

제주도 토양에서 EPN의 용탈과 잔류

김정호* · 김상규¹

경산대학교 환경학부, ¹제주대학교 환경공학과

요약 : 제주도 토양에서 EPN(*O*-ethyl-*O*-4-nitrophenyl phenylphosphonothioate) 유기인계 농약의 이동을 예측하기 위해서, 제주도의 흑색 화산회토인 남원토양, 농암갈색 화산회토인 애월토양 및 암갈색 비화산회토인 무릉토양에서 EPN의 흡착과 토양칼럼에서 용탈을 검토하였으며, 또한 연안해수와 저니토에서의 EPN 잔류를 조사하였다. 남원토양, 애월토양, 무릉토양의 유기물함량은 각각 19.8%, 6.2%, 2.4%였고, 양이온 치환용량은 각각 24.8 meq/100g, 13.0 meq/100g, 9.5 meq/100g이었다. Freundlich 상수 k 는 남원토양, 애월토양, 무릉토양에서 각각 89.4, 26.9, 9.2로 남원토양>애월토양>무릉토양의 순으로 감소하였다. 즉 유기물 함량 및 양이온 치환용량이 매우 높은 토양인 남원토양에서 흡착능이 높았다. Freundlich 상수 $1/n$ 은 유기물 함량이 많은 남원토양에서 0.82로 1보다 낮게 나타났으며, 유기물함량이 적은 무릉토양에서는 1.07로 1보다 높았다. EPN의 토양 중 용탈은 거의 일어나지 않았다. 토성별 용탈 경향은 농약의 흡착능이 큰 남원토양이 가장 침출이 적었고, 흡착능이 작은 무릉토양은 상대적으로 크게 일어났다. 한편 EPN은 도두와 위미에서의 해수와 저니토에서 모두 검출되지 않았다.(1999년 10월 7일 접수, 2000년 2월 23일 수리)

Key words : Adsorption, leaching, residues, EPN, organophosphorus pesticide, Cheju island.

서론

우리 나라에서의 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.

토양의 지역적 분포를 살펴보면, 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 700 m 이상의 산림지에 분포한다(김 등, 1999).

최근 제주도의 경우 1996년도 농경지에 사용한 농약의 총량은 5,515톤으로써 약 95 kg/ha 사용되었다(제주도, 1997). 이렇게 사용된 농약은 제주도 인근 연안을 오염시킬 가능성이 있다(김 등, 1999).

EPN (*O*-ethyl-*O*-4-nitrophenyl phenylphosphonothioate)은 과수의 잎말이나방류, 침식충류, 방패벌레, 매미충류, 깍지벌레류, 진딧물류, 응애류, 사과면충등에 사용되는 유기인계 살충제이다. 우리 나라에서는 EPN이란 이름으로 45% 유제가 생산되고 있으며, 특히 제주도에서는 감귤의 루비깍지벌레, 진딧물 방제를 위해 사용되고 있다(Tomlin, 1994).

제주도의 농업에서 사용된 이들 농약은 인근 해역으로 유입되어 해양오염을 유발시킬 가능성이 있다. 그러므로 농약이 제주도 연안 해양환경에 미치는 영향을 연구하기 위해서는 해수와 저니토 중 농약잔류를 조사할 필요가 있다.

토양 중 농약의 거동을 파악하기 위해서는 토양 중 흡착과(이 등, 1998; 전 등, 1998), 용탈실험(양 등, 1997; 이 등, 1998) 필요하다. 토양 중 농약의 흡착과 용탈은 농약의 이화학적 성질에 영향을 받는다(Himel 등 1989). 또한 토양의 물리화학적 성질에도 영향을 받는다(Leonard, 1989). 특히 토양중 유기물 함량 및 양이온 치환용량에 영향을 받는다(박 등, 1985; 임과 봉, 1992; 김 등, 1996).

따라서 본 연구에서는 제주도의 감귤농장에서 사용하고 있는 EPN의 제주도 토양에서 이동성을 예측하고자, 제주도의 토양 중 흑색 화산회토, 농암갈색 화산회토 및 암갈색 비화산회토에서의 흡착능과 토양칼럼에서의 용탈을 평가하였으며, 또한 사용된 EPN의 제주도 연안 환경에서 해수와 저니토 중 잔류를 조사하였다.

재료 및 방법

토양시료

흡착과 용탈실험에 사용된 토양 시료는 제주도 연안환경에 인접하여 있는 감귤원에서 남원지역의 흑색 화산회토, 애월지역의 농암갈색 화산회토, 무릉지역의 암갈색 비화산회토를 채취하였다(그림 1). 토양시료는 표토 30 cm를 채취하여 풍건하고 2 mm체를 통과한 후 사용하였다. 토양의 물리적 성질을 파악하기 위해서는 100 cm³의 core 채취기로 채취하였다. 각 토양에서 토성, 용적밀도, 입자밀도, 공

*연락처

극율은 최 등(1985)에 따라 측정하였고, pH(H₂O)는 1:5법, pH(NaF)는 1:50법, 유기물함량은 Walkley-Black법, 양이온 치환용량은 1M CH₃COONH₄법에 따라 측정하였다(Page, 1985).

잔류분석용 시료채취는 제주도 북쪽연안의 도두 부근과 남쪽연안의 위미 부근에서, 감귤농장에서 농약을 많이 살포하는 시기에 해당하는 1996년 8월에 해수와 저니토를 채취하였다(그림 1).

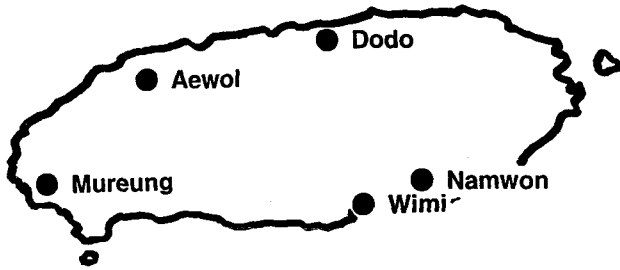


Fig. 1. Soil sampling sites for adsorption, leaching and residues of EPN in Cheju island.

흡착실험

흡착실험(김, 1996)은 3 g의 토양과 30 mL의 공시농약 (1~20 ng/mL)을 50 mL의 원심분리관에 넣고, 30°C에서 135 회/분 속도로 24 시간 항온 진탕하였다.

이 시간은 예비 실험결과, 평형에 도달하기 위하여 충분한 시간이었다. 4,000 rpm에서 20 분 동안 원심분리한 후, 상등액 20 mL를 분석시료로 사용하였다. 따로 공시험을 하여 상등액 중의 농약 양의 차이를 흡착된 양으로 계산하였다.

용탈실험

토양칼럼(김, 1996)은 내경 5 cm, 길이 60 cm인 아크릴로 제작하였으며, 각 5 cm로 분절된 각 부분을 실리콘 접착제로 조합하고, 토양을 30 cm (588.8 cm³)까지 충전하였다. 자연조건에서의 토양(표 2)과 유사한 조건을 만들기 위해 남원토양은 550 g, 애월토양은 680 g, 무릉토양은 780 g을 넣어, 균일하게 충전하였다. 칼럼 내에 충전된 토양의 물리적 성질은 표 1과 같았다.

용탈실험은 토양칼럼을 증류수로 포화시킨 후, EPN 100

mg을 함유한 용액을 토양의 상부 표면에 가하고, 1~10 pore volume으로 용출시켜 행하였다. 유출속도는 남원토양, 애월토양, 무릉토양에서 각각 12.43±1.72 mL/hr, 9.14±1.21 mL/hr, 8.52±0.95 mL/hr였다. 용출 후 용출액과, 토양 깊이별 즉 0~5, 5~10, 10~15, 15~20, 20~25, 25~30 cm의 깊이로 구분한 후, 토양 중 농약농도를 측정하였다.

농약의 분석

GC-FPD로 분석을 하기 위한 공시농약은 EPN(Crescent Chemical Co., 순도: 99.9%) 2.10 mg/L가 되게 조제하여 사용하였다. Acetone은 관동(일본)의 잔류분석용을, dichloromethane은 화광(일본)의 잔류분석용을 사용하였으며, 무수 Na₂SO₄는 화광의 EP급을 acetone과 dichloromethane으로 차례로 씻은 후 150°C에서 2시간 건조 후 사용하였다.

유기인계 농약의 분석은 토양 200 g을 1000 mL의 삼각 플라스크에 취하고, 여기에 200 mL의 acetone을 가하고 10분 동안 왕복 진탕 추출하였다. 잔사를 50 mL의 acetone으로 2회 반복 세척하여 여액을 합하였다. 추출액을 감압여과하고, 이를 dichloromethane 150 mL로 2회 추출하였다. Dichloromethane 용매층은 10 g의 무수 Na₂SO₄층을 통과시켜 탈수시켰다. 그리고 이를 감압 농축시킨 후 n-hexane으로 용량을 4 mL로 맞춘 후, 정제용 시료로 하였다. 물 시료는 200 mL을 dichloromethane 150 mL로 2회 추출 한 후, 그 이후는 토양 시료 분석과 동일하게 하였다.

정제과정은, 정제용 칼럼(내경 15 mm×길이 30 cm)에 activated carbon:cellulose(1:10) 5 g을 가하고 그 위에 5 g의 무수 Na₂SO₄를 가한 다음 n-hexane 30 mL로 씻어냈다. Column 상단이 마르기 전에 추출된 시료를 가하고, benzene 150 mL로 용출시켰다. 이 용출분획을 감압농축시키고, n-hexane로 최종부피를 4 mL 맞춘 후 GC-FPD분석용 시료로 하였다.

Flame photometric detector(FPD)가 부착된 Hewlett packard 5890 series II gas chromatograph를 사용하여 농약을 분석하였다. 온도는 주입구를 250°C, 검출기는 280°C로 하였다. Column은 Ultra II capillary column(0.2 mm, ID×25 m, L)을 사용하였고, 80°C~180°C(20°C/min), 180°C~240°C(3°C/min), 240°C~280°C(5°C/min)로 승온 분석하였다. 이동상은 N₂을 1.02 mL/min으로 하였다.

Table 1. Physical properties of the soil column(5 cm×30 cm) 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

Table 2. Physicochemical properties of the soils in Cheju Island

Site	Texture	Bulk density (g/cm ³)	Particle density (g/cm ³)	Porosity (%)	pH		Organic matter (%)	CEC ^{a)} (meq/100g)
					(H ₂ O)	(NaF)		
Namwon	Clay	0.61	2.24	72.6	4.5	11.9	19.8	24.8
Aewol	Clay	0.92	2.45	62.4	4.1	9.6	6.2	13.0
Mureung	Sandy clay	1.11	2.62	57.6	5.4	7.9	2.4	9.5

^{a)}Cation exchange capacity.

결과 및 고찰

토성 분석

남원토양, 애월토양, 무릉토양의 토성과 물리화학적 성질은 표 2와 같다. pH(NaF)는 남원 토양이 11.9, 애월토양은 9.6, 무릉토양은 7.9였다. 화산회토의 분류기준으로 pH(NaF)가 이용되고 있는데, 8.0 이하는 비화산회토이며, 8.0 이상은 화산회토로 분류된다(감 등, 1999). 따라서 남원 토양과 애월토양은 화산회토이며, 무릉토양은 비화산회토에 속한다. 양이온 치환용량은 남원 토양이 24.8 meq/100g, 애월토양은 13.0 meq/100g, 무릉토양은 9.5 meq/100g이었다. 한편 유기물함량은 남원 토양이 19.8%, 애월토양은 6.2%, 무릉토양은 2.4%으로, 남원토양이 상대적으로 유기물함량이 높았다. 일반적으로 유기물과 양이온 치환용량은 암갈색 비화산회토의 경우 낮고 화산회토는 높다(감 등, 1999). 박 등(1985)도 제주도 토양에서 양이온 치환용량은 주로 유기물에 기인된다 하였다.

토양에 의한 흡착

토양 중 농약 흡착능은 Linear 흡착 등온식과 Freundlich 흡착 등온식에 적용하였다(Murray와 Hall, 1989). 그림 2는 각 토양에 대한 Linear 및 Freundlich 흡착등온식을 나타내었고, 흡착등온식으로부터 구한 흡착 파라미터는 표 3과 같았다. 여기서 Linear 흡착등온식은 x/m 과 C 관계의 흡착등온식에서 직선적 관계가 성립되는 농도범위에서 적용되며, 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$x/m = K_d \cdot C \tag{1}$$

여기서 x는 토양에 흡착된 EPN량, m은 흡착제 토양의 량, x/m은 단위 토양 무게당 흡착된 EPN의 양(μg/g), C는 흡착평형 후의 용액중의 농약의 농도(μg/mL)이다. 이 흡착등온식으로부터 기울기에 해당하는 분배계수(distribution coefficient, K_d)를 구할 수 있다. 이는 1 ppm의 평형농도에서 토양 1 g당 흡착되는 농약의 흡착량(μg)으로, 토양과 물에서 농약의 분배정도를 나타내는 지표이다. 표 3에서 농약의 분배계수인 K_d를 살펴보면, 남원토양>애월토양>무릉토양에서 각각 76.9, 28.5, 10.4로 남원토양>애월토양>무릉토양의 순으로 감소하였다.

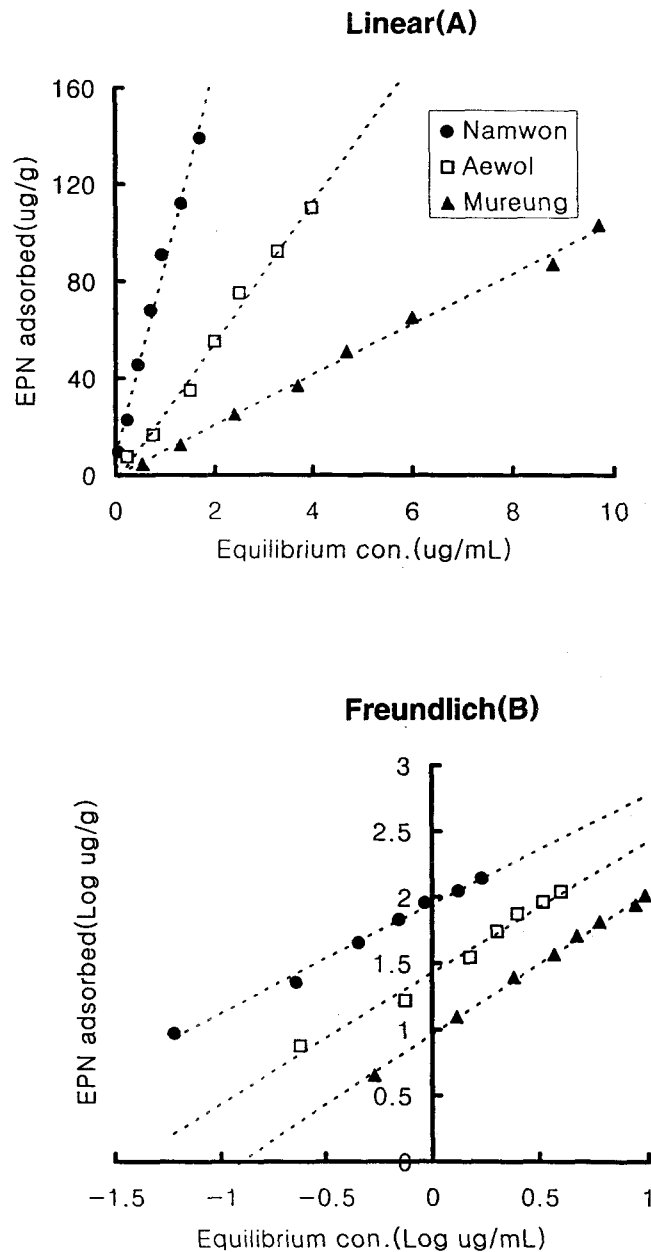


Fig. 2. Linear(A) and Freundlich(B) adsorption isotherms of EPN for Namwon soil, Aewol soil and Mureung soil in Cheju island.

Table 3. The Linear and Freundlich parameters for the adsorption of the EPN in soils of Cheju Island

Soil	Linear		Freundlich			
	Kd	R ²	K	Koc	1/n	R ²
Namwon soil	76.9	0.989	89.4	451	0.82	0.993
Aewol soil	28.5	0.990	26.9	433	0.99	0.983
Mureung soil	10.4	0.995	9.2	383	1.07	0.997

한편 Freundlich 흡착 등온식은 다음과 같다.

$$x/m = kC^{1/n} \quad (2)$$

k와 1/n은 Freundlich 상수이다. k는 각 토양에 대한 농약의 상대적 흡착 용량을 나타내는 지표이고, 1/n은 용액 중 평형농도와 흡착량 사이의 직선성 정도를 나타낸다. 이것을 선형화하면 다음과 같다.

$$\text{Log } x/m = \text{Log } k + (1/n) \text{ Log } C \quad (3)$$

각 토양에 대해 농약의 흡착용량을 나타내는 Freundlich 상수인 토성별 k는 남원토양, 애월토양, 무릉토양에 대해 각각 89.4, 26.9, 9.2로 남원토양>애월토양>무릉토양의 순으로 감소하였다(표 3). 이는 남원 토양, 애월토양, 무릉토양의 양이온 치환용량이 24.8 meq/100g > 13.0 meq/100g > 9.5 meq/100g와 같은 경향이였다. 역시 남원토양, 애월 토양, 무릉토양의 유기물함량인 19.8% > 6.2% > 2.4%과 같은 경향이였다.

남원토양은 애월토양, 무릉토양의 흡착용량에 비해 각각 1.5배, 9.3배 크게 나타났다. 따라서 남원토양이 다른 토양에 비해 많은 양의 농약이 흡착되었고, 무릉토양은 상대적으로 흡착능이 낮았다.

일반적으로 농약은 토양 유기물함량이 높을수록 증가하며, 양이온 치환용량이 높을수록 농약의 흡착량이 증가한다(임과 봉, 1992). 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 보여주고있다.

한편 k를 유기탄소함량으로 나눈 것이 Koc로 표시되는 흡착상수이며, 이것은 다음과 같이 나타낼 수 있다(Wood 등, 1987).

$$Koc = (k / \% \text{ organic carbon}) \times 100 \quad (4)$$

여기서 Koc는 토양의 유기탄소분율에 기인된 토양의 농약 흡착능을 나타내는 상수이다. 유기탄소 분율에 기인된 흡착상수인 Koc를 살펴보면 남원토양, 애월토양, 무릉토양에 대해 각각 451, 433, 383로 Freundlich 상수 k만큼은

큰 차이를 보이지 않았다.

Freundlich 상수인 1/n은 토양 중에 흡착된 농약의 양과 수중 평형 농약 농도사이의 직선성의 정도를 나타낸다. Hata와 Nunoshige(1982)에 의하면 토양에서 유기물 함량이 높은 토양일수록 1보다 작고, 유기물 함량이 낮은 토양일수록 1보다 크다고 하였다.

본 실험에서 1/n은 유기물함량이 높은 남원토양은 0.82로 1보다 낮게 나타났고, 유기물함량이 낮은 무릉토양에서는 1.07로 1보다 높았다. 따라서 유기물 함량이 1/n과 높은 상관성을 나타냄을 알 수 있으며, Hata와 Nunoshige(1982)의 결과와 일치하였다.

토양칼럼에서 용탈

침출전, 1, 3, 5, 7, 10 pore volume(PV)으로 용출하였을 경우, 토양칼럼 내 토양과 유출액을 합한 총회수율을 남원토양에서 살펴보면, 각각 86.52, 86.31 및 81.47, 79.0, 76.09%로, 침출이 진행됨에 조금씩 회수율이 낮아졌다. 애월과 무릉토양에서의 총회수율은 남원토양과 유사하였다.

토양칼럼 깊이별 분포는 그림 3, 4, 5와 같았다. 상대적으로 용탈이 적게 진행된 남원토양에서, 0~5, 5~10, 10~15, 15~20, 20~25 및 25~30 cm 부분의 깊이별 용탈분포를 살펴보면, 침출전에는 각각 86.52, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00 및 0.00%였다. 여기서 1 PV에 해당하는 373 mL의 물로 용출한 경우, 깊이별로 각각 84.50, 1.81, 0.0, 0.0, 0.0 및 0.0%였다. 3 PV 해당하는 1119 mL로 용출한 경우는 78.74, 5.46, 0.15, 0.00, 0.00 및 0.00%였고, 10 PV 해당하는 3730 mL로 용출한 경우는 58.32, 11.75, 3.91, 1.08, 0.06%였다.

토양 깊이별 농도분포는 용탈이 진행됨에 따라 상부 토양층에 흡착된 농약이 물에 의해 하부 층으로 매우 적은량 용출되었다. 1 PV에서 10 PV로 용출량을 증가시켜도 EPN의 용탈은 소량 이루어짐을 확인할 수 있었다. Kim과 Feagley(1998)의 용탈 실험과 비교하여 볼 때, 토양 중 용탈이 거의 일어나지 않는 trifluralin과 유사하게 EPN도 토양 중 용탈이 잘 일어나지 않는 분류에 속한다.

용탈을 토성별로 비교하여 보면, 남원토양에서는 용탈이 적게되었고, 무릉토양에서는 상대적으로 용탈이 더 많이 진행되었다. 이는 남원토양이 애월토양과 무릉토양보다 흡착용량이 각각 1.5배, 9.3배의 크게 나타난 흡착실험의 결과와 일치하였다. 따라서 흡착실험의 결과가 용탈실험으로 확인될 수 있었다.

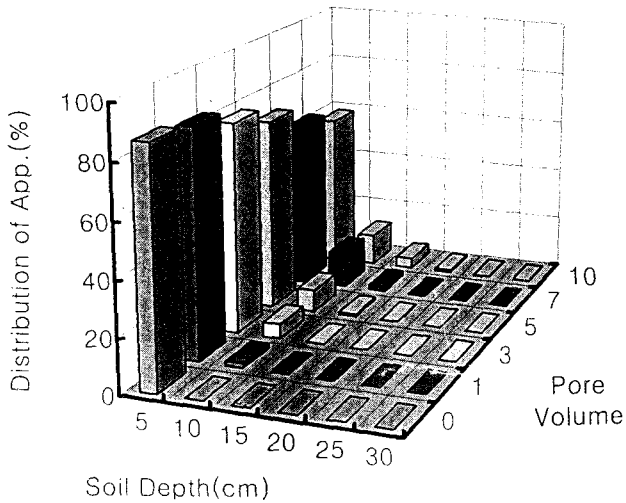


Fig. 3. The distribution of EPN for soil column of Namwon soil in Cheju island after leaching with none leaching, 1, 3, 5, 7, 10 pore volume.

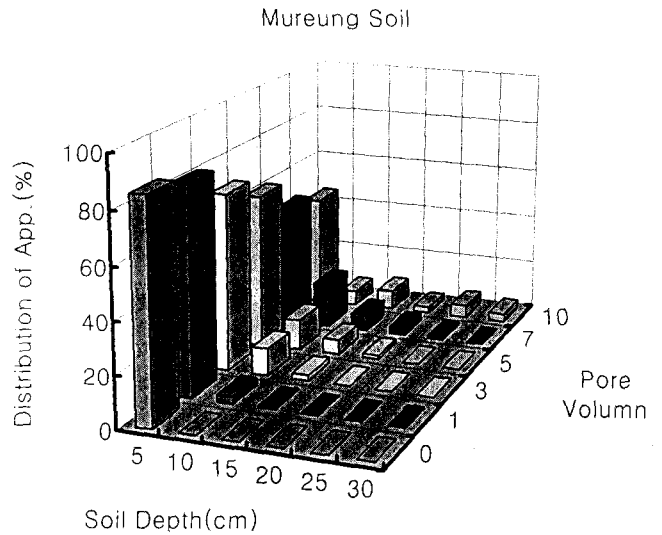


Fig. 5. The distribution of EPN for soil column of Mureung soil in Cheju island after leaching with none leaching, 1, 3, 5, 7, 10 pore volume.

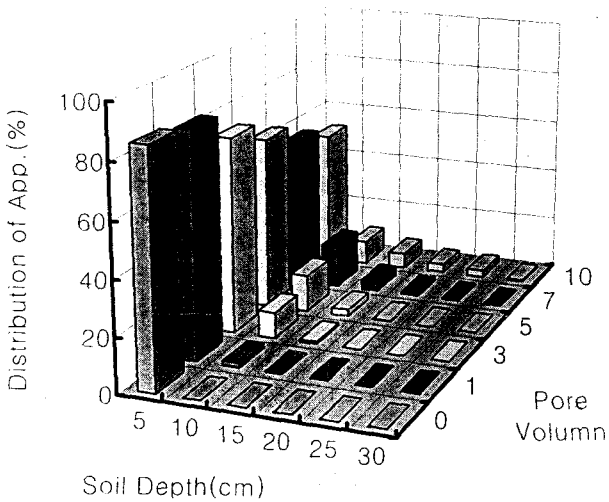


Fig. 4. The distribution of EPN for soil column of Aewol soil in Cheju island after leaching with none leaching, 1, 3, 5, 7, 10 pore volume.

한편 1~10 PV로 용출하였을 경우 용출액 중의 농도는 표 4와 같았다. 상대적으로 용출이 더 많이 진행된 무릉토양을 살펴보면, 1~7 PV까지는 전혀 용출되지 않았으며, 8 PV에서 0.08%, 9 PV에서 0.12%, 10 PV에서 0.25% 용출되었다. 남원과 애월토양에서의 용출은 무릉토양보다 더 적게 되었다. 흡착량이 많은 농약 또는 흡착능이 큰 토양일수록 농약의 이동은 느린 것으로 보고되고 있는데(Kim과 Feagley, 1998), 본 연구에서도 흡착력이 큰 남원토양이 다른 토양에 비해 농약의 침출이 적게되었다.

연안 해수와 저니토 중 잔류

EPN의 최소 검출농도는 해수 시료를 200 mL 취하고 최종부피를 4 mL로 하였을 때 0.010 ng/mL이었고, 저니토 시료는 200 g 취하고 최종부피를 4 mL로 하였을 때 0.024 ng/g였다. 회수율은 표 5에서와 같이 0.1~5.0 ppm 농도범위에서, 수용액 중에서는 각각 92~95% 범위였고, 토양 중에서는 84~88% 범위로 비교적 양호한 회수율을 보였다.

연안 해수와 저니토 중 EPN의 잔류농도는 표 6과 같았

Table 4. The distribution of EPN in leachate water after leaching in soil column

Soils	Leachate (Pore volume)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Namwon soil	0.00 ^{a)}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aewol soil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.08
Mureung soil	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.12	0.25

^{a)}% of application.

Table 5. Recoveries for EPN in water and soil

Water		Soil	
Conc. ($\mu\text{g/mL}$)	Recovery ^{a)} (%)	Conc. ($\mu\text{g/g}$)	Recovery (%)
0.1	93.5 \pm 8.6	0.5	84.8 \pm 7.2
1.0	95.5 \pm 5.8	1.0	86.3 \pm 8.8
5.0	92.7 \pm 3.8	5.0	88.5 \pm 9.2

^{a)}Mean \pm SD, n=5.

다. 해수와 저니토 전시료에서 최소 검출농도 이하로 검출되지 않았다.

자연계 중에 농약의 동태는 농약의 종류, 사용방법 및 살포량, 살포시기와 토양의 상태, 기후환경 등에 의하여 영향을 받는다. 환경 중 농약은 증산, 산화, 가수분해, 토양 미생물의 활동 등의 물리, 화학, 생물학적 분해과정을 거쳐 잔류하게 된다(Leonard, 1990). EPN의 잔류도 이와같은 복합적인 요인에 의해 영향을 받는다고 할 수 있다. 복합적인 요인 중 농약과 토성과의 관계에서만 해수와 저니토 중의 EPN의 불검출을 고찰하여 본다면, 앞의 EPN 흡착과 용탈실험에서 보여준 EPN의 이동성이 매우적다는 결과가 해수와 저니토중의 EPN의 불검출된 결과를 반영한다고 생각된다.

Table 6. Residual levels of organophosphorus pesticides, EPN in sea water and sediment on the suburbs of the Cheju island in August 1996

	Dodo	Wimi
Sea water	ND ^{a)}	ND
Sediment	ND	ND

^{a)}ND is below the detection limit. The detection limit in sea water and sediment are 0.010 ng/mL and 0.024 ng/g, respectively.

인용문헌

- Hata, Y. and T. Nunoshige (1982) Adsorption and desorption of piperophos by soil. *J. Pest. Sci.* 7:155~160.
- Himel, C. M., H. Loats and G. W. Baily (1989) Pesticide sources to the soil and principles of spray physics. pp.7~50. *In* H.H. Cheng(ed.), *Pesticide in the soil environment: processes, impacts, and modelling*, Soil Science Society of America, Inc., Wisconsin, USA.
- 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.
- Leonard, R. A. (1989) Movement of pesticide into surface water. pp.303~349. *In* H. H. Cheng(ed.), *Pesticide in the soil environment: processes, impacts, and modelling*, Soil Science Society of America, Inc., Wisconsin, USA.
- Murray, M. R. and J. K. Hall (1989) Sorption-desorption of dicamba and 3,6-dichlorosalicylic acid in soils. *J. Environ. Qual.* 18:51~57.
- Page, A. L. (1985) Part 2, Chemical and microbiological properties, *In* *Methods of soil analysis*(2nd ed.) Am. Soc. Agron., Inc., Soil Soc. Am., Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- 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.
- Tomlin, C. (1994) *The pesticide manual*(10th ed.), Crop protection publication, UK., pp.393~394.
- 감상규, 고병철, 오윤근, 이용두, 김정호 (1999) 제주도 토양에서 유기인계 농약의 흡착 및 용탈, *한국환경과학회지* 8(3):379~386.
- 김정호 (1996) 토양 중 trifluralin의 용탈. *한국환경농학회지* 15(4):464~471.
- 김정호, 서승교, 오윤근 (1999) 제주도 해양의 동식물 중 benomyl의 잔류. *한국농약과학회지* 3(1):51~56.
- 김희권, 박인진, 심재한, 서용택 (1996) 제초제 quizalofop-ethyl의 토양흡착. *한국환경농학회지* 15(4):442~447.
- 박창서, 김이열, 조성진 (1985) 화산회토분류 및 CEC에 대한 유기물과 점토의 기여도. *한국토양비료학회지* 18:161~168.
- 양재의, 조부연, 유경렬 (1997) Flupyrzofos(K-H)의 토양 중 용탈 및 흡착. *한국환경농학회지* 16(1):72~79.
- 이석준, 김병하, 김장억 (1998) 제초제 paraquat의 토양중 흡탈착 특성. *한국농약과학회지* 2(1):70~78.
- 임수길, 봉원애 (1992) Alachlor와 paraquat의 토양흡착에 관여하는 토양인자에 관한연구. *한국환경농학회지* 11:101~108.
- 이재구, 경기성, 정인상, 안기창, 권정욱(1998) 토양 column 중 침투성 살충제 carbofuran과 제초제 pretilachlor의 용탈. *한국농약과학회지* 2(2):59~67.

- 전재철, 김성은, 박남일, 임성진 (1998) 우리 나라 과수원 토양의 paraquat 잔류와 흡착능. 한국농약과학회지 2(3):90 ~95.
- 제주도 (1997) 환경백서. p.96.
- 최정, 김현제, 신영오 (1985) 토양학실험. 형설출판사 pp.15 ~23.

Adsorption and residues of EPN in the soil of Cheju Island

Jung-Ho Kim*, and Sang-Kyu Kam¹(**Faculty of Environmental Science and Engineering, Kyungsan University, Kyungsan 712-715 Korea, and ¹Dept. of Environmental Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea*)

Abstract : The adsorption and leaching of organophosphorus pesticide, EPN (O - ethyl - O - 4 - nitrophenyl phenyl phosphonothioate) were investigated in Namwon soil(black volcanic soil), Aewol soil(very dark brown volcanic soil) and Mureung soil(dark brown nonvolcanic soil) in Cheju Island. The residue of EPN was surveyed on coastal environment of Cheju in Aug. 1996. The organic matter of Namwon soil, Aewol soil and Mureung soil was 19.8, 6.2 and 2.4%, respectively. The cation exchange capacity of Namwon soil, Aewol soil and Mureung soil was 24.8, 13.0 and 9.5 meq/100 g, respectively. The Freundlich constant, k value, was 89.4, 26.9 and 9.25 for Namwon soil, Aewol soil and Mureung soil, respectively. The k value of Namwon soil with very high organic matter content and cation exchange capacity was the highest for Aewol soil and Mureung soil. The Freundlich constant, 1/n, show a high correlation with organic matter content, i.e. it is less than unity for organic matter rich soil of Namwon soil and greater than unity for organic matter poor soil of Mureung soil. The leaching of EPN was slower for Namwon soil with high k values, and faster for Mureung soil with low k values. The results of the study was demonstrated the potential of pollution for EPN have little leached into soil environment. EPN was not detected in seawater and sediment in the coastal environment in Cheju Island. EPN used in the farm on the Cheju island were not resided in the coastal environment.

* Corresponding author (Fax : +82-53-814-1412, E-mail : jungho@kyungsan.ac.kr)