

제주도 토양에서 유기인계 농약의 흡착 및 용탈

감상규·고병철·오윤근·이용두·김정호*
제주대학교 환경공학과·경산대학교 환경학부
(1999년 4월 16일 접수)

Adsorption and Leaching of Organophosphorus Pesticides in the Soil of Cheju Island

Sang-Kyu Kam, Byung-Churl Ko, Youn-Keun Oh, Yong-Doo Lee, and Jung-Ho Kim*

Dept. of Environmental Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

*Faculty of Environmental Science and Engineering, Kyungsan University, Kyungsan 712-240, Korea

(Manuscript received 16 April, 1999)

The adsorption and leaching of organophosphorus pesticides (phenthroate, diazinon, methidathion) were investigated in Namwon soil(black volcanic soil), Aewol soil(very dark brown volcanic soil) and Mureung soil(dark brown nonvolcanic soil) sampled in Cheju Island. The Freundlich constant, K value, was 52.4, 31.3 and 27.7 for phenthroate, diazinon and methidathion in Namwon soil, respectively and decreased in the order of phenthroate, diazinon and methidathion among the pesticides. The K value of phenthroate was 52.4, 15.9 and 5.9 for Namwon, Aewol and Mureung soil, respectively and was the highest for Namwon soil with very high organic matter content and cation exchange capacity(CEC). The Freundlich constant, 1/n, showed a high correlation with organic matter content, i.e., its value was less than unity for organic matter rich soil(Namwon soil) and greater than unity for organic matter poor soil(Mureung soil). Total recoveries of pesticides in soil and leachate with leaching in soil column, were in the range of about 74~86%. The leaching of pesticides was less for phenthroate with high K values, and more for methidathion with low K values among the pesticides. It was slower for Namwon soil with high K values, and faster for Mureung soil with low K values among the soils.

Key words : adsorption, leaching, organophosphorus pesticides, phenthroate, diazinon, methidathion, soil of Cheju Island

1. 서 론

최근 농산물 증대를 위해 농약의 사용량이 크게 증가되어 왔다. 제주도의 경우 1996년도 농경지에 사용한 농약의 총량은 5,515톤으로써 약 95kg/ha 사용되었다.¹⁾ 제주도의 감귤원 등의 농경지에서는 phenthroate[ethyl dimethoxyphosphinothioylthio(phenyl)acetate], diazinon (OO-diethyl O-2-isopropyl-6-methylpyrimidin-4-yl phosphorothioate), methidathion (S-2,3-dihydro-5-methoxy-2-oxo-1,3,4-thiadiazol-3-ylmethyl O,O-dimethylphosphorothioate)등의 유기인계 살충제가 사용되고 있다.

Phenthroate는 벼, 과수, 채소 등의 해충방제제로서 사용되고 있다. 물에 대한 용해도는 11 mg/l이며, 증기압은 40°C에서 5.3×10^{-3} Pa이고, 토양중 반감기는 11일이다. Diazinon은 농작물 해충의 방제뿐만 아니라 위생 해충의 방제 약제로서 사용되고 있다. 물에 대한 용해도는 60 mg/l이며, 증기압은 25°C에서 1.2×10^{-2} Pa이고, 토양중 반감기는 21일이다. Methidathion은 과실, 채소 등에서 종합 살충

제로서 사용되고 있다. 물에 대한 용해도는 200 mg/l이며, 증기압은 20°C에서 2.5×10^{-4} Pa이고, 토양중 반감기는 18일이다.²⁾

포장에 사용된 농약이 토양과 접촉하게 되면 토양중의 표면에 흡착되며, 이러한 흡착 과정은 용탈, 휘발성 및 지속성에 영향을 미칠 수 있으므로, 농약의 동태에 중요한 요인이된다. 농약의 흡착은 주로 토양중 유기물 함량 및 양이온 치환용량에 영향을 받으며,³⁻⁵⁾ 또한 농약의 물에 대한 용해도,⁶⁾ 극성,⁷⁾ 분자량⁶⁾에도 영향을 받는다.

토양에 흡착된 농약은 토양단면에서 물의 침출에 의해 아래로 용탈되며, 용탈의 정도는 농약의 이화학적 성질에 의존한다.⁸⁾ 농약의 이화학적 성질로는 분배계수, 물에 대한 용해도, 증기압, 친수성-소수성 특성, 이온상태, 화학적, 광학적, 생물학적 성질 등이 포함된다. 일반적으로 토양입자에 강하게 흡착되고 물에 낮은 용해도를 가지고 있는 농약은 토양 중에서 비교적 용탈되기 어렵다.

한편 농약의 용탈 정도는 기후 및 토양에 크게 영향을 받는다.^{9,10)} 특히 우리나라에서의 제주도 토양은 육상에 비해서 매우 다양한 특성을 갖는다. 제주도 토양은 크게 흑색 화산회토, 농암갈색 화산회토, 암갈색 비화산회토 및 갈색토 등 토양색에 의해 4개의 토양군으로 구분되며, 농암갈색토 화산회토가 가장 많은 면적을 차지하고 있다. 1975년에 완성된 토양정밀도에 의하면 우리나라 전체는 375개 토양통이며, 여기서 제주도는 63개 토양통으로 매우 다양하다. 통별로는 흑색 화산회토가 15개통, 농암갈색 화산회토가 14개통, 암갈색 비화산회토가 27개통, 갈색 산림토가 6개통으로 구성되어 있다.

화산회토의 분류기준으로 pH(NaF)가 이용되고 있는데, 8.0 이하는 비화산회토로서 암갈색토가 해당되며, 8.0 이상은 화산회토로 분류된다. 유기물과 양이온 치환용량은 암갈색 비화산회토의 경우 낮고 화산회토는 높으며 색깔이 진해질수록 높다.

토양의 지역적 분포를 살펴 보면, 흑색 화산회토는 성산, 표선, 남원 등 동부지역에 분포하며 주로 야생초지로 이용되고 있다. 농암갈색 화산회토는 중산간 지방의 평탄지에 분포하고 있고 일부는 전작 또는 과수원으로 이용되고 있으며 나머지는 주로 야생초지로 이용되고 있다. 암갈색 비화산회토는 제주 애월, 한림, 한경 및 대정 등 제주의 서부와 서북부지역의 해안지대에 분포하며 주로 경작지로 활용하고 있다. 갈색 산림토는 해발 700m 이상의 산림지에 분포한다.

제주도의 감귤원 등의 농업에서 사용된 농약은 토양, 지하수 오염 및 인근 해역으로 유입되어 해양 오염을 유발시켜 해양 생태계에 영향을 미칠 가능성이 있다.¹¹⁾ 이러한 농약의 거동이 제주도 토양에서는 토양의 특성에 크게 영향을 받게 되므로 이에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 제주도 토양에 대한 유기인계 농약의 이동성을 예측하고자, 유기인계 농약 phenthroate, diazinon, methidathion의 제주도의 흑색 화산회토, 농암갈색 화산회토 및 암갈색 비화산회토에서의 흡착능과 토양칼럼에서의 용탈을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

본 실험에 사용된 토양 시료는 제주도 인근 연안환경에 인접하여 있는 감귤원에서 남원지역의 흑색 화산회토, 애월지역의 농암갈색 화산회토, 무릉지역의 암갈색 비화산회토를 채취하였다(Fig. 1). 토양시료는 표토 30cm를 채취하여 풍건하고 2mm체를 통과하여 사용하였다. 토

양의 물리적 성질을 파악하기 위해서는 100cm³의 core 채취기로 채취하였다. 각 토양에서 토성(soil texture), 용적밀도(bulk density), 입자밀도(particle density), 공극율(porosity)은 토양학실험¹²⁾에 따라 측정하였고, pH(H₂O)는 1:5법, pH(NaF)는 1:50법, 유기물함량(organic matter content)은 Walkey-Black법, 양이온 치환용량(CEC)은 1M CH₃COONH₄법에 따라 측정하였다.¹³⁾ 채취한 각 토양의 물리화학적 성질은 Table 1과 같다.

공시약제는 sigma제(USA)의 phenthroate(순도 98%), diazinon(순도 99%), methidathion(순도 99%)을 acetone에 녹여 1000μg/ml로 모액을 조제하였고, 이를 종류수로 회석하여 사용하였다. n-Hexane은 Fisher제(USA, HPLC grade)를, Na₂SO₄ 및 NaCl은 Wako사제(Japan) 잔류농약분석용 시약을 사용하였다.

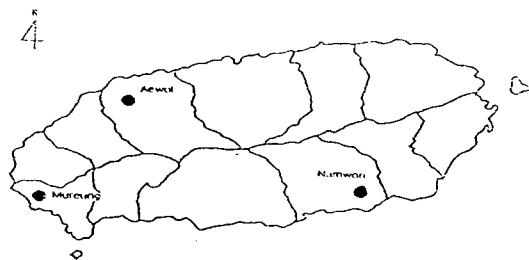


Fig. 1. Sampling sites of soils in Cheju Island.

2.2. 실험방법

2.2.1. 흡착실험

흡착 실험은 3g의 토양과 30ml의 공시농약(1~20 ng/ml)을 50ml의 polyethylene 원심분리관에 넣고, 25°C에서 135회/분 속도로 24시간 항온 진탕하였다. 이 시간은 예비 실험에서 평형에 도달하기 위하여 충분한 시간이었다. 4000rpm에서 20분동안 원심분리하여 상동액 20ml를 분석시료로 사용하였다. 따로 공시험을 하여 이때 사용한 농약의 양과 상동액 중의 농약의 양의 차이를 흡착된 양으로 계산하였다.

2.2.2. 용탈실험

용탈실험은 내경 5cm, 길이 60cm인 아크릴 칼럼에서 30cm(588.8cm³)까지 토양을 충진하여 수행하였다. 토양 칼럼은 5cm으로 분절된 각 부분을 실리콘 접착제로 조합하여 만들었다. 자연조건에서의 토양과 유사한 조건을 만들기 위해 각 토양칼럼에 흑색화산회토인 남원토양

Table 1. Physical and chemical properties of the soils in Cheju Island

Soil	Texture	Bulk density (g/cm ³)	Particle density (g/cm ³)	Porosity (%)	pH		Organic matter content (%)	CEC ¹¹ (meq/100g)
					(H ₂ O)	(NaF)		
Namwon soil	Clay	0.61	2.24	72.8	4.5	11.9	19.8	24.8
Aewol soil	Clay	0.92	2.45	62.4	4.1	9.6	6.2	13.0
Mureung soil	Sandy clay	1.11	2.62	57.6	5.4	7.9	2.4	9.5

¹¹⁾ cation exchange capacity

550g, 농암갈색 화산회토인 애월토양 680g, 암갈색 비화산회토인 무릉토양 780g을 넣고, 층위별로 같은 구조가 되도록 유리봉으로 잘 다지면서 충진하였다. 칼럼 내에 충진된 토양의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

각 토양칼럼을 증류수로 포화시킨 후 각 농약이 100mg을 함유한 혼합용액을 토양의 상부표면에 가하고, 1, 3, 5, 7 및 10 pore volume(PV)으로 용출시켰다. 유출속도는 남원토양, 애월토양, 무릉토양에서 각각 $12.43 \pm 1.72 \text{ mL/hr}$, $9.14 \pm 1.21 \text{ mL/hr}$, $8.52 \pm 0.95 \text{ mL/hr}$ 였다. 용출후 용출액과, 토양 깊이별 즉 0~5cm, 5~10cm, 10~15cm, 15~20cm, 20~25cm, 25~30cm의 깊이로 구분한 후 토양중 농약의 농도를 측정하였다.

Table 2. Physical properties of the soil column(5cm × 30cm) for leaching experiment

Soil	1 Pore Volume (mL)	Bulk density (g/cm ³)	Particle density (g/cm ³)	Porosity (%)
Namwon soil	373	0.72	1.96	63.3
Aewol soil	329	1.03	2.33	55.8
Mureung soil	324	1.17	2.60	55.0

2.2.3. 농약의 분석

용액 중에서 농약의 추출은 시료 20mL에 n-Hexane 100mL, 포화 NaCl 용액 10mL을 가하고 2분간 강하게 진탕후 정치하였다. n-Hexane층을 무수 Na₂SO₄를 넣은 여지를 통과시켜서 수분을 제거하고, 이를 회전 증발 농축기(Buchi R-124)로 용매가 1mL정도 남을 때까지 농축하였다. 그리고 n-Hexane으로 5mL가 되게 하여 gas chromatograph로 분석하였다.

토양 중에서 농약의 추출은 풍건된 토양 30g에 100mL의 acetone-n-Hexane 혼합용액(1:1)를 가하고 자석교반기로 2시간 교반하여 추출하였다. 추출액을 분액여두에 옮기고 포화 NaCl 용액 20mL 및 증류수 500mL로 3회 세척하여 추

출액 중 acetone을 제거하고 n-Hexane층을 취하였다. 그 이후는 용액 중에서 농약분석 방법으로 하였다.

Gas chromatograph(HP 5890 series II)는 검출기로 flame photometric detector(FPD)를, 칼럼은 HP-1 capillary column($10\text{m} \times 0.53\text{mm} \times 0.88\text{ }\mu\text{m}$ film thickness, crosslinked methyl silicone)을 사용하였다. 주입구 온도는 220°C , 검출기온도는 250°C 로 하였다. 오븐온도는 승온분석 하기 위해, initial temp. 150°C , initial time 2min, ramp rate $20^\circ\text{C}/\text{min}$, final temp. 190°C , final time 1 min, ramp rate $2^\circ\text{C}/\text{min}$, bake-out temp. 230°C , bake-out time 5min 조건으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 농약의 분석

Phenthroate, diazinon, methidathion의 검출한 계는 용액 중에서는 각각 $0.05\text{ }\mu\text{g/mL}$, $0.02\text{ }\mu\text{g/mL}$, $0.02\text{ }\mu\text{g/mL}$ 였으며, 토양 중에서는 각각 $0.2\text{ }\mu\text{g/g}$, $0.1\text{ }\mu\text{g/g}$, $0.2\text{ }\mu\text{g/g}$ 였다. 회수율은 Table 3에서와 같이 용액중에서는 86.8~98.2% 범위였고, 토양 중에서는 85.8~94.0% 범위로 농약의 종류와 농도에 따라 차이를 보였으나 비교적 양호한 회수율을 보였다.

Table 3. Recoveries of organophosphorus pesticides in water and soil

Pesticides	Water		Soil	
	Conc. ($\mu\text{g/mL}$)	Recovery ^a (%) (Mean ± SD)	Conc. ($\mu\text{g/g}$)	Recovery ^a (%) (Mean ± SD)
Phenthroate	0.1	88.5 ± 5.2	0.5	85.8 ± 4.6
	1.0	91.8 ± 4.8	1.0	88.5 ± 9.5
	5.0	96.5 ± 2.8	5.0	92.2 ± 6.9
Diazinon	0.1	90.1 ± 2.5	0.5	88.6 ± 8.8
	1.0	95.2 ± 5.8	1.0	92.8 ± 7.5
	5.0	98.2 ± 3.5	5.0	86.5 ± 7.5
Methidathion	0.5	86.8 ± 11.2	0.5	86.0 ± 8.8
	1.0	89.7 ± 4.4	1.0	91.2 ± 6.5
	5.0	92.6 ± 2.4	5.0	94.0 ± 5.2

^a n = 5

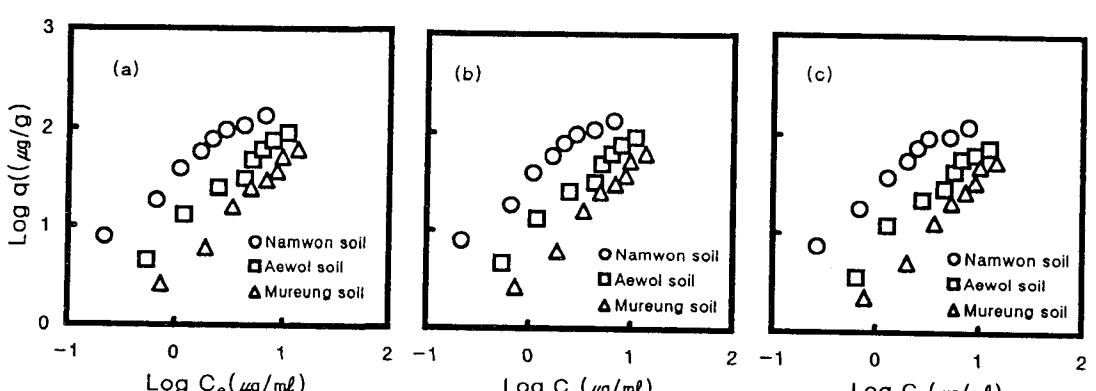


Fig. 2. Freundlich adsorption isotherms of phenthroate(a), diazinon(b) and methidathion(c) for Namwon, Aewol and Mureung soils.

3.2. 흡착능

본 연구에서 토양 중 농약 흡착능은 농약 흡착연구에 광범위하게 사용되고 있는 Freundlich 흡착 등온식^[14-16]에 적용하였다. 이는 식(1)과 같고 이를 선형화 하면 식(2)로 표현할 수 있다.

$$q = KC_e^{1/n} \quad (1)$$

$$\log q = \log K + (1/n) \log C_e \quad (2)$$

여기서 q 는 단위 토양 무게당 흡착된 농약의 양($\mu\text{g/g}$), C_e 는 흡착평형 후의 용액중의 농약의 농도($\mu\text{g/mL}$), K 와 $1/n$ 은 Freundlich상수이다. K 는 각 토양에 대한 농약의 상대적 흡착 용량을 나타내는 지표이고, $1/n$ 은 용액 중 평형농도와 흡착량 사이의 직선성 정도를 나타낸다. 흡착량(q)은 다음 식에 의해 구하였다.

$$q = (C_e - C_0)V/M \quad (3)$$

여기서 C_0 은 초기 농약의 농도($\mu\text{g/mL}$), V 는 용액의 부피(mL), M 은 토양의 양(g)이다.

각 토양에서 공시약제의 Freundlich 흡착등온식을 Fig. 2에 도시하였고, 흡착등온식으로부터 구한 흡착 파라미터는 Table 4와 같았다.

농약종류별 K 값을 비교하여 보면, 남원토양의 경우 phenthoate, diazinon, methidathion에 대해 각각 52.4, 31.3, 27.7로 phenthoate>diazinon>methidathion의 순으로 흡착력이 감소하였다. Phenthoate, diazinon, methidathion의 물에 대한 용해도는 각각 11mg/l, 60mg/l, 200mg/l인데, 용해도가 적을수록 K 값이 크게 나타났다. 토양에서의 농약 흡착량은 phenthoate가 가장 높았고, methidathion은 상대적으로 낮았다. 이는 김과 Feagley^[17]의 농약 흡착력은 물에 대한 용해도가 적은 농약일수록 토양에 흡착력이 강하다는 보고와 일치하였다. 이와 같은 결과는 애월토양과 무릉토양에서도 같은 경향을 보였다.

토성별 K 값을 비교하여 보면, phenthoate 경우 남원토양, 애월토양, 무릉토양에 대해 각각 52.4, 15.9, 5.9로 남원토양>애월토양>무릉토양의 순으로 흡착력이 감소하였다. 이는 남원토양, 애월토양, 무릉토양의 유기물함량이 각각 19.8%, 6.2%, 2.4%이고, CEC가 각각 24.8meq/100g, 13.0meq/100g, 9.5meq/100g과 같은 경향이었다. 남원토양의 흡착능은 애월토양, 무릉토양에 각각 3.3배, 8.9배로 상대적으로 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 diazinon과 methidathion에서도 같은 경향을 보였다.

농약의 흡착능은 토양 유기물함량이 높을수록 증가하며^[18] 임과 봉^[19]은 양이온 치환용량이 높을수록 농약의 흡착량이 증가한다고 보고하고 있다. 박 등^[20]은 제주도 토양에서 양이온 치환용량은 주로 유기물에 기인된다고 보고하였다. 본 연구에서도 유기물함량, 양이온 치환용량이 높은 흑색 화산회토인 남원토양에서 흡착능이 가장 높았고, 이들 함량이 낮은 암갈색 비화산회토인 무릉토양에서는 흡착능이 낮았다. 따라서 토양에서의 농약의 흡착은 유기물함량과 양이온 치환용량이 중요한 인자가 됨을 보여주고 있다.

한편 K 를 유기탄소함량으로 나눈 것이 K_{OC} 로 표시되는 흡착상수이며, 이것은 다음과 같이 나타낼 수 있다.^[21]

$$K_{OC} = (K / \% \text{ organic carbon}) \times 100 \quad (4)$$

여기서 K_{OC} 는 토양의 유기탄소분율에 기인된 토양의 농약 흡착능을 나타내는 상수이다.

농약종류별 K_{OC} 값을 비교하여 보면, 남원토양의 경우 phenthoate, diazinon, methidathion에 대해 각각 456, 272, 241로 phenthoate>diazinon>methidathion의 순으로 크게 감소하였다. 그러나 토성별 K_{OC} 값은 비교하여 보면, phenthoate 경우 남원토양, 애월토양, 무릉토양에 대해 각각 456, 442, 421로 남원토양>애월토양>무릉토양의 순으로 감소하였으나, K 값만큼 큰 차이는 보이지 않았다. 이는 토양 중 흡착력에 크게 영향을 미치는 유기물함량이 고려된 K_{OC} 흡착상수의 특성이라고 볼 수 있다.

Freundlich 상수인 $1/n$ 은 토양 중에 흡착된 농약의 양과 수중 평형 농약농도사이의 직선성의 정도를 나타낸다. Hata와 Nunoshige^[22]에 의하면 토양에서 유기물 함량이 높은 토양일수록 1보다 작고, 유기물 함량이 낮은 토양일수록 1보다 크다고 보고하였다. 본 실험에서 $1/n$ 은 유기물함량이 높은 남원토양은 0.84~0.88로 1보다 낮게 나타났고, 유기물함량이 낮은 무릉토양에서는 1.08~1.17로 1보다 높았다. 따라서 유기물 함량이 $1/n$ 과 높은 상관성을 나타낼 수 있으며, Hata와 Nunoshige^[22]의 결과와 일치하였다.

Table 4. The Freundlich parameters for the adsorption of the organophosphorus pesticides in soil

Soil	Phenthoate			Diazinon			Methidathion					
	K	1/n	K _{OC}	R ²	K	1/n	K _{OC}	R ²	K	1/n	K _{OC}	R ²
Namwon soil	52.4	0.84	456	0.95	31.3	0.87	272	0.99	27.7	0.88	241	0.94
Aewol soil	15.9	0.97	442	0.99	9.2	0.98	256	0.97	7.7	1.01	214	0.99
Mureung soil	5.9	1.08	421	0.97	3.4	1.12	243	0.98	2.8	1.17	200	0.99

3.3. 토양칼럼에서 용탈

토양칼럼 깊이별과 유출액에서의 phenthoate, diazinon, methidathion 농도 분포는 각각 Table 5, 6, 7과 같다.

먼저 토양과 침출액을 합한 총회수율을 살펴보면 남원토양에서 phenthoate의 경우, 침출전, 1 PV, 3 PV, 5 PV, 7 PV 및 10 PV에서 각각 86.05%, 85.98%, 84.30%, 82.20%, 79.09%, 74.57%으로 용탈이 진행됨에 따라 회수율이 다소 감소하였다. 이는 농약종류와 토성에 따라서 큰 차이를 보이지 않았다.

용탈부피의 영향을 파악하기 위해 1 PV, 3 PV, 5 PV, 7 PV, 10 PV, 20 PV, 30 PV, 40 PV, 50 PV, 60 PV, 70 PV, 80 PV, 90 PV, 100 PV, 110 PV, 120 PV, 130 PV, 140 PV, 150 PV, 160 PV, 170 PV, 180 PV, 190 PV, 200 PV, 210 PV, 220 PV, 230 PV, 240 PV, 250 PV, 260 PV, 270 PV, 280 PV, 290 PV, 300 PV, 310 PV, 320 PV, 330 PV, 340 PV, 350 PV, 360 PV, 370 PV, 380 PV, 390 PV, 400 PV, 410 PV, 420 PV, 430 PV, 440 PV, 450 PV, 460 PV, 470 PV, 480 PV, 490 PV, 500 PV, 510 PV, 520 PV, 530 PV, 540 PV, 550 PV, 560 PV, 570 PV, 580 PV, 590 PV, 600 PV, 610 PV, 620 PV, 630 PV, 640 PV, 650 PV, 660 PV, 670 PV, 680 PV, 690 PV, 700 PV, 710 PV, 720 PV, 730 PV, 740 PV, 750 PV, 760 PV, 770 PV, 780 PV, 790 PV, 800 PV, 810 PV, 820 PV, 830 PV, 840 PV, 850 PV, 860 PV, 870 PV, 880 PV, 890 PV, 900 PV, 910 PV, 920 PV, 930 PV, 940 PV, 950 PV, 960 PV, 970 PV, 980 PV, 990 PV, 1000 PV, 1010 PV, 1020 PV, 1030 PV, 1040 PV, 1050 PV, 1060 PV, 1070 PV, 1080 PV, 1090 PV, 1100 PV, 1110 PV, 1120 PV, 1130 PV, 1140 PV, 1150 PV, 1160 PV, 1170 PV, 1180 PV, 1190 PV, 1200 PV, 1210 PV, 1220 PV, 1230 PV, 1240 PV, 1250 PV, 1260 PV, 1270 PV, 1280 PV, 1290 PV, 1300 PV, 1310 PV, 1320 PV, 1330 PV, 1340 PV, 1350 PV, 1360 PV, 1370 PV, 1380 PV, 1390 PV, 1400 PV, 1410 PV, 1420 PV, 1430 PV, 1440 PV, 1450 PV, 1460 PV, 1470 PV, 1480 PV, 1490 PV, 1500 PV, 1510 PV, 1520 PV, 1530 PV, 1540 PV, 1550 PV, 1560 PV, 1570 PV, 1580 PV, 1590 PV, 1600 PV, 1610 PV, 1620 PV, 1630 PV, 1640 PV, 1650 PV, 1660 PV, 1670 PV, 1680 PV, 1690 PV, 1700 PV, 1710 PV, 1720 PV, 1730 PV, 1740 PV, 1750 PV, 1760 PV, 1770 PV, 1780 PV, 1790 PV, 1800 PV, 1810 PV, 1820 PV, 1830 PV, 1840 PV, 1850 PV, 1860 PV, 1870 PV, 1880 PV, 1890 PV, 1900 PV, 1910 PV, 1920 PV, 1930 PV, 1940 PV, 1950 PV, 1960 PV, 1970 PV, 1980 PV, 1990 PV, 2000 PV, 2010 PV, 2020 PV, 2030 PV, 2040 PV, 2050 PV, 2060 PV, 2070 PV, 2080 PV, 2090 PV, 2100 PV, 2110 PV, 2120 PV, 2130 PV, 2140 PV, 2150 PV, 2160 PV, 2170 PV, 2180 PV, 2190 PV, 2200 PV, 2210 PV, 2220 PV, 2230 PV, 2240 PV, 2250 PV, 2260 PV, 2270 PV, 2280 PV, 2290 PV, 2300 PV, 2310 PV, 2320 PV, 2330 PV, 2340 PV, 2350 PV, 2360 PV, 2370 PV, 2380 PV, 2390 PV, 2400 PV, 2410 PV, 2420 PV, 2430 PV, 2440 PV, 2450 PV, 2460 PV, 2470 PV, 2480 PV, 2490 PV, 2500 PV, 2510 PV, 2520 PV, 2530 PV, 2540 PV, 2550 PV, 2560 PV, 2570 PV, 2580 PV, 2590 PV, 2600 PV, 2610 PV, 2620 PV, 2630 PV, 2640 PV, 2650 PV, 2660 PV, 2670 PV, 2680 PV, 2690 PV, 2700 PV, 2710 PV, 2720 PV, 2730 PV, 2740 PV, 2750 PV, 2760 PV, 2770 PV, 2780 PV, 2790 PV, 2800 PV, 2810 PV, 2820 PV, 2830 PV, 2840 PV, 2850 PV, 2860 PV, 2870 PV, 2880 PV, 2890 PV, 2900 PV, 2910 PV, 2920 PV, 2930 PV, 2940 PV, 2950 PV, 2960 PV, 2970 PV, 2980 PV, 2990 PV, 3000 PV, 3010 PV, 3020 PV, 3030 PV, 3040 PV, 3050 PV, 3060 PV, 3070 PV, 3080 PV, 3090 PV, 3100 PV, 3110 PV, 3120 PV, 3130 PV, 3140 PV, 3150 PV, 3160 PV, 3170 PV, 3180 PV, 3190 PV, 3200 PV, 3210 PV, 3220 PV, 3230 PV, 3240 PV, 3250 PV, 3260 PV, 3270 PV, 3280 PV, 3290 PV, 3300 PV, 3310 PV, 3320 PV, 3330 PV, 3340 PV, 3350 PV, 3360 PV, 3370 PV, 3380 PV, 3390 PV, 3400 PV, 3410 PV, 3420 PV, 3430 PV, 3440 PV, 3450 PV, 3460 PV, 3470 PV, 3480 PV, 3490 PV, 3500 PV, 3510 PV, 3520 PV, 3530 PV, 3540 PV, 3550 PV, 3560 PV, 3570 PV, 3580 PV, 3590 PV, 3600 PV, 3610 PV, 3620 PV, 3630 PV, 3640 PV, 3650 PV, 3660 PV, 3670 PV, 3680 PV, 3690 PV, 3700 PV, 3710 PV, 3720 PV, 3730 PV, 3740 PV, 3750 PV, 3760 PV, 3770 PV, 3780 PV, 3790 PV, 3800 PV, 3810 PV, 3820 PV, 3830 PV, 3840 PV, 3850 PV, 3860 PV, 3870 PV, 3880 PV, 3890 PV, 3900 PV, 3910 PV, 3920 PV, 3930 PV, 3940 PV, 3950 PV, 3960 PV, 3970 PV, 3980 PV, 3990 PV, 4000 PV, 4010 PV, 4020 PV, 4030 PV, 4040 PV, 4050 PV, 4060 PV, 4070 PV, 4080 PV, 4090 PV, 4100 PV, 4110 PV, 4120 PV, 4130 PV, 4140 PV, 4150 PV, 4160 PV, 4170 PV, 4180 PV, 4190 PV, 4200 PV, 4210 PV, 4220 PV, 4230 PV, 4240 PV, 4250 PV, 4260 PV, 4270 PV, 4280 PV, 4290 PV, 4300 PV, 4310 PV, 4320 PV, 4330 PV, 4340 PV, 4350 PV, 4360 PV, 4370 PV, 4380 PV, 4390 PV, 4400 PV, 4410 PV, 4420 PV, 4430 PV, 4440 PV, 4450 PV, 4460 PV, 4470 PV, 4480 PV, 4490 PV, 4500 PV, 4510 PV, 4520 PV, 4530 PV, 4540 PV, 4550 PV, 4560 PV, 4570 PV, 4580 PV, 4590 PV, 4600 PV, 4610 PV, 4620 PV, 4630 PV, 4640 PV, 4650 PV, 4660 PV, 4670 PV, 4680 PV, 4690 PV, 4700 PV, 4710 PV, 4720 PV, 4730 PV, 4740 PV, 4750 PV, 4760 PV, 4770 PV, 4780 PV, 4790 PV, 4800 PV, 4810 PV, 4820 PV, 4830 PV, 4840 PV, 4850 PV, 4860 PV, 4870 PV, 4880 PV, 4890 PV, 4900 PV, 4910 PV, 4920 PV, 4930 PV, 4940 PV, 4950 PV, 4960 PV, 4970 PV, 4980 PV, 4990 PV, 5000 PV, 5010 PV, 5020 PV, 5030 PV, 5040 PV, 5050 PV, 5060 PV, 5070 PV, 5080 PV, 5090 PV, 5100 PV, 5110 PV, 5120 PV, 5130 PV, 5140 PV, 5150 PV, 5160 PV, 5170 PV, 5180 PV, 5190 PV, 5200 PV, 5210 PV, 5220 PV, 5230 PV, 5240 PV, 5250 PV, 5260 PV, 5270 PV, 5280 PV, 5290 PV, 5300 PV, 5310 PV, 5320 PV, 5330 PV, 5340 PV, 5350 PV, 5360 PV, 5370 PV, 5380 PV, 5390 PV, 5400 PV, 5410 PV, 5420 PV, 5430 PV, 5440 PV, 5450 PV, 5460 PV, 5470 PV, 5480 PV, 5490 PV, 5500 PV, 5510 PV, 5520 PV, 5530 PV, 5540 PV, 5550 PV, 5560 PV, 5570 PV, 5580 PV, 5590 PV, 5600 PV, 5610 PV, 5620 PV, 5630 PV, 5640 PV, 5650 PV, 5660 PV, 5670 PV, 5680 PV, 5690 PV, 5700 PV, 5710 PV, 5720 PV, 5730 PV, 5740 PV, 5750 PV, 5760 PV, 5770 PV, 5780 PV, 5790 PV, 5800 PV, 5810 PV, 5820 PV, 5830 PV, 5840 PV, 5850 PV, 5860 PV, 5870 PV, 5880 PV, 5890 PV, 5900 PV, 5910 PV, 5920 PV, 5930 PV, 5940 PV, 5950 PV, 5960 PV, 5970 PV, 5980 PV, 5990 PV, 6000 PV, 6010 PV, 6020 PV, 6030 PV, 6040 PV, 6050 PV, 6060 PV, 6070 PV, 6080 PV, 6090 PV, 6100 PV, 6110 PV, 6120 PV, 6130 PV, 6140 PV, 6150 PV, 6160 PV, 6170 PV, 6180 PV, 6190 PV, 6200 PV, 6210 PV, 6220 PV, 6230 PV, 6240 PV, 6250 PV, 6260 PV, 6270 PV, 6280 PV, 6290 PV, 6300 PV, 6310 PV, 6320 PV, 6330 PV, 6340 PV, 6350 PV, 6360 PV, 6370 PV, 6380 PV, 6390 PV, 6400 PV, 6410 PV, 6420 PV, 6430 PV, 6440 PV, 6450 PV, 6460 PV, 6470 PV, 6480 PV, 6490 PV, 6500 PV, 6510 PV, 6520 PV, 6530 PV, 6540 PV, 6550 PV, 6560 PV, 6570 PV, 6580 PV, 6590 PV, 6600 PV, 6610 PV, 6620 PV, 6630 PV, 6640 PV, 6650 PV, 6660 PV, 6670 PV, 6680 PV, 6690 PV, 6700 PV, 6710 PV, 6720 PV, 6730 PV, 6740 PV, 6750 PV, 6760 PV, 6770 PV, 6780 PV, 6790 PV, 6800 PV, 6810 PV, 6820 PV, 6830 PV, 6840 PV, 6850 PV, 6860 PV, 6870 PV, 6880 PV, 6890 PV, 6900 PV, 6910 PV, 6920 PV, 6930 PV, 6940 PV, 6950 PV, 6960 PV, 6970 PV, 6980 PV, 6990 PV, 7000 PV, 7010 PV, 7020 PV, 7030 PV, 7040 PV, 7050 PV, 7060 PV, 7070 PV, 7080 PV, 7090 PV, 7100 PV, 7110 PV, 7120 PV, 7130 PV, 7140 PV, 7150 PV, 7160 PV, 7170 PV, 7180 PV, 7190 PV, 7200 PV, 7210 PV, 7220 PV, 7230 PV, 7240 PV, 7250 PV, 7260 PV, 7270 PV, 7280 PV, 7290 PV, 7300 PV, 7310 PV, 7320 PV, 7330 PV, 7340 PV, 7350 PV, 7360 PV, 7370 PV, 7380 PV, 7390 PV, 7400 PV, 7410 PV, 7420 PV, 7430 PV, 7440 PV, 7450 PV, 7460 PV, 7470 PV, 7480 PV, 7490 PV, 7500 PV, 7510 PV, 7520 PV, 7530 PV, 7540 PV, 7550 PV, 7560 PV, 7570 PV, 7580 PV, 7590 PV, 7600 PV, 7610 PV, 7620 PV, 7630 PV, 7640 PV, 7650 PV, 7660 PV, 7670 PV, 7680 PV, 7690 PV, 7700 PV, 7710 PV, 7720 PV, 7730 PV, 7740 PV, 7750 PV, 7760 PV, 7770 PV, 7780 PV, 7790 PV, 7800 PV, 7810 PV, 7820 PV, 7830 PV, 7840 PV, 7850 PV, 7860 PV, 7870 PV, 7880 PV, 7890 PV, 7900 PV, 7910 PV, 7920 PV, 7930 PV, 7940 PV, 7950 PV, 7960 PV, 7970 PV, 7980 PV, 7990 PV, 8000 PV, 8010 PV, 8020 PV, 8030 PV, 8040 PV, 8050 PV, 8060 PV, 8070 PV, 8080 PV, 8090 PV, 8100 PV, 8110 PV, 8120 PV, 8130 PV, 8140 PV, 8150 PV, 8160 PV, 8170 PV, 8180 PV, 8190 PV, 8200 PV, 8210 PV, 8220 PV, 8230 PV, 8240 PV, 8250 PV, 8260 PV, 8270 PV, 8280 PV, 8290 PV, 8300 PV, 8310 PV, 8320 PV, 8330 PV, 8340 PV, 8350 PV, 8360 PV, 8370 PV, 8380 PV, 8390 PV, 8400 PV, 8410 PV, 8420 PV, 8430 PV, 8440 PV, 8450 PV, 8460 PV, 8470 PV, 8480 PV, 8490 PV, 8500 PV, 8510 PV, 8520 PV, 8530 PV, 8540 PV, 8550 PV, 8560 PV, 8570 PV, 8580 PV, 8590 PV, 8600 PV, 8610 PV, 8620 PV, 8630 PV, 8640 PV, 8650 PV, 8660 PV, 8670 PV, 8680 PV, 8690 PV, 8700 PV, 8710 PV, 8720 PV, 8730 PV, 8740 PV, 8750 PV, 8760 PV, 8770 PV, 8780 PV, 8790 PV, 8800 PV, 8810 PV, 8820 PV, 8830 PV, 8840 PV, 8850 PV, 8860 PV, 8870 PV, 8880 PV, 8890 PV, 8900 PV, 8910 PV, 8920 PV, 8930 PV, 8940 PV, 8950 PV, 8960 PV, 8970 PV, 8980 PV, 8990 PV, 9000 PV, 9010 PV, 9020 PV, 9030 PV, 9040 PV, 9050 PV, 9060 PV, 9070 PV, 9080 PV, 9090 PV, 9100 PV, 9110 PV, 9120 PV, 9130 PV, 9140 PV, 9150 PV, 9160 PV, 9170 PV, 9180 PV, 9190 PV, 9200 PV, 9210 PV, 9220 PV, 9230 PV, 9240 PV, 9250 PV, 9260 PV, 9270 PV, 9280 PV, 9290 PV, 9300 PV, 9310 PV, 9320 PV, 9330 PV, 9340 PV, 9350 PV, 9360 PV, 9370 PV, 9380 PV, 9390 PV, 9400 PV, 9410 PV, 9420 PV, 9430 PV, 9440 PV, 9450 PV, 9460 PV, 9470 PV, 9480 PV, 9490 PV, 9500 PV, 9510 PV, 9520 PV, 9530 PV, 9540 PV, 9550 PV, 9560 PV, 9570 PV, 9580 PV, 9590 PV, 9600 PV, 9610 PV, 9620 PV, 9630 PV, 9640 PV, 9650 PV, 9660 PV, 9670 PV, 9680 PV, 9690 PV, 9700 PV, 9710 PV, 9720 PV, 9730 PV, 9740 PV, 9750 PV, 9760 PV, 9770 PV, 9780 PV, 9790 PV, 9800 PV, 9810 PV, 9820 PV, 9830 PV, 9840 PV, 9850 PV, 9860 PV, 9870 PV, 9880 PV, 9890 PV, 9900 PV, 9910 PV, 9920 PV, 9930 PV, 9940 PV, 9950 PV, 9960 PV, 9970 PV, 9980 PV, 9990 PV, 10000 PV, 10010 PV, 10020 PV, 10030 PV, 10040 PV, 10050 PV, 10060 PV, 10070 PV, 10080 PV, 10090 PV, 10100 PV, 10110 PV, 10120 PV, 10130 PV, 10140 PV, 10150 PV, 10160 PV, 10170 PV, 10180 PV, 10190 PV, 10200 PV, 10210 PV, 10220 PV, 10230 PV, 10240 PV, 10250 PV, 10260 PV, 10270 PV, 10280 PV, 10290 PV, 10300 PV, 10310 PV, 10320 PV, 10330 PV, 10340 PV, 10350 PV, 10360 PV, 10370 PV, 10380 PV, 10390 PV, 10400 PV, 10410 PV, 10420 PV, 10430 PV, 10440 PV, 10450 PV, 10460 PV, 10470 PV, 10480 PV, 10490 PV, 10500 PV, 10510 PV, 10520 PV, 10530 PV, 10540 PV, 10550 PV, 10560 PV, 10570 PV, 10580 PV, 10590 PV, 10600 PV, 10610 PV, 10620 PV, 10630 PV, 10640 PV, 10650 PV, 10660 PV, 10670 PV, 10680 PV, 10690 PV, 10700 PV, 10710 PV, 10720 PV, 10730 PV, 10740 PV, 10750 PV, 10760 PV, 10770 PV, 10780 PV, 10790 PV, 10800 PV, 10810 PV, 10820 PV, 10830 PV, 10840 PV, 10850 PV, 10860 PV, 10870 PV, 10880 PV, 10890 PV, 10900 PV, 10910 PV, 10920 PV, 10930 PV, 10940 PV, 10950 PV, 10960 PV, 10970 PV, 10980 PV, 10990 PV, 11000 PV, 11010 PV, 11020 PV, 11030 PV, 11040 PV, 11050 PV, 11060 PV, 11070 PV, 11080 PV, 11090 PV, 11100 PV, 11110 PV, 11120 PV, 11130 PV, 11140 PV, 11150 PV, 11160 PV, 11170 PV, 11180 PV, 11190 PV, 11200 PV, 11210 PV, 11220 PV, 11230 PV, 11240 PV, 11250 PV, 11260 PV, 11270 PV, 11280 PV, 11290 PV, 11300 PV, 11310 PV, 11320 PV, 11330 PV, 11340 PV, 11350 PV, 11360 PV, 11370 PV, 11380 PV, 11390 PV, 11400 PV, 11410 PV, 11420 PV, 11430 PV, 11440 PV, 11450 PV, 11460 PV, 11470 PV, 11480 PV, 11490 PV, 11500 PV, 11510 PV, 11520 PV, 11530 PV, 11540 PV, 11550 PV, 11560 PV, 11570 PV, 11580 PV, 11590 PV, 11600 PV, 11610 PV, 11620 PV, 11630 PV, 11640 PV, 11650 PV, 11660 PV, 11670 PV, 11680 PV, 11690 PV, 11700 PV, 11710 PV, 11720 PV, 11730 PV, 11740 PV, 11750 PV, 11760 PV, 11770 PV, 11780 PV, 11790 PV, 11800 PV, 11810 PV, 11820 PV, 11830 PV, 11840 PV, 11850 PV, 11860 PV, 11870 PV, 11880 PV, 11890 PV, 11900 PV, 11910 PV, 11920 PV, 11930 PV, 11940 PV, 11950 PV, 1196

제주도 토양에서 유기인계 농약의 흡착 및 용탈

분포되었다. 따라서 용탈부피의 증가로 용탈이 진행됨에 따라 상부 토양층에 흡착된 농약이 하부층으로의 용탈이 증가되었다. 이는 diazinon, methidathion에서도 유사하였다.

농약종류별 용탈정도를 비교하여 보면, phenthoate는 이동이 적었고 diazinon, methidathion은 상대적으로 이동이 많이되었다. phenthoate < diazinon < methidathion의 순으로 이동 많이 되었는데, 이는 흡착상수 K의 크기 phenthoate>diazinon>methidathion의 순서와는 역순이었다.

토성별 용탈정도를 비교하여 보면, 남원토양에서는 이동이 적었고 무릉토양에서는 상대적으로 이동이 많이 되었다. 남원토양 < 애월토양 < 무릉토양의 순으로 이동이 많이 되었는데, 이는 흡착상수 K의 크기 남원토양>애월토양>무릉토양의 순서와 역순이었다. 따라서 흡착상수 K가 크면 토양 중 흡착력이 크므로 용탈이 잘되지 않음을 토양칼럼실험에서 확인할 수 있었다(Table 5, 6, 7).

토양칼럼에서 10 PV으로 용탈시 유출액에서 농약의 최초검출 PV 및 농도는 Table 8과 같다. Phenthoate경우 남원토양에서는 검출되지 않았고 애월토양에서는 9 PV에서 0.15%, 무릉토양에서는 각각 8 PV에서 0.10%로 처음 검출되었고, 이후 용탈이 진행됨에 따라 유출액중의 농약의 농도는 증가하였다. 남원토양, 애월토양, 무릉토양에 대해 diazinon은 각각 8 PV, 8 PV, 6 PV에서 0.03%, 0.11%, 0.30%로, methidathion은 각각 8 PV, 7 PV, 4 PV에서 0.24%, 0.25%, 0.06%로 처음 검출되었다.

농약 종류별로 상호 비교하여 보면, 농약의 흡착실험에서 흡착량이 가장 많은 phenthoate가 용탈이 적었으

며, 상대적으로 흡착량이 적은 methidathion이 용탈이 많이 되었다. 한편 토양 종류별로 상호 비교하여 보면, 유기물 함량 및 양이온 치환용량이 매우 높아 농약의 흡착능이 큰 남원토양에서 용탈이 가장 느렸으며, 흡착능이 작은 무릉토양에서 가장 빠르게 일어났다(Table 5, 6, 7, 8).

흡착량이 많은 농약 또는 흡착능이 큰 토양일수록 농약의 이동은 느린 것으로 보고되었는데,²³⁻²⁵⁾ 본 연구에서도 흡착량이 많은 농약이 토양에서 용탈이 적고, 흡착능이 큰 남원토양이 다른 토양에 비해 농약의 용탈이 느렸다. 남원토양과 유사한 성질을 지닌 제주도 동부지역에 분포하고 있는 흑색 화산회토는 지하수 등 환경오염이 무릉토양에 비해서 상대적으로 적을 것으로 판단된다.

4. 결 론

제주도의 흑색 화산회토인 남원토양, 농암갈색 화산회토인 애월토양 및 암갈색 비화산회토인 무릉토양에서 유기인계 농약인 phenthoate, diazinon, methidathion의 흡착능과 토양칼럼에서 용탈을 검토하였다.

Freundlich 상수 즉 K값은 남원토양의 경우 phenthoate, diazinon, methidathion에 대해 각각의 경우 52.4, 31.3, 27.7로 phenthoate>diazinon>methidathion의 순으로 감소하였다. Phenthoate, diazinon, methidathion의 물에 대한 용해도는 각각 11mg/l, 60mg/l, 200mg/l 인데, 용해도가 적을수록 K값이 크게 나타났다.

토성별 K값은 phenthoate의 경우, 남원토양, 애월토양, 무릉토양에 대해 각각 52.4, 15.9, 5.9로 남원토양>애

Table 5. The distribution of phenthoate in soil column and leachate after leaching of 1-10 pore volume

Soil	Distribution (% of application)						Leachate	Total		
	Soil column(cm)									
	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30				
Namwon soil	before leaching	86.05						86.05		
	after leaching									
	1 PV	83.40	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00	85.98		
	3 PV	76.36	7.07	0.87	0.00	0.00	0.00	84.30		
	5 PV	68.54	11.44	1.86	0.36	0.00	0.00	82.20		
	7 PV	60.38	14.25	3.46	0.95	0.05	0.00	79.09		
Aewol soil	10 PV	45.72	18.68	6.66	2.60	0.86	0.05	74.57		
	before leaching	85.23						85.23		
	after leaching									
	1 PV	82.78	1.94	0.31	0.00	0.00	0.00	85.03		
	3 PV	71.19	10.52	2.45	0.00	0.00	0.00	84.16		
	5 PV	59.80	15.96	4.85	0.62	0.00	0.00	81.23		
Mureung soil	7 PV	47.50	20.30	6.95	2.42	1.16	0.10	78.43		
	10 PV	39.52	13.77	8.49	7.98	3.97	1.26	75.72		
	before leaching	84.90						84.90		
	after leaching									
	1 PV	80.69	3.25	0.76	0.00	0.00	0.00	84.70		
	3 PV	66.71	12.53	4.52	0.00	0.00	0.00	83.76		
	5 PV	54.54	14.02	9.49	2.24	0.15	0.00	80.44		
	7 PV	40.25	24.50	7.50	4.32	1.50	0.70	78.77		
	10 PV	34.97	11.96	9.26	7.83	6.32	3.79	74.93		

Table 6. The distribution of diazinon in soil column and leachate after leaching of 1~10 pore volume

Soil		Distribution (% of application)						
		Soil column(cm)						Leachate
		0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	
Namwon soil	before leaching	86.00						86.00
	after leaching							
	1 PV	82.00	3.35	0.10	0.00	0.00	0.00	85.45
	3 PV	73.80	7.99	1.72	0.18	0.00	0.00	83.69
	5 PV	60.08	17.45	2.91	0.88	0.11	0.00	81.43
	7 PV	42.25	29.10	4.98	1.76	0.32	0.08	78.49
	10 PV	22.31	28.27	6.26	3.80	2.39	0.29	74.19
	before leaching	88.25						88.25
	after leaching							
	1 PV	81.50	2.83	0.68	0.00	0.00	0.00	85.01
Aewol soil	3 PV	66.78	13.09	2.87	0.30	0.00	0.00	83.04
	5 PV	50.64	20.97	8.30	2.25	0.17	0.00	82.33
	7 PV	31.10	25.60	15.20	4.80	2.32	0.28	79.30
	10 PV	20.50	23.94	16.10	5.98	3.29	2.46	74.65
	before leaching	85.35						85.35
Mureung soil	after leaching							
	1 PV	80.51	3.67	0.96	0.00	0.00	0.00	85.14
	3 PV	60.94	16.91	4.23	1.23	0.00	0.00	83.31
	5 PV	34.69	23.49	13.77	6.40	1.68	0.25	80.28
	7 PV	23.30	23.20	17.10	8.30	4.30	1.28	78.98
	10 PV	4.65	12.66	16.50	13.68	9.94	4.12	12.73
	before leaching	85.35						85.35
	after leaching							

Table 7. The distribution of methidathion in soil column and leachate after leaching of 1~10 pore volume

Soil		Distribution (% of application)						
		Soil column(cm)						Leachate
		0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	
Namwon soil	before leaching	85.58						85.58
	after leaching							
	1 PV	81.60	3.53	0.25	0.00	0.00	0.00	85.38
	3 PV	72.35	8.35	2.30	0.41	0.00	0.00	83.41
	5 PV	44.42	31.12	4.62	1.40	0.21	0.00	81.77
	7 PV	33.28	35.48	6.80	2.40	0.58	0.10	78.64
	10 PV	19.38	35.43	8.71	4.67	2.92	0.48	74.32
	before leaching	84.50						84.50
	after leaching							
	1 PV	81.16	2.30	0.75	0.00	0.00	0.00	84.21
Aewol soil	3 PV	64.07	14.15	4.36	0.97	0.00	0.00	83.55
	5 PV	33.79	29.41	12.75	5.52	0.54	0.00	82.01
	7 PV	22.80	26.80	16.50	7.60	3.90	0.92	78.77
	10 PV	11.50	18.77	13.49	7.31	6.50	4.38	73.85
	before leaching	84.68						84.68
Mureung soil	after leaching							
	1 PV	79.69	3.39	1.36	0.00	0.00	0.00	84.44
	3 PV	56.50	17.80	7.30	1.90	0.00	0.00	83.50
	5 PV	28.98	25.95	12.57	9.14	3.62	0.79	81.31
	7 PV	15.80	20.80	20.20	7.60	6.80	4.21	78.88
	10 PV	4.02	10.52	12.88	10.62	8.40	5.40	23.07

Table 8. The distribution of organophosphorus pesticides in leachate after leaching of 10 pore volume

Soil	Pesticides	Concentration (% of application)									
		Leachate (pore volume)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Namwon soil	Phenthioate	- ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diazinon	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.17	0.67
	Methidathion	-	-	-	-	-	-	-	0.24	0.58	1.91
Aewol soil	Phenthioate	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	0.58
	Diazinon	-	-	-	-	-	-	-	0.11	0.42	1.85
	Methidathion	-	-	-	-	-	-	0.25	2.13	3.73	5.79
Mureung soil	Phenthioate	-	-	-	-	-	-	-	0.10	0.18	0.52
	Diazinon	-	-	-	-	-	0.30	1.20	2.41	3.18	5.64
	Methidathion	-	-	-	0.06	0.20	1.00	2.21	4.40	6.40	8.80

¹⁾ 0.00 %

월토양>무릉토양의 순으로 감소하였다. 이는 남원토양, 애월토양, 무릉토양의 유기물함량인 19.8%>6.2%>2.4%와 CEC가 24.8meq/100g> 13.0meq/100g> 9.5meq/100g과 같은 경향이 있다. 즉 유기물 함량 및 양이온 치환용량이 높을수록 흡착능이 높았다.

토양에 따른 Freundlich상수 1/n값은 유기물함량이 높은 남원토양에서 1보다 낮게 나타났으며, 유기물함량이 낮은 무릉토양에서 1보다 높았으므로, 유기물함량과 높은 상관성을 나타내었다.

토양칼럼에서 농약의 용탈시 토양과 유출액의 회수율을 합한 총회수율은 약 74~86% 범위였다. 용탈되는 경향을 농약 종류별로 상호 비교하여 보면, 농약의 흡착실험에서 흡착량이 가장 많은 phenthioate가 용탈이 적었으며, 상대적으로 흡착량이 적은 methidathion이 용탈이 많이 되었다. 토양 종류별로 상호 비교하여 보면, 유기물함량 및 양이온 치환용량이 매우 높아 농약의 흡착능이 큰 남원토양에서 용탈이 가장 느렸으며, 흡착능이 작은 무릉토양에서 가장 빠르게 용탈되었다.

감사의 글

이 연구는 학술진흥재단의 1995년도 중점대학 부설연구소 과제연구비 지원으로 수행되었으며, 이의 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 제주도, 1997, 환경백서, 96p.
- Tomlin, C., 1994, The Pesticide Manual(10th ed.), Crop Protection Publications, UK, 296~297, 675~676, 791~792pp.
- Bowman, B. T. and W. W. Sans, 1977, Adsorption of parathion, methyl parathion, aminoparathion and paraoxon by Na^+ , Ca^{2+} and Fe^{3+} montmorillonite suspensions, Soil Sci. Soc. Am. J., 41, 514~530.
- Clay, S. A. and W. C. Koskinen, 1990, Characterization of alachlor and atrazine desorption from soils, Weed

Sci., 38, 74~78.

- Singh, G., W. F. Spencer, M. M. Cliath, and M. T. van Genuchten, 1990, Sorption behavior of s-triazine and thiocarbamate herbicides on soils, J. Environ. Qual., 19, 520~525.
- Kozak, J. and S. J. Toth, 1983, Adsorption of five phenylurea herbicides by selected soils of Czechoslovakia, Weed Sci., 31, 368.
- Hollist, R. L. and C. L. Foy, 1971, Trifluralin interaction with soil constituents, Weed Sci., 19, 11.
- Himel, C. M., H. Loats, and G. W. Baily, 1989, Pesticide Sources to the Soil and Principles of Spray Physics, In H.H. Cheng(ed.), Pesticide in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modelling, Soil Sci. Soc. Am., Inc., Wisconsin, 7~50pp.
- Leonard, R. A., 1989, Movement of Pesticide into Surface Water, In H.H. Cheng, Pesticide in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling, Soil Sci. Soc. Am., Inc., Wisconsin, 303~349pp.
- 오상설, 고용구, 현해남, 1998, 제주도 토양의 농약흡착 및 용탈성, 제2회 한국토양환경학회 제주지부 국제심포지엄, 1998. 3. 20, 제주대학교, 141~156pp.
- 김복영 등, 1989, 농업환경화학, 동화기술, 215p.
- 최정, 김현제, 신영오, 1985, 토양학실험, 형설출판사, 15~23pp.
- Page, A. L., 1985, Methods of Soil Analysis(2nd ed.), Part 2, Chemical and Microbiological Properties, Am. Soc. Agron., Inc., Soil Soc. Am., Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Grover, J. and A. E. Smith, 1974, Adsorption studies with the acid and dimethylamine forms of 2,4-D and dicamba, Can. J. Soil Sci., 54, 179~186.
- Farmer, W. J. and Y. Aochi, 1974, Picloram sorption by soils, Soil Sci. Soc. Am. J., 38, 418~423.

- 16) Murray, M. R. and J. K. Hall, 1989, Sorption-desorption of dicamba and 3,6-dichlorsalicylic acid in soils, *J. Environ. Qual.*, 18, 51~57.
- 17) Kim, J. H. and S. E. Feagley, 1998, Adsorption and leaching of trifluralin, metolachlor, and metribuzin in a commerce soil, *J. Environ. Sci. Health. B33(5)*, 529~546.
- 18) Grover, G., 1977, Mobility of dicamba, picloram and 2,4-D in soil columns, *Weed Sci.*, 25, 159~162.
- 19) 임수길, 봉원애, 1992, Alachlor와 paraquat의 토양흡착에 관여하는 토양인자에 관한 연구, *한국환경농학회지*, 11, 101~108.
- 20) 박창서, 김이열, 조성진, 1985, 화산회토분류 및 CEC에 대한 유기물과 점토의 기여도, *한국토양비료학회지*, 18, 161~168.
- 21) Wood, L. S., H. D. Scott, D. B. Marx, and T. L. Lavy, 1987, Variability in sorption coefficients of metolachlor on a captina silt loam, *J. Environ. Qual.*, 16, 251~256.
- 22) Hata, Y. and T. Nunoshige, 1982, Adsorption and desorption of piperophos by soil, *J. Pest. Sci.*, 7, 155~160.
- 23) Chang, S. S. and J. F. Stritzke, 1977, Sorption, movement and dissipation of tebuthiuron in soils, *Weed Sci.*, 25, 184~187.
- 24) Weber, J. B. and C. J. Peter, 1982, Adsorption, bioactivity, and evaluation of soil tests for alachlor, acetochlor, and metolachlor, *Weed Sci.*, 30, 14~20.
- 25) Jones, R. E., P. A. Banks, and D. E. Radcliff, 1990, Alachlor and metribuzin movement and dissipation in a soil profile as influenced by soil surface condition, *Weed Sci.*, 38, 589~597.