

경구흡수율을 반영한 농약의 AOEL 설정 및 농작업자 위해성 평가

유아선* · 홍순성 · 이제봉 · 이승돈 · 임양빈
국립농업과학원 농산물안전성부 농자재평가과

Application of Oral Absorption in Establishment of AOEL for Pesticides and Occupational Risk Assessment for farm worker

Are-Sun You*, Soonsung Hong, Je Bong Lee, Seungdon Lee and Yangbin Ihm

Division of Agro-material Safety Evaluation, Department of Agro-food Safety,
National Academy of Agricultural Science, Wanjugun, Korea

(Received on October 13, 2014. Revised on October 17, 2014. Accepted on October 31, 2014)

Abstract Methods of establishment of AOEL (Acceptable Operator Exposure Level), application of oral absorption by country, and calculation of exposure dose for operator risk assessment in USA, EU and Korea were investigated. Oral absorption of 141 active substances for pesticides was also investigated, then operator risk assessment was conducted with AOEL including oral absorption and Korean AOEL. Internal dose converted to external dose with oral or dermal absorption in USA and EU, but external dose to which oral absorption was not applied was used for establishment of AOEL in Korea. Oral absorption of 50 active substances among 141 were below 80%. In case of application of oral absorption as a correction factor in below 80%, AOELs of about 36% active substances were considered to be lower than the current Korean AOELs. Operator risk assessment of 28 active substances among 50 active substances with oral absorption below 80% was conducted with EU AOELs. TER (Toxicity Exposure Ratio) of 12 plant protection products including chlorothalonil WG (Water-dispersible Granule) was less than 1 and the risk was high. Operator risk assessment of 24 active substances among 50 active substances with oral absorption below 80% was conducted with Korean AOELs. TER of 6 plant protection products including chlorothalonil WG were less than 1 and the risk was high. Operator risk assessment of 4 plant protection products not having Korean AOEL was conducted with converted EU AOEL into AOEL not including oral absorption. The results indicated TER of 4 products including daminozide WP (Wettable Powder) was over 1 and risk was low. 22 products except 6 products such as oxadiagyl SC (Suspension Concentration) were shown the same results of risk assessment between EU AOELs and Korean AOELs. As a result, it was considered that AOELs including oral absorption was possible to be used for operator risk assessment. It was considered operator risk assessment with AOEL including oral absorption was more like real assessment method, and improvement of assessment was needed for application to evaluate pesticides in registration.

Key words AOEL, oral absorption, risk assessment

서 론

병해충 방제 및 작물보호를 위해 농약을 광범위하게 사용

하고 있는데 이에 따라 영농활동을 하는 농작업자는 농약 사용 중에 농약에 노출(Crosby, 1998; Kim 등, 2011)되며 농약 살포, 농작물 수확, 농약 저장, 보관 폐기 등의 다양한 상황에서 주로 피부 또는 흡입에 의해 농약에 노출된다(Byoun 등, 2005; Choi 등, 2006; Kim 등, 2011; Liu 등, 2003). 국내에서는 농약 등록 시 식품섭취 농약노출에 대한

*Corresponding author

Tel: +82-63-238-3368, Fax: +82-63-238-3839

E-mail: aresun@korea.kr

위해성평가를 실시하여 소비자의 건강보호를 위한 규제를 하고 있으며 2009년부터 농작업자위해성평가를 실시하여 식품섭취에 의한 노출뿐만 아니라 농약을 사용하고 다루는 농약 살포자에 대한 노출평가를 통해 농민의 건강을 보호하기 위한 노력을 하고 있다. 농작업자위해성은 독성과 노출량의 비율을 이용하여 평가(Calumpang, 1985; Kim 등, 2011; Turnbull, 1985)하며 평가 기준으로 사용하기 위하여 AOEL(Acceptable Operator Exposure Level)을 설정(Agro-Material industry Division, RDA, 2012; Shin, 2007)하고 이를 이용하여 위해성의 높고 낮음을 판단하고 있다. 농약 살포자의 농약 노출량을 산정하기 위한 model은 국가별로 영국의 UK-POEM (JMP, 1986; POEM, 1992), 미국의 PHED (PHED, 1992), 독일의 German Model (van Hemmen, 1992; van Hemmen, 1993; van Golstein Brouwer 등, 1996) 등이 있으며, 한국에서는 농약 노출량 산출을 위한 model로서 영국의 UK-POEM을 변형한 Ko-POEM을 사용하고 있고 농약살포면적과 시간을 국내 기준으로 설정하여 한국형 노출량산출 모델 개발에 박차를 가하고 있다. 기등록 원제에 대해서는 외국의 referance dose (ADI, AOEL, ARfD 등)을 이용하여 AOEL을 설정하거나 독성시험성적서 또는 외국의 평가보고서 등을 토대로 AOEL을 설정해 나가고 있으며 지속적으로 AOEL 미설정 원제에 대한 AOEL 설정을 추진하고 있다. 신규원제에 대해서는 2011년부터 ADI 설정 시 AOEL을 함께 설정하고 있으며 동물실험에서 나타난 독성이 사람에게도 독성을 나타낼 것인지, 어떠한 시험성적이 AOEL 설정에 적절한지, 동물체내대사 시험을 통한 결과를 어떻게 활용할 것인지에 대한 검토를 통하여 AOEL 설정 방법을 개선하기 위한 방안을 지속적으로 모색하고 있다. 미국과 유럽에서는 농작업자위해성평가를 위한 독성기준치를 설정할 때 노출경로에 따라 경구흡수율(oral absorption) 또는 피부흡수율(dermal absorption)을 고려하고 있으나 국내에서는 경구 또는 피부흡수율을 적용하지 않은 투여용량에 대한 NOAEL을 설정하고 이를 이용하여 AOEL을 설정하고 있다. 경구흡수율은 랫드를 이용한 동물체내 대사시험 중 담도삽관배설시험(Bile duct cannulation test)을 통해 담즙을 따로 배출시킨 상태에서 체내에 흡수되지 않고 대변으로 배출된 양을 제외한 담즙, 소변, 호흡, 땀, 케이지 등에 존재하는 농약의 측정 수치를 합산한 후 이를 투여한 용량 대비 % 비율로 나타낸 것으로서 체내에 흡수된 비율을 나타낸다. 이러한 경구흡수율을 보정계수로 이용하여 external dose를 internal dose로 변환할 수 있다. 본 연구에서는 미국, 유럽, 한국의 위해성평가방법의 차이점을 비교분석하고 AOEL 설정 시 경구흡수율의 보정 필요성을 파악하여 경구흡수율 적용 가능성과 적용 시 농작업자위해성평가 결과에 미치는 영향을 조사함으로써 합리적인 농작업자위해성평가 기법을 확립하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

미국, 유럽연합(EU), 한국의 농작업자 위해성평가 방법 비교

미국, 유럽연합(EU), 한국에서 농작업자 위해성평가 시 이용하는 독성기준과 위해성평가방법의 차이점을 비교하였다. 위해성평가에 사용하는 독성기준치 설정방법을 조사하였고 적용대상과 노출량 산출방법을 조사하였다.

농약별 경구흡수율 조사

농약성분 141종에 대한 경구흡수율을 조사하여 범위에 따른 분포를 조사하였다.

EU AOEL과 한국 AOEL 비교

European Commission (EC)의 Dir/91/414/ECC Annex 1에서 경구흡수율이 80% 미만인 50종의 농약성분의 경구흡수율, EU와 한국의 AOEL을 조사하고 또한 EU의 AOEL을 경구흡수율 100%로 가정한 경우, 즉 경구흡수율을 적용하지 않은 AOEL을 산출하여 각각을 비교하였다.

EU와 한국 AOEL을 이용한 농작업자 위해성 평가

경구흡수율이 80% 미만인 50종 중 제품으로 한국에 등록된 농약을 작물보호제 지침서(Korea Crop Protection Association, 2014)에서 조사하여 유효성분 함량, 살포물량, 제품사용량, 적용작물 등을 확인하였으며 이에 대한 농작업자위해성평가를 위해 Ko-POEM Model를 이용하여 노출량을 산출하고, EU와 한국 AOEL을 노출량으로 나누어 독성노출비를 계산하여 위해성을 평가하고 그 결과를 비교하였다. 농작업자위해성은 독성노출비(TER) 1을 기준으로 1 초과인 경우 위해성이 낮고 1 이하인 경우 위해성이 높은 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

미국, 유럽연합, 한국의 농작업자 위해성평가 방법 비교

미국에서는 작업자 노출평가(occupational exposure assessment)와 거주자 노출평가(residential exposure assessment)를 실시하는데, 작업자에는 농약 취급자(handler) 및 포장작업자(postapplication)가 포함되며 성인에 대한 노출평가를 실시하고 거주자노출평가에서는 집 또는 집근처에서 잠재적으로 농약에 노출될 수 있는 성인 및 어린이에 대한 노출평가를 실시하고 있다. 노출 경로별로는 경피 및 흡입을 통한 노출은 성인과 어린이 모두 해당되며 어린이에 대해서 손에서 입으로 노출되는 사고에 의한 경구 노출경로를 고려해 노출평가를 실시하고 있다. 독성기준치를 따로 설정하지 않으며 노출되는 기간에 따라 급성, 단기(1~30일), 중기(1~6개월), 장기(6개월) 독성성적을 각각 사용하고 있다.

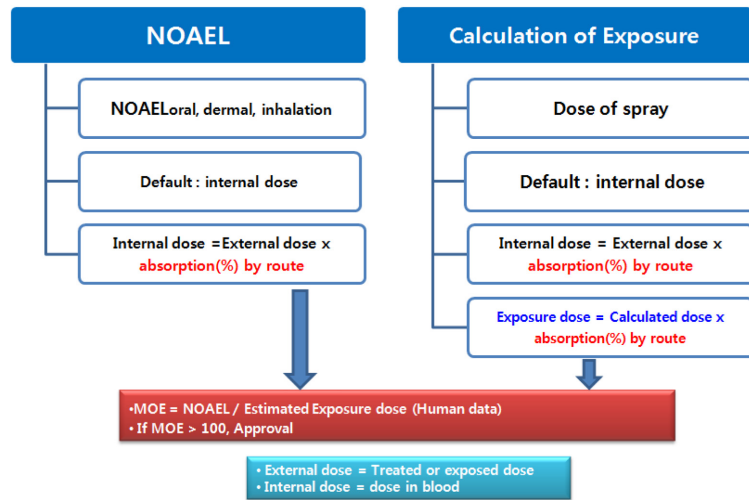


Fig. 1. NOAEL by route and term and calculation of exposure for operator risk assessment in USA. Absorption in body by route was applied for NOAEL and Exposure dose.

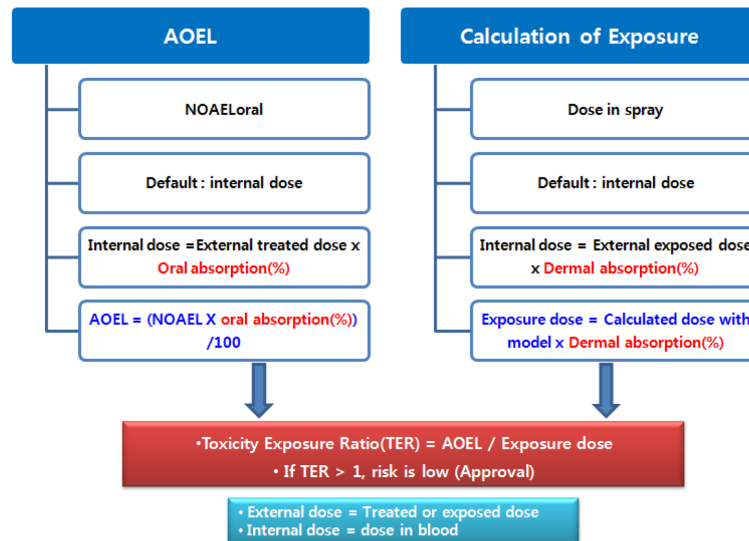


Fig. 2. Establishment of AOEL and calculation of exposure for operator risk assessment in EU. Absorption in body by oral route was applied for AOEL and Exposure dose.

따라서 각 시험의 NOAEL을 사용하여 MOE (Margin Of Exposure)로 위해성을 평가하는데 NOAEL이 노출량의 100 배 이상인 경우 위해성이 낮은 것으로 평가하고 있다. NOAEL 수치에 경로별로 체내흡수율을 적용하는데 경구를 통한 노출에 대한 위해성평가인 경우에는 동물체내대사시험에서 산출한 경구흡수율을 적용하고, 경피를 통한 노출에 대한 위해성평가인 경우에는 피부투과율 시험을 통한 피부 흡수율을 적용하여 external dose를 internal dose로 변환하여 평가를 실시하고 있다(Fig. 1).

EU에서는 노출위해성평가를 위해 4그룹에 대한 노출시나리오가 있는데, 살포자(operator), 작업자(worker), 행인(bystander), 거주자(resident)로 나누어 위해성평가를 실시하고 있다. AOEL을 설정하기 위하여 급성, 단기 독성, 만성 독성,

발암성, 번식독성, 기형독성, 유전독성 등의 독성자료를 모두 검토한 후, 주로 단기 독성의 NOAEL을 이용하여 안전계수 및 보정계수를 주며, 단기 독성시험으로 28~90일 시험, 개 1년 시험, 번식독성시험, 기형독성시험을 고려하여 AOEL을 설정하고 있다. AOEL_{systemic} 설정 시 경구투여 시험의 NOAEL을 사용하며 이 때, external dose를 internal dose로 변환하기 위해 보정계수로서 경구흡수율을 적용하는데, 경구흡수율이 80% 미만일 경우(EU comission, 2006)에만 경구흡수율을 곱하여 internal dose를 보정하고 있다(Fig. 2).

한국에서는 농작업자위해성평가로서 농약살포자에 대한 노출평가와 위해성평가를 실시하고 있으며 농약살포 지역의 행인과 거주자에 대한 위해성평가는 아직 실시하고 있지 않다(Agro-Material industry Division, RDA 2012). AOEL 설

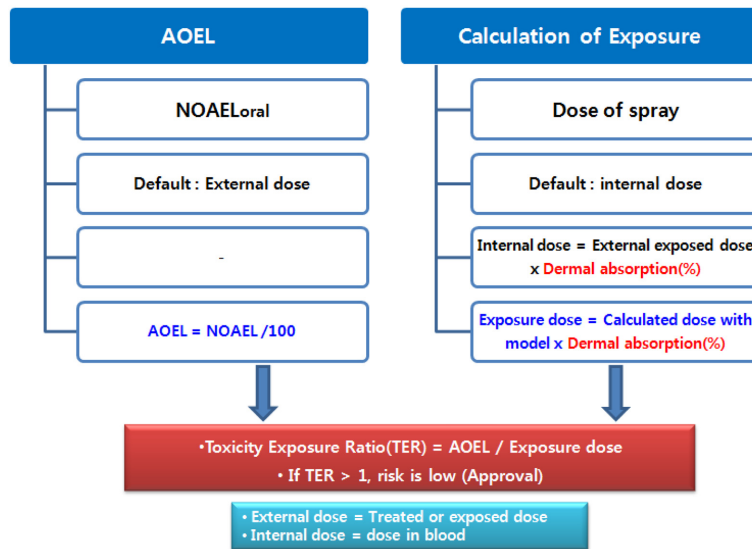


Fig. 3. Establishment of AOEL and Calculation of Exposure for Operator risk assessment in Korea. Absorption in body was not applied for AOEL and Exposure dose.

Table 1. Oral absorption (%) of pesticides for establishment of AOEL in Dir 91/414/EEC Annex 1

Range	Oral absorption (%)					
	≤ 20	≤ 40	≤ 60	< 80	≤ 99	100
No. of active substances	3	11	24	12	1	90
% of total No.	2.1	7.8	17.0	8.5	0.7	63.8

정을 위하여 원제등록을 위한 독성시험성적 전체를 검토하는데 급성독성, 아급성독성, 만성독성, 발암성, 번식독성, 기형독성, 유전독성 등을 평가하여 AOEL을 설정하고 있다.

AOEL 설정을 위하여 주로 아급성독성과 기형독성시험의 NOAEL을 사용하고 경구흡수율은 적용하지 않으며, 번식독성시험의 NOAEL은 거의 사용하지 않고 있다(Agro-Material industry Division, RDA 2012). AOEL 설정 시 노출경로는 경구투여 시험을 위주로 사용하며 external dose을 그대로 적용한다. UK-POEM 등 선진국의 농작업자 노출량 산출모델은 노출량 산출 시 피부흡수율을 적용하여 internal dose로 변환한 수치를 이용하고 있다(Fig. 2). 한국의 경우는 AOEL 설정 시 external dose로만 설정하므로 경구흡수율이 낮은 농약성분의 경우 노출량은 피부흡수율을 적용하여 낮은 수치를 산출(Ko-POEM)하고 독성기준치는 투여 용량을 그대로 적용함으로써 수치가 높아 독성을 노출량으로 나눈 독성노출비(TER)가 높아지고 이로 인해 위해성평가 완화된 잠재된 위해성이 정확하게 평가되지 못하는 경우가 발생할 수 있다(Fig. 3). 따라서 AOEL 설정을 선진국과 같이 경구흡수율을 적용하여 AOEL을 설정하는 것이 보다 정밀하고 선진화된 방법으로 사료되었다.

농약별 경구흡수율 조사

경구흡수율이 80% 미만인 농약성분에만 경구흡수율로

보정하는 EU의 평가방법에 따라 농약성분을 구분하고 조사하였다. Dir/91/414/ECC Annex 1에서 141종의 농약별 경구흡수율을 조사한 결과, 경구흡수율이 100%인 농약은 90종으로 63.8%였고 경구흡수율이 80% 이상 99% 이하인 농약은 1종으로 0.7%였으며 경구흡수율이 80% 미만인 농약이 50종으로 약 36%이었는데 이중 경구흡수율이 20% 이하인 농약이 3종으로 2.1%를 차지하였다(Table 1). 한국의 AOEL 설정 시 경구흡수율을 적용하지 않고 있는데 경구흡수율을 보정계수로 이용하여 AOEL을 설정할 경우 36% 농약의 AOEL 수치가 낮아질 가능성을 확인하였다. 특히 20% 이하인 경우 AOEL이 5배 이상 낮아질 수 있어 농작업자 위해성평가 시 위해성이 높게 나타날 가능성이 있다고 사료되었다.

EU와 한국의 AOEL 비교

EU에서 경구흡수율이 80% 미만인 농약성분 50종에 대하여 경구흡수율과 AOEL을 조사하였으며 50종 중 국내 AOEL 설정 농약성분 24종의 AOEL을 조사하였다. 나머지 26종의 농약은 원제가 우리나라에 등록되지 않았거나 AOEL이 설정되지 않아 표기하지 않았다. EU AOEL보다 높게 설정된 한국 AOEL은 benfluralin 등 18종이었으며 cymoxanil 등 4종은 EU AOEL과 동일하였고 cypermethrin은 EU AOEL보다 한국이 더 낮았다. 한국 AOEL 설정 시

Table 2. Comparison of AOEL in EU and Korea

Active substance	Oral absorption (%)	AOEL		
		EU	EU ^{a)}	Korea
α -Cypermethrin	45	0.01	0.022	0.03
Bifenthrin	50	0.0075	0.015	0.05
Benfluralin	33	0.05	0.15	1
Chlorothalonil	30	0.009	0.030	0.021
Chlorsulfuron	73	0.43	0.59	- ^{b)}
Clodinafop-propargyl	75	0.026	0.035	-
Clofentazine	50	0.01	0.0205	-
Cymoxanil	75	0.01	0.0135	0.01
Diflubenzuron	33	0.0066	0.0205	0.016
Diflufenican	58	0.11	0.19	0.18
Cinidon-ethyl	35	0.02	0.057	-
Cyclanilide	60	0.0045	0.0075	-
Cypermethrin	50	0.06	0.120	0.05
Daminozide	35	0.16	0.46	-
Deltamethrin	75	0.0075	0.010	0.01
Dinocap	70	0.003	0.0043	-
Diquat	10	0.001	0.010	-
Epoxiconazole	50	0.008	0.016	0.019
Etoazole	60	0.03	0.050	0.053
Famoxadone	40	0.0048	0.012	-
Fluazinam	35	0.004	0.011	0.0077
Flupyrifluron-methyl	60	0.08	0.13	-
Flurtamone	38	0.02	0.053	-
Foramsulfuron	20	0.1	0.50	0.5
Glyphosate	30	0.2	0.67	-
Indoxacarb	60	0.004	0.0067	0.02
Iodosulfuron methyl sodium	70	0.05	0.071	0.25
Isoxaflutole	60	0.02	0.033	-
Kresoxim-methyl	63	0.9	1.43	-
Mancozeb	50	0.035	0.0700	0.1
Mesosulfuron-methyl	3	0.2	6.7	-
Mesotrione	70	0.015	0.021	0.61
Methoxyfenozide	60	0.1	0.17	0.1
Metiram	60	0.016	0.027	-
Nicobifen	44	0.1	0.23	-
Oxadiazyl	59	0.006	0.010	0.028
Picalinofen	60	0.03	0.050	-
Picolinafen	60	0.03	0.050	-
Propoxycarbazone sodium	25	0.3	1.20	-
Pyraclostrobin	50	0.015	0.030	0.015
Pyraflufen-ethyl	56	0.112	0.20	-
Pyrimethanil	72	0.12	0.167	-
Quinoxifen	70	0.14	0.20	-
λ -Cyhalothrin	50	0.0025	0.0050	0.0075
Rimsulfuron	70	0.07	0.24	0.12
Spinosad	50	0.012	0.024	0.012
Spiroxamine	70	0.024	0.034	-
Trifloxystrobin	60	0.06	0.10	-
Ziram	50	0.015	0.030	-
Zoxamide	60	0.3	0.50	0.61

a) : AOEL not including oral absorption in EU

b) : no registration of pesticide or absence of AOEL in Korea

이미 사용중인 원제 중 AOEL이 없는 원제에 대하여 EU의 AOEL을 그대로 이용하여 cymoxanil 등 4종은 동일한 수치를 보였고, cypermethrin은 한국 AOEL 설정 시 EU와 다른 NOAEL을 선택함으로써 경구흡수율을 적용하지 않았음에도 한국 AOEL이 더 낮게 설정되었다. 등록되어 사용 중인 원제 중 AOEL이 설정되지 않은 원제에 대한 AOEL을 지속적으로 설정하고 있으므로 이에 따라 AOEL이 설정되면 나머지 농약성분에 대한 비교도 가능할 것으로 사료된다.

EU와 한국의 AOEL을 이용한 농작업자 위해성 평가

경구흡수율이 80% 미만인 농약성분 50종 중 한국에 등록된 농약 28품목에 대하여 Ko-POEM으로 노출량을 산출하고 EU의 AOEL을 적용하여 농작업자위해성평가를 실시한 결과, α -cypermethrin WG (Water-dispersible Granule) 등 16품목은 독성노출비가 1 초과로 위해성이 낮게 나타났으며 chlorothalonil WG 등 12품목은 독성노출비가 1 이하로 위해성이 높게 나타났다(Table 3). 반면 위의 50종 중 한국의 AOEL이 설정된 24품목에 대하여 Ko-POEM으로 노출량을 산출하고 한국 AOEL을 적용하여 농작업자위해성평가를 실시한 결과 α -cypermethrin WG 등 18품목은 독성노출비가 1 초과로 위해성이 낮게 나타났으며 chlorothalonil WG 등 6품목은 독성노출비가 1 이하로 위해성이 높게 나타났다(Table 3).

한국 AOEL이 설정되지 않은 daminozide WP (Wettable Powder) 등 4품목에 대하여 EU의 AOEL에 경구흡수율을 100%로 변환하여 적용한 AOEL (Table 2)를 이용하여 농작업자 위해성평가를 실시한 결과, daminozide WP 등 4품목 모두 독성노출비가 1 초과로 위해성이 낮게 나타났다. 본 연구에서 경구흡수율을 적용한 AOEL을 이용하여 위해성 평가를 실시하였을 때 daminozide WP와 famoxadone SC (Suspension Concentration)는 독성노출비가 1 이하로 위해성이 낮게 나타났다. 경구흡수율을 적용한 EU AOEL과 적용하지 않은 AOEL을 이용한 4품목에 대한 농작업자 위해성 평가 결과, daminozide WP와 famoxadone SC (Suspension Concentration)는 위해성 결과가 다르게 나타났고, kresoxim-methyl WG과 pyrimethanil SC는 경구 흡수율 적용 여부에 상관없이 위해성 평가 결과가 동일한 것을 볼 수 있었다.

경구흡수율 적용 및 미적용 EU AOEL과 한국 AOEL을 사용한 28품목에 대한 농작업자위해성평가 결과, diflubenzuron WP, famoxadone SC, daminozide WP, indoxacarb WG, oxadiazyl SC, rimsulfuron WP를 제외한 22품목에서 독성노출비에 따른 위해성 평가결과가 일치하였다. 독성노출비를 비교하였을 때 Diflubenzuron WP의 경우 EU와 한국 AOEL 적용 시 독성노출비가 각각 0.42, 1.01로 2.4배 차이가 났고, daminozide WP는 각각 0.60, 1.71로 2.9배, famoxadone SC는 각각 0.69, 1.71로 2.5배, indoxacarb WG

Table 3. Comparison of operator risk assessment with AOEL in EU and Korea

Plant protection product	a.i. content (%)	Applied crop	Spary volume (L/ha)	Application dose (L/ha)	Exposure (mg/kg bw/day)	AOEL (mg/kg bw/day)		TER (Toxicity/Exposure ratio)	
						EU	Korea	EU	Korea
α -Cypermethrin WG	15	apple	4500	0.9	0.00455	0.01	0.03	2.20	6.59
Bifenthrin EW	10	apple	4500	0.9	0.00444	0.0075	0.05	1.69	11.26
Benfluralin WP	50	grass	1500	3.75	0.0174	0.05	1	2.87	57.47
Chlorothalonil WG	82.5	apple	4500	2.925	0.0812	0.009	0.021	0.11	0.26
Cymoxanil WG	30	grapes	3000	1.5	0.0133	0.01	0.01	0.75	0.75
Diflubenzuron WP	25	apple	4500	1.8	0.0159	0.0066	0.016	0.42	1.01
Diflufenican SC	3.2	non-crop land	1500	7.5	0.00608	0.11	0.18	18.10	29.61
Cypermethrin EC	5	apple	4500	4.5	0.00885	0.06	0.05	6.78	5.70
Daminozide WP	85	flower	1500	12	0.269	0.16	-	0.60	-
Deltamethrin EW	2.7	apple	4500	1.8	0.00239	0.0075	0.01	3.14	4.18
Etoazole SC	10	apple	4500	1.125	0.00518	0.03	0.053	5.80	10.23
Famoxadone SC	17.5	potato	1500	1.5	0.007	0.0048	-	0.69	-
Fluazinam WP	50	mandarin	4500	2.25	0.0214	0.004	0.0077	0.19	0.36
Foramsulfuron SC	2.3	grass	1500	1.5	0.00092	0.1	0.5	108.70	543.48
Indoxacarb WG	30	apple	4500	0.7425	0.00750	0.004	0.02	0.53	2.67
Iodosulfuronmethyl sodium WG	10	grass	1500	0.1875	0.000524	0.05	0.25	95.42	477.10
Kresoxim-methyl WG	50	apple	4500	1.5075	0.0254	0.9	-	35.43	-
Mancozeb WP	75	apple	4500	9	0.238	0.035	0.1	0.15	0.42
Mesotrione SC	40	grass	1500	0.3	0.004	0.015	0.61	3.75	152.5
Methoxyfenozide SC	21	apple	4500	1.125	0.0109	0.1	0.1	9.17	9.17
Metiram WG	55	apple	4500	9	0.170	0.016	0.027	0.094	0.16
Oxadiazyl SC	34.5	grass	1500	1.875	0.0170	0.006	0.028	0.35	1.65
Pyraclostrobin EC	22.9	apple	4500	1.125	0.0153	0.015	0.015	0.98	0.98
Pyrimethanil SC	30	grapes	3000	3	0.0254	0.12	-	4.72	-
λ -Cyhalothrin EW	3	apple	4500	1.5075	0.00238	0.0025	0.0075	1.05	3.15
Rimsulfuron WP	60	grass	1500	7.5	0.119	0.07	0.12	0.59	1.01
Spinosad WG	10	mandarin	4500	2.25	0.0047	0.012	0.012	2.55	2.55
Trifloxystrobin WG	50	apple	4500	1.125	0.0133	0.06	0.06	4.51	4.51

-WG : Water-dispersible Granule, WP : Wettable Powder, SC : Suspension Concentration, EW : Emulsion in Water, EC : Emulsion Concentration

Table 4. Operator risk assessment with EU AOEL converted with 100% oral absorption

Plant protection product	Concentration (%)	Crop	Volume (L/ha)	Dose (L/ha)	Exposure (mg/kg bw/day)	AOEL (mg/kg bw/day)	TER
Daminozide WP	85	flower	1500	12	0.269	0.46	1.71
Famoxadone SC	17.5	potato	1500	1.5	0.007	0.012	1.71
Kresoxim-methyl WG	50	apple	4500	1.5075	0.0254	1.43	56.30
Pyrimethanil SC	30	grape	3000	3	0.0254	0.17	6.69

-WG : WG : Water-dispersible Granule, WP : Wettable Powder, SC : Suspension Concentration

는 각각 0.53, 2.67로 5배 차이가 나타났다. Oxadiazyl SC의 경우 EU와 한국 AOEL 적용 시 독성노출비가 각각 0.35와 1.65로 4.7배 차이였고, rimsulfuron WP은 각각 0.59와

0.01로 1.7배 차이가 나타났다. 위해성평가를 실시한 28품목 중 6품목에서 경구흡수율 적용 시 농작업자위해성 결과가 다르게 나타나 AOEL이 낮아졌을 때 21% 정도가 위해성이

높아지는 경우에 해당되는 것을 알 수 있었다.

경구흡수율을 적용한 농작업자위해성평가의 경우 경구흡수율 80% 미만의 농약성분을 함유한 28품목에 대한 위해성이 높게 평가될 것이라는 예상과는 달리 6품목만이 위해성이 높은 것으로 나타나 현재의 평가 방법으로는 21% 농약의 위해성평가 결과가 상이한 것으로 나타났다. 이러한 부분을 보완하기 위하여 피부흡수율을 적용한 노출량 산출 수치를 동물실험의 투여용량으로부터 도출한 AOEL과 비교하기보다는 경구흡수율과 피부흡수율을 감안한 AOEL 설정 및 노출량 산출방법을 도입하는 것이 실제에 더 가까운 평가방법으로 판단되므로 등록농약의 평가에 적용될 수 있도록 개선이 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국립농업과학원 기본과제 ‘농산물 안전성을 위한 농약의 독성평가 체계 확립’ 중 세부과제 ‘농작업자 노출 허용량 평가기준 개선’(PJ008582042014)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

Literature cited

- Agro-Material industry Division, RDA (2012) Enforcement ordinance, attach 2 in legislation for pesticide regulation, Legislation and Notification·Directive for pesticide regulation, RDA, pp. 202-214.
- Agro-Material industry Division, RDA (2012) Enforcement ordinance, attach 2 in legislation for pesticide regulation, Legislation and Notification·Directive for pesticide regulation, RDA, pp. 228-236.
- Byoun, J. Y., H. Choi, J. K. Moon, H. W. Park, K. H. Liu, Y. B. Ihm, B. S. Park and J. H. Kim (2005) Risk assessment of human exposure to methidathion during harvest of cucumber in green house. *Journal of Korean Society of Toxicology* 21:297-301.
- Calumpang, S. M. F. and M. J. B. Medina (1996) Applicator exposure to imidacloprid while spraying mangoes. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 57:697-704.
- Choi, H., H. Choi, J. K. Moon, K. H. Liu, H. W. Park, Y. B. Ihm, B. S. Park and J. H. Kim (2006) Risk assessment of human exposure to cypermethrin during treatment of mandarin fields. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 50:437-442.
- Crosby, D. G. (1998), *Environmental toxicology and chemistry*, Chapter 10 exposure and risk, pp. 185-204.
- European commission (2006), *Guidance for the setting and application a of acceptable operator exposure levels (AOELs)*, Health & Consumer protection directoratie-general, SANCO 7531-rev.10.
- JMP (1986) UK Predictive Operator Exposure Model (POEM): Estimation of exposure and absorption of pesticides by spray operator, UK scientific Sub-committee on Pesticides and British Agrochemical Association Joint Medical Panel, Pesticide Safety Directorate, York, UK.
- Korea Crop Protection Association (2014), *Guidline for plant protect product*, Korea Crop Protection Association.
- Kim, E. H., H.R. Lee, H. Choi, J. K. Moon, S. S. Hong, M. H. Jeong, K. H. Park, H. M. Lee, A. X. Hua and J. H. Kim (2011) Method validation for monitoring of agricultural worker exposure to insecticide fenthion. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 15(4):357-365.
- Liu, K. H., C. S. Kim and J. H. Kim (2003) Human exposure assessment to mancozeb during treatment of madarin fields. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 70:336-342.
- 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.
- Shin, J. S. (2007) Study on Establishment of Acceptable Operator Exposure Level, Research report in department of Agro-food Safety, National Academy of Agricultural Science, pp. 319-330.
- Turnbull, G. L. (1985) Current trends and future needs, In: Turnbull GL (de) *Occupational hazards of pesticide use*, Taylor& Francis, London, pp. 99-116.
- 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) Pretictive exposure modelling for pesticide registration purpose, *Ann. Occup. Hyg.* 37:525-541.

경구흡수율을 반영한 농약의 AOEL 설정 및 농작업자 위해성 평가

유아선* · 홍순성 · 이제봉 · 이승돈 · 임양빈

국립농업과학원 농산물안전성부 농자재평가과

요 약 미국, EU, 한국의 농작업자위해성평가를 위한 AOEL 설정, 국가별 경구흡수율 적용, 노출량 산출방법을 조사하였다. 농약성분 141종에 대한 경구흡수율을 조사하였으며 경구흡수율을 적용한 농작업자노출허용량(AOEL)과 국내 설정 AOEL을 이용하여 농작업자위해성평가를 실시하였다. 미국과 EU에서는 external dose를 internal dose로 변환하기 위하여 경구흡수율 또는 피부흡수율을 적용하였으나 한국에서는 AOEL 설정 시 경구흡수율을 적용하지 않은 external dose를 사용하였다. 141종의 농약성분 중 50종이 경구흡수율 80% 미만이었으며 경구흡수율을 적용하는 경우 약 36%의 농약성분이 이전 AOEL보다 낮아질 것으로 사료되었다. 50종의 농약성분 중 한국에 등록된 농약 28품목에 대해 EU AOEL을 이용하여 농작업자위해성평가를 실시한 결과, chlorothalonil WG 등 12품목이 독성노출비가 1 이하로 계산되어 위해성이 높은 것으로 나타났다. 또한 50종 중 한국 AOEL이 설정되어 있으며 한국에 등록된 농약 24품목에 대해 한국 AOEL을 이용하여 농작업자위해성평가를 실시한 결과, chlorothalonil WG 등 6품목은 독성노출비가 1 이하로 위해성이 높게 나타났다. 한국 AOEL이 없는 4품목에 대해 EU AOEL을 경구흡수율 100%로 환산한 수치를 이용하여 위해성평가를 실시한 결과, daminozide WP 등 4품목 모두 독성노출비 1 초과로 위해성이 낮게 나타났다. 경구흡수율 적용 및 미적용 EU AOEL과 한국 AOEL을 사용한 농작업자위해성평가를 비교한 결과 oxadiagyl SC 등 6품목을 제외한 22품목에서 동일한 위해성평가 결과가 나타났다. 본 연구 결과, 농작업자 위해성 평가를 실시할 때 경구흡수율을 적용한 AOEL을 이용할 수 있을 것으로 사료되었다. 경구흡수율을 적용한 AOEL 설정 및 이용한 농작업자위해성평가를 수행하였을 때 보다 실제에 가까운 평가방법으로 판단되므로 등록농약의 평가에 적용될 수 있도록 개선이 필요할 것으로 사료된다.

색인어 경구흡수율, 농작업자노출허용량, 위해성평가