

## 고추재배 포장 라이시메타를 이용한 fluazinam의 유출 평가

김찬섭\* · 임양빈 · 권혜영 · 임건재

농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부

### Runoff of Fluazinam Applied in Pepper Field-lysimeter

Chan-Sub Kim\*, Yang-Bin Ihm, Hye-Young Kwon and Geon-Jae Im

Department of Agro-Food Safety, National Academy of Agricultural Science,  
Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

(Received on November 4, 2013. Revised on November 14, 2013. Accepted on December 1, 2013)

**Abstract** The field lysimeter study was undertaken to investigate influence of agricultural practice and topography on runoff and erosion loss of fluazinam from the sloped land grown pepper. The WP type formulation was applied on July in 2003~2005. The wash-off rates were from 1.4% to 8.4% of the applied fluazinam. The runoff losses of fluazinam from a series of pepper grown-lysimeter plots were 0.14~0.90% in the first year, 0.01~0.04% in the second year and 0.16~0.37% in the third year for the mulched contour ridge plots, 0.47~1.59% for the mulched up-down direction ridge plots and 0.07~1.05% for the no-mulched contour ridge plots as the control, and they increased with slope degree. Concentrations of fluazinam in runoff water ranged mostly to  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  at the first runoff event. Erosion rates from plots except the mulched up-down direction ridge plots was 0.00~0.21% for 10% and 20% slope-plots and 0.15~1.05% for 30% slope-plots with different slope degrees. Erosion rates from the mulched up-down direction ridge plots were 0.47~1.59% for 10% slope-plots and 0.75~1.05% for 20% slope-plots. Residues of fluazinam in soil at ten days after the application ranged from  $0.007 \text{ mg kg}^{-1}$  to  $0.059 \text{ mg kg}^{-1}$  except the soil under the mulch. After then the fluazinam residue in soil was dissipated at the rate of 20 days of half-life to below  $0.01 \text{ mg kg}^{-1}$  at 60 days after the application.

**Key words** Fluazinam, Runoff, Erosion, Wash-off, Pepper

## 서 론

고추 재배 시에는 탄저병, 역병 등의 병해와 거세미나방 등의 방제를 위하여 대부분의 농가에서 지속적으로 농약을 사용하고 있다. 그 중 fluazinam은 감, 감귤, 배, 복숭아, 사과 등 과수류와 고추, 배추, 인삼, 감자, 양파 및 쪽파 등의 탄저병, 더듬이병, 뿌리혹병, 잣빛무늬병, 갈색무늬병, 점무늬병, 갈색점무늬병, 겹무늬썩음병, 역병 및 잣빛곰팡이병 등의 방제 목적으로 사용되며 분제와 수화제, 액상수화제, 입제 등이 시판되고 있다(Korea Crop Protection Association, 2012a). Fluazinam의 최근 5년간 평균 출하량은 유효성분량

으로 0.5% 분제가 6,267 kg이고, 50% 수화제가 57,329 kg, 50% 액상수화제가 14,774 kg, 0.7% 입제가 1,998 kg이었다(Korea Crop Protection Association, 2012b). Fluazinam의 물에 대한 용해도는  $0.135 \text{ mg L}^{-1}$ 이고 유기탄소기준흡착계수(Koc)는  $1,705\sim 2,316 \text{ L kg}^{-1}$ , 포장에서의 평균 토양잔류 반감기는 1개월 수준으로 알려져 있다(Tomlin, 2003).

작물재배 과정에서 살포된 농약은 살포할 때에 토양에 직접 도달하거나 작물체에 부착되었던 농약이 강우나 이슬 등에 의하여 씻겨 내려 토양표면에 도달하게 된다(Leonard, 1990; Kim et al., 2005). 이렇게 토양에 도달한 농약은 다양한 분해대사과정과 이동의 대상이 되는데, 토양에 잔류하는 농약은 강수량이 토양의 침투능력을 초과하는 경우에는 토양 표면유출에 의하여 지표수계로 흘러들어가게 된다(Leonard, 1990; Jarvis et al., 1997). 농약의 지표유출은 물

\*Corresponding author

Tel: +82-31-290-0508, Fax: +82-31-290-0588  
E-mail: chskim@korea.kr

에 녹거나 부유 토양입자에 흡착된 두 가지 형태로 일어나게 된다(Leonard, 1990; Kim et al., 2005; FOCUS, 2004; Kim et al., 1997). 따라서 농약의 흡착성과 잔류성이 표면유출에 크게 영향을 미치며(McCall et al., 1980; Roberts, 1996; FOCUS, 2004), 기후 요인으로는 강우의 시기, 강도 및 강우량 등 강우 양상(FOCUS, 2004), 토양 요인으로는 유출이 일어나는 포장의 경사도, 경사의 길이 및 토양의 투수성 등을 들 수 있다(Wischmeier and Smith, 1978).

우리나라에서는 시설재배 작물을 제외한 대부분의 밭작물이 경사지에서 재배되고 6~9월 사이에 강우 집중시기와 농약 사용시기가 겹쳐지게 되므로 집중강우에 의하여 농약이 수계로 유출될 가능성이 높을 것으로 예상된다. 그러나 농약에 의한 수계오염의 중요한 경로인 표면유출에 대한 연구 결과는 국내의 경우 소수(Moon et al., 1993; Kim et al., 1997; Kim et al., 2006)에 불과하다. 따라서 표면유출에 의한 수계오염성을 기습하기 위해서 다른 작물보다 농약사용량이 많고 밭작물 중 가장 많은 면적을 차지하며 전국적으로 재배되고 있는 고추에 대한 포장수준에서의 농약유출연구가 다른 작물보다 선행되어야 할 것으로 판단하였고, 포장 lysimeter에서 고추 재배에 따른 농약의 유실 양상 차이를 파악하는 일련의 실험과정을 수행하여 농약의 표면유출양상을 파악하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험농약 및 잔류분석

실험에 사용된 농약은 fluazinam 50% WP로 시중 농약상에서 구입하였고, 그 표준품(99.8%)은 Dr Ehrenstorfer사(Augsburg, Germany)에서 구입하였다. 분석에 사용된 acetone, acetonitrile, dichloromethane, *n*-hexane 등의 용매는 Merck사(Darmstadt, Germany)의 잔류농약분석용이나 HPLC급을 사용하였다. Sodium chloride와 sodium sulfate anhydrous, Celite 545는 Merck사(Darmstadt, Germany), ammonium chloride와 Hyflo Super Cel은 Fluka사(Buchs, Switzerland), Florisil은 Sigma-Aldrich사(St. Louis, USA) 제품을 사용하였다.

유출수와 wash-off 시료는 채취 즉시 실험실로 운반하여 감압 하에서 Whatman No.2 여지와 Hyflo Super Cel이나 Celite 545 등의 여과보조제를 통과시켜 부유입자 등을 제거한 후 여과액 500 mL에 포화식염수 50 mL를 넣고 dichloromethane 50 mL로 2회 분배하여 추출하였다. 시료 중 불순물의 방해정도와 시료의 농도수준에 따라 필요시에는 희석하여 분석하였다. 유실토양 시료는 감압 하에서 수분을 적절한 수준으로 제거하고 하루 밤 동안 풍건하여 추출하였고, 잔류토양 시료는 대부분 체질만 거친 후 시료로 사용하였으나 일부 시료는 풍건과정을 거친 다음 추출하였다. 즉

시 처리가 곤란한 경우에는  $-20^{\circ}\text{C}$  이하로 냉동하여 보관하였다. 토양시료는 0.2 M ammonium chloride 용액 20~30 mL를 넣고 약 20분 경과 후에 acetone 100 mL로 추출한 다음, 추출액에 포화식염수 50 mL와 증류수 450 mL를 넣고 앞의 방법대로 dichloromethane으로 분배 추출하였으며 필 요시에는 희석하거나 Florisil chromatography 방법으로 정제하였다(Kim et al., 2010). 고추잎은 세절한 다음 Celite 545와 acetone을 넣고 고속으로 마쇄하여 추출한 후 토양시료와 같은 방법으로 분배 정제하였다.

Fluazinam의 분석에는 ECD와 시료자동주입기가 장착된 Agilent 6890N GLC를 사용하였는데 주로 30 m×내경 0.32 mm 고정상 두께 0.25  $\mu\text{m}$ 인 DB-5 칼럼을 장착하여 분석하였다. 가스크로마토그래프의 온도조건은 주입구 250 $^{\circ}\text{C}$ , 검출기 300 $^{\circ}\text{C}$ 이었고, 칼럼은 60 $^{\circ}\text{C}$ 에서 2분 후 분당 20 $^{\circ}\text{C}$ 씩 상승시킨 다음 120 $^{\circ}\text{C}$ 에서부터는 분당 5 $^{\circ}\text{C}$ 씩 상승시켜 270 $^{\circ}\text{C}$ 에서 15분간 유지하였다. 운반기체로는 질소를 분당 2 mL씩 흘려주었고, ECD make-up 기체로는 질소를 분당 60 mL씩 공급하였다.

### 고추재배포장 유출실험

포장유출실험은 농업과학기술원 내의 경사지에 설치된 lysimeter 포장에서 실시하였다. Lysimeter 포장은 경사도 10, 20 및 30%와 경사장 5, 10 및 15 m의 9 조합의 처리구로 나누어지고, 각 처리구는 폭 2 m인 3개의 반복구로 구성되었다. 시험구 토양의 토성은 사양토에 해당하였고 유기물 함량은 1.9% 수준이었다(Kim et al, 2007).

2003년에는 4월 30일까지 경운, 퇴비시용, 요소비료 살포 및 정지작업을 마치고, 등고선방향(경사도 10%, 20%, 30%) 및 상하경 비닐피복구(경사도 10%, 20%)와 등고선방향 대조구(경사도 10%, 20%, 30%)에 5월 12일 고추종품 ‘마니따’를 75 cm×40 cm 간격으로 정식하였다(35~36주/10 m<sup>2</sup>). Fluazinam 50% 수화제는 7월 1일에 2,000배로 희석하여 약액이 흐르기 직전 수준으로 살포하였으며 10a 당 89 L 정도가 사용되었다. 농약 살포 2일 후에 17 mm, 8일 후에 42 mm 등 1개월 후까지 약 342 mm의 비가 내렸고 그에 따라 5회의 표면수 유출과 토양유실이 발생하였다. 2004년에는 4월 21일까지 경운, 퇴비시용, 요소비료 살포 및 정지작업을 마치고, 5월 4일까지 등고선방향 두둑작업과 흑색비닐 멀칭을 완료하였으며 5월 6일에는 2003년과 같은 방식으로 고추를 정식하였다. Fluazinam 50% 수화제를 2,000배로 희석하여 7월 29일에 10a 당 130 L로 살포하였다. 농약살포 후 8월 13일까지는 비가 거의 내리지 않았으나 8월 14일부터 9월 중순까지 약 340 mm의 비가 내렸고 그 기간 동안에 표면 유출수를 3차례 수집하여 분석하였다. 2005년에는 4월 25일까지 경운, 퇴비시용, 복합

비료 살포 및 정지작업을 마쳤고, 5월 10일까지 등고선 방향 두둑작업과 흑색비닐 멀칭을 완료하고 5월 12일에 고추를 정식하였으며 7월 14일에는 fluazinam 50% 수화제 2,000배 희석액을 10a 당 120 L로 살포하였다. 농약살포 3일후 4 mm의 비가 내린 외에 7월 27일까지는 비가 내리지 않았으나 7월 28일부터 8월 중순까지 약 370 mm의 비가 내렸고 그에 따라 4회의 표면수 유출이 발생하였다.

작물에 부착된 농약이 지표면으로 이동되는 정도를 알아보기 위하여 작물체 아래에 stainless-steel pan (35 cm × 31 cm)을 경사도별로 3반복으로 설치하여 빗물을 수집하였다. 강우가 끝난 뒤 반복별로 물량을 기록하고 그 중 1 L (부족 시에는 전량)를 수집하여 분석시료로 사용하였다. 유출수와 유실토양은 lysimeter 시험구 하단에 설치된 폭 80 cm, 길이 100 cm, 깊이 45 cm의 1차 저수조와 폭 80 cm, 길이 80 cm, 깊이 90 cm의 2차 저수조를 이용하여 수집하였다. 저수조가 넘치지 않는 경우에는 강우 직후에 시료채취 및 유출량을 측정하였고 강우량이 많아 저수조가 넘칠 경우에는 강우 중이라도 유출량을 측정하고 시료를 채취한 다음 저수조를 비워 유출수를 받았다. 유출수는 수심을 측정하여 물량을 계산하였고 초자재질의 용기에 1~4 L 정도를 채취하되 두 저수조에 수집된 물량의 비율대로 채수하여 함께 섞었다. 유실토양은 저수조의 물을 배수한 후 용기에 담아 무게를 측정하고 고르게 섞은 후 약 1 kg 정도를 채취하여 플라스틱병에 담아 실험실로 운반하였다(Kim et al, 2007).

2003년도에는 경사도와 두둑방향 조합 8개 처리별로 두둑과 골을 구분하여 각각 12개소에서 깊이 10 cm까지의 토양을 채취하여 혼합하여 잔류소장을 파악하였다. 농약살포 10일 후인 7월 11일부터 10월 20일까지 7회 채취하였다. 마지막 시기에는 토심 40 cm까지 채취하였다. 작물체 중의 잔류양상을 파악하기 위해 살포 당일과 그 후 10일 간격으로 7월 31일까지 4회에 걸쳐 고추 열매와 잎을 채취하여 분석용 시료로 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 작물체 부착 농약의 강우에 의한 wash-off

작물체에 부착된 농약이 강우에 의하여 씻겨 내리는 양상을 Table 1~3에 나타내었다. Fluazinam의 살포가 가장 빨랐던 2003년에는 살포 2일 후의 17 mm의 강우에 의해 씻겨 내린 빗물 중의 fluazinam의 농도는 27~45  $\mu\text{g L}^{-1}$  수준이었고, 살포 후 9일까지와 그 후 12일까지의 각각 43 mm와 14 mm의 강우에 의하여 씻겨 내린 fluazinam의 농도는 10  $\mu\text{g L}^{-1}$  수준이었으며 살포 18일 후에는 1  $\mu\text{g L}^{-1}$  수준으로 감소하였다. 살포 한 달 후까지 약 340 mm의 강우에 의하여 살포량의 5.9%에 해당하는 fluazinam이 씻겨 내렸는데 그 대부분이 2주 이내에 내린 73 mm의 강우에 의한 것이었다(Table 1).

Fluazinam의 살포가 가장 늦었던 2004년에는 살포 16일 후 39 mm의 강우에 의하여 5~17  $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 농도로 살포량 대비 1.14%에 해당하는 작물체에 부착된 fluazinam이 씻겨 내렸다. 그 이틀 후부터 4일간 계속된 109 mm의 강우에 씻겨 내린 fluazinam은 살포량의 0.27%에 불과하였다. 그 후 22일간의 128 mm의 강우에 의하여 살포량의 0.3%에 해당하는 fluazinam이 추가로 씻겨 내렸으며 그 농도는 대부분 1  $\mu\text{g L}^{-1}$  수준이었다(Table 2).

2005년에는 살포 3일 후까지 4.5 mm의 강우에 의해 살포량의 2.5%에 해당하는 fluazinam이 100~220  $\mu\text{g L}^{-1}$  수준으로 씻겨 내렸고, 살포 14일 후와 18일 후의 각각 85 mm와 44 mm의 강우에 의해서는 살포량의 4.3%와 1.5%에 해당하는 fluazinam이 씻겨 내렸으며 그 농도는 각각 8~24  $\mu\text{g L}^{-1}$  과 2~17  $\mu\text{g L}^{-1}$  수준이었다(Table 3).

이상의 결과를 종합하여 작물의 생육상태와 함께 살펴보면 작물체에서 씻겨 내리는 농약의 양은 부착량과 강우량에 의해 결정되는데 부착량은 살포 당시의 작물 생육상태와 살포 후 경과기간에 따라 결정되고 씻겨 내리는 빗물 중의 농도는 강우시기와 강우량에 따라 달라지는 것으로 나타났다. Fluazinam의 경우 살포 20일 이내에 130 mm 정도의 강우

**Table 1.** Wash-off pattern of fluazinam deposited on the pepper plant in 2003

	Sampling date						
	7.3	7.10	7.13	7.19	7.23	7.28	7.29
Precipitation, mm	16.8	42.9	13.5	62.0	132.6	37.5	36.5
Min. concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$	26.6	5.2	5.9	0.7	0.2	0.7	0.2
Max. concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$	45.2	14.5	20.7	1.8	0.6	1.3	0.7
Mean concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$	32.2	9.7	12.0	1.2	0.3	0.9	0.4
Wash-off, % <sup>a)</sup>	2.46	1.90	0.74	0.34	0.19	0.15	0.07
- Application : 22.0 mg m <sup>-2</sup> on July 1							

<sup>a)</sup>[Concentration (A  $\mu\text{g L}^{-1}$ )] × [Precipitation (B mm)] / [Application rate (C mg m<sup>-2</sup>)] × 100 = 0.1·AB / C (%)

**Table 2.** Wash-off pattern of fluazinam deposited on the pepper plant in 2004

	Sampling date				
	8.14	8.19	8.26	9.6	9.8
Precipitation, mm	38.5	108.5	10.3	9.5	32.5
Min. concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$	4.2	0.2	0.1	< 0.1	< 0.1
Max. concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$	17.0	1.6	1.0	1.0	< 0.1
Mean concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$	9.6	0.8	0.6	0.3	< 0.1
Wash-off, % <sup>a)</sup>	1.14	0.27	0.02	0.01	NC <sup>b)</sup>

- Application : 32.5 mg m<sup>-2</sup> on July 29

<sup>a)</sup>[Concentration (A  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) × {Precipitation (B mm)} / [Application rate (C mg m<sup>-2</sup>)] × 100 = 0.1·AB / C (%)

<sup>b)</sup>Not calculated.

**Table 3.** Wash-off pattern of fluazinam deposited on the pepper plant in 2005

	Sampling date			
	7.18	7.28	8.1	8.3
Precipitation, mm	4.5	84.7	43.5	30.0
Min. concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$	102	8	2	< 1
Max. concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$	219	24	17	< 1
Mean concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$	164	15	10	< 1
Wash-off, % <sup>a)</sup>	2.45	4.30	1.47	NC <sup>b)</sup>

- Application : 30.0 mg m<sup>-2</sup> on July 14

<sup>a)</sup>[Concentration (A  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) × {Precipitation (B mm)} / [Application rate (C mg m<sup>-2</sup>)] × 100 = 0.1·AB / C (%)

<sup>b)</sup>Not calculated.

가 오면 탈착 가능한 잔류분은 대부분 씻겨 내리는 것으로 나타났고 이것은 Fig. 1의 고추잎의 잔류량 분석결과로 입증되었다.

#### 유출수에 의한 농약의 유실

유출수에 의해 고추재배포장으로부터 유실된 농약의 농도와 유실률을 Table 4~6에 나타내었다. 2003년의 유출은 fluazinam 살포 후 9일, 18일 및 19일과 22일 사이의 각각 42 mm, 49 mm 및 142 mm의 강우에 의하여 발생하였으며, 유출수 중 fluazinam의 농도는 첫 유출 시 4~8  $\mu\text{g L}^{-1}$ , 두 번째 유출 시 검출한계(0.2  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) 미만~1.5  $\mu\text{g L}^{-1}$ , 세 번째 유출 시는 대부분 검출한계 미만이었다. 처리량 대비 유실률은 첫 번 유출 시 저수조에서 누수가 발생하였던 경사도-경사장 20%-10 m 구를 제외하면 0.13~0.80% 수준이었고, 3회 유출에 의한 유실률의 합은 1%를 넘지 않았다(Table 4).

2004년의 경우에는 fluazinam 살포 16일 후의 38.5 mm의 강우에도 실질적인 유출은 일어나지 않았고, 살포 후 18일부터 21일까지의 108.5 mm의 강우와 살포 후 40일과 41일의 32.5 mm의 강우, 살포 후 44일과 45일의 82 mm의 강우 시에 3차례 유출수 시료를 채취하였다. 첫 번 유출 시료에서 fluazinam이 0.1~0.3  $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 낮은 수준으로 검출된 후

두 번째와 세 번째 시료 중 fluazinam의 수준은 검출한계(0.1  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) 미만이었으며, 처리량 대비 유실률은 모든 처리구에서 0.05%를 넘지 않았다(Table 5).

2005년의 경우에는 fluazinam 살포 후 14일, 18일 및 19일과 21일 사이의 각각 85 mm, 43 mm 및 33 mm의 강우에 의하여 유출이 발생하였으며, 유출수 중 fluazinam의 농도는 첫 유출 시 2~4  $\mu\text{g L}^{-1}$ , 두 번째 유출 시 1~2  $\mu\text{g L}^{-1}$ , 세 번째 유출 시는 대부분 검출한계(0.1  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) 미만이었다. 처리량 대비 유실률은 첫 번 유출 시 0.10~0.28% 수준이었고, 3회 유출에 의한 유실률의 합은 0.3%를 넘지 않았다(Table 6).

이상의 결과를 종합하면 fluazinam의 유출농도는 작물생육 상태와 기상상황에 따라 유출농도는 0.1~10  $\mu\text{g L}^{-1}$ , 유실률은 살포량의 0.02~0.8% 수준이었다. 따라서 fluazinam을 고추에 살포하고 2일 후에 비가 오는 경우에도 고추밭 유출수 중 fluazinam의 농도는 10  $\mu\text{g L}^{-1}$  수준을 크게 초과하지는 않을 것이므로 농경지 주변 수생생물에 대한 영향 가능성은 낮을 것으로 판단되었는데 European Food Safety Authority도 유럽연합 농약재평가 과정에서 동일한 결론을 내린 바 있다(EFSA, 2008). 농약 유실률은 확인하지는 않지만 경사도가 클수록 증가하였으며 경사도가 동일한 조건에서는 경사의 길이가 길어질수록 유실률이 줄어들었다. 경사

**Table 4.** Losses of fluazinam through runoff from pepper field lysimeter plots with contour ridge vinyl-mulched in 2003

Slope-length	Concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$			Runoff water, mm			Loss rate, % <sup>a)</sup>		
	7.10	7.19	7.23	7.10	7.19	7.23	7.10	7.19	7.23
10%-5 m	7.8	0.9	<0.2	17.6	14.4	61.2	0.624	0.059	NC <sup>c)</sup>
10%-10 m	4.9	0.6	<0.2	6.0	2.4	27.1	0.134	0.007	NC
10%-15 m	4.6	<0.2	<0.2	7.2	3.2	29.3	0.151	NC	NC
20%-5 m	7.7	0.4	0.3	15.2	8.0	60.8	0.532	0.015	0.083
20%-10 m	5.9	0.2	<0.2	0.8	3.6	44.3	0.021	0.003	NC
20%-15 m	4.1	<0.2	<0.2	15.7	12.9	30.6	0.293	NC	NC
30%-5 m <sup>b)</sup>	8.2	1.5	<0.2	21.2	14.6	53.0	0.795	0.102	NC
30%-10 m <sup>b)</sup>	4.1	<0.2	<0.2	22.9	16.6	44.5	0.432	NC	NC
30%-15 m <sup>b)</sup>	3.8	0.5	<0.2	26.0	23.3	29.7	0.454	0.051	NC

<sup>a)</sup> $[\text{Concentration (A } \mu\text{g L}^{-1})] \times \{\text{Runoff (B mm)}\} / [\text{Application rate (C mg m}^{-2})] \times 100 = 0.1 \cdot \text{AB} / \text{C} (\%)$ .

<sup>b)</sup>Average of two replicates.

<sup>c)</sup>Not calculated.

**Table 5.** Losses of fluazinam through runoff from pepper field lysimeter plots with contour ridge vinyl-mulched in 2004

Slope-length	Concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$			Runoff water, mm			Loss rate, % <sup>a)</sup>		
	8.19	9.8	9.12	8.19	9.8	9.12	8.19	9.8	9.12
10%-5 m	0.2	<0.1	<0.1	10.1	4.1	8.7	0.006	NC <sup>b)</sup>	NC
10%-10 m	0.2	<0.1	<0.1	7.5	3.1	5.9	0.008	NC	NC
10%-15 m	0.1	<0.1	<0.1	5.1	1.9	2.9	0.004	NC	NC
20%-5 m	0.2	<0.1	<0.1	26.7	6.3	7.8	0.014	NC	NC
20%-10 m	0.1	<0.1	<0.1	20.2	4.4	7.3	0.022	NC	NC
20%-15 m	0.1	<0.1	<0.1	17.0	3.7	7.6	0.021	NC	NC
30%-5 m	0.3	<0.1	<0.1	30.1	11.5	17.3	0.029	NC	NC
30%-10 m	0.1	<0.1	<0.1	26.6	9.6	11.3	0.013	NC	NC
30%-15 m	0.3	<0.1	<0.1	17.8	4.3	7.2	0.044	NC	NC

- All data are averages of three replicates or values from composited samples.

<sup>a)</sup> $[\text{Concentration (A } \mu\text{g L}^{-1})] \times \{\text{Runoff (B mm)}\} / [\text{Application rate (C mg m}^{-2})] \times 100 = 0.1 \cdot \text{AB} / \text{C} (\%)$ .

<sup>b)</sup>Not calculated.

길이의 증가에 따라 농약 유실률이 줄어든 것은 등고선 방향 두둑에 의한 물 유출 지연 효과로 생각된다.

#### 농약 유출에 대한 두둑 방향과 피복의 효과

고추재배포장의 두둑의 방향 및 피복 유무에 따른 물 유출량과 fluazinam의 유출 양상을 종합한 결과를 Table 7에 나타내었다. 비닐로 피복하지 않은 대조구에 비하여 등고선 방향 비닐피복구의 물 유출량은 줄어든 경향이었으나 경사도 30%구에서는 물 유출량의 차이가 없는 것으로 나타났으며, 상하경 비닐피복구의 물유출량은 대조구에 비하여 10~40% 정도 증가하였다. Fluazinam의 유출 최고농도는 등고선방향 비닐피복구  $4.1\sim 9.2 \mu\text{g L}^{-1}$ , 상하경 비닐피복구  $7.0\sim 8.4 \mu\text{g L}^{-1}$  및 등고선방향 무피복구  $4.6\sim 12.1 \mu\text{g L}^{-1}$ 이었고, fluazinam의 유출률은 등고선방향 비닐피복구의 경우

0.15~0.90%, 상하경 비닐피복구 0.85~1.19% 및 대조구 0.39~1.38%로 경사도에 따라 유출률이 증가하는 것으로 나타났다. 비닐피복과 두둑 방향이 농약의 유출 최고농도에 미치는 영향은 크지 않았으나 처리구별 물유출량의 차이로 fluazinam의 유출률은 차이가 있었다. 경사장 5 m구와 누수가 있었던 처리구를 제외하면 등고선방향 비닐피복에 의하여 유출률이 대조구의 30~60% 수준으로 감소하였으나 상하경 비닐피복의 유출률은 대조구의 140~230%으로 증가하였다. 등고선방향 비닐피복에 의하여 유출률이 줄어든 것은 유출수의 감소에 따른 직접적인 효과로 설명할 수 있으며, 상하경 비닐피복의 경우에 유출농도와 유출률이 높게 나타나는 것은 물 유출량이 많고 강우가 포장 내에 머무르는 시간이 짧아 작물체나 비닐표면에서 씻겨 내린 잔류농약이 토양입자에 흡착되거나 침투수에 의하여 토심내로 이동될 수

**Table 6.** Losses of fluazinam through runoff from pepper field lysimeter plots with contour ridge vinyl-mulched in 2005

Slope-length	Concentration, $\mu\text{g L}^{-1}$			Runoff water, mm			Loss rate, % <sup>a)</sup>		
	7.28	8.1	8.4	7.28	8.1	8.4	7.28	8.1	8.4
10%-5 m	2.0	1.6	< 0.1	16.0	13.7	5.9	0.11	0.07	NC <sup>b)</sup>
10%-10 m	3.5	2.0	< 0.1	14.2	12.3	3.2	0.16	0.08	NC
10%-15 m	3.5	2.1	< 0.1	8.3	8.5	1.2	0.10	0.06	NC
20%-5 m	3.2	1.2	< 0.1	12.6	1.1	4.0	0.13	0.05	NC
20%-10 m	3.8	1.2	< 0.1	14.8	13.3	4.1	0.19	0.05	NC
20%-15 m	3.0	1.3	< 0.1	13.9	12.7	5.4	0.14	0.06	NC
30%-5 m	2.5	0.9	< 0.1	26.9	20.8	10.4	0.22	0.06	NC
30%-10 m	3.4	1.5	< 0.1	24.7	19.3	8.4	0.28	0.09	NC
30%-15 m	3.5	1.2	< 0.1	21.4	18.4	7.3	0.25	0.07	NC

- All data are averages of three replicates or values from composited samples.

<sup>a)</sup> $[\text{Concentration (A } \mu\text{g L}^{-1}) \times \{\text{Runoff (B mm)}\}] / [\text{Application rate (C mg m}^{-2})] \times 100 = 0.1 \cdot \text{AB} / \text{C} (\%)$ .

<sup>b)</sup>Not calculated.

**Table 7.** Losses of fluazinam through runoff from pepper field lysimeter plots, I, control; II, contour-vinyl mulching; III, downward-vinyl mulching

Slope-length	$C_{\text{Max}}$ , $\mu\text{g L}^{-1}$			Runoff water, mm			Loss rate, %		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
10%-5 m	5.0	7.8	NT <sup>a)</sup>	20.4	19.1	NT	0.39	0.68	NT
10%-10 m	4.6	4.9	7.1	20.1	7.1	22.5	0.51	0.14	0.90
10%-15 m	5.3	4.6	7.5	12.8	8.0	17.5	0.41	0.15	0.95
20%-5 m	4.9	7.7	7.0	21.6	16.6	27.7	0.51	0.63	1.19
20%-10 m	9.2	5.9	8.4	15.1	8.5	21.0	0.63	0.02	1.03
20%-15 m	6.5	4.1	6.6	16.4	13.6	17.0	0.62	0.29	0.85
30%-5 m	12.1	9.2	NT	22.3	19.0	NT	1.38	0.90	NT
30%-10 m	7.4	5.9	NT	18.8	19.5	NT	0.80	0.43	NT
30%-15 m	5.9	4.9	NT	15.3	18.3	NT	0.87	0.50	NT

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

있는 기회가 적었기 때문으로 생각된다.

두둑 방향과 피복 유무에 따른 토양과 fluazinam의 유실 양상을 종합한 결과를 Table 8에 나타내었다. 대조구에 비하여 등고선방향 비닐피복구의 토양 유실량은 경사도 30% 구에서만 약간 줄어드는 양상이었으며 상하경 비닐피복구의 토양 유실량은 대조구에 비하여 10% 및 20% 경사에서 4~20배 증가하였다. 토양유실에 의한 fluazinam의 유출률은 상하경 비닐피복구를 제외한 10% 경사구와 20% 경사구 대부분에서 0.00~0.21%, 30% 경사구는 0.15~1.05%이었으며, 상하경 비닐피복구의 fluazinam의 유출률은 경사도 10%구와 20%구에서 각각 0.47~1.59%와 0.75~1.05%이었다.

농약살포 후 토양과 고추잎 중 fluazinam의 잔류감소 양상을 Fig. 1에 나타내었다. 농약살포 10일 경과 후 고추밭 토양 중 fluazinam의 잔류농도는 0.007~0.059 mg kg<sup>-1</sup>이었고 살포 111일 경과 후에는 0.002 mg kg<sup>-1</sup> 미만으로 감소하

였고, fluazinam의 토양반감기는 20일로 계산되었다.

고추잎 중에서는 살포 당일 16 mg kg<sup>-1</sup>이었으나 10일 경과 후에는 최대 0.04 mg kg<sup>-1</sup>, 평균 0.02 mg kg<sup>-1</sup> 수준으로 감소하였고 20일 경과 후에는 검출한계(0.01 mg kg<sup>-1</sup>) 미만이었다.

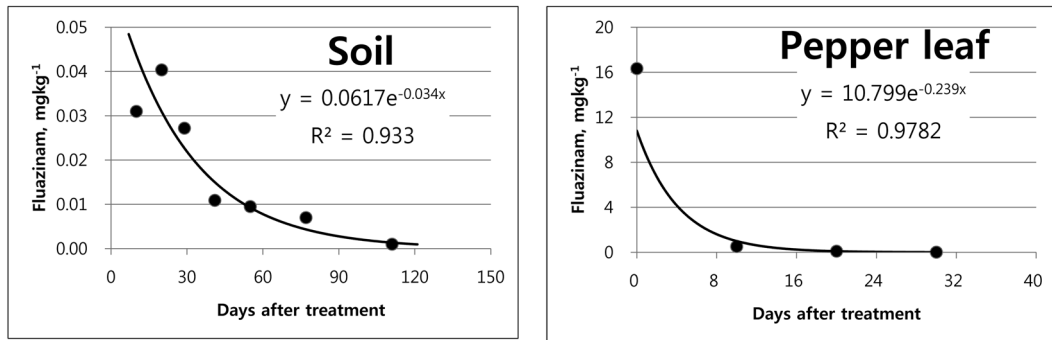
## 결론

Fluazinam의 경우 살포 20일 이내에 130 mm 정도의 강우가 오면 탈착 가능한 잔류분은 대부분 씻겨 내리는 것으로 나타났고, 고추밭 유출수 중 fluazinam의 농도는 10  $\mu\text{g L}^{-1}$  수준을 크게 초과하지는 않아 수서생물에 대한 영향 가능성은 낮을 것으로 생각되었다. 등고선방향 비닐멀칭은 비닐멀칭에 비하여 유출수에 의한 유실을 줄이는 효과가 있었으나 상하경 비닐멀칭은 유출수에 의한 유실뿐 아니라 심각한 토양유실을 초래하는 것으로 나타났다.

**Table 8.** Losses of fluzinam through erosion from pepper field lysimeter plots, I, control; II, contour-vinyl mulching; III, downward-vinyl mulching

Slope-length	C <sub>Max</sub> , mg kg <sup>-1</sup>			Erosion soil, kgm <sup>-2</sup>			Loss rate, %		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
10%-5 m	0.45	1.41	NT <sup>a)</sup>	0.17	0.15	NT	0.21	0.64	NT
10%-10 m	0.60	0.01	0.23	0.17	0.05	0.89	0.14	0.00	0.47
10%-15 m	1.08	0.01	0.46	0.11	0.12	1.55	0.17	0.00	1.59
20%-5 m	0.23	0.09	0.26	0.38	0.71	1.54	0.19	0.12	0.89
20%-10 m	0.14	0.10	0.22	0.21	0.17	2.25	0.07	0.04	1.05
20%-15 m	0.15	0.06	0.11	0.45	0.37	2.89	0.09	0.05	0.75
30%-5 m	0.25	0.25	NT	0.50	0.71	NT	0.22	0.32	NT
30%-10 m	0.11	0.12	NT	0.85	1.33	NT	0.15	0.36	NT
30%-15 m	0.14	0.16	NT	2.41	1.87	NT	1.05	0.79	NT

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



**Fig. 1.** Dissipation of fluzinam in pepper field lysimeter soil and in/on pepper leaf.

**감사의 글**

본 연구는 2003년부터 2005년까지 수행한 농촌진흥청의 “고추재배 경사지 발토양 중 농약의 이동성 연구”와 2012년부터 2014년까지 계획된 농촌진흥청의 “농약행적 예측기검과 잔류모니터링을 조합한 수계오염성 평가(과제번호 : PJ008631)”의 연구비 지원으로 수행된 결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

**Literature Cited**

European Food Safety Authority (2008) Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance fluzinam. pp. 82.  
 FOCUS (2004) FOCUS surface water scenarios in the EU evaluation process under 91/414/EEC. pp. 294.  
 Jarvis, N. J., J. M. Hollis, P. H. Nicholls, T. Mayer and S. P. Evans (1997) MACRO\_DB : A decision-support tool for assessing pesticide fate and mobility in soils. Environmental Modelling & Software 12:251-265.

Kim, K., J. H. Kim and C. K. Park (1997) Pesticide runoff from soil surface by rainfall. Korean J. Environ. Agric. 16(3): 274-284.  
 Kim, S. S., Kim, T. H. Kim, S. M. Lee, D. S. Park, Y. Z. Zhu and J. H. Hur (2005) Mobility of pesticides in different slopes and soil collected from Gangwon alpine sloped-land under simulated rainfall conditions. Korean J. Pestic. Sci. 9(4):316-329.  
 Kim, C. S., Y. B. Ihm, Y. D. Lee and B. Y. Oh (2006) Runoff and erosion of alachlor, ethalfluralin, ethoprophos and pendimethalin by rainfall simulation. Korean J. Environ. Agric. 25(4):306-315.  
 Kim, C. S., H. D. Lee, Y. B. Ihm and G. J. Im (2007) Runoff of endosulfan by rainfall simulation and from soybean-grown field lysimer. Korean J. Environ. Agric. 26(4):343-350.  
 Kim C. S., B. M. Lee, K. H. Park, B. J. Park, J. E. Park and Y. D. Lee (2010) Simultaneous determination of pesticide residues in soils by dichloromethane partition - adsorption chromatography - GC-ECD/NPD analytical methods. Korean J. Pestic. Sci. 14:361-370.  
 Korea Crop Protection Association. (2012a) Agrochemicals use guide book.

- Korea Crop Protection Association. (2012b) Agrochemicals year book.
- Leonard, R. A. (1990) Movement of pesticides into surface waters, In Pesticides in the soil environment: processes, impacts and modeling. H. H. Cheng, (Ed.), Soil Science Society of America, Madison, WI. 303-349.
- McCall, P. J., R. L. Swann, D. A. Laskowski, S. M. Unger, S. A. Vrona and H. J. Dishburger (1980) Estimation of chemical mobility in soil from liquid chromatographic retention times. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 24:190-195.
- Moon, Y. H., Kim, Y. T. Kim, Y. S. Kim and S. K. Han (1993) Simulation and measurement of degradation and movement of insecticide ethoprophos in soil. Korean J. Environ. Agric. 12(3):209-218.
- Roberts, T. R. (1996) Assessing the environmental fate of agrochemicals. J. Environ. Sci. Health. B31:325-335.
- Tomlin, C. (ed.) (2003) The pesticide manual (13th ed.). British Crop Protection Council.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1978) Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook No. 537.

## 고추재배 포장 라이시메타를 이용한 fluazinam의 유출 평가

김찬섭\* · 임양빈 · 권혜영 · 임건재

농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부

**요약** 작물재배 관행과 지형에 의한 농약의 유실양상의 차이를 파악하고자 고추재배 경사지 포장에서 농약유출 실험을 수행하였다. Fluazinam 50% 수화제를 2003년부터 2005년까지 7월 중에 살포한 후 작물체를 씻어 내리는 빗물(wash-off), 유출수, 유실토 및 토양 중 fluazinam의 잔류소실 양상을 추적하였다. 농약살포 후 작물체 표면에 부착되었던 fluazinam이 빗물에 씻겨 내리는 정도는 살포량의 1.4~8.2%이었다. Fluazinam의 유출률은 등고선방향 비닐 피복구의 경우 1년차 0.14~0.90%, 2년차 0.01~0.04%, 3년차 0.16~0.37%이었고 상하경 비닐피복구 0.47~1.59% 및 등고선방향 무피복구 0.07~1.05%로 경사도에 따라 유출률이 증가하는 것으로 나타났다. 첫 번 유출에 의한 fluazinam의 유출농도는 대부분  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  이하였다. 상하경 비닐피복구를 제외한 토양유실에 의한 fluazinam의 포장 외부로의 경사도별 유출률은 10% 경사구와 20% 경사구는 0.00~0.21%이었고 30% 경사구는 0.15~1.05%이었으며, 상하경 비닐피복구의 유실률은 경사도 10%구와 20%구에서 각각 0.47~1.59%와 0.75~1.05%이었다. 농약살포 10일 경과 후 비닐피복부분을 제외한 고추밭 토양 중 fluazinam의 잔류농도는  $0.007\sim 0.059 \text{ mg kg}^{-1}$ 이었고 토양반감기 20일의 속도로 소실되어 살포 60일 경과 후에는  $0.01 \text{ mg kg}^{-1}$  미만으로 감소하였다.

**색인어** 플루아지남, 유출, 토양유실, Wash-off, 고추