

## 토양 column을 이용한 토성 및 자갈함량별 농약 이동특성

이상민 · 김성수 · 박동식 · 허장현\*

강원대학교 농업생명과학대학 자원생물환경학과

**요약** : 토성(미사질식양토, 태백; 사양토, 황성; 양토, 춘천) 및 자갈 함량(0%, 20%, 40%, 60%)에 따라 7종(carbendazim, carbofuran, chlorpyrifos, cypermethrin, dimethomorph, diniconazole, endosulfan)의 농약을 토양 컬럼에 처리한 후 증류수로 담수상태를 유지하며 수거한 용탈수와 용탈수 수거 후 채취한 토양 중 농약 잔류량을 파악하여 수계 및 토양으로의 농약 이동특성을 평가하였다. 토성 별 용탈수 중 농약은 수용해도가 가장 높은 carbofuran이 세 토양 모두에서 총 검출량의 87% 이상 초기 2~4 L 채취시료에서 검출되었으며, 토양 중 carbendazim과 carbofuran을 제외한 5종의 농약 검출량은 미사질식양토 > 양토 > 사양토 순이었다. 컬럼의 상, 중 및 하단의 토양 중 농약 검출량은 carbofuran을 제외한 6종의 농약이 clay 함량이 유사한 미사질식양토 및 양토의 컬럼 상단에서 50~92% 수준으로 검출 되는 경향을 보여 수계로의 농약 이동성 및 토양 잔류성은 각 농약의 수용해도와 토양 중 clay 함량에 의존하는 것으로 파악되었다. 자갈함량에 따른 농약의 잔류경향은 토성별 실험과 유사한 결과를 얻었으며, 이동특성 또한 큰 차이를 볼 수 없었으나 자갈함량이 증가 할수록 용탈수의 이동 속도 증가와 함께 시간당 농약의 이동량도 증가하였다. (2005년 11월 10일 접수, 2005년 12월 20일 수리)

색인어 : 고랭지 경사지, 농약잔류, 농약 이동성, 용탈수, 자갈함량, 토성

### 서 론

살포된 농약은 극히 일부만이 목표점에 도달하고 나머지 대부분은 비표적 환경에 유입되어 화학적, 생물학적 분해 등으로 소멸, 변환되기도 하지만, 토양에 흡착되어 토양 오염원이 되기도 한다(Weber and Miller, 1989). 토양에 흡착된 농약은 강우에 의한 침투(infiltration)로 용탈(leaching)되어 이동하며, 강우가 침투의 수준을 넘어서게 되면 표면을 흐르는 유출수와 함께 하부 수계로 이동하여 수계오염원이 되기도 한다(Barley *et al.*, 1974; Leonard, 1990). 토양 내 농약의 이동은 농약과 토양 입자 상호간의 물리화학적 특성과 관련이 큰 것으로 알려져 있으며(김, 1997), 이러한 농약의 토양 환경 중 동태를 확인하기 위한 방법으로 여러 가지 실내·외 모델링 실험이 응용되고 있다. 그 중 실내에서 토양 컬럼을 이용한 용탈 실험은 농약의 흡착 특성과 수직 이동 현상을 쉽게 파악할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Sadeghi, 2000; 김 등, 2002).

강원도 고랭지는 특이한 지형적, 기후적 요인과 심한 경사도를 이루고 있어 강우에 의한 토양유실과 이

에 따른 자갈함량 증가 등이 용이하며, 이는 작물 재배 시 토양의 지력 저하, 토양 유실에 따른 양분 유실 및 재배 시 처리된 농약의 수계 이동 등 환경오염 가능성의 문제점을 내포하고 있다(박, 2002). 따라서 토성, 경사도 및 자갈함량에 따른 농약의 이동성을 예측하여 이 지역 재배지 특성에 맞는 약제 선발을 유도함으로써 토양 및 수계오염을 최소화하기 위한 방안모색이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 토성 및 자갈 함량에 따라 7종의 농약을 토양 column에 처리한 후 증류수로 담수상태를 유지하며 수거한 용탈수 및 토양 중 농약 잔류량을 파악하여 토성과 자갈함량에 따른 농약 이동특성을 평가하고자 하였다.

### 재료 및 방법

#### 시험농약 및 토양

시험농약은 carbendazim, carbofuran, chlorpyrifos, cypermethrin, dimethomorph, diniconazole과 endosulfan 등 7종 및 각 약제의 표준품은 김 등(2005)이 수행한 방법과 동일하게 선정하여 사용하였다.

시험토양은 토성과 지역을 기준으로 고랭지인 강원

\*연락처

Table 1. Physicochemical properties of the tested soils

	pH (1:5)	O.M. (g kg <sup>-1</sup> )	Particle size (%)			Texture
			Sand	Silt	Clay	
Taebaek	6.8	1.6	18.6	42.9	38.5	SiCL <sup>a)</sup>
Heongseong	5.0	6.5	79.1	9.3	11.7	SL <sup>b)</sup>
Chuncheon	5.7	1.0	36.9	37.2	25.9	L <sup>c)</sup>

<sup>a)</sup>silty clay loam, <sup>b)</sup>sandy loam, <sup>c)</sup>loam

Table 2. Flow velocity of leachate samples collected from three different soil textures and four different gravel contents of Taebaek soil under soil column

	SL <sup>a)</sup>	L <sup>b)</sup>	SiCL <sup>c)</sup>			
			Gravel contents (%)			
			0	20	40	60
Flow velocity(mL h <sup>-1</sup> )	617.3	131.58	66.7	172.4	196.1	243.9

<sup>a)</sup>sandy loam(Hoengseong), <sup>b)</sup>loam(Chuncheon), <sup>c)</sup>silty clay loam(Taebaek).

도 태백시 매봉산 배추 경작지의 토양(미사질식양토)과 준고랭지인 강원도 횡성군 둔내면 축산기술연구센터(사양토), 일반 밭토양인 춘천시 남면 밭산리(양토)에서 채취하여 음지에서 풍건한 후 2 mm 체를 통과시켜 사용하였으며, 물리화학적 특성은 표 1과 같다. 태백 토양에서 분리한 2~5 mm의 자갈을 자갈함량별 농약 이동특성 실험에 사용하였다.

**토양 컬럼 및 시료채취**

토양 컬럼은 아크릴 재질(내경 5 cm × 길이 50 cm, 두께 3 mm)의 하부를 여과지와 천으로 봉 한 후 태백, 횡성, 춘천 토양을 각각 45 cm까지 충전 시키고, 모세관 상승력에 의하여 증류수로 포화시켰다. 그 후 acetone에 1,000 mg kg<sup>-1</sup>으로 용해한 7종의 농약을 컬럼 상부에 1 mL 처리하고 N<sub>2</sub> gas를 이용하여 acetone을 휘발 시킨 후, 물의 높이를 2~3 cm 정도로 유지시키며 2 L 단위로 10 L까지 용탈수를 채취하였다. 용탈수 수거 후 컬럼을 상, 중 그리고 하단으로 3등분 절단하여 각각 토양 시료를 채취하였다. 자갈함량별 토양 컬럼 실험은 태백 토양에 태백 토양으로부터 분리한 자갈을 20%, 40% 및 60%(w/w) 함량으로 첨가한 후 상기 실험과 동일한 방법으로 수행하였다. 각 시험구의 유속은 최종 10 L의 용탈수를 채취한 시간을 측정하여 산출하였으며, 토성 및 자갈함량별 용탈수의 유속은 표 2에 나타내었다.

**시료 중 농약 잔류분석 및 회수율 실험**

용탈수 및 토양 시료 중 농약잔류 분석과 기기 및 분석 조건은 박 등(2004)의 방법과 동일하게 수행하였

다.

회수율 실험은 각각의 표준품을 정칭한 후 유기용매로 용해한 1,000 mg kg<sup>-1</sup>의 혼합 표준용액(stock solution)으로 부터 4.0 mg kg<sup>-1</sup>과 2.0 mg kg<sup>-1</sup>용액을 조제하여 물 및 토양 시료에 각각 0.1, 0.002 mg kg<sup>-1</sup> 수준 처리 한 후 상기 분석 방법과 동일하게 수행하여 회수율을 구하였다.

**결과 및 고찰**

**시료 중 농약의 회수율**

분석방법의 적합성 여부를 판단하기 위하여 7종의 농약에 대한 물 및 토양 시료의 회수율 실험을 수행한 결과, 물 시료에서 77.4~88.5%, 토양 시료에서 73.7~93.7%의 범위를 나타냈고, 변이계수는 물 시료에서 2.5~6.4%, 토양 시료에서 1.8~5.6%이었다. 각국 및 국제기구 등에서의 회수율 및 변이계수의 기준은 EU의 경우 각각 70~120%와 20% 이내, FAO는 70~120%와 20% 이내, 우리나라의 경우 70~130%와 20% 이내, 미국 FDA는 회수율 값이 80~110%로 설정되어 있어(FAO, 2000; 농진청, 2001; Philip, 2003) 본 연구의 모든 분석법은 적합한 것으로 판단되었다.

**토성별 용탈수 및 토양 시료 중 농약 이동성**

토성별 용탈수 중 농약 잔류(표 3)는 7종의 농약이 0~373 mg 수준으로 검출되었으며, 각각의 농약별 총 검출량 중 초기 2~4 L 채취시료에서 미사질식양토(태백)의 경우 carbendazim, carbofuran 및 endosulfan이 72.6% 이상, 사양토(횡성)의 경우 carbofuran, chlor-

pyrifos, dimethomorph 및 diniconazole이 66.5% 이상, 양토(춘천)의 경우 carbofuran과 dimethomorph가 62.7% 이상 검출되어 토성별로 다소 유사한 농약들이 초기 채취시료에서 검출되었다. 7종의 농약 중 수용해도가 가장 높은 carbofuran(351 mg kg<sup>-1</sup> in water)의 경우 토성이 다른 세 토양 모두 초기 2~4 L 채취 용탈수에서 86.6% 이상 검출되었다. 반면에 낮은 수용해도를 갖는 chlorpyrifos(1.4 mg kg<sup>-1</sup> in water), endosulfan(0.32 mg kg<sup>-1</sup> in water), cypermethrin(0.004 mg kg<sup>-1</sup> in water)의 검출량을 토성별로 비교해 보면, clay 함량이 높은 미사질식양토보다 sand 함량이 높은 사양토에서 4배 이상 높았다. 따라서 농약의 수용해도가 높고 토양 중 sand 함량이 높을수록 토양에 잔류하는 것 보다 용탈수로의 이동이 용이한 것으로 판단되었다.

토성별 토양 중 농약 잔류(표 4)는 carbendazim과 carbofuran을 제외한 5종의 농약이 미사질식양토 > 양토 > 사양토 순으로 clay 함량이 높은 미사질식양토에서의 검출량이 가장 높아 clay 함량이 농약의 토양

흡착에 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있으며, 이는 김 등(2002)이 보고한 토성별 농약의 이동성은 미사질식양토, 양토, 사양토 순으로 증가한다는 결과와 유사하였다. 컬럼의 상, 중 및 하단의 토양 중 농약 검출량을 비교한 결과, carbofuran을 제외한 6종의 농약이 clay 함량이 유사한 미사질식양토 및 양토의 상단에서 50~92% 수준으로 검출되었다.

그림 1은 용탈수와 토양 중 검출된 총 양을 100으로 하고 용탈수 및 토양에 분포된 상대 값을 비교하여 농약의 수계로 이동되는 경향 및 토양 잔류성을 비교한 그래프이다. 수용해도가 가장 높은 약제인 carbofuran은 세 토양 모두에서 검출량의 95% 이상이 용탈수로 이동하였고, 수용해도가 낮은 cypermethrin, endosulfan, chlorpyrifos는 사양토를 제외한 두 토양에서 모두 95%이상 토양에 잔류하였다. 이와 같은 결과는 김과 김(1993)이 수행한 teflubenzuron과 flucycloxuron의 용탈 실험에서 두 약제 모두 수용해도가 낮기(<0.02, 0.001 mg L<sup>-1</sup> in water) 때문에 용탈수로의

Table 3. Influence of soil texture and sampling interval on movement of pesticides in leachate samples collected from soil column

Pesticides	Soil texture	Leachates				
		2 L	4 L	6 L	8 L	10 L
		µg				
Carbendazim	SiCL <sup>a)</sup>	1.36(±0.251)	2.22(±0.348)	1.09(±0.148)	0.15(±0.0211)	0.11(±0.011)
	SL <sup>b)</sup>	0.12(±0.012)	0.93(±0.097)	2.09(±0.318)	1.73(±0.246)	1.48(±0.196)
	L <sup>c)</sup>	ND <sup>d)</sup>	0.11(±0.012)	0.12(±0.022)	0.37(±0.069)	ND
Carbofuran	SiCL	78.51(±10.702)	15.39(±2.078)	5.99(±1.098)	4.51(±0.502)	4.03(±0.606)
	SL	81.1(±12.226)	0.40(±0.064)	0.08(±0.008)	0.07(±0.012)	0.04(±0.005)
	L	84.56(±8.456)	7.68(±0.758)	1.69(±0.159)	0.69(±0.075)	0.23(±0.019)
Chlorpyrifos	SiCL	9.43(±1.132)	6.22(±0.505)	6.24(±0.221)	6.05(±0.505)	6.13(±0.684)
	SL	2.76(±0.217)	93.92(±16.419)	19.51(±0.678)	20.52(±2.052)	8.65(±0.912)
	L	1.29(±0.144)	1.40(±0.543)	1.39(±0.159)	2.53(±0.090)	1.60(±0.150)
Cypermethrin	SiCL	ND	ND	ND	ND	ND
	SL	8.02(±0.801)	7.43(±1.492)	6.96(±0.546)	6.90(±0.650)	7.13(±0.559)
	L	ND	ND	3.73(±0.171)	11.49(±1.122)	7.32(±0.595)
Dimethomorph	SiCL	7.53(±0.904)	16.06(±1.792)	13.71(±1.227)	11.02(±1.002)	7.55(±0.654)
	SL	48.26(±4.826)	30.44(±3.022)	12.70(±1.032)	4.72(±0.167)	2.13(±0.213)
	L	22.77(±3.981)	18.33(±1.998)	10.56(±0.421)	7.53(±0.559)	6.34(±0.707)
Diniconazole	SiCL	36.88(±3.688)	36.39(±4.150)	36.97(±1.212)	42.05(±3.805)	45.58(±5.110)
	SL	373.07(±28.307)	362.92(±28.505)	99.57(±8.847)	66.11(±7.533)	41.70(±4.070)
	L	36.93(±3.000)	61.89(±5.011)	57.04(±3.576)	55.7(±4.879)	49.66(±0.868)
Endosulfan	SiCL	6.17(±0.246)	0.69(±0.058)	0.21(±0.167)	0.64(±0.048)	1.36(±0.126)
	SL	13.36(±1.048)	48.21(±5.785)	45.57(±7.519)	48.92(±1.942)	35.71(±2.602)
	L	1.14(±0.109)	2.65(±0.251)	1.28(±0.212)	1.70(±0.134)	1.30(±0.045)

<sup>a)</sup>silty clay loam(Taebaek), <sup>b)</sup>sandy loam(Hoengseong), <sup>c)</sup>loam(Chuncheon), <sup>d)</sup>not detected

Table 4. Influence of soil texture and depth on movement of pesticides in soil samples collected from soil column

Pesticides	Soil texture	Soil column		
		Upper	Middle	Lower
			µg	
Carbendazim	SiCL <sup>a)</sup>	5.99(±1.026)	3.06(±0.283)	2.84(±0.060)
	SL <sup>b)</sup>	5.37(±0.939)	4.14(±0.346)	3.87(±0.559)
	L <sup>b)</sup>	4.27(±0.630)	2.73(±0.196)	3.28(±0.523)
Carbofuran	SiCL	ND <sup>d)</sup>	ND	ND
	SL	2.64(±0.329)	ND	ND
	L	ND	2.38(±0.275)	ND
Chlorpyrifos	SiCL	747.60(±7.467)	51.04(±3.163)	18.37(±0.203)
	SL	368.97(±7.239)	144.82(±2.866)	95.70(±8.561)
	L	617.18(±59.167)	105.97(±9.591)	35.52(±3.112)
Cypermethrin	SiCL	678.71(±55.549)	56.31(±9.014)	55.99(±3.365)
	SL	311.66(±16.685)	23.23(±1.282)	16.91(±0.243)
	L	473.04(±42.913)	32.30(±0.483)	16.30(±3.087)
Dimethomorph	SiCL	13.94(±1.632)	19.36(±2.156)	20.57(±0.414)
	SL	0.98(±0.168)	0.74(±0.008)	8.89(±0.541)
	L	20.26(±1.860)	8.53(±0.585)	9.54(±0.590)
Diniconazole	SiCL	379.15(±32.601)	306.81(±57.919)	168.96(±4.667)
	SL	44.04(±6.533)	45.56(±5.919)	51.82(±8.454)
	L	343.53(±19.607)	147.25(±1.717)	172.80(±1.872)
Endosulfan	SiCL	211.95(±10.463)	16.57(±0.654)	4.61(±0.562)
	SL	214.98(±35.074)	23.70(±0.799)	7.83(±1.159)
	L	107.08(±1.607)	68.36(±0.317)	5.73(±0.602)

<sup>a)</sup>silty clay loam(Taebaek), <sup>b)</sup>sandy loam(Hoengseong), <sup>c)</sup>loam(Chuncheon), <sup>d)</sup>not detected

이동 보다는 토양 상층에 모두 잔류하였으며, 이는 수용해도가 낮은 농약은 토양 유기물과 같은 토양 성분과의 높은 친화도로 인하여 토양 내에서의 이동성이 낮은 것이라는 보고와 동일하였다. 수용해도 이외에 옥탄올-물 분배상수(log  $K_{ow}$ )값이 농약의 이동성에 관여한다는 보고에 따라(김 등, 1997), 이 값이 비슷한 약제인 endosulfan(4.74)과 diniconazole(4.3), chlorpyrifos(4.7)와 dimethomorph(2.63)의 수질 및 토양 이동성을 비교한 결과, 농약의 이동성은 log  $K_{ow}$ 값보다 수용해도에 더 영향을 받는 것으로 본 연구결과에서는 나타났다. 이러한 결과는 본 실험실에서 실내인공강우를 이용하여 농약 이동특성을 파악한 결과 농약의 이동특성은 농약의 수용해도와 토성에 의존한다는 실험결과와 동일한 것이었다(김 등, 2005).

#### 자갈함량별 용탈수 및 토양 시료 중 농약 이동성

자갈함량별 용탈수 중 농약 잔류(표 5)와 수계 및 토양 이동 특성(그림 2)은 토성별 실험과 유사한 경향을 보였다. 수용해도가 높은 약제인 carbofuran은 모든

자갈함량별 시험구에서 초기 시료채취인 4 L에서 87% 이상 용탈수로 이동하였으며, 수용해도가 낮은 cypermethrin은 용탈수에서 검출되지 않았다. 그 외 5종은 시료채취 구간별로 고른 분포를 보이며 검출되었다.

자갈함량별 토양 중 농약의 잔류(표 6)는 모든 자갈함량 처리구에서 dimethomorph를 제외한 6종의 농약이 52~92% 수준으로 컬럼 상단에서 검출되었다. 토성 중 입자가 큰 sand의 함량이 높은 사양토에서 용탈수로의 농약 이동성 증가와는 달리 자갈함량의 증가에 따른 농약의 이동패턴은 큰 차이를 볼 수 없었으나 표 2에서 보는 바와 같이 자갈함량이 증가 할수록 용탈수의 이동 속도는 증가하였다.

이러한 결과는 심한 경사도로 인해 농약의 이동이 용이한 고랭지 경작지에서의 농약 사용 시 농약의 수용해도와 경작지 토성 파악이 우선적으로 이루어져야 함을 제시하는 것으로 토양 및 수계 오염을 최소화할 수 있는 약제선발에 중요한 기초자료가 될 것이라 사료된다.

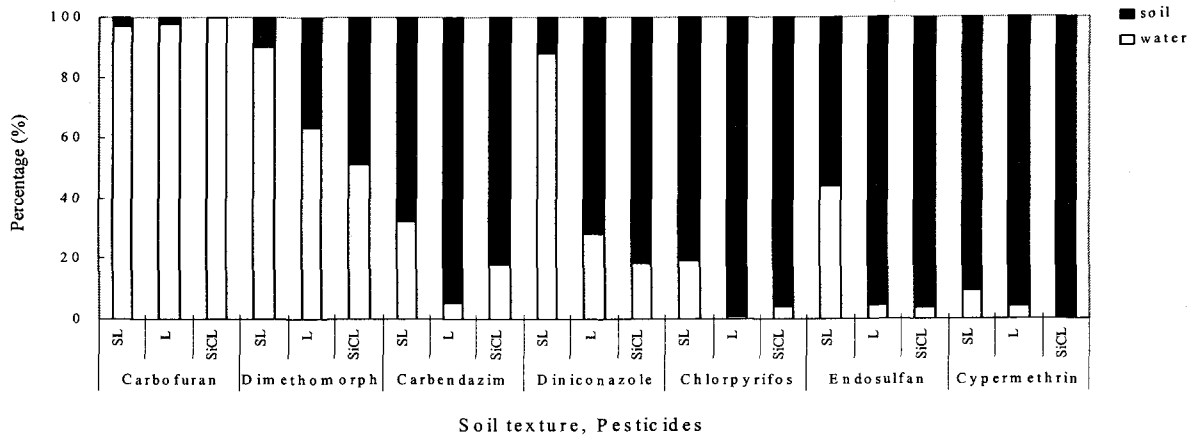


Fig. 1. Comparison of percentage for pesticides between soil and leachate samples collected from three different soils under soil column

Table 5. Influence of gravel contents on movement of pesticides in leachate samples collected from soil column packed Taebaek soil

Pesticides	Gravel content (%)	Leachate				
		2 L	4 L	6 L	8 L	10 L
		µg				
Carbendazim	0	1.36(±0.251)	2.22(±0.348)	1.09(±0.148)	0.15(±0.0211)	0.11(±0.011)
	20	1.14(±0.098)	0.24(±0.016)	0.12(±0.021)	0.07(±0.006)	0.15(±0.019)
	40	1.08(±0.030)	0.39(±0.019)	1.01(±0.017)	0.20(±0.017)	0.10(±0.011)
	60	0.17(±0.027)	ND <sup>a)</sup>	ND	0.08(±0.006)	0.07(±0.009)
Carbofuran	0	78.51(±10.702)	15.39(±2.078)	5.99(±1.098)	4.51(±0.502)	4.03(±0.606)
	20	67.33(±9.223)	8.42(±0.486)	2.72(±0.209)	1.00(±0.169)	0.59(±0.093)
	40	67.01(±6.024)	14.56(±0.273)	3.22(±0.032)	3.99(±0.778)	1.35(±0.040)
	60	70.06(±4.809)	10.69(±0.834)	3.09(±0.061)	1.70(±0.197)	0.84(±0.158)
Chlorpyrifos	0	9.43(±1.132)	6.22(±0.505)	6.24(±0.221)	6.05(±0.505)	6.13(±0.684)
	20	4.87(±0.824)	2.84(±0.307)	0.89(±0.085)	2.63(±0.163)	2.76(±0.118)
	40	3.44(±0.236)	2.82(±0.281)	3.18(±0.260)	1.88(±0.037)	2.85(±0.176)
	60	2.75(±0.484)	2.80(±0.278)	2.77(±0.148)	2.83(±0.256)	2.93(±0.159)
Cypermethrin	0	ND	ND	ND	ND	ND
	20	ND	ND	ND	ND	ND
	40	ND	ND	ND	ND	ND
	60	ND	ND	ND	ND	ND
Dimethomorph	0	7.53(±0.904)	16.06(±1.792)	13.71(±1.227)	11.02(±1.002)	7.55(±0.654)
	20	8.98(±0.758)	18.22(±0.107)	17.80(±1.615)	11.71(±1.875)	7.79(±0.498)
	40	15.98(±1.413)	14.84(±1.520)	11.40(±1.335)	10.06(±0.555)	6.58(±0.132)
	60	14.36(±1.090)	18.66(±0.601)	12.94(±2.220)	11.55(±0.173)	6.68(±0.086)
Diniconazole	0	36.88(±3.688)	36.39(±4.150)	36.97(±1.212)	42.05(±3.805)	45.58(±5.110)
	20	29.32(±2.094)	33.86(±5.429)	42.99(±4.788)	51.98(±2.823)	61.81(±3.438)
	40	42.72(±2.303)	65.05(±9.045)	72.14(±0.786)	44.59(±5.436)	53.79(±2.224)
	60	38.32(±7.234)	56.84(±9.944)	61.72(±4.232)	61.95(±6.190)	61.20(±2.088)
Endosulfan	0	6.17(±0.246)	0.69(±0.058)	0.21(±0.167)	0.64(±0.048)	1.36(±0.126)
	20	4.84(±0.714)	1.93(±0.172)	1.88(±0.337)	1.97(±0.134)	1.98(±0.230)
	40	3.04(±0.116)	2.32(±0.088)	2.88(±0.068)	2.18(±0.380)	2.50(±0.241)
	60	2.67(±0.099)	2.68(±0.049)	2.77(±0.089)	2.96(±0.104)	2.96(±0.077)

<sup>a)</sup> not detected

Table 6. Influence of gravel contents and depth on movement of pesticides in soil samples collected from soil column packed Taebaek soil

Pesticides	Gravel content(%)	Upper	Middle	Lower
		µg		
Carbendazim	0	5.99(±0.112)	3.06(±0.148)	2.84(±0.118)
	20	38.20(±2.133)	2.87(±0.067)	1.50(±0.030)
	40	38.91(±0.582)	3.48(±0.308)	1.39(±0.064)
	60	30.98(±2.103)	2.20(±0.026)	0.89(±0.037)
Carbofuran	0	ND <sup>a)</sup>	ND	ND
	20	1.16(±0.121)	0.52(±0.009)	0.56(±0.009)
	40	2.69(±0.351)	0.68(±0.089)	0.88(±0.007)
	60	1.08(±0.068)	0.52(±0.024)	0.54(±0.008)
Chlorpyrifos	0	747.60(±84.204)	51.04(±7.031)	18.37(±2.072)
	20	754.31(±5.025)	90.36(±5.747)	26.23(±1.461)
	40	879.68(±129.026)	107.88(±12.193)	32.07(±4.122)
	60	854.06(±34.313)	109.99(±11.731)	34.80(±1.032)
Cypermethrin	0	678.71(±108.362)	56.31(±2.119)	55.99(±5.608)
	20	886.23(±67.683)	45.30(±4.206)	26.96(±2.747)
	40	1134.46(±95.760)	54.31(±1.802)	38.08(±3.432)
	60	902.30(±47.289)	55.17(±3.787)	60.85(±3.373)
Dimethomorph	0	13.94(±2.209)	19.36(±1.792)	20.57(±2.291)
	20	19.90(±0.480)	13.59(±1.135)	13.66(±0.149)
	40	21.72(±4.124)	12.69(±0.909)	14.41(±0.988)
	60	17.92(±0.978)	13.49(±2.279)	13.67(±2.581)
Diniconazole	0	379.15(±59.346)	306.81(±59.844)	168.96(±21.271)
	20	516.90(±26.636)	267.03(±30.891)	191.16(±21.604)
	40	724.04(±81.588)	216.84(±13.440)	161.77(±21.175)
	60	446.75(±57.618)	215.81(±4.271)	199.70(±31.537)
Endosulfan	0	211.95(±10.903)	16.57(±1.500)	4.61(±0.137)
	20	690.46(±98.210)	121.50(±19.450)	51.79(±9.758)
	40	807.21(±71.081)	118.29(±6.526)	55.29(±2.367)
	60	746.82(±93.489)	117.83(±1.762)	64.96(±4.002)

<sup>a)</sup> not detected

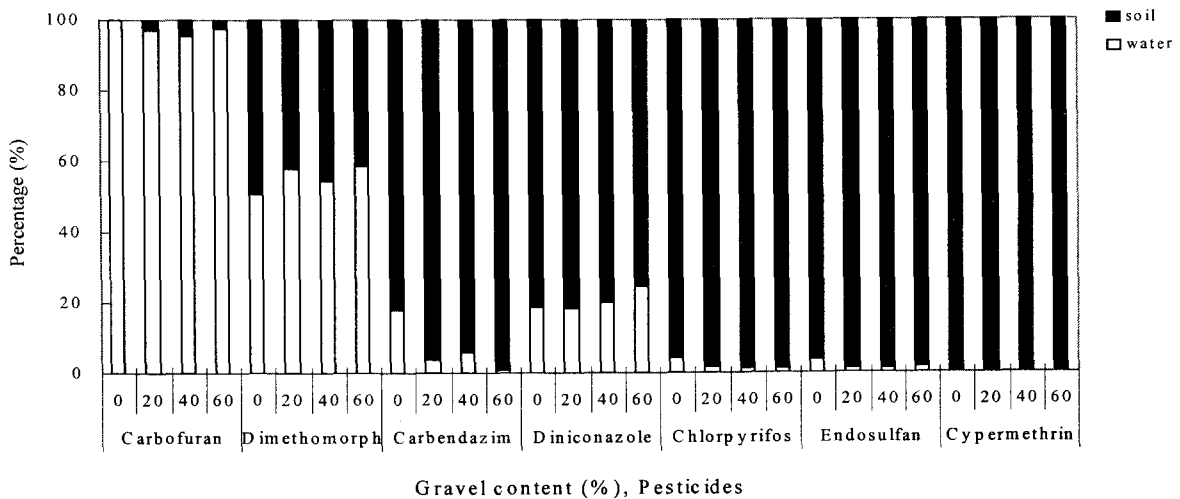


Fig. 2. Comparison of percentage for pesticides between soil and leachate samples collected from four different gravel contents within Taebaek soil under soil column

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 농업특정연구과제인 '고랭지 경사지 토양의 농약오염특성 및 농약투입저감방안'의 일환으로 수행되었습니다. 연구비를 지원해준 농촌진흥청에 깊은 감사를 드립니다.

## 인용문헌

- 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.
- FAO (2000) Joint FAO/WHO Food Standards Programme. Codex Aliment.
- Leonard, R. A. (1990) Movement of pesticides into surface waters. pp.208-311, *In Pesticides in the soil environment: Processes, Impacts and Modeling*(ed. Cheng, H. H.), Soil Science Society of America, Inc., USA
- Philip, W. Lee. (2003) Handbook of Residue Analytical Methods for Agrochemicals. 1:13~37.
- Sadeghi, A. M., A. R. Isensee and A. Shirmohammadi (2000) Influence of soil texture and tilage on herbicide transport. *Chemosphere.* 41:1327~1332.
- Weber, J. B. and C. T. Miller (1989) Organic chemical movement over and through soil. pp305~334, *In Reactions and movement of organic chemical in soils*(ed. Sawhney, B. L. and Brown, K.), Soil Science Society of America, Inc., USA
- 김균 (1997) 강우에 의한 농약의 토양표면 유출연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 김균, 김정환, 이성규, 김용화 (1997) 농약의 물리화학적 특성연구 (I) Captafol의 수용성, 가수분해, 증기압, 옥탄올/물 분배계수. *한국농화학회지* 40(1): 71~75.
- 김성수, 김태한, 이상민, 박동식, Zhu Yong-Zhe, 김성문, 허장현 (2005) 실내 인공강우를 이용한 강원도 고랭지 토양의 토성 및 경사도별 농약 이동특성. *농약과학회지* 9(4):316~329.
- 김찬섭, 박경훈, 김진배, 최주현 (2002) Butachlor, ethoprophos, iprobenfos, isoprothiolane 및 procymidone의 토양 중 용탈과 이동성 예측. *농약과학회지* 6(4):300~308.
- 김태화, 김장익 (1993) Benzoylurea계 살충제 teflubenzuron과 flucycloxuron의 토양 환경 중 동태. *한국응용생명화학회지* 36(6):510~516.
- 농촌진흥청 (2001) 농약등록시험담당자교육교재. p.347.
- 박동식, 김태한, 김성수, 이상민, 김성문, 허장현 (2004) 강원도 고랭지 배추경작지의 토양 및 수질 중 농약오염 실태. *농약과학회지* 8(3):189~197.
- 박철수 (2002) 고랭지 농경지의 유실방지를 위한 토양 관리방법. 강원대학교 대학원 박사학위논문.

---

**Mobility of pesticides in different soil textures and gravel contents under soil column**

Sang-Min Lee, Seong-Soo Kim, Dong-Sik Park and Jang-Hyun Hur\* (*Department of Biological Environment, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Republic of Korea*)

**Abstract** : This study was investigated to elucidate the pesticide mobility in three different soil textures(Heongseong, sandy loam; Chuncheon, loam; Taebaek, silty clay loam) and four different gravel contents(0, 20, 40, 60%) of Taebaek soil using soil column. Carbofuran, which ranks the highest water solubility among 7 pesticides(carbendazim, carbofuran, chlorpyrifos, cypermethrin, dimethomorph, diniconazole and endosulfan) was detected over 87% in leachate samples within all soil types from early sampling time. Amount of 5 residual pesticides excluding carbendazim and carbofuran were ordered silty clay loam > loam > sandy loam, indicating pesticide residues are related to percentage of clay contents in soils. Comparing the amount of residual pesticides in soil column(upper, middle and lower layer), 6 pesticides apart from carbofuran were found in the range of 50-92% on the upper layer of silty clay loam and loam. Mobility of pesticides either in soil or leachate samples is dependant on water solubility of pesticide and clay content of soil. The results obtained from four different gravel contents of Taebaek soil were similar to the results of three different soil textures. Also it was found that more the gravel contents, faster the flow velocity of leachate water. These results possibly provide an idea to select proper pesticides and to reduce soil and water contamination at alpine and sloped-land.

**Key words** : alpine and sloped-land, water leachate, soil texture, pesticide residue, pesticide mobility

---

\*Corresponding author (Fax : +82-33-241-6640, E-mail : jhhur@kangwon.ac.kr)