

Indoxacarb의 수화제 및 입상수화제 살포액 조제 시 농작업자의 노출량 측정 및 위해성 평가

김은혜 · 황연진 · 김수희 · 이혜리 · 홍순성¹ · 박경훈¹ · 김정한*

서울대학교 농생명공학부, ¹농촌진흥청 국립농업과학원

(Received on October 31, 2012. Revised on November 22, 2012. Accepted on December 12, 2012)

Operator Exposure to Indoxacarb Wettable Powder and Water Dispersible Granule during Mixing/loading and Risk Assessment

Eunhye Kim, Yon-Jin Hwang, Suhee Kim, Hyeri Lee, Soonsung Hong¹,
Kyung-Hun Park¹ and Jeong-Han Kim*

Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

¹National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-857, Korea

Abstract Exposure and risk assessments were conducted to evaluate the relative safety of mixing/loading work of indoxacarb between wettable powder (WP) and water dispersible granule (WG). Hand exposure was monitored using cotton gloves while inhalation exposure was measured using personal air monitor. Method validation for the exposure monitoring was established successfully through several experiments. Limit of determination and limit of quantitation were 0.25 and 1 ng, respectively. R² of calibration curve linearity was more than 0.9999 and reproducibility was 0.7-6. Recovery of indoxacarb from gloves, solid sorbent and glass fiber filter at three different levels was 81.5-108.8%. Trapping efficiency and breakthrough tests gave 981.5-108.8% of recovery. During mixing/loading procedure, hand exposure amount (75 percentile of 30 repetitions) for indoxacarb WP was 6 folds (459.8 mg/kg a.i) than that of WG (81.4 mg/kg a.i). This result indicates that WG has less drift than WP thanks to its granular type of formulation. Inhalation amount was 10⁻⁸-10⁻⁷% of spray mixture prepared and 10⁻⁴-10⁻³% of hand exposure. In inhalation case, no significant differences were observed between two formulations. Margin of safety was calculated for risk assessment using male Korean average body weight and acceptable operator exposure level as the important exposure factors. Mixing/loading procedures for both of the formulations were considered to be of least risk because calculated MOS values were more than 1.

Key words Exposure, Indoxacarb, Margin of safety, Mixing/loading, Risk assessment

서 론

작물의 해충이나 병, 잡초의 방제에 필수 불가결한 농약은 식량증산은 물론 농산물의 품질 향상과 노동력 절감에 의한 생산비 저하에 중요한 몫을 담당하고 있다. 예를 들면 과수나 채소류의 경우 농약의 사용 없이는 40-94%가 병해충에 의해 감소가 되는 것으로 보고되었고, 특히 제조제에

의한 제조시간은 농약의 사용 전보다 1/10로 줄어 생산비 및 노동력 부족의 농촌에 큰 도움이 되어 왔다(KCPA, 2000). 이러한 농약의 효과와 인구 증가에 대한 식량 증산 및 확보를 해결하고자 국내 농약 사용량은 1965년에 1,287 M/T였던 것이 2011년 19,160 M/T로 거의 1200%배 증가하였다(KCPA, 2012). 따라서, 포장에 사용되는 농약은 농약을 사용하는 농작업자에게 노출량과 독성 정도에 따라 건강 위해성을 초래할 가능성도 있으며, 작업자는 농약 살포액의 조제, 살포, 농약 사용 후 포장 재출입, 농작물의 수확과 같은 다양한 상황에서 농약에 대한 직접적 노출이 가능하고 이러

*Corresponding author

Tel: +82-2-880-4644, Fax: +82-2-873-4415

E-mail: kjh2404@snu.ac.kr

한 노출은 주로 피부 및 흡입에 의해 이루어진다(Kim 등, 2012). 농약 살포액의 조제 경우를 보면 조제하는 살포액의 양과 제형에 따라 노출양상이 다른데, 농약 병이나 농약 봉지의 전체 양을 한꺼번에 투여하여 희석하는 경우와 액체나 가루를 일정한 양으로 칭량하여 희석하는 경우를 들 수 있으며, 후자의 경우 농약 봉지를 찢거나, 분상이나 액상의 농약을 칭량하는 과정에서 더 많은 노출을 초래할 수 있다. 이와 같은 살포액 조제 시 가장 중요한 노출 부위는 손이고 (Vercruyse 등, 1999; Machado-Neto 등, 1998; Kim 등, 2012), 특히 분상의 농약은 농약 분진의 비산에 따른 흡입 노출도 예상할 수 있다. Indoxacarb는 oxadiazine계에 속하는 살충제로서 내눈썻가지나방, 담배나방, 배추좀나방, 복숭아순나방, 파밤나방 등 이러한 해충에 대해 살충활성이 뛰어나고 방제 대상이 아닌 생물체에 대해서는 낮은 독성을 나타내며, 환경에 안전한 농약으로 알려져 있다(Tomlin, 2003). 또한 채소류, 나무 열매, 포도, 목화, 옥수수 및 기타 작물을 가해하는 나비목 해충에 대하여 광범위한 살충활성을 나타내는 경엽처리 살충제이다(Choi 등, 2004). 따라서 본 연구는, 노출 평가 시 사용되는 분석/시험 방법의 유효성을 검증하였고, indoxacarb 수화제 및 입상 수화제의 살포액 조제 시 장갑을 사용하여 농작업자의 손 노출을 측정하였다. 호흡 노출 측정은 personal air monitor를 사용하였으며, 살포액 조제 시 노출 양과 노출 양상을 파악하고 위해성 평가를 통해 조제 작업의 안전성을 확인하였다.

재료 및 방법

시약 및 재료

Indoxacarb 표준품(98.3%)은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였고(Table 1), 유기용매는 HPLC급을 사용하였다. 유리섬유필터(37 mm, SKC, Eighty Four, PA, USA), 고체흡착제(ORBO™ 609 Amberlite XAD-2 400/200 mg, Supelco, St. Louis, MO, USA), 유리섬유 필터

Table 1. Physico-chemical properties of indoxacarb (Tomlin, 2003)

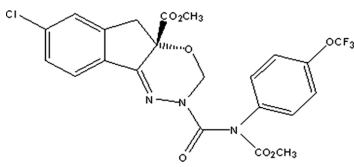
Common name	Indoxacarb (insecticide)
Molecular weight	527.8
Log P	4.65 (25°C)
Vapour pressure (mPa)	2.5×10^{-5} (25°C)
Solubility in water	0.2 mg/L (25°C)
Structure	

Table 2. HPLC operating condition for the analysis of indoxacarb

Instrument:	Agilent 1100 series
Detector:	Diode array detector (DAD) 310 nm
Column:	YMC-Pack Pro C18 (4.6 mm I.D, 250 mm length, 5 μm, Japan)
Mobile phase:	A (acetonitrile), B (water) A:B = 70:30
Flow rate:	1 mL/min
Injection volume:	10 μL

카세트(3piece, P/N 16599, Supelco, St. Louis, MO, USA)는 Supelco에서 구매하여 사용하였다. 또한 조제 시 사용한 indoxacarb 수화제(암페이트, 10%, 경농), 입상수화제(아바타, 30%, 아그로텍)는 농약상에서 구입하였다.

노출 재료/기구 및 분석기기

노출 측정을 위한 면장갑은 시중에서 구입하였고, 호흡노출측정용 공기 펌프는 Gillian사의 제품(Gillian Model 224-PCXR7, MSA, Dong Ha Trading Co. Ltd., Seoul, Korea)을 사용하였다(Kim 등, 2012). 장갑 및 농약 포집용 고체흡착제 XAD-2 수지는 메탄올로 1시간 동안 진탕추출기(SR-2W, TAITEC, Japan)를 이용하여 추출하였고, 고체흡착제 추출액의 경우 감압농축기(R-114, BR-11, Switzerland)로 농축하였다. 추출액 중 indoxacarb의 분석은 diode array detector (DAD)가 장착된 Agilent 1100 series HPLC (Agilent 1100 HPLC; CA, USA)를 사용하였으며 검출파장은 310 nm로 하였다(Table 2).

분석기기의 검출한계(LOD; Limit of detection), 정량한계(LOQ; limit of quantitation) 및 재현성 측정

Indoxacarb 표준용액 0.01, 0.025, 0.05, 0.1, 0.5 mg/kg을 10 μL씩 HPLC에 주입하여 크로마토그램상의 signal과 noise의 비율(S/N)을 구하여 검출한계 및 정량한계를 계산하였다. 또한 indoxacarb 표준용액 LOQ (0.1 mg/kg), 10LOQ (1 mg/kg)을 HPLC에 10 μL씩 연속적으로 6번 주입하여 분석한 다음 크로마토그램상 peak의 면적 값의 변이를 계산 검토하였다.

표준검량선의 직선성 검증

Indoxacarb 표준용액 0.05, 0.1, 1, 5, 10 mg/kg을 10 μL씩 HPLC에 주입, 분석하여 검량선의 직선성을 0, 1, 3일에 측정하였다.

장갑, 고체 흡착제 및 유리섬유의 회수율(Recovery) 측정

면 장갑을 추출 용기(500 mL)에 각각 담고 indoxacarb 표준용액을 LOQ (0.1 mg/kg), 10LOQ (1 mg/kg), 20LOQ (2 mg/kg)가 되도록 처리한 다음 300 mL의 메탄올을 첨가하

여 1시간 진탕 추출하였다. 진탕이 끝난 시료는 Polytetrafluoroethylene (PTFE) 재질의 syringe filter를 통하여 이물질은 걸러낸 후 10 µL를 HPLC에 주입하여 분석하였다. 고체흡착제(XAD-2 resin) 유리관은 양쪽을 절단한 후 고체흡착제 알갱이를 20 mL 추출 용기에 담고 LOQ, 10LOQ, 20LOQ수준이 되도록 indoxacarb 표준용액을 처리하고 10 mL의 메탄올을 첨가하여 1시간 진탕 추출하였다. 유리섬유 필터는 20 mL 추출 용기에 담고, 고체흡착제와 동일하게 시험하였다. 진탕이 끝난 고체흡착제 및 유리섬유 필터 추출 시료는 PTFE재질의 syringe filter를 통하여 이물질을 걸러낸 후 1.5 mL를 용매 유거 후 100 µL의 메탄올을 넣어 재 용해(15배 농축)하여 분석 하였다.

호흡 노출 측정용 고체흡착제의 포집 효율(Trapping efficiency) 측정

포집 효율 측정에 사용하는 U-자관 바닥에 10LOQ 수준이 되도록 indoxacarb 표준용액을 처리하고 고체흡착제 유리관을 U-자관에 연결하였다. 미리 유량을 보정한 공기펌프를 연결하여 1 L/min의 유량으로 4시간 동안 공기를 흡입한 다음 고체흡착제의 회수율 측정과 동일한 방법으로 추출/분석 하였다. 이때 농약의 휘발을 돕기 위해 U-자관을 약 70°C로 가열하였다.

호흡 노출 측정용 고체 흡착제의 파과율(Breakthrough) 측정

고체흡착제 유리관의 양쪽을 절단한 후 1차 고체 흡착제에 10LOQ수준이 되도록 indoxacarb 표준용액을 처리하였다. 미리 유량을 보정한 공기펌프를 장착한 뒤 1 L/min 유량으로 4시간 동안 공기를 흡입한 다음 고체흡착제의 회수율 측정과 동일한 방법으로 추출/분석 하였다.

포장 실험 및 노출량 계산

손 노출은 면 장갑을 사용하여 측정하였으며, 농작업자는 측정 전에 손을 씻어 신체의 다른 부분과의 접촉으로 인한 오염을 최소화 하였다. 호흡 노출의 경우 미리 XAD-2 고체 흡착제와 glass fiber filter를 연결하고 최대한 입 및 코 근처에 있도록 클립을 이용하여 어깨에 고정시키고 호스로 연결된 air pump은 작업자 허리띠에 장착하였다. 조제 시험은 조제자 2명이 평소 농약 살포액 조제 시와 동일한 방법으로 물 250 L에 수화제(10%) 62 g, 입상수화제(30%) 41.6 g을 각각 넣고(Fig. 1) 막대기를 이용하여 저어서 약이 잘 풀리도록 하였으며, 본 시험을 각각 30반복 수행하였다. 손 노출량은 HPLC로 정량한 분석 농도(µg/mL)와 추출 용매량(200 mL)을 곱하여 산출(µg)하였다. 호흡 노출량은 분석값을 공기펌프 유속 60 L/hr으로 나누어 단위시간당 호흡 노출 강도를 산출한 뒤 작업별 호흡속도(Kim 등, 2011)를 곱하여



Fig. 1. Mixing/loading of indoxacarb water dispersible granule (A) and wettable powder (B).

호흡노출량을 구하였다.

위해성평가

조제 시 노출 측정 결과에 따른 농약의 위해성 평가는 Hughes 등 (2008)의 margin of safety (MOS) 수식을 이용하여 산출하였고, 식은 다음과 같다.

$$MOS = AE / [(PDE \times AF) + PIE] \times SF$$

(AE; Acceptable exposure, PDE; Potential dermal exposure, AF; Absorption factor, PIE; Potential inhalation exposure, SF; safe factor)

결과 및 고찰

분석기기의 LOD, LOQ 및 분석의 재현성

Indoxacarb의 여러 수준의 농약표준용액을 분석한 후 분석기기상의 LOD는 S/N가 4인 0.25 ng, LOQ는 LOD의 4 배 수준인 1 ng으로 결정하였다. 분석의 재현성 시험 결과 C.V가 LOQ 수준에서 6%, 10LOQ 수준에서 0.7%로 높은 재현성을 확인하였다(Table 3).

검량선의 직선성

검량선의 직선성은 정밀한 정량분석의 기본이 되는 요소로서 제조 당시뿐 만 아니라 1일, 3일 동안 분석한 결과, R²

Table 3. Limit of detection (LOD), limit of quantitation (LOQ), and reproducibility of analysis of indoxacarb

LOD (ng)	LOQ (ng)	Reproducibility		
		Level	Average area	C.V (%)
0.25	1	LOQ	2.0	6.0
		10LOQ	21.6	0.7

Table 4. Linearity of calibration curve of indoxacarb

	Linearity		
	Day of preparation	After 1 day	After 3 day
Linear equation	$y = 22.033x - 0.55$	$y = 22.033x - 0.56$	$y = 21.226x - 0.96$
R ²	0.9999	0.9999	0.9999

이 0.9999 이상으로 매우 우수하여 안정적이고 정밀한 분석을 수행할 수 있음을 증명하였다(Table 4).

회수율

회수율 시험은 노출 측정 시료에 흡착된 농약이 추출 용매에 의해 제대로 추출이 되어 회수되는지를 검정하는 시험으로서 장갑, XAD-2 resin 고체흡착제, 유리섬유에 농약을 첨가한 다음 용매로 추출하여 분석하였다. 시험 결과, 장갑의 경우 88.0-108.8%의 회수율 및 C.V < 6%를 나타내었고, XAD-2 resin 고체흡착제의 경우 84.5-103.8%, C.V < 3%였으며, 유리섬유는 81.5-84.4%, C.V < 3%로 각 시료채취 매체에서의 농약 추출효율은 대체로 좋은 결과를 보였다(Fig. 2).

호흡 노출 측정용 고체흡착제 포집 효율 및 파과율

포집효율성 실험 결과, 잔류량이 109.5%로 측정되었는데

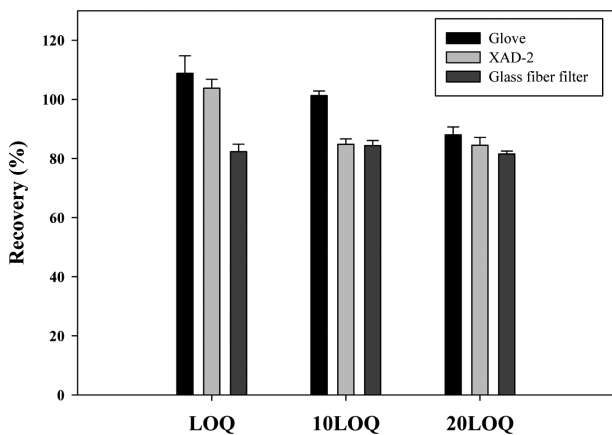


Fig. 2. Extraction efficiency of indoxacarb from cotton gloves, XAD-2 resin and glass fiber filter.

Table 5. Trapping efficiency and breakthrough test of solid sorbent for indoxacarb

Test	Treated level	Recovery, %		
Trapping efficiency	10LOQ	Residue	Trapped	Total
		109.5	2.5	112.0
Breakthrough	50LOQ	First part	Second part	Total
		89.5	0.9	90.4

이는 indoxacarb의 증기압이 2.5×10^{-5} mPa로 비휘발성이므로 U-자관에 잔류한 것이다. 또한 파과율 시험 결과, 1차 고체 흡착제에서의 회수율은 89.5%으로 나타났고, 2차 흡착제의 회수율이 0.9%로 1차 고체 흡착에서 농약을 효율적으로 포집하는 것을 확인하였다(Table 5).

피부(손) 노출량 및 호흡 노출량

농약 살포액 조제 시 피부 노출은 손 만 실시하였는데, 조제 시 가장 중요한 노출 경로이기 때문이었다(Vercruysee 등, 1999). Machado-Neto 등 (1998)의 연구에 의하면, 살포액 조제 시 신체 전체 부위 중 86%의 손 노출 비율을 보였다. 또한, methomyl 수화제의 경우 머리, 앞목, 가슴, 상박, 하박, 그리고 손을 측정된 결과 19.0-99.9%의 손 노출을 관찰하였다(Kim 등, 2012). 또한 농약의 살포액 조제 시 손의 노출이 살포 시 손 노출량 보다 많다는 보고도 있다(Vercruysee 등, 1999; Ramwell 등, 2005). 따라서 농약의 손 노출평가는 매우 중요한데, 장갑(cotton gloves)을 사용하여 손 노출량을 측정하거나(Calumpang과 Medina, 1996; Egea Gonz 등, 1999; Cattani 등, 2001; Choi 등, 2006; Kim 등, 2012). 손을 헹구거나 세척하는(hand-rinse or washes) 방법, 면 거즈 등으로 손을 닦는 방법(hand-wipes)등이 있다. 일반적으로 헹굼/세척 법이나 닦는 방법(wipes) 등은 회수율 확립이 되지 않았고, 또한 분석을 위한 추출의 효율성 등의 문제점을 갖고 있다(Chester, 2010). 장갑은 면 재질이고 조직이 다공성이므로 상대적으로 피부보다 농약을 더 많이 흡수하여 노출이 과대평가되는 단점도 있으나(Davis 등, 1983; Fenske 등, 1999), 가능한 최악의 상황(worst case)을 평가하는 노출 평가의 원칙에 부합하고, 포장에서 사용하기 편리하며, 피부에 노출될 수 있는 거의 모든 농약을 포집할 수 있으며, 살포 중 피부에 직접 노출 되는 농약을 방지할 수 있으므로(Vercruysee 등, 1999) 많이 사용되어 왔다. 또한 경제적인 면과 편리성에서도 다른 방법보다 우월하며(Calumpang과 Medina, 1996), 분석법 검증 시험에도 용이하다. 하지만 이러한 장갑 착용 시에도 농약 조제액이 많이 노출되어 젖거나, 포화될 우려가 있을 경우 교체해야 한다(Ness, 1994). 노출 측정 결과 수화제 및 입상수화제 조제 시 손 노출량은 유효 성분 mg으로 계산한 후 mg/kg a.i (active ingredient)로 나타냈는데(Capri 등, 1999; Tuomainen 등, 2002), 이는 수화제와 입상수화제의 유효성분 함량이 다르므로 동일한 조건

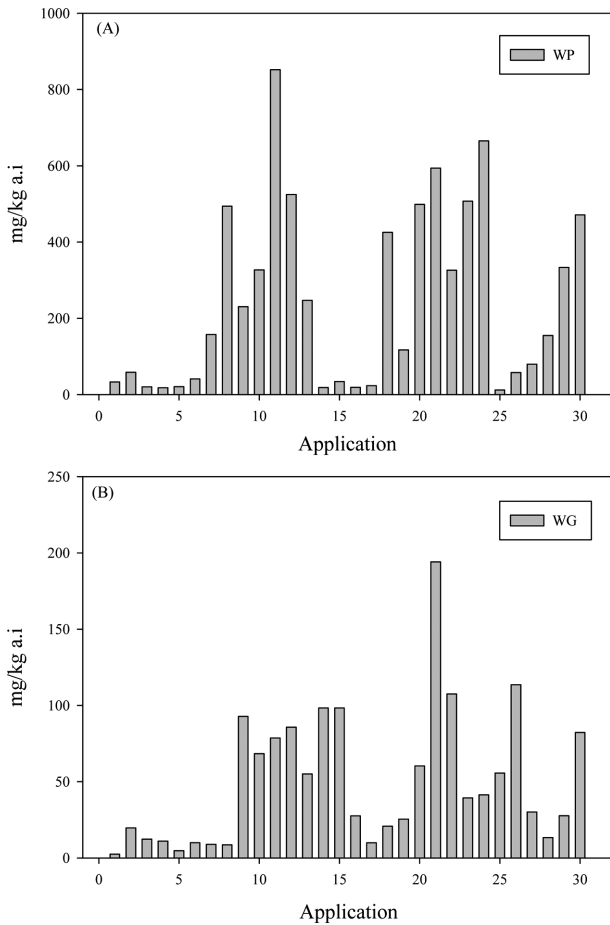


Fig. 3. Hand exposure of indoxacarb wetttable powder (A) and water dispersible granule (B) during mixing/loading.

에서 비교하기 위함이었다.

각 반복에 따른 노출량의 차이가 큰 것을 확인할 수 있었으며(Fig. 3), 수화제의 경우 최소 12.1 mg/kg a.i에서 최대 852.0 mg/kg a.i으로 약 70배 차이가 있었으며, 입상수화제의 경우도 최소 2.5 mg/kg a.i, 최대 194.1 mg/kg a.i로 수화제와 유사하게 약 70배 차이가 있었다. 조제 약량 대비 75 percentile 노출비율은 수화제는 0.046% 및 입상수화제는 0.008%로서, 수화제가 입상수화제에 비해 약 6배 많이 노출되었다(Table 6). 따라서 동일한 분상 고체 타입의 농약이지만 입상으로 제제한 입상수화제가 가루 형태인 수화제 보다 비산이 적고 상대적으로 노출량도 적게 나타났으므로 살포액 조제 시 수화제 제형의 입상화에 따른 효과를 입증하였다.

Table 6. Hand exposure during mixing/loading of indoxacarb

Hand exposure	WP (mg/kg)	WG (mg/kg)
75 percentile	459.8	81.4
min value	12.1	2.5
max value	852.0	194.1

Table 7. Inhalation exposure during mixing/loading of indoxacarb

	WP	WG
Exposure amount (µg, 75percentile)	0.014	0.012
Applied a.i. ^{a)} (g)	6.2	12.5
Ratio to applied a.i. ^{a)} (%)	2.3×10^{-7}	9.6×10^{-8}
Hand exposure (µg)	2,851	1,018
Ratio to hand exposure (%)	4.9×10^{-4}	1.2×10^{-3}

^{a)}a.i.; Active ingredient.

수화제 및 입상수화제 조제 시 흡입 노출량(Table 7)은 각각 0.014 µg, 0.012 µg으로 유의성 있는 차이는 없었으며, 조제 약량에 대한 노출 비율은 각각 2.3×10^{-7} , 9.6×10^{-8} 로 나타났다. Kim 등(2012)도 수화제 조제 시 호흡 노출량의 조제 약량에 대한 노출 비율이 3.4×10^{-7} 으로, 본 실험과 비슷한 양상을 확인하였다.

위해성 평가

위해성 평가는 MOS를 산출함으로써 농작업자가 살포액 조제 시 작업의 안전성 유무를 확인하며(Hughes 등, 2006) MOS 수치가 1보다 크거나 같으면 위해가 가능하지 않은 작업을 의미하고 반면에 MOS값이 1보다 작다면 위해가 우려된다고 본다(Machado-Neto, 2001). 이때, acceptable exposure (AE)는 적절한 독성학적 종말점과 농작업자의 체중을 곱하여 산출하는데, 농작업자 노출 허용량(AOEL; acceptable operator exposure level)을 사용하면 안전계수(SF; safe factor)는 1로 하며, 최대무독성용량(NOEL; no observed adverse effect level)을 사용할 경우 적절한 안전계수를 사용하여 산출하게 된다(Hughes 등 2006), 체중관련 자료를 보면 70 kg으로 계산한 경우도 있고(Machado-Neto 등, 1998; Machado-Neto, 2001; Hughes 등, 2006; Hughes 등, 2008), Choi 등(2006)과 Kim 등(2012)에서는 60 kg으로 계산하였다. Jang 등(2007)에 의하면 우리나라 18세부터 74세까지의 평균 남성 체중은 69.2 kg, 여성은 56.4 kg으로 전체는 62.8 kg으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서 체중은 우리나라 평균 남성 체중 69.2 kg을 사용하여 AOEL인 0.004 mg/kg/day (systemic, rat)을 곱하여 AE를 산출하였다. PDE는 하루 살포 시간 4시간을 기준으로 살포액을 6번 조제한다는 가정 하에서 6회의 손 노출량을 가정하였고, AF는 의복투과율 10% (Ramos 등, 2010; Kim 등, 2012) 및 피부투과율을 10% 고려하여 0.01을 사용하였다(Choi 등, 2006; Kim 등, 2012). 반면에 PIE는 100% 흡수된다는 가정 하에 전체 양을 그대로 계산에 활용하였다 (Oliveira와 Machado-Neto 2003; Kim 등, 2012). PIE 실측 자료가 없는 경우에는 PDE의 1%로 가정하는 경우가 많으나(Hughes 등, 2006;

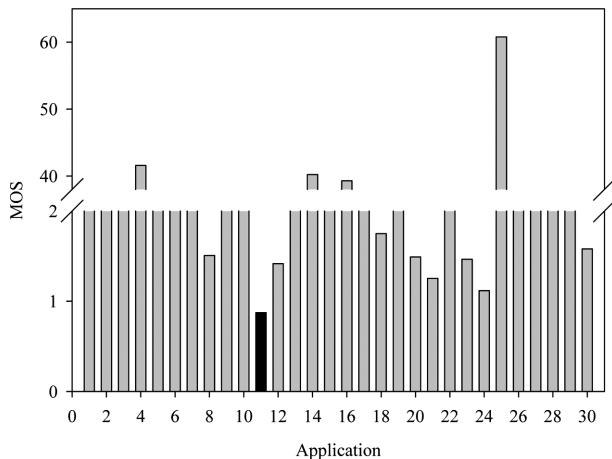


Fig. 4. Calculation of margin of safety (MOS) for mixing/loading of indoxacarb wettable powder.

Hughes 등, 2008; Ramos 등, 2010) 근래의 연구를 보면 훨씬 적은 비율(10^{-4} - $10^{-2}\%$)로 보고되고 있다(Capri 등, 1999; Machera 등, 2003; Oliveira와 Machado-Neto 2003; Kim 등, 2012). 따라서 본 연구에서는 실제 호흡 노출량을 측정하여 위해성 평가를 실시하였다.

입상수화제의 경우 30반복 시험 각각의 MOS를 산출한 결과 1보다 커서 모든 경우에서 위해성이 낮음을 확인하였다. 수화제의 경우(Fig. 4) 대부분의 반복구에서 $MOS > 1$ 이었으나, 1회의 반복구에서는 MOS값이 1이하로 계산되어 살포액 조제 시 부주의하면 위해성이 가능한 것으로 파악되었다. 따라서 이러한 상황을 포함하면서 대표성있는 노출/위해성평가를 위해서는 많은 반복수의 시험이 필수적인 것으로 판단하였다. 30반복 시험의 전반적인 평가를 위해 각 제형별 75 percentile의 PDE 및 PIE를 이용하여 MOS를 산출한 결과, 수화제는 16.7 및 입상수화제는 22.0로서, indoxacarb 수화제 및 입상수화제 농약 살포액 조제 시 농작업자의 위해성이 낮음을 확인하였으며, 입상수화제가 더욱 안전도가 높은 것으로 판단할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ007411)의 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사 드립니다.

Literature Cited

Calumpang, S. M. F. and M. J. B. Medina (1996) Applicator exposure to imidacloprid while spraying mangoes, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 57(5): 697~704.

Capri, E., R. Alberici, C. R. Glass, G. Minuto and M. Trevisan

(1999), Potential operator exposure to procymidone in greenhouses, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10):4443~4449.

Cattani, M., K. Cena, J. Edwards and D. Pisaniello (2001) Potential dermal and inhalation exposure to chlorpyrifos in Australian pesticide workers, *The Annals of Occupational Hygiene*, 45(4):299~308.

Chester, G. (2010) Worker Exposure: Methods and techniques, pp.1127~1137 In Hayes' *Handbook of Pesticide Toxicology* (ed.W. J. Hayes), Elsevier.

Choi, H., 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(3):437~442.

Choi, Y. M., K. S. Ahn, I. C. Hwang and G. H. Kim (2004) Property and Mode of Action of Indoxacarb against Diamondback Moth, *Plutellaxylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), *Korean Journal of Applied Entomology*. 43(4): 317~322.

Davis, J. E., E. R. Stevens and D. C. Staiff (1983) Potential exposure of apple thinners to azinphosmethyl and comparison of two methods for assessment of hand exposure, *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*. 31(6):631~638.

Egea GonzzGon, F., M. Castro Cano, J. Mart, M. Vidal, C. Glass and M. Cruz MVidal (1999) Analytical method for assessing exposure of greenhouse applicators to procymidone by gas chromatography and whole body dosimetry, *Chromatographia*. 50(5):293~298.

Fenske, R. A., N. J. Simcox, J. E. Camp and C. J. Hines (1999) Comparison of three methods for assessment of hand exposure to azinphos-methyl (Guthion) during apple thinning, *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 14(9): 618~623.

Hughes, E. A., A. Zalts, J. J. Ojeda, A. P. Flores, R. C. Glass and J. M. Montserrat (2006) Analytical method for assessing potential dermal exposure to captan, using whole body dosimetry, in small vegetable production units in Argentina, *Pest Management Science*. 62(9):811-818.

Hughes, E. A., A. P. Flores, L. M. Ramos, A. Zalts, C. R. Glass and J. M. Montserrat (2008) Potential dermal exposure to deltamethrin and risk assessment for manual sprayers: Influence of crop type, *Science of The Total Environment*, 391(1):34~40.

Jang, J. Y., S. N. Jo, S. Kim, S. J. Kim and H. K. Cheong (2007) Inhalation rate. pp. 42~48, In *Korean exposure factors handbook*, Ministry of Environment, Korea.

KCPA, Korea Crop Protection Association (2000) *Agrochemical news magazine* 21(9):30~32.

KCPA, Korea Crop Protection Association (2012) *Life and agrochemicals*, 278, 22~25, Korea.

Kim, E. H., H. R. Lee, H. Choi, J. K. Moon, S. S. Hong, M. H. Jeong, K.-H. Park, H. M. Lee and J.-H. Kim (2011) *Methodology for Quantitative Monitoring of Agricultural*

- Worker Exposure to Pesticides. The Korean Society of Pesticide Science. 15(4):507~528.
- Kim, E. H., J. K. Moon, H. Choi, S. M. Hong, D. H. Lee, H. M. Lee and J. H.-Kim (2012) Exposure and risk assessment of insecticide methomyl for applicator during treatment on apple orchard. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry 55:95~100.
- Machado-Neto, J. G., T. Matuo and Y. K. Matuo (1998) Efficiency of safety measures applied to a manual knapsack sprayer for paraquat application to maize (*Zea mays* L.), Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 35(4):698~701.
- Machado-Neto, J. G. (2001) Determination of safe work time and exposure control need for pesticide applicators, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 67(1): 20~26.
- Machera, K., M. Goumenou, E. Kapetanakis, A. Kalamarakis and C. R. Glass (2003), Determination of potential dermal and inhalation operator exposure to malathion in greenhouses with the whole body dosimetry method, Annals of Occupational Hygiene. 47(1):61~70.
- Ness, S. A. (1994) Clothing for dosimetry and protection. pp. 346~349, In Surface and dermal monitoring for toxic exposures, John Wiley & Sons Inc., Canada.
- Oliveira, M. L. and J. G. Machado-Neto (2003) Use of manganese as tracer in the determination of respiratory exposure and relative importance of exposure routes in the safety of pesticide applicators in citrus orchards, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 70(3):415~421.
- Ramos, L. M., G. A. Querejeta, A. P. Flores, E. A. Hughes, A. Zalts and J. M. Montserrat (2010) Potential dermal exposure in greenhouses for manual sprayers: analysis of the mix/load, application and re-entry stages, Science of The Total Environment. 408(19):4062~4068.
- Ramwell, C. T., P. D. Johnson, A. B. A. Boxall and D. A. Rimmer (2005), Pesticide residues on the external surfaces of field crop sprayers: occupational exposure, Annals of Occupational Hygiene, 49(4):345~350.
- Tomlin, C. D. S. (2003) In The Pesticide Manual (13th), pp.572~573, British Crop Production Council, UK.
- Tuomainen, A., J. A. Kangas, W. J. A. Meuling and R. C. Glass (2002) Monitoring of pesticide applicators for potential dermal exposure to malathion and biomarkers in urine. Toxicology Letters. 134:125~132.
- Vercruysee, F., S. Drieghe, W. Steurbaut and W. Dejonckheere (1999) Exposure assessment of professional pesticide users during treatment of potato fields, Pesticide Science, 55(4):467~473.

Indoxacarb의 수화제 및 입상수화제 살포액 조제 시 농작업자의 노출량 측정 및 위해성 평가

김은혜 · 황연진 · 김수희 · 이혜리 · 홍순성¹ · 박경훈¹ · 김정환*

서울대학교 농생명공학부, ¹농촌진흥청 국립농업과학원

요약 Indoxacarb 수화제 및 입상수화제 살포액 조제 시 농작업자의 노출량 측정을하여 두 제형 간 노출 양상을 비교하였으며 위해성 평가를 실시하였다. 손 노출량 측정은 면 장갑을 사용하였고 호흡노출량은 personal air monitor를 이용하였으며, 노출량 측정을 위한 다양한 분석/시험방법을 검증하였다. 분석 기기의 검출한계는 0.25 ng, 정량한계는 1 ng로 설정하였고, 표준 검량선의 직선성은 R²이 0.9999 이상이었으며, 분석재현성은 C.V값이 0.7~6.0이었다. 또한 3수준으로 수행한 노출 시료(장갑, 고체 흡착제, 유리섬유필터)에서 indoxacarb의 분석법의 회수율은 81.5~108.8% 이었고, 호흡 노출 실험의 검증 중에서 포집효율 및 파과실험 결과 90.4~112.0%의 회수율을 보였다. Indoxacarb 수화제 및 입상수화제 조제 시 30반복의 손 노출량의 75percentile 값은 수화제는 459.8 mg/kg a.i이며, 입상수화제는 81.4 mg/kg a.i로, 수화제가 입상수화제에 비해 6배 이상 노출이 되었다. 호흡노출량은 조제 약량의 10⁻⁸-10⁻⁷%, 손 노출량의 10⁻⁴-10⁻³%이었으며 호흡노출량은 수화제 및 입상수화제 사이의 유의성 있는 차이는 보이지 않았다. Indoxacarb의 위해성평가를 위한 margin of safety (MOS) 계산 시 중요한 노출 인자로서 한국인 남성 평균 체중과 농작업자 노출 허용량을 사용하였다. 위해성 평가 결과 두 제형 모두 조제 작업 시 MOS가 1이상이므로 위해성이 낮음을 확인하였다.

색인어 노출, 인독사카브, 조제, Margin of safety, 위해성평가