

국내 오염토양 반출정화사업 현황

한수호 · 정명채* · 김정욱 · 전순원 · 누엔 쿠억 트안 · 윤경욱 · 민선기

세종대학교 지구자원시스템공학과

The Occurrence and Treatment Status of Off-site Contaminated Soils in Korea

SuHo Han · MungChae Jung* · JeongWook Kim · SoonWon Jeon · Nguyen Quoc Tuan
KyungWook Yoon · SeonKi Min

Department of Energy Resources and Geosystem Engineering, Sejong University, Seoul 05006, Korea

ABSTRACT

Recently, ex-situ remediation technologies has been emerging to clean up contaminated soils mainly because the in-situ techniques have limited applicability and technical difficulties in relatively small contaminated sites. Accordingly, implementation of off-site treatment and disposal have been continuously increased in soil remediation and restoration projects in Korea. However, in many cases, reclaimed soil is still not properly recycled or reused. Therefore, there is an urgent need to document the current status of soil management practices in soil remediation projects in the nation. This study presents a survey of soil contamination status and remedial approaches in Korea based on soil cleanup projects completed in 2015 - 2019, and proposes the possible options of the recycling or reusing the reclaimed soils under compliance with related regulations. The results of the soil survey showed soil contamination was most severe in gas stations, industrial facilities, and military areas. The major types of pollution were related to the petroleum-contaminated site (TPH and BTEX) with 77.0% occurrence in all the contaminated sites. The reclaimed soils were mostly reused as a ground filling-up soils in industrial facilities (60.0%) and warehouses (37.0%).

Key words : Soil conservation, Remediation Clean up soil, Soil recycling, Soil contamination

1. 서 론

국내에서 발생하는 오염토양의 정화물량은 2007년부터 2011년까지 약 2,848만톤(연평균 약 570만톤)이 발생된 것으로 보고되었고(환경부, 2013a), 2016년부터 2017년까지 평균 약 522만톤/년의 오염토양 정화물량이 발생된 것으로 보고되어(한국환경산업기술원, 2019), 매년 약 500만톤 이상이 발생하는 것으로 확인되었다. 이렇게 발생하는 오염토양은 「토양환경보전법」에 따라 오염이 발생한 해당 부지 내에서 정화하는 것을 원칙으로 하고 있으나, 부지의 협소 등 불가피한 사유로 정화가 곤란한 경우 제한

적으로 부지 외로 반출하여 처리할 수 있도록 2005년에 개정되어 활용되고 있다(황상일 등, 2014). 이러한 반출토양은 정화시설 설치가 곤란한 학교 부지 및 주택가 인근 등에서 사회적 민원이 증가함에 따라 반입정화처리 도입 이래 반입 정화량은 5,085 m³(2005년)에서 575,814 m³(2016년)으로 꾸준히 증가하고 있는 추세이다(환경부, 2020a).

정화토양 재활용 측면에서 현황을 살펴보면 부지 내에서 정화를 수행했을 경우, 재활용은 부지 내에서 되메움 용으로 주로 재이용되고 있으며, 부지 외에서 처리된 정화토의 재활용은 토양오염기준을 만족함에도 오염된 토양이라는 선입견 때문에 재활용되지 못하고 방치되거나 단순 매립 등으로 처리되고 있다(환경부, 2020a). 특히, 국내 「토양환경보전법」 제 15조4항에서 '정화가 완료된 토양을 그 토양에 적용된 것보다 엄격한 우려기준이 적용되는 지역의 토양에 사용하는 행위'를 오염토양의 투기로 간주하고 있어, 1지역의 오염토양을 정화한 경우 1지역, 2지역 및 3지역에서 재활용이 가능하고, 2지역의 오염토

주저자: 한수호, 석사과정

공저자: 김정욱, 박사; 전순원, 박사; 누엔 쿠억 트안, 박사과정; 윤경욱, 석사과정; 민선기, 석사과정

*교신저자: 정명채, 교수

E-mail: jmc65@sejong.ac.kr

Received : 2020. 11. 24 Reviewed : 2020. 12. 3 Accepted : 2020. 12. 5
Discussion until : 2020. 2. 28

양을 정화한 경우 1지역을 제외한 2지역 및 3지역에서 재활용이 가능하다. 최근 이러한 문제에 대하여 관심이 증대되면서 ‘제2차 토양보전 기본계획’에서는 반출된 정화토양을 적극적으로 재활용될 수 있도록 토양의 품질을 높이고, 수요 및 거래정보 지원 등을 통해 토양 수요처 및 개발 사업 등에 적극적으로 활용될 수 있도록 목표를 수립하여 운영 중에 있다(환경부 2020a).

따라서 이와 같은 정화토양 발생량 및 재활용현황과 정부의 정책 방향에 맞춰 정화토양을 자원으로서 재활용을 위한 연구 및 기반마련은 매우 중요하다. 하지만 국내에서는 정화토양과 관련된 연구들은 주로 반출 처리된 정화토양 관리방안 연구(환경부, 2009), 국내 반출정화 현황과 악 및 반출정화대상 확대여부 검토(환경부, 2013b), 오염정화토양 재활용 촉진 및 반출정화 관리체계 개선방안 연구(황상일 등, 2014) 및 정화토양과 일반토양의 혼합처리에 따른 토양 특성 개선(이진호 등, 2013) 등의 연구가 수행되었고 이러한 연구는 정화토양 재활용 필요성, 관리방안 및 제도개선방안 등에 초점이 맞추어져있어 국내의 반출정화토양에 대한 재활용 현황 및 통계자료는 부족한 현실이다. 이에 본 연구는 반출정화업체를 대상으로 최근 5년간(2015년~2019년) 수행된 반출정화사업에 대한 현황을 평가하고 결과를 활용하여 토지용도별 오염현황, 오염원소, 적용된 정화공법, 정화토 재활용 등 현황에 대한 조사를 수행하였다.

2. 연구방법

반출정화토양에 대한 현황조사를 수행하기 위해 반출정화업체의 적용 가능한 토양정화공법 및 설비수량에 대하여 조사를 수행하였으며, 조사 업체를 대상으로 최근 5년간(2015년~2019년) 수행된 정화실적 및 정화토 재활용 현황에 대해 조사를 수행하였다. 각각의 조사항목을 살펴보면 정화실적에 대한 정보는 오염토양 발생지목, 지역, 정화위치, 정화방법, 오염종류, 오염원소 및 정화된 토양

의 부피에 대하여 조사를 수행하였고 정화토 재활용에 대한 정보는 반출토양의 부피, 사용지역, 지목 및 용도 등에 대하여 조사를 수행하였다(Table 1).

3. 결 과

3.1. 국내 반입처리장 토양정화시설 현황

국내 토양정화업체는 2020년 기준으로 총 74개 업체가 있으며, 이중 반입처리장을 보유한 토양정화업체는 20개 업체(28개 반입처리장)로 확인되었다(환경부, 2020b). 전국 반입처리장의 토양정화시설현황의 경우 토양정작은 26개 동으로 조사되어 가장 높은 비율로 나타났으며, 토양세척설비 18개동, 동전기설비 13개동 및 열탈착설비 11개동 순으로 확인되었다(Table 2).

3.2. 국내 정화토 재활용 현황조사

현황조사 결과, 총 20개 반출정화업체 중 정화실적이 우수한 약 8개 업체에서 정화실적 및 정화토 재활용에 대한 자료를 제공하였다. 제공된 자료에 의하면 2015년~2019년간 총 정화물량은 5,248천톤으로 평균 약 1,049천톤이었으며, 수행된 정화사업은 총 436건(평균 87건)이었다(Table 3). 이를 환경부(2013a) 자료와 비교하면, 과거 5년간(2007년~2011년) 조사된 평균 정화물량 5,697천톤의 18.4%의 해당되며, 한국환경산업기술원(2019)에서 2년간(2016년~2017년) 조사된 평균 정화물량 5,220천톤의 20.1%에 해당되는 정화물량이다. 또한, 총 436건의 정화사업 중 부지 외에서 수행된 정화는 366건(84%)으로 가장 높게 평가되었으며, 부지 내에서 수행된 정화는 51건(12%), 동시에 적용된 경우는 19건(4%)으로 확인되었다. 이는 반입처리장을 소유한 업체를 대상으로 조사를 수행함에 따라 부지 외 정화비율이 높게 평가된 것으로 판단된다. 현황조사 결과를 활용하여 ① 토지용도별, ② 오염종류별, ③ 정화공법별 및 ④ 정화토 재활용 현황에 대하여 정리하였다.

① 토지용도

현황조사 결과, 오염토양은 대부분 3지역(360건)에서 약 82.0%가 발생하였으며, 3지역은 주유소용지(56.4%), 공장용지(25.0%) 및 군사시설(15.0%) 등의 순으로 정화사업이 주로 진행되었다. 2지역(69건)의 경우, 대지(도시개발 사업지구)에서 약 93.0%의 비율로 확인되었으며, 1지역(7건)의 경우, 주거지(43.0%), 학교(29.0%), 공원(14.0%) 및 전(14.0%) 등 순으로 정화사업이 수행되었다(Fig. 1). 국

Table 1. 정화토 재활용 현황조사의 주요 내용

구분	오염토양 정보	정화토양 정보
내용	지목	부피
	지역	사용지역
	정화위치	사용지목
	정화방법	사용용도
	오염종류	
	오염원소	
	부피	

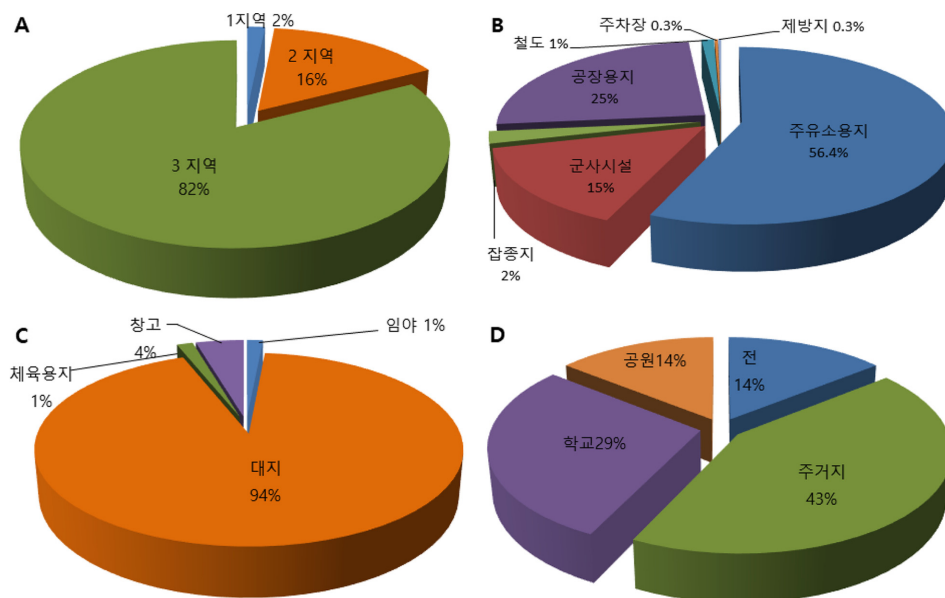
Table 2. 국내 반입처리장 정화시설현황 (단위 : 건물 동)

구분	토양 세척	토양 경작	열탈착	동전기	기타	소계
1	1	1	1	1		4
2	1	2	1	1	4	9
3	1	1				2
4		1				1
5	1	1				2
6	2	2	1		2	7
7	1	1				2
8		1				1
9	1	1		1	1	4
10	1	1				2
11	1	1	1	1	1	5
12		1	1			2
13	1	2	1	2		6
14		1		1		2
15	2	4	1	4	4	15
16	2	2	2	2		8
17	1	1	1			3
18	1		1			2
19	1	1				2
20		1				1
Total	18	26	11	13	12	80

※기타: 화학적산화 및 바이오파일

Table 3. 토양정화실적 (2015 년 ~2019 년)

구분	2015	2016	2017	2018	2019	합계	연평균
사업 수(건)	112	101	75	79	69	436	87
오염토량(천톤)	1,389	603	763	855	1,635	5,245	1,049

**Fig. 1.** 「토양환경보전법」에 의한 지역구분(A)과 지역별 정화사업 비율(B:3지역, C:2지역, D:1지역, 조사기간: 2015년~2019년).

내에서 오염토양이 발생하는 토양지역은 주로 3지역 주유소, 공장용지 및 군사시설로 확인되었으며, 이러한 원인은 석유류를 사용하는 주유소, 산업시설 개소수가 증가되어(환경부, 2012), 유류저장시설 탱크의 노후화 및 누출로 인한 것으로 평가하였으며(신정남 등, 2016), 국립환경과학원(2015)에서 수행한 국내 오염토양 발생부지 결과에서도 주유소 및 공장용지가 높은 비율을 보이고 있어 본 연구결과와 유사한 것으로 확인하였다.

② 오염종류

주요 오염종류는 유류오염이 약 77.0%의 비율을 보이고 있으며, 복합오염 및 중금속오염은 12.0% 및 11.0%로 확인되었다. 유류 오염 원소는 TPH(69.4%) 및 BTEX(30.0%)가 높은 비율을 차지하고 있으며, 중금속 오염 원소는 Zn 및 Pb이 각각 24.0% 및 21.0%를 보이고 있고, Cu, Cd, As 및 F는 약 15.0%~9.0%의 범위로 확인되었다(Fig. 2). 국내 유류오염(TPH 및 BTEX) 비율이 높은 것은 국내의 토양오염부지는 주로 주유소 및 공장지역과 군부대의 유류저장시설로 확인되고 있으며, 유류저장시설에서 유발되는 오염 원소는 주로 TPH 및 BTEX가 검출되기 때문이다(김미경 등, 2004; 박현미 등, 2000).

③ 정화공법

적용된 정화공법별 결과, 부지 외에서 적용된 정화공법(총 424건)은 토양경작법이 56.0%(240건)로 가장 많이 적용되었으며, 토양세척법 23.0%(97건) 및 화학적산화법 13.0%(54건) 순으로 적용되었다. 부지 내의 경우 총 88건 중 화학적산화법(35.0%, 31건) 및 토양경작법(32.0%, 28건)이 주로 적용되었으며 토양세척법은 18.0%(16건)로 확인되었다. 그 외 토양세정법 6.0%(5건), 바이오슬러핑법 및 생물학적통풍법 1.0%(1건) 등 일부 적용되어(Fig. 3), 국내에서 적용되는 정화공법은 주로 토양경작법, 화학적산화법 및 토양세척법이 활용되고 있다. 부지 내외를 모두 종합하면 국내에서 적용된 정화공법은 토양경작법, 토양세척법, 화학적산화법 및 열탈착법 등의 순으로 주로 적용되었으며(Table 4), 이러한 결과는 환경부(2013a)와 비교하면, 2005년~2011년에는 토양경작법 49%, 화학적산화환원법 11% 및 토양세척법 9% 등의 순으로 적용된 것으로 보고되어 국내에서 주로 적용되는 정화공법에 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다.

④ 정화토 재활용

정화토 재활용 현황 결과, 436건 중 186건에 대한 재

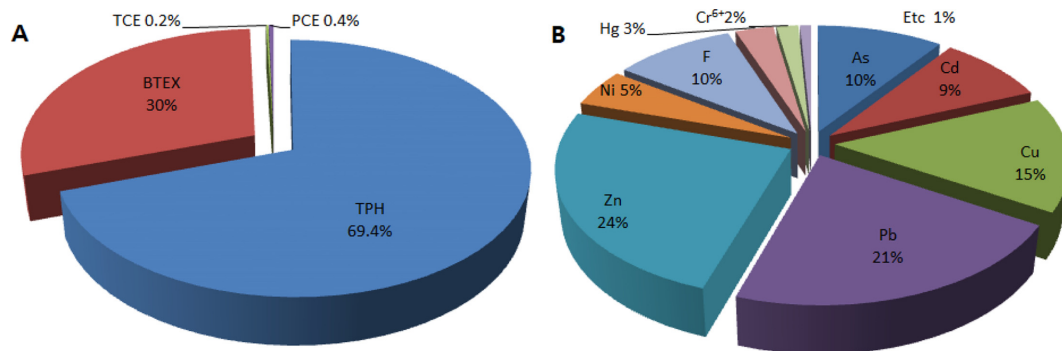


Fig. 2. 오염종류별 현황조사 결과(A:유류오염, B:중금속오염, 조사기간: 2015년~2019년).

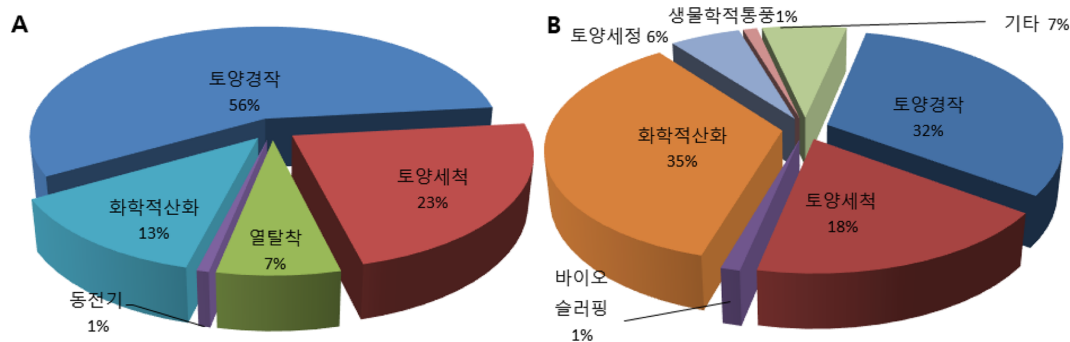
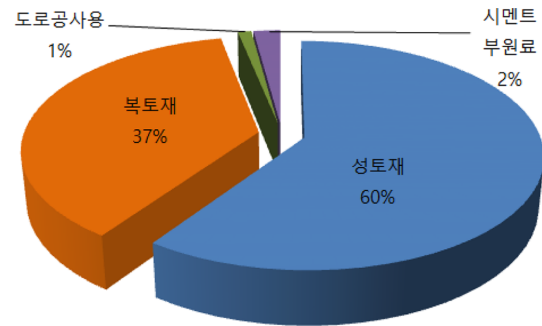


Fig. 3. 적용된 정화공법 비율(A:부지 외 정화공법, B:부지 내 정화공법, 조사기간: 2015년~2019년).

Table 4. 국내에서 적용되는 주요 정화공법 (부지 내·외 총합, 조사기간 : 2015 년 ~2019 년)

적용공법	적용건수	적용비율
토양경작	268	52.34
토양세척	113	22.07
화학적산화	85	16.60
열탈착	30	5.86
토양세정	5	0.98
동전기법	3	0.59
바이오슬러핑	1	0.20
생물학적통풍	1	0.20
기타	6	1.16
총합	512	100%

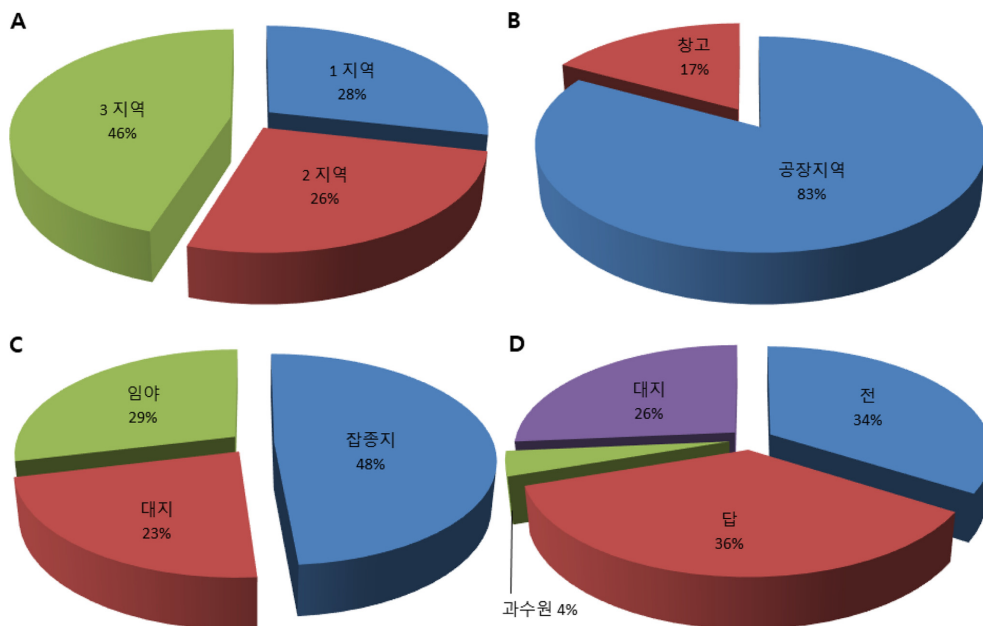
활용 현황자료를 확보하였다. 정화토 재활용 지역은 주로 3지역(46.0%)에서 가장 많이 활용되었으며, 2지역 및 1지역에서도 26.0% 및 28.0%의 비율로 일부 사용되었다. 3지역의 경우, 공장지역(83.0%)에서 주로 재활용되었고, 창고에서도 17.0%로 일부 활용되었다. 2지역은 잡종지에서 48.0%로 확인되었으며, 임야 및 대지에서 29.0% 및 23.0%의 비율로 사용되었다. 1지역은 답(36.0%) 및 전(34.0%) 지역에서 주로 재활용 되었으며, 대지(26.0%) 및 과수원(4.0%)에서도 재활용되었다. Fig. 1에 의하면 오염토양의 발생지역은 주로 3지역(82.0%)에서 발생되고 있지만, 정화토 재활용은 모든 지역에서 재활용 되고 있음을 확인하였다. 이러한 이유는 다양하지만, 대표적으로 토목공사 및 도로공사 등에서 지목 변경 이전에 정화토 재활

**Fig. 5.** 정화토 재활용 용도(조사기간: 2015년~2019년).

용에 따른 결과와 농업용 복토재로 활용함으로써 발생된 결과로 판단된다. 또한, 정화토 재활용 용도별로 살펴보면, 대부분 성토재 60% 및 복토재 37%로 가장 많이 활용되고 있고, 일부 도로공사용 1% 및 시멘트 부원료 2%로 활용되고 있다(Fig. 5).

4. 결 론

본 연구는 국내의 현실적인 오염토양 반출정화사업 현황을 평가하였다. 그 결과, 조사된 총 정화물량(2015년~2019년)은 5,245천톤(평균 1,049천톤/년)으로 확인되었고, 436건의 정화사업이 진행된 것으로 확인되었다. 그 결과, 대부분의 오염부지는 3지역(82%)의 주유소(203건), 공장지역(90건) 및 군부대(53건)에서 발생되고 있으며, 오염

**Fig. 4.** 지역별 정화토 재활용 비율(A: 「토양환경보전법」에 의한 지역구분, B:3지역, C:2지역, D:1지역, 조사기간: 2015년~2019년).

원소는 유류오염(BTEX 및 TPH)이 77%로 절대 다수를 차지하는 것으로 확인되었다. 국내에서 적용되는 정화공법은 토양경작법(52.84%), 토양세척법(22.07%) 및 화학적 산화법(16.60%) 등의 순으로 적용비율이 높은 것으로 확인되었다. 정화토양의 경우, 대부분 주로 성토재 및 복토재의 용도로서 1지역, 2지역 및 3지역에서 고르게 활용되고 있음을 확인하였다. 특히 오염토양의 발생지역이 대부분 3지역에서 발생되고 있지만, 정화 후 토양의 재활용 지역이 1지역 및 2지역에서도 활용되고 있음을 확인하였다. 이는 「토양환경보전법」의 오염토양의 투기로 간주할 수 있다. 하지만, 법정지목과 현재지목이 상이할 수 있다는 점과 농업행위가 더 이상 이루어지지 않는 전·답 지역에서 성토용으로 활용되는 경우가 있어 반출정화토양의 실질적 활용도를 고려하여 정화토양의 재활용에 대한 구체적인 방안마련이 필요하다.

또한, 이러한 결과는 토양정화실적이 우수한 상위 8개 반출정화업체의 자료를 활용하였으므로 정화토양의 현황과 재활용 실태를 평가하는데 기초자료로 활용될 것으로 판단되고 향후 정책 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 한국환경산업기술원의 주요사업(RE20200 2009)의 지원으로 수행되었습니다. 정보자료를 제공해주신 토양정화업 관계자분들께도 감사의 인사를 전합니다.

References

- 국립환경과학원, 2015, 토양정밀조사 및 토양정화검증방법에 관한 세부지침마련 연구.
- 김미경, 정란경, 신정남, 백형환, 2004, 주유소 주변 토양의 BTEX 오염 분석에 관한 연구, *한국환경분석학회*, 7(3), 135-141.
- 박현미, 김지현, 김영만, 이강봉, 2000, 국내 주유소주변 토양의 BTEX 오염도, *한국환경분석학회*, 3(4), 223-227.
- 신정남, 노성혁, 정상탁, 오길록, 김미경, 육운수, 2014, 국내 주유소 토양의 BTEX 오염에 관한 연구, *한국지하수토양환경학회지*, 19(4), 18-23.
- 이진호, 김동진, 신재연, 전해원, 양홍석, 이원재, 안병구, 2013, 정화토양과 일반토양의 혼합처리에 따른 토양 특성 개선, *한국토양비료학회 학술발표회 초록집*, 248-249.
- 환경부, 2020a, 제2차 토양보전 기본계획.
- 환경부, 2020b 토양정화업 및 토양관련전문기관 현황('19.12월 기준).
- 환경부, 2013a, 토양정화시장 활성화를 위한 기반마련 연구.
- 환경부, 2013b 토양오염조사 표준품셈 및 토양정화업무 처리지침 마련 연구.
- 환경부, 2012, 특정토양오염관리대상시설의 확대를 위한 연구.
- 환경부, 2009, 반출처리된 정화토양의 관리방안 연구.
- 한국환경산업기술원, 2019, 토양·지하수·기술·산업·인력 통계 동향분석 및 DB 구축.
- 황상일, 문현주, 기보민, 윤성지, 2014, 오염정화토양의 재활용 촉진 및 반출정화 관리체계 개선방안 연구, 한국환경정책·평가연구원.