

위해성 기반 오염부지관리를 위한 정책 및 기술개발 방향

조명현^{1,2} · 김도형² · 백기태^{1*}

¹전북대학교 환경공학과 및 토양환경연구센터

²한국환경산업기술원

Future Direction on Policy and Technology Development for the Risk-based Contaminated Site Management

Myung-Hyun Cho^{1,2} · Do-Hyung Kim² · Kitae Baek^{1*}

¹Department of Environmental Engineering and Soil Environment Research Center, Chonbuk National University

²Korea Environmental Industry & Technology Institute

ABSTRACT

Korea and other countries have made various efforts to preserve soil. During the past several decades, Korea has implemented various policies on soil conservation practices; however, those policies have often lacked consideration of human and ecosystem risk management. While other countries have practiced various policies closely related to risk-based management for contaminated sites. Therefore, there is a great need for a paradigm shift of policy to better manage contaminated sites in risk-based strategies, while applying different management plans for soil and groundwater. In addition, the new policies should be administered with provision to improve soil health and related functions in ecosystem. This study has reviewed the trend in relevant policies in Korea and foreign countries to suggest the future policy directions for contaminated site management in Korea. For better management of contaminated sites, coherent policy that could complement the law, system, and relevant technology is required.

Key words : Risk-based, Contaminated site management, Policy, Technology development

1. 서 론

우리나라는 1980~1990년대 중화학공업 중심의 급속한 경제개발로 유류, 중금속 등 토양오염이 심화되었으며, 토양오염 관리를 강화하기 위하여 1995년 토양환경보전법을 제정·시행하였다.

법 시행이후 지난 이십년간 토양환경보전을 위한 다양한 정책이 추진되었으며, 초기 11종의 토양오염물질이 21종으로 확대, 토양정화검증제도 도입, 토양관련 전문기관 지정, 토양환경평가제도 및 위해성평가제도 도입 등 지속적인 제도개선을 추진하여 많은 발전을 이루었다(MOE, 2014). 하지만 그 동안 토양오염물질에 대한 오염기준을 설정하여 관리하는 오염물질 농도 위주의 토양관리 정책을 추진해 왔으며, 토양의 위해관리보다는 오염기준 준수

를 위한 조사 및 정화에 치중하여 인체 건강 및 환경상의 위해성 저감에 대한 고려가 미흡하였다. 결과적으로 오염도양의 정화를 위해 주로 오염농도 저감을 위한 물리·화학·생물학적인 기술들이 주로 적용되었고, 위해성 저감을 위한 차단·격리, 고형화·안정화 등의 기술의 개발 및 현장적용 사례는 거의 없는 실정이다(MOE, 2007a).

2005년 7월 오염부지의 특성 및 인체 위해도를 고려한 정화를 추진하기 위해 위해성 평가제도를 도입하였고, 최근 위해성평가대상 부지와 오염물질(TPH)을 추가하는 법률을 개정하는 등 다양한 노력을 기울이고 있다(MOE, 2017). 하지만 기준이내 정화가 원칙이고 극히 제한적으로 위해성평가를 적용하는 한계가 있어, 위해성평가제도 도입이후 현재까지 장항제련소 등 10건 내외 밖에 실시사례가 없는 실정이다(Park, 2017). 미국, 독일 등 해외국가

*Corresponding author : kbaek@jbnu.ac.kr

Received : 2017. 8. 25 Reviewed : 2017. 9. 4 Accepted : 2017. 9. 9

Discussion until : 2017. 12. 31

에서는 효율적인 오염부지관리를 위해 법적인 기준에 따른 일률적인 정화가 아닌 위해성평가 등을 통해 오염부지의 정화여부, 정화범위 및 방법 등을 합리적으로 결정하고 있다(US EPA, 2012; MOE, 2003b).

경제성 등 현실적인 문제를 고려하면 향후 국내에서도 위해성평가의 확대 추진 및 위해성기반 오염부지관리를 위한 정책, 제도 개선 및 기술개발 분야에서의 합리적인 추진 방안이 마련될 필요성이 있다.

따라서 본 연구에서는 국내·외 토양환경 관련 정책과 제도를 분석한 후 위해성 기반 오염부지관리를 위한 정책, 제도 및 기술개발에 관한 향후 추진 방향을 제안하고자 한다.

2. 국내외 동향

2.1. 국외동향

2.1.1. 정책방향

국외의 선진국들은 토양오염관리를 위한 기본 정책 중의 하나로 위해성기반 오염부지관리를 추진하고 있다.

미국에서는 토양오염과 관련하여 폐기물 처분지역과 유기성 고형폐기물이 주로 문제가 되어 폐기물처분지역의 정화 및 고형폐기물의 양적 규제에 관심이 크다. 이에 포괄환경대응보상책임법(CERCLA, Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act) 등 관련법을 제정하여 정책을 추진하고 있다. 특히 지하수를 음용수로 사용하는 비율이 높고 침출수 누출 등에 의한 토양오염에 기인한 지하수 오염이 많아 토양과 지하수를 개별 매체가 아닌 부지라는 포괄적인 개념으로 오염을 관리하고 있다.

CERCLA를 법적 근거로 하여 미국 환경보호청(EPA, Environment Protection Agency)에서 오염부지를 조사·평가하여 관리가 필요한 부지를 국가 우선목록(NPL, National Priority List)으로 등재하고, 등재된 부지에 대해서는 위해성평가를 통해 정화, 위해성 제거 및 모니터링 등의 관리를 추진하고 있다(US EPA, 2012).

한편, 미국 농무성(USDA)에서는 SMAF(Soil management assessment framework), LCC(Land capability classification)의 제안을 통해 토지의 이용목적 등 지역특성을 반영할 수 있고, 농업과 관련하여 잠재적인 토양유실을 예측하고 토양상태를 관리할 수 있는 8개 등급(Class)으로 분류하여, 이를 토양건강성 평가 등에 활용하고 있다(USDA, 2013).

유럽연합(EU)은 토양과 관련하여 The Life Programme

(The financial instrument for the Environment)의 LIFE and Soil Protection(2014-2020)을 통해 토양 관련 토양 피복(Soil Sealing), 토양생물다양성(Soil biodiversity), 토양탄소포집(Soil carbon capture), 토양모니터링(Soil monitoring), 물-토양연계(Water and Soil), 지속가능농업(Sustainable Agriculture), 토양오염(Land Contamination)의 8개 주요 이슈에 대한 투자 계획을 수립하고 토양오염과 더불어 토양 생태계 및 건강성과 관련한 정책을 추진하고 있다(EU LIFE Environment, 2014).

독일은 연방토양보호법(BBodSchG)을 법적 근거로 하여 토양오염을 방지하기 위해 잠재적 토양오염부지로 등록하여 조사 및 정화 등 관리하고 있고, 또한 『토양보전법』을 통해 표토 및 토양생물다양성 등을 보전하기 위한 정책을 추진하고 있다(Federal Ministry for the Environment, 2002).

영국은 토양오염과 관련하여 『Environment Act 1990』 및 『Environment Act of 1995』을 법적 근거로 하여 DEFRA(Department of Food, Environment and Regional Affairs)를 중심으로 정책을 추진하고 있고(DEFRA, 2009), 토양질과 관련하여 인자 개발 및 모니터링 등을 위해 다양한 연구를 진행하여, 토양질을 평가할 수 있는 지표를 개발하는 등 관련 정책 추진을 위해 노력하고 있다(EA, 2006).

네덜란드는 토양오염과 관련하여 토양보호법을 법적 근거로 하여 주정부 등이 오염부지에 대한 관리를 추진하는 동시에, 토양질 및 기능의 연관성과 관련한 연구를 통해 건강성 평가를 위한 지표를 제안하고, 이를 Dutch Soil Quality Network에 활용하는 등 관련 정책을 추진하고 있다(Chae et al., 2015).

앞서 살펴본 것처럼 미국 등 해외국가들은 오염부지관리를 위해 위해성을 고려한 오염기준을 설정하고 위해성평가를 통해 정화방법 등을 정하는 등의 관련 정책을 추진하고 있고, 특히 인체위해성 평가뿐만 아니라 토양질 및 건강성을 위한 토양건강성 평가를 도입하고 있다.

반면에 아시아권 국가들은 우리나라에 비해 토양오염관리를 위한 관련 법 제정 및 시행이 늦고, 국내와 마찬가지로 주로 오염농도 위주의 관리를 하는 등 위해성기반 오염부지관리 정책을 추진하지 않고 있다.

중국은 국무원, 환경보호부 주관으로 토양오염에 관한 최상위 정책인 “토양오염방지행동계획(土壤污染防治行動計劃的通知, 2016)”을 공포하고 오염토양의 관리를 위한 정책을 추진하고 있으나, 현재까지 토양 오염 관리를 위한 법률은 제정되지 못한 상황으로 현재 환경보호부, 농림부 등 관계부처의 의견수렴을 통한 “토양오염방지법(土

壤汚染防治法)의 제정을 추진 중에 있다(Chinese Ministry of Environmental Protection, 2017).

일본은 도시지역의 경우 토양오염 대책법(土壤汚染對策法, 2003)을 법적 근거로 하여 토양오염 현황 파악, 토양오염에 따른 건강피해방지 등과 관련한 토양오염 대책을 실시하는 등 오염토양의 관리를 위한 정책을 추진하고 있다. 다만, 사람의 건강보호와 생활환경의 보전 측면을 고려하여 토양오염대상물질 및 환경기준을 설정하고 있다(Japanese Ministry of the Environment, 2017).

2.1.2. 제도

2.1.2.1. 토양오염기준

미국, 독일 등 해외국가에서는 효율적인 토양오염 관리 및 토양오염을 판단하기 위해 오염물질 특성, 우선순위 등을 고려하여 법적인 기준을 설정하고 있다. 이는 오염기준을 활용하는 것이 오염유무에 대해 확인이 용이하고 수치에 의해 명확한 비교분석이 가능하기 때문이다(Park et al., 2005).

미국에서는 토양선별기준(SSL, Soil Screening Levels)을 이용하여 기준 이상의 부지에 대해 토지이용용도와 노출경로를 고려한 위해성평가를 하고, 그 결과를 통해 토양오염의 판단 및 토양복원기준을 설정하고 있다. 또한 토양오염물질의 우선순위를 정하여 관리하고 있는데, 유무기화합물 등 약 109개 토양오염물질을 규제항목으로 설정하고 있다(US EPA, 2012; MOE 2007b).

독일은 위해성과 토양의 종류 및 토지이용용도를 반영하여 조사기준(Trigger Values), 우려기준(Precaution Values) 등을 수립하고 있고, 중금속 등 약 30개 항목에 대한 조사기준(Trigger Values)을 설정하여 관리하고 있다(MOE, 2003b; MOE 2007b).

네덜란드에서는 인체 및 동식물에 대한 영향 및 잠재적 위해성에 근거한 목표기준(Target value) 등 3가지 기준을 수립하여 토양오염의 판단 및 복원기준을 수립하고 있다. 중금속 등 96개 항목을 토양오염물질 규제항목으로 설정하여 관리하고 있다(MOE 2007b).

위와 같이 미국, 독일 등에서는 법적인 오염기준을 도입하고는 있지만, 동 기준이 위해성 유무를 결정하는 절대적인 수치는 아니며, 오염물질의 농도와 위해성과의 불확실성이 존재하므로 오염토양의 정화를 위한 일률적인 정화기준으로 활용하지는 않는다. 다만, 토양선별기준(SSL, Soil Screening Levels) 등에 의해 오염유무를 1차적으로 확인하고 대책기준(RL, Response level)등 초과 시에는 토지이용용도, 부지특성, 인체 위해성 등을 고려한 위해성

평가를 통해 합리적인 정화기준을 설정하고 있다.

2.1.2.2. 위해성평가제도

미국, 독일 등 해외국가에서는 효율적인 토양오염 관리를 위해 부지특성, 배경농도, 인체 위해성 등을 고려한 위해성평가를 통해 정화기준을 설정하고 오염부지의 정화기간, 정화범위 및 방법 등을 결정하는 등 위해성기반의 합리적인 의사결정을 하고 있다.

미국의 토양오염지역 위해성평가는 토양환경의 복합적이고 부지특이적(Site-specific)인 특성을 고려하여 시행되고 있는데, 위해성평가를 위해 CSM(Conceptual site model)을 활용하여 부지조사(Site investigation)부터 사후관리단계까지의 체계적인 관리계획을 수립하고 있다(US EPA, 2001). Superfund 부지를 대상으로 위해성평가지침(RAGS, risk assessment guidance for superfund)에 따라 예비복원목표(PRG, preliminary remediation goals)를 설정하여 복원대책의 범위와 복원방법 등을 합리적인 수준으로 결정하고 있다(US EPA 1999). 특히 위해성평가와 관련하여 대상, 정화방법 및 기간 등에 제한을 두지 않고 있는데, 오염부지의 복원이후 사후관리를 위한 O&M기간은 일반적으로 30년이나, 부지특성 등을 고려하여 기간을 조절하고 있다(Park, 2017).

독일에서는 오염 의심부지에 대한 예비조사 및 정밀조사를 실시하여 대책기준 초과 시 오염부지로 확정하는 등 대상오염부지는 위해성평가를 통해 관리 되고 있고, 영국은 오염토양의 전체 관리과정을 Environment Act of 1995 PartII A(위해성평가)에 근거하여 위해성평가, 복원방법 선택, 위해성관리 등을 추진하고 있다(Park et al., 2005).

네덜란드에서는 토양보호법을 법적 근거로 하여 주정부 등이 오염부지에 대한 부지평가 및 위해성평가를 실시하여 오염정도가 “심각”하고 “긴급정화”가 필요한 경우에만 정화를 하고 있다(MOE 2007b).

미국, 독일 등 위해성평가를 도입하고 있는 대부분 국가에서는 법에 근거한 제도를 통해 토양오염 관리를 위해 복원목표를 결정하는 정책수단으로 활용하고 있었다. 특히 일률적인 정화가 아닌 토양오염기준과 연계하여 오염물질의 기준초과 여부에 따라 위해성평가를 진행하고, 이를 통해 정화기준을 설정하고 있었다.

2.1.2.3. 오염부지관리제도

해외에서는 토양오염에 대한 인식 수준이 높아 오염부지관리를 위한 부지이력제도 등이 사전 토양오염조사제도가 활성화 되어 있는데, 특히 미국, 독일 등 국가들은 오

염부지 관리를 위한 부지이력제도의 시행을 위해 법적 근거와 자료를 DB화하여 관리할 수 있는 정보시스템이 도입되어 있었다.

미국은 국내와 달리 토양오염측정망 등의 오염감시체계는 없으나, 민원이나 토지매매 과정에서의 사전조사 등에 의해 오염이 우려되는 경우 우선 부지환경성평가(ESA, Environment Site Assessment) 절차 등에 따라 조사한다. 이후 조사를 통해 확보된 데이터를 DB화하고 잠재오염부지로 등록하여 관리하는 부지이력제도를 통해 오염부지를 관리하고 있다(US EPA, 2012).

특히 주목할 점은 위해성평가와 관련하여 오염조사, 정화, 운영 및 관리(O&M) 등 일련의 과정에 대한 정보를 공개하고 있는 것이다(Park, 2017).

유럽연합(EU)에서는 지속적인 토양오염이 나타나고 있어 전체국가를 대상으로 오염부지가 있는 경우 잠재오염부지(PCS, Potentially Contaminated Site)로 등록하여 관리하고 있는데, 전체 약 250만 개소가 잠재적인 토양오염부지로 등록되어 관리되고 있다(Panagos et al., 2013). 더불어 오염부지 관리를 위해 각국의 오염관련 데이터 수집을 통해 오염부지 인벤토리를 수립하였다(Marc et al, 2014).

독일의 경우 토양보호법을 법적 근거로 하여 오염이 확인되었거나 우려가 있어 국민에게 심각한 피해를 끼칠 수 있는 산업부지, 유해물질 사고 부지 등을 잠재오염부지로 등록하여 오염부지를 관리하고 있다(Kerth, 2014).

네덜란드는 인구밀도, 지형 등의 국가적인 특성으로 인해 2000년대 초반부터 토양오염 인벤토리를 구축하였고, 조사완료부지, 잠재오염부지 등의 정보를 포함한 토양오염이력관리 제도를 실시하고 있다(Yoo et al., 2016).

2.1.3. 기술개발

앞서 언급한 토양오염기준 달성 및 위해성평가 수행을 위해서는 기술개발이 필수적으로 뒷받침되어야 하는데, 미국, 독일 등 국가에서는 위해성기반 오염부지관리를 위한 정책, 제도와 함께 단순히 오염저감만을 위한 것이 아닌 인체 위해성 등을 고려하여 다양한 기술을 현장에 적용하고 있다(US EPA 2012, Marc et al, 2014).

미국에서는 1980년대부터 Superfund 부지를 중심으로 오염부지관리를 위한 물리·화학적 처리(ex-situ physical and/or chemical treatments) 기반의 다양한 기술을 적용하고 있는데, 특히 국내에서는 적용되고 있지 않는 고품화안정화 기술의 적용비율이 실제현장에서 약 20%로 높게 나타나고 있다(MOE, 2007). 오염부지관리를 위해서는

특히 부지특성에 대한 조사를 위한 기술이 중요한데, 미국에서는 위해성평가를 위한 CSM(Conceptual site model)을 도입, 부지조사(Site investigation)부터 사후관리단계까지 오염 토양 및 지하수 관리를 위한 의사결정을 위한 틀로서 활용하고 있다(US EPA, 2001; US EPA 2003)

또한 기술의 개발을 위해 환경청(EPA)의 연구개발부서(ORD, Office of Resarch & Development)에서 ‘Land Protection’을 통해 토양·지하수 오염정화기술 관련 연구개발을 추진하고 있는데, 토양·지하수 관련 R&D예산은 2014년 기준 약1,960백만 달러로 전체 예산의 약 24%에 달하고 있다(U.S. EPA, 2015).

유럽연합(EU)에서는 오염부지의 용도, 기술의 적절성 등을 고려하여 물리·화학적 처리기반의 다양한 정화기술을 선택하고 있는데, 굴착 처리(excavation) 후 매립 등으로 처분(disposal) 방식이 전체 약 30%로 가장 높게 비중을 차지하고 있다(Marc et al, 2014). 매립공법은 국내 현행법상 법적인 정화기준을 만족하여야 하므로 국내에서는 적용하기 어려운 기술이다. 기술개발을 위해 Life Programme을 통해 중금속을 포함한 화학물질에 의한 토양 오염부지 확인 및 복원과 토양질의 위협요인(질소, 농약, 중금속 등)으로부터 토양질 보호와 관련된 과제를 추진하고 있다(EU LIFE Environment, 2014).

2.2. 국내동향

2.2.1. 정책방향

Table 1에 우리나라의 토양 및 지하수 관련 주요 계획을 제시하였다. 우리나라 토양환경분야는 토양환경보전법 제정 및 토양보전기본계획(2010~2019) 수립에 따라 각 부문별로 많은 발전을 이루어 왔고, 토양환경의 보전을 위해 다양한 정책을 수립하여 추진하고 있다. 토양환경보전법에는 “토양오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고, 오염된 토양을 정화하는 등 토양을 적정하게 관리·보전함으로써 토양생태계를 보전하고, 자원으로로서의 토양가치를 높이며, 모든 국민이 건강하고 쾌적한 삶을 누릴 수 있게 함”을 목적으로 하고 있는데, 현재까지 주로 토양오염 관리 중심의 정책을 추진하고 있다.

토양보전기본계획에서 국민건강중심·사전예방 정책강화를 위해 위해성을 고려한 토양오염물질 기준 설정 및 신규오염물질 기준 확대 등을 계획하고 있고 단계적으로 추진 중에 있다. 또한 합리적 토양관리기반구축을 위해 토양오염물질 배경농도 지도 작성, 국가정화우선순위제도(NPL) 등 해외 선진국에서 추진하는 제도의 도입을 시도하고 있다(MOE, 2009).

Table 1. Comparison of soil and groundwater related plans in South Korea

Category	Soil Conservation Master Plan (MOE, 2009)	Comprehensive Plan for Surface Soil Conservation (MOE, 2013)	Groundwater Management Master Plan (MOLIT, 2012)
Period	2010-2019 (10-year plan)	2013-2017 (5-year plan)	2012-2021 (10-year plan)
Vision	To create a healthy soil environment and greener society	To prevent the loss of precious surface soil resources and restore their functions	To ensure sustainable use of groundwater and improve the quality of life nationally
Major Tasks	<ol style="list-style-type: none"> 1. Protect public health and prevent issues <ul style="list-style-type: none"> · Set risk-based standards · Broaden the application of risk assessment 2. Lay the groundwork for soil management <ul style="list-style-type: none"> · Introduce the national remediation priority · Safeguard surface soil and prevent loss 3. Develop technology and foster human resources 4. Promote soil environment related industries 5. Build partnerships 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Build an investigation and evaluation system <ul style="list-style-type: none"> · Status investigation, value assessment · Investigation model, predictive system 2. Lay the groundwork for safeguard and rehabilitation <ul style="list-style-type: none"> · Prevent erosion and loss of surface soil · Identify conservation areas and rehabilitate 3. Build an infrastructure for surface soil conservation <ul style="list-style-type: none"> · Upgrade laws, institutional frameworks · Reinforce research and technological competence 	<ol style="list-style-type: none"> 1. To maximize the value and usage of groundwater 2. Protect groundwater for the future <ul style="list-style-type: none"> · Manage drinking springs, hot water springs 3. Safeguard and manage groundwater quality <ul style="list-style-type: none"> · Prevent contamination and follow up · Promote water quality management related industries 4. Inspect, monitor, and conduct research/development 5. Advance groundwater management <ul style="list-style-type: none"> · Laws, institutional frameworks, training, promotion

위해성 기반 오염부지관리와 관련하여 인체위해도를 고려한 위해성평가제도를 도입하였고, 최근 위해성평가대상 부지와 오염물질(TPH)을 추가하는 등 해외 선진국 제도의 벤치마킹을 통한 관련 정책의 확대를 추진하고 있다 (MOE, 2017).

한편, 기후변화에 대비한 토양환경관리범위 확대를 위해 2013년부터 표토보전종합계획(2013~2017)을 수립하여 표토보전 및 유실방지 체계 도입 등 추진하고 있으나, 토양질 및 토양건강성 관리를 위한 정책 추진은 미흡한 실정이다.

국내에서는 토양건강성과 관련하여 토양의 질 개념을 정의하고 토양질 지표 선정 및 평가체계를 제시하는 등의 관련 연구가 진행되었다(Ok et al., 2005). 토양건강성 (Soil health)은 일반적으로 토양질(Soil quality)과 비슷한 의미로 사용되는데, 토양생태계의 기능이 정상 작동하기 위한 토양의 능력으로 정의된다(Asensio et al. 2013). 최근에 토양생태계건강성 평가를 위한 평가기법 개발을 시도하였으나(Chae et al., 2015), 아직 기법 개발 등 연구 단계 수준에 머물러 있는 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

다. 특히 기존의 토양질 지표 대부분이 작물생산성 관련 지표로 산지 및 농업분야에서 주로 활용되고 있어, 현재 국내 토양오염관리 위주의 환경정책에 활용하기에는 한계가 있는 실정이다.

한편, 지하수정책은 지하수법 및 지하수 관리 기본계획 등에 의해 추진되고 있는데 지하수법의 경우 지하수 수자원의 수량관리 및 개발·이용에 관련된 제도 정립에 초점을 두고 국토부에서 관리하고 있다. 지하수 수질관리의 경우는 환경부에서 관리하고 있으나 지하수 수질기준 중 음용수는 먹는 물 관리법에서 관리하는 등 분산되어 비효율적인 측면이 있고, 토양 등 타매체와 지하수오염과의 연계성을 고려하고 있지 못한 측면이 있어 타매체와 연계한 통합관리방안이 필요한 실정이다.

2.2.2. 제도

우리나라에서는 토양오염관리를 위한 다양한 제도가 시행되고 있는데, 그 중 대표적으로 위해성 기반 오염부지관리와 직간접적으로 연관된 주요 제도의 현황 및 한계점을 살펴보면 다음과 같다.

2.2.2.1. 토양오염기준

현행 토양환경보전법 상 오염기준은 토지용도별(1, 2, 3 지역)로 우려기준 및 대책기준으로 구분되는데, 이는 외국의 사례에서도 볼 수 있듯이 오염유무의 신속한 판단과 수치에 의한 명확한 비교분석에는 장점이 있다. 다만, 현행법 상 오염물질대상은 TPH 등 21개 항목이고 특히 위해성평가 대상 항목은 13개 항목으로 국외에 비해 많이 부족한 상황으로 향후 단계적, 장기적으로 물질의 확대가 필요할 것이다. 현재 위해성평가 대상물질을 단계적으로 토양오염물질 21종으로 확대하는 것을 추진하고 있는데, 선진국의 사례와 같이 토양오염물질 외에도 독성이 있거나 미확인 물질에 대한 사전예방 차원의 접근이 위해성평가제도의 안정성을 담보할 수 있을 것이다. 특히 외국의 경우처럼 법상 오염물질이 아니더라도 토지용도, 부지특성 등에 따라 위해성평가의 대상이 될 수 있도록 하는 등 합리적인 의사결정을 통해 기준설정이 가능하도록 하는 것이 필요하다.

한편 현행 우려기준은 사람의 건강에 대한 영향을 줄 수 있는 토양오염기준으로 한다고 정해져 있으나, 실제로는 인체 위해성 평가를 위해 활용이 되지 못하고 있다. 일부 위해성평가 대상을 제외하고는 우려기준을 일률적으로 정화기준으로 적용하여 토양오염의 조사 및 정화 시에 부지 특성, 위해성 등을 반영하지 못하는 한계가 있다.

외국의 사례에서 보듯이 토양오염기준은 반드시 인체 및 토양생태계의 위해성이 반영되어야 하고 위해성평가의 결과는 오염토양의 정화기준과 연계되어야 한다. 국내에서는 대부분의 정화사업에서 부지특성, 배경농도, 위해성 등에 대한 고려 없이 우려기준이 일률적인 정화기준으로 적용되고 있다. Park(2005) 등은 위해성평가와 토양오염기준을 연계시키는 것과 관련하여 몇 가지 방안을 제시하였는데, 국내 현실을 고려해 볼 때 위해성기반 오염부지관리를 위해서는 우려기준 초과 시 위해성평가를 실시하여 우려기준과 대책기준의 사이에서 정화기준을 설정하는 것이 가장 합리적인 방법으로 판단된다. 다만 우려기준의 초과 시 오염원의 차단, 격리 등 긴급한 조치는 선행되어야 할 것이다. 한편, 일반적으로 토양 및 지하수 오염은 연계성이 매우 높는데, 국내의 토양오염기준은 지하수 수질기준과의 연관성이 낮은 것으로 보인다.

2.2.2.2. 오염조사제도

현행법상 토양오염조사제도는 토양오염도 검사, 정밀조사, 토양환경평가제도가 있다. 토양오염도검사는 석유류 제조 및 저장시설 등 특정토양오염관리대상시설 주변지역

에 대해 토양오염여부를 확인하고 있고, 정밀조사는 오염개연성이 높은 오염우려지역(산업단지, 주유소, 매립시설 등)에 대해 오염토양의 조기 정화 등을 목적으로 실시하고 있다. 앞서 언급한 것처럼 토양 및 지하수 오염은 연계성이 매우 높는데, 국내의 토양오염기준은 지하수 수질기준과의 연관성이 낮고 위해성평가를 위한 기준이 아니므로 위해성기반 오염부지관리를 위한 기준 설정 등을 통한 조사제도의 개선이 필요할 것이다. 미국은 토양오염의 우려가 제기되는 경우 지하수 영향까지 고려하여 부지환경평가(ESA, Environmental site assessment)실시하고 있다.

한편 현행제도 상 정화책임자가 조사기관을 선정하고 비용을 직접 지불하는 문제점이 있는데, 향후 실효성 있는 토양오염의 조사를 위해서는 조사기관의 선정, 비용 지불 등 일련의 과정을 국가에서 체계적으로 관리할 수 있도록 공탁제도 등의 도입이 필요할 것이다.

토양환경평가제도는 토양오염의 우려가 있는 토지 등 거래 시 오염여부를 확인하기 위한 제도인데 현행법상 임의규정으로 되어 있어 활용도가 낮은 한계가 있다. 효율적인 토양오염의 관리를 위해서는 오염조사 단계부터 정화, 사후관리까지의 지속적이고 체계적인 관리가 필요한데, 현행제도 상 토양오염도 검사 주기가 길고 오염발견율이 낮은 등의 한계가 있어 토양환경평가의 활성화를 통한 보완이 필요하다.

2.2.2.3. 위해성평가제도

위해성평가제도는 오염토양의 일률적 정화를 지양하고, 오염부지의 특성 및 인체 위해도를 고려한 합리적인 정화추진을 위해 도입된 제도이다. Table 2에 국내 위해성평가제도 관련 제도, 기술의 현황 및 문제점을 제시하였다. 위해성평가제도 도입이후 현재까지 장항제련소 등 10건 내외 밖에 실시사례가 없다(Park, 2017). 이는 대상부지를 오염된 국가 부지 등으로 한정하고 대상물질을 제한하는 등의 관련 제도 및 위해성 평가기법의 미비, 정화기술 미흡 등 기술적인 한계 때문이다.

최근에 위해성평가와 관련하여 도로, 철도, 건축물 하부 등 정화가 어려운 부지를 평가대상에 포함하고, 오염물질에 TPH를 추가하는 등 법령 개정을 통해 적용 확대를 추진 중이다. 우선 위해성평가 대상을 현행 국가부지 등 외 정화관련 부지로 확대하고 추후 민간부지 등 전체로 확대하는 방안을 검토할 필요가 있다. 향후 위해성기반의 오염부지관리를 위해서는 위해성평가를 통해 위해성이 높은 곳은 오염원 차단·격리, 오염물질 제거(Removal) 등 긴급하게 조치하고, 이후 위해성 저감을 위한 정화기

Table 2. Status and issues of risk assessment in South Korea

Category	Status and Issues
System	<p>① Risk assessment is applied only to contaminated national land, etc.*</p> <p>* ① Contaminated national lands</p> <p>② Sites where the head of the local government remediate contaminated soil because responsibility for remediation has not been assigned to another specific entity</p> <p>③ Lands contaminated due to natural causes (other private lands and sites that are contaminated are excluded).</p> <p>※ Ten risk assessments conducted since the system was established in July 2005.</p>
	<p>② Risk assessment is applied only for specific substances (13 substances out of 21 identified soil contaminants in South Korea)*</p> <p>* Heavy metals (8): cadmium, copper, arsenic, mercury, lead, hexavalent chromium, zinc, nickel</p> <p>* Oils (4 types): benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, Others (1 type): fluorine</p>
	<p>③ Follow-up is inadequate, and detailed guidelines for each step must be established</p> <p>※ Currently, monitoring is only required every two years after the initial risk assessment, the results of which are be submitted to the Ministry of Environment for revalidation of the timing of remediation.</p>
Technique	<p>① Remediation is delayed at sites where remediation is unfeasible* (e.g., roads, railways) due to caking, stabilization, or inadequate development of in-situ remediation techniques</p> <p>* Sites where effective remediation is unlikely due to the limitations of current remediation technologies and/or where the excavation of contaminated soil is difficult to complete due to building location above/underground</p>
	<p>② Ecological risk assessment of soils is inadequate,* and human health risk assessment of soils must be modified to match the unique conditions of South Korea. The on-site use of these techniques may result in compromised accuracy</p> <p>* Most are for use in laboratories, necessitating the development of in-situ ecological toxicity and risk assessment techniques</p>

술 적용을 통해 정화(Remediation)하고 중장기적인 모니터링을 수행할 필요가 있다.

앞서 언급한 외국의 사례와 같이 위해성평가를 통한 정화방법 및 기간 등에 제한을 두지 않고, 복원이후 사후관리를 위한 지속적이고 장기적인 관리가 필요하다. 또한 위해성평가가 정화책임자의 책임을 피하는 도구로 악용되지 않도록 정부차원의 체계적인 관리와 정화기금 부담 등 정화책임의 이행을 위한 제도의 도입도 필요하다.

2.2.2.4. 정화체계

현행 토양의 정화체계는 부지특성, 위해도 등 고려 없이 최장 4년 내에 일률적으로 법적기준 이내로 정화하도록 규정하고 있다. 이는 오염부지의 특성에 대한 고려가 어렵고 정화비용이 과다 소요될 우려가 있으며 실제로 부지 및 오염물질의 특성 등에 따라 정화기간 내에 법적기준 이내로 정화가 어려운 경우도 있다.

우려기준 이내로 정화가 완료되었다 하더라도 인체 위해성을 반영하지 못하는 법적인 기준만을 고려하기 때문에 실제 위해성의 저감정도를 정량적으로 확인할 수 없는 한계가 있다. 반면에 미국 등 국외에서는 위해성평가를 통해 인체위해성을 고려한 정화기준을 설정하고 위해성 저감을 위한 정화기간 및 방법 등을 적용하고 있다. 또한 현행법상 오염확산 차단·방지, 고형화·안정화 등 기술이 정화방법에서 배제되어, 관련 기술의 연구개발(R&D)

및 현장적용에 제약이 되고 있다. 앞서 언급한 국외 사례에서처럼 오염토양의 정화를 위하여 고형화·안정화 등 위해성기반 오염토양관리를 위한 다양한 기술의 개발 및 현장적용이 필요하다.

2.2.2.5. 사후관리

오염된 토양의 사후관리와 관련하여 현재는 정화완료 이후 토양질 및 건강성에 대한 고려 없이 오염물질의 법적기준 만족여부 위주로 검증을 진행하고 있다. 특히 위해성평가에 의한 정화기준 만족여부를 객관적으로 검증하고 상시 모니터링 하는 것이 매우 중요한데 이를 위해 현행 사후관리체계 및 평가단계별 세부관리 지침의 보완이 필요할 것이다. 현행 위해성평가제도에서는 최초 검증 이후 2년마다 모니터링 실시, 그 결과를 환경부장관에게 제출하여 정화시기를 재검증 받도록만 규정되어 있어 위해저감 여부, 검증 주기 등 구체적인 내용이 미흡한 실정이다. 안윤주 등(MOE, 2008)은 관련 연구를 통해 미국 등 선진국의 제도를 분석하여 국내 위해성평가 제도의 보완지침 마련, 토양오염기준과의 연계방안 등을 제시하였으나, 기본적인 독성자료, 평가방법론 등 외국의 것을 그대로 활용하는 한계가 있어 추가적인 연구가 필요하다. 특히 오염부지의 정화/복원이후 사후관리를 위한 운영관리(O&M)에 대한 제도 개선이 시급한 실정이다.

미국에서는 오염부지의 복원이후 사후관리를 위한

O&M기간이 일반적으로 30년이고, 위해성평가와 관련하여 오염조사, 정화, 운영 및 관리(O&M) 등 일련의 과정에 대한 정보를 공개하고 있다. 위해성평가 제도의 확대를 위해서는 미국의 사례와 같이 토양오염이력 등을 D/B화하여 제공할 수 있는 정보시스템을 구축하여 일련의 과정에 대해 상시적으로 감시하는 것이 중요할 것이다.

기존 검증절차와 관련하여 현재는 오염원인자(또는 정화책임자)가 오염토양을 정화하기 위하여 토양정화업자에게 토양정화를 위탁하는 경우 토양오염조사기관이 정화과정 및 정화완료에 대한 검증을 하게 되는데, 오염원인자인 발주처가 비용을 직접 지불하고 있어 정화품질 등 관리에 한계가 있는 실정이다.

또한 정화 후에 법적인 기준치 이내로 만족은 했으나 여전히 오염물질이 잔류하는 경우가 있고 토양 pH 변화, 유기물질 감소 및 구조 파괴 등 토양질 및 기능이 저하되는 경우가 많아 정화도의 재활용이 미흡한 실정이다. 또한 산업부산물(도로 기층재 등) 및 유사토양과 관련하여 폐기물관리법 및 재활용환경성평가제도와 연계되어 있어 활용도가 낮고 관리가 미흡한 실정이다.

2.2.3. 기술

Table 2에서 제시한 것처럼 위해성평가 기반 오염부지관리를 위한 국내 기술의 문제점은 크게 두 가지로 제시할 수 있다. 첫째로, 정화기술 개발의 미흡 및 현장적용 사례의 부재이다. 위해성기반 오염부지관리를 위해서는 부지특성의 조사를 위한 조사기술, 기존 정화기술 외에 오염확산방지를 위한 차단·격리, 고형화·안정화 등 기술이 필요한데, 국내에서는 관련 기술의 개발이 미흡한 실

정이다.

Table 3에 환경부 환경기술개발사업 현황을 제시하였다(MOE, 2012). 토양지하수분야와 관련한 R&D는 주로 환경부에서 추진하고 있는데 1992년 G7환경기술개발사업을 통해 환경R&D의 기반을 확보하였으나, 토양분야는 유류오염 토양 및 불량매립지 정화기술 개발에 한정하여 추진되었다.

2001년 차세대핵심환경기술개발사업을 통해 관련 분야 R&D를 확대 추진하였으나 조사기술, 사전예방 등 기술분야의 개발이 많이 미흡하였다. 2008년부터 시작한 토양·지하수오염방지기술개발사업을 통해 본격적으로 토양분야 관련 4대 중분야(사전예방, 오염조사, 오염정화, 사후관리) 기술을 개발하였고, 이를 통해 주요기술의 국산화를 통한 우리나라 토양·지하수 환경시장의 상당부분을 국내기술로 대체하는 데까지 이르렀다.

동 사업은 토양지하수분야 전주기 관리기술의 개발을 위해 2008년부터 2017년 현재까지 10년간 추진 중에 있고 전체 사업비가 국고기준 약 1,380억원이 투입되었다. 특히 오염정화 기술개발과 관련하여 많은 투자가 있었는데, 지금까지의 기술개발은 오염부지 특성, 위해성 등에 대한 고려가 부족하고 일률적으로 오염농도를 저감하는 굴착방식 위주로 개발이 진행되어 원위치 처리기술 및 부지특성 조사, 위해성기반 정화기술 등의 개발이 미흡하였다(KEITI, 2015).

또한 지속적인 R&D 투자에도 불구하고 국내기술 수준은 선진국의 74.5%정도(KISTEP, 2015)에 머물고 있고, R&D투자를 통해 개발된 기술이 여러 가지 상황에 의해 아직까지 시장에 진입하는데 한계가 있는 실정이다.

Table 3. Status on environmental technologies development projects funded by Ministry of Environment (Korea)

Category	G7 Environmental Technology Development Project	Core Environmental Technology Development Project	Geo-Advanced Innovative Action Project (Preventive Technology Development Project for Soil & Groundwater Contamination)
Period	1992 - 2001	2001 - 2010	2008 - 2017
Goal	To improve environment-related technologies to match the quality found in G7 nations	To become one of the world's top five countries with respect to key technology (2010)	To replace 90% or more preventative technologies with domestic technologies
Technology development	Focus investment in specific mediums: air, water, and waste (soil - partial)	In-situ rehabilitation and remediation of contaminants in soil and groundwater near substandard landfills and/or closed mines	Development of life-cycle contamination management technologies for soil and groundwater (prevention, investigation, remediation, and follow-up)
Limitations	Limited to the remediation of soil contaminated by oil/substandard landfills	Insufficient development in investigation (e.g., identification of pollution sources) and preventative technology	Focused on ex-situ technology; insufficient focus on the investigation of site characteristics, risk-based remediation technology, etc.

Source: Ministry of Environment (2012), Environmental Technology Roadmap (Eco-TRM 2022)

한편, 토양환경보전법 제정 이후로 초기에는 주로 유류소 등 유류오염토양 위주의 정화기술이 사용되기 시작하여, 오염정화를 위한 물리·화학적 처리(ex-situ physical and/or chemical treatments) 기반의 다양한 기술을 적용하고 있다. 하지만 미국 등과는 달리 국내에서는 위해성의 차단·방지를 위한 고형화/안정화 등 기술이 현행법상 정화방법에서 배제되어 현장에서 적용되고 있지 않고, 유류오염의 경우 토양경작, 중금속오염의 경우 토양세척기술이 주로 적용되고 있는 실정이다(MOE, 2007a). 따라서 향후 위해성기반 오염부지관리를 위해서는 기술개발 R&D를 통해 관련 기술을 개발하고, 이를 실제 정화사업 등에 활용할 수 있도록 다양한 노력이 필요할 것이다.

둘째로, 과학적, 기술적으로 검증된 국내에 적합한 토양 위해성평가 모델의 개발이 미흡한 실정이다. 지금까지 토양오염 위해성평가를 위한 많은 연구가 시도되었으나, 주로 인체위해성평가 위주로 진행되었고 물질별 노출경로 설정 등 일부 과학적인 보완이 필요하다. 또한 생태위해성평가 분야 기술은 주로 실험실 규모로 진행되어 현장 적용성이 미흡하다(MOE, 2003a; MOE, 2008).

현행 토양위해성 평가지침은 선진국의 위해성평가모델(미국 CalTOX 등)에 근거하여 물질별로 노출경로를 선정하는 “인체 노출경로 선정 추진도”를 통해 위해성을 평가하고 있다(MOE, 2008). 위해성평가에서는 오염물질별로 노출경로가 다를 수 있어 경로가 중요한데, 이에 범상 지정된 오염물질 외 신규 물질에 대한 노출경로를 보완하는 등 인체 위해성평가 기법의 고도화가 필요하다.

특히 토양생태위해성평가와 관련하여 지금까지 대부분 실험실 규모의 연구가 시도되었으나 원위치에서 적용 가능한 현장스케일의 생태독성평가 및 생태위해성 평가기술의 개발은 미흡한 실정이다. 향후 생태독성 측정기술(측정키트 등), PC기반 위해성평가 소프트웨어 등 개발이 필요하다. 독성자료, 평가기법 등 대부분 외국의 것을 그대로 활용하고 있어 궁극적으로는 국내 현실에 맞는 평가기법으로의 개선이 필요할 것이다.

이와 같이 위해성기반 오염부지관리를 위해서는 기술개발이 필수적으로 뒷받침되어야 하므로, 향후 관련 정책 및 제도를 효율적으로 추진하기 위한 토양지하수분야 기술개발이 지속적으로 추진되어야 할 것이다. 특히 미국의 CSM모델과 같은 부지특성 조사기술, 인체 및 토양생태위해성평가 기술과 오염물질의 확산·차단방지를 위한 고형화·안정화 등 기술개발을 통한 기술의 다양화가 필요할 것이다. 또한 기술개발을 위해서는 실험, 과학적인 검증 등 비교적 많은 시간이 소요되므로 제도 도입을 위해

적기에 활용될 수 있도록 향후 선제적이고 체계적인 기술개발 R&D 추진이 필요할 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시사점

앞서 살펴본 바와 같이 미국, 독일 등 해외국가에서는 효율적인 토양오염 관리를 위해 위해성평가를 통해 정화기준을 정하고 오염부지의 정화여부, 정화범위 및 방법 등을 결정하는 위해도 기반 오염부지관리를 도입 및 실시하고 있다. 대부분의 국가에서 그렇듯 위해성평가 기반 오염부지 관리를 위해서는 정책, 제도 및 기술 등이 연계되어 추진되고 있었다.

정책과 관련하여 해외국가들은 오염부지관리를 위해 위해성을 고려한 오염기준을 설정하고 정화방법 등을 정하는 등 인간 건강 및 환경안전성을 고려한 정책을 추진하고 있고, 특히 인체위해성 평가 뿐만 아니라 토양질 및 건강성을 위한 토양건강성 평가를 도입하고 있다. 위해성평가 확대를 통해 인간의 건강에 대한 위해여부는 고려될 수 있지만, 여전히 토양의 질 및 토양생태계에 대한 건강성평가에 대한 고려는 미흡할 수 있다. 따라서 향후 정책의 방향은 위해성기반의 오염부지 관리와 더불어 토양의 질 및 건강성을 고려한 토양건강성평가가 병행되어야 할 것이다.

제도와 관련하여 해외국가들은 기본적으로 다양한 오염물질에 대해 기준을 설정하고 위해성평가를 실시하여 정화기준을 정하는 등 체계적으로 관리하고 있다. 오염기준, 오염조사, 위해성평가 등 제도는 각각 독립적인 것이 아니라 연계하여 일관되게 개선하는 것이 중요하다. 향후 위해성기반 오염부지관리를 위해서는 오염기준과 관련하여 범상 오염물질 및 기준과는 관계없이 신규오염물질, 화학물질 등에 대해서 위해성평가를 실시하거나 대상 오염물질을 선진국 수준으로 대폭 확대하는 것이 필요하다.

또한 사후관리체계와 관련하여 위해성평가에 의한 정화기준 만족여부를 검증하고 모니터링 하는 것이 매우 중요한데 이를 위한 합리적인 수준의 제도개선이 필요할 것이다. 위해성평가와 관련하여 대상, 정화방법 및 기간 등에 제한을 두지 않고 오염조사, 정화 및 운영 및 관리(O&M) 등 일련의 과정에 대한 정보를 공개하는 것이 중요할 것이다. 특히, 기존의 적극적인 정화가 아닌 위해성평가를 통한 오염확산 방지 등의 기술 적용 시에는 오염부지의 복원 이후 사후관리를 위한 운영 및 관리(O&M) 기간을 10년 이상 장기간으로 설정하고, 기준, 방법 등을

명확히 하여 위해성 저감을 위한 체계적인 관리가 중요할 것이다.

기술과 관련하여 해외국가들은 일률적인 정화 위주가 아닌 위해성 등을 고려한 합리적인 의사결정을 통해 정화 기술을 적용하고 있는데, 국내에서는 현행법상 적극적인 정화위주의 기술이 현장에 주로 적용되고 있어 향후 위해성 기반 오염부지관리를 위해서는 부지특성조사기술, 정화 및 사후관리를 위한 기술 등이 전반적으로 필요한 실정이다.

특히 미국의 CSM모델과 같은 부지조사 및 고형화·안정화 등 오염확산 차단방지를 위한 기술개발을 통한 기술의 다양화가 필요하다. 또한 위해성평가가 과학적인 근거에 기반한 평가기법이지만 하지만 독성자료 등 주요한 데이터를 대부분 해외국가의 D/B에서 활용하는 등 불확실성이 있기 때문에 국내 현실에 맞는 기법으로의 개선이 필요하다. 더불어 원위치에서 적용 가능한 현장스케일의 생태독성평가 및 생태위해성 평가기술의 개발도 필요하다.

위해성기반 오염부지관리의 효율적인 추진을 위해서는 정책, 제도 및 기술개발의 3가지 요소가 각각 독립적인 것이 아니라 적절하게 연계통합 추진되어야 한다는 시사점을 종합적으로 얻을 수 있었다. 예를 들면 위해성평가를 하기 위해 위해성평가에 의한 정화기준 설정, 정보시스템을 포함한 부지이력제도 등의 제도가 동시에 운영되어야 하고 위해성평가 절차, 방법론 등과 오염부지를 정화하기 위한 기술은 기술개발 등을 통해 과학적, 객관적인 검증을 통해 도입해야 할 것이다.

아울러, 위해성평가제도의 국내 확대도입을 위해서는 기존 정화방법과의 구체적인 비교와 함께 제도를 도입함으로써 발생할 수 있는 문제점과 해결방안에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

Table 4에 기존 정화방법과 위해성평가를 통한 정화방

법의 장단점을 비교하였다. 위해성평가 기반 정화방법의 장점으로는 첫 번째로, 직접정화비용이 감소하는 것인데, 최근 한국환경공단에서 수행하는 구)장항제련소 주변(송림숲) 오염토양 정화사업의 경우, 기존의 직접정화 시 정화비용은 약 302억원, 위해성평가에 따른 대안공법 적용 시 정화비용은 약 164억원으로 약138억원정도 저감되는 것으로 보도된 바 있다. 이는 특정지역에서의 사례연구로서 모니터링 등 미래에 발생할 비용에 대한 불확실성이 포함되어 있어 일반화하는 것에는 한계가 있지만 직접정화비용이 일부 감소될 것은 예상할 수 있다. 두 번째로, 인체위해도 수준에 따른 합리적인 오염부지 관리 가능할 것이다. 토양오염우려기준 초과여부와 관계없이 오염물질의 종류 등에 따라 위해도는 다르게 나타날 수 있는데, 위해성평가를 적용할 경우 오염부지의 오염물질 형태, 위해성 등을 고려하여 정화 기술 등을 합리적으로 적용할 수 있고 위해도 저감수준의 확인이 가능할 것이다. 세 번째로, 정화 기간, 방법 등을 합리적으로 적용 가능하게 하여 기업 등 정화책임자의 자발적인 참여 유도 및 오염부지 관리 노력 제고가 가능할 것이다. 우선 오염이 확인되면 오염원의 차단차폐 등 위해성 저감을 위해 신속하게 조치하고 이후에 위해성평가 결과를 기반으로 부지 맞춤형 정화기술 적용 및 사후관리 추진 등 합리적인 위해차단이 가능할 것이다. 앞서 언급한 것처럼 현행 정화체계는 법적으로 정화기간 등을 일률적으로 규정하고 있어 오염부지의 특성 및 위해성 등에 대한 고려가 어렵고, 실제로 정화책임자의 정화의지가 있는 경우에도 기술적인 한계 등으로 법적인 정화기간 내에 우려기준 이내로의 정화목표의 달성이 어려운 경우가 있을 수 있다.

반면에 단점으로는 첫 번째로, 안정화 등 차단기술의 경우 궁극적인 오염물질의 제거 방법이 아니므로 정화이후

Table 4. Comparison of conventional remediation and risk-based remediation techniques

Category	Conventional Remediation Techniques	Risk-based Remediation Techniques
Strength	① Removal of contamination at its source	① Reduced cost of remediation
	② Remediation promptly confirmed in light of remediation requirements	② Management of contaminated sites considering specific contamination, site characteristics, risks to human health and etc.
	③ Strict legal requirements and responsibilities for remediation	③ Reasonable applicability (e.g., remediation period, methods), encouraging voluntary participation by those responsible for remediation
Weakness	① Direct cost of remediation is high	① Follow-up (e.g., continued/long-term investigation, monitoring) costs incurred
	② Unlikely to consider different factors such as site characteristics and risks to human health	② Delay in the verification of the completion of remediation and repeated complaints
	③ Indiscriminate application of legal requirements (e.g., remediation period)	③ Scientific/technological uncertainties regarding risk assessment

Table 5. Issues and resolutions for the introduction of risk assessment

Category	Issue	Resolution
Interested Parties	Exacerbated moral hazards of those responsible for remediation	<ol style="list-style-type: none"> 1 Prevent moral hazards by improving the system (e.g., reinforced monitoring and follow-up validation) <ul style="list-style-type: none"> ※ External disclosure of long-term (10 years or longer) monitoring results and other relevant information 2 Introduce legal requirements and revise relevant laws and regulations to enforce remediation responsibilities
Infrastructure	Lack of risk assessment experts and dedicated institutions	<ol style="list-style-type: none"> 1 Institute legal requirements designed to expand expert training programs and give status to relevant expert institutions 2 Develop detailed guidelines* for each assessment step to ensure efficiencies of such institutions <ul style="list-style-type: none"> * Guidelines on the selection of substances subject to risk assessment, assessment of carcinogenic and non-carcinogenic toxic unit, applicability, etc.
Legal Conflicts & Complaints	Potential legal dispute and complaints regarding the broader applicability of risk assessment	<ol style="list-style-type: none"> 1 Come up with scientific/technological resolutions to address legal disputes/complaints <ul style="list-style-type: none"> ※ Introduce polluter detection/tracking technologies 2 Leverage the expert pools (e.g., the Advisory Committee for Soil Remediation) 3 Revise laws and regulations on risk assessment (e.g., Soil Environment Conservation Act)
Technology	Inadequate development and site application of risk assessment technology	<ol style="list-style-type: none"> 1 Develop technologies that address the issues by implementing underground environment R&D projects <ul style="list-style-type: none"> * Evaluation of site applicability of risk assessment and test on contaminated sites 2 Introduce relevant technologies from overseas or utilize domestic technologies of other fields (e.g., civil engineering)

에도 지속적, 장기적인 모니터링 등을 위한 사후관리 비용이 발생할 것으로 예상된다. 앞서 살펴본 국외 사례를 보면 일반적으로 30년 이상 모니터링 하는 등 장기간 사후관리를 하고 있고 안정화 등 차단기술의 적용 후 위해도가 저감되지 않는 경우에는 추가로 정화를 하고 있어 궁극적으로 기존 정화방법에 비해 더 많은 비용이 발생할 수도 있을 것이다. 두 번째로, 정화 완료 판단을 위한 위해도 저감수준에 따라 정화 완료 시점 등이 달라질 수 있어 해당부지의 정화 완료 판단이 지연 되고, 이에 따른 장기적인 모니터링 등에 의한 지속적인 민원발생의 소지가 있을 수 있는 단점이 있다. 아울러 오염원이 완전히 제거되지 않은 상황으로 인한 오염 확산 등의 우려가 있을 수 있다.

한편 본 연구를 통해 도출한 위해성평가제도의 도입 시 발생할 수 있는 문제점 및 해결방안을 Table 5에 제시하였다. 제도도입에 따른 발생가능한 문제점은 첫 번째로 정화책임자의 도덕적 해이 가중이 예상되는데, 모니터링, 사후검증 강화 등 제도개선을 통해 도덕적 해이를 사전에 예방해야 할 것이다. 두 번째로, 실제로 위해성평가를 수행할 수 있는 전문 인력과 평가기관이 부족한 것인데, 해

결을 위해서는 전문인력 양성을 위한 교육 프로그램 확대, 전문기관의 위상 제고 등을 위한 법적 근거를 마련하여야 하고 전문기관의 업무수행 효율화를 위한 평가 단계별 세부 지침을 고도화해야 할 것이다. 세 번째로, 위해성평가 확대에 따른 법적인 분쟁과 민원발생이 예상되는데, 이는 법적 분쟁 오염원인자 확인·추적기술 도입 등을 통한 과학적/기술적 해결책을 마련함과 동시에 토양정화자문위원회 등 관련 분야 전문가풀을 적절하게 활용하여야 할 것이다.

마지막으로, 앞서 언급한 것처럼 위해성평가 관련 기술 개발 및 현장적용 사례가 미흡한 부분이 주요한 문제가 될 수 있다. 이와 관련 단기적으로는 활용 가능한 국외 기술 및 국내 타 분야(토목 등) 기존 기술의 도입을 통해 임시방편적인 대응이 필요하고, 중장기적으로는 향후 추진 예정인 지중환경 R&D사업을 통해 실제 오염 부지를 대상으로 위해성평가 관련 현장 적용성 평가 및 실증연구를 진행하여 기술을 개발하고 고도화해야 할 것이다.

3.2. 향후 추진방향

위에서 살펴본바와 같이 현재까지 국내 토양지하수 분

아에서는 위해성평가제도를 도입은 하였지만 주로 오염관리 위주의 정책을 추진하고 있어, 그 적용사례는 극히 제한적이었다. 반면에 미국, 독일 등 선진국에서는 대부분 위해성평가를 통해 오염부지의 정화여부, 정화범위 및 방법 등을 합리적으로 결정하고 있고, 최근 국내에서도 위해성평가의 대상 등 확대에 대한 논의가 있어 향후 위해성기반 오염부지관리를 위해 다음과 같은 추진방향을 제시하고자 한다.

3.2.1. 정책방향

향후 정책의 추진방향은 기존의 오염농도 중심 및 개별 매체별 관리 중심에서 위해성 기반 매체통합 부지관리의 패러다임으로 전환해야 할 것이다. 단기적으로는 위해성평가의 대상 및 물질을 단계적으로 확대해나가는 동시에 정화체계의 전면 개편이 필요할 것이다. 또한 EU등 선진국에서 도입하고 있는 토양질, 기능 등을 고려한 토양건강성 관리를 위한 정책을 추진해야 할 것이다. 토양건강성 관리를 위해서는 오염조사 및 정화 체계와 연계한 종합적인 토양질 확보와 인간의 건강 등을 고려한 토양건강성 지표 개발 및 평가체계 도입이 필요할 것이다. 이를 활용하여 정화토의 토양건강성 평가를 실시하는 등 토양건강성 관리를 위한 체계적인 정책 추진이 필요하고, 더

불어 효율적인 정책 추진을 위한 제도 개선 및 기술개발이 이루어져야 할 것이다.

3.2.2. 제도

앞에서 제시한 토양환경정책 추진방향에 따라 정책을 추진하기 위해서는 여러 가지 제도개선이 필요하고, 이를 뒷받침하기 위한 기반구축이 필요하다. Table 6에 위해성기반 오염부지관리를 위한 주요 제도에 대한 개선 방향을 제시하였다.

우선 규제대상 오염물질을 확대하고, 위해성에 따라 관리할 필요가 있다. 토양오염기준 설정시 위해성을 기반으로 오염물질을 단계적으로 확대해 나가고, 용도별, 지역별로 설정된 오염기준을 오염물질 및 부지 특성, 배경농도 등을 고려하여 설정하도록 개선이 필요하다. 또한, 토양오염과 지하수오염은 상호 연관성이 매우 높은 바, 토양 및 지하수 오염물질의 통합에 대한 검토도 필요할 것이다.

두 번째, 오염관리대상을 유류오염 위주의 시설로 지정하고 있으나 부지관리를 보다 강화해 나가야 한다. 중금속, 유해화학물질 등 인체에 위해를 끼칠 수 있는 시설이나 부지를 포함하여 관리대상을 확대하고, 부지이력제도 도입, 부지환경성평가제도 활성화 등 필요하다.

세 번째, 토양오염 조사 시 동시에 지하수 오염조사도

Table 6. Future institutional improvements

Category	Current	Future
1. Contamination Criteria	- By use, region (21 substances, 3 regions)	① By considering risk, contaminant, site characteristics, baseline concentrations etc. ② Broader scope of contaminants
2. Contamination Investigation	- Focused on the investigation of soil contamination (lack of groundwater investigation)	① Integrate medium, including groundwater, in light of their risks ② Public deposit of investigation costs
3. Risk Assessment	- Limited target sites (e.g., national lands) - Limited target substances (13 substances)	① Cover more sites (e.g. private sites) ② Include more substances (e.g. chemicals) ③ Improve relevant (e.g. follow-up) guidelines ④ Introduce more systematic management (e.g. develop plans from investigation to follow-up)
4. Remediation	- Remediation by legal requirements (e.g., level of concern) regardless of other conditions; partial application of risk assessment	① Transform into a risk assessment-based remediation system (to determine the remediation period, method, level, etc.) ② Develop technologies and diversify their applications
5. Follow-up	- Verification insufficient to determine whether requirements have been met - Inadequate follow-up to risk assessment	① Introduce verification that covers soil health (e.g., soil quality) / public deposit system ② Follow up systematically (e.g., monitoring) after verification ③ Recycle remediated soil
7. Others	- Individually managed soil quality monitoring networks - Contamination source inventory under construction	① Integrate/improve networks (soil and groundwater) ② Build an integrated information system to manage site history

같이 실시하도록 하여 조사의 효율성을 높이고, 조사의 신뢰도 제고를 위한 조사비용 공탁제도를 도입할 필요가 있다. 또한, 토양오염도검사 제도를 보완하기 위해 토양환경평가제도를 활성화할 필요가 있다. 토지 거래 시의 감정평가 요소에 토양환경평가를 반영하고, 오염의 개연성이 큰 대규모 시설, 건물 등이 있는 부지에 대해서는 평가를 의무화 하는 한편, 토양환경평가 결과를 반영한 정밀조사의 실시 및 정밀조사와 통합하는 등의 제도 개선도 추진할 필요가 있을 것이다.

네 번째, 인체위해도를 고려한 합리적인 정화를 위해 위해성평가제도 활성화가 필요하다. 현재 오염된 국가부지 등으로 한정하고 있는 위해성평가 대상과 13종에 불과한 오염물질을 단계적으로 확대해 나가야 한다. 또한 법적인 기준이 없는 물질에 대해서 위해성평가를 통해 조사, 정화 등을 실시할 수 있도록 제도의 개선이 필요할 것이다. 이와 함께 우리나라 실정에 맞는 위해성 평가기법 마련, 정화기술 개발 등 그 동안 위해성평가제도의 확대에 장애가 되어왔던 요인을 해소하고 추진 기반을 마련해야 한다.

다섯 번째, 정화체계도 오염기준에 따른 획일적인 정화에서 위해성평가에 따른 정화기간, 방법, 수준 등을 결정하도록 개선해 나가야 한다. 즉, 오염부지(토양지하수 매체 통합)에 대한 부지평가 및 위해성평가를 실시하여 인체 및 환경에 위해가 경우에는 적극적인 정화를 실시하고, 위해도가 낮은 경우에는 오염원 차단·격리조치 후 모니터링 등 합리적이고 유연한 정화를 실시할 수 있도록 관련 제도를 개정할 필요가 있다. 오염지하수의 경우 수질 검사 및 수질측정망 등에서 오염이 확인 되면 오염원인 및 범위 등의 조사가 신속하게 진행될 수 있도록 하고 오염이 확인될 경우 오염정화가 실시되도록 관련 제도의

개정이 필요하다. 특히 토양오염과 연계 또는 통합 관리할 필요가 있다.

여섯째, 현재 정화 완료된 토양에 대한 사후관리가 미흡한데 토양질과 오염기준(정화 목표)을 만족하는지의 여부를 검증할 수 있는 검증제도를 도입(공탁제도 도입 등)하고, 향후 정화도 재활용을 위해 토양질(pH, 유기물 등 주요인자 설정) 및 오염물질 기준을 만족할 수 있도록 토양건강성평가(가칭) 및 검증제도를 도입할 필요가 있다.

또한, 위해성평가에 따른 오염차단, 안정화 등 긴급조치 후 모니터링 등 사후관리를 강화할 필요도 있을 것이다. 일곱째, 이러한 제도를 원활히 추진하기 위해서는 각종 제도의 기반이 되는 인프라를 토양과 지하수를 통합하여 정비할 필요가 있다. 각종 오염조사의 기준이 되는 국가 배경농도, 오염지도 작성 등 측정망을 통합 운영, 오염원 인벤토리 정보시스템 구축 등 정비할 필요가 있다.

3.3.3. 기술개발

현행 국내기술은 정화기준을 만족하기 위한 적극적인 정화위주의 기술이 개발되었고, 현장에 주로 적용되어 위해성기반 오염부지관리를 위한 관련 기술개발은 미흡한 상황이다. 위해성기반 오염부지관리를 위한 향후 기술개발 방향은 다음과 같이 추진하는 것을 제안하고자 한다.

위해성평가 기반 오염부지관리를 위해서는 부지특성조사, 위해성평가 및 정화기술 등 기술의 다양화가 중요한데, 미국의 CSM(Conceptual site model)과 같은 모델을 개발하고 오염조사 단계부터 사후관리단계까지 의사결정을 위한 톨로서 활용하여 체계적인 관리를 위한 기반을 구축할 필요가 있다.

또한 기존의 적극적인 정화가 아닌 오염의 확산을 차단

Table 7. Comparison of national R&D projects in the field of soil and groundwater

Category	Geo-Adnvaene Innovative Action Project (Preventive Technology Development Project for Soil & Groundwater Contamination)	Risk Management Technology Development Project for Subsurface Environment Contamination
Supported by	Ministry of Environment	Ministry of Environment
R&D Expenses (KRW 100 million)	Approx. 1,400 (government-funded)	Approx. 1,010 (government-funded)
Period	2008 - 2017	2018 - 2024
Goal	Replace 90% or more preventative technologies with domestic technologies	Improve integrated risk-based contamination management technologies
Description	Focused on remediation technology (e.g., ex-situ / soil washing)	Development of risk-based remediation technologies, such as improving existing technologies, investigating site characteristics, developing ecological risk assessment technology, preventing caking/destabilization/spread, etc.

Source: Korea Environmental Industry & Technology Institute, 2015.

방지 할 수 있는 차폐기술, 고행화·안정화 등 기술을 개발하여 기술의 다양화가 필요하다. 지금까지 국내에서는 주로 적극적인 정화를 위한 토양세척 등 기술위주로 개발되어 현장에서 적용되었는데, 향후 위해성평가 기반 부지관리를 위해서는 관련 기술개발의 전반적인 방향전환이 시급한 실정이다. 또한, 위해성평가에 의한 정화기준 만족 여부를 검증하고 모니터링 하는 것이 매우 중요한데 이를 위한 관련 기술개발이 필요할 것이다.

Table 7에 토양지하수분야 기존 및 추진예정 기술개발(R&D) 사업을 비교하였다. 토양지하수 분야 후속 R&D 사업인 지중환경오염위해관리기술개발사업을 통해 기존 사업을 통해 개발된 토양 및 지하수(불포화대 및 포화대) 처리 중심의 조사, 정화기술은 고도화하고 신규 영역인 지중환경의 오염위해 관리를 위한 위해도 기반 위해차단기술(오염 차단·확산방지, 자연저감, 지중정화 등) 등 기술개발은 지속적으로 추진할 필요가 있다.

궁극적으로 기술개발을 통해 위해성기반 오염부지관리를 위한 정책, 제도가 원활하게 추진될 수 있도록 과학적으로 뒷받침 되어야 하고, 개발된 기술이 현장에 적용될 수 있는 기반이 마련되어야 할 것이다.

이를 위해서는 기술의 상용화를 통한 시장진입, 선진국 기술수준을 넘는 한국형(부지 맞춤형) 기술의 개발 등을 위한 지속적인 투자가 필요하고, 특히 위해성 기반 오염부지관리를 위한 부지특성조사, 위해성평가, 고행화/안정화, 모니터링 등 다양한 기술개발의 추진이 필요할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 위해성기반 오염부지관리를 위한 국내외 동향을 정책, 제도 및 기술개발로 구분하여 살펴보고, 이를 근거로 시사점을 도출하였고 향후 추진방향을 각 분야 별로 제시하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

위해성기반 오염부지관리가 필요하고 효율적인 추진을 위해서는 정책, 제도 및 기술개발의 3가지 요소가 적절하게 연계통합 추진되어야 할 것이다. 정책의 추진방향은 기존의 오염농도 중심 및 개별 매체별 관리 중심에서 위해성 기반 매체통합 부지관리로의 패러다임 전환이 필요하고, 중장기적으로토양건강성 관리를 위한 정책을 추진하여야 할 것이다.

이와 관련된 다양한 제도 중 오염기준, 오염조사, 위해성평가, 정화체계 등 위해성평가 기반 오염부지관리를 위해 전체적으로 일관되게 제도의 개선이 필요할 것이다. 또한 위해성기반 오염부지관리를 위해서는 효율적인 정책,

제도 추진과 더불어 이를 실현하는 기술개발의 뒷받침이 필수적으로, 고행화/안정화, 오염 차단·확산방지 등 관련 기술개발을 위한 지속적인 투자가 필요하다. 향후 추가적인 조사 및 연구를 통해 법체계 및 추진체계 정비방안, 시설, 조직, 인력 등 필요한 인프라에 대한 추진방향의 제시가 필요하다.

본 연구에서는 위해성 기반 오염부지관리를 위해 향후 추진이 필요한 정책, 제도개선 및 기술개발 방향을 큰 틀에서 제시는 하였으나, 세부적인 추진방안 등의 제시가 일부 미흡한 측면이 있다. 다만 정책, 제도개선 및 기술개발 분야와 관련한 전반적인 국내·외 동향 및 제도도입시의 문제점 및 해결방안 등을 종합적으로 분석하여, 향후 위해성평가제도의 국내 확대도입 및 관련 정책추진을 위한 참고자료로 활용 가능할 것이다.

사 사

본 연구는 한국연구재단의 일반연구자지원·후속지원 사업의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다(과제번호:2015R1D1A1A09060537).

References

Asensio, V., Rodriguez, A., Gamendia, L., Andre, J., Kille, P., Morgan, A.J., Soto, M., and Marigomez, I., 2013, Towards an integrative soil health assessment strategy : A three tier (integrative biomarker response) approach with *Eisenia fetida* applied to soils subjected to chronic metal pollution, *Sci. Total Environ.*, **442**, 344-365.

Chae, Y.E., Kim, S.W., Kwak, J.I., Yoon, Y.D., Jeong, S.W., and An, Y.J., 2015, A comparative study of assessment techniques for soil ecosystem health: Focusing on assessment factors of soil health, *J. Soil Groundw. Environ.*, **20**(3), 15-24.

Chinese Ministry of Environmental Protection, <http://www.zhb.gov.cn/> [accessed 17.08.20]

DEFRA, 2009, Soil strategy for England supporting evidence paper, UK.

EA, 2006, The development and use of soil quality indicators for assessing the role of soil in environmental interactions, Science Report SC030265, Environmental Agency, Bristol, UK.

Federal Ministry for the Environment, 2002, German Federal Government Soil Protection Report, Bonn, Germany.

Japanese Ministry of the Environment, <http://www.env.go.jp/water/> [accessed 17.09.01]

Kerth, M., 2014, A Report of Management of Contaminated

J. Soil Groundwater Environ. Vol. 22(5), p. 48-62, 2017

- Land Registry and Suspicious Soil Contamination in Germany, KEI International Environmental Policy Forum for Soil and Groundwater, Sejong, Republic of Korea.
- Yoo, K.J., Yang, J.H., Kim, J.H., and Hwang, S.I., 2016, A study on present international status and implications for introduction of contaminated land register system into Korea, *J. Soil Groundw. Environ.*, **21**(4), 10-19.
- Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI), 2015, Final Report: Study on the Surface Environment Management Technology Development Project.
- Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning (KISTEP), 2015, 2015 Technology Evaluation.
- Korea Ministry of Environment (MOE), <http://www.me.go.kr/home/web/index.do?menuId=286> [accessed 17.08.20]
- Korea Ministry of Environment (MOE), 2003a, Study on Risk Assessment Plans for Soil Contamination.
- Korea Ministry of Environment (MOE), 2003b, Study on the Development of Soil Contamination and Rehabilitation Criteria by Land Use.
- Korea Ministry of Environment (MOE), 2007a, Guideline on Remediation Methods for Contaminated Soil.
- Korea Ministry of Environment (MOE), 2007b, Study on Priority Selection of Soil Contaminants.
- Korea Ministry of Environment (MOE), 2008, Study on the Improvement of the Risk Assessment System for Soil Contamination.
- Korea Ministry of Environment (MOE), 2009, Soil Conservation Master Plan (2009-2019).
- Korea Ministry of Environment (MOE), 2012, Environmental Technology Roadmap (Eco-TRM 2022).
- Korea Ministry of Environment (MOE), 2013, Comprehensive Plan for Surface Soil Conservation (2013-2017).
- Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2012, Groundwater Management Master Plan (2012-2021).
- LIFE Environment, 2014, LIFE and Soil protection. Luxembourg: Publications Office of the European Union. European Union.
- Marc van Liedekerke, M., Prokop, G., Rabl-Berger, S., Kibblewhite, M., and Louwagie, G., 2014, Progress in the management of Contaminated Sites in Europe. Joint Research Centre of the European Commission. European Union.
- Ok, Y.S., Yang, J.E., and Park, Y.H., 2005, Framework on soil quality indicator selection and assessment for the sustainable soil management, *J. Environ. Policy.*, **4**(1), 69-87.
- Ok, Y.S., Lim, S., and Kim, J.G., 2002, Electrochemical properties of soils: Principles and applications, *Life Sci. and Nat. Resour. Res.*, **10**, 69-84.
- Panagos, P., Van Liedekerke, M., Yigini, Y., and Montanarella, L., 2013, Contaminated sites in Europe: Review of the current situation based on data collected through a European Network, *J. Environ. Public Health.*, Article ID:158764.
- Park, Y.H., 2017, Policy approaches for expanding the scope of risk assessment at contaminated soil sites in South Korea, *J. Environ. Policy.*, **25**(2), 183-198.
- Park, Y.H., Yang, J.E., and Ok, Y.S., 2005, Policy Suggestions to Korea from a Comparison Study of the United States, the United Kingdom, Germany, the Netherlands, and Denmark's Policies on Risk Assessment of Contaminated Soils, *J. Soil Groundw. Environ.*, **10**(5), 1-10.
- USDA, 2013, National Soil Survey Handbook Part 622, National Resources Conservation Service Soils, United States Department of Agriculture.
- USEPA 1999, Risk assessment guidance for superfund, Washington D.C., USA.
- USEPA, <http://www.epa.gov/land-research/research-management-contaminated-sites> [accessed 17.08.20]
- USEPA, 2001, Road Map to Understanding Innovative Technology Options for Brownfields Investigation and Cleanup.
- USEPA, 2003, Using the Triad Approach to Streamline Brownfields Site Assessment and Clean-up.