

## 토양내 제초제의 흡착 · 탈착 특성

라덕관 · 박상숙 · 정재성 · 김영규\* · 오태선\*\*

순천대학교 환경공학과

\*전북대학교 공과대학

\*\* (유)그린 환경

(2000년 1월 21일 접수, 2000년 3월 17일 채택)

## The Adsorption and Desorption of Herbicides in Soils

Deog-Gwan Ra · Sang-Sook Park · Jae-Sung Jung · Young-Kyu Kim\* · Tae-Sun O\*\*

*Department of Environmental Engineering, Suncheon National University*

*\*College of Engineering, Chonbuk National University*

*\*\*Green Environmental Co.*

### ABSTRACT

The adsorption and desorption of herbicides such as napropamide and pendimethalin was studied in three kinds of soil, sandy loam, silty clay and loam. The results of batch tests performed with various shaking time, pH, organic matter content and temperature in soil were summarized as follows.

The shaking times reached to the equilibrium of the adsorption and desorption for napropamide and pendimethalin in soil were 12 and 6 hours, respectively. For each soil, the adsorption rates of napropamide were 23.35%, 31.57% and 25.95%, the desorption rates of them were 18.42%, 13.42% and 15.89%, respectively. And the adsorption rates of pendimethalin were 59.61%, 77.26% and 64.02%, and the desorption rates of them were 3.23%, 2.93% and 3.07%, respectively. The adsorption isotherms with the Freundlich equation showed better consistency than those with the Langmuir one. The adsorption was affected by the organic matter content when it exceed 2.0%. But if the organic matter content is below 2.0%, it was affected by the clay content. When the organic matter content is 0.95~7.45%, the adsorption coefficients ( $K_{ad}$ ) of napropamide and pendimethalin were 1.17~2.50 and 4.74~16.08 and the desorption coefficients( $K_{rd}$ ) of them were 5.33~34.06 and 24.25~134.00, respectively. Because of the physical adsorption between herbicide molecules and soil

surface, little effect of pH variation of soils was appeared for the adsorption and desorption. Because of the solubility of herbicide is related to the temperature, the adsorption rate was decreased and the desorption rate was increased with the temperature increase, respectively.

Key Words : Herbicides, Adsorption, Desorption

## 요약문

제초제로 사용되는 napropamide와 pendimethalin의 토양내 흡착·탈착특성을 파악하기 위하여 진탕시간, 유기물함량, pH, 온도 등을 변화시키면서 실험을 수행하였다.

Sandy loam, silty clay, loam 토양에 대하여 napropamide 및 pendimethalin이 흡착·탈착 평형에 도달되기 위한 진탕시간은 각각 12시간 및 6시간으로 나타났다. 평형흡착·탈착에 도달되었을 때 각 토양에 대한 napropamide의 흡착율 및 탈착율은 각각 23.35%, 31.57%, 25.95% 및 18.42%, 13.42%, 15.89%, pendimethalin은 각각 59.61%, 77.26%, 64.02% 및 3.23%, 2.93%, 3.07%이었다. 등온흡착은 Langmuir식보다는 Freundlich식에 적합하였다. 유기물함량이 2.0% 이상에서의 흡착은 유기물의 영향을 받고, 그 이하에서는 점토의 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 유기물함량 0.95~7.45(%)의 범위에서 흡착계수( $K_{ad}$ ) 및 탈착계수( $K_{fd}$ )는 napropamide의 경우 1.17~2.50 및 5.33~34.06, pendimethalin은 4.74~16.08 및 24.25~134.00로 나타났다. 따라서 유기물은 농약과 흡착친화력이 높기 때문에 유기물함량이 증가하면 흡착율은 증가하고, 탈착율은 감소하는 경향을 나타내었다. Napropamide와 pendimethalin은 비이온성 농약이기 때문에 pH 변화로 인한 흡착·탈착경향은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 토양의 온도 변화에 따른 제초제의 흡착율은 온도가 낮을수록 증가하는 경향을 나타냈으며, 탈착율은 온도가 높을수록 증가하는 경향을 나타냈다. 이것은 실험에 사용된 제초제가 낮은 온도에서는 용해도가 낮지만, 높은 온도에서 용해도가 높기 때문이다.

주제어 : 제초제, 흡착, 탈착

## 1. 서론

우리나라는 1970년대를 전후로 경제적 부흥을 위하여 산업발전에 치중한 결과로 경제적 발전은 이룩하였으나 산업체에서 배출되는 각종 오염물질은 수질, 대기 및 토양오염을 가중시켜 왔다. 오늘날 토양오염이 수질오염, 대기오염에 이어서 제3의 오염문제로 대두되고 있는데, 토양에 오염물질이 유입되면 토양자체의 저장능력으로 인하여 토양내에 축적되어 있다가 오랜 시간에 걸쳐 서서히 유출되므로 장기간에 걸쳐 주위 생태계에 악영향을 미친다.

최근에 이르러 농약 사용량의 증가, 도시화 현상에 의한 소비물질의 증가, 산업체에서 배출되는 유

해물질량의 증가 등으로 인하여 토양오염은 더욱 가중되고 있다. 농약은 토양 및 수질오염의 주요한 오염원으로서 사용 용도에 따라 살충제, 제초제, 생장조절제, 살균제 등으로 분류되며, 농작물이나 병충해의 종류, 토양, 기후 등 여러 가지 요인에 따라서 사용되는 종류가 다르고, 기후나 토양조건에 따라 사용되어진 후 환경에 미치는 영향이 다르게 나타나는 화학물질이다.

농약은 대기로의 증산, 화학적·생물학적 분해, 햇빛에 의한 광분해, 토양 흡착 및 탈착 등의 여러 과정에 의하여 손실 및 확산되는데, 이중에서 흡착 현상은 농약과 토양양질 사이의 상호관계를 파악하는데 있어서 중요한 인자이다. 토양환경 중에서 농

약의 흡착은 van der waal's force, 수소결합, 이온 교환, 배위자교환, 공유결합 및 팽창형 점토광물의 격자내 흡착과 같은 여러 가지 작용을 통하여 이루어지며, 이러한 흡착특성은 농약 또는 토양의 물리·화학적 특성에 따라 두 가지 이상의 메카니즘이 동시에 작용하기도 한다. 토양내 농약의 흡착·탈착은 고체상과 농약 분자간의 상호작용으로 인하여 발생하는 현상으로서, 농약의 화학구조 및 원자배향, 산도 및 알카리도, 용해도, 전하의 분포, 극성의 정도 등 농약자체의 물리·화학적 성질에 의하여 달라질 수도 있다.<sup>1)</sup> 농약이 토양에 살포되면 대부분은 토양에 흡착되는데, 이러한 흡착에 영향을 미치는 인자로는 유기물함량, pH, 함수량, 밀도, 점토의 종류와 함량, 온도, 양이온 교환능력, 치환성 양이온의 종류 및 농도, 농약의 해리상수, 물에 대한 용해도 등<sup>2,3)</sup>이 있다. Z.Gerstl 등<sup>4)</sup>과 Chu-Huang Wu 등<sup>5)</sup>은 토양내 napropamide의 흡착에 영향을 미치는 중요한 인자는 유기물과 점토함량이라고 하였다. P. M. Huang 등<sup>6)</sup>은 토양내 트립자의 크기, 유기물 함량, 온도 등을 변화시키면서 atrazine의 흡착실험을 수행하였는데, atrazine 분자와 토양성분 사이의 흡착은 van der waal's force, 수소결합과 이온극성 및 상호작용의 일치 형태에 따라 다르기 때문에 흡착량에 차이가 있었으며, 유기물 함량이 증가하면 흡착율은 증가하였고, 온도변화가 흡착에 미치는 영향은 분명하지 않았다고 하였다. Sarina Saltzman 등<sup>7)</sup>은 토양에 대한 parathion의 흡착은 유기물과 광물질 사이의 상호작용에 의존하는데 수용액 상태의 parathion은 광물질보다 유기물에 대한 흡착친화력이 크기 때문에 유기물과의 결합이 광물질과의 결합보다 강하다고 하였다.

과거에는 대부분의 농약이 주로 농경지에 사용되어 왔으나, 최근에는 골프장의 잔디보호를 위하여 많은 농약이 사용되므로 인해 강우시 토양내 축적되

어 있던 농약성분이 유출되어 지하수 및 지표수의 오염원이 되기도 한다.

본 연구에서는 제초제로 사용되는 napropamide와 pendimethalin의 토양에 대한 흡착·탈착 특성을 파악하기 위하여, 토양내 유기물함량, pH, 온도 등을 변화시키면서 흡착·탈착 실험을 수행하였다.

## 2. 실험방법 및 내용

### 2.1. 시 료

본 실험에 사용된 토양은 산지에서 채취한 사양토(sandy loam, A), 논에서 채취한 미사질토(silty clay, B), 산지에서 채취한 양토(loam, C) 등 3종류이며, 각 토양에 대한 물리·화학적 특성은 Table 1과 같다.

본 실험에 사용한 농약은 제초제로 사용되는 것으로서, napropamide는 잡초 발아 전 또는 이미 발생된 잡초를 제거하기 위하여 살포되어지며, 화학명은 N,N-diethyl-2-(1-naphthalenyloxy) propanamide, 분자식은 C<sub>17</sub>H<sub>21</sub>NO<sub>2</sub>, 분자량은 271.36이고, pendimethalin은 잡초 발아 전에 살포되어지는 제초제로서, 화학명은 N-(1-ethylpropyl)-3,4-dimethyl-2,6-dinitrobenzenamine, 분자식은 C<sub>13</sub>H<sub>19</sub>N<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, 분자량은 281.31이다.

### 2.2. 실험방법

Napropamide와 pendimethalin의 분석은 액체상액체추출법으로 시료를 추출하여 탈수 농축한 후 GC로 분석하였다. Napropamide와 pendimethalin의 분석조건은 detector : FTD, column : CBJ301-

Table 1. Physical and chemical properties of soil used

soils	pH	soil textile			organic matter(%)
		clay(%)	sand(%)	silt(%)	
sandy loam(A)	5.2	16.5	68.1	15.4	2.23
silty clay(B)	5.6	36.5	25.4	38.1	7.45
loam(C)	6.8	20.4	57.4	22.2	3.40

M30-025(30m×0.25mmφ, 0.25μm), column temp. : 50℃(3min)→240℃(10℃/min), detector temp. : 240℃, carrier gas : He, column oven temp. : 300℃이다.

토양내 제초제의 흡착·탈착 특성을 파악하기 위하여 진탕시간, 유기물함량, pH 및 온도를 변화시키면서 다음과 같은 방법으로 실험을 수행하였다. ① 토양시료 20 g과 농약 100 mL를 300 mL의 공진플라스크에 넣고 무게를 측정한다. ② 시료를 항온진탕기에서 진탕시간을 3, 6, 12, 24시간으로 변화시키면서 진탕한다. ③ 공진 삼각플라스크에서 상층액을 취하여 8,000 rpm에서 원심분리하여 상층액을 추출한다. ④ 상층액에서 농약을 추출하여 GC로 분석한다. 탈착실험은 흡착실험을 종료한 다음 ①항의 무게만큼 증류수를 넣은 후 ②~④순서를 반복하였다. 이와 같은 실험을 통하여 시료가 평형흡착·탈착에 도달되는 진탕시간을 구하여 각 실험에 적용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 흡착·탈착특성

제초제로 사용되는 napropamide와 pendimethalin의 토양에 대한 흡착·탈착특성을 파악하기 위하여 삼각플라스크에 토양과 농약 시료를 1:5 (W/V)의 비율로 넣고 항온진탕기에서 진탕시간을 변화시키면서 실험한 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1에 나타난 바와 같이 토양 A, B, C에 대한 napropamide의 흡착율은 진탕시간 12시간에서 각각 23.35%, 31.57%, 25.95%, pendimethalin은 진탕시간 6시간에서 각각 59.61%, 77.26%, 64.02%가 흡착되어 평형흡착에 근접하는 경향을 나타냈다. 반면, 각 토양에 대한 napropamide의 탈착은 진탕시간 12시간에서 각각 18.42%, 13.42%, 15.89%, pendimethalin은 진탕시간 6시간에서 각각 3.23%, 2.93%, 3.07%가 탈착되어 평형탈착에 근접하는 경향을 나타냈다. 따라서 평형흡착·탈착에 도달하기 위한 napropamide와 pendimethalin의 진탕시간은 각각 12시간 및 6시간이 필요한 것

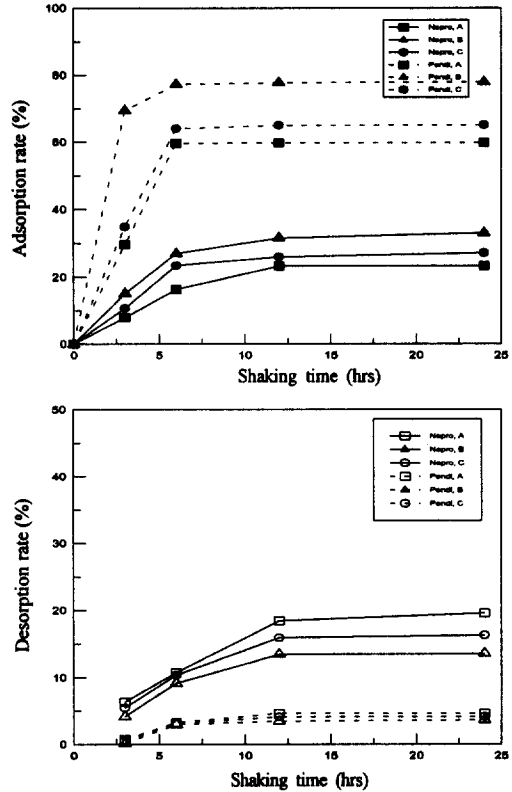


Fig. 1. Adsorption and desorption rate versus shaking time.

으로 나타났다. Napropamide는 진탕시간 12시간, pendimethalin은 6시간까지는 매우 빠른 흡착현상을 나타냈으나, 그 이상에서는 느린 흡착현상을 나타냈다. 이것은 진탕 초기의 흡착은 토양표면에서 발생하기 때문에 흡착속도가 빨랐으나 시간이 경과함에 따라 흡착 양상이 토양 공극내에서 분산에 의하여 일어나므로 흡착속도가 느리기 때문이다. 또한 pendimethalin은 용해도가 napropamide에 비하여 낮기 때문에 빠른 흡착현상을 나타냈다. Table 1에 나타난 바와 같이 토양내 유기물함량과 점토함량이 많은 토양일수록 흡착이 빠르고, 탈착이 늦음을 알 수 있다. 그러므로 흡착과 탈착은 토양내 유기물함량과 점토함량에 크게 의존하며, 흡착과 탈착은 가역적인 현상임을 알 수 있다.

#### 3.2. 흡착·탈착등온선

토양에 대한 제초제의 흡착·탈착등온선을 구하

기 위하여 napropamide의 농도를 5.56, 10.42, 28.44, 46.51 mg/l, pendimethalin의 농도를 6.89, 16.45, 31.25, 62.54 mg/l로 변화시키면서 흡착·탈착 실험을 수행한 후, 그 결과를 Freundlich식과 Langmuir식을 이용하여 흡착·탈착등온선을 구한 것을 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2에 나타난 바와 같이 napropamide와 pendimethalin의 등온흡착은 Freundlich식에는 잘 일치하였으나, Langmuir식에는 적합하지 않았다.

토양 A, B, C에 대한 napropamide의 흡착계수 ( $K_f$ )는 각각 1.96, 2.50, 2.03, pendimethalin의  $K_f$ 는 각각 8.04, 16.08, 9.49로 나타났다. 일반적으로  $K_f$ 값이 높을수록 흡착이 잘 되는 것으로 알려져 있다. 각 토양에 대한 흡착등온선의 기울기 ( $1/n$ )는 napropamide의 경우 각각 0.915, 0.966, 0.969, pendimethalin의 경우 0.982, 0.907, 0.978로 나

타났다. 흡착등온선의 non-linearity의 정도를 나타내는  $1/n$ 의 값은 1이하로 나타났는데, 이것은  $1/n$ 의 값이 1보다 크면 점토함량에 따라 흡착이 좌우되고,  $1/n$ 의 값이 1보다 적으면 유기물함량에 따라 흡착이 좌우된다고 한 Yoshiro Hata 등의 실험결과로 미루어 볼 때<sup>9)</sup> 본 실험에서는 점토함량보다는 유기물함량에 의한 흡착이 지배된다고 생각된다. 또한, 탈착실험의 결과는 흡착실험의 경향과 유사하게 나타났는데, 각 토양에 대한 napropamide의 탈착계수( $K_{fd}$ )는 각각 13.05, 34.06, 26.58, pendimethalin의  $K_{fd}$ 는 각각 78.11, 134.00, 84.61로 나타났다. 일반적으로  $K_{fd}$ 값이 높을수록 탈착이 잘 되지 않는 것으로 알려져 있다. 각 토양에 대한 탈착등온선의 기울기( $1/n$ )는 napropamide의 경우 각각 0.662, 0.913, 0.990, pendimethalin의 경우 각각 1.041, 0.984, 0.936로 나타났다. 따라서 토양

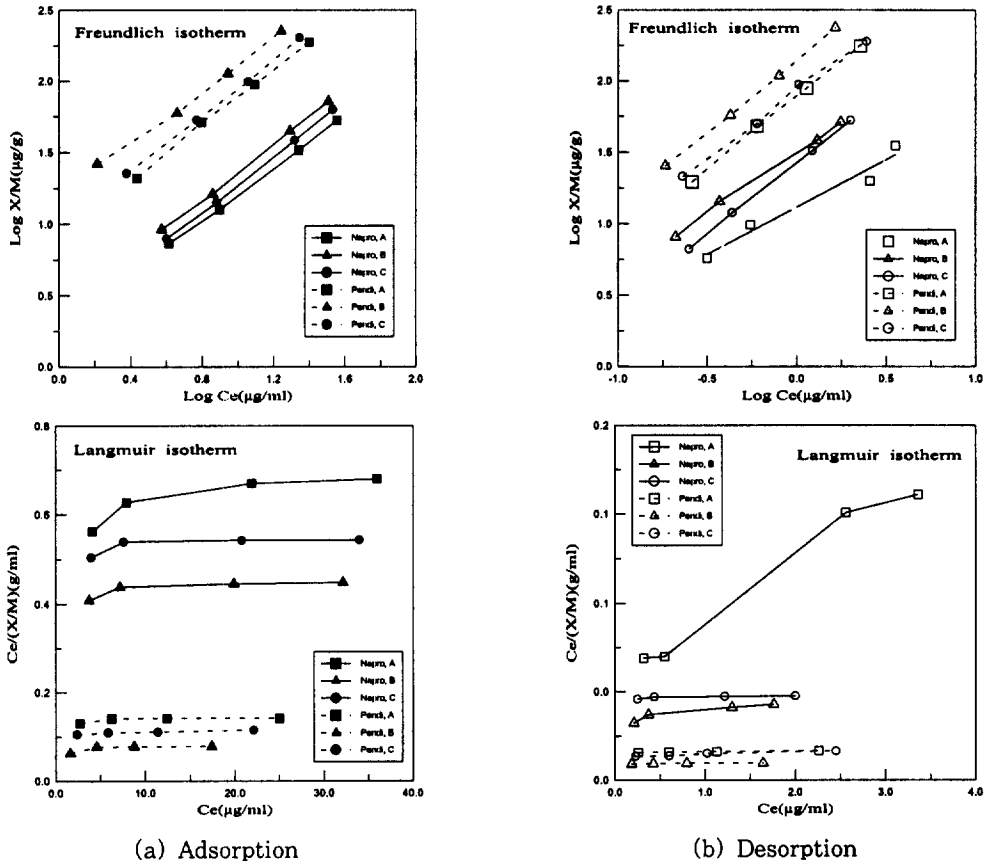


Fig. 2. Freundlich and Langmuir isotherms for adsorption and desorption.

내 유기물함량, 점토함량의 정도와 흡착율과는 정의 관계가 있으나, 탈착율과는 부의 관계가 있음을 알 수 있다.

### 3.3. 유기물함량의 영향

유기물함량은 토양에 대한 제초제의 흡착·탈착에 영향을 미치는 주요 인자이다. 본 실험에서는 토양을 과산화수소로 1, 2, 3차 처리하여 유기물함량을 변화시킨 후(Table 2) 흡착·탈착실험을 수행하여 얻어진 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

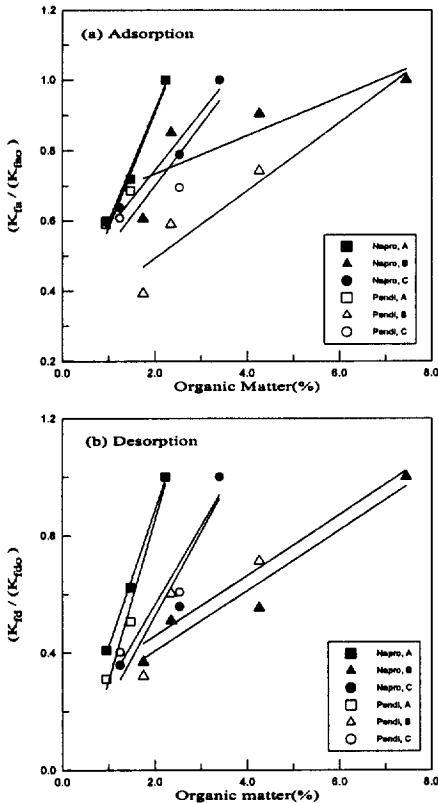


Fig. 3. Adsorption and desorption coefficient versus organic matter.

유기물함량 0.95~7.45(%)의 범위에서  $K_{fa}$  및  $K_{fd}$ 는 napropamide의 경우 1.17~2.50 및 5.33~34.06, pendimethalin은 4.74~16.08 및 24.25~134.00로 나타났다. 따라서 유기물은 농약과 흡착친화력이 높기 때문에 유기물함량이 증가하면 흡착은 증가하는 경향을 나타냈고, 탈착은 유기물함량이 증가하면 감소하는 경향을 나타내고 있으므로 흡착과 탈착은 가역적인 현상임을 알 수 있다. 이러한 경향을 확인하기 위하여 Freundlich 흡착등온선의 기울기(1/n) 분포를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 유기물함량이 napropamide 및 pendimethalin의 경우 2.0%이상에서 흡착은 유기물함량의 영향을 받고, 그 이하에서는 점토함량의 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

### 3.4. pH의 영향

pH 변화에 따른 제초제의 흡착·탈착특성을 파악하기 위하여 pH를 2~9로 변화시키면서 실험한 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 napropamide의  $K_{fa}$

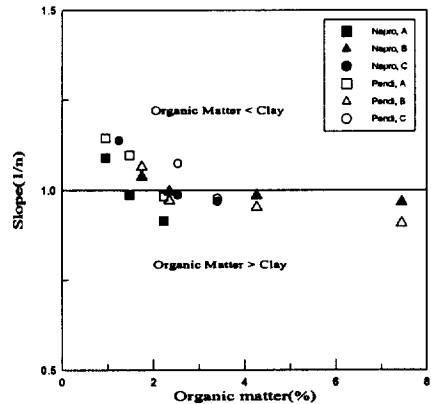


Fig. 4. Freundlich slope(1/n) versus organic matter.

Table 2. Variation of organic matter with hydroperoxide treatment

soil	organic matter(OM,%)			
	initial OM	1st treatment	2nd treatment	3rd treatment
A	2.23	1.48	0.95	-
B	7.45	4.26	2.35	1.78
C	3.40	2.54	1.25	-

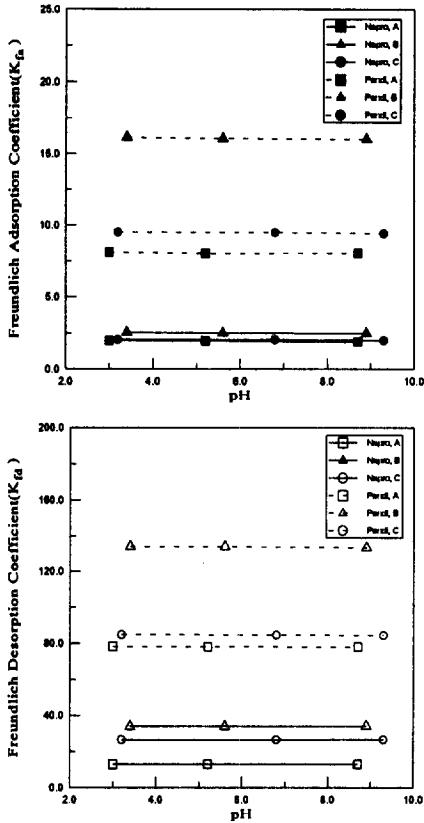


Fig. 5. Adsorption and desorption coefficient versus pH.

및  $K_{fd}$ 는 토양 A의 경우 pH 3.0에서 1.98 및 13.00, pH 5.2에서 1.96 및 13.05, pH 8.7에서 1.90 및 13.06, 토양 B의 경우 pH 3.4에서 2.54 및 34.01, pH 5.6에서 2.50 및 34.06, pH 8.9에서 2.49 및 34.14, 토양 C의 경우 pH 3.2에서 2.05 및 26.59, pH 6.8에서 2.03 및 26.58, pH 9.3에서 1.99 및 26.60로 나타났다. Pendimethalin의  $K_{fa}$  및  $K_{fd}$ 는 토양 A의 경우 pH 3.0에서 8.10 및 78.21, pH 5.2에서 8.04 및 78.11, pH 8.7에서 8.06 및 78.05, 토양 B의 경우 pH 3.4에서 16.17 및 134.05, pH 5.6에서 16.09 및 134.00, pH 8.9에서 16.05 및 133.43, 토양 C의 경우 pH 3.2에서 9.50 및 84.77, pH 6.8에서 9.49 및 84.61, pH 9.3에서 9.35 및 84.43으로 나타났다.

pH 변화에 따른 napropamide와 pendimethalin의 흡착·탈착경향은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 실험에 사용된 제초제

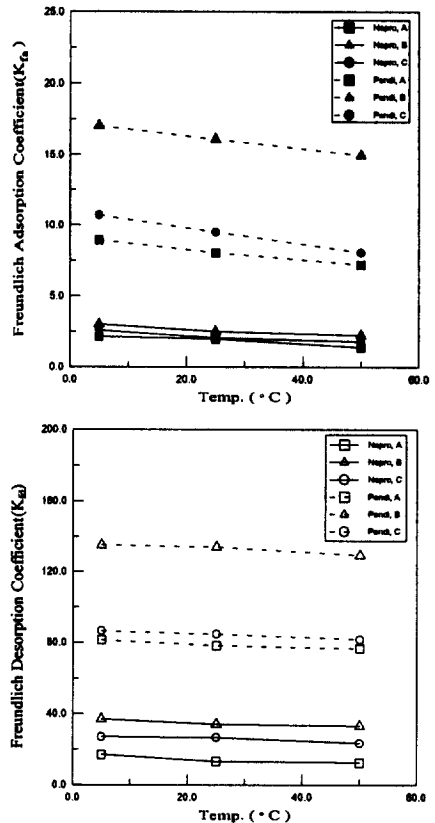


Fig. 6. Adsorption and desorption coefficient versus temperature.

가 비이온성이기 때문이며, 비이온성 농약은 토양표면에 전하를 띤 부분과 강한 이온성 결합으로 흡착되는 것이 아니라 토양표면의 소수성 부분에 물리적으로 van der waals' force에 의하여 흡착되기 때문이다. 이러한 결과는 Sarina Saltzman 등<sup>7)</sup>이 비이온성 농약인 parathion의 경우 토양의 pH가 변화해도 흡착량에는 변화가 없었다고 보고한 연구 결과와 일치하고 있다.

### 3.5. 온도의 영향

온도 변화에 따른 제초제의 흡착·탈착특성을 파악하기 위하여 토양의 온도를 5, 25, 50°C로 변화시키면서 실험한 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6에 나타난 바와 같이 napropamide의  $K_{fa}$  및  $K_{fd}$ 는 온도 5, 25, 50°C에서 토양 A의 경우 각각 2.13, 1.96, 1.37 및 16.97, 13.05, 12.48, 토양

B의 경우 각각 2.99, 2.50, 2.23 및 37.00, 34.06, 33.05, 토양 C의 경우 각각 2.59, 2.03, 1.78 및 27.08, 26.58, 23.43으로 나타났다. Pendimethalin의  $K_{fa}$  및  $K_{fd}$ 는 온도 5, 25, 50°C에서 토양 A의 경우 각각 8.93, 8.04, 7.20 및 81.38, 78.11, 76.57, 토양 B의 경우 각각 17.03, 16.09, 14.95 및 135.12, 134.00, 129.33, 토양 C의 경우 각각 10.69, 9.50, 8.06 및 86.48, 84.61, 81.58로 나타났다.

Napropamide와 pendimethalin의 토양 온도 변화에 따른 흡착율은 온도가 낮을수록 증가하는 경향을 나타냈으며, 탈착율은 온도가 높을수록 증가하는 경향을 나타냈다. 이것은 실험에 사용된 제초제가 낮은 온도에서는 용해도가 낮지만, 높은 온도에서 용해도가 높기 때문이다. 온도 변화에 따른 흡착과정은 발열성이므로, 특히 물리적 흡착일 경우 온도가 증가하면 흡착율은 감소하고 탈착율은 증가하는 경향을 나타내기 때문이다.<sup>8)</sup>

#### 4. 결 론

제초제로 사용되는 napropamide와 pendimethalin의 토양내 흡착·탈착특성을 파악하기 위하여 진탕시간, 유기물함량, pH, 온도 등을 변화시키면서 실험을 수행하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) 토양 A, B, C에 대하여 napropamide 및 pendimethalin이 흡착·탈착 평형에 도달하기 위한 진탕시간은 각각 12시간 및 6시간으로 나타났다. 평형흡착·탈착에 도달되었을 때 각 토양에 대한 napropamide의 흡착율 및 탈착율은 각각 23.35%, 31.57%, 25.95% 및 18.42%, 13.42%, 15.89%, pendimethalin은 각각 59.61%, 77.26%, 64.02% 및 3.23%, 2.93%, 3.07%이었다.
- 2) 등온흡착은 Langmuir식보다는 Freundlich식에 적합하였다. 토양 A, B, C에 대한 napropamide의 흡착계수( $K_{fa}$ ) 및 탈착계수( $K_{fd}$ )는 각각 1.96, 2.50, 2.03 및 13.05, 34.06, 26.58, pendimethalin의  $K_{fa}$  및  $K_{fd}$ 는 각각 8.04, 16.08, 9.49 및 78.11,

134.00, 84.61로 나타났다.

- 3) 유기물함량이 2.0% 이상에서의 흡착은 유기물의 영향을 받고, 그 이하에서는 점토의 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 유기물함량 0.95~7.45(%)의 범위에서  $K_{fa}$  및  $K_{fd}$ 는 napropamide의 경우 1.17~2.50 및 5.33~34.06, pendimethalin은 4.74~16.08 및 24.25~134.00로 나타났다. 따라서 유기물은 농약과 흡착친화력이 높기 때문에 유기물함량이 증가하면 흡착율은 증가하고, 탈착율은 감소하는 경향을 나타내었다.
- 4) Napropamide와 pendimethalin은 비이온성 농약이기 때문에 pH 변화로 인한 흡착·탈착 경향은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.
- 5) 토양의 온도 변화에 따른 제초제의 흡착율은 온도가 낮을수록 증가하는 경향을 나타냈으며, 탈착율은 온도가 높을수록 증가하는 경향을 나타냈다. 이것은 실험에 사용된 제초제가 낮은 온도에서는 용해도가 낮지만, 높은 온도에서 용해도가 높기 때문이다.

#### 사 사

본 논문은 1999년도 순천대학교 공과대학 학술제단 연구비에 의하여 연구되었음.

#### 참 고 문 헌

1. 허 원, 이석준, 김장억, "살균제 Fluzinam의 토양환경 중 흡·탈착, 용탈 및 분해양상," 한국농화학회지, **40**(2), 128~133(1997).
2. Shahamat U. Khan, Pesticides in the Soil Environment, Elsevier Scientific Publishing Company(1980).
3. Bailey G. W. and J. L. White, "Factors Influencing the Adsorption, Desorption and Movement of Pesticides in Soil," *Residue Review*, **32**, 29~92(1970).
4. Z. Gerstl and B. Yaron, "Behavior of



- Bromacil and Napropamide in Soils : I. Adsorption and Degradation." *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **47**, 474~478(1983).
5. Chu-Huang Wu, Normie Buehring, J. M. Davidson, and P. W. Santelmann, "Napropamide Adsorption, Desorption, and Movement in Soils," *Weed Science*, **23**, 454~457(1975).
  6. P. M. Huang, R. Grover, and R. B. Mckercher, "Components and Particle Size Fractions Involved in Atrazine Adsorption by Soils," *Soil Sci.*, **138**, 20~24(1984).
  7. Sarina Saltzman, Lilian Kliger, and Bruno Yaron, "Adsorption-Desorption of Parathion as Affected by Soil Organic Matter," *Jour. Agric. Food Chem.*, **20**, 1224~1226(1972).
  8. Marshall D. McGlamery and F. W. Slife, "The Adsorption and Desorption of Atrazine as Affected by pH, Temperature, and Concentration," *Weed Science*, **14**, 237~239(1966).
  9. 김장억, 홍종욱, "N-methylcarbamate계 살충제의 토양 중 흡착," *한국농화학회지*, **28**(3), 124~130(1985).