

토양 중 농약잔류 허용기준 설정을 위한 자료

李瑞來* · 李海根** · 許長鉉***

Information Resources for the Establishment of Tolerance Standards on Pesticide Residues in Soils

Su-Rae Lee*, Hae-Keun Lee** and Jang-Hyun Hur***

Abstract

The usage level of pesticides in Korea reached the relatively high extent of 13 kg a.i./ha for arable land, and therefore, establishment of legal standards on pesticide residues in soil environment has been requested. This paper presents relevant information on soil contamination and proposes tentative standards on 20 pesticides in agricultural, urban and forest soils, respectively, as well as needed background data to support the justification of the standards.

Key words : tolerance, pesticide residue, soil environment

서 론

토양은 물, 대기와 함께 환경의 주요 구성요소로서 인간을 포함한 생물의 생존기반이 될 뿐만 아

니라 물질순환 및 생태계 유지에 중요한 역할을 담당하고 있다. 유독 물질에 의한 토양오염은 유해 농산물의 생산, 농작물의 생육 억제, 지하수 오염과 같이 이차적인 피해로 나타나기 때문에 대기오염이

*이화여자대학교 식품영양학과 (Department of Food and Nutrition, Ewha Woman's University, Seoul 120-750, Korea)

**농업과학기술원 작물보호부 (Department of Plant Protection, National Agricultural Science and Technology Institute, Suwon 441-707, Korea)

***강원대학교 농화학과 (Department of Agricultural Chemistry, Kangweon National University, Chooncheon 200-701, Korea)

나 수질오염에 비하여 경시되어 왔다. 그러나 근래에 와서는 산업화, 도시화, 경제발전에 따라 토양오염의 광역화와 아울러 오염물질의 다양화가 일어나고 있고, 토양환경의 오염관리 및 보전대책이 요청되고 있다.¹⁾

토양의 기능성은 ① 농업생산기능(식량생산), ② 지하수 회복기능(수질정화), ③ 생태계 보호기능(자연보호), ④ 광물채굴 기능(광산업), ⑤ 건설 기반기능(토목공사) 등으로 나눌 수 있는데, 이러한 기능성 즉 사용목적에 고려하여 환경기준을 설정해야 될 것이다. 토양 중 농약의 잔류문제는 환경내에서 안정한 유기염소계 때문에 제기되었다. 현재 사용되고 있는 농약의 대부분을 차지하는 유기인계 및 카바메이트계는 환경내에서 쉽게 분해되므로 잔류성 문제는 크지 않을 것으로 생각된다. 그러나 농약을 오용 또는 과용하던가, 특수한 사용 조건하에서는 토양환경에 영향을 미칠 수 있으므로 규제 및 감시 대상이 되고 있는 것이다.

한편 농약에 의한 토양오염은 관개수를 통하여 공공수역을 오염시키는 문제와 작업자의 건강에 미치는 영향도 고려해야 될 것이다. 수질오염은 수권 생태계에 영향을 미치는 동시에 상수원으로 이용될 때는 인체건강에도 영향을 미칠 수 있다. 농경지의 경우는 농업종사자에 대하여, 공원용지, 주택지역, 정원에서는 조경 관리자나 어린이에 대하여 토양접촉에 의한 농약 피폭을 예상할 수 있다. 이에 따라 여러 나라에서는 토양오염에 대한 규제를 시도하고 있으며 우리나라에서도 농약의 출하전 승인제도인 기존의 “농약관리법”에만 의존하지 아니하고 1995년부터는 “토양환경보전법”이 제정, 공포되어 농경지, 시가지, 그리고 산림 토양 등에 대한 오염기준 설정을 준비하고 있다.

토양의 오염기준을 설정하기 위해서는 토양 중 잔류농약에 의한 피해를 확인한 다음 토양의 사용 목적에 따라 규제방향을 설정해야 될 것이다. 기준 설정시에는 규제목적에 따라 각각 다른 parameter가 요구되지만, 여기에 필요한 실험 성적들이 아직 축적되지 못하고 있다. 만일 이러한 상황하에서 토

양기준을 설정해야 된다면 몇 가지 항목에서 가정을 수용한 다음 잠정기준을 설정할 수 있을 것이다. 이러한 잠정기준의 시행과정에서 문제가 제기되면 이를 뒷받침하는 근거자료를 점차적으로 축적해 나아가야 될 것이다. 본 연구는 이러한 시도를 촉진하기 위한 노력의 일환으로 착수되었으며²⁾ 기준설정시의 기초자료로 활용되기를 바란다.

농약이 토양환경에 미치는 영향

1. 농약의 국내사용 현황

우리나라의 농약 사용량을 5년 또는 10년 간격으로 계산한 결과는 표 1과 같다.³⁾ 이에 따르면 1970년까지는 조방농업(粗放農業)을 하는 나라의 소비 수준인 2 kg ha⁻¹ 이하였으나, 그 이후에는 매년 20%씩 증가하여 최근에는 집약농업(集約農業)을 위해 농약을 많이 사용하는 나라로 알려진 일본, 이태리, 이스라엘의 소비 수준에 따라가고 있음을 엿볼 수 있다.

표 1. 농약의 연도별 및 국가별 소비추세
(단위: 농경지 1 ha당 유효성분 kg수)

국 명	기 간	농약사용량
한 국	1951~60	(0.4)*
	1961~70	(1.4)
	1971~80	4.5
	1981~85	7.5
	1986~90	10.8
	1991~93	12.9
	<1960년대>	<1980년대>
일 본	13.4	31.8
이 태 리	11.7	13.8
이 스 라 엘	11.4	-
미 국	2.2	3.1
서 독	2.1	2.6

*() 안 숫자는 농약제제 또는 기준약제 사용량으로부터의 추정치임.

농약의 1981년 이후 사용량을 보면 활성(activity)

별 사용목적과 살포지역에 따라 변화되고 있으며, 최근 3년간(1991-93년)의 사용량과 1993년 4월 현재 품목수를 보면 표 2와 같다.⁴⁾ 농약의 사용량을 활성별로 보면 살균제 34 %, 살충제 35 %, 제초제 20 %를 차지하고 있고, 담작용(논) 38 %, 전작용(밭) 51 %를 차지하고 있다. 현재 국내의 논 : 밭 면적비율은 64:36 이므로 단위 면적당 농약사용량은 논 7.6 kg ha⁻¹, 밭 18.2 kg ha⁻¹이며, 논에서 보다는 밭(과수원 포함)에서 더 많은 농약을 사용하는 것으로 나타났다.

표 2. 국내 농약의 용도별 사용량 (1991-93년 평균) 및 품목수

(1993년 4월 현재)

용도	연간 사용량(톤)	비율(%)	품목수
〈활 성 별〉살 균 제	9,019	33.7	192
살 충 제	9,341	35.0	206
제 초 제	5,423	20.3	107
기 타	2,947	11.0	25
합 계	26,730	100	530
〈살포지역별〉논 (담 작 용)	10,041	37.6	168
밭 (전 작 용)	13,742	51.4	337
기 타	2,947	11.0	25
합 계	26,730	100	530

농약은 급성독성 수준에 따라 보통독성, 고독성, 맹독성으로 구분하고 있으며 국내에서 고시된 농약은 고독성이 4% 뿐이고 기타는 모두 보통독성이다.⁵⁾ 일본에서는 맹독성, 고독성 농약이 아직도 여러 품목이 사용되고 있다(맹독성 1%, 고독성 16%). 국내에서 품목고시된 농약성분은 1994년말 현재 290여종에 이르고 있고 그중 시중에 출하되는 농약성분은 200여종에 이른다.

2. 토양의 농약오염 실태

식량생산을 위해 농경지에 살포된 농약의 대부분은 토양으로 이행하여 변화, 소실된다. 예컨대 벼

이화명층 방제를 위하여 분제(粉劑) 농약을 살포한 경우 1/3은 작물체에 부착하고 1/3은 토양에 떨어지며 나머지 1/3은 비산(飛散)한 다음 인접한 지역의 농작물이나 토양에 떨어진다. 농약의 제제형태(劑型)나 농작물의 생육상태에 따라 농작물에 부착되는 비율은 크게 달라지지만 상당한 양의 농약이 토양으로 들어 가는 것은 틀림없다.⁶⁾

더욱이 토양에 직접 사용하는 농약은 전부 토양에 잔류하며 농산물로 수확되어 식품이나 사료로 이용되는 것을 뺀 작물체(부산물)는 궁극적으로 토양에 다시 들어가게 된다. 결과적으로 사용된 농약은 여러 경로를 거쳐 토양을 오염시키게 된다. 가령 10a 당 100 g의 농약이 깊이 10 cm 까지의 토양에 균일하게 분포된다고 가정하고 토양의 가비중을 1이라 하면 토양중 농도는 1 ppm이 되며 실제 농약살포시의 분석결과도 이 값에 근접하고 있다.

토양으로 들어간 농약은 농작물 체내로 흡수되어 식품이나 사료로 이용될 때 인체나 가축에 어떤 영향을 미칠 수 있다. 일반적으로 토양에서 흡수하여 농작물에 잔존하는 농약의 양은 살포시 작물체에 직접 부착하여 잔류되는 양과 비교하면 매우 적다. 그러나 유기염소계인 dieldrin과 같이 토양 중의 잔류기간이 긴 성분일 경우에는 살포시의 농작물 뿐만 아니라 후작물(後作物)에 까지 오염되어 문제를 일으킨 예도 있다. 농약이 토양에서 흡수되는 비율은 농약의 종류와 농도, 작물의 종류와 부위, 그리고 토양의 성질에 따라 달라진다.

일반적으로 농약은 식물의 뿌리에서 흡수되어 줄기, 잎을 거쳐 과실부분으로 이행되므로 농약오염의 농도는 식물의 뿌리 > 줄기 또는 잎 > 과실의 순서가 된다. 따라서 근채류나 감자류는 토양 중에 있는 농약 성분에 오염되기 쉽다. 예컨대 유기염 소계 살충제의 흡수율은 작물에 따라서 0-54%로 그 범위가 넓은데, 평균 흡수율은 약 5%로 보고 있다. 토양특성에서 사질토(砂質土)는 양토(壤土)보다 농약의 흡착력이 약하므로 농작물에 의한 흡수율이 올라간다. 토양 중 유기물이 많으면 농약이 크게 흡착되어 농작물의 흡수율이 떨어진다. 토양중 수분은

농약의 흡착력을 낮추므로 작물이 많이 흡수한다.

그밖에 토양 중 잔류농약의 영향으로는 작물생육에 유익한 토양생물(지렁이 등)이나 토양미생물(질산균 등)에 끼치는 영향을 생각할 수 있다. 예컨대 토양살균제를 사용한 후에는 유기물의 분해나 질산화작용이 억제되지만 이들 약제는 휘산되고 분해되기 때문에 급속히 소실되어 그 영향이 없어진다. 다른 농약의 경우 토양에 다량 살포시에는 미생물 활동에 영향을 미치는 경우도 있으나 통상적인 사용량 수준에서는 영향이 거의 없는 것으로 생각된다.

우리나라에서 농경지 토양 중 농약잔류량에 관한 조사보고는 매우 한정되어 있으며⁷⁾ 그러한 잔류량이 어떠한 중요성을 가지는지 조차 설명하지 못하고 있다(표 3, 4).

표 3. 농경지 토양중 농약잔류량 조사결과 (1982년, 단위: mg/kg)⁷⁾

농 약 성 분	논 토 양		과수원 토양	
	평균치	최고치	평균치	최고치
Total BHC	0.003	0.02	0.009	0.06
DDT	0.002	0.03	0.100	1.00
Dieldrin	흔 적	흔적	0.002	0.08
Heptachlor	0.001	0.01	0.009	0.01
Diazinon	0.010	0.10	0.001	0.01
Fenitrothion	불검출	불검출	0.003	0.06
Fenthion	흔 적	0.06	0.004	0.20
Iprobenfos	0.020	0.20	-	-

표 4. 시설재배 토양중 농약잔류량 (1991년)⁷⁾

재배 작물	토양 시료수	검출 농약수*	검출율 범위(%)	잔류량 범위(mg/kg)	
				불검출-	범위
딸 기	51	17	2- 98	불검출-	1.57
꽃 고 추	38	19	3- 97	불검출-	12.43
오 이	40	21	3- 98	불검출-	2.29
토 마 토	12	15	8- 100	불검출-	0.99
상 추	30	20	3- 83	불검출-	2.97

*분석한 농약성분수 30개 중.

3. 육상생태계 (terrestrial ecosystem)에 미치는 영향

육상생태계는 우리의 식량생산을 책임지고 있는 농업, 산림자원의 보호 그리고 자연보호라는 관점에서 중요하다. 높은 생산성을 추구하는 농업은 자연적 생태계를 천이(遷移)의 초기단계로 되돌려 그대로 머물게 하려는 인위적 행위이다. 높은 생산성을 유지하기 위하여 유전적으로 균일한 단일 품종을 동시에 넓은 면적에 재배하면서 농약이나 다른 수단을 동원하여 농작물 이외의 것을 전부 제거하려고 한다. 그 결과 농업생태계 안에서 먹이연쇄는 단순하고 짧으며 단층적(單層的) 구조를 이루어 외부 요인의 영향을 쉽게 받는다. 즉 농업생태계에서는 생물상(生物相)의 교란이 크게 일어나기 쉽다. 이러한 농업생태계의 단순화와 불안정화는 병해충이나 잡초의 이상(異常) 발생을 초래하게 되며, 많은 양의 농약 사용을 필요로 하는 것이다. 생산성을 요구하는 산림에서도 최근에는 많은 양의 농약을 공중 살포하는 경향이 있다.

생태계에서 농약의 사용은 생물종(生物種)의 감소와 생물종 간의 균형을 깨뜨리게 된다. 이와 같이 교란된 생태계는 반드시 생산성에서 나쁜 영향을 미칠 것으로 생각되며 한번 교란된 생태계는 그의 회복에 수년이라는 오랜 기간을 요구하게 된다.⁸⁾ 외국에서는 농약사용으로 교란된 생물상에 대한 관찰과 그의 회복에 필요한 기간을 실험적으로 증명한 보고들이 많이 나와있다(표 5).

육상생태계 중에서 작물보호를 목적으로 농약이 살포되는 농업환경에서는 토양-작물-대기 그리고 그곳에 서식하는 생물간의 상호관계를 대상으로 한다. 즉 농작물과 농경지토양에서 농약의 잔류량 뿐만 아니라 재배환경 중에 공존하는 곤충 기타 환경생물에 대한 먹이연쇄를 통한 영향이라든가 대기 중으로의 휘산(揮散) 등 이른바 육상생태계에 대한 수지연구(收支研究, balance study)가 요구된다.

육상환경생물에 대한 독성자료로서는 야생동물(wildlife)중에서 조류(鳥類)인 물오리(mallard duck)나 메추리의 일종인 bog-white에 대한 경구 급성독

표 5. 농약사용으로 교란된 생물상의 회복기간⁶⁾

농 약	생태계/생물종	회복기간	연 구 자
B H C	거미	7년	Kiritani (1974)
2,4-D	썩바귀, 썩	5년 이상	Johnson & Hansen (1969)
D D T	야생칠면조	5년	Clawson (1958)
D D T	포식성 진드기류	4년 이상	Edwards & Lofty (1969)
살충, 살웅애제	잎진드기-포식성 천적	4년	Hoyt (1969)
유기염소계	담수 플랑크톤상	1년 이상	Bays (1971)
알드린	수생곤충상	1.5년	Moye & Luckman (1964)

성치(LD₅₀) 또는 반수치사 먹이농도(dietary LC₅₀)가 요구된다. 농약의 용도나 살포시기 등을 고려하여 비표적 생물에 대한 영향이 있을 것으로 예상되면 꿀벌(경계곤충), 거미류(포식성 천적), 지렁이(토양비옥도 지표생물, 야생조류의 먹이), 토양미생물 등에 대한 독성 자료가 필요하다. 미국(FIFRA)이나 유럽연합(EC Council Directive 91/414/EEC)에서는 이미 농약등록시에 이러한 자료를 요구하고 있다.

육상생태계에 대한 독성시험도 수권생태계에서와 마찬가지로 급성독성시험 뿐만 아니라 만성독성시험, 모의생태계시험, 야외시험에 이르기까지 다양하며 독성과 실제 노출량 간의 관계를 보아 가며 시험 수준을 결정하게 된다.

외국의 토양 중 농약잔류 허용기준 현황

1. 미 국

미국 EPA에서는 1975년 농약의 환경예상농도와 생물에 미치는 독성치 간의 비율에 따라 농약의 생태계 위해성을 세가지로 분류하는 평가기준을 개발하였다.⁹⁾ 그 후 환경생태독성에 관한 많은 데이터가 축적됨에 따라 자원보전 및 재생법(Resource Conservation and Recovery Act)에 근거하여 공기, 물, 토양에 대한 잔류농약 잠정기준을 제안하고 있다(표 6).¹⁰⁾ 이들 기준의 산출근거는 알 수 없지만 환경보전이라는 관점에서 하나의 지침이 될 수 있을 것이다.

표 6. 미국의 환경인자중 잔류농약 잠정기준 (제안중)¹⁰⁾.

농 약 성 분	토 양(mg/kg)
Aldicarb	100
Aldrin	0.02
Aluminium phosphide	30
Arsenic	80
Chlordane	0.05
D D D	3
D D E	2
D D T	2
Dieldrin	0.04
Disulfoton	3
Endosulfan	4
Endothall	2000
Endrin	20
Heptachlor	0.2
Heptachlor epoxide	0.08
Lindane	0.5
Methomyl	2000
Methyl parathion	20
Parathion	500
Toxaphene	0.06

2. 일 본

일본에서는 농약취체법에 근거하여 농림수산성이 농약등록을 책임지고 있다. 그러나 환경청에서는 농

약 등록에 있어서 인축에 대한 피해 및 환경오염을 미연에 방지한다는 견지에서 농약등록 보류기준을 설정하는 동시에 등록된 농약에 대해서도 그 잔류성에 의하여 인축, 수산동물 등에 피해를 줄 우려가 큰 농약에 대해서는 정령(政令)으로 잔류성 농약으로 지정한 다음 그 사용을 규제하고 있다.¹¹⁾ 농림수산성의 등록 보류기준 10 개항 중에서 다음의 4 개 항목은 환경청에서 정하고 있다.

① 작물잔류에 의한 보류기준 : 농작물에서의 잔류가 원인이 되어 인축에 피해가 발생될 우려가 있는 경우로서 신청된 방법으로 사용되었을 때 농작물의 잔류농약 농도가 식품위생법의 식품규격에 적합하지 않은 경우, 그리고 식품규격이 없을 때는 환경청 기준에 적합하지 않은 경우

② 토양잔류에 의한 보류기준: 토양 잔류 때문에 농작물이 오염되고 나아가 인축에 피해가 발생될 우려가 있는 경우로서 농약성분의 토양 중 반감기가 규정된 포장시험 및 용기내 시험에서 1년 이상인 경우

③ 수산동식물에 대한 독성에 의한 보류기준

④ 수질오염에 의한 보류기준

일본에서 토양오염과 관련된 기준으로는 ① 토양환경기준 (1991년 환경청 고시), ② 농작물 재배제한 기준 (1971년 농경지 토양오염방지법), ③ 시가지 토양오염 대책 기준 (1986년 환경청 지침), ④ 국유지 토양오염 대책기준 (1992년 환경청 지침)이 있다. 이들 기준은 주로 중금속을 규제하는 데 목적을 두며, 농약성분에 관한 규제로는 토양환경기준에서 정한 바와 같이 농경지와 시가지 토양에서 유기인화합물 (parathion, methyl parathion, EPN, demeton-S-methyl)이 검출되어서는 아니 되도록 규제하고 있는데, 이 기준은 수돗물 또는 수질환경기준치와 같다.

3. 호주 및 뉴질랜드

이들 두 나라에서 실시하는 토양오염관리는 호주와 뉴질랜드 합동환경보전위원회와 국가의학연구심의회가 공동으로 기술지침서를 개발하여 행하고 있

다. 농약에 관련된 토양환경기준%표 7%은 두 나라의 실제 환경조건하에서 토양내 오염물질의 행동에 관한 광범위한 평가가 이루어질 때까지 사용하기 위한 잠정기준이다.¹²⁾

여기에서 background 농도는 적은 수의 토양조사에서 얻어진 값이다. 환경조사기 준은 외국 기준을 참고로 하여 정하였거나 인체위해성을 고려하여 정하였다. 현재 이들 기준은 총량기준으로 표기되어 있으나 bioavailability를 고려한 가용성 함량으로 전환할 것을 고려하고 있다.

표 7. 호주 및 뉴질랜드의 토양환경기준(mg/kg)¹²⁾

농약성분	Background 농도	환경조사기준
Aldrin	<0.001-0.05	-
Dieldrin	<0.005-0.05	0.2
D D T	<0.001-0.97	-

4. 네덜란드

네덜란드는 인구밀도가 높고 토지이용이 복잡하기 때문에 토양오염문제가 심각한 것으로 알려져 있으며, 토양오염방지를 위한 국가적 관심은 다른 선진국보다 매우 높다. 1975년에는 토양오염의 사전방지를 위하여 유해폐기물 규제법을, 1983년에는 토양오염지역에 대한 사후대책을 위하여 토양정화잠정법을 제정하였으며, 1987년에는 토양보호법을 제정하여 토양의 다기능성(농업생산기능, 지하수회복기능, 생태계 보호 기능, 광물채굴기능, 건설기반기능 등)을 잃지 않도록 토양오염을 미연에 방지할 수 있는 근거법을 마련하였다. 이들 법규에 근거하여 네덜란드는 오염물질로 부터 토양을 보호하기 위해 농경지와 시가지를 대상으로 오염물질에 대한 규제기준을 다음과 같이 설정하고 있다.¹⁾

1) 농경지 : 다량 사용되는 농약으로 부터 토양오염을 방지하기 위하여 24 종의 농약성분에 대해 토양 및 지하수에서 목표치 (토양오염 지침치로 대체 예정)가 정해져 있으며 이 기준치를 상회하지 않도록 토양을 관리하고 있다(표 8).

표 8. 농경지토양 및 지하수 중 농약성분의 목표치 (네덜란드)¹⁾

농 약 명	토양($\mu\text{g}/\text{kg dry matter}$) ¹⁾	지하수($\mu\text{g}/\text{l}$)
Aldrin	2.5	d ²⁾
Atrazine	0.05	7.5
Azinphos-methyl	0.06	0.7
Chlordane	10	d
DDT (+DDD, DDE)	2.5	d
Diazinon	0.07	0.9
Dieldrin	0.5	0.02
Disulfoton	10	d
α -Endosulfan	2.5	d
Endrin	2.5	d
Fenitrothion	10	d
α -HCH	2.5	d
β -HCH	1	d
γ -HCH	0.05	0.2
Heptachlor	2.5	d
Heptachlor epoxide	2.5	d
Hexachlorobenzene	2.5	d
Malathion	0.02	0.04
Parathion + parathion	10	d
-methyl		
Parathion-ethyl	0.04	0.05
Pentachlorophenol	2	20
T B T O	0.1	0.1
Triazofos	10	d
Trifluralin	10	d

¹⁾ Standard soil (10% organic matter, 25% clay)

²⁾ Detection limit

2) 시가지 : 토양정화 잠정법을 근거로 정화조치를 위한 토양오염 판정기준 (Dutch list)이 있으며 토양 및 지하수 중 농도에 대해 3 단계로 나뉘어져 있다(표 9).

A 치 : 토양의 background 농도로서 이 이하의 값일 때는 비오염토양으로 판단하며 이 값을 초과하는 경우 오염가능성과 위험에 대한 예비적 조사 필요

B 치 : 초과하는 경우 오염에 의한 위험이 인정되며 정밀조사 필요

C 치 : 초과하는 경우 A 치 이하로 떨어지도록 정화조치 필요

시가지의 주 오염지역으로는 유해물질 저장시설, 매립지, 공업지역, 폐기된 사업장, 군사시설 등이 여기에 포함되며 이들 지역의 토양오염이 크게 문제 시되는 것은 주거지나 음용수 채수지역에 영향을

표 9. 네덜란드 시가지의 토양오염 판정기준 (Dutch list, 1993)¹⁾

농 약 성 분	A 치	B 치	C 치
	(토양목표) (오염인정) (정화조치)		
DDT/DDD/DD	-	4	-
DDT	0.1	-	5-10
DDD	0.1	-	5-10
DDE	0.1	-	5-10
Sum of 3 drins	-	4	-
Aldrin	0.0025	-	5-10
Dieldrin	0.0005	-	5-10
Endrin	0.001	-	5-10
BHC-compounds	-	2	-
α -BHC	0.0025	-	5-10
β -BHC	0.001	-	5-10
γ -BHC	0.00005	-	5-10
Carbaryl	-	5	5-10
Carbofuran	-	2	5-10
Maneb	-	3(?)	5-10
Atrazine	0.00005	6	5-10

A 치 : Soil target value (mg/kg dry matter)

B 치 : Intervention value (mg/kg dm); maneb은 35로 되어 있으나 3으로 간주됨.

C 치 : Chlorinated=5 mg/kg, non-chlorinated=10 mg/kg soil (토양기준)

Chlorinated=1 $\mu\text{g}/\text{L}$, non-chlorinated=2 $\mu\text{g}/\text{L}$ underground water(지하수 기준)

* 표준토양(2 μm 이하의 점토 25%, 유기물 10%)에 적용하며 0.5 m 깊이, 50 m² 면적(25 m³)의 토양에 함유된 물질의 평균농도에 근거함.

표 10. 외국의 토양 중 농약기준 설정 개요

국 가 명	관 련 법	관 련 기 준	대 상 지 역	항 목 수
미 국	자원보전·재생법	잠정환경기준	전체토지	20
네덜란드	토양보호법	토양목표치	농경지	24
	토양정화법	토양오염 판정기준	시가지	16
호주, 뉴질랜드	환경보전위원회 지침	환경조사기준	전체토지	3
일본	환경청 고시	토양환경기준	농경지, 시가지	유기인(4)

주는 지역에 위치하고 있어 지역주민의 건강에 직접적으로 위해를 주기 때문이다. 이와 더불어 네덜란드 정부에서는 잠재적인 오염 정화지역 및 C치를 상회하는 지역을 주기적으로 조사하고 있으며 이들 지역은 토양오염 정화계획을 세워 체계적인 대책사업을 추진하고 있다.

세계 여러나라에서 토양 중 농약잔류기준의 설정 상황을 요약하면 표 10과 같다. 현재 국내에서는 농약관리법에 근거하여 작물잔류성, 토양잔류성, 수질오염성 시험을 수행하고 있고 일정한 기준을 초과하는 경우에는 농약관매를 위한 품목고시를 부여하고 있다.

토양 중 농약잔류 허용기준의 설정 시안

1. 농경지 토양

토양 중 잔류농약의 허용기준은 토양의 기능성을 따라 설정하는 것이 이상적이다. 우선 농경지 토양(논, 밭, 과수원)에서 농작물 재배 즉, 농업생산기능을 유지하기 위한 기준설정이 필요할 것이다. 토양 중 잔류농약은 작물에 흡수되어 식량으로 이용될 경우를 생각한다면 ① 농약의 토양중 반감기, ② 농작물에 의한 흡수율, ③ 오염된 농작물의 안전성을 감안하여 기준설정 대상농약을 선정할 필요가 있다고 판단된다. 한편 농경지 토양 중 잔류농약은 작업자의 건강이나 토양생물에 미치는 영향과 아울러 하천수로 흘러 들어가 수서생물이나 상수원수로 이용될 때의 위해성이 예상되지만 기준설정에 필요한 자료가 부족하므로 여기에서는 시도하지 못하였다.

현재 국내에서 고시된 농약의 토양반감기를 보면 표 11과 같이 분포되어 있다. 농약품목 고시기준에서는 토양반감기가 180일 이내(이전에는 360일 이내)인 것을 허용하고 있으나 30일 이상인 것은 농작물 생육기간중 토양에 잔류하여 흡수가 가능할 것으로 추정하였다.

표 11. 농약의 토양중 반감기별 성분수

반 감 기	논토양	밭토양
10 일 이내	31	42
11-30 일	24	79
31-100 일	20	50
101-250 일	4	16
합 계	79	187

따라서 본 연구에서는 국내에서 사용되고 있는 200여종의 농약성분 중 토양반감기가 30 일을 초과하는 농약 78종에 대하여 다음과 같이 위해순위 지수를 계산하였다(표 12). 즉

$$\text{위해순위지수(risk priority index)} = \frac{\text{농약의 토양반감기 (day)} \times \text{농약사용량 (ton/year)}}{\text{ADI } (\mu\text{g/kg bw})}$$

위해지수의 순위에 따라 선정된 20 개 농약성분(표 13)에 대해서는 다음과 같이 토양오염 기준을 위한 이론치를 산정하였다. 즉 여기에서는 농경지 토양(표토) 1 kg에서 농작물 1 kg이 생산되며 한국인은 1 인당 1 일 0.87 kg의 농산물을 섭취한다는 가정하에, 농약의 토양반감기가 90 일(3 개월) 이상

표 12. 토양잔류성 농약의 위해지표 (반감기 31일 이상 농약)

농 약 성 분	반감기 ¹ (일)	연간사용량 (톤, '89-93)	ADI ² ($\mu\text{g}/\text{kg bw}$)	위해순위 ³ 지수	위험 순위
azinphos-methyl	42	12.4	5	104	
azocyclotin	42	44.8	7	269	15
benomyl	77	140.9	20	542	11
bensulfuron	90	4.6	—	—	—
bensulide	61	6.0	—	—	—
benzoximate	91	2.1	—	—	—
beta-cyfluthrin	68	0.8	—	—	—
bifenthrin	62	3.8	20	12	—
buprofezin	38	57.7	10	219	18
carbofuran	110	826.9	10	9,096	2
hlomethoxyfen	43	101.6	—	—	—
chlorfenson	33	18.4	—	—	—
chlorfluazuron	140	0.6	—	—	—
clofentezine	8	32.7	20	136	—
cycloprothrin	55	4.8	—	—	—
cyfluthrin	68	2.0	20	7	—
cypermethrin	7	54.2	50	76	—
deltamethrin	70	8.1	10	57	—
diazinon	32	368.3	2	5,893	3
dicofol	140	12.7	2	889	8
dimepiperate	46	5.8	—	—	—
diniconazole	97	0.1	—	—	—
dymron	95	26.4	—	—	—
ethofenprox	79	4.4	30	12	—
fenarimol	153	2.0	—	—	—
fenbutatinoxide	60	13.2	30	26	—
fenpropathrin	36	9.5	20	17	—
fluazinam	32	—	—	—	—
flufenoxuron	130	0.7	—	—	—
flutolanil	120	2.2	(80J)	3.3	—
fluvalinate	98	0.5	(10)	5	—
fonofos	216	21.2	(5)	916	7
fosetyl-aluminium	60	62.8	—	—	—
glyphosate	180	256.0	300	154	20
haloxyfop-methyl	56	0.5	—	—	—
hexazinone	180	6.5	(125)	9	—
inabenfide	62	1.6	(130J)	0.76	—
isoprothiolane	76	477.6	—	—	—
isoxaben	146	0.02	(570)	0.005	—
lambda-cyhalothrin	40	5.7	—	—	—

(표 12 계속)

농 약 성 분	반감기 ¹⁾ (일)	연간사용량 (톤, '89-93)	ADI ²⁾ ($\mu\text{g}/\text{kg bw}$)	위해순위 ³⁾ 지수	위험 순위
linuron	75	11.6	(80)	11	—
mancozeb	49	919.7	50	1,881	5
mecarbam	40	8.8	2	176	19
mepronil	32	10.3	(50)	7	—
metalaxyl	106	54.6	30	193	—
methabenzthiazuron	60	55.7	(100)	33	—
myclobutanil	80	4.7	33	13	—
neosozin	60	36.8	—	—	—
omethoate	31	93.2	0.3	9,630	1
oxadiazon	91	37.8	(5)	688	9
penconazole	186	0.6	30	3.7	—
pencycuron	150	42.3	(25)	254	16
pendimethalin	110	120.3	(43J)	308	13
phorate	73	11.1	0.5	1,621	6
pirimicarb	72	7.9	20	28	—
pirimiphos-ethyl	55	36.5	(0.8)	2,510	4
pirimiphos-methyl	38	28.3	10	108	—
probenazole	77	214.9	—	—	—
prochloraz	122	22.9	10	279	14
prometryn	40	2.6	4	26	—
propargite	35	52.0	150	12	—
prothiofos	120	8.9	(2)	534	12
pyraclofos	33	1.8	—	—	—
pyridaben	119	15.7	(8.1J)	230	17
pyridafenthion	35	33.4	(2)	585	10
pyroquilon	32	0.9	(6000)	0.005	—
quinchlorac* ⁴⁾	56	27.1	(5000)	0.3	—
simazine	45	18.9	215	4	—
simetryn	130	6.1	—	—	—
tebuconazole	43	0.3	30	0.43	—
teflubenzuron	55	1.9	10	10.5	—
terbutylazine	105	6.3	—	—	—
tetradifon	55	7.7	—	—	—
tolclofos-methyl	150	24.6	70	52.7	—
tralomethrin	31	0.3	(7)	1.3	—
triadimenol	92	0.1	50	0.2	—
triflumizole	60	3.6	(2)	108	—
triflumuron	58	7.1	(10)	41	—

¹⁾ 논, 밭에서의 반감기중 긴것을 채택함.

²⁾ ()안 숫자는 NOEL 값의 1/100로 가정함. (.J)일본의 ADI값임.

³⁾ 위해순위 지수=반감기(일수)×연간사용량(AI, 톤)÷ADI($\mu\text{g}/\text{kg bw}$)

⁴⁾ 1995년 3월부터 생산금지됨.

표 13. 농경지 토양(논, 밭, 과수원)의 농약 잔류기준 계산근거

농 약 성 분	ADI (mg/kg bw)	토양반감기 (일)	잔류기준 이론치 ² (mg/kg soil)	잔류기준 시안 (mg/kg soil)
Azocyclotin	0.007	42	19.0	20
Benomyl	0.02	77	29.6	30
Buprofezin	0.01	38	29.9	30
Carbofuran	0.01	110	10.3	10
Diazinon	0.002	32	7.1	5
Dicofol	0.002	140	1.6	1
Fonofos	(0.005) ¹	216	2.6	2
Glyphosate	0.3	180	189.7	150
Mancozeb	0.05	49	116.1	100
Mecarbam	0.002	40	5.7	5
Omethoate	0.0003	31	1.1	1
Oxadiazon	(0.005)	91	6.3	5
Pencycuron	(0.025)	150	19.0	20
Pendimethalin	0.043	110	44.5	40
Phorate	0.0005	73	0.78	1
Pirimiphos-ethyl	(0.0008)	55	1.7	1
Prochloraz	0.01	122	9.3	10
Prothiofos	(0.0002)	120	0.19	0.2
Pyridaben	0.0081	119	7.7	5
Pyridaphenthion	(0.002)	35	6.5	5

¹ ()안 숫자는 NOEL의 1/100로 추정된 ADI값

² 토양중 농약잔류기준(mg/kg soil)=ADI×식품환산계수×토양반감기×작물 흡수율

$$= \text{ADI}(\text{mg/kg bw}) \times 55(\text{kg}) \times \frac{1}{0.87} \times \frac{90\text{일}}{\text{반감일수}} \times \frac{100}{5}$$

되는 경우에는 작물생육에 영향을 미칠 것으로 예상하였으며 작물에 의한 농약성분의 평균흡수율을 5 %로 간주하였다. 한국인의 평균 체중으로는 55 kg을 채택하였다.

토양 중 농약잔류기준(mg/kg soil)

= ADI×식품환산계수×토양반감기×작물 흡수율

$$= \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \times 55 \times \frac{1}{0.87} \times \frac{90\text{일}}{\text{반감일수}} \times \frac{100}{5}$$

2. 시가지 토양

시가지 토양은 어린이놀이터, 공원, 주거지, 산업 지역 등을 포함하며 이들 지역에서 토양오염물질이 인체건강이나 생활환경에 미치는 영향은 달리 나타날 수 있으므로 잔류기준의 이론치 계산도 달라진다.

시가지 토양에 사용되는 농약은 품목고시가 별도로 이루어지지 않고 있고 병충해 및 잡초 방제를 위하여 일반적인 살균제, 살충제, 제초제가 임의로 사용되고 있다. 따라서 농경지 토양에서의 토양반감

기, 농약사용량, 인체건강지표(ADI값)를 감안한 위
해순위수에 따라 20개 농약성분을 잔류기준 대상
품목으로 선정하였다(표 14).

잔류기준에 대한 이론치 계산근거는 어린이놀이
터에서 어린이(평균체중 15 kg)는 1일 0.5 g의 흙을
흡입 또는 섭취할 수 있고 성인(평균체중 60 kg)은
1일 0.1 g의 흙을 흡입 또는 섭취할 수 있다는 가
정하에, ADI값의 5%를 배정하였다. 그리고 토양반
감기가 10일 이상 되는 농약성분은 위해성이 커질
것이라는 가정하에 이론식을 제안하였다. 두가지 이

론식에서 성인을 대상으로 한 기타시가지에서는 어
린이놀이터에서 보다 20배 높은 잔류기준치가 나오
는데 안전성을 감안한다면 어린이를 대상으로 한
기준을 우선 채택하는 것이 보수적인 방법이라 생
각된다. 따라서 시가지 토양에 대한 잔류기준 시안
으로는 어린이 놀이터에 대한 이론식만을 이용하
였다.

시가지 토양 잔류기준

$$= \text{ADI} \times \text{토양 기여율} \times \text{토양반감기(일)}$$

표 14. 시가지 토양의 농약 잔류기준 계산근거.

농 약 성 분	ADI (mg/kg bw)	토양반감기 (일)	잔류기준 이론치 ²⁾ (mg/kg soil)	잔류기준 시안 (mg/kg soil)
Azocyclotin	0.007	42	2.50	3
Benomyl	0.02	77	3.89	4
Buprofezin	0.01	38	3.95	4
Carbofuran	0.01	110	1.36	1
Diazinon	0.002	32	0.94	1
Dicofol	0.002	140	0.21	0.2
Fonofos	(0.005) ¹⁾	216	0.35	0.4
Glyphosate	0.3	180	25.00	25
Mancozeb	0.05	49	15.31	15
Mecarbam	0.002	40	0.75	1
Omethoate	0.0003	31	0.15	0.2
Oxadiazon	(0.005)	91	0.82	1
Pencycuron	(0.025)	150	2.50	3
Pendimethalin	0.043	110	5.86	5
Phorate	0.0005	73	0.10	0.1
Pirimiphos-ethyl	(0.0008)	55	0.22	0.2
Prochloraz	0.01	122	1.23	1
Prothiofos	(0.0002)	120	0.025	0.1
Pyridaben	0.0081	119	1.02	1
Pyridaphenthion	(0.002)	35	0.86	1

¹⁾ () 안 숫자는 NOEL의 1/100로 추정 한 ADI값

²⁾ 시가지 토양 잔류기준 = ADI × 토양기여율 × 토양반감기

$$= \text{ADI}(\text{mg/kg bw}) \times 15(\text{kg}) \times \frac{0.05}{0.0005} \times \frac{10}{\text{반감일수}}$$

$$\begin{aligned} & \text{어린이 놀이터} \\ & = \text{ADI}(\text{mg/kg bw}) \times 15(\text{kg}) \times \frac{0.05}{0.0005} \times \frac{10}{\text{반감일수}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{기타 시가지 토양} \\ & = \text{ADI}(\text{mg/kg bw}) \times 60(\text{kg}) \times \frac{0.05}{0.0001} \times \frac{10}{\text{반감일수}} \end{aligned}$$

3. 산림토양 중 농약 잔류기준

산림은 임산물의 생산 뿐만 아니라 수자원과 환경의 보호라는 측면에서 중요하지만 농약사용은 매우 제한되어 있었다. 그러나 최근 들어 해충방제를

위해 농약을 공중 살포하므로 산림토양도 농약오염을 예상하지 않을 수 없다. 산림토양의 농약오염은 수자원의 근원으로서 사람의 음용수로 이용되는 경우, 하천수로 흘러가 수서생물에 영향을 미치는 경우, 그리고 산림식물이나 곤충에 이행한 다음 야생동물의 먹이로 되어 생물농축되는 생태독성 등을 고려해야 될 것이다. 외국에서는 산림지역에 사용한 입제(粒劑) 농약을 조류(鳥類)가 쪼아먹어 그 독성이 문제되고 있으며, 국내에서도 입제 농약 사용에 따른 위해의 개연성이 높을 것으로 예상된다.

표 15. 산림토양 중 잔류기준 대상농약의 선정 (반감기 31일 이상, 살충제 농약)

농 약 성 분	반감기 ¹ (일)	연간사용량 (톤, '89-93)	ADI ² (µg/kg bw)	LC ₅₀ ³ (mg/L)	LD ₅₀ bird ⁴ (mg/kg)
aziphos-methyl	42	12.4	5	0.014(RT)	51-500
azocyclotin	42	44.8	7	0.001(RT)	51-500
buprofezin	38	57.7	10	2.7 (Ca)	
carbofuran (G) ⁵	67	826.9	10	0.28 (RT)	51-500
chlorfenson	33	18.4	-	0.7 (BG)	-
clofentezine	83	32.7	20	-	-
cypermethrin	70	54.2	50	-	-
diazinon (G)	32	368.3	2	2.6 (RT)	10-50
dicofol	140	12.7	2	0.11 (RT)	51-500
ethoprophos (G)	11	140.9	0.3	2.1 (BG)	10-50
fenbutatin oxide	60	13.2	30	0.27 (RT)	>2,000
fenpropathrin	36	9.5	20	0.002(BG)	501-2,000
fonofos (G)	216	21.2	(5)	0.03 (BG)	10-50
omethoate	31	93.2	0.3	-	51-500
pendimethalin	110	120.3	(43J)	-	-
phorate (G)	73	11.1	0.5	0.013(RT)	<10
pirimiphos-ethyl (G)	55	36.5	(0.8)	0.22 (Ca)	-
pirimiphos-methyl	38	28.3	10	0.6 (Ca)	10-50
propargite	35	52.0	150	0.092(Da)	501-2,000
pyridaben	119	15.7	(8.1J)	-	-

¹ 밭에서의 반감기이고 없는 경우에는 논에서의 반감기임.

² FAO/WHO의 값으로, ()안 숫자는 NOEL 값의 1/100, (.)J는 일본의 ADI값임.

³ 가장 예민한 수서생물에 대한 반수치사농도 (Ca: carp, BG: bluegil, RT: rainbow trout, Da: Daphnia)

⁴ 조류에 대한 경구 반수치사량임 (자료: Farm Chemicals Handbook, 1994)

⁵ 입제(粒劑) 농약으로서 야생조류에 대한 위해성이 큰 농약성분임.

잔류기준 설정을 위한 대상농약으로는 토양(밭) 반감기가 30 일 이상 되는 살충제로서 연간사용량(유효성분)이 10 톤 이상인 것, 반감기가 30 일 이내이지만 입제로서 야생조류에 대한 위해성이 예상되는 품목을 포함하여 20 개 성분을 선정하였다(표 15). 이들 농약성분에 대하여 다음과 같이 세가지 관점에 따라 잔류기준 이론치를 계산한 다음 가장 낮은 값을 잔류기준 시안으로 채택하였다(표 16).

1) 보건 기준 : 산림에서 유출되는 물에 들어 있는 농약농도는 토양 중 농도의 1/10이 될 것이라는 가정하에 성인 (60 kg) 한 사람이 하루에 2 리터의 음용수를 마신다는 가정이다. 그리고 한국인은 생수를 그대로 마시고 있으므로 산골짜기 물이 상수도 원수로 들어갈 때의 회석률은 감안하지 않았다.

표 16. 산림토양 중 농약 잔류기준 산출근거 (단위: mg/kg dry soil).

농 약 성 분	보건기준 ¹	수서생물기준 ²	야생조류기준 ³	잔류기준시안
azinphos-methyl	0.30	0.028	3.3	0.03
azocyclotin	0.42	0.002	3.3	0.01
buprofezin	0.60	5.40	—	0.6
carbofuran	0.60	0.56	2.1	0.5
chlorfenson	—	1.40	—	1.0
clofentezine	1.20	—	—	1.0
cypermethrin	3.00	—	—	3.0
diazinon	0.12	5.20	0.5	0.1
dicofol	0.12	0.22	1.0	0.1
ethoprophos	0.018	4.20	1.4	0.02
fenbutatin oxide	1.80	0.54	41.7	0.5
fenpropathrin	1.20	0.004	17.4	0.01
fonofos	0.30	0.06	0.07	0.06
omethoate	0.018	—	4.4	0.02
pendimethalin	2.58	—	—	2.0
phorate	0.03	0.026	0.03	0.03
pirimiphos-ethyl	0.048	0.44	—	0.05
pirimiphos-methyl	0.60	1.20	0.4	0.4
propargite	9.00	0.18	71.4	0.2
pyridaben	0.49	—	—	0.5

¹ 보건 기준(mg/kg soil) = ADI × 음용수 기여율 × 용출율 = ADI(mg/kg bw) × 60(kg) × $\frac{0.2}{2l}$ × 10

² 수서생물 기준(mg/kg soil) = LC₅₀ × 안전계수 × 용출율 × 회석율 = LC₅₀ × $\frac{1}{100}$ × 10 × 20

³ 야생조류 기준(mg/kg soil) = oral LD₅₀ × 안전계수 × 토양흡수율 × 식이섭취율 × 토양반감기

$$= \text{oral LD}_{50}(\text{mg/kg bird}) \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{10} \times \frac{100}{20} \times \frac{10}{\text{반감일수}}$$

보건기준 이론치 (mg/kg soil)
 = ADI × 음용수 기여율 × 용출율
 = ADI(mg/kg bw) × 60(kg) × $\frac{0.2}{2l}$ × 10

2) 수서생물 기준 : 산림에서 유출되는 물 중의 농약농도는 토양중 농도의 1/10이 되고 하천수로 들어가 20 배로 희석된다는 가정하에 가장 예민한 수서생물에 대한 LC₅₀값을 안전계수 100 으로 나누어 계산하였다.

표 17. 토양 용도별 농약잔류 허용기준안 (단위 : mg/kg 건조토양)

농약성분	품목명(용도*)	농경지 토양	시가지 토양	산림토양
Azinphos-methyl	아진포 (충)	—	—	0.03
Azocyclotin	아씨틴 (충)	20	3	0.01
Benomyl	베노밀 (균)	30	4	—
Buprofezin	부로피 (합)(충)	30	4	0.6
Carbofuran	카 보 (충)	10	2	0.5
Chlorfenson	살비란 (충)	—	—	1.0
Clofentezine	비스펜 (충)	—	—	1.0
Cypermethrin	피레스 (충)	—	—	3.0
Diazinon	다수진 (충)	5	1	0.1
Dicofol	디코폴 (충)	1	0.2	0.1
Ethoprophos	에토프 (충)	—	—	0.02
Fenbutatin oxide	펜부탄 (충)	—	—	0.5
Fenpropathrin	펜프로 (충)	—	—	0.01
Fonofos	다이포 (충)	2	0.4	0.06
Glyphosate	글라신 (초)	150	25	—
Mancozeb	만코지 (균)	100	15	—
Mecarbam	메카밤 (충)	5	1	—
Omethoate	오메톤 (충)	1	0.2	0.02
Oxadiazon	옥사존 (초)	5	1	—
Pencycuron	펜시쿠론 (균)	20	3	—
Pendimethalin	펜 디 (초)	40	5	2.0
Phorate	포레이트 (충)	1	0.1	0.03
Pirimiphos-ethyl	프리미 (충)	1	0.2	0.05
Pirimiphos-methyl	피리포 (충)	—	—	0.4
Prochloraz	프로라즈 (균)	10	1	—
Propargite	프로지 (충)	—	—	0.2
Prothiofos	프로치오포스 (충)	0.2	0.1	—
Pyridaben	피리다벤 (충)	5	1	0.5
Pyridaphenthion	피리다 (충)	5	1	—

*(균): 살균제, (충): 살충제, (초): 제초제

$$\begin{aligned} & \text{수서생물기준 이론치 (mg/kg soil)} \\ & = LC_{50} \times \text{안전계수} \times \text{용출율} \times \text{회석율} \\ & = LC_{50} \times \frac{1}{100} \times 10 \times 20 \end{aligned}$$

3) 야생조류 기준 : 산림토양에서 식물이나 곤충의 농약성분 흡수율은 10%(토양과 그곳에서 자라는 식물 또는 곤충을 동일 중량으로 간주), 야생동물인 조류(鳥類)의 식이섭취율(체중 1 kg 당 섭취하는 먹이의 양(kg))은 20%, 농약의 토양반감기가 10일 이상이 되는 경우에는 그 기간이 길수록 영향이 더 크므로 이 값을 감안한 다음 조류의 경구 반수치사량 (oral LD₅₀)을 안전계수 1000으로 나누어 계산하였다. 이때 LD₅₀ 값은 주어진 반수치사량 범위의 중간치를 취하였다. 육상동물에 대한 dietary LC₅₀ 값(시험동물의 50%가 치사되는데 요하는 먹이중 농약성분의 농도)이 주어진다면 더 정확한 이론치를 계산할 수 있겠으나 이러한 데이터는 현재 세계 각국에서 축적중에 있다.

$$\begin{aligned} & \text{야생조류 기준 이론치 (mg/kg soil)} \\ & = \text{oral LD}_{50} \times \text{안전계수} \times \text{토양흡수율} \times \text{식이섭취율} \\ & \quad \times \text{토양반감기} \\ & = \text{oral LD}_{50}(\text{mg/kg bird}) \\ & \quad \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{10} \times \frac{100}{20} \times \frac{10}{\text{반감일수}} \end{aligned}$$

지금까지 설명한 우리나라 토양의 용도별 농약잔류 허용기준안을 종합하면 표 17과 같다.

결 론

최근 국내에서는 농약 사용량이 상당한 수준에 도달하였고, 소비자들도 환경보전과 국민보전에 미치는 유독성 농약의 위해성을 우려하고 있다. 농약과 같이 식량생산과 환경위생 측면에서 필요에 따라 사용하는 화학물질의 법적 규제를 위해서는 농약의 환경내 행방, 분해 과정, 잔류 실태와 아울러 인체의 건강과 생태계에 미치는 바람직하지 않은 영향을

종합적으로 평가하여 합리적인 규제 지침을 마련하여야 한다. 그러나 현재 국내에서 사용되고 있는 200 여종의 농약 성분에 대한 환경독성학적 자료가 만족할 만큼 축적되지 못한 상태에서 토양 중 농약잔류 기준의 설정과 시행에는 많은 문제점이 예상된다. 따라서 현재까지 입수된 자료에 근거하여 우선 기준 시안을 제안하는 바이나 앞으로 필요한 데이터를 보완하는 등 더욱 발전해 나가기를 바란다.

(1) 토양에서는 아직 국내외에서 통용되는 농약잔류 허용 기준 설정을 위한 원칙이 확립되어 있지 못하므로 농경지 토양, 시가지 토양, 산림 토양 등으로 구분하여 위해성이 예상되는 성분 20 개씩에 대하여 잠정기준 시안을 제안하였다.

(2) 토양 중 농약잔류 허용 기준 설정에 필요한 과학적 자료를 보완하기 위하여 다음과 같은 관점에서 국내사용 농약에 대한 환경화학적 그리고 생태독성학적 데이터의 축적을 위한 지속적인 연구개발이 요구된다.

- ① 토지 단위면적당 농약의 실제 사용량과 표토(10 cm) 중 농약의 예상 농도(살포 후 기간별)로
- ② 토양환경 중 농약의 분해소실률(토양반감기)과 유실속도(재배조건, 지표수, 지하수)
- ③ 식물체 중 농약예상농도의 추정(토성별, 작물별 흡수율)
- ④ 환경 지표(指標)생물 (지렁이, 유용미생물, 야생동물, 경제곤충, 거미류 등)에 미치는 독성 자료 (LC₅₀ 및 dietary LC₅₀ 값)
- ⑤ 토양접촉에 따른 농약성분의 인체내 흡수와 독성에 관한 자료

감사의 글

본 자료는 한국환경과학연구협의회가 지급하는 환경처 환경과학연구비(1994년도 정책과제)로 수행된 연구사업 결과의 일부임을 밝히며, 아울러 연구사업 지원에 깊은 감사의 뜻을 표하는 바이다.

참 고 문 헌

1. 임수길(1994): 토양질 기준의 설정에 관한 연구. 한국환경과학연구협의회 최종보고서 [VROM: Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, Netherlands, 1991; 네덜란드 국립보건환경연구원 보고서 중에서].
2. 이서래 외6명(1995): 수질 및 토양 중 농약잔류 허용기준 설정. 한국환경과학 연구협의회 보고서 175pp.
3. 이서래(1993): 식품의 안전성 연구. 이화여대 출판부 제3장.
4. 농약공업협회(1983~1994): 농약연보.
5. 농약공업협회(1994): 농약안전사용 4대목표. 농약정보 15(3), 10-15.
6. 福永一夫(1981): 農藥, 白亞書房 제2장.
7. 정영호, 송병훈(1992): 잔류농약의 안전성 평가. 농촌진흥청 심포지움(농약연구소) 19, p.112.
8. 이성규(1994): 농약의 환경생태독성. 농약정보 15(4), 32-35; 15(5), 36-39; 15(6), 48-51.
9. US EPA(1986): *Standard Evaluation Procedure - Ecological Risk Assessment*. EPA-504/9-85-001.
10. USA(1990): Resource Conservation and Recovery Act. Federal Register Vol. 55, No. 145 [Farm Chemicals Handbook E11 (1994)]
11. 日本(1993): 農藥取締法令集.
12. Bachman, G.(1992): *Regulating Soil Cleanup and Protection*. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council.