

선진국 토양오염 기준의 역할과 기준항목 설정방법

정승우^{1*} · 안윤주² · 김태승³

¹군산대학교 환경공학과, ²건국대학교 환경과학과, ³국립환경과학원 토양지하수연구과

Role and Contaminant Selection Methods of Soil Quality Standards in Developed Countries

Seung-Woo Jeong^{1*} · Youn-Joo An² · Tae-Seung Kim³

¹Department of Environmental Engineering, Kunsan National University

²Department of Environmental Science, Konkuk University

³Soil and Groundwater Divison, National Institute of Environmental Research

Abstract

Many countries have recently established legal regulations and soil quality standards for soil protection. This study investigated the role of soil quality standards in soil protection policy and methods of selecting standard substances from various types of chemicals. In most countries, soil quality standards act as guidance for further detail survey or risk assessment from comparing soil concentration with the soil quality standards. Soil quality standards of Switzerland, Demark and Japan were used as enforcement tools. Priority substances for the standards were first selected from frequently detected chemicals in contaminated sites. Those substances were extensively evaluated for toxic effects, exposure potential and availability in chemical analysis.

Key words : Soil contaminant, Soil quality standard, Risk, Soil regulation

요 약 문

세계 각국은 토양환경의 효율적인 관리를 위하여 각국의 상황에 적합한 토양오염기준을 운영하고 있다. 본 총설은 각국의 토양환경관리 정책에서 토양오염기준의 역할과 토양오염기준 항목을 설정하는 방법에 대해 체계적으로 분석하여 시사점을 도출하고자 하였다. 대부분의 토양기준은 토양오염여부를 일차적으로 판단하기 위한 Guideline 역할을 수행하고 있었으며, 기준치가 오염여부 판단과 관련 행정명령의 지표인 Standard로 활용하고 있는 나라는 스위스, 덴마크, 일본 등이었다. 네덜란드는 Guideline과 Standard를 혼용하고 있었다. 토양오염기준 물질선정은 현장에서 검출 빈도수가 높은 토양오염물질을 중심으로 이루어졌으며 독성, 노출, 분석의 용이성, 독성 자료의 가용성 등 다양한 인자를 복합적으로 고려하여 선정되었다. 각 나라는 자국의 토양환경정책 및 기준 설정에 있어 자국의 상황을 고려한 특징을 가지고 있었다.

주제어 : 토양오염물질, 토양기준, 위해성, 토양법

1. 서 론

최근 세계 각국에서 토양오염으로 부터 인체 및 환경 노출을 최소화하기 위한 노력이 기울여지고 있다. 토양환

경의 효율적인 관리를 위하여 각국은 토양오염기준을 설정하여 운영하고 있다. 동일한 토양오염물질의 기준치가 각국마다 다른 바와 같이, 각국의 토양오염기준의 역할과 토양오염기준 항목도 매우 상이하다.

*Corresponding author : swjeong@kunsan.ac.kr

원고접수일 : 2008. 5. 21 심사일 : 2008. 5. 28 게재승인일 : 2009. 1. 13

질의 및 토의 : 2009. 4. 30 까지

우리나라는 17개 토양오염물질을 지정하고, 이에 대한 토양오염기준을 설정·관리하고 있으나 토양오염기준의 선진화를 위해 2015년까지 관리대상물질을 30개로 확대할 계획으로 있다(환경부, 2005). 차후 토양오염기준의 확대를 위해 필요한 물질의 선정 및 방법에 대한 지속적인 연구가 필요하며 이를 위한 선진국의 사례는 중요한 자료로 활용될 수 있다. 선진국의 토양오염기준의 역할은 자국의 상황과 토양법의 토양환경관리 정책과 밀접한 관계를 가지고 있다. 따라서 본 총설에서는 각국 토양관련법에 의한 토양환경관리에서 토양오염기준의 역할을 중심으로 분석하였다. 또한 수많은 화학물질 중에서 토양오염 기준항목을 설정하는 방법에 초점을 두고 사례를 분석하여 시사점을 도출하고자 하였다. 본 총설은 “우선관리대상 토양오염물질 선정연구(국립환경과학원, 2007)”를 바탕으로 상기 총설 목적에 따라 재정리한 것이다.

2. 유럽 주요국의 토양 기준 특성

Table 1에서 보는 바와 같이 유럽에서 가장 먼저 토양 환경에 대한 독립적 법규를 제정한 나라는 1987년 네덜란드이다. 네덜란드의 Dutch Soil Protection Act를 시작으로 이탈리아, 체코슬로바키아, 프랑스, 헝가리, 독일, 스위스, 영국 순으로 토양보전법이 제정되어 운영 중이다.

2.1. 네덜란드

2.1.1. 토양오염관련법

네덜란드는 1983년 임시토양정화법(Interim Soil Remediation Act)을 제정하여 토양기준을 A, B, C로 구분하여 운영하다가 1987년에 토양보호법(Soil Protection Act)을 정식으로 제정하기에 이르렀다. 1994년에 위해성에 기반을 둔 목표기준(Target value)과 개입기준(Inter-

vention value)을 설정하였고 긴급정화(Urgency of Remediation)에 대한 과정을 마련하는 등 대폭 개정되었다. 네덜란드는 최근 Dutch Soil Protection Act에 대한 전면 개정을 추진 중에 있으며, 주요 개정방향으로는 토양보전 정책에 지속가능개념(sustainability)의 도입, 지방정부의 토양관리 책임 증대, 과학적 기반을 토대로 한 토양환경정책 수립 등을 포함하는 것으로 알려져 있다.

네덜란드의 토양환경정책은 토양오염기준인 목표기준과 개입기준에 의해 세 단계로 구분된다. 첫 단계에서 토양 농도를 개입기준과 비교하게 되며, 이를 초과할 경우는 긴급정화에 해당하여 그에 따른 정화조치가 이루어져야 한다. 그러나 목표기준을 초과하지만 개입기준 이하인 경우에는 각 토지이용 목적에 따른 토양 정화 필요 여부를 판단할 수 있는 위해성평가를 실시하게 되어 있다.

1. Compare to Soil Quality Standards : generic, all land-uses
2. Urgency of Remediation : site-specific
3. Remediation Objectives : land-use specific

긴급정화단계에서는 오염부지의 면적 크기가 25 m³ 이상이 되면 고 긴급성(high urgency)으로 분류되어 4년 이내에 정화작업을 시작하여야 한다.

2.1.2. 토양오염기준

1) 일반구조

네덜란드의 토양질 기준인 목표기준과 개입기준은 모두 토지이용용도와 무관하게 설정된 특징이 있다. 이는 다기능성(multi-functional)이며 일반화된(generic)기준으로서 표준조건하에서 발생할 수 있는 잠재 위해성(potential risk)에 토대를 두고 설정되었다(VROM, 2000).

목표기준은 생태위해성만을 고려하고 있으며 개입기준은 생태 및 인체위해성을 모두 고려하였다. 개입기준은 토

Table 1. National soil protection policies in Europe

Established	Regulations for Soil Protection
1987	Dutch Soil Protection Act
1989	Italian Soil Protection Act
1992	Czechoslovakian Soil Protection Act
1993	French National Soil Remediation and Clean-up Policy
1997	Hungarian National Environmental Programme
1998	Federal German Soil Protection Act
1998	Swiss Ordinance Relating to Impacts on the Soil,
1999	The Danish Soil Contamination Act
2000	Part IIA of the Environment Protection Act 1990: Contaminated Land (UK)
2004	Soil Action Plan of England and Wales

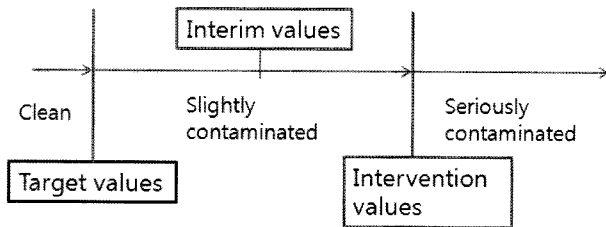


Fig. 1. Soil quality standard configuration of Netherlands.

양정화 개입기준(soil remediation intervention values)으로도 불리우며, 이 기준을 초과할 경우 인체 및 생태계에 심각한 영향을 줄 수 있음을 의미한다. 한편 위해성과는 상관없이 목표기준과 개입기준의 평균값인 중간기준(Intermediate value)을 두고 있다. Fig. 1은 이들 세 기준과 토양오염과의 관계를 도시한 것이며 토양오염관정 유형은 다음과 같다.

- 토양농도 < 목표기준 : 비 오염토양
- 목표기준 < 토양농도 < 중간기준 : 경 오염토양. 추가 조사는 불필요하지만 토지이용에 대한 약간의 제한이 있을 수 있음
- 중간기준 < 토양농도 < 개입기준 : 경 오염토양. 추가 조사가 필요함.
- 개입기준 < 토양농도 : 중 오염토양. 토양오염부피가 25 m³ 이상인 경우와 지하수오염 포화토양면적이 100 m³ 이상인 경우 정화긴급성(the urgency of remediation)에 해당하여 정화필요

2) 기준 설정

목표기준은 생태위해성이 거의 없는 수준으로 MPReco (Maximum Permissible Risk level for ecosystems) 1%에 해당한다. MPReco는 HC5(Hazardous Concentration for 5% of the species in the ecosystem)로 정의된다. 즉 95%의 종을 보호할 수 있는 농도이다. HC5의 1%에 해당하는 저농도에서는 인체위해성을 고려하지 않는다. 한편 중금속과 같이 배경농도가 존재하는 오염물질은 added risk approach에 의해 HC5의 1% 값에 배경농도를 합산한다. 네덜란드 배경농도는 1996-1998년에 실시한 토양농도 분석 결과를 바탕으로 95%에 해당하는 농도로 설정되었다.

개입기준은 생태위해성 및 인체위해성을 모두 고려하여 도출된 최저값을 선정하였다. 생태위해성의 HC50 값과(역시 배경농도가 있는 물질은 added risk approach를 적용한다), 네덜란드 토양위해성평가모델인 CSOIL모델에 의해 산정한 인체위해성의 MPR_{human}(Human-toxicological

Maximum Permissible Risk) 중 더 작은 수치가 개입기준으로 선택된다. 따라서 네덜란드 토양질기준의 설정은 다음과 같이 요약할 수 있다.

$$\begin{aligned} TV(\text{목표기준, 생태}) &= (1\% \text{ of HC5}) + BC \text{ (배경농도)} \\ IV(\text{개입기준, 생태}) &= HC50 + BC \\ IV(\text{개입기준, 인체}) &= MPR_{\text{human}} \end{aligned}$$

네덜란드 개입기준은 대상면적(spatial scale)을 규정하고 있는 특징이 있다. 토양의 경우 25 m³의 토양/퇴적물 부피를 대상으로 기준치를 적용하고 있고, 지하수의 경우 지하수로 포화된 100 m³ 토양부피를 대상으로 기준치를 적용하고 있다.

네덜란드 토양기준 중 지시기준(indicative values)이라는 부류가 있다. 이는 네덜란드 국립환경과학원인 RIVM에서 당초 연구결과로서 제시된 개입기준안 중 개입기준으로 채택되지 않은 기준항목을 지시기준으로 설정하였다. 지시기준으로 별도로 운영하고 있는 항목은 첫째, 표준분석방법 및 분석방법이 확립되지 않은 물질들이며, 두번째는 생태독성학적 자료가 부재한 경우 또는 부족한 경우의 물질들이다. 즉 지시기준물질은 개입기준물질 보다 불확실성이 높은 물질로 분류된다. 따라서 직접적인 행정적 결정이 뒤따르는 개입기준과는 다르게 지시기준을 초과하는 부지의 경우 개입기준 항목에 대해 부가적인 조사를 거쳐 개입기준 초과 여부를 판단할 수 있도록 하는 역할을 한다. 또한 지시기준을 초과하는 항목에 대해서는 위해성평가 bioassays를 이용한 위해도를 평가하거나 추가적인 독성실험을 통하여 위해성평가를 수행할 수 있도록 방향을 제시해 주는 역할을 한다.

결론적으로, 네덜란드의 토양기준은 오염의 정도를 판단할 수 있는 기준 및 행정 처분의 기준 등 다목적으로 활용되는 특징이 있다. 목표기준을 초과하게 되면 추가조사 및 위해성평가를 실시할 수 있는 요인이 되고 있으며, 개입기준을 초과하게 되면 정화의 필요성이 있게 되고 정화의 긴급성을 별도로 판단할 수 있도록 하는 등 기준 활용이 매우 뛰어난 특징이 있다.

2.2. 영국

2.2.1. 토양오염관리

영국은 1990년 환경보전법에 오염토양에 대한 규정으로 토양환경관리를 시작하였고, 2000년 4월 1일부로 시행된 Part IIA of the Environment Protection Act 1990(이하 Part 2A)로서 보다 구체적인 오염부지의 구분 및 복원에 대한 법적 근거를 가지고 토양환경관리를 하고 있다.

Part 2A는 오염토양을 규정하고, 각 지방정부로 하여금 오염토양을 식별하고 정화명령을 내릴 수 있는 권한을 부여하고 있다. 또한 Part2A는 오염토양에 세부사항뿐 아니라, 이와 관련된 도시계획 및 재건축, 오염원인자의 자발적 대책, 폐기물로 인한 토양오염 등에 관한 제반사항을 규정하고 있다. Part2A에 의한 오염토양의 법적 정의는 심각한 위해를 미치고 있거나 미칠 가능성이 있는 물질로 오염된 토양과 수질오염을 야기시킬 수 있는 오염된 토양으로 규정하고 있다.

2004년도에 발표된 Soil Action Plan for England: 2004-2006는 일종의 2년간의 토양보전계획에 해당하는 것으로서 농경지 토양관리, 토양오염, 생물다양성, 유적지 토양관리 및 지형보전 등에 이르는 52개 세부계획이 포함되어 있다(Defra, 2004). 계획된 각 52개 활동에 대해서는 2006년에 평가보고서가 발간되었다(Defra, 2006). 평가 보고서에 따르면 토양오염과 관련된 세부활동계획인 Action 17-Action 29까지의 활동계획 중 4개 활동만이 완료되었으며, 나머지는 진행 중으로 평가되었다.

영국은 각 지방정부가 관할구역 내 오염토양을 식별하고자 하는 계획 및 방안을 별도로 마련하게 되어있다. 그리고 일부 특별지역으로 지정된 곳은 환경청(Environmental Agency)이 직접 모니터링 및 제반 토양환경관리를 맡고 있다.

2002년 EA 보고서 「The State of Contaminated Land」에 의하면 영국 내에는 100,000개 가량의 오염토양 사이트가 있는 것으로 예측되고 있다. 공식적으로 2000년부터 2007년 8월까지 지방정부에서 확인한 오염부지는 538개로 나타났다. 지방정부가 오염원인자에게 정화를 권유하게 되고 자발적인 정화가 되지 않을 경우 “Remediation Notice” 명령을 내리게 된다. 정화에 소요되는 비용지출 책임은 Part IIA에 의해 “polluter-pays principle”에 의한다. 오염원인자가 불분명할 경우, 현재 토지점유자 혹은 소유자가 정화비용 지출 책임을 지게 된다. 부지의 토양오염이 예상되는 토지소유자는 전문가의 도움을 받아 조사 및 정화를 하여야 하고, 이미 지방정부에 의해 오염토양으로 규정된 부지의 부동산에 대해서는 부동산 양도시 오염토양에 대한 책임사항을 명확히 하여 이루어지고 있다.

영국 Defra는 각 지방정부와 EA가 관할구역 내 오염토양지역을 선별하기 위한 조사비용 및 오염지역에 대한 정화비용을 지원하기 위해 1990년부터 「Contaminated Land Capital Projects Programme」을 운영하고 있으며, 2004-2005년 기간 중 70여개 지방정부에 167건, 1,020만 파운드(약 204억)를 지원하였다.

2.2.2. 토양오염기준

영국은 토양오염에 대한 가이드라인을 1983년부터 ICRC Guidance 59/83이란 이름으로 가지고 있었다. 그러나 이 값들이 오염토양부지의 위해성을 고려하지 않고 지나치게 낮은 값으로 제시되고 있는 문제점이 지적되어, 새로운 토양지침값, SGV(Soil Guideline Values)를 제정하면서 2002년 완전히 폐기되었다(Defra, 2002b). 영국은 자국의 토양위해성평가모델인 CLEA(Contaminated Land Exposure Assessment Model)를 통해 보다 과학적으로 오염토양부지의 위해성을 고려한 새로운 토양오염가이드라인 SGV를 발표하였다.

영국의 오염토양에 대한 색출 책임은 지방정부에 있으며, 이 때 필요한 행정적 절차는 Part IIA of the Environment Protection Act 1990: Contaminated Land 에 아주 자세하게 언급이 되어 있다. 지방정부는 오염 토양 부지의 판단에 위해성평가 절차에 준하는 조사를 거쳐야 하는 것으로 규정하고 있다(Annex 3, Chapter B-The Identification of Contaminated Land, Part 4-Determining Whether Land Appears to be Contaminated Land, Defra 2006).

영국 Part2A법에 의한 토양오염 정의는 현재 심각한 위해를 미치고 있는 지역(“significant harm is being caused”)과 심각한 위해를 미칠 수 있는 가능성이 높은 지역(“There is a significant Possibility of significant harm being caused”)을 모두 포함하고 있다. 이 두 정의에 따라 지방정부가 위해성평가를 거쳐 오염부지 여부를 판단하여야 한다. 이 과정 중 과학적이고 합리적인 과정을 거친 Guideline values를 사용할 수 있도록 또한 규정하고 있어, SGV로 토양오염 부지의 위해여부를 결정할 수 있다. 그러나 SGV의 단순한 적용을 방지하기 위해 단서조항에(B.49) 지방정부가 위해성평가 대신 SGV를 사용할 경우, 현장의 조건이 SGV 도출에 사용된 가정과 유사함을 먼저 평가하여야 하는 등 정당한 이유가 있어야 한다. SGV가 아직 설정되지 않은 물질에 대한 오염토양 여부 판단을 위해서는 현장조건에 따른 위해성평가를 실시하도록 하고 있다(EA. 2002 CLR7).

2.3. 덴마크

2.3.1. 토양오염관련법

덴마크는 1983년 화학물질 함유 폐기물 매립에 대한 법령(The Chemical Waste Deposit Act of 1983)의 발효로 오염부지에 대한 관심을 기울이기 시작하였고, 일반 폐기물 및 산업폐기물의 다양한 오염물질로 인한 부지오

염을 고려하기 위해 1990년 The Waste Deposit Act로 제정되었다. 이후 오염원으로부터 오염물질 확산으로 인한 토양오염의 문제를 인식하고 1999년에 The Soil Contamination Act가 제정되게 되었다. 토양오염법은 시간 및 공간에 구애받지 않고 토양 내 모든 오염을 관장하나 농경지 내 슬러지, 비료 및 살충제의 살포는 적용되지 않는다.

덴마크의 용수원(用水源)은 99.6%가 지하수이므로 수자원 보호를 위해 중요한 특별지역을 설정하고 있다. 전국토의 약 35% 가량이 valuable water abstraction areas로 지정되어 있으며, 이 지역 내 오염부지에 대해서는 조사 및 정화에 있어 우선적으로 모든 대책이 강구되고 있다. 용수를 지하수에 의존하는 관계로 덴마크의 지하수 수질은 먹는물 수질기준에 따라 관리하고 있다.

덴마크의 토양오염부지에 대한 정화책임은 토양오염법 제정 이전 덴마크환경법에서 규정된 polluter pays principle이 적용되어, 이미 오염원인자에 대한 정화명령 처분이 내려졌다. 그러나 1990년 들어 오염원인자에 대한 법정 분쟁이 잦아지면서 오염토양에 대한 책임을 물을 수 있는 시간적 문제가 대두되어, 1992년 덴마크 대법원에서는 토양오염에 대한 책임을 물을 수 있는 시간적 한계를 20년으로 판정하였다. 이후 1999년 토양오염법의 발효로 인해 2001년 1월 1일 이후 발생하는 모든 토양오염문제는 토양오염법의 적용을 받는 것으로 구분하는 특징이 있다. 오염부지에 대한 등록, 조사 및 정화에 대한 모든 책임은 지방정부에 있다.

2.3.2. 토양오염기준

2002년 Guidance on Remediation of Contaminated Sites 보고서에서 정원 및 놀이터 등의 주거지 표토에 대한 50가지 물질의 토양오염기준을 제시하고 있다(DEPA, 2002). 이 토양기준은 2살 어린이가 0.2 g soil/day로 섭취할 경우 또는 10 g 섭취 시 인체독성을 고려하여 설정되었다.

덴마크 EPA는 Cut-off value라는 별도 기준을 가지고 있는 특징이 있다. 이 기준이하의 오염상태는 정화가 필요치 않고 토양과의 노출을 감소시키는 대책으로 충분히 관리가 될 수 있다는 평가지표이다. 그러나 Cut-off value를 초과할 경우, 정화하거나 부지접근을 차단하여야 한다.

2.4. 스위스

2.4.1. 토양오염관련법

스위스 토양은 독립법령인 Ordinance Relating to

Impacts on the Soil(OIS, 1998)과 오염부지에 대한 색출, 평가, 복원 및 복원 비용부담 등 전반적인 사항을 규정한 오염부지정화법령(Contaminated Sites Ordinance of 26 August 1998; Ordinance relating to Charges for the remediation of polluted Sites 5 April 2000)에 의해 관리된다. 이 두 법은 규정하고 있는 오염기준의 차이가 있다. 즉 토양 독립법령인 OIS는 토양에 대한 가이드기준(guide value), 유발기준(trigger value), 정화기준(clean up value)을 규정하고 있는 반면, 오염부지정화법령은 폐기물 용출기준이 적용되는 차이가 있다.

먼저 오염부지정화법령의 경우, 스위스내의 폐기물매립 지역 및 과거 산업지역은 이 법의 적용을 받게 되어, 각 주정부(canton)의 평가 및 조사과정을 거쳐 오염부지는 정화대상 부지로 등록(register)된다. 주정부는 두 번의 평가과정을 통해 오염부지의 색출 및 정화 결정을 내리게 된다. 첫째는 개황조사로서 과거 산업이력 및 참고인들의 진술 등을 참고하여 물, 토양, 공기오염의 가능성을 판단하고, 오염가능성이 농후한 부지에 대해 부지 소유자로 하여금 조사 및 평가 등으로 책임여부를 명확히 할 것을 요구한다. 주정부는 조사 및 평가결과에 의해 유해성 없음, 지속적인 모니터링 필요, 오염부지 정화 등의 결정을 내리게 된다. 오염부지정화법령에 의한 평가과정 중 토양 오염여부는 토양독립법령인 OIS의 토양기준이 적용되나, 규정된 물질의 종류는 매우 소수에 불과하다. OIS의 토양기준 이외 물질의 경우는 폐기물 용출기준이 적용되어 지하수 및 지표수 수질에 미치는 영향만을 평가하게 된다.

지표수와 지하수의 오염가능성에 대한 판단기준으로 폐기물 용출기준을 적용한다. 용출실험결과 용출기준을 초과하는 사이트의 경우, 지표수 및 지하수오염 지역으로 판정하게 되며 정화예정지역으로 등록된다. 지하수 관측점에서 용출기준 항목의 물질이 검출된다면, 오염지역으로 판정하는 등 스위스는 지하수 오염에 대해 상당히 엄격한 기준을 적용하고 있다.

스위스는 OIS에 의해 연방정부는 Swiss National Observation Network for Impacts on the Soil(NABO)라는 토양관측망을 구축하여야 하며, 주정부는 각 주의 토양 비옥도에 악영향을 미칠 수 있는 요소에 대해 모니터링해야 하는 의무가 있다(OIS, Article 3 & 4). 연방정부와 주정부는 모니터링 결과와 토양환경기준과 비교하여 토양에 미치는 영향을 평가하도록 하고 있다. 스위스의 토양환경기준은 가이드기준(guide value), 개입기준(trigger value), 정화기준(clean up value)로 구분되고 있다. 이에 대한 자세한 설명은 다음 절에서 계속된다.

2.4.2. 토양오염기준

스위스 토양법령인 OIS에 의해 토양환경기준은 가이드기준, 개입기준, 정화기준로 구분된다. 스위스는 토양법에 의해 세 가지 기준이 법적 구속력이 있어, 기준에 따라 해당하는 토양환경관리가 즉각 이루어지고 있다(Fig. 2 참조).

각 주정부는 오염부지가 인체 및 생태계에 미치는 유해성을 평가하기 위해 OIS에서 설정한 각 기준을 이용한다. 가이드기준을 초과하는 경우, 주정부는 토양에 미치는 영

향 원인에 대해 조사하여야 하고 5년 이내에 적절한 대책을 강구하여야 한다. 개입기준을 초과할 경우, 주정부는 해당오염부지가 인체 및 생태계에 확실한 유해를 미치고 있으므로, 인체 및 생태계에 미치는 유해를 정확히 평가하여야 하고, 유해를 미치는 요소를 제거하기 전까지는 토지이용을 규제할 수 있다. 또한 정화기준을 초과할 경우, 해당 토지이용을 규제하여야 하며, 정화기준 이하로 토양을 정화하여야 한다.

토양위해성평가는 상기한 바와 같이 개입기준을 초과하는 오염부지에 대해 실시할 수 있다.

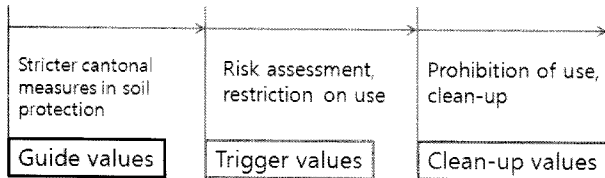


Fig. 2. Soil quality standard configuration of Switzerland.

3. 토양오염기준 현황 및 역할

Table 2는 각 국별 토양오염기준 물질의 자료원과 각국별 토양오염기준 물질 항목수를 정리한 것이다. 미국의 경

Table 2. Resources and the number of substances of soil quality guidelines

	Resources of soil quality guideline	Number of substances
USA	USEPA Generic SSLs for The Residential and Commercial/Industrial Scenarios	109
	Maryland State of Maryland Department of the Environment Cleanup Standards for Soil and Groundwater (2000)	144
	Mississippi Mississippi Department of Environmental Quality Risk Evaluation Procedures for Voluntary Cleanup and Redevelopment of Brownfield Sites (2002)	450
	Virginia Universal Treatment Standards	185
	Texas Guidance for Conducting Ecological Risk Assessments At Remediation Sites in Texas (2001)	66
	Louisiana Underground Storage Tank Closure/Change-In-Service Guidance Document (2003)	32
	Delaware Identification and Listing of Hazardous Waste	145
	Massachusetts Final Amendments Massachusetts Contingency Plan, 310 Cmr 40.0000 (2006)	117
	New York New York State Brownfield Cleanup Program Development of Soil Cleanup Objectives Technical Support Document (2006)	83
	Florida Guidelines for the Management of Recovered Screen Material From C&D Debris Recycling Facilities in Florida (1998)	390
	Oregon Guidance for Ecological Risk Assessment: Levels I, Ii, Iii, Iv (1998)	145
	New Jersey Soil Cleanup Criteria (1999)	108
	California Screening for Environmental Concerns At Sites With Contaminated Soil and Groundwater (2005)	45
	Illinois Soil Remediation Objectives for Industrial/Commercial Properties/Residential Properties (2007)	126
Netherlands Circular on Target Values and Intervention Values for Soil Remediation (Ministerie Van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening En Milieubeheer, 2000)	123	
U.K. Guidance on the Assessment and Redevelopment of Contaminated Land (Icrl, 1987)	20	
Germany Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance (Bbodschv) (1999)	18	
Demark Guidelines on Remediation of Contaminated Sites (Danish Environmental 2002)	46	
Switzerland Guideline Reuse of Excavated Soils (SAEFL, 2001)	13	
Canada Canadian Environmental Quality Guidelines (CCME, 2003)	30	
Australia Schedule B(1) Guideline on the Investigation Levels for Soil and Groundwater (NEPC, 1999)	34	
Norway Guidelines for the Risk Assessment of Contaminated Sites (SFT, 1999)	46	
Japan Soil Contamination Countermeasures (Ministry of the Environment Government of Japan, 2005)	26	
Number of substances listed in the soil guidelines		646

Table 3. Role and uses of soil quality guidelines

Country	Soil quality criteria	Substances	Total	
Netherlands	Intervention value	96	123	
	Indicative value	27		
U.K.	Guideline	Domestic gardens, allotments	16	
		Parks, playing fields, open space	13	
		Any uses where plants are to be grown	7	
Germany	Guideline	Playgrounds	14	
		Residential areas	14	
		Parks and recreational facilities	14	
		Plots of land used for industrial and commercial purposes	12	
	Agriculture, vegetable garden	Trigger value	8	18
		Action value	1	
	Grassland	Action value	8	
Precautionary value	Clay	9		
	Loam / Silt	9		
	Sand	7		
Denmark	Standard	Soil quality	46	
		Eco-toxicological soil quality criteria	15	
		Background level	2	
Switzerland	Standard	Guide values	11	
		Trigger values	7	
		Clean-up values	8	
Canada	Guideline	Agricultural	30	
		Residential/parkland	30	
		Commercial	30	
		Industrial	30	
Australia	Guideline	Health Investigation Levels (HILs)	28	
		Ecological Investigation Levels (EILs)	14	
Norway	Guideline	Health related soil quality guidelines (acceptable terskel-dose)	46	
		Ecotox related soil quality guidelines (acceptable terskel-dose)	43	
Japan	Standard	Soil concentration standard < risk for direct ingestion	10	
		Soil Leachate Standard < Risk of ingestion form groundwater etc. >	26	

우는 EPA에서 제시하고 있는 Soil Screening Value 이외 14개 주에서 제정한 주별 토양오염기준을 정리하고 있다. 미국 이외에 참고한 국가는 9개국으로, 네덜란드, 영국, 독일, 덴마크, 스위스, 캐나다, 호주, 노르웨이, 일본을 대상으로 하였다. 각 나라 및 미국 14개주의 토양오염기준항목을 정리하면 모두 646종이다.

Table 3은 각 국별 토양오염기준의 역할과 용도를 구분한 것이다. 대부분 나라의 토양오염기준은 토양오염여부를 1차적으로 판단하기 위한 Guideline 역할을 수행하고 있다. Guideline 기준을 초과하는 오염부지에 대해서 정밀조사 및 위해성평가 등을 요구하며, 이후 정밀조사 및 위

해성평가 과정에서 Guideline 숫자는 법적 또는 행정적으로 사용되지 않는 것이 일반적이다. 기준치가 오염여부 판단, 관련 행정명령의 지표 등으로 계속적으로 사용되는 경우는 Standard로 표기하였다. 토양오염기준이 Standards로 활용되고 있는 나라는 스위스, 덴마크, 일본 등이었으며 네덜란드는 Guideline과 Standard의 용도를 모두 포함하고 있었다.

각국의 토양오염기준은 자국의 특성에 따른 특징을 발견할 수 있었다. 네덜란드의 특징은 후보군 물질에 해당하는 지시기준을 운영하고 있었고, 영국의 경우는 현장조건에 따라 SGV이 위해성평가를 대체할 수 있도록 하는

특징이 있었다. 덴마크는 cut-off value 기준으로 토양과의 노출을 감소시키는 대책을 수립할 수 있도록 하였고 스위스는 점오염과 비점오염을 구분하여 토양오염기준 적용을 달리하는 특징이 있었다.

4. 기준 항목 선정 방법

4.1. USEPA SSL 및 주(州)별 토양기준

미국 연방정부 차원의 토양오염기준은 USEPA의 110개 물질에 대한 Soil Screening Level(SSL)이다. USEPA Soil Screening Guidance: User's Guide 에 의하면 슈퍼펀드 사이트(Superfund Site)에서 많이 발견되는 110개 오염 물질에 대해 SSL이 산정되었다고 밝히고 있다(USEPA, 1996). 미국의 ATSDR(Agency for Toxic Substances & Disease Registry)/EPA는 CERCLA법(42 U.S.C. 9604 [i][2], 104(i)(2) of CERCLA)에 의해 슈퍼펀드 사이트에

서 가장 빈번하게 발견되는 최소 100여개 물질에 대해 인체 위해성을 고려한 우선관리대상 오염물질을 발표하게 되어 있다. 1988년부터 1994년까지는 매년 발표되었으나 1995년부터는 발표주기를 2년으로 연장하였다.

최근 ATSDR은 2005년도에 슈퍼펀드사이트의 861개 물질을 평가하였고 그 결과 275개의 우선관리대상물질을 선정하였다. Table 4는 2005년 발표된 미국 슈퍼펀드사이트 우선관리대상 물질 25위까지의 순위를 나타낸 것이다. 미국의 우선관리대상 물질 선정에는 세 가지 부분에 대해 평가 점수를 부여하고 합산하여 순위를 결정하게 된다. 세 가지 평가 부분은 NPL 내 발견빈도, 독성, 인체노출가능성이다.

$$\text{오염물질 평가 점수(1800점)} = \text{NPL내 발견빈도 (600점)} + \text{독성 (600점)} + \text{인체 노출가능성 (농도 300점 + 노출 300점)}$$

현재 미국 오염부지 조사결과인 HazDat 데이터베이스

Table 4. 2005 CERCLA Priority List of hazardous substances (ASTDR, 2005)

2005 RANK	SUBSTANCE NAME	TOTAL POINTS [*]	2003 RANK	CAS #
1	ARSENIC	1668.56	1	007440-38-2
2	LEAD	1534.54	2	007439-92-1
3	MERCURY	1507.31	3	007439-97-6
4	VINYL CHLORIDE	1389.02	4	000075-01-4
5	POLYCHLORINATED BIPHENYLS	1371.6	5	001336-36-3
6	BENZENE	1353.53	6	000071-43-2
7	POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS	1321.72	8	130498-29-2
8	CADMIUM	1321.47	7	007440-43-9
9	BENZO(A)PYRENE	1307.76	9	000050-32-8
10	BENZO(B)FLUORANTHENE	1263.06	10	000205-99-2
11	CHLOROFORM	1224.22	11	000067-66-3
12	DDT, P,P'-	1194.95	12	000050-29-3
13	AROCLOR 1254	1182.53	13	011097-69-1
14	AROCLOR 1260	1179.51	14	011096-82-5
15	DIBENZO(A,H)ANTHRACENE	1165.46	15	000053-70-3
16	TRICHLOROETHYLENE	1158.15	16	000079-01-6
17	DIELDRIN	1153.23	18	000060-57-1
18	CHROMIUM, HEXAVALENT	1149.71	17	018540-29-9
19	PHOSPHORUS, WHITE	1144.69	19	007723-14-0
20	DDE, P,P'-	1135.78	21	000072-55-9
21	CHLORDANE	1133.31	20	000057-74-9
22	HEXACHLOROBUTADIENE	1130.66	22	000087-68-3
23	COAL TAR CREOSOTE	1124.08	23	008001-58-9
24	DDD, P,P'-	1121.42	24	000072-54-8
25	ALDRIN	1116.94	26	000309-00-2

^{*}Total score (1800 max.) = Superfund site frequency (600) + Toxicity (600) + Human exposure potential (300 concentration points + 300 exposure points)

에 의하면 슈퍼펀드 사이트에서 발견되는 유해물질의 종류는 약 3,300여개에 이른다(ASTDR, 2005). 이 중 3개 이상의 슈퍼펀드 사이트에서 공통적으로 발견되는 유해물질수는 861개로 2005년 우선관리대상 목록작성의 대상물질로 선정되었다. CERCLA에서는 유류와 관련된 유해물질에 대해서는 CERCLA의 Hazardous Substance에 규정되지 않으므로 2005년도 우선관리대상에는 포함되지 않았다(단, 기존 수질, 대기, 폐기물 관련 법령에의 대표적 오염물질 항목은 제외된다. 예) 벤젠).

Table 2에 나타난 바와 같이 각 주별 토양오염기준항목은 EPA의 SSL 항목인 110개 물질보다 많다. 각 주는 해당 주내의 오염부지에서 발견되는 오염물질을 대상으로 기준을 설정하므로 EPA의 대표적 SSL물질보다 많은 수가 선정되었다. 미국 뉴욕주의 경우, 뉴욕주 법령(Article 27, Title 14 of the Environmental Conservation Law)에 의해 토양정화기준(Soil Cleanup Objectives)을 설정하게 되어있으나, 기준 항목은 법령에서 규정되어 있지 않으므로, Department of Environment Conservation에서는 후보물질 군(Target Compound List: TCL)을 작성하였다. 후보물질 군으로부터 오염부지 특히 토양에서 발견될 수 있는 물질을 대상으로 선별하였고, 세 차례 청문회를 열어 전문가 그룹의 토의를 거쳐 확정되었다(New York State, 2006).

미국 뉴욕주의 경우 현장 조사결과와 전문가 토의 등을 거쳐 후보물질 군에 추가적으로 고려된 물질은 acenaphthene, acenaphthylene, barium, beryllium, 2-methylphenol, 3-methylphenol, 4-methylphenol, pyrene, selenium, silver, 2-(2,4,5-trichlorophenoxy) propionic acid (Silvex로 알려짐) 등이었으며, 반면 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin(2,3,7,8-TCDD)는 뉴욕주내 오염부지에서 발견되지 않는 것으로 판단하여 제외하였다. 또한 Aroclors는 PCB의 원료물질에 해당하여 PCBs를 추가하고 Aroclors는 목록에서 제외하는 등 각 주의 상황에 따라 유동적으로 기준항목을 설정하고 있다.

미국은 토양오염부지에 대한 조사 및 평가 자료가 비교적 충분하므로 이를 활용하여 관리필요성이 있는 기준항목을 설정하는 특징이 있다. 즉 현장에서 검출빈도수가 높은 물질들을 대상으로 기준항목을 설정하는 것이다. 그리고 미국의 토양오염기준의 역할은 토양오염여부를 판단해주는 가이드라인이며, 이후 정밀조사 및 위해성평가를 거쳐 확정되는 복원목표치(Primary Remedial Goal)가 법적 및 행정적 효력이 있게 되므로 가능한 많은 물질 항목에 대해 가이드라인 기준을 설정하고 있다.

4.2. 스위스 가이드, 개입 및 정화기준

스위스의 토양기준은 가이드기준, 개입기준(trigger value)과 정화기준(clean-up value)으로 구분되어 있다. 스위스의 토양오염기준 중 가이드기준은 전국의 토양모니터링 결과를 바탕으로 설정된 대표 배경농도로 설정한 것이다.

개입기준과 정화기준 항목을 선택하기 위해 두 단계의 과정을 거쳤다. 첫번째는 기준의 필요성이며, 두 번째는 규제 필요성에 따라 기준항목을 선택하였다.

첫번째 기준의 필요성에는 다시 두 가지 조건으로 구분한다. 첫 번째는 인체 및 생태계에 악영향을 미치는 물질이며, 두 번째 조건은 현재 가이드라인 기준을 초과하여 관리의 필요성이 대두되어 개입 및 정화기준 설정이 필요한 항목이다. 첫 번째 조건인 인체 및 생태계의 독성에 따라 무기물의 경우 카드뮴, 크롬, 코발트, 구리, 납, 수은, 몰리브덴, 니켈, 탈륨(Thallium), 아연 등 10개 물질을 선택하였다. 두 번째 조건인 가이드라인을 초과하는 항목을 선택한 결과, 카드뮴, 구리, 불소, 납, 니켈, 아연 등 6개 무기물을 선정하였다(SAEFL, 1998).

두번째 기준항목 선정의 기준은 규제(Enforceability)의 필요성이다. 필요성에 있어 중요한 후보 오염물질에 대해 노출가능성 및 위해를 평가할 수 있는 인자 및 정보가 충분한지를 검토하여 Table 5와 같이 각 대상물질에 가중치를 두어 기준항목을 선정하였다. 예를 들어 개입기준이 필요한 경우, 토양 내 오염물질의 농도가 인체 및 생태계 수용체에 어느 정도 유해를 미치는지 평가할 수 있는 물질에 대해, 가장 많은 평가기준이 있는 물질은 +++로 표기하였고, 그렇지 않은 물질은 -로 표기하여 중요도를 기능하였다.

첫번째 기준의 필요성과 두 번째 규제의 필요성 측면의 평가결과 개입기준으로 납, 카드뮴, 구리 3개 물질이 선정되었고, 정화기준은 납, 카드뮴, 구리, 아연 4개물질로 선정되었다. 유기물 항목에 대해서도 기준의 필요성과 규제의 필요성 측면에서 토양에 존재할 경우 심각한 위해를 미칠 수 있는 물질인 dioxins(PCDD) and furans(PCDF), PAHs(16개항목), PCBs(7개항목)에 대해서만 규정하였다. 기타 유기물 항목은 토양오염부지법령의 용출기준에 의해 지하수질 및 지표수질에 영향을 미치는 오염토양에 대해서만 정화하고 있다.

스위스 기준항목 수는 다른 나라에 비해 적다. 스위스의 토양기준은 법정 기준에 해당하므로 기준이 갖는 의미가 매우 크다. 따라서 위해성개념의 토양 노출측면에서 가장 중요한 물질에 대해서만 기준치를 설정하고 있고 기타 오염물질은 지하수 및 지표수에 미치는 환경영향측면에서 접근하는 특징이 있다.

Table 5. Evaluation of selection criteria for Switzerland clean up value substances

Pollutant	Legally binding criteria	Other evaluation criteria	Informaiton on exposure/dose effect ratio	Suitability for trigger and clean-up values
Cadmium	+++	+++	++	++
Copper	+++	+++	++	++
Fluorine	+	+	-	-
Lead	+	++	++	+
Nickel	-	+++	+	o
Zinc	+	+++	++	+

Table 6. Criteria for selection of priority contaminants in Englands

Priority contaminants	Resources
Contaminants likely to be present on many sites	- Industry profiles (Department of Environment, 1995-1996): describe specific industrial processes and the chemicals that are commonly found on industrial land - ICRCL Guidance Note 59/83, (Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land, 1987)
Contaminants likely to pose a risk	Humanbeings Water environment Ecosystem Construction / building maerials Bioaccumulation - The nature of hazard, potential exposure pathways - Toxicity information from the reference (Lewis, 1992) - Environmental Hazard Assessments for a number of substances (Department of Environment 1991-1995)

4.3. 영국의 SGV

영국은 2002년 7개 중금속에 대한 SGV을 먼저 발표 하면서, 차후 확대될 우선 설정 물질항목에 대해서도 같이 발표하였다(DEFRA, 2002a). 우선 설정 물질항목의 선정 기준은 첫째, 현재 또는 과거 산업용 부지에서 많은 량이 사용했던 물질을 중심으로 유해를 미칠 수 있는 물질을 선택하였고, 둘째 기준은 인체 및 환경에 미치는 유해도를 보다 심도있게 고려하였다. 이 두 기준을 연계한 contaminant-pathway-receptor 개념의 방법을 사용한 것으로 알려져 있으나, 고려된 인자에 대해서만 Table 6 과 같이 알려져 있고 구체적인 내용은 알려져 있지 않다. 영국에서도 사용빈도수가 높은 화학물질이며 수용체에 영향을 미칠 가능성이 높은 물질을 중심으로 관리대상물질을 선정하였다.

5. 결 론

10개국의 토양오염기준의 역할을 분석한 결과 대부분의 토양오염기준은 토양오염여부를 1차적으로 판단하기 위한 가이드라인 역할을 수행하고 있었다. Guideline 기준을 초과하는 오염부지에 대해 정밀조사 및 위해성평가 등을 요구하며, 이후 정밀조사 및 위해성평가 과정에서 가이드라인 인 숫자는 법적 또는 행정적으로 사용되지 않는 것이 일

반적이다. 반면 기준치가 오염여부 판단, 관련 행정명령의 지표 등으로 Standard 개념으로 사용되는 나라는 스위스, 덴마크, 일본 등이었으며 네덜란드는 Guideline과 Standard의 용도를 모두 포함하고 있었다.

각국마다 자국의 토양환경관리 특성에 따라서 각기 다른 기준항목 설정방법을 가지고 있었다. 토양오염에 대한 가이드라인 역할을 지닌 미국의 토양오염기준은 현장에서 발견빈도수가 높은 토양오염물질을 중심으로 가능한 많은 물질을 기준항목으로 설정하고 있다. 반면 토양기준이 행정적 및 법적 효력이 있게 되는 스위스의 경우는 자국의 토양에서 가장 관리의 필요성이 있는 물질에 대해서만 기준을 설정하고 있다. 영국은 미국과 스위스와는 달리 contaminant-pathway-receptor 개념의 방법을 활용하여 과학적인 위해성 관점의 접근에 의해 관리대상물질을 선정하였다.

우리나라의 토양오염기준은 행정적 및 법적 기준으로 활용되는 standard에 해당된다. 차후 관리 필요성 및 물질의 위해성 등을 다각적으로 검토하여 토양오염 기준물질을 추가하여야 할 것이다. 따라서 관리대상물질군을 설정한 후 지속적인 모니터링을 거쳐 검출빈도수를 확인하고 물질의 독성 및 노출 가능성 등을 다각적으로 검토하는 방안의 도입이 필요하다.

참 고 문 헌

- 국립환경과학원, 2007, 우선관리대상 토양오염물질 선정 연구: 선정기법 및 적용성 연구.
- 환경부, 토양보전 기본계획 수립 연구, 2005.
- ATSDR, 2005, 2005 CERCLA Priority List of Hazardous Substances That Will Be The Subject of Toxicological Profiles and Support Document, Division of Toxicology, Washington DC., USA.
- Bbodschv, 1999, Federal Soil Protection And Contaminated Sites Ordinance, Germany.
- California State, 2005, Screening for Environmental Concerns at Sites with Contaminated Soil and Groundwater, California, USA.
- CCME, 2003, Canadian Environmental Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment, Manitoba, Canada.
- DEFRA, 2002a, Assessment of Risks to Human Health from Land Contamination: An Overview of the Development of Soil Guideline Values and Related Research, UK.
- DEFRA, 2002b, Note on The Withdrawal of ICRL Trigger Values, CLAN 3/02.
- DEFRA, 2004, The First Soil Action Plan for England: 2004-2006. London, UK.
- DEFRA, 2006, First Soil Action Plan for England: 2004-2006-Second Annual Report, London, UK.
- Delaware State, Identification And Listing of Hazardous Waste, Delaware, USA.
- DEPA, 2002, Guidelines on Remediation of Contaminated Sites, Danish Environmental Protection Agency.
- Department of the Environment, 1995-96, Industry Profiles. Available for 47 different industrial activities from The Stationery Office, PO Box 29, Norwich NR3 1GN., U.K.
- Department of the Environment, 1991-95, Environmental Hazard Assessment for a Range of Substances, Reports TSD/1 to 24, Toxic Substances Division. U.K.
- EA 2002, Assessment of Risks to Human Health From Land Contamination: An Overview of the Development of Soil Guideline Values and Related Research, CLR 7., U.K.
- Florida State, 1998, Guidelines For The Management Of Recovered Screen Material From C&D Debris Recycling Facilities In Florida, Florida, USA.
- Illinois EPA, 2007, Soil Remediation Objectives For Industrial/Commercial Properties/Residential Properties, Illionis, USA.
- Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land, 1987 Guidance on the Assessment and Redevelopment of Contaminated Land, ICRL Guidance Note 59/83, 2nd edn., U.K.
- Lewis R.J., 1992, Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials, 8th edn, Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Louisiana State, 2003, Underground Storage Tank Closure/Change-In-Service Guidance Document, Department of Environmental Quality, Louisiana, USA.
- Maryland State, 2000, State of Maryland Department of The Environment Cleanup Standards For Soil And Groundwater, Maryland, USA.
- Massachusetts State, 2006, Final Amendments Massachusetts Contingency Plan, 310 Cmr 40.0000, Massachusetts, USA.
- MDNR, 2001, Clean up Levels for Missouri-Tier 1 Soil and Groundwater Cleanup Standards, Missouri Department of Natural Resources.
- Ministry Of The Environment Government of Japan, 2005, Soil Contamination Countermeasures, Japan.
- Mississippi State, 2002, Department of Environmental Quality Risk Evaluation Procedures For Voluntary Cleanup And Redevelopment Of Brownfield Sites, USA.
- NEPC, 1999, Schedule B(1) Guideline On The Investigation Levels For Soil And Groundwater, Australia.
- New Jersey State, 1999, Soil Cleanup Criteria, New Jersey, USA.
- New York State, 2006, Development of Soil Cleanup Objectives Technical Support Document, New York State Department of Health, USA.
- Oregon State, 1998, Guidance For Ecological Risk Assessment: Levels I, II, III, IV, Oregon, USA.
- SAEFL, 1998, Derivation of trigger and clean up values for inorganic pollutants in the soil, Switzerland.
- SFT, 1999, Guidelines For The Risk Assessment Of Contaminated Sites, Norway.
- Texas State, 2001, Guidance For Conducting Ecological Risk Assessments At Remediation Sites In Texas, Texas Commission on Environmental Quality, USA.
- USEPA, 1996, Soil Screening Guidance : User's Guide, Washington DC, USA.
- Virginia State, 2006, Universal Treatment Standards, Department of Environmental Quality, Virginia, USA.
- VROM, 2000, Circular On Target Values And Intervention Values For Soil Remediation (Ministerie Van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening En Milieubeheer).