

‘단계별 의사결정 모형’ 통해 생태위해성 평가

컷-오프 · 단계적 의사결정 · 확률론적 모형 등 3단계로 평가
초기 · 정밀 · 통합평가 자료량 = 영향평가, 개발입장 진퇴양난



이성규

한국화학연구소 안전성센터

농약은 농산물 생산에 있어서 병해충 및 잡초를 방제함으로써 생산성을 높이는데 필수적인 농업자재로 인식하고 있다. 그런데 모든 화학물질이 그러하듯이 농약도 두 가지 양면성을 지니고 있다. 즉, 약효와 독성이다. 일반적으로 농약은 뿌려진 농약의 0.1%이하만이 목표물이라고 할 수 있는 해충 및 잡초, 이병작물에 떨어지고 그 외는 비표적 생물 및 환경 매체에 떨어짐으로써 생태계에 영향을 준다고 한다. 약효는 농약으로서 지녀야 하는 당연한 기능이지만 독성은 가능한 줄여야 할 기능이기 때문에 농약회사에서는 약효는 높으면서 사람과 생태계에는 좀 더 안전한 농약을 개발하기 위해 애쓰고 있다. 우리나라는 전세계적으로 볼 때 농약을 비교적 많이 사용하는 나라로 알려져 있으나 경제규모 및 사용량에 비해서 생태계에 대한 농약 관리는 앞서가지 못하고 있는 것이 현실이다.

따라서 농약의 생태위해성 평가에 대한 기본적인 이해를 돕기 위해 이번호부터 연재를 통해 생태위해성에 대한 기본개념을 소개함과 동시에 국내외 농약등록제도에서의 생태위해성 의사결정 과정을 비교하고 마지막으로 국내 농약관리제도에 있어서 생태독성분야의 의사결정에 대하여 개선방안을 제안하고자 한다.

생태계의 개념

생태계란 1935년 영국의 A.G. 텐슬리에 의하여 제창된 용어로서 자연의 있는 그대로의 상태를 인식하기 위해서는 이것들 상호간의 관계를 지닌 생물과 무기적 환경을 하나로 통합해야 한다는 것이 텐슬리가 제창한 개념이다. 생태계의 크기는 여러 가지이다.

예를 들면 작은 연못의 생태계에서부터 크게는 지구 생태계까지 생각할 수 있다. 생태계 중에서 생물체는 기능적으로 생산자(녹색식물) · 소비자(동물) 분해자(세균 또는 미생물)로 구분된다. 그리고 생물공동체와 무기적 환경과의 사이에는 물질교대와 에너지교대가 이루어지고 있다. 무기적 환경 가운데 생물에 필요한 물질은 우선 생산자에 의해 유기물이 합성되어, 일부는 생산자 자신에 의하여 쓰여지고, 나머지 일부는 먹이연쇄를 통하여 저차(低次)의 소비자에서 고차(高次)의 소비자에게로 운반된다.

생산자 · 소비자의 배출물이나 유체는 분해자에 의하여 분해되어 다시 무기물이 되어 환경으로 되돌아 온다. 한편, 생산자는 태양에너지를 이용, 광합성에 의하여 유기물을 합성하고 유기물 속에 고정된 에너지는

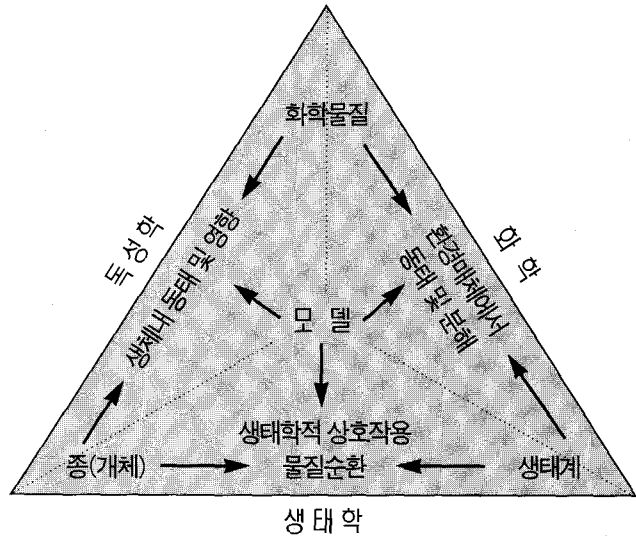


그림 1. 생태독성학을 구성하는 학문분야와 화학물질, 개체 및 생태계의 상호 관련성

(자료: Risk assessment of chemicals: An introduction, Edited by C.J.van Leeuwen and J.L.M. Hermens, Kluwer Academic Publisher 1995)

먹이연쇄를 통하여 소비자에게, 그리고 배출물이나 유체의 형태가 되어 분해자에 흘러 들어간다. 생태계에서 어떤 영양 단계가 가지는 에너지의 일부는 자체의 생활에너지로 소비되고 나머지는 다음 영양 단계로 옮겨진다. 이와 같이 생태계는 다양한 생물들이 구조적으로 또 기능적으로 유기적인 관계를 이루고 있으면서 생태계의 건강성 및 통합성이 유지되고 있다.

생태독성학

이와같은 생태계에 화학물질이 유입되면 화학물질은 고유한 이화학적 특성에 따라 매체내에

서 이동, 분해 및 대사 되는데 이 과정에서 환경매체내에 있는 다양한 생물군에게 독성영향을 미치게 된다. 이와 같이 화학물질이 생태계에 미치는 영향을 연구하는 분야를 환경독성학 (environmental toxicology)라 하고 이 중에서 생물에 대한 독성을 연구하는 분야를 좁은 의미로 생태독성학 (ecotoxicology)라고 한다. 화학물질과 개체와의 관계는 독성학에서 다루는 것과 유사하나 독성학과 다른 점은 독성학에서 최종목표는 사람의 안전성 확보이지만 생태독성학에서는 최종목표가 생태계의 건강성 확보이

표 1 먹이단계를 고려한 생태독성시험

먹이 단계	예	독성시험에 사용되는 종
1 1차 생산자	조류(algae)	녹조류
2 1차 소비자	물벼룩(Daphnia)	Daphnia magna
3 2차 소비자(육식성)	물거미(water spider)	추천종 없음
4 3차 소비자(육식성)	어류	잉어, 송사리, 송어
5 4차 소비자(육식성)	조류(bird)	메추라기

표 2. 위해성평가의 단계와 필요한 자료

단계	개념	독성자료	노출자료
1단계(Tier 1)	초기 평가 (initial/preliminary)	급성(단기)독성	이화학적 성질
2단계(Tier 2)	정밀 평가 (refined)	만성독성	모델에 의한 예측치
3단계(Tier 3)	통합적 평가 (comprehensive)	다수의 만성독성, 야외조사	실측치 및 예측치

(자료: Risk assessment of chemicals: An introduction, Edited by C.J.van Leeuwen and J.L.M. Hermens, Kluwer Academic Publisher 1995)

다(그림 1). 따라서 환경매체에서 화학물질의 동태와 분해, 대사, 즉 노출에 대한 정보가 매우 중요하다.

생태위해성 평가

농약을 포함한 화학물질의 생태위해성을 평가할 때의 기본개념은 먹이단계를 고려한 독성시험 battery(표 1)를 구성해야 하며 이러한 먹이단계별 대표생물에 대한 독성자료를 이용하여 그 물질이 가지고 있는 생태독성profile(생태계의 구조에 대한 영향)를 파악하는 것이다. 이 단

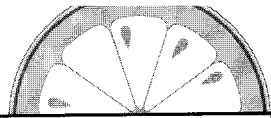
계까지는 단일 생물종(single species)을 이용한 실험실적 시험결과이다. 이 단계에서 생태계에 대한 위해성 평가가 완료되지 않으면 다음 단계에서는 모의생태계 또는 야외시험을 통해 생태계의 구조와 기능에 대한 영향을 통합적으로 평가하는 것이다.

이와 같이 해서 농약의 환경내 노출에 대한 정보와 생태독성에 대한 정보가 수집되면 이를 토대로 생태위해성 평가를 하게 된다. 생태위해성 평가에 있어서 의사결정모형은 크게 세

가지로 나눌 수 있는데, cut-off 모형과 단계적 의사결정모형(tier system, sequential approach), 확률론적 모형(probabilistic approach)이다.

첫번째의 cut-off 모형은 독성값이 일정한 값을 초과하면 등록이나 사용에 제한을 받는 제도로서 우리 나라와 같이 어류에 대한 급성독성 값이 0.5 mg/l이하이면, 수도용 농약으로 사용할 수 없도록 하는 제도이다.

두번째의 단계적 의사결정모형(표 2)은 1차적으로 기본적인



농약의 생태위해성 평가, 어떻게 할 것인가? (1)

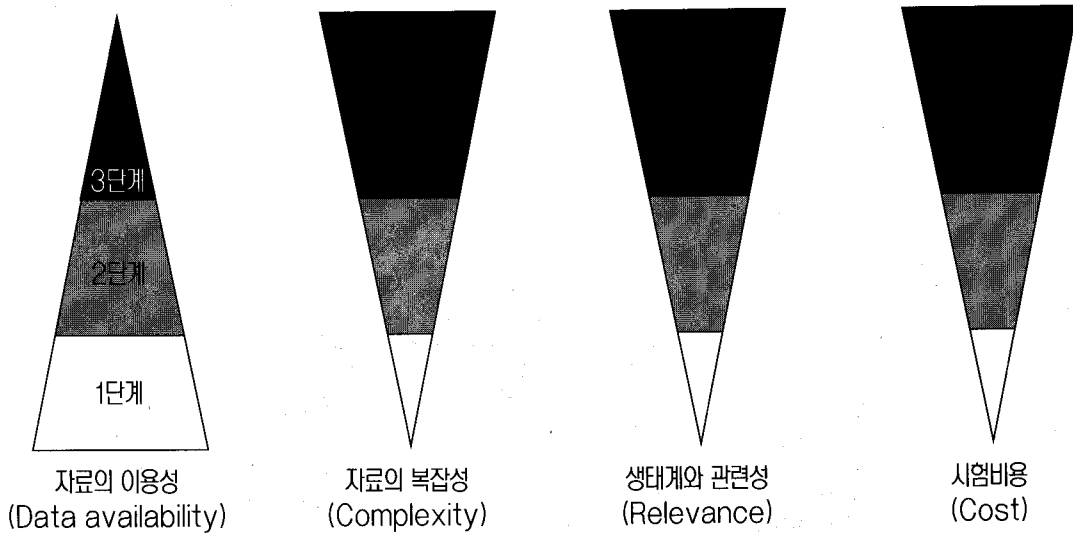


그림 2. 단계별 위해성 평가시 각 요소별 딜레마

(자료: Risk assessment of chemicals: An introduction, Edited by C.J.van Leeuwen and J.L.M. Hermens, Kluwer Academic Publisher 1995)

독성자료와 노출자료를 이용 (Tier 1), 노출과 독성비를 비교하여 충분한 안전성(margin of safety)이 확보되면 추가자료의 제출 없이 등록되지만 기준치를 초과하는 위해성을 보이면 잠재적으로 유해한 농약으로 분류되어 Tier 2로 넘어가 추가적인 독성자료를 더 내게 한다. 그리하여 이를 토대로 다시 위해성 평가를 하고 이 결과에 따라 Tier 3단계의 추가자료 제출 여부를 결정하는 의사결정 체계로 대부분의 선진국에서 채택하고 있다.

세번째의 확률론적 접근방법은 생물군이 가지고 있는 감수성을 감안하여 위해성의 구체적 크기를 근거로 의사결정을 하는 방법이다. 즉, 기존의 단계적 접근방법이 가지고 있는 단순성을 보완하는 방법으로서 최근 미국 EPA에서 활발히 논의되고 있으나 현재 적용하고 있지는 않다.

이와같이 농약이 생태계에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 초기 평가 단계 (initial assessment) → 정밀 평가단계 (refined assessment) → 통합

적 평가단계(comprehensive assessment)를 거치게 되는데 각 단계에서 필요한 독성자료와 노출자료는 표 2와 같다. 이때 각 평가단계별로 이용할 수 있는 자료량과, 생태계와의 연관성, 자료생산에 드는 비용과의 관계는 그림 2와 같다.

즉 자료량이 많으면 많을수록 농약이 생태계에 미치는 영향을 잘 평가할 수 있지만 그 자료를 생산하기 위해 드는 비용은 크게 늘어가기 때문에 개발하는 입장에서는 딜레마라고 할 수 있겠다. **농약정보**