

위험/이익 면밀히 따져 사용여부 결정

국제흐름에 맞는 위해성 평가방법 정립해야



이 성 규

한국화학연구소 환경독성연구팀

4. 육상생태계 독성시험

여기서 육상생태계 독성이라고 총칭하는 데는 여러가지 생물군들에 대한 독성자료들이 포함된다. 즉, 야생생물(wildlife)중에서 특히 조류(avian)에 대한 독성자료와 비표적 생물에 대한 독성자료가 농약을 등록하는데(미국이나 유럽연합) 필요하므로 농약 제조회사에서는 농약을 합성하여 상품화하기까지는 이와 관련된 다양한 독성시험을 수행하게 된다.

미국의 농약관리법이라고 할 수 있는 Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act(FIFRA)에서 요구하는 자료항목을 보면, 야생동물의 경우 물오리(mallard duck)나 메추리의 일종인 bob-white에 대한 경구 급성독성값(LD₅₀)과 같은 종에 대한 dietary LC₅₀값을 모든 농약에 대해 필수적으로 요구하고 있으며, 비표적 생물에 대한 독성자료는 농약의 용도, 살포시기 등을 고려하여 필요한 경우 제출하도록 하고 있다. 예를 들면, 농약을 살포하여 벌에 대한 영향이 있을 것으로 예측되면 벌에 대한 독성자료를 제출하도록 하는

식이다. 한편 유럽연합의 경우를 보면, 벌에 대한 독성자료와 거미류와 같은 포식성 천적류에 대한 독성자료, 지렁이에 대한 독성자료, 토양비표적 미생물에 대한 자료 등을 요구하고 있다(EC Council Directive 91/414/EEC).

따라서 이러한 다양한 독성시험을 위한 시험방법들이 연구되어 표준화되고 있다. 육상생태계 독성시험도 수서생태계 독성시험과 마찬가지로 급성적 수준의 독성시험에서 만성적 수준의 독성시험 및 야외시험수준까지 다양하며, 시험의 수준은 전단계의 독성시험 결과와 노출과의 관계를 보아가면서 결정하게 된다.

여기에서는 육상생태계 독성시험중에서 필자가 경험해 보지 않은 독성시험은 일반적인 guideline을 해설하는 수준이므로 생략하고, 필자가 실제 경험한 꿀벌에 대한 독성시험과 지렁이에 대한 독성시험을 중심으로 시험방법 및 문제점 등을 정리해 보고자 한다.

가. 꿀벌에 대한 독성시험

꿀벌 (honeybee, *Apis mellifera* L.)에 대한 독성시험의 목적은 수분(pollination)과 벌



꿀의 생산에 필요한 대표적 익충인 꿀벌을 농약의 피해로부터 보호하고자 하는 것으로, 이러한 시험 결과에 따라서 꿀벌에 독성이 높은 농약은 포장용기에 사용제한에 대한 주의표시를 하고 있다. 급성 독성시험은 꿀벌이 농약에 노출될 수 있는 두가지 경우를 상정하여, 접촉독성시험(농약입자가 꿀벌에 닿는 경우)과 경구독성시험(농약에 노출된 식물에서 먹이를 섭취하는 경우)을 하도록 하고 있다. 이 결과에 따라서 실제 야외에서의 독성시험이 추가로 수행되기도 한다.

1) 접촉(contact)독성시험

꿀벌을 민을 만든 양봉장에서 분양받아(외국 유수의 농약회사에서는 자체 양봉), 시험시작전에 CO₂ 개스로 마취시킨 뒤 10마리씩 3반복 즉, 30마리에 대해 시험용액을 1μl/마리씩 등 부위에 처리하여 cage에 넣고 50% sucrose용액이 들어 있는 급식관을 꽂아준 후 습도 50%, 온도 25±1°C의 환경에 두면서 24시간 및 48시간에 치사된 개체를 조사, LD₅₀값을 구한다.

2) 경구(oral)독성시험

접촉독성시험에서와 마찬가지로 마취시킨 뒤 10마리씩 cage에 넣고 시험용액을 처리한 50% sucrose용액이 들어있는 급식관을 꽂아주고 위와 같은 조건에 놓

아 두면서 급식관에 들어있는 용액을 먹게 한다. 섭취가 완료되면 시험물질이 들어 있지 않은 50% sucrose용액을 공급해 주고 24시간 및 48시간 경과 후에 치사 개체를 조사하여 LD₅₀값을 계산한다.

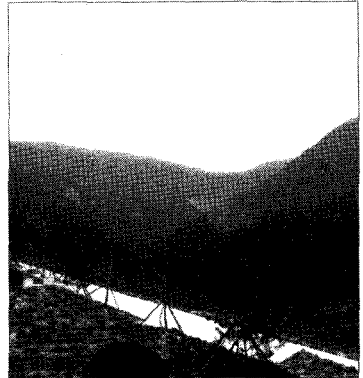
3) 주의할 점

다른 독성시험과 마찬가지로 재현성과 신뢰성이 문제되므로 표준 시험 물질을 이용하여 공시생물의 질과 시험과정을 관리하는데 영국 ZENECA(구 ICI)에서 는 dimethoate를 표준물질로 사용하고 있다. 독성시험 과정중에서 어려운 점은 접촉독성시험을 할때 시험하고자 하는 물질이 용매인 acetone에 잘 녹지 않는 경우에, 시험물질을 등 부위에 점적한 후 용매가 잘 날라가지 않아 처리한 꿀벌을 cage에 다시 넣는 과정에서 시험물질이 다소 유실될 가능성이 높은 점이다.

나. 지렁이에 대한 독성시험

지렁이 (earthworm)는 토양 생물중에서 생물량이 가장 많고, 유기물을 분해하며, 토양의 물리성 개선 및 양분공급 등의 역할로 토양의 비옥도를 지표하는 생물로 알려져 왔다.

따라서 화학물질에 의한 토양오염이 심화됨에 따라 토양오염을 막고 토양생산을 유지하기 위하여 1980년 초부터 화학물질의 등



산림에 농약을 항공살포하는 광경. 살포된 농약의 동태와 환경생태독성 연구가 필요하다(한국화학연구소).

록시 지렁이에 대한 독성자료를 검토하도록 하고 있다.

특히 유럽국가에서는 필수 요구 항목중의 하나이지만, 미국에서는 필수 요구항목은 아니고 야생조류에 대한 영향 평가시 조류가 지렁이를 포식했을 때 중독되거나 또는 먹이로서의 가치 때문에 검토 대상이 되기도 한다.

미국에서는 농약 관리면보다는 유해 산업폐기물의 매립에 의한 토양오염 관리에 지렁이를 활발히 이용하고 있다. 일반적으로 지렁이 독성시험은 인공토양(artificial soil)에서 14일동안 수행되고 그 결과에 따라서 야외에서의 추가적인 시험이 수행된다.

1) 시험종 및 사육

지렁이 독성시험에 사용되는 시험종은 *Eisenia foetida*가 전세계적으로 널리 사용되고 있다. 이 종은 지렁이 종중에서 감수성

은 높지 않으나 사육의 편이성과 독성시험의 결과가 재현성이 높기 때문에 사용한다고 하며 다른 종과의 감수성의 차이는 약 10배 이하라고 한다.

지렁이 사육은 독성시험의 특성상 독성시험이 행해지고 있는 연구실에서 재현성이 있도록 사육되고 있다. 사육배지는 원예용 부엽이 이용되고, 먹이는 아침식사용 cereal(영국 Shell, ZENECA) 또는 가축분(OECD Guideline)이 이용되는데, 가축분의 경우 항생제에 의한 영향을 충분히 고려해야 한다. 국내에서의 사육은 우리 연구실에서, 인공토양에서 몇 가지 곡물가루로 키워 본결과 국내에서 많이 양식하고 있는 *Lumbricus rube-llus*는 비교적 잘 사육되나 *E. foetida*는 잘 사육되지 않았다.

2) 시험방법

인공토양은 OECD Guideline에 따라 peat moss 10%, kaolinite 20%, 모래 70%의 비율로 섞어서 만들고 pH는 6.38로 조절한다.

지렁이는 환대가 잘 발달된 300mg이상의 개체를 선발하여 24시간동안 인공토양에서 순화시킨다. 인공토양은 비이커에 500g(건중량)씩 넣고 시험물질을 처리하는데, 물에 잘 녹는 시험물질인 경우에는 물에 녹여 처리한 후 수분함량을 조절해 주고, 물에

잘 녹지 않는 시험물질은 acetone과 같은 잘 휘발하는 유기용매에 녹여 토양과 잘 섞은 다음 유기용매를 완전히 날려보내고 수분함량을 조절해준 후 준비된 지렁이를 비이커당 10마리씩 넣어준다. 비이커는 비닐로 덮어 온도 $20 \pm 1^\circ C$, 계속 조망되는 항온기에 둔다. 처리후 7일 및 14일에 지렁이 무게와 치사개체수를 조사, LC_{50} 을 구한다.

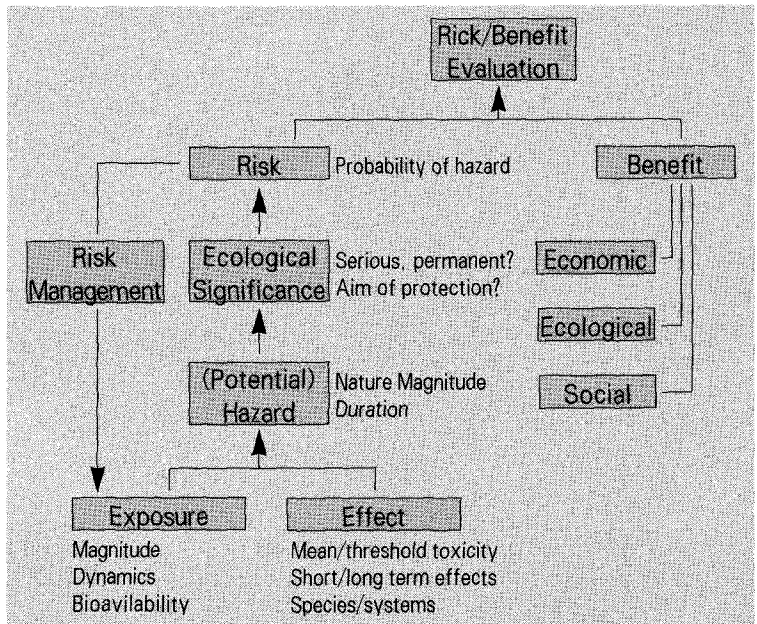
5. 생태독성과 위해성평가

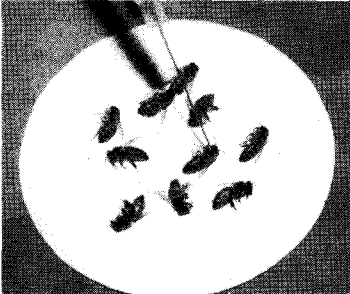
농약을 포함한 화학물질의 생태계 위해성평가는 노출에 대한 자료(exposure)와 독성에 대한 자료를 바탕으로 해서, 실제 노출가

능 농도와 독성을 비교하여 현재의 자료만으로 충분한지, 아니면 추가적인 독성시험이 필요한지를 결정하게 되며(단계별 평가, stepwise assessment), 농약으로서 사용여부는 위험과 이익(risk/benefit)을 면밀히 평가한 후에 결정된다(그림2). 농약의 위해성 평가는 대상생물이 어떤 경로를 통해서 어느 정도의 농도에 노출될 것이 예측되면(환경예상농도, expected or estimated environmental concentration:EEC), 이 농도와 그 생물에 대한 독성자료를 비교하여 안전계수를 감안하여 위해성 여부를 판단하게 된다.

미국 EPA에서 1975년에 개발

그림2. 환경위해성 평가과정 및 의사결정 과정 (FAO, 1989)





꿀벌의 접촉독성 시험장면. 마취된 벌에 시험물질을 처리하고 있다(한국화학연구소).

한 농약의 생태독성 평가기준을 보면(표4), 환경 예상농도와 급성 독성값 및 만성독성값의 비율에 따라 위해성을 세가지로 분류해 놓고 있다.

이 결과에 따라 위해성이 있을 것으로 판단되면 모의생태계 시험이나 실제 생태계 시험을 통해서 그 위해성을 확인하도록 하고 있다. 따라서 미국에서는 이미 물(水)생태계에 대한 농약의 영향을

평가하기 위한 모의생태계(aquatic mesocosm) 시험의 지침서를 발간한 바 있고, 현재에는 육상 생태계에 대한 농약의 영향을 보기 위한 모의생태계(terrestrial field study)시험을 위한 지침서 작성에 주력하고 있다.

이와같이 농약의 위해성 평가 과정에서 예상 노출농도와 독성의 비율에 의한 평가방법은 객관적으로 보이고 수량화할 수 있는 장점 등이 있으나 생태계내에 존재하는 불확실성(uncertainty)을 추정해 주지 못할 뿐만 아니라 이 방법이 가지고 있는 약점들 즉, ① 실험실과 실제 환경의 차이가 고려되어 있지 않고 ②간접적 영향(먹이연쇄)이 불고려 ③생태계 영향(포식자-먹이 관계 및 생태계 내 역동적 변화)이 고려되지 않는 등의 약점 때문에 점차 실제 환경

에서의 영향을 볼 수 있는 시험결과에 따라서 위해성을 평가하는 것이 일반화되고 있는 추세이다.

이러한 국제적인 농약의 위해성 평가추세에 비추어 볼 때 국내에서 농약의 등록시 하고 있는 일련의 의사결정 과정은 많은 문제점을 안고 있다고 할 수 있겠다. 그러므로 지금부터라도 정부 당국자, 관련 연구자들이 모여 국내 실정에 적합하고 국제적인 흐름에도 맞는 합리적인 위해성 평가 방법을 정립해야 할 것이다.

농약정보

표4. 농약의 생태계 위해성 평가기준

생태계에 대한 위해성이 없을 것으로 분류	제한적 사용으로 위해성 경감 가능	생태계에 대한 위해성이 클 것으로 예상
급성독성값 포유동물 $EEC < 1/5 LC_{50}$ $mg/kg/day < 1/5 LC_{50}$ 조류 $EEC < 1/5 LC_{50}$ 수서생물 $EEC < 1/10 LC_{50}$	$EEC \geq 1/5 LC_{50}$ $mg/kg/day > 1/5 LC_{50}$ $1/5 LC_{50} \leq EEC < LC_{50}$ $1/10 LC_{50} \leq EEC < 1/2 LC_{50}$ $EEC \geq 1/10 LC_{50}$	$EEC \geq LC_{50}$ $EEC \geq LC_{50}$ $EEC \geq 1/2 LC_{50}$
만성독성값 $EEC < Chronic$ No effect level	-	$EEC \geq effect\ level$ (including reproduction)

EEC : estimated environmental concentration

주 : Standard Evaluation Procedure, Ecological Risk Assessment, U.S.EPA, EPA-504/9-85-001, 1986