

발간등록번호

11-1541000-001277-01

최종보고서

재배환경 내 유해물질 안전관리 방안

충남대학교

농림수산식품부

최종보고서

재배환경 내 유해물질 안전관리 방안

시험년도 : 2011년 9월 ~ 2012년 01월

시험의뢰회사명 : 농림수산식품부

시험 기관명 : 충남대학교 산학협력단장

충 남 대 학 교

제 출 문

농림수산식품부 귀 하

본 보고서를 「재배환경 내 유해물질 안전관리 방안」 연구 과제의 최종보고서로 제출합니다.

제출일시 : 2012년 01월 31일

주관연구기관 : 충남대학교

연구책임자 : 이 규 승

참여연구원 : 호서대학교

김 균

장 희 라

강 혜 립

이 준 엽

연구보조원 : 충남대학교

임 종 성

이 초 룡

박 재 훈

윤 지 영

문 혜 리

요 약 문

I. 제목

재배환경내 유해물질 안전관리 방안

II. 연구의 목적 및 필요성

농장에서 식탁까지 (Farm to Table)의 안전성을 확보하여 고품질의 농산물을 소비자에게 제공하는 것은 매우 중요한 일이고, 이를 위해 농산물 중 농약 잔류허용기준 이나 중금속 기준 등을 설정하여 운영하고 있다.

그러나 본 연구는 기존의 생산 농산물에 대한 안전성 강화의 관점에서 보다 적극적인 수단으로 농경지토양, 농업용수 및 퇴비 등의 영농자재에 대한 안전성을 강화하여 예방적인 차원에서의 농산물 안전성을 높이기 위한 방안을 검토하고 또, 필요한 경우에는 재배환경 내에서의 유해물질을 관리할 수 있는 기준 설정 등의 적극적 방안을 강구하기 위해 수행되었다.

연구의 대상은 농약, 중금속과 같은 기존의 유해물질을 포함하여 최근 새로운 오염원으로 대두되고 있는 동물의약품 항생제와 다중고리방향족탄화수소류 (Poly Aromatic Hydrocarbons; PAHs)를 포함한다. 그리고 다이옥신류와 co-planar PCB류는 분석의 어려움과 고가 기기의 사용 등에 따른 문제점 때문에 본 연구에서는 대상으로 삼지 않고자 한다.

III. 연구의 내용

본 연구의 내용은 기존의 자료를 정리하고, 국·내외의 기준을 비교하여 아울러 기준 설정의 근거가 있는 경우에는 그 근거를 제시하는 것으로 한정되어 있다. 또한 외국의 기준 중 우리나라에 적용 할 필요가 있는 경우에는 국내에서의 연구 중 포함한 향후의 로드맵 (road-map)을 제시하여 국내기준 설정을 위한 발판을 마련하고자 한다.

1. 국내의 재배환경 중 유해물질 잔류수준

국내에서 1990년대 후반 이후에 조사된 자료를 중심으로, 농경지 토양 중 잔류농약 및 중금속, PAHs, 그리고 축산농가의 퇴비 및 지하수 등의 항생물질 관련 자료를 정리하였다.

1-1. 경작지 토양 중 잔류농약

국내에서 조사된 농경지 토양 중 잔류농약 조사 점수는 표1에서 제시하고 있다.

표 1. 국내 농경지 토양 중 연도별 잔류농약 조사 점수

조사연도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	소계
조사점수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1135	2,558

표1에서 보는 바와 같이 1999년부터 2011년 사이의 10년간 농경지 토양에 대한 농약잔류조사점수는 2,558점으로 연평균 257점 수준이었으며, 2011년을 제외하면 150~180점 수준이었다. 한편 표2에서는 표1에서 조사된 농약 성분 중 검출된 농약의 종류를 보여 주고 있다.

표 2. 국내 농경지 토양 중 잔류농약의 종류별 검출 성분 수

종 류	살균제	살충제	살비제	제초제	식물생장조절제	소계
검출점수	47	65	6	23	1	142

표2에서 보면 국내의 농경지 토양에서는 살균제 성분 47종, 살충제 성분 65종, 살비제 성분 6종, 제초제 성분 23종 그리고 식물생장조절제 성분 1종 등 총 142종의 농약성분이 검출되었다.

살균제 중에서는 Tricyclazole성분이 20.72%의 검출빈도를 나타내어 가장 높았으며, 그 다음으로 Procymidine 7.54%, Isoprothiolane이 7.04%, Azoxystrobin 4.74%, Pendimethalin이 4.65%의 순이었으며, 1% 이상의 검출빈도를 나타낸 살균제 성분은 모두 13종 이었다. 살균제의 잔류수준은 Flutolanil제가 최고 22.09 mg kg⁻¹ 로 매우 높게 검출되었는데, 이런 수준은 정상적인 농약살포를 하는 경우에는 검출될 수 없는 매우 높은 잔류수준이라고 본다. 그 다음으로는 Carbendazim이 최고 4.22 mg kg⁻¹, Dimethomorph가

2.85 mg kg⁻¹, Tolclofos-methyl이 2.06 mg kg⁻¹, Pendimethalin이 1.98 mg kg⁻¹, Fosthiazate가 1.61 mg kg⁻¹, Procymidone이 1.49 mg kg⁻¹ 그리고 Isoprothiolane이 1.3 mg kg⁻¹로 비교적 높은 잔류수준을 나타내었다. 그러나 농약이 검출된 시료만을 대상으로 한 평균값으로는 Carbendazim이 0.63 mg kg⁻¹, Pendamethalin이 0.42 mg kg⁻¹ 그리고 Dimethomorph가 0.39 mg kg⁻¹, 로 비교적 높은 잔류수준을 보였으나, 총 조사된 시료에 대한 평균 잔류량은 모든 경우에 0.1 mg kg⁻¹ 이하의 수준을 보여주고 있다.

살충제 중에서는 Endosulfan (total)이 26.27%의 검출빈도를 나타내어 가장 높았고, Imidacloprid가 20.72%를 나타내었다. 1% 이상의 검출빈도를 보인 약제는 Chlorfenapyr가 5.41%, Chlorpyrifos가 3.79%, EPN이 2.89%, Ethoprophos가 1.95%, Indoxacarb 1.61%, Lufenuron 1.35%, Cypermetrin 1.33%, Cadasafos 1.29%, Tebupirimophos 1.24%, Buprofezin 1.21% 그리고 Cyhalothrin이 1.07% 등이다.

살충제 성분중에서는 Cadusafos가 최고 0.78 mg kg⁻¹에 검출된 시료의 평균 검출수준이 0.25 mg kg⁻¹로 나타났고 Carbofuran은 최고 검출농도가 3.32 mg kg⁻¹에 평균적으로 0.28 mg kg⁻¹로 비교적 높은 수준의 잔류량을 나타내었다.

또한 Chlorpyrifos도 최고 4.81 mg kg⁻¹에 평균 0.47 mg kg⁻¹을 보였고, Endosulfan (total)은 최고 8.37 mg kg⁻¹에 평균 0.70 mg kg⁻¹로 가장 광범위한 오염수준을 나타내었다.

6종의 살비제가 검출되기는 하였으나 이들의 검출 빈도는 1.0% 미만이었다.

이중 Bromopropylate 는 최고 0.81 mg kg⁻¹이 검출되었고, Dicofol제는 0.49 mg kg⁻¹, Tetradifan은 최고 0.30 mg kg⁻¹수준에서 검출되었으나 아주 일부 시료에 국한되어 검출되었기 때문에 큰 의미는 없다고 판단된다.

제초제는 검출된 23 성분 중 Alachor가 3.31%, Butachlor가 3.02%, Oxyfluoren이 2.06%의 검출율을 보였으며, 검출된 시료에 대한 평균 잔류수준은 Alachlor가 0.20 mg kg⁻¹, Butachlor가 0.19 mg kg⁻¹, Oxyfluoren이 0.22 mg kg⁻¹을 보였으며, 최고 잔류수준은 Alachor가 0.86 mg kg⁻¹, Butachlor가 1.08 mg kg⁻¹ 이었고 기타의 약제 등은 0.1 mg kg⁻¹ 이하 수준 이었다.

1-2. 경작지 토양 중 중금속

국내 농경지 중 중금속 잔류수준은 환경부의 토양 측정망과 국립농업과학원에서 수행한 취약농경지 중 중금속 조사 결과 및 농어촌공사에서 수행한 GAP 생산기반조성사업의 일환으로 수행된 지구별 농경지 중금속 모니터링 조사결과를 토대로 하였다.

표 3. 국내 농경지 중 중금속 조사내역

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	소계
논	125	125	125	125	125	125	127	127	127	1131
밭	82	82	82	82	82	82	86	86	86	750
과수원	51	51	51	51	51	51	51	51	51	459
목장용지	54	54	54	54	54	54	54	54	54	486

표 4. 취약농경지 중 중금속 조사내역

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2008	소계
생활하수유입	600				600			600		1800
광산인근지역		600				600			600	1800
공업단지인근지역			600				600			1200
고속도로인근지역				600						600

표3에서 볼 때 환경부는 2002년부터 2010년까지 9년간 논, 밭, 과수원 및 목장용지를 대상으로 2002년부터 2007까지는 312점 씩, 2008년부터 2010년까지 318점 씩 총 2,514점의 시료에 대해 그리고 표4에서 보면 국립농업과학원은 1999년부터 2008년 사이에 2006년을 제외한 9년간 생활하수유입농경지, 광산인근지역농경지, 공업단지인근농경지 및 고속도로주변농경지 등 중금속오염가능성이 비교적 높은 취약 농경지 5,400점을 대상으로 중금속 조사를 실시하였다.

국내 농경지 중 중금속 함량을 우리나라의 토양오염기준과 대조해 보면 논토양의 경우 2002년에 납이 최고 202.85 mg kg⁻¹, 니켈이 101.86 mg kg⁻¹로 우려기준인 200 mg kg⁻¹과 100 mg kg⁻¹을 아주 조금 넘어간 경우를 제외하고는 매우 안전한 수준으로 평가되었다.

밭토양의 경우에는 2002년 아연이 327.50 mg kg⁻¹, 니켈이 190.68 mg kg⁻¹로 토양오염 우려기준을 넘었고, 2003년과 2004년에도 니켈은 우려기준인 100 mg kg⁻¹을 훨씬 넘어섰을 뿐 아니라 2003년도 시료에서는 니켈의 토양오염대책기준인 300 mg kg⁻¹을 넘어 342.10 mg kg⁻¹의 최고값을 나타낸 경우도 있어 니켈의 경우 우리나라 토양오염기준치를 넘어서도 있는 시료가 다소 존재하는 것을 알 수 있다.

그러나 과수원과 목장용지 토양조사결과에서 중금속 함량의 농경지의 토양오염우려기준을 초과하는 시료를 확인할 수는 없었다.

한편, 생활하수유입농경지의 경우 2007년 아연이 최고 285.5 mg kg⁻¹ 까지 조사 되었으나 우려기준인 300 mg kg⁻¹ 이하로 안전한 수준이었다.

또 광산인근 농경지 토양의 경우 2000년에 구리가 최고 305.81 mg kg⁻¹로

납은 최고 $557.48 \text{ mg kg}^{-1}$, 비소는 62.00 mg kg^{-1} , 아연은 $429.10 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 모두 토양오염 우려 기준을 초과한 시료 등이 검출되었고, 2004년에는 구리가 $292.00 \text{ mg kg}^{-1}$, 납 $402.88 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 토양오염기준을 초과한 시료가 있음을 확인하였고 아연은 $1789.00 \text{ mg kg}^{-1}$ 그리고 니켈은 $2073.00 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 토양오염대책기준을 초과하는 시료 등도 확인할 수 있었다. 2008년도에는 최고 검출농도가 구리는 $284.00 \text{ mg kg}^{-1}$, 납이 $329.65 \text{ mg kg}^{-1}$, 비소 29.54 mg kg^{-1} 로 토양오염우려기준을 초과한 시료가 있었으며 아연은 $1547.85 \text{ mg kg}^{-1}$, 니켈은 $1156.50 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 토양오염대책기준을 초과하는 시료가 검출되기도 하였다.

따라서 광산지역 농경지 토양에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다고 보며 특히 니켈과 아연함량이 높은 토양에 관한 대책이 우선적으로 필요하다고 본다.

공업단지 인근 지역 농경지에서도 2001년과 2005년 모두 구리성분이 토양오염기준을 초과한 시료가 있었으며, 2001년에는 Cr^{6+} 이 토양오염우려기준을 초과하는 13.15 mg kg^{-1} 을 나타낸 경우도 있었고, 2005년에는 아연이 토양오염대책기준인 900 mg kg^{-1} 을 초과한 $1105.00 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 수준을 보인 경우도 있었다.

농어촌공사에서 2010년과 2011년 폐광산 인근 (2~4 km)과 매립지 주변 (2 km) 농경지 토양에 대한 조사결과는 표5와 표6에 요약하였다.

2010년과 2011년 폐광산 2~4 km에 위치한 농경지 토양 중 중금속조사 결과 총 4,764점의 시료 중 카드뮴 215점 (4.51%), 구리 18점 (0.38%), 납 24점 (0.50%), 비소 296점 (6.21%), 니켈 23점 (0.48%) 그리고 아연 46점 (0.97%)의 시료가 우려기준을 초과하였고, 또한 구리 8점 (0.17%), 비소 42점 (0.88%), 니켈 6점 (0.13%) 그리고 아연 2점 (0.04%)의 시료는 대책기준을 초과한 것으로 나타났다.

한편 매립지 주변 2 km 이내의 농경지 토양에서는 대책기준을 초과한 시료는 없었으며, 635점의 시료 중 카드뮴 17점 (2.68%), 구리 2점 (0.31%), 비소 3점 (0.47%) 그리고 아연 2점 (0.31%)에서 우려기준을 초과하는 것으로 조사되었다.

표 5. 2010 및 2011년 폐광산 인근 (2-4 Km) 농경지토양 중 중금속 함량

지역	시료수	우려기준 초과수 (비율)		대책기준 초과수 (비율)	
총 계	4,764	카드뮴	215 (4.51%)	구리	8 (0.17%)
		구리	18 (0.38%)	비소	42 (0.88%)
		납	24 (0.50%)	니켈	6 (0.13%)
		비소	296 (6.21%)	아연	2 (0.04%)
		니켈	23 (0.48%)		
		아연	46 (0.97%)		

표 6. 2011년 매립지 인근 2 Km 이내 경작지 토양 중 중금속 함량

지역	시료수	우려기준 초과수 (비율)		대책기준 초과수 (비율)	
총 계	635	카드뮴	17 (2.68%)		
		구리	2 (0.31%)		
		비소	3 (0.47%)		-
		아연	2 (0.31%)		

1-3. 항생제와 다중고리방향족탄화수소류 (PAHs)

국내의 축산 농가 주변 환경, 그리고 퇴비 등에 대한 항생제의 잔류수준 평가는 매우 제한적으로 이루어졌다. 또한 다중고리방향족탄화수소류의 농경지 토양 중 잔류수준에 대한 평가 역시 매우 적은 수의 시료를 대상으로 이루어졌을 뿐이다. 축산농가에서의 항생제 검출 빈도를 표7에 수록하였다.

표 7. 축산 농가에서의 항생제 검출빈도

	닭 농가 지하수		닭 농가 퇴비		돼지 농가 지하수		돼지 농가 퇴비		돼지 농가 토양	
	6	(%)	6	(%)	26	(%)	27	(%)	7	(%)
SMT	1	16.67	5	83.33	16	61.54	20	74.07	3	42.86
SMTZ	4	66.67	5	83.33	21	80.77	27	100.00	6	85.71
STZ	4	66.67	6	100.00	18	69.23	26	96.30	7	100.00
ENFLO	4	66.67	0	0.00	7	26.92	25	92.59	2	28.57
Penil C	3	50.00	4	66.67	10	38.46	23	85.19	1	14.29
TRL	0	0.00	4	66.67	1	3.85	26	96.30	6	85.71
ERY	1	16.67	1	16.67	2	7.69	6	22.22	0	0.00
OTC	1	16.67	2	33.33	3	11.54	11	40.74	0	0.00
CTC	5	83.33	5	83.33	9	34.62	26	96.30	2	28.57
AMOX	0	0.00	2	33.33	0	0.00	8	29.63	0	0.00
STR	0	0.00	2	33.33	4	15.38	0	0.00	0	0.00
FLO	4	66.67	5	83.33	24	92.31	25	92.59	0	0.00

SMT; sulfamethazine, SMTZ; sulfamethoxazole, STZ; sulfathiazole, ENFLO; enrofloxacin, Penil C; penicillin, TRL; tylosin, ERY; erythromycin, OTC; oxytetracycline, CTC; chlortetracycline, AMOX; amoxicillin, STR; streptomycin, FLO; florfenicol

표7에서 볼 때 12종의 항생제는 양계농가와 양돈농가 모두 퇴비와 지하수에서 종류별로 차이는 있으나 5~8종이 50%이상의 검출빈도를 나타냈다. 양돈농가 인근 토양에서는 3종이 50%이상의 검출빈도를 나타내었다.

PAHs류는 매우 종류가 많지만 독성등가계수가 인정되는 16종의 합으로 표시하는 것이 일반적이다.

국내에서는 논 30점, 밭 30점 및 산림토양 29점등에 대한 조사결과 논토양의 경우 8.9~625 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 의 범위에서 평균 137 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 밭토양의 경우 16.5~645 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 의 범위에서 평균 203 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 이었으며, 산림토양의 경우 6.7~667 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 의 범위에서 평균 83.4 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 로 조사되었다.

1-4. 외국의 재배환경 중 유해물질 잔류수준

외국의 재배환경 중 유해물질의 잔류수준은 주로 학술지와 관련서적 등을 조사하여 작성하였다.

A. 잔류농약

외국의 경우 잔류농약은 유기염소계 농약에 대한 모니터링 결과가 주 관심 대상이다.

브라질, 스위스, 우간다, 인도, 중국, 체코, 포르투갈, 필리핀, 호주 등의 국가에 대한 자료를 정리해보면 유기염소계 이외에 Iprodion, Pendimethalin, Chlorpyrifos, Carbendazim, Metalaxyl, Procymidone, Dimethoate, Cypermethrin 등의 토양 중 잔류수준에 관해 보고하고 있는 실정이다.

B. 중금속

중금속에 관한 모니터링 결과나 연구결과는 대부분의 선진국에서는 1960~1970년대에 수행되었다. 그리고 특별한 오염지역을 대상으로 1990년대 이후에도 조사결과가 보고되고는 있지만 그리 많은 자료는 구하기가 쉽지 않았다.

중금속 함량은 대부분 모암과 관련이 있고, 오염원에 의한 피해지역에서 증가되는 경우도 있으나 중요한 점은 토양 중에 함유된 중금속 함량을 분해나 용탈 등에 의해 크게 변화되지 않고 일정한 수준을 유지한다는 사실이다.

비소의 경우 일본의 오염지역은 평균 $255.8\sim 284.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 우리나라의 토양오염대책기준을 크게 넘어서는 경우도 있으나, 대부분은 우리나라와 유사한 수준이거나 다소 높은 수준으로 볼 수 있다.

카드뮴의 경우는 일반 농경지에 특별하게 오염된 경우는 없었으며, 우리나라와 유사한 수준의 잔류수준을 보였고, 구리의 경우는 일부의 오염지역에서는 매우 높은 수준이었으나, 일반 농경지는 우리나라와 유사한 수준이었다. 납의 경우는 유럽국가에서 매우 높은 함유량을 보이는 국가가 많았으며, 중국의 경우는 우리나라와 유사하거나 다소 높은 수준을 보여주고 있다. 한편 니켈의 경우는 일본의 일부지역에서 매우 높은 수준을 보였으나 대부분의 경우는 평균 100 mg kg^{-1} 미만 수준을 나타내고 있다.

C. PAHs의 잔류수준

중국, 홍콩, 베트남, 미국, 캐나다, 스페인, 폴란드 및 뉴질랜드와 영국의 농경지 토양 중 PAHs의 함량을 조사하여 수록하였다. 중국의 광저우의 채소경작지의 경우 PAHs의 잔류수준은 $42\sim 3077 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 범위에서 평균 $376.16 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이었다. 그러나 일부 PAH는 높은 수준으로 잔류되었음을 확인할 수 있었다. 홍콩의 경우는 중국의 약 1/3 수준으로 잔류되어 있었으며, 베트남의 경우 오염지역은 $1000 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이상의 수준을, 비오염지역은 $176\sim 206 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 수준을 나타내는 것으로 조사되었다.

미국의 경우는 1846년부터 1986년까지 사이에서 9개년의 시료를 분석하여

PAHs 잔류수준의 변화양상을 보여주는 좋은 자료를 보여주고 있는데, 오염이 덜 된 시기에는 $500 \mu\text{g kg}^{-1}$ 수준의 잔류수준을, 산업활동 등 특히 석탄류의 사용이 많은 시기에는 $1000 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이상의 수준을 나타내는 것을 알 수 있다. 스페인의 경우도 거주지역 인근 농경지 토양은 평균 $736 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 잔류수준을 보였으나 비오염지역은 $112 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 낮은 것을 알 수 있었으며, 폴란드의 경우도 평균 $264 \mu\text{g kg}^{-1}$ 수준을 나타내고 있었다. 그러나 영국의 경우는 $589.7\sim 2301 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 범위로 매우 높은 수준으로 잔류하는 것을 알 수 있는데, 이는 영국이 석탄사용이 많았던 결과가 아닌가 생각된다.

1-5. 국내 농업용수 중 유해물질 함량

국내 학술지에 발표된 내용을 정리해본 결과 국내의 농업용수 중 중금속 함량은 카드뮴의 경우 한강수계에서 1997년 8월에 $0.01\sim 0.06 \text{ mg L}^{-1}$ 수준, 낙동강 수계에서는 $0.002\sim 0.026 \text{ mg L}^{-1}$ 로 조사되었는데 특히 산업폐수유입지역에서 높은 수준을 나타냈다. 구리의 경우도 한강수계에서 최고 2.37 mg L^{-1} 을 나타내었고, 기타 지역에서도 $0.006\sim 0.18 \text{ mg L}^{-1}$ 범위에서 검출된 것으로 보고되었다. 납의 경우도 산업용 폐수 유입지역은 1989년에 최고 1.79 mg L^{-1} 수준을 보이는 경우도 있었으나 대부분은 0.5 mg L^{-1} 이하 수준이었다.

2. 재배환경 내 유해물질 안전관리 기준의 사례 검토

국내와 외국에서 농경지 토양이나 농업용수수질의 관리기준을 살펴보고, 그 차이점이나 우리나라 기준의 문제점과 보완점등을 검토하고자 한다.

2-1. 국내의 토양 오염 관리 기준

우리나라 토양환경보전법에 토양오염 우려기준과 대책기준을 설정하고 있으며, 지역을 1~3으로 구분하고 있는데 농경지 토양은 1지역에 해당된다. 국내에서는 8종의 중금속을 포함한 총 21종의 유해물질에 관해 기준을 설정하여 관리하고 있다.

표 8. 토양오염 우려기준 및 토양오염 대책기준

(단위 : mg kg⁻¹)

오염물질	토양오염 우려기준			토양오염 대책기준		
	1지역	2지역	3지역	1지역	2지역	3지역
카드뮴	4	10	60	12	30	180
구리	150	500	2,000	450	1,500	6,000
비소	25	50	200	75	150	600
수은	4	10	20	12	30	60
납	200	400	700	600	1,200	2,100
6가크롬	5	15	40	15	45	120
아연	300	600	2,000	900	1,800	5,000
니켈	100	200	500	300	600	1,500
불소	400	400	800	800	800	2,000
유기인화합물	10	10	30	-	-	-
폴리클로리네이트디비페닐	1	4	12	3	12	36
시안	2	2	120	5	5	300
페놀	4	4	20	10	10	50
BTEX	벤젠	1	1	3	3	9
	톨루엔	20	20	60	60	180
	에틸벤젠	50	50	340	150	1,020
	크실렌	15	15	45	45	135
석유계 총 탄화수소(TPH)	500	800	2,000	2,000	2,400	6,000
트리카로로에틸렌(TCE)	8	8	40	24	24	120
테트라카로로에틸렌(PCE)	4	4	25	12	12	75
벤조(a)피렌	0.7	2	7	2	6	21

환경부, 토양환경보존법

표8에서 보면, 우리나라의 토양 중 유해물질 관리 기준은 외국에 비해 매우 종류가 적은 것을 알 수 있다. 특히 농약성분으로는 유기인화합물이 있으며, 유기염소화합물로는 폴리클로리네이트디비페닐 (PCB)이 포함되어 있을 뿐 개별적인 농약성분에 대한 별도의 기준을 설정되어 있지 않다. 현행기준 중 6가크롬의 경우는 농경지 토양에서 검출될 가능성이 높지 않으므로 총크롬으로 변경하는 방안도 고려 할 필요가 있다. 외국의 경우에는 6가크롬과 총크롬의 잔류기준이 별도로 설정되어있는 경우도 있는데, 실제로는 대부분의 공장 폐수의 경우 3가크롬으로 안정화 시켜 처리하므로 6가크롬에 대한 기준을 필요하다면 총크롬으로 대체하는 방안을 검토하여야 할 것이다. 3가크롬이 대부분인 총크롬의 경우에는 인체위해성이 높지 않은 것으로 알려져 있으며 작물에 대한 직접적인 피해 수준도 상당히 낮은 것으로 알려져 있다. 또한, 국내의 농경지 토양 조사결과 비소, 카드뮴, 납, 아연 및 니켈 등이 우려기준을 초과하는 경우가 많았고, 이중 일부는 대책기준을 초과하는 경우가 있었지만 크롬의 경우에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

특히 제주도 화산회토의 경우에는 니켈의 함량이 높은 경우가 많아 토양환경 보전법에 의하면 농작물의 재배를 금지해야 하는 경우가 있으므로 이런 문제는 작물재배 실험을 통한 금속의 작물흡수계수 (BCF)를 구하는 연구를 우선 실시

하여 농민들이 농작물에 잔류량을 최소화 할 수 있는 작물을 선발하여 정보를 제공하여야 할 것이다.

2-2. 외국의 토양 중 잔류농약 기준

외국의 경우에는 토양의 용도에 따라 기준을 달리 설정하고 있는 경우가 많으며, 특히 농경지 토양에 대해서는 국가에 따라 동일한 농약성분이라도 차이가 많은 것을 알 수 있다.

아래 표에는 외국의 토양 중 농약잔류기준을 보여주고 있다.

표 9. 나라별 토양 중 잔류농약 기준 (단위 : mg kg⁻¹)

농약	미국	네덜란드 (농경지 목표치)	네덜란드 (시가지 관정기준)	호주/ 뉴질랜드	일본
Aldicarb	100				
Aldrin	0.02	2.5	0.0025	<0.001-0.05	
Aluminium phosphide	30				
Arsenic	80				
Atrazine		0.05	0.00005		
Azinphos-methyl		0.06			
Chlordane	0.05	10			
DDD	3		0.1		
DDE	2		0.1		
DDT	2		0.1	<0.001-0.05	
Diazinon		0.07			
Dieldrin	0.04	0.5	0.0005	<0.001-0.05	
Disulfoton	3	10			
Endosulfan	4	2.5			
Endothall	2000				
Endrin	20	2.5	0.001		
Fenitrothion		10			
Heptachlor	0.2	2.5			
Heptachlor epoxide	0.08	2.5			
Hexachlorobenzene		2.5			
Lindane	0.5				
Malathion		0.02			
Methomyl	2000				
Methyl parathion	20				
Parathion	500				
Parathion+parathion-methyl		10			
parathion-ethyl		0.04			
Simazine					0.003
TBTO		0.1			
Thiobencarb					0.02
Thiram					0.006
Toxaphene	0.06				
Triazofos		10			
Trifluralin		10			
α-HCH		2.5	0.0025		
β-HCH		1	0.001		
γ-HCH		0.05	0.00005		

표 9에서 볼 때, 비교한 4개국의 경우에도 토양 중 잔류기준을 설정하여 관리하는 농약 성분이 서로 다름을 알 수 있다.

네덜란드의 농경지에는 22종의 농약성분이, 미국은 20종, 호주/뉴질랜드와 일본은 각 3종씩으로 나타났다. 특히 호주/뉴질랜드는 유기염소계 농약성분 3종에 대해서만 기준이 설정되어 있고, 그 잔류기준도 최대 0.05 mg kg^{-1} 의 매우 낮은 수준임을 알 수 있다. 또 일본은 Simazine, Thiobencarb 및 Thiram 등 3종에 대해서만 0.02 mg kg^{-1} 이하로 낮게 설정되어 있을 뿐 일반적인 유기염소계 농약기준은 없는 것이 특징이다.

2-3. 외국의 토양 중 유해물질 기준 (중금속 포함)

다음 표10에는 우리나라를 포함하여 일본, 영국, 네덜란드, 독일, 덴마크, 캐나다, 호주 및 스웨덴의 토양 중 유해물질 기준을 요약하여 제시하였다.

표 10. 나라별 토양 중 유해물질 기준 (농약 불포함)

(단위 : mg kg⁻¹)

	대한민국		일본		영국	네덜란드			독일			덴마크			캐나다	호주		스웨덴		
	우려 기준	대책 기준	먹는물	시가지 기준	유인 농도	바탕농도 기준	목표 기준	개입 기준	조사 기준	우려 기준 clay	우려 기준 loam/silt	우려 기준 sand	토양질 기준	환경 독성 기준	바탕농도 기준	cut-off 기준	농경지	환경 조사 기준	바탕 농도	평가기준
3가 크롬																		400		
6 가 크 롬	5	15	0.05	0.05 (용출)	25								20	2	-	-	0.4	1		5
구 리	150	450			130				1	60	40	20	500	30	13	500	63	100	2~100	100
납	200	600	0.05	0.1 (용출)	500	85	85	530	0.1				40	50	10~40	400	70	600	2~200	80
니 켈	100	300			70	35	35	210	1.5	70	50	15	30	10	0.1~50	30	50	60	5~500	35
망간	10	-																500	850	
몰리브덴						0.5	3	200					5	2	-	-	5			
마나뎬						42	42	250									130	20	20~500	120
바륨						160	160	625									750	300	~3000	
베릴륨						1.1	1.1	30									4			
벤젠·톨루엔·에틸벤젠·크실렌(BTEX)	-	2000																		
불 소	400	800																		
붕소					3															
비 소	25	75	0.01	0.01 (용출)	10	29	29	55	0.4	1	0.5	0.1	20	10	2~6	20	12	20	1~50	15
석유계총탄화수소 (TPH)	500	2400																		
셀레늄			0.01	0.01 (용출)	3	0.7	0.7	100									1			
수 은	4	12	0.005	0.0005 (용출)	1	0.3	0.3	10	5	100	70	40	1	0.1	0.04~0.12	3	6.6	1	0.03	1

표 10. 나라별 토양 중 유해물질 기준 (농약 불포함)

(단위 : mg kg⁻¹)

	대한민국		일본		영국	네덜란드			독일			덴마크			캐나다	호주		스웨덴		
	우려 기준	대책 기준	먹는물	시가지 기준	유인 농도	바탕농도 기준	목표 기준	개입 기준	조사 기준	우려 기준 clay	우려 기준 loam/silt	우려 기준 sand	토양질 기준	환경 독성 기준	바탕농도 기준	cut-off 기준	농경지	환경 조사 기준	바탕 농도	평가기준
아 연	300	900			300	140	140	720	2	200	150	60	-	-	-	1000	130	200	10~300	350
시 안	2	5	0.00001																	
안티몬						3	3	15									20			
유기인 화합물	10	-																		
벤젠	1	3																		
톨루엔	20	60																		
에틸벤젠	50	150																		
크실렌	15	45																		
은						-	-	15									20			
주석						19	-	900									5			
카드뮴	4	12	0.01	0.01 (용출)	3	0.8	0.8	12		1.5	1	0.4	0.5	0.3	0.03~0.5	5	1.4	3	1	0.4
코발트				125		9	9	240									40		1~40	30
크롬(총량)					600	100	100	380		100	60	30	500	50	1.3~23	1000	64		5~1000	120
탈륨						1	1	15	0.1								1			
테트라크로로에틸렌 (PCE)	4	12																		
텔루륨						-	-	600												
트라이크로로에틸렌 (TCE)	8	24																		
페놀	4	10																		
폴리클로리네이티드 비페닐	1	3																		
벤조(a)파이렌	0.7	2																		

표10에서 볼 때 국가 별로 여러 가지 다른 점이 있다는 것을 알 수 있었다. 우리나라는 우려기준과 대책기준을 구분하는데 반해, 네덜란드는 토양의 바탕 기준, 즉 토양조사결과 기본적으로 함유되어있는 기준을 설정하고 어느 정도 까지 들어 있어도 괜찮은 목표기준을 설정한 후, 마지막으로 우리나라의 대책 기준과 같은 개입기준을 설정하고 있다.

독일은 우려기준을 토성별로 점토 (Clay), 양토 (Loam/Silt) 및 사토 (Sand) 로 구분하여 달리 함으로써 토양의 특성을 고려하였고, 덴마크는 환경독성기준을 설정하여 관리하고 있다.

캐나다의 농경지 중 유해물질 잔류기준은 비교적 다양한 항목이 (19종) 설정되어 있으나, 우리나라에 설정된 BTEX나 TPH같은 유류오염에서 유래되는 항목은 없는 것이 특징이다.

2-4. 농업용수 수질기준

우리나라의 농업용수 수질기준은 환경보전법의 하천수, 호소수의 IV등급수와 지하수등 3가지로 구분되어 있다. 규제항목도 서로 일치하지 않는 것이 있고, 또 규제기준도 동일 항목에서 일치 하지 않는 것도 있다.

표 11. 우리나라의 농업용수 수질기준

(단위 : mg L⁻¹)

	하천	호소	지하수
수소이온농도 (pH)	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5
생물화학적산소요구량 (BOD)	8 이하		
화학적산소요구량 (COD)	9 이하	8 이하	
부유물질량 (SS)	100 이하	15 이하	
용존산소량 (DO)	2.0 이상	2.0 이상	
총인 (T-P)	0.3 이하	0.10 이하	
총질소 (T-N)		1.0 이하	
클로로필-a		35 이하	
총대장균군	-	-	
대장균군			
분원성대장균군	-	-	
일반세균			
질산성질소			
염소이온			
카드뮴(Cd)	0.005 이하		0.01 이하
비소(As)	0.05 이하		0.05 이하
시안(CN)	검출되어서는 안 됨		0.01 이하
수은(Hg)	검출되어서는 안 됨		0.001 이하
유기인	검출되어서는 안 됨		0.0005 이하
폴리크로리네이티드비페닐 (PCB)	검출되어서는 안 됨		
납(Pb)	0.05 이하		0.1 이하
6가크롬 (Cr ⁶⁺)	0.05 이하		0.05 이하
음이온계면활성제 (ABS)	0.5 이하		
사염화탄소	0.004 이하		
1,2-디클로로에탄	0.03 이하		
테트라클로로에틸렌 (PCE)	0.04 이하	하천과 동일	0.01 이하
디클로로메탄	0.02 이하		
벤젠	0.01 이하		-
클로로포름	0.08 이하		
디에틸헥실프탈레이트(DEHP)	0.008 이하		
안티몬	0.02 이하		
페놀			0.005 이하
트리클로로에틸렌			0.03 이하
1,1,1-트리클로로에탄			0.3 이하
톨루엔			-
에틸벤젠			-
크실렌			-

한편 외국의 농업용수 수질기준은 매우 다양하여 캐나다와 미국 등에는 방사성 핵 등의 한 종류인 원자번호 85번의 아스타틴 (At)도 포함되어 있고, 금속류에서도 Co, Fe, Mn, Se 및 Ti 등이 포함되어 있다. 농약류와 dioxine류, 트

리할로메탄류 (Trihalomethane), 다중고리방향족탄화수소류 (PAHs) 등 많은 유해물질들이 포함되어 있는 것이 특징이다. 또한 질산성 질소 등 무기물도 포함되어 있으나 우리나라와 같이 총질소와 총인을 규제하는 경우는 드물었다. 특히 외국의 경우는 대부분은 사람의 건강을 기준으로 일부국가는 환경의 안전성을 기준으로 농업용수 수질기준을 설정하는 것으로 조사되었다. 따라서 작물재배를 기준으로 하는 농업용수 수질기준은 만족스러운 수준은 아니지만 FAO에서 제시한 기준을 참고할 수 있는데, 아래 표에 수록하였다.

표 12. 관개용 수질의 해석을 위한 지침¹

Potential Irrigation Problem	Units	Degree of Restriction on Use			
		None	Slight to Moderate	Severe	
Salinity(affect crop water availability)²					
EC _w	dS/m	<0.7	0.7~3.0	>3.0	
TDS	mg/L	<450	450~2000	>2000	
Infiltration (affect infiltration rate of water into the soil. Evaluate using EC_w and SAR together)³					
SAR	and EC _w	=0~3	>0.7	0.7~0.2	<0.2
		=3~6	>1.2	1.2~0.3	<0.3
		=6~12	>1.9	1.9~0.5	<0.5
		=12~20	>2.9	2.9~1.3	<1.3
		=20~40	>5.0	5.0~2.9	<2.9
Specific Ion Toxicity (affect sensitive crops)					
Sodium(Na) ⁴	surface irrigation	SAR	<3	3~9	>9
	sprinkler irrigation	me/L ⁶	<3	>3	
Chloride(Cl) ⁴	surface irrigation	me/L	<4	4~10	>10
	sprinkler irrigation	me/L	<3	>3	
Boron(B)		mg/L	<0.7	0.7~3.0	>3.0
Miscellaneous Effects (affect susceptible crops)					
Nitrogen (NO ₃ -N) ⁵		mg/L	<5	5~30	>30
Bicarbonate (overhead sprinkling only)		me/L	<1.5	1.5~8.5	>8.5
pH			Normal Range 6.5~8.4		
Al : 5 mg L ⁻¹ , As : 0.1 mg L ⁻¹ , Cd : 0.01 mg L ⁻¹ , Cr(VI) : 0.1 mg L ⁻¹ , Cu : 0.2 mg L ⁻¹ , Pb : 5.0 mg L ⁻¹ , Ni : 0.2 mg L ⁻¹ , Zn : 2.0 mg L ⁻¹					

1 Adapted from university of California Committee of Consultants 1974.

2 EC_w=electrical conductivity

3 SAR=sodium adsorption ratio

4 For surface irrigation, most tree crops and woody plants are sensitive to sodium and chloride

5 NO₃-N=nitrate nitrogen reported in terms of elemental nitrogen(NH₄-N and Organic-N should be included when wastewater is being tested

6 me/L=milliequivalent per liter(mg/L÷equivalent weight)

FAO의 농업용수수질기준은 기본적으로 관개용수를 사용할 때 토양에 미치는 영향을 가장 주된 대상으로 삼았기 때문에 전기전도도 (EC)와 총용존고형물 (Total Dissolved Solids; TDS)을 기준으로 사용가능범위를 3구분 하였으며, 또한 농업용수의 염류농도와 관련 있는 SAR과 EC와의 관계를 제시하여 사용 농업용수에 의한 토양의 염류집착을 고려하고 있다. 아울러 직접 소듐 (Na)과 염소이온 (Cl^-)의 범위 및 식물생육을 저해할 수 있는 붕소 (B)와 질산성질소 (NO_3-N)의 범위도 제시하고 있는데 NO_3-N 유기태 질소와 NH_4-N 의 함량을 모두 포함한다고 되어있다.

예를 들어 FAO 농업용수 수질기준에서 NO_3-N 의 함량이 5 mg L^{-1} 이하의 경우에는 사용에 제한이 없고, $5\sim 30\text{ mg L}^{-1}$ 의 경우에는 사용은 하되 사용에 따른 문제점이 발생하는 지를 검토할 필요가 있고, 30 mg L^{-1} 이상의 경우는 사용하지 못하도록 하고 있다.

3. 결론 및 제언

국내의 재배환경 내 유해물질 안전 관리를 위한 방안을 위해 국내의 농경지 토양 및 농업용수에 대한 조사 결과와 외국의 조사결과를 검토하였다. 또한 현행의 국내 토양오염 및 농업용수수질기준과 외국의 토양 중 유해물질 관리기준 및 농업용수수질기준을 비교하고, 아울러 외국의 기준설정 근거를 최대한 확인하였다. 이상의 연구를 통해 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1. 국내 농경지 토양 중 농약잔류수준은 전체적으로는 높지 않은 것으로 판단되며, 아주 적은 경우이기는 하지만 오·남용에 따른 고농도 잔류현상도 있었음을 확인 할 수 있었다.
2. 국내의 농경지 중 중금속 함량은 폐광산지역이 우려기준을 초과하는 경우가 있었으며, 일부이지만 대책기준을 초과하는 경우도 있었다.
3. 대부분의 경작토에서는 중금속 함량이 우려기준 이내로 큰 문제는 없었다.
4. 제한된 연구이지만 축산분뇨를 활용한 퇴비와 축산농가의 지하수 및 인근 토양 등에서 항생제가 잔류되는 것은 확인할 수 있었고, 다중고리방향족탄화수소류는 지역에 따라 잔류수준이 다름을 알 수 있었다. 또 일부는 청정수준을 훨씬 벗어난 잔류수준을 보이는 것을 확인 하였다.
5. 국내의 토양오염기준과 농업용수기준은 환경부의 토양보전법과 환경보전법에 의거 하여 설정 운영되고 있어 영농활동을 하는 기준으로는 일부 부적합한 부분도 있다고 판단된다. 특히 농업용수수질기준은 하천수, 호소수 및 지하수로 구분되어 있어 실제 영농현장에서 필요한 단일기준 함량을

고려할 필요가 있다.

6. 외국의 토양오염기준은 사람의 건강을 기준으로 하여 지하수 오염과 연계되어 성립된 것이 많으며, 일반적으로 규제항목도 우리나라 보다 훨씬 많았다.
7. 외국의 농업용수 수질기준 역시 사람의 건강에 초점을 맞추어 설정되었으나, FAO의 경우 농작물 재배 및 토양환경 악화의 관점에서 설정되었음을 확인하였다.

따라서 이와 같은 결론을 바탕으로 향후 우리나라에서 재배환경 중 유해물질의 안전관리를 위해 아래와 같이 제언하고자 한다.

1. 농경지 토양에 대한 모니터링 조사를 꾸준히 수행하여 잔류성이 긴 농약이나 검출빈도가 높은 농약에 대해서는 필요한 경우 잔류기준을 설정하는 것도 고려할 필요가 있다.
2. 농경지 토양에 대한 Cr^{6+} 및 Ni 등의 기준을 재검토하고, 우려기준 초과 농경지에서도 영농을 할 수 있는 연구를 수행할 필요가 있다.
3. 농작물 재배에 초점을 맞춘 농업용수수질기준이 필요하고 이에 대한 연구와 제도적 보완이 필요하다,
4. 농경지 토양 및 농업용수수질에 대한 항생물질과 다중고리방향족탄화수소류의 기준설정을 위한 사전 논의가 필요하다.

목 차

I. 재배환경 내 유해물질 안전관리의 필요성	
I-1. 재배환경 내 유해물질 안전관리의 정의	1
I-2. 재배환경 내 유해물질 안전관리의 필요성	1
II. 재배환경 내 유해물질 관리와 관련한 국내외의 동향	
II-1. 잔류농약	4
1-1. 국내의 농경지 토양 중 잔류농약 검출수준	5
1-2. 외국의 농경지 토양 중 잔류농약 검출수준	21
II-2. 중금속	35
2-1. 국내의 농경지 토양 중 중금속 잔류수준	35
2-2. 외국의 농경지 토양 중 중금속 잔류수준	46
II-3. 유해물질	61
3-1. 항생제의 농경지 토양 중 잔류수준	61
3-1-1. 수질 중 항생제의 잔류수준	61
3-1-2. 축산 농가 주변 환경 중 항생제의 잔류수준	65
3-2. PAHs의 농경지 토양 중 잔류수준	73
3-2-1. 국내의 농경지 토양 중 PAHs의 잔류수준	74
3-2-2. 외국의 농경지 토양 중 PAHs의 잔류수준	78
3-3. 기타 유해물질의 농경지 토양 중 잔류수준	86
II-4. 농업용수	91
II-5. 결론 및 요약	95
III. 재배환경 내 유해물질 안전관리 기준의 사례 검토	
III-1. 잔류농약	97
1-1. 외국의 경작지 토양 중 농약 잔류허용기준	97
III-2. 중금속	102
2-1. 경작지 토양 중 중금속 대책기준	102
2-1-1. 국내의 토양 중 중금속의 오염기준	102
2-1-2. 외국의 경작지 토양 중 중금속 대책기준	106
2-2. 각국의 토양 오염 규제항목 비교	119
2-2-1. 세계 각국의 토양환경기준 현황	119
2-2-2. 세계 각국의 토양환경기준의 설정 근거	130

2-3. 토양오염기준설정 중금속의 종류	222
Ⅲ-3. 농업용수	228
3-1. 용수별 수질기준 설정 방안	229
3-1-1. 용수별 수질준거치 설정 시의 일반적인 고려사항	229
3-1-2. 외국의 수질준거치 제정/개정 절차	235
3-1-3. 외국의 수질준거치 근거	244
3-1-4. 요약 및 결론	252
3-1-5. 각국의 활용 실태	255
3-2. 농업용수 수질기준	277
3-2-1. 국내의 농업용수 수질기준	277
3-2-2. 외국의 농업용수 수질기준	284
3-3. 일본의 농업용수 중 농약잔류기준	315
3-3-1. 일본의 농업용수 중 농약잔류기준의 우리나라 적용 시 문제점	324
3-3-2. 농약의 환경 노출 지수	327
IV. 재배환경 중 유해물질 관리를 위한 방안	
IV-1. 위해가능성 농약을 검토하기 위한 모델식	329
1-1. 대상농약의 선정을 위한 모델	329
1-2. 잔류성 농약의 관리 방안	331
IV-2. 토양 중 중금속 관리를 위한 방안	332
2-1. 토양 중 중금속 분석법에 따른 문제점 및 검토	332
2-2. 작물에 의한 중금속 흡수 연구동향	336
V. 재배환경 중 유해물질 관리를 위한 제언	343
V-1. 잠정기준안 및 기타 제언	343
V-2. 향후 기준안 설정을 위한 로드맵	347
VI. 참고문헌	350

표 목 차

표2-1-1. 국내의 농경지 토양 중 살균제 검출 수준	6
표2-1-2. 국내의 농경지 토양 중 제초제 검출 수준	11
표2-1-3. 국내의 농경지 토양 중 살충제 검출 수준	14
표2-1-4. 국내의 농경지 토양 중 살비제 검출 수준	20
표2-1-5. 국내의 농경지 토양 중 식물생장조절제의 검출 수준	20
표2-1-6. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (중국)	22
표2-1-7. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (중국)	23
표2-1-8. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (중국)	24
표2-1-9. 하얼빈 지역의 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준	25
표2-1-10. 물과 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (필리핀)	26
표2-1-11. 토양, 물 및 생산물에 대한 유기염소계 농약의 잔류 수준 (인도)	27
표2-1-12. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (호주)	28
표2-1-13. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (스위스)	29
표2-1-14. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (체코)	30
표2-1-15. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (포르투갈)	31
표2-1-16. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (포르투갈)	32
표2-1-17. Kihiihi 지역 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (아프리카)	33
표2-1-18. Mabira 숲의 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (아프리카)	33
표2-1-19. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (브라질)	34
표2-2-1. 답 토양 중 중금속 함량	36
표2-2-2. 전 토양 중 중금속 함량	37
표2-2-3. 과수원 토양 중 중금속 함량	38
표2-2-4. 목장용지 토양 중 중금속 함량	39
표2-2-5. 생활하수 유입 농경지 토양 중 중금속 함량	40
표2-2-6. 광산 인근 지역 농경지 토양 중 중금속 함량	41
표2-2-7. 공업단지 인근 농경지 토양 중 중금속 함량	41
표2-2-8. 고속도로 주변 인근 농경지 토양 중 중금속 함량	41
표2-2-9. 2010 및 2011년 폐광산 인근 (2~4 km) 농경지 토양 중 중금속 함량	43

표2-2-10. 2011년 매립지 인근 2 km 이내 경작지 토양 중 중금속 함량	44
표2-2-11. 국가별 토양 중 비소의 잔류수준	46
표2-2-12. 국가별 토양 중 카드뮴의 잔류수준	47
표2-2-13. 국외 토양 중 크롬의 잔류수준	50
표2-2-14. 국가별 토양 중 구리의 잔류수준	51
표2-2-15. 국가별 토양 중 납의 잔류수준	53
표2-2-16. 국가별 토양 중 수은의 잔류수준	55
표2-2-17. 국가별 토양 중 니켈의 잔류수준	56
표2-2-18. 국가별 토양 중 아연의 잔류수준	58
표2-3-1. 하수/축산폐수처리장 유입수의 각 지점별 항생제의 검출현황	62
표2-3-2. 하수/축산폐수처리장 방류수의 각 지점별 항생제의 검출현황	63
표2-3-3. 하수 하천수의 각 지점별 항생제의 검출현황	64
표2-3-4. 축산 농가에서의 항생제 검출빈도	65
표2-3-5. 돼지 농가에서 항생제의 잔류농도	67
표2-3-6. 돼지 농가에서 항생제의 모니터링 농도	68
표2-3-7. 닭 농가 (Non-HACCP)에서 항생제의 잔류농도	70
표2-3-8. 닭 농가 (HACCP)에서 항생제의 모니터링 농도	71
표2-3-9. EPA의 유해성 우선물질 16종에 해당하는 PAHs류의 독성등가계수	73
표2-3-10. 토양이용 형태에 따른 성분별 PAHs 농도	74
표2-3-11. 토양 깊이별 PAHs 농도	75
표2-3-12. 논토양 중 PAHs 농도	77
표2-3-13. 중국광저우의 채소 경작지 토양에서의 PAHs 잔류량	78
표2-3-14. 홍콩의 농경지 토양 중 PAHs 잔류수준	79
표2-3-15. 베트남 지역별 PAHs의 잔류수준	80
표2-3-16. 미국 농경지 토양 중 PAHs의 잔류수준	81
표2-3-17. 캐나다 온타리오주 농경지의 PAHs 잔류농도	83
표2-3-18. 스페인 Tarragona County의 PAHs 평균 잔류수준	84
표2-3-19. 폴란드 농경지의 PAHs 잔류수준	85
표2-3-20. 2001년 뉴질랜드 석유탄화수소 오염지역 농경지의 PAHs 잔류농도	86
표2-3-21. 닭 토양 중 기타 유해물질의 잔류수준	87

표2-3-22. 전 토양 중 기타 유해물질의 잔류수준	88
표2-3-23. 과수원 토양 중 기타 유해물질의 잔류수준	89
표2-3-24. 목장용지 토양 중 기타 유해물질의 잔류수준	90
표2-4-1. 24종의 특정 수질 유해물질	91
표2-4-2. 국내 농업용수 중 중금속 함량	92
표3-1-1. 미국의 환경인자 중 잔류농약 잠정기준(제안 중)	98
표3-1-2. 네덜란드의 농경지 토양 중 농약성분의 목표치	100
표3-1-3. 네덜란드 시가지의 토양오염 판정기준	101
표3-1-4. 호주 및 뉴질랜드의 토양환경기준	101
표3-2-1. 토양 오염 물질	102
표3-2-2. 토양오염 우려기준 및 토양오염 대책기준	103
표3-2-3. Fresh-to-dry conversion factor for fruits and aboveground vegetables	107
표3-2-4. Cancer Slope Factor	109
표3-2-5. Summary of empirical bioconcentration factors for metals	110
표3-2-6. Soil-to-Plant Transfer and Plant Uptake Factors for Inorganic COPCs	114
표3-2-7. Octanol-Water Partition Coefficients (Kows) and Plant Uptake Factor for Organic Chemicals	115
표3-2-8. Current list of OHM with derived Plant Uptake Factor	118
표3-2-9. 영국 DEFRA/EA에서 조사한 각국의 토양 환경독성 수치	128
표3-2-10. 메사추세츠주 지하수 이용용도에 따른 중금속의 토양질기준	131
표3-2-11. 메사추세츠주 지하수 이용용도에 따른 일반물질의 토양질기준	132
표3-2-12. 메사추세츠주 지하수 이용용도에 따른 농약의 토양질기준	135
표3-2-13. 뉴저지주 오염토양 정화기준 - 중금속	137
표3-2-14. 뉴저지주 오염토양 정화기준 - 일반화학물질	138
표3-2-15. 뉴저지주 오염토양 정화기준 - 농약	141
표3-2-16. 메릴랜드주 지하수 및 오염토양의 복원 기준 - 중금속	143
표3-2-17. 메릴랜드주 지하수 및 오염토양의 복원 기준 - 일반화학물질	144
표3-2-18. 메릴랜드주 지하수 및 오염토양의 복원 기준 - 농약	148

표3-2-19. 텍사스주 지하수, 토양, 공기흡입기준 - 중금속	150
표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기흡입기준 - 일반화학물질	151
표3-2-21. 텍사스주 지하수, 토양, 공기흡입기준 - 농약	167
표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질	171
표3-2-23. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질	184
표3-2-24. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 농약	191
표3-2-25. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 농약	195
표3-2-26. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 중금속	197
표3-2-27. 영국 ICRL 의 유인농도 (Trigger Value)	199
표3-2-28. 영국 DEFRA의 토양질 안내기준 (SGV, Soil Guideline Values)	200
표3-2-29. 네덜란드 토양/퇴적토와 지하수에 대한 목표기준	201
표3-2-30. 네덜란드 토양/퇴적토와 지하수에 대한 목표기준- 중금속	205
표3-2-31. 네덜란드 제2오염물질류에 의한 토양오염에 대한 목표기준과 지시기준	207
표3-2-32. 독일에서 규정하는 각 경로별 토지용도	208
표3-2-33. 독일에서 규정하는 토양-인체 경로에서 조사기준	209
표3-2-34. 독일에서 규정하는 토양-지하수 경로에서의 조사기준	210
표3-2-35. 덴마크 민감지역의 토양기준, 환경독성기준, 배경농도 및 Cut-Off 기준	211
표3-2-36. 캐나다의 토양질기준 지침	213
표3-2-37. 호주의 토양조사기준 (1999년 이후)	216
표3-2-38. 호주 및 뉴질랜드의 토양환경기준 (1992년)	218
표3-2-39. 스웨덴의 토양질기준	219
표3-2-40. 스웨덴의 토양질기준	220
표3-2-41. 일본 농경지 오염물질의 오염판단 기준	221
표3-2-42. 일본 시가지 토양환경 기준	222
표3-2-43. 국내 및 외국의 토양오염물질 종류	224
표3-2-44. 국가별 토양오염물질의 수	225

표3-2-45. 토양오염기준의 토지이용 용도 구분	226
표3-3-1. 국가별 용수이용목적 구분현황	228
표3-3-2. 관개용수에 대한 수질준거치(일부)	230
표3-3-3. 가축용음용수에 대한 수질준거치(일부)	231
표3-3-4. 각국의 축산용수 수질준거치	231
표3-3-5. 국가별 수질 준거치 도출 방법 요약	253
표3-3-6. EU의 수영용수에 대한 수질준거치	258
표3-3-7. EU의 어류서식을 보호하기 위한 수질준거치(의무치)	259
표3-3-8. EU의 어류서식을 보호하기 위한 수질준거치	260
표3-3-9. Shellfish water에 대한 수질준거치	261
표3-3-10. 콜로라도주의 방사성 물질에 대한 수질기준	263
표3-3-11. 콜로라도주의 유기화학물질에 대한 수질기준	263
표3-3-12. 콜로라도주의 용수별 물리·생물학적 기준	266
표3-3-13. 콜로라도주의 용수별 무기물질 기준	267
표3-3-14. 콜로라도주의 용수별 중금속 기준	267
표3-3-15. 플로리다주의 지표수 등급에 따른 준거치(일부)	269
표3-3-16. 호주/뉴질랜드의 가축에 영향을 줄 수 있는 음용수내 총 용존 고형물 농도 (염분)	270
표3-3-17. 호주/뉴질랜드의 가축용음용수로서 가능한 중금속농도	271
표3-3-18. 호주/뉴질랜드의 수산양식종을 위한 물리화학적 항목 권고치	272
표3-3-19. 호주/뉴질랜드의 수산양식종을 위한 독성물질 권고치	272
표3-3-20. 호주/뉴질랜드의 레크리에이션 유형별 수질항목	274
표3-3-21. 호주/뉴질랜드의 레크리에이션용 물에 대한 수질준거치 (일반항목)	274
표3-3-22. 하천의 사람의 건강 보호 기준	277
표3-3-23. 하천의 생활환경기준	278
표3-3-24. 호소의 생활환경기준	279
표3-3-25. 지하수 수질기준	280
표3-3-26. 먹는 물의 수질기준	281
표3-3-27. 국내의 농업용수 수질기준의 변화	282
표3-3-28. 국내의 농업용수 수질기준 중 유해물질 기준의 변화	283
표3-3-29. 관개용 수질의 해석을 위한 지침	285
표3-3-30. 미국 우선 독성물질에 대한 국가적 권고 수질준거치	287
표3-3-31. 미국 비우선 독성물질에 대한 국가적 권고 수질준거치	295

표3-3-32. 인체위해성 설정 방법론	297
표3-3-33. 관능효과(맛, 냄새)	297
표3-3-34. 용존금속의 Conversion Factors(CF)	298
표3-3-35. 정도에 의존하는 용존금속 계산을 위한 상수	298
표3-3-36. 뉴저지의 이용목적별 등급	301
표3-3-37. 뉴저지의 독성물질에 대한 지표수 수질준거치	302
표3-3-38. 뉴저지의 독성물질에 대한 지표수 수질준거치 설정 방법	306
표3-3-39. 국가별 농업용수 기준 비교	307
표3-3-40. 일본의 논물 배출수 중의 농약 잔류 기준	316
표3-3-41. 일본의 논물 배출수 중의 농약잔류기준 중 국내 사용 중인 35종 농약	324
표3-3-42. 일본의 논물 배출수 중의 농약잔류기준 중 유출 시 문제되는 농약 35종의 5년간 생산량 변화 및 평균 생산량	326
표3-3-43. 수도용 농약의 환경노출지수	327
표3-3-44. 원예용 농약의 환경노출지수	327
표4-1-1. 국내 재배환경 중 잔류 가능성 농약	332
표4-2-1. 국가별 토양 중 중금속 시험방법 비교	333
표4-2-2. 표준토양 시료의 중금속 분석방법별 분석결과 비교	334
표4-2-3. 충남 청양광산 인근 토양 중 중금속의 추출방법에 따른 함량차이	334
표4-2-4. 관개용수의 농작물 피해농도	337
표4-2-5. 토양의 농작물 피해 한계농도	337
표4-2-6. 토양의 농작물 피해한계농도 (전함량기준) 비교	337
표4-2-7. 농작물 중금속에 의한 피해증상 및 인체장해	339
표4-2-8. 식물의 비소, 카드뮴, 셀레늄, 및 납에 대한 유효도에서 pH와 Eh의 영향	340
표4-2-9. 주요 작물의 토양 중 중금속 의 상대적 흡수능	342
표4-2-10. 광산인근 논토양 생산 쌀과 고추의 중금속 생물농축계수(BCF)	342
표5-2-1. 토양 중 금속류 잠정기준안	346
표5-2-2. 토양 중 기타 유해물질의 잠정기준안 - 농약제외	346
표5-2-3. 농업용수 수질기준 (잠정안)	347

그림 목 차

그림3-3-1. 미국 수질 준거치 제정/개정 절차도	236
그림3-3-2. 미국 기준치 검토 절차도	237
그림3-3-3. 캐나다 환경질 지침 제정/개정 절차도	238
그림3-3-4. 호주/뉴질랜드 수질 준거치 개정 절차도	239
그림3-3-5. 일본의 규제설정 제정/개정 절차도	240
그림3-3-6. EU 공동의사결정 절차도	241
그림3-3-7. WHO 음용수 준거치 제정 절차도	243
그림3-3-8. 미국의 수질 준거치 도출방법	245
그림3-3-9. 캐나다 수질 준거치 도출 방법	247
그림3-3-10. 캐나다 수질 준거치를 도출하기 위한 프로토콜	248
그림3-3-11. 호주/뉴질랜드 수질 준거치 도출 방법	249
그림3-3-12. Trigger values의 도출과정 전개도	250

I. 재배환경 내 유해물질 안전관리의 필요성

I-1. 재배환경 내 유해물질 안전관리의 정의

- 재배환경이란 농산물 생산에 이용되고 사용되는 농지, 농업용수 및 농자재 등을 포함한다.
- 유해물질 (hazardous materials)이란 사람을 포함한 동식물 등 생물류에 대해 위해를 가할 수 있는 물질을 말한다. 유해물질은 크게 화학물질 (합성 및 천연 유기물과 무기물), 방사성 화합물 및 생물류로 구분된다. 그러나 본 연구에서는 화학물질에 국한하며 천연 유기화합물, 농약, 항생제 등 합성유기화합물과 중금속과 같은 무기물을 대상으로 한다.
- 재배환경 내 유해물질 안전관리란 농경지, 농업용수 및 농자재 등에 포함되어 질 수 있는 유해물질로부터 인체에 미치는 악영향을 낮추기 위한 적극적인 수단으로 수확농산물의 안전성을 재배단계부터 높일 수 있는 관리 방법이다.

I-2. 재배환경 내 유해물질 안전관리의 필요성

농장에서 식탁까지 (Farm to Table)의 안전성을 확보하여 품질과 안전성을 겸비한 안심 농산물을 국민에게 제공하는 것은 농정당국이 최고의 가치를 두고 있는 정책이라고 본다. 그러나 이것은 영농 행위가 진행되고 있는 과정에서의 안전성, 즉 농약이나 비료의 사용에 따른 문제점의 감소에 중점을 두고 있는 것이다. 그러나 재배환경의 건전성을 바탕으로 하여 작물을 재배하여 수확한다면 생산된 수확물은 안전성과 품질을 함께 보장할 수 있는 최선의 상품이 될 것이다.

따라서 매우 엄격한 관리 기준을 설정하여 재배환경을 관리 한다면 국민 모두가 안심할 수 있는 농산물을 생산하여 공급할 수 있으므로 무엇보다도 중요한 과제라고 볼 수 있다.

우리가 유기 농산물 인증을 할 때에도 농경지 토양과 농업용수에 대한 적합성 여부를 검사하는 것도 같은 맥락이라고 본다. 그러나 재배환경의 상이성 때문에 재배환경 관리를 위한 어떤 조치를 취하는 것은 쉽지 않다고 본다.

따라서 재배 환경 내 유해물질의 관리 필요성은 매우 높다고 보지만 실제적인

방안을 강구하는 것은 다음의 여러 가지를 고려하여야 한다고 본다.

1. 기존의 유해물질 : 농약, 중금속

재배환경인 토양이나 농업용수 중 잔류 농약수준은 크게 문제되지 않는다고 본다. 외국에도 재배환경 중 농약잔류 기준을 설정하여 관리하고 있는 경우도 있지만 대부분은 유기염소계 살충제를 많이 사용한 지역에서 2차적인 오염의 피해를 줄이기 위해 설정하여 관리하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 우리나라와 같이 1990년 대 이후에는 유기염소계 농약의 잔류수준이 매우 낮은 경우에는 불필요하다고 본다.

중금속의 경우는 토양의 모암에서 연유되는 경우와 일부이기는 하지만 인산질 비료의 원광석에 함유되어 재배 토양에 유입될 수도 있다. 따라서 일반 경작토에서는 문제가 되지 않지만 폐광산 또는 광산 인근 지역의 경작토에는 상당 수준 함유되어 있을 가능성이 매우 높다고 본다.

따라서 중금속 오염 가능 지역에 대한 폭넓은 모니터링이 필요하고 또 현행과 같이 대책기준 초과 시 작물 재배를 금지시키는 방법에서 좀 더 과학적인 접근을 통한 농경지에서의 작물재배 가능성을 검토하여야 한다.

2. 새로운 유해물질 : PAHs (Poly Aromatic Hydrocarbons), Dioxine 및 PCBs (Polychlorinated Biphenyls)

다중고리방향족탄화수소류 (PAHs)는 EU에서 기준을 설정하여 관리를 시작한 유해물질이므로 우리나라에서도 기준설정을 통한 관리가 필요하며, 재배환경에서도 폭넓은 토양 중 모니터링을 실시하여 위해성을 검토할 필요가 있다.

Dioxine류와 Co-planar PCB 등은 분석의 어려움 때문에 많은 수의 시료에 대해 분석을 실시하는 것은 쉽지 않으므로 대표시료에 대한 변화 추이 등을 국립농업과학원 등을 통해 수행하는 것이 타당하다고 판단되며, 그 결과에 따라 문제가 있다고 판단되는 시기에 적극적인 기준 설정 검토 등이 이루어져야 한다.

3. 농업용수에 대한 유해물질 검사는 환경부나 농어촌공사에서 수행하고 있으나 특별히 유해물질이 검출되지 않으므로 유해물질 보다는 영양적 측면에서의 검토가 필요하다고 본다.

4. 농자재 중 구·퇴비류는 2011년 7월부터 항생제의 사료첨가가 중단되었지만 예방용이나 치료용으로 사용한 항생제들도 70~80% 정도는 분변으로 배출되어 지므로 주기적인 항생제 조사가 필요하다고 본다.

이러한 조치들이 이루어진다면 그 결과에 따라 재배환경을 좀 더 안전하게 관리할 수 있는 방안이 도출될 것으로 판단된다.

II. 재배환경 내 유해물질 관리와 관련한 국내외의 동향

경작지 토양 중 잔류농약 허용기준이나 중금속 허용기준 그리고 농업용수에 대한 수질기준 등이 이미 제정되어 운영되고 있는 경우도 있으나, 일반적으로는 농경지 토양 중 유해물질 잔류허용기준이나 별도의 중금속 잔류허용기준을 설정하는 경우는 그리 많지 않다고 본다.

II-1. 잔류농약

토양 중 잔류농약 분석방법을 간략하게 기술하고자 한다.

잔류농약 분석 시 가장 중요한 첫 단계는 시료 채취로 대상 지역을 대표할 수 있는 시료를 채취하는 것이 중요하다. 일반적으로는 토양시료 채취방법에 의해 조시료로 2 kg 수준을 채취하여 풍건한 후 2 mm 체를 통과시켜 분석시료로 한다. 조제된 토양시료는 20 g 씩 무게를 달아 PE 봉투 등에 넣고 -18℃ 이하의 냉동고에서 냉동보관 하면서 분석 시 꺼내어 사용한다.

토양시료 20 g을 삼각플라스크에 넣고 acetonitrile 또는 acetone (잔류농약 분석 급) 50 mL를 가하여 30분간 진탕추출하고, 이를 여과한다. 여과 후 남은 토양 시료를 삼각플라스크에 옮긴 후 여기에 30 mL의 용매를 넣고 다시 30분간 진탕 추출한 후 여액을 합친다. 이렇게 합한 여액을 분액깔때기에 옮기고 추출용매로 *n*-hexane 또는 dichloromethane을 50 mL 사용하여 농약성분을 추출한다.

이 추출과정을 2~3회 반복하여 추출액을 농축용 플라스크에 받아 감압회전농축기를 사용하여 증발건조시킨다. 여기에 5~10 mL의 *n*-hexane을 가하여 잘 씻어낸 후 이를 미리 준비한 정제용 컬럼에 도입한다.

정제용 컬럼은 일반적으로 forisil 과 silica를 1:1 (중량비)로 하여 사용하고 있으며, 정제용 컬럼에서는 시료에 혼입되어있는 불순물을 최대한 제거하는데 목적이 있으므로 정제과정을 잘 활용하면 분석 시 깨끗한 크로마토그램을 얻을 수 있다.

정제컬럼을 통과한 용매는 다시 감압회전농축기상에서 증발건조시키거나 질소 가스로 농축하여 분석용 시료로 한다. 분석용 시료는 GC나 HPLC 등의 기기분

석을 통해 정량분석하는데, 단일성분의 경우는 농약 표준품으로 검량선을 작성하여 정량하지만 다중성분의 농약이 혼합된 시료는 GC/MS 나 LC/MS 또는 LC/MS/MS 등으로 성분을 확인하는 과정이 필요하다.

1-1. 국내의 농경지 토양 중 잔류농약 검출수준

1980년대에는 국내에서도 토양에 잔류하는 유기염소계 농약의 모니터링이 활발하게 이루어 졌다. 박 등 (1982)은 논 95점, 밭 59점, 과수원 43점 그리고 시설재배지 토양 39점 등 총 236 지점의 농경지를 대상으로 유기염소계 농약 잔류수준을 조사하였으며, α -BHC, γ -BHC, PCNB, Heptachlor, Aldrin, Heptachlor epoxide, λ -Endosulfan, Dieldrin, p,p'-DDD 및 p,p'-DDT 등이 검출되었다고 한다. 또 최 등 (1987)은 충남지역 논토양 108점을 조사하여 p,p'-DDE가 67.6%의 검출률을 보였으며, γ -BHC가 54.8%, γ -Chlordane 50.9%, α -BHC가 47.1% 순이었으나 잔류수준은 $0.001\sim 0.002\text{ mg kg}^{-1}$ 수준으로 매우 낮은 것으로 보고 하였다.

그러나 이들 유기염소계는 최근의 조사에서는 검출되지 않았는데, 이는 이들 농약 성분들이 모니터링 조사를 한 후 15년 이상의 시간이 경과되었기 때문에 농경지 토양 내에서 분해되어 검출한계 미만으로 존재하기 때문이라고 판단된다.

따라서 국내의 농경지 중 잔류농약 검출 수준을 1999년~2011년 사이에서 실험결과가 확인된 내용을 중심으로 정리하여 보았다. 검출된 농약은 살균제, 제초제, 살충제, 살비제 및 식물생장조절제로 구분하여 제시하였다.

표2-1-1. 국내의 농경지 토양 중 살균제 (Fungicide) 검출 수준 (단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	조사연도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)											
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115												
Azoxystrobin	검출 시료수										1	60	61 /1288										
	검출빈도(%)										0.58	5.38	4.74										
	농 도	범위	최저	0.01	최고	0.57	평균(25)	0.104	전체 평균		0.002												
Bitertanol	검출 시료수	1									·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	3	4 /2205	
	검출빈도(%)	0.59									<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.27	0.18		
	농 도	범위	최저	0.018	최고	0.15	평균(2)	0.084	전체 평균		0.076												
Boscalid	검출 시료수										·	27	27 /1288										
	검출빈도(%)										<LOD	2.42	2.10										
	농 도	범위	최저	0.02	최고	0.803	평균(11)	0.17	전체 평균		0.001												
Carbendazim	검출 시료수										39		39 /1115										
	검출빈도(%)										3.50		3.50										
	농 도	범위	최저	0.02	최고	4.22	평균(18)	0.632	전체 평균		0.010												
Carpropamid	검출 시료수	·									·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	1270	
	검출빈도(%)	<LOD									<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균														
Chlorothalonil	검출 시료수	·		4	2	2	·	·	2	9	3	18	40 /2558										
	검출빈도(%)	<LOD		2.35	1.18	1.33	<LOD	<LOD	1.33	6.00	1.73	1.61	1.56										
	농 도	범위	최저	0.007	최고	0.53	평균(21)	0.131	전체 평균		0.001												
Cyprodinil	검출 시료수	1									·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	1/2378	
	검출빈도(%)	0.59									<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.04	
	농 도	범위	최저	0.002	최고	0.002	평균(1)	0.002	전체 평균		<0.001												
Dichlofluanid	검출 시료수	·									·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2385
	검출빈도(%)	<LOD									<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균														
Diethofencarb	검출 시료수	·		1	·	·	·	·	·	·	·	3	4/2558										
	검출빈도(%)	<LOD		0.59	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.27	0.16									
	농 도	범위	최저	0.017	최고	0.05	평균(3)	0.039	전체 평균		<0.001												
Dimethomorph	검출 시료수	·		10	·	·	·	·	·	·	4	66	80 /2378										
	검출빈도(%)	<LOD		5.88	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.31	5.92	3.36									
	농 도	범위	최저	0.023	최고	2.85	평균(27)	0.397	전체 평균		0.005												
Diniconazole	검출 시료수	·									·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	6	6/2385
	검출빈도(%)	<LOD									<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.54	0.25
	농 도	범위	최저	0.09	최고	0.12	평균(2)	0.105	전체 평균		<0.001												
Edifenphos	검출 시료수	·									·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2385
	검출빈도(%)	<LOD									<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균														

표2-1-1. 국내의 농경지 토양 중 살균제 (Fungicide) 검출 수준 (단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	조사연도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115	
Fenarimol	검출 시료수	·	24	·	15	·	12	2	18	·	·	71 /2385
	검출빈도(%)	<LOD	14.12	<LOD	10.00	<LOD	8.00	1.33	12.00	<LOD	<LOD	2.98
	농 도	범위	최저	0.004	최고	0.276	평균(10)	0.09	전체 평균	<0.001		
Fenbuconazole	검출 시료수	3										3/2205
	검출빈도(%)	1.76										0.14
	농 도	범위	최저	0.018	최대	0.042	평균(2)	0.03	전체 평균	<0.001		
Fluazinam	검출 시료수	1										2/943
	검출빈도(%)	0.59										0.21
	농 도	범위	최저	0.053	최대	0.111	평균(2)	0.082	전체 평균	<0.001		
Fludioxonil	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	1	·	1/2388
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.58	<LOD	0.04
	농 도	범위	최저	0.13	최대	0.13	평균(1)	0.13	전체 평균	<0.001		
Fluoroimide	검출 시료수	·										1270
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최대		평균()		전체 평균			
Fluquin- conazole	검출 시료수	·										16 /1288
	검출빈도(%)	·										1.24
	농 도	범위	최저	0.01	최대	1.1	평균(7)	0.2	전체 평균	0.001		
Flusilazole	검출 시료수	·										1468
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최대		평균()		전체 평균			
Flutolanil	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	6	6/2558
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.54	0.23
	농 도	범위	최저	16.58	최대	22.09	평균(2)	19.34	전체 평균	0.015		
Fosthiazate	검출 시료수	·										3 0.33
	검출빈도(%)	·										0.26
	농 도	범위	최저	1.61	최대	1.61	평균(3)	1.61	전체 평균	0.004		
Folpet	검출 시료수	1										1/2205
	검출빈도(%)	0.59										0.05
	농 도	범위	최저	0.08	최대	0.08	평균(1)	0.08	전체 평균	<0.001		
Hexaconazole	검출 시료수	13	12	·	4	11	6	11	22	1	9	89 /2558
	검출빈도(%)	7.22	7.06	<LOD	2.67	7.33	4.00	7.33	14.67	0.58	0.81	3.48
	농 도	범위	최저	0.003	최대	0.74	평균(19)	0.122	전체 평균	0.026		
Iprobenfos	검출 시료수	30	1	·	·	17	1	·	·	·	3	52 /2385
	검출빈도(%)	16.67	0.59	<LOD	<LOD	11.33	0.67	<LOD	<LOD	<LOD	0.27	2.18
	농 도	범위	최저	0.003	최대	0.245	평균(7)	0.061	전체 평균	0.008		

표2-1-1. 국내의 농경지 토양 중 살균제 (Fungicide) 검출 수준 (단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	조사연도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115	
Iprodione	검출 시료수	11		·	1	·	·	1	·	3		16 /2205
	검출빈도(%)	6.47		<LOD	0.67	<LOD	<LOD	0.67	<LOD	0.27		0.73
	농 도	범위	최저	0.007	최대	0.114	평균(6)		0.031	전체 평균		<0.001
Isoprothiolane	검출 시료수	36	21	11	·	54	11	11	·	24		168 /2385
	검출빈도(%)	20.00	12.35	6.47	<LOD	36.00	7.33	7.33	<LOD	2.15		7.04
	농 도	범위	최저	0.004	최고	1.314	평균(26)		0.118	전체 평균		0.018
Metalaxyl	검출 시료수	3		·	·	·	1	·	·	2	3	9/2378
	검출빈도(%)	1.76		<LOD	<LOD	<LOD	0.67	<LOD	<LOD	1.16	0.27	0.38
	농 도	범위	최저	0.011	최고	0.509	평균(6)		0.192	전체 평균		<0.001
Myclobutanil	검출 시료수	·	7	·	·	·	·	2	6	·		15 /2385
	검출빈도(%)	<LOD	4.12	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.33	4.00	<LOD		0.63
	농 도	범위	최저	0.004	최고	0.034	평균(6)		0.015	전체 평균		<0.001
Nuarimol	검출 시료수	2		·	1	·	·	4	·	·		7/2205
	검출빈도(%)	1.18		<LOD	0.67	<LOD	<LOD	2.67	<LOD	<LOD		0.32
	농 도	범위	최저	0.004	최고	0.051	평균(5)		0.027	전체 평균		<0.001
Ofurace	검출 시료수	1		·	·	·	·	·	·	·		1/2205
	검출빈도(%)	0.59		<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD		0.05
	농 도	범위	최저	0.059	최고	0.059	평균(1)		0.059	전체 평균		<0.001
Oxadixyl	검출 시료수	·	1	·	·	·	·	·	·	·		1/1270
	검출빈도(%)	<LOD	0.59	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD		0.08
	농 도	범위	최저	0.126	최고	0.126	평균(1)		0.126	전체 평균		<0.001
Penconazole	검출 시료수	·	1		1	·	·	·	2	·		4 /2215
	검출빈도(%)	<LOD	0.59		0.67	<LOD	<LOD	<LOD	1.33	<LOD		0.18
	농 도	범위	최저	0.01	최고	0.089	평균(4)		0.052	전체 평균		<0.001
Pendimethalin	검출 시료수	10	7	31	·	·	11	46	·	6		111 /2385
	검출빈도(%)	5.56	4.12	18.24	<LOD	<LOD	7.33	30.67	<LOD	0.54		4.65
	농 도	범위	최저	0.004	최고	1.981	평균(12)		0.426	전체 평균		0.002
Penycuron	검출 시료수	·									3	3/1288
	검출빈도(%)	<LOD									0.27	0.233
	농 도	범위	최저	0.14	최고	0.14	평균(1)		0.14	전체 평균		<0.001
Procymidone	검출 시료수	·	85	3	9	·	14	25	9	·	48	193 /2558
	검출빈도(%)	<LOD	50.00	1.76	6.00	<LOD	9.33	16.67	6.00	<LOD	4.30	7.54
	농 도	범위	최저	0.004	최고	1.497	평균(30)		0.197	전체 평균		0.003
Propiconazole	검출 시료수	·									1	1/150
	검출빈도(%)	<LOD									0.67	0.67
	농 도	범위	최저	0.014	최고	0.014	평균(1)		0.014	전체 평균		<0.001

표2-1-1. 국내의 농경지 토양 중 살균제 (Fungicide) 검출 수준 (단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	조사연도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)	
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115		
Pyrazophos	검출 시료수	·	9	·	·	·	·	·	·	·	·	9/2085	
	검출빈도(%)	<LOD	5.29	<LOD	·	·	<LOD	<LOD	<LOD	·	<LOD	0.43	
	농 도	범위	최저	0.003	최고	0.037	평균(2)	0.02	전체 평균				<0.001
Pyraclostrobin	검출 시료수										·	6	6/1288
	검출빈도(%)										<LOD	0.54	0.47
	농 도	범위	최저	0.02	최고	0.264	평균(2)	0.142	전체 평균				<0.001
Pyrimethanil	검출 시료수										2	·	2/1288
	검출빈도(%)										1.16	<LOD	0.16
	농 도	범위	최저	0.019	최고	0.02	평균(2)	0.02	전체 평균				<0.001
Tebuconazole	검출 시료수	·	1	4	8	·	·	·	·	·	·	13 /2558	
	검출빈도(%)	<LOD	0.59	2.35	5.33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.51	
	농 도	범위	최저	0.046	최고	0.909	평균(5)	0.329	전체 평균				<0.001
Thifluzamide	검출 시료수										·	6	6/1288
	검출빈도(%)										<LOD	0.54	0.47
	농 도	범위	최저	0.04	최고	0.4	평균(3)	0.16	전체 평균				<0.001
Tolclofos-methyl	검출 시료수	1		·	·	·	·	·	·	1	12	14 /2378	
	검출빈도(%)	0.59		<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.58	1.08	0.59	
	농 도	범위	최저	0.01	최고	2.06	평균(8)	0.294	전체 평균				<0.001
Tolyfluanid	검출 시료수	1		·	·	·	·	·	·	·	·	1 /2378	
	검출빈도(%)	0.59		<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.04	
	농 도	범위	최저	0.068	최고	0.068	평균(1)	0.068	전체 평균				<0.001
Triadimefon	검출 시료수	·	2	·	·	·	·	·	·	·	·	2 /2385	
	검출빈도(%)	<LOD	1.18	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	·	<LOD	0.08	
	농 도	범위	최저	0.005	최고	0.013	평균(2)	0.009	전체 평균				<0.001
Triadimenol	검출 시료수	1		·	·	·	·	·	·	·	·	1 /2205	
	검출빈도(%)	0.59		<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	·	<LOD	0.05	
	농 도	범위	최저	0.063	최고	0.063	평균(1)	0.063	전체 평균				<0.001
Tricyclazole	검출 시료수										231	231 /1115	
	검출빈도(%)										20.72	20.72	
	농 도	범위	최저	0.01	최고	0.487	평균(99)	0.077	전체 평균				0.003
Vinclozolin	검출 시료수	·	14	·	·	·	1	·	·	·	·	15 /2385	
	검출빈도(%)	<LOD	8.24	<LOD	<LOD	<LOD	0.67	<LOD	<LOD	·	<LOD	0.63	
	농 도	범위	최저	0.002	최고	0.043	평균(3)	0.025	전체 평균				<0.001
총 47 약제													

살균제는 총 47종이 검출 되었으며, 2011년에 1회만 조사된 Tricyclazole 성분
분이 1115점 중 231점이 검출되어 20.72%의 검출빈도를 나타내어 가장 높았
으며, 그 다음으로는 Procymidone 7.54%, Isoprothiolane 7.04%,
Azoxystrobin 4.74%, Pendimethalin 4.65% 순이었다. 1% 이상의 검출빈도를
보인 약제로는 Carbendazim (3.50%), Hexaconazole (3.48%), Dimethomorph
(3.36%), Fenarimol (2.98%), Iprobenfos (2.18%), Boscalid (2.10%),
Chlorthalonil (1.56%) 그리고 Fluquinconazole (1.24%) 로 나타났다. 총 47종
의 살균제 중 검출빈도 1% 이상은 13종이었다.

잔류량은 Flutolanil제가 총 시료 수 2558점 중 6점이 검출되었는데, 이중 2
점에서 각각 16.58 mg kg⁻¹과 22.09 mg kg⁻¹의 매우 높은 잔류 수준을 나타내
었다는 점은 매우 특이하다고 볼 수 있다.

그 외에는 Carbendazim이 최고 4.22 mg kg⁻¹, Dimethomorph가 2.85 mg kg⁻¹,
Tolclofos-methyl이 2.06 mg kg⁻¹, Pendimethalin이 1.98 mg kg⁻¹, Fosthiazate
이 1.61 mg kg⁻¹, Procymidone이 1.49 mg kg⁻¹, Isoprothiolane이 1.31 mg kg⁻¹,
Fluquinconazole이 1.10 mg kg⁻¹ 로 1.0 mg kg⁻¹ 이상을 나타냈으나 평균적
으로는 Carbendazim이 0.63 mg kg⁻¹, Pendimethalin이 0.42 mg kg⁻¹,
Dimethomorph가 0.39 mg kg⁻¹, Tebuconazole이 0.32 mg kg⁻¹ 그리고
Metalaxyl이 0.19 mg kg⁻¹로 검출 시료 중 평균잔류량을 나타냈으며 그 외의
농약들은 대부분 0.1 mg kg⁻¹ 이하 수준이었다.

표2-1-2. 국내의 농경지 토양 중 제초제 (Herbicide) 검출 수준

(단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	시행년도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115	
Alachlor	검출 시료수	·	3	16	27	·	·	27	·	·	6	79 /2385
	검출빈도(%)	<LOD	1.76	9.41	18.00	<LOD	<LOD	18.00	<LOD	·	0.54	3.31
	농도	범위	최저	0.005	최고	0.861	평균(11)	0.208	전체 평균			<0.001
Bifenox	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2558
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Butachlor	검출 시료수	39	1	6	·	9	2	8	1	·	6	72 /2385
	검출빈도(%)	21.67	0.59	3.53	<LOD	6.00	1.33	5.33	0.67	·	0.54	3.02
	농도	범위	최저	0.01	최고	1.08	평균(14)	0.195	전체 평균			0.001
Dichlobenil	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	1090
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Dimepiperate	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2385
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Dimetha- metryn	검출 시료수	·	8	·	·	·	·	·	·	·	·	8/1270
	검출빈도(%)	<LOD	4.71	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.63
	농도	범위	최저	0.007	최고	0.067	평균(2)	0.037	전체 평균			<0.001
Ethalfuralin	검출 시료수	·	2	3	·	·	·	·	·	·	·	5/1270
	검출빈도(%)	<LOD	1.18	1.76	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.39
	농도	범위	최저	0.014	최고	0.174	평균(4)	0.059	전체 평균			<0.001
Mefenacet	검출 시료수	·	1	·	·	·	·	·	·	·	·	1/2205
	검출빈도(%)	<LOD	0.59	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.05
	농도	범위	최저	0.006	최고	0.006	평균(1)	0.006	전체 평균			<0.001
Methaben- zthiazuron	검출 시료수	·	·	1	·	·	·	·	·	·	·	1/2215
	검출빈도(%)	<LOD	·	0.59	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.05
	농도	범위	최저	0.152	최고	0.152	평균(1)	0.152	전체 평균			<0.001
Metolachlor	검출 시료수	·	1	11	1	·	1	4	·	·	·	18 /2385
	검출빈도(%)	<LOD	0.59	6.47	0.67	<LOD	0.67	2.67	<LOD	·	<LOD	0.75
	농도	범위	최저	0.015	최고	0.064	평균(7)	0.034	전체 평균			<0.001
Molinate	검출 시료수	5	·	·	·	·	·	·	·	·	·	5/2385
	검출빈도(%)	2.78	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.21
	농도(mg/kg)	범위	최저	0.009	최고	0.027	평균(2)	0.018	전체 평균			<0.001
Napropamid	검출 시료수	·	1	5	·	·	·	7	·	·	·	13 /2385
	검출빈도(%)	<LOD	0.59	2.94	<LOD	<LOD	<LOD	4.67	<LOD	·	<LOD	0.55
	농도(mg/kg)	범위	최저	0.003	최고	0.161	평균(5)	0.037	전체 평균			<0.001

표2-1-2. 국내의 농경지 토양 중 제초제 (Herbicide) 검출 수준

(단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	시행년도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115	
Oxadiazon	검출 시료수	21	1	·	·	50	1	·	·		3	76 /2385
	검출빈도(%)	11.67	0.59	<LOD	<LOD	33.33	0.67	<LOD	<LOD		0.27	3.19
	농도(mg/kg)	범위	최저	0.004	최고	0.211	평균(7)	0.076	전체 평균			<0.001
Oxyfluoren	검출 시료수								26		·	26 /1265
	검출빈도(%)								17.33		<LOD	2.06
	농도(mg/kg)	범위	최저	0.011	최고	0.439	평균(2)	0.225	전체 평균			<0.001
Piperophos	검출 시료수	2		·	·	·	·	·	·		·	2/2065
	검출빈도(%)	1.11		<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD		<LOD	0.10
	농도(mg/kg)	범위	최저	0.004	최고	0.018	평균(2)	0.011	전체 평균			<0.001
Pretilachlor	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	1	·		·	1/1120
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	0.67	<LOD			0.09
	농도(mg/kg)	범위	최저	0.007	최고	0.007	평균(1)	0.007	전체 평균			<0.001
Prometryn	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·		·	2235
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD		<LOD	<LOD	<LOD	<LOD		<LOD	
	농도(mg/kg)	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Propanil	검출 시료수	·									·	1295
	검출빈도(%)	<LOD									<LOD	
	농도(mg/kg)	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Pyributicarb	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·		·	2385
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD		<LOD	
	농도(mg/kg)	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Simazine	검출 시료수	·									·	1295
	검출빈도(%)	<LOD									<LOD	
	농도(mg/kg)	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Terbutylazine	검출 시료수	·									·	1295
	검출빈도(%)	<LOD									<LOD	
	농도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Thiobencarb	검출 시료수	6	1	·	·	·	·	·	·		·	7/2385
	검출빈도(%)	3.33	0.01	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD		<LOD	0.29
	농도	범위	최저	0.011	최고	0.088	평균(3)	0.041	전체 평균			<0.001
Trifluralin	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·		·	2385
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD		<LOD	
	농도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			

총 23 약제

제초제는 약제의 특성상 주로 토양에 살포하는 경우가 대부분이다. 조사기간 중 경작토양에서 검출된 제초제는 총 23종이었다. 검출빈도는 반면 Alachlor가 2385점 중 79점으로 3.31%, Butachlor가 2385점 중 72점으로 3.02%, Oxadiazon이 2385점 중 76점으로 3.19%, Oxyfluoren은 1265점 중 26점으로 2.06%로 나타났다. 이들 4종을 제외한 다른 제초제 성분의 검출빈도는 1% 미만이었으며, 그중 10종은 검출은 되었으나 검출한계 미만의 수준이었다.

검출된 시료를 중심으로 한 평균잔류수준은 대체로 낮았으며, Alachlor가 0.20 mg kg^{-1} , Butachlor가 0.19 mg kg^{-1} , Oxyfluoren 0.22 mg kg^{-1} 등이 0.1 mg kg^{-1} 을 초과하는 것으로 나타났으며 Methabenthiazuron제는 단 1점이 0.15 mg kg^{-1} 이 검출되어 0.1 mg kg^{-1} 을 초과하는 것으로 나타났다.

그러나 대부분의 제초제는 최고 잔류수준도 높지 않은 것으로 볼 수 있는데 최고잔류량은 Alachlor의 경우는 0.86 mg kg^{-1} , Butachlor은 1.08 mg kg^{-1} 의 2종만 0.5 mg kg^{-1} 이상을 나타냈을 뿐 대부분은 0.1 mg kg^{-1} 이하 수준이었다.

표2-1-3. 국내의 농경지 토양 중 살충제 (Insecticide) 검출 수준 (단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	시행년도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)											
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115												
Acetamiprid	검출 시료수											3	3/1115										
	검출 빈도(%)											0.27	0.27										
	농 도	범위	최저	0.02	최고	0.02	평균(1)	0.02	전체 평균			<0.001											
Acrinathrin	검출 시료수											·	2385										
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD													
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균														
Aldicarb	검출 시료수											5	5/1115										
	검출빈도(%)											0.45	0.45										
	농 도	범위	최저	0.02	최고	0.02	평균(1)	0.02	전체 평균			<0.001											
Azinphos-methyl	검출 시료수											·	1295										
	검출빈도(%)	<LOD										<LOD											
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균														
Bifenthrin	검출 시료수											·	5/2558										
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.16	0.27	0.20											
	농 도	범위	최저	0.034	최고	0.132	평균(3)	0.099	전체 평균			<0.001											
Buprofezin	검출 시료수	14	4	·	10	·	2	·	·	1	·	31 /2558											
	검출빈도(%)	7.78	2.35	<LOD	6.67	<LOD	1.33	<LOD	<LOD	0.58	<LOD	1.21											
	농 도	범위	최저	0.002	최고	0.212	평균(9)	0.031	전체 평균			<0.001											
Cadusafos	검출 시료수											20	3	·	·	9	1	·	·	·	·	·	33 /2558
	검출빈도(%)											11.76	1.76	<LOD	<LOD	6.00	0.67	<LOD	<LOD	<LOD	1.29		
	농 도	범위	최저	0.004	최고	0.78	평균(7)	0.259	전체 평균			<0.001											
Carbaryl	검출 시료수											3		3/1115									
	검출빈도(%)											0.27		0.27									
	농 도	범위	최저	0.03	최고	0.03	평균(1)	0.03	전체 평균			<0.001											
Carbofuran	검출 시료수											·	4	2	2	·	1	5	·	4	27	45 /2558	
	검출빈도(%)	<LOD	2.35	1.18	1.33	<LOD	0.67	3.33	<LOD	2.31	2.42	0.18											
	농 도	범위	최저	0.01	최고	3.32	평균(22)	0.283	전체 평균			0.002											
Carbosulfan	검출 시료수											·	1	·	·	·	·	·	·	·	·	1/1443	
	검출빈도(%)	<LOD	0.59	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.07											
	농 도	범위	최저	0.156	최고	0.156	평균(1)	0.156	전체 평균			<0.001											
Chlorfenapyr	검출 시료수											·	38	6	25	·	18	7	23	·	12	129 /2385	
	검출빈도(%)	<LOD	22.35	3.53	16.67	<LOD	12.00	4.67	15.33			1.08	5.41										
	농 도	범위	최저	0.003	최고	0.48	평균(17)	0.079	전체 평균			<0.001											
Chlorpyrifos	검출 시료수											2	9	5	12	·	2	14	7	10	36	97 /2558	
	검출빈도(%)	1.11	5.29	2.94	8.00	<LOD	1.33	9.33	4.67	5.78	3.23	3.79											
	농 도	범위	최저	0.001	최고	4.81	평균(40)	0.479	전체 평균			0.007											

표2-1-3. 국내의 농경지 토양 중 살충제 (Insecticide) 검출 수준 (단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	시행년도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)	
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115		
Chlopyrifos- methyl	검출 시료수	·									·	·	1468
	검출빈도(%)	<LOD									<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()			전체 평균			
Clothianidin	검출 시료수	·									9	9/1288	
	검출빈도(%)	<LOD									0.81	0.70	
	농 도	범위	최저	0.02	최고	0.048	평균(3)	0.033	전체 평균		<0.001		
Cyhalothrin (total)	검출 시료수	·							1	1	·	15	17 /1588
	검출빈도(%)	<LOD							0.67	0.67	<LOD	1.35	1.07
	농 도	범위	최저	0.01	최고	0.45	평균(8)	0.088	전체 평균		<0.001		
Cypermethrin	검출 시료수	·	10	·	3	·	·	11	·	1	9	34 /2558	
	검출빈도(%)	<LOD	5.88	<LOD	2.00	<LOD	<LOD	7.33	<LOD	0.58	0.81	1.33	
	농 도	범위	최저	0.007	최고	0.246	평균(10)	0.082	전체 평균		<0.001		
DDT	검출 시료수	·									1	·	1/1288
	검출빈도(%)	<LOD									0.58	<LOD	0.08
	농 도	범위	최저	0.012	최고	0.012	평균(1)	0.012	전체 평균		<0.001		
Deltamethrin	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2558	
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD		
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균				
Diazinon	검출 시료수	3	1	4	·	·	·	7	·	·	9	24 /2558	
	검출빈도(%)	1.67	0.59	2.35	<LOD	<LOD	<LOD	4.67	<LOD	<LOD	0.81	0.94	
	농 도	범위	최저	0.001	최고	0.096	평균(10)	0.025	전체 평균		<0.001		
Dimethoate	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2385	
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균				
Dimethyl- vinphos	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2385	
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균				
Endosulfan (total)	검출 시료수	18	111	91	68	25	32	105	8	88	126	672 /2558	
	검출빈도(%)	10.00	65.29	53.53	45.33	16.67	21.33	70.00	5.33	50.87	11.30	26.27	
	농 도	범위	최저	0.002	최고	8.37	평균(158)	0.702	전체 평균		0.043		
EPN	검출 시료수	·	4	6	21	·	·	·	2	36		69 /2385	
	검출빈도(%)	<LOD	2.35	3.53	14.00	<LOD	<LOD	<LOD	1.33	3.23		2.89	
	농 도	범위	최저	0.01	최고	0.197	평균(31)	0.056	전체 평균		<0.001		
Esfenvalerate	검출 시료수	·	3	1	·	·	·	·	·	·		4/1270	
	검출빈도(%)	<LOD	1.76	0.59	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD		0.31	
	농 도	범위	최저	0.009	최고	0.033	평균(3)	0.021	전체 평균		<0.001		

표2-1-3. 국내의 농경지 토양 중 살충제 (Insecticide) 검출 수준 (단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	시행년도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115	
Ethoprophos	검출 시료수	·	31	1	·	·	9	9	·	·	·	50 /2558
	검출빈도(%)	<LOD	18.24	0.59	<LOD	<LOD	6.00	6.00	<LOD	<LOD	<LOD	1.95
	농 도	범위	최저	0.003	최고	0.188	평균(7)	0.052	전체 평균			<0.001
Fenitrothion	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	9	9/2558
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.81	0.35
	농 도	범위	최저	0.01	v	0.02	평균(6)	0.013	전체 평균			<0.001
Fenobucarb	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2215
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Fenproprathrin	검출 시료수	·	·	·	2	·	·	2	1	·	·	5/2215
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	1.33	<LOD	<LOD	1.33	0.67	<LOD	<LOD	<LOD	0.23
	농 도	범위	최저	0.013	최고	0.107	평균(5)	0.04	전체 평균			<0.001
Fenthion	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2215
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Fenvalerate	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	3	3/1445
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.27	0.21
	농 도	범위	최저	0.14	최고	0.14	평균(1)	0.14	전체 평균			<0.001
Fipronil	검출 시료수	1	1	·	·	·	·	9	·	·	·	11 /2385
	검출빈도(%)	0.56	0.59	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	6.00	<LOD	<LOD	<LOD	0.46
	농 도	범위	최저	0.003	최고	0.043	평균(4)	0.02	전체 평균			<0.001
Flucythrinate	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2215
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Fluvalinate	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	1270
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Fosthiazate	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	3	3/1115
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.27	0.27
	농 도	범위	최저	1.61	최고	1.61	평균(2)	1.61	전체 평균			0.003
Furathiocarb	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2205
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Imidacloprid	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	231	231 /1115
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	20.72	20.72
	농 도	범위	최저	0.01	최고	1.17	평균(77)	0.096	전체 평균			0.007
Indoxacarb	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	18	18 /1115
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.61	1.61
	농 도	범위	최저	0.007	최고	0.03	평균(6)	0.015	전체 평균			<0.001

표2-1-3. 국내의 농경지 토양 중 살충제 (Insecticide) 검출 수준 (단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	시행년도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115	
Isoprocarb	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2558
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Lufenuron	검출 시료수										15	15 /1115
	검출빈도(%)										1.35	
	농 도	범위	최저	0.01	최고	0.11	평균(7)	0.053	전체 평균	<0.001		
Malathion	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2385
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Mecarbam	검출 시료수	·	·	·	1	·	·	·	·	·	·	1/2385
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	0.67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저	0.056	최고	0.056	평균(1)	0.056	전체 평균			
Methamido- phos	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	1270
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Methidathion	검출 시료수	·	3	·	·	·	·	·	1	·	·	4/2558
	검출빈도(%)	<LOD	1.76	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.67	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저	0.005	최고	0.528	평균(3)	0.249	전체 평균	<0.001		
Methomyl	검출 시료수										3	3/1115
	검출빈도(%)										0.27	
	농 도	범위	최저	0.425	최고	0.425	평균(1)	0.425	전체 평균	<0.001		
Mono- crotophos	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	1270
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Parathion	검출 시료수	·	5	4	·	·	1	·	2	·	·	12 /2558
	검출빈도(%)	<LOD	2.94	2.35	<LOD	<LOD	0.67	<LOD	1.33	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저	0.008	최고	0.736	평균(7)	0.26	전체 평균	<0.001		
Phonthoate	검출 시료수	·	·	·	1	·	·	·	·	·	·	1/2215
	검출빈도(%)	<LOD		<LOD	0.67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농도(mg/kg)	범위	최저	0.009	최고	0.009	평균(1)	0.009	전체 평균	<0.001		
Phosalon	검출 시료수	·	·	·	2	·	·	·	·	·	·	2/2065
	검출빈도(%)	<LOD		<LOD	1.33	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저	0.204	최고	0.227	평균(2)	0.216	전체 평균	<0.001		
Phosmet	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	950
	검출빈도(%)	<LOD		<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Phos- phamidon	검출 시료수	·	·	·	·	·	·	·	·	3	·	3/2065
	검출빈도(%)	<LOD		<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.27	0.15	
	농 도	범위	최저	0.29	최고	0.29	평균(1)	0.29	전체 평균			

표2-1-3. 국내의 농경지 토양 중 살충제 (Insecticide) 검출 수준 (단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	시행년도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)		
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115			
Pirimiphos-methyl	검출 시료수	·										1295		
	검출빈도(%)	<LOD												
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균					
Profenfos	검출 시료수	·										2085		
	검출빈도(%)	<LOD												
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균					
Prothiofos	검출 시료수	8		3		·		·		4		15 /2055 0.01		
	검출빈도(%)	4.71		1.76		<LOD		<LOD		2.67				
	농 도	범위	최저	0.002	최고	0.216	평균(6)	0.053	전체 평균					
Pyraclofos	검출 시료수	·										2235		
	검출빈도(%)	<LOD												
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균					
Pyridaben	검출 시료수	·		3		·		5		·		11 /2385 0.46		
	검출빈도(%)	<LOD		1.76		<LOD		3.33		<LOD				
	농 도	범위	최저	0.02	최고	0.568	평균(5)	0.164	전체 평균					
Pyridaly	검출 시료수	·										6/1115 0.54		
	검출빈도(%)	<LOD												
	농 도	범위	최저	0.01	최고	4.19	평균(4)	2.1	전체 평균					
Pyrida-phenthion	검출 시료수	·		·		·		17		·		17 /2385 0.71		
	검출빈도(%)	<LOD		<LOD		<LOD		11.33		<LOD				
	농 도	범위	최저	0.004	최고	0.012	평균(2)	0.008	전체 평균					
Pyriproxyfen	검출 시료수	·										3/1115 0.27		
	검출빈도(%)	<LOD												
	농 도	범위	최저	0.034	최고	0.034	평균(1)	0.034	전체 평균					
Quinalphos	검출 시료수	·										1120		
	검출빈도(%)	<LOD												
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균					
Tebufenozide	검출 시료수	·										9/1115 0.81		
	검출빈도(%)	<LOD												
	농 도	범위	최저	0.03	최고	0.212	평균(3)	0.101	전체 평균					
Tebupirimfos	검출 시료수	·								1		15		16 /1288 1.24
	검출빈도(%)	<LOD								0.58		1.35		
	농 도	범위	최저	0.005	최고	0.75	평균(10)	0.095	전체 평균					
Tefluthrin	검출 시료수	·								4		·		4/1288 0.31
	검출빈도(%)	<LOD								2.31		<LOD		
	농 도	범위	최저	0.018	최고	0.201	평균(4)	0.102	전체 평균					
Terbufos	검출 시료수	·		1		·		·		·		9/2558 0.35		
	검출빈도(%)	<LOD		0.59		<LOD		<LOD		<LOD				
	농 도	범위	최저	0.009	최고	0.6	평균(4)	0.183	전체 평균					

표2-1-3. 국내의 농경지 토양 중 살충제 (Insecticide) 검출 수준 (단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	시행년도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)	
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115		
Thiacloprid	검출 시료수	·										3	3/1288
	검출빈도(%)	<LOD										0.27	0.23
	농도	범위	최저	0.02	최고	0.02	평균(1)		0.02	전체 평균		<0.001	
Triazophos	검출 시료수	·	·	·	1	·	·	·	·	·	·	1/2385	
	검출빈도(%)	<LOD	<LOD	<LOD	0.67	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD		0.04	
	농도	범위	최저	0.057	최고	0.057	평균(1)		0.057	전체 평균		<0.001	
총 65 약제													

살충제는 총 65종이 검출되었다. 검출빈도를 보면 Endosulfan(total)이 총 2558 시료 중 672점이 검출되어 26.27%의 검출빈도를 보였고, Imidacloprid가 1115점 중 231점이 검출되어 20.72%로 매우 높은 검출빈도를 나타내었다. 이들 약제를 제외하고는 검출률은 그리 높은 편은 아닌 것으로 볼 수 있다.

검출빈도 1%를 넘는 약제를 살펴보면 Chlorfenapyr가 5.41%, Chlorpyrifos가 3.79%, EPN이 2.89%, Ethoprophos가 1.95%, Indoxacarb가 1.61%, Lufenuron이 1.35%, Cypermethrin이 1.33%, Cadusafos가 1.29%, Tebupirimophos가 1.24%, Buprofezin이 1.21% 그리고 Cyhalothrin이 1.07%로 총 13종이었다.

한편 토양 중에서 검출된 살충제의 평균 잔류량과 최고 잔류농도를 살펴보면, Cadusafos가 평균 0.25 mg kg⁻¹에 최고 0.78 mg kg⁻¹이었고, Carbofuran은 평균 0.28 mg kg⁻¹에 최고 검출농도는 3.32 mg kg⁻¹으로 비교적 높은 잔류수준을 보였다. Chlorpyrifos는 평균 0.47 mg kg⁻¹에 최고농도는 4.81 mg kg⁻¹을 나타냈고, Endosulfan (total)은 평균 0.70 mg kg⁻¹에 최고 잔류농도는 8.37 mg kg⁻¹로 매우 높았다. 또한 Methidathion은 평균 0.24 mg kg⁻¹에 최고 잔류수준은 0.52 mg kg⁻¹이었고, Parathion은 평균 0.26 mg kg⁻¹에 최고 잔류수준은 0.73 mg kg⁻¹이었다. Pyridaben은 평균 0.16 mg kg⁻¹에 최고잔류수준은 0.568 mg kg⁻¹이었고, Pyridaly은 평균 2.1 mg kg⁻¹에 최고 잔류수준은 4.19 mg kg⁻¹이었고, Tebufenozide는 평균 0.10 mg kg⁻¹에 최고 잔류농도는 0.21 mg kg⁻¹이었고, Tefluthrin은 평균 0.1 mg kg⁻¹에 최고 잔류농도는 0.20 mg kg⁻¹을 나타냈으며, Terbufos는 평균 0.18 mg kg⁻¹에 최고잔류농도는 0.6 mg kg⁻¹을 나타내었다.

살충제의 경우 평균 0.1 mg kg⁻¹ 이상을 보인 약제는 총 17종이었으나 위에서 열거한 11종을 제외한 2종은 검출된 1~2점의 농도가 0.1 mg kg⁻¹을 초과한 경우이므로 큰 의미는 없다고 본다.

표2-1-4. 국내의 농경지 토양 중 살비제 (Acaricide) 검출 수준 (단위 : mg kg⁻¹)

pesticide	시행년도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115	
Bromo-propylate	검출 시료수	1										2
	검출빈도(%)	0.59										0.09
	농 도	범위	최저	0.015	최고	0.819	평균(2)	0.417	전체 평균			<0.001
Dicofol	검출 시료수	11										11
	검출빈도(%)	7.33										0.87
	농 도	범위	최저	0.027	최고	0.494	평균(2)	0.261	전체 평균			<0.001
Fenazaquin	검출 시료수	3										3/2205
	검출빈도(%)	1.76										0.14
	농 도	범위	최저	0.004	최고	0.014	평균(2)	0.009	전체 평균			<0.001
Fenothiocarb	검출 시료수	·										2035
	검출빈도(%)	<LOD										<LOD
	농 도	범위	최저		최고		평균()		전체 평균			
Tebufenpyrad	검출 시료수	8										8/2205
	검출빈도(%)	4.71										0.36
	농 도	범위	최저	0.011	최고	0.118	평균(2)	0.065	전체 평균			<0.001
Tetradifon	검출 시료수	·										22
	검출빈도(%)	<LOD										0.99
	농 도	범위	최저	0.012	최고	0.307	평균(4)	0.122	전체 평균			<0.001
총 6 약제												

표2-1-5. 국내의 농경지 토양 중 식물생장조절제 (Plant growth regulator)의 검출 수준

pesticide	시행년도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'10	'11	전체 검출빈도 (%)
	총 채취 토양수	180	170	170	150	150	150	150	150	173	1115	
paclobutrazol	검출 시료수	·										3
	검출빈도(%)	<LOD										0.27
	농 도	범위	최저	0.02	최고	0.02	평균(2)	0.02	전체평균			<0.001
총 1 약제												

6종의 살비제와 1종의 식물생장조절제가 재배토양에서 검출되었는데, 이들의 검출빈도는 1.0% 미만이었으나 평균 검출 농도는 Bromopropylate가 0.41 mg kg⁻¹수준, Dicofol이 0.26 mg kg⁻¹수준으로 높게 나타난 것은 이들 약제를 사용한 특정한 포장에서 다소 높게 검출된 것으로 판단된다.

식물생장조절제는 독성이 낮아 일반적으로는 무해하다고 알려져 있으며, 조사 결과 Paclobutrazol 1종만이 검출되었는데 검출빈도는 0.27%이었고, 검출된 2개의 성분의 잔류 수준은 0.02 mg kg⁻¹로 매우 낮았다.

국내의 경작지 토양에 잔류되고 있는 농약은 전체적으로 매우 낮은 수준이라고 평가되어 특별한 관리가 필요하다고는 볼 수 없다. 그러나 오·남용에 의한 피해 가능성 등을 고려하여 잔류성이 있는 농약에 대해서는 지속적인 모니터링을 수행할 필요가 있고, 아울러 친환경재배지에서의 사용에 대한 특별한 관리 대책이 있어야 할 것으로 본다. 또한 제시된 농약의 환경위해성 평가 모델을 활용하여 그 위해수준을 평가하는 것은 중요하다고 본다.

1-2. 외국의 농경지 토양 중 잔류농약 검출수준

외국의 농경지 토양 중 잔류 농약 수준과 관련한 모니터링 결과는 1990년대 이후에는 중국을 비롯한 개발도상국을 제외하고는 거의 발표되는 것이 없다고 본다. 선진국의 경우 많은 나라가 유기염소계와 관련한 토양 중 잔류허용기준을 설정하고 있으며, 기타 현재 사용되고 있는 농약과 관련하여 재배 환경 토양중의 잔류량 조사 결과가 발표되는 경우는 거의 없다고 본다. 다만, 흡착실험이나 기타의 실험을 위한 토양 중에서 잔류량은 조사되며 발표된 수준에서만 확인이 가능하며 그 결과도 해석하기가 쉽지 않다고 본다.

따라서 본란에서는 제한된 범위이지만 1990년 대 이후에 발표된 내용을 정리하여 보았다.

가. 중국

표2-1-6. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

Pesticide	범 위		평 균
α -HCH	0.04	4.1	0.80
β -HCH	0.04	19.76	2.31
δ -HCHC	0.01	7.01	0.52
γ -HCH	0	11.45	0.77
HCHs	0.14	42.31	4.39
P,P'-DDE	1.81	149.76	29.60
P,P'-DDD	0.54	31.63	5.96
P,P'-DDT	0.72	777.71	45.84
DDTs	3.58	831.32	81.41
DDT/ (DDD+DDE)	0.04	14.51	1.51
DDD/DDE	0.02	0.7	0.29

자료: Laiguo Chen 외, Chemosphere, 2005

Chen 등 (2005)은 중국 광저우의 채소 경작지 토양에서 DDTs, HCHs 및 PAHs 잔류량을 모니터링한 결과 PAHs $42\sim 3077 \mu\text{g kg}^{-1}$, DDTs $3.58\sim 831 \mu\text{g kg}^{-1}$ 및 HCHs $0.19\sim 42.3 \mu\text{g kg}^{-1}$ 수준으로 검출되었다고 보고하였다. 특히 DDT/ (DDD+DDE)의 비율이 일부 토양에서 >2배 검출되고 있어 이를 통하여 아직도 DDT 성분이 토양 내로 투입되고 있는 것으로 판단하였다. 이러한 결과에 대하여 연구자들은 토양 내 DDT의 검출은 DDT를 일부 불순물로 포함하고 있는 dicofol 약제의 사용으로 인하여 소량의 DDT 불순물이 토양으로 계속 투입되어 나타난 결과인 것으로 보고하였다.

표2-1-7. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준

(단위 : ng g⁻¹)

Pesticides	tree land	농경지	휴경지
	평균±표준편차	평균±표준편차	평균±표준편차
α-HCH	4.34 ± 2.84	5.91 ± 2.7	2.21 ± 2.73
β-HCH	8.89 ± 7.74	14 ± 6.57	6.09 ± 9.11
γ-HCH	3.55 ± 2.63	5.69 ± 2.07	3.09 ± 2.31
δ-HCH	4.17 ± 3.53	2.95 ± 3.52	2.14 ± 3.51
ΣHCH	20.94 ± 12.4	28.53 ± 10.77	13.53 ± 17.01
o,p'-DDE	8.63 ± 6.83	4.74 ± 4.24	3.34 ± 4.54
p,p'-DDE	27.9 ± 16.5	22.78 ± 13.38	7.51 ± 4.17
p,p'-DDD	19.02 ± 13.21	11.5 ± 7.39	3.78 ± 4.02
o,p'-DDT	6.92 ± 12.08	2.64 ± 3.51	2.67 ± 3.29
p,p'-DDT	27.78 ± 22.67	8.55 ± 6.32	7.96 ± 5.23
ΣDDX	90.25 ± 53.17	50.23 ± 28.7	25.26 ± 19.04
HCB	5.13 ± 3.49	3.76 ± 2.27	1.86 ± 1.21
α-Endosulfan	3.2 ± 2.07	2.04 ± 3.03	1.6 ± 2.97
Dieldrin	4.44 ± 2.77	3.01 ± 3.17	2 ± 3.42
Endrin	1.5 ± 2.36	1.64 ± 2.33	0.32 ± 0.51
Drins	5.94 ± 4.42	4.66 ± 4.74	2.33 ± 3.93
ΣOCP	125.45 ± 61.23	89.22 ± 41.34	44.57 ± 42.16

자료: WANG Fang 외, Journal of Environmental Sciences, 2007

Fang 등 (2008)은 2004년 중국 Taihu호수 지역에 대하여 1983년 이후 사용 금지된 유기염소계 농약에 대한 잔류검사를 실시하여 13성분의 OCP가 논 토양에서 검출되었으며, 농경지 중 잔류량이 일반토양에 비하여 높았다고 보고하였다. 1980년대 사용된 HCH 및 DDT의 양으로 현재 잔류량은 반감기를 통해 추정할 수 있는 잔류량 보다 낮게 나타났다고 보고하였다. 연구 결과 유기염소계 농약의 잔류량은 줄어들었으나, 여전히 그 잔류량은 높으며, 농약 정화 과정이 더 필요하다는 점을 시사하였다.

표2-1-8. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준

(단위 : ng g⁻¹)

Pesticides	shallow subsurface soil			deep layer soil				
	범 위	mean	median	범 위	mean	median		
α-HCH	0.32	8.19	1.27	0.7	0.14	1.28	0.34	0.29
β-HCH	0.37	45.11	5.69	2.7	<LOD	3.99	0.6	0.26
γ-HCH	<LOD	12.86	2.45	0.86	0.2	1.03	0.47	0.4
δ-HCH	<LOD	5.85	0.94	0.43	<LOD	0.61	0.1	0.07
HCHs	1.36	56.61	10.35	5.25	0.4	5.36	1.51	0.99
β/γ	0.09	29.47	2.3	3.96	<LOD	7.78	1.22	0.52
p,p'-DDE	0.22	832.37	51.07	51.07	0.05	48.42	1.97	0.22
p,p'-DDD	0.15	50.38	13.31	13.31	<LOD	10.18	0.69	0.17
o,p'-DDT	<LOD	533.23	19.2	19.2	<LOD	4.46	0.32	0.12
p,p'-DDT	<LOD	1924.76	57.21	57.21	<LOD	50.39	2.61	0.13
DDTs	0.77	2178.55	140.79	140.79	0.13	66.98	5.59	0.82
DDT/DDE	0.006	63.9	0.38	2	0.05	231.9	8.3	0.86

자료: Youfeng Zhu 외, Chemosphere, 2005

Zhu 등 (2005)은 베이징 외곽 지역의 토양 중 유기염소계 농약인 DDTs와 HCHs에 대한 잔류분석에 대한 연구로 5~30 cm 깊이의 토양에서는 HCHs가 1.36~56.61, DDTs가 0.77~2,178 ng g⁻¹범위의 잔류량을 보였으며, 150~180 cm 깊이의 토양 중 잔류량은 큰 차이가 없었다고 보고하였다.

표2-1-9. 하얼빈 지역의 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준

(unit : pg g^{-1})

Pesticides	검출된 시료수		범 위	Mean	Median
	17				
HCB	17	64.2	3940	1040	448
α -HCH	17	24.5	2870	672	206
β -HCH	16	<LOD	48200	6210	1940
γ -HCH	17	10.8	726	239	84.8
ΣHCH	17	136	51800	7120	2230
α -HCH/ γ -HCH	-	1.97	3.96	2.65	2.53
β -HCH/ α -HCH	-	-	16.8	6.69	5.17
TC	17	0.218	1.92	0.998	1.13
CC	13	<LOD	3.71	1.41	1.33
TN	17	0.454	7.77	2.35	1.92
ΣChlordane	17	0.697	12.6	4.75	3.67
TC/CC	-	-	1.14	0.561	0.721
α -Endosulfan	13	<LOD	3.09	1.07	0.965
β -Endosulfan	7	<LOD	2.27	0.553	<LOD
Endosulfan sulfate	17	<LOD	4.34	1.75	1.25
ΣEndosulfan	17	<LOD	8.99	3.34	2.21
o,p'-DDT	14	<LOD	1670	478	247
p,p'-DDT	13	<LOD	12000	3140	1850
p,p'-DDE	17	72	136000	1550	524
p,p'-DDD	15	<LOD	1050	415	210
ΣDDT	17	72	28200	5430	2110
p,p'-DDT/o,p'-DDT	-	-	12.2	5.41	5.14
p,p'-DDT/p,p'-DDE	-	-	7.58	2.54	2.92

자료 : WANG Xu 외, Journal of Environmental Sciences, 2009

Wang 등 (2009)은 중국의 북동지방 17개 지역의 표토에 대한 유기염소계농약의 잔류에 대한 연구로 HCH, DDT, HCB가 검출되었으며, 평균 검출량은 각각 7,120, 5,425, 1,039 pg g^{-1} 이었다. 기타 유기염소계 농약의 잔류량은 chlordane, endosulfan이 각각 4.8, 3.3 pg g^{-1} 으로 매우 낮았다. 유기염소계농약에 의한 토양오염은 과거 사용량에 의한 영향과 주변지역으로부터 이동되었을 가능성이 있는 것으로 판단된다고 보고하였다.

나. 필리핀

표2-1-10. 물과 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준

검출빈도		pesticide	mean
토양 (mg kg ⁻¹)	34/78 43.59 %	Endosulfan	0.025
		Endosulfan-sulfate	0.015
		Chlorpyrifos	0.01
		Profenfos	0.003
		Chlorothanil	0.002
		Cypermethrin	0.002
		Cylohathrin	0.002
물 (mg L ⁻¹)	1/49 2.04 %	Chlorpyrifos	0.07

자료 : Lu, Jinky Leilanie Del Prado 외, Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2010

Lu 등 (2010)은 필리핀 Benguet 지역 주요 농장 부근의 물과 토양 중 잔류 농약을 다성분 분석하였다. 78개의 토양 샘플과 49개의 물 시료를 분석한 결과 34개의 토양 샘플에서는 잔류농약이 검출되었으며 그 중 endosulfan이 0.025 mg kg⁻¹로 가장 높은 잔류량을 보였고, 물은 1개의 샘플에서 검출되었으며 chlorpyrifos가 0.07 mg L⁻¹로 가장 높은 잔류량이 나타났다.

다. 인도

표2-1-11. 토양, 물 및 생산물에 대한 유기염소계 농약의 잔류 수준

	Pesticide	IPM				Non-IPM (farmers practices)				
		R1	R2	R3	Mean	R1	R2	R3	Mean	
Kaithal 지역	토양 (mg kg ⁻¹)	lindane	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.006	0.005	0.001
		Atrazine	0.01	0.02	0.01	0.015	0.002	0.003	0.002	
		chlorpyrifos	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.003	
		pendimethalin	0.03	0.03	0.05	0.01	0.03	0.05	0.02	
	물 (µg L ⁻¹)	lindane	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		Atrazine	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		chlorpyrifos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		pendimethalin	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dehradun 지역	토양 (mg kg ⁻¹)		0.03	0.001	0.001	0.03~ 0.001	ND	ND	ND	ND
	물 (µg L ⁻¹)	carbendazim	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Rice grain (µg L ⁻¹)		0.002	0.0009	0.001	0.001	ND	ND	ND	ND

자료 : Sumitra Arora 외, Bull Environ Contam Toxicol, 2008

Arora 등 (2009)은 병해충종합관리 (IPM)와 병해충종합관리를 실시하지 않은 토양, 물 및 생산물에 대한 농약의 잔류성에 대해 조사하였다. Kaithal 지역의 경우 pendimethalin, atrazine, lindane 및 chlorpyrifos, Dehradun 지역의 경우 carbendazim을 분석하였다. Dehradun 지역 쌀의 경우 carbendazim이 0.001 mg kg⁻¹, 토양에서는 0.03~0.001 mg kg⁻¹의 범위로 검출되었다. 병해충종합관리 및 병해충종합관리를 실시하지 않는 포장 모두 잔류량은 MRL미만이라고 보고하였다.

라. 호주

표2-1-12. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준

(단위 : ng g⁻¹)

	Herbert region			Burdekin region		
	범 위		median	범 위		median
HCB	<LOD	0.033	0.014	<LOD	0.204	0.031
α-HCH	0.006	6.23	0.733	<LOD	0.109	0.025
β-HCH	0.02	45.6	0.898	<LOD	2.12	0.178
γ-HCH	<LOD	3.99	0.464	<LOD	0.849	0.132
δ-HCH	0.005	2.77	0.164	<LOD	0.038	<LOD
Aldrin	<LOD	0.132	0.033	<LOD	0.096	<LOD
Dieldrin	0.028	22.2	1.65	<LOD	3.297	0.051
Heptachlor	<LOD	0.06	<LOD	<LOD	0.288	0.043
Heptachlor epoxide	<LOD	3.964	<LOD	<LOD	15.9	0.313
trans-Chlordane	<LOD	0.762	0.009	<LOD	7.98	0.231
cis-Chlordane	<LOD	0.176	<LOD	<LOD	2.157	0.046
p,p'-DDD	<LOD	0.031	<LOD	<LOD	0.313	<LOD
p,p'-DDE	<LOD	6.217	0.092	<LOD	19.9	0.036
p,p'-DDT	<LOD	0.411	0.047	<LOD	0.972	0.029
Chlorpyrifos	<LOD	0.936	<LOD	<LOD	0.987	<LOD
Endrin	<LOD	0.936	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Endrin aldehyde	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Endosulfan I	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Endosulfan II	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.04	<LOD
Endosulfan sulfate	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.105	<LOD
Methoxychlor	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
PCBs	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

자료 : J. E. CAVANAGH 외, Marine Pollution Bulletin, 1999

Cavanagh 등 (1999)은 1950~1980년대 호주 사탕수수농장에서 많이 사용된 유기염소계 농약은 토양 중에 잔류하게 되고, 토양 침식으로 인하여 주변지역을 오염시키고 있다. 이에 Herbert 및 Burdekin 강 주변의 토양과 침전물 중 유기염소계농약에 대한 잔류량을 분석한 결과 22성분의 농약이 검출되었으며, 검출된 유기염소계농약 중 p,p'-DDE가 Herbert지역에서 최고 6.217 ng g⁻¹, Burdekin지역에서 p,p'-DDE, heptachlor epoxide가 각각 최고 19.9, 15.9 ng g⁻¹로 검출되었다고 보고하였다.

마. 스위스

표2-1-13. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (단위 : mg kg⁻¹)

	Pesticide	범 위		평 균
2002	Pentachloro-aniline	<0.01	0.2	0.14
	Dieldrin	<0.01	0.05	0.04
	DDD	<0.01	0.03	0.03
	DDE	<0.01	0.29	0.12
	DDT	<0.01	0.09	0.09
	ΣOCP	<0.01	0.305	0.149
	2005	Iprodion	0.26	0.26
pendi		0.04	0.04	0.04
propy		0.01	0.04	0.03
quinto		0.03	0.03	0.03
tetrasul		<0.01	<0.01	
γ-chlor		<0.01	0.13	0.05
o,p-DDD		<0.01	0.17	0.06
o,p-DDE		<0.01	0.01	0.01
o,p-DDT		<0.01	0.16	0.07
p,p-DDD		0.02	0.18	0.06
p,p-DDE		<0.01	0.23	0.11
p,p-DDT		<0.01	0.28	0.17
Endo		0.04	0.04	0.04
Endrin		0.02	0.13	0.06
HCB		<0.01	0.01	0.01
Pentachloro-aniline		<0.01	0.73	0.21
α-Chlordane		<0.01	0.18	0.08
Dieldrin		0.01	0.14	0.05
cis-heptachloroepoxide		<0.01	<0.01	
ΣOCP		<0.01	1.325	0.322

자료 : Isabel Hilber 외, Chemosphere, 2008

Hilber 등 (2008)은 스위스의 박과채소 재배지에서 잔류기간이 긴 유기염소계 농약과 토양 유기물 함량, 토성, pH 등에 대하여 2002년부터 2005년에 걸쳐 조사하였다. 유기염소계 농약은 65.9%의 검출빈도를 보였고, 유기염소계 농약의 총량은 <0.01~2.1 mg kg⁻¹의 범위를 나타냈는데, 유기염소계 농약의 토양 잔류에 영향을 주는 요인으로는 토양유기물함량과 농약의 극성이라고 보고하였다.

바. 체코

표2-1-14. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (단위 : ng g⁻¹)

Pesticide	시료수	범 위	평 균
Heptachlor epoxide A		<LOQ	0.2
Heptachlor epoxide B		<LOQ	0.72
α-Chlordane		<LOQ	0.62
γ-Chlordane		<LOQ	0.48
Dieldrin	19	0.58	2.78
Endrin		0.9	1.2
Methoxychlor		<LOQ	0.79
Mirex		<LOQ	0.03
Total		0.12	4.97

자료 : Penka Shegunova 외, Environmental Pollution, 2007

Shegunova 등 (2007)은 체코 공화국의 유형별 토양 (industrial, background, mountain) 중 유기염소계 농약 chlordane, heptachlor, dieldrin, aldrin, endrin, isodrin, endosulfan, methoxychlor, mirex에 대하여 조사한 결과, 이들 농약이 사용금지 된지 20여 년이 지났음에도 표토에서 여전히 존재하는 것을 확인하였으며, 농경지 토양 보다 산림토양에서 그 농도가 높게 나타났음을 보고하였다.

사. 포르투갈

표2-1-15. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

Pesticides	sample1	sample5	sample18	sample22	sample25
Desthylatrazine	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Dimethoate	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Atrazine	<LOD	4.4	<LOD	52	<LOD
Lindane	<LOD	<LOD	0.9	3.6	<LOD
Alachlor	<LOD	2.3	<LOD	6.4×10^2	2.1
Metalaxyl	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Metolachlor	<LOD	2.4×10^2	<LOD	2.2	<LOD
Chlorpyrifos	2.7	<LOD	2.0	1.3	<LOD
Pendimethalin	<LOD	<LOD	1.0×10^2	1.2	<LOD
Chlorfenvinphos E	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Chlorfenvinphos Z	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Quinalphos	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Procymidone	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Endosulfan I	<LOD	2.5×10^2	<LOD	4.3	<LOD
4,4'-DDE	<LOD	<LOD	<LOD	11	<LOD
Dieldrin	<LOD	7.2	<LOD	6.7×10^2	<LOD
Endosulfan II	<LOD	4.4×10^2	<LOD	27	<LOD
4,4'-DDD	<LOD	<LOD	<LOD	4.0	<LOD
Benalaxyl	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Endosulfan sulfate	<LOD	5.5×10^2	<LOD	96	<LOD

자료 : C. Goncalves 외, Journal of Chromatography A, 2006

Goncalves 등 (2006)은 토양의 잔류농약을 환경친화적인 추출법인 초임계유체 추출법을 이용하여 GC-MS-MS로 분석한 내용으로 포르투갈 북부의 집약적 농업지역의 토양을 분석한 결과 endosulfan, endosulfan sulfate, dieldrin, 4,4'-DDE, 4,4'-DDD, atrazine, alachlor, metolachlor, chlorpyrifos, pendimethalin, lindane 등의 농약이 검출되었음을 확인하였다.

표2-1-16. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준

(단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

Pesticides	범 위	평 균
Alachlor	<LOD	60100
Atrazine	<LOD	85.4
Chlorpyrifos	<LOD	148.8
Endosulfan I	<LOD	61.3
Endosulfan II	<LOD	135.6
Endosulfan sulfate	<LOD	280.8
Dimethoate	<LOD	95.6
Lindane	<LOD	60
pendimethalin	<LOD	6906.2
Chlorfenvinphos	<LOD	1.4
Procymidone	<LOD	133
Dieldrin	132.9	465.5
4,4'-DDE	7.1	24
4,4'-DDD	2.9	9.2
Desethylatrazine	<LOD	12.2

자료 : C. Gonçalves 외, Talanta, 2005

Goncalves 등 (2005)은 USE를 이용한 농약의 다성분 분석을 수행하였다. 그 결과 포르투갈 Pova de Varzim 지역에서 alachlor, chlorpyrifos, endosulfan, atrazine 및 pendimethalin이 검출되었으며, 6종의 농약은 $0.05\sim 7.0 \text{ g kg}^{-1}$ 범위로 잔류량이 나타났으며 추가적으로 토양 잔류 농약에 대한 연구가 필요함을 보고하였다.

아. 아프리카

Ssebugere 등 (2010)은 우간다 Kihiihi 지역 토양 중 유기염소계 농약 잔류량 분석을 위하여 GC-ECD와 GC-MS를 사용하였다. 검출된 농약의 종류는 DDTs, DDEs, DDDs, dieldrin, α -endosulfan, β -endosulfan, endosulfan sulfate이었으며, 검출량은 $0\sim 59 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 범위로 나타났다고 보고하였다.

표2-1-17. Kihiihi 지역 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

Pesticide	A		B		C		D		E	
	범위	median	범위	median	범위	median	범위	median	범위	median
p,p'-DDT	7~34	17	10~23	18	11~25	18	3~18	10	32~59	49
o,p'-DDT	11~20	17	24~38	33	12~18	15	ND		14~27	19
p,p'-DDE	2~10	5	9~20	17	6~13	7	2~7	3	19~46	35
o,p'-DDE	6~14	8	8~16	12	6~15	10	ND		14~23	21
p,p'-DDD	ND		ND		3~14	6	ND		ND	
o,p'-DDD	ND		4~13	6	2~7	6	ND		ND	
Total p,p'-DDE /total p,p'-DDT	0.2		0.9		0.5		0.5		0.7	
Dieldrin	ND		ND		ND		ND		2~6	4
Endosulfan- α	4~8	6	10~16	12	4~6	5	5~9	6	3~7	6
Endosulfan- β	5~10	8	14~20	16	ND		6~11	10	10~15	11
Endosulfan-sulphate	3~5	4	ND		2~5	3	4~7	6	ND	
Endosulfan- α /endosulfan- β	0.5		0.8		-		0.7		0.4	

자료 : Patrick Ssebugere 외, Chemosphere, 2010

표2-1-18. Mabira 숲의 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

Pesticide	1		2		3	
	range	median	range	median	range	median
p,p'-DDT		ND	3~9	6		ND
o,p'-DDT		ND		ND		ND
p,p'-DDE		ND	2~4	4		ND
o,p'-DDE		ND		ND		ND
p,p'-DDD		ND		ND		ND
o,p'-DDD		ND		ND		ND
Total p,p'-DDE/total p,p'-DDT						
Dieldrin		ND		ND		ND
Endosulfan- α		ND		ND		ND
Endosulfan- β		ND		ND	2~4	3
Endosulfan-sulphate		ND		ND		ND
Endosulfan- α /endosulfan- β				0.4		

자료 : Patrick Ssebugere 외, Chemosphere, 2010

자. 브라질

표2-1-19. 토양 중 유기염소계 농약의 잔류 수준 (단위 : ng g⁻¹)

OC pesticides	region 1		region 2		region 3				
	범 위	평균	범 위	평균	범 위	평균			
α-HCH	<0.03	0.22	0.06	0.09	0.51	0.26	<0.03	0.08	<0.03
γ-HCH	<0.05	0.09	<0.05	<0.05	0.4	0.15		ND	
β-HCH	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	0.34	0.15	<0.05	0.06	<0.05
Heptachlor	<0.05	<0.05	<0.05		ND		0.05	0.08	<0.05
δ-HCH		ND		<0.05	0.21	0.07		ND	
Aldrin	<0.04	0.09	<0.04	<0.04	0.23	0.08		ND	
Heptachlor-epoxide		ND		0.08	0.2	0.05		ND	
Endosulfan I	<0.05	2.09	0.71	<0.05	0.06	<0.05	<0.05	0.05	<0.05
p,p'-DDE	2.05	8.8	5.16	2.39	10.23	5.26	0.05	0.44	0.21
Dieldrin	<0.05	0.05	<0.05	0.05	0.96	0.21		ND	
Endrin	<0.05	0.25	0.08	<0.05	0.13	0.11		ND	
o,p'-DDT	0.05	1.69	0.47	0.08	2.58	1.15	<0.01	0.16	0.07
p,p'-DDD	<0.01	1.23	0.48	<0.01	1.39	0.1	<0.01	0.09	0.07
Endosulfan II	<0.05	3.69	1.77	0.06	0.29	0.12	<0.05	0.05	<0.05
p,p'-DDT	0.03	1.12	0.5	0.09	1.39	0.64	<0.01	0.13	0.07
Endosulfan sulfate	<0.05	3.69	1.77	0.06	0.41	0.15	<0.05	0.05	<0.05
Metoxichlor		ND		<0.1	0.1	<0.1		ND	
Mirex	<0.1	2.78	1.41	<0.1	0.47	0.26		ND	

자료 : Sandra R. Rissato 외, Chemosphere, 2006

Rissato 등 (2006)은 상파울로 북동지역의 토양 중의 유기염소계 농약과 PCBs에 대한 잔류분석으로 토양에서 HCH, DDT의 검출량은 각각 0.05~0.92, 0.12~11.01 ng g⁻¹로 나타났으며, 물에서는 0.02~0.6, 0.02~0.58, 0.02~0.5 ng g⁻¹로 나타났다고 보고하였다.

II-2. 중금속

토양 중금속은 대부분 모암에서 연유된 것으로 볼 수 있으나, 농업적 측면에서는 취약 농경지라고 볼 수 있는 생활하수, 공장폐수 유입 농경지 토양이나 광산 인근 농경지 토양 등에서는 외부적 환경으로 부터의 유입 가능성이 있다고 판단된다.

국내에서의 농경지 토양 중 중금속 함량조사는 환경부의 토양 측정망에 논(2002~2007년 125개소, 2008~2010년 127개소), 밭(2002~2007년 82개소, 2008~2010년 86개소), 과수원(51개소) 및 목장용지(54개소)가 포함되어 있다. 또한 농촌진흥청 국립농업과학원에서는 취약 농경지를 생활하수 유입 농경지(600개소), 광산 인근 지역 농경지(600개소), 공업단지 인근 농경지(600개소) 및 고속도로 주변 인근 농경지(600개소)를 선정하여 조사한 바 있다. 또한 농어촌공사가 폐광산 인근 농경지 4,764개 지점과 매립지 주변 농경지 635 지점에 대해 조사를 실시하였다.

2-1. 국내 농경지 토양 중 중금속 잔류수준

표2-2-1부터 표2-2-4까지의 농경지 토양 중 중금속 함량 조사 결과는 환경부의 토양측정망 중 농경지에 해당되는 부분을 요약한 결과이다. 2002년부터 2010년까지 총 9개년에 걸쳐 매년 조사된 결과를 보여주고 있다.

표2-2-1. 담 토양 중 중금속 함량

(단위 : mg kg⁻¹)

지점수	연도별	구분	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr ⁺⁶	Zn	Ni
125	2002	최저	0.000	0.110	0.000	0.000	0.500	0.000	15.667	0.867
		최고	0.597	44.652	11.481	0.613	202.850	0.215	278.480	101.867
		평균	0.108	4.850	0.298	0.048	8.500	0.016	76.610	16.349
	2003	최저	0.000	0.446	0.000	0.000	0.295	0.000	10.400	2.020
		최고	1.055	48.885	7.539	0.653	128.500	0.080	214.997	81.200
		평균	0.103	4.416	0.243	0.035	6.548	0.002	74.793	16.205
	2004	최저	0.000	0.596	0.000	0.000	0.380	0.000	7.934	0.000
		최고	0.550	49.500	0.286	0.379	60.500	0.000	282.233	53.563
		평균	0.129	6.022	0.059	0.037	6.703	0.000	55.619	11.043
	2005	최저	0.000	0.157	0.000	0.000	0.000	0.000	7.245	0.835
		최고	0.865	16.670	5.866	0.224	52.850	0.000	282.733	50.034
		평균	0.078	4.055	0.306	0.015	5.263	0.000	55.708	9.388
	2006	최저	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.140	0.077
		최고	0.295	13.301	3.370	0.174	41.010	0.000	258.667	38.592
		평균	0.066	3.443	0.467	0.019	5.603	0.000	65.165	11.545
	2007	최저	0.000	0.325	0.008	0.000	0.355	0.000	5.893	0.000
		최고	0.413	21.294	5.925	0.364	32.580	0.000	262.500	65.960
		평균	0.070	3.997	1.429	0.038	4.690	0.000	63.565	10.609
2008	최저	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	최고	0.375	26.800	2.719	1.184	37.460	0.045	223.900	71.847	
	평균	0.057	4.119	0.311	0.039	4.403	0.002	65.500	8.950	
127	2009	최저	0.000	0.469	0.000	0.000	0.846	0.000	7.250	0.000
		최고	0.245	19.901	4.768	0.141	40.934	0.513	116.137	60.672
		평균	0.068	4.221	0.539	0.036	5.383	0.016	46.877	9.695
2010	최저	0.000	2.633	0.000	0.000	7.605	0.000	20.414	2.166	
	최고	3.678	128.791	17.867	0.430	58.884	4.963	195.957	48.963	
	평균	1.146	16.657	5.297	0.035	22.013	0.263	62.486	13.335	
		최저	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	3.678	128.791	17.867	1.184	202.850	4.963	282.733	101.867
		평균	0.203	5.753	0.994	0.034	7.678	0.033	62.925	11.902

환경부, 국립환경과학원 - 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과

표2-2-2. 전 토양 중 중금속 함량

(단위 : mg kg⁻¹)

지점수	연도별	구분	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr ⁺⁶	Zn	Ni
82	2002	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	15.547	0.000
		최고	0.450	14.405	4.269	1.177	27.560	0.159	327.500	190.680
		평균	0.100	3.735	0.187	0.057	4.076	0.015	85.113	18.696
	2003	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	21.800	2.600
		최고	0.310	29.330	4.962	0.286	34.250	0.255	231.367	342.102
		평균	0.109	3.878	0.212	0.031	4.642	0.008	83.565	20.194
	2004	최저	0.000	0.115	0.000	0.000	0.000	0.000	2.695	0.000
		최고	0.301	28.050	3.349	0.605	65.149	0.000	222.433	224.192
		평균	0.074	4.401	0.096	0.029	5.864	0.000	67.617	14.034
	2005	최저	0.000	0.415	0.000	0.000	0.000	0.000	2.725	0.310
		최고	0.410	13.900	4.053	0.078	80.880	0.000	233.600	68.135
		평균	0.082	4.219	0.214	0.008	6.373	0.000	78.172	11.267
	2006	최저	0.000	0.063	0.001	0.000	0.192	0.000	11.980	0.333
		최고	0.235	29.003	3.714	0.139	80.200	0.000	207.003	42.626
		평균	0.060	3.478	0.476	0.018	4.992	0.000	80.146	11.955
	2007	최저	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	8.017	0.000
		최고	0.277	26.754	5.909	0.311	21.891	0.000	223.933	50.320
		평균	0.049	2.982	0.655	0.036	3.375	0.000	66.592	9.240
2008	최저	0.000	0.195	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	최고	0.370	25.665	3.964	0.197	46.000	0.000	257.367	53.202	
	평균	0.053	4.320	0.317	0.028	3.265	0.000	71.526	7.939	
86	2009	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.126	0.000
		최고	0.248	40.190	2.449	0.218	71.822	0.789	188.481	35.075
		평균	0.060	3.024	0.365	0.036	6.345	0.031	49.845	8.008
2010	최저	0.000	1.300	0.000	0.000	3.872	0.000	16.755	0.000	
	최고	3.623	125.295	20.403	0.498	144.751	4.590	251.455	48.957	
	평균	1.136	21.376	5.230	0.031	25.051	0.201	72.867	17.701	
최저			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
최고			3.623	125.295	20.403	1.177	144.751	4.590	327.500	342.102
평균			0.191	5.713	0.861	0.030	7.109	0.032	72.827	13.226

환경부, 국립환경과학원 - 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과

표2-2-3. 과수원 토양 중 중금속 함량

(단위 : mg kg⁻¹)

지점수	연도별	구분	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr ⁺⁶	Zn	Ni
51	2002	최저	0.000	0.550	0.000	0.000	0.065	0.000	19.333	1.433
		최고	0.540	23.675	2.191	2.425	89.054	0.132	206.110	84.670
		평균	0.123	5.048	0.215	0.104	7.557	0.011	83.672	19.554
	2003	최저	0.000	0.475	0.000	0.000	0.000	0.000	22.100	1.333
		최고	0.445	48.400	1.817	0.179	75.950	0.066	197.557	78.561
		평균	0.125	5.685	0.175	0.042	5.891	0.002	87.981	19.263
	2004	최저	0.000	0.395	0.000	0.000	0.000	0.000	8.157	2.600
		최고	0.310	37.621	0.844	0.124	91.550	0.000	166.349	41.875
		평균	0.095	6.358	0.068	0.029	6.770	0.000	68.580	13.528
	2005	최저	0.000	0.220	0.000	0.000	0.000	0.000	23.658	1.185
		최고	0.625	30.990	2.840	0.615	82.080	0.000	297.000	39.305
		평균	0.089	5.576	0.272	0.030	4.727	0.000	76.719	11.642
	2006	최저	0.000	0.055	0.000	0.000	0.104	0.000	1.193	0.483
		최고	0.430	15.940	3.016	0.571	84.675	0.000	238.657	37.667
		평균	0.067	4.080	0.450	0.038	5.581	0.000	81.984	12.568
2007	최저	0.000	0.350	0.013	0.000	0.025	0.000	18.284	1.214	
	최고	0.225	18.800	5.387	0.163	10.470	0.000	195.823	70.137	
	평균	0.071	4.622	1.138	0.041	3.377	0.000	77.529	14.705	
2008	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	최고	0.370	25.935	2.596	0.383	19.320	0.045	295.762	95.001	
	평균	0.065	4.748	0.304	0.036	3.225	0.003	95.673	12.662	
51	2009	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.607	0.000
		최고	0.269	10.995	2.573	0.373	29.962	0.500	173.343	64.732
		평균	0.055	2.867	0.348	0.049	3.455	0.028	64.306	12.337
2010	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	5.203	0.000	21.285	2.034	
	최고	3.286	121.521	22.503	1.103	47.805	4.000	163.192	37.939	
	평균	1.130	31.468	6.949	0.049	21.496	0.345	79.971	14.555	
최저			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
최고			3.286	121.521	22.503	2.425	91.550	4.000	297.000	95.001
평균			0.202	7.828	1.102	0.046	6.898	0.043	79.602	14.535

환경부, 국립환경과학원 - 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과

표2-2-4. 목장용지 토양 중 중금속 함량

(단위 : mg kg⁻¹)

지점수	연도별	구분	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr ⁺⁶	Zn	Ni
54	2002	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.400	0.000
		최고	0.932	9.151	0.839	0.573	11.563	0.083	204.560	98.650
		평균	0.091	1.781	0.174	0.074	3.410	0.007	73.610	17.256
	2003	최저	0.000	0.080	0.000	0.000	0.485	0.000	36.627	2.033
		최고	0.370	21.990	0.700	0.239	13.525	0.000	264.837	98.911
		평균	0.132	2.649	0.130	0.034	3.897	0.000	87.651	21.083
	2004	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.000	2.363	0.000
		최고	0.245	35.619	0.389	0.346	13.755	0.000	258.508	68.801
		평균	0.060	2.487	0.046	0.048	3.669	0.000	62.551	14.559
	2005	최저	0.000	0.265	0.000	0.000	0.000	0.000	2.295	0.255
		최고	0.390	16.187	1.190	0.072	13.115	0.000	202.567	36.948
		평균	0.073	2.543	0.112	0.016	3.759	0.000	63.297	9.259
	2006	최저	0.000	0.063	0.003	0.000	0.000	0.000	1.133	0.414
		최고	0.185	44.050	3.548	1.720	16.400	0.000	250.808	25.533
		평균	0.051	2.914	0.479	0.046	3.005	0.000	69.848	10.280
	2007	최저	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	1.739	0.565
		최고	0.235	7.138	5.659	0.550	9.485	0.000	175.473	60.360
		평균	0.067	1.901	1.008	0.057	2.740	0.000	73.304	13.933
2008	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.155	0.000	
	최고	0.425	11.110	2.745	0.197	8.665	0.259	180.467	67.242	
	평균	0.042	1.850	0.312	0.034	2.794	0.006	77.767	13.077	
54	2009	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	14.489	0.000
		최고	0.522	14.755	1.094	0.251	13.524	1.481	251.187	42.215
		평균	0.049	1.448	0.319	0.038	2.018	0.070	75.281	9.788
2010	최저	0.000	2.472	0.122	0.000	2.951	0.000	8.351	1.633	
	최고	3.270	43.937	18.129	0.146	73.961	3.591	201.555	37.689	
	평균	1.031	14.731	4.173	0.027	22.584	0.590	67.548	12.590	
최저			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.133	0.000
최고			3.270	44.050	18.129	1.720	73.961	3.591	264.837	98.911
평균			0.177	3.589	0.750	0.0412	5.320	0.075	72.317	13.536

환경부, 국립환경과학원 - 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과

2011년부터 농경지 토양 중 중금속의 토양오염 우려기준과 대책기준은 상향되었기 때문에 기준을 초과하는 농경지 토양 중 중금속의 기준 초과율은 훨씬 낮아졌다고 본다. 그러나 기준 조정에 따른 기준 초과율 저하는 농경지 토양 중 중금속의 함량이 낮아진 것은 아니지만 합리적인 기준을 새로 설정함으로써 심리적인 위해수준을 낮추는 데는 크게 기여했다고 판단된다.

논토양의 경우 조사 대상 8종의 중금속류는 대체로 환경부가 정한 중금속의 토양 중 우려기준을 초과하지 않은 안전한 수준으로 평가되었다. 다만 Pb와 Ni의 경우는 토양 중 우려기준이 각각 200, 100 mg kg⁻¹로 되어 있는데 2002년도에는 최고 잔류량이 우려기준을 초과하는 것을 알 수 있다.

밭 토양의 경우는 논토양보다 더 높은 수준을 보여주고 있다. Cd, Cu, As, Hg, Pb 및 Cr⁶⁺는 모두 토양 중 우려기준 이하로 큰 문제가 없다고 볼 수 있지만 일부의 토양에서 Zn의 경우 우려기준인 300 mg kg⁻¹을 초과하는 잔류량이 검출되었으나 대책기준에는 훨씬 못 미치는 수준으로 평가된다. 그러나 밭 토양에서도 Ni의 경우는 2002~2004년의 조사에서는 매년 우려기준을 초과하는 토양이 있는 것으로 조사되었다. 이런 결과는 대부분 외부에서 유입되어 나타난 것이 아니므로 모암에서 연유되는 Ni의 안전성을 확보하기 위한 위해성 평가가 필요하다고 본다.

과수원 토양은 Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr⁶⁺ 및 Zn은 모두 토양 중 우려기준 이하여서 대체로 안전한 수준이라고 평가된다.

목장용지 역시 과수원과 유사한 경향을 보였으며, 역시 Ni의 함량이 우려기준을 초과하는 시료가 많았고 거의 우려 기준에 육박하는 최고 98.650 mg kg⁻¹, 98.91 mg kg⁻¹을 나타내는 토양도 있는 것으로 조사되었다.

표2-2-5. 생활하수 유입 농경지 토양 중 중금속 함량 (단위 : mg kg⁻¹)

지점수	연도별	구분	Cd	Cu	Pb	As	Zn	Cr ⁶⁺	Ni
600	1999	최저	0.005	1.070	0.300	<0.001	1.180	<0.001	0.080
		최고	0.810	90.000	43.870	4.875	253.100	3.495	17.330
		평균	0.136	7.310	7.450	0.496	11.060	0.356	1.260
	2003	최저	0.004	0.060	0.140	0.014	22.900	0.001	2.800
		최고	0.825	46.030	31.100	4.844	285.500	2.960	63.500
		평균	0.103	6.920	6.380	0.644	67.600	0.229	14.800
	2007	최저	0.010	0.210	0.180	0.140	2.100	0.030	0.300
		최고	0.910	46.540	35.830	2.160	272.100	1.510	48.900
		평균	0.120	5.520	4.690	0.520	64.500	0.210	15.300
		최저	<0.001	0.060	0.140	<0.001	1.180	<0.001	0.080
		최고	1.540	90.000	43.870	4.875	285.500	3.500	63.500
		평균	0.120	6.650	6.180	0.550	47.720	0.270	10.453

분석법 : 0.1N-HCl 침출성 함량(As는 1N-HCl), 전함량(Zn, Ni)

국립농업과학원, 농업환경변동조사사업, 2010

표2-2-6. 광산 인근 지역 농경지 토양 중 중금속 함량 (단위 : mg kg⁻¹)

지점수	연도별	구분	Cd	Cu	Pb	As	Zn	Cr ⁶⁺	Ni	
600	2000	최저	0.010	0.060	<0.001	<0.001	0.400	<0.001	0.030	
		최고	8.595	305.810	557.450	62.000	429.100	4.968	55.470	
		평균	0.586	17.880	22.610	3.680	34.600	0.260	0.990	
	2004	최저	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	11.300	<0.001	2.900	
		최고	5.550	292.000	402.880	43.350	1789.000	14.216	2073.000	
		평균	0.457	13.880	14.810	1.880	161.400	0.330	30.500	
	2008	최저	<0.001	0.030	<0.001	0.010	17.440	<0.001	0.600	
		최고	7.730	284.000	329.650	29.540	1547.850	4.760	1156.500	
		평균	0.370	13.300	14.020	1.880	132.360	0.300	22.040	
	최저			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.400	<0.001	0.030
	최고			8.600	305.810	557.450	62.000	1789.000	14.210	2073.000
	평균			0.470	15.000	17.140	2.480	109.453	0.300	17.843

분석법 : 0.1N-HCl 침출성 함량(As는 1N-HCl), 전함량(Zn, Ni)
 국립농업과학원, 농업환경변동조사사업, 2010

표2-2-7. 공업단지 인근 농경지 토양 중 중금속 함량 (단위 : mg kg⁻¹)

지점수	연도별	구분	Cd	Cu	Pb	As	Zn	Cr ⁶⁺	Ni
600	2001	최저	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.420	<0.001	<0.001
		최고	25.910	324.750	149.080	22.070	243.780	13.150	49.470
		평균	0.280	9.160	9.030	1.020	8.300	0.450	0.920
	2005	최저	0.010	0.010	0.230	0.010	15.400	0.030	1.000
		최고	17.870	164.800	97.930	7.180	1105.000	2.800	167.500
		평균	0.250	6.680	7.040	0.440	78.100	0.260	18.800
최저			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.420	<0.001	1.000
최고			25.900	324.750	149.080	22.070	1105.000	4.260	167.500
평균			0.270	7.940	8.090	0.730	43.200	0.240	9.860

분석법 : 0.1N-HCl 침출성 함량(As는 1N-HCl), 전함량(Zn, Ni)
 국립농업과학원, 농업환경변동조사사업, 2010

표2-2-8. 고속도로 주변 인근 농경지 토양 중 중금속 함량 (단위 : mg kg⁻¹)

지점수	연도별	구분	Cd	Cu	Pb	As	Zn	Cr ⁶⁺	Ni
600	2002	최저	0.010	0.310	0.670	0.010	0.160	0.005	0.050
		최고	0.916	24.640	24.730	2.723	78.200	1.129	3.280
		평균	0.097	4.040	5.200	0.462	4.710	0.169	0.590

분석법 : 0.1N-HCl 침출성 함량(As는 1N-HCl), 전함량(Zn, Ni)
 국립농업과학원, 농업환경변동조사사업, 2010

표2-2-5부터 표2-2-8까지는 국립농업과학원이 취약농경지에 대해 중금속 조사를 한 결과를 요약한 것이다.

표2-2-5에서 보는 바와 같이 생활하수유입농경지 중 중금속 함량은 1999년, 2003년 그리고 2007년에 각 600점 씩 총 1,800점을 조사한 결과 대체로 낮은 수준이었으며, Zn의 경우 최고 285.5 mg kg^{-1} 까지 잔류된 것으로 조사되었으나 이 수준 역시 Zn의 우려기준인 300 mg kg^{-1} 이하로 안전한 수준 이었다. As 역시 최고 4.8 mg kg^{-1} 로 우려기준인 25 mg kg^{-1} 보다 낮아 안전한 수준임을 보여주고 있다.

표2-2-6에는 광산 인근 지역의 농경지 중 중금속 잔류 수준을 조사한 결과를 요약하여 수록하고 있다. 2000년, 2004년 그리고 2008년에 매년 600점 씩 총 1,800점에 대한 분석 결과 평균 잔류 수준은 큰 문제가 없었으나, 최고값은 모두 토양오염우려기준을 초과한 것으로 나타났다. 그리고 Cu의 최고값은 305.8 mg kg^{-1} 로 우려기준인 150 mg kg^{-1} 을 2배나 초과하는 것을 알 수 있으며, Pb의 경우도 최고 557.4 mg kg^{-1} 로 토양오염우려기준인 200 mg kg^{-1} 을 훨씬 초과하는 것을 알 수 있다. Cd 역시 토양오염우려기준인 4 mg kg^{-1} 보다 2배 이상 높은 8.6 mg kg^{-1} 을 나타냈고, As도 토양오염우려기준인 25 mg kg^{-1} 보다 2배 이상 더 높은 62.0 mg kg^{-1} 을 나타내고 있다. Zn도 토양오염우려기준인 300 mg kg^{-1} 보다 거의 6배에 가까운 $1789.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 을 또 Ni은 토양오염우려기준인 100 mg kg^{-1} 의 20배가 넘는 $2073.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 을 나타내고 있다. 이와 같이 광산인근 농경지는 모암에서 유래되는 중금속 함유량이 다른 지역보다 높으므로 중요한 관리대상지역이라고 볼 수 있다.

표2-2-7에는 공업단지 인근 농경지에 대한 중금속 잔류 수준을 나타내고 있다. 2001년과 2005년에 각각 600점씩 총 12,00점의 토양을 분석하였다. 평균 값은 대체로 우려기준 이내로 안전한 수준이었으나, 최고잔류수준은 앞의 광산 인근지역 농경지와 마찬가지로 토양오염우려기준을 초과하는 양상이었다. Cd의 경우 최고잔류수준은 25.9 mg kg^{-1} 로 우려기준인 4.0 mg kg^{-1} 의 6.5배에 해당하였고, Cu의 경우는 최고 324.7 mg kg^{-1} 로 우려기준인 150 mg kg^{-1} 의 2배가 넘는 수준이었다. Zn의 경우도 토양오염우려기준인 300 mg kg^{-1} 의 3.7배 수준인 $1105.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 을, 그리고 Ni도 토양오염우려기준인 100 mg kg^{-1} 을 넘어서는 167.5 mg kg^{-1} 을 나타내고 있다.

표2-2-8에는 2002년에 총 600점의 고속도로 인근 토양에 대한 중금속 잔류 수준을 보여주고 있으나 평균값, 최고값 모두 토양오염우려기준 이내로 안전한 수준이었다.

표2-2-9와 표 2-2-10에는 농어촌공사가 2010년과 2011년에 수행한 폐광산 인근 (2~4 km) 농경지와 매립지 인근 (2 km 이내) 농경지에 대한 중금속 조사결과가 수록되어 있다.

표2-2-9. 2010 및 2011년 폐광산 인근 (2-4 Km) 농경지도양 중 중금속 함량

지역	시료수	우려기준 초과수 (비율)		대책기준 초과수 (비율)	
강원	779	카드뮴	89 (11.42%)	비소	22 (2.82%)
		구리	3 (0.39%)		
		납	5 (0.64%)		
		비소	126 (16.17%)		
		아연	9 (1.16%)		
경기	253	카드뮴	6 (2.37%)	구리	8 (3.16%)
		구리	8 (3.16%)	비소	1 (0.40%)
		납	1 (0.40%)		
		비소	2 (0.79%)		
		아연	4 (1.58%)		
충북	479	카드뮴	21 (4.38%)	비소	4 (0.84%)
		비소	29 (6.05%)		
		아연	2 (0.42%)		
충남	705	카드뮴	20 (2.84%)	니켈	6 (0.85%)
		구리	1 (0.14%)	비소	3 (0.43%)
		납	3 (0.43%)		
		비소	4 (0.57%)		
		니켈	23 (3.26%)		
전북	511	카드뮴	31 (0.06%)		
		비소	28 (0.05%)		
전남	77	납	1 (1.30%)		
경북	1,098	카드뮴	29 (2.64%)	비소	11 (1.00%)
		구리	9 (0.82%)	아연	2 (0.18%)
		납	1 (0.09%)		
		비소	74 (6.74%)		
		아연	22 (2.00%)		
경남	862	카드뮴	11 (1.28%)	비소	1 (0.12%)
		납	2 (0.23%)		
		비소	34 (3.94%)		
		아연	8 (0.93%)		
총 계	4,764	카드뮴	215 (4.51%)	구리	8 (0.17%)
		구리	18 (0.38%)	비소	42 (0.88%)
		납	24 (0.50%)	니켈	6 (0.13%)
		비소	296 (6.21%)	아연	2 (0.04%)
		니켈	23 (0.48%)		
		아연	46 (0.97%)		

표2-2-10. 2011년 매립지 인근 2 Km 이내 경작지 토양 중 중금속 함량

지역	시료수	우려기준 초과수 (비율)	대책기준 초과수 (비율)
강원	61	카드뮴 4 (28.57%)	-
		구리 2 (14.29%)	-
경기	86	아연 1 (2.70%)	-
충북	56	카드뮴 2 (3.57%)	-
충남	176	아연 1 (2.44%)	-
전북	78	비소 3 (5.77%)	-
전남	58	-	-
경북	120	카드뮴 11 (68.75%)	-
		카드뮴 17 (2.68%)	-
		구리 2 (0.31%)	-
		비소 3 (0.47%)	-
총 계	635	아연 2 (0.31%)	-

표2-2-9에는 폐광산 주변 2~4 km에 위치한 농경 중의 중금속 함량조사 결과이다.

강원도에서 비소는 779점의 시료 중 126점 (16.17%)이 우려기준을, 22점 (2.82%)이 대책기준을 초과하였고, 카드뮴은 89점 (11.42%)이 우려기준을 초과하여 비교적 높은 초과율을 보였다.

경기도의 경우 253점의 시료 중 구리는 8점 (3.16%)이 우려기준을, 8점 (3.16%)이 대책기준을 초과하였고, 카드뮴은 6점 (2.37%)이, 아연은 4점 (1.58%)이 우려기준을 초과하였고, 비소는 1점 (0.40%)이 대책기준을 초과한 것으로 나타났다.

충청북도의 경우, 비소가 우려기준 초과 시료 29점 (6.05%), 대책기준 초과 시료 4점 (0.84%)으로 6.89%의 초과율을 보였고, 카드뮴도 21점 (4.38%)이 우려기준을 초과하는 것으로 나타났다.

충청남도의 경우에는 총 705개의 시료 중 23개 시료 (3.26%)에서 니켈이 우려기준을 초과하였고, 6개 지점 (0.85%)에서는 대책기준을 초과하는 것으로 나타났다. 또 4개 시료에서 (0.57%) 우려기준을, 3개 시료에서 (0.43%) 대책기준을 초과하는 비소가 잔류하고 있었다.

전라북도에서는 카드뮴이 0.06% 우려기준 초과, 비소는 0.05% 우려기준을 초과하여 모두 0.11%가 기준 초과 되는 것을 제외하고는 다른 중금속의 오염은 없었다.

전라남도의 경우는 1개의 시료에서 납이 우려기준을 초과하는 것으로 나타났다.

경상북도 지역의 경우 총 1098개의 시료 중 비소가 우려기준 초과 6.74%와

대책기준 초과 1.00%를 합해 7.74%가 기준을 초과하였고, 아연은 우려기준 초과 2.00%와 대책기준 초과 0.18%를 합해 2.18%의 기준을 초과하는 것으로 나타났다.

경상남도에서는 862개의 시료를 조사하였는데, 비소가 3.94%의 우려기준, 0.12%의 대책기준을 초과하였다.

표2-2-10에서 볼 때, 매립지 주변 2 km이내에 위치한 농경지에서는 우려기준을 초과한 시료가 카드뮴이 가장 많아 17개였으며, 비소 3개 그리고 구리와 아연이 각각 2개임을 알 수 있었다. 납과 니켈은 우려기준을 초과한 시료가 없었다.

2-2. 외국의 토양 중 중금속 잔류수준

외국의 농경지 토양 중 중금속 잔류 수준을 중금속의 종류별로 기준을 삼아 동일한 중금속에 대한 여러 나라의 자료를 비교하여 제시하였다.

가. 비소 (Arsenic)

표2-2-11. 국가별 토양 중 비소의 잔류수준 (단위 : mg kg⁻¹)

지역	조사연도	soil	시료수	범위	Mean
미국	1937	Various states	52	1.0~20	7.5
	1975	Tiller	1215	1.6~72	7.5
베이징	1991	All type	4095	0.01~626	11.2
	1985	Farmland	122	4.5~12.6	8.25
	1985	Drad soil	39	5.16~11.6	8.41
	1985	Chao soil	81	4.50~12.6	8.17
	1979	Luvic drab	9	5.6~12.8	8.73
	1979	Calcareous drab	7	6.4~13.1	8.84
	1979	Yellow-brown	7	5.52~35.9	12.9
난징(남경)	1979	Cultivated yellow-brown	5	7.32~11.9	9.84
	1979	fluviogenic	6	8.40~14.6	11.4
상하이	1983	Farmland	110	6.4~17.6	9.84
텐진(천진)	1984	All types	101	3.6~22.1	9.84
	1982	All types	35	3.57~14.4	6.67
충칭(중경)		purple	23		6.99
		Yellow-earth	9		6.89
광둥성	1982	All types	72	1.05~95.0	13.5
광저우	1983	All types	19	1.53~95.0	17.4
황토 지역	1991	Loess			12.7
상강		Paddy	37	2.36~35.6	
텐산(천산) 산맥의 철광지역	1982	All types	98	0.86~18.47	
Tulufan	1984	All types	44	3.75~18.3	
양중	2007	Top soils	76	6~16	10.2
		Subsoils	21	9.2~14.3	12.0
멕시코	1942	All type	18	2~40	14
프랑스	1936	All type		0.1~5	2
독일	1929	Berlin region	2	2.5~4.6	3.5
이탈리아	1913	All type	20	1.8~60	20
아르헨티나	1921	All type	20	0.8~22	5

표2-2-11. 국가별 토양 중 비소의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	조사연도	soil	시료수	범 위	Mean	
일본	1981	All type	358	0.4~70	11	
	1981	Paddy	97	1.2~38.2	9	
	미야기현	1954	논	23	0~958	255.8
			밭	2	139~429	284.0
남아프리카공화국	1946		2	3.2~3.7	3	
스위스	1930		2	2~2.4	2.2	

비소의 토양 중 함량과 관련한 외국의 자료는 1913~2007년 사이의 분석결과이다. 이 중 농경지 토양으로 확인된 경우는 중국 베이징 지역에서 1985년 122점을 분석한 결과 최고 12.6 mg kg⁻¹에 평균 8.25 mg kg⁻¹ 수준으로 조사된 것과, 1979년 난징 지역에서 황갈색 경작 토에서 최고 11.9 mg kg⁻¹에 평균 9.84 mg kg⁻¹이 조사된 것, 상하이의 농경지에서는 110점을 분석한 결과 최고 17.6 mg kg⁻¹에 평균 9.84 mg kg⁻¹이 검출된 것을 알 수 있다. 또한 상강 주변 논토양 37점을 분석한 결과 최고 35.6 mg kg⁻¹이 검출된 결과도 있다. 일본에서도 1981년 논토양 97점을 분석한 결과 최고 38.2mg kg⁻¹에 평균 9.0 mg kg⁻¹이 검출되었고 1954년 논토양과 23점을 분석한 결과 최고 958 mg kg⁻¹에 평균 255.8 mg kg⁻¹이 검출되었다.

나. 카드뮴 (Cadmium)

표2-2-12. 국가별 토양 중 카드뮴의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	조사연도	soil	시료수	범 위	Mean	
영국	잉글랜드	Top soils	37	<1.0~4.0	0.3	
		Top soils	51	0.40~2.3	1.78	
	웨일스	soils	7	0.4~0.9	0.6	
		1982	Top soils	121		1.1
	잉글랜드와 웨일스	Top soils	689	0.08~10	(Median 1.0)	
		Top soils	10	0.27~1.04	0.63	
	클래스고	1986	Urban soils			0.53
	런던 자치구	1988	Urban soils			1.0
	런던	1991	Urban soils			1.0
	스코틀랜드	1982	Top soils	10	<0.3~1.5	0.77
soils			23	<0.005~1.4	0.83	
		Top soils	62	<0.25~1.4	0.66	

표2-2-12. 국가별 토양 중 카드뮴의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	조사연도	soil	시료수	범 위	Mean	
미국	피츠버그	1982	soils	36	0.12~1.82	0.56
		1982	Top soils	254		0.56
		1980				1.2
캐나다	브리티시 컬럼비아주		Top soils	33	<0.1~4.67	0.88
			Top soils	39	0.40~1.7	0.97
	온타리오주		soils	8	0.55~1.72	1.14
			Top soils	296	0.1~8.1	0.56
호주	1982		Top soils	7	0.032~0.212	0.092
			Top soils	112	0.013~0.56	0.28
스웨덴			Top soils	36	0.03~2.3	0.22
노르웨이			Top soils	15	0.02~3.7	0.57
덴마크			Top soils	51		0.26
독일	함부르크	1986	Urban soils			2.0
스페인	에브로강유역	2008	Agricultural topsoils	624	<0.01~1.00	0.41
	살라망카	1994	Urban soils			0.53
	코루냐	2001	Urban soils			0.3
세르비아		2005		174	0.01~3.60	1.42
	로마	1995	Urban soils			0.31
이탈리아	폴리아주, 무르자	2009	Polluted Silt loam	6		6.2
			Polluted Loam	6		5.6
			Polluted Loam	6		5.9
			Clay loam	6		-
	마르케주, 파나	2009	Sandy clay loam			-
나이지리아	Ishiagu	2011	Agricultural soils	26	<0.05~10.00	2.5
	카노, Koki		Urban garden soils	5	0.24~0.69	0.7
	카노, Zungeru		Urban garden soils	5	0.46~2.40	1.4
	카노, Kwakwaci	2010	Urban garden soils	5	0.09~0.99	0.5
	카노, Gada		Urban garden soils	5	0.11~1.63	1.0
	카노, Katsina road		Urban garden soils	4	0.38~2.40	1.2
	카노, Legal		Urban garden soils	4	0.07~0.10	0.09
이집트		2005	Black fine soil	5		-
		2005	Black fine soil	5		-

표2-2-12. 국가별 토양 중 카드뮴의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	Year	soil	시료수	범 위	Mean	
폴란드	1980	Urban soils			0.73	
방글라데시		무두질 공장지역	12	0.87~1.80	1.26	
	1996	도자기 공장지역	13	0.11~0.58	0.33	
		섬유 공장지역	15	0.24~0.58	0.48	
태국	1988	Urban soils			0.29	
필리핀	1988	Urban soils			0.57	
중국	2002	Crop soils	38	0.00~1.47	0.58	
	중국 남부	2002	Paddy soils	16	0.00~0.90	0.34
		2002	Natural soils	18	0.00~1.76	0.52
		양중	2007	Top soils	76	0.22~0.71
	2007		Subsoils	21	0.17~0.29	0.2
	홍콩	2001	Urban soils			2.18
		1996	Urban soils			1.89
		1997	Urban soils			0.94
		2001	Urban parks	594	0.02~5.89	2.18
		2001	Country parks	300	0.02~0.37	0.15
일본	1970	홋카이도	논	7	0.3	
			밭	22	0.1	
		도호쿠	논	65	0.7	
			밭	29	0.6	
		간토	논	62	0.5	
			밭	42	0.4	
		호쿠리쿠	논	54	0.8	
			밭	5	0.8	
		도카이	논	21	0.2	
			밭	9	0.2	
		긴키	논	24	0.4	
			밭	4	0.2	
		中国四国	논	47	0.4	
			밭	18	0.4	
		규슈	논	45	0.4	
			밭	30	0.3	
일본 전역	1971	총 시료수	4,106	0.39		
		오염토양	364	1.01		
		일반토양	3,742	0.33		

카드뮴의 경우 대부분의 표층토에서 낮은 수준으로 잔류하고 있는 것을 알 수 있다. 홍콩에서 2001년 평균 2.18 mg kg⁻¹ 수준으로 잔류된 것이 가장 높은 수치이며 평균적으로는 세계 각국에서 1.0 mg kg⁻¹ 이하의 토양이 많은 것으로 조사되었다. 그리고 1970년과 1971년에 조사된 일본의 경작지 토양의 경우 오염 지역을 제외하고 모두 1.0 mg kg⁻¹ 이하의 토양이 많은 것으로 조사되었다.

다. 크롬 (Chrome)

표2-2-13. 국가별 토양 중 크롬의 잔류수준 (단위 : mg kg⁻¹)

Region	조사연도	soil	시료수	범 위	Mean	
	나폴리		173	1.7~73	11	
이탈리아	폴리아주, 무르자	Polluted Silt loam	6		127.2	
		Polluted Loam	6		939.7	
		Polluted Loam	6		1738.5	
		Clay loam	6		550	
	마르케주, 파나	Sandy clay loam	6		-	
태국	방콕	1998	Urban soils		26.4	
필리핀	마닐라	1988	Urban soils		114	
		2002	Crop soils	38	14.8~317	71.4
중국	중국 남부	2002	Paddy soils	16	19.1~90.6	57.1
		2002	Natural soils	18	13.3~144	51.8
		Greenhouses field	83	30.80~107.03	67.5	
	베이징 근교	2010	Uncovered vegetable field	18	25.42~74.03	56.79
			Maize field	37	16.53~62.30	46.49
Forest field			10	14.70~41.87	35.44	
	양중	2007	Top soils	76	65.2~91	77.2
		2007	Subsoils	21	74.1~90.4	80.9
	애버딘	1996			23.9	
미국	Serbian			2.08~5.43	3.57	
	세르비아	2005		0.01~260	46.3	
스페인	에브로강유역	2008	Agricultural topsoils	624	<0.1~98	20
	갈리시아	2003			0~30	11
	코루냐	2001	Urban soils			39
	마드리드	1998	Urban soils			74.7
폴란드	바르샤바	1980	Urban soils		32	
독일	함부르크	1986	Urban soils		95.4	

표2-2-13. 국가별 토양 중 크롬의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

Region	조사연도	soil	시료수	범 위	Mean	
일본	총社市中原	논(水口)			49	
		논(中央)			31	
		논(水尻)			23	
		논(水尻)			33	
	총社市真壁	1971	논			121
						71
	총社市中原		논			36
						25
						15
						14

크롬의 경우 중국에서 2010년 시설재배지 83점을 분석한 결과 30.80~107.03 mg kg⁻¹ 범위에 평균 67.5 mg kg⁻¹, 노지채소 밭에서는 18점을 분석한 결과 25.42~74.03 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 56.79 mg kg⁻¹이 검출되었으며, 옥수수 밭에서는 37점의 시료를 분석한 결과 16.53~62.30 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 46.49 mg kg⁻¹이 검출되었고, 산림토에서는 10점에서 평균 35.44 mg kg⁻¹이 검출된 것으로 조사되었다. 일본에서 1971년에 분석된 결과 14~121 mg kg⁻¹ 수준으로 검출되었다.

라. 구리 (Copper)

표2-2-14. 국가별 토양 중 구리의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	Year	soil	시료수	범 위	Mean
미국	1978	All type			45.4
					297
					87.4
Serbian	1986	Typical Soil		8.36~45.7	22.4
				12	<1~390
나폴리	1999			6.2~286	74
				6	
이탈리아	2009	폴리아주, 무르자		6	152.4
				6	334.1
				6	1000
				6	100
세르비아	2005		174	4.30~13.4	8.64

표2-2-14. 국가별 토양 중 구리의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	조사연도	soil	시료수	범 위	평균		
스페인	에브로강유역	2008	Agricultural soils	624	2~122	17	
	갈리시아	2003			273~5421	1492	
	코루냐	2002	urban soils			60	
	마드리드	2002	urban soils			71.7	
독일	함부르크	1986	urban soils			146.6	
태국	방콕	1998	urban soils			41.7	
영국	글래스고	1986	urban soils			97	
	런던 자치구	1988	urban soils			49	
	런던	1991	urban soils			73	
필리핀	마닐라	1988	urban soils			98.7	
방글라데시	무두질 공장지역	1996	Agricultural land	12	35~217	115.5	
	도자기 공장지역	1996	Agricultural land	13	28~56	38.4	
	섬유 공장지역	1996	Agricultural land	15	29~357	163.7	
나이지리아	Ishiagu	2011	agricultural soils	26	4.00~36.5	11.46	
		2002	Crop soils	38	4.10~189	33.0	
중국	중국 남부	2002	Paddy soils	16	3.02~43.9	20.7	
		2002	Natural soils	18	1.41~44.0	14.7	
				30	24.1~457.5	71.2	
	베이징	2004			6~37.9	19.7	
	베이징 근교			Greenhouses field	83	9.85~95.00	37.2
			2010	Uncovered vegetable field	18	9.27~46.44	23.37
				Maize field	37	6.14~24.63	16.76
				Forest field	10	5.01~20.20	12.74
	양중	2007	Topsoils	76	23~52.1	33.9	
		2007	Subsoils	21	24.9~40.2	32.1	
홍콩	2001	urban soils			24.8		
	1996	urban soils			27.5		
	1997	urban soils			16.1		
	2001	Urban parks	594	5.12~190	24.8		
	2001	Country parks	300	2.57~13.8	5.17		
애버딘	1996	urban soils			27		
일본	홋카이도		논	7		0.9	
			밭	22		0.6	
	도호쿠	1970	논	64		4.5	
			밭	29		5.5	
	관동		논	65		4.0	
			밭	51		1.8	

표2-2-14. 국가별 토양 중 구리의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	조사연도	soil	시료수	범 위	평균		
일본	1971	호쿠리쿠	논	54		13.5	
			밭	5		8.4	
		도카이	논	21		1.3	
			밭	9		1.1	
		간키	논	33		2.5	
			밭	3		1.0	
		中国四国	논	49		3.7	
			밭	17		2.3	
		규슈	논	45		2.4	
			밭	30		1.0	
				총 시료수	4,106		9.00
		일본 전역		오염지토양	423		25.98
		일반토양	3,683		7.05		

구리의 경우, 중국의 베이징 근교에서 2010년 시절채배지 토양 83점을 조사한 결과, 9.85~95.00 mg kg⁻¹로 평균 37.2 mg kg⁻¹이, 노지채소재배 토양 18점에서는 9.27~46.44 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 23.37 mg kg⁻¹이, 그리고 옥수수 재배 토양 37점에서는 6.14~24.63 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 16.76 mg kg⁻¹이 검출된 것으로 보고되었다. 일본의 경우에는 가장 높게 측정된 지역은 오염지역 423점을 조사한 결과 25.98 mg kg⁻¹로 나타났다.

마. 납 (Lead)

표2-2-15. 국가별 토양 중 납의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	Year	soil	시료수	범 위	Mean
미국	1986	Typical Soil	15	1~890	
	Serbian			12.3~74.7	29.4
	피츠버그	1980	urban soils		398
	보스턴	1979	urban soils		800
	버밍엄	1982	urban soils		570
영국	클래스코	1986	urban soils		216
	Central London	1980	urban soils		647
	Greater London	1980	urban soils		250
	Outer London	1979	urban soils		322
	런던 자치구	1988	urban soils		294
	런던	1991			

표2-2-15. 국가별 토양 중 납의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	조사연도	soil	시료수	범 위	평균	
중국	베이징		30	25.5~207.5	66.2	
		2004			11.5~38.2	25.1
	베이징 근교	2010	Greenhouses field	83	7.83~27.40	17.98
			Uncovered vegetable field	18	6.69~21.24	16.19
			Maize field	37	7.57~20.14	15.74
			Forest field	10	6.58~24.36	16.28
	양중	2007	Topsoils	76	28.3~71	35.7
			Subsoils	21	19.9~35.7	26.7
	홍콩	2001	Urban soils			93.4
		1996	Urban soils			100
		1997	Urban soils			89.9
	애버딘	1996	Urban parks	594	5.27~404	93.4
			Country parks	300	3.58~28.2	8.66
			Urban soils			94.4
	중국 남부	2002	Crop soils	38	10.1~180	40.0
Paddy soils			16	15.9~49.9	35.1	
Natural soils			18	7.74~54.7	29.9	
나폴리	1999		173	4~3420	262	
이탈리아	로마	Urban soils			330.8	
		Polluted silt loam	6		134.5	
	폴리아주, 무르차	2009	Polluted loam	6		179.6
			Polluted loam	6		230.8
			Clay loam	6		-
	마르케주, 파나	2009	Sandy clay loam	6		87
스페인	알메리아	Greenhouse soils	160	15.0~405.0	69.9	
		Control soil samples	160	15.3~74.2	46.2	
	에브로강유역	2008	Agricultural topsoils	624	4~61	17
	살라망카	1994	Urban soils			53.1
	코루냐	2001	Urban soils			309
마드리드	1985	Urban soils			621	
세르비아	2005		174	1.20~71.5	41.5	
폴란드	바르샤바	1980	Urban soils		57	
독일	함부르크	1986	Urban soils		218.2	
태국	방콕	1998	Urban soils		47.8	
필리핀	마닐라	1988	Urban soils		213.6	
나이지리아	Ishiyagu	2011	Agriculture soils	26	<0.05~13671	640.25

표2-2-15. 국가별 토양 중 납의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	Year	soil	시료수	범 위	Mean	
방글라데시		무두질 공장지역	Agricultural land	12	20.5~89.7	68.1
	1996	도자기 공장지역	Agricultural land	13	17.1~39.4	28.6
		섬유 공장지역	Agricultural land	15	33.0~89.6	56.4

납의 경우를 보면, 중국 베이징 지역의 오염토양에서는 25.5~207.5 mg kg⁻¹ 범위에서 평균 66.2 mg kg⁻¹이 검출되었으나, 비 오염지역으로 간주된 농경지 토양에서는 2004년 조사에서 11.5~38.2 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 25.1 mg kg⁻¹이, 2010년에는 시설재배지 토양 83점에서 7.83~27.40 mg kg⁻¹로 평균 17.98 mg kg⁻¹, 노지 채소 경작토양 18점은 6.69~21.24 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 16.19 mg kg⁻¹이, 또 옥수수 밭 토양 37점은 7.57~20.14 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 15.74 mg kg⁻¹로 조사되었다.

스페인의 경우 2004년 시설지배지 토양 160점을 조사한 결과 15.0~405.0 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 69.9 mg kg⁻¹이 검출되었으며 대조 토양 160점을 분석한 결과는 15.3~74.2 mg kg⁻¹로 평균 46.2 mg kg⁻¹이 검출된 것으로 조사되었다.

바. 수은 (Mercury)

표2-2-16. 국가별 토양 중 수은의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	조사연도	soil	시료수	범 위	Mean
미국	1986	Typical Soil		>0.01~5	
		피츠버그	1980	Urban soil	
스페인	2008	Agricultural topsoils	624	1~216	34
중국	2006	상하이	suburb soil	0.031~0.169	
	2002	난징	suburb soil	0.122~0.233	
	2005	우한	suburb soil	0.006~0.447	
	2003	타이위안(태원)	suburb soil	0.061~0.297	
	2006	구이양(귀양)	Farmland soil	0.13~0.42	
	2006	충칭(중경)	Agricultural soil	0.045~0.116	
	2006	장강 델타	Agricultural soil	0.2~1.04	
캐나다	1998	주장강 델타	Agricultural soil	0.16~0.84	
	2005	Agricultural soil		0.005~0.13	
벨기에	2005	Agricultural soil		0.03~4.19	0.24
	2002	Background		0.006~0.272	

수은의 경우, 중국에서는 2006년 구이양 지역의 농경지 토양에서 0.13~0.42 mg kg⁻¹, 충칭 지역에서는 0.045~0.116 mg kg⁻¹, 장강의 삼각주 경작 토양에서는 0.2~1.04 mg kg⁻¹ 그리고 주장강의 삼각주 경작토양에서는 0.16~0.84 mg kg⁻¹의 범위에서 검출되었다.

캐나다의 경우 1998년 조사에서 농경지 토양에서는 0.005~0.13 mg kg⁻¹ 범위에서 그리고 벨기에의 경우는 2005년 농경지 토양에서 0.03~4.19 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 0.24 mg kg⁻¹이 검출되었다고 보고되어있다.

사. 니켈 (Nickel)

표2-2-17. 국가별 토양 중 니켈의 잔류수준 (단위 : mg kg⁻¹)

지역	조사연도	Soil	시료수	범 위	Mean	
미국	서드버리 북부	1978	All type		6.45	
	서드버리 중심부	1978	All type		110	
	서드버리 남부	1978	All type		81.6	
	Serbian			16.6~45.6	25.8	
중국		1986	Typical Soil	25	0.1~1520	
				30	6.1~37.2	
		2004			11~59.3	27.9
	베이징 근교		Greenhouses field	83	11.42~37.54	25.17
		2010	Uncovered vegetable field	18	9.41~33.27	23.91
			Maize field	37	8.82~28.74	21.75
			Forest field	10	7.50~25.72	18.59
	양중	2007	Topsoils	76	29~47	38.5
		2007	Subsoils	21	29.3~45.1	33.4
	애버딘	1996				14.9
중국 남부	2002	Crop soils	38	3.08~62.5	21.2	
	2002	Paddy soils	16	4.54~32.7	17.0	
	2002	Natural soils	18	3.55~78.6	16.5	
폴란드	바르샤바	1980	Urban soils		12	
			greenhouse soil	160	17.5~59.5	38.6
알메리아			control soil	160	17.6~28.3	23.4
스페인	에브로강유역	2008	Agicultural topsoils	624	2~66	19
	코루냐	2001	Urban soils			28
	마드리드	1998	Urban soils			14.1
독일	함부르크	1986	Urban soils		62.5	
필리핀	마닐라	1988	Urban soils		20.9	

표2-2-17. 국가별 토양 중 니켈의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	조사연도	Soil	시료수	범 위	Mean	
나이지리아	Ishiagu	2011	Agriculture soils	26	2.00~39.5	16.38
이탈리아	폴리아주, 무르자	2009	Polluted Silt loam	6		36.1
			Polluted Loam	6		60.6
			Polluted Loam	6		72.5
			Clay loam	6		130
			마르케주,파나	Sandy clay loam	6	
방글라데시	무두질 공장지역	1996	Agricultural land	12	47~112	89.8
	도자기 공장지역	1996	Agricultural land	13	25~90	50.1
	섬유 공장지역	1996	Agricultural land	15	37~65	51.1
세르비아	2005	Urban soils	174	3.40~771	320	
일본	總社市中原	1971	논			110
			논			160
			논			51
			논			84
	總社市真壁		논			411
						335
						182
	總社市中原		논			171
					66	
					81	

니켈의 경우, 중국의 베이징 근교에서 2010년 시설재배지 토양 83점을 조사한 결과 11.42~37.54 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 25.17 mg kg⁻¹이, 노지채소 재배지 토양 18점에서는 9.41~33.27 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 23.91 mg kg⁻¹이 그리고 옥수수재배토양 37점에서는 8.82~28.74 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 21.75 mg kg⁻¹이 검출되었다고 보고되었다. 또한 스페인의 알메리아 지역의 시설재배지 토양 160점에서는 17.5~59.5 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 38.6 mg kg⁻¹이 검출되었으나 대조 토양 160점에서는 17.6~28.3 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 23.4 mg kg⁻¹이 검출되었다고 보고되었다. 일본의 경우 1971년 자료에 따르면 51~411 mg kg⁻¹ 정도가 검출되었다.

아. 아연 (Zinc)

표2-2-18. 국가별 토양 중 아연의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	조사연도	soil	시료수	범 위	Mean	
미국	서드버리 북부	1978	All type		61.3	
	서드버리 중앙	1978	All type		48.7	
	서드버리 남부	1978	All type		66.7	
	Serbian			61.3~401	110	
	1986	Typical Soil	40	1.5~2000		
중국	베이징			25.7~196.9	87.6	
		2004		27.9~119.8	59.6	
	베이징 근교	2010	Greenhouses field	83	34.99~139.30	87.68
			Uncovered vegetable field	18	28.98~68.47	38.47
Maize field			37	18.70~75.79	49.11	
Forest field			10	14.99~72.16	40.32	
애버딘	1996	urban soils			58.4	
양중	2007	Topsoils	76	77.2~133	98.1	
	2007	Subsoils	21	62.8~101	79.4	
홍콩	2001	urban soils			168	
	1996	urban soils			93.9	
	1997	urban soils			58.8	
	2001	Urban parks	594	38.7~435	168	
	2001	Country parks	300	23.8~164	76.6	
	2002	Crop soils	38	11.1~284	84.7	
중국 남부	2002	Paddy soils	16	18.5~107	61.1	
	2002	Natural soils	18	14.8~110	50.7	
	2002					
나폴리	1999		173	30~2550	251	
이탈리아	폴리아주, 무르자	Polluted Silt loam	6		100.2	
		Polluted Loam	6		682.8	
		Polluted Loam	6		896.7	
		Clay loam	6		200	
마르케주, 파나		Sandy clay loam	6		1500	
스페인	에브로강유역	2008	Agicultural topsoils	624	11~175	57
	갈리시아	2003			73~894	242
	코루냐	2001	urban soils			206
	마드리드	1998	urban soils			210
세르비아	2005		174	6.60~40.3	21.8	
폴란드	바르샤바	1980	urban soils		166	

표2-2-18. 국가별 토양 중 아연의 잔류수준

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	Year	soil	시료수	범위	Mean	
독일	함부르크	1986	urban soils		516	
태국	방콕	1998	urban soils		118	
필리핀	마닐라	1988	urban soils		440	
나이지리아	Ishiagu	2011	Agriculture soils	26	13.5~1460	175.29
	카노, Koki	2010	Urban garden soils	5	64.8~186.3	136.2
	카노, Zungeru		Urban garden soils	5	77.7~159.0	118.0
	카노, Kwakwaci		Urban garden soils	5	38.6~213.9	90.1
	카노, Gada		Urban garden soils	5	52.4~226.4	167.4
	카노, Katsina road		Urban garden soils	4	121.7~227.5	154.7
	카노, Legal		Urban garden soils	4	11.2~38.7	22.9
방글라데시	무두질 공장지역		1996	Agricultural land	12	73~477
	도자기 공장지역	Agricultural land		13	106~465	286.5
	섬유 공장지역	Agricultural land		15	53~354	206.5
일본	홋카이도	1970	논	17		12.9
			밭	22		9.5
	도호쿠		논	65		23.2
			밭	29		16.8
	관동		논	65		11.9
			밭	51		7.0
	호쿠리쿠		논	54		62.5
			밭	5		52.2
	도카이		논	21		3.0
			밭	9		4.8
	긴키		논	33		10.6
			밭	3		2.7
	中国四国		논	49		8.9
			밭	17		20.5
규슈	논	45		9.9		
	밭	30		5.5		
일본 전역	1971	총 시료수	4,106		14.64	
		오염지토양	417		35.08	
		일반토양	3,689		12.33	

아연의 경우, 2010년 중국에서는 베이징 근교 시설재배지 토양 83점에서 34.99~139.30 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 87.68 mg kg⁻¹, 노지채소 재배지 토양 18점에서는 28.98~68.47 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 38.47 mg kg⁻¹이, 옥수수 재배지 토양 37점에서는 18.70~75.79 mg kg⁻¹의 범위에서 평균 49.11 mg kg⁻¹이 검출되었다. 일본의 경우 호쿠리쿠지역의 농경지 토양에서 62.5 mg kg⁻¹ 정도로 가장 높게 나타났다.

II-3. 유해물질

3-1. 항생제의 농경지 토양 중 잔류수준

국내에는 항생물질 9계열과 합성항균제 2계열 등 총 11계열의 항생물질이 사용되어 왔으며, 2005년에는 국내 생산 897품목과 수입하여 사용하는 220품목 등 합계 1117품목이 허가되어 사용되기도 하였다. 동물용 항생제 약 80% 정도 사료첨가 목적으로 사용되어 왔으나 2011년 7월 1일부터 사료첨가용 항생제의 사용이 금지되므로 항생제의 사용량은 줄어들 것으로 예상된다.

페니실린계 항생제 13종, 세탈로스포린계 항생제 7종, 퀴놀론계 항생제 15종, 아미노글리코사이드계 항생제 14종, 테트라사이클린계 항생제 11종, 린코사마이드계 항생제 3종, 클로람페니콜계 항생제 3종, 마크롤라이드계 항생제 16종, 폴리펩타이드계 항생제 5종 등이 사용되었으며, 합성항균제로는 설파제 22종, 니트로후란계 4종이 사용되어졌다.

국내에서의 항생물질 관련 모니터링 조사는 매우 제한적으로 이루어졌다. 국립환경과학원에서는 2006년 환경 중 의약물질 분석방법연구 및 노출로 실태조사를 수행하여 하수와 축산오수 유입수와 처리장에서 처리수의 배출수 그리고 하천에서의 모니터링을 실시하였으며, 그 중 항생물질의 잔류수준은 아래에 수록하였다.

3-1-1. 수질 중 항생제의 잔류 수준

일반 생활 하수처리장과 축산폐수처리장에 유입되는 하수 중에 함유되어 있는 항생제의 잔류수준을 조사하고, 또 유입된 하수가 처리장에서 처리된 후 방류수중의 잔류수준을 평가 하였으며, 다시 방류수가 유입된 하천에서의 잔류수준을 평가한 일련의 계획된 조사 결과를 아래의 표2-3-1, 표2-3-2 및 표2-3-3에 수록하고 있다.

가. 하수/축산폐수처리장 유입수

표2-3-1. 하수/축산폐수처리장 유입수의 각 지점별 항생제의 검출현황

(단위 : ng ml⁻¹)

구분	지점	SMO	SMA	STI	CTC	OTC	CAR	ENR	CIP	
하수 유입수	A-1-1-a	우기	0.185	ND	0.222	ND	ND	ND	ND	0.008
		건기	1.009	ND	0.194	ND	ND	ND	ND	0.025
	A-1-2-a	우기	0.116	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.019
		건기	ND	ND	ND	12.311	ND	ND	ND	0.103
	B-1-1-a	우기	0.198	ND	0.137	ND	ND	ND	ND	0.015
		건기	0.508	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	C-1-1-a	우기	ND	ND	0.125	ND	ND	ND	ND	0.055
		건기	0.234	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.087
	D-1-1-a	우기	0.176	ND	0.143	ND	ND	ND	ND	0.03
		건기	0.483	ND	ND	ND	ND	ND	0.08	0.14
축산 유입수	A-2-2-a	우기	ND	0.141	4.693	ND	ND	ND	0.121	0.02
		건기	ND	29.393	355.186	31.082	2.174	ND	0.08	0.014
	B-2-1-a	우기	3.723	90.909	707.245	ND	1.878	ND	0.26	0.023
		건기	16.226	658.511	2293.934	ND	1.023	ND	ND	ND
	C-2-1-a	우기	4.667	257.258	1214.537	ND	ND	ND	ND	ND
		건기	5.002	260.814	888.318	ND	24.795	ND	0.296	0.318
	D-2-1-a	우기	ND	59.528	594.286	ND	0.5	ND	0.552	0.1
		건기	ND	128.697	600.716	15.722	5.107	ND	ND	0.023
	D-2-2-a	우기	ND	ND	0.193	ND	0.101	ND	ND	0.004
		건기	ND	ND	4.724	ND	ND	ND	ND	ND

SMO: 설파메톡시졸, SMA: 설파메타진, STI: 설파티아졸, CTC: 클로테트라시크린, OTC: 옥시테트라시클린, CAR: 카바독스, ENR: 엔로플록사신, CIP: 시프로플로삭신

표2-3-1에서 볼 때 일반하수의 경우에 설파메톡시졸 (SMO), 설파티아졸 (STI), 클로테트라사이클린 (CTC) 및 시프로플로삭신 (CIP)가 극미량 검출되었다. 가장 높게 나타난 것은 건기에 CTC가 12.3 $\mu\text{g L}^{-1}$ (ppt) 수준이었으며, SMO, STI 및 CIP는 조사 시 거의 모든 시료에서 검출되었다. 한편 축산 폐수 처리장에 유입되는 오수 중에는 일반 하수 유입수보다 훨씬 높은 수준의 항생 물질이 잔류된 것으로 조사되었다. 조사 지역에 따라 차이는 있었으나 설파메톡시졸 (SMO)은 최고 16.2 mg L^{-1} 을, 설파메타진 (SMA)은 658.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ (=0.65 mg L^{-1}), 설파티아졸 (STI)은 2293.9 $\mu\text{g L}^{-1}$ (=2.29 mg L^{-1})로 매우 높은 수준을 나타냈고, 클로테트라시크린 (CTC)도 최고 15.7 $\mu\text{g L}^{-1}$, 옥시테트라사이클린 (OTC)은 24.7 $\mu\text{g L}^{-1}$, 엔로플록사신 (ENR)도 0.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ 수준에서 그리고 시프로플로삭신 (CIP)은 0.318 $\mu\text{g L}^{-1}$ 수준에서 최고 농도를 보인

것으로 조사되었다.

나. 하수/축산폐수처리장 방류수

표2-3-2. 하수/축산폐수처리장 방류수의 각 지점별 항생제의 검출현황

(단위 : ng ml⁻¹)

구분	지점		SMO	SMA	STI	CTC	OTC	CAR	ENR	CIP	
하수 방류수	A-1-1-c	우기	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		건기	0.393	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	
	A-1-2-c	우기	0.123	ND	0.131	ND	ND	ND	ND	0.01	
		건기	0.38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02	
	B-1-1-c	우기	0.149	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.014	
		건기	0.323	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.012	
	C-1-1-c	우기	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.007	
		건기	0.167	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.003	
	D-1-1-c	우기	0.155	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
		건기	0.295	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.008	
	축산 방류수	A-2-1-c	우기	0.129	0.113	0.205	ND	ND	ND	ND	ND
			건기	0.367	1.199	1.081	ND	ND	ND	ND	ND
A-2-2-c		우기	ND	ND	0.219	ND	0.138	ND	0.146	ND	
		건기	ND	ND	0.329	ND	ND	ND	0.059	ND	
B-2-1-c		우기	0.522	1.856	4.077	ND	0.689	ND	ND	0.009	
		건기	0.323	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.012	
C-2-1-c		우기	ND	ND	0.131	ND	ND	ND	ND	ND	
		건기	ND	0.023	0.174	ND	ND	ND	ND	ND	
D-2-1,2-c		우기	0.114	0.021	0.165	ND	0.101	ND	ND	0.01	
		건기	0.182	0.024	0.186	ND	ND	ND	ND	0.026	

SMO: 설파메톡시졸, SMA: 설파메타진, STI: 설파티아졸, CTC: 클로테트라시클린, OTC: 옥시테트라시클림, CAR: 카바독스, ENR: 엔로플록사신, CIP: 시프로플로사신

표2-3-2에서 보면, 표2-3-1와 동일한 지역에서 처리된 배출수 중에는 대체로 유입수보다 낮은 수준을 나타냈는데, SMO의 경우 A-1-2지점에서는 오히려 증가된 수준으로 나타났다. 이는 동일한 유입수에 대한 처리후의 결과가 아니기 때문에 나타난 결과라고 본다. 그러나 유입수 중 높은 잔류농도를 나타냈던 SMA와 STI 및 OTL 등은 폐수 처리 방류수 중에서 매우 낮은 농도로 잔류하는 것을 알 수 있었는데, 이는 폐수 처리 과정 중 분해되기 보다는 흡착되어 침전된 것으로 볼 수 있으므로 슬러지에 대한 조사도 필요하다고 본다.

다. 하수 하천수

표2-3-3. 하수 하천수의 각 지점별 항생제의 검출현황

(단위 : ng ml⁻¹)

지 점		SMO	SMA	STI	CTC	OTC	CAR	ENR	CIP
A-1-3	1차	ND	ND	0.119	ND	ND	ND	ND	ND
	2차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.035	ND
A-1-4	1차	ND	ND	0.119	ND	ND	ND	ND	ND
	2차	0.224	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.021
A-1-5	1차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B-1-2	1차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001
	2차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.009	0.14
B-1-3	1차	0.122	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2차	0.173	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.027
B-1-4	1차	ND	ND	0.122	ND	ND	ND	ND	ND
	2차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
C-1-2	1차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2차	ND	ND	0.138	ND	ND	ND	0.012	0.089
C-1-3	1차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001
	2차	0.121	ND	0.201	ND	ND	ND	ND	0.004
C-1-4	1차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2차	ND	ND	0.151	ND	0.239	ND	ND	ND
D-1-2	1차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.001
	2차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.006
D-1-3	1차	0.123	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2차	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.004
D-1-4	1차	0.114	ND	0.117	ND	ND	ND	ND	0.002
	2차	ND	0.518	0.283	ND	ND	ND	ND	ND

SMO: 설파메톡시졸, SMA: 설파메타진, STI: 설파티아졸, CTC: 클로테트라시클린, OTC: 옥시테트라시클린, CAR: 카바독스, ENR: 엔로플록사신, CIP: 시프로플로사신

표2-3-3에는 하·폐수 처리장의 처리수가 주변 하천에 방류되어 섞인 후 하천에서의 항생물질 잔류수준을 평가한 결과이다. 총 24회의 조사과정에서 CIP가 11회 검출되어 45.8%의 검출빈도를 나타내었으나 검출된 시료의 잔류수준은 0.001~0.08 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 낮은 수준이었다. 그다음으로 STI가 8회 (33.3%) 검출되었으며 잔류수준은 0.11~0.28 $\mu\text{g L}^{-1}$ 범위였고, SMO는 6회 (25%)의 검출빈도에 0.11~0.22 $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위의 잔류수준을 보였다. 그 외에 ENR은 3회 (12.5%) 그리고 SMA와 OTC는 각각 1회의 검출빈도를 나타내는 것으로 조사되었다.

3-1-2. 축산 농가 주변 환경 중 항생제의 잔류 수준

한편 수의검역원에서는 축산농가 주변의 환경 중 항생제 잔류수준을 조사하였는데, 표2-3-4에는 닭 및 돼지 사육 농가의 지하수와 퇴비, 그리고 돼지 사육 농가 주변 토양 중 항생제 검출빈도를 보여주고 있다.

표2-3-4. 축산 농가에서의 항생제 검출빈도

	닭 농가 지하수		닭 농가 퇴비		돼지 농가 지하수		돼지 농가 퇴비		돼지 농가 토양	
	6	(%)	6	(%)	26	(%)	27	(%)	7	(%)
SMT	1	16.67	5	83.33	16	61.54	20	74.07	3	42.86
SMTZ	4	66.67	5	83.33	21	80.77	27	100.00	6	85.71
STZ	4	66.67	6	100.00	18	69.23	26	96.30	7	100.00
ENFLO	4	66.67	0	0.00	7	26.92	25	92.59	2	28.57
Penil C	3	50.00	4	66.67	10	38.46	23	85.19	1	14.29
TRL	0	0.00	4	66.67	1	3.85	26	96.30	6	85.71
ERY	1	16.67	1	16.67	2	7.69	6	22.22	0	0.00
OTC	1	16.67	2	33.33	3	11.54	11	40.74	0	0.00
CTC	5	83.33	5	83.33	9	34.62	26	96.30	2	28.57
AMOX	0	0.00	2	33.33	0	0.00	8	29.63	0	0.00
STR	0	0.00	2	33.33	4	15.38	0	0.00	0	0.00
FLO	4	66.67	5	83.33	24	92.31	25	92.59	0	0.00

SMT; sulfamethazine, SMTZ; sulfamethoxazole, STZ; sulfathiazole, ENFLO; enrofloxacin, Penil C; penicillin, TRL; tylosin, ERY; erythromycin, OTC; oxytetracycline, CTC; chlortetracycline, AMOX; amoxicillin, STR; streptomycin, FLO; florfenicol

닭 농가의 경우 단지 6곳의 지하수와 퇴비를 조사하여 대표성은 낮지만 경향을 이해하는데 큰 도움이 된다고 판단된다.

닭 농가의 지하수에서는 CTC가 83.3%의 매우 높은 검출율을 보였으며, SMTZ, STZ, ENFLO 및 FLO가 각각 66.7%의 검출율을 보였고 Penil C가 50% 그리고 SMT, ERY 및 OTC가 각각 16.7%의 검출율을 보였다. 또한 닭 농가에서 제조한 퇴비 중에서는 STZ가 100% 검출되었고, SMT, SMTZ, CTC 및 FLO가 각각 83.3%의 검출율을, Penil C와 TRL이 각각 66.6% 그리고 OTC, AMOX 및 STR이 각각 33.3%가 검출되어 지하수보다는 훨씬 높은 검출빈도를 나타내었다.

돼지농가는 지하수 26점, 퇴비 27점 그리고 주변 토양 7점을 대상으로 조사를 실시하였다. 돼지 농가는 지하수 중에서는 FLO가 92.3%로 가장 높은 검출율을 보였고, SMTZ (80.7%), STZ (69.2%), SMT (61.5%) 순이었다. AMOX를 제외한 나머지 7종의 항생제들도 3.8%~38.4% 범위에서 검출율을

나타내었다. 돼지 농가 퇴비 중에서는 SMTZ가 100%의 검출율을 TRL, STZ 그리고 CTC가 96.3%, 또 ENFLO와 FLO가 각각 92.5%의 매우 높은 검출율을 나타내었다. 또한 Penil C도 85.1%를 보이는 등 STR을 제외한 6종의 항생제들은 22.2%~74.0% 범위의 높은 검출율을 나타내었다.

닭 퇴비나 돼지 퇴비 모두 지하수 보다는 검출빈도가 높은 것을 알 수 있다. 또한 돼지 농가 주변 농경지 토양에서는 STZ가 100%, SMTZ와 TRL이 각각 85.7%, 다음으로 SMT가 42.8%, ENFLO와 CTC가 각각 28.5% 그리고 Penil C가 14.2%로 검출된 것으로 나타나 퇴비사용에 따른 토양오염의 연결고리를 확인할 수 있었다.

표2-3-5. 돼지 농가에서 항생제의 잔류농도

(단위 : ng g⁻¹)

구 분	돼지 농가 1	돼지 농가 2	돼지 농가 3	
	>300 마리 Non-HACCP	>3000 마리 Non-HACCP	>3500 마리 Non-HACCP	
지하수	SMT	8.33	71.37	
	SMTZ	3.42	1.34	0.38
	STZ	10.84	15.64	
	ENFLO	0.13	0.17	
	PeniC			0.01
	TRL			
	ERY			
	OTC		1.43	
	CTC	0.03		<PQL
	AMOX			
	STR			
	FLO	1.11	122.62	0.51
퇴비	SMT			28.47~2270.23
	SMTZ	5.73~18.72	13.83~21.36	2.75~10.60
	STZ	8.02~1105.42	16.06~70.71	<PQL~8.16
	ENFLO	7.42~19.99	<PQL~23.79	8.78~15.13
	PeniC		<PQL~1.83	<PQL~0.61
	TRL	137.66~3488.09	18.22~1422.88	457.70~10418.80
	ERY			5.30~5.39
	OTC	1.90~13.58	<PQL~49.84	<PQL~49.84
	CTC	<PQL	<PQL~98.26	<PQL~361.25
	AMOX		2.84	
	STR			
	FLO		12.89	23.14
토양	SMT			
	SMTZ	20.35		
	STZ	13.73		
	ENFLO			
	PeniC			
	TRL			
	ERY		N/A	N/A
	OTC			
	CTC			
	AMOX			
	STR			
	FLO			

SMT;sulfamethazine, SMTZ;sulfamethoxazole, STZ;sulfathiazole, ENFLO:enrofloxacin, PeniC;penicillin, TRL;tylosin, ERY;erythromycin, OTC;oxytetracycline, CTC;chlortetracycline, AMOX;amoxicillin, STR;streptomycin, FLO;florfenicol

표2-3-5에는 돼지 농가를 사육두수를 기준으로 구분하여 지하수, 퇴비 및 토양 중의 항생제 잔류수준을 평가한 결과를 수록하였다. 사육 규모에 따라 특별한 경향은 확인할 수 없었으며, 지하수 중에는 4~6종의 항생물질이, 퇴비 중에서는 6~10종의 항생물질이 그리고 경작토양 중에서는 소규모 농가 인근 토양에서만 2종이 검출되었다. 특히 음용수로도 사용될 수 있는 지하수에서 SMT, STZ 및 FLO 등이 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이상 검출 된 것은 축산물의 안전성과 관련하여 검토하여야 할 대상이라고 본다.

퇴비 중에는 매우 높은 농도의 항생제가 잔류하는 것을 알 수 있었는데 농가 1의 STZ와 TRL, 농가 2의 TRL 그리고 농가 3의 SMT, TRL 및 CTC 등은 우려할 만한 수준이라고 판단된다.

그러나 토양 중에는 농가1의 인근 경작지 토양에서 SMTZ와 STZ가 검출되었을 뿐 농가2와 농가3의 경작지 토양에서는 검출되지 않은 것으로 나타났다.

표2-3-6. 돼지 농가에서 항생제의 모니터링 농도 (단위 : ng g^{-1})

구 분	돼지 농가 1	돼지 농가 2	돼지 농가 3	돼지 농가 4
	>3000 마리 Non-HACCP	>3000 마리 Non-HACCP	>3000 마리 Non-HACCP	>5000 마리 Non-HACCP
농가 주변 토양	SMT		0.15~0.18	
	SMTZ		~0.06	
	STZ	0.11		0.06~0.23
	OTC			
	CTC	0.17		0.96~2.05
고체 퇴비	SMT	0.04~0.24	0.24~0.28	0.58~0.6
	SMTZ		0.01~0.12	0.02~0.17
	STZ	0.3		0.5
	OTC	0.2~0.5	0.2~0.8	0.3~0.4
	CTC	0.1	0.1	0.1
액체 퇴비	SMT	0.017~0.021		0.121~0.136 15.465 ~15.886
	SMTZ			
	STZ	0.037~0.042		0.018~0.037 0.010~0.007
	OTC	6.704~6.927		
	CTC			
지하수	SMT	0.008		0.005~0.006 0.004~0.006
	SMTZ	~0.004	~0.003	
	STZ		0.004	0.004
	OTC			
	CTC	0.016	0.009	0.008

표2-3-6에는 돼지 농가에서 Tetracycline계와 설파제계열의 항생제 잔류수준을 평가한 결과이다. 농가주변 토양에서는 농가3에서 4종의 항생제가 검출되었으며, 농가1에서는 2종이 검출되었다. 또한 고체퇴비와 액체퇴비도 비교하여 보았는데, 고체퇴비 중의 항생제는 3개 농가퇴비에서 4~5종 씩 검출되었으나 그 잔류농도는 $0.01\sim 0.8 \mu\text{g kg}^{-1}$ 범위로 높지 않은 것으로 판단되었다. 액체 퇴비 경우 농가1에서는 OTC가 $6.9 \mu\text{g kg}^{-1}$ 수준, 농가4에서는 SMT가 $15.8 \mu\text{g kg}^{-1}$ 수준으로 검출되었는데, 이런 액비를 사용하는 경우 농작물에 대한 흡수도가 증가할 가능성이 있으므로 작물의 흡수와 관련된 연구를 수행할 필요가 있다고 본다. 한편 지하수에도 2~3종의 항생제가 잔류되어 있는 것을 알 수 있었는데, 그 잔류수준은 최고 CTC가 $0.016 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이지만, 이런 지하수를 음용하는 경우에 대한 위해성 평가가 필요하다고 본다. 또한 동물용 음용수의 수질 기준에 항생제를 포함시키는 것도 필요하다고 본다.

표2-3-7. 닭 농가 (Non-HACCP)에서 항생제의 잔류농도

(단위 : ng g⁻¹)

구 분	닭 농가 1	닭 농가 2	닭 농가 3	
	>30000 마리 Non-HACCP	>30000 마리 Non-HACCP	>37000 마리 Non-HACCP	
지하수	SMT			
	SMTZ	323.16	0.16	
	STZ			0.05
	ENFLO	0.1	0.08	0.13
	PeniC	0.01	0.01	
	TRL			
	ERY			
	OTC			0.51
	CTC		<PQL	<PQL
	AMOX			
	STR			
	FLO	15.4	1.82	0.5
	퇴비	SMT	<PQL~5.14	<PQL~12.07
SMTZ		26.93~2558.07	<PQL~11.05	42.73~433.65
STZ		2.8~4.38	<PQL~1.60	<PQL~4.52
ENFLO				
PeniC		<PQL~0.37	0.98~0.51	
TRL		8.50~14.76	118.57~583.87	7.6~52.85
ERY				3.83~4.7
OTC		88.24		
CTC		207.21	<PQL	
AMOX		7.19		
STR				
FLO		41.95	51.87	
토양		SMT		
	SMTZ			
	STZ			
	ENFLO			
	PeniC			
	TRL			
	ERY	N/A	N/A	N/A
	OTC			
	CTC			
	AMOX			
	STR			
	FLO			

SMT;sulfamethazine, SMTZ;sulfamethoxazole, STZ;sulfathiazole, ENFLO;enrofloxacin, PeniC;penicillin, TRL;tylosin, ERY;erythromycin, OTC;oxytetracycline, CTC;chlortetracycline, AMOX;amoxicillin, STR;streptomycin, FLO;florfenicol

닭 사육 농가에서의 지하수, 퇴비 및 토양 중 12종의 항생제를 대상으로 잔류수준을 평가한 결과는 표2-3-7에 수록하였다. 지하수의 경우 농가1에서 SMTZ가 323.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 검출된 것은 우려 수준을 훨씬 넘은 것으로 위해성 평가 대상이라고 본다. 또한 같은 농가에서 FLO도 15.4 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이 검출되었는데, 축산농가에서 사용하는 지하수에 대한 폭 넓은 모니터링이 필요하다고 본다. 퇴비 중에는 농가1의 경우 SMTZ, CTC, OTC 및 FLO 등이 40 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이상 함유되어 있고, 농가 2는 TRL이 583.8 $\mu\text{g L}^{-1}$ 수준까지 잔류하는 것으로 나타났으며, 농가3은 SMTZ가 433.6 $\mu\text{g L}^{-1}$, 그리고 TRL이 52.8 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 높게 나타났다. 다행히 사육농가 인근 토양에서는 항생물질이 잔류하지 않는 것으로 나타났다. 이 결과를 토대로 퇴비화과정 중 항생제의 분해 수준 등을 평가할 필요가 있다고 본다.

표2-3-8. 닭 농가 (HACCP)에서 항생제의 모니터링 농도 (단위 : ng g^{-1})

구 분	>55000 마리, HACCP				
	닭 농가 1~3	닭 농가 4	닭 농가 5	닭 농가 6~8	닭 농가 9~12
농가 주변 토양	SMT		0.08~0.11		0.08~0.11(11)
	SMTZ		~0.06		~0.07(10)
	STZ	0.09~0.1(1)	0.09~0.1		0.09~0.1(11,12)
	OTC			0.09~0.22(6)	
	CTC			0.15(8)	0.16(9,10)
퇴비장 인근 주변 토양	SMT				
	SMTZ				
	STZ		0.08~0.1 (전체농가)		
	OTC				
고체 퇴비	SMT				
	SMTZ			0.01~0.16 (전체농가)	
	STZ			0.3~0.4 (전체농가)	
	OTC				
	CTC			0.18 (전체농가)	
지하수	SMT				
	SMTZ				
	STZ				
	OTC				
	CTC			0.007	

SMT;sulfamethazine, SMTZ;sulfamethoxazole, STZ;sulfathiazole ENFLO;enrofloxacin, PeniC;penicillin, TRL;tylosin, ERY;erythromycin, OTC;oxytetracycline, CTC;chlortetracycline, AMOX;amoxicillin, STR;streptomycin, FLO;florfenicol

표2-3-8에는 12개의 양계농가에 대한 Tetracycline계열과 유기유황계 항생제의 잔류수준을 평가한 결과이다. 특히 이들 12개의 농가들은 HACCP를 인증받아 운영 중인 농가이다.

농가 주변 토양과 퇴비장 인근 토양에 대한 조사에서 농가1~4와 농가 6~12에서는 STZ가 $0.1 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이하 수준에서 검출되었고, HACCP 인증 농가인 농가5에서는 SMT와 SMTZ가 유사한 수준에서 검출되었다. 특히 퇴비장 인근 토양에서는 농가5에서 STZ가 $0.08\sim 0.1 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 수준으로 유일하게 검출되었다. 고체 퇴비의 경우도 농가 5에서 SMTZ가 $0.01\sim 0.16 \mu\text{g kg}^{-1}$, STZ는 $0.3\sim 0.4 \mu\text{g kg}^{-1}$, 그리고 CTC가 $0.18 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이 검출되었다.

지하수에서도 농가5에서 CTC가 $0.007 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이 검출되어, 전반적으로 HACCP 인증 농가가 다른 농가에 비해 항생제에 의한 오염이 비록 낮은 수준이지만 HACCP 인증을 받았음에도 오염이 광범위하게 이루어졌다고 볼 수 있다. 이는 HACCP 인증 시 항생제의 기준이 제대로 적용되지 못하는데 기인되는 것으로 향후 농가 HACCP 인증 시 중요한 이슈라고 본다.

3-2. PAHs의 농경지 토양 중 잔류수준

다중고리방향족탄화수소류 (PAHs; Polycyclic aromatic hydrocarbons)는 2개 이상의 벤젠고리가 선형으로 각을 지어 있거나 밀집된 구조로 이루어져 있는 유기화합물로서 연소과정이나 유기물의 불완전 연소 시 부산물로 발생하는 물질이다. 이 종류의 화합물은 수백 종에 이르며 일부는 환경 및 인체 건강에도 치명적인 오염원으로 알려져 있다. 이중 미국 EPA는 16종의 화합물을 유해성 우선 물질로 선정하고 있으며, 이중 Benzo(a)pyrene, Benzo(a)anthracene, Dibenzo(a,h)anthracene 및 Chrysene 등은 유전독성과 발암성을 나타내는 것으로 알려져 있다.

PAHs류의 발생원은 경유, 휘발유 등을 사용하는 자동차 배출가스, 석탄연소 배출물, 담배연기 등이며, 자연적으로 원유생산과정, 화산폭발 및 산림의 화재 등에서도 발생된다.

EPA의 유해성 우선물질 16종에 해당하는 PAHs류는 아래와 같다.

표2-3-9. EPA의 유해성 우선물질 16종에 해당하는 PAHs류의 독성등가계수

일반명	독성등가계수	일반명	독성등가계수
Naphtalene	0.001	Benzo(a)anthracene	0.1
Acenaphthylene	0.001	Chrysene	0.001
Acenaphthane	0.001	Benzo(b)fluoroanthene	0.1
Fluorene	0.001	Benzo(k)fluoroanthene	0.01
Penanthrene	0.001	Benzo(a)pyrene	1
Athracene	0.01	Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	0.1
Furoanthene	0.001	Dibenzo(a,h)anthracene	1
Pyrene	0.001	Benzo(g,h,i)perylene	0.01

일반적으로 PAHs류는 위에 16종을 동시 분석하여 이들의 총 합으로 표시하고 있다. 그러나 WHO와 EPA에서는 독성등가계수 (TEFs)를 활용하기도 한다.

3-2-1. 국내의 농경지 토양 중 PAHs의 잔류수준

표2-3-10. 토양이용 형태에 따른 성분별 PAHs 농도 (단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

	논			밭			산림		
	범 위	평균		범 위	평균		범 위	평균	
Naphthalene	ND	23	4.9	ND	22.5	4.2	ND	16.4	3.5
Acenaphthylene	ND	2.0	0.7	ND	3.6	0.8	ND	1.4	0.2
Aenaphthane	ND	7.6	0.9	ND	3.8	1.0	ND	7.9	1.1
Fluorene	ND	7.6	2.3	0.7	4.5	1.7	ND	4.9	1.3
Penanthrene	1.3	58.8	10.5	1.92	52	12.6	0.9	37.8	6.3
Athracene	ND	14.8	2.2	ND	7.6	2.0	ND	4.2	1.1
Fluoroanthene	0.9	93.5	18.7	1.4	148	30.3	0.7	79.2	11.1
Pyrene	0.9	80.5	16.7	1.46	160	30.5	0.6	70.5	9.6
Benzo(a)anthracene	0.4	59.1	9.0	0.79	47.7	13.5	ND	52.5	5.5
Chrysene	0.5	59.7	14.4	0.92	68.6	22	ND	74	8.4
Benzo(b)fluoroanthene	ND	67.5	18.2	2.45	98.3	28.9	ND	102	10.7
Benzo(k)fluoroanthene	ND	28.1	7.3	1.9	33.5	10.2	ND	35.6	4.5
Benzo(a)pyrene	ND	64.9	12.4	ND	74.5	17	ND	84	8.1
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	ND	35.6	8.9	1.5	53.3	13.1	ND	48.9	5.5
Dibenzo(a,h)anthracene	ND	9.57	2.2	ND	11.7	2.6	ND	11.6	1.3
Benzo(g,h,i)perylene	ND	30.4	8.3	1.3	53.9	12.5	ND	46.4	5.3
ΣPAHs	8.9	625	137	16.5	645	203	6.7	667	83.4

총 분석 시료 수 : 89점 (논 30, 밭 30, 산 29점)

자료 : 남재작 외 4명, 환경독성보건학회지, 2007

국내에서 농경지 토양 중의 PAHs의 잔류수준을 평가한 자료는 매우 제한적이다. 표2-3-10는 논토양 30점, 밭토양 30점 및 산림토양 29점에 대해 조사한 결과를 요약한 결과이다. 총 16종의 PAHs에 대해 분석을 실시하였고, 하단에는 이들 16종의 PAHs의 총 합을 표시하였다.

논 토양의 경우, Fluoroanthene이 $93.5 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높은 잔류수준을 보였고 다음으로는 Pyrene ($80.5 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo(b)fluoroanthene ($67.5 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo(a)pyrene ($64.9 \mu\text{g kg}^{-1}$), Chrysene ($59.7 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo(a)anthracene ($59.1 \mu\text{g kg}^{-1}$), Penanthrene ($58.8 \mu\text{g kg}^{-1}$)의 순이었으나, 평균적으로는 Fluoroanthene이 $18.7 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높았고, Benzo(b)fluoroanthene ($18.2 \mu\text{g kg}^{-1}$), Pyrene ($16.7 \mu\text{g kg}^{-1}$), Chrysene ($14.4 \mu\text{g kg}^{-1}$) 그리고 Benzo(a)pyrene ($12.4 \mu\text{g kg}^{-1}$)의 순이었다.

밭 토양의 경우는 Pyrene이 $160 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높은 잔류수준을 보였으며, Fluoroanthene ($148 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo(b)fluoroanthene ($98.3 \mu\text{g kg}^{-1}$),

Benzo(a)pyrene ($74.5 \mu\text{g kg}^{-1}$), Chrysene ($68.6 \mu\text{g kg}^{-1}$)의 순이었다. 그리고 평균적으로 역시 Pyrene이 $30.5 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높은 수준이었고 그 뒤를 Fluoroanthene ($30.3 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo(b)fluoroanthene ($28.9 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo(a)anthracene ($13.5 \mu\text{g kg}^{-1}$), Indeno(1,2,3-c,d)pyrene ($13.1 \mu\text{g kg}^{-1}$)의 순이었다.

산림토양에서는 Benzo(b)fluoroanthene이 $102 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높은 잔류수준을 나타냈고, Fluoroanthene ($79.2 \mu\text{g kg}^{-1}$), Pyrene ($70.5 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo(a)anthracene ($52.5 \mu\text{g kg}^{-1}$)의 순이었다. 평균적으로도 Benzo(b)fluoroanthene이 $10.7 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높은 수준이었고, Pyrene ($9.6 \mu\text{g kg}^{-1}$), Chrysene ($8.4 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo(a)pyrene ($8.1 \mu\text{g kg}^{-1}$)의 순이었다.

PAHs류의 총 누적량을 보면 논은 최고 $625 \mu\text{g kg}^{-1}$ 에 평균 $137 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이, 밭 토양은 최고 $645 \mu\text{g kg}^{-1}$ 에 평균 $203.0 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이 함유된 것으로 조사되었고, 산림 토양의 경우는 $6.7\sim 667 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 범위에서 평균 $83.4 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 나타났다. 이 결과를 토대로 볼 때, PAHs 잔류수준은 밭토양>논토양>산림토양의 순으로 볼 수 있으나, 더 많은 경작지를 비롯한 토양에 대한 조사가 이루어져야 할 것으로 본다.

표2-3-11. 토양 깊이별 PAHs 농도

(단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

깊이 (cm)	논			밭			산림			
	0~5	6~10	10~15	0~5	6~10	10~15	0~5	6~10	10~15	
1	316	172	142	60.1	46.7	33.2	69.8	19.1	12.9	
2	90.8	58	111	48.2	38.9	22.7	55.3	57.1	29.9	
3	121	626	107	128	98.5	221	46.1	50.9	22	
A 지점	4	151	151	26.2	303	645	266	667	330	41.9
	5	393	380	210	176	172	61.8	170	293	153
	6	152	98.6	113	440	612	166	67.6	23.7	10.5
	7	148	181	191	385	347	284	44.5	11.4	6.7
Mean	196	238	129	220	280	151	160	112	39.5	
B 지점	1	16.2	13.2	12.1	152	35.8	16.5	33.2	26.3	
	2	19.3	8.9	11.5	176	172	327	24.3	15.9	10.3
	3	41.4	43	16.5	184	330	137	85.2	24.7	16.3
Mean	25.7	21.7	13.4	171	179	160	47.6	22.3	13.3	

자료 : 남재작 외 4명, 환경독성보건학회지, 2007

표2-3-11에는 논·밭 및 산림토양을 2개 지점에서 각각 7점과 3점씩을 채취하여 토양의 깊이별로 0~5 cm, 5~10 cm, 10~15 cm로 구분하여 PAHs류의 잔류수준을 비교하여 본 결과이다.

A지점은 공단인근 지역이며, B지점은 농촌지역을 대표하는 시료로 볼 수 있다.

표2-3-11에서 볼 때 일반농촌지역에 비해 공단지역의 농경지 및 산림토양에서 더 높은 PAHs류의 잔류수준을 보이는 것을 알 수 있다. 논토양의 경우 평균적으로 공장 인근지역에서는 0~15cm의 토양 중 평균 $187.7 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이 잔류하는 반면 농촌지역의 농경지에서는 평균 $20.3 \mu\text{g kg}^{-1}$ 수준으로 공장 인근 지역에 비해 1/9이하 수준으로 낮게 잔류하는 것을 알 수 있다. 또 밭 토양의 경우도 공장 인근 0~15cm의 토양에는 평균 $217 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 PAHs류가 잔류하였으나, 농촌지역의 경우에는 평균 $170 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 약 22% 정도 낮은 수준으로 잔류하고 있었다. 산림토양의 경우도 공장인근 지역의 0~15 cm 토양 중에는 평균 $103.8 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이 잔류하였으나 농촌지역에서는 $27.3 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 논토양과 비슷한 수준으로 낮게 잔류하는 것을 알 수 있었다.

표2-3-12. 논토양 중 PAHs 농도

(단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

	무비구			퇴비 연용구		
	범 위		평균	범 위		평균
Naphthalene	8.7	216	44	7.0	177	35.3
Aenaphtyhlene	0.5	2.5	1.3	0.5	1.7	1.1
Acenaphthane	0.6	8.6	6.4	0.5	8.2	5.5
Fluorene	2.4	27.6	17.6	2.0	41.7	16.3
Phenanthrene	8.8	96.2	52	10.2	95.2	45.2
Anthracene	ND	1.6	0.4	ND	1.4	0.3
Fluoroanthene	10.6	33	20.8	12	25.7	17.9
Pyrene	7.0	18.3	12.4	6.3	19.6	11.1
Benzo(a)anthracene	2.2	7.7	4.3	2.3	8.6	4
Chrysene	6.7	14.8	10.5	7.2	15.7	10.2
Benzo(b)fluoroanthene	6.7	12.1	9.8	7.1	14.9	10.1
Benzo(k)fluoroanthene	4.5	10.5	7.4	3.2	10.3	6.8
Benzo(a)pyrene	2.4	7.8	4.1	2.5	7.7	4.3
Indeno(1,2,3,-cd)pyrene	3.7	12.4	6.5	4.3	11.2	6.8
Dibenzo(a,h)anthracene	ND	2.4	1.4	1.1	2.6	1.6
Benzo(g,h,i)perylene	3	9.9	5.5	3.8	9.9	6.0
Σ PAHs	96.8	324	204	85.1	266	182

자료 : 남재작 외 4명, 한국토양비료학회지, 2007

표2-3-12에는 영남 농업 시험장에서 1978~2001년 사이에 퇴비나 화학비료를 사용한 적이 없는 논토양과 퇴비를 연용한 논토양에 대해 매년 보관하고 있는 시료 중에서 PAHs 농도를 조사한 결과를 보여주고 있다.

이곳은 특성상 공장지역과 멀리 떨어져 있어 대부분의 PAHs류는 대기로부터 침적되는 것으로 볼 수 있다.

표2-3-12에서는 확인할 수 없지만 연차별로 볼 때 1980년을 최고로 점차 감소하는 경향을 볼 수 있었으며, 퇴비 연용구가 대체로 더 낮은 잔류수준을 보이고 있는 것은 미생물의 분해효과라고 볼 수도 있다.

표2-3-12에서 볼 때 무비구와 퇴비 연용구에는 큰 차이가 없었으며, 공장인근 지역의 토양에 비하면 매우 낮은 수준임을 알 수 있다.

평균적으로는 Phenanthrene>Fluoroanthene>Fluorene>Pyrene의 순이었다.

3-2-2. 외국의 농경지 토양 중 PAHs의 잔류수준

표2-3-13. 중국 광저우의 채소 경작지 토양에서의 PAHs 잔류량

			(단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)
	범 위		평 균
Naphthalene	1	64	18.53
Acenaphthene	2	9	2.94
Fluorine	0	40	5.58
Phenanthrene	4	281	48.95
Anthracene	2	34	4.38
Fluoranthene	3	583	58.88
Pyrene	2	492	41.49
Benzo[a]anthracene	0	232	21.95
Chrysene	1	693	79.88
Benzo[b]fluoranthene	1	267	33.53
Benzo[k]fluoranthene	0	101	16.33
Benzo[a]pyrene	0	136	14.46
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0	47	10.12
Dibenzo[ah]anthracene	1	42	13.59
Benzo[ghi]perylene	2	70	13.75
PAHs	42	3077	376.16

자료 : Laiguo Chen 외, Chemosphere, 2005

표2-3-13에는 중국 광저우의 채소 경작지에서의 PAHs류를 조사한 결과이다. Chrysene이 $693 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 최고 수준을 나타냈으며, Fluoranthene ($583 \mu\text{g kg}^{-1}$), Pyrene ($492 \mu\text{g kg}^{-1}$), Phenanthrene ($281 \mu\text{g kg}^{-1}$) 및 Benzo[b]fluoranthene ($267 \mu\text{g kg}^{-1}$)의 순으로 잔류량이 높았다. 그리고 평균 함유량은 Chrysene이 $79.88 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높았고, Fluoranthene이 $58.88 \mu\text{g kg}^{-1}$, Phenanthrene이 $48.95 \mu\text{g kg}^{-1}$ 그리고 Pyrene이 $41.49 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 순이었으며, 평균 함유량은 $376.16 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이었다.

표2-3-14. 홍콩의 농경지 토양 중 PAHs 잔류수준

(단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

	평 균
Naphthalene	12.12
Acenaphthylene	2.10
Acenaphthene	0.48
Fluorene	1.70
Phenanthrene	19.52
Anthracene	2.44
Fluoranthene	16.54
Pyrene	14.04
Benzo[a]anthracene	5.92
Chrysene	10.22
Benzo[b,k]fluoranthene	17.58
Benzo[a]pyrene	7.12
Dibenzo[a,h]anthracene	1.14
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	7.54
Benzo[g,h,i]perylene	9.58
Σ 16 PAHs	128

Brenda Natalia Lopez, Yu Bon Man, Yin Ge Zhao, Jin Shu Zheng, Anna Oi Wah Leung, Jun Yao, Ming Hung Wong. 2011. Arch Environ Contam Toxicol 61:101-114

홍콩의 농경지 토양에 대한 PAHs류 잔류 평가 결과는 표2-3-14에 수록하였다. 평균값으로 볼 때 Phenanthrene이 $19.5 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높았고, Benzo[b,k]fluoranthene이 $17.58 \mu\text{g kg}^{-1}$, Fluoranthene이 $16.54 \mu\text{g kg}^{-1}$, Pyrene이 $14.04 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 순이었으며 총 평균의 합은 $128 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 낮은 수준을 나타내고 있다.

표2-3-15. 베트남의 지역별 PAHs의 잔류수준

(단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

	Thanh Nhan	Cau Mai Dong	Cho Mai Dong	Giay Thang Long	Yen Duyen, (호수유입)	Yen Duyen, (배출구)	Ky Cung (I)	Ky Cung (II)
Naphthalene	80	50	260	310	<10	<10	<6	<6
Acenaphthylene	20	20	20	20	10	10	10	10
Acenaphthene	10	20	50	70	20	10	10	10
Fluorene	10	10	40	30	10	10	10	10
Phenanthrene	90	40	140	120	30	20	10	10
Anthracene	20	10	40	40	10	10	10	ND
Dibenzothiophene	20	10	40	40	10	10	10	10
Fluoranthene	140	50	120	110	30	30	20	20
Pyrene	90	40	150	140	20	20	10	10
Benz[a]anthracene	60	30	60	60	20	20	20	20
Chrysene	100	40	130	130	20	30	10	10
Benzo[b,k]fluoranthene	150	50	110	120	40	50	20	20
Benzo[e]pyrene	70	30	80	80	20	20	10	10
Benzo[a]pyrene	50	270	60	60	10	20	10	ND
Perylene	30	10	230	90	20	130	10	ND
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	50	20	40	40	10	10	10	10
Benzo[g,h,i]perylene	90	70	110	80	20	20	10	10
Dibenz [a,h]anthracene	20	10	20	20	10	10	10	10
Total	1100	780	1700	1560	320	440	206	176

Esther S. Boll, Jan H. Christensen and Peter E. Holm. 2007. Quantification and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment, soil, and water spinach from Hanoi, Vietnam. Journal of Environmental Monitoring.

베트남의 토양 중 PAHs류의 잔류수준은 표2-3-15에 수록하였다. 하노이 중심부에서 3km쯤 떨어져 발원하는 Kim Nguu 강을 따라 4곳의 토양을 채취하였고, 강물이 유입되는 Yen Duyen 호수의 유입구 부근과 배출구 부근 토양 그리고 오염원이 없는 Ky Chung 강 인근에서 그곳의 토양을 채취하여 비교한 결과이다.

Kim Nguu 강의 발원지인 Thanh Nhan 지역도 도심에 가깝기 때문에 평균 $1100 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 높은 PAHs 잔류 수준을 나타내었으며, 강의 하류로 가면서 조사된 3곳도 $780\sim 1700 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 비교적 높은 잔류수준을 보였다. Thanh Nhan 지역에서는 Benzo[b,k]fluoranthene이 $150 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높게 잔류하였고, Fluoranthene이 $140 \mu\text{g kg}^{-1}$, Chrysene이 $100 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 순이었으며, 하류인 Cau Mai Dong에서는 Benzo[a]pyrene이 $270 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 높았으며, Cho

Mai Dong에서는 Naphthalene이 $260 \mu\text{g kg}^{-1}$, Perylene이 $230 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 높았으며 Yen Duyen 호수로 유입되는 인근의 토양은 PAHs류의 잔류수준이 매우 낮아져서 Benzo[b,k]fluoranthene이 $40 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 총 PAHs류의 함량은 $320 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이었는데, 배출구 인근 토양에서는 Perylene이 $130 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 높았고, 전체 잔류량도 $440 \mu\text{g kg}^{-1}$ 을 나타내고 있었다.

한편 비 오염지역인 Ky Chung 강 인근의 비오염지토양 두 지점은 각각 평균이 $206 \mu\text{g kg}^{-1}$ 과 $176 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 다른 지점에 비해 낮은 것을 알 수 있었으며, 한 곳에서는 Benzo[a]pyrene이 검출한계 미만으로 매우 낮은 수준임을 알 수 있었다.

표2-3-16. 미국의 농경지 토양 중 PAHs의 잔류수준 (단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

	1846	1881	1893	1914	1944	1956	1966	1980	1986
Phenanthrene	46	68	45	89	110	120	160	140	48
Anthracene	4.5	13	9		4	10	9	13	11
Fluoranthene	39	45	43	37	120	190	120	210	120
Pyrene	19	14	7	11	50	120	75	150	99
Benzo[a]anthracene	22	9.4	3	5.9	25	69	26	110	56
Chrysene	24	16	11	18	50	87	41	120	78
Benzo[e]pyrene	24	13	7	11	35	65	27	130	53
Benzo[a]pyrene	18	6.7		12	23	73	28	120	72
Perylene	2.2	0.86			<3	15	9	18	14
Anthanthrene	1.2	0.12				1.2		2.9	
Benzo[g,h,i] perylerie	22	8.3		6.1		55		66	
Benzo[b]fluoranthene	18	12	9	86	35	76	30	220	58
Benzo[k]fluoranthene	17	8.4	9	6.2	35	73	30	250	58
Naphthalene	39	38		53		27		23	
Acenaphthylene	1.6	0.73				3.4		5.0	
Acenaphthene	2.0	0.9		2.0		4.2		6.0	
Fluorene	0.78					3.7		9.7	
Dibenzothiophene	6.2	6.8		6.6		11		32	
4H-cyclopenta[d,e,f] phenanthrene	14	19		4.9		15		22	
Indeno[1,2,3-c,d] pyrene	23	14	5	12	31	92	29	100	63
Coronene	7.1	5.4	3	5.4	9	18	9	22	17
Total	350	300	150	370	530	1130	590	1770	750

Kevin C. Jones, Jennlfer A. Stratford, t Keith S. Waterhouse, Edward T. Furlong, Walter Glger, Ronald A. Hites, Christlan Schaffner, and A. E. Johnston, 1989.

미국은 USA가 보관하고 있는 토양에 대해 1846년~1986년 사이에 9개년의 자료를 보여주고 있다.

1846년 시료에는 Phenanthrene이 $46 \mu\text{g kg}^{-1}$ 으로 가장 높았고, 다음으로는 Fluoranthene과 Naphthalene이 각각 $39 \mu\text{g kg}^{-1}$ 수준으로 나타났으며, 평균 $350 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 잔류수준을 나타냈다.

1881년 시료에서도 Phenanthrene이 $68 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높았고, 다음으로는 Fluoranthene이 $45 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 수준이었으며, 평균적으로는 $300 \mu\text{g kg}^{-1}$ 을 나타냈다. 그러나 1944년 시료에서는 Fluoranthene이 $120 \mu\text{g kg}^{-1}$, Phenanthrene이 $110 \mu\text{g kg}^{-1}$ 그리고 다음으로는 Pyrene과 Chrysene이 각각 $50 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 잔류수준을 나타냈고, 총 PAHs의 잔류량은 $530 \mu\text{g kg}^{-1}$ 을 보여주고 있다.

1956년의 시료에서는 PAHs의 잔류수준이 더욱 높아져 Fluoranthene이 $190 \mu\text{g kg}^{-1}$ 으로 가장 높았고, Phenanthrene과 Pyrene이 각각 $120 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 다음 순이었고, 총 잔류량은 $1130 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 증가되었다. 1966년 시료에서는 다소 감소되었으나 1980년 시료에서는 Benzo[k]fluoranthene이 $250 \mu\text{g kg}^{-1}$, Benzo[b]fluoranthene이 $220 \mu\text{g kg}^{-1}$ 그리고 Fluoranthene이 $210 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 $200 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이상의 높은 잔류수준을 보였고, Pyrene ($150 \mu\text{g kg}^{-1}$), Phenanthrene ($140 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo[e]pyrene($130 \mu\text{g kg}^{-1}$), Chrysene ($120 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo[a]pyrene ($120 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo[a]anthracene ($110 \mu\text{g kg}^{-1}$) 그리고 Indeno[1,2,3-c,d]pyrene ($100 \mu\text{g kg}^{-1}$) 등 $100 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이상의 잔류수준을 보인 PAHs도 다수 있었으며, PAHs류의 총 합은 $1,770 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 산업 활동의 영향을 확연히 알아볼 수 있었다.

마지막으로 1986년 시료는 미국에서 석탄사용이 줄어든 이후의 시료로서 1980년 보다 훨씬 낮은 수준을 보였는데, Fluoranthene이 $120 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높았고 PAHs류의 총 합도 $750 \mu\text{g kg}^{-1}$ 으로 감소한 것을 알 수 있었다.

표2-3-17. 캐나다 온타리오주 농경지의 PAHs의 잔류농도

(단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

	범 위		평 균
Acenaphthene			6
Acenaphthylene			5
Fluorene			10
Anthracene	11	13	
Phenanthrene	50	140	
Fluoranthene	120	210	
Pyrene	100	150	
Benz[a]anthracene	56	110	
Chrysene	80	120	
Benzo[b]fluoranthene	60	220	
Benzo[k]fluoranthene	60	250	
Benzo[a]pyrene	5	900	
Benzo[e]pyrene	50	130	
Benzo[g,h,i]perylene			70
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	60	100	

Scientific Supporting Document. 2008, Environmental and Human Health Effects. 42

캐나다 온타리오주의 농경지 중 PAHs의 잔류수준을 모니터링 한 자료로 특이한 것은 Benzo[a]pyrene이 최고 $900 \mu\text{g kg}^{-1}$ 수준까지 잔류되었다는 것이며, 한 종류의 PAH가 최고 $200 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이상 잔류한 것들로 Fluoranthene ($210 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo[b]fluoranthene ($220 \mu\text{g kg}^{-1}$), Benzo[k]fluoranthene ($250 \mu\text{g kg}^{-1}$) 등 3종이나 되었다는 사실이다.

표2-3-18. 스페인 Tarragona County의 PAHs 평균 잔류수준

(단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

	거주지역	비오염지역
Naphthalene	8.3	<2.0
Acenaphthylene	23	4.2
Acenaphthene	4.8	<2.0
Fluorene	13	1.1
Phenanthrene	114	7.9
Anthracene	17	<2.0
Fluoranthene	97	5.6
Pyrene	96	2.5
Chrysene	68	3.7
Benzo[a]anthracene	68	1.9
Benzo[k]fluoranthene	47	1.2
Benzo[b]fluoranthene	2.4	2.3
Benzo[a]pyrene	56	22
Indeno[123-cd]pyrene	60	5.3
Dibenzo[ah]anthracene	21	<2.0
Benzo[ghi]perylene	40	50
Σ 16 PAHs	736	112

M. Nadal, M. Schuhmacher, J.L. Domingo. 2004, Environmental Pollution 132, 1-11

스페인의 타라고나 지역에서 거주지역과 비거주대로지역의 토양 중 PAHs의 잔류수준을 조사한 결과이다. 거주지역에서는 Phenanthrene이 $114 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났고, 다음으로는 Fluoranthene이 $97 \mu\text{g kg}^{-1}$, Pyrene이 $96 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 순이었으며 또한 16종의 PAHs류의 총 합은 $736 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 나타났다.

그러나 비 오염지역의 경우에는 Benzo[g,h,i]perylene이 $50 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났으며, 그 외의 PAHs류는 모두 $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이하로 조사되었고, 16종의 총합도 $112 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 수준을 나타내고 있다.

표2-3-19. 폴란드 농경지의 PAHs 잔류수준

(단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

	범 위		평 균
Fluorene	2	31	7
Phenanthrene	1	287	16
Anthracene	2	42	8
Fluoranthene	1	483	20
Pyrene	1	429	20
Chrysene	2	229	19
Benzo[a]anthracene	1	220	19
Benzo[b]fluoranthene	3	319	28
Benzo[k]fluoranthene	1	59	8
Benzo[a]pyrene	2	248	22
Dibenzo[a,h]anthracene	1	90	9
Benzo[g,h,i]perylene	1	167	13
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	3	278	29
Total	28	2447	264

Barbara Maliszewska-Kordybach. 1995, Pergamon, 0883-2927, 00076-3

폴란드에서의 농경지 중 PAHs류의 잔류수준을 평가한 결과이다. 폴란드의 농경지에서는 Fluoranthene이 $483 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 가장 높은 수준을 나타냈고, 다음으로는 Pyrene이 $429 \mu\text{g kg}^{-1}$, Benzo[b]fluoranthene이 $319 \mu\text{g kg}^{-1}$, Phenanthrene이 $287 \mu\text{g kg}^{-1}$, Indeno[1,2,3-c,d]pyrene이 $278 \mu\text{g kg}^{-1}$, Benzo[a]pyrene이 $248 \mu\text{g kg}^{-1}$ 의 순이었다. 그러나 평균값은 Indeno[1,2,3-c,d]pyrene이 $29 \mu\text{g kg}^{-1}$, Benzo[a]pyrene이 $22 \mu\text{g kg}^{-1}$ 그리고 Fluoranthene과 Pyrene이 각각 $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 그 다음 순이었으며, 총 평균은 $264 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 높은 수준은 아니었다고 판단된다.

표2-3-20. 2001년 뉴질랜드 석유탄화수소 오염지역의 농경지 토양 중 PAHs의 잔류농도

(단위 : $\mu\text{g kg}^{-1}$)

		Naphthalene	Pyrene	B[a]P equiv
Sand	0 to 1 m	7200	160000	27
	1 to 4 m	70000		25000
	> 4 m	80000		
Sandy Silt	0 to 1 m	7200	160000	27
	1 to 4 m	83000		25000
	> 4 m	130000		
Silty Clay	0 to 1 m	72000	160000	27
	1 to 4 m	33000		25000
	> 4 m	110000		
Clay	0 to 1 m	72000	160000	27
	1 to 4 m	360000		25000
	> 4 m	1200000		

Scientific Supporting Document. 2008, Environmental and Human Health Effects. 42

표2-3-20에는 뉴질랜드에서 석유계 탄화수소로 오염된 농경지 토양에 대해 토성별, 토심별로 조사한 자료로서 일반 농경지와는 거리가 있지만 한 번의 유류오염이 얼마나 심각한 영향을 미치는지를 알 수 있는 자료이다.

표2-3-20에서 볼 때, 모래가 많은 토양에서는 0~1 m구간에서 Naphthalene의 경우 승화되어 점토가 많은 토양의 1/10의 수준으로 잔류된 것을 알 수 있으며, 점토가 많을수록 4 m 이상의 토심 부위에 많은 Naphthalene이 잔류되어 있는 것을 알 수 있다. 그러나 Pyrene의 경우는 모두 0~1 m 토심에 잔류하며, 그 잔류 수준은 동일하다는 것을 알 수 있는데, 이는 화합물이 매우 안정하다는 것을 의미한다. Benzo(a)Pyrene과 유사 물질들은 매우 안정하여 대부분 1~4 m에 잔류되어 있으며, 0~1 m에도 동일한 수준으로 잔류되어 매우 안정한 화합물임을 알 수 있다.

3-3. 기타 유해물질의 농경지 토양 중 잔류수준

국내에서 조사된 농경지 토양 중 기타 유해물질은 논, 밭, 과수원 및 목장용지로 구분하여 수록하였다. F, 총유기인, PCB, CN 및 페놀류와 유류 중 BTEX 및 TPH 그리고 TCE와 PCE 등이 조사되었는데, CN 만 미량으로 존재할 뿐 기타의 항목은 검출된 것이 없었다.

표2-3-21. 담 토양 중 기타 유해물질의 잔류 수준

(단위: mg kg⁻¹)

지점수	조사연도	구분	F	유기인	PCB	CN	페놀	BTEX	TPH	TCE	PCE
125	2002	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.260	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2003	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.325	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2004	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.688	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2005	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2006	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.138	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2007	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.142	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
127	2008	최저	-	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-
		최고	-	0.000	-	0.038	-	-	-	-	-
		평균	-	0.000	-	0.001	-	-	-	-	-
	2009	최저	-	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-
		최고	-	0.000	-	0.242	-	-	-	-	-
		평균	-	0.000	-	0.005	-	-	-	-	-
	2010	최저	-	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-
		최고	-	0.000	-	0.058	-	-	-	-	-
		평균	-	0.000	-	0.004	-	-	-	-	-
최저			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
최고			0.000	0.000	0.000	0.688	0.000	0.000	0.000	0.000	
평균			0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	

-; 불검출

환경부, 국립환경과학원 - 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과

표2-3-22. 전 토양 중 기타 유해물질의 잔류수준

(단위: mg kg⁻¹)

지점수	조사연도	구분	F	유기인	PCB	CN	페놀	BTEX	TPH	TCE	PCE
82	2002	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2003	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.318	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2004	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.186	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2005	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.280	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2006	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2007	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.116	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
86	2008	최저	-	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-
		최고	-	0.000	-	0.108	-	-	-	-	-
		평균	-	0.000	-	0.003	-	-	-	-	-
	2009	최저	-	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-
		최고	-	0.001	-	0.050	-	-	-	-	-
		평균	-	0.000	-	0.003	-	-	-	-	-
	2010	최저	-	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-
		최고	-	0.000	-	0.131	-	-	-	-	-
		평균	-	0.000	-	0.006	-	-	-	-	-
	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	최고	0.000	0.001	0.000	0.318	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	평균	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

-; 불검출

환경부, 국립환경과학원 - 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과

표2-3-23. 과수원 토양 중 기타 유해물질의 잔류수준

(단위: mg kg⁻¹)

지점수	조사연도	구분	F	유기인	PCB	CN	페놀	BTEX	TPH	TCE	PCE
51	2002	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.417	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2003	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.805	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2004	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.325	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2005	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2006	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.676	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2007	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.183	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2008	최저	-	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-
		최고	-	0.000	-	0.038	-	-	-	-	-
		평균	-	0.000	-	0.001	-	-	-	-	-
	2009	최저	-	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-
		최고	-	0.001	-	0.220	-	-	-	-	-
		평균	-	0.000	-	0.014	-	-	-	-	-
	2010	최저	-	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-
		최고	-	0.000	-	0.177	-	-	-	-	-
		평균	-	0.000	-	0.026	-	-	-	-	-
	최저			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	최고			0.000	0.001	0.000	0.805	0.000	0.000	0.000	0.000
	평균			0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000

-; 불검출

환경부, 국립환경과학원 - 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과

표2-3-24. 목장용지 토양 중 기타 유해물질의 잔류수준

(단위: mg kg⁻¹)

지점수	연도별	구분	F	유기인	PCB	CN	폐놀	BTEX	TPH	TCE	PCE
54	2002	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.205	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2003	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.320	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2004	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.189	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2005	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2006	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.800	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2007	최저	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		최고	0.000	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		평균	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	2008	최저	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-
		최고	-	-	-	0.043	-	-	-	-	-
		평균	-	-	-	0.003	-	-	-	-	-
	2009	최저	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-
		최고	-	-	-	0.035	-	-	-	-	-
		평균	-	-	-	0.001	-	-	-	-	-
	2010	최저	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-
		최고	-	-	-	0.019	-	-	-	-	-
		평균	-	-	-	0.001	-	-	-	-	-
최저			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
최고			0.000	0.000	0.000	0.800	0.000	0.000	0.000	0.000	
평균			0.000	0.000	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	

-; 불검출

환경부, 국립환경과학원 - 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과

II-4. 농업용수

국내에서는 농촌공사에서 농업용수 수질을 조사하고 있으며 그 결과는 환경부의 수질 측정망 자료 중 농업용수 항에서 찾아볼 수 있다. 그러나 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 별표3 (2008년10월29일 개정)의 내용에 포함되어져 있는 24종의 특정수질유해물질은 검출되지 않은 것으로 조사되어 농업용수 수질 중 유해물질은 없는 것으로 간주할 수 있다.

표2-4-1. 24종의 특정 수질 유해물질

특 정 수 질 유 해 물 질			
1	구리와 그 화합물	13	셀레늄과 그 화합물
2	납과 그 화합물	14	벤젠
3	비소와 그 화합물	15	사염화탄소
4	수은과 그 화합물	16	디클로로메탄
5	시안화합물	17	1,1-디클로로에틸렌
6	유기인 화합물	18	1,2-디클로로에탄
7	6가크롬 화합물	19	클로로폼
8	카드뮴과 그 화합물	20	1,4-다이옥산
9	테트라클로로에틸렌	21	비스(2-에틸헥실)프탈레이트
10	트리클로로에틸렌	22	염화비닐
11	페놀류	23	아크릴로니트릴
12	폴리클로리네이티드바이페닐	24	브로모포름

다만, 국내 학술지에 발표된 내용을 정리한 결과 일부의 지역에서 중금속이 아주 미량으로 검출된 사례가 보고되어있다.

표2-4-2. 국내 농업용수 중 중금속 함량

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	구분	중금속 함량									
		Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Zn	Pb	Hg	As	
대관령	1997.6	최저				0.00	0.01	0.01			
		최고	0.00	0.00	0.00	1.20	1.34	1.05			
		평균				0.45	0.19	0.29			
	1997.8	최저			0.00	0.37	0.00	0.16			
		최고	0.00	0.00	0.03	3.63	0.19	0.36			
		평균			0.02	0.84	0.04	0.25			
	1977.10	최저				0.00	0.00	0.07			
		최고	0.00	0.00	0.00	1.24	1.00	0.51			
		평균				0.60	0.18	0.23			
둔내	1997.8	최저				0.07	0.00	0.14			
		최고	0.00	0.00	0.00	0.91	0.17	0.18			
		평균				0.46	0.05	0.16			
	1997.10	최저				0.00		0.00			
		최고	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.42			
		평균				0.25		0.30			
춘천	1997.6	최저				0.00	0.01	0.09			
		최고	0.00	0.00	0.00	0.50	0.01	0.30			
		평균				0.13	0.01	0.19			
	1997.8	최저			0.00	0.20	0.00	0.11			
		최고	0.00	0.00	0.05	1.72	0.02	0.23			
		평균			0.00	0.52	0.00	0.15			
	1997.10	최저				0.00	0.00	0.00			
		최고	0.00	0.00	0.00	1.48	0.29	0.95			
		평균				0.41	0.03	0.22			
구리	1997.6	최저				0.30	0.01	0.16			
		최고	0.00	0.00	0.00	0.80	0.52	0.30			
		평균				0.50	0.13	0.21			
	1997.8	최저	0.00	0.00	0.00	0.82	0.02	0.17			
		최고	0.06	2.37	0.01	19.75	0.31	0.50			
		평균	0.01	0.18	0.01	3.61	0.15	0.31			
	1997.10	최저				0.00	0.00	0.00			
		최고	0.00	0.00	0.00	1.24	0.64	3.93			
		평균				0.54	0.23	0.99			
대구 다사읍	1995.1~ 1997.11	최저									
		최고	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	
		평균									
고령군	1995.1~ 1997.11	최저		0.00				0.00			
		최고	0.00	0.047	0.00			0.041	0.00	0.00	
		평균									

표2-4-2. 국내 농업용수 중 중금속 함량

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	구분	중금속 함량								
		Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Zn	Pb	Hg	As
전남 여수 죽포리	1995.1~	최저		0.00				0.00		
	1997.11	최고	0.00	0.024	0.00		0.018	0.00	0.00	0.00
		평균								
경남 남지읍	1995.1~	최저	0.00	0.00	0.00		0.00			
	1997.11	최고		0.012			0.021	0.00	0.00	0.00
		평균								
경남 청덕면	1995.1~	최저		0.00			0.00	0.00	0.00	0.00
	1997.11	최고	0.00	0.010	0.00		0.016			
		평균								
송도	1995.1~	최저		0.00			0.00			
	1997.11	최고	0.00	0.02	0.00		0.019	0.00	0.00	0.00
		평균								
영주-예천	1995.8 (홍수기)	최저		0.002			0.013			
		최고	0.00	0.008			0.258	0.00		
		평균								
	1995.10 (장마후 갈수기)	최저					0.004			
		최고	0.00	0.00			0.047	0.00		
		평균								
1996.5 (장마전 갈수기)	최저					0.114	0.00			
	최고	0.00	0.00			0.148	0.045			
	평균									
김천	1995.8 (홍수기)	최저					0.077			
		최고	0.00	0.00			0.194	0.00		
		평균								
	1995.10 (장마후 갈수기)	최저		0.00			0.00			
		최고	0.00	0.001			0.005	0.00		
		평균								
1996.5 (장마전 갈수기)	최저					0.00				
	최고	0.00	0.00			0.017	0.00			
	평균									
안동	1995.8 (홍수기)	최저					0.00			
		최고	0.00	0.00			0.033	0.00		
		평균								
	1995.10 (장마후 갈수기)	최저					0.00			
		최고	0.00	0.00			0.01	0.00		
		평균								
1996.5 (장마전 갈수기)	최저					0.114				
	최고	0.00	0.00			0.14	0.00			
	평균									

표2-4-2. 국내 농업용수 중 중금속 함량

(단위 : mg kg⁻¹)

지역	구분	중금속 함량								
		Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Zn	Pb	Hg	As
문경-상주	1995.8 (홍수기)	최저		0.001			0.008			
		최고	0.00	0.062			0.288	0.00		
		평균								
	1995.10 (장마후 갈수기)	최저					0.00			
		최고	0.00	0.00			0.066	0.00		
		평균								
	1996.5 (장마전 갈수기)	최저					0.144	0.008		
		최고	0.00	0.00			0.14	0.026		
		평균								
밀양-청도	1995.8 (홍수기)	최저		0.00		0.15	0.00			
		최고	0.00	0.084		6.32	0.007			
		평균								
	(장마후 갈수기)	최저		0.00			0.00			
		최고	0.00	0.044			0.022	0.00		
		평균								
	(장마전 갈수기)	최저					0.00			
		최고	0.00	0.00			0.009	0.00		
		평균								
김해	1989.6.14 ~9.28	최저	0.002	0.005		0.23	0.07	0.01	0.02	
		최고	0.01	0.03		0.66	0.23	0.09	0.36	
		평균	0.005	0.02		0.48	0.13	0.04	0.17	
	1989.6.14 ~9.28	최저	0.007	0.004		0.18	0.07	0.01	0.02	
		최고	0.01	0.05		1.30	0.17	0.24	0.33	
		평균	0.009	0.02		0.69	0.13	0.11	0.17	
	1989.6.14 ~9.28	최저	0.004	0.004		0.17	0.06	0.01	0.01	
		최고	0.02	0.03		1.17	0.23	0.08	0.46	
		평균	0.012	0.02		0.60	0.15	0.03	0.21	
	1989.6.14 ~9.28	최저	0.009	0.017		0.25	0.12	0.01	0.03	
		최고	0.012	0.03		1.16	0.36	0.16	0.43	
		평균	0.01	0.02		0.55	0.24	0.06	0.19	
	1989.6.14 ~9.28	최저	0.005	0.006		0.45	0.12	0.01	0.03	
		최고	0.01	0.04		2.63	0.36	0.56	0.38	
		평균	0.009	0.02		1.27	0.22	0.16	0.15	
	1989.6.14 ~9.28	최저	0.011	0.017		1.03	0.19	0.01	0.05	
		최고	0.026	0.18		11.0	1.97	0.77	1.79	
		평균	0.019	0.09		4.09	0.77	0.37	0.53	
	1989.6.14 ~9.28	최저	0.009	0.02		1.43	0.36	0.01	0.04	
		최고	0.01	0.05		2.78	1.10	0.15	0.61	
		평균	0.01	0.04		2.27	0.70	0.10	0.26	

II-5. 결론 및 요약

재배환경 내 유해물질의 국내외 잔류수준을 학술지에 게재된 논문과 연구 보고서 등을 활용하여 정리하였다.

농약, 중금속과 같은 기존의 유해물질과 항생물질 및 다중고리방향족탄화수소류와 같은 지금까지는 크게 주목을 하지 않았던 유해물질들에 관해 검토하였으며, 그 결과에 관해 고찰해 보고자 한다.

가. 잔류농약

국내의 농경지 토양 중 잔류농약은 총 1999년~2011년 사이에 수행된 2,558점의 대한 조사결과를 가지고 검토하였다.

살균제 47종, 살충제 65종, 살비제 6종, 제초제 23종 및 식물생장조절제 1종이 검출되었다. 살균제 중에서는 Tricyclazole이 20.72%의 검출빈도를 나타냈고 1%이상의 검출빈도를 나타낸 약제는 총 13종이었다. 검출된 시료만을 대상으로 하여 평균 잔류수준을 평가할 때 Carbendazim이 0.63 mg kg^{-1} 로 가장 높았고, Pendimethalin이 0.42 mg kg^{-1} 로 나타났으나, 총 시료수를 고려하여 볼 때 검출된 모든 살균제 성분은 평균 0.1 mg kg^{-1} 수준 이하였다.

살충제 중에서는 Endosulfan (total)이 26.27%로 가장 높았고, Imidacloprid가 20.72 mg kg^{-1} 이었으며 1% 이상의 검출빈도를 나타낸 살충제성분은 총 13종이었다. 살충제 중 검출된 성분만을 대상으로 한 평균 잔류량은 Endosulfan (total)이 0.7 mg kg^{-1} 로 가장 높았으며 0.1 mg kg^{-1} 이상의 검출성분 평균잔류량을 보인 약제는 총 17종이었다. 그러나 총 조사시료를 대상으로 Endosulfan (total)이 0.043 mg kg^{-1} 이었고 대부분은 0.1 mg kg^{-1} 이하수준이었다.

제초제의 경우에는 Alaclor가 검출빈도 3.31%로 가장 높았고, 1% 이상의 검출빈도를 나타낸 제초제 성분은 4종이었다.

검출된 시료의 평균잔류량은 Alachlor가 0.2 mg kg^{-1} 로 가장 높았으며 총 시료에 대한 평균 잔류량은 계산할 수 없는 수준으로 매우 낮았다.

한편 국내의 농경지 토양에서는 2010년 DDT가 1회 검출된 경우가 있었으나 대부분의 유기염소계 농약은 검출한계 미만 수준이었다.

외국의 경우에는 2000년대에도 유기염소계 잔류농약의 잔류수준평가를 하고 있었으며, 기타의 농약은 매우 드물게 보고되고 있었다.

B. 중금속

국내의 농경지 토양에 대한 중금속 잔류수준에 관련된 자료는 환경부의 토양 측정망 자료조사결과와 농업과학원의 취약농경지 중 중금속 함량 조사 및 농어촌공사의 GAP 생산기반 조성사업의 일환으로 수행된 지구별 농경지 중금속 모니터링 조사결과를 참고로 하였다. 환경부의 토양측정망 중 농경지 토양은 논 (2002~2007년 125개소, 2008~2010년 127개소), 밭 (2002~2007년 82개소, 2008~2010년 86개소), 과수원 51개소 및 목장용지 54개소를 대상으로 2002~2010년에 걸쳐 조사되었고, 국립농업과학원의 취약농경지 토양 중 중금속 함량 조사는 생활하수유입농경지는 1999, 2003년 및 2007년 각 600개소를 대상으로 총 1800개소에 대해, 광산인근 농경지는 2000, 2004 및 2008년에 각 600개소 씩 총 1800개소를 대상으로, 공업단지 인근 농경지는 2001년과 2005년에 각 600개소 씩 총 1,200개소를 대상으로 그리고 고속도로 주변 농경지는 2002년에 600개소를 대상으로 조사를 수행하였다.

그리고 농어촌 공사는 2010년에는 폐광산인근 2~4 km 지점의 농경지에서 표도 1,760점과, 심도 557점 등 총 237점의 시료를 대상으로, 2011년에는 매립지 주변 2 km 이내의 경작지 토양에서 표도 478점과 심도 154점 등 총 632점 그리고 폐광산 주변 2~4 km의 토양에서 표도 1,825점과 심도 583점 등 총 2,408점을 대상으로 중금속 잔류수준 평가를 수행하였다.

전체적으로 볼 때 폐광산 인근 농경지와 공업단지 인근 농경지에는 조사대상 8종의 중금속류의 잔류수준이 상대적으로 높았으며, 우려기준을 초과하는 지점도 많았고, 일부는 대책기준을 초과하는 것도 확인되었다. 분석자료를 구할 수 있었던 농어촌 공사의 자료를 통해 볼 때 폐광산 인근 2~4 km에 위치한 농경지 토양에서도 조사지점을 기준으로 비소는 6.21%가 우려기준을 초과하였고, 0.88%는 대책기준을 초과하였다. 카드뮴은 4.51%가 우려기준을 초과하였고, 아연은 0.97%가 우려기준 초과, 0.04%는 대책기준을 초과하였으며, 납은 0.50%가 우려기준을 초과하는 것으로 나타났다. 그리고 니켈은 0.48%가 우려기준 초과, 0.13%는 대책기준을 초과하였으며, 구리는 0.38%가 우려기준 초과, 0.17%는 대책기준을 초과하는 것으로 조사되었다. 특히 특정한 폐광산 지역에서 상당히 높은 중금속이 검출되었으며, 이 중에는 2~3 종의 중금속이 복합적으로 기준을 초과하는 경우도 있었다.

Ⅲ. 재배환경 내 유해물질 안전관리 기준의 사례검토

미국 EPA는 오염된 토양으로부터 과일과 채소 섭취로 인한 오염물질 노출 가능성 경로를 규명하기 위하여 Soil-Plant-Human 노출경로에 대한 Soil Screening Levels (SSLs)을 산출할 수 있는 방법을 확립하고자 하였다. 중금속과 달리 유기화합물은 흡수-반응상수를 구하기 위한 실험적 자료가 부족하여 수학적 모델을 활용한 식물체내 흡수를 평가하고자 fugacity에 근거한 접근 방법으로 PLANTX (Trapp and McFarlane, 1995)를 활용하고 있다.

Ⅲ-1. 잔류농약

최근 들어 재배환경, 특히 토양에 대한 잔류농약 조사는 많이 이루어지지 않고 있다. 이는 토양에 살포한 농약이 작물체로 흡수·이행되는 정도가 토양의 특성과 작물의 종류 및 생육시기 등에 따라 차이가 나기 때문이라고 본다. 따라서 전 세계적으로는 농산물에 대한 농약잔류허용기준 (MRL)을 설정하여 관리 하는 것이 보편적이다.

외국의 경우 일부의 유기염소계 농약에 대해 재배토양 중 잔류기준이 설정되어 있는데, 이는 해당 국가 및 지역에서 과거에 다량의 유기염소계 살충제를 사용했기 때문이라고 판단된다.

1-1. 외국의 경작지 토양 중 농약잔류허용기준

국외 기관 자료는 해당국가의 기관 홈페이지 (미국 EPA: www.epa.gov; 일본 후생성: www.mhlw.go.jp/english/ 등) 등을 통하여 주로 검색하였으며, 수집된 자료는 「별첨」에 첨부하였다. 다만 국내에서 관심을 가지고 있는 토양 잔류허용기준설정에 대한 국외관련 자료는 1994년 국내에서 수행된 「이 등 (1996)의 보고서」 등에 체계적으로 잘 정리되어 있어 추가 자료 조사 없이 이를 토대로 다음과 같이 요약하였다.

가. 미국

미국 EPA에서는 1975년 농약의 환경예상농도와 생물에 미치는 독성치 간의 비율에 따라 농약의 생태계 위해성을 세 가지로 분류하는 평가기준을 개발하였다. 그 후 환경생태독성에 관한 많은 데이터가 축적됨에 따라 자원보전 및 재생법 (Resource Conservation and Recovery Act; RCRA)에 근거하여 1994년 공기, 물, 토양에 대한 잔류농약잠정기준을 제안하고 있다. 이들 기준의 산출근거는 알 수 없지만 환경보전이라는 관점에서 하나의 지침이 될 수 있다. 그러나 미국 연방정부에서 토양오염을 규정하고 있는 기준은 없으며 각 주별로 토양환경 관리를 위한 각각의 토양기준을 가지고 있다. 따라서 당시에 제안된 토양 중 잔류농약허용기준 설정은 연방정부 차원에서는 채택되지 않았다. 미국은 식수의 대부분을 지하수로부터 얻기 때문에 지하수보전을 중요시한다. 이에 따라 부지의 오염여부를 판단하는 기준은 지하수를 중심으로 설정되어 있다. 지하수질에 대한 기준으로 폐기물법 40CFR264 APPENDIX IX (Groundwater Monitoring List)의 오염물질별 실측한계농도(PQL: Practical Quantitation Limit), 40CFR264.92, 93, 94의 지하수보호를 위한 최대 농도가 있다. 그 외에 독성특성에 대한 오염물질 최대농도가 40CFR261.24(Toxicity Characteristic)에 규정되어 있다.

표3-1-1. 미국의 환경인자 중 잔류농약 기준 - 매사추세츠주

농 약	토양 (mg kg ⁻¹)
Aldrin	0.03
Chlordane	1
DDD	2
DDE	2
DDT	2
Dieldrin	0.03
Endosulfan	20
Endrin	0.6
Heptachlor	0.1
Heptachlor epoxide	0.06
Methoxychlor	100

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

나. 일본

일본에서는 농약취체법에 근거하여 농림수산성이 농약등록을 담당하고 있다. 그러나 환경청에서는 농약등록에 있어서 인축에 대한 피해 및 환경오염을 미연에 방지한다는 취지에서 농약등록 보류기준을 설정하는 동시에 등록된 농약에 대해서도 잔류특성으로 인하여 인축, 수산동물 등에 피해를 줄 우려가 큰 농약에 대해서는 청령으로 잔류성 농약으로 지정한 다음 그 사용을 규제하고 있다. 농림수산성의 등록보류기준 10개항 중에서 다음 4개 항목은 환경청에서 정하고 있다.

- a. 작물잔류에 의한 보류기준 : 농작물에서의 잔류가 원인이 되어 인축에 피해가 발생할 우려가 있는 경우로서 신청된 방법으로 사용되었을 때 농작물의 잔류농약 농도가 식품위생법의 식품규격에 적합하지 않은 경우, 그리고 식품규격이 없을 때는 환경청 기준에 적합하지 않은 경우
- b. 토양잔류에 의한 보류기준 : 토양잔류 때문에 농작물이 오염되고 나아가 인축에 피해가 발생할 우려가 있는 경우로서 농약성분의 토양중 반감기가 규정된 포장시험 및 용기 내 시험에서 1년 이상인 경우
- c. 수산동식물에 대한 독성에 의한 보류기준
- d. 수질오염에 의한 보류기준

일본에서 토양오염과 관련된 기준으로는 ① 토양환경기준 (1991년 환경청 고시), ② 농작물 재배 제한기준(1971년 농경지 토양오염방지법), ③ 시가지 토양오염 대책 기준 (1986년 환경청 지침), ④ 국유지 토양오염 대책기준 (1992년 환경청 지침)이 있다. 그리고 1994년에 수질환경기준의 강화와 더불어 토양환경기준도 강화되어 염소계 유기용제 및 simazine과 같은 농약 등 15개 항목이 추가되어 총 25개 항목이 규제대상으로 지정 운영되고 있다. 이들 기준은 주로 중금속을 규제하는데 목적을 두며, 농약성분에 관한 규제로는 토양환경기준에서 정한바와 같이 농경지와 시가지 토양에서 유기인화합물 (parathion, methyl parathion, EPN, demeton-S-methyl)이 검출되어서는 안 되도록 규제하고 있는데, 이 기준은 수돗물 또는 수질환경기준치와 같다.

다. 네덜란드

네덜란드는 1975년부터 토양오염의 사전 방지를 위하여 유해폐기물 규제법을, 1983년에는 토양오염지역에 대한 사후대책을 위하여 토양정화잠정법을 제정하였으며, 1987년에는 토양보호법을 제정하여 토양의 다기능성 (농업생산기능, 지하수회복기능, 생태계보호기능, 광물채굴기능, 건설기반기능 등)을 잃지 않도록 토양오염을 미연에 방지할 수 있는 근거법을 마련하였다. 이들 법규에 근거하여 네덜란드는 오염물질로부터 토양을 보호하기 위해 농경지와 시가지를 대상으로 오염물질에 대한 규제기준을 다음과 같이 설정하고 있다. 시가지의 경우 규제기준은 A, B, C 기준으로 나누어 A는 토양의 기본 농도로 이농도 이하인 경우 비 오염 토양으로 판단하며 이 값을 초과하는 경우 오염가능성과 위험에 대한 예비적 조사가 필요한 기준, B는 초과하는 경우 오염에 의한 위험이 인정되며 정밀조사가 필요한 기준, C는 초과하는 경우 A기준 이하로 떨어지도록 조치가 필요한 양을 기준화 한 값이다.

표3-1-2. 네덜란드의 농경지 토양 중 농약성분의 목표치 (단위 : mg kg⁻¹)

농 약	토양 (건조 조건)	농 약	토양 (건조 조건)
Aldrin	2.5	β-HCH	1
Atrazine	0.05	γ-HCH	0.05
Azinphos-methyl	0.06	Heptachlor	2.5
Chlordane	10	Heptachlor epoxide	2.5
DDT(+DDD, DDE)	2.5	Hexachlorobenzene	2.5
Diazinon	0.07	Malathion	0.02
Dieldrin	0.5	Parathion+parathion-methyl	10
Disulfoton	10	Parathion-ethyl	0.04
α-Endosulfan	2.5	Pentachlorophenol	
Endrin	2.5	TBTO	0.1
Fenitrothion	10	Triazofos	10
α-HCH	2.5	Trifluralin	10

(임수길, 1994)

표3-1-3. 네덜란드 시가지의 토양오염 판정기준

오염물질	A ¹⁾	B ²⁾	C ³⁾
<i>DDT/DDD/DDE</i>	-	4	-
DDT	0.1	-	5-10
DDD	0.1	-	5-10
DDE	0.1	-	5-10
<i>Sum(of 3 drin's)</i>	-	4	-
Aldrin	0.0025	-	5-10
Dieldrin	0.0005	-	5-10
Endrin	0.001	-	5-10
<i>BCH-compounds</i>	-	2	-
α-BCH	0.0025	-	5-10
β-BCH	0.001	-	5-10
γ-BCH	0.00005	-	5-10
Carbaryl	-	5	5-10
Carbofuran	-	2	5-10
Maneb	-	3	5-10
Atrazin	0.00005	6	5-10

¹⁾A: Soil target value, ²⁾B: Intervention value

³⁾C: Chlorinated = 5 mg kg⁻¹, non-chlorinated = 10 mg kg⁻¹ soil

Dutch list, 1993

라. 호주 및 뉴질랜드

호주 및 뉴질랜드에서 실시하는 토양오염관리는 호주와 뉴질랜드 합동환경보전위원회와 국가의학연구심의회가 공동으로 기술지침서를 개발하여 행하고 있다. 농약에 관련된 토양환경기준인 표는 두 나라의 실제 환경조건하에서 토양 내 오염물질의 행동에 관한 광범위한 평가가 이루어질 때까지 사용하기 위한 잠정 기준이다. 여기에서 background 농도는 적은 수의 토양조사에서 얻어진 값이다. 환경조사 기준은 외국 기준을 참고로 하여 정하였거나 인체위해성을 고려하여 정하였다. 1990년대 중반이후 호주 및 뉴질랜드에서 이루어지고 있는 오염된 토양의 정화사업은 환경조사 기준농도를 근거로 하고 토양오염지역의 지역적 특이성을 함께 고려하여 종합평가한 후 이루어졌다. 지역적 특이성을 대표할 수 있는 요인으로는 ①토지의 사용(예, 주거지역, 농업지역, 원예지역, 위락시설지역, 상업지역, 공업지역 등), ②인구에서 차지하는 어린이의 비율, ③오염물질의 지하확산 등 오염물질이 미칠 수 있는 잠재적 영향, ④오염물질의 단일 또는 복합성 여부, ⑤오염토양의 깊이, ⑥오염의 수준 및 오염지역의 분포, ⑦오염물질의 이동성, ⑧오염물질의 속성평가(예, 독성역학, 발암성, 급만성독성 등), ⑨오염물질의 이화학적 특성, ⑩지표면의 상태(예, 포장, 초지, 노출지 등), ⑪잠재적 노출경로, ⑫시료채취 및 독성학적 평가의 불확실성

등을 고려하였다. 당시 환경조사 기준농도의 설정은 ①오염물질의 생물학적 유효성, ②FAO(Food and Agricultural Organization)의 오염물질의 주간 섭취량(Provisional Tolerable Weekly Intake: PTWI) 또는 1일 섭취량(Acceptable Daily Intake: ADI), ③PTWI 또는 ADI가 파악된 물질의 잠재적 성분(예, 토양, 식량, 물, 공기 중의 오염물질 농도와 이러한 경로를 통하여 사람에게 노출되는 양) 등을 고려하여 이루어졌다. 여기서 제시되는 사람에게 노출되는 오염물질의 최대노출량은 배경에서의 오염물질 농도, 섭취 또는 호흡과 피부흡수를 야기할 수 있는 오염된 토양으로부터의 오염물질 농도, 토양으로부터 인체에 흡수된 오염물질의 양 등의 인자에 의하여 결정된 것이다.

호주는 1999년에 'Guideline on the Investigation Levels for Soil and Ground water (National Environment Protection Measure 1999)'를 독자적으로 발간하고, 이에 따른 토양조사 기준을 적용하고 있다.

표3-1-4. 호주 및 뉴질랜드의 토양환경기준

농약	Background 농도	환경조사기준
Aldrin	<0.001-0.05	-
Dieldrin	<0.005-0.05	0.2
DDT	<0.001-0.97	-

Gunther Bachman, 1992

Ⅲ-2. 중금속

경작지 토양에 대한 중금속 관리 기준은 여러 나라에서 설정하여 시행되고 있다. 그러나 토양 중 중금속 함량은 분석 방법에 따라 차이가 나며, 총 중금속 중 작물체로의 이행이 얼마나 되는지는 아직도 많은 연구가 필요하다고 본다.

2-1. 경작지 토양 중 중금속 대책기준

2-1-1. 국내의 토양 중 중금속의 오염 기준

우리나라는 토양환경보전법에서 오염지역의 관리를 위해 오염의 정도가 사람의 건강과 동·식물의 생육에 지장을 초래할 우려가 있어 토지의 이용중지, 시설의 설치금지 등 규제조치가 필요한 정도의 오염상태를 토양오염대책기준으로 설정하고, 대책기준의 약 40%정도로 더 이상의 오염이 심화되는 것을 예방하기 위한 오염수준을 토양오염우려기준으로 구분하여 설정하고 있으며 오염지역 복원 시 복원기준은 우려기준 이하로 유지하도록 규정하고 있다.

표3-2-1. 토양 오염 물질

토양오염물질 (제1조의2 관련)	
1. 카드뮴 및 그 화합물	14. 벤젠
2. 구리 및 그 화합물	15. 톨루엔
3. 비소 및 그 화합물	16. 에틸벤젠
4. 수은 및 그 화합물	17. 크실렌
5. 납 및 그 화합물	18. 석유계 총 탄화수소
6. 6가크롬화합물	19. 트리클로로에틸렌
7. 아연 및 그 화합물	20. 테트라클로로에틸렌
8. 니켈 및 그 화합물	21. 벤조(a)피렌
9. 불소화합물	22. 기타 위 물질과 유사한 토양오염물질로서 토양오염의 방지를 위하여 특별히 관리할 필요가 있다고 인정되어 환경부장관이 고시하는 물질
10. 유기인화합물	
11. 폴리클로리네이티드비페닐	
12. 시안화합물	
13. 페놀류	

토양환경보전법 [별표1] <개정2009.6.25>

토양오염물질 21개 항목에 대하여 토양오염기준 적용 지역을 토지이용용도에 따라 3지역으로 구분하고 각각에 대하여 오염정도에 따라 토양오염 우려기준 과 토양오염 대책기준으로 구분하였다.

표3-2-2. 토양오염 우려기준 및 토양오염 대책기준 (단위 : mg kg⁻¹)

오염물질	토양오염 우려기준			토양오염 대책기준		
	1지역	2지역	3지역	1지역	2지역	3지역
카드뮴	4	10	60	12	30	180
구리	150	500	2,000	450	1,500	6,000
비소	25	50	200	75	150	600
수은	4	10	20	12	30	60
납	200	400	700	600	1,200	2,100
6가크롬	5	15	40	15	45	120
아연	300	600	2,000	900	1,800	5,000
니켈	100	200	500	300	600	1,500
불소	400	400	800	800	800	2,000
유기인화합물	10	10	30	-	-	-
폴리클로리네이티드비페닐	1	4	12	3	12	36
시안	2	2	120	5	5	300
페놀	4	4	20	10	10	50
BTEX	벤젠	1	1	3	3	9
	톨루엔	20	20	60	60	180
	에틸벤젠	50	50	340	150	1,020
	크실렌	15	15	45	45	135
석유계 총 탄화수소(TPH)	500	800	2,000	2,000	2,400	6,000
트리카로로에틸렌(TCE)	8	8	40	24	24	120
테트라크로로에틸렌(PCE)	4	4	25	12	12	75
벤조(a)피렌	0.7	2	7	2	6	21

환경부, 토양환경보존법

※ 비고

A. 토양오염 우려기준

1. 1지역: 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에 따른 지목이 전·답·과수원·목장용지·광천지·대 (「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행령」 제58조제8호가목 중 주거의 용도로 사용되는 부지만 해당한다)·학교용지·구거(溝渠)·양어장·공원·사적지·묘지인 지역과 「어린이놀이시설 안전관리법」 제2조제2호에 따른 어린이 놀이시설 (실외에 설치된 경우에만 적용한다) 부지
2. 2지역: 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에 따른 지목이 임야·염전·대 (1지역에 해당하는 부지 외의 모든 대를 말한다)·창고용지·하천·유지·수도용지·체육용지·유원지·종교용지 및 잡종지 (「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행령」 제58조제28호가목 또는 다목에 해당하는 부지만 해당한다)인 지역
3. 3지역: 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에 따른 지목이 공장용지·주차장·주유소용지·도로·철도용지·제방·잡종지 (2지역에 해당하는 부지 외의 모든 잡종지를 말한다)인 지역과 「국방·군사시설 사업에 관한 법률」 제2조제1항제1호부터 제5호까지에서 규정한 국방·군사시설 부지
4. 벤조(a)피렌 항목은 유독물의 제조 및 저장시설과 폐침묵을 사용한 지역 (예: 철도용지, 공원, 공장용지 및 하천 등)에만 적용한다.

B. 토양오염 대책기준

1. 1지역: 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에 따른 지목이 전·답·과수원·목장용지·광천지·대 (「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행령」 제58조제8호가목 중 주거의 용도로 사용되는 부지만 해당한다)·학교용지·구거(溝渠)·양어장·공원·사적지·묘지인 지역과 「어린이놀이시설 안전관리법」 제2조제2호에 따른 어린이 놀이시설 (실외에 설치된 경우에만 적용한다) 부지
2. 2지역: 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에 따른 지목이 임야·염전·대 (1지역에 해당하는 부지 외의 모든 대를 말한다)·창고용지·하천·유지·수도용지·체육용지·유원지·종교용지 및 잡종지 (「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행령」 제58조제28호가목 또는 다목에 해당하

는 부지만 해당한다)인 지역

3. 3지역: 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에 따른 지목이 공장용지·주차장·주유소용지·도로·철도용지·제방·잡종지 (2지역에 해당하는 부지 외의 모든 잡종지를 말한다)인 지역과 「국방·군사시설 사업에 관한 법률」 제2조제1항제1호부터 제5호까지에서 규정한 국방·군사시설 부지
4. 「공익사업을 위한 토지 등의 취득 및 보상에 관한 법률」 제48조에 따라 취득한 토지를 반환하거나 「주한미군 공여구역 주변지역 등 지원 특별법」 제12조에 따라 반환공여구역의 토양 오염 등을 제거하는 경우에는 해당 토지의 반환 후 용도에 따른 지역 기준을 적용한다.
5. 벤조(a)피렌 항목은 유독물의 제조 및 저장시설과 폐침목을 사용한 지역 (예: 철도용지, 공원, 공장용지 및 하천 등)에만 적용한다.

표3-2-2에서 보면, 우리나라의 토양 중 유해물질 관리 기준은 외국에 비해 매우 종류가 적은 것을 알 수 있다. 특히 농약성분으로는 유기인 화합물이 있으며, 유기염소화합물로는 폴리클로리네이티드비페닐 (PCB)가 포함되어 있을 뿐 개별적인 농약성분에 대한 별도의 기준은 설정되어 있지 않다.

현행 기준 중 6가크롬의 경우는 농경지 토양에서 검출될 가능성이 높지 않으므로 총 크롬으로 변경하는 방안도 고려할 필요가 있다. 외국의 경우에는 6가 크롬과 총 크롬이 함께 있는 경우가 많은데 실제로 6가 크롬은 특정한 공장배수에서 검출될 수 있으나 현재는 공정상 모두 3가 크롬으로 안정화 시켜 제거하므로 필요하다면 총 크롬으로 대체하는 방안을 검토하여야 할 것이다.

또한 국내의 농경지 토양 조사 결과 비소, 카드뮴, 납, 아연 및 니켈 등이 우려기준을 초과하는 경우가 많았고, 이중 일부는 대책기준을 초과하는 경우가 있었다. 특히 제주도 화산회토의 경우에는 니켈의 함량이 높은 경우가 많아 토양 환경 보존법에 의하면 농작물의 재배를 금지해야하는 경우가 있으므로 이런 문제는 작물재배 실험을 통한 금속의 작물흡수계수 (BCF)를 구하는 연구를 우선 실시하여 농민들이 농작물에 잔류량을 최소화할 수 있는 작물을 선발하여 정보를 제공하여야 할 것이다.

2-1-2. 외국의 경작지 토양 중 중금속 대책 기준

미국 EPA는 중금속에 대한 토양선별기준 (Soil Screening Levels, SSLs)을 산출하기 위하여 작물에 대한 독성 가능성, 생체이용률 및 흡수 등을 고려하고, soil-plant-human 노출경로에서 식물흡수에 중요한 영향을 미칠 수 있는 지역특이적인 요소를 강조하고 있다. 이에, 국내에서도 토양 중 중금속 기준 설정시 인체독성, 노출기간, 노출횟수, 작물체내 오염을 및 작물 섭취율 등을 고려한 작물체내 허용농도 및 토양에서 농작물로의 축적계수 (soil-to-plant bioconcentration factor, Br)에 대한 적용이 필요하다고 판단된다. 이러한 접근 방식은 토양환경으로부터 작물섭취를 통한 인체 노출평가에도 적용하여 활용할 수 있다. 미국 EPA에서 토양-작물-인체를 고려하여 설정한 토양 중 중금속 기준인 SSLs 결정 방법 및 적용계수는 다음과 같다.

1. 실험결과를 이용한 SSL 산출

EPA는 식용작물에서 화학물질 흡수와 관련하여 Soil-Plant-Human 노출경로에서 SSLs를 결정하는데 간단한 식을 추천하고 있으며, 이 식은 bioconcentration factor (Br)를 사용하여 제시되고, 뿌리작물을 포함한 대부분의 작물에 적용가능하다.

$$\text{Screening Level (mg/kg)} = C_{\text{plant}}/B_r$$

C_{plant} : acceptable plant concentration (mg/kg DW)

B_r : plant-soil bioconcentration factor
(mg contaminant/kg plant tissue DW)(mg contaminant/kg soil)⁻¹

이때, C_{plant} 산출시 작물 중 농도는 건중량 (dry weight, DW)을 기준으로 표시하고 있어, 작물에 대한 소비량 (consumption rate)이 건중량으로 표시되어야 하기 때문에 다양한 작물에 대한 생체량 (fresh weight)을 건중량으로 전할 수 있는 환산계수 (conversion factor)를 제시하고 있다 (표3-2-3). 예를 들면, 사과에 대한 환산계수는 0.159로 사과 10 kg 생체량은 건중량으로 1.59 kg을 의미하게 된다.

표3-2-3. Fresh-to-dry conversion factor for fruits and aboveground vegetables

Vegetables		Fuits	
Asparagus	0.070	Apple	0.159
Snap beans	0.111	Bushberry	0.151
Cucumber	0.039	Cherry	0.170
Eggplant	0.073	Grape	0.181
Sweet pepper	0.074	Peach	0.131
Squash	0.082	Pear	0.173
Tomato	0.059	Strawberry	0.101
Broccoli	0.101	Plum/prune	0.540
Brussels sprouts	0.151		
Cabbage	0.076		
Cauliflower	0.083		
Celery	0.063		
Escarole	0.134		
Green onions	0.124		
Lettuce	0.052		
Spinach green	0.073		
Average for vegetables	0.085	Average for fruits	0.15

1) 작물체내 허용농도 (C_{plant})

오염물질의 작물체내 허용농도 (C_{plant})는 다음 식으로부터 산출된다.

$$C_{plant} = (I \times BW) / (F \times CR)$$

I : acceptable daily intake of contaminant (mg/kg-d)

BW : body weight (kg), (default : 70)

F : fraction of fruit for fruits and vegetables (kg-plant DW-d),
(default : 0.4)

CR : consumption rate for fruits and vegetables (kg-plant DW-d),
(default 지상부 : 0.0197, 지하부 : 0.0024)

A. 오염물질의 일일섭취 허용량 (I)

오염물질의 일일섭취 허용량 (I) 산출은 발암성이 있다고 평가되는 물질 (미국EPA 발암성 등급 A, B1, B2, C)의 경우, 다음의 식을 적용하여 노출기간, 노출횟수, 평가시간 및 경구투여 시 발생 가능한 초과발암확률인 발암력 (oral cancer slope factor, 표3-2-4) 등을 활용하고 목표 위험수준 (the target risk level)은 100만명당 1명의 발암가능성을 기준으로 한다.

$$I = \frac{TR \times AT \times 365d/yr}{ED \times EF \times CSF_{oral}}$$

- TR : target risk level (unitless), (default : 106)
- AT : average time (year), (default : 70)
- ED : exposure duration (year), (default : 30)
- EF : exposure frequency (d/yr), (default : 350)
- CSF_{oral} : oral cancer slope factor (mg/kg-d)⁻¹ (default : 표3-2-4)

비발암성 물질의 경우, 오염물질의 일일섭취 허용량 (I)은 다음의 식을 이용하여 오염물질의 평생노출 시 유해성을 일으키지 않는 일일노출허용량인 경구독성 참고값 (Reference dose, RfD, 표3-2-4)를 활용하여 비발암독성에 대한 위해를 유해지수 (hazard quotient) 1을 기준으로 산출된다.

$$I = \frac{HQ \times RfD \times AT \times 365d/yr}{ED \times EF}$$

- HQ : Hazard Quotient (unitless), (default : 1)
- RfD : oral reference dose (mg/kg-d), (default : 표3-2-4)
- AT : average time (year), (default : 30)
- ED : exposure duration (year), (default : 30)
- EF : exposure frequency (d/yr), (default : 350)

표3-2-4. Cancer Slope Factor & Reference Dose

CAS Number	Chemical Name	Cancer Slope Factor (mg/kg-d) ⁻¹			Reference Dose (mg/kg-d)	
		Carc. Class	SF	Ref.	RfD	Ref.
7440-38-2	Arsenic	A	4.3E-03	1	3.0E-04	1
7440-43-9	Cadmium	B1	1.3E-03	1	1.0E-03	1
7439-97-6	Mercury	D			3.0E-04	2
7440-02-0	Nickel	A			2.0E-02	1
7782-49-2	Selenium	D			5.0E-03	1
7440-66-6	Zinc	D			3.0E-01	1

EPA, 1996b, Soil Screening Guidance: Technical Background Document

B. 작물체내 오염율 (Contaminated Fraction, F) 및 작물 섭취율 (Consumption Rate, CR)

작물체내 오염율 (F) 및 작물 섭취율에 대한 설정값 (default value) Exposure Factors Handbook (U.S.EPA,1190)에서 제안하고 있으며, 재배현장에 따른 오염된 과일 및 채소는 섭취에 따라 high-end dietary fraction으로 0.4로 설정되며, 과일 및 채소의 작물 섭취율 설정값은 생체량 기준으로 각각 0.14, 0.2 kg/d이다. 미국 EPA (1994)는 가정에서 재배하는 작물체내 오염율을 대략적으로 0.25~0.40으로 가정하고 있으며, 생체량 섭취율에 대한 예측치는 다음과 같이 제시하고 있다.

0.088kg/d of aboveground unprotected fruits

0.076kg/d of aboveground unprotected vegetables

0.028kg/d of unprotected belowground vegetables (U.S. EPA, 1994)

위의 내용에서 비보호 (unprotected)의 구분은 멜론, 오렌지류 등의 작물을 보호 작물로 구분하였으며, 이들 작물은 껍질부위가 오염물질이 작물의 식용부위로 이동하는 것을 최소화시키므로, 이를 반영하여 제안하고 있다.

과일 및 채소 작물 섭취율 (CR)은 생체-건중량 환산계수 (fresh-to-dry conversion)를 근거로 하여 건중량으로 전환할 수 있으며, 이때 과일 및 채소에 대한 각각의 평균환산계수는 0.15 및 0.085이다 (표3-2-3). 예를 들어, 비보호 지하부 채소에 대한 섭취율은 생체량 섭취율인 0.028 kg FW/d에 채소에 대한 건중량 환산계수 0.085를 적용하면 0.0024 kg DW/d이다. 동일한

방법을 적용하여 산출되는 비보호 지상부의 채소 및 과일에 대한 건중량 기준의 작물섭취율 (CR)은 각각 0.0065 및 0.0132이며, 전체적인 지상부 작물에 대한 작물섭취율 (CR)은 두 값의 합인 0.0197 kg FW/d이다.

2) 토양-작물 체내 농축계수 (Soil-to-Plant Bioconcentration Factor, Br)

미국 EPA에서는 중금속의 지상부 및 지하부 작물에 대한 토양-작물 체내 농축지수 (Br)은 토양 및 식물농도 사이의 상관관계는 수학적 구성에 의한 모델로는 설명하기 어렵기 때문에 반드시 실험결과로부터 규명해야 한다고 기술하고 있으며, 이에 실험값에 근거한 6개의 중금속에 대한 작물체내 농축계수를 제시하고 있다 (Technical Support Document for Land Application of Sewage Sludge, U.S. EPA, 1992, 표3-2-5). 일반적인 위해성평가의 스크리닝 단계에서는 지상부와 지하부의 대표작물로 잎작물과 뿌리작물에 대하여 기하평균 토양-작물 농축계수 (Br)을 적용하며, 해당 값은 6개 중금속에 대한 토양-작물-인체 노출평가를 위한 SSL 산출할 경우에도 적용할 수 있다.

표3-2-5. Summary of empirical bioconcentration factors for metals
(in mg contaminant per kg plant DW/mg contaminant/kg soil)

Study Observation	pH 범위	Bioconcentration factors (Br)		Geometric MeanBr	
		Min	Max		
Arsenic					
grains and cereals	1	7.5	0.026	0.026	0.026
potatoes	8	5.5~7.5	0.002	0.24	0.004
leafy vegetables	7	5.5~7.5	0.002	0.068	0.036
legumes	7	NR~7.5	0.002	0.004	0.002
root vegetables	7	NR~7.5	0.002	0.28	0.008
garden fruits	5	NR~7.5	0.002	0.006	0.002
sweet com	3	NR	0.002	0.002	0.002
Cadmium					
grains and cereals	14	4.4~8.0	0.002	0.346	0.36
potatoes	14	4.7~8.0	0.002	0.076	0.008
leafy vegetables	71	4.6~8.4	0.002	14.12	0.364
legumes	14	5.1~7.7	0.002	0.054	0.004
root vegetables	25	4.6~8.0	0.002	1.188	0.064
garden fruits	19	4.6~7.1	0.002	1.272	0.09
sweet com	12	5.1~7.1	0.02	0.666	0.118

표 3-2-5. Summary of empirical bioconcentration factors for metals
(in mg contaminant per kg plant DW/mg contaminant/kg soil)

	Study Observation	pH 범위	Bioconcentration factors (B _r)		Geometric MeanBr
			Min	Max	
Mercury					
grains and cereals	1	5.3~7.1	0.0854	0.0854	0.0854
potatoes	1	5.3~7.1	0.002	0.002	0.002
leafy vegetables	9	5.3~7.1	0.002	0.092	0.008
legumes	3	5.3~7.1	0.002	0.002	0.002
root vegetables	6	5.3~7.1	0.002	0.086	0.014
garden fruits	7	5.3~7.1	0.002	0.086	0.01
sweet com	default	ND	0.002	0.002	0.002
Nickel					
grains and cereals	10	6.2~8.0	0.002	0.11	0.01
potatoes	14	6.4~8.0	0.002	0.06	0.01
leafy vegetables	56	5.3~8.0	0.002	30	0.032
legumes	11	5.9~7.7	0.002	1.004	0.062
root vegetables	25	5.9~8.0	0.002	0.232	0.008
garden fruits	14	5.9~7.3	0.002	0.19	0.006
sweet com	4	5.9~7.1	0.002	0.002	0.002
Selenium					
grains and cereals	4	5.5~7.0	0.002	0.11	0.002
potatoes	2	5.5~6.8	0.018	0.096	0.042
leafy vegetables	7	5.5~7.8	0.002	0.076	0.016
legumes	4	5.5~6.8	0.024	0.11	0.024
root vegetables	8	5.5~7.6	0.004	0.096	0.022
garden fruits	8	5.5~6.8	0.008	0.078	0.02
sweet com	default	ND	0.002	0.002	0.002
Zinc					
grains and cereals	13	5.3~8.0	0.016	0.368	0.1
potatoes	14	4.7~8.0	0.01	0.122	0.024
leafy vegetables	47	4.6~8.0	0.012	4.488	0.25
legumes	10	5.1~7.7	0.002	0.11	0.036
root vegetables	20	4.6~8.0	0.002	0.412	0.044
garden fruits	21	4.6~7.3	0.002	0.394	0.046
sweet com	8	5.1~6.5	0.002	0.19	0.02

A. 카드뮴에 대한 토양-작물-인체 이행경로의 토양선별기준 (SSL) 계산 예

카드뮴은 경구 노출 시 비발암성물질로 규정되어 있으며, 토양선별기준인 SSL을 산출하기위한 작물체내 허용농도 (C_{plant}) 예측은 첫 번째로 오염물질의 일일섭취허용량 (I)을 다음 식에 근거하여 계산한다. 이때 비발암성 독성에 대한 위해기준인 유해지수 1에 근거한 식품에서의 카드뮴 섭취에 대한 경구독성 참고값 (RfD)인 1.0×10^{-3} mg/kg을 적용하여 30년 동안 매일 섭취했을 때 유해한 영향이 발생하지 않는 량으로부터 실제 노출기간 및 횟수 (default 값 적용)에 대한 오염물질의 일일섭취허용량 (I)을 계산하면 $1 \times 1.0 \times 10^{-3}$ mg/kg-d이다.

$$C_{\text{plant}} = (I \times BW) / (F \times CR)$$

- I : acceptable daily intake of contaminant (mg/kg-d)
 BW : body weight (kg), (default : 70)
 F : fraction of fruit for fruits and vegetables (kg-plant DW-d),
 (default : 0.4)
 CR : consumption rate for fruits and vegetables (kg-plant DW-d),
 (default 지상부 : 0.0197, 지하부 : 0.0024)

$$I = \frac{HQ \times RfD \times AT \times 365 \text{d/yr}}{ED \times EF}$$

$$I = \frac{1 \times 1.0 \times 10^{-3} \text{mg/kg-d} \times 30 \text{yr} \times 365 \text{d/yr}}{30 \text{yr} \times 350 \text{d/yr}}$$

$$I = 1 \times 1.0 \times 10^{-3} \text{ mg/kg-d}$$

두 번째로 작물체내 허용농도 (C_{plant})를 예측을 위한 작물 섭취율 (Consumption Rate, CR)은 지상부와 지하부 농작물 모두 섭취하는 것을 가정하여 이들의 합으로 산출되어야 한다. 작물체내 오염물 (Contaminated

Fraction, F)은 high-end dietary fraction 개념으로 0.4를 적용한다.
 최종적으로, 토양선별기준 (SSL) 산출시 작물체내 농축계수 (Br)도 지상부 및
 지하부 작물의 합으로 산출된다.

$$\text{Screening Level (mg/kg)} = \frac{I \times BW}{F \times \sum(CR \times Br)}$$

$$\text{Screening Level (mg/kg)} = \frac{I \times BW}{0.4 \times \sum(C_{ag} \times Br_{ag} + C_{bg} \times Br_{bg})}$$

$$\text{Screening Level (mg/kg)} = \frac{1 \times 1.0 \times 10^{-3} \text{ mg/kg-d} \times 70 \text{ kg}}{0.4 \times \sum(0.0197 \times 0.364 + (0.0024 \times 0.064) \text{ kg soil/d}}$$

$$\text{Screening Level(mg/kg)} = 24.9 \text{ mg/kg soil}$$

2. 중금속 및 유기화합물에 대한 토양-작물이행 및 작물체 흡수 계수 (Soil-to-Plant Transfer and Plant Uptake Factors)

미국 캘리포니아 (HLA Project No. 23366, 1994)에서 생태위해성평가를 수
 행하기 위하여 중금속에 대한 토양-작물 이행계수 (Soil-to-Plant Transfer
 factor, Bd)를 작물 뿌리 주변의 토양농도 및 다양한 작물 내 농도에 대한 논
 문에 발표된 자료를 활용하고 이를 통계적으로 분석하여 다음 식으로 부터 제
 시하였다 (표3-2-6).

$$\text{Cpd (mg/kg)} = (\text{Bd}) (\text{Csd})$$

Cpd : steady-state chemical concentration in the plant (mg/kg DW)

Bd : soil-to-plant transfer factor (DW)

Csd : chemical concentration in the soil (mg/kg DW)

표3-2-6. Soil-to-Plant Transfer and Plant Uptake Factors for Inorganic Chemical

Chemical	Bdv ^{a)}	Bdr ^{a)}	Plant Uptake Factor (kg soil/kg plant) ^{b)}
Antimony	2.00E-01	3.00E-02	7.18E-02
Arsenic	4.00E-02	6.00E-03	1.44E-02
Barium	1.50E-01	1.50E-02	4.83E-02
Beyllium	1.00E-02	1.50E-03	3.59E-03
Cadmium	5.50E-01	1.50E-01	2.48E-01
Chromium	7.50E-03	4.50E-03	5.20E-03
Copper	4.00E-01	2.50E-01	2.85E-01
Lead	4.50E-02	9.00E-03	1.78E-02
Mercury	9.00E-01	2.00E-01	3.71E-01
Nickel	6.00E-02	6.00E-02	5.94E-02
Selenium	2.50E-02	2.50E-02	2.48E-02
Silver	4.00E-01	1.00E-01	1.73E-01
Thallium	4.00E-03	4.00E-04	1.29E-03
Tin	3.00E-02	6.00E-03	1.19E-02
Vanadium	5.50E-03	3.00E-03	3.59E-03
Zinc	1.50E+00	9.00E-01	1.04E+00

Bdv : Soil-to-plant transfer factor for vegetable tissues of plant (dry-weight basis)

Bdr : Soil-to-plant transfer factor for reproductive tissues of plant (dry-weight basis)

^{a)} Souce:Baes, 1984.

^{b)} Calculaed as described in Appendix C text.

<Volume IV, Ecological Risk Assessment, Basewide RI/FS Fort Ord, California>

유기화합물에 대한 토양-작물 이행계수 (Soil-to-Plant Transfer factor, Bd)는 Travis 방법에 따라 옥탄올-물 분배계수를 활용하여 토양에서 작물조직으로 이행되는 계수와의 상관관계를 예측하는 식으로부터 계산하여 제시하였다 (표3-2-7).

표3-2-7. Octanol-Water Partition Coefficients (Kows) and Plant Uptake Factor for Organic Chemicals

Chemical	Log Kow ^{a)}	Plant Uptake Factor (kg soil/kg plant) ^{b)}
Acetone	-0.24	1.72E+01
1,2-Dichlorometane(total)	0.56	5.68E+00
Ethylbenzene	3.15	1.88E-01
Methylene chloride	1.30	2.21E+00
Methyl ethyl ketone	0.26	8.82E+00
Tetrachloroethene	2.60	3.92E-01
Toluene	2.73	3.29E-01
Trichloroethene	2.38	5.25E-01
Xylenes	3.26	1.63E-01
Benzo(a)anthracene	5.60	7.23E-03
Benzo(a)pyrene	6.06	3.92E-03
Benzo(b)fluoranthene	6.06	3.92E-03
Bis(2-ethylhexyl)phthalate	5.11	1.39E-02
Butylbenzylphthalate	4.91	1.81E-02
Chrysene	5.61	7.13E-03
Dibenzo(a,h)anthracene	6.80	1.46E-03
Dibenzofuran	4.12	5.18E-02
Di-n-butylphthalate	5.60	7.23E-03
Diethylphthalate	2.50	4.47E-01
Fluoranthene	4.90	1.83E-02
Fluorene	4.20	4.66E-02
2-Methylnaphthalene	3.86	7.32E-02
Naphthalene	3.29	1.56E-01
Pentachlorophenol	5.00	1.61E-02
Phenanthrene	4.46	3.29E-02
Pyrene	4.88	1.88E-02
PCBs(aroclor-1254)	6.00	4.24E-03
PCBs(aroclor-1260)	7.15	1.18E-01
2-Amino-dinitrotoluene	1.98	8.94E-01
4-Amino-dinitrotoluene	1.98	8.94E-01
HMX	0.13	1.05E+01
PETN	2.60	1.44E+00
RDX	0.90	3.76E+00
Tetryl	1.65	1.39E+00
Chlordane	3.32	1.50E-01
4,4'-DDD	6.20	3.25E-03
4,4'-DDE	7.00	1.12E-03
4,4'-DDT	6.19	3.29E-03

표3-2-7. Octanol-Water Partition Coefficients (Kows) and Plant Uptake Factor for Organic Chemicals

Chemical	Log Kow ^{a)}	Plant Uptake Factor (kg soil/kg plant) ^{b)}
Dicamba	2.21	6.58E-01
Dieldrin	3.50	1.18E-01
Endrin	4.56	2.88E-02
Gamma-BHC	3.90	6.94E-02
Heptachlor	4.40	3.57E-02
Heptachlor epoxide	2.70	3.43E-01
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	8.00	2.96E-04
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	7.97	3.08E-04
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	6.90	1.28E-03
1,2,3,4,7,8-HxCDF	7.70	4.42E-04
1,2,3,6,7,8-HxCDF	7.70	4.42E-04
1,2,3,7,8,9-HxCDF	7.70	4.42E-04
2,3,4,6,7,8-HxCDF	7.70	4.42E-04
1,2,3,4,7,8-HxCDD	7.30	7.52E-04
1,2,3,6,7,8-HxCDD	7.30	7.52E-04
1,2,3,7,8,9-HxCDD	7.30	7.52E-04
1,2,3,7,8-PrCDD	7.40	6.58E-04
1,2,3,7,8-PrCDF	6.92	1.25E-03
2,3,4,7,8-PrCDF	7.45	6.16E-04
OCDD	8.20	2.27E-04
OCDF	7.97	3.08E-04
2,3,7,8-TCDD	6.72	1.63E-03
2,3,7,8-TCDF	5.82	5.39E-03

^{a)} Source: EPA 1982b, 1986b and 1990k; Howard 1989 and 1991; Mackay et al. 1992

^{b)} Calculated values

3) 가정에서 재배한 농산물 소비 경로 (Homegrown Produce Consumption Pathway)

미국 메사추세츠주는 유류 및 유해성 물질 (oil or hazardous materials, OHM)에 오염 가능성이 있는 토양에서 직접 재배하여 소비하는 작물에 대한 위해성을 평가하기 위하여 MCP (Massachusetts Contingency Plan) 규정을 개정하였다 (2006). 이에 대한 위해도 결정시 개정된 USDA 소비 데이터 이용 및 문헌에 근거한 작물 흡수계수 (plant uptake factors, PUF) 도출에 관한 사항을 변경하였다.

A. General Equation for the Produce Consumption Component of the Method 1 Standards;

비발암성

$$\text{OHM}_{\text{soil}} = \frac{\text{HI} \times \text{RfD}}{\text{ADPIR} \times \text{PUF}}$$

발암성

$$\text{OHM}_{\text{soil}} = \frac{\text{CR}}{\text{LADPIR} \times \text{PUF} \times \text{CSF}}$$

- OHM_{soil} : Concentration of OHM in soil (mg OHM/kg soil)
- HI : Hazard Index (0.2)
- RfD : Reference Dose (mg OHM/kg_{body weight} day)
- ADPIR : Average Daily Produce Intake Rate
kg_{produce}/(kg_{body weight} × day)
- PUF : Plant uptake Factor
(mg OHM per kg plant/mg OHM per kg soil)
- CR : Cancer Risk (10⁻⁶)
- LADPIR : Lifetime Average Daily Produce Intake Rate
(kg_{produce}/kg_{body weight} × day)
- CSF : Cancer Slope Factor ([mg/(kg × day)]⁻¹)

B. 작물 흡수계수 (PUF) 도출;

작물 흡수계수 (PUF)는 오염물질에 대한 작물 가식부위 조직의 농도와 토양 중 농도의 상관관계로 도출된다. 40개 이상의 연구논문 및 보고서에 근거하여 작물흡수계수를 검토하고 적용하였다 (표3-2-8).

$$\text{PFU} = \frac{\text{mg OHM per kg}_{\text{dry plant}}}{\text{mg OHM per kg}_{\text{dry soil}}}$$

Table 3-2-8. Current list of OHM with derived Plant Uptake Factors

Chemical	Plant Uptake Factor (mg OHM per kg plant/mg OHM per kg soil)
Arsenic	0.05
Cadmium	1.9
Chlordane	11.104
Chlorme III	0.095
Chlorme IV	0.095
Lead	0.15
Nickel	0.38
PCBs	0.839
Zinc	1.52

Homegrown Produce Consumption Pathway, Exposure Assessment for Method 1 Standards, July 19, 2006

2-2. 각국의 토양오염 규제항목 비교

2-2-1. 세계 각국의 토양환경기준 현황

가. 미국

1) 토양질의 기준

미국에서의 토양오염은 폐기물매립지역을 포함한 폐기물 처분지역과 유해성 오염물질을 함유한 유기성 고형폐기물의 토지사용이 주로 문제가 되고 있다. 따라서 토양관리의 주안점은 폐기물처분지역의 정화와 토지에 사용되는 고형폐기물의 양 규제에 있으며 폐기물 처분지역에서의 토양오염은 침출수 누출에 의한 지하수의 오염과 직결되므로, 총 음용수량의 절반이상을 지하수에 의존하고 있는 미국에서는 큰 문제로 대두되고 있다. 또한 각종 종말처리장으로부터 발생하는 총 고형폐기물 중 약 20%가 농지에 처리되고 있으며, 이들 물질의 사용으로 인한 토양오염을 방지하기 위하여 일부 유해물질에 대한 고형폐기물중 농도나 토양특성, 작물별 투여량 등을 결정하고 있다.

폐기물매립지에서의 토양관리는 현행 유해폐기물 처리에 의한 토양 및 지하수 오염의 사전 방지에 주안점을 두고 있는 RCRA법과 과거의 유해폐기물처리에 의한 토양, 지하수 오염지역에 대한 정화대책을 실시하는 SARA (일명 Superfund법)의 2가지 주요한 법에 의해서 운영되고 있다. Superfund법에 의해 EPA는 오염의 책임당사자에 대해 정화조치를 명령하는 권한을 가지며, 또한 EPA자체적으로 정화조치를 강구한 경우 그 비용을 Superfund로부터 지출하고 후에 책임당사자에게 청구하게 되어 있다.

나. 일본

1) 토양질의 기준

일본에서의 토양관리는 1972년에 제정된 농경지 토양오염방지에 관한 법률과 1986년 일본 환경청에서 고시한 시가지 토양오염확정지침, 1991년 일본 환경청에서 고시한 토양오염에 관한 환경기준 및 1992년에 일본 환경청에서 고시된 국유지에 관한 토양오염대책지침에 의해 행해지고 있다.

그리고 1994년에 수질환경기준의 강화와 더불어 토양환경기준도 강화되어 염소계 유기용제 및 Simazine과 같은 농약 등 15개 항목이 추가되어 총 25개 항

목이 규제대상으로 지정 운영되고 있다.

일본에서 토양환경기준의 설정은 토양이 가지고 있는 기능이 다양한 것을 고려하여 사람의 건강보호와 생활환경보전의 양자의 관점을 포함하고 있다. 따라서 토양환경기준에서 정하고 있는 대상물질도 토양환경기능 중 수질을 정화하고 지하수 기능을 보전하는 관점에서 공공용 수질오염에 관련한 환경기준 중 사람의 건강보호에 관련한 환경기준을 대상으로 하고 있는 항목에 대하여 토양의 10배 용량의 물에 이 항목에 관련된 물질을 용출시켜 용출되는 농도가 수질환경 기준치 이하가 되는 것을 조건으로 하고 있다. 그리고 토양환경 기능 중 식품을 생산하는 기능을 보전하는 관점에서 농경지에 대해서는 농경지토양오염방지법 등에 관한 법률상의 특정유해물질에 대하여 농경지토양오염대책지역의 지정요건에 준하여 기준으로 설정하고 있다.

다. 영국

영국에서는 명확한 토양보호제도가 없다. 토양오염문제를 환경보호법 (Environment Protection Act 1990), 오염조절법 (the Control of Pollution Act 1974), 도시 및 시외지역의 계획법 (the Town and Country Planning Act 1991) 등 여러 법에서 다루고 있으며, 환경보호법 (the Environmental Protection Act)에 의하여 지자체에서는 건강과 환경을 위협하는 모든 종류의 오염을 감시하는 것이 의무화되어 있으며, 복원이 필요할 경우 이를 수행한다. 토양오염 수준에 관한 현재의 지침은 ICRCL (Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land)에 의하여 발간되었다. ICRCL에는 환경부 (DoE), 농업, 수산, 식품부 (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food), Wales, Scotland, Northern Ireland 지역의 건강 및 환경부 (the Department of Health and Environment), 수 개의 정부부처가 관련되어 있다. 오염지역의 평가 및 복원지침은 오염물질의 "유인농도 (trigger concentration)" 및 "사용중지 (end uses)"에 토대를 두고 있다. 각각의 경우 임계수치 (threshold value)와 실행수치 (action value)가 있다. 광산지역에서의 무기오염물질의 수치와 유기오염물질의 수치는 토지의 두가지 이용방법에 따라 다르다. 무기오염물질의 경우 일반 주택의 정원과 공원, 놀이터, 나대지 등에 따라 구분되어 있고, 유기물질의 경우 일반 주택의 정원과 조경지, 건물, 도로포장지역 등에 따라 구분되어 있다.

라. 독일

1) 법 및 행정적 관점

독일의 토양보호는 토양보호계획이 착수된 이후 토양보호 및 오염토양정화에 대한 부문을 기존에 있는 법 및 규제에 수정 또는 포함시켰으며, 주정부(Lander)에서는 토양을 보호할 수 있는 주법(州法)을 갖고 있다.

Baden-Württemberg주는 토양보호법을 1991년에 채택하였으며, Saxony주는 폐기물관리 및 토양보호에 관한 최초의 법을 제정하였다. Hamburg와 Berlin 주정부는 기술적인 지침을 마련하였다. 1992년 9월 연방정부는 연방 토양보호법을 발표하였으며 이 법에는 토양보호정책이 대기 및 수질보호 등과 동등한 지위를 가질 수 있도록 하고 있다. 토양에 관련된 다른 법으로 "폐기물 슬러지의 토지적용에 관한 법령(the Ordinance on Land Application of Sewage Sludge)"이 1992년 6월에 변경되었으며, 이 법령은 토양질에 관한 기준을 제공하고 있다.

2000년 12월 독일에서 등록된 의심오염부지는 폐기된 폐기물처리부지 100,129개, 폐기된 산업부지 259,883개이다. 오염부지를 연방정부 차원에서 관리하기 위해 1998년에 의회에 제출된 '연방토양보호법(Bundes-Bodenschutzgesetz)'이 승인되어 1999년부터 시행되고 있다.

이 법에서 규정하고 있는 토양기준은 조사기준(Trigger Values), 대책기준(Action Values), 우려기준(Precution Values) 등 3가지이다. 조사기준은 토양의 유해성이나 Altlasten의 의혹이 있을 가능성에 대한 판단기준으로, 결과에 따라 추가적인 정밀조사의 이행여부를 결정한다. 대책기준은 토양의 위해성과 Altlasten을 확정하는 기준으로 이 지역의 복원여부를 결정한다. 조사기준과 대책기준은 위해성(오염물질의 전이경로)과 토지용도를 기준으로 접근하여 수립되어 있다.

2) 토양질의 기준

전국 526개소 지점에서 중금속에 대한 자연함유량 측정조사가 독일 지질조사소(the German Service)에 의하여 수행되었다.

이 조사에서는 중금속과 다중고리 방향족 탄화수소화합물(PAH)로부터 발생할 수 있는 환경영향평가가 토양부문에서 이루어졌으며 토양을 3단계로 나누어 구분하였다. 토양 수준 I은 토양의 적합한 다기능성을 제시하고 있으며, 토양수준 I과 II 사이는 대부분의 농업목적으로 사용할 수 있는 수준이며, 토양수준 II를 초과하는 농도는 특정한 토양의 이용목적은 제외하고는 적합하지 않다. 이

들 수치는 토양 중 진흙 함량이 12~18%이고 다양한 유기물질을 함유하고 있는 다양한 종류의 토양에 적용할 수 있다. 적용할 수 있는 종류의 토양을 예로 들면 2%의 유기물질과 pH가 5.5에서 7.0 사이의 통기성 토양이며 지역의 조건에 따라 이들 수치는 변경될 수 있다.

연방환경청 (the Federal Environmental Agency, FEA)은 1992년 어린이들의 놀이터와 통기성 토지 및 목장지에 대해 As, Cd, Hg, Zn, Cr, PCB, Aldrin/Dieldrin, HCB, B(a)P, HCH, DDT, PCDD/PCDF의 13종류에 대한 법적인 토양오염기준을 우선적으로 마련할 것을 제안하였다. FEA가 제안한 토양오염기준은 물질의 독성평가자료와 이들 독성물질의 노출시나리오(예, 어린이 놀이터 등)에 따른 특성과 식품 중에 최대한 허용할 수 있는 오염물질의 기준 등의 위해성을 토대로 한 것이다. 연방정부의 법적인 기준이 없는 경우 연방주(Lander)는 주의 토양질과 오염토양의 복원에 대한 기준을 마련할 수 있다. Hamburug, Nortrhein-Westfalen, Baden-Wurttemberg, Byern, Berlin, Bremen 주에서는 자체적인 오염토양복원기준을 개발하였다. 베를린 시내의 토양오염지역에 대해서는 "베를린 리스트 (Berlin List)"가 사용되고 있다. 현재 베를린 리스트에는 복원기준과 토양 및 지하수를 다시 사용할 수 있는 기준수치가 마련되어 있다. "크로케 리스트 (Kloke List)"를 현재 개발하고 있으며, 각 주는 사용할 수 있는 기준을 자유롭게 결정할 수 있다.

Eikmann과 Kloke는 오염토양을 이용할 수 있는 "3분법 체계(Three Sector System)"을 고안하였다. 이 체계는 다양한 토양의 이용용도 구분에 따른 11종류의 중금속과 3종류의 유기물질의 기준농도를 제공하고 있다. 이 체계는 오염된 도로를 "보호 (protection)", "견딜만 함 (tolerance)", "복원 (restoration)"의 3가지로 구분하였다.

마. 프랑스

1) 법 및 행정적 관점

프랑스에서의 토양오염문제는 현재까지 크게 주목되고 있지 않다. 토양오염은 폐기물 관리법 (the Waster Management Law of 1975)과 환경보호를 위한 산업시설분류법 (the Law on Industrial Installations Classified for Environmental Protection of 1976)에 의하여 공식적인 기틀이 되고 있다. 환경에 관한 쟁점의 책임기관은 환경부 (the Ministry of the Environment)이다. 환경부내에 수질오염 및 위해성 방지국 (the Department of Pollution and Risk Prevention for Waters; Direction de l'Eau de al Prevention des

Pollution et des Risques, DEPPR)이 폐기물관리 책임기관이며, 이는 폐기물관리서비스 (the Waste Management Service)와 산업지에서의 환경보호를 위한 서비스 (the Service for Environmental Protection at Industrial Locations)의 지원을 받고 있다.

2) 토양보호정책 및 기준설정

1981년 중금속에 의한 토양오염현황에 대한 조사가 수행되었다. 환경부에서는 토양질에 대한 관측망 (Observation Network)을 1985년에 마련하였다. 중금속과 이에 연관된 토양의 물리·화학적 특성을 모니터링 하는데 우선순위가 주어졌으며, 1985년에는 Aquitaine과 Lorraine지방에서 수행되었으며, 1986년에는 Brittany와 Nord-Pas de Calais 지방에서 수행되었다.

오염지역을 평가 또는 처리할 수 있는 환경부의 기준 및 지침은 없다. 이에 따라 이러한 토양오염문제는 지역의 책임당국 어떻게 할 것인가를 결정해야 하는데 위해성 평가와 오염지역의 복원계획은 지역의 특성, 환경피해정도, 지방당국의 압력 (예를 들면, 주민의 주목정도 및 정치적인 영향 등) 등의 현실성에 입각하여 수행된다. 토양복원시의 대상기준을 설정하기 위하여, 오염지역의 조건 및 미래의 사용정도를 고려하여 영국, 네덜란드, 독일 등의 기준을 적용하고 있다.

토양오염의 평가지침은 ISO의 기본틀 (ISO-TC190 working group)에 따라 준비되고 있다. 지역의 특이한 위해성을 평가하기 위해 토지의 사용에 연관된 설정 기준이 필요하다. 중금속과 비소의 자연함유량이 지역에 따라 상당히 변화가 크고 또한 지역적으로 상당히 높은 수준의 농도가 나타나고 있어 이들 물질에 대한 일반적인 기준수치는 일괄적으로 적용하는 데 상당한 한계가 있다.

바. 네덜란드

1) 법 및 행정적 관점

네덜란드의 토양보호정책은 1962년 사회 및 국민건강부 (the Ministry of Social Affairs and Public Health)가 지하수질을 보전하기 위한 과학자문위원회를 설립한 이후부터 시작하였다. 토양보호에 관련된 최초의 법안은 1971년에 발간되었으며, 1980년에 토양오염에 관한 최초의 심각한 사회적 문제 (the "Lekkerkek" case)가 도시지역에서 발견된 이후 토양오염은 점차적으로 정치적인 쟁점으로 나타났다. 그리고 "잠정적 토양정화법 (the Soil Cleanup Interim Act)"이 발효되어 토양정화에 관한 법적인 근거를 제공하였다. 일관적

인 오염토양의 정화 및 토양정화지역을 결정하기 위한 기술 및 법적인 요강을 제공하기 위한 토양정화에 관한 지침이 "주택, 물리적 계획 및 환경부 (the Ministry of Housing, Physical Planning and Environment)"에 의하여 발간되었다 (Soil Cleanup Guideline, 1983). "토양보호법 (the Soil Protection Act)"이 1987년부터 시행되었으며 "잠정적 토양정화법 (the Soil Cleanup Interim Act)"은 1993년에 토양보호법에 흡수되었다.

"주택, 물리적 계획 및 환경부"는 토양보호 및 오염토양정화에 관한 일반적 정책에 책임이 있다. 오염토양의 정화는 해당지방정부 및 책임이 있는 지방정부와 상응한 정도의 대도시 자치단체 감독 하에 수행된다.

2) 토양질의 기준 설정

네덜란드 토양보호정책의 원칙은 건전한 토양질의 유지 또는 토양의 다기능성 (multifunctionality)을 복원하는 데 있다. 이러한 원칙은 토양, 침전물 (sediment), 지하수 및 생태계의 보호를 포함하고 있다. 토양의 다기능성 원칙은 현재 이용하고 있는 지역토양이 향후 이용 가능한 다양한 토양의 기능에 영향을 미칠 것인가를 내포하고 있다. 따라서 폐기물 매립지역이나 산업활동 등에 의하여 지역적으로 오염된 토양의 정화를 위하여 "분리, 조절 및 모니터링 기준 (ICM-criteria)"이 마련되었다.

"오염토양정화지침 (Soil Cleanup Guideline)"은 오염지역의 토양문제를 해결하기 위하여 1983년 발간되었다. 이 지침서는 "잠정적 토양복원법 (the Soil Cleanup Interim Act)"에 따른 오염지역의 조사 및 복원에 관한 일반적 방법이 기술되어 있다. 이 지침서에는 토양의 A, B, C기준이 조사 및 정책결정을 위한 수단으로 제시되어 있다. 이 기준은 토양복원에 대한 최종결정을 내리기 이전에 오염물질이 주변지역으로 이동될 수 있는 지역의 지리·수리적 조건, 노출 및 환경위해성을 결정할 수 있는 지역별 특정 정보와 연계하여 사용되고 있다. 수리 및 토지의 이용만이 계량적인 기준이 될 수 있으므로 결정은 주로 A, B, C 기준에 의하여 좌우된다.

토양복원에 관한 10년간의 경험에 의하여 지침서의 근본적인 수정이 필요하게 되었다. 기록된 오염지역의 수치가 급진적으로 증가하고 토양오염문제는 더욱 다양화되고 있다.

사. 덴마크

1) 법 및 행정적 관점

덴마크 토양보호정책의 핵심요소는 "토지의 이용은 토지의 이용용량과 밀접하게 연관되어 있다"는 개념에 있다. 덴마크에서 오염지역은 "지하수원 또는 지역주민의 건강을 위협하는 지역"으로 정의되어 있다 (Danish Environmental Protection Agency, 1985). 환경보호법 (Environmental Protection Act)은 제 19-1절에서 "지하수, 토양, 하부토양을 오염시키는 물질, 생산물, 재료는 허가 없이 지하에 매립할 수 없으며 또한 방출, 또는 지상에 방치할 수 없다"고 명시되어 있다.

덴마크에서 오염토지에 관한 쟁점은 2가지 법에 의하여 제시되고 있다. 두 가지 법은 1992년에 최종 첨가된 환경보호법 (the Environmental Protection Act of 1974)과 1990년에 최종 수정된 폐기물 처리에 관한 덴마크법(the Danish Act on Waster Deposits)이다. 1972/1974년 이전에 유래된 오염지역에 대해서는 폐기물처리법에 의하며, 환경보호법은 1972/1974년 이후에 유래된 오염지역에 적용하고 있다.

2) 토양질의 기준 설정

환경보호청은 인간의 노출위해성에 근거하여 토양 및 지하수질의 기준에 관한 지침서를 발간하고 있다. 이 기준은 복원이 시행되는 의미는 아니나 토양처리 및 복원의 목표로 사용되고 있다. 이러한 기준은 "한계수치 (Limit Value)"로 명명되어져서 등록, 제한된 목적에 의한 오염물질 방출, 오염지역의 해지 등에 연관되어 사용되고 있다. 원칙적으로 한계수치는 오염물질의 농도가 한계수치를 초과하거나 또는 지하 2-3 m 깊이의 토양, 지하수 등에서 초과할 것으로 예측될 경우에 해당지역이 등록된다.

토양질의 기준은 이미 이용되고 있는 민감지역의 이용과 이 지역의 이용을 위한 안전한 위해성 표출조건을 토대로 수립되었다. 민감지역의 이용은 사용자가 이 지역을 이용하는 데 제한이 없는 상태를 지칭한다. 어린이 공원, 채소 등을 키우는 정원 등이 민감지역의 이용사례이다. 중금속의 복원기준은 "견딜만한 일일 흡입량 (Tolerable Daily Intake, TDI)"기준과 "사람의 일반 노출평가 (general exposure of humans)"를 토대로 하고 있다. 토양 및 낮은 대수층에 위치한 지하수중 휘발성 유기물질에 관한 복원기준은 산업체로부터 방출한 물질의 기준, 토양 매체에서의 이들 물질의 단계별 분리기준 (phase partitioning)과 실내 및 실외대기로의 연속적인 확산 등에 관한 기준을 근거로 하고 있다. 발암성 물질의 경우는 10^{-6} 전생애 위해성 (lifetime risk)이 인정되는 수준의 이용을 고려하고 있다.

아. 노르웨이

1) 법 및 행정적 관점

최근 노르웨이에서는 토양오염에 관한 정치적인 관심이 높아지고 있다. 토양 보호는 "토지법 (the Land Act of 1955)"과 "오염조절법 (the Pollution Control Act of 1981)"에 포함되어 있다. 오염방지에 관하여 "환경부 (the Ministry of Environment)"와 "주정부 오염조절당국 (the State Pollution Control Authority; Staten Forurensningstilsyn; SFT)"이 관여하고 있다. SFT는 19개 지방(counties)과 함께 유해폐기물 정책을 수행하고 있다. SFT는 오염을 방지하고 폐기물배출문제 해결에 대한 책임이 있다.

2) 토양질의 기준 설정

토양질 기준은 국가의 실행계획을 효율적으로 이행하기 위해 꼭 필요한 것으로 고려된다. 노르웨이에서는 깨끗한 토양 및 토양의 다양한 이용을 구분하는 국가의 기준은 없다. 산업활동에 관한 명령서의 내용이 네덜란드의 ABC 목록 작성에 영향을 준 바 있다. 노르웨이 당국은 절대적인 한계치보다는 지침으로서 국가의 토양기준 개발이 시급한 것으로 고려하고 있다. 토양 중 오염물질의 한계 역치가 토양의 다양한 이용과 오염물질이 정화된 지역의 다양한 이용에 연계하여 마련될 것이다. 국가에서 오염물질의 자연함유량이 다르기 때문에 (특히 중금속의 경우), 깨끗한 토양을 정의할 수 있는 일반적인 참고기준이 제한적으로 이용될 것이다.

자. 스위스

1) 법 및 행정적 관점

스위스는 토양의 다기능성 개념을 채택하고 있다. 토양보호의 핵심적인 개념은 토지의 효율적 이용, 오염조절과 농경지의 보호이다. "스위스 연방위원회 (the Swiss Federal Council Bundesrat)"와 주 (Cantons)는 토양보호행정의 책임기관이다.

2) 토양질의 기준 설정

환경보호법은 상세히 기록한 정의 및 이행수단에 관한 수개의 명령서에 의하여 이행되고 있다. 이들 명령서는 1986년 6월에 제정된 "토양 중 오염물질에

관한 법령 (Ordinance relating to Pollutant in Soil; Verordnung uber Schadstoffe im Boden, VSBo)", 1986년 6월 9일에 제정된 "환경적으로 유해한 물질에 관한 법령 (Verordnung uber umweltgefährdende Stoffe, StoV)", 1981년 4월 8일에 제정된 "폐기물슬러지 법령 (Klarschlammverordnung)", 1985년 12월 16일에 제정된 "대기정화법령 (Clean Air Order)"이다. 토양오염에 관한 이 법령의 범위는 토양오염의 모니터링과 평가를 규제하며, 주정부에 의해서 USG의 35항 (article 1 VSBo)을 추구하기 위하여 이행하는 보조수단을 위한 근거를 제공하고 있다. 이 법령에서 토양은 폐쇄되지 않으며 자연적으로 또는 인위적으로 형성된 식물의 뿌리가 침입할 수 있는 지구의 표층으로 고려되고 있다.

차. 핀란드

1) 법 및 행정적 관점

토양오염에 대한 우려가 약 10년 전부터 시작되었으며, 오염과 연관된 토양 보호에 관한 법적인 사항은 폐기물 관리법 (the Waste Management Act of 1981)과 몇 개의 수질 및 공공건강법에 의하여 간접적으로 제시되고 있다. 폐기물 관리법은 현재 재고되고 있다.

2) 토양질 기준 설정과 위해성 평가

토양질 오염기준에 관한 초기 지침서는 SURE프로젝트에 정의되어 있다. 핀란드 토양중 물질의 자연함유량은 참고기준으로 사용된다. 토양오염의 유인기준은 네덜란드 및 캐나다의 C기준에서 유래되었다. 토양오염을 평가할 때 이들 기준은 수질 및 대기기준과 함께 이용된다. 수질기준은 핀란드, 미국, 독일과 WHO당국으로부터 제안되고 있는 기준으로 구성되어 있다.

위해성 평가는 토양이 오염된 각각의 지역을 대상으로 독립적으로 시행하고 있다. 이러한 목표는 계량적인 평가보다는 각 지역의 이용우선순위를 평가함에 있다. Cchecking list와 전문가에 의한 현실적인 관점에서 위해성 평가가 시행되고 있다.

Cchecking lists는 오염물질의 종류, 오염이 발생한 기간 및 정도, 위해성 대상 등에 대한 정보를 제공하고 있다. 지반암 (Bedrock)에 연결된 낮은 토양층과 다양한 토양구조 등으로 인한 핀란드의 독특한 환경에 적용함에 있어 산술적 모델 (mathematical model)은 적합하지 않은 것으로 간주되고 있다.

카. 캐나다

1) 법 및 행정적 관점

캐나다는 연방정부로 10개의 지방정부 (provincial governments) 및 2개의 지역정부 (terrestrial governments)로 구성되어 있다. 지방 정부 및 지역정부는 환경에 관한 1차 책임당국이 각 자치단체별로 있으며 이들은 상당부분 공동으로 작업하고 있다. "캐나다 환경장관위원회 (the Canadian Council of Ministers for the Environment; CCME)"는 협력 포럼을 구축하고 있다. CCME는 오염지역의 분류 및 복원에 관한 일관적인 국가의 접근방향을 제공하기 위하여 1989년 10월 "National Contaminated Sites Remediation Program (NCSRP)"를 시작하였다. 이 프로그램의 목표는 다음 3가지와 같다. (CCME, 1990)

- i) 인간의 건강 또는 환경에 (잠재적인) 위해성을 나타내는 오염지역의 확인, 평가 및 복원
- ii) 시급히 복원이 필요한 "버려진 지역"의 복원을 위한 정부기금의 확충
- iii) 새롭고 혁신적인 복원기술의 개발과 시행 (demonstration)을 자극

타. 유럽연합 (European Union)

1) 토양 보호 규제

EU의 토양기준제정은 토양이 가지고 있는 다기능성중 식품생산 및 지하수 그리고 지표수의 정화기능의 보전에 주안점이 두어졌으며 토양기준은 유해물질에 대한 토양의 예방조치를 위한 토양오염한계농도와 토양오염물질로부터 위해성을 방지하기 위한 토양오염규제기준의 2가지 기준으로 설정되어 있다. 기준에 포함되어 있는 대상물질은 유럽연합에 가입되어 있는 각국이 공통적으로 규제하는 물질이나 그와 같은 류의 독성물질로 정하고 있으며 대상지역은 오염의 영향을 받지 않는 토양, 민감한 토양, 농업 및 산림지역, 주거지역, 공업 및 지하지역 등 5개 지역으로 구분하였고 기준농도의 설정은 대상물질에 대한 생태독성학적 평가자료와 토양 및 수질에서의 물리화학적인 특성자료를 이용해 개발된 모델을 통하여 얻어 졌고 이 기준은 베를린 대학의 FAGUS 그룹에 의해 제안되었다.

표3-2-9. 영국 DEFRA/EA에서 조사한 각국의 토양의 환경독성 수치

화학물질	ORNL Earthworm Benchmark (mg kg ⁻¹)	ORNL Microbial Benchmark	ORNL Phytotoxic Benchmark (mg kg ⁻¹)	CCME RC (mg kg ⁻¹)	RIVM EIVs (mg kg ⁻¹)	ANZECC Phytotoxic EILs (mg kg ⁻¹)
Aluminium	—	600	50	—	—	—
Arsenic	60	100	10	20	40	20
Barium	—	3,000	500	750	625	300
Boron	—	20	0.5	2	—	—
Cadmium	20	20	4	3	12	3
Chromium	0.4	10	1	750	230	400
Cobalt	—	1,000	20	40	240	—
Copper	60	100	100	150	190	100

표3-2-9. 영국 DEFRA/EA에서 조사한 각국의 토양의 환경독성 수치

화학물질	ORNL Earthworm Benchmark (mg kg ⁻¹)	ORNL Microbial Benchmark	ORNL Phytotoxic Benchmark (mg kg ⁻¹)	CCME RC (mg kg ⁻¹)	RIVM EIVs (mg kg ⁻¹)	ANZECC Phytotoxic EILs (mg kg ⁻¹)
Fluorine	—	30	200	200	—	—
Iron	—	200	—	—	—	—
Lanthanum	—	50	—	—	—	—
Lead	500	900	50	375	290	600
Lithium	—	10	2	—	—	—
Manganese	—	100	500	—	—	500
Mercury	0.1	30	0.3	0.8	10	1
Molybdenum	—	200	2	5	480	—
Nickel	200	90	30	150	210	60
Selenium	70	100	1	2	—	—
Silver	—	50	2	—20	—	—
Tin	—	2,000	50	2	—	—
Titanium	—	100	—	—	—	—
Vanadium	—	20	2	200	—	50
Zinc	100	100	50	600	720	200
Phenol	30	100	70	0.01	40	—
4-Nitrophenol	7	—	—	0.01	—	—
3-Chlorophenol	10	—	7	0.05	10	—
3,4-Dichlorophenol	20	—	20	0.05	10	—
2,4,5-Trichlorophenol	9	—	4	0.05	10	—
2,4,6-Trichlorophenol	10	—	—	0.05	10	—
2,3,4,5-Tetrachlorophenol	20	—	—	0.05	10	—
Pentachlorophenol	6	400	3	0.05	5	—
Chlorobenzene	40	—	—	0.1	30	—
1,4-Dichlorobenzene	20	—	—	0.1	30	—
1,2,3-Trichlorobenzene	20	—	—	0.05	30	—
1,2,4-Trichlorobenzene	20	—	—	0.05	30	—
1,2,3,4-Tetrachlorobenzene	10	—	—	0.05	30	—
Pentachlorobenzene	20	—	—	0.05	30	—
Hexachlorobenzene	—	1,000	—	0.05	30	—

ORNL : Oak Ridge National Laboratory

CCME : Canadian Council of Ministers of the Environment

RIVM : Dutch National Institute of Public Health and the Environment

RC : Remediation Criteria (agricultural land-use context)

EIV : Ecological Intervention Value

EIL : Ecological Impact Level

UK Environmental Agency. 2000, R&D Technical Report p338. Bristol, UK

(인용보고서 ; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부).

2-2-2. 세계 각국의 토양환경기준의 설정 준거

가. 미국

미국에서는 식수의 대부분을 지하수로부터 얻기 때문에 지하수보전을 중요시한다. 부지의 오염여부를 판단하는 기준은 지하수를 중심으로 설정되어 있다. 미국은 연방정부에서 토양오염을 규정하고 있는 기준은 없으며 각 주별로 토양환경 관리를 위한 각각의 토양기준을 가지고 있다.

연방정부에서는 법적인 효력은 없으나 미국에서 오염된 토양의 관리를 위해 1980년 이후 시행되고 있는 CLRLA (일명 Superfund법)의 NPL (National Priority List)은 부지를 평가하고 복원하는데 있어 필요한 사항들을 표준화하기 위해 마련된 110개 오염물질에 대한 토양선별기준 (SSL, Soil Screening Levels)이 있다. SSL은 생태위해성은 고려하지 않고 있으며, 인체에 대한 노출위해성만 평가한 것이다.

SSL의 설정목적은 부지의 RI/FS (Remediation Investigation/Feasibility Study, 복원방법조사/타당성조사)의 토양오염조사과정 중에 필요한 사항들을 표준화함으로써 조사과정과 판별의 일관성을 유지하고자 하는 것이다. SSL은 기준설정에 필요한 관계식과 관계되는 데이터를 제공함으로써 현장관계자가 현장조건에 맞게 보다 적절하게 계산하여 기준치를 적용할 수 있도록 많은 부분을 이용자의 몫으로 남겨두고 있는 것이다.

A. 매사추세츠주

1) 토양질기준

매사추세츠주는 Massachusetts Contingency Plan (MCP, 310CMR40)의 subpart I (Risk Characterization, 310MCP40.0900~40.0996)에 오염된 토양의 정화기준 (MCP Numerical Standard)을 제공하고 있다. 오염된 토양의 복원을 위한 MCP Method는 인체위해성, 안정성, 공중보건 및 환경에 대한 위해성을 탄력적으로 적용하고 있다.

MCP Method의 토양 및 지하수 기준은 모든 부지에서 오염물질에 대한 수용체의 잠재적인 노출을 고려하여 개발된 것이다 (310 CMR 40.0972). MCP 기준에 의하면, 오염부지는 지하수는 3가지로, 토양은 9가지로 분류된다. 토양 및 지하수의 분류기준이 여러 개가 동시에 적용되는 경우에는 이러한 확인기준 중 가장 낮은 것을 적용한다. 오염물질의 분석방법은 MCP SW-846 Method

를 이용한다. MCP 기준에서 토양과 지하수의 분류기준은 다음과 같다.

- a. 토양 : 민감한 용도 및 접근하기 쉬운 부지(S-1), 중간정도의 노출(S-2), 접근이 제한된 부지(S-3), 토양의 깊이와 수용체의 종류(어른, 아이), 토양에 대한 사람의측빈도에 따라 분류된다
- b. 지하수 : 지하수는 음용수(GW-1), 실내공기로 이동 가능한 경우(GW-2), 지표수로 배출되는 지하수(GW-3)로 구분한다.

표3-2-10. 매사추세츠주 지하수 이용용도에 따른 중금속의 토양질 기준

(단위 : $\mu\text{g g}^{-1}$, ppm)

Items	S-1/ GW-1	S-1/ GW-2	S-1/ GW-3	S-2/ GW-1	S-2/ GW-2	S-2/ GW-3	S-3/ GW-1	S-3/ GW-2	S-3/ GW-3
Sb	10	10	10	40	40	40	40	40	40
As	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Ba	1,000	1,000	1,000	2,500	2,500	2,500	5,000	5,000	5,000
Be	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	3	3	3
Cd	30	30	30	80	80	80	80	80	80
Cr(Total)	1,000	1,000	1,000	2,500	2,500	2,500	5,000	5,000	5,000
Cr(III)	1,000	1,000	1,000	2,500	2,500	2,500	5,000	5,000	5,000
Cr(VI)	200	200	200	600	600	600	1,000	1,000	1,000
Pb	300	300	300	600	600	600	600	600	600
Hg	20	20	20	60	60	60	60	60	60
Ni	300	300	300	700	700	700	700	700	700
Se	400	400	400	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
Ag	100	100	100	200	200	200	200	200	200
TI	8	8	8	30	30	30	100	100	100
V	400	400	400	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Zn	2,500	2,500	2,500	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000

(인용보고서; 1. 제주지역 토양오염기준 설정을 위한 연구, 2009, 제주지역 환경기술개발센터
2. 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-11. 메사추세츠주 지하수 이용용도에 따른 일반물질의 토양질 기준

(단위 : $\mu\text{g g}^{-1}$, ppm)

Items	S-1/ GW-1	S-1/ GW-2	S-1/ GW-3	S-2/ GW-1	S-2/ GW-2	S-2/ GW-3	S-3/ GW-1	S-3/ GW-2	S-3/ GW-3
Acenaphthalene	20	1,000	1,000	20	2,500	2,500	20	5,000	4,000
Acenaphthylene	100	100	100	100	2,500	1,000	100	2,500	1,000
Acetone	3	60	60	3	60	60	3	60	60
Aldrin	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.1	0.1	0.1
Anthracene	1,000	1,000	1,000	2,500	2,500	2,500	5,000	5,000	5,000
Benzene	10	40	40	10	60	60	10	100	200
Benzo(a)anthracene	0.7	0.7	0.7	1	1	1	4	4	4
Benzo(a)pyrene	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Benzo(b)fluoranthene	0.7	0.7	0.7	1	1	1	4	4	4
Benzo(g,h,i)perylene	1,000	1,000	1,000	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
Benzo(k)fluoranthene	7	7	7	10	10	10	40	40	40
Biphenyl, 1,1-	1	1,000	100	1	2,500	100	1	3,000	100
Bis(2-chloroethyl)ether	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Bis(2-chloroisopropyl)ether	0.7	2	2	0.7	3	3	0.7	4	9
Bis(2-ethylhexyl)phthalate	100	200	200	100	300	300	100	1,000	500
Bromodichloromethane	0.1	20	20	0.1	20	20	0.1	90	90
Bromoform	0.1	20	100	0.1	20	200	0.1	20	700
Bromomethane	10	3	50	10	3	200	10	3	700
Carbon tetrachloride	1	4	7	1	4	10	1	4	40
Chlordane	1	1	1	2	2	2	5	5	5
Chloroaniline, P-	1	100	30	1	400	30	1	400	30
Chlorobenzene	8	80	40	8	80	40	8	80	40
Chloroform	0.1	10	200	0.1	10	200	0.1	10	300
Chlorophenol, 2-	0.7	100	20	0.7	200	20	0.7	1,000	20
Chrysene	7	7	7	10	10	10	40	40	40
Cyanide ^a	100	100	100	100	100	100	400	400	400
Dibenzo(a,h)anthracene	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
Dibromochloromethane	0.09	10	10	0.09	20	20	0.09	70	70
Dichlorobenzene, 1,2-(O-DCB)	100	100	100	200	500	500	200	500	500
Dichlorobenzene, 1,3-(m-DCB)	100	100	100	200	500	500	200	500	500
Dichlorobenzene, 1,4-(P-DCB)	2	40	40	2	60	60	2	200	200
Dichlorobenzidine, 3,3'-	1	1	1	1	1	1	3	3	3
DDD	2	2	2	3	3	3	10	10	10
DDE	2	2	2	2	2	2	9	9	9
DDT	2	2	2	2	2	2	9	9	9

표3-2-11. 메사추세츠주 지하수 이용용도에 따른 일반물질의 토양질 기준

(단위 : $\mu\text{g g}^{-1}$, ppm)

Items	S-1/ GW-1	S-1/ GW-2	S-1/ GW-3	S-2/ GW-1	S-2/ GW-2	S-2/ GW-3	S-3/ GW-1	S-3/ GW-2	S-3/ GW-3
Dichloroethane, 1,1-	3	100	100	3	400	500	3	400	500
Dichloroethane, 1,2-	0.05	0.2	10	0.05	0.2	20	0.05	0.2	60
Dichloroethylene, 1,1-	0.7	0.1	2	0.7	0.1	2	0.7	0.1	9
Dichloroethylene, cis-1,2-	2	100	100	2	500	500	2	500	500
Dichloroethylene, trans-1,2-	4	500	500	4	800	1,000	4	2,500	2,000
Dichlorophenol, 2,4-	10	40	40	10	90	90	10	90	90
Dichloropropane, 1,2-	0.1	0.2	8	0.1	0.2	10	0.1	0.2	40
Dichloropropene, 1,3-	0.01	0.1	3	0.01	0.1	5	0.01	0.1	20
Dieldrin	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.1	0.2	0.1
Diethyl phthalate	100	1,000	0.7	100	2,500	0.7	100	5,000	0.7
Dimethyl phthalate	30	1,000	0.7	30	2,500	0.7	30	5,000	0.7
Dimethylphenol, 2,4-	0.7	400	10	0.7	900	10	0.7	4,000	10
Dinitrophenol, 2,4-	3	40	6	3	90	6	3	90	6
Dinitrotoluene, 2,4-	0.7	1	1	0.7	2	2	0.7	7	7
Dioxin ^b	4E-6	4E-6	4E-5	6E-6	6E-6	6E-6	2E-5	2E-5	2E-5
Endosulfan	20	100	0.05	20	400	0.05	20	400	0.05
Endrin	0.6	6	1	0.6	10	1	0.6	10	1
Ethylbenzene	80	500	500	80	1,000	500	80	2,500	500
Ethylene dibromide	0.005	0.01	0.01	0.005	0.02	0.02	0.005	0.04	0.07
Fluoranthene	1,000	1,000	1,000	2,000	2,000	1,000	2,000	5,000	1,000
Fluorene	400	1,000	1,000	400	2,000	2,000	400	5,000	4,000
Heptachlor	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7	0.7
Heptachlor epoxide	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09	0.09	0.3	0.3	0.3
Hexachlorobenzene	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	3	3	3
Hexachlorobutadiene	3	3	5	3	3	10	3	3	40
Hexachlorocyclohexane, gamma	0.1	0.4	0.4	0.1	0.6	0.5	0.1	2	0.5
Hexachloroethane	6	6	6	10	10	10	30	30	50
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.7	0.7	0.7	1	1	1	4	4	4
Methoxychlor	100	100	30	300	300	30	300	300	30
Methyl ethyl ketone	0.3	40	40	0.3	40	40	0.3	40	40
Methyl isobutyl ketone	0.5	70	70	0.5	70	70	0.5	70	70
Methyl mercury	2	2	2	6	6	6	8	8	8
Methyl t-butyl ether	0.3	100	100	0.3	200	200	0.3	200	200
Methylene chloride	0.1	100	100	0.1	200	200	0.1	700	700
Methylnaphthalene, 2-	4	500	500	4	1,000	1,000	4	2,000	1,000
Naphthalene	4	100	100	4	1,000	1,000	4	1,000	1,000

표3-2-11. 메사추세츠주 지하수 이용용도에 따른 일반물질의 토양질 기준

(단위 : $\mu\text{g g}^{-1}$, ppm)

Items	S-1/ GW-1	S-1/ GW-2	S-1/ GW-3	S-2/ GW-1	S-2/ GW-2	S-2/ GW-3	S-3/ GW-1	S-3/ GW-2	S-3/ GW-3
Pentachlorophenol	5	7		5	10	10	5	40	40
Total petroleum hydrocarbon ^c	200	800	800	200	2,000	2,000	200	5,000	5,000
C5 through C8 aliphatic hydrocarbons	100	100	100	500	500	500	500	500	500
C9 through C12 aliphatic hydrocarbons	1,000	1,000	1,000	2,500	2,500	2,500	5,000	5,000	5,000
C9 through C18 aliphatic hydrocarbons	1,000	1,000	1,000	2,500	2,500	2,500	5,000	5,000	5,000
C19 through C36 aliphatic hydrocarbons	2,500	2,500	2,500	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
C9 through C10 aromatic hydrocarbons	100	100	100	100	500	500	100	500	500
C11 through C22 aromatic hydrocarbons	200	800	800	200	2,000	2,000	200	5,000	5,000
Phenanthrene	700	1,000	100	700	2,500	100	700	2,500	100
Phenol	60	500	500	60	800	500	60	800	500
Polychlorinated biphenyl	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pyrene	700	700	700	1,000	2,000	2,000	1,000	5,000	5,000
Styrene	2	20	20	2	20	30	2	20	100
Tetrachloroethane, 1,1,1,2-	0.4	0.5	4	0.4	0.5	5	0.4	0.5	20
Tetrachloroethane, 1,1,2,2-	0.02	0.2	0.5	0.02	0.2	0.6	0.02	0.2	2
Tetrachloroethylene	0.5	20	20	0.5	30	30	0.5	100	100
Toluene	90	500	500	90	500	1,000	90	500	2,500
Trichlorobenzene, 1,2,4-	100	400	400	100	2,000	800	100	2,000	800
Trichloroethane, 1,1,1-	30	100	100	30	500	500	30	500	500
Trichloroethane, 1,1,2-	0.3	2	2	0.3	3	3	0.3	10	10
Trichloroethylene	0.4	20	70	0.4	20	100	0.4	20	500
Trichlorophenol, 2,4,5-	3	1,000	2	3	2,500	2	3	5,000	2
Trichlorophenol, 2,4,6-	3	40	40	3	60	60	3	200	200
Vinyl chloride	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	2
Xylene(mixed isomers)	500	500	500	800	500	1,000	800	500	2,500

All concentrations of oil and/or hazardous material in soil are calculated and presented on a dry weight/dry weight basis.

a : Cyanide expressed as free, or physiologically available cyanide, b : Dioxins expressed as 2,3,7,8-TCDD equivalents, c : The Total Petroleum Hydrocarbon(TPH) standard may be used as an alternative to the appropriate combinations of the Aliphatic and Aromatic Hydrocarbon Fraction standards. The use of the general TPH standard is a valid option only for C9 and greater petroleum hydrocarbons; it is not appropriate for the characterization of risks associated with lighter (gasoline-range) hydrocarbons

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-12. 메사추세츠주 지하수 이용용도에 따른 농약의 토양질 기준

(단위 : $\mu\text{g g}^{-1}$, ppm)

Items	S-1/ GW-1	S-1/ GW-2	S-1/ GW-3	S-2/ GW-1	S-2/ GW-2	S-2/ GW-3	S-3/ GW-1	S-3/ GW-2	S-3/ GW-3
Aldrin	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.1	0.1	0.1
Chlordane	1	1	1	2	2	2	5	5	5
DDD	2	2	2	3	3	3	10	10	10
DDE	2	2	2	2	2	2	9	9	9
DDT	2	2	2	2	2	2	9	9	9
Dieldrin	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.1	0.2	0.1
Dioxin ^b	4E-6	4E-6	4E-5	6E-6	6E-6	6E-6	2E-5	2E-5	2E-5
Endosulfan	20	100	0.05	20	400	0.05	20	400	0.05
Endrin	0.6	6	1	0.6	10	1	0.6	10	1
Heptachlor	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7	0.7
Heptachlor epoxide	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09	0.09	0.3	0.3	0.3
Methoxychlor	100	100	30	300	300	30	300	300	30
PCBs	2	2	2	2	2	2	2	2	2

(인용보고서; 1. 제주지역 토양오염기준 설정을 위한 연구, 2009, 제주지역 환경기술개발센터
2. 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

B. 뉴저지주

1) 토양질 기준

뉴저지주의 오염부지 복원 프로그램에 관한 법규는 다음과 같다.

- N.J.A.C. 7:9-6 Ground Water Quality Standards
- N.J.A.C. 7:14B Underground Storage of Hazardous Substances Rules
- N.J.A.C. 7:26B Industrial Site Recovery Act (ISRA) Rules
- N.J.A.C. 7:26C Procedures for Department Oversight of the Remediation of Contaminated Sites ("Oversight Rule")
- Proposed N.J.A.C. 7:26D Cleanup Standards for Contaminated Sites
- N.J.A.C. 7:26E Technical Requirements for Site Remediation ("Tech Rule") DEP News Release about the Rule
- N.J.A.C. 7:26F Remedial Priority System Adopted New Rules

뉴저지는 오염부지의 특성에 적합한 (site-specific) 토양정화 기준을 수립하

기 위한 지침을 제공하기 위해 토양정화기준 (SCL, Soil Cleanup Level)을 수립하였다. 이지침의 SCL은 이 기준까지 실시된 정화 조치에 대한 NJDEP(New Jersey Department Environmental Protection)에 의한 승인을 의미하거나 또는 부지가 복원이 필요하다는 NJDEP의 의견을 의미하는 것은 아니다. 이보다는 부지의 특성에 적합한 토양오염 정화기준을 수립할 때, 환경적인영향, 부지 특이적인 조건, 바탕농도 등을 반영하기 위한 기초기준을 제공하고 있다. 즉 SCL은 토양오염지역의 정화필요성을 나타내는 지표로서 사용될 수 있다. 따라서 오염부지의 특성에 적합한 토양오염정화 기준이 SCL을 초과하더라도 NJDEP는 승인하여야 한다.

뉴저지주는 토지용도를 주거지, 비주거지, 지하수 보호지역 등 세 가지로 분류하고 있다. 그리고 인체위해성을 바탕으로 토양오염 복원기준을 수립하고 있다. 환경위해성 평가는 부지의 특성에 적합한 정화기준을 수립할 때 고려된다. 발암물질의 경우 10^{-6} , 비발암물질의 경우 'Hazard Index>1'을 기준으로 수립하고 있다. 오염토양의 복원을 실시해야 하는 사람은 부지의 특성을 바탕으로 토양오염 정화기준을 제안할 수 있지만, 이기준이 최소한의 기준(minimum standards criteria)을 만족한다는 것을 입증해야 한다.

표3-2-13. 뉴저지주 오염토양 정화기준 - 중금속

(단위 : $\mu\text{g g}^{-1}$, ppm)

Items	Residential Direct Contact Soil Cleanup Criteria	Non-Residential Direct Contact Soil Cleanup Criteria	Impact to Ground water Soil Cleanup Criteria
Sb	14	340	—
As	20	20	—
Ba	700	47,000	—
Be	[1] 2	[1] 2	—
Cd	[1] 39	100	—
Cr(III)	120,000		—
Cr(VI)	240; 270	6,100; 20	—
Cu	600	600	—
Pb	400	600	—
Hg	14	270	—
Ni	250	2,400	—
Se	63	3,100	—
Ag	110	4,100	—
Tl	2	2	—
V	370	7,100	—
Zn	1,500	1,500	—

* The Impact to ground water values for inorganic constituents will be developed based upon site specific chemical and physical parameters.

(인용보고서; 1. 제주지역 토양오염기준 설정을 위한 연구, 2009, 제주지역 환경기술개발센터
2. 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-14. 뉴저지주 오염토양 정화기준 - 일반화학물질

(단위 : $\mu\text{g g}^{-1}$, ppm)

Items	Residential Direct Contact Soil Cleanup Criteria	Non-Residential Direct Contact Soil Cleanup Criteria	Impact to Ground water Soil Cleanup Criteria
Acenaphthalene	3,400	10,000 ^(c)	100
Acetone (2-propanone)	1,000 ^(d)	1,000 ^(d)	100
Acrylonitrile	1	5	1
Aldrin	0.04	0.17	50
Anthracene	10,000 ^(c)	10,000 ^(c)	100
Benzene	3	13	1
Benzo(a)anthracene	0.9	4	500
Benzo(a)pyrene	0.66 ^(f)	0.66 ^(f)	100
Benzo(b)fluoranthene	0.9	4	50
Benzo(k)fluoranthene	0.9	4	500
Benzyl alcohol	10,000 ^(c)	10,000 ^(c)	50
Bis(2-chloroethyl)ether	0.66 ^(f)	3	10
Bis(2-chloroisopropyl)ether	2,300	10,000 ^(c)	10
Bis(2-ethylhexyl)phthalate	49	210	100
Bromodichloromethane	11	46	1
Bromoform	86	370	1
Bromomethane	79	1,000 ^(d)	1
2-Butanone	1,000 ^(d)	1,000 ^(d)	50
Butylbenzyl phthalate	1,100	10,000 ^(c)	100
Carbon tetrachloride	2 ^(k)	4 ^(k)	1
Chloroaniline, P-	230	4,200	^(r)
Chlorobenzene	37	680	1
Chloroform	19 ^(k)	28 ^(k)	1
4-Chloro-3-methyl phenol	10,000 ^(c)	10,000 ^(c)	100
Chloromethane	520	1,000 ^(d)	10
Chlorophenol, 2-	280	5,200	10
Chrysene	9	40	500
Cyanide ^a	1,100	21,000 ^(o)	^(h)
DDD	3	12	50
DDE	2	9	50
DDT	2	9	500
Dibenzo(a,h)anthracene	0.66 ^(f)	0.66 ^(f)	100
Dibromochloromethane	110	1,000 ^(d)	1
Dichlorobenzene, 1,2-(O-DCB)	5,100	10,000 ^(c)	50
Dichlorobenzene, 1,3-(m-DCB)	5,100	10,000 ^(c)	100
Dichlorobenzene, 1,4-(P-DCB)	570	10,000 ^(c)	100
Dichlorobenzidine, 3,3'-	2	6	100
Di-n-butyl phthalate	5,700	10,000 ^(c)	100

표3-2-14. 뉴저지주 오염토양 정화기준 - 일반화학물질

(단위 : $\mu\text{g g}^{-1}$, ppm)

Items	Residential Direct Contact Soil Cleanup Criteria	Non-Residential Direct Contact Soil Cleanup Criteria	Impact to Ground water Soil Cleanup Criteria
Di-n-octyl phthalate	1,100	10,000 ^(c)	100
Dichloroethane, 1,1-	570	1,000 ^(d)	10
Dichloroethane, 1,2-	6	24	1
Dichloroethylene, 1,1-	8	150	10
Dichloroethylene, cis-1,2-	19	1,000 ^(d)	1
Dichloroethylene, trans-1,2-	1,000 ^(d)	1,000 ^(d)	50
Dichlorophenol, 2,4-	170	3,100	10
Dichloropropane, 1,2-	10	43	^(r)
Dichloropropene, 1,3-	4	5 ^(k)	1
Dieldrin	0.042	0.18	50
Diethyl phthalate	10,000 ^(c)	10,000 ^(c)	50
Dimethyl phthalate	10,000 ^(c)	10,000 ^(c)	50
Dimethylphenol, 2,4-	1,100	10,000 ^(c)	10
Dinitrophenol, 2,4-	110	2,100	10
Dinitrotoluene, 2,4-	1 ^(l)	4 ^(l)	10 ^(l)
Endosulfan	340	6,200	50
Endrin	17	310	50
Ethylbenzene	1,000 ^(d)	1,000 ^(d)	100
Fluoranthene	2,300	10,000 ^(c)	100
Fluorene	2,300	10,000 ^(c)	100
Heptachlor	0.15	0.65	50
Hexachlorobenzene	0.66 ^(f)	2	100
Hexachlorobutadiene	1	21	100
Hexachlorocyclopentadiene	400	7,300	100
Hexachloroethane	6	100	100
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.9	4	500
Isophorone	1,100	10,000 ^(c)	50
Lindane	0.52	2.2	50
2-Methylphenol	2,800	10,000 ^(c)	^(r)
4-Methylphenol	2,800	10,000 ^(c)	^(r)
Methoxychlor	280	5,200	50
4-Methyl-2-pentanone	1,000 ^(d)	1,000 ^(d)	50
Methylene chloride	49	210	1
Naphthalene	230	4,200	100
Nitrobenzene	28	520	10
N-Nitrosodiphenylamine	140	600	100
N-Nitrosodi-n-propylamine	0.66 ^(f)	0.66 ^(f)	10
PCBs	0.49	2	50

표3-2-14. 뉴저지주 오염토양 정화기준 - 일반화학물질

(단위 : $\mu\text{g g}^{-1}$, ppm)

Items	Residential Direct Contact Soil Cleanup Criteria	Non-Residential Direct Contact Soil Cleanup Criteria	Impact to Groundwater Soil Cleanup Criteria
Pentachlorophenol	6	24	100
Phenol	10,000 ^(c)	10,000 ^(c)	50
Pyrene	1,700	10,000 ^(c)	100
Styrene	23	97	100
Tetrachloroethane, 1,1,1,2-	170	310	1
Tetrachloroethane, 1,1,2,2-	34	70 ^(k)	1
Tetrachloroethylene	4 ^(k)	6 ^(k)	1
Toluene	1,000 ^(d)	1,000 ^(d)	500
Toxaphene	0.10 ^(k)	0.2 ^(k)	50
Trichlorobenzene, 1,2,4-	68	1,200	100
Trichloroethane, 1,1,1-	210	1,000 ^(d)	50
Trichloroethane, 1,1,2-	22	420	1
Trichloroethylene	23	54 ^(k)	1
Trichlorophenol, 2,4,5-	5,600	10,000 ^(c)	50
Trichlorophenol, 2,4,6-	62	270	10
Vinyl chloride	2	7	10
Xylene(mixed isomers)	410	1,000 ^(d)	67 ^(s)

- (a) Criteria are health based using an incidental ingestion exposure pathway except where noted below.
- (b) Criteria are subject to change based on site specific factors (e.g., aquifer classification, soil type, natural background, environmental impacts, etc.).
- (c) Health based criterion exceeds the 10,000 mg/kg maximum for total organic contaminants.
- (d) Health based criterion exceeds the 1000 mg/kg maximum for total volatile organic contaminants.
- (e) Cleanup standard proposal was based on natural background.
- (f) Health based criterion is lower than analytical limits; cleanup criterion based on practical quantitation level.
- (g) Criterion based on the inhalation exposure pathway.
- (h) The impact to ground water values for inorganic constituents will be developed based upon site specific chemical and physical parameters.
- (i) Site specific determination required for SCC for the allergic contact dermatitis exposure pathway.
- (j) Contaminant not regulated for this exposure pathway.
- (k) Criteria based on inhalation exposure pathway, which yielded a more stringent criterion than the incidental ingestion exposure pathway.
- (l) No criterion derived for this contaminant.
- (m) Criterion based on ecological (phytotoxicity) effects.
- (n) Level of the human health based criterion is such that evaluation for potential environmental impacts on a site by site basis is recommended.
- (o) Level of the criterion is such that evaluation for potential acute exposure hazard is recommended.
- (p) Criterion based on the USEPA Integrated Exposure Uptake Biokinetic (IEUBK) model utilizing the default parameters. The concentration is considered to protect 95% of target population (children) at a blood lead level of 10 ug/dl.
- (q) Criteria were derived from a model developed by the Society for Environmental Geochemistry and Health (SEGH) and were designed to be protective for adults in the workplace.
- (r) Insufficient information available to calculate impact to ground water criteria.
- (s) Criterion based on new drinking water standard.

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-15. 뉴저지주 오염토양 정화기준 - 농약

(단위 : $\mu\text{g g}^{-1}$, ppm)

Items	Residential Direct Contact Soil Cleanup Criteria	Non-Residential Direct Contact Soil Cleanup Criteria	Impact to Groundwater Soil Cleanup Criteria
Aldrin	0.04	0.17	50
DDD	3	12	50
DDE	2	9	50
DDT	2	9	500
Dieldrin	0.042	0.18	50
Endosulfan	340	6,200	50
Endrin	17	310	50
Heptachlor	0.15	0.65	50
Lindane	0.52	2.2	50
Methoxychlor	280	5,200	50
PCBs	0.49	2	50
Pentachlorophenol	6	24	100
Toxaphene	0.10 ^(k)	0.2 ^(k)	50

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

C. 메릴랜드주

메릴랜드주는 토양 및 지하수 정화기준을 COMAR(Code of Maryland Regulations)에 등록을 제안할 예정이다. Maryland의 정화기준은 더 이상의 복원조치가 필요하지 않는 오염물질의 농도를 표시하기 위해 개발되었다. 현재 및 계획된 토지용도와 음용수로 사용되는 지하수를 통합하여 개발되었다. 토양 정화기준은 주거지, 비주거지, 지하수 보호지 등 3가지로 분류하고 있다. 지하수는 음용수로 사용되거나 사용될 수 있는 대수층에 대한 기준으로 MCL 또는 2차 음용수 기준을 적용하고 있다.

토양오염지역의 정화기준을 개발하게 된 근거법령은 Maryland Environment Article 7-508인 Voluntary Cleanup Program (VCP) Act와 Environment Article 7-208인 Controlled Hazardous Substances Act이다.

토양기준을 수립할 때 근거가 된 기준은 다음과 같다.

첫째, RBC(Risk-based Concentration)이다. 이 기준은 i) 오염물질의 섭취, ii) 휘발물질 및 비산먼지의 흡입 등 두 가지 경로에 대해 계산(피부접촉 경로는 고려되지 않음) 되었으며, 비발암물질의 경우 hazard quotient=0.1, 발암물질의 경우 10^{-6} 위해성을 기준으로 하고 있다.

둘째, PQL이다. 이 수치는 RBC 수치가 PQL 보다 낮은 경우에 적용할 수 있

다.

셋째, 토양에서 금속의 reference levels이다.

넷째, TPH의 경우 토양기준은 섭취 노출경로에서만 계산된다. TPH는 여러 방정식과 Massachusetts 환경부에서 발표된 탄화수소 비율에 대한 reference dose 자료(Characterizing Risks posed by Petroleum Contaminated Sites: Implementation of MADEP VPH/EPH Approach, October 31, 1997)를 통해 도출된다. 이때 가솔린 물질 기준은 C5-C8 aliphatics, C9-C12 aliphatics, and C9-C10 aromatic fractions에 대해 계산된 RBC 수치 중에서 가장 낮은 값으로, 디젤물질의 기준은 C9-C18 aliphatics, C19-C36 aliphatics, and C11-C22 aromatic fractions에 대해 계산된 RBC 수치 중에서 가장 낮은 값으로 결정된다.

표3-2-16. 메릴랜드주 지하수 및 오염토양의 복원 기준- 중금속

Items	Ground water Standards		Soil Standards	
	Type I and II Aquifers(mg L ⁻¹)	Residential Cleanup Standard	Non-Residential Cleanup Standard	Protection of Ground water
Al	0.05	7,800	200,000	-
Sb	0.006	12	82	-
As	0.05	2	3.8	-
Ba	2	550	14,000	-
Be	0.004	16	410	-
Cd	0.005	3.9	100	-
Cr(III)	5,500	12,000	310,000	-
Cr(VI)	0.1	23	610	-
Co	0.073	160	4,100	-
Cu	1.3	310	8,200	-
Fe	0.3	2,300	61,000	-
Pb	0.015	400	400	-
Mn	0.05	160	4,100	-
Hg	0.002	0.1	0.12	-
Ni	0.073	160	4,100	-
Se	0.05	39	1,000	-
Ag	0.018	39	1,000	-
TI	0.002	2	14	-
Sn	2.2	4,700	120,000	-
V	0.05	55	1,400	-
Zn	1.1	2,300	61,000	-

(인용보고서; 1. 제주지역 토양오염기준 설정을 위한 연구, 2009, 제주지역 환경기술개발센터
 2. 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-17. 메릴랜드주 지하수 및 오염토양의 복원 기준 - 일반화학물질

Items	Ground water Standards		Soil Standards	
	Type I and II Aquifers (mg L ⁻¹)	Residential Cleanup Standard	Non-Residential Cleanup Standard	Protection of Ground water ^{a)}
Acetone	0.061	780	20,000	2.5
Benzene	0.005	12	100	0.005
Bromodichloromethane	0.08	10	92	0.005
Bromoform	0.08	81	720	0.067
Bromomethane	0.001	11	290	0.041
2-Butanone	0.19	4,700	120,000	7.9
Carbon disulfide	0.1	780	20,000	19
Carbon tetrachloride	0.005	4.9	44	0.005
Chlorobenzene	0.011	160	4,100	0.8
Chloroethane	0.0036	220	2,000	0.019
Chloroform	0.08	100	940	0.005
Chloromethane	0.0021	49	440	0.01
Dibromochloromethane	0.08	7.6	68	0.005
Dibromochloropropane	0.001	0.46	4.1	0.005
1,2-Dibromoethane	0.001	0.0075	0.067	0.005
1,1-Dichloroethane	0.08	780	20,000	4.5
1,2-Dichloroethane	0.005	7	63	0.005
1,1-Dichloroethene	0.007	1.1	9.5	0.005
cis-1,2-Dichloroethene	0.07	78	2,000	0.35
trans-1,2-Dichloroethene	0.1	160	4,100	0.82
1,2-Dichloroethene (total)	0.0055	70	1,800	0.37
1,2-Dichloropropane	0.005	9.4	84	0.005
cis-1,3-Dichloropropene	0.001	6.4	57	0.005
trans-1,3-Dichloropropene	0.001	6.4	57	0.005
Ethylbenzene	0.7	780	20,000	15
2-Hexanone	0.15	310	8,200	-
Isopropylbenzene	0.066	780	20,000	64
4-Methyl-2-pentanone	0.05	630	16,000	1.3
Methylene chloride	0.005	85	760	0.019
Methyl tert-butyl ether	0.02	650	2,700	28
Styrene	0.1	1,600	41,000	57
Tetrachloroethene	0.005	12	110	0.048
1,1,2,2-Tetrachloroethane	0.001	3.2	29	0.005
Toluene	1	1,600	41,000	8.8
1,1,1-Trichloroethane	0.2	2,200	57,000	60
1,1,2-Trichloroethane	0.005	11	100	0.005

표3-2-17. 메릴랜드주 지하수 및 오염토양의 복원 기준 - 일반화학물질

Items	Ground water Standards		Soil Standards	
	Type I and II Aquifers (mg L ⁻¹)	Residential Cleanup Standard	Non-Residential Cleanup Standard	Protection of Ground water
Trichloroethene	0.005	58	520	0.015
Vinyl chloride	0.002	0.09	7.9	0.005
Xylenes	10	16,000	410,000	170
Acenaphthene	0.037	470	12,000	100
Acenaphthylene	0.037	470	12,000	100
Anthracene	0.18	2,300	61,000	470
Benz[a]anthracene	0.01	0.87	7.8	1.5
Benzo[a]pyrene	0.01	0.33	0.78	0.37
Benzo[b]fluoranthene	0.01	0.87	7.8	4.5
Benzo[g,h,i]perylene	0.018	230	6,100	680
Benzo[k]fluoranthene	0.01	8.7	78	45
bis(2-Chloroethyl)ether	0.01	0.58	5.2	0.33
bis(2-Ethylhexyl)phthalate	0.02	46	410	2,900
Carbazole	0.01	32	290	0.47
4-Chloroaniline	0.02	31	820	0.97
2-Chloronaphthalene	0.049	630	16,000	32
2-Chlorophenol	0.02	39	1,000	-
Chrysene	0.01	87	780	150
Dibenz[a,h]anthracene	0.01	0.33	0.78	1.4
Dibenzofuran	0.01	31	820	7.7
1,2-Dichlorobenzene	0.6	700	18,000	9.3
1,3-Dichlorobenzene	0.018	230	6,100	2.9
1,4-Dichlorobenzene	0.075	27	240	0.33
3,3-Dichlorobenzidine	0.01	1.4	13	0.33
2,4-Dichlorophenol	0.011	23	610	1.2
Diethylphthalate	2.9	6,300	160,000	450
2,4-Dimethylphenol	0.073	160	4,100	6.7
Dimethylphthalate	37	78,000	2,000,000	-
Di-n-butylphthalate	0.37	780	20,000	5,000
4,6-Dinitro-2-methylphenol	0.05	0.78	20	-
2,4-Dinitrophenol	0.01	16	410	-
2,4-Dinitrotoluene	0.05	16	410	1.7
2,6-Dinitrotoluene	0.05	7.8	200	1.7
Di-n-octylphthalate	0.073	160	4,100	2,400,000
Fluoranthene	0.15	310	8,200	6,300
Fluorene	0.024	310	8,200	140

표3-2-17. 메릴랜드주 지하수 및 오염토양의 복원 기준 - 일반화학물질

Items	Ground water Standards		Soil Standards	
	Type I and II Aquifers (mg L ⁻¹)	Residential Cleanup Standard	Non-Residential Cleanup Standard	Protection of Ground water
Hexachlorobutadiene	0.01	8.2	73	1.8
Hexachlorocyclopentadiene	0.05	55	1,400	2,000
Hexachloroethane	0.01	46	410	0.36
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	0.01	0.87	7.8	13
Isophorone	0.07	670	6,000	0.41
2-Methylnaphthalene	0.02	160	4,100	22
2-Methylphenol	0.18	390	10,000	-
4-Methylphenol	0.018	39	1,000	-
MethylMercury	0.00037	0.78	20	
Naphthalene	0.01	160	4,100	0.33
2-Nitroaniline	0.01	-	-	-
4-Nitroaniline	0.01	-	-	-
Nitrobenzene	0.02	3.9	100	0.67
2-Nitrophenol	0.029	63	1,600	1.7
4-Nitrophenol	0.05	63	1,600	1.7
N-Nitrosodiphenylamine	0.05	130	1,200	1.7
N-Nitroso-di-n-propylamine	0.01	0.33	0.82	0.33
2,2-Oxybis(1-Chloropropane)	0.01	9.1	82	0.33
Pentachlorophenol	0.05	5.3	48	-
Phenanthrene	0.18	2,300	61,000	470
Phenol	2.2	4,700	120,000	130
Pyrene	0.018	230	6,100	680
1,2,4-Trichlorobenzene	0.07	78	2,000	7.5
2,4,5-Trichlorophenol	0.37	780	20,000	-
2,4,6-Trichlorophenol	0.01	58	520	-
Aldrin	0.00008	0.038	0.34	0.0077
Atrazine	0.003	2.9	26	0.0088
a-BHC	0.00008	0.1	0.91	0.004
b-BHC	0.00008	0.35	3.2	0.004
d-BHC	0.0002	0.49	4.4	0.0043
g-BHC (Lindane)	0.0002	0.49	4.4	0.0043
a-Chlordane	0.002	1.8	16	0.92
g-Chlordane	0.002	1.8	16	0.92
4,4'-DDD	0.00028	2.7	24	11
4,4'-DDE	0.0002	1.9	17	35
4,4'-DDT	0.0002	1.9	17	1.2

표3-2-17. 메릴랜드주 지하수 및 오염토양의 복원 기준 - 일반화학물질

Items	Ground water Standards		Soil Standards	
	Type I and II Aquifers (mg L ⁻¹)	Residential Cleanup Standard	Non-Residential Cleanup Standard	Protection of Ground water
Dieldrin	0.00008	0.04	0.36	0.004
Endosulfan I	0.022	47	1,200	20
Endosulfan II	0.022	47	1,200	20
Endosulfan Sulfate	0.022	47	1,200	20
Endrin	0.002	2.3	61	5.4
Endrin Aldehyde	0.002	2.3	61	5.4
Endrin Ketone	0.002	2.3	61	5.4
Heptachlor	0.0004	0.14	1.3	0.84
Heptachlor Epoxide	0.0002	0.07	0.63	0.025
Methoxychlor	0.04	39	1,000	310
Toxaphene	0.003	0.58	5.2	0.63
Aroclor 1016	0.0005	0.55	82	4.2
Aroclor 1221	0.0005	0.32	2.9	-
Aroclor 1232	0.0005	0.32	2.9	-
Aroclor 1242	0.0005	0.32	2.9	-
Aroclor 1248	0.0005	0.32	2.9	-
Aroclor 1254	0.0005	0.32	2.9	1.1
Aroclor 1260	0.0005	0.32	2.9	-
Gasoline Range Organics (GRO)	0.047	230	620	-
Diesel Range Organics(DRO)	0.047	230	620	-

a) Standard based on Region III SSLs for ground water migration using a dilution factor (DAF) of 20.
(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-18. 메릴랜드주 지하수 및 오염토양의 복원 기준 - 농약

Items	Ground water Standards		Soil Standards	
	Type I and II Aquifers (mg L ⁻¹)	Residential Cleanup Standard	Non-Residential Cleanup Standard	Protection of Ground water
Aldrin	0.00008	0.038	0.34	0.0077
Atrazine	0.003	2.9	26	0.0088
a-BHC	0.00008	0.1	0.91	0.004
b-BHC	0.00008	0.35	3.2	0.004
d-BHC	0.0002	0.49	4.4	0.0043
g-BHC (Lindane)	0.0002	0.49	4.4	0.0043
a-Chlordane	0.002	1.8	16	0.92
g-Chlordane	0.002	1.8	16	0.92
4,4'-DDD	0.00028	2.7	24	11
4,4'-DDE	0.0002	1.9	17	35
4,4'-DDT	0.0002	1.9	17	1.2
Dieldrin	0.00008	0.04	0.36	0.004
Endosulfan I	0.022	47	1,200	20
Endosulfan II	0.022	47	1,200	20
Endosulfan Sulfate	0.022	47	1,200	20
Endrin	0.002	2.3	61	5.4
Endrin Aldehyde	0.002	2.3	61	5.4
Endrin Ketone	0.002	2.3	61	5.4
Heptachlor	0.0004	0.14	1.3	0.84
Heptachlor Epoxide	0.0002	0.07	0.63	0.025
Methoxychlor	0.04	39	1,000	310
Toxaphene	0.003	0.58	5.2	0.63
Aroclor 1016	0.0005	0.55	82	4.2
Aroclor 1221	0.0005	0.32	2.9	-
Aroclor 1232	0.0005	0.32	2.9	-
Aroclor 1242	0.0005	0.32	2.9	-
Aroclor 1248	0.0005	0.32	2.9	-
Aroclor 1254	0.0005	0.32	2.9	1.1
Aroclor 1260	0.0005	0.32	2.9	-

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

D. 텍사스주

Texas 오염토양 복원 관련 법률은 Title 30, Texas Administrative Code Chapter 335 (30 TAC 335), Subchapter S인 Risk Reduction Rule이다. Risk Reduction Rule의 3가지 정화기준은 i) 바탕농도 (§335.554), ii) 기준2 (§335.558), iii) 기준3 (§335.563)이다. 바탕농도는 오염물질의 바탕농도가 인체위해성에 근거한 정화기준[기준2의 MSC (Medium-Specific Concentration) 기준]이나 연방기준(MCL 등C) 보다 엄격한 경우에는 최종 정화 기준으로 사용될 수 있다.

30 TAC 335.558(d)는 위원회가 새롭게 공포된 기준이나 현재의 독성자료를 바탕으로 수립된 MSCs 등을 반영한 것이다.

MSCs 기준으로는 주거지, 산업지의 두 가지 토지용도 각각에 대해서 지하수 기준, 토양기준 및 토양/공기흡입 기준 등 6가지 기준이 있다. 토양기준은 지하수 보호지역의 주거지와 지하수 보호지역의 산업지로 구분된다.

표3-2-19, 표3-2-20, 표3-2-21에서 제시되어 있는 용어는 다음과 같다.

- GW-Res : 주거지역의 지하수 기준
- GW-Ind : 산업지역의 지하수 기준
- GWP-Res : 지하수 보호지역의 주거지역 토양기준
- GWP-Ind : 지하수 보호지역의 산업지역 토양기준
- SAI-Res : 주거지역에서의 공기흡입 기준
- SAI-Ind : 산업지역에서의 공기흡입 기준

표3-2-19. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준 - 중금속

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Al	37	100	3,700	10,000	150,000	1,000,000
Sb	0.006	0.006	0.6	0.6	72	490
As	0.01	0.01	1	1	20	200
B	3.3	9.2	330	920	23,000	170,000
Ba	2	2	200	200	9,100	59,000
Be	0.004	0.004	0.4	0.4	46	270
Cd	0.005	0.005	0.5	0.5	2,400	1,500
Cr(III)	0.1	0.1	10	10	59,000	350,000
Cr(VI)	0.1	0.1	10	10	200	1,200
Co	2.2	6.1	220	610	15,000	110,000
Cu	1.3	1.3	130	130	10,000	74,000
Pb	0.015	0.015	1.5	1.5	500	500
Li	0.73	2	73	200	5,100	37,000
Mn	1.7	14	170	1,400	17,000	110,000
Hg(pH=4.9)	0.002	0.002	0.2	0.2	0.11	0.15
Hg(pH=6.8)	0.002	0.002	0.2	0.2	6.1	9.6
Mo	0.18	0.51	18	51	1,100	8,100
Ni	0.73	2	73	200	1,900	12,000
Se	0.05	0.05	5	5	1,300	9,300
Ag	0.18	0.51	18	51	470	2,900
Sr	22	61	2,200	6,100	120,000	820,000
Tl	0.002	0.002	0.2	0.2	20	20
Sn	22	61	2,200	6,100	93,000	610,000
Ti	18,000	51,000	1,800,000	5,100,000	38,000,000	240,000,000
V	0.26	0.72	26	72	480	3,000
Zn	11	31	1,100	3,100	59,000	410,000

(인용보고서; 1. 제주지역 토양오염기준 설정을 위한 연구, 2009, 제주지역 환경기술개발센터
2. 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준 - 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Acenaphthalene	2.2	6.1	220	610	8,200	53,000
Acenaphthylene	2.2	6.1	220	610	8,200	53,000
Acetaldehyde	3.7	10	370	1,000	5.2	8.8
Acetic acid *	-	-	-	-	-	-
Acetone	3.7	10	370	1,000	1,600	2,400
Acetone cyanohydrin	3.7	10	370	1,000	1,600	2,400
Acetonitrile	-	-	-	-	180	260
Acetophenone	3.7	10	370	1,000	2,700	4,300
Acetylaminofluorene, 2-	0.00022	0.00075	0.022	0.075	1.3	7.5
Acifluorfen, sodium	0.47	1.3	47	130	2,000	13,000
Acridine	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Acrolein	0.73	2	73	200	5,500	41,000
Acrylamide	0.000019	0.000064	0.0019	0.0064	0.11	0.64
Acrylic acid (propenoic acid)	18	51	1,800	5,100	140,000	1,000,000
Acrylonitrile	0.00016	0.00053	0.016	0.053	0.079	0.14
Adipic acid (hexanedioic acid)	18	51	1,800	5,100	77,000	510,000
Alachlor	0.002	0.002	0.2	0.2	6.1	36
Aldicarb	0.007	0.007	0.7	0.7	150	1,000
Aldicarb sulfone	0.007	0.007	0.7	0.7	150	1,000
Aldrin	0.000005	0.000017	0.0005	0.0017	0.027	0.14
Allyl alcohol	0.18	0.51	18	51	1,400	9,200
Allyl chloride	0.37	1	37	100	1.3	1.8
Ametryn	0.33	0.92	33	92	1,400	9,200
Aminobiphenyl, 4- (1,1-biphenyl-4-amine)	0.000014	0.000047	0.0014	0.0047	0.08	0.47
Amino-2,6-dinitrotoluene, 4-	0.0061	0.017	0.61	1.7	26	170
Amino-4,6-dinitrotoluene, 2-	0.0061	0.017	0.61	1.7	26	170
Aminopyridine, 4-	0.00073	0.002	0.073	0.2	3.1	20
Ammonia	-	-	-	-	160	230
Ammonium salts*	-	-	-	-	-	-
Aniline	0.015	0.05	1.5	5	86	500
Anthracene	11	31	1,100	3,100	41,000	270,000
Anthraquinone, 9,10-	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Aramite	0.0034	0.011	0.34	1.1	20	110
Arsine	-	-	-	-	-	-
Asbestos	-	-	-	-	-	-
Atrazine	0.003	0.003	0.3	0.3	22	130
Azinphos-methyl	0.055	0.15	5.5	15	230	1,500
Azobenzene	0.00077	0.0026	0.077	0.26	4.3	23

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Bayleton	1.1	3.1	110	310	4,600	31,000
Benefin (benfluralin)	11	31	1,100	3,100	46,000	310,000
Benomyl	1.8	5.1	180	510	7,700	51,000
Benz-a-anthracene	0.0002	0.00039	0.02	0.039	0.63	3.4
Benzaldehyde	3.7	10	370	1,000	320	450
Benzene	0.005	0.005	0.5	0.5	0.88	1.6
Benzenethiol	0.00037	0.001	0.037	0.1	1.5	3.9
Benzidine	0.00000037	0.0000012	0.000037	0.00012	0.0021	0.012
Benzo-a-pyrene	0.0002	0.0002	0.02	0.02	0.063	0.34
Benzo-b-fluoranthene	0.0002	0.00039	0.02	0.039	0.63	3.4
Benzo-e-pyrene	1.1	3.1	110	310	4,100	27,000
Benzo-g,h,i-perylene	1.1	3.1	110	310	4,100	27,000
Benzoic acid	150	410	15,000	41,000	620,000	4,100,000
Benzo-k-fluoranthene	0.0012	0.0039	0.12	0.39	6.3	34
Benzotrichloride	0.0000066	0.000022	0.00066	0.0022	0.038	0.22
Benzyl alcohol	11	31	1,100	3,100	46,000	310,000
Benzyl chloride	0.0005	0.0017	0.05	0.17	3.8	34
Biphenyl, 1,1-	1.8	5.1	180	510	190	270
Biquinoline, 2,2'-	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Bis (2-chloroethoxy) methane	0.000077	0.00026	0.0077	0.026	0.29	0.9
Bis (2-chloroethyl) ether	0.000077	0.00026	0.0077	0.026	0.15	0.32
Bis (2-chloroisopropyl) ether	0.012	0.041	1.2	4.1	48	150
Bis (2-chloromethyl) ether	0.00000039	0.0000013	0.000039	0.00013	0.00011	0.00019
Bis (2-ethyl-hexyl) phthalate	0.006	0.006	0.6	0.6	17	65
Bismuth	18	51	1,800	5,100	99,000	680,000
Bisphenol A	1.8	5.1	180	510	7,700	51,000
Boron	3.3	9.2	330	920	23,000	170,000
Bromobenzene	0.73	2	73	200	110	160
Bromo-2-chloroethane, 1-	1.5	4.1	150	410	300	430
Bromodichloromethane ^{c)}	0.0014	0.0046	0.14	0.46	10	92
Bromoform ^{c)}	0.011	0.036	1.1	3.6	34	85
Bromomethane	0.051	0.14	5.1	14	3.5	4.9
Bromophenyl phenylether, 4-	0.000057	0.00019	0.0057	0.019	0.31	1.6
Butadiene, 1,3-	-	-	-	-	0.066	0.11
Butanal (butyraldehyde)	2.2	6.1	220	610	3,700	6,400
Butanoic acid (butyric acid)	18	51	1,800	5,100	77,000	510,000
Butanol, n-	3.7	10	370	1,000	27,000	200,000
Butoxy ethanol, 2-	18	51	1,800	5,100	77,000	510,000

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Butyl acetate	5.1	14	510	1,400	740	1,000
Butyl acrylate	0.33	0.92	33	92	86	120
Butyl benzyl phthalate	7.3	20	730	2,000	31,000	200,000
Butylate	1.8	5.1	180	510	7,700	51,000
Butylbenzene, n-	1.5	4.1	150	410	2,700	5,700
Butylbenzene, sec-	1.5	4.1	150	410	3,000	5,400
Butylbenzene, tert-	1.5	4.1	150	410	2,600	4,500
Butyl ether, n-	3.7	10	370	1,000	1,500	2,300
Cacodylic acid	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Caprolactam	18	51	1,800	5,100	77,000	510,000
Captan	0.024	0.082	2.4	8.2	140	820
Carbaryl	3.7	10	370	1,000	15,000	100,000
Carbazol ^{e)}	0.0043	0.014	0.43	1.4	24	140
Carbofuran	0.04	0.04	4	4	770	5,100
Carbon disulfide	3.7	10	370	1,000	1,000	1,500
Carbon tetrachloride	0.005	0.005	0.5	0.5	0.35	0.63
Carbophenothion	0.47	1.3	47	130	2,000	13,000
Carbosulfan	0.37	1	37	100	1,500	10,000
Carboxin	3.7	10	370	1,000	15,000	100,000
Chloral	3.7	10	370	1,000	27,000	200,000
Chloral hydrate	3.7	10	370	1,000	15,000	100,000
Chloramben	0.55	1.5	55	150	2,300	15,000
Chlordane	0.002	0.002	0.2	0.2	1.6	11
Chlordane, cis-	0.00024	0.00082	0.024	0.082	1.4	8
Chlordane, gamma	0.00024	0.00082	0.024	0.082	1.4	7.6
Chlorfenvinphos	0.026	0.072	2.6	7.2	110	720
Chloride*	-	-	-	-	-	-
Chlorine	4	4	400	400	20,000	140,000
Chloroaniline, p-	0.15	0.41	15	41	620	4,100
Chlorobenzene	0.1	0.1	10	10	400	590
Chlorobenzilate	0.00032	0.0011	0.032	0.11	1.8	11
Chlorobromomethane	1.5	4.1	150	410	240	340
Chloro-1,3-butadiene, 2-	-	-	-	-	10	14
Chlorodifluoromethane	-	-	-	-	11,000	15,000
Chloroethane	15	41	1,500	4,100	11,000	17,000
Chloroethanol, 2-	15	41	1,500	4,100	110,000	820,000
Chloroethoxy ethene, 2-	0.00077	0.0026	0.077	0.26	2.1	3
Chloroform ^{c)}	0.37	1	37	100	0.31	0.51

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Chlorohexane, 1-	1.5	4.1	150	410	4,100	8,400
Chloromethane	0.066	0.22	6.6	22	2.3	3.8
Chloro-3-methylphenol, 4-	0.18	0.51	18	51	770	5,100
Chloronaphthalene, 1-	2.9	8.2	290	820	11,000	71,000
Chloronaphthalene, 2-	2.9	8.2	290	820	11,000	71,000
Chloronitrobenzene, p-	0.0047	0.016	0.47	1.6	27	160
Chlorophenol, 2-	0.18	0.51	18	51	1,100	4,000
Chlorophenol, 3-	0.18	0.51	18	51	770	5,100
Chlorophenol, 4-	0.18	0.51	18	51	770	5,100
Chlorophenyl phenylether, 4-	0.000057	0.00019	0.0057	0.019	0.28	1.2
Chloropropane, 2-	1.1	3.1	110	310	130	190
Chloro-2-propanol, 1-	0.73	2	73	200	5,500	41,000
Chlorothalonil	0.0077	0.026	0.77	2.6	44	260
Chlorotoluene, o-	0.73	2	73	200	1,500	3,500
Chlorotoluene, p-	0.73	2	73	200	3.4	4.8
Chlorpyrifos	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Chrysene	0.012	0.039	1.2	3.9	63	340
Copolymer acrylamide	0.0073	0.02	0.73	2	31	200
Coronene	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Coumaphos	0.26	0.72	26	72	1,100	7,200
Cresol, m-	1.8	5.1	180	510	7,700	51,000
Cresol, o-	1.8	5.1	180	510	7,700	51,000
Cresol, p-	0.18	0.51	18	51	770	5,100
Crotonaldehyde	0.00045	0.0015	0.045	0.15	3.4	30
Cumene	3.7	10	370	1,000	5,400	9,000
Cyanazine	0.001	0.0034	0.1	0.34	5.8	34
Cyanide	0.2	0.2	20	20	5,100	37,000
Cyanogen	1.5	4.1	150	410	4.3	6
Cycloate	2	5.6	200	560	8,500	56,000
Cyclohexane	180	510	18,000	51,000	2,000	2,800
Cyclohexanol	180	510	18,000	51,000	770,000	5,100,000
Cyclohexanone	180	510	18,000	51,000	2,100	3,000
Cyclotetramethylene- tetranitramine	1.8	5.1	180	510	2,200	13,000
Cyclotrimethylenetrinitramine	0.0077	0.026	0.77	2.6	36	54
Cymene	3.7	10	370	1,000	4,200	6,700
Cymoxanil	0.47	1.3	47	130	2,000	13,000
Dacthal	0.37	1	37	100	1,500	10,000
Dalapon, sodium salt	0.2	0.2	20	20	4,600	31,000

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
DDD	0.00035	0.0012	0.035	0.12	2.4	18
DDE	0.00025	0.00084	0.025	0.084	1.7	13
DDT	0.00025	0.00084	0.025	0.084	1.7	12
Demeton	0.0015	0.0041	0.15	0.41	6.2	41
Diacetone alcohol	1.5	4.1	150	410	6,200	41,000
Diallate	0.0014	0.0047	0.14	0.47	8	47
Diazinon	0.033	0.092	3.3	9.2	140	920
Dibenz-a,h-acridine	0.00071	0.0024	0.071	0.24	4.1	24
Dibenz-a,h-anthracene	0.0002	0.0002	0.02	0.02	0.063	0.34
Dibenz-a,j-acridine	0.0012	0.0039	0.12	0.39	6.3	34
Dibenzofuran	0.15	0.41	15	41	620	4,100
Dibenzothiophene	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Dibromochloromethane	0.01	0.034	1	3.4	76	680
Dibromo-3-chloropropane, 1,2-	0.0002	0.0002	0.02	0.02	0.35	2
Dibromofluoromethane	7.3	20	730	2,000	11,000	19,000
Dicamba	1.1	3.1	110	310	4,600	31,000
Dichlorobenzene, 1,2-	0.6	0.6	60	60	560	800
Dichlorobenzene, 1,3-	1.1	3.1	110	310	51	71
Dichlorobenzene, 1,4-	0.075	0.075	7.5	7.5	270	2,400
Dichlorobenzidine, 3,3-	0.00019	0.00064	0.019	0.064	1.1	6.4
Dichlorobutane, 2,3-	0.37	1	37	100	43	61
Dichloro-2-butene, 1,4-	-	-	-	-	0.023	0.038
Dichloro-2-butene, 1,4- trans	-	-	-	-	0.023	0.039
Dichlorodifluoromethane	7.3	20	730	2,000	2,200	3,100
Dichloroethane, 1,1-	3.7	10	370	1,000	890	1,300
Dichloroethane, 1,2-	0.005	0.005	0.5	0.5	0.27	0.47
Dichloroethylene, 1,1-	0.007	0.007	0.7	0.7	270	0.47
Dichloroethylene, cis-1,2-	0.07	0.07	7	7	1,200	2,500
Dichloroethylene, trans-1,2	0.1	0.1	10	10	1,400	2,400
Dichlorophenol, 2,3-	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Dichlorophenol, 2,4-	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Dichlorophenol, 2,5-	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Dichlorophenol, 2,6-	0.037	0.1	3.7	10	150	1,000
Dichlorophenol, 3,4-	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Dichlorophenol, 3,5-	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Dichlorophenoxyacetic acid, 2,4-	0.07	0.07	7	7	2,000	14,000

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Dichlorophenoxy, 2,4-butyric acid, 4-	0.29	0.82	29	82	1,200	8,200
Dichloroprop	0.37	1	37	100	1,500	10,000
Dichloropropane, 1,2-	0.005	0.005	0.5	0.5	9.4	25
Dichloropropane, 1,3-	0.0085	0.029	0.85	2.9	30	80
Dichloropropane, 2,2-	0.013	0.042	1.3	4.2	17	24
Dichloropropanol, 2,3-	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Dichloropropene, 1,1-	0.00085	0.0029	0.085	0.29	0.99	1.9
Dichloropropene, 1,3-	0.00085	0.0029	0.085	0.29	1.9	4.2
Dichloropropene, cis 1,3-	0.0016	0.0053	0.16	0.53	12	34
Dichloropropene, trans 1,3-	0.0085	0.029	0.85	2.9	18	40
Dichlorvos	0.00029	0.00099	0.029	0.099	1.7	9.9
Dicrotophos	0.0037	0.01	0.37	1	15	100
Dicyclopentadiene	1.1	3.1	110	310	8,200	61,000
Dieldrin	0.0000053	0.000018	0.00053	0.0018	0.031	0.18
Diethanolamine	0.018	0.051	1.8	5.1	77	510
Diethyl phthalate	29	82	2,900	8,200	120,000	820,000
Diethylene glycol	73	200	7,300	20,000	310,000	2,000,000
Diethylene glycol monobutyl- ether	3.3	9.2	330	920	14,000	92,000
Diethylhexyl adipate	0.4	0.4	40	40	4,100	24,000
Diethylstilbestrol	0.000000018	0.000000061	0.0000018	0.0000061	0.0001	0.00061
Diisobutylene	2.2	6.1	220	610	370	520
Diisopropyl ether	3.7	10	370	1,000	4.3	6
Dimethenamid	0.55	1.5	55	150	2,300	15,000
Dimethoate	0.0073	0.02	0.73	2	31	200
Dimethoxybenzidine, 3,3'-	0.0061	0.02	0.61	2	35	200
Dimethylaminoazobenzene, p-	0.00037	0.001	0.037	0.1	1.5	10
Dimethylbenz-a-anthracene,7, 12-	0.0000034	0.000011	0.00034	0.0011	0.018	0.1
Dimethylbenzidine, 3,3'-	0.0000093	0.000031	0.00093	0.0031	0.053	0.31
Dimethylnaphthalene, 1,3-	1.5	4.1	150	410	5,500	36,000
Dimethyl phenol, 2,4-	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Dimethylphenethylamine, alpha, alpha-	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Dimethylphthalate	29	82	2,900	8,200	120,000	820,000
Di-n-butyl phthalate	3.7	10	370	1,000	15,000	100,000
Dinitrobenzene, 1,3-	0.0037	0.01	0.37	1	15	100
Dinitrobenzene, 1,4-	0.015	0.041	1.5	4.1	62	410
Dinitro-2-methylphenol, 4,6-	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Dinitrophenol, 2,4-	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Dinitrophenol, 2,5-	0.073	0.2	7.3	20	310	2,100
Dinitrotoluene, 2,4-	0.00013	0.00042	0.013	0.042	0.72	4.2
Dinitrotoluene, 2,6-	0.00013	0.00042	0.013	0.042	0.72	4.2
Di-n-octyl phthalate	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Dinoseb	0.007	0.007	0.7	0.7	150	1,000
Dioxane 1,4-	0.0077	0.026	0.77	2.6	58	520
Diphenylamine	0.91	2.6	91	260	3,900	26,000
Diphenylhydrazine, 1,2-	0.00011	0.00036	0.011	0.036	0.61	3.6
Diphenyl oxide	0.23	0.63	23	63	600	1,600
Diquat	0.02	0.02	2	2	340	2,200
Disulfoton	0.0015	0.0041	0.15	0.41	6.2	41
Diuron	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Endosulfan	0.22	0.61	22	61	62	92
Endosulfan I	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Endosulfan II	0.22	0.61	22	61	930	6,100
Endosulfan sulfate	0.22	0.61	22	61	930	6,100
Endothall	0.1	0.1	10	10	3,100	20,000
Endrin	0.002	0.002	0.2	0.2	46	310
Endrin aldehyde	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Endrin ketone	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Epichlorohydrin	0.0086	0.029	0.86	2.9	7.2	10
EPN	0.00037	0.001	0.037	0.1	1.5	10
Esfenvalerate	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Ethalfuralin	0.0096	0.032	0.96	3.2	55	320
Ethanol	1,200	3,400	120,000	340,000	9,100,000	67,000,000
Ethion	0.018	0.051	1.8	5.1	77	510
Ethoprop	0.003	0.01	0.3	1	15	100
Ethoxy ethanol, 2-	15	41	1,500	4,100	4.3	6
Ethyl acetate	33	92	3,300	9,200	8,900	13,000
Ethyl acrylate	0.0018	0.006	0.18	0.6	13	120
Ethyl benzene	0.7	0.7	70	70	4,300	6,900
Ethyl dipropylthiocarbamate, S-	0.91	2.6	91	260	3,900	26,000
Ethylene*	-	-	-	-	-	-
Ethylenediamine	0.73	2	73	200	5,500	41,000
Ethylene dibromide	0.00005	0.00005	0.005	0.005	0.0072	0.055
Ethylene glycol	73	200	7,300	20,000	310,000	2,000,000
Ethylene oxide	0.000083	0.00028	0.0083	0.028	0.075	0.14

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Ethylene thiourea	0.00077	0.0026	0.077	0.26	4.4	26
Ethyl ether	7.3	20	730	2,000	3,800	5,700
Ethyl-1-hexanol, 2-	5.5	15	550	1,500	13,000	31,000
Ethyl-2-hexenal, 2-	5.5	15	550	1,500	3,000	4,500
Ethylhexyl acrylate, 2-	0.0018	0.006	0.18	0.6	10	60
Ethyl methacrylate	3.3	9.2	330	920	5,700	9,900
Ethyl methanesulfonate	0.0086	0.029	0.86	2.9	49	290
Ethyl-2-methyl benzene, 1-	7.3	20	730	2,000	5,500	8,400
Ethyl-4-methyl benzene, 1-	7.3	20	730	2,000	4,800	7,200
Ethyl tert-butyl ether	0.037	0.1	3.7	10	220	930
Famphur	0.0011	0.0031	0.11	0.31	4.6	31
Fensulfothion	0.037	0.1	3.7	10	150	1,000
Fenthion	0.0026	0.0072	0.26	0.72	11	72
Fluoranthene	1.5	4.1	150	410	5,500	36,000
Fluorene	1.5	4.1	150	410	5,500	36,000
Fluorine	4	4	400	400	15,000	110,000
Fonofos	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Formaldehyde	7.3	20	730	2,000	55,000	410,000
Formic acid	73	200	7,300	20,000	550,000	4,100,000
Furan	0.037	0.1	3.7	10	39	61
Furfural	0.11	0.31	11	31	820	6,100
Glycidylaldehyde	0.015	0.041	1.5	4.1	110	820
Glyphosate	0.7	0.7	70	70	15,000	100,000
Heptachlor	0.0004	0.0004	0.04	0.04	0.093	0.41
Heptachlor epoxide	0.0002	0.0002	0.02	0.02	0.054	0.31
Heptane, n-	2.2	6.1	220	610	11,000	34,000
Heptanoic acid, n-	18	51	1,800	5,100	77,000	510,000
Hexachlorobenzene	0.001	0.001	0.1	0.1	0.25	1
Hexachlorobutadiene	0.0073	0.02	0.73	2	16	32
Hexachlorocyclohexane, alpha	0.000014	0.000045	0.0014	0.0045	0.09	0.65
Hexachlorocyclohexane, beta	0.00047	0.0016	0.047	0.16	3.2	23
Hexachlorocyclohexane, delta	0.000047	0.00016	0.0047	0.016	0.32	2.3
Hexachlorocyclohexane, gamma	0.0002	0.0002	0.02	0.02	0.44	3.1
Hexachlorocyclohexane, techn	0.000047	0.00016	0.0047	0.016	0.32	2.3
Hexachlorocyclopentadiene	0.05	0.05	5	5	10	14
Hexachloroethane	0.037	0.1	3.7	10	150	750
Hexachlorophene	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Hexachloropropylene	0.037	0.1	3.7	10	150	760

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Hexane, n-	2.2	6.1	220	610	57	81
Hexanediol, 1,6-	180	510	18,000	51,000	770,000	5,100,000
Hexanoic acid	18	51	1,800	5,100	77,000	510,000
Hexanone, 2-	2.2	6.1	220	610	62	87
Hexazinone	1.2	3.4	120	340	5,100	34,000
Hexylene glycol	11	31	1,100	3,100	46,000	310,000
Hydrazine	0.000028	0.000095	0.0028	0.0095	0.21	1.9
Hydrogen chloride*	-	-	-	-	-	-
Indene	0.73	2	73	200	79	110
Indeno-1,2,3-cd-pyrene	0.0002	0.00039	0.02	0.039	0.63	3.4
Isobutyl alcohol	11	31	1,100	3,100	3,000	4,300
Isobutylene	-	-	-	-	1,800	2,500
Isobutyric acid	18	51	1,800	5,100	77,000	510,000
Isodrin	0.000005	0.000017	0.0005	0.0017	0.028	0.16
Isophorone	0.9	3	90	300	5,200	30,000
Isopropyl acetate	2.6	7.2	260	720	19,000	140,000
Isopropyl alcohol	7.3	20	730	2,000	55,000	410,000
Isosafrole	0.00039	0.0013	0.039	0.13	1.7	6
Kelthane	0.22	0.61	22	61	930	6,100
Kepone	0.000053	0.00018	0.0053	0.018	0.31	1.8
Limonene, d-*	-	-	-	-	-	-
Malathion	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Maleic anhydride	3.7	10	370	1,000	15,000	100,000
Maleic hydrazide	18	51	1,800	5,100	77,000	510,000
Malononitrile	0.00073	0.002	0.073	0.2	3.1	20
Mancozeb	1.1	3.1	110	310	4,600	31,000
MCPA	0.018	0.051	1.8	5.1	77	510
MCPP	0.037	0.1	3.7	10	150	1,000
Merphos	0.0011	0.0031	0.11	0.31	4.6	31
Methacrylic acid	0.37	1	37	100	24	34
Methacrylonitrile	0.0037	0.01	0.37	1	11	22
Methanol	18	51	1,800	5,100	140,000	1,000,000
Methapyrilene	0.00018	0.00061	0.018	0.061	1	6.1
Methomyl	0.91	2.6	91	260	3,900	26,000
Methoxychlor	0.04	0.04	4	4	750	4,400
Methoxyethanol, 2-	-	-	-	-	6.1	8.5
Methyl acetate	37	100	3,700	10,000	2,100	3,000
Methyl acrylate	0.073	0.2	7.3	20	28	41

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Methyl-1-butene, 2-	2.2	6.1	220	610	5,800	11,000
Methyl-2-butene, 2-	2.2	6.1	220	610	7,300	16,000
Methylcholanthrene, 3-	0.000039	0.00013	0.0039	0.013	0.21	1.1
Methyl chrysene, 1-	0.12	0.39	12	39	630	3,400
Methyl chrysene, 2-	0.12	0.39	12	39	630	3,400
Methyl chrysene, 6-	0.012	0.039	1.2	3.9	63	340
Methyl cyclohexane	180	510	18,000	51,000	7,100	10,000
Methylene-bis (2-chloroaniline) 4,4'-	0.00066	0.0022	0.066	0.22	3.8	22
Methylene bromide	0.11	0.38	11	38	190	270
Methylene chloride	0.005	0.005	0.5	0.5	8.7	16
Methyl ethyl ketone	22	61	2,200	6,100	6,000	8,600
Methyl iodide	0.051	0.14	5.1	14	18	26
Methyl isobutyl ketone	2.9	8.2	290	820	2,000	2,900
Methyl mercury	0.0037	0.01	0.37	1	25	190
Methylmercury hydroxide	0.0037	0.01	0.37	1	15	100
Methyl methacrylate	51	140	5,100	14,000	5,800	8,200
Methyl methanesulfonate	0.0086	0.029	0.86	2.9	49	290
Methylnaphthalene, 1-	0.73	2	73	200	2,700	18,000
Methylnaphthalene, 2-	0.73	2	73	200	2,700	18,000
Methyl-5-nitroaniline, 2-	0.026	0.087	2.6	8.7	150	870
Methyl parathion	0.0091	0.026	0.91	2.6	39	260
Methyl-2-pentenal, 2-	0.00045	0.0015	0.045	0.15	3.4	30
Methyl-1-propanal, 2-	1.5	4.1	150	410	1,300	1,900
Methylpyrrolidone, N-	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Methyltetrahydrofuran, 2-	0.11	0.38	11	38	70	130
Methyltetrahydropyran, 2-	0.11	0.38	11	38	110	200
Metolachlor	5.5	15	550	1,500	23,000	150,000
Mirex	0.0073	0.02	0.73	2	31	200
Molinate	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Molybdenum	0.18	0.51	18	51	1,100	8,100
Morpholine	18,000	51,000	1,800,000	5,100,000	14,000,000	1,000,000,000
MTBE	0.37/0.015 ^{f)}	1.0/0.015 ^{f)}	37	100	380	710
Naled	0.073	0.2	7.3	20	110	220
Naphthalene	0.73	2	73	200	180	270
Naphthoquinone, 1,4-	0.26	0.72	26	72	1,100	7,200
Naphthylamine, 1-	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Naphthylamine, 2-	0.00047	0.0016	0.047	0.16	2.7	16
Napropamide	3.7	10	370	1,000	15,000	100,000

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Neopentyl glycol	11	31	1,100	3,100	46,000	310,000
Nitrate	10	10	1,000	1,000	410,000	3,000,000
Nitrite	1	1	100	100	25,000	190,000
Nitroaniline, 2-	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Nitroaniline, 3-	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Nitroaniline, 4-	0.022	0.075	2.2	7.5	130	750
Nitrobenzene	0.018	0.051	1.8	5.1	65	270
Nitroglycerin	0.0026	0.0072	0.26	0.72	11	72
Nitrophenol, 2-	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Nitrophenol, 3-	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Nitrophenol, 4-	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Nitropropane, 2-	-	-	-	-	0.0042	0.007
Nitroquinoline-N-oxide, 4-	0.000091	0.00003	0.00091	0.003	0.052	0.3
Nitrosodiethanolamine, N-	0.00003	0.0001	0.003	0.01	0.17	1
Nitrosodiethylamine, N-	0.0000057	0.000019	0.00057	0.0019	0.0043	0.038
Nitrosodimethylamine, N-	0.0000017	0.0000056	0.00017	0.00056	0.013	0.11
Nitrosodi-n-butylamine, N-	0.000016	0.000053	0.0016	0.0053	0.041	0.1
Nitrosodi-n-propylamine, N-	0.000012	0.000041	0.0012	0.0041	0.041	0.16
Nitrosodiphenylamine, N-	0.017	0.058	1.7	5.8	59	230
Nitroso-methyl-ethyl-amine, N-	0.000039	0.000013	0.00039	0.0013	0.029	0.26
Nitrosomorpholine, N-	0.00013	0.00043	0.013	0.043	0.73	4.3
Nitroso-N-ethylurea, N-	0.0000061	0.000002	0.000061	0.0002	0.0035	0.02
Nitrosopiperidine, N-	0.000091	0.0003	0.0091	0.03	0.52	3
Nitrosopyrrolidine, N-	0.000041	0.00014	0.0041	0.014	0.23	1.4
Nitrotoluene, m-	0.37	1	37	100	440	790
Nitrotoluene, o-	0.37	1	37	100	470	860
Nitrotoluene, p-	0.37	1	37	100	440	790
Nonachlor, cis-	0.00024	0.00082	0.024	0.082	1.4	7.8
Nonachlor, trans-	0.00024	0.00082	0.024	0.082	1.4	7.8
Octamethylpyrophosphoramidate	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Octanone	2.2	6.1	220	610	16,000	110,000
Oxamy	0.2	0.2	20	20	3,900	26,000
Oxychlorane	0.00024	0.00082	0.024	0.082	1.4	7.8
Paraquat	0.16	0.46	16	46	700	4,600
Parathion	0.22	0.61	22	61	930	6,100
Pebulate	1.8	5.1	180	510	7,700	51,000
Pendimethalin	1.5	4.1	150	410	6,200	41,000
Pentachlorobenzene	0.029	0.082	2.9	8.2	120	800

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Pentachloroethane	0.033	0.11	3.3	11	52	110
Pentachloronitrobenzene	0.0033	0.011	0.33	1.1	19	110
Pentachlorophenol	0.001	0.001	0.1	0.1	3	14
Pentadiene, 1,3-trans-	2.2	6.1	220	610	10,000	29,000
Pentaerythritol tetranitrate	15	41	1,500	4,100	62,000	410,000
Pentane	26	72	2,600	7,200	170	230
Pentanediol, 1,5-	180	510	18,000	51,000	770,000	5,100,000
Pentanone, 2-	1.5	4.1	150	410	3,800	7,500
Pentyne, 1-	2.2	6.1	220	610	9,900	27,000
Perchlorate ^{g)}	0.004	0.01	0.37	1	20	140
Perylene	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Phenacetin	0.039	0.13	3.9	13	220	1,300
Phenanthrene	1.1	3.1	110	310	4,100	27,000
Phenanthridine	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Phenol	11	31	1,100	3,100	46,000	310,000
Phenylene diamine, m-	0.22	0.61	22	61	930	6,100
Phenylene diamine, p-	6.9	19	690	1,900	29,000	190,000
Phenyl mercuric acetate	0.0029	0.0082	0.29	0.82	12	82
Phorate	0.0073	0.02	0.73	2	16	38
Phosalone	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Phosdrin	0.00091	0.0026	0.091	0.26	3.9	26
Phosphine	0.011	0.031	1.1	3.1	59	410
Phosphorus, total*	-	-	-	-	-	-
Phosphorus, white	0.00073	0.002	0.073	0.2	4	27
Phthalic anhydride	73	200	7,300	20,000	310,000	2,000,000
Picloram	0.5	0.5	50	50	11,000	72,000
Picoline, 2- (2-methylpyridine)	0.33	0.92	33	92	9.7	14
Polybrominated biphenyls	0.000096	0.000032	0.00096	0.0032	0.055	0.32
Polychlorinated biphenyls	0.0005	0.0005	0.05	0.05	10 ^{h)}	10 ^{h)}
Potassium*	-	-	-	-	-	-
Primene	0.22	0.61	22	61	690	2,300
Prometon	0.55	1.5	55	150	2,300	15,000
Pronamide	2.7	7.7	270	770	12,000	77,000
Propanal	0.29	0.82	29	82	530	920
Propanil	0.18	0.51	18	51	770	5,100
Propanoic acid	18	51	1,800	5,100	140,000	1,000,000
Propanol, 1-	7.3	20	730	2,000	55,000	410,000

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Propargite	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Propargyl alcohol	0.073	0.2	7.3	20	550	4,100
Propazine	0.019	0.064	1.9	6.4	110	640
Propham	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Propionitrile	0.015	0.041	1.5	4.1	43	89
Propyl acetate, n-	3.3	9.2	330	920	25,000	180,000
Propylbenzene, n-	1.5	4.1	150	410	3,200	5,900
Propylene glycol	730	2,000	73,000	200,000	3,100,000	20,000,000
Propylene glycol monomethyl ether	26	72	2,600	7,200	190,000	1,400,000
Propylene oxide	0.00035	0.0012	0.035	0.12	1.2	3.1
Propylene tetramer	3.7	10	370	1,000	5,300	10,000
Pyrene	1.1	3.1	110	310	4,100	27,000
Pyridine	0.037	0.1	3.7	10	8.2	12
Quinoline	0.000028	0.000095	0.0028	0.0095	0.16	0.95
Ronnel	1.8	5.1	180	810	7,700	51,000
Safrole	0.0039	0.013	0.39	1.3	15	50
Selenourea	0.18	0.51	18	51	1,400	10,000
Simazine	0.004	0.004	0.4	0.4	41	240
Sodium diethyldithiocarbamate	0.0032	0.011	0.32	1.1	24	210
Sodium polyacrylate	18	51	1,800	5,100	140,000	1,000,000
Strontium	22	61	2,200	6,100	120,000	820,000
Strychnine	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Styrene	0.1	0.1	10	10	13,000	23,000
Sulfate*	-	-	-	-	-	-
Sulfide*	-	-	-	-	-	-
Sulfolane	0.00073	0.002	0.073	0.2	3.1	20
Tebuconazole	1.1	3.1	110	310	4,600	31,000
Tebuthiuron	2.6	7.2	260	720	11,000	72,000
Terbufos	0.00091	0.0026	0.091	0.26	3.9	26
Tert-amyl-methyl ether	1.5	4.1	150	410	11,000	82,000
Tert-butyl alcohol	3.3	9.2	330	920	2,000	3,000
Tetrachlorobenzene, 1,2,3,4-	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Tetrachlorobenzene, 1,2,3,5-	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Tetrachlorobenzene, 1,2,4,5-	0.011	0.031	1.1	3.1	46	300
Tetrachloroethane, 1,1,1,2-	0.033	0.11	3.3	11	52	100
Tetrachloroethane, 1,1,2,2-	0.0043	0.014	0.43	1.4	5.1	9.8
Tetrachloroethylene	0.005	0.005	0.5	0.5	6	17

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Tetrachlorophenol, 2,3,4,5-	1.1	3.1	110	310	4,600	31,000
Tetrachlorophenol, 2,3,4,6-	1.1	3.1	110	310	4,600	31,000
Tetrachlorophenol, 2,3,5,6-	1.1	3.1	110	310	110	150
Tetradifon	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Tetraethyl dithiopyrophosphate	0.018	0.051	1.8	5.1	77	510
Tetraethyl lead	0.000037	0.00001	0.00037	0.001	0.015	0.097
Tetrahydrofuran	0.11	0.38	11	38	54	95
Tetrahydropyran	0.11	0.38	11	38	85	150
Thallium and compounds	0.002	0.002	0.2	0.2	20	150
Thiofanox	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Thionazin	0.0026	0.0072	0.26	0.72	11	72
Thiophanate-methyl	2.9	8.2	290	820	12,000	82,000
Thiram	0.18	0.51	18	51	770	5,100
Tin	22	61	2,200	6,100	93,000	610,000
Titanium	18,000	51,000	1,800,000	5,100,000	38,000,000	240,000,000
Toluene	1	1	100	100	1,700	2,400
Toluenediamine, 2,4-	0.000027	0.000089	0.0027	0.0089	0.15	0.89
Toluenediamine, 2,6-	7.3	20	730	2,000	31,000	200,000
Toluene diisocyanate, 2,4/2,6-	-	-	-	-	290	410
Toluidine, o-	0.00035	0.0012	0.035	0.12	2	12
Toluidine, p-	0.0045	0.015	0.45	1.5	26	150
Toxaphene	0.003	0.003	0.3	0.3	0.44	2.6
TP Silvex, 2,4,5-	0.05	0.05	5	5	1,200	8,200
Triademenol	1.1	3.1	110	310	4,600	31,000
Triallate	0.47	1.3	47	130	2,000	13,000
Triaminotrinitrobenzene	0.028	0.095	2.8	9.5	160	950
Tributyltin oxide	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Trichlorobenzene, 1,2,3-	0.11	0.31	11	31	420	2,000
Trichlorobenzene, 1,2,4-	0.07	0.07	7	7	1,400	6,100
Trichlorobenzene, 1,3,5-	0.11	0.31	11	31	370	1,400
Trichloroethane, 1,1,1-	0.2	0.2	20	20	2,300	3,400
Trichloroethane, 1,1,2-	0.005	0.005	0.5	0.5	9.7	17
Trichloroethylene	0.005	0.005	0.5	0.5	3.7	6.6
Trichlorofluoromethane	11	31	1,100	3,100	2,600	3,800
Trichloronate	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Trichlorophenol, 2,3,4-	3.7	10	370	1,000	15,000	100,000
Trichlorophenol, 2,3,5-	3.7	10	370	1,000	15,000	100,000
Trichlorophenol, 2,3,6-	3.7	10	370	1,000	1,500	2,300

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Trichlorophenol, 2,4,5-	3.7	10	370	1,000	15,000	100,000
Trichlorophenol, 2,4,6-	0.0077	0.026	0.77	2.6	44	260
Trichlorophenol, 3,4,5-	3.7	10	370	1,000	15,000	100,000
Trichlorophenoxyacetic acid, 2,4,5-	0.37	1	37	100	1,500	10,000
Trichloropropane, 1,1,2-	0.18	0.51	18	51	170	270
Trichloropropane, 1,2,3-	0.000012	0.000041	0.0012	0.0041	0.091	0.82
Trichloro-1,2,2-trifluoroethane, 1,1,2-	1,100	3,100	110,000	310,000	43,000	60,000
Triethanolamine	7.3	20	730	2,000	31,000	200,000
Triethylamine	-	-	-	-	37	52
Triethylene glycol	110	310	11,000	31,000	460,000	3,100,000
Triethylphosphorothioate, O, O, O-						
Trifluralin	0.11	0.37	11	37	640	3,700
Trimethylamine	-	-	-	-	83	120
Trimethylbenzene, 1,2,3-	1.8	5.1	180	510	86	120
Trimethylbenzene, 1,2,4-	1.8	5.1	180	510	96	140
Trimethylbenzene, 1,3,5-	1.8	5.1	180	510	83	120
Trinitrobenzene, 1,3,5-	1.1	3.1	110	310	4,600	31,000
Trinitrophenylmethylnitramine	0.37	1	37	100	1,500	10,000
Trinitrotoluene, 2,4,6-	0.018	0.051	1.8	5.1	77	510
Uranium	0.03	0.03	3	3	760	5,600
Valeric acid	18	51	1,800	5,100	77,000	510,000
Vanadium	0.26	0.72	26	72	480	3,000
Vernam	0.037	0.1	3.7	10	150	1,000
Vinyl acetate	37	100	3,700	10,000	570	800
Vinyl chloride	0.002	0.002	0.2	0.2	0.036	0.066
Vinylcyclohexane	18	51	1,800	5,100	60	84
Warfarin	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Xylene, m-	10	10	1,000	1,000	2,300	3,300
Xylene, o-	10	10	1,000	1,000	33,000	48,000
Xylene, p-	10	10	1,000	1,000	2,700	3,800
Xylenes	10	10	1,000	1,000	580	830
6 C aliphatics (TPH)	2.2	6.1	220	610	150	210
>6-8 C aliphatics (TPH)	2.2	6.1	220	610	300	420
>8-10 C aliphatics (TPH)	3.7	10	370	1,000	3,100	4,800
>10-12 C aliphatics (TPH)	3.7	10	370	1,000	5,300	10,000
>12-16 C aliphatics (TPH)	3.7	10	370	1,000	8,200	20,000
>16-21 C aliphatics (TPH)	73	200	7,300	20,000	310,000	2,000,000

표3-2-20. 텍사스주 지하수, 토양, 공기 흡입기준- 일반화학물질

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
>16-21 C, >21-35 C aliphatics	58	160	5,800	16,000	250,000	1,600,000
>7-8 C aromatics	3.7	10	370	1,000	3,700	5,800
>8-10 C aromatics	1.5	4.1	150	410	1,700	2,800
>10-12 C aromatics	1.5	4.1	150	410	2,700	5,800
>12-16 C aromatics	1.5	4.1	150	410	4,000	11,000
>16-21 C aromatics	1.1	3.1	110	310	4,100	27,000
>21-35 C aromatics	1.1	3.1	110	310	4,100	27,000

- a) SAI was originally defined as "Soil/Air and Ingestion Standard." However, the SAI values provided in this table include the soil dermal absorption pathway where appropriate as well.
- b) The SAI-Res (20 mg/kg) and SAI-Ind (200 mg kg⁻¹) values for arsenic are based on the cleanup levels established by the Executive Director (interoffice memos entitled "Arsenic Soil Cleanup Standards" from Dan Pearson on May 19, 1995 and "Arsenic Soil Cleanup Standards for Commercial/Industrial Areas" from Jeff Saitas on September 11, 1998, respectively).
- c) The total MCL (GW-Res or GW-Ind) for trihalomethanes (bromodichloromethane, bromoform, chloroform, and dibromochloromethane) is 0.08 mg L⁻¹.
- d) The SAI-Res MSC value for cadmium does NOT account for vegetable ingestion. Please include this pathway when warranted due to site-specific conditions
- e) The SAI-Res and SAI-Ind values for lead were calculated using the USEPA Lead Uptake/Biokinetic Model and the USEPA Model for Assessing Risks Associated with Adult Exposures to Lead in Soil, respectively.
- f) The first value for MTBE represents the health-based value; the second value for MTBE is based on odor and taste.
- g) The range of residential GW-Res MSCs for perchlorate obtained when using the provisional RfD range recommended by USEPA's NCEA is 3.7E-03 to 1.8E-02 mg L⁻¹. Given the uncertainties associated with the toxicity of perchlorate, a value at the lower end of the range, which accounts for limitations of current analytical techniques, was selected. As such, the residential GW-Res MSC is set at 4.0E-03 mg L⁻¹, which is the quantitation limit for perchlorate.
- h) The SAI-Res and SAI-Ind value for PCBs (10 mg kg⁻¹) is based on the TSCA limit defined in 40 CFR 761.125. An alternate cleanup level of 25 mg kg⁻¹ may be appropriate for certain industrial sites, provided the site meets the requirements for a restricted access site (i.e., > 0.1 km from a residential/commercial area limited by man-made barriers) as defined in TSCA 40 CFR 761.123.
- * These compounds are not necessarily of concern from a human health standpoint, therefore calculation of human health-based values is not required. However, aesthetics and ecological criteria would still apply. See table entitled "Compounds for which Calculation of a Human Health MSC is Not Required" available on the TNRCC website at <http://www.tnrcc.state.tx.us/permitting/rrr.htm>.

표3-2-21. 텍사스주 지하수, 토양, 공기흡입기준 - 농약

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Alachlor	0.002	0.002	0.2	0.2	6.1	36
Aldicarb	0.007	0.007	0.7	0.7	150	1,000
Aldicarb sulfone	0.007	0.007	0.7	0.7	150	1,000
Aldrin	0.000005	0.000017	0.0005	0.0017	0.027	0.14
Ametryn	0.33	0.92	33	92	1,400	9,200
Aramite	0.0034	0.011	0.34	1.1	20	110
Atrazine	0.003	0.003	0.3	0.3	22	130
Azinphos-methyl	0.055	0.15	5.5	15	230	1,500
Benomyl	1.8	5.1	180	510	7,700	51,000
Captan	0.024	0.082	2.4	8.2	140	820
Carbaryl	3.7	10	370	1,000	15,000	100,000
Carbazol ^{e)}	0.0043	0.014	0.43	1.4	24	140
Carbofuran	0.04	0.04	4	4	770	5,100
Carbophenothion	0.47	1.3	47	130	2,000	13,000
Carbosulfan	0.37	1	37	100	1,500	10,000
Chlordane	0.002	0.002	0.2	0.2	1.6	11
Chlordane, cis-	0.00024	0.00082	0.024	0.082	1.4	8
Chlordane, gamma	0.00024	0.00082	0.024	0.082	1.4	7.6
Chlorfenvinphos	0.026	0.072	2.6	7.2	110	720
Chlorothalonil	0.0077	0.026	0.77	2.6	44	260
Chlorpyrifos	0.11	0.31	11	31	460	3,100
Dalapon, sodium salt	0.2	0.2	20	20	4,600	31,000
DDD	0.00035	0.0012	0.035	0.12	2.4	18
DDE	0.00025	0.00084	0.025	0.084	1.7	13
DDT	0.00025	0.00084	0.025	0.084	1.7	12
Demeton	0.0015	0.0041	0.15	0.41	6.2	41
Diallate	0.0014	0.0047	0.14	0.47	8	47
Diazinon	0.033	0.092	3.3	9.2	140	920
Dicamba	1.1	3.1	110	310	4,600	31,000
Dichlorvos	0.00029	0.00099	0.029	0.099	1.7	9.9
Dicrotophos	0.0037	0.01	0.37	1	15	100
Dieldrin	0.0000053	0.000018	0.00053	0.0018	0.031	0.18
Dimethoate	0.0073	0.02	0.73	2	31	200
Dinoseb	0.007	0.007	0.7	0.7	150	1,000
Diquat	0.02	0.02	2	2	340	2,200
Disulfoton	0.0015	0.0041	0.15	0.41	6.2	41
Diuron	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Endosulfan	0.22	0.61	22	61	62	92
Endosulfan I	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000

표3-2-21. 텍사스주 지하수, 토양, 공기흡입기준 - 농약

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Endosulfan II	0.22	0.61	22	61	930	6,100
Endosulfan sulfate	0.22	0.61	22	61	930	6,100
Endothall	0.1	0.1	10	10	3,100	20,000
Endrin	0.002	0.002	0.2	0.2	46	310
Endrin aldehyde	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Endrin ketone	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Epichlorohydrin	0.0086	0.029	0.86	2.9	7.2	10
EPN	0.00037	0.001	0.037	0.1	1.5	10
Esfenvalerate	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Ethalfuralin	0.0096	0.032	0.96	3.2	55	320
Ethion	0.018	0.051	1.8	5.1	77	510
Ethoprop	0.003	0.01	0.3	1	15	100
Famphur	0.0011	0.0031	0.11	0.31	4.6	31
Fensulfothion	0.037	0.1	3.7	10	150	1,000
Fenthion	0.0026	0.0072	0.26	0.72	11	72
Fonofos	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Glyphosate	0.7	0.7	70	70	15,000	100,000
Heptachlor	0.0004	0.0004	0.04	0.04	0.093	0.41
Heptachlor epoxide	0.0002	0.0002	0.02	0.02	0.054	0.31
Hexazinone	1.2	3.4	120	340	5,100	34,000
Malathion	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Mancozeb	1.1	3.1	110	310	4,600	31,000
MCPA	0.018	0.051	1.8	5.1	77	510
MCPP	0.037	0.1	3.7	10	150	1,000
Methomyl	0.91	2.6	91	260	3,900	26,000
Methoxychlor	0.04	0.04	4	4	750	4,400
Methyl parathion	0.0091	0.026	0.91	2.6	39	260
Metolachlor	5.5	15	550	1,500	23,000	150,000
Mirex	0.0073	0.02	0.73	2	31	200
Molinate	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
MTBE	0.37/0.015 ^{f)}	1.0/0.015 ^{f)}	37	100	380	710
Naled	0.073	0.2	7.3	20	110	220
Napropamide	3.7	10	370	1,000	15,000	100,000
Oxamyl	0.2	0.2	20	20	3,900	26,000
Oxychlorthane	0.00024	0.00082	0.024	0.082	1.4	7.8
Paraquat	0.16	0.46	16	46	700	4,600
Parathion	0.22	0.61	22	61	930	6,100
Pebulate	1.8	5.1	180	510	7,700	51,000
Pendimethalin	1.5	4.1	150	410	6,200	41,000

표3-2-21. 텍사스주 지하수, 토양, 공기흡입기준 - 농약

Items	GW-Res (mg L ⁻¹)	GW-Ind (mg L ⁻¹)	GWP-Res (mg kg ⁻¹)	GWP-Ind (mg kg ⁻¹)	SAI-Res (mg kg ⁻¹)	SAI-Ind (mg kg ⁻¹)
Phorate	0.0073	0.02	0.73	2	16	38
Phosalone	0.073	0.2	7.3	20	310	2,000
Phosdrin	0.00091	0.0026	0.091	0.26	3.9	26
Picloram	0.5	0.5	50	50	11,000	72,000
Polybrominated biphenyls	0.0000096	0.000032	0.00096	0.0032	0.055	0.32
Polychlorinated biphenyls	0.0005	0.0005	0.05	0.05	10 ^{h)}	10 ^{h)}
Propargite	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Propham	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Simazine	0.004	0.004	0.4	0.4	41	240
Tebuconazole	1.1	3.1	110	310	4,600	31,000
Tebuthiuron	2.6	7.2	260	720	11,000	72,000
Terbufos	0.00091	0.0026	0.091	0.26	3.9	26
Tetradifon	0.73	2	73	200	3,100	20,000
Thiofanox	0.011	0.031	1.1	3.1	46	310
Thionazin	0.0026	0.0072	0.26	0.72	11	72
Thiophanate-methyl	2.9	8.2	290	820	12,000	82,000
Thiram	0.18	0.51	18	51	770	5,100
Toxaphene	0.003	0.003	0.3	0.3	0.44	2.6
Triadimenol	1.1	3.1	110	310	4,600	31,000
Triallate	0.47	1.3	47	130	2,000	13,000
Trifluralin	0.11	0.37	11	37	640	3,700

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

E. 캘리포니아주

미국 환경보호청 (US EPA)의 지역사무소 9 (Region 9 Office)는 토양, 대기, 수돗물에 대하여 약 600여 화학물질의 PRGs (Preliminary Remedial Goals)를 수립하였다.

PRGs란 적절한 복원대책의 범위와 가장 효과적인 복원방법을 선정하는데 도움을 주는 것으로 Region 9의 PRGs는 오염부지의 위해성 평가 과정 초반에 (부지 특이적인 자료가 고려되기 전에) 부지의 평가를 목적으로 하는 위해성에 근거한 농도이다. 그러나 오염물질이 PRGs 기준을 초과한다는 것이 자동적으로 그 오염부지가 "dirty" 하거나 대응조치가 필요하다는 것을 의미하는 것은 아니다. PRGs 기준을 초과하는 오염부지에 잠재적인 위해가 존재하는가를 알기 위해 더 많은 평가가 이뤄져야 함을 의미한다.

Region 9의 PRGs (표3-2-22~표3-2-26)는 환경매체에서의 오염분류, 더 많은 조사의 필요성을 결정할 때 사용될 수 있으며, 적용 가능한 경우 임시정화 목표를 제공하고 있다. 산업부지의 토양 PRGs는 정화기준을 대신할 수 있다. 그러나 토양의 오염여부를 확인할 때는 반드시 주거지 PRGs와 함께 사용되어야 한다.

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug l ⁻¹)	
Acephate	56	ca**	200	ca*	0.77	ca*	7.7	ca*
Acetaldehyde	11	ca**	23	ca**	0.87	ca*	1.7	ca
Acetochlor	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Acetone	1600	nc	6000	nc	370	nc	610	nc
Acetone cyanohydrin	49	nc	490	nc	2.9	nc	29	nc
Acetonitrile	420	nc	1800	nc	62	nc	100	nc
Acrolein	0.1	nc	0.34	nc	0.021	nc	0.042	nc
Acrylamide	0.11	ca	0.38	ca	0.0015	ca	0.015	ca
Acrylic acid	29000	nc	100000	max	1	nc	18000	nc
Acrylonitrile	0.21	ca*	0.49	ca*	0.028	ca*	0.039	ca*
Alachlor	6	ca	21	ca	0.084	ca	0.84	ca
Alar	9200	nc	92000	nc	550	nc	5500	nc
Aldicarb	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
Aldicarb sulfone	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
Aldrin	0.029	ca*	0.1	ca	0.00039	ca	0.004	ca
Allyl	15000	nc	100000	max	910	nc	9100	nc
Allyl alcohol	310	nc	3100	nc	18	nc	180	nc
Allyl chloride	3000	nc	30000	nc	1	nc	1800	nc
Ametryn	550	nc	5500	nc	33	nc	330	nc
m-Aminophenol	4300	nc	43000	nc	260	nc	2600	nc
4-Aminopyridine	1.2	nc	12	nc	0.073	nc	0.73	nc
Amitraz	150	nc	1500	nc	9.1	nc	91	nc
Aniline	85	ca**	300	ca*	1	nc	12	ca*
Antimony pentoxide	39	nc	510	nc	-	-	18	nc
Antimony potassium tartrate	70	nc	920	nc	-	-	33	nc
Antimony tetroxide	31	nc	410	nc	-	-	15	nc
Antimony trioxide	31	nc	410	nc	0.21	nc	15	nc
Apollo	790	nc	8000	nc	47	nc	470	nc
Aramite	19	ca	69	ca	0.27	ca	2.7	ca
Asulam	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Atrazine	22	ca	7.8	ca	0.031	ca	0.3	ca
Avermectin B1	24	nc	250	nc	1.5	nc	15	nc
Azobenzene	4.4	ca	16	ca	0.062	ca	0.61	ca
Bayleton	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
Baythroid	1500	nc	15000	nc	91	nc	910	nc
Benefin	18000	nc	100000	max	1100	nc	11000	nc
Benomyl	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
Bentazone	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
Benzaldehyde	6100	nc	62000	nc	370	nc	3600	nc
Benzene	0.6	ca*	1.3	ca*	0.23	ca*	0.34	ca*
Benzidine	0.0021	ca	0.0075	ca	0.000029	ca	0.00029	ca
Benzoic acid	100000	max	100000	max	15000	nc	150000	nc
Benzotrichloride	0.037	ca	0.13	ca	0.00052	ca	0.0052	ca
Benzyl alcohol	18000	nc	100000	max	1100	nc	11000	nc
Benzyl chloride	0.89	ca*	2.2	ca	0.04	ca	0.066	ca
Biphenthrin	920	nc	9200	nc	55	nc	550	nc
1,1-Biphenyl	350	sat	350	sat	180	nc	300	nc
Bis(2-chloroethyl)ether	0.21	ca	0.55	ca	0.0058	ca	0.0098	ca
Bis(2-chloroisopropyl)ether	2.9	ca	7.4	ca	0.19	ca	0.27	ca
Bis(chloromethyl)ether	0.00019	ca	0.00043	ca	0.000031	ca	0.000052	ca
Bis(2-chloro-1-methylethyl)ether	2.9	ca	7.4	ca	0.19	ca	0.27	ca
Bis(2-ethylhexyl)phthalate(DEHP)	35	ca*	120	ca	0.48	ca	4.8	ca
Bisphenol A	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Boron trifluoride	-	nc	-		0.73	nc	-	
Bromate	310	nc	4100	nc	0		150	nc
Bromobenzene	28	nc	92	nc	10	nc	20	nc
Bromodichloromethane	0.82	ca	1.8	ca	0.11	ca	0.18	ca
Bromoform	62	ca*	220	ca*	1.7	ca*	8.5	ca*
Bromomethane	3.9	nc	13	nc	5.2	nc	8.7	nc
Bromophos	310	nc	3100	nc	18	nc	180	nc
Bromoxynil	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Bromoxynil octanoate	1200	ca	12000	nc	73	nc	730	nc
1,3-Butadiene	0.0065	ca	0.014	ca	0.0069	ca	0.011	ca
1-Butanol	6100	nc	61000	nc	9.5	nc	3600	nc
Butylate	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
n-Butylbenzene	240	sat	240	sat	150	nc	240	nc
sec-Butylbenzene	220	sat	220	sat	150	nc	240	nc
tert-Butylbenzene	390	sat	390	sat	150	nc	240	nc
Butyl benzyl phthalate	12000	nc	100000	max	730	nc	7300	nc
Butylphthalyl butylglycolate	61000	nc	100000	max	3700	nc	36000	nc
Cacodylic acid	1.9	ca**	6.9	ca*	0.027	ca*	0.27	ca*
Caprolactam	31000	nc	100000	max	1800	nc	18000	nc

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
Captafol	57	ca**	200	ca**	0.78	ca**	7.8	ca**
Captan	140	ca*	490	ca	1.9	ca	19	ca
Carbaryl	6100	nc	62000	nc	400	nc	3600	nc
Carbazole	24	ca	86	ca	0.34	ca	3.4	ca
Carbofuran	310	nc	3100	nc	18	nc	180	nc
Carbon disulfide	360	nc	720	sat	730	nc	1000	nc
Carbon tetrachloride	0.25	ca**	0.55	ca*	0.13	ca*	0.17	ca*
Carbosulfan	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Carboxin	6100	nc	62000	nc	370	nc	3600	nc
Chloramben	920	nc	9200	nc	55	nc	550	nc
Chloranil	1.2	ca	4.3	ca	0.017	ca	0.17	ca
Chlordane	1.6	ca*	6.5	ca*	0.019	ca*	0.19	ca*
Chlorimuron-ethyl	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Chlorine	-	-	-	-	0.21	nc	-	-
Chlorine dioxide	-	-	-	-	0.21	nc	-	-
Chloroacetic acid	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
2-Chloroacetophenone	0.033	nc	0.11	nc	0.031	nc	0.052	nc
4-Chloroaniline	240	nc	2500	nc	15	nc	150	nc
Chlorobenzene	150	nc	530	nc	62	nc	110	nc
Chlorobenzilate	1.8	ca	6.4	ca	0.025	ca	0.25	ca
p-Chlorobenzoic acid	12000	nc	100000	max	730	nc	7300	nc
4-Chlorobenzotrifluoride	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
2-Chloro-1,3-butadiene	3.6	nc	12	nc	7.3	nc	14	nc
1-Chlorobutane	480	sat	480	sat	1500	nc	2400	nc
1-Chloro-1,1-difluoroethane	340	sat	340	sat	52000	nc	87000	nc
Chlorodifluoromethane	340	sat	340	sat	51000	nc	85000	nc
Chloroethane	3	ca	6.5	ca	2.3	ca	4.6	ca
Chloroform	3.6	ca/nc	12	ca/nc	3.1	ca/nc	6.2	ca/nc
Chloroform CAL-Modified PRG"	0.94	ca	2	ca	0.35	ca	0.53	ca
Chloromethane	1.2	ca	2.6	ca	1.1	ca	1.5	ca
4-Chloro-2-methylaniline	0.84	ca	3	ca	0.012	ca	0.12	ca
4-Chloro-2-methylaniline hydrochloride	1.1	ca	3.7	ca	0.015	ca	0.15	ca
beta-Chloronaphthalene	4900	nc	23000	nc	290	nc	490	nc
o-Chloronitrobenzene	1.4	nc**	4.5	nc**	0.073	nc**	0.15	nc**
p-Chloronitrobenzene	10	nc**	37	nc**	0.62	nc**	1.2	nc**

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
2-Chlorophenol	63	nc	240	nc	18	nc	30	nc
2-Chloropropane	170	nc	590	nc	100	nc	170	nc
Chlorothalonil	44	ca*	160	ca*	0.61	ca*	6.1	ca*
o-Chlorotoluene	160	nc	560	nc	73	nc	120	nc
Chlorpropham	12000	nc	100000	max	730	nc	7300	nc
Chlorpyrifos	180	nc	1800	nc	11	nc	110	nc
Chlorpyrifos-methyl	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Chlorsulfuron	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Chlorthiophos	49	nc	490	nc	2.9	nc	29	nc
Crotonaldehyde	0.0053	ca	0.011	ca	0.0035	ca	0.0059	ca
Cumene	570	nc	2000	nc	400	nc	660	nc
Cyanazine	0.58	ca	2.1	ca	0.008	ca	0.08	ca
Cyanide (free)	1200	nc	12000	nc	-		730	nc
Cyanide (hydrogen)	11	nc	35	nc	3.1	nc	6.2	nc
Cyanogen	130	nc	430	nc	150	nc	240	nc
Cyanogen bromide	290	nc	970	nc	330	nc	550	nc
Cyanogen chloride	160	nc	540	nc	180	nc	300	nc
Cyclohexane	140	sat	140	sat	21000	nc	35000	nc
Cyclohexanone	100000	max	100000	max	18000	nc	180000	nc
Cyclohexylamine	12000	nc	100000	max	730	nc	7300	nc
Cyhalothrin/Karate	310	nc	3100	nc	18	nc	180	nc
Cypermethrin	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Cyromazine	460	nc	4600	nc	27	nc	270	nc
Dacthal	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Dalapon	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
Danitol	1500	nc	15000	nc	91	nc	910	nc
DDD	2.4	ca	10	ca	0.028	ca	0.28	ca
DDE	1.7	ca	7	ca	0.02	ca	0.2	ca
DDT	1.7	ca*	7	ca*	0.02	ca*	0.2	ca*
Decabromodiphenyl ether	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Demeton	2.4	nc	25	nc	0.15	nc	1.5	nc
Diallate	8	ca	28	ca	0.11	ca	1.1	ca
Diazinon	55	nc	550	nc	3.3	nc	33	nc
Dibenzofuran	290	nc	3100	nc	15	nc	24	nc
1,4-Dibromobenzene	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Dibromochloromethane	1.1	ca	2.6	ca	0.08	ca	0.13	ca

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
"CAL-Modified PRG"	0.019	ca	0.046	ca	0.00096	ca	0.0016	ca
1,2-Dibromoethane	0.0069	ca	0.028	ca*	0.0087	ca*	0.00076	ca
Dibutyl phthalate	6100	nc	62000	nc	370	nc	3600	nc
Dicamba	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
1,2-Dichlorobenzene	370	sat	370	sat	210	nc	370	nc
1,3-Dichlorobenzene	16	nc	63	nc	3.3	nc	5.5	nc
1,4-Dichlorobenzene	3.4	ca	7.9	ca	0.31	ca	0.5	ca
3,3-Dichlorobenzidine	1.1	ca	3.8	ca	0.015	ca	0.15	ca
4,4'-Dichlorobenzophenone	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
1,4-Dichloro-2-butene	0.0079	ca	0.018	ca	0.00072	ca	0.0012	ca
Dichlorodifluoromethane	94	nc	310	nc	210	nc	390	nc
1,1-Dichloroethane	510	nc	1700	nc	520	nc	810	nc
"CAL-Modified PRG"	2.8	ca	6	ca	1.2	ca	2	ca
1,2-Dichloroethane	0.28	ca*	0.6	ca*	0.074	ca*	0.12	ca*
1,1-Dichloroethylene	120	nc	410	nc	210	nc	340	nc
1,2-Dichloroethylene (cis)	43	nc	150	nc	37	nc	61	nc
1,2-Dichloroethylene(trans)	69	nc	230	nc	73	nc	120	nc
2,4-Dichlorophenol	180	nc	1800	nc	11	nc	110	nc
4-(2,4-Dichloro-phenoxy)butyric Acid	490	nc	4900	nc	29	nc	290	nc
2,4-Dichlorophenoxy-acetic Acid	690	nc	7700	nc	37	nc	360	nc
1,2-Dichloropropane	0.34	ca*	0.74	ca*	0.099	ca*	0.16	ca*
1,3-Dichloropropene	0.78	ca	1.8	ca	0.48	ca	0.4	ca
2,3-Dichloropropanol	180	nc	1800	nc	11	nc	110	nc
Dichlorvos	1.7	ca*	5.9	ca*	0.023	ca*	0.23	ca*
Dicofol	1.1	ca	3.9	ca	0.015	ca	0.15	ca
Dicyclopentadiene	0.54	nc	1.8	nc	0.21	nc	0.42	nc
Dieldrin	0.03	ca	0.11	ca	0.00042	ca	0.0042	ca
Diethylene glycol, monobutyl ether	610	nc	6200	nc	21	nc	360	nc
Diethylene glycol, monomethyl ether	3700	nc	37000	nc	3.1	nc	2200	nc
Diethylformamide	240	nc	2500	nc	15	nc	150	nc
Di(2-ethylhexyl)adipate	410	ca	1400	ca	5.6	ca	56	ca
Diethyl phthalate	49000	nc	100000	max	2900	nc	29000	nc
Diethylstilbestrol	0.0001	ca	0.00037	ca	0.0000014	ca	0.000014	ca
Difenzoquat	4900	nc	49000	nc	290	nc	2900	nc

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
Diflubenzuron	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
1,1-Difluoroethane	-		-		42000	nc	69000	nc
Diisononyl phthalate	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Diisopropyl methylphosphonate	4900	nc	49000	nc	290	nc	2900	nc
Dimethipin	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Dimethoate	12	nc	120	nc	0.73	nc	7.3	nc
3,3'-Dimethoxybenzidine	35	ca	120	ca	0.48	ca	4.8	ca
Dimethylamine	0.067	nc	0.25	nc	0.021	nc	0.035	nc
N-N-Dimethylaniline	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
2,4-Dimethylaniline	0.65	ca	2.3	ca	0.009	ca	0.09	ca
2,4-Dimethylaniline-hydrochloride	0.84	ca	3	ca	0.012	ca	0.12	ca
3,3'-Dimethylbenzidine	0.053	ca	0.19	ca	0.00073	ca	0.0073	ca
N,N-Dimethylformamide	6100	nc	62000	nc	31	nc	3600	nc
Dimethylphenethylamine	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
2,4-Dimethylphenol	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
2,6-Dimethylphenol	37	nc	370	nc	2.2	nc	22	nc
3,4-Dimethylphenol	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
Dimethyl phthalate	100000	max	100000	max	37000	nc	360000	nc
Dimethyl terephthalate	6100	nc	62000	nc	370	nc	3600	nc
4,6-Dinitro-o-cyclohexyl phenol	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
1,2-Dinitrobenzene	6.1	nc	62	nc	0.37	nc	3.6	nc
1,3-Dinitrobenzene	6.1	nc	62	nc	0.37	nc	3.6	nc
1,4-Dinitrobenzene	6.1	nc	62	nc	0.37	nc	3.6	nc
2,4-Dinitrophenol	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Dinitrotoluene mixture	0.72	ca	2.5	ca	0.0099	ca	0.099	ca
2,4-Dinitrotoluene	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
2,6-Dinitrotoluene	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
Dinoseb	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
di-n-Octyl phthalate	2400	nc	25000	nc	150	nc	1500	nc
1,4-Dioxane	44	ca	160	ca	0.61	ca	6.1	ca
Dioxin	0.0000039	ca	0.000016	ca	0.00000045	ca	0.0000045	ca
Diphenamid	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
Diphenylamine	1500	nc	15000	nc	91	nc	910	nc
N,N-Diphenyl-1,4 benzenediamine	18	nc	180	nc	1.1	nc	11	nc

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
Dinoseb	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
di-n-Octyl phthalate	2400	nc	25000	nc	150	nc	1500	nc
1,4-Dioxane	44	ca	160	ca	0.61	ca	6.1	ca
Dioxin	0.0000039	ca	0.000016	ca	0.000000045	ca	0.0000045	ca
Diphenamid	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
Diphenylamine	1500	nc	15000	nc	91	nc	910	nc
N,N-Diphenyl-1,4 benzenediamine	18	nc	180	nc	1.1	nc	11	nc
1,2-Diphenylhydrazine	0.61	ca	2.2	ca	0.0087	ca	0.084	ca
Diphenyl sulfone	180	nc	1800	nc	11	nc	110	nc
Diquat	130	nc	1400	nc	8	nc	80	nc
Direct black 38	0.057	ca	0.2	ca	0.00078	ca	0.0078	ca
Direct blue 6	0.06	ca	0.21	ca	0.00083	ca	0.0083	ca
Direct brown 95	0.052	ca	0.19	ca	0.00072	ca	0.0072	ca
Disulfoton	2.4	nc	25	nc	0.15	nc	1.5	nc
1,4-Dithiane	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Diuron	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Dodine	240	nc	2500	nc	15	nc	150	nc
Dysprosium	16000	nc	100000	max	-		7300	nc
Endosulfan	370	nc	3700	nc	22	nc	220	nc
Endothall	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Endrin	18	nc	180	nc	1.1	nc	11	nc
Epichlorohydrin	7.6	nc	26	nc	1	nc	2	nc
1,2-Epoxybutane	350	nc	3500	nc	21	nc	210	nc
S-Ethyl dipropylthiocarbamate	1500	nc	15000	nc	91	nc	910	nc
Ethephon	310	nc	3100	nc	18	nc	180	nc
Ethion	31	nc	310	nc	1.8	nc	18	nc
2-Ethoxyethanol	24000	nc	100000	max	210	nc	15000	nc
2-Ethoxyethanol acetate	18000	nc	100000	max	1100	nc	11000	nc
Ethyl acetate	19000	nc	37000	sat	3300	nc	5500	nc
Ethyl acrylate	0.21	ca	0.45	ca	0.14	ca	0.23	ca
Ethylbenzene	8.9	ca	20	ca	1.7	ca	2.9	ca
Ethyl chloride	3	ca	6.5	ca	2.3	ca	4.6	ca
Ethylene cyanohydrin	18000	nc	100000	max	1100	nc	11000	nc
Ethylene diamine	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Ethylene glycol	100000	max	100000	max	7300	nc	73000	nc

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
Ethylene glycol, monobutyl ether	31000	nc	100000	max	14000	nc	18000	nc
Ethylene oxide	0.14	ca	0.34	ca	0.019	ca	0.024	ca
Ethylene thiourea	4.4	ca**	16	ca**	0.061	ca**	0.61	ca**
Ethyl ether	1800	sat	1800	sat	730	nc	1200	nc
Ethyl methacrylate	140	sat	140	sat	330	nc	550	nc
Ethyl p-nitrophenyl phenylphosphorothioate	0.61	nc	6.2	nc	0.037	nc	0.36	nc
Ethylphthalyl ethyl glycolate	100000	max	100000	max	11000	nc	110000	nc
Fenamiphos	15	nc	150	nc	0.91	nc	9.1	nc
Fluometuron	790	nc	8000	nc	47	nc	470	nc
Flouride	3700	nc	37000	nc	-		2200	nc
Fluoridone	4900	nc	49000	nc	290	nc	2900	nc
Flurprimidol	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Flutolanil	3700	nc	37000	nc	220	nc	2200	nc
Fluvalinate	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Folpet	140	ca*	490	ca	1.9	ca	19	ca
Fomesafen	2.6	ca	9.1	ca	0.035	ca	0.35	ca
Fonofos	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Formaldehyde	9200	nc	100000	nc	0.15	ca	5500	nc
Formic Acid	100000	max	100000	max	7300	nc	73000	nc
Fosetyl-al	100000	max	100000	max	11000	nc	110000	nc
Freon 113	5600	sat	5600	sat	31000	nc	59000	nc
Furan	2.5	nc	8.5	nc	3.7	nc	6.1	nc
Furazolidone	0.13	ca	0.45	ca	0.0018	ca	0.018	ca
Furfural	180	nc	1800	nc	52	nc	110	nc
Furium	0.0097	ca	0.034	ca	0.00013	ca	0.0013	ca
Furmecyclox	16	ca	57	ca	0.22	ca	2.2	ca
Glufosinate-ammonium	24	nc	250	nc	1.5	nc	15	nc
Glycidaldehyde	24	nc	250	nc	1	nc	15	nc
Glyphosate	6100	nc	62000	nc	370	nc	3600	nc
Haloxyfop-methyl	3.1	nc	31	nc	0.18	nc	1.8	nc
Heptachlor	0.11	ca	0.38	ca	0.0015	ca	0.015	ca
Heptachlor epoxide	0.053	ca*	0.19	ca*	0.00074	ca*	0.0074	ca*
Hexabromobenzene	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Hexachlorobenzene	0.3	ca	1.1	ca	0.0011	ca	0.011	ca
Hexachlorobutadiene	6.2	ca**	22	ca**	0.086	ca*	0.86	ca*

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
HCH (alpha)	0.09	ca	0.36	ca	0.0011	ca	0.011	ca
HCH (beta)	0.32	ca	1.3	ca	0.0037	ca	0.037	ca
HCH (gamma) Lindane	0.44	ca*	1.7	ca	0.0052	ca	0.052	ca
HCH-technical	0.32	ca	1.3	ca	0.0038	ca	0.037	ca
Hexachlorocyclopentadiene	370	nc	3700	nc	0.21	nc	220	nc
Hexachloroethane	35	ca**	120	ca**	0.48	ca**	4.8	ca**
Hexachlorophene	18	nc	180	nc	1.1	nc	11	nc
Hexahydro-1,3,5-trinitro-1, 3, 5-triazine	4.4	ca*	16	ca	0.061	ca	0.61	ca
1,6-Hexamethylene- diisocyanate	0.17	nc	1.8	nc	0.01	nc	0.1	nc
n-Hexane	110	sat	110	sat	210	nc	350	nc
Hexazinone	2000	nc	20000	nc	120	nc	1200	nc
Hydrazine, hydrazine sulfate	0.16	ca	0.57	ca	0.00039	ca	0.022	ca
Hydrazine, monomethyl	0.16	ca	0.57	ca	0.0004	ca	0.022	ca
Hydrazine, dimethyl	0.16	ca	0.57	ca	0.0004	ca	0.022	ca
Hydrogen chloride	-		-		21	nc	-	
Hydrogen cyanide	11	nc	35	nc	3.1	nc	6.2	nc
Hydrogen sulfide	-		-		1	nc	110	nc
p-Hydroquinone	2400	nc	25000	nc	150	nc	1500	nc
Imazalil	790	nc	8000	nc	47	nc	470	nc
Imazaquin	15000	nc	100000	max	910	nc	9100	nc
Iprodione	2400	nc	25000	nc	150	nc	1500	nc
Iron	23000	nc	100000	max	910	nc	9100	nc
Isobutanol	13000	nc	40000	sat	1100	nc	1800	nc
Isophorone	510	ca*	1800	ca*	7.1	ca	71	ca
Isopropalin	920	nc	9200	nc	55	nc	550	nc
Isopropyl methyl- phosphonic acid	6100	nc	62000	nc	400	nc	3600	nc
Isoxaben	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Kepone	0.061	ca	0.22	ca	0.00084	ca	0.0084	ca
Lactofen	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Linuron	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Londax	12000	nc	100000	max	730	nc	7300	nc
Malathion	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Maleic anhydride	6100	nc	62000	nc	370	nc	3600	nc
Maleic hydrazide	1700	nc	2400	sat	1800	nc	3000	nc
Malononitrile	1.2	nc	12	nc	0.073	nc	0.73	nc

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
Mancozeb	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
Maneb	8.1	ca*	29	ca	0.11	ca	1.1	ca
Mephosfolan	5.5	nc	55	nc	0.33	nc	3.3	nc
Mepiquat chloride	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
2-Mercaptobenzothiazole	17	ca	59	ca	0.23	ca	2.3	ca
Merphos	1.8	nc	18	nc	0.11	nc	1.1	nc
Merphos oxide	1.8	nc	18	nc	0.11	nc	1.1	nc
Metalaxyl	3700	nc	37000	nc	220	nc	2200	nc
Methacrylonitrile	2.1	nc	8.4	nc	0.73	nc	1	nc
Methamidophos	3.1	nc	31	nc	0.18	nc	1.8	nc
Methanol	31000	nc	100000	max	1800	nc	18000	nc
Methidathion	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
Methomyl	44	nc	150	nc	91	nc	150	nc
Methoxychlor	310	nc	3100	nc	18	nc	180	nc
2-Methoxyethanol	61	nc	620	nc	21	nc	36	nc
2-Methoxyethanol acetate	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
2-Methoxy-5-nitroaniline	11	ca	37	ca	0.15	ca	1.5	ca
Methyl acetate	22000	nc	92000	nc	3700	nc	6100	nc
Methyl acrylate	70	nc	230	nc	110	nc	180	nc
2-Methylaniline	2	ca	7.2	ca	0.028	ca	0.28	ca
2-Methylaniline hydrochloride	2.7	ca	9.6	ca	0.037	ca	0.37	ca
2-Methyl-4-chlorophenoxyacetic acid	31	nc	310	nc	1.8	nc	18	nc
4-(2-Methyl-4-chlorophenoxy) butyric acid	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
2-(2-Methyl-4-chlorophenoxy) propionic acid	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
2-(2-Methyl-1,4-chlorophenoxy) propionic acid	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
Methylcyclohexane	2600	nc	8700	nc	3100	nc	5200	nc
4,4'-Methylenebisbenzeneamine	1.9	ca	6.9	ca	0.027	ca	0.27	ca
4,4'-Methylene bis(2-chloroaniline)	3.7	ca*	13	ca*	0.052	ca*	0.52	ca*
4,4'-Methylene bis(N,N'-dimethyl)aniline	11	ca	37	ca	0.15	ca	1.5	ca
Methylene bromide	67	nc	230	nc	37	nc	61	nc
Methylene chloride	9.1	ca	21	ca	4.1	ca	4.3	ca
4,4'-Methylene diphenyl-diisocyanate	10	nc	100	nc	0.62	nc	6.2	nc

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
Methyl ethyl ketone	7300	nc	27000	nc	1000	nc	1900	nc
Methyl isobutyl ketone	790	nc	2800	nc	83	nc	160	nc
Methyl Mercaptan	35	nc	350	nc	2.1	nc	21	nc
Methyl methacrylate	2200	nc	2700	sat	730	nc	1400	nc
2-Methyl-5-nitroaniline	15	ca	52	ca	0.2	ca	2	ca
Methyl parathion	15	nc	150	nc	0.91	nc	9.1	nc
2-Methylphenol	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
3-Methylphenol	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
4-Methylphenol	310	nc	3100	nc	18	nc	180	nc
Methyl phosphonic acid	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Methyl styrene (mixture)	130	nc	540	nc	42	nc	60	nc
Methyl styrene (alpha)	680	sat	680	sat	260	nc	430	nc
Methyl tertbutyl ether(MTBE)	62	ca*	160	ca	19	ca	13	ca
"CAL-Modified PRG"	17	ca	36	ca	3.7	ca	6.2	ca
Metolaclor (Dual)	9200	nc	92000	nc	550	nc	5500	nc
Metribuzin	1500	nc	15000	nc	91	nc	910	nc
Mirex	0.27	ca*	0.96	ca	0.0037	ca	0.037	ca
Molinate	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Molybdenum	390	nc	5100	nc	-		180	nc
Monochloramine	6100	nc	62000	nc	370	nc	3600	nc
Naled	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Napropamide	6100	nc	62000	nc	370	nc	3600	nc
Nickel (soluble salts)	1600	nc	20000	nc	-		730	nc
Nickel refinery dust	-		-		0.008	ca	-	
Nickel subsulfide	-		11000	ca	0.004	ca	-	
Nitrate+++	-		-		-		10000	nc
Nitrite+++	-		-		-		1000	nc
2-Nitroaniline	1.7	nc	18	nc	0.1	nc	1	nc
Nitrobenzene	20	nc	100	nc	2.1	nc	3.4	nc
Nitrofurantoin	4300	nc	43000	nc	260	nc	2600	nc
Nitrofurazone	0.32	ca	1.1	ca	0.0045	ca	0.045	ca
Nitroglycerin	35	ca	120	ca	0.48	ca	4.8	ca
Nitroguanidine	6100	nc	62000	nc	370	nc	3600	nc
2-Nitropropane	-		-		0.00072	ca	0.0012	ca
N-Nitrosodi-n-butylamine	0.024	ca	0.058	ca	0.0012	ca	0.002	ca
N-Nitrosodiethanolamine	0.17	ca	0.62	ca	0.0024	ca	0.024	ca

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
N-Nitrosodiethylamine	0.0032	ca	0.011	ca	0.000045	ca	0.00045	ca
N-Nitrosodimethylamine	0.0095	ca	0.034	ca	0.00014	ca	0.0013	ca
N-Nitrosodiphenylamine	99	ca	350	ca	1.4	ca	14	ca
N-Nitroso di-n-propylamine	0.069	ca	0.25	ca	0.00096	ca	0.0096	ca
N-Nitroso-N-methylethylamine	0.022	ca	0.078	ca	0.00031	ca	0.0031	ca
N-Nitrosopyrrolidine	0.23	ca	0.82	ca	0.0031	ca	0.032	ca
m-Nitrotoluene	370	nc	1000	sat	37	nc	61	nc
o-Nitrotoluene	370	nc	1000	sat	37	nc	61	nc
p-Nitrotoluene	370	nc	1000	sat	37	nc	61	nc
Norflurazon	2400	nc	25000	nc	150	nc	1500	nc
Octabromodiphenyl ether	180	nc	1800	nc	11	nc	110	nc
Octahydro-1357-tetranitro-1357-tetrazocine	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Octamethylpyrophosphoramidate	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Oryzalin	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Oxadiazon	310	nc	3100	nc	18	nc	180	ca
Oxamyl	1500	nc	15000	nc	91	nc	910	nc
Oxyfluorfen	180	nc	1800	nc	11	nc	110	nc
Pacllobutrazol	790	nc	8000	nc	47	nc	470	nc
Paraquat	270	nc	2800	nc	16	nc	160	nc
Parathion	370	nc	3700	nc	22	nc	220	nc
Pebulate	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Pendimethalin	2400	nc	25000	nc	150	nc	1500	nc
Pentabromo-6-chloro cyclohexane	21	ca	75	ca	0.29	ca	2.9	ca
Pentabromodiphenyl ether	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Pentachlorobenzene	49	nc	490	nc	2.9	nc	29	nc
Pentachloronitrobenzene	1.9	ca*	6.6	ca	0.026	ca	0.26	ca
Pentachlorophenol	3	ca	9	ca	0.056	ca	0.56	ca
Perchlorate	7.8	ca/nc	100	ca/nc	-		3.6	ca/nc
Permethrin	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Phenmedipham	15000	nc	100000	max	910	nc	9100	nc
Phenol	37000	nc	100000	max	2200	nc	22000	nc
Phenothiazine	120	nc	1200	nc		nc		nc
m-Phenylenediamine		ca*		ca		ca		ca
p-Phenylenediamine		nc		nc		nc		nc

표3-2-22. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)			
	"Direct Contact Exposure Pathways			
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)	Industrial Soil (mg kg ⁻¹)	Ambient Air (ug/m ³)	Tap Water (ug/l)
Phenylmercuric acetate	nc	nc	nc	nc
2-Phenylphenol	ca	ca	ca	ca
Phorate	nc	nc	nc	nc
Phosmet	nc	nc	nc	nc
Phosphine	nc	nc	nc	nc
Phosphoric acid	nc	nc	nc	nc
Phosphorus (white)	nc	nc	nc	nc
p-Phthalic acid	nc	max	nc	nc
Phthalic anhydride	nc	nc	nc	nc
Picloram	nc	nc	nc	nc
Pirimiphos-methyl	nc	nc	nc	nc
Polybrominated biphenyls	nc	nc	nc	nc
Polychlorinated biphenyls	nc	nc	nc	nc
Aroclor 1016	ca	ca	ca	ca
Aroclor 1221	nc	nc	nc	nc
Aroclor 1232	nc	nc	nc	nc
Aroclor 1242	ca	ca	ca	ca

표3-2-23. 미국 캘리포니아주의 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

SOIL SCREENING LEVELS "Migration to Ground Water"					
items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)	items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)
Acephate	-		Benomyl		
Acetaldehyde	-		Bentazone	-	
Acetochlor	-		Benzaldehyde	-	
Acetone	16	0.8	Benzene	0.03	0.002
Acetone cyanohydrin	-		Benzidine		
Acetonitrile	-		Benzoicacid	400	20
Acrolein	-		Benzotrichloride		
Acrylamide	-		Benzyl alcohol		
Acrylicacid	-		Benzyl chloride		
Acrylonitrile	-		Biphenthrin		
Alachlor	-		1,1-Biphenyl		
Alar	-		Bis(2-chloroethyl)ether	0.0004	0.000002
Aldicarb			Bis(2-chloroisopropyl)ether		
Aldicarb sulfone			Bis(chloromethyl)ether		
Aldrin	0.5	0.02	Bis(2-chloro-1-methylethyl)ether		
Allyl			Bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP)		
Allyl alcohol			Bisphenol A		
Allyl chloride			Boron trifluoride		
Ametryn			Bromate		
m-Aminophenol			Bromobenzene		
4-Aminopyridine			Bromodichloromethane	0.6	0.03
Amitraz			Bromoform	0.8	0.04
Aniline			Bromomethane	0.02	0.01
Antimony pentoxide			Bromophos		
Antimony potassium tartrate			Bromoxynil		
Antimony tetroxide			Bromoxynil octanoate		
Antimony trioxide			1,3-Butadiene		
Apollo			1-Butanol	17	0.9
Aramite			Butylate		
Asulam			n-Butylbenzene		
Atrazine			sec-Butylbenzene		
Avermectin B1			tert-Butylbenzene		
Azobenzene			Butyl benzyl phthalate	930	810
Bayleton			Butylphthalyl butylglycolate		
Baythroid			n-Butylbenzene		
Benefin			sec-Butylbenzene		

표3-2-23. 미국 캘리포니아주의 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

SOIL SCREENING LEVELS "Migration to Ground Water"					
items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)	items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)
tert-Butylbenzene			4-Chloro-2-methylaniline hydrochloride		
Butyl benzyl phthalate	930	810	beta-Chloronaphthalene		
Butylphthalyl butylglycolate			o-Chloronitrobenzene		
Cacodylic acid			p-Chloronitrobenzene		
Caprolactam			2-Chlorophenol	4	0.2
Captafol			2-Chloropropane		
Captan			Chlorothalonil		
Carbaryl			o-Chlorotoluene		
Carbazole	0.6	0.03	Chlorpropham		
Carbofuran			Chlorpyrifos		
Carbon disulfide	32	2	Chlorpyrifos-methyl		
Carbon tetrachloride	0.07	0.003	Chlorsulfuron		
Carbosulfan			Chlorthiophos		
Carboxin			Crotonaldehyde		
Chloramben			Cumene		
Chloranil			Cyanazine		
Chlordane	10	0.5	Cyanide (free)		
Chlorimuron-ethyl			Cyanide (hydrogen)		
Chlorine			Cyanogen		
Chlorine dioxide			Cyanogen bromide		
Chloroacetic acid			Cyanogen chloride		
2-Chloroacetophenone			Cyclohexane		
4-Chloroaniline	0.7	0.03	Cyclohexanone		
Chlorobenzene	1	0.07	Cyclohexylamine		
Chlorobenzilate			Cyhalothrin/Karate		
p-Chlorobenzoic acid			Cypermethrin		
4-Chlorobenzotrifluoride			Cyromazine		
2-Chloro-1,3-butadiene			Dacthal		
1-Chlorobutane			Dalapon		
1-Chloro-1,1-difluoroethane			Danitol		
Chlorodifluoromethane			DDD	16	0.8
Chloroethane			DDE	54	3
Chloroform	0.6	0.03	DDT	32	2
Chloroform CAL-Modified PRG"			Decabromodiphenyl ether		
Chloromethane			Demeton		
4-Chloro-2-methylaniline			Diallate		

표3-2-23. 미국 캘리포니아주의 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

SOIL SCREENING LEVELS "Migration to Ground Water"					
items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)	items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)
Diazinon			Diethylene glycol, monomethyl ether		
Dibenzofuran			Diethylformamide		
1,4-Dibromobenzene			Di(2-ethylhexyl)adipate		
Dibromochloromethane	0.4	0.02	Diethyl phthalate		
1,2-Dibromo-3-chloropropane			Diethylstilbestrol		
"CAL-Modified PRG"			Difenzoquat		
1,2-Dibromoethane			Diflubenzuron		
Dibutyl phthalate	2300	270	1,1-Difluoroethane		
Dicamba			Diisononyl phthalate		
1,2-Dichlorobenzene	17	0.9	Diisopropyl methylphosphonate		
1,3-Dichlorobenzene			Dimethipin		
1,4-Dichlorobenzene	2	0.1	Dimethoate		
3,3-Dichlorobenzidine	0.007	0.0003	3,3'-Dimethoxybenzidine		
4,4'-Dichlorobenzophenone			Dimethylamine		
1,4-Dichloro-2-butene			N-N-Dimethylaniline		
Dichlorodifluoromethane			2,4-Dimethylaniline		
1,1-Dichloroethane	23	1	2,4-Dimethylaniline hydrochloride		
"CAL-Modified PRG"			3,3'-Dimethylbenzidine		
1,2-Dichloroethane	0.02	0.001	N,N-Dimethylformamide		
1,1-Dichloroethylene	0.06	0.003	Dimethylphenethylamine		
1,2-Dichloroethylene (cis)	0.4	0.02	2,4-Dimethylphenol	9	0.4
1,2-Dichloroethylene(trans)	0.7	0.03	2,6-Dimethylphenol		
2,4-Dichlorophenol	1	0.05	3,4-Dimethylphenol		
4-(2,4-Dichlorophenoxy)butyric Acid			Dimethyl phthalate		
2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid			Dimethyl terephthalate		
1,2-Dichloropropane	0.03	0.001	4,6-Dinitro-o-cyclohexyl phenol		
1,3-Dichloropropene	0.004	0.0002	1,2-Dinitrobenzene		
2,3-Dichloropropanol			1,3-Dinitrobenzene		
Dichlorvos			1,4-Dinitrobenzene		
Dicofol			2,4-Dinitrophenol	0.3	0.01
Dicyclopentadiene			Dinitrotoluene mixture	0.0008	0.00004
Dieldrin	0.004	0.0002	2,4-Dinitrotoluene	0.0008	0.00004
Diethylene glycol, monobutyl ether			2,6-Dinitrotoluene	0.0007	0.00003

표3-2-23. 미국 캘리포니아주의 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

SOIL SCREENING LEVELS "Migration to Ground Water"					
items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)	items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)
Dinoseb			Ethylene glycol, monobutyl ether		
di-n-Octyl phthalate	10000	10000	Ethylene oxide		
1,4-Dioxane			Ethylene thiourea		
Dioxin			Ethyl ether		
Diphenamid			Ethyl methacrylate		
Diphenylamine			Ethyl p-nitrophenyl phenylphosphorothioate		
N,N-Diphenyl- 1,4 benzenediamine			Ethylphthalyl ethyl glycolate		
1,2-Diphenylhydrazine			Fenamiphos		
Diphenyl sulfone			Fluometuron		
Diquat			Flouride		
Direct black 38			Fluoridone		
Direct blue 6			Flurprimidol		
Direct brown 95			Flutolanil		
Disulfoton			Fluvalinate		
1,4-Dithiane			Folpet		
Diuron			Fomesafen		
Dodine			Fonofos		
Dysprosium			Formaldehyde		
Endosulfan	18	0.9	Formic Acid		
Endothall			Fosetyl-al		
Endrin	1	0.05	Freon 113		
Epichlorohydrin			Furan		
1,2-Epoxybutane			Furazolidone		
S-Ethyl dipropylthiocarbamate			Furfural		
Ethephon			Furium		
Ethion			Furmecyclox		
2-Ethoxyethanol			Glufosinate-ammonium		
2-Ethoxyethanol acetate			Glycidaldehyde		
Ethyl acetate			Glyphosate		
Ethyl acrylate			Haloxypop-methyl		
Ethylbenzene	13	0.7	Heptachlor	23	1
Ethyl chloride			Heptachlor epoxide	0.7	0.03
Ethylene cyanohydrin			Hexabromobenzene		
Ethylene diamine			Hexachlorobenzene	2	0.1
Ethylene glycol			Hexachlorobutadiene	2	0.1

표3-2-23. 미국 캘리포니아주의 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

SOIL SCREENING LEVELS "Migration to Ground Water"					
items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)	items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)
HCH (alpha)	0.0005	0.00003	Maleic anhydride		
HCH (beta)	0.003	0.0001	Maleic hydrazide		
HCH (gamma) Lindane	0.009	0.0005	Malononitrile		
HCH-technical	0.003	0.0001	Mancozeb		
Hexachlorocyclopentadiene	400	20	Maneb		
Hexachloroethane	0.5	0.02	Mephosfolan		
Hexachlorophene			Mepiquat chloride		
Hexahydro-1,3,5-trinitro- 1,3, 5-triazine			2-Mercaptobenzothiazole		
1,6- Hexamethylene diisocyanate			Merphos		
n-Hexane			Merphos oxide		
Hexazinone			Metalaxyl		
Hydrazine, hydrazine sulfate			Methacrylonitrile		
Hydrazine, monomethyl			Methamidophos		
Hydrazine, dimethyl			Methanol		
Hydrogen chloride			Methidathion		
Hydrogen cyanide			Methomyl		
Hydrogen sulfide			Methoxychlor		
p-Hydroquinone			2-Methoxyethanol	160	8
Imazalil			2-Methoxyethanol acetate		
Imazaquin			2-Methoxy-5-nitroaniline		
Iprodione			Methyl acetate		
Iron			Methyl acrylate		
Isobutanol			2-Methylaniline		
Isophorone	0.5	0.03	2-Methylaniline hydrochloride		
Isopropalin			2-Methyl-4- chlorophenoxyacetic acid		
Isopropyl methyl- phosphonic acid			4-(2-Methyl-4- chlorophenoxy) butyric acid		
Isoxaben			2-(2-Methyl-4- chlorophenoxy) propionic acid		
Kepone			2-(2-Methyl-1,4- chlorophenoxy) propionic acid		
Lactofen			Methylcyclohexane		
Linuron			4,4'-Methylenebisbenzeneamine		
Londax			4,4'-Methylene- bis(2-chloroaniline)		
Malathion			4,4'-Methylene- bis(N,N'-dimethyl)aniline		

표3-2-23. 미국 캘리포니아주의 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

SOIL SCREENING LEVELS "Migration to Ground Water"					
items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)	items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)
Methylene bromide			Nitroglycerin		
Methylene chloride	0.02	0.001	Nitroguanidine		
4,4'-Methylene diphenyl- diisocyanate			2-Nitropropane		
Methyl ethyl ketone			N-Nitrosodi-n-butylamine		
Methyl isobutyl ketone			N-Nitrosodiethanolamine		
Methyl Mercaptan			N-Nitrosodiethylamine		
Methyl methacrylate			N-Nitrosodimethylamine		
2-Methyl-5-nitroaniline			N-Nitrosodiphenylamine	1	0.06
Methyl parathion			N-Nitroso di- n-propylamine	0.00005	0.000002
2-Methylphenol	15	0.8	N-Nitroso-N- methylethylamine		
3-Methylphenol			N-Nitrosopyrrolidine		
4-Methylphenol			m-Nitrotoluene		
Methyl phosphonic acid			o-Nitrotoluene		
Methyl styrene (mixture)			p-Nitrotoluene		
Methyl styrene (alpha)			Norflurazon		
Methyl tertbutyl ether (MTBE)			Octabromodiphenyl ether		
"CAL-Modified PRG"			Octahydro-1357-tetranitro- 1357-tetrazocine		
Metolaclor (Dual)			Octamethylpyrophosphoramidate		
Metribuzin			Oryzalin		
Mirex			Oxadiazon		
Molinate			Oxamyl		
Molybdenum			Oxyfluorfen		
Monochloramine			Paclobutrazol		
Naled			Paraquat		
Napropamide			Parathion		
Nickel (soluble salts)	130	7	Pebulate		
Nickel refinery dust			Pendimethalin		
Nickel subsulfide			Pentabromo-6-chloro cyclohexane		
Nitrate+++			Pentabromodiphenyl ether		
Nitrite+++			Pentachlorobenzene		
2-Nitroaniline			Pentachloronitrobenzene		
Nitrobenzene	0.1	0.007	Pentachlorophenol	0.03	0.001
Nitrofurantoin			Perchlorate		
Nitrofurazone			Permethrin		

표3-2-23. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 일반화학물질

SOIL SCREENING LEVELS "Migration to Ground Water"					
items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)	items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)
Phenmedipham			Phosphorus (white)		
Phenol	100	5	p-Phthalic acid		
Phenothiazine			Phthalic anhydride		
m-Phenylenediamine			Picloram		
p-Phenylenediamine			Pirimiphos-methyl		
Phenylmercuric acetate			Polybrominated biphenyls		
2-Phenylphenol			Polychlorinated biphenyls		
Phorate			Aroclor 1016		
Phosmet			Aroclor 1221		
Phosphine			Aroclor 1232		
Phosphoric acid			Aroclor 1242		

ca=Cancer PRG nc=Noncancer PRG ca* (where: nc < 100X ca)

ca**(where: nc < 10X ca) +++=Non-Standard Method Applied

sat=Soil Saturation max=Ceiling limit

DAF=Dilution Attenuation Factor CAS=Chemical Abstract Services

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-24. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 농약

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
Acephate	56	ca**	200	ca*	0.77	ca*	7.7	ca*
Alachlor	6	ca	21	ca	0.084	ca	0.84	ca
Aldicarb	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
Aldicarb sulfone	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
Aldrin	0.029	ca*	0.1	ca	0.00039	ca	0.004	ca
Ametryn	550	nc	5500	nc	33	nc	330	nc
Amitraz	150	nc	1500	nc	9.1	nc	91	nc
Aramite	19	ca	69	ca	0.27	ca	2.7	ca
Asulam	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Atrazine	22	ca	7.8	ca	0.031	ca	0.3	ca
Avermectin B1	24	nc	250	nc	1.5	nc	15	nc
Benomyl	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Bentazone	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
Captafol	57	ca**	200	ca**	0.78	ca**	7.8	ca**
Captan	140	ca*	490	ca	1.9	ca	19	ca
Carbaryl	6100	nc	62000	nc	400	nc	3600	nc
Carbazole	24	ca	86	ca	0.34	ca	3.4	ca
Carbofuran	310	nc	3100	nc	18	nc	180	nc
Carbosulfan	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Chloranil	1.2	ca	4.3	ca	0.017	ca	0.17	ca
Chlordane	1.6	ca*	6.5	ca*	0.019	ca*	0.19	ca*
Chlorimuron-ethyl	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Chlorothalonil	44	ca*	160	ca*	0.61	ca*	6.1	ca*
Chlorpyrifos	180	nc	1800	nc	11	nc	110	nc
Chlorpyrifos-methyl	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Chlorsulfuron	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Chlorthiophos	49	nc	490	nc	2.9	nc	29	nc
Cypermethrin	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Dalapon	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
Chlorothalonil	44	ca*	160	ca*	0.61	ca*	6.1	ca*
Chlorpyrifos	180	nc	1800	nc	11	nc	110	nc
Chlorpyrifos-methyl	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Chlorsulfuron	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Chlorthiophos	49	nc	490	nc	2.9	nc	29	nc
Chlorpyrifos-methyl	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Chlorsulfuron	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Chlorthiophos	49	nc	490	nc	2.9	nc	29	nc

표3-2-24. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 농약

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
Cypermethrin	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Dalapon	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
DDD	2.4	ca	10	ca	0.028	ca	0.28	ca
DDE	1.7	ca	7	ca	0.02	ca	0.2	ca
DDT	1.7	ca*	7	ca*	0.02	ca*	0.2	ca*
Demeton	2.4	nc	25	nc	0.15	nc	1.5	nc
Diallate	8	ca	28	ca	0.11	ca	1.1	ca
Diazinon	55	nc	550	nc	3.3	nc	33	nc
Dicamba	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
Dichlorvos	1.7	ca*	5.9	ca*	0.023	ca*	0.23	ca*
Dicofol	1.1	ca	3.9	ca	0.015	ca	0.15	ca
Dieldrin	0.03	ca	0.11	ca	0.00042	ca	0.0042	ca
Diflubenzuron	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Dimethoate	12	nc	120	nc	0.73	nc	7.3	nc
Dinoseb	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
Dioxin	0.0000039	ca	0.000016	ca	0.000000045	ca	0.0000045	ca
Diphenamid	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
Diquat	130	nc	1400	nc	8	nc	80	nc
Disulfoton	2.4	nc	25	nc	0.15	nc	1.5	nc
Diuron	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Endosulfan	370	nc	3700	nc	22	nc	220	nc
Endothall	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Endrin	18	nc	180	nc	1.1	nc	11	nc
Epichlorohydrin	7.6	nc	26	nc	1	nc	2	nc
Ethephon	310	nc	3100	nc	18	nc	180	nc
Ethion	31	nc	310	nc	1.8	nc	18	nc
Fluometuron	790	nc	8000	nc	47	nc	470	nc
Flutolanil	3700	nc	37000	nc	220	nc	2200	nc
Fluvalinate	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Folpet	140	ca*	490	ca	1.9	ca	19	ca
Fonofos	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Fosetyl-al	100000	max	100000	max	11000	nc	110000	nc
Glufosinate-ammonium	24	nc	250	nc	1.5	nc	15	nc
Glyphosate	6100	nc	62000	nc	370	nc	3600	nc
Haloxfop-methyl	3.1	nc	31	nc	0.18	nc	1.8	nc
Heptachlor	0.11	ca	0.38	ca	0.0015	ca	0.015	ca
Heptachlor epoxide	0.053	ca*	0.19	ca*	0.00074	ca*	0.0074	ca*

표3-2-24. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 농약

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
HCH (alpha)	0.09	ca	0.36	ca	0.0011	ca	0.011	ca
HCH (beta)	0.32	ca	1.3	ca	0.0037	ca	0.037	ca
HCH (gamma) Lindane	0.44	ca*	1.7	ca	0.0052	ca	0.052	ca
HCH-technical	0.32	ca	1.3	ca	0.0038	ca	0.037	ca
Imazalil	790	nc	8000	nc	47	nc	470	nc
Imazaquin	15000	nc	100000	max	910	nc	9100	nc
Iprodione	2400	nc	25000	nc	150	nc	1500	nc
Isoxaben	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Linuron	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Malathion	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Mancozeb	1800	nc	18000	nc	110	nc	1100	nc
Maneb	8.1	ca*	29	ca	0.11	ca	1.1	ca
Merphos	1.8	nc	18	nc	0.11	nc	1.1	nc
Merphos oxide	1.8	nc	18	nc	0.11	nc	1.1	nc
Metalaxyl	3700	nc	37000	nc	220	nc	2200	nc
Methamidophos	3.1	nc	31	nc	0.18	nc	1.8	nc
Methidathion	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
Methomyl	44	nc	150	nc	91	nc	150	nc
Methoxychlor	310	nc	3100	nc	18	nc	180	nc
Methyl parathion	15	nc	150	nc	0.91	nc	9.1	nc
Metolaclo (Dual)	9200	nc	92000	nc	550	nc	5500	nc
Metribuzin	1500	nc	15000	nc	91	nc	910	nc
Mirex	0.27	ca*	0.96	ca	0.0037	ca	0.037	ca
Molinate	120	nc	1200	nc	7.3	nc	73	nc
Napropamide	6100	nc	62000	nc	370	nc	3600	nc
Oryzalin	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Oxadiazon	310	nc	3100	nc	18	nc	180	ca
Oxamyl	1500	nc	15000	nc	91	nc	910	nc
Oxyfluorfen	180	nc	1800	nc	11	nc	110	nc
Paraquat	270	nc	2800	nc	16	nc	160	nc
Parathion	370	nc	3700	nc	22	nc	220	nc
Pebulate	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Pendimethalin	2400	nc	25000	nc	150	nc	1500	nc
Permethrin	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc
Phorate	12	nc	120	nc	0.73	nc	7.3	nc
Phosmet	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Picloram	4300	nc	43000	nc	260	nc	2600	nc

표3-2-24. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 농약

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
Pirimiphos-methyl	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Polybrominated biphenyls	0.055	ca**	0.19	ca*	0.00076	ca*	0.0076	ca*
Polychlorinated biphenyls	0.22	ca	0.74	ca	0.0034	ca	0.034	ca
Aroclor 1016	3.9	nc	21	ca**	0.096	ca**	0.96	ca**
Aroclor 1221	0.22	ca	0.74	ca	0.0034	ca	0.034	ca
Aroclor 1232	0.22	ca	0.74	ca	0.0034	ca	0.034	ca
Aroclor 1242	0.22	ca	0.74	ca	0.0034	ca	0.034	ca
Aroclor 1248	0.22	ca	0.74	ca	0.0034	ca	0.034	ca
Aroclor 1254	0.22	ca**	0.74	ca*	0.0034	ca*	0.034	ca*
Aroclor 1260	0.22	ca	0.74	ca	0.0034	ca	0.034	ca
Polychlorinated terphenyls	0.11	ca	0.38	ca	0.0015	ca	0.015	ca
Prochloraz	3.2	ca	11	ca	0.045	ca	0.45	ca
Profluralin	370	nc	3700	nc	22	nc	220	nc
Prometon	920	nc	9200	nc	55	nc	550	nc
Prometryn	240	nc	2500	nc	15	nc	150	nc
Pronamide	4600	nc	46000	nc	270	nc	2700	nc
Propachlor	790	nc	8000	nc	47	nc	470	nc
Propanil	310	nc	3100	nc	18	nc	180	nc
Propargite	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Propham	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Propiconazole	790	nc	8000	nc	47	nc	470	nc
Quinalphos	31	nc	310	nc	1.8	nc	18	nc
Rotenone	240	nc	2500	nc	15	nc	150	nc
Sethoxydim	5500	nc	55000	nc	330	nc	3300	nc
Simazine	4.1	ca*	14	ca	0.056	ca	0.56	ca
2,3,7,8-TCDD (dioxin)	0.0000039	ca	0.000016	ca	0.000000045	ca	0.000000045	ca
Tebuthiuron	4300	nc	43000	nc	260	nc	2600	nc
Temephos	1200	nc	12000	nc	73	nc	730	nc
Terbacil	790	nc	8000	nc	47	nc	470	nc
Terbufos	1.5	nc	15	nc	0.091	nc	0.91	nc
Terbutryn	61	nc	620	nc	3.7	nc	36	nc
Tetrachlorovinphos	20	ca*	72	ca	0.28	ca	2.8	ca
Thiobencarb	610	nc	6200	nc	37	nc	360	nc
Thiofanox	18	nc	180	nc	1.1	nc	11	nc
Thiram	310	nc	3100	nc	18	nc	180	nc
Toxaphene	0.44	ca	1.6	ca	0.006	ca	0.061	ca
Tralomethrin	460	nc	4600	nc	27	nc	270	nc

표3-2-24. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 농약

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs)							
	"Direct Contact Exposure Pathways"							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
Triallate	790	nc	8000	nc	47	nc	470	nc
Trifluralin	63	ca*	220	ca*	0.87	ca*	8.7	ca*
Vinclozolin	1500	nc	15000	nc	91	nc	910	nc
Zineb	3100	nc	31000	nc	180	nc	1800	nc

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-25. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 농약

SOIL SCREENING LEVELS "Migration to Ground Water"					
items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)	items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)
Acephate	-		Chlorsulfuron		
Alachlor	-		Chlorthiophos		
Aldicarb			Cypermethrin		
Aldicarb sulfone			Dalapon		
Aldrin	0.5	0.02	Chlorothalonil		
Ametryn			Chlorpyrifos		
Amitraz			Chlorpyrifos-methyl		
Aramite			Chlorsulfuron		
Asulam			Chlorthiophos		
Atrazine			Cypermethrin		
Avermectin B1			Dalapon		
Benomyl			DDD	16	0.8
Bentazone	-		DDE	54	3
Captafol			DDT	32	2
Captan			Demeton		
Carbaryl			Diallate		
Carbazole	0.6	0.03	Diazinon		
Carbofuran			Dicamba		
Carbosulfan			Dichlorvos		
Chloranil			Dicofol		
Chlordane	10	0.5	Dieldrin	0.004	0.0002
Chlorimuron-ethyl			Diiflubenzuron		
Chlorothalonil			Dimethoate		
Chlorpyrifos			Dinoseb		
Chlorpyrifos-methyl			Dioxin		

표3-2-25. 미국 캘리포니아주의 오염토양 선별기준 - 농약

SOIL SCREENING LEVELS "Migration to Ground Water"					
items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)	items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)
Diphenamid			Methomyl		
Diquat			Methoxychlor	160	8
Disulfoton			Methyl parathion		
Diuron			Metolaclo (Dual)		
Endosulfan	18	0.9	Metribuzin		
Endothall			Mirex		
Endrin	1.0	0.05	Molinate		
Epichlorohydrin			Napropamide		
Ethephon			Oryzalin		
Ethion			Oxadiazon		
Fluometuron			Oxamyl		
Flutolanil			Oxyfluorfen		
Fluvalinate			Paraquat		
Folpet			Parathion		
Fonofos			Pebulate		
Fosetyl-al			Pendimethalin		
Glufosinate-ammonium			Permethrin		
Glyphosate			Phorate		
Haloxyfop-methyl			Phosmet		
Heptachlor	23	1.0	Picloram		
Heptachlor epoxide	0.7	0.03	Pirimiphos-methyl		
HCH (alpha)	0.0005	0.00003	Polybrominated biphenyls		
HCH (beta)	0.003	0.0001	Polychlorinated biphenyls		
HCH (gamma) Lindane	0.009	0.0005	Aroclor 1016		
HCH-technical	0.003	0.0001	Aroclor 1221		
Imazalil			Aroclor 1232		
Imazaquin			Aroclor 1242		
Iprodione			Aroclor 1248		
Isoxaben			Aroclor 1254		
Linuron			Aroclor 1260		
Malathion			Polychlorinated terphenyls		
Mancozeb			Prochloraz		
Maneb			Profluralin		
Merphos			Prometon		
Merphos oxide			Prometryn		
Metalaxyl			Pronamide		
Methamidophos			Propachlor		
Methidathion			Propanil		

표3-2-25. 미국 캘리포니아주의 오염토양 선별기준 - 농약

SOIL SCREENING LEVELS "Migration to Ground Water"					
items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)	items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)
Propargite			Propiconazole		
Propham					

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-26. 미국 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 오염토양 선별기준 - 중금속

Items	PRELIMINARY REMEDIAL GOALS (PRGs) "Direct Contact Exposure Pathways"							
	Residential Soil (mg kg ⁻¹)		Industrial Soil (mg kg ⁻¹)		Ambient Air (ug/m ³)		Tap Water (ug/l)	
Cyanide (free)	1200	nc	12000	nc	-		730	nc
Cyanide (hydrogen)	11	nc	35	nc	3.1	nc	6.2	nc
Cyanogen	130	nc	430	nc	150	nc	240	nc
Flouride	3700	nc	37000	nc	-		2200	nc
Iron	23000	nc	100000	max	910	nc	9100	nc
Molybdenum	390	nc	5100	nc	-		180	nc
Nickel (soluble salts)	1600	nc	20000	nc	-		730	nc
Nickel refinery dust	-		-		0.008	ca	-	
Nickel subsulfide	-		11000	ca	0.004	ca	-	
Tin	47000	nc	100000	max	-		22000	nc
Uranium	16	nc	200	nc	-		7.3	nc
Vanadium and compounds	550	nc	7200	nc	-		260	nc
Zinc	23000	nc	100000	max	-		11000	nc

SOIL SCREENING LEVELS "Migration to Ground Water"					
items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)	items	DAF 2 (mg kg ⁻¹)	DAF 1 (mg kg ⁻¹)
Cyanide (free)			Nickel refinery dust		
Cyanide (hydrogen)			Nickel subsulfide		
Cyanogen			Tin		
Flouride			Uranium		
Iron			Vanadium and compounds	6000	300
Molybdenum			Zinc	12000	620
Nickel (soluble salts)	130	7			

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

나. 영국

영국에서 사용된 토양질기준은 1982년 ICRCL (Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land)이 마련한 유인농도(trigger concentrations)를 시발점으로 하고 있다. 유인농도는 “한계기준(threshold trigger values)”과 “대책기준(action trigger values)”으로 구분되어 있다. 한계기준은 기준이하의 농도에서는 복원조치가 필요하지 않으며, 대책기준은 기준 이상의 농도에서는 복원조치가 필수적임을 나타낸다(표 3-2-27).

유인농도의 모든 수치는 잠정적 및/또는 기본적으로 정기적인 개정이 요구되는 것이다. 모든 수치는 지역의 시료 농도에 따른 것이다. 시료가 채취된 지역의 모든 수치가 역치 농도 이하일 경우 비오염지역으로 간주될 수 있으며 지역이 개발될 수 있다. 한계기준 이상일 경우 토양복원이 필요할 수도 있다. 대책기준 이상일 경우 복원이 필요하거나 또는 개발계획이 변경되어야 한다.

그러나 ICRCL에서 제시하고 있는 유인농도는 법에서 규정하고 있는 위해(risk)의 가능성을 평가하는데 있어 불충분하다는 유인농도 사용의 문제점으로 인해 새로운 토양기준과 함께 인체 위해성평가의 다양한 상황들을 고려한 포괄적인 지침을 개발하였다. 그리고 기존의 ICRCL 유인농도기준을 적용하지 못하게 하고, 토양질 안내기준(SGV, Soil Guideline Values)이 없는 오염물질에 대해서는 각 현장조건에 따른 위해성 평가를 실시하여 오염여부를 평가하도록 권장하였다(표3-2-28). SGV는 인체에 대한 만성적인 위해성을 평가할 때, 즉 오염토지의 유의성 있을 위험 가능성을 판단할 때 적용된다(DEFRA, 2002). 그러나 SGV는 magic number가 아니기 때문에 오염물질이 SGV를 초과하였다고 해서 반드시 오염이라고 단언해서는 안 된다는 조건을 붙이고 있다.

표3-2-27. 영국 ICRL 의 유인농도 (Trigger Value)

Items	계획된 사용	유인농도 (mg kg ⁻¹ , 건조 토양)	
		한계기준	대책기준
As	가정의 정원, 소규모 경작지	10	개발 예정
	공원, 놀이터, 개방지	40	
Cd	가정의 정원, 소규모 경작지	3	“
	공원, 놀이터, 개방지	15	
Cr(VI)	가정의 정원, 소규모 경작지	25	“
	공원, 놀이터, 개방지		
Cr(총량)	가정의 정원, 소규모 경작지	600	“
	공원, 놀이터, 개방지	1,000	
Pb	가정의 정원, 소규모 경작지	500	“
	공원, 놀이터, 개방지	2,000	
Hg	가정의 정원, 소규모 경작지	1	“
	공원, 놀이터, 개방지	20	
Se	가정의 정원, 소규모 경작지	3	“
	공원, 놀이터, 개방지	6	
B(수용성)	식물을 재배하는 모든 지역	3	“
Cu	식물을 재배하는 모든 지역	130	“
Ni	식물을 재배하는 모든 지역	70	“
Zn	식물을 재배하는 모든 지역	300	“
광산지역과 관련된 오염지역			
다고리 방향성	가정의 정원, 소규모 경작지, 놀이터	50	500
	경관지, 건물, 포장지역	1,000	10,000
Phenol 류	가정의 정원, 소규모 경작지, 놀이터	5	200
	경관지, 건물, 포장지역	5	1000
시안 (free complex)	가정의 정원, 소규모 경작지, 놀이터	25	500
	건물, 포장지역	1,000	500
	가정의 정원, 소규모 경작지, 놀이터	250	1,000
	경관지	250	5,000
Thiocyanate	건물, 포장지역	250	None
	모든 계획 지역	50	None
	가정의 정원, 소규모 경작지, 경관지	2,000	10,000
Sulfate	건물	2,000	50,000
	포장지역	2,000	None
	모든 계획 지역	250	1,000
Sulfide	모든 계획 지역	5,000	20,000
Sulfur	모든 계획 지역	pH 5	pH 3
	가정의 정원, 소규모 경작지, 경관지		None
토양산도	건물, 포장지역	None	None

자료 : UK ICRL. 1987. Guidance on the assessment and redevelopment of contaminated land.

ICRL 59/83(2nd ed.). Department of the Environment, London

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-28. 영국 DEFRA의 토양질 안내기준 (SGV, Soil Guideline Values)

	주거지 (mg kg ⁻¹)			정원 없음	경작지 (mg kg ⁻¹)			상업/산업지 (mg kg ⁻¹)
	정원 있음							
As	20			20	20			500
Cd	pH6	pH7	pH8	30	pH6	pH7	pH8	1,400
	1	2	8		1	2	8	
Cr	130			200	130			5,000
Inorganic Hg	8			8	15			480
Ni	50			75	50			5,000
Se	35			260	35			8,000
Pb	450			450	750			750

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

다. 네덜란드

네덜란드의 토양질기준은 목표기준 (Target Value), 개입기준 (Intervention Value) 및 지시기준 (Indicative Levels)으로 분류되어 있으면, 토양의 인체 및 동·식물에 대한 다기능성을 고려하고, 잠재적인 위해성에 근거하여 수립된 것이다.

목표기준을 만족하는 토양은 토양의 다기능성을 충족시키는 깨끗한 토양으로, 즉 토양의 기능이 지속가능하게 유지될 수 있음을 의미한다. 현실적으로 목표기준은 네덜란드에서 오염되지 않는 토양의 배경농도를 조사하여 95% 지역에 해당하는 일정농도를 설정하여 이 범위에서 결정되었다. 개입기준과 목표기준은 표준 토양조건으로 가정하고 설정된 것이므로 토양의 특성에 맞게 보정하여 적용된다. 토양의 표준조건은 10% 유기물함유와 25% 점토함유의 경우로 규정되어 있다. 중금속에 대해서는 토양의 특성에 따라 조정기준과 복원목표치를 보정하여 적용하고 있다.

심각한 오염의 유무를 판단하기 위한 산술적 기준인 개입기준은 인체독성학적 토양 중의 오염물질농도 및 생태독성학적 토양 중의 오염물질농도를 바탕으로 수립되었다. 지하수에 대한 개입기준은 지하수내 오염물질이 야기할 수 있는 영향에 대해 직접 정량화하지는 않고 토양/퇴적토에 대한 기준으로부터 유도된 값들이다.

지시기준은 개입기준이 제시된 오염물질 (제1오염물질류) 이외의 제2오염물질류에 대한 기준들을 제시한 것이다. 개입기준으로 설정하기 위한 생태독성학

적 자료가 미비한 경우의 오염물질들이 지시기준 부류에 속하게 된다. 개입기준과 지시기준의 결정은 첫째, 2개의 생태분류에 대한 독성자료가 있어야 하고, 둘째, 중금속의 경우는 토양의 종류에 따른 각각 다른 데이터가 있어야 하고, 셋째, 유기물의 경우 물과의 평형-분배특성을 나타내는 2쌍의 자료가 있어야 한다. 이와 같이 기준을 만족시키지 못하고 지시기준으로 등록되어 있는 대표적인 물질로는 은 (Silver), 베릴륨 (Beryllium) 등이 있다.

상기와 같은 목표기준과 개입기준은 토양/퇴적토 (Earth/Sediment)와 지하수에 대해서 제시하고 있다. 토양/퇴적토의 조건에 따라 위해성이 달라질 수 있다는 것을 고려하여 표준토양/퇴적토의 조건으로 10% 유기물과 25% 점토를 함유한 것임을 명시하고 있다 (표3-2-29, 표3-2-30).

표3-2-29. 네덜란드 토양/퇴적토와 지하수에 대한 목표기준 (Target Values), 개입기준 (Intervention Value) 및 배경농도 (표준토양/퇴적토 조건은 10% 유기물과 25% 점토를 함유한 것임)

Items	Earth/Sediment (mg kg ⁻¹ , dry matter)			Groundwater (mg L ⁻¹ , in solution)			
	National background value (BC)	Target value (incl. BC)	Intervention value	Target value shallow	National background concentration deep (BC)	Target value deep (incl. BC)	Intervention value
Sb	3	3	15	—	0.09	0.15	20
As	29	29	55	10	7	7.2	60
Ba	160	160	625	50	200	200	625
Cd	0.8	0.8	12	0.4	0.06	0.06	6
Cr	100	100	380	1	2.4	2.5	30
Co	9	9	240	20	0.6	0.7	100
Cu	36	36	190	15	1.3	1.3	75
Hg	0.3	0.3	10	0.05	—	0.01	0.3
Pb	85	85	530	15	1.6	1.7	75
Mo	0.5	3	200	5	0.7	3.6	300
Ni	35	35	210	15	2.1	2.1	75
Zn	140	140	720	65	24	24	800
Cyanides-Free		1	20			5	1,500
Cyanides-Complex (pH<5) ¹⁾		5	650			10	1,500
Cyanides-Complex (pH >5) ¹⁾		5	50			10	1,500
Thiocyanates (Sum)		1	20			—	1,500
Bromide		20	—			0.3 mg/l ²⁾	—
Chloride		—	—			100 mg/l ²⁾	—

표3-2-29. 네덜란드 토양/퇴적토와 지하수에 대한 목표기준 (Target Values), 개입기준 (Intervention Value) 및 배경농도 (표준토양/퇴적토 조건은 10% 유기물과 25% 점토를 함유한 것임)

Items	Earth/Sediment (mg kg ⁻¹ , dry matter)			Groundwater (mg L ⁻¹ , in solution)			
	National background value (BC)	Target value (incl. BC)	Intervention value	Target value shallow	National background concentration deep (BC)	Target value deep (incl. BC)	Intervention value
Fluoride		500 ³⁾	–			0.5 mg/l ²⁾	–
Benzene		0.01	1			0.2	30
Ethyl Benzene		0.03	50			4	150
Toluene		0.01	130			7	1,000
Xylenes		0.1	25			0.2	70
Styrene		0.3	100			6	300
Phenol		0.05	40			0.2	2,000
Cresoles (Sum) ²⁾		0.05	5			0.2	200
Catechol		0.05	20			0.2	1,250
Resorcinol		0.05	10			0.2	600
Hydroquinone		0.05	10			0.2	800
PAH (sum 10) ^{4),14)}		1	40			–	–
Naphthalene						0.01	70
Anthracene						0.0007*	5
Phenathrene						0.003*	5
Fluoranthene						0.003	1
Benzo(A)Anthracene						0.0001*	0.5
Chrysene						0.003*	0.2
Benzo(A)Pyrene						0.0005*	0.05
Benzo(Ghi)Perylene						0.0003	0.05
Benzo(K)Fluoranthene						0.0004*	0.05
Indeno(1,2,3- Cd)Pyrene						0.0004*	0.05
Vinylchloride		0.01	0.1			0.01	5
Dichloromethane		0.4	10			0.01	1,000
1,1-Dichloroethane		0.02	15			7	900
1,2-Dichloroethane		0.02	4			7	400
1,1-Dichloroethene		0.1	0.3			0.01	10
1,2-Dichloroethene (Cis, Trans)		0.2	1			0.01	20
Dichloropropane		0.002	2			0.8	0.8
Trichloromethane		0.02	10			6	400
1,1,1-Trichloroethane		0.07	15			0.01	300
1,1,2- Trichloroethane		0.4	10			0.01	130

표3-2-29. 네덜란드 토양/퇴적토와 지하수에 대한 목표기준 (Target Values), 개입기준 (Intervention Value) 및 배경농도 (표준토양/퇴적토 조건은 10% 유기물과 25% 점토를 함유한 것임)

Items	Earth/Sediment (mg kg ⁻¹ , dry matter)			Groundwater (mg L ⁻¹ , in solution)			
	National background value (BC)	Target value (incl. BC)	Intervention value	Target value shallow	National background concentration deep (BC)	Target value deep (incl. BC)	Intervention value
Trichloroethene (Tri)		0.1	60			24	500
Tetrachloromethane (Tetra)		0.4	1			0.01	10
Tetrachloroethene (Per)		0.002	4			0.01	40
Chlorobenzenes (Sum) ⁵⁾		0.03	30			—	—
Monochlorobenzene						7	180
Dichlorobenzenes (Sum)						3	50
Trichlorobenzenes (Sum)						0.01	10
Tetrachlorobenzenes (Sum)						0.01	2.5
Pentachlorobenzene						0.003	1
Hexachlorobenzene						0.00009*	0.5
Chlorophenols (Sum) ⁶⁾		0.01	10			—	—
Monochlorophenols (Sum)						0.3	100
Dichlorophenols (Sum)						0.2	30
Trichlorophenols (Sum)						0.03*	10
Tetrachlorophenols (Sum)						0.01*	10
Pentachlorophenol						0.04*	3
Chloronaphthalene		—	10			—	6
Monochloroaniline		0.005	50			—	30
Polychlorobiphenyls (Sum 7) ⁷⁾		0.02	1			0.01*	0.01
EOX		0.3					
DDT/DDE/DDD ⁸⁾		0.01	4			0.004 ng/l*	0.01
Drins ⁹⁾		0.005	4			—	0.1
Aldrin		0.00006				0.009 ng/l*	

표3-2-29. 네덜란드 토양/퇴적토와 지하수에 대한 목표기준 (Target Values), 개입기준 (Intervention Value) 및 배경농도 (표준토양/퇴적토 조건은 10% 유기물과 25% 점토를 함유한 것임)

Items	Earth/Sediment (mg kg ⁻¹ , dry matter)			Groundwater (mg L ⁻¹ , in solution)			
	National background value (BC)	Target value (incl. BC)	Intervention value	Target value shallow	National background concentration deep (BC)	Target value deep (incl. BC)	Intervention value
Dieldrin		0.0005				0.1 ng/l	
Endrin		0.00004				0.04 ng/l	
HCH compounds ¹⁰⁾		0.01	2			0.05	1
A-HCH		0.003				33 ng/l	
B-HCH		0.009				8 ng/l	
G-HCH		0.00005				9 ng/l	
Atrazine		0.0002	6			29 ng/l	150
Carbaryl		0.00003	5			2 ng/l*	50
Carbofuran		0.00002	2			9 ng/l	100
Chlorodane		0.00003	4			0.02 ng/l	0.2
Endosulfan		0.00001	4			0.2 ng/l	5
Heptachloro		0.0007	4			0.005 ng/l	0.3
Heptachloro-Epoxide		0.0000002	4			0.005 ng/l	3
Maneb		0.002	35			0.05 ng/l	0.1
MCPA		0.00005	4			0.02	50
Organotin Compounds ¹¹⁾		0.001	2.5			0.05*~ 16 ng/l	0.7
Cyclohexanone		0.1	45			0.5	15000
Phthalates (Sum) ¹²⁾		0.1	60			0.5	5
Mineral Oil ¹³⁾		50	5000			50	600
Pyridine		0.1	0.5			0.5	30
Tetrahydrofuran		0.1	2			0.5	300
Tetrahydrothiophene		0.1	90			0.5	5000
Tribromomethane		-	75			-	630

Circular on target values and intervention values for soil remediation page 11 of 51

- 1) Acidity: pH (0.01 M CaCl₂). In order to determine whether pH is greater than or equal to 5, or less than 5, the 90 percentile of the measured values is taken.
- 2) In areas subject to marine influence higher values occur naturally (salt and brackish water).
- 3) Differentiation by clay content: (F) = 175 = 13L (L = % clay).
- 4) PAH (sum of 10) here means the total of anthracene, benzo(a)anthracene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, chrysene, phenantrene, fluoranthene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, naphthalene and benzo(ghi)perylene.
- 5) 'Chlorobenzenes (sum)' here means the total of all chlorobenzenes (mono-, di-, tri-, tetra-, pentaand hexachlorobenzene).
- 6) 'Chlorophenols (sum)' here means the total of all chlorophenols (mono-, di-, tri-, tetra- and pentachlorophenol).
- 7) In the case of the intervention value, 'polychlorobiphenyls (sum)' means the total of PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 and 180. For the target value it refers to the total excluding PCB 118.

- 8) DDT/DDD/DDE' above means the sum of DDT, DDD and DDE.
 9) 'Drins' above means the sum of aldrin, dieldrin and endrin.
 10) 'HCH compounds' above means the sum of a-HCH, b-HCH, r-HCH and d-HCH.
 11) The intervention value applies to the sum of the concentrations of organotin compounds encountered.
 12) 'Phthalates (sum)' above means the total of all phthalates.
 13) 'Mineral oil' is defined in the analysis standard. Where the contamination is due to mixtures (e.g. gasoline or domestic heating oil), then not only the alkane content but also the content of aromatic and/or polycyclic aromatic hydrocarbons must be determined. This aggregate parameter has been adopted for practical reasons. Further toxicological and chemical disaggregation is under study.
 (인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-30. 네덜란드 토양/퇴적토와 지하수에 대한 목표기준(Target Values), 개입기준(Intervention Value) 및 배경농도(표준토양/퇴적토 조건은 10% 유기물과 25% 점토를 함유한 것임) - 중금속

Items	Earth/Sediment (mg kg ⁻¹ , dry matter)			Groundwater (mg L ⁻¹ , in solution)			
	National background value(BC)	Target value (incl. BC)	Intervention value	Target value shallow	National background concentration deep(BC)	Target value deep (incl. BC)	Intervention value
Sb	3	3	15	—	0.09	0.15	20
As	29	29	55	10	7	7.2	60
Ba	160	160	625	50	200	200	625
Cd	0.8	0.8	12	0.4	0.06	0.06	6
Cr	100	100	380	1	2.4	2.5	30
Co	9	9	240	20	0.6	0.7	100
Cu	36	36	190	15	1.3	1.3	75
Hg	0.3	0.3	10	0.05	—	0.01	0.3
Pb	85	85	530	15	1.6	1.7	75
Mo	0.5	3	200	5	0.7	3.6	300
Ni	35	35	210	15	2.1	2.1	75
Zn	140	140	720	65	24	24	800
Cyanides-Free		1	20			5	1,500
Cyanides-Complex (pH<5) ¹⁾		5	650			10	1,500
Cyanides-Complex (pH >5) ¹⁾		5	50			10	1,500
Thiocyanates (Sum)		1	20			—	1,500
Bromide		20	—			0.3 mg/l ²⁾	—
Chloride		—	—			100 mg/l ²⁾	—
Fluoride		500 ³⁾	—			0.5 mg/l ²⁾	—
Polychlorobiphenyls (Sum 7) ⁷⁾		0.02	1			0.01*	0.01
EOX		0.3					
DDT/DDE/DDD ⁸⁾		0.01	4			0.004 ng/l*	0.01

표3-2-30. 네덜란드 토양/퇴적토와 지하수에 대한 목표기준(Target Values), 개입기준(Intervention Value) 및 배경농도(표준토양/퇴적토 조건은 10% 유기물과 25% 점토를 함유한 것임) - 중금속

Items	Earth/Sediment (mg kg ⁻¹ , dry matter)			Groundwater (mg L ⁻¹ , in solution)			
	National background value(BC)	Target value (incl. BC)	Intervention value	Target value shallow	National background concentration deep(BC)	Target value deep (incl. BC)	Intervention value
Drins ⁹⁾		0.005	4			-	0.1
Aldrin		0.00006				0.009 ng/l*	
Dieldrin		0.0005				0.1 ng/l	
Endrin		0.00004				0.04 ng/l	
HCH compounds ¹⁰⁾		0.01	2			0.05	1
A-HCH		0.003				33 ng/l	
B-HCH		0.009				8 ng/l	
G-HCH		0.00005				9 ng/l	
Atrazine		0.0002	6			29 ng/l	150
Carbaryl		0.00003	5			2 ng/l*	50
Carbofuran		0.00002	2			9 ng/l	100
Chlorodane		0.00003	4			0.02 ng/l	0.2
Endosulfan		0.00001	4			0.2 ng/l	5
Heptachloro		0.0007	4			0.005 ng/l	0.3
Heptachloro-Epoxide		0.0000002	4			0.005 ng/l	3
Maneb		0.002	35			0.05 ng/l	0.1
MCPA		0.00005	4			0.02	50

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-31. 네덜란드 제2오염물질류에 의한 토양오염에 대한 목표기준과 지시기준

Items	Earth/Sediment (mg kg ⁻¹ , dry matter)			Groundwater (mg L ⁻¹ , in solution)			
	National background value(BC)	Target value (incl. BC)	Intervention value	Target value shallow	National background concentration deep(BC)	Target value deep (incl. BC)	Intervention value
Be	1.1	1.1	30	-	0.05	0.05	15
Se	0.7	0.7	100	-	0.02	0.07	160
Te	-	-	600	-	-	-	70
Tl	1	1	15	-	< 2	2	7
Sn	19	-	900	-	< 2	2.2	50
V	42	42	250	-	1.2	1.2	70
Ag	-	-	15	-	-	-	40
Dodecylbenzene		-	1000			-	0.02
Aromatic Solvents		-	200			-	150
Dichloroaniline		0.005	50			-	100
Trichloroaniline		-	10			-	10
Tetrachloroaniline		-	30			-	10
Pentachloroaniline		-	10			-	1
4-Chloromethyl-phenols		-	15			-	350
Dioxin		-	0.001			-	0.001 ng/l
Azinphos-Methyl		0.000005 #	2			0.1*	2 ng/l
Acrylonitrile		0.000007 #	0.1			0.08	5
Butanol		-	30				5600

1) Aromatic solvents are defined as a standard mixture of substances referred to as C9-aromatic naphtha as defined by the International Research and Development Corporation: o-xylene 3.2%, i-isopropylbenzene 2.74%, n-propylbenzene 3.97%, 1-methyl-4 ethyl benzene 7.05%, 1-methyl-3-ethyl benzene 15.1%, 1-methyl-2-ethylbenzene 5.44%, 1,3,5-trimethylbenzene 8.37%, 1,2,4-trimethylbenzene 40.5%, 1,2,3-trimethylbenzene 6.18% and > ?? alkylbenzenes 6.19%.

2) The indicative level is expressed on the basis of toxicity equivalents based on the most toxic compound.

* numeric value below the detection level/quantification level or measurement method is lacking

These target values have not been tested in HANS. All the other values have been tested in HANS.

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

라. 독일

독일에서 연방정부 차원에서 토양질에 관한 기준을 연방토양보호 및 Altlasten에 관한 법령에 제시하였다. 법에서 규정하고 있는 토양기준은 조사기준 (Trigger Values), 대책기준 (Action Values), 우려기준 (Precaution values)이다. 조사기준은 토양의 위해성이나 Altlasten의 의혹이 있을 가능성에 대한 판단기준을 결과에 따라 추가적인 정밀조사의 이행여부를 결정한다. 대책기준은 토양의 위해성과 Altlasten을 확정하는 기준으로 이 지역의 복원여부를 결정한다. 조사기준과 대책기준은 위해성 (오염물질의 전이경로)과 토지용도 (표 3-2-32)를 토대로 수립되었다.

표3-2-32. 독일에서 규정하는 각 경로별 토지용도

토양-인체 경로 (조사/대책 기준)	토양-식용식물 경로 (조사/대책 기준)	토양-지하수 경로 (조사기준)
놀이터 주거지역 공원/휴양시설 산업/상업 부지	농경지 재배용 정원 초지	용도의 구분 없음

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

오염물질의 전이 경로는 토양-인체 (직접적 접촉), 토양-식용식물, 토양-지하수 경로 등 3가지로 구분되며, 각 전이경로별 토지용도는 토양-인체 경로의 경우 놀이터, 주거지역, 공원 및 휴양시설, 산업 및 상업 부지 등 4가지이며, 토양-식용식물 경로는 농경지, 재배용 정원, 초지 등 3가지, 마지막으로 토양-지하수 경로는 용도에 상관없이 조사기준만 설정되어 있다.

표3-2-33. 독일에서 규정하는 토양-인체 경로에서 조사기준 (Trigger Values)

(단위 : mg kg⁻¹ TM)

	인체에 미치는 영향 ⁴⁾				농경지, 식용식물 재배지		초지	우려기준 ⁴⁾		
	놀이터	주거지	공원/ 위락시설	산업/ 상업시설	조사기준	대책기준	대책기준	Clay	Loam/silt	Sand
As	25	50	125	140	0.4 ³⁾	-	50	-	-	-
Pb	200	400	1,000	2,000	0.1 ³⁾	-	1,200	100	70	40
Cd	10	20	50	60	-	0.04/0.1 ^{1),3)}	20	1.5	1	0.4
Cr	200	400	1,000	1,000	-	-	-	100	60	30
Cu	-	-	-	-	1 ³⁾	-	1,300 ²⁾	60	40	20
Ni	70	140	350	900	1.5 ³⁾	-	1,900	70	50	15
Hg	10	20	50	80	5 ⁴⁾	-	2	1	0.5	0.1
Tl	-	-	-	-	0.1 ³⁾	-	15	-	-	-
Zn	-	-	-	-	2 ³⁾	-	-	200	150	60
Aldrin	2	4	10	-	-	-	-	-	-	-
시안 ⁵⁾	50	50	50	100	-	-	-	-	-	-
DDT	40	80	200	-	-	-	-	-	-	-
Hexachlorobenzene	4	8	20	200	-	-	-	-	-	-
Hexachlorocyclohexane	5	10	25	400	-	-	-	-	-	-
Pentachlorophenol	50	100	250	250	-	-	-	-	-	-
Benzo(a)pyrene	2	4	10	12	1	-	-	1		0.3
PAH16	-	-	-	-	-	-	-	10		3
Polychlorinatedbiphenyls ²⁾	0.4	0.8	2	40	-	-	0.2	휴믹성분함유 ≥8% 0.1	휴믹성분 함유 ≤8%	0.05

1) 밀재배지 또는 카드뮴을 쉽게 농축하는 식물재배지의 경우는 0.04 mg/kg dry weight을 적용하고 그 이외의 지역은 0.1 mg kg⁻¹ dry weight을 적용, 2) 양목축의 경우 200 mg/kg dry weight을 적용, 3) 암모늄 나이트레이트(ammonium nitrate) 추출법, 4) aqua regia 추출법, 5) 시안은 aqua regia 추출법을 따르지 않았음

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-34. 독일에서 규정하는 토양-지하수 경로에서의 조사기준 (Trigger Value)

(단위 : mg L⁻¹)

무기물질	조사기준	유기물질	조사기준
Antimony	10	Petroleum hydrocarbons1)	200
Arsenic	10	BTEX2)	20
Lead	25	Benzene	1
Cadmium	5	Volatile halogenated hydrocarbons3)	10
Chromium, total	50	Aldrin	0.1
Chromate	8	DDT	0.1
Cobalt	50	Phenols	20
Copper	50	PCB, total4)	0.05
Molybdenum	50	PAH, total5)	0.2
Nickel	50	Naphthalene	2
Mercury	1		
Selenium	10		
Zinc	500		
Tin	40		
Cyanides, total	50		
Cyanides, volatile	10		
Fluoride	750		

1) n-alkanes (C10 C39), isoalkanes, cycloalkanes and aromatic hydrocarbons

2) Volatile aromatic hydrocarbons (benzene, toluene, xylenes, ethylbenzene, styrene, cumene)

3) Volatile halogenated hydrocarbons (sum of the halogenated C1 and C2 hydrocarbons)

4) PCB, total: sum of the polychlorinated biphenyls; as a rule, determination by way of the 6 congeners according to Ballschmiter pursuant to Ordinance on Waste Oils (DIN 51527) multiplied by a factor of 5; if applicable, for example in the case of a known substance spectrum, simple formation of the sum of all relevant individual substances (DIN 38407-32 or 3-3).

5) PAH, total: sum of the polycyclic aromatic hydrocarbons without naphthalene and methylnaphthalenes; as a rule, determination by way of the sum of 15 individual substances according to the list of the US Environmental Protection Agency (EPA) without naphthalene; if applicable, inclusion of other relevant PAHs (e.g. quinolines).

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

마. 덴마크

덴마크의 토양, 지하수 기준은 매우 민감한 이용목적으로 사용할 가능성이 있다는 가정 하에 수립되었다. 주거지나 놀이터 등 매우 민감한 토지용도에 대해 위해성 평가를 할 때 도움을 주기 위해, 인체독성에 근거하여 토양기준을 수립하였다. 이 기준을 수립할 때, 매일 0.2 g의 토양을 섭취하는 또는 비연속적인 경우 10 g의 토양을 섭취하는 2살 된 어린이를 최종적인 수용체로 가정하였다. 토양기준은 생태독성학적 사항을 고려하지 않았기 때문에, 생태독성학적 문제가 중요하고 특별한 경우에 적용하기 위해 따로 생태독성질 기준을 수립하였다 (표3-2-35).

표3-2-35. 덴마크 민감지역의 토양기준, 환경독성기준, 배경농도 및 Cut-Off 기준

(단위 : mg/kg dry weight)

오염물질	토양질 기준	환경독성 기준	배탕농도	Cut-off 기준
As	20 ^{1),2)}	10	2~6	20 ¹⁾
Cd	0.5 ²⁾	0.3	0.03~0.5	5 ²⁾
Cr(Total)	500	50	1.3~23	1,000
Cr(VI)	20	2	-	-
Cu	500 ¹⁾	30	13	500 ¹⁾
Pb	40 ²⁾	50	10~40	400 ²⁾
Hg	1	0.1	0.04~0.12	3
Mo	5	2.0	-	-
Ni	30 ¹⁾	10	0.1~50	30 ¹⁾
Zn	-	-	-	1,000
Acetone	8			
Benzene	1.5* ²⁾			
BTEX, total	10* ²⁾			
Chloroform	50* ²⁾			
Chlorophenols, total Pentachlorophenol	3* ²⁾ 0.15*	0.01 0.005		
Cyanide, total Cyanide, acid volatile	500 10* ²⁾			
DDT	1			
Detergents, anionic	15,000 ²⁾	5		
1,2-dibromomethane	0.02 ²⁾			
1,2-dichloroethane	1.4 ²⁾			
1,1-dichloroethylene	5 ²⁾			
1,2-dichloroethylene	85 ²⁾			
Dichloromethane	8 ²⁾			

표3-2-35. 덴마크 민감지역의 토양기준, 환경독성기준, 배경농도 및 Cut-Off 기준

(단위 : mg/kg dry weight)

오염물질	토양질 기준	환경독성 기준	바탕농도	Cut-off 기준
Fluorides, inorganic	20 ¹⁾			
Gas oil Total hydrocarbons (C5-C35) ⁵⁾	100			
MTBE	500 ²⁾			
Nitrophenols				
Mono-	125 ²⁾			
Di-	10 ²⁾			
Tri-	30 ²⁾			
PAH, total	1.5 ^{2),3)}	1.0		15 ²⁾
Benzo(a)pyrene	0.1 ²⁾	0.1		1 ²⁾
Dibenzo(a,h) anthracene	0.1 ²⁾			1 ²⁾
Petrol (C5-C10)	25*			
Petrol (C9-C16)	25*			
Phenols, total	70* ¹⁾			
Phthalates, total	250 ²⁾	1		
DEHP	25 ²⁾			
Styrene	40* ²⁾			
Turpentine, mineral (C7-C12)	25*			
Tetrachloroethylene	5* ²⁾			
Tetrachloromethane	5* ²⁾			
1,1,1-trichloroethane	200 ²⁾			
Trichloroethylene	5* ²⁾			
Vinyl chloride	0.4* ²⁾			

Note: For several substances (marked *), criteria for evaporation are stated.

1) Based on acute effect.

2) Based on chronic effect.

3) PAH, total defined66 as the sum of individual components: fluoranthene, benzyl(b+j+k)fluoranthene, benzyl(a)pyrene, dibenzyl(a,h)anthracene, and ideno(1,2,3-cd)pyrene.

4) For hydrocarbons greater than C35

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

바. 캐나다

캐나다의 토양질기준은 1991년에 수립되었다. 토양질기준은 잠정적 평가기준과 잠정적 정화기준을 제공하고 있다. 토양질의 잠정적 평가기준에 의한 토양오염관리는 토양 중 오염물질의 배경농도 또는 토양오염물질의 분석한계농도를 기준으로 설정하여 이를 유지할 수 있도록 함으로써 추진된 것이다. 오염물질의 농도가 자연함유량 또는 분석한계를 초과할 경우 오염이 우려되는 지역은 위해 물질의 성상을 평가하고 필요한 경우 정밀조사를 하게 되어 있다.

토양오염지역의 잠정적 정화기준은 토양지역을 농업, 주거지·공원용지, 산업지역으로 구분하여 토양오염의 판단기준을 독립적으로 제시하고 이 기준을 초과한 지역의 토양을 정화할 수 있도록 함으로써 추진되었다. 잠정적 정화기준은 일반적인 토양에 적용하기 위한 것으로 지역적 특이성은 고려되지 않는다. 이 기준이 사용된 지역의 경험과 전문적인 판단을 근거로 한 것으로 오염지역의 특별한 사용을 위한 토양보호기준으로 간주할 수 있도록 한 것이다.

표3-2-36. 캐나다의 토양질 기준 지침

오염물질	토지이용			
	농경지	주거/공원	상업	산업
Sb	20	20	40	40
As	12	12	12	12
Ba	750	500	2,000	2,000
Be	4	4	8	8
B	2	-	-	-
Cd	1.4	10	22	22
Cr(Total)	64	64	87	87
Cr(VI)	0.4	0.4	1.4	1.4
Co	40	50	300	300
Cu	63	63	91	91
Pb	70	140	260	600
Hg	6.6	6.6	24	50
Mo	5	10	40	40
Ni	50	50	50	50
Se	1	1	3.9	3.9
Ag	20	20	40	40
Tl	1	1	1	1
Sn	5	50	300	300
V	130	130	130	130
Zn	200	200	360	360

표3-2-36. 캐나다의 토양질 기준 지침

오염물질	토지이용			
	농경지	주거/공원	상업	산업
Benzene	0.05	0.5	5	5
Chlorobenzene	0.1	1	10	10
1,2-Dichlorobenzene	0.1	1	10	10
1,3-Dichlorobenzene	0.1	1	10	10
1,4-Dichlorobenzene	0.1	1	10	10
Ethylbenzene	0.1	1.2	20	20
Benzene	0.05	0.5	5	5
Chlorobenzene	0.1	1	10	10
1,2-Dichlorobenzene	0.1	1	10	10
1,3-Dichlorobenzene	0.1	1	10	10
1,4-Dichlorobenzene	0.1	1	10	10
Ethylbenzene	0.1	1.2	20	20
Styrene	0.1	5	50	50
Toluene	0.1	0.8	0.8	0.8
Xylene	0.1	1	17	20
Chlorophenols ^{e)} (each)	0.05	0.5	5	5
Nonchlorinated ^{d)} (each)	0.1	1	10	10
Nonylphenol	5.7	5.7	14	14
Pentachlorophenol	7.6	7.6	7.6	7.6
Phenol	3.8	3.8	3.8	3.8
Benzo(a)anthracene	0.1	1	10	10
Benzo(b)fluoranthene	0.1	1	10	10
Benzo(k)fluoranthene	0.1	1	10	10
Benzo(a)pyrene	0.1	0.7	0.7	0.7
Dibenz(a,h)anthracene	0.1	1	10	10
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	0.1	1	10	10
Naphthalene	0.1	0.6	22	22
Phenanthrene	0.1	5	50	50
Pyrene	0.1	10	100	100
Chlorinated aliphatics ^{e)} (each)	0.1	5	50	50
Chlorobenzenes ^{f)} (each)	0.05	2	10	10
DDT (total)	0.7	0.7	12	12
Hexachlorobenzene	0.05	2	10	10
Hexachlorocyclohexane	0.05	—	—	—
Polychlorinated dibenzo-p-dioxins/ dibenzofurans (PCDD/Fs)	4 ng TEQ·kg ⁻¹			
Polychlorinated biphenyls (PCBs)	0.5	1.3	33	33

표3-2-36. 캐나다의 토양질 기준 지침

오염물질	토지이용			
	농경지	주거/공원	상업	산업
Tetrachloroethylene	0.1	0.2	0.5	0.6
Trichloroethylene	0.1	3	31	31
Ethylene glycol	97	97	410	410
Ethylene glycol (erratum)	103 ^{h)}	103 ^{h)}	428 ^{h)}	428 ^{h)}
Ethylene glycol	960	960	960	960
Nonchlorinated aliphatics(each)	0.3	-	-	-
Phthalic acid esters (each)	30	-	-	-
Quinoline	0.1	-	-	-
Thiophene	0.1	-	-	-

- a) Guidelines released in 1991 were published in Interim Canadian Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites (CCME 1991). Guidelines released in 1997 were originally published in the working document entitled Recommended Canadian Soil Quality Guidelines (CCME 1997) and have been revised, edited, and reprinted here. Guidelines released in 1999 are published here for the first time. The 1999 guidelines supersede the 1997 guidelines.
- b) An erratum with this change was issued in 1997 to the supporting document for this substance (Environment Canada 1996a).
- c) Chlorophenols include chlorophenol isomers (ortho, meta, para), dichlorophenols (2,6- 2,5- 2,4- 3,5- 2,3- 3,4-), trichlorophenols (2,4,6- 2,3,6- 2,4,5- 2,3,4- 3,4,5-), tetrachlorophenols (2,3,5,6- 2,3,4,5- 2,3,4,6-), pentachlorophenol
- d) Nonchlorinated phenolic compounds include 2,4-dimethylphenol, 2,4-dinitrophenol, 2-methyl 4,6-dinitrophenol, nitrophenol (2-,4-), phenol, cresol
- e) Aliphatic chlorinated hydrocarbons include chloroform, dichloroethane (1,1- 1,2-), dichloroethene (1,1- 1,2-), dichloromethane, 1,2-dichloropropane, 1,2-dichloropropene (cis and trans), 1,1,2,2-tetrachloroethane, tetrachloroethene, carbon tetrachloride, trichloroethane (1,1,1- 1,1,2-), trichloroethene
- f) Chlorobenzenes include all trichlorobenzene isomers, all tetrachlorobenzene isomers, pentachlorobenzene g PCDDs and PCDFs expressed in 2,3,7,8-TCDD equivalents.
- h) An erratum with this change was issued in 1997 to the supporting document for this substance (Environment Canada 1996b)
- (인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

사. 호주

호주는 1990년 초 호주 및 뉴질랜드의 토양 중 토양오염물질의 이동, 분산 등에 대한 광범위한 평가로부터 토양질 기준치가 설정될 때까지 제한적으로 사용되는 토양오염잠정기준이었다. 토양오염잠정기준은 오염이 되지 않은 배경토양에서 오염물질농도, 토양산도와 환경조사 기준 농도를 구분하고 있다. 배경토양의 오염물질농도 (Background: A)는 직접 토양을 분석하여 얻은 오염물질의 농도와 자료를 이용하여 얻은 값이다. 환경조사 기준농도 (Environmental

Investigation: B)는 외국의 기준 및 인체의 위해성평가 자료를 참고로 설정한 수치이다.

표3-2-37. 호주의 토양조사기준 (1999년 이후) (단위 : mg kg⁻¹)

	인체조사기준 Health Investigation Levels (HILs)						환경조사기준 Ecological Investigation Levels (ELs)		바탕 농도
	A	B	C	D	E	F	REIL	Interim Urban	
As (Total)	100			400	200	500		20	1~50
Ba								300	100~3,000
Be	20			80	40	100			
Cd	20			80	40	100		3	1
Cr(III)	12%			48%	24%	60%		400	
Cr(VI)	100			400	200	500		1	
Cr (Total)									5~1,000
Co	100			400	200	500			1~40
Cu	1,000			4,000	2,000	5,000		100	2~100
Pb	300			1,200	600	1,500		600	2~200
Mn	1,500			6,000	3,000	7,500		500	850
Methyl Hg	10			40	20	50			
Hg	15			60	30	75		1	0.03
Ni	600			2,400	600	3,000		60	5~500
V								20	20~500
Zn	7,000			28,000	14,000	35,000		200	10~300
Aldrin + Dieldrin	10			40	20	50			
Chlordane	50			200	100	250			
DDT+DDD+DDE	200			800	400	1000			
Heptachlor	10			40	20	50			
PAHs	20			80	40	100			
Benzo(a)pyrene	1			4	2	5			
Phenol	8500			34000	17000	42500			
PCBs (Total)	10			40	20	50			
Petroleum Hydrocarbon Components (constituents):	90			360	180	450			
>C16 - C35 Aromatics ⁸⁾									
>C16 - C35 Aliphatics	5600			22400	11200	28000			
>C35 Aliphatics	56000			224000	112000	280000			
Boron	3000			12000	6000	15000			
Cyanides (Complexed)	500			2000	1000	2500			
Cyanides (free)	250			1000	500	1250			
Phosphorus								2000	
Sulfur								600	
Sulfate ⁹⁾								2000	

- 1) Human exposure settings based on land use have been established for HILs (see Taylor and Langley 1998). These are:
 - A. 'Standard' residential with garden/accessible soil (home-grown produce contributing less than 10% of vegetable and fruit intake; no poultry): this category includes children's day-care centres, kindergartens, preschools and primary schools.
 - B. Residential with substantial vegetable garden (contributing 10% or more of vegetable and fruit intake) and/or poultry providing any egg or poultry meat dietary intake.
 - C. Residential with substantial vegetable garden (contributing 10% or more of vegetable and fruit intake); poultry excluded.
 - D. Residential with minimal opportunities for soil access: includes dwellings with fully and permanently paved yard space such as high-rise apartments and flats.
 - E. Parks, recreational open space and playing fields: includes secondary schools.
 - F. Commercial/Industrial: includes premises such as shops and offices as well as factories and industrial sites. (For details on derivation of HILs for human exposure settings based on land use see Schedule B(7A).
- 2) Site and contaminant specific: on site sampling is the preferred approach for estimating poultry and plant uptake. Exposure estimates may then be compared to the relevant ADIs, PTWIs and GDs.
- 3) Site and contaminant specific: on site sampling is the preferred approach for estimating plant uptake. . Exposure estimates may then be compared to the relevant ADIs, PTWIs and GDs.
- 4) These will be developed for regional areas by jurisdictions as required.
- 5) Interim EILs for the urban setting are based on considerations of phytotoxicity, ANZECC B levels, and soil survey data from urban residential properties in four Australian capital cities.
- 6) Background ranges, where HILs or EILs are set, are taken from the Field Geologists Manual, compiled by D A Berkman, Third Edition 1989. Publisher The Australasian Institute of Mining & Metallurgy. This publication contains information on a more extensive list of soil elements than is included in this Table. Another source of information is Contaminated Sites Monograph No. 4: Trace Element Concentrations in Soils from Rural & Urban Areas of Australia, 1995. South Australian Health Commission.
- 7) Valence state not distinguished expected as Cr (III).
- 8) The carbon number is an equivalent carbon number based on a method that standardises according to boiling point. It is a method used by some analytical laboratories to report carbon numbers for chemicals evaluated on a boiling point GC column.
- 9) For protection of built structures.

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-38. 호주 및 뉴질랜드의 토양환경기준 (1992년)

(단위 : mg kg⁻¹)

		Background 농도 (A)	환경조사기준 (B)
중금속	안티몬 (Sb)	4~44	
	비소 (As)	0.2~30(a)	20
	바륨 (Ba)	20~200	20
	카드뮴 (Cd)	0.04~2	
	크롬 (Cr)	0.5~110*	3
	코발트 (Co)	2~170	50
	구리 (Cu)	1~190**	
	납 (Pb)	< 2~200	60
	망간 (Mn)	4~12, 600	300
	수은 (Hg)	0.001~0.1	500
	몰리브덴 (Mo)	< 1~20	1
	니켈 (Ni)	2~400	
	주석 (Sn)	1~25	60
	아연 (Zn)	2~180	50
광물 오염물질	붕소 (B)	1~75	
페놀성 화합물	페놀	0.03~0.5	
Monocyclic 방향족 탄화수소 (MAH)	벤젠	0.05~1	1
	톨루엔	0.1~1	
Pocyclic 방향족 탄화수소 (PAH)	PAH (total)	0.95~5	
염화탄화수소계	PCBs (total)	0.02~0.1	1
제초제	Aldrin	<0.001~<0.05	
	Dieldrin	<0.005~<0.005	0.2
	DDT	<0.001~0.97	
기타	황산염	35~1000	2000
	pH	6~8	

** 알려진 과수원 토양에서 제외된 것

* 가능한 과소평가된 것임.

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

아. 스웨덴

스웨덴은 토양오염부지를 인체 및 환경위해성에 따라 분류한다. 분류 시 고려되는 요소는 오염물질의 위해성 (화학 및 물리적 특성), 오염물질 농도, 이동 가능성 (토양의 특성과 지하수의 순환과 관련), 부지의 민감성 (인체노출의 위험성), 부지의 보호가치 등이다. 이러한 요소들에 의하여 오염부지는 오염의 영향이 거의 없는 부지, 중간정도의 오염부지, 오염된 부지, 심각한 29 오염부지 등 4단계로 구분된다. 문제의 지역이 지역적인 오염원에 의해 영향을 받는 정도를 알려주는 참조기준에 따라 4단계는 다른 환경질 평가기준이 적용된 5단계와 부분적으로 연계된다. 부지의 오염수준 평가는 오염부지의 현재상태의 평가 (Guideline value 기준), 참고기준 (reference value, 자연상태의 물질농도)의 초과정도, 오염물질의 양, 오염된 매체의 부치 등을 종합하여 최종적으로 평가된다 (표3-2-39, 표3-2-40).

표3-2-39. 스웨덴의 토양질 기준

(단위 : mg kg⁻¹, dry substance)

Items	Guideline Values	Reference Values		
		Geological Survey (Moraine)	Environ. Prot. Agency	
			Moraine	Sedimentary soils
As	15	10	10	7
Pb	80	20	25	25
Cd	0.4	?	0.3	0.15
Co	30	10	10	15
Cu	100	25	25	30
Cr	120	?	30	45
Cr(VI)	5	—	—	—
Hg	1	?	0.1	0.2
Ni	35	20	25	30
V	120	?	40	60
Zn	350	60	70	100

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-40. 스웨덴의 토양질 기준

(단위 : mg kg⁻¹, dry substance)

Items	Guideline Values	Items	Reference Values
Total cyanide (only valid if accessible cyanide is not present)	30	Total extractable aliphatic substances	80
Accessible cyanide	1	Total extractable aromatic substances	30
Phenol + cresol	4	Non-polar aliphatic hydrocarbons	13
Sum of chlorophenols, excl. pentachlorophenol	2	Toluene	0.5
Pentachlorophenol	0.1	1,1,1-trichloroethane	0.3
Sum of mono- and dichlorobenzenes	15	Trichloromethane	0.9
Sum of tri-, tetra- and pentachlorobenzenes	1	Total chloroaliphatic hydrocarbons	1
Hexachlorobenzene	0.05	Phenanthrene	0.5
Total PCB	0.02	Benzo(a)anthracene	0.4
Dioxins, furans, co-planar PCBs (as TCDD equivalents)	10 ng/kg d.w.	Benzo(a)pyrene	0.4
Dibromochloromethane	2	Benzo(g.i.h)perylene	0.4
Bromodichloromethane	0.5	Indeno(c.d)pyrene	0.4
Carbon tetrachloride	0.1	Pyrene	0.6
Trichloromethane	2	Chrysene	0.5
Trichloroethylene	5	Fluoranthene	1
Tetrachloroethylene	3	Benzo(k)fluoranthene	0.4
1,1,1-trichloroethane	40	Benzo(b)fluoranthene	0.7
Dichloromethane	0.1	PAHs (sum of 16)	5
2,4-dinitrotoluene	0.5	Carcinogenic PAHs (sum of 7)	2.5
Benzene	0.06	Other PAHs (sum of 9)	2.7
Toluene	10	EGOM (mg org. C/kg dry weight)	1
Ethylbenzene	12	PAH-screening (mg PAH equiv./kg dry weight)	10
Xylene	15	EOX (mg Cl/kg dry weight)	0.2
Carcinogenic PAHs (sum of 7)	0.3	HEGOM (mg Cl/kg dry weight)	0.2
Other PAHs (sum of 9)	20	Cell test EROD (ng TEQ/g dry weight)	5
Aliphatic hydrocarbons, C6-C16	100		
C17-C35	100		
Sum of toluene, ethylbenzene and xylene	10		
Aromatic hydrocarbons, C9-C10	40		
C11-C35	20		
MTBE	6		
1,2-dichloroethane	0.05		

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

자. 일본

일본은 금속광산의 카드뮴 유출로 쌀 중의 중금속 농축과 지하수 오염으로 인해 Itaitai 병이 1972년에 토양관리를 위한 농경지 토양오염 방지법을 제정하였다. 또한 시가지 토양오염대책확정치침 (1986), 토양오염에 관한 환경기준 (1991)과 국유지에 관한 토양오염대책지침 (1992)을 제정하였는데, 인체의 건강을 보호하고 농작물의 생육저해 방지 등 생활환경보전을 목적으로 토양의 이용·용도에 따라 농경지와 시가지로 구분하고 있다.

농작물을 보호하기 위하여 작물재배제한 기준으로 문제시 되고 있는 중금속 Cd, Cu, As의 3가지 항목에 대해 기준을 표3-2-41와 같이 설정하여 관리하고 있다. Cd의 경우는 농경지에서 재배하고 있는 현미중의 농도를 기준으로 인체 위해성의 입장에서 고려하였고, Cu와 As는 농경지 토양중의 농도를 기준으로 농작물 생육저해 방지를 목적으로 하고 있다. 특히 Cd와 Cu의 오염은 주로 관개용수에 의해 발생하기 때문에 논을 대상으로 하고, As의 오염은 밭을 대상으로 설정하였다 (한정상, 1998).

표3-2-41. 일본 농경지 오염물질의 오염판단 기준

Items	규제농도	조사방법
Cd	현미 중 Cd 농도가 1 ppm 이상	전량분석
Cu	현미 중 Cu 농도가 125 ppm 이상	0.1 N HCl 추출
As	현미 중 As 농도가 15 ppm 이상	0.1 N HCl 추출

자료 : 일본환경청, 1988. 농경지 토양오염방지에 관한 법률
(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

일본의 시가지 관리는 1986년 시가지 토양오염대책 확정지침에서 수질환경기준 항목인 중금속과 유해화학물질에 대한 기준을 설정하여 관리하고 있다. 현재의 토양오염 실태와 위해성, 그리고 지하수 오염방지 등 인체 건강상의 보호를 목적으로 하여 종합적으로 고려하여 설정된 기준을 표3-2-42에 나타내었다. 표 3-2-42에 나타나 있는 환경기준은 오염이 자연적 원인에 의한 것이 분명하다고 인정되는 장소나 원재료의 토적장, 폐기물 매립장, 기타 항목에 관한 물질의 이용 또는 처분을 목적으로 하여 집적하고 있는 시설에 관한 토양에 대해서는 적용하지 않고 있다.

표3-2-42. 일본 시가지 토양환경 기준

Items	기 준
Cadmium	용출기준 : 0.01 mg L ⁻¹ 이하, 농경지 기준 : 현미 ; 1 mg kg ⁻¹ 이하
Lead	용출기준 : 0.1 mg L ⁻¹ 이하
Chromium (+6)	용출기준 : 0.05 mg L ⁻¹ 이하
Arsenic	용출기준 : 0.01 mg L ⁻¹ 이하, 농경지(논) 기준 : 15 mg kg ⁻¹ 이하
Mercury (total)	용출기준 : 0.0005 mg L ⁻¹ 이하
Mercury (alkyl)	ND
Copper	농경지(논) 기준 : 125 mg kg ⁻¹ 이하
Selenium	용출기준 : 0.01 mg L ⁻¹ 이하

자료 : 일본환경청, 1986. 시가지 토양오염대책 확정지침

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

2-3. 토양오염기준설정 중금속의 종류

오염토양이란 국가에 따라 토양에 한정하거나 지하수까지 포함하여 규정하고 있으며, 오염토양을 토양에 한정하고 있는 국가들도 오염지역의 효율적인 관리 측면에서 대부분 지하수와 연계하여 관리하고 있다. 우리나라는 오염토양에 대한 명확한 규정은 없으나 토양과 지하수의 오염방지를 위해 각각의 개별법으로 관리되고 있다. 그러나 최근 토양 및 지하수의 효율적 관리를 위해 토양 및 지하수 기준을 재개정시 연계를 검토하고 있으며, 토양측정망과 지하수 수질측정망의 연계 등 통합적인 관리를 위한 검토를 추진하고 있다.

우리나라의 「토양환경보전법」에서 규제하고 있는 토양오염물질의 종류는 16종류가 있다. 그 중에 중금속은 8종류이다. 현재 토양환경보전법에서는 오염물질로 포함되어 있지 않으나 생물체에 미치는 영향이 크고 사용량이 많은 물질과, 우리나라에서는 심각하게 문제시 되고 있지 않으나 잠재적으로 토양이나 지하수를 오염시킬 가능성이 있는 물질을 포함시킴으로써 향후 이들 오염물질에 의한 토양오염문제 발생을 대응하기 위한 시료의 분석도 포함해야 할 것이다(환경부, 1999).

우리나라 토양오염기준에서 나타나고 있는 문제점과 이를 해결하고자 새로운 토양오염물질을 추가하고자 하는 연구들이 진행되었는데, 「오염토양 복원기술 및 제도발전에 관한 연구용역」(환경부, 1998)에서는 Ni, Zn, Se을 「효율적인 토양오염조사체계 구축방안 연구」(환경부, 1999)에서는 Ni, Zn, Se, An, Sb을 제시하고 있다. 이 중 Ni, Zn은 2002년에 토양오염물질로 추가되었다.

토양오염물질 중 중금속에 대한 외국의 법과 제도 및 우리나라의 「토양환경보전법」에서 다루어지고 있는 중금속 종류는 외국의 토양오염기준과 먹는물로 지하수를 대부분 이용하고 있는 제주의 여건을 감안할 때 Se를 토양오염 기준 항목으로 추가를 고려해야 할 것이다. 「우리나라 토양오염기준의 평가분석 및 발전방안에 관한 연구」(김경숙, 1999)에서도 중금속 중에 Se을 토양오염물질로 추가할 것을 제시하고 있다.

Se은 유리제품이나 고무산업 및 합금산업, 사진 인화 등에서 사용된다. 이것은 화학적으로나 생리학적으로 비소와 비슷하기 때문에 강한 독성이 있으며, 자연 중에 포함되어 있는 광물로 아연과 같은 금속에 불순물로써 함유되어 있기도 하다. 우리나라에서는 실제적으로 토양이나 농작물 중 Se 오염에 대한 관련 자료가 거의 전무한 실정이지만, 각종 산업용으로 많이 사용되고 있어 토양을 오염시킬 가능성이 있는 물질로 판단된다(김경숙, 1999).

향후 토양오염물질로 토양오염기준을 추가하기 위해서는 정해진 절차에 의해 평가한 후 행정적인 조치가 이루어 져야 할 것이다. 그래서 본 연구에서는 향후에 추가될 것을 고려해서 Se, Sb에 대해서 조사를 실시하고자 하며, 우리나라 및 외국의 토양오염물질(중금속)은 표3-2-43와 같다.

표3-2-43 국내 및 외국의 토양오염물질 종류

중금속	우리나라		미국 (SSL)	일본	영국	독일	네덜란드	덴마크	캐나다	호주	스웨덴
	토양	먹는물									
Cd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
As	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alkyl Hg	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
Methyl Hg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
Pb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni	0	-	0	-	0	0	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0
Cr(III)	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-
Cr(VI)	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0
Cr(IV)	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Cr	-	-	0	-	0	0	0	0	0	0	0
Se	-	0	0	0	0	-	0	-	0	-	-
Fe	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	-	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-
Al	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	-	0	-	-	0	-	-	-	0	-	-
Be	-	-	0	-	-	-	0	-	0	0	-
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tl	-	-	0	-	-	0	0	-	0	-	-
Ba	-	-	0	-	-	-	0	-	0	0	-
Co	-	-	-	-	-	-	0	-	0	0	0
Sb	-	-	0	-	-	-	0	-	0	-	-
Mo	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-
Te	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	0	-	0	-	-
V	-	-	0	-	-	-	0	-	0	0	0
Ag	-	-	0	-	-	-	0	-	0	-	-
계	8종	12종	16종	7종	11종	9종	19종	10종	20종	16종	11종

외국의 토양환경기준은 토지의 이용 목적에 적합한 토양질의보전과 지하수오염방지정책 등에 연관되어 추진되고 있다. 또한 토양질기준과 위해성평가를 연계하여 운영하고 있으며, 같은 오염물질이라도 분석방법의 차이로 인해 나오는 결과는 상당한 차이를 보이고 있다. 토양 중 중금속 분석을 위해서 전함량분석을 한다면 외국과의 토양오염현황의 분석 및 평가가 체계적으로 이루어 질 것이다. 즉, 우리나라에서는 전함량분석을 위한 산분해법으로 공정시험법이 변경

된 것은 2010년이며, 특히 농업분야에서의 토양분석은 주로 산용출법을 활용하였으므로 이들 두 분석법의 차이에 따른 동일 토양에서의 함량도 차이가 있게 된다. 향후 산분해법을 통한 전함량분석으로 모든 토양의 중금속 자료를 통일한다면 외국의 사례와도 일치시키는데 큰 도움이 되며, 아울러 외국의 자료를 참고하는데도 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

표3-2-44. 국가별 토양오염물질의 수

구분	내역
연방정부	○ 총 117개 물질에 대한 오염 판단기준 : 유기물 101개, 무기물 16개
매사추세츠	○ Massachusetts Contingency Plan의 토양질 기준 : 115개 물질 제시
뉴저지	○ 토양정화기준 : 109개
미국	○ 토양정화기준 : 150개 물질 (VOCs 39개, sVOC 58개, 농약/PCBs 29개, 중금속 포함 무기물질 22개, 기타 2개 물질) 제시
	○ 토양정화기준 : 150개 물질 (VOCs 39개, sVOC 58개, 농약/PCBs 29개, 중금속 포함 무기물질 22개, 기타 2개 물질) 제시
텍사스	○ 토양정화기준 : 596개 물질에 대한 토양기준 제공
캘리포니아	○ 600여 화학물질에 대해 캘리포니아주의 오염토양 복원기준과 토양 선별 기준인 Cal-Modified PRGs을 제시
영국	○ 환경법 1995에 의거하여 토양오염 안내기준 (Soil Guideline Values) 제시 : 2003년 중금속 7개 - 추가적인 오염물질에 대한 SGV가 지속적으로 연구되고 있어 SGV 항목이 2005년부터 55개 물질로 확대
네덜란드	○ 토양보호법에 의거 토양질 기준 (74개) 및 복원기준 (81개) 제시 - 토양정화기준 : 중금속 12개, 무기물질 4개, 방향족물질 10개, 다중방향족 물질 10개, 염소계 탄화수소 18개, 농약성분 13개, 기타 7개 물질 - 오염토양 복원기준 : 중금속 12개, 무기물질 6개, 방향족물질 10개, 다중방향족 물질 10개, 염소계 탄화수소 18개, 농약성분 19개, 기타 6개
독일	○ 토양오염물질의 종류 - 직접 접촉경로의 경우 중금속 7개, 유기물 7개 - 농작물에 의한 접촉의 경우 중금속 5개, 유기물 1개 - 지하수 오염유발의 경우 무기물 17개, 유기물 10개
덴마크	○ 인체에 대한 독성만을 고려하여 43개 물질에 대해 토양정화 기준 제시 ○ 토양오염지역의 복원이나 굴착을 통해서 토양오염이 예상될 것으로 간주될 수 있는 토양오염지역에 관한 10개 물질에 대한 Cut-off 기준이 있음
캐나다	○ 무기물질 31개, Monocyclic Aromatic Hydrocarbons (MAH) 9개, 페놀류 5개, 다중고리 방향족 화합물 (PAHs) 9개, 유기인 화합물 9개, 기타 유기물질 7개, Conductivity, pH, Sodium adsorption ratio에 대한 기준 제시
호주	○ 중금속 16개, 유기물질 11개, 기타 6개 물질에 대해 기준 제시
스웨덴	○ 중금속 11개, 중금속외의 무기물질 2개, 유기물질 23개, 지방족 화합물 2종, 방향족 화합물 3종, 기타 2종에 대해 제시

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

표3-2-45. 토양오염기준의 토지이용 용도 구분

구분	내역
연방정부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 토양부지를 이용 용도별로 i)주거지역, ii)비주거지역 (상업/산업), iii)공사현장으로 구분하여 토양선별 기준 (SSL)을 설정하고 있음 ○ 각 이용용도별 부지에 대해 i)토양섭취, ii)휘발성물질과 비산먼지의 흡입, iii)오염토양에서 대수층으로 오염물질이 이동하여 오염된 지하수의 섭취 등 3가지 오염물질 노출경로로 구분하여 SSL 제시
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 부지를 지하수의 이용용도 (3가지 구분)와 오염물질에 대한 부지의 민감성 (3가지 구분)에 의한 복합관계인 9가지로 구분 <ul style="list-style-type: none"> - 지하수 이용에 따라 대상 부지를 i)음용수 (GW-1), ii)실내공기로 이동 가능한 경우 (GW-2), iii)지표수로 배출되는 지하수 (GW-3)로 구분함 - 오염부지는 오염물질에 대한 노출빈도, 노출강도, 노출되는 사람들의 몸무게에 따라 i)토양오염에 민감한 용도 및 접근하기 쉬운 부지 (S-1), ii)중간 정도의 노출 (S-2), iii)접근이 제한된 부지 (S-3)로 구분 ○ 예컨대, 폐기물 처분지의 경우 지하수는 GW-3에 해당하고, 토양은 S-2에 해당하므로, 이 지역에 적용되는 토양질의 기준은 S-2/GW-3임 ○ 토양 및 지하수의 분류기준이 여러 개가 동시에 적용되는 경우에는 이러한 확인기준 중에서 가장 낮은 것을 적용
미국	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주거지, 비주거지, 지하수 보호지역으로 분류하여 토양정화 기준을 제시
뉴저지	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주거지, 비주거지, 지하수 보호지역으로 분류하여 토양정화 기준을 제시
메릴랜드	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주거지, 비주거지, 지하수 보호지역으로 분류하여 토양정화 기준을 제시
텍사스	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지하수 보호지역의 주거지, 지하수 보호지역의 산업지역으로 구분하여 토양질 기준을 제시
캘리포니아	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주거지 및 산업지로 구분하여 PRG (Preliminary Remedial Goals)를 설정하고 있으며, 지하수로 오염물질이 이동할 수 있는 지역에 대해서는 SSL (Soil Screening Levels)을 제시
영국	<ul style="list-style-type: none"> ○ i)정원이 있는 주거지, ii)정원이 없는 주거지, iii)경작지, iv)상업 및 산업지로 구분하여 토양질 안내 기준 (SGV, Soil Guideline Values)을 제시
네덜란드	<ul style="list-style-type: none"> ○ 토지이용 용도별 토양질 기준 없음 <ul style="list-style-type: none"> - 토양의 다기능성이 유지될 수 있는 절대 기준만 제시
독일	<ul style="list-style-type: none"> ○ 오염물질의 오염경로에 따라 토지의 이용용도를 구분 <ul style="list-style-type: none"> - 토양 오염물질의 오염경로가 토양-인체로 직접 접촉에 의해 되는 경우는 부지를 i)놀이터, ii)주거지, iii)공원/휴양시설 부지, iv)산업/상업부지로 구분 - 토양 오염물질의 오염경로가 토양-식용식물-인체인 경우는 부지를 i)농경지, ii)재배용 정원, iii)초지로 구분 - 토양 오염물질의 오염경로가 토양-지하수-인체인 경우는 부지의 구분이 없이 단일기준을 제시
덴마크	<ul style="list-style-type: none"> ○ 토지이용 용도별 토양질 기준 없음 <ul style="list-style-type: none"> - 토양에서의 오염물질 배경농도, 생태 환경독성 기준, 토양기준만을 제시
캐나다	<ul style="list-style-type: none"> ○ 경작지, 주거지/공원, 상업부지, 산업부지로 4 구분 하여 토양질 기준 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 토양질 기준은 특정한 토지 용도에 따라 이후의 조사 및 복원의 필요성을 평가하기 위한 기준으로써 사용될 수 있음

표3-2-45. 토양오염기준의 토지이용 용도 구분

구분	내역
호주	<ul style="list-style-type: none"> ○ i)전체 면적의 10% 이내에서 작물을 재배하는 지역을 포함하는 주거지 (양계, 가축 사육지가 없을 경우임), ii) 전체 면적의 10% 이상에서 작물을 재배하는 지역을 포함하는 주거지 (양계, 가축사육지가 있을 경우임), iii)전체 면적의 10% 이상에서 작물을 재배하는 지역을 포함하는 주거지 (양계, 가축 사육지가 없을 경우임), iv)공원/휴양시설 지역 및 놀이터, v)산업/산업 부지로 구분하여 토양 조사기준을 제시
스웨덴	<ul style="list-style-type: none"> ○ 토지이용 용도별 토양질 기준 없음 - 토양에서의 reference value와 guideline value만을 제시
ISO	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해당 없음

(인용보고서; 토지 이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003, 환경부)

Ⅲ-3. 농업용수

농업용수를 포함한 수질 중 유해물질 기준은 많은 나라에서 국가별 특성에 따라 설정하여 관리하고 있다 (표3-3-1). 대체로 우리나라 보다는 훨씬 많은 오염물질의 종류가 포함되어 있다. 미국, 유럽, 일본 등의 대부분 국가에서는 국내와 마찬가지로 수질 기준 내에서 등급으로 구분하여 농업용수에 대한 기준을 제시하고 있으며, 캐나다, 중국 등 몇몇 나라에서 농업용수 수질기준을 따로 제시하고 있다 (안 등 2006). 그러나 우리나라의 경우 재배환경과 직접 관련은 없어도 가축용 음용수질 기준은 설정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

표3-3-1. 국가별 용수이용목적 구분현황

국 가	미국	유럽연합	일본	캐나다	호주/뉴질랜드	한국
이용목적구분근거 이용목적	청정수법	유럽연합 이사회지침서	수질 오락 방지법	캐나다 환경질 권고치	ANZECC* 수질 권고치	환경정책 기본법
상수원수 (공공, 수도, 음용수)	◎	◎	◎	◎	◎	◎
수산용수 (fishery)			◎			◎
양식종, 수생식품 소비자					◎	
공업용수	◎		◎			◎
농업용수	◎		◎			◎
관개수, 가축음용수				◎	◎	
자연환경보전			◎			◎
생활환경보전 (심미적인 것 포함됨)			◎			◎
레크리에이션 (수영, 벳놀이) 및 심미	◎			◎	◎	
수영용수		◎	◎			◎
어류, 패류, 수생생물, 야생생물의 보호 및 번식	◎	◎		◎		
항해	◎					

* : The Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC)

3-1. 용수별 수질기준 설정 방안

대부분의 수질준거치 (water quality criteria)는 매체 (물, sediment, biota 등)가 특정 용도로 지속적으로 사용될 경우, 매체에 존재하는 유해물질로부터 유해한 영향을 받지 않는 유해물질의 최대농도에 해당한다. 반면, 용존산소량 같은 경우에는 생물학적인 기능을 가능하게 하는 최소허용농도로 설정된다.

대부분의 산업공정에 이용되는 용수는 요구되는 수질요건이 까다롭지 않으므로 수질준거치는 일반적으로 음용수공급원, 농업용수, 레크리에이션용수 등으로 사용되는 물 또는 생물군집 서식지인 물에 대하여 수립된다. 보통은 이런 수용도 (water use)에 따라 다른 수질요건과 수질준거치가 수립된다. 여기서는 용수별 수질준거치 설정 시의 일반적인 고려사항을 살펴 본 후 각국의 활용 실태를 검토해 보고, 마지막으로 우리나라에서의 용수별 수질기준 설정 방안을 고찰해 보고자 한다.

3-1-1. 용수별 수질준거치 설정 시의 일반적인 고려 사항

1) 상수용수

정수처리 없이 원수를 음용수로 사용하는 일부 개발도상국에서는 무기 및 유기물질뿐만 아니라 미생물에 대한 기준이 필요하다. 원수 (raw water)의 수질준거치는 일반적으로 음용수 준거치를 참고하여 정하며, 저장시설을 거치지 않고 정수처리장에 직접 취수하는 경우에는 음용수준거치와 동일하도록 하는 경우도 있다. 음용수 취수원의 수질준거치는 일반적으로 음용수기준을 달성하기 위한 정수처리방법에 따라 달라진다. 정수처리는 간이처리로부터 고도처리까지 가능한데, 많은 국가가 강변여과 또는 저속여과 등과 같이 거의 자연조건에서 이루어지는 처리와 소독만으로도 음용수기준 달성이 가능한 원수의 수질 확보를 위하여 노력하고 있다.

유럽연합의 회원국은 유럽연합 이사회 지침 75/440/EEC (음용수 원수로서 지표수 수질기준)에 준하여 음용수원의 수질준거치를 정하고 있다. 이 지침은 공공건강에 직결된 항목 (미생물, 인체에 유해한 독성물질 등), 이취미 관련 항목, 수질에 간접적으로 영향을 미치는 항목 (색도, 암모니아), 그리고 일반적인 항목 (온도) 등 총 46개 항목에 대한 준거치를 정하고 있다.

2) 관개용수

저질의 관개수를 사용하게 되면 뿌리에 염류의 축적, 나트륨 또는 칼슘의 과도한 용출로 인한 토양의 투수성 감소, 또는 농작물에 직접적으로 유해병원균이나 오염물질 등으로 인하여 농작물에 영향을 미칠 수 있다. 관개수에 함유된 살충제나 병원균이 농작물의 성장에 직접적으로 영향을 미치지 않더라도 해당 농작물의 판매 및 소비에 영향을 미칠 가능성이 있다.

FAO 그리고 많은 국가에서 관개용수 수질준거치를 정하고 있는데, 관개수의 연간 이용률에 따라 국가별 준거치 간에 큰 차이를 가질 수 있다.

표3-3-2. 관개용수에 대한 수질준거치 (일부) (단위 : mg L⁻¹)

항목	FAO	Canada	Nigeria
Aluminium	5.0	5.0	5.0
Arsenic	0.1	0.1	0.1
Cadmium	0.01	0.01	0.01
Chromium	0.1	0.1	0.1
Copper	0.2	0.2~1.0 ¹	0.2~1.0 ¹
Manganese	0.2	0.2	0.2
Nickel	0.2	0.2	0.2
Zinc	2.0	1.0~5.0 ²	0.0~5.0 ²

¹ Range for sensitive and tolerant crops, respectively.

² Range for soil pH > 6.5 and soil pH > 6.5, respectively.

자료 : FAO, 1985; CCREM, 1987; FEPA, 1991

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

3) 가축용음용수

저질의 물을 가축의 식수로 사용할 경우 가축의 성장장애, 질병, 죽음 등을 초래할 수 있는데, nitrate, sulphate, TDS, 중금속, 살충제와 같은 organic micro-pollutant 등이 고려되는 항목이다. 이외에 청녹조류와 병원균도 문제를 발생시키며, 가축식수에 함유되어 있던 일부 오염물질 또는 분해부산물이 인체에 영향을 미치는 경우도 있다. 따라서 가축용음용수의 수질준거치는 가축과 소비자를 모두 보호할 수 있는 수준이어야 한다.

수질준거치를 정하기 위해서는 특정물질이 각 가축종에게 미치는 독성에 관한 자료 이외에도 일반적으로 가축의 종류, 일일 물 섭취량, 가축의 성장을 촉진

및 질병예방을 위하여 사료에 첨가하는 화학물질의 양 등을 고려한다. 다음은 가축용음용수 수질준거치의 예이다.

표3-3-3. 가축용음용수에 대한 수질준거치 (일부) (단위 : mg L⁻¹)

항 목	Canada	Nigeria
Nitrate plus nitrite	100	100
Sulphates	1,000	1,000
Total dissolved solids	3,000	3,000
Blue-green algae	Avoid heavy growth of blue-green algae	Avoid heavy growth of blue-green algae
Pathogens and parasites	Water of high quality should be used	Water of high quality should be used (chlorinate, if necessary, sanitation and manure management must be emphasised to prevent contamination of water supply sources)

자료 : CCREM, 1987; FEPA, 1991; ICPR, 1991
(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

표3-3-4. 각국의 축산용수 수질준거치

항 목	CANADA, Alberta ¹ (mg L ⁻¹)	Australia/New Zealand ² (mg L ⁻¹)	FAO ³ (mg L ⁻¹)	한국 (지하수) ⁴ (mg L ⁻¹)
Aldicarb	0.011			
Aluminum	5	5	5	0.2
Ammonia (as N)				0.5
Arsenic	0.025	0.5~5	0.2	0.05
Atrazine	0.005			
Beryllium	0.1			
Benzene				0.01
Blue-green algae	과도한 성장을 피함		0.1	
Boron	5	5	5	0.3
Bromacil	1.1			
Bromoform	0.1			
Bromoxynil	0.011			
Cadmium	0.08		0.05	0.005
Calcium	1			
Captan	0.013			
Carbaryl	1.1			0.07
Carbofuran	0.045			
Carbon tetrachloride	0.005			0.002
Chloroform	0.1			

표3-3-4. 각국의 축산용수 수질준거치

항 목	CANADA, Alberta ¹ (mg L ⁻¹)	Australia/New Zealand ² (mg L ⁻¹)	FAO ³ (mg L ⁻¹)	한국 (지하수) ⁴ (mg L ⁻¹)
Chlorothalonil	0.17			
Chlorine				250
Chlorpyrifos	0.024			
Chromium III	0.05		1	
Chromium VI	0.05			0.05
Cobalt	1		1	
Copper	0.5~5	0.4 (sheep), 1 (cattle), 5 (pigs), 5 (poultry)	0.5	1
Cyanazine	0.01			
Cyanine				0.01
Deltamethrin	0.0025			
Dicamba	0.122			
Dibromochloromethane	0.1			
Dichlorobromomethane	0.1			
Dichloroethane(1,2)	0.005			
1,2-Dibromo-3-chloropropane				0.003
1,1-Dichloroethylene				0.003
Diclofop-methyl	0.009			
Dichloromethane				0.02
Diazinon				0.02
Dimethoate	0.003			
Dinoseb	0.15			
Ethylbenzene	0.0024			0.3
Fluoride	1~2	2	2	1.5
Fenitrothion				0.04
Glyphosate	0.28			
Hexachlorobenzene	0.00052			
Iron				0.3
Lead	0.1	0.1	0.1	0.05
Lindane	0.004			
Manganese			0.05	0.3
Malathion				0.25
Mercury	0.003	0.002	0.01	0.001
MCPA	0.025			
Methylene chloride	0.05			
Metolachlor	0.05			
Metribuzin	0.08			
Molybdenum	0.5	0.15		
Nickel	1	1		

표3-3-4. 각국의 축산용수 수질기준치

항 목	CANADA, Alberta ¹ (mg L ⁻¹)	Australia/New Zealand ² (mg L ⁻¹)	FAO ³ (mg L ⁻¹)	한국 (지하수) ⁴ (mg L ⁻¹)
Nitrate+Nitrite	0.1		100	
Nitrate				10
Nitrite	0.01		10	
Parathion				0.06
Phenol	0.002			0.005
Phenoxy herbicides	0.1			
Picloram	0.19			
Selenium	0.05	0.02	0.05	0.01
Simazine	0.01			
Sulphate	1			
Tebuthiuron	0.13			
Tetrachloroethylene				0.01
Toluene	0.024			0.7
TDS	3			
Triallate	0.23			
Tributyltin	0.25			
Trichloroethylene	0.05			0.03
1,1-Trichloroethylene				0.1
Tricyclohexyltin	0.250			
Trifluralin	0.045			
Triphenyltin	0.82			
Uraium	0.2	0.2		
Vanadium	0.1		0.1	
Xylene				0.5
Zinc	50	20	24	1

자료 : 1 Surface Water Quality Guidelines for Use in Alberta, Nov.1999

2 Adapted from university of California Committee of Consultants 1974.

3 ANZECC, ARMC, 2000, Australian and New Zealand Guideline for Fresh and Marine Water Quality

4 우리나라 먹는샘물 (NMW) 수질기준, 환경부

4) 레크리에이션용수

레크리에이션용수 수질기준치는 수영과 기타 수상스포츠에 이용되는 물의 안전성을 판단하는데 사용된다. 주로 분변성 대장균, 소화기질병, 귀·눈·피부 감염을 일으키는 미생물에 의한 수질오염으로부터 인체건강을 보호하기 위함이다. 최근에는 바이러스에 의한 오염을 수질기준치 항목으로 고려하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다.

유럽연합의 경우, 유럽연합 이사회 지침 76/160/EEC (수영용수 지침)에서

생물학적 항목 (총대장균, 분변성 대장균 등을 포함)과 물리화학적 항목 (pH, 미네랄오일, 페놀 등을 포함)에 대하여 권고치와 최대허용값을 정하고 있다. 아울러 동 지침은 부영양화 관련 인자, 중금속, 그리고 organic micro-pollutant에 대한 준거치를 회원국가가 개별적으로 수립하도록 하고 있다.

5) 수생물 보호

전통적인 수질항목으로는 인산염 (phosphate), 암모니아, 질산염 (nitrate), 용존산소량 등이 있다. 중금속과 합성화학물질은 생물체에 의해서 소화 흡수되거나 생물체 피부에 축적될 수 있는데, 일부 물질들은 발암, 생식 및 발생장애를 유발하기도 한다. 캐나다에서는 북미에 서식하는 다양한 어류, 무척추동물과 식물종을 독성실험의 대상으로 사용하며, 독성실험의 LOAEL에 근거하여 준거치를 정하고 있다. 독일의 경우, 일차생산자 (녹조류), 일차소비자 (갑각류), 이차소비자 (어류), 그리고 분해자 (박테리아)에 대한 독성실험 자료를 이용하고, 이외에 다양한 환경매체에 걸친 이동과 분포, fish tainting 등에 관한 자료를 이용하고 있다.

최근에는 생태계 개념을 도입하여 건강한 생태계를 나타내는 준거치를 설정하려는 움직임이 있다. 전통적인 준거치 이외에 서식종의 상태와 생태계의 구조와 기능을 통틀어 나타낼 수 있는 새로운 준거치 설정에 대한 연구가 진행되고 있는데, 수생 군집 구조와 기능으로써 수질을 정량적으로 표현하는 biocriteria의 개발이 그 예이다. 영국에서 수생 생태계 보호를 위한 수질준거치는 생태질지수 (ecological quality index)에 기초를 두고 있으며 일부국가에서는 생태계 보전상태의 지표로 이용될 수 있는 핵심 생물종을 찾는 연구를 진행 중이다.

6) 낚시 용수

낚시용수와 관련한 수질준거치는 특히 연쇄먹이사슬을 통한 생물축적과 상위 영양단계에서의 생물농축을 고려하고 있다. FAO European Inland Fisheries Advisory Commission이 이와 관련한 가이드라인을 발표한 예가 있으나 수질 기준으로 정하여 적용하는 경우는 드물다.

7) 부유입자상물질과 퇴적물

일부 국가가 이와 관련된 수질기준을 수립하려고 하는 목적은, 수질을 개선하여 그 준설토로 토양을 개선하고 농지에 살포할 수 있도록 하며 퇴적물에 서식하는 생물과 연결된 먹이사슬을 보호하기 위해서이다.

퇴적물에 대한 기준 수립은 아직 초기 단계라 현재에는 수개의 기준치만이 존재할 뿐이다. 네덜란드의 경우 International Commission for the Protection of the Rhine against Pollution 후원으로 부유물질의 중금속에 대한 기준치를 수질기준치로 변환한 것을 예로 들 수 있으며 수질환경기준으로 도입하는 경우 역시 드물다.

3-1-2. 외국의 수질준거치 제정/개정 절차

국의 수질 환경 준거치는 지속적으로 건전한 수생태계를 유지하고 이수목적에 적합한 수질을 유지·확보하기 위한 목표 아래 수질오염에 대해 인간의 건강보호, 생활환경을 보전하고 유지하는데 바람직한 준거치로 설정되고 있다. 특히 최근 들어 다양한 종류의 합성화학유해물질이 각종 산업 및 일반생활에까지 사용되고 있으며 곳곳에서 이들 물질이 수생태계와 인체에 미치는 영향이 규명되고 있다. 이미 선진국에서는 이러한 물질을 관리하기 위한 수질 환경 준거치를 꾸준히 개정·보완하고 있으며 규제기준으로 이용되어 행정상의 목표로서 환경기준이 달성될 수 있도록 뒷받침되고 있다.

가. 미국

미국에 있어서 수질기준치의 근거가 되는 규정은 청정수법 (Clean Water Act: CWA)이라고 불리는 <연방수질오염규제법> (Federal Water Pollution Control Act)이다. 청정수법에는 “water quality criteria”와 “water quality standards”의 두 가지 용어가 사용되고 있다. 새로운 기준치를 유도하거나 기존에 있던 기준치를 재평가할 때 U.S. EPA는 다음과 같은 단계를 따른다.

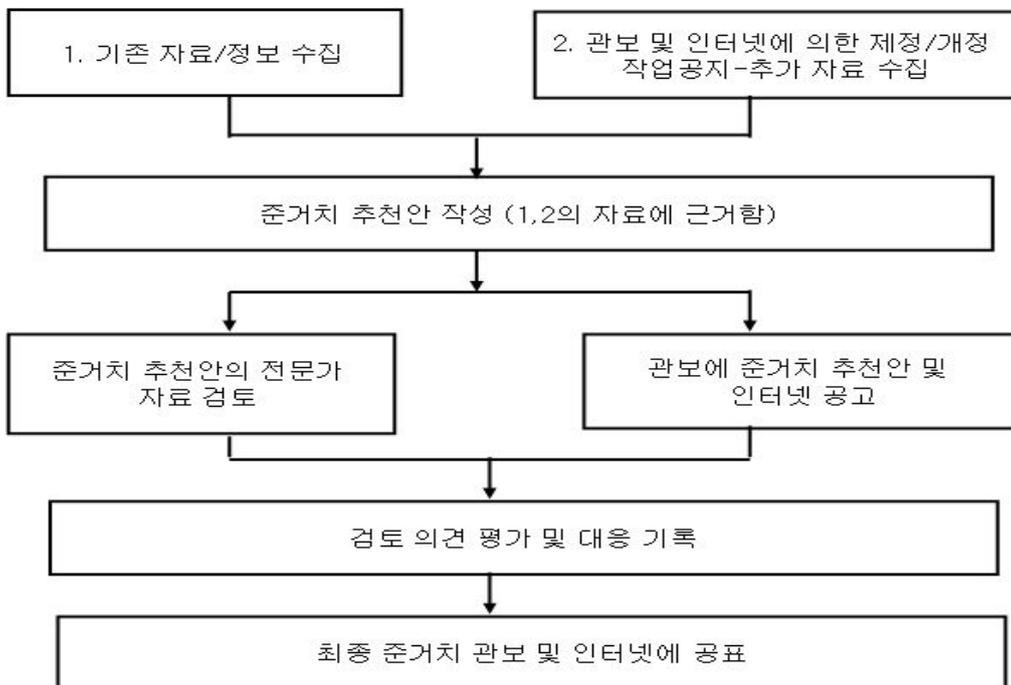


그림3-3-1. 미국 수질 기준치 제정/개정 절차도

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

검토과정 동안에 모든 문제가 해결될 수 있도록 초안을 U.S. EPA 지역사무소에 보내는 것이 권장되며 주요 검토 내용은 다음과 같다.

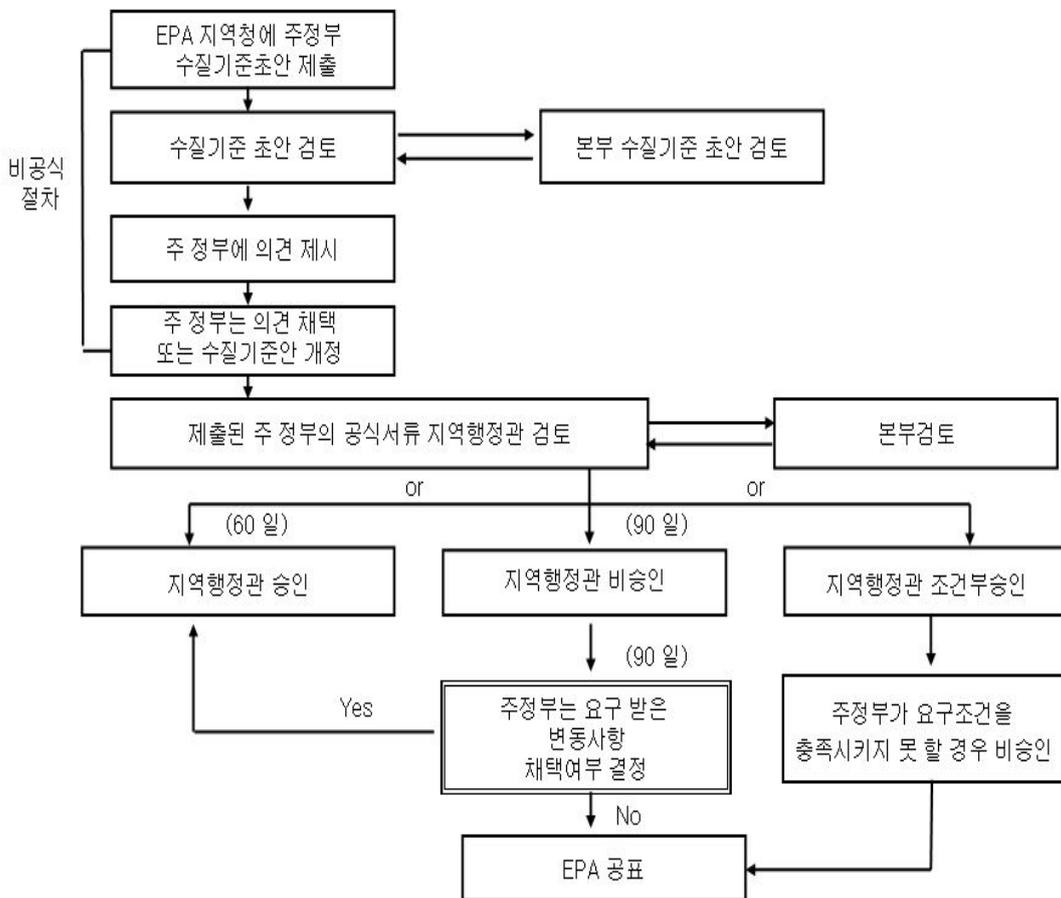


그림3-3-2. 미국 기준치 검토 절차도

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

나. 캐나다

CCME (The Canadian Council of Ministers of the Environment)의 수질 과업전담그룹은 담수 및 해수 생태계 보호, 저질, 동물 조직 잔류물, 농업용에 대한 국가적인 환경질 지침을 개발하는데 있어 책임이 있으며 이의 지침이 캐나다 환경질 지침에 공표된다. CCME에 제시된 “Water quality guideline”은 지정된 물의 용도를 뒷받침하거나 보존하기 위해 권고된, 숫자로 표현된 농도나 서술식의 진술로서 미국의 준거치와 그 의미가 상통한다.

캐나다의 국가적인 환경질 지침을 제정하는 과정은 우선순위를 결정하는 것으로 시작하여 캐나다 환경질 지침 최신판에 공표되기까지 대략 2년 정도 소요되며 그 절차는 다음과 같다.

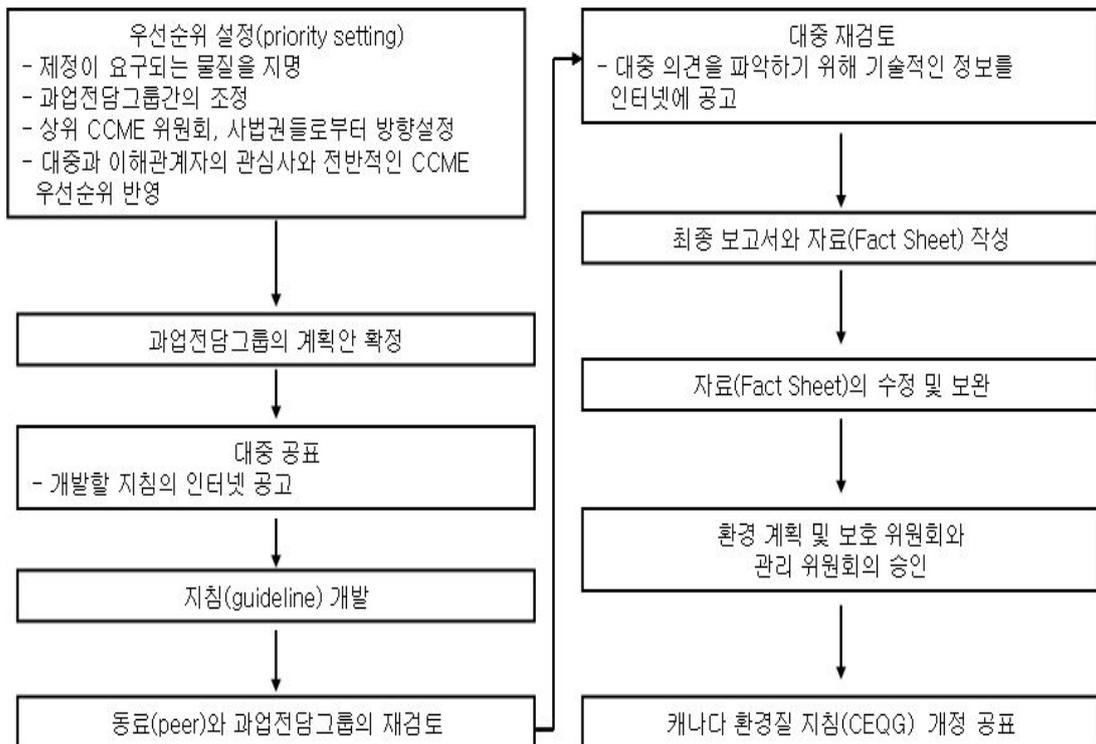


그림3-3-3. 캐나다 환경질 지침 제정/개정 절차도

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

다. 호주/뉴질랜드

호주의 수질 지침은 국가수질관리전략 (National Water Quality Management Strategy (NWQMS))의 일부로 준비되었으며 뉴질랜드의 지속적인 물 관리를 위한 국가 의제사항과 연관된다. 이 지침은 자연 및 준 자연의 수자원에 있어서 환경 중 수질을 안전하게 평가하고 관리하는 일련의 도구를 정부와 일반 집단 (특히 담수/수 관리자, 규정자, 산업계, 자문 및 커뮤니티 그룹 등에 제공한다.

호주 및 뉴질랜드의 환경 및 보존 협의회 (Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, ANZECC) (2000)에 제시되어 있는 수질기준 개정 프로그램의 과정은 다음과 같다.



그림3-3-4. 호주/뉴질랜드 수질 준거치 개정 절차도
 (인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

라. 일본

일본의 규제 설정 및 개정/폐정에 관련된 의견제출 수속으로는 다음과 같다.

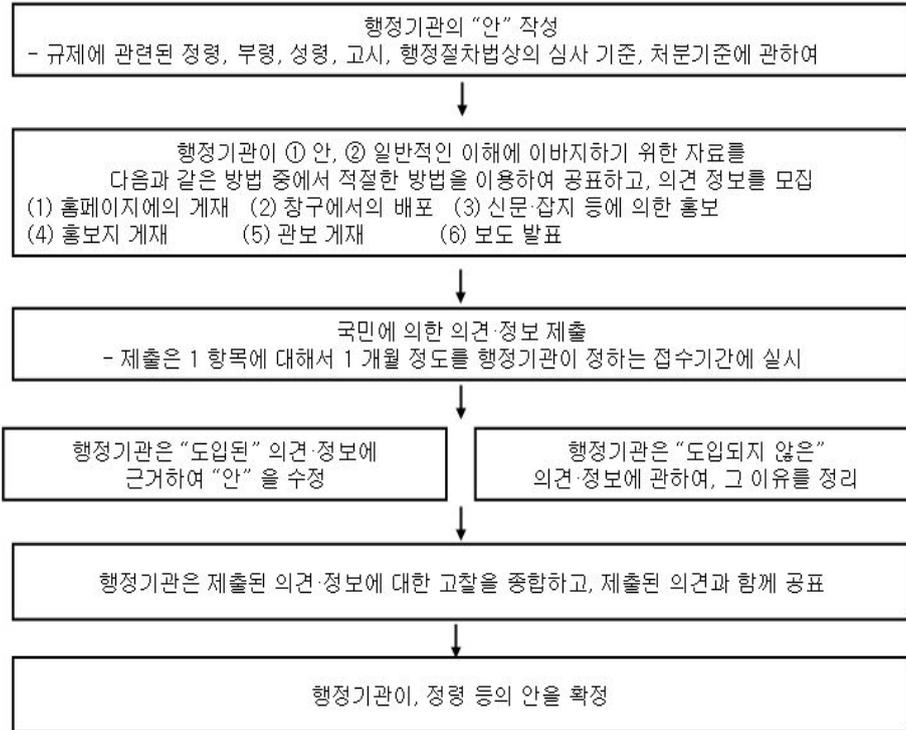


그림3-3-5. 일본의 규제설정 제정/개정 절차도
(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

마. 유럽연합 (EU)

유럽연합의 의사결정 과정은 공동의사결정 (co-decision), 협의 (consultation), 동의 (assent)로 크게 3가지가 있으며, 전체 과정은 다음과 같다.

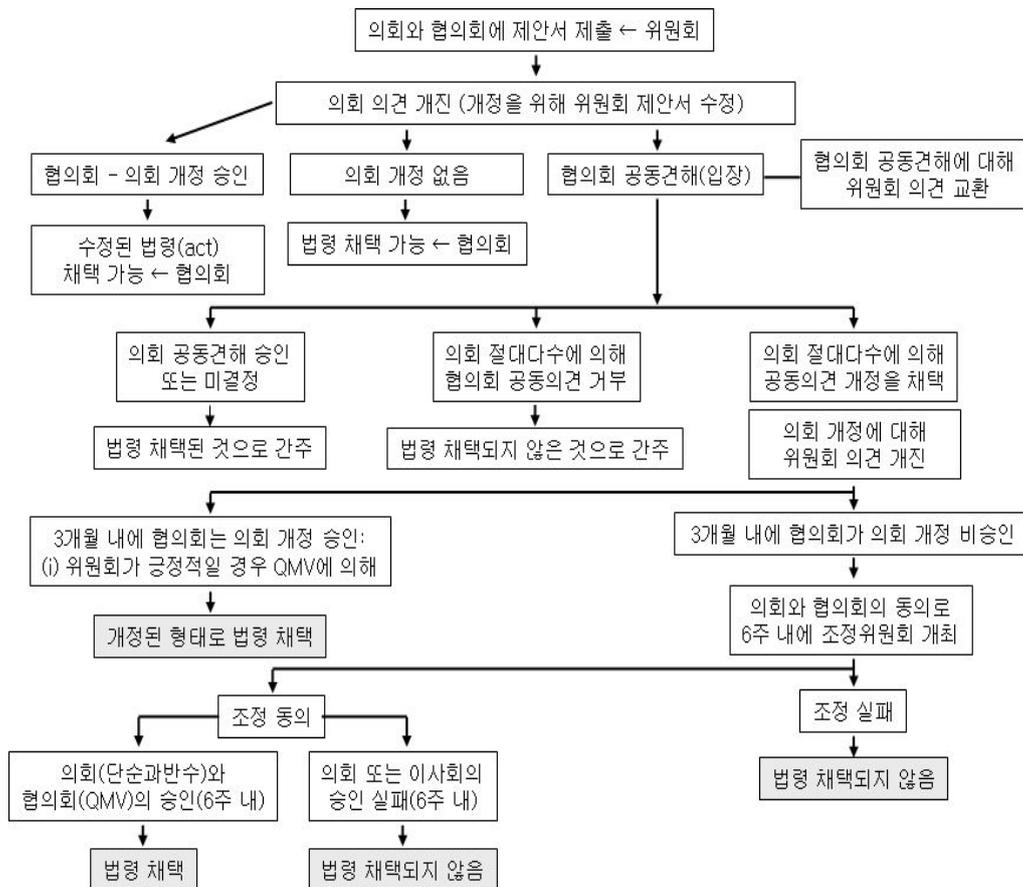


그림3-3-6. EU 공동의사결정 절차도

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

바. 영국

75/440/EEC는 음용수로 공급되는 영국의 강, 호수와 저수지의 수질을 관리하는 지침 중의 하나이며 3가지 주요 목적을 가지고 있다.

- 이론적인 지표수 수질 준거치를 만든다.
- 이론적인 지표수 수질 준거치는 시민에게 물을 공급하기 전에 적절한 처리를 할 수 있도록 책임진다.
- 음용수로 이용되는 지표수의 전반적인 질을 개선시킨다.

사. 독일

독일에서의 물정책의 중요목표는 물의 생태적 균형의 보호와 보전, 음용수와 산업용수의 좋은 품질의 보증 및 충분한 공급, 대중의 흥미를 제공하는 모든 물이용의 보호 (예 : 휴양, 여가용, 항해, 에너지사용)이다.

최근 독일의 물자원 관리는 유럽연합의 새로운 EC Water Framework Directive (2000/60/EC)에 맞추어 연방수법과 물에 관한 법률의 수정에 의해 법적으로 수행되고 있다.

아. WHO

WHO에서는 1984년 먹는 물의 수질에 대한 지침을 정하여 회원국에 권고하였으며 1988년부터 개정작업을 시작하여 1993년에 강화된 지침을 설정하고 이를 각국에 권고하고 있다. WHO에서 이루어지는 음용수 준거치 제정 과정은 다음과 같다

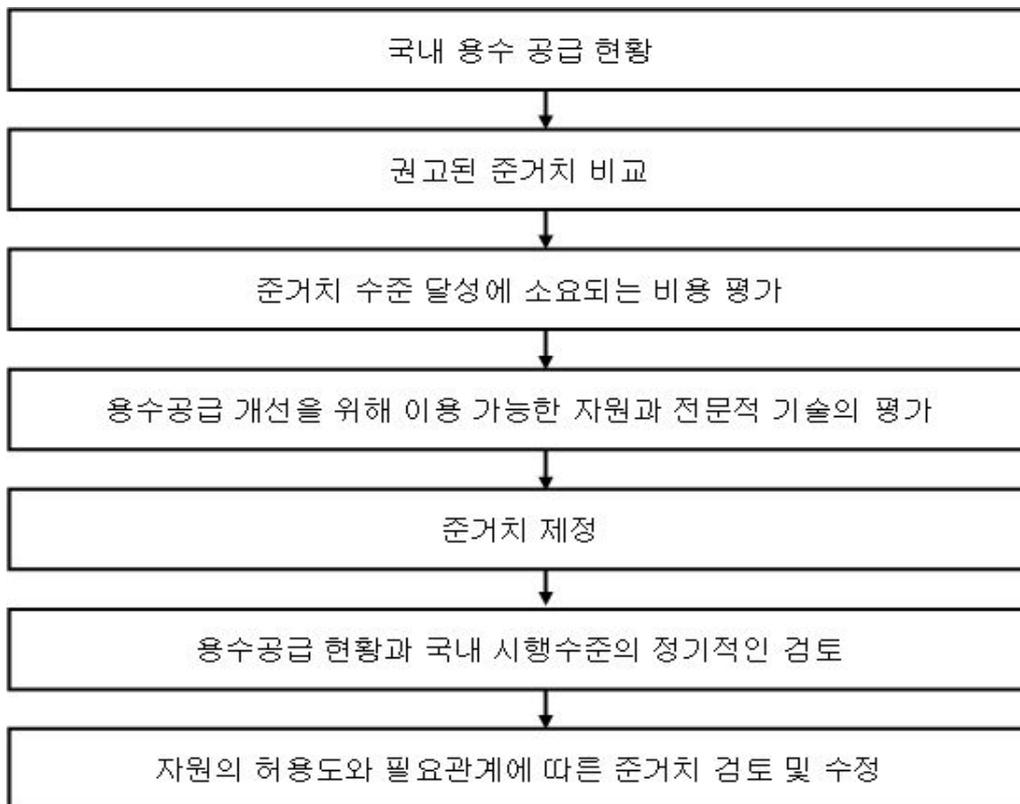


그림3-3-7. WHO 음용수 준거치 제정 절차도

(인용보고서;물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

3-1-3. 외국의 수질준거치 근거

가. 미국

EPA에서 제시하는 수질 준거치는 법적인 구속력이 없는 권고된 수질 준거치로 "the 1980 Guidelines for Deriving Water Quality Criteria for the Protection of Aquatic Life and Its Uses, the 1985 Guidelines for Deriving Numerical National Aquatic Life Criteria for Protection of Aquatic Organisms and Their Uses"의 두 가지 방법론으로부터 유도되었으며, 인체건강 및 수생 생물을 보호하기 위하여 CWA 하에서 수질기준을 설정할 수 있도록 공인된 각 주와 주민들에게 준거치를 제공한다.

1) 수 생태계 보호를 위한 수질 준거치 및 근거

수 생태계 보호를 위한 수질 준거치 설정은 담수 및 해수에서의 오염물질별 급성 준거치 (최고농도: Criteria Maximum Concentration)와 만성 준거치 (지속농도: Criteria Continuous Concentration)를 정하여, pH와 경도에 의존한 계산식에 근거하여 수질 준거치를 설정한다. 인체 건강 보호를 위한 수질 준거치는 물과 유기물소비 (Water+Organism)에 대한 인체 준거치와 유기물만의 소비 (Only Organism)에 대한 인체 준거치를 설정하고 있다.

$$\text{CMC (dissolved)} = \exp\{m_A[\ln(\text{hardness})]+b_A\}(\text{CF})$$

$$\text{CCC (dissolved)} = \exp\{m_C[\ln(\text{hardness})]+b_C\}(\text{CF})$$

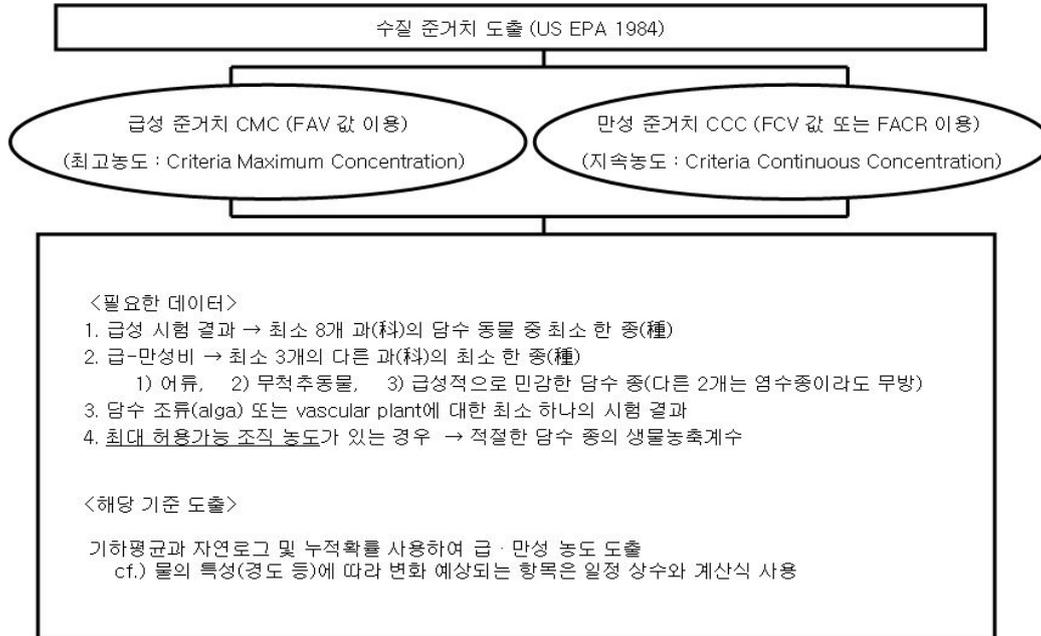
m_A, b_A, m_C, b_C : 각 물질별 해당되는 상수가 있음

CF (conversion factor) : 각 물질별 CMC, CCC에 대한 factor가 있음

물에서 경도에 의존하지 않는 금속의 준거치 설정은 Total recoverable metal로 표현된 기존 CWA 304(a) 수 생태계 준거치를 사용하고, 그 수치에 CF (conversion factor)를 곱하여 평가한다. 또한, 담수에서의 pentachlorophenol의 경우는 물의 pH에 의존하여 일반적으로 pH 7.8을 적용하여 평가한다.

$$\text{CMC (dissolved)} = \exp\{1.005(\text{pH})-4.869\}$$

$$\text{CCC (dissolved)} = \exp\{1.005(\text{pH})-5.134\}$$



Guidelines for Deriving Numerical National Water Quality Criteria for the Protection of Aquatic Organisms and Their Uses (EPA, 1984)

- 8개 과(families)에 속하는 최소 하나씩의 담수 동물 종의 급성시험 결과
 - 1) Osteichthyes 문(class)에 속하는 Salmonidea과(family)
 - 2) Osteichthyes 문(class)에 속하는 2번째 과, 상업 또는 위락용으로 중요한 온수 종 선호(예, bluegill, channel catfish 등)
 - 3) Chordata 문(phylum)에 속하는 3번째 과(Osteichthyes 문에 속하거나 양서류 등)
 - 4) 부유성 갑각류(예, cladoceran, copepod 등)
 - 5) 저생 갑각류(예, ostracod, isopod, amphipod, crayfish 등)
 - 6) 곤충(mayfly, 잠자리, 실잠자리, stonefly, caddisfly, 모기, midge 등)
 - 7) Arthropoda 또는 Chordata 이외의 하나의 문에 속하는 하나의 과 (예, Rotifera, Annelida, Mollusca 등)
 - 8) 어떤 곤충 목(order)이든 또는 이미 언급되지 않은 어떤 문(phylum)이든 이에 속하는 하나의 과(family).

- 각기 다른 적어도 3과(families)에 속하는 동물 종에서의 급-만성비가 아래의 세가지 종에서 제공되어야 함.
 - 1) 적어도 하나는 어류
 - 2) 적어도 하나는 무척추동물
 - 3) 적어도 하나는 급성적으로 민감한 담수 종(다른 둘은 염수 종일 수 있다.)
- 담수 조류(alga) 또는 관다발 식물 : 적어도 하나의 시험 결과 필요
- 최대 허용 조직 농도가 있는 경우, 적절한 담수 종에서 결정된 적어도 하나의 생물농축 인자가 있어야 함(국내 수질 기준 제정의 제한 요인).

그림3-3-8. 미국의 수질 준거치 도출방법
(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

2) 인체 건강 보호를 위한 수질 준거치 및 근거

인체 건강 보호를 위한 수질 준거치 설정근거는 priority, Non priority pollutants 중 발암물질은 발암력 (cancer potency factor; $q1^*$), 비발암물질은 Reference Dose (RfD)를 계산하여 위해성을 산출하는데, 일반적으로 발암물질에는 10^{-6} 에 해당하는 위해성 (risk)을 적용한다. 또한, 10^{-5} 에 해당하는 위해성과 같이 소수점을 이동하여 대체 위해성 수준 (alternative risk level)으로 산출하기도 한다. 여기에 인간이 어류 소비 시에 노출영향이 있는 어류조직의 농축계수 (BCFs), 인간의 어류소비량, 인간이 노출될 수 있는 오염원의 상대 기여도 (Relative Source Contribution; RSC) 등의 다양한 인자들을 고려하고 위해성을 계산하여 준거치를 설정하고 있다.

선형접근과 비선형 접근이라는 개념이 2000년 방법론에 도입되었고, 선형접근은 발암성작용기작 (carcinogenic MOA)을 설명할 수 있는 정보가 불충분하거나 없을 때 적용될 수 있다.

나. 캐나다

1) 수 생태계 수질 준거치 도출 방법

캐나다 환경부는 물질을 선택할 때 국가적 관리대상인 물질 (캐나다환경보호법에 포함된 우선순위 물질 리스트의 오른 물질)을 우선대상으로 하여, 연방/지방 관할구와 논의 후에 물질을 선택한다. 또한, 최종적인 guideline을 도출하기 전에는 반드시 최소한의 독성/환경적 동태에 대한 data set를 갖추는 것이 요구되며, 충분한 정보가 없는 경우는 임시 (interim) guideline이 도출되게 된다.

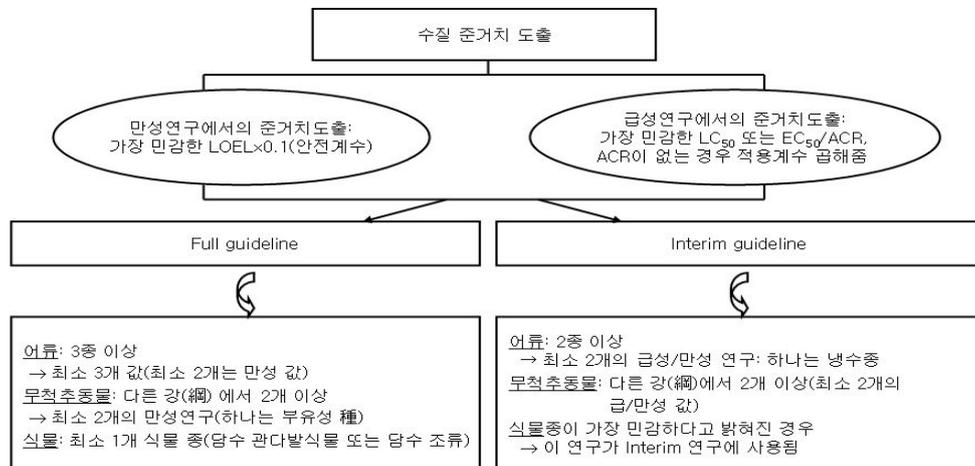


그림3-3-9. 캐나다 수질 준거치 도출 방법

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

2) 인체 건강 보호를 위한 수질 준거치 도출 방법

캐나다는 인체 건강 보호측면에 도움을 주는 수환경 지침으로 음용수와 위락용수 지침서를 제시하고 있다.

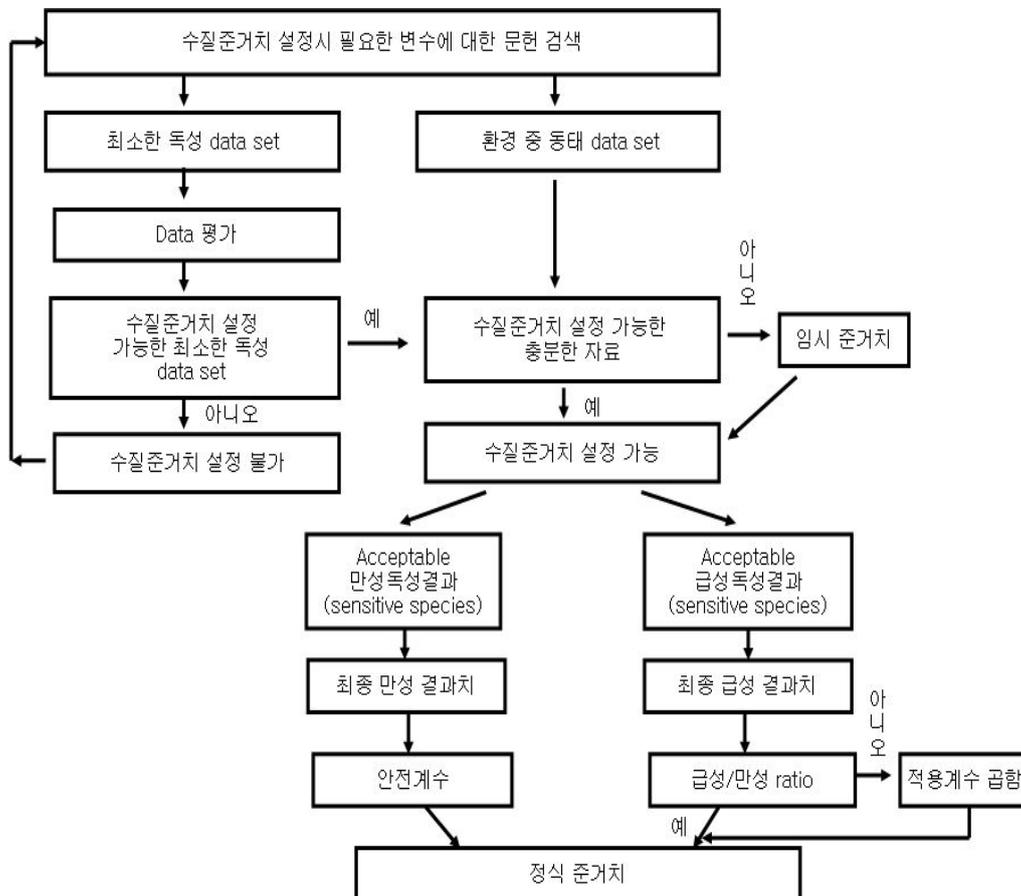


그림3-3-10. 캐나다 수질 준거치를 도출하기 위한 프로토콜
(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

다. 호주/뉴질랜드

호주/뉴질랜드는 다음과 같이 각각 다르게 권장된 보호수준을 가진 세 생태계 상태에 대한 지침을 제공하였다.

- a. 고 보존/생태계 가치 시스템
- b. 약 ~ 중간정도 오염된 시스템 (가이드라인이 가장 많이 적용될 시스템)
- c. 크게 오염된 시스템

1) 수 생태계 보호를 위한 수질 준거치 및 근거

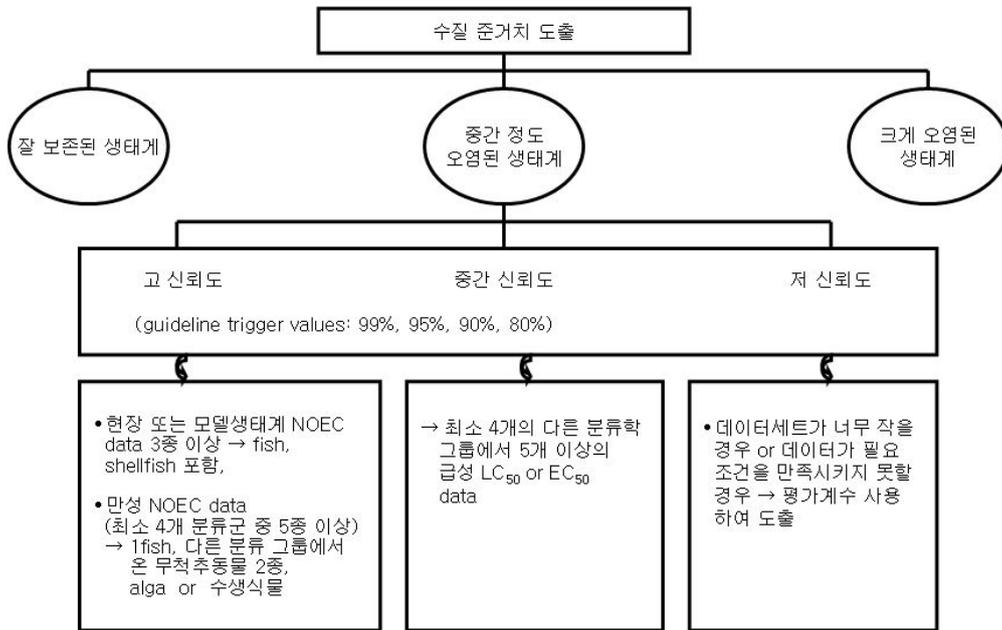


그림3-3-11. 호주/뉴질랜드 수질 준거치 도출 방법
(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

2) 인체 건강 보호를 위한 수질 준거치 및 근거

1차 산업에 대한 수질지침에 보면 관개용수와 일반적인 물 사용에 관한 수질지침, 가축음용수에 대한 수질지침, 양식 산업과 수생식품을 섭취하는 사람의 건강보호를 위한 수질지침으로 세분화되어 나타나 있다. 이 중에서 양식 산업을 위한 수질지침에서 인체건강을 고려하여 제시된 것으로 수생식품을 먹는 소비자 건강을 보호하기 위한 가이드라인이 제시되어 있다.

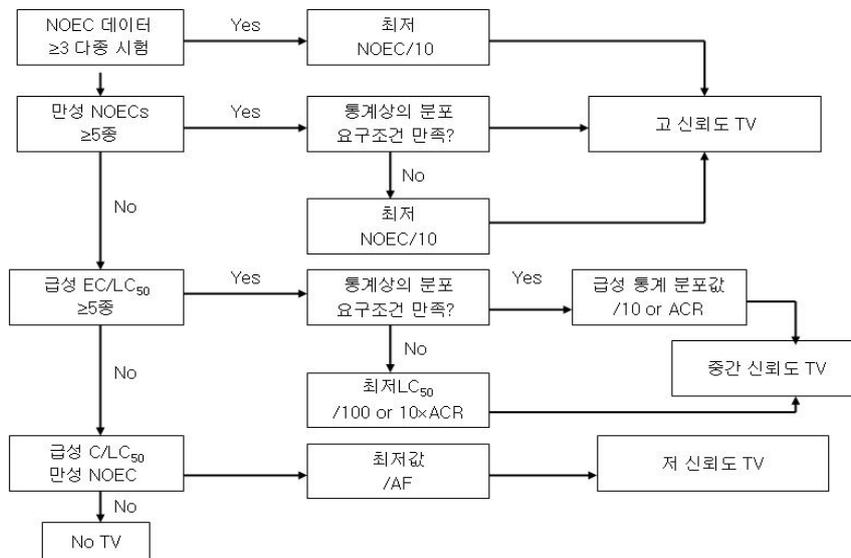


그림3-3-12. Trigger values의 도출과정 전개도

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

라. 일본

목표치의 도출은 국제적으로도 정착한 최신의 화학물질에 의한 생태 영향의 평가 방법을 이용하고 현시점에서 이용 가능한 국내외의 과학적 데이터를 수집·정리하고 위원의 전문적 식견에 근거하여 검토·평가를 행하고 일본 환경을 보전하는 적절한 수질 목표치를 도출하는 것으로 하고 있다.

마. 유럽연합

오염물질과 관련된 EC water framework directive 2000 (WFD)의 목표는 우선순위물질에 대하여는 Environmental Quality Standards (EQSs)에 상응하는 농도를 성취하며 우선유해물질은 제거하고 자연적으로 발생하는 물질 (예, 영양소, 유기물질과 토양)의 near-background values에서의 농도를 달성하는데 기여하는 것이다.

바. 영국

지표수로 방출되는 유해 물질은 Water Resources Act 1991과 함께 EC 위험물질지침서 (76/464/EEC)아래 통제되고 있다. EC 유해물질지침서는 방류수의 유출과 환경질목표를 위한 제한치를 제시하였다. 영국은 EC EQSs에 근거한 법적인 환경질기준 (EQSs)을 통하여 지침서에 동의하였다.

영국의 유해물질의 초기 Red list를 구축하는데 있어서, 영국은 현재 EC의 우선순위 목록으로부터 온 유해물질 “list I”과 “list II” 물질에 대한 법적인 준거치를 가지고 있으므로 지표수질준거치 도출방법론은 EC의 논리로 설명될 수 있다.

사. 독일

독일의 수질 목표는 “수중 집단”과 “인체 건강” 이라는 자산에 맞추어졌고, 목표들은 EC Water Framework Directive의 요구사항과 일치한다.

독일은 물자원에 대한 보호정책으로 정기적인 모니터링을 수행하고 있으며, 지표수 평가는 크게 생물학적 수질분류와 구조적 질의 분류와 화학물질의 수질 분류로 구분하여 등급별로 평가되는 것을 볼 수 있다. 특히 화학물질의 수질 평가에서는 산업용 화학물질 (31), 중금속물질 (7), 농약 (38)으로 구분하여 관리가 이루어지고 있다.

3-1-4. 요약 및 결론

현행 이화학적 수질 준거치 개개 항목에 대한 준거치 설정 근거를 제시할 수 있는 시방서를 만들기 위해 미국, 캐나다를 비롯한 선진국들의 수질 준거치 도출 방법론을 살펴보았으며, 구체적인 방법론을 나라별로 정리·비교하여 어떤 논리를 우리나라 수질 준거치 설정에 적용할 것인지 검토하였다.

미국, 캐나다, 호주/뉴질랜드, 일본, 유럽 등의 수질 준거치 설정 근거를 살펴본 결과 몇 가지 공통점과 차이점을 발견할 수 있었다. 각 나라별로 사용목적이 정해져 있고 그 목적에 맞는 수질 준거치를 제시하고 있었으며 과학기술의 점진적인 발달과 새로운 독성데이터가 추가되면서 각 나라의 수질 준거치 도출 방법론과 값이 계속적으로 업데이트 되고 있는 것을 볼 수 있었다. 수 생태계 보호를 위한 준거치는 대부분의 나라들이 급성과 만성 연구에서 도출된 데이터를 각각의 선별기준에 따라 선택된 값을 이용하여 각 나라에서 만든 방법론에 근거하여 준거치 값을 계산하였으나, 인체건강 보호를 위한 지침은 미국을 제외한 다른 국가에서는 현재 제시되고 있지 않은 상황이므로 국내에서 인체건강 보호를 위한 수질 준거치 설정 시에는 미국의 방법을 적용할 수밖에 없을 것으로 판단되고 그 이외의 국가에서는 관리 목적에 따라 다양한 대상에 대한 준거치 설정을 고려하고 있는 상황이다.

따라서 이와 같은 결과들을 종합해 볼 때 생태 수질 준거치 설정을 위한 국내 적용 방법으로는 호주/뉴질랜드의 방법론을 적용하는 것이 우리나라와 같이 생태 수질준거치가 거의 없는 상황에서는 유리할 것으로 사료된다.

표3-3-5. 국가별 수질 준거치 도출 방법 요약

	미국	캐나다	호주/뉴질랜드	일본	한국	
	인체/생태	생태/농업용/조식 잔류 등 7~8가지	생태/1차산업	생활환경/인체/생태	생활환경/인체	
구분	생태	담수/해수	담수/해수	담수/해수	해당없음	
	인체	발암/비발암	조식 잔류	식품 잔류	하천/호소 발암/비발암	
보호 수준 (%)	생태	95	100	80, 90, 95, 99	집단 유지 가능 해당없음	
사용 자료	생태	급성/만성독성, 식물독성, 생물축적	어류/무척추동물/식물 만성, 급성독성	만성/급성독성	만성/급성독성	해당없음
	인체	기준복용량/발암계수/발암위해도, 상대근원 기여도/몸무게/물, 물고기섭취량/생물축적계수/만성독성/NOAEL	일일허용섭취량/떡이 섭취량/몸무게	식품 내 오염물질 농도/식품 무게	기준복용량/발암계수/발암위해도/상대근원 기여도/몸무게/물섭취량/만성독성/NOAEL	해당없음
사용된 계수 및 도출	생태	ACR/FACR/FAV/FCV	ACR/SF	ACR/AF	ACR	해당없음
	인체	UF	UF	CF (배경계산계수)	UF	해당없음
자료 획득 방법	생태	각 종의 독성치 기하평균	만성값/ACR 적용한 만성환산 값	만성값/ACR 적용한 만성환산 값	만성값/ACR 적용한 만성환산 값	해당없음
	인체	실험치/추정치	실험치/추정치	실험치	실험치/추정치	해당없음
자료 출처	생태	국내자료/문헌 (국내생물자료)	국내자료/문헌 (국내 생물종에 대한 국내 및 미국 등 자료)	국내자료/문헌 (국내 생물 종에 대한 미국, 캐나다 등 자료), US EPA ACQUIRE DB	국내자료/US EPA ACQUIRE DB	해당없음
	인체	IRIS/국내자료/BAF	국내자료/문헌	국내자료/문헌	국내자료/문헌	해당없음

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

표3-3-5. 국가별 수질 준거치 도출 방법 요약 (계속)

		미국	캐나다	호주/뉴질랜드	일본	한국
자료 활용 방법	생태	속의 독성치에 대한 기하평균값의 최저 4개를 사용한 통계방법	가장 낮은 만성값에 안전 계수 적용	자료 신뢰도에 따라 최저 값에 적용계수 적용 또는 선별된 자료 통계방법 적용	속의 독성치에 대한 기하평균 최저값	해당없음
	인체	기준 복용량에 생물축적 계수 적용 또는 발암 계수에 생물축적계수 적용하여 주변 수계에서의 오염물질 한계 농도 산출	기준 농도가 계산되는 중 중에서 일일 허용 섭취량에 몸무게와 일일 먹이섭취량 적용, 가장 낮은 기준 농도 산출	식품 안의 오염물질 농도를 전체 무게 중의 오염물질 농도로 환산하여 오염물질의 조직 내 농도 산출	기준 복용량을 적용하거나 발암 계수 적용하여 주변 수계에서의 오염물질 한계 농도 산출	해당없음
경도 고려	생태	○	○	○	△	해당없음
	인체	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당없음
사용 수식 및 배경	생태	CMC, CCC	최저값	Burr(III) 프로그램	최저값	해당없음
	인체	비발암, 발암 (선형/비선형)	조직 잔류량	식품기준 (잔류량)	발암/비발암 지침	해당없음
기준 복용량	인체	○	△(야생생물)	△(식품)	○	해당없음
발암 계수	인체	○	×	×	○	해당없음
발암 위해도	인체	○	×	×	○	해당없음
음용수 섭취량	인체	○	×	×	○	해당없음
유기물 섭취량	인체	물고기 및 갑각류	먹이	식품	물고기 및 갑각류	해당없음
몸무게	인체	○	△(야생 생물)	△(식품)	○	해당없음
생물축 적 계수	인체	○	×	×	○	해당없음

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

3-1-5. 각국의 활용 실태

가. EU의 물관리를 위한 법적 수단

유럽연합의 수자원보호 정책은 세 단계로 구분할 수 있다.

1. 첫 번째 단계 : 수질 및 취수에 대한 기준 설정 및 향상 목표치를 설정, 수질관리에 관심을 쏟기 시작한 시기이다. 1975년도에 Surface Water Directive를 시작으로 1980년도에 Drinking Water Directive를 제정하였던 기간이 이에 해당한다. Fish water (78/659/EEC), shellfish water (79/923/EEC), bathing water (76/160/EEC), ground water (80/68/EEC)에 대한 각 지침(directive)이 이 시기에 발표되었다. 배출량제한에 관한 것으로는 Dangerous Substances Directive (76/464/EEC)와 각종 개별 물질에 대한 부속 지침이 있다.
2. 두 번째 단계 : 수질오염원에 대한 효과적인 규제정책을 수립하는 시기에 해당한다. 이에 Urban Waste Water Treatment Directive (91/272/EEC), Nitartes Directive (91/676/EEC)가 추가 된다.
3. 세 번째 단계 : 물관리지침 (Water Framework Directive)이 수립된 시기이다. 물관리에 대한 유럽인들의 인식 제고와 함께 일관성 있는 물관리정책의 필요성이 대두되면서, 현재 목표 및 수단에 있어서 분산되어 있는 물관리정책을 통합하는 제도가 필요하다는 공감대가 형성되었다.

유럽연합 물관리지침 (WFD)의 궁극적 목표는 강과 호수를 포함하는 담수, 국경 및 행정 경계를 가로지르는 수자원, 해안수 및 지하수 보호를 위한 제도적 틀을 수립하는 것이다. 수질보호를 지표수, 연안수, 지하수 등을 포함하는 전수체로 확장하고 최종 기한을 두어 이 기한 내로 수질을 양호한 상태로 도달토록 하고 있으며, 수질기준과 배출규제 방법을 병행하고, 하천유역 (river basin)을 기본단위로 하는 물 관리, 원가회수 (costs recovery)와 오염자부담원칙에 따른 물 가격 책정 등의 전략을 세우고 있다.

유럽연합차원에서 보호하고자 하는 주요 용수의 종류로는, 일반 수생물생태 보호, 특이 및 귀중한 서식지의 특별 보호, 식수용수 보호, 수영용수 보호가 있으며, 이러한 모든 관리목표는 각 하천유역에 통합·적용된다. 특별서식지, 식수용수, 수영용수의 보호는 습지라든가, 취수지역, 수영지역 등 하천의 일부지역에 국한되게 되나, 이와는 대조적으로 생태계보호는 전수체에 적용된다.

WFD의 하천유역 (river basin)별 물 관리는 행정 또는 정치적 경계에 기초

하는 것이 아니라 지리학적 및 수리학적 단위인 하천유역에 기초한다는 점에서 최선의 물관리모델로 인식되고 있다. 하천 유역별 관리에서는 전 지표수에 적용되는 일반적인 생태보호 요건과 최소한의 화학적 기준을 적용하여 최소한으로 수질을 보호하고, 특정용도로 이용되어 좀 더 엄격한 수질기준이 요구되는 곳에는 지역 (zone)을 지정하여 더 엄격한 기준을 설정하게 된다.

WFD는 수자원보호 정책과 법령 전반에 걸쳐 관리체제를 제공하는 것뿐만 아니라 첫 번째 단계에서 도입한 많은 지침들을 대체하게 된다. 현재 및 향후의 법적 수단을 살펴보면 다음과 같다.

a. 수질목표 (water quality objective) 관련 지침

- Bathing Water Directive
- Drinking Water Directive
- Directive on Surface Water for Drinking Water Abstraction
WFD에 의하여 향후 (2007년 12월) 폐지 예정
- Freshwater Fish Directive
WFD에 의하여 향후 (2013년 12월) 폐지 예정
- Shellfish Water Directive
WFD에 의하여 향후 (2013년 12월) 폐지 예정

b. 배출규제 관련 지침

- Urban Waste Water Treatment Directive
- Nitrates Directive
- Ground Water Directive
WFD에 의하여 향후(2013년 12월) 폐지 예정
- Dangerous Substances Directive
WFD에 의하여 2000년에 폐지

이 외에 Directive on Discharges of Mercury from the chlor-alkali electrolysis industry, Directive on Discharges by Cadmium, Directive on Discharges of Mercury from other sources, Directive on Discharges of Hexachlorocyclohexane, Directive on Discharge of List I Substances가 있다. 다음은 주요 용수별 지침을 살펴본 것이다.

1) Bathing Water Directive (수영용수관리지침)

수영용수로 사용되는 담수와 연안수 수질을 보호하기 위함이다. 박테리아, 화학적 및 물리적 수질기준을 'imperative value' (지침이 통과된 지역에서는 반드시 달성하여야 하는 기준)와 'guide value' (가능하다면 달성하여야 하는 기준)로써 정하고 있다. 아울러 회원국으로 하여금 모니터링을 실시하고 최종 기한 내에 수질기준을 달성할 수 있는 대책을 추진하도록 하고 있다. 도시 및 산업하수, 농업활동에 의하여 발생한 박테리아로 인하여 수영용수의 수질이 악화될 수 있으므로 Bathing Water Directive는 Urban Waste Water Treatment Directive와 연관된다.

2) Surface Water Abstraction Directive

상수원 수질보호를 위한 관리지침이다. 권고치 (guide) 기준과 강제 (imperative) 기준을 정하고 있으며, 회원국으로 하여금 모니터링을 실시하고 수질기준을 만족하도록 대책을 추진하도록 하고 있다. 상수원은 정수처리 수준에 따라 다음과 같이 3가지 등급으로 구분된다.

- A1 - 단순 물리적 처리와 소독만이 필요한 상수원
- A2 - 일반적 물리/화학적 처리와 소독이 필요한 상수원
- A3 - 집중적인 물리/화학적 처리와 소독이 필요한 상수원

상기 등급별로 다른 수질기준을 정하고 있는데, 각 등급별로 imperative value (I), guideline value (G) 두 가지 종류의 기준을 정하고 있다.

표3-3-6. EU의 수영용수에 대한 수질기준치

미생물학적 항목	G	I
Total coliforms/100ml	500	10,000
Faecal coliforms/100ml	100	2,000
Faecal streptococci/100ml	100	-
Salmonella/L	-	0
Enteroviruses PFU/10 L	-	0
Physico-chemical parameters	G	I
pH	-	6-9(0)
Colour	-	No abnormal change in colour(0)
Mineral oils mg/L	≤0.3	No film visible on the surface of the water and no odour
Surface-active substances reacting with methylene blue mg/L (Lauryl sulphate)	≤0.3	No lasting foam
Phenols mg/L (phenol indices) C ₆ H ₅ OH	≤0.005	no specific odour ≤0.05
Transparency	2	1(0)
Dissolved oxygen % saturation O ₂	80 to 120	-
Tarry residues and floating materials such as wood, plastic articles, bottles, containers of glass, plastic, rubber or any other substance. Waste or splinters	Absence	-
Ammonia mg/L NH ₄	-	-
Nitrogen Kjeldahl mg/L N	-	-
Other substances regarded as indication of pollution	G	I
Pesticides mg/L (Parathion, HCH, dieldrin)	-	-
Heavy metals such as:		
Arsenic mg/L As, cadmium Cd, chrome(VI) Cr(VI), lead Pb, Mercury Hg	-	-
Cyanides mg/L Cn	-	-
Nitrates mg/L NO ₃ and phosphates PO ₄	-	-

G = guide, I = mandatory(imperative)

(0) provisions exists for exceeding the limits in the event of exceptional geographical or meteorological conditions

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

3) 담수어류지침 (Freshwater Fish Directive)

어류의 서식 및 부화가 가능하도록 수질을 보호하고 개선하고자 하는 관리지침이다. 용수는 다음과 같이 2가지 등급으로 구분하고 있다.

- a. salmonid fish (salmon 과 trout) : 일반적으로 흐름이 빠르며 용존산소량이 높고 영양염류 농도가 낮은 하천이 해당
- b. cyprinid fish (coarse fish—carp, tench, barbel, rudd, roach) : 일반적으로 저지대를 흐르는 느린 하천이 해당

표3-3-7. EU의 어류서식을 보호하기 위한 수질준거치 (의무치)

항목	Imperative values (I)			Notes
	단위	Salmonid	Cyprinid	
Temperature	℃	1.5	3.0	Increase due to thermal discharge
	℃	21.5	28.0	Maximum at monitoring site
	℃	10.0	10.0	Maximum for breeding season
Dissolved oxygen	mg L ⁻¹	50% > 9	50% > 7	
pH	-	6 to 9	6 to 9	
Phenols	-	No odour	No odour	
Hydrocarbon oil	-	Non visible	Non visible	
Non-ionised ammonia	mg L ⁻¹	0.025	0.025	
Total ammonium	mg L ⁻¹	1.0	1.0	
Toral residual chlorine	mg L ⁻¹	0.005	0.005	
Total zinc (standard is dependent on the average yearly hardness)	mg L ⁻¹	0.03	0.3	Hardness ≤ 10mg L ⁻¹ as CaCO ₃
	mg L ⁻¹	0.2	0.7	10 < Hardness ≤ 50mg L ⁻¹ as CaCO ₃
	mg L ⁻¹	0.3	1.0	50 < Hardness ≤ 100mg L ⁻¹ as CaCO ₃
	mg L ⁻¹	0.5	2.0	Hardness > 100mg L ⁻¹ as CaCO ₃

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

표3-3-8. EU의 어류서식을 보호하기 위한 수질준거치

항목	Guideline values (G)			Notes
	단위	Salmonid	Cyprinid	
Dissolved oxygen	mg L ⁻¹	50% > 9 100% > 7	50% > 8 100% > 5	
Suspended solids	mg L ⁻¹	25	25	
BOD	mg L ⁻¹	3	6	
Nitrites	mg L ⁻¹	0.01	0.03	
Non-ionised ammonia	mg L ⁻¹	0.005	0.005	
Total ammonium	mg L ⁻¹	0.04	0.2	
Dissolved copper (standard is dependent on the average yearly hardness)	mg L ⁻¹	0.005	0.005	Hardness ≤ mg L ⁻¹ as CaCO ₃
	mg L ⁻¹	0.022	0.022	10 < Hardness ≤ 50mg L ⁻¹ as CaCO ₃
	mg L ⁻¹	0.04	0.04	50 < Hardness ≤ 100mg L ⁻¹ as CaCO ₃
	mg L ⁻¹	0.112	0.112	Hardness > 100mg L ⁻¹ as CaCO ₃

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

4) Shellfish Waters Directive

본 관리지침은 모니터링을 실시하도록 하고 있는데, 최소 시료채취 횟수, 만족해야 하는 기준치, 기준치를 만족해야 하는 시료의 비율 등을 정하고 있다. 중금속과 유기할로젠화합물의 경우 전 시료가 제시하고 있는 값을 초과하지 않아야 기준을 만족하는 것으로 판단하고, 염류와 용존산소량의 경우 시료의 95%가 기준값을 초과하지 않을 경우, 기타 물질의 경우 시료의 75%가 기준값을 초과하지 않을 경우 기준을 만족하는 것으로 판단한다.

나. 미국

1980년대에 주정부로 하여금 연방정부가 제공하는 준거치를 검토하고 많은 주요독성물질 (priority toxic pollutants)에 대한 수질기준을 수립하도록 하였다. 그러나 소수의 주정부만이 수생물보호를 위한 독성물질 수질준거치 중 다수를 채택하였고, 다른 주는 주요독성물질에 대한 준거치를 전혀 채택하지 않거나 소수의 준거치만을 채택한 것으로 나타났다. 일부는 서술적 준거치인 "free from toxicity"라든가 "action level"에 의존하였고, 소수만이 인체건강을 위한 (수치적)준거치를 채택함으로써 인체건강보호를 고려하였다.

표3-3-9. Shellfish water에 대한 수질기준치

항목	단위	요건 (mandatory values)
pH	pH unit	≥ 7 and ≤ 9
Coloration (after filtration)	mg Pt/L	A discharge affecting shellfish waters must not cause the colour of the waters after filtration to deviate by more than 10 mg Pt/l from the colour of waters not so affected
Suspended solids	mg L ⁻¹	A discharge affecting shellfish waters must not cause the suspended solid content of the waters to exceed by more than 30% the content of waters not so affected
Salinity	per thousand	≤ 40 per thousand A discharge affecting shellfish waters must not cause their salinity to exceed by more than 10% the salinity of waters not so affected
Dissolved oxygen	Saturation %	$\geq 70\%$ (average value) If an individual measurement indicates a value lower than 70%, measurements shall be repeated An individual measurement may not indicate a value lower than 60% unless there are no harmful consequences for the development of shellfish colonies
Petroleum hydrocarbons		Hydrocarbons must not be present in the shellfish waters in such quantities as to: - produce a visible film on the surface of the waters and/or a deposit on the shellfish, - have harmful effects on the shellfish
Organo-halogenated substances		The concentration of each substance in the shellfish waters or in shellfish flesh must not reach or exceed a level which has harmful effects on the shellfish and their larvae
Metals	mg L ⁻¹	The concentration of each substance in the shellfish waters or in the shellfish flesh must not reach or exceed a level which has harmful effects on the shellfish and their larvae The synergic effects of these metals must be taken into consideration
Silver	Ag	
Arsenic	As	
Cadmium	Cd	
Chromium	Cr	
Copper	Cu	
Mercury	Hg	
Nickel	Ni	
Lead	Pb	
Zinc	Zn	
Substances affecting the taste of the shellfish		Concentration should be lower than that which is liable to impair the taste of the shellfish

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

수질기준에 관한 법률에 의하면, 주정부는 수질이 달성 또는 보호되어야 할 적절한 수용도 (water use)를 정하여 수질기준을 수립하도록 하고 있다. 연방정

부는 주정부나 지자체에서 수질기준을 수립할 때 지침으로 사용할 수 있도록 수생물 및 인체건강 보호를 위한 약 150개 항목에 대한 권고 수질준거치를 제공하고 있다. 한편, 2000년 4월부터 채택되는 수질기준은 EPA의 승인을 받도록 하고 있다. 현재 주정부의 용수별 수질기준은 상이한데, 대표적인 사례를 보면 다음과 같다.

A. 메사추세츠주

메사추세츠주는 용도를 혼용해서 그룹별로 구분하고 각 그룹별 수질등급을 제시하고 있다. 이는 현재 우리나라의 수질환경기준과 같은 것으로 구분으로 용도별 수질등급은 다음과 같이 4가지 (A, B, C, Coastal and Marine)로 나누고 있다.

- A : 수생물 및 야생생물 보호, 일차 및 이차 접촉 레크리에이션
- B : 수생물 및 야생생물 보호, 일차 및 이차 접촉 레크리에이션, 적절한 처리 후 공공용수 (public water supply), 관개용수, 공업용수
- C : 수생물 및 야생생물 보호, 이차 접촉 레크리에이션, 익혀먹는 농작물에 대한 관개용수, 공업용수
- Coastal and Marine

전통적인 수질항목 (용존산소량, 온도, pH, 대장균, solids, 색도 및 탁도, 이취미 등)에 대한 수질기준을 4가지 수질 등급에 따라 다르게 설정하고 있다. 명시된 오염물질이 아닌 오염물질에 의한 오염으로 용수의 이용목적에 손상이 예상되는 경우, 해당 물질에 대한 수질기준은 연방정부가 발표한 권고치를 이용하거나 지역특성에 맞는 값으로 설정하도록 하고 있다.

B. 콜로라도주

콜로라도주는 특정 물질에 대해서는 전 용수에 동일하게 적용하고 기타 물질은 용도별로 구분하여 제시하고 있다. 즉, 방사성물질에 대한 수질기준은 전 수역에 일률적으로 적용하고 있고, 유기화학물질, 물리 및 생물학적 항목, 무기물질, 중금속에 대한 수질기준을 용수별로 정하고 있다.

표3-3-10. 콜로라도주의 방사성 물질에 대한 수질기준

항목	Picocuris per liter
Americium 241	0.15
Cesium 134	80
Plutonium 239 and 240	0.15
Radium 226 and 228	5
Strontium 90	8
Thorium 230 and 232	60
Tritium	20,000

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

표3-3-11. 콜로라도주의 유기화학물질에 대한 수질기준 (단위 : mg L⁻¹)

항목 CAS No.	사람의 건강			수생생물	
	Water Supply	Water+Fish	Fish Ingestion	급성 (Acute)	만성 (Chronic)
Acenaphthene, 83-32-9	420	420	-	1,700	520
Acenaphthene(PAH), 208-96-8	-	0.0028	-	-	-
Acrolein	110	-	-	38	21
Acenaphthene, 83-32-9	420	420	2,700	1,700	520
Acenaphthylene, (PAH)208-96-8	-	0.0028	-	-	-
Acrolein 107-02-8	110	-	-	68	21
Acrylonitrile, 107-13-1	0.065	0.059	0.66	7,500	2,600
Alachlor 15972-60-8	2	1.2	71	-	-
Aldicarb 116-06-3	7	-	-	-	-
Aldicarb sulfone, 1646-88-4	7	-	-	-	-
Aldicarb Sifoxide, 1646-87-3	7	-	-	-	-
Aldrin 309-00-2	0.0021	0.00013	0.00014	1.5	-
Anthracene(PAH) 120-12-7	2,100	2,100	110,000	-	-
Atrazine 1912-24-9	3	-	-	-	-
Benzene 71-43-2	1.2	1.2	71	5,300	-
Benzidine 92-87-5	0.00015	0.00012	0.00054	2,500	-
Benzo(a)anthracene (PAH) 56-55-3	0.0048	0.0044	0.049	-	-
Benzo(a)pyrene (PAH)50-32-8	0.0048	0.0044	0.049	-	-
Benzo(b)fluoranthene(PAH) 205-99-2	0.0048	0.0044	0.049	-	-
Benzo(k)fluoranthene (PAH) 207-08-9	0.0048	0.0044	0.049	-	-
Benzo(g,h,i)perlene (PAH) 191-24-2	-	0.0044	-	-	-
Bromodichloromethane 75-25-2	-	0.56	46	11,000	-
Bromoform(HM) 75-25-4	-	4.3	360	-	-
Buthlbbenzylphthalate 85-68-7	1,400	1,400	5,200	-	-
Carbofuran, 1563-66-2	40	-	-	-	-
Carbon tetrachloride, 56-23-5	0.27	0.25	4.4	35,200	-

표3-3-11. 콜로라도주의 유기화학물질에 대한 수질기준

(단위 : mg L⁻¹)

항목 CAS No.	사람의 건강			수생생물	
	Water Supply	Water+Fish	Fish Ingestion	급성 (Acute)	만성 (Chronic)
Chlordane, 57-74-9	0.10	0.0021	0.0022	1.2	0.0043
Chlorethyl ether (BIS-2) 111-44-4	0.032	0.031	1.4	-	-
Chlorobenzene, 108-90-7	100	100	21,000	-	-
Chlododibromomethane(HM) 124-48-1	-	140	57,000	-	-
Chloroform(HM), 67-66-3	-	5.7	470	28,900	1,240
Chloroisppropyl ether(BIS-2), 39638-32-9	20	280	170,000	-	-
4-Chloro-3-methylphenol 59-50-7	210	-	-	30	-
Chlorobapthalene, 91-58-7	560	560	-	2,300	620
Chlorophenol, 95-57-8	35	35	400	4,380	2,000
Chlorphrifos, 2921-88-2	21	-	-	0.083	0.041
Chrysene(PAH), 218-01-9	0.0048	0.0044	0.0049	-	-
DDD 72-54-82	0.15	0.00083	0.00084	0.6	-
DDE 72-55-9	0.1	0.00059	0.00059	1,050	-
DDT 50-29-32	0.1	0.00059	0.00059	0.55	0.001
Dalapon 75-99-0	200	-	-	-	-
Demeton 8065-48-3	-	-	-	-	0.1
Dibenzo(a,h)anthracene 53-70-3	0.0048	0.0044	0.0049	-	-
1,2 Dibromo-3-Chloropropane (DBCP) 96-12-8	0.2	-	-	-	-
Dichlorobenzene 1,2, 95-50-1	600	600	17,000	-	-
Dichlorobenzene 1,4, 106-46-7	75	75	2,600	-	-
Dichlorobenzidine, 91-94-1	0.078	0.039	0.77	-	-
Dichloroethane 1,2, 107-06-2	0.38	0.38	99	118,000	20,000
Dichloroethylene 1,1, 75-35-4	7	7	17,000	-	-
Dichloroethylene 1,2-trans 156-60-5	100	100	140,000	-	-
Dichlorophenol 2,4, 120-83-2	21	21	790	2,020	365
Dichlorophenoxyacetic acid(2,4-D), 94-75-7	70	-	-	-	-
Dichloropropane 1,2, 78-87-5	0.52	0.52	39	23,000	5,700
Dichloropropylene 1,3, 542-75-6	-	10	1,700	6,060	244
Dieldrin 60-57-1	0.002	0.00014	0.00014	0.24	0.056
Diethyl phthalate, 84-66-2	5,600	5,600	120,000	-	-
Diisopropylmethylphosphonate(DIMP), 1445-75-6	8	-	-	-	-
Dimethylphenol 2,4, 105-67-9	140	140	-	2,120	-
Dimethyl phthalate, 131-11-3	-	313,000	2,900,000	-	-
Di-n-butyl phthalate 84-74-2	700	700	12,000	-	-
Dinitro-o-cresol 4,6, 534-52-1	2.7	2.7	765	-	-
Dinitrotoluene 2,4, 121-14-2	0.11	0.11	9.1	-	-

표3-3-11. 콜로라도주의 유기화학물질에 대한 수질기준

(단위 : mg L⁻¹)

항목 CAS No.	사람의 건강			수생생물	
	Water Supply	Water+Fish	Fish Ingestion	급성 (Acute)	만성 (Chronic)
Dinitotoluene 2,6, 606-20-2	-	-	-	330	230
Dinoseb 88-85-7	7	-	-	-	-
Dioxin(2,3,7,8 TCDD), 1746-01-6	2.2×10 ⁻⁷	1.3×10 ⁻⁸	1.4×10 ⁻⁸	0.01	0.00001
Diphenylhydrazine 1,2, 122-66-7	0.044	0.040	0.54	270	-
Di(2-thylhexyl)adipate, 103-23-1	400	-	-	-	-
Diquat, 85-00-7	20	-	-	-	-
Endosulfan, 115-29-7	0.35	-	-	0.11	0.056
Endosulfan, alpha, 95-99-88	42	-	-	0.11	0.056
Endosulfan, beta, 3321-36-59	42	-	-	0.11	0.056
Endosulfan sulfate, 1031-07-8	42	-	-	0.11	0.056
Endothall 145-73-3	100	-	-	-	-
Endrin	2	-	-	0.086	0.036
Endrin aldehyde, 7421-93-4	2.1	0.76	0.81	-	-
Ethylbenzene, 100-41-4	700	700	29,000	32,000	-
Ethylene dibromide, 106-93-4	0.05	-	-	-	-
Ethylhexyl phthalate(BIS-2), 117-81-7	2.5	1.8	5.9	-	-
Fluoranthene(PAH) 206-44-0	280	280	370	3,980	-
Guthion86-50-0	-	-	-	-	0.01
Heptachlor 76-44-8	0.008	0.00021	0.00021	0.52	0.0038
Heptachlor epoxide 1024-57-3	0.004	0.0001	0.00011	0.52	0.0038
Hexachlorobenzene 118-74-1	1.0	0.00075	0.00077	-	-
Hecachlorobutadiene 87-68-3	14	14	-	90	9.3
Hecachlorocyclohexane, Alpha 319-84-6	0.0056	0.0039	0.013	-	-
Hexachlorocyclohexane, Beta 319-85-7	-	0.014	0.046	-	-
Hecachloroxyclohexane Gamma(Lindane), 58-89-9	0.2	0.2	-	0.95	0.08
Hexachlorocyclohexane, Technical, 608-73-1	-	0.012	0.014	100	-
Hexachlorocyclopentadiene 77-47-4	50	50	-	7	5
Hecachloroethane, 67-72-1	7.0	7.0	120	980	540
Indeno(1,2,3-cd)pyrene(PAH) 193-39-5	0.0048	0.0044	0.049	-	-
Isophorone 78-59-1	40	36	117,000	-	-
Malthion 121-75-4	140	-	-	-	0.1
Methoxychlor, 72-43-5	40	-	-	-	0.03
Methyl bromide(HM) 74-83-9	-	48	4,000	-	-
Methyl chloride(HM) 74-87-3	-	5.7	471	-	-
Methylene chloride, 75-09-2	4.7	4.7	1,600	-	-
Mirex 2385-85-5	-	-	-	-	0.001
Nitrobenzene, 98-95-3	3.5	3.5	1,900	27,000	-

표3-3-11. 콜로라도주의 유기화학물질에 대한 수질기준

(단위 : mg L⁻¹)

항목 CAS No.	사람의 건강			수생생물	
	Water Supply	Water+Fish	Fish Ingestion	급성 (Acute)	만성 (Chronic)
Nitrophenol 4, 100-02-7	56	56	26,000	-	-
Nitrosodibutylamine N 924-16-3	-	0.0064	0.587	-	-
Nitrosodiethylamine N 55-18-5	-	0.0008	1.24	-	-
Nitrosodimethylamine N 62-75-9	0.00069	0.00069	8.1	-	-
Nitrosodiphenylamine N 86-306	7.1	5.0	16	-	-
Nitrosopyrrolidine N, 930-55-2	-	0.016	91.9	-	-
N-Nitrosodi-n-propylamine, 621-64-7	0.005	0.005	1.4	-	-
Oxamyl(vydate) 23135-22-0	200	-	-	-	-
PCBs, 9 1336-36-3	0.0175	0.00017	0.00017	2.0	0.014
Parathion 56-38-2	-	-	-	0.065	0.013
Pentachlorobenzene. 608-93-5	5.6	3.5	4.1	-	-
Pentachlorophenol,87-86-5	1.0	0.28	8.2	19	15
Phenanthrene(PAH) 85-01-8	-	0.0028	-	-	-
Phenol 108-95-2	4,200	4,200	-	10,200	2,560
Pichoram 1918-02-1	500	-	-	-	-

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

표3-3-12. 콜로라도주의 용수별 물리·생물학적 기준

항목	레크리에이션			수생생태			관개용수	생활용수공급
	Class 1a 현존하는 주요접촉	Class 1b 잠재적인 주요접촉	Class 이차 접촉	Class 1 찬물 Biota	Class 1 따뜻한 물 Biota	Class 2		
물리적								
DO (mg L ⁻¹)	3.0		3.0	6.0 7.0 (부화)	5.0		3.0	3.0~9.0
pH				6.5~9.0	6.5~9.0			5.0~9.0
부유고형물								
온도(°C)				최대 20°C, 3°C 증가	최대 30°C, 3°C 증가			
생물학적								
분변성균 (100 ml 당)	200	325	2,000					2,000
E-Coli (100 ml 당)	126	205	630					630

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

표3-3-13. 콜로라도주의 용수별 무기물질 기준

(단위 : mg L⁻¹)

항목	수생물			관개용수	생활용수공급
	Class 1 찬물 Biota	Class1 따뜻한물 Biota	Class2		
암모니아 (as N)	만성=0.02 급성= 0.43/FT/FPH/2	만성=0.06 급성= 0.62/FT/FPH/2	만성: 찬물=0.02 더운물= 0.06-0.10		0.5 total (30-day)
총잔류염소	0.019(1일) 0.011(30일)	0.019(1일) 0.011(30일)			
Cyanide-free	0.005(1일)	0.005(1일)		0.2(1일)	0.2(1일)
Fluoride					2.0(1일)
Nitrate				100	10(1일)
Nitrite				10(1일)	1.0(1일)
Sulfide as H ₂ S	0.002(30일)	0.002(30일)			0.05(30일)
Boron				0.75(30일)	
Chloride					250(30일)
Sulfate					250(30일)
Asbestos					7,000,000 fibers/L

(인용보고서: 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

표3-3-14. 콜로라도주의 용수별 금속 기준

금속	수생생태		관개용수	음용수공급	Water+ Fish	어류 섭취
	급성	만성				
Aluminum	750	87				
Antimony				6.0(30일)	6.0	4,300
Arsenic	340	150	100(30일)	50(1일)	0.018	0.14
Barium				1,000(1일) 490(30일)		
Beryllium			100(30일)	4.0(30일)		
Cadmium	$(1.13667 - [\ln(\text{경도}) * (0.04184)]) * e^{(1.128[\ln(\text{경도})] - 3.6867)}$ (Trout) = $(1.13667 - [\ln(\text{경도}) * (0.04184)]) * e^{(1.128[\ln(\text{경도})] - 3.828)}$	$(1.10167 - [\ln(\text{경도}) * (0.04184)]) * e^{(0.7852[\ln(\text{경도})] - 2.715)}$	10(30일)	5.0(1일)		
Chromium III	$e^{(0.819[\ln(\text{경도})] + 2.5736)}$	$e^{(0.819[\ln(\text{경도})] + 0.5340)}$	10(30일)	5.0(1일)		
Chromium VI	16	11	100(30일)	50(1일)	100 (30일)	

표3-3-14. 콜로라도주의 용수별 중금속 기준

금속	수생생태		관개용수	음용수공급	Water +Fish	어류 섭취
	급성	만성				
Copper	$e^{(0.9422[\ln(\text{경도})]-1.7408)}$	$e^{(0.8545[\ln(\text{경도})]-1.7428)}$	200	1,000(30일)		
Iron		1,000(tot.rec)		300(30일)		
Lead			100(30일)	50(1일)		
Manganese	$e^{(0.333[\ln(\text{경도})]+6.4676)}$	$e^{(0.333[\ln(\text{경도})]+5.8743)}$	200(30일)	50(30일)		
Mercury	1.4	0.77 FRV(fish)=0.01(Total)		2.0(1일)		
Nickel	$e^{(0.846[\ln(\text{경도})]+2.253)}$	$e^{(0.846[\ln(\text{경도})]+0.0554)}$	200(30일)	100(30일)		4,600
Selenium	18.4	4.6				
Silver	$1/2e^{(1.72[\ln(\text{경도})]-6.52)}$	$e^{(1.72[\ln(\text{경도})]-9.06)}$ (Trout)= $e^{(1.72[\ln(\text{경도})]-10.51)}$		100(1일)		
Thallium		15		0.5(30일)	0.5	6.3
Uranium	$e^{(1.102[\ln(\text{경도})]+2.7088)}$	$e^{(1.102[\ln(\text{경도})]+2.2382)}$				
Zinc	$e^{(0.8473[\ln(\text{경도})]+0.8618)}$	$e^{(0.8473[\ln(\text{경도})]+0.8699)}$	2,000 (30일)	5,000(30일)		

(인용보고서;물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

C. 플로리다주

플로리다주는 모든 지표수를 음용수원, 레크리에이션, 어류 및 야생생물의 번식 및 건강한 개체군 유지, 농업용수, 공업용수 등과 같이 5가지 등급으로 분류하여 각 등급별 수질기준을 제시하고 있다. 각 등급별 구분 및 수질기준은 다음과 같다.

- I : 음용수원
- II : shellfish의 번식 및 수확
- III : 레크리에이션, 어류 및 야생생물의 번식 및 건강한 개체군 유지
- IV : 농업용수
- V : 항해, 공업용수

표3-3-15. 플로리다주의 지표수 등급에 따른 준거치 (일부)

항목	단위	Class I	Class II	Class III		Class IV	Class V
				담수	해수		
Ammonia	mg L ⁻¹ as NH ₃	≤0.02		≤0.02			
Antimony	ug L ⁻¹	≤14.0	≤4,300	≤4,300	≤4,300		
Arsenic(총)	ug L ⁻¹	≤50	≤50	≤50	≤50	≤50	≤50
BOD		shall not be increased to exceed values which would cause DO to be depressed below the limit established for each class and, in no case, shall it be great enough to produce nuisance conditions					
Chromium(6 ⁺)	ug L ⁻¹	≤11	≤50	≤11	≤50	≤11	담수:≤11 해수:≤50
Cyanide	ug L ⁻¹	≤5.2	≤1.0	≤5.2	≤1.0	≤5.0	≤5.0
Detergents	mg L ⁻¹	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5	≤0.5
Iron	mg L ⁻¹	≤0.3	≤0.3	≤1.0	≤0.3	≤1.0	
Mercury	ug L ⁻¹	≤0.012	≤0.025	≤0.012	≤0.025	≤0.2	≤0.2
Demeton	ug L ⁻¹	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1		
phosphorus	mg L ⁻¹		≤0.1		≤0.1		

자료 : 62-302.530, Criteria for Surface Water Quality Classifications를 발췌
(인용보고서;물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

D. 호수/뉴질랜드

수생생태계 보호, 관개용수 및 가축식수용수, 수산물양식 및 수산물섭취와 관련한 인체건강보호, 레크리에이션용수에 대한 수질권고치를 제공하고 있다.

1) 수생생태계보호

중금속, 부유물질, sedimentation, 염도, 제초제, 영양염류, 기타 항목에 대하여 권고치를 정하고 있다. 상류하천, 하류하천, 호소, 습지, 하구, 해수로 생태계를 구분하고 각 구분별로 Chlorophyll, TP, FRP (filterable reactive phosphate), TN, NO_x-N, 암모늄, 용존산소량, pH, 염도, 탁도에 대한 수질권고치를 정하고 있다. 또한, 금속 및 비금속에 대한 수질권고치를 담수와 해수로 구분하여 제공하고 있으며, sediment 내의 금속, 비금속, 유기물질 등에 대한 권고치를 제공하고 있다.

2) 관개용수

호주의 경우 개발된 수자원의 70%를, 뉴질랜드의 경우 80%를 관개용수로 이용하는 등 지표수와 지하수의 관개용수로의 의존도가 높고, 관개를 이용한 농작물재배를 통하여 엄청난 경제적 이익을 창출하고 있다.

염도, 이온 (chloride, sodium), 중금속과 비금속류, N, P, 살충제, 방사성물질, 기타항목 (pH, 부식 및 fouling 관련요소)에 대한 권고치를 정하고 있다.

3) 가축용음용수

청녹조류, 병원균, 이온 (calcium, magnesium, nitrate and nitrite, sulfate, TDS), 중금속 및 비금속, 방사성 물질에 대한 권고치를 정하고 있다. 한편, 살충제 및 유기물질 항목에서는 기준을 수립하는데 참고할 만한 자료가 없는 경우 사람의 음용수 기준을 적용하도록 권고하고 있다.

표3-3-16. 호주/뉴질랜드의 가축에 영향을 줄 수 있는 음용수내 총 용존 고형물 농도 (염분)

가축	총 용존 고형물 (단위 : mg L ⁻¹)		
	No adverse effects on animals expected	Animals may have initial reluctance to drink or there may be some scouring, but stock should adapt without loss of production	Loss of production and decline in animal condition and health would be expected. Stock may tolerate these levels for short periods if introduced gradually
Beef cattle	0-4000	4000-5000	5000-10,000
Dairy cattle	0-2500	2500-4000	4000-7000
Sheep	0-5000	5000-10,000	10,000-13,000 ^b
Horses	0-4000	4000-6000	6000-7000
Pigs	0-4000	4000-6000	6000-8000
Poultry	0-2000	2000-3000	3000-40000

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

표3-3-17. 호주/뉴질랜드의 가축용음용수로서 가능한 중금속농도

Metal or metalloid	Trigger value (low risk) ^{a,b} (mg L ⁻¹)
Aluminium	5
Arsenic	0.5 up to 5 ^c
Beryllium	ND
Boron	5
Cadmium	
Chromium	
cobalt	
Copper	0.4 (sheep) 1 (cattle) 5 (pigs) 5 (poultry)
Fluoride	2
Iron	not sufficiently toxic
Lead	0.1
Manganese	not sufficiently toxic
Mercury	0.002
Molybdenum	0.15
Nickel	1
Selenium	0.02
Uranium	0.2
Vanadium	ND
Zinc	20

자료 : ANZECC, ARMC, 2000, Australian and New Zealand Guideline for fresh and marine water quality
(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

4) 수산양식

물리화학적 항목 (알칼리도, BOD, COD, 이산화탄소, 색도, DO, 경도, pH, 염도, 부유물질, 온도 등)과 50여개에 달하는 무기 및 유기 독성물질, 살충제 등에 대한 권고치를 정하고 있다.

표3-3-18. 호주/뉴질랜드의 수산양식종을 위한 물리화학적 항목 권고치

Measured parameter	Recommended guideline (mg L ⁻¹)	
	Freshwater production	Saltwater production
Alkalinity	≥20	>20
Biochemical oxygen demand (BOD ₅)	<15	ND
Chemical oxygen demand	<40	ND
Carbon dioxide	<10	<15
Colour and appearance of water	30-40(Pt-Co units)	30-40(pt-Co units)
Dissolved oxygen	>5	>5
Gas supersaturation	<100%	<100%
Hardness(CaCO ₃)	20-100	NC
pH	5.0-9.0	6.0-9.0
Salinity (total dissolved solids)	<3000	33000-37000 (3000-35000 Brackish)
Suspended solids	<40	<10 (<75 Brackish)
Temperature	<2.0°C change over 1hour	<2.0°C change over 1hour

자료 : ANZECC, ARMC, 2000, Australian and New Zealand Guideline for fresh and marine water quality (인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

표3-3-19. 호주/뉴질랜드의 수산양식종을 위한 독성물질 권고치

Measured parameter	Guideline (ug L ⁻¹)	
	Freshwater production	Saltwater production
Inorganic toxicants (heavymetals and others)		
Aluminium	<30(ph>6.5) <10(ph<6.5)	<10
Ammonia (un-ionised)	<20(ph>8.0)coldwater <30 warmwater	<100
Arsenic	<50	<30
Cadmium (varies with hardness)	<0.2-1.8	<0.5-5
Chlorine	<3	<3
Chromium	<20	<20
Cooper (varies with hardness)	<5	<5
Cyanide	<5	<5
Fluorides	<20	ND
Hydrogen sulfide	<1	<2
Iron	<10	<10
Lead (Varies with hardness)	<1-7	<1-7

표3-3-19. 호주/뉴질랜드의 수산양식종을 위한 독성물질 권고치

Measured parameter	Guideline (ug L ⁻¹)	
	Freshwater production	Saltwater production
Magnesium	<15000	ND
Manganese	<10	<10
Mercury	<1	<1
Nickel	<100	<100
Nitrate (NO ₃ ⁻)	<50000	<100000
Nitrite (NO ₂)	<100	<100
Phosphates	<100	<50
Selenium	<10	<10
Silver	<3	<3
Tributyltin (TBT)	<0.026	<0.01
Total available nitrogen (TAN)	<1000	<1000
Vanadium	<100	<100
Zinc	<5	<5
Organic toxicants (non-pesticides)		
Detergents and surfactants	<0.1	ND
Methane	<65000	<65000
Oils and greases (including petrochemicals)	<300	ND
Phenols and chlorinated phenols	<0.6-1.7	ND
Polychlorinated biphenyls (PCBs)	<2	<2
Pesticides		
2,4-dichlorophenol	<4.0	ND
Aldrin	<0.01	ND
Azinphos-methyl	<0.01	ND
Chlorpyrifos	<0.001	ND
DDT(including DDD&DDE)	<0.0015	ND
Demeton	<0.01	ND
Dieldrin	<0.005	ND
Endrin	<0.002	ND
Gunthion (see also Azinphos-methyl)	<0.01	ND
Hexachlorobenzole	<0.00001	ND
Heptachlor	<0.005	ND
Malathion	<0.03	ND
Methoxychlor	<0.03	ND
Mirex	<0.001	ND
Parathion	<0.04	ND
Toxaphene	<0.002	ND

자료 : ANZECC, ARMC, 2000, Australian and New Zealand Guideline for fresh and marine water quality
(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

5) 레크리에이션

레크리에이션 수영 등과 물에 직접 접촉하는 경우와 그렇지 않은 경우로 유형별로 나누어 적용하고 있으며 수질항목은 다음과 같다.

표3-3-20. 호주/뉴질랜드의 레크리에이션 유형별 수질항목

항목	Primary contact (수영)	secondary contact (보트타기)	visual use (no contact)
미생물학적 권고치	0	0	
nuisance (조류)	0	0	0
물리적 및 화학적 권고치			
Aesthetics	0	0	0
Clarity	0	0	0
Colour	0	0	0
pH	0		
온도	0		
Toxic chemicals	0	0	
Oil, debris	0	0	0

(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

표3-3-21. 호주/뉴질랜드의 레크리에이션용 물에 대한 수질준거치 (일반항목)

Parameter	Guideline values ($\mu\text{g L}^{-1}$, unless otherwise stated)
Inorganic	
Arsenic	50
Asbestos	NR
Barium	1000
Boron	1000
Cadmium	5
Chromium	50
Cyanide	100
Lead	50
Mercury	1
Nickel	100
Nitrate-N	10000
Nitrate-N	1000
Selenium	10
Silver	50
Organic	
Benzene	10

표3-3-21. 호주/뉴질랜드의 레크리에이션용 물에 대한 수질준거치 (일반항목)

Parameter	Guideline values (ug L ⁻¹ , unless otherwise stated)
Organic	
Benzene	10
Benzo(a)pyrene	0.01
Carbon tetrachloride	3
1,1-Dichloroethene	0.3
1,2-Dichloroethene	10
Pentachlorophenol	10
Polychlorinated biphenyls	0.1
Tetrachloroethene	10
2,3,4,6-Trichlorophenol	1
Trichloroethene	30
2,4,5-Trichlorophenol	1
2,4,6-Trichlorophenol	10
Radiological	
Gross alpha activity	0.1 Bq/L
Gross beta activity (excluding activity of ⁴⁰ K)	0.1 Bq/L
Other chemicals	
Aluminium	200
Ammonia (as N)	10
Chloride	400000
Copper	10000
Oxygen	>6.5 (80% saturation)
Hardness (as CaCO ₃)	500000
Iron	300
Manganese	100
Organics (CCE&CAE)	200
ph	6.5-8.5
Phenolics	2
Sodium	300000
Sulfate	400000
Sulfide	50
Surfactant(MBAS)	200
Total dissolved solids	1000000
Zinc	5000

자료 : ANZECC, ARMC, 2000, Australian and New Zealand Guideline for fresh and marine water quality
(인용보고서; 물환경 종합평가 방법 개발 조사 연구, 2006, 환경부, 국립환경과학원)

E. 독일

수생군집, 낚시 (fisheries), 부유입자상물질/퇴적물, 음용수원, 관개용수, 그리고 레크리에이션용수에 대한 수질목표를 설정하는 방법이 일차적으로 개발되었으나 완성되지 않은 상황이다. 이미 개발된 방법에 의하여 정해지는 목표값을, 지표수를 대상으로 18개 독성 및 발암물질에 대하여 모니터링 한 결과와 비교하고 수질목표 설정방법을 보완하게 된다. 수질목표가 수립되면 지자체의 수자원 계획 수립에 이용되는데, 동 수질목표를 지자체가 의무적으로 준수하여야 하는 것은 아니고 보호할 용수 및 수질목표는 지자체가 결정하게 된다.

3-2. 농업용수 수질기준

3-2-1. 국내의 농업용수 수질기준

국내 농업용수 수질기준은 지하수를 이용한 농업용수는 지하수의 수질보전에 관한 규칙에 따라 일반오염물질 (4종), 특정유해물질 (15종)에 대한 기준이 설정되어 있으며, 환경정책 기본법에 근거하여 하천수 및 호소수 4급수를 농업용수 수질기준을 적용하고, 농산물세척에 사용되는 용수 및 직접 먹는 농산물 재배에 사용되는 용수는 먹는물 수질기준에 따라 무기물질 (13종), 유기물질 (17종)로 구분하여 기준이 설정되어 있다.

1) 하천

표3-3-22. 하천의 사람의 건강 보호 기준

(단위 : mg L⁻¹)

항목	기준값
카드뮴(Cd)	0.005 이하
비소(As)	0.05 이하
시안(CN)	검출되어서는 안 됨 (검출한계 0.01)
수은(Hg)	검출되어서는 안 됨 (검출한계 0.001)
유기인	검출되어서는 안 됨 (검출한계 0.0005)
폴리크로리네이티드비페닐(PCB)	검출되어서는 안 됨 (검출한계 0.0005)
납(Pb)	0.05 이하
6가크롬(Cr ⁶⁺)	0.05 이하
음이온계면활성제(ABS)	0.5 이하
사염화탄소	0.004 이하
1,2-디클로로에탄	0.03 이하
테트라클로로에틸렌(PCE)	0.04 이하
디클로로메탄	0.02 이하
벤젠	0.01 이하
클로로포름	0.08 이하
디에틸헥실프탈레이트(DEHP)	0.008 이하
안티몬	0.02 이하

표3-3-23. 하천의 생활환경기준

등급	상태 (캐릭터)	수소이온 농도(pH)	생물 화학적 산소 요구량 (BOD) (mg L ⁻¹)	*화학적 산소 요구량 (COD) (mg L ⁻¹)	부유 물질량 (SS) (mg L ⁻¹)	용존 산소량 (DO) (mg L ⁻¹)	*총인 (T-P) (mg L ⁻¹)	대장균군	
								총 대장균군	분원성 대장균군
매우 좋음	I a 	6.5~ 8.5	1 이하	2 이하	25 이하	7.5 이상	0.02 이하	50 이하	10 이하
좋음	I b 	6.5~ 8.5	2 이하	4 이하	25 이하	5.0 이상	0.04 이하	500 이하	100 이하
약간 좋음	II 	6.5~ 8.5	3 이하	5 이하	25 이하	5.0 이상	0.1 이하	1,000 이하	200 이하
보통	III 	6.5~ 8.5	5 이하	7 이하	25 이하	5.0 이상	0.2 이하	5,000 이하	1,000 이하
약간 나쁨	IV 	6.0~ 8.5	8 이하	9 이하	100 이하	2.0 이상	0.3 이하	-	-
나쁨	V 	6.0~ 8.5	10 이하	11 이하	쓰레기등이 떠있지 아니할것	2.0 이상	0.5 이하	-	-
매우 나쁨	VI 	-	10 초과	11 초과	-	2.0 미만	0.5 초과	-	-

환경정책기본법 [별표1] 환경기준(제2조관련)

비고

1. 등급별 수질 및 수생태계 상태

- 가. 매우 좋음 : 용존산소가 풍부하고 오염물질이 없는 청정상태의 생태계로 여과·살균 등 간단한 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있음.
- 나. 좋음 : 용존산소가 많은 편이고 오염물질이 거의 없는 청정상태에 근접한 생태계로 여과·침전·살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있음.
- 다. 약간 좋음 : 약간의 오염물질은 있으나 용존산소가 많은 상태의 다소 좋은 생태계로 여과·침전·살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수 또는 수영용수로 사용할 수 있음.
- 라. 보통 : 보통의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 일반 생태계로 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 생활용수로 이용하거나 일반적 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.
- 마. 약간 나쁨 : 상당량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계

로 농업용수로 사용하거나, 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.

바. 나쁨 : 다량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 산책 등 국민의 일상생활에 불쾌감을 유발하지 아니하며, 활성탄 투입, 역삼투압 공법 등 특수한 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.

사. 매우 나쁨 : 용존산소가 거의 없는 오염된 물로 물고기가 살기 어려움.

아. 용수는 당해 등급보다 낮은 등급의 용도로 사용할 수 있음.

자. 수소이온농도 (pH) 등 각 기준항목에 대한 오염도 현황, 용수처리방법 등을 종합적으로 검토하여 그에 맞는 처리방법에 따라 용수를 처리하는 경우에는 당해 등급보다 높은 등급의 용도로도 사용할 수 있음.

2) 호소

호소의 사람의 건강보호 기준은 하천의 기준과 같다.

표3-3-24. 호소의 생활환경기준

등급	상태 (캐릭터)	수소 이온 농도 (pH)	화학적 산소 요구량 (COD) (mg L ⁻¹)	부유 물질량 (SS) (mg L ⁻¹)*	용존 산소량 (DO) (mg L ⁻¹)	총인 (T-P) (mg L ⁻¹)	총질소 (T-N) (mg L ⁻¹)	클로로필 -a (Chl-a) (mg m ⁻³)	대장균군	
									총 대장 균군	분원 성 대장 균군
매우 좋음	I a 	6.5~ 8.5	2 이하	1 이하	7.5 이상	0.01 이하	0.2 이하	5 이하	50 이하	10 이하
좋음	I b 	6.5~ 8.5	3 이하	5 이하	5.0 이상	0.02 이하	0.3 이하	9 이하	500 이하	100 이하
약간 좋음	II 	6.5~ 8.5	4 이하	5 이하	5.0 이상	0.03 이하	0.4 이하	14 이하	1,000 이하	200 이하
보통	III 	6.5~ 8.5	5 이하	15 이하	5.0 이상	0.05 이하	0.6 이하	20 이하	5,000 이하	1,000 이하
약간 나쁨	IV 	6.0~ 8.5	8 이하	15 이하	2.0 이상	0.10 이하	1.0 이하	35 이하	-	-
나쁨	V 	6.0~ 8.5	10 이하	쓰레기 등이 떠있지 아니할것	2.0 이상	0.15 이하	1.5 이하	70 이하	-	-
매우 나쁨	VI 	-	10 초과	-	2.0 미만	0.15 초과	1.5 초과	70 초과	-	-

환경정책기본법 [별표1] 환경기준(제2조관련)

비 고

1. 총인, 총질소의 경우 총인에 대한 총질소의 농도비율이 7 미만일 경우에는 총인의 기준을 적용하지 아니하며, 그 비율이 16 이상일 경우에는 총질소의 기준을 적용하지 아니한다.
2. 등급별 수질 및 수생태계 상태는 하천의 생활환경 기준 비고 제1호와 같다.

3) 지하수

지하수환경기준항목 및 수질기준은 「먹는물관리법」 제5조 및 「수도법」 제18조의 규정에 의하여 환경부령이 정하는 수질기준을 적용한다. 다만, 환경부장관이 고시하는 지역 및 항목은 적용하지 아니한다.

표3-3-25. 지하수 수질기준 (단위 : mg L⁻¹)

		생활용수	농·어업 용수	공업용수
수소이온농도 (pH)		5.8~8.5	6.0~8.5	5.0~9.0
일반오염물질 (4개)	총대장균군	5,000 이하 (균수/100 mL)	-	-
	질산성질소	20 이하	20 이하	40 이하
	염소이온	250 이하	250 이하	500 이하
카 드 목		0.01 이하	0.01 이하	0.02 이하
비 소		0.05 이하	0.05 이하	0.1 이하
시 안		0.01 이하	0.01 이하	0.2 이하
수 은		0.001 이하	0.001 이하	0.001 이하
유 기 인		0.0005 이하	0.0005 이하	0.0005 이하
폐 늘		0.005 이하	0.005 이하	0.01 이하
특정유해물질 (15개)	납	0.1 이하	0.1 이하	0.2 이하
	6가크롬	0.05 이하	0.05 이하	0.1 이하
	트리클로로에틸렌	0.03 이하	0.03 이하	0.06 이하
	테트라클로로에틸렌	0.01 이하	0.01 이하	0.02 이하
	1.1.1-트리클로로에탄	0.15 이하	0.3 이하	0.5 이하
	벤 젠	0.015 이하	-	-
	톨 루 엔	1 이하	-	-
	에틸벤젠	0.45 이하	-	-
크 실 렌	0.75 이하	-	-	

환경부 「지하수의 수질보전 등에 관한 규칙」

지하수를 농업용수로 이용하는 경우, 「지하수의 수질보전 등에 관한 규칙」 제 11조에 따라 농업용수 기준 이상의 수질을 이용한다.

표3-3-26. 먹는물의 수질기준

	건강상 유해영향 물질	기준 (mg L ⁻¹)	건강상 유해영향 물질	기준 (mg L ⁻¹)
무기물질	납	0.01 이하	암모니아성 질소	0.5 이하
	불소	1.5 이하	질산성 질소	10 이하
	비소	0.01 이하	카드뮴	0.005 이하
	셀레늄	0.01 이하	보론	1.0 이하
	수은	0.001 이하	브롬산염	0.01 이하
	시안	0.01 이하	스트론튬	4 이하
	크롬	0.05 이하		
유기물질	페놀	0.005 이하	벤젠	0.01 이하
	다이아지논	0.02 이하	톨루엔	0.7 이하
	파라티온	0.06 이하	에틸벤젠	0.3 이하
	페니트로티온	0.04 이하	크실렌	0.5 이하
	카바틸	0.07 이하	1,1-디클로로에틸렌	0.03 이하
	1,1,1-트리클로로에탄	0.1 이하	사염화탄소	0.002 이하
	테트라클로로에틸렌	0.01 이하	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003 이하
	트리클로로에틸렌	0.03 이하	1,3-다이옥산	0.05 이하
	디클로로메탄	0.02 이하		

먹는 물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙 [별표1] 먹는물의 수질기준(제2조관련)

농산물의 세척에 사용되는 용수 및 싹을 틔워 직접 먹는 농산물 재배에 사용되는 용수는 「먹는 물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙」 제 2조의 먹는 물의 수질기준을 따른다.

국내에 설정된 농업용수 관련 기준은 분류항목 및 기준설정 항목 등이 달라 농업용수 수질기준에 대한 명확한 개념 정립이 어려운 상황이며, 기준 설정항목이 국외에 비하여 많지 않은 부분에 대하여 국내 농업형태 및 목적에 적합하면서 적용 가능한 기준을 포함하고 있는 지에 대한 검토가 필요하며, 국내환경에 적합한 농업용수 수질기준 설정을 위한 개선방안 등이 요구된다.

표3-3-27. 국내의 농업용수 수질기준의 변화

(단위 : mg L⁻¹)

	하천		호소		지하수	
	'93	'11	'93	'11	'08	'10
수소이온농도(pH)	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5
생물화학적산소요구량(BOD)	8 이하	8 이하				
화학적산소요구량(COD)	8 이하	9 이하	8 이하	8 이하		
부유물질량(SS)	100 이하	100 이하	15 이하	15 이하		
용존산소량(DO)	2 이상	2.0 이상	2 이상	2.0 이상		
총인(T-P)		0.3 이하	0.100 이하	0.10 이하		
총질소(T-N)			1.0 이하	1.0 이하		
클로로필-a				35 이하		
총대장균군		-		-		
대장균군	-				-	
분원성대장균군		-		-		
일반세균					-	
질산성질소					20 이하	
염소이온					250 이하	

표3-3-27에는 우리나라 농업용수 수질기준의 변화를 보여주고 있다. BOD는 하천수에서 8 mg L⁻¹로 기존의 기준과 '11년에 개정된 기준에 동일하다. 그러나 COD는 '11년 개정 시 9 mg L⁻¹로 다소 낮은 기준으로 변경 설정되었다. 또한 '11년 개정 시 총인 (T-P)의 기준이 6.3 mg L⁻¹ 이하로 신설되었다. 호소수 중 농업용수 수질기준에도 클로로필-a가 35 mg L⁻¹ 이하로 신설되었다. 또한 지하수에도 질산성 질소와 염소이온이 각각 20 mg L⁻¹ 이하와 250 mg L⁻¹ 로 설정되어있다.

표3-3-28. 국내의 농업용수 수질기준 중 유해물질 기준의 변화

(단위 : mg L⁻¹)

	'93		'11		지하수	
	전수역	하천	호소	'08	'10	
카드뮴(Cd)	0.01 이하	0.005 이하		0.01 이하	0.01 이하	
비소(As)	0.05 이하	0.05 이하		0.05 이하	0.05 이하	
시안(CN)	검출되어서는 안됨	검출되어서는 안됨		검출되어서는 안됨	0.01 이하	
수은(Hg)	검출되어서는 안됨	검출되어서는 안됨		검출되어서는 안됨	0.001 이하	
유기인	검출되어서는 안됨	검출되어서는 안됨		검출되어서는 안됨	0.0005 이하	
폴리크로리네이티드비페닐 (PCB)	검출되어서는 안됨	검출되어서는 안됨				
납(Pb)	0.1 이하	0.05 이하		0.1 이하	0.1 이하	
6가크롬(Cr ⁶⁺)	0.05 이하	0.05 이하		0.05 이하	0.05 이하	
음이온계면활성제 (ABS)		0.5 이하				
사업화탄소		0.004 이하				
1,2-디클로로에탄		0.03 이하	하천과 동일			
테트라클로로에틸렌(PCE)		0.04 이하		0.01 이하	0.01 이하	
디클로로메탄		0.02 이하				
벤젠		0.01 이하		-	-	
클로로포름		0.08 이하				
디에틸헥실프탈레이트 (DEHP)		0.008 이하				
안티몬		0.02 이하				
페놀				0.005 이하	0.005 이하	
트리클로로에틸렌				0.03 이하	0.03 이하	
1,1,1-트리클로로에탄				0.3 이하	0.3 이하	
톨루엔				-	-	
에틸벤젠				-	-	
크실렌				-	-	

한편 유해물질의 기준은 다소 강화되어 하천수의 경우 카드뮴이 0.005 mg L⁻¹, 납이 0.05 mg L⁻¹로 2배씩 강화되었고, ABS, 1,2-디클로로에탄, PCE, 디클로로메탄, 벤젠, 클로로포름, DEHP, 안티몬 등의 기준이 신설되었다. 호소수 중 농업용수의 기준도 하천과 동일하며, 지하수의 농업용수 수질기준은 다소 완화되어 시안, 수은 및 유기인은 검출되어서는 안 됨에서 각각 0.01 mg L⁻¹ 이하, 0.001 mg L⁻¹ 이하 및 0.0005 mg L⁻¹ 이하로 신설되었다.

즉, 국내의 농업용수 수질기준은 환경보전법상 하천수, 호소수 및 지하수로 구분되어 운영되고 있으며, 농산물품질관리법에서도 농업용수 수질기준은 환경보전법에 따르는 것으로 되어있다. 그러나 농민의 입장에서 본다면 한가지 기준을 적용하는 것이 필요하며, 일부의 기준은 일단 작물 생육에 해를 미치지 않는 수준이나 또는 농업 환경에 위해를 주지 않는 수준에서 다소 완화시킬 필요성이 있다고 본다.

3-2-2. 외국의 농업용수 수질기준

가. FAO (Food and Agriculture Organization)

FAO에서는 미국 서부지역을 근거로 밭토양 관개용수 수질에 대한 농업용수 기준을 제시하고 있으며, 농업용수 사용에 있어 염도 (salinity), 토양침투율 (soil infiltration rate), 특정이온독성 (specific ion toxicity) 및 기타 영향 (bicarbonate, nitrate 등)으로 구분한다. 농업용수 중 염류는 작물재배기간 동안 사용시기마다 작물뿌리 주변 토양에 축적되어 작물에 의한 수분 흡수율을 저해하여 수확량 손실을 발생시킬 수 있는 요소이다. 농업용수의 토양침투율에 영향을 주는 요소는 SAR (Sodium adsorption ratio)과 전기전도도 (Electronic conductivity, EC)를 근거로 하여 5가지로 분류해서 제시하고 있다. 특정이온 독성항목인 나트륨, 염소 및 붕소에 대하여 민감작물에 대한 영향을 평가하기 위해 지표관개와 스프링클러 관개로 구분하여 제시하고 있으며, 이는 스프링클러관개시 있을 통하여 흡수되어 독성을 유발할 수 있기 때문이다. 기타항목으로 질산염, 중탄산염 및 pH에 대한 기준을 제시하고 있으며, 질소 농도가 높은 농업용수의 작물에 적용하면 성장, 도복 및 성숙지연에 영향을 주고, 고농도의 중탄산염을 포함하고 있는 용수는 관개용 장비의 수송관에 손상을 주며, pH에 의한 영향은 작물의 변형을 초래할 수 있다.

표3-3-29. 관개용 수질의 해석을 위한 지침¹

Potential Irrigation Problem	Units	Degree of Restriction on Use			
		None	Slight to Moderate	Severe	
Salinity(affect crop water availability)²					
EC _w	dS/m	<0.7	0.7~3.0	>3.0	
TDS	mg/L	<450	450~2000	>2000	
Infiltration (affect infiltration rate of water into the soil. Evaluate using EC_w and SAR together)³					
SAR	and EC _w	=0~3	>0.7	0.7~0.2	<0.2
		=3~6	>1.2	1.2~0.3	<0.3
		=6~12	>1.9	1.9~0.5	<0.5
		=12~20	>2.9	2.9~1.3	<1.3
		=20~40	>5.0	5.0~2.9	<2.9
Specific Ion Toxicity (affect sensitive crops)					
Sodium(Na) ⁴	surface irrigation	SAR	<3	3~9	>9
	sprinkler irrigation	me/L ⁶	<3	>3	
Chloride(Cl) ⁴	surface irrigation	me/L	<4	4~10	>10
	sprinkler irrigation	me/L	<3	>3	
Boron(B)	mg/L	<0.7	0.7~3.0	>3.0	
Miscellaneous Effects (affect susceptible crops)					
Nitrogen (NO ₃ -N) ⁵	mg/L	<5	5~30	>30	
Bicarbonate (overhead sprinkling only)	me/L	<1.5	1.5~8.5	>8.5	
pH		Normal Range 6.5~8.4			
Al : 5 mg L ⁻¹ , As : 0.1 mg L ⁻¹ , Cd : 0.01 mg L ⁻¹ , Cr(VI) : 0.1 mg L ⁻¹ , Cu : 0.2 mg L ⁻¹ , Pb : 5.0 mg L ⁻¹ , Ni : 0.2 mg L ⁻¹ , Zn : 2.0 mg L ⁻¹					

1 Adapted from university of California Committee of Consultants 1974.

2 EC_w=electrical conductivity

3 SAR=sodium adsorption ratio

4 For surface irrigation, most tree crops and woody plants are sensitive to sodium and chloride

5 NO₃-N=nitrate nitrogen reported in terms of elemental nitrogen(NH₄-N and Organic-N should be included when wastewater is being tested

6 me/L=milliequivalent per liter(mg/L÷equivalent weight)

나. 미국

미국에서의 수질환경기준은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 수질 준거치(Criteria)와 수질기준(Water Quality Standard)으로 분류할 수 있다. 수질준거치의 경우에는 설정 및 수정·보완을 연방정부에서 담당하고 있고 수질기준의 경우 주정부에서 담당하고 있기 때문에 각 주마다 수질기준이 상이하다. 미국 EPA (U.S. Environmental Protection Agency)에서는 이수목적에 따라 가정용, 농업용, 산업용, 어패류, 레크레이션용, 가축용, 야생동물용, 상업용으로 나누며

또한 독성물질에 대한 수질기준치를 해수와 담수로 나누어 각각 급성농도 (Criteria Maximum Concentration, CMC)와 만성농도 (Criteria Continuous Concentration, CCC)를 제시하고 있으며, 발암력 (Cancer potency factor, q1*)과 비발암력 (Reference dose, RfD)을 바탕으로 인체 건강보호 (Human Health)를 위한 수질기준치를 함께 제시하고 있다. 급성농도인 CMC는 수중생태계에 지속적으로 영향을 주는 물질을 제외하고 단시간 내에 노출되어 질수 있는 지표수내 물질의 최고농도를 나타내는 것이며, 만성농도인 CCC는 수중생태계에서 장기간 영향을 줄 수 있는 물질로 연속적으로 노출되어 지는 경우 지표수내 잔류하는 물질의 최고농도를 의미한다.

미국 연방정부에서는 담수, 사람의 건강 대한 우선 독성물질 120항목에 관한 국가권고수질기준치 (National Recommended Water Quality Criteria For Priority Toxic Pollutants)와 비우선 오염물질 47개 항목에 대한 국가 권고수질 기준치를 제시하고 있다 (표3-3-30, 표3-3-31). 또한 인체건강보호를 위한 수질기준치 계산방법론은 선형접근 (Linear approach)과 비선형 접근 (Nonlinear approach)방식으로 나뉘 제시하고 있으며, 여기에는 어류조직의 농축계수 (Bioconcentration factor, BCF), 어류섭취량 (Fish intake, FI), 오염원의 상대 기여도 (Relative source contribution, RSC) 등의 인자들을 사용하고 있다. 이들 독성물질들 중 발암성을 지닌 물질에 대한 준거치는 q1* (kg-d/mg or per mg/kg-day)와 RfD (mg/kg-d)로 나뉘 10^{-6} 의 위해성을 기본으로 하고 있으며, 대체위해성 수준 (Alternative risk level)은 소수점을 이동하여 10^{-5} 으로 산출하고 있다. 이를 바탕으로 표3-3-32에서는 인체건강 보호를 위한 위해성 국가수질기준치 설정 계산식을 제시하고 있다. 표3-3-33는 비독성을 기반으로한 관능효과 (Organoleptic Effects)에 대한 준거치이며, 이는 인간에게 독성적이지 않지만 불쾌한 맛과 냄새를 가진 물과 수생식품으로 인간에게 거부감을 느끼게 할 수 정도를 23가지 물질들에 대한 국가 권고치로 나타내고 있다. 23가지 물질들 중, Trichlorophenol,2,4,5 는 비우선오염물질에서 권고한 권고치 보다 훨씬 더 엄격한 권고치 값을 제시하고 있다.

용존성 금속에 대한 수질기준치 설정 근거를 US EPA에서는 제시하고 있다. 용존성 금속 준거치는 물의 경도에 의존하지 않는 금속들과 물의 경도에 의존하는 금속들로 나뉘 수질기준치를 제시하고 있다. 담수에서 CMC 와 CCC의 용존성 금속별 준거치값은 용존성 금속별 근거 계산식과 CF (Conversion factors) 그리고 각 용존금속별 상수를 사용하여 산출하고 있다 (표3-3-34, 표3-3-35). 물의 경도에 의존하지 않는 금속들에 대한 준거치 값들은 Total recoverable metal이라는 표현으로 나타낸 CWA의 304(a) aquatic life criteria를 이용하고 CF를 곱하여 계산된 값들을 준거치로 제시하고 있다. 또

한, 우선독성오염물질 120종 중 Pentachlorophenol은 담수내 CMC와 CCC에 대한 준거치값은 pH 7.8에 상응한 값을 사용하여 “CMC (dissolved) = $\exp\{1.005(\text{pH})-4.869\}$ ”와 “CCC (dissolved) = $\exp\{1.005(\text{pH})-5.134\}$ ” 계산식을 통해 Pentachlorophenol 권고치 값을 나타내고 있다.

이들 준거치의 근거는 미국 청정수법 (Clean Water Act, CWA)이라는 연방수질오염규제법으로, 청정수법 (CWA) 303조와 304조에 근거하여 EPA에서 제시하고 있다.

표3-3-30. 미국 우선 독성물질에 대한 국가적 권고 수질준거치 (단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Priority Pollutant	Freshwater		Human health		
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	물+유기체	유기체	사용데이터
At			5.6	640	RfD=4E-4 RSC=40% BCF=1 FI=17.5
As	340	150	0.018	0.14	q1* used=1.75 BCF=44 FI=6.5
Be					
Cd	2.0	0.25			RfD=1E-3(food) RfD=0.0005(water) RSC=25%
Cr(III)	570	74			1.5E+0
Cr(VI)	16	11			3E-3
Cu			1300		
Pb	65	2.5			
Hg	1.4	0.77			
Methylmercury				0.3 mg kg^{-1}	RfD=1E-4ng/kgBW-day RSC=2.7E-5mg/kgBW-day FI=17.5
Ni	470	52	610	4600	RfD=2E-2 BCF=47 FI=6.5
Se		5.0	170	4200	RfD=5E-3 BCF=4.8 FI=17.5
Ag	3.2				RfD=5E-3 BCF=0.5
Ti			0.24	0.47	RfD=6.8E-5 BCF=116 RSC=20% FI=6.5
Zn	120	120	7400	26000	RfD=3E-1 BCF=47 FI=17.5

표3-3-30. 미국 우선 독성물질에 대한 국가적 권고 수질준거치

(단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Priority Pollutant	Freshwater		Human health		
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	물+유기체	유기체	사용데이터
CN	22	5.2	140	140	RfD=2E-2 BCF=1 RSC=20% FI=6.5
Asbestos			7 million fibers/L		
2,3,7,8-TCDD(Dioxin)			5.0E-9	5.1E-9	q1*=1.56E+5 BCF=5000 FI=17.5
Acrolein	3	3	6	9	ADI=15.6ug/kg/day BCF=215 FI=17.5
Acrylonitrile			0.51	0.25	q1*=5.4E-1 BCF=30 FI=17.5
Benzene			2.2	51	q1*=1.5E-2 BCF=5.2 FI=17.5
Bromoform			4.3	140	q1*=7.9E-3 BCF=3.75 FI=17.5
CarbonTetrachloride			0.23	1.6	q1*=1.3E-1 BCF=18.75 FI=17.5
Chlorobenzene			130	1600	RfD=2E-2 BCF=10.3 RSC=20% FI=6.5
Chlorodibromomethane			0.40	13	q1*=8.4E-2 BCF=3.75 RSC=80% FI=17.5
Chloroethane					
2-Chloroethylvinyl Ether					
Chloroform			5.7	470	q1*=6.1E-3 BCF=3.75 FI=6.5
Dichlorobromomethane			0.55	17	q1*=6.2E-2 BCF=3.75 FI=17.5
1,1-Dichloroethane					
1,2-Dichloroethane			0.38	37	q1*=9.1E-2 BCF=1.2 FI=17.5
1,1-Dichloroethylene			330	7100	q1*=6E-1 RSC=20% (not used) BCF=5.6 FI=6.5

표3-3-30. 미국 우선 독성물질에 대한 국가적 권고 수질준거치 (단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Priority Pollutant	Freshwater		Human health		
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	물+유기체	유기체	사용데이터
1,2-Dichloropropane			0.50	15	q1*=6.7E-2 BCF=4.1 FI=17.5
1,3-Dichloropropene			0.34	21	RfD=3E-4 BCF=1.9 FI=6.5
Ethylbenzene			530	2100	RfD=1E-1 RSC=20%(not used) BCF=37.5 FI=6.5
MethylBromide			47	1500	RfD=1.4E-3 BCF=3.75 (Chloroform BCF used) FI=17.5
Methyl Chloride					
MethyleneChloride			4.6	590	q1*=7.5E-3 BCF=0.9 FI=17.5
1,1,2,2-Tetrachloroethane			0.17	4.0	q1*=2E-1 BCF=5 FI=17.5
Tetrachloroethylene			0.69	3.3	q1*=3.98E-2 BCF=30.6 FI=17.5
Toluene			1300	15000	RfD=2E-1 RSC=20% BCF=10.7 FI=6.5
1,2-Trans-Dichloroethylene			140	10000	RfD=2E-2 RSC=20% BCF=1.58 FI=6.5
1,1,1-Trichloroethane					
1,1,2-Trichloroethane			0.59	16	q1*=0.057 RfD=4E-3 RSC=20% BCF=4.5 FI=17.5
Trichloroethylene			2.5	30	q1*=1.26E-2 BCF=10.6 FI=17.5
VinylChloride			0.025	2.4	q1*=1.74E-2 BCF=1.17 FI=6.5
2-Chlorophenol			81	150	RfD=5E-3 BCF=134 FI=17.5

표3-3-30. 미국 우선 독성물질에 대한 국가적 권고 수질준거치 (단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Priority Pollutant	Freshwater		Human health		
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	물+유기체	유기체	사용데이터
2,4-Dichlorophenol			77	290	RfD=3E-3 BCF=40.7 FI=17.5
2,4-Dimethylphenol			380	850	RfD=2E-2 BCF=93.8 FI=17.5
2-Metyyl-4,6Dinitrophenol			13	280	(0.039mg/kg/day)/100 BCF=5.5 FI=17.5
2,4-Dinitrophenol			69	5300	RfD=2E-3 BCF=1.5 FI=17.5
2-Nitrophenol					
4-Nitrophenol					
3-Methyl-4-Chlorophenol					RfD=3E-2 q1*=1.2E-1
Pentachlorophenol	19	15	0.27	3.0	q1*=0.12 RfD=3E-2 BCF=11 FI=17.5
Phenol			10000	860000	RfD=6E-1 BCF=1.4 FI=17.5
2,4,6-Trichlorophenol			1.4	2.4	q1*=0.011 BCF=150 FI=17.5
Acenaphthene			670	990	RfD=6E-2 BCF=242 FI=17.52
Acenaphylene					
Anthracene			8300	40000	RfD=3E-1 BCF=30 FI=17.5
59. Benzidine			0.000086	0.00020	q1*=230 RfD=3E-3 BCF=87.5 FI=17.5
Benzo(a)Anthracene			0.0038	0.018	q1*=7.3E+0 BCF=30 FI=17.5
Benzo(a)Pyrene			0.0038	0.018	q1*=7.3E+0 BCF=30 FI=17.5
Benzo(b)Fluoranthene			0.0038	0.018	q1*=7.3E+0 BCF=30 FI=17.5
Benzo(ghi) Perlene					

표3-3-30. 미국 우선 독성물질에 대한 국가적 권고 수질준거치 (단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Priority Pollutant	Freshwater		Human health		
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	물+유기체	유기체	사용데이터
Benzo(k)Fluoranthene			0.0038	0.018	q1*=7.3E+0 BCF=30 FI=17.5
Bis(2-Chloroethoxy)Methane					
Bis(2-Chloroethyl)Ether			0.030	0.53	q1*=1.1 BCF=6.9 FI=17.5
Bis(2-Chloroisopropyl)Ether			1400	65000	RfD=4E-2 BCF=2.47 FI=17.5
Bis(2-Ethylhexyl)Phthalate			1.2	2.2	q1*=0.014 BCF=130 FI=17.5
4-Bromophenyl Phenyl-Ether					
ButylbenzylPhthalate			1500	1900	RfD=2E-1 BCF=414 FI=17.5
2-Chloronaphthalene			1000	1600	RfD=8E-2 BCF=202 FI=17.5
4-Chlorophenyl Phewnyl-Ether					
Chrysene			0.0038	0.018	q1*=7.3E+0 BCF=30 FI=17.5
Dibenzo(a,h)Anthracene			0.0038	0.018	q1*=7.3E+0 BCF=30 FI=17.5
1,2-Dichlorobenzene			420	1300	RfD=9E-2 RSC=20%(not used) BCF=55.6 FI=6.5
1,3-Dichlorobenzene			320	960	ADI=1.34E-2 BCF=55.6 FI=17.5
1,4-Dichlorobenzene			63	190	ADI=1.34E-2 RSC=20% BCF=55.6 FI=6.5
3,3'-Dichlorobenzidine			0.021	0.028	q1*=0.45 BCF=312 FI=17.5
DiethylPhthalate			17000	44000	RfD=8E-1 BCF=73 FI=17.5

표3-3-30. 미국 우선 독성물질에 대한 국가적 권고 수질준거치 (단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Priority Pollutant	Freshwater		Human health		
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	물+유기체	유기체	사용데이터
Dimethyl Phthalatew			270000	1100000	ADI=10 BCF=36 FI=17.5
Di-n-ButylPhthalatew			2000	4500	RfD=1E-1 BCF=89 FI=17.5
2,4-Dinitrotoluene			0.11	3.4	q1*=3.11E-1 RfD=2E-3(not used) BCF=3.8 FI=17.5
2,6-Dinitrotoluene					
Di-n-Octyl Phthalate					
1,2-Diphenylhydrazine			0.036	0.20	q1*=0.8 BCF=24.9 FI=17.5
Fluoranthene			130	140	RfD=4E-2 BCF=1150 FI=17.5
Fluorene			1100	5300	RfD=4E-2 BCF=30 FI=17.5
Hexachlorobenzene			0.00028	0.00029	q1*=1.6 RfD=8E-4(not used) BCF=8690 FI=17.5
Hexachlorobutadiene			0.44	18	q1*=0.078 BCF=2.78 FI=17.5
Hexachlorocyclopentadiene			40	1100	RfD=7E-3 RSC=20%(not used) BCF=4.34 FI=6.5
Hexachloroethane			1.4	3.3	q1*=0.014 RfD=1E-3 BCF=86.9 FI=17.5
Indeno(1,2,3-cd)Pyrene			0.0038	0.018	q1*=7.3+0 BCF=30 FI=17.5
Isophorone			35	960	q1*=9.5E-4 RfD=2E-1(not used) BCF=4.38 FI=17.5
Naphthalene					

표3-3-30. 미국 우선 독성물질에 대한 국가적 권고 수질준거치

(단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Priority Pollutant	Freshwater		Human health		
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	물+유기체	유기체	사용데이터
Nitrobenzene			17	690	RfD=5E-4 BCF=2.89 FI=17.5
N-Nitrosodimethylamine			0.00069	3.0	q1*=51 BCF=0.026 FI=17.5
N-Nitrosodi-n-Propylamine			0.0050	0.51	q1*=7.0 BCF=1.13 FI=17.5
N-Nitrosodiphenylamine			3.3	6.0	q1*=0.0049 BCF=136 FI=17.5
Phenanthrene					
Pyrene			830	4000	RfD=3E-2 BCF=30 FI=17.5
1,2,4-Trichlorobenzene			35	70	RfD=1E-2 RSC=20% BCF=114 FI=6.5
Aldrin	3.0		0.000049	0.000050	q1*=17 RfD=3E-5(not used) BCF=4670 FI=17.5
α -BHC			0.0026	0.0049	q1*=6.3 BCF=130 FI=17.5
β -BHC			0.0091	0.017	q1*=1.8 BCF=130 FI=17.5
γ -BHC			0.98	1.8	q1*=1.3 BCF=130 FI=6.5 RSC=20%
delta-BHC					
Chlordane	2.4	0.0043	0.00080	0.00081	q1*=3.5E-1 RfD=5E-4(not used) BCF=14100 FI=17.5
4-4'-DDT	1.1	0.001	0.00022	0.00022	q1*=0.34 RfD=5E-4(not used) BCF=53600 FI=17.5
4,4'-DDE			0.00022	0.00022	q1*=0.34 BCF=53600 FI=17.5

표3-3-30. 미국 우선 독성물질에 대한 국가적 권고 수질기준치 (단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Priority Pollutant	Freshwater		Human health		
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	물+유기체	유기체	사용데이터
4,4'-DDD			0.00031	0.00031	q1*=0.24 BCF=53600 FI=17.5
Dieldrin	0.24	0.056	0.000052	0.000054	q1*=16 RfD=5E-5(not used) BCF=4670 FI=17.5
α -Endosulfan	0.22	0.056	62	89	RfD=6E-3 BCF=270 FI=17.5
β -Endosulfan	0.22	0.056	62	89	RfD=6E-3 BCF=270 FI=17.5
EndosulfanSulfate			62	89	RfD=6E-3 BCF=270 FI=17.5
Endrin	0.086	0.036	0.059	0.060	RfD=3E-4 BCF=3970 RSC=20% FI=6.5
EndrinAldehyde			0.29	0.30	RfD=3E-4 BCF=3970 FI=17.5
Heptachlor	0.52	0.0038	0.000079	0.000079	q1*=4.5 RfD=5E-4(not used) BCF=11200 FI=17.5
HeptachlorEpoxide	0.52	0.0038	0.000039	0.000039	q1*=9.1 RfD=1.3E-5(not used) BCF=11200 FI=17.5
PCBs		0.014	0.000064	0.000064	q1*=2 BCF=31200 FI=17.5
Toxaphene	0.73	0.0002	0.00028	0.00028	q1*=1.1 BCF=13100 FI=17.5

National Recommended Water Quality Criteria(2002); Human Health Criteria Calculation Matrix
National Recommended Water Quality Criteria

표3-3-31. 미국 비우선 독성물질에 대한 국가적 권고 수질준거치 (단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Non-priority pollutant	Freshwater		Human health		
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	물+유기체	유기체	사용데이터
Alkalinity		20000			
Aluminum pH6.5-9.0	750	87			
Ammonia					
AestheticQualities					
Bacteria					
Barium			1000		RfD=7E-2(not used)
Boron					
Chloride	86000	230000			
Chlorine	19	11			
ChlorophenoxyHerbicide2,4,5-T,P					RfD=8E-3(not used) RSC=20%
ChlorophenoxyHerbicide2,4-D			100		RfD=1E-2 RSC=20%
Chloropyrifos	0.083	0.041			q1*=2.2E+2 BCF=63 FI=17.5
Color					
Demeton		0.1			
Ether,BisChloromethyl			0.00010	0.0002 9	
Gases,TotalDissolved					
Guthion		0.01			
Hardness					
exachlorocyclo-hexane-Technical			0.0123	0.0414	
Iron		1000	300		
Malathion		0.1			
Manganese			50	100	RfD=1.4E-1(not used)
Methoxychlor		0.03	100		RfD=5E-3 RSC=20%(not used)
Mirex		0.001	0.001		
Nitrates			10000		RfD=1.6E+0(not used)
Nitrosamines			0.0008	1.24	B _H =43.46 BCF=0.20 (q1*=1.5E+2 not used)
Dinitrophenols			69	1.24	BCF=1.51 RfD=2E-3 FI=17.5
Nonylphenol	28ug/L	28ug/L			q1*=5.43 BCF=3.38 FI=17.5

표3-3-31. 미국 비우선 독성물질에 대한 국가적 권고 수질준거치 (단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Non-priority pollutant	Freshwater		Human health		
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	물+유기체	유기체	사용데이터
Nitrosodibutylamine,N			0.0063	0.22	$B_H=43.46$ $BCF=0.20$ ($q1*=1.5E+2$ not used)
Nitrosodiethylamine,N			0.0008	1.24	$q1*=2.13$ $BCF=0.055$ $FI=17.5$
Nitrosopyrrolidine,N			0.016	34	
Oil and Grease					
Oxygen, Dissolved					
Diazinon	0.17	0.17			$RfD=8E-4$ $BCF=2125$ $FI=17.5$
Parathion	0.065	0.013			
Pentachlorobenzene			1.4	1.2	
pH		6.5 - 9	5 - 9		
Phosphorus Elemental					
Nutrients					
Solids Dissolved and Salinity		250000			
Solids Suspended and Turbidity					
Sulfide-Hydrogen Sulfide		2.0			
Tainting Substances					$RfD=3E-4$ $BCF=1125$ $FI=17.5$
Temperature					
Tetrachlorobenzene,1,2,4,5			0.97	1.1	$RfD=1E-1$ $BCF=110$ $FI=17.5$
Tributyltin(TBT)	0.46	0.072			
Trichlorophenol,2,4,5			1800	3600	

National Recommended Water Quality Criteria(2002); Human Health Criteria Calculation Matrix
National Recommended Water Quality Criteria

표3-3-32. 인체위해성 설정 방법론

Linear Approach		
Using cancer potency, q1*		Using Reference Dose, RfD
물 + 유기체	$AWQC(ug/L) = \frac{(10^{-6}/q1*) \times 70kg \times 1000ug/mg}{(2L/d + (0.0175kg/d \times BCF[L/Kg]))}$	$AWQC(ug/L) = \frac{RfD[mg/kg-day] \times RSC \times (70kg/2L/d + (0.0175kg/d \times BCF[L/kg])) \times 1000ug/mg}{or (-RSC)}$
유기체	$AWQC(ug/L) = \frac{(10^{-6}/q1*) \times 70kg \times 1000ug/mg}{0.0175kg/d \times BCF[L/Kg]}$	$AWQC(ug/L) = \frac{RfD[mg/kg-day] \times RSC \times (70kg / (0.0175kg/d \times BCF[L/kg])) \times 1000ug/mg}{or (-RSC)}$
Nonlinear Approach		
물 + 유기체	$AWQC(ug/L) = POD/UF \times RSC \times (BW/DI + (FI \times BCF))$	
유기체	$AWQC(ug/L) = POD/UF \times RSC \times (BW / (FI \times BCF))$	
비고	AWQA=Ambient water quality criteria=national recommended water quality criteria q1*=Cancer potency factor kg-d/mg or per mg/kg-day RSD=Risk specific dose $10^{-6}/q1*$ mg/kg-day RfD=Reference dose mg/kg-d DI=Drinking water intake 2L/day BW=Human body weight 70kg FI=Fish intake 0.0175kg/day BCF=Bioconcentration factor L/kg UF=Uncertainty factor (unitless) RSC=Relative source contribution (percentage of subtraction) POD=Point of departure mg/kg-day	

National Recommended Water Quality Criteria 2002, Human Health Criteria Calculation Matrix

표3-3-33. 관능효과 (맛, 냄새) (단위 : $\mu g L^{-1}$)

오염물질	관능효과 준거치	오염물질	관능효과 준거치
Acenaphthene	20	3-Methyl-4-Chlorophenol	3000
Monochlorobenzene	20	3-Methyl-6-Chlorophenol	20
3-Chlorophenol	0.1	2-Chlorophenol	0.1
4-Chlorophenol	0.1	Copper	1000
2,3-Dichlorophenol	0.04	2,4-Dichlorophenol	0.3
2,5-Dichlorophenol	0.5	2,4-Dimethylphenol	400
2,6-Dichlorophenol	0.2	Hexachlorocyclopentadiene	1
3,4-Dichlorophenol	0.3	Nitrobenzene	30
2,4,5-Trichlorophenol	1	Pentachlorophenol	30
2,4,6-Trichlorophenol	2	Phenol	300
2,3,4,6-Tetrachlorophenol	1	Zinc	5000
2-Methyl-4-Chlorophenol	1800		

National Recommended Water Quality Criteria

표3-3-34. 용존금속의 Conversion Factors (CF)

Metal	Conversion Factor	
	Freshwater CMC	Freshwater CCC
Arsenic	1.000	1.000
Cadmium	$1.136672 - [(\ln \text{hardness})(0.041838)]$	$1.101672 - [(\ln \text{hardness})(0.041838)]$
Chromium III	0.316	0.860
Chromium VI	0.982	0.962
Copper	0.960	0.960
Lead	$1.46203 - [(\ln \text{hardness})(0.145712)]$	$1.46206 - [(\ln \text{hardness})(0.145712)]$
Mercury	0.85	0.85
Nickel	0.998	0.997
Selenium	-	-
Silver	0.85	-
Zinc	0.978	0.986

National Recommended Water Quality Criteria

표3-3-35. 경도에 의존하는 용존금속 계산을 위한 상수

Chemical	mA	bA	mC	bC	Freshwater Conversion Factors (CF)	
					CMC ^a	CCC ^b
Cadmium	1.0166	-3.924	0.7409	-4.719	$1.13667 - [(\ln \text{hardness})(0.041838)]$	$1.101672 - [(\ln \text{hardness})(0.041838)]$
Chromium III	0.8190	3.7256	0.8190	0.6848	0.316	0.860
Copper	0.9422	-1.700	0.8545	-1.702	0.960	0.960
Lead	1.273	-1.460	1.273	-4.705	$1.46203 - [(\ln \text{hardness})(0.145712)]$	$1.46203 - [(\ln \text{hardness})(0.145712)]$
Nickel	0.8460	2.255	0.8460	0.0584	0.998	0.997
Silver	1.72	-6.59	-	-	0.85	-
Zinc	0.8473	0.844	0.8473	0.884	0.978	0.986

^a. CMC (dissolved) = $\exp\{m_A[\ln(\text{hardness})] + b_A\}$ (CF)

^b. CCC (dissolved) = $\exp\{m_C[\ln(\text{hardness})] + b_C\}$ (CF)

National Recommended Water Quality Criteria

다. 뉴저지 (New Jersey, NJ) 농업용수 수질기준

US EPA는 수질관리를 위하여 미국의 50개주를 10권역 (Region)으로 나눠 관리하고 있으며 뉴저지는 뉴욕과 함께 권역 (Region) 2로 분류하고 있다. 뉴저지에서는 물의 사용목적에 따라 7가지 등급으로 나눠 관리하고 있으며, 각 등급은 Fresh water(s) (FW 1, 2), Pinelands water (PL), Coastal saline waters (SC), Saline waters of estuaries (SE 1, 2, 3)로 나눠 관리하고 있다 (표3-3-36). 여기서, 뉴저지 주정부에서 목적별 사용 용수에 대해 정의하고 있으며, Fresh water(s)는 일반적으로 만조시 3.5 ppt(‰) 또는 이하의 농도 수준에서 자연적으로 발생하는 염분을 함유한 비조석 (non-tidal)과 조석 (tidal) 물이며, Pinelands water(s)는 송림지대 경계 내에 있는 물을 의미한다. 또한 Coastal saline water(s)는 연안염수를 의미하며, Saline water(s) of estuaries는 강이나 바다로 흘러들어가는 어귀의 염수를 뜻한다. 여기서 Saline water(s)란 만조시 3.5 ppt (‰)이상의 염분을 함유한 물로 나타내고 있다.

농업용수가 포함된 FW2 등급에는 1) 자연적 및 생태계 (동식물)의 유지, 이주, 번식, 2) 1차적 레크레이션, 3) 산업 및 농업용수 공급, 4) 여과처리 및 소독 후 공공용수 공급, 5) 기타 합리적인 사용과 같이 세부적인 사항을 바탕으로 이뤄져 있다. 여기서 뉴저지 주정부에서는 농업용수를 넓은 밭에서 수확하는 농작물, 축산업 (목축업), 원예농업에 사용되는 용수를 뜻하고 있다. 뉴저지의 수질에 대한 수치적 기준에 대하여 US EPA에서 권고하고 있는 National Recommended Water Criteria처럼 인체위해성의 기준으로 인간건강 (Human health) 기준과 만성독성 (CCC), 급성독성 (CMC)으로 나눠 기준치를 제시하고 있다. 이러한 기준은 US EPA 권고치를 바탕으로 가능하면 지역의 기술적, 경제적인 상황을 고려하여 설정하고 있다고 뉴저지 주정부 정책적으로 제시하고 있다. 또한 독성물질에 대한 기준치는 대부분 국가 권고치를 하회하지 않는 수준으로 설정하고 있다.

표3-3-37에서는 EPA에서 제시한 수질 준거치를 바탕으로 농업용수가 포함된 FW2 등급에 대한 담수내 수질기준 (125 종)을 제시하고 있다. 또한 경도에 의존하는 용존금속물질과 pH에 의존하는 물질 대해 제시한 기준치들에 대한 도출 방법은 EPA에서 제시한 도출 계산법과 같다. 여기서 CMC의 준거치는 MA1CD10 (Minimum average one day flow with a statistical recurrence interval of 10 years) flow를 초과하지 않는 것에 따라 결정하고 1시간 기대치로 표현한다. 그러나, 구리에 대한 CMC 준거치는 평균 24 시간으로 나타내며, 카드뮴, 크롬, 납, 수은, 니켈, 은, 아연에 대해서는 평균 6시간으로 나타내

고 있다. CCC의 경우 MA7CD10 (Minimum average seven consecutive day flow with a statical recurrence interval of 10 years) flow를 초과하지 않는 선에서 설정하고 있으며, 평균 4시간으로 나타내고 있다. 카드뮴, 3가 크롬, 구리, 니켈, 은, 아연에 대한 담수 준거치는 정도에 따라 기준을 설정하고 있으며 기준치 도출을 위하여 금속별 근거 계산식과 CF (Conversion factors)를 이용하여 산출하고 있다 (표3-3-38). 또한 이들 독성물질 (125종)들 중 Pentachlorophenol물질의 담수내 CMC와 CCC에 대한 준거치값은 pH를 기초로하여 “ $CMC = \exp\{1.005(pH) - 4.869\}$ ”와 “ $CCC = \exp\{1.005(pH) - 5.134\}$ ” 계산식을 통해 권고치 값을 제시하고 있다. 인체위해성에 대한 인간건강에 비발암성 (noncarcinogenic) 영향을 기초로한 준거치는 MA7CD10 flow 이상이거나 초과빈도가 없는 30일 평균으로 나타내며, 발암성 (carcinogenic) 준거치의 경우에는 백만분의 일의 위해성 수준을 기반으로 하며 뉴저지 정책에 따라 계획 수량 이상 또는 초과빈도가 없는 70년 평균으로 나타낸다. 또한, 뉴저지는 미국 지질조사소 (U.S. geological survey)에서 확정한 것처럼 계획 수량은 “period of record”에 따라 그때 75%를 초과하는 수량으로 한다고 정책적으로 명시하고 있다.

표3-3-36. 뉴저지의 이용목적별 등급

Class	Content
FW1	<ol style="list-style-type: none"> 1) 자연적 수생환경과 생태계를 대표하여 후대를 위함 2) 1 차적 레크레이션 3) 자연적 및 생태계 (동식물)의 유지, 이주 및 번식 4) 기타 합리적인 사용
PL1	<ol style="list-style-type: none"> 1) Cranberry 습지 용수공급과 다른 농업에 사용 2) 특수한 생태시스템에 자연 과 생태계의 유지, 이주 및 번식 3) 여과처리 및 소독 후 공공용수 공급
FW2	<ol style="list-style-type: none"> 1) 자연적 및 생태계 (동식물)의 유지, 이주, 번식 2) 1 차적 레크레이션 3) 산업 및 농업용수공급 4) 여과처리 및 소독 후 공공용수 공급 5) 기타 합리적인 사용
SE1	<ol style="list-style-type: none"> 1) 어패류 수확 2) 자연적 및 생태계 (동식물)의 유지, 이주, 번식 3) 1 차적 레크레이션 4) 기타 합리적인 사용
SE2	<ol style="list-style-type: none"> 1) 자연적 및 생태계 (동식물)의 유지, 이주, 번식 2) 회유성 어류의 이주 3) 야생의 유지 4) 2 차적 레크레이션 5) 기타 합리적인 사용
SE3	<ol style="list-style-type: none"> 1) 2 차적 레크레이션 2) 수산자원의 유지와 이주 3) 회유성 어류의 이주 4) 야생의 유지 5) 기타 합리적인 사용
SC	<ol style="list-style-type: none"> 1) 어패류 수확 2) 1 차적 레크레이션 3) 자연적 및 생태계 (동식물)의 유지, 이주, 번식 4) 기타 합리적인 사용

자료 : Chapter 9B Surface water quality standards of NJ

표3-3-37. 뉴저지의 독성물질에 대한 지표수 수질준거치

(단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Toxic Substance	Fresh water (FW2) criteria		
	Aquatic		Human health
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	
At			5.6 h
As	340	150	0.017 hc
Be			6.0 h
Cd			3.4 h
a.Cr(III)			
b.Cr(VI)	15	10	
Cu			1300 h
Pb	38	5.4	5.0 h
Hg	1.4	0.77	0.05 h
Ni			500 h
Se	20	5.0	170 h
Ag			170 h
Ti			0.24 h
Zn			7400 h
CN	22	5.2	140 h
Asbestos			7×10^6 fibers/L > 10um (h)
2,3,7,8-TCDD(Dioxin)			$5.0\text{E}-9$ hc
Acrolein			6.1 h
Acrylonitrile			0.051 hc
Benzene			0.15 hc
Bromoform			4.3 hc
CarbonTetrachloride			0.33 hc
Chlorobenzene			210 h
Chlorodibromomethane			0.40 hc
Ammonia, un-ionized	N.J.A.C. 7:9B-1.14(e)		
Barium			2000 h
Chloroform			68 h
Dichlorobromomethane			0.55 hc
Chloride	860000	230000	250000 ol
1,2-Dichloroethane			0.29 hc
1,1-Dichloroethylene			4.7 h
1,2-Dichloropropane			0.50 hc
Chlorine Produced Oxidants(CPO)	19	11	
Ethylbenzene			530 h
MethylBromide			47 h
Chlorpyrifos	0.083	0.041	

표3-3-37. 뉴저지의 독성물질에 대한 지표수 수질준거치

(단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Toxic Substance	Fresh water (FW2) criteria		
	Aquatic		Human health
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	
MethyleneChloride			2.5 hc
1,1,2,2-Tetrachloroethane			4.7 h
Tetrachloroethylene			0.34 hc
Toluene			1300 h
1,2-Trans-Dichloroethylene			590 h
1,1,1-Trichloroethane			120 h
1,1,2-Trichloroethane			13 h
Trichloroethylene			1.0 hc
VinylChloride			0.082 hc
2-Chlorophenol			81 h
2,4-Dichlorophenol			77 h
2,4-Dimethylphenol			380 h
Chromium			92 h
2,4-Dinitrophenol			69 h
Demeton		0.1	
1,3-Dichloropropene (cis and trans)			0.34 hc
4,6-Dinitro-o-cresol			13 h
Pentachlorophenol			0.27 hc
Phenol			10000 h
2,4,6-Trichlorophenol			0.58 hc
Acenaphthene			670 h
Guthion		0.01	
Anthracene			8300 h
Benzidine			0.000086 hc
Benzo(a)Anthracene			0.038 hc
Benzo(a)Pyrene			0.0038 hc
Benzo(b)Fluoranthene			0.038 hc
Malathion		0.1	
Benzo(k)Fluoranthene			0.38 hc
Manganese			
Bis(2-Chloroethyl)Ether			0.030 hc
Bis(2-Choroisopropyl)Ether			1400 h
Bis(2-Ethylhexy)Phthalate			1.2 hc
Methoxychlor		0.03	40 h
ButylbenzylPhthalate			150 h

표3-3-37. 뉴저지의 독성물질에 대한 지표수 수질기준치

(단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Toxic Substance	Fresh water (FW2) criteria		
	Aquatic		Human health
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	
2-Chloronaphthalene			1000 h
Methyl t-butyl ether			70 h
Chrysene			3.8 hc
Dibenzo(a,h)Anthracene			0.0038 hc
1,2-Dichlorobenzene			2000 h
1,3-Dichlorobenzene			2200 h
1,4-Dichlorobenzene			550 h
3,3'-Dichlorobenzidine			0.021 hc
DiethylPhthalate			17000 h
Mirex		0.001	
Di-n-ButylPhthalate			2000 h
2,4-Dinitrotoluene			0.11 hc
Nitrate			10000 h
N-Nitrosodi-n-propylamine			0.0050 hc
1,2-Diphenylhydrazine			0.036 hc
Fluoranthene			130 h
Fluorene			1100 h
Hexachlorobenzene			0.00028 hc
Hexachlorobutadiene			0.44 hc
Hexachlorocyclopentadiene			40 h
Hexachloroethane			1.4 hc
Indeno(1,2,3-cd)Pyrene			0.038 hc
Isophorone			35 hc
N-Nitrosopyrrolidine			0.016 hc
Nitrobenzene			17 h
N-Nitrosodimethylamine			0.00069 hc
N-Nitrosodi-n-Propylamine			0.0063 hc
N-Nitrosodiphenylamine			3.3 hc
Parathion	0.065	0.013	
Pyrene			830 h
1,2,4-Trichlorobenzene			21 h
Aldrin	3.0		0.000049 hc
α -BHC			0.0026 hc
β -BHC			0.0091 hc
γ -BHC	0.95		0.98 h
Pentachlorobenzen			1.4 h

표3-3-37. 뉴저지의 독성물질에 대한 지표수 수질준거치

(단위 : $\mu\text{g L}^{-1}$)

Toxic Substance	Fresh water (FW2) criteria		
	Aquatic		Human health
	CMC (Acute)	CCC (Chronic)	
Chlordane	2.4	0.0043	0.00010 hc
4-4'-DDT			0.00031 hc
4,4'-DDE			0.00022 hc
4,4'-DDD	1.1	0.0010	0.00022 hc
Dieldrin	0.24	0.056	0.000052 hc
α -Endosulfan	0.22	0.056	62 h
β -Endosulfan	0.22	0.056	62 h
EndosulfanSulfate			62 h
Endrin	0.086	0.036	0.059 h
EndrinAldehyde			0.059 h
Heptachlor	0.52	0.0038	0.000079 hc
HeptachlorEpoxide	0.52	0.0038	0.000039 hc
PCBs		0.014	0.0000064 hc
Toxaphene	0.73	0.0002	0.00028 hc
Phosphorous(yellow)			
Selenium	20	5.0	170 h
Sulfide-hydrogen sulfide		2	
1,2,4,5-Tetrachlorobenzene			0.97 h
2,4,5- Trichlorophenol			1800 h

h : Human health noncarcinogen

hc : Human health carcinogen

ol : Organoleptic effect-based criteria

Chapter 9B Surface water quality standards of NJ

표3-3-38. 뉴저지의 독성물질에 대한 지표수 수질준거치 설정 방법

Freshwater aquatic criteria for metal		
General formula		$WER[e^{(V[\ln(\text{hardness})]+\ln A-V[\ln Z])}]CF$
Cadmium	Acute dissolved criterion	$WER[e^{(1.0166[\ln(\text{hardness})-3.924]}]0.651$
	Chronic dissolved criterion	$WER[e^{(0.7409[\ln(\text{hardness})-4.719]}]0.651$
Chromium III	Acute dissolved criterion	$WER[e^{(0.819[\ln(\text{hardness})+3.7256]}]0.277$
	Chronic dissolved criterion	$WER[e^{(0.819[\ln(\text{hardness})+0.6848]}]0.277$
Copper	Acute dissolved criterion	$WER[e^{(0.9422[\ln(\text{hardness})-1.7]}]0.908$
	Chronic dissolved criterion	$WER[e^{(0.8545[\ln(\text{hardness})-1.702]}]0.908$
Nickel	Acute dissolved criterion	$WER[e^{(0.846[\ln(\text{hardness})+2.255]}]0.846$
	Chronic dissolved criterion	$WER[e^{(0.846[\ln(\text{hardness})+0.0584]}]0.846$
Silver	Acute dissolved criterion	$WER[e^{(1.72[\ln(\text{hardness})-6.59]}]0.85$
Zinc	Acute or dissolved criterion	$WER[e^{(0.8473[\ln(\text{hardness})+0.884]}]0.950$
	Chronic dissolved criterion	$WER[e^{(0.8473[\ln(\text{hardness})+0.884]}]0.950$

V=pooled slop

A=FAV at given hardness

Z=selected value of hardness

Chapter 9B Surface water quality standards of NJ

표3-3-39. 국가별 농업용수 기준 비교

	미 국			FAO (mg L ⁻¹)	캐나다 (mg L ⁻¹)	나이지리아 (mg L ⁻¹)	한국 (mg L ⁻¹)			
	콜로라도 (mg L ⁻¹)	뉴저지 (μg L ⁻¹)	플로리다 (mg L ⁻¹)				하천	호소	지하수	먹는물
Ag		170		5						
Al				5	5	5				
As		0.017	50	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.01
At	3	5.6			0.01					
B				3						1
Ba		2000								
Be		6.0			0.1					
Cd		3.4		0.01	0.0051	0.01	0.005	0.005	0.01	0.005
CN			5				불검	불검	0.01	0.01
Co					0.05					
Cu		1300		0.2	0.2~1	0.2~1				
Cr(III)					0.0049					
Cr(VI)			11	0.1	0.008		0.05	0.05	0.05	
Cr(total)						0.1				0.05
F										1.5
Fe			1		5					
Hg		0.05	0.2				불검	불검	0.001	0.001
Li					2.5					
Mn					0.2	0.2				
Ni		500		0.2						
Pb		5.0		5	0.2			0.05	0.1	0.01
Se		170			0.02~0.05					0.01
Sr	2.2×10 ⁻⁷									4
Ti		0.24								
U					0.01					
Zn		7400		2	1~5	0~0.5				

표3-3-39. 국가별 농업용수 기준 비교

	미 국			FAO (mg L ⁻¹)	캐나다 (mg L ⁻¹)	나이지리아 (mg L ⁻¹)	한국 (mg L ⁻¹)			
	콜로라도 (mg L ⁻¹)	뉴저지 (μg L ⁻¹)	플로리다 (mg L ⁻¹)				하천	호소	지하수	먹는물
pH							6~8.5	6~8.5	6~8.5	
ABS							0.5	0.5		
BOD							8			
COD							9	8		
SS							100	15		
DO							2	2		
T-N								1		
T-P							0.3	0.1		
Acenaphthene	420	670								
Acrolein	110	6.1								
Acrylonitrile	0.065	0.051								
Alchlor	2									
Aldicarb	7				0.0549					
Aldicarb sulfone	7									
Aldicarb sulfoxide	7									
Aldrin	0.0021	0.000049								
Anthracene	2100	8300								
Antimony							0.02	0.02		
Asbestos		7×106 fibers/L > 10um								
Atrazine	3									
Benzene	1.2	0.15					0.01	0.01		0.01
Benzidine	0.00015	0.000086								
Benzo(a)Anthracene	0.0048	0.038								
Benzo(a)Pyrene	0.0048	0.0038								
Benzo(b)Fluoranthene	0.0048	0.038								

표3-3-39. 국가별 농업용수 기준 비교

	미 국			FAO (mg L ⁻¹)	캐나다 (mg L ⁻¹)	나이지리아 (mg L ⁻¹)	한국 (mg L ⁻¹)			
	콜로라도 (mg L ⁻¹)	뉴저지 (μg L ⁻¹)	플로리다 (mg L ⁻¹)				하천	호소	지하수	먹는물
Benzo(k)Fluoranthene	0.0048	0.38								
α-BHC		0.0026								
β-BHC		0.0091								
γ-BHC		0.98								
Bicarbonate				8.5						
Bis(2-Chloroethyl)Ether		0.03								
Bis(2-Chloroisopropyl)Ether		1400								
Bis(2-Ethylhexyl)Phthalate		1.2								
Bromacil					0.0002					
Bromate										0.01
Bromoform		4.3								
Broxynil					0.00033					
ButylbenzylPhthalate	1400	150								
Carbaryl										0.07
Carbofuran	40									
CarbonTetrachloride	0.27	0.33					0.004	0.004		0.002
Chl-a								35		
Chlordane	0.1	0.0001								
Chlorethyl ether	0.032									
Chloride		250000			100~700					250
Chlorobapthalene	560									
Chlorobenzene	100	210								
Chlorodibromomethane		0.4								
Chloroform		68					0.08	0.08		
Chloroisppropyl ether	20									
4-Chloro-3-methylphenol	210									

표3-3-39. 국가별 농업용수 기준 비교

	미 국			FAO (mg L ⁻¹)	캐나다 (mg L ⁻¹)	나이지리아 (mg L ⁻¹)	한국 (mg L ⁻¹)			
	콜로라도 (mg L ⁻¹)	뉴저지 (μg L ⁻¹)	플로리다 (mg L ⁻¹)				하천	호소	지하수	먹는물
2-Chloronaphthalene		1000								
Chlorophenol	35									
2-Chlorophenol		81								
chlorphrifos	21									
Chromium		92								
Chrysene	0.0048	3.8			0.0005					
Coliforms					0.1/100ml					
Dalapon	200									
4,4'-DDD	0.15	0.00022								
4,4'-DDE	0.1	0.00022								
4-4'-DDT	0.1	0.00031								
DEHP							0.008	0.008		
Diadipate(2- thylhexyl)	400									
Diazinon										0.02
Dibenzo(a,h)Anthracene	0.0048	0.0038								
1,2-Dibro-3- chloropropan	0.2									0.003
Dicamba					0.000006					
1,2-Dichlorobenzene	600	2000								
1,3-Dichlorobenzene		2200								
1,4-Dichlorobenzene	75	550								
3,3'-Dichlorobenzidine	0.078	0.021								
Dichlorobromomethane		0.55								
Dichloroethane	0.38									
1,2-Dichloroethane		0.29					0.03	0.03		
1,1-Dichloroethylene	7	4.7								0.03
1,2-Trans- Dichloroethylene	100	590								

표3-3-39. 국가별 농업용수 기준 비교

	미 국			FAO (mg L ⁻¹)	캐나다 (mg L ⁻¹)	나이지리아 (mg L ⁻¹)	한국 (mg L ⁻¹)			
	콜로라도 (mg L ⁻¹)	뉴저지 (μg L ⁻¹)	플로리다 (mg L ⁻¹)				하천	호소	지하수	먹는물
Dichloromethane							0.02	0.02		0.02
2,4-Dichlorophenol	21	77								
Dichloro- phenoxyacetic acid (2,4-D)	70									
1,3-Dichloropropene (cis and trans)		0.34								
1,2-Dichloropropane	0.52	0.5								
Dicofop-methyl					0.00018					
Dieldrin	0.002	0.000052								
Diethyl Phthalate	5600	17000								
Diisopropyl- methylphosphonate (DIMP)	8									
Di-n-butyl phthalate	700	2000								
2,4-Dimethylphenol	140	380								
4,6-Dinitro-o-cresol	2.7	13								
2,4-Dinitrophenol		69								
Dinitrotoluene	0.11									
2,4-Dinitrotoluene		0.11								
Dinoseb	7				0.016					
1,3-dioxane										0.05
1,2-Diphenylhydrazine	0.044	0.036								
Diquat	20									
Endosulfan	0.35									
α-Endosulfan	42	62								
β-Endosulfan	42	62								
Endosulfan Sulfate	42	62								

표3-3-39. 국가별 농업용수 기준 비교

	미 국			FAO (mg L ⁻¹)	캐나다 (mg L ⁻¹)	나이지리아 (mg L ⁻¹)	한국 (mg L ⁻¹)			
	콜로라도 (mg L ⁻¹)	뉴저지 (μg L ⁻¹)	플로리다 (mg L ⁻¹)				하천	호소	지하수	먹는물
Endothall	100									
Endrin	2	0.059								
Endrin Aldehyde	2.1	0.059								
Ethylbenzene	700	530								0.3
Ethylene dibromide	0.05									
Ethylhexyl phthalate	2.5									
Fenitrothion										0.04
Fluoranthene	280	130								
Fluorene		1100								
Fluride					1					
Heptachlor	0.008	0.000079								
Heptachlor Epoxide	0.004	0.000039								
Hexachlorobenzene	1	0.00028								
Hexachlorobutadiene	14	0.44								
α-Hexachlorocyclohexane	0.0056									
γ-Hexachlorocyclohexane(Lindane)	0.2									
Hexa- chlorocyclopentadiene	50	40								
Hexachloroethane	7	1.4								
Indeno(1,2,3-cd)Pyrene	0.0048	0.038								
Isophorone	40	35								
Linuron					0.000071					
Malathion	140									
Methoxychlor	40	40								
Methyl t-butyl ether		70								
MethylBromide		47								

표3-3-39. 국가별 농업용수 기준 비교

	미 국			FAO (mg L ⁻¹)	캐나다 (mg L ⁻¹)	나이지리아 (mg L ⁻¹)	한국 (mg L ⁻¹)			
	콜로라도 (mg L ⁻¹)	뉴저지 (μg L ⁻¹)	플로리다 (mg L ⁻¹)				하천	호소	지하수	먹는물
Methylene chloride	4.7	2.5								
Metribuzin					0.0005					
Molybdenum					0.01~0.05					
NH ₃ -N										10
Nitrate		10000								
Nitrobenzene	3.5	17								
4-Nitrophenol	56									
N-Nitrosodimethylamine	0.00069	0.00069								
N-Nitrosodi-n- Propylamine	0.005	0.0063								
N-Nitrosodiphenylamine	7.1	3.3								
N-Nitrosopyrrolidine		0.016								
NO ₃ -N				30					20	10
organic phosphorus							불검	불검	0.0005	
Oxamyl(vydate)	200									
Parathion										0.06
PCBs	0.0175	0.0000064					불검	불검		
PCE							0.04	0.04		
Pentachlorobenzene	5.6	1.4								
Pentachlorophenol	1	0.27								
Phenol	4200	10000							0.005	0.005
Phosphorous(yellow)										
Pichoram	500									
Pyrene		830								
Simazine					0.0005					
2,3,7,8-TCDD(Dioxin)		0.000000005								
TDS					500~3500					

표3-3-39. 국가별 농업용수 기준 비교

	미 국			FAO (mg L ⁻¹)	캐나다 (mg L ⁻¹)	나이지리아 (mg L ⁻¹)	한국 (mg L ⁻¹)				
	콜로라도 (mg L ⁻¹)	뉴저지 (μg L ⁻¹)	플로리다 (mg L ⁻¹)				하천	호소	지하수	먹는물	
Tebuthiuron					0.00027						
1,2,4,5- Tetrachlorobenzene		0.97									
1,1,2,2- Tetrachloroethane		4.7									
Tetrachloroethylene		0.34							0.01		0.01
Toluene		1300									0.7
Toxaphene		0.00028									
1,2,4-Trichlorobenzene		21									
2,4,5- Trichlorophenol		1800									
2,4,6-Trichlorophenol		0.58									
1,1,1-Trichloroethane		120							0.3		0.1
1,1,2-Trichloroethane		13									
Trichloroethylene		1							0.03		0.03
VinylChloride		0.082									
xylene											0.5

1. Canada water quality guidelines for the protection of agriculture water uses, CCME, 2003 (<http://cegg-rcqe.ccme.ca/>)
2. FEPA, 1991
3. Chapter 9B Surface water quality standards of NJ (http://www.state.nj.us/dep/wms/bwqsa/docs/0608_SWQS.pdf)
4. 62-302.530, Criteria for Surface Water Quality Classifications
5. 환경정책기본법 제2조(환경기준), 별표1, 대통령령 제22909호, 2011.4.28 환경부
6. 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙, 제11조, 별표4, 환경부령 제362호, 2011.2.16., 환경부, 7. 먹는물 수질기준 및 검사등에 관한 규칙, 제2조, 별표1, 환경부령 제439호, 환경부
8. Guidelines for interpretations for water quality for irrigation, FAO (<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.HTM>)
9. National Recommended Water Quality Criteria, 2011, USA (<http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/current/index.cfm>)
10. National Recommended Water Quality Criteria 2002, Human Health Criteria Calculation Matrix (http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/upload/2002_12_30_criteria_wqctable_hh_calc_matrix.pdf)
11. Surface Water Quality Guidelines for Use in Alberta, Nov.1999 (<http://environment.gov.ab.ca/info/library/5713.pdf>)
12. Adapted from university of California Committee of Consultants, 1974.
13. ANZECC, ARMC, 2000, Australian and New Zealand Guideline for Fresh and Marine Water Quality (http://www.mincos.gov.au/publications/australian_and_new_zealand_guidelines_for_fresh_and_marine_water_quality)

3-3. 일본의농업용수 중 농약잔류 기준

일본은 전 세계에서 유일하게 논물 배출 수 중 농약 잔류 기준을 설정하고 있는 나라이다. 그러나 일본도 우리나라와 유사하게 수도작의 비중이 높은 나라이므로 우리도 참고할 만한 사안은 있다고 판단된다.

현재 일본의 논물 배출 수 중 113개 농약에 대해 잔류기준을 설정한 근거를 찾을 수는 없다. 다만 일본의 기준을 우리나라에 적용할 수 있는지를 우선 검토 하여야 하는 것이 필요하다고 본다.

표3-3-40에는 일본에 설정된 농업용수 중 잔류기준과 대비하여 동일한 농약이 우리나라에서 사용되고 있는 경우에 1회 살포시 논물 중 농도가 어느 정도나 되는지와 또 약제 처리 후에는 일정기간이 지나야만 배수를 하게 되므로 배수기간까지의 농약의 분해, 소실을 고려한 농도를 계산하여 우리 환경에서의 농약잔류 수준이 일본의 논물 배출 수 중 잔류기준을 초과하는 지를 검토한 결과를 수록하고 있다.

표3-3-40. 일본의 논물 배출수 중의 농약 잔류 기준

Pesticide	$\mu\text{g L}^{-1}$	수 도 용	제 형	사용약량 (g/300L or 10a)	10a 당 투여량 (a.i포함), g	논물 30t 중 농도 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	문제여부 (고농도/기준)	비 고	유출가능량 (입제 외)	유출가능량 (입제)	유출 시 문제 여부
Acephate	800	○	WP 50%	160	80.0	2667	○		0.717		×
Acibenzolar-S-methyl	1000	○	G 2%					육묘상처리 (50g/육묘상자)			
Azimsulfuron	2000	○	GR 0.15%	3000	4.5	150	×			0.043	×
Azoxystrobin	5000	○	SC 6%	300	18	600	×		0.161		×
Benfuresate	700	○	GR 1.5%	3000	45	1500	○			0.432	×
Bensulfuronmethyl	4000	○	SC 1.4%	400	5.6	187	×		0.050		×
Bensultap	900	○	WP 50%	160	80	2667	○		0.717		×
Bentazone	2000	○	GR 11%	3000	330	11000	○			3.168	○
Benzofenap	40							국내 미사용			
Bispyribac-Na	300	○	SL 2%	125	2.5	83	×		0.022		×
Bromobutide	400	○	GG 38.04%	250	95.1	3170	○	담수직파벼		0.913	○
Buprofezin	100	○	DP 1%	4000	40	1333	○		0.358		○
Butachlor	300	○	GR 5%	3000	150	5000	○			1.440	○
Butamifos	100							국내 미사용			
Cafenstrole	80	○	GR 1%	3000	30.0	1000	○	기계이양벼		0.288	○
Carpropamid	400	○	SC 30%	53.6	16.08	540	○	(육묘상 관주처리 제외)	0.144		×
Cartap (Cartaphydrochloride)	3000	○	GR 4%	5000	200	6670	○			1.920	×
Chlorpyrifos-methyl	8	○	SO 20%	500	100	3333	○		0.896		○
Chromafenozide	7000	○	EC 5%	80	4	133	×		0.036		×
Cinosulfuron	2000							국내 미사용			
Clomeprop	200							국내 미사용			

표3-3-40. 일본의 논물 배출수 중의 농약 잔류 기준

Pesticide	$\mu\text{g L}^{-1}$	수 도 용	제 형	사용약량 (g/300L or 10a)	10a 당 투여량 (a.i포함), g	논물 30t 중 농도 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	문제여부 (고농도/기준)	비 고	유출가능량 (입제 외)	유출가능량 (입제)	유출 시 문제 여부
Cumyluron	300							국내 미사용			
Cycloprothrin	80							국내 미사용			
Cyclosulfamuron	800	○	SC 1.2%	500	6	200	×		0.054		×
Cyhalofopbutyl	60	○	EC 5%	500	25	833	○		0.224		×
Cymethylin	1000							국내 미사용			
2,4-D	300	○	SL 40%	70	28	933	○		0.251		×
Daimuron	8000	○	SC 9%	500	45	1500	×	기계이양벼 (어린모)	0.403		×
Dichlobenil	100	×	GR 6.7%	8000	536	17867	○	사과 (비농경지 제외)		5.146	○
Dichlocymet	100							국내 미사용			
Dichlomezine	500							국내 미사용			
Dichlorvos	80	×	EC 50%	300	150	5000	○	사과등 (20 L당 20 mL)	1.344		○
Dimepiperate	30							국내 미사용			
Dimethylvinphos	100							국내 미사용			
Dithiopyr	80	○	GR 0.3%	3000	9	300	○	기계이양벼 (어린모)		0.086	×
Edifenphos	60	○	EC 30%	160	48	1600	○		0.430		○
EPN	60	×	EC 45%	300	135	4500	○	사과등 (20 L당 20 mL)	1.210		○
Esprocarb	100	○	GR 5%	3000	150	5000	○	기계이양벼		1.440	○
Ethoxysulfuron	1000	○	GR 0.08	3000	2.4	80	×	기계이양벼		0.023	×
Etobenzamid	1000							국내 미사용			
Etofenprox	800	○	SO 4%	500	20	667	×		0.179		×
Fenobucarb	200	○	DP 2%	4000	80	2667	○		0.717		○

표3-3-40. 일본의 논물 배출수 중의 농약 잔류 기준

Pesticide	μg L ⁻¹	수 도 용	제 형	사용약량 (g/300L or 10a)	10a 당 투여량 (a.i포함), g	논물 30t 중 농도 (μg L ⁻¹)	문제여부 (고농도/기준)	비 고	유출가능량 (입제 외)	유출가능량 (입제)	유출 시 문제 여부
Fenthoate	70	○	EC 47.5%	160	76	2667	○		0.681		○
Ferimzone	200	○	WP 30%	160	48	1600	○		0.430		○
Fipronil	5	○	GR 0.4%	3000	12	400	○			0.115	○
Fluazifop-P-butyl	300	×	EC 17.5%	100	17.5	583	○		0.157		×
Flutolanil	2000	○	GR 7%	3000	210	7000	○			1.960	×
Fthalide	1000	○	WP 50%	160	80	2670	○		0.717		×
Furametpyr	200							국내 미사용			
Furathiocarb	80							국내 미사용			
Glyphosate	4000	×	SL 41%	900	369	12300	○	배등의 숙근잡초제거	3.306		×
Hydroxyisoxazole	1000							국내 미사용			
Imazosulfuron	2000	○	GR 4.2%	250	10.5	350	×			0.101	×
Imidacloprid	2000	○	WP 10%	60	6	200	×	종자처리 수화제 제외	0.054		×
Iminoctadinetriacetate	60	○	SC 5%	160	8	267	○		0.072		○
Inabenfide	3000	○	GR 4%	3000	120	4000	○			1.152	×
Indanofan	90	○	GR 0.43%	3000	12.9	430	○			0.124	○
Iprobenfos (IBP)	80	○	GR 17%	4000	680	22667	○			6.528	○
Iprodione	3000	○	SC 17%	300	51	1700	×		0.457		×
Isoproc carb	100	○	DP 2%	3000	60	2000	○		0.538		○
Isoprothiolane	400	○	GR 12%	4000	480	16000	○			4.608	○
Isoxathion	80							국내 미사용			
Linuron	200	×	WP 50%	150	75	2500	○	보리등	0.672		○
Malathion	100	×	EC 15%	300	45	1500	○		0.403		○
MCPA	50	○	GR 1.2%	3000	36	1200	○			0.346	○

표3-3-40. 일본의 논물 배출수 중의 농약 잔류 기준

Pesticide	$\mu\text{g L}^{-1}$	수 도 용	제 형	사용약량 (g/300L or 10a)	10a 당 투여량 (a.i포함), g	논물 30t 중 농도 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	문제여부 (고농도/기준)	비 고	유출가능량 (입제 외)	유출가능량 (입제)	유출 시 문제 여부
Mefenacet	90	○	GR 3.5%	3000	105	3500	○			1.008	○
Mepronil	1000	×	WP 75%	1000	750	25000	○	잔디	6.720		○
Metalaxyl	500	○	WP 25%					침종전 사용			
Metominostrobin	400							국내 미사용			
Molinate	50							국내 미사용			
Monocrotophos	20	×	SL 24%	375	90	3000	○	감귤등 (20 L당 25 mL)	0.806		○
N-Dimethyl- dithiocarbamate	2000							국내 미사용			
Naproanilide	200							국내 미사용			
Nitenpyram	13000							국내 미사용			
Oxaziclomefone	200	○	GR 0.2%	3000	6	200	×			0.058	×
Oxolinic acid	600	○	WP 20%					침종전 사용			
Paclobotrazole	1000							국내 미사용			
Pencyuron	400							국내 미사용			
Pentoxazone	2000	○	EC 6%	400	24	800	×		0.215		×
Permethrin	1000							국내 미사용			
Piperophos	9	○	GR 3%	3000	90	3000	○	손이양벼		0.864	○
Pretilachlor	400	○	GR 2%	3000	60	2000	○	손이양벼		0.576	○
Probenazole	500	○	GR 6%	4000	240	8000	○			2.304	○
Procymidone	900	×	WP 50%	300	150	5000	○	딸기등 (20 L당 20 g)	1.344		○
Prohexadione-Ca	5000	○	WP 1%	100	1	33	×		0.009		×
Prometryn	700							국내 미사용			

표3-3-40. 일본의 논물 배출수 중의 농약 잔류 기준

Pesticide	μg L ⁻¹	수 도 용	제 형	사용약량 (g/300L or 10a)	10a 당 투여량 (a.i포함), g	논물 30t 중 농도 (μg L ⁻¹)	문제여부 (고농도/기준)	비 고	유출가능량 (입제 외)	유출가능량 (입제)	유출 시 문제 여부
Propanil	400	○	EC 35%	600	210	7000	○	못자리벼	1.882		○
Propaphos	10							국내 미사용			
Pymetrozine	300	×	WP 25%	100.5	25.125	838	○		0.225		×
Pyrazolynate	30							국내 미사용			
Pyrazosulfuronethyl	1000							국내 미사용			
Pyrazoxyfen	40	○	GR 6%	3000	180	6000	○	손이양벼		1.728	○
Pyributacarb	200							국내 미사용			
Pyriminobacmethyl	200							국내 미사용			
Pyroquilon	400							국내 미사용			
Quinoclamine	50	○	GR 9%	2000	180	6000	○	기계이양벼		1.728	○
Quizalofop-ethyl	200	×	EC 10%	125	12.5	417	○		0.112		×
Sethoxydim	4000	×	EC 20%	150	30	1000	×		0.269		×
Silafluofen	3000							국내 미사용			
Simetryn	300	○	GR 0.7%	3000	21	700	○	기계이양벼 (어린모)		0.202	×
Tebufenozide	200	○	WP 8%	160	12.8	427	○		0.115		×
Teclofthalam	1000	○	SC 10%	160	16	533	×		0.143		×
Tetrachlorvinphos	100							국내 미사용			
Thenylchlor	2000							국내 미사용			
Thifluzamide	500	○	SC 7%	2000	140	4667	○		1.254		○
Thiobencarb	200	○	GR 7%	4000	280	9333	○	손이양벼		2.688	○
Thiocyclam	300							국내 미사용			
Thiophanatemethyl	3000	○	WP 70%	160	112	3733	○		1.004		×
Trichlorfon	300	×	WP 80%	375	300	10000	○	사과등	2.688		○

표3-3-40. 일본의 논물 배출수 중의 농약 잔류 기준

Pesticide	$\mu\text{g L}^{-1}$	수 도 용	제 형	사용약량 (g/300L or 10a)	10a 당 투여량 (a.i포함), g	논물 30t 중 농도 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	문제여부 (고농도/기준)	비 고	유출가능량 (입제 외)	유출가능량 (입제)	유출 시 문제 여부
Tricyclazole	800	○	WP 75%	80	60	2000	○		0.538		×
Trinexapacethyl	200	×	ME 25%	40	10	333	○		0.090		×
Uniconazole	400							국내 미사용			
Vamidothion	200							국내 미사용			
총 113 약제											

자료 : 2011 농약사용지침서

농약 제형은 입제와 기타 제재로 구분하여 3일후에 배수를 하는 경우의 배출수 중 농도를 계산하여 일본의 기준과 비교하였다.

1) 입제의 경우

농약성분은 100% 물속에 잔류하는 것으로 설정하고, 작물이나 대상 잡초 등에 의해 흡수 또는 부착되어 소실되는 양을 40%로 하였으며, 3일간 농약의 가수분해와 미생물 분해를 포함한 분해율을 20%로 하였고 입제 중 농약 주성분의 40%정도가 토양에 흡착되는 것으로 설정하였다.

$1 \times 0.6 \times 0.8 \times 0.6 = 0.288$, 즉 사용 농약의 28.8%가 배출수 중에 포함될 수 있다고 보았다. 물론 약제의 특성이나 제재의 특성에 따라 다소 차이가 있을 수는 있으나 입제 농약을 논에 사용한 후 만 3일이 경과 하여 논물을 배출한다면 최대 30% 이상의 농약 성분이 배출수 중에 포함되기는 어렵다고 본다.

예) Butachlor 입제 5%, 사용량 3kg/10a

1단계

논물 중 최대농도

$$1000 \text{ m}^2 (\text{면적}) \times 0.03 \text{ m} (\text{논물 깊이}) = 30 \text{ m}^3 \text{ 논물량}$$

3 kg 중 5%는 150 g (주성분 함량)

따라서 논물 중 최대농도는 $150 \text{ g} / 30 \text{ m}^3$ 이므로

$$150 \times 1000 \text{ mg} / 30 \times 10^3 \text{ L} = 5 \text{ mg L}^{-1}$$

$500 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 일본의 논물 배출수 기준 $300 \mu\text{g L}^{-1}$ 의 1.7배 수준임

2단계 :

$$5000 \times 0.6 \times 0.8 \times 0.6 = 1440 \mu\text{g L}^{-1} \text{가 된다.}$$

3단계

일본의 기준치를 넘게 되므로 우리 환경에서도 위해가능성을 평가할 필요가 있음.

2) 입제 이외의 제형

입제는 물속에 직접 살포하지만 기타 제제는 작물체에 살포하게 되므로 살포 시 대기 중으로 확산되는 것을 고려하였다.

즉 살포 중 대기 중으로 소실되는 양을 30%, 작물에 부착되는 양을 40%, 물속에 떨어진 성분의 3일간 가수분해 등 분해되는 양을 20%, 그리고 물에 떨어진 성분이 토양과 흡착되어 소실되는 양을 20%라고 하였다.

따라서 처리 3일 후 배출수 중의 농도는

1.0 (총 농약 량) $\times 0.7 \times 0.6 \times 0.8 \times 0.8 = 26.88\%$ 라고 볼 수 있다.

예) Edifenphos 유제 30%, 160g/10a 사용

1단계

물 30 m^3 중 총 농약량

$$160 \text{ g} \times 30 / 100 = 48 \text{ g}$$

$$48 \text{ g} / 30 \text{ m}^3 = 1.6 \text{ mg L}^{-1} = 1600 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$$

2단계

$$1600 \times 0.7 \times 0.6 \times 0.8 \times 0.8 = 430.08 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$$

이는 일본이 설정하고 있는 배출수 중 기준인 $60 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ 를 약 7배 상회하는 수준임

3단계

일본의 기준을 넘게 되므로 우리 환경에서 위해가능성을 평가할 필요가 있음.

3-3-1. 일본의 농업용수 중 농약잔류기준의 우리나라 적용 시 문제점

우리나라에서 사용되고 있는 농약 중 일본의 논물 배출수 중 잔류기준보다 높은 농약은 35종으로 1차 검토되었다. 이 35종 중 Fipronil제, Piperophos제, 및 Pyrazoxyfen제 등 3종은 2006년부터 생산실적이 없으므로 제외시켜 총 32종 농약을 환경 위해성 평가 모델에 적용시켜 위해 가능성 여부를 검토하기 위한 농약으로 선정하였다.

환경위해성 여부를 검토하기 위한 모델에 관해서는 IV-1에 설명하였으며, 이란에서는 결과만을 제시하고자 한다.

표3-3-41. 일본의 논물 배출수 중의 농약잔류기준 중 국내 사용 중인 35종 농약

Pesticide	µg/L	수 도 용	제 형 (%)	사용약량 (g/300L or 10a)	10a당 투여량 (a.i포함), g	논물 30t 중 농도 (mg/L)	비고	유출 ¹⁾ 가능량 (입제 외)	유출 ²⁾ 가능량 (입제)	2010년 생산량(kg)
Bentazone	2000	○	GR 11	3000	330	1100				14546 (2006-2009 생산無)
Bromobutide	400	○	GG 38.04	250	95.1	3170	담수직파벼		0.913	4,797
Buprofezin	100	○	DP 1	4000	40	1333		0.358		4,720
Butachlor	300	○	GR 5	3000	150	5000			1.440	336,900
Cafenstrole	80	○	GR 1	3000	30.0	1000	기계이양벼		0.288	2010년 생산량無, 2009년 1080
Chlorpyrifos- methyl	8	○	SO 20	500	100	3333		0.896		40,543
Dichlobenil	100	×	GR 6.7	8000	536	17867	사과 (비농경지 제외)		5.146	10,228
Dichlorvos	80	×	EC 50	300	150	5000	사과등 (20 L당 20 mL)	1.344		293,136
Edifenphos	60	○	EC 30	160	48	1600		0.430		24,822
EPN	60	×	EC 45	300	135	4500	사과등 (20 L당 20 mL)	1.210		174,800
Esprocarb	100	○	GR 5	3000	150	5000	기계이양벼		1.440	13,090
Fenobucarb	200	○	DP 2	4000	80	2667		0.717		2009 804, 2010無
Fenthoate	70	○	DP 2	4000	80	2667		0.717		36,945
Ferimzone	200	○	WP 30	160	48	1600		0.430		22701, (2009까지 생산無)

표3-3-41. 일본의 논물 배출수 중의 농약잔류기준 중 국내 사용 중인 35종 농약

Pesticide	µg/L	수 도 용	제 형 (%)	사용약량 (g/300L or 10a)	10a당 투여량 (a.i포함), g	논물 30t 중 농도 (mg/L)	비고	유출 ¹⁾ 가능량 (입제 외)	유출 ²⁾ 가능량 (입제)	2010년 생산량(kg)
Fipronil	5	○	GR 0.4	3000	12	400			0.115	2010 생산無
Iminoctadine- triacetate	60	○	SC 5	160	8	267		0.072		3,000
Iprobenfos (IBP)	80	○	GR 17	4000	680	22667			6.528	226,835
Isoprocarb	100	○	DP 2	3000	60	2000		0.538		36,669
Isoprothiolane	400	○	GR 12	4000	480	16000			4.608	83,290
Linuron	200	×	WP 50	150	75	2500	보리등	0.672		5,572
Malathion	100	×	EC 15	300	45	1500		0.403		3,517
MCPA	50	○	GR 1.2	3000	36	1200			0.346	14546 (2006- 2009 생산 無)
Mefenacet	90	○	GR 3.5	3000	105	3500			1.008	28,955
Mepronil	1000	×	WP 75	1000	750	25000	잔디	6.72		4,470
Monocroto-phos	20	×	SL 24	375	90	3000	감귤등 (20 L당 25 mL)	0.806		23,716
Piperophos	9	○	GR 3	3000	90	3000	손이양벼		0.864	2006- 2010 생산無
Pretilachlor	400	○	GR 2	3000	60	2000	손이양벼		0.576	2541 (2009부터 생산)
Probenazole	500	○	GR 6	4000	240	8000			2.304	2009부터 생산無
Procymidone	900	×	WP 50	300	150	5000	딸기 등 (20 L당 20 g)	1.344		23,685
Propanil	400	○	EC 35	600	210	7000	못자리벼	1.882		2007부터 생산無
Pyrazoxyfen	40	○	GR 6	3000	180	6000	손이양		1.728	2006부터 생산無
Quinoclamine	50	○	GR 9	2000	180	6000	기계이양벼		1.728	5,565
Thifluzamide	500	○	SC 7	2000	140	4667		1.254		25,264
Thiobencarb	200	○	GR 7	4000	280	9333	손이양벼		2.688	25,264
Trichlorfon	300	×	WP 80	375	300	10000	사과 등	2.688		37,698

표3-3-42. 일본의 논물 배출수 중의 농약잔류기준 중 유출 시 문제되는 농약 35종의
5년간 생산량 변화 및 평균 생산량 (단위 : kg)

Pesticide	2006	2007	2008	2009	2010	평균 생산량	비고
Bentazone	-	-	-	-	14,546	14,546	
Bromobutide	-	-	-	3,901	4,797	4,349	문제여부는 GG 38.04%를 기 준으로 적용
Buprofezin	24,070	11,531	21,913	2,677	4,720	12,982	
Butachlor	395,081	412,390	349,799	366,830	342,660	373,352	
Cafenstrole	-	2,236	1,446	1,080	-	1,587	
Chlorpyrifos -methyl	-	-	1,900	-	1,141	1,521	
Dichlobenil	2,955	7,991	5,628	15,278	10,228	8,416	
Dichlorvos	245,378	318,327	273,603	489,871	293,136	324,063	
Edifenphos	48,482	72,264	75,917	51,318	24,822	54,561	
EPN	162,018	204,040	173,075	203,951	174,800	183,577	
Esprocarb	23,917	25,496	21,021	19,298	13,090	20,564	
Fenobucarb	8,681	5,770	-	804	-	5,085	
Fenthoate	66,548	52,397	47,578	70,795	36,945	54,853	
Ferimzone	-	-	-	-	22,809	22,809	
Fipronil	-	-	-	-	-	-	
Iminoctadine triacetate	1,919	1,986	2,888	2,431	3,000	2,445	
Iprobenfos (IBP)	487,757	495,345	415,881	407,840	226,835	406,732	
Isoprocarb	93,947	99,810	55,705	77,076	36,669	72,641	문제여부는 DP 2%를 기준으로 적용
Isoprothiolane	32,901	258,011	184,328	107,916	83,290	133,289	
Linuron	9,155	9,358	4,258	2,381	5,572	6,145	
Malathion	2,665	1,274	4,088	1,994	3,517	2,708	
MCPA	-	-	-	-	14,546	14,546	
Mefenacet	65,478	52,484	67,507	48,859	28,955	52,657	
Mepronil	-	5,654	6,105	-	4,470	5,410	
Monocrotophos	11,568	13,091	25,305	21,291	23,716	18,994	
Piperophos	-	-	-	-	-	-	
Pretilachlor	-	-	-	1,165	2,541	1,853	
Probenazole	10,885	3,676	4,206	-	-	6,256	
Procymidone	5,029	22,044	14,967	13,501	23,685	15,845	
Propanil	740	-	-	-	-	740	
Pyrazoxyfen	-	-	-	-	-	-	
Quinoclamine	14,938	4,514	-	4,836	5,565	7,463	
Thifluzamide	4,611	983	3,312	4,620	1,225	2,950	
Thiobencarb	30,255	28,169	45,844	20,113	25,264	29,929	
Trichlorfon	106,928	31,768	104,040	89,476	37,698	73,982	

3-3-2. 농약의 환경 노출 지수

표3-3-43. 수도용 농약의 환경노출지수

Pesticide	수도용	Q	Re	B	L	HY	BI	PH	EEX-rice
Thiobencarb	o	3	1	2	3	2	2	1	1.33
Chlorpyrifos-methyl	0	2	0	2	3	1	2	2	1.04
PH(F)enthoate	o	3	1	2	2	2	1	1	1.04
Ferimzone	o	3	2	1	1	2	1	2	1.04
Mefenacet	o	3	0	2	2	1	2	2	1.04
Edifenphos	o	3	1	2	3	1	1	1	1
Propanil	o	1	2	2	2	2	1	1	0.91
Quinoclamine	o	2	1	1	3	2	1	1	0.91
Fenobucarb	o	2	2	1	1	1	2	2	0.89
Iprobenfos(IBP)	o	4	2	2	1	1	0	1	0.83
Thifluzamide	o	2	0	2	2	1	2	1	0.78
Butachlor	o	4	1	2	3	1	0	0	0.74
MCPA	o	3	3	1	1	0	1	1	0.74
Bentazone	o	3	2	0	1	1	1	1	0.67
Cafenstrole	o	2	0	2	2	1	1	1	0.67
Isoprothiolane	o	4	1	2	2	1	0	0	0.67
Probenazole	o	2	2	0	2	2	1	0	0.67
Bromobutide	o	2	0	2	1	1	2	1	0.65
Esprocarb	o	3	0	2	2	0	0	1	0.52
Isoprocarb	o	3	2	1	1	0	1	0	0.52
Pretilachlor	o	2	1	2	2	1	0	0	0.52
Buprofezin	o	3	1	2	3	0	0	0	0.5
Iminoctadine triacetate	o	2	2	0	1	0	2	0	0.46

총 23 약제

표3-3-44. 원예용 농약의 환경노출지수

Pesticide	수도용	Q	RE	H	B	L	EEI
EPN	x	4	1	1	3	3	0.72
Trichlorfon	x	3	1	2	0	4	0.67
Procymidone	x	3	0	2	2	2	0.61
Linuron	x	2	1	2	1	2	0.56
Mepronil	x	2	0	1	2	2	0.44
Monocrotophos	x	3	1	1	0	2	0.44
Dichlobenil	x	2	0	1	1	2	0.39
Dichlorvos	x	4	1	0	1	1	0.39
Malathion	x	2	1	1	1	1	0.39

총 9약제

검토 대상 32종의 농약은 수도용과 원예용으로 구분하여 각각을 EEX (수도용)와 EEI (원예용) 모델에 적용하였다.

모델은 환경위해성 중 수중 생태계에 매우 중요한 어독성 결과인 LC₅₀ 값을 기준으로 하여 평가하였다.

LC₅₀를 선정한 이유는 논물 배출수가 농수로나 기타 논 주변 환경 중 서식하고 있는 어류 생태계에 미칠 수 있는 영향을 검토하기 위한 과정이다. 일반적으로 농작물의 경우에는 ADI를 환경영향인자로 주로 사용하고 있다.

수도용 23 약제 중 위해성이 있다고 인정되는 0.70 이상인 약제는 13종이며 이 중 Thiobencarb (1.33), Chlopyrifos-methyl (1.04), Fenthoate (1.04), Ferimzone (1.04) 및 Mefenacet (1.04) 등은 위해 가능성이 높은 것으로 볼 수 있다.

원예용 농약 중에서는 EPN만이 0.72로 0.7을 상회하는 것을 알 수 있다. 그러나 위해가능성 농약의 범위를 다소 넓혀 0.60 이상의 지수를 나타낸 것을 포함하면 수도용은 18종, 원예용은 3종, 하여 모두 21종이 된다.

즉, 최대 21종의 농약은 일본의 논물 배출수 중 기준이 설정된 농약 중에서 우리나라에서 사용되고 있는 농약과 비교할 때, 국내에서 판매되고 있는 농약 중 주성분이 가장 많이 들어있거나 사용량이 많은 제품을 사용하는 경우, 농약을 처리한 후 3일 째 논물 배출수 중의 농도가 일본 기준을 넘는 32종을 우선 선정하였다. 또 이 32종의 농약을 수도용과 원예용으로 구분하여 LC₅₀ 값을 고려한 환경위해가능성을 EEX와 EEI 모델식을 가지고 검토하여 21종이 대상이 되었다는 것을 알 수 있다.

다만, 이 21종 중 모델식에서 0.70 이상의 값을 나타낸 수도용 13종과 원예용 1종 등 14종은 논물 배출수 중 농약 잔류기준을 설정할 필요성이 있다고 보며, 나머지 0.60~0.70 범위의 수도용 5종과 원예용 2종 등 총 7종은 설정의 필요성이 시급하다고 보기는 어렵다. 그러나 이 중 고독성 농약 EPN은 사용이 금지 될 예정이므로 최대 20종의 농약에 대해서는 논물 배출수 (사용 3일후) 중 잔류농약 기준의 검토를 고려할 필요는 있다고 본다.

IV. 재배환경 중 유해물질 관리를 위한 방안

IV-1. 위해가능성 농약을 검토하기 위한 모델식

1-1. 대상농약의 선정을 위한 모델

재배환경 내에서 위해성을 갖는 농약을 설정하는 것은 매우 중요하다. 왜냐하면 우리가 사용하는 모든 농약에 대해 재배환경 내에서의 기준을 설정하는 것은 쉽지 않은 일이며, 또 엄청난 수의 잔류분석을 하여야만 하는 문제점도 피할 수 없게 되기 때문이다.

따라서 우리의 재배환경을 논토양 환경과 과수·채소를 포함하는 밭 토양 환경으로 나누고, 각각의 재배환경에 사용되는 농약 중 위해성이 큰 농약을 우선 선정하는 것이 필요하다. 이런 목적을 위해서는 일반적으로 우리 환경에 적합한 모델을 활용하고 있다. 특히 우선순위와 점수화가 가능한 모델은 위해성 농약을 선정하는데 효용이 크다고 본다.

농약의 환경 위해성 평가 프로그램은 많은 나라에서 자국의 실정에 맞게 개발하여 사용하고 있다. 이 프로그램들의 특징은 위해성 정도를 점수화 하여 위해성 약제의 순위를 알 수 있는 CRS (Chemical Ranking and Scoring) 방법에 의하여 관리 대상 농약의 선정에 도움을 준다는 것이다.

또한 새로운 농약의 사용이나 기존 농약 사용량의 변화에 따라 위해성 정도를 일정 주기 마다 수행함으로써 우리 재배 환경에서의 위해 가능 농약을 선정하는데 매우 적합하다는 특징이 있다. 물론 모델식은 알려진 대로 100%를 만족시킬 수 없는 한계는 있지만 60%이상의 만족도를 갖는다면 사용하는 데 큰 무리는 없으며 그 이상의 충족도에서 만족할 만한 정보를 얻을 수 있다고 본다.

국내에서 개발된 농약의 환경위해성 평가 프로그램은 수도용 농약과 원예용 농약에 대해 평가 요인이 각각 다르게 구성되어 있다. 수도용 농약의 경우는 분해성을 고려하여 가수분해상수 (수중반감기), 미생물 분해정도 및 광분해 정도를 원예용 농약의 환경위해성 평가 프로그램에 보완하여 개발되었다.

즉, 원예용 농약의 경우는

$$EEI = 1/9[(Q+Re)/2 + H + (B+L)/2]$$

- Q : 5년간 평균 생산량 가중치
- Re : 환경 중 유출 비율 (Fraction released into Environment)
- H : 토양 중 잔효성 (Persistence)
- B : 생물농축능 (Bioaccumulation potential)
- L : 환경영향인자 (Influence on Environment)

로 구성되어 있다.

그러나 진술한 대로 수도용의 경우는 분해 정도를 고려하여

$$EEX = (1/9[(Q + Re)/2 + H + (B+L)/2]) \times [(HY+BI+PH)/3+1]$$

로 할 수 있다.

여기서 다른 항목은 원예용 농약의 경우와 일치하며,

- HY : 가수분해 상수 (수중반감기)
- BI : 미생물 분해능
- PH : 광분해능

의 항목이 추가된 것을 알 수 있다.

1-2. 잔류성 농약의 관리 방안

국내의 농경지 토양 중 농약 잔류 수준을 평가하고, 외국의 토양 중 농약 잔류기준을 검토하였을 때 현재 국내에서 사용되고 있는 농약을 재배환경 내에서 규제할만한 근거는 찾기 힘들다. 위 IV-1의 1-1에서 제시한 대상농약의 선정을 위한 모델을 통해 유해성이 있다고 생각되는 농약은 규제할 근거를 마련할 수 있지만, 충분한 근거가 없는 농약들은 실제로 규제대상으로 삼는 것은 바람직하지 않다고 본다. 그러나 토양 중 잔류성이 긴 약제들은 후작물까지도 영향을 줄 수 있기 때문에 재배환경에서 규제할 근거를 마련할 필요는 있다고 본다.

국내에서는 포장실험을 통해 토양 중 반감기가 180일 이상인 농약은 등록이 불허되고 있으므로 포장조건에서 180일 이상의 반감기를 갖는 농약은 실제로 국내 환경에서는 사용되고 있지 않다. 그러나 일반적으로 포장실험에서 반감기가 90일 이상이거나 또는 실내실험에서의 반감기가 150일 이상인 약제들은 비교적 잔류성이 길다고 볼 수 있다. 물론 90일이나 150일에 대한 명확한 근거를 제시할 수는 없지만 통념상 이 기준을 넘어가는 농약에 대해 잔류성 농약으로 잠정 분류하여 재배환경에서의 관리 대상으로 선정하는 것은 큰 무리가 없다고 판단된다.

표4-1-1에 국내의 자료를 기준으로 잠정 잔류 가능성 농약을 제시하였다.

표4-1-1. 국내 재배환경 중 잔류 가능성 농약

용 도	일반명	반감기(일)	
		실 내	포 장
살균제	Carpropamid	166.5	68.5
살충제	Chlorfluazuron	176.0	60.5
살균제	Difenoconazole	162.5	36
식물생장조절제	Diquat dibromide	322.5	165
살균제	Fenarimol	157.8	125
살충제	Fipronil	221.5	27
살충제	Flufenoxuron	117	125
살균제	Fluquinconazole	144.5	67.5
살균제	Flutolanil	124	93.5
살균제	Mepronil	171.5	13
제초제	Oxaziclomefone	164.5	25
살균제	Propiconazole	166.5	62.8
살균제	Pyraclostrobin	157.5	58
제초제	Quinclorac	154	61.5
살충제	Tetradifon	244	59.8

위의 표에서 제시한 내용을 그대로 재배환경에 적용할 수는 없고, 현재 농약 관리법에서도 국내에서 사용 중인 농약에 대해 잔류성 (반감기)을 기준으로 구분하려고 한다. 따라서 농약관리법이 조속히 개정되어 국내 농약에 대한 잔류 구분이 이루어진다면, 그 결과에 따라 재배환경에서 관리하는 기준을 설정하는 것이 훨씬 타당할 것으로 본다.

IV-2. 토양 중 중금속 관리를 위한 방안

2-1. 토양 중 중금속 분석법에 따른 문제점 및 검토

토양 중 중금속 분석 시에 토양시료를 어떤 조건으로 처리하느냐에 따라 동일한 시료에서도 함량이 달라지게 된다. 일반적으로 농업분야에서 중금속 분석은 0.1N-HCl 용출법을 활용하고 있고, 비소 (As)만 1N-HCl 용액을 사용하고 있으며, 이는 1991년부터 사용하고 있는 당시 환경처의 공정시험법에 근거하고 있다.

그러나 2009년 까지는 표4-2-1에서 보는바와 같이 환경부의 공정시험법은 성분에 따라 0.1N-HCl 용출시험법과 산분해법으로 이원화 되어있었다 (환경부, 2007b). Cd, Pb, Cu, As, Cr⁶⁺은 0.1N-HCl 용출법을 따르고 있으나, Zn과 Ni는 왕수분해법을 이용하고 있다. 따라서 중금속 원소 모두에 대하여 농업분야와 환경 분야에서 생산된 자료를 동일한 기준으로 비교분석하는데 한계가 있다.

한편 표4-2-1와 표4-2-2에서 정리된 바와 같이 각 국가는 각기 상이한 분석방법을 도입하고 있기 때문에 이로부터 생산된 분석 자료도 큰 차이를 보이고 있다. 국내에서는 현재 왕수시험법으로 중금속 분석을 통일하기 위한 시도를 하여 (국립환경과학원, 2005) 2010년에는 이 방법을 토양오염공정시험법으로 채택하게 되었다.

농업분야에서 일부 연구자에 의해 중금속 분석법에 대한 연구가 시도되고 있으며, 정 등 (2005)은 토양특성별 중금속 유효도와 토양오염 평가방법의 개선점에 대한 보고에서 현재의 5가지로 다원화된 토양 중금속의 분석법을 전 함량 분석으로 일원화하고 토양환경기준의 재설정을 언급한 바 있다. 농업분야에서도 중금속 등 환경오염 분석기준은 환경부의 공정시험방법을 따라야 하는 점을 고려할 때 현재까지 생산된 0.1N-HCl 침출액으로 분석한 결과와 산분해 시험법에 의한 분석결과와의 호환성에 관한 검토가 필요한 시점이라고 생각한다. 현행 토양공정시험법 외에 많은 환경관련 실험실에서 응용하는 편리한 분석법이나 최근 도입되는 새로운 분석기기를 활용할 수 있도록 분석법도 추가 보완이 필요하다.

표4-2-1. 국가별 토양 중 중금속 시험방법 비교

각국의 시험방법	한국 (토양오염 공정시험방법)		일본		미국EPA 3050A	독일, 네덜란드	
	용출	산분해 (왕수)	용출	함유량	산분해	산분해 (왕수)	
대상항목	Cd, Pb, Cu, As, Cr ⁶⁺	Zn, Ni	Cd, Pb, As, Hg, Se, Cr ⁶⁺	Cu, As	Cd, Pb, As, Hg, Se, Cr ⁶⁺	일반중금속	일반중금속
토양 입자 크기	2 mm 이하	0.15 mm 이하	2 mm 이하	2 mm 이하	2 mm 이하	2 mm 이하	0.15 mm 이하
시험 방법	시약 0.1N-염산 (비소 1N)	염산, 질산	물 (pH 5.8-6.3)	염산 (0.1N)	1N-염산 (단 Cr ⁶⁺ 는 0.005mol 탄산나트륨	질산, 과산화수소, 염산	염산, 질산
실험 온도	30℃	실온처리 후 가열	실온, 대기압	30℃ 대기압	실온 대기압	끓는점 아래	실온에서 처리 후 가열

자료 : 김태승 등, 2004.

표4-2-2. 표준토양 시료의 중금속 분석방법별 분석결과 비교

(단위 : mg kg⁻¹)

중금속	분석결과				인증값	허용범위
	가용성 (0.1N-HCl)	왕수시험법 (ISO)	일본 산분해법	EPA 3050B		
Cd	250.0	289.0	237.0	227.0	246.0	201.0-291.0
Cr	10.0	103.0	85.0	105.0	95.5	75.0-116.0
Cu	33.0	76.0	64.0	67.0	66.3	51.2-81.4
Pb	24.5	62.6	72.0	87.3	74.2	59.8-88.6
Ni	47.1	76.9	67.4	73.5	72.7	59.3-86.1
Zn	93.0	127.0	134.0	158.0	136.0	107.0-166.0

자료 : 김태승 등, 2004

특히 환경부는 전술한 바와 같이 종래의 토양 오염공정시험법을 2010년에 개정하여 모든 중금속류에 대해 산분해(왕수)법으로 통일하게 되었다. 즉, 토양 중의 중금속을 농업적 측면에서의 고려 없이 전 함량으로 표시하도록 하였다는 것은 재배환경토양관리에서는 매우 중요한 문제라고 볼 수 있다.

아래 표4-2-3에는 동일한 시료에 대해 3가지 방법으로 전처리를 한 토양시료 중 중금속 함량을 보여주고 있다. 3가지 방법 중에는 토양 중 중금속의 연속 분획분석법에서 작물의 흡수가 가능하다고 인정되는 치환성(수용성 포함) 분획추출에 이용하는 1M-MgCl₂ 침출법에 의한 결과도 함께 제시되어 있다.

표4-2-3. 충남 청양광산 인근 토양 중 중금속의 추출방법에 따른 함량차이

(단위 : mg kg⁻¹)

방 법		As	Cd	Cu	Cr	Pb
HF	범위	-	0.215~26.329	5.253~231.555	4.226~62.848	9.829~354.462
	평균 ¹⁾	-	2.346	36.128	36.820	31.993
0.1N-HCl	범위	0.001~19.492	0.005~16.723	0.806~83.703	0.015~4.770	0.110~107.15
	평균	0.780	1.621	12.876	0.401	6.973
1M-MgCl ₂	범위	-	0.001~6.773	0.003~6.415	-	0.070~7.531
	평균	-	0.687	0.657	-	0.882

1) 숲, 밭, 논을 포함한 62개의 시료에 대한 평균

표4-2-3에서 볼 때 강산인 HF에 의한 전처리법에 비해 0.1N-HCl 및 1M-MgCl₂ 용출법은 Cd의 경우는 각각 70%와 30% 수준, Cu의 경우는 각각 35.6%와 1.8%, Cr의 경우는 0.1N-HCl 용출에서만 약 1.1%만 검출되었고 0.1M-MgCl₂ 용출법에서는 전혀 검출되지 않은 것으로 나타났다. 또한 Pb의 경우도 0.1N-HCl 전처리구에서는 21.8%, 1M-MgCl₂ 침출 처리구에서는 약 2.7% 수준으로 낮게 검출되었다.

이 결과는 매우 중요한 의미를 갖는다고 본다. 왜냐하면 농작물에 잔류하는 중금속 성분은 거의 100% 작물의 뿌리를 통해 흡수되어 작물의 가식부에 축적되는 것이므로, 토양 중의 중금속의 잔류하고 있는 총량이 중요하기 보다는 뿌리에서 흡수할 수 있는 형태의 중금속이 얼마나 잔류하고 있는지가 중요하기 때문이다.

참고로 토양 중 중금속의 연속분획추출법 (sequential soil fractionated extraction)에 관해 설명하고자 한다. 이 방법은 토양 중에 존재하는 중금속의 결합 형태에 따라 어느 정도나 지하수를 포함한 주변 환경에 영향을 줄 수 있는지와 작물을 재배하는 경우 어느 정도나 흡수될 수 있는지를 가늠하는데 매우 유용한 정보를 제공한다고 본다. 그러나 이 방법은 하나의 시료를 가지고 순차적으로 분획을 구분하여 중금속을 분획별로 추출하는 방법이므로 한 시료를 분석하는데 1주일 정도가 소요되는 문제점이 있으며, 또 실험 과정이 복잡하고 난이도가 있어 숙련된 시험자가 실험을 해야 하는 등의 문제점을 가지고 있다.

토양 중 중금속은 크게 용해성 (soluble form), 치환태 (exchangeable form), 탄산결합태 (carbonated form), 철-망간 산화물 결합태 (Fe-Mn oxide form), 유기태 (organic form) 및 잔류태 (residual form)로 구분된다. 그러나 용해성 중금속은 그 양이 매우 작기 때문에, 통상적으로는 치환성 분획에 포함하게 되므로 총 5개의 분획으로 나누어 추출한다.

일반적으로 치환태는 흡착태 (adsorbed form)라고도 부르는데, 주로 토양 입자의 표면에 흡착되어 있는 형태로 타 이온에 의해 치환되거나 pH 등의 변화에 따라 표면 전하가 달라짐에 따라 탈착되어 수용성 형태로 전이되기 쉬운 특징을 가지고 있으므로 작물체 흡수나 지하수 오염의 중요한 요인이 될 수 있다.

탄산염 결합태는 탄산염의 형태로 존재하며 pH가 낮은 물속에서는 쉽게 용출 또는 용탈 될 수 있으며, pH가 낮은 토양 중에서도 천천히 용탈되어 잠재적인 오염원으로 볼 수 있다. 그러나 일반적인 재배 토양의 pH는 5.0 이상이므로 탄산염 결합태 중금속이 토양 중에서 용출되는 것은 매우 적은 량이라고 볼 수 있다.

또 Fe-Mn 산화물 결합태 (Fe-Mn oxide form)는 환원가능태 (reducible form)라고도 하며 금속산화물과 공침된 형태로 산화 조건에서는 용탈될 수 없으나 환원 조건에서는 용출되어 질 수 있다. 특히 농토양의 담수 조건은 환원 조건이 유지되므로 Fe-Mn 산화물 결합태 중금속이 일부 용출되어 흡수될 수 있다.

유기태 (organic form)는 유기물과 결합된 상태로 호기상태가 장시간 유지되면 미생물의 유기물 분해과정에서 일부의 중금속이 용출될 가능성이 있다고 본다. 따라서 유기태 분획 중 중금속은 잠재적 오염원이 될 수 있으나 새로운 유기물이 공급되고 분해되는 과정에서 계속하여 유기태 중금속 형태로 남아 있기 때문에 이 분획이 중금속이 오염될 가능성은 그리 높지는 않다고 본다.

마지막으로 잔류태 (residual form) 중금속은 광물의 결정구조 상태로 존재하는 자연 함유량으로 보면 좋을 것이며, 광물의 풍화속도에 따라 영향을 받을 수는 있으나 그 영향정도는 무시해도 좋다고 판단된다.

따라서 우리는 치환태 중금속의 함량이 매우 중요하며, 탄산염 결합태나 유기태는 오염에 영향을 줄 수 있는 분획은 되지만 그 정도는 환경의 특성과 유관하기 때문에 어느 정도인지의 판단은 그리 쉽지 않다고 보며, 재배환경 특성상 pH가 유지되고 유기물의 공급이 지속된다면 이들 두 분획중의 중금속이 용출되어 작물에 흡수 되거나 지하수 오염을 증가시키는 문제점은 그리 크지 않다고 본다. 다만 폐광산의 산성 배수가 농업용수로 사용되거나 농업용수에 유입되는 경우는 문제가 있다고 본다.

2-2. 작물에 의한 중금속 흡수 연구동향

가. 작물 피해해석 (피해도 및 흡수율)

자연에 있어서 작물은 먹이사슬의 최하층부 시작 부분으로서 뿌리 조직을 통하여 토양으로부터 수분과 양분을 흡수하여 성장하고 인간을 비롯한 동물에게 유용한 식량을 공급한다. 더불어 중금속 역시 다른 토양 중 양분과 함께 흡수되어 작물조직에 축적되고 작물에 생육 피해를 보이고 나아가 인체에 축적되어 만성적인 위해성을 나타낸다.

농업환경의 중금속오염에 대한 농작물로의 흡수이행에 관한 초기연구는 광산 폐수나 공단폐수에 의한 농작물의 피해 원인조사, 생육에 미치는 영향, 유해농도를 규명하는데 있었다 (표4-2-4, 표4-2-5, 표4-2-6). 또한 각종 유해물질에 대한 농작물의 피해증상이 조사되었고, 유해물질 농도에 따른 정조수량의

5%의 유의적 감소농도를 농작물 피해농도로 규정하였고, 이러한 피해도 기준은 농업용수 및 농경지의 환경기준을 설정하는데 기초 자료로 활용되었다. 그러나 이들 작물의 생육피해농도는 식품의 안전성을 고려한 기준을 크게 상회하여, 즉 작물에서 피해가 관찰되는 농도에서는 식품으로서의 가치가 현저히 감소되므로 앞으로의 농업환경 기준에서는 생육피해에 따른 기준설정보다는 식품의 안전성이 고려한 농산물의 중금속 기준이 우선되어야 한다고 사료된다.

표4-2-4. 관개용수의 농작물 피해농도

(단위 : mg kg ⁻¹)						
항 목	구리	납	비소	수은	카드뮴	크롬
피해한계농도(농기연)	0.01	13.6	0.05	0.2	0.9	0.67(CrVI)
피해 허용한계농도(일본)	-	0.1	0.05	-	0.01	0.05(CrVI)
Screening benchmark conc. (미국 USDA)	0.06	0.02	0.001	0.005	0.1	0.05

표4-2-5. 토양의 농작물 피해 한계농도

(단위 : mg kg ⁻¹)						
항 목	구리	납	비소	수은	카드뮴	크롬
피해한계농도(농기연)*	125	150~300	15	40~50	25	
농작물 피해농도 (일본 식영토비 대사전)*	125	150~300	5~25	40~50	25	5~50(CrVI)
Screening benchmark conc.(미국USDA)**	100	50	10	0.3	4	1

* 용출시험법, ** 전함량 분석법

표4-2-6. 토양의 농작물 피해한계농도 (전함량기준) 비교

저 자	구리	납	비소	수은	카드뮴	크롬
Kovalskiy(1974)	60	-	-	-	-	-
El-Bassam and Tietjen (1977)	100	100	50	5	5	100
Linzon(1978)	100	200	25	0.3	8	75
Kabata-Pendias(1979)	100	100	30	5	5	100
Kloke(1979)	100	100	20	2	3	100
Kitagishi and Yamane(1981)	125	400	15	-	-	-

작물에 대한 중금속의 독성과 작물체내로의 흡수 및 반응 기작은 중금속 종류에 따라 다양하다 (표4-2-7). 비소는 작물에게 불필요한 유해원소로 인(P)과 같은 운반체에 의해서 뿌리로 흡수되는데 5가의 비산태가 3가의 아비산태보다 더 용이하게 흡수되는데 독성은 아비산태가 강하다. 비소의 피해증상으로는 새잎의 위조 (wilting), 뿌리나 지상부의 생육지연 및 leaf necrosis 등이 있다. 비소의 생화학적 기작으로는 인과의 유사성으로 인과 같은 방법으로 이동하고, 많은 세포반응에서 인을 대신하여 작용한다. 아비산(III)은 세포막 분해 및 세포의 소멸을 초래하는 sulphhydryl 효소와 반응하는 것으로 알려져 있다.

카드뮴 역시 작물에 불필요한 원소로서 토양에 유효태로 존재할 때 뿌리를 통해 쉽게 흡수되어 작물체 내에 축적된다. 카드뮴은 화학적으로 아연과 유사하여 서로 경쟁적으로 작용하며 이는 카드뮴 독성에 대한 아연의 첨가에 따른 개량시험을 통하여 입증된다. 카드뮴은 또한 철, 망간, 뿐 아니라 아마도 칼슘, 마그네슘, 질소의 흡수를 저해시키며, 약한 농도에서도 작물에 해를 끼친다. 피해증상으로는 성장이 저해되고, necrosis나 wilting을 포함한 철 황화현상과 같은 증상을 보이고, 작물체내 아연 결핍을 보인다. 카드뮴의 독성 기작으로는 광합성율의 감소, 뿌리성장 저해, 작물체내 이온 상호작용의 교란 등이 있다.

크롬도 작물에 불필요한 원소로 독성을 가지나 동물에는 필수 미량원소이다. 하지만 많은 양이 축적되면 발암물질로 작용한다. 작물에 대한 독성은 비소와 같이 그 형태에 따라 다르며 6가크롬이 가장 강하고, 3가크롬, 산화크롬 순으로 약하다. 토양 중 3가크롬은 강산성의 토양에서 약간의 이동성을 보이나 일반적인 Eh나 pH 5.5의 약산성의 토양에서는 거의 침전의 상태를 보인다. 6가크롬은 대단히 불안정하나, 3가크롬보다 용해도가 높아 작물에 이동하여 해를 준다. 또한 6가크롬은 담수 하에서 3가크롬으로 쉽게 환원되어 해가 줄어든다. 크롬은 카드뮴과 달리 지상부로의 이행량이 적어 종실에서는 거의 검출되지 않으나 지하부를 식용으로 하는 작물에서는 검출된다. 작물에 대한 피해 증상으로 성장저해, 뿌리 발육 불량 및 잎위축병이 있다. 또한 C, N, P, Fe, 및 Mo 대사와 효소활성을 저해한다.

구리는 작물에 대해 필수 미량원소로 작용한다. 많은 효소의 co-factor로 요구되고 광합성에 관련된 구리 단백질의 필수적인 역할을 한다. 토양 중 구리의 함량이 적으면 작물에 구리 결핍을 초래하고, 과량이 존재하면 Fe, Zn, Mo 등과 길항적으로 작용한다. 작물에 대한 구리의 피해증상은 성장 저해 및 열황화 현상이고 해작용은 효소활성, 광합성, 지방산대사에 저해적인 반응을 한다.

납은 작물의 뿌리를 통해 수동적으로 흡수되거나 줄기로의 전이는 제한적이다.

작물에서 납은 자연적인 킬레이트, pyro-와 ortho-phosphate 형태로 존재한다. 납에 의한 작물의 피해는 타 중금속에 비해 상당히 덜 하다. 작물 중 납은 전자전달계 교란에 의한 미토콘드리아 호흡과 광합성에 영향을 미친다.

수은 역시 뿌리를 통해 흡수되나 줄기로의 전이는 제한적이다. 수은은 화합물의 종류에 따라 그 독성을 달리하는데 alkyl-Hg 화합물이 가장 강하고, 무기수은염, 금속Hg, phenyl-Hg, alcoxy alkyl-Hg 순으로 약하다. 알킬기 즉 methyl-과 ethyl-수은은 안정성이 높고 지용성이기 때문에 사람이나 동물의 생체 조직에 용이하게 축적되어 산소 공급을 차단한다. 하지만 토양에서는 인산이나 유기물과 킬레이트 결합을 하여 거의 이동하지 않는다.

표4-2-7. 농작물 중금속에 의한 피해증상 및 인체장해

종 류	작물 피해 증상	인체 장해
카드뮴	잎의 황화 및 왜화, 벼의 분얼억제, 뿌리 신장저해	이타이이타이병, 구토, 설사, 호흡곤란, 암, 인후염등
구리	잎의 황백화, 뿌리 신장 및 발생저해, 철결핍 유발	점막자극, 구토, 설사, 간장장해, 소화관 자극
비소	잎의 황화고사, 뿌리썩음, 새뿌리 발생억제	오각병(Black Foot Disease), 구토, 설사, 탈수증, 시력장해, 간경변
수은	뿌리 신장저해	미나마타병, 뇌성마비, 정신박약, 시청각기능장해
납	잎의 황백화	복통, 구토, 설사, 배뇨이상
크롬	성장저해, 뿌리발육불량	

나. 작물의 중금속 흡수에 미치는 농업환경 영향 연구

작물의 중금속 흡수에 미치는 농업환경으로는 크게 토양의 물리화학적 특성과 작물 경작 방법으로 나눌 수 있다. 토양의 물리화학적 특성의 차이로는 토양수분 함량, 토양온도, 토양산도, 점토함량, CEC 등 양이온 함량, 인산함량, 유기물함량 등의 변화에 따라 다양하고, 경작 방법의 차이로는 작물의 종류, 부위별, 품종별, 생육시기, 경운 및 관개 등 경작방법에 따라 다양한 흡수 형태를 보인다.

작물의 중금속 흡수에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 토양 중 중금속 함량이다. 모든 종의 중금속에서 토양 중 중금속 함량이 증가함으로써 작물내 중금속

함량이 증가한다. Adriano (1986)는 카드뮴, 비소, 수은 등에서 토양과 작물 중 함량에 정의 상관성이 있음을 보이고, 몇 개의 중금속에서 토양 중 일정 농도 이상에서 증가를 멈추고 감소하는 경향도 보였다.

또한, 일반적으로 토양pH가 떨어지면 중금속의 형태별 함량이 변화하여 작물로의 유효도가 증가한다. Nicholson (1997)등은 토양 pH가 낮아지면 추출성 Zn, Ni, Cd 농도가 증가하고 결국 작물에의 중금속 함량이 증가함을 보고하였다. 또한 김 등 (1984)은 수도와 콩에서 소석회 및 인산의 시용이 토양 중 pH를 증가시키고 이에 따른 납과 구리의 흡수를 경감시키는 보고하였다. 또한 Adriano (1986)는 토양의 특성 가운데 pH와 Eh가 중금속의 유효도에 크게 영향을 미친다고 보고하였는데 그 결과는 표4-2-8와 같이 원소의 종류에 따라 반응이 다를 것을 보였다.

표4-2-8. 식물의 비소, 카드뮴, 셀레늄, 및 납에 대한 유효도에서 pH와 Eh의 영향

중금속	비 소	카드뮴	납	셀레늄
pH 증가(알칼리성)	유효도 감소	유효도 감소	유효도 증가	유효도 감소
Eh 증가(산화성)	유효도 증가	유효도 증가	유효도 증가	유효도 감소

이 (1986)는 토양 중 점토 함량에 대한 작물의 중금속 흡수의 차이를 보고하였는데 이는 토양 중 비소는 흡착력이 약한 사토질 토양에서는 비소의 흡수에 따른 장애가 심하게 나타난 반면 흡착력이 강한 점토질 토양에서는 비소의 장애가 약하게 나타났다. 김 (1979)등은 중금속 오염지 복원 대책으로 중금속의 작물로의 흡수를 경감하기 위한 유기물인 퇴비의 효과를 보고하였고, 한 (1997)등도 유기물 처리에 의한 무의 생육과 크롬의 흡수 이행량을 조사하였는데 유기물 처리 시 대조구에 비해 생육상태가 진전되었으며, 무로 흡수 이행되는 크롬의 량이 감소함을 보였다. 이들 유기물은 고분자의 리간드인 humic- 및 fulvic-acid로서 외부에 COOH나 phenolic-OH기와 같은 양이온 흡착능이 강한 작용기를 가지고 있어 중금속과의 복합체를 형성 작물로의 흡수를 경감시킬 수 있다 (Stevenson, 1982). 더불어 토양중 중금속에 대한 작물의 유효도에 영향을 미치는 요인으로 Fe/Mn oxides, CEC, 토양온도, 다른 원소의 량, 인산비료 시용등의 연구가 보고되었다 (Adriana, 1986).

다. 농작물 중금속 흡수이행 연구

토양 내 중금속이 작물체로 흡수 이행되는 정도는 앞서 설명한 바와 같이 토양의 특성에 따라 크게 다르다. 이와 더불어 작물의 종류에 따른 중금속의 흡수 이행이 작물 고유의 생리학적 메카니즘의 다양성으로 크게 구별된다. 작물과 중금속 흡수와의 관계는 작물의 종류, 중금속의 종류, 작물의 생육기에 따라 크게 차이가 있다. 김 (1997) 등은 상추, 배추, 무, 콩, 고추 등 주요 밭작물의 카드뮴 흡수에 관련된 연구에서 상추의 흡수가 무, 배추의 흡수보다 많음을 보였다. Adriano (1986)는 또한 카드뮴이 무와 Swiss chard에서 비소가 상추, 보리, 목초에서 각각 다르게 흡수함을 보였다. Fergusson (1990)은 작물의 종류에 따라 원소별로 상대적인 흡수능을 조사하였다 (표4-2-9). 작물에 따라 특이한 원소를 많이 흡수함을 알 수 있고, 비교적 상추에서는 모든 원소의 흡수가 높은 반면, 쌀에서는 흡수가 낮음을 보였다. 작물의 줄기, 종실, 잎, 및 뿌리의 부위별로 또한 작물의 품종에 따라 그들의 조직 내에 중금속을 흡수하고 축적하는 능력이 원소별로 크게 차이를 보였다.

Brooks (1983)는 식물체의 무기원소에 대한 흡수와 이동성을 고려하여 생물학적 흡수계수 (BAC, Biological Absorption Coefficient)를 제안하여 널리 이용되고 있다. 이는 다른 용어인 생물농축계수 (BCF, Bioconcentration Factor)로도 사용되고 있는데 BCF는 식물체내 중금속 함량을 토양내의 중금속 함량으로 나눈 값으로 토양으로부터 식물로 이동하는 중금속의 상대적인 흡수비를 의미한다.

박 등 (2009)은 논토양 중 잔류중금속의 비 흡수이행 연구에서 비의 중금속별 생물학적 흡수계수가 카드뮴, 수은, 구리가 높은 반면 납과 비소는 낮은 경향을 보였는데 이는 기존의 보고와 유사한 결과를 얻었으나 이 당시 우리나라 토양의 중금속 분석법이 0.1N HCl 침출성 함량으로 얻어진 결과로서 단순히 원소간의 차이만 확인할 수 있는 것으로 사료된다. 김 등 (표4-2-10, 2011, unpublished data)의 결과에서 토양의 전함량에 대한 쌀로의 생물농축계수가 아연, 구리 및 크롬이 높은 반면 납과 비소가 낮게 조사되었고 또한, 고추로의 생물농축계수는 구리, 아연, 및 카드뮴이 높은 반면 납과 비소가 낮게 나타나 작물 종류에 따른 차이가 확인되었다. 이에 따라 계속되는 연구 수행으로 작물군의 종류를 확대하여 이들의 생물농축계수를 확인하고, 이를 이용한 환경위해성 평가, 인체노출 및 독성평가가 수반되어야 할 것이다.

표4-2-9. 주요 작물의 토양 중 중금속 의 상대적 흡수능

작 물	중 금 속				
	비 소	카드뮴	납	수은	셀레늄
강낭콩	저	저-중			
양배추	고	중-저	저		
상추		고	고	고-중	
완두콩	저	중-저	저		
순무	중	저-중	고		
시금치	저	고			
토마토	고	중			
무	중	고	고		
옥수수	중	중	저		
귀리	고	저	저		
쌀	저	저			
밀	고	저	저		중
사과	고				
체리	중				
복숭아	저				
배	고				

표4-2-10. 광산인근 논토양 생산 쌀과 고추의 중금속 생물농축계수 (BCF)

(단위 : mg kg^{-1} plant DW/ mg/kg soil)

Categories	Crops	Soil properties	BCF						
			As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Cereals	Polished rice	pH5.2~7.1 OM5.3-51.9	0.018	0.025	0.077	0.120	0.034	0.002	0.151
Fruit Vegetables	Pepper		0.004	0.076	0.006	0.204	0.045	0.002	0.113

V. 재배환경 중 유해물질 관리를 위한 제언

V-1. 잠정기준안 및 기타 제언

현재까지의 결과를 토대로 아래의 사안을 제언하고자 한다.

1. 취약농경지에 대한 중금속 모니터링 강화
 - 1) 농경지 중금속의 종류, 농도 및 검출 빈도조사를 통하여 농경지 중금속 오염도 현황 파악
 - 2) 오염 농경지에 대한 관리 방안 도출
 - 광산 인근지역과 같은 hot-spot에 대한 관리 방안
 - 일반 농경지에 대한 관리 방안
 - 3) 주기적인 변동 조사를 통하여 오염도의 진행 관리
 - 4) 환경오염 경감 연구 지속
 - 오염을 줄이는 신규 농업자재 즉 무카드뮴 인산비료 등의 개발 연구
 - 휴폐광 오염원의 근본적인 대책 연구 (예; 중금속의 불용화, washing 등의 방법 보다는 식물학적 복원에 관한 연구 중점)
 - 5) 방사핵종, 셀레늄, 탈리움, 극미량원소 등 새로운 중금속 오염물질에 대한 탐색 연구
 - 6) 현재까지 조사된 지역에 대한 중금속 오염 지도를 작성하고, 지속적인 조사사업을 통해 좀 더 세분화된 지도를 작성하는 것이 필요함
2. 농작물의 안전성을 위한 토양 중 중금속 분석 방법과 작물 중 중금속 분석방법의 상관성 검토
 - 1) 중금속 분석 방법에 대한 표준화 연구
 - 국내외 기존 분석법 검토 및 장단점 비교 도출 (토양, 작물, 물 등)
 - 중금속 추출 방법의 세분화를 통한, 추출 및 분석 방법 규격화 연구
 - 도출된 중금속 분석법에 대한 적용성 연구
3. 작물실험을 통한 중금속, 항생물질 및 PAHs에 대한 BCF (생물농축계수) 산정연구의 필요성

- 1) 작물의 중금속 흡수 이행, 초축적 식물 등에 의한 중금속의 흡수 및 저항성에 관한 연구 지속
 - 2) 중금속 관련 유전자 탐색, 중금속 저항성 품종선발, 흡수 및 발현기작에 관한 연구
 - 3) 중금속 오염지역의 생물학적 토양복원 및 안정성 향상 기술 연구
 - 4) 토양 중금속의 형태특성, 형질전환체 개발 연구
 - 5) 산업화와 중금속에 대한 작물별 흡수 및 축적형태와 관련된 생리생화학적 연구
4. PAHs와 관련된 작물 및 농경지 토양에 대한 모니터링 강화
 - 1) PAHs 고농도 예상지역 선정 (농경지 토양, 농업용수 등)
 - 2) 선정된 지역에 대한 모니터링 추진
 - 3) 농경지 토양, 농업용수 등에 대한 PAH 위해성 평가방법 연구
 - 4) PAHs 관리방안 도출 : 기준 설정 필요성 검토
 - 저감방안 연구
 - 기준 설정 시 필요한 기본자료 도출
 - 기준설정 시 필요한 기본자료 도출 방법 연구
5. 농경지 토양 (축분퇴비 사용)에 대한 항생제 모니터링 강화 및 주기적인 축분 중 항생제 모니터링
 - 1) 항생제 분석방법에 대한 표준화 연구
 - 2) 모니터링 대상 지역의 선정 : 축산폐수 처리장 중심의 모니터링
 - 3) 모니터링 지역의 순차적 확대
 - 4) 항생제 관리 방안 연구
 - 항생제 농도 저감 방안 연구
 - 기준 설정의 필요성 검토 : 기준 설정을 위한 기본자료 도출
 - 기준설정 시 필요한 기본자료 도출 방법 연구
6. 다이옥신류나 Co-planar PCB와 같은 오염물질은 분석의 한계성 때문에 농업연구기관에서 주기적인 모니터링을 수행하는 것이 필요
 - 1) 주기적 모니터링 지역 도출
 - 2) 분석방법의 표준화 방안 연구
 - 3) 저감방안 연구

7. 농경지 토양 중 잔류 농약이나 농업용수 중 유해물질은 현 단계에서 크게 문제되지 않는다고 판단
 - 1) 부분적, 순차적 모니터링 지역 선정 : 모니터링 우선순위 지역 선정하여 지속적인 모니터링 자료 확보 필요
 - 2) 각 기관별 생산된 잔류분석 자료의 공유 및 종합적 결과 해석 필요
 - 3) 친환경농업 수행 지역에 대한 차별화된 관리 방안 도출 필요
 - 농약 검출 원인에 대한 조사 및 관리방안 도출
 - 4) 잔류분석법에 대한 표준화 방안 도출 필요
 - 5) 논물 배출수 중 농약잔류기준 및 재배토양 중 잔류농약 기준 설정 검토
 - 보고서 내용 329 쪽에 기술한 대로 21종의 농약에 대해 논물 배출수 중 잔류 기준설정 여부를 검토할 필요가 있고, 동시에 보고서 333 쪽에 제시된 토양 중 반감기를 기준으로 포장실험 90일 이상, 실내실험 150일 이상인 농약 15종에 대해 잔류기준 설정 여부를 검토할 필요가 있음
 - 잔류기준을 설정할 필요가 있으면 농약 관리법 시행령을 개정하여 빠른 시일 내에 기준을 설정하는 방안을 논의하는 것이 필요

8. 잔류성 농약에 대한 토양 중 기준이 설정된 이후에는 장기적인 재배환경 중 모니터링의 필요성이 있음
 - 농약관리법 시행령 또는 기타의 적절한 법률에 의하여 모니터링이 수행될 수 있도록 법적 보완필요가 있음

9. 국내의 농업용수 수질기준은 하천수, 호소수 및 지하수로 구분되어 있을 뿐 아니라, 각각의 규제 항목과 규제기준도 일부는 다른 것으로 되어 있어 통일된 기준으로 변경할 필요가 있음
 - 농산물 품질 관리법 상 환경보존법에 의거하여 농업용수 수질 관리하는 부분의 개정이 필요하므로, 해당 부서인 환경부와의 일차적인 협의 필요
 - 작물생산과 토양 오염을 고려한 FAO의 농업용수수질기준과 국내외 기준을 참고로 하여 새로운 기준 설정과 관련한 논의 필요
 - 관련된 연구 결과 및 잠정 기준 설정을 위한 농진청 등과의 협의 및 농산물 품질관리법에 농업용수 수질기준 설정 타당성 검토 및 입법화

기본적으로 상기와 같이 제안된 내용을 초안으로 하여 보다 심도 있는 세부 추진 연구 내용들이 도출되어야 할 것으로 판단되고, 이를 바탕으로 우선적으로 연구되어지고 적용 되어져야 할 세부 내용들의 우선순위가 도출되어야 할 것으로

로 생각된다.

아울러 본 연구를 통해 국내외의 토양기준이나 농업용수기준 등을 고려하여 아래와 같은 잠정기준안을 제시하고자 한다.

표5-1-1. 재배환경 (토양) 중 금속류 잠정기준안

오염물질	기준 (mg kg ⁻¹)
알루미늄	100
카드뮴	10
구리	150
비소	25
납	200
아연	300
크롬 (total)	500
니켈	150
불소	400
몰리브덴	5
셀렌	2
보론	2

국내의 토양환경보전법에 기준이 설정되어 있는 8종의 중금속 중 재배환경에서 검출될 가능성이 없는 수은을 제외한 7종의 중금속과 작물의 뿌리생육에 영향을 주며 폐슬러지 등을 이용한 저질의 유기물을 통해 토양 오염을 유발할 수 있는 알루미늄, 그리고 작물 생육에 영향을 주는 미량요소인 몰리브덴과 보론이 포함되었다. 미량요소는 적절한 수준에서는 작물생육에 도움을 주나 너무 높게 토양 중에 잔류되어 있는 경우에는 오히려 작물생육을 저해할 수 있다. 아울러 토양으로부터 작물이 과다 흡수하는 경우 인체에 위해를 줄 수 있는 셀렌을 포함했으며, 토양 중 잔류수준이 높으며 대부분의 외국에서 토양 중 잔류허용기준을 설정하고 있는 불소를 포함하여 잠정기준을 제시하였다.

제시된 기준농도는 구리, 비소, 납, 그리고 아연은 국내의 토양오염 우려기준을 적용하였고, 카드뮴, 니켈, 크롬 및 알루미늄은 외국의 농경지 기준을 참고로 하였으며, 기타의 항목들도 외국의 기준을 참고하였다.

표5-1-2. 재배환경 (토양) 중 기타 유해물질의 잠정기준안 - 농약제외

오염물질	기준 (mg kg ⁻¹)
폴리클로리네이티드비페닐 (PCBs)	1.0
벤조 (a) 피렌	1.0
디벤조 (a,h) 안트라센	1.0

현재 국내의 토양오염 기준에는 폴리클로리네이티드비페닐 (PCBs), 시안, 페놀, BTEX (벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌), 석유계 총 탄화수소 (TPH), 트리클로로에틸렌 (TCE), 테트라클로로에틸렌 (PCE) 및 벤조 (a) 피렌 등이 포함되어 있으나 재배환경에서는 이중 폴리클로리네이티드비페닐 (PCBs)과 다중고리방향족탄화수소류인 벤조 (a) 피렌 등 2 종을 선정하고 여기에 벤조 (a) 피렌과 등가독성을 지닌 다중고리방향족탄화수소류의 1종인 디벤조 (a,h) 안트라센을 포함하였다. 기준은 국내외에서 설정된 기준을 참고로 하여 제시하였다.

표5-1-3. 농업용수 수질기준 (잠정안)

	수도	채소류		과수류
		시설	노지	
pH	6.5~8.5	6.5~8.5	6.5~8.5	6.5~8.5
염도 관련	EC (ds/m)	3.0	1.0	3.0
	TDS (mg L ⁻¹)	2500	500	2500
유기물 관련	COD (mg L ⁻¹)	25	10	25
	질산성 질소 (mg L ⁻¹)	3	5	15
	붕소 (mg L ⁻¹)	2.5	1.0	2.0
	Bicarbonate (mg L ⁻¹)	-	3.0	3.0
토양 투수율 관련	토양 SAR			
	0~3	-	0.7	0.2
	3~6	-	1.2	0.3
	6~12	-	1.9	0.5
	12~20	-	2.9	1.3
	20~40	-	5.0	2.9
	Na ³ (me L ⁻¹)			9
	Cl ³ (me L ⁻¹)			9
기타 유해물질	Al : 5.0 mg L ⁻¹ , As : 0.1 mg L ⁻¹ , Cd : 0.01 mg L ⁻¹ , Cu : 0.2 mg L ⁻¹ , Pb : 5.0 mg L ⁻¹ , Ni : 0.2 mg L ⁻¹ , Zn : 2.0 mg L ⁻¹			

1; 질산성질소에는 NH₄-N 및 유기태질소가 포함된다.

2; 점적관수나 스프링클러 관수 시 Ca 등과 결합되어 노즐을 막을 수 있는 가능성 지표임

3; 과수류의 뿌리 생육 저해와 관련되어 설정함, 표면관수를 기준으로 설정한 값으로 스프링클러 관수 시에는 4me L⁻¹으로 하는 것이 바람직함

농업용수 수질기준은 FAO의 농업용수 수질기준을 참고로 하여 국내의 재배농경지를 수도용, 시설채소, 노지채소 및 과수재배지로 구분하여 제시하였다.

특히, FAO의 농업용수 수질기준은 장기적으로 농업용수를 사용했을 때 나타날 수 있는 토양에 대한 피해를 고려하여 설정되어 있으므로 매우 합리적으로 본다. 특히, 채소나 과수재배지에서의 스프링클러나 점적관수 시 노즐의 막힘 현상을 고려한 bicarbonate 농도를 제시한 것은 매우 발전된 것으로 볼 수 있다. 또한 토양의 물리성을 예측할 수 있는 토양 SAR 값에 따라 전기전도도(EC)를 제시하여 매우 쉽게 토양수분의 용탈 등을 예측할 수 있는 토양 투수율 척도를 제시한 것은 수분관리가 쉽지 않은 시설채소나 노지채소 재배 시 매우 좋은 정보를 제공할 수 있다고 본다.

V-2. 향후 기준안 설정을 위한 로드맵

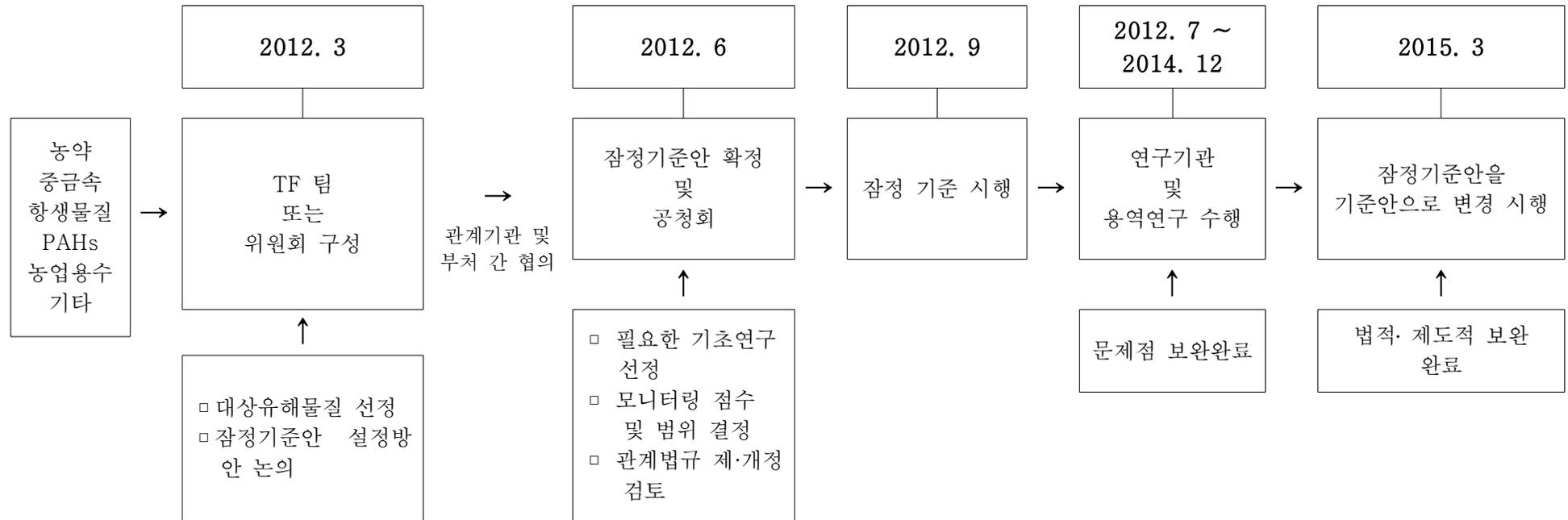
본 연구가 종료된 후 재배환경 내 유해물질과 관련된 기준안을 설정하기 위한 향후의 예정 진행 상황을 2가지로 나누어 제시하고자 한다.

첫째, 우선 잠정기준안을 조속한 시일 내에 설정하고, 잠정기준안과 관련된 연구를 수행하여 문제점을 보완한 후 최종적으로 기준안을 설정하는 방안

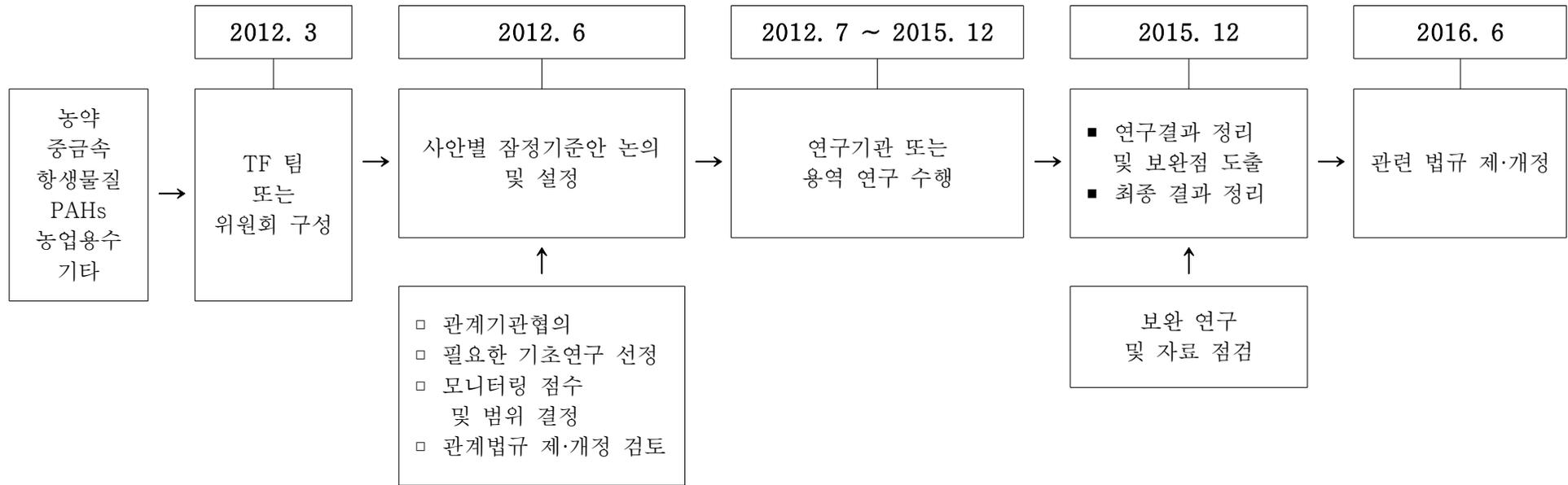
둘째, 기준안 설정에 필요한 연구와 문제점 등을 미리 파악하고 보완하여 기준안을 설정 한 후 시행하는 방안

첫 번째 방안은 우리가 필요로 하는 기준을 조속히 설정하여 시행하는 장점이 있고, 두 번째 방안은 충분한 검토와 논의를 거친 후 기준안을 설정함으로써 신뢰를 높일 수 있는 장점이 있으므로, TF 팀이나 관련 위원회를 구성하여 논의하는 것이 필요하다.

향후 재배환경 내 유해물질 안전관리를 위한 기준설정 Road Map (1안)



향후 재배환경 내 유해물질 안전관리를 위한 기준설정 Road Map (2안)



VI. 참고문헌

- 고광룡. 2008. The Selection of Environmental Contaminated Pesticides and Feasibility study of their Applications.
- 국립환경연구원. 2003. 수질종합평가방법 개발을 위한 조사연구 종합계획수립, 최종보고서.
- 국립농업과학원. 2009. 농업환경변동조사사업, 10년('99~'08)사업 완결 보고서.
- 농림수산식품부. 토양 중 잔류농약위험평가.
- 남재작, 홍석영, 이종식, 소규호, 이상학. 2007. 토양깊이 및 토지이용에 따른 다핵방향족탄화수소(PHAs)의 토양중 분포. 환경독성보건학회지. 제 22권.
- 남재작, 홍석영, 이희동, 박창영, 이상학. 2007. 영남지역 논토양에서 다핵방향족탄화수소 농도의 장기변동. 한국토양비료학회지. 제 40권.
- 일본환경성. 2003. 수생생물의 본전에 관한 수질환경기준의 설정에 대한 1차 보고서.
- 임영성, 조주식, 이홍재, 이영한, 손보균, 허종수. 1999. 낙동강 수계의 수질 현황. 한국환경농학회지 제 18권. p. 126-134
- 정영상, 양재의, 주영규, 이주영, 박용성, 최문현, 최승출. 1997. 농업형태가 다른 한강 상하류 소유역의 하천수 및 농업용 지하수 수질. 한국환경농학회지 제 16권. p. 199-205
- 정종배, 김복진, 김정국. 1997. 낙동강 수계 주요 농업지대 소유역의 수질 오염. 한국농학회지 제 16권. p. 187-192
- 최지용. 1996. 종합수질지표의 개발.
- 최지용, 신은성. 1997. 수질환경 및 규제기준의 합리적 조정.
- 하호성, 허종수. 1989. 김해평야 관개수 오염도가 벼 영양생리에 미치는 영향. 한국환경농학회지 제 8권.
- 한국작물보호협회. 2011. 농약연보.
- 한국작물보호협회. 2011. 농약사용지침서.
- 환경부. 2000. 수질환경기준 개선방안.
- 환경부. 2003. 환경백서.
- 환경부. 2004. 환경백서.
- 환경부. 국립환경연구원. 2004. 물환경종합평가방법 개발조사연구(I)
- 환경부. 국립환경연구원. 2005. 물환경종합평가방법 개발조사연구(II)
- 환경부. 국립환경연구원. 2006. 물환경종합평가방법 개발조사연구(III)
- 환경부. 2007. 환경 중 농약관리제도 개선에 관한 연구.

- 박용하등. 1997, 12월. 토양환경보전을위한기본계획(안) 수립연구. 국립환경연구원 「오염토양복원기술및제도발전에관한연구용역」
- 송창수등. 1997, 12월. 오염토양복원관련제도의발전및적용방향정립. 국립환경연구원 「오염토양복원기술및제도발전에관한연구용역」
- 최상일등. 2003, 1월. 환경부 「토양오염위해성평가방안마련을위한연구용역」
- Anh, J. and Kim, K-W. 2003. Environmental assessment of contaminated soils around abandoned mines using the current soil quality standards. ANPA(The Italian National Agency for Protection of the Environment). 1999. Technical Regulation for Remediation of Contaminated Sites. DMn471/99. Italian legislation.
- Alabama Department of Environmental Management. Chapter 335-6-10, WQC.
- Arkansas Pollution Control and Ecology Commission. 2004. Regulation establishing water quality standards for surface waters of the state of arkansas. 5-5
- Arizona Department of Environmental Quality. 2005. Chapter 11. Department of Environmental Quality Water Quality Wstandards-<http://www.azdeq.gov/environ/water/standards/index.html>
- Australian and New Zealand Environment and Conservation Council(ANZECC). 2002.
- Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. Australian Guidelines for Water Quality Monitoring and Reporting 2000.
- Availability, transfer and balances of heavy metals in urban agriculture of West Africa. 2010. Kassel University.
- Azza Zohair, Abou-Bakr Salim, Adeola A. Soyibo, Angus J. Beck. 2006. Residues of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides in organically-farmed vegetables. Chemosphere 63 p. 541-553
- Barbara Maliszewska-Kordybach. 1995. Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in Poland: preliminary proposals for criteria to evaluate the level of soil contamination. Pergamon 0883-2927, 00076-3.
- Brenda Natalia Lopez, Yu Bon Man, Yin Ge Zhao, Jin Shu Zheng, Anna Oi Wah Leung, Jun Yao, Ming Hung Wong. 2011. Major Pollutants in Soils of Abandoned Agricultural Land Contaminated by e-Waste Activities in Hong Kong. Arch Environ Contam Toxicol 61 p. 101-114

- Business Round Table. 1993. Comparison of Superfund with Programs in Other Countries. Washington, DC. 117
- Canadian Council of Ministers of the Environment(CCME). 1999. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Introduction
- CCME. 1999. Canadian Environmental Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment. Winnipeg MB.
- CCME. 1999. Protocols for Deriving Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Water Uses (Irrigation and Livestock Water), Canadian Environmental Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment.
- CCME(Canadian Council of Ministers of the Environment). 2002. Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health.
- CCME. 1996. A Protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines.
- CCME. 1996. Guidance Manual for Developing Site-Specific Soil Quality Remediation Objectives for Contaminated Sites in Canada.
- CCREM. 1987. Canadian Water Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of Resource and Environment Ministers. Winnipeg MB
- C. Gonçalves, J.J. Carvalho, M.A. Azenha, M.F. Aplendurada. 2006. Optimization of supercritical fluid extraction of pesticide residues in soil by means of central composite design and analysis by gas chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*. Vol 110. p. 6-14
- C. Gonçalves.M.F. Aplendurada. 2005. Assessment of pesticide contamination in soil samples from an intensive horticulture area, using ultrasonic extraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Talanta*. Vol 65. p. 1179-1189
- Charles E. Stephan, Donald I. Mount, David J. Hansen, John H. Gentile, Gary A. Chapman, and William A. Brungs. 1985. Guidelines for deriving numerical national water quality criteria for the protection of aquatic organism and their uses, U.S. Department of Commerce.
- Daniela Salvagio Mantaa, Massimo Angeloneb, Adriana Bellancaa, Rodolfo Neria, Mario Sprovieria. 2002. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy, *The Science of the Total*

- Environment 300. p. 229–243
- E.A. Alvarez, M.L. Fernandez Marcos, C. Vaamond, M.J. Fernandez-Sanjurjo. 2003. Heavy metals in the dump of an abandoned mine in Galicia (NW Spain) and in the spontaneously occurring vegetation. *The Science of the Total Environment* 313. p. 185–197
- Environmental Agency. 2000. *The States of the Environment of England and Wales: The Land*. HMSO. London.
- Esther S. Boll, Jan H. Christensen and Peter E. Holm. 2007. Quantification and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment soil and water spinach from Hanoi, Vietnam. *Journal of Environmental Monitoring*. p. 261–269
- European Chemicals Bureau. 2003. *Technical Guidance Document on Risk Assessment*.
- European Chemicals Bureau. 2003. *Technical Guidance Document on Risk Assessment (Part 4)*. p. 12
- EU. 1975. Council Directive 75/440/EEC. the surface water directive, *Official Journal of the European Communities*.
- EU. 1976. Council Directive 76/160/EEC. the bathing water directive, *Official Journal of the European Communities*.
- EU. 1978. Council Directive 78/659/EEC. the fish water directive, *Official Journal of the European Communities*.
- EU. 1979. Council Directive 79/923/EEC. the shellfish water directive, *Official Journal of the European Communities*.
- EU. 1979. Council Directive 79/869/EEC. *Official Journal of the European Communities*.
- EU. 1980. Council Directive 80/68/EEC. the groundwater directive, *Official Journal of the European Communities*.
- EU. 1980. Council Directive 80/778/EEC. the drinking water directive, *Official Journal of the European Communities*.
- EU. 1990. Council Directive 90/656/EEC. *Official Journal of the European Communities*.
- EU. 1991. Council Directive 91/692/EEC. *Official Journal of the European Communities*
- EU. 1998. Council Directive 98/83/EC. On the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*.

- EU. 2000. Council Directive 2000/60/EC. establishing a framework for community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities.
- European Environment Agency. 2000,6월. Management of contaminated sites in Western Europe.
- Ezeh, H. N., Chukwu E. 2011. Small scale mining and heavy metals pollution of agricultural soils: The case of Ishiagu Mining District, South Eastern Nigeria. Journal of Geology and Mining Research Vol.3(4) p. 87–104
- Florida DEP. Chapter 62–302 Surface Water Quality Standards.
- Ferguson, C and Kasamas, H. 1999. Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe, Volume 2 Policy Frameworks.
- Franzius, V. 1992. October. Recent development in national programs, Federal Republic of Germany. Contribution to the Tour-de-Table. Summary Report.
- G.S. Senesi, M. Dell’Aglio, R. Gaudioso, A. DeGiacomo, C. Zaccone, O. DePascale, T.M. Miano, M. Capitelli. 2009. Heavy metal concentrations in soils as determined by laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS), with special emphasis on chromium. Environmental Research 109. p. 413–420
- Herbert E. Allen, Chin p. Huang, George W. Bailey, Alan R. Bowers, 1995. Metal speciation and contamination of soil. Lewis 4
- Herbert, S. 1999. United Kingdom, in Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe. Vol2: Policy Frameworks. eds. Ferguson, C. and Kasamas, H. LQM Press. Nottingham, UK. ISBN0–95330–901–0
- Hester, R. E, and Harrison, R. M. 2001. Issue in Environmental Science and Technology. No 16. Assessment and Reclamation of Contaminated Land. Royal Society of Chemistry. 164. Cambridge, UK.
- ICRCL(Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land). 1987. ICRCL Guidance Note 59/83 2nd Edition.
- Isabel Hilber. 2008. Survey of organochlorine pesticides in horticultural soils and there grown *Cucurbitaceae*. Chemosphere. Vol 73. 954–961
- J. E. CAVANAGH, K.A. Burns, G.J. Brunskill, R.J. Coventry. 1999. Organochlorine Pesticide Residues in Soils and Sediments of the Herbert and Burdekin River Regions, North Queensland – Implications for Contamination of the Great Barrier Reef. Marine Pollution Bulletin. Vol

39. p. 367–375
- Jerome O. Nriagu, 1984. Environmental impacts of smelters. Wiley Series in Advances in Environmental Science and Technology, p. 130–131
- Jerome O. Nriagu, 1994. Arsenic in the Environment part1. Wiley Series in Advances in Environmental Science and Technology, p. 22
- Jerome O. Nriagu, 1994. Arsenic in the Environment part1. Wiley Series in Advances in Environmental Science and Technology, p. 23–24
- Jerome O. Nriagu, John B. Sparague, 1987. Cadmium in the Aquatic Environment. Wiley Series in Advances in Environmental Science and Technology, 6
- Jose Antonio Rodríguez, Nikos Nanos, Jose´ Manuel Grau, Luis Gil, Manuel Lo´pez–Arias. 2008. Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agricultural topsoils. Chemosphe, 70. p. 1085-1096
- Kevin C. Jones, Jennlfer A. Stratford, t Keith S. Waterhouse, Edward T. Furlong, Walter Glger, Ronald A. Hites, Chrstlan Schaffner, and A. E. Johnston, 1989. Increases in the Polynuclear Aromatic Hydrocarbon Content of an Agricultural Soil over the Last Century. Environmental Science & Technology. p. 95–101
- Laiguo Chen. 2005. Contents and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in vegetable soils of Guangzhou, China. Chemosphere. Vol 60. p. 879–890
- LAWA. 2001. Guidance Document to the Implementation of the WFD Louisiana Department of Environmental Quality, Chapter 11. Surface Water Quality Standard.
- Lu,Jinky Leilanie Del Prado. 2010. Multipesticide Residue Assessment of Agricultural Soil and Water in Major Farming Areas in Benguet, Philippines. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. Vol 59. p. 175–181
- Manitoba. 2002. Manitoba Water Quality Standards, Objectives, and Guidelines.
- Maryland Department of the Environment. 2001 8월. Cleanup Standards for Soil and Groundwater.
- Massachusetts Department of Environmental Protection. 1994. 04. Background Documentation for the Development of the MCP Numerical Standards.

- Massachusetts Department of Environmental Protection. 1994. The Massachusetts Contingency Plan : Risk Characterization and Evaluation—How Clean is Clean Enough Boston, MA.
- Massachusetts Department of Environmental Protection. 1997. 08. Reuse and Disposal of Contaminated Soil at Massachusetts Landfills. Department of Environmental Protection Policy #COMM-97-001
- Massachusetts Department of Environmental Protection. MCP SW - 846 Target Analyte List Online Available : <http://www.state.ma.us/dep/bwsc/files/data/Target.htm>
- MD. abul kashem, Bal Ram Singh. 1996. Heavymetal contamination of soil and vegetation in the vicinity of industries in bangladesh. Water, Air, & Soil Pollution. Vol 115, p. 347-361
- Michigan Department of Environmental Quality, Part 4. Water Quality Standards.
- Minnesota Pollution Control Agency Waters of the State, 2005, CHAPTER 7050 <http://www.revisor.leg.state.mn.us/arule/7050/>
- M. Nadal, M. Schuhmacher, J.L. Domingo. 2004. Levels of PAHs in soil and vegetation samples from Tarragona County, Spain. Environmental Pollution 132, p. 1-11
- Montana Department of Environmental Quality, 2004, Montana Numeric Water Quality Standards. p 2, 6
- National Archives and Records Administration. 2006. 40 Code of Federal Regulations.
- New Jersey Department Environmental Protection. 1992. Proposed N.J.A.C. 7:26D Cleanup Standards for Contaminated Sites.
- New Jersey Department Environmental Protection. 1998. 1998 Revised Guidance Document for the Remediation of Contaminated Soils.
- NYSDEC. 1999. Water Quality Regulations, Title 06. Conservation Vol. A-4, State of Mississippi Water Quality Criteria for Intrastate, Interstate and Coastal waters.
- Patrick Ssebugere. 2010. Organochlorine pesticides in soils from south-western Uganda. Chemosphere. Vol 78. p. 1250-1255
- Penka Shegunova, Jana Klanova, Ivan Holoubek. 2007. Residues of organochlorinated pesticides in soils from the Czech Republic. Environmental Pollution, Vol 146. p. 257-261

- Revised Proposal for a List of Priority Substances in the Context of the Water Framework Directive (COMMPS Procedure). 1999.
- Sandra R. Rissato. 2006. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in soil and water samples in the Northeastern part of Saõ Paulo State, Brazil. *Chemosphere*.
- S.C Wong, X.D. Li, G. Zhang, S.H. Qi, Y.S Min. 2002. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. *Environmental Pollution* 119, p. 33–44
- Scientific Supporting Document. 2008. Canadian Soil Quality Guidelines Cinogenic and other polycyclic aromatic hydrocarbons (PHAs).
- S. Dragovic"L, N. Mihailovic"L, B. Gajic". 2008. Heavy metals in soils: Distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources. *Chemosphere* 72 p. 491–95
- S.S. Huang, Q.L. Liao, M. Hua, X.M. Wu, K.S. Bi, C.Y. Yan, B. Chen, X.Y. Zhang. 2007.
- Survey of heavy metal pollution and assessment of agricultural soil in Yangzhong district, Jiangsu Province, China. *Chemosphere* 67.p.2148-2155
- Sumitra Arora. 2008. Determination of Pesticide Residue in Soil, Water and Grain from IPM and Non-IPM Field Trials of Rice. *Bull Environ Contam Toxicol*. Vol 81. p. 373–376
- Swedish Environmental Protection Agency. Development of Generic Guideline Values : Model and Data Used for Generic Guideline Values for Contaminated Soils in Sweden. Naturvardsverket Forlag, Stockholm. www.environ.se.
- Technical Guidance Document on Risk Assessment in Support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances AND Commission Regulation (EC) No 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances, Part II p. 99–105
- Texas Natural Resource Conservation Commission. 1994. Summary of the TNRCC's Risk Reduction Rules. Austin, TX.
- Tong-Bin Chen, Yuan-Ming Zheng, Mei Lei, Ze-Chun Huang, Hong-Tao Wu, Huang Chen, Ke-Ke Fan, Ke Yu, Xiao Wu, Qin-Zheng Tian. 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere* 60. p. 542–551.

- U.S. EPA. 1976. Quality Criteria for Water, United States Environmental Protection Agency.
- U.S. EPA. 1984. Priority Pollutant Ranking System.
- U.S. EPA. 1985. Ambient water quality criteria for arsenic – 1984. (Environmental Protection Agency, Document EPA 440/5-84-033)
- U.S. EPA. 1986. QUALITY CRITERIA for WATER (EPA 440/5-86-001)
- U.S. EPA. 1994. Water Quality Standards Handbook: Second Edition (EPA-823-B-94-005a), Chapter 6 Procedures for review and revision of water quality standards.
- U.S. EPA. 1995. Great Lakes Water Quality Initiative. Federal Register. Tier I Appenendix A. Part 132. Vol. 60 p. 15393-15399
- U.S. EPA. 1995. Water Quality Criteria Documents for the Protection of Aquatic of Ambient Water (EPA 820-B-96-001)
- U.S. EPA. 1996. NPDES Permit Writer's Manual, p. 8-11 p. 49 p. 53 p.105-107
- U.S. EPA. 1996. Method 1632: Inorganic Arsenic in Water by Hydride Generation Quartz Furnace Atomic Absorption, p. 28
- U.S. EPA. 1997. Economic Analysis of the Proposed California Water Quality Toxics Rule(EPA-820-B-96-001)
- U.S. EPA. 1998. Ambient Water Quality Criteria Derivation Methodology Humn Health Technical Support Document Final Draft(EPA-822-B-98-005)
- U.S. EPA. 1999. Analytical Methods Support Document for Arsenic in Drinking Water. 7
- U.S. EPA. 1999. Economic Analysis of the California Toxics Rule. 8-15
- U.S. EPA. 2000. FR 65 31707~31708
- U.S. EPA. 2000. Methodology for Deriving Ambient Water Quality Criteria for the Protection of Human Health (EPA-822-B-00-004)
- U.S. EPA. 2001. Robust Estimation of Mean and Variance Using Environmental Data Sets with Below Detection Limit Observations.
- U.S. EPA. 2002. National Recommended Water Quality Criteria: 2002
- U.S. EPA. 2002. Treatment Options
part1-http://www.epa.gov/safewater/dwa/pdfs/webcast/presentations/treatment_options_tom_sorg.pdf
- U.S. EPA. 2002. National Recommended Water Quality Criteria: 2002.

- U.S. EPA. 2002. National Recommended Water Quality Criteria: 2002 – Human Health Criteria Calculation Matrix(EPA-822-R-02-012)
- U.S. EPA. 2003. Technical Summary of Information Available on the Bioaccumulation of Arsenic in Aquatic Organisms(EPA-822-R-03-032)
- U.S. EPA. 2004. 2004 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories.
- U.S. EPA. 2000. Federal Register.
- U.S. EPA. 1999. National Recommended Water Quality Criteria.
- U.S. EPA. 2002. National Recommended Water Quality Criteria, EPA822-R-02-047
- U.S. EPA. 1988. State Water Quality Standards Summary: California, EPA440/5-88-037
- U.S. EPA. 1988. State Water Quality Standards Summary: Minnesota, EPA440/5-88-058
- U.S. EPA. 1988. State Water Quality Standards Summary: New York, EPA440/5-88-069
- U.S. EPA. 1988. State Water Quality Standards Summary: Washington, EPA440/5-88-085
- U.S. EPA. 1994. Water Quality Standards Handbook. EPA-823-B-94-005a WAC. 1997.
- Water Quality Standards for Surface Water of the State of Washington.
- US EPA. 1994. Water Quality Standards Handbook: Second Edition.
- UK DEFRA(Department for Environment, Food and Rural Affairs). 2002 03. Assessment of risk to human health from land contamination. R&D Publication CLR7.
- UK DETR. Environmental Agency and Chartered Institution of Environmental Health. 2000. Guideline for Environmental Risk Assessment and Management.
- UK ICRCL(Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land). 1987. ICRCL Guidance Note 59/83 2nd Edition.
- US EPA. 1992. Superfund at Work : Valley of the Drums Cleanup : A Superfund Benchmark (EPA 520/F-92-006). Washington D.C.: Office of Solid Waste and Emergency Response.
- US EPA. 2001. 03. Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund sites. Soil Waste and Emergency Response.

- OSWER, 9355. p. 4–24
- US EPA. 40 CFR 264, 40 CFR 141
- US EPA. REGION IX. 2002. 10. Region 9 PRGs Table 2002 Update. Online Available : <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg/>
- US Office of Technology Assessment. 1983. March Technologies and Management Strategies for Hazardous Waste Control. Washington D.C. Congress of the U.S.A.
- US General Accounting Office, 1996. Superfund : Implications of Key Reauthorization Issues (GAO/T–RCED–96–145). Washington, D.C. : US Government Printing Office.
- Vik, E., BOnlinereedveid, G., and Farestveit, T. 1999. Guidelines for the Assessment of Contaminated Sites, Norwegian Pollution Control Authority. Oslo. www.sft.no
- VROM. 2000. Circular on Target Values and Intervention Values for Soil Remediation. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM). the Netherlands. DBD. ISBN 1–99922–686–3.
- VROM. 1994. Netherlands Soil Protection Act.
- VROM. 1998. Netherlands Guideline on Soil Protection at Industrial Sites NRB.The Hague.
- WANG Fang. 2007. Organochlorine pesticides in soils under different land usage in the Taihu Lake region, China. *Journal of Environmental Sciences*. Vol 19. p. 584–590
- WANG Xu, Nanqi REN, Hond qi, Wanli MA, Yifan Li. 2009. Levels, distributions, and source identification of organochlorine pesticides in the topsoils in Northeastern China. *Journal of Environmental Sciences*. Vol 21. p. 1386–1392
- Willoughby, Ohio. 1994. Farm chemicals handbook.
- Xiangdong Li, Chi–sun Poon, Pui Sum Liu. 2001. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry*, p. 1361–1368
- Youfeng Zhu. 2005. Organochlorine pesticides (DDTs and HCHs) in soils from the outskirts of Beijing, China. *Chemosphere*. Vol 60. p. 770–778
- Yuan–Ming Zheng, Yu–Rong Liu, Hong–Qing Hu, Ji–Zheng He. 2008. Mercury in soils of three agricultural experimental stations with long–term fertilization in China. *Chemosphere* 72 p. 1274–1278.

<http://deq.state.wy.us/wqd/watershed/surfacestandards/index.asp>
<http://deq.state.wy.us/wqd/watershed/surfacestandards/index.asp>
<http://wuropa.eu.int/eur-lex/en/information>
http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx_00/40cfrv14_00.html
http://www.ccme.ca/assets/pdf/eqgdlnedvlpmtproc_final_e.pdf
<http://www.ccme.ca/>
http://www.ccme.ca/assets/pdf/prpsdproccwsprtystngrvsd_e.pdf
<http://www.env.go.jp/en/index.html>
<http://www.epa.gov/ost/standards/>
<http://www.epa.gov/ecotox/>
http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/swqs/rev_rule.html
<http://www.env.go.jp/en/lar/regulation/wp.html>
<http://www.env.go.jp/kijun/index.html>
<http://www.env.go.jp/press/press.php3?serial=4347>
<http://www.env.go.jp/press/press.php3?serial=4730>
http://www.environment-agency.gov.uk/subjects/waterquality/?lang=_e
<http://www.ice.ucdavis.edu/wqsid/>
http://www.italocorotondo.it/tequila/module4/legislation/EC_water_laws.htm
<http://www.pca.state.mn.us/water/standards/index.html#nnstandards>
<http://www.revisor.leg.state.mn.us/arule/7050/>
<http://w-mizu.nies.go.jp/suisei/suisei.html>