로 적용 가능성을 제시하였다. 국내의 도로사업은 가로수 조성 설계 단계에서 수종선택의 기준으로

오염저감 기능을 적용할 수 있을 것으로 판단하고, 관련 국내 지침들을 조사하고 가능성을 간략히 분석하여 다음 절에서 기술하였다.

## 2. 식물정화공법 적용 가능성 검토

### 가. 국외 가이드라인 및 학술논문

식물정화기법(Phytoremediation)과 관련한 가이드라인의 내용 중 세부 기술들을 소개하는 부분과 중금속 섭취(uptake)와 관련한 기술리뷰논문(technical review)을 발췌·번역하여 다음 절에서 기술하였다.

#### 1) Phytoremediation Resource Guide(1999)<sup>5)</sup>

식물정화기법은 오염된 토양, 슬러지, 퇴적물, 지하수에서 오염물을 제거·저감하기 위해 살아있는 식물을 이용해 직접 추출하는 방법이다. 몇몇 경우에 저감책으로서 이용하는 식물은 심미적으로 좋고 태양에너지를 이용하지만 저농도, 중간 농도에서의 오염 수준에서 활용할 수 있는 수동적인 기술이기도 하다. 이 기술은 기계적인 정화기술과 함께 쓰이거나 대안책으로 활용된다. 식물정화기법은 중금속, 병원균, 용매, 폭발물, 원유, 다핵방향족탄화수소, 매립 침출수의 정화에 사용된다.

식물정화기법은 연구실 수준이나 소규모의 적용 수준에서 연구되어 왔지만, 대규모의 활용은 그 적용 사례가 제한적이다. 아래와 같은 메커니즘의 연구개발이 식물정화기법을 더 넓은 범위에서 활용할 수 있도록 할 것이다.

식물정화기법은 식물을 토양이나 물의 오염물질 제거방안으로 사용하는 몇몇 방법을 일컫는다. 식물은 유기성 오염물질을 분해하거나 필터작용으로 금속오염물질을 추출해 저장할 수 있다. 몇몇 방법을 다음에 소개한다.

---

5) Phytoremediation Resource Guide(2009, EPA)의 내용 중 Technology Summary 부분을 번역·정리함

## ○ 식물추출법(Phytoextraction)

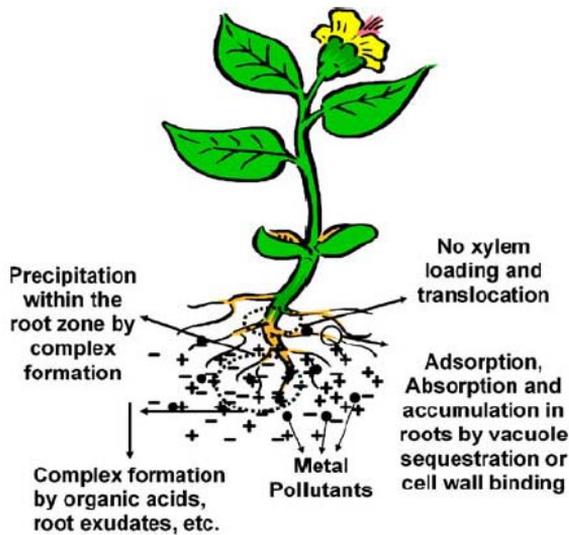
식물추출법은 식물농축법(Phytoaccumulation)이라고도 하는데 뿌리로 금속 오염물을 흡수하여 식물의 지상 부분으로 추출해 올리는 것을 일컫는다. 다른 식물과 비교하여 많은 양의 금속을 흡수하는 식물을 특정식물(Hyperaccumulators)이라고 한다. 이 식물을 한 종 또는 여러 종을 조합하여 금속의 종류, 부지의 특성에 따라 조합하여 사용한다. 식물을 몇 주나 몇 개월에 걸쳐 성장시킨 후 수확하여 금속의 회수를 위해 연소시킨다. 이 단계는 토양오염이 허용범위가 될 때까지 반복된다. 만약 식물을 소각하면 재(ash)는 그 부피가 오염된 토양의 10%가 넘지 않는 한 유해폐기물로 매립된다.

## ○ 뿌리여과법(Rhizofiltration)

뿌리여과법은 용해되어 있는 오염물을 뿌리로 흡수·흡착하거나 침전시키는 방법이다. 정화를 위해 사용되는 식물은 토양보다는 온실에서 수경 재배된다. 큰 뿌리를 만들고 환경에 식물을 적응시키기 위해 오염된 물을 매립지에 수집하여 식물의 수자원으로 공급한다. 식물이 오염된 지역에서 자라면 뿌리를 통해 물과 오염물질을 같이 흡수하고 뿌리가 오염물질로 포화상태가 되면 수확 후 연소·소각시켜 오염물질을 회수한다.

## ○ 식물안정화법(Phytostabilization)

식물안정화법은 토양에 고정되어 있는 오염물질을 몇몇 식물종의 뿌리에 흡착·축적·침전시키는 방법이다. 이 과정은 오염물질의 이동성을 줄이고 토양, 수중, 대기로의 유출을 방지하여 먹이사슬에 침투하는 것을 막는다. 이 기술은 자연의 식물이 토양 표면의 오염이나 물리적인 교란이 있는 부지에 식물생장 재건을 위해 사용된다. 금속에 내성이 있는 증은 풍화작용, 토양표면으로의 유출, 지하수오염을 통해 오염원의 이동 가능성을 잠식시켜 식물생장 재건에 사용된다.



자료: Prabha K. P., and Y. L. Loretta(2007), “ Phytoremediation technology: Hyper-accumulation Metals in plants”, *Water Air Soil Pollut.*

〈그림 4-1〉 Schematic mechanisms of phytostabilization

○ 식물분해법(Phytodegradation)

식물분해법은 식물전환법(phytotransformation)이라고도 하는데, 식물 내에서 흡수된 오염물질을 신진대사 과정을 통해 분해하거나 효소 등의 화합물로 식물 외부의 오염물질을 파괴하는 방법이다. 오염물질은 분해되어 식물조직으로 흡수, 영양분으로 사용된다.

○ 근권분해법(Rhizodegradation)

근권분해법 또는 enhanced rhizosphere biodegradation, phytostimulation, plant-assisted bioremediation/degradation이라고도 한다. 미생물의 활동으로 토양 내 오염물질을 파괴하는 방법으로 뿌리의 영향권에서 이용되고 식물분해법보다 매우 느리다. 미생물(효모균, 균류, 박테리아)은 유기물을 영양원으로 이용한다. 주요 미생물은 인간에 유해한 화석연료나 용매 같은 유기물을 소화하여 신진대사를

통해 무해하게 분해할 수 있다. 식물 뿌리에서 나오는 당, 알코올 및 산(acids) 같은 자연적인 물질은 유기물을 포함하고 있어 토양 미생물에게 영양분을 제공하여 활동을 증강시킨다.

#### ○ 식물휘발법(Phytovolatilization)

식물휘발법은 식물이 오염물질을 흡수하여 증발시키거나 형태를 변형시켜 대기로 방출하는 방법이다. 식물휘발법은 성장하는 나무나 식물이 물이나 유기오염물질을 흡수할 때 일어나며 몇몇 오염원은 잎까지 올라가서 상대적으로 저농도로 대기 중으로 증발하게 된다.

### 2) Metal Hyperaccumulation in Plants- Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology<sup>6)</sup>

식물정화법은 환경오염의 정화를 목적으로 식물을 이용하는 다양한 기술을 일컫는다. 1983년 Chaney가 중금속 정화를 위해 처음으로 제안했지만 식물의 더딘 성장속도와 정화범위에 한계가 있었다.

오늘날 400종이 넘는 식물이 금속을 기질로 이용하는 과축적 (hyperaccumulation) 적용을 위해 연구되고, 이들 대부분이 *Asteraceae*(국화과), *Brassicaceae*(십자화과), *Caryophyllaceae*(석죽과), *Cyperaceae*(사초과), *Cunoniaceae*(쿠노니아과), *Fabaceae*(콩과), *Flacourtiaceae*(이나나무과), *Lamiaceae*(꿀풀과), *Poaceae*(벼과), *Violaceae*(제비꽃과), *Euphobiaceae*(대극과)에 속한다.

식물정화법에는 근권여과(Rhizofiltration), 식물안정화(Phytostabilization), 식물 휘발화(Phytovolatilization), 식물추출(Phytoextraction)의 네 가지 공법이 있다. 이 기술은 저농도이며 넓은 범위의 오염정화 활동에 적합하여 장기간의 오염저감 효과가 있다.

6) Metal Hyperaccumulation in Plants-Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology (Electronic Journal of Biotechnology, 2003)에서 발췌·번역

○ 근권여과(Rhizofiltration)

이 공법은 식물을 금속으로 오염된 수환경에서 재배해 뿌리와 새싹에 저장시키는 방법으로 저비용으로 크롬, 납, 아연을 효과적으로 처리할 수 있다.

○ 식물안정화(Phytostabilization)

식물저장(Phytorestoration)이라고도 하는데 폐기물을 안정화시키거나 바람이나 물에 의한 노출을 예방한다. 이 기술은 오염물질의 제거보다는 안정화시키고 공중 보전에 위해성을 저감하는 데 초점을 두기 때문에 식물조직 내에서 오염물질을 지상으로 옮기는 식물은 부적합하다. 또한 고농도의 오염지역에서 사용할 수 없다.

○ 식물휘발화(Phytovolatilization)

식물이 토양으로부터 비소, 수은, 셀레늄 같은 중금속을 흡수하여 가스 형태로 변환하여 대기 중에 내보내는 기술이다. 식물을 심고 다른 관리가 필요하지는 않지만 휘발성의 중금속을 배출하기 때문에 주거지역이나 근처에서 사용할 수 없다.

○ 식물추출(Phytoextraction)

식물추출에서 가장 많이 사용되는 기술로, 뿌리로 오염물질을 흡수하여 지상의 식물 부분까지 중금속을 저장한다. 포화상태가 되면 수확하여 연소시키는데, 타고 남은 재에서 금속을 다시 추출하기도 한다. 이 방법 역시 중·저 농도의 오염지역에서만 사용할 수 있다.

생물학적 다양성은 생태계에서 정화작용에 막대한 영향을 끼친다. 지금까지 중금속 저감에 163개의 식물군(45종)이 발견되었고 처리 대상 중금속에 효과적인 식물의 선정은 매우 중요하다. 이끼 같은 양치식물은 많은 양의 금속을 축적할 수 있고 *Pinus pinaster*(해안송), *Acacia nilotica*는 독성 금속 저감에 효과적이다. 최근에는 금속 과축적(metal hyperaccumulation)의 유전자를 찾고 복제하는 연구가 진행 중이다.

식물에 있는 글루타티온(Glutathione)은 저분자의 티올 펩타이드(Thiol peptides) 파이토켈라틴(Phytochelatin, PCs)을 생성하는데, 이 과정에서 필요한 효소인 파이토켈라틴 합성효소(Phytochelatin synthase, PCS)를 중금속이 활성화시킨다. 이 킬레이트 합성물은 사이토졸(Cytosol, 세포질의 액상 부분)에서 원형질막을 통해 액포로 옮겨져 중금속을 저장한다. 따라서 식물추출의 기술 활용화를 위해 다양한 착금속 합성물에 대한 연구가 필요하다.

### ○ 결론

현재까지 400개가 넘는 특정식물(hyperaccumulator)이 발견됐지만 적절한 식물을 사용하더라도 느린 성장속도와 낮은 처리도 때문에 식물추출에 활용하기가 어렵다. 또한 먹이사슬에 침투하거나 수확 후 연소과정에서 재(ash) 형태로 유출될 위험은 남아 있다. 식물추출의 장점은 식물의 생체량이 사료에 부족한 셀레늄과 같은 필수 영양소를 다량 포함하고 있다는 점과 같은 생화학적 요소이다.

근권여과의 단점은 1) 유입수의 pH에 따라 금속의 회수율이 달라지고 2) 유입수의 화학종과 이들의 상호반응에 대해 파악하고 있어야 하고 3) 시스템의 유량과 농도 등을 잘 설정해야 하고 4) 육상식물의 경우 자라는 데 걸리는 시간과 5) 정기적으로 식물의 수확이나 처리가 필요하며 6) 현장에서 사용할 수 있을 만큼 연구실험 결과가 좋지 않다는 점이다.

식물휘발화의 장점은 1) 오염물의 독성을 감소시키고 2) 대기 중으로 방출된 오염물질이 더 빠르게 분해될 수 있다는 점이며, 단점으로는 1) 대기 중으로 방출되어 통제할 수 없는 교란을 일으킬 수 있다는 점이다.

## 나. 국내 조경 기준

### 1) 가로수 조성 및 관리규정 고시(산림청 고시 제2011-68호)

본 지침은 가로수 조성에 있어서의 식재위치, 식재기준, 식재시기, 식재 제한구역 등의 내용과 가로수 관리를 위한 세부 내용을 담고 있다. 이 중 식재기준에 대한 내용은 다음과 같다.

제5조(식재기준) 가로수는 다음과 같은 기준에 따라 식재한다.

#### ① 교목(키 큰 나무)

1. 식재간격은 8미터를 기준으로 한다. 다만, 도로의 위치와 주위 여건, 식재수종의 수관폭과 생장속도, 가로수로 인한 피해 등을 고려하여 식재간격을 조정할 수 있다.
2. 식재유형은 도로선형과 평행한 열식을 원칙으로 하되 도로의 여건, 방음·녹음제공·경관개선 등 특정 목적에 따라 군식·혼식할 수 있다.
3. 보도의 한쪽을 기준으로 1열 심기를 하고 보도의 폭이 넓은 경우 2열 이상 식재할 수 있다.
4. 도로의 동일 노선과 도로 양측에는 동일한 수종으로 식재한다. 다만, 도로의 방향이 바뀌거나 도로가 신설·확장되는 경우에는 동일 노선일지라도 다른 수종으로 식재할 수 있다.

#### ② 관목(키 작은 나무)

1. 식재간격은 식재수종의 특성에 따라 경관조성과 교통안전에 지장이 없는 범위 내에서 식재할 수 있다.
2. 식재유형은 동일 수종으로 군식하고, 하나의 식재군에는 동일 수종으로 식재한다. 다만, 경관적으로 중요한 지역에는 다른 수종으로 혼식할 수 있다.

#### ③ 식재공간의 여유가 있는 경우 운전자와 보행자의 안전과 도로구조의 안전에 지장이 없는 범위 내에서 교목과 관목, 초본류를 다층구조로 식재할 수 있다.

수종을 선정하기 위한 기준은 별도로 마련되어 있지 않았다.

### 2) 서울시 가로수 조성관리 기본계획(2009)

서울시에서는 가로수 식재 현황 변화, 가로특성에 따른 가로유형 분류 체계를 만들고, 가로유형에 따른 적용 수종을 제안하고 있다.

〈표 4-1〉 가로유형별 수종표

가로 유형	반 영 수 종 ( 21종 ) - ( <u>오나무</u> -> 신규 도입 수종 )
상업가로	은행나무, 느티나무, 회화나무, 이팝나무, 대왕참나무 등
업무가로	느티나무, 양버즘나무, 칠엽수, 대왕참나무 등
주거지 인접가로	산벚나무, 양버즘나무, 이팝나무, 칠엽수, 단풍나무, 복자기, 중국단풍, 목련 등
일반생활가로	산벚나무, 이팝나무, 산딸나무, 단풍나무, 복자기, 중국단풍, 목련 등
역사경관가로	은행나무, 느티나무, 회화나무, 느릅나무, (소나무) 등
도시생태네트워크가로	산벚나무, <u>산사나무</u> , <u>모감주나무</u> , 마가목, 팔배나무 등
자동차중심가로	왕벚나무, 양버즘나무, 회화나무, 수양버들, 메타세콰이어, 대왕참나무 등

자료: 서울시(2009), 「서울시 가로수 조성관리 기본계획」.

또한 서울특별시 가로수 조성 및 관리 조례 제5조에 따른 가로수 수종 선정기준은 다음과 같다.

- 서울의 기후와 토양에 적합하며 주변 경관과 어울리는 수종
- 서울의 역사와 문화에 적합하고 향토성을 지닌 수종
- 시민의 보전에 나쁜 영향을 끼치지 않는 수종
- 환경오염 저감, 기후 조절 등에 적합한 수종 및 특정 목적에 적합한 수종

환경오염 저감을 하나의 선정기준으로 설정하고 있는 점이 주목할 만하며, 이에 따른 세부 평가기준 등에 대해서는 추가적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

### 3) 과천시 가로수 조성 및 관리에 관한 조례(2006)

가로수의 조성 및 관리 기준에 관한 세부사항을 담고 있는 과천시 조례의 조항 중 수종의 선정 및 구비조건을 담고 있는 제6조의 내용은 다음과 같다.

제6조 (수종의 선정 및 구비조건) ① 가로수의 수종은 가로수조성·관리계획에 따라 다음의 기준을 고려하여 선정하여야 한다.

1. 과천의 기후와 토양에 적합하며 주변경관과 어울리는 수종
2. 자동차 배기가스 및 제설용 염화칼슘에 내성이 강한 수종
3. 시민의 보건에 나쁜 영향을 끼치지 않는 수종
4. 환경오염 저감, 이산화탄소 흡수, 기후 조절 등에 적합한 수종
5. 기타 특정 목적에 적합한 수종

② 가로수가 구비하여야 할 조건은 별표 1과 같다.

자료: 과천시(2006), 「과천시 가로수 조성 및 관리에 관한 조례」.

서울시의 경우와 유사하게 환경오염 저감을 하나의 수종 선정의 기준으로 고려하도록 명시되어 있다.

이처럼 과천시와 서울시 모두 수종 선정 시 환경오염 저감 효과를 고려하도록 기준을 선정하고 있으나 세부 관련 사항 자료를 찾기에는 한계가 있었다. 향후 실제 적용사례에 대한 조사 및 관리 현황 등을 살펴본다면 앞서 기술한 식물정화법의 적용 가능성 및 효과를 보다 면밀히 살펴볼 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

### <국문 자료>

- 과천시. 2006. 「과천시 가로수 조성 및 관리에 관한 조례」.
- 산림청. 2011. 「가로수 조성 및 관리규정 고시(산림청 고시 제2011-68호)」.
- 서울시. 2009. 「서울시 가로수 조성관리 기본계획」.
- 어성욱, 이태규. 2009. “철도 차량기지의 토양오염 실태조사”. 「한국철도학회논문집」 12(5): 788-792.
- 환경부·국립환경과학원. 2008. 「2007년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.
- \_\_\_\_\_. 2009 「2008년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.
- \_\_\_\_\_. 2010 「2009년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.
- \_\_\_\_\_. 2011 「2010년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.
- \_\_\_\_\_. 2012 「2011년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.
- \_\_\_\_\_. 2013 「2012년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.
- \_\_\_\_\_. 2014 「2013년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과」.
- 한국환경정책·평가연구원. 2010. 「KEI 검토의견을 중심으로 한 환경영향평가서 작성 가이드라인 및 매뉴얼-철도건설」.
- 한국환경정책·평가연구원. 2011. 「KEI 검토의견을 중심으로 한 환경영향평가서 작성 가이드라인 및 매뉴얼-도로건설분야」.

### <영문 자료>

- Dilek, T. et al. 2001. “Heavy Metal Contamination in Soils of Urban Highways: Comparison between Runoff and Soil Concentrations at Cincinnati, Ohio”. *Water, Air, and Soil Pollution*, 132: 293-314.
- EPA. 1999. *Phytoremediation Resource Guide*.

Masound, K. 2012. "Trend and Concentration of Legacy Lead(Pb) in Highway Runoff". *Environmental Pollution*, 160: 169-177.

Mejeti N. V. P. 2003. "Metal Hyperaccumulation in Plants-Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology". *Electronic Journal of Biotechnology*, 6(3): 285-321.

Highway 101 from Old Redwood Highway to Rohnert Park Expressway/Final Environmental Impact Report.

Prabha K. P. and Y. L. Loretta. 2007. "Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants". *Water Air Soil Pollut*, 184: 105-126.

Sonoma-Marin Area Rail Transit(SMART)/Draft Environmental Impact Report.

<인터넷 자료>

<http://sgis.nier.go.kr/>

<http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2013/10/16/0200000000AKR20131016128400051.HTML?input=1179m>

<http://economy.hankooki.com/lpage/society/201503/e20150310203331117920.htm>

# Abstract

## **Case Study for Soil Impact Assessment on Road and Railroad Project**

The study was carried out to investigate soil contamination possibility caused by road and railroad. The guidelines and environmental impact assessment (EIA) case were analyzed and applications were suggested for possible new mitigation method in EIA.

The soil contamination caused by road and railroad was confirmed by "the research of soil contamination condition (Ministry of Environment)", several researches and press report. The current state of the environmental impact report (EIR) for road and railroad in Korea was investigated and the long-term soil contamination was not dealt with. On the other hand, abroad cases showed that soil contamination impact was dealt with in water quality, soil/geology or hazardous waste areas. Specially, bio-filtration facility was introduced as soil contamination mitigation method in California EIR.

In conclusion, this study suggested several improvement proposal of EIA in Korea to mitigate soil contamination by road and railroad as follows; 1) advancement of storm water treatment in water quality area: present treatment plan is limited on facility removing suspended solids and this could be advanced to remove heavy metals and hydrocarbons in storm water. 2) strengthen of hazardous waste treatment plan: in particular, railroad vehicle garage is subject to cause soil contamination by leaking of hazardous waste. Therefore, more strict management plan should be considered in EIA. 3) introduction of biological remediation design: to reduce possibility of soil contamination or to remedy contaminated soil, biological remediation technologies such as phytoremediation could be introduced. Phytoremediation is very effective for low-level/widespread soil contamination and this means that this technology could be applied

as soil contamination mitigation method for road and railroad. This study reviewed phytoremediation guidelines and domestic landscaping guidelines and identified the possibility for phytoremediation application in EIA.

Keywords : Soil contamination, Road and Railroad, Long-term Contamination, Phytoremediation

---

연구진 약력

신경희

광주과학기술원 공학 박사

한국환경정책·평가연구원 연구위원(현)

E-mail : khshin@kei.re.kr

주요 논문 및 보고서

「제2차 5대강 하천·하구 쓰레기 관리 기본계획 수립을 위한 연구」 (2013, 환경부)

「대규모 개발사업에 대한 토양자원 관리방안 연구」 (2013, 환경부)

「기후변화 적응을 고려한 환경영향평가 방안 연구」 (2011, 환경부)

「CCS 사업의 전략환경평가 추진 방안」 (2011, 한국환경정책·평가연구원)



## | KEI Working Paper 목록 | 2013~2015

- 2015년
- 2015-01 싱크홀 방지를 위한 환경영향평가 개선방안 연구(김윤승)
  - 2015-02 이슈스캐닝(Horizon Scanning)기법 활용을 통한 물환경관리 부문 이머징 이슈 발굴 연구(한혜진)
  - 2015-03 기후경제통합-지역평가모형(Regional Integrated Assessment Model of Climate and the Economy) 비교분석 및 국내 모형개발을 위한 기초연구(황인창)
  - 2015-04 기후변화로 인한 고온환경 근로자의 작업역량 저하 추정과 공간적 군집 파악 (김동헌)
  - 2015-05 환경영향평가 설명회·공청회 운영현황 분석(조공장)
  - 2015-06 도로 및 철도 사업의 토양분야 환경영향평가 사례 연구(신경희)
  - 2015-07 빅데이터를 활용한 환경보건서비스에 관한 기초연구(간순영, 윤성지)
  - 2015-08 자원순환분야 지속가능발전목표(SDGs) 이행 기반 마련을 위한 기초연구(임혜숙)
  - 2015-09 내륙습지에 대한 환경영향평가 개선방안 연구 I - 환경부 전국내륙습지 조사 지침(2011)의 적용을 중심으로(방상원)
  - 2015-10 자원순환성 평가제도 대상 확대를 위한 기초연구(이소라)
  - 2015-11 환경소음 빅데이터의 정책 활용성 제고 방안(박영민)
  - 2015-12 인과지도(Causal Loop)를 활용, 미래 물수급관리 정책 지원을 위한 기초연구 (류재나)
  - 2015-13 생물안전 법제 기초연구(홍현정)
  - 2015-14 지방자치단체 환경영향평가 조례 운영현황 및 효율화 방안(선효성)
  - 2015-15 개발사업의 비점오염 영향평가방법 개발을 위한 기초연구(이진희)
  - 2015-16 환경영향평가제도에서의 생태계보전협력금 활용 개선방안(이상범)
  - 2015-17 환경가치 증장기 연구수요 조사(곽소윤)
  - 2015-18 세종특별자치시의 대기질 관리 기획 연구(심창섭)
  - 2015-19 2015 국민환경의식조사 연구(곽소윤)
- 2014년
- 2014-01 국내 지하수의 자원·환경적 가치 확립을 위한 기초연구(현윤정)
  - 2014-02 층간소음의 건강영향에 대한 기초연구(박영민)
  - 2014-03 소음원 종류에 따른 3차원 소음예측모델 적용방안 마련(선효성)
  - 2014-04 개발사업 입지 및 계획기준의 조사·분석에 관한 연구(주용준)
  - 2014-05 기후변화 취약 근로 직종 파악을 위한 기초 연구(김동헌)
  - 2014-06 불확실성을 고려한 수질오염총량관리 안전율 산정 기초연구(정선희)
  - 2014-07 기후변화 적응을 위한 공간계획 수립 시 도시/환경/방재분야 공간정보 연계·활용방안 연구(김태현)
  - 2014-08 기후변화를 반영한 내수침수 리스크 평가 방법론 고찰(류재나)
  - 2014-09 SEA 사후관리를 위한 해외 사례연구(조한나)

- 2014-10 농어촌 관련 정책 및 계획에서의 기후변화 적응 고려 방안(임영신)
- 2014-11 소음·진동 사후관리를 위한 기초연구(선효성)
- 2014-12 2014 국민환경의식조사 연구(이미숙)

- 2013년**
- 2013-01 토양자원 유실 최소화를 위한 국내외 환경영향평가 사례 연구(신경희)
  - 2013-02 PM-2.5 환경영향평가 방안 연구(이영수)
  - 2013-03 지자체 적응대책 수립지원을 위한 기후변화 시나리오 자료 활용 방안(정휘철)
  - 2013-04 기후변화에 따른 도심지역 지질재해 리스크 체계 마련(이명진)
  - 2013-05 비전통가스 개발의 환경영향평가 가이드라인 마련을 위한 기초연구(조한나)
  - 2013-06 모니터링을 통한 친환경 계획기법의 적절성 검증 기초연구 - 도시공간에서의 stepping stone을 중심으로(최희선)
  - 2013-07 국가와 지자체의 기후변화 적응대책 실효성 제고를 위한 연계강화 방안(임영신)
  - 2013-08 KEI 환경정보체계 발전방안(전성우)
  - 2013-09 도시하천 유역의 환경평가 방법 마련을 위한 기초 연구(홍현정)
  - 2013-10 제조업 환경비용의 국제비교(조일현)
  - 2013-11 바이오가스의 신재생연료 의무혼합제도에 관한 해외사례 분석(조지혜)
  - 2013-12 자연경관심의제도의 현황분석 및 제도 개선방안(주용준)
  - 2013-13 층간소음 관리를 위한 기초연구(박영민)
  - 2013-14 지속가능성 관점에서의 산업구조 변화 분석(이미숙)
  - 2013-15 KEI 중국환경 중장기 연구계획 수립을 위한 기획연구(추장민)
  - 2013-16 기후변화 적응관련 취약계층 지원대책 현황조사 및 분석 연구(신지영)
  - 2013-17 한국 ODA사업의 환경평가 모니터링 현황과 해외사례 비교 연구 - 사업 종료 후 모니터링 사례를 중심으로(김태형)
  - 2013-18 국내 전략환경평가의 사회·경제성 부문 기능 확립을 위한 기초연구(이상윤)
  - 2013-19 환경영향평가시의 시설별 유해대기오염물질 배출량 산정을 위한 기초연구 (주현수)
  - 2013-20 지형장애물 분석을 통한 환경현황자료 작성방안(김지영)
  - 2013-21 상수원보호구역 상·하류의 수변지역 관리방안 연구 - 잠실상수원 보호구역과 팔당상수원 보호구역 구간 중심으로(김태윤)
  - 2013-22 2013 국민환경의식조사 연구(이미숙)

※ KEI 설립 이후 현재까지의 보고서 원문은 KEI 홈페이지([www.kei.re.kr](http://www.kei.re.kr))에서 보실 수 있습니다.

KEI Working Paper 2015-06

도로 및 철도사업의 토양분야 환경영향평가 사례연구



한국환경정책·평가연구원

Korea Environment Institute

30147 세종특별자치시 시청대로 370

세종국책연구단지 B동(과학·인프라동)

Tel 044.415.7777 Fax 044.415.7799

<http://www.kei.re.kr>



ISBN 978-89-8464-947-7