



ORIGINAL ARTICLES

# 전신복장법을 이용한 동력 및 원격조종 살포 중 살균제 fluazinam에 대한 감귤 과수원 농작업자의 노출 비교

류갑희<sup>1†</sup> · 조형욱<sup>2†</sup> · 선정훈<sup>2</sup> · 박현지<sup>3</sup> · 문준관<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>농산업발전연구원, <sup>2</sup>한경국립대학교 산학협력단 한살림농식품분석센터, <sup>3</sup>한경국립대학교 식물자원조경학부

## Comparison of Exposure of Mandarin Orchard Workers to the Fungicide Fluazinam using Whole Body Dosimetry on a Stationary Power and Remote-control Sprayer

Gap-Hee Ryu<sup>1†</sup>, Hyeong-Wook Jo<sup>2†</sup>, Jung-Hun Sun<sup>2</sup>, Hyun-Ji Park<sup>3</sup>, Joon Kwan Moon<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Agribusiness Development, Suwon 16432, Korea

<sup>2</sup>Hansalim Agro-Food Analysis Center, Hankyong National University Industry Academic Cooperation Foundation, Suwon 16500, Korea

<sup>3</sup>Department of Plant Resources and Landscape Architecture, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

(Received on December 12, 2023. Revised on January 29, 2024. Accepted on February 3, 2024)

**Abstract** The purpose of this study was to compare the results of risk assessment a stationary power sprayer (SPS) and a remote-control sprayer (RCS) using the fungicide fluazinam in mandarin orchards. Commercial pesticide, fluazinam 50% WP was diluted 2,000 times. After spraying 500 L using the stationary power sprayer and the remote-control sprayer, whole body samples were collected, and analysis of pesticide residues was performed using LC-MS/MS. The limit of quantitative was 0.0005 µg/ml, and the recovery rates were outer 88.7~114.7%, inner 88.9~107.9%, washing solvent 82.3~97.7%, gauze 94.3~102.7%, and glass fiber filter 79.0~94.9%. According to the results of analysis of residual pesticide, the total average level of exposure was 321,278.85 and 595.14 µg for SPS and RCS in outdoor cultivation, and 173,812.21 and 5,510.16 µg for SPS and RCS in green-house cultivation, respectively. The total amount detected was SPS 0.2570% and RCS 0.0005% of the amount sprayed in outdoor cultivation, and SPS 0.1390% and RCS 0.0044% of the amount sprayed in green-house cultivation. Calculation of the margin of safety for fluazinam based on the exposure amount was 0.44 and 63.90 for SPS and RCS in outdoor cultivation, and 0.27 and 1.62 for SPS and RCS in green-house cultivation, respectively. When spraying of fluazinam 50% WP was performed, the results of the risk assessment for farm workers showed a high for the SPS, which was evaluated as low for the RCS. The results demonstrated that use of the RCS was 143.9 and 6.1 times safer in outdoor and green-house cultivation than use of the SPS.

**Key words** Fluazinam, Mandarin orchard, Stationary power sprayer, Remote-control sprayer, Agriculture worker exposure

### 서론

농약은 작물의 병해충을 방제하여 상품성과 수확량을 증

가시켜 소비자에게 저렴한 가격으로 농산물을 안정적으로 공급하고, 농민에게는 노동력과 생산비를 절감시켜 높은 수익을 보장하는 핵심적인 농자재로서 현대 농업에서 필수적으로 사용되고 있지만(Damalas and Eleftherohorionos, 2011; Bajwa and Sandhu, 2014; Boroduleva et al., 2018), 농산물 및 환경 중 잔류농약 및 농작업자에 대한 위해성 등 부정적 영향을 동반하고 있다(Noh et al., 2017). 농산물(농식품) 및

<sup>†</sup>The authors contributed equally to this work

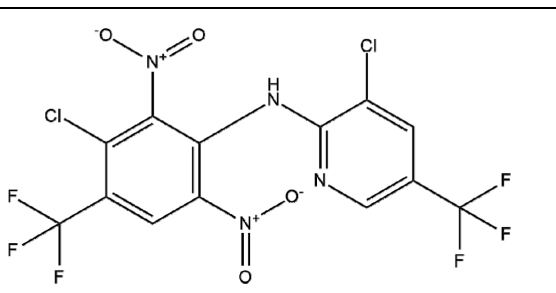
\*Corresponding author  
E-mail: jkmoon@hknu.ac.kr

환경 중 잔류농약의 경우, 농촌진흥청, 식품의약품안전처, 국립농산물품질관리원 및 환경부 등 여러 기관에서 관리하고 있지만 농작업자에 대한 위해성 연구는 식품 및 환경에 비해 미비한 부분이 있으며, 농약의 노출은 농약의 생산, 조제, 살포 및 수확 등 여러경로로 노출될 가능성이 있다(Choi et al., 2006). 농작업자의 경우, 살포액을 조제하고 살포하는 과정에서 피부 및 호흡을 통하여 노출되어 급성 및 만성독성을 일으킬 수 있다(Ramos et al., 2010; Damalas et al., 2016; Atabila et al., 2017). 이러한 위해성을 최소화하기 위하여 국가별로 농약의 등록 신청 단계 또는 등록된 농약의 실제 사용에 대한 농작업자 노출 평가를 위하여 농작업자 노출량과 독성을 평가하는 모델이 개발되어 사용되고 있으며, 국내에서는 영국의 UK-POEM을 변형하여 한국형 농작업자 노출량 산정 모델(Korean Pesticide Operator Exposure Model; Ko-POEM)을 활용하여 농작업자 위해성 평가를 실시하고 있다(Lee et al., 2019). 국내에서는 농작업자 위해성 평가를 위하여 피부의 수동적 노출량을 산출하는 방법으로 주로 패치법과 전신복장법(whole body dosimetry, WBD)을 이용하고 있으며, 패치법은 포장시험이 간단하고 분석시료의 양이 적어 경제적이고 간편한 시험법으로 국내에서 주로 사용되어 왔으나(Kang et al., 2004; kim et al., 2013; Choi et al., 2006; Moon et al., 2013), 노출량을 외삽하는 과정에서 노출량이 과소 또는 과대평가될 수 있기 때문에(Cao et al., 2015), 이러한 단점을 보완하기 위하여 전신복장법(WBD)을 주로 사용하고 있다. 호흡노출량을 측정하는 방법으로 일반적으로 personal air pump에 XAD-2 등의 고체 흡착제가 들어있는 유리컬럼을 부착하여 이를 착용하고 농약을 살포한 후 고체 흡착제를 수거하여 분석하는 방식으로 측정하

였으나, 최근에는 IOM (The institute of occupational medicine) 포집기에 유리섬유필터를 장착하여 측정하고 있다(Katinka et al., 2004; Grobkopf et al., 2013; Kim et al., 2014; Noh et al., 2017).

본 연구가 진행된 감귤 과수원은 제주도의 특산물로써 생산되고 있지만 재배인구의 감소와 노령화로 인한 인력이 매우 부족한 실정이며, 최근 월동온주비기름에서 하우스감귤 전환농가가 증가하고 있어(Jeju Special Self-Governing Provincial Agricultural & Extension Service, 2020), 재식거리가 일정하지 않고 사방이 막힌 공간인 하우스감귤 농원에서의 농약 살포는 농작업자 노출량이 증가할 것으로 예측이 된다. 또한 대상 농약인 fluazinam은 dinitroniline계통의 살균제로써 적용대상 병해의 폭이 넓으며(잿빛곰팡이병, 노균병, 붉은곰팡이병, 줄기마름병, 흰곰팡이병 등), 다른 계통의 약제에 대한 저항성 병원균에도 우수한 효과를 갖는 보호살균제이다. 특히 내우성이 좋고 약효지속기간이 긴 특징을 가지고 있다(Turner, 2018). 국내에서는 감귤 중 궤양애, 굴녹응애, 잿빛곰팡이병, 더데이병, 검은점무늬병 등을 방제 또는 예방하기 위하여 사용되고 있으며, 수확 30일전 3회 이내로 안전사용기준이 설정되어 있다(PSIS, 2023). 또한 fluazinam의 ADI (acceptable daily intake)는 0.01 mg/kg bw/day로 사람과 포유동물에 대하여 독성이 높아 다른 농약에 비해 비교적 높아 주의를 요하는 농약 중 하나이다(PPDB, 2023). 따라서 본 연구에서는 노지재배와 시설재배, 그리고 동력분무기와 원격조종분무기를 이용한 직접살포 간 농작업자의 노출 평가를 전신복장법(WBD)을 이용하여 노출 평가를 실시하였고 살포방법과 재배방법에 따른 비교평가를 실시하였다.

**Table 1.** Physico-chemical properties of fluazinam

Pesticide	Fluazinam
Chemical structure	
IUPAC name	3-Chloro-N-[3-chloro-2,6-dinitro-4-(trifluoromethyl)phenyl]-5-(trifluoromethyl)pyridin-2-amine
M.F	C <sub>13</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> F <sub>6</sub> N <sub>4</sub> O <sub>4</sub>
M.W	465.09 g/mol
Log P	4.03
V.P (mPa)	7.5 at 20°C
Classification	Fungicide
Solubility	In water 135.0 mg/L at 20-25°C (pH 7.0) In acetone 853, dichloromethane 675, ethyl acetate 722, n-hexane 8, methanol 192, toluene 451 mg/L at 20-25°C

## 재료 및 방법

### 시약, 재료 및 기구

시험농약은 감귤 더맹이병, 검은점무늬병, 귤응애, 귤녹응애 및 잣빛곰팡이병 방제에 사용하는 플루아지남 50% 수화제(후론사이드, 팜한농(주))이었으며, 분석에 사용된 fluazinam 표준용액(1,000 µg/ml)은 Accustandard (New Haven, CT, USA)로부터 구입하여 사용하였다. 기기분석 및 분석용 시료조제에 사용된 증류수 및 acetonitrile은 HPLC급(Burdick & Jackson, Muskegon, MI, USA)에서 구입하여 사용하였으며, nitrile 장갑은 사용하였다. 피부노출량을 측정하기 위하여 착용한 작업복과 내복은 각각 65% polyester와 35% 면이 혼합된 제품((주)유니보스, 한국)과 100% 면 소재의 제품((주)TRY, 한국)을 사용하였으며, 호흡노출량 측정에 사용된 개인용 호흡펌프는 GilAir 3RC (Sensidyne, St. Petersburg, FL, USA)를 사용하였고, 유리섬유필터(25 mm)가 장착된 IOM포집기(225-70A, SKC, USA)를 사용하였다. 장갑, 손 및 얼굴에 노출된 농약을 수거하기 위한 세척액은 Aerosol OT-75 (Cytec Solvay Group사, 미국)를 증류수로 희석하여 (0.01%) 사용하였다.

### 포장시험

본 시험은 제주특별자치도 서귀포시 남원읍 남원체육관로 (노지재배) 및 태위로(시설재배)에 위치한 감귤재배지에서 각각 2023년 6월 13일 및 14일에 수행하였다. 시험농약을 2,000 배 희석하여 동력분무기(THS-150A, Taehwaspray, Korea)와 원격조종분무기(SMH100, KBOBE, Korea)(Fig. 1)로 500 L 살포하였으며, 원격조종분무기의 경우, 살포자와 분무기의 거리가 최소 1.5 m에서 최대 15 m의 간격을 두고 살포하였다(Table 2). 또한 노출량 측정을 위하여 살포 시간을 측정하였다.

### 피부 및 호흡 노출 측정

농약 살포자의 의복 투과율 측정을 위한 내복과 피부 노출량 측정을 위한 작업복을 순차적으로 착용하였고, 호흡을 통한 노출량을 측정하기 위하여 유리섬유필터가 결합된 IOM 포집기와 개인용 호흡펌프를 실리콘 튜브로 연결하여 착용하였다. 개인용 호흡펌프는 사용 전 2 L/min의 유량으로 보정을 한 후 사용하였으며, 손 노출량을 측정하기 위하여 nitrile 장갑을 착용하였다.

시험농약 살포가 종료된 후, 포장과 격리된 공간에서 살포자의 작업복 및 내복 부위별(몸 앞/뒤, 엉덩이, 상박 좌/우, 하박 좌/우, 허벅지 좌/우, 정강이 좌/우)로 절단하여 알루미늄 호일로 포장로 절단하였으며, 살포자의 호흡노출 측정장비를 제거하여 IOM 포집기의 유리섬유필터를 수거하고 얼굴과 목을 4 mL의 세척액(0.01% Aerosol OT-75)을 적신 거즈로 2회 반복하여 닦아 얼굴과 목의 노출 시료로 사용하였다. 각 부위별 시료는 polyethylene 재질의 봉투에 담은



Fig. 1. Remote-control sprayer.

Table 2. Plot design for spraying pesticides onto mandarin

Pesticide	A.I <sup>a)</sup>	Formulation	Cultivation type	Spraying method	Spraying time	Dilution rate
Fluazinam	50%	WP <sup>b)</sup>	Outdoor	Stationary Power Spray	38 m 18 s	2,000
					38 m 52 s	
					40 m 41 s	
				Remote-control Spray	37 m 25 s	
					37 m 01 s	
					35 m 50 s	
			Green house	Stationary Power Spray	37 m 42 s	
					38 m 41 s	
				Remote-control Spray	36 m 24 s	
					41 m 43 s	
					41 m 00 s	

<sup>a)</sup> Active ingredient

<sup>b)</sup> Wettable powder

**Table 3.** Preparation of sample for the analysis of fluazinam

Body part		Acetonitrile for extraction solvent volumes (mL)	Extraction method	
WBD cloth	Chest	1,750	Shaking for 1 hour at 700 rpm	
	Back	1,750		
	Outer	Hip		1,750
		Thigh		1,750
		Others		1,750
	Inner	Chesk		1,750
		Back		1,750
		Hip		1,750
		Thigh		1,750
		Others		1,750
Washing solution	Glove	1,000 <sup>a)</sup>		
	Hand	1,000 <sup>a)</sup>		
Gauze (Face and neck)		100		
Glass fiber filter		20		

<sup>a)</sup> Washing volume

**Table 4.** LC-MS/MS conditions for the pesticide residue analysis of Fluazinam

<LC condition>				
Instrument	Nexera X2 (Shimadzu, Japan)			
Column	SPP C18 (4.6 × 100 mm, 2.7 μm)			
Column temperature	40°C			
Flow rate	0.3 mL/min			
	A: 5 mM Ammonium acetate + 0.1% formic acid in distilled water			
	B: 5 mM Ammonium acetate + 0.1% formic acid in methanol			
	Time (min)	A (%)	B (%)	
Mobile phase (Run time : 15 min)	0.0	65	35	
	1.0	65	35	
	1.5	15	85	
	6.5	15	85	
	7.5	2	98	
	10.0	2	98	
	10.1	65	35	
	15	65	35	
	Injection volume	10 μl		
<Mass condition>				
Instrument	LCMS-8050 (Shimadzu, Japan)			
Interface temperature	250°C	DL temperatre	250°C	
Heat block temperature	400°C	Nebulizing gas flow	3 L/min	
Heating gas flow	10 L/min (air)	Scan type	MRM mode	
Drying gas flow	3 L/min (nitrogen)	Ion source	ESI-	
<MRM condition>				
Pesticide	Ionization mode	Precursor ion (m/z)	Product ion (m/z)	CE <sup>a)</sup> (V)
Fluazinam	[M-H] <sup>-</sup>	462.90	415.90	20
			398.00	17

<sup>a)</sup> Collision energy

후 아이스박스에 넣어 실험실로 운송하였다.

**기기조건 및 방법**

분석시료(작업복, 내복, 거즈 및 유리섬유필터)는 Table 3에 표기된 양의 acetonitrile을 첨가하여 700 rpm에서 60분 동안 진탕 추출하여 상등액 1 ml를 취하여 syringe filter (0.2 µm, PTFE)로 여과하여 분석하였다. 시료 중 fluazinam의 분석은 LC-MS/MS (LCMS-8050 with Nexera X2 liquid chromatograph, Shimadzu, Japan)로 분석하였으며, 기기조건은 Table 4와 같다.

**검출한계, 정량한계, 표준용액 조제 및 검량선 작성**

Fluazinam 표준용액(1,000 µg/ml, in acetonitrile)을 acetonitrile로 단계적으로 희석하여 0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01 및 0.05 µg/ml의 표준용액을 조제하였다. 조제한 표준용액을 매질보정(추출시료/acetonitrile, 9/1, v/v)을 하여 LC-MS/MS에 10 µl씩 주입하여 검량선의 직선성을 확인하였다. 검출한계(limit of detection, LOD)는 크로마토그램상의 signal to noise ratio (S/N)가 3 이상인 농도를 검출한계로 설정하였고, 정량한계(limit of quantitative, LOQ)는 검출한계의 5배 수준 농도로 설정하였다. 또한 분석기기의 재현성 검증을 위하여 LOQ 및 LOQ의 10배의 농도를 6회 반복하여 분석한 후 피크 면적의 평균과 표준편차 및 변이계수를 산출하여 신뢰성을 확보하였다.

**회수율 시험**

시험농약의 회수율 시험은 내복, 작업복, 거즈 및 유리섬유필터에 대하여 수행하였으며, 각 분석 대상시료에 표준용액을 LOQ, 10×LOQ 및 100×LOQ 수준으로 처리한 후 시료분석 방법과 동일하게 분석하였다.

**노출량 산출**

피부 노출량(µg)은 시료 별 검출농도에 추출 용매량을 곱하여 각 부위별[머리, 가슴, 배, 허리, 상박, 하박, 허벅지, 정강이, 얼굴(거즈), 손(장갑)]로 산출하였으며, 호흡 노출량(µg)의 경우, 실제 사람의 호흡량은 1,270 L/hr이고 실험에 사용한 펌프의 유량은 2 L/min이므로 산출된 노출량에 10.58을 곱하여 산출하였다.

**위해성 평가**

시험농약의 안전한계(Margin of safety, MOS)는 Severn (1984)의 식을 변형(잠재적호흡노출량 삽입)하여 농작업자의 피부노출 및 호흡 노출량을 바탕으로 실제 피부노출량(actual dermal exposure, ADE)과 잠재적 호흡 노출량(potential inhalation exposure, PIE)을 산출하고 이를 노출허용량(acceptable exposure, AE)과 비교하는 방법으로 다음의 식을 이용하여 산출하였다(Kim et al., 2012; Kim et al., 2014; Noh et al., 2017; Cho et al., 2018; Kwon et al., 2018; Ryu et al., 2023).

$$MOS = \frac{AE}{ADE \times AF + PIE} \times SF \quad (1)$$

(AE: 노출허용량; ADE: 실제 피부 노출량; AF: 흡수계수, PIE: 잠재적 호흡 노출량; SF: 안전계수)

피부와 호흡 노출량을 바탕으로 안전한계를 식(1)과 같이 산출하여 안전한계가 1 이상이면 안전한 것으로, 1 미만이면 안전하지 않은 것으로 판단하여 살포 농약에 대한 농작업자의 안전성을 평가하였다. 그리고 위해성 평가 시, 값이 없을 경우 평가를 진행할 수 없으므로 정량한계를 낮추거나 정량한계(0.0005 mg/L)의 1/2를 적용하여 평가를 실시하였다(Großkopf et al., 2013). 실제 피부 노출량의 경우, 흡수계수를 피부 침투율 10%를 적용하였고(Machado-Neto, 2001; Kim et al., 2014; Kwon et al., 2018), 잠재적 호흡노출량은 호흡노출량의 특성상 호흡기로 직접 노출이 이루어지기 때문에 흡수율 100%를 적용하였다. 또한 노출허용량은 해당농약의 최대무독성량(No observed adverse effect level, NOAEL) 0.16 mg/kg bw/day에 2021년 기준 한국 평균 몸무게 66.55 kg (KOSIS, 2023)을 적용하여 산출하였으며, 안전계수는 1을 적용하였다.

**결과 및 고찰**

**검출한계, 정량한계 및 표준용액 검량선**

본 실험에서의 검출한계는 S/N 3.0인 0.0001 mg/L (0.1 ng)이었으며, 정량한계는 이의 5배로 0.0005 mg/L (0.5 ng)이었다. MS/MS 분석을 위하여 각 매질별 matrix-matched

**Table 5.** Linear equations of calibration curves and limit of quantitative

Matrices	Linear equation	R <sup>2</sup>	LOQ (mg/kg)
Outer	y = 68,508.0642x + 12,689.7866	1.0000	0.0005
Inner	y = 63,963.1961x + 18,422.6460	0.9998	0.0005
Washing solvent	y = 86,686.8921x - 2,216.0325	1.0000	0.0005
Gauze	y = 90,622.4004x + 15,750.7276	0.9992	0.0005
Glass fiber filter	y = 132,938.8970x + 33,531.2517	0.9991	0.0005

**Table 6.** Stability of the analytical method of fluazinam from exposure matrices

Matrices	Fortification level (mg/kg)	Replicate (Peak area)						Average (%)	S.D <sup>a)</sup>	C.V <sup>b)</sup> (%)
		1	2	3	4	5	6			
Outer	LOQ	10461	10675	10286	10860	11072	9954	10551.3	404.2	3.8
	10LOQ	112101	101603	104677	114064	103579	105233	106876.2	5003.6	4.7
Inner	LOQ	9827	9593	10060	10756	10327	11084	10274.5	583.2	5.5
	10LOQ	122402	114147	116756	110553	114565	120304	116454.3	4335.9	3.7
Washing solvent	LOQ	11605	8909	10830	10992	10538	10853	10621.2	863.1	8.6
	10LOQ	120922	115797	143074	138808	135422	135528	131591.8	10746.2	8.2
Gauze	LOQ	10970	10587	11742	11238	10088	10942	10927.8	628.4	5.1
	10LOQ	133842	137252	134014	124049	137104	134252	133418.9	4843.4	3.6
Glass fiber filter	LOQ	9166	8994	9281	9512	9174	9218	9224.2	187.7	1.8
	10LOQ	133992	145908	143736	131011	139136	140133	138986.0	5663.1	4.1

<sup>a)</sup> standard deviation

<sup>b)</sup> Coefficient of variation = (standard deviation/average) × 100

**Table 7.** Recoveris of the analytical method of fluazinam from exposure matrices

Matrices	Fortification level (mg/kg)	Replicate			Average (%)	S.D <sup>a)</sup>	C.V <sup>b)</sup> (%)
		1	2	3			
Outer	LOQ	113.9	114.7	113.7	114.1	0.5	0.5
	10LOQ	89.6	88.7	89.3	89.2	0.5	0.5
	100LOQ	97.2	98.1	98.3	97.9	0.6	0.6
Inner	LOQ	102.4	107.9	107.3	105.9	3.0	2.8
	10LOQ	88.9	93.2	93.2	91.8	2.5	2.7
	100LOQ	94.9	93.4	94.3	94.2	0.8	0.8
Washing solvent	LOQ	92.9	86.9	97.5	92.4	5.3	5.8
	10LOQ	93.9	82.3	89.1	88.4	5.8	6.6
	100LOQ	97.7	97.4	95.1	96.7	1.4	1.5
Gauze	LOQ	100.4	102.7	102	101.7	1.2	1.2
	10LOQ	98.3	95.9	97.5	97.2	1.2	1.3
	100LOQ	95.2	94.3	96.5	95.3	1.1	1.2
Glsss fiber filter	LOQ	85.5	79	80.4	81.6	3.4	4.2
	10LOQ	84.3	94.9	84.9	88.0	6.0	6.8
	100LOQ	92.4	94.6	89.1	92.0	2.8	3.0

<sup>a)</sup> standard deviation

<sup>b)</sup> Coefficient of variation = (standard deviation/average) × 100

를 진행하여 매질보정표준용액을 분석하여 검량선의 직선성을 확인한 결과,  $R^2 > 0.99$  이상으로 직선성을 확보하였다. LOQ 및 LOQ의 10배의 표준용액을 6회 반복 기기분석한 후, 농도별 피크 면적의 변이계수는 3.6~4.7%로 분석기기의 재현성은 매우 양호한 것으로 판단되었다(Table 6).

#### 회수율 시험

총 4가지의 노출 시료별(내복, 작업복, 장갑, 유리섬유필터) fluazinam의 평균 회수율은 Table 7과 같이 평균 81.6~114.1%이었으며, 변이계수도 0.5~6.8%로 노출량 분석을 위

한 분석법으로써 적합한 것으로 판단되었다.

#### 농약 살포 시, 노출량 측정 결과

플루아지남 50% 수화제를 살포할 때, 부위별 노출량( $\mu\text{g}$ )은 Table 8과 Fig. 2에 나와 있는 것과 같이 부위별 농도 값에 추출용매량을 곱하여 산출하였다. 동력 분무기로 살포하였을 때, 노지재배에서의 총 평균 노출량은  $321,278.85 \mu\text{g}$ 으로 총 살포량 대비 0.2570% 수준이었고 작업복에서의 분포는 다리(38.31%) > 몸통(27.86%) > 팔(21.02%) > 엉덩이(12.56%) > 얼굴(0.18%) > 손(0.07%) 순이었다. 또한 시설

**Table 8.** Exposure level of fluazinam on body parts including exposure level of fluazinam during application (Unit:  $\mu\text{g}/6\text{ h}$ )

Body part	Outdoor cultivation						Green house cultivation						
	Stationary power spray			Remote-control spray			Stationary power spray			Remote-control spray			
	Exposure level <sup>a)</sup> ( $\mu\text{g}$ )			Exposure level <sup>a)</sup> ( $\mu\text{g}$ )			Exposure level <sup>b)</sup> ( $\mu\text{g}$ )			Exposure level <sup>b)</sup> ( $\mu\text{g}$ )			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Outer	Chest and stomach	78088.96	63926.37	46536.87	212.33	55.80	164.10	74490.07	34340.24	9812.53	504.01	491.51	1072.99
	Back	35454.04	20559.90	21301.83	170.60	32.39	262.83	29646.06	16387.37	9555.82	596.12	746.06	1323.28
	Hip	47492.74	40200.46	29118.36	42.08	40.61	23.84	36045.18	8176.41	5424.13	165.07	303.45	353.21
	Upper arm	53679.47	17473.12	26559.96	79.42	27.57	101.33	27239.59	19549.45	8201.26	249.97	227.29	546.08
	Fore arm	50595.13	24124.34	27159.17	86.08	34.55	74.91	31300.23	23353.60	9226.85	186.21	291.03	415.26
	Thigh	79387.92	88967.41	55000.91	58.08	19.82	47.84	71770.22	15440.19	6790.75	236.09	225.77	391.22
	Shin	35531.81	70325.06	34784.17	45.88	26.31	22.06	47446.74	8894.14	2714.54	1263.79	1196.42	1248.54
Inner	Chest and stomach	734.58	707.56	264.26	6.21	13.53	5.45	1581.41	797.58	140.93	229.36	217.99	222.26
	Back	707.46	156.49	127.57	4.41	9.36	25.16	1627.40	608.78	81.03	407.55	130.25	420.07
	Hip	650.17	496.98	3128.94	16.30	1.09	0.09 <sup>b)</sup>	1536.30	496.03	86.53	61.87	148.19	56.31
	Upper arm	410.65	100.37	1035.47	4.31	0.09 <sup>b)</sup>	0.09 <sup>b)</sup>	1122.84	413.82	92.63	137.18	292.89	117.00
	Fore arm	774.15	460.59	165.80	12.53	0.09 <sup>b)</sup>	0.09 <sup>b)</sup>	2150.02	970.96	258.11	163.64	126.65	180.85
	Thigh	769.43	2607.03	1148.36	0.09 <sup>b)</sup>	0.09 <sup>b)</sup>	0.09 <sup>b)</sup>	2362.66	266.04	107.39	55.85	101.19	59.51
	Shin	136.57	323.64	195.56	0.09 <sup>b)</sup>	0.09 <sup>b)</sup>	0.09 <sup>b)</sup>	7661.92	1416.27	108.05	140.16	180.63	215.99
Total (Dermal + Inhalation)	Glove	20.16	9.45	0.05 <sup>b)</sup>	0.05 <sup>b)</sup>	0.05 <sup>b)</sup>	0.05 <sup>b)</sup>	26.41	1.70	0.17	0.41	0.05 <sup>b)</sup>	0.05 <sup>b)</sup>
	Hand	334.14	174.03	139.71	2.90	3.73	6.52	118.51	173.86	34.08	7.41	3.84	7.66
	Gauze (face and neck)	690.83	621.52	413.38	21.24	13.31	8.81	478.32	493.87	181.84	214.88	232.35	301.41
	Glass fiber filter (Inhalation)	17.18	28.93	17.54	0.60	0.02	0.39	25.01	43.57	167.22	17.18	28.93	17.54
	Total (Dermal + Inhalation)	385475.39	331263.25	247097.91	763.20	278.49	743.73	336628.89	131823.88	52983.86	4636.75	4944.49	6949.23

<sup>a)</sup> Average exposure level (n=3)

<sup>b)</sup> As not detection, applied 1/2 LOQ

**Table 9.** Average exposure level and distributions of fluazinam on body parts including exposure level of fluazinam during application (Unit:  $\mu\text{g}/6\text{ h}$ )

Body part	Outdoor cultivation				Green house cultivation				
	Stationary power spray		Remote-control spray		Stationary power spray		Remote-control spray		
	Exposure level <sup>a)</sup> ( $\mu\text{g}$ )	Distribution (%)	Exposure level <sup>a)</sup> ( $\mu\text{g}$ )	Distribution (%)	Exposure level <sup>a)</sup> ( $\mu\text{g}$ )	Distribution (%)	Exposure level <sup>a)</sup> ( $\mu\text{g}$ )	Distribution (%)	
Outer	Chest and stomach	62850.73	19.56	144.08	24.21	39547.61	22.75	689.50	12.51
	Back	25771.92	8.02	155.27	26.09	18529.75	10.66	888.49	16.12
	Hip	38937.19	12.12	35.51	5.97	16548.57	9.52	273.91	4.97
	Upper arm	32570.85	10.14	69.44	11.67	18330.10	10.55	341.11	6.19
	Fore arm	33959.55	10.57	65.18	10.95	21293.56	12.25	297.50	5.40
	Thigh	74452.08	23.17	41.91	7.04	31333.72	18.03	284.36	5.16
	Shin	46880.35	14.59	31.42	5.28	19685.14	11.33	1236.25	22.44
Inner	Chest and stomach	568.80	0.18	8.40	1.41	839.97	0.48	223.20	4.05
	Back	330.51	0.10	12.98	2.18	772.40	0.44	319.29	5.79
	Hip	1425.36	0.44	5.83	0.98	706.29	0.41	88.79	1.61
	Upper arm	515.50	0.16	1.50	0.25	543.10	0.31	182.36	3.31
	Fore arm	466.85	0.15	4.24	0.71	1126.36	0.65	157.05	2.85
	Thigh	1508.27	0.47	0.09	0.01	912.03	0.52	72.18	1.31
	Shin	218.59	0.07	0.09	0.01	3062.08	1.76	178.93	3.25
Glove	9.89	0.00	0.05	0.01	9.43	0.01	0.17	0.00	
Hand	215.96	0.07	4.38	0.74	108.82	0.06	6.30	0.11	
Gauze (face and neck)	575.24	0.18	14.45	2.43	384.68	0.22	249.55	4.53	
Glass fiber filter (Inhalation)	21.22	0.01	0.34	0.06	78.60	0.05	21.22	0.39	
Total (Dermal + Inhalation)	321278.85		595.14		173812.21		5510.16		

<sup>a)</sup> Average exposure level (n=3)

<sup>b)</sup> As not detection, applied 1/2 LOQ



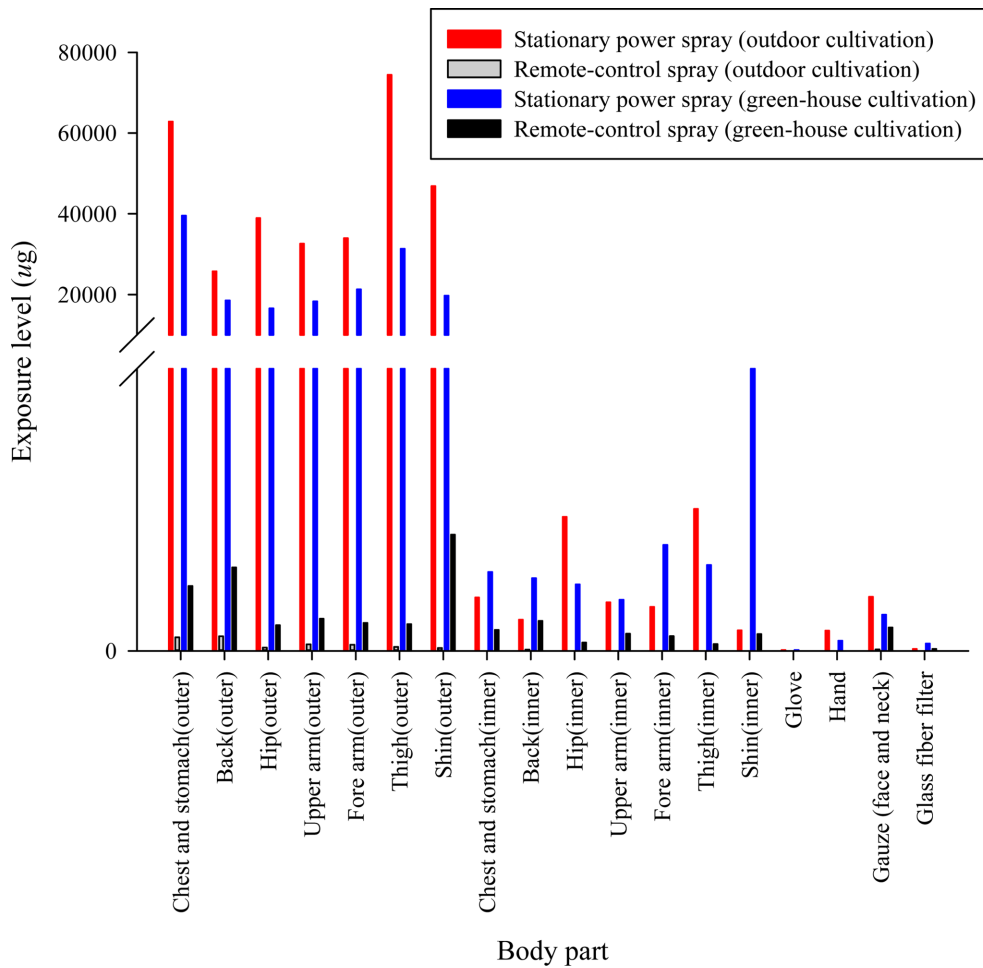


Fig. 2. Dermal and inhalation average exposure on body part during application.

재배에서의 총 노출량은 173,812.21  $\mu\text{g}$ 으로 총 살포량 대비 0.1390% 수준이었고, 분포는 몸통(34.33%) > 다리(31.63%) > 팔(23.76%) > 엉덩이(9.93%) > 얼굴(0.22%) > 손(0.07%) 순이었다. 원격조종분무기를 이용하여 살포하였을 때, 노지재배에서의 총 노출량은 595.14  $\mu\text{g}$ 으로 총 살포량 대비 0.0005% 수준이었고 분포는 몸통(53.89%) > 팔(23.58%) > 다리(12.35%) > 엉덩이(6.95%) > 얼굴(2.43%) > 손(0.75%) 순이었다. 시설재배에서의 총 노출량은 5,510.16  $\mu\text{g}$ 으로 총 살포량 대비 0.0044% 수준이었으며, 몸통(38.48%) > 다리(32.15%) > 팔(17.75%) > 엉덩이(6.58%) > 얼굴(4.58%) > 손(0.12%) 순이었다. 동력분무기로 살포하였을 때, 총 노출량은 노지재배에서 시설재배보다 약 1.85배 더 높게 검출되었는데, 이는 농약살포시 제주도 기후적 특징인 바람의 영향이 큰 것으로 판단되며, 농약 노출량 산출 연구에서는 잔류량을 결정짓는 중요한 요인 중 시험 포장의 조건이라는 연구 결과(Hughes et al., 2008)와 유사하다고 판단된다. 또한 노지재배 조건에서 동력 분무기를 사용했을 때의 총 노출량은 원격 분무기를 사용했을 때보다 539.8배가 높았으며, 시설재배 조건에서도 31.5배가 높았다. 피부노출량만으로

비교하였을 때, 노지재배 조건에서 동력분무기를 사용하였을 경우 원격분무기를 사용하였을 때보다 540.1배, 시설재배 조건에서 31.7배로 총 노출량의 대부분이 피부노출로 기인하는 것을 알 수 있다. 또한 호흡노출량에서도 노지재배에서 63.3배, 시설재배에서 3.7배로 동력분무기를 사용하였을 때 높은 노출량을 나타내었다. 따라서 원격조종분무기를 사용하였을 때, 농약으로부터 노출되는 양이 동력분무기를 사용하였을 때보다 낮다는 것을 알 수 있다. 하지만 재배조건에 따른 노출량을 비교해보면 동력분무기를 사용했을 경우, 노지재배에서 1.8배 높았으나 원격조종분무기를 사용했을 때는 시설재배에서 9.3배 높음을 확인할 수 있었다. 원격조종분무기를 사용했을 때, 피부노출량을 보면 노지재배에서 594.80  $\mu\text{g}$ , 시설재배에서 5,488.94  $\mu\text{g}$ 으로 시설재배에서 피부노출량이 9.2배 높았는데, 시험 포장에서의 감귤 나무의 재식밀도가 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 호흡노출량은 동력분무기를 사용했을 때, 시설재배에서 3.7배 높았으며, 원격분무에서는 시설재배에서 63.3배가 높았다. 이는 시설재배 특성상 노지재배보다 환기가 적고 갇혀 있는 공간에서의 비산이 호흡노출량에 큰 영향을 준 것으로 판단된다.

### 농작업자 위해성 비교

국내에서 농약 살포자에 대한 위해성 평가 시, 해당 농약의 독성시험성적서를 검토하여 설정한 농작업자 노출허용량(acceptable operator exposure level, AOEL)과 농약 살포자가 해당 농약을 살포할 때 노출되는 농약 노출량을 비교하여 총 3단계(1단계; 농약 살포자 노출량 산정 모델을 이용한 이론적 노출량 산정, 2단계; 실제 사용조건 등을 고려한 이론적 노출량 산정, 3단계; 야외포장조건에서의 실제 노출량 산정)를 거쳐 평가하고 있다(RDA, 2023). 본 연구에 실시된 실험은 3단계에 해당하지만, 농약 등록 시험 또는 농약 등록을 위한 평가를 목적으로 하지 않기 때문에 인력살포와 원격조종살포에 대한 안전한계를 통하여 위해성 비교를 실시하였다. 동력분무기를 이용한 살포를 안전한계로 계산하였을 때, 노지재배와 시설재배 각각 0.44 및 0.27로 1보다 낮기 때문에 위해성이 높았다. 하지만 원격조종분무기를 이용한 살포를 안전한계로 계산하였을 때, 노지재배와 시설재배 각각 63.90 및 1.62로 1보다 높기 때문에 위해성이 낮았다. 노지재배에서 동력분무기 살포와 원격조종분무기 살포를 비교하였을 때, 동력분무기를 이용하여 살포하였을 경우 143.9배 더 위험하였으며, 시설재배에서는 6.1배 더 위험하였다. 이는 살포노즐과 살포자와의 거리가 짧고 환경적 영향에 의한 비산이 가장 큰 영향으로 보인다. ADE값만 두고 비교해 보았을 때, Fluazinam은 국내에 고시된 농작업자 노출허용량 342성분 중 31번째로 낮은 허용량을 가지고 있으며, 본 시험에 사용된 품목의 함유량이 높은 것도 영향을 주는 것으로 판단된다. 감귤 과수원의 특성상, 재식밀도가 일정하지 않고 주간격이 좁으며, 특히 시설재배에서는 밀식재배가 많아 원격조종분무기라고 할지라도 분무기를 조종하기 위해 노지재배에 비해 원격조종분무기와 간격을 좁혀야 되기 때문에 농약이 살포된 감귤 나무와의 접촉이 더 많은 것으로 판단된다. 따라서 동력분무기를 사용할 때보다 원격조종분무기를 사용했을 때, 농작업자의 위해도의 6배 이상 안전함이 입증되었다. 하지만 조금 더 안전하게 농약을 살포하기 위해서는 농작업자노출량에 따른 감귤 과수원에서의 원격조종분무기 표준작업 매뉴얼을 만든다면 농작업자에 대한 안전성이 더욱 높아질 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 2023년도 농촌진흥청 연구사업(PJ0156482021)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### Author Information and Contributions

Gap-Hee Ryu, Research Institute of Agribusiness Development, <https://orcid.org/000-0001-9690-1839>

Hyeog-Wook Jo, Hansalim Agro-Food Analysis Center, Hankyong National University Industry Academic Cooperation Foundation, Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-2271-9767>

Jung-Hun Sun, Hansalim Agro-Food Analysis Center, Hankyong National University Industry Academic Cooperation Foundation, Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-1531-9690>

Hyun-Ji Park, Department of Plant Resources and Landscape Architecture, Hankyong National University, Master student, <https://orcid.org/0000-0001-5515-0178>

Joon-Kwan Moon, Department of Plant Resources and Landscape Architecture, Hankyong National University, Professor, <https://orcid.org/0000-0001-9944-7475>

### 이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

### Literature Cited

- Atabila A, Phung DT, Hogarh JN, Osei-Fosu P, Sadler R, et al., 2017. Dermal exposure of applicators to chlorpyrifos on rice farms in Ghana. *Chemosphere*. 178:350-358.
- Bajwa U, Sandhu KS, 2014. Effect of handling and processing on pesticide residues in food- a review. *Journal of Food Science and Technology*. 51:201-220.
- Boroduleva AY, Manclus JJ, Montoya A, Eremin SA, 2018. Fluorescence polarization immunoassay for rapid screening of the pesticides thiabendazole and tetraconazole in wheat. *Analytical and Bionalalytical Chemistry*. 410:6923-6934.
- Cao L, Chen B, Zheng L, Wang D, Liu F, et al., 2015. Assessment of potential dermal and inhalation exposure of workers to the insecticide imidacloprid using whole-body dosimetry in China. *J. Environ. Sci*. 27:139-146.
- Choi H, Moon JK, Liu KH, Park HW, Ihm YB, et al., 2006. Risk assessment of human exposure to cypermethrin during treatment of mandarin fields. *Arch. Environ. Contam. Toxicol*. 50:437-442.
- Choi H, Kim JH, 2014. Risk assessment of agricultural worker's exposure to fungicide thiophanate-methyl during treatment in green pepper, cucumber and apple fields. *J. Appl. Biol. Chem*. 57(1):73-81.
- Damalas CA, Eleftherohorinos IG, 2011. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 8(5):1402-1419.
- Damals CA, Koutoubas SD, 2016. Farmers' exposure to pesticides: Toxicity types and ways prevention. *Toxics*.

- 4(1):1.
- Großkopf C, Mielke H, Westphal D, Erdtmann-Vourliotis M, Hamey P, et al., 2013. A new model for the prediction of agricultural operator exposure during professional application of plant protection products in outdoor crops. *J. Verbr. Lebensm.* 8(3):143-153.
- Hughes EA, Flores AP, Ramos LM, Zalts A, Glass CR, et al., 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.
- JeJu Special Self-Governing Provincial Agricultural Research & Extension Service, 2020. 2021 Green-house Mandarin Cultivation Technology, Jeju, Korea. (In Korean)
- Kang TS, Kim GJ, Choi IJ, Kwon YJ, Kim KR, et al., 2004. Exposure assessment of Korean farmers while applying chlorpyrifos, and chlorothalonil on pear and red pepper. *J. Agric. Med. Commutiny Health.* 29(2):249-263.
- Kantinka VDJ, Tielemans E, Links I, Brouwer D, Hemen JV, 2004. Effectiveness of personal protective equipment: Relevance of dermal and inhalation exposure to chlorpyrifos among pest control operators. *J. Occup. Environ. Hyg.* 1(6):355-362.
- Kim EH, Moon JK, Choi H, Hong SM, Lee DH, et al., 2012. Exposure and risk assessment of insecticide methomyl for applicator during treatment on apple orchard. *J. Korean Soc. Biol. Chem.* 55:95-100.
- Kim EH, Moon JK, Lee HR, Kim SH, Hwang YJ, et al., 2013. Exposure and risk assessment of operators to insecticide acetamiprid during treatment on apple orchard. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31(2):239-245.
- Kim EH, Lee JH, Sung JH, Lee JH, SHin YH, et al., 2014. Expousre and risk assessment for operator exposure to insecticide acetamiprid during water melon cultivation in greenhosue using whole body dosimetry. *Korean J. Pestic. Sci.* 18(4):247-257.
- KOSIS, 2023. Current Status of Average Weight Distribution by asge and Gender by City and Province. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=350&tblId=DT\\_35007\\_N132](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=350&tblId=DT_35007_N132) (Accessed November. 30. 2023)
- Kwon GH, Moon JK, Jung YM, Lee MS, Lee JH, et al., 2018. Visitor exposure and risk assessment of insecticide fenitrothion applied to tree in public living space. *J. Korean Soc. For. Sci.* 107(2):229-236.
- Lee S, Paik MK, Lee MJ, Shin HS, Jeong MH, et al., 2019. Pesticide reduction effect of agricultural workers according the wearing degree of personal protective equipment. *Korean J. Pestic. Sci.* 23(4):339-347.
- Moon JK, Park SE, Kim EH, Lee HR, Kim JH, 2013. Risk assessment of the exposure of insecticide operators to fenvalerate during treatment in apple orchards. *J. Agric. Food Chem.* 61(2):307-311.
- Marchado-Neto JG, 2001. Determination of safe work time and exposure control need for pesticide applicators. *Bull. Environ, Contam. Toxicol.* 67:20-26.
- Noh HH, Park HK, Lee JW, Jin MJ, Lee JY, et al., 2017. Exposure and risk assessment of clothianidin for agricultural worker during spraying onto rice-growing paddy field. *Korean J. Pestic. Sci.* 21(3):332-340.
- PPDB, 2023. Pesticide Properties Database. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/index.htm> (Accessed November. 30. 2023)
- PSIS, 2023. Pesticide Safety Information System. <http://psis.rda.go.kr/psis/index.ps> (Accessed November. 30. 2023)
- Ramos LM, Querejeta GA, Flores AP, Hughes EA, Zalts A, et al., 2010. Potential dermal exposure in greenhouses for manual sprayer: Analysis of the mix/load, application and re-entry stages. *Sci. Total. Environ.* 408(19):4062-4068.
- Rural Development Administration (RDA), 2023. Agro-chemicals Management Act.
- Ryu GH, Jo HW, Sun JH, Moon JK, 2023. Comparison of exposure assessment of mandarin orchard workers to the fungicide difenoconazole using patch method on stationary power and remote-control sprayer. *Korean J. Pestic. Sci.* 27(1):40-48.
- Turner JA, 2018. The Pesticide Manual Eighteenth Edition. British Crop Production Council, Cambridge, UK. Pp. 501-502.

## 전신복장법을 이용한 동력 및 원격조종 살포 중 살균제 fluazinam에 대한 감귤 과수원 농작업자의 노출 비교

류갑희<sup>1\*</sup> · 조형욱<sup>2\*</sup> · 선정훈<sup>2</sup> · 박현지<sup>3</sup> · 문준관<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>농산업발전연구원, <sup>2</sup>한경국립대학교 산학협력단 한살림농식품분석센터, <sup>3</sup>한경국립대학교 식물자원조경학부

**요약** 본 연구는 감귤 과수에서 사용되는 살균제 fluazinam의 동력분무기와 원격조종분무기의 위해성 평가 비교를 위하여 수행되었다. 시험농약은 플루아지남 50% 수화제이였으며, 2,000배 희석액, 500 L를 동력분무기와 원격조종분무기를 이용하여 살포한 후 전신복장법으로 신체부위별 시료를 채취하여 LC-MS/MS로 잔류농약을 분석하였다. 시험농약의 정량한계는 0.0005 µg/ml이였으며, 회수율은 작업복 88.7~114.7%, 내복 88.9~107.9%, 세척용액 82.3~97.7%, 거즈 94.3~102.7% 및 유리섬유필터 79.0~94.9%이였다. 잔류농약 분석 결과, 총 노출량은 노지재배에서 동력살포와 원격조종살포 각각 평균 321,278.85 및 595.14 µg이였으며, 시설재배에서 동력살포와 원격조종 살포 각각 평균 173,812.21 및 5,510.16 µg이였다. 총 검출량은 살포량 대비 노지재배에서 0.2570 및 0.0005%이였으며, 시설재배에서 0.1390 및 0.0044%이였다. 노출량을 바탕으로 산출한 fluazinam의 안전한계는 노지재배에서 동력살포와 원격조종살포 각각 0.44 및 63.90, 시설재배에서 각각 0.27 및 1.62이였다. 플루아지남 50% 수화제를 살포할 때에는 농작업자의 위해도는 살포자가 직접살포하였을 때, 모두 위험한 걸로 평가되었으며, 원격조종살포기로 살포하였을 때, 모두 낮은 것으로 평가되었다. 노지재배 및 시설재배에서 동력분무기를 이용할 때보다 원격조종분무기를 이용하여 살포하였을 때 143.9배 및 6.1배 더 안전한 것으로 입증되었다.

**색인어** Fluazinam, 감귤 과수원, 동력살포, 원격조종살포, 농작업자 노출