

2천년대에 절반이상 대체될 전망 최소량 투입으로 최대효과 목표

최 근 농약사용에 있어서 농약손실 방지등 경제적 농약사용에 대한 관심이 커지고 있다. 일반적으로 농약의 사용량은 크게 3가지 요인에 의해 결정된다.

즉, 첫째는 잡초를 방제하는데 필요한 최소량의 농약살포, 둘째는 대상작물이 내성을 가질 수 있는 최대량의 처리, 그리고 셋째는 효과적인 농도에서 요구되는 제초제의 약효 지속기간 등이다.

종래의 입제, 유제, 수화제 등은 적당한 환경조건에서 처리될 때 완전한 약효가 발현된다. 그러나 이들 제형의 제초제들은 토양속에서의 용출, 대기중으로의 휘발, 토양입자나 유기물에의 흡착, 화학적 및 미생물등에 의한 분해등으로 주로 처리한 제초제들이 그림1과 같은 행적을 거쳐 유실된다. 이들 유실된 양을 보상하면서 효과적인 잡초방제를 하기 위해서는 종래의 여러가지 제형의 제초제들은 잡초방제에 실제 필요한 양보다 훨씬 많은 양을 살포해야 하는 문제점이 지적되어 왔다. 이는 제초제 살포비용을 많이 들게 하고 환경이나 다른 토양 혹은 미생물들에 해를 주게 된다. 따라서, 이와같은 제반 문제를 해결하기 위해 최근 지속성 제초제(持續性除草劑, Controlled



박 광 호
작물시험장 논잡초연구실

충북대를 나와 경북대에서 석사, 필리핀대학에서 잡초방제학으로 박사학위, 필리핀 작물보호학회에서 최우수논문상을 수상했고 <벼 생력기계화 재배의 이론과 실제>의 다수의 논문을 발표했다.

최소량 투입 최대효과 목표 환경영향 줄이고 경제적 사용도모

Release Herbicide)개발이 선진각국에서 활발히 진행중에 있다.

잡초를 방제하는데 필요한 제초제의 적정량은 그림2에서와 같다. 즉, 이론적으로 어느 일정한 시간까지 잡초방제에 요구되는 최소한의 제초제 농

도를 지속적으로 유지하는 것이다. 산업적으로 이용할만한 가치가 있는 지속성 제초제는 안전하게 저장보관할 수 있고 기존 사용되고 있는 살포기술 및 장비로써 사용할 수 있어야 한다.

용출량 일정하게 유지돼야

지속성 제초제로서의 제형은 목표로 하는 잡초를 방제할 수 있을 만큼 충분한 고농도여야 하며, 작물에 피해없이 계속적으로 방제할 수 있도록 일정한 농도가 유지되어야 한다. 또한 농작물의 작기(作期)동안만 약효성분이 지속되어야 하며, 다음 작기까지 약효가 지속되어서는 안된다. 지속성 제초제의 제형을 위해서는 재료조제기술이 단순해야하며 제조비용이 저렴하여야 한다. 특히 환경오염을 방지하고 제초제를 안전하게 취급할 수 있어야 하며 효율적인 잡초방제까지도 가능해야 한다. 종합적 잡초관리(IWM, Integrated Weed Management)체계 기술에 적합해야 함도 물론이다.

따라서 이상적인 지속성 제초제는 물리적인 삼투현상 및 화학적 메카니즘에 의해 만들어져야 하며 주어진 기간동안 제초제 용출량이 일정하고 작용성 및 활성이 일정수준을 유지해야 한다. 특히 용출량은

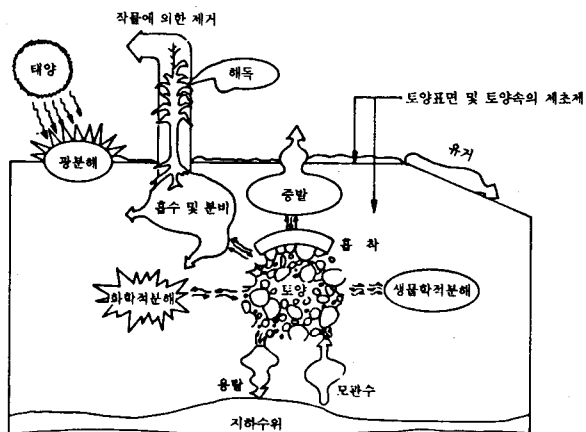


그림 1. 제초제의 토양중 행적

그림2에서와 같이 잡초방제를 위한 효율적 범위인 b의 수준을 유지할 때 제초제 손실이 가장 적으며, 환경에도 가장 안전하게 된다. 제초활성물질이 이처럼 짧은 시간내에 잡초방제에 필요한 적정량보다 급속하게 손실되어 버리거나 주어진 환경에서 너무 빨리 분해가 일어나면 반복처리 혹은 체계처리로 약효지속기간을 유지시켜야 되기 때문에 그만큼 환경에 미치는 영향도 커진다.

그래서 최근 개발한 지속성 제초제는 화학적, 물리적으로 다른 물질 즉, 중합체와 같은 물질과 혼합하여 제형화하고 있다. 제초제는 이런 중합체들과 결합하여 환원, 가수분해, 침식, 생분해, 확산, 삼투작용, 물리적 파괴 및 다른 분해과정 등을 통하여 저분자 물질로 분해되어 최종산물인 CO₂와 H₂O, N₂O로 된다.

따라서 처리약량은 사용한 제형의 자연적, 물리적 형태에 따라 다르게 나타난다. 즉, 유효성분(Active Ingredient)을 중합체에 화학적으로 합성시켜

만드는 방법, 여러가지 복잡한 기술(용매농축, 분자기술, 리진물질, 플라스틱, 고무재료 등)을 이용한 미세공극을 통한 물질의 결합방법이다. 특히, 최근에는 1~200 μ m범위의 미세공극공정을 통하여 미세캡슐제형의 농약제형공법도 소개되고 있다.

한편 지속성 제초제는 제형 자체의 흡착-분리(Adsorption-Desorption)특성 때문에 상당한 변수를 가지고 있다. 이는 일반적으로 제초제가 토양에 흡착될 때 식물체내 흡수나 손실이 없게 되지만 제초제가 토양으로부터 분리될 때 식물체내 흡수나 환경속으로 손실이 일어나게 된다.

1. 지속성제초제 유형

가. 화학적 결합

최근 지속성 제초제는 화학적 결합방법으로 만드는데 이에는 두가지가 있다. 하나는 유효성분의 유도체와 적절한 중합체의 화학적 결합에 의한 것이고 또 하나는 유효성분에 유도체를 결합시켜 만드는 방

법이다. 제초제와 중합체의 결합에서 기본골격은 천연물질 혹은 합성 가용성 또는 비가용성 중합체이다. 예를들면 카복실(Carboxylic acid) 관능기를 가지는 제초제들은 치오닐클로라이드(Thionyl Chloride)와 반응하여 클로라이드酸을 형성하며, 천연중합체의 알콕실그룹을 통하여 결합된다. 특히 R-NH₂ 관능기를 가지는 제초제들은 포스진(Phosgene)과 반응하여 이소시아네이트를 형성하며 최종적으로 천연중합체의 알콕실을 통하여 결합된다. 따라서 이러한 화학적 결합물질은 제초제 성분을 시간에 따라 천천히 지속적으로 용출되게 한다. 용출량은 분자량을 낮추거나 중합체의 친수성을 증가시킴으로써 증가시킬 수 있다. 또 중합체내 제초제 분자의 치환정도에 따라 조절될 수 있으며 관개수의 산도(pH) 및 입자의 크기에 따라 차이가 있다.

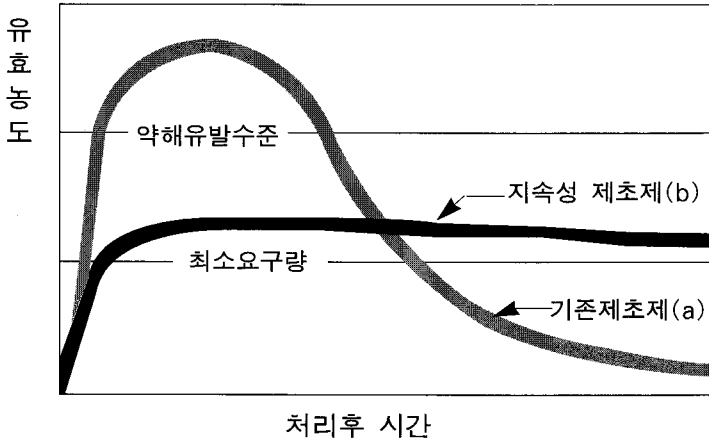
나. 미세캡슐 제형

유제의 미세입자는 중합체로 싸 만들어져 있으며 단단한 고형물질로 만들어준다. 이는 취급하기 편리할 뿐만 아니라 제초제 휘발 및 독성을 경감시킬 수 있다. 또한 환경보호제 및 지속성 제형으로서 이러한 제형은 제초제 처리에서 쉽게 이용할 수 있다. 일반적으로 미세캡슐제형은 3가지로 구별할 수 있다.

① 중합체의 분리

이 처리공정은 탄소가 없는 물질의 복제종이로 개발되었

그림2. 기존제초제와 지속성 제초제의 처리후 유효농도의 변화



다. 이 물질들은 피복물질의 성질에 용출되는 제초제 특성을 이용한 것이다. 따라서 피복물질이 분리하게 되어 이를 다시 제초제 성분의 주변에 머물게 한다. 이 처리공정으로 만들어진 제초제는 화학적으로 서로 잘 연결되어 있기 때문에 매우 단단한 편이다. 특히 이들 제형은 항공기 살포용 제초제로 유용하게 이용된다.

② 2면 중합체

이 처리공정은 제초제 성분이 반응 단량체를 함유하는 유기상에 용해시키며 다른 반응 단량체로서 수용층에 처리한다. 반응된 단량체들은 유기 및 수용층의 표면에서 중합농축과정을 거치며 이들 중합농축물들은 제초제 입자 주위에 모이게 된다. 이 공정으로 만든 미세캡슐은 제초제의 90% 정도에 해당되며 안정화, 보호제등과 결합시켜 처리제형으로 만들게 된다.

③ 분자 복합체 형성

여러가지 화학성분들은 이들의 특정구조 및 결합특성에 의해 분자수준에서 제초제를 결합시키게 한다. 이러한 성분의 계열로서는 사이클로아밀로즈(Cycloamylose)나 텍스트린(Dextrin)등이다. 특히 텍스트린은 친유성 물질에 6~8분자의 포도당(D-glucose)고리를 가지며 이는 제초제 뿐만 아니라 많은 유기물질들과 결합할 수 있다. 따라서 지속성 제초제 특성으로써 성분용출이 이루어져 시간이 경과되면서 서서히 분해되어 간다.

다. 매트릭스 캡슐제형

이 캡슐제형은 미세캡슐보다 큰 대형캡슐이다. 따라서 유효제초제성분의 각 입자들로부터 둘러싸인 세포벽이 훨씬 부족한 편이다. 따라서 제초제가 중합체내에 흩어지면 녹지 않으며 제초제는 매트릭스공극내에 둘러싸이게 된다. 또한 제초제가 중합체내에서 퍼지게 되면 녹지않고 매트릭스내의 조그마한 공극내에서 붙어있게

된다. 매트릭스제형의 구조는 입자를 절단함으로써 제초제를 서서히 용출시킨다. 따라서 제초제는 여러가지 중합체나 무기물질 속에 녹아있게 되고 고체형태의 용액을 형성하며 이들은 리본이나 접친 종이 및 입자형태로 사용하게 된다.

① 알긴염의 매트릭스 캡슐화

알긴산(Alginic acid)은 폴리마누로닉산(Polymanuronic acid) 및 폴리글루루로닉산(Polygluturonic acid)형태로 만들어진 쇄상 다당류이다. 이들 성분은 바다의 미역(*Phaeophyceae* spp.)에서 분리시키며 이들 Na염은 수용성이다. 따라서, Ca 및 Ba 양이온을 처리하면 강한 겔(Gel)형태로 된다. 많은 제초제 가운데 알긴산으로 제형화한 제초제로서는 2,4-D, 디클로베닐(Dichlobenil), 디쿼트디브로마이드(Diquat dibromide)등이다. 이 기술은 생물농약(Mycoherbicide)의 캡슐에도 사용된다.

② 전분 매트릭스 캡슐화

전분은 가장 풍부한 생복합체들중의 하나이며 이들은 쉽게 포도당(D-glucose)을 생성하는 가수분해를 할 수 있다. 전분과 함께 캡슐화 하는 방법은 크산틴(Xanthate), 칼슘(Calcium) 및 붕산(Borate)공정등이 있다.

③ 리그닌 매트릭스 캡슐화

제초제는 리그닌 매트릭스내에서 캡슐화가 된다. 이 공정은 알칼리 리그닌과 더불어 제초제를 유제화함으로써 만들

근 농약사용에 있어서 농약손실 방지등 경제적 농약사용에 대한 관심이 커지고 있다. 일반적으로 농약의 사용량은 크게 3가지 요인에 의해 결정된다.

즉, 첫째는 잡초를 방제하는데 필요한 최소량의 농약살포, 둘째는 대상작물이 내성을 가질 수 있는 최대량의 처리, 그리고 셋째는 효과적인 농도에서 요구되는 제초제의 약효지속기간 등이다.

종래의 입제, 유제, 수화제 등은 적당한 환경조건에서 처리될 때 완전한 약효가 발현된다. 그러나 이들 제형의 제초제들은 토양속에서의 용출, 대기중으로의 휘발, 토양입자나 유기물에의 흡착, 화학적 및 미생물들에 의한 분해등으로 주로 처리한 제초제들이 그림1과 같은 행적을 거쳐 유실된다. 이들 유실된 양을 보상하면서 효과적인 잡초방제를 하기 위해서는 종래의 여러가지

제형의 제초제들은 잡초방제에 실제 필요한 양보다 훨씬 많은 양을 살포해야 하는 문제점이 지적되어 왔다. 이는 제초제 살포비용을 많이 들게 하고 환경이나 다른 토양 혹은 미생물들에 해를 주게 된다. 따라서, 이와같은 제반 문제를 해결하기 위해 최근 지속성 제초제(持續性除草劑, Controlled Release Herbicide)개발이 선진각국에서 활발히 진행중에 있다.

잡초를 방제하는데 필요한 제초제의 적정량은 그림2에서와 같다. 즉, 이론적으로 어느 일정한 시간까지 잡초방제에 요구되는 최소한의 제초제 농도를 지속적으로 유지하는 것이다. 산업적으로 이용할만한 가치가 있는 지속성 제초제는 안전하게 저장보관할 수 있고 기존 사용되고 있는 살포기술 및 장비로써 사용할 수 있어야 한다.

용출량 일정하게 유지돼야

지속성 제초제로서의 제형은 목표로 하는 잡초를 방제할 수 있을 만큼 충분한 고농도여야 하며, 작물에 피해없이 계속적으로 방제할 수 있도록 일정한 농도가 유지되어야 한다. 또한 농작물의 작기(作期)동안만 약효성분이 지속되어야 하며, 다음 작기까지 약효가 지속되어서는 안된다. 지속성 제초제의 제형을 위해서는 재료조제기술이 단순해야하며 제조비용이 저렴하여야 한다. 특히 환경오염을 방지하고 제초제를 안전하게 취급할 수 있어야 하며 효율적인 잡초방제까지도 가능해야 한다. 종합적 잡초관리(IWM, Integrated Weed Management)체계 기술에 적합해야 함도 물론이다.

따라서 이상적인 지속성 제초제는 물리적인 삼투현상 및 화학적 메카니즘에 의해 만들어져야 하며 주어진 기간동안 제초제 용출량이 일정하고 작

표 1. 지속성제초제

계열	제초제	계열	제초제
페녹시계	2,4-D, 2,4,5-T, MCPA, 2,4-DB, MCPB, 2,4,5-TB, Silvex	아세트아닐린계	Alachlor, Metolachlor, Propachlor, Butachlor, Acetochlor
		트리아진계	Propazine, Metribuzine, Cyanazine, Prometryn, Atrazine, Terbutryn, Desmetryn, Simazine
치오카바메이트계	EPTC, Butylate, Vernolate, Cycloate, Pebulate, Molinate, Triallate, Diallate, CDEC, Thiobencarb	기타	Propham, Chlorpropham, TCA, Linuron, Monolinuron, Dinoseb, Fenuron, Picloram, Fluridone, Dicamba, Chloramben, Dalapon, Naptalam, Dichlobenil, Flurorouracil, Diquat, Endothall, Glyphosate, Fenac, Oxidiazon, Pyrazon, Chloroxuron, Acrolein, Metoxuron, Mycoherbicides
			디니트로아닐린계

한편 지속성 제초제의 제형에 들어가는 첨가물의 부작용도 일어날 수 있다.

지금까지 알려진 지속성 제초제를 보면 표1과 같다.

3. 개발현황과 전망

지속성 제초제는 앞에서 언급한 여러가지 장점중 특히 환경속에서 제초제 처리지역이 아닌 곳에는 영향을 주지 않는 특징때문에 앞으로 개발전망이 매우 밝으리라 생각된다. 하지만 다소 비싼 점은 날로 발전하고있는 기술력 향상과 첨단 분석장비의 개발로 점차 해결되리라 여겨진다. 앞으로 잡초방제분야의 과제는 생물학적 잡초방제를 통하여 기존 화학제초제 사용을 줄여가는 것이라 하겠다. 이들 방법중 지속성 제초제도 생물학적 잡초방제 방법에 적용할 수 있을 것이다.

최근 일본, 미국, 영국, 캐나다, 서독 등에서는 수개월 내지 심지어 수년간 비효성분이 지속되는 완효성 피복비료를 개발 시판하고 있다. 특히 제초제 뿐만아니라 살충제가 함유된 피복비료도 개발중에 있다. 일본에서는 데드라피온(4.0%)을 함유시킨 데드라피온 화성비료(제초제 및 비료)를 개발 하였으며 피리다헨치온 및 칼탑화성비료등도 개발하여 살충및 비료효과를 동시에 얻고 있다. 이들 제초제 및 살충제 피복비료의 개발은 비료와 농약을 동시에 살포함으로써 상당한 생력효과를 얻을 수 있고 농약중독, 비산, 하천으로 유출량이 적어 농약 및 비료의

안전성과 효용성 증대도 동시에 가져올 수있다. 심지어 생장조정제중 도복경감제로 사용되고 있는 유니코나졸을 이용, 왜화제비료(유니코나조졸P 화성비료, SDF)를 개발, 벼 출수전 처리를 한 결과, 도복경감효과 뿐만아니라 5~15% 수량증대도 가져왔다는 보고도 있다.

이처럼 제형변화에 의한 지속성 제초제 및 살충제, 완효성 비료, 생장조정제가 함유된 비료등 이 분야의 지속적인 연구개발은 앞으로 활발히 진행되리라 여겨진다. 특히 지속성 제초제의 경우 다가오는 2000년까지는 사용되는 제초제의 50%까지 지속성 제초제로 대체될 전망도 거론되고 있는 실정이다. **농약정보**