

농약은 어떻게 만들어지고 어떻게 없어지나?

농약의 운명

—탄생에서 소멸까지—

Ⓛ

전 재 철

전북대학교 농과대학 교수

원래 운명(運命)이란 말은 ① 사람에게 닥쳐오는 모든 화복과 길흉 ② 사람의 행동을 지배한다고 하는 큰 힘 ③ 숙명론적 관념에서 하늘에서 타고 난, 이미 정하여진 목숨이나 처지 등으로 사람을 두고 쓴다.

필자는 이 글의 제목을 <농약의 운명>이라고 달았다. 농약은 생물이 아니다. 사람은 더욱 아니다. 그럼에도 굳이 ‘운명’이라고 했다.

농약은 어떻게 만들어지고 없어지는가? 필자는 『농약은 원재가 합성되고(탄생) 이것이 제제화·상품화되어(성장) 방제현장에 살포되고(외출) 여러가지 경로를 거쳐 분해되고 없어지는(소멸) 일련의 과정을 거친다』고 했다. 이 과정을 의인화하면 농약의 일생(whole life)이 된다.

사람의 운명은 저마다 다르다. 농약도 마찬가지다. 농약 역시 원재의 성분이 서로 다르고 제품화되는 형태도 제각기 다르다. 적용작물과 병해충, 살포시기와 장소도 각기 다르다. 더욱이 분해·소멸에 영향을 미치는 조건들도 같지 않다. 필자가 <농약의 운명>이라고 표제한 것도 이런 연유였다고 생각한다.

이번 호부터 두번에 나누어 실는다. 上에서는 탄생·성장·외출을, 下에서는 소멸 즉, 식물체나 토양 속에서 농약이 어떻게 없어지는지를 자세히 알아본다. <편집자주>

작물은 전 재배 기간 동안 수시로 병, 충, 잡초 및 기타 농작물 생산 과정에 해를 끼치는 많은 유기체들에 노출되어 공격받고 있다. 전세계 농업에 있어서 작물 생산량의 대략 1/3은 이와 같은 농업유해원(Agricultural pests)에 의하여 손실되고 있다. 만약 이들에 대한 방제 조치가 이루어지지 않을 경우 그 손실 정도는 배가(倍加)될 것으로 추정하고 있다. 그럼에도 불구하고 작물 스스로의 농업유해원에 대한 대항은 거의 기대할 수 없는 상태이다. 다른 한편으로 우리의 농업생산성은 가장 가능한 최대 수준까지 올리지 않으면 안 되기 때문에 “작물보호”의 폭은 그만큼 넓어지는 필수적인 요건이 되어 있다. 이러한 작물보호는 물리적인 방법만을 적용시키기에는 제한도 많고 효율도 높지 않다.

때문에 화학적 방제수단의 도입이 필수적이며 여기에 이용되고 있는 것이 농약이다.

하나의 농약이 만들어지기 까지는 무수히 많은 실험단계와 시행착오를 거친다. 이렇게 해서 탄생된 농약이 상품화되어 농민의 손에 들어가 처리된 후로도 또한 여러 단계와 경로를 거쳐 농약 본래의 역할을 다하고 그 일생을 마치게 된다.

1. 탄생(합성)의 배경

농약의 운명의 첫 단계는 탄생 즉, 새로운 화합물의 합성으로부터 시작된다. 농약은 화학적으로 크게 두 부류로 구분할 수 있다. 화학구조상 탄소원소를 포함하는 유기농약과 탄소를 포함하지 않는 무기원소들만으로 이루어져 있는

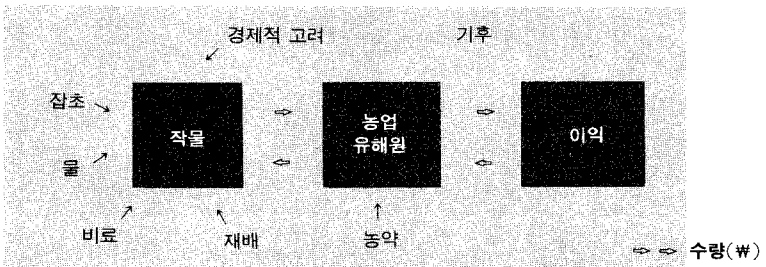
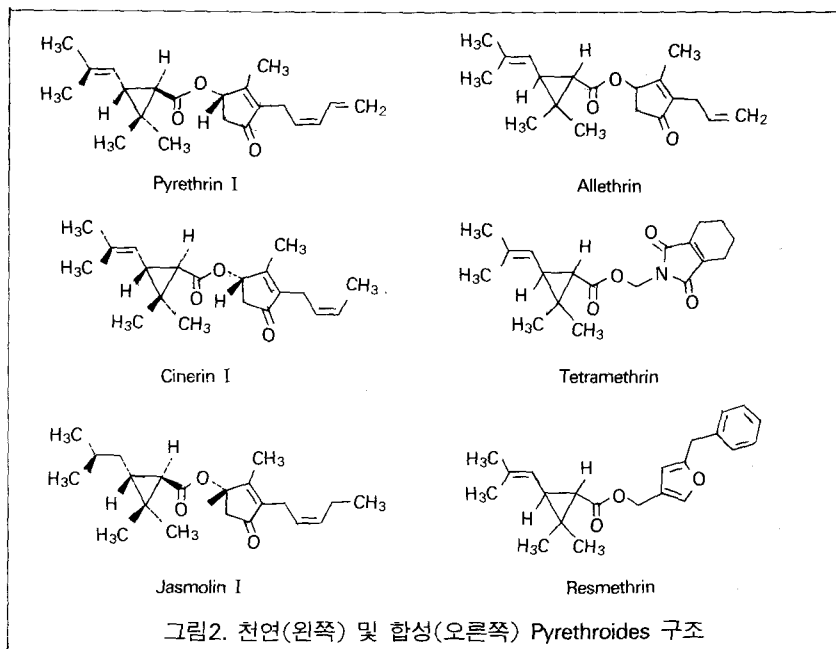


그림1. 농민입장에서 본 농업생태계의 모형



무기농약이 그것이다. 최근의 거의 대부분의 농약들은 전자의 것으로, 후자는 거의 사용되지 않거나 제한적으로만 쓰이고 있는데 이는 다량의 처리량, 선택성의 결여 등이 그 이유이다.

천연물에서 찾아내는 신농약

신농약을 탄생시키는 방법으로 크게 세가지 방향에서 접근한다. 첫째로 천연물 중에서 농약의 특성을 갖는 화합물을 찾아 그 물질 자체를 이용하거나 또는 그 물

질을 기본물질로하여 유사물질을 합성하는 방법이 있다. 동식물을 비롯한 유기체들은 체내에서 수많은 독성 물질들을 합성해낸다. 대략 2000여종의 식물종이 살충효과를 갖는 독성 물질을 함유하고 있는 것으로 알려져 있지만 실용화되어 있는 것은 극소수 정도이다. 이들 천연물을 이용하는 농약은 순수 유기합성 농약에 비하여 경제적으로 보아 생산비가 비싸고 또 생물학적인 면에서 안정성이 떨어지기 때문에 실제로 경쟁이 되지

못하고 있는 실정이다. 그럼에도 불구하고 작물 보호 및 기타 유해 유기체의 방제 측면을 고려할 때, 천연물로부터 화학적 변형이라는 방법으로 부터 바람직한 새로운 유기합성 농약을 탄생시킬 수 있는 길을 열어 줄 수 있다는 점에서 많은 관심의 대상이 되고 있다. 그 대표적인 예로서 살충효과를 가진 천연물로 잘 알려진 pyrethrin과 이의 화학구조를 기본으로 하여 변형시킨 유사한 구조의 유기합성 살충제들이 상품화되어 이용되고 있다.

체내대사에 영향을 미치는 것

둘째로 생체내의 대사 과정에 영향을 미치는 것과 관련시켜 만 들어지는 농약이 있다. 즉 살충제의 경우에는 곤충 체내의 여러 대사 과정을 교란시키는 유효한 화학물질들을 찾는 것이다. 살충제가 곤충 체내에서 독작용을 나타내는 살충작용점으로는 신경 전달 체계에 관여하는 acetylcholinesterase의 작용(신경 전달물질인 acetylcholine의 가수분해), 에너지대사, 표피 구성분 chitin의 합성, 흡몬 기능 등의 교란이나 저해 등을 들 수 있다. 살균제에 있어서는 병원

균의 호흡대사, 균체 성분의 생합성, 증식 과정 등을 저해하는 효과가 있는 화학물을 만들어 내며, 제초제에 있어서는 잡초의 생장 중에 일어나는 다양한 과정을 저해하는 물질을 찾게 된다. 일반적으로 제초제가 관여하는 제초 작용점은 생장과 관련된 세포분열과 신장, 물질의 생합성, 광합성이나 호흡과 같은 생화학적 반응 등을 억제하는 것이다. 물론 잡초 또한 작물과 똑같은 고등식물로서 잡초나 작물에서 일어나는 생장 대사는 근본적으로는 마찬가지로이지만 이들 둘 사이에 있을 수 있는 미묘한 차이를 이용하여야 하는 점을 고려한다면 살충제나 살균제를 개발해내는 것보다는 어려움이 많다고 할 수 있다.

기존농약 유사화합물 합성

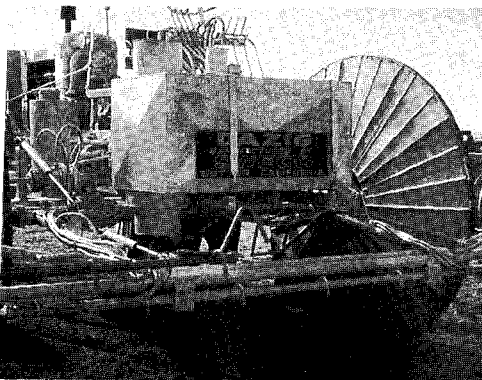
셋째로는 기존 농약과 유사한 화합물을 만드는 방법 등이다. 약효가 인정되는 약제가 한번 개발된 후에는 이러한 약제의 골격에 여러가지 원자나 원자단을 치환시킴으로써 새로운 농약을 합성해낸다. 예를 들면 유기제초제의 효시라 할 수 있는 2,4-D가 합성된 후 phenoxy 골격을 갖는 제초제로서

MCPA, silvex, 2,4,5-T, 2,4-DB 등 50여종이 개발된 것을 들 수 있다.

2. 성장(제형)

여러 경로로 탄생된 기본 화합물들을 우리는 농약 원제라 부른다. 그리고 이들에게 적당한 옷을 입혀서 이용한다. 화학구조의 뼈대만을 가진 원제(有效成分)는 그 일생을 시작하기 위하여 제제(製劑)라는 여러 형태의 옷으로 치장된다. 제제의 원래 목적은 적은 양의 유효성분이 넓은 면적에 고루 살포되도록 하기 위함이다. 이러한 살포의 목적 달성을 위하여 여러가지 보조제로 희석하여 살포되는 양이 많아지도록 제제화 한다.

제조제 살포차량(미국)

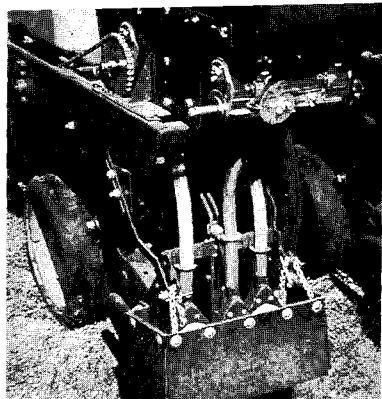


원제가 입는 '제제'라는 옷

어느 제제 형태를 취할것인가는 유효성분의 물리 화학적 성질 특히 용해도에 따르게 된다. 유효성분이 물 혹은 기름에 용해되는 정도는 그 화합물의 화학적 구조에 따라 결정된다. 이것은 화합물의 극성 및 해리도(pKa)에 영향을 미친다. 일반적으로 극성화합물은 수용성이며 비극성 화합물은 지용성이다. 이러한 용해도는 유효성분의 흡수 경로 결정에도 이용된다. 예를 들어 유효성분이 비극성인 경우에는 표피가 대부분 비극성 물질로 이루어진 식물체의 경엽에 처리되어 흡수가 용이하도록 경엽 처리제로 만든다. 반대로 극성인 경우에는 극성 표면으로 이루어진 뿌리에 처리되어 근부 흡수가 용이하도록 토양처리제로서의 제제가 보다 효과적이다.

어떤 옷이 어떻게 입혀지나?

농약의 유효성분들은 여러 가지 물리적 형태 즉, 액상(液相: 유제, 수용제 등), 고상(固相: 입제, 분제, 수화제 등), 기상(氣相: 훈증제 등) 등으로 제제된다. 이들 제형의 결정은 유효성분의



제조제 살포기구(미국), 비산방지를 위해 카바를 씌웠다.

물리 화학적 성질뿐 아니라 방제 대상물 및 유효성분의 작용성 등도 고려되어 결정된다. 이들 제형에는 제품으로서의 취급 또는 효과의 극대화를 위하여 여러 종류의 보조제가 첨가된다. 유효성분의 활성화에 도움이 되는 보조제로서는 계면활성제, 침투제, 습윤제 등이, 살포 효과의 증대를 위하여 전착제, 피막형성제, 거품제 등이 첨가된다. 또한 유화제, 분산제, 안정제, 보조용제, 거품발생 방지제 등은 이용성의 변형을 목적으로 첨가된다. 이렇게 성장한 제품은 병이나 봉지에 담겨 쓰여질 곳으로 옮겨지게 된다.

일반적으로 제조제는 입제와 액제로 제제되며 분말상의 제제는 거의 없는 편이다. 하지만 살충제나 살균제에서는 분말상의 제제도 많이 이용된다. 그러나 이러한 제

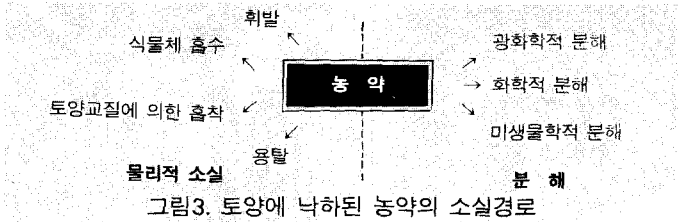
제 형태에 따라서 유효성분 지속성에 차이가 있다. Edwards(1972)에 따르면 살충제의 경우 상대적 유효성분 지속성은 입제, 유제, 혼합액제, 수화제의 순으로 감소되는 경향이며, 제조제의 경우에도 입제는 다른 액상의 제형보다 지속성이 더 길다고 하였다.

3. 외출(운송~처리)

제품화되어 일정 용기에 담겨진 상품으로서의 농약은 그 순간부터 유효성분의 감소가 시작된다. 종이 봉지나 병에 담겨진 농약의 성분 감소는 주로 화학적 변화에 의하는데 열(온도)에 의한 분해가 가장 크게 영향을 미친다. 그 밖에 직사광선에 노출된 병 속의 약제가 광분해를 받을 수도 있다. 따라서 운송 과정 및 사용하기 전 보관 중의 조건에 따라 분해에 미치는 영향이 달라 사용 유효기간에도 차이가 나게 된다.

표적을 벗어나는 농약의 비산

농약의 유효성분은 분해에 따라 감소가 일어날 뿐만 아니라 처리 현장에서의 물리적 소실 또한 무시할 수 없다. 방제 대상물에 다



다르기 전에 목표물에서 벗어나는 경우에는 대표적으로 비산(Drift)을 들 수 있다. 어느 경우든지 이러한 비산은 최소화시켜야 한다. 비산은 일반적으로 세가지 경우로 일어난다. 살포 비산(Spray drift)은 바람이나 대류(對流)에 의하여 아주 적은 방울들이 대상물을 벗어난 곳에 도달하게 된다. 증기 비산(Vapor drift)은 살포 도중이나 또는 살포 후에 휘발성 농약에서 휘발된 성분이 목표 지역을 벗어난 곳에 도달되는 경우로 주로 ester 제형에서 많이 나타난다. 또 다른 하나는 송풍(Blow)에 의한 경우로 비교적 강한 바람에 의하여 고체 입자들이 본래 처리된 지역으로부터 벗어난 곳에 낙하하게 된다. 비산은 처리 농약의 소실로 약효의 저하를 가져오는 것 이외에도 인근의 타 작물, 특히 처리된 농약에 감수성을 나타내는 작물에 대하여는 약해의 발생을 야기시킨다는 점에서도 중요시되고 있다.

처한 상태따라 운명 달라진다

비산으로 소실되지 않은 농약은 대상물에 접촉되거나 토양에 떨어지게 된다. 이렇게 각기 처한 상태에 따라 소실에 이르는 운명이 다르다. 식물체의 표면에 접촉된 농약은 흡수 과정을 통하여 식물체내에 들어선 뒤 새로운 운명을 맞는다. 식물체내로의 흡수는 경엽과 뿌리가 주된 부위로 앞에서 언급한 유효성분의 화학적 성질 및 보조제의 작용성에 따라 흡수 정도가 결정된다. 한편 토양에 낙하된 농약은 일반적으로 크게 두가지의 경로로 소실의 운명을 맞게 된다. 즉 물리적인 소실과 분해에 의한 것이다. 전자에서는 휘산, 토양 교질 등에 의한 흡착, 용탈 및 식물체에 의한 흡수 등을 들 수 있다. 후자의 경우에는 광화학적 및 화학적 분해와 미생물에 의한 분해를 들 수 있다.

(다음호에 계속)