

전국 토양오염실태 및 공공택지개발지구의 오염토양 관리 Soil Pollution and Contaminated Soil Management of the Public Housing Agency in Residential Land Development

오정익 · 진규남 · 이현정*[†]
Jeongik Oh · Kyunam Jin · Hyunjeong Lee*[†]

한국토지주택공사 토지주택연구원 미래기술연구실 · *경희대학교 주거환경학과
Advanced Technology Research Team, Land & Housing Institute, Korea Land & Housing Corporation

*Department of Housing & Interior Design, Kyung Hee University

(Received January 8, 2016; Revised March 28, 2016; Accepted June 30, 2016)

Abstract : The purposes of this research are to examine soil pollution in the nation and to explore the contaminated soil management of the public housing agency in public land for residential development. In so doing, the primary and secondary data were utilized, the former made use of the public data annually released by the Korea Ministry of Environment, and the latter relied on a self-administered questionnaire survey conducted in the staff of the public housing agency, particularly those in charge of soil contamination in large-scale land, housing and urban development projects. The findings reveal that the national concentrations of 21 inorganic and organic soil contaminants (e.g., Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr, Zn, Ni, F, P, PCB, CN, Phenol, BTEX, TPH, TCE, PCE, Benzo(a)pyrene, and pH) in the land were extracted to be well below the risk level designated by the statutory guidance while industrial areas had them at a relatively modest level. In addition, the survey results indicate that the public housing agency didn't establish specific and clear guidelines for soil pollution and its remediation in the residential land development, so that contaminated sites have been primarily remediated by outsourcing companies. As the unexpected occurrence of contaminated sites causes the incurring expenses added to total project budget, the provision of both professional training and on-site manuals with the sufficient information on techniques and methods of soil contamination is critical to promptly and systematically deal with soil pollution.

Key Words : Soil Pollution, Soil Contaminants, Contaminated Soil Management, Public Land, Residential Development

요약 : 본 연구의 목적은 전국의 토양오염실태를 토지용도별로 조사하고, 공공주택개발지구의 토양오염 처리실태를 분석하고자 한다. 환경부가 매년 조사하고 발표하는 토양오염실태 자료를 근거로 지목별 토양오염 변화 추이를 살펴보고, 공공주택기관이 발주하는 대규모 택지조성 및 주택·도시개발 사업지구에서 근무하는 토양오염 관련 실무자를 대상으로 설문조사를 수행하였다. 분석결과, 21가지 유기 및 무기 토양오염물질(예, 카드뮴, 구리, 비소, 수은, 납), 크롬, 아연, 니켈 등)은 전반적으로 토양오염우려기준보다 낮은 반면 산업활동 지역에서 일부 오염물질에 국한되어 비교적 높은 수준의 유해물질이 측정되었다. 한편, 공공개발사업지구 실무자를 대상으로 한 설문조사에서 응답자 상당수는 오염토양에 관한 업무 처리기준이 명확하지 않아 외부 전문 업체에 의한 처리방식에 의존하고 있어 오염토양 발생 직후 신속한 대응, 합리적인 전략에 관한 명확한 가이드라인이 제공되어야 할 것이다. 또한 대부분의 실무자들은 오염토양 처리에 대한 경험이 많지 않아 그 처리기술에 대한 전문 지식을 습득하고 이해하기 위해 정기적인 교육이 요구되었다.

주제어 : 토양오염, 토양오염물질, 오염토양처리, 공공택지, 주택개발

1. 서론

토양은 인간을 둘러싸고 있는 생태계의 주요 요소 중 하나로, 정주환경의 근간을 이룬다. 1960년대 초부터 급속하게 추진해 온 경제개발은 산업화와 도시화를 수반하였고, 그 과정에서 생성된 각종 다양한 오염물질들이 환경보전인식의 미흡으로 생활환경을 오염시키며 인간의 건강과 웰빙을 위협하고 환경을 오염시켜왔다. 특히, 토양오염은 대기오염, 수질오염 등과 달리 원 상태로 복원하기 위해서는 상당한 시간, 비용 그리고 노력이 요구되며, 오염 전 상태로 복원시키는 것은 사실상 거의 불가능하다.^{1,2)} 게다가 토양오염의 결과는 지속적으로 영향을 줄 수 있기 때문에 토양환

경의 건전한 이용과 보전 관리에 대한 중요성이 대두되면서 토양오염을 예방하는 사전관리와 오염토양을 복원하는 사후관리로 구분하여 관리되고 있다.³⁻⁵⁾ 나아가 토양환경보전정책을 합리적으로 추진하기 위해 토양환경보전법을 제정하고, 전국 토양 측정망을 통한 토양조사와 지역망을 통해 오염된 지역을 정기적으로 조사하는 토양오염실태조사를 1988년부터 시행해 오고 있으며, 2001년 토양환경평가 제도를 도입하였다.^{3,6-8)} 이러한 토양오염과 관련된 제도적 환경이 변화되고 있는데도 불구하고, 선행연구들은 오염된 부지를 복원시키기 위한 토양오염 처리 기술,⁹⁾ 토양오염 정화 산업 전망,¹⁰⁾ 특정 지역을 대상으로 한 토양오염도^{2,5)} 등으로 국한되어 있다. 나아가 전국 단위의 토양오염 변화 추이

[†] Corresponding author E-mail: ecohousing@khu.ac.kr Tel: 02-961-9192 Fax: 02-961-9192

또는 각종 건물 및 기반시설 건설 사업에서 대규모 택지를 조성하고 공급하는 주체에 대한 오염토양 발생과 대응에 대한 연구가 전무하다.

한편, 기존의 신도시 건설에서 주택재건축과 기성시가지를 중심으로 도시정비로 확대되는 국토환경의 변화를 고려할 때 향후 구 도심지 개발로의 회귀는 자연스러운 현상이고 개발과정에서 토양환경의 오염 개연성은 높아질 수밖에 없으며, 나아가 쾌적한 거주환경과 지속가능한 정주환경을 저해시킬 수 있다. 또한, 토양오염의 발생, 오염원 확인, 오염물질 제거 및 차단 등의 일련의 오염토양 처리는 사업주체에게 경제적 부담이 될 수 있으며, 설정된 사업비를 추가 상승시킨다. 이와 같은 예측되지 못한 비용이 과다할 경우, 사업의 수익성을 악화시키고 나아가 사업주체의 재정 건전성을 악화시키는 요인이 되므로 심각하게 고려되어야 할 것이다. 토양환경 오염을 효율적으로 관리하고 선제적인 대책을 마련하기 위해 주택 및 도시개발, 도시정비 등을 추진하는 공공토지주택기관의 개발사업 과정에서 오염토양 관리 실태를 조사할 필요가 있으며, 오염토양의 체계적인 관리를 위해 가이드라인을 수립할 필요가 있다. 더불어 우리나라 토양오염실태를 파악하고, 토지용도별 토양오염도 변화 추이를 살펴볼 필요가 있다. 따라서, 본 연구의 목적은 전국의 토양오염실태를 토지용도별로 구분하여 파악하고, 공공토지주택기관이 발주하는 대규모 주택·도시개발 및 산업단지 사업지구의 택지조성과정에서 발생할 수 있는 오염토양 관리 실태를 분석하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구에서는 전국 토양오염실태를 파악하기 위해 먼저 환경부가 매년 발표하는 토양오염실태조사(2차 자료)를 활용하여 토지용도별 주요 토양오염물질(중금속을 포함한 무기물질, 유기물질, 유류 및 유기용제 등)의 변화 추이와 관련 오염기준을 분석하였으며, 이어 공공부문에서 추진하는

각종 개발사업지구(예, 대규모 주택공급, 도시건설, 산업단지 개발 등) 현장에 근무하는 실무자들을 대상으로 택지조성 및 개발 과정에서 오염토양 발생과 그 처리 실태를 살펴 보았다. 이를 위해 공공토지주택기관의 전국 지역본부, 사업본부, 직할사업단[수도권(서울지역본부, 강남사업본부, 인천지역본부, 청라영종사업본부, 경기지역본부, 위례사업본부, 동탄사업본부, 파주직할사업단, 오산직할사업단, 평택직할사업단, 김포직할사업단, 성남재생직할사업단, 고양직할사업단, 광교직할사업단, 하남직할사업단, 광명시흥직할사업단 등 16곳), 충청권(충북지역본부, 대전충남지역본부, 세종사업본부, 아산직할사업단, 당진직할사업단 등 5곳), 영남권(부산울산지역본부, 부산진해직할사업단, 대구경북지역본부, 경남지역본부 등 4곳), 호남권(전북지역본부, 광주전남지역본부 등 2곳), 강원권(강원지역본부), 제주권(제주지역본부) 등 총 38곳]을 방문하여 토양오염 담당 실무자들을 대상으로 설문조사를 실시하였다(Fig. 1). 조사도구로 사용된 설문지는 토양오염 관련 선행연구와 공공주택기관 내 토양오염 관련 업무 내용을 기초로 사업 지구별 토양오염 현안과 대응방안, 관계자 의견 및 현장경험 등을 종합적으로 판단할 수 있는 문항들로 구성하였으며, 폐쇄형 문항뿐만 아니라 개방형 문항들을 혼합하여 실무자들에게 토양오염 관련한 의견을 충분히 표현할 수 있도록 하였다. 작성한 설문지는 전문가로 구성된 패널 검토를 거쳐 최종 확정하였으며, 설문 조사시간은 2012년 8월 15일부터 9월 15일까지 설문지를 배포하였다. 총 38부의 설문지가 회수되었고, 응답문항들은 SPSS 통계프로그램을 활용하여 빈도 및 백분율에 기초한 기술통계를 중심으로 그 결과를 정리하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전국 토양오염 실태

토양오염에 대한 정의는 「토양환경보전법」에 명시되어 있는데, 사업활동이나 그 밖의 사람의 활동에 의하여 토양이

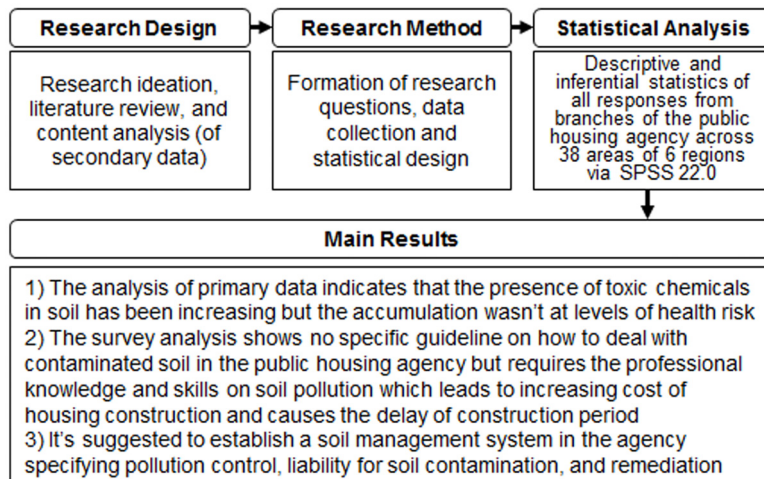


Fig. 1. Research procedure.

오염되는 것으로서 사람의 건강·재산이나 환경에 피해를 주는 상태를 의미한다. 현재 이 법에서 명시한 규제대상 토양오염물질에는 카드뮴, 구리, 비소, 수은, 납, 6가크롬, 아연, 니켈 등과 그 화합물, 불소화합물, 유기인화합물, 폴리클로리네이트비페닐, 시안화합물, 페놀류, 유류(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌), 유기용제(석유계총탄화수소, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 벤조(a)피렌) 등 총 21가지가 있다. 토양오염물질은 1995년 제정된 「토양환경보전법」에서 11개 물질을 지정한 이후 1999년 유류물질을 BTEX와 석유계총탄화수소(TPH)로 분리하였으며, 2002년 아연, 니켈, 불소, 유기용제류(TCE, PCE)가 추가되면서 점진적으로 확대되었고, 최근 유류관련 오염을 강화하기 위해 2010년부터 통합 관리하던 BTEX를 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌 등으로 개별 관리하고 있다.

한편, 토양오염을 유발하는 물질의 오염도가 인간의 건강 및 재산, 동·식물의 생육에 지장을 초래할 우려가 있는 수준을 토양오염우려기준으로 설정하고, 이 우려기준을 초과하여 사람의 건강 및 재산, 동·식물의 생육에 지장을 주어 토양오염에 대한 대책을 필요로 하는 토양오염대책기준을 정하고 있다(Table 1). 이들 우려기준과 대책기준 모두 지목별(토양오염우려기준은 2015년 11월 30일자, 토양오염대책기준은 2015년 3월 24일자 개정된 「토양환경보전법」 시행규칙에 의함)로 차등 적용하고 있는데 현재 환경부에서는 토지의 용도를 16가지(2011년부터 종교용지를 추가하여 총 16가지 지목으로 토지용도별 토양오염도를 조사하고 있음)로 나누어 지역별 부지를 분류하고 있다. 임야, 논, 밭이 전체 토지의 4/5이상 차지하고 있으며(Fig. 2), 지역별 지목들을 살펴보면, 1지역에는 전·답·과수원·목장용지·광천지·대(주거용 부지)·학교용지·구거(溝渠)·양어장·공원·사적지·묘지, (실외)어린이 놀이시설 부지, 2지역의 지목에는 임야·염전·대(1지역 외 모든 대)·창고용지·하천·유지·수도용지·체육용지·유원지·종교용지 및 잡종

Table 1. Statutory guidance for soil contaminant concentrations¹¹⁾ (mg/kg)

Category	Risk level			Toxic level			
	Area 1	Area 2	Area 3	Area 1	Area 2	Area 3	
Inorganic contaminants	Cd	4	10	60	12	30	180
	Cu	150	500	2,000	450	1,500	6,000
	As	25	50	200	75	150	600
	Hg	4	10	20	12	30	60
	Pb	200	400	700	600	1,200	2,100
	Cr	5	15	40	15	45	120
	Zn	300	600	2,000	900	1,800	5,000
	Ni	100	200	500	300	600	1,500
	F	400	400	800	800	800	2,000
Category	Risk level			Toxic level			
	Area 1	Area 2	Area 3	Area 1	Area 2	Area 3	
Organic contaminants	P	10	10	30	-	-	-
	PCB	1	4	12	3	12	36
	CN	2	2	120	5	5	300
	Phenol	4	4	20	10	10	50
	Benzene	1	1	3	3	3	9
	Toluene	20	20	60	60	60	180
	Ethylbenzene	50	50	340	150	150	1,020
	Xylene	15	15	45	45	45	135
	TPH	500	800	2,000	2,000	2,400	6,000
	TCE	8	8	40	24	24	120
	PCE	4	4	25	12	12	75
	Benzo(a)-pyrene	0.7	2	7	2	6	21

지, 그리고 3지역에는 공장용지·주차장·주유소용지·도로·철도용지·제방·잡종지(2지역 외 모든 잡종지), 국방·군사시설 부지가 포함된다. 1지역을 기준으로, 전국 1,500억

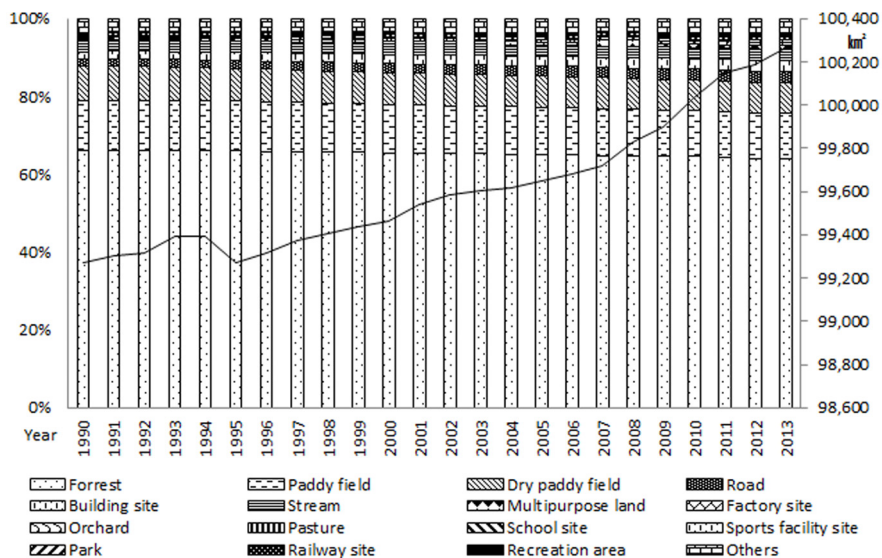


Fig. 2. Distribution of the national territory by land use classification.^{6,7)}

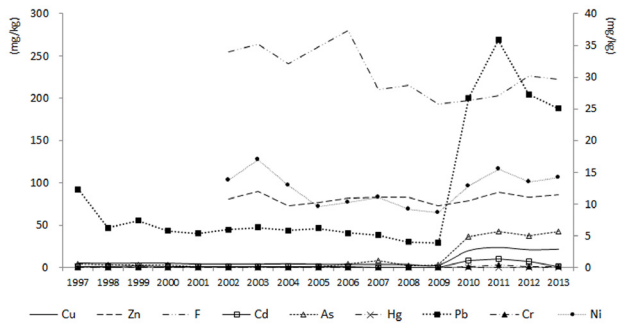


Fig. 3. Concentrations of inorganic soil contaminants in the nation.¹²⁾

개 측정망을 통해 2010년부터 2013년까지 조사된 오염도에서 9가지 중금속 물질 중 수은과 니켈을 제외한 나머지 물질들이 자연함유량보다 다소 높았으나 모든 토양오염물질의 측정치는 우려기준 보다 훨씬 낮았다(Fig. 3). 한편, 같은 기간 측정된 12가지의 유기오염물질(유기인, 폴리염화바이페닐, 시안, 페놀, BTEX, 석유계총탄화수소, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 벤조(a)피렌 등)의 경우, 잡

종지, 공장용지, 도로, 철도용지 등에서만 일부 항목들에 한해 그 측정치가 우려기준에 못 미치는 정도로 낮았을 뿐 나머지 지점들에서는 감별되지 않았다. 전체 토양산도(pH)는 약알칼리(6.4~6.7)를 유지하였다.

한편, 국토 전체의 토양오염상황을 파악하고 토양오염예방 등 토양보전대책을 마련하기 위해 매년 두가지 토양오염조사를 실시해 오고 있는데, 환경부가 설치·운영하는 토양측정망을 통해 전국 토양 오염도를 상시 측정하는 방법과 지방자치단체장이 시행하는 토양오염실태조사를 병행하고 있다. 1987년 전국 250개 지점의 토양측정망을 설치한 이후 1997년 지역망까지 확대하였고 1999년 총 4,500개 지점의 토양측정망을 운영해오고 있으며, 2014년 2,000개 지점의 토양측정망과 2,472개 지역에 대한 토양오염실태조사를 통해 중금속(카드뮴 등 8개 항목), 일반항목(폴리염화바이페닐 등 12개 항목) 및 토양산도(pH) 등 총 21개 항목에 걸쳐 전국 토양오염 추세를 파악하고 있다.⁷⁾

연도별 평균오염도 변화추이를 살펴보면, 중금속 5종(카드뮴, 구리, 비소, 수은, 납)의 측정방법이 전함량법으로 변경된 2010년 이후 이들 항목의 농도가 크게 증가하였다(Fig. 4).

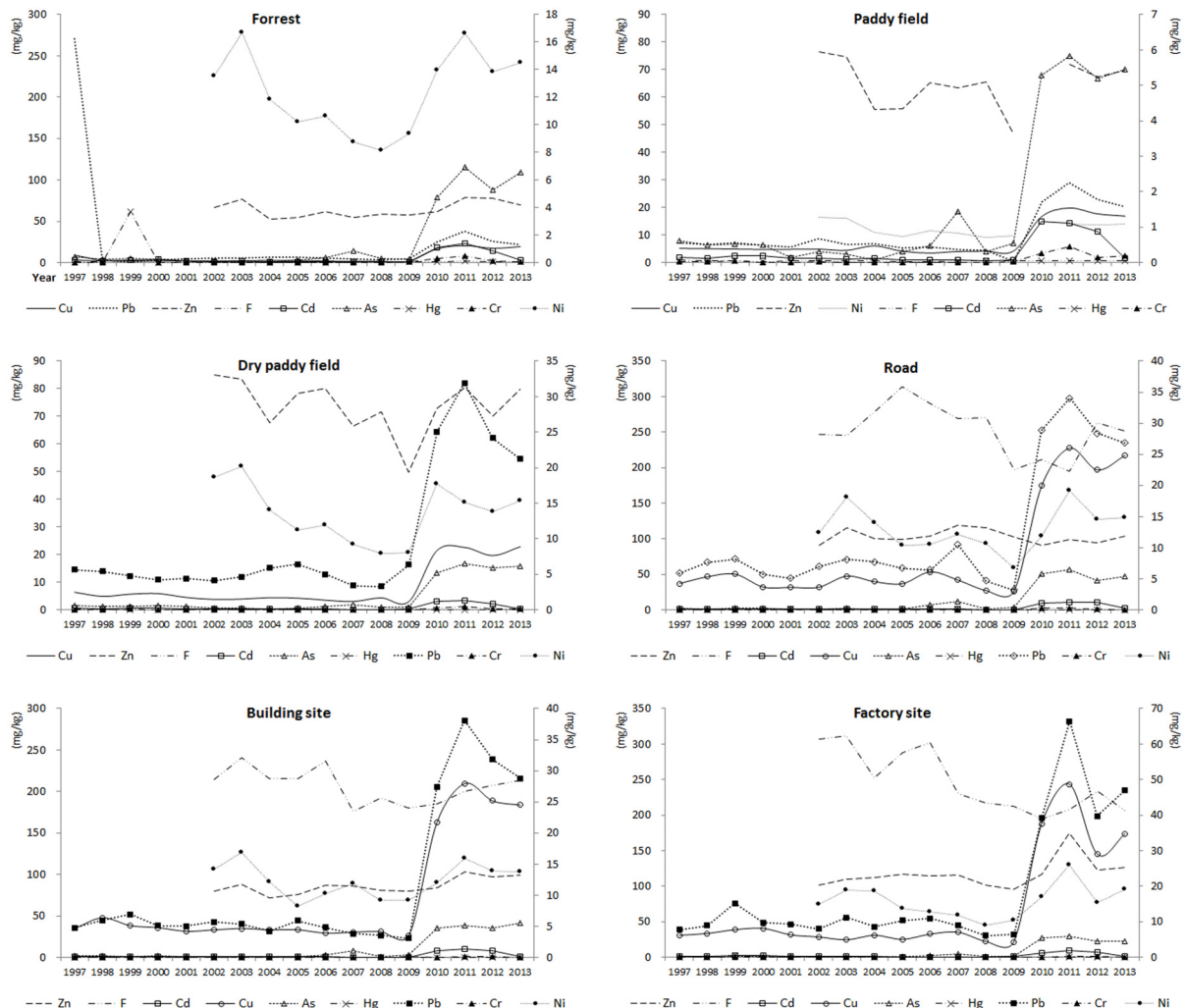


Fig. 4. Concentrations of inorganic soil contaminants by land use classification.¹²⁾

Table 2. Average concentrations of soil contaminants by land use classification (from 2010 to 2013) (mg/kg)

Category	Land use classification (from 2010 to 2013)							
	Total area	For-rest	Paddy field	Dry paddy field	Road	Building site	Stream	Multi-purpose land
Cd	0.9	0.9	0.8	0.9	1.0	0.9	0.9	1.7
Cu	21.6	18.5	17.7	21.6	23.3	24.8	20.0	26.7
As	5.3	5.9	5.4	6.0	5.6	5.0	5.2	5.8
Hg	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pb	28.7	27.4	23.6	25.6	29.5	31.5	24.7	33.4
Cr	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1
Zn	84.2	71.9	69.8	75.9	97.0	95.7	74.9	103.2
Ni	14.0	14.8	13.9	15.5	15.1	13.9	12.8	16.6
F	212.4	147.5	0.8	0.9	229.8	201.8	0.9	250.3

Category	Land use classification (from 2010 to 2013)							
	Factory site	Orchard	Pasture	School site	Sports facility site	Park	Railway site	Recreation area
Cd	1.2	1.1	1.0	0.8	1.0	0.9	1.0	0.9
Cu	37.5	33.1	20.0	17.6	18.4	23.5	31.3	18.1
As	5.0	5.5	3.6	4.2	5.0	6.6	6.6	5.2
Hg	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Pb	48.1	29.4	23.9	26.1	29.0	33.1	38.5	25.8
Cr	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
Zn	134.9	96.4	88.9	78.3	79.1	86.3	121.0	73.3
Ni	19.3	17.7	14.9	10.9	13.8	14.6	15.2	13.5
F	210.7	1.1	1.0	0.8	1.0	0.9	245.9	0.9

* Source: Korea Ministry of Environment (2011b, 2012b, 2013b, 2014b)

2010년-2013년 4년 간 조사된 토지용도별 오염도를 전국 평균오염도와 비교하여 살펴보면, 공장용지, 철도용지 등 산업활동 관련 지역에서 아연, 구리, 납 등 중금속류 및 유류(BTEX, TPH)항목의 농도가 평균보다 상회하였으며, 비오염원 지역의 중금속 오염도는 일부 항목에서만 평균치를 웃도는 수준이나 비교적 낮은 편이었다. 예를 들어, 임야, 답, 전은 니켈, 비소, (6가)크롬에서만 평균치를 웃돌았고, 과수원은 아연과 구리, 목장과 대지는 아연, 잡종지는 불소와 아연 오염도가 상대적으로 높았다(Table 2). 반면, 학교용지, 유원지, 하천부지의 중금속 오염도는 전국 평균치를 밑돌고, 공원과 체육용지에서 중금속 항목의 오염도가 두드러지는 사례가 거의 없었다. 이들 비산업활동 지역의 토양오염도가 낮을지라도 오염배출원(예, 공장 및 산업시설, 광산, 철광석 보관소, 석유류 및 유해물질의 제조 및 저장시설, 교통관련시설 등)의 위치와 노출정도에 따라 인근 토양환경은 악화될 수 있으므로 지속적인 모니터링과 오염물질의 통제가 뒷받침되어야 할 것이다.

3.2. 조사대상 실무자의 일반적 특성

조사대상 실무자 38명이 근무하는 공공개발사업지구(예, 택지조성, 주택공급, 도시건설, 산업단지 개발 등)의 지역별

Table 3. General characteristics of respondents (n=38)

Characteristics		f (%)	Characteristics		f (%)
Geographic distribution of branches	Seoul metropolitan area	6 (15.8%)	Working experience (years)	N	37
	Central region	5 (13.2%)		M (SD)	8,8 (5.2)
	Southeast region	21 (55.3%)		Minimum	0.3
	Southwest region	3 (7.9%)		Maximum	21.8
	Mountain zone	1 (2.6%)		Less than 5 years	3 (7.9%)
	Island	2 (5.3%)		5-10 years	27 (71.1%)
	Total	38 (100.0%)		10 years & longer	7 (18.4%)
	Gender	Male		38 (100.0%)	N
	Female	0 (0.0%)	M (SD)	1,7 (1.2)	
	Total	38 (100.0%)	Minimum	0.3	
Age (years old)	N	38	Years on current duty	Maximum	5.5
	M (SD)	35,6 (0.6)		Less than 1 year	20 (74.1%)
	Minimum	25.0		1-3 years	3 (11.1%)
	Maximum	48.0		More than 3 years	4 (14.8%)
	21-30	3 (7.9%)			
	31-40	28 (73.7%)			
	41-50	7 (18.4%)			

분포를 살펴보면, 영남권(55.3%)이 가장 많았고, 그 뒤를 이어 수도권(15.8%), 충청권(13.2%), 호남권(7.9%), 제주권(5.3%), 강원권(2.6%)으로 나타났다(Table 3). 각 사업지구에서 오염토양 처리 업무를 담당하는 일선 직원들은 모두 남성이었고, 응답자들의 평균 연령은 35.6세였으며, 최소 25세 최대 48세였다. 연령대별로는 30대가 가장 많았고(73.7%), 40대(18.4%)와 20대(7.9%)가 그 뒤를 이었다. 설문조사에 참여한 공공사업지구 실무자의 근무 연수는 평균 8.8년이었고, 최소 0.3 최대 21.8년이었으며, 5년 이상 10년 미만 근무자가 대다수(71.1%)를 차지하였다. 10년 이상 근무자(17.9%), 1년 미만 근무자(7.7%), 1년 이상 5년 미만 근무자(2.6%) 순으로 나타났다. 따라서, 공공개발사업지구의 오염토양 담당 실무자들은 회사 업무를 잘 파악하는 과장급 이상의 젊은 인력으로 구성되었다.

설문조사에 참여한 현장근무 실무자들의 오염토양 관련 업무 수행 경력을 조사한 결과, 평균 2년 미만이었으며 최소 0.3년 최대 5.5년으로 나타났다. 근무기간은 1년 미만(74.1%)이 대다수였으며, 그 뒤를 이어 1-3년(11.1%)과 3년 이상(14.8%)으로 나타났다. 이는 사업지구 현장일선 실무자 절대 다수가 오염토양에 대한 경험이 부족함을 의미하므로 이들을 대상으로 관련 업무 교육이나 훈련이 필요함을 시사한다.

3.3. 조사대상 공공개발사업지구의 오염토양 관련 업무 평가

조사대상 공공개발사업지구에서 택지조성 및 개발은 필연적으로 수반되는 과정이므로, 오염토양이 발견될 개연성이 높다. 토양오염 발생 여부를 살펴본 결과, 발생 지구는 6곳(15.8%)에 불과하였고, 대부분의 사업지구에서는 오염토양이 발견되지 않았다(Table 4). 이는 대부분의 사업지구가 신규로 착수되는 곳이고, 공공기관이 토지 매수와 개발 과정에서 토양오염이 없거나 적은 토지를 의도적으로 구입하며, 환경오염이 거의 없도록 택지조성 공사를 하는데 기인한다. 오염토양이 보고된 사업지구 6곳의 지목은 대지와 잡종지가 각각 2곳, 전과 공장용지가 각각 1곳으로 나타났다. 한편, 사업지구별로 오염토양 처리 비용에 대한 예산은 확보해 두는데, 지구별 전체 사업비에서 차지하는 비율이 '0.5% 미만' (62.5%)인 경우가 대다수였으며, 오염토양 처리 비용에서 가장 큰 부분을 차지하는 항목은 '처리비용' (62.5%) 이었고, 그 뒤를 이어 '선별 공사비' (12.5%), '수집·운반비' (25.0%) 순이었다. 그 외 '인건비', '유해물질 분석비용', '기타' 등 항목들이 있었으나 이들 항목에 대한 응답은 없었다. 아울러 오염토양과 관련한 업무 중에서 가장 중요한 단계는 '사업장 내 오염토양에서 오염물질 함유량 진단분석' (40.0%), '사업장 내 오염토양 발견 및 확인' (31.4%), '잔류토양 재활용 등의 처리' (20.0%) 순으로 나타났다. 그 외 '기타' 항목으로 "토지 보상 시 매립폐기물 등을 감안하여 보상되도록 발견 확인"이 지적되었다.

일반적으로 공공개발사업은 일련의 택지개발 프로세스(개발사업 운영계획 및 택지수급설계, 택지조성공사 발주,

택지조성공사 착공, 택지개발사업 준공, 용지매수 및 공급/판매 순으로)가 포함되는데, 이 과정에서 오염토양이 발견되는 단계는 '착공' (63.2%)이 가장 많았고, 이어 '계획 및 설계' (28.9%), '준공' (7.9%) 순이었다. 택지개발 프로세스에서 발견된 오염토양의 적절한 처리시점은 '착공' (33.3%)이 가장 많았으며, 그 다음으로 '계획 및 설계' (27.8%), '용지매수 및 공급/판매' (16.7%), '발주' (13.9%), '준공' (8.3%)으로 조사되었다.

오염토양 처리업무를 효율적으로 수행하기 위해 현행 사업지구 택지개발 프로세스를 개선할 필요가 있는지에 대하여 실무자들은 '그렇지 않다' (47.1%)가 '그렇다' (38.2%) 보다 더 많이 응답하였다. 이는 오염토양 발생 비율이 낮아도 오염토양 관련 업무에 대한 절차가 마련되어 있는데 따른 것이나, 상당수 실무자들은 여전히 개선이 필요하다고 보고 있어 향후 공공기관 발주 사업 중 기성시까지 도시정비나 공장 및 산업시설 등의 유휴지 개발에서 토양환경 오염 관리에 대한 적극적인 대응이 요구됨을 시사한다.

현재 사업지구의 오염토양 발생 시 처리방식은 '외부 반출처리' (75.0%)가 가장 많았으며, '사업장 내 처리 및 일부 외부반출 처리' (22.2%), '사업장 내 처리' (2.8%) 순이었다 (Table 5). 그러나, 희망하는 업무 처리방식은 '민간대행' (77.1%)이 월등히 많아 외부 전문업체에 의한 처리를 선호하고 있음을 알 수 있다. 오염토양을 처리할 업체를 선정하는 방식으로, 과반수 이상의 실무자들이 '외부전문기관의 진단, 자문 후 수행방식 결정' (51.4%)이라고 응답하였으며, '업체별 처리 단가 비교검토 후 수행방식 결정' (32.4%), 이어 '발생량, 지목이력 등의 사전추정 검토 후 수행방식 결정'

Table 4. Soil pollution for detection and treatment

(n=38)

Category		f (%)	Category		f (%)
Whether to detect contaminated soil in a land development project	Yes	6 (18,2%)	Stage to detect contaminated soil in the land development project	Planning	11 (28,9%)
	No	25 (75,8%)		Ground-breaking	24 (63,2%)
	Unknown	2 (6,1%)		Completion	3 (7,9%)
	Total	33 (100%)		Total	38 (100%)
Ratio of soil contamination management cost to the project budget	Less than 0,5%	5 (62,5%)	Adequate stage to treat contaminated soil	Planning	10 (27,8%)
	0,5%-1%	1 (12,5%)		Placement of order	5 (13,9%)
	More than 1%	2 (25,0%)		Ground-breaking	12 (33,3%)
	Total	8 (100%)		Completion	3 (8,3%)
Contaminated soil treatment expense and its breakdown	Pick-up and transport	2 (25,0%)	Whether to improve current land development procedure	Land sale	6 (16,7%)
	Screening analysis	1 (12,5%)		Total	36 (100%)
	Handling	5 (62,5%)		Yes	13 (38,2%)
	Total	8 (100%)		No	16 (47,1%)
Important stage in process of contaminated soil treatment	Detection	14 (40,0%)	Total	Neither	5 (14,7%)
	Screening	11 (31,4%)		Total	34 (100%)
	Remediation	7 (20,0%)			
	Other	3 (8,6%)			
	Total	35 (100%)			

Table 5. Soil pollution and contaminated soil treatment in the public housing agency (n=38)

Category		f (%)	Category		f (%)
Current treatment of contaminated soil	On-site treatment	1 (2.8%)	Whether to improve current contaminated soil treatment	Yes	23 (63.9%)
	Off-site treatment	27 (75.0%)		No	10 (27.8%)
	Both on-site and off-site treatment	8 (22.2%)		Neither	3 (8.3%)
	Total	36 (100%)		Total	36 (100%)
Preferred treatment of contaminated soil	Direct treatment	3 (8.6%)	Whether to present guidelines for contaminated soil treatment	Yes	13 (37.1%)
	Outsourcing	27 (77.1%)		No	11 (31.4%)
	Both direct treatment and outsourcing	5 (14.3%)		Neither	11 (31.4%)
	Total	35 (100%)		Total	35 (100%)
Modes to select contaminated soil management companies	Professional assessment	19 (51.4%)	Whether to need guidelines for contaminated soil treatment	Yes	34 (91.9%)
	Competitive pricing	12 (32.4%)		No	2 (5.4%)
	Pre-screening analysis	5 (13.5%)		Neither	1 (2.7%)
	Other	1 (2.7%)		Total	37 (100%)
	Total	37 (100%)		Effective strategies for taking care of soil pollution	Institutional measures
Adequacy of current methods treating contaminated soils	Adequate	14 (40.0%)	Deregulation		1 (2.7%)
	Inadequate	17 (48.6%)	Background check of site		13 (35.1%)
	Neither	4 (11.4%)	Professional training		8 (21.6%)
	Total	35 (100%)	Task force team for periodical inspection and regular screening/monitoring		1 (2.7%)
			Total	37 (100%)	

(13.5%), ‘기타’ (2.7%) 순으로 나타났다. 현행 오염토양 처리 방식이 기술의 타당성, 적합성, 경제적 측면에서 적절한지를 조사한 결과, ‘그렇지 않다’ (48.6%)가 가장 높은 빈도를 차지하였으며, 이와 관련하여 현행 오염토양 처리과정의 개선 필요성에서도 ‘그렇다’ (63.9%)로 나타나 오염토양 처리 업무의 개선이 시급한 것으로 나타났다. 또한, 오염토양 처리에 관한 업무수행기준의 유무를 파악한 결과, ‘있다’ (37.1%)가 겨우 1/3에 불과하였으며, 그 업무 수행기준의 필요성에 대해서 실무자들 절대 다수가 ‘그렇다’ (91.9%)로 응답하였다. 이는 오염토양 발생 시 명확한 업무 처리기준이 뒷받침되어야 함을 의미하는데, 업무수행기준이 마련된 사업지구조차 그 기준의 필요성을 제기한 점을 고려할 때 현장에서 보다 실질적인 도움이 되는 기준과 지침으로 재편되어야 함을 시사한다.

또한, 오염토양 발생 시 가장 효율적으로 대응하기 위한 방안으로, 실무자들은 ‘정책적 제도 마련(예, 오염토양 처리 업무 기준 등)’ (37.8%)과 ‘개발 사업지구 대상지정 이전에 이력조사(예, 정밀진단 등) 제도 도입’ (35.1%)을 손꼽았고, 이어 ‘철저한 실무교육(예, 오염토양 탐사진단 및 처리기술, 업무 프로세스 교육 등)’ (21.6%), ‘법적 규제 완화’ (2.7%), ‘회사차원의 오염토양 탐사진단 및 처리기술 확보’ (2.6%) 등이 소수 의견으로 제시되었다. 반면 ‘과학적 관리와 시스템 구축’에 대한 응답은 없었으나, 부가적인 의견으로 ‘계획단계에서 오염발생 가능위치(주유소 등) 선정 후 이주 전 (보상완료 전) 오염토양 발견 시 원인자 부담으로 오염토양 처리하도록 하는 보상기준 마련’이 있었다.

한편, 공공토지구택기관에서 사용하고 있는 오염토양의

처리기술에는 지상처리(Ex-situ remediation)와 지중처리(In-situ remediation)로 대별되는데, 전자에는 열탈착법(물리적 방법), 토양세척법, 고형화 및 안정화, 탈탈로겐화법, 용매추출법, 화학적 산화 환원법(이상 화학적 방법)이 있으며, 후자에는 토양증기추출법, 가열토양증기추출법(물리적 방법), 고형화 및 안정화(화학적 방법)가 있다. 오염토양 처리 기술과 관련하여 실무자들은 ‘지상처리 및 화학적 방법’ (25.0%)이 가장 많이 사용하고 있다고 응답하였으며, ‘지중처리 및 물리적 방법’ (21.9%), ‘지상처리 및 물리적 방법’ (18.8%), ‘지중처리 및 화학적 방법’ (18.8%), ‘기타’ (9.4%), ‘사업지구 내 자체처리’ (6.3%) 순으로 나타났다(Table 6). ‘기타’에는 “매립” 또는 “용역 등 결과에 따른 처리”가 있었으며, ‘지상처리 및 물리적 방법’에 세부적으로 “동전기법”, “토양 경작법” 등이 언급되었다. 가장 적합한 오염토양 처리기술로는 ‘지중처리 및 화학적 방법’ (31.3%)이 가장 높았으며, ‘지상처리 및 화학적 방법’ (28.1%), ‘지상처리 및 물리적 방법’ (18.8%), ‘지중처리 및 물리적 방법’ (15.6%), ‘사업지구 내 자체처리’ (3.1%), ‘기타’ (3.1%) 순으로 나타났다.

현재 오염토양 발생 시 처리기술을 선정하는 방식은 ‘발생한 오염토양의 성상을 고려하여 사전 기술검토 후 선정’이 과반수 이상(68.8%)을 차지하였으며, 그 외 ‘가격 비교에 따름’ (21.9%), ‘오염토양 처리업체의 제안에 따름’ (31.%), ‘현장 담당자의 결정에 따름’ (3.1%), ‘기타’ (3.1%)가 있었다. 현재 수행하고 있는 오염토양 처리기술의 선정방식에 대하여 기술의 타당성, 적합성, 경제적 측면에서의 적절성을 조사한 결과, 과반수 이상의 실무자들이 ‘그렇다’ (51.4%)로 응답하였다. 그러나, 오염토양 처리기술의 선정 기준

Table 6. Remediation of contaminated sites in the public housing agency (n=38)

Category			f (%)	Category			f (%)
Current techniques and methods remediating contaminated sites	Ex-situ treatment/ physical technique		6 (18,8%)	Modes to select techniques and methods remediating contaminated sites	Suggestions made by outsourcing companies		1 (3,1%)
	In-situ treatment/ physical technique		7 (21,9%)		Competitive pricing		7 (21,9%)
	Ex-situ treatment/ chemical technique		8 (25,0%)		Assessment report of contaminated sites		22 (68,8%)
	In-situ treatment/ chemical technique		6 (18,8%)		Expertise of on-site staff		1 (3,1%)
	Natural attenuation		2 (6,3%)		Other		1 (3,1%)
	Other		3 (9,4%)		Total		32 (100%)
Total			32 (100%)	Total			32 (100%)
Proper remediation techniques of contaminated sites	Ex-situ treatment/ physical technique		6 (18,8%)	Adequacy of current techniques remediating contaminated sites	Adequate		18 (51,4%)
	In-situ treatment/ physical technique		5 (15,6%)		Inadequate		15 (42,9%)
	Ex-situ treatment/ chemical technique		9 (28,1%)		Neither		2 (5,7%)
	In-situ treatment/ chemical technique		10 (31,3%)	Total		35 (100%)	
	Natural attenuation		1 (3,1%)	Whether to present guidelines for selecting techniques and methods remediating contaminated sites	Yes		8 (22,9%)
	Other		1 (3,1%)		No		18 (51,4%)
Total		32 (100%)	Neither			8 (22,9%)	
Total			32 (100%)	Other		1 (2,9%)	
				Total		35 (100%)	
				Whether to improve current modes selecting techniques of contaminated sites	Yes		29 (78,4%)
					No		4 (10,8%)
					Neither		4 (10,8%)
				Total		37 (100%)	

Table 7. Assessment of techniques and methods to remediate contaminated soils in the public housing agency (n=38)

Category			f (%)	Category			f (%)
Whether to be familiar with soil remediation techniques and methods	Yes		5 (13,5%)	Items of project budget to be largely reduced by soil remediation techniques and methods	Pick-up and transport		1 (2,9%)
	No		15 (40,5%)		Screening analysis		2 (5,9%)
	Neither		17 (45,9%)		Contamination detection and analysis		2 (5,9%)
	Total		37 (100%)		Handling		26 (76,5%)
Whether reduce the project cost by different soil remediation techniques and methods	Likely		29 (78,4%)	Effective selection strategies of soil remediation techniques and methods	Appurtenant works		1 (2,9%)
	Unlikely		5 (13,5%)		Other		2 (5,9%)
	Neither		3 (8,1%)		Total		34 (100%)
	Total		37 (100%)		Professional training		7 (18,9%)
Expected cost reduction of selecting soil remediation techniques and methods (ratio to the project cost)	Less than 0,5%		8 (33,3%)	Systematic management of soil remediation Task force team for periodical inspection and regular screening/monitoring Cost reduction and incentives	Systematic management of soil remediation		9 (24,3%)
	0,5%-1%		1 (4,2%)		Task force team for periodical inspection and regular screening/monitoring		19 (51,4%)
	1%-5%		5 (20,8%)		Cost reduction and incentives		2 (5,4%)
	More than 5%		10 (41,7%)		Total		37 (100%)
	Total		24 (100%)				

유무에 대해서는 ‘없다’ (51.4%)가 과반수 이상을 차지하였고, 이와 관련하여 오염토양 처리기술 선정기준의 개선 필요성에 대하여 ‘그렇다’ (78.4%)가 압도적으로 많았다. 따라서, 현행 오염토양 대응과 처리 방식에 미흡한 점이 많으므로, 처리기술 및 선정방식의 전문성과 과학적이고 체계화된 관리시스템 구축이 요구된다.

사업지구 내 오염토양 처리기술 내용에 대하여 현장 실무자가 적절히 인지하고 있는지를 살펴본 결과, 소수만(13.5%)이 알고 있어 현장 실무자들이 오염토양을 능동적으로 대응할 수 있도록 매뉴얼 개발과 전문 교육이 뒤따라야 할 것이다(Table 7). 사업지구 내 오염토양 처리기술 선정에 따

라 사업비 절감 가능성을 조사한 결과, 대다수가 ‘그렇다’ (78.4%)고 하였으며, 그 절감액은 거의 절반정도의 실무자들이 전체 사업비의 ‘5% 이상’ (41.7%)으로 평가하였다. 절감 가능한 사업비 항목으로는 ‘처리비용’ (76.5%)으로 손꼽았으며 ‘선별 공사비’ (5.3%), ‘유해물질 분석비용’ (5.3%), ‘기타’ (5.3%), ‘수집·운반비’ (2.6%), ‘부대 공사비’ (2.6%) 순으로 나타났고, ‘기타’에는 “현장 내 토사 재활용 비용”이 제시되었고, ‘인건비’ 항목에 대한 응답은 없었다.

최적의 오염토양 기술을 선정하기 위하여 가장 효과적인 방안으로, ‘회사차원의 오염토양 탐사진단 및 처리기술 선정 전문 자문단(부서) 마련’ (51.4%)을 과반수 이상의 실무

자들이 제안하였고, 이어 ‘개발지구 매립폐기물·오염토양 관련 과학적 관리와 시스템 구축’(24.3%), ‘철저한 실무교육(예, 오염토양 탐사진단 및 처리기술, 업무 프로세스 교육 등)’(18.9%), ‘원가절감, 효과창출에 대한 실무 현장 담당자(부서)의 인센티브 지급’(5.4%) 순으로 나타났다. 따라서, 회사차원에서 전문가 그룹이나 전담부서를 설치하여 효과적인 처리기술을 선정하도록 하는 방안을 적극 검토해야 할 것이며, 이는 사업비 절감과 함께 업무 효율성을 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

1987년부터 전국에 설치된 토양측정망을 통해 매년 조사해온 토양오염도는 2002년부터 21가지 토양오염물질로 세분화되면서 토양환경을 관리해 오고 있다. 측정방법이 변경된 2010년 이후 중금속을 중심으로 토양오염도가 크게 증가하였지만, 토양오염우려기준보다 밀돌았다. 산업활동 관련 지역(예, 공장용지, 철도용지, 도로 등)에서는 특정 오염물질 항목(예, 아연, 구리, 납, BTEX, TPH 등)에 한하여 오염도가 전국 평균치를 상회하였다.

대규모 주택공급, 도시건설, 산업단지 개발 등 공공개발 사업에서는 택지조성은 중요한 필수 과정으로, 토양환경 오염여부는 사업비 증가뿐만 아니라 공사 지연 나아가 쾌적한 생활환경과 건강한 국토환경을 수립하는데 장애물이 된다. 따라서, 택지공급의 주도적인 역할을 담당하는 공공토지주택기관에서 오염토양 관리실태를 파악하는 것은 의미있는데, 공공부문의 택지개발 실무자들을 대상으로 한 설문조사에서 오염토양 발생에 대한 명확한 업무 처리 지침 마련, 오염토양 처리 방식과 기술에 대한 전문성이 강화되어야 할 것으로 나타났다. 설문조사에 참여한 공공기관 발주 사업지구의 실무자들은 근속 10년 미만의 30대 남성들로, 토양오염 경력이 매우 짧은 직원들이었다. 조사대상 사업지구의 오염토양이 발견된 사례(16%)는 많지 않았으며, 토양오염지는 대지, 잡종지, 전, 공장용지로 한정되었다. 오염토양을 처리하기 위한 비용은 총 사업비의 0.5% 미만이 대부분이었고, 주로 처리비용으로 지출되었다. 오염토양은 주로 사업 착공단계에서 발견되었고(63%), 이 단계에서 적절한 조치를 취하는 것(33%)이 중요하게 평가되었다. 회사차원에서 마련된 택지개발 프로세스에 따라 발생한 토양오염을 처리하고 있었으며, 그 프로세스가 개선되어야 할 것(38%)으로 조사되었다. 오염토양의 처리는 민간부문의 전문업체(77%)를 통한 외부 반출처리(75%)로 이루어지고 있으며, 업체 선정은 외부전문기관의 진단 및 자문(51%)에 의존하였다. 이러한 오염토양 처리방식은 회사 자체적으로 마련된 처리기준이 다소 명확하지 않는데 기인하며, 현장 일선 실무자들에게 실질적인 도움이 되도록 보다 합리적이고 효율적인 제도가 뒷받침되어야 한다고 지적하였다. 오염토

양 처리기술 선정은 오염토양의 성상을 고려하여 사전에 관련 기술을 검토한 후 이루어졌고(69%), 그 선정 기준이 없으므로(51%) 구체적인 기준 마련(78%)을 제안했다. 현재 지상처리 및 화학적 방법(25%)을 사용하고 있으나 지중처리 및 화학적 방법(31%)이 더 적합한 것으로 판단하였다. 또한, 현장 실무자들 중 소수만이 오염토양 처리기술 내용을 알고 있으며(14%), 그 처리기술에 따라 사업비 절감이 가능하며(78%), 특히 처리비용 감소(77%)를 통해 전체 사업비의 5% 이상 줄일 수 있다(42%)고 기대하였다. 이를 위해 오염토양 처리기술 전담부서(51%)를 제안하였는데, 공공토지주택기관의 택지조성과 공급은 우리나라 정주환경의 기틀을 마련한다는 점에서 토양환경의 체계적인 관리 시스템 구축을 긍정적으로 검토할 필요가 있다. 이는 오염토양에 대한 대처능력을 향상시키고, 사업비를 절감하며, 업무 효율성을 높이는데 크게 기여할 것이다.

Acknowledgement

본 논문은 LH 토지주택연구원의 “개발지구 매립폐기물 및 오염토양 처리방안 연구(과제번호 2012-58)” 지원으로 수행된 연구 성과물의 일부이며, 이에 감사드립니다.

KSEE

References

1. Jeong, S.-W., “Current status of environmental impact assessment (EIA) for soil environment and constructing a better applicable EIA scheme in Korea,” *J. Environ. Pol.*, **26**(7), 751~758(2004).
2. Lee, B.-K. and Koh, I.-H., “Analysis on heavy metal contamination in soils of the Ulsan area,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **25**(11), 1436~1447(2003).
3. LHI (Land and Housing Institute of the Korea Land and Housing Corporation), “A Study on Treatment Method of Landfill Waste and Soil Contamination in the Development Area,” LHI 2012-58, pp. 201~238(2012).
4. LHI (Land and Housing Institute of the Korea Land and Housing Corporation), “Guidelines to Treatment of Contaminated Soil in Residential Development,” LHI 2012-58, 2~5(2013).
5. Whang, H.-G., Lee, C.-G. and Lim, B.-S., “Status and characteristics of soil contamination according to land use,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **26**(8), 861~866(2004).
6. Korea Ministry of Environment, “Yearly White Paper of Environment,”(1988a~2014a).
7. Korea Ministry of Environment, “2015 White Paper of Environment,”(2015).
8. Park, Y.-H., Park, S.-Y. and Yang, J. E., “Environmental policy suggestions for increasing efficiency of soil contamina-

- tion investigation systems including soil contamination fact-finding investigation sites and special soil contamination management facility sites,” *J. Environ. Pol.*, **5**(2), 27~47(2006).
9. Lee, J. Y. and Moon, C. H., “Restoration and reuse of contaminated soils,” *Geotechnical Eng.*, **21**(11), 26~44(2005).
 10. Kwak, M., “Prospect and present status of soil environmental remediation industry,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, Special Issue, pp. 271~274(2007).
 11. Korea Ministry of Government Legislation Home Page, <http://www.moleg.go.kr/main.html>, December(2015).
 12. Korea Ministry of Environment, “Environmental Statistics Yearbook,”(1988b~2014b).
 13. Statistics Korea Home Page, “e-national indicators,” <http://www.index.go.kr/potal/main/PotalMain.do>, December(2015a).
 14. Statistics Korea Home Page, “Korean statistical information service,” <http://kosis.kr/>, December(2015b).