

## 변형된 UK-POEM을 이용한 한국 논 농약살포자의 위해성 평가

홍순성\* · 유아선 · 정미혜 · 박경훈 · 박재읍 · 이영자

국립농업과학원 농산물안전성부

(Received on November 21, 2012. Revised on January 15, 2013. Accepted on February 28, 2013)

### Risk Assessment of Pesticide Operator Using Modified UK-POEM in Korean Rice Paddy

Soonsung Hong\*, Are-Sun You, Mihye Jeong, Kyung-Hun Park, Jae-Yup Park and Young-Ja Lee

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

**Abstract** This study was performed in order to assess the risk of pesticide operator in Korean rice paddy. The amount of exposure was calculated based on the information of 48 kinds of items that are used in the form of spraying in Korean rice paddy. The risks of these pesticides were assessed to compare the exposure dosage with AOEL (acceptable operator exposure level) which was released from developed countries. When the operator sprays pesticides using a motor sprayer, 17 items showed the risk for the operator if the operator has not worn the personal protective equipment (PPE), and 6 items showed the risk for the operator if the operator has worn the PPE. These results were indicated that the risk of pesticide operator was very high in Korean rice paddy.

**Key words** Assessment, Exposure, Pesticide operator, Risk

## 서 론

본 연구는 논에서의 농약살포자에 대한 농약 노출량을 산정하고 국제적인 기준치와 비교하여 현재 논 농약살포자의 위해성을 알아보려고 수행되었다.

농약은 작물의 병과 해충, 그리고 잡초의 방제에 있어서 매우 중요한 수단으로 이용되고 있으며, 농산물의 품질향상과 노동력 절감에 따른 생산비의 절약을 위해서도 필수불가결한 농업자재이다. 그러나 농약은 병해충 및 잡초에 대하여 독성을 발현하는 만큼 인간에 대해서도 영향을 줄 수 있으며, 특히 농산물의 생산을 위해 농약을 살포하는 사람은 소비자보다 농약에 노출될 우려가 훨씬 더 높다고 할 수 있다. 선진국에서는 1950년대에 농약살포자가 parathion에 중독되는 사건의 발생된 이래, 농약살포자의 노출량을 예측하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 최근에는 영국의 UK-

POEM (JMP, 1986; POEM, 1992), 미국의 PHED (PHED, 1992), 독일의 German Model(van Hemmen, 1992; van Hemmen, 1993; van Golstein Brouwer et al., 1996) 등의 모델을 이용하여 농약살포자의 노출량을 예측하고, 이를 농작업자노출허용량(AOEL, Acceptable Operator Exposure Level)과 비교하여 기본적인 위해성을 판단하고 있다.

본 연구에서는 현재 우리나라 논에서 사용되는 농약을 대상으로 현재 농약살포자 위해성평가를 위해 이용되고 있는 방법을 이용하여 노출량을 산정하고 각국에서 설정되어 있는 AOEL을 이용하여 위해성 평가를 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 논에서의 농작업자의 농약 노출량의 산정

농약사용 지침서에 근거하여 현재 논에 사용되는 농약 중 병해충 및 잡초 방제를 위해 사용되는 단일성분 품목을 기준으로 제형, 원제함량, 물 20 L 당의 사용량 등을 조사하였다. 단 사용방법에 있어서 살포액을 조제하여 분무하는 방식이 아닌 약제는 제외하였다. 이 조사항목을 이용하여 본 연구

\*Corresponding author

Tel: +82-31-290-0592, Fax: +82-31-290-0508

E-mail: sshong@korea.kr

실에서 제안한 농작업자 노출량 산정법과 농촌진흥청 고시 (Agrochemical control act)에 따라 동력분무기(moter sprayer)를 이용하여 약제를 하향분무할 경우 농작업자가 농약에 노출되는 양을 산출하였다.

UK-POEM에는 우리나라의 동력분무기에 대한 시나리오가 작성되어 있지 않으므로 “hand-held rotary atomizer equipment (2.5 L tank). Outdoor, high level target” 시나리오의 내용을 조금 변형하여 400 L tank에 대한 시나리오를 작성하여 반영하도록 하였다. 즉 하루 1 ha를 살포하며, 일일 살포액 조제횟수는 3회, 일일 살포시간 6시간 처리하는 것으로 가정되어있다. 이렇게 살포된 농약은 신체 중 팔에 10%, 몸통에 5%, 다리에 85% 부착되며, 호흡에 의해서는 0.01 mL/h 노출되는 것으로 계산되었다. 피부흡수율 제조와 살포시시에 10%를 적용하였다. 노출량 계산은 개인보호장비를 착용하지 않은 경우와 착용한 경우를 각각 계산하였다. 개인보호장비를 착용하지 않았을 경우 의복에 부착되는 농약량을 100%라고 하면, 살포액 조제시, 고상제형의 경우 방제복을 착용한 경우에는 의복에 부착되는 농약량이 1%로 감소하고, 마스크를 착용한 경우에는 5%만이 노출되며, 액상제형의 살포액 조제시에는 10%만 노출되는 것으로 계산되었다. 살포시에는 개인보호장비를 착용할 경우 피부부착율은 팔 10%, 몸통 5%, 다리 5%로 감소하는 것으로 계산되었다.

**노출기준값의 선정**

농약의 농작업자에 대한 위해성은 농약의 농작업자에 대한 노출량과 그 농약의 가지고 있는 자체의 독성을 비교하여 평가한다. 이때 노출량과 비교되는 농작업자에 대한 독성기준을 AOEL이라고 부르며, 일반적으로 아급성 독성실험 결과 중 실험동물에 대하여 가장 낮은 농도에서 영향을 나타내는 독성치에 안전계수 0.01을 곱하여 산출한다(European Commission, 2006). 농약에 대한 노출량이 AOEL 보다 크면 농작업자에 대한 위해성이 있는 것으로 판단한다. 그러나 모든 농약에 대한 AOEL이 정해져 있는 것은 아니며, 세계의 농약평가관리를 담당하는 곳에서 평가한 농약에 대하여 AOEL을 설정하고 이를 공표하고 있다. 본 연구에서는 선진국에서 발표된 기준치를 조사하여 가장 낮은 기준을 exposure reference로 선정하였다. 각 기관의 자료 중 AOEL이 선정되어 있는 경우 AOEL을 사용하였으며, AOEL이 결정되어 있지 않은 경우에는 급성독성기준치인 aRfD (acute Reference Dose) 값을 이용하였고, aRfD 값도 없는 경우에는 일일섭취 허용량인 ADI (Acceptable Daily Intake) 또는 만성독성기준치(cRfD; clonic Reference Dose)값을 독성기준치로 선정하였다.

**농작업자 위해성 평가(Risk accessment)**

농약의 논에 농약살포자에 대한 위해성 평가는 산출된 노

출량에 대한 exposure reference 값인 위해성 지수(RQ, risk quotient = exposure/referance value)로 평가하였다. 이 RQ가 1 이하일 경우 농작업자의 위해성이 적다는 것을 의미하며 크면 클수록 위해성이 높은 것을 의미한다.

**결과 및 고찰**

**논에서의 농작업자 농약 노출량의 산정 대상 약제의 선정 및 사용법 조사**

우리나라 논에서 분무형태로 살포되는 48품목의 단일성분 품목을 조사한 결과 제형별로는 유제(EC)가 15품목으로 가장 많았고, 다음으로 수화제(WP)가 13품목, 액상수화제(SC) 12품목 순이었다. 원제 함량은 10% 이하가 14품목으로 가장 많았고 10-20% 6품목, 20-30% 7품목, 30-40% 5품목, 40-50% 9품목이었으며 50% 이상인 품목도 3품목이었다. 벼에 대한 각 약제의 20 L당 사용량을 조사한 결과, 20 L당 10-20 g을 사용하는 품목이 27품목으로 가장 많았으며, 10 g 이하를 사용하는 약제가 7품목, 20-30 g의 약제가 5품목으로 조사되었다(Table 1).

**독성 기준치(Reference value)의 조사**

농약살포자의 위해성 평가를 위해 농약 노출량과 비교하는 독성기준치(reference value)는 EU의 농약 데이터베이스 ([http://ec.europa.eu/sanco\\_pesticides](http://ec.europa.eu/sanco_pesticides)), Pesticide manual, 농촌진흥청 고시 등의 자료를 조사하여 정리하였다. 독성기준치(reference value)를 조사한 결과는 Table 2와 같다. 조사된 독성기준치는 0.0002~0.21 mg/kg b.w.이었으며, 이 독성기준치 중 유기인계 살충제인 다이아지논의 농작업자 노출 허용량(AOEL, acceptable operator exposure level)이 0.0002 mg/kg b.w.로 가장 낮았으며, 다음으로는 유기인계 살충제인 pyridaphenthion의 ADI (acceptable daily intake)가 0.0009 mg/kg b.w.이었다.

**논에서의 농작업자의 농약 노출량의 산정**

벼농사 농작업자에 대한 농약 노출량 산정을 moter sprayer에 대하여 산정한 결과(Table 3) 제조제인 bentazone 액제, butachlor 유제, propanil 유제를 살포할 경우 노출이 많이 되는 것으로 나타났으며, 노출량은 개인보호장비(PPE, personal protective equipment)를 이용하지 않았을 경우 각각 0.10880, 0.12730, 0.13405 mg/kg b.w./day이었다. 또한 PPE를 착용하지 않은 경우의 노출량은 0.00239-0.13405 mg/kg b.w./day로 PPE를 착용한 경우의 노출량 0.00035-0.02638 mg/kg b.w./day보다 4.9-6.8배 높은 것으로 나타났다.

**논 농약살포자의 위해성 평가**

각 약제의 reference value와 농약 살포자의 농약노출량을

**Table 1.** Pesticide using information (label information) for rice plant

Name	Formulation Type <sup>a)</sup>	a.i. %	using volume /20 L of water	Name	Formulation Type	a.i. %	using volume /20 L of water
2,4-D	SL	40	14	fipronil	EC	5	25
2,4-D ethylester	WP	18	50	fthalide	WP	50	20
acephate	WP	50	20	fthalide	SC	20	20
benomyl	WP	50	20	imidacloprid	WP	10	4
bentazone	SL	40	80	imidacloprid	SL	4	10
bispyribac-sodium	SL	2	25	kasugamycine	WP	2.3	20
butachlor	EC	58.8	60	kasugamycine	WG	10	20
carbaryl	WP	50	25	methoxyfenozide	WP	4	20
carbosulfan	WP	20	20	methoxyfenozide	SC	21	4
carbosulfan	SC	20	20	pencycuron	WP	25	20
carpropamid	SC	30	6.7	pencycuron	SC	20	10
cartap hydrochloride	SP	50	20	penoxsulam	SC	3	20
chlorpyrifos-methyl	EC	25	25	phenthoate	EC	47.5	20
clothianidin	SC	8	4	pirimiphos-methyl	EC	25	20
clothianidin	SG	8	4	profoxydim	EC	7.1	20
cyhalofop-butyl	EC	5	100	propanil	EC	35	120
diazinon	EC	34	20	pyridaphenthion	EC	30	27
edifenphos	EC	30	20	tebufenozide	WP	8	20
etofenprox	EC	20	20	tecloftalam	WP	10	20
etofenprox	EW	10	20	thifensulfuron-methyl	SC	75	1.17
fenitrothion	EC	50	20	thifluzamide	SC	21	4
fenoxanil	SC	20	20	thiophanate-methyl	SC	40	20
fenoxaprop-P-ethyl	EC	7	20	tricyclazole	WP	75	10
fenthion	EC	50	20	tricyclazole	SC	41.7	10

<sup>a)</sup>EC Emulsifiable concentrate, SC Suspension concentrate(= flowable concentrate), WP Wettable powder, WG Water dispersible granules, SG Water soluble granule, DC Dispersible concentrate, EW Emulsion, oil in water, SL Soluble concentrate.

(Korean Crop Protection Association, 2011)

**Table 2.** Reference value of pesticides used in rice plant

Name	Reference value			Name	Reference value		
	Value (mg/kg b.w)		Source		Value (mg/kg b.w)		Psource
2,4-D	0.15	AOEL <sup>a)</sup>	EU <sup>d)</sup>	fenthion	0.01	aRfD	EU
2,4-D ethylester	0.01	ADI <sup>b)</sup>	EU	fipronil	0.0035	AOEL	EU
acephate	0.1	aRfD <sup>c)</sup>	EU	fthalide	0.04	ADI	Korea
benomyl	0.13	ADI	KOREA <sup>e)</sup>	imidacloprid	0.08	AOEL	EU
bentazone	0.13	AOEL	EU	kasugamycine	0.21	ADI	Korea
bispyribac-sodium	0.072	AOEL	EU	methoxyfenozide	0.1	AOEL	EU
butachlor	0.01	ADI	Korea	pencycuron	0.15	AOEL	EU
carbaryl	0.01	AOEL	EU	penoxsulam	0.18	AOEL	EU
carbosulfan	0.005	AOEL	EU	phenthoate	0.003	ADI	KOREA
carpropamid	0.03	ADI	PM	pirimiphos-methyl	0.02	AOEL	EU
cartap hydrochloride	0.1	ADI	Korea	profoxydim	0.025	AOEL	EU
chlorpyrifos-methyl	0.01	AOEL	EU	propanil	0.02	AOEL	EU
clothianidin	0.1	AOEL	EU	pyridaphenthion	0.0009	ADI	PM <sup>f)</sup>
cyhalofop-butyl	0.03	AOEL	EU	tebufenozide	0.008	AOEL	EU
diazinon	0.0002	AOEL	EU	tecloftalam	0.058	ADI	PM
edifenphos	0.003	ADI	KOREA	thifensulfuron-methyl	0.07	AOEL	EU
etofenprox	0.03	AOEL	EU	thifluzamide	0.014	ADI	PM
fenitrothion	0.013	aRfD	EU	thiophanate-methyl	0.08	AOEL	EU
fenoxanil	0.007	ADI	KOREA	tricyclazole	0.05	ADI	KOREA
fenoxaprop-P-ethyl	0.014	AOEL	EU				

<sup>a)</sup>AOEL: acceptable operator exposure level.

<sup>b)</sup>ADI: acceptable daily intake.

<sup>c)</sup>aRfD: acute reference dose.

<sup>d)</sup>EU: EU pesticide database ([http://ec.europa.eu/sanco\\_pesticides](http://ec.europa.eu/sanco_pesticides)).

<sup>e)</sup>Korea: Rural development agency. Agrochemical control act.

<sup>f)</sup>PM: pesticide manual.

**Table 3.** Exposure value of pesticide application using motor sprayer in korean rice field

Name	Exposure		Name	Exposure	
	without PPE	with PPE		without PPE	with PPE
2,4-D(SL)	0.03554	0.00436	fipronil(EC)	0.00597	0.00088
2,4-D ethylester(WP)	0.04769	0.00592	fthalide(WP)	0.05299	0.00658
acephate(WP)	0.05299	0.00658	fthalide(SC)	0.02110	0.00290
benomyl(WP)	0.05299	0.00658	imidacloprid(WP)	0.00212	0.00026
bentazone(SL)	0.10880	0.02020	imidacloprid(SL)	0.00331	0.00034
bispyribac-sodium(SL)	0.00239	0.00035	kasugamycine(WP)	0.00244	0.00030
butachlor(EC)	0.12730	0.02411	kasugamycine(WG)	0.00759	0.00124
carbaryl(WP)	0.06623	0.00823	methoxyfenozone(WP)	0.00424	0.00053
carbosulfan(WP)	0.02119	0.00263	methoxyfenozone(SC)	0.01283	0.00103
carbosulfan(SC)	0.02110	0.00290	pencycuron(WP)	0.02649	0.00329
carpropamid(SC)	0.02058	0.00196	pencycuron(SC)	0.01555	0.00170
cartap hydrochloride(SP)	0.05275	0.00725	penoxsulam (SC)	0.00317	0.00044
chlorpyrifos-methyl(EC)	0.02984	0.00500	phenthoate(EC)	0.05011	0.00808
clothianidin(SC)	0.00489	0.00039	pirimiphos-methyl(EC)	0.02638	0.00425
clothianidin(SG)	0.00121	0.00020	profoxydim(EC)	0.00749	0.00121
cyhalofop-butyl(EC)	0.01638	0.00325	propanil(EC)	0.13405	0.02695
diazinon(EC)	0.03587	0.00578	pyridaphenthion(EC)	0.03748	0.00636
edifenphos(EC)	0.03165	0.00510	tebufenozide(WP)	0.00607	0.00100
etofenprox(EC)	0.02110	0.00340	tecloftalam(WP)	0.01060	0.00132
etofenprox(EW)	0.01055	0.00170	thifensulfuron-methyl(SC)	0.00334	0.00055
fenitrothion(EC)	0.05275	0.00850	thifluzamide(SC)	0.01283	0.00103
fenoxanil(SC)	0.02110	0.00290	thiophanate-methyl(SC)	0.04220	0.00580
fenoxaprop-P-ethyl(EC)	0.00739	0.00119	tricyclazole(WP)	0.03974	0.00494
fenthion(EC)	0.05275	0.00850	tricyclazole(SC)	0.03242	0.00354

**Table 4.** Risk quotients of pesticide operator in korean rice field using motor sprayer

Name	Risk Quotient(RQ)		Name	Risk Quotient(RQ)	
	without PPE	with PPE		without PPE	with PPE
2,4-D(SL)	0.24	0.03	fipronil(EC)	1.71	0.25
2,4-D ethylester(WP)	4.77	0.59	fthalide(WP)	1.32	0.16
acephate(WP)	0.53	0.07	fthalide(SC)	0.53	0.07
benomyl(WP)	0.41	0.05	imidacloprid(WP)	0.03	0.003
bentazone(SL)	0.84	0.16	imidacloprid(SL)	0.04	0.004
bispyribac-sodium(SL)	0.03	0.005	kasugamycine(WP)	0.01	0.001
butachlor(EC)	12.73	2.41	kasugamycine(WG)	0.04	0.005
carbaryl(WP)	6.62	0.82	methoxyfenozone(WP)	0.04	0.005
carbosulfan(WP)	4.24	0.53	methoxyfenozone(SC)	0.13	0.010
carbosulfan(SC)	4.22	0.58	pencycuron(WP)	0.18	0.022
carpropamid(SC)	0.69	0.07	pencycuron(SC)	0.10	0.01
cartap hydrochloride(SP)	0.53	0.07	penoxsulam (SC)	0.02	0.002
chlorpyrifos-methyl(EC)	2.98	0.50	phenthoate(EC)	16.70	2.69
clothianidin(SC)	0.05	0.004	pirimiphos-methyl(EC)	1.32	0.21
clothianidin(SG)	0.01	0.002	profoxydim(EC)	0.30	0.05
cyhalofop-butyl(EC)	0.55	0.11	propanil(EC)	6.70	1.35
diazinon(EC)	179.35	28.90	pyridaphenthion(EC)	41.64	7.07
edifenphos(EC)	10.55	1.70	tebufenozide(WP)	0.76	0.13
etofenprox(EC)	0.70	0.11	tecloftalam(WP)	0.18	0.02
etofenprox(EW)	0.35	0.06	thifensulfuron-methyl(SC)	0.05	0.01
fenitrothion(EC)	4.06	0.65	thifluzamide(SC)	0.92	0.07
fenoxanil(SC)	3.01	0.41	thiophanate-methyl(SC)	0.53	0.07
fenoxaprop-P-ethyl(EC)	0.53	0.09	tricyclazole(WP)	0.79	0.10
fenthion(EC)	5.28	0.85	tricyclazole(SC)	0.65	0.07

비교하여 위해성 지수(RQ)를 계산한 결과(Table 4) 개인보호장비(PPE)를 착용하지 않았을 경우 17개 품목의 약제가 기준치인 1보다 크게 나타났으며, PPE를 착용하고 작업을 하는 경우도 6품목의 약제가 1보다 큰 RQ값을 나타내었다. 그 중 diazinon유제의 위해성 지수 값이 가장 높았고, pyridaphenthion유제, fipronil유제, phenthoate유제, butachlor유제 순이었다. 특히 위에 열거한 약제들의 RQ치는 PPE를 착용하지 않은 경우 12.73-179.5이었고, PPE를 착용한 경우에도 2.41-28.90의 값을 보이고 있어 대단히 높은 농약 살포자에 대한 위해 가능성을 나타내고 있었다.

이상의 결과는 현재 우리나라 논농사 농작업자는 농약 살포시 농약에 대한 노출이 심각한 수준에 이르고 있을 것으로 생각되며, 이에 따른 위해성도 상당히 높은 수준일 가능성이 있음을 의미한다. 따라서 농약으로 인한 논농사살포자의 위해성을 경감시키고 안전한 농산물 생산 환경을 조성하기 위한 제도적 장치의 마련이 시급하다고 생각되며, 조금이라도 빨리 우리나라에 맞는 자료를 생산하여 보다 정확하고 안전성 있는 평가가 이루어질 수 있기를 기대한다.

## 감사의 글

본 연구는 2012년 농촌진흥청의 “한국형 농약노출량 산정모델 확립 및 평가방법 선진화(과제번호 PJ0074112012)”의 연구비 지원으로 수행된 결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

## Literature Cited

- British Crop Production Council. Pesticide Manual.  
 European Commission (2006). Guidance for the setting and application of acceptable operator exposure levels (AOEL). Working document (7531/rev.10 of 07/07/2006), DG SANCO.  
 Korea Crop Protection Association (2011). Agrochemicals use guide book.  
 PHED (1992) Notice of Availability of the Pesticides Handler Exposure Database (PHED) version 1.1, through VERSAR, Inc., Arlington, VA, USA, Federal Register, 57(107): 23403~23404, Washington, DC, USA.  
 POEM (1992) UK Predictive Operator Exposure Model (POEM): A User Guide, Pesticides safety directorate, York, UK.  
 Rural development administration. Agrochemicals control act.  
 UK scientific Sub-committee on Pesticides and British Agrochemical Association Joint Medical Panel, JMP (1986) UK Predictive Operator Exposure Model (POEM): Estimation of exposure and absorption of pesticides by spray operator, Pesticide Safety Directorate, York, UK.  
 Van Golstein Brouwers, Y. G. C., J. Marquart and J. J. van Hemmen (1996) Assessment of occupational exposure to pesticides in agriculture, Part IV, Protocol for the use of generic exposure data, TNO report V96.1358, TNO, Zeist, The Netherlands.  
 Van Hemmen, J. J. (1992) Agricultural pesticide exposure database for risk assessment. Rev. Environ. Contam. Toxicol. 126:1~85.  
 Van Hemmen, J.J. (1993) Predictive exposure modelling for pesticide registration purpose. Ann. Occup. Hyg. 37:525~541.

## 변형된 UK-POEM을 이용한 한국 논 농약살포자의 위해성 평가

홍순성\* · 유아선 · 정미혜 · 박경훈 · 박재음 · 이영자

국립농업과학원 농산물안전성부

**요약** 본 연구는 우리나라 논농사 농약살포자의 농약 노출량 산정과 위해성 평가를 위하여 수행되었다. 우리나라 논에 사용되고 있는 약제 중 분무의 형태로 이용되는 단제 48품목에 대하여 사용방법에 대한 정보를 수집하였고, 이를 근거로 농약 노출량을 산정하였다. 산정된 노출량을 세계 각 기관에서 발표된 농작업자 노출허용량과 비교하여 위해성을 평가하였다. 동력분무기를 이용하여 농약을 살포하는 경우 개인보호장비(PPE)를 착용하지 않은 경우 17개의 품목에서 위해성이 있는 것으로 나타났으며, 개인보호장비를 착용한 경우에도 6개의 품목에서 위해성을 나타내었다. 이러한 결과는 논에서 농약을 살포하는 경우 농약살포자의 농약노출로 인한 위해성이 높다는 것을 의미하고 있었다.

**색인어** 농약 살포자, 노출, 위해성, 평가