



락을 보장하기 위해서는 반드시 적용되는 시험방법에 대한 어떤 표준화내지 조화가 필요하게 된다. 바꾸어 말하면 과학적인 견지에서 판단해 볼때, 포장지에 표기된 사용방법과 특성을 고려하여 사용한다면 어느 정도의 유통성 발휘는 필요하다고 여겨지는데, 가장 합리적인 타협안이 OECD(경제 협력 개발기구)형의 지침(Guideline)이다.

금후 마련될 통합 EC의 위해성 평가지침은 그동안의 흐름을 볼때 노출정도와 독성을 비교·평가하는 기법을 마련할 것이 확실시된다.

농약의 안전성평가는 정치적 및 사회경제적인 측면들 보다는 오히려 정확한 과학적인 자료에 근거하여 수행하는 것이 바람직하다.

단계별 시험과정(Tier system)과 농약의 환경안전성을 예측할 수 있는 환경노출자료, 생태학적 자료 등을 이용하는 과정에 있어서 과거 수년 동안에 괄목할 만한 발전이 이루어져 왔다. 여기서는 농약을 포함한 화학물질의 독성과 노출정도를 결정하는 기본원리, 정보의 해석, 단계적 시험방법 및 위해성 평가과정에 대해 설명하기로 한다.

### 가. 노출경로와 노출수준

화학물질에 의한 노출가능한 경로와 노출기간이 먼저 결정되어야 하는데, 그렇다 하더라도 적절한 독성시험 방법을 고안하기는 거의 불가능하다. 만약 짧은 기간의 노출을 가

표1. 농약을 ha당 0.5kg(주성분)처리한 직후의 전형적인 환경시료중 농도

시험재료	잔류량(ppm)	시험재료	잔류량(ppm)
5% 입제/미끼 *	50,000	엽채류	50
종자소독한 곡류	50~1,000	곡식날알	5
풀	100	토양(10cm깊이)	0.5

\* ha당 약 5~100g에 해당

표2. 수서생물에 대한 Cypermethrin의 독성에 미치는 저이토의 영향 (72시간 EC<sub>50</sub> µg ai/liter)(자료: Dave Riley, 1990)

수서생물	깨끗한 물	물/토양
<i>Daphnia magna</i> (물벼룩)	1.6	310
<i>Cloeon dipterum</i> ( ? )	0.01	2.9
<i>Asellus aquaticus</i> ( ? )	0.01	2.8

정한다면 단기간의 급성독성시험이 이 경우에는 적절한 시험방법이 될 것이다. 예를 들면 어류나 물벼룩에 대한 급성독성은 48시간 EC<sub>50</sub>을 구함으로써 충분한 평가가 가능할 것이다. 다시 말해서 시험대상 농약의 잔류성이 크다면 장기간에 걸친 시험이 보다 적절한 시험방법이 될 것이다.

장기간에 걸친 독성시험을 수행할 경우 환경중 농약의 농도는 굉장한 차이가 있다. 일부 지역의 환경중 농약의 초기 농도는 표 1에서와 같이 농약이 처리된 종자나 입제 농약의 입자 그 자체를 이용하는 생물은 높은 농도로 노출될 수 있는 반면, 토양서식 생물은 단지 낮은 농도로 노출될 것이다.

덧붙여서 농약의 생물이용성을 고려할 필요가 있는데, 토양이나 수계에서의 흡착은 농약의 이용성과 독성학적인 영향을 크게 감소시킬 수 있

다. 이러한 사실은 표 2에서 설명되는데 흡착성이 강한 피레스로이드계 살충제인 cypermethrin의 독성은 토양의 존재하에서는 크게 감소됨을 알 수 있다. 식물, 지렁이류, 토양미생물과 같은 토양에 서식하는 생물에 대한 흡착의 영향을 고려하기 위하여는 액체 배양액시험에서 보다는 오히려 토양의 존재하에서 시험이 수행되어야만 보다 정확한 자료를 얻을 수 있다.

생물에 의한 농약의 노출경로와 노출수준에 대한 평가는 생물학 특히 먹이 습성이나 행동양상과 같은 사항들을 이해한다면 보다 정확하게 시험수행이 가능한데, 이에겐 생물의 노출수준(정도)에 대한 이해를 높일 필요가 있다. 예로서 농작물에 살포된 농약의 익층에 대한 노출경로와 노출수준은 일반적으로 잘 알려져 있지 않으며 현재까지 개발된 수 많은 실내 독성시험의 가치를 심



표3. 농약이 조류(鳥類)에 미치는 영향연구에 소요되는 비용

연구형태	성인남자의 노력(년)	비용(US\$)
실험실(2종 LD <sub>50</sub> +2종 식이 LD <sub>50</sub> +1종 번식독성)	1	100,000
소규모 포장시험	2~5	200,000~500,000
대규모 다방면 포장시험	>20	>2,000,000

표4. 평균직경 49 $\mu$ m인 농약살포액의 노출시간별 날아다니는 꿀벌과 정지해 있는 꿀벌의 날개와 몸체의 농약 부착량 비교( $\mu$ l/꿀벌) \*

노출시간 (초)	날아다니는 꿀벌		정지해 있는 꿀벌	
	날개	몸체	날개	몸체
10	1.3	7.8	0.3	3.6
20	0.9	12.3	1.9	6.9
30	1.3	17.4	2.0	9.1

\* T. Holt(ICI 미발표자료)

다. 초기 해석은 항상 환경추정농도(EEC: Estimated Environmental Concentration)와 독성치 또는 생물에 의한 농약의 1일섭취량(mg/kg 체중/day)을 서로 비교·평가하는데 기초하고 있다. 조류(鳥類)나 포유동물에 대한 농약의 위해성평가는 이러한 방법으로 수행되고 있는데, 다음과 같은 경우에는 위해성이 없는 것으로 추정될 수 있다.

**조류나 포유동물에 대한 농약의 위해성 평가**

- 환경추정농도(EEC) < 1/5 LC<sub>50</sub>
- EEC < 만성무영향수준
- 1일섭취량(mg/kg/日) < 1/5 LD<sub>50</sub>

여기서 LC<sub>50</sub>은 공시동물중 50%가 치사되는 식이 섭취 농도이며 LD<sub>50</sub>은 50%가 치사되는 1회 투여 경구약량이다. 또한 만성무영향수준은 식이섭취시험에서 얻은 화학물질

(농약포함)로 인한 악영향이 전혀 관찰되지 않는 약량수준이다. 농약으로 인한 조류나 포유동물의 사고건수와 검색(monitring)을 통한 조사결과 등을 포함한 농약사용에서 얻은 지금까지의 경험으로 미루어 볼때, 위에서 언급한 평가기준은 농약이 정상적으로 사용될 경우에는 합리적인 판단기준이 된다는 사실을 입증해주고 있다. 수서생물에 대해서는 EEC(환경추정농도)가 LC<sub>50</sub>값의 1/10이하이면 위해성이 없는 것으로 추정할 수 있다. 다만, 이 경우에는 더 높은 안전계수가 적용될 때도 있는데, 그 이유는 수서생물은 조류나 포유동물의 경우처럼 농약이 처리된 특정 지역을 이동하여 빠져나올 수 없으며 또한 대체먹이감을 구할 수도 없으므로 위해물질에 대한 그들의 노출을 쉽게 제한

할 수 없기 때문이다.

만약 EEC값이 위에서 언급한 평가기준보다 더 높으면, 포장조건하에서의 노출수준과 독성을 평가하기 위한 추가 독성 시험을 수행할 필요가 있다. 만약 시험설계가 정밀하게 작성되고 특별하게 한정된 의문점에 대하여만 답변하는데 그 목적이 있다면 이들 시험은 보통은 상대적으로 적은 규모로 수행될 수 있지만 그렇지 않을 경우는 수십만 달러의 비용이 들게 될 것이다. 미국의 규제 당국자들은 다방면에 걸친 모든 형태의 포장 시험성적을 요구하고 있지만, 일반적으로 볼때 이러한 요구사항은 정당화되지 못하고 있다. 따라서 그러한 광범위한 시험은 해당 농약의 안전성을 종합평가하는데 다소 공헌한다기 보다는 오히려 막대한 자원만 낭비하는 결과를 초래하게 된다(표 3). 그러므로 유럽에서는 그러한 종류의 시험연구에는 거의 연구비를 지원하지 않는다.

어떤 시험/위해성평가 과정도 아작은 만족스러운 것이 없는데, 그 이유는 노출평가 또는 포장경험/시험으로 얻은 결과에 대한 정당성 부여가 부족하기 때문이다. 예를 들면, 야생동물의 주요 먹이源이 되는 해충의 천적 같은 익충에 대한 농약의 독성을 평가하기 위한 수많은 종류의 시험방법이 개발되어 왔으나 이들 시험방법들은 포장조건하에서 이들 생물에 대한 농약의 안전성을 평가하는데는 효용가치가 그다지 크지 않다고 여겨진다. 그 이유



결과는 농약포장지 표기내용에 그대로 적용되는데, 예로서 만약 그 농약이 꿀벌에 안전하지 못하다면 그 농약은 “꿀벌이 먹이를 찾아다니는 꽃피는 농작물에는 사용하지서는 아니된다”라는 내용이 반드시 포장지에 포함되어야 한다.

## 나. 지렁이류(Earthworms)

### 1) 1단계

토양배지(Soil medium) 시험은 고유독성시험(예로써, 여지土에서 농약에 토양서식 생물을 노출시키는 시험)보다 더 좋은 결과를 얻을 수 있는 시험방법인데 그 이유는 토양배지 시험은 지렁이류에 의해 소모된 토양의 농약흡착과 농약의 이용성에 미치는 토양의 흡착영향이 함께 고려되기 때문이다. 지렁이류에 대한 시험에서 제1단계는 OECD 지침 207(1987)에 따라 인조토양을 이용하는 실험실 시험인데, 이 지침에 의하면 14일 동안의 노출기간에 공시한 지렁이중 50%가 치사되는 토양(건물重)중 농도(LC<sub>50</sub>)가 결정된다. 여기서 구한 LC<sub>50</sub> 값이 100mg/kg 토양보다 더 큰 값을 가지면 그 농약은 위해성이 없는 것으로 평가할 수 있는데, 이러한 경우에는 더 이상의 시험은 필요치 않다.

LC<sub>50</sub>값 보다 더 낮은 값을 갖는 농약에 대한 위해가능성은 앞서 설명한 방법에 따라 그 농약의 토양중 농도를 측정함으로써 평가되는데, 여기서는 1.5kg/l 의 밀도를 가진

2.5cm 表土中에 시험대상 농약이 균일하게 분포한다는 가정하에 수행된다. ha당 주성분으로 1kg의 농약이 살포되면 토양중 농도는 2.7mg/kg 토양이 된다.

EEC(환경추정농도)를 평가하기 위하여는 식물의 잎이나 줄기로 인한 토양 표면의 덮음 정도(plant cover)가 또한 고려되어야 하는데, 그 이유는 토양표면이 식물에 의해 덮이게 되면 토양중 농약의 농도는 상대적으로 감소하기 때문이다. 식물이 토양표면을 완전히 덮을 경우에는 처리된 농약의 약 절반 정도만이 궁극적으로 토양에 도달한다고 가정하는 것이 합리적이다.

만약 LC<sub>50</sub>/EEC의 비율이 10보다 더 크다면 더 이상의 시험은 필요치 않으며 그 비율이 10보다 작으면 임시~중간평가가 수행된다. 다음으로 야외에서의 위해가능성이 배제될 수 없다면 추가로 시험이 수행되어야 하는데, 이에는 2단계의 실내시험이나 또는 그 대신 직접 포장 시험(3단계)으로 진행하게 된다.

### 2) 2단계

이 시험은 실제로 기대되는 농도에 대한 亞致死 영향을 구명하기 위해 수행된다.

지렁이류의 번식에 미치는 영향에 대한 실내시험은 또한 이 단계에서 유용할지 모르나 현재로서는 표준화된 시험방법이 개발되어 있지 않은 상태이다. 인지할 수 있는 영향이 관찰되지 않거나 또는 그 영향이 내

성적이라면 더 이상의 실험은 필요치 않다. 만약 더 이상의 시험이 요구된다면 포장시험(3 단계)으로 진행시킬 필요가 있다.

### 3) 3단계(포장시험)

포장시험은 어떤 특정 제형의 농약을 이용, 최대 추천비율로 살포하여 시험이 수행된다. 그러한 시험에 대한 표준화된 지침은 아직 개발되어 있지 않으나 Edwards & Brown (1982)과 Heibach(1990)에 의해 제시된 시험방법중 적절한 것을 선정, 이용하면 가능하다.

#### 농약정보

## 농사속담

### 가을 곡식은 재촉하지 않는다

작물의 결실기인 가을에는 기온이 지나치게 높지 않으면서 적산온도(積算溫度)가 높고 일조시수(日照時數)가 길면 길수록 곡식이 충실하게 익으므로 겨울이 늦게 올수록 수량을 높일 수 있다는데서 유래된 말.

### 섬에 담아 보아야 풍년을 안다

농사란 마지막 수확때까지 정성을 다해 가꾸어야 한다. 다된 농사라도 추수기의 방심으로 실농(失農)을 할 수 있기 때문이다. 끝까지 최선을 다해 농사일을 해야 한다는 뜻.