

한번에 잡초를 모조리

낮은 독성, 선택성 폭넓고 사용량 적은 쪽으로 변화

近内誠登

우쓰노미야대학 잡초과학연구소

약 제에 의한 제조의 역사는 불과 40년이다. 그러나 그간 눈부신 발전을 보인 점은 살충제나 살균제에서도 그런 예가 없는 정도이다. 특히 근래 15년사이의 발전은 두드러진다.

이러한 새 제조제의 등장은 단순히 제조노동력의 경감을 위한 것만은 아니다. 해충이나 병처럼 발생에 변동이 있는 것과는 달리 잡초는 반드시 생기는 가해 생물이고 작물 농사를 짓는다는 것은 곧 풀뽑기 노동을 따르게 하는 농작업 체계로 인식되어 왔기 때문이다.

즉, 이 가중노동(加重勞動), 가치없는 노동으로부터 해방하고자 하는 바람이 제조제의 급속한 보급을 진행시켜 왔다. 한편 제조제는 잡초를 막는다는 것 이외에 재배방법을 바꾸는 역할이 있음을 알게 되었다. 예를 들면 무경운(無耕耘) 재배, 비닐멀칭재배, 수도 직파재배가 쉽게 이루어질 수 있게 되었다는 것이 그것이다.

다시 말해서 농약이라기 보다는 중요한 농업자재로서 자리잡고 있는 것이다. 이것은 표1의 나라별 농약 매출에서 제조제 비율을 보면 이해될 것이다.

2,4-D로 시작한 제조제의 등장은 그 후 살초 스펙트럼(대상 잡초의 초종) 폭이 넓은 것, 안정된 효과가 있는 것, 사용적기 폭이 넓은 것 등 사용자의 요구에 부응하여 특징있는 약제가 개발되어 왔다. 최근 저독성, 저약량, 저잔류라는 사회적 요

표1. 나라별 농약 매출비율(1990) (단위: %)

	살충제	살균제	제조제	기 타
일본	32	29	31	8
미국	21	7	64	8
프랑스	20	35	36	9
소련	33	10	50	7
영국	10	32	47	11
독일	8	30	50	12
브라질	30	13	54	3

(자료: 우드메켄지)

그림1. 제조제의 생리활성과 작용점의 변천

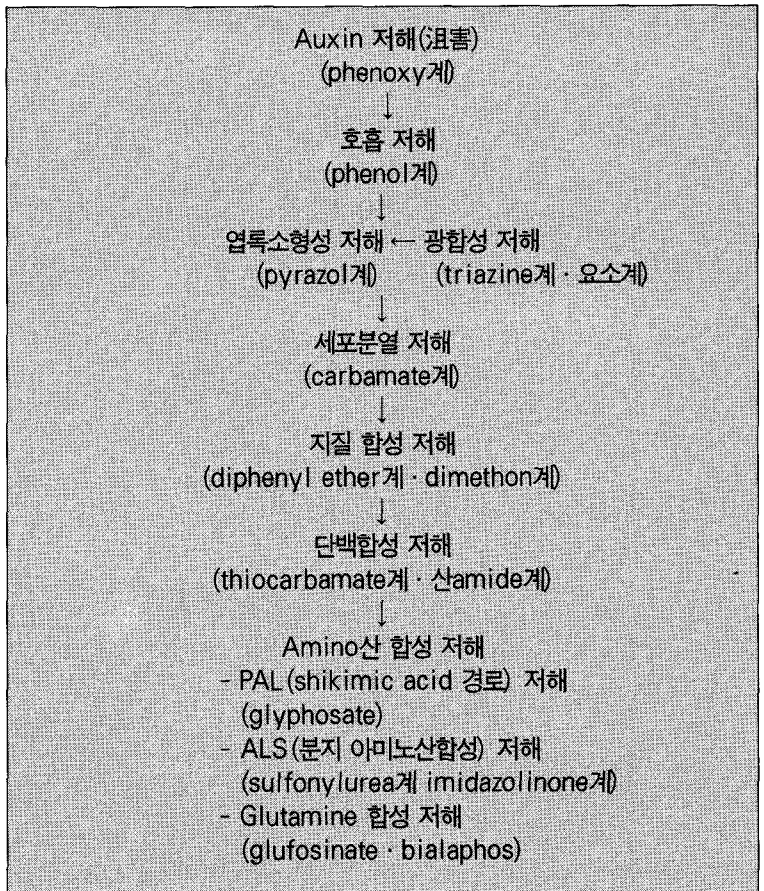
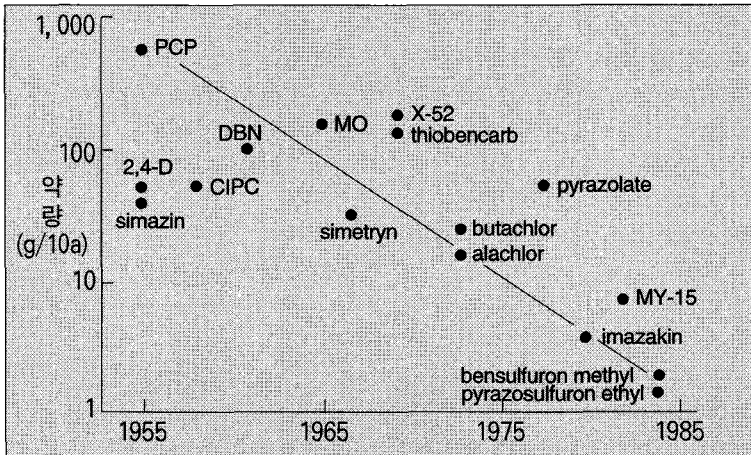


그림2. 주요 제초제의 사용약량 추이



청 때문에 그러한 조건을 갖춘 좋은 제초제가 개발되고 있다.

제초제를 비롯한 농약 전반에 대하여 마이너스 면만이 지적되어 완전무해한 농약의 개발이 요청된다면 개발쪽에서는 그런 조건을 충족하기 위하여 시간과 경비를 들이게 되고 새로운 제품은 그 댓가를 반영해서 값비싼 쪽으로 갈 수 밖에 없다.

제초 활성의 변천

제초제 개발은 목표인 현장의 요구에 맞게 이루어져야 하므로 방제를 해야하는 잡초의 종류와 변천이 큰 관련을 지닌다. 어떤 제초제도 손으로 뽑는 제초작업같이 모든 잡초를 균일하게 억제 내지 방제할 수는 없다. 즉, 잡초중에는 제초제에 대하여 저항성을 나타내는 것이 있고 그들이 만연하게 된다. 따라서 제초활성이 노리는 것은 언제나 살아남기

쉬운 잡초, 즉 저항성 잡초를 향하게 된다.

논에서 문제되는 잡초는 피, 올챙이 고랭이, 올미, 너도방동산이, 올방개, 벼풀등이고 밭에서는 바랭이, 흰명아주, 여뀌류, 개비름, 쇠비름이며 잔디밭에서는 새포아풀, 파대 가리, 향부자 등이다.

이런 잡초를 효과적으로 방제하는 제초제의 개발은 시행착오에 의존하여 왔으나 식물의 생화학분야가 밝혀짐에 따라 보다 자세한 생리 활성 부위를 겨냥한 화합물이 합성되어 실용화 되기에 이르렀다.

제초제의 생리활성과 작용점(作用點)에 대하여 그 변천을 보면 그림 1과 같다.

이런 흐름으로 보아 분명히 처음에는 식물의 생리활성중에서 비교적 큰 부분(기령, 식물호르몬, 호흡작용, 광합성등)을 저해하는 것이었던 것이 그후 차츰 작은 부분, 즉 중요

한 물질의 생합성저해를 노린 제초제가 개발되게 되었다. 예를 들면 아미노산의 생합성저해제가 바로 이런 것이며 적은 약량으로 높은 효과를 보이는 것이 특징이다.

최근 30년 사이의 제초제 사용량의 변화를 나타낸 것이 그림 2이다. 1955~1965년 대에는 피 방제에 탁월한 효과를 보였던 PCP가 논면적의 80% (200만ha)에서 쓰였으나 그 약량은 750g/10a라는 많은 양이고 입제(粒劑)의 성분함량으로서는 한계에 가까운 25%제제로 적용되었다. PCP에 의한 논의 토양처리법의 확립은 그 후의 특색 있는 논제초제 개발에 크게 공헌한 바 있다.

PCP의 결점인 어독문제가 제기된 1965년경부터 어독성이 낮은 제초제의 개발연구가 활발해져 안전성이 높은 제초제가 실용화 되었고 1968년 PCP가 발매중지된 한편 thiobencarb, MO등이 보급되었다. 이들 제초제는 200g/10a약량으로 쓰여 PCP의 1/3이하 약량으로 줄었다. 이들 약제는 피를 대상으로 개발한 것이고 광엽잡초 대책으로서는 MCPB나 simetryn이 쓰였으나 벼에 대한 약해문제가 꼬리를 물었다.

이 무렵부터 방제가 어려운 올미, 너도방동산이, 벼풀, 올방개등 다년생초종의 만연 경향이 각지에서 나타나 그 대책을 찾는 제초제 개발이 진행되었다. 동시에 농약에 의한 환경오염이나 독성에 관심이 두어져

③최근의 제조제 개발과 활성의 변천

저약량, 저독성 제조제의 요구가 높아져 갔다. 이런 조건을 만족시키기 위하여 식물의 좋은 효소를 추구하는 것이 관건이라 판단하고 각 기업의 분투가 시작되었다.

1985년을 지나면서 상식으로는 생각치 못하는 경이적인 제조제가 출현하였다. 듀폰사가 개발한 sulfonylurea제가 바로 그것이다. 대표적인 것이 bensulfuron-methyl인데 3~5g/10a로 1년생~다년생 광엽잡초를 말려 죽이면서도 벼에는 매우 안전성이 높은 것이다. 이와 비슷하게 적은 약량으로 효과가 좋은 imidazolinone계(imazakin, imazapyr 등)가 있다. 이 두 계열의 제조제는 식물의 아세트락산 합성효소(ALS)를 저해하고 분지(측쇄)형 아미노산(바린, 이소로이신 등)의 합성을 멈추게 함으로써 풀을 죽게 한다.

제조제는 식물체내의 효소를 저해하여 작용을 나타내는데 왜 ALS저해제만이 매우 적은 약량으로 효과가 있는지 그 이유가 흥미롭다. 아마도 분지형 아미노산의 역할이 다른 아미노산에 의한 대체나 생합성의 바이패스(by pass)가 되지 않기 때문에 이 아미노산의 결손이 치명적이 되어 말라죽는 것일 것이다.

이 현상은 이러한 제조제 개발에 시사(示唆)하는 바가 많다.

제조제의 효과발현에 있어 중요한 것은 작물과 잡초간의 선택성이 얼마나 넓느냐이다. 바꾸어 말하면 토양이나 기상의 차이에 의한 작물약

해의 변동폭이 작은 것을 요구한다. 제조제 도입 초기에는 비선택성 제조제를 인위적, 물리적으로 작물에 피해가 없는 사용법을 도모하였다. 그러나 그 후 등장한 제조제는 생리적으로 작물에 대하여 안전성을 지니며 사용법이 한층 간편해졌다. 선택성 발현의 흐름을 살펴 보면 다음과 같다.

①물리적 선택성

제조제 자신은 선택활성이 낮으나 사용법에 의해서 작물에 안전성을 보이는 방법: ▲토양처리-토양에의 제조제 흡착력을 이용 ▲제제(製劑)-입자 크기를 조절한 약해 회피 ▲식물의 형태차-작물과 잡초의 짝나는 차이를 이용, (예)잡초가 짝이나도 작물의 짝이 나지 않은 기간에 경엽처리제 살포

②생리적 선택성

▲분해반응-작물체내에서 분해되어 무독화할 경우(propanil)와 분해되지 않기 때문에 독작용이 없는 경우(naproanilide)가 있음 ▲포합(抱合)작용-(작물체내에서 제조제와 어떤 물질(글루타치온)이 결합하여 무독화합(CIPC, simazine) ▲식물의 스테이지 차, (예)발아시는 잡초와 작물에 대한 선택성이 없지만 2엽기에는 작물이 뚜렷한 내성을 나타냄(thiobencarb) ▲흡수, 이행의 차이-제조제가 잡초에는 빨리 흡수되고 체내를 자유로이 이동하지만 작물에는 흡수되지 않는 것

(dymron, alloxidim)

③해독제

어떤 물질을 미리 작물종자에 흡수시키거나 제조제에 혼합하여 작물에 만 해가 없게 하는 방법(NA, R-25788)

④내약성 작물을 만들

제조제에 저항성이 있는 유전자를 DNA 치환방법에 의하여 작물에 도입, 제조제 내성작물을 만드는 것으로 atrazine이나 glyphosate 내성의 담배나 유채가 만들어졌다.

제조제의 전개

2,4-D를 효시로 하는 제조제의 개발·전개는 크게 나누어 다섯 흐름이 있다.

논 제조제는 ①phenoxy계(2,4-D, MCP)→②phenol계(PCP)→③diphenylether계(MO), carbamate계(thiobencarb)→④pyrazole계(pyrazolate)→⑤sulfonylurea계(bensulfuron-methyl)로 전개되고, 밭 제조제는 ①triazine계(simazine), 요소계(diuron)→②carbamate계(CIPC)→③dinitroaniline계(trifluralin)→④allyloxyphenoxy계(fluzifopbutyl)→⑤유기인계(glyphosate, bialaphos)로 변화되어 왔다.

최근 10년 사이에 새로 개발된 제조제를 표 2에 나타냈다. 특징적인

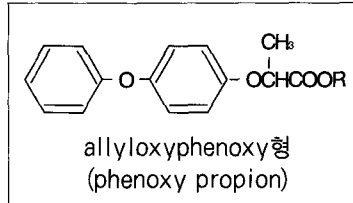
표2. 화합물 계통별 신규 제초제

계 통 별	제 초 제 (*:최근 5년간 개발된 것)
thiocarbamate	dimepiperate (Yukamate), esprocarb (Fuji-grass), pyributicarb (에이젠) *
allyloxyphenoxy	fluazifop-butyl (Onecide), quizalofop-ethyl (Targa), fenoxaprop-ethyl (Furore)
산아미드	mefenacet (Hinochloa), bromobutide (Sumiherb), isoxaben (타자인) *, clomeprop (센테), HW-52*, 세닐크롤 (NSK-850) *
sulfonylurea	thifensulfuron-methyl (Harmony), bensulfuron-methyl (Londax), pyrazosulfuron-ethyl (Sirius) *, flazasulfuron (Shibagen) *, imzasulfuron (TH-913) *
imidazolinon	imazaquin-ammonium (톤납) *, imazapyr (Arsenal)
pyrazole	pyrazolynate (Kusagard), sethoxydim (Nabu), benzofenap (유카와이드)
기타	alloxydim (Sanbird), pyrazoxyfen (paicer), benfuresate (Cyperal) *, cinmethrin (Argold), JC-940, KPP-314, glufosinate (Buster), bialaphos (Herbiace)

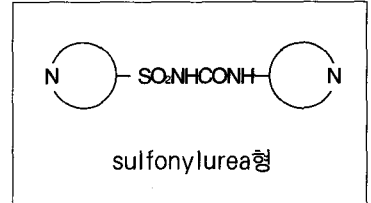
것은 allyloxy phenoxy (phenoxy propion산형 이라고도 함)와 sulfonylurea계일 것이다. 앞의 것은 선택적 화분과 잡초방제제로 생육중의 화분과 잡초를 말려 죽이는 작용이 있고 토양조건에 따른 효과의 변동이 없는 점 때문에 세계적으로 사용되고 있다. 뒤의 것은 광엽잡초의 생육초기처리제로 쓰인다. 또 최근 개발된 세닐크롤(피 방제제), JC-940(올챙이고랭이 방제제), KPP-314(피, 광엽잡초 방제제) 등은 적은 약량으로 독성이 낮으면서 효과가 확실한 것들로 금후의 전개가 기대된다.

새로이 등장하는 제초제는 선택성 폭이 넓고 약량, 독성 모두 시대적 요청에 부응한 특성을 지녔다.

제초제의 80%는 논을 대상으로 한 것이고 한 번 뿌려서 모든 초종



을 방제하는 것을 목표로한 일발처리제의 적용이 이루어지게 되었다. 일발처리제는 1982년부터 등장했는데 1990년에는 100만ha를 넘고 있다. 일발처리제의 기제(基劑)와 그 조합을 표시한 것이 그림 3이다. 이 그림을 보면 혼합의 기본인 피 방제용과 광엽방제용의 배합인 동시에 혼합에 의한 상승작용으로 단제(單劑)의 약량저감을 피하고 있다. 외국에서는 제초제에 대한 저항성 초종이 문제되고 있으나 일본에서는 혼합제초제를 중심으로 적용되어 있으므로 저항성문제는 거의 없다.



제초제의 개발

앞으로의 제초제 개발 방향은 그림 4와 같이 요약할 수 있다.

그 기본은 환경에 대한 안전성 즉 저약량화(低藥量化)와 저독성을 목표로 하는 개발이다. 거기에도 적절한 가격과 간편한 사용방법도 중요한 요소이다. 제초제 개발의 구체적 방법으로는 기존 제초제의 개량과 신규 제초제의 창제(創製)이어야 한다. 기존제초제의 유효한 이용법으로는 혼합제의 개발, 제제개량에 의한 적기 폭 및 살초폭의 확대

③ 최근의 제조제 개발과 활성의 변천

그림3. 혼합기제의 조합에 의한 중기 일발처리제

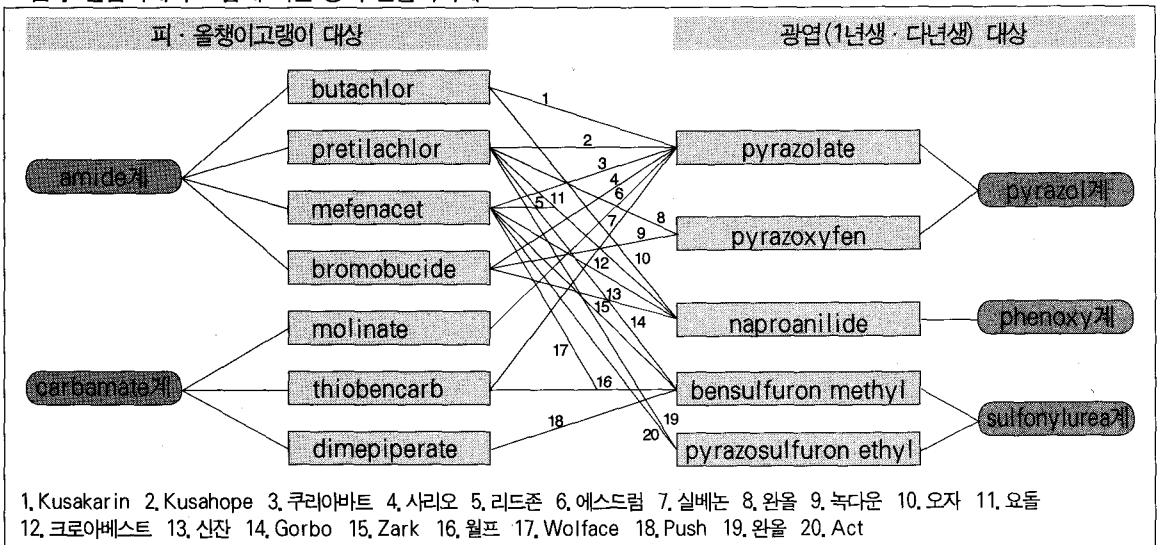
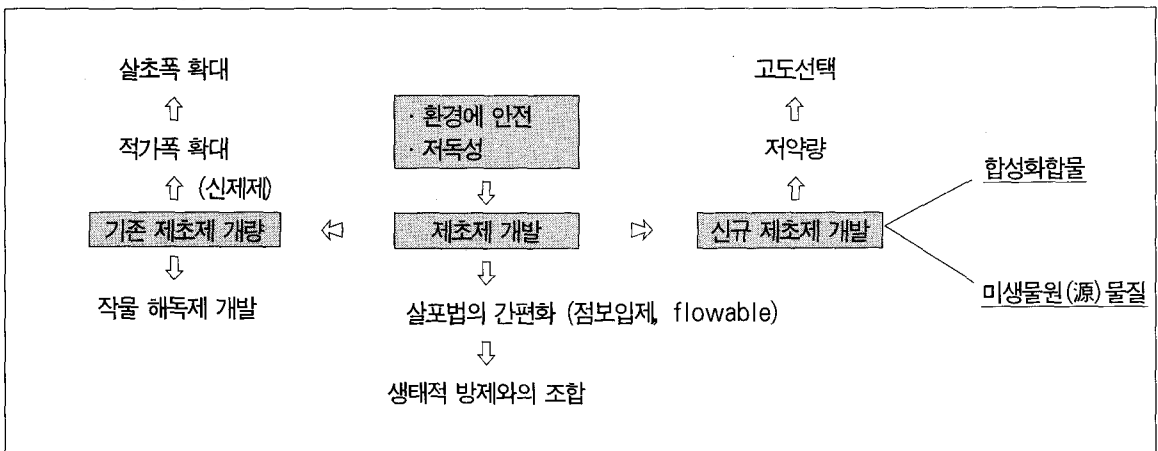


그림4. 제초제 개발 방향



다. 기존제초제가 유리한 점은 독성 문제가 밝혀져 있고 제초작용 특성이 어느 정도 해명되어 있기 때문에 유리한 이용법을 찾아내기 쉽다는 점이다. 신규제초제의 개발은 식물

의 생리기능을 교묘히 작용시킨(生合理的) 저해방식이 고려될 수 있다. 즉 특이한 효소의 활성저해나 식물만이 지니는 기능(기공, 홀몬, 특수효소, 휴면 등)의 억제를 작용점

으로 하는 제제가 기대된다. 또 실제 장면에서의 안정적 효과발현을 도모하기 위하여는 생태적 제초법과의 조합을 도입한 잡초의 종합방제 확립이 지금부터의 과제이다. **농약정보**