

영농지역에서 작물재배 형태에 따른 농약의 잔류성과 유출특성

박병준^{1)*} · 권오경¹⁾ · 김진경¹⁾ · 김진배¹⁾ · 김진호²⁾ · 윤순강³⁾ · 심재한⁴⁾ · 홍무기¹⁾

¹⁾국립농업과학원 유해물질과, ²⁾국립농업과학원 기후변화생태과,

³⁾국립농업과학원 기획조정과, ⁴⁾전남대학교 응용생물공학부

(2009년 3월 13일 접수, 2009년 5월 14일 수리)

Characteristics of Pesticide Runoff and Persistence on Agricultural Watersheds in Korea

Byung-Jun Park^{1)*}, Oh-Kyung Kwon¹⁾, Jin-Kyoung Kim¹⁾, Jin-Bea Kim¹⁾, Jin-Ho Kim²⁾, Soon-Kang Yoon³⁾, Jae-Han Shim⁴⁾, and Moo-Gi Hong¹⁾ (¹⁾Hazardous Substances Division, National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Korea, ²⁾Climate Change & Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Korea, ³⁾Planning & Coordination Division, National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, ⁴⁾Natural Products Chemistry, Institute of Agricultural Science and Technology, college of Agriculture and Life Science, Chonnam National University Gwangju 500-757, Korea)

ABSTRACT: To evaluate the exposure of non-point source pesticide pollution in agricultural watershed and to investigate pesticide distribution and runoff from agricultural land, paddy field, upland and orchard, this experiment was carry out during crop growing seasons. The pesticide were detected twenty pesticides (fungicide 4, insecticide 10, herbicide 6) in water of Neungchon agricultural watershed and detection concentrations were range 0.008~7.59 ppb. Most of the detection pesticides were using pesticides to rice paddy fields to control fungi, insects, weeds. During the crop cultivation, the pesticide were detected total thirty pesticides by pepper field soil 6, orchard soil 4, sesame field soil 3 and rice paddy field soil 5, and pesticide concentrations were range 0.001~0.109 ppm. Especially the herbicides were detected mainly in May and June in the stream water. The pesticide were detected thirty pesticides by fungicide 2, insecticide 6, herbicide 5 in water of Jungam Koseong agricultural watershed and detection concentrations were range 0.01~7.21 ppb. In regard to the detected pesticides, the concentration of individual pesticides measured in surface water of the study areas never exceeded guidelines for agriculture chemicals concerning water quality-effluent from paddy fields in Japan (Katayama, 2003). Runoff rate of pesticides was range 0.07~3.06 % from Kongju agricultural land to watershed after applied pesticides.

Key Words: Pesticide, Run off, Residue, Agricultural Land, Watershed

서 론

농업비점오염(non-point source)은 작물생산을 위해 농경지를 기초로 한 농업 활동에서 유래되어 유출수, 유거수 등에 의해 지표수나 지하수계로 유입되어 오염을 초래하는 경우로 직접적인 발생원을 동정, 추적할 수 없는 오염원을 말한다. 이에 의한 오염의 빈도는 간헐적이고 강수량과 기후조건에 밀접하게 관련되어 있으며 주로 물의 이동에 의해 운반되

고 인위적인 조절이 어려운 특징을 가지고 있다^{1,2)}. 영농활동에서 주요한 비점오염원으로는 토사 및 비료 및 농약 등으로 강도, 작물재배방법, 지형, 토양유형, 기상, 토지이용유형, 피복상태 등이 오염물질발생에 중요한 요인들이다^{3,4)}. 국내의 비점오염 연구는 토사와 무기염류물질조사로 농약에 대한 연구는 전무한 실정이다. 환경부에서는 1995년 비점오염 조사사업을 시작 으로 4대강 수계 비점오염 부하량 산정을 위해 주요하천에 대해 수문 및 수질조사를 무기염류위주로 조사하였다^{2,5)}. 다른 학계의 연구자들은 하천유역의 특성과 오염원별 수질변화, 토지이용별 무기염류 유출특성 및 부하량 산정 연구 등으로 주로 특정한 일부 소유역 말단에서 유량 및 수질농도를 측정하여 부하량을 조사하였다^{5,6)}. 비점오염관리 대

*연락처:

Tel: +82-31-290-0515, Fax: +82-31-290-0506

E-mail: bjpark@rda.go.kr

책 수립을 위한 농촌유역의 자연환경 요소인 기상적, 지형적 특성과 토지이용 및 영농활동을 반영한 살포농약에 대한 비점오염물질의 유출기작에 대한 연구는 전무한 실정이다. 농약은 인축과 환경생물에 독성을 갖는 물질로써 주로 농경지에 살포되므로 환경 중 유출을 완전히 제어하기는 곤란하여 비의도적 오염으로 인해 비표적 생물계나 환경오염에 영향을 미치는 중요한 비점오염원이다^{7,8)}. 이러한 부작용을 최소화하기 위해 농약에 대한 작물과 환경 중 잔류성에 대한 연구 및 평가방법이 체계적으로 연구되고 살포후의 하천수계나 지표수인 호소수 등에 대한 잔류농약모니터링이 지속적으로 수행되고 있으나 유출과 원단위 유출을 산정의 연구는 미미하다^{9,10)}. 따라서 본 연구는 대단위 영농지역에서 살포농약의 작물재배유형별, 강우와 비강우시 유출에 따른 표면유출 양상과 지역단위 소수계로의 환경노출 및 부하량 평가하기 위하여 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

시험지역

본 연구는 2004년에 곡간지인 충북 괴산군 괴산읍 능촌리 유역에서 수행하였으며 경작형태는 논, 밭, 과수원재배로 인구는 260 여명이 거주하는 평야지와 곡간지가 혼합된 전형적인 농촌지역이다. 모든 농경지에서 나오는 지표수는 한곳으로 모여 작은 소하천을 이루고 남한강 지류인 달천으로 흐른다. 2005년에 곡간지인 정안천 유역의 상류부에 위치하고 있는 충남 공주시 정안면 고성리와 2006년에는 평야지인 정안천 유역의 하류부에 위치하고 있는 의당면 동혈천과 청룡천 유역에서 실험을 수행하였다.

지형 및 토지이용 현황

충북 괴산군 괴산읍 능촌리로서 능촌1리와 2리로 구성되어 있으며 작물재배면적은 논 73.0 ha, 밭 19.4 ha로 구성되어 있으며, 밭농사로선 고추, 참깨, 콩을 주로 재배하고 배 과수원이 있다. 충남 공주시 정안면 고성리의 유역면적은 4.91 km², 유로연장 2.455 km, 유역형상계수 0.814, 유역평균고도 EL. 199.61 m, 평균경사 10.2%이다. 이 유역은 전형적인 농촌지역으로서 임야를 제외하면 전, 답 등의 농업으로 이용되는 토지가 주를 이루고 있으며 주로 배수가 양호한 양토내지 사양토로 이루어져 있다. 토양 모재는 주로 변성암과 산성암으로 이루어져 있으며 경사지로 지형을 분리하면 곡간지에 해당한다. 토지 이용 현황은 총 유역면적은 514.1 ha로 이중 논 23.3 ha(4.5%), 밭이 60.5 ha(11.8%), 산림 399.4 ha(77.7%), 주거지 및 대지 12.4 ha(2.4%), 기타 18.5 ha(3.6%)로 산림이 대부분 차지하고 있으며 작물재배 유형은 벼농사와 밭농사로 주로 콩, 고추, 담배를 재배하고 있다¹⁰⁾. 충남 공주시 의당면 유역은 청룡천이 동혈천과 합류하여 정안천으로 유입되는 지점으로 경지정리가 잘 되어 있고 유

계저수지와 월곡저수에서 용수를 공급받고 있다. 동혈천 유역면적은 8.86 km², 유로연장 4.4 km이며, 청룡천 유로면적은 10.7 km², 유로연장 3.3 km이다. 토질은 배수가 양호한 양토 내지 미사질양토로 이루어져 있다. 농업과학기술원에서 제공하고 있는 “한국 농업토양정보 시스템”의 분류를 보면 고성천 유역을 곡간지로, 동혈천 및 청룡천 유역을 내륙평단지 및 하상평단지로 분류하고 있다¹¹⁾.

시료채취

충북 괴산군 괴산읍 능촌리 1구와 대하천인 달천 유입지에서 시료를 채취하였으며, 충남 공주시 정안면 고성리에서 농경지에서 유출되는 물이 본류와 합류되는 지점인 고성저수지 유입전 지점에서 농약 사용 성수기인 5월 하순부터 10월 중순까지 2주기 간격으로 정기조사를 실시하였다. 강우기에 대한 수질시료채취는 각 소유역 말단부를 대상으로 강우사상별 1시간 간격으로 일주기 수질분석 시료를 채취하였다. 공주시 정안면 의당면 동혈천과 청룡천 유역인 평야지를 대상으로 강우시 자동시료채취기를 이용하여 강우사상별 2시간 간격으로 물을 채취하였다. 시험지역내 주요 재배작물 환경내 농약잔류량을 조사하기위해서 토양과 물에 대해서 시료를 채취하였으며 토양은 표면의 유기물을 제거하고 작토층 10 cm를 채취하여 수분정량 후 농약 잔류량을 분석하였다.

수위관측 및 유량측정

수위관측은 시험유역의 주요 수위계측점에 Orphimedes와 Thalimedes 수위데이터 로거(logger)를 설치하여 5분 간격으로 연속수위자료를 측정하였고 수위-유량관계를 분석을 위한 유속측정은 미국 SonTek Crop.의 도플러방식의 유속계인 FlowTracker를 사용하여 현장조사를 실시하였으며, 강우시에는 독일 OTT Crop.의 대용량 유속계인 프로펠라형 C31을 사용하여 고수위일 때의 유속을 측정하였다.

토양 중 잔류농약 분석

담수상태의 젖은 토양을 500 ml의 원심분리용 bottle에 넣고 15분간 6000 rpm으로 원심분리하여 상정액을 따라내고 토양을 일정량 칭량하여 삼각플라스크에 넣고 0.2N-NH₄Cl를 30 ml 가한 후 30분간 정치시키고 acetone 100 ml를 첨가 하여 1시간 동안 200 rpm에서 진탕시킨 후 여지(Whatman[®] No. 2, England)를 간 Büchner funnel 상에서 흡인여과 하였다. 용기 및 잔사를 여분의 acetone으로 다시 씻어 내려 앞서의 여액과 합하였다. 또한 원심분리한 토양 일부는 수분정량하여 분석값에 보정해 주었다. 합친 여액은 separatory funnel에 옮겨 포화 NaCl 50 ml, dichloromethane 50 ml를 넣고 3분간 격렬하게 흔든 후 정치하여 dichloromethane층을 분리하였고 위의 과정을 반복 추출하였다. Dichloromethane층은 anhydrous sodium sulfate를 통과시켜 40°C에서 감압 농축한 뒤 잔류물을 n-hexane

10 ml로 정용하여 정제시료로 하였으며, 단 tricyclazole의 분석은 용매추출량과 dichloromethane양을 1:1(vol/vol)로 조절해서 분배하였다.

정제는 컬럼크로마토그래피법을 이용하였다. 직경 1 cm의 pyrex glass column 하단부를 탈지면으로 막고 130 °C에서 24시간 동안 활성화시킨 florisil 10 g을 가하여 충전하고 그 위에 무수 Na₂SO₄를 1.5 cm높이로 깔고 n-hexane 50 ml를 흘려보낸 다음 hexane에 녹인 시료액을 loading한 후 아래와 같이 6단계로 용매의 극성을 증가시켜가면서 분획별로 50 ml 용출시켜 40°C에서 감압농축 후 n-hexane 5 ml로 재용해하여 GLC로 분석하였으며, tricyclazole은 정제과정을 거치지 않고 GLC로 분석하였으며 GLC 분석조건은 표 1과 같다.

- (1) C₁; dichloromethane : n-hexane
(50/50, v/v) 50 ml
- (2) C₂; dichloromethane : n-hexane : acetonitrile
(50/49.35/0.65) 50 ml
- (3) C₃; dichloromethane : n-hexane : acetonitrile
(50/48.5/1.5) 50 ml
- (4) C₄; dichloromethane : n-hexane : acetonitrile

- (5) C₅; dichloromethane : acetonitrile
(50/50) 50 ml
- (6) C₆; acetonitrile 50 ml

물 중 잔류농약 분석

물 시료는 Whatman[®] No. 2 여지를 간 Büchner funnel 상에서 흡인여과 하여 부유물질을 제거하고 separatory funnel에 일정량(500~700 ml)을 취해서 포화 NaCl 50 ml, dichloromethane 50 ml를 넣고 3분간 격렬하게 흔든 후 정치하여 dichloromethane층을 분리하였고 위의 과정을 반복 추출하였다. Dichloromethane층을 anhydrous sodium sulfate를 통과시켜 40°C에서 감압 농축한 후 잔류물을 n-hexane 10 ml로 정용하여 정제시료로 하였으며, 단 tricyclazole의 분석은 용매추출량과 dichloromethane양을 1:1 (vol/vol)로 조절해서 분배하였다. 정제과정은 상기의 토양 분석법과 동일하게 수행하였다¹²⁾. 분석법의 토양, 물 및 식물체의 조사농약의 회수율은 70~120% 수준으로 국제규정에 적합하였다.

Table 1. GLC operating parameters for the analysis of pesticide

Instrument : HP 6890
Detector : Nitrogen Phosphorus Detector(NPD, ECD)
Column : HP-1, Capillary 30.0m × 320 μm(i.d) × 0.25 μm(film thickness)
Temperature : Column oven ; 60°C(2min) - 5/min → 120°C-15/min → 270°C(15min)
Injection port ; 250°C
Detector ; 280°C
Gas flow rate : Carrier N ₂ ; 1.3 ml/min
Hydrogen ; 3.7 ml/min
Air ; 60 ml/min
Make-up N ₂ ; 3.7 ml/min

Table 2. List of investigated pesticides

Pesticide group	Pesticides
Fungicide (36)	carpropamid, chlorothalonil, dichlofluanid dietofencarb, diniconazole, edifenphos, etridiazole, fenarimol, ferimzone, fluoromide, flusilazole flutolanil, fthalide, exaconazole, hexaflumuron, iprobenfos, iprodione, isazofos, isoprothiolane, mepronil, myclobutanil, napropamid, nuarimol, oxadixyl, oxadiazone, penconazole, pencycuron, probenazole, prochloraz, procymidone, prodiamidone, pyrazophos, tebuconazole, triadimefon, tricyclazole, vinclozolin,
Insecticide (63)	acrinathrin, amitraz, azinphos-methyl, benfuracarb, bifenthrin, buprofezin, carbofuran, carbosulfan, chlorfenapyr, chlorpyrifos, chlorpyrifos-me, cypermethrin, deltamethrin, diazinon, dimethoate, dimethylvinfos, EPN, esfenvaterate, ethoprophos, fenitrothion, fenobucarb, fenothiocarb, fenoxycarb, fenpropathrin, fenthion, fenvalerate, fipronil, flucythrinate, fluvalinate, fonofos, fosthiazate, furathiocarb, hexaflumuron, isazofos, isofenphos, isoprocarb, malathion, mecarbam, metamidophos, methidathion, metolcarb, monocrotophos, parathion, phenthoate, phorate, phosalone, phosmet, phosphamidon, pirimicarb, pirimiphos-methyl, profenofos, pyraclofos, pyridaben, pyridaphenthion, zeta, tebufenpyrad, terbufos, tetradifon, tralomethrin, triazamate, triazophos, cypermethrin, DDT, BHC
Herbicide (31)	alachlor, bifenox, butachlor, chlormethoxyfen, chlornitrofen, dichlobenil, dimepiperate, dimethametryn, dithiopyr, esprocarb, ethalfluralin, fenclorim, hexazinon, mefenacet, metabenthiazuron, metobromuron, molinate, napropamid, oxadiazone, pendimethalin, piperophos, pretilachlor,prodiamidone, prometryn, propanil, pyributicarb, simazine, simetryn, terbutylazine, thiobencarb, triflualin

결과 및 고찰

강수량과 유출량

본 시험 유역은 우리나라 중부와 중서부에 위치하고 있어 여름인 6월부터 9월까지는 고온다습하고 강수량이 많고 겨울에는 비교적 온난한 편이다. 충북 괴산군 괴산읍 능촌리의 2004년 5월부터 10월 까지 강우패턴은 Fig. 1.과 같고 강수량은 1264 mm였다. 충남 공주시 정안면 고성리 유역의 강우패턴은 Fig. 2와 같고 유역면적은 514.1 ha로 강수량은 1434 mm이고 강수에 대한 표면수의 유출율은 67.5%로 조사되었다.

소수계 물 중 시기별 농약잔류 실태

우리나라 대표적인 곡간지 영농지역인 충북 괴산군 괴산읍 능촌리 지역에서의 작물재배 시기별로 하천수 중 잔류농약량을 조사한 결과 Table 3과 같이 5월 시료에서는 벼 이앙

전 처리제인 butachlor가 0.85~1.66 ppb 수준으로 검출되었으며 육묘상 처리제로 쓰이는 isoprothiolane의 농약성분도 검출되었다. 6월의 검출농약성분은 butachlor 등 10성분이 검출되었으며 살균제 isoprothiolane 등 4종, 살충제 EPN등 3종, 제초제 butachlor 등 3종이 검출되었다. 7월의 검출농약성분은 butachlor 등 12성분이 검출되었으며 살균제 isoprothiolane 등 4종, 살충제 fenitrothion 5종, 제초제 butachlor 등 3종이 검출되었다. 8월의 검출농약성분은 fenitrothion 등 6성분이 검출되었으며 살충제 fenitrothion 5종, 제초제 1종이 검출되었다. 2005년도 공주시 정안면 고성리에서 시험한 소수계내의 농약검출 양상도 2004년에 수행한 괴산읍 능촌리 지역과 비슷한 양상으로 농약사용 성수기인 6,7,8월에 집중적으로 검출되었다. Table 3과 4에서 보듯이 곡간지와 평야지의 농약의 검출양상은 6월과 7월에 검출되는 농약성분은 살균제로써 벼 이앙초기에 주로 발생하는 모도열병과 육묘상도열병에 사용하는 isoprothiolane, iprobenfos

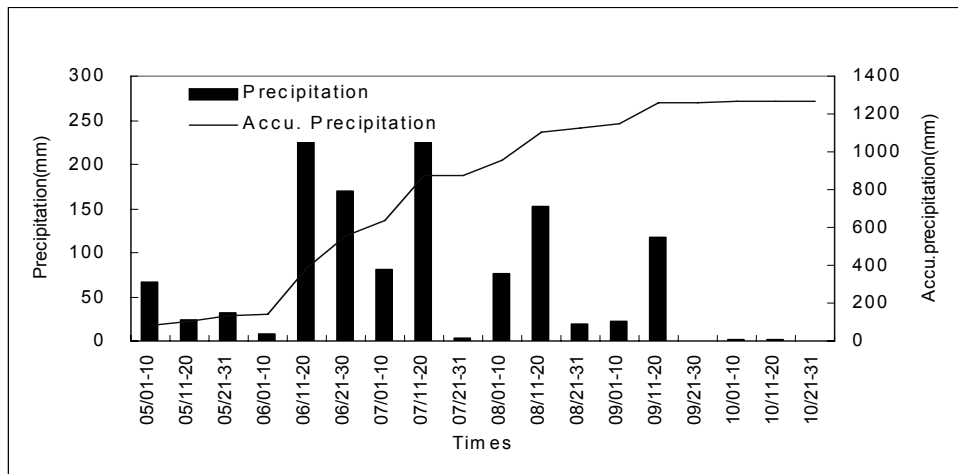


Fig. 1. Pattern of rainfall and accumulated precipitation in Neungchon agricultural land.

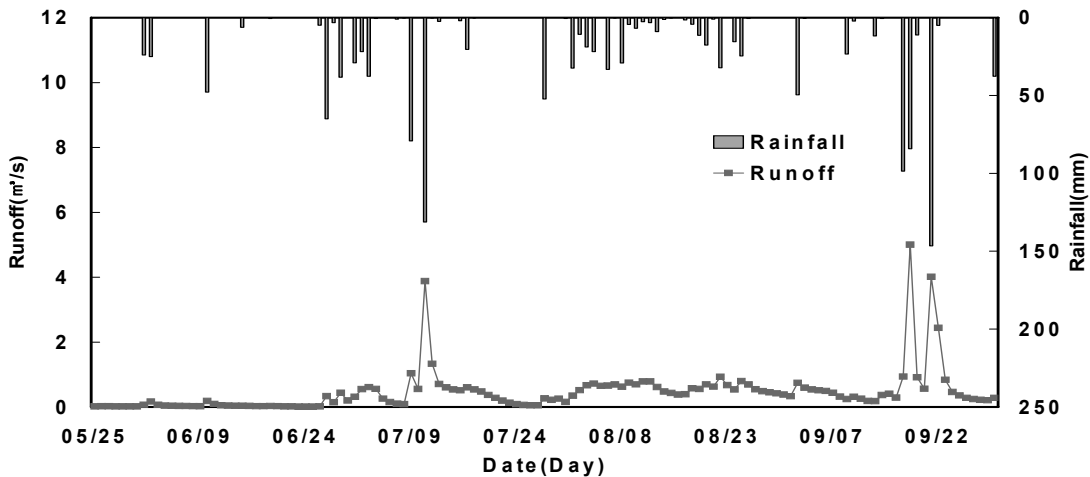


Fig. 2. Pattern of rainfall and run-off water in Jungam Koseong agricultural land in the year 2005.

Table 3. Number of pesticide detections and concentrations observed in samples collected stream water during the growing cultivation season at the Neungchon watershed

Pesticide	Range of concentrations (ppb)						Runoff guide-line (ppb) (dinking water ×10)
	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	
Butachlor	0.85~1.66	0.92~6.07	0.65~2.30	-	-	-	300(Yugo)
Isoprothiolane	0.81~7.59	0.26~2.38	0.25~5.42	-	-	-	400(Japan)
Endosulfan- sulfate	-	-	0.14~1.40	-	-	-	-
EPN	-	0.15	-	-	-	-	-
Fenitrothion	-	-	1.20~1.27	0.72~2.55	-	-	400(Korea)
Diazinon	-	0.24~0.92	0.04~0.06	-	-	-	200(Korea)
Hexaconazole	-	1.54	0.30	-	-	-	-
Iprobenfos	-	1.34~2.34	1.18~5.43	-	-	-	-
Carbofuran	-	1.25	-	-	-	-	300(Australia)
Molinate	-	1.42~1.96	-	-	-	-	70(WHO)
Pretilachlor	2.32	-	-	-	-	-	-
Metolachlor	-	0.80~22.4	1.07~3.81	-	-	-	-
Pendimethalin	-	1.12	0.71~1.52	-	-	-	-
Metalaxyl	-	0.80	0.08~2.02	-	-	-	-
Fipronil	-	-	0.78	1.20~1.60	-	-	-
Edifenphos	-	-	-	0.35~0.37	-	-	-
Chlorpyrifos	-	-	-	0.36	-	-	-
Chlorpyrifos-Me	-	-	0.91	-	-	-	-
Buprofezin	-	-	-	5.08	-	-	-
Napropamid	-	-	-	2.34	-	-	-

Table 4. Number of pesticide detections and concentrations observed in samples collected stream water during the growing cultivation season at the Koseong watershed

Pesticide	Range of concentrations (ppb)						Runoff guide-line (ppb) (dinking water ×10)
	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	
Alachlor	-	0.34~0.81	0.33	-	-	-	300(Yugo)
Butachlor	-	0.81~2.07	-	-	-	-	-
Isoprothiolane	-	0.83~7.21	0.65~5.06	0.20~3.53	-	-	400(Japan)
Endosulfan- sulfate	-	0.12~0.13	0.14~0.23	0.01~0.09	-	-	-
Endosulfan	-	-	-	0.05~0.06	-	-	-
Metolachlor	-	0.67~2.69	0.83~2.01	-	-	-	-
Fenitrothion	-	0.66~9.95	-	0.72~2.55	-	-	400(Korea)
Diazinon	-	-	13.19	-	-	-	200(Korea)
Napropamid	-	0.36~0.68	-	-	-	-	-
Iprobenfos	-	-	0.68	2.5	-	-	-
Molinate	-	-	1.04	-	-	-	70(WHO)
Chlorpyrifos-Me	-	-	0.58	0.20	-	-	-
Phenthoate	-	-	0.01~0.09	-	-	-	-

성분이 높은 빈도로 검출되었으며 살충제로써는 6월에 주로 발생하는 벼줄기굴파리, 끝동메미충, 벼 물바구미와 애잎굴파리 등을 방제하기위해서 사용되는 살충제인 diazinon, fenobucarb, fipronil등이 검출되었다. 제초제 검출은 이양 후 14일 이전에 살포하는 중기제초제로 많이 사용되는 butachlor, molinate 및 pretilachlor성분이 검출되었다. 8월에는 6,7월보다 상대적으로 많이 사용하는 살균제, 살충제가 제초제보다 많이 검출되었는데 평균과 해충을 방제하기 위해서 벼 생육중후기에 살균제와 살충제를 많이 사용하기 때문이다. 특히 도열병을 방제하는 isoprothiolane과 iprobenfos는 우리나라 주요 하천수에 7, 8월에 대부분 전 수계에서 높은 빈도로 검출¹²⁾되고 있는데 실험한 이 지역에서도 같은 경향으로 검출되었다. 이 원인은 주로 수도용 농약으로 이들 제품이 단위면적당 투하량이 많은 입체형태로 주로 살포되며 논물에 주로 잔류되어 강우나 배수시 강물로 유출되기 때문인 것으로 생각된다. Table 4, 5에서 보듯이 6, 7, 8월에 하천수에

검출되는 농약은 주로 수도용 농약으로 하천수 오염을 방지하기 위해서 논물관리에 초점을 두어 농약을 관리하는 방법이 요구되어진다. 잔류농도는 0.04~5.59ppb 수준으로 배출수기준 1/53~1/3000 수준으로 낮게 검출되었으나 농약은 독성물질이기 때문에 목적하는 지역외에 타지역으로 유출되는 것을 막아야 하며, 하천수에 다빈도로 검출되는 농약성분은 수서생물과 독성치를 비교하여 생태위해성 평가와 환경배출기준을 설정해야 할 것이다. 또한 농약 사용 비정수기인 9월과 10월의 시료에서는 농약이 검출되지 않았다.

작물재배기간 중 재배지 토양과 물 중 농약잔류 실태

괴산군 능촌리의 주 재배작물은 벼, 고추, 참깨와 배 과수원 재배로 작물재배 기간 중 재배지의 농약 잔류양상은 Table 5, 6과 같다. 고추재배지에서는 chlorpyrifos 등 4종, 배 과수원 3종과 참깨재배지 토양에서 fenitrothion 등 3종이 검출되었는데 이들 농약은 주로 살충제와 제초제성분으로

Table 5. The pesticide concentrations in soil during the crop cultivation at the Neungchon agricultural arable land

Type	Pesticide	Range of concentrations (ppm)				
		May	June	July	Aug.	Sep
Pepper	Chlorpyrifos	0.007	0.047~0.109	0.033~0.132	0.001~0.002	0.001
	Chlorthalonil	0.0016~0.015	0.001~0.010	0.0002	-	-
	Endosulfan	0.617	0.109~0.235	0.004~0.009	0.004~0.013	0.004~0.010
	Esfenvalerate	-	-	0.002~0.004	0.005	0.0005
	Metolachlor	-	-	0.230	-	-
	Napropamid	-	-	0.104	-	-
	Fenitrothion	-	-	-	0.013~0.021	0.007~0.012
Orchard (pear)	Chlorpyrifos	-	0.012~0.069	0.006~0.095	0.002~0.08	0.001
	Chlorthalonil	-	0.014	0.0003	-	-
	Tetradifon	-	0.011	0.0033	-	-
	Fenitrothion	-	-	-	0.012~0.013	0.012
Sesame	Fenitrothion	-	-	-	0.010~0.013	0.001~0.008
	Cypermethrin	-	-	-	0.002~0.038	0.001~0.002
	Edfenphos	-	-	-	0.023	-

Table 6. The pesticide concentrations in soil and surface water growing the rice plant at the Neungchon agricultural arable land

Type	Pesticide	Range of concentrations (ppm)				
		May	June	July	Aug.	Sep
Soil	Isoprothiolane	0.004	0.003~0.037	0.007~0.008	0.003~0.004	0.004
	Butachlor	-	0.018~0.518	0.273~0.445	0.010~0.024	0.009~0.013
	Carbofuran	-	0.050	0.007	-	-
	Iprobenfos	-	-	0.009	0.005	0.0005
	Fenitrothion	-	-	-	0.009	0.010
	Edifenphos	-	-	-	-	0.013
Surface water	Isoprothiolane	-	0.002	0.001	0.003	-
	Butachlor	-	0.037	0.005	-	-

작물 재배기간 동안 검출 되었고 일부농약은 소수계에 검출된 성분으로 강우시 토사와 함께 유출된 것으로 생각된다. 벼 재배환경에서의 재배기간 동안에 농약잔류는 Table 6에서 보는바와 같이 토양에서는 butachlor 등 6종이 잔류되었고 논물 중에는 살균제 isoprothiolane과 초기와 중기제초제로 많이 사용하는 butachlor 성분이 검출되었다. 이와 같이 밭 토양에서 검출된 농약성분은 담배나방과 갈색여치를 방제하기 위해서 살포되었으며 논에서는 벼 생육중기에 제초와 잎도열병과 목도열병을 방제하기 위해서 사용된 농약들로 검출된 농약들은 대체적으로 반감기가 상대적으로 긴 성분들이다.

대하천 유입전 시기별 소수계 물중 농약잔류 양상

괴산군 능촌리 소수계에서 농약검출양상은 Table 3과 같이 살균제 isoprothiolane 등 3종, 살충제 buprofezin 등 5종과 제초제 butachlor 등 5종이 검출되었다. 시기와 장소를 달리하여 공주시 정안면 고성리의 소수계에서 농약검출양상은 Table 4와 같이 살균제는 isoprothiolane 등 2종, 살충제는 diazinon 등 5종, 제초제는 butachlor 등 4종이 검출되었다. 이 두지역의 소수계 물 중 잔류농약의 검출특성은 6월에는 제초제와 살충제가 검출되었으며 7,8월에는 살균제와 살충제의 검출빈도가 높은 것으로 나타났다. 영농활동이 활발한 시기인 하절기에 농약의 살포도 많아 농약의 검출빈도수는 많으나 농도는 유출수 가이드라인(IUPAC report, Katayama, 2003)¹³⁾에 훨씬 못 미치는 수준이었다.

작물재배형태에 따른 농약유출

영농지역 소수계 물 중에서 검출된 농약과 작물재배지의 토양과 지표수에서 잔류되어 유출되는 양상은 Fig. 3과 같다. 하천수에 주로 검출되는 농약은 isoprothiolane 등 주로 수도용 농약으로 벼 재배환경에서는 논물에 많이 잔류되었을 때 강우에 의한 배수나 강제배수에 의해서 주로 하천수에 유출되는 것으로 나타났으며 살포농약의 제형은 입체일 때 토양에 많이 잔류되었으나 시간이 지남으로 논물에 용출되어 배수에 의해서 하천수로 유출되는 것으로 나타났다. 박¹⁴⁾ 등은 소수계 물에 검출되는 농약성분은 주로 수도용 농약으로 논물 배수시 유출된다고 보고하고 있다. 한편 밭에 살포되었던 fenitrothion과 endosulfan은 강우에 의해서 하천수에 검출된 것으로 생각되며, 각지벌레류를 방제하는 살충제 fenitrothion은 논, 과수와 밭작물에 많이 사용되는 농약으로 하천수에서 8월 초에 2.6 ppb 수준으로 검출되었고, 담배 등 밭작물에 주로 사용되도록 등록되어진 농약인 endosulfan은 7월에 하천수에서 1.4 ppb 수준으로 검출되었는데 밭토양에 잔류되어 있던 농약이 7월, 8월에 집중호우에 의해서 토사와 같이 소수계로 유출되어 검출되는 것으로 생각된다. 김¹⁵⁾ 등에 의하면 나지상태의 lysimeter 포장유출시험 결과 밭 사용 농약의 유출율은 0.23~3.10% 수준이라고 보고하고 있어 경사지 밭토양에 살포된 농약성분이 강도가 높은 강우에 의해서 하천수로 유출되어 검출되는 주 요인이라고 생각된다.

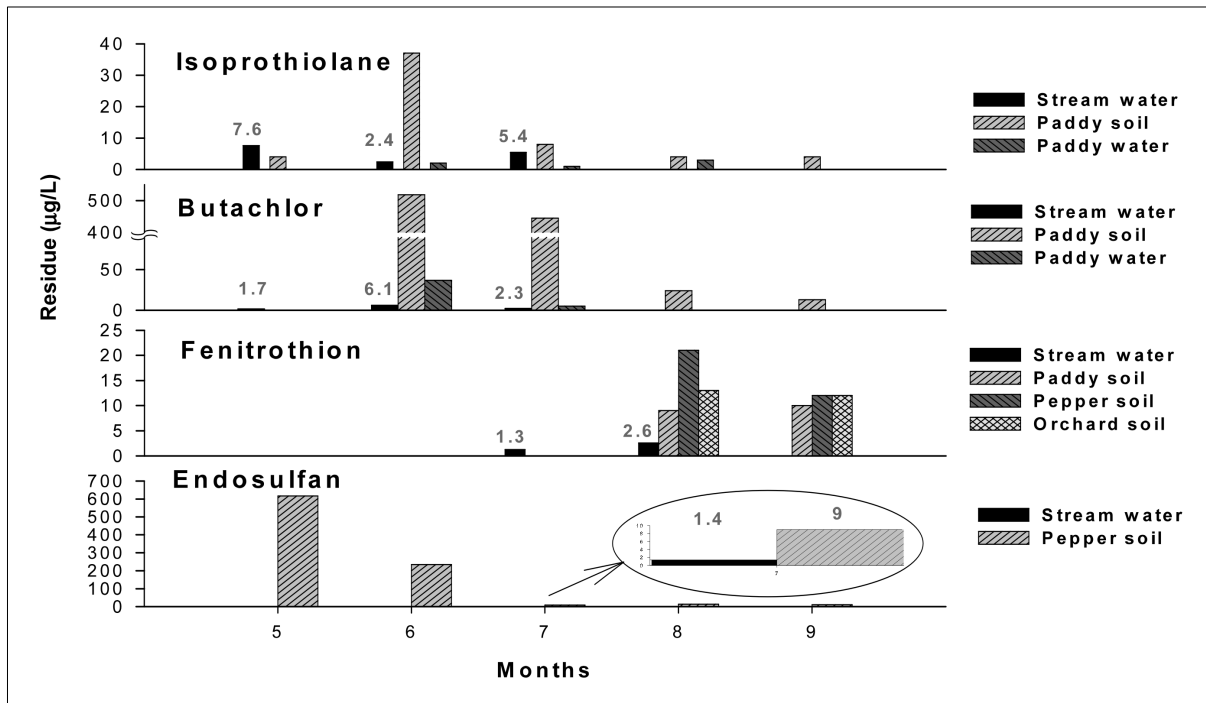


Fig. 3. Comparison of pesticides concentration between matrix and stream water during crop cultivation in Neungchon agricultural arable land.

요 약

영농지역에서 비점오염원인 농약의 살포가 수질환경에 미치는 영향과 유출량을 평가 하였다. 충북 괴산군 괴산읍 능촌리 일대 폐쇄권역에서 소수계내 물 중 잔류농약은 20종의 성분이 검출되었으며, 살균제 4종, 살충제 10종, 제초제 6종이었고, 검출범위는 0.008~7.59 ppb 수준으로 배출수 기준보다 훨씬 못 미치는 수준이었다. 대하천 유입전 소수계 물 중 시기별 잔류농약 성분은 살균제가 5~8월, 살충제는 7~8월 및 제초제는 5~7월에 주로 검출되었고, 밭에 사용하는 농약보다 수도용 농약이 검출 빈도가 높았다. 또한 강우강도가 높을 때는 밭토양의 토사 유출로 밭에 사용하는 농약이 상대적으로 높게 검출되었다. 작물 재배조건별 검출된 잔류농약 성분은 고추밭 토양 6종, 과수원 토양 4종, 참깨밭 토양 3종 및 논토양 5종으로 총 13종이 검출되었으며, 검출 범위는 0.001~0.109 ppm 수준이었다. 공주시 정암면 고성리 영농지역의 소수계내 물 중 농약잔류성분은 13종(살균제2, 살충제6, 제초제5)의 성분이 검출되었으며 검출범위는 0.01~7.21ppb 수준으로 잠정 배출수 기준보다 못 미치는 수준이었다. 농약 종류별 검출양상은 살균제는 5~8월, 살충제는 7~8월, 제초제는 5~6월에 주로 검출되었으며 강우시간별 물 중 농약잔류량은 강우시작 3~5시간에 최고농도가 검출되었고 수도용 농약의 검출 빈도가 높았다.

참고문헌

- Kladviko, E. J., van Scoyoc, G. E., Monke, E. J., Monk, K. M., and Pask, W. (1991) Pesticide and nutrient movement into subsurface tile drains on a silt loam in Indiana. *J. Environ. Qual.* 20, 264-270.
- Sin, E. S., Choe, J. Y., and Lee, D. H., (2001) Characteristics of Non-Point source pollutants in surface runoff from rural area. *Journal. of Korea Society on Water Quality* 17(3), 299-311.
- Leom. L.F., Soulis, E. D., Kouwen, N., and Farquhar, G. J. (2001) Nonpoint source pollution: A distributed water quality modelling approach, *Water Res.* 35, 997-1007.
- Curbrovsky. N. M., Dratzer, C. R., Brown., L. R., Gronberg, J. M., and Burow, K. R. (1998) Water quality in the San Joaquin-Tulare Basins, California, 1992-95. Circ. 1159. U.S. Geol. Survey. Reston, VA.
- Lee, K. B., Kim, J. C., Kim, J. G., Lee, D. B., Park, C. W., and Kim, J. D. (2005) Assessment of Pollutant Loads for Water Enhancement in the Mankyeong River, *Kor. J. Environ. Agric.* 24(2), 83-90.
- Kim, J. H., Lee, J. S., Ryu, J. S., Lee, K. D., Jung, G. B., Kim, W. I., Lee, J. T., and Kwun, S. K. (2005) Characteristics of Non-point Pollutants Discharge in a Small Agricultural Watershed during Farming Season, *Kor. J. Environ. Agric.* 24(2), 77-82.
- Albanis, T. A., Hela, D. G., Sakellarides, T. M., and Konstantinou, I. K. (1998) Monitoring of pesticide residues and thier metabolites in surface and underground waters of Imathia (N. Greece) by solid phase extraction disks and gas chromatography, *J. Chromatogr. A* 824, 59-71.
- DeCoursey, D. G. (1985) Mathematical models for nonpoint water pollution control, *J. Soil Water Conserv.* 40, 408-413.
- Fenelon, J.M., and Moore, R. C. (1998) Transport of agrichemicals to ground and surface water in a small central Indiana watershed. *J. Environ. Qual.* 27, 884-894.
- Larson, S. J., Capel, P. D., Goolsby, D. A., Zaugg, S. D., and Sandstrom, M. W. (1995) Relations between pesticide use and reverine flux in the Mississippi River Basin, *Chemosphere* 31, 3305-3321.
- Kim, J. H. (2007) Statistical analysis of the effluent characteristics of non-point source pollution in rural watersheds., Ph. D. Thesis, Seoul National University, Korea
- Park, B. J., Park, H. J., Lee, B. M., Ihm, Y. B., and Choi, J. H. (2005) Persistence and degradation of herbicide molinate in paddy-soil environment, *Kor. J. Pesti. Sci.* 9(1) 60-69.
- Hamilton, D. J., Ambrus, A., Dieterle, R. M., Felsot, A. S., Harris, C. A., Holland, P. T. Katayama, A., Kurihara, N., Linders, J., Unsworth, J., and Wong, S. S., (2003) Regulatory limits for pesticide residues in water. *Pure Appl. Chem.* 75(8), 1123-1155.
- Park, B. J., Park, S. W., Kim, J. K., Park, K. H., Kim, W. I., and Kwon, O. K. (2008) Distribution of pesticide applied with different formations and rice growing stages in paddy fields, *Kor. J. Pesti. Sci.* 12(1) 74-81.
- Kim, C. S., Lee, B. M., Park, B. J., Jung, P. K., Choi, J. H., and Ryu, G. H. (2006) Runoff diazinon and metolachlor by rainfall simulation and from soybean field lysimeter, *Kor. J. Pesti. Sci.* 10(4) 279-288.