

## 내분비계장애추정농약의 발토양 중 용탈 특성

노현호 · 이재윤 · 이광현<sup>1</sup> · 박효경<sup>2</sup> · 경기성\*

충북대학교 농업생명환경대학 환경생명화학학과, <sup>1</sup>(주)동방아그로 기술연구소, <sup>2</sup>호서대학교 안전성평가센터

## Leaching Characteristics of the Endocrine Disruptor-suspected Pesticides in Upland Soil

Hyun Ho Noh, Jae Yun Lee, Kwang Hun Lee<sup>1</sup>, Hyo Kyoung Park<sup>2</sup> and Kee Sung Kyung\*

Department of Environmental and Biological Chemistry, College of Agriculture, Life and Environmental Sciences, Chungbuk National University, Cheongju, 441-707, Korea

<sup>1</sup>Residue Technical Research Institute, Dong Bang Argo Corp., Buyeo 323-930, Korea

<sup>2</sup>Environmental Toxicology Division, Toxicological Research Center, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

(Received on September 2, 2013. Revised on September 14, 2013. Accepted on September 20, 2013)

**Abstract** This experiment was carried out to estimate leaching potential of thirteen endocrine disruptor-suspected pesticides in upland soils using soil columns (5 cm I.D. × 35 cm H.) packed with soil A (sandy loam) and soil B (loam). When 12.6 mL of water, average precipitation in Cheongju area during the period from June to August, 2001-2010, was percolated through soil column packed with soil A every day for 21 days, no pesticides were detected from leachate, with the exception of metribuzin which was detected with negligible. Also, when 2 L of water was percolated consecutively five times through soil columns packed with soil A and B, irrespective of soil types, cypermethrin, endosulfan, fenvalerate, parathion and trifluralin, which were very low water solubilities and high soil  $K_{oc}$ s, were not detected from leachate and were distributed mostly in the depth of 0-5 cm, representing that water solubility and soil  $K_{oc}$  are major contributing factors to their leaching behavior. Despite high average leaching rates in carbaryl and methomyl, actual possibilities of ground water contamination in the agricultural environment by them would be very low, considering that the negligible amount of pesticide was percolated through a lysimeter with an undisturbed soil core simulating the field conditions, while most of pesticide was percolated through a soil column with the disturbed soil profile.

**Key words** Endocrine disruptor-suspected pesticide, leaching, soil column, leachate

### 서 론

토양에 농약이 잔류하는 경로는 토양에 농약을 살포할 때 가장 많이 유입되고 그 외의 경로로는 농약을 살포하는 과정에서 또는 작물에 잔류하는 농약과 대기 중에 존재하는 농약이 이슬이나 강우 등에 의하여 토양에 도달하는 경우이다. 그러므로 토양은 농경지에 살포한 농약이 일차적으로 모이는 장소이며, 농약은 다른 유기화합물과 함께 토양의

오염원이기도 하다(Weber와 Miller, 1989). 이러한 경로로 토양에 도달한 농약은 토양 표면에서 비산과 표면유수(run-off) 등으로 수계로 이동하여 수질 오염원이기도 하며, 토양 중에서는 흡착과 탈착, 미생물에 의한 분해, 용탈 등의 과정을 거치게 된다. 농약의 용탈은 농약과 토양의 이화학적 특성과 기후 조건에 영향을 받는데 특히 토성과 농약의 물에 대한 용해도 및 토양에 대한 흡착력이 중요한 요인이다(Nicolls, 1988; Ashton과 Monaco, 1991).

농약의 토양 구성성분 및 토양 중 유기물에 대한 흡착정도는 농약이 토양 중에서 일어나는 행동 중 하나인 이동과 분해 및 대사 정도를 결정하는데 매우 중요하다. 토양에 대한 흡착력이 낮고 물에 대한 용해도와 이동성이 큰 농약은

\*Corresponding author

Tel: +82-43-261-2562, Fax: +43-271-5921

E-mail: kskyung@cbnu.ac.kr

토층을 통과하여 지하부로 이동하므로 지하수를 오염시킬 가능성이 높다고 알려져 있다(Barley 등, 1974; Leonard, 1990; Kruger 등, 1996). 또한 농약에 의한 지하수의 오염은 토양 중 지하수의 위치에 의하여 영향을 받는데 토양중 이동성이 크고 지하수면이 토양표면에 가까울수록 농약에 의한 지하수의 오염 가능성이 더 증가하는 것으로 보고되었다(Yen 등, 1997). 이와 같이 토양 중 농약의 용탈은 지하수를 오염시킬 가능성과 밀접한 관련이 있기 때문에 농약의 용탈성을 구명하는 것은 지하수 오염 방지차원에서 매우 중요하다.

농약의 토양 중 이동성과 용탈성을 가장 합리적으로 구명하는 방법은 <sup>14</sup>C 방사성 추적자법으로 실제 농경지 토양과 유사하게 제작한 lysimeter를 이용하는 시험이나 특별 관리가 필요하고 반감기가 긴 방사성 동위원소를 사용하여야 하며, 또한 주변 환경의 오염 가능성 때문에 이를 사용할 수 있는 특수 시설이 필요할 뿐만 아니라 시험 후 토양과 같은 폐기물의 처리 등에서 많은 경비가 소요되기 때문에 표준화된 토양 칼럼을 사용하여 농약의 용탈성을 간편하게 예측할 수 있다(BBA, 1986; Kyung과 Lee, 1993). Lysimeter를 이용한 용탈시험은 실제 농경지의 토양 구조와 거의 유사하게 제작하여 사용하므로 실제 포장에서의 용탈성을 정확히 예측할 수 있으나 토양 칼럼을 이용한 용탈 시험은 유리 칼럼에 토양을 충전하여 시험하기 때문에 자연상태의 토층구조와 차이가 있어 실제 용탈성과 차이가 있을 수 있지만 농약 간의 상대적인 용탈성을 구명하는 데는 매우 편리한 방법이다(Kyung과 Lee, 1993, Kyung 등, 2004).

따라서 이 연구는 토양 칼럼을 이용하여 내분비계장애추정농약 13종에 대한 용탈특성을 구명함으로써 지하수 오염 가능성을 평가하기 위하여 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 시험토양

용탈시험에 사용한 토양은 충북대학교 농장(개신토양, 토양 A)과 사천동(사천토양, 토양 B) 소재 밭에서 채취하여 음건한 후 2 mm 체를 통과시켜 사용하였으며, 각 토양의 물리화학적 특성은 Table 1과 같다.

### 시험농약

시험에 사용한 농약은 내분비계장애추정농약 중 수도용 농약 2,4-D와 fenvalerate 분석성분의 중복 농약인 esfenvalerate 및 토양 중 반감기가 매우 짧은 것으로 알려진

mancozeb와 metiram을 제외한alachlor, carbaryl, carbendazim, cypermethrin, dicofol, endosulfan, fenvalerate, malathion, metribuzin, methomyl, parathion, trifluralin, vinclozolin이었다. 시험농약의 표준품은 Dr. Ehrenorfer GmbH사(독일)의 제품을 시중에서 구입하여 사용하였으며, 순도는 98.00-100%이었다.

### 토양칼럼 제조 및 시험농약 처리

용탈시험용 토양칼럼은 유리 칼럼(내경 5 cm, 높이 35 cm)의 밑 부분을 유리솜으로 막고 칼럼을 진동시키면서 음건하여 2 mm 체를 통과시킨 시험토양을 높이가 30 cm가 되도록 충전하여 만들었다. 시험토양이 충전된 유리 칼럼을 물에 담가 모세관력으로 수분을 포화시킨 후 칼럼의 외벽을 흑색 단열재로 차광하고 24시간 동안 관수하여 안정화시켰다. 토양 10 g에 각 시험농약의 1,000 mg/L 표준액 1 mL를 처리하고 유기용매를 휘발시킨 후 칼럼 상부에 가하는 방법으로 약제를 처리하였다.

### 용탈시험

용탈시험 시 용탈수 중 농약의 잔류 가능성을 확인하기 위하여 토양 A에 2001년부터 청주지역의 6-8월까지 10년간 평균 일일강수량인 12.6 mL를 매일 용탈시켜 3일 간격으로 모으는 방법(모조강우량 용탈시험)으로 3주간 용탈시켰다. 상기 방법으로 행한 용탈시험에서 용탈수에 농약이 잔류하지 않아 같은 방법으로 만든 2종 토양의 칼럼에 시험농약을 처리한 후 Lee 등(2005)의 방법 중 2 L의 증류수를 5회 용탈시켜 총 10 L를 용탈시키는 방법(10 L 용탈시험)을 적용하여 2주간 용탈시켰다. 용탈 시험이 끝난 후 토양시료를 5 cm 깊이로 채취하여 토양과 용탈수 중 시험농약의 잔류량을 분석하였다.

### 토양과 용탈수중 잔류농약 분석

시험농약 중alachlor, cypermethrin, dicofol, endosulfan, fenvalerate, malathion, metribuzin, parathion, trifluralin 및 vinclozolin은 GC-ECD 다성분동시분석법으로, carbaryl과 methomyl은 HPLC-FLD 다성분동시분석법으로, carbendazim은 HPLC-FLD 단성분 분석법으로 시료 중 잔류량을 분석하였다.

### GC-ECD 다성분동시분석 농약

토양 50 g(모조강우량 용탈시험은 토양 전량인 약 155 g)

Table 1. Physicochemical properties of the soils used

Soil	pH	Organic matter (%)	C.E.C (mmol+/kg)	Sand	Silt	Clay	Texture
A (Gaesin)	5.3	0.58	117	63.5	22.3	14.2	Sandy loam
B (Sacheon)	4.7	1.95	84	41.8	39.4	18.8	Loam

**Table 2.** GC-ECD conditions for the analyses of the pesticides in soil and leachate

Instrument	Gas chromatograph equipped with electron capture detector, Agilent 6890N Network, Agilent, U.S.A.
Column	DB-5, 30 m L. × 0.25 mm I.D., 0.25 µm film thickness
Temperature	Oven: Programmed from 130°C for 2 min to 200°C at a rate of 7°C/min, increased to 220°C at a rate of 2°C/min and hold for 3 min, and increased to 300°C at a rate of 10°C/min and hold for 2 min Injector: 250, Detector: 310
Flow rate	Carrier (N <sub>2</sub> ): 1 mL/min Make-up (N <sub>2</sub> ): 60 mL/min
Split ratio	10:1
Injection vol.	1 µL

**Table 3.** HPLC-FLD conditions for the analyses of the pesticides in soil and leachate

Instrument	Agilent 1200 Series High Performance Liquid Chromatograph, Agilent, U.S.A.
Column	CAPCELL PAK C18, 4.6 mm I.D. × 250 mm L., 5 µm for carbaryl, methomyl Supelcosil™ LC-18-DB, 4.6 mm I.D. × 250 mm L., 5 µm for carbendazim
Detector	Fluorescence detector (FLD)
Wavelength	Ex. : 330 nm Em. : 466 nm for carbaryl and methomyl Ex. : 270 nm Em. : 310 nm for carbendazim
Mobile phase	Water : Acetonitrile (65 : 35, v/v) for carbaryl and methomyl Ionparing solution <sup>a)</sup> : methanol:acetonitrile (45 : 50 : 5, v/v/v) for carbendazim
Flow rate	1.0 mL/min for carbaryl and methomyl 0.5 mL/min for carbendazim
Injection vol.	10 µL for carbaryl and methomyl 20 µL for carbendazim

<sup>a)</sup> 1 g 1-Decane sulfonic acid, sodium salt+7 mL phosphoric acid+10 mL triethylamine in 1 L of deionized water.

을 300 mL tall beaker에 넣고 acetone 100 mL를 넣고 250 rpm에서 진탕하여 추출한 후 Celite 545(입자크기 0.02-0.1 mm, Merck)를 통과시켜 흡인 여과하였으며, 50 mL의 acetone으로 용기 및 잔사를 씻어 앞의 여과액과 합하였다. 여과액을 100 mL의 포화식염수와 400 mL의 증류수가 들어 있는 1 L 분액여두에 옮기고 50 mL의 dichloromethane을 가한 후 Resipro shaker (SR-2W, Taitec, 일본)를 이용하여 270 rpm에서 5분간 진탕하는 방법으로 2회 분배하였으며, dichloromethane 분배액을 무수황산나트륨으로 탈수하여 35°C에서 감압 농축하였다. 농축한 시료는 130°C에서 5시간 이상 활성화한 Florisil 5 g을 glass column(1 cm I.D. × 22 cm L.)에 건식 충전한 후 약 2 g의 무수황산나트륨을 Florisil 상부에 넣고 50 mL의 *n*-hexane으로 column을 세척하여 안정화시켰다. 농축시료 잔사를 5 mL의 *n*-hexane: dichloromethane (80:20, v/v) 혼합용매를 연속하여 흘려버린 후 동일 용매 50 mL로 용출하고, 연속하여 50 mL의 *n*-hexane:dichloromethane: acetonitrile (48.5:50:1.5, v/v/v) 혼합용매로 용출하여 35°C에서 감압 농축하였다. 농축 건조된 시료는 2 mL의 acetone에 재용해한 후 GLC-ECD로 분석하

였으며, 분석조건은 Table 2와 같다. 용탈수 중 잔류농약은 모조강우량 용탈시험의 경우는 용탈수 전량인 약 12 mL에, 10 L 용탈시험의 경우는 용탈수 200 mL에 dichloromethane 100 mL를 넣고 토양 중 농약잔류량 분석과 동일한 방법으로 분석하였다.

#### HPLC-FLD 다성분동시분석 농약

토양 50 g(모조강우량 용탈시험은 토양 전량인 약 155 g)을 300 mL tall beaker에 넣고 100 mL의 acetone을 넣어 250 rpm에서 진탕하여 추출한 후 Celite 545를 통과시켜 흡인 여과하였으며, 50 mL의 acetone으로 용기 및 잔사를 씻어 앞의 여과액과 합하였다. 여과액을 100 mL 포화식염수와 400 mL의 증류수가 들어있는 1 L 분액여두에 옮기고 50 mL의 dichloromethane을 가한 후 Resipro shaker를 이용하여 270 rpm에서 5분간 진탕하는 방법으로 2회 분배하였으며, dichloromethane 분배액을 무수황산나트륨으로 탈수하여 35°C에서 감압농축하였다. 농축한 시료는 130°C에서 5시간 이상 활성화한 Florisil 5 g을 glass column (1 cm I.D. × 22 cm L.)에 건식 충전한 후 약 2 g의 무수황산나트륨을 Florisil 상부에 넣고 50 mL의 *n*-hexane으로 column을 세척

하여 안정화 시켰다. 농축시료의 잔사를 5 mL의 *n*-hexane:dichloromethane (80:20, v/v)으로 녹여 column 상부에 가하여 흘려버린 후 같은 용매 5 mL로 연속하여 흘렸으며, 50 mL의 *n*-hexane:dichloromethane:acetonitrile (45:50:5, v/v/v) 혼합용매로 용출하고, 연속해서 50 mL의 dichloromethane:acetonitrile (50:50, v/v)으로 용출하여 35°C에서 감압 농축하였다. 농축 건조된 시료는 2 mL의 acetonitrile에 재용해한 후 high performance liquid chromatograph-fluorescence detector (HPLC-FLD)를 이용하여 각각 Table 3의 기기분석 조건으로 분석하였다. 용탈수 중 잔류농약은 모조강우량 용탈시험은 용탈수 전량인 약 12 mL에, 10 L 용탈시험의 경우는 용탈수 200 mL에 dichloromethane 100 mL를 넣고 토양 중 농약잔류량 분석과 동일한 방법으로 분석하였다.

250 rpm에서 진탕하여 추출한 후 Celite 545을 통과시켜 흡인 여과하였으며, 50 mL의 methanol로 용기 및 잔사를 씻어 앞의 여과액과 합하였다. 여과액을 100 mL의 포화식염수와 400 mL의 증류수가 들어있는 1 L 분액여두에 옮기고 50 mL의 dichloromethane을 가한 후 Resipro shaker을 이용하여 270 rpm에서 5분간 진탕하는 방법으로 2회 분배하였다. Dichloromethane 분배액을 무수황산나트륨으로 탈수하여 35°C에서 감압농축 한 후 2 mL의 methanol에 재용해하여 Table 3의 조건에서 HPLC-FLD로 분석하였다. 용탈수 중 잔류농약은 모조강우량 용탈시험의 경우는 용탈수 전량인 약 12 mL에, 10 L 용탈시험의 경우는 용탈수 200 mL에 dichloromethane 100 mL를 넣고 토양 중 농약잔류량 분석과 동일한 방법으로 분석하였다.

**Carbendazim**

토양 50 g(모조강우량 용탈시험은 토양 전량인 약 155 g)을 300 mL tall beaker에 넣고 methanol 100 mL를 넣고

**시험농약의 회수율과 정량한계**

토양과 용탈수 중 시험농약의 회수율은 토양 50 g과 용탈수 200 mL에 시험농약을 정량한계의 10배와 50배 농도로

**Table 4.** Recoveries of the pesticides in soil and leachate

Pesticide	Soil			Leachate		
	Pesticide spiked (mg/kg)	Recovery ± SD <sup>a)</sup> (%)	Limit of quantitation (mg/kg)	Pesticide spiked (mg/L)	Recovery ± SD (%)	Limit of quantitation (mg/L)
Alachlor	0.004	79.38±1.68	0.001	0.001	75.17±3.54	0.0003
	0.02	83.48±6.20		0.005	107.52±2.01	
Carbaryl	0.02	98.37±3.57	0.007	0.005	92.50±4.24	0.0017
	0.1	95.64±4.13		0.025	96.76±1.26	
Carbendazim	0.04	88.39±2.31	0.001	0.01	80.82±1.75	0.0033
	0.2	84.61±3.38		0.05	89.03±2.64	
Cypermethrin	0.004	108.94±6.76	0.001	0.001	92.08±2.31	0.0003
	0.02	111.48±5.02		0.005	95.74±4.66	
Dicofol	0.004	96.37±0.84	0.001	0.001	95.75±2.55	0.0003
	0.02	91.27±1.27		0.001	106.44±1.57	
Endosulfan	0.004	112.68±0.49	0.001	0.001	111.58±7.18	0.0003
	0.02	115.72±1.17		0.001	111.18±2.26	
Fenvalerate	0.004	102.57±5.01	0.001	0.001	113.57±3.34	0.0003
	0.02	99.81±2.38		0.001	108.40±3.13	
Malathion	0.004	109.28±1.73	0.001	0.001	87.14±3.23	0.0003
	0.02	111.19±2.36		0.001	102.35±2.07	
Metribuzin	0.004	100.85±2.51	0.001	0.001	93.46±3.57	0.0003
	0.02	104.82±6.18		0.001	88.63±4.07	
Methomyl	0.02	89.64±6.28	0.007	0.005	104.42±1.09	0.0017
	0.1	86.08±3.49		0.025	94.73±3.88	
Parathion	0.004	113.75±1.97	0.001	0.001	84.17±6.50	0.0003
	0.02	115.28±4.86		0.001	95.75±2.71	
Trifluralin	0.004	85.39±5.73	0.001	0.001	98.44±2.54	0.0003
	0.02	83.64±1.50		0.001	107.26±2.95	
Vinclozolin	0.004	102.08±2.07	0.001	0.001	90.48±3.07	0.0003
	0.02	106.70±6.19		0.001	96.21±4.52	

<sup>a)</sup>Standard deviation of triplicate.

처리한 후 앞서의 토양과 용탈수 중 잔류농약 분석법과 동일하게 분석하여 구하였다. 시험농약의 정량한계는 검출한계에 3.3을 곱하여 구하였다(FAO, 2009a).

## 결과 및 고찰

### 시험농약의 회수율과 정량한계

토양과 용탈수 중 시험농약의 회수율은 Table 4와 같이 토양은 79.38-115.72%이고 용탈수는 75.17-113.57%이었으며, 변이계수는 토양은 0.49-6.28%이고 용탈수는 1.09-7.18%이었다. 회수율과 변이계수의 국내기준과 국제 기준은 각각 70% 이상과 10% 이내(Rural Development Administration, 2010)이고 FAO(2009b)와 EU(Lee 등, 2003)는 모두 70-120%와 20% 이내로서 이 연구의 잔류농약 분석법은 적정한 것으로 판단되었다. 시험농약의 토양과 용탈수 중 정량한계는 각각 0.001-0.007 mg/kg과 0.0003-0.0017 mg/L이었다(Table 4 참조).

### 시험농약의 용탈특성

#### 모조강우량 용탈시험

모조강우량 용탈시험의 경우 토양 중 농약의 용탈시험 결과는 Table 5에 제시한 바와 같이 용탈수 중에 metribuzin이 13-15일차, 16-18일차 및 19-21일차에서 극미량인 각각 0.003, 0.012 및 0.052 µg 검출된 것 이외에 모든 시험농약이 검출되지 않아 강우에 의한 용탈성은 매우 낮은 것으로 나타났다. 또한 5 cm 간격으로 채취한 토층별 시험농약의 잔류량을 보면 Table 6과 같이 토층에서 하부로 이동이 진

행된 alachlor와 metribuzin 및 methomyl을 제외한 대부분 농약의 경우인 cypermethrin, dicofol, endosulfan, fenvalerate, parathion 및 trifluralin은 검출량의 99% 이상이 표토에 잔류하였고 malathion도 표토에 75% 이상 잔류하여 대부분 토양 표층인 0-5 cm 부근에 주로 분포하는 경향이었으며, 이는 OUS DB (Oregon State University Database)의 내용과 일치하였다. 그러나 토양 중 이동성이 매우 높은 것으로 알려져 있는 metribuzin과 methomyl은 토층 전체에 고루 분포하였다.

### 10 L 용탈시험

모조강우량 용탈시험에서 용탈수 중 잔류농약이 검출되지 않아 시험농약의 용탈성을 구명하기 위하여 2 L씩 5회 연속 용탈시킨 10 L 용탈시험에서 얻은 용탈수 분획별 농약 잔류량과 용탈율은 각각 Table 7과 8과 같다. 이 표에서 보면 2 L씩 5회 연속 용탈시켰을 경우에도 cypermethrin, endosulfan, fenvalerate, parathion, trifluralin은 용탈수에서 검출되지 않았는데 이는 토양 중 이동성이 매우 낮고 토양에 강하게 흡착하는 특성 때문인 것으로 판단되었다. 이는 OSU DB의 자료와 일치하였는데 OSU DB에서 토양 중 이동성 등급(movement rating)을 cypermethrin과 endosulfan은 극히 낮음(extremely low), fenvalerate와 parathion 및 trifluralin은 매우 낮음(very low)으로 평가하고 있고 토양 중 흡착계수(soil  $K_{oc}$ )가 5,000-100,000으로 보고되었다(Vogue 등, 1994). 또한 5 cm 간격으로 채취한 토층별 농약잔류량은 Table 9와 같이 용탈수에서 농약이 검출되지 않은 cypermethrin, endosulfan, fenvalerate, parathion, trifluralin

**Table 5.** Amounts of the test pesticides in leachate collected from soil column packed with soil A when 12.6 mL of water was percolated through soil column every day for 21 days

Pesticide	Leaching period (day)	Amount of pesticide (µg)						
		0-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21
Alachlor		ND <sup>a)</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Carbaryl		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cabendazim		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cypermethrin		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dicofol		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Endosulfan		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fenvalerate		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Malathion		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Metribuzin		ND	ND	ND	ND	0.003±0.001	0.012±0.007	0.052±0.016
Methomyl		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Parathion		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Trifluralin		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Vinclozolin		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

<sup>a)</sup>Not detected.

**Table 6.** Amounts ( $\mu\text{g}$ ) of the pesticides distributed in soil segments of soil column packed with soil A when 12.6 mL of water was percolated through soil column every day for 21 days

Pesticide	Soil depth (cm)	Amount of pesticide detected ( $\mu\text{g}$ ) $\pm$ SD <sup>a)</sup>						Total
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	
Alachlor		76.93 $\pm$ 15.70	252.50 $\pm$ 28.11	125.78 $\pm$ 28.73	16.34 $\pm$ 5.11	ND	ND	471.55 $\pm$ 21.55
Carbaryl		156.03 $\pm$ 18.36	117.36 $\pm$ 16.58	17.88 $\pm$ 7.88	ND	ND	ND	291.27 $\pm$ 17.69
Cabendazim		692.16 $\pm$ 53.47	41.48 $\pm$ 13.09	ND	ND	ND	ND	733.64 $\pm$ 58.46
Cypermethrin		896.65 $\pm$ 44.04	0.79 $\pm$ 0.14	0.47 $\pm$ 0.19	0.11 $\pm$ 0.02	0.22 $\pm$ 0.09	0.11 $\pm$ 0.04	898.35 $\pm$ 43.18
Dicofol		9.75 $\pm$ 3.67	ND <sup>b)</sup>	ND	ND	ND	ND	9.75 $\pm$ 3.67
Endosulfan		302.57 $\pm$ 12.30	0.70 $\pm$ 0.22	0.26 $\pm$ 0.07	0.15 $\pm$ 0.04	0.05 $\pm$ 0.02	ND	303.73 $\pm$ 13.01
Fenvalerate		650.41 $\pm$ 30.08	0.64 $\pm$ 0.28	0.20 $\pm$ 0.02	0.12 $\pm$ 0.05	0.08 $\pm$ 0.02	0.04 $\pm$ 0.02	651.49 $\pm$ 28.99
Malathion		3.37 $\pm$ 1.25	0.41 $\pm$ 0.63	0.22 $\pm$ 0.03	0.19 $\pm$ 0.10	0.18 $\pm$ 0.07	0.10 $\pm$ 0.02	4.47 $\pm$ 1.44
Metribuzin		7.30 $\pm$ 2.37	26.32 $\pm$ 3.04	37.91 $\pm$ 4.13	58.40 $\pm$ 8.64	89.94 $\pm$ 20.16	43.07 $\pm$ 10.79	262.94 $\pm$ 24.57
Methomyl		0.08 $\pm$ 0.03	0.06 $\pm$ 0.02	0.05 $\pm$ 0.02	0.06 $\pm$ 0.02	0.04 $\pm$ 0.01	0.06 $\pm$ 0.01	0.35 $\pm$ 0.09
Parathion		42.45 $\pm$ 6.77	ND	ND	ND	ND	ND	42.45 $\pm$ 6.77
Trifluralin		230.75 $\pm$ 15.74	0.14 $\pm$ 0.06	ND	ND	ND	ND	230.89 $\pm$ 15.90
Vinclozolin		257.15 $\pm$ 8.61	18.25 $\pm$ 4.06	1.81 $\pm$ 0.18	0.13 $\pm$ 0.04	0.03 $\pm$ 0.01	ND	277.37 $\pm$ 11.16

<sup>a)</sup>Standard deviation of triplicate. <sup>b)</sup>Not detected.

**Table 7.** Amounts ( $\mu\text{g}$ ) of the pesticides in leachate collected from soil column packed with soil A and B when 2 L of water was percolated consecutively five times through the column

Pesticide	Soil	Amount of pesticide detected ( $\mu\text{g}$ ) $\pm$ SD <sup>a)</sup>						Total
		Leachate (L)	2	4	6	8	10	
Alachlor	A		63.89 $\pm$ 2.55	5.39 $\pm$ 1.08	1.46 $\pm$ 0.29	0.16 $\pm$ 0.05	ND	70.08 $\pm$ 2.10
	B		43.94 $\pm$ 5.73	12.53 $\pm$ 3.92	6.80 $\pm$ 2.15	ND	ND	63.70 $\pm$ 3.94
Carbaryl	A		963.50 $\pm$ 74.02	95.21 $\pm$ 10.34	17.23 $\pm$ 2.51	5.21 $\pm$ 0.28	1.50 $\pm$ 0.32	1082.62 $\pm$ 35.20
	B		577.22 $\pm$ 32.48	222.93 $\pm$ 21.51	87.75 $\pm$ 8.04	51.05 $\pm$ 3.39	47.42 $\pm$ 4.18	962.59 $\pm$ 28.82
Carbendazim	A		107.15 $\pm$ 30.71	402.96 $\pm$ 55.05	250.15 $\pm$ 13.99	102.22 $\pm$ 7.66	43.94 $\pm$ 10.34	907.39 $\pm$ 48.72
	B		ND <sup>b)</sup>	341.72 $\pm$ 36.47	360.73 $\pm$ 40.51	202.08 $\pm$ 24.32	ND	897.74 $\pm$ 44.56
Cypermethrin	A		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	B		ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dicofol	A		0.31 $\pm$ 0.16	1.51 $\pm$ 0.37	0.67 $\pm$ 0.24	1.50 $\pm$ 0.60	0.62 $\pm$ 0.11	4.01 $\pm$ 1.38
	B		0.36 $\pm$ 0.05	1.19 $\pm$ 0.09	0.99 $\pm$ 0.28	ND	ND	2.71 $\pm$ 0.61
Endosulfan	A		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	B		ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fenvalerate	A		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	B		ND	ND	ND	ND	ND	ND
Malathion	A		28.99 $\pm$ 6.18	1.96 $\pm$ 0.47	1.07 $\pm$ 0.17	0.79 $\pm$ 0.13	0.57 $\pm$ 0.10	33.36 $\pm$ 6.81
	B		22.75 $\pm$ 3.56	1.76 $\pm$ 0.43	1.59 $\pm$ 0.14	0.56 $\pm$ 0.09	0.55 $\pm$ 0.08	22.55 $\pm$ 5.21
Metribuzin	A		485.33 $\pm$ 26.44	3.67 $\pm$ 1.02	1.03 $\pm$ 0.32	0.54 $\pm$ 0.09	0.28 $\pm$ 0.08	490.84 $\pm$ 25.22
	B		490.24 $\pm$ 24.61	35.17 $\pm$ 26.69	6.10 $\pm$ 2.10	1.88 $\pm$ 0.53	1.03 $\pm$ 0.18	534.22 $\pm$ 46.28
Methomyl	A		963.50 $\pm$ 74.02	95.21 $\pm$ 30.34	17.23 $\pm$ 8.51	5.21 $\pm$ 2.28	1.50 $\pm$ 0.32	1082.65 $\pm$ 35.20
	B		934.03 $\pm$ 67.18	97.94 $\pm$ 27.49	23.45 $\pm$ 10.57	7.54 $\pm$ 1.94	0.21 $\pm$ 0.11	1067 $\pm$ 40.06
Parathion	A		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	B		ND	ND	ND	ND	ND	ND
Trifluralin	A		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	B		ND	ND	ND	ND	ND	ND
Vinclozolin	A		3.59 $\pm$ 2.50	5.03 $\pm$ 1.81	1.37 $\pm$ 0.28	0.57 $\pm$ 0.17	0.20 $\pm$ 0.27	10.76 $\pm$ 4.1 2
	B		1.45 $\pm$ 0.81	1.21 $\pm$ 0.64	1.05 $\pm$ 0.42	0.83 $\pm$ 0.41	0.50 $\pm$ 0.26	2.11 $\pm$ 0.94

<sup>a)</sup>Standard deviation of triplicate. <sup>b)</sup>Not detected.

**Table 8.** Leaching rate (%) of the pesticides from soil column packed with soil A and B when when 2 L of water was percolated consecutively five times through the column

Pesticide	Soil	Pesticide leached (%) $\pm$ SD <sup>a)</sup>						
		Leachate (L)	2	4	6	8	10	Total
Alachlor	A		6.39 $\pm$ 0.26	0.54 $\pm$ 0.11	0.15 $\pm$ 0.03	0.02 $\pm$ 0.01	0	7.01 $\pm$ 0.21
	B		4.39 $\pm$ 0.57	1.25 $\pm$ 0.39	0.68 $\pm$ 0.22	0	0	6.37 $\pm$ 0.39
Carbaryl	A		96.35 $\pm$ 7.40	9.52 $\pm$ 1.03	1.72 $\pm$ 0.25	0.52 $\pm$ 0.03	0.15 $\pm$ 0.03	108.26 $\pm$ 3.52
	B		57.70 $\pm$ 23.30	22.29 $\pm$ 2.15	8.78 $\pm$ 0.80	5.11 $\pm$ 0.34	4.74 $\pm$ 0.42	96.26 $\pm$ 2.88
Carbendazim	A		10.72 $\pm$ 3.1	40.30 $\pm$ 5.51	25.02 $\pm$ 1.40	10.22 $\pm$ 0.77	4.39 $\pm$ 1.03	90.74 $\pm$ 4.87
	B		0	34.17 $\pm$ 3.65	36.07 $\pm$ 4.05	20.21 $\pm$ 2.43	0	89.77 $\pm$ 4.46
Cypermethrin	A		0	0	0	0	0	0
	B		0	0	0	0	0	0
Dicofol	A		0.03 $\pm$ 0.02	0.15 $\pm$ 0.04	0.07 $\pm$ 0.02	0.15 $\pm$ 0.06	0.06 $\pm$ 0.01	0.40 $\pm$ 0.14
	B		0.04 $\pm$ 0.05	0.12 $\pm$ 0.01	0.10 $\pm$ 0.03	0	0	0.27 $\pm$ 0.06
Endosulfan	A		0	0	0	0	0	0
	B		0	0	0	0	0	0
Fenvalerate	A		0	0	0	0	0	0
	B		0	0	0	0	0	0
Malathion	A		2.90 $\pm$ 0.62	0.20 $\pm$ 0.05	0.11 $\pm$ 0.02	0.08 $\pm$ 0.01	0.06 $\pm$ 0.01	3.34 $\pm$ 0.68
	B		2.28 $\pm$ 0.36	0.18 $\pm$ 0.04	0.16 $\pm$ 0.01	0.06 $\pm$ 0.01	0.06 $\pm$ 0.01	2.26 $\pm$ 0.52
Metribuzin	A		48.53 $\pm$ 2.64	0.37 $\pm$ 0.10	0.10 $\pm$ 0.03	0.05 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.01	49.08 $\pm$ 2.52
	B		49.02 $\pm$ 2.46	3.52 $\pm$ 2.67	0.61 $\pm$ 0.21	0.19 $\pm$ 0.05	0.10 $\pm$ 0.02	53.42 $\pm$ 4.63
Methomyl	A		96.35 $\pm$ 7.40	9.52 $\pm$ 3.03	1.72 $\pm$ 0.85	0.52 $\pm$ 0.23	0.15 $\pm$ 0.03	108.27 $\pm$ 4.01
	B		93.40 $\pm$ 6.72	9.79 $\pm$ 2.75	2.35 $\pm$ 1.06	0.75 $\pm$ 0.19	0.02 $\pm$ 0.01	106.72 $\pm$ 0.41
Parathion	A		0	0	0	0	0	0
	B		0	0	0	0	0	0
Trifluralin	A		0	0	0	0	0	0
	B		0	0	0	0	0	0
Vinclozolin	A		0.36 $\pm$ 0.25	0.50 $\pm$ 0.18	0.14 $\pm$ 0.03	0.06 $\pm$ 0.02	0.02 $\pm$ 0.03	1.08 $\pm$ 0.41
	B		0.15 $\pm$ 0.08	0.12 $\pm$ 0.06	0.11 $\pm$ 0.04	0.08 $\pm$ 0.04	0.05 $\pm$ 0.03	0.21 $\pm$ 0.01

<sup>a)</sup>Standard deviation of triplication.

은 토양 표면으로부터 0-5 cm 부위에 분포하여 앞서 제시한 바와 같이 토양 중에서 이동성이 거의 없는 것으로 나타났다.

Alachlor, dicofol, malathion 및 vinclozolin은 모두 10% 미만이 용탈되었는데 이는 토양 중 이동성, 수용해도 및 토양 흡착 정도에 따른 영향으로 보이며, malathion의 경우 토양 중 반감기가 약 1일로 매우 짧기 때문에 용탈된 양이 적었다고 판단되었다. Fava 등 (2000)은 alachlor가 지하수로 용탈되었을 경우에 해당 농약의 대사산물에 대한 위해성을 평가하기 위하여 반감기, GUS 및  $K_{oc}$ 를 산출한 결과 각각 5.2일, 1.07 및 312로 토양 중 농약이 용탈될 가능성은 매우 낮다고 보고하였다. 또한 vinclozolin은 모조 강우량을 이용한 실험에서는 검출되지 않았으며, 2L씩 분획한 용출수에서도 약 1% 미만으로 검출되었다. 높은 수용해도, 낮은 토

양 흡착력과 토양 이동성이 있음에도 불구하고 용출수에 검출이 되지 않은 이유는 반감기가 20일로 비교적 짧고 토양의 유기물 함량, 미생물에 의한 분해 및 광에 의한 분해의 요인이 작용한 것으로 판단되었다. Frederick 등(1996)의 보고에 의하면 토양 중 vinclozolin은 4 cm 이상 깊이의 토양에서는 검출되지 않고 토양 중 반감기가 7.7일 이었다는 점을 감안하면 토양 중 vinclozolin의 용탈 가능성은 거의 없는 것으로 판단되었다.

Carbaryl이 대부분 용탈되어 토층에서 검출되지 않은 것으로 판단되었으며, methomyl은 수용해도가 58,000 mg/L로 매우 높고 토양 중 이동성이 매우 높은 특성으로 인하여 용탈되어 토층에서 검출되지 않은 것으로 판단되었다(Vogue 등, 1994). R&P(1988)는 carbaryl의 수용해도는 112 mg/L로 비교적 높은 수용해도를 가졌다고 보고하였으며, Cox 등

**Table 9.** Amounts ( $\mu\text{g}$ ) of the pesticides distributed in soil segments of soil column packed with soil A and B when when 2 L of water was percolated consecutively five times through the column

Pesticide	Soil	Amount of pesticide detected ( $\mu\text{g}$ ) $\pm$ SD <sup>a)</sup>							Total
		Soil depth (cm)	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	
Alachlor	A		ND <sup>b)</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	B		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Carbaryl	A		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	B		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cabendarzim	A		6.89 $\pm$ 1.82	25.84 $\pm$ 5.48	53.07 $\pm$ 9.03	71.59 $\pm$ 7.43	86.69 $\pm$ 1.92	ND	240.08 $\pm$ 11.72
	B		30.12 $\pm$ 8.96	15.84 $\pm$ 3.96	26.21 $\pm$ 6.55	45.41 $\pm$ 7.06	45.70 $\pm$ 8.57	63.84 $\pm$ 6.68	219.71 $\pm$ 15.67
Cypermethrin	A		172.85 $\pm$ 32.68	1.15 $\pm$ 0.13	0.93 $\pm$ 0.02	0.67 $\pm$ 0.17	0.61 $\pm$ 0.08	0.59 $\pm$ 0.06	180.49 $\pm$ 29.61
	B		192.54 $\pm$ 2.65	0.91 $\pm$ 0.18	0.73 $\pm$ 0.15	1.76 $\pm$ 0.35	0.72 $\pm$ 0.14	0.70 $\pm$ 0.14	190.25 $\pm$ 21.84
Dicofol	A		38.12 $\pm$ 6.16	11.84 $\pm$ 3.78	11.09 $\pm$ 2.88	8.71 $\pm$ 2.06	2.93 $\pm$ 0.99	1.06 $\pm$ 0.37	71.43 $\pm$ 6.09
	B		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Endosulfan	A		294.05 $\pm$ 37.43	76.64 $\pm$ 18.99	6.96 $\pm$ 2.17	ND	ND	ND	372.62 $\pm$ 29.18
	B		318.15 $\pm$ 57.99	62.51 $\pm$ 27.93	47.45 $\pm$ 10.27	32.36 $\pm$ 9.56	13.51 $\pm$ 5.91	11.78 $\pm$ 4.56	485.73 $\pm$ 43.38
Fenvalerate	A		307.72 $\pm$ 13.18	2.38 $\pm$ 0.35	1.75 $\pm$ 0.23	2.54 $\pm$ 0.90	1.41 $\pm$ 0.01	1.14 $\pm$ 0.10	317.77 $\pm$ 14.86
	B		215.89 $\pm$ 6.14	1.89 $\pm$ 0.24	1.67 $\pm$ 0.18	0.49 $\pm$ 0.17	ND	ND	218.61 $\pm$ 7.33
Malathion	A		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	B		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Metribuzin	A		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	B		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Methomyl	A		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	B		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Parathion	A		123.00 $\pm$ 5.30	14.89 $\pm$ 3.01	10.80 $\pm$ 1.67	ND	ND	ND	148.45 $\pm$ 7.2 9
	B		80.61 $\pm$ 6.29	23.87 $\pm$ 5.05	25.17 $\pm$ 3.46	19.42 $\pm$ 4.02	ND	ND	147.06 $\pm$ 8.86
Trifluralin	A		258.06 $\pm$ 14.68	12.87 $\pm$ 3.08	0.32 $\pm$ 0.14	ND	ND	ND	271.67 $\pm$ 13.86
	B		238.73 $\pm$ 3.26	24.80 $\pm$ 5.05	14.19 $\pm$ 1.07	9.56 $\pm$ 4.77	3.68 $\pm$ 2.34	2.68 $\pm$ 1.89	295.63 $\pm$ 8.34
Vinclozolin	A		10.78 $\pm$ 2.20	6.80 $\pm$ 2.50	10.52 $\pm$ 3.33	5.13 $\pm$ 1.24	7.61 $\pm$ 2.83	7.14 $\pm$ 3.61	47.50 $\pm$ 5.01
	B		12.99 $\pm$ 4.76	5.02 $\pm$ 1.98	7.88 $\pm$ 2.07	3.42 $\pm$ 0.89	2.38 $\pm$ 1.01	1.85 $\pm$ 0.67	34.08 $\pm$ 3.73

<sup>a)</sup>Standard deviation of triplicate. <sup>b)</sup>Not detected.

(1993)은 특성이 다른 14종의 토양 중 methomyl의 흡착 특성을 구명하기 위한 연구에서 methomyl의 농도가 높아질수록  $K_d$  값이 감소하는 경향이었는데 이는 methomyl이 토양에 흡착되는 정도가 약하기 때문이라고 보고하였다.

Kim(1996)은 토양 칼럼을 이용한 용탈실험에서 0.007%의 trifluralin이 용출되었다고 보고하였으며, Rani 등(2013)은 cypermethrin을 처리한 토양 칼럼 실험에서 용탈수에 의해 용출되지 않아 지하수를 오염시킬 우려가 없다고 보고하였다. 또한 Leistra 등(1984)은 지하수에 고농도의 parathion이 검출된 원인을 분석하기 위하여 해당 지역의 토양을 이용하여 용탈 실험을 수행한 결과 용탈수에서 검출한계 미만으로 검출되었다고 보고하였다.

또한 alachlor는 토양에서 검출되지 않았는데 이는 Kim

등(2006)이 lysimeter를 이용한 alachlor의 유출량 평가에서 처리 약량의 0.008%만 유출수에서 검출되었으며, 토양에서는 검출되지 않았다는 보고와 유사한 경향이였다. 용탈수에서 검출되지 않은 cypermethrin, endosulfan, fenvalerate, parathion 및 trifluralin은 토층에서 검출되었으며, 대부분 표토에 잔류하는 경향이었는데 이는 OUS DB의 토양 중 이동성이 매우 낮고 토양에 대한 흡착력이 매우 강하다는 보고와 일치하는 결과이였다. Wadaskar 등(2010)은 토양 중 endosulfan은 모든 형태가 토양에 강하게 흡착되고 탈착은 거의 이루어지지 않는 것으로 보고하였으며, Kim 등(2005b)이 보고한 토양 중 이동속도와 용탈 및 토층별 잔류농도를 구명하기 위하여 토양 칼럼을 이용한 용탈실험에서 parathion은 용탈수에 잔류하지 않았으며, 토층에도 처리한

약량의 1%만이 표토에 존재하였다는 보고와 유사하였다.

### 지하수 오염 가능성

시험농약 중에서 토양 중 이동성이 크고 수용해도가 높을 뿐만 아니라 토양 흡착력이 낮은 carbaryl, carbendazim, metribuzin 및 methomyl의 용탈량은 2종의 시험토양에서 모두 각각 96-108, 89-90, 49-53 및 106-108%로서 지하수 오염 가능성이 있을 것으로 보이거나 carbofuran의 용탈성을 토양칼럼(내경 5 cm, 높이 35 cm)과 lysimeter(표면적 0.25 m<sup>2</sup>, 토심 1 m)를 이용하여 시험하였을 때 8주간 용탈시킨 토양칼럼의 경우의 용탈량은 74.8-92.3%이었고(Lee 등, 1998) 4년간의 lysimeter 실험의 경우 0.3%이었다는(Lee 등, 1994) 연구결과로 미루어 볼 때 이 연구에서 carbaryl과 methomyl의 용탈량이 96-108%이지만 실제 농경지에서 용탈되어 지하수를 오염시킬 가능성은 매우 낮을 것으로 추정되었다.

### 감사의 글

이 논문은 2011년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

### Literature Cited

- Ashton, F. M. and T. J. Monaco (1991) Weed science-principles and practices, 3rd ed., A Wiley-Interscience Publication, John Wiley Sons, Inc., U.S.A., pp. 185~189.
- Barley, G. W., A. R. Swank, Jr. and H. P. Nicholson (1974) Predicting pesticide runoff from agricultural land; A conceptual model, *J. Environ. Qual.* 3:95~102.
- BBA (1986) Biologische bundesanstalt richtlinie für die amtliche prüfung von pflanzenschutzmitteln teil 4-2; versickerungsverhalten von pflanzenschutzmitteln.
- Cox L., M. C. Hermosin and J. Cornejo (1993) Adsorption of Methomyl by Soils of Southern Spain and Soil Components, *Chemosphere* 27(5):837~849.
- FAO (2009a) Guidelines on analytical terminology, CAC/GL 72-2009, p. 7.
- FAO (2009b) Submission and evaluation of pesticide residues data for the estimation of maximum residue levels in food and feed, p. 65.
- Fava L., P. Bottoni, A. Crobe and E. Funari (2000) Leaching properties of Some degradation products of alachlor and metolachlor, *Chemosphere* 41(9):1503~1508.
- Frederick E. K., C. S. Throssell, M. Bischoff, R. F. Turco (1996) Fate of vinclozolin in creeping bentgrass turf under two application frequencies, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 57:391~397.
- Kim J. H. (1996) Leaching of trifluralin in the commerce clay loam soil, *Korean J. Environ. Agric.* 15(4):464~471.
- Kim. C. S., B. J. Park, Y. B. Ihm and G. H. Ryu (2005a) Adsorption characteristics of organophosphorus and carbamate pesticides in four soils and the evaluation for their leaching potential using two Screening models, *Korean J. Environ. Agric.* 24(4):341~349.
- Kim. C. S., H. D. Lee, B. Y. Oh and Y. D. Lee (2006) Runoff and erosion of alachlor, ethalfluralin, ethoprophos and pendimethalin from soybean field lysimeter, *Korean J. Environ. Agric.* 25(4):297~305.
- Kim. C. S., Y. B. Ihm, H. D. Lee and B. Y. Oh (2005b) Leaching of organophosphorus and carbamate pesticides in soil column and prediction of their mobility using the convective mobility test model in soils, *Korean J. Environ. Agric.* 24(4):350~357.
- Kruger, E. L., P. J. Rice, J. C. Anhalt, D. A. Anderson and J. R. Coats (1996) Use of undisturbed soil columns under controlled conditions to study the fate of [<sup>14</sup>C] diethylatrazin, *J. Agric. Food. Chem.* 44:1144~1149.
- Kyung, K. S. and J. K. Lee (1993) Elucidation of the Behaviour of pesticides in soil and plant by the <sup>14</sup>C-radiotracer, *Korean J. Environ. Agric.* 12(3):309~318.
- Kyung, K. S., B. M. Lee, Y. B. Ihm, Y. D. Lee, S. S. Han, J. H. Choi, J. H. Kim, G. H. Ryu and J. K. Lee (2004) Adsorption and leaching characteristics of fungicide hexaconazole, *Korean J. Pestic. Sci.* 8(1):46~53.
- Lee, J. K., F. Führ and K. S. Kyung (1994) Behaviour of carbofuran in a rice plant-grown lysimeter throughout four growing seasons, *Chemosphere* 29(4):747~758.
- Lee, J. K., K. S. Kyung, I. S. Jung, K.C. Ahn and J. W. Kwon (1998) Leaching behaviour of the systemic insecticide carbofuran and the herbicide pretilachlor in soil columns, *Korean J. Pestic. Sci.* 2(2):59~67.
- Lee, P., A. Barefoot and J. Murphy (2003) Handbook of residue analytical methods for agrochemicals, John Wiley & Sons 1:13~37.
- Lee, S. M., S. S. Kim, D. S. Park and J. H. Hur (2005) Mobility of pesticides in different soil textures and gravel contents under soil column, *Korean J. Pestic. Sci.* 9(4):330~337.
- Leistra M., L. G. M. Th. Tuinstra, A. M. M. van der Burg and S. J. H. Crum (1984) Contribution of leaching of diazinon, parathion, tetrachlorvinphos and triazophos from glasshouse soils to their concentrations in water courses, *Chemosphere* 13(3):403~413.
- Leonard, R. A. (1990) Movement of pesticides into surface waters. In *Pesticides in the soil environment: processes, impacts and modeling*, Soil Science Society of America, Inc., U.S.A., pp. 208~311.
- Nicolls, P. H. (1988) Factors influencing entry of pesticides into soil water. *Pestic. Sci.* 22:123~137.
- R&P (Rhone-Poulence Ag Company) (1988) Data sheet for carbaryl, pp. 169~177.
- Rani. M, S. Saini and B. Kumari (2013) Leaching behaviour of

- chlorpyrifos and cypermethrin in sandy loam soil, Environ. Monit. Assess, DOI 10.1007/s10661-013-3364-3.
- Rural Development Administration (2010) Standard and method for residue analysis, In Pesticide Act, Instruction and Directory, pp. 336~337.
- Vogue P. A., E. A. Kerle and J. J. Jenkins (1994) OSU Extension pesticide properties database.
- Wadaskar J. V., J. D. Ekhe and S. P. Kale (2010) Adsorption of HCH and endosulfan on a soil, Environmental Technology 27(9):1011~1017.
- Weber, J. B. and C. T. Miller (1989) Organic chemical movement over and through soil. In Reactions and movement of organic chemical in soil, Sawhney, B. L. and Brown, K. Eds; Soil Science Society of America, Inc., U.S.A., pp. 305~334.
- Yen, J. H., F. L. Hsiao and Y. S. Yang (1997) Assessment of the insecticide carbofuran's potential to contaminate ground water through soils in the subtropics. Ecotoxicol. Environ. Safety 38:260~265.

## 내분비계장애추정농약의 발토양 중 용탈 특성

노현호 · 이재윤 · 이광현<sup>1</sup> · 박효경<sup>2</sup> · 경기성\*

충북대학교 농업생명환경대학 환경생명화학과, <sup>1</sup>(주)동방아그로 기술연구소, <sup>2</sup>호서대학교 안전성평가센터

**요 약** 내분비계장애추정농약의 발토양 중 용탈특성을 구명하기 위하여 토양칼럼(내경 5 cm, 높이 35 cm)을 이용하여 alachlor 등 13종 농약의 용탈시험을 수행하였다. 토양 A를 충전한 칼럼에 2001년부터 청주지역의 6-8월까지 10년간 평균 일일강수량인 12.6 mL를 매일 용탈시켜 3일 간격으로 모으는 방법으로 3주간 용탈시켰을 때 용탈수에서 metribuzin이 극미량 검출된 것을 제외하고 모든 시험농약은 용탈되지 않았다. 그러나 토양 A와 B를 충전한 칼럼에 2 L의 증류수를 연속 5회 용탈시키는 방법으로 시험하였을 때 수용해도가 낮고 토양 흡착성이 큰 cypermethrin, endosulfan, fenvalerate, parathion, trifluralin은 토양 종류에 관계없이 용탈수에서 검출되지 않았고 주로 토층 0-5 cm 부위에 분포하여 시험농약의 물에 대한 용해도와 토양에 대한 흡착특성의 영향 때문인 것으로 나타났다. Carbaryl과 methomyl이 다른 농약에 비해 용탈율이 높았으나 토층이 자연상태의 농경지와 다른 토양 충전 칼럼에서는 처리 농약의 대부분이 용탈된 반면 실제포장과 유사한 조건의 lysimeter 실험에서는 극미량의 농약이 용탈되었다는 선행연구의 연구결과 등을 고려하면 지하수 오염 가능성은 낮을 것으로 판단되었다.

**색인어** 내분비계장애추정농약, 용탈, 토양칼럼, 용탈수