

## 포장에서 인공강우를 이용한 경사도별 농약의 이동 특성 연구

김성수 · 김태한 · 이상민 · 박홍열 · 박동식 · 임춘근<sup>1</sup> · 허장현\*

강원대학교 농업생명과학대학 자원생물환경학과, <sup>1</sup>강원대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 응용생물학전공

(2008년 1월 7일 접수, 2008년 3월 7일 수리)

### Mobility of Pesticides from Soil in Different Slope by Simulated Rainfall Under Field Conditions

Seong-Soo Kim, Tae-Han Kim, Sang-Min Lee, Hong-Ryeol Park, Dong-Sik Park, Chun-Keun Lim<sup>1</sup> and Jang-Hyun Hur\*

Division of Biological Environment, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Republic of Korea, <sup>1</sup>Division of Applybiology, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Republic of Korea

#### Abstract

In this study, the mobility of seven pesticides from soil in different slopes was investigated by simulated rainfall under field conditions. Simulated rainfall subjected to 22 mm hr<sup>-1</sup> was treated using rainfall simulator after 12 hr of pesticide treatment. Amounts of the pesticides were measured in run-off water samples. The soil samples collected before and after rainfall from upper, middle and lower parts and three different depths of sloped-plot were also analyzed. At result, the order of the amount of pesticide residues was 0~15 > 15~30 > 30~45 cm of soil depth and no pattern was shown in upper, middle and lower, and different slopes in soil samples. all pesticides from the run-off water samples collected from soils were detected maximum 96% within 60 minutes after first collection except carbendazim and cypermethrin which have the lowest water solubilities. These results revealed that mobility of pesticides can be dependant mainly on soil textures and physicochemical properties of pesticides. Therefore, it can be suggested that selection of pesticides should be considered for properties of pesticide in the alpine and sloped-land.

**Key words** sloped-land, run-off water, pesticide residue, pesticide mobility

#### 서론

국내 해발 600 m 이상의 고랭지 면적 중 99.8%를 차지하고 있는 강원도의 고랭지 경작지는 평지보다 기온이 낮고 강우가 많으며, 기상변화가 심한 기후적 특성으로 인해 배추, 양배추, 시금치와 같은 엽채류, 무와 당근과 같은 근채류, 양파와 같은 인경채류, 결구상추를 포함하는 양채류와 감자가 주로 경작되고 있다(전, 1997). 이 중 배추의 재배면적이 타 작물에 비해 넓고, 하계 우기동안 집중 출하가 가능하기 때문

에 주 소득원이 되고 있으며, 매년 재배면적이 증가하고 있다(고령지농업시험장, 2002). 강원도 고랭지의 배추생산에 있어서 문제가 되는 병으로는 무사마귀병, 무름병 등, 해충으로는 배추좀나방, 진딧물 등, 잡초로는 흰여뀌, 쇠별꽃 등을 들 수 있다(김 등, 2002). 이러한 병해충 및 잡초의 방제는 물리적, 생물학적, 화학적 방제법을 이용하고 있다. 김 등(2002)은 이 지역 농업인의 경우 대부분 화학적 방제를 선호하고, 또한 동일 농약을 3년 이상 연용하고 있으며(39.2%), 기준량 이상의 농약을 살포하고(45.6%) 있는 것으로 보고하였다. 이로 인해 이 지역에 발생하는 병해충, 잡초의 저항성 발달 및 경작지의 농약 잔류문제를 야기시키고 있으며(김 등, 2003;

\*연락처 : Tel. +82-33-250-6445, Fax. +82-33-241-6640  
E-mail: jhhur@kangwon.ac.kr

박 등, 2004). 또한 연간 69.0 MT ha<sup>-1</sup>에 이르는 토양 유실은 지력 저하와 유기물 및 양분의 유실로 인한 작물 재배의 어려움뿐만 아니라 사용된 농약 등이 수계로 유입되어 환경오염을 유발시킬 가능성이 높은 실정이다(고령지농업시험장, 2004; 박, 2002). 특히 강원도 고랭지 배추경작지의 경우 15% 이상의 경사가 전체 46.5%에 달하고 있으므로 경사도에 따른 농약 유출예측 모델이 필요하며, 여러 가지 환경 인자들을 인위적으로 조절할 수 있는 인공강우를 이용하여 농약의 이동 특성을 파악하는 것이 중요한 실정이다. 김 등(2005)의 실내 인공강우를 이용한 이동성 실험 결과에 의하면 농약 이동성은 clay 함량이 낮고 sand 함량이 높을수록, 농약의 이화학적 성질 중 수용해도가 높을수록 증가하는 것으로 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 강원도 고랭지 배추 경작지에서 주로 사용되고 문제시 되는 농약을 선발하여, 인공강우 장치를 이용한 포장 시험구에서 경사도에 따른 농약의 이동특성을 알아 보고 이를 고랭지 농업의 특성에 적합한 약제 선발의 기초자료로 활용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 공시농약 및 토양

공시 농약은 강원도 고랭지 배추 경작자를 대상으로 한 설문 조사(김 등, 2002), 이 지역 배추 경작지의 토양 및 수질 중 농약 오염 실태(박 등, 2004) 및 chlorpyrifos 저항성 배추좀나방의 살충제 저항성 특성(김 등, 2003) 결과를 바탕으로 carbendazim, carbofuran, cypermethrin, chlorpyrifos, dimethomorph, diniconazole, endosulfan 총 7종을 선정하였으며, 각 농약의 이화학적 성질은 표 1과 같다. 각 약제의 표준품은 Dr. Ehrenstorfer사(독일) 및 WAKO사(일본), 처리농약은 시중의 농약상에서 각각 구입하여 사용하였다. 각 약제별 상품명은 가벤다<sup>®</sup>(carbendazim 60%, WP), 후라단<sup>®</sup>(carbofuran 35%, GR), 그로포<sup>®</sup>(chlorpyrifos 25%, WP), 피레스<sup>®</sup>(cypermethrin 5%, EC), 포룸씨<sup>®</sup>(dimethomorph 15%, WP), 빈나리<sup>®</sup>(diniconazole 5%, WP)와 지오릭스<sup>®</sup>(endosulfan 35%, EC)이었다. 처리농도는 농약사용 지침서의 5배량으로 시험구에

**Table 1.** Physicochemical properties of pesticide in this study

Pesticide	Classification	K <sub>ow</sub> logP	Water solubility (mg L <sup>-1</sup> )	K <sub>oc</sub>
Carbendazim	Benzimidazole (Fungicide)	1.35 (pH5)	29 (pH5)	200-250
		1.51 (pH7)	8 (pH7)	
		1.49 (pH 9)		
Carbofuran	Carbamate (Insecticide)	1.52 (20°C)	320 (20°C) 351 (25°C)	22
Chlorpyrifos	Organophosphorus (Insecticide)	47	1.4 (25°C)	1,250-12,600
Cypermethrin	Pyrethroid (Insecticide)	6.6	0.004 (pH 7)	-
Dimethomorph	Cinnamic acid (Insecticide)	2.63 (E)-isomer; 2.73 (Z)-isomer (both 20°C)	19 (pH 5)	290-566
			18 (pH 7)	
			16 (pH 9)	
Diniconazole	DMI (triazole) (Insecticide)	4.3 (25°C)	4 (25°C)	-
Endosulfan	Cyclodiene organochlorine (Insecticide)	α- = 4.74; β- = 4.79 (both at pH 5)	α-endosulfan 0.32 β-endosulfan 0.33 (22°C)	3,000-20,000

**Table 2.** Physicochemical properties of the tested soil

	pH (1:5)	O.M. (g kg <sup>-1</sup> )	U. S Department of Agriculture (%)			Texture
			Sand	Silt	Clay	
Heongseong	5.0	6.5	79.1	9.3	11.7	SL

a : sandy loam

고르게 처리하였다. 공시 토양은 강원도 횡성군 현천 3리 축산기술연구센터 토양을 사용하였으며, 토성은 미사질양토이었다(표 2).

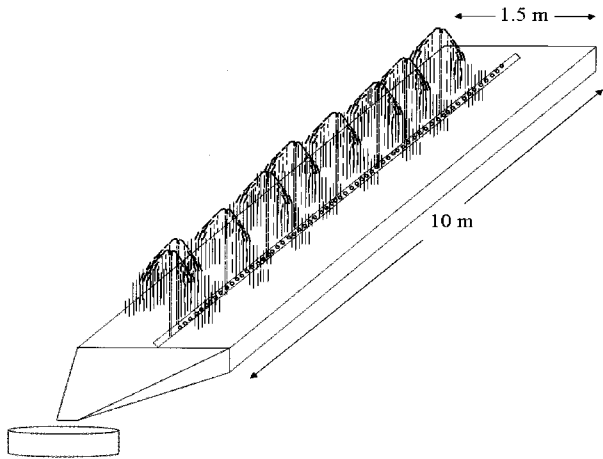
**시험구 및 인공강우**

시험구는 강원도 횡성군 현천 3리 축산기술연구센터에 위치하고 있으며, 면적은 가로 1.5, 세로 10 m이며, 경사도는 15°, 30° 및 45°였다. 인공강우는 높이 1.5 m의 스프링쿨러를 이용하여 살포하였으며(그림 1), 강수량은 시간당 22 mm,

강우시간은 3시간이었다.

**시료 채취**

농약 처리 24시간 후 인공강우를 살포하여 토양 및 물 시료를 채취하였다. 토양시료는 인공강우 전과 완료 후 경사도에 따른 토양 중 농약의 이동을 확인하기 위하여 시험구의 상(upper), 중(middle), 하단(lower)과 깊이별(0~15, 15~30 및 30~45cm)로 나누어 시료를 채취하였으며, 물 시료의 경우는 지표로 흘러나오는 유출수(run-off)를 인공강우 살포 후부터 10분 간격으로 2 L 단위로 3시간 연속해서 채취하였다. 모든 실험은 4회 반복하였다.



**Fig. 1.** Layout of the test apparatus for the simulated artificial rainfall in field conditions

**분석기기 조건**

분석기기는 GLC/ECD와 HPLC/FLD, UVD를 사용하였고, 분석조건은 표 3과 같았다. 이 조건하에서 각 농약의 머무름 시간은 carbendazim 5.2분, carbofuran 9.7분, chlorpyrifos 12.9분, diniconazole 28.0분과 4개의 이성질체를 갖는 cypermethrin은 각각 34.6, 34.7, 34.8 및 34.9분이었으며, 2개의 이성질체를 갖는 dimethomorph와 endosulfan은 각각 11.2분, 11.6분과 18.9, 26.4분이었다.

**토양·물 시료 분석**

토양 및 물 시료 중 잔류농약 분석은 박 등(2004)이 사용

**Table 3.** GC and HPLC operating conditions for pesticide analysis

	GC	HPLC
	HP-6890 Plus with G2614A autosampler	HP-1100 series
Column	DB-5 Capillary column (30 m×0.25 mm i.d.)	Phenomenox (25 cm, particle size 5 µm, C18)
Inlet	Temperature : 250°C, Injection volume : 1 mL, split. Constant flow : 1.2 mL min. <sup>-1</sup>	Injection volume : 10 mL
Detector	Electron capture detector Temperature : 320°C Make up (N <sub>2</sub> ) : 10 mL min. <sup>-1</sup>	Ultraviolet-Visible detector (UVD) Wavelength : 220 nm Fluorescence detector (FLD) Excitation : 286 nm Emission : 316 nm
Oven	Total 40 min. : 130°C (2 min. hold) → increased at 7°C min. <sup>-1</sup> to 200°C → at 2°C min. <sup>-1</sup> to 220°C (4 min. hold) → finally at 10°C min. <sup>-1</sup> to 300°C (6 min. hold)	40°C
Mobile phase		H <sub>2</sub> O/acetonitrile (45/55, v/v) : 0 min.~5 min. ⇒ 1.0 mL min. <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O/acetonitrile (30/70, v/v) : 5.1 min.~25 min. ⇒ 1.3 mL min. <sup>-1</sup>

한 방법과 동일하게 수행하였다. 토양 시료 20 g에 acetone 100 mL를 가하여 120 rpm에서 3시간 동안 교반 시킨 후 acetone을 감압 유거하여 dichloromethane으로 분배하였으며, 물 시료의 경우 추출 과정 없이 dichloromethane으로 분배하였다. 이 분배액을 감압 농축한 후 GLC/ECD 분석을 위하여 SPE-FL cartridge(1 g, Phenomenex<sup>®</sup>), HPLC/UVD와 FLD 분석을 위하여 SPE-NH<sub>2</sub> cartridge(1 g, Phenomenex<sup>®</sup>)로 각각 정제하였다.

**Table 4.** Recovery of the analytical method of pesticide residues in soil and water

Pesticides	Recovery±SD <sup>a)</sup> (%)	
	Sample matrix	
	Soil	Water
carbendazim	93.7±4.0	81.8±5.6
carbofuran	93.3±4.4	86.9±6.4
chlorpyrifos	79.8±2.2	87.8±5.2
cypermethrin	78.1±2.8	79.5±4.2
dimethomorph	79.7±4.7	88.5±4.2
diniconazole	73.7±1.8	77.4±3.6
endosulfan	85.0±5.6	77.5±2.5

a : Mean values of triplicate samples with standard deviations

**회수율 실험**

각각의 표준품을 정칭한 후 유기용매로 용해하여 1,000 mg kg<sup>-1</sup>의 혼합 표준용액(stock solution)을 조제하였다. 이것으로부터 4.0 mg kg<sup>-1</sup>과 2.0 mg kg<sup>-1</sup>용액을 조제 하여 토양, 물 시료에 각각 0.1, 0.002 mg kg<sup>-1</sup> 수준 처리 한 후 토양·물 시료의 분석 방법과 동일하게 수행하여 회수율을 구하였다.

**결과 및 고찰**

**토양·물 시료 중 농약의 회수율**

토양 및 물 시료 중 회수율 실험을 상기 분석법에 준하여 수행한 결과 7종의 농약에 대한 토양 및 물 시료 중 회수율은 73.7-93.7%, 77.4-87.8%로 모든 약제가 70% 이상의 회수율을 보여 상기 분석법은 본 실험을 수행하기에 타당하다고 판단하였다(표 4). 각 약제에 대한 최소 검출량 및 검출한계는 각각 0.01-2 ng, 0.002-0.04 mg kg<sup>-1</sup>이었다.

**토양 중 농약 이동성**

표 5는 인공강우 전·후 토양 중 경사도, 위치 및 깊이별 7종의 농약 잔류량을 나타내고 있으며, 이 결과를 토대로 경

**Table 5.** Influence of slope and rainfall on translocation of soil-surface applied pesticides under field conditions

Pesticides	Slope (%)	Sampling time	Sampling spots	Soil depth (cm)		
				0~15	15~30	30~45
Carbendazim	15	before rainfall	upper <sup>a</sup>	0.774 <sup>d</sup> ±0.143	0.143±0.003	0.198±0.034
			middle <sup>b</sup>	0.889±0.138	0.231±0.033	0.173±0.025
			lower <sup>c</sup>	0.400±0.042	0.141±0.028	0.126±0.012
		after rainfall	upper	0.485±0.066	0.099±0.013	0.010±0.001
			middle	0.322±0.047	0.082±0.003	0.033±0.004
			lower	0.302±0.031	0.133±0.015	0.051±0.005
	30	before rainfall	upper	0.639±0.063	0.486±0.042	0.411±0.034
			middle	0.475±0.035	0.521±0.030	0.889±0.051
			lower	0.750±0.067	0.334±0.041	0.452±0.033
		after rainfall	upper	0.509±0.070	0.141±0.011	0.218±0.027
			middle	0.447±0.079	0.174±0.012	0.075±0.012
			lower	0.352±0.056	0.137±0.007	0.127±0.018
	45	before rainfall	upper	1.154±0.189	0.284±0.030	0.499±0.074
			middle	0.402±0.069	0.295±0.023	0.424±0.067
			lower	0.735±0.080	0.361±0.048	0.332±0.031
		after rainfall	upper	0.673±0.032	0.107±0.014	0.024±0.001
			middle	0.388±0.027	0.130±0.010	0.135±0.007
			lower	0.445±0.081	0.075±0.003	0.135±0.022

a : upside of sloped plot, b : center of sloped plot, c : bottom of sloped plot, d : mg kg<sup>-1</sup>

Table 5. Continued

Pesticides	Slope (%)	Sampling time	Sampling spots	Soil depth (cm)		
				0~15	15~30	30~45
Carbofuran	15	before rainfall	upper <sup>a</sup>	2.510 <sup>d</sup> ±0.138	0.080±0.013	0.038±0.001
			middle <sup>b</sup>	3.467±0.170	0.094±0.002	0.088±0.005
			lower <sup>c</sup>	2.314±0.412	0.046±0.003	0.461±0.084
		after rainfall	upper	0.266±0.052	0.019±0.001	0.010±0.002
			middle	0.430±0.021	0.041±0.006	0.009±0.0005
			lower	0.671±0.046	0.043±0.005	0.069±0.005
	30	before rainfall	upper	2.301±0.223	1.194±0.224	0.770±0.079
			middle	3.929±0.228	3.843±0.048	0.271±0.017
			lower	2.373±0.399	2.074±0.233	0.276±0.048
		after rainfall	upper	0.933±0.138	0.389±0.023	0.537±0.082
			middle	1.044±0.144	0.760±0.084	0.078±0.011
			lower	0.675±0.069	0.217±0.032	0.201±0.021
45	before rainfall	upper	3.817±0.225	1.647±0.244	0.393±0.025	
		middle	4.597±0.731	3.085±0.347	4.281±0.702	
		lower	2.754±0.286	0.512±0.010	0.792±0.086	
	after rainfall	upper	2.028±0.302	0.179±0.020	0.094±0.014	
		middle	0.910±0.092	0.476±0.076	0.554±0.059	
		lower	1.439±0.085	0.202±0.010	0.194±0.012	
Chlorpyrifos	15	before rainfall	upper <sup>a</sup>	0.456 <sup>d</sup> ±0.023	0.179±0.017	0.198±0.011
			middle <sup>b</sup>	0.836±0.084	0.116±0.004	0.244±0.026
			lower <sup>c</sup>	0.461±0.016	0.073±0.005	0.133±0.004
		after rainfall	upper	0.445±0.012	0.144±0.016	0.063±0.001
			middle	0.819±0.111	0.040±0.004	0.131±0.017
			lower	0.376±0.022	0.033±0.003	0.027±0.001
	30	before rainfall	upper	0.898±0.046	0.044±0.0003	0.118±0.005
			middle	2.962±0.113	0.267±0.005	0.103±0.003
			lower	0.976±0.031	0.257±0.015	0.277±0.007
		after rainfall	upper	0.681±0.082	0.043±0.001	0.041±0.005
			middle	1.101±0.119	0.139±0.009	0.018±0.002
			lower	0.976±0.121	0.130±0.009	0.093±0.011
45	before rainfall	upper	1.702±0.035	0.397±0.073	0.121±0.002	
		middle	4.512±0.754	0.134±0.009	0.120±0.019	
		lower	1.159±0.145	0.069±0.007	0.070±0.008	
	after rainfall	upper	1.422±0.087	0.015±0.001	0.012±0.001	
		middle	0.498±0.041	0.115±0.008	0.0570.004	
		lower	0.455±0.026	0.017±0.002	0.013±0.001	

a : upside of sloped plot, b : center of sloped plot, c : bottom of sloped plot, d : mg kg<sup>-1</sup>

사도에 따른 농약 이동성을 파악하였다.

강우 전·후 토양 중 농약 잔류량은 9.9-88.8%가 감소하는 경향을 나타내었으며, 경사도가 증가할수록 농약 감소율 또한 증가되는 것으로 확인되었다. 토양 깊이별 농약 잔류량은 대

부분 표토(0-15 cm)에서 41-99% 수준으로 검출되었으며, 김 등(2005)이 보고한 결과와 일치하는 결과를 나타냈다. 이는 인공강우기의 강우 입자가 미세하여 강우량이 토양 하부까지 약제를 충분히 이동시키지 못하였기 때문으로 판단된다.

Table 5. Continued

Pesticides	Slope (%)	Sampling time	Sampling spots	Soil depth (cm)		
				0~15	15~30	30~45
Cypermethrin	15	before rainfall	upper <sup>a</sup>	0.218 <sup>d</sup> ±0.007	0.044±0.005	0.012±0.000
			middle <sup>b</sup>	0.224±0.037	0.014±0.000	0.010±0.002
			lower <sup>c</sup>	0.114±0.008	0.019±0.003	0.018±0.001
		after rainfall	upper	0.189±0.013	0.027±0.001	0.012±0.001
			middle	0.180±0.006	0.012±0.001	0.010±0.000
			lower	0.083±0.007	0.015±0.001	0.010±0.001
	30	before rainfall	upper	0.294±0.016	0.017±0.000	0.022±0.001
			middle	0.280±0.032	0.027±0.003	0.131±0.013
			lower	0.312±0.022	0.045±0.006	0.024±0.001
		after rainfall	upper	0.149±0.011	0.007±0.000	0.014±0.001
			middle	0.198±0.015	0.026±0.001	0.006±0.001
			lower	0.237±0.020	0.043±0.006	0.022±0.002
	45	before rainfall	upper	0.383±0.008	0.107±0.009	0.034±0.001
			middle	0.545±0.015	0.049±0.004	0.024±0.001
			lower	0.595±0.054	0.045±0.002	0.031±0.003
		after rainfall	upper	0.295±0.010	0.009±0.002	0.004±0.000
			middle	0.093±0.007	0.022±0.000	0.006±0.001
			lower	0.092±0.006	0.033±0.004	0.008±0.001
Dimethomorph	15	before rainfall	upper	0.161±0.004	0.048±0.005	0.009±0.000
			middle	0.173±0.014	0.220±0.013	0.011±0.001
			lower	0.102±0.007	0.027±0.003	0.040±0.003
		after rainfall	upper	0.109±0.003	0.020±0.002	0.000±0.000
			middle	0.107±0.006	0.007±0.001	0.008±0.001
			lower	0.062±0.001	0.000±0.000	0.002±0.000
	30	before rainfall	upper	0.095±0.002	0.056±0.007	0.049±0.002
			middle	0.156±0.004	0.070±0.004	0.008±0.000
			lower	0.161±0.009	0.139±0.009	0.015±0.001
		after rainfall	upper	0.076±0.015	0.009±0.001	0.011±0.002
			middle	0.095±0.009	0.013±0.001	0.008±0.001
			lower	0.081±0.011	0.013±0.001	0.011±0.001
	45	before rainfall	upper	0.327±0.030	0.266±0.037	0.053±0.004
			middle	0.077±0.003	0.049±0.008	0.084±0.002
			lower	0.210±0.002	0.053±0.006	0.054±0.000
		after rainfall	upper	0.142±0.026	0.019±0.001	0.006±0.001
			middle	0.065±0.009	0.025±0.002	0.022±0.003
			lower	0.138±0.006	0.009±0.001	0.015±0.001

a : upside of sloped plot, b : center of sloped plot, c : bottom of sloped plot, d : mg kg<sup>-1</sup>

### 물 시료 중 농약 이동성

인공강우를 이용하여 채취한 유출수 및 경사도별 농약 검출량에 대한 결과는 각각 그림 3, 4 그리고 5에 나타내었다.

유출수 중 농약 검출량은 모든 시험구에서 초기의 유출농도

가 높았으며, 30분 강우 후에는 초기 농도의 50% 이하로 급격히 감소하였다. 또한 경사도의 증가에 따라 유출수로의 농약 이동성이 증가하였으며, 15%에서 45%로 경사도가 증가함에 따라 유출수 중 농약의 검출량은 약 4.5배 증가하였다. 농약별 이

Table 5. Continued

Pesticides	Slope (%)	Sampling time	Sampling spots	Soil depth (cm)		
				0~15	15~30	30~45
Diniconazole	15	before rainfall	upper <sup>a</sup>	0.965 <sup>d</sup> ±0.030	0.023±0.002	0.006±0.000
			middle <sup>b</sup>	1.066±0.013	0.014±0.001	0.006±0.000
			lower <sup>c</sup>	0.556±0.013	0.021±0.004	0.016±0.000
		after rainfall	upper	0.756±0.013	0.022±0.001	0.004±0.000
			middle	0.627±0.007	0.007±0.001	0.006±0.000
			lower	0.433±0.008	0.017±0.001	0.003±0.000
	30	before rainfall	upper	1.482±0.028	0.017±0.001	0.059±0.003
			middle	1.289±0.048	0.063±0.007	0.016±0.001
			lower	1.132±0.073	0.073±0.009	0.031±0.003
		after rainfall	upper	1.153±0.033	0.014±0.001	0.015±0.001
			middle	0.818±0.048	0.045±0.002	0.002±0.000
			lower	1.005±0.068	0.055±0.003	0.028±0.003
	45	before rainfall	upper	1.254±0.040	0.216±0.024	0.127±0.007
			middle	1.787±0.005	0.127±0.014	0.033±0.001
			lower	0.973±0.032	0.067±0.008	0.051±0.003
		after rainfall	upper	1.250±0.100	0.007±0.001	0.002±0.000
			middle	0.620±0.022	0.049±0.007	0.019±0.001
			lower	0.558±0.017	0.028±0.002	0.006±0.000
Endosulfan	15	before rainfall	upper <sup>a</sup>	1.600 <sup>d</sup> ±0.085	0.550±0.047	0.090±0.007
			middle <sup>b</sup>	2.715±0.176	0.170±0.006	0.179±0.016
			lower <sup>c</sup>	1.627±0.144	0.119±0.010	0.436±0.050
		after rainfall	upper	1.544±0.047	0.411±0.001	0.063±0.004
			middle	2.302±0.143	0.056±0.004	0.110±0.010
			lower	1.130±0.039	0.044±0.007	0.068±0.004
	30	before rainfall	upper	2.619±0.166	0.115±0.006	0.548±0.049
			middle	3.943±0.166	0.526±0.031	0.128±0.009
			lower	3.448±0.000	0.526±0.033	0.373±0.065
		after rainfall	upper	2.029±0.000	0.080±0.005	0.074±0.013
			middle	3.522±0.000	0.478±0.055	0.022±0.004
			lower	2.410±0.000	0.336±0.018	0.177±0.031
	45	before rainfall	upper	4.758±0.233	1.989±0.036	0.361±0.027
			middle	6.913±0.406	0.365±0.021	0.267±0.023
			lower	6.978±0.623	0.355±0.028	0.278±0.032
		after rainfall	upper	4.291±0.499	0.013±0.001	0.019±0.003
			middle	1.499±0.256	0.244±0.013	0.115±0.012
			lower	1.874±0.118	0.045±0.005	0.035±0.003

a : upside of sloped plot, b : center of sloped plot, c : bottom of sloped plot, d : mg kg<sup>-1</sup>

동성은 carbofuran, dimethomorph, diniconazole 등이 높은 검출량을 보였다. 각 농약의 수용해도는 carbofuran 351 mg L<sup>-1</sup> (25°C), dimethomorph 18 mg L<sup>-1</sup> (pH 7), diniconazole 4 mg L<sup>-1</sup> (25°C)으로 사용된 농약 중 수용해도가 높은 농약일수

록 이동성이 높은 것으로 나타났으며, 이는 이 등(2005)과 김 등(2005)이 보고한 결과와 일치하는 결과를 나타냈다. 이 중 diniconazole의 경우 배추에 미등록 약제로 배추의 생육억제를 위하여 사용되어 지고 있으나 경사지 토양에서 유출에 의

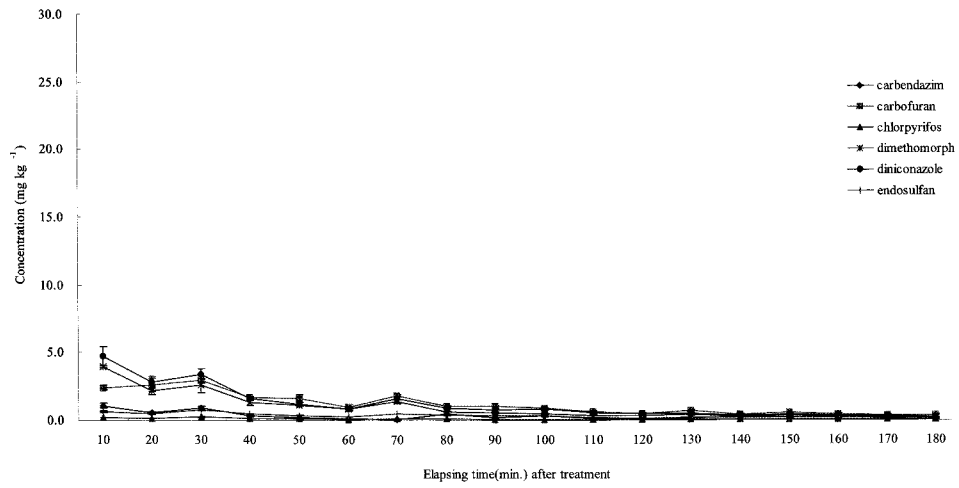


Fig. 3. Amounts of pesticides in run-off water samples collected from Heongseong treated soil at 15% slope under field conditions.

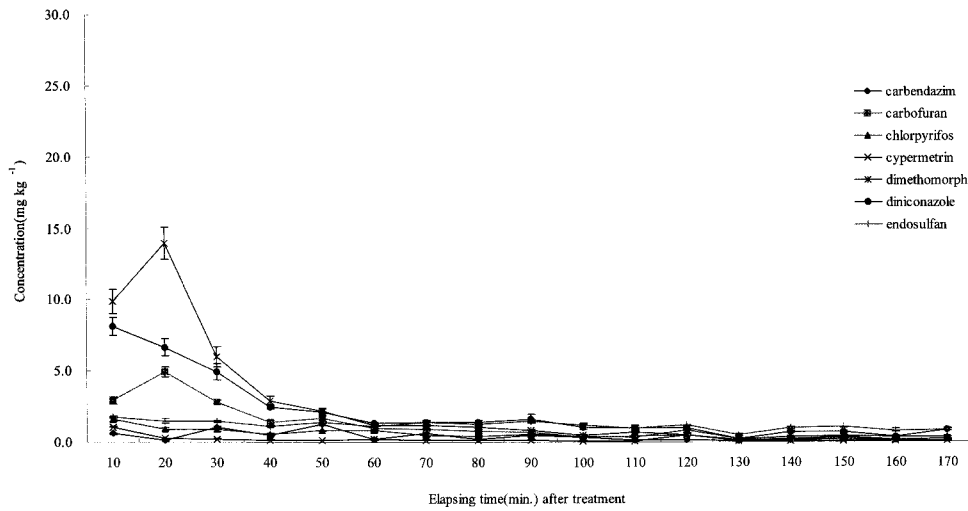


Fig. 4. Amounts of pesticides in run-off water samples collected from Heongseong treated soil at 30% slope under field conditions.

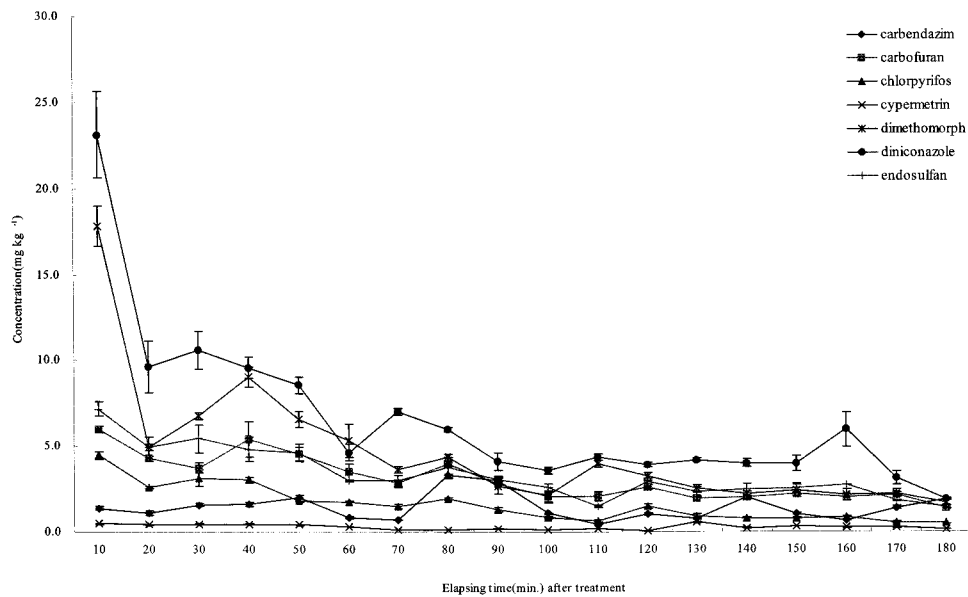


Fig. 5. Amounts of pesticides in run-off water samples collected from Heongseong treated soil at 45% slope under field conditions.



한 이동성이 큰 것으로 보아 이 농약의 품목등록에 대한 안전 사용 기준 설정이 시급히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

**시료 중 농약 이동성의 비교**

포장에서 인공강우를 이용하여 실험 수행 시 채취한 토양과 물 시료 간 약제와 경사도별 농약이동성 비교를 그림 6에 나타내었다. 토양과 물 시료에서 검출된 농약의 총 양을 100으로 하고 이 중 토양 및 물 시료에 분포된 상대값을 비교하여 농약의 토양 잔류성 및 수계 이동성을 판단하였다.

대부분의 농약이 토양의 표토에 잔류하였고, 용탈에 의한 손실이 없다고 가정할 때 유출로 인한 농약의 이동성은 앞선 토양 컬럼 실험 및 실내 인공강우 실험과 마찬가지로 수용해도와 비례하는 것을 알 수 있었다. 김 등(1997)은 농약의 수용해도와 유출율 사이에 높은 상관성이 있다고 보고하였으며, 본 연구 결과를 종합해 볼 때 농약의 이동에 수용해도가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 또한 경사도의 증가에 따라 유출수 중 농약 검출량이 증가하였으며, 실내 인공강우 실험을 통해 경사지 토양에서의 농약의 이동은 용탈보다는 유출에 더 큰 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

강원도 고랭지의 경우 심한 경사도로 인하여 토양 유실이 심하며, 대부분의 경작지가 모재로 성토되어 있는 실정이다 (박 등, 2004b). 모재의 경우 토양으로 진행되는 과정에 있는 것으로 입자가 굵기 때문에 앞선 실험결과로 미루어 볼 때 고랭지 경사지 토양의 경우 표층을 이루는 모재로 인하여 농약의 수계로의 이동이 용이할 것으로 판단된다. 따라서 고랭지 경작지에서는 농약 선정 시 저잔류성, 저수질 오염성 농약의

사용이 우선시 되어야 할 것으로 판단된다. 향후 경사지 경작지에서 사용 가능한 저잔류, 고효율 농약 선발을 위하여 시험구 크기의 확대와 다양한 토성 및 자연조건과 같은 처리기간 및 인공강우 시간의 연장 등 연구의 보완이 필요하다고 사료된다.

**감사의 글**

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

**>> 참 / 고 / 문 / 헌**

Baker, J. L., J. M. Lafflen and R. O. Hartwig (1982) Effects of corn residue and herbicide placement on herbicide runoff losses. *Trans ASAE* 25:340-343.  
 고령지농업시험장 (2000) 고랭지 채소재배기술. p.561.  
 고령지농업시험장 (2004) 고령지 주요작물별 환경오염 평가 및 경감기술 개발. p.19.  
 김 균, 김정환, 박창규 (1997) 강우에 의한 농약의 토양 표면유출 특성. *한국환경농학회지* 16(3):274-284.  
 김성문, 최해진, 김희연, 이동경, 김태한, 안문섭, 허장현 (2002) 강원도 고랭지대 배추 경작자들의 농약 사용 실태. *한국농약과학회지* 6(4):250-256.

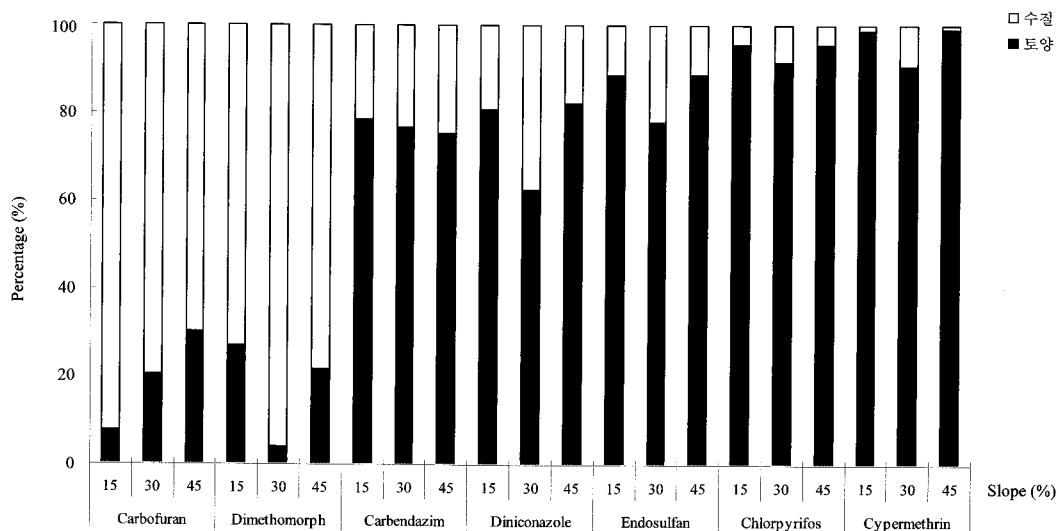


Fig. 6. Comparison between soil and water samples for percentage of pesticides in Heongseong treated soil.

김성수, 김태한, 이상민, 박동식, Zhu Yong-Zhe, 허장현 (2005) 실내 인공강우를 이용한 강원도 고랭지 토양의 토성 및 경사도별 농약 이동특성. 농약과학회지 9(4):316~329.  
 박동식, 김태한, 김성수, 이상민, 김성문, 허장현 (2004) 강원도 고랭지 배추경작지의 토양 및 수질 중 농약 오염 실태. 농약화학회

지 8(3):189~197.  
 이상민, 김성수, 박동식, 허장현 (2005) 토양 column을 이용한 토성 및 자갈함량별 농약 이동특성. 농약과학회지 9(4):330~337.  
 정영득, 김장억, 김정환, 이영득, 임치환, 허장현 (2000) 최신 농약학. 시그마프레스 p.570.

---

## 포장에서 인공강우를 이용한 경사도별 농약의 이동 특성 연구

김성수 · 김태한 · 이상민 · 박홍열 · 박동식 · 임춘근<sup>1</sup> · 허장현\*

강원대학교 농업생명과학대학 자원생물환경학과, <sup>1</sup>강원대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 응용생물학전공

**요 약** 본 연구는 포장에서 인공강우 장치를 이용하여 경사도에 따른 농약의 이동특성을 파악하고자 수행하였다. Carbendazim, carbofuran, cypermethrin, chlorpyrifos, dimethomorph, diniconazole, endosulfan 총 7종의 농약 처리 12 시간 후 처리구당 22 mm hr<sup>-1</sup>의 인공강우를 살포하여 강우 전, 후와 시험구의 상, 중, 하단과 깊이별(0-15, 15-30, 30-45 cm)로 토양 시료와 2 L 단위 10분 간격으로 3시간 동안 받은 유출수를 채취하여 GC/ECD와 HPLC/UV, FLD를 이용하여 분석하였다. 실험결과 토양 중 농약의 잔류량은 강우 전·후 표토(0-15 cm)에서 가장 많이 검출되었으며, 경사도에 따른 토양 깊이별 농약 이동은 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 유출수 중 시간 및 경사도에 따른 농약별 검출량은 cypermethrin을 제외한 6종의 농약이 통계학적 유의성( $r^2=0.6$  이상)을 갖으며, 시간이 경과함에 따라 잔류량이 감소하는 경향을 보였다. 약제별 이동특성의 경우 carbofuran과 dimethomorph를 제외한 수용해도가 낮고,  $K_{ow}$ 과  $K_{oc}$ 가 높은 5종의 농약들은 수질로의 이동보다는 토양 잔류량이 높은 것으로 나타났다. 이상의 결과는 고랭지 경사지의 특성에 맞는 농약 선발에 기초 자료로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

**색인어** 경사지, 농약 잔류, 농약 이동, 인공강우

---