

제주도 대표 토양에서 Alachlor와 Chlorothalonil의 흡착과 이동 연구

玄海男* · 吳相實** · 柳順昊***

Adsorption and movement of Alachlor and Chlorothalonil in the representative soil of Cheju Island

Hae-Nam Hyun*, Sang-Sil Oh**, and Sun-Ho Yoo***

Abstract

This study was conducted to investigate the adsorption characteristics, distribution coefficients, and movement of alachlor(2-chloro-2', 6'-dimethyl-N-(methoxymethyl) acetanilide) and chlorothalonil(tetrachloroisophthalonitrile) for the 3 soils sampled from major soil groups in Cheju Island. Namwon, Jeju, and Mureung soils used in this study were classified as black volcanic ash soil, dark brown volcanic ash soil and dark brown nonvolcanic soil, respectively. Organic carbon content and CEC of Namwon soil were very high and those of Mureung soil were very low.

Linear and Freundlich adsorption isotherms were the best to fit the adsorption of alachlor and chlorothalonil in the soils. K value, Freundlich coefficient, of alachlor for Namwon soil was 21.38, being 5.4 and 97.2 times higher than that for Jeju and Mureung soils respectively. The values of chlorothalonil for the soils were similar to those of alachlor but were much higher than them.

When Mureung, Jeju and Namwon soil columns were leached with a solution containing 10.25 mg/l of alachlor and 1.50 mg/l of chlorothalonil, alachlor was first detected at 0.265, 0.47, and 1.86 pore volume (PV) and chlorothalonil was 3.71, 4.7 and 17.5 PV, respectively. The pore volumes at $C/C_0=1$ of alachlor in the leachates from Mureung, Jeju and Namwon soil columns were 1.1, 3.7 and 6.6 PV and those at $C/C_0=0.2$ of chlorothalonil were 7.5, 8.5 and 27.5, respectively.

* 제주대학교 농과대학 (Dept. Agric. Chem., Coll. of Agric., Cheju Nat'l Univ. Cheju 690-756, Korea)

** 제주도 보건환경연구원 (Prov. Gov't Inst. of Health and Environ., Cheju-do 690-756, Korea)

*** 서울대학교 농업생명과학대학 (Coll. of Agric., & Life Sci., Seoul Nat'l Univ. Suwon 441-744, Korea)

This means that the decreasing order of the mobility of the chemicals in soils was Mureung soil>Jeju soil>>Namwon soil.

The pore volumes detecting $C/C_0=0.5$ of alachlor and $C/C_0=0.05$ of chlorothalonil in leachate were positively correlated with the distribution coefficients for the soils.

서론

제주도 감귤원 등의 농경지에는 매년 다량의 농약을 사용하고 있으며, 이로 인한 토양 및 지하수 오염의 위험성이 상존하고 있다. 제주도 용수의 대부분을 지하수에 의존하는 것을 감안하면, 토양중에서 유기합성 농약의 흡착과 이동에 미치는 요인을 밝히는 것은 지하수에 잠재적 오염 가능성을 예상하는 데 매우 중요하다.

토양에 의한 농약의 흡착현상은 제안된 몇개의 등온흡착식으로부터 최대흡착량 또는 흡착상수 등을 구하여 흡착 정도를 추정하거나 일정 농도에서 약제별 흡착량과 비흡착량과의 분배법칙으로부터 얻은 분배계수로서 흡착정도를 해석한다. 등온흡착식의 상수 및 분배계수는 점도함량 및 종류, 유기물함량, 양이온치환용량, pH 등의 토양성질과 약제의 특성에 의하여 영향을 받으며, 이들 토양의 성질에 따라 토양입자와 농약간의 반응이 결정된다⁸⁾. 토양내에서 농약의 이동성은 흡착특성에 의하여 영향을 받으며, 등온흡착식의 상수 또는 분배계수와 역의 관계가 있다.

실내에서 약제의 이동성을 비교하는 연구는 Darcy의 법칙을 응용한 土柱를 사용하여 일정 농도의 약제를 투주내에서 일정한 투수속도로 이동시키면서 격변곡선(breakthrough curve)를 얻는 방법이 많이 이용되며 naphthalene, anthracene, phenanthrene 및 diuron, picloram 등의 약제의 이동성을 비교하는데 이용되었다^{9,10)}.

제주도 토양은 토양색에 따라 크게 4개의 토양군으로 나눈다. 암갈색 비화산회토는 북부와 서북부의 일주도로변에, 흑색 화산회토는 동부지역에, 농암갈색 화산회토는 남부의 일주도로변과 중산간 지역에

구분되어 분포되어 있다¹¹⁾. 이들 토양은 농약의 흡착과 이동에 영향을 줄 수 있는 유기물함량, 양이온치환용량 등의 화학적 성질의 차이가 크다¹²⁾. 이와 같은 토양성질의 차이는 농약의 흡착과 이동성에도 직접적으로 영향을 미치므로 농약에 의한 지하수 오염의 위험성도 차이가 있을 것이다.

본 연구는 제주도에서 농경지로 사용되고 있는 3개 토양군의 대표토양인 남원통, 제주통 및 무릉통에 대해서 미국의 지하수에서 검출빈도가 높은 제초제 alachlor¹³⁻¹⁵⁾와 제주도에서 많이 사용되고 있는 살균제 chlorothalonil의 흡착 및 이동성의 차이와 이들간의 관계를 밝히기 위한 것이다.

재료 및 방법

1. 토양시료 채취 및 분석

본 연구에 사용된 토양은 제주도 경작지에 분포된 3개의 토양군중에서 각 토양군의 특성을 가장 잘 나타내고 있는 토양통을 선택하였다. 토양시료는 제주도 정밀 토양도를 참고로 하여 흑색 화산회토인 남원통(Coarse silty, ashy, thermic, Typic Dystrandepts), 농암갈색 화산회토인 제주통(Fine silty, ashy, thermic, Andic Hapludults), 및 암갈색 비화산회토인 무릉통(Fine clayey, mixed, nonacid, thermic, Typic Hapludalfs)을 채취하였다.

토양의 pH는 1:5법, 유기탄소의 함량은 Walkley-Black법, 양이온치환용량은 1M NH₄OAc법으로 측정하였다¹⁶⁾.

2. 흡착실험

흡착실험은 5g의 토양에 1.025, 2.050, 4.100, 6.

150, 8.200, 10.250, 12.300, 16.400, 20.500mg/l로 조제한 alachlor 용액 25ml를 polyethylene 원심분리관에 넣고 25°C에서 24시간 항온 진탕시켜 수행하였다. 진탕 후 즉시 8,000rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액 10ml를 취하여 분액여두에 넣고 10ml의 포화 NaCl 용액과 50ml의 n-hexane를 넣어 2분간 강하게 흔든 후 정치하여 분리하였다. n-hexane 층중 수분은 무수 Na₂SO₄을 넣은 여지를 통과시켜서 제거하였으며, TurvoVap-500™을 이용하여 용매가 완전히 휘발될 때까지 농축시켰다. 농축된 용액중 alachlor는 acetone으로 세척하여 gas chromatograph-ECD(Hewlett-Packard, HP5890 Series II)를 사용하여 inj. port temp. 250°C, oven temp. 220°C, det. temp. 300°C의 조건에서 Ultra-2 capillary column™(25m×0.2mm×0.33um film thickness, crosslinked 5% phenyl methyl silicone)으로 분리하여 정량하였다.

Chlorothalonil의 흡착실험은 5g의 토양과 25ml의 0.513, 1.026, 1.539, 2.052, 3.078, 4.104, 5.130, 6.156, 8.208 및 10.26mg/l chlorothalonil 용액을 넣고 alachlor와 동일한 방법으로 수행하였다.

흡착실험의 결과는 linear(식 1), Langmuir(식 3) 및 Freundlich 등온흡착식(식 2)에 적용시켜 해석시켰다.

$$x/m = K_d C \dots\dots\dots (1)$$

$$\log(x/m) = 1/n \log C + \log K \dots\dots\dots (2)$$

$$C / (x/m) = 1/Q b + C/Q \dots\dots\dots (3)$$

3. 이동실험

이동실험은 토주를 만들어 실내에서 miscible displacement 실험방법을 수정하여 수행하였다. 길이 150mm, 직경 32mm의 acryl column에 2mm체를 통과시킨 풍건 토양을 충전하였다. 토양의 충전은 층위별로 같은 토양구조가 되도록 column 길이보다 약간 긴 깔대기에 토양을 넣고 잘 다지면서 충전하였다. 충전 후 윗부분의 빈공간은 glasswool로 채우고 Merriot bottle과 연결된 고무전으로 막아 그림

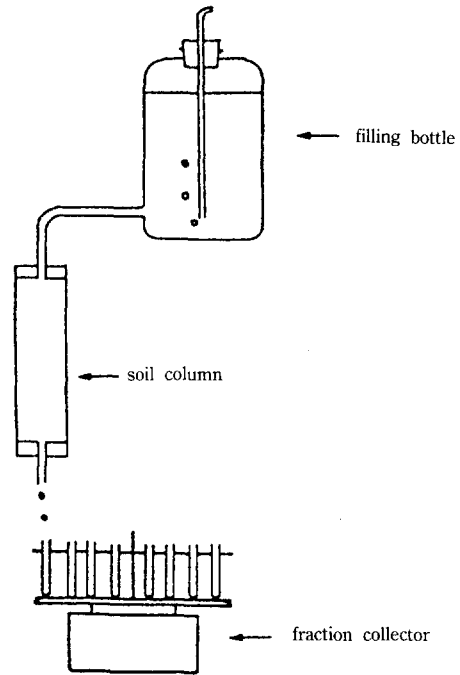


Fig. 1. Schematic diagram of experimental set-up for alachlor and chlorothalonil movement in Namwon, Jeju and Mureung soil columns.

1과 같이 연결하였다.

Column내의 충전한 토양의 양 및 물리적 성질은 표 1과 같이 공극률, 입자밀도 및 용적밀도가 각 토양군의 특성을 잘 나타내고 있었다. 투수속도는 충전한 토양의 물리적 성질의 차이가 크기 때문에 수두차를 다르게 조절하여 0.560~0.688 cm/hr가 되도록 하였다. Alachlor와 chlorothalonil의 처리농도는 10.25 mg/l 및 1.5 mg/l이었으며, 40 pore volume 동안 흘려보냈다. 토주를 통과한 유출액은 분획수집기로 수거하였으며, 수거액중 alachlor와 chlorothalonil의 농도는 gas chromatograph(Hewlett-Packard, HP5890 Series II)로 분석하였다.

Table 1. Physical properties of the soils packed in the acryl column.

Soils	Amounts of soil (g)	Porosity (%)	Bulk density (g/cm ³)	Particle density (g/cm ³)	Hydraulic conductivity (cm/hr)	Pore volume (cm ³)
Namwon	75	74.9	0.54	2.15	0.560	90.3
Jeju	110	67.2	0.85	2.59	0.688	81.5
Mureung	135	62.6	1.02	2.73	0.685	75.5

결과 및 고찰

1. 흡착특성

흡착실험에 사용한 토양의 화학적 성질은 표 2와 같이 흑색 화산회토인 남원토는 유기탄소함량 및 양이온치환용량이 매우 높은 토양이었으며, 농암갈색 화산회토인 제주토도 암갈색 비화산회토인 무릉토에 비하여 현저히 높은 토양이었다. 이들 토양은 제주도 경작지에 분포된 3개 토양군의 특성¹²⁾을 잘

Table 2. Chemical properties of the experimental soils.

Soils	pH (1:5)	Organic carbon content (%)	Cation exchange capacity (cmol(+)/kg)
Namwon	5.3	16.5	31.3
Jeju	5.9	6.3	15.2
Mureung	5.7	1.0	7.3

나타내는 토양이었다.

Alachlor의 등은흡착 실험의 결과는 그림 2에 나타낸 것과 같이 linear equation과 Freundlich식으로 나타낼 수 있었으며(그림 2-a,c), Langmuir 등은흡착식에는 적합하지 않았다(그림 2-b). 일정 평형농도에서의 흡착량은 남원토, 제주토, 무릉토의 순서로 높았다(그림 2-a). Alachlor의 흡착은 평형농도가 높아짐에 따라 흡착량이 많아지는 S-자 모양으로 일어나는 것으로 보아 물이alachlor에 비하여 토양과의 친화도가 커서 토양과alachlor 사이에 물분자가 끼어들어 약하게 흡착되는 outer spheric complex를 형성하는 것으로 생각된다¹⁷⁾. 대부분의 농약은 Freundlich 등은흡착식으로 흡착현상을 구명하고 있으며^{2,6,7,8,17,18)}, 본 결과도 이들의 보고와 같은 경향이었다.

Chlorothalonil의 흡착도alachlor와 같이 linear equation과 Freundlich 등은흡착식으로 나타낼 수 있었으며(그림 3-a, c), Langmuir 등은흡착식에는

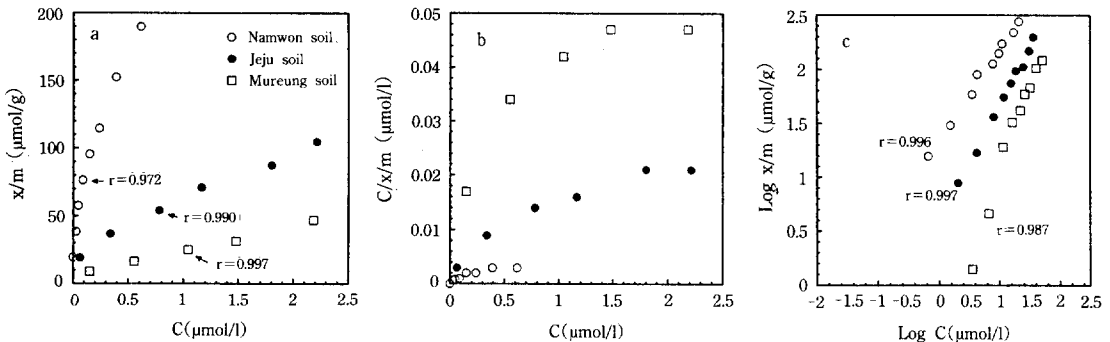


Fig. 2. Linear(a), Langmuir(b), and Freundlich(c) adsorption isotherms ofalachlor for Namwon, Jeju, and Mureung soils.

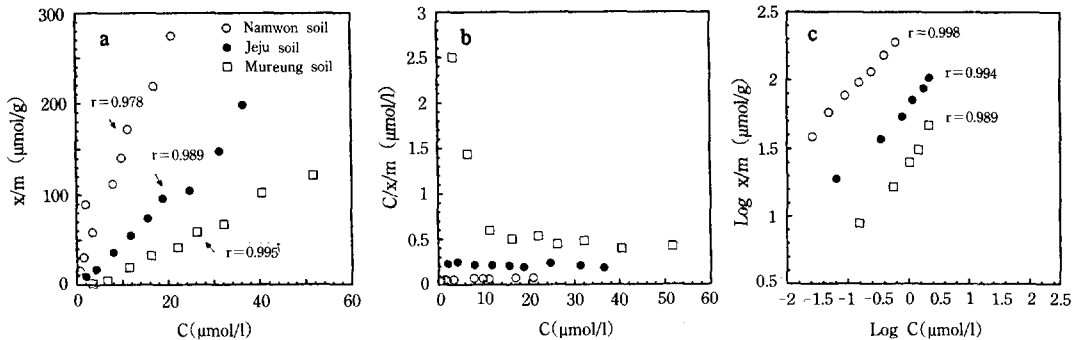


Fig. 3. Linear(a), Langmuir(b), and Freundlich(c) adsorption isotherms of chlorothalonil for Namwon, Jeju, and Mureung soils.

적합하지 않았다(그림 3-b). Chlorothalonil의 흡착은 L-자 모양으로서 토양입자와 높은 친화성을 갖고 있는 것으로 생각되며¹⁷⁾, 동일 농도에서의 흡착량도 alachlor에 비하여 현저히 높은 편이었다.

Aalachlor와 chlorothalonil의 Freundlich 등온흡착식의 상수와 분배계수는 표 3에 나타낸 것과 같이 남원토가 다른 토양에 비하여 매우 컸다. 남원토에서 alachlor의 K 값은 제주토 및 무릉토에 비하여 5.4배 및 97.2배, chlorothalonil은 3.6배 및 13.1배 높았다. 또한, 남원토, 제주토 및 무릉토에서 chlorothalonil의 K 값은 alachlor에 비하여 11.2배, 16.8배 및 83.2배 높은 것으로서 chlorothalonil이 alachlor에 비하여 많은 양이 흡착되는 것으로 나타났다. 약제에 따라 Freundlich 상수는 차이가 크데, N-methylcarbamate계 살충제는 K 값이 25~114¹⁹⁾, metribuzin의 K 값은 0.78~1.34¹⁸⁾, 제초제 butachlor의 K 값은 14.8~28.9²⁰⁾, 3.73~67.62^{3,4)} 범위에 있으며, 유기물 함량이 많을수록 K 값도 커지는 것으로 보고되었다²¹⁾. 본 결과도 유기물함량, 양이온치환용량이 큰 남원토가 두약제의 K 값이 현저히 높은 것으로 나타났다. 특히, 남원토에서 alachlor의 K 값은 입과 봉⁶⁾이 22개 토양토에 대하여 보고한 최고치에 비하여 약 2.1배 높은 것이었으며, 유기물 함량이 비슷한 토양에 비해서도 높은 편이었다²⁾.

Kd 값은 K 값과 비슷한 경향이었고 남원토가 제주토 및 무릉토에 비하여 흡착량이 현저히 높았으

며, chlorothalonil이 alachlor에 비하여 많은 양이 흡착되었다. 또한, 남원토에서 alachlor의 Kd 값은 임 등⁷⁾이 21개 토양에서 구한 최고치에 비하여 약 2.6배 큰 것이었다. 이와 같은 결과를 종합해 볼 때, 남원토와 유사한 토양이 분포되어 있는 제주도 동부지역 흑색 화산회토의 농약 흡착능은 매우 높을 것으로 생각된다.

Table 3. Freundlich and distribution coefficients for alachlor and Chlorothalonil.

Soils	Alachlor			Chlorothalonil		
	K ¹⁾	1/n	Kd ²⁾	K ¹⁾	1/n	Kd ³⁾
Namwon	21.38	0.83	12.40	239.88	0.488	243.0
Jeju	3.94	1.06	5.17	66.07	0.475	38.0
Mureung	0.22	1.67	2.60	18.30	0.607	25.7

1) Calculated at C=1

2), 3) Treatment conc. 10.25 mg/l and 1.5 mg/l

2. 이동성의 차이

농도가 10.25 mg/l인 alachlor 용액을 남원토, 제주토 및 무릉토를 충전한 토주를 통과시켜 유출되는 용액중 alachlor의 격변곡선은 그림 4와 같다. Alachlor가 처음 검출되는 유출량은 무릉토가 0.265 PV (20 ml), 제주토가 0.47 PV(38.3 ml), 남원토가 1.86 PV(168.0 ml)로서 남원토에서 가장 늦게 검출

되었으며, 유출량이 많아질수록 농도는 점차 높아졌다. 처리농도와 동일한 농도($C/C_0=1$)로 유출되는 유출액의 양은 남원토이 6.6 PV, 제주토이 3.7 PV 및 무릉토이 1.1 PV이었다. 이것은 남원토이 공극의 6.6배인 600 ml를 흘려보내었을 때 처리농도와 같은 농도로 유출되는 반면 무릉토에서는 공극량과 비슷한 양인 83.1 ml를 흘려보냈을 때 처리농도와 같은 농도로 유출되는 것을 나타내는 것이다. 제조제 metachlor, atrazine에 비해서 매우 빠른 속도로 이동되는 것으로 보고된 alachlor²²⁾는 무릉토에서 거의 Cl^- 과 유사한 속도로 이동하였으며, 이는 Jones 등²³⁾의 보고에 비하여 매우 빠른 것이었다. 또한, 토주를 통과한 용액의 양을 기준으로 할 때 alachlor는 남원토에서 무릉토에 비하여 약 7.2배 느리게 이동하는 것으로 나타났다.

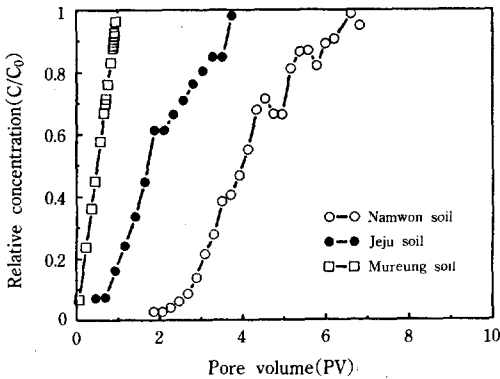


Fig. 4. Breakthrough curves of alachlor in Namwon, Jeju, and Mureung soil columns.

Chlorothalonil은 무릉토에서 3.71 PV(280.1 ml), 제주토에서 4.7 PV(383.1 ml), 남원토에서 17.5 PV (1580.3 ml)의 용액이 통과된 후에 처음 검출되어 alachlor에 비하여 현저히 느린 속도로 이동하였다 (그림 5). 실험기간 40 PV를 유출시키는 동안 최고농도는 처리농도 1.50 mg/l의 20%인 0.3 mg/l($C/C_0=0.2$) 이하로서 alachlor에 비하여 농도도 낮았으며, 토주를 통과하는데 소요되는 용액의 양도 많

았다. $C/C_0=0.05$ 의 농도로 출현하는데 소요되는 유출액의 양은 무릉토이 7.5 PV, 제주토이 8.5 PV 및 남원토이 27.5 PV로서 출현순서는 alachlor와 같았으나 이동속도에 alachlor에 비하여 현저히 느렸다. 흡착량이 많은 약제 또는 흡착제일수록 이동은 느려지는 것으로 보고되었는데^{17,21,24)}, 본 실험에서도 흡착력이 강한 남원토에서 이동속도가 느린 것으로 보아 남원토와 유사한 성질을 가진 제주도 동부의 흑색 화산회토 지역이 다른 지역에 비하여 농약에 의한 지하수 오염의 위험성이 적을 것으로 생각된다.

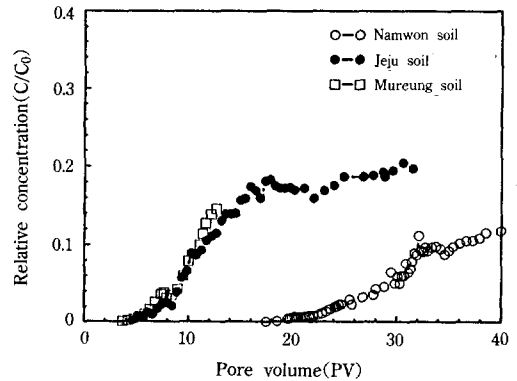


Fig. 5. Breakthrough curves of chlorothalonil in Namwon, Jeju, and Mureung soil columns.

3. 분배계수(K_d)와 이동성과의 관계

토주내 alachlor의 이동속도와 분배계수와의 관계를 알아보기 위하여 $C/C_0=0.5$ 의 농도로 유출되는데 소요되는 양과 시험토양의 분배계수의 관계를 그림 6에 나타내었다. 유출액중에 alachlor의 상대농도 $C/C_0=0.5$ 가 검출되는데 소요된 유출액의 양과 분배계수 값 사이에는 유의성이 매우 높은 것으로 나타났다.

또한, chlorothalonil의 경우도 $C/C_0=0.05$ 농도로 유출되는 유출액의 양과 분배계수 값 사이에는 매우 높은 상관성을 갖고 있었다(그림 7). 이것은 토양의 분배계수가 클수록 토주를 통과한 농약의 농도가

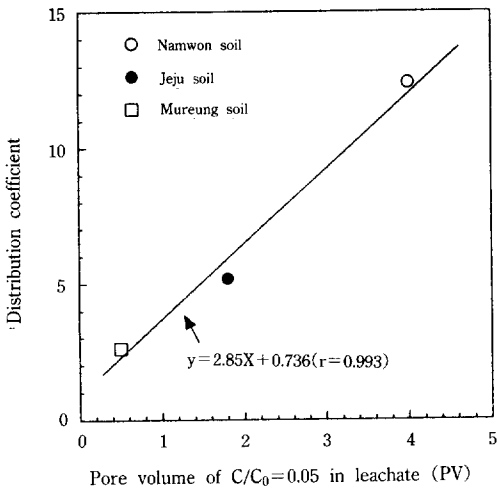


Fig. 6. Relationship between pore volume of $C/C_0=0.05$ in leachate of soil column and distribution coefficient of alachlor.

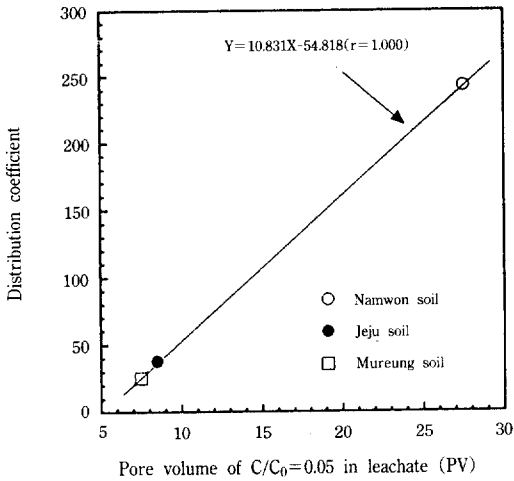


Fig. 7. Relationship between pore volume at $C/C_0=0.05$ in leachate of soil column and distribution coefficient of chlorothalonil.

낮아진다는 보고²¹⁾와 같은 것이었다. 분배계수는 토양에 의한 농약의 흡착량을 간단하게 측정할 수 있는 방법으로 여러 연구자에 의하여 농약과 토양에 따라 보고되었는데, 제주도 토양에서 본 연구의 후

속 연구를 더 진행시킨다면 분배계수값을 이용하여 토양내 이동성의 차이를 예측하는데 중요하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 제주도 경작지에 분포되어 있는 3개 토양군의 대표토양인 흑색 화산회토 남원토, 농암갈색 화산회토 제주토 및 암갈색 비화산회토 무릉토의 alachlor와 chlorothalonil의 흡착과 이동 특성을 밝히기 위하여 수행되었다. 남원토는 유기물 함량 및 양이온치환용량이 매우 높은 토양이며, 무릉토는 매우 낮은 토양이었다.

흡착특성은 Linear 및 Freundlich 등은흡착식과 잘 일치하였다. 남원토에서 alachlor의 K 값은 21.38로서 제주토 및 무릉토에 비하여 5.4배 및 97.2배 높았으며, chlorothalonil의 K 값도 alachlor와 비슷한 경향이었으나 alachlor에 비하여 현저히 컸다.

각각 10.25 mg/l의 alachlor와 1.50 mg/l의 chlorothalonil 용액을 토주에 흘려보냈을 때, 무릉토, 제주토 및 남원토의 토주에서 alachlor는 0.265 PV, 0.47 PV 및 1.86 PV이 유출되었을 때 처음 검출되었으며, chlorothalonil은 3.71 PV, 4.7 PV 및 17.5 PV에서 처음 검출되었다. 무릉토, 제주토 및 남원토의 토주를 통과한 alachlor의 상대농도 $C/C_0=1$ 로 유출되는 양은 각각 1.1 PV, 3.7 PV 및 6.6 PV이었으며, chlorothalonil의 상대농도 $C/C_0=0.2$ 로 유출되는 양은 7.5 PV, 8.5 PV 및 27.5 PV로서 토양별 이동속도는 무릉토>제주토>남원토이었다.

유출액중에 alachlor 및 chlorothalonil의 상대농도 $C/C_0=0.5$ 및 $C/C_0=0.05$ 가 검출되는데 소요된 유출액의 양과 분배계수값 사이에는 매우 높은 유의성을 갖고 있었다.

참고문헌

1. Bowman, B. T. and Sans, W.W. (1977). Adso-

- rption of parathion, methyl parathion, amino-parathion and paraxon by Na^+ , Ca^{2+} , and Fe^{3+} montmorillonite suspensions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **41** : 514-630.
2. Clay, S. A. and Koskinen, W. C. (1990). Characterization of alachlor and atrazine desorption from soils *Weed Sci.* **38** : 74-78.
 3. 한대성, 김정제, 신영오. (1984). 농업환경의 오염과 그 대책. 제1보. 몇가지 제초제에 의한 토양흡착의 이론적 분석. *한국환경농학회지.* **3** : 22-28.
 4. 김균, 김용화. (1990). 제초제 Butachlor의 토양 흡착. *한국농화학회지.* **9** : 105-111.
 5. Murphy, E. M., Zachara, J. M. and Smith, S. C. (1990). Influence of mineral-bound humic substance on the sorption of hydrophobic organic compounds. *Environ. Sci. Technol.* **24** : 1507-1516.
 6. 임수길, 봉원애. (1992). Alachlor와 Paraquat의 토양흡착에 관여하는 토양양자에 대한 연구. *한국환경농학회지.* **11** : 101-108.
 7. 임선옥, 이종길, 한기학. (1977). 토양 중에서 농약의 동태에 관한 연구. 제1보. 제초제 Atrazine과 Alachlor의 흡착에 대하여. *한국농화학회지.* **20** : 310-316.
 8. Singh, G., Spencer, W. F., Cliath, M. M. and van Genuchten, M. Th. (1990). Sorption behavior of s-triazine and thiocarbamate herbicides on soils. *J. Environ. Qual.* **19** : 520-525.
 9. Brusseau, M. L. (1991). Influence of organic cosolvents on the sorption kinetics of hydrophobic organic chemical. *Environ. Sci. Technol.* **25** : 903-910.
 10. Davidson, J. M. and Chang, R. K. (1972). Transport of picloram in relation to soil physical conditions and pore-water velocity. *Soil Sci. Am. Proc.* **36** : 257-261.
 11. 농촌진흥청 농업기술연구소. (1976). 제주도 정밀토양도. 광명인쇄공사.
 12. 송관철. (1989). 제주도 대표토양의 andic properties에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
 13. Reneau, Jr. R. B., Berry, D. F. and Mattens, D. C. (1990). Fate and transport of selected pollutants in soils. *Internat'l Symp. Environ. Pollut. Agric., Seoul Nat'l Univ.* pp. 14-44.
 14. Wisconsin Dept. of Natural Resources (WDNR). (1988). Summary of ground water pesticide monitoring for 07/01/83 thru 06/30/87. Prepared by WDNR staff. Cited from *Alhajjar, B. J. et. al.* Fate and transport of alachlor, metolachlor and atrazine in large columns. *Wat. Sci. Tech.* **22** : 87-94.
 15. Postle, J. (1987). Groundwater monitoring project for pesticides. Progress report submitted by Wisconsin Dept. of Agriculture, Trade and consumer Protection to Wisconsin dept. of Natural Resources, Madison, WI. pp. 13. Cited from *Alhajjar, B. J. et. al.* Fate and transport of alachlor, metolachlor and atrazine in large-columns. *Wat. Sci. Tech.* **22** : 87-94.
 16. Page, A. L. (ed). (1985). *Methods of soil analysis. Part 2. chemical and microbiological properties (2nd)*. Am. Soc. Agron., Inc., Soil Sci. Soc. Am., Inc., Madison, Wisconsin, USA.
 17. Weber, J. B. and Peter, C. J. (1982). Adsorption, bioactivity, and evaluation of soil tests for alachlor, acetochlor, and metolachlor. *Weed Sci.* **30** : 14-20.
 18. Harper, S. S. (1988). sorption metribuzin in surface and subsurface soils of the Mississippi delta region. *Weed Sci.* **38** : 84-89.
 19. 김장익, 홍종욱. (1985). N-methylcarbamate계 살충제의 토양중 흡착. *한국농화학회지.* **28** : 124-130.
 20. Sato, T., Kohnosu, S., and Hartwig, J. F. (19

- 87). Adsorption of butachlor to soils. *J. Agric. Food Chem.* **35** : 397-405.
21. Grover, G. (1977). Mobility of Dicamba, Picloram and 2,4-D in soil columns. *Weed Sci.* **25** : 159-162.
22. Alhajar, B. J., Simsiman, G. V. and Chesters, G. (1990). Fate and transport of alachlor, metolachlor and atrazine in large columns. *Wat. Sci. Tech.* **22** : 87-94.
23. Jones, R. E., Banks, P. A. and Radcliff, D. E. (1990). Alachlor and metribuzin movement and dissipation in a soil profile as influenced by soil surface condition. *Weed Sci.* **38** : 589-597.
24. Chang, S. S. and Stritzke, J. F. (1977). Sorption, movement and dissipation of tebuthiuron in soils. *Weed Sci.* **25** : 184-187.