

토양오염 현황과 처리 대책

안 열

농어촌진흥공사 책임연구원



1. 서 론

토양의 특성은 물질순환 과정에서 받아들인 많은 종류의 유해성분들을 흡착, 고정 또는 분해하는 정화능을 갖고 있어서 통상적으로는 평형상태를 유지하고 있지만 그 정화능력을 초과한 양이 투입되거나 난분해성 물질이 부하되면 정화능이 상실되어 환경을 오염시키고 있으며 이들 오염물질은 변형을 계속하면서 인간과 자연생태계에 영향을 미치고 있다. 특히 토양에서의 오염은 초기단계에서 처리하지 못하면 광범위하게 확산될 수도 있으며 시간이 경과하면서 하층으로 이동하게 되어 지하수 오염과 같은 2차오염을 일으키기도 한다.

또한 오염된 토양은 회복시키는데에 엄청난 비용이 소요되며 경우에 따라서는 회복이 불가능한 상태까지 초래할 수 있다는 사실을 깨달아야 한다. 토양 오염의 원인이 되는 물질로는 유기물, 무기염류, 중금속류, 합성화합물, 유류 등이 있는데 이중에서 유기물은 토양내에 존재하는 미생물에 의하여 분해되고 무기염류는 식물에 흡수되거나 용탈되어 감소

되기도 하지만 중금속류나 합성화합물질, 유류 등은 분해되거나 용탈되는 양이 적기 때문에 오염되고 나면 인위적인 방법으로 제거하지 아니하면 거의 영구적으로 남아 있으면서 2차오염과 유해 농산물 생산의 원인이 되고 있다.

다행히 우리 나라에서도 1996년 1월 6일부터 토양환경보전법이 시행되어 토양오염방지에 대한 제도적 장치는 마련되었으나 토양오염은 수질오염처럼 우리에게 직접적인 피해를 주지 아니하고 장기간에 걸쳐 간접적으로 나타나는 특성과 기반시설의 미비로 인하여 오염도는 증가하고 있다.

본고에서는 토양오염에 대한 현황을 조사하여 소개하고 처리방안에 대하여 지금까지 발표된 자료를 종합하여 고찰함으로써 토양오염방지와 처리방법개발에 참고자료로 활용될 수 있기를 바란다.

2. 우리나라 토양오염 평가 기준

토양환경보전법에서는 오염의 정도가 사람의 건강과 동식물의 생육에 지장을 초래할 우려가 있어

토지의 이용이나 시설의 설치 등에 규제조치가 필요한 정도의 오염상태를 대책기준으로 정하고 대책 기준농도의 약 40% 정도로 더 이상의 오염이 진행되는 것을 예방하기 위한 오염수준을 우려기준으로 정하여 이 기준은 초과하면 오염물질의 제거, 방지시설의 설치, 토양보전대책지역의 지정 등의 조치를 행할 수 있도록 하였으며 그 기준을 표 1과 같다.

표 1. 우려 및 대책지역의 토양오염 기준치

		(단위 : mg kg ⁻¹)			
항 목		우려 기준		대책 기준	
분류	물질	농경지	공장·산업지역	농경지	공장·산업지역
중금속류	Cd	1.5	12	4	30
	Cu	50	200	125	500
	As	6	20	15	50
	Hg	4	16	10	40
	Pb	100	400	300	1,000
	Cr ⁺⁶	4	12	10	30
무기성분	시안	2	120	5	300
	유기인	10	30	-	-
유기성분	페놀	4	20	10	50
	PCBs	-	12	-	30
	유류	-	80	-	200

- 농경지 : 논, 밭, 과수원, 목장용지, 하천, 체육용지 (수목, 잔디 식생지)
- 공장/산업지역 : 공장용지, 폐금속광산, 잡종지
- 수은·시안 : 전량기준
- 비소·유기인 : 1.0N HCl침출(20w/v%)
- 기타 중금속 : 1.0N HCl침출(#)
- 기타 유기물 : 전량기준

주) 토양환경보전법 시행규칙 제19조 및 제21조

3. 토양오염 현황

가. 자연 함유량

토양은 암석의 풍화 산물로 구성되어 있으므로 원래 각종 원소들을 미량 함유하고 있고 오염 여부

는 자원 함유량을 감안하여 판단하여야 한다.

국립 환경연구원에서 조사한 논토양 시료 330점에 대한 결과에 의하면 Cd : 0.14, Cu : 4.00, Pb : 5.38, Zn : 4.36, As : 0.56mg kg⁻¹으로 나타났으며 밭토양에서 작물종류별 중금속 자연 함유량은 표 2와 같으며 논토양과 비교하여 Zn을 제외하면 유사한 경향을 나타내고 있다.

표 2. 밭토양의 중금속 및 비소 자연함유량

		(단위 : mg kg ⁻¹)						
작 물	시료수	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	As	Hg
보 리	108	0.159	4.00	5.49	9.94	0.28	0.61	0.089
콩	56	0.149	2.05	2.23	8.16	0.27	0.26	0.086
옥수수	51	0.160	2.15	3.34	9.71	0.29	0.43	0.091
채 소	420	0.128	3.78	1.93	16.23	0.57	-	-
과 수	325	0.216	3.59	1.81	24.61	0.63	-	-
평 균		0.162	3.11	2.96	15.20	0.41	0.43	0.089

나. 오염원별 현황

토양오염은 크게 나누어 농경지 토양오염과 산업지 토양오염으로 구분할 수 있다. 농경지 토양오염의 특징은 오염원의 범위가 넓어서 광범위하게 나타나지만, 오염매개체가 물과 대기에 의해 주로 일어나므로 농도는 비교적 균일하며 낮다. 산업지 토양오염의 특징은 대부분 공장부지나 유해물질을 취급하는 사업체 부지나 부근에서 일어나므로 오염은 국소적이지만 주변환경에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다.

1) 폐수 및 도시 하수 유입지

토양오염의 대부분이 간접오염에 의한 것이므로 오염원별 폐수 유입지역에서의 오염정도는 표 3과 같으며 이는 특수지역을 제외하면 자연 함유량과 비교하여 크게 염려할 농도는 아닌 것으로 나타났다.

2) 금속광산 폐수 유입지

금속광산은 작업 과정에서 완전히 제거 되지 못

표 3. 폐수 및 하수 유입 농토양의 중금속 및 비소 함량

(단위 : mg kg⁻¹)

구 분	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	As
일 반 농 경 지	0.17	4.11	4.47	4.30	0.35	0.088
농공단지 폐수 유입지	0.18	3.71	5.18	4.94	0.30	0.159
공단 폐수 유입지	0.27	8.47	6.37	13.27	0.64	0.377
도시 하수 유입지	0.23	6.38	6.55	10.18	0.44	0.299
광산 폐수 유입지	0.13	5.61	4.76	3.62	0.41	0.771
축산 폐수 유입지	0.08	4.50	2.87	3.64	0.55	0.023
토양 자연 함량	0.133	4.52	4.62	3.90	0.36	0.43

표 4. 납, 아연 광산 폐수 오염지 농토양 중 중금속 함량

(단위 : mg kg⁻¹)

점 수		Cd	Cu	Pb	Zn
16개소 443점	최고	14.50	233.0	720.5	554.5
	최저	0.00	1.2	0.4	7.3
	평균	1.43	26.6	39.8	63.4

하고 폐기물로 발생하는 광미속의 중금속과 광산 갱내의 유출수에 용출된 중금속이 인근 농경지로 유입되어 토양 및 작물에 축적 되고 있다. 아래 표 4는 오염이 우려되는 16개 납, 아연 광산 주변의 농토양 중 중금속 함량을 조사한 결과이다.

3) 고속도로 및 산업도로 인근 농경지

휘발유의 옥탄가를 높이기 위하여 첨가하는 납은 배기 가스에 포함되어 고속도로 및 산업도로 인근 농경지토양을 오염시키는 원인이 되어 왔었다. 그러나 최근들어 정부에서는 무연 휘발유 제조를 권장하고 있기 때문에 더 이상의 오염은 진행되지 아니할 것으로 판단된다.

4) 유류 오염

1996년 1월 6일부터 토양환경보전법이 시행되어 토양오염유발시설인 2만리터 이상의 지하 저장 유류탱크에 대해 실시한 토양오염검사 결과는 표 6과 같다. 이농도는 우려기준에 훨씬 미달되는 수준이지만 '97 환경부 예규 제166호의 토양오염 유발 시설 관리지침에서 정한 기준중 토양오염의 개연성

표 5. 고속도로 인근 농경지 토양의 납 함량

(단위 : mg kg⁻¹)

년도	도로로부터의 거리(m)	서울 (궁내동)				
		성남	안성	대전	회덕	
논 토 양						
1984	5	6.7	4.5	5.8	2.7	3.4
	20	4.3	3.2	4.2	2.8	2.8
1989	5	6.3	9.4	3.3	3.0	2.7
	20	4.7	—	2.7	2.4	2.7
밭 토 양						
1984	5	30.2	—	—	2.9	3.9
	20	2.6	—	—	2.4	2.2
1989	5	6.1	—	—	2.2	4.7
	20	1.1	—	—	1.4	2.4

표 6. 지하 유류 저장 시설 오염 현황

구분(mg kg ⁻¹)*	시료수(점)	비 율(%)
0 이상에서 1 이하	6,169	86.31
1 초과에서 5 이하	738	10.32
5 초과에서 10 이하	92	1.29
10 초과에서 40 이하	104	1.46
40 초과에서 80 이하	20	0.28
80 초과	24	0.34
계	7,147	100

*BTEX 합계, RDC 미발표 자료

이 있다고 판단되어 검사주기를 매년 받도록 규정한 1mg kg⁻¹ 이상의 지역이 10%를 상회하고 있으므로 유류오염의 정도를 알 수 있으며 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

또한 토양관련 전문기관에 오염도검사를 매년 받아야 하는 시설은 저장시설 설치기간이 15년 이상된 시설과 저장시설이 자연환경보전지역, 상수원보호구역, 특별대책지역안에 설치되어 있는 경우와 오염방조치를 하지 아니한 경우가 해당되며 그외는 2~3년에 한번씩 받도록 규정되어 있다.

4. 처리 대책

토양오염에 대한 처리방법은 오염토양을 그 자리

에서 처리하는 현장내 처리방법과 다른 곳으로 이동하여 처리하는 현장밖 처리방법이 있으며, 이러한 방법을 선택하기 위해서는 토양의 이화학적특성, 오염의 정도, 지형, 지질, 주변지역의 상황, 토지이용 현황등 현지의 자연적, 사회적 조건을 참작하여 가장 적절한 공법을 선정하고, 저렴한 가격으로 쉽고 빠르게 정화할 수 있는 방법을 모색해야 한다.

가. 중금속류에 의한 토양오염 처리 기술

지금까지 보고된 자료에 의하면 중금속에 의한 토양오염이 가장 많이 나타나고 있으며, 대부분 물리적인 방법과 화학적인 방법으로 처리한다.

물리적 처리로는 현장에서 오염된 토양자체를 깨끗한 흙으로 30cm정도 복토처리하여 사용하거나 객토를 하여 오염농도를 낮추어 사용하는 방법이 있으며, 오염된 표토와 오염농도가 낮은 심토를 교환하여 토지를 이용하는 방법이 가장 효과적이며 많이 사용하고 있는 방법이다.

또한 화학적 처리로는 주로 카드뮴화합물, 시안화합물, 납화합물, 6가크롬화합물, 비소화합물, 수은화합물 등에 활용되고 있으며, 이는 오염물질농도에 따라 처리제를 사용하여 불용화 또는 안정화시키는 방법이다.

나. 유류에 의한 토양오염 처리 기술

유류에 의한 토양오염은 유류자체가 250종이상의 여러 가지 복합물질로 구성되어 있고, 다양한 성질을 갖는 특성 때문에 처리방법이 매우 어려운 것으로 보고 되고 있다. 우리나라에서는 2~3개 기관에서 미생물을 이용한 유류분해 방법이 개발되어 실용화 단계에 있으나, 비용이 너무 많이 소요되고 처리기간이 오래걸려 보급에 어려움이 있는 실정이

표 7. 오염 토양 정화 기술의 종류 및 방법

종 류	대 상 물 질	방 법
추 출	PCBs, PAH, VOC, 탄화수소 등 유기 물질	Amine계, CO ₂ , 알콜 등 특수 용매로 추출 회수
세 정	PCBs, PAH, 중금속, 유류	용매(물)로 세정하여 분리
진공추출	VOC	진공펌프로 토양 구조내에 공기의 흐름을 발생
가 열 (소각)	VOC, 중금속, 유·무기 화합물	고온으로 열처리 분해
열 분 해	VOC	고온 또는 촉매를 이용한 열분해
열 탈 착	VOC, 유기물	토양 및 슬러지의 고온 열 분해
생 물 분 해	VOC, PCBs, PAH, 유기물, 페놀	미생물에 의한 분해
흡 착	VOC, 중금속, 방사능 물질	특수 관능기를 갖는 흡착제 사용에 의한 흡착 분리
막 분 리	유류	물중 유류 및 중금속 분리
고 형 화	유·무기화합물, 유기 폐기물	토양을 용융·유리상으로 고형화

VOC : Volatile Organic Compound
 PCBs : Polychlorinated Biphenyls
 PAH : Polycyclic Aromatic Hydrocarbon

며, 선진 외국에서는 일찍부터 이에 대한 연구가 시작되어 오염토양의 세척, 화학제재 및 미생물을 이용한 분해, 가열에 의한 소각방법 등이 활용되고 있으며, 이 외의 정화기술의 종류는 표 7와 같다.

5. 결 론

우리가 관심을 갖아야 할 농경지와 기타 지역의 토양오염에 대하여 중금속 성분과 유류성분의 오염현황을 기준에 발표된 자료를 활용하여 소개하였으며 이러한 결과는 토양환경보전법에서 정한 평가기준과 비교하여 볼 때 아직 우려할 정도는 아니지만 오염이 심화되고 있는 것은 분명한 사실이다. 그러나 우리나라에서는 아직까지 토양오염에 대한 대책

이 미흡하고 우리의 환경과 토양에 맞는 처리기술이 개발되지 못하여 오염토양의 정화방법에 큰 어려움을 겪고 있는 실정이다. 그러므로 본 자료가 이러한 토양오염 처리기술의 참고자료로 활용되고 토양오염에 대한 관심을 갖는 계기가 되길 바란다.

참 고 문 헌

1. 김복영, 1993, 토양오염 실태와 개선 대책, 환경보전형 농업을 위한 토양관리 심포지엄 자료집, 한국토양비료학회, pp. 68-98.
2. 김복영, 김규식, 이종식, 1993, 과실류와 그 재배 토양중 중금속 자연함유량에 관한 조사연구, 농사시험연구 논문집 Vol. 35(2)(토비), pp. 280-290.
3. 김복영, 김규식, 이종식, 1995, 밭 토양오염도 조사, 농업과학기술원 시험연구사업보고서(농업환경부편), pp.134-135.
4. 김복영, 소규호, 1989, 한국 밭토양 및 곡물중 중금속 자연함유량에 관한 조사연구 농사시험연구 논문집 Vol. 32(2)(토비), pp. 57-68.
5. 김복영, 소규호, 김규식, 1992, 채소작물과 그 재배 토양중 중금속 자연함유량에 관한 조사연구, 농사시험연구 논문집 Vol. 34(2)(토비), pp. 56-70.
6. 김복영외 6인, 1995, 우리나라 논 토양중 중금속 자연함량, 한국토양비료학회지, Vol. 28(4), pp. 295-300.
7. 류순호, 김복영외 5인, 1989, 농업환경오염 실태조사, 농촌환경오염 경감대책연구, 농촌진흥청, pp. 21-54.
8. 박용하, 이승희, 1995, 토양환경보전을 위한 오염 방지기준 및 관리 대책, 한국환경기술개발원, pp. 194-208.
9. 배재근, 오종민, 1995, 토양오염학, 신평문화사, pp. 299-328.
10. 日本土壤肥料學會, 1991, 土壤の有害金屬汚染, 博友社, pp. 7-42.
11. 최용수, 1997, 휴폐광산지역 오염토양 복원대책, 휴폐광산의 환경오염 복구 및 활용방안에 관한 심포지엄 자료집, (사)국제환경노동문화원 pp. 75-105.
12. 환경부, 1996, 토양오염대책기준, 토양오염우려기준, 토양환경보전법 14조, 16조.
13. 환경부, 1997, 토양오염유발시설관리지침, 환경부, pp. 25-26.
14. Yasuhiro Morioka, 1997, 地下水の水質保全に關する制度および技術の最近の動向, 資源環境對策 Vol. 33(10), pp. 881-886.