

잔류농약의 문제점

II

실장 李 瑞 來
한국원자력연구소 환경화학연구소

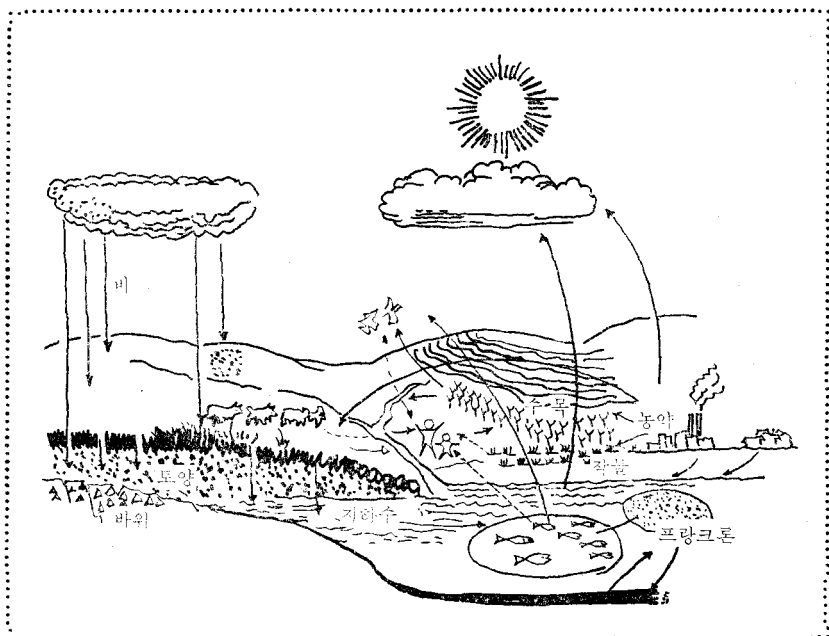
1. 생태계에서 농약의 순환

우리가 농작물 재배를 위하여 다량으로 사용하는 농약은 그의 일부가 식물체에 흡수되거나 표면에 잔류하여 최종적으로 인간이나 동물에 섭취된다. 따라서 식품중의 잔류농약 허용량을 설정하거나 안전사용기준을 정하여 잔류농약에 의한 직접적인 피해를 최소화하려고 가진 노력을 다 하고 있다.

그러나 여기에서 우리가 잊어서는 안될 것이 있다. 즉 사용한 농약의 대부분은 환경내에 잔류하여 확산되거나 생물체 내에서 농축 또는 대사되어 예측하기 어려운 생태계의 변화와 부작용이 발생하기 때문에 환경생태학적으로 잔류농약의 문제가 대두되고 있는 것이다.

특히 유기염소계 살충제와 같은 잔류성 농약은 자연환경하에서 매우 안정하여 그림 1과 같이 생태계를 순환하게 된다. 즉 농약을 사용할 때 바람에 의하여 대기중에 확산되고 증발에 의하여 대기중으로 들어간다. 대기중에 떠있는 농약은 빗물과 함께 다시 지표에 낙하되어 토양이나 수질을 오염시킨다. 토양에 잔류하는 농약은 농작물에 의하여 흡수되고 수중에 오염된 농약은 수중생물에 의하여 흡수된다. 자연생태

그림 1. 농약의 생태계내 순환



계에서 농약이 확산, 이행(移行)되는 과정에는 여러가지 물리화학적 변화와 아울러 생물학적 대사과정을 거쳐 농약성분에 화학적 변화를 초래하게 되고 이와 같이 변화된 농약은 독성이 아주 없어지는 경우도 있고 어떤 경우에는 오히려 독성이 더 커지는 경우도 생긴다.

그리하여 환경내에서 농약의 잔류 및 전환(轉換)에 관한 문제는 인체 독성의 관점에서는 포유동물에 대하여, 잔류독성의 관점에서는 작물, 토양에 대하여, 약효의 관점에서는

병해충 및 잡초에 대하여 그리고 자연보전의 입장에서는 생태계에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 따라서 자연환경내에서 농약의 잔류 및 전환과정에 대하여 한가지씩 설명해 가고자 한다.

2. 토양중의 잔류농약

우리가 농약을 공중살포하건 염면 살포하건 또는 토양에 직접 사용하건 그들의 대부분은 궁극적으로 토양에 이르게되므로 결국 토양은 잔

류성 농약의 저장고 역할을 하게 된다.

에컨대 이화명나방을 방제하기 위하여 2화기에 분제를 벼에 살포할 경우 벼에 부착하는 것은 약 30%이고 약 30%는 토양에 떨어지며 나머지는 날아가 옆에 있는 농작물이나 토양에 떨어진다고 한다. 또 알팔파와 같이 밀집되어 있는 작물의 경우라도 사용한 메톡시클로르(methoxychlor)의 43%가 궁극적으로 토양에 떨어졌다고 하며 DDT를 수목에 살포할 경우 (1.2kg/ha) 40%가 살포 직후 토양에서 검출되었다고 하는 보고가 있다.

이와 같은 보고들은 농약의 제제 형태나 농작물의 발육상태에 따라 농작물에 부착하는 비율이 매우 다르지만 살포한 농약의 상당량이 토양에 들어가고 있음이 틀림없음을 말해주고 있다. 더우기 토양살균제나 토양살충제와 같이 토양에 직접 사용하는 농약은 더 말할 나위도 없다. 또한 농작물에 잔류하는 농약일지라도 수확물에 잔류하는 것이외는 작물체의 부패에 따라 결국 토양중에 들어가게 된다. 대기중으로 날라간 농약도 일부는 빗물과 함께 지상에 떨어지게 된다. 이와 같이 여러가지 경로에 의하여 토양은 농약으로 오염되어 간다.

◇ 대부분의 농약은 토양중에서 분해되고 소실(消失)되어 간다.

만일 토양중의 농약이 언제까지나 최초의 상태로 그대로 존재한다면 농경지 토양은 농약을 매년 사용할에 따라 극도로 오염되어 머지않아 작물을 재배할 수 없는 지경에 도달할 것이다. 그러나 다행히도 대부분의 농약은 토양중에서 여러가지 경로에 의하여 분해되고 소실(消失), 되어 간다.

농약의 소실경로로서는 증발, 물에 의한 용탈(溶脫), 일광, 공기, 물, 점토광물, 토양미생물에 의한 분해 등을 들 수 있다. 그리고 토양중의 잔류기간은 온도, 토성, 수분함량, 점토광물의 종류와 함량, 유기물의 함량, 경작상황 등에 따라 달라진다. 많은 농약은 물에 잘 녹지 않으며 점토광물이나 토양유기물에 잘 흡착되므로 물에 의한 용탈은 비교적 적다. 따라서 토양중 농약의 대부분은 깊이 20cm까지의 표토에 존재하게 되며 농약으로 오염된 토지를 깊이 갈게 되면 오염을 감소시키는 결과를 가져오게 된다.

농약의 물리적인 소실경로로서는 증발이 중요하다. 사질토양에서는 식양토에 비하여 흡착력이 약하므로 증발에 의한 농약의 소실이 더 크다고 토양중의 수분은 점토의 흡착력

을 약화시켜 농약의 증발을 촉진시키며 농약에 따라서는 토양 수분의 증발에 따라 공증류(共蒸溜)에 의한 소실이 일어나는 경우도 있다.

토양중 농약의 소실경로서 특히 중요한 것은 토양미생물의 역할이다. 토양 중에는 대단히 많은 종류와 수의 미생물이 있는데 이들이 분비하는 효소에 의하여 농약이 분해된다. 예컨대 토양중의 잔류성이 매우 큰 것으로 알려진 DDT등의 유기염소제도 *Aerobacter*등의 미생물에 의하여 분해되며 헵타클로르(*heptachlor*)도 35종의 곰팡이와 26종의 세균 또는 방사선균에 의하여 분해된다는 것이 알려지고 있다. 따라서 유기물 함량이 많고 미생물의 번식이 왕성한 토양에서는 농약의 소실속도가 빨라진다.

미생물의 작용과 아울러 주목해야 할 일은 수분의 영향이다. 토양을 침수상태로 놓아두면 혐기적 상태가 되어 혐기성 미생물의 번식이 촉진되므로 이러한 미생물에 의하여 분해되는 농약이 쉽게 소실되어 버린다. 예컨대 BHC의 각 이성질체는 논과 같은 침투상태에서 50일만에 90%이상이 분해되는데 반하여 밭상태에서는 분해가 매우 느리다. PCP의 탈염소 반응이나 디페닐·에테르계 제초제에서 니트로기의 환원도

침수상태에서는 촉진되는 것으로 알려져 있다.

토양중 농약의 소실패턴을 보면 그림 2와 같이 지수함수적인 관계를 나타내는 바 잔류량의 대수(對數)와 경과기간의 관계가 직선으로 나타난다(A). 이때 그 직선의 구배로부터 반감기를 계산한다. 만일 변곡점을 가지는 두 직선으로 나타날 때는 (B) 변곡된 다음의 직선에서 구배를 계산한다. 이때 구배가 급한 초기부분은 증발, 비산(飛散), 흡착 등 주로 물리적 요인에 의한 것이고 구배가 느린 후기부분은 주로 미생물 등에 의한 분해에 기인하는 것으로 설명되고 있다.

토양중 농약의 분해속도에 관해서는 외국에서 많은 연구가 이루어졌다. 예컨대 미국에 있어서 몇가지 대표적인 토양에 살충제를 살포하고

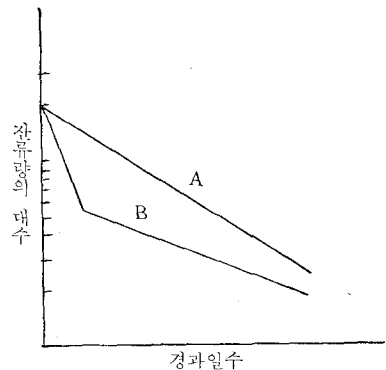
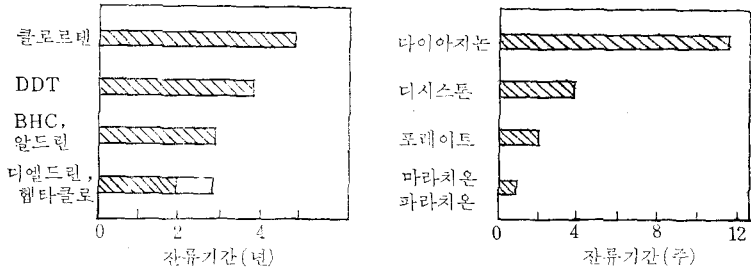


그림 2. 토양중 농약의 감소「패턴」

그림 3. 몇가지 살충제의 토양중 잔류기간



그의 75~100%가 없어지는데 요하는 시간을 조사한 Kererney등의 보고(1969)를 보면 그림 3과 같다. 이에 의하면 유기염소제는 잔류성이 높아 수년간 잔류하는데 반하여 유기인제는 수일만에 거의 분해되는 것을 볼 수 있다.

◇ 잔류성이 큰 농약을 사용해

무한정 증가하는것은 아니다.

유기염소제와 같이 잔류성이 큰 농약은 사용한지 1년이 지나도 그의 반 이상이 토양에 잔류하고 있으므로 이러한 농약을 매년 사용하게 되면 토양중의 잔류량이 매년 증가해 갈 것으로 생각되지만, 무한정 증가하는 것은 아니다. 왜냐하면 먼저 언급한 바와 같이 토양중의 농약은 지수함수적으로 감소하기 때문에 매년 연속적인 사용에 의하여 토양중 잔류량은 몇년후에 평형상태에 도달하게 된다. 예컨대 잔류량이 1년만에 반으로 감소하는, 즉 반감기가 1년인 농약을 매년 4회씩 사용하면

그림 4에서와 같이 초년도 사용직후의 2배가 되는 농도에서 평형에 도달하게 되는 것이다.

토양중 잔류농약에(반감기 1년인 농약을 년 1회씩 사용시)의한 영향으로서 가장 직접적인 것은 흡수에 의한 농작물의 오염이라 할 수 있다 농작물에 의한 잔류농약의 흡수는 농작물의 종류, 토성, 토양수분 등에 따라 달라진다. 식양토에 비하여 사질양토는 농약을 흡착하는 힘이 약하므로 사질토양에서는 농작물에 의한 농약의 흡수가 잘 일어난다. 토양중에 유기물이 많으면 흡착이

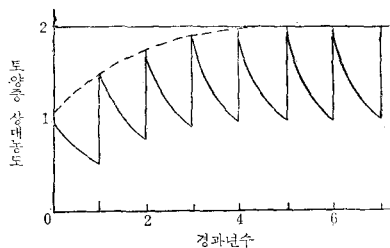


그림 4. 토양중 농약의 누적적 잔류현상 (반감기 1년인 농약을 년 1회씩 사용시)

잘 되어 농작물에 의한 농약의 흡수가 적어진다. 토양중의 수분은 토양 입자의 흡착력을 약화시켜 농작물에 의한 농약성분의 흡수를 크게 한다. 또 농작물의 종류나 수확물의 부위에 따라 오염정도가 매우 달라진다. 일반적으로 농약은 토양에서 뿌리로부터 흡수되어 줄기, 잎을 거쳐 과실, 종자에 이행하게 되므로 오염은 뿌리 > 줄기 · 잎 > 과실 · 종자의 순으로 커진다. 따라서 근채류나 감자류는 토양중의 농약에 의하여 오염되기 쉽다. 기름에 잘 녹는 유기염소제는 지방질이 많은 콩이나 땅콩에서 오염되기 쉽다.

농작물이 토양중의 농약에 의하여 오염되는 경로로서는 흡수 이외에 빗물에 의하여 흙이 작물에 튀는 경우라던지 토양에서 증발한 농약이 작물의 표면에서 응집되는 경우를 생각할 수 있다.

최근 우리나라에서는 토양잔류성 농약을 “토양중 반감기간이 1년 이상 되는 농약으로서 권장된 사용방법에 따라 사용한 결과 농경지 토양에 그 성분이 잔류되어 다음 작물에 잔류되는 농약”으로 규정하고 있으며 이에 해당되는 농약 품목을 규제하기로 하였다.

3. 대기중의 잔류농약

농약은 여러가지 다른 경로에 의하여 대기중으로 들어간다. 특히 중요한 것은 농약의 살포조작중 드리프트(drift; 漂流飛散)에 의한 것과 토양이나 물로부터 휘발(volatilization)에 의한 것이다. 이때 “드리프트”는 살포장소에서 몇km에 그치는 것이 대부분이지만 대규모로 살포할 때는 광범위하여 넓은 면적의 모든 대기가 오염되는 경우도 있다. 대기중 잔류농약은 주로 “드리프트”에 의하는 것으로 생각되고 있다.

현재 사용되는 분무기는 어느 것이나 균일한 크기의 물방울이 아니라 여러가지 크기의 물방울을 생성시키기 때문에 미세한 물방울은 결국 대기중으로 들어가게 된다. 그리하여 직경이 10~50 μ m범위의 물방울은 땅에 떨어지고 5 μ m이하의 물방울은 몇km씩 표류비산하게 된다. 농약이 분제인 경우는 살포중 미세한 입자가 대기중으로 날라간다. 만일 농약제제가 수화제이거나 유제인 경우에는 용매가 곧 증발되어 고형물은 가루의 상태로 남게 되어 그 일부가 대기로 날라 들어간다.

농약을 살포한 후 작물, 토양이나 물에 떨어진 약품은 비록 그들의 증기압이 낮다고 하여도 표면적이 넓기때문에 상당량이 증발되어 대기중 잔류농약의 원인이 된다. 지상에 낙

하된 농약은 시간이 경과됨에 따라 물체에 흡착되기 때문에 증발현상은 주로 낙하직후에 일어난다고 한다. 예컨대 평균적인 작물의 잎 표면에서 DDT는 1정보당 1.12kg나 되는 양이 46일간에 증발에 의해서 소실된다는 계산이 있다. 이러한 휘발현상은 고온과 바람에 의하여 촉진된다고 하며 실제로 일어나는 현상과 비슷하다고 한다. 또한 유기염소계 살충제가 토양에서 휘발되는데 DDT의 경우는 토양에 사용한 양의 1/2이 휘발에 의하여 소실된다는 보고도 있다.

마지막으로 대기중 잔류농약의 원인은 벧질과 같이 농약으로 오염된 유기 폐기물을 태울 때 발생하는 것인데 그 양은 많지 않을 것으로 간주된다.

대기, 먼지나 빗물 중에 존재하는 극소량의 농약성분을 검출하는 일은 매우 예민한 분석기기와 고도의 분석기술을 필요로 한다. 대기중의 잔류농약이 확인된 것은 1964년 미국 캘리포니아주에 있는 여러 도시의 공기에서, 그리고 1965년 영국에서 빗물중 유기염소계가 소량검출된다는 보고가 발표된 후 부터이다. 이와 같은 보고는 상당량의 잔류농약이 대기중에 존재하여 사람에게 피해를 주지 않을까 하는 우려를 낳게

하였고 이에 따라 여러나라에서 많은 조사 연구가 뒤따르게 된 것이다

여러 보고에 의하면 유기염소계는 대기중에서 방사성 핵종인 Sr-90, Cs-137과 같이 기류(氣流)에 의하여(해류도 포함) 매우 장거리를 이동한다는 것이 알려졌다. 예컨대 남극의 눈이나 야생동물에서 또는 중앙 아프리카의 야생동물에서 유기염소계 살충제가 검출되었음은 이를 잘 뒷받침 해주고 있다. 지구 전체의 잔류농약에 의한 오염현황은 현재로서는 조사자료가 충분치 않아 결론을 내릴 수 없는 형편이다. 다만 소량의 농약이 전세계적으로 이동하고는 있으나 농약의 심각한 오염은 국지적(局地的)으로 일어나고 있음을 알고 있다.

대기중의 잔류농약은 현재로서 사람이 숨쉬는 데에는 아직 해롭지는 않은 것으로 판단된다. 예컨대 미국에서 사람이 공기에서 흡입하게 되는 유기염소계 살충제의 양은 음식에서 섭취하게 되는 양보다도 훨씬 적다는 Barney의 보고(1969)가 나와 있다. 또 영국에서의 한 보고에 의하면(1970) 공기로부터의 유기염소계 흡입량은 식품으로부터의 흡입량의 2~5%에 불과하다고 한다.