



# 농약개발, 환경연구 비중 커졌다

환경독성문제 해결해야 제품시장서 성공기대



이성규

한국화학연구소 환경독성연구팀

## 1. 농약의 역할과 생태계

농업생산에 있어서 농약의 역할에 대하여 생각해 보자. 농업생산은 그 특성상 자연환경의 영향을 많이 받기 때문에 인위적으로 관리하지 않으면 적정 수확량을 기대하기 어렵다. 그 중에서 가장 중요한 관리기술중의 하나가 병충해와 잡초를 방제하는 것이다.

초기 농경사회에서는 물리적 방법으로 이러한 문제를 해결할 수 있었으나 인구가 증가하고, 산업구조가 전문화됨에 따라 농업생산도 대규모화되고 수량증대에 대한 요구가 커졌다. 따라서, 인력에 의존한 방제수단으로는 이러한 요구에 부응할 수 없게

되었다.

이에 따라 농약이 개발되었고, 세계 2차대전 이후에는 DDT와 같은 유기합성농약이 본격적으로 사용되어, 근래에 이르러서는 '농약=유기합성농약'이라는 등식이 이루어졌다.

전세계적으로 사용되고 있는 농약의 양은 연 5백만톤에 이르고 있으며, 세계 인구증가율에 따른 식량증산의 필요에 따라 매년 증가하고 있는 실정이다.

그런데 이와같이 농업생산에 필수불가결한 농약은 뿌려진 농약의 0.1%미만만이 목표로 하는 해충, 병해 및 잡초에 도달될 뿐, 99%이상의 농약이 비표적생물(非標的 生物)이나 주위환경에 분포하게 된다. 즉 농경지

그림1. 살포된 농약의 환경내 이동 및 분포

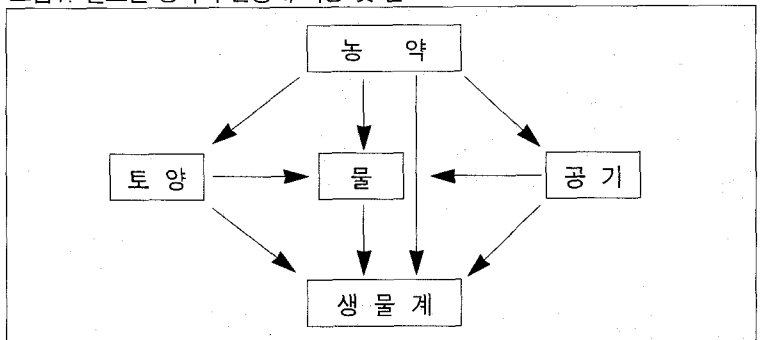


표1. 공기, 물, 토양 환경계에 있어서 각 요소별 상대적 크기

	생물량	이동거리	이동량	취약성	Sink 역할	환경균질성	희석능력
공기	+	+++	++	+	+	+++	+++
물	++	++	+++	+++	+++	++	++
토양	+++	+	+	++	+++	+	+

+++:대, ++:중, +:소 (자료:OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, 1993)

에 살포된 농약은 대부분 식물체나 토양 및 물(특히 논외의 경우)에 떨어지고, 일부는 대기중으로 비산하여 비교적 원격지로 이동되기도 한다(그림1). 그런데 대기중, 식물체 및 토양표층, 물속에 분포한 농약은 태양광선에 의하여 분해되기도 하고, 토양 및 물에서는 농약이 미생물에 의하여 분해되거나 화학적 분해, 흡착, 지하침투 등으로 점차 소실되고 농도가 낮아진다.

이런 각 환경계(공기, 물, 토양)별로 그곳에 서식하고 있는 생물량, 농약과 같은 오염물질이 들어 갔을 때 이동정도, 농약오염에 의한 취약성 등을 대비해보면 표1과 같다. 표1에서 보는 바와같이 물, 즉 수생태계가 농약의 유입으로 인한 영향을 가장 쉽게 받을 수 있으며 그 다음으로 토양생태계가 취약한 것으로 나타났다. 이 의미는 환경생태독성에 대한 연구의 시작이 수생생물을 대상으로 출발하였고 시험의 종류, 기법 등도 세분화, 고도화되어 있으며 그 이후에 육상생물을 이용한 여러 연구들이 발달되었음을 의미한다고 할 수 있겠다.

## 2. 농약의 환경생태독성 연구의 태동과 농약관리

1962년에 출간된 R. Carson의 침묵의 봄(Silent Spring)이 농약의 환경독성에 관한 일반인의 관심을 고조시키는데 기폭제 역할을 하였다. 이를 계기로 하여 각 나라의 농약관리정책은 환경에서의 안전성 확보에 더욱 무게를 두게 되었고, 농약회사에서도 농약개발단계에서 환경독성에 대한 연구를 강화하였다.

그러면 여기서 언급하는 농약의 환경생태 독성이란 무엇이며, 이러한 자료들이 언제부터 농약 관리에 이용되어 왔고, 농약회사에서는 어떤 과정을 거쳐 이러한 독성을 평가하는가에 대해 간단히 언급하고자 한다.

먼저 농약의 환경생태독성(環境生態毒性, ecotoxicity)이란 “농약이 자연환경에 살포되었을 때, 그 농약으로 인하여 생태계 내에 있는 여러 종류의 생물들(수서 및 육상생물)에게 급성적 및 만성적으로 영향을 줄 수 있는 농약의 내재적(內在的) 독성”을 가르키는 것으로 그 대상은 생물개체와 생태계 전반, 즉 생

태계 구조(structure)와 기능(function)에 대한 영향을 포함한다.

우리가 흔히 경험할 수 있는 농약의 환경생태독성은 농약을 살포한 논에서 그곳에 살고있는 물고기가 죽는다든지, 이러한 물고기를 잡아먹었거나 입상체제의 농약을 먹이로 잘못 알고 먹은 두루미같은 새들이 죽는 현상, 또는 과수원에 살포한 농약으로 인해 주위의 꿀벌들이 죽는 현상 등을 들 수 있겠다.

이와같은 농약의 환경생태독성에 대한 연구의 역사는 약 40년 정도 되었다고 볼 수 있는데, 최초의 시험은 1944년까지 거슬러 올라간다. 그 당시의 관심은 단순한 치사(致死)와 같은 급성적 영향을 평가하는데 있었고, 현재에 이르러서는 여러가지 독성시험을 통한 농약의 전반적 환경위해성 평가(環境危害性 評價, environmental hazard assessment)쪽으로 연구의 방향이 선회하고 있다. 다시 말하면, 생물개체에 대한 급성독성을 평가하는데서, 보다 다양한 생물종과 시험방법의 개발을 통해서 생태계 전체에 대한 영향을 예측하고, 그 영향을 최소화하는데 노력하고 있다.

국가에서 농약을 법적으로 규제하기 시작한 초기에는 불량농약의 유통을 규제하는데 치중하다가 점차 잔류독성쪽으로 확대



되어 갔다.

농약의 환경생태독성에 관한 체계적 규제는 비교적 최근의 일로 미국의 경우, 1970년 미국 환경청이 발족되고 농약관련 업무를 관장하게 된 시점부터 본격화 되었다. 물론 이 의미는 1970년 이전에도 농약의 등록과 관련하여 환경생태독성에 관련된 자료의 검토는 있었지만, 현재와 같은 정도의 평가는 비교적 최근에 이루어졌다는 것이다.

일본의 경우는 농약관리 초기에는 환경생태독성에 관한 규정이 없었으나 전국 각지에서 파라치온, PCP 등의 사용으로 수산피해가 속출함에 따라 1962년부터 농약의 등록요건에 잉어에 대한 48시간 반수치사농도(48h median tolerance limit, TLm)값과 물벼룩에 대한 3시간 반수치사농도값의 제출을 의무화하고 현재에 이르고 있다.

국내에서는 1973년 농업자재 검사소에서 salithion의 잉어에 대한 독성시험을 시작한 이후, 1977년에 농약관리법이 개정되어 국내에서 농약을 등록할때 잉어에 대한 급성독성값(TLm)이 0.1ppm이하인 농약은 수질오염성 농약으로 분류하여 사용을 규제한다는 내용이 명시되어 법적규제의 출발이 되었다.

농약을 개발하는 회사의 입장에서 약효가 탁월하면서도 독성이 낮은 농약을 개발하기 위하



논 모의생태계에서 농약의 환경영향을 연구하고 있다(한국화학연구소 환경독성연구팀)

여 많은 연구인력과 비용을 투입하고 있다.

즉, 연구인력면에서만 보더라도, 합성하는 인력과 비슷한 숫자의 인력이 환경독성연구에 투입되고 있으며, 연구의 수준은 일반적으로 국가에서 규제하는 수준보다 2~3단계 높은 수준의 연구를 하고 있는 실정이다. 왜냐하면 농약회사에서는 한 품목이 세계시장에서 성공하느냐 실패하느냐에 따라 회사전체의 사활이 걸린 문제이기 때문이다.

이상에서 농약의 역할, 생태계와의 관계, 환경생태독성의 의미와 관리 등에 관하여 일반적으로 살펴보았다.

지금부터는 환경생태독성 시험에 관한 기본적인 사항들에 관하여 설명하고, 최종적으로는 농약의 환경위해성 평가과정과 각국 규제 추세를 살펴보려고 한다.

### 3. 수서생물에 대한 독성 (Aquatic Toxicity)

물은 지구상 모든 생물들의 생존에 가장 필수적인 요소다. 깨끗한 물, 모든 생물들이 어우러져 살아가는 건강한 생태계의 유지는 인간이 추구하는 행복권의 하나로 생각된다. 특히 수생태계(水生態系)는 그 종의 구성이 생산자-소비자-분해자의 역할을 담당하는 다양한 생물종들이 모여 아주 정교한 유기체적 모습을 보여주고 있다.

그런데 이러한 수생태계는 앞의 표1에서 보는 바와같이 주위의 환경변화에 취약하다. 예를 들면 농경지에 살포된 농약들 중에서 많은 양이 수계로 유입되며, 수계에 유입된 농약은 다양한 경로를 통해서 분해, 흡착되거나 수서생물에 이용된다. 이

과정에서 수계의 농약농도와 지속시간이 수서생물에게 독성을 줄 수 있다.

물에 있는 다양한 생물종들-미생물, 무척추동물, 척추동물, 또는 식물및 동물로 대별해 봄은 종의 다양성만큼이나 농약에 대한 감수성(感受性)이 다양하기 때문에 농약의 영향을 예측하기가 대단히 어렵다.

그래서 환경독성관련 연구자들은 실험실적 결과로 실제 생태계에서의 영향을 예측한다든지, 또는 실제 생태계와 상당히 유사한 모의생태계(模擬生態系)를 만들어 농약의 환경독성을 평가함으로써 가능한한 예측성을 높이고 노력하고 있다.

이러한 독성을 평가하는데 있어서 또하나 제한점은 비용과 시간의 문제이다. 농약개발에도 경제원리가 적용되기 때문에 모든 농약에 대해 모든 종류의 독성실험은 할 수 없기 때문에 초기에는 기본적인 독성실험을 하여 전반적인 특성을 파악한 다음, 이러한 결과를 면밀히 검토하여 다음 단계에 실시해야 할 연구항목을 선정하게 된다.

수서생물에 대한 기본적인 독성실험항목은 수생태계의 먹이망(food web)을 고려하여, 생산자 위치에 있는 식물성 조류중에서 1종, 1차 소비자이면서 다음 단계의 먹이가 되는 수서 무척추동물중에서 물벼룩 1종, 수생태



농약의 환경생태독성을 연구하기 위한 모의생태계 연구시설(영국 Shell Sittingbourne Research Center)

계에서 최종 소비자단계인 어류중에서 1종을 선정하여 급성독성시험을 하게된다. 이러한 자료를 보통 기본적인 자료(base-set data)라고 부른다.

이와같이 3종의 생물에 대한 독성정도를 파악함으로써 어떤 농약이 수생태계에 유입되었을 때, 그 생태계내의 먹이 구조나 기능에 대한 대체적인 영향정도를 감지할 수 있게 된다.

앞에서 언급한 바와 같이 독성자료들은 농약의 개발과정에서 의사결정에 매우 중요한 뿐만 아니라 국가에 등록시킬때 평가자료로 사용되기 때문에 독성자료의 생명은 신뢰성(信賴性)과 재현성(再現性)이라고 할 수 있다. 이런 이유로 해서 농약의 환경생태독성을 시험하는 기관은 인력, 시설, 시험능력 등에 관하여 해당 국가기관에서 검증을 받아야

그 해당국가에 농약을 등록하고자 할 때 비로소 제출된 독성 자료를 인정받을 수 있다. 그래서 농약개발 회사나 독성용역연구기관에서의 모든 독성시험은 GLP (good laboratory practice) 체제 아래서 수행되어야 한다.

아직 국내에는 이러한 체제가 도입되어 있지 않으나 적어도 2~3년 안에는 이러한 제도가 도입되어야 하며 모든 독성시험은 GLP 체제하에서 수행되어야 할 것이다.

다음호에 수서생물에 대한 독성 시험을 수행하는데 있어서 고려해야할 것들에 대하여 계속해서 살펴보고자 한다. **농약정보**