KETRI / 1995 / RE-14
기본과제 연구보고서

토양환경보전을 위한 오염방지기준 및 관리대책

1995. 12.

박 용 하

Korea
Environmental
Technology
Research
Institute

한국환경기술개발원

토양환경보전을 위한 오염방지기준 및 관리대책

-text만 있습니다.

I. 서 문

1. 연구의 배경

인위적인 토양오염은 인류가 금속을 사용하면서 시작되었다. 인류가 금속을 이용하면서 광업, 제련, 연금 등의 금속문명이 발달하고 이로부터 배출되는 중금속물질이 토양에 축적되었을 것이다. 우리나라의 경우 삼한시대와 삼국시대의 문화를 대표하는 금관과 범종, 당시 중국이나 일본에 금을 보내고 이에 따른 治金術을 일본에 전한 기록을 토대로 할 때 이미 삼국시대에 금속광업이 번성하였으며, 이로 인한 토양오염의 역사는 삼한시대 이전부터 시작되었을 것이다. 유럽의 경우 로마시대에 발달된 구리 및 납 주물 등을 토대로 할 때, 제련시설과 연금시설, 금속광산 주위의 토양오염이 발생하였음을 추정할 수 있다. 그러나 토양에 유입되는 오염물질은 넓은 지역으로 분산되고 토양의 지속적인 정화작용에 의하여 수십년 또는 수백년이 경과하면 토양오염을 나타내는 대부분의 흔적이 사라지게 된다. 이에 따라, 현시대에 나타나고 있는 토양오염의 흔적은 근대 이후 대규모 산업활동 및 광산활동이 활발하였던 지역을 중심으로 분포되어 있다.

사회적으로 심각한 토양오염의 발생은 유럽국가의 경우 대규모 산업활동 및 광산활동이 일어난 산업혁명 이후로 추정하고 있으나 토양오염에 의하여 자연생태계의 파괴현상이 사회적으로 인식된 시기는 1960년대 이후라 할 수 있다. 영국의 경우, 남부웨일즈 지방의 제련소에서 방출되는 매연 및 분진이 스완씨(Swansea)계곡의 토양을 고농도의 중금속으로 오염시킨 사건과 1966년에 발생한 아버판(Aberfan) 광미댐에서의 중금속 유출에 의한 인근지역의 하천 및 토양오염이 계기가 되었다. 이로 인하여 오염된 토양의 처리 및 토양오염방지에 관한 영국정부의 재정지원이 2배 이상 증가되었다. 미국의 경우 1970년대 뉴욕주에 위치하고 있는 Love canal의 매립장 인근지역에서 중금속 및 유해화학물질 등의 유출에 의한 토양 및 하천오염이 계기가 되었다. 이 사건은 이후 자원보전 및 개발법(Resource Conservation and Recovery Act of 1976)과 환경반응·보상·책임에 관한 종합법(Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act of 1980: CERCLA)의 중요한 계기가 되었으며 미국정부는 슈퍼펀드(Superfund)의 기금중

1억4천만달러를 소요하여 동 지역의 오염토양 및 하천을 정비하였다. 일본의 경우 1960년대 말 富山懸의 아시오 금속광산에서 유출되는 중금속(특히, 카드뮴)에 의하여 하천(神通川) 및 농경지가 오염되었으며, 이로 인하여 '이따이 이따이(아프다 아프다)병'이 발생하였다. 이후 일본은 1970년에 '토양오염방지법(土壤汚染防止法)'을 제정하였다.

우리나라에서는 토양의 오염문제가 1970년대 이후 간헐적인 사회적인 환경문제로 제시된 바 있다. 1910년대 이후 日帝에 의하여 10,000개 이상의 금속광구(1941년에 10,318개의 金광구)가 개발되었고 1970년대 이후 농업 및 산업개발에 따라, 중금속 및 유해화학물질을 포함하고 있는 폐기물, 폐수, 분진 등의 토양오염물질 배출량이 증가되고 있다. 또한 농약·화학비료 등의 장기간 사용 및 사용량의 증가에 따라 '토양의 오염물질 정화능력한계' 이상으로 토양에 오염물질이 누적되어 토양오염이 점차로 증가되는 추세에 있다. 이에 따라, 향후 증가추세에 있는 토양오염을 감소시킬 수 있는 종합적이고 효율적인 토양보전정책이 요구되고 있는 실정이다.

우리나라의 토양환경보전에 관련된 법은 자연환경보전법, 수질환경보전법, 환경정책기본법, 광업법, 광산보안법, 석탄산업법, 폐기물관리법, 농촌근대화촉진법, 산림법, 농약관리법 등이 있으며 동법들을 통하여 토양환경보전을 위한 법적 규제를 강구하여 왔다. 그러나 제시된 제반 법규정에 의한 토양측정망의 운영체계, 토양오염물질의 종류 및 이로부터 발생하는 토양오염의 판단기준, 토양오염원(토양오염유발시설 및 배출지역)의 종류, 토양오염원으로부터 토양에 배출되는 토양오염물질의 방지시설 설치기준, 지리적·입지적 특성을 토대로 한 오염토양의 선정기준, 처리기준 및 처리대책방안 등이 미흡하고, 토양보전을 위한 업무가 정부부처간에 분산되어 있어 토양환경보전을 위한 정책이 종합적이고 효율적으로 추진하기에 미흡하다고 평가되었다. 독립적인 토양환경보전정책의 필요성에 대한 정부 관련 부처의 인식에 따라 기존의 법에 부분적으로 구성되어 있는 토양보전에 관련된 규정을 분리하고 보완하여 1995년 1월에「토양환경보전법」이 제정되었다.

제정된 토양환경보전법은 우리나라 국토의 토양환경을 보전하기 위한 국가의 목표 및 정책방향을 개략적으로 제시하고 있으나 이를 수행할 수 있는 다음과 같은 정책방안이 미흡하다. 첫째, 전국의 토양을 대상으로 토양의 오염도를 상시 측정할 수 있는 토양측정망의 확장·개선(토양오염도 상시측정체계) 방안이다. 둘째, 토

양오염물질의 종류 및 이로 인한 토양오염을 판단할 수 있는 기준의 설정방안이다. 셋째, 토양오염물질을 배출하는 토양오염원(토양오염유발시설 및 배출지역)의 종류 및 범위의 설정방안이다. 넷째, 토양오염원으로부터 토양에 배출되는 토양오염물질의 방지시설 설치기준이 마련이다. 다섯째, 지리적·입지적 특성을 토대로 한 토양오염대책지역의 선정 및 지정기준과 관리방안이다. 여섯째, 오염토양 및 오염지역의 처리기준 및 처리대책 등에 관한 시행대책 방안이다. 국토의 토양환경을 보전하기 위한 토양환경보전법의 합리적이고 효율적인 집행을 도모하기 위하여 제시된 관리대책방안의 제시가 필요하다.

2. 연구의 목적 및 범위

본 연구의 목적은 우리나라의 토양환경을 보전하기 위한 정책방향을 설정하고 설정한 정책방향을 효율적으로 실행할 수 있는 구체적인 정책방안을 제안함으로써 토양환경보전법을 정부가 추진할 수 있는 기틀을 마련하는 데 있다. 토양환경을 보전하기 위한 정책방향은 국내·외의 연구자료 및 정책방향을 토대로 우리나라의 토양환경을 종합적으로 보전할 수 있는 정책방향을 설정할 수 있도록 하였다. 특히, 토양오염을 사전에 방지하고, 오염토양을 처리할 수 있는 사후토양오염관리에 중점을 두었다. 토양유실 및 토양침식에 관한 토양환경보전방향은 본 연구의 범위에 포함시키지 않았다.

토양환경을 보전하기 위한 정책방안은 설정한 정책방향이 합리적이고 현실적인 제안이 될 수 있도록 하는 데 있다. 이를 위하여, 정책방향으로 제시된 항목을 개별적으로 국내·외의 연구자료 및 추진하고 있는 정책을 분석하고, 이를 근거로 우리나라에서 추진하고 있는 항목별 정책추진방법의 문제점을 제시하며, 합리적이고 현실적인 관리대책방안의 제안에 중점을 두었다.

II. 국내·외 토양오염관리에 관한 고찰

1. 토양오염관리의 필요성

토양은 물, 대기와 더불어 인간의 생명을 지속하기 위한 농·축산물의 터전이며 생활에 필요한 임목 등의 의, 식, 주의 기반이다. 토양에는 무기물질과 유기물질이 혼합되어 있고 동물, 식물, 미생물 등의 생명체가 무생물체에 다양하게 서식지를 두고 있어 토양생태계를 이룬다. 자연적인 토양생태계는 무생물과 생물의 안정된 평형상태로 유지되고 오염물질의 정화, 홍수의 방지, 토양의 침식방지 등, 인간의 주변환경을 쾌적하게 보전시키어 준다.

토양의 완충능력의 한계 이상으로 오염물질이 부하될 때, 오염물질은 농·축산물, 인간에게 직접적 또는 간접적으로 피해를 야기시킨다. 토양에 負荷되는 오염물질은 토양미생물에 의하여 분해, 소멸되거나 식물체내에 흡수, 강우 등에 의한 용탈 등으로 일정 시간 후에 토양중에서 없어진다. 이러한 토양의 능력을 토양의 緩衝能力(완충능력: buffering capacity)이라 한다. 특히, 중금속 등의 난분해성 오염물질에 의한 토양오염은 금속광산, 자동차 배기가스를 포함하는 화석연료의 소각, 비료와 살충제 및 각종 산업폐수와 폐기물에서 배출되며 이로부터 관개수, 지하수 및 토양을 통하여 오염된다 (Adriano, 1986). 토양오염이 진행됨에 따라 토양중에 있는 미생물의 활성이 저하되고 토양이 갖는 다양한 기능을 저하시키고 있다. 이와 같이 오염된 토양은 생육하는 식물뿐만 아니라 생물농축현상(Bioaccunulation)에 의하여 가축과 인간에 까지 영향을 미치게 된다.

중금속과 같은 難分解性 물질은 微量으로 자연상태에 존재하고 一部 重金屬은 생체내 미량으로 必要하지만 限界量이 초과될 경우 토양에 잔류, 축적되고 토양생태계를 파괴한다. 토양생태계에 축적된 중금속은 동·식물의 성장에 영향을 주며, 동·식물 및 인체에 蓄積됨으로써 심각한 건강장해를 일으킨다 (Brooks, 1983; Bowie & Thornton, 1985; Goyer & Mehlman, 1977). 중금속에 의하여 오염된 지역의 공통적인 생태계의 특징으로 전체적인 전체집단크기(biomass)의 감소, 生物種 構成의 변화, 生物種 多樣性 감소와 더불어 질소와 인산의 有效性 저하가 유발된다. 특히, 중금속이 다량으로 존재하는 농경지에서의 작물재배는 인간의 건강을 해칠 수 있는 상대적으로 높은 중금속을 함유하는 농작물을 생산한다. 이들 중금

속은 농작물의 생장을 저해시키는 직접적인 원인이 되기도 하지만, 이를 규칙적으로 섭취한 인간의 경우 상대적으로 높은 중금속을 혈액에 함유하게 된다 (Davis et al., 1990). 이로 인하여 질병을 야기시키거나 심한 경우 생명을 잃을 수 있다.

기계문명의 발달은 오염물질을 대량으로 발생하게 하였으며, 토양생태계를 포함한 자연생태계를 급속히 파괴시켜 자연환경을 오염시키고, 결과적으로 인간의 건강을 위협하고 있다. 인구증가와 그 활동에 따른 광공업의 발달, 도시의 확대, 집약적 농업, 소비생활의 향상 등으로 오염물질이 증가되어 토양에 축적되거나 토양을 매체로 灌漑水(관개수), 지하수, 하천, 해양으로 이동함으로써 국부적인 토양오염은 광역적으로 확산되고 있다.

우리나라의 경우 1970년대부터의 이루어진 경제성장과는 대조적으로 토양오염에 대한 인체 및 자연의 안전성에 대한 배려가 미흡하였다. 산업·도시폐기물의 회수·처리에 대한 과학적·사회적인 미흡한 배려는 산업활동에 의한 오염물질이 직접 토양에 투기되기도 하고, 광산 및 공장폐수 등은 하천을 오염시키고 그 결과 토양오염이 점진적으로 증가하고 있다. 휴·폐광산, 제련소, 폐기물매립지, 산업시설 등에서 배출되는 오염물질은 토양에 제속적으로 누적되어 1987년 전국토의 1.5%정도로 측정되었던 토양오염이 우려되는 지역은 매년 증가하여 2000년에 4.8%, 2010년에 6.6%로 증가될 전망이다. 이에 따라, 이러한 토양오염의 증가추세를 감소시킬 수 있는 토양오염을 관리할 수 있는 토양환경보전대책이 절실히 필요하게 되고 있다.

2. 국외 토양오염 관리현황

2.1. 네덜란드

네덜란드는 비교적 협소한 국토면적 및 높은 인구밀도에 의하여 토양보전에 대한 국민의 의식이 높으며 다른 국가들에 비교할 때 토양오염에 대한 국가의 체계적인 정책이 가장 일찍 시작된 국가이다. 토양오염에 대한 네덜란드 정부의 관심은 1960년대 말에 발생한 'Lekkerkert incident'에 의하여 시작되었으며, 1980년대 초반부터 국가의 토양보전정책이 체계적으로 시작되었다. 즉, 세계적으로 토양보전정책에 관한 가장 선진국인 네덜란드의 경우도 약 15년정도의 토양보전에 관한 역사가 있을 뿐이다.

네덜란드의 토양오염관리는 토양의 농업생산기능, 지하수회복기능, 생태계 보호기능, 광물채굴기능, 건설기반기능 등을 고려하여 토양오염을 사전에 방지할 수 있도록 하기 위하여 1975년에 유해폐기물 규제법, 1983년에 네덜란드 오염토양정화법(The Netherlands Interim Soil Clean-up Act, 1983), 토양보호법(The Soil Protection Act, 1986)을 근거로, 토양오염방지정책은 토양을 농경지와 비농경지로 구분하여 독립적인 토양오염 판단기준을 설정함으로써 토양오염을 관리하고 있다.

2.1.1. 농경지 관리

농경지의 토양관리는 토양 및 지하수중 중금속과 농약성분의 목표치를 설정하고 비료, 농약 및 산업, 소각장, 폐기물매립지, 화력발전소 등에 의한 토양오염방지를 위해 토양 및 지하수의 목표치를 초과하지 않도록 관리하고 있다 <표 II-1, II-2>.

<표 II-1> 네덜란드 토양 및 지하수중의 중금속 목표치

중금속	Sand low[1] Humus content (mg/kg)	Sand high[2] Humus content (mg/kg)	Clay[3] and Loss (mg/kg)	Peat[4] (mg/kg)	지하수 (μg/l)
As	16	18	32	39	10
Cd	0.44	0.53	0.75	1.5	1.5
Cu	16	19	40	50	50
Hg	0.2	0.2	0.33	0.32	0.05
Pb	52	57	92	109	15
Zn	54	61	169	152	150

[1]%-lutum: 0.5, % 유기물: 1.5(e.g. 농경지)
[2]%-lutum: 0.5, % 유기물: 6.0(e.g. 초지 또는 개량 peat 토양)
[3]%-lutum: 37.5, % 유기물: 4.0
[4]%-lutum: 9.0, % 유기물: 50.0

2.1.2. 비농경지 관리

네덜란드 정부는 오염토양 및 토양오염이 우려되는 지역의 효율적인 관리를 위하여 토양오염상태를 종합적으로 평가할 수 있는 체계를 발전시켰다. 1983년에 발간된 토양환경보전지침인 이른바 네덜란드 토양의 A-B-C기준을 나타내고 있는 Dutch list가 종합적 토양보전정책의 효시라 할 수 있다. A기준은 오염되지 않은 토양중 오염물질의 농도 값을 나타내고, B기준은 A기준보다 높은 오염물질이 축적되어 있으며 토양오염이 우려되는 지역의 오염물질의 농도로써 향후 토양의 정

<표 II-2> 네덜란드의 토양[1] 및 지하수중의 농약성분 목표치

농약명	토양(μg/kg dry soil)	지하수(ng/l)
pentachlorophenol	2	20
dieldrin	0.5	0.02
azinfos-methyl	0.06	0.7
parathion-ethyl	0.04	0.05
diazinon	0.07	0.9
malathion	0.02	0.04
TBTO	0.1	0.1
atrazine	0.05	7.5
hexachlorobenzene	2.5	d[3]
aldrin	2.5	d
endrin	1	d
DDT & DDE	2.5	d
a-endosulfan	2.5	d
α-HCl	2.5	d
β-HCl	1	d
g-HCl	0.05	0.2
chlorodane	10	d
heptachlor	2.5	d
heptachloroepoxide	2.5	d
disulfoton	10	d
fenitrothion	10	d
parathion[2]	10	d
triazofos	10	d
triphluralin	10	d

[1]Standard soil(10% organic matter: 25% clay)

[2]prathion-methyl포함

[3]Detection limit

밀검사가 필요한 지역의 기준이다. C기준은 토양이 오염되어 토양중 오염물질의 농도를 감소시켜야 하는 지역의 농도기준이다. 1983년에 작성된 Dutch list는 1987년에 변경이 되면서 A기준은 ‘reference value’, B기준은 ’soil target value’, C기준은 ’current C-value’로 변경되면서 건전한 토양의 상태 판정은 토양의 특성, 이에 따른 환경독성기준에 의한 토양중 오염물질의 양에 따라 정할 수 있게 되었다 (Buckmann, W. et al, 1994). 현재 네덜란드의 토양중 오염기준은 네덜란드 1987년 이후 마련된 Dutch list에 제시되어 있는 기준에 의하여 설정되어 있다. Dutch list에 제시되어 있는 토양오염기준은 토양의 오염물질을 중금속, 무기화합물질, 방향

족화합물, 다고리 방향족 탄화수소계, 염소계 탄화수소, 농약, 기타 등의 6그룹으로 구분하고 각 오염물질의 토양중 농도를 설정하고 있다 <표 II-3>.

<표 II-3> 네덜란드의 Dutch list(1994년 기준)

Substances	Intervention values	Soil Target values	Current C-values
I. Metal			
chromium	380	100	800
cobalt	240	20	300
nickel	210	35	500
copper	190	36	500
zinc	720	140	3000
arsenic	55	29	50
molybdenum	200	10	200
cadmium	12	0.8	20
barium	625	200	2000
mercury	10	0.3	10
lead	530	85	600
II. Inorganic compounds			
cyanides (free)	20	1	100
cyanides (complex. pH<5)	650	5	-
cyanides (complex. pH≥5)	50	5	500
thiocyanates	20	-	-
III. Aromatic compounds			
benzene	1	0.05	5
ethylbenzene	50	0.05	50
phenol	40	0.05	10
cresol	5	-	-
toluene	130	0.05	30
xylene	25	0.05	50
catechol	20	-	-
resorcinol	10	-	-
hydrochinon	10	-	-

<계속>

IV. Polycyclic aromatic hydrocarbons			
PAH (sum of 10)	40	1	-
naphtalene	-	0.015	50
anthracene	-	0.05	100
phenantrene	-	0.045	100
fluoranthene	-	0.015	50
benzo(a)anthracene	-	0.02	50
chrysence	-	0.02	50
benzo(a)pyrene	-	0.02	10
benzo(ghi)perylene	-	0.02	1000
benzo(k)fluoranthene	-	0.025	50
indeno(1,2,3cd)pyrene	-	0.025	50
V. Chlorinated hydrocarbons			
1,2-dichloroethane	4	-	50
dichloromethane	20	-	50
tetrachloromethane	1	0.001	50
tetrachloromethane	4	0.01	50
trichloromethane	10	0.001	50
trichloroethene	60	0.001	50
vinylchioride	0.1	-	-
Chlorobenzenes (sum)	30	-	20
monochlorobenzene	-	(d)	10
dichlorobenzene	-	0.01	10
trichlorobenzene	-	0.01	10
tetrachlorobenzene	-	0.01	10
pentachlorobenzene	-	1.025	5
hexachlorenzene	-	1.025	5
Chlorophenols (sum)	10	-	5
Monochlorophenol	-	1.0025	5
dichlorophenol	-	0.003	5
trichlorophenol	-	0.001	-
tetrachlorophenol	-	0.001	10
pentachlorophenol	5	0.002	10
chloronaphtalene	10	-	10

<계속>

sum of 7 PCB's	1	0.02	10
PCB 28	-	0.001	-
PCB 52	-	0.001	-
PCB 101	-	0.004	-
PCB 118	-	0.004	-
PCB 138	-	0.004	-
PCB 153	-	0.004	-
PCB 180	-	0.004	-
Ⅶ. Other compounds			
cyclohexane	270	-	60
phtalates (sum)	60	0.1	-
mineral oil	5000	50	-
pyridine	1	0.1	20
styrene	100	0.1	50
tetrahydrofuran	0.4	-	40
tetrahyrothiofene	90	-	50

1-2″) chlorinated: 1㎍/l

5-10″) Chlorinated: mg/kg non-chlorinated = 10mg/kg

(d): detection limit

2.2. 독일

독일정부의 토양오염방지정책은 1980년대 통일이전 베를린에 위치하고 있는 군사주둔지역에서 발생된 토양 및 지하수의 오염에 의하여 국가의 토양보전인식이 제고된 후이다. 이후 독일정부는 일반적인 위험평가에 따라 사람, 환경 또는 기타 공공의 안전에 위해성이 증명된 고폐기물매립지, 미처리오염지역, 고산업입지, 군부대이전지역 등을 알트라스텐(Altrasten)의 대상으로 규정하고, 이들 지역을 복원하며 토양오염을 사전에 방지하기 위하여「독일연방토양보전법」의 제정을 추진하고 있다(이영희, 1991; 이영희 1992). 현재 추진되고 있는 독일연방토양보전법은 유해물질에 의한 토양오염을 사전에 방지하고 농업 및 도시개발에 따른 토양오염의 피해를 방지하기 위한 연방정부의 법이라 할 수 있으나 1995년 10월 현재까지 입법화되지 않고 있다.

독일연방정부의 토양보전법(안)에 의한 토양환경의 관리방법은 토양중 유해오염

물질의 기준농도를 어린이놀이터지역(P-M1), 주택지(P-M2), 산업지(P-M3)로 구분되어 토양중 31개 오염물질의 농도가 독립적으로 설정하고 이들 기준이하로 토양중 오염물질의 농도를 유지할 수 있도록 함으로써 토양오염을 관리할 수 있는 방법이다. 어린이 놀이터지역의 토양중 오염물질의 기준농도는 오염물질의 낙하 또는 토양중 누적량에 전체함량으로 나타낸다. 이 기준농도는 인간의 독성학적인 측면에서 오염물질에 가장 감수성이 예민한 幼兒를 대상으로 어린이 놀이터지역에서 방치하였을 때 유아의 건강에 위해하지 않는 실험에 의하여 판정된 농도이다. 이 수치의 설정은 체중 15kg, 1일 1cbm 호흡량, 그리고 1일 평균 0.5g의 흙을 유아가 섭취(손에서 입으로)함을 기준으로 한 것이다. 따라서, 이 수치는 한계수치 또는 위생수치는 아니다. 주택지 토양중 유해물질의 기준농도도 어린이 놀이터지역의 기준농도의 대상인 유아를 대상으로 매일 1g의 토양을 섭취함을 기준으로 설정한 수치이다. 산업지역의 토양중 유해물질의 토양중 기준농도는 공기 중에 부유하는 먼지의 흡입에 의하여 성인(체중 60kg 기준)이 신체의 모든 노출부분(입, 귀, 피부 등)을 통하여 1일 0.1g의 토양을 섭취한다는 기준으로 설정한 수치이다(임수길 등, 1994) <표 II-4>.

독일은 연방정부의 토양보전법(안)에서 제시하고 있는 토양중 오염물질의 기준농도이외에 베를린 지역의 토양을 보전하기 위하여 독립적으로 적용하고 있는 토양의 오염기준이 있다. 베를린 지역의 토양오염기준은 토양을 어린이놀이터지역, 주거지역, 공원 및 여가선용지역, 정원 및 농업경작지, 공장 및 산업지역의 5지역으로 구분하여 각 토지의 이용용도별로 중금속 9종류, 탄화수소계 1종류, 염화탄화수소계 12종류, 페놀류 8종류, 방향족 질소화합물 4종류, 기타 3종류 등 총 37종류의 오염물질에 대한 토양중 함량(농도기준)으로 설정되어 있다 <표 II-5>.

2.3. 영국

영국의 토양오염관리는 1980년대 초부터 ICRl(Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land)에서 제시하고 있는 토양오염기준에 의하여 체계적으로 진행하고 있다. 영국의 토양오염기준은 중앙정부에서 제시하고 있는 중앙의 토양오염기준이 있으며 각 지방자치단체별로 지방의 특징에 따라 일부 다른 기준이 적용되고 있다(Hobson, 1994).

<표 II-4> 독일 바뎀-불뎀벨그주의 토양면적당 기준설정을 위한 토양 오염물질의 농도기준

유해물질	H-B[8)] 〔mg/kg〕	P-P 〔mg/kg〕		P-M 〔mg/kg〕
Al	-[6]	-[6]	P-M1: P-M2: P-M3:	-[6. 10] -[6. 10] -[6. 10]
As	6-17[1]	20(pH≥5,T1[1]) 40(pH≥5;T2-T6[1])	P-M1: P-M2: P-M3:	20[11] 30 130
Cd	0.2 -0.1[1]	1(T1[1]) 1(5≤pH<6) 1.5(pH≥6:T2-T6[1])	P-M1: P-M2: P-M3:	3 15 60
Cr	20-90[1]	100(pH≥5)	P-M1: P-M2: P-M3:	100 500 -[4]
Cr(6+)	1	-[7]	P-M1: P-M2: P-M3:	-[4] -[4] -[4]
Cu	10-60[1]	60(pH≥5)	P-M1: P-M2: P-M3:	-[3. 10] -[3. 10] -[3. 10]
Hg	0.05-0.2[1]	1(pH≥5)	P-M1: P-M2: P-M3:	2 10 40
Ni	15-100[1]	50(pH≥5)	P-M1: P-M2: P-M3:	100[11] 100[11] 300
Pb	25-55[1]	100(pH≥5)	P-M1: P-M2: P-M3:	100 500 4000
Se	1	-[7]	P-M1: P-M2: P-M3:	-[7] -[7] -[7]
Sn	4-20[1]	50	P-M1: P-M2: P-M3:	-[3. 10] -[3. 10] -[3. 10]
Tl	0.2-0.7[1]	0.5(pH≥5;Tl1)) 1.0(pH≥5;T2-T61)	P-M1: P-M2: P-M3:	1[11] 4 15

<계속>

Zn	35-150[1]	150(T1[1]) 150(5≤pH<6:T1-T6[1]) 200(pH≥6;T2-T6[1])	P-M1: P-M2: P-M3:	-[3. 10] -[3. 10] -[3. 10]
CN^-	ND	-[7]	P-M1: P-M2: P-M3:	50[16] 150[16] 150[16]
F^-	150	250	P-M1: P-M2: P-M3:	750 3750 15000
NH_4	-[6]	-[6]	P-M1: P-M2: P-M3:	-[6]
Benzene[9]	0.01	-[7]	P-M1: P-M2: P-M3:	0.01[13] 0.01[13] 0.01[13]
Toluene[9]	0.01	-[7]	P-M1: P-M2: P-M3:	9 9 9
ΣAKW[9] Benzene, Toluene, Xylene, Ethlybenzene	0.01	-[7]	P-M1: P-M2: P-M3:	60 [15] 60 [15] 60 [15]
CKW[9] CC14, 1-2 Dichlor- ethane, VC (합계)	0.001～ ND	-[7]	P-M1: P-M2: P-M3:	0.001[14] 0.001[14] 0.001[14]
CKW 휘발성[5,9]	0.005～ ND	-[7)]	P-M1 : P-M2 : P-M3 :	0.02 [17] 0.02 [17] 0.02 [17]
CKW(합계)[9] 염화탄화수소	0.001	-[7)]	P-M1 : P-M2 : P-M3 :	0.2 0.2 0.2
HCH (합계) (Hexachlorcyclo- hexane)	0.004	0.1	P-M1 :15 P-M2 :-3) P-M3 :-3)	(β-HCH: 2) (β-HCH:-3) (β-HCH:-3)
KW (H18) 탄화수소 Mineral oil	50/100[12]	400	P-M1 : P-M2 : P-M3 :	

<계속>

Naphthanlene	0.05	- [7]	P-M1 : P-M2 : P-M3 :	
PAK 나프탈렌이 없는 EPA-PAK	1.0	10	P-M1 : P-M2 : P-M3 :	5 (Bap : 0.5) 25 (Bap : 2.5) 100 (Bap : 10)
PCB (LAGA) Polychlorobiphenyl (총계 oder LAGA =DIN X 5)	0.05	1.5	P-M1 : P-M2 : P-M3 :	3 -3 -3
PCDD/F Dioxin, 10-6 ITE	2	5	P-M1 : P-M2 : P-M3 :	다이옥신 규제항참조 다이옥신 규제항참조 다이옥신 규제항참조
PCP Pentachlorophenol	0.004	0.2	P-M1 : P-M2 : P-M3 :	9 - 3 - 3
Pesticides PCP와 HCH가 없는 농약	0.03	0.2	P-M1 : P-M2 : P-M3 :	- 7 - 7 - 7
Phenol 수증기 중에 함유된 phenol	0.02	- [7]	P-M1 : P-M2 : P-M3 :	- 7 - 7 - 7

[1]점토함량 (T1-T6) : 여기에 대해서는 토양보존법 (BodSchG.) VwV 19(3)참조.

[2]pH : 독일공업규격 (DIN) 19684, 부분1에 따른 수치임.

[3]특수한 결정 : 일체 위해성이 낮아도 생태학적 중요성 때문에 일괄 허용안됨.

[4]개개의 특수한 결정 : kanzerogenes Cr (V1)에 대한 노출을 주의함.

[5]크로로메탄, 디크로로메탄-디크로로메탄이 중요함.

[6]토양 전체함량 보다 낮은 경우; H-W 내지 P-W수치가 표준임.

[7]특수결정체임.

[8]인체에 유해한 물질의 경우 분석 정량 한계는 H-B 수치로 주어짐. ND; Not detected (분석한계 이하임).

[9]휘발성 유해물질(BTXE. CKW)에 대해서는 오염된 지역의 전체 깊이에 관한 제안(허용)수치가 유효함. 균일시료 채취를 위해서는 지표에서 1m 깊이까지 파서 잘 혼합함.

[10]g단위로 인간에게 특성적으로 작용함.

[11]As = 6.4, Ni = 15 내지 75, T1 = 0.75에 대한 계산수치 (mg/kg)는 바덴불뎀벨그주의 토양에 대한 지구형성 배경에 따름. 여기서는 제안(허용)수치보다 더 높은 대략적인 내부잠정 수치가 주어짐. 지금까지의 경험으로 인간 노출량은 토양 농도보다 더 높은 것은 인식되지 않았음.

[12]부식표토임 (> 1% 부식).

[13]시험 수치로 정량 한계를 제시함.

[14]수치는 CC14에 대한 정량 한계를 나타냄. 이 한계는 다름 물질에 대해서는 분석기술상 달성할 수 없음. 이러한 물질로 토양이 오염되었다는 의심이 들면 특별한 시험(예, 토양공기)이 권해짐.

[15]벤졸과 톨루엔 각각의 물질에도 이 시험치가 유효함.

[16]실제 영향이 중요함:한번에 10g 토양섭취(PICA-거동): 토양흡입섭취에서 LD_{50}(1mg/kg)의 10%는 허락됨(P-M1, P-M2).

[17]첨가하여 이 시험치는 CKW (kanzerogen) 및 휘발성 CKW에도 유효함. 이것보다 높은 수치는 우선적으로 제한됨.

<표 II-5> Berlin List에 수록되어 있는 토양 오염물질의 진단기준(단위 : mg/kg 건조토양)

물 질		어린이 놀이터	주거 지역	공원 및 여가선용지	정원 및 농업경작지	공장 및 산업지역
중금속	Sn	2	4	10		20
	As	20	40	100	40	200
	Pb	200	400	1000	300	2000
	Cd	6	12	30	2	60
	Cu	300	600	1500	100	3000
	Ni	60	120	300	100	600
	Hg	4	8	20	2	40
	Se	40	80	200		400
	Th	0.5	1	2.5	1	4
탄화수소계(1)Benzo(*a*)pyrene		1	2	5	2	10
염화탄화수소계(12)						
1,1,1-Trichlorethane		40	80	200		400
Trichiorethane		6	12	30		60
Tetrachlorethane		6	12	30		60
Hexachlorcyclohexane		0.2	0.4	1.0		2
1,2-Dibrommethane		0.005	0.1	3		0.5
Chlorobenzene		12	24	60		120
Dichlorbenzene		50	100	250		500
1,2,4-Trichlorbenzene		5	10	25		50
Hexachlorbenzene		0.3	0.6	1.5		3
DDT		0.4	0.8	2		4
PCB		6	12	30	0.2	60
PCDD/F		60	120	300	50	600
페놀류						
Phenol		20	40	100		200
Cresole		30	60	150		300
Monochlorphenol		3	6	15		30
2,4-Dichlorophenol		2	4	10		20
2,4,5-Trichlorophenol		30	60	150		300
2,4,6-trichlorphenol		2	4	10		20
Tetrachlorophenol		15	30	75		150
Pentachlorophenol		3	6	15		30
방향족질소 화합물						
Nitrobenzene		0.6	1.2	3		6
2,4-Dinitrotoluen		1.2	2.5	6		12.5
2,6-Dinitrotoluen		0.4	0.8	2		4
2,4-Dinitrotoluen		1	2	5		10
기타	Anryinitril	0.8	2	5		10
	Cyanide	40	80	200		400
	Fluoride	300	600	1500		3000

중앙정부의 토양오염기준은 일반적인 토양에 적용할 수 있는 기준과 광산지역에 적용할 수 있는 기준의 두가지로 구분된다. 일반적인 토양오염기준은 사람 및 동물에 적용할 수 있는 토양의 오염기준과 작물체의 재배지역에 적용할 수 있는 토양오염기준으로 구분하여 독립적으로 적용하고 있다. 또한, 석탄물질로부터 생성되는 물질은 분리하여 독립적으로 적용하고 있다. 토양오염기준은 토양을 이용·용도별로 일반가정의 정원, 공원 및 놀이터, 조경지역, 식물재배지역, 건축지역, 도로의 6종류로 구분하고 각 오염물질별로 한계유인치(Threshold trigger value)와 대책유인치(Action trigger value)로 구분하여 제시하고 있다 <표 II-6>.

광산지역에 적용하는 토양의 오염기준은 광산지역에서 배출되며 유해한 6개 중금속물질(Zn, Cd, Cu, Pb, F, As)의 한계유인치(Threshold trigger value)를 제시하고 목축하는 가축에 대한 최고허용농도(Maximum (action trigger) concentration)와 작물의 생장을 위협할 수 있는 작물생장위해성 농도로 구분하여 각 오염물질별로 농도를 제시하고 있다 <표 II-7>.

영국 런던시의 토양오염기준은 5개의 분류된 토양종류에 31종류의 토양오염물질 또는 항목에 대한 토양오염기준을 설정하고 있다. 구분되는 토양상태는 비오염상태(Typical values for uncontaminated soils), 오염토양으로 인정되나 오염의 정도가 약한상태(Slightly contamination), 오염이 상당하게 되어있는 상태(Contaminated), 오염이 심하게 되어있는 상태(Heavy contamination), 비정상적으로 오염이 심하게 되어있는 상태(Unusually heavy contamination)의 토양으로 분류하고 있다 <표 II-8>.

2.4. 유럽연합

유럽연합(EU)의 토양오염관리는 베를린 산업대학(Technical University of Berlin)의 화우구스(FAUGUS)그룹에 의하여 발간된 5종류의 토양구분에 의한 '유해토양오염물질의 시험 및 중재농도(Testing and Intervention-Concentrations for Prevention of Toxic Soil Contamination)'를 종류별로 분류된 토양의 오염물질 농도를 기준농도 이하로 유지함으로써 토양환경을 관리할 수 있는 정책을 제시하고 있다. 5종류의 토양구분은 자연상태의 토양(Unstressed Soil), 민감토양(Sensible Soil Utilization), 농업 및 산림토양(Agricultural and Forestry), 거주지 토양(Residential Area), 산업 및 사회기본시설지역의 토양(Industrial and Infrastructure Area)이다. 이 제안은 1992년

<표 II-6> 영국의 토양오염판단기준[1]

오염물질	사용code[2]	Reference value trigger concentration(mg/kg air-dried soil)	
		Threshold	Action
Group A: 사람 및 동물에 대한 건강의 피해가 우려되는 무기오염물질			
As	1	10	NS[3]
	2	40	
Cd	1	3	
	2	15	
Cr(total)	1	600	
	2	1,000	
Cr(6가)[4]	1,2	25	
Pb	1	500	
	2	2,000	
Hg	1	1	
	2	20	
Se	1	3	
	2	6	
Group B: 일반적으로 사람 및 동물에 대한 건강에 피해가 없으나 식물의 생장에 피해가 우려되는 오염물질			
B(수용성)[5]	4	3	NS
Cu[6,7]	4	130	
Ni[6,7]	4	70	
Zn[6,7]	4	300	
휴·폐광된 석탄광산지역의 활동에 관련되는 오염물질			
Polyaromatic Hydrocarbons[8,9,10]	1	50	500
	3,5,6	1,000	10,000
Phenols[8]	1	5	200
	3,5,6	5	1,000
Free cyanides[8]	1,3	25	500
	5,6	25	500
Complex cyanides[8]	1	250	1,000
	3	250	5,000
Thiocyanate[8,10]	5,6	250	NL[3]
Sulphate[8]	all	50	NL
	1,3	2,000	10,000
Sulphide	5	2,000	50,000
Sulphur	all	250	1,000
Acidity(pH less than)	all	500	20,000
	1,3	pH5	pH3
	5,6	NL	NL

[1]영국정부 토양의 오염판단기준임. Threshold는 토양오염이 우려되는 토양중 오염물질의 농도이며, Action은 토양의 오염되어 처리대책이 필요한 지역임 (ICRCL, 1987; Kelly, R. T. 1980; Hobson, D. M. 1993).

[2]오염기준은 토양의 이용에 따라 달리 판단되며 6개지역으로 분리되어 있음. 각지역의 사용code로 일반가정의 정원은 1, 공원 및 놀이터는 2, 조경지역은 3, 식물재배지역은 4, 건축지역은 5, 도로 등의 포장지역은 6임.

[3]NS: Not specified. NL: No limited

[4]표준 ADAS 방법(뜨거운 물에 수용성)에 의하여 결정된 수치임.

[5]$HNO_3/HClO_4$에 의해 용출된 total concentration임.

[6]Cu, Ni, Zn의 누적농도가 식물체에 영향을 나타낼 수 있음. 여기서 제시되는 trigger value는 산성조건에서 식물체에 가장 악영향을 미칠 수 있는 농도임. 중성 및 알칼리 조건에서는 제시한 농도에서 악영향을 나타내지 않음.

[7]제시한 농도는 향후 과학적 근거에 의하여 재조정할 필요가 있음.

[8]coal tar의 분석을 기준으로 제시한 농도임.

[9]분석방법으로 Problems Arising from the Redevelopment of Gas Works and Similar Sites의 부록A1을 참고하여야 함.

[10]BRE Digest 250:Concrete in sulphate-bearing soils and ground water를 참고하여야 함.

<표 II-7> 광산지역의 토양오염물질의 판단기준(mg/kg air-dried soils)[1]

오염물질	Threshold trigger conc.	Maximum(action trigger) conc.(value not to be exceeded for use as specified)	
		목축용[2]	작물생산용[3] (risk of phytotoxicity)
Zn	1,000	3,000[4]	1,000
Cd	3	30[4]	50
Cu	250	500	250
Pb	300	1,000	-
F	500	1,000	-
As	50	500	1,000

[1]제시한 기준은 광산활동에 의한 토양오염지역에만 적용할 수 있음. 식물체 및 동물체에 대하여 제시한 trigger conc.의 농도가 다른 경우보다 낮을 경우에는 적용할 수 있음.

[2]식물체가 제시한 오염물질을 정상적으로 흡수할 경우 소, 양, 말의 경우를 대상으로 제시한 농도임.

[3]토양산도가 6일 경우 클로버, 목초 또는 단위면적당 생산량이 더욱 많은 작물체를 대상으로 한 것임.

[4]동일 토양에 Zn의 농도가 2,000mg/kg, Cd의 농도가 15mg/kg을 초과할 경우, Cu의 농도는 대상 동식물에 더울 치명적일 수 있으므로 변경될 수 있음.

<표 II-8> 영국 런던시의 토양오염판단기준[1](단위, mg/kg dry soil, pH 제외)

오염물질	비오염	오염1[2]	오염2[2]	오염3[2]	오염4[2]
pH(acid)	6-7	5-6	4-5	2-4	<2
pH(alkali)	7-8	8-9	9-10	10-12	12
Sn	0-30	30-50	50-100	100-500	500
As	0-30	30-50	50-100	100-500	500
Cd	0-1	1-3	3-10	10-50	50
Cr	0-100	100-200	200-500	500-2,500	2,500
Cu(avail.)	0-100	100-200	200-500	500-2,500	2,500
Pb	0-500	500-1,000	1,000-2,000	2,000-1.0%	1.0
Pb(avail.)	0-200	200-500	500-1,000	1,000-5,000	5,000
Hg	0-1	1-3	3-10	10-50	50
Ni(avail.)	0-20	20-50	50-200	200-1,000	1,000
Zn(avail.)	0-250	250-500	500-1,000	1,000-5,000	5,000
Zn equiv.	0-250	250-500	500-2,000	2,000-1.0%	1.0%
B(avail.)	0-2	2-5	5-50	50-250	250
Se	0-1	1-3	3-10	10-50	50
Ba	0-500	500-1,000	1,000-2,000	2,000-1.0%	1.0%
Be	0-5	5-10	10-20	20-50	50
Mg	0-500	500-1,000	1,000-2,000	2,000-1.0%	1.0%
Vd	0-100	100-200	200-500	500-2,500	2,500
Mn	0-5	500-1,000	1,000-2,000	2,000-1.0%	1.0%
S	0-2,000	2,000-5,000	5,000-1%	1.0-5.0%	5.0%
S(free)	0-100	100-500	500-1,000	1,000-5,000	5,000
Sulphide	0-10	10-20	20-100	100-500	500
Cyanide(free)	0-1	1-5	5-50	50-100	100
Cyanide(total)	0-5	5-25	25-250	250-500	500
Ferricyanide	0-100	100-500	500-1,000	1,000-5,000	5,000
Thiocyanate	0-10	10-50	50-100	100-500	2,500
Coal Tar	0-500	500-1,000	1,000-2,000	2,000-1.0%	1.0%
Phenol	0-1	2-5	5-50	50-250	250
Toluene ext.	0-5,000	5,000-1.0%	1.0-5.0%	2.0-25.0%	25.0%
Cyclohexane ext.	0-2,000	2,000-5,000	5,000-2.0%	2.0-10.0%	10.0%

[1]영국 런던시 토양의 오염판단기준임. 토양의 시료에서의 열량으로 7MJ/kg이상인 경우는 폭발성 위험물질로 간주하고 있음. 또한 토양표면에 있는 석면은 제거되어야 하며 토양에 있는 중금속물질은 ICRCL에 의하여 제거되어야 함이 명시되어 있음. (ICRCL, 1987; Kelly, R. T. 1980; Hobson, D. M. 1993)

[2]영국 런던시의 오염토양 분류기준으로 오염구분1은 오염토양으로 인정되나 오염의 정도가 약한 상태이고, 오염구분 2는 오염이 상당하게 되어 있는 토양이며, 오염구분3은 오염이 심하게 되어 있는 토양이며, 오염구분 4는 비정상적으로 오염이 심하게 되어 있는 토양임.

미국의 Paustenbach and Jernigan(1992)이 제안한 토양을 7개 지역으로 구분하여 토양의 위험평가체계를 구성한 것과 비슷하다고 할 수 있다(Buchmann W. et al, 1994) <표 II-9>.

<표 II-9> EU에서 제시하고 있는 토양오염 방지를 위한 오염물질의 농도(단위: mg/kg)

Substance	Testing - Concentration : Human health not affected				
	Unstressed Soil	Sensible	Land/ Forest	Residential	Industry/ Infra
Arsenic	20	29	40	60	80
Lead	85	85	100	100	150
Cadmium	0.1	0.8	1	5	15
Chromium	80	100	100	100	200
Cobalt	35	35	50	50	200
Copper	36	36	100	100	150
Nickel	35	35	75	75	100
Mercury	0.3	0.3	1	2	3
Zinc	100	140	500	1000	2000
Nitrate/Nitrite	100	100	100	200	300
Petrol/Mineral Oil	0	<50	500	100	2,000
Benzene	0	5	5	5	20
Toluene	0	20	20	40	80
Xylene	0	20	20	40	80
Naphthalene	0	<0.01	10	0.2	20
Benzopyrene	0	<0.1	10	0.2	20
Phenols(EPA)without Chlorine	0	10	20	10	50
Chlorophenols (EPA)	0	<0.1	0.1	0.5	3
Halogenated HCs. low MW.	<0.001	<0.001	0.5	0.5	2
PCBs(to AltolV)	0	0.5	0.5	1	1.5
TCD - Equival(BGA)	0	0	0	0	0

<계속>

Substance	Threshold of Danger : Intervention Necessary			
	Sensible	Land/forest	Residential	Industry Infra
Arsenic	55	60	60	500
Lead	100	100	100	600
Cadmium	2	10	20	200
Chromium	380	400	800	20000
Cobalt	100	100	200	300
Copper	190	200	200	600
Nickel	50	200	100	10000
Mercury	10	10	10	500
Zinc	500	500	500	3000
Nitrate/Nitrite	200	200	200	300
Petrol/Mineral Oil	300	300	300	5000
Benzene	10	25	25	50
Toluene	15	15	15	50
Xylene	15	15	15	100
Naphthalene	10	10	50	100
Benzopyrene	10	10	10	100
phenols(EPA)without Chlorine	10	10	25	50
Chlorophenols (EPA)	2	2	5	10
Halogenated HCs. low MW.	5	5	10	50
PCBs(acoarding to AltolV)	1	1	3	5
TCD - Equival(BGA)	0.1	0.1	0.1	0.5

2.5. 미국

미국 연방정부의 토양관리는 현행 유해폐기물 처리에 의한 토양 및 지하수 오염의 사전방지에 주안점을 두고 있는 RCRA(Resources Conservation and Recovery Act: 자원보전 및 재생법)법과 과거의 유해폐기물처리에 의한 토양, 지하수 오염지역에 대한 정화대책인 SARA(Superfund Amendment and Reauthorization Act; 수퍼펀드 개정 및 재권한법: 일명 Superfund법), 폐기물 처리지역에서 발생하는 오염원별 오염물질의 배출기준농도를 제한하고 있는 폐기물법(Solid Waste Disposal Act) 등의 3

가지 주요법에 의하여 운용되고 있다. 이 외에도, 토양오염원에 의한 토양오염방지를 위한 오염원별 독립적인 관련법이 있어 토양오염을 유발할 수 있는 특정시설 또는 지역별로 오염물질의 토양유입을 규제하고 있다 <표 II-10>.

<표 II-10> 미국에서의 토양오염방지를 위한 주요 토양 오염원별 관련법

오염원별	CFR No	Page
고형폐기물의 열처리 지역	40CFR240	161:0101
고형폐기물의 매립지역	40CFR241	161:0151
고형폐기물의 저장 및 수집지역	40CFR243	161:1151
자원개발시설	40CFR245	161:1251
재생재료를 포함한 폐건축물의 건물단열재 수집지역	40CFR248	161:1401
분진을 포함한 시멘트 및 콘크리트 수집지역	40CFR249	161:1451
재생오일을 포함한 윤활유 및 오일 수집 및 취급지역	40CFR252 40CFR279	161:1601 161:5001
재생타이어 수집지역	40CFR253	161:1651
폐기물매립시설 및 지역	40CFR257 40CFR258	161:1851 161:1901
유해폐기물방출지역	40CFR262	161:2401
유해폐기물 운송시설 및 지역	40CFR263	161:2501
유해폐기물 취급지역	40CFR265 40CFR266	161:2801 161:3001
폐기물매립지역	40CFR268	161:3651
지하저장시설	40CFR280 40CFR281 40CFR282	161:5101 161:5201 161:5301
유해독성용액물질을 취급하는 소각로지역	40CFR150	161:8001

법률에서 제시하고 의한 연방정부의 토양오염관리방향은 토양오염을 사전에 방지하고, 오염된 토양의 사후관리이다. 실행단계에서 네가지로 방법으로 추진하고 있다. 첫째, 토양오염을 유발할 수 있는 시설 또는 지역에 대한 관리(토양오염방지 시설설치기준의 설정)이다. 둘째, 지하수의 오염기준을 설정하고 지속적으로 측정함으로써 달성할 수 있는 간접적인 토양질의 관리이다. 셋째, 오염된 토양의 복원이다. 넷째, 복원된 토양의 관리이다. 네덜란드, 영국, 독일, 일본 등의 국가와는 달리 미국에서 토양오염판단기준이 설정되어 있지 않은 것은, 토양오염은 지하수 오염에 직결되며 총 음료수량의 절반이상을 지하수로 충당하고 있는 미국에

서는 지하수의 보전이 더욱 큰문제로 제시되고 있기 때문이다.

2.5.1. 토양오염방지 시설설치기준에 의한 관리

토양오염을 유발할 수 있는 시설을 지상 및 지하시설로 구분하여 관리하고 있다. 지상시설로는 폐기물매립지, 지상유류 및 유해화학물질저장시설 등이 주요대상이다. 지하저장시설로는 유류저장시설 및 유해화학물질저장시설을 주요대상으로 이러한 시설들에 대한 토양오염방지시설의 설치기준을 법으로 설정하고 있다. 이 시설들에 대한 관련법과 관련법에 따른 세부적인 설치기준은 <부록 1>에 수록하였다.

2.5.2. 건전한 토양의 관리

토양의 관리는 인근지역의 토양 및 지하수중 유해물질의 규제농도를 제시함으로써 토양질을 간접적으로 관리하고 있다. 특히, 토양오염을 유발할 수 있는 폐기물매립지 인근지역의 토양은 지하수의 수질을 221개의 오염물질별로의 기준농도를 실용 한계량(Practical Quantitation Limit: QTL) 수치로 폐기물법 40CFR264 (161:2551)에 설정하고 지하수의 QTL을 유지하게 함으로써 건전한 토양상태를 유지하도록 되어 있다 <표 II-11>.

2.5.3. 오염지역의 토양환경복원

1989년 9월에 토양오염이 우려되는 지역수는 31,522개소로 예비평가가 추진되고 있다. 예비평가는 지하수의 오염물질농도 <표 II-11>, 독성특성에 의한 오염물질의 최대농도 <표 II-12> 등이 토양의 이용용도에 따라 복합적으로 사용된다.

예비평가가 끝난 토양오염우려지역의 목록(NPL)에는 1,224개 지점이 공식적인 토양오염지역으로 기록되어 있다. EPA에서는 1990년까지 4,700여 지점에 대한 오염지역 예비평가가 완료되었고 NPL에 기록되어 있는 정화해야할 처분장에 대해서는 순차적으로 복구가 진행되고 있으며 이 금액은 시가지오염에 한정된 것으로 엄청난 비용이 요구되고 있다.

<표 II-11> 미국 지하수 수질보전을 위한 오염물질의 모니터링 목록[1]

일반명[2]	PQL(ug/L)[3]	일반명	PQL(ug/L)
Acenaphthene	10-200	Bis(2-ethylhexyl)phthalate	10-20
Acenaphthylene	10-200	Bromodichloromethane	1-5
Acetone	100	Bromoform;Tribromomethane	2-5
Acetophenone	10	4-Bromophenyl phenyl ether	10
Acetonitrile; Methyl cyanide	100	Butyl benzyl phthalate;	5-10
2-Acetylamrnofluorene;2-AAF	10	Benzyl butyl phthalate	
Acrolein	5	Cadmium(total)	1-50
Acrylonitrile	5	Carbon disulfide	5
Aldrin	0.05-10	Carbon tetrachloride	1-5
Allyl chloride	5-100		
4-Amrnobrphenyl	10	Chlordane	0.1-10
Aniline	10	p-Chloroaniline	20
Anthracene	10-200	Chlorobenzene	2-5
Antimony(total)	30-2,000	Chlorobenzilate	10
Aramite	10	P-Chloro-m-Cresol	5-20
Arsenic(total)	10-500	Chloroethane; Ethyl chloride	5-10
Barium	20-1,000	Chloroform	0.5-5
Benzene	2-5	2-Chloronaphthalene	10
Benzo[a]anthracene;	200	2-Chlorophenol	5-10
Benzanthracene		4-Chlorophenyl phenyl ether	10
Benzo[b]fluoranthene	10-200		
Benzo[k]fluoranthene	10-200	Chloroprene	5-50
Benzo[ghi]perylene	10-200	Chromium(total)	10-500
Benzo[a]pyrene	10-200	Chrysene	10-200
Benzyl alcoho1	20	Cobalt	10-500
Beryllium(total)	2-50	Copper	60-200
alpha-BHC	0.05-10	m-Cresol	10
beta-BHC	0.05-40	o-Cresol	10
delta-BHC	0.1-30	p-cresol	10
gamma-BHC, Lindane	0.05-10	Cyanide	40
Bis(2-chloroethoxy)methane	10	2,4-D;2.4-Dichlorophenoxy	10
Bis(2-chloroethyl)ether	10	acetic acid	
Bis(2-chloro-1-methylethyl)	10-100	4,4'-DDD	0.1-10
ether;2,2'-Di-chlorodi-		4,4'-DDE	0.05-10
isopropyl ether			

<계속>

일반명	PQL(ug/L)	일반명	PQL(ug/L)
4.4'-DDT	0.1-10	alpha-Dimethylphenethylamine	10
Diallate	10	2,4-Dimethylphenol	5-10
Dibenz[a,h]anthracene	10-200	Dimethyl phthalate	5-10
Dibenzofuran	10	m-Dinitrobenzene	10
Dibromochloromethane; Chlorodibromomethane	1-5	4,6-Dinitro-o-cresol	50-150
1,2-Dibromo-3-chloropropane; DBCP	5-100	2,4-Dinitrophenol	50-150
		2,4-Dinitrotoluene	0.2-10
1,2-Dibromoethane; Ethylene dibromide	5-10	2,6-Dinitrotoluene	0.1-10
		Dinoseb; DNBP;	1-10
Di-n-butyl phthalate	5-10	Di-n-octyl phthalate	10-30
o-Dichlorobenzene	2-10	1,4-Dioxane	150
m-Dichlorobezene	5-10		
p-Dichlorobenzene	2-15	Diphenylamine	10
3,3'-Dichlorobenzidine	20	Disulfoton	2-10
trans-1,4-Dichloro-2-butene	5	Endosulfan Ⅰ	0.1-10
Dichlorodifluoromethane	5-10	Endosulfan Ⅱ	0.05
1,1-Dirchloroethane	1-5	Endosulfan sulfate	0.5-10
1,2-Dichloroethane; Ethylene dichloride	0.5-5		
1,1-Dichloroethylene; Vinylidene chloride	1-5	Endrin	0.1-10
		Endrin aldehyde	0.2-10
trans-1,2-Dichloroethylene	1-5	Elhylbenzene	2-5
2,4-Dichlorophenol	5-10	Ethyl methacrylate	5-10
2,6-Dichloropheno1	10	Ethyl methanesulfonate	10
1,2-Dichloropropane	0.5-5		
cis-1,3-Dichloropropene	5-20		
trans-1,3-Dichloropropene	5	Famphur	10
Dieldrin	0.05-10	Fluoranthene	10-200
Diethyl phthalate	0.05-10	Fluorene	10-200
O,O-Diethyl O-2-pyrazinyl	10	Heptachlor	0.05-10
phosphorothioate; Thoonazon		Hsptachlor epoxide	1-10
Dimethoate	10		
p-(Dimethylamino)azobenzene	10	Hexachlorobenzene	0.5-10
7,12-Dimethylbenz[a]anthracene	10	Hexachlorobutadiene	5-10
3,3'-Diethylbenzidine	10	Hexachlorocyclepentadiene	5-10

<계속>

일반명	PQL(ug/L)	일반명	PQL(ug/L)
Hexachloroethane	0.5-10	1-Naphthylamine	10
Hexachlorophene	10	2-Naphthylamine	10
Hexachloropropene	10	Nickel	50-400
2-Hexanone	50	o-Nitroaniline	50
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	10-200	m-Nitroaniline	50
Isobutyl alcohol	50	p-Nitroaniline	50
Isodrin	10	Nitrobenzene	10-40
Isophorone	10-60	o-Nitrophenol	5-10
Isosafrole	10	p-Nitropheno1	10-50
Kepone	10	4-Nitroquinoline 1-oxide	10
Lead(total)	10-1,000	N-Nitrosodi-n-bulytamine	10
Mercury(total)	2	N-Nitrosodiethylamine	10
Methacrylonitrile	5	N-Nitrosodimethylamine	10
Methapyrilene	10	N-Nitrosodimethylamine	10
Methoxychlor	2-10	N-Nitrosodimethylamine; Di-n propylnitrosamine	10
Methyl bromide;Bromomethane	10-20	N-Nitrosomethylethylamine	10
Methyl chloride;Chloromethane	1-10	N-Nitrosomorpholine	10
3-Methylcholanthrene	10	N-Nitrosoprperidine	10
Methylene bromide; Dibromomethane	5-15	N-Nitrosopyrrolidine	10
Methylene chloride; Dichloromethane	5	5-Nitro-o-toluidine	10
Methyl ethyl ketone; MEK	10-100	Parathion	10
Methyl iodide; Iodomethane	5-40	Polychlorinated biphenyls; PCBs[4]	50-100
Methyl methacrylate	2-5	Polychlorinated dibenzo-p-dioxins;PCDDs[5]	0.01
Methyl methanesulfonate	10	Polychlorinated dibenzofurans; PCDFs[6]	0.01
2-Methylnaphthalene	10	Pentachlorobenzene	10
Methyl parathion; Parathion methyl	0.5-10	Pentachloroethane	5-10
4-Methyl-2-pentanone; Methyl isobutyl ketone	5-50	Pentachloronitrobenzene	10
Naphthalene	10-200	Pentachloropheno1	5-50
1,4-Naphthoquinone	10		

<계속>

일반명	PQL(ug/L)	일반명	PQL(ug/L)
Phenacetin	10	1,1,2,2-Tetrachloroethane	0.5-5
Phenanthrene	10-200	Tetrachloroethylene;Perchloro-	0.5
Phenol	1-10	ethylene;Tetrachloroethene	
p-Phenylenediamine	10	2,3,4,6-Tetrachlorophenol	10
Phorate	2-10	Tetraethyl dithiopyrophosphate;	10
		Sulfotepp.	
		Thallium(total)	10-1,000
2-Picoline	5-10	Tin	8,000
Pronamide	10	Toluene	2-5
Propionitrile; Ethyl cyanide	5-60	o-Toluidine	10
Pyrene	10-200	Toxaphene	2-10
Pyridine	5-10	1,2,4-Trichlorobenzene	10
Safrole	10	1,1,1-Trichloroethane;	5
Selenium(total)	20-750	Methylchloroform	
Silver(total)	70-100	1,1,2-Trichloroethane	0.2-5
Silvex; 2,4,5-TP	2	Trichloroethylene;	1-5
Styrene	1-5	Trichloroethene	
		Trichlorofluoromethane	5-10
		2,4,5-Trichlorophenol	10
Sulfide	10,000	2,4,6-Trichloropheno1	5-10
2,4,5-T;2,4,5-Trichlorophenoxy	2	1,2,3-Trichloropropane	5-10
acetic acid		O,O,O-Triethyl	10
2,3,7,8-TCDD,2,3,7,8-Tetrachlo	0.005	phosphorothioate	
rodibenzo-p-dioxin		sym-Trinitrobenzene	10
1,2,4,5-Tetrachlerobenzene	10	Vanadium(total)	40-2,000
1,1,1,2-Tetrachleroethane	5	Vinyl acetate	5
		Vinyl chloride	2-10
		xylene(total)	5
		Zinc(total)	20-50

[1] 제시한 물질의 농도는 미국 폐기물법(Solid Waste Act 40CFR) 161:2672의 부록IX에 제시한 지하수중 오염물질의 농도로 PQL(Practical Quantitation Limits: 실측한계량)의 농도는 동법에 제시한 방법에 의하여 분석되는 오염물질 농도의 범위가 다르므로 분석방법을 필히 제시하여야 함. 동법에 기술된 오염물질 분석방법은 미국 EPA Report SW-840 (Test Methods for Evaluating Solid Waste, 3rd ed, Nov. 1986)에 제시되어 있음. 표에 제시한 오염물질의 CAS(Chemical Abstracts Service registry number)

는 동법에 기술되어 있음.

[2] 오염물질의 일반명은 미국정부, 과학지, 교역에 보편적으로 제시되는 이름임.

[3] Practical Quantitation Limits (PQLs)은 미국폐기물법에서 제시하는 분석방법에 의하여 측정된 지하수 수질분석치중, 반복수에 의한 통계적 신뢰성구간을 설정하고 설정된 구간중 가장 낮은 수치임.

[4] Polychlorinated biphenyls(CAS BN 1336-36-3)는 Aroclor-1016(CAS RN 12674-11-2), Aroclor-1221(CAS RN 11104-28-2), Aroc1or-1232(CAS RN 11141-16-5), Aroclor- 1242 (CAS RN 53469-21-9), Aroclor-1248 (CAS RN 12072-29-6), Aroclor-1254 (CAS RN 11097-69-1), Aroclor-1260 (CAS RN ll096-82-5)을 포함함. 제시하는 PQL은 PCB의 평균농도임.

[5] PCDDs는 tetrachlotodibenzo-p-dioxins (2,3,7,8-TCDD참조), pentachlorodibenzo-p- dioxins, hexachlorodibenzo-p-dioxrns를 포함함. 제시하는 PQL은 PCDD의 평균농도임.

[6] PCDFs는 tetrachlorodrbenzofurans, pentachlorodibenzofurans, hexachlorodibenzofurans를 포함함. 제시하는 PQL은 PCDF의 평균농도임.

<표 II-12> 독성특성에 의한 오염물질의 최대농도[1]

EPA HW No[2]	오염물질	CAS No[3]	규제기준농도 (mg/l)
D004	As	7440-38-2	5.0
D005	Ba	7440-39-3	100.0
D018	Benzene	71-43-2	0.5
D006	Cd	7440-43-9	1.0
D019	Carbon tetrachloride	56-23-5	0.5
D020	Chlorodane	57-74-9	0.03
D021	Chlorobenzene	108-90-7	100.0
D022	Chloroform	67-66-3	6.0
D007	Cr	7440-47-3	5.0
D023	o-Cresole	95-48-7	200.0[4]
D024	m-Cresole	108-39-4	200.0[4]
D025	p-Cresole	106-44-5	200.0[4]
D026	Cresole	-	200.0[4]
D016	2,4-D	94-75-7	10.0
D027	1,4-Dichlorobenzene	106-46-7	7.5
D028	1,2-Dichloroethane	107-06-2	0.5
D029	1,1-Dichloroethylene	75-35-4	0.7
D030	2,4-Dinitrotoluene	121-14-2	0.13[3]
D012	Endrin	72-20-8	0.02
D031	Heptachlor(epoxide 포함)	76-44-8	0.008
D032	Hexachlorobenzene	118-68-3	0.13[3]
D033	Hexachlorobutadine	87-68-3	0.5
D034	Hexachloroethane	67-72-1	3.0
D008	Pb	7439-92-1	5.0
D013	Lindane	58-89-9	0.4
D009	Hg	7439-97-6	0.2
D014	Methoxychlor	72-43-5	10.0
D035	Methyl ethyl ketone	78-95-3	200.0
D036	Nitrobenzene	98-95-3	2.0
D037	Pentachlorophenol	87-86-5	100.0
D038	Pyridine	110-86-1	5.0[3]
D010	Se	7782-49-2	1.0
D011	Ag	7440-22-4	5.0
D039	Tetrachloroethylene	127-18-4	0.7
D015	Toxaphene	8001-35-2	0.5
D040	Trichloroethylene	79-01-6	0.5
D041	2,4,5-Trichlorophenol	95-95-4	400.0
D042	2,4,6-Trichlorophenol	88-06-2	2.0
D017	2,4,5-TP(Silvex)	93-72-1	1.0
D043	Vinyl chloride	75-01-4	0.2

[1]유해독성물질 Number임. 미국 Solid Waste Act의 40CFR265의 §265.24(Toxicity characteristic)에서 도출한 자료임. 오염물질 앞에 o-, m-, p-Cresole의 농도가 구분될 수 없을 경우 총 Cresole의 농도(D026)가 사용됨. 총 Cresole의 조절수준은 200mg/l임.
[2]Chemical abstract Number임.
[3]수량(Quantitation limit:QL)은 계산된 조절수준(regulatory level)보다 큼. 이에 따라, [3]QL은 조절수준으로 인정할 수 있음.

SARA법에서 Superfund는 석유소비세, 화학원료 물질소비세, 기업에 대한 과세, 지하탱크에 저장하는 연료의 과세로부터 갹출한 90억 달러를 기금으로 하고 있으며 Superfund법에 의해 EPA는 오염의 책임당사자에 대해 정화조치를 명령하는 권한을 가지며 또한 EPA 자체적으로 정화조치를 강구한 경우 그 비용을 Superfund로부터 지출하고 후에 책임당사자에게 청구하게 되어있다.

Superfund는 미국내 토양오염지역 정화를 위한 총괄적인 프로그램은 아니며 대부분의 주는 자체적으로 토양정화계획을 운용하고 있으며 NPL의 리스트에 오를 정도로 위해성이 덜한 지역은 주 자체계획에 의거 대책을 수행하고 있다.

Superfund법에서 수행하고 있는 정화대책의 진행과정으로

조사지역에 대한 예비평가 -> 위해성 등급별 점수화 -> NPL(National Priority List)지역으로 선정 -> 정화조사 및 가능성 연구 -> 확정 -> 정화를 위한 설계 -> 정화를 위한 대책사업수행 -> 환경청(OTA, 미의회 기술평가 사무국)에 의해 NPL지역으로부터 해제가 됨으로써 해당지역에 대한 정화 대책사업은 끝난다.

본 과정에서 NPL의 priority작성에 기준이 되는 사항은 유해물질의 인체 노출정도 및 NPL 검출빈도로 결정되며 주 항목의 세부 항목별 가중치를 고려하여 점수를 정하고 이를 종합하여 list순위를 정한다. 그러나 Superfund법이 폐기물매립지역 정화사업을 위하여 위력적인 힘을 가진 법이지만 Superfund법을 수행하는데 있어 여러가지 문제점을 안고 있으며 OTA에서 지적하고 있는 해당법에 대한 문제점은 다음과 같다.

① 환경적 우선순위들 및 목적들을 수행하기 위한 주의 깊고도 정교한 전략부재

② 정화책임이 있는 정부, 지역공동체 및 당사자간의 협력 결여

③ 교육, 훈련, 데이터베이스화, 연구 및 개발을 위한 단일화된 국가 하부구조 부재

연방정부인 EPA에서 제시하고 있는 토양환경의 예비평가기준이 미국 전역에서 토양을 복원할 수 있는 기준농도로 이용되지는 않는다. 독립된 주법으로 토양환경의 엄격한 복원기준이 설정된 주에서는 자치법을 따라 오염된 지역의 토양환경을 복원하고 있다. 그 예로써, Pennsylvania주의 환경자원부(Department of Environmental Resource, 1988)에서는 토양을 복원해야 할 미량원소의 최대 부하량으로 연방정부에

서 제시하고 있는 토양중의 중금속의 농도보다 더욱 엄격하게 규제하고 있다 <표 II-13>. 주법에 의하여 토양중의 중금속 농도가 규제기준을 초과할 경우 이를 토양환경복원대상지역으로 설정하고 이 지역에 대한 복원을 추진한다. 또한 미국 New Jersey주의 토양복원을 위한 중금속 및 유해물질 함량은 미국 연방정부에서 제시하고 있는 EPA기준과 다르다. New Jersey주는 토양을 주거지, 비주거지, 표토층으로 분류하여 각각 분류된 토양에 따라 중금속 및 유해물질 함량을 다음과 같이 제시하고 있다 <표 II-14>. New Jersey주정부는 주법에 의하여 설정된 기준보다 토양의 상태가 악화된 경우에는 이 지역에 대한 복원을 추진하고 있다.

<표 II-13> Pennsylvania주의 토양복구를 위한 미량원소의 최대부하량[1]

Constituent	Maximum Loading Rate (kg/ha)	
	Land Reclamation	Land Reclamation for Farming
Cd	5.6	3.4
Cu	140.0	84.0
Cr	560.0	336.0
Pb	560.0	336.0
Hg	1.7	1.1
Ni	56.0	33.0
Zn	280.0	168.0

[1]Source: Pennsylvania Department of Environmental Resource, 1988.

2.5.4. 복원된 토양의 관리

오염된 지역이 복원된 후 복원된 토양의 소유자가 작물을 재배할 수 있는 기준(40CFR265, 161:2801)으로 As, Pb, Hg 등의 오염물질 토양중 함량이 기준방법(Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods: EPA Publication SW-846)에 의거하여 분석되었을 때, <표 II-12>의 폐기물법(Solid Waste)40CFR265의 §265.24 독성특성(Toxicity characteristic) 기준 보다 낮게 유지함으로써 폐기물 매립지 인근지역의 토양 및 수질을 보호하고 있다.

복원된 폐기물 매립지에 작물을 재배할 계획이면 이를 해당관할지역의 행정담당자(Regional Administrator)에게 사전에 통보하도록 되어 있다. 이때 Cd과 PCBs의 폐기물매립지의 제한농도는 작물, 토양의 종류에 따라 다르다. Cd의 경우, 폐

<표 II-14> 미국 New Jersey주의 오염토양 복원기준

Parameter	RCRA actionlevels[1] (mg/kg)	New Hersey cleanup standards[2]		
		Residental surface soil (mg/kg)	Nonresidential surface soil (mg/kg)	Subsurface soil (mg/kg)
Arsenic	80.0	20.0	20.0	-
Benzene	-	3.0	13.0	1.0
Benzo(a)pyrene[3]	-	0.66	0.25	100.0
Cadmium	4.0	1.0	100.0	-
Chlordane	5.0	-	-	-
Chromium	400(Cr^{6+})	-	-	-
4,4‘- DDT	2.0	2.0	9.0	100.0
Endrin	20.0	17.0	310.0	50.0
Lead	-	100.0	600.0	-
Lindane	0.5	0.52	2.2	1.0
Nickel	2000	250.0	2,400.0	-
PCBs	0.09	0.45	2.0	100.0
Selenium	-	1.0	1,000	-
Tetrachloroethylene	10.0	9.0	37.0	1.0
Toluene	20,000	1,000	1,000	500.0
Trichloroethylene	60.0	23.0	100.0	1.0
1,1,1-Trichloroethane	7,000	210.0	3,800.0	50.0
Vinyl chloride	-	2.0	7.0	1.0
Xylenes	200,000	360.0	6,300	10.0
Zinc	-	1,500	1,500	-

[1]USEPA, RCRA Corrective Action Proposed Rules; FR30798/27 July 1990
[2]NJDEPD; Cleanup Standards for Contaminated Sites - Proposed Rule;N.J.A.C 7:26D;NJ Register 3, February 1992.
[3]Benzo(a)pyrene (BaP) is presented to be representative for semivolatiles.

기물과 토양의 혼합물 토양산도가 pH6.5이상이고 Cd의 토양중 농도가 2mg/kg(건물중)이하이어야 한다. 담배, 엽채소, 뿌리작물이 재배되는 토양에 존재하는 폐기물에서 1년중 Cd의 총 누적농도가 0.5kg/ha를 초과하는 지역에서는 농작물을 재배할 수 없게 되어 있다. 사료작물(Food chain crops)등을 재배하는 매립지역의 Cd한계농도는 0.5kg/ha로 이를 초과할 수 없으며 (1987년 1월 이후부터 시행), 또한 토양치환능력(Cation Exchange Capacity: CEC)에 따른 <표 II-15>의 기준을 초과할 수 없게 되어 있다(Solid Waste 40CFR265, 161:2801).

복구된 폐기물매립지에 PCBs농도가 10ppm 이상인 고형폐기물이 존재하는 경우

는 사료재배지로 이용할 수 없게 되어 있다. 그러나 고형폐기물이 토양에 흡착되어 PCBs의 농도가 동물사료중 0.2ppm이하이거나 유지방을 기준으로 1.5ppm이하인 경우는 사료를 재배할 수 있도록 명시함으로써 PCBs의 농경지 토양중 농도를 간접적으로 규제하고 있다.

<표 II-15> 토양중 CEC에 따라 사료작물을 재배할 수 있는 Cd의 최대부하농도

토양양이온 치환능력 (meq/100g)	최대 누적 적용농도(kg/ha)	
	배경토양의 pH<6.5	배경토양의 pH>6.5
<5	5	5
5-10	5	10
>15	5	20

EPA에서는 경작지에서 농작물을 재배할 수 있는 토양중의 Pb, Zn, Cu, Ni 등의 중금속 최대함량이 Cd와 더불어 설정되어 있다. 중금속의 토양중 농도는 토양중의 중금속이 농작물을 통하여 인체에 지속적으로 축적될 경우라도 사람의 건강에 위해하지 않을 정도를 고려하여 설정한 농도로 설정된 토양중 중금속의 최대농도 값으로 <표 II-16>, 이 기준을 초과하는 지역에 대해서는 농작물의 재배를 금지하고 있다.

<표 II-16> 미국 EPA가 권장하고 있는 경작지 미량금속의 최대 부하량

Metal	Soil Cation Exchange Capacity (c mol/kg)		
	<5	5-5	>15
	Amount of metal (kg/ha)		
Pb	560	800	2240
Zn	280	560	1120
Cy	140	280	560
Ni	140	280	560
Cb	6	11	22

* Source: U.S. EPA (1983)

2.6. 캐나다

캐나다의 토양환경관리는 오염물질의 판단기준을 토대로 토양오염을 관리하고 있다. 토양오염물질의 판단기준은 완전한 이론적 근거가 제시되기 전까지 유보되

어 있으며 NCRSP(국가오염지역 정화계획)에서 사용하기 위한 기준이 마련되기 전까지 경험과 전문적인 판단을 근거로 한 토양오염물질에 의한 잠정평가기준과 잠정적 정화기준을 설정하여 토양질을 관리하고 있다.

2.6.1. 잠정적 평가기준에 의한 토양오염관리

토양오염물질의 잠정적 평가기준에 의한 토양오염관리는 토양중 오염물질의 배경농도(background concentration) 또는 토양오염물질의 분석한계농도를 기준으로 설정하여 이를 유지할 수 있도록 함으로써 추진되고 있다 <표 II-17>. 오염물질의 농도가 자연함유량 또는 분석검출한계를 초과할 경우 오염이 우려되는 지역은 위해물질의 성상을 평가하고 필요할 경우 정밀조사를 하게 되어있다.

2.6.2. 잠정적 정화기준에 의한 토양오염관리

토양오염지역의 잠정적 정화기준에 의한 토양오염관리는 토양지역을 농업, 거주지·공원용지, 산업지역으로 구분하여 토양오염의 판단기준을 독립적으로 제시하고 이 기준을 초과한 지역의 토양을 정화할 수 있도록 함으로써 추진되고 있다. 잠정적 정화기준은 일반적인 토양에 적용하기 위한 것으로 지역적 특이성은 고려되지 않는다. 이 기준이 사용된 지역의 경험과 전문적인 판단을 근거로 한 것으로 오염지역의 특별한 사용을 위한 토양보호기준으로 간주할 수 있다. 이에 따라, 잠정적 정화기준은 토양오염지역의 정화목적을 위한 일반적인 기준으로 제공된다 <표 II-18>.

2.7. 호주 및 뉴질랜드

호주 및 뉴질랜드 국립보건의학연구위원회 (Australian and New Zealand National Health and Medical Research Council: ANZNHMRC)의 환경보전위원회(Australian and New Zealand Environment and Conservation Council: ANZECC)에서 호주와 뉴질랜드 양국의 토양오염관리 및 기준을 설정하여 토양환경을 관리하고 있다.

동위원회에서 제시하는 토양오염기준은 잠정기준에 해당하며 호주 및 뉴질랜드의 토양중 토양오염물질의 이동, 분산 등의 기작에 대한 광범위한 평가로부터 토양오염기준치가 설정될 때까지 제한적으로 사용됨을 제시하고 있다(Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, 1992).

<표 II-17> 캐나다의 토양오염물질 잠정평가기준[1] (별도 언급이 없는 한 모든 수치는 mg/kg 건물중과 mg/L)

	Soil	Water
General Parameters		
pH	6 to 8	-
Conductivity	2 ds/m	-
sodium adsorption ratio	5	-
Inorganic Parameters		
antimony	20	-
arsenic	5	5
barium	200	50
beryllium	4	-
boron(hot water soluble)	1	-
cadmium	0.5	1
chromium(+6)	2.5	-
chromium(total)	20	14
cobalt	10	10
copper	30	25
lead	25	10
mercury	0.1	0.1
molybdenum	2	5
nickel	20	10
selenium	1	1
silver	2	5
thallium	0.5	-
tin	5	10
vanadium	25	-
zinc	60	50
cyanide(free)	0.25	40
cyanide(total)	2.5	40
fluoride(free)	200	-
sulphur(element)	250	-
Monocyclic Aromatic Hydrocarbons		
benzene	0.05	0.5

<계속>

ethylbenzene	0.1	0.5
toluene	0.1	0.5
chlorobenzene	0.1	0.1
1,2-dichlorobenzene	0.1	0.2
1,3-dichlorobenzene	0.1	0.2
1,4-dichlorobenzene	0.1	0.2
styrene	0.1	0.5
xylene	0.1	0.5
Phenolic Compounds		
non-chlorinated (each)[2,3]	0.1	0.1
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)		
benzo(a) anthracene	0.1	0.01
benzo(a) pyrene	0.1	0.01
benzo(b) fluoranthene	0.1	0.01
benzo(k) fluoranthene	0.1	0.01
dibenzo(a,h) anthracene	0.1	0.01
indeno(1,2,3-c,d) pyrene	0.1	0.1
naphthalene	0.1	0.2
phenanthrene	0.1	0.2
pyrene	0.1	0.2
Chlorinated Hydrocarbons		
aliphatics(each)[4]	0.1	0.1
chlorobenzenes(each)[5]	0.05	0.3
hexachlorobenzene	0.1	0.1
hexachlorocyclohexane	0.01	-
PCBs[6]	0.1	0.1
PCDDs and PCDFs[7]	0.00001	-
Miscellaneous organic parameter		
non-chlorinated		-
aliphatics(each)	0.3	-
phthalic acid eseers(each)	30	-
quinoline	0.1	-
thiophene	0.1	-

[1]- 미설정, 정화기준과 동일하게 설정되었음.

[2]비염소계 페놀화합물 물질은 2,4-dimethylphenol, 2,4-dinitrophenol, 2-methyl 4,6-dinitrophenol, nitrophenol(2-, 4-), phenol, cresol을 포함함.

[3]Chlorophenols 물질은 chlorophenols isomers(ortho, meta, para), dichlorophenols(2,6-, 2.5-, 2.4-, 3.5-, 2.3-, 3.4-), trichlorophenols(2,4,6- 2,3,6-, 2,4,5-, 2,3,5-, 2,3,4-, 3,4,5-), tetrachlorophenols(2,3,5,6-, 2,3,4,5-, 2,3,4,6-), pentachlorophenol을 포함함.

[4]Aliphatic chlorinated hydrocarbons물질은 chlorotorm, dichloroethane(1,1,1,2-), dichloroethene(1,1-,1,2-), 1,2-dichlorpropane, 1,2-dichloropropene(cis and trans), 1,1,2,2-tetrachloroethane, tetrachloroethene, carbon tetrachloride, trichloroethane(1,1,1-,1,1,2-), trichloroethene을 포함함.

[5]Chlorobenzenes은 모든 trichlorobenzene isomers, 모든 tetrachlorobenzene isomers, pentachlorobenzene을 포함함.

[6]PCBs는 1242, 1248, 1254, and 1260혼합물 포함

[7]PCDDS와 PCDFs는 2,3,7,8, -TCDD와 동등한 물질임.

<표 II-18> 캐나다의 토양오염물질 잠정정화기준[1](별도 언급이 없는 한 모든 수치는 mg/kg, mg/L)

	Agricultural	Residential/ Park Land	Commercial Industrial
일반항목			
pH	6 to 8	6 to 8	6 to 8
conductivity	2	2	4
sodium adsorption ratio	5	5	12
Inorganic Parameters			
antimony	20	20	40
arsenic	20	30	50
barium	750	500	2000
beryllium	4	4	8
boron (hot water soluble)	2	-	-
cadmium	3	5	20
chromium(+6)	8	8	-
chromium(total)	750	250	800
cobalt	40	50	300
copper	150	100	500
lead	375	500	1000
mercury	0.8	2	10
molybdeum	5	10	40
nickel	150	100	500
selenium	2	3	10
silver	20	20	40
thallium	1	-	-
tin	5	50	300
vanadium	200	200	-
zinc	600	500	1500
cyanide(free)	0.5	10	100
cyanide(total)	5	50	500
fluoride(free)	200	400	2000
sulphur(element)	500	-	-
Monocyclic Aromatic Hydrocarbons			
benzene	0.05	0.5	5
ethylbenzene	0.1	5	50
toluene	0.1	3	30
chlorobenzene	0.1	1	10
1,2-dichlorobenzene	0.1	1	10

<계속>

	Agricultural	Residential/ Park Land	Commercial Industrial
1,3-dichlorobenzene	0.1	1	10
1,4-dichlorobenzene	0.1	1	10
styrene	0.1	5	50
xylene	0.1	5	50
Phenolic Compounds			
non-chlorinated[2](each)	0.1	1	10
chlorophenols[3](each)	0.05	0.5	5
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs)			
benzo(a)anthracene	0.1	1	10
benzo(a)pyrene	0.1	1	10
benzo(b)fluoranthene	0.1	1	10
benzo(k)luoranthene	0.1	1	10
dibenz(a,h) anthracene	0.1	1	10
indeno(1,2,3-c,d)pyrene	0.1	1	10
naphthalene	0.1	5	50
phenanthrene	0.1	5	50
pyrene	0.1	10	100
Chlorinated Hydrocarbons			
aliphatics[4](each)	0.1	5	50
chlorobenzenes[5](each)	0.05	2	10
hexachlorobenzene	0.05	2	10
hexachlorocyclohexaane	0.01	-	-
PCBs[6]	0.5	5	50
PCDDs and PCDFs[7]	0.0001	0.001	-
Miscellaneous organic parameters			
non-chlorinated			-
aliphatics(each)	0.3	-	-
phthalic acid esters(each)	30	-	-
quinoline	0.1	-	-
thiophene	0.1	-	-

[1]- 미설정, 정화기준과 동일하게 설정되었음.

[2]비염소계 페놀화합물 물질은 2,4-dimethylphenol, 2,4-dinitrophenol, 2-methyl 4,6-dinitrophenol, nitrophenol(2-, 4-), phenol, cresol을 포함함.

[3]Chlorophenols 물질은 chlorophenols isomers(ortho, meta, para), dichlorophenols(2,6-, 2.5-, 2.4-, 3.5-, 2.3-, 3.4-), trichlorophenols(2,4,6- 2,3,6-, 2,4,5-, 2,3,5-, 2,3,4-, 3,4,5-),

tetrachlorophenols(2,3,5,6-, 2,3,4,5-, 2,3,4,6-), pentachlorophenol을 포함함.

[4]Aliphatic chlorinated hydrocarbons 물질은 chlorotorm, dichloroethane(1,1, 1,2-), dichloroethene(1,1-,1,2-), 1,2-dichlorpropane, 1,2-dichloropropene(cis and trans), 1,1,2,2-tetrachloroethane, tetrachloroethene, carbon tetrachloride, trichloroethane (1,1,1-, 1,1,2-), trichloroethene을 포함함.

[5]Chlorobenzenes은 모든 trichlorobenzene isomers, 모든 tetrachlorobenzene isomers, pentachlorobenzene을 포함함.

[6]PCBs는 1242, 1248, 1254 및 1260혼합물 포함함.

[7]PCDDS와 PCDFs는 2,3,7,8, -TCDD와 동등한 물질임.

호주 및 뉴질랜드의 토양오염잠정기준은 오염이 되지 않은 배경토양에서 25종류의 오염물질농도, 토양산도와 환경조사 기준농도로 구분되고 있다. 배경토양의 오염물질농도(Background: A)는 직접적으로 토양을 분석하여 얻은 오염물질의 농도와 자료를 이용하여 얻을 값을 토대로 정해진 오염물질의 농도수치이다. 환경조사 기준농도(Environmental Investigation: B)는 외국의 기준 및 인체의 위해성평가 자료를 참고로 설정한 수치이다. 토양오염물질의 배경토양중 농도와 환경조사 기준농도는 토양물질의 전함량(total conc.)으로 표기되고 있으나 ANZECC에서는 토양오염기준을 오염물질농도의 생물학적 유효성(bioavailability)을 토대로 하고, 오염물질의 가용성 함량으로의 전환을 고려하고 있다 <표 II-19>.

현재 호주 및 뉴질랜드에서 이루어지고 있는 오염된 토양의 정화사업은 환경조사기준농도를 근거로 하고 토양오염지역의 지역적 특이성을 함께 고려하여 종합평가한 후 오염된 토양의 정화사업이 이루어진다. 지역적 특이성을 대표할 수 있는 요인으로는 ①토지의 사용(예, 주거지역, 농업지역, 원예지역, 위작시설지역, 상업지역, 공업지역 등), ②인구에서 차지하는 어린이의 비율, ③오염물질의 지하확산 등 오염물질이 미칠 수 있는 잠재적 영향, ④오염물질의 단일 또는 복합성여부, ⑤오염토양의 깊이, ⑥오염의 수준 및 오염지역의 분포, ⑦오염물질의 이동성, ⑧오염물질의 속성평가(예, 독성역학, 발암성, 급・만성독성 등), ⑨오염물질의 이화학적 특성, ⑩지표면의 상태(예, 포장, 초지, 노출지 등), ⑪잠재적 노출경로, ⑫시료채취 및 독성학적 평가의 불확실성 등이다.

<표 II-19> 호주 및 뉴질랜드의 토양환경기준(㎎/kg)

	Background 농도(A)	환경조사기준(B)
중금속		
안티몬(Sb)	4-44	20
비소(As)	0.2-30(a)	20
바륨(Ba)	20-200	
카드뮴(Cd)	0.04-2	3
크롬(Cr)	0.5-110*	50
코발트(Co)	2-170	
구리(Cu)	1-190**	60
납(Pb)	<2-200	300
망간(Mn)	4-12, 600	500
수은(Hg)	0.001-0.1	1
몰리브덴(Mo)	<1-20	
니켈(Ni)	2-400	60
주석(Sn)	1-25	50
아연(Zn)	2-180	
광물 오염물질		
붕소(B)	1-75	
페놀성 화합물		
페놀	0.03-0.5	
Monocyclic 방향족 탄화수소 (MAH)		
벤젠	0.05-1	1
톨루엔	0.1-1	
Polycyclic 방향족 탄화수소 (PAH)		
PAH(total)	0.95-5	
염화탄화수소계		
PCBs(total)	0.02-0.1	1
제초제		
Aldrin	<0.001-<0.05	
Dieldrin	<0.005-<0.005	0.2
DDT	<0.001-0.97	
기타		
황산염	35-1000	2000
pH	6-8	

** 알려진 과수원 토양에서 제외된 것
* 가능한 과소평가된 것임.

환경조사기준농도의 설정은 ①오염물질의 생물학적 유효성, ②FAO(Food and Agricultural Organization)의 오염물질의 주간섭취량(Provisional Tolerable Weekly Intake: PTWI) 또는 1일섭취량(Acceptable Daily Intake: ADI), ③PTWI 또는 ADI가 파악된 물질의 잠재적 성분(예, 토양, 식량, 물, 공기중의 오염물질농도와 이러한 경로를 통하여 사람에게 노출되는 양)이다. 여기서 제시되는 사람에게 노출되는 오염물질의 최대 노출양은 배경에서의 오염물질 농도, 섭취 또는 호흡과 피부흡수를 야기시킬 수 있는 오염된 토양으로부터의 오염물질 농도, 토양으로부터 인체에 흡수된 오염물질의 양 등의 인자에 의하여 다음과 같이 결정하고 있다.

오염물질 X의 최대노출

= 배경에서의 오염물질 농도(예, 식량 및 물) + 섭취 또는 호흡과 피부흡수를 야기시킬 수 있는 오염된 토양으로부터의 오염물질 농도

= 배경에서의 오염물질 농도 + 토양에서 인체에 흡수된 오염물질의 양

= BE + (Sing x Cing x Bing = Sinh x Cinh x Binh + skin x Cskin x Bskin)

= BE + SEsoil

- BE: 배경에서의 오염물질 농도
- Sing: 섭취한 토양의 양
- Sinh: 토양의 양/흡입되고 남은 먼지의 양
- Sskin: 피부에 접촉되는 토양의 양
- Cing: 섭취된 토양중 오염물질의 농도
- Cinh: 토양중 오염물질의 농도/흡입되고 남아 있는 먼지중의 오염물질 농도
- Cskin: 피부에 접촉된 토양중의 오염물질 농도
- Bing: 생물학적 유효율(오염물질을 섭취하였을 때 오염물질의 인체내 흡수율)
- Binh: 오염물질이 흡입되었을 때 물질의 생물학적 유효율
- Bskin: 오염물질이 피부에 묻었을 때 물질의 생물학적 유효율
- SEsoil: 사람이 토양에 존재하는 오염물질로부터의 노출량

2.8. 일본

일본에서 토양오염의 관리는 토양오염방지에 관한 법률, 시가지의 토양오염대책 확정지침, 토양오염에 관한 환경기준과 국유지에 관한 토양오염대책지침에 토양오염의 판단기준을 농경지, 시가지 및 국유지에 관한 부문으로 분류하여 제시하고,

제시된 기준을 달성할 수 있도록 규제하는 방법을 이용하고 있다 <표 II-20>.

<표 II-20> 일본의 토양오염 판단기준에 관련한 법 또는 고시

년도	토양오염 관리기준	담당
1972	농경지 토양오염방지에 관한 법률	농림성
1986	시가지 토양오염대책 확정지침	환경청
1991	토양오염에 관한 환경기준	환경청
1992	국유지에 관한 토양오염 대책지침	환경청

2.8.1. 농경지 관리

1972년 농경지 토양오염방지에 관한 법률에 의하여 Cd, Cu, As를 오염물질로 규정하여 농경지 토양을 관리하고 있다. As와 Cu는 농경지 토양중의 농도를 기준으로, Cd는 농경지에서 재배하고 있는 현미중의 Cd농도를 기준으로 규제하고 있다. Cd의 경우 현미중의 Cd농도를 기준으로 한 것은 농경지 오염기준이 설정될 당시의 일본에서 토양과 현미사이의 Cd농도의 뚜렷한 상관관계를 파악하지 못하였기 때문이었다. Cd과 Cu에 의한 오염은 주로 관개용수에 의하여 발생하므로 주로 논을 대상으로 선정하였으며, As에 의한 농경지 오염은 밭을 대상으로 선정하고 있다 <표 II-21>.

<표 II-21> 일본 농경지의 오염물질의 오염판단기준

오염물질	규제농도	조사방법
카드뮴(Cd)	현미중 Cd의 농도가 1ppm 이상	전량분석
구리(Cu)	토양중 Cu의 농도가 125ppm이상	0.1N HCl추출
비소(As)	토양중 As의 농도가 15ppm 이상	1N HCl추출

농경지의 작물생육을 보호하기 위하여 하수오니 등의 재생유기물질의 부적정한 施用은「농경지에 대한 토양중 중금속 등의 축적방지에 관한 관리기준(1984년 수질보전국)」을 설정함으로써 방지하고 있다. 이는 시용하는 유기물질의 중금속 함유량 및 토양중 중금속의 축적량의 지표로 아연을 설정하고 아연의 농도가 120ppm 이하(전량분석)로 유지하도록 되어 있다.

2.8.2. 시가지 관리

1986년 시가지 토양오염문제 검토보고서를 근거로 수질환경기준에서 건강보호

항목인 중금속과 유해화학물질에 대한 기준을 설정하여 시가지 토양을 관리하고 있다. 이 기준은 1972년 농경지 토양오염방지에 관한 법률에 의하여 마련된 Cd, Cu, As의 오염판단농도를 포함하고 있으며, 또한 현재의 토양오염실태와 위해성, 토양의 다기능성에 미치는 영향(예, 식품 및 목재 등의 생산기능, 수질정화, 지하수 보존, 토양미생물배양, 자연생태계 보전, 자연경관유지, 대기정화, 온도조절, 소음 및 진동완화 등)을 고려하여 10가지 오염물질을 설정하고 각각의 물질에 오염기준을 제시하였다 <표 II-22>.

<표 II-22> 일본 시가지 토양환경기준

오염물질	검출기준[1]
카드뮴	용출기준: 0.01mg/l 이하 농경지기준: 현미 1mg/kg 이하
시안	비검출[2]
유기인[3]	비검출[2]
납	용출기준: 0.01mg/l 이하
6가 크롬	용출기준: 0.05mg/l 이하
비소	용출기준: 0.05mg/l 이하 농경지(논)기준: 15mg/kg 이하
총수은	용출기준: 0.0005mg/l 이하
알킬수은	비검출[2]
PCBs	비검출[2]
구리	농경지(논)기준: 125mg/kg이하

[1]Cd, Pb, Cr(6+), As, Hg에 관련한 환경상의 조건중 검액중 농도에 관련되는 값은 오염토양이 지하수면으로부터 분리되어 있으며 해당지하수중의 이들 오염물질의 농도가 지하수 1L에 대하여 Cd 0.01mg, Pb 0.1mg, Cr(6+) 0.05mg, As 0.05mg, Hg 0.0005mg을 초과하지 않는 경우이며, 1L 지하수중의 이들 오염물질의 농도가 Cd 0.01mg, Pb 0.1mg, Cr(6+) 0.05mg, As 0.05mg, Hg 0.0005mg을 초과하는 경우는 검액 1L에 대해서 Cd 0.03mg, Pb 0.3mg, Cr(6+) 0.15mg, As 0.015mg, Hg 0.0015mg으로 함. 오염물질의 농도기준은 자연적인 원인에 의하여 오염물질이 축적된 토양(예, 광맥주변의 토양), 원자재의 퇴적장, 폐기물매립지와 대상오염물질의 이용 또는 처분을 목적으로 하는 집적시설에 관련한 토양에는 적용하지 않음.
[2]비검출은 분석방법란에 제시한 방법에 의하여 분석한계이하를 의미함.
[3]유기인은 Parathion, Methyl parathion, Methyl Dimethane과 EPN임.

<표 II-22>에 제시되는 오염물질의 농도기준은 자연적인 원인에 의하여 오염물질이 축적된 토양(예, 광맥주변의 토양), 원자재의 퇴적장, 폐기물매립지와 대상오염물질의 이용 또는 처분을 목적으로 하는 집적시설에 관련한 토양에는 적용하지 않는다. 특히, 광산보안법 및 동법에 근거한 금속광산 등 보안규칙, 석탄광산보안규칙

에 제시한 광업폐기물의 매립장, 하상저질토의 처리 및 처분 등에 관한 잠정지침 등에 관련되어 오염물질을 집적하는 시설 및 지역에는 적용하지 않도록 되어 있다.

2.8.3. 시가지 및 국유지 관리

1991년「토양오염에 대한 환경기준」이 설정되고, 1992년 오염지역의 처리대책을 위한 기준설정이「국유지에 관련된 토양오염 대책지침」에 의한 관리되고 있다. 동지침에 제시된 오염물질의 종류는 <표 II-21>의 농경지 오염기준과 <표 II-22>의 시가지 토양환경기준에서 제시하고 있는 오염물질중 구리를 제외한 9가지 오염물질이 농도별로 제시되고 있다. 구리는 농작물의 생산에 가장 큰 영향을 미치고, 벼가 생산되는 농경지(논)에 대한 기준이 설정되어 있어 대상에서 제외되었다 <표 II-23>.

<표 II-23> 일본 시가지 및 국유지의 토양오염기준

오염물질	토양오염기준[1]		
	용출량치 I	용출량치 II	함유량참고치
Cd와 그화합물	검액 1L당 Cd 0.01mg	검액 1L당 Cd 0.3mg	건토 1kg당 Cd 9mg
CN화합물	검액중 비검출	검액 1L당 CN 1mg	-
유기인화합물	검액중 비검출	검액 1L당 유기인 1mg	-
Pb와 그화합물	검액 1L당 Pb 0.1 mg	검액 1L당 Pb 3mg	건토 1kg당 Pb 600mg
6가 Cr화합물	검액 1L당 Cr(6+) 0.05mg	검액 1L당 Cr(6+)1.5mg	-
As와 그화합물	검액 1L당 As 0.05mg	검액 1L당 As 1.5mg	건토 1kg당 As 50mg
Hg과 그화합물	검액 1L당 Hg 0.0005mg	검액 1L당 Hg 0.005mg	건토 1kg당 Hg 3mg
알킬수은화합물	검액중 비검출	검액중 비검출	-
PCBs	검액중 비검출	검액 1L당 PCBs 0.003mg	-

[1]용출량치 I은 대상오염물질의 환경상 조건으로 오염토양이 지하수면으로부터 분리되어 있으며 원상태에서 해당지하수중 이들 오염물질의 농도가 지하수 1L에 대하여 Cd 0.01mg, Pb 0.1mg, Cr(6+) 0.05mg, As 0.05mg, Hg 0.0005mg을 초과하지 않는 경우임. 용출량치 II는 대상오염물질의 환경상 조건으로 오염토양이 지하수면으로부터 분리되어 있지 않으며 원상태에서 해당지하수중 이들 오염물질의 농도가 지하수 1L에 대하여 Cd 0.01mg, Pb 0.1mg, Cr(6+) 0.05mg, As 0.05mg, Hg 0.0005mg을 초과하는 경우임.

2. 국내 토양오염 관리현황 및 문제점

우리나라의 토양환경보전을 위하여 토양오염을 방지할 수 있는 관리방법은 토양측정망의 운영결과 및 토양오염을 유발할 수 있는 시설 및 지역에 대한 토양오염조사에 의하여 토양오염도가 높게 나타난 지역을 대상으로 토양오염방지대책을 년차적으로 추진하는 방법으로(환경백서, 1995) 토양오염이 발생한 이후의 사후관리 대책이라 할 수 있다. 또한, 이러한 토양오염관리를 시행할 수 있는 오염물질의 토양오염 판단기준은 1978년 수질환경보전법이 시행되면서 농경지 오염방지에 관한 조항으로 농산물에 Cd, Cu, As 및 그 화합물의 함유량을 제한하여 토양 및 현미중 오염기준만이 법적으로 설정되어 있다 <표 II-24>.

<표 II-24> 농수산물 재배 등을 제한할 수 있는 오염기준

구분	특정수질유해물질의 종류	오 염 기 준
토양(논의 경우에 한함)	1. 카드뮴 및 그 화합물	생산된 현미중의 카드뮴함량이 1mg/kg 이상
	2. 구리 및 그 화합물	토양중의 구리함량이 125mg/kg 이상
	3. 비소 및 그 화합물	토양중의 비소함량이 15mg/kg 이상
수역	수은	0.005mg/l 이상
	구리	0.01mg/l 이상
	납	0.1mg/l 이상
	6가크롬	0.05mg/l 이상
	시안화합물	0.1mg/l 이상

토양오염물질의 사용량 증가와 폐기물매립지 등 토양오염을 유발할 수 있는 시설 및 지역에 대한 토양오염요인이 계속 증가하고 있고 금속광산지역의 토양오염요인이 심화되고 있으나 수질환경보전법 등의 개별법률에서 단편적으로 이를 규제하는 것만으로는 효과적인 대처가 어려우므로 토양오염의 사전예방 및 오염된 토양의 개선 등에 대한 종합적인 관리체제를 마련함으로써 토양보전을 보다 적극적이고 체계적으로 추진하기 위하여 1995년 1월 토양환경보전법이 제정되었다 <부록 2>.

동법에서 제시하고 있는 토양오염관리를 위한 주요내용을 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 방사능물질을 제외한 토양오염물질에 의한 토양오염실태를 평가하기 위하

여 토양오염 측정망의 상시운영 또는 토양정밀조사를 실시하고 그 결과를 국민에게 공개하도록 한다.

둘째, 토양보전에 관한 토양보전기본계획을 매10년마다 수립·시행하고 지방자치단체의 장은 해당지역의 토양보전을 위한 지역토양보전계획을 환경부장관의 승인을 얻어 수립·시행하여야 한다.

셋째, 토양오염유발시설의 설치자·소유자 또는 관리자는 토양오염방지시설의 설치 및 토양오염조사를 받도록 하여 시설을 적정하게 유지·관리하게 한다. 토양오염유발시설의 설치신고자가 토양오염방지조치를 하지 않거나 토양오염검사결과가 토양오염우려기준을 초과한 경우에는 시정명령을 하고 신고를 하지 않고 토양오염유발시설을 설치하거나 시정명령의 위반 또는 토양오염유발시설로부터 유출 또는 누출된 물질로 인하여 토양을 오염시키는 경우에는 폐쇄·철거 등의 조치를 할 수 있도록 한다.

넷째, 전국의 토양오염도를 상시로 측정할 수 있는 토양오염도 상시체계를 구성하고, 토양오염이 우려되어 토양상태의 정밀조사가 필요한 지역의 경우 토양정밀조사를 시행할 수 있는 근거를 마련하였다.

다섯째, 국민의 건강과 동식물의 생육에 영향 또는 지장을 초래할 가능성이 있는 토양오염우려기준과 지장을 주어서 토양오염대책이 필요한 토양오염대책기준을 규정하고, 동 기준을 초과하는 지역에 대하여는 토양의 오염도에 따라 적절한 토양오염방지조치명령을 하거나 또는 토양보전대책지역의 선정 및 대책계획을 수립·시행하도록 한다.

여섯째, 토양오염방지대책을 위한 실행계획에는 오염토양의 개선사업 및 토지 등의 이용방안이 포함된다. 이에 따라, 토양보전대책지역으로 지정된 경우에는 오염토양개선사업 및 토지 등의 이용방안 등에 관한 대책계획을 수립·시행한다. 특히, 오염된 토양의 개선사업은 오염원인자로 하여금 실시하게 함과 아울러 이를 이행하지 않을 경우 정부가 위탁한 기관 또는 업체에서 대신할 수 있도록 하게 하고 그 비용을 징수하도록 한다.

일곱째, 토양오염방지대책지역이 대책실행계획의 수립·시행으로 토양오염이 개선되었거나 공익상 불가피한 경우 또는 기타의 사유로 토양오염방지대책으로서의 가치를 상실한 경우에는 이를 해체 또는 변경할 수 있도록 한다.

동법이 갖는 국내적인 의미는 산업발달에 따른 토양오염 및 이로 인하여 발생할 수 있는 지하수 오염을 사전에 방지하고 이미 오염된 토양의 개선사업을 추진할 수 있는 국가의 정책목표를 뚜렷이 제시한 것이라 할 수 있다. 또한 자연환경보전법, 수질환경보전법, 광업법, 광산보안법, 석탄산업법, 폐기물관리법, 농촌근대화촉진법 등으로 분산되어 있는 토양환경보전에 관련된 법을 독립적으로 체계화함으로써 향후 토양환경보전을 위한 정책목표가 종합적이고 효율적으로 추진될 수 있도록 기본정책방안을 마련한 것이라 할 수 있다.

동법이 갖는 국제적인 의미는 우리나라가 1994. 10. 3에 가입한 생물다양성 협약의 내용 중 제8항(생물자원의 현지내 보전: In-situ Conservation), 제9항(생물자원의 현지외 보전: Ex-situ Conservation), 제14항(자연생태계 보전에 악영향을 미칠 수 있는 영향평가 및 악영향 감소: Impact Assessment and Minimizing Adverse Impacts)을 이행하기 위한 기본토대의 마련이다. 또한, 1992. 6월에 UN환경개발회의(UN Convention of Environment and Development: UNCED)에서 우리나라가 서명한 환경보전을 위한 세부실천지침인「의제 21(Agenda 21)」 제10장 (토지자원의 통합적 관리 및 기획: Integrated Approach to the Planning and Management of Land Resources) 등의 이행사항을 수행하기 위한 지구환경보전사업의 추진이라 할 수 있다.

동법이 제정됨으로써 우리나라의 토양환경보전을 위한 토양오염관리를 체계적으로 실행할 수 있는 기본틀이 만들어 졌으나 다음과 같은 구체적인 실행방안이 미흡하다. 첫째, 전국의 토양을 대상으로 토양의 오염도를 상시 측정할 수 있는 토양측정망의 확장·개선(토양오염도 상시측정체계) 방안. 둘째, 토양오염물질의 종류 및 이로 인한 토양오염을 판단할 수 있는 기준의 설정방안. 셋째, 토양오염물질을 배출하는 토양오염원(토양오염유발시설 및 배출지역)의 종류 및 범위의 설정방안. 넷째, 토양오염원으로부터 토양에 배출되는 토양오염물질의 방지시설 설치기준이 마련. 다섯째, 지리적·입지적 특성을 토대로 한 토양오염대책지역의 선정 및 지정기준과 관리방안. 여섯째, 오염토양 및 오염지역의 처리기준 및 처리대책 등에 관한 시행대책 방안. 토양오염을 관리를 효율적으로 제시할 수 있는 토양오염관리방향에 따른 구체적인 국가의 실행방안이 제시되어야 할 것이다.

III. 토양오염 관리대책 방향

토양오염 관리대책은 토양오염을 사전에 방지할 수 있는 토양오염의 사전방지체계와 토양이 오염된 지역을 조사하고 오염된 지역의 토양을 복원할 수 있는 사후토양오염처리체계를 함께 실행할 수 있는 방향이 제시되어야 한다. 1995. 1. 5에 제정된 우리나라의 토양환경보전법은 토양오염의 사전·사후관리방향을 제시하고 있는 국가의 정책의지를 나타내고 있다고 할 수 있다.

토양오염의 사전방지체계로는 토양오염판단기준의 설정, 토양오염유발시설에 토양오염을 방지할 수 있는 시설의 설치 등이 있다. 이 두가지 토양환경보전을 위한 대책방향은 국가의 의지를 제시하고 있는 것은 토양환경보전법에 제시되고 있다. 동법에 제시하고 있는토양오염판단기준의 설정은 오염물질이 토양에 유입되는 것을 질적·양적으로 감소시킬 수 있는 유도장치라 할 수 있다. 토양오염유발시설에 토양오염을 방지할 수 있는 시설의 설치는 오염물질이 대량으로 방출될 수 있는 시설종류를 설정하고 이들 시설에 대한 토양오염방지시설을 설치하게 함으로써 이들 시설로부터 발생할 수 있는 토양오염을 사전에 방지할 수 있는 법적 장치라 할 수 있다.

오염된 토양의 사후관리체계로는 토양오염도 상시측정체계의 수립, 토양오염보전대책의 지정체계 및 지정방법의 수립 등이라 할 수 있다. 이 세가지 토양환경보전을 위한 대책방향은 토양환경보전법에서 나타나고 있는 국가의 의지는 토양환경보전법에 제시하고 있다. 토양오염도 상시측정체계의 구축은 전국의 토양상태를 지속적으로 조사함으로써 이미 토양이 오염된 지역 및 토양오염이 진행되는 상태를 파악하여 토양이 오염된 지역을 향후 복원할 수 있으며 토양오염의 진행상태를 늦출 수 있는 기초자료를 제공할 수 있는 법적장치라 할 수 있다. 토양오염보전대책의 지정체계 및 지정방법의 수립은 토양이 오염된 지역을 체계적으로 지정할 수 있는 법적장치로써 오염된 지역으로부터의 확산될 수 있는 오염물질의 흐름을 방지하고, 연차적으로 이 지역의 복원이 추진될 수 있도록 할 수 있다.

제시한 다섯가지 토양환경보전을 위한 대책방향이 필요한 실제적인 현황 또는 이론적인 근거를 다음과 같이 제시할 수 있다.

1. 토양오염도 상시측정체계의 수립

토양오염의 진행상태는 대기 및 수질오염과는 달리 오염이 진행되는 시간이 서서히 발생하나 토양에 지속적으로 축적되며 장기적으로 잔류한다. 토양의 오염상태는 토양의 경사면, 토질, 토양내의 유기성분, 지표면의 수목 및 이용상태, 기후변화, 지표수의 흐름, 대기변화 등, 수많은 환경요인에 의하여 결정되므로 한 지역이 오염되었을 경우이라도 불과 수m-수십m 떨어진 지역에서는 오염상태와 연관이 없을 경우가 많다. 토양측정망은 측정된 토양의 지점별 토양의 상태를 연결시킬 수 있는 기능과 측정지점별의 자료를 총괄, 분석하여 전국 또는 지역적인 토양의 상태를 개략적으로 파악하는데 사용할 수 있는 목적으로 운용되고 있으나 다음과 같은 근본적인 문제를 해결하지 못하고 있다.

첫째, 토양측정지역이 고정적으로 구성되어 있어 새롭게 등장하는 토양오염원 및 오염물질의 배출을 파악할 수 없다. 토양의 비오염지역, 오염우려지역, 오염지역 등의 토양오염도 및 오염면적은 토양의 오염원에서 배출되는 오염물질의 종류 및 양에 따라 지속적으로 변한다. 현재 운용되고 있는 토양측정망은 오염원을 중심으로 토양의 시료채취지점이 이미 설정되어 구성되어 있으므로 토양 오염원의 위치가 변하거나 새로운 오염원이 나타났을 경우 이를 감지할 수 없다. 또한 토양측정망에서 분석되는 오염물질의 종류도 6개 중금속 및 토양산도로 이미 설정되어 있으므로 분석되는 오염물질외의 오염물질이 배출되는 경우에 이를 파악할 수 없게 되어 있다. 토양오염은 오염(배출)원이 있을 경우 토양오염이 발생할 수 있으며 지속적인 토양오염이 진행되는 것을 고려할 때, 오염원이 분명한 경우의 토양오염측정지점은 대상지역의 자연 및 환경조건과, 오염물질의 흐름, 이산, 흡착능 및 확산 등의 메커니즘을 고려하여 오염도의 진행을 파악할 수 있도록 토양측정망의 측정지점이 구성되어야 하나 이러한 문제점들이 고려되어 있지 않다.

둘째, 토양측정망 토양채취지역의 대부분이 농경지로써 농경지를 제외한 주거지, 여가선용지, 산업지역 등의 토양상태는 파악하기 어렵게 되어 있다. 운용되고 있는 토양측정망은 전국을 오염원의 오염경로별로 16지역으로 분류하고 있으나 조사하는 토양시료의 90%이상이 논, 밭에서 채취되고 있어 농경지에 미치는 오염원의 영향을 일부 파악할 수 있으나 대부분의 주거지, 여가선용지, 산업지역의 토양상태는 조사에서 제외되어 있다 <표 III-1>.

<표 III-1> 년도별 토양측정망의 토지용도별[1] 측정지역 및 측정지점현황

지역구분		'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94
계	수[2]	119/595	NA[3]	254/1270	NA	261/1305	261/1301	259/1295	261/1305
	%	100		100		100	100	100	100
농경지역	수	118/590		226/1130		237/1185	225/1121	235/1175	225/1125
	%	99.0		89.0		90.8	86.2	90.7	86.2
주거지역	수	0		16/80		12/60	16/80	12/60	16/80
	%	0		6.3		4.6	6.1	4.65	6.1
공원/여가 선용지역	수	1/5		12/60		12/60	20/100	12/60	20/100
	%	0.8		4.7		4.6	7.7	4.65	6.1
공장/산업 지역	수	-		-		-	-	-	-
	%	-		-		-	-	-	-

[1]토지이용용도별 지적법시행령 제6조의 규정에 의한 지목별 토지구분임. 토지구분은 농경지/산림지(전, 답, 과수원, 목장용지, 임야), 주거지(대지(주거용), 학교용지), 공원/여가선용지역(공원, 체육용지, 유원지, 사적지, 종교용지), 공장/산업지역(공장용지, 잡종지)이고 기타지목은 대상지역 및 시설의 특성 등을 고려하여 개별적으로 판단하게 되어 있음.

[2]수는 측정지역/측정지점임.

[3]NA = Not Available.

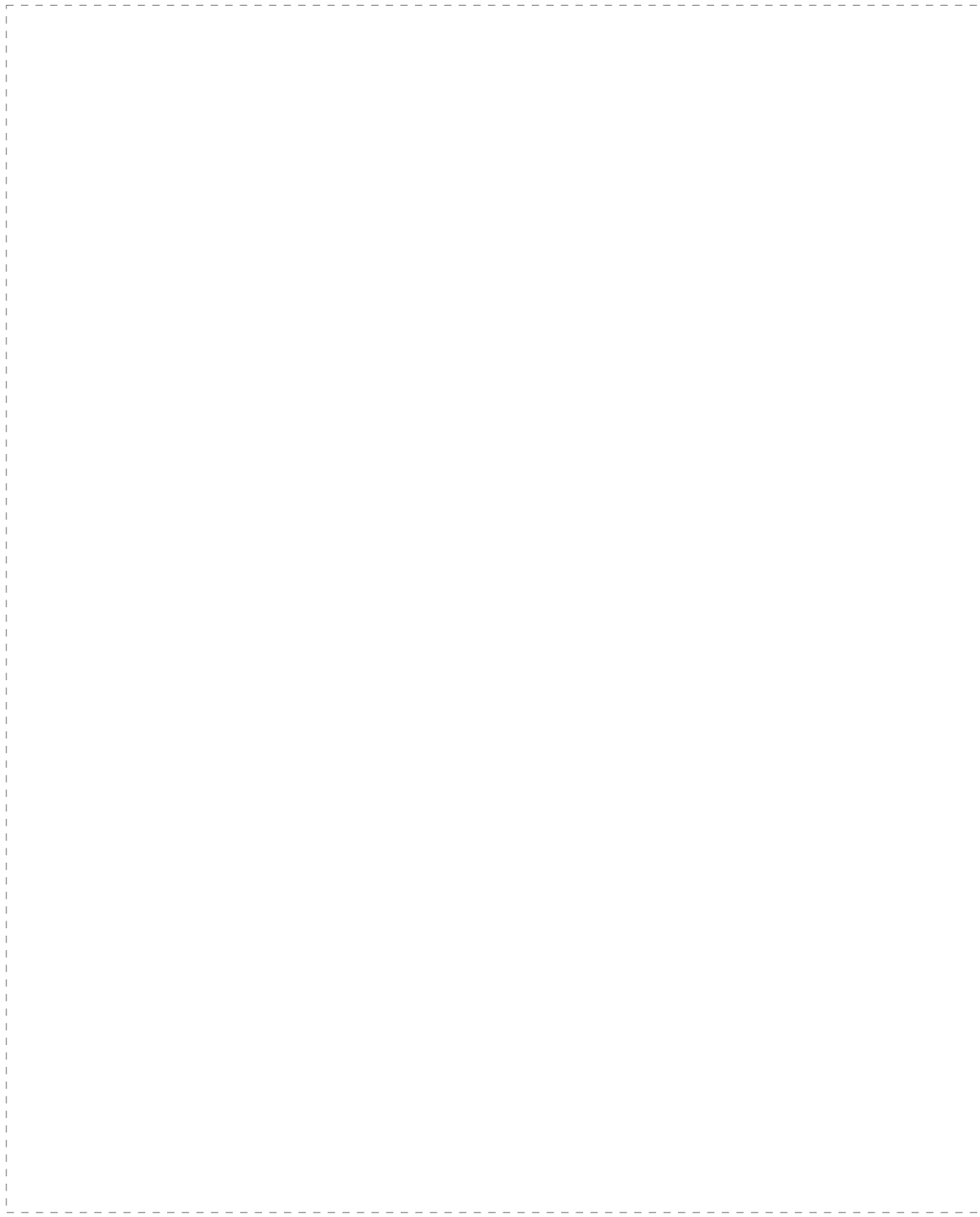
셋째, 토양측정망의 토양채취지역의 수가 빈약하며 전국적으로 토양측정지역이 고르게 분포되어 있지 않다. 운용되고 있는 토양측정망의 토양시료 조사지역 수는 전국 522개 지역을 격년제로 운용함으로써 매년 261개 지역의 토양시료를 채취하여 전국적인 토양의 상태 및 지역별 오염물질의 배출에 의한 오염진행상태를 파악하는데 있으나 522개 측정지역(1개 측정지역은 5개 측정지점으로 구성되어 있어 총 1305개 측정지점임)이 전국에 고르게 분포되어 있지 않으므로 전국의 토양상태를 파악하기 어렵다 <그림 III-1>.

통계적인 개념으로 전국의 토양상태를 지역별로 파악하기 위하여 경사면이 없는 지역의 경우, 1개의 토양측정지점을 최소단위면적으로 1km^{2}당 설정하여야 한다. 이 경우에 전국에 99,000여개의 토양측정지점이 필요하다. 특히, 우리나라는 임야가 전국토의 66%를 차지하고 있어 국토의 굴곡이 심하다. 토양측정지점은 예상되는 오염물질의 흐름, 이산, 흡착능 및 확산 등의 메커니즘과 지역의 자연 및 환경조건 등을 고려하여 설정해야 하는 것을 토대로 할 때, 전국의 토양측정지점수는 크게 늘어나야 한다. 그러나, 임야 등의 토양은

토양오염물질의 배출이 광산 등으로 오염(배출)원이 분명하므로 전국의 개략적인 토양상태를 파악하기 위하여 토양오염측정지점을 1km^{2}당 1지점정도로 설정할 필요가 없다. 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야, 대지, 공장용지, 도로, 철도용지, 공원, 체육용지, 유원지 등의 식물 또는 작물재배지역 및 인간의 활동이 많은 지역 등은 임야보다는 토양오염물질의 이동 및 배출 가능성이 많은 지역으로 임야지역보다는 세밀한 측정지점이 필요하다.

넷째, 측정지역을 인근지역 5개소의 측정지점으로 분할하고 5개 측정지점에서 독립적으로 채취된 토양시료의 분석결과를 1개소 측정지역으로의 평균으로 산정함으로써 비경제적으로 토양측정망을 운영하고 있다. 선정된 지역의 토양면적을 설정하고 이로부터 수질오염공정시험법(1991)에 제시된 토양시료의 채취방법을 이용하게 되면 1개소의 측정지점으로부터 선정된 측정지점의 해당(단위)면적 토양을 채취함으로써 선정된 지점의 토양상태를 파악할 수 있다. 이 방법은 운영되고 있는 토양측정망의 1개 지역에서 얻을 수 있는 5개 측정지점의 평균 값보다는 지역을 대표할 수 있는 신뢰성이 낮을 수 있으나 측정지점의 대표값이라는 측면과 경제적으로 대규모의 측정체계를 운영할 수 있다는 측면에서 더욱 효과적이다.

이와 같이 제시한 네가지 문제점을 종합할 때, 현재 운용되고 있는 토양측정망의 체계로는 우리나라 전국의 '土壤質(soil quality)'을 파악하여 적절한 토양질 관리방법을 제시하기 어렵다. 따라서, 전국의 토양상태를 정확히 이해할 수 있는 토양오염도 상시측정체계를 운영함으로써 토양오염(배출)원의 감시, 토양질의 감시, 유해물질과 오염수준의 감시 및 영향권 등을 상시로 감시할 수 있어야 한다. 또한, 토양오염도 상시측정체계는 토지·토양의 분류에 따른 토양의 개략적인 상태를 전국적으로 파악할 수 있는 토양체계 전반의 개괄적 정보체계의 수립과 토양의 상태를 상시 측정할 수 있는 기능을 수행할 수 있는 체계로써 현재 운용되는 토양측정망이 제시하지 못하고 있는 우리나라 토양질에 대한 전국적이고 체계적인 기초자료를 제시함으로써 효율적인 토양환경정책을 수행할 수 있도록 하여야 할 것이다.

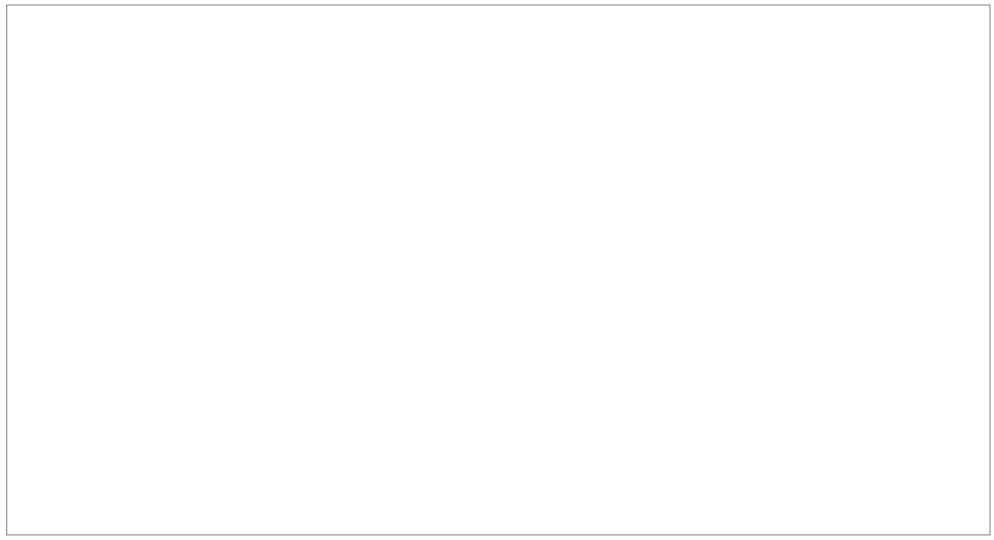


주: 특정지역의 위치는 각 시·군 단위를 기초로 표기된 것으로 시군내의 경계에 일부 변경될 수 있음.

<그림 III-1> 토양측정망 측정지역의 위치(1991년 이후의 측정지역 위치임).

2. 토양오염 판단기준의 설정

토양오염의 판단기준은「어떠한 상태의 토양을 오염된 토양이라 해야 하는가?」에 대한 근본적인 해답으로 토양중 오염물질이 축적되어 있어 인간의 건강 및 동식물에 유해하다고 판단되어 토양의 이용·용도를 변경하거나 오염물질을 처리하여야 할 오염물질의 농도를 토양의 분류별로 나타낸 것이다. 토양오염의 판단기준은 토양에 축적되는 각 유해물질의 환경위해성평가 결과에 따라 결정된다. 토양오염의 판단기준이 설정되어 있는 영국, 독일, 네덜란드, 덴마크 및 기타 유럽공동체 국가들은 오염물질의 농도에 따라 환경에 나타날 수 있는 위험성을 <그림 III-2>와 같이 표시하고 있다.



<그림 III-2> 한계유인치(Threshold Trigger Value), 대책유인치(Action Trigger Value)와 환경위해성과의 관계

<그림 III-2>의 수평축에서 제시되고 있는 두가지 농도의 의미는 토양오염판단기준을 설정하는데 결정적이라 할 수 있다. 한계유인치(Threshold Trigger Value)란 토양에 오염물질이 분석되지 않거나 또는 소량 축적되어 있으나 인체의 건강 및 동식물의 생육에 장해를 초래하지 않는 오염물질의 농도이다. 그러나 오염물질이

한계유인치 이상으로 축적될 경우 인체의 건강 및 동식물의 생육에 지장을 초래할 가능성이 있는 오염물질의 농도로 판정되어 오염물질의 처리가 필요할 것인가는 전문가에 의하여 결정될 수 있는 농도라 할 수 있다. 오염물질의 농도가 증가되어 인체의 건강 및 동식물의 생육에 장해를 입히는 농도가 대책유인치(Action Trigger Value)이다. 오염물질의 농도가 대책유인치 이상으로 나타날 경우 오염물질을 제거 또는 처리함으로써 토양중 오염물질의 농도를 대책유인치 이하로 감소시키거나 또는 오염된 지역을 폐쇄하여야 한다.

<그림 III-2>에 제시하고 있는 토양오염의 판단기준은 토양의 분류에 따라 달라진다. 예를 들면, 농경지와 산업지에서 존재하는 중금속이 인간의 건강에 미치는 영향은 중금속의 농도에 따라 크게 다를 수 있다. 산업지에서의 중금속은 대부분이 인체에 직접적으로 접촉됨으로써 인간의 건강에 피해를 입힐 수 있다. 그러나 농경지의 중금속은 작물이 물, 양분을 토양에서 흡수할 때 토양중의 중금속이 작물체내에 흡수되고 작물에 축적된다 (Kim & Thornton, 1993a; Kim & Thornton, 1993b). 중금속이 축적된 작물을 인간이 지속적으로 섭취할 경우 2차적인 중금속의 생물농축현상에 의하여 인간의 건강에 치명적일 수 있다. 따라서, 농경지에서 중금속 토양오염을 판단할 수 있는 오염물질의 기준농도는 주거지, 여가지, 산업지 등에서의 보다 엄격하게 적용되어야 한다.

토양오염의 판단기준의 설정은 국가의 토양환경보전정책을 발전시키기 위한 정책의 기본도구이다. 그러나 토양오염의 판단기준은 국가별, 토양의 이용·용도별로 다르게 나타나므로 선진 외국에서 제시하고 있는 오염물질에 대한 토양오염의 판단기준을 검토하여 우리나라의 현실에 적합한 토양오염판단기준이 제시되어야 할 것이다.

3. 토양오염유발시설의 종류 및 범위 선정

토양오염을 방지하기 위한 정책은 오염물질의 처리단계에 따라 두가지로 구분할 수 있다. 첫째는, 오염물질이 토양에 유입되기 이전에 토양오염을 유발할 우려가 있는 시설에 오염물질이 토양에 유입될 수 있는 방지시설을 설치하게 함으로써 오염물질의 토양유입을 사전에 차단하는 관리방법이다. 둘째는, 토양으로 유입되는 오염물질의 배출기준을 설정함으로써 토양환경중 오염물질의 양을 최소화할 수 있도록 하는 관리방법이다.

현재 선진외국(미국, 영국, 네덜란드, 독일, EU국가, 일본, 호주 및 뉴질랜드 등)에서는 토양오염의 방지정책으로 오염물질의 토양중 농도 및 환경(토양, 수계, 대기 등)으로의 유입량을 규제하고 있다. 그러나 미국의 경우는 토양오염물질의 환경유입기준과는 독립적으로, CERCLA와 RCRA에 의하여 토양오염을 유발할 우려가 있는 일부 유독폐기물 저장시설(hazardous waste facilities)과 지하저장시설(underground storage tanks)등에 대해서 시설설치에 관한 허가권을 주정부 및 연방정부에서 관리하고 있다. 즉, 토양오염유발시설이 적정한 토양환경오염방지시설을 설치하지 않을 경우 이들 시설에 대한 시설허가를 승인하지 않음으로써 시설로부터 토양오염물질의 배출을 사전에 차단하고 있는 토양오염방지정책을 배출되는 오염물질의 농도규제와 더불어 병행하고 있다.

토양오염유발시설의 법적규제 有·無는 선진외국의 사례에서 제시한 바와 같이 국가에 따라 다르다. 그러나, 미국의 경우에서 제시된 바와 같이 토양오염을 유발할 가능성이 있는 유독물질 또는 유류 등의 지하저장시설을 대상으로 이들 시설에 대한 토양오염방지시설을 의무로 규정함으로써 오염물질의 토양, 지하수 및 하천으로의 유입을 사전에 방지하는 것은 토양환경의 보전을 위한 측면에서 효율성이 높을 수 있다. 특히, 우리나라에서 중금속 등의 오염물질을 배출할 가능성이 있는 시설을 설정하여 토양오염방지시설의 설치기준을 의무로 규정함으로써 오염물질의 토양, 지하수 및 하천 등에의 유입을 사전에 방지함으로써 건강하고 쾌적한 생활공간을 조성할 수 있는 법적 규제가 필요하다.

4. 토양오염유발시설의 토양오염방지시설 설치기준의 설정

미국 EPA의 1970년 자료에 따르면 전체주유소중 25%가 누출사고를 일으켰다. 또한 1983년경부터 주유소나 화학공장 지하탱크 또는 파이프에 대한 누출문제가 인식되기 시작했다. EPA의 「지하탱크누출에 관한 상황보고」(1986년 8월)개괄에 따르면, 탱크누출사고 중 철강탱크가 81%, FRP탱크가 19%이었다 (당시의 지하탱크자료에 따르면 철강탱크와 FRP탱크비율은 철강탱크 89%, FRP탱크가 11%).

이후 미국정부에서는 유류 및 유해화학물질 등의 지하 및 지상저장시설에 대해서는 EPA규칙과 주법으로 분리하여 탱크의 시설설치기준을 설정함으로써 토양오염을 사전에 방지하고 있다. 1988년 EPA는 지하탱크설비에 관한 기준을 정했는데, 1998년까지 지하탱크설비를 「EPA의 지하탱크설비에 관한 기준」에 적합하도

록 규정하고 있다. 이 기준에는 유류저장시설에서 25gallon(약 95L) 이상이 지상에 누출될 경우 담당기관에 통보를 하도록 되어 있다. 이때, 유류로 오염된 토양의 오염기준은 토양을 물속에 투입한 경우에 수면에 유막이 발생하는 토양을 대상으로 하고 있다. 또한, 지하철강탱크에 陽極保護 또는 重防食방법에 의해 보호될 수 있어야 하며, 1998년까지 지하탱크·지하배관은 연방정부의 시설설치기준에 맞도록 고품질화하고, EPA기준을 따르지 않는 주유소는 폐쇄하도록 계획하고 있다.

EPA의 유류저장시설의 토양오염방지를 위한 시설설치지침에 누유탐지방법 및 기계설비, 탱크소유주에 100만달러의 보험가입 의무화, 지하탱크 설비기준 준수, 누유시 정화·보고·기록보존의무, 탱크설치·사용에 관한 소유주의 보고의무, 재고관리·누유모니터링 방법 등이 제시되어 있으며, 시험방법은 수작업에서 기계모니터링으로 이행하도록 되어 있다. 가압식배관에는 자동라인 누유탐지기 및 기타 누설탐지기 시스템을 설치하여야 하고, 누유탐지방법, 넘침(overflow)방지구조, 탱크 누유대책으로 이중배관 FF탱크내부에 코팅을 하여야 하고, 전극에 의한 부식 방지와 Stealcladding(금속부식방지를 위해 금속의 표면을 다른 금속으로 덮는 기법)을 1998년까지 실시하도록 하고 있다. 캘리포니아·뉴욕·플로리다주를 포함한 10개州는 주법으로 이중지하탱크를 사용해야 한다고 규정하고 있으나, 다른 州에는 이러한 규정이 없다. 아울러 지하탱크와 합성수지이중관, 라이닝(lining)관을 의무화(부식방지관)하고 있다.

네덜란드, 영국, 프랑스 등의 유럽연합국가에서는 미국에서 실시되고 있는 유류 및 유해화학물질의 저장시설에 대한 엄격한 시설기준이 설정되어 있지 않으나 이들 시설로부터 발생할 수 있는 토양오염을 사전에 방지할 수 있도록 시설관리시스템을 개발하고 있거나, 향후 설치되는 시설에 저장물의 누출을 감지 및 방지할 수 있는 시설로 대체될 수 있도록 방향을 수립하고 있다. 영국의 경우는 탱크의 재고를 상세하게 알 수 있는 관리시스템의 개발을 추진함으로써 저장물의 누출을 사전에 감지하여 오염된 토양을 신속하게 복원할 수 있도록 추진하고 있다. 네덜란드에서는 토양정화를 촉진시킬 목적으로 SUBAT라고 하는 토양정화기금을 설치하고, 저장탱크의 설비검사, 탱크전극 검사, overflow(역류)방지장치 설치, 기름분리탱크 및 포장, 펌프 및 배관마감, 모니터링시스템(토양깊이가 10m까지 동 시스템 활용) 등을 저장탱크로부터 토양오염을 방지할 수 있는 최선의 기술로 결정하여, SUBAT에서 우선적으로 기술개발을 지원하고 있다. 프랑스와 벨기에에서는 이들

시설로부터의 배출되는 오염물질의 양을 설정하고, 이를 규제함으로써 이들 시설로부터 발생할 수 있는 토양오염을 간접적으로 규제하고 있다.

우리나라에서는 유류저장시설 등의 위험물 취급소에 관한 시설설치기준으로 소방법 제17조에 제시되어 있다. 위험물의 취급·저장소로는 옥내저장소, 옥외탱크저장소, 옥내탱크저장소, 지하탱크저장소, 간이탱크저장소, 이동탱크저장소, 옥외저장소, 그리고 선박탱크저장소로 분류하고, 이 시설들의 시설설치기준은 소방법의 기준을 따라야하므로 화재발생으로부터의 보호가 기본으로 되어있다. 토양환경을 보전하기 위한 시설기준으로는 위험물의 취급·저장소에 있어서 위험물이 침출될 우려가 있는 부분은 아스팔트, 기타 부식하지 아니하는 재료로 피복하는 정도이다. 액체위험물 저장소의 바닥은 위험물이 침투하지 아니하도록 재료를 사용하되, 적당하게 경사지게 하여 그 최저부에 저유설비를 하여야 한다고 규정하고 있다.

우리나라의 유해화학물질저장시설의 시설설치기준은 유해화학물질관리법 시행법칙 제12조(유독물 영업자의 시설, 장비 등의 기준)에 따르고 있다. 유해화학물질저장 설치기준을 유독물 제조업, 유독물 판매업 및 유독물 취급업으로 분류하여, 시설별로 설정하고 있다. 토양환경을 보전하기 위한 시설기준으로 ①유독물을 중화, 흡착, 희석하거나 회수할 수 있는 방재 약품이나, 자재를 비치하고, ②보관시설에는 유독물이 외부로 유출되거나 지하로 스며들거나 흩날리는 것을 방지할 수 있는 시설을 설치하여야 한다고 제시되어 있다. 이러한 유해화학물질저장시설과 유류저장소 중에서 옥외저장소와 옥외탱크저장소, 지하탱크저장소에 대한 세부적인 시설법규현황을 <부록 4>에 수록하였다.

토양오염을 유발할 수 있는 시설의 시설설치기준에 관한 국외의 현황 및 전망을 고려할 때, 이들 시설로부터 오염물질의 누출을 사전에 차단할 수 있는 방법이 토양오염을 관리하는 중요한 방안으로 제시되고 있다. 우리나라에서는 이들 시설로부터 발생할 수 있는 토양오염을 사전에 방지할 수 있는 시설의 설치기준을 의무로 규정함으로써 오염물질의 토양, 지하수 및 하천 등에의 유입을 사전에 방지하여 건강하고 쾌적한 토양환경을 조성할 수 있는 방안이 필요할 것이다.

5. 토양보전대책지역의 지정체계 및 지정방법 수립

토양오염을 판단하는 기준농도 이상으로 오염물질이 축적되어 있는 토양은 오염물질의 농도를 토양오염을 판단하는 기준농도 이하로 유지할 수 있도록 처리하여

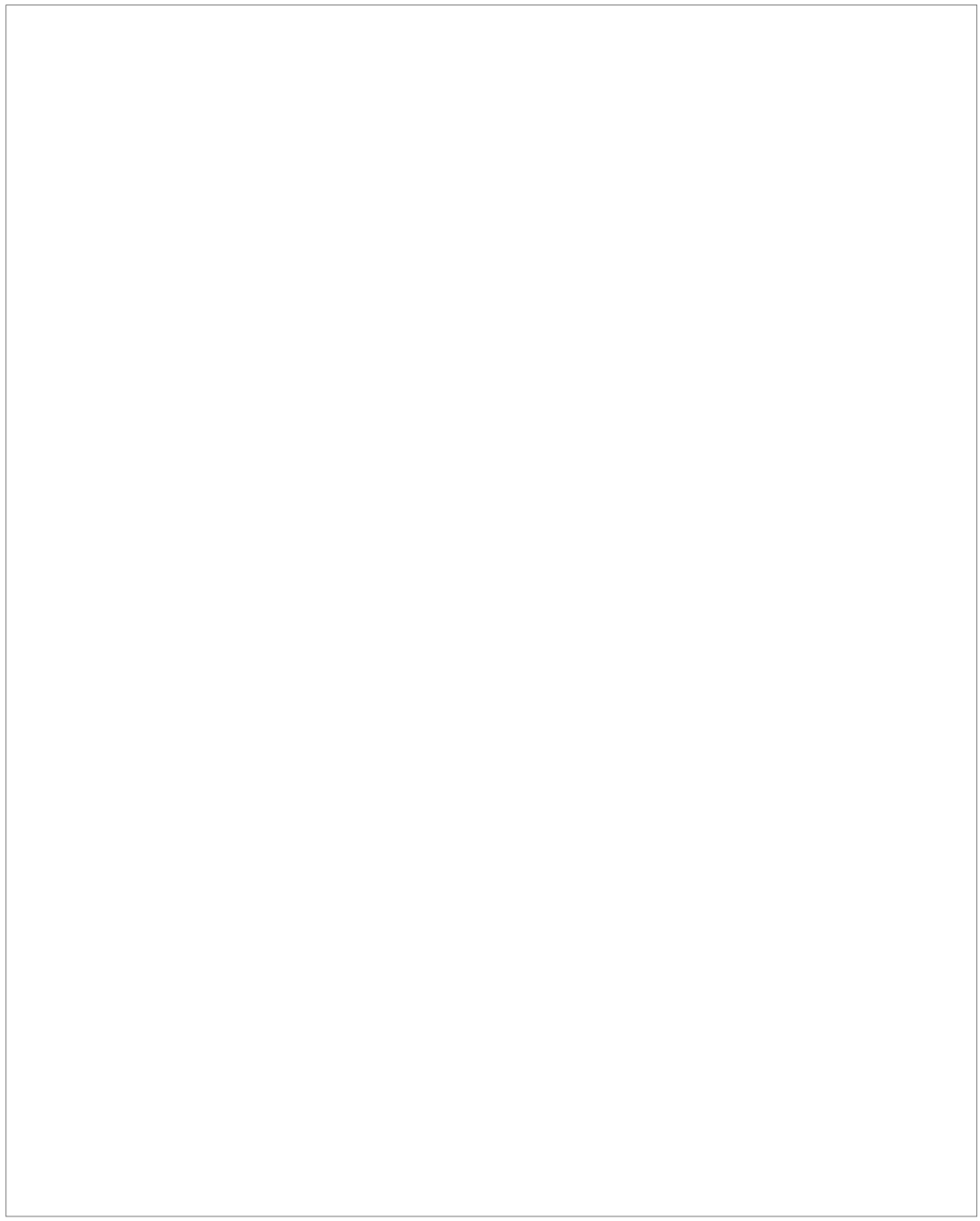
야 한다. 오염된 토양을 처리하기 위하여 해당되는 면적의 합리적이고 체계적인 지정이 필요하다.

일본에서는 오염토양처리를 위한 지정체계 및 지정방법으로 국유지를 제외한 토양의 경우에 토양·지하수 오염의 조사·대책지침에 따른 오염토양의 지정, 농경지 오염토양의 지정, 국유지에 대한 오염토양의 지정으로 구분하고 있다. 이중 근본적인 오염토양지역의 지정체계는 일본 환경청(1993)에서 제시하고 있는「국유지에 대한 토양오염대책지침」중 시가지 토양오염방지대책에서 제시하고 있다.

오염토양의 지정체계는 토양오염이 의문시되는 대상지의 자료조사부터 시작한다. 토양오염이 우려되는 지역에 대해서는 토양의 개황조사가 실시되고 토양중 오염물질의 함유량이 일본의 법적 기준을 초과하는 지역에 대해서 정밀조사를 실시하게 되어 있다. 정밀조사는 토양의 상층부분(표토층)과 지하수를 함께 조사한다. 토양 및 지하수가 오염되었을 경우라도 빠른 기간중에 처리할 수 있을 때는 응급대책지역으로 지정하여 조속한 기간중에 오염된 토양을 처리하도록 되어 있다. 오염된 토양의 처리기간이 조속히 달성될 수 없을 경우에는 오염된 토양면적을 토양대책지역으로 선정하여 오염토양의 개선사업을 실시하게 되어 있다 <그림 III-2>.

영국에서는 일정면적의 토양이 오염토양으로 지정되기까지는 오염물질이 환경에 미칠 수 있는 영향평가에 의하여 체계적으로 결정되게 된다 <그림 III-4>. 일정면적이 거래, 복원, 개발 또는 사용시 해당지역의 토양오염역사, 지질, 지하수 상태 등에 관한 정보를 수집하여 기초자료로 사용하거나 또는 전문가에게 의뢰하도록 되어 있다. 해당지역에서 오염상태가 우려될 경우는 환경에 대한 악영향에 대해서 조사하고, 필요한 지역에 대해서는 토양의 정밀조사를 실시하게 되어 있다.

우리나라에서는 토양환경보전법(1995. 1. 5 제정)에서는 오염토양의 처리가 필요한 지역을「토양보전대책지역」으로 설정하고 개략적으로 토양보전대책지역의 지정체계를 설정하고 있다. 토양환경보전법에 의하면 토양보전대책지역을 지정할 수 있는 체계에 대하여 다음의 세가지 동기를 설정하고 있다. 첫째, 토양정밀조사에 의하여 토양중 오염물질의 농도가 토양오염의 기준을 초과한 지역이다. 둘째, 토양중 오염물질의 농도가 토양오염대책기준을 초과하지 않으나 시·도지사가 관할 구역중 특히 토양보전이 필요하다고 인정하는 지역으로 시·도지사의 요청에 의하여 관계 중앙기관의 장과의 협의가 된 지역이다. 셋째, 토양중 오염물질의 농도가 토양오염대책기준을 초과하지 않으나 환경부장관의 요청에 따라 환경부「토양분과

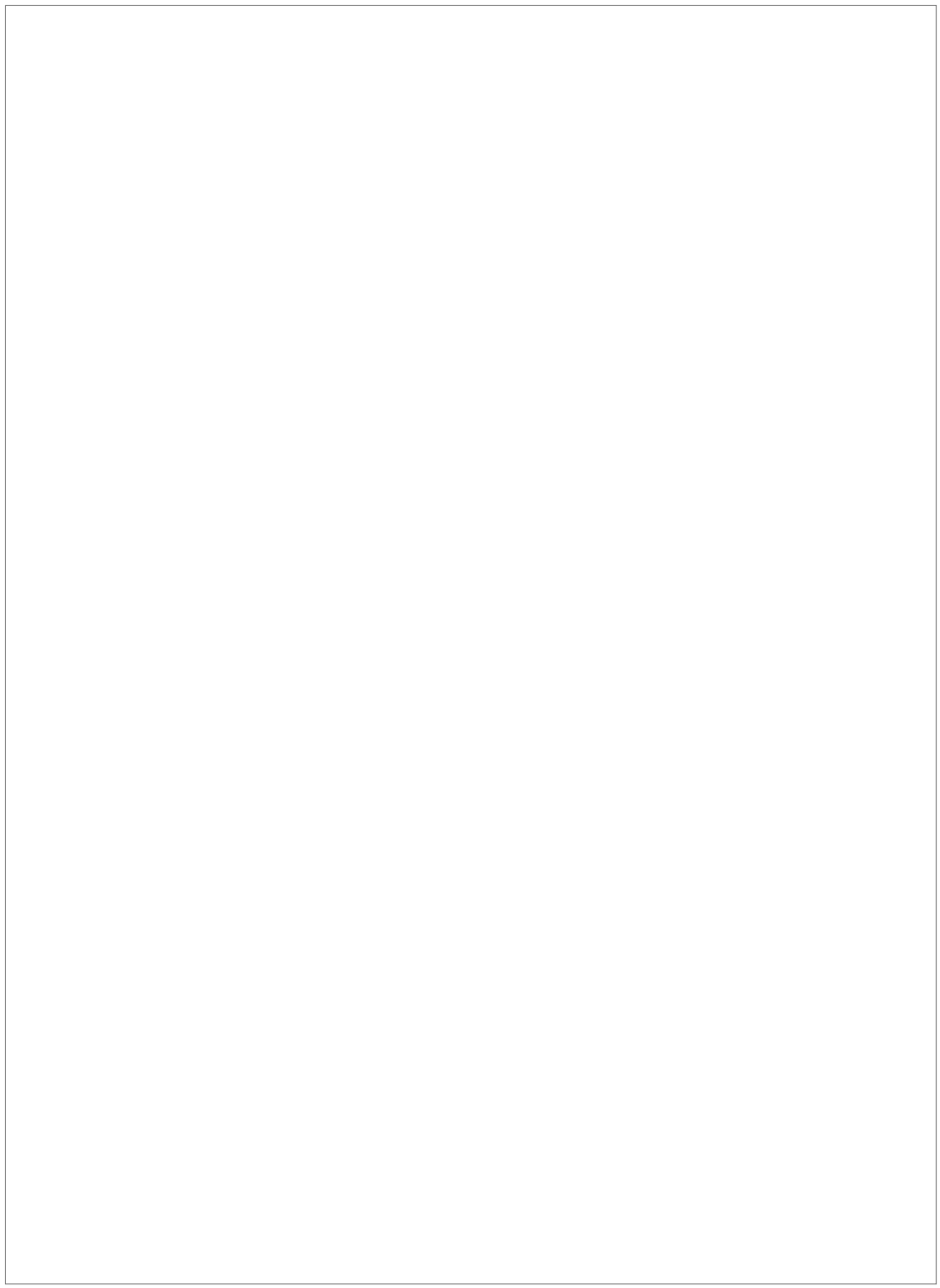


<그림 III-3> 일본의 시가지 토양오염방지대책의 체계(제시된 I. II는 일본토양의 대책 선정기준의 용출량치 I, II의 기준으로 본 보고서의 <표 II-23>에 제시되어 있음).

위원회」의 심의에 의하여 오염토양의 처리가 필요하다고 인정하는 지역이다. 세 가지 동기에 의하여 지정될 수 있는 토양보전대책지역은 해당지역을 건전한 토양환경을 유지하는 외부지역과 격리하여 해당지역으로부터 사람 및 동·식물을 보호하고, 오염된 토양에서 오염물질의 농도를 토양을 이용할 수 있는 목표농도 이하로 오염물질을 제거 또는 처리할 수 있도록 계획하고 있다.

토양보전대책지역의 지정기준·지정절차와 기타 필요한 사항은 토양환경보전법에서 대통령령으로 정하도록 되어 있다. 이에 따른 환경부장관의 책무로써 대책지역을 지정할 때에는 당해 지역의 위치·면적·지정년월일·지정목적, 기타 총리령이 정하는 사항을 고시하도록 되어 있다. 고시된 사항을 변경한 때에도 또한 같다고 명시되어 있다.

국외의 현황을 고려할 때, 토양보전대책지역의 지정체계 및 지정방법의 설정은 오염된 지역을 외부로부터 격리함으로써 발생할 수 있는 오염물질의 확산을 방지하고 위험요인을 사전에 제거할 수 있는 중요한 관리방안으로 제시되고 있다. 우리나라에서는 토양보전대책지역의 지정체계 및 지정방법을 우리나라의 실정에 적합하도록 효율적으로 설정하고 오염된 지역의 토양을 최종적으로 정화함으로써 건강하고 쾌적한 토양환경을 조성할 수 있도록 하여야 할 것이다.



<그림 III-4> 영국 오염토양의 지정 체계도

IV. 토양오염 관리를 위한 구체적 추진방안

1. 토양오염도 상시측정체계의 구축

「토양오염도 상시측정체계」는「토양시료(soil sample)에서 토양오염물질의 농도를 정량적으로 분석(quantity analysis)하여 토양의 상태(비오염 또는 오염의 정도)를 토양시료 채취지점별로 판정함으로써 시료가 측정된 지점(이후 '측정지점'이라 함)과 측정지점의 인근지역의 토양상태를 개략적으로 진단하고, 측정지점별 토양 분석결과를 연결 또는 집단으로 분석(linked- or cluster analysis)함으로써 측정지점별 토양상태를 파악하기 위한 체계」이다. 즉, 토양오염도 상시측정체계는 대상토양의 '土壤質(soil quality)'을 파악하여 적절한 토양질 관리의사를 내릴 수 있도록 하는 것으로 자연상태의 토양질과 정책결정자를 연결하는 고리이다.

토양오염도 상시측정체계의 구축목적은 토양환경의 보전을 목표로 하여 1987년 이후 운용되고 있는 토양측정망의 체계를 개선함으로써 우리나라 전국토의 '土壤質(soil quality)'을 체계적이고 종합적으로 파악하여 적절한 토양질 관리방법을 제시할 수 있도록 하는 것으로 토양상태의 정확한 이해에 있다. 이를 달성하기 위하여 토양오염도 상시측정체계의 세부적인 설치목적은 토양오염(배출)원의 감시, 토양질의 감시, 유해물질과 오염수준의 감시 및 영향권 등의 감시에 있다고 할 수 있다. 또한, 토지·토양의 분류에 따른 토양의 개략적인 상태를 전국적으로 파악할 수 있는 토양체계 전반의 개괄적 정보체계의 수립과 토양의 상태를 상시 측정할 수 있는 기능을 수행할 수 있는 체계를 구축함으로써 현재 운용되는 토양측정망이 제시하지 못하고 있는 우리나라 토양질에 대한 전국적이고 체계적인 기초자료를 제시하여 효율적인 토양환경정책을 수행할 수 있도록 함에 있다.

1.1. 토양오염도 상시측정체계의 구축설계

토양오염도 상시측정체계의 설계형태는 토양오염도 상시측정체계의 설치목적에 따라 다르게 나타난다 <부록 5>. 본 연구에서 구축하고자 하는 토양오염도 상시측정체계는 제시한 토양오염도 상시측정체계의 목적을 우리나라의 주어진 여건에서 최대한으로 달성할 수 있는 적합한 체계가 될 수 있도록 다음과 같은 두가지

기능을 병행할 수 있도록 하였다.

첫째, 토양의 상태에 변화를 나타내는 외부적 영향이나 장기적인 경향의 파악을 위한 체계이다. 이것은 토양체계 전반의 개괄적 정보를 제공하는 것으로 토양에서 전반적인 토양상태의 장기적 변화추이를 이해하기 위한 체계이다. 즉, 토양오염도 상시측정체계에서 제시되는 토양오염도 분석자료는 측정된 토양의 지점별 토양상태를 연결시킬 수 있는 기능 또는 측정지점별 자료를 총괄, 분석하여 전국 또는 지역의 토양상태를 개략적으로 파악하는데 사용할 수 있는 체계이다.

둘째, 토양오염판단기준 이상인 토양지역을 검정하므로써 토양오염판단기준을 초과하는 지역을 파악하기 위한 체계이다. 이는 토양환경기준의 위반을 검출하기 위한 체계로 토양환경기준의 위반이 어느 시기에 어떠한 시간적인 변이로 일어나는가를 감시할 수 있는 토양오염상태의 측정체계이다. 즉, 토양오염원이 분명할 경우 토양오염이 발생하고 진행되는 것을 지역적으로 파악하기 위하여 측정체계 대상지역의 자연 및 환경조건, 오염물질의 흐름·이산·흡착능·확산 등의 메커니즘을 고려하여 오염도의 진행을 파악할 수 있는 토양상태 측정체계의 구성이라 할 수 있다.

토양오염도 상시측정체계의 설계에 있어서 우리나라의 현실적인 여건으로는 ①1995년 7월 이후 지방자치제의 시행이며, ②토양오염도 상시측정체계의 현실적인 운영·관리, ③토양오염도 상시측정체계의 운영에 필요한 예산의 조달문제라 할 수 있다. 이에 따라, 중앙행정부와 지방자치단체가 독립적이고 효율적으로 실행할 수 있도록 토양오염도 상시측정체계를 토지·토양의 분류에 따른 토양의 개략적인 상태를 전국적으로 파악할 수 있는 전국적 토양측정체계와 오염원의 오염물질배출에 의한 토양오염의 진행상태를 파악할 수 있는 지역별 토양측정체계로의 이원화를 구상하였다. 토양오염도 상시측정체계를 이원화시키는 구상에서 다음과 같은 세부사항을 원칙으로 설정하여 토양오염도 상시측정체계의 효율을 높일 수 있도록 하였다 <표 IV-1>. 이원화된 토양오염도 상시측정체계의 운영·관리방법과 토양오염도 상시측정체계의 운영예산을 제시함으로써, 설계되는 토양오염도 상시측정체계의 현실적인 운영·관리방법과 토양오염도 상시측정체계의 경제성을 평가할 수

있도록 하였다.

1.1.1. 측정지점의 개소 및 위치설정

(1) 중앙측정체계

가. 측정지점의 설치원칙 및 설치기준

토양의 상태를 측정하기 위한 설계시 가장 선행되어 결정되어야 할 것이 토양오염도 상시측정체계의 대상지역에 어떠한 기준에 의하여 총 몇개의 측정지점을 설정할 것이며, 어느 곳에 측정지점의 위치를 설정하는가의 문제이다. 이는 공간적으로 토양상태 오염물질의 농도 측정값이 모집단으로부터 대상 토양지역 전체의 토양질을 신뢰구간내에서 얼마나 잘 반영하는가의 기본적인 문제이다 <부록 5>.

중앙측정체계의 측정지점의 개소 및 위치는 전국적 토양상태의 파악, 토양의 다기능성, 토지·토양의 이용상태, 운영되고 있는 토양측정망과의 연계성 등을 고려할 수 있도록 설계방향을 설정하였다. 첫째, 전국토의 토양·토지이용 분류에 따른 토양상태를 분석할 수 있는 측정지점의 선정방법으로 전국을 동일한 면적으로 분할하여 각 분할된 지역마다 토양·토지의 이용·용도별로 측정지점을 설치하되, 국토의 이용·용도의 높·낮음에 따라 측정지점의 개소(수)에 차이를 두도록 하여 국토의 이용상태를 고려할 수 있도록 하였다. 또한 운영되고 있는 토양측정망에 의한 토양상태의 조사는 1987년 이후 1995년 현재까지 지속되고 있는 것으로 국토를 일정한 단위면적의 mesh로 분리하고, 해당 mesh에 토양측정망의 측정지점이 포함되어 있을 경우는 가능한 운영중인 토양측정망의 측정지점을 우선적으로 토양측정체계의 측정지점으로 선정하도록 하여 자료의 지속성을 유지할 수 있도록 하였다.

중앙측정체계의 측정지점 선정을 위한 기초자료로 사용하기 위하여 이용상태에 따른 전국 토양의 분류는 지적법에 따라 분류된 우리나라 국토의 이용현황을 토대로 하였다 <표 IV-2>. 우리나라의 국토는 99,299,810,000m^2(99,299km^2)로 전국토의 이용에 따라 전, 답, 과수원을 포함한 25개 지역으로 구분하고 있다(건설교통부, 1994). <표 IV-2>에 제시된 토지 이용구분중에 토양오염원에 의한 토양오염이 진행될 수 있는 주요지역으로 전(upland paddy), 답(rice paddy), 과수원(orchard), 목

<표 IV-1> 토양오염도 상시측정체계의 이원화 원칙

구분	원칙
이원화된 토양오염도 상시측정체계의 담당주체	-토양오염도 측정체계는 중앙부처(환경부)에서 관할하는 「중앙측정체계」와 시·도(시·도지사)에서 관할하는 「지방측정체계」로 이원화한다.
중앙측정체계 측정지점의 선정원칙	-중앙측정체계의 조사지점 선정은 국토를 단위 면적당 메쉬(mesh)로 분할하되 산림, 농경지, 산업지역, 공원·여가선용지역 등의 토양의 이용용도와 유류저장시설, 산업시설, 광산 등의 오염원의 면적·용도 등을 고려하여 조사지점(수)을 가능한 탄력적으로 선정하도록 한다. -현재 운영중인 토양측정망의 측정지점은 중앙측정체계에 가능하면 포함시킬 수 있도록 한다.
지방측정체계 측정지점의 선정원칙	-지방측정체계의 조사지점은 시·도지사의 관할지역중 오염(배출원)원을 중심으로 측정지점을 토양의 이용·용도별로 선정하고, 새로운 오염원이 등장하는 지역에 대해서는 측정지점을 탄력적으로 변경 또는 추가할 수 있도록 한다.
측정지역과 측정지점의 구분 폐지	-기존에 운영하는 토양측정망에서 토양시료를 채취하는 측정지역과 측정지점의 구분을 없애고 계획되는 토양오염도 상시측정체계에서는 측정지점만을 선택한다.
측정지점의 조사주기	-토양오염도 중앙측정체계의 측정지점의 조사주기로 처음 2년간은 측정체계의 전지역을 대상으로 토양오염도를 조사하고, 검사결과 토양오염도 조사치의 변화정도가 통계적으로 유의성이 적으며(예를 들면, p=0.05의 범위) 또한 토양오염의 우려가능성이 적은 지역은 조사주기를 탄력적으로 2-5년 간격으로 넓힌다.
토양에서 분석하는 오염물질의 종류	-토양시료에서 조사하는 오염물질은 토양환경보전법의 시행규칙에서 계획되고 있는 As, Cd, Cr^{6+}, Cu, Hg, Pb, 유기인화합물, PCBs, 시안화합물, 페놀류, 유류성분(동·식물성은 제외함)의 11종류로 설정하고, 이외 다른 오염물질에 의하여 토양오염이 우려되는 지역은 오염원에서 배출하는 오염물질의 종류를 고려하여 조사항목을 확대한다.

<표 IV-2> 국토이용현황-가로표 -1

<표 IV-2> 국토이용현황-가로표 -2

장용지(pasture), 임야(forestry or mountain area), 대지(residential site), 공장용지(factory site), 도로(roads), 철도용지(railroad site), 공원(park), 체육용지(playground or sport area), 유원지(recreational site) 등으로 구분할 수 있다. 광천지(site for mineral spring), 염전(salt field), 학교용지, 종교용지, 사적지, 묘지, 잡종지(miscellaneous site) 등은 토양오염의 우려가 없는 지역으로 간주하여 토양오염측정지역에서 제외하였다. 하천, 제방, 구거(溝渠: drain or ditch site), 유지(溜池: pond or lake), 수도용지(water supply site)는 하천 및 생활용수지역으로 토양오염측정지역에서 제외하였다.

중앙측정체계의 측정지점별 거리로 전, 답, 과수원, 목장용지, 대지, 도로, 철도용지의 7개 국토이용지역에서는 측정지점별 거리기준을 10km^{2}당 1개소의 측정지역 설정을 기준으로 하였다. 임야의 측정지점별 거리기준을 100km^{2}당 1개소의 측정지역 설정을 기준으로 하였다. 공장용지, 공원, 체육용지, 유원지의 3개 이용지역은 주민의 활동이 많으므로 인하여 토양오염이 발생하기 쉽고 주민의 건강과 밀접하게 관련되는 이용지역으로 측정지점별 거리기준을 1km^{2}당 1개소의 측정지점 설정을 기준으로 하였다 <표 IV-3>.

나. 측정지점 개소

중앙측정체계 측정지점의 설치기준으로 중앙측정체계의 측정지점수를 산출하면, 전국토에 3,356개소의 측정지점수가 산출된다. 측정지점은 경북에서 481개소로 각 시·도별중 가장 많으며, 전체 구성비의 약 14.3%를 차지하고 있다. 제주도는 115개소로 전체구성비의 3.4%를 차지하고 도별로는 가장 적은 측정지점 개소로 나타나고 있다. 각대도시별 측정지점의 개소는 서울이 63개소로 전체구성비의1.9%를 차지하고 있으며 나머지 대도시는 서울의 측정지점 개소(또는 전체구성비)보다 적게 나타나고 있다 <표 IV-4>.

다. 측정지점의 위치선정(경기도 여주군을 대상으로)

경기도 여주군을 대상으로 토양오염도 상시측정체계의 측정지점을 선정하기 위하여 지적법에 의한 경기도의 토지이용·용도별 면적을 조사하였다. 경기도는 총면적 10.773,990천m^{2}로 전(1,190,101천m^2), 답(1,788,202천m^2), 과수원(11,809천m^2), 목장용지(33,648천m^2), 임야(6,184,525천m^2), 대지(259,716천m^2), 공장용지(46,503천m^2), 도로(225,143천m^2), 철도용지(14,967천m^2), 공원용지(3,479천m^2), 체육용지(29,314천

<표 IV-3> 중앙측정체계의 측정지점 설치기준

구 분	면적 (구성비)[1]	측정지역별 분리면적
합 계	99,299,810 (100.0)	-
전	8,680,565 (8.7)	1개소/10km^2
답	12,643,318 (12.7)	1개소/10km^2
과 수 원	392,839 (0.4)	1개소/10km^2
목장용지	468,483 (0.5)	1개소/10km^2
임 야	65,688,911 (66.1)	1개소/100km^2
광 천 지	1 (0.0)	-
염 전	134,196 (0.1)	-
대 지	2,000,239 (2.0)	1개소/10km^2
공장용지	289,601 (0.3)	1개소/1km^2
학교용지	195,780 (0.2)	-
도 로	1,888,282 (1.9)	1개소/10km^2
철도용지	114,790 (0.1)	1개소/10km^2
하 천	2,863,000 (2.9)	-
제 방	158,985 (0.2)	-
구 거	1,567,736 (1.6)	-
溜 池	905,462 (0.9)	-
수도용지	25,744 (0.0)	-
공 원	24,911 (0.0)	1개소/1km^2
체육용지	54,768 (0.1)	1개소/1km^2
유 원 지	13,705 (0.0)	1개소/1km^2
종교용지	13,849 (0.0)	-

[1]1992년 기준으로 면적의 단위는 천m^2; 구성비의 단위는 %임.

[2]토양측정지점별 분리거리의 기준으로 면적 10km^{2}당 1개소 측정지점을 선정하였음 (1개소/10km^2)

<표 IV-4> 중앙 토양오염 상시체계 측정지역 개소 : 가로표

m^2), 유원지(3,055천m^2)와 기타 광천지, 염전, 학교용지, 하천, 제방, 구거, 유지, 수도용지, 종교용지, 사적지, 묘지, 잡종지, 미복구지 등으로 구분된다. 이중 광천지, 염전, 학교용지, 하천, 제방, 구거, 유지, 수도용지, 종교용지, 사적지, 묘지, 잡종지, 미복구지 등은 토양오염도의 측정이 불필요한 지역으로 토양오염도 중앙측정체계의 측정지점의 선정대상에서 제외하였다. 여주군의 면적은 610,789천m^2로 토지이용·용도별에 따른 각 면적으로 분류된다 <표 IV-5>.

경기도에서 여주군이 경기도 총 면적중에서 토지의 이용·용도별로 차지하는 비율은 다음과 같다. 여주군은 경기도 총면적에 5.67%를 차지하고 있으며, 田 6.24%, 畓 5.92%, 과수원 6.97%, 목장용지 9.82%, 임야 5.42%, 대지 3.43%, 공장용지 4.14%, 도로 4.15%, 철도용지 0.96%, 공원용지 0%, 체육용지 4.24%, 유원지 3.63%를 차지하고 있다 <표 IV-6>.

중앙측정체계의 개략적인 측정지점수를 산정한 <표 IV-4>에서 경기도 지역은 451개 측정지점으로 <표 IV-3>에서 제시하고 있는 측정지점의 설치기준에 의하여 산출된 바 있다. 451개의 측정지점을 토양의 이용·용도별로 분류하면 田 119개소, 畓 179개소, 과수원 5개소, 목장용지 5개소, 임야 6개소, 대지 25개소, 공장용지 46개소, 도로 22개소, 철도용지 5개소, 공원용지 5개소, 체육용지 29개소, 유원지 5개소로 되어 있다. 분류된 측정지점의 수를 근거로 하여 경기도의 각 시·군이 토양의 이용·용도별로 차지하는 비율로 환산하였다. 예를 들면, 여주군의 田면적은 경기도 전체 田면적중 6.24%이므로 경기도의 田에 해당하는 측정지점수인 119개소의 6.24%인 약 7개소의 측정지점이 여주군에 있어야 할 田의 측정지점수로 산출된다. 동일한 방법으로 여주군의 畓면적은 경기도의 총 畓면적중 5.92%로 경기도 전체의 畓에 있을 수 있는 181개소의 측정지점중 여주군의 畓에 11개소의 측정지점이 산출된다. 각 시·도의 토지이용·용도별 면적비율로 산출하는 과정에 산출되는 소수점 이하의 측정지점의 수는 사사오입을 함으로써 <표 IV-5>에서 경기도의 총 측정지점수로 산정한 451개 측정지점수보다는 6개소가 적은 451개 측정지점으로 산출되었다. 여주군의 총 측정지점수는 26개소로 田 7개소, 답 11개소, 목장용지 1개소, 임야 1개소, 대지 1개소,공장용지 2개소, 도로 1개소, 체육용지 1개소, 유원지 1개소로 산출되었다 <표 IV-7>.

<표 IV-5> 경기도의 토지이용·용도별 현황(1992년 기준; 단위, 천m^2)

시·군	면적	전	답	과수원	목장용지	임야	대지
계	10,773,990	1,190,101	1,788,202	11,809	33,648	6,184,625	259,716
수원시	105,528	11,144	19,863	90	388	31,664	17,897
성남시	141,692	13,639	16,762	129	113	78,850	9,776
의정부시	81,835	6,661	8,474	336	3	51,012	5,115
안양시	58,399	3,040	5,201	-	13	32,483	8,640
부천시	52,176	4,166	13,831	13	-	10,439	13,070
광명시	38,867	4,823	8,350	-	-	15,412	5,038
송탄시	41,217	4,692	9,598	174	950	15,967	3,293
동두천시	95,231	9,600	4,826	47	284	66,687	3,059
안산시	74,879	3,702	11,458	39	61	20,424	9,632
고양시	266,162	25,952	70,694	575	1,168	114,766	9,304
과천시	35,816	2,924	2,964	-	0.3	23,287	2,659
구리시	30,096	5,669	3,705	52	1	12,962	2,164
평택시	43,030	7,043	17,057	390	255	7,853	3,436
미금시	46,021	6,009	6,979	-	180	29,950	2,026
오산시	40,557	7,042	10,896	121	83	14,176	2,398
시흥시	131,422	17,893	29,662	36	629	54,220	4,199
군포시	20,697	2,335	2,852	3	-	9,106	2,448
의왕시	53,436	5,409	5,963	25	38	34,049	2,711
하남시	87,767	9,882	12,492	357	0.2	50,224	2,520
양주군	303,439	37,351	42,132	259	914	188,728	5,966
남양주군	419,350	35,136	36,435	257	927	314,146	5,947
여주군	610,789	74,221	105,941	823	3,305	335,424	8,913
평택군	354,738	42,517	155,289	874	1,765	86,689	9,416
화성군	731,501	113,244	181,713	829	3,214	319,949	16,243
파주군	687,099	96,647	131,609	195	681	350,410	13,097
광주군	431,659	38,257	37,902	690	1,371	350,226	5,447
연천군	733,670	99,965	56,993	85	336	401,123	6,445
포천군	808,455	93,520	69,390	77	649	565,216	10,776
가평군	845,406	49,273	31,040	469	251	707,478	6,054
양평군	875,350	63,682	78,076	424	1,973	654,405	8,928
이천군	462,666	81,305	119,415	1,469	3,554	198,172	10,186
용인군	591,897	58,730	92,277	248	1,684	361,515	13,706
안성군	552,867	59,780	127,920	1,640	7,292	289,731	10,955
김포군	318,784	31,664	106,316	914	155	104,913	6,467
강화군	407,858	42,017	135,411	159	807	184,389	8,998
옹진군	205,296	21,140	18,708	2	596	147,567	2,783

<계속>

시·군	공장용지	도로	철도용지	공원용지	체육용지	유원지	기타
계	46,503	225,143	14,967	3,479	29,314	3,055	광천지,
수원시	2,019	7,648	749	557	349	63	염전,
성남시	1,426	6,332	-	353	713	110	학교용지,
의정부시	219	2,267	379	31	148	-	하천,
안양시	1,725	3,412	294	79	103	-	제방,
부천시	2,460	4,668	307	195	7	-	구거,
광명시	119	1,671	-	63	-	-	유지,
송탄시	1,217	1,971	297	116	-	-	수도용지,
동두천시	269	1,007	339	-	5	24	종교용지,
안산시	8,221	7,978	287	1,624	1,605	633	사적지,
고양시	611	6,328	1,821	20	1,636	-	묘지,
과천시	-	1,560	-	61	-	488	잡종지,
구리시	15	1,278	110	26	2	-	미복구지
평택시	310	2,404	292	104	-	-	등
미금시	141	1,310	311	-	7	-	
오산시	1,206	1,559	266	8	2	-	
시흥시	166	3,584	101	22	-	-	
군포시	796	1,084	389	57	722	-	
의왕시	252	1,125	1,115	57	-	-	
하남시	177	1,653	-	-	556	0.2	
양주군	2,131	5,667	600	-	718	34	
남양주군	180	4,140	893	2	1,266	112	
여주군	1,925	9,351	143	-	1,243	111	
평택군	3,083	12,230	155	-	-	67	
화성군	4,752	18,404	569	-	3,441	-	
파주군	1,145	10,344	716	-	47	48	
광주군	1,328	7,256	-	-	2,390	55	
연천군	218	9,069	1,055	12	-	9	
포천군	1,294	11,540	-	-	1,022	460	
가평군	55	8,059	395	-	-	2	
양평군	50	10,497	1,927	-	-	28	
이천군	2,948	13,160	491	36	799	-	
용인군	2,732	11,612	345	30	11,664	760	
안성군	1,018	13,573	620	21	833	-	
김포군	2,148	8,542	-	5	35	8	
강화군	33	9,787	-	-	-	6	
옹진군	1	3,171	-	-	-	-	

*자료출처: 1994년 전국통계연감.

<표 IV-6> 경기도 시군의 토지이용용도별 면적비율(1992년 기준; 단위, %)

시·군	총면적	전	답	과수원	목장용지	임야	대지
계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
수원시	0.98	0.94	1.11	0.76	1.15	0.51	6.89
성남시	1.32	1.15	0.94	1.09	0.34	1.27	3.76
의정부시	0.76	0.56	0.47	2.85	0.01	0.82	1.97
안양시	0.54	0.26	0.29	0.0	0.04	0.53	3.33
부천시	0.48	0.35	0.77	0.11	0.0	0.17	1.18
광명시	0.36	0.41	0.47	0.0	0.0	0.25	1.94
송탄시	0.38	0.39	0.54	1.47	2.82	0.26	1.27
동두천시	0.88	0.81	0.27	0.40	0.84	1.08	1.18
안산시	0.69	0.31	0.64	0.33	0.18	0.33	3.71
고양시	2.47	2.18	3.95	4.87	3.47	1.86	3.58
과천시	0.33	0.25	0.17	0.0	0.0	0.38	1.02
구리시	0.28	0.48	0.21	0.44	0.0	0.21	0.83
평택시	0.40	0.59	0.95	3.30	0.76	0.13	1.32
미금시	0.43	0.50	0.39	0.0	0.53	0.48	0.78
오산시	0.38	0.59	0.61	1.02	0.25	0.23	0.92
시흥시	1.22	1.50	1.66	0.30	1.87	0.88	1.62
군포시	0.19	0.20	0.16	0.03	0.0	0.15	0.94
의왕시	0.50	0.45	0.33	0.21	0.11	0.55	1.04
하남시	0.81	0.83	0.70	3.02	0.0	0.81	0.97
양주군	2.82	3.14	2.36	2.19	2.72	3.05	2.30
남양주군	3.89	2.95	2.04	2.18	2.75	5.08	2.29
여주군	5.67	6.24	5.92	6.97	9.82	5.42	3.43
평택군	3.29	3.57	8.68	7.40	5.25	1.40	3.63
화성군	6.79	9.52	10.16	7.02	9.55	5.17	6.25
파주군	6.38	8.12	7.36	1.65	2.02	5.67	5.04
광주군	4.01	3.21	2.12	5.84	4.07	5.66	2.10
연천군	6.81	8.40	3.19	0.72	1.00	6.49	2.48
포천군	7.50	7.86	3.88	0.65	1.93	9.14	4.15
가평군	7.85	4.14	1.74	3.97	0.75	11.44	2.33
양평군	8.12	5.35	4.37	3.59	5.86	10.58	3.44
이천군	4.29	6.83	6.68	12.44	10.56	3.20	3.92
용인군	5.49	4.93	5.16	2.10	5.00	5.85	5.28
안성군	5.13	5.02	7.15	13.89	21.67	4.68	4.22
김포군	2.96	2.66	5.95	7.74	0.46	1.70	2.49
강화군	3.79	3.53	7.57	1.35	2.40	2.98	3.46
옹진군	1.91	1.78	1.05	0.02	1.77	2.39	1.07

<계속>

시·군	공장용지	도로	철도용지	공원용지	체육용지	유원지	기타
계	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	광천지, 염전, 학교용지, 하천, 제방, 구거, 유지, 수도용지, 종교용지, 사적지, 묘지, 잡종지, 미복구지 등은 제외하였음.
수원시	4.34	3.40	5.00	15.93	1.19	2.06	
성남시	3.07	2.81	0.0	10.09	2.43	3.60	
의정부시	0.47	1.01	2.53	0.89	0.50	0.0	
안양시	3.71	1.52	1.96	2.26	0.35	0.0	
부천시	5.29	2.07	2.05	5.58	0.02	0.0	
광명시	0.26	0.74	0.0	1.80	0.0	0.0	
송탄시	2.62	0.88	1.98	3.32	0.0	0.0	
동두천시	0.58	0.45	2.26	0.0	0.02	0.79	
안산시	17.68	3.54	1.92	46.44	5.48	20.72	
고양시	1.31	2.81	12.17	0.57	5.58	0.0	
과천시	0.0	0.69	0.0	1.74	0.0	15.97	
구리시	0.03	0.57	0.73	0.74	0.01	0.0	
평택시	0.67	1.07	1.95	2.97	0.0	0.0	
미금시	0.30	0.58	2.08	0.0	0.02	0.0	
오산시	2.59	0.69	1.78	0.23	0.01	0.0	
시흥시	0.36	1.59	0.67	0.63	0.0	0.0	
군포시	1.71	0.48	2.60	1.63	2.46	0.0	
의왕시	0.54	0.50	7.45	1.63	0.0	0.0	
하남시	0.38	0.73	0.0	0.0	1.90	0.01	
양주군	4.58	2.52	4.01	0.0	2.45	1.11	
남양주군	0.39	1.84	5.97	0.06	4.32	3.67	
여주군	4.14	4.15	0.96	0.0	4.24	3.63	
평택군	6.63	5.43	1.04	0.0	0.0	2.19	
화성군	10.22	8.17	3.80	0.0	11.74	0.0	
파주군	2.46	4.59	4.78	0.0	0.16	1.57	
광주군	2.86	3.22	0.0	0.0	8.15	1.80	
연천군	0.47	4.03	7.05	0.34	0.0	0.29	
포천군	2.78	5.13	0.0	0.0	3.49	15.06	
가평군	0.12	3.58	2.64	0.0	0.0	0.07	
양평군	0.11	4.66	12.87	0.0	0.0	0.92	
이천군	6.34	5.85	3.28	1.03	2.73	0.0	
용인군	5.87	5.16	2.31	0.86	39.79	24.88	
안성군	2.19	6.03	4.14	0.60	2.84	0.0	
김포군	4.63	3.79	0.0	0.14	0.12	0.26	
강화군	0.07	4.35	0.0	0.0	0.0	0.20	
옹진군	0.0	1.41	0.0	0.0	0.0	0.0	

<표 IV-7> 경기도의 각 시·군별 토지이용·용도별 측정지점수(단위, 개소)

시·군	총 개소	전	답	과수원	목장용지	임야	대지
계	445	118	181	5	5	6	23
수원시	9	1	2	0	0	0	2
성남시	8	1	2	0	0	0	1
의정부시	2	1	1	0	0	0	0
안양시	4	0	1	0	0	0	1
부천시	4	0	1	0	0	0	0
광명시	1	0	1	0	0	0	0
송탄시	2	0	1	0	0	0	0
동두천시	1	1	0	0	0	0	0
안산시	16	0	1	0	0	0	1
고양시	16	3	7	0	0	0	1
과천시	1	0	0	0	0	0	0
구리시	1	1	0	0	0	0	0
평택시	3	1	2	0	0	0	0
미금시	2	1	1	0	0	0	0
오산시	3	1	1	0	0	0	0
시흥시	5	2	3	0	0	0	0
군포시	2	0	0	0	0	0	0
의왕시	3	1	1	0	0	0	0
하남시	3	1	1	0	0	0	0
양주군	13	4	4	0	0	0	1
남양주군	11	4	4	0	0	1	1
여주군	26	7	11	0	1	1	1
평택군	27	4	16	1	1	0	1
화성군	43	11	18	1	1	0	2
파주군	26	10	13	0	0	0	1
광주군	13	4	4	0	0	0	1
연천군	19	10	6	0	0	0	1
포천군	22	9	7	0	0	1	1
가평군	11	5	3	0	0	1	1
양평군	18	6	8	0	0	1	1
이천군	28	8	12	1	1	0	1
용인군	34	6	9	0	0	1	1
안성군	25	6	13	1	1	0	1
김포군	19	3	11	1	0	0	1
강화군	20	4	14	0	0	0	1
옹진군	4	2	2	0	0	0	0

<계속>

시·군	공장용지	도로	철도용지	공원용지	체육용지	유원지	기타
계	43	20	4	5	30	5	광천지, 염전, 학교용지, 하천, 제방, 구거, 유지, 수도용지, 종교용지, 사적지, 묘지, 잡종지, 미복구지 등
수원시	2	1	0	1	0	0	
성남시	1	1	0	1	1	0	
의정부시	0	0	0	0	0	0	
안양시	2	0	0	0	0	0	
부천시	2	0	0	1	0	0	
광명시	0	0	0	0	0	0	
송탄시	1	0	0	0	0	0	
동두천시	0	0	0	0	0	0	
안산시	8	1	0	2	2	1	
고양시	1	1	1	0	2	0	
과천시	0	0	0	0	0	1	
구리시	0	0	0	0	0	0	
평택시	0	0	0	0	0	0	
미금시	0	0	0	0	0	0	
오산시	1	0	0	0	0	0	
시흥시	0	0	0	0	0	0	
군포시	1	0	0	0	1	0	
의왕시	0	0	1	0	0	0	
하남시	0	0	0	0	1	0	
양주군	2	1	0	0	1	0	
남양주군	0	0	0	0	1	0	
여주군	2	1	0	0	1	1	
평택군	3	1	0	0	0	0	
화성군	5	2	0	0	3	0	
파주군	1	1	0	0	0	0	
광주군	1	1	0	0	2	0	
연천군	0	1	1	0	0	0	
포천군	1	1	0	0	1	1	
가평군	0	1	0	0	0	0	
양평군	0	1	1	0	0	0	
이천군	3	1	0	0	1	0	
용인군	3	1	0	0	12	1	
안성군	1	1	0	0	1	0	
김포군	2	1	0	0	0	0	
강화군	0	1	0	0	0	0	
옹진군	0	0	0	0	0	0	

여주군에 총 26개소의 측정지점 위치를 선정함에 있어, 1987년 이후 운영되고 있는 토양측정망의 측정지점의 위치를 고려하였다. 여주군에서 측정된 토양측정망의 측정지역은 6개소(1개 측정지역은 5개의 측정지점으로 구성되어 있음)는 총 30개소 측정지점이 있다. 토양측정망 6개 측정지역은 田 5개소와 답 1개소로 구성되어 있어 각 측정지역의 중앙점을 중앙측정체계 1개소의 측정지점으로 설정하였다 <표 IV-8>.

<표 IV-8> 경기도 여주군 토양측정망 측정지역 위치

오염경로 구분	지점명	위치	이용용도
하천고수부지	HW061-HW065	여주읍 연양리 405, 406, 407번지	답
일반폐기물매립지역	PW151-PW155	점동면 사곡리 37, 38번지	전
전용농수사용지역	SW031-035	능서면 번도리 862번지	전
	SW041-SW045	금사면 궁리 181번지	전
	SW051-SW055	점동면 덕평1리 503, 304, 505, 507, 509번지	전
	SW061-SW065	능서면 율곡리 1, 3, 5, 7, 9번지	전

여주군의 26개소 측정지점중 6개소는 토양측정망의 측정지점으로 구성되어 있으며, 그 나머지인 田 2개소, 답 10개소, 목장용지 1개소, 임야 1개소, 대지 1개소, 공장용지 2개소, 도로 1개소, 체육용지 1개소, 유원지 1개소 등은 1:50,000도폭을 이용하여 다음과 같은 선정기준을 수립하고 이에 따라 측정지점을 선정하였다.

사용한 측정지점의 선정기준으로

첫째, 기존에 운영되고 있는 측정망의 측정지역에서 대표되는 측정지점 1개소만을 인정하고 동일 측정지역을 나타내는 나머지 4개 측정지점은 무시한다.

둘째, 토양측정망의 측정지점을 시·군별로 토양의 이용·용도별로 구분하고, 중앙측정체계의 측정지점 선정이 추가적으로 필요할 경우, 토양의 이용·용도별로 구분된 토양측정망의 측정지점과 측정지점에서 가능하면 5km 이상 떨어진 해당관할지역(시·군)의 동일한 이용·용도별 토양의 구분에서 대표성을 갖는 지역을 선정한다. 토양측정망의 측정지점수가 중앙측정체계에서 토양 이용·용도별로 분류된 측정지점 개소보다 많을 경우, 가장 가까운 거리에 위치하고 있는 측정지점부터 삭제한다.

셋째, 전, 답의 측정지점은 수계를 따라 해당 관할 지역에 고르게 분포하도록 구

성하며 해당 지역내의 이용·용도별로 대표성을 갖는 지역을 선정한다.

넷째, 임야, 대지, 공장용지, 목장용지, 도로, 철도용지, 체육용지, 유원지 등의 측정지점은 해당지역(시·군)에서 대표성을 갖는 지역을 선정한다.

제시한 네가지 측정지점의 선정기준에 의하여 경기도 여주지역의 26개 측정지점으로 <표 IV-9>와 같이 개략적 행정구역의 里단위로 선정하였다. 里단위에서 해당 토지의 이용용도별로 대상지역은 수계에 따라 대표지점을 선정하면 될 것이다.

<표 IV-9> 경기도 여주군의 중앙측정체계 토양측정지점

이용용도		지점	비고	번호
전	1	점동면 사곡리	토양측정망 측정지점	1
	2	점동면 덕평리		2
	3	능서면 번도리		3
	4	능서면 율곡리		4
	5	금사면 궁리		5
	6	북내면 지내리	토양측정망의 측정지점에서	6
	7	대신면 장풍리	5km이상 벗어난 신규지점	7
답	1	여주읍 연양리	토양측정망 측정지점	8
	2	점동면 원당리	신규	9
	3	점동면 성재리	신규	10
	4	점동면 현수리	신규	11
	5	점동면 삼합리	신규	12
	6	대신면 당산리	신규	13
	7	흥천면 하다리	신규	14
	8	흥천면 대당리	신규	15
	9	능서면 번도리	신규	16
	10	능서면 양거리	신규	17
	11	가남면 심석리	신규	18
과수원	해당없음			
목장용지	1	대신면 하림리	신규	19
임야	1	금사면 장흥리	신규	20
대지	1	여주읍 창리	신규	21
공장용지	1	여주읍 점봉리	신규(공장지대)	22
	2	여주읍 연양리		23
도로	1	여주읍 멱곡리	신규(여주IC부근)	24
철도용지	해당없음			
공원용지	해당없음			
체육용지	1	여주읍 월송리	신규(여주체육관 또는 골프장 인근)	25
유원지	1	능서면 왕대리	신규(세종대왕능 인근)	26

경기도 여주군을 대상으로 설계한 중앙측정체계의 측정지점 위치는 전국 측정체계의 시·군별 측정지점의 위치를 사례적으로 제시하기 위하여 1:50,000 축적지도를 이용하여 나타낸 것이다. 이와 같은 측정지점이 개략적으로 선정되면 측정지점의 위치를 최종적으로 선정하기 이전에 해당 시·군으로 측정지점의 위치에 대한 의견을 검토하여 최종 측정지점의 위치선정에 반영하는 것이 필요할 것이다.

중앙측정체계에서 도출되는 자료는 전국토의 개략적인 토양상태 및 토양오염 진행상태의 파악에 있다. 그러나 대부분의 토양오염이 소규모적이고 지역적이며, 이러한 토양오염의 진행상태를 감지할 수 있는 체계가 아니라 할 수 있다. 이에 따라 오염원의 지역적인 목록화가 이루어지고 오염원을 중심으로 하는 토양오염도를 측정할 수 있는 지방측정체계가 이루어져야 한다.

(2) 지방측정체계

지방측정체계는 지역별 토양의 오염우려지역 또는 오염지역의 지속적인 진행상태 파악을 목적으로 하는 것과 해당지역에 존재하는 토양오염원을 중심으로 오염원 인근지역의 토양상태를 파악하여야 한다는 기본적인 기능을 고려하여 토양오염도 측정체계를 구성하여야 한다. 지방측정체계의 세부목적은 토양오염기준 이상의 토양지역을 검정하므로써 토양오염기준을 초과하는 지역의 검출을 위한 측정체계에 중점을 두고 있다. 지방체계는 해당지역별로 토양환경기준의 위반이 어느 지역에, 어느 시기에, 어떠한 시간적인 변이로 일어나는가를 개략적으로 감시할 수 있도록 구성되어야 한다. 이에 따라 지방측정체계는 각각의 지방자치단체가 주체가 되어 운영하는 토양오염도의 측정체계로 지방자치단체의 장을 책임자로 운영되어야 한다.

지방측정체계는 환경조건에 따라 측정지역과 측정시기가 적합하게 변형될 수 있는 체계로 구성되어야 한다. 대부분의 토양오염은 오염(배출)원을 기점으로 하여 水系를 따라 진행된다. 이에 따라, 토양오염 측정체계의 측정지점 선정위치는 오염원의 종류, 농도 및 환경배출량, 오염원의 환경배출기준과 오염원의 지리·지정학적 위치를 고려하여 측정지점이 결정되어야 한다. 시료채취지점간의 거리간격 및 위치는 오염원의 지정학적 위치에 따라 다르게 나타날 수 있으나 과거, 현재 및 향후의 오염지점 또는 오염예상지점을 기본적으로 포함하여야 한다. 오염 예

상(영향권)지역이 선정되면 면적 1km^{2}에 1개 이상의 측정지점을 선정하는 것을 기준으로 하여야 할 것이다.

오염원으로부터 배출되는 오염물질의 시기, 토양에서의 확산 및 이산 등을 고려하여 오염원의 영향을 파악할 수 있는 오염물질의 측정시기를 적절하게 선택하여야 한다. 지방자치단체별로 지역별 지방측정체계를 세부적으로 마련하고 오염원의 위치에 따른 측정지점의 위치 및 측정시기를 결정하여야 할 것이다.

지방측정체계의 설계시 다음사항을 고려하여야 한다.

첫째, 지방측정체계는 지방측정체계와 중앙측정체계의 정보유통체계를 고려하여 상호 연관성이 있도록 마련되어야 한다. <부록 5>에 제시한 토양오염도 상시측정체계의 정보체계를 고려하여 중앙측정체계와 지방측정체계에서 도출되는 토양오염 측정자료가 중앙정부 및 지방자치단체간에 토양측정자료의 정보체계가 순환될 수 있도록 상호 연결되어야 한다. 지방측정체계의 토양상태측정자료가 중앙에서 종합될 수 있으며 종합된 토양오염도 상시측정체계의 자료가 지방으로 연결될 수 있어야 한다.

둘째, 오염원의 영향에 의한 토양의 비오염, 오염정도를 직접적으로 판정하기 위하여 토양의 오염원을 중심으로 지방측정체계의 토양오염 측정지점의 위치 및 수가 결정되어야 한다. 이때, 고려하여야 할 세부항목으로는, ①지방측정체계 측정지점의 선정을 위하여 해당 지방자치지역에 존재하는 오염원을 파악하고 목록화하여야 한다. ②오염원(오염배출시설 및 지역)의 면적 및 지리적·지정학적 위치, 오염원의 數가 고려되어야 한다. ③오염원에서 배출되는 오염물질이 토양의 이용·용도별로 나타날 수 있는 영향이 고려되어야 한다. ④오염원에서 배출되는 오염물질의 종류 및 배출량이 고려되어야 한다(토양의 다기능성 고려). ⑤설계시 고려하여야 할 배출원 및 오염물질의 종류로는 다음과 같은 업종을 포함하여야 할 것이다 <표 IV-10>. ⑥토양조건에 따른 오염물질의 흡착능, 흐름, 이산 및 확산되는 메커니즘 등이 고려되어야 한다.

이에 따라, 지방측정체계에서 구체적으로 채취되어야 할 토양시료의 대상채취지점 및 측정지점간의 거리간격은 <표 IV-11>과 같이 개략적으로 산출할 수 있으나 상기에 제시한 세부항목을 충분히 고려하여 탄력적으로 거리간격이 산출되어야 한다.

<표 IV-10> 토양환경오염물질 배출원 및 오염물질의 종류

오염원	오염물질
-유해화학물질 저장시설 -농약저장시설 -폐기물매립지 -가축사육시설 -가행 또는 휴폐광 금속 및 석탄광시설 -제련소 -도금업체 -조선소 -발전소 -자동차생산공장 -금속제련업소 -유류배출가능시설(예, 주유소, 저유소, 송유관 등) -기타 중금속 또는 유해화학물 취급 공장시설	-중금속(예, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sn, Ba, Hg, Pb 등) -무기화학성분(예, NH_4, F, CN, S, Br, PO_4 등) -방향족 원소성분(예, Benzene, Ethylbenzene, Toluene, Xylenes 등) -다고리탄소화합물 -유기염소계 탄소화합물 -농약 및 살충제 -발암성물질(예, PCBs) -기타유해물질 (예, 질산성염, 시안화합물, 페놀, Trichloroethylene, Tetrachloroethylene, Tetrahydrothrurane, Pyridine, Tetrahydrothio- phene, Cyclohexane, Styrene, Phalates, Polycyclic hydrocarbon oxidized, Mineral oil 등)

<표 IV-11> 지방측정체계에서 예측되는 토양시료 채취지점 및 측정지점간의 거리

토양시료채취지점	측정지점의 위치 및 측정지점간 거리
- 영농화학물질(예, 합성유기농약 및 비료)에 의하여 토양오염의 영향이 예상되는 지역 - BOD 10mg/l 이상의 하천수를 농업용수로 사용하는 농경지 - 공장 및 공단폐수가 유입되는 하천수를 농업용수로 사용하는 농경지 - 공장 또는 공단지역의 배출가스 및 분진 등의 영향이 예상되는 지역 - 폐기물매립지 침출수의 영향이 예상되는 지역 - 광산폐수, 광재, 분진 등의 영향이 예상되는 지역 - 분뇨처리장 침출수의 영향이 예상되는 지역 - 여름철 호우시 침수되는 하천고수부지	오염원인 분명한 경우 오염원을 포함하여 토양시료 측정지점간은 토양오염이 예상되는 방향으로 최소 1km^2당 1개지점이 설정되어야 함.

셋째, 지방측정체계에 투자할 수 있는 지방자치단체의 예산을 고려하여야 한다.

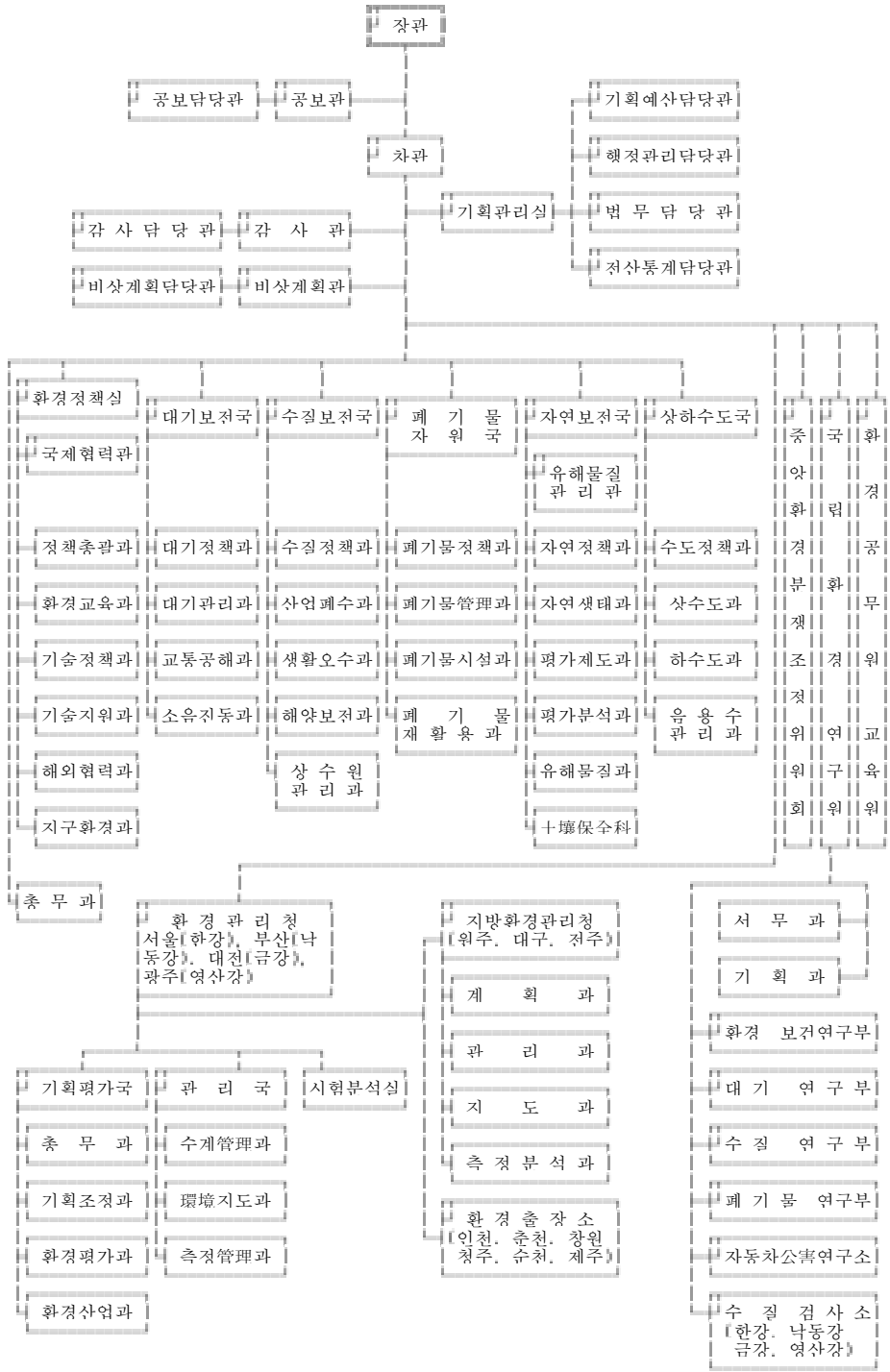
기존에 운용하는 토양측정망보다 측정지점의 수가 체계적으로 확대되어 측정지점이 구성된다고 해도 토양오염의 특성을 고려할 때, 지방측정체계의 운용이 전국의 토양상태를 세부적으로 파악할 수 있는 방법이라 할 수 없다. 지방측정체계의 운용에서 토양의 상태가 오염우려지역 또는 오염대책지역으로 나타날 경우 토양오염이 우려되거나 또는 대책이 예상되는 지역을 정밀조사하여야 한다.

1.1.2. 운영・관리

(1) 운영주체 및 담당

토양오염도 상시측정체계는 장기간 안정하게 가동되어 신뢰성이 높은 측정치를 확보하는 것이 중요하다. 또한, 분석결과의 발표에 맞추어 신속성과 토양측정체계의 유지·관리에 필요한 경제성을 고려하여 조화된 상시감시체제가 마련되어야 한다. 이를 위하여 토양오염도 상시측정체계의 운영주체와 이에 따른 업무를 명확하게 구분할 필요가 있다. 토양오염도 상시측정체계의 이원화에 따른 운영주체를 중앙측정체계인 경우에는 중앙정부인 환경부가 지방측정체계인 경우에는 지방자치단체가 운영할 필요가 있음을 제시한 바 있으나 실질적인 운영은 연구기관, 반관·반민의 운영기관 또는 민간기업이 운영주체로부터 운영을 위탁받을 수 있는 가능성을 포함하여야 한다. 또한, 토양오염도 상시측정체계를 운영하는 초기에는 공적인 입장에서 업무의 틀을 잡은 후 점차적으로 민간기업으로 업무를 이양하는 것도 고려할 필요가 있다.

운영을 담당할 수 있는 적정기관의 선정을 위하여 우리나라 환경부와 산하기관의 조직을 분석할 필요가 있다 <그림 IV-1>. 정부기관중 중앙측정체계를 운영할 수 있는 기관은 환경부, 국립환경연구원, 환경관리청(서울, 부산, 대전, 광주), 지방환경관리청(원주, 대구, 전주), 환경출장소(인천, 춘천, 창원, 청주, 순천, 제주) 등이 있다. 제시한 정부기관중 토양의 오염물질을 분석하고 자료를 처리할 수 있는 전문인력과 시설을 갖추고 있는 기관은 국립환경연구원과 지방환경관리청으로 중앙측정체계의 운영에 가장 적합한 기관이라 할 수 있다. 국립환경연구원 또는 지방환경관리청이 중앙측정체계의 업무를 담당하게 되면, 국립환경연구원과 지방환경관리청은 해당지역의 중앙측정체계를 세부 설계하고 중앙측정체계를 운영하기 위하



<그림 IV-1> 환경부의 조직과 구성(1995년 5월 현재)

여 국립환경연구원, 환경관리청, 지방환경관리청, 환경출장소의 상호협력체제를 유지하고 측정지점에서의 토양시료채취, 시료분석, 자료처리 및 보관을 담당해야 할 것이다.

지방자치단체의 경우는 지방측정체계의 운영을 감시할 수 있는 주체는 있으나 토양중의 오염물질을 분석하여 자료를 처리할 수 있는 연구소를 보유하여 실질적으로 지방측정체계를 운영할 수 있는 지방자치단체는 없다고 해도 과언이 아니다. 즉, 지방자치단체(또는 지방자치단체가 운영하고 있는 연구소)에서 토양의 오염물질을 분석할 수 있는 능력이 없다고 할 수 있다. 따라서 지방자치단체에서는 토양오염도를 상시 분석할 수 있는 연구인력과 연구시설을 마련하거나 또는 해당 지역 지방측정체계의 설계, 토양시료채취, 오염물질분석, 자료처리 및 보관까지를 산업계·학계·연구기관으로 위탁처리를 고려해야 할 것이다. 지방자치단체로부터 업무를 위탁받은 해당기관은 지방측정체계를 세부적으로 설계하고, 지방측정체계의 운영, 토양시료채취, 시료분석, 자료처리·통계분석 및 보관, 처리된 자료를 지방자치단체로 제출할 업무를 담당해야 한다. 지방자치단체는 지방측정체계를 운영하는 위탁기관의 감시 및 동기관으로부터 제출받은 지방측정체계의 자료를 지방주민에게 공표하고 환경부로 제출할 의무를 이행하여야 한다. 또한 해당 지방자치구역내에 오염된 토양이 파악되거나 오염될 가능성이 높은 지역이 예상될 경우 이를 방지할 수 있는 오염방지대책 또는 오염된 토양의 처리방법을 강구해야 한다.

토양오염도 상시측정체계를 운영하는 기술이 안정된 수년 후부터는 민간기구로의 위탁관리를 고려할 수 있다. 그 대상은 환경관리공단이나 또는 민간업자가 될 수 있다. 한 예로 서울시에서 운영하고 있는 11개의 정수장(보건환경연구원 8개소, 서울시 상수도사업본부 3개소)에서의 수질자동측정시스템의 경우 하드웨어(측정기기 및 전산망)에 관한 유지 및 관리는 납품업체에 관리를 위임하고 있다.

(2) 감시체계의 설정

토양오염도 상시측정체계 운영의 효율성 높이기 위해서는 운영기관의 주체와 감시체계를 이원화할 필요가 있다. 이를 감시하는 기관으로는 환경부(자연보전국의 토양보전과)가 되어야 하고 환경부는 중앙 및 지방의 측정체계에서 도출되는 자료를 총괄하여 자료의 분석 및 공표업무를 담당해야 한다. 지방측정체계를 감시하는 기관으로는 지방자치단체가 되어야 한다. 중앙측정체계와 지방측정체계의 운

영주체, 운영담당, 감시체계를 <표 IV-12>으로 제시할 수 있다.

<표 IV-12> 중앙측정체계와 지방측정체계의 운영 및 감시기관과 업무

	운영기관 및 업무	감시기관 및 업무
중앙측정체계	국립환경연구원/지방환경관리청 ・중앙측정체계의 세부설계 ・중앙측정체계의 운영 ・토양시료채취 ・시료분석 ・자료처리, 분석 및 보관 ・분석 및 처리된 자료를 환경부로 제출	환경부 ・토양측정체계(중앙・지방)운영 총괄 및 지방자치단체로부터 수집한 전국자료의 분석 및 공표 ・중앙측정체계의 운영감시
지방측정체계	위탁기관 ・지방측정체계의 세부설계 ・지방측정체계의 운영 ・토양시료채취 ・시료분석 ・자료처리, 분석 및 보관 ・분석 및 처리된 자료를 지방자치단체로 제출	지방자치단체 ・지방측정체계 운영총괄과 자료의 공표 ・지방측정체계 자료를 환경부로 제출 ・오염방지대책수립 ・지방측정체계의 운영감시

(3) 분석방법

토양에 존재하는 오염물질의 종류에 따라 분석방법이 다르기 때문에 이에 따른 분석기기의 종류와 분석방법이 표준화되어야 한다. 우리나라에서는 토양중 중금속의 함량을 분석하기 위하여 AAS를 이용한 방법만이 표준방법으로 제시되어 있는 데 이 방법에서 제시되는 중금속의 함량은 정확하게 분석될 수 있으나 다른 분석기기(예, ICP 등)에 비교할 때 상대적으로 시간이 많이 소요된다. 또한, 유기 및 무기물질을 분석함에 적합하지 않다. 본과제의 <토양오염판단기준의 설정>에서 제시되는 토양오염물질의 종류에 따른 분석기기의 종류 및 효율적인 분석방법이 정해져야 한다.

토양오염물질을 분석하는 기기의 정확성과 경제성을 고려할 때 오염물질의 종류에 따라 AAS, ICP, GC, HPLC 등의 분석기기가 사용될 수 있으며 이에 따른 표준분석방법이 마련되어야 한다.

(4) 측정지점의 운영

토양오염도 상시측정체계를 설계에 따른 측정지점의 운영관리는 토양상시체계에서 분석된 오염물질의 농도값이 토양전체의 토양질을 신뢰구간에서 얼마나 잘 반영하는가를 결정하는 문제이기 때문에 선정된 측정지점을 매 측정시기별로 얼마나 잘 관리하는가에 따라 신뢰도가 달라질 수 있다. 이에 따라 측정지점의 위치 및 면적에 대한 정확한 좌표가 결정되어야 하며 매 측정시기별로 동일한 지역에서 토양시료가 표준화된 방법으로 채취되어야 한다.

측정지점 1개소의 면적은 토양시료의 분석에 의한 정확도 및 자료의 처리를 고려할 때 32m×32m(약 1,000m^2)의 면적을 대상으로 하고 선정된 측정지점에서 토양시료를 토양오염시험방법(환경부 토양측정망 운영지침, 1994)의 표준방법에 따라 채취함이 적합하다.

측정지점에서의 토양시료 채취시기는 1987년 이후 1995년 현재까지 운용되고 있는 토양측정망에서 이용되고 있는 토양시료의 격년제 채취시기의 수정을 고려할 필요가 있다. 매년 토양오염도 상시측정체계의 측정지점 운용은 토양질을 정확하게 판단할 수 있는 장점이 있으나 격년제의 운용보다 많은 예산이 소요된다는 단점이 있다. 따라서, 토양오염도 상시측정체계를 매년 운용할 수 있는 충분한 예산과 인원이 확보된다면 매년 운용을 실시함으로써 토양질의 상태를 정확하게 판단할 수 있는 매년제 운용을 기준으로 하고, 예산 및 인원의 확보가 어려울 경우는 토양오염도 상시측정체계 측정지점의 격년제 운용을 고려할 수 있다. 계획되고 있는 토양오염도 상시측정체계에서 대부분 측정지점의 토양상태가 파악되지 않은 상태임을 고려할 때, 중앙 및 지방측정체계의 처음 2년간 운영기간중에는 측정체계를 구성하고 있는 모든 측정지점을 대상으로 토양의 오염물질 농도를 측정하고, 2년간의 분석결과에 따라 토양오염 우려가 적은 지역에 대해서는 2-3년 주기로 토양시료채취 시기를 조절함으로써 예산과 인력소모를 줄이는 것이 타당할 것으로 사료된다.

(5) 자료처리

토양상태의 지속적인 파악을 위한 자료처리 방법으로서 지리정보시스템(Geographical Information System: GIS)의 운용을 고려하여야 한다. 토양상태의 자료를 개발된 GIS에 입력시키고 분석함으로써 시간의 흐름에 따른 토양상태를 지

속적으로 파악하고 향후 오염이 우려되거나 오염된 토양을 관리할 수 있도록 토양질의 측정자료가 전산화될 수 있도록 하여야 한다.

1.1.3. 토양오염도 상시측정체계(안)의 운영예산

(1) 중앙측정체계

중앙측정체계를 운영할 수 있는 측정소의 규모는 중앙측정체계에서 처리하여야 할 토양시료에 따라 그 규모가 결정될 수 있다. <표 IV-3>에서 개략적으로 산정되는 토양의 시료수는 측정지점의 수는 3,356개소이나, 경기도 여주군에서 측정지점 선정시 토양의 이용용도별로 측정지점의 선정에 따른 오차가 발생하였던 것을 고려할 때 전국 토양측정체계의 측정지점 수는 개략적으로 3,300-3,400개소가 될 것이다. 매년제로 중앙측정체계를 운영하기 위하여 약 9-10개의 토양시료를 하루에 분석해야 하며, 격년제로 운영할 경우 약 4-5개의 토양시료를 실험·분석해야 한다. 또한 분석된 자료를 전산처리를 통한 종합 및 통계분석이 필요하다. 이를 위한 중앙측정소의 규모를 약 50평 정도로 가정할 때, 중앙측정소의 설치 및 운영에 소요되는 예산을 개략적으로 설치비와 운영비로 구분하여 산정할 수 있다.

가. 설치비용

중앙측정체계를 운영하기 위한 설치비용은 중앙측정소 연구분석실의 부지매입 및 건축비용과 부대시설 및 장비가 구입되어야 한다. 연구분석실의 규모를 50평 규모로 하고 이에 따른 분석실의 장비를 구입할 때 약 480,800천원이 소요될 것으로 산정할 수 있다. 연구분석실이 설치되어 있을 경우 130,800천원이 소요될 것이며, 연구분석실과 실험에 필요한 기초실험장비가 준비되어 있는 경우에는 분석기기와 컴퓨터 등의 장비비용으로 약 91,800천원이 소요될 것으로 산정된다<표 IV-13, IV-14>.

나. 운영비용(년간)

중앙측정체계를 운영하기 위한 년간비용은 인건비, 분석기기장치의 유지비, 건물 및 시설 유지비 등으로 구분할 수 있다. 인건비는 소요인원 2명을 대상으로 하고

<표 IV-13> 중앙측정체계 연구분석실의 설치비용

구분	소요항목	소요내용	비용(천원)
분석실 부지매입, 건축비용	매입비용	5,000천원/평x50평	250,000
	건축비용	50평 x 2,000천원	100,000
	소계		350,000
부대시설 및 장비비	측정기기 및 전처리기기 <표 Ⅲ-22>참조		
	ICP	ICP-MS(HP)	25,000
	HPLC	영인과학	10,000
	GC	GC(FID+ECD;HP)	35,000
	AAS	AAS(HP)	6,500
	Spectrophotometer	UV/VIS(HP)	2,200
	MDS	Aurora	2,500
	P & T	Tekmar	2,600
	소계		83,800
	부속장비		
	증류수(초순수) 제조기		5,000
	실험대 및 시약장		3,000
	여과펌프		1,000
	냉장고		1,000
	세척대		1,000
	환기장치		3,000
	항온항습기		8,000
	전원안전공급장치		10,000
	냉각수 순환장치		2,000
	기타장비		5,000
	소계		39,000
	컴퓨터 및 주변기기		
	컴퓨터(Engineering Workstation)		2,000
	자기tape		700
	광disk		500
	Laser printer		300
	Plotter		500
	조작대 및 디스플레이 장치		3,000
	소계		8,000
계			480,800

<표 IV-14> 분석기기 가격[1]

장비명	품명	제품 회사명	규격	가격	
				미화(천$)	한화(백만원)
GC	GC(FID) GC(FID+ECD) Auto system	HP	Stability:0.01C for 1C ambient change	20 35 70	2.0 3.5*[2] 7.0
	-	영인과학	온도정확도:±0.05C	-	>10
GC/MSD	EI Auto system	HP	Mass range:1.6-700amu	70 100	7.0 10.0
GCD	-	HP	Mass range: 10-425m/z Capillary direct column flow:1ml/min	60	6.0
ICP	ICP-MS	HP	Mass range:2-260amu	250 400	25.0* 40.0
HPLC	-	Waters	Taper cell	60-100	6.0-10.0
	-	영인과학	정밀도:RSD0.3%이하		>10*
GC/LC/MS	-	Waters	Mass range: 4-2000amu or more Mass accuracy: ±0.13amu or more Electrospray: 150,000dalton	>350	>35.0
UV/VIS	-	HP	Range:190-1100amu	17 22 30	1.7 2.2* 3.0
P&T	-	Tekmar	휘발성물질의 전처리	15 26 30	1.5 2.6 3.0
AAS	-	HP	Heating rate:3800K/sec	50 65 80	5.0 6.5* 8.0
MDS	-	Aurora	Frequency:245MHz *AA, ICP시료의 전처리 장비	15 25 30	1.5 2.5* 3.0

[1]영인과학(서울특별시 강남구 신사동 547번지)에서 도출한 분석기기의 금액임.

[2]예산산정에 사용한 장비 및 금액임.

연구분석실에 가용되는 분석기기를 ICP 1대, GC 1대, HPLC 1대, AAS 1대 등 총 4대의 분석기기를 이용할 경우를 기준으로 하였을 때 년간 약 46,540천원이 소요될 것으로 산정할 수 있다<표 IV-15, IV-16>. 중앙측정체계를 6개 지방환경관리청에서 분리하여 해당 측정지점별로 중앙측정체계를 운영하게 될 경우는 지방환경관리청당 약 10,000천원-20,000천원의 비용이 소요될 것으로 산정할 수 있다.

<표 IV-15> 중앙측정체계의 운영비용(연간)

구분	소요항목	소요내용	비용(천원)
인건비	소요인원:2인(실험실 분석 및 자료처리담당) 기준:7급 기술직 3호봉	소용비용:960만원/인.년x 2인	19,200
측정기기장치 유지비<표 IV-16>참조	분석시약 및 소용부품 구입, 실험폐수처리	4,000천원/대x5대	20,000
건물,시설유지비	보일러 전력비 기타유지비	(50,000Kw/h) x 0.5톤 8Kwx50원x24시간x365일 -	40 3,700 2,000
	소계		7,340
계			46,540

<표 IV-16> 분석기기 한대당 연간 평균 유지비용

유지비용요인	소용비용(천원)	비고
분석시약구입비 분석용가스구입비 소모성 부품 교환비 실험폐수처리비	800 600 1,200 1,400	분광분석기는 분석용가스가 불필요함
계	4,000	

(2) 지방측정체계

지방자치단체는 중앙정부에서 가용할 수 있는 분석시설을 갖추는 방법과 민간단체에 위탁하는 방법을 고려할 수 있다. 중앙측정체계에서와 같은 분석시설을 갖추게 된다면 중앙측정체계에서 개략적으로 산출한 비용에 지방측정체계의 설계비, 토양시료의 채취비용, 출장비용과 이를 수행할 수 있는 인건비를 첨가하면 개략적

인 비용을 추정할 수 있으며 지방자치단체에서 민간단체에게 토양시료의 채취 및 분석 위탁하는 방법을 고려하면 채취하는 토양시료의 수에 따라 개략적인 비용을 산정할 수 있다.

가. 국가기준에 의한 예산산정

수질환경보전법의 시행규칙에 의하면 분석항목당 <표 IV-13>과 같은 수수료가 정해져 있다. 이 방법은 물시료에 포함된 물질을 AAS를 이용하여 토양시료에서 분석하는 방법이다. 분석대상으로 토양오염도 상시측정체계에서 계획되고 있는 6개 중금속(As, Cd, Cr^{6+}, Cu, Hg, Pb) 과 유기인화합물, PCBs, 시안화합물, 페놀, 유류성분(동·식물성 제외)을 선정하고 토양의 전처리 과정을 생략 및 국가에서 분석항목당 분석수수료 및 인건비(7급 기술직 3호봉 기준)를 기준으로 토양시료 500개를 분석하게 되면 87,200천원의 1년간 비용이 산출된다 <표 IV-17, IV-18>.

<표 IV-17> 물시료의 분석항목당 수수료

분석항목	수수료
수소이온농도	2,200
시안, 페놀, 불소, 비소, 수은	12,500
카드뮴, 납, 6가크롬, 구리, 철, 망간, 기타 중금속	11,000
유기인	30,100
폴리크로리네이티드비페닐	29,000
테트라클로로에틸렌	43,800
트리클로로에틸렌	44,800

* 유류성분의 분석수수료는 제시되어 있지 않음.

<표 IV-18> 물시료 500개의 분석비용

구분	비용(천원)	
분석비용	As, Hg, 시안, 페놀	12.5/시료 x 4종류/시료 x 500시료 = 25,000
	Cd, Cr^{6+}, Cu, Pb	11/시료 x 4중금속/시료 x 500시료 = 22,000
	pH	2.2/시료 x 500시료 = 1,100
	유기인화합물	30/시료 x 500시료 = 15,000
	PCBs	29/시료 x 500시료 = 14,500
	계	77,600
인건비	9,600 x 1인 = 9,600	
합계	87,200	

또한 <표 IV-18>에서 제시한 비용은 토양시료의 분석대상을 토양산도 및 6개 중금속(As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn)으로 한정하고 토양시료를 물시료의 기준으로 분석기관에게 제공하였을 경우로 토양시료를 대상으로 하면 토양의 전처리과정(토양시료당 약 10,000원)을 첨가하게 되면 토양시료 500개당 약 92,200천원의 값을 산정할 수 있다. 이는 <표 IV-15>에서 제시한 중앙측정체계의 운영에 필요한 금액에 비교할 때 상당히 비경제적인 방법이라 할 수 있다.

나. 분석기관의 기준에 의한 예산산정

토양시료에서 ICP, AAS, Mass Spectrometer를 이용하여 함유된 물질을 분석하는 방법을 비교할 수 있다 <표 IV-19>. 토양시료의 분석항목으로 중금속 등이 수개 항목으로 되어 있을 경우는 ICP를 이용하는 방법을 고려할 수 있다. 토양시료에서 중금속만을 분석항목으로 하였을 경우 500개의 토양시료에서 중금속함량을 ICP를 이용하여 분석하는 데 약 8,500천원이 소요된다. 토양시료에서 유기 및 무기물질의 함량을 분석하는 데는 GC 또는 HPLC를 이용하는 방법을 고려할 수 있다. GC/MS-High Resolution(EI)을 이용할 경우 500개의 토양시료에서 함유물질을 분석하는 데 약 27,000천원이 소요된다(과학기술지원센타, 1994). 따라서 500개의 토양시료를 대상으로 토양오염도 상시측정체계에서 계획되고 있는 6개 중금속(As, Cd, Cr^{6+}, Cu, Hg, Pb) 과 유기인화합물, PCBs, 시안화합물, 페놀, 유류성분(동·식물성 제외)을 분석할 때 개략적으로 35,500천원이 소요될 것으로 추정할 수 있다. 그리고 지방자치단체에서는 지방측정체계의 설계비, 토양시료의 채취비용, 출장비용과 이를 수행할 수 있는 인건비를 첨가할 경우, 50,000천원 정도의 개략적인 비용이 소요될 것으로 <표 IV-18>의 국가기준에 의한 오염물질 분석에서 제시된 가격보다는 경제적이다.

1.2. 토양오염도 상시측정체계(안)의 시행방안

토양오염도 상시측정체계의 중앙측정체계와 지방측정체계의 이원화에 따른 토양오염도 상시측정체계(안)는 효율적인 토양환경보전정책을 수립할 수 있도록 전국토의 토양상태를 체계적으로 제시할 수 있는 장점이 있으나 시행을 위한 다음과 같은 문제점을 예상할 수 있다.

<표 IV-19> 토양시료의 미량금속 및 흔적량의 정량분석 금액*

기기명	용도	분야		단위	금액	비고
ICP	각종금속이온 분석	기기측정시		시료	9,000	*고체시료의 용액화
		시료전처리*		시료	17,000	
AAS	미량금속 및 흔적량의 오염물 정량분석	Furnace	액체시료	시간	12,000	
			고체시료	시간	14,000	
			1개추가시	시료	2,000	
		Flame	시간당수가	시간	11,000	
			1개추가시	시료	2,000	
Mass Spectrometer	고체,액체 및 기체시료의 질량결정, 혼합물중 각물질의 성분비결정 및 미량시료의 검출	Low resolution	EI	시료	30,000	*8성분 이상시 성분x1,000
			CI	시료	55,000	
			FAB	시료	79,000	
		High resolution	EI	시료	63,000	
			CI	시료	91,000	
		GC/MS*	EI	시료	32,000	
			CI	시료	57,000	
		LC/MS	EI	시료	100,000	
			CI	시료	142,000	
			ESI	시료	142,000	

* 과학기술처 산하의 기초과학지원센터에서 공공기관을 대상으로 한 시료의 분석 비용임.

토양오염도 상시측정체계의 시행을 위한 문제점으로는 다음 네가지 항목이 예측되며 이를 해결하기 위한 대책방안을 항목별로 제시하면 다음과 같다.

첫째, 중앙측정체계의 토양시료의 채취지점으로 3,300-3,500개소가 산출된 바, 이를 운용하기 위하여 재원의 조달이 필요하다. 중앙측정망의 운영에 소요될 재원으로 <토양오염도 상시측정체계(안)의 운영예산>에서 추정한 비용을 마련하여야 한다.

둘째, 지방자치단체에서 가용할 수 있는 지방측정체계 운영에 필요한 예산의 확보이다. 대부분의 지방자치단체에서는 지방측정체계의 운영에 필요한 연구기관이 확보되지 못하고 있어 토양시료를 연구기관에 위탁할 경우 <토양오염도 상시측정체계(안)의 운영예산>에 의하면 매 500개의 토양시료당 약 50,000천원의 경비가 소요된다. 이에 따라, 지방자치단체가 운용하는 지방측정체계의 설치 및 운영에 따른 지방자치단체의 예산을 보조할 수 있는 예산지원체계가 형성되어야 한다.

셋째, 지방측정체계의 운용을 위한 측정지역의 설치가 지방자치단체별로 심한 차이를 나타낼 수 있다. 지방측정체계의 측정지역의 설치는 해당 지방별 토양오염원의 수, 면적, 오염물질의 종류 및 배출량, 오염원의 지리적·지정학적인 위치 등을 고려하여 측정체계가 설계되고 운용되어야 하는 것을 고려할 때, 지방측정체계의 측정지역 및 측정시기는 유동적일 수밖에 없다. 즉. 측정체계의 설계시 기본적인 설계조건을 마련하지 않는 한 지방별 토양측정지역의 수는 심한 차이를 나타낼 수 있다.

이를 해결하기 위해서는, 측정지점의 기준에 따른 지방측정망의 설치계획을 자문할 수 있는 전문가 그룹이 형성되어야 한다. 본 연구보고서에 제시된 토양오염도 상시측정체계(안)에 따른 중앙측정체계와 지방측정체계의 세부 설계도가 마련되어야 하며 이에 따른 측정지점이 결정되어야 한다. 본 과제에서는 측정지점을 거시적(macro-)으로 결정할 수 있는 기준 등을 제시하고 있으나 이에 따른 세부기준이 마련되고 이에 따라 측정지점이 미시적(micro-)으로 결정되어야 한다. 이를 결정하기 전에 전문가그룹의 자문을 얻어 장기간 동안 신뢰할 수 있는 측정자료를 얻을 수 있는 토양오염도 상시측정체계가 설계되어야 한다.

넷째, 지방측정체계를 운용하는 인원의 전문성이 다를 경우 지방측정체계에서 도출된 분석자료를 지방별로 동일한 조건에서 비교할 수 없다. 지방측정체계에서 토양중 오염물질의 양을 조사하기 위해서는 측정지역에서 지역의 대표성을 갖는 측정지점을 임의로 선정하고, 토양시료를 일정한 토양의 깊이 및 면적에서 채취하고, 이를 운반 및 시료의 분석 실시전까지 보관하고, 시료를 전처리하여, 원자흡광분석기(AAS) 또는 다원자 원자흡광분석기(ICP) 등으로 분석해야 한다. 각 단계별로 전문성을 요구하고 있는 것을 고려할 때, 지방측정체계를 운영하는 인원의 전문성이 상이할 경우 오차가 큰 토양분석 결과가 나타날 수 있다. 이를 해결하기 위해서, 지방측정망을 효율적으로 운용하기 위한 각 지방자치단체의 전문요원의 교육이 이루어져야 할 것이다.

2. 토양오염판단기준의 설정

2.1. 토양오염판단기준의 설정방법

우리나라 토양환경에 적합한 토양오염판단기준을 제시하기 위하여 임수길 등(1994)과 이서래 등(1994)에 의하여 토양오염을 판단할 수 있는 오염물질의 토양중 농도기준이 연구된 바 있다. 토양오염판단기준을 제시하기 위한 연구방법으로 임수길 등(1994)과 이서래 등(1994)의 연구를 분석하고, 이를 토대로 토양오염판단기준을 설정하였다. 임수길 등(1994)과 이서래 등(1994)의 연구를 분석하는 과정에서 산·학·연의 전문가로 구성된 환경부 토양분과위원회에서 수차에 걸쳐 논의된 내용을 참고로 하였다.

2.1.1. 토양질 기준설정 연구의 분석

임수길 등(1994)에 의한「토양질 기준의 설정에 관한 연구」에 의하면 토양이 갖고 있는 오염물질의 배경농도수준과, 오염물질이 토양에 축적되어 이들 오염물질을 제거해야 할 정도로 토양이 오염된 것을 판단하는「토양오염대책기준」과 오염물질의 축적에 의한 토양오염이 진행되고 있어 오염방지를 위한 예방조치를 해야하는「토양오염우려기준」으로 구분하고 있다 <표 IV-20>.

<표 IV-20> 토양오염기준의 정의

기준	정의
토양오염판단기준[1]	토양중 오염물질의 배경농도 및 분석한계농도로 토양의 오염을 평가할 수 있는 기준
토양오염우려기준	사람의 건강, 재산 및 동식물의 생육에 지장을 초래할 정도는 아니나 토양오염방지를 위한 예방적 조치가 필요한 기준
토양오염대책기준	사람의 건강, 재산 및 동식물의 생육에 지장을 초래할 수 있는 기준으로 오염토양의 개선사업이 요구되는 기준

[1]임수길 등(1994)에서 제시되는 토양오염판단기준은 제시된 어휘의 정의에만 해당함. 임수길 등을 인용하지 않고 보고서에 사용되는 토양오염판단기준 또는 토양오염의 판단기준은 본 보고서 제IV절에 명시한 토양오염을 판단하는 모든 기준을 뜻함.

임수길 등(1994)은 토양의 다기능성에 따라 토양오염 판단기준을 2가지 (안)으로 구분하여 제안하고 있다. 제1안은 일본의 토양환경기준에 의하여 농산물의 생산 및 지하수 보전에 관점을 두고 대상지역을 시가지와 농경지로 분류하고 있다. 제2안은 토양오염물질이 토양의 이용·용도별로 인체 및 동·식물의 위해성이 다르므로, 토양의 이용용도를 농경지, 주거지, 공원・여가선용지역, 공장・산업지역으로 구분하여 구분하여 구분된 토양의 이용용도별로 토양오염 우려기준 및 토양오염대책기준을 인체 및 동식물의 위해성 평가에 따라 오염물질의 기준치를 독립적으로 제시하고 있다.

제1안의 경우 13종류의 토양오염물질을 대상으로 토양질을 평가하고 있다. 제1안은 일본의 토양환경기준을 설정하는 방법을 토대로 하여 제시된 것으로 시가지와 농경지의 토양에서 분석되는 중금속의 분석방법이 상이하다. 토양오염물질의 분석방법으로 시가지의 경우 지하수 보관의 관점에서 토양오염물질의 물용출법으로 하고, 농경지의 경우는 농산물을 재배할 때 오염된 토양으로부터 오염물질이 식물에 흡수가능한 양을 강조하는 관점에서 산가용성함량법을 적용하고 있다. 제1안에서 설정된 토양오염 판단기준, 토양오염 우려기준, 토양오염 대책기준과 분석방법의 관계에 따른 원칙을 <표 IV-21>와 같이 제시하고 있다.

<표 IV-21> 제1안 토양오염판단기준, 토양오염우려기준, 토양오염대책기준과 분석방법의 관계에 따른 설정 원칙

구분	분석방법	적용방법
토양오염 판단기준[1]	용출기준	지하수오염기준(생활용수 기준치에 포함)
	함량기준	중금속을 국내토양의 자연함량+표준편차 3배량치(일본 시가지토양의 함유량 기준근거)
토양오염 우려기준	용출기준	오염판단기준치의 3배치, CN, Hg는 토양오염대책기준치의 0.1배치
	함량기준	오염대책기준치의 40%로 함(현재 농경지 토양오염에 대한 행정지도 기준은 Cu, As의 작물재배제한기준의 40% 수준을 잠정적 기준으로 운용하고 있음)
토양오염 대책기준	용출기준	오염판단기준치의 30배치
	함량기준	Cu, As는 수질환경보전법 농작물재배제한기준을 적용함: Cd, Pb는 국내외 기준을 적용함.

[1]임수길 등(1994)에서 제시되는 토양오염판단기준은 제시된 어휘의 정의에만 해당함. 임수길 등을 인용하지 않고 보고서에 사용되는 토양오염판단기준 또는 토양오염의 판단기준은 본 보고서 제IV절에 명시한 토양오염을 판단하는 모든 기준을 뜻함.

임수길 등(1994)에 의한 제1안은 13종류의 오염물질에 대하여 토양오염판단기준, 토양오염우려기준, 토양오염정화기준을 구분하여 제시하고 있다 <표 IV-22>. 제2안의 경우 12종류의 토양오염물질을 공통대상항목으로 설정하고, 5종류의 유기성 오염물질인 Benzene, Toluene, Ethyle benzene, Xylene, PCBs를 감시대상항목으로 분리하여 설정하고 있다. 제2안은 농경지를 제외한 지역은 오염물질의 전함량분석방법을 채택하며, 토양오염의 有無와 增減을 파악하는데 가장 뛰어난 방법으로 유럽 및 미국, 캐나다, 호주, 뉴질랜드 등에서 사용하고 있다. 현재 국제표준기구(ISO)에서도 토양중 중금속의 분석방법을 전함량법으로 제정하기 위한 작업이 진행중에 있다. 그러나 제시되는 제2안에서는 현행 수질환경보전법에서 채택하고 있는 환경오염공정시험방법과 연계성을 고려하여 농경지의 경우 Cd, Cu, As, Pb는 산가용성 방법으로 설정하고 있다. 제2안에서 설정된 토양오염판단기준, 토양오염우려기준, 토양오염대책기준과 분석방법의 관계에 따른 원칙을 <표 IV-23>과 같이 제시하고 있다. 이에 따른 대상지역, 대상토양오염물질, 분석방법, 토양오염판단기준치의 설정원칙에 따라 <표 IV-24>와 같이 제2안을 제시하고 있다.

임수길 등(1994)에 의하여 제시된 제1, 2안을 종합하면 중금속(카드뮴, 비소, 수은, 납, 구리, 6가크롬), 시안, 페놀, 유기인화합물, PCBs, TCE, PCE, 질산성염, 유류성분(Benzene, Toluene, Ethyl Benzene, Xylene)에 대하여 분류된 토양별로 토양오염판단기준을 설정하고 있다. 제1안과 제2안은 각각 우리나라의 현실적으로 문제가 야기되는 오염물질에 대하여 적합하게 사용될 수 있는 장점이 있으나, 제1안은 시가지와 농경지만을 대상으로 하고 있어 이들을 제외한 다른 토양의 이용·용도에는 적용할 수 없다는 단점이 있다. 또한 제1안에서 제시하고 있는 토양오염판단기준은 토양오염우려기준 및 토양오염정화기준을 설정함으로써 큰 의미를 갖고 있지 못하고 있다. 제2안의 경우 우리나라 전국토의 이용·용도별로 적용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 유류성분(Benzene, Toluene, Ethyl Benzene, Xylene)을 요감시대상 항목으로 선정한 것은 유류의 누출에 의한 토양오염이 심각해지고 있는 현실을 토대로 할 때 요감시대상보다는 오염물질로 분류한 다른 성분과 동일하게 설정하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

<표 IV-22> 임수길 등(1994)에 의한 토양질 기준 제1안[1]

오염물질	대상지역	토양오염 판단기준[2]	토양오염 우려기준	토양오염 정화기준	비고
질산성물질	시가지	20	60	600	
카드뮴	시가지	0.01	0.03	0.3	
	농경지	0.3	1.5	4	호주 및 캐나다 정화기준
		0.10	현미 0.40	현미 1	카드뮴 현미:수환법 시행령29조
비소	시가지	0.05	0.15	1.5	
	농경지	2.0	6	15	
시안	시가지	불검출	0.1	1	일본 국유지토양대책지침 대책선정기준참조
수은	시가지	불검출	0.05	0.005	”
유기인화합물	시가지	불검출	0.1	1	”
페놀	시가지	0.005	0.015	0.15	
납	시가지	0.1	0.3	3	
	농경지	12	100	300	캐나다 정화기준
구리	농경지	12	50	125	수환법시행령29조
6가크롬	시가지	0.05	0.15	1.5	
TCE	시가지	0.03	0.3	0.9	
PCE	시가지	0.01	0.1	0.3	
PCBs	시가지	불검출	0.003	0.003	

[1]분석기준:시가지-용출산정, 농경지-산가용성기준

[2]임수길 등(1994)에서 제시되는 토양오염판단기준은 제시된 어휘의 정의에만 해당함. 임수길 등을 인용하지 않고 보고서에 사용되는 토양오염판단기준 또는 토양오염의 판단기준은 본 보고서에 명시한 토양오염을 판단하는 모든 기준을 뜻함.

<표 IV-23> 제2안 토양오염판단기준, 토양오염우려기준, 토양오염대책기준과 분석방법의 관계에 따른 설정 원칙

구분	적용방법
토양오염 판단기준[1]	- Cd, Cu, Pb, As 및 Hg는 국내토양자연함유량+표준편차 3배량치, 기타항목은 외국기준참조. Cd, Cu, Pb 및 As는 가용성 함량기준치로 전량에 대한 기준이 설정될 때까지 잠정적으로 이용함. - 대상물질중 유기인화합물은 농경지의 경우 적용제외
토양오염 우려기준	- 토지이용도별 각물질의 기준치는 토양오염대책기준치의 40%로 함. 농경지의 Cd, As, Pb, Cu는 가용성 함량치 적용
토양오염 대책기준	- 외국의 기준치를 참고. 농경지의 Cu, As는 재배제한기준치를 Cd, Pb는 국내의 기준참고

[1]임수길 등(1994)에서 제시되는 토양오염판단기준은 제시된 어휘의 정의에만 해당함. 임수길 등을 인용하지 않고 보고서에 사용되는 토양오염판단기준 또는 토양오염의 판단기준은 본 보고서 제IV절에 명시한 토양오염을 판단하는 모든 기준을 뜻함.

<표 IV-24> 임수길 등(1994)에 의한 토양질 기준 제2안(단위: mg/kg)

(토양오염우려기준/토양오염정화기준[1])

오염물질	농경지	주거지	공원・여가선용지역	공장・산업지역	비고
질산성염	-/-	80/200	80/200	120/300	
카드뮴	1.5*/4	2.0/5.0	2.0/5.0	8.0/20	
비소	6*/15*	12/30	12/30	15.0/50	
시안	2.0/5.0	20/50	20/50	160/400	
수은	0.4/1.0	0.8/2.0	0.8/2.0	4.0/10	
유기인화합물	-/-	4/10	4/10	10/25	
페놀	0.04/0.1	0.4/1.0	0.4/1.0	4.0/10	
납	100*/300*	200/500	200/500	400/1,000	
구리	50*/125*	40/100	40/100	200/500	
6가크롬	3/8	3/8	3/8	8/20	
PCB	0.2/0.5	1.2/3	1.2/3	4/10	
TCE	-/-	5.0/12	12/30	24/60	
PCE	-/-	5.0/12	12/30	24/60	
Benzene	0.02/0.05	0.2/0.5	0.2/0.5	2/5	요감시대상항목
Toluene	0.04/0.1	1.2/3	1.2/3	12/30	
Ethyl benzene	0.04/0.1	2.0/5.0	2.0/5.0	20/50	
Xylene	0.04/0.1	2.0/5.0	2.0/5.0	20/50	

[1]산가용성침출(Cd, Cu, Pb: 0.1N HCl, As: 1N HCl). 토양오염우려기준의 토지이용별 각오염물질의 기준치는 토양오염정화기준치의 40%로 함.

임수길 등(1994)이 제안중 오염물질의 분석에 따른 효율성을 고려할 필요가 있다. 유류성분중 토양오염에 문제가 될 수 있는 성분을 Benzene, Toluene, Ethyl Benzene, Xylene 등으로 분류하여 이들에 대한 토양오염판단기준을 설정하여 유류성분별 농도기준을 유지할 수 있도록 제시함은 타당성이 있다. 그러나, 이들 성분의 추출방법은 유사하며, 총 유류성분에 대한 토양오염판단기준을 설정함으로써 이들 물질에 대한 토양오염을 간접적이나 경제적으로 방지할 수 있다. 따라서, 이들 유류성분을 동합하여 토양오염판단기준을 설정하는 것도 좋은 방안이라 할 수 있다.

임수길 등(1994)이 제안한 토양오염물질중에 질산성염, TCE, PCE등은 토양오염을 유발하는 오염물질이나, 이들 물질은 토양을 매체로 하여 지하수 및 하천 등으로 짧은기간에 이동되어 수질오염에 더욱 심각하게 나타나고 있다. 이에 따라, 이들 성분에 대한 토양오염판단기준을 제시함은 제고할 필요가 있다.

2.1.2. 토양중 농약잔류허용량 기준설정 연구의 분석

이서래 등(1995)에 의한「수질 및 토양중 농약잔류 허용기준 설정」에 의하면 국내에서 농약사용량이 상당한 수준에 도달하였으며, 유독성 농약이 환경보전 및 국민보건에 미치는 위해 가능성에 증가하고 있다고 판단하고 있다. 이에 따라, 이서래 등(1995)은 현재 음용수 및 골프장 배출수에 국한하고 있는 농약잔류허용기준을 전반적인 수질 및 토양환경으로 확대하고 환경에 위해성을 나타낼 수 있는 농약을 포함하여 골프장 방류수 및 토양의 농약잔류허용기준(안)에 살균제 13종류, 살충제 11종류, 제초제 6종류를 제시하고 있다 <표 IV-25>. 또한 농경지, 시가지, 산림의 농약잔류허용기준으로 30종류의 농약성분을 대상으로 농약잔류허용기준(안)을 제시하고 있다 <표 IV-26>.

이서래 등(1995)이 제안한 농약잔류허용안에 대해서는 농약을 토양오염물질로 설정할 것인가에 대한 정책결정이 우선되어야 한다. 농약은 농산물의 생산성을 높이기 위하여 사용되는 성분으로 독성이 높고 잔류기간이 길은 농약에 대해서는 우리나라에서 이미 사용을 금지 또는 제한하고 있다(환경백서, 1995). 이에 따라, 농약을 토양오염물질로 설정하여 토양오염판단기준을 설정하기 보다는, 독성이 높고 잔류기간이 길은 농약의 사용을 금지 또는 제한하고 적정한 성분량을 사용할 수 있도록 정책방향을 제시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

<표 IV-25> 토양(농경지, 시가지, 산림)의 농약잔류 허용기준안(단위:mg/kg 건조토양)

농약성분	품목명	농경지 토양	시가지 토양	산림토양
Azinphosmethyl	아진포 (충)	-	-	0.03
Azocyclotin	아씨틴 (충)	3	0.4	0.01
Benomyl	베노밀 (균)	30	4	-
Buprofezin	부로피 (합)(충)	30	4	0.6
Carbofuran	카 보 (충)	10	2	0.5
Chlorfenson	살비란 (충)	-	-	1.0
Clofentezine	비스펜 (충)	-	-	1.0
Cypermethrin	피레스 (충)	-	-	3.0
Diazinon	다수진 (충)	5	1	0.1
Dicofol	디코폴 (충)	1	0.2	0.1
Ethoprophos	에토프 (충)	-	-	0.02
Fenbutatin oxide	펜부탄 (충)	-	-	0.5
Fenpropathrin	펜프로 (충)	-	-	0.01
Fonofos	다이포 (충)	2	0.4	0.06
Glyphosate	글라신 (초)	150	25	-
Mancozeb	만코지 (균)	100	15	-
Mecarbam	메카밤 (충)	5	1	-
Metalaxyl	메타실 (균)	30	4	-
Omethoate	오메톤 (충)	1	0.2	0.02
Oxadiazon	옥사존 (초)	5	1	-
Pencycuron	펜시쿠론 (균)	20	3	-
Pendimetha1in	펜 디 (초)	40	5	2.0
Phorate	포레이트 (충)	0.3	0.1	0.01
Pirimiphos-ethyl	프리미 (충)	1	0.2	0.05
Pirimiphos-methy1	피리포 (충)	-	-	0.4
Prochloraz	프로라츠 (균)	10	1	-
Propargite	프로지 (충)	-	-	0.2
Prothiofos	프로치오포스 (충)	0.2	0.1	-
Pyridaben	피리다벤 (충)	-	-	0.5
Pyridaphenthion	피리다 (충)	5	1	-

<표 IV-26> 골프장 방류수 및 토양의 농약잔류 허용기준안

농약성분	품목명	현행잔류지도치 (mg/L 방류수)	방류수 기준안 (mg/L 방류수)	토양 기준안 (mg/kg 건조토양)
<살균제>				
Diniconazole	디니크나졸	0.8	0.4	30
Etridiazole	에디졸	-	0.3	-
Folpet	폴 펫	-	0.02	50
Iprodione	이프로	3	10	12
Metalaxyl	메타실	-	2	20
Oxine-copper	옥시동	-	0.02	-
Propamocarb	파 모	-	6	20
Propineb	프로피	-	0.2	15
Thiophanatemethyl	지오판	2	5	50
Thiram	치 람	-	0.01	30
Tolclofosmethyl	토로스	-	0.2	-
Triadimefon	티디폰	0.7	2	10
Triforine	사프롤	0.5	1	10
<살충제>				
Carbofuran	카 보	-	0.03	10
Chloropyrifos	그로포	-	0.001	10
Demeton-S-methyl	메 타	-	-	2
Diazinon	다수진	-	0.1	-
EPN	이피엔	-	-	2
Endosulfan	지오릭스	-	-	2
Fenitrothion	메 프	0.4	0.001	15
Methidathion	메치온	-	-	1
Monocrotophos	모노포	-	-	2
Phosphamidon	포스팜	-	0.001	2
Trichlorofon	디 프	-	0.2	30
<제초제>				
Bensu1ide	벤설라이드	1	0.1	-
Dicamba	디캄바	2	10	10
Mecoprop	엠시피피	-	2	25
Napropamide	파미드	7	1	60
Pendimetha1in	펜 디	2	2	20
Simazine	씨마네	-	0.5	20

2.2. 토양오염 판단기준의 설정

임수길 등(1994)과 이서래 등(1995)에서 연구된 토양오염물질의 종류와 농도는 산·학·연의 전문가로 구성된 환경부 토양분과위원회에서 수차의 검토·분석회의를 거쳐 11종류의 오염물질에 대한 토양오염우려기준 및 토양오염대책기준을 설정하였다. 이들 오염물질에 대한 토양오염판단기준은 우리나라의 현실과, 이들 물질에 의하여 토양을 오염시킬 수 있는 오염도를 근거로 하여 제시된 것이다 <표 IV-27>.

<표 IV-27> 토양오염우려기준 및 토양오염대책기준 설정방안

오염물질	토양오염우려기준		토양오염대책기준	
	농경지	공장·산업지역	농경지	공장·산업지역
카드뮴	1.5	12	4	30
구리	50	200	125	500
비소	6	20	15	50
수은	4	16	10	40
납	100	400	300	1,000
크롬(6가)	4	12	10	30
유기인화합물	10	30	-	-
PCBs	-	12	-	30
시안	2	120	5	300
페놀	4	20	10	50
유류성분(동·식물성 제외)	-	80	-	200

* 지역구분: 농경지: 논·밭·과수원·목장용지, 체육용지
공장·산업지역: 공장용지, 폐금속광산, 잡종지

2.3. 토양오염판단기준의 발전방향

현재 우리나라에서 적용할 수 있는 토양오염물질에 대한 토양오염판단기준으로 <표 IV-27>에 제시하고 있는 토양오염판단기준이 1996년 1월부터 시행되는「토양환경보전법」의 시행령, 시행규칙에 적용될 계획으로 있다. <표 IV-27>에 제시된 토양오염물질의 종류 및 농도기준은 우리나라의 현실성을 감안하여 토양오염물질

의 토양오염기준을 설정한 시발점으로 평가할 수 있으나 다음사항에 관하여 미흡하여 이를 발전시킬 필요가 있다.

첫째, 토양오염우려기준 및 토양오염대책기준(안)에서 제시되고 있는 오염물질의 토양오염판단기준은 외국의 자료를 수집·분석하여, 오염물질별로 우리나라의 토양중 오염물질의 배경농도를 기준으로 하여 오염판단기준을 설정한 것으로써 환경독성평가에 의한 농도기준이 아니다. 토양오염우려기준 및 토양오염대책기준(안)은 외국의 자료를 근거로 할 때, 우리나라에서 적용할 수 있는 효율적인 토양오염판단기준일 수 있다. 그러나 우리나라에 적합한 토양오염물질 및 오염물질에 따른 토양오염판단기준이 설정되기 위해서는 오염물질별 인체, 동식물 및 환경에 미치는 영향(ecotoxicological effects)이 우리나라에서 독립적으로 연구되고 향후 이를 토대로 하여 토양환경보전법의 시행규칙에 토양오염판단기준이 재조정되어야 할 것이다. 참고로 네덜란드를 중심으로 유럽연합국가에서 움직이고 있는 토양오염판단기준을 제시하면 <표 IV-28>과 같다.

둘째, 토양오염물질의 종류·범위의 협소성에 있다. 우리나라에서는 토양환경보전법을 시작하는 단계에서 유럽, 미국, 캐나다 등과 같이 많은 물질을 대상으로 토양오염물질로 설정하여, 이를 분석하고, 행정규정을 집행함에 따른 행정상의 어려움 등의 문제점이 발생할 것이다. 그러나, 국민의 건강 및 환경문제를 최소화하기 위하여 외국에서 오염물질로 규정하고 있으며 우리나라의 토양으로 배출되고 있는 오염물질에 대한 기준의 설정은 충분한 재검토가 필요하다. 외국에서 제시되고 있는 각 오염물질에 대한 기준이 우리나라의 현실에 적합할 수 있도록 재검토되어야 하며, 우리나라의 여건에 필요한 오염물질의 종류에 대해서는 향후 토양오염물질의 종류와 농도기준을 설정하여 시행규칙에 첨가하여야 할 것이다.

셋째, 토양환경법의 시행규칙에 제시되고 있는 토양오염우려기준과 토양오염대책기준(안)이 농경지와 공장·산업지역에 대해서만 제시되고 있음에 따라 거주지, 공원·여가지역 등의 다른 지목으로 분류되는 토양의 이용·용도에 대해서는 토양오염우려기준과 토양오염대책기준이 없다. 유럽 등의 선진외국에서 제시하고 있는 토양오염기준은 토양의 다기능성에 따라 토양을 분류하고 분류된 토양별로 토양오염기준이 제시되고 있다. 토양환경보전법의 시행규칙에서 제시하고 있는 농경지와 공장·산업지역에 대한 토양오염우려기준과 토양오염대책기준(안)은 산·학·연의 전문가로 구성된 환경부 토양분과위원회의 심의에 의하여 현실적인 행정상의 문제

점이 제시되어 거주지, 공원·여가지역 등의 다른 지목에 대한 토양오염기준이 제외되었으나 향후 건설교통부, 통산산업부 등의 관련부처간 적극적인 협의를 통하여 누락된 지목에 대한 토양오염판단기준을 설정해야 할 것이다.

넷째, 토양오염물질의 분석방법으로 토양에 존재하는 오염물질의 전함량을 분석하고, 분석된 물질의 종류 및 농도에 대하여 토양오염을 판단하는 방향으로 세계적인 추세가 진행되고 있다. 향후 국제표준화기구(International Standard Organization:ISO)에서도 토양오염물질의 전함량분석방법을 「토양오염물질의 표준방법」으로 채택하는 것을 고려하고 있다. 우리나라의 기존 중금속 추출방법이 酸加用法으로 추출해 왔기 때문에 이를 연관시키기 위하여 농경지의 경우 Cd, Cu, As, Pb 등의 중금속은 산가용성 방법으로 설정하고 있다. 그러나 국제적인 중금속의 추출방법으로 오염물질의 전함량분석방법이 결정되는 방향으로 추진되고 있으므로 현재 국내에서 사용하고 있는 방법 및 자료의 연계성을 고려하는 것도 중요하지만 우리의 여건을 국제적인 흐름에 적합하도록 준비하는 정부의 입장에서 ISO에서 추진하고 있는 중금속 등의 전함량분석방법을 우리나라 토양오염물질 표준추출방법으로 전환해야 할 것이다.

<표 IV-28> 오염물질의 환경독성평가에 의하여 근거를 둔 토양오염판단기준(van Straalen & Denneman, 1989에서 자료 발췌)

Compound	Economic int.-value [mg.kg^{-1}]	US[1]	Human MTR Value [μg.kg^{-1}.d^{-1}]	Human tox. int.-value [mg.kg^{-1}]	US^{-1}	Integrated int.-value soil [mg.kg^{-1}]	Current C-value soil [mg.kg^{-1}]	Proposed int.-value soil [mg.kg^{-1}]	Proposed int.-value groundwater[μg.l^{-1}]
Ⅰ. Metals and trace elements									
arsenic	40	6	2.1	680	3	40	50	55	55
barium	625	2	20	4300	3	625	2000	625	605
cadmium	12	10	1	35	3	12	20	12	6
chromium	230	7	5	2250	2	230	800	380	26
cobalt	240	2	1.4	450	1	240	300	240	44
copper	190	10	140	16000	3	190	500	190	35
mercury	10	6	0.61	200	3	10	10	10	0.3
lead	290	10	3.6	300[2]	3	290	600	530	54
molybdenum	<480	2	10	910	3	480	200	200	310
nickel	210	6	50	6600	3	210	500	210	37
tin	-	-	2000	650000	3	300	300	-	-
zinc	720	6	1000	56000	3	720	3000	720	290
Ⅱ. Inorganic compounds									
cyanides(free)	-	-	50	18	3	18	100	20	1500
cyanides(complex, pH<5)	-	-	13	4.6	2	5	500	650	1500
cyanides(complex, pH≥5)	-	-	13	4.6	2	5	500	50	1500
thiocyanates	-	-	11	3.9	3	3.9	200	20	1500
Ⅲ. Aromatic compounds									
benzene	25	2	4.3	1.1	6	1.1	5	1	30
ethyl benzene	-	-	136	50	4	50	50	50	150
phenol	40	2	60	46	6	40	5	40	1900
cresol	50	2	50	4.7	4	5	5	5	200

<계속>

Compound	Economic int.-value [mg.kg^{-1}]	US[1]	Human MTR Value [μg.kg^{-1}.d^{-1}]	Human tox. int.-value [mg.kg^{-1}]	US^{-1}	Integrated int.-value soil [mg.kg^{-1}]	Current C-value soil [mg.kg^{-1}]	Proposed int.-value soil [mg.kg^{-1}]	Proposed int.-value groundwater[μg.l^{-1}]
toluene	130	64	430	340	6	130	30	130	1040
xylene	-	-	10	26	4	26	50	25	66
catechol	-	-	40	23	4	23	-	23	1300
resorcinol	-	-	20	10	4	10	-	10	630
hydroquinone	-	-	25	11	4	11	-	11	780
Ⅳ. Polycyclic aromatic hydrocarbons									
anthracene	40	5	50	29000	3	40	100	-	5
benzo(a)-anthrance	40	5	20	11000	6	40	50	-	0.4
benzo(k)-fluoranthene	40	5	20	11000	6	40	50	-	0.02
benzo(a)pyrene	40	5	2	1000	6	40	10	-	0.03
chrysene	40	5	2	360	4	40	50	-	0.04
phenanthrene	40	5	20	630	4	40	100	-	5
fluoranthene	40	5	20	1000	4	40	100	-	0.8
indeno(1,2,3cd)pyrene	40	5	20	12000	6	40	50	-	0.01[dl]
benzo(glu)perylene	40	5	20	12000	6	40	100	-	0.03
naphthalene	40	5	50	590	4	40	50	-	75
total PAHs(10)								40	-
Ⅴ. Chlorinated hydrocarbons									
Aplipharic chlorohydrocarbons									
1,2-dichloro-ethane	60	5	14	3.9	6	4	50	3.5	430
dichloromethane	60	5	60	19	6	19	50	20	1000
tetrachloro-methane	60	5	4	0.92	4	1	50	1	10
tetrachloroethane	60	5	16	3.9	4	4	50	4	41

<계속>

Compound	Economic int.-value [mg.kg^{-1}]	US[1]	Human MTR Value [μg.kg^{-1}.d^{-1}]	Human tox. int.-value [mg.kg^{-1}]	US^{-1}	Integrated int.-value soil [mg.kg^{-1}]	Current C-value soil [mg.kg^{-1}]	Proposed int.-value soil [mg.kg^{-1}]	Proposed int.-value groundwater[μg.l^{-1}]
trichloro-methane	60	5	30	8.9	4	9	50	10	380
trichloroethane	60	5	540	300	6	60	50	60	480
vinyl chloride	60	5	3.5	0.078	6	0.1	-	0.1	0.7
Chlorobenzenes									
monochloro-benzene	30	5	300	530	6	30	10	-	190
dichloro-benzene(ind.)	30	5	190	1100	6	30	10	-	50
trichloro-benzene(ind.)	30	5	0.5	8.8	4	9	10	-	3
tetrachloro-benzene(ind.)	30	5	0.5	17	4	17	10	-	1.4
pentachloro-benzene	30	5	0.5	23	4	23	10	-	0.6
hexachloro-benzene	30	5	0.5	25	6	25	10	-	0.5
total chlorobenzene								30	-
Chlorophenols									
monochloro-phenol(ind.)	10	5	3	14	4	10	5	-	95
dichloro-phenol(ind.)	10	5	3	32	6	10	5	-	30
trichloro-phenol(ind.)	10	5	3	54	4	10	5	-	6
tetrachloro-phenol(ind.)	10	5	3	18	4	10	5	-	54
pentachloro-phenol	5	5	30	76	6	5	5	5	3
total chloro-phenols(ex-cept penta)								10	-

<계속>

Compound	Economic int.-value [mg.kg^{-1}]	US[1]	Human MTR Value [μg.kg^{-1}.d^{-1}]	Human tox. int.-value [mg.kg^{-1}]	US^{-1}	Integrated int.-value soil [mg.kg^{-1}]	Current C-value soil [mg.kg^{-1}]	Proposed int.-value soil [mg.kg^{-1}]	Proposed int.-value groundwater[μg.l^{-1}]
Chlorinated polycyclic aromatic hydrocarbons									
chloro-naphthalene	-	-	0.5	8.8	2	9	5	9	5
Polychlorobiphenyls									
trichloro-biphenyl	70	2	0.09	5.2	4	1[2]	5		
hexachloro-biphenyl	70	2	0.09	8.3	4	1[2]	5		
total chlorinated biphenyl(7)								1	0.01
Ⅵ. Pesticides									
Organochlorine pesticides									
DDT	4	5	20	11000	9	4	5	-	0.01
DDE	4	5	20	750	6	4	5	-	0.03
total DDT/ DDD/DDE								4	0.01
aldrin	0.35	6	0.1	13	4	0.4	5	-	0.005[dl]
dieldrin	4	5	0.1	5.2	4	4	5	-	0.07
endrin	0.06	2	0.1	4.1	4	4	5	-	0.2
total drins								4	0.1
α-HCH	2	6	1	20	6	2	5	-	1.1
β-HCH	-	-	0.2	0.4	4	0.4	5	-	0.2
γ-HCH	2	6	1	20	6	2	5	-	1.1
δ-HCH	2	6	1	24	6	2	5	-	0.7
total HCHs								2	1
Other pesticides									
carbaryl	5	7	10	440	6	5	10	5	0.09
carbofuran	1.5	10	10	410	6	1.5	10	1.5	0.07
propoxur	0.75	2	20	650	6	22	10	22	2.6
maned	35	4	50	29000	6	35	10	35	0.1[dl]
atrazine	6	7	5	21	6	6	10	6	160

<계속>

Compound	Economic int.-value [mg.kg^{-1}]	US[1]	Human MTR Value [μg.kg^{-1}.d^{-1}]	Human tox. int.-value [mg.kg^{-1}]	US^{-1}	Integrated int.-value soil [mg.kg^{-1}]	Current C-value soil [mg.kg^{-1}]	Proposed int.-value soil [mg.kg^{-1}]	Proposed int.-value groundwater[μg.l^{-1}]
Ⅶ. Other pollutants									
heptane	-	-	3100	3.5	2	3.5	-		
octane	-	-	3100	2.5	2	2.5	-		
mineral oil							5000	5000	600
cyclohexanone	-	-	4600	270	6	270	60	270	15500
butyl benzyl-phthalate	60	5	25	740	6	60	250	-	9.1
di(2-ethyhexyl) phthalate	60	5	25	4000	6	60	250	-	1.9
total phthalate								60	5
pyridine	150	2	1	1.1	4	1	20	1	2.9
styrene	-	-	77	100	6	100	50	102	350
tetrahydrofuran	-	-	10	0.4	4	0.4	40	0.4	1.0
tetrahydro-thiophene	-	-	180	94	4	94	50	94	34

[dl] = adjusted for the detection limit; - = no data

[1] uncertainty score (the higher the score the lower the uncertainty)

[2] The original proposals of Van den Berg and Roels (1991) have been revised, and will be published in a revised report (Van den Berg and Roels, 1993). The Dutch parliament will decide on the final values to used.

3. 토양오염유발시설 종류 및 범위선정

3.1. 토양오염유발시설의 종류 선정방법

3.1.1. 연구대상시설의 선정

토양에 오염물질을 배출할 우려가 있는 시설・장치・건물・構築物 및 장소 등은 그 종류와 범위가 다양하다. 배출되는 오염물질의 농도 및 총량의 차이는 있으나 토양오염유발시설로서 생활주거지역의 폐건축물, 산업지역의 산업시설, 유류저장시설, 유해화학물질저장시설, 농업지역의 농약저장시설, 기타 휴・폐광 및 가행광산, 폐기물매립지 등, 인간의 활동에 의하여 환경오염을 유발할 수 있는 가능성이 있는 대부분의 환경위해성 시설을 포함할 수 있다 <표 IV-29>.

<표 IV-29> 토양오염유발시설의 구분

지역	토양오염유발시설
생활주거지역	폐건축물 유류저장시설(주유・저유소 등) 유해화학물질저장시설
산업지역	산업시설 유류저장시설 유해화학물질저장시설
농업지역	농약저장시설
기타지역	광산(금속 및 석탄광산) 폐기물매립지

토양오염을 유발할 수 있는 시설의 종류 중 산업시설의 종류가 가장 다양하고 광범위하다. 중금속 및 석면, 무기 및 유기물질 등, 강산 또는 강알칼리물질 등은 산업시설에서 이용하는 과정에서 이들물질이 누출 또는 폐기물에 혼입되어 토양환경에 배출될 수 있다. 이와 같은 산업시설의 종류를 환경위해성과 연관시킬 때, 오염물질의 종류 및 특성에 따라 ①독성금속물질, ②독성 및 자극성 또는 폭발성 물질, ③석면 또는 인조광물질 섬유, ④폭발성酸 또는 알칼리물질, ⑤독성 솔벤트, 페놀 또는 기타 유기물질로 분류할 수 있다(Simmons & Lewis, 1993)<표 IV-30>.

<표 IV-30> 환경위해성과 연관된 산업시설의 종류

환경위해성종류	산업시설
독성 금속물질 (예, Pb, Cd, Hg, As, Ni 등)	- 철강업체(Iron & steel foundries) - 제련소(Smelters) - 전기도금시설(Electroplating) - 아연도금시설(Galvanizing) - 공업시설(Engineering) - 조선시설(Shipbuilding) - 쓰레기장(Scrap yards) - 화학물질취급・처리시설(Chemicals) - 폐기물처리시설(Waste disposal) - 광물질 취급시설(Minerals) - 유리취급시설(Glass) - 오니취급시설(Sewage works) - 가스취급시설(Gasworks)
독성, 자극성 또는 폭발성 물질 (예, CN, Chromium salt 등)	- 전기도금시설(Electroplating) - 쓰레기장(Scrap yards) - 주물시설(Tanneries) - 가스취급시설(Gas works)
석면 또는 인조광물질 섬유	- 유류취급시설(Petrochemicals) - 에너지취급시설(Energy) - 금속취급시설(Metal works) - 운송시설(Transport) - 부두(Docks) - 폐기물처리시설(Waste disposal) - 일반공장(Factories)
폭발성 산 또는 알칼리물질	- 유류취급시설(Petrochemicals) - 화학물질취급・처리시설(Chemicals) - 전기도금시설(Electroplating) - 가스취급시설(Gasworks)
독성 솔벤트, 페놀, 또는 기타 유기물질	- 화학물취급・처리시설(Chemicals) - 유류취급시설(Petrochemicals) - 가스취급시설(Gasworks) - 운송시설(Transport) - 폐기물처리시설(Waste disposal) - 주물시설(Tanneries) - 에너지취급시설(Energy) - 고무취급시설(Rubber works)

1995. 1. 5에 제정된 우리나라의 토양환경보전법에서는 토양오염유발시설의 정의로「...오염물질을 배출하는 토양오염물질을 생산·운반·저장·취급·가공 또는 처리함으로써 토양을 오염시킬 우려가 있는 시설·장치·건물·構築物 및 장소 등으로서 대통령이 정하는 것...」으로 되어 있으며 법적인 토양오염유발시설로 지정된 시설에 대해서는 연차적으로 토양오염방지시설을 설치하도록 계획하고 있다. 이에 따라, 토양오염유발시설의 종류 선정은 향후 이 시설들에 대한 토양오염방지시설의 설치까지 고려해야 한다.

토양오염을 유발할 수 있는 시설은 오염물질을 배출하는 시설·장치·건물·構築物 및 장소를 의미하고 있으므로 이에 따른 모든 종류가 토양오염유발시설로 선정함을 원칙으로 하여야 한다. 그러나, 이에 관련된 모든 종류를 법적인 토양오염유발시설로 선정하여, 향후 이 시설들에 대하여 토양오염방지시설을 설치하도록 유도하는 것은 행정력과 경제력의 손실을 야기시킬 수 있다. 특히, 시설·장치·건물·構築物 및 장소 등에서 오염물질을 배출 또는 배출할 가능성이 있으나 오염물질의 배출량이 미미하여 환경위해성이 적거나, 토양오염물질의 배출기준이 다른 법에 의하여 이미 적합하게 제시·규제되고 있는 시설을 대상으로 토양오염방지시설의 설치를 의무화하는 것은 적합하지 않다. 또한, 환경보전은 생산활동과 함께 지속적으로 실행될 때 더욱 큰 의미가 있는 것이다. 따라서 초기단계에서는 최소의 토양오염유발시설의 대상범위를 선정하는 것이 개발과 환경보전적인 측면에서 효율적일 것이다 <표 IV-31>.

<표 IV-31> 토양오염유발시설의 선정시 원칙 및 고려사항

구분	내용
선정원칙	토양오염물질을 배출하는 시설·장치·건물·構築物 및 장소를 토양오염유발시설로 선정하는 것을 원칙으로 함.
고려사항	토양환경보전과 생산활동과 함께 지속적으로 실행할 수 있도록 최소한의 토양오염유발시설의 범위를 설정함.
	토양오염을 유발할 가능성이 있으나 토양오염물질의 배출량이 미미하여 환경위해성이 적은 경우는 토양오염유발시설의 범위에서 제외함.
	토양오염물질의 배출기준이 다른법에 의하여 이미 적합하게 제시·규제되고 있는 경우는 토양오염유발시설의 범위에서 제외함.

이에 따라, 본 연구는 우리나라에서 토양오염을 심각하게 유발하여 토양환경을 훼손할 수 있는 유류저장시설, 유해화학물질저장시설, 산업시설, 폐기물매립지, 휴·폐광산을 개략적인 연구대상으로 선정하고, 이들 시설을 토양오염유발시설로의 선정여부를 분석하였다.

3.1.2. 연구대상시설의 개별 분석

3.1.2.1. 유류저장시설

(1) 시설현황

가. 저유시설

우리나라의 유류정제능력은 1차시설인 상압증류시설 기준으로 1992년말 1,675천B/D, 2차시설로서 중질유분해시설 34천B/D(현대정유)에서 연차적으로 증가하고 있다. 또한, 1992년도에 유공이 허가 받은 중질유분해시설 30천B/D, 탈황설비 30천B/D의 시설공사의 2차시설공사가 1993년도에 완공되었으며 1993년 유공, 쌍용, 현대에 각각 200천B/D, 118천B/D, 200천B/D의 1차정제시설의 증설이 진행되고 있다(석유년보, 1994) <표 IV-32>.

<표 IV-32> 국내 유류정제시설의 확충전망(단위: 천B/D[1])

구분	1992	1993	1994	1995	1996	1997
1차시설능력	1,675	1,675	1,700	2,038	2,438	2,438
2차시설능력 (중질유분해 및 탈황)	34	94	94	249	349	429

[1]1B/D는 42gallon(미국), 157. 5*l*임.

우리나라에서의 원유 및 정제된 유류시설로 한국석유개발공사와 (주)유공, (주)호남정유, (주)한화에너지, (주)쌍용정유, (주)현대정유에서 원유 및 가공유류를 총 863개의 유류탱크에 12,235천k*l*를 저장하고 있다. 한국석유개발공사의 석유비축기지에 저장하고 있는 유류현황은 국가의 안보문제와 관련되어 있으므로 제외하였다 <표 IV-33>.

<표 IV-33> 원유 및 유류저장시설[1]

구분	저장시설(수)	저장시설용량 (천kl)	비고
계	863	12,235	지상저장시설
(주)유공	405	4,299	
(주)호남정유	119	3,345	
(주)한화에너지	121	2,071	
(주)쌍용정유	125	1,170	
(주)현대정유	93	1,350	

[1]자료출처: 환경부 토양보전과(1995). 한국석유개발공사의 석유비축기지 현황은 국가의 안보문제와 관련되어 있으므로 제외되어 있음.

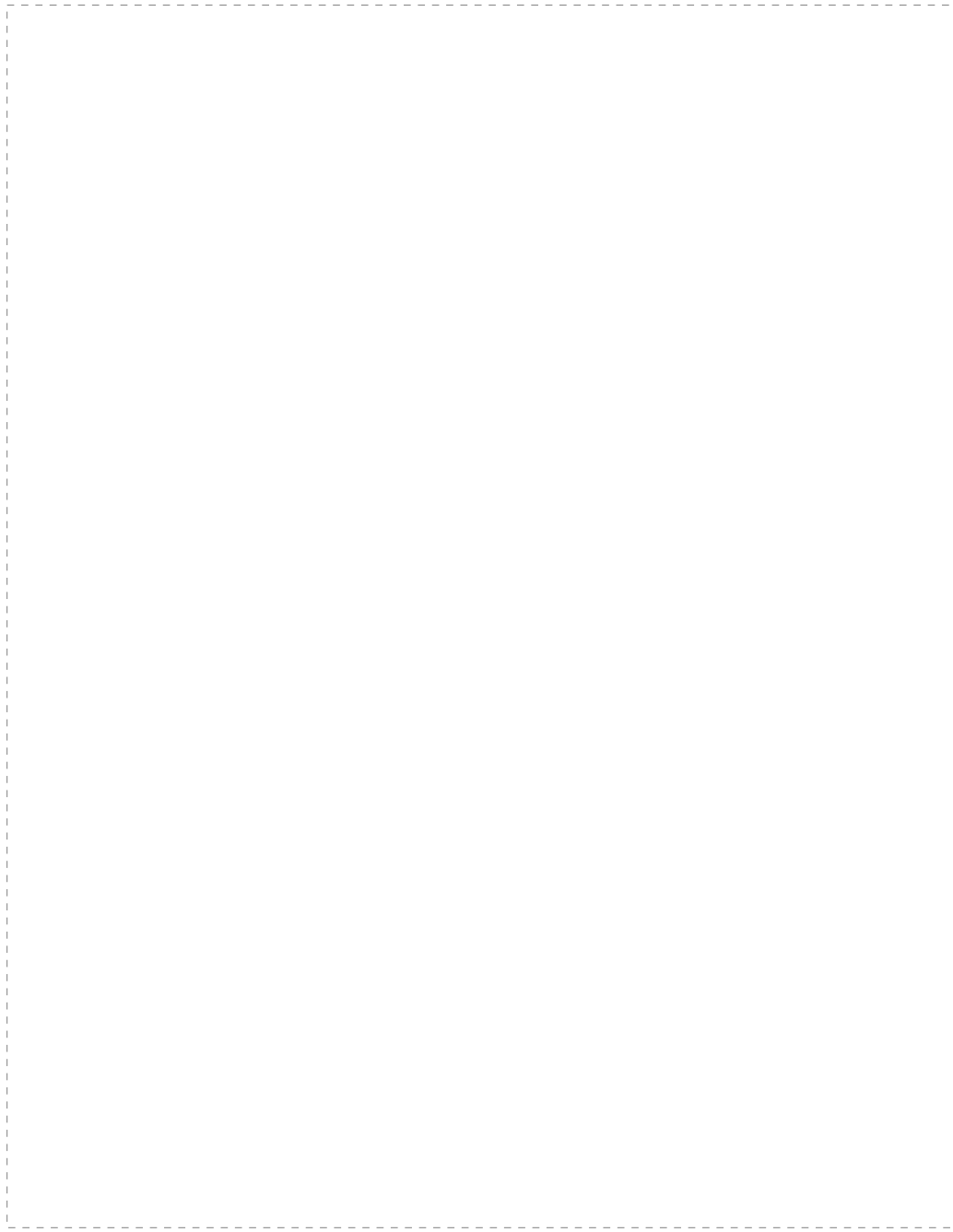
나. 송유관시설

우리나라의 송유관 시설은 1990년 1월에 설립된 대한송유관 공사에서 담당하고 있으며 담당하고 있는 시설로는 1994년말 현재 저유소 3개, 가압장 10개, 송유관 955km이다(대한송유관공사, 1994) <그림 IV-2>.

송유관로의 구간은 인천-서울, 여천-서울, 온산-서울로 크게 3구간으로 구분되며 총 구간의 길이는 955km이다. 구간별 송유관의 길이, 관경, 적정송유능역, 최대송유능력은 <표 IV-34>와 같다 (대한송유관공사, 1994).

대한송유관공사에서 보유하고 있는 저유소는 서울 북부 저유소(경기 고양시), 서울 남부 저유소(경기 성남시), 중부 저유소(대전 금고동)의 3개 시설로 각 저유소의 위치, 면적, 저유설비, 출하설비 및 기타설비 현황은 <표 IV-35>와 같다(대한송유관공사, 1994).

장거리 송유관의 경우 일정거리가 지나면 압력이 낮아지는 위치에 중간가압장을 전국 10개 지점에 설치하여 목적하는 저유소까지 원활한 송유가 이루어지도록 하고 있다. 전국에 설치되어 있는 중간가압장은 경인송유관의 경우 인천지역에 1개 설치되어 있다. 남북으로 연결하는 송유관의 경우 여천, 곡성, 전주, 온산, 울산, 대구, 추풍령, 대전, 천안의 9개 지역에 설치되어 있다(대한송유관공사, 1994) <표 IV-36>.



<그림 IV-2> 저유소, 가압장, 송유관 시설

<표 IV-34> 송유관로의 구간, 길이, 관경, 적정송유능역, 최대송유능력

구분		구간	길이 (km)	관경 (inch)	적정송유능력 (천B/D)	최대송유능력 (천B/D)
경인 구간	인천-서울	인천-서울	31	14	72	130
		인천-김포	24	12	65	110
		소계	55			
남북 구간	여천-서울	여천-곡성	77	20	210	256
		곡성-광주	42	10	33	40
		곡성-전주	112	20	210	256
		전주-대전	97	18	153	186
		대전-천안	65	16	131	160
		천안-서울	68	18	148	181
		소계	461			
	온산-서울	온산-울산	10	20	44	379
		울산-대구	94	24	308	379
		대구-추풍령	109	22	217	268
		추풍령-대전	93	20	217	268
		대전-천안	65	18	185	227
		천안-서울	68	20	185	227
		소계	439			
총계			955			

<표 IV-35> 저유소의 위치, 면적, 저유설비, 출하설비 및 기타설비 현황

구분		서울북부저유소	서울남부저유소	중부저유소
위치		경기도 고양시	경기도 성남시	대전시 금고동
면적		46천평	275천평	46천평
저유설비	저유탱크	14기	41기	11기
	저유용량	48만7천바렐	197만3천바렐	31만7천바렐
출하설비	출하대수	33기	74기	22기
	출하펌프	13대	58대	29대
	출하능력	13만6천바렐	18만6천바렐	5만5천바렐
기타설비		SCADA, 소방설비, 전기설비, 유류분리설비, 오수정화설비		

<표 IV-36> 가압장의 위치

구분	위치
경인송유관	인천
남북송유관	여천, 곡성, 전주, 온산, 울산, 대구, 추풍령, 대전, 천안

다. 유류저장시설

국민의 생활수준 향상에 따라 자동차의 수가 증가되었으며 더불어 주유소 등의 유류저장시설의 수가 1980년대 중반 이후 급격히 증가하였다. 특히, 정유회사-대리점-주유소(부판점)로 연결되는 유류의 판매는 1991년 11월 석유사업시행령을 개정하여 주유소간의 거리제한을 종전의 1/2로 축소함으로써 서울지역은 350m, 광역시 및 시·읍지역은 500m, 기타지역은 1km이상으로 완화되어 주유소 수의 증가를 가져왔다. 국내 주유소의 현황은 1988년에 국내 총 2,779개소이었던 주유소가 1995년에는 8,300개소 이상으로 1988년에 비교할 때 290% 이상이 증가되었다 <표 IV-37>.

<표 IV-37> 전국 주유소 현황[1]

1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
2,779	2,961	3,315	3,882	4,939	5,927	6,774	>8,300

[1]자료: 한국 주유소 협회

주유소를 포함하여 지하에 유류를 저장하고 있는 업체수는 전국에 18,103개소가 있다. 전국에 존재하는 유류저장보유업체수로 주유소를 포함한 유류판매업소가 9,556개소, 산업시설이 3,024개소, 주거시설에 984개소, 운송업체로 379개소, 공공시설로 1,348개소, 숙박시설로 661개소 및 기타 시설로 2,151개소가 있다. 지역별로는 경기지역에 3,048개소로 가장 많으며, 서울에 2,381개소, 경남지역에 1,933개소의 순이며, 제주지역에 103개소로 가장 적은 업체를 나타내고 있다 <표 IV-38>.

유류저장업체에서 보유하고 있는 지하유류저장탱크의 수는 전국에 52,859개가 존재하고 있다. 업체별로 보유하고 있는 유류저장탱크의 수로 유류판매업소에 39,479개, 산업시설에 4,701개, 주거시설에 2,107개, 운송업체에 670개, 공공시설에

<표 IV-38> 지역별·시설별[1] 지하 유류저장시설 보유업체 수[2]

지역	계	유류 판매소	산업 시설	주거 시설	운송 업체	공공 시설	숙박 시설	기타
서 울	2,381	737	196	283	70	202	78	815
부 산	932	528	186	85	39	51	8	35
대 구	1,349	587	346	94	29	79	47	167
인 천	675	312	168	40	12	46	14	83
광 주	371	178	57	28	4	36	7	61
대 전	669	371	66	62	18	63	25	64
경 기	3,048	1,259	844	95	52	239	172	387
강 원	896	565	72	26	16	94	65	58
충 북	1,127	636	195	43	23	108	56	66
충 남	1,030	637	143	49	11	71	50	69
전 북	922	674	59	38	23	66	25	37
전 남	1,103	808	98	41	15	66	18	57
경 북	1,564	1,023	192	48	25	122	67	87
경 남	1,933	1,152	402	52	33	104	29	161
제 주	103	89	0	0	9	1	0	4
합 계	18,103	9,556	3,024	984	379	1,348	661	2,151

[1]유류저장시설별로 유류판매소, 산업시설, 주거시설, 운송업체, 공공시설, 숙박시설 및 기타시설로 분류하였음. 유류판매소는 주유소, 제2종 유류판매업소(농·수협 유류판매소), 석유판매업소 등의 시설임. 산업시설은 제조, 생산시설 및 산업시설, 건설업체, 정비업체 등의 시설임. 주거시설은 아파트, 연립주택, 기숙사, 사택 등 주거용도 및 연수원 등의 시설임. 운송업체는 교통, 여객사, 항공사 등의 시설임. 공공시설은 국가 및 출연기관, 재단 및 법인, 신문사, 방송국, 학교, 도서관, 대학병원 및 대형종합병원, 공공체육시설 등의 시설임. 숙박시설은 호텔, 여관, 콘도 등의 시설임. 기타는 일반병원, 상가, 요식업체, 목욕탕, 농장, 예식장, 교회, 학원, 실내수영장, 양로원, 아동복지원, 위락 및 휴양시설, 사찰, 백화점, 골프장 등과 대형사무공간 등의 시설임.

[2]환경부 토양보전과에서 1995년에 각 시·도별로 지하저장시설의 현황을 수집한 자료를 전산처리한 수치임.

2,290개, 숙박시설에 857개, 기타 2,754개가 있다. 업체수(9,556개소)와 유류저장탱크의 수(52,884개)를 비교할 때, 업체당 약 5.5개의 지하저장탱크를 보유하고 있는 것으로 나타난다. 전국의 유류저장탱크중 0.8%가량인 422개 탱크의 지하매설년도가 확인되지 않고 있다 <표 IV-39>.

전국의 시·도별로 매설년도가 확인된 국내 총 52,437개의 지하유류탱크의 매설기간별·업체별로 분석한 결과, 우리나라에 존재하는 70% 이상의 지하유류저장탱크는 매설된 지 10년이 경과하지 않은 탱크로 나타났다. 전국에 존재하는 지하유류저장탱크의 47.7%가 매설된지 5년 이하이었으며, 6-10년사이에 매설된 지하 유류저장탱크는 26%이었다. 매설기간이 31년 이상된 지하유류저장탱크는 전국에 323개로 0.6% 이었다. 매설년도가 확인된 지하유류탱크는 시·도별로 분리하여 매설기간별·업체별로 제시하였다 <표 IV-40>.

전국의 지하유류저장시설을 저장시설의 종류에 따라 저장유류별·탱크용량별·탱크의 매설년도별로 분류한 현황은 <부록 6>에 제시하였다.

전국의 지하유류저장시설에 저장될 수 있는 총 유류의 양은 1,212,663천L로 파악되었다. 유류별로는 휘발유 302,254천L(총유류량의 24.9%), 경유 479,631천L(총유류량의 39.6%), 등유 193,336천L(총유류량의 15.9%), 중유 227,973천L(총유류량의 18.8%), 폐유 355천L(총유류량의 0.03%), 기타오일 9,114천L(총유류량의 0.8%)이었다. 시설별로는 유류판매업소가 832,736천L로 전국의 총량에 대비하여 68.7%로 지하유류저장시설중 가장 많이 유류를 저장할 수 있었으며, 다음으로는 주거시설로 145,987천L로 전국의 총량에 대비하여 12%이었다. 이는 주거시설의 난방용으로 중유가 120,194천L(전국 중유저장시설의 52.7%)의 저장시설을 보유하고 있기 때문으로 추정한다 <표 IV-41>.

전국의 52,859개의 지하유류저장시설을 탱크용량별로 구분하면 11-≤20천L 용량범위의 탱크수가 22,026개로(총탱크수의 41.7%) 탱크용량범위별로 가장 많았다. ≤5천L의 탱크수는 7,031개(총탱크수의 13.3%), 6-≤10천L의 탱크수는 7,323개(총탱크수의 13.9%), 11-≤20천L의 탱크수는 22,026개(총탱크수의 41.7%), 21-≤30천L의 탱크수는 7,208개(총탱크수의 13.6%), 31-≤40천L의 탱크수는 5,835개(총탱크수의 11.0%), 41-≤50천L의 탱크수는 991개(총탱크수의 1.9%), ≥51천L의 탱크수는 2,445개(총탱크수의 4.6%)이었다 <표 IV-42>.

<표 IV-39> 지역별·시설별[1] 지하 유류저장시설 탱크수[2*3]

지역	계	유류 판매소	산업 시설	주거 시설	운송 업체	공공 시설	숙박 시설	기타
서울	6,026(186)	3,670(34)	339(12)	566(28)	136(4)	323(26)	85(3)	902(79)
부산	2,667	2,005	267	186	78	77	9	45
대구	3,300(8)	2,189(5)	464	186	44(3)	138	67	212
인천	1,904(15)	1,315(15)	254	93	26	80	20	116
광주	974(14)	703(7)	73	62(1)	11	53(2)	7	65(4)
대전	1,823(19)	1,282(19)	95	148	25	151	35	87
경기	8,383(107)	5,643(65)	1,361(15)	195(2)	91	372(6)	190(12)	531(7)
강원	2,861(1)	2,338	128	52	25	127(1)	114	77
충북	3,364(9)	2,503(4)	320(2)	106(3)	29	222	74	110
충남	3,156(15)	2,574(15)	223	85	16	116	57	85
전북	3,404(5)	2,978(3)	82	93	60	106(2)	36	49
전남	3,564(13)	3,129(11)	125	89	25	103	22(1)	71(1)
경북	4,955	4,192	249	98	35	184	89	108
경남	5,633(15)	4,356(14)	671(1)	114	42	196	36	218
제주	428(15)	410	0	0	10(10)	0(5)	0	8
합계	52,437 (422)	39,287 (192)	4,651 (30)	2,073 (34)	653 (17)	2,248 (42)	841 (16)	2,684 (91)

[1]유류저장시설별로 유류판매소, 산업시설, 주거시설, 운송업체, 공공시설, 숙박시설 및 기타시설로 분류하였음. 유류판매소는 주유소, 제2종 유류판매업소(농·수협 유류판매소), 석유판매업소 등의 시설임. 산업시설은 제조, 생산시설 및 산업시설, 건설업체, 정비업체 등의 시설임. 주거시설은 아파트, 연립주택, 기숙사, 사택 등 주거용도 및 연수원 등의 시설임. 운송업체는 교통, 여객사, 항공사 등의 시설임. 공공시설은 국가 및 출연기관, 재단 및 법인, 신문사, 방송국, 학교, 도서관, 대학병원 및 대형종합병원, 공공체육시설 등의 시설임. 숙박시설은 호텔, 여관, 콘도 등의 시설임. 기타는 일반병원, 상가, 요식업체, 목욕탕, 농장, 예식장, 교회, 학원, 실내수영장, 양로원, 아동복지원, 위락 및 휴양시설, 사찰, 백화점, 골프장 등과 대형사무공간 등의 시설임.

[2]환경부 토양보전과에서 1995년에 각 시·도별로 지하저장시설의 현황을 수집한 자료를 전산처리한 수치임.

[3]( )의 수는 매설년도가 확인되지 탱크 수임. ( )밖의 수는 매설년도가 확인된 탱크 수임. 이에 따라 총 탱크수는 ( )안·밖의 수를 합산한 수치임.

<표 IV-40> 지하유류저장시설의 지역별·시설별[1]·매설기간별[2] 현황[3*4](단위:탱크 수)

지역	기간	계	유류 판매소	산업 시설	주거 시설	운송 업체	공공 시설	숙박 업소	기타
전국	5년이하	25,007	21,370	1,481	659	147	524	190	636
	6~10	13,634	9,306	1,622	770	127	570	352	887
	11~15	7,928	4,859	807	358	203	631	214	856
	16~20	2,659	1,169	479	266	100	363	63	219
	21~25	1,463	1,007	195	19	42	127	12	61
	26~30	1,423	1,292	49	1	22	25	10	24
	31년이상	323	284	18	0	12	8	0	1
	소계	52,437	39,287	4,651	2,073	653	2,248	842	2,684
서울	5년이하	1,941	1,760	33	39	20	40	3	46
	6~10	1,425	740	56	279	14	94	8	234
	11~15	1,108	272	79	169	25	80	51	432
	16~20	566	193	88	63	39	45	12	126
	21~25	340	140	58	15	19	58	4	46
	26~30	526	465	14	1	16	6	7	17
	31년이상	115	100	11	0	3	0	0	1
	소계	6,021	3,670	339	566	136	323	85	902
부산	5년이하	1,195	1,060	32	61	16	17	0	9
	6~10	497	313	83	46	19	22	1	13
	11~15	484	321	59	33	23	28	6	14
	16~20	227	101	51	45	16	8	1	5
	21~25	84	55	23	1	0	1	1	3
	26~30	167	146	15	0	4	1	0	1
	31년이상	13	9	4	0	0	0	0	0
	소계	2,667	2,005	267	186	78	77	9	45
대구	5년이하	1,714	1,380	164	77	9	25	5	54
	6 ~10	635	245	179	51	10	30	25	95
	11~15	549	295	73	26	18	55	30	52
	16~20	126	40	28	32	2	10	5	9
	21~25	111	78	14	0	5	13	0	1
	26~30	134	121	5	0	0	5	2	1
	31년이상	31	30	1	0	0	0	0	0
	소계	3,300	2,189	464	186	44	138	67	212

<계속>

지역	기간	계	유류 판매소	산업 시설	주거 시설	운송 업체	공공 시설	숙박 업소	기타
인천	5년이하	1,000	868	59	15	2	31	2	23
	6~10	418	178	95	45	5	22	13	60
	11~15	291	164	47	17	13	18	5	27
	16~20	91	30	28	16	6	7	0	4
	21~25	50	25	22	0	0	1	0	2
	26~30	44	40	3	0	0	1	0	0
	31년이상	10	10	0	0	0	0	0	0
	소계	1,904	1,315	254	93	26	80	20	116
광주	5년이하	556	461	17	34	3	13	1	27
	6~10	163	79	35	18	0	9	2	20
	11~15	116	71	15	3	4	9	2	12
	16~20	44	4	4	7	4	19	2	4
	21~25	58	54	2	0	0	0	0	2
	26~30	33	30	0	0	0	3	0	0
	31년이상	4	4	0	0	0	0	0	0
	소계	974	703	73	62	11	53	7	65
대전	5년이하	955	865	18	39	4	14	2	13
	6~10	315	154	21	66	2	22	16	34
	11~15	245	105	17	22	14	40	13	34
	16~20	159	43	31	21	4	51	4	5
	21~25	54	28	7	0	0	18	0	1
	26~30	66	61	1	0	1	3	0	0
	31년이상	29	26	0	0	0	3	0	0
	소계	1,823	1,282	95	148	25	151	35	87
경기	5년이하	3,990	3,095	453	49	33	125	69	166
	6~10	2,315	1,305	484	82	24	109	100	211
	11~15	1,468	910	285	38	23	72	14	126
	16~20	331	110	101	26	6	55	7	26
	21~25	175	129	30	0	5	11	0	0
	26~30	97	88	7	0	0	0	0	2
	31년이상	7	6	1	0	0	0	0	0
	소계	8,383	5,643	1,361	195	91	372	190	531

<계속>

지역	기간	계	유류 판매소	산업 시설	주거 시설	운송 업체	공공 시설	숙박 업소	기타
강원	5년이하	1,585	1,392	50	33	9	35	29	37
	6~10	631	446	46	12	7	47	51	22
	11~15	364	255	26	1	1	39	25	17
	16~20	143	117	4	6	2	6	7	1
	21~25	74	65	2	0	6	0	1	0
	26~30	40	39	0	0	0	0	1	0
	31년이상	24	24	0	0	0	0	0	0
	소계	2,861	2,338	128	52	25	127	114	77
충북	5년이하	1,421	1,168	111	52	3	30	11	46
	6~10	1,172	857	136	45	7	60	40	27
	11~15	413	277	22	7	14	56	15	22
	16~20	179	48	42	2	2	66	6	13
	21~25	98	79	9	0	1	5	2	2
	26~30	38	33	0	0	0	5	0	0
	31년이상	43	41	0	0	2	0	0	0
	소계	3,364	2,503	320	106	29	222	74	110
충남	5년이하	1,694	1,431	112	57	11	40	8	35
	6~10	892	690	83	24	2	40	27	26
	11~15	345	275	12	1	3	19	17	18
	16~20	122	84	13	3	0	11	5	6
	21~25	78	69	3	0	0	6	0	0
	26~30	23	23	0	0	0	0	0	0
	31년이상	2	2	0	0	0	0	0	0
	소계	3,156	2,574	223	85	16	116	57	85
전북	5년이하	1,480	1,325	40	61	7	21	9	17
	6~10	1,189	1,093	25	26	4	14	16	11
	11~15	466	357	9	3	33	42	7	15
	16~20	87	46	1	2	8	21	4	5
	21~25	81	73	3	1	0	3	0	1
	26~30	69	65	3	0	1	0	0	0
	31년이상	32	19	1	0	7	5	0	0
	소계	3,404	2,978	82	93	60	106	36	49

<계속>

지역	기간	계	유류 판매소	산업 시설	주거 시설	운송 업체	공공 시설	숙박 업소	기타
전남	5년이하	1,755	1,592	48	41	4	33	7	30
	6~10	1,153	1,006	55	31	4	16	10	31
	11~15	441	356	18	7	10	38	5	7
	16~20	116	86	2	9	3	14	0	2
	21~25	35	26	2	1	4	1	0	1
	26~30	64	63	0	0	0	1	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0	0	0
	소계	3,564	3,129	125	89	25	103	22	71
경북	5년이하	2,639	2,339	117	64	6	46	29	38
	6~10	1,186	963	77	23	11	47	32	33
	11~15	733	589	29	2	9	59	15	30
	16~20	205	129	23	8	7	24	9	5
	21~25	115	97	2	1	2	8	4	1
	26~30	66	64	1	0	0	0	0	1
	31년이상	11	11	0	0	0	0	0	0
	소계	4,955	4,192	249	98	35	184	89	108
경남	5년이하	2,866	2,428	227	37	14	54	15	91
	6~10	1,528	1,126	247	22	16	38	11	68
	11~15	827	536	116	29	11	76	9	50
	16~20	251	126	63	26	1	26	1	8
	21~25	108	87	18	0	0	2	0	1
	26~30	51	51	0	0	0	0	0	0
	31년이상	2	2	0	0	0	0	0	0
	소계	5,633	4,356	671	114	42	196	36	218
제주	5년이하	216	206	0	0	6	0	0	4
	6~10	115	111	0	0	2	0	0	2
	11~15	78	76	0	0	2	0	0	0
	16~20	12	12	0	0	0	0	0	0
	21~25	2	2	0	0	0	0	0	0
	26~30	5	3	0	0	0	0	0	2
	31년이상	0	0	0	0	0	0	0	0
	소계	428	410	0	0	10	0	0	8

[1]유류저장시설별로 유류판매소, 산업시설, 주거시설, 운송업체, 공공시설, 숙박시설 및 기타시설로 분류하였음. 유류판매소는 주유소, 제2종 유류판매업소(농·수협 유류판매소), 석유판매업소 등의 시설임. 산업시설은 제조, 생산시설 및 산업시설, 건설업체, 정비업체 등의 시설임. 주거시설은 아파트, 연립주택, 기숙사, 사택 등 주거용도 및 연수원 등의 시설임. 운송업체는 교통, 여객사, 항공사 등의 시설임. 공공시설은 국가 및 출연기관, 재단 및 법인, 신문사, 방송국, 학교, 도서관, 대학병원 및 대형종합병원, 공공체육시설 등의 시설임. 숙박시설은 호텔, 여관, 콘도 등의 시설임. 기타는 일반병원, 상가, 요식업체, 목욕탕, 농장, 예식장, 교회, 학원, 실내수영장, 양로원, 아동복지원, 위락 및 휴양시설, 사찰, 백화점, 골프장 등과 대형사무공간 등의 시설임.

[2]매설기간별 경과년도는 5년이하(91년~95년), 6 ~10년이하(86년~90년), 11~15년이하(81년~85년), 16~20년이하(76년~80년), 21~25년이하(71년~75년), 26~30년이하(66년~70년), 31년이상은 65년이전에 매설된 탱크임.

[3]환경부 토양보전과에서 1995년에 각 시·도별로 지하저장시설의 현황을 수집한 자료를 전산처리한 수치임.

[4]탱크 수는 매설년도가 확인된 탱크만을 대상으로 하였음.

<표 IV-41> 전국 지하유류저장시설의 유류별·시설별 유류저장용량 (단위: 천L)

	계	유류판매	산업시설	주거시설	운송업체	공공시설	숙박시설	기 타
계	1,212,663	832,736	98,002	145,987	21,160	62,368	14,127	38,283
휘발유	302,254	298,906	1,310	0	160	1,368	0	510
경 유	479,631	342,259	34,570	25,578	13,380	32,445	7,004	24,395
등 유	193,336	188,284	2,242	215	1,260	683	451	201
중 유	227,973	3,215	57,086	120,194	57	27,584	6,672	13,165
폐 유	355	1	282	0	62	10	0	0
기타오일	9,114	71	2,512	0	6,241	278	0	12

<표 IV-42> 전국 지하유류 저장시설의 용량별 탱크수[1](단위:천L)

	계	유류판매	산업시설	주거시설	운송업체	공공시설	숙박시설	기 타
계	52,859	39,479	4,681	2,107	670	2,290	857	2,775
≤5	7,031	4,719	1,060	95	25	405	188	539
6-≤10	7,323	4,883	912	131	63	429	192	713
11-≤20	22,026	17,432	1,512	412	395	741	337	1,197
21-≤30	7,208	5,988	486	214	56	258	46	160
31-≤40	5,835	5,104	268	171	65	127	26	74
41-≤50	991	567	137	146	22	76	21	22
≥51	2,445	786	306	938	44	254	47	70

[1]국내 현황이 파악된 총 탱크수임.

지하유류저장시설의 유류별·저장탱크의 용량별 현황으로 11-20천L의 탱크용량에 384,156천L의 유류가 저장될 수 있으며, 이는 전국의 총 지하유류저장시설의 탱크용량중 31.7%를 차지하고 있다. 현재 소방법에 의한 유류저장 및 제조에 연관시설로 정부의 인가가 필요한 시설로 2천L 이상의 유류저장 및 제조시설로 되어 있는 바, 전국에 분포하는 유류의 약 37%가 정부의 인가가 필요하지 않은 시설이라 할 수 있다 <표 IV-43>. 토양오염유발시설의 범위로써 20천L이상의 유류저장시설을 대상으로 한다면 전국 유류의 약 63%를 저장할 수 있는 시설에 대한 토양오염

방지시설을 설치하는 것으로 판단할 수 있다.

<표 IV-43> 전국 지하유류저장시설의 유류별 · 탱크용량별 저장유류현황

(단위:천L)

구분	탱크용량구분(단위:천L)[1]							
	계	≤5	6-≤10	11-≤20	21-≤30	31-≤40	41-≤50	≥51
	1,212,663 (100%)	23,061 (1.9%)	62,583 (5.2%)	384,156 (31.7%)	195,695 (16.1%)	228,282 (18.8%)	46,848 (3.9%)	272,038 (22.4%)
휘발유	302,254	2,536	17,087	119,662	61,208	72,191	8,234	21,336
경 유	479,631	11,834	25,289	166,285	82,016	98,512	19,893	75,802
등 유	193,336	7,774	12,353	72,098	38,117	43,178	6,524	13,292
중 유	227,973	748	7,600	25,461	13,503	13,827	11,739	155,095
폐 유	355	6	42	92	0	0	215	0
기타오일	9,114	163	212	558	851	574	243	6,513

[1]탱크용량의 구분에 의한 저장유류현황의 ( )에 있는 수치는 탱크의 용량별로 전국 총량에 대비하여 차지하는 비율임.

(2) 토양오염현황

산업화된 사회에서 유류의 사용은 보편화되어 있으며 주유소를 비롯한 지하 및 지상저유탱크에서 발생하는 누유(漏油)에 의한 환경오염문제가 심각하게 대두되고 있다(EPA, 1992). 세계적으로 지하저장유류시설의 부식에 의한 유류의 누출사고가 전체 유류누출사고의 약 23%를 차지하고 있어 선박의 충돌이나 침몰에 의한 유류의 누출인 26% 다음으로 나타나고 있다. 미국의 경우 지하저장유류시설에서 발생하는 누유는 주로 탱크벽의 부식 또는 균열에 의하여 발생하고 있으며 사용중인 지하저장탱크의 약 8-20%가 누유되고 있는 것으로 추정하고 있다(Kostecki & Calabrease, 1988; Federal Register V53, 1988). 특히, 플로리다와 캘리포니아주에 있는 약 8,000여개소의 주유소에 대한 유류누출현황을 조사한 결과 약 10% 이상의 주유소에서 저장탱크의 부식에 의한 유류누출이 조사되었으며, 지역에 따라서는 저장탱크의 약 50% 이상까지 유류누출이 조사된 바 있다(EPA, 1988).

유류저장시설의 사용수명이 부식에 의한 유류누출과 매우 밀접한 상관관계가 있음이 보고되고 있다(EPA, 1988). 유류누출이 확인된 유류저장시설중에서 10-13%

는 사용수명이 12-13년, 42%는 15-20년, 30%는 30년이상이 경과된 지하저장탱크임이 조사되었다. 우리나라에서는 8,300개 이상의 주유소가 전국에 설치되어 있으나 체계적으로 지하저장탱크로부터의 누유가 조사된 바 없으나, 미국에 비하여 지하저장탱크의 재질 및 안전관리의 측면에서 뛰어나지 않은 우리나라의 조건에 비추어 볼 때, 약 10-20%정도의 지하저장탱크에서 누유되고 있음을 추정하고 있을 뿐이다(윤춘경, 도덕현, 1995).

(3) 토양오염방지에 대한 관련법 및 규정

유류저장시설에 대한 시설의 설치기준과 설치시설의 관리기준은 소방법(1995. 1. 5., 법률 제4919호)과 동법의 시행령(1994. 7. 20, 대통령령 제14334호) 시행규칙(1994. 10. 27, 내무부령 제629호), 소방기술기준에 관한 규칙(1995. 5. 27, 내무부령 제649호)에 의하여 제시되고 있다. 토양오염방지에 관한 소방법의 세부사항은 <부록 4>에 수록되어 있다.

(4) 유류저장시설 관리의 문제점

우리나라의 경우 유류저장탱크의 설치기준이 防火를 목적으로 설정되어 있으며 누유를 탐지할 수 있는 법의 체계가 이루어진 바 없다. 특히, 지하 저장유류탱크의 설치방법으로 소방기술기준에 관한 규칙의 제200조에서 防火를 목적으로 지하탱크의 매설기준이 설정되어 있으며, 지하에서 발생할 수 있는 누유를 탐지할 수 있는 설치시설을 의무화하지 않고 있다. 이로 인하여, 지하저장유류탱크에서 누유가 발생하더라도 이를 감지할 수 없다. 발생한 누유는 토양을 1차 오염시키고 지하수를 2차 오염시킨 수개월에서 수년후에 인근의 지하수를 사용할 경우 지하수에 유류성분이 검출되는 경우가 많다. 오염된 토양 및 지하수에서 유류성분을 제거는 막대한 비용이 소요되므로 오염된 토양 및 지하수의 이용을 사실상 포기하는 경우가 발생한다 (Skinner & Reiley, 1990; UN, 1990).

3.1.2.2. 유해화학물질저장시설

(1) 시설현황

지하 유해화학물질 저장탱크를 보유하고 있는 전국의 유해화학물질 취급업소는 595개소이다. 전국의 지하 유해화학물질 취급업소를 유류판매소, 산업시설, 운송

업체, 공공시설 및 기타시설로 분류하면 산업시설에서 564개소로 가장 많으며 유류판매소 14개업소, 공공시설 12개업소, 운송업체 1개소, 기타 4개 업소이다. 지역별로는 경기도에 190개 업소로 가장 많으며, 인천 82개소, 대구 73개소, 경남 53개소, 부산 44개소, 서울 34개소, 충북 28개소, 충남 28개소, 경북 19개소, 대전 13개소, 광주 11개소, 전북 8개소, 전남 8개소, 강원 4개소이다 <표 IV-44>.

<표 IV-44> 지역별·시설별[1] 지하 유해화학물질 저장시설 보유업체 수[2]

지역	계	유류 판매소	산업 시설	운송 업체	공공 시설	기타
서 울	34	4	27	1	0	2
부 산	44	1	43	0	0	0
대 구	73	3	69	0	1	0
인 천	82	0	82	0	0	0
광 주	11	0	8	0	3	0
대 전	13	0	12	0	1	0
경 기	190	2	186	0	1	1
강 원	4	0	4	0	0	0
충 북	28	0	27	0	1	0
충 남	28	0	25	0	3	0
전 북	8	0	7	0	1	0
전 남	8	0	7	0	0	1
경 북	19	0	18	0	1	0
경 남	53	4	49	0	0	0
제 주	0	0	0	0	0	0
합 계	595	14	564	1	12	4

[1]유해화학물질 저장시설별로 유류판매소, 산업시설, 운송업체, 공공시설 및 기타시설로 분류하였음. 유류판매소는 주유소, 제2종 유류판매업소(농·수협 유류판매소), 석유판매업소 등의 시설임. 산업시설은 제조, 생산시설 및 산업시설, 건설업체, 정비업체 등임. 운송업체는 교통, 여객사, 항공사 등의 시설임. 공공시설은 국가 및 출연기관, 재단 및 법인, 신문사, 방송국, 학교, 도서관, 대학병원 및 대형종합병원, 공공체육시설 등의 시설임. 기타는 일반병원, 상가, 요식업체, 목욕탕, 농장, 예식장, 교회, 학원, 실내수영장, 양로원, 아동복지원, 위락 및 휴양시설, 사찰, 백화점, 골프장 등과 대형사무공간 등의 시설임.

[2]환경부 토양보전과에서 1995년에 각 시·도별로 지하저장시설의 현황을 수집한 자료를 전산처리한 수치임.

유해화학물질업체에서 보유하고 있는 지하유해화학물질저장 탱크수는 전국에 1613개이다. 업체별로 보유하고 있는 유해화학물질 저장탱크의 수로 유류판매업소에서 31개, 산업시설에 1,558개, 운송업체에 1, 공공시설에 19개, 기타 4개가 있다. 업체수(595개소)와 유해화학물질저장탱크의 수(1,613개)를 비교할 때, 업체당 2.7개의 지하유해화학물질 저장탱크를 보유하고 있는 것으로 나타난다. 전국의 유해화학물질저장탱크중 11개 탱크의 지하매설년도가 확인되지 않았다 <표 IV-45>.

전국의 시·도별로 매설년도가 확인된 1,602개의 지하유해화학물질 저장탱크의 매설기간별·업체별로 분석한 결과, 우리나라에 존재하는 72% 이상의 지하유해화학물질 저장탱크는 매설된 지 10년이 넘지 않은 탱크로 나타났다. 전국에 존재하는 지하유류저장탱크의 35.6%가 매설된지 5년이하였으며, 6-10년사이에 매설된 지하유류저장탱크는 36.9%이었다. 매설기간이 31년 이상된 지하 유해화학물질 저장탱크는 전국에 10개로 0.6%이었다.

동시설을 탱크용량별로 구분하면 11-≤20천L 용량범위의 탱크수가 504개로(총탱크수의 31.4%) 탱크용량범위별로 가장 많았다. ≤5천L의 탱크수는 271개(총탱크수의 16.9%), 6-≤10천L의 탱크수는 304개(총탱크수의 20.0%), 11-≤20천L의 탱크수는 504개(총탱크수의 31.4%), 21-≤30천L의 탱크수는 175개(총탱크수의 10.9%), 31-≤40천L의 탱크수는 184개(총탱크수의 11.5%), 41-≤50천L의 탱크수는 68개(총탱크수의 4.2%), ≥51천L의 탱크수는 96개(총탱크수의 6.0%)이었다 <표 IV-46>.

전국의 시·도별로 매설년도가 확인된 지하유해화학물질 저장시설은 시·도별로 분리하고, 시·도별 행정구역으로 분리된 시설현황을 매설기간별·업체별로 분리하여 <표 IV-47>에 제시하였다.

전국 지하유해화학물질 저장탱크의 총 용량은 37,513천L이었다. ≤5천L의 탱크에 836천L(총용량의 2.2%), 6-≤10천L의 탱크에 2,705천L(총용량의 7.2%), 11-≤20천L의 탱크에 8,865천L(총용량의 23.6%), 21-≤30천L의 탱크에 7,067천L(총용량의 18.8%), 31-≤40천L의 탱크에 3,024천L(총용량의 8.1%), 41-≤50천L의 탱크에 3,024천L(총용량의 8.1%), ≥51천L의 탱크에 10,282천L(총용량의 27.4%)이었다 <표 IV-48>.

<표 IV-45> 지역별·시설별[1] 지하 유해화학물질 저장시설 탱크수[2*3]

지역	계	유류 판매소	산업 시설	운송 업체	공공 시설	기타
서 울	86	14	69	1	0	2
부 산	116	1	115	0	0	0
대 구	156	4	151	0	1	0
인 천	289	0	289	0	0	0
광 주	13	0	10	0	3	0
대 전	38	0	35	0	3	0
경 기	553(11)	6	545(11)	0	1	1
강 원	16	0	16	0	0	0
충 북	86	0	83	0	3	0
충 남	62	0	57	0	5	0
전 북	18	0	16	0	2	0
전 남	11	0	10	0	0	1
경 북	51	0	50	0	1	0
경 남	107	6	101	0	0	0
제 주	0	0	0	0	0	0
합 계	1,602(11)	31	1,547(11)	1	19	4

[1]유해화학물질 저장시설별로 유류판매소, 산업시설, 운송업체, 공공시설 및 기타시설로 분류하였음. 유류판매소는 주유소, 제2종 유류판매업소(농·수협 유류판매소), 석유판매업소 등의 시설임. 산업시설은 제조, 생산시설 및 산업시설, 건설업체, 정비업체 등임. 운송업체는 교통, 여객사, 항공사 등의 시설임. 공공시설은 국가 및 출연기관, 재단 및 법인, 신문사, 방송국, 학교, 도서관, 대학병원 및 대형종합병원, 공공체육시설 등의 시설임. 기타는 일반병원, 상가, 요식업체, 목욕탕, 농장, 예식장, 교회, 학원, 실내수영장, 양로원, 아동복지원, 위락 및 휴양시설, 사찰, 백화점, 골프장 등과 대형사무공간 등의 시설임.

[2]환경부 토양보전과에서 1995년에 각 시·도별로 지하저장시설의 현황을 수집한 자료를 전산처리한 수치임.

[3]( )의 수는 매설년도가 확인되지 탱크 수임. ( )밖의 수는 매설년도가 확인된 탱크 수임. 이에 따라 총 탱크수는 ( )안·밖의 수를 합산한 수치임.

<표 IV-46> 전국 유해화학물질 탱크(단위:개)의[1] 용량 · 매설경과년도별[2] 현황[3]

용량(천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
≤5	271	95	115	39	12	5	2	3
6-≤10	304	116	95	51	27	8	4	3
11-≤20	504	165	177	100	37	18	5	2
21-≤30	175	66	67	29	9	4	0	0
31-≤40	184	87	77	13	4	3	0	0
41-≤50	68	28	16	12	6	6	0	0
≥51	96	14	44	22	5	9	0	2
소 계	1,602	571	591	266	100	53	11	10

[1]유해화학물은 유류외의 지하저장물질로 종류는 가성소다, 가소재, 과산화수소, 글리세린, 글리콜, 노말부탄올, 디메틸포르마이드, 메타키실렌, 메탄올, 메틸이소부틸케톤, 부틸, 부틸아크릴레이드, 부틸셀로솔부, 부틸알콜, 붕불화동, 비닐모노머, 셀로솔부아세테이트, 솔베소, 솔벤트나프타, 스틸렌모노머, 아세톤, 아세트산메텔, 아크릴, 아크릴로니트릴, 암모니아, 액화암모니아, 액화염소, 에피클로로 히드린, 에틸아세테이트, 에틸알콜, 에틸셀루솔부, 염산, 염화동, 염화아연, 염화제1철, 염화제2철, 염화메틸, 유황, 용융황, 이소프로필알콜, 이황화탄소, 정초산부틸, 중크롬산, 초산메틸, 초산에틸, 코코졸-180, 클로로포름, 클리닝솔벤트, 카멕스, 케톤, 키시렌, 톨루엔, 폐알카리, 폐D.O.P, 프로필렌글리콜, 한솔, 황산, 황산동, 핵산, 히드라이진 수화물, 2-부탄올, A.N., B.A.M, DIDD, D.M.F, E.A.M, M.E.K, D.O.P, E.A., I.P.A, M.E.K, M.M.A, Salt(아질산나트륨+탄산나트륨), S.M., TOTM, V.A.M, xylene 등임.

[2]매설년도별 경과년도는 5년이하(91년~95년), 6 ~10년이하(86년~90년), 11~15년이하(81년~85년), 16~20년이하(76년~80년), 21~25년이하(71년~75년), 26~30년이하(66년~70년), 31년이상은 65년이전에 매설된 탱크임.

[3]소계란의 수치는 산업시설에서 보유한 탱크수에 유류판매업소의 17개, 운송업체의 1개, 공공시설의 19개, 기타시설의 4개 탱크 현황이 포함된 수치로 환경부 토양보전과에서 1995년에 각 시·도별로 지하저장시설의 현황을 수집한 자료를 전산처리한 수치임.

<표 IV-47> 유해화학물질 지하저장시설의 지역별·시설별[1]·매설기간별[2] 현황[3*4]

(단위:탱크수)

지역	기간	계	유류 판매소	산업 시설	운송 업체	공공 시설	기타
전국	5년이하	571	5	564	0	1	1
	6~10	591	7	580	0	2	2
	11~15	266	10	247	1	7	1
	16~20	100	0	96	0	4	0
	21~25	53	8	42	0	3	0
	26~30	11	1	10	0	0	0
	31년이상	10	0	8	0	2	0
	소계	1,602	31	1,547	1	19	4
서울	5년이하	12	0	12	0	0	0
	6~10	14	2	11	0	0	1
	11~15	16	4	10	1	0	1
	16~20	16	0	16	0	0	0
	21~25	18	8	10	0	0	0
	26~30	5	0	5	0	0	0
	31년이상	6	0	5	1	0	0
	소계	87	14	69	2	0	2
부산	5년이하	18	0	18	0	0	0
	6~10	55	1	54	0	0	0
	11~15	34	0	34	0	0	0
	16~20	4	0	4	0	0	0
	21~25	2	0	2	0	0	0
	26~30	0	0	0	0	0	0
	31년이상	3	0	3	0	0	0
	소계	116	1	115	0	0	0
대구	5년이하	64	1	63	0	0	0
	6~10	63	0	63	0	1	0
	11~15	22	2	20	0	0	0
	16~20	4	0	4	0	0	0
	21~25	1	0	1	0	0	0
	26~30	1	1	0	0	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0
	소계	156	4	151	0	1	0

<계속>

지역	기간	계	유류 판매소	산업 시설	운송 업체	공공 시설	기타
인천	5년이하	124	0	124	0	0	0
	6~10	131	0	131	0	0	0
	11~15	14	0	14	0	0	0
	16~20	6	0	6	0	0	0
	21~25	14	0	14	0	0	0
	26~30	0	0	0	0	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0
	소계	289	0	289	0	0	0
광주	5년이하	2	0	1	0	1	0
	6~10	9	0	8	0	1	0
	11~15	2	0	1	0	1	0
	16~20	0	0	0	0	0	0
	21~25	0	0	0	0	0	0
	26~30	0	0	0	0	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0
	소계	13	0	10	0	3	0
대전	5년이하	9	0	9	0	0	0
	6~10	12	0	12	0	0	0
	11~15	7	0	7	0	0	0
	16~20	7	0	6	0	1	0
	21~25	3	0	1	0	2	0
	26~30	0	0	0	0	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0
	소계	38	0	35	0	3	0
경기	5년이하	189	0	189	0	0	0
	6~10	183	2	180	0	0	1
	11~15	135	4	130	0	1	0
	16~20	41	0	41	0	0	0
	21~25	0	0	0	0	0	0
	26~30	5	0	5	0	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0
	소계	553	6	545	0	1	1

<계속>

지역	기간	계	유류 판매소	산업 시설	운송 업체	공공 시설	기타
강원	5년이하	12	0	12	0	0	0
	6~10	0	0	0	0	0	0
	11~15	4	0	4	0	0	0
	16~20	0	0	0	0	0	0
	21~25	0	0	0	0	0	0
	26~30	0	0	0	0	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0
	소계	16	0	16	0	0	0
충북	5년이하	24	0	24	0	0	0
	6~10	31	0	31	0	0	0
	11~15	4	0	4	0	0	0
	16~20	20	0	17	0	3	0
	21~25	7	0	7	0	0	0
	26~30	0	0	0	0	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0
	소계	86	0	83	0	3	0
충남	5년이하	38	0	38	0	0	0
	6~10	18	0	18	0	0	0
	11~15	4	0	0	0	4	0
	16~20	2	0	1	0	1	0
	21~25	0	0	0	0	0	0
	26~30	0	0	0	0	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0
	소계	62	0	57	0	5	0
전북	5년이하	8	0	8	0	0	0
	6~10	6	0	6	0	0	0
	11~15	1	0	1	0	0	0
	16~20	0	0	0	0	0	0
	21~25	1	0	1	0	0	0
	26~30	02	0	0	0	0	0
	31년이상	2	0	0	0	2	0
	소계	18	0	16	0	2	0
전남	5년이하	4	0	3	0	0	1
	6~10	7	0	7	0	0	0
	11~15	0	0	0	0	0	0
	16~20	0	0	0	0	0	0
	21~25	0	0	0	0	0	0
	26~30	0	0	0	0	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0
	소계	11	0	10	0	0	1

<계속>

지역	기간	계	유류 판매소	산업 시설	운송 업체	공공 시설	기타
경북	5년이하	19	0	19	0	0	0
	6~10	28	0	28	0	0	0
	11~15	4	0	3	0	1	0
	16~20	0	0	0	0	0	0
	21~25	0	0	0	0	0	0
	26~30	0	0	0	0	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0
	소계	51	0	50	0	1	0
경남	5년이하	48	4	44	0	0	0
	6~10	33	2	31	0	0	0
	11~15	19	0	19	0	0	0
	16~20	1	0	1	0	0	0
	21~25	6	0	6	0	0	0
	26~30	0	0	0	0	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0
	소계	107	6	101	0	0	0
제주	5년이하	0	0	0	0	0	0
	6~10	0	0	0	0	0	0
	11~15	0	0	0	0	0	0
	16~20	0	0	0	0	0	0
	21~25	0	0	0	0	0	0
	26~30	0	0	0	0	0	0
	31년이상	0	0	0	0	0	0
	소계	0	0	0	0	0	0

[1]유해화학물질 저장시설별로 유류판매소, 산업시설, 운송업체, 공공시설 및 기타시설로 분류하였음. 유류판매소는 주유소, 제2종 유류판매업소(농·수협 주유판매소), 석유판매업소 등의 시설임. 산업시설은 제조, 생산시설 및 산업시설, 건설업체, 정비업체 등임. 운송업체는 교통, 여객사, 항공사 등의 시설임. 공공시설은 국가 및 출연기관, 재단 및 법인, 신문사, 방송국, 학교, 도서관, 대학병원 및 대형종합병원, 공공체육시설 등의 시설임. 기타는 일반병원, 상가, 요식업체, 목욕탕, 농장, 예식장, 교회, 학원, 실내수영장, 양로원, 아동복지원, 위락 및 휴양시설, 사찰, 백화점, 골프장 등과 대형사무공간 등의 시설임.

[2]매설기간별 경과년도는 5년이하(91년~95년), 6 ~10년이하(86년~90년), 11~15년이하(81년~85년), 16~20년이하(76년~80년), 21~25년이하(71년~75년), 26~30년이하(66년~70년), 31년이상은 65년이전에 매설된 탱크임.

[3]환경부 토양보전과에서 1995년에 각 시·도별로 지하저장시설의 현황을 수집한 자료를 전산처리한 수치임.

[4]탱크 수는 매설년도가 확인된 탱크만을 대상으로 하였음.

<표 IV-48> 전국 지하 유해화학물질 저장시설의 탱크용량별 저장가능량(단위:천L)

계	≤5	6-≤10	11-≤20	21-≤30	31-≤40	41-≤50	≥51
37,513	836	2,705	8,865	4,554	7,067	3,024	10,282

(2) 토양오염현황

우리나라에서는 유해화학물질저장시설에 보관중인 유해화학물질이 토양으로 확산되어 발생한 토양 및 지하수오염에 대하여 조사된 바 없어 유해화학물질에 의한 토양오염정도를 추정할 수 없다.

(3) 토양오염방지에 대한 관련법 및 규정

우리나라 화학물질의 관리는 소방법, 산업안전보건법, 농약관리법, 고압가스안전관리법, 유해화학물질관리법, 약사법, 식품위생법, 총포·도검·화약류 등 단속법, 원자력법, 사료관리법의 10개법과 이를 10개 부처에서 시행하고 있다 <표 IV-49>.

<표 IV-49> 우리나라 화학물질의 관리체계

구분	관리목적	관계법	소관부처
위험물	화재예방	소방법	내무부
건강장해물질	산업재해 예방 및 쾌적한 작업환경조성	산업안전보건법	노동부
농약	농약의 품질향상 및 적정사용	농약관리법	농림수산부
고압가스안전관리법	고압가스 안전관리	고압가스안전관리법	통산산업부
유해화학물질	유해화학물질로부터 국민건강 및 환경보호	유해화학물질관리법	환경부
의약품, 의약부외품 및 화장품	의약품, 의약부외품 및 화장품의 적정관리	약사법	보건복지부
식품첨가물	식품첨가물의 적정관리	식품위생법	보건복지부
화약류	화약용 화학물질관리	총포, 도검, 화약류 등 단속법	내무부
방사성물질	방사성물질의 관리	원자력법	과학기술처
사료첨가물	사료 및 사료첨가물의 관리	사료관리법	농림수산부

그러나 이러한 화학물질을 저장 또는 보관시설로부터 발생할 수 있는 토양 및 지하수의 오염방지를 제시하고 있는 우리나라의 법은 유해화학물질관리법(1994. 8. 1, 법률 제4261호)과 동법의 시행령(1995. 3. 2, 대통령령 제14544호), 시행규칙(1995. 4. 6, 환경부령 제9호) 뿐이다. 제시하고 있는 유해화학물질의 저장시설기준으로 동법의 시행규칙 제12조에서 유독물 제조실험시설 또는 제조시설, 보관, 저장시설을 대상으로 하고 있으며, 시설의 바닥은 방수시멘트 콘크리트 또는 방수효과가 있거나 이에 준하는 자재로 되어 있어야 하며 유독물이 외부로 유출되거나 지하로 스며들거나 흩날리는 것을 방지할 수 있는 시설을 설치하여야 한다고 일반적인 시설설치에 관하여 명시되어 있을 뿐이다.

(4) 유해화학물질저장시설의 문제점

산업과 과학기술의 발달에 따라 화학물질의 종류와 사용량은 증가하고 있다. 유통되는 화학물질의 종류로 미국에서는 80,000종류 이상, 유럽연합(EU)국가에서는 100,000종류 이상, 한국에서는 31,000종류 이상이며, 매년 1,000종류 이상의 화학물질 새로이 합성되고 있다(환경부, 1995). 화학물질의 종류가 늘어나는 것과 비례하여 유독물의 유통량도 매년 증가하고 있으며 1993년 14,315천톤, 1994년 16,000천톤에서 2005년에는 약 40,000천톤의 유독물이 유통될 것으로 전망하고 있으나(양방철, 1995), 유해화학물질의 보관 및 저장시설로부터 유해화학물질이 배출되어 토양 및 지하수를 오염시킬 수 있는 가능성에 대한 시설기준은 제시되어 있지 않다.

유해화학물질관리법의 시행규칙 제12조에서 제시하고 있는 유해화학물질의 저장시설에 관한 시설설치기준으로 「...시설의 바닥은 방수시멘트 콘크리트 또는 방수효과가 있거나 이에 준하는 자재로 되어 있어야 하며 유독물이 외부로 유출되거나 지하로 스며들거나 흩날리는 것을 방지할 수 있는 시설을 설치하여야 한다」는 시설설치방법은 향후 지속적으로 증가하는 유해화학물질의 종류와 양에 대해서도 대응할 수 있는 시설의 설치기준으로 미흡하다. 특히, 유해화학물질의 종류에 따라 토양 또는 콘크리트 등의 차단시설의 투과성이 다르므로 설치시설의 시설기준이 달리 제시된다. 그러나 이에 따른 저장시설의 유해화학물질별 설치세부기준은 제시되어 있지 않다.

3.1.2.3. 산업시설

(1) 시설현황

1960년대 이후 경제개발계획에 의하여 정책적으로 육성된 산업시설(공장, 제련소)은 우리나라 경제발전의 원동력이었으나, 반면에 산업활동을 통하여 생성되는 오염물질의 오염(배출)원이라 할 수 있다. 산업시설은 철강, 도금, 조선, 주물, 화학, 폐기물, 섬유, 가스, 운송, 광산 및 선광, 정유 및 주유시설 등을 포함하여 광범위하다. 이들 산업시설은 토양환경보전법에는 토양오염유발시설로 분류되어 있지 않으나 토양오염을 유발하는 오염(배출)원으로 비법적인 토양오염유발시설로 간주할 수 있다.

우리나라의 대부분 산업시설은 공업단지내에 위치하고 있으며 우리나라에 존재하는 공업단지(공단)는 1991년 말 기준으로 151개소로 전국에 걸쳐 있다(대한상공회의소, 1993). 공단의 수로는 경북지역에 23개소로 시·도중 가장 많은 공단개소를 보유하고 있다. 공단이 차지하고 있는 면적으로는 경남지역이 98,221천m^2로 가장 크며 분양면적도 76,040천m^2로 전국에서 가장 큰 규모이다. 공단으로 분양된 면적으로는 경남지역 다음으로 경북지역이 33,984천m^2이며, 제주도를 제외한 내륙지역에서는 강원도가 1,163천m^2의 면적으로 가장 적은 면적을 차지하고 있다 <표 IV-50>.

전국에 있는 공업단지의 현황을 종류별로 분류하면 기존 공업단지와 향후 신규로 분양 또는 조성되는 공단으로 분류할 수 있으며 기존 공업단지와 향후 신규로 분양 또는 조성되는 공단은 각각 국가와 지방에서 계획되는 공단으로 세분화하여 분류할 수 있다 <표 IV-51>.

각 시·도별로 위치하고 있는 공업단지는 공업단지의 지정일자 및 조성시기, 총조성면적, 공장용지, 입주업체수, 입주업체의 대표업종별로의 현황을 <부록 7>에 수록하였다. 공단지역의 입주업체 대표업종은 공단지역에서 배출되는 오염물질의 종류를 추정할 수 있는 기초자료로 이를 토대로 배출되는 오염물질의 종류를 예측할 수 있다.

<표 IV-50> 시·도별 공업단지 현황[1]

시·도별	공단 수	총 조성면적 (천m^2)	공장용지(천m^2)		
			분양	미분양	합계
서 울	4	2,084	1,573	0	1,573
부 산	5	26,151	5,270	5,384	10,654
대 구	7	17,098	9,013	4,822	13,835
인 천	7	13,742	9,352	0	9,352
광 주	9	16,178	5,919	7,772	13,691
대 전	4	8,856	2,690	5,158	7,848
경 기	12	43,492	17,088	8,609	25,697
강 원	10	13,529	1,163	8,050	9,213
충 북	9	17,922	5,060	3,665	8,725
충 남	19	40,488	20,322	11,977	32,299
전 북	14	61,818	13,785	25,239	39,024
전 남	12	82,772	18,029	48,735	66,764
경 북	23	57,475	33,984	19,089	53,073
경 남	16	98,221	76,040	10,931	86,971
합 계	151	499,826	219,288	159,431	378,719

[1]기준 작성일자 1991년 12월 31일(자료 : 대한상공회의소(1993), 전국공업단지현황)

<표 IV-51> 유형별 공업단지 현황[1]

기존공업단지		신규 분양 또는 조성		공업지역
국가	지방	국가	지 방	
한국수출	영등로기계, 신평장림,	녹산	부산과학, 대구과학	사상
남동	대구제3, 검단, 성서,	시화	검단2차(확장)	서대구
반월	대구염색, 인천지방,	아산	평동1.2, 대전4	북평
북평	인천기계, 인천주물,	대불	대전과학, 광주첨단	원주제2
창원	본촌, 송암, 소촌,	안정	평택, 파주문발,	대산
온산	하남1.2.3, 대전1.2.3,	석문	강화하점, 춘천첨단,	초남
옥포	성남, 안성, 향남제약,	군장	강릉과학, 횡성, 충주2	용강
진해	반월도금, 송탄, 춘천,	군산	부용, 현도, 대풍,	김천1.2
죽도	원주, 강릉중소, 청주,		청주과학, 아산인주,	언하갑을
지세포	원주문막, 충주, 금암,		천안3, 소정, 월산,	신령
울산미포	육육, 천안1.2, 대죽,		웅주, 전주3, 정주2	현풍
이리	조치원1.2.3, 관창,		이리2공단 3차, 정읍,	
이리수출	천홍, 금산, 청양,		남원, 전주2(확장),	
마산수출	전의석재, 마정기계,		전주과학, 삼호, 나주	
	전주1.2, 군산,		율촌1.2, 구지, 상주,	
	이리2(1.2차 지구),		성주석재가공,	
	정주중소, 목포, 오천		풍기직물, 금릉구성,	
	광양, 순천, 나주문평,		선산옥성, 진사, 어곡,	
	포항철강1.2.3, 청림,		웅상	
	달성, 왜관, 잔량,			
	다산주물, 양산, 칠서,			
	진주상평, 진해마천			

[1]자료: 대한상공회의소(1993), 전국공업단지현황

(2) 토양오염현황

1987년 이후 1994년까지 환경부에서 산업시설·지역에 의하여 영향을 받는 지역의 토양상태를 분석한 자료로 매년 6종류 중금속(As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn)의 토양중 농도에 의하면(토양측정망 측정자료, 1987-1994), 장항, 온산, 석포제련소 인근지역의 중금속함량은 토양중 6개 중금속의 평균보다 2-3배 가량 높게 나타나고 있는 등, 중금속에 의한 토양오염현상이 뚜렷이 나타나고 있다. 그러나, 산업체가 밀집되어 있는 반월, 울산, 구미, 청주의 공단하류지역에서는 중금속 함량이 높게 나타나고 있지 않다. 금속제련소 인근지역을 제외한 공단하류지역의 중금속 농도현황만을 우리나라 및 선진외국의 토양오염판단기준과 비교하면 공단하류지역은 오염이 안된 지역이며, 이 지역에 간접적으로 영향을 주는 산업시설에서는 토양오염물질을 배출하지 않는다고 판단할 수 있다. 그러나, 공단하류지역의 중금속 농도자료로서는 공단내의 토양 및 공단에 인접하고 있는 지역의 토양상태를 예측할 수 없어 공단지역에 위치하고 있는 산업시설에 의한 토양오염이 없다고 단정할 수 없다 <표 IV-52>.

<표 IV-52> 토양측정망 측정지점의 공단하류지역 및 금속제련소지역의 토양오염점수±SE 현황 (1987년-1994년)[1]

구분	'87	'89	'91	'92	'93	'94
전국평균	77.454± 2.637	93.757± 2.414	74.496± 1.527	79.821± 1.953	63.034± 1.425	66.221± 1.994
공단하류지역	104.918 ±9.726	95.485± 5.707	61.022± 2.112	76.455± 6.171	58.706± 2.417	44.678± 2.924
금속제련소지역	-	287.910 ±28.613	206.464 ±18.055	178.760 ±8.619	198.753 ±15.797	103.354 ±7.128

[1]토양오염점수는 6개 중금속(As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn)농도를 점수로 환산합산한 것임. 토양오염점수의 산출방법은 국토환경종합계획(한국환경기술개발원, 1995)의 토양환경부문을 참조. 1988과 1990년의 토양중 6개 중금속(As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn)농도는 자료가 미비되어 있어 제외하였음.

산업시설·지역의 토양중 중금속이 축적되고 있음을 보여주고 있는 두가지 사례가 있다. 김홍제 등(1986)에 의하면 서울시내의 산업시설·지역에서 5개 중금속(As, Cd, Cu, Pb, Zn)의 농도를 분석한 결과, Cd, Cu, Pb의 농도가 서울시의 평균 중금

속의 농도보다 높게 나타나고 있다고 보고된 바 있다. 또한 윤성윤(1993)에 의하면 경상남도 주요공단 지역의 토양에 중금속의 함량이 우리나라의 평균 함량보다 높게 나타나고 있다 <표 IV-53>. 발표된 중금속의 농도는 우리나라에서 추진되고 있는 토양환경보전법의 토양오염우려기준(안)과 선진외국의 토양오염기준에 비교할 때, 공장·산업지역의 사람 및 동·식물의 생장에 영향을 나타내는 중금속의 농도라 할 수 없으나 토양의 다른 이용·용도에 비교할 때, 산업시설에서 배출되는 중금속이 인근토양에 축적되고 있는 것을 주시할 필요가 있다.

<표 IV-53> 산업시설 및 지역에서의 중금속 농도

1. 김홍제 등(1986)에 의한 서울시내 산업시설·지역의 토양중 중금속 농도

(단위:ppm)

구분	시료채취지역	중금속 종류					
		구분	Cd	Cu	As	Zn	Pb
평균	-	평균	0.16	10.75	1.04	22.8	8.21
		범위	0.01-0.87	0.70-73.92	0.06-7.42	3.99-42.63	1.57-41.24
농경지역	17	평균	0.17	10.55	1.32	24.61	6.32
		범위	0.03-0.60	1.3-49.06	0.12-7.42	10.1-42.63	2.69-27.76
하천수이용지역	9	평균	0.1	11.39	0.81	19.6	5.9
		범위	0.04-0.27	4.9-19.9	0.38-1.35	10.4-31.1	1.63-5.9
매립지역	4	평균	0.33	33.4	0.64	26.7	17.09
		범위	0.05-0.87	0.7-73.9	0.31-0.83	12.4-38.4	3.44-41.12
녹지지역	8	평균	0.06	3.79	0.43	17.32	7.34
		범위	0.01-0.13	1.58-6.84	0.1-1.27	3.9-33.4	2.46-10.43
산업지역	4	평균	0.33	33.46	0.64	26.7	17.09
		범위	0.05-0.87	0.7-73.92	0.31-0.83	12.45-38.4	3.44-41.12
거주지역	4	평균	0.22	6.03	1.8	22.93	14.1
		범위	0.03-0.53	1.39-15.7	0.06-3.18	12.62-35.9	2.71-41.24
시외지역	4	평균	0.22	12.21	1.02	29.84	11.9
		범위	0.06-0.55	9.32-15.19	0.07-1.9	23.6-39.5	5.14-16.29

<표 계속>

2. 윤성윤(1993)에 의한 경상남도 주요공단지역의 토양중 중금속 농도(단위:ppm)

Sampling Site	Cd	Cu	Pb	Zn
양산군	0.115	4.347	8.000	7.071
울산시	0.115	4.562	9.412	8.684
진주시	0.090	5.035	5.035	7.152
창원시	0.093	3.712	3.712	7.044
마산시	0.124	3.557	3.557	7.603
평균	0.108	4.472	4.472	7.671

우리나라에서의 산업시설에 의하여 토양오염상태를 추정하기 위하여 산업시설에 의한 토양오염현황이 조사된 일본의 사례를 주시할 필요가 있다. 일본 환경청(1994)에 의하면 1992년 토양오염의 실태파악을 위해 전국 118개소의 지방공공단체를 대상으로 토양오염사례를 조사하였다. 토양오염을 유발시킨 산업시설의 종류를 업종별·오염물질별로 분류하면 토양오염을 유발하는 업종은 화학공업, 전기도금업, 전기기계기구 제조업 등의 빈도수로 나타나고 있다. 배출되는 주요 오염물질로는 납, 6가크롬, 수은 등의 중금속류이었으나, 근년에는 TCE, PCE 등 유기염소제 용제에 의한 토양오염이 증가하고 있는 것으로 발표되고 있다. 총 177건의 토양오염사례중 75건은 토양외의 주변환경에 직접적으로 영향을 끼치고 있는 것으로 확인되었으며, 이중 TCE 또는 유기염소계를 배출하였던 63건은 토양을 매체로 하여 지하수 오염을 유발하고 있는 것으로 보고되고 있다(일본 환경청, 1994) <표 IV-54>. 특히, 일본의 산업시설·지역에서 배출되는 오염물질에 의한 토양오염현황을 토대로 할 때, 일본과 산업구조가 유사하게 되어 있는 우리나라의 산업시설·지역에서 토양오염이 진행되고 있는 것을 간접적으로 추정할 수 있다.

<표 IV-54> 토양오염의 업종별 오염물질 사례(일본 환경청, 1994):가로표

(3) 토양오염방지에 대한 관련법 및 규정

산업시설에서 배출되는 각종오염물질에 대한 우리나라의 법적규제는 자연환경보전법(1991. 12. 31, 법률 제 4492호), 수질환경보전법(1993. 12. 27, 법률 제4653호), 폐기물관리법(1993. 3. 6, 법률 제4541호)으로 관리되고 있어 이를 통하여 산업시설에서 배출된 오염물질에 의한 토양오염을 간접적으로 방지하고 있다. 토양오염방지에 관련된 이들법의 내용은 <부록 8>에 수록하였다.

(4) 산업시설 토양오염방지시설의 문제점

산업시설 및 지역에서 배출되는 오염물질을 관리할 수 있는 자연환경보전법, 수질환경보전법, 폐기물관리법이 있으나, 산업시설에서 배출될 수 있는 오염물질의 토양유입을 사전에 차단할 수 있는 시설의 설치기준이 미흡하고, 토양에 오염물질이 유입될 경우 이를 확인하고 분석할 수 있는 토양오염도 측정체계가 미흡하다.

3.1.2.4. 폐기물매립지

(1) 시설현황

폐기물매립지는 현재의 가용상태에 따라 사용중인 폐기물매립지와 매립이 종료된 폐기물매립지로 구분할 수 있으며, 구분된 폐기물매립지는 폐기물의 유해성 분류・매립・처리에 따라 일반폐기물매립지, 일반폐기물위생매립지, 특정폐기물공공처리시설로 분류된다. 이에 따라, 폐기물매립지의 현황으로 현재 사용중인 폐기물매립지와 매립이 종료된 폐기물매립지로 구분하고, 구분된 매립지를 일반폐기물매립지, 일반폐기물위생매립지, 특정폐기물공공처리시설로 분류하여 조사하였다.

가. 사용중인 폐기물매립지 현황

1993년 현재 우리나라 쓰레기 매립장은 지방자치단체가 관리주체인 매립장(일반폐기물매립장임)이 590개소(29,974천m^2), 자가업체가 관리하는 매립장이 22개소(6,676천m^2), 처리업체가 관리하는 매립장이 10개소(540천m^2)로서 전체 622개소(37,190천m^2)의 매립장이 운영·사용되고 있다(환경처, 1994).

가) 일반폐기물매립지

지방자치단체가 관리주체인 590개소의 일반폐기물매립지를 지역별로 분류하면

매립지의 개소는 전남에 154개소로 가장 많으나 면적은 786,000m^2로 다른 지역에 비교할 때 협소하며, 서울의 경우 1개소이나 29,274,000m^2로 가장 넓은 매립지를 보유하고 있다(환경처, 1994) <표 IV-55>.

<표 IV-55> 일반폐기물매립지현황(1993년 기준)

구분	매립지수 (개소)	매립지면적 (천m^2)	총매립용량 (천m^3)	기매립량 (천m^3)	잔여매립 가능량(천m^3)
계	590	29,274	411,048	65,896	345,152
서울	1	20,750	308,977	12,330	296,647
부산	2	960	14.938	13,378	1,060
대구	1	597	18,750	6,820	11,930
인천	-	-	-	-	-
광주	6	427	5,677	1,188	4,489
대전	1	235	2,560	2,050	510
경기	36	812	3,401	1,739	1,662
강원	73	759	6,961	4,305	2,656
충북	32	519	7,551	4,784	2,767
충남	103	631	5,629	2,960	2,669
전북	35	464	2,885	1,741	1,144
전남	154	786	6,234	1,790	4,444
경북	94	915	8,682	4,274	4,435
경남	40	1,811	16,499	7,701	8,798
제주	12	308	2,304	363	1,941

지방자치단체가 관리주체인 590개소 일반폐기물매립지를 대상으로 매립지의 규모별로 분류하면 330m^2이하가 2%(14개소), 330-3,300m^2가 17%(307개소), 3,300-33,000m^2가 82%(223개소), 33,000-330,000m^2가 37%(41개소), 330,000m^2이상이 4%(5개소)이었으며 전체처리용량은 411,048,000m^3정도이다(환경처, 1993)<표 IV-56>.

<표 IV-56> 일반폐기물 매립장 규모별 현황(1993년 기준)

규모	개소	%
계	590	100
330m^{2}이하	14	2
330-3,300m^2	307	17
3,300-33,000m^2	223	82
33,000-330,000m^2	41	37
330,000m^2	5	4

지방자치단체가 관리주체인 590개소 일반폐기물매립지를 대상으로 142개를 임의로 선택하여 일반폐기물매립지의 토지이용현황으로 입지현황과 소유현황으로 분류하면 일반폐기물매립지는 임야 33.1%, 농경지 38%, 저습지 11.3%의 순으로 나타나며 입지 부적합 지역인 저습지나 하천부지가 20.5%나 되는 것으로 나타나고 있다(배성렬 등, 1993) <표 IV-57>.

<표 IV-57> 폐기물매립지의 입지현황 (1993년 기준)

구분	개소	%
계	142	100
농경지	54	38
임야	47	33.1
저습지	16	11.3
하천부지	12	8.5
공유수면	5	3.5
공단 및 기타	8	5.6

배성렬 등(1993)에 의하면 조사대상으로 선정된 142개 일반폐기물매립지의 토지소유현황으로는 사유지 48%, 시군유지 36%, 국유지 16%로 나타나고 있다 <표 IV-58>.

<표 IV-58> 폐기물매립지의 소유현황(1993년 기준)

구분	개소	%
계	142	100
사유지	68	48
시군유지	51	36
국유지	23	16

나) 일반폐기물위생매립지

일반폐기물위생매립지는 1993년도 9개 지역(수도권매립지(제1공구), 부산 을숙도, 대구 다사구, 광주 운정동, 경기 성남, 충북 보은, 전남 순천, 경남 창원, 제주 회천동)으로 총 6,098m^2의 면적을 차지하고 있다(환경부, 1994) <표 IV-59>.

<표 IV-59> 일반폐기물위생매립지 현황(1993년도 기준)

매립지명	면적(천m^3)	용량(천m^3)	침출수처리시설(톤/일)
계	6,098	99,163	
수도권매립지(제1공구)	4,089	65,691	3,500
부산 을숙도	298	2,090	하수처리장 이송처리
대구 다사구	597	18,750	800
광주 운정동	286	4,369	하수처리장 이송처리
경기 성남	51	481	70
충북 보은	28	130	35
전남 순천	149	1,879	140
경남 창원	353	3,811	360
제주 회천동	247	1,962	하수처리장 이송처리

다) 특정폐기물공공처리시설

특정폐기물공공처리시설은 1993년도 2개 지역으로 매립지역은 총 78,810m^2의 면적을 차지하고 있다. 경기도 화성군 우정면에 1개와 경남 울산군 온산면에 1개의 특정폐기물공공처리시설이 있으며 향후 면적이 증가될 전망이다(환경부, 1994)<표 IV-60>.

<표 IV-60> 특정폐기물공공처리시설 현황(1993년도 기준)

구분	화성	온산
소재지	경기 화성 우정 주곡	경남 울산 온산 원산
중간처리시설	60톤/일 (소각 1, 물리화학 19, 고형화 40)	100톤/일 (소각 45, 물리화학 30, 고형화 25)
매립시설 (사용예정기간)	49,180m^2 (87.9-96.12)	29,630m^2 (89.12-97.3
가동일자	1987.10.21	1989.12.12

나. 사업종료된 폐기물매립지 현황

사업이 종료된 전국의 폐기물매립지의 현황은 약 823개소이다(환경처, 1994). 이들 매립지중 5천미만의 소형매립지가 517개소(62.8%)이고, 5천-1만미만의 매립장이 140개소(17%)이었다. 지역별로 보면 전라북도 133개소, 전라남도 123개소, 충청남도 110개소, 경기도 97개소로써 주로 농업구조를 가진 지역이 소형의 매립장을 소유하고 있었으며 이들 매립장의 사용은 이미 종료되었다(배성렬 등, 1994) <표 IV-61>.

<표 IV-61> 사용 종료된 매립지의 지역별, 규모별 분포(1993년도 기준)

소유별 / 시,군,구별	계	5천m^2 미만	5천m^2-1만m^2 미만	1만m^2-2만m^2 미만	2만m^2-3만m^2 미만	3만m^2-4만m^2 미만	4만m^2-5만m^2 미만	5만m^2 이상
서울특별시	1	-	-	-	-	-	-	1
부산직할시	6	-	-	-	-	-	-	6
대구직할시	4	-	-	-	-	-	-	4
인천직할시	18	3	5	2	1	2	-	5
광주직할시	38	14	9	9	2	1	2	1
대전직할시	73	42	15	6	2	3	1	4
경기도	97	41	17	21	6	3	4	5
강원도	74	52	15	4	2	1	-	-
충청북도	10	5	3	2	-	-	-	-
충청남도	110	72	14	17	4	1	1	1
전라북도	133	75	43	7	3	2	2	1
전라남도	123	113	4	3	-	1	1	1
경상북도	74	52	9	6	2	2	-	3
경상남도	50	39	5	3	3	-	-	-
제주도	12	9	1		1	-	-	1
계	823	517	140	80	26	16	11	33

이들 매립장의 지목별 현황으로 농지 411.5개소(50%), 잡종지 175.5개소(21.3%). 임야가 137개소(16.6%)로서 전라북도, 충청남도, 경기도에 소재한 매립지는 대부분 농지(전)로 전용되었다(배성렬 등, 1994) <표 IV-62>.

<표 IV-62> 사용종료 매립지의 지목별 분포(1993년 기준)

용도별 / 시,군,구별	계	대 지	농지(전)	임 야	공 장 지	기타(잡종지, 하천 등)
서울특별시	1	-	0.5	-	-	0.5
부산직할시	6	1	1	1	3	-
대구직할시	4	1	3	-	-	-
인천직할시	18	-	9	-	-	9
광주직할시	38	13	21	1	-	3
대전직할시	73	32	12	11	-	18
경 기 도	97	2	63	16	1	15
강 원 도	74	2	34	20	-	18
충청북도	10	-	1	2	-	7
충청남도	110	12	64	20	2	12
전라북도	133	5	88	5	2	32
전라남도	123	9	44	25	2	43
경상북도	74	2	44	19	2	7
경상남도	50	4	26	9	1	10
제 주 도	12	1	1	9	-	1
계	823	84	411.5	137	14	175.5

매립장의 토지소유별 현황으로 사유지가 548.5개소(66.6%), 공유지가 181개소(22.0%), 국유지가 88.5개소(10.8%)로 사유지 이용이 가장 많다(배성렬 등, 1994) <표 IV-63>.

<표 IV-63> 사용종료 매립지의 토지 소유별 분포(1993년 기준)

소유별 / 시,군,구별	계	국 유	공 유	사 유	기 타
서울특별시	1	-	1	-	-
부산직할시	6	1	1	4	-
대구직할시	4	-	1	3	-
인천직할시	18	1	2	15	-
광주직할시	38	4	7	27	-
대전직할시	73	-	15	58	-
경 기 도	97	12.5	22	60.5	2
강 원 도	74	11	17	43	3
충청북도	10	1	6	3	-
충청남도	110	5	26	79	-
전라북도	133	9	23	101	-
전라남도	123	26	30	67	-
경상북도	74	9	15	50	-
경상남도	50	8	11	31	-
제 주 도	12	1	4	7	-
계	823	88.5	181	548.5	5

(2) 토양오염현황

폐기물매립장의 적정관리 및 침출수 발생에 따른 처리문제 등에 대한 연구문헌은 발표된 바가 많이 있으나 폐기물매립장 인근지역의 토양상태에 대해서는 조사·연구문헌이 극히 미미하다. 폐기물매립장이 인근토양의 질에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 폐기물매립장에 매설되어 있는 매립물질중 토양으로 유입될 가능성이 있는 토양오염물질을 대상으로 토양중 농도를 측정해야 한다. 즉, 토양오염물

질의 토양중 농도를 폐기물매립장 인근토양에서 매립장을 중심으로 방향별·거리별로 측정해야 한다.

매립장 인근 토양중 중금속 농도를 분석한 자료로써 1987년 이후 1994년까지 환경부에서 매년 6개 중금속(As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn) 농도를 조사한 자료가 있다(토양측정망 측정자료, 1987-1994). 이 자료를 토대로 하여, 난지도, 광주, 대구, 대전의 일반폐기물 매립지와 연천, 창원, 구미지역의 특정폐기물 매립장 인근지역에서 채취한 토양중 6개 중금속농도를 분석하면 1989년도 특정폐기물 매립장 인근지역에서 조사한 중금속 농도를 제외한 다른 폐기물 매립장 인근지역에서의 토양중 중금속 함량은 높게 나타나고 있지 않다 <표 IV-64>.

<표 IV-64> 토양측정망 측정지점의 일반 및 특정폐기물매립지역의 토양오염점수±SE 현황 (1987년-1994년)[1]

구분	'87	'89	'91	'92	'93	'94
전국평균	77.454± 2.637	93.757± 2.414	74.496± 1.527	79.821± 1.953	63.034± 1.425	66.221± 1.994
일반폐기물매립지역	-	73.524± 4.009	63.425± 1.566	64.678± 2.274	56.374± 1.563	61.726± 3.589
특정폐기물매립지역	-	126.802 ±9.471	71.164± 6.646	71.476± 5.151	54.865± 3.609	76.981± 9.718

[1]토양오염점수는 6개 중금속(As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn)농도를 점수로 환산합산한 것임. 토양오염점수의 산출방법은 국토환경종합계획(한국환경기술개발원, 1995)의 토양환경부문을 참조. 1988과 1990년의 토양중 6개 중금속(As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn)농도는 자료가 미비되어 있어 제외하였음.

매립지에서 배출되는 토양오염물질은 제시한 6개 중금속(As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn)외에도 그 종류가 다양하므로 매립장 인근토양중의 중금속함량만으로 토양질의 상태를 정확히 판정할 수 없다. 이에 따라, 폐기물매립장 인근지역의 토양상태를 파악하기 위하여 표본 조사된 폐기물매립장을 대상으로 폐기물매립장에서 유출될 수 있는 토양오염물질의 종류로 중금속을 포함한 유기 및 무기화합물질, 유류물질, PCBs등으로 확대하여 토양중 이들 물질의 농도 및 상태를 측정해야 한다.

(3) 토양오염방지에 대한 관련법 및 규정

폐기물매립지의 처리시설 설치기준과 처리시설의 관리기준은 폐기물관리법(1993. 3. 6, 법률 제4541호)과 동법의 시행령(1994, 5. 4, 대통령령 제14255호), 시행규칙(1994, 3. 24, 건설부령 제55호), 수질환경보전법(1993. 12. 27, 법률 제4653호)에 의하여 제시되고 있다. 이들 시설에 대한 세부규정은 <부록 4>에 명시되어 있다.

(4) 폐기물매립시설의 문제점

일반매립시설의 경우에 환경영향평가 대상이 되는 매립장 규모는 30만m^2이상, 330만m^2이상이나 1993년 현재 590개소 공공매립지 중에서 6개에 불과한 실정이다. 매립지의 규모가 작아질 경우에 환경영향평가 대상에서 제외된다. 위생매립에 필요한 차수막, 침출수 및 가스 처리시설 등 필요한 시설에 대한 설치 및 관리운영이 소홀하게 될 뿐만 아니라, 실제로 수질·대기오염물질이 적게 배출되는 대신에 분산 배출되어서 토양, 지하수, 하천수 등과 대기를 장기적으로 오염시키는 원인이 된다. 현재 가동중인 위생매립지의 단위면적당 매립되는 양(1993년 기준)으로 0.08m (보은군)~3.05m(을숙도)까지 다양하기 때문에 매립지 규모만으로는 폐기물에서 발생하는 침출수 및 가스 처리기준을 설정하기는 어렵다. 이에 따라, 매립지 면적 또는 용량뿐만 아니라 매립량에 따라 기준을 설정하는 것이 필요하다.

매립지의 오염방지시설 설치현황을 보면, 일반매립지 142개소 중에서 가스처리시설 42개소, 지하수 검사정 55개소, 우수배제시설 85개소로서 설치기준에 제시된 시설을 제대로 갖추고 있지 않다. 또한 가스시설을 설치한 곳도 대부분 형식적이고, 지하수 검사정을 설치한 곳도 적절하지 못한 위치에 설치한 매립지가 많으며, 우수배제시설 역시 효과가 없는 것이 많다(한국자원재생공사, 1994).

폐기물 처리시설의 설치 및 관리운영에서도 문제점이 제시되고 있다. 폐기물 처리시설의 설치 및 관리운영을 지금까지는 대부분 공공기관에서 맡아서 수행하고 있으며 시설의 설치 및 관리운영에 대한 기준이 폐기물 관리법에 비교적 상세히 기재되어 있으나 실제법규에 따라 시행이 잘 안되고 있는 것이 문제점으로 지적되고 있다(문현주, 1995).

3.1.2.5. 휴·폐광산

(1) 휴폐광된 광산현황

가. 휴·폐광된 금속광산현황

우리나라는 국토면적이 비교적 협소함에도 금, 은, 동, 철, 연, 아연 등의 금속자원이 풍부하여 광업의 역사는 삼국시대 이전에 시작하여 현재에 이르고 있다. 금속광산은 1900년대 이후, 특히 금광이 일제에 의하여 개발 (1941년 10,000 여개 이상의 광구) 되었다. 1960년대에 광업이 활성화되었으나 1980년대 중반 이후 경제적인 여건에 의하여 광업 활동이 감소함에 따라 1993년말 기준으로 34개의 금속광산이 가행되고 있다 <표 IV-65>.

<표 IV-65> 국내 등록된 금속광구 및 가행광산 수[1]

구분\년도	1984	1986	1988	1990	1992	1993
등록(광구수)	5,361	3,846	2,992	2,943	2,449	2,142
가행(광산수)	151	107	83	61	36	34

[1]통상산업부(1993) 광산물수급현황

국내 개발된 금속광산의 수는 정확하게 파악할 수 없으나 현재 조사가능한 문헌 및 자료를 분석할 때, 한반도의 휴전선 이남지역에 존재하는 휴・폐광된 금속광산의 수는 통산산업부, 농림수산부(농촌진흥청), 각시·도, 한국환경기술개발원에서 추정하는 휴・폐광된 금속광산수는 303개에서 992개소로 그 차이가 크다 <표 IV-66>. 특히, 한국환경기술개발원의 1994년 연구사업에 의하면 현재 목록화된 992개의 휴・폐광된 금속광산외에도 조사되지 않은 휴·폐광된 금속광산의 수는 약 2,000여개 정도가 존재할 것으로 추정하고 있다 (환경부 토양보전과 자료, 1995; 박용하, 1994).

휴·폐광된 금속광산의 수의 파악은 향후 이들 휴·폐광된 금속광산에 의한 환경오염방지를 추진하는 가장 기본적인 필요자료이다. 휴·폐광된 금속광산의 수를 정확히 파악하기 위한 기본자료인 광구등록부를 보유하고 있는 통산산업부에서 이를 시행함이 가장 효율적일 것으로 사료된다. 통산산업부는 등록된 광구를 기초로 하여 휴·폐광된 금속광산을 조사하고, 문서에서 파악된 휴·폐광된 금속광산의 현지조사를 실행함으로써 정확한 휴·폐광된 금속광산의 현황을 제시할 수 있을 것이다.

<표 IV-66> 조사기관별 휴·폐광된 금속광산수(1995년 5월기준)

	환경기술개발원	농촌진흥청	시·도	통산산업부[1]
서울	-	-	-	2
부산	-	8	40	-
대구	-	1	1	-
인천	1	11	-	5
대전	1	1	-	1
광주	7	2	-	2
경기	91	54	8	34
강원	141	35	130	30
충북	118	49	57	44
충남	266	41	13	34
경북	105	77	49	75
경남	68	43	27	30
전북	108	24	20	33
전남	84	29	10	13
계	992	375	355	303

[1]통산산업부의 자료는 1190년도 이후 휴·폐광된 금속광산에 대한 현황임.

나. 휴·폐광된 석탄광산

국민 생활수준의 향상으로 주택의 구조가 개선됨에 따라 석탄의 수요가 1980년대 중반이후 급격히 감소하였다. 수요감소에 상응한 폐광지원으로 1989년부터 1993년의 5년 기간중 308개의 석탄광이 폐광되었다. 303개 탄광은 741개 광구로 총 330백만평에 달하는 면적이다 (석탄합리화산업단 1994) <표 IV-67>.

<표 IV-67> 전국의 가행·폐광된 탄광의 수 (1989-1994년)

1989		1990		1991		1992		1993		1994	
가행	폐광	가행	폐광	가행	폐광	가행	폐광	가행	폐광	가행	폐광
217	130	170	47	124	46	74	50	44	30	39	5

(2) 토양오염현황

가. 휴·폐광된 금속광산

금속광산지역의 토양오염조사 및 연구는 우리나라에서 1980년대 중반 이후에 시작되었다. 1994년말까지 금속광산지역의 중금속오염에 대하여 조사가 부분적이라도 된 휴·폐광된 금속광산지역은 20개로 <표 IV-68>와 같이 오염현황을 요약할 수 있다.

국내 조사된 20개 휴·폐광된 금속광산지역의 환경오염현황으로 수백에서 2,000여개로 추정되는 휴·폐광된 금속광산지역의 환경오염현황을 평가하기 어렵다. 그러나 상당수의 휴·폐광된 금속광산에 폐석과 광미가 방치되어 있고 인근토양 및 하천이 중금속으로 오염되어 있으며, 침출수 또는 갱내수가 유출되고 있어 휴·폐광된 금속광산이 환경오염원이라 할 수 있다.

나. 휴·폐광된 석탄광산

금속광산의 사후관리가 없는 바와 같이 대부분의 휴・폐광된 석탄광산도 광업활동이 끝난 후 복원되지 않고 방치되어 있다. 탄광 인근지역에 방치되어 있는 폐석은 토양오염원으로 존재하고 있다. 안전성을 무시한 채 무분별하게 방치되고 있는 폐석을 처리하기 위하여 폐광 이후 폐광대책비로 산림을 복구하고 있으나 크게 미흡하다. 국내 총 발생량 2억톤중 1.2억톤이 미복구되어 있음이 석탄합리화사업단에 의하여 보고된 바 있다 (석탄산업합리화사업단, 1994) <표 IV-69>.

휴・폐광된 석탄광산에서 배출되는 중금속 및 분진은 산림을 훼손함은 물론이고 토양생태계를 포함한 자연생태계의 파괴(미생물생태계의 변화, 야생동・식물의 감소와 멸종 등), 자연경관의 훼손, 녹지면적의 감소가 연결되어 발생한다. 특히, 휴·폐광된 석탄광산지역에 방치되어 있는 광석폐기물, 갱도, 광재, 침전지 등은 지역의 오염원으로 존재하나, 이들 광산폐기물로 인하여 발생하는 산성광산폐수(적색폐수) 및 갱내수 또는 빗물에 석탄가루가 혼입된 석탄폐수(흑색폐수)는 지하수 및 지표수로 유입되어 광역오염원이 되고 있다. 산성광산폐수(적색폐수) 및 갱내수 또는 빗물에 석탄가루가 혼입된 석탄폐수는 지하수 및 지표수로 대량 유입되어 34개 폐광 및 8개 가행 탄광에서 81km의 하천을 오염시키고 있다. 전국에 산재되어 있는 가행 및 폐광된 탄광을 첨가할 경우 하천의 오염 길이는 더욱 늘어날 것이다.

<표 IV-68> 국내 조사된 24개 휴·폐광된 금속광산의 환경오염현황

자료:한국환경기술개발원(1994) 휴·폐광된 금속광산지역의 오염관리대책

광산명	광폐석 (단위:m^3)	토양오염	식물오염	하천/농업 용수 오염	갱내수/침 출수 오염	비고
달성광산	59,559	심함*[2]	심함*	심함	심함	
일광광산	69,606	심함	비오염	심함	심함	
거도광산	12,820	우려됨	비오염	심함	심함	시설붕괴위험
시흥광산	2,327	심함	심함	심함	심함	도심인근
제일광산	2,761	심함	비오염	심함	심함	휴양지이용
구운동광산	3,258	심함	심함	심함	심함	
군북광산	55,804	심함	비오염	심함*	비오염	
삼보광산	거의없음	심함	비오염	심함	-	
만정광산	2,562	비오염	비오염	심함	심함	
광덕광산	181,290	비오염	비오염	심함	심함	시설붕괴위험
울진광산	없음	우려됨	비오염	심함*	심함	
조일공산	24,985	심함	비오염	비오염	심함	
금장광산	45,981	우려됨	비오염	심함	-	시설물붕괴
함안광산	173,393	비오염	비오염	우려됨	심함	
제2연화	?	심함	비오염	비오염	비오염	대규모휴양지
물금광산	4,140	비오염	비오염	비오염	심함	휴양지이용
귀명광산	6,774	우려됨	비오염	심함	-	
상동광산	>3백만	우려됨	비오염	비오염	비오염	
금정광산	506,138	비오염	비오염	비오염	비오염	시설붕괴위험
부평광산	없음	우려됨	비오염	비오염	-	도심지역

[1]1994년도 한국환경기술개발원에서 조사한 20개 휴폐광 금속광산인근지역의 토양, 식물, 하천/농업용수, 갱내수 또는 침출수중의 중금속농도에 근거한 오염판단기준의 순위결정원칙에 따라 휴폐광산 및 인근지역의 오염도를 심함, 우려됨, 비오염으로 구분한 것임(세부기준은 인용자료 참조).

[2]*는 한국환경기술개발원에 조사한 중금속 측정농도와 기존에 다른기관 또는 연구자에 의한 중금속측정 농도간에 차이가 있는 자료임. 자료에 의하여 제시한 오염판단기준으로 추정되나 재조사가 요구되는 오염판단기준임.

<표 IV-69> 폐석 발생량 및 훼손면적(단위:천평)

구분	1970년 이후 폐석 발생량 (백만톤)	탄광 훼손 면적 계	폐광탄광				가행탄광		미복구 훼손 면적 계
			복구		미복구		탄광수	훼손 면적	
			탄광	면적	탄광	면적			
강원	150	4,697	136	1,512	20	1,404	18	1,781	3,185
경북	25	732	43	460	6	177	6	95	272
전남	10	301	14	45	2	11	3	245	256
충남	16	656	61	518	3	84	11	54	138
충북	4	151	16	105	1	21	5	25	46
기타	1	32	1	5	-	-	1	27	27
계	206	6,569	271	2,645	32	1,697	44	2,227	3,924

폐광된 탄광지역의 34개 탄광지역(44개소)에서 발생하는 오염현황은 <표 IV-70>에 제시되어 있다. 특히, 향후 폐수 유출 개소 및 폐수량이 증가될 것으로 예상되고 있다(석탄합리화산업단, 1994).

<표 IV-70> 탄광지역 오염현황 (42개 탄광지역 대상)[1]

폐광탄광			가행탄광	총계		
탄광수 (개소)	유출량 (톤/일)	오염길이 (km)	탄광수 (개소)	탄광수 (개소)	유출량 (톤/일)	오염길이 (km)
계 34(44)	52	71	8(13)	42(57)	141	81
강원 14(19)	14(19)	40	6(11)	20(30)	129	49
경북 11(13)	11(13)	17	1(1)	12(14)	6	18
전남 3(5)	3(5)	7	1(1)	4(6)	3	7
충남 4(4)	4(4)	4	-	4(4)	2	4
충북 2(3)	2(3)	3	-	2(3)	1	3

[1]갈수기 (1994. 4-5월) 기준으로 34개 폐광 및 8개 가행 탄광에서 1일 14만톤(과천시 1일 상수도 사용량의 5배)의 폐수가 유출되어 81km의 하천을 오염시키고 있음(석탄산업합리화사업단, 1994).

(3) 토양오염방지에 대한 관련법 및 규정

휴·폐광된 광산지역의 오염원의 관리에 관련되는 우리나라의 현행법으로 자연환경보전법, 수질환경보전법, 토양환경보전법, 광업법, 광산보안법, 폐기물관리법, 농촌근대화촉진법, 산림법, 석탄산업법 등으로 환경오염원의 발생을 방지 또는 오염원을 제거함으로써 국민이 쾌적한 삶을 누릴 수 있는 자연환경이 보전되어야함을 제시하고 있다 <표 IV-71>.

<표 IV-71> 광해관련법 및 정부기관

법	내용	기관	조치사항
광업법	광업권자의 광해배상의무	통산부	피해자의 소송
광산보안법	광해방지를 위한 광업권자의 필요조치. 폐광후 3년까지 광해방지 책임	보안사무소	보안명령 -
석탄산업법	조성사업비 지원 폐광대책비에 의한 광해방지 사업	통산부,지자체	국고보조(70%) 국고보조(100%)
환경관련법	환경시설 설치 의무 및 허용기준	환경부	시정명령
산림법	산림훼손허가 및 복구명령	산림청	가행탄광에 복구명령 폐광의 복구사업

그러나 현행법은 가행중인 광산활동의 환경오염방지에 초점을 맞추고 있다. 광산보안법 제18조에 의하면「통산산업부 장관은 광업권이 소멸한 후라도 3년간은 광업권자 또는 조광권자이었던 자에 대하여 그가 광업권을 경영하였으므로 인하여 발생할 위해 또는 광해를 방지하기 위하여 필요한 조치를 명할 수 있다」고 명시되어 있다. 우리나라의 폐광은 대부분이 폐광 후 3년이 지난 것으로 광해에 대한 법적인 책임자가 없다. 또한 갱내수 및 침출수는 광업활동이 끝난 수년 후에 중금속의 농도가 높아지는 경우가 많다. 현재 가행중인 금속광산 및 휴·폐광 이후에 발생할 수 있는 광해의 방지가 장기적이고 효율적으로 수행될 수 있도록 적합한 규정이 없는 실정이다.

(4) 휴·폐광산 관리의 문제점

국내에 산재하고 있는 휴·폐광된 광산지역에서 발생할 수 있는 토양오염을 방지하기 위하여 휴폐광지역의 오염원을 처리할 수 있는 기술적인 토양오염방지방법과 이를 지원할 수 있는 법적·제도적인 관리이다.

기술적인 토양오염방지방법으로 휴·폐광된 광산지역의 토양오염원 처리를 위한 우리나라의 준비 현황을 다음의 세가지 사항으로 평가할 때 크게 미흡하다. 첫째, 현재까지 광산에서 발생하는 오염원의 제거, 격리 또는 확산방지 등의 기술이 우리나라에서 종합적으로 시도된 바 없다. 둘째, 오염원의 제거 후 자연생태계의 복원기술이 마련되어 있지 않다. 셋째, 광산지역에서 발생하는 오염원(폐석 및 광미 등)의 재활용 기술이 체계적으로 연구된 바 없다. 광산에서 발생하는 오염원의 효율적인 처리를 하기 위하여 과학적인 연구가 지속되어 처리기술 및 know-how가 축적되어야 한다. 또한, 오염원의 기술적 처리방법 및 생태계 복원을 실행할 수 있도록 전문인력의 양성이 되어야 한다.

법적 제도적인 지원이 없이는 오염원을 제거, 격리 또는 확산방지 및 자연생태계를 복원시킬 수 있는 기술적인 방법의 개발과 실행은 불가능하다. 특히, 2,000여 개의 휴・폐광된 금속광산의 오염상태를 평가하고 오염방지를 시도하기 위해서는 재원이 마련되어야 한다. 지속적이고 효율적으로 오염방지기술의 개발과 실행을 지원하고 필요한 재원의 마련과 효율적인 행정관리를 실행하며 향후 발생할 수 있는 오염을 감소시키기 위한 현행법의 보완 및 수정이 필요하다.

광산지역의 오염원의 관리에 관련되는 우리나라의 현행법은 가행중인 광산활동의 환경오염방지에 초점을 맞추고 있다. 광산보안법 제18조에 의하면「통산산업부장관은 광업권이 소멸한 후라도 3년간은 광업권자 또는 조광권자이었던 자에 대하여 그가 광업권을 경영하였으므로 인하여 발생할 위해 또는 광해를 방지하기 위하여 필요한 조치를 명할 수 있다」고 명시되어 있다. 우리나라의 폐광은 대부분이 폐광 후 3년이 지난 것으로 광해에 대한 법적인 책임자가 없다. 또한 갱내수 및 침출수는 광업활동이 끝난 수년 후에 중금속의 농도가 높아지는 경우가 많다. 현재 가행중인 금속광산 및 휴·폐광 이후에 발생할 수 있는 광해의 방지가 장기적이고 효율적으로 수행될 수 있도록 적합한 규정이 필요하다.

수질환경보전법시행령의 제30조에 농작물의 중금속 허용함량 기준치가 논토양 및 이로부터 생산된 현미중의 카드뮴 농도만이 일본의 규정에 따라 명시되어 있으

며 다른 유해 중금속의 작물체 및 토양중의 함량에 대하여 제시된 바 없다. 같은 지역의 토양에 생장하고 있는 식물체내의 중금속 흡수능력은 달리 나타난다. 현미 외의 다른 작물과 카드뮴 외의 다른 중금속에 관하여도 재배제한농도가 검토되고 이에 따른 적합한 규정이 명시됨으로써 오염된 작물의 식용을 제한하여야 한다.

우리나라의 전지역에 산재하고 있는 휴·폐광된 금속광산의 세부목록 및 조사된 광산의 오염도 조사, 오염원의 제거 또는 격리 및 확산방지 등을 실행하고 생태계를 복원할 수 있는 기초재원으로 최소 3,200억원이 필요할 것으로 평가하고 있다(박용하, 1994). 특히, 우리나라에 존재하고 있는 대부분의 휴·폐광된 금속광산에서 발생하는 오염을 책임질 수 있는 법적인 책임자가 없으므로 국가 또는 지방자치단체에서 기금을 조성하여야 할 것이나 이에 따른 법적인 지원이 없다.

3.1.3. 연구대상시설의 종합분석 및 토양오염유발시설의 선정

토양오염유발시설의 선정시 원칙 및 고려사항에서 제시한 바와 같이 토양오염유발시설의 범위를 선정하되 향후 토양오염유발시설의 범위를 확대 또는 축소시킬 수 있는 탄력성을 부여해야 한다. 본 연구에서는 산업시설, 폐기물매립지, 유류저장시설, 유해화학물질저장시설, 휴·폐광된 광산을 대상으로 토양오염유발시설을 선정하고 이들 시설에 대한 토양오염방지 시설설치기준을 연차적으로 선정하는 데 있었다. 그러나, 본 연구가 진행되는 과정인 1995년 12월에 동법의 시행령과 시행규칙에 제시될 토양오염유발시설의 종류로 유류저장시설과 유해화학물질저장시설이 법적인 토양오염유발시설(안)로 결정되었다. 이에 따라, 토양환경보전법의 시행령과 시행규칙(안)에 의하여 토양오염유발시설로 지정된 유류저장시설과 유해화학물질저장시설을 법적인 토양오염유발시설로 하고 산업시설, 폐기물매립지, 휴·폐광된 광산은 법적인 토양오염유발시설에는 해당하지 않으나 토양오염을 유발할 가능성이 있는 시설로써 비법적인 토양오염유발시설로 분류하였다. 각각 분석된 5종류의 토양오염을 유발할 수 있는 시설에 대한 현황을 종합하고, 대상시설에 대한 관리상태를 분석한 것을 종합하였다 <표 IV-72>.

<표 IV-72> 유류저장시설, 유해화학물질저장시설, 산업시설, 폐기물매립지, 휴·폐광된 광산의 현황종합

구분[1]		토양오염현황	관련법	문제점
법적토양오염유발시설	유류저장시설	1.지하저장유류저장시설의 누유에 의한 토양오염현황이 체계적으로 조사된 바 없음.	소방법 지하수법	1.유류저장탱크의 설치기준이 방화를 목적으로 설정되어 있어 토양오염을 사전에 방지할 수 있는 누유탐지시설이 설치되어 있지 않음.
	유해화학물질저장시설	1.저장중인 유해화학물질이 토양으로 확산되어 발생한 토양 및 지하수오염에 대하여 조사된 바 없음.	유해화학물질관리법	1.유해화학물질저장시설에 대한 시설설치기준이 유해화학물질의 종류에 따라 제시되어 있지 않고 통괄하여 일반적인 개념으로만 제시되어 있음.
비법적토양오염유발시설	산업시설	1.제련소인근지역의 중금속오염 2.산업시설인근지역토양의 오염우려	자연환경보전법 수질환경보전법 폐기물관리법	산업시설지역의 토양상태를 지속적으로 확인할 방법이 미흡
	폐기물매립지	1.일부 폐기물매립장 인근지역의 중금속오염. 2.중금속외 토양오염물질에 의한 토양오염현황은 조사미흡.	폐기물관리법 수질환경보전법	1.대부분 매립지의 경우 환경영향평가대상이 아님. 2.발생하는 침출수 및 가스 처리기준의 설정이 어려움. 3.형식적 가스시설 설치 및 지하수 검사정 설치. 4.비효과적인 우수배제시설 등

<계속>

구분			토양오염현황	관련법	문제점
비법적토양오염유발시설	휴·폐광된광산	금속광산	1.대부분의 휴·폐광된 금속광산이 중금속을 배출하는 환경오염원으로 추정됨.	자연환경보전법 수질환경보전법 광업법 광산보안법 폐기물관리법 농촌근대화촉진법 산림법 석탄산업법	1.휴·폐광된 광산지역의 오염원을 제거하는 법적·제도적인 지원이 마련되고 있으나, 복원기술이 선진외국에 비하여 크게 미흡함. 2.휴·폐광이후 광산에서 발생할 수 있는 중금속의 배출을 지속적으로 측정할 수 있는 체계가 없음.
		석탄광산	1.탄광에 의한 국토의 훼손 면적이 6,569천평으로 이중 3,924천평이 미복원되어 있음. 2.1970년 이후 탄광에서 발생하는 폐석이 약206백만톤임. 3.34개 폐광과 8개 가행 탄광에 의하여 81km의 하천이 오염되어 있음.		

[1]법적 토양오염유발시설과 비법적 토양오염유발시설의 구분은 토양환경보전법 시행령과 시행규칙(안)에 의하여 설정된 내용을 토대로 한 것임.

우리나라에서는 유류저장시설의 누유방지는 현재 소방법에 의하여 관리되고 있으나 화재방지를 목적으로 법조항의 시설기준이 설정되어 있어 토양오염방지를 위한 시설기준으로는 미흡하다. 지하수법에서 지하수 수질을 방지하기 위한 목적으로 유류저장시설의 누유방지를 간접적으로 제한하고 있으나 유류에 의한 토양오염방지 시설설치기준으로는 미흡하다. 즉, 유류저장시설로부터 토양환경을 보전하기 위한 적극적인 국가의 시책이 필요하다. 이에 따라, 유류저장시설을 토양환경보전법의 법적인 토양오염유발시설로 지정한 것은 타당성이 있다. 향후, 동 시설별로 토양오염을 사전에 방지할 수 있는 누유탐지시설의 설치 또는 이와 동등한 기능을 나타낼 수 있는 토양오염방지시설을 설치하게 함으로써 유류저장시설에 의한 토양오염방지를 추진해야 할 것이다.

유해화학물질 저장시설은 유해화학물질관리법의 시행규칙에 의하여 시설기준이 설정되어 있으나 설정된 시설기준은 유해물질의 보관·관리를 위한 시설기준으로 유해물질에 의한 토양 및 지하수의 보전을 위한 시설기준으로 미흡하다. 지하수법에서 지하수 수질을 방지하기 위한 목적으로 유해화학물질보관·저장시설의 누유방지를 간접적으로 제한하고 있으나 유해화학물질에 의한 토양오염방지 시설설치기준으로는 미흡하다. 즉, 유해화학물질저장시설로부터 토양환경을 보전하기 위한 적극적인 국가의 시책이 필요하다. 이에 따라, 유해화학물질저장시설을 토양환경보전법의 법적인 토양오염유발시설로 지정한 것은 타당성이 있다. 향후, 유해화학물질저장시설로부터 발생할 수 있는 토양오염을 방지할 수 있는 토양오염방지시설을 설치하게 하고, 정기적인 토양오염방지상태를 점검함으로써 유해화학물질저장시설에 의한 토양오염방지를 추진해야 할 것이다.

산업시설은 자연환경보전법, 수질환경보전법, 폐기물관리법에 의하여 관리되고 있으나 제련소에 의한 토양환경의 오염은 심각하게 우려되고 있다. 그러나 제련소를 포함한 금속산업시설외의 다른 산업시설에 의한 토양오염문제는 심각한 정도가 아닌 것으로 판단된다. 또한, 모든 산업시설을 토양환경보전법의 법적인 토양오염유발시설로 선정하는 것은 산업의 생산활동을 위축시킬 수 있다는 측면에서도 적합하지 않다고 할 수 있다. 제련소를 포함한 금속산업이 토양환경에 미치는 영향을 고려할 때, 산업시설중 금속산업시설을 법적 토양오염유발시설로 선정함을 신중하게 고려할 필요가 있다.

폐기물매립지는 매립장의 설계 및 관리적인 측면에서 조사가 이루어진 바가 많으나 폐기물매립지 인근의 토양에 관한 오염조사는 미미한 상태로 현재 분석된 자료에 의하여 폐기물매립지가 토양환경오염에 미치는 영향을 평가하기 어렵다. 그러나 조사된 자료를 토대로 할 때, 일부 폐기물매립장 인근지역의 토양이 중금속으로 오염되어 토양오염이 우려되고 있다고 할 수 있다. 폐기물매립장 인근지역의 토양오염은 매립장에서 배출되는 침출수 및 분진 등에 의한 토양오염이라 간주할 수 있다. 이러한 침출수와 분진 등은 현재 폐기물관리법 및 수질환경보전법에 의하여 환경배출기준이 설정되어 있으므로 현재 가용되고 있는 관련법의 활용여부에 의하여 매립장 인근지역의 건전한 토양환경을 유지할 수 있는 방법일 수도 있다.

휴·폐광산은 자연환경보전법, 수질환경보전법, 광업법, 광산보안법, 폐기물관리법, 농촌근대화촉진법, 산림법, 석탄산업법 등에 의하여 휴·폐광산에서 배출되는 오염

물질이 감소되어야 하며, 오염물질을 배출하는 폐석, 광미, 광재, 갱내수 등이 지속적으로 관리되어야 하나 미흡하다. 특히, 휴폐광된 금속광산은 전국에 산재하고 있는 광산의 수도 정확하게 파악되어 있지 않으며, 이에 따라 광산에 의한 정확한 환경오염의 피해현황도 파악되어 있지 않다. 석탄광산의 경우는 석탄산업합리화사업단에서 담당하고 있어 휴·폐광된 석탄광산의 수는 파악되어 있으며 광업법, 광산보안법, 석탄산업법에 의하여 휴·폐광시 이를 복원할 수 있도록 체계는 마련되어 있다. 그러나, 석탄광의 경우도 휴·폐광후 사후관리가 미흡하여 32개의 석탄광에서 1,697천평(1994년 기준)의 면적이 복원되지 않고 방치되어 있어 환경오염원으로 존재하고 있으나 광업법, 광산보안법, 석탄산업법과 이를 수행할 의무가 있는 석탄합리화사업단에 의하여 대책이 제시되고 처리할 문제이다.

휴·폐광된 금속광산과 석탄광산의 경우를 비교할 때, 석탄광산은 기존부터 이를 담당하고 처리하여 왔던 석탄합리화사업단에게 지속적으로 처리할 수 있도록 후원하는 것이 타당할 것이나, 금속광산의 경우는 적극적인 정부의 대책이 필요하다 토양환경보전법의 시행령과 시행규칙에서 휴·폐광된 금속광산이 법적인 토양오염유발시설의 대상에서 제외되었으나 향후 휴·폐광된 금속광산이 자연생태계 및 사람에 미치는 영향을 재평가하여 적극적인 정부의 대책이 제시될 수 있어야 할 것이다.

3.2. 선정된 토양오염유발시설의 종류별 시설범위 설정

본 연구가 진행되는 과정인 1995년 12월에 동법의 시행령과 시행규칙에 제시될 토양오염유발시설의 종류로 유류저장시설과 유해화학물질저장시설이 법적인 토양오염유발시설(안)로 결정되었으며, 이들 시설의 시설범위는 <표 IV-73>로 결정되었다.

<표 IV-73> 토양환경보전법에서 선정되어야 할 유류제조·저장시설 및 유해화학물질 제조·저장시설의 시설선정범위(안)

종류	대상범위
유류제조·저장시설	소방법시행령 별표3의 위험물 제4류중 제1, 2, 3, 4 석유류에 해당하는 인화성액체를 제조하거나 자가소비 및 판매를 목적으로 설치한 저장시설로써 용량이 20,000*l* 이상인 시설
유해화학물질 제조·저장시설	유해화학물질관리법 제10조의 규정에 의한 유독물제조업·판매업·취급업의 등록을 받은 업체에서 설치한 저장시설

토양환경보전법의 시행령과 시행규칙에서 법적인 토양오염유발시설의 시설범위로 유류제조·저장시설, 유해화학물질 제조·저장시설에 대하여 현행법에서 적용하고 있는 시설범위를 법적인 토양오염유발시설의 시설범위로 선정함을 현실적으로 검토할 필요가 있다. 제안된 토양오염유발시설의 범위에 의하면 유류저장·제조시설의 경우 전국에 존재하는 36,380개의 지하유류저장탱크(전국 총 지하유류저장탱크의 68.8%)는 토양환경보전법에 해당하지 않는 시설로 간주된다. 지하유류저장탱크의 용량별로는 449,045천L의 지하저장유류탱크용량(전국 총 지하유류저장탱크량의 37.0%)은 동법에 해당하지 않는 시설이다 <표 IV-74>.

<표 IV-74> 토양환경보전법의 시행규칙에 제시된 토양오염유발시설의 시설범위에 따른 지하유류저장시설의 탱크수별, 탱크용량별 현황

	전국합계	≥20천L	<20천L
탱크수	52,859개 (100%)	16,479개 (31.2%)	36,380개 (68.8%)
탱크용량별	1,212,663천L (100%)	763,618천L (63.0%)	449045천L (37.0%)

유해화학물질의 지하저장·제조시설의 시설범위는 유해화학물질관리법 제10조의 규정에 의한 모든 시설로 포함되어 있다. 즉 저장탱크의 용도 및 용량에 따른 구분없이 모든 유해화학물질의 저장시설에 대하여 그 시설범위를 선정하고 있다. 동법에서 선정(안)에 대한 참고사항 및 지하저장시설을 법적으로 규제하고 있는 미국의 예를 들어 동법의 토양오염유발시설의 시설범위선정을 위한 향후 발전방향을 제시하면 다음과 같다.

미국에서 지하저장시설을 규제하고 있는 RCRA의 지하저장시설(Underground Storage Tank: UST)규정에서 법으로 규제받지 않는 두가지 형태의 예외를 인정하고 있다. 첫번째가 법이 정하는 예외(이들 규정으로부터 의회가 특별히 면제하는 탱크시스템)이고 두번째가 규정의 예외(EPA가 인간과 환경에 위협을 미치지 않을 것이라고 결정한 후에 면제한 탱크와 이미 다른 규정에 의해 관리되어지는 탱크들)이다.

<의법처리된 예외>

① 비영리목적으로 모터연료를 저장하는데 사용되는 1100gallon(4,125L)용량이나 또는 그 이하의 농장 및 거주자 탱크
② 저장되는 장소에서 사용되어지는 것을 전제로 하는 연료를 저장하는 탱크들
③ 부패조시스템(하수처리시스템의 탱크)
④ 특정한 연방 및 주정부법하에 있는 규정된 파이프라인 설비
⑤ 모든 지상의 impoundment(공설우리)와 pit(정비소의 우묵한 곳), 연못 ,호소
⑥ 우수 집수 및 폐수집수 시스템
⑦ Flow-through process tank
⑧ 오일 및 가스생산과 수집장치에 직접관련 연합된 수집라인 또는 액체 트랩

<EPA의 규정의 예외>

① 폐기물법(Solid Waste Act)의 소제목 C하에 정의되어지거나 리스트에 있는 유해폐기물 또는 그같은 유해폐기물과 규정되어진 물질의 혼합물을 저장하는 탱크들
② 수질정화법(Clean Water Act)의 402, 307하에 규정된 폐수처리 탱크 시스템
③ 수압승강기 탱크와 같은 작동목적으로 규정된 물질을 가지고 있는 장비 및 기계류
④ 용량이 110gallon(473L)또는 그이하의 UST들
⑤ 규정된 물질의 미미한 농도를 가지는 UST들
⑥ 사용후 신속하고 효과적으로 비워지는 넘치거나 쏟는 것의 긴급봉쇄시스템

현재 결정된 토양오염유발시설의 지하저장시설(유류제조·저장시설과 유해물질저장시설 포함)의 시설범위는 탱크의 사용용도 및 크기(용량)로 현행 사용되는 소방법과 유해물질관리법에서 적용되는 시설범위를 대상으로 하고 있다. 향후 토양오염유발시설의 시설범위로 본 연구보고서의 지하저장시설(유류제조·저장시설과 유해물질저장시설)에서 파악된 우리나라의 지하저장시설에 저장되는 물질의 종류별(유류 또는 유해화학물질) 탱크수와 탱크용량을 참고하여야 할 것이다. 또한, 탱크의 이용용도에 따라 미국 EPA에서 예외규정을 설정함으로써 탱크용량에 관계없이 불필요한 용도에 대해서는 예외규정을 두는 것을 고려할 필요가 있다. 이에

따라, 본 연구보고서에서 제안하는 유류저장시설과 유해화학물질저장시설의 시설범위 규제대상으로 다음과 같은 사항을 제안하여 향후 이들 시설에 대한 시설범위의 선정에 제안하고자 한다 <표 IV-75>.

<표 IV-75> 유류저장시설 및 유해화학물질 저장시설의 시설범위(안)

구분	유류제조·저장시설	유해화학물질 제조·저장시설	근거 또는 사유
용량	>5천L의 탱크	모든 탱크시설	-유류제조·저장시설의 경우 제안범위로 전국의 약 86.7%의 시설을 대상으로 함(미국 EPA 규정). -유해화학물질의 경우 대부분이 유류보다 유독물질이며, 난분해성 물질인 경우가 많음 <표 IV-28>.
예외(유류 및 유해화학물질 제조·저장시설에 공통임)	1.저장장소에서 사용되는 것을 전제로 하는 탱크		-미국 EPA UST규정
	2.하수 및 폐수처리시스템의 탱크		-미국 EPA UST규정
	3.우수집수 및 폐수집수 시스템에 사용되는 탱크		-미국 EPA UST규정
	4.저장물이 통과하는 시설중의 탱크로 저장물이 통과후 잔여물이 남지않는 탱크		-미국 EPA UST규정
	5.기계의 작동목적을 위하여 유류를 보관하고 있는 탱크(예, 수압승강기 탱크)		-미국 EPA UST규정
	6.규정된 물질의 농도가 폐기물법에 의하여 규정된 폐기물의 농도보다 낮은 물질을 보유하고 있는 탱크		-미국 EPA UST규정 -폐기물관리법
	7.사용후 신속하고 효과적으로 비워지는 탱크		-미국 EPA UST규정

4. 토양오염유발시설에서 토양오염방지시설의 설치

토양오염유발시설에 의한 토양오염을 방지할 수 있는 방법으로는 이들 시설로부터 토양에 누출되는 오염물질을 사전에 차단하는 것이다. 토양오염유발시설로부터의 오염물질이 누출되는 것을 사전에 차단할 수 있는 방법은 토양오염방지시설을 토양오염유발시설에 설치함으로써 이루어질 수 있다.

토양오염방지 시설을 설치하는 방법으로는 토양오염유발시설의 종류에 따라 크게 두가지로 분류할 수 있다. 이 두가지 방법은 토양을 오염시킬 수 있는 물질이 폐쇄된 저장용기에 보관되어 있는가의 여부에 따라 다르다. 그 예로써, 첫째는 유류 및 유해화학물질을 보관하는 시설의 토양오염방지시설이다. 폐쇄된 저장용기에 저장물질이 보관되어 있는 경우에는 저장용기의 설계시 저장물질이 용기의 외부로 누출되지 않도록 저장용기를 설계함으로써 이루어질 수 있다. 또한, 대부분의 유류 및 유해화학물질을 보관하는 시설은 지하에 위치하고 있으므로 저장물질의 누출을 감지하기 어렵거나, 누출이 감지되더라도 짧은시간내에 누출된 물질을 제거하기 어렵다. 이에 따라, 저장용기에서 누출된 물질이 토양에 확산되는 것을 방지할 수 있는 시설이 필요하다. 둘째는, 폐기물매립지 또는 휴·폐광된 광산등에 존재하는 오염원이 주변으로 확산되는 것을 막을 수 있는 토양오염방지시설이다. 폐기물매립지 또는 휴·폐광된 시설의 오염원은 외부로 누출된 경우이다. 이러한 시설에 대해서는 오염물질이 광역적으로 확산되거나 또는 지하수로 침출되는 것을 방지할 수 있는 시설이 설치되어야 한다.

본 연구부문에서는 토양오염을 유발할 수 있는 시설중에 유류저장시설, 유해화학물질저장시설, 폐기물매립지를 대상으로 구체적인 토양오염방지시설의 종류 및 시설기준을 제시하고자 하였다. 특히, 오염물질이 유류 및 유해화학물질의 저장용기 외부로 누출된 경우 또는 폐기물매립지에서 오염물질이 토양에 직접 침투 할 수 없도록 설치된 차수재의 설치기준 설정을 포함하므로써 오염물질이 토양에 광역적으로 확산되는 것을 방지할 수 있는 시설의 설치기준에 연구의 초점을 두었다.

4.1. 토양오염 방지시설의 설치기준 분석

4.1.1. 국내 토양오염방지시설의 설치현황 분석

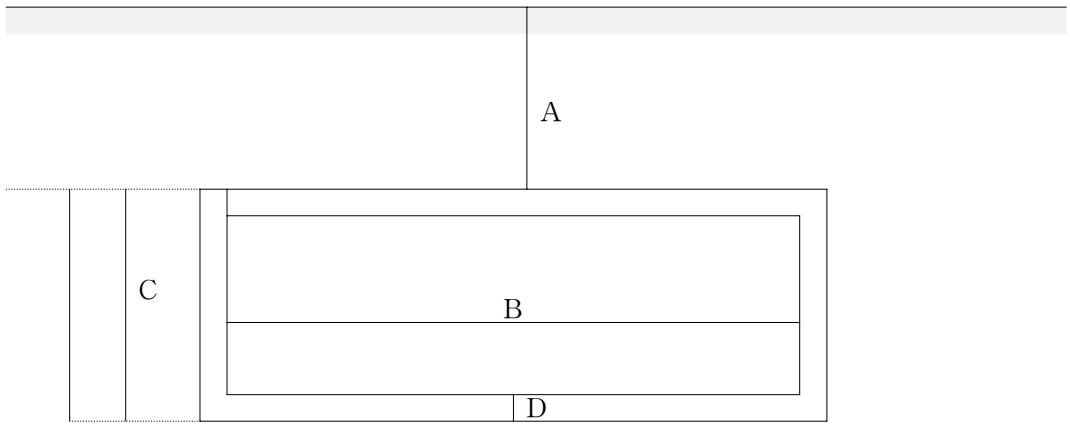
(1) 유류저장시설

가. 설치현황

국내 유류저장시설으로부터 토양오염을 방지할 수 있는 시설의 설치기준은 소방법 제17조 규정내 소방기술기준에 관한 규칙에 관련된 위험물의 저장소에 대한 규칙으로서 옥내저장소, 옥외탱크저장소, 옥내탱크저장소, 지하탱크저장소, 간이탱크저장소, 이동탱크저장소, 옥외저장소, 그리고 선박탱크저장소로 분류되고 있다. 이러한 유류저장시설은 소방법의 기준을 따라야하므로 화재발생으로부터의 보호가 기본으로 되어있다. 저장소에 있어서 위험물이 침출될 우려가 있는 부분은 아스팔트, 기타 부식하지 아니하는 재료로 피복하는 정도이다. 액체위험물 저장소의 바닥은 위험물이 침투하지 아니하도록 재료를 사용하되, 적당하게 경사지게 하여 그 최저부에 저유설비를 하여야 한다고 규정하고 있다. 이러한 유류저장소 중에서 옥외저장소와 옥외탱크저장소, 지하탱크저장소에 대한 세부적인 시설법규현황는 <부록 4>에 수록되어 있다.

국내에서의 대표적인 유류저장시설은 주유소의 저유탱크이며 이 탱크는 소방법의 법규에 의하여 다음과 같이 설치되어 있다. 저유탱크 매설의 경우 방화를 목적으로 측면에 두께 30cm 정도의 콘크리트조실과 40cm 정도의 상부 슬래브를 설치하며 탱크자체는 4.5-6mm의 금속제 탱크, 그리고 콘크리트 측벽사이의 30cm 정도의 공간에는 모래를 충진하는 방법이 일반적이다.

<그림 IV-3>은 지하저장탱크의 개략도이며 이 그림에서 A는 저장깊이로 저장하는 물질에 따라 각각 다르게 설치되어있으나 대략적으로 1m에서 8m사이에서 설치하고 있다. B는 저장탱크의 길이로 HDPE-STEEL 이중벽 탱크의 경우 최저 20,000L(100드럼)의 경우 5,030mm, 최고 50,000L(250드럼)의 경우 7,470mm로 설치하고 있다. C는 저장탱크의 직경으로 HDPE-STEEL 이중벽 탱크의 경우 최저 20,000L(100드럼)의 경우 2,346mm, 최고 50,000L(250드럼)의 경우 3,046mm로 설치하고 있다. D는 탱크의 보호막으로 95년 5월 개정된 위험물 지하·간이 탱크저장소에 대한 소방법 제200조를 보면 탱크의 외면에 방청 및 아스팔트 도장을 한 후 아스팔트루핑 및 철망으로 피복하고 그 위에 두께 2cm이상의 몰탈을 도장하고 있다.



<그림 IV-3> 지하저장탱크의 개략도

나. 설치현황의 분석

미국, 영국, 네덜란드 등의 외국에서 조사된 자료에 의하면 우리나라에서 사용중인 탱크의 설계는 이들 시설로부터 유발될 수 있는 토양오염을 방지하기에 적합하지 않다고 할 수 있다.

미국 EPA에 의하면 재고관리·기계적 누유모니터링 방법, 자동라인 누유탐지기 및 기타 누설탐지기 시스템이 설치된 가압식배관, 넘침(overflow)방지구조, 탱크내부에 코팅된 이중배관 FF탱크, 전극에 의한 부식 방지와 Stealcladding(금속부식방지를 위해 금속의 표면을 다른 금속으로 덮는 기법)시설 등이 되어 있지 않은 주유소의 유류저장탱크는 전체주유소중 25%에서 유류가 누출된다고 발표하고 있다(EPA, 1970). 이에 따라, 미국 EPA는 주유소에 이와 같은 시설을 설치할 것을 의무화하고 있다 <부록 4>. 이와 더불어, 탱크소유주에 100만달러의 보험가입 의무화, 지하탱크 설비기준 준수, 누유시 정화·보고·기록보존의무, 탱크설치·사용에 관한 소유주의 보고를 의무화함으로써 유류저장시설에서 발생할 수 있는 토양오염을 최소화하고 있다. 특히, 캘리포니아·뉴욕·플로리다주를 포함한 10개州는 주법에서는 지하유류저장탱크는 이중구조로 설계된 저장탱크를 사용해야 한다는 규정과, 지하탱크와 합성수지이중관, 라이닝(lining)관을 의무화함으로써 EPA의 법령보다 강화하여 설정하고 있다.

영국의 전체 주유소 17,000개중 약 3분의1에서 유류 누출이 보고었으며 그중 11%는 심각결과를 초래한 바 있다. 네덜란드에서는 주유소에서의 유류누출을 통계적으로 보고된 바 없으나 그 피해에 대한 심각성을 인식하여 SUBAT라는 토양정화기금이 마련된 바 있다. 더불어, 네덜란드에서는 유류저장시설에 대한 설비검사, 탱크전극 검사, overflow(역류)방지장치 설치, 기름분리탱크 및 포장, 펌프 및 배관마감, 모니터링시스템(토양깊이가 10m까지 동 시스템 활용)을 개발하여 이들 토양오염방지시설의 설치를 주유소의 유류저장시설에 의무화하고 있다. 그리고 주유소에 대한 토양오염방지조치로써 주유소별 유류판매량 및 입지환경에 따라 주유소를 등급화하여 등급별 토양오염방지를 위한 시설기준을 제시하고 있다.

(2) 유해화학물질저장시설

가. 설치현황

우리나라의 유해화학물질 저장탱크는 지상저장탱크(AST: Aboveground Storage Tank)와 지하저장탱크(UST: Underground Storage Tank)로 분류할 수 있고 저장탱크를 설치할 때에 필요한 세부사항에 대하여 국내의 기준은 유해화학물질관리법 시행법칙 제12조(유독물 영업자의 시설, 장비 등의 기준)에 따르고 있다. 유해화학물질 저장 설치기준을 유독물 제조업, 유독물 판매업 및 유독물 취급업으로 분류하여 시설기준을 제시하고 있으나 토양환경보전을 위한 시설기준은 보관시설(옥외보관시설 포함)에는 유독물이 외부로 유출되거나 지하로 스며들거나 흩날리는 것을 방지할 수 있는 시설을 설치하여야 한다는 정도로 되어 있을 뿐, 시설에 대한 기준은 제시된 바 없다 <부록 4>.

나. 설치현황의 분석

모든 유해화학물질의 저장시설은 법에 규정된 설계시설의 기준에 적합해야 한다. 설계기준은 간접오염과 기술적인 시설을 포함하고 있다. 유류생산품들과 유해화학물질들을 함유하고 있는 지하저장탱크의 법규들은 고형폐기물과 유해폐기물처리의 결과로서 시작되었고 이러한 법규들은 탱크시스템에 정의되어 있다(Woodside, 1994). 지하저장탱크의 운영자와 소유자에게 영향을 미치는 포괄적인 규정은 약간의 예외와 함께 석유류와 유해화학물질을 저장하는 탱크에 적용된다.

미국에서는 1998년 12월까지 모든 탱크시스템에 명시된 이행표준에 맞도록 개정하거나 또는 영구적으로 폐쇄하도록 요구하고 있다. 이 규정은 그날까지 대부분의 탱크소유자와 운영자들이 현존하는 탱크들을 교체하거나 개선하도록 강요되어 오래된 탱크의 개선과 교체 또는 탱크폐쇄의 기간동안의 탱크결함 또는 시스템유출이 식별되도록 유도하고 있다.

유해화학물질과 유류저장 탱크시스템 그리고 설계기준들은 대부분 지역조례들에 의해 규정되어 있다. 시정이 요구되거나 추천된 지상과 지하의 유해폐기물과 유해화학물질 탱크시스템에 대한 기준들은 탱크 자체와 파이핑 그리고 새는 것과 넘치는 것을 막는 장치와 같은 부수적인 장치에 대한 설계기준들도 포함하고 있다. 뿐만 아니라 부식방지를 위한 방법과 탱크물질들의 화학적 합성에 대하여도 제시되고 있다.

(3) 폐기물매립지

가. 설치현황

국내 폐기물 처리시설 설치기준은 폐기물 관리법 시행규칙 제15조와 제18조에 일반폐기물의 관련기준이 있고 폐기물 관리법 시행령 27조와 시행규칙 제67조, 제68조에 특정폐기물의 관련기준이 있다 (국제환경문제연구소, 1994). 폐기물 매립시설에 관한 사항은 매립시설 주변에 사람이나 동물의 출입을 방지할 수 있는 대책마련과 통행량이 많은 지역에 매립시설임을 표시하는 표지판 설치, 옹벽이나 제방 등의 안전 설계와 시공, 중량 계기시설 설치, 지하수 검사정 설치, 빗물 배재시설 설치, 폐기물처리시설의 사용종료에 대한 사후관리 및 사후처리 등의 규정이다.

폐기물 매립시설물에 대한 시설설치기준은 매립시설의 일반 사항과 매립시설의 조성 및 설치 사항 그리고 매립시설의 사후관리 사항으로 분류하여 <부록 4>에 수록되어 있다.

나. 설치현황의 분석

모든 폐기물매립지는 법에 규정된 설계시설의 기준에 적합해야 한다. 설계기준은 간접오염과 기술적인 시설을 포함하고 있다. 우리나라의 폐기물매립지의 설계는 외국에서 사용하고 있는 설계와 근본적으로 같은 구조를 이루고 있다 <부록 9>.

이에 따라, 설치된 폐기물매립지는 이들 시설로에 의하여 발생할 수 있는 토양오염을 고려하고 있으나 매립시설의 측면, 바닥, 차수재료, 지하수 검사정의 설치규모 등에 대하여 외국의 폐기물매립지 시설기준과 비교할 때 미흡함이 보고된 바 있다 (배성렬 등, 1994; 한국재생공사, 1994).

4.1.2. 컴퓨터 모델에 의한 토양오염방지시설의 설치기준 분석

(1) 컴퓨터 모델의 개발

오염물질이 토양중에 침투되는 정도를 추정할 수 있는 컴퓨터 모델을 개발하여 도출된 결과를 토대로 하여 연구대상시설의 토양오염방지시설 설치기준을 설정하고자 하였다. 모델을 개발하는 과정에 관련된 이론적인 배경에 관해서는 <부록 10>에 수록하였다. 개발된 모델은 우리나라의 토양중 물질의 移流, 확산과 분산, 수착에 따라 오염물질의 흐름에 관한 메커니즘을 포함한 Advection-Dispersion 식으로서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R_f \frac{\partial C}{\partial t} + \nabla (v_i\ C) = \nabla D_i\ (\nabla C)$$

여기서 C는 수용액에서의 오염물질농도를 나타내고 D는 확산계수, t는 시간을 v_i는 i 방향의 Darcy속도를 나타내며 D_i는 i 방향의 확산계수로 hydro- dynamic dispersion coefficient를 나타낸다. 지하토양의 투수계수가 크면 Darcy 속도가 hydrodynamic dispersion coefficient보다 매우 증가하여 지하수의 전달현상은 Darcy 속도에 의해 지배를 받게 된다. 대부분의 지하토양의 투수계수에 의한 속도의 크기는 hydrodynamic dispersion coefficient의 크기보다 크므로 오염물질의 전달로 나타나는 농도는 토양의 투수계수와 오염물질의 수두(수위)에 의존하게 된다. 특정한 지역에서의 투수계수가 매우 적어 토양에서의 Darcy 속도가 hydrodynamic dispersion coefficient보다 매우 작으면 hydrodynamic dispersion coefficient에 있는 속도 항도 무시가 되어 오염물질의 전달현상은 유효확산에만 지배를 받게 되므로 오염물질의 이동은 일반적으로 매우 적게 일어난다.

지하에서의 확산계수는 순수한 물에서의 확산계수와 다르게 표현되는데 그 이유는 지하토양에 의해 확산이 방해를 받고 지하에 존재하는 물의 양은 토양의 공극

률에 의존하기 때문이다. 일반적으로 지하에서의 확산계수는 유효확산계수라 불리며 이는 물에서의 확산계수를 Tortuosity로 나누고 공극률을 곱한 형태로 나타나는데 전형적인 Tortuosity는 사암(Sandstone)에서 3부터 12.5까지 나타나고 있다. Millington과 Quirk (1961)는 사암에서의 유효확산계수와 물에서의 확산계수의 비(Ratio)는 공극률의 3/4 승에 반비례한다는 것을 실험적으로 입증한 바 있다.

균일성 포화토양에서 지연인자는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$R_f = 1 + \frac{\rho_b K_d}{\varepsilon}$$

여기서 R_f는 지연인자, ρ_b는 지하토양의 밀도, K_d는 분배계수 그리고 ε은 공극률을 나타낸다. 지하수 흐름과 전달현상에 적용되는 지연인자는 흡착이 일어나는 과정에서 이동하는 오염물질 중심부의 지연을 결정하는데 사용되어진다.

(2) 모델을 이용한 시설설치기준의 분석

개발된 모델을 이용하여 지하 및 지상탱크에서 유류 및 유해화학물질이 누출되었을 때, 오염물질의 종류별 물질의 이동 및 전달되는 과정을 토양환경보전시설로 설치될 수 있는 차수벽, 차수막 등의 종류에 따라 분석하였다.

가. 지하저장시설

지하탱크에서의 오염물질 이동 및 전달에 대한 결과를 도출하기 위하여 지하저장탱크의 크기는 일반적으로 설계되는 지하 2m 깊이에 설치되고 탱크의 크기는 높이가 3m, 길이는 8m 로 하였다. 차수벽의 간격을 일반적인 탱크크기의 절반정도로 설정하여 수직으로 1.5m, 수평으로 2m로 설정하였다. 지하저장탱크 주위에 차수벽을 설치하였을 경우의 수치해석을 위한 경계조건은 <그림 IV-4>에 나타내고 있다. 차수벽을 사용하였을 때의 수치해석 기본조건은 탱크 내의 유류수두는 탱크높이와 같은 3m, 차수벽의 두께 100cm, 차수벽의 투수계수 $1x10^{-7}$cm/s, 오염진행시간 30년, 그리고 수착은 일어나지 않는 경우로 이루어졌다. 개발된 모델에서 도출된 수치해석결과는 <부록 11>에 수록하였다.

<그림 IV-4>

나. 지상저장시설

지상탱크에서의 오염물질 이동 및 전달에 대한 결과를 도출하기 위하여 지상저장탱크의 크기는 일반적으로 설계되는 높이 20m-40m, 직경은 40m로 하였다. 차수벽의 간격을 일반적인 탱크크기의 절반 정도로 설정하여 수직으로 1.5m, 수평으로 2m로 설정하였다. 지상저장탱크 아래에 차수막을 설치하였을 경우의 수치해석을 위한 경계조건은 <그림 IV-5>에 나타내고 있다. 차수막을 사용하였을 때의 수치해석 기본조건은 탱크 내의 유류수두는 탱크높이와 비슷한 20m, 차수막의 두께 75cm, 차수벽의 투수계수 $1x10^{-7}$cm/s, 오염진행시간 30년 그리고 수착은 일어나지 않는 경우로 이루어졌다. 개발된 모델에서 도출된 수치해석결과는 <부록 12>에 수록하였다.

다. 폐기물매립지

폐기물매립지에서의 침출수 이동과 전달을 수치모델로 해석하기 위하여 가장 필요한 인자는 도수율이며 이를 김포 수도권 위생매립장에서 측정된 도수율(투수계수)인 $1x10^{-5}$cm/s를 평균도수율로 사용하였고(수도권 매립지 운영관리조합, 1993) 일반적으로 지표면에 가까운 지하토양의 도수율은 평균도수율보다 적어 지표면에서부터 1.5m까지의 토양도수율은 $2x10^{-4}$cm/s를 사용하였다. 매립지에서의 침출수 흐름을 수치모델로 해석하기 위하여 흐름이 가장 빠른 조건을 설정하였고 이를 위하여 함수율은 100%를, 흐름은 정상상태로 가정하였으며 매립지 내의 침출수 수위는 변화시켰고 매립지 밖의 수위는 0m로 가정하였다. 따라서 침수 이동에 대하여는 Laplace Equation으로 나타나는 2차원의 흐름 지배방정식을 사용하였고 침출수 내의 오염물질 전달에 대하여는 2차원의 Advection-Dispersion Equation을 사용하였으며 흐름 지배방정식과 Advection-Dispersion Equation으로부터 수두(수위)와 농도의 결과를 얻기 위하여 Galerkin Finite Element Method를 경계조건에 맞게 사용하였다 (이승희, 1991).

가) 연직차수막을 설치한 매립지

폐기물매립지에 설치하는 차수막에는 앞에서 언급한 바와 같이 연직차수막과 표면차수막으로 분류되며 차수막분류에 따라 침출수 내의 오염물질 이동과 전달현상

<그림 IV-5>

이 판이하게 달라 연직차수막을 사용하였을 경우와 표면차수막을 사용하였을 경우로 나누어 오염물질의 이동과 전달현상에 대한 수치해석의 결과를 구하였다. 연직차수막을 사용하였을 때의 매립지에서의 경계조건은 <그림 IV-6>에 나타나는 바와 같다. 연직차수막을 사용하였을 때의 수치해석 기본조건은 매립지 수두 1m, 차수막의 길이 3m, 차수막의 두께 50cm, 차수막의 투수계수 $1x10^{-7}$cm/s, 오염진행시간 30년 그리고 수착은 일어나지 않는 경우로 이루어졌다. 개발된 모델에서 도출된 수치해석결과는 <부록 13>에 수록하였다.

나) 표면차수막을 설치한 매립지

폐기물매립지 특히 특정폐기물을 매립하는 경우에는 표면차수막을 설치하여 침출수 내의 오염물질 이동과 전달현상을 차단하고 침출수를 수집하여 처리시설로 이송하게 된다. 표면차수재의 투수계수는 법적으로 $1x10^{-7}$cm/s 이하로 규정하고 있고 일반폐기물에서는 그 두께를 75cm로 하며 특정폐기물에서는 그 두께를 150cm로 규정하고 있다. 표면차수막을 사용하였을 경우, 오염물질의 이동과 전달현상에 대한 수치해석의 결과는 <그림 IV-7>에 나타낸 바와 같은 경계조건을 사용하여 구하였다. 표면차수막을 사용하였을 때의 수치해석 기본조건은 매립지 수두 3m, 차수막의 두께 75cm, 차수막의 투수계수 1x10-7cm/s, 오염진행시간 30년 그리고 수착은 일어나지 않는 경우로 이루어졌다. 개발된 모델에서 도출된 수치해석결과는 <부록 13>에 수록하였다.

4.2. 토양오염방지를 위한 시설 설치기준의 분석결과

4.2.1. 국내 토양오염방지시설의 설치현황 분석결과

유류저장시설 저장시설, 유해화학물질 저장시설, 폐기물매립지의 시설설치현황을 분석한 결과는 저장물질이 폐쇄된 시설에서 토양에 유입되지 않도록 제한할 수 있는 탱크시설(유류저장시설 저장시설, 유해화학물질 저장시설의 경우임)과 차수막시설(폐기물매립지의 경우임)에 대한 분석결과는 다음과 같다.

<그림 IV-6>

<그림 IV-7>

가. 유류저장시설

우리나라에서는 유류저장시설에서의 저장물질 유출이 통계적으로 보고된 바 없으나 우리나라의 유류저장시설설치기준과 미국, 영국 등의 통계수치를 토대로 할 때, 외국에서 발표된 유류의 누출사고와 유사할 것으로 추정된다. 이에 따라, 이들 시설로부터 환경을 보호할 수 있는 적극적인 시설설치가 요구되고 있다.

지하 및 지상저장탱크에 저장되고 있는 유류물질의 저장탱크는 자체의 구조적 설계인자와 탱크부식의 방지를 위한 설계인자가 반드시 고려되어 설치되어야 한다. 또한 누출된 유류와 유해화학물질이 감지될 수 있도록 토양오염의 철저한 감시를 위한 감지시스템(Monitoring System)이 반드시 설치되어야 할 것이다.

나. 유해화학물질 저장시설

우리나라에서는 유해화학물질 저장시설에 의하여 발생할 수 있는 토양오염을 고려하지 않았기 때문에 이들 시설에 대한 환경보전장치가 없었다. 그러나 우리나라의 유해화학물질 저장시설의 수는 본 연구보고서에 제시한 바와 같이 전국에 1613개의 탱크가 있으며 향후 저장시설의 수는 증가될 것으로 전망하고 있다. 이에 따라, 이들 시설로부터 환경을 보전할 수 있는 시설설치가 요구되고 있다. 유해화학물질 등이 저장되는 지상을 포함한 지하저장탱크에는 유류저장시설의 시설에는 제시한 바와 같이 탱크 자체의 구조적 설계인자와 탱크부식의 방지를 위한 설계인자가 반드시 고려되어야 한다. 또한 누출된 유류와 유해화학물질이 감지될 수 있도록 토양오염의 철저한 감시를 위한 감지시스템(Monitoring System)이 반드시 설치되어야 할 것이다.

다. 폐기물매립지

폐기물매립지에 사용되는 연직차수막은 사용재료에 따라 크게 점토, 시멘트, 벤토나이트 등을 이용한 자연산 차단재와 합성수지를 이용한 합성차수막 등으로 구분할 수 있는데, 현행 규정에 의해 자연산 차단재의 경우는 차수재료의 투수계수가 10^{-7}cm/sec 이하이어야 하며, 합성차수막으로 사용되는 재질은 주로 고밀도폴리에틸렌(HDPE)이며 두께 1mm이상이 되어야 한다. 고밀도폴리에틸렌을 차수막으로 사용하는 경우는 차수막의 투수계수가 매우 작아서 차수막의 시공상에 특히 차수막의 연결부위에 문제점이 없으면 오염물질의 이동과 전달이 나타나기 어려우므

로 시공시에 관리·감독이 철저히 이루어져야 할 것이다. 또한 합성차수막을 사용할 때의 다른 모든 설치기준은 자연차단재의 경우를 적용하면 될 것이다.

4.2.2. 모델의 운용에서 도출된 결과

모델의 운용에서 도출된 결과는 오염물질이 토양에 유입되었을 때 토양에서의 확산을 방지할 수 있는 차단시설에 중점을 두었다. 이에 따라 유류 및 유해화학물질 저장시설을 지하 및 지상저장시설로 분류하였다. 지하 및 지상저장시설별로 차단시설을 설치하였을 때 도출된 결과는 다음과 같다.

가. 지하 유류·유해화학물질 저장시설

지하저장탱크 주위에 차수벽을 설치하지 않은 경우 유류 및 유해화학물질 오염물질은 1년 후에 무차원농도(지하저장탱크 내의 농도로 나눈 농도)가 0.01이 되는 지점이 지하저장탱크로부터 6m를 넘고 있어 오염물질에 의해 지하토양이 쉽게 오염되는 것을 나타내고 있다. 지하저장탱크 주위에 차수벽을 설치하였을 경우 차수벽의 두께를 100cm 이상 설치하였을 경우에 동수위선과 오염물질의 농도가 지하저장탱크에 접근하고 있는 것을 보여주고 있고 차수벽의 두께를 150cm로 하였을 경우는 차수벽의 두께를 100cm로 한 결과와 거의 비슷하게 나타나서 차수벽의 두께가 100cm 이상이면 두께가 오염물질의 전달에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 유류 및 유해화학물질에 대한 차수벽의 두께를 100cm 이상으로 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

차수벽의 투수계수를 변화시켜 본 결과 차수벽의 두께를 변화시킨 경우보다 차수벽의 투수계수를 변화시킨 경우가 더 민감하게 오염물질의 이동과 전달에 영향을 주는 것으로 나타났다. 현재 차수막의 투수계수에 대한 규정인 $1x10^{-7}$cm/s과 투수계수 $5x10^{-8}$cm/s를 사용하였을 때의 농도분포는 약간의 차이를 나타냈으나 오염물의 분포가 유류 및 유해화학물질의 저장탱크에 밀접해 있어 현재의 규정인 $1x10^{-7}$cm/s이 차수벽의 투수계수로도 바람직하다고 판단된다.

차수재의 흡착능 또한 매우 중요한 인자이기 때문에 흡착능을 나타내는 분배계수에 의한 지연인자 (Retardation Factor)를 변화시켜 오염물질의 농도분포를 얻은 결과에서는 오염물질의 분배계수가 매우 작다고 하더라도 대부분의 오염물질이 30

년이 경과한 후에도 지하저장탱크의 차수벽으로부터 크게 벗어나지 못하고 있다. 따라서 차수재의 선택이 매우 중요하게 되고 이러한 자연차수재로서는 벤토나이트, 몬트모릴로나이트, 카올린나이트 그리고 석고 등이 있으나 경제성을 감안하여 차수재의 선택에 신중을 기하여야 할 것이다.

나. 지상 유류·유해화학물질 저장시설

지상저장탱크의 바닥에 차수막을 설치하지 않으면 탱크로부터 유류 및 유해화학물질이 유출될 경우 1년 후에서는 무차원농도(지하저장탱크 내의 농도로 나눈 농도)가 0.01이 되는 지점이 지상저장탱크의 외벽으로부터 18m에 다다르고 있어 오염물질에 의한 지하토양의 오염이 유발할 가능성이 높으므로 차수막은 반듯이 설치되어야 한다. 일단 차수막이 설치되면 오염물질의 이동과 전달이 어려워져 그 변화는 차수막의 두께변화에 의해 민감하지 않고 차수막의 두께는 75cm로 한 경우와 두께 100cm로 한 경우에 유류 및 유해화학물질의 이동과 전달은 거의 같아서 차수막의 두께를 75cm로 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

차수막의 투수계수가 감소함으로 인하여 오염물질의 분포가 매우 적어지고 있어 투수계수에 대한 영향이 매우 큰 것으로 나타나고 있다. 현재 차수막의 투수계수에 대한 규정인 $1x10^{-7}$cm/s와 투수계수 $5x10^{-8}$cm/s를 사용하였을 때의 농도분포는 많은 차이를 나타냈다. 지상저장탱크의 경우 유류와 유해화학물질의 수두가 매우 높아 투수계수에 대한 오염물질의 농도가 민감하게 변화되므로 현재의 투수계수 규정인 $1x10^{-7}$cm/s를 사용하는 것보다 투수계수 $5x10^{-8}$cm/s를 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

지상저장탱크 주위에서 지하토양의 수착으로 인하여 오염물질이 지연되는 영향은 다른 저장시설에서와 마찬가지로 오염물질의 분배계수가 매우 작다고 하더라도 그 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있었고 분배계수 K_d가 2.85ml/g이면, 대부분의 오염물질이 30년이 경과한 후에도 지상저장탱크의 차수막으로부터 크게 벗어나지 못하는 결과를 보여주고 있다. 따라서 앞에서 언급한 바대로 차수재의 선택에 신중을 기하여야 할 것이다.

다. 폐기물매립지

폐기물매립지에 연직차수막을 설치할 경우 차수막의 길이가 길어질수록 침출수

흐름 방지도 커지나 경제성을 감안하여 최소의 차수막 깊이로 최대한의 침출수 흐름방지를 할 수 있는 연직차수막의 길이는 3m로 하는 것이 가장 경제적인 것으로 나타나고 있으나 이 경우는 지표면에 가까운 거리(지표면에서부터 1.5m)에서의 투수계수가 지하토양의 평균투수계수보다 크다고 가정한 결과이므로 매립지를 조성할 때에 매립지의 지형을 충분히 조사한 후에 차수막의 길이를 설정하여야 할 것이다. 현행법규에 의하면 자연차단재를 이용한 단일차수막을 사용하는 경우 75cm 이상의 두께로 차수막을 설정하여야 한다고 규정하고 있고 수치해석의 결과도 차수막의 두께를 크게 할수록 오염물질의 전달이 감소되고 있으나 75cm이상의 두께로 차수막을 설정하면 오염물질 전달의 방지에 바람직하다고 판단된다. 차수막의 위치는 가능하다면 매립지 제방의 안쪽 가까이에 설치하는 것이 오염물질의 이동과 전달을 방지하고 오염되는 지역도 최소로 줄일 수 있기 때문에 가장 바람직하다고 판단된다.

연직차수막의 재질은 시공상에 문제점이 없어야 하며 폐기물의 중압에 견딜 수 있는 압축강도를 지녀야 한다. 이 강도는 미국규정으로 50psi 이상으로 되어 있으며 현행 국내규정으로는 차단형 매립시설을 설치하는 경우 210kg/cm^{2}로 되어 있다. 연직차수막의 투수계수는 국내에서 현재 사용하고 있는 규정인 1x10^{-7}cm/s이하를 사용하여도 별 무리가 없으나 독일에서 사용하고 있는 규정인 5x10^{-8}cm/s이하를 사용하면 오염물질의 전달을 더 더욱 둔화시켜 토양오염지역을 줄일 수 있다. 매립지에서 침출수의 수두(수위)는 현행규정으로 30cm로 규정되어 있으나 매립지에서의 수두는 매립지형에 의해 변화되고 있어 별 의미는 없으나 수두가 높아짐에 따라 수직적으로 오염물질이 증가되고 있어 가능한 침출수의 수두를 줄어주는 것이 바람직하므로 연직차수막과 관련되게 침출수 집·배수 설비를 설치하여 침출수를 처리시설로 이송하여야 한다.

매립지에서는 다짐과 복토에 의해 흡착능을 향상시킬 수 있어 다짐과 복토를 철저히 수행하면 오염물질의 전달을 매우 감소시킬 수 있다. 흡착능을 나타내는 분배계수 K_d(2.85ml/g)가 매우 작다고 하더라도 대부분의 오염물질이 30년이 경과한 후에도 매립지 근처에서 벗어나지 못하고 매립지 내의 지역에만 영향을 주고 있어 그 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 현재 토양환경 오염물질로 지정되어 있는 독극성 물질인 PCBs의 경우 분배계수 K_d가 10,000ml/g이상으로 나타나고 있어 이러한 물질은 대부분 매립지 내의 지하토양에 머물러 있다.

표면차수막으로 매립지 바닥에 합성차수막을 설치할 때는 이음매부분의 확실한 접합을 점검하여 차수성을 확인하여야 할 것이다.

본 연구의 결과로부터 매립지에 표면차수막을 설치할 경우 표면차수막의 두께가 증가할수록 오염물질의 이동과 전달을 둥화시켜 영향을 주고 있으나 차수막을 75cm이상의 두께로 차수막을 설정하면 오염물질 전달의 방지에 바람직하다고 판단된다. 그러나 표면차수막을 설치하는 경우에는 특정폐기물을 매립하는 경우가 많아 특정폐기물 매립지에서의 차수막의 두께는 침출수의 이동이 거의 없어야 하므로 차수막의 두께가 150cm이상이 되어야 바람직하다고 판단된다. 연직차수막과 마찬가지로 차수막의 재질은 시공상에 문제점이 없어야 하며 폐기물의 중압에 견딜 수 있는 압축강도를 지녀야 한다. 표면차수막의 투수계수는 국내에서 현재 사용하고 있는 규정인 $1x10^{-7}$cm/s이하를 사용하여도 별 무리가 없으나 차수막의 투수계수에 따라 오염물질의 이동이 민감하게 변화되고 있어 $5x10^{-8}$cm/s이하를 사용하면 오염물질의 이동과 전달을 더 더욱 지연시켜 토양오염지역을 줄일 수 있다. 수치해석의 결과로부터 표면차수막을 설치할 경우에 차수막의 두께보다 차수막의 투수계수가 침출수의 흐름에 영향을 크게 미치고 있음을 알 수 있다. 매립지에서 침출수의 수두(수위)는 수두가 높아짐에 따라 수직적으로 오염물질의 이동과 전달이 증가되고 있어 가능한 침출수의 수두를 줄어주는 것이 바람직하고 매립지 바닥에 침출수 집·배수 설비를 설치하여 침출수를 처리시설로 이송하여야 한다. 연직차수막을 설치했을 경우와 마찬가지로 흡착능을 나타내는 분배계수 K_d(2.85 ml/g)가 매우 작다고 하더라도 대부분의 오염물질이 30년이 경과한 후에도 매립지 근처에서 벗어나지 못하고 매립지 내의 지역에만 영향을 주고 있어 그 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있었다.

4.3. 토양오염방지를 위한 시설의 설치기준 제안

유류저장시설, 유해화학물질 저장시설, 폐기물매립지를 대상으로 토양오염방지를 위한 시설 설치기준의 분석결과 다음과 같은 토양오염방지시설의 설치기준을 제안할 수 있다.

(1) 유류저장시설

토양오염방지를 위한 시설의 설치기준은 시설에 따라 조금씩 다르게 나타나고 있으나 대부분이 현행 설치기준에 준하면서 그 지역의 토양특성 및 지형에 맞도록 설치하여야 할 것이다.

유류를 저장하는 지하탱크시설은 두께 3.2mm이상의 강철판 또는 FRP로 틈이 없도록 제작하여야 하며, 비파괴시험 또는 수압시험을 실시하여야 한다. 또한 탱크전용실에 설치하는 탱크의 외면에 두께 1cm 이상의 방청 및 아스팔트도장을 한 후 그 위에 부식방지를 위해 두께 2cm이상의 몰탈을 도장해야 하며 다시 두께 3mm 이상의 유리섬유강화플라스틱 또는 고밀도폴리에틸렌으로 피복하여 이중벽 구조로 해야한다. 탱크자체에 누유검사를 할 수 있는 누유검사관을 부착하여야 한다. 누유검사관의 재료는 금속관 또는 경질합성수지관으로 하여야 하며 관은 탱크자체의 이중벽 사이의 최저부에 닿게 하여야 한다. 또한 오염방지를 위해 이중차단지를 조성하여야 하며 그 수용능력의 100%보다 크게 하여야 한다. 지하저장탱크에서의 차수벽에 대한 수치해석 결론은 지하저장탱크의 경우 차수벽의 두께를 100cm 이상으로 설치하고 현재의 규정인 $1x10^{-7}$cm/s이 차수벽의 투수계수로도 바람직하다고 판단된다.

(2) 유해화학물질 저장시설

유해화학물질을 저장하는 저장탱크시설은 유류저장시설의 설치기준으로 제안된 사항을 적용할 수 있으나, 저장되는 화학물질의 적합성에 따라 용기의 재질과 두께가 바뀌어야 한다. 또한, 지상저장탱크에서는 점검능력/실험능력으로 지상의 탱크와 파이핑 그리고 이중차단 내부를 전기적인 습도감지기와 같은 표준누출감지시스템을 사용하여 오염물질이 유출될 때마다 쉽게 감지될 수 있게 해야 한다. 지상저장탱크에서의 차수벽에 대한 수치해석 결론은 지상저장탱크의 경우 차수벽의 두께를 75cm 이상으로 설치하나 차수막의 투수계수는 현재의 규정인 $1x10^{-7}$cm/s보다 약간 적은 $5x10^{-8}$cm/s로 하는 것이 바람직하다. 차수재는 흡착능이 뛰어난 물질을 사용하여야 하며 오염물질의 이동과 전달에 막대한 영향을 미칠 수 있다. 이에 따라, 차수재로 이용할 수 있는 벤토나이트, 몬트모릴로나이트, 카올린나이트, 석고 등에 대한 경제성을 감안하여 차수재 선택에 신중을 기하여야 할 것이다.

(3) 폐기물매립지

매립시설에서 침출수의 유출을 방지하기 위하여 매립시설의 측면 및 바닥은 폐기물의 성상 매립높이 등을 감안하여 점토, 고밀도폴리에틸렌 등의 차수재료를 사용하여 차수막 시설을 설치하여야 한다. 고밀도 폴리에틸렌 또는 이에 준하는 재질의 합성수지를 사용하는 경우 두께 1mm 이상의 것을 2겹 이상 (일반폐기물의 경우 1겹 이상) 설치하여야 하며, 라이너 사이에는 부직포를 이용하여 보호층을 두고 차수재 상·하부는 30cm 이상의 점토 등을 포설하여야 하며 점토, 벤토나이트 등 점토류를 사용하는 경우는 1.5m (일반폐기물의 경우 0.75m) 이상의 두께로 포설하여 투수계수가 $1x10^{-7}$cm/s 이하가 되도록 하여야 한다. 폐기물 매립으로 인한 침출수가 발생되는 경우에는 지하수오염 여부를 확인할 수 있는 지하수 검사정을 매립시설 주변에 4개소 이상을 설치하여야 하며 검사정의 수질검사 또는 해수수질검사는 당해 매립시설의 사용개시 신고일 2개월 전부터 사용개시 신고일까지의 기간 중에는 월 1회 이상, 사용개시 신고일 이후부터는 분기 1회 이상 각각 실시하여야 한다.

폐기물매립지에서의 차수막에 대한 수치해석 결론은 연직차수막의 길이를 3m로 하는 것이 바람직하나 매립지의 지형을 충분히 조사한 후에 차수막의 길이를 설정하여야 할 것이다. 차수막의 두께는 자연차단재의 경우 현행 단일차수막에서와 같이 75cm이상의 두께로 차수막을 설치하고 표면차수막의 두께는 일반폐기물 75cm, 특정폐기물 150cm로 하는 것이 바람직하고 투수계수는 국내에서 현재 사용하고 있는 규정인 $1x10^{-7}$cm/s이하를 사용하여야 바람직하다고 판단된다. 또한 차수막의 위치는 가능하다면 매립지 제방의 안쪽 가까이에 설치하는 것이 오염물질의 이동과 전달을 방지하고 오염되는 지역도 최소로 줄일 수 있기 때문에 가장 바람직하다고 판단된다.

5. 토양보전대책지역의 지정체계 및 지정방법의 수립

5.1. 토양보전대책지역의 지정체계 수립

토양오염을 판단하는 기준농도 이상으로 오염물질이 축적되어 있는 토양은 오염물질의 농도를 토양오염을 판단하는 기준농도 이하로 유지할 수 있도록 처리하여야 한다. 오염된 토양을 처리하기 위하여 해당되는 면적의 합리적이고 체계적인 지정이 필요하며 토양환경보전법(1995. 1. 5 제정)에서는 오염토양의 처리가 필요한 지역을「토양보전대책지역」으로 설정하고 있다.

토양환경보전법에 의하면 토양보전대책지역을 세가지 동기에 의하여 설정할 수 있다. 첫째, 토양오염도 상시측정체계의 운영결과, 토양중 오염물질의 농도가 토양오염판단기준을 초과한 지역이다. 둘째, 토양중 오염물질의 농도가 토양오염대책기준을 초과하지 않으나 시·도지사가 관할구역중 특히 토양보전이 필요하다고 인정하는 지역으로 시·도지사의 요청에 의하여 관계 중앙기관의 장과의 협의가 된 지역이다. 셋째, 토양중 오염물질의 농도가 토양오염대책기준을 초과하지 않으나 환경부장관의 요청에 따라 환경부「토양분과위원회」의 심의에 의하여 오염토양의 처리가 필요하다고 인정하는 지역이다. 세가지 동기에 의하여 지정될 수 있는 토양보전대책지역은 해당지역을 건전한 토양환경을 유지하는 외부지역과 격리하여 해당지역으로부터 사람 및 동·식물을 보호하고, 오염된 토양에서 오염물질의 농도를 토양을 이용할 수 있는 목표농도 이하로 오염물질을 제거 또는 처리하여야 한다.

토양환경보전법에 제시되어 있는 토양오염대책지역의 지정체계는 토양오염대책지역을 지정할 수 있는 체계의 적합한 시작동기를 제시하고 있다고 판단된다. 특히 토양중 오염물질의 농도가 토양오염대책기준을 초과하지 아니할 경우라도 시·도지사 또는 환경부장관이 판단할 때 토양의 처리가 필요한 지역에 대해서는 시·도지사 및 환경부장관의 요청에 의하여 해당지역을 토양보전대책지역으로 지정할 수 있도록 함으로써 지역의 특이성을 고려하고 있다. 이경우에는 시·도지사에 의한 토양보전대책지역 지정체계는 관할 시·도지사가 해당지역의 오염분포 도면을 첨부하여 제출함으로써 토양보전대책지역으로 지정할 수 있도록 되어 있다. 또한, 환경부장관의 요청에 의한 토양보전대책의 선정은 환경부 토양분과위원회에서 환경부장관이 요청한 지역을 심의하여 통과할 경우에 한하여 토양보전대책지역으로

지정할 수 있도록 제시함으로써 토양오염판단기준의 유연성을 높일 수 있는 방법이라 할 수 있다.

토양환경보전법에 제시되어 있는 토양오염대책지역의 지정체계는 토양오염대책지역을 지정할 수 있는 체계의 세가지 동기를 토대로하여 토양오염대책지역을 지정할 수 있는 다음체계가 발전되어야 한다. <그림 IV-8>는 토양오염대책지역의 시작동기를 연차적으로 진행하여 토양오염대책지역이 지정될 수 있는 완결된 토양오염대책지역의 지정체계(안)이다. 이 체계도에 따라 토양오염대책지역이 지정되기 위해서는 체계도의 각 연결부위별로 적합한 절차를 거쳐야 할 것이다. 기술한 절차에 대해서는 토양오염대책지역의 지정방법에 제시하였다.

5.2. 토양보전대책지역의 지정방법

<그림 IV-8>에 제시되고 있는 지정체계를 혼란없이 실행하기 위하여 실행전에 토양보전대책지역의 지정방법이 설정되어야 한다. 토양보전대책지역의 지정체계는 추진과정에 따라 토양오염우려지역의 조사단계, 토양오염우려지역의 정밀조사단계, 토양보전대책지역의 선정단계로 3등분하여 세부적인 지정방법을 고려할 수 있다.

5.2.1. 토양오염우려지역의 조사

토양보전대책지역을 선정하기 위한 시작단계는 토양오염우려지역의 파악으로 토양오염우려지역을 파악하기 위해서는 토양중 오염물질이 축적될 수 있는 지역의 조사가 선행되어야 한다. 토양중 오염물질이 축적될 수 있는 지역을 파악하기 위한 방법으로 1987년 이후 1995년 현재까지 운영되고 있는 토양측정망이 있으며, 향후 토양측정망을 확장한 토양오염도 상시측정체계와 토양오염유발시설 인근지역의 토양오염도 상시조사체계가 계획되고 있다. 전국적으로 토양오염우려기준이상으로 오염물질이 토양에 축적된 상태를 파악하기 위한 접근방법으로는 운영되고 있는 토양측정망, 향후 계획되고 있는 토양오염도 상시측정체계와 토양오염유발시설 인근지역의 토양오염도 상시조사에서 도출되는 자료의 이용이 현실적이고 합리적이라 할 수 있다.

<그림 IV-8> 토양보전대책지역의 지정체계(MacDraw)

토양오염우려지역의 조사방법으로 토양측정망, 토양오염도 상시측정체계, 토양오염유발시설 인근지역 토양오염도측정체계의 운영에 관한 책임자와 책무가 구분될 필요가 있다. 첫째, 1987년 이후 1995년 현재까지 운영되고 있는 토양측정망에서 도출된 토양오염우려기준 이상으로 판정된 지역의 토양보전대책 지정체계이다. 기존에 운영되고 있는 토양측정망의 결과에 의한 토양오염우려기준으로 판정된 지역에 한해서는 환경부장관이 관할 시·도지사에게 통보함으로써 관할 시·도지사의 책임하에 정밀조사를 실시하도록 하여야 한다.

둘째, 계획되고 있는 토양오염도 상시측정체계에서 도출된 결과에 의하여 토양오염우려기준 이상으로 조사된 지역의 정밀조사 체계이다. 이에 대해서는 본 연구보고서의 <토양오염도 상시측정체계의 수립>에서 제시한 바와 같이 중앙측정체계의 운영에 따른 토양오염우려기준 이상으로 판정된 지역에 대해서는 운영주체인 환경부 장관이 관할 시·도지사에 통보함으로써 시·도지사가 해당지역의 토양정밀조사를 추진하여야 한다. 시·도지사가 관할하고 있는 지방측정체계는 동 측정체계의 운영에 따라 도출된 결과에 의하여 토양오염우려기준 이상으로 판정된 지역은 관할 시·도지사가 해당지역의 토양정밀조사를 추진하여야 한다.

셋째, 향후 지정될 토양오염유발시설에서 배출되는 오염물질에 의하여 인근지역이 토양오염우려기준 이상으로 조사될 수 있는 지역의 정밀조사 체계이다. 토양환경보전법의 제11조(토양오염유발시설의 신고 등)에 의하면「①토양오염유발시설을 설치하고자 하는 자는 대통령령이 정하는 바에 따라 당해 시설의 내용, 제2항의 규정에 의한 토양오염방지조치에 대한 계획을 관할 시·도지사에게 신고하여야 한다. 신고한 내용을 변경하고자 할 때에도 또한 같다. ②토양오염유발시설의 설치자(당해 시설을 운영하는 자를 포함한다. 이하 같다)는 대통령령이 정하는 바에 따라 토양오염을 방지하기 위한 시설의 설치 등 필요한 조치(이하 “토양오염방지조치”라 한다)를 하여야 한다. ③토양오염유발시설의 설치자는 대통령령이 정하는 바에 따라 정기적으로 총리령이 정하는 토양 관련 전문기관으로부터 당해 시설의 부지 및 그 주변지역(토양오염의 우려가 있다고 인정되어 총리령이 정하는 지역을 말한다. 이하 같다)에 대한 토양오염검사를 받아야 한다. ④토양오염유발시설의 설치자는 제3항의 규정에 의한 검사결과 등 총리령이 정하는 사항을 기재한 기록부를 비치하여야 한다」고 명시되어 있다. 동법의 제11조의 규정에 따라 토양오염유발시설을 설치하고자 하는 사람은 토양오염을 방지할 수 있는 시설을 설치하도

록 되어 있다. 이에 따라, 시·도지사가 관할하고 있는 지역이 토양오염유발시설에 의하여 토양오염우려기준 이상으로 토양이 오염될 경우, 관할 시·도지사가 해당 지역의 토양정밀조사를 추진하여야 할 것이다.

5.2.2. 토양정밀조사

토양정밀조사는 토양중 오염물질의 농도가 토양오염우려기준을 초과하는 지역에 대해서 토양중 오염물질이 사람의 건강한 생활과 동식물의 생육, 이로 인한 사람의 재산권에 손해를 입힐 수 있는 여부를 판단할 수 있는 실험적인 진단방법이라 할 수 있다.

정밀조사를 실시함에 있어 선행되어 결정되어야 하는 필수사항으로는 정밀조사를 실시할 수 있는 토양분석 전문기관(이하 '전문기관'이라 함)의 설정이다. 전문기관은 토양중 오염물질을 국가 또는 환경부에서 제시하는 전문인력, 검사시설, 장비, 분석방법에 의하여 분석할 수 있는 국가기관 또는 비영리단체를 대상으로 환경부에서 이를 설정해야 한다. 우리나라에서 토양시료에서 오염물질을 분석할 수 있는 전문기관으로는 국립환경연구원, 환경관리청, 환경관리공단, 한국자원연구소, 한국표준과학연구소, 한국과학기술원, 시·도 보건환경연구원, 농업과학기술원, 임업연구원, 대한광업진흥공사, 농어촌진흥공사 등 다수의 국가연구기관이 각 부처별로 실험기자재와 전문인력을 보유하고 있다. 토양분석 전문기관을 설정할 때 선정된 전문기관을 대상으로 전문기관별로 토양중 오염물질을 통제된 QC(Quality Control)·QA(Quality Assurance)의 지속적인 실시와 환경부에서 QA·QC를 지속적으로 감시할 수 있는 체계에 대한 조사작업이 필요하다.

전문기관의 QC·QA에 관한 철저한 통제는 토양의 정밀조사 단계부터 오염토양의 처리단계까지 지속적으로 이루어져야 한다. 1981년 영국의 경우는 분석에 관한 정확한 QA를 달성하기 위하여 BS5750에 의한 분석지침을 제시한 바 있다. QA를 달성하기 위하여 BS5750에서는 주요한 7가지 사항에 관련된 점검은 다음 15가지로 제시하고 있다 <표 IV-76>. 환경부에서는 이를 참고하여 우리나라 실정에 적합한 QA체계를 향후 설정해야 한다.

<표 IV-76> Quality assurance를 달성하기 위한 BS5750의 점검사항

항목	세부지침
Quality system	-분석과정이 검사 및 점검기준에 적합하도록 세분화되어 제시되어 있는가? -분석결과에서 제시되는 자료의 신뢰한계기준을 제시하고 있는가?
Inspection representative	-분석자료의 결과에 대한 책임자(개인)가 제시되어 있는가? -책임자에게 요구되는 분석에 필요한 권한, 시간, 보조원, 기구들이 주어져 있는가?
Control of inspection and testing equipment	-사용되는 실험기구 및 분석기기의 실험분석오차가 제시되어 있는가? -분석기기의 정기적인 calibration을 하고 있는가? -실험책임자가 분석기기의 실험분석오차와 정기적인 calibration을 점검할 수 있도록 되어 있는가?
Records	-분석에 의하여 제시된 자료가 주기적으로 점검하는 자료와 일반적으로 제시된 자료와 비교할 수 있을 정도로 적정하게 분석되었는가? -분석된 각각의 측정값에 신뢰한계가 포함되어 있는가? -분석에서 제시된 자료값에 가중치를 부여할 필요가 있는가?
Sampling procedures	-시료의 채취·실험분석방법이 제시되어 있는가? -제시된 시료의 채취·실험분석방법은 토양의 확인·처리·복원기간중 동일한가? -제시된 시료의 채취·실험분석방법은 설정하고 있는 목표를 달성할 수 있을 정도의 신뢰성이 있는가?
Control of non-conforming materials	-Non-conforming material(NCM:제시된 실험분석방법 및 절차에 해당되지 않는 재료)가 명시되어 있는가? -NCM에 대한 추가작업이 필요할 경우, 설정한 실험방법에 의하여 분석된 자료와 동일하게 취급될 수 있는가?
Training	-실험분석에 참여하는 모든 실험자가 필요한 실험방법 및 기준에 대해서 충분하게 숙지하고 있는가?

토양오염도 정밀조사는 토양오염도 상시측정체계와 토양오염유발시설의 토양오염도 측정시 오염물질이 토양오염우려기준을 초과하는 지역을 대상으로 두가지 방법에 의한 시작을 고려할 수 있다. 첫째는, 중앙측정체계의 운영에 의한 토양오염우려기준을 초과하는 지역의 토양오염도 정밀조사이다. 이는 환경부장관에 의하여 시작되는 방법으로 중앙정부가 관할하고 있는 중앙측정체계의 결과에 의하여 토양오염우려기준 이상으로 오염물질이 토양에 축적되어 있는 지역이 확인되면 환경부장관이 시·도지사에 통보함으로써 토양정밀조사가 시작되는 방법이라 할 수 있다. 둘째는, 시·도지사에 의하여 시작되는 방법으로 계획되고 있는 지방측정체계와 토양오염유발시설의 토양오염도 측정을 관할하고 있는 시·도지사는 운영체계에서 도출되는 토양오염도 자료를 근거로 하여 토양정밀조사를 시작하는 방법이다. 두가지 방법의 경우, 관할 시·도지사에 의하여 토양정밀조사가 시작된다.

토양정밀조사에 사용되는 비용은「오염원인자 부담원칙」을 적용하여 한다. 그러나 토양오염의 경우는 오염원인자가 분명할 때와, 분명하지 않을 때, 또는 오염에 대한 책임자가 없는 경우가 있다. 현재 가용되고 있는 토양오염유발시설에서 오염물질이 배출되어 토양을 오염시킨 경우는 오염원인자가 분명하다. 이러할 경우는「오염원인자 부담원칙」에 의하여 오염물질을 토양에 배출함으로써 토양환경을 훼손한 사람에게 비용부담을 할 수 있는 방법으로 토양의 정밀조사가 실시되어야 한다. 그러나, 오염원인자가 불분명하거나 또는 오염에 대한 책임자가 없는 폐광된 금속광산지역의 경우는 관할 지역의 시·도지사가 토양정밀조사를 실행하는 책임자가 되어야 할 것이다.

5.2.3. 토양오염상태의 확인

토양의 정밀조사에 의하여 두가지 결과를 예측할 수 있다. 첫째, 조사된 토양중 오염물질의 농도가 토양오염우려기준을 초과하나 토양오염대책기준을 초과하지 않는 지역의 경우이다. 이러할 경우는, 오염토양에서 오염물질을 제거 또는 분해 등에 따라 오염물질의 토양중 농도를 낮춰야 하는 오염토양처리대책이 필요한 지역은 아니라고 할 수 있다. 따라서, 해당지역을 오염지역으로 지정하는 것은 불필요한 일이나, 향후 오염물질이 축적되어 토양오염대책기준을 초과할 가능성이 있는 지역에 대해서는 토양상태의 지속적인 감시체계를 설정해야 할 지역이다.

두번째, 조사된 토양중 오염물질의 농도가 토양오염대책기준을 초과하는 경우를

예측할 수 있다. 정밀조사에 의하여 오염물질이 토양오염대책기준 이상으로 축적되어 있을 경우는 토양의 다기능성에 의한 토양오염대책기준을 재평가하여야 한다. 토양의 다기능성에 의하여 토양의 다른 이용·용도별로 토양중 오염물질의 농도를 토양오염대책기준 비교·검토 후, 토양의 이용·용도를 변경할 경우 오염물질의 토양중 농도가 토양오염대책기준 이하로 유지될 수 있는가에 초점을 두어야 한다. 예를 들면, 산업지역, 주거지, 농경지의 토양오염대책기준이 토양의 이용·용도별로 다를 경우, 농경지에서 산업지 또는 주거지로 토양의 이용용도를 변경시킬 수 있는 가능성을 고려하여야 하며, 또한 해당지역 토양의 이용용도 변경이 가능할 지역인가를 결정해야 한다. 토양의 이용용도 변경이 가능하여 해당지역의 이용용도를 변경하였을 경우, 향후 오염물질이 축적되어 토양의 용도변경에 따른 토양오염대책기준을 초과할 가능성이 있는 지역에 대해서는 토양상태의 지속적인 감시체계를 설정해야 한다.

오염물질이 토양오염대책기준 이상으로 토양에 축적되어 있거나 또는 토양의 용도변경이 가능하지 않을 때에는 토양중 오염물질을 제거하거나 또는 오염물질의 농도를 토양오염대책기준 이하로 낮출 수 있는 오염토양의 처리를 실행하여야 한다. 오염물질이 토양에 이동·확산된 면적이 소규모이고 오염물질의 처리가 짧은 기간(약 1주일 정도)중에 조속히 이루어 질 수 있을 때는 해당지역을「토양보전대책지역」으로 지정하기보다는 빠른 기간중에 오염물질을 처리함이 편리할 것이다. 토양중 오염물질을 조속히 처리할 수 없을 경우는 해당지역을「토양보전대책지역」으로의 지정을 추진해야 한다.

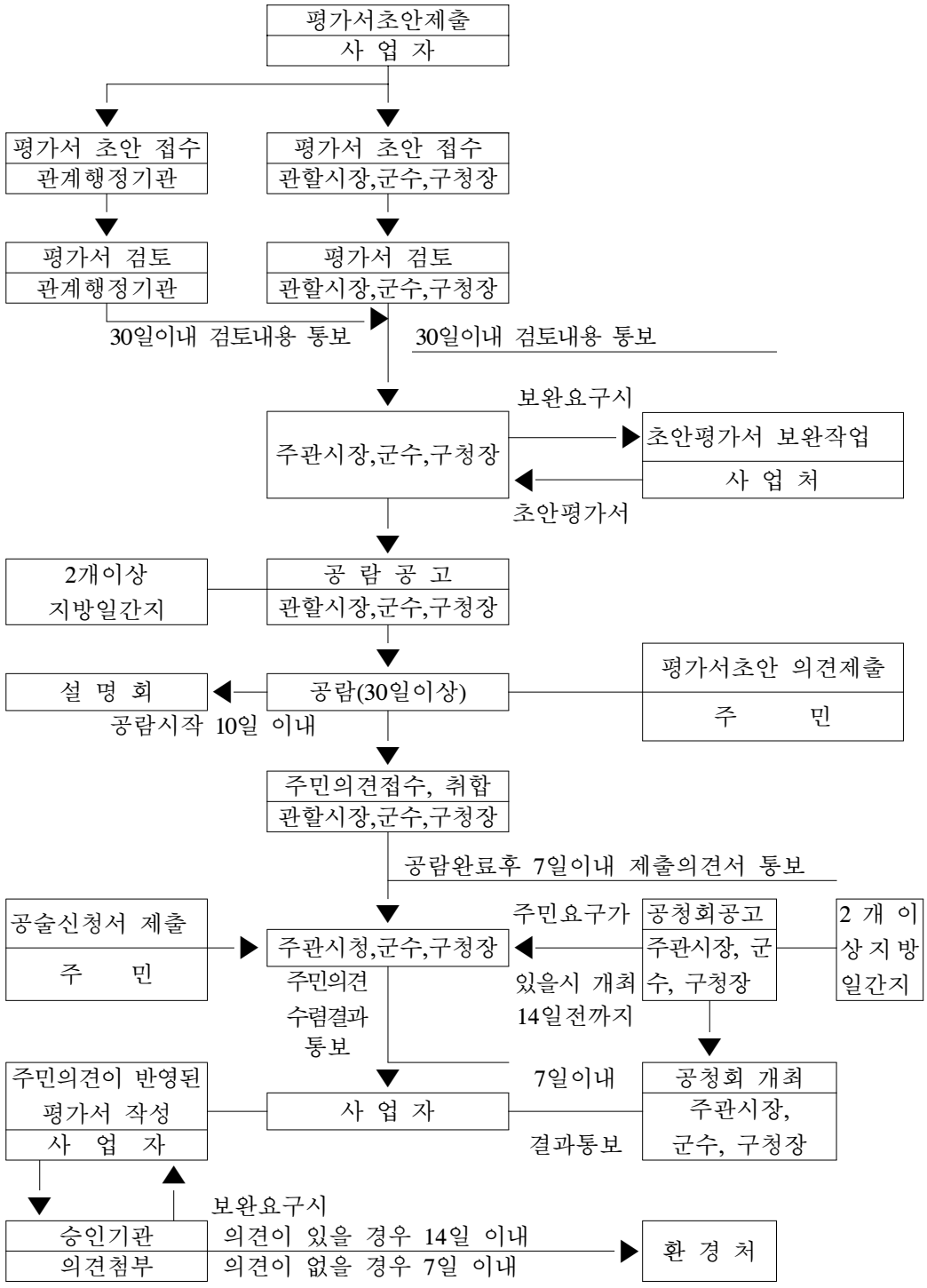
5.2.4. 주민의견의 수렴

토양중 오염물질의 농도가 토양오염대책기준을 초과하는 지역이 조사되면 토양보전대책으로 추진함에 있어 이를 주민에게 공개함으로써 관련 행정기관이나 영향권내 주민들의 의견을 수렴하는 절차가 필요하다. <그림 IV-8>의 토양보전대책지역의 지정체계도에서는 제시되어 있지 않으나 주민의견의 수렴단계는 정밀조사에 의하여 오염물질이 토양오염대책기준이상으로 축적되어 있는 것인 확인된 다음 단계로 토양의 이용·용도별 변경이 가능한 지역인가에 대한 질문사항에 대하여 주민의견이 수렴되어야 한다. 또한 환경부장관과 시·도지사에 의한 토양보전대책으로의 지정의 경우도, 해당지역의 영향권내 있는 주민과 관련 행정기관의 의견을 수

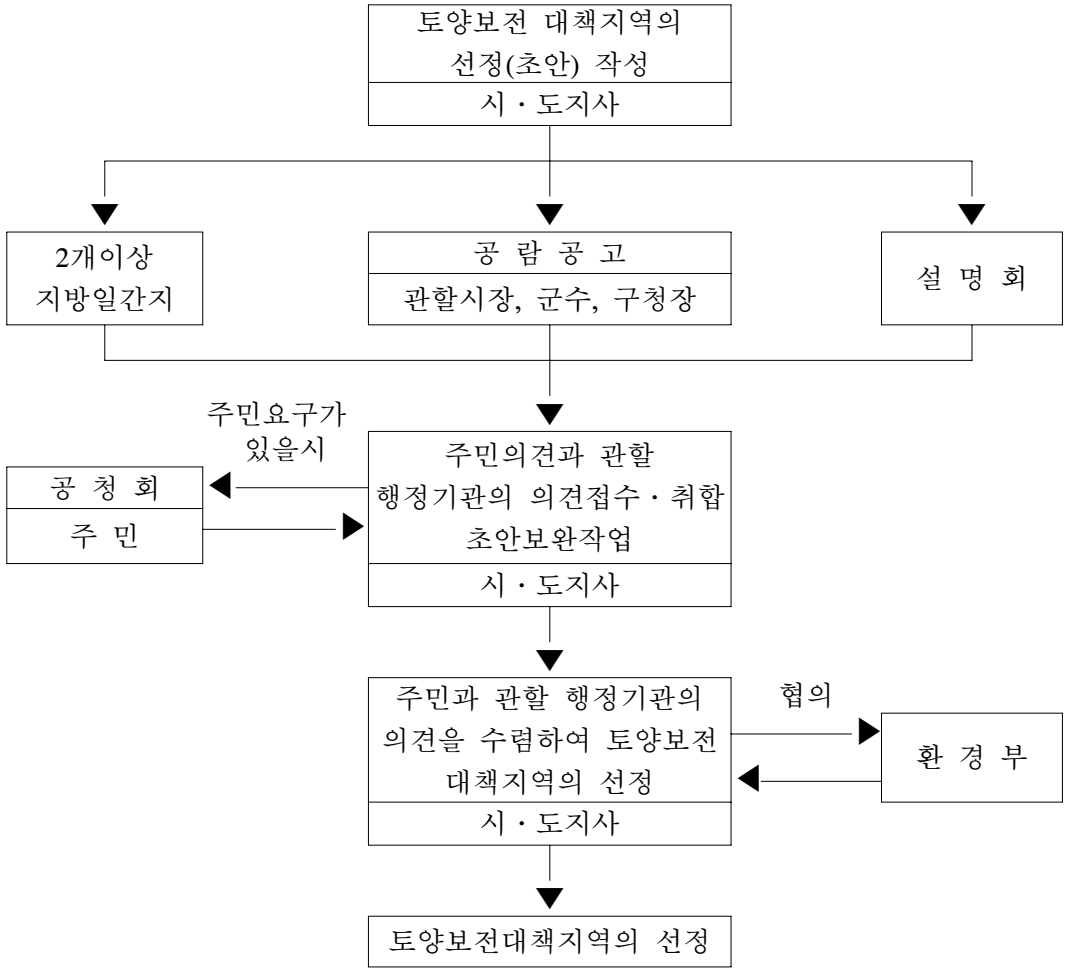
렴하는 절차가 필요하다.

주민의견의 수렴절차를 체계적으로 제시하기 위하여 매립지의 환경영향평가에 포함된 주민의견 수렴절차를 기초자료로 사용하였다. 환경영향평가법에 의하면 매립지의 환경영향평가를 실시한 후 환경영향평가서 초안이 작성되고 이를 토대로 시행기관의 장이 2개 이상의 지방일간지에 공람공고를 내고 30일 이상의 공람기간을 거치게 되어 있다. 공람이 시작한 지 10일 이내에 설명회를 개최해야 하며 공람완료 후 7일 이내에 주민의 의견을 취합하여 환경영향평가 대행기관에 제출하며 주민의 공술신청서 접수와 동시에 주민의 요구가 있으면 공청회를 실시하도록 되어 있다 <그림 IV-9>.

주민의견과 관련 행정기관의 의견수렴은 현실성 있는 토양보전대책지역을 지정함에 있어 필요한 절차라 할 수 있다. 폐기물 처리시설 주위의 주민의견 수렴절차 체계도를 토대로 하여 토양보전대책지역 지정을 위한 주민과 관련 행정기관의 의견 수렴체계를 구상하였다. 토양보전대책지역의 지정(초안)이 시·도지사에 의하여 작성이 되어야 한다. 토양보전대책지역의 지정(초안)에는 당해지역의 위치, 토양오염물질의 종류·분포·깊이와 면적, 환경피해 예측정도, 지정년·월·일, 지정목적 등이 포함되어야 할 것이다. 토양보전대책지역의 지정(초안)은 관할시장, 군수, 구청장에게 초안에 관한 공람을 공고하고, 2개 이상의 일간지에 보도하며, 이에 관한 설명회를 필요로 할 것이다. 토양보전대책지역의 지정(초안)에는 당해지역의 위치, 토양오염물질의 종류· 분포와 면적, 환경피해예측정도, 지정년·월·일, 지정목적 등이 포함되어야 할 것이다. 시·도지사는 관계 행정기관의 공람과 설명회에서 도출된 의견을 접수, 취합하여야 하며 토양보전대책지역의 지정(초안)을 보완하여야 한다. 이 때, 주민들의 요구가 있을 시에는 공청회를 개회하여 주민들의 의견을 합리적으로 토양보전대책지역의 지정시 반영할 수 있도록 해야 한다. 이로부터 선정된 토양보전대책지역(수정안)에 대하여 환경부와의 협의를 거쳐 최종안을 작성하고 지정된 토양보전대책지역에 대하여 이로부터 영향을 받는 주민에게 공포하여야 한다 <그림 IV-10>.



<그림 IV-9> 폐기물 처리시설 주위의 주민의견 수렴절차



<그림 IV-10> 토양보전 대책지역 선정을 위한 주민과 관련 행정기관의 의견수렴체계

5.2.5. 토양보전대책지역의 복원계획 수립

토양보전대책지역이 지정되면 해당 시·도지사는 대책지역의 토양보전대책을 위한 계획(이하 “대책계획”이라 함)을 수립하여 환경부장관의 승인을 얻어 시행하도록 되어 있다. 대책지역으로 지정된 토양을 오염시킨 오염원인자가 분명할 경우 오염토양개선사업의 전부 또는 일부를 오염원인자 실시하거나, 오염원인자가 존재하지 아니하거나 오염원인자에 의한 실시가 곤란하다고 인정하는 경우에는 해당지역을 관할하는 시·도지사가 당해 오염토양개선사업을 실시하도록 제시하고 있다. 그러나, 기술부족·사업비 과다 등의 사유로 인하여 시·도지사에 의한 오염토양개선사업의 실시가 곤란한 경우에는 시·도지사의 요청에 따라 환경부장관은 환경정책기본법에 의한 환경보전위원회의 심의를 거쳐 당해 사업에 대한 기술적·재정적 지원을 할 수 있도록 탄력성을 두고 있다. 기술·재정적인 문제가 해결되면 오염토양개선사업의 계획에 따라 지정된 토양보전대책지역에서는 토양중 오염물질을 제거하거나 또는 오염토양의 정화방법에 의하여 오염물질을 토양오염대책기준 이하로 유지할 수 있도록 토양개선사업을 실행하여야 한다.

5.3. 토양보전대책지역의 해제

토양보전대책지역으로 선정된 지역은 토양질 개선사업이 <그림 IV-11>과 같은 체계로 실행되어야 한다. 오염물질의 토양중 농도가 토양오염대책기준 이하로 유지될 때는 토양보전대책지역에서부터 해당지역을 해제함으로써 토양보전사업의 체계를 완성시켜야 한다.

토양보전대책지역을 해제하기 위한 체계를 효율적으로 이행하기 위하여 현실적인 오염토양의 처리방안이 마련되어야 한다. 선진외국에서 오염된 토양을 처리하기 위한 기술적인 방법으로 오염토양의 세척, 화학제를 이용한 오염물질의 흡착·분해 등, 생물을 이용한 오염물질의 분해 등이 연구되고, 일부는 실용화되고 있으나 우리나라에서 보유하고 있는 오염된 토양의 정화기술은 상당히 미흡하다.

<그림 IV-11> 토양보전대책지역의 해제체계도

한국과학기술원(1995)에 의하면 토양이 오염된 지역별로 처리기술 및 대책방안을 제시하고 있다 <표 IV-77>. 그러나 우리나라에서는 자연상태의 오염된 토양에 제시한 기술을 이용하여 처리한 바 없어, 처리기술에 대한 Know-how가 없는 우리나라에서 토양이 오염된 지역에서 이러한 기술을 현실적으로 사용·응용하기까지는 커다란 차이가 있다. 오염된 토양을 현실적으로 정화하기 위해서는 오염된 토양의 정화기술에 대한 이론과 현실에서 이용할 수 있는 연구·개발이 추진되어야 하며 우리나라의 자연환경조건에서 오염된 토양의 정화 및 오염물질의 사용가능한 현실적인 처리기술이 제시되어야 한다.

<표 IV-77> 오염토양 정화기술의 종류 및 특징

처리방법	대상물질[1]	특징	비고
추출	PCBs, PAH, VOC, Dioxine, 탄화수소 등 유기물질	Amine계, CO_2 및 특수용매로 추출회수	중질유 토양 수세정과 복합처리 가능
세정	PCBs, PAH, 중금속, 유류	용매(물)로 세정하여 분리	실용화되고 있는 기술임
진공추출	VOC	진공펌프로 토양구조내에 공기의 흐름을 발생	In-Situ 오염토양처리기술로 지질에 의하여 성능이 좌우됨
화학분해	PCBs, 중금속, 염소화합물	산화제, 전기에 의한 오염물질 분해	-
가열 (소각)	VOC, 중금속, 유·무기화합물	고온으로 열처리 분해	중금속 회수에 유리하나 가열연소비로 처리비용이 많이 소요됨
열분해	VOC	고온 또는 촉매를 이용한 열분해	탈염소처리에 유망함
열탈착	VOC, 유기물	토양 및 슬러지의 고온 열분해	유기물의 휘발·회수에 유리하고 자원회수기술로 유리함
생물분해	VOC, PCBs, PAH, 유기물, 페놀	미생물에 의한 분해	자연상태의 미생물을 이용하는 처리방법으로 pilot plant에서 처리효율이 큼
흡착	VOC, 중금속, 방사능 핵물질	특수 관능기를 갖는 흡착제사용에 의한 흡착분리	토양추출가스로부터 흡착분리가 가능함
막분리	중금속, 유류	물중의 중금속 등 분리	토양추출액으로부터 중금속 등의 분리가 가능함
이온교환	중금속	이온교환수지를 이용한 사용분리	토양추출액으로부터 중금속 등의 분리가 가능함
고형화	유·무기화합물, 유류 폐기물	토양을 용융·유리상으로 고형화 또는 소화제를 이용 폐기물 고형화	휘발성 물질은 고형화할 수 없으며, 처리비용이 많이 소요됨

[1]VOC: Volatile Organic Compound, PCBs: Polychlorinated Biphenyls, PAH: Polycyclic Aromatic Hydrocarbon

오염된 토양을 정화할 수 있는 처리방법에 따른 재원이 해결되어야 한다. 미국 EPA의 Superfund법에 기초한 오염토양의 정화대책의 기술결정기록(Record of Decision: ROD)에 의하면 오염된 토양의 정화작업에 필요한 비용과의 관계를 오염지의 규모와 정화비용과의 관계를 다음과 같은 수식으로 제시하고 있다.

$$Y \propto X^{2/3}$$

(Y: 오염된 토양의 정화 비용, X: 오염된 토양의 규모(土量)임)

토양이 오염된 지역에서는 토양뿐만 아니라 지하수와 유해가스성분의 처리까지 필요하기 때문에 간단한 비교는 어려우나 단위면적당 오염된 토양의 처리비용으로 약 $150-1,500/yd^3($200-2,000/yd^3)의 범위에서 있다고 산정하고 있다 <그림 IV-12>.

토양보전대책지역을 해제하는 데 있어 오염된 토양을 처리하기 위하여 기술적인 방법이 개발되어야 하고, 오염원인자가 없는 토양보전대책지역의 정화를 위한 비용을 국가적 차원에서 적절하게 마련하는데 그 해결의 방안이 있다고 할 수 있다.

<그림 IV-12> 토양처리량과 정화비용 관계 (미국 EPA ROD자료, 1991).

V. 결론

우리나라의 토양환경보전에 관한 국가의 정책수립은 선진외국보다 늦게 시작되었으나 빠르게 움직이고 있다. 우리나라에서 환경보전적인 측면에서 토양보전이란 어휘가 학문적으로 대두되기 시작한 것은 1980년 중반이다. 토양보전이라는 개념에서 정책이 수립되기 시작한 것은 1990년 이후라 할 수 있다. 이로부터 토양보전에 관한 우리나라의 환경정책 역사를 기록하면 불과 5년 남짓한 기간동안에 1995년 1. 5에「토양환경보전법」이 입법되었다.

1995년 토양환경보전법이 제정되기 이전의 우리나라의 토양환경보전정책은 오염된 토양의 사후관리에 중점을 두고 있었으나 토양환경보전법에서 제시되고 있는 우리나라의 정책방향은 토양오염을 사전에 방지할 수 있는 사전 토양오염방지체계와 오염된 토양에 대한 사후 토양오염관리체계가 아울러 제시되고 있다. 이는 우리나라의 토양환경을 보전할 수 있는 정책목표 및 방향이 종합적이고 효율적으로 추진될 수 있는 국가의 적극적인 의지를 표출한 것이라 할 수 있다. 국제적으로는「생물다양성협약」과「의제21」등에서 토양환경보전을 위하여 제시되고 있는 우리나라의 의무사항을 이행하기 위한 기본틀을 갖춘 것이라 할 수 있다.

토양환경보전을 위한 우리나라의 정책방향은 토양환경보전법에서 제시되고 있는 바와 같이 토양오염을 사전에 방지할 수 있는 사전 토양오염방지체계와 오염된 토양에 대한 사후 토양오염관리체계가 병행하여 제시되어야 한다. 토양오염의 사전방지방향으로는 토양오염판단기준의 설정, 토양오염유발시설에 토양오염을 방지할 수 있는 시설의 설치 등이 있다. 오염된 토양의 사후관리방향으로는 토양오염도 상시측정체계의 수립, 토양오염보전대책의 지정체계 및 지정방법의 수립 등이 있다.

토양환경보전을 위한 제시한 다섯가지 정책방향에 대해서 외국의 토양환경관리방법과 우리나라의 현실에 도입 또는 적용할 수 있는 현황분석, 실험분석 등을 통하여 이에 대한 구체적인 추진방안을 제시하였다.

토양오염도 상시측정체계의 구체적인 구축방법으로 중앙정부(환경부)가 주관하는 중앙측정체계와 시·도의 지방자치단체가 주관하는 지방측정체계로 토양오염도 상시측정체계의 이원화를 구상하였다. 중앙측정체계는 전국의 토양상태를 개략적으로 측정할 수 있는 토양오염도 측정체계가 될 수 있도록 측정지점위 수 및 위치을 구성하였다. 전국토중 토양오염이 현실적으로 문제될 수 있는 토양을 지목별·

시도별로 분류하고, 전국의 시·도에 걸쳐 해당되는 지목별 토양의 이용상태에 따른 최소한의 측정지점수를 설정하기 위하여 토양의 상태에 따른 측정지점의 설치기준을 마련하였다. 또한, 중앙측정체계의 측정지점을 구체적으로 설정할 수 있는 방법의 예로써 경기도 여주군을 대상으로 측정지점의 위치를 里단위까지 선정하였다. 지방자치단체에서 향후 마련되어야 하는 지방측정체계의 목적 및 설계체계를 제안하였다. 지방측정체계는 해당 지방자치단체 관할지역의 토양오염우려지역 또는 오염지역의 지속적인 진행상태를 파악할 수 있도록 해당지역에 존재하는 오염원을 중심으로 지방측정체계의 측정지점이 구성될 수 있도록 설계되어야 할 것이다.

중앙측정체계와 지방측정체계에서 도출된 결과를 이용하여 세부적인 측정지점의 위치와 수를 결정하는 것이 향후 과제로 남아있다. 중앙측정체계의 측정지점의 위치는 경기도 여주군을 대상으로 측정지점의 위치를 선정한 방법을 이용하여 전국의 시·군별로 측정지점의 정확한 위치를 선정하여야 할 것이다. 지방측정체계의 측정지점 위치는 지역별 오염원의 특성 및 위치를 고려하여 각 지방자치단체별로 지방측정체계를 설계하여야 할 것이다.

토양오염의 판단기준은 토양에 축적되는 오염물질의 농도가 사람의 건강, 생명체 및 자연생태계를 위해하고, 쾌적한 환경 또는 환경구조를 파괴할 가능성이 있는 수준을 토대로 설정되어야 한다. 우리나라에서 토양오염의 판단기준은 국내·외의 연구를 토대로 하고, 산·학·연의 전문가로 구성된 환경부 토양분과위원회의에서 수차적인 논의를 거쳐 11종류의 토양오염물질에 대한 토양오염우려기준과 토양오염대책기준(안)이 설정되었다. 토양오염우려기준과 토양오염대책기준(안)에 설정된 오염물질의 종류와 오염물질에 대한 농도기준은 우리나라에서 현실적으로 사용할 수 있는 것이나 변화하는 오염물질의 종류 및 위해성평가에서 도출된 결과에 따라 유연하게 적용할 수 있도록 수정 및 보완이 필요할 것이다.

다양한 종류의 토양오염유발시설중 유류저장시설, 유해화학물질저장시설, 산업시설, 폐기물매립지, 휴·폐광된 광산을 대상으로 분석한 연구결과에 의하면 산업시설, 폐기물매립지, 휴·폐광된 석탄광산은 토양오염을 유발할 수 있는 시설이나 현행법에서 토양오염을 효과적으로 방지할 수 있는 관리기준이 명시되고 있다. 그러나, 유류저장시설, 유해화학물질저장시설과 휴·폐광된 금속광산은 토양오염을 현재 유발하고 있거나 토양오염의 유발 가능성이 높은 시설이나 현행법에 의한 효과적인 관리가 되지 못하고 있다. 따라서, 이들 유류저장시설, 유해화학물질저장시설과

휴·폐광된 금속광산에 대해서는 의무적으로 토양오염방지시설이 설치될 필요가 있다. 그러나, 연구기간중인 1995년 12월에 토양환경보전법의 시행령 및 시행규칙에 포함될 토양오염유발시설의 종류로써 유류저장·제조시설과 유해화학물질 제조·저장시설이 결정되었다. 따라서, 토양환경보전법에서 토양오염유발시설로 결정된 유류저장시설과 유해화학물질저장시설에는 적합한 토양오염방지시설을 의무적으로 설치함으로써 토양환경을 보전할 수 있는 방법이 제시되었다 할 수 있다. 그러나, 동법에 제시되지 않았으나 본 연구에서 토양오염을 유발할 수 있는 가능성이 높으며 또한 현행법으로 관리가 미흡한 휴·폐광된 금속광산을 동법의 토양오염유발시설로 설정하는 것을 향후 재검토되어 법적인 토양오염유발시설로서의 추진을 제고할 필요가 있다.

토양환경보전법에서 토양오염유발시설로 설정된 유류저장시설 및 유해화학물질저장시설의 시설범위는 동법의 시행령과 시행규칙(안)으로 1995년 12월에 결정된 바와 같이 이들 시설에 대하여 소방법, 유해화학물질관리법 등에서 제시하고 있는 시설범위를 이용하는 것이 현실적으로 이용가능할 것이다. 그러나, 미국의 RCRA의 UST규정 및 우리나라의 유류저장시설 및 유해화학물질저장시설의 현황을 종합·분석하면 결정된 시설범위(안)에는 저장탱크의 용량에 따른 시설범위만이 설정되어 있어 저장탱크의 이용·용도 및 우리나라 저장시설의 현황이 고려되어 있지 않고 있다. 이에 따라, 본 연구부문에서는 제안하는 유류저장시설과 유해화학물질저장시설의 시설범위 규제대상으로 유류제조·저장시설의 규제범위는 >5천L이상의 저장탱크로 하고, 유해화학물질 제조·저장시설로는 모든 저장시설을 대상으로 하되, 본문의 <표 IV-80>에 설정한 7가지 예외 조항을 첨가함으로써 탄력적으로 대상시설의 시설범위를 설정하는 것이 바람직하다고 판단된다

유류저장시설, 유해화학물질저장시설과 폐기물매립지 등의 토양오염을 유발할 수 있는 시설에서 토양오염방지시설을 설치하는 시설기준을 설정하는 방안으로는 대상되는 시설의 설치기준은 시설에 따라 조금씩 다르게 나타나고 있으나 대부분이 현행 설치기준에 준하면서 그 지역의 토양특성 및 지형에 맞도록 일부 시설의 설치기준을 향상하여 설치하여야 할 것으로 파악되었다. 유류 및 유해화학물질저장시설의 경우에는 탱크의 재질 및 구조가 향상되어야 하며, 유류가 탱크밖으로 누출되었을 때 이를 차단할 수 있는 시설의 설치가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 매립시설에는 오염물질을 차단할 수 있는 차단시설의 재질 및 구조가 향상되

어야 할 것으로 판단된다.

토양오염이 진행되고 있는 지역의 토양을 처리하기 위하여 해당되는 면적의 합리적이고 체계적인 지정이 필요하며 토양환경보전법에서는 오염토양의 처리가 필요한 지역을「토양보전대책지역」으로 설정하고 있다. 토양보전대책지역을 지정함에 있어 현실적으로 가장 큰 문제점은 토양정밀조사를 실행하는 전문기관의 토양정밀조사방법과 대상되는 지역에 영향을 받는 주민의 의견이다. 이에 따라, 토양정밀조사를 실행하는 기관의 QA·QC를 지속적으로 실행할 수 있는 체계를 수립하여야 하고, 대상되는 지역의 주민의견을 수렴함으로써 합리적인 토양오염대책지역이 지정될 수 있도록 하여야 할 것이다.

토양보전대책으로 지정된 토양이 해제되기 위하여 현실적인 오염토양의 처리방안이 마련되어야 한다. 그러나 우리나라에서는 자연상태의 오염된 토양에 제시한 기술을 이용하여 처리한 바 없어, 처리기술에 대한 Know-how가 없는 우리나라에서 토양이 오염된 지역에서 이러한 기술을 현실적으로 사용하기까지는 커다란 차이가 있다. 오염된 토양을 현실적으로 정화하기 위해서는 오염된 토양의 정화기술에 대한 이론과 현실에서 이용할 수 있는 연구·개발이 추진되어야 하며 우리나라의 자연환경조건에서 오염된 토양의 정화 및 오염물질의 사용가능한 현실적인 처리기술이 제시되어야 한다. 이를 위하여, 토양보전대책지역을 해제하는 데 있어 오염된 토양을 처리하기 위하여 기술적인 방법이 개발되어야 하고, 오염원인자가 없는 토양보전대책지역의 정화를 위한 비용을 국가적 차원에서 적절하게 마련하는데 그 해결 방안이 있다고 할 수 있다.

우리나라의 효과적인 토양환경보전을 위한 5가지 방향에 대한 구체적인 추진방안을 제시하였다. 그러나 이보다 더욱 중요한 것은 본 연구에서 제시한 구체적인 방안에 대한 국가의 실행이라 할 수 있다. 이미 국가는 토양환경보전법을 1995년 1월 5일에 제정함으로써 국가의 토양환경보전을 위한 정책목표 및 정책방향을 제시한 바 있다. 본 연구에서 제시된 구체적인 추진방안은 토양환경보전법의 시행령과 시행규칙에 적절하게 반영되고 실행되어 우리나라의 토양환경을 보전할 수 있는 기반을 이룩할 수 있도록 해야 할 것이다.

참고문헌

국내문헌

국제환경문제연구소. 1994. 환경관련법규, 신광문화사.

기초과학지원센터. 1994. 기기이용수가표.

김성조, 백승화. 1994. 장항제련소 지역의 토양과 수도체중 Cd 및 Cu 함량의 변화. 한국환경농학회지 13:131-141.

김영인, 이경한, 김동문, 최걸, 김정원, 조용성. 1982 정비 금광산요람. 한국동력자원연구소.

김홍제, 김연천, 이정자, 성시경, 최한영, 이승주, 박상현. 1986. 서울시 일원의 토양 중금속오염도 조사. 서울특별시 보건환경연구소보 제22권:168-173.

대한상공회의소. 1993. 전국공업단지현황.

대한석유협회. 1994. 석유연보.

대한송유관공사. 1994. 대한송유관공사회보

문현주 등. 1995. 폐기물처리시설 민자유치 모델개발. 한국자원재생공사.

박용하. 1994. 휴・폐광 금속광산 지역의 오염관리대책. 한국환경기술개발원.

배성렬, 이철태, 김학명, 김형진, 김희택, 공성호. 1994. 쓰레기 처리시설의 최적관리방안에 관한 연구. 한국자원재생공사.

서울시 청소사업본부. 1993. 난지도 매립지 처리계획.

석탄산업합리화사업단. 1994. 광해방지동합대책.

석탄산업합리화사업단. 1995. 석탄광폐광지원백서.

수도권 매립지 운영관리조합. 1993. 수도권 매립지 종합환경조사 연구보고서.

오경두. 1994. 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서. 건설부.

유홍일 외 5인. 1987. 토양오염기준설정 합리화에 관한 연구. 국립환경연구원.

윤성윤. 1993. 경상남도 주요공단내 토양의 중금속 오염도 조사연구. 동아대학교 환경문제연구소 연구보고 16:2.

윤춘경, 도덕현. 1995. 지하저유조의 누유현황과 환경오염 및 예방대책. 학술기사 제43권(4):50-58.

이길철 외 8인. 1991. 고형폐기물 매립지의 침출수에 관한 연구. 국립환경연구원보

13권.
이서래. 1995. 수질 및 토양중 농약잔루 허용기준 설정. 한국환경과학협의회.
이영희. 1991. 독일연방공화국의 토양보호정책과 토양보호법. 환경과조경 11월호:136.
이영희. 1992. 독일연방공화국의 환경정책과 환경정책도구-다매체포괄환경정보시스템을 도구로 한 합리적 예방환경정책의 측면. 녹원출판사.
이영희. 1993. 토양보호 정책의 과제와 제도적 접근(연재1). 환경보전 9월호:52-58.
이영희. 1993. 토양보호 정책의 과제와 제도적 접근(연재1). 환경보전 10월호:65-67.
이영희. 1993. 토양보호 정책의 과제와 제도적 접근(연재3). 환경보전 11월호:64-66.
일본 환경청. 1988. 농경지 토양오염방지에 관한 법률
일본 환경청. 1986. 시가지 토양오염대책확정지침.
일본 환경청. 1991. 토양오염에 관한 환경기준
일본 환경청. 1992. 국유지에 관한 토양오염대책지침.
일본 환경청. 1993. 토양·지하수오염의 조사·대책지침의 책정에 대하여.
일본 환경청. 1994. 特輯: 土壤·地下水汚染 現況과 汚染對策의 實際.
임수길. 1994. 토양질 기준의 설정에 관한 연구. 한국환경과학협의회.
전효택, 김주용. 1993. 서울지역 및 장항제련소 지역의 토양과 분진중의 중금속 원소의 분산에 관한 연구. 한국자원공학회지 30:163-176.
전효택, 최완주. 1992. 도시 및 산업환경 분진 및 토양중의 중금속 원소들의 분산에 관한 지구화학적 연구. 광산지질 25(3):317-336.
정영상 등. 1976. 우리나라 밭토양의 토성별 K값. 한국토양비료학회지 9:108-113.
최지용. 1995. 하천 및 호소수 수질자동측정망 설치 기본계획 수립. 환경부.
한국과학기술원. 1995. 환경복원 및 재생기술.
한국도시행정연구소. 1994. 도별통계연감.
한국자원재생공사. 1994. 쓰레기 처리시설의 최적관리방안에 대한 연구.
환경정책기본법. 1995.
환경부. 1995. 환경백서.
환경처. 1993. 환경연감.
환경처. 1994. 환경연감.
환경처. 1994. 환경백서.

환경처. 1990. 1989토양오염측정망 운영결과 종합평가서.
환경처. 1991. 수질오염공정시험방법. 환경처 고시 제91-85호.
환경처. 1993. 1993-2001 국가폐기물처리종합계획.
환경처. 1994. 토양측정망운영지침. 행정간행물 등록번호 12000-67630-66-9.
환경청. 1987. 토양측정망운영중간평가보고서.
환경청. 1988. '87토양오염측정망운영사항종합평가서.
환경청. 1989. '88토양오염측정망운영사항종합평가서.

국외문헌

Ademe, F. 1994. Rapport d'activite 1993 Syntheses, France.

Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, National Health and Medical Research Council. 1992. Australian and New Zealand Guidelines for the Assessment and management of contaminated sites.

Bachmann, G. 1991. Soil clean-up policy in the Federal Republic of Germany. Soil Use and Management. 7(3):158-163.

Bachmann, G. 1993. Soil values in German soil protection. Water Environment Federation, Washington D. C.

Barth, D. S., Mason, B. J., Starks, T. H., and Brown, K. W. 1989. Soil sampling quality assurance user's guide. 2nd ed. EPA 600/8-89/046. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Las Vegas NV.

Bear, J. 1972. Dynamics of Fluids in Porous Media, American Elsevier, New York.

Beckett, M. J. 1993. Land contamination. p8-28 in: Contaminated Land, Problem and Solution. Blackie Academic & Professional Pub.

Beckett, M. J. and Simms, D. L. 1984. The development of contaminated land. in: Conference on Hazardous Waste Disposal and the Re-use of Contaminated Land. SCI London.

Bringham, F. T., et al. 1980. Yield and cadmium content of rice grain in relation to addition rates of cadmium, copper, nickel, and with sewage sludge and liming. Soil

Sci., 32:130.

Buckmann, W., Dreibigacker, H.-L, Eleveld, R., Gerner, I., Lee, Y.-H., Mackensen, R., and Maier, H. 1994. Bodenschutz in der Europaischen Union. Technische Universitat Berlin, FAGUS-Schriften, Band 5.

Cameron, R. E. 1991. Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization.Vol 1: Metals. EPA 600/4-91/029. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Las Vegas NV.

Carney, T. 1993. International response. p1-7 in: Contaminated Land, Problem and Solution. Blackie Academic & Professional Pub.

Carney, T. 1993. Quality assurance. p212-227 in: Contaminated Land, Problem and Solution. Blackie Academic & Professional Pub.

Chang, A. C., Granato, T. C., and Page, A. L. 1992. A methodology for establishing phytotoxicity criteria for chromium, copper, nickel, and zinc in agriculture land application of municipal sewage sludges. J. Environ. Qual. 21:521-536.

Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act of 1980. 1993.

Darcy, H. 1856. Les fontaines publiques de la ville de Dijon, Victor Dalmont, Paris.

de Bruijin, P. 1992. Biotreatment in soil remedation. in: Contaminated Land-Policy, Regulation and Technology. IBC Technical Services London.

Denner, J. 1992. Contaminated land: Development of policy in the U.K. in: Contaminated land-Policy,Regulation and Technology. IBC Technical Services London.

Department of Environment and the Welsh Office. 1991. Public Resisters of Land which may be contaminated-A consultation Paper.

Durkin, T. 1994. Acid mine drainage-Reclamation at the Richmond Hill and Gilt Edge mines, South Dakota. In: Seminar series on managing environmental problems at inactive and abandoned metals mine sites. EPA/625/K-94/0002 p49-56.

EPA. 1978. Microbial methods for monitoring the environment (water and waste). EPA/600/8-78/017. United States EPA.

EPA. 1986. Test methods of soil analysis. Part I. 2nd ed. by A. Klute. Agronomy

Monograph No. 9. American Soc. Agronomy. Madison WI, USA.

EPA. 1988. Development of Procedures to Assess the Performance of External Leak Detection Devices: Executive Summary. Office of Underground Storage Tank. EPA/510-S-92-801, USA.

EPA. 1988. Leak Lookout: Using External Leak Detectors to Prevent Petroleum Contamination from Underground Storage Tanks. Office of Underground Storage Tank. EPA/530/UST-88/006, USA.

EPA. 1990. RCRA Corrective Action Proposed Rules: FR30798/27 July 1990. USA.

EPA. 1990. Straight Talk in Tanks: A Summary of Leak Detection Methods for Petroleum Underground Storage Tank Systems. EPA/530/UST-90/012, USA.

EPA. 1991. Description and sampling of contaminated soils(A Field Pocket Guide). EPA/625/12-91/002. United States Environmental Protection Agency. USA.

EPA. 1991. Hazardous waste management. EPA/ORD. EPA/600/M-91/031. United States EPA.

EPA. 1991. Cost of Remedial Action. Notebook No. 734. Office of Solid Waste Emergency Response, 1991., USA.

EPA. 1992. Leaking Underground Storage Tank and Health: Understanding Health risks from Petroleum Contamination. Office of Underground Storage Tank. EPA/530/UST-91/018, USA.

Freeze, R.A., and Cherry, F. A. 1979. Groundwater, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ.

Hobson, D. M. 1993. Rational site investigation. In: Contaminated Land Problems and Solutions. Ed. T. Cairney. Blackie Academic & Professional, Chapman & Hall Press.

Howard, P. J. A. 1993. Soil protection and soil quality assessment in the EC, in: Total Environm. 129. London S. 219.

Karandinos, M. G. 1976. Optimum sample size and comments on some published formulae. Bull. Ent. Soc. Amer. 22:417-421.

Kelly, R. T. 1980. Site investigation and material problems, in Reclamation of Contaminated Land. B2/1-B2/12. Society of Chemical Industry.

Kim, K.-W, Thornton, I. 1993. Influence of uraniferous black shales on cadmium, molybdenum and selenium in soils and crop plants in the Deog-Pyoung area of Korea. Env. Geochem. Health 15:119-130.

Kim, K.-W, Thornton, I. 1993. The influence of Okchon black shales on the concentrations of Cd, Mo and Se in soils and crops plants in Korea. International Asso. Hydrogeol. 4.

Kitagishi, K., and Yamane, I. 1981. Heavy metal pollution in soils of Japan: Japan Sci. Soc. Press, Tokyo. p1-217.

Kostecki, P. T., and Calabrease, E. J. 1988. Petroleum Contaminated Soils Vol. 1: Remedation Techniques, Environmental Fate, Risk Assessment, Lewis Publisher. USA.

Lin, C. S., Poushinsky, G., and Mauer, M. 1979. An examination of five sampling methods under random and clustered disease distributions using simulation. Can. J. Plant Sci. 59:121-130.

MaCarty, P. L., Reinhard, M., and Rittmann, B. E. 1980. Trace organics in ground water, Environ., Sci. Technol. 15(1):40-51.

Mason, B. J. 1983. Preparation of soil sampling protocol: Techniques and strategies. EPA/600/4-03/020. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Las Vegas NV.

Millington, R. J., and J.P. Quirk. 1961. Permeability of porous solid, Trans. Faraday Soc. 57:1200.

Moore, J. N., and Luoma, S. N. 1990. Hazardous wastes from large-scale metal extraction. Environ. Sci. Technol. 24:1278.

MSE. 1994. Biocyanide demonstration project. EPA, DOE, Montana Tech, Implemented by MSE Inc.

National Archives and Records Administration. 1991. Code of Federal Regulation 40; Protection of Environment.

National Association of Corrosion Engineers. 1985. Control of External Corrosion on Metalic Buried, Partially Buried, or Submerged Liquid Storage Systems, NACE Standard PRO285-85, Houston, TX.

National River Authority. 1994. Abandoned Mines and the Water Environment. NRA Water Quality Series No. 14.

Neuman, S. P. 1990. Universal scaling of hydraulic conductivities and dispersivities in geologic media, Water Resour. Res., 26(8):1749-1758.

NVPG Dutch Association of Soil Treatment Companies. 1990.

NJ DEPD. 1992. Cleanup Standard for Contaminated Sites-Proposed Rule: NJAC 7:26D: NJ Registed 3 Feb. 1992.

Paustenbach, D. J., and Jernigan, J. D. 1992. A proposed approach to regulating contaminated soil: Identify safe concentrations for seven of the most frequently encountered exposure scenarios. in: Regulatory Toxical. Pharmacol. 16, 1992. S. 21ff.

Resource Conservation and Recovery Act of 1976. 1994.

Rhee, S.-W. 1991. Modeling the Effect of Shale Heterogeneities on Hazardous Waste Transport in Deep Well Disposal Systems", Ph.D. Dissertation, Louisiana State University.

Roberts, J. R., Cherry, J. A., and Schwartz, F. W. 1982. A case study of a chemical spill polychlorinated biphenyls, 1. History distribution and surface translocation, Water Resources Res. 18(3):525-534.

Rorsch, A. 1985. Foreword, in: Preceedings of the International TNO Conference on Contaminated Soils. ed. E. W. Assink and W. J. van der Brink. Martinus Nijhoff, Dordrecht.

Royal Commission on Environmental Pollution. 1984. 10th Report: Tackling Pollution-Experience and Prospects. Cmnd. 9194, HMSO, London.

SAS. 1988. SAS/STAT User's Guide, 6.03 ed. Cary, NC.

Scheidegger, A. E. 1961. General theory of dispersion in porous media, J. Geophys. Res. 66(10):3278-3278.

Scozo, E., and Meeder, T. 1992. Clean-up of contaminated sites in Europe and the USA-a comparison. in: Eureco '92(Europen Urban Regeneration Conference), Birmingham, UK.

Sharp, W. E. 1972. A topological optimum water sampling plan for the Edito river, North Carolina. Casebook on hydrological network design practice. World Meterological Organization(WMO). WMO No. 324.

Simmons, S. A. and Lewis, W. K. 1993. Health and safety. In: Contaminated Land

Problems and Solutions. Ed. T. Cairney. Blackie Academic & Professional, Chapman & Hall Press.

Skinner, S. K., and Reiley, W. K. 1990. Oil Spill Contingency Planning, National Status. National Response Tean. US Department of Commerce.

Southwood, T. R. E. 1979. Ecological methods. 2nd ed. Chapman and Hall, London.

Taylor, L. R., Woiwood, I. P., and Perry, J. N. 1979. The negative binomial as a dynamic ecological model for aggregation, and the density dependence of k. J. Animal Ecol. 48:289-304.

Thompson, L. 1994. Biotreatment at mine closure for Alpine and Desert sites. In: Seminar series on managing environmental problems at inactive and abandoned metals mine sites. EPA/625/K-94/0002 p33-48.

Tsuchiya, K. Causation of Ouch-Ouch disease: An introductory review. Keio J. Med. 18:181.

United Nations. 1990. Ground Water in Eastern and Northern Europe. Department of Technical Co-operation for Development.

van Ee, J. J., Blume, L. J., and Starks, T. H. 1990. A rationale for the assessment of errors in the sampling of soils. EPA/600/4-90/013. Environmental Monitoring Systems Laboratory. Las Vegas NV.

van Staalen, N. M., and Denneman, C. A. J. 1989. Evaluation. p241ff See Bückmann, W., Dreißigacker, H.-L, Eleveld, R., Gerner, I., Lee, Y.-H., Mackensen, R., and Maier, H. 1994. Bodenschutz in der Europaischen Union. Technische Universitat Berlin, FAGUS-Schriften, Band 5.

Webster's Third New International Dictionary. 1994.

Woodside, G. 1994. Hazardous Materials and Hazardous Waste Management: A Technical Guide, John Wiley & Sons, NY.

Woodside, G., and Prusak, J. J. 1991. Above Ground Storage: Double Containment Strategies for Today and Tomorrow, Proceedings from Annual Air Water Management Association Annual Conference, Vancouver, June.

<부록 1> 미국 토양오염방지시설의 설치기준

미국의 유류 및 유해화학물질의 관리는 이들 물질이 저장지상저장탱크 및 지하저장탱크에 있는가에 따라 저장지상저장탱크 및 지하저장탱크로 분리하여 관리하고 있다

1. 지상저장탱크(AST: Aboveground Storage Tank)의 설계기준

RCRA에서 제시되는 다른 설계개념들을 덧붙여서 환경보전을 최대로 할 수 있는 새로운 지상 이중차단방안과 병합되어야 하며 이를 현실에 적용하기 위하여 경제적으로 합당한 관리방안이 도출되어야 한다.

첫째, 점검능력/실험능력: 지상의 탱크와 파이핑의 점검은 탱크시스템을 점검하고 실험하는 첫단계이다. 이중차단 내부의 빔 또는 사다리들 위에 있는 기본탱크는 탱크 아래에서 매일 점검하여야 한다. 이중차단지 위에 설치된 시스템은 100% 점검되어야 한다. 부수적인 파이핑이 지상에 설치되면 이음쇠의 누출, 오염물질이 누출될 때마다 쉽게 감지될 수 있어야 한다. 파이프내에 파이프가 설치되는 경우는 누출감지장치와 배출밸브를 50-200ft마다 설치하여 기초파이프의 보전상태를 평가할 수 있어야 한다. 탱크와 파이핑은 누출이 될 경우 실험할 수 있어야 한다.

둘째, 이중차단지는 수용능력의 100%보다 커야 한다: 이중차단지로서 사용된 저장실과 외부라이너 수용능력은 100%보다 큰 것이 표준이다. 뿐만 아니라, 만일 내부 이중차단 기본탱크가 재해로 파괴될 경우와 부수적인 파이핑으로부터 누출이 심해질 경우를 대비한 충분한 크기일 때 최대한의 환경보존이 이루어질 수 있다. 전형적인 차단 수용능력은 125%가 적당하다. 이 설계개념의 적용은 저장물이 건물바닥을 통과하고 이중차단지를 넘쳐 누출될 가능성을 최소화 할 수 있다.

셋째, 특정누출감지: 전기적인 습도감지기와 같은 표준누출감지시스템은 이중차단장치에 사용된다. 일반적으로 내부적용에 적합하지만 외부누출감지는 빗물과 화학적 누출을 구분할 수 있는 특별한 시스템을 함께 사용할 경우 효과적으로으로 실용화할 수 있다. 이러한 감지장치의 예로는 pH, 산화/환원제, 전도도에 근거한 경보장치 등이다.

저장탱크의 감지시스템의 설치에 필요한 사항은 다음과 같다

① 이 시스템은 반드시 시스템 밖으로 또는 토양으로의 축적이나 폐기물의 어떠한 이동도 막도록 설계 및 설치되어야 한다.
② 시스템은 수집된 물질이 제거될 때까지 축적된 액체의 방출에 대한 수집장치와 감지장치가 있어야 한다.
③ 탱크들의 이중차단은 반드시 탱크, 저장실, 동일장치의 외부 라이너에 설치하거나 시스템에 포함되어야 한다.
④ 라이너 또는 저장실은 24시간 강우량(지난 25년의 최대강우량)에 견딜 수 있어야 하며, 설계된 가장 큰 탱크의 용량이상의 수용능력을 가져야 한다.
⑤ 라이너, 저장시스템, 이중벽 탱크는 반드시 특정화된 설계규범에 적합해야 한다.
⑥ 부수적인 장치는 참호, 자켓팅, 이중벽 파이핑, 누출감지를 알려주거나 폐기물의 이동을 방지한 다른 차단방법과 이중차단지에서 설계되는 같은 장치로 구성되어야 한다. 그러나 지상파이핑이 매일 검사되거나 파이핑시스템에 자동차단기장치가 설치될 경우, 몇 가지 예외가 이에 적용될 수 있다.

넷째, 이중차단지를 통한 침투제거: 이음쇠와 투과부분은 일반적으로 이중차단에 약한 부분으로 재해에 의한 파괴로 인해 누출이 가장 쉽게 일어난다. 이중차단지의 위치는 투과를 최소화하는 하나의 방법으로 트래슬은 이차탱크벽 대신에 파이핑의 루트로 사용될 수 있다.

다섯째, 탱크, 파이프, 펌프를 위한 최적차단지: 시스템은 점검적이고 실험적인 1차 그리고 2차 차단지를 포함하고 있다. 이런 탱크시스템의 예는 빔의 위에 두 탱크가 올라간 탱크속의 탱크이다. 빔위에 올라간 팬과 탱크를 포함한 팬속의 탱크를 선택할 수 있다. 트래슬의 파이프속에 파이프를 포함하는 이중파이핑을 만들 때 최적의 환경보존이 이루어질 수 있다. 다른 파이핑설계는 팬, 건물, 참호안에 있는 선반위의 파이프 구조이다.

펌프는 차단지안에 위치해야 한다. 이 설계가 적용되지 않을 때 펌프를 받치는 장치가 사용되어야 하므로 실제 적용에 사용되기 어렵다. 또한, drip pans는 판의 찢김이나 밀봉의 파괴와 같은 주요한 손상이나 압력파이프의 손상에 적합하지 않다. 비가 온 후 빗물이 배수되어져야 하고 시스템뒤로 흡수되기 때문에 옥외설비에는 적합하지 않다.

여섯째, 운반 가능한 화학약품과 폐기물용기를 위한 이중차단: 사용중이거나 저

장하는 동안의 운반가능한 화학약품과 폐기물저장기는 실제로 산업계에 널리 사용된다. 저장기 선택은 매우 광범위하지만 100% 조사할 수 있고, 실험할 수 있는 전형적인 이중저장기는 없다. 용기저장소와 화학약품의 분배센터와 같은 대부분의 저장지역은 방수가 된 콘크리트가 사용될 수 있다. 이러한 적용을 위하여 이들 설비에 대해 화학적으로 적합하도록 트럭 등의 장비가 이들 화학물질의 적하에 견딜 수 있도록 방수처리가 되어야 한다. 방수의 물리적 검사는 부서지거나 얇은 층으로 갈라지는 것을 방지하기 위하여 규칙적으로 실시해야 한다. 화학약품과 폐기물용기를 사용하기 적한한 지역은 방수된 콘크리트 또는 저장팬이 설치된 장소이다.

저장지의 면적은 적어도 저장된 가장 큰 규모의 용기에서 흘러나오는 오염물질을 처리할 수 있도록 충분히 넓어야 한다. 일상적인 펌핑 작동시설에는 용기밑의 받침팬이 있어야 하며, 적어도 한팬의 용량으로 1배럴 이상이어야 한다. 비교적 값싼 쇠창살로 만든 이동식 용기 팔레트는 4개의 드럼을 담을 수 있으며 한드럼의 손실을 쉽게 처리할 수 있는 충분한 유출공간을 보유하고 있다. 이들 팔레트는 트럭으로 이동할 수 있어 한 작업장소에서 다른 장소들로 쉽게 옮길 수 있다. 1-2 드럼을 담을 수 있는 다른 이동식 용기도 이용할 수 있다.

특별히 고안된 매우 견고한 이동식 화학콘테이너는 대략적으로 220-440 gallon(4-8 드럼)을 담고 있다. 비록 누출 차단지 자체는 용기설계의 부분은 아니지만 떨어뜨리거나 과도한 충돌에 의해 용기가 훼손시키지 않도록 금속으로 도금되어 있으며 이러한 설계는 운반도중 누출의 위험을 격감시킬 수 있다.

2. 지하저장탱크 (USTs; Underground Storage Tanks)의 설계기준

(1) 규제된 물질을 함유하는 지하저장탱크의 조건

USTs의 누출 문제는 1980년대부터 제기되었고 누출탱크를 조사하는 규정이 공포되어 정화운동이 시작되었다. 이에 따라, 새로운 USTs를 위한 설계 표준(design standard)을 설정하였으며 USTs의 RCRA 시행표준은 다음과 같다.

① 탱크는 정확히 설계·제작되어야 하며, 물질을 정기적으로 저장하는 지하저장조는 부식으로부터 보호되어야 한다.

② 규제된 물질을 정기적으로 함유하고 지상과 연결되는 파이프는 정확히 설계·

제작되어야 하며 부식되지 않아야 한다.

③ USTs로 이동하는 물질이 새거나 흘러 넘치는 것을 방지하기 위한 장비 (호스의 집수역, 자동밸브, 흐름억제, 경고장비 등을 포함)는 물질이 이동하는 동안 주위로 저장물질이 누출되는 것을 막도록 설계되어야 한다.

④ 모든 탱크와 파이프는 국가에서 인정된 실행규칙에 의해 적절히 설치되어야 한다.

⑤ 이 설치는 국가기관에서 인정하는 전문가에 의해 안전하고 적절하게 수행되어야 한다.

새로운 탱크를 설치하는 표준외에 기존의 탱크의 유지에 필요한 조건이 있다. 이 조건은 공인된 배출검사 방법을 사용하여 매달 탱크에 대한 배출검색과 파이프의 형태 및 파이프 누출검색장치에 제시된 설치기준이다. 이들 탱크에서 누출이 발견되면 즉시 보고되어 누출방지시설이 설치되어야 한다. 또한, 오염물질이 누출된 지역의 확산을 방지하기 위하여 오염된 지역을 정화하여야 한다.

실행표준을 만족하지 않고 또 누출되지 않는 기존의 USTs에 대해서는 1998년 11월 22일 전까지 이 표준들을 만족시키기도록 개선되어야 한다. 그외 CERCLA의 유해화학물질을 포함하는 새로운 USTs시스템에 대한 요구조건이 있다. 여기에는 USTs시스템이 작동되는 동안 주변환경으로 오염물질이 배출되는 것을 막기 위한 이차 차단지 수행조건을 포함한다.

(2) UST의 예외

예외에는 두가지 타입이 있다. 첫번째가 법이 정하는 예외(이들 규정에 대하여 의회가 특별히 면제한 탱크시스템)이고 두번째가 규정의 예외(EPA가 인간과 환경에 위협을 미치지 않을 것이라고 결정한 후에 의회가 면제한 탱크와 이미 다른 규정에 의해 관리되어지는 탱크들)이다.

<의법처리된 예외>

① 비영리목적으로 모터연료를 저장하는데 사용되는 1100gallon용량이나 또는 그이하의 농장 및 거주자 탱크

② 저장되는 장소에서 사용되는 연료를 저장하는 탱크들

③ 부패조시스템(하수처리시스템의 탱크)
④ 특정한 연방 및 州정부법에 의하여 규정된 파이프라인 설비
⑤ 모든 지상의 impoundment(공설우리)와 pit(정비소의 우묵한 곳), 연못(pong), 호소(lagoon)
⑥ 우수 집수 및 폐수집수 시스템
⑦ Flow-through process tank
⑧ 오일 및 가스생산과 수집장치에 직접 연결된 수집라인 또는 액체보관용기

<EPA의 규정의 예외>
① SWDA의 소제목 C하에 정의되거나 목록에 제시된 유해폐기물 또는 그와 같은 유해폐기물과 규정된 물질의 혼합물을 저장하는 탱크들
② Clean Water Act의 402, 307에 규정된 폐수처리 탱크 시스템
③ 수압승강기 탱크와 같은 작동목적을 위하여 규정된 물질을 가지고 있는 장비 및 기계류
④ 용량이 110gallon또는 그이하의 UST들
⑤ 규정된 물질이 미미한 농도를 가지는 UST들
⑥ 사용후 신속하고 효과적으로 비워지고 넘치거나 쏟는 것의 긴급봉쇄시스템이 설치된 탱크

(3) 탱크누출시 조작 이행 사항

탱크의 저장물질이 누출되면 그 영향범위를 최소화하기 위해 계획된 과정과 요구사항이 있다. 이들 요구사항으로는 쏟거나 넘치는 것에 대한 통제, 부식방지, 운영과 유지과정, 탱크 내용물과 탱크시스템 재료의 적합성, 탱크시스템의 수리, UST시스템에 대한 기록유지와 보고 등이다. 이들 대부분이 일반적인 사람의 감각에 기초한다. 탱크의 누출은 보고·조사되고 오염지역은 정화되어야 한다.

전하보호를 설치한 시스템의 작동은 전문적인 전하보호조사원에 의해 정기적으로 조사되어야 한다. 전하보호시스템은 6개월 이내에 조사되어야 하고 그후에 적어도 3년내에 한번은 조사받아야 한다. 일반적으로 사용되는 전하보호시스템의 작동판단의 기준은 NACE 표준 RP-02-85이다. 이러한 조사결과를 문서화하여 보관되어야 한다. 이상이 있는 UST시스템은 Subpart C에 규정된 것에 따라 수리되

어야 한다. FRP로 제작된 시스템의 수리는 제작자의 공인된 표준에 따라 국가적으로 인증된 수리표준에 따라서 이루어져야 한다. 금속파이프와 부속품들은 반드시 교체되어야 한다. 수선된 철 탱크는 수리 후 30일 이내에 부식방지의 적합성이 검사되어야 한다. 소유자와 운영자들은 사업수행기관의 모든 기록유지 및 요구사항, 기관에 의해 요구 또는 이행되는 테스트와 모니터링, 그리고 조사에 완벽하게 응해야 한다.

가. 누출감지

위에서 언급한 UST의 수행, 작동기준에 따라서 기존의 UST시스템과 새로운 UST시스템으로부터 오염물질의 침출을 감소시킬 것이다. EPA는 예방기술과 관련된 필수적인 지원측정방법으로 누출감지시스템을 적용하고 있다. 누출감지체제는 수시로 발생하는 환경오염을 감소시킬 수 있으며, UST에서 오염물질의 누출을 빠르게 감지할 수 있는 효과적인 방법이다. 그러므로 이방법은 UST규정의 궁극적인 목표를 달성하기 위하여 적용되고 있다.

누출감지 방법의 7가지 목록은 다음과 같다.

- 견고한 탱크와 간결한 시험
- 손으로 검량하는 탱크체계
- 자동적으로 검량하는 탱크체계
- 목록 제어 방법
- 지하수 모니터링
- 증기 모니터링
- 틈새 모니터링

이러한 7가지 방법은 독립적으로 각각 사용될 수 있다고 EPA는 신뢰하고 있다. 따라서, 사업이행기관은 각각의 방법중 한가지 또는 더 많은 방법을 지역적인 조건에 따라 수행할 수 있다. 누출감지는 모든 UST시스템에서 요구된다. 현존하는 탱크시스템에서 오염물질의 누출감지한계는 탱크가 설치된 년도에 따라 다양하다. 오래된 탱크는 빠른 시간내에 감지장치를 설치하여야 하며, 새로운 탱크는 설치계획에 누출감지장치를 설치해야 한다. 감지시스템은 정기적으로 저장물질을 담고

있는 파이프 또는 탱크의 모든 부분에서 오염물질이 새는 것을 감지할 수 있어야 한다. 시스템의 설치·작동, 유지는 제작자의 지시에 따라야 한다. 규정은 또한 누출감지에 대한 이행기준을 규정하고 있다. 여섯개 방법중 4개(목록제어, 수동 및 자동 검량 탱크체계, 탱크견고성 테스트)는 적어도 95%의 감지효율로 특정한 누출되는 물질의 양 및 누출비 한계를 나타내야 한다. 3개의 다른 방법(증기 모니터링, 지하수 모니터링, 틈새 모니터링)은 규정에 부합되어야 할 數的 기준이 아닌 일반적인 質的 기준만을 나타낸다.

누출검색규정은 유류의 UST시스템과 유해화학물질 UST시스템으로 분류된다. 새롭게 설치하는 유해화학물질 탱크시스템은 이중벽이어야 하며 유류를 저장하는 UST시스템은 30일 마다 누출검색을 하여야 한다. 그러나, 몇가지 예외가 있다. 탱크가 새것 또는 법에서 규정된 재료보다 뛰어난 재질로 설치한 탱크는, 설치 후 1998년 11월 22일까지 5년마다 탱크의 견고성 검사를 실시하고, 설치 후 10년까지 매달 명세서관리(inventory control)만으로 다른 검사를 대체할 수 있다. 현존하는 USTs(향상되지 않은)는 1998년 11월 22일까지 매년 탱크의 견고성 검사과 함께 명세서 관리를 하여야 한다. 550gallon보다 적은 탱크는 매주 측정한다. 유류 UST 시스템의 배관은 다른 표준도 만족해야 한다. 강압(Pressurized)관은 자동누출감지 장치를 갖추어야 하며 매년 견고성 검사 또는 검색을 하여야 한다. 흡입관은 다음상태를 만족한다면 누출검색이 필요없다.

① 등급아래의 관이 내압력(negative pressure)에서 작동한다.
② 관이 저장물질을 탱크안으로 배수하도록 기울어져 있다.
③ 단지 하나의 관에 대한 밸브의 검색이 필요하고 흡입관에 밸브가 실질적으로 가까이 위치해 있다.

이 조건을 만족하지 않는 흡입관은 최소한 3년마다 견고성시험 또는 검색을 해야 한다. 유해화학물질을 저장하는 UST시스템은 독립된 규정에 의하여 유지되고 있다. 모든 현존하는 시스템은 위에 기술한 유류누출검색규정을 충족하여야 한다. 그리고 새로운 유해화학물질을 저장하기 위해서는 1998년 12월 22일까지 다음의 요구조건을 충족할 수 있도록 보완되어야 한다. 누출검색은 ① 물질이 발견되고 제거될 때까지 탱크시스템으로부터 노출된 모든 물질을 함유할 수 있는 이차봉쇄

시스템이어야 한다. ② UST시스템이 작동되는 동안 주위환경으로 규정된 오염물질이 누출되지 말아야 한다. ③ 최소한 30일마다 누출검사를 실시하여야 한다. 이중벽 탱크는 외부탱크벽안에 있는 내부탱크로부터의 오염물질 누출이 감지되고 이를 탱크내·외벽의 공간에 함유할 수 있어야 한다. 이러한 경우에 내부탱크의 부실은 반드시 검사되어야 한다. 시스템이 외부차수막에 의해 둘러 쌓여 있다면(예, 지하저장실), 외부차수막은 누출을 막거나 함유할 수 있어야 하고 그 경계선 안에 전체 누출량을 함유할 수 있어야 한다. 또한 탱크주변은 완전히 둘러 쌓여, 지하수 또는 강우의 유입을 방지할 수 있어야 한다. 이 요구조건들은 유해화학물질시스템의 배관설계에도 적용된다. 특히, 강압관은 반드시 유류시스템과 동일한 자동관 누출검색장치를 갖추어야 한다.

규정에 기록되어 있는 것외에 누출 검색시스템이 앞에 기술한(탱크 소유주/운전자가 명세되어 있는 방법)만큼 효과적인 방법일 경우 사용될 수 있다. 저장 유해화학물질의 교정조치에 대한 정보, 이 물질들과 관련이 있는 건강위해성 여부를 증명할 수 있는 자료를 제출해야 한다. 그리고 해당관할의 허가당국(Implementing agency)으로부터 허가를 얻어야 한다. 이 규정의 요구조건을 충족시키기 위해 사용될 수 있는 누출검색의 각각의 7가지 형태에 대해(견고한 탱크와 간결한 시험, 수동으로 검량하는 탱크 체계, 자동적으로 검량하는 탱크 체계, 목록 제어 방법, 지하수 모니터링, 증기 모니터링, 틈 모니터링), 표준이행방법 명확히 기록되어야 한다. 예를 들어 저장물질에 대한 명세서관리방법(inventory control)이 사용된다면 그 방법은 월 기준으로 하여 매달 130gallon을 저장할 때, 저장물질의 1%의 누출을 검색할 수 있어야 한다. 명세서관리방법이 이 정도의 정확성을 갖지 않는다면 그것은 누출검색 방법으로 사용할 수 없다. 수동탱크측정의 사용은 2000gallon 또는 그 이하의 탱크에 사용될 수 있다(550gallon보다 더 적은 탱크에 대해서, 이 방법만이 이들 요구조건을 만족시킬 수 있다). 550-2000gallon의 탱크시스템에 이 방법은 누출검색 한 조항인 명세서관리방법으로 대체될 수 있다. 이 방법은 매주 표준, 매달표준(4주동안의 평균)으로 명세되어야 한다. 550gallon 또는 그보다 적은 탱크는 10gallon(매주), 5gallon(매달)의 표준오차가 허용된다. 550-1000 gallon 탱크에서는 13gallon(매주) 과 7gallon(매달)이다. 1000-2000gallon용량의 탱크는 상대적으로 26gallon(매주)과 13gallon(매달)의 표준오차를 허용한다. 탱크견고성으로 0.1gal/hr의 누출을 검색할 수 있어야 한다. 이 시험은 반드시 열팽창, 또는

Product의 수축, Vapor pockets, 탱크 Deformation, 증발과 응축, 그리고 수층의 위치의 영향을 고려하여야 한다. 명세서관리방법으로 수축에 사용되는 자동탱크측정시스템이 0.2gal/hr누출을 발견할 수 있으면 탱크의 견고성 검색방법으로 사용될 수 있다. 증기검색방법은 다섯째로 이용할 수 있는 누출검색방법이다. 이들의 설치에 앞서, 부지(site)는 사용에 적합한지 평가되어야 한다 (예, backfill은 충분히 다공성이어야 한다. 그리고 저장된 물질 또는 추적자는 검색시스템에 의해 검색할 수 있도록 충분히 휘발성이어야 한다. 그리고 오염물질의 배경농도은 시스템의 작동을 방해하지 않아야 한다.) 이 시스템은 배경농도 이상의 기체에서 증가하는 중요한 물질을 검색할 수 있어야 한다.

지하수 검색은 누출검색방법으로 사용될 수 있다. 이 방법은 부지평가(Site assessment)를 필요로 한다. 이러한 평가방법에 의하여 저장되어 있는 물질이 물에 섞이지 않고 부유하여야 하며, 수층은 항상 지표면보다 ≤20ft, 토양의 수리전달도(hydraulic conductivity)가 최소한 0.01cm/sec인 것을 증명할 수 있어야 한다. 그리고 검색정은 적절하게 설계 및 설치된 것을 보여 주어야 한다. UST시스템 내벽의 모니터링장치(Interterrestritial monitoring)는 이차 오염물질의 감지에 사용될 수 있다. 이중벽 탱크로부터의 누출이 검색될 수 있다는 증명자료 및 몇가지 요구사항에 적합하여야 한다. 세부 요구사항은 규정에 기록되어 있다. 규정에 기록되어 있지 않는 다른 방법도 그 방법이 0.2 gallon/hr의 누출을 95%의 가능성으로 감지할 수 있으며(허위경보할 가능성 5%이하) 관할지역의 당국에 의해 승인된 것이면 사용될 수 있다.

나. 누출감지, 검사 그리고 확인

UST는 탱크가 지하에 묻혀 있기 때문에 저장물질의 누출을 직접 관찰할 수 없다. 그러나 오염물질의 누출여부는 실질적으로 탱크가 주위환경에 오염물질을 누출하고 있는지를 결정하기 위해 반드시 확인되어야 한다. EPA규정은 탱크누출이 의심된다면 탱크 소유주/운전자가 반드시 검색해야 할 조항을 제시하고 있다. 탱크에서 오염물질이 누출된다는 의심은 명확한 검색결과, 비정상적인 운전상태, 또는 탱크 주변에서 규정된 물질의 발견에 의하여 나타난다. 비정상적인 운전상태는 저장물질의 갑작스런 손실, UST에서 물의 발견, 또는 기구(Product-dispersing equipment)의 비정상적인 운전상태 등이다. 탱크의 소유주/운전자는 누출이 의심

된다면 24시간 내로 관할 당국에 반드시 보고하고, 소유주/운전자는 다음 세가지 조치를 취할 수 있다. ① 즉시 교정작업을 시작한다. ② 탱크 견고성 시험을 한다. ③ 부지평가(site check)를 실시한다. 누출의 증거가 확실하지 않다면 누출이 확인될 때까지 교정작업이 연기될 수 있다. 의심되는 누출을 확인하기 위한 대표적인 방법은 탱크와 배관의 견고성 검사이다. 시스템의 검사결과, 누출이 확인되면 UST시스템은 수리되거나 제거 또는 보완되어야 한다. 견고성 시험결과, 시스템에서 오염물질이 누출되지 않는다면 더 이상의 조치는 필요없다. 그러나 환경오염(예를 들면, 기체가 하수구에서 발견되거나 또는 우물근처에서 누출물질의 발견)으로 인한 누출이 의심된다면, 부지평가가 반드시 실시되어야 한다. 부지평가가 실행되는 동안 오염물질이 발견될 수 있는 모든 장소에서 오염물질의 측정이 실행되어야 한다. 소유주/운전자는 저장된 물질의 성질, 초기오염증후 또는 의심의 원인, backfill의 형태, 지하수 깊이, 그리고 샘플링 방법과 지역을 선택할 때 다른 인자 등을 고려해야 한다. 부지평가에서 누출이 검색되지 않았다면 더욱 정밀한 조사가 요구된다. 누출이 확실하면 교정작업을 즉시 시작해야 한다.

다. 누출보고와 조치

누출의 보고와 조치는 누출이 확인된 후 즉시 실행되어야 한다. 누출을 확인하는 규정된 방법에는 두 단계가 있다. 즉시 불 또는 폭발과 같이 직접적으로 건강을 위협하는 징조를 줄이고 확인하는 조치를 취한다. 그리고 장기간에 걸쳐 인간의 건강과 환경에 악영향을 미칠 수 있는 위험징조를 경감시키기 위한 조치를 행한다. 장기간 교정 조치가 물리적 세척이나 다른 방법을 이용하여 지하수를 정화하는 계획인 반면, 즉각적인 조치는 누출된 탱크에 남아 있는 잔류물질을 제거하거나 또는 폭발성 기체를 대기중에 흩뜨리는 것이다.

누출의 보고와 조치는 다음순서에 따른다.

- 초기보고(The initial response)
- 초기감소 조치(initial abatement measure and site check)
- 초기지역의 특성(an initial site characterization)
- 누출물질(Free product)의 제거
- 토양과 지하수정화를 위한 조사

・교정조치 계획
・공중참여

어떤 확인된 누출의 초기보고는 세단계로 이루어진다.
① 관할 당국에 누출의 통보
② 주위 환경에 규정된 물질의 더 이상의 누출방지
③ 갑작스런 불과 폭발, 또는 휘발성 위험성(Vapor hazard)의 감소조치

이 단계는 누출이 확인된 후 24시간 내에 반드시 모두 이루어져야 한다. 초기보고 다음에, 소유주/운전자는 즉시 초기감소조치를 시작해야 한다. 다음단계는 이 요구를 만족시키기 위해 EPA에 의해 열거된 것 들이다.
① 더 이상의 누출을 막기 위해 UST에서 규정된 물질을 제거한다.
② 노출된 누출부분을 관찰하고 더 이상의 이동을 방지한다.
③ 잠정적인 화재와 폭발의 위협을 감소시키기 위해 지속적인 조치를 취한다.
④ 오염된 토양으로부터 발생할 수 있는 위험요인의 제거
⑤ 누출물질(Free product)이 존재하는지 여부를 결정하고 존재한다면 제거한다.

누출이 확인된 후 20일 이내에 소유주와 운전자는 조치단계를 요약하여 당국에 보고서를 제출하여야 한다. 지역의 특성조사도 이루어져야 하고 누출이 확인된 후 45일 이내에 당국에 보고서를 제출하여야 한다. 이 보고서는 누출수의 특성과 양에 대한 정보, 주위인구, 위치 그리고 주위우물의 사용, 토양의 사용, 기후상태, 그리고 이와 비슷한 인자뿐만 아니라 누출의 확인 또는 초기감소방법(Initial abatement measure)을 완료하는 동안 얻은 정보도 포함해야 한다. 초기지역조사에서 누출물질이 존재한다고 측정된 지역에서 순서는 반드시 “최대로 사용할 수 있는 정도까지” 누출물질을 제거하는 과정이 포함되어야 한다. 이 순서는 누출물질의 이동을 최소화 할 수 있도록 해야 한다. 그리고 가연성 물질은 적당한 방법으로 안전하게 다를 수 있다고 확신되어야 한다. 누출물질제거의 상세한 보고서는 누출확인 이후 45일 이내에 당국에 제출되어야 한다. 보고서는 반드시 우연히 측정된 누출물질의 양과 형태, 사용되어진 회복시스템의 형태, 관련된 정보, 누출물질 회수 운전을 수행한 사람의 이름, 그리고 처리의 정보 그리고 회수한 물질의

마지막 배열형태에 대한 정보 등을 포함해야 한다.

토양과 지하수의 정화를 위한 조사는 저장탱크가 있는 상태에서 충분한 이유가 있다면 반드시 실행되어야 한다. 이런 상태는 누출물질의 존재, 주위 우물의 오염, 또는 오염된 토양을 통하여 지하수가 오염되었다는 증거 등이다. 이 조사동안 수집된 정보는 비록 명확한 시간의 제한이 없어도 '가능한 빨리 이용할 수 있도록' 당국에 제출하여야 한다. 이때 수집된 정보를 검토한 후, 당국은 소유주와 운전자에게 토양과 지하수 정화를 위한 교정 조치계획을 제출할 것을 요구할 수 있다. 그 계획은 당국이 규정된 물질의 특성(예, 독성), 그 부지의 수리·지질학적 상태, 그리고 주위 水源의 근접정도 등을 고려하여 적절히 인간의 건강과 환경을 보호한다고 결정한 후에 승인될 수 있다.

환경오염을 최소화한다는 관점에서 오염지역의 정화는 당국의 승인에 앞서 시작될 수 있다. 탱크에서 오염물질이 누출하였을 때, 당국은 반드시 공중참여가 이루어질 수 있도록 여러단계의 교정계획 및 조치를 거쳐야 한다 (Total number of steps). 예를 들면 가정에 배달되는 신문 또는 인쇄물을 통한 공중인식이 있어야 한다. 교정조치계획에 대한 비평 및 의견을 수렴하기 위해 공공모임이 열릴 수 있다.

라. 탱크시스템의 폐쇄

탱크시스템의 폐쇄는 향후 사용되지 않는 USTs로부터 환경오염을 방지하도록 실시하는 것이다. UST시스템이 일시적으로 폐쇄되어도 부식방지와 누출방지시스템은 반드시 운영되어야 하고 지속적으로 작동되어야 한다. 비어 있는 UST시스템의 누출방지 시스템은 작동할 필요가 없다. 폐쇄기간이 3개월이 넘을 경우 사람의 접근이 금지되어야 한다. 그러나 폐쇄된 탱크의 배출관은 열어두어 지속적으로 작동되어야 한다. 12개월 이상 폐쇄된 UST는 탱크가 새것 또는 향상된 품질의 UST로 대체되지 않는 한 영원히 폐쇄되어야 한다. 영구폐쇄 또는 사용목적이 변경되는 탱크는 당국에 통보해야 하며 부지평가를 실행해야 한다. 폐쇄되는 탱크의 내부는 비워지고 깨끗이 청소되어야 한다. 필요에 따라서는 탱크내부를 고체형의 비오염물질로 채워야 한다. 사용목적이 바뀐 탱크(예를 들면, 비규정물질을 저장)는 우선 비워지고 청소가 되어야 한다. 이런 조치를 취하기에 앞서 부지평가가 반드시 이루어져야 한다. 토양 또는 지하수가 오염되었거나 오염물질의 누

출이 발견될 경우, 교정조치는 반드시 Subpart E와 일치하게 시작해야 한다. 1988년 12월 22일 이전에 영구 폐쇄된 UST의 소유자와 운전자는 당국의 지시에 따라 부지평가를 실시해야 한다. 탱크폐쇄를 위한 요구조건을 만족한다는 것을 증명할 수 있는 기록은 보관되어야 한다.

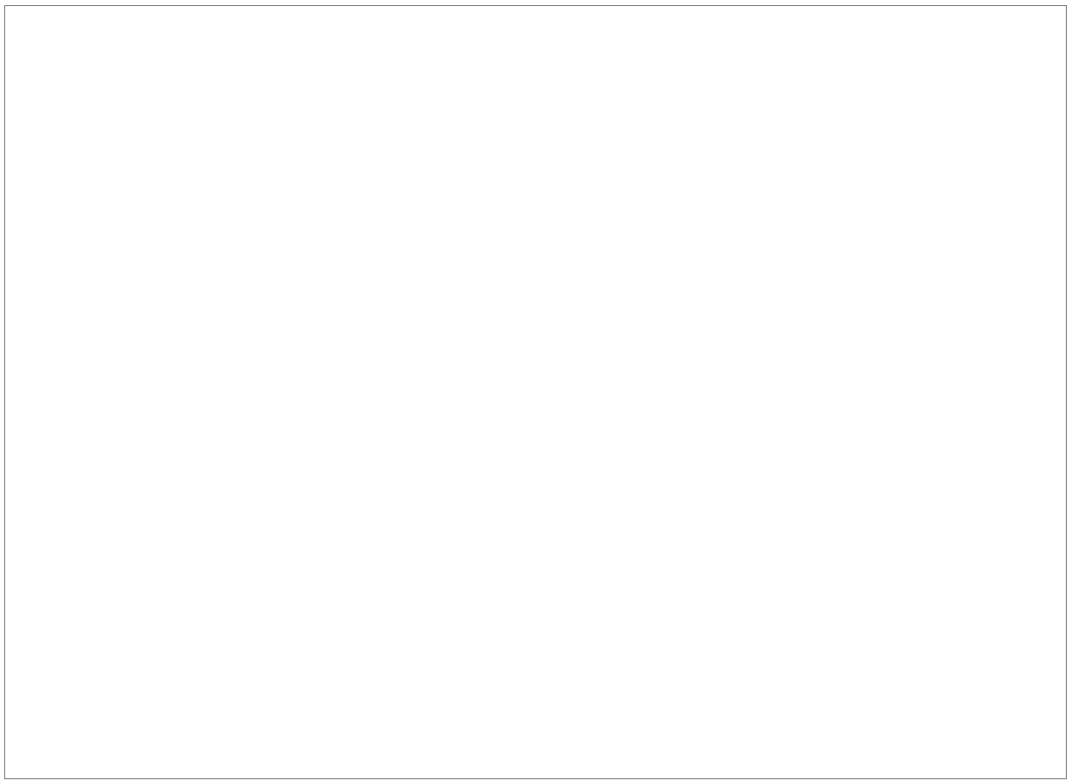
(4) 최대환경보전

'Detecting Leaks':「Successful Method Step by Step」로 이름 붙여진 EPA의 소책자는 USTs에 대한 환경보전을 최대화시키는 개념을 제시하고 있다. 이 정보는 지하 탱크, 중간검색, 그리고 지하파이프에 대한 바람직한 이차차단의 형태를 나타내고 있다. 이와 더불어, 배출검색방법도 설명되고 있다.

가. 이중차단

이중차단 시스템은 탱크와 토양사이에 외부벽이 설치된 시설이다. 이 시설의 탱크와 외부벽사이에는 탱크로부터 누출된 오염물질이 감지 및 처리될 수 있을 때까지 시설내에 충분한 기간동안 누출물질을 함유할 수 있는 환경보호시설이 설치되어 있어야 한다. 유해화학물질을 함유한 탱크시스템에서는 물질의 이동을 막는 것이 필요조건이다. 이중벽탱크, 자켓탱크 그리고 완전히 둘러싼 외부 차수막 등은 이런 보호를 할 수 있다. 특히, 이차 차단지는 탱크의 내용물을 보유할 수 있는 충분한 용적이 되야 하며 (또는 탱크가 하나 이상이면 가장 큰 탱크로 설정되어야 한다) 강우나 지하수의 침투를 방지해야 한다. 이런 이중차단 시스템의 개략도는 <그림 부록 1-1>로 도시할 수 있다.

이중벽 탱크의 이차(외부)탱크는 일차(내부)탱크와 동일한 재료로 만들어져야 한다. 자켓탱크 또는 차수막을 설치한 탱크에 사용되는 재료는 저장된 물질에 적합성이 있어야 한다. 재료는 검색지점으로 저장물질을 직접 배출하고 검사가 가능하도록 충분히 두껍고 불침투성이어야 한다. 자켓 또는 차수막을 통한 저장된 물질의 침투속도는 $\leq 10^{-6}$cm/sec 이어야 한다.



<그림 부록 1-1> 지하저장탱크시설의 이중차단시스템

나. 중간검색

중간검색 시스템은 정상적인 작동 상태에서 지하탱크로부터 누출을 감지할 수 있도록 설계되어야 한다. 대부분의 경우에, 누출감지시스템의 누출속도는 측정할 수 없으나 누출의 여부는 판단할 수 있다. 중간검색시스템의 전기전도율, 압력감지, 유체감지, 수력학의 검색, 수동검사 그리고 기체 검색 등과 같은 몇몇의 기구장치중의 하나에 근거하여 저장물질의 누출이 감지되도록 작동해야 한다. 전도율, 유체의 감지, 수동검색 그리고 기체검색은 모든 적용에 적절하다. 압력감지와 수력학적 검색방법은 이중벽 설치에만 적용할 수 있다.

지하에 있는 탱크의 물리적 검사는 불가능하기 때문에 중간검색시스템은 탱크가 안전함을 확증할 수 있는 기본수단이다. 이러한 이유로 검색시스템의 잠정적인 문제점들이 설치되기 전에 확인되어야 하고 시스템의 설계에서 반영되어야 한다. 이런 잠정적인 문제점은 이차 차단시스템의 누출구멍 또는 부적절한 차수막을 통

해 지하수나 지상의 누출수가 이차차단지로 침투되는 것을 포함한다. 특히, 전기 장치의 결함은 검색장치의 모든 기능을 상실하게 되므로 유의해야 한다.

다. 다른 방출감지방법

중간검색이 없는 기존의 UST시스템의 경우 다른 방출감지방법이 요구된다. 이 방법은 목록조정, 기체검색, 지하수 검색과 수동 또는 자동탱크측정과 부피검사 등의 탱크견고성 측정방법을 포함한다.

화학물질명세서의 관리방법은 시간당 1gallon이 누출되는 것을 발견하는데 효과적인 기술이다. 이것의 낮은 감도 때문에, 탱크견고성시험과 함께 실시되어야 하며 시스템이 시행표준에 맞추어질 때까지 적어도 5년마다 탱크견고성시험과 함께 실시되어야 한다. 일반적으로 이 방법은 투입과 회수 그리고 탱크안에 남아 있는 양의 신중한 추적(tracking)이 요구되어진다.

증기(기체)검색은 유류를 저장하는 UST에 주로 사용된다. 감지시스템의 성공여부는 지질과 토양특성에 달려있다. 증기검색시스템은 기체 검색정과 기체감지기로 구성되어 있다. UST로부터 화학물질이 누출되면 액체와 기체는 주위 토양으로 확산된다. 지정한 기체의 농도보다 높은 농도가 감지되면 시스템은 경보를 울려야 한다.

지하수 검색은 비중이 <1.0인 유류 또는 다른 화학물질의 효과적인 배출감지 방법이다. 이 방법은 지하수의 높이가 탱크의 굴착지대에 매우 가까이 있는 지역에서 사용될 수 있다. 영구 관측정이 탱크에 가까이 위치하고 관측정은 우물 윗부분에 있는 자유상 화학물질 징후를 발견하기 위해 정기적으로 조사되어야 한다.

수동과 자동탱크측정과 부피시험을 사용한 탱크견고성 시험 역시 누출 감지의 방법에 적용될 수 있다.

라. 지하파이프의 설계 (Design of Underground Piping)

중간검색과 더불어 이중저장배관은 지하에서 환경보전을 최대화 할 수 있는 유해물질의 저장시설에 필요하다. 이 시설에는 압력이 있는 경우 누출의 흐름을 억제하기 위한 자동 흐름억제 장치의 사용과 기압이 떨어질 때 흐름을 멈추기 위한 자동흐름 멈춤장치가 설치되어 있어야 한다.

지하 이중저장배관의 설계는 트랜치차수막의 설치와 이중벽 배관도 포함한다.

트랜치차수막에 적용하는 배관 트랜치는 저장되어 있는 화학물질이 스며들지 않게 유연성 있는 차수막으로 설계되어야 한다. 차수막은 열가소성 플라스틱 또는 중합체의 판으로 최소한 50mm의 두께를 유지하고 있다. 트랜치는 탱크와 파이프의 누출을 구분할 수 있도록 탱크로부터 약간 떨어져 경사지도록 설계되어야 한다.

이중벽 배관의 적용에서, 내부와 외부의 파이프는 동일한 재료로 제작될 수 있다. 또는 외부 파이프는 섬유유리 경화 플라스틱과 같은 경제적인 재료로 제작할 수 있다. 섬유유리 경화 플라스틱은 높은 압력을 받는 곳에서 사용할 수 없으나 화학물질의 저장에 이용될 경우는 압력이 없거나 또한 적은 압력을 받는 곳에서 사용할 수 있다. 이중벽 배관은 액체나 기체의 존재를 검색할 수 있도록 액체 구조물, 배수웅덩이, 또는 관측정에 대해 일반적으로 경사지게 설계되어야 한다.

3. 탱크시스템의 재료

탱크시스템의 재료를 선택할 때, 화학적 적합성과 경제성을 함께 고려해야 한다. 재료의 선택은 각각의 적용에 있어서 화학물질이나 폐액, 저장온도, 압력범위를 모두 고려해야 한다. 다른 요소는 태풍의 가능성과 같은 기후조건과 정상 대기조건을 함께 고려하여야 한다(Woodside and Prusak, 1991).

첫째, 탱크의 선택된 재료는 예산이 허용되는 최적조건과 부합해야 한다. 비용을 낮추기 위하여 긴급상황에만 쓰이는 이차차단은 경제성이 있는 덜 비싼 재료로 만들어 질 수 있다. 탱크시스템의 재료선택은 각각의 이용상태에 적합하도록 만들어져야 한다. 다양한 금속, 비금속물질과 관련한 특정한 화학물질의 적합성에 대한 자료는 NACE에 의해 Corrosion Data Survey에 기록되어 있다. 금속 테스트에 포함되는 것들은 다음과 같다.

① Iron based metals such as carbod steel and stainless steel
② Copper based metals such as copper and copper alloys
③ Nickel alloys such as nickel-chrome-iron and nickel-chrome-molybdenum
④ Other metals and alloys such as aluminum, silver, and titanium

비금속 테스트에 포함된 것들은 carbon, glass, synthetic rubber, epoxy fiberglass, fiberglass재료와 polyethylene, polypropylene, polyvinyl chloride와 같은 플라스틱 재료

들이다. 이러한 재료들의 사용에 있어서 온도범위는 일반적으로 70°F에서 140°F 이다.

NACE 자료에 기초하여 산업시설에서 일반적으로 사용되는 화학물질의 저장형태에 대한 적합성을 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 산(Acids)

주철, 탄소강 또 스테인레스강과 같은 철금속들은 약산성물질의 저장시설에 적합하지 않다. Austenitic stainless steel(AISI 316, 317과 같은)과 니켈을 포함한 몰리브덴합금은 낮은 온도(200°F미만)에서 대부분의 농도의 산성물질 저장에 적합하다. 금과 백금합금, 은, 탄탈, 티타늄과 같은 금속과 다른 합금, hastelloy는 높은 온도에서 특정 산에 견딜 수 있으나 비싼 비용 때문에 폭넓게 사용되지 않는다. 그러나 개스킷, 밸브 그리고 작지만 중요한 부분들은 화학물질의 침투를 방지할 수 있도록 이러한 금속물질을 사용한다. Polyester-fiberglass와 glass-lined steel 등은 synthetic butyl과 fluorine, natural rubber를 포함한 비금속물질의 저장에 적합하다. 저장물질의 종류에 따라 Epozy fiberglass와 carbon 등을 혼합하여 사용할 수 있다. Polyetylene과 polypropylene과 같은 플라스틱은 약산과 함께 사용할 수 있다. 그러나 황산, 질산, 플루오르화수소산 등과 같은 강산의 높은 농도의 저장물질로는 적합하지 않다.

(2) 알코올(Alcholhls)

Carbon, stainless steel, cast iron, aluminum 등의 금속합금은 다양한 종류의 알코올을 낮은 온도에서 저장하기에 적합하다. 합성 또는 천연고무는 알코올의 종류에 따라 사용될 수 있다. 여러형태의 고무는 특정 알코올 형태에 따라 다양하게 변화된다. 이소프로필 알코올은 flurine고무에 가장 적합하나 butyl과 천연고무도 낮은 온도에서 사용될 수 있다. 다른 비금속 자료는 알코올의 종류에 따라 적합하게 사용될 수 있다.

(3) 알데히드(Aldehydes)

일반적으로 AISI 304나 그보다 높은 스테인레스강은 특정화학물질에 의존하는 알데히드의 저장에 적합하다. 니켈합금과 동합금과 같은 합금은 또한 대부분의

알데히드 저장탱크에 효과적으로 사용될 수 있으나, 비금속 재료의 사용은 적합하지 않다. Furfuryl alcohol-glass, glass-lined steel, epoy-asbestos-glass는 다양한 알데히드계의 물질을 저장하는 데 적합하나 비싸다. 다른 비금속물과의 적합성은 알데히드의 종류에 따라 다양하다. Polypropylene과 같은 플라스틱은 높은 농도와 온도에서 부적합하다. 합성, 천연고무의 사용은 매우 제한되어 있다.

(4) 암모늄용액(Ammonium Solutions)

구리를 포함한 금속탱크에 암모늄용액을 저장하는 것은 적합하지 않다. Stainless steel, nickel-based alloy는 대부분 암모늄 용액의 저장에 적합하다. 알루미늄은 대부분의 암모늄 용액의 저장에 적합하다. 합성, 천연고무는 거의 모든 암모늄용액의 낮은 온도에서 잘 견딘다. Glass-lined steel은 ammonium fluoride와 같은 강한 용액에도 잘 견딘다. Polychloroprene, polyethylene, polypropylene은 농도가 낮은 암모늄 용액의 저장에 적합하게 사용될 수 있다. 암모니아는 대부분의 금속저장탱크에 저장될 수 있으나 일반적으로 탄소강으로 만들어진 탱크가 이용된다. 요소(urea)는 AISI 304나 그보다 고품질의 스테인레스강으로 만들어진 탱크에 저장되어야 한다.

(5) 부식성용액(Caustics)

Carbon steel, AISI 304, 316 stainless steel은 특별히 낮은 온도에서 대부분의 부식성의 용액의 저장에 적합하다. 니켈과 니켈을 주로한 합금도 이들 물질의 저장에 적합하다. 천연고무, 부틸고무는 일반적인 부식제의 저장탱크의 재질로 적합하다. Polychloroprene, polypropylene, epoxy fiberglass, polyvinyl chloride 등으로 만들어진 탱크도 이들 물질의 저장하는 데 적합하게 사용할 수 있다.

(6) 석유증류액(Petroleum Distillates)

대부분의 석유증류액은 금속재질로 만들어진 대부분의 탱크에 저장될 수 있으나 가장 우수한 탱크재료는 탄소강으로 알려져 있다. 합성고무나 천연고무는 석유증류액을 저장하는 데 일반적으로 적합하지 않다. Polyethylene과 polypropylene으로 만들어진 탱크는 석유증류액에 포함되어 있는 방향족의 hydrocarbon이 탱크의 경화를 일으키고 압력정도에 따라 탱크를 갈라지게 하므로 적합하지 않다. Glass,

epoxy, fiberglass는 석유증류액의 저장에 적합하나 구조적으로 용량이 큰 탱크의 재료로는 적합하지 않다. 또한 海水에 직접적으로 닿고 있는 경우에는 적합하지 않다. Cupro-nickel합금은 해수내에 위치하고 있는 석유증류액의 저장에 적합하다.

탱크시스템을 설계할 때 적절한 기초, 재료선택, 음전기보호, 이차차단장치들이 고려되어야 한다. 석유생산품이나 독성물질을 저장할 지하의 탱크시스템과 독성 폐기물 탱크시스템에 대한 규칙이 공포된 1980년대 이후의 탱크시스템은 더욱 엄격히 관리되고 있다. 특히, 규정들은 탱크시스템의 두가지 형태의 시스템에 대한 테스트와 면허 등에 대해 세부적으로 제시되었다. 부식방지에 대한 검사는 탱크의 재료를 선택하기 이전에 실행되어야 하고 설치된 후에는 탱크의 보전에 관한 검사가 중요하다. 두가지 검사에 대한 테스트 방법은 국립표준기관(National standards organization)에 의하여 표준화 되고 있다.

규칙은 또한 새로운 탱크시스템에 대한 기술표준을 설정하고 있다. 이러한 표준은 독성폐기물 탱크나 독성물질을 저장하는 지하시스템에 대한 이차 차단지의 설치를 포함하고 있다. 또한, 금속으로 코팅된 지하탱크시스템은 음극방지판이 필히 설치되도록 되어 있다. 이전에 설치된 탱크시스템이 기술표준에 적합하도록 소급 적용하도록 되어 있지는 않으나 1995년 현재 이에 대한 규제가 검토되고 있다. EPA에 의해 정립된 다른 기술 표준은 매립 금지된 폐기물에 대한 독성 폐기물처리 기술표준을 함께 포함하고 있다.

<부록 2> 토양환경보전법 전문, 목적 및 의미, 구성 및 체계

1. 토양환경보전법의 전문

法律 제4,906號

土壤環境保全法

制定 1995. 1. 5

第1章 總 則

第1條(目的) 이 法은 土壤汚染으로 인한 國民健康 및 環境상의 危害를 예방하고 土壤을 적정하게 관리·보전함으로써 모든 國民이 건강하고 快適한 삶을 누릴 수 있게 함을 目的으로 한다.

第2條(定義) 이 法에서 사용하는 用語의 定義는 다음 各號와 같다.

1. "土壤汚染"이라 함은 事業活動 기타 사람의 활동에 따라 土壤이 汚染되는 것으로서 사람의 健康이나 環境에 被害를 주는 狀態를 말한다.
2. "土壤汚染物質"이라 함은 土壤汚染의 원인이 되는 物質로서 大統領令이 정하는 것을 말한다.
3. "土壤汚染誘發施設"이라 함은 土壤汚染物質을 生産·運搬·貯藏·取扱·加工 또는 處理함으로써 土壤을 汚染시킬 우려가 있는 施設·裝置·建物·建築物 및 場所등으로서 大統領令이 정하는 것을 말한다.

第3條(적용 제외) 이 法은 放射性物質에 의한 土壤汚染 및 그 방지에 관하여는 이를 적용하지 아니한다.

第4條(土壤保全基本計劃의 수립 등)①環境處長官은 土壤保全을 위하여 10年마다 土壤保全에 관한 基本計劃(이하 "基本計劃"이라 한다)을 수립·施行하여야 한다.

②環境處長官은 基本計劃을 수립하고자 할 때에는 關係中央行政機關의 長과 協

議한 후 環境政策基本法 第36條의 規定에 의한 環境保全委員會의 審議를 거쳐야 한다.

③基本計劃에는 다음 各號의 사항이 포함되어야 한다.

1. 土壤保全에 관한 施策方向
2. 土壤汚染의 現況·進行狀況 및 將來豫測
3. 土壤汚染의 방지에 관한 사항
4. 기타 土壤保全에 관하여 필요한 사항

④特別市長·直轄市長 또는 道知事(이하"市·道知事"라 한다)는 基本計劃에 따라 管轄區域안의 地域土壤保全計劃(이하"地域計劃"이라 한다)을 수립하여 環境處長官의 승인을 얻어 施行하여야 한다. 地域計劃을 변경하고자 할 때에도 또한 같다.

⑤基本計劃 및 地域計劃의 수립방법·節次 기타 필요한 사항은 大統領令으로 정한다.

第5條(土壤汚染度 測定등) ①環境處長官은 전국적인 土壤汚染實態를 파악하기 위하여 測定網을 설치하고, 土壤汚染度를 常時測定하여야 한다.

②市·道知事는 당해 管轄區域안의 土壤汚染實態를 파악하기 위하여 測定網을 설치하고, 土壤汚染度를 常時測定하여야 한다. 이 경우 市·道知事는 그 測定結果를 總理令이 정하는 바에 따라 環境處長官에게 보고하여야 한다.

③第1項 및 第2項의 規定에 의한 測定網의 設置 기준·범위·區域 기타 필요한 사항은 總理令으로 정한다.

④環境處長官 또는 市·道知事는 土壤保全을 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 總理令이 정하는 바에 따라 다음 各號의 地域에 대한 土壤精密調査를 실시할 수 있다.

1. 第1項 또는 第2項의 規定에 의한 常時測定의 결과가 第14條의 規定에 의한 憂慮基準을 초과하는 地域
2. 第3項의 規定에 의한 測定網 設置區域외의 地域으로서 第14條의 規定에 의한 憂慮基準을 초과할 가능성이 있다고 판단되는 地域

⑤第1項·第2項 및 第4項의 規定에 의한 常時測定 및 土壤精密調査의 결과는 이를 公開하여야 한다.

第6條(測定網設置計劃의 決定·告示) ①環境處長官은 第5條第1項의 規定에 의한 測定網의 位置·區域등을 명시한 測定網 設置計劃을 決定하여 이를 告示하고, 누구든지 그 圖面을 閱覽할 수 있게 하여야 한다. 測定網 設置計劃을 변경한 때에도 또한 같다.

②第1項의 規定은 第5條第2項의 規定에 의하여 市·道知事가 測定網을 設置하는 경우에 이를 準用한다.

第7條(土地등의 收用 및 사용) ①環境處長官 또는 市·道知事는 第5條의 規定에 의한 常時測定 또는 土壤精密調査를 위하여 필요한 경우에는 同條第4項의 規定에 의한 土壤精密調査 地域 및 第6條의 規定에 의하여 告示된 測定網 設置區域의 土地·建築物 또는 그 土地에 정착된 물건을 收用 또는 사용할 수 있다.

②第1項의 規定에 의한 收用 또는 사용의 節次·損失補償등에 관하여는 土地收用法이 정하는 바에 의한다.

第8條(他人土地에의 出入등) ①環境處長官 또는 市·道知事는 第5條第1項·第2項 및 第4項의 規定에 의한 常時測定 또는 土壤精密調査를 위하여 필요한 경우에는 소속 公務員으로 하여금 他人의 土地에 出入하거나, 그 地上의 立木·土石 기타 障碍物을 변경 또는 제거하게 할 수 있다.

②第1項의 規定에 의하여 障碍物을 변경 또는 제거하고자 할 때에는 障碍物의 所有者·占有者 또는 管理人의 同意를 얻어야 한다. 다만, 障碍物의 所有者·占有者 또는 管理人이 現場에 없거나 住所 또는 居所를 알 수 없어 그 同意를 얻을 수 없는 때에는 관할 市長(區가 설치되어 있는 市의 市長을 제외한다)·郡守·區廳長의 同意를 얻어 障碍物을 변경 또는 제거할 수 있다.

③第1項의 規定에 의하여 他人의 土地에 出入하거나 그 地上의 障碍物을 변경 또는 제거하고자 할 때에는 出入할 날 또는 障碍物을 변경·제거할 날의 3日전까지 그 土地 또는 障碍物의 所有者·占有者 또는 管理人에게 이를 통지하여야 한다. 다만, 그 土地 또는 障碍物의 所有者·占有者 또는 管理人의 住所 및 居所를 알 수 없는 경우에는 통지를 아니할 수 있다.

④日出전·日沒후에는 당해 土地의 占有者의 승낙없이 는 宅地 또는 담장이나

울로 둘러싸인 他人의 土地에 出入할 수 없다.

⑤土地의 占有者는 정당한 사유없이 第1項의 規定에 의한 관계 公務員의 행위를 방해 또는 거절하지 못한다.

⑥第1項의 規定에 의하여 他人의 土地를 出入하고자 하는 公務員은 그 權限을 나타내는 證票를 關係人에게 내보여야 한다.

第9條(損失補償) ①國家 또는 地方自治團體는 第8條의 規定에 의한 행위로 인하여 他人에게 損失을 입힌 때에는 大統領令이 정하는 바에 따라 그 損失을 補償하여야 한다.

②第1項의 規定에 의하여 補償을 받고자 하는 者는 環境處長官 또는 市·道知事에게 이를 請求하여야 한다. .

③環境處長官 또는 市·道知事는 第2項의 規定에 의한 請求가 있는 때에는 그 損失을 받은 者와 협의하여 補償할 금액 등을 결정하고 請求人에게 이를 통지하여야 한다.

④第3項의 規定에 의한 협의가 성립되지 아니하거나 협의할 수 없는 경우에는 環境處長官 및 市·道知事 또는損失을 받은 者는 大統領令이 정하는 바에 따라 관할 土地收用委員會에 裁決를 신청할 수 있다.

第10條(土壤汚染公定試驗方法) 環境處長官은 土壤汚染物質을 測定함에 있어서 測定의 정확과 統一을 기하기 위하여 土壤汚染公定試驗方法을 정하여 이를 告示하여야 한다.

第2章 土壤汚染의 規制

第11條(土壤汚染誘發施設의 申告등) ①土壤汚染誘發施設을 設置하고자 하는 者는 大統領令이 정하는 바에 따라 당해 施設의 내용, 第2項의 規定에 의한 土壤汚染防止措置에 대한 計劃을 관할 市·道知事에게 申告하여야 한다. 申告한 내용을 변경하고자 할 때에도 또한 같다.

②土壤汚染誘發施設의 設置者(당해 施設을 운영하는 者를 포함한다. 이하 같다)는 大統領領이 정하는 바에 따라 土壤汚染을 防止하기 위한 施設의 設置 등 필요한

措置(이하 “土壤汚染防止措置”하 한다)를 하여야 한다.

③土壤汚染誘發施設의 設置者는 大統領令이 정하는 바에 따라 定期的으로 總理令이 정하는 土壤 관련 專門機關으로부터 당해 施設의 敷地 및 그 周邊地域(土壤汚染 의 우려가 있다고 인정되어 總理令이 정하는 地域을 말한다. 이하 같다)에 대한 土壤汚染檢査를 받아야 한다.

④土壤汚染誘發施設의 設置者는 第3項의 規定에 의한 檢査結果등 總理令이 정하는 사항을 기재한 記錄簿를 비치하여야 한다.

第12條(土壤汚染誘發施設 設置者에 대한 命令) ①市・道知事는 土壤汚染誘發施設의 設置者가 다음 各號의 1에 해당하는 경우에는 期間을 정하여 그 是正등 필요한 措置를 명할 수 있다.

1. 土壤汚染防止設置를 하지 아니하거나 그 기준에 적합하지 아니한 경우
2. 第11條第3項의 規定에 의한 土壤汚染檢査結果가 第14條의 規定에 의한 憂慮基準을 초과하는 경우

②市・道知事는 土壤汚染誘發施設의 設置者가 第1項의 規定에 의한 命令을 이행하지 아니하거나 그 명령을 이행하였더라도 당해 施設의 敷地 및 그 周邊地域의 土壤汚染의 정도가 第14條의 規定에 의한 憂慮基準이내로 내려가지 아니한 경우에는 그 土壤汚染誘發施設의 사용중지를 명할 수 있다.

第13條(出入檢査등) ①市・道知事는 필요하다고 인정하는 때에는 土壤汚染誘發施設의 設置者에 대하여 감독상 필요한 보고를 하게 하거나 資料의 제출을 명할 수 있으며, 소속 公務員으로 하여금 土壤汚染誘發施設에 出入하여 土壤汚染誘發施設등의 設置・土壤汚染檢査・記錄簿 備置의 여부 등을 檢査하게 할 수 있다.

②第1項의 規定에 의하여 檢査를 하는 公務員은 그 신분을 나타내는 證票를 關係人에게 내보여야 한다.

第14條(土壤汚染憂慮基準) 사람의 건강 및 財産과 動・植物의 生育에 지장을 초래할 우려가 있는 土壤汚染의 기준(이하 “憂慮基準”이라 한다)은 總理令으로 정한다.

第15條(土壤汚染防止措置命令등) ①市·道知事는 第5條第1項·第2項 및 第4項의 規定에 의한 常時測定 또는 土壤精密調査 결과가 憂慮基準을 초과하는 경우에는 그 汚染의 원인을 발생하게 한 者(이하 "汚染原因者"라 한다)에 대하여 土壤汚染防止를 위한 다음 各號의 措置를 명할 수 있다.

1. 土壤汚染物質의 제거 또는 施設등의 移轉
2. 土壤汚染을 방지하기 위한 施設의 設置
3. 기타 土壤汚染을 방지하기 위하여 大統領令이 정하는 措置

②第1項第2號의 規定에 의한 土壤汚染을 방지하기 위한 施設의 種類·기준 기타 필요한 사항은 大統領令으로 정한다.

第3章 土壤保全對策地域의 지정 및 관리

第16條(土壤汚染對策基準) 憂慮基準을 초과하여 사람의 건강 및 財産과 動·植物의 生育에 지장을 주어서 土壤汚染에 대한 對策을 필요로 하는 土壤汚染의 기준(이하 "對策基準"이라 한다)은 總理令으로 정한다.

第17條(土壤保全對策地域의 지정) ①環境處長官은 第5條第4項의 規定에 의한 土壤精密調査結果가 對策基準을 초과한 地域 또는 第2項의 規定에 의하여 市·道知事가 요청하는 地域에 대하여는 관계 中央行政機關의 長 및 관할 市·道知事와 협의하여 土壤保全對策地域(이하 "對策地域"이라 한다)으로 지정할 수 있다.

②市·道知事는 管轄區域중 특히 土壤保全이 필요하다고 인정하는 地域에 대하여는 당해 지역의 土壤汚染의 정도가 對策基準을 초과하지 아니하더라도 이를 對策地域으로 지정하여 줄 것을 環境處長官에게 요청할 수 있다.

③第1項의 規定에 의한 對策地域의 지정기준·지정절차 기타 필요한 사항은 大統領令으로 정한다.

④環境處長官은 第1項의 規定에 의하여 對策地域을 지정할 때에는 당해 地域의 位置·면적·指定年月日·指定目的 기타 總理令이 정하는 사항을 告示하여야 한다. 告示된 사항을 변경한 때에도 또한 같다.

第18條(對策計劃의 수립·施行) ①市·道知事는 對策地域에 대하여는 土壤保全對

策을 위한 計劃(이하 “對策計劃”이라 한다)을 수립하여 環境處長官의 승인을 얻어 施行하여야 한다.

②對策計劃에는 다음 各號의 사항이 포함되어야 한다.

1. 汚染土壤改善事業
2. 土地등의 利用方案
3. 기타 당해 對策計劃의 수립·施行을 위하여 필요하다고 인정하여 總理令이 정하는 사항

③第2項第1號의 規定에 의한 汚染土壤改善事業의 種類·기준 기타 필요한 사항은 大統領令으로 정한다.

④環境處長官은 第1項의 規定에 의한 對策計劃을 승인하고자 할 때에는 관계 中央行政機關의 長과 협의하여야 하며, 對策計劃을 승인한 때에는 이를 관계 中央行政機關의 長에게 통보하고 필요한 措置를 하여 줄 것을 요청할 수 있다. 이 경우 관계 中央行政機關의 長은 특별한 사유가 없는 한 이에 응하여야 한다.

第19條(汚染土壤改善事業) ①市·道知事는 第18條第2項第1號의 規定에 의한 汚染土壤改善事業의 전부 또는 일부의 실시를 그 汚染原因者에게 명할 수 있다.

②第1項의 規定에 의하여 汚染原因者가 汚染土壤改善事業을 실시하고자 할 때에는 總理令이 정하는 바에 따라 汚染土壤改善事業計劃을 작성하여 市·道知事의 승인을 얻어야 한다. 승인을 얻은 사항중 總理令이 정하는 중요사항을 변경하고자 할 때에도 또한 같다.

③第1項의 경우에 그 汚染原因者가 存在하지 아니하거나 汚染原因者에 의한 실시가 곤란하다고 인정하는 경우에는 市·道知事는 당해 汚染土壤改善事業을 실시할 수 있다.

④第3項의 경우에 당해 對策地域이 2이상의 特別市·直轄市·道에 걸치는 경우에는 大統領令이 정하는 市·道知事가 당해 汚染土壤改善事業을 실시하여야 한다.

⑤第3項 또는 第4項의 規定에 의하여 市·道知事가 汚染土壤改善事業을 실시하는 경우로서 기술부족·事業費過多등의 사유로 인하여 그 실시가 곤란한 경우에는 市·道知事의 요청에 따라 環境處長官은 環境政策基本法에 의한 環境保全委員會의 審議를 거쳐 당해 사업에 대한 기술적·財政的 지원을 할 수 있다.

第20條(土地 利用등의 제한) 市·道知事는 對策地域안에서는 그 지정목적을 해할 우려가 있다고 인정되는 土地의 利用 또는 施設의 設置를 大統領令이 정하는 바에 따라 제한할 수 있다.

第21條(행위제한) ①누구든지 對策地域안에서는 水質環境保全法 第2條第3號의 規定에 의한 特定水質有害物質, 廢棄物管理法 第2條第1號의 規定에 의한 廢棄物, 有害化學物質管理法 第2條第2號 및 第3號의 規定에 의한 有毒物 또는 特定有毒物, 汚水·糞尿및畜産廢水의 처리에 관한法律 第2條第1號 내지 第3號의 規定에 의한 汚水·糞尿 또는 畜産廢水를 土壤에 버려서는 아니된다. 다만, 總理令이 정하는 행위를 제외한다.

②누구든지 對策地域안에서는 그 지정목적을 해할 우려가 있다고 인정되는 大統領令이 정하는 施設을 設置하여서는 아니된다.

③市·道知事는 第1項 및 第2項의 規定에 의한 행위 또는 施設의 設置로 인하여 土壤이 汚染되었거나 汚染될 우려가 있다고 인정하는 때에는 당해 행위자 또는 시설의 설치자에게 土壤汚染物質의 제거 또는 施設의 撤去 등을 명할 수 있다.

第22條(對策地域의 指定解除) ①環境處長官은 第17條第1項의 規定에 의하여 지정된 對策地域이 對策計劃의 수립·시행으로 土壤汚染의 정도가 憂慮基準이내로 개선되었거나 公益상 불가피한 경우 또는 天災·地變 기타의 사유로 인하여 對策地域으로서의 지정목적을 상실한 경우에는 그 지정을 解除 또는 변경할 수 있다.

②第17條第2項 및 第4項의 規定은 第1項의 規定에 의한 對策地域 指定의 解除 또는 변경에 관하여 이를 準用한다.

第23條(土壤汚染의 被害에 대한 無過失責任) ①土壤汚染으로 인하여 被害가 발생한 때에는 당해 汚染原因者는 그 被害를 賠償하여야 한다.

②汚染原因者가 2人이상 있는 경우에 어느 汚染原因者에 의하여 第1項의 被害가 발생한 것인지를 알 수 없을 때에는 각 汚染原因者가 連帶하여 賠償하여야 한다.

第4章 補 則

第24條(代執行) 市·道知事는 第15條第1項의 規定에 의한 土壤汚染防止措置命令, 第19條第1項의 規定에 의한 汚染土壤改善事業 實施命令 또는 第21條第3項의 規定에 의한 土壤汚染物質의 제거·施設의 撤去등의 命令을 받은 者가 그 命令을 이행하지 아니하는 경우에는 行政代執行法이 정하는 바에 의하여 代執行을 하고 그 費用을 大統領令이 정하는 바에 따라 그 命令違反者로부터 徵收할 수 있다.

第25條(關係機關의 협조) 環境處長官은 이 法의 目的을 달성하기 위하여 필요하다고 인정하는 때에는 다음 各號에 해당하는 措置를 관계 中央行政機關의 長 또는 市·道知事에게 요청할 수 있다.

1. 土壤汚染防止를 위한 客土등 農土培養事業
2. 廢鑛地域의 鑛物 찌꺼기 등으로 인한 주변농경지 등의 鑛山公害防止對策
3. 産業施設등의 설치로 인하여 훼손된 土壤의 복구
4. 기타 土壤保全을 위하여 필요한 사항으로서 總理令이 정하는 사항

第26條(國庫補助 등) 國家는 豫算의 범위 안에서 地方自治團體가 추진하는 土壤保全을 위한 사업에 필요한 費用을 보조하거나 融資할 수 있다.

第27條(權限의 위임) 이 法에 의한 環境處長官의 權限은 大統領令이 정하는 바에 의하여 그 일부를 地方環境官署의 長에게 위임할 수 있다.

第5章 罰 則

第28條(罰則) 第19條第1項의 規定에 의한 실시명령을 이행하지 아니한 者 또는 실시명령을 받고 同條第2項의 規定에 의한 승인을 얻지 아니하고 汚染土壤改善事業을 실시한 者는 5年이하의 懲役 또는 3千萬원이하의 罰金에 處한다

第29條(罰則) 다음 各號의 1에 해당하는 者는 2年이하의 懲役 또는 1千萬원이하의

罰金에 處한다.

1. 第12條第2項의 規定에 의한 土壤汚染誘發施設의 사용중지 命令을 이행하지 아니한 者
2. 第15條第1項의 規定에 의한 土壤汚染防止措置命令을 이행하지 아니한 者
3. 第21條第3項의 規定에 의한 土壤汚染物質의 제거 또는 施設의 撤去등의 命令을 이행하지 아니한 者

第30條(罰則) 다음 各號의 1에 해당하는 者는 1年이하의 懲役 또는 500萬원이하의 罰金에 處한다.

1. 第11條第1項의 規定에 의한 申告를 하지 아니하고 土壤汚染誘發施設을 設置하거나 허위로 申告한 者
2. 第11條第2項의 規定에 의한 土壤汚染防止設置를 하지 아니한 者
3. 第12條第1項의 規定에 의한 是正命令을 이행하지 아니한 者
4. 第13條第1項의 規定에 의한 公務員의 出入·檢査를 거부 방해 또는 기피한 者
5. 第21條第2項의 規定에 위반하여 對策地域안에서 施設을 設置한 者

第31條(兩罰規定) 法人의 代表者, 法人 또는 개인의 代理人·使用人 기타 종업원이 그 法人 또는 개인의 業務에 관하여 第28條 내지 第30條의 위반행위를 한 때에는 行爲者를 罰하는 외에 그 法人 또는 개인에 대하여도 각 해당 條의 罰金刑을 科한다.

第32條(過怠料) ①다음 各號의 1에 해당하는 者는 200萬원이하의 過怠料에 處한다.

1. 정당한 사유없이 第8條第5項의 規定에 의한 公務員의 행위를 방해 또는 거절한 者.
2. 第11條第3項 또는 第4項의 規定에 의한 檢査를 받지 아니하거나 記錄簿를 備置하지 아니한 者
3. 第13條第1項의 規定에 의한 보고 또는 資料의 제출을 하지 아니하거나 허위로 보고 또는 資料를 제출한 者
4. 第21條第1項의 規定에 위반하여 對策地域안에서 特定水質有害物質, 廢棄物,

有毒物 또는 特定有毒物, 汚水・糞尿 또는 畜産廢水를 버린 者

②第1項의 規定에 의한 過怠料賦課基準은 大統領令으로 정한다.

③第1項의 規定에 의한 過怠料는 大統領令이 정하는 바에 따라 環境處長官 또는 市・道知事(이하 "賦課權者"라 한다)가 賦課・徵收한다.

④第3項의 規定에 의한 過怠料處分에 불복이 있는 者는 그 處分의 告知를 받은 날부터 30日이내에 賦課權者에게 異議를 제기할 수 있다.

⑤第3項의 規定에 의한 過怠料處分을 받은 者가 第4項의 規定에 의하여 異議를 제기한 때에는 賦課權者는 지체없이 管轄法院에 그 사실을 통보하여야 하며, 그 통보를 받은 管轄法院은 非訟事件節次法에 의한 過怠料의 裁判을 한다.

⑥第4項의 規定에 의한 기간내에 異議를 제기하지 아니하고 過怠料를 납부하지 아니한 때에는 國稅 또는 地方稅滯納處分의 예에 따라 이를 徵收한다.

附 則

①(施行日) 이 法은 公布후 1年이 경과한 날부터 施行한다.

②(土壤汚染誘發施設 設置者에 대한 經過措置) 이 法 施行당시 土壤汚染誘發施設을 설치하고 있는 者(당해 施設을 운영하고 있는 者를 포함한다)는 이 法 施行日부터 6月이내에 第11條第1項의 規定에 의한 사항을 市・道知事에게 申告하고 同條 第2項의 規定에 의한 土壤汚染防止措置를 하여야 한다.

2. 토양환경보전법의 목적 및 의미

법률 제4,906호로 1995. 1. 5에 제정된 토양환경보전법의 목적은 동법의 제1장 총칙 제1조에「이 법은 토양오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 토양을 적정하게 관리·보전함으로써 모든 국민이 건강하고 쾌적한 삶은 누릴 수 있게 함을 목적으로 한다」고 명시되어 있다. 즉, 동법은 국민이 쾌적한 삶을 누릴 수 있는 토양환경이 보전되어야 함을 궁극적인 목적으로 두가지 세부목적을 내포하고 있다. 첫째, 토양환경을 오염시키는 오염물질을 오염(배출)원 또는 오염배출지역으로부터 감소 또는 제거하여 토양환경으로의 오염물질 방출을 사전에 방지하고 건전한 토양환경을 유지하게 함이다. 둘째, 이미 오염된 지역의 토양을 제거 또는 건전한 토양환경으로부터 격리하거나, 오염된 지역을 이용목적에 적합하도록 토지이용을 변경하는 것이다. 동법의 효력 발생일은 부칙 제1항에「이 법은 공포 후 1년이 경과한 날부터 시행한다」고 명시되어 있어 1996. 1. 6부터 동법의 효력이 발생할 예정으로 되어 있다.

동법이 갖는 국내적인 의미는 산업발달에 따른 토양오염 및 이로 인하여 발생할 수 있는 지하수 오염을 사전에 방지하고 이미 오염된 토양의 개선사업을 추진할 수 있는 국가의 정책목표를 뚜렷이 제시한 것이라 할 수 있다. 또한 자연환경보전법, 수질환경보전법, 광업법, 광산보안법, 석탄산업법, 폐기물관리법, 농촌근대화촉진법 등으로 분산되어 있는 토양환경보전에 관련된 법을 독립적으로 체계화함으로써 향후 토양환경보전을 위한 정책목표가 종합적이고 효율적으로 추진될 수 있도록 기본정책방안을 마련한 것이라 할 수 있다.

동법이 갖는 국제적인 의미는 우리나라가 1994. 10. 3에 가입한 생물다양성 협약의 내용 중 제8항(생물자원의 현지내 보전: In-situ Conservation), 제9항(생물자원의 현지외 보전: Ex-situ Conservation), 제14항(자연생태계 보전에 악영향을 미칠 수 있는 영향평가 및 악영향 감소: Impact Assessment and Minimizing Adverse Impacts)을 이행하기 위한 기본토대의 마련이다. 또한, 1992. 6월에 UN환경개발회의(UN Convention of Environment and Development: UNCED)에서 우리나라가 서명한 환경보전을 위한 세부실천지침인「의제 21(Agenda 21)」 제10장 (토지자원의 통합적 관리 및 기획: Integrated Approach to the Planning and Management of Land Resources) 등의 이행사항을 수행하기 위한 지구환경보전사업의 추진이라 할 수 있다.

3. 토양환경보전법의 구성 및 내용

토양보전법은 제1장 총칙, 제2장 토양오염의 규제, 제3장 토양보전대책지역의 지정 및 관리, 제4장 보칙, 제5장 벌칙의 5장 및 부칙으로 <표 부록 2-1>과 같이 구성되어 있다.

<표 부록 2-1>에 제시한 토양보전법의 내용은 다음과 같이 분류하여 요약할 수 있다.

첫째, 동법의 제2조, 제3조, 제5조, 제6조에 명시한 내용으로 토양보전의 적용대상은 농경지·산림·시가지의 흙(土壤)으로 하고 방사능물질을 제외한 토양오염물질에 의한 토양오염실태를 평가하기 위하여 토양오염 측정망의 상시운영 또는 토양정밀조사를 실시하고 그 결과를 국민에게 공개하도록 한다.

둘째, 동법의 제4조에 명시한 내용으로 환경부장관은 토양보전에 관한 토양보전기본계획을 매10년마다 수립·시행하고 지방자치단체의 장은 해당지역의 토양보전을 위한 지역토양보전계획을 환경부장관의 승인을 얻어 수립·시행하여야 한다.

셋째, 동법의 제2조, 제11조, 제12조, 제15조, 제23조, 제24조 등에 명시한 토양오염유발시설의 설치자·소유자 또는 관리자는 토양오염방지시설의 설치 및 토양오염조사를 받도록 하여 시설을 적정하게 유지·관리하게 한다. 토양오염유발시설의 설치신고자가 토양오염방지조치를 하지 않거나 토양오염검사결과가 토양오염우려기준을 초과한 경우에는 시정명령을 하고 신고를 하지 않고 토양오염유발시설을 설치하거나 시정명령의 위반 또는 토양오염유발시설로부터 유출 또는 누출된 물질로 인하여 토양을 오염시키는 경우에는 폐쇄·철거 등의 조치를 할 수 있도록 한다.

넷째, 동법의 제6조에 명시한 측정망 설치계획의 결정·고시에 따라 전국의 토양오염도를 상시로 측정할 수 있는 토양오염도 상시체계를 구성하고, 토양오염이 우려되어 토양상태의 정밀조사가 필요한 지역의 경우 토양정밀조사를 시행할 수 있는 근거를 마련하였다.

<표 부록 2-1> 토양환경보전법의 구성

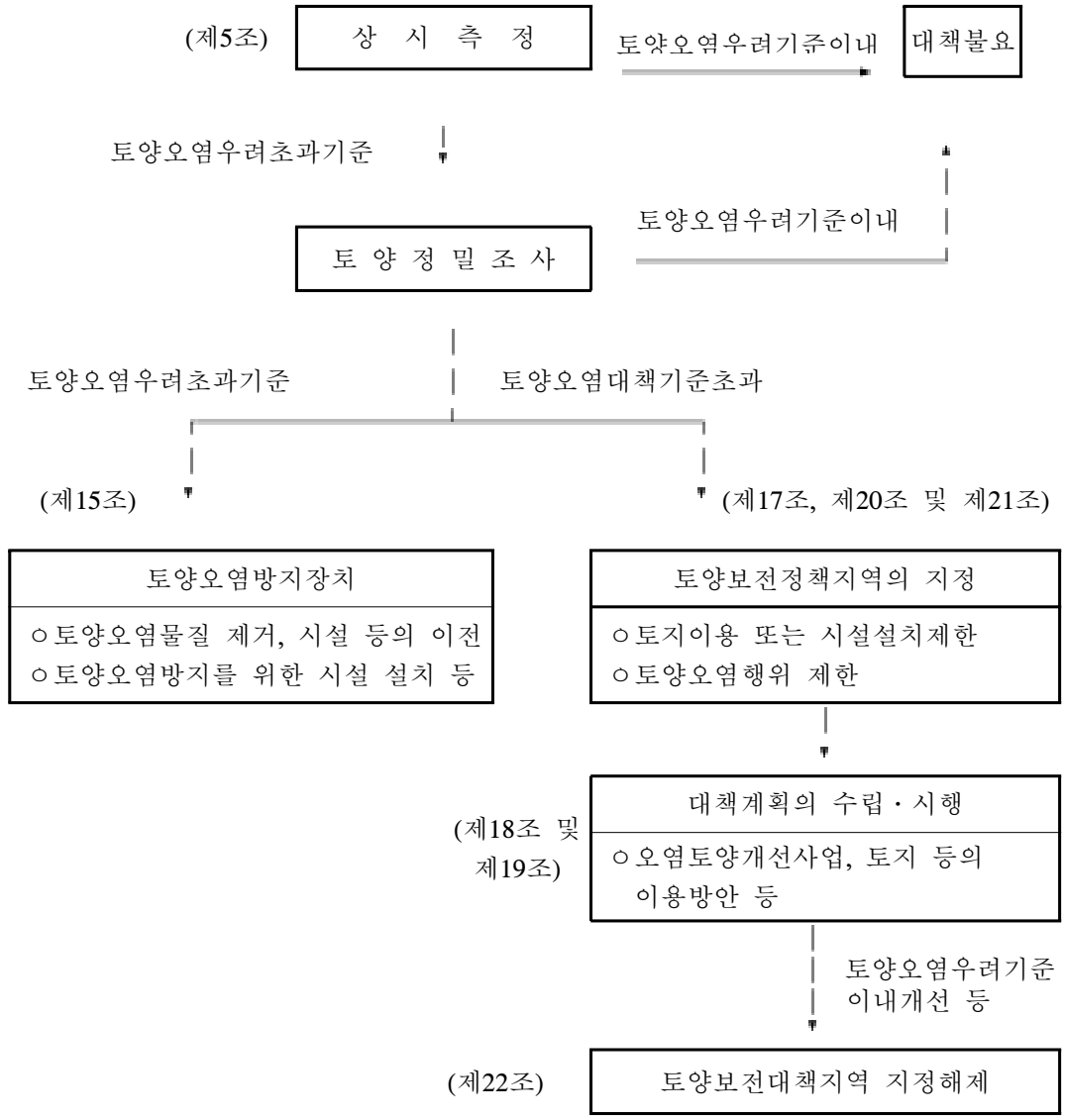
구분	내용
제1장 총칙	제1조 목적 제2조 정의 제3조 적용제외 제4조 토양보전기본계획의 수립 등 제5조 토양오염도 측정 등 제6조 측정망설치계획의 결정·고시 제7조 토지 등의 수용 및 사용 제8조 타인토지에의 출입 등 제9조 손실보상 제10조 토양오염공정시험방법
제2장 토양오염의 규제	제11조 토양오염유발시설의 신고 등 제12조 토양오염유발시설 설치자에 대한 명령 제13조 출입조사 등 제14조 토양오염우려기준 제15조 토양오염방지설치명령 등
제3장 토양보전대책지역의 지정 및 관리	제16조 토양오염대책기준 제17조 토양보전대책지역의 지정 제18조 대책계획의 수립·시행 제19조 오염토양개선사업 제20조 토지 이용 등의 제한 제21조 행위제한 제22조 대책지역의 지정해제 제23조 토양오염의 피해에 대한 무과실책임
제4장 보칙	제24조 대집행 제25조 관계기관의 협조 제26조 국고보조 등 제27조 권한의 위임
제5장 벌칙	제28-30조 벌칙 제31조 양벌규정 제32조 과태료
부칙	

다섯째, 동법의 제14조-제17조 등에 명시된 국민의 건강과 동식물의 생육에 영향 또는 지장을 초래할 가능성이 있는 토양오염우려기준과 지장을 주어서 토양오염대책이 필요한 토양오염대책기준을 규정하고, 동 기준을 초과하는 지역에 대하여는 토양의 오염도에 따라 적절한 토양오염방지조치명령을 하거나 또는 토양보전대책지역의 선정 및 대책계획을 수립·시행하도록 한다.

여섯째, 동법의 제18-제20조, 제24조에 명시된 토양오염방지대책을 위한 실행계획에는 오염토양의 개선사업 및 토지 등의 이용방안이 포함된다. 이에 따라, 토양보전대책지역으로 지정된 경우에는 오염토양개선사업 및 토지 등의 이용방안 등에 관한 대책계획을 수립·시행한다. 특히, 오염된 토양의 개선사업은 오염원인자로 하여금 실시하게 함과 아울러 이를 이행하지 않을 경우 정부가 위탁한 기관 또는 업체에서 대신할 수 있도록 하게 하고 그 비용을 징수하도록 한다.

일곱째, 동법의 제22조에 명시한 토양오염방지대책지역이 대책실행계획의 수립·시행으로 토양오염이 개선되었거나 공익상 불가피한 경우 또는 기타의 사유로 토양오염방지대책으로서의 가치를 상실한 경우에는 이를 해체 또는 변경할 수 있도록 한다.

여덟째, 동법에서 명시한 토양오염방지조치 및 오염토양의 개선을 위한 체계도는 <그림 부록 2-1>과 같다.



<그림 부록 2-1> 토양오염방지조치 및 오염토양개선을 위한 체계도

<부록 3> 토양측정망의 현황

환경정책기본법 제15조(환경오염의 조사)에 법적 근거를 두고 1987년부터 운용되고 있는 토양측정망은 환경처(1994)자료에 기술한 운용목적과 같이「전국 토양에 대한 중금속 함유량 실태를 조사하여 연도별 토양오염도 변화추이를 관찰하고, 토양오염방지대책 수립시 기초자료로 활용함으로써 토양오염을 사전에 예방하기 위함」으로 되어 있으며 이를 토대로 조사항목을 토양산도(pH) 및 중금속 6종(Cd, Pb, Hg, Cu, Zn, As)에 한정하고 토양의 중금속 함량을 조사하고 있다.

1. 측정지점의 수 및 운영방침

1995년 현재 운용되고 있는 토양측정망의 토양상태 측정지역 및 측정지역에서의 토양시료채취지점(이하 '측정지점'이라 함) 등은 1987년 이후 점차적으로 변화되어 왔다. 1994년도의 토양측정망은 측정지역의 선정기준을 토양을 오염시키는 배출원의 종류에 의하여 분류한 것이다. 토양오염(배출)원(이하 '오염원'이라함)의 배출경로별로는 1991년 이후 1994년까지 16개의 오염경로별로 분류되어 있으나 현재까지 운용되고 있는 토양측정망의 조사대상 지역으로는 주로 논, 밭에서 토양시료를 채취하는 등, 오염원 인근의 논, 밭토양의 토양상태의 분석이 시행되고 있다 <표 부록 3-1>.

1994년도의 토양측정망은 1987년 이후 측정지역 수를 점차로 늘리고 오염원별로 측정지역의 수를 조정하여 1991년에 정착된 체계이다. 토양측정망 측정지역의 수는 1987년에 119개(595개소의 측정지점), 1988년에 250개(1250개소의 측정지점), 1989년과 1990년에 254개(1270개소의 측정지점), 1991년 이후 1994년까지 261개(1295-1305개소의 측정지점)로 1987년부터 1994년까지 오염원의 오염경로별 분류에 따른 측정지역 및 측정지점 수는 <표 부록 3-2>와 같다.

토양측정망의 측정지역은 1991년 이후 전국의 522개 측정지역을 대상으로 1년에 261개소씩 각 측정지역에서 토양시료를 격년제로 분석하는 체계로 운용되고 있다. 측정지역의 조사지역번호에 따라 홀수년에는 홀수번호, 짝수년에는 짝수번호의 토양지역을 조사하는 것을 원칙으로 토양측정망이 운영되고 있다. 각 측정지역은 5개소의 측정지점으로 구분되어 있어 매년 1305개의 토양시료를 채취하여 조사하게 되어있다 (261지점/년 x 5개 측정지역/측정지점 = 1305 시료).

<표 부록 3-1> 1994년 운용되고 있는 토양측정망의 오염원별 분류, 조사지역수, 선정기준 및 조사대상

구분	오염원별 분류	측정지역수	선정기준	조사대상
계	16	522		
영농	전용농업용수 사용지역	80	영농화학물질에 의하여 영향을 받는 순수농경지	논
	과채류 주생산지	20	과수, 채소류 재배지역	밭, 과수원
수질	오염우심 하천지역	42	BOD 10mg/l이상의 하천수를 농업용수로 사용하는 지역	논
	공단하류지역	40	공단폐수가 유입되는 하천수를 농업용수로 사용하는 지역	논
	하천고수부지	40	여름철 호우시 침수되는 지역	논, 밭, 일반토양
	특수용수 사용지역	20	염색, 제지, 피혁, 축산폐수 등을 갈수시에 농업용수로 사용하는 지역	논
대기	도로변 지역	30	자동차 배출 오염물질의 영향을 받는 고속도로변	논
	금속제련지역	16	제련소 배출가스 및 분진 등의 영향을 받는 지역	논, 밭
폐기물	일반폐기물 매립지역	84	폐기물매립지 침출수의 영향을 받는 지역	논, 밭, 일반토양
	특정폐기물 매립지역	12	"	논, 밭, 일반토양
	금속광산지역	50	광산폐수, 광재 등의 영향 을 받는 지역	논
	분뇨처리장 인근지역	20	분뇨처리장 침출수의 영향을 받는 지역	논, 밭, 일반토양
기타 생활	주민건강조사지역	24	자연생태조사단이 주민건강을 조사한 지역	일반토양
	유원지 및 공원지역	20	국립공원, 도립공원, 국민관광지, 유원지 등	일반토양
	어린이 놀이터지역	12	대단위아파트 놀이터토양	일반토양
	골프장지역	12	골프장내 토양	일반토양

<표 부록 3-2> 토양측정망의 오염원별 분류에 따른 측정지역 및 측정지점의 수

구분		조사 대상	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94
계			119/ 595	250/ 1250	254/ 1270	254/ 1270	261/ 1305	261/ 1301	259/ 1295	261/ 1305
영농	전용농업용수 사용지역	논	40/ 200	40/ 200	40/ 200	40/ 200	40/ 200	41/ 201	40/ 200	40/ 200
	과채류 주생산지	밭, 과수원	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50
수질	오염우심하천 지역	논	20/ 100	20/ 100	20/ 100	20/ 100	21/ 105	21/ 105	21/ 105	21/ 105
	공단하류지역	논	19/95	20/ 100	20/ 100	30/ 150	19/95	19/95	19/95	20/ 100
	하천고수부지	논,밭,일반토양	20/ 100	20/ 100	20/ 100	20/ 100	20/ 100	20/ 100	20/ 100	20/ 100
	특수용수 사용지역	논	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50
대기	도로변지역	논	0/0	15/75	15/75	15/75	15/75	15/75	15/75	15/75
	금속제련소 지역	논,밭	0/0	4/20	8/40	8/40	8/40	8/40	8/40	8/40
폐기물	일반폐기물 매립지역	논,밭,일반토양	0/0	42/ 210	42/ 210	42/ 210	42/ 210	42/ 210	42/ 210	42/ 210
	특정폐기물 매립지역	논,밭,일반토양	0/0	6/30	6/30	6/30	6/30	6/30	6/30	6/30
	금속광산지역	논	0/0	25/ 125	25/ 125	25/ 125	25/ 125	25/ 125	24/ 120	25/ 125
	분뇨처리장 지역	논,밭,일반토양	0/0	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50
기타생활	주민건강조사 지역	일반 토양	0/0	12/60	12/60	12/60	12/60	12/60	12/60	12/60
	유원지 및 공원지역	일반 토양	0/0	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50	10/50
	어린이 놀이터지역	일반 토양	0/0	6/30	6/30	6/30	6/30	6/30	6/30	6/30
	골프장지역	일반 토양	0/0	0/0	0/0	0/0	6/30	6/30	6/30	6/30

[1]1개 측정지역당 5개 측정지점임(측정지점수/측정지역수). '92년 전용농업용수 전용지역의 2개 측정지점은 3개의 측정지역에서만이 조사되었음.

채취한 토양시료에서의 조사항목은 1987년에는 토양의 酸度(pH) 및 중금속 8종(Cd, Pb, Hg, Cu, Zn, As, Ni, Cr)이었으나 1988년 이후부터는 토양산도 및 중금속 6종(Cd, Pb, Hg, Cu, Zn, As)으로 분석항목이 변경되었다. 토양시료는 지방환경청에서 채취하며 시료의 채취기간은 매년 3-5월중으로 시료의 토양산도 및 중금속 분석기간은 매년 4-8월 기간중 실시하게 되어 있다. 지방환경청별 토양측정망 측정지역의 1994년도 현황은 <표 부록 3-3>과 같다.

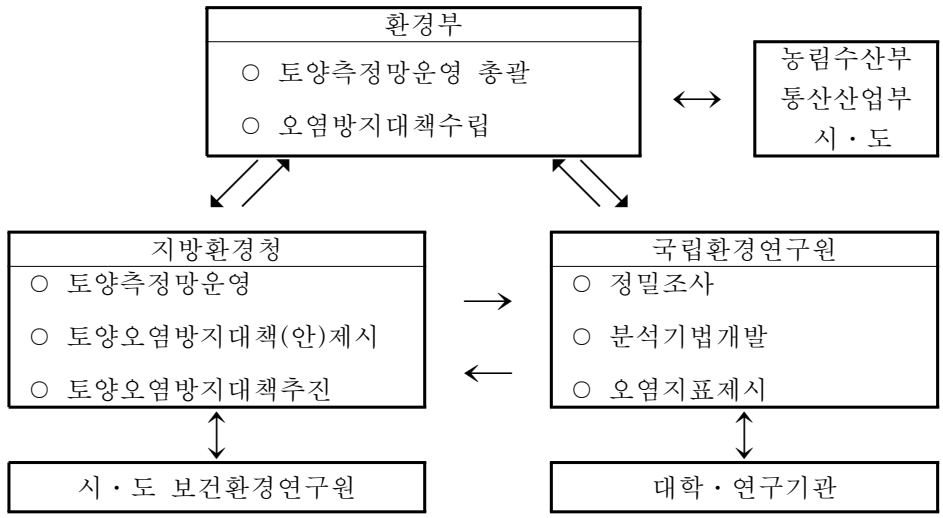
<표 부록 3-3> 지방환경청별 토양측정망 조사지점 현황

구분		계	서울	부산	광주	대구	대전	원주
계		522	104	90	92	94	88	54
영농	전용농업용수사용지역	80	24	14	14	14	12	2
	과채류 주생산지	20	-	2	6	4	6	2
수질	오염우심하천지역	42	14	4	8	4	8	4
	공단하류지역	40	6	4	10	8	10	2
	하천고수부지	40	8	8	6	8	6	4
	특수용수사용지역	20	6	2	4	4	4	-
대기	도로변지역	30	6	6	8	4	4	2
	금속제련소지역	16	-	4	-	2	10	-
폐기물	일반폐기물매립지역	84	16	14	14	14	12	14
	특정폐기물매립지역	12	2	2	2	2	2	2
	금속광산지역	50	8	12	4	12	2	12
	분뇨처리장지역	20	4	4	4	4	2	2
기타생활	주민건강조사지역	24	2	6	4	8	2	2
	유원지 및 공원지역	20	4	4	4	2	4	2
	어린이 놀이터지역	12	2	2	2	2	2	2
	골프장지역	12	2	2	2	2	2	2

토양시료의 채취방법은 토양오염시험공정방법(환경처, 1991; 환경처, 1994)에 의하고 토양산도 및 중금속함량 조사자료는 1987-1989년까지 환경부 보고서로 출판되어 있으며(환경청, 1987; 환경청, 1988; 환경청, 1989; 환경처, 1990), 1990년 조사자료는 환경부의 내부자료이며, 1991-1994년도까지의 조사자료는 전산화되어 있다. 1987년부터 1994년의 토양측정망 측정지점별 중금속의 분석농도중 1988년과 1990년의 자료는 보관되어 있지 않다.

2. 운영추진체계

토양측정망의 운영체계는 환경부에서 토양측정망의 운영을 총괄하고 토양측정망의 결과에 따른 토양오염방지대책을 수립하게 되어있다. 토양오염방지대책을 수립하는 과정에서 농림수산부, 통산산업부, 각 시·도와 협조하게 되어있다. 지방환경청은 환경부의 지침을 받고 시·도 보건환경연구원 및 국립환경연구원의 협조를 얻어 토양측정망을 운영하며, 토양오염방지를 위한 대책방안을 제시하고, 토양오염방지대책을 추진하도록 되어있다. 국립환경연구원은 환경부의 지침을 받고 대학·연구기관 및 지방환경청과 협조하여 토양측정망의 결과를 토대로 토양오염이 우려되는 지역의 정밀조사를 하고, 토양오염측정의 효율의 높일 수 있는 분석기법을 개발하고, 토양오염지표를 제시하게 되어 있다 <그림 부록 3-1>.



<그림 부록 3-1> 토양측정망의 운영체계도

<부록 4>. 우리나라 유류 및 유해화학물질저장시설, 폐기물매립시설 관리기준

1. 유류 및 유해화학물질 저장시설

국내 유류 및 유해화학물질저장시설에 관한 법규는 소방법 제17조 규정내 소방기술기준에 관한 규칙에 관련된 위험물의 저장소에 대한 규칙으로서 옥내저장소, 옥외탱크저장소, 옥내탱크저장소, 지하탱크저장소, 간이탱크저장소, 이동탱크저장소, 옥외저장소, 그리고 선박탱크저장소로 분류되고 있다. 이러한 유류저장시설은 소방법의 기준을 따라야하므로 화재발생으로부터의 보호가 기본으로 되어있다. 저장소에 있어서 위험물이 침출될 우려가 있는 부분은 아스팔트, 기타 부식하지 아니하는 재료로 피복하는 정도이다. 액체위험물 저장소의 바닥은 위험물이 침투하지 아니하도록 재료를 사용하되, 적당하게 경사지게 하여 그 최저부에 저유설비를 하여야 한다고 규정하고 있다. 이러한 유류저장소 중에서 옥외저장소와 옥외탱크저장소, 지하탱크저장소에 대한 세부적인 시설법규현황으로는 다음과 같다.

1.1. 위험물의 저장소에 대한 규칙

(1) 옥외저장소의 설치기준

옥외저장소의 설치기준은 소방기술에 관한 규칙(이하 규칙이라 함) 제17조 제1항의 규정에 관련된다. 옥외저장소는 다른 건축물에 대한 안전거리를 두어야 하며 (소방기술에 관한 규칙 제148조 참조) 습기가 없고 배수가 잘되는 장소에 설치하여야 한다. 유황의 옥외저장소에는 그 주위에 높이 2m 이상의 담 또는 벽을 설치하여야 한다. 또한 과산화수소 또는 과염소산을 저장하는 옥외저장소에는 차광막을 설치하여야 한다.

(2) 옥외탱크저장소의 설치기준

위험물 옥외탱크저장소의 위치・구조 및 설비의 기준은 규칙 제17조 제1항의 규정에 관련된다.

1) 탱크의 외부구조

① 옥외탱크저장소의 탱크(고체위험물의 옥외저장탱크를 제외함)는 두께 3.2mm 이상의 강철판 또는 이와 동등이상의 강도・내식성 및 내열성이 있다고 내

무부장관이 인정하여 고시하는 것으로 틈이 없도록 제작하여야 한다.

② 옥외탱크저장소의 탱크중 압력탱크의 경우에는 기밀시험과 비파괴시험 또는 수압시험(최대상용압력의 1.5배의 압력으로 10분간 수압을 가하는 시험을 말함)을, 압력탱크외의 경우에는 충수시험(물외의 적당한 액체를 채우는 시험을 포함함)을 실시하는 외에 용량 100만L 이상의 탱크에 있어서는 비파괴시험(방사선투과시험・초음파탐상시험・자기탐상시험 또는 침투탐상시험을 한국산업규격<K.S.B 6225>이 정하는 바에 따라 실시하는 것을 말함. 이하 같음)을 실시하여야 한다.

③ 수압시험에 있어서는 압력강하나 변형이 없어야 하고, 충수시험에 있어서는 새거나 변형이 없어야 하며, 비파괴시험에 있어서는 한국산업규격이 정하는 기준에 적합하여야 한다.

④ 탱크의 외면에는 탱크의 부식을 방지하기 위하여 도장을 하여야 한다. 이 경우 탱크의 저판을 지면에 접하여 설치하는 때에는 그 저판의 외면을 아스팔트샌드 등의 방식재료로 보호하거나 이와 동등이상의 부식방지조치를 하여야 한다.

2) 탱크의 내진 및 내풍압구조

① 옥외탱크저장소의 탱크는 다음 각호의 기준에 의한 진동력 및 풍압력에 견딜 수 있는 구조로 하여야 한다.

a. 탱크의 고정하중과 적재하중의 합계에 수평진도를 곱하여 계산한 진동력, 이 경우 수평진도는 0.3이상으로 하여야 한다.

b. 다음의 식에 의하여 산출된 속도압에 풍력계수(원형탱크에 있어서는 0.7, 기타의 탱크에 있어서는 1)를 곱하여 계산한 풍압력이다. 다만, 해안 또는 산정 등 강풍을 직접 받을 우려가 있는 장소에 설치된 탱크에 있어서는 그 속도압은 $1m^2$에 대하여 300kg으로 한다.

$$q = 60\sqrt{p}$$

q : 속도압(kg/m^2)

p : 지면으로부터의 높이(m)

② 옥외탱크저장소의 탱크는 다음 각호의 기준에 의하여 견고한 지면 또는 기초 위에 고정시켜야 한다.

a. 진동력 또는 풍압력에 대한 대응력이 탱크의 측면·지주 등 어느 한쪽에만 집중하지 아니하도록 해야한다.
b. 지주(제6류 위험물의 옥외저장탱크의 지주를 제외한다)는 철근콘크리트구조·철골철근콘크리트조 기타 이와 동등이상의 성능이 있는 것으로 해야 한다.

3) 옥외탱크저장소의 방유제

① 인화성액체위험물(아황산탄소를 제외한다)의 옥외탱크저장소의 탱크 주위에는 다음 각호의 기준에 의하여 방유제를 설치하여야 한다.

a. 방유제의 용량은 방유제 안에 설치된 탱크가 하나인 때에는 그 탱크의 용량이상, 2이상인 때에는 그 탱크중 용량이 최대인 것의 용량이상으로 하여야 한다. 이 경우 하나의 방유제 안에 2이상의 탱크가 설치되고 그 탱크중 지름이 45m 이상인 탱크가 있는 때에는 지름이 45m 이상인 탱크는 각각 다른 탱크와 분리될 수 있도록 다음 각목의 기준에 의한 간막이 둑을 설치하여야 한다.
   ⓐ 간막이 둑의 높이는 0.3m 이상으로 하되, 방유제의 높이보다 0.2m 이상을 감한 높이로 하여야 한다.
   ⓑ 간막이 둑은 철근콘크리트·철골철근콘크리트 또는 흙담으로 하여야 한다.
b. 방유제의 높이는 0.5-≤3m로 하여야 한다.
c. 방유제의 면적은 8만m^2 이하로 해야 한다.
d. 하나의 방유제내의 탱크는 10기(방유제내의 전탱크의 용량이 200kL이하이고, 위험물의 인화점이 섭씨 70도 이상 섭씨 200도 미만인 경우에는 20기) 이하로 해야 한다. 다만, 인화점이 섭씨 200도 이상일 경우에는 그러하지 아니하다.
e. 방유제는 철근콘크리트·철골철근콘크리트 또는 흙담으로 하고, 새어나온 위험물이 방유제 외부로 유출되지 아니하는 구조로 해야 한다.
f. 방유제내에는 당해 방유제내에 설치된 탱크에 사용되는 배관 외의 다른 배관을 설치하지 아니해야 한다.
g. 방유제내에는 물을 배출시키기 위한 배수구를 설치하고, 그 외부에는 이

를 개폐하는 밸브 등을 설치해야 한다.

i. 높이가 1m를 넘는 방유제(규정에 위한 간막이 둑을 포함한다)의 안팎에 폭 1.5m이상의 계단 또는 경사로(30도이하의 것을 말한다)를 50m의 간격으로 설치하여야 한다.

j. 방유제의 2면이상(원형인 경우는 그 둘레의 2분의1 이상)은 자동차의 통행이 가능한 폭 2m 이상의 통로와 접하도록 하여야 한다.

k. 방유제는 탱크의 지름에 따라 그 탱크의 측면으로부터 다음 각호의 기준에 의한 거리를 확보하여야 한다. 다만, 인화점이 섭씨 200도 이상의 위험물을 저장·취급하는 것에 있어서는 그러하지 아니할 수 있다.

ⓐ 지름이 15m미만인 경우에는 탱크의 높이의 3분의1 이상

ⓑ 지름이 15m이상인 경우에는 탱크의 높이의 2분의1 이상

l. 방유제 또는 간막이 둑에는 배관을 설치할 수 없다. 다만, 그 방유제안의 탱크와 연결된 배관이 방유제 또는 간막이 둑을 관통하거나 넘어가는 것으로서 화재예방 또는 소화활동에 지장을 주지 아니하는 구조의 것은 그러하지 아니하다.

② 인화성 액체위험물외에 액체위험물의 옥외탱크저장소의 탱크주위에는 기준에 의하여 방유제 및 간막이 둑을 설치하여야 한다. 다만, 제5류 위험물(액체에 한한다)과 같이 폭발위험성이 있는 경우에는 3m 이상을 할 수 있다.

4) 아황화탄소의 옥외탱크저장소

아황화탄소의 옥외탱크저장소의 탱크는 벽 및 바닥의 두께가 0.2m 이상이고, 바닥이 새지 아니하는 철근콘크리트조의 수조에 넣어 물속에 설치하여야 한다. 이 경우 보유공지·통기장치 및 자동계량장치는 생략할 수 있다.

(3) 지하탱크저장소의 설치기준

지하탱크저장소의 위치·구조 및 설비의 기준은 법 제17조 제1항의 규정에 관련된다.

1) 지하탱크저장소의 탱크

① 지하탱크저장소의 탱크는 지면(건축물에 설치하는 경우에는 그 건축물의

최저부의 바닥)밑에 설치된 탱크전용실에 설치하여야 한다. 다만, 제4류 위험물의 탱크를 다음의 기준에 적합하게 설치하는 경우에는 그러하지 아니하다.

a. 탱크를 지하철·지하터미널 또는 지하가의 외벽으로부터 수평거리 10m 이상이 되는 곳에 설치하여야 한다.

b. 다음 각목에 해당하는 기준에 의하여 탱크의 보호조치를 해야 한다.

ⓐ 탱크의 외면에 방청 및 아스팔트도장을 한 후 아스팔트루핑 및 철망으로 피복하고, 그 위에 두께 2cm 이상의 몰탈을 도장해야 한다. 이 경우 아스팔트루핑·철망 및 몰탈은 다음의 기준에 적합한 것으로 하여야 한다.

㉠ 아스팔트루핑은 한국산업규격 에프(KSF) 4902(35km)이상의 성능을 가진 것이어야 한다.

㉡ 철망은 한국산업규격 에프(KSF) 4551이상의 성능을 가진 것이여야 한다.

㉢ 몰탈에는 방수제를 혼합해야한다. 다만, 몰탈을 도장한 표면에 방수제를 도장하는 경우에는 그러하지 아니하다.

ⓑ 탱크의 외면에 두께 1cm이상이 되도록 방청 및 아스팔트 도장과 아스팔트루핑에 의한 피복을 해야한다. 이 경우 아스팔트루핑은 한국산업규격 에프(KSF) 4902(35kg)이상의 성능을 가진 것이어야 한다.

ⓒ 탱크의 외면에 방청도장 또는 부식방지처리를 한 후 두께 3mm 이상의 유리섬유강화플라스틱 또는 고밀도폴리에틸렌으로 피복하여 이중벽구조로 해야한다. 이 경우 유리섬유강화플라스틱의 휨강도는 한국산업규격 엘(KSL) 2327의 <표3> 이상의 성능으로 하고, 고밀도 폴리에틸렌은 한국산업규격 엠(KSM) 3353중 3종 1류이상의 성능을 가진 것이어야 하며, 탱크자체에 누유검사를 할 수 있는 누유검사관을 부착하여야 한다.

c. 지하에 매설한 탱크위에 두께가 0.3m 이상이고 길이 및 너비가 각각 당해 탱크의 길이 및 너비보다 0.6m 이상이 되는 철근콘크리트조의 뚜껑을 덮어야 한다. 이 경우 뚜껑의 중량이 직접 당해 탱크에 가하여지지 아니하도록 하여야 한다.

d. 탱크를 견고한 기초 위에 고정시켜야 한다.

② 탱크실의 벽 및 바닥은 두게 0.3m 이상의 철근콜크리트조 또는 이와 동등이상의 성능이 있는 구조로 하고, 적당한 방수조치를 하여야 하며, 뚜껑은 두께 0.3m 이상의 철근콘크리트조로 하고, 방수조치를 하여야 한다. 다만, 탱크의 맨홀부분은 그러하지 아니하다.

2) 탱크의 매설

① 지하탱크저장소의 탱크는 그 본체 윗부분이 지면(건축물에 설치하는 경우에는 그 건축물의 최저부의 바닥)으로부터 0.6m 이상의 깊이가 되도록 매설하여야 한다.

② 탱크실을 설치하는 경우에는 그 상·하·좌·우의 내벽과 탱크와의 사이에 0.1m 이상의 간격을 두고, <그림 부록 4-1>과 같이 탱크실 내부에는 건조된 모래를 채워야 한다.

③ 2개이상의 탱크를 인접하여 설치하는 경우에는 그 상호간에 1m 이상의 간격을 두어야 한다. 다만, 2개이상의 탱크의 용량의 합계가 지정용량의 100배미만일 때에는 그 상호간의 간격을 0.5m 이상으로 할 수 있다 <그림 VI-1>



<그림 부록 4-1> 지하저장탱크의 개략도

3) 탱크의 구조

① 지하탱크저장소의 탱크는 두께 3.2mm 이상의 강철판으로 틈이 없도록 제작하여야 하며, 기밀시험(압력탱크에 한한다)·비파괴시험 또는 수압시험(압력탱크에 있어서는 최대상용압력의 1.5배의 압력으로, 압력탱크외의 탱크에 있어서는 1cm^{2}에 대하여 0.7kg의 압력으로 10분간을 실시하여 새거나 변형되지 아니할 것)을 실시하여야 한다.

② 용량 100만L 이상의 탱크에 대하여는 규정에 의하여 비파괴시험을 하여야 한다.

③ 탱크전용실에 설치하는 탱크의 외면에는 방청도장을 하여야 한다.

4) 탱크실의 누유검사관

① 액체위험물의 탱크실에는 탱크로부터 위험물이 새는 것을 검사하기 위하여 다음의 기준 적합한 관을 탱크 1개에 대하여 4개이상을 적당한 곳에 설치하여야 한다.

a. 이중관으로 할 것. 다만, 소공이 없는 상부는 단관으로 할 수 있다.

b. 재료는 금속관 또는 경질합성수지관으로 해야한다.

c. 관은 탱크실의 바닥에 닿게 해야한다.

d. 관의 밑부분으로부터 탱크의 중심 높이까지의 부분에는 소공이 뚫려있을 것. 다만, 지하수위가 높은 장소에 있어서는 지하수위의 부분에 소공이 뚫려 있어야 한다.

e. 상부는 물이 침투하지 아니하는 구조로 하고, 뚜껑은 검사시에 쉽게 열 수 있도록 하여야 한다.

② 2개이상의 탱크를 0.5m - ≤1m의 간격으로 설치한 경우에는 2개의 탱크사이에 설치하는 누유검사관을 공용할 수 있다.

③ 이중벽자체에 누유검사관을 설치하는 경우에는 다음 기준에 적합하게 설치하여야 한다.

a. 재료는 금속관 또는 경질합성수지관으로 하여야 한다.

b. 관은 탱크자체의 이중벽 사이의 최저부에 닿게 하여야 한다.

c. 누유검사관에 탱크저장물의 유입을 방지하도록 하여야 한다.

d. 상부는 물이 침투하지 아니하는 구조로 하고, 뚜껑은 검사시에 쉽게 열 수 있도록 하여야 한다.

1.2 위험물 취급소에 관한 설치기준

위험물 취급소에 관한 설치기준은 소방법 제17조 제1항에 의해 위험물 취급소로는 주유취급소, 특수 위험물취급소, 저장취급소 등이 포함되고 있으나 대부분 위치, 구조 및 설비기준은 주유소에 대한 규정으로 주유소 취급에서의 탱크를 중점적으로 다룬다.

(1) 주유취급소

① 주유취급소에는 다음 각호의 탱크를 지하에 매설하는 경우를 제외하고는 위험물을 저장하는 탱크를 설치할 수 없다.

a. 자동차 등에 직접 주유하기 위한 위험물탱크

b. 실소비자에게 등유 또는 보일러용 경유를 판매하기 위한 위험물탱크

c. 주유취급소의 자체 난방을 위한 지정수량이상의 위험물탱크

② 주유취급소에 설치하는 하나의 탱크의 용량은 위의 1항 및 2항의 경우에는 5만L, 3항의 경우에는 1만L 이하로 하여야 한다.

③ 주유취급소에 설치하는 탱크에는 최대저장요량이상의 위험물이 주입될 때, 자동으로 그 주입구가 폐쇄되는 장치를 설치하고 통기관등 탱크의 외부로 개방된 부분은 위험물이 넘치지 아니하도록 자동폐쇄장치를 설치하여야 한다. 이 경우 자동폐쇄장치는 내무부장관이 정하여 고시하는 바에 따라 설치하여야 한다.

④ 위의 ①의 1항 및 3항의 규정에 의한 탱크의 설치기준은 지하탱크저장소 탱크설치기준에 준한다.

(2) 특수위험물 취급소

1) 특수위험물판매취급소 저장실의 설치기준

① 특수위험물판매취급소의 점포와 동일한 건축물 또는 부지에 설치된 건축물에 두어야 하고, 바닥면적은 75m^2 이하이어야 한다.

② 벽·기둥·보 및 바닥을 내화구조로 하여야 한다. 다만, 제6류 위험물만을

저장하는 것에 있어서는 벽・기둥・보 및 바닥을 불연재료로 할 수 있다.

③ 출입구에는 갑종방화문을 설치할 것. 다만, 제6류 위험물만을 저장하는 것에 있어서는 을종방화문으로 할 수 있다.

④ 2층이상의 층의 바닥에는 개구부를 설치하지 아니하여야 한다. 다만, 제6류 위험물만을 저장하는 것에 있어서는 그러하지 아니하다.

⑤ 지붕은 내화구조로 하여야 한다.

⑥ 액체위험물 저장창고의 바닥은 위험물이 침투하지 아니하도록 재료를 사용하되, 적당하게 경사지게 하고, 그 최저부에 저유설비를 하여야 한다.

1.3. 저장취급소

저장취급소에 설치할 수 있는 저장시설은 옥내탱크저장시설・지하탱크저장시설・간이탱크저장시설・옥외탱크저장시설 또는 이동탱크저장시설로 하여야 한다. 각 시설들은 각기의 저장 및 설치기준에 따른다.

2. 매립시설

국내 폐기물 처리시설 설치기준은 폐기물 관리법 시행규칙 제15조와 제18조에 일반폐기물의 관련기준이 있고 폐기물 관리법 시행령 27조와 시행규칙 제67조, 제68조에 특정폐기물의 관련기준이 있다. 폐기물 매립시설에 관한 사항은 매립시설 주변에 사람이나 동물의 출입을 방지할 수 있는 대책 마련과 통행량이 많은 지역에 매립시설임을 표시하는 표지판 설치, 옹벽이나 제방 등의 안전 설계와 시공, 중량 계기시설 설치, 지하수 검사정 설치, 빗물 배재시설 설치, 폐기물처리시설의 사용종료에 대한 사후관리 및 사후처리 등의 규정이다.

폐기물 매립시설물에 대한 규정을 매립시설의 일반 사항과 매립시설의 조성 및 설치 사항 그리고 매립시설의 사후관리 사항으로 분류하면 다음과 같다.

2.1. 일반사항

(1) 매립시설의 주위에 사람 또는 가축 등의 출입을 방지할 수 있는 철망 등의 외곽시설을 지상 1.5m 이상의 높이로 설치하여야 한다. 다만, 매립시설이 사람 등이 무단으로 출입할 수 없는 사업장안에 있는 경우와 그 주위가 사람 등의 출입이 곤란한 해변・하천・절벽 등의 지형인 경우에는 그의 주위에 외곽시설을 설치하지

아니할 수 있다.

(2) 매립시설에의 접근이 용이한 지역 또는 사람의 통행량이 많은 지역에 일반 또는 특정폐기물 매립시설임을 표시하는 가로 100cm 이상, 세로 50cm 이상의 표지판을 지상 100cm 이상의 높이에 설치하여야 한다. 이 경우 표지판에는 관리 자의 주소·성명·전화번호 등을 기재하여야 한다.

(3) 반입되는 일반 또는 특정폐기물의 중량을 측정할 수 있는 계량시설을 설치하여야 한다. 다만, 환경처장관, 시·도지사 또는 지방환경청장이 필요하지 아니하다고 인정하는 경우에는 그러하지 아니하다.

(4) '일반폐기물 매립지' 라고 표시된 장소에만 매립하여야 한다. 다만, 1종류의 일반폐기물 또는 수질오염방지조치가 필요하지 아니한 2종류 이상의 일반폐기물을 매립하는 경우에는 매립지 표지판에 부기하고 당해 일반폐기물만을 매립하여야 한다.

(5) 일반폐기물 매립지에 직접 매립하기에 부적합한 오니 등의 일반폐기물을 매립하는 경우에는 환경부장관이 정하여 고시하는 기준 및 방법에 의하여 사전 처리 후에 매립하여야 한다.

(6) 매립시설의 지반은 지반침하 등의 우려가 없도록 하여야 한다.

2.2. 매립시설의 조성 및 설치사항

(1) 일반 또는 특정폐기물을 고르거나 압축할 수 있는 장비와 운반차량의 세륜·세차 시설을 갖추어야 한다. 다만, 환경부장관, 시·도지사 또는 지방환경청장이 처리대상폐기물을 고려하여 필요하지 아니하다고 인정하는 경우에는 이를 갖추지 아니할 수 있다.

(2) 특정폐기물을 보관 또는 처리함에 있어서는 당시 시설의 보관 또는 처리능력을 초과하지 아니하도록 하여야 한다.

(3) 일반 또는 특정폐기물의 유출을 방지할 수 있는 옹벽 및 제방은 매립되는 일반 또는 특정폐기물의 하중 등을 고려하여 안전하게 설치하여야 한다. 또한, 폐기물이 유출되지 아니하도록 유지·관리하여야 한다.

(4) 일반 또는 특정 폐기물을 처리함에 있어서는 폐기물이 흩날리거나 흘러나오거나 악취가 발산되지 아니하도록 하여야 한다.

(5) 일반 또는 특정폐기물의 처리 장소에는 쥐 및 파리·모기 등 해로운 벌레가

발생・번식하지 아니하도록 약제의 살포 등 필요한 조치를 하여야 한다.

(6) 매립시설의 외부에서 빗물이 유입되지 아니하도록 빗물배제시설을 갖추어야 한다.

(7) 매일 작업종류 후 흙・점토 또는 이와 유사한 물질 (이하 '복토재' 라 한다)을 사용하여 15cm 이상의 두께로 일일복토하여야 하며, 매립작업이 7일 이상 중단되는 때에는 30cm 이상의 두께로 중간복토를 하고, 매립지 사용이 완료된 때에는 50cm 이상의 두께로 최종복토 하여야 한다. 다만, 특정폐기물로 분류되지 아니하는 연탄재 등 소각잔재물, 도자기 편류나 패각류 등 악취의 발생이나 흩날릴 우려가 없는 일반폐기물만을 매립하는 경우에는 일일복토 및 중간복토를 하지 아니할 수 있다.

(8) 음식물류, 특정폐기물로 분류되지 아니하는 오니 또는 동물성 잔재물 등 부패성 일반폐기물로서 부패성물질의 함량이 40% 이상인 일반폐기물만을 매립하는 때에는 매립하는 일반폐기물의 높이가 매 3m가 되기 전에 복토를 하여야 한다.

(9) 침출수가 매립시설에서 유출되는 것을 방지하기 위하여 매립시설의 측면 및 바닥은 일반폐기물의 성상・매립높이 등을 감안하여 점토・고밀도폴리에틸렌 등의 차수재료를 사용하여 다음의 방법에 따라 차수처리하여야 한다. 다만, 매 립시설의 측면과 바닥의 토양의 투수계수가 1초당 1천만분의 1cm 이하인 경우 또는 이와 동등 이상의 차수효과를 가지고 있는 경우에는 그러하지 아니한다.

(a) 고밀도폴리에틸렌 또는 이에 준하는 재질의 합성수지를 사용하는 경우 두께 1mm 이상의 것을 1겹이상 포설하여야 하며, 차수재의 상・하부는 30cm 이상의 점토 등을 포설해야 한다.

(b) 점토・벤토나이트 등 점토류를 사용하는 경우는 75cm 이상의 두께로 포설하여 투수계수가 1초당 1천만분의 1cm 이하가 되도록 하여야 한다.

(c) 기타의 차수재료를 사용하는 경우는 (a) 또는 (b)와 동등한 차수효과를 가지도록 차수처리하여야 한다.

(10) 매립시설의 바닥에는 침출수를 집수할 수 있는 집수정과 이를 처리시설로 이송할 수 있는 설비를 설치하여야 한다.

(11) 침출수 집수설비 등은 정상적인 기능의 유지를 위하여 정기적으로 토사를 제거하는 등 필요한 조치를 하여야 한다.

(12) 일반폐기물 매립으로 인하여 배출되는 침출수를 저장할 수 있는 유량조정

조와 침출수를 적정하게 처리할 수 있는 시설을 하여야 한다.

(13) 일반폐기물 매립지에서 배출되는 침출수로 인하여 수질오염의 우려가 있는 경우 배출되는 침출수는 수질환경보전법 시행규칙 별표5에 의한 오염물질 의 배출허용 이하가 되도록 처리하여야 한다. 다만, 수질오염의 우려가 없다고 인정되는 일반폐기물만이 매립되어 수질오염 방지조치가 필요 없는 것으로 인정되는 경우에는 별도의 수질오염 방지조치를 취하지 아니할 수 있다.

(14) 특정폐기물을 처리하는 과정에서 수질환경보전법 시행규칙 별표1에 의한 수질오염물을 배출하는 경우에는 배출허용기준에 적합하게 배출되는지의 여부를 정기적으로 검사하여야 한다.

(15) 특정폐기물처리시설의 기능이 정상적으로 유지되도록 정기적인 점검 및 보수 등 필요한 조치를 하여야 한다.

(16) 특정폐기물이 처리시설로부터 유출되는 등의 사고가 발생할 경우에는 즉시 시설의 가동을 정지하여야 하며, 유출된 특정폐기물을 회수하는 등 환경보전상 필요한 조치를 하여야 한다.

(17) 매립시설에서 발생되는 가스를 모아 처리할 수 있는 시설을 설치하여야 한다. 다만, 연탄재·광재류 등의 가스발생이 없는 무기성 폐기물만을 매립하는 매립시설의 경우에는 그러하지 아니하다.

2.3. 특정폐기물 매립지 개별기준

(1) 차단형 매립시설

가. 바닥 및 외벽은 한국산업규격 에프2405(콘크리트의 압축강도실험방법)에 의하여 측정한 압축강도(이하 “압축강도” 라 한다)가 210kg/cm^{2}이상인 철근콘크리트로서 두께가 15cm 이상 또는 이와 동등한 차단효력을 가진 구조물로 설치하되 방수처리하여야 한다.

나. 내부막의 1개 구획외 면적은 매립가능면적 50m^2 이하 또는 매립 가능용적 250m^3 이하가 되도록 하고, 내부막의 두께로 설치하여야 한다.

다. 차단형 매립시설의 사용을 종료한 때에는 콘크리트 등을 이용하여 밀폐화시켜야 한다.

(2) 관리형 매립시설

가. 침출수가 매립시설에서 유출되는 것을 방지하기 위하여 매립시설의 측면 및 바닥은 특정 폐기물의 성상 매립높이 등을 감안하여 점토 고밀도폴리에틸렌 등의 차수재료를 사용하여 다음의 방법에 따라 차수처리하여야 한다. 다만, 매립시설의 측면과 바닥의 토양의 투수계수가 1초당 1천만분의 1cm 이하인 경우 또는 이와 동등이상의 차수효과를 가지고 있는 경우에는 그러하지 아니하다.

(a) 고밀도 폴리에틸렌 또는 이에 준하는 재질의 합성수지를 사용하는 경우 두께 1mm 이상의 것을 2겹 이상 포설하여야 하며, 라이너 사이에는 부직포를 이용하여 보호층을 두고 차수재 상·하부는 30cm 이상의 점토 등을 포설하여야 한다.

(b) 점토, 벤토나이트 등 점토류를 사용하는 경우는 1.5m이상의 두께로 포설하여 투수계수가 1초당 1천만분의 1cm 이하가 되도록 하여야 한다.

(c) 기타의 차수재료를 사용하는 경우는 (a) 또는 (b)와 동등한 차수효과를 가지도록 차수처리하여야 한다.

나. 매립시설의 바닥에는 침출수를 집수할 수 있는 유공관 및 집수정과 이를 처리시설로 이송할 수 있는 설비를 설치하여야 한다.

다. 침출수는 최근 10년간 1일 강우량이 10mm 이상인 강우일수 중 최다빈도의 1일 강우량의 7배 이상에 해당하는 침출수를 저장할 수 있는 유량 조정조와 침출수를 적정하게 처리할 수 있는 시설을 하여야 한다.

라. 유기성 특정폐기물을 매립하는 경우에는 매립시설에서 발생되는 가스를 모아 처리할 수 있는 시설을 설치하여야 한다.

마. 관리형 매립 시설은 발생하는 가스를 처리하여야 한다.

바. 관리형 매립시설에 (사)의 부패성 특정폐기물을 제외한 특정폐기물을 매립할 때에는 매일 작업종료 후 복토재를 사용하여 15cm이상의 두께로 일일복토를 하여야 하며, 매립된 특정폐기물의 높이가 3m이상인 경우에는 3m마다 50cm 이상의 중간복토를 하여야 한다. 다만, 파, 절단, 또는 용융처리한 폐합성고분자화합물 등 악취가 발생되거나 흩날릴 우려가 없는 특정폐기물만을 매립하는 경우에는 일일복토 및 중간복토를 하지 아니할 수 있다.

사. 오니 중 유기성 등의 부패성 특정폐기물로서 부패성 물질의 함량이 40%

이상인 특정폐기물만을 매립하는 경우에는 당해 폐기물의 높이가 50cm 이상일 때 50cm마다 30cm 이상의 두께로 복토를 하여야 한다. 다만, 매일 작업종료 후 마무리 복토 직전의 부패성 폐기물의 경우에는 당해 폐기물 높이에 해당하는 두께로 복토를 하여야 한다.

2.4. 매립시설의 사후관리 사항

(1) 일반폐기물 매립으로 인한 침출수가 발생되는 경우에는 지하수오염 여부를 확인할 수 있는 지하수 검사정을 사용개시 신고일 2개월 전까지 매립시설 주 변에 4개소 이상을 설치하여야 한다. 다만, 매립지의 경계선이 해수면과 인접하여 있어 지하수 검사정 설치가 어려운 시설로서 해수면 인접지역에 지하수 검사정 대신 해수 수질검사를 실시할 수 있는 지점을 2개소이상 선정한 시설의 경우에는 그러하지 아니하다.

(2) 매립시설 주변의 지하수 검사정의 수질검사 또는 해수 수질검사는 당해 매립시설의 사용개시 신고일 2개월 전부터 사용개시 신고일까지의 기간 중에는 월 1회 이상, 사용개시 신고일 이후부터는 분기 1회 이상 각각 실시하여야 한다.

(3) 폐기물관리법 시행규칙 제68조(사후처리조치명령)법 제47조제2항의 규정에 의하여 지방환경청장은 폐기물을 매립하는 시설을 사용종료 또는 폐쇄한 자에 대하여 사후관리기간을 정하여 다음 각 호의 사항에 대한 사후관리조치를 명할 수 있다.

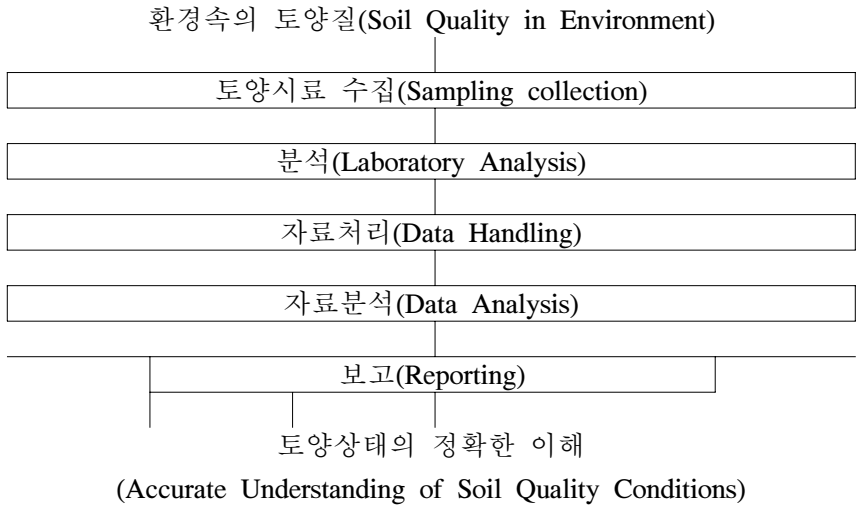
① 침출수 처리시설의 가동
② 발생가스의 처리
③ 지하수오염도의 검사
④ 주변환경오염조사
⑤ 기타 매립지 사후관리에 필요한 사항

<부록 5> 토양오염도 상시측정체계 설계시의 고려사항

「토양오염도 상시측정체계」라 함은「토양시료(soil sample)에서 토양오염물질의 농도를 정량적으로 분석(quantity analysis)하여 토양의 상태(비오염 또는 오염의 정도)를 토양시료 채취지점별로 판정함으로써 시료가 측정된 지점(이후 '측정지점'이라 함)과 측정지점의 인근지역의 토양상태를 개략적으로 진단하고, 측정지점별 토양분석결과를 연결 또는 집단으로 분석(linked- or cluster analysis)함으로써 측정지점별 토양상태를 파악하기 위한 체계」로 정의할 수 있다. 즉, 토양오염도 상시측정체계는 대상토양의 '土壤質(soil quality)'을 파악하여 적절한 토양질 관리의사를 내릴 수 있도록 하는 것으로 자연상태의 토양질과 정책결정자를 연결하는 고리이다.

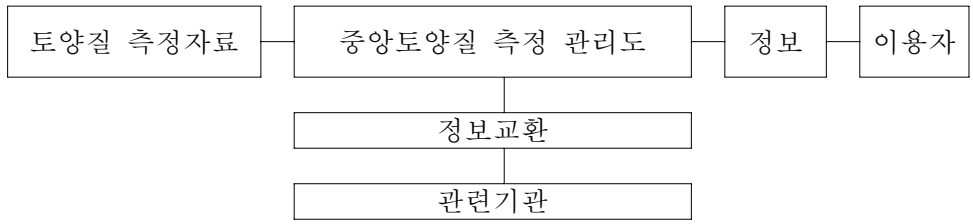
1. 토양오염도 상시측정체계의 정보흐름

토양오염도 상시측정체계를 이용한 토양상태의 정확한 이해는 환경속의 토양질을 수집, 분석, 자료처리 및 통계분석, 보고함으로써 달성될 수 있다. 이와 같은 토양오염도 상시측정체계의 정보는 환경속의 토양시료를 수집, 실험 및 분석, 자료처리 및 통계분석한 자료가 최종관리자에게 전달되어야 한다 <그림 부록 5-1>.



<그림 부록 5-1> 토양오염도 상시측정체계의 정보흐름도

토양오염도 상시측정체계의 정보체계는 자료의 생산, 정보의 생산, 정보의 이용의 세 가지 측면을 포함할 수 있도록 구성되어야 한다. 기술된 자료는 토양질의 측정수치이며, 정보는 측정된 토양질 자료의 분석 및 정리이다. 정보의 이용은 분석 및 정리된 정보를 이용한 감시와 경보라 할 수 있다. 이러한 세 가지 사항을 연결할 수 있는 개략적인 정보체계로 토양오염도 상시측정체계의 정보체계가 구성되어야 한다 <그림 부록 5-2>.



<그림 부록 5-2> 토양오염도 상시측정체계의 정보체계

2. 설치목적 및 설계항목

토양오염도 상시측정체계의 정보체계를 효율적으로 유지하고, 설치되는 토양오염도 상시측정체계의 세부적인 목적에 따라 설계가 이루어져야 한다. 토양오염도 상시측정체계의 설치계획을 수립함에 있어 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다.

①측정목적
②측정지점의 위치
③측정항목
④측정기기
⑤측정계획
⑥측정자료의 전달체계
⑦자료관리 및 활용
⑧운영에 소용되는 비용

2.1. 설치목적의 수립

토양오염도 상시측정체계의 설치목적은 토양환경의 보전을 목표로 하여 '토양질

(soil quality)'을 파악하여 적절한 토양질 관리방법을 제시할 수 있도록 하는 것으로 토양상태의 정확한 이해에 있다. 이를 달성하기 위하여 토양오염도 상시측정체계의 세부적인 설치목적은 토양오염(배출)원의 감시, 토양질의 감시, 유해물질과 오염수준의 감시 및 영향권 등의 감시에 있다고 할 수 있다. 토양오염도 상시측정체계의 설치형태와 설치목적에 따라 측정체계의 종류는 다음과 같이 세부적으로 분류할 수 있다.

첫째, 토양의 상태에 변화를 나타내는 외부적 영향이나 장기적인 경향의 파악을 위한 측정체계이다. 이것은 토양상태 전반의 개괄적 정보를 제공하는 것으로 전반적인 토양상태의 장기적 변화추이를 이해하기 위한 측정체계라 할 수 있다.

둘째, 토양오염기준 이상으로 오염물질이 축적된 토양지역을 검정하므로써 토양오염기준을 초과하는 지역의 파악을 위한 측정체계이다. 이는 토양 환경기준의 위반을 검출하기 위한 측정체계로 토양환경기준 위반이 어느지역에서, 어느 시기에, 어떠한 시간적인 변이로 일어나는가를 감시할 수 있는 측정체계라 할 수 있다.

셋째, 집중적인 조사이다. 이는 특정시기를 정하여 토양상태의 변화를 정확히 측정하기 위하여 필요하다. 이는 오염원의 배출에 의한 토양환경변화(예, 오염도)를 추정하기 위한 모형(model)을 개발할 때 모형에서 필요한 여러 인자(parameters)들의 계산과 모형의 검증(verification) 등을 위하여 사용될 수 있다. 특히, 토양에 분포·확산되어 있는 특정오염원들의 영향을 조사하는데 사용한다.

넷째, 지속적인 측정이 필요한 특정 목적을 위한 측정체계이다. 이는 상수원수 지역에서 토양오염의 진행상태를 파악 또는 특정 용도의 목적을 위한 토양오염 진행상태의 파악이 필요한 경우 등, 특정 목적용도에 따른 인근토양의 상태를 지속적으로 파악할 필요가 있는 경우에 해당한다.

현재 환경부에서 구축하고자 하는 토양측정망의 개선목적은 토양체계 전반의 개괄적 정보와 토양오염기준 이하로 오염물질 농도를 유지하고자 하는 기능에 초점을 맞추고 있으므로 토양측정망의 개선체계는 기술한 첫째와 둘째 목적에 해당한다고 할 수 있다. 또한, 제시한 셋째 목적에는 직접적으로 연관되어 있지 않으나

첫째와 둘째 목적달성을 통하여 토양상태가 악화되거나 토양오염기준을 초과하는 지역의 세부적인 정밀조사를 추진할 수 있는 기초자료를 제시할 수 있다는 측면에서 간접적으로 연결되어 있다고 할 수 있다.

2.2. 측정지점의 수 및 위치선정

토양의 오염상태를 측정하기 위한 설계시 가장 중요한 것은 전체 토양오염도 상시측정체계에 총 몇개의 측정지점을 설정할 것이며, 어느 곳에 측정지점의 위치를 설정하는가의 문제이다. 이는 공간적으로 토양상태 오염물질의 농도 측정값이 모집단으로부터 대상 토양지역 전체의 토양질을 신뢰구간내에서 얼마나 잘 반영하는가의 기본적인 문제이다.

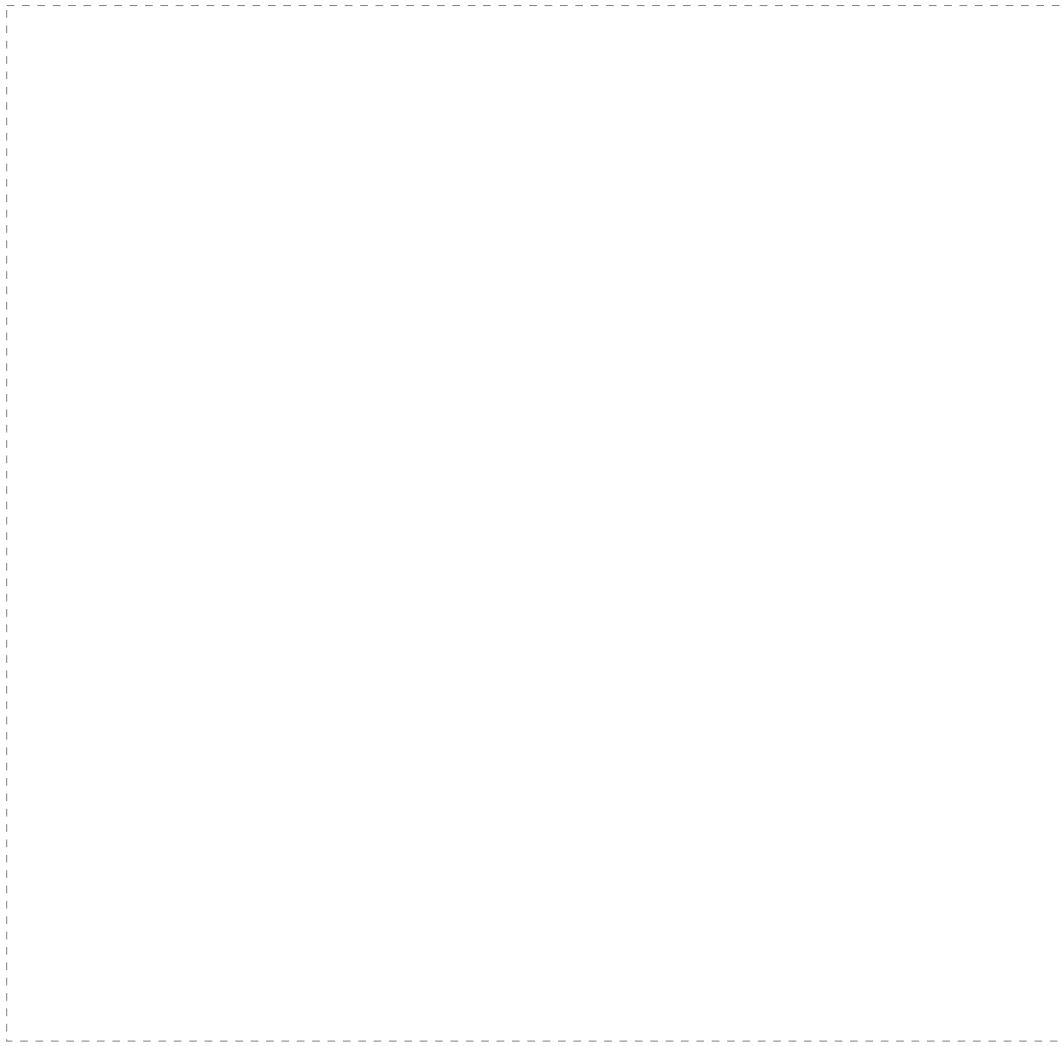
토양측정지점의 설정에 대한 방법이나 이론은 특정지역이 생물·물리·화학적인 물질로 오염되어 있거나 또는 이러한 물질이 분산되어 있을 경우 토양에 어떠한 상태로 분포되어 있는가를 측정하기 위한 목적으로 연구 또는 이용되어 왔다(EPA, 1978; Karandinos, 1976; Taylor et al, 1979; Lin et al, 1979; Southwood, 1979). 이러한 방법의 기본개념은 토양중 오염물질의 분산을 연구하는 방법뿐만 아니라 수계중 오염물질의 분산을 측정할 수 있는 수질측정망에도 적용되어 운영할 수 있다(오경두, 1994; 최지용, 1995).

생물·물리·화학적 물질이 토양에 분산되어 있을 때 이를 측정할 수 있는 토양측정지점의 설정은 측정목적과 측정대상의 오염물질(생물·물리·화학적인 물질포함) 종류, 측정지역 토양의 물리·화학적 특성, 환경조건(대기온도, 풍향 및 풍속, 습도, 토지의 경사도, 토양침식도, 토양의 유실정도, 토양의 식생상태, 토양의 생물군 등)에 따라 여러가지가 나타난다(EPA, 1991). 미국의 경우 토양오염원이 분명할 경우 이러한 오염원으로부터 오염물질의 이동을 방지하기 위한 기초 조사방법으로 자원보전 및 개발법(RCRA)에 의하여 최대한의 토양 시료의 수를 오염원 및 오염유발시설 인근지역에서 채취하여 분석해야 한다고 규정하고 있다. 그러나 오염원부터 토양시료의 간격 및 반복수 등에 따른 토양시료 채취지점은 뚜렷한 기준이 없을 경우에 측정자 또는 측정기관에 따른 토양 측정지점의 위치선정 기준에 따라 측정지점이 다르게 나타난다.

야외에서 토양상태를 측정하기 위한 지점과 시간을 결정하는 방법은「확률적 샘

플링 방법」에 의한 위치선정법이 이용되고 있다. 이 방법은 오염원이 존재하거나 또는 존재하지만 위치가 불명확할 경우 사용될 수 방법으로 대상이 되는 토양면적은 수십m^2에서 수십km^2까지 이용될 수 있다. 확률적 샘플링 방법에 의한 위치선정법은 ①임의샘플링 방법(haphazard sampling), ②주관적 샘플링 방법(judgement sampling), ③통계적 샘플링 방법(statistical sampling), ④탐색 샘플링 방법(search sampling)과 ⑤이중 샘플링(double sampling) 방법으로 구분할 수 있다.

「임의샘플링 방법」의 개념은 '어느 장소에서나 언제 샘플링 해도 좋다' 이다. 이러한 개념대로 샘플링을 수행할 경우 편리한 시간과 장소에서 측정을 할 수 있으며 결과적으로 편중된(biased) 평균이나 기타 다른 모집단의 특성치를 얻을 수 있게 된다. 「주관적 샘플링 방법」은 개인의 경험에 의하여 주관적으로 측정장소와 시간을 결정하는 방법이다. 개인의 경험이 풍부하다면 평균이나 다른 모집단의 매개변수들을 상당히 정확하게 평가할 수 있다. 그러나 샘플링에서 얻어진 통계치들이 얼마나 정확한지를 평가하기 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 주관적 샘플링방법은 정확할 수 있지만 정확도를 정량화하기는 어렵다. 「통계적 샘플링 방법」은 무작위방법(random selection)의 방법을 사용한다. 가장 기본적인 통계적 샘플링 방법은 단순 무작위적 샘플링(simple random sampling)이다. 단순 무작위적 샘플링에 있어서 N개로 구성된 모집단 집합의 모든 원소는 n개로 구성되는 샘플 집합으로 선택될 동등한 가능성(확률: probability)을 갖고 있으며 어느 하나의 원소가 환원되더라도 다른 원소가 선택되는데 전혀 영향을 미치지 않는다. 무작위 샘플링은 앞에서 기술한 임의 샘플링과는 다르며 이 방법은 모집단이 한쪽으로 치우치는 경향(trend), 주기(cycle), 패턴(pattern)을 내포하고 있지 않을 경우에 적합하다. 통계적 샘플링 방법은 전체 모집단을 상호 중복되지 않는 L개의 층(strata)으로 구분하여 각 층별로 샘플링 장소를 단순 무작위적으로 선택하는 계층별 무작위 샘플링 방법(stratified random sampling), 모집단을 주단위(primary units)로 구분한 후 단순 무작위 샘플링 방법에 의하여 몇 개의 주단위를 선택하고 다시 선택된 주 단위별로 단순 무작위 샘플링에 의하여 샘플링 장소와 시간을 결정하는 2단계 샘플링 방법(two-stage sampling), 무작위로 군집(cluster)을 선택하여 군집내의 모든 원소를 측정하는 군집샘플링 방법(cluster sampling)과 측정장소와 시간을 선택한 패턴(예, 시간격, 격자망 등)에 따라 결정하는 체계적 샘플링 방법(systematic sampling)으로 구분할 수 있다 <그림 부록 5-3>. 「탐색 샘플링 방법」은 오염원(pollution or



<그림 부록 5-3> 공간상에서 2차원적 샘플링 방법

contamination sources)이나 오염농도가 높은 문제지역을 찾아내기 위하여 찾아내는 방법으로 사용된다. 핵시설 부근이나 방사능 수준이 높은 지점을 찾아내기 위하여 항공기를 이용하여 감마선 방사상태를 조사하는 방법을 예로 들 수 있다. 가장 완전한 탐색은 센서스(census)와 같이 모집단의 모든 원소들을 측정하는 것이나 현실적으로 어렵거나 불가능할 경우가 많다. 「이중 샘플링 방법」은 상기에 기술한 2가지 이상의 방법들을 적용하는 방법이다.

2.3. 분석항목

토양오염도 상시측정체계의 측정항목은 설계목적, 오염원의 종류, 오염물질의 종류 등에 따라 달라질 수 있다. 특히 국가에서 규정하고 있는 오염물질의 종류가 다르므로 이에 따라 측정항목은 다르게 나타난다. 현재 네덜란드는 83항목, 영국은 20항목, 독일의 바덴불템벨그에서는 31항목, 베를린 리스트에는 37항목, 연방보호법(심의중)에는 11항목, 유럽공동체(안)에서는 19항목, 캐나다는 56항목, 일본은 3-10항목(해당 법에 따라 다름), 호주·뉴질랜드는 25항목이 토양의 오염물질로 측정되고 있다. 우리나라에서 실시되고 있는 토양측정망의 측정항목은 6개 중금속(As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn)과 토양산도(pH)로 되어 있다 <표 부록 5-1>.

토양오염물질의 분포에 따른 이산 및 흐름을 측정하기 위해서는 <표 부록 5-1>에 제시한 측정항목외에 토양채취지점의 지리 및 지형적 특성, 토양의 종류 및 물리·화학적 성질, 환경조건(대기 및 토양의 온도, 습도, 풍향 및 풍속, 토양의 식생 및 동식물·미생물의 종류 및 수, 지표수의 흐름에 따른 토양의 유실정도 등) 등이 기술되어야 한다(Barth et al, 1989; Mason, 1983; van Ee et al, 1990; EPA, 1986). 이에 따라 미국의 경우는 토양의 상태를 측정하는 방법으로, 대상되는 토양에서의 측정항목외에 <표 부록 4-2>에 기술된 사항을 반드시 기록하게 되어 있다(EPA, 1991). <표 부록 5-2>에 기술된 내용은 Cameron(1991)의 자료와 함께 발간된 토양시료채취방법에 관한 지침(원제목: Description and sampling of contaminated soils: A Field Pocket Guide)에 세부사항이 제시되어 있다. 미국에서 이 지침은 야외에서 토양시료를 채취할 때 토양시료를 채취하는 자가 필히 소지하여야 할 소책자이다(EPA, 1991).

토양시료에서의 측정항목과 토양시료의 채취 또는 측정항목의 분석시 동반해야 하는 <표 부록 5-1>에 수록된 자료 등이 모든 토양오염도 상시측정체계의 토양시료에서 필요한 것은 아니다. <표 부록 5-1>에 제시되어 있는 바와 같이 국가별로 인정하는 토양오염물질의 종류가 다른 것은 각국에서 문제가 되는 오염물질의 종류와 오염물질을 포함하는 토양의 상태가 다르고, 이에 따라 토양오염문제에 대한 국가의 기본정책과 정책의 추진방향 등이 다르기 때문이다. 우리나라에서는 6종류의 중금속 및 토양산도의 분석치를 토양오염상태를 판정하기 위한 지표로서

<표 부록 5-1> 국가별로 인정되는 토양오염물질의 항목

국가		항목
네덜란드		총83항목 (중금속12, 무기화학물질4, 방향족화합물9, 다고리탄화수소물11, 염소화합물24, 농약16, 기타11)
영국		총20항목 (중금속 및 무기화학물질6, 식물생장유해물질4, 탄소혼합물질10)
독일	바덴불덴벨그	총31항목 (중금속31, 무기화학물질3, 유기화합물질15)
	베를린 리스트	총37항목 (중금속9, 탄화수소계25, 기타물질3)
	연방토양보호법(심의중)	총11항목 (중금속9, 방향족물질2)
유럽공동체(안)		총19항목 (무기물질 및 중금속9, 질소 및 유기물질10)
미국		총131항목 (유기화학물질88, 농약27, 중금속13, 기타3)
캐나다		총56항목 (일반항목3, 무기물24, 방향족탄화수소9, 페놀화합물1, 다고리방향족탄화수소9, 염소계탄화수소6, 기타4)
일본	농경지오염방지법	총3항목(As, Cd, Cu)
	토양환경기준	총10항목(알킬수은, Cu, Hg, Cd, Pb, As, Cr^{6+}, PCBs, CN, 유기인)
	토양오염대책기준	Cu를 제외한 토양환경기준과 같음
호주/뉴질랜드		총25항목 (일반2, 중금속14, 광물질1, 페놀화합물1, 방향족탄화수소3, 염소계탄화수소1, 제초제3)
한국		총7항목 (토양산도, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn)

<표 부록 5-2> 토양시료를 채취할 때 오염물질 측정항목외에 필요한 첨부자료

구분	첨부내용
물리적 성질	토양층(Soil Horizons) 토양조직(Soil texture classes) 토양색(Soil color) 토양공극(Soil porosity) 공극(침투)률이 증가되는 지역의 경우 토양의 구조(Soil structure grades) 토양중의 균열상태(Extrastructural Cracks) 토양중의 식물뿌리상태(Roots) 토양표면의 상태(Surface features) 토양에 침전된 물질(Sediment features) 공극(침투)률이 감소되는 지역의 경우 토양원층(genetic horizons) 지속성(Rupture resistance: Consistency) 식물뿌리의 성장한계층(Root restricting layers) 토양의 압축정도(Penetration resistance: compaction) 토양공학적 변수와 특성(Soil engineering parameter & properties) ASTM texture 아터버그 한계(Atterberg limits) 전단력(Shear strength) 압축/팽창(Shrink-Swell) 부식성(Corrosivity) 토양(계층별) 온도
토양수리변수(Soil hydraulic parameters)	수분상태(Moisture condition: Soil water state) 대수층(Water table: Internal free water occurrence) 유용수분능력(Available water capacity) 포화수리전도 및 배수정도(Saturated hydraulic conductivity and soil drainage class) 투수정도(Infiltration)
토양생물・화학	유기물질(Organic matters) 냄새(Odor) 양이온치환능력(Cation exchange capacity) 토양산도(Reaction: pH) 산화환원능력(Redox potential: Eh) 전기전도도(Electrical conductivity: Salinity) 진흙 및 기타물질의 광물질성분(Clay and other minerals) 비옥도(Soil fertility) 토양미생물 종류(Soil microbiota)
토양오염물질	

1987년 이후 토양측정망의 지정된 측정지점별로 측정하고 있다. 이와 같이 6종류의 중금속(As, Cd, Cu. Hg, Pb, Zn) 및 토양산도의 측정은 일본의 토양환경기준 또는 토양오염대책기준에서 제시되고 있는 측정항목의 종류에서 영향을 많이 받은 것으로 추정된다.

우리나라의 산업구조가 일본과 비슷한 형태로 구성되어 있기는 하지만 토양오염도 상시측정체계의 분석항목을 선택함에 있어 다른 외국의 오염물질의 종류 및 측정방법 등을 주시할 필요가 있다. 특히 측정항목외에도 토양시료를 채취하는 과정에서 <표 부록 5-2>에 제시한 바와 같은 정보가 함께 첨부되는 것을 신중하게 고려하여야 한다. 현재 우리나라에서는 이와 같은 첨부자료는 토양측정망의 운영과정에서 고려되고 있지 않으나 토양오염도 상시측정체계의 설정시 이를 신중하게 고려할 필요가 있다.

2.4. 분석기기

토양시료의 분석항목 선택에 따른 분석기기가 제시되어야 한다. 분석기기의 제시란 단순히 이용가능한 분석기기의 마련만을 의미하는 것뿐만 아니라 분석방법과 분석기기의 효율적인 운영까지를 대상으로 하는 것이다. 이를 위하여 국내 및 외국에서 오염물질의 분석방법으로 어떠한 종류의 분석기기를 이용하는가 조사할 필요가 있다.

토양중 중금속물질, 유기 및 무기화학물질, 방향족화합물, 다고리탄화수소물, 염소화합물 등의 분석을 위한 분석기기의 종류는 HPLC(High Pressure Liquid Chromatography), Gas Chromatography(GC), GC-Mass, Spectrophotometer, ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrometer) 또는 ICP-AES(ICP-Atomic Emission Spectrometer), ICP-MS(ICP-Mass Spectrometer), 원자흡광분석기(Atomic Absorption Spectrophotometer: AAS) 또는 이와 비슷한 성능을 지닌 분석기기를 이용한다 <표 부록 5-3>. 중금속의 대상별·기기의 종류별로 시료를 전처리 하는 과정이 다르며 또한 중금속별로 최적흡광파장(Optimum absorption wavelength)이 다르므로 이를 조절할 필요가 있다. 우리나라에서는 토양중 6개의 중금속을 분석하는 공정방법으로 수질오염공정시험방법(환경처, 1991)에서 원자흡광분석기(AAS)를 이용하고 있다.

<표 부록 5-3> 토양시료중 오염물질의 분석기기

Qualitative Methods	Examples of Analytes Detected
Photoionization Detector (survey mode)	Volatile organic compounds
Flame lonization Detectors (survey mode)	Volatile organic compounds
Detector Tubes (multi-compound)	Variety of compounds
Field Test Kits	Variety of compounds (e.g., total petroleum hydrocarbons)
Immunoassay Kits	PCBs, pesticides, PCP, PNAs, TCE, total petroleum hydrocarbon, BTEX, explosives (TNT)
Quantitative Methods	Examples of Analytes Detected
Gas Chromatographs	Organic compounds
Mass Spectrometers	Organic compounds
GC/MS	Organic compounds
X-Ray Fluorescence Spectrometers	Metals, major ions (inorganics)
Laser-Induced Fluorescence	Aromatic organic compounds
Infrared Detectors	Organic compounds, total petroleum hydrocarbons
Laser-Based Spectroscopy	metals
Wet Chemistry Kits (colorimetric.gravimeric)	Major inorganic ions, metals
Specific Ion Probes	Major ions (inorganic)
Detector Tubes (single compound)	Variety of compounds

농약 등의 유기물질성분은 그 성상에 따라 HPLC, GC 등이 주로 이용되고 있다. 우리나라에서는 토양중 농약 등의 유기물질을 분석하는 공정방법은 없으나 물속에 함유되고 있는 유기인을 분석하는 방법으로 수질오염공정시험방법(환경처, 1991)에 의하면 GC를 이용하게 되어 있다. GC분석시 유기인의 표준액으로 EPN 표준액, 파라티온(Parathion) 표준액, 메틸디메톤(Dimethylmethane) 표준액, 다이아지논(Diazinon) 표준액, 펜토에이트 표준액이 사용되고 있다. 이러한 표준액으로 일반적인 유기인계의 농약성분 등은 분석될 수 있으나 이를 제외한 카바메이트(Carbamate)계, 유기염소(Organochloride)계, 유기황(Organosulfur)계, 유기비소(Organoarsenic)계 등의 농약 분석방법에 관해서는 공정시험법이 없다.

2.5. 기타사항

토양오염도 상시측정체계의 설계시 제시한 토양측정망의 설치목적, 토양측정망 측정지점의 위치선정, 분석항목, 분석기기 등외에도 측정시 세부계획, 토양시료의 채취시기, 분석자료의 전달체계, 수집된 자료의 효율적인 관리 및 활용 등에 대하여 충분히 고려하여야 할 사항이다.

<부록 6> 전국 지하유류저장시설[1]의 저장유류별[2]·용량별·매설경과년도별[3] 현황[4]

1. 전국 산업시설의 지하 저장유류별·용량별·매설경과년도별 현황

	용량 (천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
휘발유	≤5	28	8	8	7	4	1	0	0
	6-≤10	18	7	6	1	1	3	0	0
	11-≤20	25	6	8	10	1	0	0	0
	21-≤30	5	2	3	0	0	0	0	0
	31-≤40	2	2	0	0	0	0	0	0
	41-≤50	10	10	0	0	0	0	0	0
	≥51	0	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	88	35	25	18	6	4	0	0
경유	≤5	804	234	288	156	90	32	2	2
	6-≤10	465	162	165	76	34	19	6	3
	11-≤20	660	253	225	108	46	18	8	2
	21-≤30	198	93	49	35	12	7	0	2
	31-≤40	85	41	26	9	7	1	0	1
	41-≤50	49	14	21	7	3	2	2	0
	≥51	79	25	28	16	5	2	3	0
	소 계	2,340	822	802	407	197	81	21	10
등유	≤5	49	18	13	6	7	1	4	0
	6-≤10	25	9	6	2	8	0	0	0
	11-≤20	40	9	11	8	9	3	0	0
	21-≤30	6	1	0	3	0	1	1	0
	31-≤40	9	4	1	1	3	0	0	0
	41-≤50	2	2	0	0	0	0	0	0
	≥51	8	0	2	5	0	0	0	1
	소 계	139	43	33	25	27	5	5	1
폐유	≤5	2	2	0	0	0	0	0	0
	6-≤10	2	2	0	0	0	0	0	0
	11-≤20	6	2	2	0	2	0	0	0
	21-≤30	0	0	0	0	0	0	0	0
	31-≤40	0	0	0	0	0	0	0	0
	41-≤50	4	4	0	0	0	0	0	0
	≥51	0	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	14	10	2	0	2	0	0	0

<계속>

	용량 (천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
중유	≤5	139	22	69	25	15	8	0	0
	6-≤10	369	81	133	67	52	26	9	1
	11-≤20	745	211	289	131	66	38	8	2
	21-≤30	243	80	84	43	24	11	1	0
	31-≤40	161	58	39	36	20	5	2	1
	41-≤50	67	19	26	9	9	4	0	0
	51-≤60	50	13	16	7	9	5	0	0
	61-≤70	32	12	11	4	4	1	0	0
	71-≤80	28	9	6	6	5	0	1	1
	81-≤90	11	4	3	1	2	0	0	1
	91-≤100	32	4	8	5	14	1	0	0
	101-≤120	11	5	4	1	1	0	0	0
	121-≤140	7	1	3	2	0	1	0	0
	141-≤160	3	0	0	1	2	0	0	0
	161-≤180	4	1	3	0	0	0	0	0
	181-≤200	6	1	0	0	1	4	0	0
	201-≤300	11	0	3	1	4	0	2	1
	301-≤400	4	0	0	0	4	0	0	0
	≥401	11	1	0	3	7	0	0	0
	소 계	1,934	522	697	342	239	104	23	7
기타유류	≤5	29	8	14	5	1	1	0	0
	6-≤10	24	7	15	0	2	0	0	0
	11-≤20	33	15	14	4	0	0	0	0
	21-≤30	28	15	9	4	0	0	0	0
	31-≤40	12	2	7	0	3	0	0	0
	41-≤50	5	1	3	1	0	0	0	0
	≥51	5	1	1	1	2	0	0	0
	소 계	136	49	63	15	8	1	0	0

<계속>

2. 전국 숙박시설의 지하 저장유류별·용량별·매설경과년도별 현황

	용량 (천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
경유	≤5	168	52	83	27	6	0	0	0
	6-≤10	103	27	35	30	9	0	2	0
	11-≤20	171	38	61	50	14	3	5	0
	21-≤30	25	6	13	4	2	0	0	0
	31-≤40	18	3	5	8	0	0	2	0
	41-≤50	5	1	3	1	0	0	0	0
	≥51	18	8	5	4	1	0	0	0
	소 계	508	135	205	124	32	3	9	0
등유	≤5	0	0	0	0	0	0	0	0
	6-≤10	1	0	0	1	0	0	0	0
	11-≤20	1	0	0	1	0	0	0	0
	21-≤30	1	0	0	1	0	0	0	0
	31-≤40	0	0	0	0	0	0	0	0
	41-≤50	0	0	0	0	0	0	0	0
	≥51	5	0	5	0	0	0	0	0
	소 계	8	0	5	3	0	0	0	0
중유	≤5	12	3	8	1	0	0	0	0
	6-≤10	84	15	33	24	8	4	0	0
	11-≤20	161	23	70	48	14	5	1	0
	21-≤30	20	4	7	6	3	0	0	0
	31-≤40	8	2	3	2	1	0	0	0
	41-≤50	16	3	12	1	0	0	0	0
	≥51	24	5	9	5	5	0	0	0
	소 계	325	55	142	87	31	9	1	0

<계속>

3. 전국 유류판매시설의 지하저장 유류별·용량별·매설경과년도별 현황

	용량 (천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
휘발유	≤5	981	143	521	174	62	23	33	25
	6-≤10	1,909	324	775	461	78	118	128	25
	11-≤20	6,695	3,418	1,730	807	187	210	294	49
	21-≤30	2,202	1,680	322	105	12	28	49	6
	31-≤40	1,804	1,562	131	59	15	9	21	7
	41-≤50	162	126	10	14	2	2	6	2
	≥51	265	192	36	31	0	1	5	0
	소 계	14,018	7,445	3,525	1,651	356	391	536	114
경유	≤5	1,648	866	365	227	115	33	29	13
	6-≤10	1,505	316	662	258	89	69	89	22
	11-≤20	6,695	3,246	1,669	1,079	216	189	248	48
	21-≤30	2,368	1,744	353	161	31	24	44	11
	31-≤40	2,168	1,752	252	97	16	25	24	2
	41-≤50	266	180	42	19	5	10	7	3
	≥51	400	226	69	73	8	9	15	0
	소 계	15,050	8,330	3,412	1,914	480	359	456	99
등유	≤5	2,029	842	638	306	142	47	41	13
	6-≤10	1,445	394	555	284	50	70	70	22
	11-≤20	3,944	2,148	901	519	102	102	142	30
	21-≤30	1,367	1,116	125	70	7	17	30	2
	31-≤40	1,061	904	79	44	7	13	11	3
	41-≤50	129	100	11	10	3	1	3	1
	≥51	103	42	29	26	2	2	2	0
	소 계	10,078	5,546	2,338	1,259	313	252	299	71
폐유	≤5	1	1	0	0	0	0	0	0
	6-≤10	0	0	0	0	0	0	0	0
	11-≤20	0	0	0	0	0	0	0	0
	21-≤30	0	0	0	0	0	0	0	0
	31-≤40	0	0	0	0	0	0	0	0
	41-≤50	0	0	0	0	0	0	0	0
	≥51	0	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	1	1	0	0	0	0	0	0

<계속>

	용량 (천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
중유	≤5	16	6	4	1	3	1	1	0
	6-≤10	11	0	5	6	0	0	0	0
	11-≤20	32	9	7	14	1	1	0	0
	21-≤30	6	1	3	1	1	0	0	0
	31-≤40	33	19	7	3	4	0	0	0
	41-≤50	8	6	2	0	0	0	0	0
	≥51	7	2	2	2	1	0	0	0
	소 계	113	43	30	27	10	2	1	0
기타유류	≤5	26	2	4	8	9	3	0	0
	6-≤10	1	0	0	0	1	0	0	0
	11-≤20	0	0	0	0	0	0	0	0
	21-≤30	0	0	0	0	0	0	0	0
	31-≤40	0	0	0	0	0	0	0	0
	41-≤50	0	0	0	0	0	0	0	0
	≥51	0	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	27	2	4	8	10	3	0	0

<계속>

4. 전국 기타시설의 지하저장 유류별·용량별·매설경과년도별 현황

	용량 (천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
휘발유	≤5	30	18	9	3	0	0	0	0
	6-≤10	20	20	0	0	0	0	0	0
	11-≤20	7	1	0	2	2	0	2	0
	21-≤30	1	1	0	0	0	0	0	0
	31-≤40	2	2	0	0	0	0	0	0
	41-≤50	0	0	0	0	0	0	0	0
	≥51	0	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	60	42	9	5	2	0	2	0
경유	≤5	416	115	180	99	17	4	1	0
	6-≤10	444	98	147	143	33	15	8	0
	11-≤20	825	158	253	295	87	25	7	0
	21-≤30	98	19	23	42	13	0	1	0
	31-≤40	39	7	9	18	5	0	0	0
	41-≤50	12	3	2	5	2	0	0	0
	≥51	28	7	9	11	1	0	0	0
	소 계	1,862	407	623	613	158	44	17	0
등유	≤5	9	1	2	5	0	1	0	0
	6-≤10	5	2	1	2	0	0	0	0
	11-≤20	3	1	1	0	1	0	0	0
	21-≤30	1	0	0	1	0	0	0	0
	31-≤40	2	1	1	0	0	0	0	0
	41-≤50	0	0	0	0	0	0	0	0
	≥51	0	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	20	5	5	8	1	1	0	0
중유	≤5	51	12	24	12	2	1	0	0
	6-≤10	210	68	79	47	10	5	1	0
	11-≤20	344	88	115	103	28	7	3	0
	21-≤30	57	7	10	28	9	2	1	0
	31-≤40	29	3	7	17	2	0	0	0
	41-≤50	10	1	3	5	1	0	0	0
	≥51	40	3	12	18	5	1	0	1
	소 계	741	182	250	230	57	16	5	1

<계속>

	용량 (천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
기타유류	≤5	0	0	0	0	0	0	0	0
	6-≤10	0	0	0	0	0	0	0	0
	11-≤20	1	0	0	0	1	0	0	0
	21-≤30	0	0	0	0	0	0	0	0
	31-≤40	0	0	0	0	0	0	0	0
	41-≤50	0	0	0	0	0	0	0	0
	≥51	0	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	1	0	0	0	1	0	0	0

<계속>

5. 전국 공공시설의 지하저장 유류별·용량별·매설경과년도별 현황

	용량 (천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
휘발유	≤5	17	9	3	3	0	1	0	1
	6-≤10	16	7	5	3	0	0	1	0
	11-≤20	11	1	2	4	2	2	0	0
	21-≤30	8	2	5	1	0	0	0	0
	31-≤40	5	4	0	1	0	0	0	0
	41-≤50	2	2	0	0	0	0	0	0
	≥51	4	4	0	0	0	0	0	0
	소 계	63	29	15	12	2	3	1	1
경유	≤5	350	69	109	106	53	7	6	0
	6-≤10	268	84	72	60	27	20	4	1
	11-≤20	416	125	105	104	61	18	2	1
	21-≤30	116	36	17	30	20	12	1	0
	31-≤40	60	17	14	19	6	3	0	1
	41-≤50	32	10	8	10	2	2	0	0
	≥51	106	27	23	33	13	7	1	2
	소 계	1,348	368	348	362	182	69	14	5
등유	≤5	10	5	2	2	1	0	0	0
	6-≤10	16	6	1	7	1	1	0	0
	11-≤20	8	2	3	1	1	0	1	0
	21-≤30	0	0	0	0	0	0	0	0
	31-≤40	4	3	0	1	0	0	0	0
	41-≤50	0	0	0	0	0	0	0	0
	≥51	1	1	0	0	0	0	0	0
	소 계	39	17	6	11	3	1	1	0
폐유	≤5	0	0	0	0	0	0	0	0
	6-≤10	1	0	1	0	0	0	0	0
	11-≤20	0	0	0	0	0	0	0	0
	21-≤30	0	0	0	0	0	0	0	0
	31-≤40	0	0	0	0	0	0	0	0
	41-≤50	0	0	0	0	0	0	0	0
	≥51	0	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	1	0	1	0	0	0	0	0

<계속>

	용량 (천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
중유	≤5	11	2	3	4	1	0	1	0
	6-≤10	120	21	27	33	30	9	0	0
	11-≤20	292	39	84	94	58	11	6	0
	21-≤30	129	15	32	38	36	6	2	0
	31-≤40	56	4	12	23	13	4	0	0
	41-≤50	44	3	11	10	18	2	0	0
	51-≤60	24	2	11	8	2	1	0	0
	61-≤70	15	3	1	6	5	0	0	0
	71-≤80	39	4	5	12	1	17	0	0
	81-≤90	10	2	2	4	1	1	0	0
	91-≤100	8	2	0	0	6	0	0	0
	101-≤120	13	4	1	5	2	1	0	0
	121-≤140	14	1	4	5	2	1	0	1
	141-≤160	3	0	1	1	0	1	0	0
	161-≤180	0	0	0	0	0	0	0	0
	181-≤200	0	0	0	0	0	0	0	0
	201-≤300	3	0	2	1	0	0	0	0
	301-≤400	5	5	0	0	0	0	0	0
	≥401	2	0	0	1	1	0	0	0
	소 계	788	107	196	245	176	54	9	1
기타유류	≤5	3	1	1	0	0	0	0	1
	6-≤10	0	0	0	0	0	0	0	0
	11-≤20	1	1	0	0	0	0	0	0
	21-≤30	2	0	2	0	0	0	0	0
	31-≤40	0	0	0	0	0	0	0	0
	41-≤50	2	1	1	0	0	0	0	0
	≥51	1	0	0	1	0	0	0	0
	소 계	9	3	4	1	0	0	0	1

<계속>

6. 전국 주거시설의 지하저장 유류별·용량별·매설경과년도별 현황

	용량 (천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
경유	≤5	77	15	25	13	23	1	0	0
	6-≤10	83	25	24	15	18	1	0	0
	11-≤20	312	119	107	56	23	7	0	0
	21-≤30	148	51	53	28	15	1	0	0
	31-≤40	73	24	26	20	3	0	0	0
	41-≤50	37	6	18	8	5	0	0	0
	≥51	106	20	60	17	7	1	1	0
	소 계	836	260	313	157	94	11	1	0
등유	≤5	3	2	1	0	0	0	0	0
	6-≤10	0	0	0	0	0	0	0	0
	11-≤20	0	0	0	0	0	0	0	0
	21-≤30	2	2	0	0	0	0	0	0
	31-≤40	1	0	1	0	0	0	0	0
	41-≤50	2	1	0	0	1	0	0	0
	≥51	0	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	8	5	2	0	1	0	0	0
중유	≤5	11	4	2	1	4	0	0	0
	6-≤10	46	22	9	5	9	1	0	0
	11-≤20	92	15	16	24	35	2	0	0
	21-≤30	62	16	13	13	18	2	0	0
	31-≤40	89	27	20	20	21	1	0	0
	41-≤50	108	47	28	16	17	0	0	0
	51-≤60	99	32	43	12	11	1	0	0
	61-≤70	85	42	30	4	9	0	0	0
	71-≤80	92	35	36	7	14	0	0	0
	81-≤90	54	18	28	3	5	0	0	0
	91-≤100	70	25	27	16	2	0	0	0
	101-≤120	80	23	39	16	2	0	0	0
	121-≤140	92	24	47	17	5	0	0	0
	141-≤160	57	13	28	11	4	1	0	0
	161-≤180	41	12	16	8	5	0	0	0
	181-≤200	48	12	21	11	4	0	0	0
	201-≤300	76	12	46	13	4	0	0	0
	301-≤400	12	5	4	2	1	0	0	0
	≥401	15	10	2	2	1	0	0	0
	소 계	1,229	394	455	201	171	8	0	0

<계속>

7. 전국 운송업체의 지하저장 유류별·용량별·매설경과년도별 현황

	용량 (천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
휘발유	≤5	2	2	0	0	0	0	0	0
	6-≤10	5	4	0	0	0	1	0	0
	11-≤20	2	1	0	1	0	0	0	0
	21-≤30	0	0	0	0	0	0	0	0
	31-≤40	2	2	0	0	0	0	0	0
	41-≤50	0	0	0	0	0	0	0	0
	≥51	0	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	11	9	0	1	0	1	0	0
경유	≤5	17	5	5	4	3	0	0	0
	6-≤10	53	6	3	22	9	9	2	2
	11-≤20	385	70	71	137	75	15	7	10
	21-≤30	52	15	19	6	2	9	1	0
	31-≤40	56	26	15	10	4	1	0	0
	41-≤50	20	2	7	6	0	5	0	0
	≥51	22	4	5	12	0	1	0	0
	소 계	605	128	125	197	93	40	10	12
등유	≤5	2	1	0	0	0	1	0	0
	6-≤10	0	0	0	0	0	0	0	0
	11-≤20	2	2	0	0	0	0	0	0
	21-≤30	0	0	0	0	0	0	0	0
	31-≤40	3	1	0	2	0	0	0	0
	41-≤50	1	0	0	1	0	0	0	0
	≥51	2	2	0	0	0	0	0	0
	소 계	10	6	0	3	0	1	0	0
폐유	≤5	0	0	0	0	0	0	0	0
	6-≤10	2	1	0	0	1	0	0	0
	11-≤20	0	0	0	0	0	0	0	0
	21-≤30	0	0	0	0	0	0	0	0
	31-≤40	0	0	0	0	0	0	0	0
	41-≤50	1	0	0	1	0	0	0	0
	≥51	0	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	3	1	0	1	1	0	0	0

<계속>

	용량 (천L)	계	5년이하	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31년이상
중유	≤5	0	0	0	0	0	0	0	0
	6-≤10	1	0	0	0	1	0	0	0
	11-≤20	2	0	1	1	0	0	0	0
	21-≤30	1	0	0	0	1	0	0	0
	31-≤40	0	0	0	0	0	0	0	0
	41-≤50	0	0	0	0	0	0	0	0
	≥51	0	0	0	0	0	0	0	0
	소 계	4	0	1	1	2	0	0	0
기타유류	≤5	3	0	1	0	2	0	0	0
	6-≤10	0	0	0	0	0	0	0	0
	11-≤20	1	1	0	0	0	0	0	0
	21-≤30	3	2	0	0	0	0	1	0
	31-≤40	4	0	0	0	0	0	4	0
	41-≤50	2	0	0	0	0	0	2	0
	≥51	7	0	0	0	2	0	5	0
	소 계	20	3	1	0	4	0	12	0

[1]유류 저장시설별로 유류판매소, 산업시설, 운송업체, 공공시설 및 기타시설로 분류하였음. 유류판매소는 주유소, 제2종 유류판매업소(농·수협 주유판매소), 석유판매업소 등의 시설임. 산업시설은 제조, 생산시설 및 산업시설, 건설업체, 정비업체 등임. 운송업체는 교통, 여객사, 항공사 등의 시설임. 공공시설은 국가 및 출연기관, 재단 및 법인, 신문사, 방송국, 학교, 도서관, 대학병원 및 대형종합병원, 공공체육시설 등의 시설임. 기타는 일반병원, 상가, 요식업체, 목욕탕, 농장, 예식장, 교회, 학원, 실내수영장, 양로원, 아동복지원, 위락 및 휴양시설, 사찰, 백화점, 골프장 등과 대형사무공간 등의 시설임.

[2]저장물질중 중유(Disel-oil)는 벙커A, B, C유를 포함하고, 기타유류은 윤활유, 절연유, 원유, 동물유, 식물유, 아스팔트, 항공유, 란도오일, 금속가공유, 금속성형유, 모터유, 유압작동유, 기계유, 프로세스유를 포함.

[3]매설년도별 경과년도는 5년이하(91년~95년), 6 ~10년이하(86년~90년), 11~15년이하(81년~85년), 16~20년이하(76년~80년), 21~25년이하(71년~75년), 26~30년이하(66년~70년), 31년이상은 65년이전에 매설된 탱크임.

[4]환경부 토양보전과에서 1995년에 각 시·도별로 지하저장시설의 현황을 수집한 자료를 전산처리한 수치임.

<부록 7>. 지역별 공업단지현황(가로표): 9매

<부록 8>. 산업시설의 토양오염방지에 관련된 법

산업시설에서 배출되는 각종오염물질에 대한 우리나라의 법적규제는 자연환경보전법(1991. 12. 31, 법률 제 4492호), 수질환경보전법(1993. 12. 27, 법률 제4653호), 폐기물관리법(1993. 3. 6, 법률 제4541호)으로 관리되고 있어 이를 통하여 산업시설에서 배출된 오염물질에 의한 토양오염을 간접적으로 방지하고 있다.

(1) 자연환경보전법

자연환경보전법(1991. 12. 31, 법률 제 4492호)은 산업시설이 위치하고 있는 자연환경에 대한 훼손을 방지하고, 훼손된 자연환경에 대한 복원을 의무화하고 있다. 동법의 제1장(총칙) 제1조에「환경보전을 인위적 훼손으로부터 보호하고, 다양한 자연생태계를 보전하며 보호할 가치가 있는 생물종의 멸종을 방지하고, 이에 필요한 자연환경의 보전에 관한 기본적인 사항을 정함으로써 국민이 건강하고 쾌적한 삶을 누릴 수 있는 자연환경을 보전함을 목적으로 한다」고 명시되어 있다. 즉 산업시설에서 발생・배출되는 오염물질을 산업시설지역의 토양환경에서 제거・방지함으로써 국민이 쾌적한 삶을 누릴 수 있는 토양환경이 보전되어야함도 동법의 목적으로 판단할 수 있다.

산업시설에서 발생하는 오염물질의 방지에 관련하여 자연환경보전법에서 제시하고 있는 자연환경의 보전을 위한 기본원칙으로 동법 제2조의 제1, 2, 3항에「1. 자연환경의 보전은 국토의 이용・관리와 조화 및 균형을 유지할 수 있는 범위안에서 이루어져야 한다. 2. 자연생태계는 인위적인 훼손과 오염으로부터 보호되어야 하며, 훼손된 자연생태계는 그 원래의 기능이 발휘하도록 복원되어야 한다. 3. 야생동・식물 및 그 서식처는 보호되고 그 종은 보존되어야 하며, 멸종위기에 처한 야생동・식물의 국제교역은 엄격히 규제되어야 한다」고 명시되어 있다. 즉 산업시설의 생산활동으로 인하여 파괴된 토양환경은 그 원래의 기능이 발휘할 수 있도록 복원되어야 함을 제시하고 있다. 또한 생산활동이 끝난 후에도 산업시설에서 발생하는 오염물질을 제거 또는 토양환경에 오염물질의 방출을 방지함으로 토양환경의 훼손을 막으며 오염물질로부터 생태계를 보호함으로써 생태계에 서식하는 야생・동식물의 서식지를 보호하여야 함을 기술하고 있다.

산업시설의 책임이 있는 사업자의 책무로 동법 제6조에「사업자는 관계법령이 정하는 바에 따라 그 사업활동으로부터 야기되는 자연환경의 훼손에 대하여 스스

로 이의 방지에 필요한 조치와 원상회복에 대한 책임을 지며, 국가 및 지방자치단체가 실시하는 자연환경보전시책에 협조하여야 한다」고 명시되어 있다. 즉 산업시설의 책임자는 현행 가동중인 시설로부터 야기되는 자연환경의 훼손에 대하여 스스로 이의 방지에 필요한 조치와 원상회복에 대한 책임을 제시함에 따라 산업시설 및 지역의 토양환경을 보전할 의무를 제시하고 있다.

(2) 수질환경보전법

수질환경보전법(1993. 12. 27, 법률 제4653호)의 제1장(총칙) 제1조에「수질오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 하천·호소 등 공공수역의 수질을 적정하게 관리·보전함으로써 모든 국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있게 함을 목적으로 한다」고 명시되어 있다. 즉 산업시설에서 배출되는 산업폐수에 의한 환경오염을 방지함으로써 국민이 쾌적한 삶을 누릴 수 있는 토양환경이 보전되어야 함도 동법의 목적에 포함된다. 동법에서는 환경오염을 유발할 수 있는 오염물질의 종류, 수질오염판단기준, 산업시설에서 배출되는 폐수의 폐수배출허용기준, 폐수처리시설의 설치기준을 제시함으로써 산업시설에서 배출되는 환경오염을 감소시킬 수 있도록 규제하고 있다.

수질오염의 대상물질을「수질오염물질」과「특정수질유해물질」로 수질환경보전법시행규칙(1994. 5. 24, 총리령 제453호)의 제2, 3조에서 구분하여 규제하고 있다. 동법에서 「폐수」라 함은「물에 액체성 또는 고체성의 수질오염물질이 혼입되어 그대로 사용될 수 없는 물」이다. 「수질오염물질」은「수질오염의 요인이 되는 물질로서 총리령이 정하는 것」이며「특정수질유해물질」은「사람의 건강, 재산이나 동·식물의 생육에 직접 또는 간접으로 위해를 줄 우려가 있는 수질오염물질로 총리령이 정하는 것」으로 정의하고 있다.

「수질오염물질」로는 다음 29종류가 그 대상이다. (1) 구리(銅) 및 그 화합물, (2) 납(鉛) 및 그 화합물, (3) 니켈 및 그 화합물, (4) 대장균 군, (5) 망간 및 그 화합물, (6) 바륨화합물, (7) 부유물질, (8) 브롬화합물, (9) 비소 및 그 화합물, (10) 산 및 알칼리류, (11) 색소, (12) 세제류, (13) 셀레늄 및 그 화합물, (14) 수은 및 그 화합물, (15) 시안화물, (16) 아연 및 그 화합물, (17) 염소화합물, (18) 유기물질, (19) 유기용 세제, (20) 유류(동·식물성 포함), (21) 인화합물, (22) 주석 및 그 화합물, (23) 질소화합물, (24) 철 및 그 화합물, (25) 카드뮴 및 그 화합물, (26) 크롬

및 그 화합물, (27) 플루오르(불소)화합물, (28) 페놀류, (29) 황 및 그 화합물이다. 「특정수질유해물질」은 (1) 구리(동) 및 그 화합물, 납(연) 및 그 화합물, (3) 비소 및 그 화합물, (4) 수은 및 그 화합물, (5) 시안화물, (6) 유기인화합물, (7) 6가 크롬화합물, (8) 카드뮴 및 그 화합물, (9) 테트라클로로에틸렌, (10) 페놀류, (11) 폴리크로리네이티드 바이페닐(PCBs)이다.

산업에서 배출되는 폐수의 허용기준으로 동법 제2장 제8조 제1항, 제2항에「폐수배출시설(이하 '배출시설'이라 함)에서 배출되는 오염물질의 허용기준은 관계중앙행정장의 의견을 들어 총리령으로 정한다」고 명시되어 있다. 특히, 환경부장관은 특별대책지역(이하 '특별대책지역'이라 함) 안의 수질오염방지를 위하여 필요하다고 인정하는 때에는 당해 지역안에 설치된 배출시설에 대하여 제1항의 기준보다 엄격한 배출허용기준을 정할 수 있으며 당해 지역안에 새로이 설치되는 배출시설에 대하여 특별배출허용기준을 정할 수 있도록 되어 있다(환경정책기본법 제22조). 수질환경보전법시행령의 제8조 제1항의 규정에 의한 오염물질의 배출허용기준은 <표 부록 8-1>과 같다.

산업체 폐수처리시설의 설치기준으로 동법 제3장(폐수종말처리시설) 제25조에「국가 및 지방자치단체는 수질오염이 심화되어 환경기준의 유지가 곤란하거나 수질보전상 필요하다고 인정되는 지역안의 각 사업장에서 배출되는 오염물질을 공동으로 처리하여 공공수역에 배출하기 위하여 폐수종말처리시설(이하 '종말처리시설'이라 함)을 설치할 수 있다. 이 경우 사업자 기타 수질오염의 원인을 직접 야기한 자는 따로 법률에 정하는 바에 의하여 종말처리시설의 설치·운영에 필요한 비용의 전부 또는 일부를 부담하여야 한다」고 명시함으로써 산업시설에서 배출되는 수질오염물질의 처리시설을 사업자 책임으로 설치·운영하게 되어 있어 환경에 배출되는 오염물질을 감소시키게 되어있으며, 이로 인하여 간접적으로 발생되는 토양오염을 규제할 수 있도록 되어 있다.

(3) 폐기물관리법

폐기물관리법(1993. 3. 6, 법률 제4541호)의 제1장(총칙) 제1조에「폐기물을 적정하게 처리하여 자연환경 및 생활환경을 청결히 함으로써 환경보전과 국민생활의 질적 향상에 이바지함을 목적으로 한다」고 명시하고 있다. 즉 산업시설에서 배출되는 폐기물에 의한 환경오염을 방지함으로써 국민이 쾌적한 삶을 누릴 수 있는

토양환경이 보전되어야 함도 동법의 목적에 포함된다. 동법의 시행령과 시행규칙에서는 산업시설에서 발생하여 환경오염을 유발할 수 있는 폐기물의 분류, 폐기물 분류의 판단기준, 분류된 폐기물의 운반·수집·처리방법 등에 대한 세부기준을 제시함으로써 산업시설에서 배출되는 토양을 포함한 환경오염을 감소시킬 수 있도록 규제하고 있다.

<표 부록 8-1> 수질오염물질의 배출허용기준(수질환경보전법시행령;총리령 제376호, 1994. 5. 24)의 제8조)

함유량(mg/l)	'청정'지역[1]	'가' 지역[2]	'나' 지역[3]	'특례' 지역[4]
산도(pH)	5.8-8.6	5.8-8.6	5.8-8.6	5.8-8.6
시안	0.2 이하	1 이하	1 이하	1 이하
크롬	0.5 이하	2 이하	2 이하	2 이하
용해성 철	2 이하	10 이하	10 이하	10 이하
아연	1 이하	5 이하	5 이하	5 이하
구리(銅)	0.5 이하	3 이하	3 이하	3 이하
카드뮴	0.02 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
수은	불검출	0.005 이하	0.005 이하	0.005 이하
비소	0.1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하
납(鉛)	0.2 이하	1 이하	1 이하	1 이하
6가 크롬	0.1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하
용해성 망간	2 이하	10 이하	101 이하	10 이하

[1]'청정' 지역은 "환경기준(수질) I 등급정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정하는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로 환경처장관이 정하여 고시하는 지역"을 명시한다.

[2]'가' 지역은 "환경기준(수질) II 등급정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정하는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로 환경처장관이 정하여 고시하는 지역"을 명시한다.

[3]'나' 지역은 "환경기준(수질) III, IV, V 등급정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정하는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로 환경처장관이 정하여 고시하는 지역"을 명시한다.

[4]'특례' 지역은 "환경처장관이 공단폐수종말처리지역으로 지정하는 지역 및 시장.군수가 산업입지 및 개발에 관한 법률 제8조의 규정에 의하여 지정하는 농공단지"를 명시한다.

<부록 9>. 미국, 프랑스, 독일의 폐기물매립지 관리현황 및 지침

1. 미국

1976년 Resource Conservation and Recovery Act(RCRA)가 제정됨으로써 폐기물처리시설에 대한 관리를 중점적으로 시행하게 되었으며 Environment Protection Agency(EPA)는 폐기물의 적절한 처리를 위한 규정(도시고형폐기물 매립시설에 관한 규정: 40 Code of Federal Regulation(CFR)을 제정하였다 (1991). 따라서 각 주에서는 EPA에서 제정한 규정들과 이와 연관된 각 주법에 의해 폐기물 매립시설들을 규제하고 있다. EPA, FRP2(1991) 규정은 일반매립시설의 위치 제한에 관한 사항으로 공항안전과 범람원, 습지대, 단층대 존재유무, 지질영향지대를 추가로 고려하도록 하고 있다.

EPA의 일반매립시설에 대한 세부지침은 다음과 같다.

(1) 우수(雨水) 집배수시설: 매립지의 소유자 또는 운영자는 25년 빈도 최대 강우발생시 우수가 매립 중인 부분으로 유입되는 것을 막기 위한 유입제어시설을 설치해야 한다. 25년 빈도 최대 일강우시 발생하는 우수가 매립중인 부분으로부터 유출되는 것을 통제하기 위한 유출제어시설을 설치해야 한다.

(2) 침출수 집배수 시설: 도시고형 폐기물 매립지는 복합 라이너를 설치하고 라이너 위에서 침출수 깊이를 30cm 이하로 유지시킬 수 있도록 하는 침출수 집수시스템을 설치해야 한다.

(3) 일일복토 시설: 매립지의 소유자 또는 운영자는 병균의 보균체, 파리, 악취, 쓰레기의 비산 등을 막기 위해 매일 쓰레기의 반입이 끝난 후 흙과 같은 물질을 이용하여 최소한 6inch(약 15.2cm) 두께로서 복토를 실시해야 하고 매립된 폐기물 내의 침출수를 가능한 한 빠르게 매립지 지반에 설치되어 있는 침출수 이송관으로 흐르게 하기 위하여 일일복토재의 투수계수는 1×10^{-4}cm/sec를 넘어야 한다. 만일 다른 재료나 다른 두께를 가지고 위의 사항들을 제어할 수 있다면 해당 감독관은 이를 허용할 수 있다.

(4) 중간복토 시설: 폐기물 매립고가 6-12 ft 이상이거나 쓰레기의 반입이 일주일 이상 중단되는 경우 복토재로 최소한 12inch(182-365cm) 이상 복토를 실시해야 하고 매립된 폐기물내의 침출수를 가능한 한 빠르게 침출수 이송관으로 이동시키기 위하여 일일복토재의 투수계수는 1×10^{-4}cm/sec를 넘어야 한다.

(5) 최종복토 시설

(a) 매립지의 침투(Infiltration)와 침식(Erosion)을 최소화하기 위해 최종복토를 실시하는데 이 최종복토는 침투방지층과 침식방지층으로 구성된다. 침투방지층의 두께는 흙과 같은 물질을 이용하여 최소한 24inch를 설치하며 이 재료의 투수계수는 바닥층 라이너 시스템 (Bottom Liner System) 투수계수와 동일하거나 그 이하이어야 하며 1×10^{-5}cm/sec를 넘지 않아야 한다. 또한 침식방지층은 흙과 같은 물질로 최소한 24인치 두께로 설치하며, 이 층에서 식물이 성장할 수 있어야 한다.

(b) (a)항과 동일한 효과를 가진 다른 방법의 최종 복토 시스템이 있을 경우 해당 감독관은 이의 설치를 허용할 수 있다.

(c) 설계시 예상했던 폐기물 최종 반입 후 30일 이내에, 또는 추가적인 폐기물 반입이 가능할 경우 1년 이내에 최종복토를 시작해야 한다. 복토 시작 후 180일 이내에 작업을 마치도록 하되 필요한 경우 감독관의 승인에 따라 연장이 가능하다. 이 경우 인간의 건강과 자연환경에 영향이 없도록 필요한 조치를 취해야 한다.

(6) 차수막시설: 복합 라이너시스템은 2개의 물질(Flexible Membrane Liner; FML 과 점토)로 구성되는데 상부의 구성 요소는 최소 두께가 0.75mm(30mils) 되는 합성수지 차수막으로 구성되어 있고 하부 구성요소는 투수계수가 1×10 cm/sec 이하이고 두께가 60cm 이상인 다져진 흙으로 구성되어야 한다. 특히 고밀도 폴리에틸렌으로 구성된 경우 두께가 최소한 0.75mm가 되어야 하며 합성수지 차수막은 다져진 점토와 균등하게 직접 접촉하도록 설치해야 한다.

(7) 지하수 모니터링

(a) 상층부 대수층에서 지하수 샘플을 채취하기 위해서는 적당한 위치와 적절한 깊이를 갖는 검사정을 충분하게 설치한다. 또한 지하수 오염탐지를 위해서 감독관이 지정한 위치나 매립지의 경계점에 하류구배 검측시설을 설치해야 한다.

(b) (a)항의 해당 감독관이 지정한 지점들은 매립지 경계지점으로부터 150cm 내에 위치해야 하며 매립지 소유자 토지내에 있어야 한다.

(c) 검사정 구멍의 안정성이 확보될 수 있도록 해야하며, 지하수 채취를 위하여 케이싱에 스크린을 설치하거나 구멍을 뚫어서 자갈이나 모래로 감싸

야 한다. 또한, 지하수 채취깊이 위에 있는 보오링 구멍과 케이싱 사이의 간격을 인접대 수층으로부터 지하수의 오염을 강우의 유입과 함께 방지할 수 있도록 틈새를 막아야 한다.

(d) 각 매립지마다 수리·지질학적인 특성들 때문에 지하수 검사정 설치에 관한 세부 사항은 규정하고 있지 않으나 검사정의 수, 간격 그리고 깊이 등은 대수층의 두께, 지하수량, 지하수 흐름 방향, 그리고 최상부 대수층 위에 놓인 물질, 대수층을 구성하는 물질 등을 포함하는 매립지역의 기술적인 정보를 토대로 해서 결정하되 해당 감독관에 의해 승인되거나 일정한 자격이 있는 지하수 전문가에게 검증받아야 한다. 또한 이 검증 후 14일 이내에 감독관에게 통지해야 한다.

지하수 모니터링을 위한 지점들 선정시 고려 사항은 첫째 매립지와 인접지역의 수리지질학적 특성, 둘째 침출수 양과 화학적·물리적 특성, 셋째 지하수의 수질, 수량, 흐름의 방향, 넷째 지하수 사용자와의 근접성 그리고 지하수 사용량, 다섯째 식수 공급의 대체 용이성, 여섯째 지하수 오염의 다른 요인과 그 요인이 지하수에 미치는 점증적인 영향 그리고 현재 지하수의 수질로 나타낼 수 있다. 또한 국내 매립시설 기준의 경우 검사정을 최소 매립지주변 4곳에 설치하는 것만을 단순하게 규정함에 반하여 EPA기준은 검사정의 안정성 확보요령, 인접대수층의 오염방지 방안에 대한 요령을 삽입하고 매립대상지의 수리지질학적 특성을 전문가에 검토의뢰하여 그 결과를 통지토록 하고 있다.

2. 프랑스

국내의 매립지에서와 마찬가지로 독일과 프랑스를 중점으로한 유럽에서도 매립지에서의 중요한 지침은 침출수처리와 차수시스템 그리고 매립가스에 한정되어 있다 (Ademe, 1994). 이러한 위생매립지 현황과 매립지침들을 정리하여 보면 프랑스의 경우는 지반의 투수성에 따라 위생매립지를 3가지 등급으로 나누어 급수가 낮을수록 지반의 투수성이 높아 비교적 오염유발성이 적은 폐기물만을 매립할 수 있도록 하고 있다. 침출수 집수시설은 대부분 가스 포집시설과 조합하여 설치하고 침출수관로 뿐만 아니라 매립지 전지역을 자갈로 덮어 배수의 원할을 기하고 있다.

1985년에 조사된 하루처리 용량 50톤 이상의 폐기물 1,2등급 위생매립지 중

80%이상이 민간업체에 의해 운영되고, 나머지 소규모 매립지는 지방주민에 의해 운영되고 있다. 1970년과 1975년 사이에 운영시작된 매립지는 57개소로 50t/day이상을 매립하는 매립지 중 9개는 지금까지 운영중이다. 그러나 매립지의 수는 점차 줄어들어 1975년과 1980년 사이에 매립이 시작된 매립지는 42개소이며 3년후에는 21개소로 이용가능한 매립지의 수와 면적이 줄어들고 있음을 보이고 있어 이에 대한 대책 마련이 필요하다.

프랑스의 매립지 법규는 지질, 수문지질, 지반의 투수성 등에 따라 3가지 유형의 위생매립지를 1급, 2급, 3급으로 분류하여 규정하고 있다. 1급(class 1) 매립지는 지하수 보호성이 매우 우수한 지반으로 투수계수가 10^{-7}cm/sec인 비포화 지반(최소 두께 5m)으로 관계법상에 규정해 놓은 폐기물만 수용한다. 2급(class 2) 매립지는 투수계수가 10^{-4}cm/sec 보다 작은 비포화 지반으로 가장 넓은 의미의 도시폐기물 매립지로 가정용쓰레기, 도시정화조의 진흙, 평범한 공업·상업용 쓰레기, 비활성 폐기물 등을 수용한다. 3급(class 3) 매립지는 지반이 높은 투수성($k=10^{-1}$ cm/sec)을 가지며 지하수 오염가능성이 있다. 3급 매립지는 오염이 안되는 토질이나 자갈, 건설폐기물 등 비활성 재료만 수용이 가능하며 방출가능성이 있는 오염물은 배제한다.

프랑스에서의 전형적인 위생매립지를 규정하고 있는데 매립지 조성에 대한 임시설계 규정과 운영기술에 대한 규정으로 구분되고 있다. 매립지 조성에 대한 규정으로는 우선 입지선정 규정으로 지질 및 수문지질적 특성에 대한 조사를 요구할 수 있다. 임시 설계규정으로는 접근로와 폐기물조절 그리고 지하수보호에 관한 사항이고 운영기술에 대한 규정은 제한면적 5000m^2 이상에 적용하도록 되어 있으며 복토와 다짐에 대한 규정은 폐기물을 연속적으로 쌓은 위생매립지는 통상 흙이나 비활성 재료를 복토를 하여야 하며 다짐은 100mm 격자가(grating) 있는 해머분쇄기를 이용하여 폐기물의 밀도를 높게 한다. 또한 침출수 집수 및 처리와 발생매립가스 포집 및 처리에 대한 규정을 정하여 놓고 있다. 사후관리규정에는 매립지 완료 후 매립지에 의한 환경영향을 조정하는데 운영자금을 이용하여야 한다고 명시되어 있다. 현재 표면대수층 매립장(0～5m)은 매립장 바닥층의 지질특성을 고려할 때 심각한 오염가능성이 있다. 또한, 다른 몇몇 지하 깊은 곳에 대수층이 있는 토양도 지하수의 오염을 받을 수 있다. 따라서, 특별한 차수설계를 하거나 지속적인 관측으로 오염을 예방해야 한다. 이를 위해 벤토나이트, 석회석다짐,

고밀도 폴리에틸렌 등을 사용하여 차수재를 설치에 대하여 고려하고 있다. 또한 위생매립지에는 배수망과 발생가스의 연소 등의 설비를 갖춰져 있고 침출수 집수시설이 설치되어 있거나 도시오수처리장과 연결되어 있다.

장기적으로는 위생매립지의 조성 단계마다 폐기물의 처리에 중요성을 갖고 있고 기술적으로 발전된 조성방법이 개발되어야 한다. 최근의 위생매립지 분야의 연구는 폐기물의 특성시험, 침출수처리, 오염물의 고착, 매립장의 개발 등에도 진행되고 있고 운영자금은 매립지 사후관리의 관측 및 측정에도 사용되고 있다.

3. 독일

일반적인 매립지 조성실태는 위생매립지 입구에 계량기와 관측소에서 운반된 폐기물의 양을 계량하며 매립시 다짐과 복토를 중요시한다. 다짐은 강륜다짐기로 깊이 2.0m 정도를 견고하게 다지고 대부분의 매립지는 일일복토를 하지 않으나 작업하는 날마다 악취나 해충의 침투를 방지하기 위하여 흙이나 잡석으로 덮는다. 독일의 매립지의 경우 폐기물의 다짐을 철저히 실시하여 용적을 줄이는 처리방법과 최대 투수계수 규정이 5×10^{-8}cm/sec 로서 국내보다 더 엄격한 기준을 사용하고 있다. 신설되는 모든 매립지에는 가스포집, 침출수배수 및 처리시설을 포함해야 한다.

침출수에 의한 지하수 및 토양오염을 방지하기 위하여 차수막을 필수적으로 설치하여야 하는데 매립지 바닥의 차수재료는 인공·천연 차수재료를 사용할 수 있으며 자연차수막(mineral liners)의 경우는 통상 투수계수가 낮은 점토를 사용하고 차수시설 설치 후 투수계수는 5×10^{-8}cm/sec 이하이어야 하며 균열이나 비균질성을 배제하기 위해 차수층을 재다짐을 필요로 하며 차수층의 높이는 60cm이상 이여야 한다. 고밀도 폴리에틸렌을 사용하는 경우는 최소의 두께를 2mm 이상하여야 하며 접합부분을 특별히 신경을 써서 안전하게 설치하여야 한다. 복합차수재를 사용하여야 하는 경우에는 투수계수 5×10^{-8}cm/sec 이하의 점토층 60cm 이상과 이 점토층 상부에 고밀도 폴리에틸렌을 설치하여 시공한다. 차수시설의 차수성을 조사하기 위해 매립지 주위에 지하수 감시공을 설치하여 지하수 오염을 확인한다.

침출수 집·배수시설은 표면차수막의 맨위에 집수관을 설치하며 대부분 바닥 사면의 경사를 1% 이상 두고 침출수의 집수는 설치된 집수관에 의해 이루어지도록 하며 집수관 주위를 자갈로 덮어 관의 막힘과 파손을 보호하고 있다. 집수관의

재료는 침출수와 매립가스에 대해 화학적·물리학적으로 내구성이 있는 고밀도 폴리에틸렌이나 세라믹으로 된 관을 사용하는 것이 바람직하다. 독일의 매립지에서 침출수처리는 광범위한 물리적·화학적 처리를 거친 후 생물학적으로 처리하고 있으며 처리된 침출수는 대부분 공공시설의 오수와 함께 재 처리하고 있다. 그러나 침출수를 처리하기 전에 침출수의 발생을 줄이는 것이 더욱 중요하다. 매립지에서 발생되는 침출수의 양을 최소화하기 위해선 복토층의 차폐를 통해 우수가 매립지 속으로 유입되는 것을 막아야 한다. 이를 위해 최종복토에 차수층과 투수계수가 높은 우수배출층을 설치해야 하며 차수층에 의해 우수가 매립지 속으로 들어가는 것을 방지하고 우수배출층으로 흘러 우수 집·배수시설로 유입되도록 하여야 한다.

매립지의 사후관리는 침출수의 수질과 양, 매립가스 발생량, 쓰레기층의 침하거동 등을 중점적으로 관리하며 침출수 발생은 독일에서 대략 100년 정도를 예상하고 있다. 독일에서는 매립완료된 매립지에 대하여 위해성 평가(risk assessment)를 실시하며 유해성 평가는 매립지의 특성, 쓰레기 용량, 이용가능한 공법의 효과, 침출수에 의한 지하수오염 가능성 등을 포함하고 있어 매우 많은 비용이 필요하고 평가의 불확실성으로 인해 많은 어려움을 갖고 있다. 이러한 평가는 정부에서 수행하고 있으며 평가의 어려움을 극복하기 위하여 현재 여러 종류의 매립지 유해성 평가에 대한 기술적 방법과 경제적인 비용에 대해 연구중이다.

독일에서 새로운 고형폐기물 운영·관리개념으로 매립지를 최소화하려는데 중점을 두지만 프랑스와는 달리 매립지는 필수 불가결한 시설물로 인정하고 있고 매립지의 사용연한 연장을 위한 두가지 원칙이 수립되었다. 첫째로 일차 처리된 폐기물이나 침출수가 적게 발생되는 폐기물만을 매립하고, 둘째로 장기적으로 침출수의 방출을 예방할 수 있도록 매립지를 설계하는 것이다. 이러한 원칙과 효율적인 매립지 운영을 위해 매립지의 운영관리와 설계는 환경보전차원에서 형태가 개선되는데 매립지의 장기계획을 위한 주요 매립지 형태는 비활성 매립지(Inert Landfill), 반응형 매립지(Reactor Landfill) 그리고 용기식 및 지하매립지로 분류된다. 비활성 매립지에는 침출수가 거의 발생되지 않는 불연성이고 비거동성 오염물을 처분하고 반응형 매립지(Reactor Landfill)에는 짧은 기간에 분해되고 안정화될 수 있는 유기질로 된 혼합폐기물을 처분하며 용기식 및 지하매립지에는 유해성 폐기물과 특정 유해폐기물을 보관하기 위한 매립지로서 침출수를 수집·차단하기 위하여 이중차

수막을 설치하여야 하고 매립지의 최종복토를 안정되게 하여 침출수의 발생을 최소화하여야 한다.

<부록 10> 지하토양에서 오염물질의 이동과 전달에 관한 모델개발 방법

지하토양의 구조는 일반적으로 물에 의해 불포화층과 포화층으로 크게 분류될 수 있다. 불포화층(Vadose Zone)은 지표면에서부터 가까운 거리로 물로 완전하게 포화되어 있지 않은 층으로 함수율(Water Content)이 30%내지 40%정도 되며 지하로 내려갈 수록 함수율이 증가하게 된다. 포화층(Saturated Zone)은 물로 완전히 포화되어 있어 함수율이 100%를 유지하고 있고 불포화층과 포화층 사이에는 모세관현상에 의해 물이 올라오는 층이 존재하는데 이를 모세관층(Capillary Fringe)이라 하며 함수율은 60%내지 80%정도가 된다. 이러한 지하토양에서의 함수율은 오염물질의 이동에 직접적으로 영향을 주고 있는데 함수율이 증가할수록 오염물질의 이동이 증가된다. 따라서 포화층에서의 오염물질 이동이 불포화층에서의 이동보다 증가되며 지하에서의 오염물질의 예측에는 지하토양을 오염물질의 이동이 빨리 진행되는 포화층으로 가정하는 경우가 일반적이므로 본 연구에서도 지하토양을 포화층으로 가정하여 오염물질의 이동과 전달에 관한 수치모델을 개발하였다.

지하토양에서 오염물질의 이동과 전달에 영향을 주는 근본 메커니즘은 移流(Advection), 분산(Dispersion), 확산(Diffusion), 수착(Sorption) 및 변환 (Transformation)으로 크게 구분될 수 있다 (Freeze and Cherry, 1979; McCarty 등, 1980; Roberts 등, 1982). Advection, dispersion 그리고 diffusion은 지하토양에 있는 오염물질의 희석과 흐름속도를 지배하는 동수역학으로 표현될 수 있고, sorption은 오염물질 전체의 농도는 변화하지 않고, 지하수상의 오염물질을 지하토양으로 수착시켜 지하수 농도만 감소하며 지하수에 있는 오염물질의 전달을 지연시키는 역할을 한다. Transformation(변환)은 오염물질의 전체양에 변화를 주는 화학반응이나 미생물학적 작용에 의해 일어난다. 이 과정에는 이온교환, 산화, 환원, 가수분해, 생물학적 변환 등이 있는데 오염물질을 더 유해하게 만들거나 또는 무해하게 만들 수 있다. 일반적으로 변환은 오염물질의 유해성을 감소시켜 오염물질의 농도를 적게 하고, 이로 인해 오염물질의 이동과 전달을 지연시키고 있다. 그러나 지하토양에서는 오염물질의 이동과 전달이 가장 잘 일어나는 조건으로 오염물질의 농도분포를 예측하기 위하여 전달과정에서 변환 (Transformation)은 포함시키지 않는 것을 원칙으로 하고 있다.

1. ADVECTION(이류; 移流)의 고려

지하를 통한 지하수의 흐름은 수학적으로 Darcy's 법칙에 의해 표현될 수 있다 (Darcy, 1856). Darcy's 법칙은 지하수 흐름이 수두에 의한 압력기울기(Pressure Gradient)와 투수계수(Permeability)에 비례하고, 점도와 공극률에 반비례한다는 것을 나타내고 있다.

$$v = -\frac{k(\theta)g\rho}{\varepsilon\mu}\nabla h = -\frac{K(\theta)}{\varepsilon}\nabla h$$

여기서 v는 지하에서의 실제속도(interstitial velocity), $k(\theta)$는 투수계수 (permeability), ρ는 지하수 밀도 (density), g는 중력가속도 (gravitational constant), μ는 점도 (viscosity), ε 은 공극률(porosity), h 는 수두 (hydraulic head), $K(\theta)$는 도수율(hydraulic conductivity) 그리고 θ는 함수율(water content)을 나타낸다. 투수계수는 일반적으로 함수율의 함수로 나타낼 수 있는데 함수율이 증가하면 투수계수도 증가하므로 함수율이 100%일때 투수계수가 가장 크게 된다. 따라서 압력기울기가 일정하면 함수율이 100%일때 지하토양에서의 오염물질 이동이 가장 빠르게 된다. 또한 지하토양에서의 실제속도는 수두에 직접적으로 비례하므로 지하수 수두가 높아 압력기울기가 커지면 오염물질의 이동이 빨라지게 된다.

지하토양에서 지하수의 흐름은 정상상태에서 수두에 대한 연속방정식을 만족하여야 한다.

$$\nabla \cdot v = -\nabla \cdot \left(\frac{K}{\varepsilon}\nabla h\right) = 0$$

이러한 연속방정식을 지하토양에 맞게 해를 구하기 위하여서는 그 지역의 수두 (Head), 공극률 (Porosity), 투수계수 (Permeability) 그리고 함수율(Water content) 등에 대한 기초자료가 필요하다. 이러한 계수들 중에서 특히, 투수계수는 지하수 흐름에 영향을 주는 가장 중요한 인자로 작용하며, 지하토양에서의 지하수 흐름을

직접적으로 결정하는 측정요소이다. Freeze와 Cherry (1979)는 여러 지질에 대한 투수계수와 도수율을 나타내었는데 이를 국내 토양질에 적용하여 보면 토양에 대한 투수계수 범위는 <표 부록 10-1>에 나타낸 바와 같다. 우리나라 밭토양의 토성별 분포면적에 의하면 토양의 대부분이 사양토, 양토, 미사질양토로 이루어지고 있으며 토양분포에 의한 평균도수율(투수계수)을 지역별로 구해보면 <표 부록 10-2>에 나타낸 바와 같다. 현재, 폐기물매립지에서의 국내·외 차수층의 도수율 기준치는 1.0 x 10^{-7}cm/s 이하로 규정되어 있고 독일에서는 이보다 낮은 도수율인 5.0 x 10^{-8}cm/s를 사용하고 있다. 김포 위생매립지의 경우, 매립지 지반의 도수율은 지역에 따라 약간의 차이는 있으나 일반적으로 1 x 10^{-5}cm/s 값을 가지며, 하부로 갈수록 도수율은 낮아지는 경향을 보이고 있다.

<표 부록 10-1> 토성별 투수계수와 도수율 및 평균도수율 (Freeze and Cherry, 1979)

	투수계수(cm^2)	도수율(cm/sec)	평균도수율 (cm/sec)
사 토	5×10^{-9} ~ 5×10^{-5}	5×10^{-4} ~ 5×10^{-0}	5×10^{-2}
사 양 토	1×10^{-10} ~ 1×10^{-6}	1×10^{-5} ~ 1×10^{-1}	1×10^{-3}
양 토	1×10^{-11} ~ 1×10^{-7}	1×10^{-6} ~ 1×10^{-2}	1×10^{-4}
미사질양토	1×10^{-12} ~ 1×10^{-8}	1×10^{-7} ~ 1×10^{-3}	1×10^{-5}
미사질식토	1×10^{-13} ~ 1×10^{-9}	1×10^{-8} ~ 1×10^{-4}	1×10^{-6}
식 토	1×10^{-14} ~ 1×10^{-10}	1×10^{-9} ~ 1×10^{-5}	1×10^{-7}

2. DIFFUSION(확산)과 DISPERSION(분산)의 고려

확산(Diffusion)은 오염물질의 농도차에 따라 어떠한 움직임도 없는 액체 내에서 일어나는 이동과정으로 농도차가 클수록, 오염물질의 특성인 확산계수가 클수록 잘 일어나며 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C$$

<표 부록 10-2> 우리나라 밭토양의 토성별 분포면적(단위: ha) 및 평균도수율(K값)
(정영상 등, 1976)

지역	사토	사양토	양토	미사질 양토	미사질 식토	식토	평균도수율 (cm/sec)
서울특별시	0.0	2071.0	1036.0	442.0	59.0	0.0	2.9×10^{-4}
부산시	80.0	324.0	904.0	108.0	145.0	0.0	4.3×10^{-4}
대구시	336.0	60.0	81.0	1427.0	105.0	99.0	5.0×10^{-5}
인천시	0.0	474.0	1490.0	26.0	162.0	0.0	1.2×10^{-4}
경기도	1688.0	69121.0	39480.0	1360.0	4782.0	0.0	3.8×10^{-4}
강원도	1817.0	48409.0	39160.0	7382.0	1782.0	4859.0	1.8×10^{-4}
충청북도	2400.0	45739.0	33758.0	7997.0	739.0	3827.0	2.4×10^{-4}
충청남도	3036.7	34881.0	62342.9	2119.3	7025.2	430.0	1.9×10^{-4}
전라북도	671.5	24667.9	49808.5	2520.9	5987.4	0.0	1.4×10^{-4}
전라남도	2746.9	11068.8	114436.7	7253.4	3874.4	123.0	8.3×10^{-5}
경상북도	10394.0	64792.0	73407.0	17293.0	3116.0	956.0	2.8×10^{-4}
경상남도	2703.0	10884.0	59138.0	10553.0	4905.0	140.0	1.0×10^{-4}
제주도	482.0	668.0	75.0	46096.0	2313.0	0.0	1.0×10^{-5}

여기서 C는 수용액에서의 오염물질농도를 나타내고 D는 확산계수, t는 시간을 나타낸다. 지하에서의 확산계수는 순수한 물에서의 확산계수와 다르게 표현되는데 그 이유는 지하토양에 의해 확산이 방해를 받고 지하에 존재하는 물의 양은 토양의 공극률에 의존하기 때문이다. 일반적으로 지하에서의 확산계수는 유효확산계수라 불리며 이는 물에서의 확산계수를 Tortuosity로 나누고 공극률을 곱한 형태로 나타나는데 전형적인 Tortuosity는 사암(Sandstone)에서 3부터 12.5까지 나타나고 있다. Millington과 Quirk (1961)는 사암에서의 유효확산계수와 물에서의 확산계수의 비(Ratio)는 공극률의 3/4 승에 반비례한다는 것을 실험적으로 입증하였다. 따라서 사암에서의 유효확산계수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$D_{eff} = D_m \varepsilon^{4/3}$$

유효확산계수 내에서 분자확산계수(D_m)는 화학물질의 특성에 의해 결정되지만 공극률은 지하토양에 의해 결정되어진다.

지하수 내의 오염물질은 이산(Advection)에 의한 지하수의 평균속도와 같은 속도로 움직인다. 그러나 오염물질은 수리학적으로 기대되는 물흐름의 방향에서부터 이탈하여 퍼지는 경향이 있다. 이렇게 퍼지는 현상을 Hydrodynamic Dispersion 이라고 하는데, 쉽게 말하면 오염물질이 주위의 유체와 섞이는 과정을 분산(Dispersion)이라고 한다. Dispersion은 오염물질의 이산에 의한 기계적 혼합과 용질의 열반응적 에너지에 의한 분자확산에 의해 오염물질을 묽게 만든다. 오염물질의 이동속도가 낮을 때에는 Dispersion과정에서 Diffusion이 매우 중요하고, 오염물질의 이동속도가 높아 오염물질의 흐름에 의해 전적으로 일어나는 Dispersion은 확산 (Diffusion)의 영향이 매우 작아 Mechanical Dispersion이라고 한다.

Scheidegger(1961)는 분산계수(Dispersion Coefficient)와 유체의 평균속사이에 선형관계가 존재한다고 제시하였다. 이 선형관계는 1972년 Bear에 의해 개발되었는데 그 방정식은 다음과 같다.

$$D_L = \alpha_L v$$

$$D_T = \alpha_T v$$

여기서 D_L은 Longitudinal 분산계수, D_T는 Transverse 분산계수, α_L은Longitudinal Dispersivity 그리고 α_T는 Transverse Dispersivity를 나타낸다.

Hydrodynamic Dispersion은 분산 (Dispersion)과 유효확산 (Effective Diffusion)으로 구성되어지고 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$D_x = \alpha_L v + D_{eff}$$

$$D_z = \alpha_T v + D_{eff}$$

근래 Neumann(1990)은 지하토양에서의 분산자(dispersivity)에 대한 총괄적인 값의 범위가 지하규모에 따라 0.01m에서부터 100m까지 나타나고 있음을 보여주었다.

3. SORPTION(수착)의 고려

Sorption은 Adsorption과 Desorption으로 구분할 수 있는데 Adsorption은 오염물질이 지하수에서 토양으로 이동하는 현상을 나타내고 Desorption은 역으로 오염된 토양에서 지하수로의 이동현상을 뜻한다. 이러한 현상들이 일어나는 과정에서 Sorption은 궁극적으로 평형(Equilibrium)상태에 도달하게 되는데 이 상태에서는 오염물질의 이동속도가 Adsorption에서와 Desorption에서 같아 실질적으로 오염물질의 움직임이 없는 것으로 보여진다.

일반적으로 지하토양에 유출되는 오염물질과 지하토양과의 Sorption은 가역반응이고 매우 빨리 일어나고 있어 이에 대한 평형상태는 Linear Equilibrium Isotherm으로 가정되어지며, Partition Coefficient(K_d)에 의해 지하수에서의 오염농도(C)와 토양에서의 오염농도(S)가 다음과 같이 선형적으로 표현될 수 있다 (Freeze and Cherry, 1979; McCarty 등, 1980; Roberts 등, 1982).

$$S = K_d C$$

지하토양에서 오염물질의 전달은 Sorption에 의해 지연된다고 잘 알려져있다 (Bear, 1972; Freeze and Cherry, 1979). 오염물질 전달의 지연은 지연인자(Retardation Factor)에 의해 지배적으로 결정되는데, 이 지연인자는 Partition Coefficient, K_d에 매우 민감하게 변화되나 지하토양의 수리학적 인자에 의해서는 심각하게 변화되지 않는다. Partition Coefficient, K_d = 0 이면 지하토양은 Sorption에 의한 오염물질의 이동에 영향을 전혀 받지 않고 K_d가 10 이상이면 지하수의 흐름에 상당한 제약을 받는다. 이 계수는 지질의 특성과 화학물질의 특성에 의해 변화되고 있으며 Trichloroethylene 1.2, Tetrachloroethylene 3.8, Naphthalene, 9.2, PCB(Aroclor 1242) 320, DDT 2,600 정도이며 현재 국내 특정폐기물의 용출시험 항목으로 지정되어 있는 중금속들에 대한 partition coefficient의 범위는 <표 부록 10-3>에 나타낸 바와

<표 부록 10-3> Partition Coefficients (K_d) for Metals in Soils

Element	Observed Range (ml/g)	Mean[a]	Standard Deviation[b]
Ag	10. - 1,000	4.7	1.3
Am	1.0 - 47,230	6.7	3.0
As(Ⅲ)	1.0 - 8.3	1.2	0.6
As(Ⅴ)	1.9 - 18	1.9	0.5
Ca	1.2 - 9.8	1.4	0.8
Cd	1.3 - 27	1.9	0.9
Ce	58. - 6,000	7.0	1.3
Cm	93. - 51,900	8.1	1.9
Co	0.2 - 3,800	4.0	2.3
Cr(Ⅲ)	470. - 150,000	7.7	1.2
Cr(Ⅳ)	1.2 - 1,800	3.6	2.2
Cs	10. - 52,000	7.0	1.9
Cu	1.4 - 333	3.1	1.1
Fe	1.4 - 1,000	4.0	1.7
K	2.0 - 9.0	1.7	0.5
Mg	1.6 - 13.5	1.7	0.5
Mn	0.2 - 10,000	5.0	2.7
Mo	0.4 - 400	3.0	2.1
Np	0.2 - 929	2.4	2.3
Pb	4.5 - 7,640	4.6	1.7
Po	196. - 1,063	6.3	0.7
Pu	11. - 300,000	7.5	2.3
Ru	48. - 1,000	6.4	1.0
Se(Ⅳ)	1.2 - 8.6	1.0	0.7
Sr	0.2 - 3,300	3.3	2.0
Tc	0.003 - 0.28	3.4	1.1
Th	2,000 - 510,000	11.0	1.5
U	11. - 4,400	3.8	1.3
Zn	0.1 - 8,000	2.8	1.9

a. Mean of the logarithms of the observed values.
b. Standard deviation of the logarithms of the observed values.
*Source : Baes, C.E. and R.D. Sharp, J. Env. Qual. 12(1), 1993.

같다. 균일성 포화토양에서 지연인자는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$R_f = 1 + \frac{\rho_b K_d}{\varepsilon}$$

여기서 ρ_b는 지하토양의 밀도를 나타내고, ε은 공극률을 나타낸다. 지하수흐름과 전달현상에 적용되는 지연인자는 흡착이 일어나는 과정에서 이동하는 오염물질 중심부의 지연을 결정하는데 사용되어진다.

매립지 지반 및 지하에서의 전체적인 오염물질의 이동과 전달현상의 모델은 앞에서 언급한 모든 메커니즘을 포함한 Advection-Dispersion 식으로서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R_f \frac{\partial C}{\partial t} + \nabla (v_{i\,C)} = \nabla D_i (\nabla C)$$

여기서 v_i는 i 방향의 Darcy 속도를 나타내고 D_i는 i 방향의 hydrodynamic dispersion coefficient를 나타낸다. 지하토양의 투수계수가 크면 Darcy 속도가 hydrodynamic dispersion coefficient보다 매우 증가하여 지하수의 전달현상은 Darcy 속도에 의해 지배를 받게 된다. 대부분의 지하토양의 투수계수에 의한 속도의 크기는 hydrodynamic dispersion coefficient의 크기보다 크므로 오염물질의 전달로 나타나는 농도는 토양의 투수계수와 오염물질의 수두(수위)에 의존하게 된다. 특정한 지역에서의 투수계수가 매우 적어 토양에서의 Darcy 속도가 hydrodynamic dispersion coefficient보다 매우 작으면 hydrodynamic dispersion coefficient에 있는 속도 항도 무시가 되어 오염물질의 전달현상은 유효확산에만 지배를 받게 되므로 오염물질의 이동은 일반적으로 매우 적게 일어난다.

<부록 11> 지하저장시설에서의 오염물질 이동 및 전달에 대한 수치해석 결과

지하저장시설로부터 유류 또는 유해화학물질이 지하토양으로 누출되었을 경우, 차수벽의 설치로 오염물질의 이동과 전달에 주는 영향을 수치해석적으로 분석하였다. 지하저장탱크는 일반적으로 지하 2m 깊이에 설치되고 탱크의 크기는 높이가 3m 정도, 길이는 8m 정도이다. 지하저장탱크로부터 유류 및 유해화학물질이 누출되었을 경우 오염물질이 흘러나와 바로 지상으로 넘치는 것을 방지하기 위하여 지하저장탱크와 차수벽 사이에 간격을 둘 필요가 있다. 본 연구모델에서는 이 간격을 탱크크기의 절반 정도로 설정하여 수직으로 1.5m, 수평으로 2m 정도로 설정하였다. 지하저장탱크 주위에 차수벽을 설치하였을 경우의 수치해석을 위한 경계조건은 <그림 IV-4>에 나타내고 있다. 차수벽을 사용하였을 때의 수치해석 기본조건은 탱크 내의 유류수두는 탱크높이와 같은 3m, 차수벽의 두께 100cm, 차수벽의 투수계수 $1x10^{-7}$ cm/s, 오염진행시간 30년, 그리고 수착은 일어나지 않는 경우로 이루어졌다.

차수벽 설치로 인한 유류 및 유해화학물질 이동에 대한 영향을 살펴보기 위하여 (a) 차수벽을 설치하지 않았을 경우, (b) 차수벽의 두께를 50cm로 설치하였을 경우, (c) 차수벽의 두께를 100cm로 설치하였을 경우, (d) 차수벽의 두께를 150cm로 설치하였을 경우의 동수위선(Equipotential Line)은 <그림 부록 11-1>에 나타내었다. 차수벽의 두께를 50cm 설치하였을 경우의 동수위선은 차수벽을 설치하지 않았을 경우에 비하여 매우 많은 차이가 나타나고 있고 차수벽을 지난 지역에서의 동수위선 변화는 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 차수벽의 두께를 100cm 이상으로 한 경우에는 최소값의 동수위선이 차수벽의 두께가 증가할수록 탱크에 접근하고 있는 것을 보여주고 있어 유류 및 유해화학물질의 이동이 거의 없다는 것을 확인할 수 있다. 차수벽의 두께를 100cm로 하고 투수계수를 (a) $5.0x10^{-7}$cm/s, (b) $1.0x10^{-7}$cm/s, (c) $5.0x10^{-8}$cm/s, (d) $1.0x10^{-8}$cm/s로 변화시켜 투수계수 변화에 대한 동수위선을 살펴본 결과는 <그림 부록 11-2>에 나타낸 바와 같다. 차수벽의 투수계수가 $5.0x10^{-7}$cm/s 이상의 경우는 투수계수를 $1.0x10^{-7}$cm/s로 하고 두께를 50cm로 한 경우 <그림 부록 11-1 (b)>보다 동수위선이 더 많이 움직인 것으로 보아 오염물질의 이동이 조금 있는 것으로 나타나고 있다. 차수벽의 투수계수를 $5.0x10^{-8}$cm/s 이하로 하였을 경우 최소값의 동수위선이 차수벽 주위에 거의 밀접해 있거나 차수벽에 붙어있어 유류 및 유해화학물질의 이동이 거의 일어나지 않고 있음을 알 수 있었다.

(a) 0 cm

(b) 50 cm

<계속>

(c) 100 cm

(d) 150 cm

<그림 부록 11-1> 지하저장탱크의 차수벽 설치시 두께에 따른 오염물질의 동수위선

(a) 5.0×10^{-7} cm/s

(b) 1.0×10^{-7} cm/s

<계속>

(c) 5.0×10^{-8} cm/s

(d) 1.0×10^{-8} cm/s

<그림 부록 11-2> 지하저장탱크의 차수벽 설치시 투수계수에 따른 오염물질의 동수위선

지하저장탱크 주위에 차수벽을 사용하였을 때의 오염물질 이동을 흐름벡터(Flow Vector)로 나타내면 더 자세하게 오염물질 이동에 대한 차수벽의 영향을 나타낼 수 있어 (a) 차수벽을 설치하지 않았을 경우, (b) 차수벽의 두께를 50cm로 설치하였을 경우의 흐름벡터는 <그림 부록 11-3>에 나타내었다. 차수벽을 설치하지 않았을 경우의 흐름벡터는 차수벽을 설치한 경우에 비하여 속도크기가 많이 차이나고 있어 지하저장탱크 바로 밑을 통하여 흐름벡터의 크기가 크게 나타나고 있다. 차수벽의 두께를 50cm 이상으로 한 경우에는 흐름벡터의 크기가 차수벽을 설치하지 않았을 경우보다 매우 작아져서 차수벽의 두께가 증가하여도 흐름벡터에는 거의 영향을 미치지 않고 있는 것으로 나타났다. 차수벽의 두께를 100cm로 하고 투수계수를 (a) $5.0x10^{-7}$cm/s과 (b) $5.0x10^{-8}$cm/s로 변화시켜 투수계수 변화에 대한 흐름벡터를 살펴본 결과는 <그림 부록 11-4>에 나타낸 바와 같다. 차수벽의 투수계수가 $5.0x10^{-7}$cm/s의 경우는 투수계수를 $1.0x10^{-7}$cm/s로 하고 두께를 50cm로 한 경우보다 흐름벡터가 더 크게 나타나고 있어 침출수의 흐름이 증가되는 것을 나타내고 있다. 차수막의 투수계수를 $5.0x10^{-8}$cm/s로 하였을 경우 흐름벡터가 작아지고 있어 오염물질의 이동이 거의 일어나지 않고 있을 알 수 있었다.

차수벽을 설치한 지하저장탱크부터의 오염물질의 농도는 전달현상 지배방정식인 Advection- Dispersion Equation을 Galerkin Finite Element Method에 의해 수치모델로 구하였는데 그 경계조건은 <그림 IV-4>에 표시되어 있다. 이 수치모델에서는 매립지에서와 마찬가지로 수직방향의 Dispersivity는 1m로, 수평방향의 Dispersivity는 3m로, 그리고 Diffusion Coefficient는 $1x10^{-5}cm^2/s$로 가정하였다. <그림 부록 11-5>에서는 차수벽을 설치하지 않은 경우 (a) 1년, (b) 10년, (c) 20년, (d) 30년 후의 유류 및 유해화학물질 오염물질의 농도분포를 도시하였다. 1년 후에서는 무차원농도(지하저장탱크 내의 농도로 나눈 농도)가 0.01이 되는 지점이 지하저장탱크의 차수벽으로부터 6m를 넘고 있으며, 10년 후에는 무차원농도 0.01인 지점이 차수벽으로부터 16m 정도에 이르고, 20년 후에는 무차원농도 0.01인 지점이 차수벽으로부터 20m를 넘고 있으며, 30년 후에는 무차원농도 0.01인 지점이 차수벽으로부터 24m 정도에 이르고 있어 오염물질이 시간이 경과할수록 지하토양으로 더 많이 분포되는 것을 알 수 있었다. 차수벽의 두께를 (a) 50cm, (b) 100cm로 변화시켜 30년 후에 나타난 결과는 <그림 부록 11-6>에 나타낸 바와 같이 두께에 의한 오염물질의 무차원 농도는 등수위선에서의 흐름벡터와 비슷하게 변화되는 것

(a) 0 cm

(b) 50 cm

<그림 부록 11-3> 지하저장탱크의 차수벽 설치시 두께에 따른 오염물질의 흐름벡터

(a) $5.0x10^{-7}$ cm/s

(b) $5.0x10^{-8}$ cm/s

<그림 부록 11-4> 지하저장탱크의 차수벽 설치시 투수계수에 따른 오염물질의 흐름벡터

(a) 1 년

(b) 10 년

<계속>

(c) 20 년

(d) 30 년

<그림 부록 11-5> 지하저장탱크에서 차수벽 없을시 시간에 따른 오염물질의 농도분포

(a) 50 cm

(b) 100 cm

<그림 부록 11-6> 지하저장탱크의 차수벽 설치시 두께에 따른 오염물질의 농도분포

을 알 수 있었다. 차수벽 두께를 50cm로 한 결과 오염물질의 무차원농도 0.01은 제방으로부터 14m를 넘어서고 있으며, 차수벽의 두께를 100cm로 한 결과 무차원 농도는 제방으로부터 12m를 약간 지나쳐서 차수벽의 두께에 따른 오염물질 전달에 대한 영향이 있는 것으로 나타났다. 그러나 차수벽의 두께를 150cm로 하였을 경우는 차수벽의 두께를 100cm로 한 결과와 거의 비슷하게 나타나서 차수벽의 두께가 100cm 이상이면 두께가 오염물질의 전달에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 투수계수를 $1.0x10^{-7}$cm/s로 하고 차수벽을 두께 100cm로 설치한 경우 유류 및 유해화학물질의 수두를 (a) 1m, (b) 2m로 변화시켜 오염물질의 전달을 조사해 본 결과 <그림 부록 11-7>에 나타낸 바와 같이 수두가 증가함에 따라 오염물질은 분포가 넓어지므로 수두에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 차수벽 자체의 투수계수를 (a) $5x10^{-7}$cm/s, (b) $5x10^{-8}$cm/s로 변화시켜 본 결과를 <그림 부록 11-8>에 나타내었는데 투수계수가 감소함으로 인하여 오염물질의 분포가 매우 적어지고 있어 투수계수에 대한 영향이 매우 큰 것으로 나타나고 있다. 현재 차수막의 투수계수에 대한 규정인 $1x10^{-7}$cm/s <그림 부록 11-6 (b)>과 투수계수 $5x10^{-8}$ cm/s를 사용하였을 때의 농도분포는 약간의 차이를 나타냈으나 오염물의 분포가 큰 차이는 없는 것으로 보아 현재의 규정인 $1x10^{-7}$cm/s이 차수벽의 투수계수로도 바람직하다고 판단된다.

투수계수가 $1x10^{-7}$cm/s인 차수벽을 설치한 지하저장탱크 주위에서 지하토양의 수착으로 인하여 오염물질이 지연되는 영향을 살펴보기 위하여 지연인자 (Retardation Factor)를 (a) 5, (b) 20으로 변화시켜 <그림 부록 11-9>에 도시하였다. 앞에서 언급한 바대로 지하토양의 부피밀도(Bulk Density)는 2정도이고 공극률(Porosity)은 0.3 정도이어서 사용된 지연인자수로 인한 분배계수(K_d)는 (a) 0.60ml/g, (b) 2.85ml/g으로 나타난다. 분배계수 K_d가 0ml/g인 경우 <그림 부록 11-7 (b)>에는 수착(Sorption)에 의한 영향을 받지 않아서 차수벽에 의해서만 오염물질의 이동과 전달이 영향을 받고 있고, 분배계수 K_d가 0.60ml/g인 경우는 지연인자의 영향에 의해 수평적으로는 오염물질의 농도분포가 작게 감소하고 있으나 전체적으로는 매우 크게 감소하여 오염물질의 분배계수가 매우 작다고 하더라도 그 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 분배계수 K_d가 2.85ml/g이면, 대부분의 오염물질이 30년이 경과한 후에도 지하저장탱크의 차수벽으로부터 크게 벗어나지 못하여 차수벽 주위지역에만 영향을 주고 있음을 확실하게 나타내고 있다.

(a) 1 m

(b) 2 m

<그림 부록 11-7> 지하저장탱크의 차수벽 설치시 수두에 따른 오염물질의 농도분포

(a) $5.0x10^{-7}$ cm/s

(b) $5.0x10^{-8}$ cm/s

<그림 부록 11-8> 지하저장탱크의 차수벽 투수계수에 따른 오염물질의 농도분포

(a) 5

(b) 20

<그림 부록 11-9> 지하저장탱크에서 지연인자에 따른 오염물질의 농도분포

<부록 12> 지상저장시설에서의 오염물질 이동 및 전달에 대한 수치해석 결과

지상저장탱크로부터 유류 또는 유해화학물질이 지하토양으로 누출되었을 경우, 지상으로의 이동은 매우 쉬우나 쉽게 발견할 수 있으며 또한 방유제의 설치로 오염물질의 이동을 차단할 수 있다. 다만 오염물질이 지하로 흘러들어갔을 경우 파악하기가 어렵고 지상저장탱크의 바닥인 지표면에 차수막의 설치가 이루어지지 않으면 오염물질에 의한 토양오염 가능성이 매우 높게 된다. 따라서 지상저장탱크로부터 지하토양으로 오염물질이 이동하고 전달하는 과정에 영향을 줄 수 있는 여러가지 인자를 고려하여 수치해석학적으로 분석하였다. 지상하저장탱크는 일반적으로 지상에 설치되고 탱크의 크기는 높이가 20m에서 40m 정도, 직경은 40m에서 그 이상의 것도 있다. 지상저장탱크로부터 유류 및 유해화학물질이 누출되었을 경우 오염물질이 바로 지하로 들어가는 것을 방지하기 위하여 지상저장탱크 바로 밑에 차수막을 둘 필요가 있다. 지상저장탱크 아래에 차수막을 설치하였을 경우의 수치해석을 위한 경계조건은 <그림 IV-5>에 나타내고 있다. 차수막을 사용하였을 때의 수치해석 기본조건은 탱크 내의 유류수두는 탱크높이와 비슷한 20m, 차수막의 두께 75cm, 차수벽의 투수계수 $1x10^{-7}$cm/s, 오염진행시간 30년 그리고 수착은 일어나지 않는 경우로 이루어졌다.

차수막 설치로 인한 유류 및 유해화학물질 이동에 대한 영향을 살펴보기 위하여 (a) 차수막을 설치하지 않았을 경우, (b) 차수막의 두께를 50cm로 설치하였을 경우, (c) 차수막의 두께를 75cm로 설치하였을 경우, (d) 차수막의 두께를 100cm로 설치하였을 경우의 동수위선(Equipotental Line)은 <그림 부록 12-1>에 나타내었다. 차수막의 두께를 50cm 설치하였을 경우의 동수위선은 차수막을 설치하지 않았을 경우에 비하여 매우 많은 차이가 나타나고 있고 차수막을 아래의 지역에서 동수위선 변화는 간격이 넓어지고 있어 오염물질의 이동이 매우 둔화되는 것을 보여주고 있다. 차수막의 두께가 증가할수록 동수위선의 간격이 증가하고 있으나 그 변화가 크지 않아 일단 차수막이 설치되면 오염물질의 이동이 어려워진다는 것을 보여주고 있다. 차수막의 두께를 75cm로 한 경우에는 두께 100cm로 한 경우와 거의 같아서 유류 및 유해화학물질의 이동에 거의 영향이 없다는 것을 확인할 수 있다. 차수막의 두께를 75cm로 하고 투수계수를 (a) $5.0x10^{-7}$cm/s, (b) $5.0x10^{-8}$cm/s로 변화시켜 투수계수 변화에 대한 동수위선을 살펴본 결과는 <그림 부록 12-2>에 나타낸

(a) 0 cm

(b) 50 cm

<계속>

(c) 75 cm

(d) 100 cm

<그림 부록 12-1> 지상저장탱크의 차수막 설치시 두께에 따른 오염물질의 동수위선

(a) $5.0x10^{-7}$ cm/s

(b) $5.0x10^{-8}$ cm/s

<그림 부록 12-2> 지상저장탱크의 차수막 설치시 투수계수에 따른 오염물질의 동수위선

바와 같다. 차수막의 투수계수가 $5.0x10^{-7}$cm/s 이상의 경우는 투수계수를 $1.0x10^{-7}$ cm/s로 하고 두께를 50cm로 한 경우 <그림 부록 12-1 (b)>보다 동수위선이 더 많아 오염물질의 이동이 증가되는 것으로 나타나고 있다. 차수막의 투수계수를 $5.0x10^{-8}$cm/s로 하였을 경우 동수위선이 차수막 아래에 간격이 매우 넓게 분포해 있어 유류 및 유해화학물질의 이동이 거의 일어나지 않고 있음을 알 수 있었다.

지상저장탱크 아래에 차수막을 사용하였을 때의 오염물질 이동을 흐름벡터(Flow Vector)로 나타내면 더 자세하게 오염물질 이동에 대한 차수막의 영향을 나타낼 수 있어 (a) 차수막을 설치하지 않았을 경우, (b) 차수막의 두께를 50cm로 설치하였을 경우의 흐름벡터는 <그림 부록 12-3>에 나타내었다. 차수막을 설치하지 않았을 경우의 흐름벡터는 차수막을 설치한 경우에 비하여 속도크기가 많이 차이나고 있어 지상저장탱크 바로 밑을 통하여 오염물질의 이동이 매우 빠르다는 것을 나타내고 있다. 차수막의 두께를 50cm 이상으로 한 경우에는 흐름벡터의 크기가 차수막을 설치하지 않았을 경우보다 매우 작아 차수막의 두께가 증가함에 따라 흐름벡터에 영향을 미치지 않고 있는 것으로 나타났다. 차수막의 두께를 75cm로 하고 투수계수를 (a) $5.0x10^{-7}$cm/s과 (b) $5.0x10^{-8}$cm/s로 변화시켜 투수계수 변화에 대한 흐름벡터를 살펴본 결과는 <그림 부록 12-4>에 나타낸 바와 같다. 차수벽의 투수계수가 $5.0x10^{-7}$cm/s의 경우 <그림 부록 12-4 (a)>는 투수계수를 $1.0x10^{-7}$cm/s로 하고 두께를 50cm로 한 경우보다 흐름벡터가 더 크게 나타나고 있어 침출수의 이동이 증가되는 것을 나타내고 있다. 차수막의 투수계수를 $5.0x10^{-8}$cm/s로 하였을 경우 흐름벡터가 작아지고 있어 오염물질의 이동이 거의 일어나지 않고 있음을 알 수 있었다.

차수막을 설치한 지상저장탱크로부터의 오염물질의 농도는 전달현상 지배방정식인 Advection- Dispersion Equation을 Galerkin Finite Element Method에 의해 수치모델로 구하였는데 그 경계조건은 <그림 IV-5>에 표시한 바 있다. 이 수치모델에서는 매립지에서와 마찬가지로 수직방향의 Dispersivity는 1m로, 수평방향의 Dispersivity는 3m로, 그리고 Diffusion Coefficient는 $1x10^{-5}cm^2/s$로 가정하였다. 차수막의 두께를 (a) 50cm, (b) 100cm로 변화시켜 30년 후에 나타난 결과는 <그림 부록 12-5>에 나타낸 바와 같다. 차수막의 두께를 50cm로 한 결과 오염물질의 무차원 농도 0.01은 지상저장탱크의 외벽으로부터 22m를 넘어서고 있으며 오염물질의 분포가 높은 농도에서부터 낮은 농도로 일정한 간격을 두고 이루어져 있다. 차수막

(a) 0 cm

(b) 50 cm

<그림 부록 12-3> 지상저장탱크의 차수막 설치시 두께에 따른 오염물질의 흐름벡터

(a) $5.0x10^{-7}$ cm/s

(b) $5.0x10^{-8}$ cm/s

<그림 부록 12-4> 지상저장탱크의 차수막 설치시 투수계수에 따른 오염물질의 흐름벡터

(a) 50 cm

(b) 100 cm

<그림 부록 12-5> 지상저장탱크의 차수막 설치시 두께에 따른 오염물질의 농도분포

의 두께를 100cm로 한 결과는 오염물질의 무차원농도 0.01은 지상저장탱크의 외벽으로부터 20m를 약간 지나고 있고 차수막에 의해 오염물질이 고립되어 있어 농도분포가 차수막 주위에서 조밀하게 나타나고 있어 차수막의 두께에 따라 오염물질의 전달에 영향이 있는 것으로 나타났다.

<그림 부록 12-6>에서는 차수막을 설치하지 않은 경우 (a) 1년, (b) 5년, (c) 10년, (d) 20년 후의 유류 및 유해화학물질 오염물질의 농도분포를 도시하였다. 1년 후에서는 무차원농도(지하저장탱크 내의 농도로 나눈 농도)가 0.01이 되는 지점이 지상저장탱크의 외벽으로부터 18m에 다다르고 있으며, 5년 후에는 무차원농도 0.01인 지점이 지상저장탱크의 외벽으로부터 30m 정도에 이르고, 10년 후에는 무차원농도 0.01인 지점이 외벽으로부터 40m에 이르고 있어 지하토양을 광범위하게 오염시키고 있는 것을 나타내고 있으며, 20년 후에는 무차원농도 0.01인 지점이 전체 지하토양으로 분포되어 오염물질이 시간이 경과할수록 지하토양으로 빠르게 전달이 이루어지는 것을 알 수 있었다. 투수계수를 $1.0x10^{-7}$cm/s로 하고 차수막의 두께를 75cm로 설치한 경우 유류 및 유해화학물질의 수두를 (a) 10m, (b) 30m로 변화시켜 오염물질의 전달을 조사해 본 결과 <그림 부록 12-7>에 나타낸 바와 같이 수두가 증가함에 따라 오염물질은 분포가 넓어지므로 수두에 의해 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 차수막 자체의 투수계수를 (a) $5x10^{-7}$cm/s, (b) $1x10^{-7}$cm/s, (c) $5x10^{-8}$cm/s, (d) $1x10^{-8}$cm/s로 변화시켜 본 결과를 <그림 부록 12-8>에 나타내었는데 투수계수가 감소함으로 인하여 오염물질의 분포가 매우 적어지고 있어 투수계수에 대한 영향이 매우 큰 것으로 나타나고 있다. 현재 차수막의 투수계수에 대한 규정인 $1x10^{-7}$cm/s와 투수계수 $5x10^{-8}$cm/s를 사용하였을 때의 농도분포는 많은 차이를 나타냈고 투수계수가 $1x10^{-8}$cm/s일 때는 오염물질이 차수막 주위에 분포되어 차수능에서의 큰 차이를 나타내고 있다. 이는 유류와 유해화학물질의 수두가 매우 높으므로 이로 인하여 투수계수에 대한 변화가 이류(Advection)를 크게하고 오염물질의 전달에서 이류항이 분산(Dispersion)항보다 커서 오염물질의 전달이 이류에 의해 지배를 받기 때문인 것으로 판단된다.

투수계수가 $1x10^{-7}$cm/s인 차수벽을 설치한 지상저장탱크 주위에서 지하토양의 수착으로 인하여 오염물질이 지연되는 영향을 살펴보기 위하여 지연인자 (Retardation Factor)를 (a) 5, (b) 20으로 변화시켜 <그림 부록 12-9>에 도시하였다. 분배계수 K_d가 0ml/g인 경우<그림 부록 12-8 (b)>에는 수착(Sorption)에 의한 영향을 받지 않

(a) 1 년

(b) 5 년

<계속>

(c) 10 년

(d) 20 년

<그림 부록 12-6> 지상저장탱크에서 차수벽 없을시 시간에 따른 오염물질의 농도분포

(a) 10 m

(b) 30 m

<그림 부록 12-7> 지상저장탱크의 차수막 설치시 수두에 따른 오염물질의 농도분포

(a) 5.0×10^{-7} cm/s

(b) 1.0×10^{-7} cm/s

<계속>

(c) 5.0×10^{-8} cm/s

(d) 1.0×10^{-8} cm/s

<그림 부록 12-8> 지상저장탱크의 차수막 투수계수에 따른 오염물질의 농도분포

(a) 5

(b) 20

<그림 부록 12-9> 지상저장탱크에서 지연인자에 따른 오염물질의 농도분포

아서 차수벽에 의해서만 오염물질의 이동과 전달이 영향을 받고 있고, 분배계수 K_d가 0.60 ml/g인 경우는 지연인자의 영향에 의해 전체적으로는 매우 크게 감소하여 오염물질의 분배계수가 매우 작다고 하더라도 그 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 분배계수 K_d가 2.85ml/g이면, 대부분의 오염물질이 30년이 경과한 후에도 지상저장탱크의 차수막으로부터 크게 벗어나지 못하여 차수막 주위지역에만 영향을 주고 있음을 확실하게 나타내고 있다.벽에 의해서만 오염물질의 이동과 전달이 영향을 받고 있고, 분배계수 K_d가 0.60 ml/g인 경우는 지연인자의 영향에 의해 전체적으로는 매우 크게 감소하여 오염물질의 분배계수가 매우 작다고 하더라도 그 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 분배계수 K_d가 2.85ml/g이면, 대부분의 오염물질이 30년이 경과한 후에도 지상저장탱크의 차수막으로부터 크게 벗어나지 못하여 차수막 주위지역에만 영향을 주고 있음을 확실하게 나타내고 있다.

<부록 13> 매립시설에서의 오염물질 이동 및 전달에 대한 수치해석 결과

폐기물매립지에서의 침출수 이동과 전달을 수치모델로 해석하기 위하여 가장 필요한 인자는 도수율이며 이를 김포 수도권 위생매립장에서 측정된 도수율(투수계수)인 $1x10^{-5}$cm/s를 평균도수율로 사용하였고(수도권 매립지 운영관리조합, 1993) 일반적으로 지표면에 가까운 지하토양의 도수율은 평균도수율보다 적어 지표면에서부터 1.5m까지의 토양도수율은 $2x10^{-4}$cm/s를 사용하였다. 매립지에서의 침출수 흐름을 수치모델로 해석하기 위하여 흐름이 가장 빠른 조건을 설정하였고 이를 위하여 함수율은 100%를, 흐름은 정상상태로 가정하였으며 매립지 내의 침출수 수위는 변화시켰고 매립지 밖의 수위는 0m로 가정하였다. 따라서 침수 이동에 대하여는 Laplace Equation으로 나타나는 2차원의 흐름 지배방정식을 사용하였고 침출수 내의 오염물질 전달에 대하여는 2차원의 Advection-Dispersion Equation을 사용하였으며 흐름 지배방정식과 Advection-Dispersion Equation으로부터 수두(수위)와 농도의 결과를 얻기 위하여 Galerkin Finite Element Method를 경계조건에 맞게 사용하였다 (이승희, 1991).

1. 연직차수막을 설치한 매립지에서의 수치해석 결과

폐기물매립지에 설치하는 차수막에는 앞에서 언급한 바와 같이 연직차수막과 표면차수막으로 분류되며 차수막분류에 따라 침출수 내의 오염물질 이동과 전달현상이 판이하게 달라 연직차수막을 사용하였을 경우와 표면차수막을 사용하였을 경우로 나누어 오염물질의 이동과 전달현상에 대한 수치해석의 결과를 구하였다. 연직차수막을 사용하였을 때의 매립지에서의 경계조건은 <그림 IV-6>에 나타나는 바와 같다. 연직차수막을 사용하였을 때의 수치해석 기본조건은 매립지 수두 1m, 차수막의 길이 3m, 차수막의 두께 50cm, 차수막의 투수계수 $1x10^{-7}$cm/s, 오염진행시간 30년 그리고 수착은 일어나지 않는 경우로 이루어졌다.

연직차수막 설치로 인한 침출수 이동에 대한 영향을 살펴보기 위하여 매립지 안쪽에 (a) 차수막을 설치하지 않았을 경우, (b) 차수막을 1m 설치하였을 경우, (c) 차수막을 2m 설치하였을 경우의 동수위선(Equipotental Line)은 <그림 13-1>에 나타낸 바와 같다. 차수막을 설치하지 않았을 경우 동수위선은 매립지의 제방을 중심으로 대칭을 나타내고 있어 전체적으로 침출수의 이동이 존재하는 것을 보여주고

(a) 0.0 m

(b) 1.0 m

(c) 2.0 m

<그림 부록 13-1> 연직차수막 설치시 차수막 길이에 따른 침출수 동수위선

있으며 토양의 투수계수가 변화되는 지점에서 동수위선의 변화가 나타나고 있어 투수계수가 변화됨에 의해 흐름에 영향을 주고 있는 것을 보여주고 있다. 차수막을 1m 설치하였을 경우 투수계수가 큰 지반이 지표면으로부터 1.5m이어서 나머지 0.5m로 흐름이 진행되기 때문에 동수위선의 변화가 차수막을 설치하지 않았을 경우와 거의 비슷하게 나타나고 있다. 차수막을 2m 설치하였을 경우의 동수위선은 차수막에 의해 영향을 받아 차수막 근처에 매우 좁게 분포하여 여기서의 침출수 흐름은 매우 빠르게 나타나지만, 차수막을 지난 지역에서의 동수위선 분포가 넓어지고 있어 침출수의 흐름이 매우 작아지는 것을 확인할 수 있다. 차수막의 길이를 3m로 하여 두께를 0.5m, 1m, 2m로 변화시켜 본 결과 <그림 부록 13-2>에 나타낸 바와 같이 두께에 의한 동수위선을 크게 변화되지 않고 있음을 알 수 있었다.

연직차수막을 사용하였을 때의 침출수 이동을 흐름벡터(Flow Vector)로 나타내면 <그림 부록 13-3>에서와 같이 더 자세하게 침출수 이동에 대한 차수막의 영향을 나타낼 수 있다. 차수막을 설치하지 않았을 경우 (a) 침출수의 이동을 나타내는 흐름벡터는 투수계수가 큰 지역에서 크게 나타나고 있고 투수계수가 작은 지역에서 작게 나타나고 있어 매립지 제방의 밑을 타고 침출수의 이동이 빠르다는 것을 보여주고 있다. 차수막을 1m 설치하였을 경우(b) 투수계수가 큰 지반이 지표면으로부터 1.5m이어서 나머지 0.5m로 흐름이 진행되기 때문에 이로 인한 흐름벡터가 크게 나타나고 있고 매립지 제방 밑으로 여전히 침출수의 흐름이 큰 것을 보여주고 있다. 차수막을 2m 설치하였을 경우(c)의 차수막에 의해 투수계수가 큰 지반이 모두 차단되었기 때문에 흐름벡터의 크기가 아주 작아지는 것을 보여주고 있어 침출수의 흐름이 매우 작아지는 것을 확인할 수 있다. 차수막의 길이를 3m로 하여 두께를 (a) 0.5m, (b) 1m, (c) 2m로 변화시켜 본 결과 <그림 부록 13-4>에 나타낸 바와 같이 두께에 의한 동수위선과 마찬가지로 흐름벡터 역시 거의 변화되지 않고 있음을 알 수 있었다.

따라서 차수막의 두께에는 거의 영향을 받지 않지만 차수막의 길이가 작다고 할지라도 지형에 의해 침출수의 흐름방지에는 아주 막대한 영향을 미치고 있다고 볼 수 있다. 차수막의 길이가 길어질수록 침출수 흐름 방지도 커지나 경제성을 감안하여 최소의 차수막 깊이로 최대한의 침출수 흐름방지를 할 수 있도록 매립지의 지형을 충분히 조사한 후에 차수막을 설치하여야 할 것이다.

(a) 0.5 m

(b) 1.0 m

(c) 2.0 m

<그림 부록 13-2> 연직차수막 설치시 차수막 두께에 따른 침출수 동수위선

(a) 0.0 m

(b) 1.0 m

(c) 2.0 m

<그림 부록 13-3> 연직차수막 설치시 차수막 길이에 따른 침출수 흐름벡터

(a) 0.5 m

(b) 1.0 m

(c) 2.0 m

<그림 부록 13-4> 연직차수막 설치시 차수막 두께에 따른 침출수 흐름벡터

침출수 오염물질의 농도는 전달현상 지배방정식인 Advection-Dispersion Equation에 의해 표현될 수 있다. 전달현상 지배방정식을 풀기 위하여는 흐름 지배방정식을 풀고 흐름 지배방정식에 의해 나타난 수위와 Darcy's Law로부터 속도를 구하여 전달현상 지배방정식에 도입하여야 한다. 전달현상 지배방정식의 해를 구하기 위하여 역시 Galerkin Finite Element Method를 경계조건에 맞게 사용하였는데 경계조건은 <그림 IV-6>에 표시한 바 있다. 이 모델에서 수직방향의 Dispersivity는 1m로, 수평방향의 Dispersivity는 3m로, 그리고 Diffusion Coefficient는 $1x10^{-5}$ cm^2/s로 가정하였다. <그림 부록 13-5>에서는 매립지에 차수막 설치를 하지 않은 경우 (a) 10년, (b) 20년, (c) 30년 후의 침출수의 오염물질의 농도분포를 도시하였다. 10년후에서는 무차원농도(매립지 내의 농도로 나눈 농도)가 0.01이 되는 지점이 매립지 제방 밑으로 14m 정도 되고, 20년 후에는 무차원농도 0.01인 지점이 매립지 제방을 넘어서게 되어 22m를 지나게 된다. 30년 후에는 매립지 제방을 완전히 통과하고 침출수 흐름에 영향을 많이 받아 농도분포가 침출수 흐름과 비슷하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 매립지 내의 연직차수막을 설치하였을 경우 오염물질의 농도분포는 차수막을 설치하지 않았을 경우의 농도분포보다 확실하게 줄어드는 경향을 나타내고 있다. <그림 부록 13-6>에서는 차수막을 (a) 1m, (b) 2m, (c) 5m를 설치한 경우 30년 후의 무차원농도가 0.01되는 지점을 나타낸 것이다. 차수막을 1m 설치한 경우는 무차원농도 0.01되는 지점이 30년 후에 매립지로부터 21m를 넘고 있으나 차수막을 2m 설치한 경우는 20m도 흐르지 않고 있으며 이는 3m를 설치한 경우와 거의 비슷한 결과를 나타내고 있다. 다만 차수막을 5m로 설치하였을 경우 차수막의 길이가 증가되어도 오염물질의 수평적 이동은 방지할 수 있지만 수직적으로는 차수막을 타고 지하로 더 내려가는 것을 알 수 있었다. 차수막의 길이를 3m로 하여 두께를 (a) 0.5m, (b) 1m, (c) 2m로 변화시켜 본 결과 <그림 부록 13-7>에 나타낸 바와 같이 두께에 의한 오염물질의 무차원농도는 동수위선과 흐름벡터와는 달리 매우 크게 변화되고 있는 것을 알 수 있었다. 차수막두께를 0.5m로 한 결과 오염물질의 무차원농도 0.01은 제방으로부터 8m정도 움직였으며 차수막의 두께를 1m로 한 결과 6m, 차수막의 두께를 2m로 변화시켜 본 결과는 4m도 움직이지 않았다. 차수막의 길이를 3m로 하여 침출수의 수두를 (a) 1m, (b) 2m, (c) 5m로 변화시켜 본 결과 <그림 부록 13-8>에 나타낸 바와 같이 차수막에 의해 수평으로는 움직임이 둔하였으나 침출수 수두에 의해 수직적으로는 영향을

(a) 10 년

(b) 20 년

(c) 30 년

<그림 부록 13-5> 연직차수막 없을시 시간에 따른 오염물질의 농도 분포

(a) 1.0 m

(b) 2.0 m

(c) 5.0 m

<그림 부록 13-6> 연직차수막 설치시 차수막 길이에 따른 오염물질의 농도분포

(a) 0.5 m

(b) 1.0 m

(c) 2.0 m

<그림 부록 13-7> 연직차수막 설치시 차수막 두께에 따른 오염물질의 농도분포

(a) 1.0 m

(b) 2.0 m

(c) 5.0 m

<그림 부록 13-8> 연직차수막 설치시 침출수의 수두에 따른 오염물질의 농도분포

받는 것으로 나타나고 있다. 차수막의 길이를 3m로 하여 차수막 자체의 투수계수를 (a) $5x10^{-7}$cm/s, (b) $5x10^{-8}$cm/s, (c) $1x10^{-8}$cm/s로 변화시켜본 결과를 <그림 부록 13-9>에 나타내었는데 투수계수의 감소로 인하여 수평방향과 수직방향 모두로 오염물질의 전달이 매우 둔화되는 것을 보여주고 있어 독일에서 차수막의 투수계수를 $5x10^{-8}$cm/s로 정하는 이유를 정확히 나타내고 있다.

다짐과 복토는 침출수의 오염물질이 가능한 많이 복토재에 수착되도록 하는 중요한 역할을 한다. 지하토양에서 매립지에서 발생되는 침출수 오염물질의 수착은 Linear Equilibrium Isotherm에 의해 표현될 수 있으며 Partition Coefficient (K_d)에 의해 크게 영향을 받는다. 따라서 침출수 내의 오염물질 농도를 구하기 위하여 Linear Equilibrium Isotherm을 포함한 전달현상 지배방정식을 Finite Element Method를 사용하여 결과를 얻었다. 침출수 오염물질에 대한 K_d는 오염물질 구성원에 따라 다르지만 전형적인 범위는 거의 0에서부터 10^3 ml/g 보다 큰 값을 가질 경우도 있으며, K_d가 10 보다 큰 값을 가지면 오염물질은 거의 움직이지 않는다고 볼 수 있다 (Freeze and Cherry, 1979).

투수계수가 $1x10^{-7}$cm/s인 차수막을 3m 설치한 매립지에서 분배계수가 크지 않은 범위에서 지하토양의 수착으로 인하여 오염물질이 지연되는 영향을 살펴보기 위하여 지연인자 (Retardation Factor)를 (a) 2, (b) 5, (c) 20으로 변화시켜 <그림 부록 13-10>에 도시하였다. 일반적으로 지하토양의 부피밀도(Bulk Density)는 2정도이고 공극률(Porosity)은 0.3정도이어서 사용된 지연인자수로 인한 분배계수(K_d)는 (a) 0.15ml/g, (b) 0.60ml/g, (c) 2.85ml/g로 나타난다. 분배계수 K_d가 0 ml/g인 경우 <그림 부록 13-6 (c)>에는 수착(Sorption)에 의한 영향을 받지 않아서 차수막에 의해 오염물질의 이동과 전달이 영향을 받고 있고, K_d가 0.15ml/g인 경우는 Sorption에 의한 영향이 약간 나타나 오염물질이 지하토양에 미치는 영역이 줄어드는 결과를 보여주고 있다. 분배계수 K_d가 0.60ml/g인 경우는 지연인자의 영향에 의해 수평적으로는 오염물질의 농도분포가 작게 감소하고 있으나 전체적으로는 매우 크게 감소하여 오염물질의 분배계수가 매우 작다고 하더라도 그 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 분배계수 K_d가 2.85ml/g이면, 대부분의 오염물질이 30년이 경과한 후에도 매립지 근처에서 벗어나지 못하여 매립지 지역에만 영향을 주고 있음을 확실하게 나타내고 있다. 따라서 침출수의 오염물질에 대한 K_d값이 <표 부록 10-2>에 나타낸 바와 같이 매우 크므로 복토에 의해 오염물질의 이동이 민감하게 지연

(a) $5x10^{-7}$ cm/s

(b) $5x10^{-8}$ cm/s

(c) $1x10^{-8}$ cm/s

<그림 부록 13-9> 연직차수막 투수계수에 따른 오염물질의 농도분포

(a) 2

(b) 5

(c) 20

<그림 부록 13-10> 연직차수막 설치시 지연인자에 따른 오염물질의 농도분포

되고 있음을 알 수 있으므로 매립에 있어서 복토재 종류의 선택이 매우 중요하다고 할 수 있다.

특히 매립지에서 나오는 침출수에는 유해한 성분이 많이 포함되어 낮은 농도에서도 매우 치명적일 수 있어 매우 적은 양의 침출수가 분포되더라도 침출수가 분포되는 영역은 오염도에서 매우 중요하게 생각될 수 있다. 이러한 오염영역을 줄이기 위하여 많은 대책을 세우고 있지만 김포 수도권 위생매립지에서와 같이 차수막설치가 유보되고 있는 상태에서는 다짐과 복토가 침출수에 의한 오염영역을 줄이는데 매우 중요한 역할을 할 수가 있다. 물론 침출수 내의 오염물질은 다양한 종류로 구성되어 있어 각 구성된 물질이 다짐과 복토로 인한 sorption능력에 의해 전달속도들이 달라지지만 전반적인 오염물질군은 일반적인 오염물질의 평균 K_d값에 의존하므로 침출수의 전체적 오염영역을 줄일 수 있다. 그러므로 다짐 및 복토재 종류가 침출수 오염방지에 미치는 영향이 매우 중요하다는 사실을 인식해야만 한다.

2. 표면차수막을 설치한 매립지에서의 수치해석 결과

폐기물매립지 특히 특정폐기물을 매립하는 경우에는 표면차수막을 설치하여 침출수 내의 오염물질 이동과 전달현상을 차단하고 침출수를 수집하여 처리시설로 이송하게 된다. 표면차수재의 투수계수는 법적으로 $1x10^{-7}$cm/s 이하로 규정하고 있고 일반폐기물에서는 그 두께를 75cm로 하며 특정폐기물에서는 그 두께를 150cm로 규정하고 있다. 표면차수막을 사용하였을 경우, 오염물질의 이동과 전달현상에 대한 수치해석의 결과는 <그림 IV-7>에 나타낸 바와 같은 경계조건을 사용하여 구하였다. 표면차수막을 사용하였을 때의 수치해석 기본조건은 매립지 수두 3m, 차수막의 두께 75cm, 차수막의 투수계수 1x10-7cm/s, 오염진행시간 30년 그리고 수착은 일어나지 않는 경우로 이루어졌다.

표면차수막을 설치하지 않은 경우는 연직차수막을 설치하지 않은 경우와 마찬가지이므로 <그림 부록 13-1 (a)>를 참조하기를 바라며, 표면차수막 설치로 인한 침출수 이동에 대한 영향을 살펴보기 위하여 매립지 바닥에 (a) 차수막을 25cm 설치하였을 경우, (b) 차수막을 50cm 설치하였을 경우, (c) 차수막을 150cm 설치하였을 경우의 동수위선(Equipotental Line)은 <그림 부록 13-11>에 나타낸 바와 같다. 차수막의 두께를 25cm 설치하였을 경우의 동수위선은 차수막을 설치하지 않았을 경

(a) 25 cm

(b) 50 cm

(c) 150 m

<그림 부록 13-11> 표면차수막 설치시 차수막 두께에 따른 침출수 동수위선

우에 비하여 매우 많은 차이가 나타나고 있으나 여전히 토양의 투수계수가 변화되는 지점에서 동수위선의 변화가 나타나고 있다. 차수막의 두께를 50cm로 한 경우에는 동수위선의 간격이 더욱 넓어져 침출수의 흐름이 더욱 둔화되고 있는 것을 보여주고 있으며 차수막의 두께를 150cm로 한 경우에는 동수위선 간격이 아주 넓어져서 침출수의 흐름이 거의 없다는 것을 확인할 수 있다. 차수막의 두께를 75cm로 하고 투수계수를 (a) $5.0x10^{-7}$cm/s, (b) $1.0x10^{-7}$cm/s, (c) $5.0x10^{-8}$cm/s로 변화시켜 투수계수 변화에 대한 동수위선을 살펴본 결과는 <그림 부록 13-12>에 나타낸 바와 같다. 차수막의 투수계수가 $5.0x10^{-7}$cm/s의 경우는 투수계수를 $1.0x10^{-7}$cm/s로 하고 두께를 25cm로 한 경우 <그림 부록 13-11 (a)>보다 동수위선이 더 많이 움직였고 간격도 더 좁은 것으로 보아 침출수의 흐름이 많은 것을 나타내고 있다. 차수막의 투수계수를 $1.0x10^{-7}$cm/s로 하였을 경우 동수위선의 간격이 넓어지는 것으로 보아 침출수의 흐름이 매우 둔화되는 것을 나타내고 있으며 차수막의 투수계수를 $5.0x10^{-8}$cm/s로 변화시켜 본 결과는 동수위선을 크게 변화시켜 침출수의 흐름이 거의 일어나지 않고 있음을 알 수 있었다. 따라서 표면차수막을 설치할 경우에 차수막의 두께보다 차수막의 투수계수가 침출수의 흐름에 영향을 크게 미치고 있음을 알 수 있다.

표면차수막을 사용하였을 때의 침출수 이동을 흐름벡터(Flow Vector)로 나타내면 더 자세하게 침출수 이동에 대한 차수막의 영향을 나타낼 수 있다. 표면차수막을 설치할 경우 매립지 바닥에 (a) 차수막을 25cm 설치하였을 경우, (b) 차수막을 50cm 설치하였을 경우, (c) 차수막을 150cm 설치하였을 경우의 흐름벡터는 <그림 부록 13-13>에 나타낸 바와 같다. 차수막의 두께를 25cm 설치하였을 경우의 흐름벡터는 차수막을 설치하지 않았을 경우에 비하여 속도크기에 많은 차이가 나타나고 있으나 여전히 토양의 투수계수가 높은 지역인 지표면에 가까운 층을 통하여 흐름벡터의 크기가 크게 나타나고 있으며 매립지 내의 제방아래서 가장 큰 흐름벡터가 나타나고 있다. 차수막의 두께를 50cm로 한 경우에는 흐름벡터의 크기가 차수막의 두께를 25cm로 설치하였을 경우보다 작아지기는 했으나 그 경향은 거의 비슷하게 나타나고 있다. 그러나 차수막의 두께를 150cm로 한 경우에는 흐름벡터의 크기가 거의 존재하지 않아 침출수의 이동이 거의 없다는 것을 확인할 수 있다. 차수막의 두께를 75cm로 하고 투수계수를 (a) $5.0x10^{-7}$cm/s, (b) $1.0x10^{-7}$cm/s, (c) $5.0x10^{-8}$cm/s로 변화시켜 투수계수 변화에 대한 흐름벡터를 살펴본 결과는 <그림 부록 13-14>에 나타낸 바와 같다.

(a) $5x10^{-7}$ cm/s

(b) $1x10^{-7}$ cm/s

(c) $5x10^{-8}$ cm/s

<그림 부록 13-12> 표면차수막 설치시 차수막 투수계수에 따른 침출수 동수위선

(a) 25 cm

(b) 50 cm

(c) 150 cm

<그림 부록 13-13> 표면차수막 설치시 차수막 두께에 따른 침출수 흐름벡터

(a) $5x10^{-7}$ cm/s

(b) $1x10^{-7}$ cm/s

(c) $5x10^{-8}$ cm/s

<그림 부록 13-14> 표면차수막 설치시 차수막 투수계수에 따른 침출수 흐름벡터

차수막의 투수계수가 $5.0x10^{-7}$cm/s의 경우는 투수계수를 $1.0x10^{-7}$cm/s로 하고 두께를 25cm로 한 경우보다 흐름벡터가 더 크게 나타나고 있어 침출수의 흐름이 증가되는 것을 나타내고 있다. 차수막의 투수계수를 $1.0x10^{-7}$cm/s로 하였을 경우 흐름벡터가 작아지고 있어 침출수의 흐름이 매우 둔화되는 것을 나타내고 있으며 차수막의 투수계수를 $5.0x10^{-8}$cm/s로 변화시켜 본 결과는 흐름벡터는 더욱 작아져서 침출수의 흐름이 거의 일어나지 않고 있을 알 수 있었다.

표면차수막을 설치한 폐기물매립지에서의 침출수 오염물질의 농도는 전달현상 지배방정식인 Advection- Dispersion Equation을 Galerkin Finite Element Method에 의해 수치모델로 구하였는데 그 경계조건은 <그림 IV-7>에 표시하였다. 이 수치모델에서는 연직차수막을 설치한 매립지에서와 마찬가지로 수직방향의 Dispersivity는 1m로, 수평방향의 Dispersivity는 3 m로, 그리고 Diffusion Coefficient는 $1x10^{-5}cm^2/$로 가정하였다. <그림 부록 13-15>에서는 매립지에 두께 75cm의 표면차수막을 설치한 경우 (a) 10년, (b) 20년, (c) 30년 후의 침출수의 오염물질의 농도분포를 도시하였다. 10년후에서는 무차원농도(매립지 내의 농도로 나눈 농도)가 0.01이 되는 지점이 매립지 제방 밑으로 7m를 넘고 있으며, 20년 후에는 무차원농도 0.01인 지점이 매립지 제방 밑으로 8m 정도에 이르고 30년 후에는 매립지 제방 밑에 8m를 조금 넘어 표면차수막에 의해 오염물질의 이동이 매우 둔화되는 것을 알 수 있으며 오염물질이 시간이 경과할수록 지하로 더 내려가는 것을 알 수 있었다. 매립지 내의 표면차수막을 설치하였을 경우 오염물질의 농도분포는 차수막을 설치하지 않았을 경우의 농도분포보다 확실하게 줄어드는 경향을 나타내고 있다. 표면차수막의 두께를 (a) 25cm, (b) 50cm, (c) 150cm로 변화시켜 30년 후에 나타난 결과는 <그림 부록 13-16>에 나타낸 바와 같이 두께에 의한 오염물질의 무차원농도는 동수위선과 흐름벡터와 비슷하게 변화되고 있는 것을 알 수 있었다. 차수막두께를 25cm로 한 결과 오염물질의 무차원농도 0.01은 제방으로부터 10m를 넘어서고 있으며, 차수막의 두께를 50cm로 한 결과 무차원농도는 제방으로부터 10m를 약간 넘어서지 못하였고, 차수막의 두께를 150cm로 변화시켜 본 결과 무차원농도는 제방으로부터 7m도 움직이지 않았다. 따라서 표면차수막을 설치하면 그 두께에 따른 오염물질 전달에 대한 영향은 그리 크지 않아 차수막의 설치 자체가 중요하게 나타나고 있다.

(a) 10 년

(b) 20 년

(c) 30 년

<그림 부록 13-15> 표면차수막 설치시 시간에 따른 오염물질의 농도분포

(a) 25 cm

(b) 50 cm

(c) 150 cm

<그림 부록 13-16> 표면차수막 설치시 차수막 두께에 따른 오염물질의 농도분포

침출수의 수두를 (a) 1m, (b) 2m, (c) 5m로 변화시켜 오염물질의 전달을 조사해 본 결과 <그림 부록 13-17>에 나타낸 바와 같이 수두가 증가하여도 오염물질의 농도분포는 수평으로 제방으로부터 8m정도에 거의 멈추고 있어 움직임이 둔하였으나 침출수 수두에 의해 수직적으로는 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 표면차수막 자체의 투수계수를 (a) $5x10^{-7}$cm/s, (b) $5x10^{-8}$cm/s, (c) $1x10^{-8}$cm/s로 변화시켜 본 결과를 <그림 부록 13-18>에 나타내었는데 투수계수가 감소함으로 인하여 오염물질의 분포가 매우 적어지고 있어 투수계수에 대한 영향이 매우 큰 것으로 나타나고 있다. 현재 차수막의 투수계수에 대한 규정인 $1x10^{-7}$cm/s <그림 부록 13-15 (c)>와 투수계수 $5x10^{-8}$ cm/s를 사용하였을 때의 수평방향으로의 농도분포는 거의 비슷하게 나타났고 수직방향으로 약간의 차이를 나타냈으나 투수계수를 낮추는데 사용하는 차수재와 비용 등 여러가지 고려할 점이 많고 그에 비해 오염물의 분포가 큰 차이는 없는 것으로 보아 현재의 규정이 바람직하다고 판단된다.

투수계수가 $1x10^{-7}$cm/s인 표면차수막 설치한 매립지에서 지하토양의 수착으로 인하여 오염물질이 지연되는 영향을 살펴보기 위하여 지연인자 (Retardation Factor)를 (a) 2, (b) 5, (c) 20으로 변화시켜 <그림 부록 13-19>에 도시하였다. 앞에서 언급한 바대로 지하토양의 부피밀도(Bulk Density)는 2정도이고 공극률(Porosity)은 0.3정도이어서 사용된 지연인자수로 인한 분배계수(K_d)는 (a) 0.15ml/g, (b) 0.60ml/g, (c) 2.85 ml/g으로 나타난다. 분배계수 K_d가 0ml/g인 경우<그림 부록 13-15 (c)>에는 수착(Sorption)에 의한 영향을 받지 않아서 차수막에 의해서만 오염물질의 이동과 전달이 영향을 받고 있고, K_d가 0.15ml/g인 경우는 Sorption에 의한 영향이 약간 나타나 오염물질이 지하토양에 미치는 영역이 줄어드는 결과를 보여주고 있다. 분배계수 K_d가 0.60ml/g인 경우는 지연인자의 영향에 의해 수평적으로는 오염물질의 농도분포가 작게 감소하고 있으나 전체적으로는 매우 크게 감소하여 오염물질의 분배계수가 매우 작다고 하더라도 그 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 분배계수 K_d가 2.85 ml/g이면, 대부분의 오염물질이 30년이 경과한 후에도 매립지 근처에서 벗어나지 못하여 매립지 지역에만 영향을 주고 있음을 확실하게 나타내고 있다.

(a) 1.0 m

(b) 2.0 m

(c) 5.0 m

<그림 부록 13-17> 표면차수막 설치시 침출수의 수두에 따른 오염물질의 농도분포

(a) $5x10^{-7}$ cm/s

(b) $5x10^{-8}$ cm/s

(c) $1x10^{-8}$ cm/s

<그림 부록 13-18> 표면차수막 투수계수에 따른 오염물질의 농도분포

(a) 2

(b) 5

(c) 20

<그림 부록 13-19> 표면차수막 설치시 지연인자에 따른 오염물질의 농도분포