

부산시 토양오염 취약지역 등급화를 이용한 우선관리대상 순위 선정

정현정¹ · 이민희^{2*} · 도진우³

¹부경대학교 지구과학연구소

²부경대학교 지구환경과학과

³한국석유관리원 석유기술연구소

The Priority Management Ranking by using the Classification of Vulnerable Areas for the Soil Contamination in Busan Metropolitan City

Hyunjung Jung¹ · Minhee Lee^{2*} · Jinwoo Doe³

¹Geo-Sciences Institute, Pukyong National University, Korea

²Department of Earth Environmental Sciences, Pukyong National University, Korea

³Korea Petroleum Quality & Distribution Authority/Research Institute of Petroleum Technology, Korea

ABSTRACT

The purpose of this study is to highlight the National Classification System related to cleanup the soil contaminated sites and to provide some guidance to address the priority management rank system before the remediation for Busan metropolitan city. Based on the previous soil investigation data, the quantitative classification of vulnerable areas for soil pollution was performed to successfully manage the contaminated sites in Busan. Ten evaluation factors indicating the high soil pollution possibility were used for the priority management ranking system and 10 point was assigned for each factor which was evenly divided by 10 class intervals. For 16 Gu/Guns in Busan, the score of each evaluation factor was assigned according to the ratio of the area (or the number) between in each Gu (or Gun) and in Busan. Ten scores for each Gu (or Gun) was summed up to prioritize the vulnerable Gu or Guns for soil pollution in Busan. Results will be available to determine the most urgent area to cleanup in each Gu (or Gun) and also to assist the municipal government to design a successful and cost-effective site management strategy in Busan.

Key words : Evaluation factor, Priority management, Ranking system, Soil pollution

1. 서 론

1995년 토양환경보전법 제정 이후 지금까지 국내 토양 환경 보전정책은 토양오염 측정망 및 실태조사를 통한 토 양오염 현황 파악, 유류저장시설 등 특수오염원 관리정책, 휴 · 폐광산 조사 등과 같은 토양오염 조사 분야에서 많 은 발전을 이루었으나, 오염순위를 고려하지 않고 언론 등 에서 이슈화된 오염부지만을 대상으로 단편적인 토양복원 사업이 진행되어 국내 토양오염은 아직도 심각한 수준에 머물러있다(KEI, 2003; MOE, 2007; MOE, 2012). 또한 지자체별 오염특성 및 토양환경을 고려하지 않은 중앙부

처 중심의 획일적인 복원정책이 시행되어, 지자체의 오염 부지에 대한 현황파악이나 자발적인 복원정책 수립이 불 가능하여 지속적인 복원계획 수립 및 관련 예산확보가 이 루어지지 않았다(KEI, 2005). 국내 오염부지 복원사업이 수행된 지 20여년이 되어감에도 대다수 국민들은 토양오 염 복원 및 사전 예방에 대한 중요성을 인식하지 못하고 있으며, 자원으로써 토양을 보전하고자 하는 여론 형성이 이루어지지 않아, 현 상태의 중앙정부 및 지자체 토양관 리 정책으로는 국내 토양복원 기술 개발과 산업 활성화를 꾀하는데 근본적인 한계가 있다. 환경부는 이러한 문제를 인식하고 향후 10년간 국내 토양환경 정책의 비전 및 정

*Corresponding author : heelee@pknu.ac.kr

Received : 2015. 9. 15 Reviewed : 2015. 10. 15 Accepted : 2015. 12. 4

Discussion until : 2016. 2. 29

책방향을 제시하는 국가토양보전기본계획을 2009년에 수립하였으며, 국가토양보전기본계획과 연계하여 지자체별 토양오염 실태를 분석하고 이에 따른 복원, 관리방안 등을 포함한 토양보전의 비전 및 전략을 구체화하기 위한 지자체별 토양환경보전계획을 수립하도록 시행령을 제정하였다(MOE, 2009). 다만 위 시행령에 의해 지금까지 수립된 지자체의 토양환경보전계획에서는 오염취약지역 및 시설현황만을 제시하고, 토양오염 취약지역 및 시설에 대한 정량적인 평가를 시행하지 않아 취약지역 및 시설의 오염원에 대한 사전예방 또는 사후관리 등과 같은 실제 토양관리 정책이나 사업을 수행하기 어려운 단점이 있다(SMG, 2011; SMAC, 2014).

이러한 문제점을 개선하고자 기존의 연구에서는 부산시 16개 구·군에서 발생한 토양오염 사례를 분석하여 유류를 취급하는 저장시설이 있는 공항, 철도, 군부대, 자동차 관련시설지역과 중금속을 취급하는 공업지역, 폐광산, 폐기물관련시설지역 등에서 토양오염 상관관계가 매우 높음을 밝혀내었고(BMC, 2014), 본 연구에서는 이들 8개 토양오염 취약지역을 구·군별 현황조사 및 그에 따른 토양오염 개연성을 바탕으로 총 10가지 평가항목으로 세분화하여 각 평가항목 당 10개의 급간으로 나눈 후, 각 급간에 점수를 부여하여 부산시의 토양오염 취약지역 순위를 결정하였다. 부산시 16개 구·군에 대하여 10개 평가항목에 해당되는 오염 취약지역의 개수(또는 면적)비에 따라 토양오염 취약지역 관리대상 우선순위를 선정함으로써, 지자체가 향후 토양오염 가능성이 높은 부지에 대한 순차적이고 단계적인 사전관리 및 오염부지에 대한 적절한 복원 사업이 이루어질 수 있는 합리적인 토양보전 정책을 수립할 수 있는 근거를 마련하도록 하였다. 본 연구에서 적용한 오염 취약지역의 우선관리대상 선정방법은 부산시 외 다른 지자체에도 적용이 가능하며, 국내 지자체별 토양오염 취약지역 및 시설에 대한 관리 및 복원 계획 수립에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

2. 토양오염 관련 우선관리대상지역 선정 관련 기존 제도

2.1. 국외 우선순위 선정 제도

부산시 토양오염 우선관리대상지역 선정을 위하여 토양관리 및 복원이 체계적으로 수행되고 있는 선진국 중 미국, 캐나다, 네덜란드에서 적용하고 있는 오염부지 복원 및 관리를 위한 순위 선정방법을 검토하였다. 미국환경보호청(USEPA)은 '종합적 환경대응 및 보상책임에 관한 법

(CERCLA: Comprehensive Environment Response, Compensation, and Liability Act or 'Superfund Act')에 근거하여 미국 내 유해물질과 연관된 부지의 사후관리 및 복구 사업을 수행하여왔으며(USEPA, 1991), 1992년에 국가우선목록(NPL, National Priorities List) 선정을 위해 작성한 '유해물질 오염지역 복원 순위 산정체계(HRS: Hazard Ranking System)'를 제도화하여 지금까지 수십만 개로 추정되는 오염부지의 복원순위를 결정하고 있다(USEPA, 1992a; USEPA, 1992b). HRS는 자체적으로 개발한 유해물질의 4개 노출경로(지하수, 지표수, 공기 및 토양)에 의한 오염 누출 가능성을 점수화하는 방법으로, 노출경로별 세부 평가항목을 선정한 후 각 항목에 대하여 점수를 부여하고(각 경로별 최대 100점으로 표준화함), 경로별 점수를 제곱한 수치의 평균값에 대한 제곱근(root square)으로 계산하여 각 오염부지에 해당하는 최종 점수값(SS: Site Score)을 계산한다. 평가 대상 부지의 최종 점수값이 28.50 이상인 경우에는 NPL(국가우선목록)에 등록되고, 토양선별지침(SSG: Soil Screening Guidance)에 따라 토양선별기준 이상인 경우 정밀조사와 복원계획을 수립하게 된다(Lee, 2010).

캐나다는 자국의 오염지역 평가를 위해 1992년부터 '오염지역에 대한 국가 등급시스템(NCS: National Classification System for contaminated sites)'을 활용하고 있는데(CCME, 2008), NCS는 평가항목을 크게 3영역, 즉 오염물질의 특성, 노출경로 및 노출수용체 등으로 나누어 영역별 비슷한 비중의 점수(각각 33-34점)를 부여하고 있으며, 이들을 합산한 점수(총점 100점)로 오염지역을 평가한다. 각 세부 평가항목에 대하여 평점가산식에 의해 평가된 점수에 따라 모든 평가 대상 지역을 1, 2, 3, N, I 등급으로 분류하고, 평점이 70-100점에 해당되는 1등급의 경우 인간과 환경에 대하여 유해한 것으로 판단하여 긴급 복구조치가 취해진다.

네덜란드의 경우 토양에 존재하는 유해물질에 의해 유발되는 인체위해성을 평가하여 오염부지의 오염정도를 평가하는 'CSOIL 모델(Dutch model for the assesment of the risks to human health caused by hazardous substance in land via various exposure pathways)'을 사용하고 있는데, CSOIL은 노출경로를 섭취, 접촉, 흡입으로 구분하고, 이를 다시 9개의 소분류로 구분하여 최종 생태위해농도(SRCeco: Serious Risk Concentrations for Ecosystem)를 산정하고 이에 근거하여 부지 오염정도를 평가한다(van den Berg, 1993; van Sandick and Keuzenkamp, 1994).

2.2. 국내 우선순위 선정 제도

국내의 경우 오염부지 관리를 위한 우선순위 선정은 현재까지 거의 전무한 실정이며, 2005년 환경부가 폐광산 지역의 개황조사 결과를 토대로 오염정도를 점수화하여 정밀조사 대상 광산을 결정하는 정밀조사 선정을 위한 기준안이 국내 최초로 마련되었다(MOE, 2006a). 이 기준안은 오염도 평가 대상이 광미, 광폐석, 갱내수에 한정되어 정밀조사 순위 결정이 오염원의 규모에 의해 지나치게 영향을 받게 되어있어서, 정밀조사 폐광산 선정을 위한 실제적인 기준으로 활용되지 못하였다. 2006년 환경부는 2005년 마련한 기준안을 바탕으로 2004년까지 개황조사나 정밀조사가 완료된 156개 폐금속광산 중에서 복원이 완료된 35개 폐광산을 제외한 121개 광산에 대해 복원 우선순위 선정을 위한 구체적인 기준안을 마련하였다(MOE, 2006b). 복원순위 결정을 위한 기준안은 폐금속광산 주변 토양 및 수질 등 주변 환경에 중요한 영향을 미치는 요소를 오염원인물질, 오염상태, 오염영향 등 3개 항목(11개의 세부 평가항목)으로 분류하였으며, 오염원인물

질 100점, 오염상태 150점, 주변으로의 오염영향 50점 등 총 300점 만점으로 계량화하여 광산별로 점수를 부여한 후, 순위에 따라 4개 등급으로 폐광산을 분류하여 정해진 등급별로 복원조치 사항을 명시하였다(1등급: 오염개연성이 높아 시급히 복원이 필요, 2등급: 오염개연성이 비교적 높아 향후 복원이 필요, 3등급: 오염개연성이 낮지만 지속적인 관리가 필요 등). 위 기준안은 각 평가항목에 대하여 전체 조사 대상 폐금속광산의 최대, 최소값을 사용하여 그 사이 구간 값에 대하여 선형 가중치(Linear Interpolation)를 부여하여 등급화 함으로써 국내 최초로 평가항목별 급간 가중치를 점수화한 방법을 우선순위 선정에 도입하였다는 것에 큰 의미가 있다(Table 1).

폐금속광산 지역과는 별도로 2010년 환경부는 국내 20여개 폐석면광산 주변지역에서 수행한 개황조사 결과를 바탕으로 정밀조사 우선순위를 결정하는 기준안을 제시하였는데, 우선순위 결정에 영향을 미치는 요소를 폐금속광산 복구우선순위에서 사용한 항목과 유사한 3개 평가항목을 사용하였으나, 총 27개 평가인자로 보다 세분화 하였

Table 1. Evaluation factors used in the ranking for the remediation of abandoned metal mines in Korea (modified from MOE, 2006b)

Evaluation category (weighted score)	Evaluation factor (weighted score)	Class interval and points to weigh the score for each factor
Contamination source (100)	Mine tailing storage amount (40)	10 class intervals; 4 points for each class (0 - 40 points) according to the amount (m3)
	Mine waste rock storage amount (40)	10 class intervals; 4 points for each class (0 - 40 points) according to the amount (m3)
	Contaminant type (20)	10 class intervals; 2 points for each class (0 - 20 points) according to the existence of tailing, waste rock, and drainage water
Contaminant characteristics (150)	Contaminated area (30)	5 class intervals; 5 points for each class (0 - 30 points) according to the contaminated area
	Ratio of contaminated soil (15)	5 class intervals; 3 points for each class (contaminated soil sample number vs. total sample number)
	Pollution index (15)	5 class intervals; 3 points for each class at the range of PI value (0.1 ~ > 0.51)
	Ratio of contaminated stream sediment (15)	5 class intervals; 3 points for each class (contaminated stream sediment sample number vs. total sample number)
	Ratio of contaminated water (30)	10 class intervals; 3 points for each class (contaminated water sample number vs. total sample number)
	Type of pollutant (15)	5 class intervals; 3 points for each class according to the number of heavy metals belong to the pollution
	Contaminant types (15)	5 class intervals; 3 points for each class according to the existence of soil, water, and stream sediment
Migration or exposure possibility (50)	Ratio of farmland contamination (20)	10 class intervals; 2 points for each class (contaminated farmland soil sample number vs. total sample number)
	Condition of mine exposure (10)	10 class intervals; 2 points for each class according to the capping condition of tailing and rock waste
	Distance to the resident (10)	5 class intervals; 2 points for each class according to the distance (0.5~4km in radius)
	Population near the mine (10)	10 class intervals; 1 points for each class according to the number of resident (0 ~ > 900)

Table 2. Evaluation factors used in the priority ranking for the investigation of asbestos-contaminated abandoned mines (modified from Lee, 2010)

Evaluation category (weighted score)	Sub-categories (weighted score)	Evaluation factor	Criteria to weigh the score for each factor
Contaminant characteristics (100)	Contamination source (30)	Source storage area	1 point per 81 m ²
		Source storage volume	1 point per 62.5 m ³
		Storage state and slope angle	<5°: 0 point, 5~30°: 3 point, >30°: 5 point
	Mining activity state (30)	Vegetative cover	no plant capping: 5 point, <1 m in plant height: 3 point, >1 m in plant height: 5 point
		Uncovered mining pit (and shaft) area	1 point per 1,6810 m ²
		Uncovered asbestos-bearing rock outcrop	Existence: 10 point, Nonexistence: 0 point
		Mining type (subsurface or surface mining)	Surface: 10 point, Subsurface: 5 point
	Mining history (40)	A term of mining	1 point per 0.4 year of mining activity
		Existence of refining or post-treatment facility	Existence: 10 point, Nonexistence: 0 point
		Total mining outturn	6750 ton: 10 point, -1 point per -338 ton from 6750 ton
Contaminant migration potential (200)	Geological potential (40)	Asbestos-bearing rock distribution	>1/3 of asbestos bearing rocks in the site area: 50 point, <1/3: 30 point, None: 20 point
		Contaminated area (> asbestos concentration limit)	1 point per 2,830 m ²
	Soil contamination (100)	Contaminated state (according to contaminated soil sample number vs. total sample number)	1 point per 0.08% (the ratio of area having > 1% of asbestos in soil sample)
		Highest asbestos concentration in soil	>4%: 10 point, -1 point per -0.65% from 4%
	Water contamination (60)	Ratio of asbestos-containing stream water	Existence of asbestos-bearing stream water: 10 point, Nonexistence: 0 point
Ratio of asbestos-containing groundwater		Existence of asbestos-bearing groundwater: 10 point, Nonexistence: 0 point	
Exposure possibility (200)	Farmland contamination (90)	Distance from the mining source	1 point per - 3.3 m from 152 m distance
		Ratio of farmland area vs. total site area (within 4 km radius from the source zone)	>20%: 20 point, -1 point per -0.85% from 20%
		Ratio of asbestos-containing farmland soil	1 point per 0.07%
		Mean annual wind speed	1 point per 0.2 m/s
		Consistency of the main wind direction to the residential area	Consistency: 10 point, Discordance: 0 point
	Meteorological condition (40)	Topographic slope	0~2%: 1, 2~6%: 3, 6~12%: 5, 12~18%: 9, >18%: 10 point
		Annual rainfall	5 point x (annual rainfall of the site/1,302 mm/yr)
		Rainfall strength (Heavy rainy day per year)	>10day: 5 point, -1 point per -0.75day
	Exposure to the resident (70)	Distance from the mining source	<430 m: 1 point, +2 point per -28.6 m from 430 m
		Ratio of asbestos-containing soil in the residential district	1 point per 0.4%
		Population density according to the distance from the source	>2100 person: 30 point, -1 point per -71 person from 2100 person

다(Lee, 2010). 개별 세부 평가항목들에 대한 가중치 평점을 부여한 기준(criteria)은 국내 20개 폐석면광산의 기초/개황조사 결과를 활용하여 각 평가항목 값에 대한 20개 광산의 “평균값”과 “최소값”을 항목 당 부여하는 평점의 “최대값”과 “최소값”으로 설정하여 그 사이 구간 값에

대하여 선형 가중치(Linear Interpolation)를 부여함으로써 각 평가항목별 점수를 산정하였으며, 평가항목별 점수를 합산하여 우선순위 결정을 위한 최종 평가값(FS: Final score)으로 사용하였다. 오염원 평가, 오염분포현황 평가, 노출가능성 평가영역에 각각 100점, 200점, 200점씩 부여

하여 총 500점을 만점으로 하였고, 평가항목별 중요도를 고려하여 5-50점 범위에서 점수를 부여하여 폐석면광산 지역 정밀조사 우선순위를 결정하였는데, Table 2에 폐석면 정밀조사 우선순위 평가기준안을 요약하여 나타내었다.

본 연구에서는 부산시의 오염토양 우선관리대상지역 선정을 위해, 국내 폐금속광산 복원 우선순위 선정과 폐석면광산 정밀조사 대상 우선순위 선정에서 사용하였던 평가영역별 조사 대상지역의 최대값과 최소값 사이의 구간을 등급화하는 방법을 활용하였다. 즉 부산시 16개 구·군에 대하여 10개 평가영역별 취약지역(또는 시설)의 면적비나 개수비의 최대값과 최소값 사이의 구간을 10개로 등급화하여, 각 등급값에 동일한 선형가중치를 부여함으로써 각 평가항목의 점수를 산정하고, 이를 합산한 최종 평가값(FS)을 부산시 토양오염 취약지역 우선관리대상지역 선정에 사용하였다.

3. 부산시 토양오염 취약지역의 우선관리대상 순위 선정

3.1. 부산시 취약지역 평가항목 선정 및 평가항목 점수 산정 방법

부산시 토양오염 취약지역의 현황 조사로부터 교통관련 시설지역, 공업지역, 폐기물처리시설지역, 골프장, 군부대,

해수욕장, 폐광산 순으로 7개로 유형화(총 14개 세부지역)하여, 구·군별로 이들의 존재 유무를 파악한 결과(Table 3), L구가 12개로 취약지역을 가장 많이 포함하고 있었으며, 구·군별 평균 취약지역 수는 7.25개로 부산시 16개 구·군 대부분에 토양오염 취약지역이 분포하였다(BMC, 2014). 이와 같이 취약지역을 정성적으로 표기하는 것만으로도 부산시 16개 구·군에 존재하는 취약지역 현황을 한눈에 파악할 수 있으나, 구·군별 토양오염 의심부지 관리 및 토양오염 취약지역 우선관리제도(NPL)를 실행할 구체적인 자료로 활용하는데 제한이 있다. 부지의 토양오염 개연성을 파악하기 위해서는 취약지역의 존재유무 뿐 아니라 구·군별 지역 개수 혹은 오염의심 부지면적 등과 같은 세부평가항목을 통해 정량적으로 평가해야 할 필요성이 있으며, 본 연구에서는 구·군별로 산제한 취약지역을 정량화가 가능한 총 10개의 평가항목으로 구체화하여 평가항목(취약지역)에 대해 구·군별로 점수를 부여하여 취약지역 우선관리순위를 산정하였다. 순위선정에 사용한 평가유형과 평가항목은 Table 4에 나타내었다.

교통관련시설지역의 경우 공항·철도·항만 및 관련시설지역(평가항목 1)들은 정량적인 면적 측정이 가능하며, 부산시 전체 공항·철도·항만 및 관련시설 총면적 대비 각 구·군별 위치한 관련시설 면적비율(%)로 취약지역 순위와 점수를 산정하였다. 부산시 자동차관련시설지역은 평

Table 3. The current situation of vulnerable area and facility related to the soil contamination for 16 Gu/Gun in Busan

Name of Gu or Gun	Vulnerable Transportation related facility area			Industrial area			Waste related facility area			Golf course	Beach	Military base	Abandoned mine	Number of total vulnerable area	
	Vehicle	Harbor	Airport	Rail-road	Industrial complex	Small manufacturing site	Waste water treatment	Land-fill site	Incineration site						Waste storage/treatment
A	o	o	x	x	x	o	o	x	x	o	x	x	x	x	5
B	o	x	x	x	x	o	o	x	x	o	x		x	x	5
C	o	o	x	o	x	o	o	x	x	o	x	x	x	x	6
D	o	o	x	x	x	o	o	o	x	o	x	x	o	x	7
E	o	x	x	o	x	o	o	x	x	o	x	x	o	x	6
F	o	x	x	o	x	o	o	x	x	o	x	x	x	x	5
G	o	o	x	x	x	o	o	x	x	o	x	x	o	o	7
H	o	x	x	o	x	o	o	o	x	o	x	x	o	x	7
I	o	x	x	o	o	o	o	o	o	o	x	o	o	x	10
J	o	o	x	x	o	o	o	o	o	o	x	o	x	o	10
K	o	x	x	o	o	o	o	x	o	o	o	x	x	x	8
L	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	x	o	x	12
M	o	x	x	x	x	o	o	x	x	o	x	x	x	x	4
N	o	x	x	x	x	o	o	x	x	o	x	o	x	o	6
O	o	x	x	o	o	o	o	x	o	o	x	x	x	o	8
P	o	x	x	o	o	o	o	x	o	o	o	o	x	o	10

* O: existence and X: nonexistence

Table 4. Evaluation factors of vulnerable areas used in the priority management ranking system for soil contamination in Busan

Evaluation category	Evaluation factor and criteria
Transportation related facility area	① Ratio of facility area in each Gu/Gun vs. total facility area in Busan
	② Number of repair shop and car wash in each Gu/Gun vs. total number in Busan
	③ Ratio of bus garage and terminal area in each Gu/Gun vs. total facility area in Busan
Industrial area	④ Ratio of industrial area in each Gu/Gun vs. total facility area in Busan
	⑤ Number of waste water treatment facility in each Gu/Gun vs. total facility number in Busan
Waste storage/treatment facility	⑥ Number of waste storage/treatment facility in each Gu/Gun vs. total facility number in Busan
Military base	⑦ Number of military base in each Gu/Gun vs. total military base in Busan
Abandoned mine	⑧ Number of abandoned mine in each Gu/Gun vs. total mine number in Busan
Golf course	⑨ Ratio of pesticide spray area in Golf course for each Gu/Gun vs. total spray area in total Golf courses of Busan
Beach	⑩ Population per unit area (m ²) for beach in each Gu/Gun

가항목을 세분화하여 면적 측정이 가능한 버스 차고지 및 여객/화물터미널(평가항목 2)은 위와 같은 면적비율(%)로, 정비소·세차장(평가항목 3)은 부산시 전체 시설 수 대비 각 구·군별 위치한 시설 수 비율(%)로 평가하였다. 공업 지역(평가항목 4)의 경우에는 산업단지와 일반공업단지를 합한 부산시 전체 공업지역 면적에 대하여 각 구·군이 차지하는 면적비율(%)을 사용하였다. 폐수배출시설(평가항목 5), 폐기물관련시설(평가항목 6), 군부대(평가항목 7), 폐광산(평가항목 8)등은 정확한 오염취약 해당 면적을 측정하기 어려워, 부산시 전체 수 대비 각 구·군 내 위치하는 개수비(%)로 평가하였으며, 골프장(평가항목 9)은 부산시 전체 골프장 농약 사용 면적 대비 골프장이 위치한 구·군의 골프장 농약 사용 면적비율(%)로 평가하였고, 해수욕장(평가항목 10)은 단위 면적당 이용자 수로 평가하였다. 총 10개의 평가항목에 대하여 각 항목 당 최대 10점을 배정하였으며, 0(또는 최소값)부터 최대값 사이를 10으로 나누어 10개의 급간(class interval)을 설정하였고, 각 급간별 1-10점의 오염취약점수를 순서대로 부여하여 (오염에 매우 취약할 경우 10점, 오염 가능성이 희박한 경우 1점을 부여), 16개 해당 구·군별로 각 평가항목에 대한 오염취약점수를 합산하였다. 최종 평가값(FS: Final Score)으로 부산시 16개 구·군에 대하여 토양오염 취약 지역순위를 결정하고, 취약지역순위가 높은 구·군 또는 시설 및 부지를 대상으로 부산시 토양환경보전을 위한 관리 대책 수립에 우선순위로 삼아 부산시와 해당 지자체인 구·군에서 지역 특성에 맞는 체계적인 토양오염 취약지역관리 대책을 수립할 수 있도록 하였다.

3.2. 부산시 구·군에 대한 평가항목 별 분석 결과

3.2.1. 공항·철도·항만 및 관련 시설지역(평가항목 1)

부산시 공항·철도·항만 및 관련시설 총면적 대비 16개 구·군별 면적비율 결과로부터, 최대값(40.0%: L구)을 10으로 나눈 값으로 10개의 급간(class interval)을 설정하고 각 급간별로 1~10점의 취약점수를 부여하여 구·군별 순위를 산정한 결과는 Table 5에 나타나있다. 공항·철도·항만 및 관련시설 면적비율은 김해공항의 대규모 활주도와 유류저장 시설이 위치한 L구가 40.0%로 취약점수 10점을 받아 가장 높은 순위로 나타났다. 그 외 G구는 20.1%, C구는 10.6%로 각각 2위와 3위로 나타났는데, 이는 항만 및 관련시설의 면적이 넓게 분포하기 때문이다. 조사 결과 부산시 공항·철도·항만 및 관련시설은 5개 내외의 구·군에 밀집되어 있으나 해당 면적이 비교적 넓고, 최근 토양오염 사례에도 부산시 철도 및 관련시설의 오염사례가 나타나 토양오염 가능성이 매우 높지만(BMC, 2014), 토양관리는 특정토양오염관리대상시설에만 한정되어 있어서 그 외 관련부지 및 시설에 대해서는 구체적인 관리방안이 마련되어 있지 않으므로, 이에 대한 부산시의 체계적인 오염조사나 관리가 필요할 것으로 판단되었다.

3.2.2. 정비소·세차장(평가항목 2)

자동차정비소는 차량수리 또는 구조변경 중 발생할 수 있는 폐유류 및 용매, 페타이어 등으로 인한 토양오염 가능성이 있으나 현재는 폐액수거 외에는 별도의 토양오염 관리체계가 없어서 이에 대한 대책이 필요하다. 세차장은 구·군별로 폐수배출시설에 포함되어 관리되고 있으나, 차량 세정을 위한 계면활성제, 차량 코팅용제 등이 토양 오염원으로 발생하며, 세차장에서 발생하는 폐수가 처리되지 않은 채 토양으로 흘러들어가 잠재적 오염원이 될 가능성이 있으므로 세차장의 관리 실태에 대한 추가 행정 규제가 필요할 것으로 판단된다. 교통관련시설 중 자동차

Table 5. Results of the ranking for the airport, railroad, and harbor related facility factor (left) and for vehicle repair shop and car wash facility factor (right)

Ranking	Name of Gu/Gun	Ratio of facility area in each Gu/Gun vs. total facility area in Busan (%)	Score for the factor	Ranking	Name of Gu/Gun	Number of repair shop and car wash in each Gu/Gun vs. total number in Busan (%)	Score for the factor
1	L	40.0	10	1	O	15.7	10
2	G	20.1	6	2	J	10.2	7
3	C	10.6	3	3	I	8.5	6
4	J	6.9	2	3	K	8.1	6
4	E	6.8	2	5	E	7.6	5
4	A	4.2	2	5	G	7.5	5
7	P	3.2	1	5	M	7.3	5
7	I	2.1	1	5	F	7.2	5
7	K	1.9	1	9	N	5.5	4
7	H	1.4	1	9	H	5.4	4
7	O	0.9	1	9	P	4.8	4
7	D	0.9	1	12	L	4.1	3
7	B	0.4	1	13	D	2.9	2
7	F	0.4	1	13	C	2.6	2
7	M	0.1	1	13	B	1.6	2
7	N	0.05	1	16	A	1.1	1

관련시설인 정비소와 세차장은 부산시 전체 정비소와 세차장 총수에 대한 각 구·군별 개수 비율로 취약점수를 부여하였으며, 구·군별 순위를 산정한 결과를 Table 5에 나타내었다. 정비소·세차장 취약지역순위 산정 결과, O구가 취약점수 10점(15.7%)으로 가장 높은 순위를 나타내었고, J구가 취약점수 7점(10.2%)으로 2위, I구가 8.5%로 3위로 나타났다.

3.2.3. 시내버스 차고지, 여객터미널 및 화물터미널(평가항목 3)

시내버스 차고지 중 공영차고지는 ‘부산시 공영차고지 관리 및 운영조례’에 의해 관리되고 있으나, 토양오염 방지를 위한 항목이 없어 공영차고지에서 발생할 수 있는 토양오염에 대한 규제가 이루어지지 않고 있으며, 구·군별로 산재되어 있는 일반 버스차고지는 등록만 되어 있고 토양오염에 대한 체계적인 관리는 전무한 실정이다. 여객터미널은 유동인구가 매우 많고 터미널 내부의 정비소, 세차장, 주유소 등 시설에서 토양오염 발생 가능성이 높다. 화물터미널 내 화물차 적하장 및 관련시설도 폐유 및 폐타이어 등으로 인한 토양오염 발생 가능성이 높으므로, 먼저 각 취약시설 주변 토양에 대한 구체적인 오염 조사가 필요하다.

교통관련시설 중 자동차관련시설인 시내버스 차고지, 여

객터미널 및 화물터미널은 C구와 A구를 제외한 14개 구·군에 분포되어 있으며, 시설의 총 면적은 377,352 m² (시내버스 차고지 152,662, 여객터미널 127,454, 화물터미널 97,236)이었다. 이 중 여객터미널과 화물터미널은 토양오염 개연성이 낮은 건물면적을 제외한 대지면적만으로 면적비율을 산정하였다. 부산시 총 시설 면적 대비 구·군별 시설 면적비율을 계산하고, 그 최대값을 10으로 나눈 값으로 10개의 급간(class interval)을 설정하고 여기에 1-10점의 취약점수를 부여하여 구·군별 순위를 산정한 결과를 Table 6에 나타내었다. L구가 27.0%의 가장 높은 면적비율을 차지하였는데, 이는 L구에 위치한 화물터미널의 면적이 높기 때문이다. 2순위는 K구(19.3%), 3순위는 O구와 P군(11.7%) 순으로 나타났는데, K구와 O군은 여객터미널 면적이 반영되었으며, P군은 공영 버스차고지로 인해 높은 취약점수가 부여되었다.

3.2.4. 공업지역(평가항목 4)

부산시 산업단지와 일반공업지를 합한 전체 공업지역 면적에 대해 각 구·군이 차지하는 면적비율(%)을 계산한 후, 최대값을 10으로 나눈 값에서 10개의 급간을 설정하고 여기에 1-10점의 취약점수를 부여하여 구·군별 순위를 산정한 결과를 Table 6에 나타내었다. 공업지역은 L구가 전체 공업지역 면적 대비 40.7%를 나타내어 취약점

Table 6. Results of the ranking for bus garage and terminal factor (left) and for industrial complex factor (right)

Ranking	Name of Gu/Gun	Ratio of bus garage and terminal area in each Gu/Gun vs. total facility area in Busan (%)	Score for the factor	Ranking	Name of Gu/Gun	Ratio of industrial area in each Gu/Gun vs. total facility area in Busan (%)	Score for the factor
1	L	27.0	10	1	L	40.7	10
2	K	19.3	8	2	J	17.8	5
3	O	11.7	5	3	O	15.5	4
3	P	11.0	5	4	P	10.3	3
5	D	6.3	3	5	D	3.9	1
6	J	4.9	2	5	K	3.1	1
6	I	4.6	2	5	G	3.1	1
6	G	4.5	2	5	B	1.6	1
6	H	3.6	2	5	I	1.2	1
6	E	3.1	2	5	C	1.2	1
11	M	1.6	1	5	F	0.5	1
11	N	1.5	1	5	N	0.5	1
11	F	0.7	1	5	E	0.3	1
11	B	0.4	1	5	M	0.2	1
				5	H	0.1	1
				5	A	0.01	1

수 10점으로 가장 높은 토양오염 개연성을 나타내었으며, 이는 대규모 국가 산업단지인 명지·녹산 산업단지의 영향도 있으나 개별입지의 소규모 공장 비율도 23.1%로 높게 나타나 전반적으로 관내 공업지역이 많이 분포하고 있기 때문이다. 또한 신호산단, 부산과학산단, 지사산단 등 20년 이상의 노후 산업단지들이 집중되어 있어 해당 지역의 토양오염 개연성이 높으므로 L구의 공업지역에 대한 특별한 토양관리 대책이 요구된다. J구 및 O구도 각각 17.8%, 15.5%로 높게 나타났는데, 이들 역시 전통적인 공업지역을 포함하고 있어서 부산시는 이러한 지역의 토양오염 취약성을 충분히 파악하여 체계적인 토양오염 조사 및 행정 규제 등을 실시하여야 할 것으로 판단되었다.

3.2.5. 폐수배출시설(평가항목 5)

폐수배출시설은 부산시 구·군별로 매우 산재되어 있으며, 병원, 사진관, 세탁시설, 인쇄소 등 일상생활과 밀접한 관계를 가진 시설들이 대부분이다. 부산시 총 폐수배출시설 수에 대한 구·군별 시설 수 비율 결과를 이용하여 구·군별 순위를 산정하였으며 이를 Table 7에 나타내었다. 폐수배출시설 비율에서 가장 높은 취약점수를 얻은 구는 O구(22.5%)와 J구(20.7%)로 나타났으며, L구가 13.5%로 3순위이었다. 폐수배출시설로부터 발생하는 폐수가 토양과 지하수로 유출될 경우 다양한 오염원으로 나타날 수 있으므로 이에 대한 부산시의 주기적이고 체계적인 폐수배출시설 실태관리 및 행정규제 등이 필요하다.

3.2.6. 폐기물관련시설(평가항목 6)

폐기물관련시설에는 매립시설, 소각시설 및 폐기물 중간처리업(폐차장, 고물상, 폐기물 처리업체, 재활용센터, 재활용선별장) 등이 있으며, 부산시 전체 폐기물관련시설 수에 대한 16개 구·군별 폐기물관련시설 수 비율 결과로부터 구·군별 순위를 산정한 결과를 Table 7에 나타내었다. P군(17.5%)과 J구(17.3%)가 각각 최대 취약점수인 10점을 받았으며, O구(14.4%)가 3순위로 나타났다. P군, J구, O구, F구, L구에 위치한 폐기물관련시설 수의 비율이 전체 시설 수의 70% 이상을 차지하는 것으로 나타나 이들 구·군은 폐기물관련시설에 대한 특별관리가 필요할 것으로 판단되었다.

3.2.7. 군부대(평가항목 7)

군부대 내의 유류저장탱크시설은 16개 구·군의 특정 토양오염관리 대상에 포함되어 있어서, 이에 대한 정기적인 토양오염검사가 이루어지는 것으로 확인되었다(BIHE, 2013). 그러나 유류저장탱크를 제외한 군부대 내의 다른 시설, 특히 차량정비 중 발생하는 토양오염 가능성 및 사격장에서 발생할 수 있는 중금속 오염 등을 확인할 수 있는 자료가 전무한 실정이며, 군사기밀 등으로 인해 조사 자료의 제공도 원활하지 않아 군부대에 대한 오염취약 시설 현황 파악이 불가능하여 부득이하게 구·군별 군부대 수 비율로 취약지역 순위를 산정하였다. 취약점수 부여 결과, I구가 00사단 및 공군 제 0000부대 등 6개의

Table 7. Results of the ranking for waste water treatment facility factor (left) and for waste storage/treatment facility factor (right)

Ranking	Name of Gu/Gun	Number of waste water treatment facility in each Gu/Gun vs. total facility number in Busan (%)	Score for the factor	Ranking	Name of Gu/Gun	Number of waste storage/treatment facility in each Gu/Gun vs. total facility number in Busan (%)	Score for the factor
1	O	22.5	10	1	P	17.5	10
1	J	20.7	10	1	J	17.3	10
3	L	13.5	6	3	O	14.4	9
4	E	8.8	4	4	F	12.7	8
4	P	7.0	4	5	L	11.7	7
6	K	4.5	3	6	N	7.8	5
7	G	4.0	2	7	K	3.4	2
7	I	3.8	2	7	G	2.7	2
7	B	2.6	2	7	D	2.7	2
7	D	2.6	2	7	M	2.4	2
7	H	2.5	2	7	H	2.2	2
7	F	2.4	2	7	I	2.2	2
13	M	2.0	1	13	B	1.5	1
13	N	1.9	1	13	E	1.0	1
13	C	1.1	1	13	C	0.5	1
13	A	0.3	1	13	A	0.2	1

Table 8. Results of the ranking for military base factor (left) and for abandoned mine factor (right)

Ranking	Name of Gu/Gun	Number of military base in each Gu/Gun vs. total military base in Busan (%)	Score for the factor	Ranking	Name of Gu/Gun	Number of abandoned mine in each Gu/Gun vs. total mine number in Busan (%)	Score for the factor
1	I	37.5	10	1	P	50.0	10
2	G	25.0	7	2	G	12.5	1
3	L	18.8	6	3	O	12.5	1
4	H	6.3	2	4	N	12.5	1
4	D	6.3	2	5	L	12.5	1
4	E	6.3	2				

군부대가 밀집되어 있어 37.5%로 가장 높은 취약점수를 받았으며, G구가 25.0%, L구가 18.8%로 각각 2순위와 3순위로 나타났다(Table 8). 군부대의 경우 특정토양오염관리 대상시설로 관리되고 있지 않은 취약시설(차량정비 과정의 토양오염 및 사격장 중금속 오염 등)에 대하여 토양오염 추가 조사 및 체계적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

3.2.8. 폐광산(평가항목 8)

환경부의 폐광산 자료 및 부산시 휴·폐광산 관리조사 자료 등으로 부산시 내 11개의 폐광산 현황을 파악하였으며(MOE, 2007), 그 중 갱구가 폐쇄되어 광산의 흔적이 없어진 다대광산을 제외한 10개 폐광산을 대상으로 구·군별 폐광산 수 비율을 적용하여 취약점수를 부여한 결과를 Table 8에 나타내었다. 10개 폐광산에 대한 광미, 광

폐석 적치량 또는 광산의 토양오염 가능면적과 같은 구체적인 현황자료를 통해 취약지역순위를 판단하려 하였으나 이에 대한 자료가 부족하여 부득이하게 구·군별 폐광산 비율로 취약지역순위를 산정한 결과, P군에 광해방지사업 진행 중인 일광광산을 비롯하여 임기, 용천, 철마 광산이 밀집(50%)되어 있어 최대 취약점수 10점을 부여하였다. P군의 일광, 임기 광산의 경우에는 광미·광폐석 및 침출수로 인한 토양오염이 심각하여 중앙정부에 광해방지사업 실시를 요청하는 등 토양오염 확산 방지를 위한 구체적인 복원 대책이 필요하다.

3.2.9. 골프장(평가항목 9)

부산에 위치한 9개의 골프장은 P군, K구, L구에 위치하고 있으며, 국립환경과학원이 연도별로 각 골프장에 대한

Table 9. Results of the ranking for golf course factor (left) and for beach factor (right)

Ranking	Name of Gu/Gun	Pesticide spray area in Golf course for each Gu/Gun (m ²)	Ratio of pesticide spray area in total Golf courses of Busan (%)	Score for the factor	Ranking	Name of Gu/Gun	Population per unit area (m ²) for beach in each Gu/Gun	Score for the factor
1	P	2,912,640	54.31	10	1	I	139.4	10
2	K	1,922,904	35.86	8	2	B	121.6	9
					2	N	112.5	9
3	L	527,121	9.83	2	4	P	19.1	2
					4	J	16.8	2

농약 사용 실물량 및 농약 사용 성분량 등을 조사하고 있으나, 조사결과에 따른 후속조치가 전무한 것으로 나타나 농약 사용으로 인한 토양오염 문제가 발생할 가능성이 높다(NIER, 2012). 각 골프장 농약 사용 면적비율 결과의 최대값을 10으로 나눈 값으로 10개의 급간(class interval)을 설정하고 여기에 1-10점의 취약점수를 부여한 결과를 Table 9에 나타내었다. P군의 골프장 농약 사용 면적비율이 54.31%로 1순위로 나타났으며, K구(35.86%)가 2순위로 나타났다. 부산시 골프장의 경우 기타 광역시에 비해 시내에 위치하는 골프장 수도 많아 농약 사용량이 높게 나타나며, 면적당 농약 사용량 뿐 아니라 골프장 주변 토양과 지하수에 대한 오염 조사도 수행되어 골프장 운영에 따른 주변 오염 가능성을 사전에 예방하는 대책이 필요하다.

3.2.10. 해수욕장(평가항목 10)

국내 대규모 해수욕장은 지자체별 보건환경연구원의 토양오염도 조사를 통해 매년 토양오염을 확인하고 있으나 매년 하절기 해수욕객이 방문할 때만 토양오염도 검사를 조사하고 있어서, 조사 이외의 기간에 해수욕장 모래를 이용하는 부산 시민들의 토양오염 노출 가능성이 있다. 해수욕장에서 토양오염은 인체에 직접적으로 노출되어 그 위해성이 높으므로 이를 감안하여 각 해수욕장 백사장의 단위면적당 이용객 수의 최대값을 10으로 나눈 값으로 취약점수를 부여하였으며 그 결과를 Table 9에 나타내었다. I구가 단위면적당 이용객 수 139.4명으로 1순위로 나타났으며, B구와 N구가 각각 121.6명과 112.5명으로 2, 3순위로 나타났다.

3.3. 부산시 16개 구·군 토양오염 취약지역 우선관리대상지역 선정

토양오염 개연성이 높은 10개 평가항목에 대하여 각 항목별 16개 구·군의 최대값과 0값 사이를 10개의 급간(class interval)으로 나누어, 각 급간별로 취약점수를 1-10점으로 선형적으로 부여한 후, 구·군별 10개 항목 점수

를 합한 최종 평가값(FS: Final Score)으로 부산시 16개 구·군에 대하여 토양오염 취약지역 순위를 결정하고, 향후 각 구·군에서 가장 중점적으로 우선 관리해야 할 취약지역을 선정하였다. 구·군별 각 평가항목의 취약점수, 최종 평가값, 취약지역순위를 정리하여 Table 10에 나타내었다. 본 결과로부터 부산시 16개 구·군의 토양오염 취약시설과 지역 현황을 파악할 수 있으며, 구·군별 향후 토양오염 우선관리대상시설 및 지역 선정과 지자체별 토양관련 정책 수립 및 사업을 추진하기 위한 정량적인 자료로 활용할 수 있다.

부산시 16개 구·군의 FS값을 비교한 결과 L구가 55점으로 가장 높은 취약점수를 나타냈으며, 평가항목 중 최대 취약점수(10점)를 부여받은 항목은 공항·철도·항만 및 관련시설, 시내버스 차고지·여객터미널·화물터미널, 공업지역이었다. P군은 49점으로 2순위였으며, 최대 취약점수를 받은 항목은 폐기물관리시설, 폐광산, 골프장이었다. O구는 40점으로 3순위이며, 정비소·세차장, 폐수배출시설 항목에서 최대 취약점수를 받았다. J구는 39점으로 4순위이며, 최대 취약점수를 받은 항목은 폐수배출시설과 폐기물관리시설이었다. I구는 34점으로 5순위이며, 군부대와 해수욕장 항목에서 최대 점수를 받았다. FS 값이 가장 낮은 구는 A구로 6점을 부여받아 부산시에서 가장 토양오염 취약지역이 적은 것으로 나타났다. 구·군별 FS값 결과로부터 최대 점수를 받은 시설을 조사한 결과, L구의 경우 공항관련 시설, 화물터미널, 공업지역에 대하여 토양오염 우선 관리가 필요하고, P군은 폐기물관리시설, 폐광산, 골프장에 대한 우선 관리 대책이 필요하였다. O구와 J구는 정비소·세차장, 폐수배출시설, 폐기물관리시설 등에 대한 우선 관리 대책이 필요한 것으로 나타났으며, I구는 군부대와 해수욕장에 대한 토양관리가 우선 순위에 해당되었다. 그 밖의 구·군에 대하여 우선 관리가 필요한 취약시설 및 지역을 요약하여 Table 10에 나타내었다.

Table 10. Result of the final score to decide the priority management ranking for 16 Gu/Guns (A-P) in Busan

Evaluation Factor	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Airport, railroad, and harbor related facility area	2	1	3	1	2	1	6	1	1	2	1	10	1	1	1	1
vehicle repair shop and car wash facility	1	2	2	2	5	5	5	4	6	7	6	3	5	4	10	4
Bus garage and terminal area	-	-	-	3	2	1	2	2	2	2	8	10	1	1	5	5
Industrial area	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	10	1	1	4	3
Waste water treatment facility	1	2	1	2	4	2	2	2	2	10	3	6	1	1	10	4
Waste storage/treatment facility	1	1	1	2	1	8	2	2	2	10	2	7	2	5	9	10
Military base	-	-	-	2	2	-	7	2	10	-	-	6	-	-	-	-
Abandoned mine	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	1	10
Golf course	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	2	-	-	-	10
Beach	-	9	-	-	-	-	-	-	10	2	-	-	-	9	-	2
Final score (FS)	6	16	8	13	17	18	26	14	34	39	29	55	11	23	40	49
Final ranking	16	13	15	11	9	9	7	14	5	4	6	1	11	8	3	2

* The symbol of "-" represents that the facility does not exist in Gu/Gun.

4. 결 론

1. 국내 지자체별 토양오염 가능성이 높은 대표 오염취약지역을 평가항목으로 선정한 후, 각 항목을 선형적으로 등급화하여 취약점수를 부여하는 방법을 국내 최초로 지자체(부산시) 토양 우선관리대상지역 선정에 활용하였다. 본 자료를 통하여 토양오염 취약지역에 대한 정량적인 평가를 통해 지자체별 오염원에 대한 사전예방과 관리가 가능하도록 하였으며, 지자체의 예산과 인력의 우선 지원, 향후 복원 우선순위 선정 등을 위한 객관적 자료로 활용할 수 있도록 하였다.

2. 부산시의 경우 L구, P군, O구, J구 순으로 토양오염 개연성이 높게 나타났으며, 토양오염 취약점수가 높은 폐기물관련시설, 폐광산, 교통관련시설(공항, 대중교통 차고지), 공업지역 등은 부지 이전 또는 오염발생 등에 대비한 부지이력관리 및 토양오염실태조사 등이 필요하며 이와 관련된 부산시의 체계적인 토양 DB의 통합 구축 및 지속적인 토양관리 계획이 필요한 것으로 나타났다.

3. 본 연구 결과에 의한 부산시 토양오염 취약지역 우선관리대상지역 선정은, 환경부 토양환경보전기본계획(2010~2019)에서 국내 토양오염부지에 추진하려는 국가우선관리제도(National priority management ranking system)의 수행을 위해 지자체에서 이에 필요한 정량적인 자료를 제시하고, 각 구·군 토양관련 부서에 해당 자료를 제공

함으로써 구·군별 자체 토양관리 대책 수립에 활용할 수 있도록 하였다는데 큰 의미가 있다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의연구비(2015년)에 의하여 연구되었음. 본 논문을 세심하게 심사하여주신 심사자 분들께 감사드립니다.

References

BIHE (Busan Institute of Health and Environment), 2013, Investigation of soil pollution around Busan area in 2013, Annual Report, Department of Soil and Hazardous waste, Busan Metropolitan City.

BMC (Busan Metropolitan City), 2014, The master plan for soil conservation in Busan metropolitan city (2015~2024), Final Report, Korea.

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 2008, National classification system for contaminated Sites (Guidance document), ISBN 978-1-896997-80-3, Final Report, Canada.

KEI (Korea Environment Institute), 2003, Program of the maintenance and the remediation for soil contaminated sites, Final Report, Ministry of Environment, Korea.

KEI (Korea Environment Institute), 2005, How to prepare the

cleanup costs for soil contaminated sites in Korea?, Final Report, Ministry of Environment, Korea.

Lee, M., 2010, Study on the Evaluation Standards for the Ranking of the Precise Investigation to Asbestos-Contaminated Abandoned Mines, Korea, *Econ. Environ. Geol.*, **43**(4), 393-400.

MOE (Ministry of Environment), 2006a, Evaluation of the remediation ranking system in the report "Soil pollution state for abandoned heavy metal mines"; Final Report, Korea.

MOE (Ministry of Environment), 2006b, Guidance for soil risk assessment, MOE regulation 283, Final Report, Korea.

MOE (Ministry of Environment), 2007, General soil investigation for abandoned heavy metal mines in Korea, Annual Report. Ministry of Environment, Korea.

MOE (Ministry of Environment), 2009, The master plan for soil conservation in Korea, Final Report. Ministry of Environment, Korea.

MOE (Ministry of Environment), 2012, Assessment of soil and groundwater pollution for industrial complex in Korea, Annual Report. Ministry of Environment, Korea.

NIER (National Institute of Environmental Research), 2012, A fact-finding survey of pesticide usage for domestic golf course in 2012, In: SGIS (Soil and Groundwater Information System),

Annual Report, Ministry of Environment, Korea.

SMAC (Sejong Metropolitan Autonomous City), 2014, The master plan for soil conservation in Sejong Metropolitan Autonomous City (2014~2023), Final Report, Korea.

SMG (Seoul Metropolitan Government), 2011, The master plan for soil conservation in Seoul metropolitan city (2011~2020), Final Report. Korea.

USEPA, 1991 Guidance for performing preliminary assessments under CERCLA, EPA/540/G-91/013, Final Report, USA.

USEPA, 1992a, Hazard ranking system guidance manual, EPA/540-R-92-026, Final Report, USA.

USEPA, 1992b, Guidance for performing site inspections under CERCLA, EPA/540-R-92-021, Final Report, USA.

van den Berg, R., 1993, Human exposure to contaminated soil: a model (CSOIL) used for the assessment of human-toxicological intervention values for soil clean-up, In: F. Arendt, G.J. Annok-kee, R. Bosman, W.J. van den Brink (eds.): *Contaminated Soil*, Dordrecht, Boston, London, p. 481-482.

van Sandick, O.Z. and Keuzenkamp, K.W., 1994, Policy and legal framework regarding contaminated sites in the Netherlands, In: *Vortrag vor dem International Workshop "Contaminated sites in the European Union: Policies and strategies"*, Bonn, p. 8-9.