



ISSN 1229-8565 (print) ISSN 2287-5190 (on-line)
한국지역사회생활과학회지 31(4): 559~573, 2020
Korean J Community Living Sci 31(4): 559~573, 2020
<http://doi.org/10.7856/kjcls.2020.31.4.559>

국내 농업 종사자용 농약 방제복의 보호 및 쾌적 성능평가 : 소재 및 완제품의 물리화학적 특성

김도희·이주영^{†1)}

서울대학교 생활과학연구소 연구교수·서울대학교 의류학과 부교수¹⁾

Protective and Comfort Performance of Pesticide Protective Clothing: Physicochemical Properties of Materials and Clothing Ensemble

Do-Hee Kim · Joo-Young Lee^{†1)}

Research Professor, Research Institute of Human Ecology, Seoul National University, Seoul, Korea
Associate Professor, Dept. of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University, Seoul,
Korea¹⁾

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the protection and comfort of pesticide protective clothing (PPC) through material tests and thermal manikin trials. Four types of commercially available PPC with different protective levels (P1, P2, P2.5, and P3) were evaluated. The results were as follows: 1) the mechanical protective performance of materials and seams was generally high. 2) the chemical protective performance of the materials and seams of each type of PPC was either very high or low, so the development of PPC to protect against middle-level pesticide exposure frequently encountered in Korean rural areas is advisable. 3) The PPCs by various protective levels evaluated in this study all have a high thermal insulation of more than 1 clo and low permeability, indicating a great thermal burden in Korea's hot and humid summer farming environment. 4) Since the evaluation of PPC comfort performance is considered independently from protective performance, comprehensive test methods for protective and comfort are required for accurate performance evaluations of PPC.

Key words: pesticide protective clothing, performance level, protective performance, comfort performance, comprehensive test methods

This research was supported by the Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01051801) Rural Development Administration, Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2019R1A2C2006961).

Received: 24 September, 2020 Revised: 21 October, 2020 Accepted: 29 October, 2020

[†]**Corresponding Author:** Joo-Young Lee Tel: +82-2-880-8746 E-mail: leex3140@snu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

농약중독은 전 세계적으로 중요한 보건학적 문제이다(Lee 2011). 농업인과 같이 직업적으로 농약을 사용해야 하는 작업자들의 경우 농약 성분이 인체에 흡수될 수 있으며 이로 인해 농약 노출과 관련된 인체에 유해한 증상들이 나타날 가능성이 있다(MacFarlane et al. 2013). 한국 농업인의 농경지 단위 면적당 농약 사용량은 OECD 국가 중 매우 높은 수준으로(OECD 2019), 농작업 관련 농약 노출은 우울증, 신경전달 속도 저하, 호흡 곤란 등과 관련이 있는 것으로 보고된 바 있다(Park et al. 2012; Kim et al. 2013). 또한 급성 농약 중독도 우리나라의 주요 공중 보건 문제 중 하나로 알려져 있다(Lee et al. 2012).

농약 노출은 농약 살포 시 뿐 아니라 농약의 조제, 사용 후 포장, 재출입, 농작물의 수확 등 다양한 작업 시에 발생할 수 있다(Wong et al. 2018). 농약은 피부, 호흡기, 또는 경구 등 다양한 경로를 통해 체내로 유입될 수 있으며(Ladics et al. 1994), 이중 피부를 통한 유입이 인체 노출량 중 가장 큰 부분을 차지한다(DeJonge et al. 1985; van Hemmen & Brouwer 1995). 이에 농약 방제복 착용은 농약 노출로부터 농작업자를 보호할 수 있는 효과적인 보호 수단이 될 수 있는데, 특히 우리나라는 직접 농약을 살포하는 소규모 자영농의 비율이 높으므로 농약 방제복의 역할이 더욱 중요하다 할 수 있다. 그러나 많은 농작업자들은 더위나 불편함 등을 이유로 착용을 기피하는 실정인데(Hayashi & Tokura 2000; You 2004), 국내 농약 방제작업은 주로 고온다습한 여름에 수행되기 때문이다. 여름철 농약 방제복 착용은 작업자의 서열부담을 가중시키므로(Kim et al. 2016), 농약 방제복의 열적 쾌적성능에 대한 평가가 반드시 필

요하다.

화학물질로부터 보호를 목적으로 하는 개인보호구(Personal Protective Equipment, PPE)의 성능평가에 관한 해외 규격은 ISO 16602(2007) “*Protective clothing for protection against chemicals*” 또는 BS EN 943-1(2019) “*Protective clothing against dangerous solid, liquid and gaseous chemicals, including liquid and solid aerosols*” 등이 채택되고 있다. 농약 역시 화학물질에 속하지만 일반적으로 여러 가지 화학물질의 복잡한 혼합 수용액 형태로 사용되므로, 농약에는 잘 사용되지 않는 화학물질 중 단일 화학물질에 대한 침투(Penetration)나 투과(Permeation) 등의 성능기준을 다루는 위 규격 등을 농약 방제복의 성능평가에 그대로 적용하기는 어렵다(ISO 27065 2017). 이에 일반적인 화학보호복과 착용 환경이 다르고 노출 화학성분이 다른 농약방제용 개인보호구 시험 평가에 기존 화학보호복용 시험 성능 기준을 그대로 적용하는 것이 적절한지에 대한 연구들이 보고되었다(Machera et al. 2009; Baldi et al. 2013; Shaw et al. 2018). 2011년 농약 방제복에 특화된 ISO 27065(2011)가 개발, 2017년 개정되었으나, 이 규격은 대규모 기계식 영농형태를 보이는 농업인들을 대상으로 한 것으로, 농약을 손으로 직접 살포하는 소규모 자영농이 많고 고온다습한 여름철 농약을 살포해야 하는 우리나라에 바로 적용하기에는 무리가 있다.

ISO 27065(2017)에서는 농약 방제복의 보호 수준을 Level C1, C2, C3의 세 등급으로 나누는데, Level C1은 농약 살포 차량 운전자와 같이 농약 노출에 대한 잠재적인 위험성이 낮은 경우 최소한의 보호를 제공하는 면/폴리에스터 소재의 보호복에 해당한다. Level C2는 C1보다는 보호 수준이 높으면서 착용자 쾌적과 보호 간 균형을 유

지하는 보호복으로, 농약 노출에 대한 잠재적 위험이 큰 경우 Level C2를 기본 보호복으로 착용하고 부가적인 보호 아이템들을 추가 착용한다. Level C3는 농약을 직접 다루는 등 농약 노출에 대한 잠재적 위험이 높을 경우 착용되는 보호복으로 통기성이 낮아 착용자에게 열부담이 초래될 수도 있음이 사전 고지되어야 하는 보호복이다. ISO 27065(2017)에서 제시하는 시험으로는 보호복 원단(Material) 혹은 솔기에 대해 인열강도(Tear resistance), 꿰뚫림저항(Puncture resistance), 인장강도(Tensile strength), 침투저항(Penetration resistance), 혹은 투과저항(Permeation resistance)을 평가하며, 이 중 투과저항은 보호수준이 가장 높은 Level C3의 농약 방제복에만 선별적으로 적용한다. 농약 방제복 완제품에 대해서는 동작적합성 시험(Practical performance test)을 수행하며, Level C3의 농약 방제복에 대해서는 액체 분무 침투 저항성(Resistance to penetration by a spray of liquid) 시험을 추가로 실시한다. ISO 27065(2017)에서는 농약 방제복 착용으로 유발될 수 있는 서열부담에 대해 서술하고 있으나, 구체적인 시험 항목은 제시하지 않고 있다.

한편, 우리나라의 농약 방제복 시험 규격으로는 1987년 제정된 농림수산부 공고 '농약 살포용 방제복과 개량 마스크 규격'이 유일한데, 이는 방제복 소재의 물리적 성능 및 세탁법 등만을 다루고 있을 뿐이며, 이 역시 폐지되어 현재는 관련 규격이 없는 상태이다. 이처럼 국내 농업 현장에 적합한 농약 방제복 시험 규격의 부재와 이에 수반된 관리 부재는 농약 방제복 착용률이 낮은 현재 상황을 초래한 주요 원인 중 하나일 것이다. 실제 농업인들은 농약 방제복을 착용하지 않거나 착용하더라도 낡고 잘 입지 않는 옷, 혹은 저가의 비닐 우의 등을 활용하는 경우가 많다. 또한 농약 노출

수준이 높다고 판단되는 상황에서 지나치게 높은 보호 등급의 화학보호복을 착용하거나, 검증되지 않은 시판 방제복을 착용하기도 한다(You 2004; Lee 2016; Oh & Roh 2017).

우리나라와 같이 여름철 직접 농약을 살포하는 소규모 자영 농업인이 대부분인 상황에서 농약 방제복의 자발적 착용률을 높이기 위해선 보호성능과 쾌적성능 간 균형을 맞춘 방제복 보급이 필수적이다. 동시에 그 착용 및 관리에 관한 부분을 구체화하여 제도화할 필요가 있다. 이를 위한 기초 단계로 본 연구에서는 농약 방제복 성능평가 국제 규격인 ISO 27065(2017)에서 제시하고 있는 세 가지 성능 등급의 보호복과 국내 시판되어 농업인들이 실제 착용하고 있는 농약 방제복을 대상으로 각 보호복의 보호성능 및 쾌적성능을 평가하였다. 본 연구는 이러한 평가 결과를 바탕으로 고온다습한 환경에서 직접 농약을 살포하는 농작업자용 농약 방제복의 보호성능과 쾌적성능 간 균형을 이룰 수 있는 물리화학적 성능 요구사항 제안을 목표로 하였다.

II. 연구방법

ISO 27065(2017)의 세 가지 등급에 준하는 시판 개인보호복 3종 및 국내 시판 농약 방제복 1종을 선정하였고, 선정된 4종의 보호복을 대상으로 소재와 완제품의 보호성능 및 쾌적성능을 평가하였다.

1. 실험용 보호복 선정

ISO 27065(2017)에서 정의한 Level C1, C2, C3 보호복의 특성을 바탕으로 Level C1 보호복(본 연구에서 P1으로 명명함)으로는 면/폴리에스터 소재의 일반적인 작업복 중에서 선정되었으며, Level C2는 솔기를 테이핑 처리한 Tyvek 소재 보





호복(P2) 중에서, Level C3는 코팅된 고밀도 폴리에틸렌 소재로 제작된 시판 화학보호복 중 농약 방제복으로도 활용되는 제품(P3) 중에서 선정되었다. 또한 국내 시판되는 농약 방제복들 중 착용률이 높은 나일론 100% 직물에 투습방수 코팅 적용한 제품 1종(보호성능 측정 결과 Level C2와 Level C3 중간 정도 수준의 보호성능을 나타내어 본 연구에서 P2.5로 명명함)을 실험 의복으로 추가하여, 총 4종의 보호복에 대한 평가를 진행하였다(Table 1). P1(Level C1)과 P2.5(국내 시판 농약 방제복) 보호복은 반복사용 가능(Re-usable), P2(Level C2)와 P3(Level C3) 보호복은 한정사용(Limited-use) 용도이다(Table 1).

2. 보호성능 평가

물리적 보호성능 평가로는 선정된 보호복 4종의 소재(Material) 및 솔기(Seam)의 물리적 특성을 측정하였다. 측정항목은 ISO 27062(2017)에서 권장하는 성능요소인 소재의 인장강도(Tensile

strength), 인열강도(Tear resistance), 꿰뚫림저항(Puncture resistance), 솔기의 인장강도(Seam tensile resistance)였다. 소재의 인장강도는 ISO 13934-1(2013)에 따라 측정하였고, 인열강도는 ISO 9073-4(1997), 꿰뚫림저항은 ISO 13996(1999), 솔기의 인장강도는 ISO 13935-2(2014)의 측정방법을 적용하였다. 화학적 보호성능 평가로는 ISO 27065(2017)에서 Level C1과 Level C2에 해당하는 농약 방제복을 평가하기 위해 적용하고 있는 항목인 소재 및 솔기의 침투성(Penetration)을 측정하였다. ISO 27065(2017)에서는 이 항목의 측정법으로 액상 농약에 대한 보호복 소재의 침투성 측정방법에 관한 규격인 ISO 22608(2004)의 Pipette test를 적용하고 있는데, 이 규격은 침투성 측정 시 체류성(Retention), 반발성(Repellency)을 함께 측정함으로써 결과의 설명력을 높인다. 본 연구에서도 이에 따라 침투성과 함께 체류성, 반발성을 측정하였다. ISO 27065(2017)는 ‘Penetration’을 ‘농약이 비분자 수준에

Table 1. Experimental pesticide protective clothing in the present study

P1 (Level C1 in ISO 27065)	P2 (Level C2 in ISO 27065)	PC2.5 (Commonly worn in Korea)	P3 (Level C3 in ISO 27065)
			
782 g	172 g	764 g	311 g
Polyester/cotton (65/30) 20's twill Reusable	Tyvek (Flash spun and high density polyethylene, HDPE) Limited-use	Waterproof and moisture permeable nylon Reusable	Tychem (Polyethylene coated HDPE) Limited-use

서 보호복 소재의 기공이나 솔기, 핀홀 등을 통과하는 과정'으로, 'Permeation'은 '농약이 분자 수준에서 흡착, 확산, 탈착 과정을 통해 보호복 재료를 통과하는 과정'으로 정의된다. 국내 사용되는 생화학 용어 중 'Penetration'과 'Permeation'은 모두 '투과'로 번역되거나, 'Penetration'은 '침투'로 'Permeation'은 '투과'로 번역되는데, 본 연구에서는 용어의 구별을 위해 후자를 따르기로 하였다.

ISO 27065(2017)에서는 Level C1과 Level C2 방제복은 소재와 솔기의 침투율(Penetration, %)을, Level C3 방제복에 대해서는 소재와 솔기의 투과율(Permeation, %)을 측정할 것을 권장하며, 투과저항의 측정법으로 ISO 19918(2017)을 채택하고 있으나 국내에서 이 표준에 따른 시험평가는 불가능하므로 본 연구에서는 모두 침투저항을 측정하였다. 침투저항 측정 시 시험농약용액은 ISO 27062(2017)에 따라 37.4%의 펜디메탈린(Pendimethalin)을 함유한 펜디메탈린 유제(Pendimethalin emulsion)를 증류수로 5% 활성성분(a.i.)까지 희석시켜 사용하였다. 시험용액 분석은 ISO 22608(2004)에서 규정한 Method A와 B 중 Method B(크로마토그래피 등의 분석으로 농약 방제복 소재 및 솔기에 침투, 체류, 반발된 시험용액 중 활성성분인 농약만을 추출하여 분석하는 방법)를 따랐다. Method B에서 추출효율(Extract efficiency) 95% 이상을 유효한 결과로 간주하는데, 이는 첫 시험용액에 포함된 활성성분의 총량에 대한 시험 후 소재 및 솔기에 침투, 체류, 반발된 시험용액 중에서 추출한 활성성분 총량의 비율을 의미한다. 각 보호복 시험편에 대해 세 번 반복 측정된 투과 측정치의 평균은 ISO 27062(2017)에서 제시하고 있는 농약 방제복 성능 수준별 소재와 솔기의 투과저항 최소 요구 성

능을 기준으로 분석하였다.

3. 열 쾌적성 평가

열 쾌적성 평가는 소재가 아닌 완제품 상태의 보호복을 대상으로 인체와 환경 간의 열교환 및 수증기 증발 저항을 통해 평가하였다. 각 보호복의 보온력 및 수증기 증발 저항 측정을 위해 20개의 독립적인 피부온도 측정 및 제어 시스템을 가지는 발한 서멀 마네킹(Male type, Newton, MTNW, USA)을 이용하였다. 보온력이란 의복의 열저항을 의미하며 보온력의 단위로 clo를 사용한다. 1 clo의 보온력이란 기온 21.2℃, 습도 50%RH 이하, 기류 10 cm/sec의 실내에서 의자에 앉아 안정하고 있는 성인 남자가 쾌적하다고 느끼고, 평균 피부온을 33℃로 유지하는 상태일 때 그가 입고 있는 그 옷의 보온력(Gagge et al. 1941)을 말하며, 에너지 대수량은 $50 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 정의된다. 본 연구에서는 ISO 9920(2007)에 따라 서멀 마네킹의 평균피부온도는 34℃, 환경조건은 기온 20℃, 습도 50%RH로 설정하였고, 누드 상태의 마네킹에 평가용 보호복만을 착용시킨 상태에서 보호복 종류별로 세 번 반복 측정하였다. 서멀 마네킹을 이용하여 의복의 보온력을 측정하는 경우 인공기후실의 환경 기온은 평균피부온도(33 ~ 34℃)보다 12℃ 이상 낮아야 한다고 규정되어 있다.

서멀 마네킹을 이용하여 보호복 및 보호복 주변 공기층의 열저항을 포함한 열저항(Thermal resistance)을 측정하였으며 측정된 열저항 값은 ISO 9920(2007)의 식을 이용하여 총보온력(Total insulation, I_T)으로 환산하였다. 사용단위는 clo이다 (Eq.1), (Eq.2).

$$I_T(\text{clo}) = R_{cl} \times 6.45 \quad \langle \text{Eq.1} \rangle$$

$$R_{ct} = \frac{(T_s - T_a)}{Q/A} \quad \langle \text{Eq.2} \rangle$$

I_T = Total insulation (clo)

R_{ct} = Thermal resistance ($\text{m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-1}$)

6.45 = Constant for converting unit from R_{ct} ($\text{m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-1}$) to I_T (clo)

T_s = Thermal manikin's average surface temperature (°C)

T_a = Ambient temperature (°C)

Q/A = Area weighted heat flux ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

Q = Heat flux (W), A = Manikin's surface area (m^2)

의복의 증발저항 값도 ISO 9920(2007)에 준하여, 정지조건 하에서 보호복 및 보호복 주변 공기층의 수증기 저항을 포함한 총증발 저항(Total water vapour resistance, R_{et})을 산출하였다. 사용단위는 $\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$ 이다 <Eq.3>.

$$R_{et} = \frac{(P_s - P_a)}{Q/A - [(T_s - T_a)/R_{ct}]} \quad \langle \text{Eq.3} \rangle$$

R_{et} = Total water vapour resistance ($\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$)

P_s = Saturated vapor pressure at surface temperature (Pa)

P_a = Saturated vapor pressure at ambient temperature (Pa)

Q/A = Area weighted heat flux ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

Q = Heat flux (W), A = Manikin's surface area (m^2)

농약 방제복의 보온력은 농약 방제 시 작업자의 움직임 여부에 따라 변동될 수 있으므로 실험은

정지조건(Static) 및 보행조건(Dynamic) 두 가지로 설정하였고, 보행조건에서 보행속도는 ISO 15831(2004)에 준하여 $45 \pm 2 \text{ steps} \cdot \text{min}^{-1}$ 으로 설정하였다.

4. 데이터 분석

본 연구에서 선정된 서로 다른 네 종류의 보호복에 대해 각 3회 반복 측정된 값들의 평균을 비교하는 것으로 모든 결과는 평균과 오차로 제시하였다. 오차는 3회 반복측정 값의 분산의 양의 제곱근으로 계산하였다. 반복 측정된 값들은 한 종류의 보호복으로부터 반복적으로 관찰된 것이므로 이 값들은 서로 독립이 아닌 값으로 간주한다. 따라서 3회 반복 측정된 값들의 개별값이 아닌 평균값을 분석에 사용하였고, 이에 따라 세 종류의 보호복에 대한 측정치는 결국 각각 하나씩이 되므로 평균으로 단순 비교하였으며, 조건 간 통계적 유의차 검증은 수행하지 않았다.

III. 결과

1. 농약 방제복의 보호성능

본 연구에서 선정된 보호복 4종 중 P2와 P3은 한정사용, P1과 P2.5는 반복사용 용도이므로 각각에 해당하는 ISO 27065의 최소요구성능을 기준으로 분석하였다(Table 2, Table 3). 본 연구에서 가장 낮은 보호 등급인 P1의 인장강도는 소재 830 N, 솔기 240 N으로 두 항목 모두 최소 성능 기준인 180 N보다 우수했다(Table 2). 인열강도와 파열강도는 각각 139 N와 85 N으로 이 역시 최소 성능 기준인 10 N보다 월등한 성능을 나타냈다. 솔기를 테이핑 처리한 Tyvek 소재(P2)의 인장강도는 소재 70 N, 솔기 87 N으로 보호복 P1 보다는 훨씬 낮았으나 두 항목 모두 최소요구성능 기준인 30 N보다는 높은 성능을 보였다. 인열강

Table 2. Mechanical protective performance of pesticide protective clothing by levels

(unit: N)

Mechanical performance	Normative references	Minimum requirement (ISO 27065)*	Test result by level**				
			P1	P2	P2,5	P3	
Material tensile strength	ISO 13934-1	Reusable	≥180	830	-	330	-
		Limited-use	≥ 30	-	70	-	150
Material tear resistance	ISO 9073-4	Reusable and limited-use	≥ 10	138.8	24.4	128.4	27.4
Material puncture resistance	ISO 13996		≥ 10	85	16	28	26
Seam tensile strength	ISO 13935-2	Reusable	≥180	240	-	240	-
		Limited-use	≥ 30	-	87	-	190

*Minimum requirements for mechanical protective performance in ISO 27065(2017) are the same for all levels;

**P1=Level C1; P2=Level C2; P2,5=Commonly used suit; P3=Level C3.

Table 3. Chemical protective and comfort performance of pesticide protective clothing by levels

Test item (Normative references)			Test results by level**				
			P1	P2	PC2,5	P3	
Chemical protective performance (ISO 22608 _Method B)	Material	Penetration resistance (%)*	Mean	43.1	40.8	0.0	0.0
			Error	9.7	9.1	0.0	0.0
		Retention (%)	Mean	52.8	57.6	11.1	5.3
			Error	8.6	8.4	2.6	2.0
		Repellency (%)	Mean	0.9	2.6	86.7	95.3
			Error	0.2	0.5	4.4	2.8
	Extract Efficiency (%)		97	101	98	101	
	Seam	Penetration resistance (%)	Mean	18.9	19.2	10.1	1.7
			Error	6.3	2.8	11.9	0.8
		Retention (%)	Mean	74.1	79.0	36.3	3.0
			Error	2.8	4.2	2.8	1.1
		Repellency (%)	Mean	4.7	3.5	55.9	92.2
			Error	0.8	0.6	13.8	1.7
	Extract Efficiency (%)		98	102	102	97	
Comfort performance (ISO 9920)	Clothing	Thermal insulation (I _T) _static (clo)	Mean	1.26	1.16	1.42	1.21
			Error	0.004	0.009	0.006	0.010
		Thermal insulation (I _T) _dynamic (clo)	Mean	0.85	0.86	0.95	0.85
			Error	0.003	0.004	0.004	0.002
	Water vapour resistance(Ret) (m ² · PaW ⁻¹)	Mean	42.0	47.5	54.1	151.2	
		Error	0.112	0.475	0.506	2.540	

* Minimum requirements for Penetration resistance in ISO 27065 are ≤40% for Level C1 and ≤5% for Level C2; Other test items were carried out in this study additionally, though they are not in ISO 27065(2017), so there is no minimum performance requirements of them.

** P1=Level 1; P2=Level 2; PC2,5=Commonly used suit; P3=Level 3.

도와 파열강도는 각각 24 N, 16 N으로 최소요구성능 기준인 10 N 이상이였다. 보호복 P2에 필름 라미네이팅 처리한 보호복 P3의 인장강도는 소재 150 N, 솔기 190 N으로 P2보다 높았고, 두 항목 모두 최소요구성능 기준인 30 N을 훨씬 초과하였다. 인열강도와 파열강도는 각각 27 N와 26 N으로 최소요구성능 기준을 충족하며 보호복 P2보다는 다소 높은 측정치를 보였다. 국내 시판 농약 방제복인 P2.5의 인장강도는 소재 330 N, 솔기 240 N으로 P1보다는 P2, P3보다는 높았고, 두 항목 모두에 대한 최소 성능 기준인 180 N은 충족했다. 침투성과 체류성은 값이 클수록 화학물질에 대한 보호성능 수준이 낮은 것을, 반발성은 측정값이 클수록 화학물질에 대한 보호성능 수준이 높은 것을 의미한다. 보호복 소재의 침투성과 체류성은 모두 $P1 > P2 > P2.5 \geq P3$ 으로, 반발성은 $P1 < P2 < P2.5 < P3$ 으로 나타났다(Table 3). 솔기에 대한 평가 결과를 살펴보면 침투성과 체류성은 $P2 > P1 > P2.5 > P3$, 반발성은 $P2 < P1 < P2.5 < P3$ 순으로 나타났다(Table 3).

2. 농약 방제복의 쾌적성

보온력 측정결과 P1, P2, P3 및 P2.5의 보온력 (k)은 정지조건에서 각각 1.26, 1.16, 1.21와 1.42 clo로 $P2 < P3 < P1 < P2.5$ 순이었다(Table 3). 보행조건에서 보호복 P1, P2, P3 및 P2.5의 보온력은 각각 0.85, 0.86, 0.85와 0.95 clo, $P1 = P3 \approx P2 < P2.5$ 순으로 정지조건에서와 마찬가지로 국내 시판 농약 방제복인 P2.5의 보온력이 가장 컸다. 부위별로는 특징적으로 가슴과 엉덩이 부위의 열저항이 컸는데, 정지조건에서 4종 보호복 모두 부위별 열저항값은 $0.3 \text{ m}^2 \cdot \text{C} \cdot \text{W}^{-1}$ 이하였으나 가슴과 엉덩이 부위는 그 이상을 보여 상의와 하의가 분리된 형태인 P1과 P2.5

보호복에서 엉덩이 부위 열저항이 컸고, P2.5의 엉덩이 부위 열저항이 $0.6 \text{ m}^2 \cdot \text{C} \cdot \text{W}^{-1}$ 정도로 다른 세 보호복에 비해 가장 컸다. 수증기 증발 저항의 경우, P1, P2, P3 및 P2.5의 증발 저항은 각각 42.0, 47.5, 151.2 와 $54.1 \text{ m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$ 로 $P1 < P2 < P2.5 < P3$ 순을 보였다(Table 3). 증발 저항의 부위별 분포를 살펴보면 가슴과 엉덩이 부위가 전반적으로 높은 편으로 나타나 보온력 평가 시와 유사한 경향을 보였다.

3. 농약 방제복의 종합적 성능

선정된 보호복 4종에 대해 본 연구에서 측정된 13개 시험항목 전체를 종합적으로 살펴보기 위해 각 항목별 측정 결과의 크기에 따라 1~4위까지 순위를 매겨 시험항목별 순위의 경향을 비교하였다. 보호성능을 평가하는 시험항목에서는 보호성능이 가장 높은 보호복에 순위 1을(Fig. 1-A, Fig. 1-B), 쾌적성을 평가하는 시험항목에서도 쾌적성이 가장 높은 보호복에 순위 1을 부여하였다(Fig. 1-C). 소재의 물리적 보호성능인 Fig. 1-A의 (a) 인장강도, (b)파열강도 (c)깨끗림저항은 성능 등급이 가장 낮은 P1이 1순위를 차지하고, 다음 P2.5, P3, P2 순이었다. 소재의 화학적 보호성능인 Fig. 1-A의 (d)침투성, (e)체류성, (f)반발성은 성능 등급이 가장 높은 P3이 1순위로 화학적 보호성능 측정항목 모두에서 P3이 1순위, P2.5가 2순위였다. P1과 P2는 항목에 따라 3순위 또는 4순위로 다소 변동은 있었으나 전반적으로 보호복의 성능 등급이 높을수록 소재의 화학적 보호성능도 우수한 경향을 보였다. 특히 (f)반발성의 성능 순위는 보호복의 성능 등급 순서와 일치하였다. 솔기의 물리적 보호성능인 Fig. 1-B의 (g)인장강도는 성능 등급이 가장 낮은 P1 및 P2.5가 1순위를 차지하였고 다음 P3, P2 순으로, 소재의 (a)인장강도(Fig.

1-A) 결과와 유사한 경향을 보였다. 솔기의 화학적 보호성능인 Fig. 1-B)의 (h)침투성, (i)체류성, (j)반발성은 P2가 가장 낮은 4순위를, 성능 등급이 가장 높은 P3이나 P2.5가 1순위를 보였다. 전반적으로는 보호복의 성능 등급이 높을수록 보호복 솔기의 화학적 보호성능도 우수한 순위로 나타났다.

완제품의 쾌적성능에 대한 그래프인 Fig. 1-C)에서는 보온력과 수증기 증발 저항값은 작을수록 우수한 것으로 하여 순위를 부여하였다. 먼저 (k) 정지조건에서의 보온력은 P2가 1순위, 다음은 P3, P1, P2.5 순이었던 반면, (l)보행조건에서의 보온력에서는 가장 등급이 낮은 P1과 가장 등급이

높은 P3이 동시에 1위를, P2와 P2.5가 각각 3, 4위를 차지했다. 측정된 각 보호복의 보온력 순위는 정지, 보행조건에서 각기 다른 경향을 보였고, 두 조건 모두에서 보온력 순위는 보호복의 성능 등급대로 나타나지 않았으며, 특징적인 정적 또는 부적 관계 역시 찾아볼 수 없었다. (m)수증기 증발 저항은 P1 < P2 < P2.5 < P3의 순으로 높아져 보호복의 성능 등급이 높을수록 더 높은 증발 저항이 발견되었다(Fig. 1).

IV. 고찰

1. 농약 방제복의 보호성능

선정된 보호복 4종 소재의 물리적 성능은 모든 측정항목에서 ISO 27065(2017)의 최소 요구 성능보다 매우 높은 수준을 나타냈다. 국내 농약방제 작업 환경은 큰 물리적 보호성능을 필요로 하는 상황이 많지 않고, 또한 측정된 물리적 성능 값들이 ISO 27065에서 요구하는 최소 성능기준보다 모두 월등히 높았으므로 소재의 물리적 성능이 다소 저하되더라도 쾌적성 향상을 위한 소재 선택이 고려될 필요가 있다.

ISO 27065(2017)에서는 화학적 보호성능의 기준을 Level C1과 Level C2 보호복 소재의 침투성(Penetration, %)을 각각 40% 이하와 5% 이하로 명시하고 있는데, 본 연구에서 Level C1과 Level C2에 해당하는 P1과 P2 소재의 침투성은 모두 40%를 초과하여 Level C1의 수준에도 미치지 못했다. 반면 P3 및 시판 농약 방제복(P2.5) 소재의 침투성은 모두 0%로 가장 우수한 성능 기준인 5%보다 월등히 우수한 성능을 보여, 중간 정도의 보호성능을 나타내는 방제복은 없었다. 솔기의 침투성 측정결과 역시 소재 평가결과와 전반적으로 유사한 경향을 보였다. P1, P3 보호복의 경우

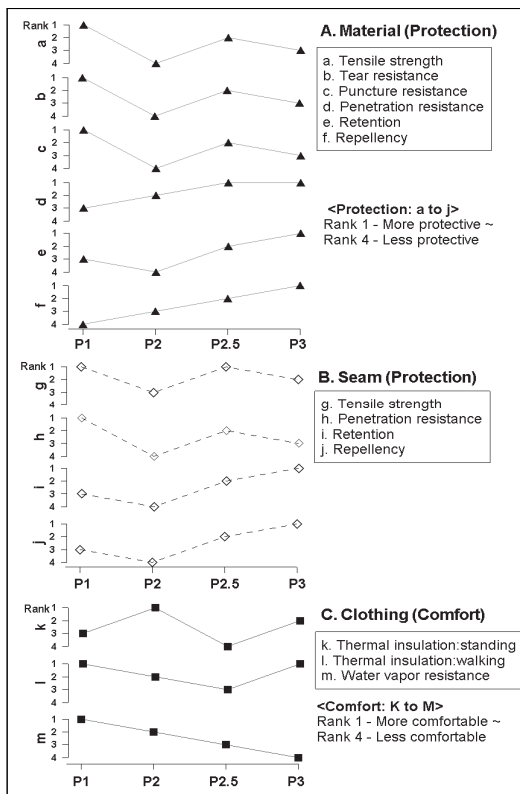


Fig. 1. The rank orders of test results among the four levels of protective clothing in the present study (Smaller scores represent more protective or more comfortable functions: Score 1 > 2 > 2.5 > 3).

ISO 27065(2017)에서 요구하는 각 성능 수준을 충분히 만족하였으나 P2와 P2.5 보호복 솔기의 침투성은 각각 19%, 10%로 해당 등급에 요구되는 최소 성능수준에 미치지 못했다.

국내 농업자들은 희석된 농약을 핸드 스프레이 또는 고압 분무 방식으로 살포하는 중등 정도 위험으로 평가되는 작업을 주로 수행하는데 (Lee 2012), 본 연구에서 측정된 여러 등급별 방제복의 화학적 보호수준은 너무 높거나 낮아 중등 정도 위험 상황에 적합하지 않다는 것을 알 수 있다. 한편, 농약 방제 시 국내 농업인들이 실제 주로 착용하는 옷은 낱거나 잘 입지 않는 옷, 일회용 부직포 보호복 등으로(You 2004; Lee 2016; Oh & Roh 2017), 이는 본 연구의 P1 수준일 것으로 추정되어 농약 노출 위험이 우려된다. 반면 국내 농업인들이 농약 노출 위험 수준이 높다고 인식하는 과수 작업 또는 비닐하우스 내 농약방제 시 착용하는 비닐 우의 혹은 P2.5, P3과 같은 보호복은 ISO 27065(2017)의 성능 기준치보다 훨씬 높은 수준의 보호성능을 나타내므로 과보호로 인한 서열부담이 우려된다.

상기 결과 중 보호복 P1, P2의 경우 소재보다 솔기에서 침투성이 매우 낮게, 즉 보호성능이 높게 측정된 점이 특징적인데, 솔기의 침투성이 낮게 측정된 이유는 보호복 소재의 두께 및 구성과 관련이 있을 것으로 생각된다. P1과 같은 직물 소재 보호복의 경우 어떤 솔기 구성이 적합한지에 대한 연구는 거의 없어 추가적인 검토가 필요할 것으로 사료된다. 부직포 소재 보호복의 경우 솔기를 이중의 실로 인터록하거나(Serged or sewn) 연결부위를 외부 덮개로 바인딩하는 방식(Bound), 바느질한 솔기의 위쪽 면에 테이프를 대고 다시 열접착하는 방식(Taped), 혹은 바느질한 솔기의 위쪽 면과 아래쪽 면 양쪽에 테이프를 대고 열접착하는

방식(Double taped) 등으로 처리한다. P2의 경우 ISO 27065(2017)에 준하여 보호복 소재와 동일한 Tyvek으로 솔기 부분을 테이핑 처리한 것으로(Taped), 소재보다 솔기에서 침투성이 매우 낮게 측정되긴 하였으나 소재와 솔기 모두 P2의 등급인 Level C2에 대한 최소 성능 기준인 5%를 크게 초과했다. 이는 솔기를 테이핑하는데 사용한 보호복 소재 자체의 침투성이 컸기 때문으로 생각된다. P2는 ISO 16602(2007)에 따르면 Type 6(액상 화학물질에 대해 제한적인 보호성능이 있는 화학보호복)으로 분류되는 Tyvek(고밀도 폴리에틸렌 부직포) 소재의 보호복으로 여러 산업에서 다양한 용도로 사용되며 농약 방제복으로도 자주 활용되는 편이다(Hwang & Lee 2012). 그러나 본 연구 측정결과 소재 및 솔기의 침투성이 다소 크게 나타나 화학적 보호성능이 가장 낮은 등급 수준이었던 것을 고려하면, 해당 계열의 제품들을 농약 방제복으로 활용할 경우 보호 수준 및 적용 가능한 상황에 대한 추가적인 검증이 필요할 것으로 생각된다. Level C3에 해당하는 P3 보호복은 코팅된 고밀도 폴리에틸렌 소재로 제작된 보호복으로 ISO 16602(2007)에 따르면 Type 3(액밀성 화학 보호복)으로 분류되는 제품인데 독성이 강한 농약을 직접 다룰 때 착용하는 용도로 판매된다. 본 연구결과 P3 보호복의 경우 소재와 솔기의 보호성능은 모두 매우 우수한 것으로 확인되었으나, 서열부담으로 인해 농약 방제복 착용률이 낮다는 것을 고려하면(You 2004; MacFarlane et al. 2013), 서열부담을 평가할 수 있는 시험항목 및 보호성능을 크게 저하하지 않으면서 쾌적성을 향상시킬 수 있는 방안 마련이 요구된다. 국내 시판 농약 방제복인 P2.5는 소재의 보호성능에 비해 솔기의 보호성능은 낮았는데, 이는 봉제 시 소재의 코팅막이 손상되면서 침투성이 증가한 것으로 추정되며 이

를 보완할 수 있는 솔기 구성법이 고안될 필요가 있다.

이상에서 보호성능 등급별 보호복의 소재 및 솔기의 보호성능 분석 결과, 불침투(투과)성 보호복(P3)을 제외하면 나머지 P1, P2, P2.5의 보호성능은 대부분 ISO 27065의 Level C1로 수렴되고 있다고 평가할 수 있다. ISO 27065(2017)에 따르면 중등 정도의 농약노출 위험 상황에서는 Level C2 보호복 착용을 권하고 있으나, 실제 그러한 성능 수준에 맞는 농약 방제복을 찾기는 어렵다. 덥고 습한 여름철 환경에서 농약을 살포하는 농작업자에게 P1이나 P2 수준의 일반 보호복을 권장하는 경우 농약에 대한 적절한 보호는 제공하지 못하면서 서열부담만 증대시키는 상황이 발생할 수도 있다. 반면 P3 수준의 보호복을 권장하는 경우 과보호로 인한 서열부담의 위험이 예측된다. 우리나라 농작업 환경 특성에 적합하면서 농약 방제작업에 특화된 농약 방제복의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

2. 농약 방제복의 쾌적성능

보호복의 쾌적성능은 완제품의 열저항과 수증기 증발 저항, 나아가 인체착용평가를 통해 종합적으로 평가할 수 있다. 본 연구에서 선정된 보호복 4종의 열저항(보온력, I_c)은 정지조건에서 모두 1 clo 이상을 나타내었다. 선행연구에 따르면 우리나라 여름철 농촌 지역에서 농작업이 수행되는 동안 측정된 주변 기온은 평균 33.7°C, 습도는 60~80%RH(Lee et al. 2018)였기 때문에, 여름철 농약 방제복 착용은 농작업자에게 필연적으로 서열부담을 유발함을 알 수 있다. 더욱이 농약 방제복과 함께 속옷, 모자, 마스크, 장화, 장갑 등을 함께 착용하는 것을 고려하면 서열부담이 가중될 것임을 쉽게 예측할 수 있다. 본 연구에 선정된

보호복 4종의 보온력은 $P2 < P3 < P1 < P2.5$ 순으로 컸는데, 이는 보호복의 중량과 거의 비례한다. 일반적으로 의복의 중량과 보온력은 정적 관련성이 있으며(McCullough et al. 1985; Olsen 1985), 특히 보호복류에서 그러한 관련성이 크다(Baek et al. 2018). 보호복의 중량 감소는 보온력 측면뿐 아니라 동작 효율성 측면에서도 긍정적이므로(Dorman & Havenith 2005) 최소 보호성능이 충족된다면 가능한 가벼운 보호복을 선택할 것을 권장한다.

한편 보행조건에서 보온력은 정지조건보다 작아 모두 0.85 ~ 0.95 clo였다. 이는 걷는 동작으로 의복 내 공기층과 외부 환경 간의 환기량이 증가하기 때문이다(Bouskill et al. 2002). 농약 방제작업은 계속 움직이면서 진행되므로 보호성능을 손상시키지 않으면서 환기량을 증가시킬 수 있는 환기구를 추가하는 것이 쾌적성 증가에 도움이 될 것이다. 한편 가슴과 엉덩이 부분의 보온력이 정지와 동작 시 모두 상대적으로 높았는데, 이는 보호복의 구조상 해당 부위의 의복 내 공기층이 가장 두껍기 때문으로 해석된다. 이러한 특징은 원피스 형태인 P2, P3보다 상하의 분리형인 P1과 P2.5에서 현저하게 나타나 상하의 의복 간 겹침 등이 보온력 상승에 영향을 주고 있음을 추측할 수 있다. 쾌적성 향상을 위해 적절한 환기구가 마련된 원피스 형태의 농약 방제복이 권장될 필요가 있다.

쾌적성 평가요소의 하나인 보호복 4종의 수증기 증발 저항은 42.0 ~ 151.2 $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$ 범위에 분포했다. Bernard et al.(2017)에 따르면 직물 작업복의 증발 저항은 31.2 $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$, 방진복의 경우 34.8 $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$, Caravello et al.(2008)의 연구에서 작업복과 먼 커버롤의 증발 저항은 각각 27과 28 $m^2 \cdot Pa \cdot W^{-1}$, 솔기에 별도 처리를 하지 않은 일반 Tyvek 전신보호복의 증발

저항이 $26 \text{ m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$ 이라는 보고와 비교해보면 본 연구의 직물 보호복인 P1, 솔기를 테이핑 처리한 Tyvek 전신보호복인 P2의 증발 저항값이 다소 높음을 알 수 있다. 특히, 투습방수 직물로 제작된 P2.5의 경우 $54.1 \text{ m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$ 로 Shim (2016)의 연구에서 국내 시판 투습방수 의류 제품의 증발 저항이 $39.9 \sim 56.7 \text{ m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$ 범위임을 고려할 때, 투습방수 보호복 제품 등 증발 저항이 큰 편임을 알 수 있다. 코팅된 고밀도 폴리에틸렌 소재로 제작된 P3의 증발 저항은 $151.2 \text{ m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$ 로 매우 커서 다른 3종의 증발 저항과 현저한 차이를 보임을 확인하였다. 이는 전혀 통기성이 없는 방수 우의의 증발 저항과 비슷한 수준(Shim 2016)으로 쾌적성 측면에서 농약 방제복으로 권장되지 않는다. 고온환경에서의 인체의 열손실은 주로 땀의 증발에 의존하게 되므로 (Mitchell et al. 1976), 농약방제작업 중 불침투성 보호복을 착용하는 경우 증발에 의한 열손실은 거의 기대할 수 없게 될 것이다.

국내 농약 살포 작업을 ‘가벼운 손수레를 밀거나 당기는 작업’ 정도의 중등 강도 수준인 대사를 2등급(전체 0~5등급)이라고 가정했을 때, 농업인과 같이 열에 적응된 작업자에 대한 임계(Threshold Limit Values, TLV) WBGT(Wet Bulb Globe Temperature, 습구흑구온도) 기준은 28°C 이다(ISO 7243 2005). 즉, WBGT 28°C 이상일 때 작업자 보호를 위해 작업 중지가 권고된다. 그러나 Lee et al.(2018)의 연구에서 조사된 여름철 국내 농작업 환경의 WBGT의 평균은 29.2°C 로, 이는 ISO 7243(2005)에서 제안한 TLV WBGT 28°C 를 초과하는 온도이다. 더욱이 TLV WBGT 기준은 작업자가 표준 작업복(보온력 0.6 clo)을 착용한 경우로, 농약 방제복과 같이 보온력이 증가되는 경우 TLV WBGT 기준은 하향

조정된다(Bernard et al. 2007). 밀폐된 전신보호복 착용 시 Ramsey(1978)는 WBGT 기준에서 5°C 하향조정을, ACGIH(1990)는 10°C 하향 조정할 것을 제안하였는데, Ramsey(1978)가 제안했던 5°C 조정의 적절성 여부를 검토한 여러 연구결과에서는 10°C 조정이 적절한 것으로 확인되었다(Kenney 1987; Paull & Rosenthal 1987). 면소재의 전신보호복을 착용하는 경우에는 0.6°C (Bernard et al. 2005), Tyvek 전신보호복 착용 시에는 1°C (Bernard et al. 2007) 하향조정이 권장된다. 그러나 이러한 조정값들을 국내 농작업 환경에 적용한다면 어떤 수준의 방제복을 착용하건 농작업자에게 서열부담을 초래할 수 있는 환경으로 평가된다. 따라서 농작업자의 쾌적성을 향상시키고 서열부담을 경감시키기 위해서는 보호복 자체의 보온력을 감소시키는 노력과 함께, 능동적인 인체냉각방법 (예. 의복 내 냉매 삼입, 찬물 음수 등), 1회 작업 입계시간 설정 등이 함께 적용되어야 한다. 특히, P3과 같이 증발 저항이 높은 방제복의 경우 입계작업시간 정보를 제공하여 소비자에게 안전한 착용법이 고지되어야 할 것이다.

3. 보호와 쾌적의 종합적 성능평가

Fig. 1에 제시한 바와 같이, 본 연구에서 측정된 보호와 쾌적의 13개 시험항목에 대해 보호복 4종간 순위는 일치하지 않았다. 소재와 솔기의 물리적 보호성능 수준과 보호복의 성능 등급은 일치하지 않았는데, 이는 P1과 P2.5는 세탁 후 재사용이 가능한 보호복인 반면 P2와 P3은 부직포로 제작된 일회용 보호복인 것에 기인한다. 즉, 보호복의 물리적 성능 수준은 보호등급이 아니라 일회용/반복사용의 측면에서 이해될 필요가 있다. 화학적 보호 성능의 경우 대체로 보호등급 순서를 잘 반영하였다. 쾌적성능 지표인 완제품의 보온력 순위는 정

지, 보행조건에서 각기 다른 경향을 보였고, 두 조건 모두에서 보온력 순위는 보호복의 성능 등급대로 나타나지 않았고, 일관된 정적 또는 부적 관계 역시 찾아볼 수 없었다. 이러한 결과는 보호복에서 보호성능과 쾌적성능이 서로 반비례하는 일반적 경향과는 차이가 있다. 특징적으로 가장 높은 성능 등급 Level C3에 해당하는 보호복인 P3이 보온력에 있어 가장 낮은 쾌적성능 순위를 보일 것이라 예상했으나, 실험 결과 국내 착용률이 높은 시판 방제복인 P2.5의 보온력이 정지 및 보행조건 모두에서 가장 크게 나타나 4위를 차지했다. 이는 소재의 보호성능보다는 의복 총중량 혹은 의복 내 환기량과 관련이 있음을 의미한다. 쾌적성의 또 다른 지표인 완제품의 수증기 증발 저항은 보호등급이 높을수록 더 높은 저항값을 보였다. 추후 실제 인체착용 평가를 통해 파악한 온열불쾌의 수준이 수증기 증발 저항 등급과 비례함이 발견된다면, 수증기 증발 저항 항목은 완제품의 쾌적성을 간단히 평가할 수 있는 단일지표로서 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

V. 요약 및 결론

본 연구는 다양한 성능 수준의 보호복과 농약방제복의 보호성능 및 쾌적성능 평가를 실시하였다. 방제복 소재 및 솔기의 물리적 성능은 높게 나타나 물리적 성능이 다소 저하되더라도 쾌적성에 도움이 되는 새로운 재료나 제작방식의 적용을 고려해볼 필요가 있을 것이다. 화학적 보호성능은 아주 높거나 낮은 수준으로 치우쳐 있어 우리나라 농촌에서 자주 겪게 되는 중등 정도 농약노출 상황에 적합한 방제복 개발이 필요할 것으로 사료된다. 완제품의 쾌적성을 평가할 수 있는 주요 지표인 보온력은 선정된 보호복 모두에서 1 clo 이상으로 큰 편이었는데, 우리나라의 농약 방제작업이 덥고

습한 여름철에 진행되는 작업임을 감안하면 방제복 착용으로 작업자의 서열부담이 더욱 가중될 것임을 추측할 수 있다. 이러한 보온력은 정지조건보다 보행조건에서 작았으므로 농약 방제복의 최소 보호성능은 유지하면서 환기량을 증가시킬 수 있는 적절한 디자인 구성요소 개발이 필요하다. 아울러 서열부담 경감을 위해 능동적 인체냉각방식 도입이나 농약살포 시 1회 작업 임계시간 설정 등도 요구된다. 한편, 본 연구에서는 보호복의 보호등급이 높을수록 쾌적성 지표 중 하나인 수증기 증발 저항값이 높음을 확인하였는데, 추후 인체 착용평가를 통해 수증기 증발 저항과 서열부담 수준 간의 비례 관계가 확인된다면, 보호복 완제품의 쾌적성을 간단히 평가하는 단일지표로 수증기 증발 저항값을 활용할 수 있을 것이다. 마지막으로 농약 방제복 성능을 평가한 다양한 측정항목의 성능 수준은 보호성능 등급과 반드시 비례하지 않았으므로 정확한 성능 진단을 위해서는 보호성능과 쾌적성능을 함께 고려하는 종합적 성능평가가 필요할 것으로 사료된다. 한편, 이상은 보호복 재료 평가 및 완제품 마네킹 평가에 의한 결론으로 결론의 타당성과 안전성을 확보하기 위해서는 다양한 성능 수준별 농약 방제복에 대한 피부 노출량, 피부 흡수율, 서열부담 등을 실증적으로 평가하는 연구가 병행되어야 할 것이다.

References

- ACGIH(1990) Threshold limit values and biological exposure indices for 1990-1991. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH)
- Baek YJ, Hwang SK, Lee HH, Park J, Kim DH, Lee JY(2018) Quantification of thermal insulation by clothing items and analysis of influencing factors. J Korean Soc Cloth Text 42(1), 172-182. doi:10.5850/jksct.2018.42.1.172

- Baldi I, Bouvier G, Cordier S, Coumoul X, Elbaz A, Gamet-Payrastra L, Lebailly P, Multigner L, Rahmani R, Spinosi J, Van Maele-Fabry G(2013) Pesticides, effets sur la santé-Synthèse et recommandations. Expertise collective. INSERM. Paris. France
- Bernard TE, Ashley CD, Garzon XP, Kim JH, Coca A(2017) Prediction of WBGT-based clothing adjustment values from evaporative resistance. *Ind Health* 55(6), 549-554. doi: 10.2486/indhealth. 2017-0121
- Bernard TE, Caravello V, Schwartz SW, Ashley CD(2007) WBGT clothing adjustment factors for four clothing ensembles and the effects of metabolic demands. *J Occup Environ Hyg* 5(1), 1-5. doi:10.1080/15459620701732355
- Bernard TE, Luecke CL, Schwartz SW, Kirkland KS, Ashley CD(2005) WBGT clothing adjustments for four clothing ensembles under three relative humidity levels. *J Occup Environ Hyg* 2(5), 251-256. doi:10.1080/15459620590934224
- Bouskill LM, Havenith G, Kuklane K, Parsons KC, Withey WR(2002) Relationship between clothing ventilation and thermal insulation. *AIHA J* 63(3), 262-268. doi:10.1080/15428110208984712
- Caravello V, McCullough EA, Ashley CD, Bernard TE(2008) Apparent evaporative resistance at critical conditions for five clothing ensembles. *Eur J Appl Physiol* 104(2), 361-367. doi:10.1007/s00421-007-0655-9
- Dejonge JO, Ayers G, Branson D(1985) Pesticide deposition patterns on garments during air blast field spraying. *Home Econ Res J* 14(2), 262-268. doi:10.1177/1077727X8501400210
- Dorman L, Havenith G(2005) The influence of clothing weight and bulk on metabolic rate when wearing protective clothing. *Proceedings The Third International Conference on Human-Environment System*, pp439-443
- Gagge AP, Burton AC, Bazett HC(1941) A practical system of units for the description of heat exchange of man with his environment. *Sci* 94(2445), 428-430. doi:10.2307/1668557
- Hayashi C, Tokura H(2000) Improvement of thermophysiological stress in participants wearing protective clothing for spraying pesticide, and its application in the field. *Int Arch Occup Environ Health* 73(3), 187-194. doi:10.1007/s004200050026
- Hwang KS, Lee KS(2012) A study on development of disposable pesticide protective clothing using biodegradable PLA. *J Korean Soc Living Environ Sys* 19(3), 430-438
- Kenney WL(1987) WBGT adjustments for protective clothing. *Am Ind Hyg Assoc J* 48(9), 576-577
- Kim DH, Baek YJ, Lee JY(2016) Contemporary research to standardize the development and test methods for performance of pesticide protective clothing. *Korean J Human Ecol* 25(2), 185-205. doi:10.5934/kjhe.2016.25.2.185
- Kim J, Ko Y, Lee WJ(2013) Depressive symptoms and severity of acute occupational pesticide poisoning among male farmers. *Occup Environ Med* 70(5), 303-309. doi:10.1136/oemed-2012-101005
- Ladics GS, Smith C, Heaps K, Loveless SE(1994) Evaluation of the humoral immune response of CD rats following a 2-week exposure to the pesticide carbaryl by the oral, dermal, or inhalation routes. *J Toxicol Environ Health A* 42(2), 143-156. doi:10.1080/15287399409531869
- Lee DH, Kim DS, Chung JW, Lee K, Lim HS(2018) Status and awareness of excessive heat exposure among agricultural workers. *J Agric Med Community Health* 43(1), 9-17. doi:10.5393/JAMCH.2018.43.1.009
- Lee HS(2016) Characteristics of pesticide exposure and chronic diseases among farmers. Doctoral dissertation, Hanyang University, pp7-10
- Lee WJ(2011) Pesticide exposure and health. *J Environ Health Sci* 37(2), 81-93. doi:10.5668/JEHS.2011.37.2.081
- Lee YK(2012) The characteristics of pesticide exposure among Korean farmers. *Proceedings 49th Conference of the Korean Society of Occupational and Environment*, pp115-119
- MacFarlane E, Carey R, Keegel T, El-Zaemay S, Fritschi L(2013) Dermal exposure associated with occupational end use of pesticides and the role of protective measures. *Saf Health Work* 4(3), 136-141. doi:10.1016/j.shaw.2013.07.004
- Machera K, Tsakirakis A, Charistou A, Anastasiadou P, Glass CR(2009) Dermal exposure of pesticide applicators as a measure of overall performance

- under field conditions. *Ann Occup Hyg* 53(6), 573-584. doi:10.1093/annhyg/mep032
- McCullough EA, Jones BW, Huck J(1985) A comprehensive data base for estimating clothing insulation. *ASHRAE trans* 91(2), 29-47
- Mitchell D, Senay LC, Wyndham CH, Van Rensburg AJ, Rogers GG, Strydom NB(1976) Acclimatization in a hot, humid environment: energy exchange, body temperature, and sweating. *J Appl Physiol* 40(5), 768-778. doi: 10.1152/jappl.1976.40.5.768
- OECD(2019) Trends and drivers of agri-environmental performance in OECD countries. Available from <https://doi.org/10.1787/b59b1142-en> [cited 2020 August 20]
- Oh J, Roh S(2017) Evaluation of exposure level to pyrethroid pesticides according to protective equipment in male orchard farmers. *Korean J Community Living Sci* 28(3), 391-401. doi: 10.7856/kjcls.2017.28.3.391
- Olesen BW(1985) A new simpler method for estimating the thermal insulation of a clothing ensemble. *ASHRAE trans* 91(2B), 478-492
- Park SK, Kong KA, Cha ES, Lee YJ, Lee GT, Lee WJ(2012) Occupational exposure to pesticides and nerve conduction studies among Korean farmers. *Arch Environ Occup Health* 67(2), 78-83. doi:10.1080/19338244.2011.573022
- Paull JM, Rosenthal FS(1987) Heat strain and heat stress for workers wearing protective suits at a hazardous waste site. *Am Ind Hyg Assoc J* 48(5), 458-463. doi:10.1080/15298668791385048
- Ramsey JD(1978) Abbreviated guidelines for heat stress exposure. *Am Ind Hyg Assoc J* 39(6), 491-495. doi:10.1080/0002889778507794
- Shaw A, Pallen C, Durand-Réville, J, Briand O, Ramos, H(2018) Protective clothing for pesticide: Development of a database to validate ISO 27065 test chemical. *J Consum Prot Food Sa* 13(2), 103-111. doi:10.1007/s00003-018-1151-3
- Shim HS(2016) The evaluation of water vapor transport and waterproofness properties of the waterproof and breathable fabrics. *Korean J Community Living Sci* 27(2), 295-304. doi: 10.7856/kjcls.2016.27.2.295
- van Hemmen JJ, Brouwer DH(1995) Assessment of dermal exposure to chemicals. *Sci Total Environ* 168(2), 131-141. doi:10.1016/0048-9697(95)04617-A
- Wong HL, Garthwaite DG, Ramwell CT, Brown CD(2018) Assessment of exposure of professional agricultural operators to pesticides. *Sci Total Environ* 619, 874-882. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.11.127
- You KS(2004) A Survey on the reason for low acceptability and proposal for its improvement for protective clothing in pesticide applicators. *Korean J Hum Ecol* 13(5), 777-785