

環境公害의 概念(4)

徐 富 甲*

III. 土壤公害

이 지구상의 모든 생물들은 水圈(hydrosphere), 岩圈(lithosphere) 및 大氣圈(atmosphere) 등의 세 가지 부분에서 生育하기 때문에 이들을 총칭하여 生物圈(biosphere)이라고 부르고 있지만 여기서 특히 「암권」에 속하는 토양은 陸生植物들의 필요한 기반인 동시에 이들 생물들이 生存에 절대적인 農作物을 생산해 내는 곳이기도 하여 이른바 「살아 있는 자연환경」이라고도 할 수 있다.

그리고 토양에서의 농작물(녹색식물)에 의한 태양에너지의 固定을 「먹이사슬」을 통한 에너지의 공급 route를 매우 큰 비중을 차지하고 있다고 보아야 하겠으며 한편 자연계에서 인위적으로나 자연적으로 합성된 高分子物質들은 자연계 내의 이동과정중에 토양을 거치게 마련이니 이때 「토양미생물」들이 分解者로서의 역할을 하여 이들 「고분자 물질」을 「저분자 물질」로 분해 함으로써 生態系의 물질순환에 크게 기여하게 된다. 따라서 토양과 물은 결국 에너지의 생산과 환경정화를 위한 두가지의 근본적인 源泉이라고 해도 과언은 아닐 것이다.

1. 토양오염의 과정

토양은 물과 대기와 접하고 있으므로 상호간에 물질교환을 수행할 수 있기 때문에 「토양오염」이란 바로 이러한 과정을 통하여 오염된 이물질이 토양속으로 유입됨으로써 성립되고 결국 이러한 토양이 지니는 물리·화학적 내지는 생물학적 작용에 의한 自淨能力을 발휘할 수는 있을지라도 그 속도가 매우 완만하므로 토양중에 축적되기 쉬우므로 토양오염이나 「토양공해원」으로서 작용할 수

있게 되는 것이다.

다시 말해서 토양공해는 토양중에 존재하는 특정물질의 농도가 어느 한계농도 이상으로까지 높아지면 토양의 이화학적 성질을 악화시키거나 토양생물의 생육에 지장을 초래하고 나아가서 먹이연쇄(사슬)를 통하여 생물농축이 일어남으로써 생태계에 지대한 변화를 수반하게 되며 결국은 동물에게 특히 사람에게 유해작용을 유발케하고 만다. 또한 토양오염은 농작물의 생육을 저해시킬뿐만 아니라 오염된 농작물을 섭취하는 인간이나 가축에게 간접오염으로 큰 피해를 입히는 일이었다는 점에서 볼때 분명히 수질오염이나 대기오염과는 그 성질이 다르다고 하겠다.

2. 토양오염의 경로

토양오염의 경로는 각종 물질의 개발, 생산, 사용 및 폐기 등의 순환과정에서 직접 혹은 간접으로 토양속으로 유입된다. 이 토양오염 경로의 상관관계를 표시해 보면 다음 그림과 같다.

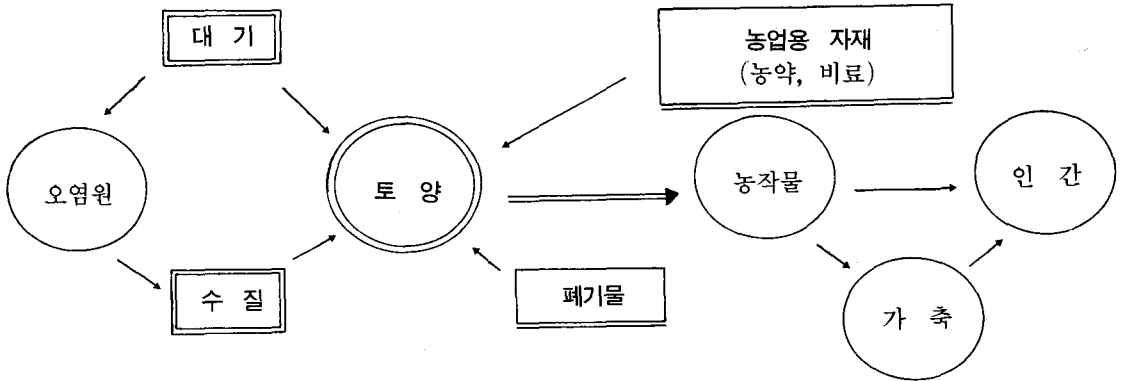
따라서 토양오염원 물질은 토양의 陽ion과 陰ion의 置換作用 만큼 축적되므로 자연적인 제거작용이 거의 불가능하여 계속적인 오염이 가중되는 형태의 이른바 「축적성 오염」으로서 존재하기 때문에 이에 대한 사후대책에는 한계성이 있어 무의미하다고 보기 때문에 오히려 사전에 오염방지책을 수립하는 편에 중점을 두어야 할 것으로 인정된다.

3. 토양오염원 물질

토양을 오염시키는 원인물질로서는 농약, 유해성물질, 중금속류, 유기물질, 무기염류 및 방사능물질(放射能物質) 등을 들 수 있다.

그러나 이들중에서 유기물질들은 토양중에서 분해되고 무기염류도 흡수·유실 용탈됨으로써 토양

* 서울市立大學校 명예교수



속에 축적되는 양은 적은 반면에 高度産業化로 인한 오염물질의 多樣化에 따라서 가령 농약의 예에서 보듯이 토양미생물에 의한 분해가 되기 어려운 難分解性 및 高蓄積性 화학물질이 합성됨으로써 토양오염을 가중시켜 나가고 있는 실정이다. 그리고 중금속류도 토양중에 장기간 축적 농축될 수 있으므로 토양오염원으로서 크게 지목될 수 있다.

4. 토양오염의 발생원

상기한 각종 토양오염원 물질의 發生源을 살펴 보건데 비료나 농약과 같은 농업용자재의 과오용을 우선 들 수 있고 또한 금속광산의 選鑛施設에서 배출되는 광물질과 중금속배출업소의 방지시설의 비정상적인 가동으로 인한 유해중금속의 허용기준치 과다배출도 있을 수 있으며 끝으로 폐수 汚泥(스러지)와 산업폐물 및 도시 쓰레기의 최종 處分地나 埋立地域의 관리소홀로 인한 중금속류의 浸出이라든가 또는 대기오염물질의 落下나 방사선물질의 낙하 등을 들 수 있다.

5. 토양생물

토양에 서식하고 있는 生物群은 다음 그림과 같이 분류되며 토양중에서 여러가지 物質代謝 및 기타의 변화는 거의 미생물에 의해 일어난다고 해도 과언이 아닐만큼 그의 활동은 매우 중요시 된다. 즉 토양중에는 일반적으로 세균이 가장 많이 존재하는데 일반적으로 乾土 1g 당 약 10^7 정도의 세균이 함유되어 있다고 한다. 그 다음으로는 放射菌으로 건토 1g 당 10^6 이고, 絲狀菌은 건토 1g 당 $10^4 \sim 10^5$ 정도가 함유되어 있다.

한편 토양미생물은 각종 영양물질을 基質(substrate)로 이용하여 분해자로서 큰 역할을 하여 이른

바 「자연정화」 차원에서 보는 자연계의 물질순환에 크게 기여하고 있는데 이들의 energy 획득 수단과 영양요구성에 따른 세균을 구별해 보면 다음과 같다.

6. 농약공해

우리나라의 「농약관리법」에 “농약이라함을 樹林 및 농·임산물을 포함한 모든 농작물을 해하는 균, 곤충, 웅애, 선충, virus류 기타 농림수산부령이 정하는 동식물의 방제에 사용되는 살균제, 살충제, 除草劑(herbicides)와 농작물의 생리기능을 增進 또는 抑制하는데 사용되는 生長調整劑 및 약효를 증진시키는 資材를 말한다”라고 정의하고 있다.

따라서 이와같이 다양한 농약을 체계적으로 분류하는데는 주성분의 조성, 사용목적과 작용의 특성 및 농약의 형태 등에 따라 다음과 같이 분류하여 사용되고 있다.

1) 농약의 분류

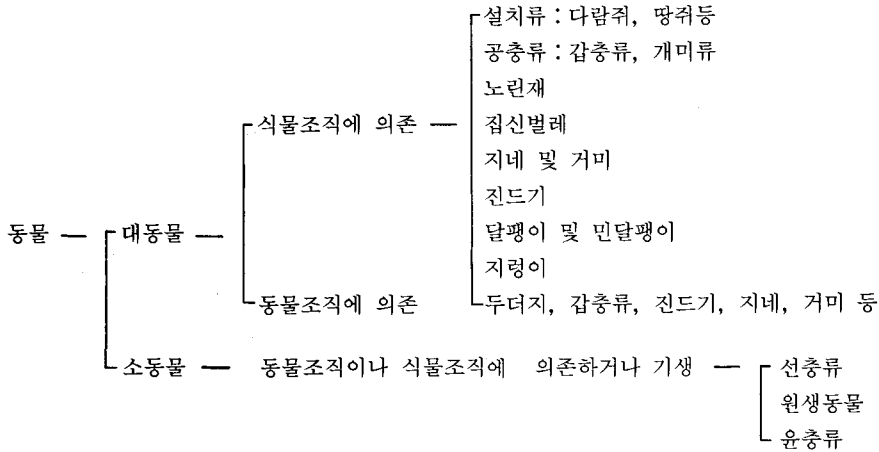
(1) 주성분 조성에 따른 분류

이것은 농약의 活性基組成에 따른 분류방법으로서 다음과 같은 것들이 있다.

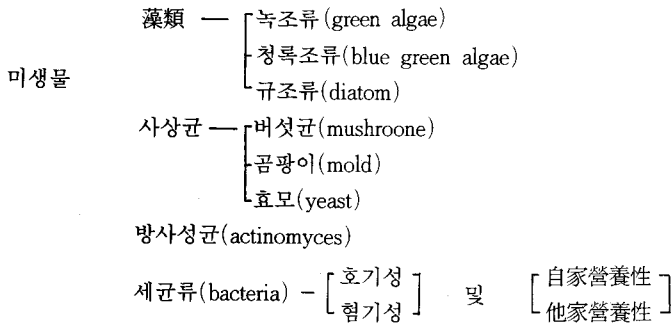
① 유기인계 농약(orgnophosphorus pesticide)

유기인계 농약의 화학적 구조식은 아래에서 보는 것처럼 정인산의 유도체로서 5價의 인(P)이 중심이 되고, 이 P에 2重結合을 가진 O 또는 S이 결합되어 있으며, H(A)와 H(B)의 2개의 수소에는 $-CH_3$ (methyl 基)나 $-C_2H_5$ (hyl 基)같은 알킬기(alkyl 基)가 대치되고, H(C)의 수소에는 무기 또는 유기산기를 갖춘 Phenyl基를 비롯하여 유기인계의 살충작용이나 안정성 혹은 人畜에 대한 독성과 밀접한 관계를 지닌 化學基가 대치된다. 이들은 또 몇가지 형태로 구분될 수 있으며 이들의 作用機轉

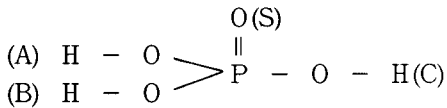
토양중의 생물군



식물-고등식물이 뿌리

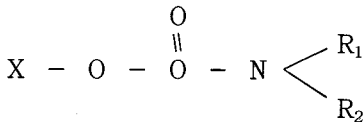


은 acetylcholinesterase 저해 작용에 있다고 하겠다.



② 카바메이트계 농약(carbamate pesticide)

「카바메이트」계 농약의 일반적 화학식은 다음과 같으며 여기서 X는 naphthyl기나 phenyl置換體 및 pyrazolyl기 이고, -N 에서는 R₁=H, R₂=CH₃일 경우에 가장 살충력이 강력하고 안정성이 크다.



그리고 「카바메이트」계 농약으로는 다음과 같은 것들이 있다. 참고가 되길 바란다. 또한 「카바메이트」계 농약의 작용기전도 역시 유기인계 농약과 동일하다.

- | | |
|-----------------------|--|
| 화학명칭 : | 제품(상품)명칭 : |
| 가. Phosphate | TEPP(tetraethylpyrophosphate) |
| | DDVP |
| | phosdrin |
| 나. Phosphorothioate | methylparathion |
| | parathion |
| | chlorthion |
| | baycid |
| | sumithion |
| 다. Phosphorodithioate | malathion |
| | dimethate |
| | trithion |
| | thimet |
| | disyston |
| 라. Phosphonate | dipteres |
| 마. thiophonate | EPN(ethyl-p-nitrophenyl-thiono benzen-phosphate) |
| 바. Phosphoromidate | schradan |
| | dimefox |

에너지 획득과 영양요구에 따른 세균의 분류

획득수단	유기물의 존재 필요성	호·혐기성	질소원과 피 산화물	미생물명
光化學反應(明反應, phototrophy)에 따 름.	유기물 불필요(photo litrotrophy)	혐기적 황화합물 필요	황화물의 농도가 높 음	녹색 황세균
			황화물이 농도가 낮 음	홍색 황세균
	유기물의 존재를 필 요로 함 (photoorga notrophy)	혐기적		무황홍색 세균
	유기물의 존재를 필 요로 하지 않음 (chemolithotrophy)	호기적(산화제로 O ₂ 를 필요로 함)	피산화물 NH ₄ ⁺ 사 용	Nitrosomonas
			피산화물 NO ₂ 사용	Nitrobacteria
			피산화물 H ₂ 사용	Hydrogen bacteria
			S나 S ₂ O ₃ ⁻² 사용	Thiobacillus
化學的暗反應 (Chemotrophy)에 따 름.	유기물의 존재를 필 요로함 (Chemoorganotrophy)	혐기적(산화제로 NO ₂ 사용)	S나 S ₂ O ₃ ⁻² 사용	Thiobacillus dmitri- ficus
		호기적(발효성 기질 이 없는 편이 더 좋음)	N ₂ 전질소원으로 사용	Azotobacter
			화합태 질소를 필요 로 함.	대부분의 호기성 산화 세균(예 : Pseudom- onas)
		혐기적	NO ₃ 사용	탈질소균
		발효성 기질 불필요	SO ⁻² 사용	황산 환원균
		발효성기질 필요	N ₂ 를 전질소원으로 사용	Clostridium Pas- teurianum.
화합태 질소를 필요 로 함	대부분의 발효성세균 (예 : Aerobacter).			

③ 유기염소계 농약(organochloride pesticide)

유기염소계 농약들은 그 화학분자 구조내에 염소원자를 함유하였으며, 화학구조상 BHC나 aldrin과 같이 環狀構造를 한것과 DDT와 같이 diphenyl 구조를 가진 것으로 구분된다.

그러나 유기염소계 농약에서도 dioxin과 PCB(polychlorinated biphenyl)같은 것은 유독성이 강하다 하여 문제가 되고 있다. 특히 dioxin중 TCDD(dioxin(2, 3, 7, 8-tetrachloro-dibenzo-p-dioxin)는 유기염소계 화합물중에서 그 독성이 endrin의 100~200배, DDT의 1만배나 강한 맹독성이 있다는데 문제가 있다. 그리고 앞에서 열거한 PCB는 塗料, 인쇄잉크, 복사지 또는 가역제 등에 가입되며, 절연체나

화학공업용 기계유로 사용되기도 하지만 이들 모두는 세계 2차대전을 전후하여 우수한 살충제로서 광범위하게 대량 사용되어 왔으나 1960년대 초반부터 제기된 殘留毒性문제가 자연계 전반에 미치는 영향이 환경공해차원에서 관심의 초점이 되기 시작하였고 결국 DDT를 비롯한 drin계와 BHC계 등의 사용이 세계적으로 제한조치를 받게 되었으며 우리나라에서도 세계추세에 따라 다음과 같이 몇 가지 농약이 사용금지 되었다.

- 참고 1970-PMA 및 PTM-V(분무용으로서)
1971-dieldrin
1972-aldrin, endrin, p,p-DDT
1974-PCB(제조제로서)
1978-PMA(중자 소독용으로서)
1979-heptachlor, γ-BHC, phosvel

④ 유황계 농약(sulfur pesticide)
硫黃(S)성분을 함유한 농약으로서 이들에게는 「석유황합제」나 「유황수화제」와 같은 무기유황화합물과 「유기유황화합물」로 대별되며 거의 모두 殺菌劑로 사용된다.

⑤ 동계 농약(copper pesticide)
銅(Cu)을 함유한 농약으로서 여기에는 석화「보르도액」과 같은 무기동제와 oxin구리와 같은 유기동제로 구분되며 이들도 주로 살균제로 사용된다.

⑥ 「페노키시」계 농약(phenoxy pesticide)
분자 구조내에 페노키시基인 $-O_2$ 를 함유하고 있는 농약으로써 제초제(herbicide)인 (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid)나 MCP가 여기에 속한다.

⑦ 항생물질계 농약(antibiotic pesticide)
이것은 미생물이 분비하는 물질을 농약으로 이용하는 것으로서 주로 살균제로 사용된다.
이상 ①~⑦ 외에도 pyrethroid계와 triazine계, 尿素系 농약 및 유기수은계 농약도 사용되고 있다.

(2) 사용목적 및 작용특성에 따른 분류

① 살충제(殺蟲劑, insecticide)
해충을 제거할 목적으로 사용되는 약제로서 여기에는 飲毒劑(stomach poison), 接觸劑(contact poison), 浸透性 살충제(repellents), 생물농약(biotic pesticide) 및 不妊化劑(chemosterilants) 등이 있다.

② 살균제(fungicide)
병원균을 제거할 목적으로 사용되는 약제로서 석회「보르도」액과 같은 보호살균제와 항생물질등과 같은 직접살균제로 구분한다.

③ 제초제(herbicides)
작물 이외의 잡초만을 죽일 목적으로 사용되는 약제이며 작용특성에 따라 선택성(selective) 또는 비선택성 제초제로 구분한다.

④ 살용애제(acaricide or mitecide)
이들은 응애를 죽이는데 사용된다.

⑤ 살선충제(mematocides)
이것은 토양중에 있는 線蟲類를 죽이는데 사용된다.

⑥ 植物生長調整劑(plant growth regulators)
식물의 생육을 촉진하거나 억제할 목적으로 사용되는 농약제이다.

⑦ 혼합제(combined pesticide)

사용목적이나 작용의 특성이 서로 다른 두가지 종류 이상의 액제를 혼합하여 하나의 劑形으로 만든 약제이다.

⑧ 補助劑(supplement agents or adjuvants)
기존 농약의 주성분의 약효를 증진시키기 위하여 사용하는 것으로서 여기에는 전착제(spreader), 증량제(diluent or carrier), 용제(solvents) 乳化劑(emulsifier) 및 협력제(synergists) 등이 있다.

(3) 농약의 형태에 따른 분류

농약제제의 형태에 따라 유제, 수화제, 액제, 수용제, 액상수용제, 분제, 입(粒)제 및 微粒劑 등으로 구분된다.

2) 농약의 약리작용기전

농약의 사용목적에 부합되는 살충, 살균 및 제초제 등의 고유한 역할을 하는 작용기전은 약효성을 갖게 되지만 이 작용기전이 목적 외의 대상에 대하여 아무렇게나 작용할 때에는 반대로 생태계의 파괴는 물론이요 농약오염으로 인한 「농약공해」 작용으로 발전하게 된다.

여기서 먼저 살균제의 약리적 작용기전을 살펴 보는데 각종 미생물 체내에서의 대사작용은 먼저 탄수화물을 이용하여 전체의 高energy 化合物인 ATP(adenosine triphosphate)를 생산해 내는 에너지 대사(즉 호흡)와 이러한 ATP를 이용하여 미생물체의 구성성분을 생합성하는 두가지 일도 이루어 지는데 이것은 결국 미생물체의 생활과 증식에 있어 절대적인 과정이므로 결국 농약의 약리적 작용기전이란 곧 이러한 과정을 공격목표로 삼을 때 비로소 살균효력이 발생한다고 보아야 하겠다.

다음으로 살충제에 대한 작용기전을 보면 유기인계와 「카바메이트」계의 농약은 神經傳達에 관련하는 효소의 일종인 acetylcholinesterase의 阻害劑(inhibitor)로써 작용한다. 즉, 이 효소들은 acetylcholine을 choline과 acetic acid로 분해하는데 이 과정에 유기인계인 파라치온(palathion)이 작용하면 앞에 말한 acetylcholinesterase 효소들과 결합함으로써 이효소를 不活性化상태로 만들어서 결국은 정상적인 신경전달체제를 방해하게 된다. 한편 DDT는 신경망에 결합하여 K과 Na이온의 균형을 파괴하여 신경자극의 전달을 간섭하는 것으로 알려져 있다.

끝으로 제초제의 작용기전을 살펴보면 호흡계의 저해작용, 단백질의 생합성작용 저해, 光合成작용

의 저해작용 및 auxin(식물의 성장 호르몬의 일종) 작용의 저해 등을 초래하여 약효를 발휘하게 된다.

3) 토양오염 농약의 영향

농약이 한번 살포된 다음 자연환경에 버려지면 복잡한 변화를 받아 분해되므로 본래 지니고 있던 물리·화학적 성질은 물론이고 그의 活性度도 변하고 만다.

(1) 농약의 화학적변화

농약의 화학적 변화는 무생물적인 것과 생물적인 것의 두가지 방법에 의해 분해된다. 앞의 것은 주로 光化學反應에 의한다고 보는데, 이것은 태양의 「자외선」이 각종 유기물질들과 반응하여 화학반응을 일으키거나 또는 산화·환원작용, 가수분해작용, halogen화, 異性化 및 轉移 등 복잡한 반응에도 관여하게 된다. 뒤의 생물적인 변화는 농약과 같이 불필요한 異物質(xenobiotics)을 분해하여 무독한 화합물로 변화시키거나 체외로 배설시키기 쉬운 물질로 변화시키는 일을 한다. 따라서 농약은 경우에 따라 대사과정에서 영양소 역할을 하거나 이물질로 작용될 것이다. 결국 농약의 생물체내에서의 대사분해과정은 농약의 작용기전, 선택성 독성, 병충해의 저항성 및 농약의 잔류성 등 이른바 농약의 安定性과 밀접한 관계가 있다.

(2) 농약의 생물학적 기본 대사경로

농약은 대상 생물체내에 쉽게 침입할 수 있도록 이른바 無極性의 지용성산화물로 되어 있기 때문에 먼저 산화, 환원, 가수분해에 의해서 分子내에 極性基인 OH, SH, COOH, 및 NH₂ 등이 도입되는 이른바 「제 1 단계의 변화」를 일으키며, 이 시기에는 동·식물 및 미생물이 모두 비슷하게 이러한 과정을 거친다. 다음 「제 1 단계의 변화」로서는 두가지 경로를 생각할 수 있으니 그중 하나는 제 1 단계에서 극성화된 중간대사산물이 糖, 아미노酸 및 지방 등과 결합하여 接合化(conjugation)되는 경로이고 이것은 주로 동물과 식물체내에서 일어난다. 이러한 과정은 동물의 경우 농약과 같은 이물질을 체외로 제거하기 위한 배설의 형식이 된다. 따라서 「유기 염소계」인 DDT나 PCB 등은 이와같은 대사반응이 잘 일어나지 않으므로 자연생물체내에 장시간 잔류하게 될 것이다.

한편 다른 경우를 살펴보면 무기화과정으로서 이것은 주로 미생물에 의해 진행되는 기전이라 하겠는데 즉, 제 1 단계에서 극성화된 화합물이 미생

물 본래의 물질대사 경로로 들어갈 수 있는 화학적 형태로 변화되는 것이므로 최종적으로 물(H₂O)과 CO₂로 분해되고 만다.

그리고 생물학적분해에 의한 농약의 변화중 특히 중요한 것은 「토양미생물」에 의한 대사과정이라고 하겠는데 즉, 자연계에 무수히 많은 미생물이 토양중의 유기화합물을 분해하여 미생물 자체의 에너지源으로 이용하게 되지만 농약과 같이 토양중에 상재하지 않았던 독성물질을 분해할 수 있는 능력을 갖는 미생물도 적지 않게 존재한다. 따라서 우리가 사용한 농약의 대부분이 결국에는 토양으로 이동되었으나 결국 토양중의 농약은 토양미생물에 의해 분해되어 버릴 것이다. 그러므로 「농약 공해의 방지」라는 차원에서 불쾌 토양미생물의 역할은 매우 중요시 된다.

(3) 농약의 잔류성

농작물에 살포된 농약은 자연환경계를 이동하면서 대부분이 분해·소실되었으나 그 일부분은 분해되지 않은채 토양, 수질, 농작물 등에 잔류하게 된다. 이와같은 농약의 「잔류성」은 농약이 환경계에 잔류하는 기간과 양은 농약이 분해되어 손실되는 속도에 의해 결정되는데 농약의 종류, 특성 및 여러가지환경조건 등에 따라 복합적으로 영향을 받게 된다.

농약의 「잔류성」은 그 대상에 따라 수질잔류성, 식물체 잔류성 및 토양잔류성 등으로 대별할 수 있지만 그 중에서 「토양잔류성」은 특히 토양중의 농약의 半減期가 1년 이상인 농약인 경우 사용후에 토양중에 잔류하면서 後作物에 잔류되는 일이 있으므로 공중보건위생면에서 중요시 된다.

그리고 토양내의 농약잔류는 그 토양에서 재배하는 농작물에 의해 흡수되어 「먹이사슬(food chain)」에 따라 사람이나 가축으로까지 흡수되기 때문에 결국 반감기가 긴 농약은 보건면에서 비위생적이라고 보는 것이 타당하다. 다음에 참고로 농약의 토양내 반감기를 들어 보기로 한다.

농작물중의 농약잔류는 오염음식물을 통한 사람에서의 체내흡수문제도 매우 중요한 뜻이 있다. 따라서 이러한 염려와 걱정을 덜어주기 위해서 각 나라에서는 잔류농약을 규제하고 있다. 농산물중 잔류농약을 규제하는 방법으로는 크게 2가지로 구분되며 첫째로 농약면에서의 규제로서 안전 사용기준과 다음으로 식품 및 환경보건면에서의 규제로

토양중 농약의 반감기

농 약 구 분	대 상 약 종 수	토양중에서의 반감기		
		범 위	평 균(일) (최저~최고)	전체평균(일)
살 균 제	61	1시간~240일	19~41	30
살 충 제	84	3시간~200일	20~34	28
제조제 및 성장조정제	46	1시간~135일	19~39	29
계	191	3시간~240일	20~38	29*

* 대부분의 농약은 그 반감기가 평균 30일 정도인 것이 보통이다.

서 모두 그때의 「잔류허용량」을 설정하고 있다.

가. 잔류 허용량의 설정

농약의 잔류허용량이라는 것은 食品중에 함유되는 농약 주성분의 양이 사람이 한평생동안 섭취하여도 전혀 해가 없는 수준에 있는 것을 법적으로 규제한 양을 뜻하고 있다. 따라서 이것은 「식품위생법」상의 식품규격의 일부가 되기 때문에 그 이상의 허용량을 함유한 식품의 판매나 생산행위는 당연히 법적제재를 받게 마련이다. 그러므로 잔류허용량의 설정방법은 나라마다 약간의 차이는 있더라도 FAO/WHO 및 EC 등에서는 대체로 和蘭의 방식인 “Druth formula”를 사용토록 권유하고 있다.

즉, 허용최대한계 (permissible level)=

$$\frac{1일\ 섭취허용량(mg/kg) \times 국민평균\ 체중(kg)}{\text{해당농약의 사용되는 식품의 1일 섭취량}(kg)}$$

으로 산출 · 계산한다.

나. 농약의 안전기준

농산물에 잔류한 농약의 허용량규제가 있다해도 수확된 직후의 농작물이나 유통중에 있는 농산물 및 식품에 대한 잔류량을 일일이 조사하기가 곤란하므로 농수산부에서는 「농약관리법」에 근거하여 농작물별, 농약별로 따로 안전사용기준을 설정하고 시하고 있다.

이 안전사용기준은 해당 농작물에 사용되는 모든 농약에 대하여 설정하게 되는데 수확물중 농약 잔류량에 큰 영향을 미칠 각 농약 및 작물마다 사용될 수 있는 제형을 비롯하여 그의 사용방법, 사용횟수 및 수확전 살포완료일 등을 세밀하게 정하고 있다. 이들 요인중에서 특히 수확전의 살포완료인은 잔류농약량에 큰 영향을 미칠수 있으므로 본 기준중에서 최종살포후 수확기까지의 경과일수가 중요시 되고 있으며 그래서 채소류나 시설재배를 할 때에는 이 기준을 철저히 준수하는 편이 안전

하다고 본다. 요컨대 농약을 사용하는 사람이 이상과 같은 각종 기준을 준수할 때 비로소 수확물이나 농산식품중의 잔류농약량이 허용치 이하로 유지되리라 믿어진다.

다. 농약의 독성

본래 농약의 사용목적은 살아있는 유해생물을 防除하기 위함에 있으므로 결국은 이 결과로 사람이나 가축에 대한 피해가 파생될 수 있다고 보아야 하겠다. 따라서 각종 의약품이나 사료첨가물일지라도 농약처럼 본래의 목적을 벗어나서 공해물질로써의 독작용을 미치게 되는 수가 있다. 그러므로 「인공독」에 속하는 대부분의 것들은 약리작용과 독작용의 兩面性을 가지고 있기 때문에 이것을 구별하기가 매우 어려운 처지에 있다. 즉, 「독」과 「약」은 그의 사용방법에 따라 유용하기도 하고 유해하기도한 것이다. 그러므로 농약은 그의 독성문제, 잔류성문제 및 환경오염문제 등에 대하여 대책을 세워 사용함이 옳다고 본다.

A. 농약의 안전성시험

농약의 피해를 최소한으로 줄이기 위해서는 농약의 개발과정에서부터 인축에 대한 독성 및 환경에 미치는 영향 등에 관한 각종 시험연구가 실시되고 이로써 안전하다고 판단될때 비로소 엄격한 법절차를 밟아 등록된 다음 사용토록 되어 있다. 그러기 위해서는 실험동물을 사용한 화학물질의 안전성시험과 화학물질의 특수성시험을 실시하고 있다. 즉, 앞의 것에서는 아급성 및 만성(장기적)시험을 비롯하여 공시농약제를 실험동물에게 1회 투여하여 나타나는 반응을 평가하는 급성독성시험방법 등으로서 그 화합물질의 독성정도를 측정하는 한편, 독성의 機轉에 관한 기초적인 연구나 LD₅₀을 정하는데 이용되고 뒤의 것에서는 최기형시험, 생식시험, 발암시험, 국소성자극시험 및 변이원성시험 등을 실시하고 있다.

B. 급성독성시험

여기에는 경구적, 경피적 및 흡입방법 등으로 구분하여 실시하며 실험동물로서는 랫드(rat), 마우스(mouse), 개, 토끼 등이 사용된다. 따라서 실험동물의 종류 및 계통 여하, 투여방법 및 환경 등에 따라 시험결과에 차이가 있을수 있으나 대체로 농약의 독성평가는 주로 LD₅₀으로 표시하되 동물체중 매 kg당 mg로 나타낸다. 다음에 참고로 농약별 경구투여를 할때의 LD₅₀을 소개해 본다.

각종 농약별 경구투여 LD₅₀(랫트)

구분	농약의 종류별 명칭	LD ₅₀ (mg/kg)
살충제	Aldrin arochlor(PCB)	54~56
	Carbaryl	250
	DDT	420~800(개 : 60~75)
	Dichlorvos	56~80
	Dieldrin	50~55
	Endrin	5~43
	Heptachlor	90
	Lead arsenate	825(면양 : 192)
	Lindane	125~200
	Malathion	480~1500
	Methoxychlor	5,000~6,000
	Mirex	300~600
	Nicotine	50~60
	Parathion	4~30
Paris Green	22	
Pyrethrins	820~1870	
제초제	2, 4-D	666
	Dioxin	0.03
	Penta chlorophenol	27~80
	Sodium arsenite	10~50
	2, 4, 5-T	300(개 : 100)
살균제	Mercurials ethylmercury-P-toluene sulfonamide	100

7. 중금속으로 오염된 토양

중금속류에 의한 토양의 오염은 바로 수질오염과도 밀접한 관련성이 있기 때문에 이에 유래되는 농작물이나 목초 등에 의한 가축과 인간의 토양공해는 자연이 수질오염도에 비례한다고 보아야 하겠고 또한 주위환경이 산업체로 둘러 싸였을 때는

그 정도가 더욱 심해지리라 본다.

토양중의 중금속 공해원의 종류는 앞의 수질공해원에서 언급한바 있듯이 거의 유사하고 그에 의한 인체의 피해사향도 거의 유사하다. 그러나 그와 같은 것들이 생물체에 접촉되면 어떤 경우든 모두 공해원으로서 작용하는 것은 아니고, 문제는 그의 오염농도 즉, 토양중의 함유량이라 하겠으며 따라서 이에 의한 허용기준도 생물의 종류에 따라 차이가 있는 것이다.

1) 배출원

이들 중금속 토양공해원의 배출은 주로 광산폐수, 공장폐수, 대기오염물의 낙하 침적 등이라 보겠는데 이들중 「광산폐수」는 채광, 선광 등의 작업과정에서 배출되는 폐수에 기인되고 「공장폐수」로서는 제련소 폐수, 도금작업 폐수, 도료 및 염료공장의 폐수, 화학공업폐수 등에 기인되며 또한 「농약중」에 함유된 중금속의 공해원로서는 살균제인 유기수은계와 砒素(As)화합물 등에 기인될 때도 있고 이밖에도 제련소나 자동차 연료의 연소 매연가스 중에도 납(Pb)를 비롯한 각종 중금속류가 함유되어 있으므로 토양을 오염시키고 있다.

2) 중금속 공해의 작용기전

토양중에 축적된후 농작물에 쉽게 흡수되어 식물세포의 원형질(原形質, protoplasm)중의 단백질과 결합하여 세포의 기능을 저하시키는 결과로呼吸作用과 관련된 여러가지 대사과정에 있는 각종 「효소작용」을 저해하고 만다. 대체로 모든 생물들은 그의 생명유지를 위하여 低分子化合物質을 고분자 에너지화합물질인 ATP(adenosine triphosphate)로 합성하게 되는데 이것은 解糖過程(glycolysis)이라는 첫단계 물질대사과정에서도 일부분 생산되기도 하나 대부분이 생물의 호흡에 의해서 생산되는 것이므로 결국 생물이 어떤 화합물(중금속)에 의해 호흡이 저해된다면 그 중요한 에너지원인 ATP의 생산이 불가능하게 되어 생물생육에 피해를 입히게 된다. 요컨대 「먹이사슬」에 의해 중금속에 오염된 농작물을 먹은 모든 동·식물들은 이와 같은 물질대사기전에 의해 공해를 받게되는 것이다.

다음에 참고로 1980년을 기준한 우리나라 농작물중의 중금속함량조사표를 제시해 보면 다음과 같다.

농작물중의 중금속 함량(1980) 평균±S.D(ppm)

구 분	Cd	Cu	Ni	Zn	Pb
쌀	0.11±0.02	1.46±0.53	2.33±1.14	5.86±3.02	0.85±0.47
오 이	0.02±0.01	1.30±1.26	0.22±0.07	1.30±0.99	0.12±0.26
배 추	0.04±0.03	2.59±2.82	0.29±0.16	2.44±1.92	0.14±0.10
무 우	0.04±0.04	2.54±2.75	0.26±0.24	1.38±1.01	0.08±0.11
사 과	0.02±0.01	0.66±0.25	0.14±0.13	0.67±0.52	0.09±0.13
배	0.03±0.01	1.88±1.55	0.21±0.14	0.27±0.51	0.04±0.06
포 도	0.03±0.01	1.23±0.37	0.25±0.16	0.97±0.72	0.22±0.32
귤	0.04±0.01	0.43±0.15	0.24±0.06	0.97±0.29	0.31±0.27

* S.D=Standard derivation

제 1 차 필수원소	제 2 차 필수원소	미 량 원 소	부 수 원 소
1. N	7. Ca	10. Fe	16. Si
2. P	8. Mg	11. B	17. Na
3. K	9. S	12. Nn	18. Cl
4. C		13. Zn	기타
5. H		14. Cu	
6. O		15. Mo	

8. 기타 토양오염 물질의 영향

토양은 식물의 영양분을 공급하는 매개체인 동시에 식물체를 지지해 주는 토대이기도 하다. 그러므로 토양중에는 다양한 화학원소인 각종 영양성분이 적당한 농도로 유지되어야 하겠지만 인위적인 각종 요인에 의해 필요 이상의 농도로 축적이 된다면 오히려 「공해원」으로 작용하여 식물의 발육과 성장을 방해하고 말것이다.

대체로 식물에 필요한 영양분을 엄밀하게 분류해보면 다음과 같이 제 1 차 필수원소, 제 2 차 필수원소, 미량원소 및 부수원소 등으로 구분할 수 있다.

1) 비료에 의한 토양의 산성화

토양오염중 비료에 기인되는 오염의 개념은 희박한 실정이다. 농촌에서 흔히 많이 사용되는 비료로서는 황산암모늄, 염화암모늄 및 尿素 등의 窒素肥料인데 이것들은 질산화작용에 의하여 NO₃ion 이 생기는 과정에서 H⁺가 증가되기 때문에 토양은 산성화되고 만다. 그리고 糞尿를 계속 施肥할 때에는 분뇨중 Na⁺이 토양중의 Ca⁺를 치환하고, Na⁺은 H⁺에 의해 쉽게 치환되므로 이때에도 토양은 산성화되기 쉬우며 또한 광산이나 화학공장에서 流出되는 광산물질이나 혹은 대기중의 SO_x화합물에 의해서도 토양은 酸性化되므로 이것이 바로 공

해원인으로 작용하는 것으로 볼 수 있다.

2) 토양의 산화·환원전위

토양물질이 공기중의 산소와 쉽게 접촉할 수 있을만하게 통기가 좋은 조건은 토양중에 산화물이 많이 생기게 되는 조건이기도 하겠으며 특히 토양의 通氣와 관계가 되는 것은 토양중의 水分으로서 토양의 산화물 형성에 영향을 미치고 있는 것이다. 그리고 토양의 산화·환원전위가 환원상태로 되면 식물에 필요한 양분원소의 어떤것은 溶解度가 증대되므로서 식물의 생육에 좋은 영향을 미치게 마련이다.

3) 나트륨 흡착율

Na吸着率(sodium adsorption ratio, SAR)은 토양중의 Na⁺의 양이 Mg⁺⁺와 Ca⁺⁺이 양을 비교하여 과다할 때에는 Na⁺가 Ca⁺⁺나 Mg⁺⁺와 치환되어 Na-교질로 변한다. 이 Na-교질은 탄산 또는 탄산염과 반응하게 되면 H-교질이 되고 한편 「탄산소오다」나 「중탄산소오다」는 물과 반응하면 알카리로 된다. 따라서 이 알카리에 의해서 腐蝕層은 용해되고 이때 교질이 분해되어 파괴된 것은 下層으로 이동하여 不透性인 水層을 형성하게 된다. 요컨대 이 불투수층이 발달되면 이에 비례하여 토양의 吸水性도 감소되고 물은 토양의 표층에 머물게 되고 이로부터 점차로 溶脫作用이 지속되어 중국에는 토양이 나쁜 상태로 변해버리고 말것이다. 그래서 농업용수에 사용되는 SAR값이 26까지는 토양에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 인정되고 있다.

9. 토양의 환경기준

현재의 「환경보전법」에 의하면 농경지의 오염방

농업용수의 수질기준

수질항목	단 위	현행기준
PH		6.0~8.5
DO	mg/l	2이상
COD		8이하
SS		100이하
BOD		8이하
Cd	mg/l	0.01이하
Pb	〃	0.1이하
Cr ⁺⁶	〃	0.5이하
CN	〃	검출되어서는 안됨.
Hg	〃	
PCB	〃	

지 농수산물의 재배제한 및 농약의 잔류허용기준 등을 정해놓고 있다.

1) 농경지의 오염방지 기준

농경지의 오염방지에 대하여서는 「시·도지사는 특별대책지역내에 특정 유해물질에 의한 농경지 및 草地의 오염방지를 위하여 필요하다고 인정하는 때에는 대통령이 정하는 바에 따라 당해 농경지에 유입하는 用水의 수질기준을 정하거나 伐土 및 削土 등의 조치를 취할 수 있다」라고 규정하고 있다. 그래서 여기에 참고가 될까하여 법에 의해 정해진바 농업용수의 수질기준을 들어 보기로 한다.

2) 농수산물의 재배제한 기준

여기서는 「시·도지사는 특별대책지역내에 있어서 토양 또는 수역의 특정유해물질에 의하여 오염

되어 있다고 인정하는 때에는 토지소유자 또는 재배자에 대하여 대통령령이 정하는 바에 따라 해당 오염지역에 대한 농수산물 등의 재배를 제한하거나 그 오염지역에서 생산된 농수산물을 폐기할 수 있다」라고 규정하고 있으며 이에 대한 경우는 다음 표에서 보는 바와 같다.

3) 토양중의 농약잔류허용기준

농약의 토양내 잔류허용기준에 대해서는 「환경처장관은 수질, 토양 또는 농작물의 오염방지를 위하여 필요하다고 인정될 때에는 수질, 토양 또는 농작물중 농약잔류허용기준을 정할 수 있다」라고 규정하고 있다.

현재 우리나라 보건사회부에서 설정한 농약잔류허용기준을 살펴볼 때, 현재 사용중인 농약중 17개 농약성분에 대해 28개 농산물을 설정하여 그 기준을 정하고 있으며 1989년 9월 1일부터 시행되고 있다. 따라서 이 기준을 초과하는 농산물은 판매나 수입을 금지함은 물론이요, 나아가 폐기처분을 하게되어 있다. 그래서 농수산부에서는 이러한 농약잔류허용량(다음 표)이 지켜지도록 농약 각 품목별 안전사용기준인 살포횟수와 최종 살포일 등을 정하고 있다.

10. 토양의 보전

생태계는 물론 토양이 일단 오염되어 그의 균형이 깨지면 그것이 회복되는데는 오랜시간이 소요될 뿐만 아니라 경제적으로도 막대한 손실을 초래할 것이고 특히 사실상의 원상회복은 불가능하기 때문에 사후대책보다는 사전에 예방적인 조치를 취하는 편이 보다 효과적이라고 하겠다. 따라서 토양의 오염을 방지하고 토양을 보전하려면 첫째로 오염물질이 토양으로 유입되는 것을 방지하거나

농수산물 재배를 제한할 수 있는 오염기준

구 분	유해물질의 종류	오 염 기 준
토양농산물	1. Cd 및 그 화합물	생산된 현미중의 Cd함량이 1mg/kg 이상
	2. Cu 및 그 화합물	발효중의 Cu 함량이 125mg/kg 이상
	3. As 및 그 화합물	발효중의 As 함량이 15mg/kg 이상
수역농산물	Hg	0.005mg/l 이상
	Cu	0.001mg/l 이상
	Pb	0.1mg/l 이상
	Cr ⁺⁶	0.05mg/l 이상
	CN	0.1mg/l 이상

농산물의 농약잔류 허용기준

(단위 : mg/kg)

식품(농산물)		쌀	보리	옥수수	콩	감자	고구마	배추	양배추	상치	시금치	쭈갓	파	무우	당근
농약명															
유기염	DDT	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-	0.2	0.2	0.2
	BHC	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-	0.2	0.2	0.2
	aldrin, Dieldrin	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01
소제	endrin	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	captafol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	captan	-	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
유기인제	EPN	0.1	-	-	-	0.1	-	0.2	0.1	0.1	0.1	-	-	0.1	0.1
	diazinon	0.1	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-
	dimethoate	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	malathion	0.3	-	-	0.5	0.5	-	0.5	0.5	-	0.5	-	-	0.5	0.5
	parathion	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.3	0.3	-	0.3	-	0.3	0.3	0.3
	fenitrothion-(MEP)	0.2	-	-	0.2	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	0.2
	fenlthion-(MPP)	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	phenthoate-(PAP)	0.05	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
카바메이트	isoprocarb-(MPP)	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	carbary-(NAC)	1.0	-	-	-	0.2	-	0.5	0.5	-	-	-	-	0.5	-

식품(농산물)		양파	풋고추	오이	가지	도마도	딸기	참외	사과	배	감귤	복숭아	감	포도	마늘
농약명															
유기염	DDT	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	BHC	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	aldrin, Dieldrin	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
소제	endrin	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	captafol	-	1.0	1.0	-	-	-	-	5.0	5.0	-	5.0	-	5.0	-
	captan	-	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	-	5.0	5.0	-	-	-	5.0	-
유기인제	EPN	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	-
	diazinon	-	0.5	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.7	0.1	0.1	0.1
	dimethoate	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-	1.0
	malathion	-	0.5	0.5	-	0.5	0.5	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-	-
	parathion	0.3	0.3	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	fenitrothion-(MEP)	0.2	0.2	0.2	-	0.2	0.2	-	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	-
	fenlthion-(MPP)	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-
	phenthoate-(PAP)	-	-	0.2	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-
카바메이트	isoprocarb-(MIPC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	carbary-(NAC)	-	0.5	-	-	-	-	-	1.0	0.5	0.5	0.5	-	0.5	-

그 양을 사전에 감소시키든가 하는 사전관리대책을 강구할 필요가 있다.

1) 토양오염방지 예방대책

토양오염방지를 위해서는 먼저 「토양 오염망을 설정·운영」할 필요가 있다. 즉, 지역별 오염추세를 정기적으로 파악하여 토양오염의 사전예방과 토양오염 방지대책의 기초자료로 활용할 수 있다.

여기서의 조사항목으로는 Ca, Pb, Hg, Zn, As, Cr⁺⁶, Ni과 같은 중금속류를 대상으로 하여 중요한 「농약」류의 잔류량도 동시에 측정한다. 요컨대 농경지 토양의 주요 오염물질인 「농약」과 「중금속류」의 조사가 가능함으로써 토양보전의 제반정책을 수립, 추진함에 있어서 효과적이고도 중요한 자료를 얻을 수 있는 것이다.

다음으로는 영농화학물질인 「농약과 비료의 과용을 지양」하기 위하여 영농화학물질의 사전 심사 강화와 적정사용기간의 확립을 비롯하여 홍보지도 등을 실시한다. 특히 농약의 잔류성을 최소화하기 위해서는 농약의 개발과정에서 농약 본래의 목적을 달성하는 동시에 빨리 분해될 수 있도록 농약 분자 구조를 설계할 것이며 나아가 미생물 농약, 천연물 농약 등의 「安全性 農藥」의 개발 연구가 진행되어야 한다. 그리고 영농방법을 근본적으로 개선하여 영농화학물질의 사용을 最少化할 필요도 있다.

2) 몇가지 토양 오염물질의 제거방안

① 토양중의 오염물질이 토양수에 분포하는 비율이 높다면 토양을 물로 세척하는 식으로 토양으로부터 오염물질을 씻어 버릴 수 있을 것이다.

② 토양의 오염물질이 토양고상에 강하게 흡착되어 있다면 물로 오염물질을 제거하기 어려울 것이다. 그러므로 이런 때에는 토양을 원래의 위치에서 다른 곳으로 이동시켜야만할 것이다.

한편, 오염된 토양은 객토나 복토같은 일도 필요하다.

③ 토양미생물을 이용한 토양오염물질의 농도를 낮추는 일로서 즉, 토양의 오염물질을 분해할 수 있는 미생물을 분리배양 증식시켜 오염된 토양에 주입함으로써 오염물질을 적당한 수준으로까지 낮추어 제거할 수도 있다.

④ 오염된 토양에 오염물질을 고농도로 흡착할 수 있는 식물을 먼저 재배한 다음 그 식물을 제거하는 식으로 이 방법을 여러번 반복시킴으로써 토양오염물질의 농도를 어느정도까지 낮추는 방법을 사용한다.

요컨대 토양오염은 한번 오염으로 제거되기 어려우니까 「중금속류」와 같은 물질은 오염원을 근본적으로 제거할 필요가 있으며 「농약」과 같은 유해화학물질은 최종분해자인 토양미생물에 의해 쉽게 분해될 수 있도록 농약의 「화학분자 구조」를 설계하는 과학적 안목이 요구된다.

사무실 이전

대한수의사회 고문변호사

朴 商 祺 변호사

이전장소 : 서울 서초구 서초동 1716-10
(중앙빌딩 3층 302호)

전화 : 594-6124, 6125