



일부 농업인에서의 농약살포방식 및 보호구 착용에 따른 유기인계 농약노출평가

이지영¹ · 노상철^{1,2,*}

¹단국대학교병원 농업안전보건센터, ²단국대학교 의과대학 직업환경의학교실

Evaluation of Exposure to Organophosphorus Pesticides According to Application Type and the Protective Equipment among Farmers in South Korea

Jeeyoung Lee¹ and Sangchul Roh^{1,2,*}

¹Center for Farmers' Safety and Health, Dankook University Hospital, Cheonan 31116, Korea

²Department of Occupational and Environment Medicine, College of Medicine, Dankook University, Cheonan 31116, Korea

(Received on May 27, 2016. Revised on June 20, 2016. Accepted on June 22, 2016)

Abstract This study was conducted to evaluate the relations between the exposure level of organophosphates (OPs) pesticide and application factors among rural farmers. The urinary dialkylphosphates, metabolites of organophosphorus pesticides, including DMP, DEP, DMTP and DETP were analyzed by GC/MSD and GC/MS/MS. The DMP and DMTP were detected more in the use of a speed sprayer without cap than with a capped one. Also, the less farmers wore the personal protective equipment (PPE), the more these were detected. The amount of organophosphorus exposure was the highest in the use of a power sprayer. However, it was low when a farmer applied pesticides with a speed sprayer with cap and wore more PPE. In this study, the detection rate was analyzed by chi-square test, the exposure level of OPs was analyzed by a generalized linear model.

Key words Biological monitoring, Organophosphorus, Pesticide Exposure, Personal protective equipment, PPE

서 론

농약은 병해충으로부터 작물의 피해를 줄이고 농작물 생산량 증가를 목적으로 사용되는 화학물질로써, 생산량과 출하량이 증가하는 추세이며 현대 우리나라 농업현장에서는 없어서는 안될 중요한 물질임은 분명하다. 하지만, 농약은 의도적으로 생명체를 죽이기 위해 만들어진 물질이기 때문에 인체에 대한 잠재적인 독성 또한 존재하며(Lee, 2011), 농약을 주기적 및 장기적으로 살포하는 농업인의 농약노출에 대한 건강장해는 전세계적으로 중요한 보건학적 문제로 대두되고 있다(Sanborn et al., 2004).

유기염소계 농약의 일종인 Dichlorodiphenyltrichloroethane

(DDT)는 긴 잔류성 및 잠재적 독성으로 1970년대 초반부터 대부분의 나라에서 사용이 금지되었으며, 상대적으로 유기인계, 피레스로이드계 그리고 카바메이트계 등의 농약 생산이 증가하였고(Song et al., 2014), 그 중 유기인계 농약은 전세계적으로 광범위하게 사용되며 국내에서도 농업인들이 가장 많이 사용하는 농약으로 보고 된 바 있다(Lee et al., 2000). 유기인계 농약은 유기염소계 농약에 비해 반감기는 짧으나, 아세틸콜린에스테라제를 억제함으로써 아세틸콜린을 축적시켜 두통, 메스꺼움, 어지러움 등의 급성 중독 증상을 유발하는 것으로 알려져 있으며(Reigart et al., 1999), 또한, 만성 건강장해로는 말초신경염 및 암 등의 발생과의 관련성도 보고 된 바 있다(Lee et al., 2004).

농약 노출은 농약살포 방법 및 살포작물의 종류에 따라 주요 노출부위와 노출량이 달라지며, 대부분의 농약은 피부를 통해 가장 많이 흡수가 된다(Choi et al., 2006). 저독성

*Corresponding author
E-mail: scroh@dku.edu

의 농약도 장기적으로 노출되면 만성 중독의 위험이 높아질 수 있으므로 농약노출을 최소화 하도록 해야 한다. 농약의 피부 흡수를 줄이기 위한 방법으로 농약보호구 착용이 있지만, 농업인들에서는 방제복 착용이 쉽고 작업이 불편하다는 이유로 실제 착용률은 저조한 편이며, 농약의 독성 및 방제복 착용의 필요성에 대한 인식 또한 부족한 실정이다(Lee et al., 2000b; You, 2004).

또한, 농약의 만성 건강장해에 대한 연구를 시행하기 위해서는 노출 평가가 매우 중요하며, 피부 흡수율이 높은 유해인자의 경우 체내 흡수된 물질의 생물학적 모니터링이 중요한 역할을 하지만(Kim et al., 2015), 국내외에서 생물학적 모니터링을 통한 농약의 노출평가 연구는 많지 않으며, 그 대상자수 또한 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 충남 일부 농촌지역의 농업인들의 소변에서 유기인계 농약 노출에 대한 생물학적 모니터링을 실시하고, 농약살포 방법 및 개인보호구 착용과 유기인계 농약 노출 수준과의 관련성을 보고자 한다.

재료 및 방법

연구대상

본 연구는 충남 농촌지역에 거주하는 농업인을 대상으로 농약사용 특성 및 농약노출 위험요인을 파악하기 위하여 2014년 9월부터 12월까지 공주시 시설 및 밭작물 재배 농업인과 2015년 7월 21일부터 24일까지 예산군 과수재배 농업인을 대상으로 검진 및 설문조사를 실시하였다. 조사대상자 모집을 위해 조사지역 면사무소와 보건소에 조사의 취지와 향후 관리에 대해 설명한 후 협조에 대한 동의를 얻었고, 이장 회의 및 농협 교육시기 등에 맞춰 마을지도자 및 농업인에게 조사에 대해 홍보한 후 희망자를 접수하였다. 이후, 개별 전화면담을 통해 조사 설명 및 참여를 권유하였다.

총 864명(남: 475명, 여:389명)의 대상자를 모집했으며, 이 중 설문 미응답자(28명), 과거에는 직업적으로 농사했으나 현재는 소규모 또는 농사를 짓지 않는 경우(35명), 과거에도 현재에도 직업적으로 농사지은 적 없는 경우(101명), 농사는 짓지 않고 축산업에만 종사하는 경우(1명)을 제외하여 남성 429명, 여성 270명이 최종 분석에 이용되었다.

연구 프로토콜은 단국대학교병원 윤리위원회의 승인을 받았으며(No. 2014-08-003), 대상자들에게는 연구 참여에 대한 설명을 한 후 서면동의를 받았다.

자료수집방법

설문조사

설문조사 문항은 농약 중독 경험, 농업종사 및 농약 사용 특성, 농약 살포특성, 농약 살포시 안전사항 준수, 농약보호구 착용, 식생활 습관, 흡연 및 음주 습관 그리고 여성력(조경

나이, 임신·출산·유산 여부, 호르몬 복용 여부)등이 포함되었으며, 농약 중독경험 및 증상과 관련된 항목들은 선행연구(Kim et al., 2011; Lee et al., 2012)를 토대로 개발하여 사용하였다. 모든 설문조사는 사전에 본 연구의 목적과 방법에 대해 훈련 받은 조사원에 의해 1:1 면담조사로 실시되었다.

소변시료 채취

소변시료 채취는 공주시 농업인은 2014년 9월에서 12월, 예산군은 2015년 7월에 실시한 검진일 오전에 모두 채취하였다. 유기인계 대사물질 4종 및 피레스로이드계 대사물질 4종, 그리고 추후 분석을 위한 보관시료까지 총 50 mL의 소변을 채취하였으며, 5개의 15 mL 용기에 나누어 담아 분석 전까지 -20°C에서 동결 보관하였다.

신체계측 및 혈액검사

신체계측은 키, 몸무게, 허리둘레, 엉덩이 둘레를 측정하였으며, 혈액검사는 일반 혈액검사(CBC 8종, 간기능, 고지혈증, 혈당), 신장기능 관련 검사(크레아티닌, 요산, 요소질소) 그리고 특수검사(당뇨, 아세틸콜린에스테라제, PSA (남성), TSH (여성))을 조사하였다.

실험방법

유기인계 대사물질 분석방법은 Ueyama 방법을 그대로 사용하였으며(Ueyama et al., 2006), 소변 시료는 용기에 채취한 후 분석할 때까지 -20°C에서 동결 보관하였다. 분석하기 전, 전처리 과정은 다음과 같다(Song et al., 2014).

소변 시료 5.0 mL를 screw cap tube에 취한 다음, HCL (6 mol) 1 mL, Na₂SO₄, 50 mg, NaCl 5 g을 첨가한 후 내부표준물질 DBP (1 mg/l) 20 µl를 추가하였다. 첨가된 시료에 추출용매 diethylether:acetonitrile (1:1) 5 mL를 넣어 두 번의 추출 추출과정을 거쳐 상층액을 취하였고, 이 과정에서 얻은 유기층을 시험관에 담아 N₂ 가스로 완전히 건조하였다. 다시 acetonitrile 1 mL, K₂CO₃ 15 mg, 유도체 시약 PFBBR 50 µl를 첨가하여 중탕에서 70°C, 1 hr 동안 유도체 반응을 시킨 후 상온에서 식힌 다음, 증류수 4.5 mL, n-hexane 4.5 mL를 넣고 액상 추출한 후, n-haxane 4.5 mL를 한번 더 넣고 재추출하였다. 추출한 유기층은 N₂ 가스를 완전히 제거한 후 toluene 100 µl로 용해하여 이중 2 µl를 GC/MSD로 분석하였다.

정량 분석은 GC/MS 및 GC/MS/MS를 이용하여 수행하였으며 각 peak 면적을 내부표준물질 면적비로서 검량선을 작성하여 시료 중 유기인계 대사물질 농도를 구하였다(Song et al., 2014). 유기인계 대사물질 값은 크레아티닌으로 보정하여 사용하였다. 검출한계값(Limit Of Detection, LOD)은 1차년도는 Dimethyl phosphate (DMP) 0.1 µg/g

creatinine (crea.), Dimethylthiophosphate (DMTP)는 1 µg/g crea., Diethylphosphate (DEP)는 0.1 µg/g crea., 그리고 Diethylthiophosphate (DETP)는 1 µg/g crea.이었으며, 2차년도는 분석기기가 GC/MSD에서 GC/MS/MS로 변경되어 LOD값은 DMP 0.01 µg/g crea., DMTP는 0.1 µg/g crea., DEP는 0.01 µg/g crea., DETP는 0.1 µg/g crea.이었다.

자료 통합 분석을 위하여 1차년도 검출한계값으로 보정하여 사용하였으며, 검출되지 않은 대상자의 경우, LOD 값으로 대체하여 분석하였다. 유기인계 대사물질 총합(DAP)은 DMP, DMTP, DEP, DETP 수치를 모두 더한 값으로 계산하였다.

분석방법

측정 변수 중 유기인계 대사물질 결과 값은 오른쪽으로 치우친 분포를 보여 로그변환을 하여 분석하였고, 모든 분석은 남녀를 구분하여 시행하였다. 대상자의 농약살포 방법 및 보호구 착용에 따른 유기인계 대사물질 검출률을 비교하기 위하여 카이제곱 검정을 실시하였고, 유기인계 대사체량 비교는 Generalized Linear Model (GLM)을 이용하였으며, 연령 및 살포방법을 보정하여 분석하였다. 농약살포 방법 변수는 동력 분무기, 등짐형 분무기(동력, 수동 포함), SS살포기(캡 없음), SS살포기(캡 있음), 기타(연무기, 손으로 뿌림 등)으로 구분하여 분석하였으며, 보호구 착용은 7개 항목(모자, 보호장갑, 보안경, 방제복 상의, 방제복 하의, 보호장화, 그리고 마스크)의 보호구에 대해 조사하여 총 착용 보호구 개수를 범주화(2개 미만 착용, 2-3개 착용, 4개 이상 착용)하여 사용하였다. 모든 자료 분석은 SPSS(ver. 23)을 사용하였으며, 통계적 유의수준은 0.05를 기준으로 하였다.

결과 및 고찰

인구학적 및 농약살포 관련 특성

남성 농업인은 429명(61%)으로 여성 270명(39%)보다 많았으며, 여성에 비해 학력수준이 높았다. 연령은 60대 초반으로 비슷했다. 재배작목은 남성과 여성 모두에서 과수재배가 가장 많았으며, 그 다음으로 시설재배, 기타(수도작, 노지재배) 순이었다. 농업종사기간은 약 35년 정도로 비슷했으며, 농약 살포 년수는 남성에서 조금 더 높았다. 주로 농약 살포 작업은 남성이 하였으며, 여성은 농약 살포시 보조작업을 하고 있었다(표 제시하지 않음)(Table 1).

농약 살포방법은 캡이 없는 SS살포기를 가장 많이 사용하였고, 그 다음 순으로 동력 분무기, 등짐형 분무기, 캡이 있는 SS살포기 순으로 나타났다. 캡 유무에 따른 SS살포기 사용률은 남성에서 캡이 없는 SS살포기 사용률(38.5%)이 캡이 있는 SS살포기(12.3%)에 비해 3배이상 높게 나타났다(Table 2). 본 연구 과수재배 농업인에서의 캡이 있는 SS살

Table 1. General characteristics of study subjects

	Male (n=429)	Female (n=270)
Age (years)	62.7 ± 9.5	61.3 ± 9.2
Education		
<Elementary school	28 (6.6)	47 (17.5)
Elementary school	160 (37.7)	121 (45.0)
Middle school	86 (20.2)	59 (21.9)
≥High school	151 (35.5)	42 (15.6)
Marital status		
Living with spouse	407 (95.3)	238 (88.2)
Separation by death	9 (2.1)	32 (11.9)
Others ^{a)}	11 (2.6)	0 (0.0)
Income (10,000 won/year)		
<2000	100 (26.2)	70 (30.3)
2000~less than 5000	154 (40.3)	91 (39.4)
≥5000	128 (33.5)	70 (30.3)
Type of farming		
Green house	180 (42.0)	106 (39.3)
Fruits	207 (48.3)	120 (44.4)
Others ^{b)}	42 (9.8)	44 (16.3)
Years of farming	35.8 ± 15.7	34.0 ± 13.4
Years personally applied pesticides	34.1 ± 14.5	31.2 ± 13.2

Numbers may not sum to total due to missing information. Values are expressed as N (%) or Mean ± SD.

^{a)} Included divorce, separation and cohabitation.

^{b)} Included rice and dry field.

포기 사용률은 약 25%로(표 제시하지 않음), 그리스 과수재배 농업인의 트랙터에 보호캡을 설치하여 농약을 살포하는 비율 43.5%에 비해 낮은 수준이었다(Koureas et al., 2013). 시설재배 및 기타재배 농업인은 동력 분무기 및 등짐형 분무기를 사용하였으며, 과수재배는 거의 모든 농업인이 SS살포기를 사용하고 있었다(표 제시하지 않음).

농약보호구 착용률은 보호장화와 모자가 남성에서 63.4%, 56.1%, 여성은 50.3%, 47.0%로 비교적 높은 착용률을 보였으며, 방제복(상, 하의), 장갑, 마스크 등의 착용률은 50% 이하였다. 가장 착용률이 낮은 보호구는 보안경이었으며, 남성은 12.4%, 여성은 4.9%만이 착용하고 있었다. 국내외 선행연구와 비교해보면, 경북 경주시 농업인의 보호구 착용률도 모자와 장화가 가장 높았으나, 방제복(상, 하의), 장갑, 마스크 등 착용은 ‘항상 착용한다’의 응답이 평균 59.2% (액상살포 기준)로 더 높은 착용률을 보였다(Lee et al., 2000a). 또한, 미국 캐롤라이나주 농업인에서는 모자 착용률이 ‘항상 착용한다’가 93%, 방수가 되는 방제복 착용률이 ‘대부분 착용한다’ 이상이 68%로 우리 연구 대상자에 비해 높은 수준이었다(Walton et al., 2016). 반면, 그리스 농업인의 경

Table 2. Distribution of type of applied pesticides and wearing personal protective equipment

	Male (n=429)	Female (n=270)
Type of pesticides application		
Power sprayer	97 (24.4)	66 (27.5)
Backpack sprayer	81 (20.4)	46 (19.2)
Speed sprayer without cap	153 (38.5)	87 (36.3)
Speed sprayer with cap	49 (12.3)	35 (14.6)
Others ^{a)}	17 (4.3)	6 (2.5)
Wearing PPE		
Gloves	150 (35.6)	65 (35.3)
Goggles	52 (12.4)	9 (4.9)
Hat	235 (56.1)	86 (47.0)
Clothing (top)	176 (42.0)	33 (18.0)
Clothing (bottom)	186 (44.5)	35 (19.1)
Rubber boots	265 (63.4)	92 (50.3)
Mask	184 (43.8)	52 (28.3)
Number of wearing PPE		
<2	145 (34.9)	95 (51.9)
2-3	90 (21.7)	48 (26.2)
≥4	180 (43.4)	40 (21.9)

Numbers may not sum to total due to missing information. Values are expressed as N (%) or Mean ± SD. Abbreviations: PPE, personal protective equipment; SD, standard deviation.
^{a)} Included applied by hands and thermal fogger.

우, 모자 52%, 장갑 41.7%로 본 연구 대상자보다 낮거나 비슷한 수준이었으며(Koureas et al., 2016), 필리핀 농업인 또한(Lu, 2009), 대상자의 67%가 보호구를 전혀 착용하지 않는다고 응답하여, 낮은 보호구 착용율을 보였다. 반면, 중국의 경우, 과수재배 농업인의 보호구(마스크, 장갑, 앞치마) 착용점수가 5점 척도 응답에서 평균 3.34점으로 보통 이상 수준이었다(Fan et al., 2015).

성별에 따른 착용율에서는 남성이 여성에 비해 보호구 착용률 및 평균 착용 보호구 개수가 더 높게 나타났는데, 이는 주로 남성이 농약을 직접 살포하기 때문인 것으로 생각된다 (Table 2).

생체시료 분석결과

유기인계 대사물질의 노출량 기하평균은 남성이 여성에 비해 모두 높게 나타났으며, 그 중에서도 DMTP가 가장 높았다(Table 3). 재배작목 별로는 DMP, DMTP의 경우, 시설 재배자의 노출수준이 더 높게 나타났고, DEP, DETP의 경우 기타작목 재배자가 높았다(Table 4). 과수재배 농업인의 DMP 노출수준은 0.15 µg/g crea.로 일본 과수재배 농업인 33.1 µg/g crea.에 비해 월등히 낮았고, DETP는 일본 1.6 µg/g crea.에 비해 1.49 µg/g crea.로 큰 차이는 없었다(Ueyama et al., 2012). 이는 일본 선행연구의 소변시료 채취시기 또한 여름으로 본 연구의 채취시기인 7월과 비슷하고 두 집단 모두 주 재배작목이 사과로 동일하였지만, 일본 연구대상자의 경우 유기인계 농약 살포자를 대상으로 조사

Table 3. The concentration of metabolites for organophosphates according to sex

	Male (n=97)	Female (n=64)
DMP (µg/g creatinine)		
Mean ± SD	17.30 ± 81.37	9.41 ± 29.35
GM (95% CI)	0.45 (0.35-0.57)	0.33 (0.25-0.43)
DMTP (µg/g creatinine)		
Mean ± SD	65.18 ± 198.74	31.75 ± 108.78
GM (95% CI)	3.62 (2.94-4.45)	2.52 (2.03-3.13)
DEP (µg/g creatinine)		
Mean ± SD	1.91 ± 6.47	0.79 ± 2.94
GM (95% CI)	0.21 (0.18-0.24)	0.17 (0.14-0.19)
DETP (µg/g creatinine)		
Mean ± SD	16.05 ± 80.81	6.67 ± 27.70
GM (95% CI)	1.89 (1.65-2.16)	1.59 (1.39-1.82)
DAP (µg/g creatinine)		
Mean ± SD	100.45 ± 254.61	48.62 ± 133.03
GM (95% CI)	10.99 (9.06-13.35)	7.12 (5.79-8.75)

LOD: DMP=0.1, DEP=0.1, DMTP=1, DETP=1. Abbreviations: DMP, dimethylphosphate; DMTP, dimethylthiophosphate; DEP, diethylphosphate; DETP, diethylthiophosphate; DAP, sum of the DMP, DMTP, DEP and DETP; SD, standard deviation; GM, geometric mean; CI, confidence interval; LOD, limit of detection.

Table 4. The concentration of metabolites for organophosphates according to type of farming

	Male			P-value	Female			P-value
	Green House (n=180)	Fruits (n=207)	Others (n=42)		Green House (n=104)	Fruits (n=120)	Others (n=44)	
DMP ($\mu\text{g/g}$ creatinine)								
Mean \pm SD	20.74 \pm 44.94	10.46 \pm 96.58	36.28 \pm 113.01		14.74 \pm 38.18	2.09 \pm 13.5	16.78 \pm 32.86	
GM (95% CI)	1.23 (0.81 - 1.86)	0.16 (0.13 - 0.2)	1.04 (0.4 - 2.7)	<0.001	0.68 (0.41 - 1.13)	0.14 (0.11 - 0.17)	0.64 (0.27 - 1.5)	<0.001
DMTP ($\mu\text{g/g}$ creatinine)								
Mean \pm SD	113.25 \pm 215.35	17.67 \pm 137.02	93.32 \pm 305.21		59.79 \pm 142.11	10.29 \pm 81.91	24.01 \pm 57.34	
GM (95% CI)	9.03 (6.2 - 13.14)	1.51 (1.27 - 1.78)	5.39 (2.55 - 11.39)	<0.001	4.97 (3.24 - 7.64)	1.28 (1.08 - 1.52)	3.25 (1.85 - 5.71)	<0.001
DEP ($\mu\text{g/g}$ creatinine)								
Mean \pm SD	1.98 \pm 5.92	1.7 \pm 7.13	2.62 \pm 5.29		1.03 \pm 2.56	0.27 \pm 1.25	1.63 \pm 5.67	
GM (95% CI)	0.23 (0.18 - 0.3)	0.17 (0.14 - 0.2)	0.37 (0.2 - 0.68)	0.006	0.21 (0.16 - 0.28)	0.12 (0.11 - 0.14)	0.23 (0.14 - 0.36)	<0.001
DETP ($\mu\text{g/g}$ creatinine)								
Mean \pm SD	11.44 \pm 41.5	5.95 \pm 23.55	85.63 \pm 228.67		9.95 \pm 36.3	2.43 \pm 4.61	10.47 \pm 38.16	
GM (95% CI)	1.92 (1.56 - 2.35)	1.57 (1.35 - 1.82)	4.47 (2.19 - 9.14)	<0.001	1.7 (1.31 - 2.2)	1.38 (1.19 - 1.59)	2.03 (1.34 - 3.07)	0.120
DAP ($\mu\text{g/g}$ creatinine)								
Mean \pm SD	147.42 \pm 246.04	35.79 \pm 195.68	217.86 \pm 418.47		85.51 \pm 173.31	15.08 \pm 90.39	52.89 \pm 94.2	
GM (95% CI)	23.1 (16.68 - 31.98)	4.56 (3.78 - 5.5)	34.99 (17.36 - 70.5)	<0.001	13.92 (9.46 - 20.49)	3.36 (2.81 - 4.01)	11.31 (6.5 - 19.68)	<0.001

LOD: DMP=0.1, DMTP=1, DEP=0.1, DETP=1.

P-value for GLM with log-transformed data and adjusted for age.

Abbreviations: DMP, dimethylphosphate; DMTP, dimethylthiophosphate; DEP, diethylphosphate; DETP, diethylthiophosphate; DAP, sum of DMP, DMTP, DEP and DETP; SD, standard deviation; GM, geometric mean; CI, confidence interval; LOD, limit of detection; GLM, generalized linear model.

Table 5. The detection rates of metabolites for organophosphates according to type of applied pesticides

	Male				P-value	Female				P-value
	Power sprayer (n=97)	Backpack sprayer (n=81)	Speed sprayer without cap (n=153)	Speed sprayer with cap (n=49)		Power sprayer (n=64)	Backpack sprayer (n=46)	Speed sprayer without cap (n=87)	Speed sprayer with cap (n=35)	
DMP ($\mu\text{g/g}$ creatinine)										
detection	45 (46.4)	34 (42.0)	20 (13.1)	5 (10.2)	<0.001	22 (34.4)	18 (39.1)	12 (13.8)	3 (8.6)	<0.001
non detection	52 (53.6)	47 (58.0)	133 (86.9)	44 (89.8)		42 (65.6)	28 (60.9)	75 (86.2)	32 (91.4)	
DMTP ($\mu\text{g/g}$ creatinine)										
detection	44 (45.4)	34 (42.0)	26 (17.0)	6 (12.2)	<0.001	21 (32.8)	19 (41.3)	12 (13.8)	5 (14.3)	0.001
non detection	53 (54.6)	47 (58.0)	127 (83.0)	43 (87.8)		43 (67.2)	27 (58.7)	75 (86.2)	30 (85.7)	
DEP ($\mu\text{g/g}$ creatinine)										
detection	23 (23.7)	23 (28.4)	21 (13.7)	8 (16.3)	0.034	15 (23.4)	10 (21.7)	12 (13.8)	2 (5.7)	0.091
non detection	74 (76.3)	58 (71.6)	132 (86.3)	41 (83.7)		49 (76.6)	36 (78.3)	75 (86.2)	33 (94.3)	
DETP ($\mu\text{g/g}$ creatinine)										
detection	19 (19.6)	20 (24.7)	30 (19.6)	8 (16.3)	0.677	12 (18.8)	8 (17.4)	13 (14.9)	8 (22.9)	0.766
non detection	78 (80.4)	61 (75.3)	123 (80.4)	41 (83.7)		52 (81.3)	38 (82.6)	74 (85.1)	27 (77.1)	

LOD: DMP=0.1, DMTP=1, DEP=0.1, DETP=1.

P-value for chisquare test.

Abbreviations: DMP, dimethylphosphate; DMTP, dimethylthiophosphate; DEP, diethylphosphate; DETP, diethylthiophosphate; LOD, limit of detection.

Table 6. The detection rates of metabolites for organophosphates according to the number of wearing personal protective equipment

	Male				Female			
	<2 (n=145)	2~3 (n=90)	≥4 (n=180)	P-value	<2 (n=95)	2~3 (n=48)	≥4 (n=40)	P-value
DMP (µg/g creatinine)								
detection	49 (33.8)	34 (37.8)	36 (20.0)	0.002	28 (29.5)	12 (25.5)	7 (17.5)	0.348
non detection	96 (66.2)	56 (62.2)	144 (80.0)		67 (70.5)	35 (74.5)	33 (82.5)	
DMTP (µg/g creatinine)								
detection	51 (35.2)	36 (40.0)	38 (21.1)	0.002	28 (29.5)	13 (27.7)	7 (17.5)	0.344
non detection	94 (64.8)	54 (60.0)	142 (78.9)		67 (70.5)	34 (72.3)	33 (82.5)	
DEP (µg/g creatinine)								
detection	25 (17.2)	23 (25.6)	37 (20.6)	0.308	21 (22.1)	10 (21.3)	6 (15.0)	0.634
non detection	120 (82.8)	67 (74.4)	143 (79.4)		74 (77.9)	37 (78.7)	34 (85.0)	
DETP (µg/g creatinine)								
detection	24 (16.6)	20 (22.2)	43 (23.9)	0.257	17 (17.9)	9 (19.2)	12 (30.0)	0.271
non detection	121 (83.5)	70 (77.8)	137 (76.1)		78 (82.1)	38 (80.9)	28 (70.0)	

LOD: DMP=0.1, DMTP=1, DEP=0.1, DETP=1.

P-value for chisquare test.

Abbreviations: DMP, dimethylphosphate; DMTP, dimethylthiophosphate; DEP, diethylphosphate; DETP, diethylthiophosphate; LOD, limit of detection.

한 점과 농약살포 방법 또는 살포특성에 대한 부가적인 정보 확인이 어려운 점등으로 본 연구와 직접 비교하기에는 다소 한계점이 있었다.

검출률(>Limit Of Detection, LOD)은 살포방법 및 보호구 착용개수에 따라 구분하여 비교하였다. 살포방법에서는 동력 분무기와 등짐형 분무기에서 검출률이 유의하게 높았다($p<0.001$). 남성이 여성에 비해 검출률이 높았으며, DMP, DMTP의 경우, 캡이 없는 SS살포기에서 캡이 있는 SS살포기에 비해 검출률이 높게 나타났다($p<0.001$)(Table 5). 대부분의 남성은 직접 농약살포를 담당하고 있었고, 여성은 살포보조작업을 하고 있어, 여성에 비해 남성의 검출률 및 농도가 높게 나타난 것으로 사료된다. 또한, 남성에서 동력 분무기 DMP의 검출률이 46.4%로 가장 높았는데, 이는 일본 농업인의 검출률이 평균 90% 이상인 것에 비해 매우 낮은 수준이었다(Ueyama et al., 2012). 보호구 착용에 따른 검출률은 DMP 및 DMTP가 모두에서 보호구 착용개수가 많아질수록 검출률이 떨어짐을 확인 할 수 있었고, 남성의 경우, 그 값은 통계적으로 유의하였다($p=0.002$). 반면, DEP와 DETP는 보호구 착용에 따른 검출률 감소는 통계적으로 유의한 변화를 보이지 않았다(Table 6).

검출율에 영향을 미치는 요인 확인을 위해 로지스틱 회귀 분석을 실시한 결과, DMP, DMTP, DEP의 경우, 성별, 연령, 마지막 농약 살포일로부터 소변 채취시까지 일수를 보정한 상태에서 농약살포 방법에 따른 차이가 있는 것으로 나타났으나, 다른 영향요인은 확인하기 어려웠다(표 제시하지 않음).

살포방법에 따른 유기인계 대사체 결과

농약 대사체양 평균비교에서는 동력 분무기에서 가장 높았으며, 남성은 연령을 보정한 상태에서 DMP, DMTP에서 통계적으로 유의하게 높았다($p<0.001$). 여성에서는 등짐형 분무기에서 가장 유의하게 높았다($p=0.001$). 과수재배 농업인들이 주로 사용하는 SS살포기에 비해 시설재배 농업인들의 주 살포방법인 동력 분무기 및 등짐형 분무기가 노출 수준이 더 높게 나타났다. 이는 시설재배 농업인의 경우, 과수재배 농업인에 비해 재배하는 작물의 높이가 낮고 밀집해있어, 농약을 살포하는 과정에서 작물과 가까이 스치는 경우가 많고, 폐쇄된 공간(비닐하우스) 안에서 살포함으로써 농약노출 및 흡수율이 높아지기 때문인 것으로 생각된다. 반면, 과수재배 농업인의 경우 SS살포기의 캡 유무에 따라 노출 수준이 차이를 보였는데, DMP, DMTP, DAP에서 남성 및 여성 모두에서 캡이 없는 SS살포기를 사용하는 것이 농약노출 수준이 더 높게 나타났으며, 이는 통계적으로 유의하였다. 반면, DEP, DETP의 경우 캡이 있는 살포기가 다소 높게 나타났으나 통계적으로 유의하진 않았다. SS살포기의 캡 유무는 연령을 보정한 상태에서 농약노출 수준의 유의한 차이가 있음을 확인 할 수 있었다(Table 7).

보호구 착용에 따른 유기인계 대사체 결과

남성과 여성 모두에서 착용 보호구의 개수가 많아질수록 대사체 DMP, DMTP의 농약노출 수준이 감소하는 것으로 나타났으며, 연령 및 살포방법을 보정한 상태에서 남성은

Table 7. The concentration of metabolites for organophosphates according to type of applied pesticides

	Male				P-value	Female				P-value
	Power sprayer	Backpack sprayer	Speed sprayer without cap	Speed sprayer with cap		Power sprayer	Backpack sprayer	Speed sprayer without cap	Speed sprayer with cap	
	(n=97)	(n=81)	(n=153)	(n=49)		(n=64)	(n=46)	(n=87)	(n=35)	
DMP (µg/g creatinine)										
Mean ± SD	20.17 ± 74.76	23.06 ± 49.28	14.17 ± 111.63	6.24 ± 31.41	<0.001	9.64 ± 23	27.2 ± 54.08	1.73 ± 7.81	4.4 ± 22.3	<0.001
GM (95% CI)	1.08 (0.62-1.88)	1.05 (0.55-1.99)	0.19 (0.14-0.26)	0.16 (0.10-0.25)		0.54 (0.29-1.01)	1.02 (0.41-2.52)	0.17 (0.12-0.23)	0.15 (0.09-0.25)	
DMTP (µg/g creatinine)										
Mean ± SD	102.09 ± 197.19	123.02 ± 300.13	20.74 ± 87.14	47.86 ± 268.97	<0.001	42.13 ± 105.73	58.96 ± 147.85	24.23 ± 123.32	6.62 ± 20.62	0.001
GM (95% CI)	8.22 (4.95-13.67)	6.60 (3.77-11.56)	1.84 (1.45-2.35)	1.57 (1.02-2.42)		3.61 (2.17-6.00)	4.65 (2.44-8.88)	1.62 (1.20-2.19)	1.52 (1.02-2.28)	
DEP (µg/g creatinine)										
Mean ± SD	1.87 ± 5.36	2.4 ± 6.81	1.7 ± 6.69	2.34 ± 9.04	0.295	1.06 ± 2.98	1.28 ± 2.93	0.36 ± 1.47	0.12 ± 0.07	0.007
GM (95% CI)	0.23 (0.16-0.32)	0.26 (0.18-0.39)	0.17 (0.14-0.22)	0.19 (0.12-0.30)		0.21 (0.14-0.29)	0.22 (0.14-0.36)	0.13 (0.11-0.16)	0.11 (0.10-0.12)	
DETP (µg/g creatinine)										
Mean ± SD	29.96 ± 137.36	16.37 ± 55.39	11.68 ± 63.45	5.81 ± 25.43	0.359	8.87 ± 32.62	11.51 ± 31.4	2.19 ± 4.29	2.67 ± 4.51	0.159
GM (95% CI)	2.03 (1.47-2.80)	2.27 (1.60-3.21)	1.77 (1.44-2.18)	1.47 (1.09-1.97)		1.76 (1.27-2.43)	1.92 (1.24-2.99)	1.30 (1.11-1.52)	1.50 (1.12-2.02)	
DAP (µg/g creatinine)										
Mean ± SD	154.09 ± 271.01	164.85 ± 338.76	48.29 ± 163.19	62.25 ± 332.14	<0.001	61.69 ± 120.82	98.95 ± 202.13	28.52 ± 130.28	13.81 ± 44.53	<0.001
GM (95% CI)	22.62 (14.40-35.54)	21.06 (12.83-34.58)	6.06 (4.66-7.88)	4.20 (2.76-6.37)		10.62 (6.65-16.98)	15.89 (8.68-29.09)	4.12 (3.13-5.42)	3.73 (2.53-5.50)	

LOD: DMP=0.1, DMTP=1, DEP=0.1, DETP=1.

P-value by GLM with log-transformed data and adjusted for age.

Abbreviations: DMP, dimethylphosphate; DMTP, dimethylthiophosphate; DEP, diethylphosphate; DETP, diethylthiophosphate; DAP, sum of DMP, DMTP, DEP and DETP; SD, standard deviation; GM, geometric mean; CI, confidence interval; LOD, limit of detection; GLM, generalized linear model.

DMTP의 경우, 통계적으로 유의하였다(p=0.040). 반면, DEP, DETP는 보호구 착용개수와 노출수준의 관련성을 확인하기 어려웠다(Table 8). 국내 선행연구에서 보호장비의 착용개수와 피레스로이드계 노출결과가 음의 상관성을 보인다는 결과도 보고된 바 있다(Kim et al., 2015).

본 연구의 제한점으로는 첫째, 연구대상자를 유기인계 농약 사용 대상으로 한정하여 조사하지 못하였다는 것이며, 일부 농촌지역에 국한된 대상으로 인해 일반화 하는데 어려움이 있다는 것이다. 이는 자발적 검진 참여 형태로 대상자를 모집하였고, 재배작목 종류별 사용하는 농약이 상이하기 때문에 농업인의 살포 농약 유효성분을 통제하는 것은 어려웠다. 본 연구에서 마지막 살포시의 농약 유효성분은 조사하지 못하였지만, 평소 많이 사용하는 농약 상품명에 대한 응답을 분석한 결과, 약 15% (107명)만이 유기인계 살충제

농약을 많이 사용한다고 응답하였다. 둘째, 농약 살포시기와 소변시료 채취시기를 일치시키지 못한 점이다. 본 연구 대상자의 마지막 농약살포일로부터 소변시료 채취 시까지의 기간 중앙값은 7일이었으나, 11-12월 검진대상자 및 농약살포 대행퇴자의 영향 등으로 평균은 약 29.9 ± 117.2일이었으며, 남성의 경우 19.4 ± 36.0일이었다. 유기인계 농약의 경우, 대사물질의 대사속도가 빠르므로, 정확한 분석을 위해서는 살포 후로부터 소변채취 시까지의 시간을 동일하게 통제해야 함에도 불구하고, 본 연구에서는 자발적 검진 참여자를 대상으로 소변시료를 채취하였으며, 대상자 별로 상이한 농약살포 형태를 보이고 있어 어려움이 있었다. 또한, 대사물질 반감기를 고려하여 검진 전날 농약 살포자만을 대상으로 선별하지 못하였다.

하지만, 이러한 제한점에도 불구하고, 본 연구에서는 많은

Table 8. The concentration of metabolites for organophosphates according to the number of wearing personal protective equipment

	Male			P-value	Female			P-value
	< 2 (n=145)	2 ~ 3 (n=90)	≥ 4 (n=180)		< 2 (n=95)	2 ~ 3 (n=48)	≥ 4 (n=40)	
DMP (µg/g creatinine)								
Mean±SD	20.41 ± 68.22	20.3 ± 56.19	14.16 ± 102.29		15.21 ± 40.27	8 ± 22	10.8 ± 31.18	
GM (95% CI)	0.68 (0.43-1.08)	0.69 (0.39-1.21)	0.27 (0.20-0.38)	0.172	0.50 (0.29-0.84)	0.35 (0.18-0.68)	0.27 (0.13-0.57)	0.376
DMTP (µg/g creatinine)								
Mean±SD	91.56 ± 196.64	92.25 ± 261.64	33.82 ± 164.57		50.61 ± 148.45	21.14 ± 52.26	41.78 ± 140.1	
GM (95% CI)	5.57 (3.71-8.35)	5.30 (3.23-8.69)	2.17 (1.69-2.78)	0.040	3.29 (2.16-5.01)	2.72 (1.61-4.58)	2.10 (1.17-3.78)	0.559
DEP (µg/g creatinine)								
Mean±SD	1.57 ± 4.7	3.41 ± 10.22	1.52 ± 5.36		1.2 ± 4.15	0.9 ± 2.42	0.82 ± 2.99	
GM (95% CI)	0.19 (0.15-0.25)	0.26 (0.18-0.39)	0.20 (0.16-0.25)	0.408	0.20 (0.15-0.27)	0.19 (0.13-0.29)	0.15 (0.11-0.23)	0.961
DETP (µg/g creatinine)								
Mean±SD	19.41 ± 110.92	15.83 ± 51.89	14.6 ± 65.94		5.53 ± 16.8	4.03 ± 8.25	14.89 ± 45.84	
GM (95% CI)	1.67 (1.34-2.08)	2.15 (1.55-2.99)	2.03 (1.64-2.51)	0.210	1.60 (1.27-2.01)	1.60 (1.17-2.19)	2.28 (1.39-3.74)	0.182
DAP (µg/g creatinine)								
Mean±SD	132.94 ± 259.34	131.8 ± 316.51	64.11 ± 218.59		72.55 ± 178.24	34.07 ± 65.38	68.29 ± 171.63	
GM (95% CI)	14.57 (10.08-21.05)	16.01 (10.19-25.15)	7.63 (5.89-9.89)	0.252	9.94 (6.73-14.66)	8.17 (5.05-13.21)	6.33 (3.48-11.52)	0.569

LOD: DMP=0.1, DMTP=1, DEP=0.1, DETP=1.

P-value for GLM with log-transformed data and adjusted for age and type of applied pesticides.

Abbreviations: DMP, dimethylphosphate; DMTP, dimethylthiophosphate; DEP, diethylphosphate; DETP, diethylthiophosphate; DAP, sum of DMP, DMTP, DEP and DETP; SD, standard deviation; GM, geometric mean; CI, confidence interval; LOD, limit of detection; GLM, generalized linear model.

농업인을 대상으로 농약노출 평가를 위한 생물학적 모니터링을 수행하였으며, 살포 방법 및 농약보호구 착용에 따른 생물학적 모니터링 결과를 비교함으로써, 농약 살포방법 및 농약보호구 착용과 농약노출 수준과의 관련성을 제시하였다는 데 의의가 있다고 할 수 있다.

유기인계 농약의 대사물질 검출 및 노출수준은 살포방법에 따라 유의한 차이를 보였으며, SS살포기의 캡 설치 및 보호구 착용개수의 증가에 따라 노출수준이 일부 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 농약노출은 피부를 통한 흡수율이 가장 높으므로(Kim et al., 2015), 보호캡, 보호구 등으로 농약흡수 경로를 차단함으로써, 농약노출을 줄일 수 있다. 또한, 농약노출 예방교육 및 환경개선 등을 실시하여 농업인의 농약노출로 인한 건강상태 예방을 위한 접근이 필요할 것이다.

감사의 글

이 연구결과는 농림축산식품부 농업안전보건센터 사업비의 지원을 받았습니니다.

Literature Cited

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, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 50(3):437-442.

Fan, L., H. Niu, X. Yang, W. Qin, C. P. Bento, C. J. Ritsema and V. Geissen (2015) Factors affecting farmers' behavior in pesticide use: Insights from a field study in northern China, *Sci. Total Environ.*, doi:10.1016/j.scitotenv.2015.07.150. Epub 2015 Aug 15.

Kim, H. J., E. S. Cha, E. K. Moon, Y. Ko, J. Kim, M. Jeong and W. J. Lee (2011) A pilot study for pesticide poisoning symptoms and information on pesticide use among farmers, *Korean J. Environ. Health Sci.* 37(1):22-28.

Kim, H. K., J. S. Song, H. S. Choi and H. Y. Yu (2015) Evaluation of Exposure to pyrethroid pesticides in highland cabbage farmers by using biological monitoring, *Korean J. Pestic. Sci.* 19(1):41-46.

Koureas, M., A. Tsakalof, M Tzatzarakis, E. Vakonaki, A. Tsatsakis and C. Hadjichristodoulou (2014) Biomonitoring

- of organophosphate exposure of pesticide sprayers and comparison of exposure levels with other population groups in Thessaly (Greece), *Occup. Environ. Med.* 71(2):126-33.
- Lee, K. M., S. Y. Min and M. H. Chung (2000a) A study on the Health effects of pesticide exposure among farmers, *Korean J. Rural Med.* 25(2):245-263.
- Lee, K. M. and M. H. Chung (2000b) A survey on the pesticide use and perceptions about the hazards of pesticides among the farmers in Kyoungju area, *Korean J. Environ. Health Sci.* 26(2):70-79.
- Lee, W. J., W. Lijinsky, E. F. Heineman, R. S. Markin, D. D. Weisenburger and M. H. Ward (2004) Agricultural pesticide use and adenocarcinomas of the stomach and oesophagus, *Occup. Environ. Med.* 61(9):743-749.
- Lee, W. J. (2011) Pesticide exposure and health, *Korean J. Environ. Health Sci.* 37(2):81-93.
- Lee, W. J., E. S. Cha, J. Park, Y. Ko, H. J. Kim and J. Kim (2012) Incidence of acute occupational pesticide poisoning among male farmers in South Korea, *American J. Ind. Med.* 55(9):799-807.
- Lu, J.L. (2009) Total exposure calculation among vegetable farmers in Benguet, Philippines, *J. Environ. Public Health*, doi:10.1155/2009/412054. Epub 2009 Nov 5.
- Reigart, J. R. and Roberts, J. R. (1999) Recognition and management of pesticide poisoning. 5th Ed., United States Environmental Protection Agency. Washington DC.
- Sanborn, M., D. Cole, K. Kerr, C. Vakil, L. H. Sanin and K. Bassil (2004) Pesticides literature review, the Ontario College of Family physicians, Toronto, Ontario.
- Song, J. S., K. D. Kwon, H. S. Choi and H. Y. Yu (2014) Biological monitoring of the exposure level of organophosphorus and pyrethroid pesticides in floriculture workers and florists, *Korean J. Pestic. Sci.* 18(1):41-47.
- Ueyama, J., I. Saito, M. Kamijima, T. Nakajima, M. Gotoh, T. Suzuki, E. Shibata, T. Kondo, K. Takagi, K. Miyamoto, J. Takamatsu, T. Hasegawa and K. Takagi (2006) Simultaneous determination of urinary dialkylphosphate metabolites of organophosphorus pesticides using gas chromatography-mass spectrometry, *J. Chromatogr. B. Analyt. Technol. Biomed. Life Sci.* 832(1):58-66.
- Ueyama, J., I. Saito, T. Kondo, T. Taki, A. Kimata, S. Saito, Y. Ito, K. Murata, T. Iwata, M. Gotoh, E. Shibata, S. Wakusawa and M. Kamijima (2012) Urinary concentrations of organophosphorus insecticide metabolites in Japanese workers, *Chemosphere* 87(11):1403-1409.
- Walton, A. L., C. LePrevost, B. Wong, L. Linnan, A. Sanchez-Birkhead and K. Mooney (2016) Observed and self-reported pesticide protective behaviors of Latino migrant and seasonal farmworkers, *Environ. Res.* 147:275-83.
- You, K. S. (2004) A survey on the reason for low acceptability and proposal for its improvement for protective clothing in pesticide applicators, *Korean J. Human Ecology.* 13(5):777-785.

일부 농업인에서의 농약살포방식 및 보호구 착용에 따른 유기인계 농약노출평가

이지영¹ · 노상철^{1,2,*}

¹단국대학교병원 농업안전보건센터, ²단국대학교 의과대학 직업환경의학교실

요약 본 연구는 국내 일부 농업인을 대상으로 유기인계 농약 노출수준과 농약살포 특성의 관련성을 규명하기 위하여 수행되었다. 소변시료를 채취하여 GC/MSD와 GC/MS/MS를 이용하여 분석하였으며, 소변 중 DMP, DMTP, DEP, DETP를 대상으로 검출률 및 노출수준을 평가 하였다. 검출률은 DMP, DMTP에서 캡이 없는 SS살포기가 캡이 있는 SS살포기보다 높았고, 보호구 착용률이 낮을수록 높았다. 노출수준은 동력 분무기가 가장 높았고, 캡이 있는 SS살포기에서 낮게 나타났다. 또한, 착용 보호구 개수가 증가할수록 노출수준이 낮아짐을 확인할 수 있었다. 검출률은 카이제곱, 노출수준 비교는 연령 및 살포방법을 보정한 GLM을 이용하여 분석하였다.

색인어 유기인계, 농약 노출, 생물학적 모니터링, 농약 보호구, 살포 방법