



## 비닐하우스 농작업자에 대한 acetamiprid 노출 및 위해성평가

박연기\* · 오진아 · 신지영 · 이 슬 · 이명지 · 함성남

국립농업과학원 농산물안전성부 농자재평가과

## Risk Assessment on Exposure of Acetamiprid for Agricultural Worker in Greenhouse

Yeon-Ki Park\*, Jin-A Oh, Ji-Young Shin, Seul Lee, Myung-Ji Lee, Sung-Nam Ham

Division of Agro-material Safety evaluation, Department of Agro-food Safety, National institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea

(Received on July 22, 2020. Revised on August 19, 2020. Accepted on August 24, 2020)

**Abstract** The pesticide exposure level to agricultural workers, doing work in the pesticide applied area, varies depending on the pesticide application methods and personal protective equipments (work clothes, gloves etc.). In this study, the exposure level of acetamiprid for the agricultural workers in greenhouse was calculated by the OpEx model, and the risk to workers was assessed. Depending on the application method, the exposure level was calculated in the order of spray < mist < fog. The level of exposure between products was in the order of 4% WG = 8% SC < 2.5% WP = 5% WP < 6% WG < 4% WP = 8% WP = 8% SG = 8% WG = 8% DC = 8% SL < 5% SL, and there was no difference by formulation type. Compared to non-wearing, the exposure level of acetamiprid was reduced by 48% while workers put on the work clothes. Furthermore, the exposure level was reduced by 87% when they wear the work clothes and gloves compared to non-wearing. As a results of the risk assessment for workers, regardless of the application method and formulation type, the exposure level was about 4 times higher than the AOEL, when no protective equipment was worn, and all of 12 pesticides have unacceptable risk to agricultural workers. On the other hand, in case of wearing work clothes with gloves, the exposure level was lower than the AOEL, and all 12 pesticides showed acceptable risk to workers. Therefore, it is recommended that farmers who work in the greenhouse applied acetamiprid, must wear the work clothes and gloves.

**Key words** greenhouse, acetamiprid, risk assessment, worker, strawberry

## 서 론

농약을 사용하는 농약 살포자(operator)는 농약 살포액 조제와 살포과정에서 직접적으로 농약에 노출되고, 농작업자(agricultural worker)는 농약이 살포된 지역에서의 농작업으로 인해 간접적으로 잔류농약에 노출된다. 그러나 많은 종류의 농약과 다양한 농작업으로 인한 농약 노출량을 모두 측정하는 것은 현실적으로 어려워 미국, 유럽 등에서는 노출 시나리오와 예측 모델을 개발하여 농약 노출량을 계산하고 농약 등록 시 농약 살포자와 농작업자 위해성 평가에 이

용하고 있다(Kim, 2013).

2008년 이전, 우리나라 농약 살포자에 대한 위해성(risk) 평가는 농약 등록 시 제출하는 실험동물을 이용한 독성자료를 이용하여 위해성(hazard)을 알아보거나(Lee et al., 2005), 외국의 노출량 예측 모델을 활용하여 위해성을 평가하는 정도였다(Hong et al., 2007). 그러다 2009년부터 국내 농작업 형태를 반영한 한국형 농약 노출량 예측모델(Korean Pesticide Operator Exposure model; Ko-POEM)을 개발하여 농약 등록단계에서 농약 살포자에 대한 위해성 평가에 활용하고 있다(RDA, 2020). 그 후 피부, 호흡 등의 노출 경로와 패치, 전신복장 등의 분석법에 따라 농약 살포자에 대한 위해성을 알아보려고 하는 연구는 계속되었고, 그 결과

\*Corresponding author  
E-mail: freshfish@korea.kr

농약의 제형별, 살포방법, 개인 보호 장비 착용여부 등 다양한 상황에 따라 위해성이 다르게 나타남이 밝혀졌다(Kim et al., 2011; Kim et al., 2012; Kim et al., 2014; Lee et al., 2019).

한편, 통계 자료에 의하면 우리나라 농업인구와 경지면적은 감소하는 반면 시설재배 면적은 계속 증가하여 2018년 기준으로 81,195 ha에 달한다. 특히 소득 증가와 웰빙(well-being) 추구 등으로 소득이 높은 신선한 채소 재배가 늘어났는데, 2018년 말 채소를 재배하기 위한 비닐하우스, 유리온실 등 시설면적은 51,226 ha로 전체 시설재배 작물면적의 63%를 차지한다. 채소재배 시설 유형별로 보면 비닐하우스가 50,876 ha로 전체 채소 재배 시설의 99.3%를 차지한다(KOSIS, 2019). 비닐 하우스재배는 일반재배보다 상대적으로 고온 다습한 조건으로 병해충 발생이 빈번하고 빠르게 확산되기 때문에 효과적인 농약 방제는 비닐하우스 재배의 성과와 직결된다(MAFRA, 1999). 하지만 농작업자가 하우스 농작업을 통해 잔류농약에 반복 노출될 경우 정자의 농도나 형태, 생존력 등이 위협에 처할 수 있고(Abell et al., 2000), 임신 기간을 늘려 태아에 위험을 줄 수 있으며(Bretveld et al., 2006), 낮은 잔류 농약에 노출 되더라도 염색체 이상을 보일 수 있고(Lander et al., 2000), 농약이 살포된 노지 또는 하우스 농작업자는 신경 이상과 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Kamel et al., 2003). 협소하고 밀폐된 공간에서 장시간 작업을 하는 비닐 하우스재배 농업인의 두통, 손떨림, 현기증, 구토, 호흡 곤란 등의 하우스병(house diseases) 증상은 단순히 밀폐된 공간에 의한 스트레스나 고온 다습 등의 영향뿐만 아니라 하우스내의 잔류농약들에 대한 접촉과 호흡에 의한 중독으로 보고하고 있다(Kim, 1994; Lee et al., 1994; Lee et

al., 1999; Lim and Kim, 2003; Lee, 2004; Kim et al., 2006; Park and Oh, 2008).

비닐하우스 재배농민 실태 조사에 따르면 농가의 1년 동안 농약살포 횟수는 평균 23.79회로 일반 농가의 8.36회보다 약 3배 많다(Jen, 1996). 또한 비닐하우스 농가 하루 작업시간은 9시간 이상이었으며, 농약 살포 후 다시 비닐하우스에 재 입실시간은 1~2시간 이내가 45.5%, 3시간 이후가 54.5% 이었다(Kim and Park, 1994). 이런 비닐하우스 농가의 농약 살포횟수와 재 출입시간은 농작업자의 농약 노출 가능성이 노지보다 높을 수 있음을 예상할 수 있다. 그러나 우리나라의 농업환경은 비닐하우스 등 시설재배가 성행하고 있으나 농약 살포된 하우스 내 농작업을 하는 농작업자에 대한 농약 노출이나 위해성 평가연구는 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 딸기의 목화진딧물을 방제하는 살충제 아세타미프리트(acetamiprid)를 대상으로 유럽의 농약 노출량 산정 모델인 OpEx(Occupational Exposure)를 활용하여 농약 살포방법별 개인 보호 장비 착용에 따른 농작업자의 농약 노출량을 구하고 위해성을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 농약 사용정보

Table 1에서 보는 바와 같이 딸기의 목화진딧물을 방제하는 acetamiprid는 입상수화제(WG), 액상수화제(SC), 수화제(WP), 입상수용제(SG), 분산성액제(DC), 그리고 액제(SL) 등 12개 품목을 대상으로 하였다. 12제품의 1 ha 당 원제 살포량은 0.024~0.060 kg이었고(KCPA, 2020), 1 ha 당 살포 물량은 1,200 L로 하였다(RDA, 2020).

**Table 1.** The general information of acetamiprid

Formulation type	A.I. <sup>g)</sup> (%)	Formulation dose/20 L water (mL, g)	Spray volume (L/ha)	Application dose (kg a.i./ha)
WG <sup>a)</sup>	4	10	1,200	0.024
SC <sup>b)</sup>	8	5	1,200	0.024
WP <sup>c)</sup>	2.5	20	1,200	0.030
WP <sup>c)</sup>	5	10	1,200	0.030
WG <sup>c)</sup>	6	10	1,200	0.036
WP <sup>c)</sup>	4	20	1,200	0.048
WP <sup>c)</sup>	8	10	1,200	0.048
SG <sup>d)</sup>	8	10	1,200	0.048
WG <sup>a)</sup>	8	10	1,200	0.048
DC <sup>e)</sup>	8	10	1,200	0.048
SL <sup>f)</sup>	8	10	1,200	0.048
SL <sup>f)</sup>	5	20	1,200	0.060

<sup>a)</sup>WG: water dispersible granule, <sup>b)</sup>SC: suspension concentrate, <sup>c)</sup>WP: wettable powder water dispersible, <sup>d)</sup>SG: water soluble granule, <sup>e)</sup>DC: dispersible concentrate, <sup>f)</sup>SL: soluble concentrate, <sup>g)</sup>A. I.: active ingredient.

### 농작업자 노출량 산정

OpEx모델은 농작업자 농약노출량을 산출하기 위한 피부 흡수율은 100%, 농작업시간은 8시간, 살포면적은 1 ha, 초기 엽면잔류량(dislodgeable foliar residue; DFR)은  $3 \mu\text{g a.i./cm}^2$ 로 설정되어 있다. 농작업 종류는 하우스 내 수확작업, 살포방법은 작물에 직접 살포하는 spray, 작은 농약 알갱이가 수증기처럼 하우스 내 공기 중에 부유해 있는 mist, 농약 입자가 아주 작아 짙은 안개나 연기 같은 fog 등 3가지 방법을 선택하여 설정하였다.

위의 설정된 살포 방법별 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 때, 팔과 다리를 덮은 작업복을 착용할 때, 그리고 작업복과 장갑을 함께 착용할 때를 가정하여 농작업자 농약 노출량을 산정하였다.

### 농작업자 위해성 평가

OpEx모델을 통해 산출한 acetamidrid 노출량과 농작업자 노출허용량(acceptable operator exposure level; AOEL)을 비교하여, 노출량이 AOEL보다 크면 위해성이 있고, 노출량이 AOEL보다 작으면 위해성이 없는 것으로 평가하였다(RDA, 2020). 일반적으로 농약의 AOEL값은 개나 설치류 등의 이급성 독성시험에서 설정한 최대무작용량(no observed adverse effect level; NOAEL)에 체내흡수율, 안전계수를 반영하여 설정한다(EC, 2006). 본 연구에서 acetamidrid의 AOEL값은 유럽식품안전청(european food safety authority; EFSA)의 평가보고서에서 제안한  $0.025 \text{ mg/kg bw/day}$ 를 사용하였다(EFSA, 2016).

## 결과 및 고찰

### Spray 살포 후 농작업자 노출량

비닐하우스 내 딸기에 acetamidrid를 직접 살포 후 농작업

자의 개인 보호 장비 착용에 따른 12개 농약제품의 노출량을 Fig. 1에 나타내었다.

1 ha 당 acetamidrid 살포량이  $0.024 \text{ kg}$ 으로 12개 제품 중 살포량이 가장 적은 4% WG와 8% SC 2개 제품은 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은  $0.05568 \text{ mg/kg bw/day}$ 이었다. 반면, 농작업자가 작업복을 착용할 경우 노출량은  $0.02880 \text{ mg/kg bw/day}$ 이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 노출량이  $0.00720 \text{ mg/kg bw/day}$ 으로 나타났다. 농작업자가 작업복을 착용할 경우는 개인 보호 장비를 착용 하지 않을 때 보다 농약 노출은 48% 감소하였고, 작업복과 장갑을 함께 착용 할 때는 개인 보호 장비를 착용하지 않았을 때 보다 87% 농약 노출 저감 효과가 나타났다. 이것은 Krieger와 Dinoff (2000)의 농약 살포지역 내 딸기 수확 작업을 하는 농작업자의 소변 샘플모니터링 결과 장갑을 착용한 농작업자가 장갑을 착용하지 않은 농작업자보다 40% 농약 노출 저감 효과를 보인다는 보고와 유사하였다.

1 ha 당 acetamidrid 살포량이  $0.03 \text{ kg}$ 인 2.5% WP와 5% WP 2개 제품은 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은  $0.06960 \text{ mg/kg bw/day}$  이었다. 반면, 농작업자가 작업복을 착용할 경우 노출량은  $0.03600 \text{ mg/kg bw/day}$  이었고, 작업복과 장갑을 착용할 경우는  $0.00900 \text{ mg/kg bw/day}$ 으로 나타났다. 4% WG와 8% SC보다 1 ha 당 acetamidrid 살포량이  $0.006 \text{ kg}$  더 많아 농작업자 노출량도 20% 증가하였다. 개인 보호 장비 착용에 따른 농작업자 노출량 저감 효과는 4% WG와 8% SC와 동일하였다. 1 ha 당 acetamidrid 살포량이  $0.036 \text{ kg}$ 인 6% WG는 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은  $0.08352 \text{ mg/kg bw/day}$ 이었다. 반면, 농작업자가 작업복을 착용할 경우는 노출량이  $0.04320 \text{ mg/kg bw/day}$ 이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는  $0.01080 \text{ mg/kg bw/day}$ 으로 나타

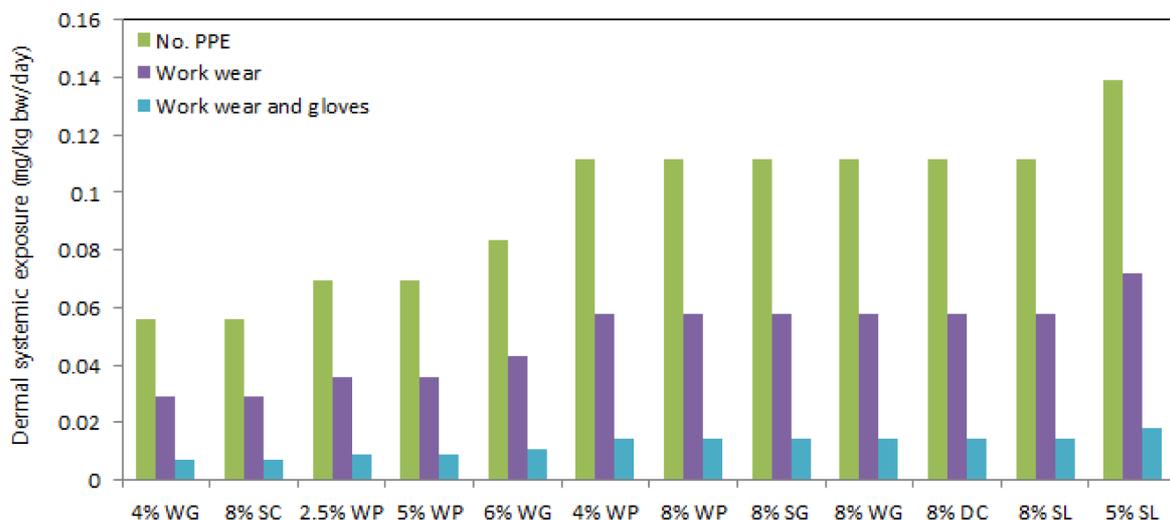


Fig. 1. The dermal systemic exposure of sprayed acetamidrid calculated by OpEx depending on the personal protective equipment.

났다. 2.5% WP와 5% WP보다 1 ha 당 acetamiprid 살포량이 0.006 kg 늘어남에 따라 농작업자 노출량도 17% 증가하였고, 개인 보호 장비 착용에 따른 농작업자 노출량 저감 효과는 4% WG와 8% SC와 동일하였다.

1 ha 당 acetamiprid 살포량이 0.048 kg인 4% WP, 8% WP, 8% SG, 8% WG, 8% DC, 8% SL 등 6개 제품은 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은 0.11136 mg/kg bw/day이었다. 반면, 농작업자가 작업복만 착용할 경우 노출량은 0.05760 mg/kg bw/day이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 0.01440 mg/kg bw/day으로 나타났다. 6% WG보다 1 ha 당 acetamiprid 살포량이 0.012 kg 늘어남에 따라 농작업자 노출량도 25% 증가하였고, 개인 보호 장비 착용에 따른 농작업자 노출량 저감 효과는 위와 동일하였다. 1 ha 당 acetamiprid 살포량이 0.06 kg으로 가장 많은 5% SL은 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은 0.13900 mg/kg bw/day이었다. 반면, 농작업자가 작업복을 착용할 경우 노출량은 0.07200 mg/kg bw/day이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 0.01800 mg/kg bw/day으로 나타났다. 4% WP 등 6개 제품보다 1 ha 당 acetamiprid 살포량이 0.012 kg 늘어남에 따라 농작업자 노출량도 20% 증가하였고, 개인보호 장비 착용에 따른 농작업자 노출량 저감 효과는 다른 농약제품들과 동일하였다. 이상의 결과를 정리하면 acetamiprid 제품의 사용량 증가에 따라 농작업자 노출량도 증가 하였으나 일정한 상관관계는 없었다. 사용량이 같은 농약은 농작업자 노출량도 동일하여 농약 제형 간 농작업자 노출량 차이는 없었다.

#### Mist 살포 후 농작업자 노출량

비닐하우스 내 공기 중에 acetamiprid를 분무 후 농작업자의 개인 보호 장비 착용에 따른 12개 농약제품의 노출량을 Fig. 2에 나타내었다.

4% WG와 8% SC 2개 제품은 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은 0.055776 mg/kg bw/day이었다. 반면, 농작업자가 작업복을 착용할 경우의 노출량은 0.028896 mg/kg bw/day이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 0.007296 mg/kg bw/day으로 나타났다. 살포방법 차이에 따른 농작업자 노출량은 Mist 살포가 Spray 보다 0.3% 증가를 보였고, 농작업자가 작업복을 착용할 경우는 개인 보호 장비를 착용 하지 않을 때 보다 농약 노출은 48% 감소하였고, 작업복과 장갑을 함께 착용 할 때는 개인 보호 장비를 착용하지 않았을 때 보다 87% 농약 노출 저감 효과가 나타났다. 2.5% WP와 5% WP 2개 제품은 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은 0.069720 mg/kg bw/day이었다. 반면, 농작업자가 작업복만 착용할 경우 노출량은 0.036120 mg/kg bw/day이었고, 작업복과 장갑을 착용할 경우는 0.009120 mg/kg bw/day이었다.

살포방법 차이에 따른 농작업자 노출량 증가와 개인 보호 장비 착용에 따른 농약 노출 저감 효과는 4% WG와 8% SC와 동일하였다. 6% WG는 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은 0.083664 mg/kg bw/day이었다. 반면, 농작업자가 작업복을 착용할 경우 노출량은 0.043344 mg/kg bw/day이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 0.010944 mg/kg bw/day이었다. 살포방법 차이에 따른 농작업자 노출량 증가와 개인 보호 장비 착용에 따른 농약 노출 저감 효과는 위와 동일하였다. 4% WP, 8% WP, 8% SG, 8% WG, 8% DC, 8% SL 등 6개 제품은 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은 0.111552 mg/kg bw/day이었다. 반면, 농작업자가 작업복을 착용할 경우 노출량은 0.057792 mg/kg bw/day이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 0.014592 mg/kg bw/day이었다. 살포방법 차이에 따른 농작업자 노출량 증가와 개인 보호 장비 착용에 따른 농약 노출 저감 효과는 6% WG와 동일하였

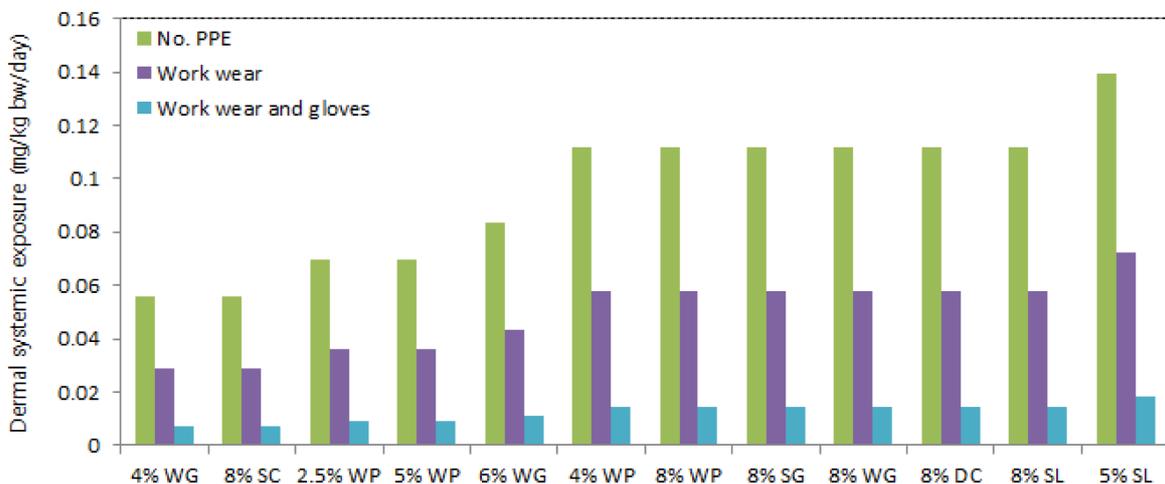


Fig. 2. The dermal systemic exposure of misted acetamiprid calculated by OpEx depending on the personal protective equipment.

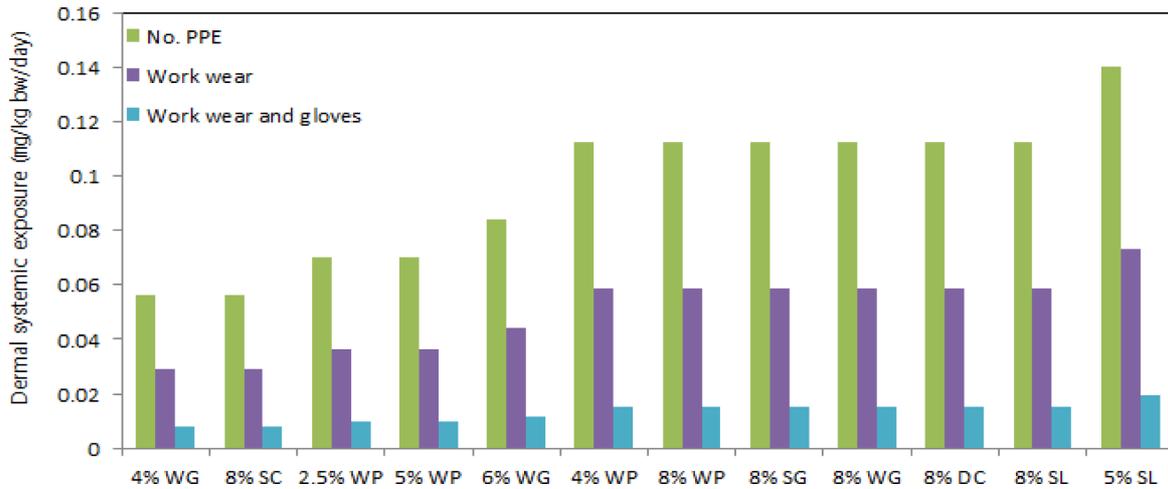


Fig. 3. The dermal systemic exposure of fogged acetamidrid calculated by OpEx depending on the personal protective equipment.

다. 5% SL는 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은 0.139440 mg/kg bw/day이었다. 반면, 농작업자가 작업복을 착용할 경우 노출량은 0.072240 mg/kg bw/day이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 0.018240 mg/kg bw/day이었다. 살포방법 차이에 따른 노출량 증가와 개인 보호 장비 착용에 따른 농약 노출 저감 효과는 다른 제품들과 동일하였다. 제품의 살포량이 같은 경우 농작업자 노출량은 동일하여 Spray와 마찬가지로 제형 간 농작업자 노출량 차이는 없었다.

#### Fog 살포 후 농작업자 노출량

비닐하우스 내 공기 중에 acetamidrid를 연무 후 농작업자의 개인 보호 장비 착용에 따른 12개 농약제품의 노출량을 Fig. 3에 나타내었다.

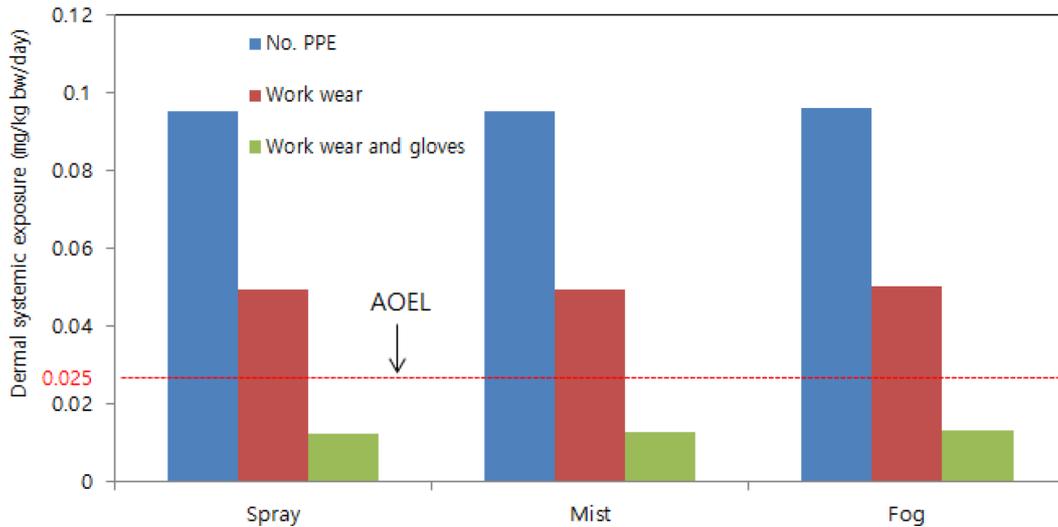
4% WG와 8% SC 2개 제품은 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은 0.056160 mg/kg bw/day이었다. 반면, 농작업자가 작업복을 착용할 경우 노출량은 0.029280 mg/kg bw/day이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 0.007680 mg/kg bw/day으로 나타났다. 살포방법 차이에 따른 농작업자 노출량은 Mist와 Spray보다 각각 0.7%, 1% 증가 하였다. 개인 보호 장비 착용에 따른 농약 노출 저감 효과는 Spray나 Mist와 마찬가지로 농작업자가 작업복을 착용할 경우는 개인 보호 장비를 착용 하지 않을 때 보다 농약 노출은 48% 감소하였고, 작업복과 장갑을 함께 착용 할 때는 개인 보호 장비를 착용하지 않았을 때 보다 87% 농약 노출 저감 효과가 나타났다. 2.5% WP와 5% WP 2개 제품은 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은 0.070200 mg/kg bw/day이었다. 반면, 농작업자가 작업복을 착용할 경우 노출량은 0.036600 mg/kg bw/day이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 0.009600 mg/kg bw/day이었다. 살포방법 차이에 따른 농작업자 노출

량 증가나 개인 보호 장비 착용에 따른 농약 노출 저감 효과는 위와 동일하였다. 6% WG는 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은 0.084240 mg/kg bw/day이었다. 반면, 농작업자가 작업복을 착용할 경우 노출량은 0.043920 mg/kg bw/day이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 0.011520 mg/kg bw/day 이었다. 살포방법에 따른 농작업자 노출량 증가나 개인 보호 장비 착용에 따른 농약 노출 저감 효과는 위와 동일하였다.

4% WP, 8% WP, 8% SG, 8% WG, 8% DC, 8% SL 등 6개 제품은 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은 0.112320 mg/kg bw/day이었다. 반면, 농작업자가 작업복만 착용할 경우 노출량은 0.058560 mg/kg bw/day이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 0.015360 mg/kg bw/day이었다. 살포방법에 따른 농작업자 노출량 증가나 개인 보호 장비 착용에 따른 농약 노출 저감 효과는 위와 동일하였다. 5% SL는 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우 노출량은 0.140400 mg/kg bw/day이었다. 반면, 농작업자가 작업복을 착용할 경우 노출량은 0.073200 mg/kg bw/day이었고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 0.019200 mg/kg bw/day 이었다. 살포방법 차이에 따른 농작업자 노출량 증가나 개인 보호 장비 착용에 따른 농약 노출 저감 효과는 위와 동일하였다. 사용량이 같은 제품은 농작업자 노출량도 동일하여 Spray나 Mist와 마찬가지로 농약 제형 간 농작업자 노출량 차이는 없었다.

#### 농작업자 위해성 평가

살포 방법별 농작업자 개인 보호 장비 착용에 따른 acetamidrid 평균 농약 노출량과 AOEL를 Fig. 4에 나타내었다. 살포방법에 상관없이 농작업자가 개인 보호장비를 착용하지 않을 경우 평균 노출량은 0.09512~0.09594 mg/kg bw/day으로 AOEL 0.02500 mg/kg bw/day보다 3.8배 높게



**Fig. 4.** The dermal systemic exposure of acetamiprid for different application methods depending on the personal protective equipment.

나타남으로 농작업자가 농약 살포 지역 내에서 수확 등 농작업을 할 경우 12개 제품 모두 위해 가능성이 있는 것으로 나타났다. 또한, 농작업자가 팔과 다리가 덮인 작업복을 착용할 경우에도 평균 노출량은 0.04920~0.05002 mg/kg bw/day으로 AOEL보다 2배 높아 농약 살포 지역에서 농작업을 할 경우 12개 제품 모두 위해 가능성이 있는 것으로 나타났다. 반면, 농작업자가 작업복에 장갑을 착용할 경우는 평균 노출량이 0.01230~0.01312 mg/kg bw/day으로 AOEL 0.02500 mg/kg bw/day 보다 낮게 나타나 농작업자가 농약 살포 지역 내에서 농작업을 하여도 12개 제품 모두 위해성이 없는 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하면 잎 표면에 묻은 잔류농약을 효과적으로 막을 수 있고(Li et al., 2011; Sankaran et al., 2015), 농작업자가 개인 보호 장비를 착용하지 않았을 때에 비해 개인 보호 장비를 착용하고 작업을 했을 때 농작업자 손과 피부로 흡수된 농도는 낮게 나타남(Bradman et al., 2009; Salvatore et al., 2008)을 알 수 있었다. 또한, 농약이 살포된 지역에서의 개인 보호 장비 착용은 농약 노출에 영향을 주는 주요 요인(Sankaran et al., 2015; Kasiotis et al., 2017)이라는 것을 재확인 할 수 있었다.

OpEx모델은 농작업자의 호흡이나 섭취(음식물 또는 담배 등)를 통한 농약 노출량은 무시하고 작물 접촉을 통한 피부 노출량만 산정하고 있어 농작업자가 마스크를 착용할 경우에 대한 농약 노출 저감 효과는 알 수 없다. 그러나, 농약 살포 지역 내 농작업자의 농약 노출은 피부뿐만 아니라 호흡이나 섭취를 통해서도 일어나지만(Aprea et al., 2002; Cherrie et al., 2006) 피부를 통한 노출이 가장 중요한 노출 경로(Brouwer et al., 1992; Jurewicz et al., 2009)라는 보고

를 고려하면 OpEx모델을 통해 산출한 피부 노출량은 농작업자 전체 농약 노출량으로 보고 위해성 평가를 하여도 큰 문제는 없을 것으로 생각한다. 이상의 OpEx모델을 활용한 acetamiprid 살포 지역 내 농작업을 하는 농작업자의 노출량과 위해성 평가 결과는 농작업자의 건강 보호를 위해 작업복과 장갑 등의 개인 보호 장비 착용의 중요성을 알리는데 중요한 자료가 될 것이다. 아울러 농작업자의 농약 노출을 줄이기 위해 개인 보호 장비 착용 기간이나 농약 살포 후 재 출입기간 설정에 대한 연구뿐만 아니라 우리나라 농업환경을 반영한 한국형 농작업자 노출 평가 모델 개발을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 현재 우리나라 농업인의 복지증진과 건강을 유지하기 위한 여러 가지 프로그램들을 국가적으로 개발하고 있으나 정작 중요한 농약살포 지역에서 농작업을 하는 농작업자의 건강보호에 대한 인식은 아직 부족한 실정이다. 따라서, 일종의 농업 직업병으로 보고 있는 농약 피해에 대해 농약 살포지역 내 농작업자에 대한 위해성을 검토하고 평가하여 농약관리 정책에 반영한다면 농촌사회뿐만 아니라 국가 사회적인 면에서도 아주 중요한 기여를 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 2018년부터 2021년까지 수행중인 농촌진흥청의 “미닐하우스 재배조건에서의 농약 노출 평가”(과제번호; PJ01346603)의 연구비 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## Author Information and Contributions

Yeon-Ki Park, Division of Agro-material Safety

evaluation, Department of Agro-food Safety, National institute of Agricultural Sciences, Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-1870-794X>

Jin-A Oh, Division of Agro-material Safety evaluation, Department of Agro-food Safety, National institute of Agricultural Sciences, Researcher.

Ji-Young Shin, Division of Agro-material Safety evaluation, Department of Agro-food Safety, National institute of Agricultural Sciences, Researcher.

Seul Lee, Division of Agro-material Safety evaluation, Department of Agro-food Safety, National institute of Agricultural Sciences, Master.

Myung-Ji Lee, Division of Agro-material Safety evaluation, Department of Agro-food Safety, National institute of Agricultural Sciences, Master.

Sung-Nam Ham, Division of Agro-material Safety evaluation, Department of Agro-food Safety, National institute of Agricultural Sciences, Master.

## Literature cited

- Abell A, Ernst E, Bonde JP, 2000. Semen quality sexual hormones in greenhouse workers. *Scand J. Work Environ. Health.* 26(6):492-500.
- Apra C, Centi L, Lunghini L, Banchi B, Aurelia M, et al., 2002. Evaluation of respiratory and cutaneous doses of chlorothalonil during re-entry in greenhouse. *J. Chromatography B.* 778(1-2):131-145.
- Bradman A, Salvatore AL, Boeinger M, Castorina R, Snyder J, et al., 2009. Community-based intervention to reduce pesticide exposure to farmworkers and potential take-home exposure to their families. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 19(1):79-89.
- Bretveld R, Zielhuis GA, Roeleveld N, 2006. Time to pregnancy among female greenhouse workers. *Scand. J. Work Environ. Heal.* 32(5):359-367.
- Brouwer R, Marquart H, de Mik G, van Hemmen J, 1992. Risk assessment of dermal exposure of greenhouse workers to pesticides after re-entry. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 23(3):273-280.
- Cherrie JW, Semple S, Christopher Y, Saleem A, Hughson GW, et al., 2006. How important is inadvertent ingestion of hazardous substances at work?. *Ann. Occup. Hyg.* 50(7):693-704.
- European Commission (EC), 2006. Draft guidance for the setting and application of acceptable operator exposure levels (AOELs). Working document, SANCO 7531-rev.10.
- European Food Safety Authority (EFSA), 2016. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance acetamiprid. pp. 8-9.
- Hong SS, Lee JB, Park YK, Shin JS, Im GJ, et al., 2007. The proposed for pesticide exposure estimation of Korean orchard farmer. *Korean J. Pestic. Sci.* 11(4):281-288.
- Jen JK, 1996. A survey on the "House Diseases" for vinyl house cultivation farmers. *J. Kor. Phys. Ther. Sci.* 8(1):21-32.
- Jurewicz J, Hanke W, Sobala W, Ligocka D, 2009. Assessment of the dermal exposure to azoxystrobin among women tending cucumbers in selected polish greenhouses after restricted entry intervals expired-the role of the protective gloves. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health.* 22(3):261-267.
- Kasiotis KM, Tsakirakis AN, Glass CR, Charistou AN, Anaastasiadou P, et al., 2017. Assessment of field re-entry exposure to pesticides: A dislodgeable foliar residue study. *Sci. Total Environment.* 596-597:178-186.
- Kamel F, Rowland AS, Park LP, Anger WK, Baird DD, et al., 2003. Neurobehavioral performance and work in Florida farmworkers. *Environ. Health Perspect.* 111(14):1765-1772.
- Kim BS, 1994. The comparison of the clinical results between vinyl house workers and land farmers. *Korean J. Rural Med.* 19(1):25-29.
- Kim BS, Park TJ, 1994. A study on vinyl house disease among farmers in Kyeongnam province. *Korean J. Rural Med.* 19(1):15-23.
- Kim EH, Lee HR, Choi H, Moon JK, Hong SS, et al., 2011. Methodology for quantitative monitoring of agricultural worker exposure to pesticides. *Korean J. Pesti. Sci.* 15(4):507-528.
- Kim EH, Hwang YJ, Kim SH, Lee HR, Hong SS, et al., 2012. Operator exposure to indoxacarb wettable powder and water dispersible granule during mixing/loading and risk assessment. *Korean J. Pesti. Sci.* 16(4):343-349.
- Kim EH, Lee JH, Sung JH, Lee JW, Shin YH, et al., 2014. Exposure and risk assessment for operator exposure to insecticide acetamiprid during water melon cultivation in greenhouse using whole body dosimetry. *Korean J. Pestic. Sci.* 18(4):247-257.
- Kim JH, 2013. Exposure and risk assessment of agricultural workers by spraying pesticide in Korea; KOPOEM. The Korean Society of Pesticide Science. 2013 Spring Conference, Gyeongju, Korea. 11-12 Apr. p. 13.
- Kim KJ, Park JS, Hong CB, 2006. Analyses of working condition, exercise and health status of farmers who work in vinyl plastic hot houses. *J. Korean Soc. Living Environ. Sys.* 13(2):176-182.
- Korea Crop Protection Association (KCPA), 2020. Agrochemical use guide Book. pp. 660-690.
- Korean statistical information service (KOSIS), 2019. <http://kosis.kr/index/index.do>.
- Krieger RI, Dinoff TM, 2000. Captan fungicide exposures of strawberry harvesters using THPI as a urinary biomarker. *Arch Environ. Contam. Toxicol.* 38(3):398-403.
- Lander F, Knudsen LE, Gamborg MO, Jarventaus H, Norppa

- H, 2000. Chromosome aberrations in pesticide-exposed greenhouse workers. *Scand. J. Work Environ. Health.* 26(5):436-442.
- Lee IB, Lee YK, Chang SS, Lee SG, Cho YC, et al., 1999. A study on farmer's syndrome and its risk factors of vinyl house worker and farmer in a rural area. *Korean J. Rural Med.* 24(1):13-33.
- Lee JY, Park JH, Kim DH, 1994. A survey on physical complaints related with farmers' syndroms of vinyl house and non-vinyl house farmers. *Korean J. Preventive Medicine.* 27(2):258-272.
- Lee JJ, 2004. A study on farmer's syndrome and its risk factors vinyl house workers and evaluation of risk factors of vinyl house works. *Korean J. Rural Med.* 29(1):101-119.
- Lee JB, Shin JS, Jeong MH, Park YK, Im GJ, et al., 2005. Operator exposure risk assessment of benzimidazole fungicides on Korean agricultural condition. *Korean J. Pestic. Sci.* 9(4):347-353.
- Lee S, Paik MK, Lee MJ, Shin HS, Jeong MH et al., 2019. Pesticide reduction effect of agricultural workers according to the wearing degree of personal protective equipment. *Korean J. Pestic. Sci.* 23(4):339-347.
- Li Y, Chen L, Chen Z, Coehlo J, Cui L., et al., 2011. Glove accumulation of pesticide residues for strawberry harvester exposure assessment. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 86(6):615-620.
- Lim GS, Kim CN, 2003. A cross-sectional study on fatigue and self-reported physical symptoms of vinyl house farmers. *Korean J. Rural Med.* 28(2):15-29.
- Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs (MAFRA), 1999. A study on establishing the re-entry period after using pesticides in cultivation facilities. Gwacheon. Korea. p. 1-4.
- Park JS, Oh GJ, 2008. Differences in farmer's syndrome between greenhouse-melon farmers and rice famers. *J. Agri. Med. Community Health.* 33(1):27-36.
- Rural Development Administration (RDA), 2020. Agrochemicals Management Act. pp. 288-289.
- Salvatore AL, Bradman A, Castorina R, Camacho J, Lopez J, et al., 2008. Occupational behaviors and farm workers pesticide exposure: finding from a study in monterey county, California. *Am. J. Ind. Med.* 51(10):782-794.
- Sankaran G, Chen L, Chen Z, Liu Y, Lopez T, et al., 2015. The importance of hand exposures to absorbed dosage of hand harvesters. *J. Toxicol. Environ. Health Part A.* 78(21-11): 1369-1383.

## 비닐하우스 농작업자에 대한 acetamiprid 노출 및 위해성평가

박연기\* · 오진아 · 신지영 · 이 슬 · 이명지 · 함성남

국립농업과학원 농산물안전성부 농자재평가과

**요 약** 농작업자가 농약이 살포된 지역 내에서 농작업으로 인한 농약 노출은 농약 살포 방법, 개인 보호 장비(작업복, 장갑 등) 착용 등에 따라 다르게 나타날 수 있다. 본 연구에서는 OpEx 노출량 산정모델을 활용하여 acetamiprid에 대한 농작업자 노출량을 산정하고 위해성을 평가하였다. 농작업자 노출량 산정결과, 살포방법에 따른 노출량은 spray < mist < fog 순이었다. 제품별 노출량은 4% 입상수화제=8% 액상수화제 < 2.5% 수화제= 5% 수화제 < 6% 입상수화제 < 4% 수화제= 8% 수화제= 8% 분산성액제= 8% 입상수용제= 8% 입상수화제 < 8% 액제 < 5% 액제 순이었고 제형 간 노출량 차이는 없었다. 농작업자의 개인 보호 장비 착용에 따른 노출량은 농작업자가 작업복을 착용할 경우는 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우에 비해 노출량이 48% 감소하였고, 작업복과 장갑을 함께 착용할 경우는 개인 보호 장비를 착용하지 않을 경우에 비해 노출량이 87% 감소하는 것으로 나타났다. 농작업자 위해성 평가 결과, 살포방법과 제형에 상관없이 개인 보호 장비를 착용하지 않는 경우는 노출량이 AOEL보다 약 4배 높아 12개 제품 모두 농작업자 위해성이 있는 것으로 나타났다. 반면, 작업복에 장갑을 같이 착용할 경우는 노출량이 AOEL보다 낮아 12개 제품 모두 농작업자 위해성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 acetamiprid가 살포된 비닐하우스 내에서 농작업을 하는 농작업자는 반드시 작업복과 장갑을 착용할 것을 권장한다.

**색인어** 비닐하우스, 아세타미프리트, 위해성 평가, 농작업자, 딸기