한국환경보건학회지, 제45권 제6호(2019)
J Environ Health Sci. 2019; 45(6): 583-593

pISSN: 1738-4087 eISSN: 2233-8616
https://doi.org/10.5668/JEHS.2019.45.6.583

원 저 | Original articles

일부 농업인의 개인보호구 착용빈도 점수와 요 중 유기인계 농약 대사체 농도와의 연관성

최지희* · 문선인* · 노상철*,**†

*단국대학교병원 농업안전보건센터, **단국대학교 의과대학 직업환경의학교실

The Relationship between Frequency Score of Wearing Personal Protective Equipment and Concentration of Urinary Organophosphorus Pesticide Metabolites in Farmers

Jihee Choi*, Sun-In Moon*, and Sangchul Roh*,†**

**Center for Farmers' Safety and Health, Dankook University Hospital*
***Department of Occupational and Environment Medicine, College of Medicine, Dankook University*

ABSTRACT

Objectives: The purpose of this study was to evaluate the relationship between the frequency score of wearing personal protective equipment (PPE) and concentration of urinary organophosphorus pesticide metabolites in farmers.

Methods: The study was conducted in Chungcheongnam-do Province of South Korea. We collected urine samples from 308 farmers from September to December 2017 and May to July 2018. Among them, 17 farmers with urinary creatinine levels outside the normal range were excluded. Information on the frequency of wearing PPE was obtained from the farmers through face-to-face survey. Each frequency of wearing for seven types of PPE was converted into a score and expressed as a total score, which was divided into quartiles. Four types of urinary organophosphorus pesticide metabolites were analyzed using a gas chromatography mass selective detector. Multiple linear regression analysis was used to identify concentrations of urinary organophosphorus pesticide metabolites affected by the frequency of wearing PPE.

Results: The average frequency score of wearing PPE was 8.0. The quartiles of frequency score of wearing PPE were divided as follows: 1st quartile (≤1), 2nd quartile (1-6), 3rd quartile (6-12), and 4th quartile (>12). Compared with subjects with a low frequency score of wearing PPE (reference), subjects with a high frequency score of wearing PPE (4th quartile) had lower concentrations of urinary diethyl phosphate (DEP) (p<0.01) and dialkyl phosphate (ΣDAP) (p<0.05), which is the sum of dimethyl phosphate (DMP), DEP, dimethyl thiophosphate (DMTP), and diethyl thiophosphate (DETP).

Conclusion: Concentrations of urinary organophosphorus pesticide metabolites were associated with frequency score of wearing PPE. Particularly as the frequency score of wearing PPE increased, concentrations of urinary DMP, DEP, DETP, and ΣDAP significantly decreased. The findings of this study can contribute to the management of health effects among farmers working with pesticides.

Key words: Farmer, organophosphorus, personal protective equipment, pesticide, urine

†**Corresponding author:** Dankook University, 119 Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 31116, Republic of Korea, Tel: +82-41-550-3956, Fax: +82-41-556-6461, E-mail: scroh@dku.edu
Received: 2 October 2019, Revised: 25 October 2019, Accepted: 28 October 2019

I. 서 론

농약이란 농약관리법에 따라 농작물을 해치는 균, 곤충, 응애, 선충, 바이러스, 잡초, 동식물을 방제하는 데에 사용하는 살균제·살충제·제초제 및 농작물의 생리기능을 증진하거나 억제하는 데에 사용하는 약제 등을 말한다.[1] 이러한 농약은 농산물의 수량 증대와 더불어 노동력 절감에 필수적인 농업자재로, 그 사용량이 우리나라 농업 전반에 걸쳐서 빠르게 증가하고 있다.[2] 농림축산식품부에 의하면 2015년도 농약생산량과 농약출하량이 2012년도에 비해 각각 20.0%, 11.7% 증가하였고, 농약출하량에 따른 경작면적당 추정 농약사용량은 2012년도에 1,767,000 ha 당 9.9 kg에서 2015년도에 1,681,000 ha 당 11.6 kg으로 조사되어 경작면적이 4.9% 감소한 것에 비하여 농약사용량은 17.2% 증가한 것으로 보고되었다.[3]

농약은 유효성분의 화학적 특성에 따라 유기염소계, 유기인계, 카바메이트계, 피레스로이드계, 요소계 등으로 분류된다.[4] 그 중 유기인계 농약은 체내에서 탈알킬화, 가수분해, 이성질화 등을 통해 dialkyl phosphate (DAP)로 대사되며, DAP는 dimethyl phosphate (DMP), diethyl phosphate (DEP), dimethyl thiophosphate (DMTP), diethyl thiophosphate (DETP) 등의 대사체로 변화한다.[5] 이러한 DAP 형태로 대사되는 유기인계 농약의 종류로는 클로르피리포스(chlorpyrifos), 다이아지논(diazinon), 펜티온(fenthion), 포레이트(phorate)가 대표적이다.[6] 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 일부 개별 농약을 비롯하여 농업인에게 흔한 노출상황인 농약의 직업적 폭로를 사람에게 발암 가능한 물질(Group 2A)로 분류하고 있으며, 유기인계 농약은 아세틸콜린 에스테라제(acetylcholine esterase, AChE)를 억제함으로써 아세틸콜린의 축적으로 인한 두통, 메스꺼움, 어지러움, 분비물 과다 등과 같은 증상이 흔하게 나타나는 것으로 알려져 있다.[7] 또한 농업인에게 농약으로 인한 중독, 호흡기 질환, 피부 질환, 신경계 질환, 심혈관계 질환, 생식기계 질환, 면역 독성, 악성 종양 및 사망을 일으키는 것으로 보고되고 있다.[8-10]

유기인계 농약은 일반적으로 피부, 호흡기, 소화기 등을 통하여 용이하게 체내에 침투되며, 이 물질은 경피, 흡입, 경구 등의 여러 가지 경로를 통하여 체내에 흡수된다.[11] 특히 농약 살포액 조제, 농약 살포, 농작물 수확, 농약 저장, 농약 보관 및 폐기 등과 같은 상황에서의 인체에 대한 노출은 주로 피부접촉 또는 흡입에 의하여 이루어진다.[12] 농약과 같이 피부흡수가 중요한 노출원인인 유해인자의 경우 실제 노출정도를 파악하기 위해서는 생물학적 모니터링 방법이 매우 중요하다.[13] 이는 체내에 흡수된 총 노출량을 반영할 수 있는 사람의 소변이나 혈액 등의 생체시료를 이용하여 대사산물을 측정하는 생물학적 노출지표이다.[14] 그 중 소변은 혈액에 비해 시료 채취가 용이하고 시료 변성 가능성이 적으며, 농약 노출을 정량화할 수 있다는 점에서 최근 많이 활용되고 있다.[15] 또한 농약을 주기적 또는 지속적으로 사용하는 농업인의 농약 노출은 재배작목, 농약 살포시간, 농약 살포방법, 개인보호구 착용 등에 의해 영향을 받으며, 이러한 농약의 노출을 최소화하기 위해서는 개인보호구의 착용이 중요해지고 있다.[16] 그러나 실제로 농업인들은 방제복 등과 같은 개인보호구 착용이 덥고 불편하다는 이유로 농약 살포 시 적절한 개인보호구를 사용하지 않음으로써 농약에 노출되는 사고를 초래하는 경우가 많다.[17] 기존 연구에서는 농약 노출과 개인보호구의 착용 여부 또는 착용 개수에 대해서만 일부 수행된 바 있었고,[16,18] 개인보호구의 착용빈도에 따른 요 중 유기인계 대사체 노출 수준의 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 이 연구의 목적은 유기인계 농약 중 국내에서 사용되고 있는 원제의 대사물질 4종을 중심으로 일부 농업인의 요 중 유기인계 농약 대사체 농도를 파악하고 개인보호구 착용빈도와의 연관성을 평가함으로써 생체 내 농약 대사물질의 노출 저감과 농약 관련 질환 예방의 기초자료로 제공하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

2017년부터 2018년까지 단국대학교병원 농업안전보건센터의 지역사회 농업인 검진 및 설문 역학조사에 참여한 충남 일부지역(공주시, 금산군, 논산시, 보령시, 부여군, 서천군, 예산군, 천안시, 홍성군)에 거주하는 농업인 총 525명을 대상으로 수행하였다. 2017년 9월부터 12월까지, 2018년 5월부터 7월까지 대상 지역에 방문하여 표준화된 프로토콜에 따라 검

진과 설문조사를 실시하였으며, 연구 참여 전 참여 대상자에게 본 연구에 대한 충분한 설명을 하여 자발적으로 참여할 수 있도록 서면동의를 받았다. 설문조사는 사전교육을 받은 숙련된 면접조사원을 통해 1:1 면접방식으로 진행되었고, 소변시료는 8시간 이상의 공복 상태 유지를 사전에 미리 안내한 후 검진 당일 단회뇨(spot urine)로 채취하여 수거하였다. 그 중 설문응답이 불완전한 184명과 농사를 비직업적으로 하거나 농약 살포와 관련이 없는 33명을 제외하여 총 308명을 분석에 포함하였다. 그러나 이들 중 요 중 creatinine 농도가 정상범위(30-300 mg/dL)[19] 내에 포함되지 않는 17명은 최종 결과에서 제외하였다. 이 연구는 단국대학교병원 연구윤리위원회로부터 승인을 받았다(IRB no. 2017-07-001).

2. 설문조사

설문조사 시 성별(남성, 여성), 연령(50세 미만, 50-59세, 60-69세, 70세 이상), 학력(초등학교 졸업 이하, 중학교 졸업, 고등학교 졸업, 대학교 졸업 이상), 연 가구소득(1000만원 미만, 1000만원 이상 2000만원 미만, 2000만원 이상 3000만원 미만, 3000만원 이상 4000만원 미만, 4000만원 이상 5000만원 미만, 5000만원 이상), 농약 직접 살포 여부(살포보조자, 직접 살포, 두 가지 모두), 농약 살포방법(고압식 핸드스프레이, 등짐형 분무기, SS살포기, 기타), 농약 살포기간(10년 미만, 10년 이상 20년 미만, 20년 이상 30년 미만, 30년 이상 40년 미만, 40년 이상 50년 미만, 50년 이상), 최근 1년간 농약 살포횟수(10회 미만, 10회 이상 20회 미만, 20회 이상 30회 미만, 30회 이상), 조사일로부터 최근 농약 살포일까지의 기간(4일 미만, 4일 이상 10일 미만, 10일 이상 30일 미만, 30일 이상), 재배작목별(시설, 과수, 노지, 수도작), 농사 규모(2000평 미만, 2000평 이상 4000평 미만, 4000평 이상 6000평 미만, 6000평 이상), 농사 기간(10년 미만, 10년 이상 20년 미만, 20년 이상 30년 미만, 30년 이상 40년 미만, 40년 이상 50년 미만, 50년 이상), 개인보호구(보호장갑, 보안경, 보호모자, 방제복 상의, 방제복 하의, 보호장화, 농약 살포용 국가 검정 마스크) 각각의 착용빈도(거의 착용 안함, 가끔 착용, 거의 착용, 항상 착용)에 대한 문항을 포함하였다.

3. 시료분석

소변시료는 검진 당일 오전에 채취하여 –20°C 이하에서 동결 보관하였다. 시료의 전처리는 5 mL의 소변을 screw cap tube에 취한 다음 6 M 염산(hydrogen chloride, HCl) 1 mL, 황산나트륨(sodium sulfate, Na_2SO_4) 50 mg, 염화나트륨(sodium chloride, NaCl) 5g을 첨가한 후 내부표준물질인 디부틸 포스페이트(dibutyl phosphate, DBP) 20 μL를 넣어주었다. 첨가된 시료에 추출용매인 디에틸에테르(diethylether):아세토니트릴(acetonitrile) (1:1) 5 mL를 넣어 두 번의 추출과정을 거친 후 상층액을 취하였다. 이 과정에서 얻은 유기층을 시험관에 담아 질소(nitrogen, N_2)가스로 완전히 건조하였다. 다시 아세토니트릴 1 mL, 탄산칼륨(potassium carbonate, K_2CO_3) 15 mg, 유도체 시약인 펜타플루오로벤질 브로마이드(pentafluorobenzyl bromide, PFBBr) 50 μL를 첨가하여 중탕에서 70°C, 1시간 동안 유도체 반응을 시킨 후 상온에서 식힌 다음 증류수 4.5 mL와 노말헥산(n-hexane) 4.5 mL를 넣고 액상을 추출한 후 노말헥산 4.5 mL를 한 번 더 넣고 재추출하였다. 추출한 유기층은 N_2 가스를 완전히 제거한 후 톨루엔(toluene) 100 μL로 용해하여 이 중 2 μL를 가스크로마토그래피 질량검출기(gas chromatography/mass selective detector, GC/MSD, 7890 GC/5977B MSD system, Agilent, USA)를 이용하여 요 중 유기인계 농약 대사체 4종(DMP, DEP, DMTP, DETP)을 분석하였다. 기기 분석조건은 Table 1에 나타내었다. 검량선용 표준용액은 0, 10, 25, 50, 100, 250, 500 μg/L의 농도로 조제하였고, 검량선은 내부표준물질 피크 면적에 대한 유기인계 농약 대사체의 피크 면적비를 구하여 작성하였다.

4. 통계분석

연구대상자 308명 중 요 중 creatinine 농도가 정상범위(30-300 mg/dL) 내에 포함되지 않는 17명은 제외하였고, 불검출(not detected, ND)을 제외한 검출한계(limit of detection, LOD) 이하의 농도값은 LOD의 $1/\sqrt{2}$ 로 계산하였다.[20] 연구 대상자의 인구학적 및 농작업 특성의 분포는 빈도분석을 실시하였다. 그 중 개인보호구 7종(보호장갑, 보안경, 보호모자, 방제복 상의, 방제복 하의, 보호장화, 농약 살포

Table 1. Analysis condition of gas chromatography/mass selective detector (GC/MSD)

		Analysis condition
GC	Column	HP-5MS (30 m×0.25 mm×250 μm)
	Carrier gas	Helium (He), 1.1 mL/min, constant flow
	Injector temperature	280°C
	Connector temperature	250°C
	Split ratio	Splitless
	Injection volume	2 μL
	Oven temperature	100°C, Hold 1 min
		10°C/min to 150°C, Hold 1 min
		15°C/min to 300°C, Hold 5 min
MSD	Ion mode	Electron impact ionization (EI)
	Ion energy	70 eV
	Retention time (min)	DMP: 8.00
		DEP: 9.00
		DMTP: 9.90
		DETP: 10.85
	Detected masses (m/z)	DMP: 306, 110, 194
		DEP: 334, 278, 258
		DMTP: 322, 211, 110
		DETP: 350, 274, 169

용 국가 검정 마스크)에 대한 각각의 착용빈도는 거의 착용 안함의 경우 0점, 가끔 착용의 경우 1점, 거의 착용의 경우 2점, 항상 착용의 경우 3점으로 환산하여 총 점수로 계산하였고, 이를 사분위수(quartile)로 나타내었다.[21] 요 중 유기인계 농약 대사체 4종(DMP, DEP, DMTP, DETP)과 그 4종의 합(ΣDAP)은 기하평균과 기하표준편차를 이용하여 요 중 creatinine 농도로 보정하지 않은 값과 보정한 값으로 제시하였다. 요 중 유기인계 농약 대사체 농도는 대수정규분포를 이루고 있었기 때문에 로그(log)변환된 값으로 분석하였다. 개인보호구의 착용빈도 점수와 요 중 유기인계 농약 대사체 농도와의 연관성은 Pearson 상관분석을 실시하였고, 개인보호구의 착용빈도 점수에 따른 요 중 유기인계 농약 대사체 농도는 one-way ANOVA 분석을 이용하였다. 또한 개인보호구 착용빈도 점수의 영향을 받는 각각의 요 중 유기인계 농약 대사체 농도를 평가하고자 성별, 연령, 학력, 연 가구소득, 농약 직접 살포 여부, 농약 살포방법, 농약 살포기간, 최근 1년간 농약 살포 횟수, 조사일로부터 최근 농약 살포일까지의 기간을 혼란변수로 보정하여 다중선형 회귀분석(multiple linear regression analysis)을 수행하였다.[15] 통계분석은 SPSS (version 23.0, SPSS Inc.)를 이용하였다.

III. 결 과

1. 연구대상자의 일반적 특성

본 연구대상자 총 291명에 대한 인구학적 및 농작업 특성의 빈도 분포는 Table 2와 같다. 그 결과, 성별에서는 남성이 78.0%로 여성보다 더 많았고, 연령의 경우 60-69세가 47.1%로 다른 연령대에 비해 가장 많았다. 학력은 초등학교 졸업 이하가 40.2%로 가장 많았고, 연 가구소득은 5,000만원 이상이 35.1%로 가장 많은 분포를 차지하였다. 농약 직접 살포 여부의 경우 직접 살포가 87.7%로 살포보조자보다 더 많았고, 농약 살포방법은 SS살포기가 38.5%로 다른 살포방법에 비해 가장 많은 것으로 나타났다. 농약 살포기간은 30년 이상 40년 미만이 26.9%로 가장 많았고, 최근 1년간 농약 살포횟수에서는 10회 이상 20회 미만이 43.6%로 가장 많은 분포를

Table 2. Summary on characteristics of subjects

Variable		N	%
Total		291	100.0
Gender	Male	227	78.0
	Female	64	22.0
Age (years)	<50	16	5.5
	50-59	67	23.0
	60-69	137	47.1
	≥70	71	24.4
Education	≤Elementary school	117	40.2
	Middle school	75	25.8
	High school	80	27.5
	≥University	19	6.5
Household income (million won/year)	<10	53	18.2
	10-20	45	15.5
	20-30	34	11.7
	30-40	40	13.7
	40-50	17	5.8
	≥50	102	35.1
Pesticide spraying	Spray assistant	35	12.0
	Direct spray	255	87.7
	Both	1	0.3
Pesticide spraying method	High pressure hand sprayer	82	28.2
	Backpack sprayer	73	25.1
	Speed sprayer	112	38.5
	Others	24	8.2
Pesticide spraying period (years)	<10	23	7.9
	10-20	35	12.0
	20-30	37	12.7
	30-40	78	26.9
	40-50	74	25.4
	≥50	44	15.1
Frequency of pesticide spraying for the last year (times)	<10	60	20.6
	10-20	127	43.6
	20-30	45	15.5
	≥30	59	20.3
Period of between survey and the last pesticide spraying (day)	<4	133	45.7
	4-10	52	17.9
	10-30	45	15.4
	≥30	61	21.0

나타내었다. 조사일로부터 최근 농약 살포일까지의 기간은 4일 미만이 45.7%로 가장 많았다. 이외에도 Table에는 따로 제시하지 않았으나 재배작목별에서는 과수가 43.3%로 가장 많았고, 농사 규모는 2000평 미만이 45.0%로 가장 많은 분포를 보였으며, 농사 기간의 경우 40년 이상 50년 미만이 30.2%로 가장 많았다.

2. 개인보호구 착용빈도 점수의 분포

개인보호구 7종에 대한 각각의 착용빈도를 총 점수로 환산하여 Table 3에 제시하였다. 그 결과 개인보호구의 평균 착용빈도 점수는 8.0점으로 조사되었다. 개인보호구 착용빈도 점수를 사분위수로 구분하였을 때, 1사분위수는 1점 이하, 2사분위수는 1점 초과 6점 이하, 3사분위수는 6점 초과 12점 이하, 4사분위수는 12점 초과를 나타내었다.

3. 요 중 유기인계 농약 대사체 농도

Table 4는 요 중 유기인계 농약 대사체 4종(DMP, DEP, DMTP, DETP)과 그 4종의 합(ΣDAP)에 대한 기하평균 농도와 검출률 및 LOD를 나타낸 것이다. 요 중 DMP의 농도는 87.3 μg/L, 74.9 μg/g cr.이었고, 검출률은 94.5%, LOD는 4.1 μg/L였다. 요 중 DEP의 농도는 50.9 μg/L, 44.1 μg/g cr.이었고, 검출률은 66.0%, LOD는 3.9 μg/L였다. 요 중 DMTP의 농도는 99.4 μg/L, 82.4 μg/g cr.이었고, 검출률은 85.6%, LOD는 5.3 μg/L였다. 요 중 DETP의 농도는 36.8 μg/L, 31.5 μg/g cr.이었고, 검출률은 88.7%, LOD는 3.2 μg/L였다. 요 중 DMP, DEP, DMTP, DETP의 합인 ΣDAP의 농도는 334.4 μg/L, 287.1 μg/g cr.이었고, 검출률은 98.6%였다.

4. 개인보호구 착용빈도 점수와 요 중 유기인계 농약 대사체 농도와의 연관성

개인보호구 착용빈도 점수와 요 중 유기인계 농약 대사체 농도와의 관계를 파악하기 위하여 Pearson 상관분석을 실시하였으며, Table 5에 나타내었다. 그 결과, 개인보호구 착용빈도 점수와 각각의 요 중 DMP (p<0.01), DEP (p<0.001), DMTP (p<0.05), DETP (p<0.01), ΣDAP (p<0.001) 농도 사이의 유의한 음의 상관관계를 보였다. 또한 대부분 요 중 유기인계 농약 대사체 농도 간의 유의한 양의 상관성이 있었다(p<0.001).

Table 6은 개인보호구 착용빈도 점수에 따른 요 중 유기인계 대사체 농도를 나타낸 것이다. 요 중 DMP 농도의 경우 개인보호구 착용빈도 점수가 4사분위수일 때 38.0 μg/g cr.으로 가장 유의하게 낮았고 (p<0.001), 요 중 DEP 농도 또한 개인보호구 착용빈도 점수가 4사분위수일 때 12.0 μg/g cr.으로 가장 유의하게 낮았다(p<0.001). 요 중 DETP 농도는 개

Table 3. Frequency score distribution of wearing personal protective equipment (PPE)

Variable	N	Mean	SD*	Percentiles			
				25th	50th	75th	95th
Frequency score of wearing PPE†	291	8.0	6.5	1.0	6.0	12.0	21.0

*Standard deviation, †Personal protective equipment

Table 4. Concentration of urinary organophosphorus pesticide metabolites

Measured biomarker	Unit	Detection		LOD*	GM†	GSD‡	Min	Percentiles				Max
		N	%					25th	50th	75th	95th	
DMP	μg/L	275	94.5	4.1	87.3	1.8	ND‖	27.2	76.0	250.5	595.7	966.9
	μg/g cr.				74.9	1.9	ND‖	20.5	66.4	223.1	612.9	1279.4
DEP	μg/L	192	66.0	3.9	50.9	1.9	ND‖	ND‖	19.2	65.2	435.4	3429.0
	μg/g cr.				44.1	2.0	ND‖	ND‖	13.6	76.2	433.1	2067.0
DMTP	μg/L	249	85.6	5.3	99.4	1.9	ND‖	16.5	61.0	254.7	1369.1	2409.1
	μg/g cr.				82.4	1.9	ND‖	13.8	49.8	218.8	1129.7	2396.9
DETP	μg/L	258	88.7	3.2	36.8	1.6	ND‖	13.2	23.8	58.9	324.9	1120.1
	μg/g cr.				31.5	1.7	ND‖	11.1	21.8	59.8	250.4	2707.5
ΣDAP§	μg/L	287	98.6	-	334.4	1.7	ND‖	146.3	328.3	874.4	1946.4	4332.5
	μg/g cr.				287.1	1.7	ND‖	111.3	296.3	793.5	1724.9	5198.6

*Limit of detection, †Geometric mean, ‡Geometric standard deviation, §Sum of DMP, DEP, DMTP, and DETP, ‖Not detected

Table 5. Correlation between concentration of urinary organophosphorus pesticide metabolites and frequency score of wearing personal protective equipment (PPE)

	PPE†	DMP	DEP	DMTP	DETP	ΣDAP‡
PPE†	1					
DMP	-0.194**	1				
DEP	-0.315***	0.724***	1			
DMTP	-0.152*	0.005	-0.030	1		
DETP	-0.200**	0.382***	0.386***	0.319***	1	
ΣDAP‡	-0.262***	0.686***	0.639***	0.612***	0.606***	1

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001, †Personal protective equipment, ‡Sum of DMP, DEP, DMTP, and DETP

인보호구 착용빈도 점수가 1사분위수일 때 44.9 μg/g cr., 2사분위수일 때 34.0 μg/g cr., 3사분위수일 때 29.5 μg/g cr., 4사분위수일 때 21.6 μg/g cr.으로 개인보호구 착용빈도 점수가 증가할수록 요 중 DETP 농도가 유의하게 낮았고(p<0.05), 요 중 ΣDAP 농도 또한 개인보호구 착용빈도 점수가 1사분위수일 때 426.6 μg/g cr., 2사분위수일 때 342.3 μg/g cr., 3사분위수일 때 297.2 μg/g cr., 4사분위수일 때 157.1 μg/g cr.으로 개인보호구 착용빈도 점수가 증가할수록 요 중 ΣDAP의 농도가 유의하게 낮았다(p<0.001). 요 중 DMTP도 개인보호구 착용빈도 점수가 증가할수록 농도가 낮아지는 경향을 보였으나, 유의한 차이는 없었다.

개인보호구 착용빈도 점수에 영향을 받는 각각의 요 중 유기인계 농약 대사체 농도를 평가하기 위하여 이 연구에서 조사된 성별, 연령, 학력, 연 가구소득, 농약 직접 살포 여부, 농약 살포방법, 농약 살포기간, 최근 1년간 농약 살포횟수, 조사일로부터 최근 농약 살포일까지의 기간을 혼란변수로 보정하여 다중선형 회귀분석을 실시하였으며, 그 결과는 Table 7과 같다. 요 중 DEP 농도의 경우 개인보호구 착용빈도 점수가 4사분위수일 때 1사분위수보다 3.01배 유의하게 낮았고(β= −0.27, p<0.01), 요 중 ΣDAP 농도 또한 개인보호구 착용빈도 점수가 4사분위수일 때 1사분위수에 비해 2.36배 유의하게 낮게 나타났다(β= −0.18, p<0.05). 결과적으로 개인보호구 착용빈도 점수가 증가할수록 요 중 DEP (p<0.01), ΣDAP (p<0.05) 농도가 낮아지는 경향을 보였으며, 통계적으로 유의한 연관성을 나타내었다. 그러나 요 중 DMP, DMTP, DETP 농도는 개인보호구 착용빈도 점수와 유의한 연관을 보이지 않았다.

IV. 고 찰

충남 일부지역 농업인을 대상으로 한 이 연구에서 조사된 요 중 유기인계 농약 대사체의 기하평균 농도는 DMP 74.9 μg/g cr., DEP 44.1 μg/g cr., DMTP 156.1 μg/g cr., DETP 31.5 μg/g cr., ΣDAP 272.7 μg/g cr.으로 기존 국내 연구에 비해 낮은 수준이었다. 국내의 전라남도 농촌지역 일부 농약 살포자 60명을 대상으로 한 연구에 의하면 요 중 유기인계 농약 대사체의 기하평균 농도가 DMP 957.79 μg/g cr., DEP 205.68 μg/g cr., DMTP 378.51 μg/g cr., DETP 1302.45 μg/g cr.이었다.[22] 그러나 이 연구의 요 중 유기인계 농약 대사체의 농도는 국외의 선행연구보다 높은 경향을 보였다. 일본의 과수재배 농업인 147명을 대상으로 한 연구결과에 따르면 요 중 유기인계 농약 대사체의 기하평균 농도가 DMP 33.1 μg/g cr., DEP 4.2 μg/g cr., DMTP 10.1 μg/g cr., DETP 1.6 μg/g cr.이었고,[23] 태국의 농약 살포 관련 농업인을 대상으로 한 연구에서는 요 중 ΣDAP의 기하평균 농도가 시설 및 노지재배 농업인은 51.1 μg/g cr., 과수재배 농업인은 122.2 μg/g cr.으로 보고되었다.[24]

이 연구의 개인보호구의 착용빈도 점수와 요 중 유기인계 농약 대사체 농도와의 상관분석 결과, 점수가 증가할수록 요 중 DMP, DEP, DMTP, DETP, ΣDAP 농도 모두 감소하는 음의 상관성을 보였으며, 대부분 요 중 유기인계 농약 대사체 농도 간의 양의 상관관계가 있었다. 또한 개인보호구 착용빈도 점수의 영향을 받는 각각의 요 중 유기인계 농약 대사체 농도를 평가하기 위하여 다중선형 회귀분석을 실시한 결과, 개인보호구 착용빈도 점수가 4사분위수일 때 1사분위수보다 요 중 DEP, ΣDAP 농도가

Table 6. Concentration of urinary organophosphorus pesticide metabolites for frequency score of wearing personal protective equipment (PPE)

Measured biomarker	Unit	Frequency score of wearing PPE*																*p*-value
		1st Quartile (≤1)				2nd Quartile (1-6)				3rd Quartile (6-12)				4th Quartile (>12)				
		N	%	GM†	GSD‡	N	%	GM†	GSD‡	N	%	GM†	GSD‡	N	%	GM†	GSD‡	
DMP	μg/L	54	19.6	100.2	1.8	82	29.8	104.6	1.7	75	27.3	104.6	1.8	64	23.3	49.8	1.7	**<0.01**
	μg/g cr.			89.1	1.9			92.3	1.8			94.1	1.9			38.0	1.7	**<0.001**
DEP	μg/L	36	18.8	68.4	1.8	68	35.4	68.5	2.0	49	25.5	65.5	1.8	39	20.3	16.8	1.6	**<0.001**
	μg/g cr.			66.2	1.9			58.7	2.1			62.0	1.9			12.0	1.7	**<0.001**
DMTP	μg/L	52	20.9	140.0	1.8	74	29.7	98.2	1.8	68	27.3	92.3	1.9	55	22.1	80.0	2.0	0.29
	μg/g cr.			122.4	1.8			83.4	1.8			82.4	1.8			55.8	2.1	0.08
DETP	μg/L	52	20.2	51.3	1.7	81	31.4	38.3	1.6	71	27.5	32.3	1.7	54	20.9	30.0	1.5	0.07
	μg/g cr.			44.9	1.8			34.0	1.7			29.5	1.7			21.6	1.6	**<0.05**
ΣDAP§	μg/L	55	19.2	480.0	1.7	87	30.3	388.7	1.6	79	27.5	327.9	1.7	66	23.0	207.8	1.7	**<0.01**
	μg/g cr.			426.6	1.7			342.3	1.7			297.2	1.7			157.1	1.7	**<0.001**

*Personal protective equipment, †Geometric mean, ‡Geometric standard deviation, §Sum of DMP, DEP, DMTP, and DETP

Table 7. Multiple linear regression analysis of urinary organophosphorus pesticide metabolites and frequency score of wearing personal protective equipment (PPE)

Measured biomarker	Frequency score of wearing PPE*	μg/L				μg/g cr.			
		β (SE†)	t	*p*-value	Adjusted R^2	β (SE†)	t	*p*-value	Adjusted R^2
DMP	2nd Quartile (1-6)§	-0.03(0.10)	-0.43	0.67	0.16	-0.03(0.10)	-0.42	0.68	0.19
	3rd Quartile (6-12)§	-0.08(0.10)	-0.96	0.34		-0.08(0.11)	-0.99	0.33	
	4th Quartile (>12)§	-0.10(0.11)	-1.27	0.21		-0.13(0.11)	-1.74	0.08	
	p for trend		0.28				0.13		
DEP	2nd Quartile (1-6)§	-0.11(0.12)	-1.12	0.23	0.26	-0.08(0.13)	-0.88	0.38	0.27
	3rd Quartile (6-12)§	-0.14(0.13)	-1.57	0.12		-0.14(0.15)	-1.48	0.14	
	4th Quartile (>12)§	**-0.22(0.14)**	**-2.48**	**<0.05**		**-0.27(0.16)**	**-3.01**	**<0.01**	
	p for trend		**<0.05**				**<0.01**		
DMTP	2nd Quartile (1-6)§	-0.04(0.13)	-0.47	0.64	0.07	-0.02(0.13)	-0.20	0.84	0.07
	3rd Quartile (6-12)§	-0.06(0.12)	-0.71	0.48		-0.06(0.12)	-0.76	0.45	
	4th Quartile (>12)§	-0.10(0.14)	-1.24	0.22		-0.15(0.14)	-1.76	0.08	
	p for trend		0.28				0.15		
DETP	2nd Quartile (1-6)§	-0.04(0.09)	-0.52	0.60	0.11	-0.01(0.10)	-0.15	0.88	0.12
	3rd Quartile (6-12)§	-0.04(0.09)	-0.55	0.59		-0.03(0.09)	-0.31	0.76	
	4th Quartile (>12)§	-0.07(0.10)	-0.83	0.41		-0.12(0.10)	-1.45	0.15	
	p for trend		0.44				0.19		
ΣDAP‡	2nd Quartile (1-6)§	-0.01(0.09)	-0.05	0.96	0.17	-0.01(0.09)	-0.11	0.91	0.19
	3rd Quartile (6-12)§	-0.03(0.09)	-0.38	0.70		-0.03(0.09)	-0.38	0.71	
	4th Quartile (>12)§	-0.13(0.10)	-1.70	0.09		**-0.18(0.10)**	**-2.36**	**<0.05**	
	p for trend		0.13				**<0.05**		

*Personal protective equipment, †Standard error, ‡Sum of DMP, DEP, DMTP, and DETP, §Compared to 1st Quartile (≤1)
Adjusted variables for gender, age, pesticide spraying, pesticide spraying method, pesticide spraying period, frequency of pesticide spraying for the last year, and period of between survey and the last pesticide spraying

유의하게 감소하였고, 요 중 DMP, DMTP, DETP의 경우 유의한 차이는 없었으나 농도가 감소하는 경향을 보였다. 이는 대부분의 농약이 피부 표면과 점막을 통해 가장 많이 흡수되고 흡수된 물질은 대사를 받거나 소량의 대사되지 않은 물질은 체내에 축적되기도 하는 것으로 보고됨[25]에 따라 농업인의 농약의 피부노출과 밀접한 관련이 있는 개인보호구 착용이 요 중 농약 대사체 농도에 영향을 준 것으로 생각된다. 기존 연구에서는 개인보호구를 착용하지 않았을 때의 농약 노출량(0.152-0.254 mg/kg/day)이 개인보호구를 착용하였을 때의 농약 노출량(0.053-0.089 mg/kg/day)보다 30배 높을 뿐만 아니라 위해성이 5-6배 증가하는 것으로 보고되었고,[26] 이 연구를 뒷받침하고 있다. 국내의 시설 및 과수재배를 현재 직업적으로 하는 농업인을 대상으로 한 연구를 살펴보면 남성의 경우 요 중 DMTP 농도는 개인보호구의 착용 개수가 2개 미만일 때 5.57 μg/g cr., 2-3개일 때 5.30 μg/g cr., 4개 이상일 때 2.17 μg/g cr.으로 개인보호구의 착용 개수가 많아질수록 요 중 DMTP 농도가 유의하게 감소하였으며(p<0.05), 여성의 경우 개인보호구의 착용 개수가 많아질수록 요 중 DMP, DEP, DMTP, ΣDAP 농도가 감소하는 양상을 나타내었다.[18] 이는 개인보호구의 착용을 중점으로 살펴보았을 때 본 연구와 비슷한 결과를 보였다. 다른 연구에서도 과수재배 농업인 중 남성에서 개인보호구의 착용 개수와 요 중 ΣDAP 농도와의 유의한 차이가 있었다(p<0.05).[15] 또한 그리스의 한 연구에 의하면 농약을 취급하고 살포하는 동안 보호장갑과 전

신 방제복을 착용하지 않을수록 요 중 ΣDAP 농도의 상대위험도가 각각 1.75배(95% CI; 1.04-2.96), 2.24배(95% CI; 1.15-4.34) 유의하게 증가하는 것으로 보고되었다.[27]

선행연구를 바탕으로 본 연구의 결과를 종합해 보았을 때 농업인의 요 중 유기인계 농약 대사체 농도는 개인보호구의 착용률 및 착용 개수뿐 아니라 착용빈도에 대한 영향의 중요성도 보여주고 있다. 이와 같이 개인보호구의 착용은 농약 노출을 저감하기 위한 가장 편리한 방법으로써 중요하다고 할 수 있으나, 개인보호구만 착용한다고 해서 농약 노출을 완전히 예방할 수 있는 것은 아니다. 개인보호구를 착용함에도 불구하고 여전히 체내에 노출되는 경우도 발생하기 때문에 개인보호구의 착용은 먼저 독성이 강한 농약을 금지시키고 독성이 덜한 농약으로 대체가 가능할 때 교육과 함께 적용될 수 있는 마지막 단계의 방법이라고 할 수 있을 것이다.

본 연구는 다음과 같은 제한점을 가지고 있다. 첫째, 본 연구대상자는 충남 일부지역의 직업적 농업 및 농약 살포와 관련이 있는 농업인으로 국한되었기 때문에 국내 농업인을 대표하기에는 어려움이 있다. 둘째, 상대적으로 낮은 검출률을 보이는 유기인계 농약 대사체가 존재하므로 이는 결과 해석에 대한 신중함이 요구된다. 셋째, 본 연구는 대상자의 기억에 의존하는 설문조사 방법을 이용하였기 때문에 회상오류(recall bias)가 발생할 가능성을 배제할 수 없다. 그러나 본 연구는 개인보호구의 착용빈도 점수와 요 중 유기인계 농약 대사체 농도와의 연관성을 최초로 살펴보았다는 것에 의의가 있으며, 추후 국내의 농약 살포와 관련 있는 농업인의 요 중 농약 대사체 노출 수준을 파악하기 위한 중요한 데이터로 활용될 것으로 생각된다.

V. 결 론

2017-2018년도 충남 일부지역 농업인 291명을 대상으로 개인보호구 착용빈도 점수와 요 중 유기인계 농약 대사체 4종(DMP, DEP, DMTP, DETP) 및 그 4종의 합(ΣDAP)에 대한 농도와의 연관성을 살펴보았다. 그 결과, 요 중 DEP, ΣDAP 농도는 개인보호구 착용빈도 점수와 통계적으로 유의한 연관이 있었으며, 개인보호구 착용빈도 점수가 증가할수록 요 중 유기인계 농약 대사체 농도가 낮아지는 경향을 보였다. 따라서 이 연구는 일부 농업인의 개인보호구 착용빈도와 요 중 유기인계 농약 대사체 농도 간의 관련성을 확인함으로써 농약을 취급하는 농업인의 건강영향 관리방안을 마련하는 데 기여할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 농림축산식품부 연구비 지원에 의하여 수행 되었습니다.

References

1. Lee WJ. Pesticide exposure and health. *J Environ Health Sci.* 2011; 37(2): 81-93.
2. Lee JY, Noh HH, Park HK, Jeong HR, Jin MJ, Park KH, et al. Exposure assessment of apple orchard workers to the insecticide imidacloprid using whole body dosimetry during mixing/loading and application. *Korean J. Pestic. Sci.* 2016; 20(3): 271-279.
3. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). The main statistics of agriculture, food and rural affairs. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs; 2016.
4. Song JS, Kwon KD, Choi HS, Yu HY. Biological monitoring of the exposure level of organophosphorus and pyrethroid pesticides in floriculture workers and florists. *Korean J. Pestic. Sci.* 2014; 18(1): 41-47.
5. Bravo R, Driskell WJ, Whitehead RD, Needham LL, Barr DB. Quantitation of dialkyl phosphate metabolites of organophosphate pesticides in human urine using GC-MS-MS with isotopic internal standards. *J. Anal. Toxicol.* 2002; 26(5): 245-252.
6. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Third national report on human exposure to environmental chemicals. Centers for Disease Control and Prevention; 2005.
7. Lee SJ, Jung JH, Jung KY. Is it meaningful to use the serum cholinesterase level as a predictive value in acute organophosphate poisoning? *J Korean Soc Clin Toxicol.* 2004; 2(2): 72-76.
8. Blair A, Sandler D, Tarone R, Lubin J, Thomas K, Hoppin J, et al. Mortality among participants in the agricultural health study. *Ann. Epidemiol.* 2005; 15(4): 279-285.
9. Lee SJ. The occupational diseases of agricultural workers. *Hanyang Med. Rev.* 2010; 30(4): 305-312.
10. Roh S. Work-related diseases of agricultural work-

ers in South Korea. *J Korean Med Assoc.* 2012; 55(11): 1063-1069.
11. Kim KS. Acute immunotoxic effects of chlorpyrifos in CBA male mice. *Kor. J. Environ. Toxicol.* 1998; 13(1): 33-41.
12. Kim E, Lee H, Choi H, Monn JK, Hong S, Jeong M, et al. Method validation for monitoring of agriculturual worker exposure to insecticide fenthion. *Korean J. Pestic. Sci.* 2011; 15(4): 357-365.
13. Seo JC, Choi HS, Song JS. Determination of 3-phenoxybenzoic acid in urine and exposure assessment of pyrethroid insecticides to human being. *Korean J. Pestic. Sci.* 2007; 11(2): 87-94.
14. Kim S. Application of biomonitoring to activities on environmental health and recommendations for Korean National Environmental Health Survey. *Korean J Public Health.* 2015; 52(1): 59-74.
15. Kim S, Roh S. Exposure level to organophosphate and pyrethroid pesticides and related agricultural factors in chili and cucumber cultivation among greenhouse and orchard farmers. *J Environ Health Sci.* 2017; 43(4): 280-297.
16. Oh J, Roh S. Evaluation of exposure level to pyrethroid pesticides according to protective equipment in male orchard farmers. *Korean J Community Living Sci.* 2017; 28(3): 391-401.
17. You KS. Survey for the use of pesticide protective clothing in smallholder farmers for the purpose of improving wearing acceptability. *J. Korean Soc. Costume.* 2006; 56(4): 96-107.
18. Lee J, Roh S. Evaluation of exposure to organophosphorus pesticides according to application type and the protective equipment among farmers in South Korea. *Korean J. Pestic. Sci.* 2016; 20(2): 172-180.
19. World Health Organization (WHO). Biological monitoring of chemical exposure in the workplace. World Health Organization; 1996.
20. Ueyama J, Saito I, Kamijima M, Nakajima T, Gotoh M, Suzuki T, et al. Simultaneous determination of urinary dialkylphosphate metabolites of organophosphorus pesticides using gas chromatography-mass spectrometry. *J Chromatogr B.* 2006; 832(1): 58-66.
21. Lee KM, Min SY, Chung MH. A study on the health effects of pesticide exposure among farmers. *Korean J of Rural Med.* 2000; 25(2): 245-263.
22. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Biomonitoring of organophosphorus and pyrethroid insecticides residue in general population. Ministry of Food and Drug Safety; 2009.
23. Ueyama J, Saito I, Kondo T, Taki T, Kimata A, Saito S, et al. Urinary concentrations of organophosphorus insecticide metabolites in Japanese workers. *Chemosphere.* 2012; 87(11): 1403-1409.
24. Hanchenlaksh C, Povey A, O'Brien S, de Vocht F. Urinary DAP metabolite levels in Thai farmers and their families and exposure to pesticides from agricultural pesticide spraying. *Occup. Environ. Med.* 2011; 68(8): 625-627.
25. Choi H, Moon JK, Liu KH, Park HW, Ihm YB, Park BS, et al. Risk assessment of human exposure to cypermethrin during treatment of mandarin fields. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2006; 50(3): 437-442.
26. Hong S, You AS, Jeong M, Park KH, Park JY, Lee YJ. Risk assessment of pesticide operator using modified UK-POEM in Korean orchard. *Korean J. Pestic. Sci.* 2013; 17(1): 50-59.
27. Koureas M, Tsakalof A, Tzatzarakis M, Vakonaki E, Tsatsakis A, Hadjichristodoulou C. Biomonitoring of organophosphate exposure of pesticide sprayers and comparison of exposure levels with other population groups in Thessaly (Greece). *Occup Environ Med.* 2014: 71(2): 126-133.

<저자정보>

최지희(연구원), 문선인(팀장), 노상철(교수)