

토양중 fenoxaprop-P-ethyl의 흡착성 및 이동성

한수곤* · 안병구** · 문영희**

Adsorption and Movement of Fenoxaprop-P-ethyl in Soils

Han, Soo-Gon*, Byung-Koo Ahn** and Young-Hee Moon**

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the adsorption and the movement of herbicide fenoxaprop-P-ethyl in the silty clay soil(SiC) and the sandy loam soil(SL). Fifteen percent of the added herbicide was adsorbed within 30 min after shaking, and a quasi-equilibrium was reached after 8 to 14 h. The time required for 50% adsorption was 15.8 h in the SiC and 19.3 h in the SL. The equilibrium adsorption isotherm was followed by the Freundlich equation and the Kd was 3.86 in the SiC and 2.32 in the SL. The herbicide in the soil columns flooded with 3 cm water depth and eluted at 0.8 cm/day was leached to 6 cm and 8 cm depth at 7 and 21 days after the treatment, respectively. However, the movement was widened with increased amount of leaching water. The herbicide in the field soils was moved up to 6 cm and 8 cm depth at 14 and 56 days after the treatment, respectively. However, the large amount of the applied herbicide was distributed in 0~2 cm profile in all of the soils examined. Half-life of the chemical in soils was shorter than 7 days and the time to 90% degradation was about 4 weeks. The results indicate that the herbicide has relatively small mobility and short persistence.

Key words : fenoxaprop-P-ethyl, adsorption, movement, soil

서 언

농약은 토양이나 농작물에 처리하게 되는데 어느 경우든 사용된 농약의 거의 대부분은 토양 중에 유입되게 됨으로 토양 중 농약의 행동을 규명하는 것은 농약의 안전사용과 환경보존 측면에서 대단히 중요한 사항이다^{5,12,14}.

일반적으로 토양 중 농약의 행동은 농약의

용해도, 휘산성 등 이화학적 특성과 토양의 점토광물 종류 및 함량, 유기물 함량, pH 등 토양 특성에 의하여 크게 영향을 받을 뿐만 아니라 기온, 강수량 등 환경요인에 의해서도 영향을 받게 된다^{5,8,13,14,16,21}. 이 때문에 새로운 농약에 대하여 여러 조건의 토양 환경 중 행동 특성을 규명하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다.

* 전북농업기술원 (Chonbuk Agricultural Research and Extension Service, Iksan, 570 - 140, Korea)

** 전북대학교 농과대학 (College of Agriculture, Chonbuk National University, Chonju, Chonbuk, 561 - 756, Korea)

<98. 11. 14 접수>

Aryloxyphenoxypropionate계 제초제인 fenoxaprop-P-ethyl(Ethyl-(R)-2-[4-(6-chlorobenzoaxol-2-yl-oxy)phenoxy]propionate)은 우리 나라에서는 최근에 등록되었으며 콩과 같은 광엽작물 재배지에서 피, 바랭이와 같은 화본과 잡초를 방제할 목적으로 사용하는 경엽 처리형 제초제이다. 벼 직파 재배 등에서도 그 사용을 확대하려는 노력을 하고 있어 앞으로 유망한 제초제 중 하나이다. 그러나 우리 나라에서는 아직 본 제초제에 대한 토양 중 행동 특성 연구가 거의 진행되어 있지 않다.

따라서 본 연구는 우리 나라 토양 중 fenoxaprop-P-ethyl의 행동 특성을 규명할 목적으로 실험을 착수하여 본 보고에서는 제1보로 논 토양 중 fenoxaprop-P-ethyl의 흡착성 및 이동성에 대하여 연구 검토한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

1. 토양 및 제초제

실험에 사용한 토양은 전북 고창군 아산면 소재 일반 농가의 논 포장 토양이었다. 실내 실험을 위하여는 0~10cm 층위에서 취한 다음 2mm 체에 통과시켜 잘 혼합 정선한 다음 풍건 세토로 만들어 사용하였다. 토양은 미사질식토(silty clay, SiC : sand 9%, silt 47%, clay 44%)로 pH 5.46, 유기물함량 2.10%, CEC 9.64 me/100g이었으며, 또 다른 토양은 사양토(sandy loam, SL : sand 58%, silt 24%, clay 18%)로 pH 5.54, 유기물함량 1.5%, CEC 7.83 me/100g이었다.

공시 제초제 fenoxaprop-P-ethyl은 농업과학기술원에서 분양 받은 표준품(95%)과 시판용 7% 유타제를 사용하였다.

2. 토양 중 흡착성 실험

Fenoxaprop-P-ethyl의 토양 흡착 속도를 조사하기 위하여 풍건토 5g을 fenoxaprop-P-ethyl 표준품 수용액(10 ppm) 100ml에 가하고 실온에서 0.5~14시간 동안 시간별로 진탕(100 rpm)하였다. 진탕한 토양을 3,000 rpm에서 10분간 원심분리한 다음 상등액을 취하여 다시 12,000 rpm

에서 15분간 원심분리하여 상등액을 취하여 수용액중의 fenoxaprop-P-ethyl의 농도를 측정하였다.

Fenoxaprop-P-ethyl의 토양흡착 특성시험을 위하여 표준품을 1, 5, 10, 50, 100 $\mu\text{g/ml}$ 수준이 되도록 5단계로 희석한 수용액 50g에 공시한 두 토양을 각각 5g씩을 가하고 8시간 동안 진탕하였다. 진탕한 토양용액을 상기와 같이 원심분리하여 상등액을 취한 다음 fenoxaprop-P-ethyl의 농도를 측정하였다.

처리량과 용액중에 남아있는 양의 차이로 흡착된 양을 산출하였으며, 처리 농도에 따른 약제의 흡착량 변화는 Freundlich 흡착등온식을 이용하여 평가하였다.

3. 토양 중 이동성 실험

실내실험 : 풍건시킨 공시토양을 원통형 컬럼(직경 10cm, 하단에 여지를 부착시킴)에 10cm와 20cm 높이로 충전시켰다. 충전 상태는 표 1에 나타낸 바와 같으며 충전된 컬럼은 증류수를 넣은 수조에 옮기고 컬럼의 하단부로부터 수분을 공급하여 3cm 깊이로 담수상태를 유지시켜 1일간 정치시켰다. 컬럼을 조심스럽게 꺼내어 누수량 조절트랩¹⁰⁾에 고정시킨 다음 실험목적에 맞추어 사용하였다.

시간 경과에 따른 제초제의 이동성을 조사하기 위하여는 컬럼내의 토양표면에 fenoxaprop-P-ethyl 표준품을 150 μg 씩 처리하였다. 제초제 처리 1시간 후부터 컬럼의 하단에 장착된 콕크를 이용하여 0.1 pore volume/day (약 0.8cm/day)의 속도로 누수시켰다. 전 실험기간 동안 누수 등으로 소실된 수분은 수시로 공급하여 항상 약 3cm의 담수상태가 되도록 유지시켰다. 단

Table 1. Soil-packing conditions of the soil columns for leaching study of fenoxaprop-P-ethyl.

Soil type	Bulk density (g/cm ³)	Pore volume (ml)	Total porosity (%)
SiC	1.18	607	38.6
SL	1.18	640	40.7

분석 토양 시료 채취 2일 전부터는 물을 공급하지 않은 상태에서 완전 누수시켰다.

누수량에 따른 이동 실험은 fenoxaprop-P-ethyl 표준품 300 μ g을 표층에 처리하고 제초제 처리 직후부터 1ml/min 속도로 누수를 하였으며 총 누수량은 공극 부피의 0, 1, 2배로 하였다. 누수 이후에는 콕크를 완전히 열어 완전히 누수되도록 하였다. 이때 용탈액도 모아 제초제의 함유량을 측정하였다.

포장 실험 : 포장조건에서의 이동실험은 1996년 5월~7월에 전북 고창지역의 논 포장에서 실시하였다. 포장에 시험구를 구획(10 \times 2m)하고 상기의 원통형 컬럼을 10cm 깊이로 균일하게 매립한 다음 담수시켰다. 담수 후 시판용 fenoxaprop-P-ethyl을 191g a.i./ha 수준으로 처리하고 처리 직후부터 토양 컬럼을 취하였다.

실내 및 실외 실험에서 취한 토양 컬럼을 실험 목적에 따라 컬럼내의 토양을 2cm 또는 4cm 층위 별로 분할 채취 후 고르게 잘 혼합 다음 30g을 2반복으로 취하여 분석시까지 냉동보관(-20 $^{\circ}$ C)하였다. 시험기간 중 최고기온과 최저기온은 각각 22~35 $^{\circ}$ C, 15~25 $^{\circ}$ C 이었다.

4. 추출 및 정량분석

Fenoxaprop-P-ethyl의 추출 및 정량분석은 Idstein 등⁷⁾의 방법에 준하여 가수분해 및 acethyl화 반응을 통한 유도체를 만들어 gas chromatography (GC)로 분석하였다.

시료 토양 30g(수용액 시료는 10ml)을 100ml의 HCl/acetonitrile 혼합액(2 : 8, v/v)으로 soxhlet 환류장치를 이용하여 6시간 동안 환류추출하였다(가수분해반응). 장치내의 용액에 100ml의 증류수를 가한 다음 여과(No. 2)하였다. 여과액 20ml를 Extrelut 20 칼럼(Merck사)에 가하고 30분간 보관한 다음, n-hexane 50ml로 용출시켜 버리고, n-hexane/dimethyl ether(8 : 2, v/v)혼합액 250ml로 용출시킨 후 용출액을 감압 농축·건고하였다.

농축액에 1ml의 pyridine/acetic anhydride(1 : 5, v/v)혼합액을 가하고 130 $^{\circ}$ C에서 3시간 동안 정밀정온기 내에 보관한(아세틸화반응) 후 반응

액에 유화제 1ml와 증류수 5ml를 가하여 혼합한 다음, SEP-PAK C₁₈ cartridge (Water사)에 통과시켰다. 10ml의 증류수로 cartridge를 씻어낸 다음 진공펌프를 이용하여 cartridge 내부에 있는 수분을 충분히 제거한 다음, cartridge에 7ml의 n-hexane로 용출시켰다.

이 용출액을 다시 silica gel이 충전된 소형 유리컬럼에 가하고 n-hexane 10ml로 세정한 다음 진공펌프를 이용하여 컬럼을 신속히 건조시키고, 3ml의 toluene으로 용출시키고 GC에 주입 분석하였다. GC(Hewlett Packard사, HP-5890)의 사용 Detector는 Ni⁶³-ECD, 사용 컬럼은 capillary컬럼(PAS-5, 0.32mm \times 25m, Hewlett Packard사)이었으며 조작온도는 Injector 250 $^{\circ}$ C, Detector 285 $^{\circ}$ C, Oven 145 $^{\circ}$ C에서 15분, 275 $^{\circ}$ C에서 10분이었다. Carrier(질소) gas의 유속은 2ml/min이었으며, 주입량은 1 μ l이었다. 이 조건에서 화합물의 retention time은 12.5분이었다.

결과 및 고찰

1. 토양 중 fenoxaprop-P-ethyl의 흡착

Fenoxaprop-P-ethyl의 토양 흡착 속도를 규명하기 위하여 두토양중 진탕 시간의 경과에 따른 fenoxaprop-P-ethyl의 흡착량 변화를 조사한 결과 두토양 모두 진탕 초기에 빠른 흡착을 보였다. 진탕 30분 후에 처리량의 약 15%가 흡착

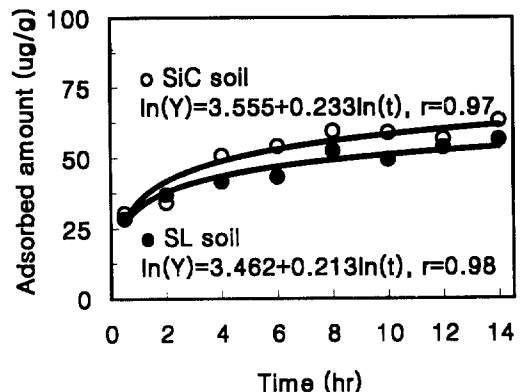


Fig. 1. Relationships between shaking time and the adsorbed amount of fenoxaprop-P-ethyl to soil.

되었으며, 6시간 이후부터는 흡착량의 증가속도가 완만하게 나타났다(그림 1).

진탕 8~14시간 사이에는 의사평형에 도달하였는데, 이는 시간에 따른 흡착량 변화가 거의 평형처럼 보인다는 것을 말하는데, 이 시기에 처리량의 25~32%가 흡착되었다. 또한 두토양 모두에서 시간(t)과 약제의 흡착량(Q) 사이에 높은 유의성이 있는 power function($Q=at^b$) 또는 parabolic diffusion ($Q=a+t_{1/2}$)의 상관관계가 인정되었다²³. 이러한 상관도는 power function의 계수(b)가 0.21~0.23의 낮은 수치로 나타나기 때문에 초기에 빠른 속도로 나타나는 fenoxaprop-P-ethyl의 흡착이 시간이 경과할수록 점진적으로 증가하는 경향을 의미하고 있다. 토양별로는 미사질식토가 사양토에 비하여 약간 빠른 흡착속도를 보였다.

한편 양 등²³은 1차 반응속도 모델식: $\ln([Y]_t/[Y]_0) = -kt$ 에서 반감기($t_{1/2}$) = $0.693/k$ 의 식 $\{[Y]_t: t$ 시간 후 반응하고 남은 약제의 몰농도, $[Y]_0$: 반응초기($t=0$)의 약제의 molality, k = 반응비속도 상수(hr^{-1})}을 이용하여 flupyrazafos의 50%가 흡착되는 시간을 조사한 바 사양토와 식양토에서 각각 6시간, 10시간으로 보고하고 있으나 두토양에 처리된 fenoxaprop-P-ethyl의 50%가 흡착되는 시간($t_{1/2}$)은 관계식으로부터 미사질식토에서는 15.8시간, 사양토에서는 19.3시간으로 나타났다.

Fenoxaprop-P-ethyl의 토양 흡착량과 농도와의

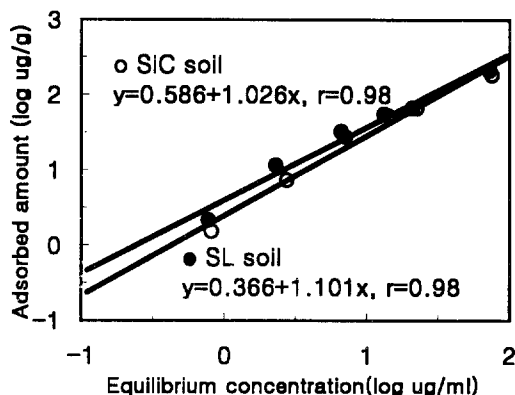


Fig. 2. Freundlich isotherm of fenoxaprop-P-ethyl adsorption in soils.

관계를 조사한 결과, 공시한 두 토양에서 모두 약제의 흡착은 유의적으로 Freundlich 등온식에 부합되었다(그림 2).

Freundlich 방정식: $\log A = \log K_d + (1/n)\log C$ [A : 토양에 흡착된 약제의 양($\mu\text{g/g}$), C : 용액 중에 남아있는 약제의 양($\mu\text{g/ml}$)]으로부터 흡착의 K_d (분배계수) 및 $1/n$ (비선형도, degree of nonlinearity) 값을 조사한 결과 K_d 값은 미사질식토에서 3.855, 사양토에서 2.322, $1/n$ 은 미사질식토에서 1.026, 사양토에서 1.101로 나타났다. 토양중 유기물함량으로부터 계산된 유기탄소 함량 근거로 산출한 분배계수, K_{oc} 는 미사질식토에서 316, 사양토에서 267로 나타났다.

일반적으로 농약의 토양중 흡착 정도는 농약의 물에 대한 용해도 및 분배계수와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있으며, 동일한 약제에 있어서도 처리된 토양의 유기물함량, 점토함량, CEC 등에 따라서 흡착 정도가 다르다^{4,5,6,11,20,22}. Fenoxaprop-P-ethyl의 흡착량이 사양토에서 보다 미사질식토에서 높았던 것은 미사질식토가 사양토보다 유기물함량, CEC, 점토함량 등이 높았기 때문으로 판단된다. K_d 값에 있어서 chlorosulfuron은 0.01~0.35, metsulfuron-methyl은 0.04~0.54, triasulfuron은 0.19~0.55,alachlor는 0.53~2.22로 토양의 종류에 따라 크게 변화된다^{17,18,20}. Trifluralin의 경우에는 식양토 조건에서 최고 9.97의 K_d 값을 나타내어 높은 흡착능이 있는 것으로 보고되었다⁹. 또한 8종의 토양중 halosulfuron-methyl의 K_d 값은 0.37-15.29, $1/n$ 은 0.58-1.36, K_{oc} 은 96-455로 보고³하고 있다. 이들 결과와 비교하여 볼 때 fenoxaprop-P-ethyl은 중간 정도의 흡착력을 갖는 것으로 판단된다.

2. 토양 중 fenoxaprop-P-ethyl의 이동 특성

토양 컬럼 중 fenoxaprop-P-ethyl의 경시적 이동성 변화를 조사한 결과는 표 2와 같다.

Fenoxaprop-P-ethyl의 경시적인 이동폭을 보면 미사질식토의 경우 약제처리 7일 후에는 처리량의 1.8%가 4~6cm 층위까지 이동하였으며 처리 21일 후에는 6~8cm 층위까지 이동폭이

Table 2. Vertical distribution of fenoxaprop-P-ethyl in the soil columns.

Soil	Soil depth (cm)	Residue (% of the initial)			
		Days after treatment			
		0	7	14	21
SiC	0-2	100	51.6	36.1	21.1
	2-4	nd*	3.3	2.6	1.7
	4-6	nd	1.8	1.3	0.8
	6-8	nd	nd	nd	0.6
	8-10	nd	nd	nd	nd
SL	0-2	100	48.2	39.3	28.6
	2-4	nd	4.9	3.7	2.8
	4-6	nd	2.3	1.6	1.0
	6-8	nd	nd	0.8	0.7
	8-10	nd	nd	nd	nd

* nd : not detected.

The soil column was flooded with 3cm water depth and eluted at 0.1 pore volume/day.

확대되었으나 전체 잔존량은 처리 14일에 비하여 감소되었다. 사양토의 경우에는 처리 7일 후에는 4~6cm 층까지 이동되었으며 처리 14일 후부터 6~8cm 층위까지 이동되었으며, 21일 후에는 이동폭은 변동이 없었으나, 14일에 비하여 전체 잔존량은 감소하였다. 토성간 약제 이동폭은 유사한 경향이었으나, 층위별 약제의 농도는 미사질식토에 비하여 사양토에서 다소 높게 나타났다. 전체적으로 볼 때 약제 처리 후 21일까지 8cm 층위까지 이동되었으며, 층위별 잔존량은 시간경과에 관계없이 0~2cm 층위에 대부분이 분포되었고, 시간 경과와 더불어 분해·소실되었으며 본 약제의 잔류반감기는 본 실험조건에서 약 7일 정도로 나타났다.

일반적으로 동일 토양, 동일 농약이라 하여도 토양 중 농약의 이동성은 누수량에 따라 크게 영향을 받게 된다¹⁰⁾. 누수량의 변화에 따른 fenoxaprop-P-ethyl의 토양 중 이동성 변동을 규명하고자 토양 컬럼에 약제를 처리 한 다음 토양컬럼의 공극부피량(표 1)의 1 또는 2배의 물을 누수시켜 이동성을 조사한 결과는 표 3과 같다.

Table 3. Vertical distribution of fenoxaprop-P-ethyl in the soil columns with different amount of leaching water.

Soil	Soil depth (cm)	Residue(% of the initial)		
		Leaching amount (time of pore volume)		
		0	1	2
SiC	0-4	100	70.3	64.3
	4-8	nd*	17.5	13.4
	8-12	nd	4.1	4.5
	12-16	nd	0.8	2.1
	16-20	nd	nd	0.8
	leachate	nd	nd	nd
SL	0-4	100	63.4	58.2
	4-8	nd	21.0	16.4
	8-12	nd	4.2	5.3
	12-16	nd	1.6	2.9
	16-20	nd	0.8	1.1
	leachate	nd	nd	nd

* nd : not detected.

미사질식토의 경우 무누수 조건에서는 처리량 전부가 표층 4cm 이내에 분포하였으나, 공극부피의 1 또는 2배의 누수가 이루어진 후에는 각각 처리량의 70.3% 및 64.3%가 0~4cm 층에 존재하였다. 이러한 누수량의 증가에 따른 토양 표층으로부터 약제 농도의 감소는 이동폭의 확대로 나타났다. 공극부피의 1배량 누수에서는 12~16cm까지 약제가 이동되었으며, 2배량 누수의 경우에는 16~20cm의 층에서도 이동된 약제가 검출되었다. 그러나 토양컬럼을 통과한 용탈수에서는 누수량에 관계없이 약제가 검출되지 않았다.

사양토의 경우에는 미사질식토에 비하여 이동폭이 다소 확대되어 두 누수조건에서 모두 16~20cm까지 이동되었다. 4cm이하의 층별 약제의 농도에 있어서도 사양토에서 높게 나타났다. 또한 누수량이 증대되는 경우에는 토성별로 약제의 이동성이 더욱 확대되어 공극부피의 2배 누수가 이루어진 경우에 미량이기는 하지만, 토양컬럼을 통과한 용탈수에서도 처리량의 0.8% 정도의 약제가 검출되었다.

일반 포장조건에서 fenoxaprop-P-ethyl은 3~7g a.i./10a 수준으로 사용되고 있다. 사용면적의 표토 20cm 깊이의 토양무게는 토양의 용적비중을 1로 간주하였을 때, 약 200,000kg에 상응한다. 따라서 10 a당 사용되는 fenoxaprop-P-ethyl의 양은 이 토양 무게를 기준으로 할 때, 0.015~0.035 ppm에 해당된다. 본 연구에서 처리한 약량 수준(300 μ g)은 토양 1,850g에 대하여 처리한 양이므로 이는 추천 시용량의 4.6~10.8배에 상응하는 농도이다. 누수 조건은 토양컬럼의 표면적과 충전된 공시토양의 공극부피를 고려할 때, 담수 7.5cm(공극부피의 1배량)와 15cm(공극부피의 2배량)에 해당하는 물이 불과 10~20시간 사이에 급속히 용탈되는 것과 같다. 이러한 극단적인 누수조건에서도 처리된 fenoxaprop-P-ethyl의 대부분이 표층으로부터 20cm 이내에 존재하였으며, 용탈수 중 약제 검출량에서도 미사질식토의 경우에는 검출되지 않았으며 사양토 조건에서 2ng/ml 수준으로 매우 낮았던 것은 fenoxaprop-P-ethyl의 하방이동성은 매우 낮은 것으로 판단된다^{2,5,19,22,21}.

포장조건에서 fenoxaprop-P-ethyl의 이동성을 경시적으로 조사한 결과는 표 4와 같다. 미사질식토의 경우에 거의 대부분이 0~2cm 층에

존재하였는데 처리 7일 후에 처리량의 0.8%가 4~6cm 층까지 이동하였으며, 처리후 21일까지는 그 농도가 다소 증가하여 처리량의 1.3%가 4~6cm 층에서 검출되었다. 처리 42~56일 후에는 비록 미량이기는 하나 8cm까지 이동폭이 확대되었다. 사양토의 경우 약제 이동폭은 채취일자 별로 미사질식토와 비슷한 경향으로 나타났다으나, 층별 약제의 농도는 미사질식토에 비하여 사양토에서 다소 높게 나타났다. 처리 42~56일 후에는 두토양 모두 0~2cm 층에서 보다 4~6cm 층에서 약제의 농도가 다소 높게 나타났다. 포장 조건에서 fenoxaprop-P-ethyl의 반감기는 7일 이내이며 처리 28일 후에는 처리량의 90% 정도까지 분해되었다.

Moon 등¹⁵⁾과 Walker 등^{19,20)}은 mini-lysimeter를 이용한 이동성 실험에서 alachlor가 20cm까지 이동한다고 보고하였다. Chlorosulfuron은 50cm, isoproturon은 10cm까지 이동되는 것으로 보고되었다^{1,18)}. 사양토 조건에서 trifluralin은 처리량의 거의 대부분이 5cm 이내에 존재하는 것으로 보고되어 있다¹³⁾. 극단적인 누수조건에서의 결과(표 3)와 포장실험의 결과(표 4)를 종합하여 볼 때 fenoxaprop-P-ethyl의 토양 이동성은 6~8cm 정도로 이동폭이 좁은 약제로 하방 이동에 의한 지하수오염 등의 위험성은 낮은 것으로 사료된다^{12,13,14)}.

Table 4. Vertical distribution of fenoxaprop-P-ethyl in field soils.

Soil depth (cm)	Soil	Residue(% of the initial)						
		Days after treatment						
		0	7	14	21	28	42	56
SiC	0-2	100	42.4	30.3	4.1	8.3	2.2	0.9
	2-4	nd*	9.3	4.1	5.7	1.2	1.4	1.2
	4-6	nd	0.8	1.2	1.3	nd	0.7	0.8
	6-8	nd	nd	nd	nd	nd	0.5	0.5
	8-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SL	0-2	100n	48.2	39.3	18.6	12.3	0.7	1.2
	2-4	d	4.9	6.4	2.8	2.4	1.8	1.4
	4-6	nd	nd	2.3	1.7	nd	1.1	0.6
	6-8	nd	nd	nd	nd	nd	0.5	0.5
	8-10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

*nd : not detected.

적 요

미사질식토와 사양토 중 fenoxaprop-P-ethyl의 흡착성과 이동성에 대하여 연구 검토하였다. 두 토양 중 fenoxaprop-P-ethyl은 진탕 30분 후에 약 15%가 흡착되었으며 8~14시간 후에는 의사평형에 도달하였고 50%가 흡착되는 시간은 미사질식토에서 15.8시간, 사양토에서 19.3시간이었다. 본 제초제의 흡착은 Freundlich식에 따랐으며 흡착분배계수(Kd)값은 미사질식토에서 3.86, 사양토에서 2.32이었다. 두 토양의 컬럼에서 fenoxaprop-P-ethyl은 처리 7일 후에는 6cm, 21일 후에는 8cm까지 이동되었으나, 이동성은 누수량의 증가와 더불어 증가되었다. 포

장조건의 두토양 중 fenoxaprop-P-ethyl은 처리 14일 후에는 6cm층위까지, 56일 후에는 8cm층위까지 이동되었다. 그러나 어느 경우이든 처리된 fenoxaprop-P-ethyl의 대부분은 0-2cm층위에 존재하였다. Fenoxaprop-P-ethyl의 반감기는 1주 이내이었으며 처리 4주 후에는 처리량의 약 90%정도까지 분해되었다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 토양 중 fenoxaprop-P-ethyl은 비교적 이동성이 작고 분해가 빠른 편인 바 주변환경에 대한 위해성이 낮을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- Blair, A.M., T.D. Martin, A. Walker and S.J. Welch. 1990. Measurement and prediction of isoproturon movement and persistence in three soils. *Crop Prot.* 9 : 289 - 294.
- Bowman, B.T. 1988. Mobility and persistence of metolachlor and aldicarb in field lysimeters. *J. Environ. Qual.* 17(4) : 689 - 694.
- Dermiyati, Shozo Kuwatsuka and Izuru Yamamoto. 1997. Relationships between soil properties and sorption behavior of the herbicide halosulfuron-methyl in selected Japanese soils. *J. Pesticide Sci.* 22 : 288 - 292.
- Giles, C.H., T.H. MacEwan, S.N. Nakhwa and D. Smith. 1960. Studies in adsorption. *J. Chem. Soc. Part XI.* 3973 - 3993.
- Hance, R.H. 1980. Interaction between herbicide and soil. Academic Press. London. UK.
- Hata, Y. and T. Nunoshige. 1982. Adsorption and desorption of piperophos by soil. *J. Pesticide Sci.* 7 : 155 - 160.
- Idstein, H., H.J. Werner and J.M. Johnson. 1986. Residue determination of Hoe 046360 and its metabolites Hoe 088406 and Hoe 054014 in biological materials and soil. Hoechst. Frankfurt Germany.
- Jury, W.A. and M. Ghodrati. 1989. Overview of organic chemical environmental fate and transport modeling approaches. In : *Reactions and movement of organic chemicals in soils*, ed. Sawhney, B. L. and K. Brown. p. 271 - 304. Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI. USA.
- 김정호. 1996. 토양 중 trifluralin의 용탈. *한국환경농학회지* 15(4) : 464 - 471.
- 김길웅 외 19인. 1988. 잡초 방제학 실험. 형설출판사.
- Kinniburgh, D.G. 1989. General purpose adsorption isotherms. *Environ. Sci. Technol.* 20 : 895 - 904.
- Lakowski, D.A. 1982. *Terrestrial environmental risk analysis for chemicals* ed. by Conway, R.A. p. 198 - 240. Van Nostrand Reinhold Co. New York. USA.
- Leonard, R.A. 1990. Movement of pesticides into surface waters. In : *pesticides in the soil environment : processing, impact, and modeling* ed. by Cheng, H.H. p. 79 - 102. Soil Sci. Soc. Am. Madison, USA.
- Madhun, Y.A. and V.H. Freed. 1990. Impact of pesticide on the environment. in : *pesticides in the soil environment : processing, impact, and modeling* ed. by Cheng, H.H. p. 429 - 466. Soil Sci. Soc. Am. Madison, USA.
- Moon, Y.H. and A. Walker. 1991. The degradation and mobility of alachlor in a sandy loam soil. *The Proceedings of Brighton Crop Protection Conference.* 4D-5 : 499 - 506.
- Vink, J.P.M. and S.E.A. van der Zee. 1966. Some physicochemical and environmental factors affecting transformation rates and sorption of the herbicide metamitron in soil. *Pestic. Sci.* 46 : 113 - 119.
- Walker, A., E.G. Cotterill and S.J. Welch. 1989. Adsorption and degradation of chlorosulfuron and metsulfuron-methyl in soils from different depths. *Weed Res.* 29 : 281 - 287.
- Walker, A. and S.J. Welch. 1989. The reactive movement and persistence in soil of chlorosulfuron, metsulfuron-methyl, and triasul-

- furon. *Weed Res.* 29 : 375 - 383.
19. Walker, A., S.J. Welch, A. Melacini and Y.H. Moon. 1996. Evaluation of three pesticide leaching models with experimental data for alachlor, atrazine, and metribuzine. *Weed Res.* 36 : 37 - 47.
 20. Walker, A., Y.H. Moon and S.J. Welch; 1992. Influence of temperature, soil moisture and soil characteristics on the persistence of alachlor. *Pestic. Sci.* 35 : 109 - 116.
 21. Weber, J.B. and C.T. Miller. 1989. Organic chemical movement over and through soil. In; reactions and movement of organic chemicals in soils, ed. Sawhney, B.L. and K. Brown. pp.305 - 334. *Soil Sci. Soc. Am.* Madison, USA.
 22. William, W.T., T.C. Mueller, R.M. Hayes, D.C. Bridges and C.E. Snipers. 1997. Adsorption, dissipation, and movement of fluometron in three southeastern united States soils. *Weed Sci.* 45 : 183 - 189.
 23. 양재의 · 조부연 · 유경렬. 1997. Flupyrazofos (KH-502)의 토양 중 용탈 및 흡착. *한국환경농학회지* 16(1) : 72 - 79.