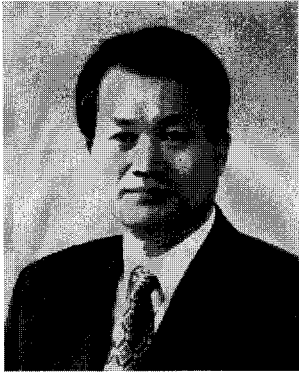


미생물 · 천연농약시대 앞당긴다 저독성 무공해 신농약 개발이 세계적 추세



이 영 배
다우엘랑코 인터내셔널

경기 김포에서 태어나 서울대 농대를 졸업하고 런던대학을 거쳐 건국대에서 농학박사학위 취득. 농촌진흥청 농업기술연구소, American Cyanamid, Elanco Product를 거쳐 현재 DowElanco International 근무.

1962년 Rachel Carson은 그녀의 저서 「침묵의 봄」(Silent Spring)에서 미래의 우리마을이 생명력있는 생물이라고는 풀 한포기, 나무 한그루에서 새와 벌나비에 이르기까지 하나도 보이지 않는 황폐한 곳으로 변할 것이라고 경고하고 나섰는데 그 주범은 농약이라고 주장했다. 그 후 10년도 안된 1970년 Frank Graham, Jr는 「침묵의 봄, 그 이후」(Since Silent Spring)라는 저서에서 Carson이 「침묵의 봄」에서 예언한대로 우리마을이 점차 황폐한 마을로 변해가는 증거들을 하나씩 열거하면서 “우리는 무엇을 하고 있는가?”라는 질문을 던지고 있다.

이 외에도 환경보호론자들은 그 후 수없이 농약의 폐해에 대한 주장을 해왔으나 1981년 Keith Baron은 「농약은 정말 필요한가?」(Are Pesticides Really Necessary?)라는 저서에서 농업생산성의 제고를 위하여 “그래도 농약은 불가결의 필수자재임”을 주창하였다.

50억이 넘는 세계인구의 15% 가까운 숫자의 사람들이 굶주리거나 영양실조에 허덕이고 있는 현실에서 과연 농약이란 무엇이며, 어떤 의미를 갖고 있는 것인가에 관해서는 덧붙여 설명할 필요를 느끼지 않는다. 하지만 “먹을 것이 없는 자의 걱정거리는 오직 한가지 뿐이며, 먹을 것이 풍부한 사람들에게는 걱정거리가 한없이 많아진다”는 말을 깊이 생각하게 한다.

‘인간과 환경에 대한 안전’ 과 ‘식

량의 증산’이라는 이율배반의 상황에서 과연 우리는 농약의 개발을 위하여 어떻게 하고 있으며 또 어떻게 해야할 것인가? 짧은 지식에 비하여 너무 과중한 제목이지만 참고되기를 바라는 뜻에서 글을 시작한다.

농약 개발의 역사

실제로 농약이 ‘개발’ 되었다고 할 수 있는 시기는 19세기말에 유기농약의 합성이 본격적으로 시작된 때부터라고 볼 수 있다. 그 이전에는 유황, 비소, 황산동, 석회보르도액 등 천연광물질의 이용이라든지 Nicotin 제, 제충국제, Rotenone제 등 주로 천연식물이 농약으로 사용되었을 뿐이었다.

제 2차 세계대전중인 1940년대에 유기합성농약이 개발되면서 제충국제를 비롯한 이들 천연물로부터의 농약 개발과 그 사용이 둔화되었다. 그 이유 중에는 이들 천연물의 양적 확보가 어려웠기 때문이기도 했다.

19세기말에 개발된 BHC와 DDT가 농약으로 사용되었던 것은 1940년대 중반에 들어서부터였다. 이 시기에 유기인계 및 카바메이트계의 농약들이 개발되어 농업생산성을 제고하는데 일익을 담당하게 되었다. 유기수은제도 1910년대에 개발된 살균제로서 오랜 기간동안 병해방제에 크게 공헌하였다. 20세기 중엽까지 유기인계, 유기염소계, 카바메이트계, 유기수은계, 유기유황계 농약 및 항생물질등의 농약이 개발되었다. 1950년대 이후 1970년대

에 이르기까지 유기합성물질의 발달과 병·충·잡초 방제기술의 체계가 확립되어감에 따라 수많은 유기합성 농약이 개발 보급되게 되었다. 그러나 이때까지만 해도 농약의 개발에 있어서 안전성이라든가 농약사용에 의한 환경반응에 대해서 심각하게 생각하지 않은 것이 사실이었다. 그러나 Carson이나 Graham을 포함한 수많은 환경보호론자들의 문제 제기와 그 필요성의 인정으로 해서 1970년대 이후의 농약개발에는 급·만성 독성 뿐만 아니라 환경 독성이 심각하게 고려되는 결과를 낳게 되었다.

농약 개발의 분야

농민들에게 필요한 농약이란 주성분(Active ingredient)뿐 아니라 농약 제조에 사용되는 보조 성분(Adjuvant)도 포함된다. 또한 제형의 개발에 의하여 사용자의 편의를 도모하는 것도 무시되어서는 안 될 농약개발의 한 분야로 간주되게 되었다.

주성분의 합성 : 주성분은 농약의 활성에 관건이 되는 물질이다. 즉, 주성분은 기본적으로 그 농약의 물리·화학적인 성질과 생물학적인

반응에 의하여 농작물 생산에 피해를 주는 병·충·잡초를 방제할 뿐만 아니라 사람과 가축을 비롯한 동물 및 환경에 직접적인 영향을 주는 물질이다.

고도로 발달한 전자산업의 총아라고 할 수 있는 컴퓨터의 이용으로 날로 발전되어가는 농약합성의 기술은 하루가 다르게 변화되고 있다. 이제는 농약의 개발도 실험실에서 물질들을 혼합 반응시키기 전에 컴퓨터에 의한 디자인(Design)으로 합성될 농약 주성분의 활성과 특성들을 미리 추정해 본 다음 실험실에서 실제로 합성해가는 시간 절약적이면서도 효율적인 방법을 이용하고 있다.

보조제의 개발 : 농약의 보조제는 주성분 이외의 화합물질로서 농약의 주성분이 농약으로서의 역할을 발휘할 수 있도록 하기 위하여 첨가되는 성분이다. 주성분에 적절히 잘 부합되는 보조제를 찾아내는 일도 농약개발의 한 분야로서 매우 중요한 위치를 차지한다고 볼 수 있다.

이들 보조제 중에서 예를 들어, 일반적으로 용제의 휘발성은 낮을수록 좋지만 휘발성이 높은 용제는 압축하여 분무제(Aerosol)를 생산

농약에는 주성분뿐 아니라 보조성분도 포함된다. 제형개발로 사용자의 편의를 도모하는 것도 농약개발의 한 분야가 되고 있다.

연대별 주요 농약 개발 및 사용

19세기 이전	유황증기, 비소, 승홍, 황산동, 담배, 제충국 등 천연물
19세기	석회유황합제, 석회보르도액, 비산연, 니코틴제, 로테논제, CS ₂ , Formalin 등
20세기 전반	동수화제 비산석회, 비산망간 등 무기농약 BHC 및 린덴, DDT, 파라치온 등 유기인계 농약, Carbaryl 등 카바메이트계 농약, 지넵, 마넵 등의 유기유황계 농약, 우스푸룬 등 유기 수은계 농약, Antimycin A 등 항생제
1950-1970	침투성 살균, 살충, 제초제의 개발사용으로 농약개발의 전성시기
1970 이후	합성제충국제 (Synthetic Pyrethroids)의 사용 확산 인축 및 환경에 저독성인 농약의 개발, 사용

보조제의 종류와 농약에서의 역할

보 조 제	역 할
용제	주성분의 용해, 주성분의 안정성 제고, 작물에 대한 안전성, 주성분의 효과증진, 휘발성의 조절
계면활성제	유화성 제고, 분산성 증진, 전착효과 발현, 가용성 촉진, 살균·살충·살초작용의 증가
증량제	주성분의 희석 또는 흡착
안정제	주성분 약효의 증진, 주성분에 의한 약해의 감소

하는데 좋은 성질이기도 하다. 일부의 계면활성제는 그 자체가 농약의 역할을 하기도 한다. 또 최근의 경향으로서 주성분에 의해 발생하는 약해를 감소시킨다든지 약효를 증진시키는 Dymron과 같은 안정제들이 개발되어 있어 보조제의 연구 개발도 주성분의 합성과 함께 중요한 연구분야로 대두되게 되었다.

제형의 개발 : 농약사용의 편의성과 농약효과의 증진을 위한 노력은 제형개발의 측면에서도 이루어지고 있다. 살포제로서 일반적이던 유제, 액제, 수화제에서 액상수화제, 입상수화제 등이 개발됨으로써 극히 적은 농약의 주성분이 효과를 발휘하는데 더 효과적이게 되었다. 저(低)비산성 분제의 개발로 분제의 결점 중의 하나가 개선되었고 미립제, ME제 등의 개발로 농약을 효과적이고 안전하게 사용하는데도 많은 발전을 보게 된 것이다. 또 서방형(Slow Release) 입제의 개발은 증량제, 용제, 계면활성제 등의 복합 연구·개발에 의한 결과인데 앞으로 이들 제형개발에 의한 농약의 질적향상에 관한 연구가 많이 이루어 지리라 예측된다.

신농약 개발에서 고려되는 조건들 : 농약을 개발함에 있어서 다음의 사

항들이 고려되어야 한다. 또 실제로 이들 조건은 개발의 각 단계를 거치면서 모두 검토되기 때문에 농약의 개발은 점차 그 소요기간이 길어지게 마련이다.

① 방제대상 생물에 대한 효과가 뚜렷할 것. ② 사람은 물론 가축과 어패류에 안전할 것. ③ 천적 및 방제대상 이외의 생물에 영향이 없거나 적을 것. ④ 잔류성이 적고 먹이사슬을 포함한 환경내 축적이 안되거나 적을 것. ⑤ 쉽게 환경내에서 무해한 성분으로 분해될 것. ⑥ 저항성 유발이 안되거나 늦을 것. ⑦ 소량 사용으로도 약효가 높아 경제 적일 것.

농약 개발의 현황과 전망

전세계 264억 달러의 농약시장을 대상으로 한 치열한 경쟁에서 농약 회사들이 살아남을 수 있는 방법은 오로지 신농약의 개발에 달려있다고 볼 수 있다. 이를 위하여 각사들은 연구개발에 많은 투자를 하지 않을 수 없다. 또 이들 세계적인 농약 회사들이라 할지라도 자사에서 개발한 제품만을 판매하는 것이 아니다. 많게는 90%에서 적게는 10% 가까이 다른 회사가 개발한 제품들을 취급하기 때문에 경우에 따라

극히 적은 주성분으로도 효과를 발휘하는데 더 효과적일 수 있도록 제형개발에 의한 농약의 질적향상에도 많은 연구가 이루어지고 있다.

서는 서로 경쟁사들과 공동으로 제품개발에 나서지 않을 수 없는 실정인 것이다.

다국적 농약회사들의 대형화로 인하여 농약시장은 소수의 농약회사에 의하여 독과점 되어가는 추세이며 농약의 연구개발에 투입되는 자금 역시 대형화되고 있다. 따라서 농약의 신규물질 창출의 속도는 가속화되리라 생각되지만 여기에도 많은 제약들이 있기 때문에 이 제약조건들을 충족시키기 위해서는 개발 신농약의 품목당 투자액은 늘어갈 수 밖에 없을 것이다.

전술한 바와 같이 1970년대에 들어서서 고도로 발달되어가는 합성 기술에 의해서 많은 신물질들이 창출되었지만 이 시기에는 또 환경론자들과 생태학자들의 거센 발언에 부딪쳐 상업화에는 실패하는 경우가 적지 않은 실정이었다.

농약성분 합성의 추세 : 농약개발에 있어서 이러한 외적인 제한 요인들은 인축에 대한 급만성 독성 및 피해 뿐만 아니라 모든 환경요인에 대한 반응도 검토해야 한다. 때문에 인축에는 저독성이면서 환경은 오염시키지 않으며 방제 대상

병·충·잡초에 대해서는 집중적으로 약효를 나타내도록 하기 위하여 사용량은 낮아지는 추세로 개발이 진행되고 있다. 지난 30년 동안에는 제초제의 개발이 매우 활발하여 이들의 시장 점유율이 괄목할 만한 신장을 보였다. 세계농약시장의 여건으로 보아 앞으로도 당분간은 이런 추세가 지속될 것으로 내다보는 견해가 지배적이다.

각국마다 농약의 등록 및 사용을 위한 법적 규제 이외에도 Green Peace를 비롯한 민간인들이 주도하는 환경단체들의 운동이 활발해지면서 특히 이러한 추세는 계속되고 있다. 농약회사들이 자체적으로 안전성 평가기준을 설정하여 농약의 주성분 뿐만 아니라 보조성분이나 불순물에 대하여 자의적으로 검토하는 것은 당연한 방향이라고 생각한다.

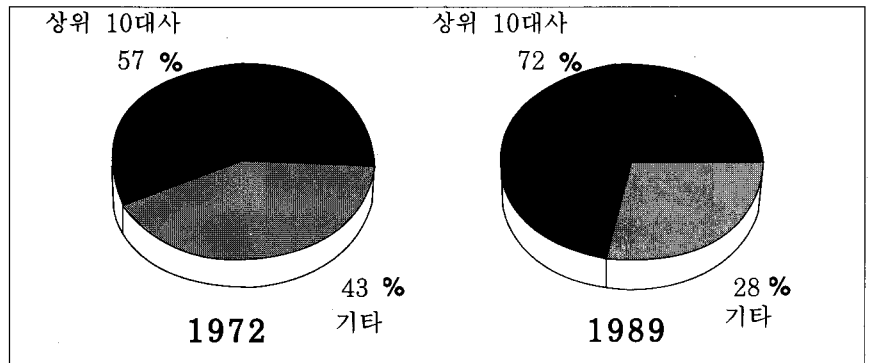
천연식물로부터의 농약개발 : 제충국등의 천연식물자원을 농약으로 사용했던 경험은 화학적으로 합성해서 사용해 온 농약의 단점들을 알고 있는 인류에겐 값진 것이었다. 이러한 천연식물 농약의 장점들을 살리면서 그 단점인 대량생산

다국적 농약회사들의 대형화로 소수의 농약회사가 시장을 독과점하는 추세이며 연구개발비 역시 대형화되고 있다.

세계 상위 10대 농약회사의 1991년도 판매실적 및 개발비 투자 현황
(농약 비즈니스, 1993)

	판매실적(A)	자사제품비율	연구개발비(B)	B/A
시바가이키	3,080백만불	89%	331백만불	10.7%
ICI	2,211	85	209	9.5
바이엘	2,112	88	230	10.9
롱프랑	2,104	83	157	7.5
듀폰	1,790	92	180	10.1
다우엘랑코	1,590	90	170	10.7
몬산토	1,551	94	125	8.1
헵스트	1,480	79	145	9.8
BASF	1,339	78	152	11.4
쉐링	1,003	69	131	13.1

세계농약시장의 점유(1990)〈WoodMac, 1992〉



에 대한 제약을 벗어나 보려는 노력의 결과, 제충국들의 살충성분인 피레드린과 유사한 물질을 합성해 내기에 이르렀다.

세계 각국의 여러 학자들이 많은 식물체들을 농약으로 사용할 수 있는지에 대하여 연구하고 있어 그 결과가 주목되고 있다. 하지만 천연식물로부터 추출한 활성성분은 그 생산량에 있어서 미흡하기 때문에 이들 성분을 화학적으로 합성하려는 노력도 계속될 것으로 본다. 그러나 천연성분 유사물질을 합성해냈을 때 그 합성물질이 본래의 천연성분과 비교하여 반드시 성공적일 것이라는 보장이 없기 때문에 어려움이 뒤따를 것이다. 합성 제충국제의 모두가 천연 제충국제에 비하여 독성이 낮은 것은 아닌 것과 같은 이유에서이다.

무공해 미생물 농약의 개발 : 인축에 대한 독성과 환경오염등의 공해를 일으키는 화학 합성농약의 단점을 보완 또는 대체하는 것이 날이 갈수록 점점 더 중요한 문제로 대두되고 있는 현실에서 BT제와 같은 무공해 미생물 농약의 개발은 또 하나의 획기적인 결과였다. 이와같이 미생물을 살충·살균·살초에 이용하려는 노력과 더불어 길항 미생물의 이용에 관한 연구가 매우 활발하게

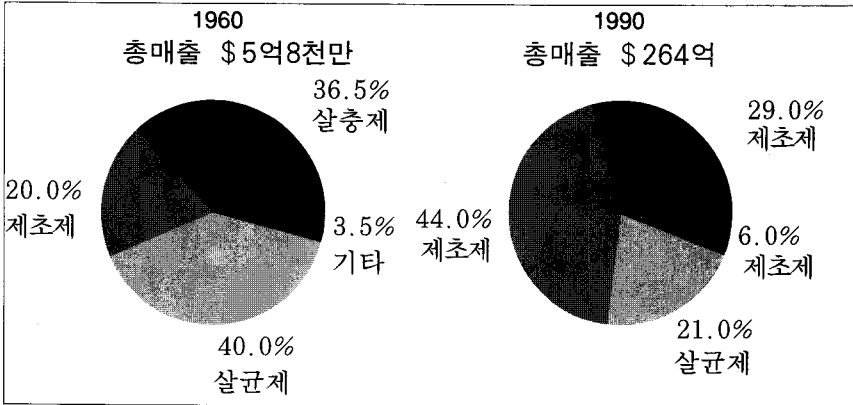
계속되고 있고 그중의 일부는 상업화되어 농업생산에 이용되고 있다. 최근 일부 선진농약회사에서는 DNA 재조합 기술을 포함하는 생명공학 기법을 이용하여 무공해 또는 저독성 미생물 농약의 대량생산을 연구하고 있는 것으로 알려지고 있다.

미생물 농약의 개발은 병·충·잡초의 생리·생태 뿐만 아니라 작물학, 토양학, 미생물 산업공학, 발효공학, 생화학 등 여러 관련학문의 협동에 의해서만 성공적인 결과를 얻을 수 있다. 이러한 특성 때문에 어려움이 있기는 하지만 유기합성 농약과 비교해서 많은 장점을 갖고 있다는 점을 감안한다면 이 분야의 연구개발에 더 많은 투자와 관심이 모아질 것으로 예상된다.

현재 농약업계와 학자들에 의하여 적극적인 연구개발의 대상이 되고 있으며 또 좋은 결과들을 얻고 있는 미생물들은 각종 핵 다각형 바이러스, 과립형 바이러스 및 세포질 다각형 바이러스 등의 바이러스들과 대표적으로 B.T. (*Bacillus thuringiensis*)와 각종 길항작용을 일으키는 세균, 그리고 잡초·곤충 및 선충에 각종 병해를 일으키거나 각종 병원균에 길항작용을 일으키는 곰팡이들이 있다. 또 곤충에 기생하는 선충에 대한 연구도 매우 활

인축에 저독성이고 환경을 오염시키지 않으며 방제대상에 집중적 약효를 나타내면서도 사용량은 낮아지는 추세로 개발이 진행되고 있다.

세계 농약시장의 변동(1960 - 1990) <WoodMac, 1992>



발히 진행되고 있어 현재 상품화되고 있는 미생물농약 이외에도 앞으로 많은 수의 미생물농약이 연구개발되어 실용화될 것으로 기대된다.

유기합성농약의 남용에 따른 독성과 환경에 주는 영향 등을 최소화하기 위한 노력의 일환으로 개발되고 있는 저독성 무공해 농약이나 천연 생물농약에 대한 선진국 농약 회사들의 투자는 계속될 것이다. 그 결과 앞으로 10년 내에는 전체 농약시장에서 차지하는 미생물 및 천연생물농약의 비중은 크게 증가할 전망이다.

주성분의 혼합제 및 제형개발에 의한 농약의 품질개선 : 신개발 농약들은 점차 그 대상 병·충 및 잡초의 범위가 특정하게 국한되어가고 있으며 또 농약 개발사들이 지역별로 공동개발하고 있기 때문에 사용대상 작물 및 방제대상 병·충·잡초의 범위를 넓히기 위해서 신개발농약은 물론 기존농약들의 혼합제 개발은 불가피한 추세이다.

가장 두드러진 예로 최근 5년 동안에 특히 일본을 위시한 비 재배 국가에서의 일발처리용 제초제 개발의 성공적인 사례를 들 수 있다. 이밖에 살충·살충, 살균·살충, 살균·살균, 제초·제초 혼합제는

물론 농약과 비료의 혼합 제조도 관심있는 연구분야이다.

또 제형 면에서도 괄목할만한 발전을 이루었다. 과거에는 유제, 액제, 수화제, 분제, 입제 등으로 제한되었던 제형들이 이제는 액상수화제, 입상수화제, 미분제, 저비산분제, 미립제, 서방형입제, 점보입제 등등으로 매우 다양해졌다. 앞으로도 농약제품의 효과를 높이고 약제를 사용함에 있어서 불편하고 무리한 점들을 개선해나가는 방향으로 제형에 대한 연구개발의 노력은 지속될 것이다.

이상으로 몇가지 항목으로 나누어 간략하게나마 검토한 바와 같이 농약개발의 세계적인 추세는 저독성 무공해 신농약의 창출에 있는 만큼 농약업계의 노력은 이 방향으로 계속될 것이다. 그러나 농약의 유통이나 사용과정에서 일어나는 안전에 관한 문제는 우리 모두에게 달려있는 것이며 저독성이 아닌 무독성·무공해 농약의 개발이 거의 불가능한 상황에서 농업생산성의 제고를 위하여 현존하는 농약을 사용하는 것이 필요불가결하다면 연구·개발에만 의존할 것이 아니라 유통·사용상의 개선에 의한 것도 검토해야 한다. **농약정보**

농업생산성을 제고하기 위해 농약사용이 불가결한 현실에서 연구·개발뿐 아니라 유통·사용상의 개선에 의한 것도 검토해야 할 것이다.