



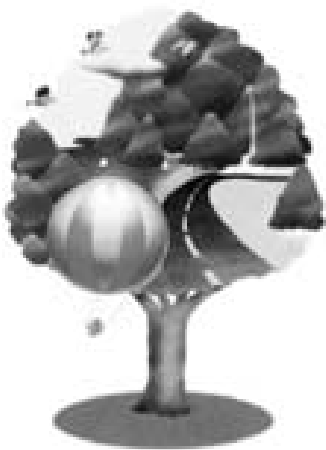
김정한
서울대 농업생명과학대 교수

농약은 우리 인류 생존을 위한 식량 확보를 위해 자연계의 다
른 종족(해충, 병원, 잡초)과 싸우는데 사용하는 물질로서
인류의 전략적 수단이며 무기이다. 화학이라는 학문을 바탕으로 만
들었고, 비록 구성 원소들은 자연계에서 나왔지만 대부분 자연계에
존재하지 않는 것으로 알려진 분자들로서 사용하게 되면 생체 및
환경에 머물게 된다. 이러한 물질들을 관련된 연구 분야에서는
xenobiotics(외래성 이물질)라는 용어를 쓰는데 원래부터 존재하지
않고 다른 원인으로 유입된 물질을 의미한다. 한마디로 말하면 일
종의 나그네인 것이다. 우리 생활과 환경에 머물렀다가 나름대로의
역할을 하고 사라지는 나그네 물질 말이다.

농약! 어디서 왔다가 어디로 가나?

‘작물·토양·수중·대기’ 중의 농약, ‘自然’이 잘 처리
주의·조사·검증 통해 안전성 확보, ‘농약의 혜택’ 최대한 누리야

농약. 하지만 발이 넓어서 조선 팔도를 다 돌아다닌 방랑시인 김
삿갓 처럼 농약도 처음 처리한 장소나 근처에만 머물지 않고 원래
의 모습으로 또는 변형된 모습으로 환경과 생활 속 여기저기에 나
타나고 머무르고 사라진다. 동네에 나그네(뜨네기)가 나타나면 정
체가 무엇인지, 어디서 왔는지, 어디로 가는지 정말 궁금하고 꼭 알
아줘야 속이 시원한 것처럼 우리 생활과 환경 속 농약의 행적에 관
한 연구들은 농약의 환경안전성 확보에 중요할 뿐 아니라 매우 흥
미로운 과제이다. 나그네 농약이 어디서 왔다가 어디로 가는지? 어
디 한 번 제대로 짚어보자.



농약, 어디서 오나?

생각나는 대로 몇 가지를 찾아보자. 식량 생산에 사용되는 농약
(2004년 2만5천여톤)의 경우를 보면, 작물에 살포시 토양에 떨어지
고 주위로 비산되며, 토양처리용 농약은 직접 토양에 투입되고, 벼

농사용 입제도 직접 논물에 처리되며, 산림 해충 방제 농약은 대기에 직접 살포된다. 정성들여 가꾸고 수확한 농산물을 잘 보관하기 위해 수확 후에도 병해충관리 차원에서 농약을 사용한다. 그렇다면 농약은 과연 농업에만 쓰고 있는가?

가정에서 화초들을 건강하게 가꾸느라 화분과 화단에 사용하는 것은 물론이고 정말 귀찮은 바퀴벌레·모기·파리 등 위생해충류 제거에 사용하는 가정용 살충제, 방역용 살충제 성분 등도 모두 농약류이다. 방에서 야외에서 골목마다 동네마다 살포하고 있다. 개인의 기호품에서도 농약이 발생된다. 담배가 그것이다. 담배 흡연 시 약 4천여 종의 화학적 성분이 담배에서 생산되는데, 그 중에서 담배의 유효성분(?)인 니코틴은 농약역사에서도 가장 오래된 천연 살충제 중의 하나이다. 예전에는 담배꽂초를 모아 물에 풀어서 재래식 화장실 소독에 쓰곤 했다. 이 담배 연기를 마실 때 한 개비 당 2mg의 니코틴이 인체에 흡수된다. 마시지 않고 있을 때는 공기 중으로 연기와 함께 날라 가는 것이다. 이렇저럭 따져보면 어느 곁에 농약은 우리 생활의 일부가 되어 있고 우리는 농약과 함께 더불어 살고 있는 셈이다.

하지만 무서워할 필요도 없고 그렇다고 남용해서도 안 된다. 자동차를 운전할 때, 신호를 지키고 과속을 하지 않는 등 안전운전을 해야 사고 없이 자동차가 주는 혜택을 누릴 수 있듯이 농약도 올바르게 안전하게 사용해야 농약이 주는 혜택을 제대로 누릴 수 있는 것이다.

농약, 어디로 가나?

이와 같이 생활과 환경에 유입된 농약들은 원래의 화합물 형태로 존재하기도 하지만 토양, 물, 대기 중에서 분해·변환되는데 광화학적,

화학적, 생물학적 반응들이 수반되어 여러 가지 분해물로 변환된다. 이렇게 생성된 분해물과 분해되지 않은 농약은 물질순환의 원리에 의해 완전히 분해 소실될 때까지 전체 환경에 이동, 분포하게 되는데 최종적으로 잔류된 농약과 그 분해물의 독성과 잔류 농도에 따라 환경과 생물에 영향을 미치고 음용수 및 농축산물, 식품을 오염시킬 수도 있다.

몇 가지 중요한 이동 및 분포 경로, 태양광에 의한 기본적인 분해 현상을 살펴보자.

〈작물(잔디)에 살포된 농약〉은 작물(잔디)체에 부착되어 잎 표면에서 태양광에 의해 분해되고, 강우로 인해 토양으로 유실되거나, 대기로 증발한다. 또한 작물체내로 침투되어 체내에서 대사, 분해되고 식물체내 잔류 농약은 사료로 동물에게 흡수, 농작물/식품의 잔류농약으로 인간에게 섭취되며 짚이나 작물 줄기 등의 형태로 토양에 도달한다. 한 가지 예로서 살충제 이미다클로프리트(imidacloprid)가 토마토 잎 표면에서 태양광에 의해 분해되는데 있어 초기에 잎 표면에 존재하는 농도가 태양광에 의해 절반으로 분해되는 반감기는 약 0.7일이었고 이 때 독성학적으로 의미가 없는 몇 가지 분해물이 생성되는 것으로 보고 되었다(그림 1).

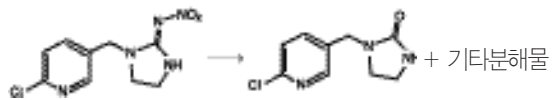


그림 1. 살포된 이미다클로프리트의 토마토 중 반감기

〈토양에 도달한 농약〉은 토양 표면에서 태양광에 의해 분해되고, 토양 내에서 미생물에 의해 분해, 대사된다. 또한 작물로 흡수되며, 토양생물에 흡수되어 생물농축도 가능하다. 강우에 의해 수계(지표수, 농업용수)로 유출되고, 지하수

자문위원칼럼 ㉗ 농약! 어디서 왔다가 어디로 가나?

로 용출될 뿐 아니라 대기로 증발된다. 비록 소량이지만 사람에게 섭취도 된다. 예를 들어 제초제 벤설푸론-메틸(bensulfuron-methyl)의 토양 표면에서 태양광에 의한 분해 연구에서 토양 표면에서 분해 반감기는 토양의 특성에 따라 달라서 23.1~33.8일이었으며, 몇 가지 분해물이 생성되었다(그림 2).

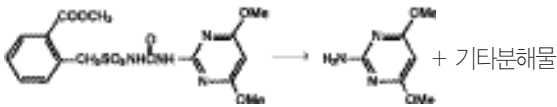


그림 2. 벤설푸론-메틸의 토양표면중 분해 반감기

그렇다면(수계의 농약)은 어떻게 될까? 물과 함께 대기로 증발되고 태양광에 의한 수중 광분해를 거치며, 수중의 미생물에 의해 대사 분해될 뿐 아니라 밑바닥의 침전토에 흡착된다. 수생생물에 생물농축이 될 수도 있고, 농업용수에 의해 작물체나 토양에 도달하고, 음용수로 사람에게 섭취될 수 있다. 농약의 수중 행적과 관련된 수중 농약의 광분해 현상을 제초제 아씨플루오르펜(Acifluorfen)을 물에 용해시킨 후 모의태양광장치(Suntest)를 이용하여 분해 실험을 수행하였는데, 140시간 후 75%가 분해되었고, 다양한 분해물들이 생성되었다(그림 3).

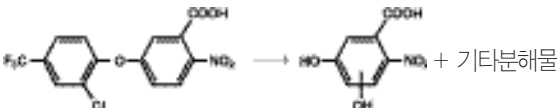


그림 3. 아씨플루오르펜의 분해 실험중 반감기

소독·방역·항공살포에 의한 <대기 중의 농약>은 태양광에 의해 광분해 될 뿐 아니라 강우에 의해 토양, 수계로 이동되며 호흡에 의해 가축과 사람에게 도달할 수 있다. 이와 관련되어 제초제 트리플루라린(trifluralin) 유제를 공중

에 살포한 후 대기 중 광분해현상을 연구하였는데, 반감기는 약 20분이었고 분해물도 발견되었다(그림 4).

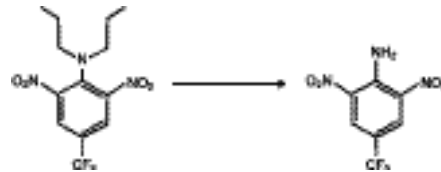


그림 4. 트리플루라린의 대기중 반감기

농약은 이렇게 다양한 이동과 분포과정을 겪으면서 계속적으로 분해·변환·소실되는데 이는 정기적으로 실시하는 농약의 환경 중 모니터링 프로그램의 조사 결과가 입증하고 있다. 또한 이상의 몇 가지 사례로서 모든 농약의 광분해 현상을 다 해명하고 설명할 수는 없지만 농약도 환경에서 일차적으로 태양광에 의해 분해소실되고 있다는 현상을 이해하기에는 충분할 것이다. 이와 더불어 환경 중에서 가장 중요한 분해 장소이며 모든 오염 물질의 종말 처리장이라고 할 수 있는 토양에서의 농약 분해는 「생활과 농약(3월호)」 중 '아그로 패트롤'을 참고하면 된다.

이와 같이 우리가 인지하거나 감지하지 못하는 범위에서 생활과 환경 속의 나그네 물질인 농약은 자연이 잘 처리해주고 있다. 그런 의미에서 자연계의 자가 정화능력에 찬사를 보내도 좋을 듯싶다. 따라서 자연계의 자가 정화 능력이 제대로 발휘되고 있는지, 나그네 농약이 제대로 사라졌는지, 어디에 가 있는지, 어떻게 변해 있는지, 그 행적과 잔류 농도에 대해 항상 주의를 기울이고 조사와 검증을 철저히 해서 환경 중 농약의 안전성을 확보하고, 환경과 생활 속에서 안전하고 효과적으로 사용하면서 농약의 혜택을 최대한으로 누릴 수 있도록 하는 노력과 연구가 지속되어야 한다.