

## 벼 재배 토양과 토양수 중 잔류농약 모니터링

노현호 · 이재윤 · 박소현 · 정오석 · 김서홍 · 경기성\*

충북대학교 농업생명환경대학 환경생명화학학과

(Received on June 2, 2012. Revised on June 15, 2012. Accepted on June 22, 2012)

### Monitoring of pesticide residues in rice paddy soil and paddy water

Hyun-Ho Noh, Jae-Yun Lee, So-Hyun Park, Oh-Seok Jeong, Seo-Hong Kim and Kee-Sung Kyung\*

Department of Environmental and Biological Chemistry, College of Agriculture, Life and Environmental Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

#### Abstract

In order to monitor the pesticide residues in rice paddy soils and paddy waters in Korea and evaluate leachabilities to groundwater of the pesticides detected, paddy soils and paddy waters were collected twice from 40 sites of rice growing paddy fields in July and August in 2011, respectively. Pesticide residues in the samples were analyzed by multi-residue method with GC and HPLC. Five pesticides, such as butachlor, cypermethrin, iprobenfos, oxadiazon, and pendimethalin were detected from thirteen paddy soils and detection rate was about 16.3%, while no pesticide was detected in paddy water. As a results of the estimation of leachabilities for the pesticides detected using GUS (groundwater ubiquity score), their GUSs were less than 1.3, representing they have no potentials to leach into groundwater.

**Key words** Paddy soil, Paddy water, Monitoring, Pesticide residue, GUS

#### 서 론

작물의 재배과정에서 농약의 사용은 작물의 생산성을 증가시키는 필수적인 요소이며, 노동력을 절감하고 농산물의 질을 향상시키는데 크게 공헌하고 있다(Yun et al., 2009). 농약은 농작물에 해를 끼치는 병해충을 방제하지만 대부분의 농약은 토양과 대기 등의 환경으로 유실 또는 휘발되면서 비표적 생물에 영향을 끼치는 양면성도 지니고 있다(Park et al., 2011). 특히 물에 희석하지 않고 입제 등의 형태로 토양에 직접 살포되는 농약은 대부분 토양에 잔류하고 일부 용탈성 농약은 지하수로 용탈되어 수계를 오염시킬 가능성이 있다(Lynton et al., 1996; Lee, 2010).

토양 표면에 부착된 농약은 수용해도, 토양 중 이동성 및

흡착성 등 농약의 특성, 토양의 pH, 유기물 함량 및 미생물 활성 등 토양의 특성 및 강우와 기온 등의 환경 요인으로 지하수로 유입되게 된다. 실제로 용탈 가능성이 높은 농약 중 alachlor 등이 외국의 지하수에서 검출되었다는 보고가 있다(Oh et al., 2002).

Park et al. (2011)은 전국 논토양과 시설하우스 토양 중 잔류농약을 모니터링한 결과 논토양에서 carpropamid 등 11종의 농약이 검출되었으며, 시설하우스 토양의 경우 hexaconazole 등 22종의 농약이 검출되었다고 보고하였다. Kim et al. (2008)은 실제 포장에서 인공강우를 이용하여 carbendazim 등 7종 농약의 토양 중 이동 특성을 연구한 결과 포장의 경사도별 차이는 있지만 모든 농약이 유출수에 의하여 용탈되었다고 보고하였다. 또한 Oh et al. (2002)은 제주도 토양 중 농약의 용탈 잠재성을 평가한 결과 metribuzin, metolachlor, alachlor, linuron 및 diuron은 용탈가능성이 있다고 평가하였으나 diniconazole, chlorothalonil 및 chlorpyrifos는 용탈가능성

\*Corresponding author: Tel. +82-43-261-2562

Fax. +82-43-271-5921, E-mail. kskyung@chungbuk.ac.kr

이 없다고 평가하였다.

토양에 잔류하는 농약 중 침투성 농약은 후작물에 이행되어 영향을 미치게 된다. Park et al. (2004)은 endosulfan과 procymidone을 토양에 살포한 후 열무, 배추, 무, 당근을 재배하여 작물 흡수 특성을 구명하였는데 두 농약 모두 작물로 흡수 이행되었으며, 배추와 무의 흡수 정도가 가장 높았지만 모두 잔류허용기준 이하이었다고 보고하였다.

위와 같이 몇 가지 농약의 유출 가능성, 후작물 이행 가능성 등을 연구한 결과는 비교적 많은 편이지만 토양 중 잔류농약을 모니터링하여 실제 잔류되고 있는 정도를 구명하는 연구는 활발히 진행되고 있지 않은 실정이다. 실제로 국립농산물품질관리원에서도 2009년도 59,104건의 안전성 조사를 실시하였지만 이 중 농경지의 안전성 조사는 전체의 약 0.03%인 19건뿐이었다(NAQS, 2010). 서울특별시 보건환경연구원에서도 14,173건의 시료를 수거하여 잔류농약을 분석하여 결과를 공개하고 있지만 토양 중 잔류농약 분석은 45개 농가에 그치고 있으며, 검사항목도 8성분에 그치고 있다(SIHE, 2011).

따라서 본 연구는 전국 주요 벼 재배 지역의 논토양과 논물을 채취하여 잔류농약을 분석하고 검출농약의 지하수 용탈 가능성을 평가하기 위하여 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 시료 채취

시료는 우리나라 주요 곡창지대와 전국 분포도를 고려하여 경남 김해 등 전국 40지역의 논에서 농약을 많이 살포하는 시기인 2011년 7월과 8월 2회에 걸쳐 논토양과 논물을 총 160점을 채취하였다. 제주도는 벼 재배 농가가 없기 때문에 시료 채취 지역에서 제외하였으며, 시료채취 지역을 Table 1에 제시하였다.

### 분석대상농약, 시약 및 기구

분석대상농약은 가스크로마토그래프(gas chromatograph, GC)와 고성능액체크로마토그래프(high performance liquid chromatograph, HPLC)로 다성분동시분석이 가능한 살충제 120종, 살균제 77종 및 제초제 43종 등 총 240종이었다(Lee et al., 2012). 잔류농약 분석에 사용된 농약 표준품은 Dr. Ehrenorfer GmbH(독일) 제품을 사용하였으며, 추출 및 정제에 사용한 acetone, *n*-hexane 및 dichloromethane은 SK Chemicals(한국)의 잔류농약 분석 등급을 사용하였다. 또한 HPLC의 이동상, 표준용액 조제 및 재용해용 유기용매는 Burdick & Jackson사(미국)의 제품을 사용하였으며, 정제 과정에 사용된 Florisil SPE cartridge (1,000 mg, 6 mL)와 NH<sub>2</sub> SPE cartridge (1,000 mg, 6 mL)는 Phenomenex사(미국)의 제품을 사용하였다. 논물 시료의 dichloromethane 분배액은 EYELA사(일본)의 감압농축기를 이용하여 농축하였다.

### 분석용 시료조제 및 잔류농약 분석

분석용 시료는 Noh et al. (2011)과 Lee et al. (2012)의 방법과 같이 현재 국립농산물품질관리원에서 시행하고 있는 방법에 준하여 조제하였으며, 분석 기기별 시료 조제 방법은 아래와 같다.

### GC 분석용 시료 조제

토양 50 g을 200 mL polyethylene 용기에 담고 100 mL의 acetonitrile을 넣어 30분간 진탕한 후 NaCl 20 g을 첨가하고 30분간 다시 진탕하였으며, 이를 3,000 rpm에서 3분간 원심분리한 후 상징액 10 mL를 시험관에 취하여 질소 가스로 농축하였다. 논물 시료의 경우는 여과한 논물 200 mL에 포화식염수 50 mL를 넣고 50 mL의 dichloromethane으로 2회 분배하여 합한 후 농축하였다. 논토양과 논물 추출액을 농축한 시료를 5 mL의 *n*-hexane:acetone (80:20, v/v) 혼합

**Table 1.** Sampling areas for the monitoring of pesticide residues in paddy soils and paddy waters

Province	Sampling area
Gyeonggi	Gimpo, Yeosu, Yongin, Icheon, Hawseong
Gangwon	Yanggu, Wonju, Cheorwon, Hongcheon, Hoengseong
Chungbuk	Okcheon, Eumsung, Jincheon, Cheongwon
Chungnam	Dangjin, Boryeong, Seosan, Yeongi, Cheonan, Hongseong
Jeonbuk	Gochang, Gunsan, Gimje, Jangsu
Jeonam	Gokseong, Naju, Muan, Boseong, Hampyeong, Haenam
Gyeongbuk	Gimcheon, Andong, Yeongju, Yeongcheon, Pohang
Gyeongnam	Gimhae, Sancheong, Ulju, Jinju, Hamyang

용매로 재용해하여 5 mL의 *n*-hexane:acetone (80:20, v/v) 혼합용매로 conditioning한 SPE cartridge (Florisil, 1,000 mg) 에 2 mL을 가하여 흘려버리고, 5 mL의 *n*-hexane:acetone (80:20, v/v) 혼합용매로 농약을 용출하였다. 용출액은 질소 가스로 농축하고 2 mL의 *n*-hexane:acetone (80:20, v/v) 혼합용매에 재용해하여 Table 2의 방법으로 잔류농약을 분석

하였으며, 분석결과 농약으로 의심되는 peak가 검출될 경우 Table 3의 방법으로 GC-MSD를 이용하여 재확인하였다.

**HPLC 분석용 시료 조제**

토양 50 g을 200 mL polyethylene 용기에 담고 100 mL 의 acetonitrile을 넣어 30분간 진탕한 후 NaCl 20 g을 첨가

**Table 2.** GC-ECD/NPD conditions for the analysis of pesticide residues in paddy soils and paddy waters

Instrument	Gas chromatograph, Agilent 7890 Network, agilent, U.S.A		
Detector	Electron capture detector (ECD), nitrogen-phosphorus detector (NPD)		
Column	DB-5 (30 m L. × 0.25 mm I.D., 0.25 µm film thickness)		
	Oven		
	Calescence (°C/min)	Temperature (°C)	Hold time (min)
Temperature		80	2
	10	200	2
	2	220	4
	10	300	4
	Injector: 250°C, Detector: 310°C		
Flow rate	Carrier (N <sub>2</sub> ) : 1 mL/min for ECD and NPD		
	Hydrogen (H <sub>2</sub> ) : 3 mL/min for NPD		
	Air : 60 mL/min for NPD		
	Make-up (N <sub>2</sub> ) : 60 mL/min for ECD and 5 mL/min for NPD		
Split ratio	60:1 for GC-ECD and splitless for GC-NPD		
Injection volume	1 µL		

**Table 3.** GC-MSD conditions for the analysis of pesticide residues in paddy soils and paddy waters

Instrument	Gas chromatograph, Agilent 6890 Network, agilent, U.S.A		
Detector	Mass selective detector (MSD)		
Column	DB-5MS (30 m L. × 0.25 mm I.D., 0.25 µm film thickness)		
	Oven		
	Calescence (°C/min)	Temperature (°C)	Hold time (min)
Temperature		80	2
	10	200	2
	2	220	4
	10	300	4
	Injector : 250°C		
	Source : 230°C		
	Quad : 150°C		
	Interface : 280°C		
Flow rate	Carrier gas (He) 1 mL/min		
Solvent delay time	4 min		
Split mode	Splitless		
Injection volume	1 µL		

하고 다시 30분간 진탕하였으며, 이를 3,000 rpm에서 3분간 원심분리한 후 상징액 10 mL를 test tube에 취하여 질소 가스로 농축하였다. 논물 시료의 경우는 여과한 논물 200 mL에 포화식염수 50 mL를 넣고 50 mL의 dichloromethane으로 2회 분배하여 합한 후 농축하였다. 논토양과 논물 추출액을 농축한 시료를 2 mL의 methanol:dichloromethane (5:95,

v/v) 혼합용매로 재용해한 후 5 mL의 dichloromethane으로 conditioning한 SPE cartridge (NH<sub>2</sub>, 1000 mg)에 1 mL을 가하여 흘려버리고 5 mL의 methanol:dichloromethane (5:95, v/v)으로 농약을 용출하였다. 용출액은 질소가스로 농축하고 2 mL의 acetonitrile에 재용해한 후 Table 4와 5의 방법으로 잔류농약을 분석하였다.

**Table 4.** HPLC-DAD conditions for the analysis of pesticide residues in paddy soils and paddy waters

Instrument	1200 Series High Performance Liquid Chromatograph, Agilent, U.S.A			
Detector	Diode array detector (DAD)			
Column	CAPCELL PAK C18 (4.6 mm I.D. x 150 mm L., 5 µm)			
Wavelength	254 nm (group 1,2) 230 nm (group 3)			
Mobile phase	Gradient (A : acetonitrile, B : water)			
	Time (min)	A (%)	B (%)	Flow rate (mL/min)
	0	15	85	1
	10	60	40	1
	25	80	20	1
	26	85	15	1.5
	28	85	15	1
	30	90	10	1
	35	100	0	1
	40	100	0	1
	41	15	85	1
	45	15	85	1
Injection volume	10 µL			

**Table 5.** HPLC-FLD conditions for the analysis of pesticide residues in paddy soils and paddy waters

Instrument	1200 Series High Performance Liquid Chromatograph, Agilent, U.S.A			
Post reactor	VECTOR PCX, Pickering laboratories			
Detector	Fluorescence detector (Ex. : 340 nm, Em. : 455 nm)			
Column	CAPCELL PAK C18 (4.6 mm I.D. x 150 mm L., 5 µm)			
Reactor Temp	100°C			
Post reactor pump	Pump 1 : Hydrolysis reagent (0.3 mL/min)			
	Pump 2 : <i>O</i> -Phthalaldehyde (0.3 mL/min)			
Mobile phase	Gradient (A : acetonitrile, B : water)			
	Time (min)	A (%)	B (%)	Flow rate (mL/min)
	0	20	80	1.0
	2	20	80	1.0
	25	70	30	1.0
30	20	80	1.0	
Injection volume	10 µL			

**지하수 오염 가능성 평가**

토양 중 잔류농약의 지하수 오염 가능성은 토양흡착계수와 반감기를 이용하여 농약의 용탈 가능성을 평가하는 GUS (groundwater ubiquity score) 모델을 이용하여 평가하였으며, GUS 산출식은 다음과 같다(Gustafson, 1989).

$$GUS = \log_{10} T1/2 \times (4 - \log_{10} Koc)$$

T1/2 = 반감기

GUS 산출에 필요한 토양흡착계수(soil adsorption coefficient, Koc)와 반감기는 공개된 국내 성적이 전무하기 때문에 미국 EPA에 농약의 기본정보를 제공하는 OSU (Oregon State University)의 DB를 이용하였다(Vogue et al., 1994; Kim et al. 2006). 산출된 검출농약의 GUS를 Gustafson의 용탈 가능성 지표와 비교하였으며, GUS가 2.8 이상이면 토양 중 잔류농약의 용탈 가능성이 높은 것으로, 1.8 이하일 경우에는 용탈 가능성이 없는 것으로, 1.8-2.8일 경우는 용탈 가능성이 있는 것으로 평가하였다(Oh et al., 2002).

**결과 및 고찰**

**논토양 및 논물 중 농약 검출 현황**

논토양 및 논물 중 농약검출 내역은 Table 6에 제시한 바와 같이 80점의 논토양 중 13점의 토양에서 oxadiazon 등 5종의 농약이 검출되어 검출율은 16.3%이었다. 논토양의 경

우 7월에 채취한 40점의 시료 중 11점에서 oxadiazon 등 3종의 농약이 검출되어 27.5%의 검출율을 보였으며, 8월 채취 시료의 경우 2점의 시료에서 3종의 농약이 검출되어 5%의 검출율을 보였다. 8월 채취 시료보다 7월 채취 시료에서 검출된 농약이 많은 이유는 7월은 잦은 비와 저온현상으로 인하여 농약 사용이 비교적 많았기 때문인 것으로 판단되었다. 또한 2011년 8월의 강수일은 평년인 17.7일보다 4.5일이 많았을 뿐만 아니라 대부분 집중호우이었기 때문에 강우로 인한 유실로 농약의 검출율이 낮았던 것으로 판단되었다(KMA, 2011). Yun et al. (2008)도 논과 밭 토양 중 잔류농약을 분석한 결과 6월과 7월에 채취한 시료 중 잔류농약 검출율이 8월과 9월에 채취한 시료보다 더 높았다고 보고한 바 있다.

또한 지역별로는 충남과 전남이 각각 3점의 시료에서 농약이 검출되어 가장 높은 검출율을 보였으며, 경남의 경우에는 농약이 검출되지 않아 같은 시기의 시료라 하더라도 지역적으로 차이가 있었다. 충남과 전남의 경우 벼 재배 단지가 다른 도에 비해 많고 10a당 농약의 사용비율이 타도에 비해 많은 점으로 미루어 볼 때 농약의 높은 사용 빈도도 한 원인인 것으로 추정되었다(KOSTAT, 2011).

논물 시료의 경우 모든 시료에서 대상농약이 검출되지 않았는데 이는 시료 채취시기가 장마기였기 때문에 강우에 의한 수중 잔류농약의 희석 및 유실에 의하여 검출되지 않은 것으로 추정되었다. Park et al. (2004)은 강원 일부 지역의 관개수와 하천 중 잔류농약을 분석한 결과 모두 농약이 검출되지 않았으며, 이는 살포된 농약이 장마기간 동안 강우에 의하

**Table 6.** Pesticides detected and their concentration in paddy soils

Sampling month	Sampling area	Pesticide detected	Residue (mg/kg)	
July	Gangwon	Hoengseong	Butachlor	0.176
		Cheolwon	Oxadiazon	0.049
	Gyeonggi	Icheon	Iprobenfos	0.059
		Haenam	Butachlor	0.064
	Jeonnam	Muan	Oxadiazon	0.359
		Hampyeong	Oxadiazon	0.066
	Jeonbuk	Jangsu	Iprobenfos	0.008
			Oxadiazon	0.093
			Oxadiazon	0.071
	Chungnam	Seosan	Oxadiazon	0.028
		Cheonan	Oxadiazon	0.045
	Chungbuk	Jincheon	Oxadiazon	0.069
	August	Gyeongbuk	Youngcheon	Pendimethalin
Chungbuk		Okcheon	Cypermethrin	0.200
			Iprobenfos	0.570

여 희석된 결과라고 보고한 바 있다.

## 농약별 검출현황 및 특성

### Oxadiazon

Oxadiazon은 80점의 논토양 중 8점의 시료에서 0.028-0.359 mg/kg 범위로 검출되었으며, 검출율은 10%로 가장 높았다. 지역별로는 충남지역의 3점 시료에서 oxadiazon이 검출되어 가장 높은 검출빈도를 보였으며, 전남 2점, 충북, 전북 및 강원에서 각각 1점의 시료에서 검출되었다. Oxadiazon은 일년생잡초를 방제하는 수도용 제초제로 널리 사용되고 있으며(KCPA, 2011), 경기도와 경상도를 제외한 모든 토양에서 검출된 점으로 미루어 볼 때 비교적 많이 사용되는 농약인 것으로 추정되었다. Park et al. (2011)은 전국 150점의 논토양을 2007년에 채취하여 잔류농약을 분석한 결과 oxadiazon이 0.001-0.836 mg/kg의 범위로 검출되어 검출빈도가 19.3%로 가장 높았는데 이는 다른 불검출 농약에 비해 2006년도 사용량이 많았고, 토양 중 반감기도 31-91일로 비교적 길기 때문이라고 보고하였다. Lee et al. (1998)은 oxadiazon이 유기물 함량이 높은 토양에 흡착율이 높아 오랜 기간 잔류한다고 보고하였다. 또한 oxadiazon은 7월 채취시료에서 검출된 반면 8월 시료에서는 검출되지 않았는데 이는 씨레질 직후부터 이앙 2일전까지 사용하는 안전사용기준을 미루어 보면 토양 중 oxadiazon이 초기에는 잔류하였으나 환경 중 분해 및 강우에 의한 유실로 점차 감소하여 8월에는 검출되지 않은 것으로 판단되었다(KCPA, 2011).

### Iprobenfos

Iprobenfos는 벼 도열병을 방제하는 유기인계 살균제로 침투이행성 농약이며, 예방 및 치료 효과가 우수하여 수도에 많이 사용되는 농약이다(KCPA, 2011). 80점의 논토양 중 경기 이천, 충북 옥천 및 전북 장수 토양에서 irobenfos가 검출되어 약 4%의 검출율을 보였으며, 0.008-0.57 mg/kg의 범위로 잔류하였다. Iprobenfos는 입제 형태로 살포되는 농약으로 수용해도가 0.54 g/L로 물에 비교적 잘 녹지 않아 토양 중 잔류하는 것으로 판단되었다(Tomlin, 2006). Jo (2012)는 충북지역 친환경농업, 우수농산물농업(good agriculture practice, GAP) 및 관행농업 재배단지의 논토양 81점 중 잔류농약을 분석한 결과 각각 14점, 4점 및 16점의 시료에서 iprobenfos가 검출되었다고 보고하였다. Park et al. (2009)은 충북 괴산군 한 곡간지에서 2004년 5월부터 9월까지 토양 중 acrinathrin 등 130종의 농약을 대상으로 잔류농약 분석한 결과 7월부터 9월까지 iprobenfos가 0.0005-0.009 mg/kg범

위로 검출되었다고 보고하였다.

### Butachlor

7월에 채취한 전남 해남과 강원 횡성 논토양에서 butachlor가 검출되었으며, 잔류량은 각각 0.064와 0.176 mg/kg이었고 검출율은 약 3%이었다. Butachlor는 파종 후 토양처리와 이앙 후 수면처리제로 등록되어 사용되고 있으며, 일년생 잡초를 방제하는 농약이다. 또한 이 농약은 수용해도가 비교적 낮은 농약으로 수면에 살포된 농약이 토양에 주로 잔류하게 되어 검출된 것으로 판단되었다. Park et al. (2011)은 전국의 논토양을 채취하여 잔류농약을 분석한 결과 butachlor가 1.3%의 검출율을 보였으며, 잔류범위는 0.035-0.158 mg/kg이었다고 보고하였다. Moon et al. (2000)은 butachlor, oxadiazon, pretilachlor 및 thiobencarb의 토양 흡착 실험 결과 48시간 동안 진탕하였을 경우 흡착량이 45-70%이었으며, 그 중 butachlor가 가장 높은 흡착율을 보였다고 보고하였다. 따라서 논에 살포된 butachlor는 논물에는 거의 존재하지 않고 토양에 흡착하여 장기간 잔류할 가능성이 높아 검출된 것으로 판단되었다.

### Cypermethrin과 pendimethalin

80점의 논토양 중 8월에 채취한 충북 옥천 토양에서 cypermerthrin이 0.2 mg/kg 검출되었으며, 경북 영천 토양에서 pendimethalin이 0.292 mg/kg 검출되었다. Cypermethrin은 고추, 배추 등의 발작물과 사과, 복숭아 등의 과실류에 등록되어 있고 수도용으로 등록되지 않은 살충제임에도 불구하고 검출된 것은 우리나라는 7월과 8월에 강우가 집중되어 근처 과수원이나 밭에 살포한 농약이 논으로 유입된 것으로 판단되었다. Park et al. (2009)은 2004년 5월부터 9월까지 농경지 중 잔류농약을 분석한 결과 장마 직후인 8월과 9월에 검출빈도가 가장 높았고 제초제보다는 살충제와 살균제의 검출율이 높았으며, cypermethrin이 0.001-0.038 mg/kg의 범위로 검출되었다고 보고하였다.

Chopra et al. (2010)은 실내에서 사양토를 채운 토양 컬럼에 pendimethalin을 처리한 용탈실험 결과 10 cm의 표층에 대부분 존재하였다고 보고하였다. 위와 같은 보고로 볼 때 논에 유입 또는 살포된 butachlor와 pendimethalin은 토양에 장기간 잔류할 가능성이 높다고 판단되었다. Park et al. (2011)은 전국 논토양과 시설하우스 토양 중 잔류농약을 모니터링하였을 때 1점의 논토양에서 pendimethalin이 0.037 mg/kg 검출되었다고 보고한 바 있다.

**Table 7.** Groundwater ubiquity scores (GUSs) of the pesticides detected from paddy soils

Pesticide	Log <sub>10</sub> T <sub>1/2</sub> <sup>a)</sup>	Log <sub>10</sub> Koc <sup>b)</sup>	GUS
Butachlor	1.1	2.8	1.2
Cypermethrin	1.5	5.0	-1.5
Iprobenfos	1.2	3.7	0.4
Oxadiazon	1.8	3.5	0.9
Pendimethlin	2.0	3.7	0.6

<sup>a)</sup>T<sub>1/2</sub> : half life of pesticide in soil

<sup>b)</sup>Koc : Soil adsorption coefficient

### 지하수 오염 가능성

검출농약의 GUS는 Table 7에 제시한 바와 같이 butachlor 1.2, cypermethrin -1.5, iprobenfos 0.4, oxadiazon 0.9 및 pendimethalin 0.6으로서 GUS 산출에 영향을 미치는 토양 중 반감기와 흡착률은 토양의 물리·화학적 특성에 의해 달라질 수 있기는 하지만 이 시험결과 시험농약은 모두 지하수로 용탈될 가능성이 없는 것으로 판단되었다. 검출된 농약의 Koc는 700-100,000으로 토양과 흡착력이 강하고 반감기도 12-90일로 보고되어 있다(Vogue et al., 1994). 또한 수용해도도 비교적 낮은 농약이기 때문에 토양에 오랜 기간 잔류할 뿐만 아니라 지하수로 유입될 가능성이 낮다고 판단되었다. Kim et al. (1990)은 유기물 함량과 입자크기에 따른 평형상태 도달 시간의 차이와 유기물 함량 차이에 의한 토양 중 butachlor의 Koc를 Freundlich 방정식을 이용하여 산출하였는데 흡착상수 K는 9.78이었고, 유기물 함량을 고려한 Koc는 543이었다고 보고하였다. 또한 이는 OSU DB의 보고와 유사하였으며, butachlor는 비교적 토양에 흡착이 잘되는 농약으로 판단하였다.

Kim et al. (2002)은 논·밭 및 산림토양 중 butachlor와 iprobenfos의 GUS를 Koc와 두 단계의 반감기를 이용하여 산출한 결과 각각 0.6-1.2와 2.0-3.3이었다고 보고하였다. Butachlor의 GUS는 OSU DB를 이용하여 산출한 결과와 유사하였지만 iprobenfos의 경우 차이가 있었는데 이는 유기물의 함량에 의해 Koc의 값의 변화가 있기 때문인 것으로 판단되었다. Lee et al. (2005)은 토양 column을 이용한 토성 및 자갈함량별 농약 이동 특성에서 column에 silty clay loam 토양을 채워 cypermethrin 1,000 mg/kg 표준용액 1 mL 첨가한 후 2 L씩 5회 분획하여 분석한 결과 용탈수에서 cypermethrin이 검출되지 않았다고 보고하였다.

### 감사의 글

이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

### >> Literature Cited

Chopra I., B. Kumari, S. K. Sharma (2010) Evaluation of leaching behavior of Pendimethalin in sandy loam soil, Environ. Monit. Assess 160:123~126.

Gustafson, D. I. (1989) Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability, Environ. Toxicol. Chem. 8:339~357.

Jo S. Y. (2012) Monitoring of Pesticide Residues and Heavy Metals in Paddy Soils, Chungbuk National University Master's Thesis.

Kim K., Y. H. Kim (1990) Adsorption of Butachlor on soils, Korean J. Environ. Agric. 9(2):105~111.

Kim S. S., T. H. Kim, S. M. Lee, H. R. Park, C. K. Lim, J. H. Hur (2008) Mobility of pesticides from soil in different slope by simulated rainfall under field conditions, The Korean Journal of Pesticide Science 12(1):24~33.

Kim C. S., B. M. Lee, Y. B. Ihm, J. H. Choi (2002) Leaching potential of Butachlor, Ethoprophos, Iprobenfos, Isoprothiolane and Procymidone in soils as affected by adsorption characteristics, The Korean Journal of Pesticide Science 6(4): 309~319.

Kim C. S., H. D. Lee, Y. B. Ihm, J. H. Kim, G. J. Im, B. Y. Oh (2006) Assessment of leaching potential for pesticides registered in Korea, The Korean Journal of Pesticide Science 10(4):272~278.

Korea Crop Protection Association (KCPA) (2011) 2011 Pesticide Use Guideline, p. 288, 916, 1090, 1022.

Korea Meteorological Administration (KMA) (2011) Annual Report for Weather in Korea, p. 9.

Lee K. S. (2010) Behavior of pesticides in soil, The Korean journal of Pesticide Science 14(3):303~317.

Lee. J. Y., H. H. Noh, K. H. Lee, S. H. Park, K. S. Kyung (2012) Monitoring of pesticide residues in commercial environmental-friendly stalk and stem vegetables and leafy vegetables and risk assessment, The Korean Journal of Pesticide Science 16(1):43~53.

Lee S. M., S. S. Kim, D. S. Park, J. H. Hur (2005) Mobility of pesticides in different soil textures and gravel contents under soil column, The Korean Journal of Pesticide Science

- 9(4):330~337.
- Lee. W. S., J. E. Kim (1998) Effects of organic matter and oxidoreductase on adsorption and desorption of herbicide oxadiazon in soils, *The Korean Journal of Pesticide Science* 2(3):70~78.
- Lynton, W. Baker, L. F. Donald (1996) Ambient air concentration of pesticides in California, *Environ. Sci. Technol.* 30:1365~1368.
- Moon Y. H., Y. S. Kim (2000) Dissipation in surface water and adsorption in soil on Butachlor, Oxadiazon, Pretilachlor and Thiobencarb. *Kor. J. Weed Sci.* 20(1):32~38.
- National Agricultural Products Quality Management Service (NAQS) (2010) 2009 The Annual Report for Quality Management of Agricultural Products.
- Statistics Korea (KOSTAT) (2011) Research of Agricultural Area 2010.
- Noh H. H., K. H. Lee, J. Y. Lee, H. K. Park, S. H. Park, S. H. Kim, K. S. Kyung (2011) Characteristics of pesticide residues in leafy vegetables collected from wholesale and traditional markets in Cheongju. *The Korean Journal of Pesticide Science* 15(4):453~462.
- Oh S. S., H. N. Hyun, D. K. Moon, J. B. Chung (2002) Estimation of pesticide leaching potential using GUS, RF and AF index in Cheju Citrus orchard soils, *Korean Journal of Environmental Agriculture* 21(1):7~16.
- Park B. J., J. H. Lee (2011) Pesticide residue monitoring and environmental exposure in paddy field soils and greenhouse soils, *The Korean Journal of Pesticide Science* 15(2):134~139.
- Park B. J., O. K. Kwon, J. K. Kim, J. B. Kim, J. H. Kim, S. K. Yoon, J. H. Shim, M. G. Hong (2009) Characteristics of pesticide runoff and persistence on agricultural watersheds in Korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 28(2):194~201.
- Park H. J., J. H. Choi, B. J. Park, C. S. Kim, Y. B. Ihm, G. H. Ryu (2004) Uptake of Endosulfan and Procymidone from arable soil by several vegetables I (greenhouse study), *The Korean Journal of Pesticide Science* 8(4):280~287.
- Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment (SIHE) (2010) Health and Environment White Book p. 240.
- Tomlin, C. (ed.) (2006) *The Pesticide Manual* (14th ed.), British Crop Protection Council. UK.
- Yun H. C., J. H. Park, K. S. Cha, E. H. Park, J. B. Youn, B. J. Kim, S. H. Park, J. Y. Park, J. Y. Lee, J. M. Kang, J. H. Bin (2008) Monitoring the residual pesticide levels of soil and water from the main agricultural area in Busan. *The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment* 18(1):75~83.
- Yun H. C., J. H. Park, K. S. Cha, J. B. Youn, J. H. Jeong, J. Y. Park, J. Y. Lee, J. M. Kim, J. M. Kang (2009) Monitoring the residual pesticide levels of soil and water from the main agricultural area in Busan (II). *The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment* 19(1):72~80.
- Vogue, P. A., E. A., Kerle and J. J., Jenkins. (1994) OSU Extension Pesticide Properties Database.

## 벼 재배 토양과 토양수 중 잔류농약 모니터링

노현호 · 이재운 · 박소현 · 정오석 · 김서홍 · 경기성\*

충북대학교 농업생명환경대학 환경생명화학과

**요 약** 전국 논토양과 논물 중 잔류농약을 모니터링하고 검출농약의 지하수 오염 가능성을 평가하기 위하여 2011년 7월과 8월 전국 40지점의 논에서 토양과 논물을 각각 채취하여 GC와 HPLC를 이용한 다성분동시분석법으로 총 160점 시료 중 잔류농약을 분석하였다. 분석 결과 80점의 논토양의 경우 butachlor 등 5종의 농약이 13점의 시료에서 검출되어 약 16.3%의 검출율을 보였으나 물 시료에서는 농약이 검출되지 않았다. 검출농약의 지하수 오염 가능성을 GUS를 이용하여 예측한 결과 검출농약 모두 GUS가 1.3 이하로써 검출된 농약이 지하수로 용탈될 가능성은 없는 것으로 추정되었다.

**색인어** 논토양, 논물, 모니터링, 잔류분석, GUS