

環境毒性學의 새로운 課題

李 瑞 來*

(1988년 2월 22일 접수)

New Challenges in Environmental Toxicology

Su-Rae Lee

1. 머릿 말

環境汚染은 人口의 증가 및 産業社會로의 전환에 따라 부득이 발생되게 마련이다. 특히 제 2 차 세계대전 이후 重化學工業의 발달 및 食糧증산의 필요에 따라 막대한 양의 化學藥品이 사용되어 왔다. 이에 따라 化學殘留物(chemical residue)이 부산물로 나타나 大氣, 水質, 土壤 그리고 食品을 오염시키고 있고 自然生態系의 균형을 파괴할 뿐만 아니라 궁극적으로 人類의 生存을 위협하기에 이르렀다. 따라서 化學公害(chemical pollution)라는 새로운 문제가 세계적인 관심사로 대두되고 있다.

環境科學(environmental science)이란 汚染물질(contaminant 또는 pollutant)에 의한 환경의 物理的, 化學的 및 生物學的의 변화, 인간의 農業, 工業 및 社會활동에 따른 대기, 물, 토양, 식품의 오염 또는 폐기물의 발생과정과 아울러 環境의 保全기술과 관련된 과학기술의 새로운 분야가 된다. 다시 말하여 환경문제는 여러 분야의 既存知識이 동원되고 종합되어야 비로소 해결될 수 있는 것이며 새로운 學問領域으로 定立되어가고 있다. 재래적으로 環境公害는 大氣오염, 水質오염, 土壤오염, 소음·진동·악취 등을 대상으로 하였으며 여러 분야의 과학자가 참여하여 왔으나 여기에서 특히 化學者의 역할은 필수적이었다.

따라서 本題에서는 새로이 胎動되고 있는 環境化學 및 毒性學(environmental chemistry and toxicology)에서의 활동영역이 어떻게 전개되어가고 있는지, 農學

그중에서도 農化學의 學問배경을 가진 사람들이 어떻게 접근할 것인지 하는 문제들을 소개하고자 한다.

2. 環境公害의 指標(Index of Environmental Nuisance)

환경공해를 다루기 위해서는 우선 문제의 優先順位를 定量的으로 파악하고 이에 대응하는 해결대책을 세우는 것이 긴요한 일이다. 예컨대 미국 Battelle연구소에서는 環境公害指數(environmental stress index)를 작성하였다. 그 평가방법을 보면 환경오염물질의 持續性(1~5점), 汚染범위(1~5점), 人間, 環境, 資源에 미치는 복합적인 영향(1~9점)이라는 세가지 인자에 대하여 각각 평점하고 이들 점수를 서로 곱하였다. 그 결과를 보면 표 1과 같이 현시점에서 殘留農藥이 매우 높아 140을 나타냈고 다음이 重金屬이고 그 다음이 세가지의 大氣汚染물질이 된다. 核戰爭은 225로 예외적으로 높은 위험도를 나타냈다. 그러나 미래에는 이들 오염물질의 指數가 일반적으로 높아지고 우선순위도 바뀌게 되는데 잔류농약은 체계적인 연구와 철저한 규제에 의하여 그 지수가 30으로 떨어지고 중금속은 135가 되어 제일 높아지며 고체폐기물과 방사성 核種은 120이 되어 중요성을 띠게 될 것이라고 추정하였다.

또한 미국의 National Wildlife Federation에서는 被害를 주는 입장이 아니라 피해를 받는 입장에서 環境汚染指數(environmental quality index)를 작성하였다. 그 결과를 보면 표 2와 같이 7가지의 천연자원에 대한 상대적 중요성으로 표현되었으며 토양이 가장 많은 피

* 梨花女子大學校 식품영양학과(Department of Food & Nutrition, Ewha Woman's University, Seoul)

표 1. 오염원의 環境公害指數(environmental stress index of pollutants, 1972, 미국)

오염물질	현재指數	미래指數
농약	140	30
중금속	90	135
탄산가스	75	75
아황산	72	72
현탁물질	72	90
油濁	48	72
산업폐수	48	84
고체폐기물	35	120
화학비료	30	63
가정下水	24	48
질소산화물	24	42
방사성폐기물(저장용)	20	40
쓰레기	16	40
방사성核種(발전)	16	120
광화학산화물	12	18
大氣중탄화수소	10	18
일산화탄소	9	12
폐열	5	72
지역소음	4	15

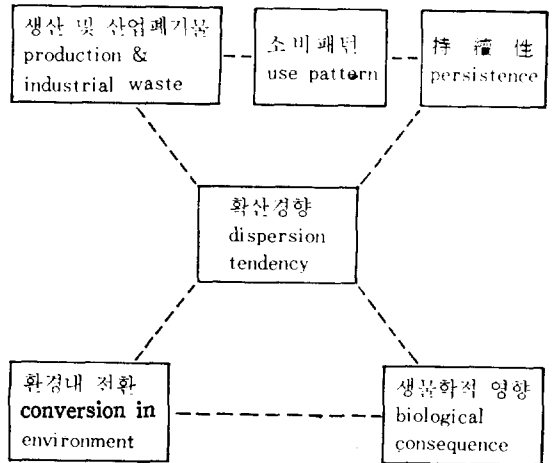
표 2. 미국에서의 環境汚染指數(environmental quality index)

피해대상	상대적 중요성(%)
토양	30
대기	20
수질	20
생활공간	12.5
광물	7.5
야생동물	5
산림	5

해를 받고 있는 것으로 평가되었다.

化學物質이 환경오염에 미치는 波及效果(impact)를 평가하는 방법에는 여러가지 시도가 알려져 있다. 서독의 Korte는 다음과 같이 6가지 인자를 서로 비교하고 각 인자에 중요도를 부과하여 危害度를 평가하는 방법을 제시하고 있다. 선진외국에서는 이와같은 危害평가에 필요한 資料를 끈기있게 축적해가고 있으며 또한 평가를 시도해가고 있다.

여기에서 어떤 화학약품이 環境의 質을 어떻게 변화시킬 것인가를 결정하는 두가지 주요 要因은 해당약품



의 생산규모와 소비패턴이라 할 수 있다. Korte는 두가지의 간단한 算術의 예로서 이 문제를 설명하고 있다. 예컨대 최근(1970년대) 세계적으로 매년 생산되는 數億톤의 유기화합물이 분해되지 않고 환경중에 투입되어 地表面에 고루 분포된다면 700 mg/m² 또는 7 kg/ha의 負荷가 될 것이고 이들 화합물이 地表面 10 cm 깊이까지 투과된다면 2.5 ppm의 농도에 이르게 된다. 물론 이러한 계산에는 어떤 가정이 들어가지만 인간의 産業活動은 단기간에 환경을 변화시킬 수 있음을 보여주고 있는 것이다.

3. 화학물질의 危害評價(Risk Assessment of Environmental Chemicals)

재래적으로 사용되어온 약품들 즉 醫藥品, 農藥, 食品添加物, 化粧品과 같은 화학물질의 安全性을 평가하는 기준은 오랫동안 존재하여 왔다. 그러나 환경오염성 화학물질(environmental chemicals)의 危害性을 평가하기 위한 기준은 비교적 최근에 그 필요성이 인식되어 새로운 연구대상으로 부각되고 있다.

인체독성학(human toxicology)의 영역에서는 ADI값(acceptable daily intake), 안전사용기간(safety interval), 약품치리기준과 같은 과학적인 뒷받침을 받고 있는 평가기준이 조금씩 변화되고는 있으나 잘 확립되어 있다. 그러나 생태독성학(ecotoxicology)의 영역에서는 화학물질이 생태계에 미치는 영향을 평가하기 위한 방법이나 기준이 비교적 미개척상태에 놓여있다고 할 수 있다.

생태독성학적 평가에는 두가지의 접근방법이 있다. 그 하나는 자연생태계를 모델시스템으로 단순화하여 실험을 수행한 다음 화학물질의 환경내 행동을 추정하는 방법이다. 다른 하나는 생태계에서 화학물질의 행

등을 좌우하는 변수를 정의한 다음 이것을 실험설계를 통하여 실제 조건과 가까운 상태로 접근시켜 가면서 실험하는 방법이다. 이것이 발견되어 생태독성 단면분석법(ecotoxicological profile analysis)으로 알려지게 되었다.

최근에 들어와 화학물질의 負의 영향이 자주 나타남에 따라 국민보건의 보호뿐만 아니라 환경보건의 측면에서 화학물질의 대량생산 및 사용에 앞서 실시하는 이른바 事前評價(advance assessment)를 위한 法的要件이 여러 國公認에서 강화되어가고 있다. 특히 OECD(경제개발 협력기구)와 같은 국제기구에서는 국가간의 원활한 交易을 위하여 1970년대에 들어와 통일된 규제절차를 마련하고 있다. OECD가 추천하고 있는 5가지 指針을 보면 다음과 같다.

〈지침 1〉 평가대상 화학물질의 종류

체계적 평가의 대상이 되는 화학물질의 종류를 제한하기 위하여 용도별 제품보다는 화학성분에 따라 그 종류를 결정한다. 새로운 화학물질은 이것을 유통시키기 전에 체계적인 평가를 거쳐야 하며 既存의 화학물질은 그 종류가 너무 많기때문에 선택적으로 조사한다.

〈지침 2〉 평가 절차

첫번째 절차로 화학물질의 물리적 및 화학적 성질을 조사하여 이들 물질의 豫想되는 行動을 검토한다. 그리고 인체에 대한 急性毒性을 알기 위한 시험과 慢性피해를 예상할 수 있는 신속한 실험을 수행한다. 만일 이들 실험의 결과 인체 건강에 피해를 줄 수 있다는 징조가 나타나면 이들 영향을 규명할 수 있는 長期的인 실험계획이 수립되어야 한다. 이때 각개 물질에 대하여 그들의 용도에 따라 나타날 수 있는 영향을 밝히기 위한 자료가 나올 수 있도록 설계되어야 한다.

화학물질에 대한 環境危害 평가의 필요성을 결정하기 위해서는 화학물질의 예상 생산량, 그의 사용빈도, 사용자의 범위, 사용장소와 사용목적을 推定해야 된다 만일 그 물질이 자연환경중에 널리 확산될 것으로 예상되면 두번째 단계의 평가로 들어가야 한다. 이 단계에서 그 물질과 가장 많이 접촉하게 될 動物種에 대한 독성을 시험해야 된다. 그리고 그 물질이 환경내에 殘存할 것인지 또는 생물체에 濃縮될 것인지를 판단해야만 된다. 만일 그 물질이 환경내에서 有害할지도 모르겠다는 증거가 나타나면 그것을 포기하거나 또는 더 자세한 연구에 들어가야 된다.

〈지침 3〉 체계적 평가의 행정적 요구

필요한 자료를 생산하고 결론을 내리는 法的責任은 기업체에 주어진다. 법을 집행할 책임이 있는 행정당국은 그 물질의 危害평가에서 정해진 절차를 따랐는지를 확인한 다음 그 결과를 다음의 두가지중 한가지 방

법으로 조치한다. 즉 기업체로 하여금 새로운 화학물질의 初期 평가시에 사용한 자료를 定期的으로 제출하도록 요청하던가 또는 간단한 절차를 택하여 그 물질과 용도를 확인할 수 있는 방법만을 제출하도록 요청한다.

〈지침 4〉 정보 제공의 책임

필요한 경우에는 언제나 화학물질은 그 물질의 가능한 용도라든지 또는 어떤 豫防조치와 같은 정보가 동반되어야 한다. 화학물질의 사용에서 危害可能性이 있는지 또는 安全使用의 조건은 무엇인지를 말해주는 책임은 그 물질의 최초 생산자가 지게 된다. 만약 다른 산업에서 그 물질을 다른 목적으로 사용할 생각을 한다면 그러한 용도에서 발생할지도 모르는 危害性을 결정하는 것은 바로 그 물질을 사용하는 산업체가 된다.

〈지침 5〉 危害평가의 後續조치

현재 우리가 가지고 있는 知識과 試驗技法은 특히 長期的인 영향에 대해서 완전하지 못하기 때문에 錯誤를 범할 수 있다. 따라서 OECD에서는 사용증인 화학물질의 監視와 再評價를 권고하고 있지만 이 작업은 매우 많은 經費가 드는 일이기 때문에 선택적으로 채택되고 있다. 화학물질을 제조하거나 사용하는 공장은 即時的인 영향을 받는 곳이기 때문에 또한 감시의 첫번째 장소가 된다. 따라서 화학물질을 다루는 작업자의 疫學的 기록이 유지되어야 하고 가능하면 표준화되어야 한다.

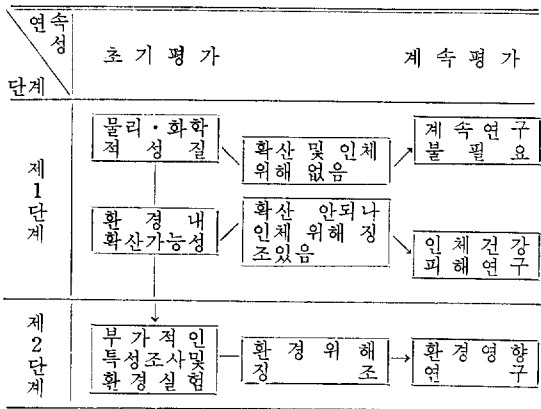


그림 1. 화학물질의 危害評價를 위한 단계적 방법 (OECD, 1977)

4. 生態毒性 斷面分析法(Ecotoxicological Profile Analysis)

생태독성 단면분석법의 목적은 어떤 화학물질의 環境公害 가능성을 檢索하고 나아가 계속적인 연구의 우선순위를 결정하는데 있다. 화학물질이 환경내에서 지

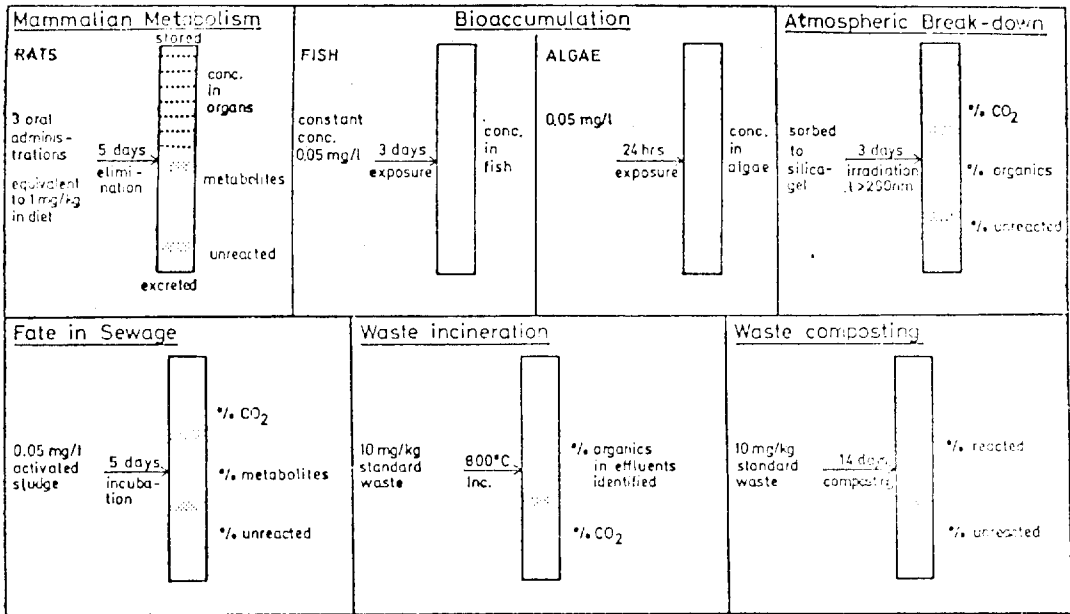


그림 2. 생태독성 단면분석법에서의 시험체계

니는 중요성은 ① 해당물질의 사용량 ② 사용 패턴 ③ 생물독성 ④ 분해성 ⑤ 유도물질의 생성 ⑥ 확산 경향 ⑦ 농축현상 ⑧ 유도물질의 행동에 의해서 결정된다.

먼저의 두가지 요인은 실험연구가 아니라 統計의 문제이다. 다른 요인들은 실험을 통해서 얻어지지만 公認된 시험절차가 아직 확립되지 못하고 있다. 참고로 Korte등에 의하여 제안된 시험절차를 보면 그림 2와 같으며 각 시험절차의 원리나 기준을 다음에 간단히 설명하고자 한다.

1) 哺乳동물에서의 代謝작용(mammalian metabolism)

포유동물에 있어서 화학물질의 행동 즉 흡수, 분포, 저장 및 전환 과정을 알기 위하여 실험동물인 쥐가 흔히 이용되고 있다. 이 시험에서는 생체내의 저장농도가 飽和상태에 도달하기 이전에 실험이 끝나게 된다.

2) 生物濃縮(bioconcentration)

水中生態系에서 화학물질의 농축현상은 어류나 藻類(algae)를 사용한다. 어류로서는 공급과 維持가 용이한 魚種을 선택하여 시험기간중 먹이를 주지 않고서 화학물질이 함유된 물에 계속 노출시키면서 시험한다. 水中 먹이연쇄의 초기 同化者로 선택한 조류인 chlorella는 비교적 단순하게 배양할 수 있고 脂溶性물질(lipophilic substance)을 저장하는 능력이 있기 때문에 이용된다.

3) 大氣 分解시험(atmospheric breakdown; photomineralization)

어떤 화학물질을 환경에 방출했을 경우 그들의 放出

量, 생물학적 半減期(biological half-life) 그리고 환경 시료에서의 殘留量을 계산해보면 예상과는 달리 화학물질의 損失이 나타난다. 그 이유는 大氣중에 분산시킨 물질이 어디엔가 흡착되어 光化學 반응을 일으키기 때문이다. 따라서 시험코자 하는 화학물질을 흡착제에 흡착시킨 후 광선(290nm 이상의 파장)에 노출시킨 다음 잔류량, 전환물질, 분해산물 등을 각각 분석하게 된다.

4) 活性汚泥시험(activated sludge test)

이것은 생물학적 폐수처리중 화학물질의 행동을 알기 위한 시험으로서 都市下水 처리시설의 活性汚泥를 이용한다. 화학물질을 活性汚泥로 처리한 후 슬러지와 물층의 화학물질의 분포상태와 대사산물 및 CO₂로의 분해율을 분석한다.

5) 폐기물 燒却(waste incineration)

폐기물중 화학물질의 반응성과 熱安定성을 알기 위하여 소각 시험을 수행한다. 폐기물 처리의 한가지 방법인 소각중 화학물질은 여러가지 화학적 및 물리적 조건에 놓이게 되어 炭化, 휘발, 열분해, 분자간 반응 등을 일으킨다. 따라서 소각시험은 산소의 공급, 소각 온도 등의 變數를 잘 조절해야 된다.

6) 폐기물의 堆肥化(waste composting)

이것은 폐기물의 再活用과 토양미생물에 의한 분해를 시험하기 위한 방법이다. 따라서 표준조건하에서 腐生미생물(saprophytic microorganism)이 고체폐기물 중에 존재하는 有害 화학물질의 분포, 전환 및 분해과정에 미치는 영향을 조사하게 된다.

Korte등은 용도, 물리·화학적 성질 및 화학구조가

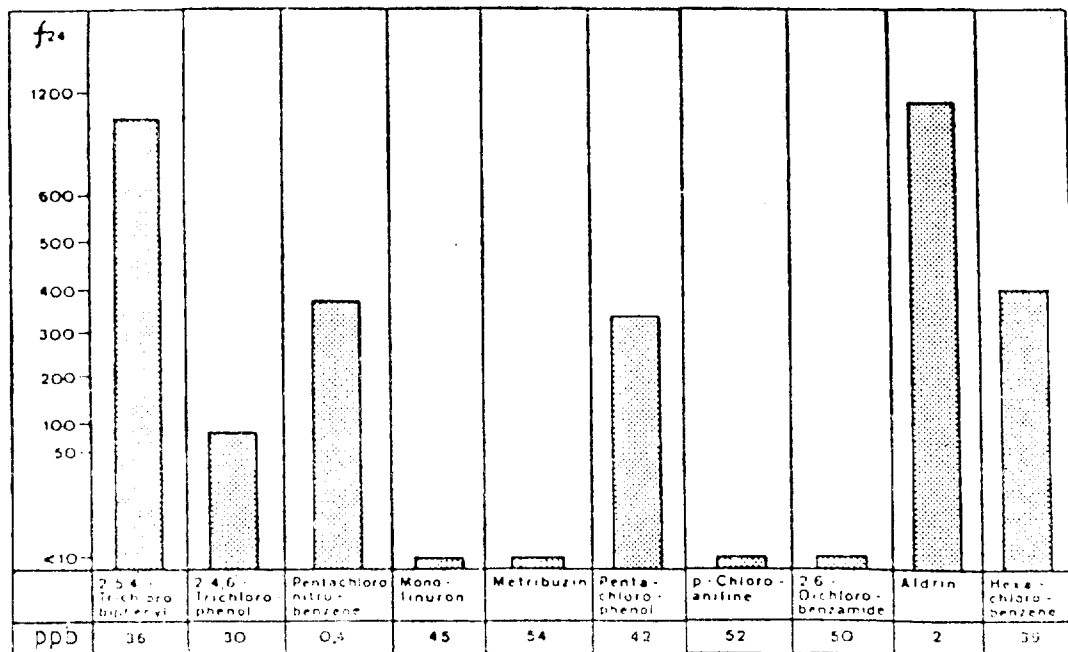


그림 3. 魚類에서 化合物의 상대적 濃縮係數

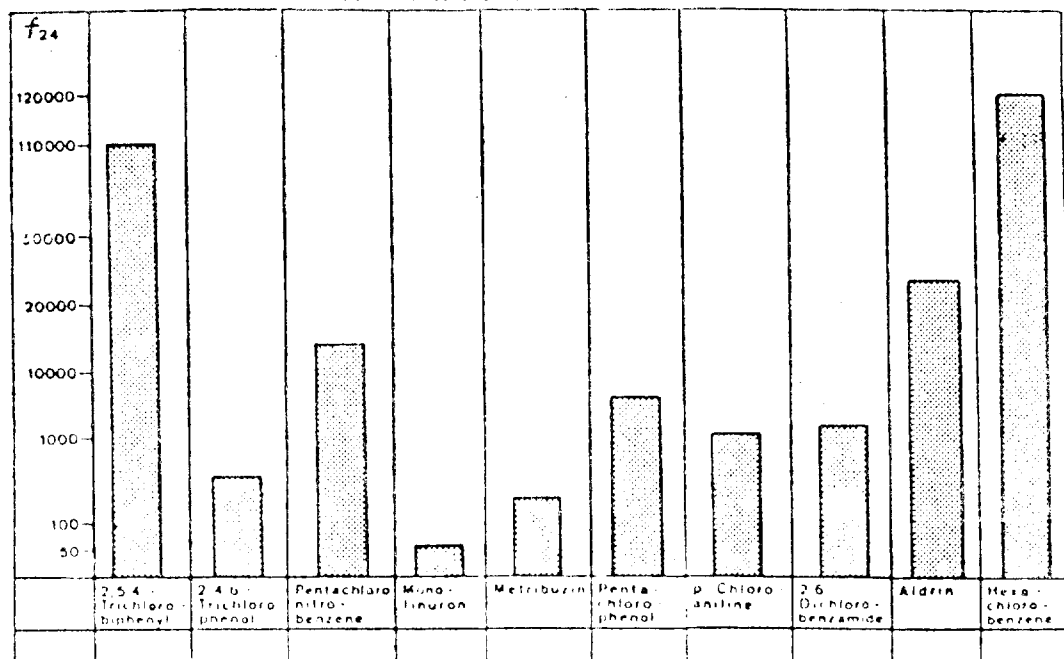


그림 4. 藻類에서 化合物의 상대적 濃縮係數

서로 다른 50종의 化合物을 선정하여 생태독성 단면분석을 실시하였으므로 그 결과를 여기에 설명하고자 한다. 이때 化合物질의 농도는 환경내에서 실제로 존재할 수 있는 농도인 50 ppb($\mu\text{g}/\text{kg}$)의 농도 수준을 유지하였고 시험결과를 확증하기 위해 ^{14}C 표지 化合物을 이용하였다.

그림 3,4는 化合物을 어류(golden orfs) 또는 조류(chlorella fusca)에 24시간 노출시켰을 때의 상대적 농축계수(f_{24})로 표현한 것이다. 표 3은 황성오니시험에서 얻은 결과로서 biomass에 대한 固定量이 감소되는 순서대로 나열하였다.

표 4는 여러가지 단면분석의 결과 危害度(risk)가 감

표 3. 活性汚泥에 의한 유기화합물의 濃縮

화 학 물 질	농축계수(5일후)
2, 5, 4'-Cl ₃ BP	32, 000
2, 4, 6, 2', 4'-Cl ₃ BP	27, 770
HCB	23, 000
Aldrin	18, 000
Anthracene	6, 700
2, 2'-Cl ₂ BP	6, 340
PCNB	4, 500
Phthalate	3, 000
HCCP	2, 350
Coumarin	1, 400
Cetyl alcohol	1, 300
p-Cl-aniline	1, 300
HPMAA	1, 240
Pentachlorophenol	1, 100
Hydroquinone	870
Biphenyl	426
Cortisonacetate	400
Carbaryl	89
Monolinuron	70
2, 4, 6-Trichlorophenol	40
Metribuzin(Sencor)	30
2, 6-Dichlorobenzamide	30
p-Bromobenzoic acid	19
2, 4-D	17

소하는 화학물질의 순서대로 나열하였다. 여기에서 쥐에 대한 시험은 화학물질의 排泄量으로 표현하였으며 배설량이 증가하는 순서대로 나열하였다. 어류와 해조에 대한 농축시험은 f₂₄값으로 표현하여 濃縮係數가 감소하는 순서대로 나열하였다. 활성오니 시험과 대기분해시험에서는 CO₂로의 無機質化 속도(mineralization rate)로 표현하여 그 속도가 증가하는 순서대로 나열하였다.

어떤 한가지 화학물질의 危害度 순서가 시험방법에 따라 일치하지 않는것은 평가하는 내용이 다르기 때문이다. 그러나 많은 경우에 危害度 순서는 높은 관련성을 나타내고 있다. 더우기 화학물질의 생산수준, 사용패턴, 환경내 행동에 관한 附加的인 정보가 활용된다면 여러가지 화학물질의 危害度 우선순위를 합리적으로 나열할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 魚毒性(Fish Toxicity)

水生生物에 직접 혹은 간접적으로 被害를 주는 물질은 魚毒性을 가지고 있다고 말한다. 어독성은 정확하게 정의된 용어가 아니고 광범위한 용어로 사용되고 있다. 어류에서는 그 指標로 半數致死농도(LC₅₀ 혹은 TL_m)가 주로 사용되고 있는데 이것은 致死라고 하는 생리적으로 가장 과격한 현상을 指標로 하고 있는 것이다.

여러가지 화학물질들이 水生生物에 피해를 끼칠 수 있는데 그중에서도 農藥은 직접 환경중에 放出하는 것

표 4. 화학물질의 生態毒性 斷面分析 順位(危害度 감소순)

Rats	Fish	Algae	Sludge	Photomineralization
Cetyl alcohol	2,5,4'-Cl ₃ BP	HCB	2,4-D	Benzene
HCB	Aldrin	2,5,4'-Cl ₃ BP	p-Br-Benzoic acid	Toluene
Aldrin	HCB	Cetyl alcohol	2,6-Cl ₂ -Benzamide	Xylene
2,6-Cl ₂ -Benzamide	PCNB	Aldrin	2,4,6-Cl ₃ -Phenol	Monolinuron
Carbaryl	PCP	Phthalate	Monolinuron	Metribuzine
p-Cl-Aniline	HCCP	PCNB	Phthalate	HCB
PCP	Phthalate	PCP	PCP	2,6-Cl ₂ -Benzamide
Metribuzine	Cetyl alcohol	HCCP	2,5,4'-Cl ₃ BP	PCNB
HPMAA	2,4,6-Cl ₃ -Phenol	2,6-Cl ₂ -Benzamide	Aldrin	1,2-Cl ₂ -Propane
HCCP	Hydroquinone	p-Cl-Aniline	HCCP	p-Cl-Aniline
Monolinuron	Carbaryl	HPMAA	Metribuzine	Aldrin
PCNB	2,6-Cl ₂ -Benzamide	Coumarin	HCB	2,4,6-Cl ₃ -Phenol
Hydroquinone	Metribuzine	2,4,6-Cl ₃ -Phenol	PCNB	CFCI ₃
Phthalate	Monolinuron	Carbaryl	Hydroquinone	PCP
p-Br-Benzoic acid	p-Cl-Aniline	Hydroquinone	HPMAA	HPMAA
2,4-D	Cortison acetate	Metribuzine	p-Cl-Aniline	Cl-Benzene
Cortison acetate	p-Br-Benzoic acid	Cortison acetate	Coumarin	Cl ₂ -Butadiene
2,4,6-Cl ₃ -Phenol	2,4-D	p-Br-Benzoic acid	Carbaryl	HCCP
2,5,4'-Cl ₃ BP	HPMAA	Monolinuron	Cortison acetate	2,3-Cl ₂ -Propene-1
Coumarin	Coumarin	2,4-D	Cetyl alcohol	1,1-Cl ₂ -Ethylene

을 그 사용목적으로 하기때문에 魚類에 대한 피해의 원인이 불분명할 때는 농약이 우선 그 원인으로 거론되는 것이 보통이다. 그것은 우리나라 농약사용량의 상당한 부분이 논·밭의 病害虫과 雜草 방제에 사용되고 있으며 이들 농약의 일부가 水系를 통해서 河川, 湖沼 연안海域으로 流出되는 비율이 높기 때문이다. 현재 사용량에 있어서 主流를 이루고 있는 有機磷系와 카바메이트系 농약은 이전에 사용했던 有機鹽素系 농약에 비해 殘留기간이 짧고 低毒性임에도 불구하고 魚毒性이 비교적 강하여 단순한 環境汚染문제 뿐만 아니라 淡水 및 沿岸해역에서의 어류 養殖에도 심각한 우려를 주고 있는 것이다. 魚類에 대한 急性毒性이 높은 대표적인 농약들을 보면 표 5와 같다.

최근에 와서 淡水魚뿐만 아니라 海水魚에도 變形魚가 자주 나타나는데 그 원인으로는 몇 가지 중금속과 살파劑 등의 화학물질, 용존산소, 비타민 C, 트립토판 등의 결핍, 水溫의 변화, pH값의 저하, 농약등이 지적되고 있다. 魚類의 脊椎骨 變形은 농약을 사용하

여 실험적으로 發現시킨 예가 많이 있다. 외국의 문헌에 의하면 농약에 의한 어류의 脊椎骨 變形은 비교적 低濃度에서 일어난다. 실험적으로 變形魚를 발현시키는 농약으로는 有機鹽素系, 有機磷系 및 카바메이트系 등 비교적 광범위한 화합물에 걸쳐있다. 脊椎變形을 유발시키는 대표적인 농약을 보면 표 6과 같다.

농약은 生理活性물질이기 때문에 急性毒性이 낮다고 하여 水生生物에 대한 被害가 전혀 없다고 말할 수는 없다. 따라서 급성독성 이외에 2주간 혹은 3주간의 접촉시간에 의한 영향을 관찰하는 亞急性毒性和 어류에 있어서의 生理的, 生化學的 및 形態的 영향 그리고 致死濃도 이하에서 장기간 被曝시켜 관찰하는 慢性毒性 시험을 수행하여 농약의 水生生物에 대한 영향을 適正하게 평가할 필요가 있다. 魚類의 生理的 영향으로는 出血性 貧血症, 趨流性의 상실, 기침, 異常活動性, 通氣速度의 증가, 水泳能力의 감퇴, 體質변화 등 生理機能의 장애가 관찰되고 生化學的 영향으로는 효소계에 의한 영향, 血糖의 상승, 血清 cortisol의 상승, 生殖

표 5. 魚毒性(急性毒性)이 강한 農藥

農藥名	供試動物(잉어)		半數致死濃度(LC ₅₀ , ppm)		
	cm	g	24h	48h	96h
殺虫劑 Aldrin	4.76	1.75	0.15	0.12	
	4.6	1.2			0.05~0.01
Endrin	4.21	1.23	0.0012	0.00084	
Chlordane	5.7	1.9		0.26	
Chlorpyrifos	4.8	1.2	0.17	0.13	
BAB	3.5	0.5	0.16	0.14	
Endosulfan	4.5	1.1	0.0082	0.0072	
Rotenone	4.09	1.08	0.045	0.032	
BHC	4.27	1.48	0.31	0.31	
Dieldrin	4.3	1.4	0.024	0.018	
Heptachlor	4.65	1.52	0.30	0.30	
Benzomate	4.8	1.2	0.80	0.44	
Mecarbam	5.3	2.2	0.84		
BPPS	4.59	1.48	2.5	1.0	
CVP	4.5	1.10	0.36	0.27	
DDT	5.3	2.2		0.25	
DN	5.3	2.2	0.70		
DNBP(dinoseb)			0.09	0.07	
DONC	4.45	1.10		0.17	
EDB	4.32	1.25	2.8	2.8	
ENP	4.35	1.21	0.26	0.20	
Binapacryl			0.12	0.10	
Tricyclohexyl tin hydroxide	5.9	2.2		0.32	

殺菌劑	Captan	5.3	2.2		0.25
	Dodine			0.30	0.17
	Dichlone	4.5	1.10		0.07
	Ziram	4.5	1.28	0.27	0.075
	Difolatan	4.52	1.28	0.14	0.12
	Anilazine	5.0			0.095
	Folpet	5.3	2.2	0.33	
	無機水銀	5.1	1.6		0.10
	有機銅			0.18	0.18
	黃酸銅	5.3	2.2	0.45	
	Binapacryl			0.12	0.10
	CNPSE			0.55	0.39
	DDPP(pyridinitril)	5.3	2.2		0.40
	DPC(dinocap)	4.75	1.85	0.16	0.16
	MHCP	4.5	1.10		0.023
	PCP	4.6		0.46	0.45
	TPN(chlorothalonil)	4.56	1.38	0.05	0.05
	Benthiazole				0.17
Ferbam	4.45	1.10		0.090	
除草劑	Ioxynil octanoate			0.23	0.21
	DCNP	5.3	2.2	0.69	
	DNBF(dinoseb)			0.09	0.07
	DNOC			0.27	0.17
	PCP	4.6		0.46	0.45

표 6. 脊椎變形을 誘發시키는 代表的 農藥

(자료 : 日本農藥檢査所)

農藥名	種類	急性魚毒性	急性魚毒性值 (48時間 LC ₅₀ , ppm)	脊椎變形發現
BHC	有機鹽素系 殺虫劑	B	0.18(잉어 24시간)	弱
Methyl parathion	有機磷系 殺虫劑	B	7.5 (송사리)	弱
Diazinon	"	B	1.2 (송사리)	最强
EPN	"	B	0.64(잉어 24시간)	强
MBCP	"	B	0.75(송사리)	强
Malathion	"	B	>40(잉어)	弱
Phenthoate(PAP)	"	B	1.0 (송사리)	强
Salithion	"	B	2.0 (잉어)	最强
BPMC	카바메이트系 殺虫劑	B	>10(잉어)	弱
Thiopan	殺菌劑	A	1.6 (잉어)	最强
			11 (잉어)	最强

및 卵 발생에 미치는 영향 등이 관찰되며 형태적 영향으로는 脊椎骨 變形誘發이 관찰된다. 慢性毒性 평가에서는 장기간 被曝에 의한 단순한 致死뿐만 아니라 魚類의 生長, 번식, 發癌性 및 催畸形性과 같은 다음 世

代에 미치는 영향도 포함된다.

生態의 측면에서는 가장 민감한 생물을 指標로 하여 평가한다. 어떤 생물은 특정한 농약에 대하여 特異的으로 민감할 수가 있는데 그 이유는 生態系의 일부가

붕괴되면 그 생태계 전부가 큰 타격을 받기 때문이다. 따라서 魚類뿐만 아니라 甲殼類, 貝類, 兩捷類, 水生昆蟲類, 水生動物, 프랑크톤 등에 이르는 영향에 대해서 조직적이고 종합적인 검토를 필요로 하게 된다.

農藥과 같은 화학물질의 環境安全性이란 관점에서는 농약의 水中 代謝分解物의 毒性이 고려되어야 한다. 일반적으로 농약이 분해되면 對象生物에 대한 효과는 저하되는 것이 보통이지만 때로는 分解產物이 魚毒性을 나타내는 경우가 있기 때문이다. 예컨대 카바메이트系 살충제의 분해물은 물벼룩에 대한 致死효과는 약 1/100로 감퇴되지만 魚類에 대해서는 원래의 화합물과 동등한 毒性을 나타내거나 오히려 높은 毒性을 發現한다는 사실이 보고되어 있다.

화학물질에 의한 變形魚의 發現은 環境安全性의 관점에서 急性毒性의 한 症狀으로 판단할 수 있다. 變形을 유발하는 화학물질을 誘發농도보다 낮은 농도에서 수개월간 被曝시켜도 變形魚는 발현하지 않으며 또한 發眼卵에 처리를 해도 變形魚는 발현되지 않는 것으로 보고되어 있다. 한번 症狀이 나타난 個體는 깨끗한 물에 옮겨 장기간 사육을 계속해도 變形이 회복되지는 않는다.

최근의 농약은 두 종류 혹은 그 이상의 有效成分의 혼합으로 되어있는 混合劑로 사용되는 경우가 많은데 이때 環境水中에서의 농약의 複合작용이 고려되어야 한다. 농약을 혼합함으로써 毒性發現의 정도가 달라진다는 사실은 昆蟲類에 대해서는 잘 알려진 사실이지만 水中動物에서도 혼합에 의한 作用性의 차이가 이미 보고되고 있다. 농약의 혼합으로 魚毒性 發現이 강해지는 組合과 그와 반대로 약해지는 組合도 있으며 혹은 혼합이 毒性發現에 별로 영향을 주지 않는 組合이 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 混合製劑중 最 適用의 농약으로 魚毒性에 있어서 특히 높은 상승효과를 나타내는 것은 없는 것 같다.

참 고 문 헌

1. Guthrie, F.E. and Perry, J.J. (1980): *Introduction to Environmental Toxicology*, Elsevier, New York, pp. 484.
2. Freitag, D., Geyer, H., Klein, W., Kraus, A.G., Lahaniatis, E. and Korte, F. (1979): An approach for comparative screening of the environmental behavior of chemicals, *Ecotoxicol. Environ. Safety*, **3**, 144.
3. Idman, M. (1977): OECD recommends procedures for assessing chemicals, *OECD observer*, **88**, 3.
4. Korte, F. (1974): Global inputs and burdens of chemical residues in the biosphere: the problem and control measures, in *Comparative Studies of Food and Environmental Contamination*, IAEA, Vienna, p. 3.
5. Korte, F., Freitag, D., Geyer, H., Klein, W., Kraus, A.G. and Lahaniatis, E. (1978): Ecotoxicologic profile analysis, a concept for establishing ecotoxicologic priority lists for chemicals, *Chemosphere*, **1**, 79.
6. Reiquam, H. (1972): Scientists show indexes of pollution, *Chem. Eng. News*, Jan. 10, p. 33.
7. Spehar, R.L. et.al. (1981): Effects of pollution on freshwater fish, *J. Water Poll. Control Fed.*, **53**, 1023.
8. Tooby, T.E. and Hursey, P.A. (1975): The acute toxicity of 102 pesticides and miscellaneous substances to fish, *Chem. Indust.*, June 21, p. 523.
9. 田中二良(編)(1978): 水生生物と農藥 [1] 應用編 [2] 急性毒性資料編, 사이엔ティスト社.
10. 田中二良(1978): 農藥의 魚毒性에 について, 生態化學, **1**, 21.