

농약에 의한 지반오염 및 정화

박준범^{*1}, 이기호^{*2}, 박기홍^{*3}, 김동진^{*4}, 박상규^{*5}

1. 머리말

농업생산량의 증산을 목적으로 대량의 비료와 농약이 사용되게 되었고 이러한 비료와 농약의 사용은 지반을 오염시키는 환경문제로 대두되고 있다. 또한 이러한 농약의 사용으로 인해 지력이 약해짐에 따라 작물의 성장을 방해하고 작물을 병약하게 만들어 병충과 해충을 만연시킴으로써 더 많은 비료와 농약을 사용하여야만 하는 악순환을 되풀이하게 됨으로써 지반오염을 가중시키고 있다.

또한 최근에 들어서는 경작지뿐만 아니라 골프장 초지에도 우리나라의 풍토에 맞지 않는 잔디를 사육하기 위하여 막대한 양의 비료와 농약을 사용하고 있는 실정이다. 농약은 단위 면적당 생산량 증대라는 긍정적인 측면을 갖고 있음에도 불구하고 농약자체의 화학적 독성으로 인한 농민들의 농약중독, 생태계의 파괴, 지반으로 흡수되는 환경오염 등의 문제를 가지고 있다.

이 중 지반오염의 경우를 살펴보면 살포된 농약성분들 중에서 작물에 흡수되지 못하는 물질들이 지반에 잔류하여 산성도를 높이고 영양소를 보유하는 능력을 저하시킨다. 우리나라는 전반적으로 농약이나 비료의 오염도가 낮은 편이었지만 수 십년동안 농약을 사용해 왔기 때문에 지반의 오염과 함께 토질의

척박화가 우려되고 있으며, 또 지반으로 유입된 농약 성분으로 인한 지하수의 오염으로 식수 및 농업용수의 오염이 가중되고 있다. 살포된 농약들은 지반중에서 휘산, 흡착, 이동과 용탈, 토양중 분해, 농약의 계속적인 사용에 의한 분해 및 지반에서의 반감기 등으로 분해, 소멸되어지고 있으나 효율적인 관리가 동반되지 않아 부정적인 시각이 대두되고 있고, 환경에 관한 유해문제가 강조되어지고 있다. 농약의 효율적인 사용과 관리는 유익성/유해성의 정확한 분석을 토대로 한 종합 평가를 통하여 유익성을 극대화시키고 유해성을 극소화시킬 수 있을 것이다.

농약은 살충제, 제초제, 살균제 등으로 구분되는데 지표수와 지하수에서 주로 발견되는 농약성분은 활성이나 불활성 성분 또는 난분해성인 농약의 잔류성분이나 분해과정의 물질들이며 이들은 용해상태나 이물질 또는 흡입자에 흡착하여 유입되는데 단순히 농약성분이라 함은 그들의 분해과정에서 생성되는 성분들을 모두 통틀어 가리킨다. 이러한 농약의 사용으로 인하여 토양이나 지하수로 유입된 농약성분은 수중생태계를 파괴시키고 수중의 용존산소량을 감소시키기도 한다. 이 기술기사의 목적은 농약에 의한 지반의 오염실태를 알아보고 정화기법에 대한 간략한 소개 및 문제점을 살펴봄으로써 향후의 정화기법의 적용방향에 대해 논의하고자 함이다. 또한 지반 환경오염 사례를 파악함으로써 지반오염에 대해 국민들에게 경각심을 일깨우며 정화의 필요성을 알리기 위함이다.

*1 정희원, 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 조교수)

*2 정희원, 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사후과정

*3 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 석사과정

*4 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 석사과정

*5 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 석사과정

2. 농약의 환경오염 경로

농약의 환경오염 경로는 그림 1과 같다. 농작물에 농약을 살포하면 일부는 농작물 표면에 부착되어 약효를 발휘하나 나머지는 인체에 묻어 직접 중독을 일으키거나 토양에 체류 또는 자연환경에 유출된다. 농약은 농작물에 흡수된 후 병해충에 작용한 뒤 분해되어 인체에 무해한 물질로 변형되는 것이 보통이나 반감기가 긴 농약을 살포하거나, 수확기에 임박한 살포로 분해되기 전에 수확될 경우 잔류독성의 위험이 있다. 흙 속에 체류하는 농약은 토양 미생물의 감소와 흙의 물리성 악화를 통하여 농작물의 생산성을 저하시키는 것으로 알려져 있다. 지반에 혼입된 오염물질은 제거하기 어려울 뿐만 아니라 오랫동안 잔류하기 때문에 지반오염을 막기 위한 최선의 예방책은 완전 사용법에 따라 적절한 시기에 적당량을 사용하고 특히 유기염소제나 유기수은계 농약, 비산연과 같이 오랫동안 지반이나 생물체에 잔류하거나 생물체에 커다란 해를 주는 맹독성 농약은 사용하지 않도록 한다.

자연환경에 유출된 농약은 미생물, 열, 광선 등의 작용으로 분해, 소멸되는 것이 보통이다. 그러나 분해되기 전의 농약은 생태계를 파괴하여 천적을 감소시키고 병해충의 내성을 증진시킨다. 또한 지표수를 오염시켜 어패류를 폐사시키며 지하수에 침투하여 인간과 동물의 건강을 위협하기도 한다.

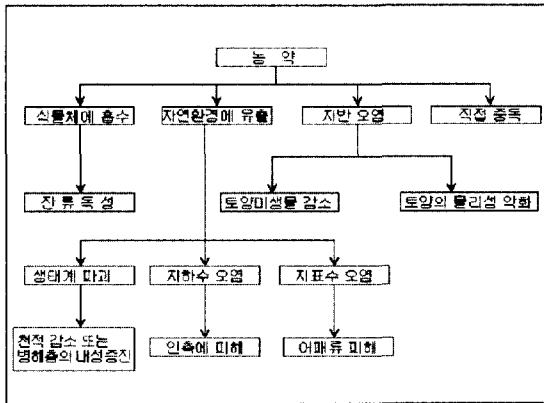


그림 1. 농약의 환경오염 경로

3. 농약물질의 종류와 잔류실태

3.1 농약물질의 종류

3.1.1 살충제

(1) 유기염소계 살충제

유기염소계 농약은 다른 농약 보다 급성독성은 약하지만 흙 속에 오랫동안 잔류하거나 지용성이기 때문에 몸의 지방 조직에 쌓여 만성독성을 일으킨다. 포유류와 사람 몸에 쌓이면 중추신경계통에 작용해 얼굴, 입안, 혀의 감각에 이상이 생기고, 소뇌의 기능 이상을 초래하며 불안, 초조, 어지러움증, 떨림 증세가 나타나며 피부 흡수가 잘 된다. 40~60년대 말까지 전세계적으로 널리 사용되었으나 잔류독성과 어독성이 문제가 되어 최근에는 사용금지 되었다.

-DDT(Dichloro Diphenyl Trichloroethane)와 근연화합물 : 70년대 초에 거의 모든 국가에서 사용을 제한하였으나 잔류성이 강하여 아직도 지구생태계의 모든 곳에서 검출되고 있다. 그림 2는 DDT의 화학구조와 분해과정을 나타내고 있다.

-BHC(Benzene Hexachloride)계 : 잔류성이 무척 크다. 그림 3은 BHC의 화학구조를 보여 주고 있다.

-씨클로디엔계 농약 : 70년대초부터 이들의 포유류에 대한 높은 독성과 잔류성으로 사용이 제한되었다.

(2) 유기인계 농약

유기인계농약은 유기염소계 살충제가 강한 잔류독성으로 사용금지된 이후 대체 농약으로 많이 쓰여 살충제 전체 소비량의 상당량을 차지하고 있다. 유기염소계에 비해 분해가 잘 되는 편이며 살포 후 수주 내에 분해되기 때문에 잔류성이 적은 편이다.

(3) 카바메이트계

카바메이트계 농약은 저독성이며 잔효성이 다소 긴 것으로 나타나 있다. 대체적으로 환경중에서의 분해가 용이하기 때문에 환경오염의 문제는 적다.

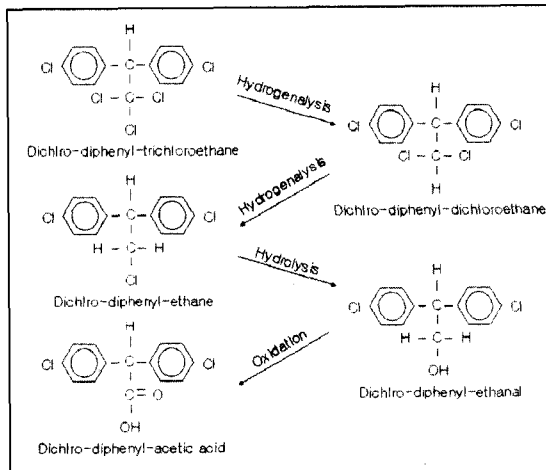


그림 2. DDT의 화학구조와 분해과정(Metabolic pathway for the degradation of dichloro-diphenyl-trichloroethane)

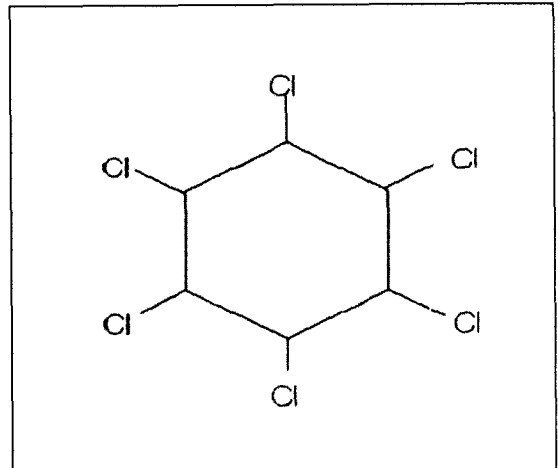


그림 3. BHC의 화학구조(1,2,3,4,5,6-r-Hexachloro cyclohexane)

(4) 합성 피렌트린계 살충제

광분해성을 보완하여 제조되었으며 환경중에서 쉽게 분해되는 성질을 가진다. 토양미생물 등에도 전혀 해롭지 않으며 살충력이 큰 반면에 인간과 동물에 대한 독성이 낮아 매우 안전한 농약으로 평가되어지고 있다.

3.1.2 살균제

대부분 독성이 낮고 비교적 분해가 잘 되며 대체로 환경오염문제를 유발하지 않는다. 살균제 중에서 지속성이 비교적 긴 약제는 PCNB 등의 토양살균제, 유기수은제, 유기인계의 라브사이드제, Kitazin-P 도열병방제, 프루토라닐제(잎집무늬마름병 방제), 캡탄제(원예용 살균제) 등이 있다.

3.1.3 제초제

흙에 직접 사용하므로 환경오염의 가능성이 높다. 잡초가 일정기간에 걸쳐 발생되므로 제초제는 잔효성이 대체로 길다. 어독성이 높은 페놀계의 PCP제나 MCP제, 잔효성이 긴 페녹시의 2,4,5-T가 사용이

제한되고 있다.

미국의 경우에 제초제는 페러콰트(Paraquat)와 살균제는 마네브(maneb)가 가장 널리 사용되는 농약이라고 보고되고 있다(Deborah, 1997). 이 두 물질은 흔히 같이 사용되고 있는데 오염시 파킨스병을 일으키는 물질이다.

3.2 흙 속에서의 농약의 잔류실태

1) 1980년대 초까지는 환경중 생물농축성이 큰 유기염소계 농약이 극미량이나마 검출되었으나 1990년 이후에는 검출되지 않고 있으며 유기인계 농약의 잔류성도 현저하게 낮아졌다. 표 1은 논토양 중 농약 잔류량의 변화를 나타내고 있다.

2) 현재 국내에서 사용중인 농약의 대부분(96%)이 토양 중 반감기가 120일 이하이다. 그러므로 농약에 의해 오염된 지반에는 신속하게 대처하는 것이 중요하며 정화기법 또한 신속함을 요하는 정화기법이 적용되어야 할 것이다. 표 2는 현재 국내에서 유통되고 있는 농약들의 흙속에서의 최장반감기를 나타낸 표이다

표 1. 논토양 중 농약잔류량의 변화
(출처 : 농업과학기술원, 1996)

농약명	1982		1996	
	검출빈도 (%)	잔류량 (ppm)	검출빈도 (%)	잔류량 (ppm)
BHC	100	0.003	0	불검출
DDT	58	0.003	0	불검출
Heptachlor	89	0.001	0	불검출
Iprobenfos	56	0.019	20	0.009
Diazinon	70	0.013	12	0.002
Phenthoate	2	0.003	0	불검출

표 2. 국내 유통 농약의 반감기

구분	계	흙속에서의 반감기간 (단위 일)					
		15(16-30	31-60	61-120	121-180	181
살균제	91	34	27	15	11	4	-
살충제	124	52	27	23	18	4	-
제초제	79	35	16	9	11	2	-
생장조절제	6	7	3	-	1	-	-
계 (%)	299 (100%)	128 42.8	73 24.4	47 15.7	41 13.7	10 3.4	- 0.0

4. 지반 내에서의 농약에 의한 오염물질 이동 및 오염사례

4.1 지반 내 농약에 의한 오염물질의 이동

일반적으로 난분해성이고 잔류기간이 긴 농약은 지중에서 오랜 시간 남아있게 된다. 농약에 의한 지반의 오염은 오염물질이 지하수의 흐름을 타고 장기간에 걸쳐 확산되어 흡착(adsorption)되고 화학적 변환작용으로 인하여 정화처리가 힘들고 처리에 많은 시간이 소요되게 된다.

농약은 의도적인 지중살포와 원예수로부터의 낙진, 대기로부터의 강하로 흙에 이르게 된다. 일단 농약이 지중에 유입되면 화학물질, 사용량, 사용된 형태 및 환경의 특성에 따라 수일에서 수년까지 머무르게 된다. 농약이 지중 미생물에 심하게 영향을 미치

는 곳에서는 유기물질은 분해되지 않고 물에 녹지 않아서 토양구조가 붕괴되고 수분 투과성이 낮아진다.

비포화대를 통과하여 지하수대에 이른 농약은 잘 용해되면 수일에서 수주동안 용액형태(NAPLs)로 머무르게 된다(그림 4). 그림 4와 같이 물보다 비중이 큰 농약성분은 지하수대를 통과하여 불투수층까지 가라앉아 오염물질 덩어리(pool)를 형성하고 물보다 가벼운 성분은 지하수대의 상부에 떠서 지하수의 흐름에 따라 이동하게 된다. 농약은 수중의 유기 잔해물 분해와 영양물질 순환에 중요한 실물균과 동물균에 영향을 준다. 제초제의 경우는 수생식물과 플랑크톤 개체군을 감소시킴으로서 수중의 산소고갈을 초래한다.

많은 실험 결과에 따르면 대기 중에서 농약이 살포될 때, 살포된 농약의 53% 만이 대상 농경지역에 도달하게 된다. 그러므로 농약의 약 절반이 대기중으로 가거나 살포대상 지역 밖의 토양과 물에 떨어진다.

4.2 농약에 의한 지반오염 사례

4.2.1 유기염소계 농약에 의한 오염

제 2차 세계대전 후 유기합성농약의 선두로 DDT(Dichloro Diphenyl Trichlorethane), BHC(Benzene Hexachloride), 드린제 등 유기염소 살충제가 세계적으로 광범위하게 사용되었다. DDT는 살충제로, BHC는 주로 벼의 해충이나 과수의 해충에 각각 뛰어난 효과 때문에 사용되었다.

- DDT, BHC

1960년대 초에 미국 미시건호에서 고농도 DDT가 검출된 것을 계기로 DDT, BHC가 사용금지되었다. 우유에서 BHC가 검출되기도 하였는데 이것은 BHC로 인해 오염된 지반에서 생산된 벗짚을 먹은 젖소로부터 오염된 것이다.

- 1986년 11월에 스위스 바젤에 있는 제약회사 산도스 화학공장에서 원인불명의 화재가 일어나 진화과정에서 보관중이던 30톤의 살충제와 2,000 이상

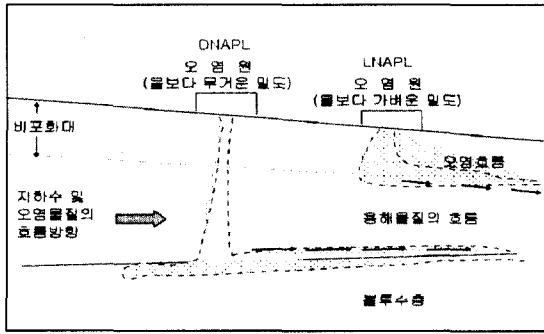


그림 4. 지반내 오염물질의 존재형태

의 수은 등 유해물질이 라인강으로 유입되었다. 또한 1960년대에 드린제(알드린, 딜드린, 엔드린, 테로드린)를 사용한 밭에서 수확한 오이 중에서 잔류기준을 웃도는 드린제가 검출되어 농약의 토양잔류에 의한 오염문제가 크게 대두되었다.

- 1998년 한국수자원공사 산하 수자원연구소의 보고에 따르면 동해시와 태백시의 식수원인 달방댐과 광동댐에서 농약성분이 검출되었다. 간과 중추신경계에 치명적인 영향을 미치는 엔드린이 국제보건기구의 기준치를 최고 1천배나 초과했으며 호흡곤란과 경련을 일으키는 헵타클로르 에폭시드도 기준치를 약 270배나 넘어섰다고 한다.

4.2.2 유기수은제 농약에 의한 오염

- 우리나라에서는 1953년부터 수은에 의한 병으로 추정되는 병이 발생, 1970년에 와사야 살포용 수은제의 사용이 금지되었다.

- 1969년 미국 뉴멕시코주 아라모골드에서 곡물저장창고에 메칠수은이 함유된 파노젠이라는 농약이 투여되어 사육중이던 돼지 및 인간에게도 영향을 미쳤다.

4.2.3 카바메이트계에 의한 오염

- 1984년 인도 보팔치에서 농약을 제조판매하던 미국의 다국적 기업인 유니온 카바이드에서 농약제

조의 원료로 사용되는 메칠이소시안(MIC)이라는 유독가스가 저장된 탱크가 누출되어 인근 주민이 사망하였고 자연생태계도 크게 훼손되었다. 메칠이소시안(MIC)은 카바메이트계 합성시 중간물질로 생성되는데 주로 면역기능 장애와 독성을 유발시키는 유독물질이다. 피해상황을 보면 2,800여 명의 인근주민이 사망하였고 피해자도 20만명에 이르며 주변 지반을 오염시켜 지하수를 크게 오염시켰다.

4.2.4 논제초제 CNP(Chlornitrofen)에 의한 오염

- 1960년대 초에 사용된 제초제로서 모심기를 전후하여 논에 물이 있는 상태에서 사용되기 때문에 하천에 유입되어 오랫동안 전국 각지의 물을 오염시켰으며 하천물을 수원으로 하는 상수원 지역에서 CNP가 검출되었다.

- 1993년 수돗물이 CNP로 오염된 지역에서 암 발생률이 높다는 것이 밝혀져 1994년 3월에 사용이 금지되었다.

5. 오염지반 정화공법

농약류는 준휘발성 유기화합물로 분류되고 이러한 준휘발성 유기화합물(SVOCs)에는 농약류 이외에 할로젠 및 비할로젠 SVOCs, PAHs(Polynuclear Aromatic Hydrocarbons) 등이 있다. 이러한 준휘발성 부류에는 사실상 휘발성이 거의 없는 비휘발성 물질들이 포함된다. 농약에 의해 오염된 지반은 그 정화방법에 있어서 아직까지는 뚜렷한 정화처리방법이 나타나 있지 않은 상태이다. 그러나 농약에 함유된 여러 가지 준휘발성 유기화합물을 포함하는 지반 잔류성분들의 정화처리방법을 적용함으로써 이러한 오염지반을 정화할 수 있을 것이라고 생각된다. 큰 범주로의 농약에 의한 오염지반 처리공법에는 지반에서의 농약의 직접적인 제거와 작물에 의한 흡수를

통해 작물을 재배하여 폐기하는 Phytoremediation과 객토를 통한 치환공법, 그리고 부지오염 종류에 따라 In-situ 처리공법에는 대표적으로 Bioremediation, Bioventing 등을 적용할 수 있다 (Baker, K.H. and D.S. Herson, 1994).

미국에서의 오염지반정화 사례를 살펴보면 Washington주 Wenatchee시에 위치한 Wenatchee Tree Fruit Research and Extension Center (WTFREC)는 1996년부터 1980년대 중반까지 시행된 농업관련 연구활동으로, 다량의 pesticides가 솔벤트와 희석되어 직접 혹은 블록(block)을 통해 땅에 부어지거나 푸대에 담겨 땅속에 매장하는 방법으로 처리되었다. 이로 인해 그 지역 일대의 토양이 orhanochlorine pesticides, organophosphorus pesticides, carbamate pesticides, paraquat등으로 오염되게 되었다.

정화작업은 1985년 이후에 sampling 조사가 시작되어, 1997년 USACE(the U.S Army Corps of Engineers)에 의해 마쳐졌다. 사용된 기술은 Systematic planning process, Dynamic workplan, Direct push soil sampling, IA(immunoassay analysis) plan 이며, pesticides에 의해 오염된 토양과 잔해들은 모두 제거하고 정화함으로써 효과와 비용 면에서 성공적인 작업으로 평가되는 사례로 여겨지고 있다.

5.1 Phytoremediation

식물을 이용하여 환경의 오염물질을 제거하거나 유해하지 않도록 조치하는 기술을 말한다. 그 중 가장 대표적인 것은 금속을 흡수하는 식물을 개발하여 오염된 토양에 심어서, 그 지반으로부터 금속을 추출하여 지반을 정화하는 것이다(박준범, 지반공학회지, 1999. 7). 어떤 특정식물들은 방어기작의 일환으로 유해금속을 흡수하여 액포속에 저장함으로써, 스스로는 독을 피하고, 다른 생물에게 먹혔을 때 그 생물에서 독성이 나타나도록 하는 기작을 가지고 있기 때문이다.

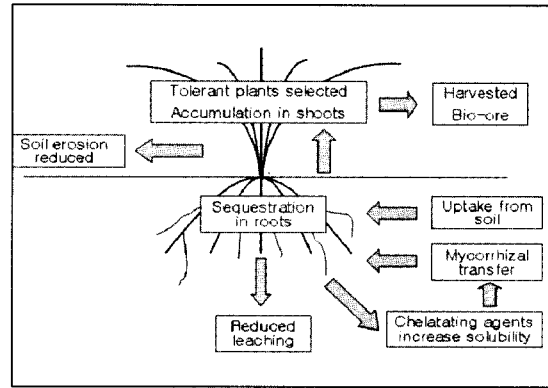


그림 5. Phytoremediation

그림 5는 Phytoremediation의 예를 보여주고 있다. 환경조건에 따라 금속을 흡수하는 식물이 잘 자랄 수 없는 토양의 경우에는 금속에 내성을 가진 식물을 재배하여 그 토양을 안정화시키는 것도 그 금속이 지하수, 먼지 등의 형태로 우리에게 돌아오는 것을 방지하는 중요한 효과가 있다.

5.2 객토를 통한 지반치환공법

정화 능력이 크게 떨어진 토양이나 오염된 토양을 개량하는 데에는 오염된 흙을 제거하고 깨끗한 흙으로 바꾸는 객토 또는 지반치환법이 이용되기도 한다. 오염물질이 트리클로로에틸렌(TCE) 등처럼 휘발성인 경우에는 흙을 대기로 노출시켜 오염물질을 대기 중에 발산시킨 다음에 처리된 흙을 원래위치로 되돌리는 것과 같은 Land Farming공법도 가능하나 농약과 같은 준휘발성 유기화합물의 경우에는 위에 방법이 타당치 않다. 이러한 객토는 매우 효과적이지만 비용이 많이 드는 단점이 있다. 오염되지 않은 흙이나 인공토를 넣어 토양조의 오염 물질 농도를 희석시키거나 계면 활성제와 같은 적절한 세척액을 투입하여 오염물질을 씻어내는 방법도 사용되어진다(박준범 외, 건설기술정보지, 1996. 6) 최근에는 토양에 혼입된 중금속이나 분해가 어려운 물질을 흡착하여 고정시킬 수 있는 물질을 개발하는 연구가 진행되고 있다.

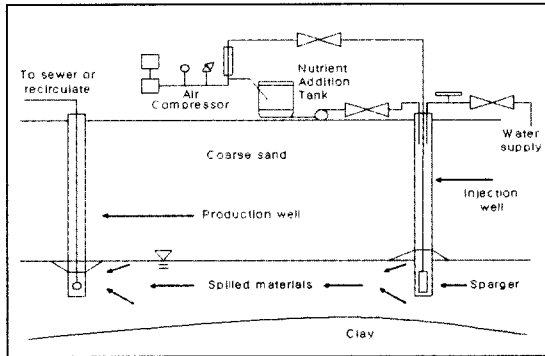


그림 6. Injection system for oxygen-Bioremediation

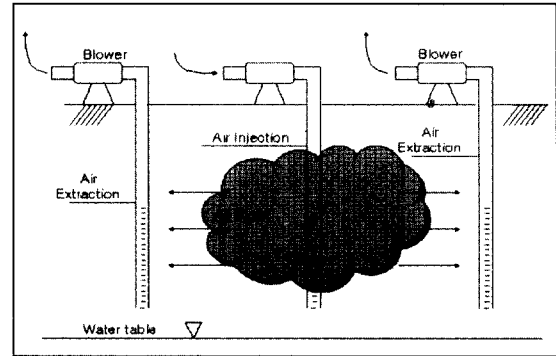
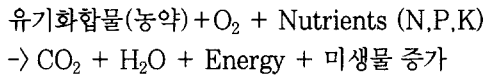


그림 7. Bioventing

5.3 Bioremediation

그림 6은 Bioremediation의 모식도를 나타내고 있다. Bioremediation은 지반에 존재하는 미생물을 이용하여 오염물질을 분해하는 방법으로 특정물질을 지반에 투여하지 않는다는 점에서 환경친화적인 방법으로 알려져 있다. 생물학적 분해는 다음의 반응과정을 통하여 진행된다.



본 과정은 산소를 전자수용체로 사용하는 호기성 분해과정을 나타낸 식이며, 심층지하수대나 산소가 거의 존재하지 않는 경우에는 산소대신에 NO_3^- , SO_4^- , Fe^{3+} , CO_3^{2-} , CO_2 를 전자수용체로 사용하는 혐기성분해를 통해서도 오염물질의 분해가 가능하다 (Baker, K.H. and D.S. Herson, 1994).

생분해법의 효율을 높이는 방법으로는 더 많은 산소를 주입시켜 호기성 상태로 만들어 주는 방법과 영양분을 첨가하는 방법, 미생물이 더 활발하게 활동할 수 있도록 최적의 환경을 만들어 주는 방법 등이 있다.

5.4 Bioventing

그림 7에 나타나 있는 Bioventing은 기체상으로 존재하는 휘발성 유기물질을 추출해 내는 동시에 기존의 토착 미생물에 산소 및 영양분을 공급하고 지반 내 증기흐름속도를 공학적으로 조절함으로써 미생물의 지중 생분해능을 극대화하는데 중점을 둔 기술로서 토양증기추출법(soil vapor extraction, SVE)과 bioremediation을 결합한 형태라고 볼 수 있다. SVE 공정과 비교해 볼 때 미생물 활성을 유지하는 정도의 산소만 제공되므로 산소흐름 속도가 낮아도 되는 장점이 있으며 필요한 경우 토착미생물의 생분해능을 증진시키기 위하여 영양물질이 첨가될 수 있다. 최근에는 불포화지대에만 적용되는 이 기술을 포화지하수대까지 동시에 적용할 수 있도록 하기 위하여 air sparging 기술과 결합된 형태의 bioventing 기술이 개발, 적용되고 있다.

6. 맺음말

위에 언급한 바와 같이 농약은 농업에 있어 필수적인 존재임에 틀림없다. 이러한 농약의 중요성을 인정하지만 농약이 지반환경오염에 미치는 영향을 더 이상 간과할 수만은 없을 것이다. 오염된 지반환경을 방치한다면 오염물질들의 축적이 계속되어서 오염의 악순환이 계속 이어질 것은 불을 보듯 뻔한 일이다.

이제까지 농약에 의한 지반오염정화 사례는 거의

없었다. 위에서 몇 가지 적용가능한 정화기법을 살펴 보았으나 이러한 정화기법에도 많은 어려움이 따르리라 예상된다. 농약에 의한 지반오염의 경우에는 오염원을 명확히 알 수 있는 점오염원의 형태로 오염이 되는 것이 아니라 그 오염원의 범위가 매우 넓은 비점오염원의 형태를 나타내고 그 오염농도가 집중되어 있지 않기 때문에 정화가 매우 어려운 실정이다. 그러므로 농약에 의해 오염된 대상지반에 대해서 다양한 정화기법을 적용과 더불어 새로운 정화기법의 개발도 뒤따라야 할 것이다.

감사의 글

본 문헌연구는 서울대학교 교내연구비(콜로키움 연구)의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김부영 외(1989), "농업환경과학", 도서출판 동화기술
2. 김수옥 외(1997), "농촌 환경오염의 실태와 대책", 한국 농촌지도학회지 Vol.4(1) pp.175-193
3. 농업과학기술원(1996), "농약의 사용현황과 안전성"
4. 박송자(1992), "인체내 농약의 노출평가에 관한 연구",

한국과학기술연구원 연구보고서

5. 박준범(1996. 6), "계면활성제를 이용한 지반오염 처리 기술 소개", 건설기술 정보지 6월호 (건설기술연구원)
6. 박준범 외 (1999. 7) "식물정화기법 (Phytoremediation)을 이용한 지반오염의 정화", 지반공학회지 vol. 15
7. 박창규 외(1982), "한국환경농학회지", 1(1), 1
8. (사)농약공업협회, (1999), "99 농약사용지침서, 농약공업협회"
9. 송인주(2000), "농약사용으로 인한 토양내 CO2 발생과 인의 동태에 관한 연구", 서울대학교 환경대학원 석사학위논문
10. 양항승 외(1990), "신농약", 향문사
11. 윤춘경(1996), "농약에 의한 비점원오염의 관리대책", 한국농공학회지 제 38권 제 4호
12. 이경무(2000), "농약사용실태 및 농약으로 인한 건강피해에 관한 실태조사", 서울대학교 보건대학원 석사학위논문
13. Baker, K.H. and D.S. Herson(1994), "Bioremediation", McGraw-Hill, Inc.
14. Fetter, C.W. (1993), "Contaminant Hydrogeology", Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, pp 323-325

한국지반공학회 논문집 정기구독 신청 안내

회원 여러분의 안위를 기원합니다.

1999년 1월부터 우리학회의 간행물이 학회지와 논문집으로 분리 발간되었습니다. 학회지는 매월 무가로 회원들께 배포되며, 논문집은 유가로 1년에 20,000원의 구독료를 납부하고 받아 보실 수 있습니다. 필요하신 회원은 다음 사항을 참고하셔서 논문집 구독 신청을 하시기 바랍니다.

- 다음 -

- 구독료 : 1년 6회, 20,000원
- 신청기한 : 수시(단, 신청시점이 구독료 납부 회계시점임)
- 입금처 : 한국주택은행 (예금주: 한국지반공학회) 534637-01-002333

* 입금 후 반드시 학회 사무국(02-3474-4428, 7865)으로 연락하여 확인하시기 바랍니다.