

기능성 농약방제복 개발을 위한 소재 및 성능에 관한 연구

황경숙[†] · 김경란 · 이경숙 · 김효철 · 김경수 · 백윤정

농촌진흥청 농업과학기술원 농촌자원개발연구소

The Textiles and the Performance Level in Developing the Pesticide Proof Clothing

Kyoung Sook Hwang[†] · Kyung Ran Kim · Kyung Suk Lee
Hyo Cher Kim · Kyung Su Kim · Yoon Jeong Baek

Rural Resources Development Institute, NIAST, RDA

(2007. 5. 3. 접수)

Abstract

The precaution to spray with agricultural chemicals is very important, in particular personal protective equipment against pesticide in order to protect farmers' pesticide poisoning. The Ministry of Agriculture and Forestry has proclaimed the announcement of pesticide proof clothing(PPC) in 1983, and revised it in 1987. The announcement had many performance items to achieve the high-quality protective clothing for pesticide including weight, density, force strength, dimensional change(in washing and drying), fastness(dyeing, washing, sweating and rubbing) and water resistance of clothes. Announcement of the PPC has better durability and penetration resistance function than former days, but the plenty of farmers didn't wear it because of the intolerable heat. To increase wearing rates, the pesticide proof clothing must be estimated the water-vapour resistance. From the results, the developed PPC with polyester treated water-repellent showed the more excellent comfort than an existing PPC with nylon coated polyurethane. But the developed PPC appeared to have the low water-vapour resistance. Therefore, it is suggested that the property of pesticide penetration must be evaluated through the field test in the future study.

Key words: Personal protective equipment(PPE), Protective clothing, Water-vapour resistance, Pesticide proof clothing; 개인보호장비, 보호의복, 투습성, 농약방제복

I. 서 론

농약은 그동안 병충해의 피해를 줄여주어 식량증산에 큰 공헌을 해 왔으나 그 자체가 지닌 독성 때문에 농업인의 건강에도 적잖은 피해를 주었다. 1981년 국립보건원 조사에 의하면 조사농민 중 50% 정도가 가벼운 농약중독 경험을 갖고 있고, 시급한 의사 치료를 요하는 정도가 4%, 휴식과 치료가 필요하다고

26%로 전체 조사농민 중 80% 이상이 농약에 피해를 입고 있는 것으로 나타났다. 더욱이 우리나라의 농약 사용량이 1994년까지 감소 추세이던 것이 해가 갈수록 농약의 사용량은 늘어만 가는 실정인데(농약공업협회, 2001) 이 같은 농약의 사용증가에 따라서 병충해도 저항성이 커져 농약의 독성과 사용농도가 짙어지는 경향이다. 대부분의 농약사고는 미연에 예방이 가능함에도 불구하고 안전사용 수칙을 지키지 않고 안이한 자세로 농약을 다루는데서 발생하기 때문에 농약의 안전사용법을 잘 이해하고 지킨다면 농약중독 사고는 충분히 예방할 수 있다. 따라서 농약사용자의

[†]Corresponding author
E-mail: hks0475@rda.go.kr

안전사고 예방대책이 중요한 문제로 대두되고 있다.

농약의 취급에 대한 고시나 공고는 농림부, 농촌진흥청 등의 정부기관에서 공포한 것이 있으나, 그 종류는 농약관리에 관한 보고요령, 농약의 안전사용 등에 관한 교육실시요령, 농약의 안전사용기준, 농약 및 원제의 취급제한기준, 농약의 등록시험기준과 방법, 농약의 품목등록신청서류검토기준, 농약의 검사방법 등이다. 이 중 농약방제용 피복장비에 관한 기준이나 규격은 전혀 없으며, 농약 및 원제의 취급제한기준고시 맨 마지막 장에 고독성농약을 사용할 경우 방제복, 보안경, 마스크, 고무장갑을 착용하라는 문구가 들어 있을 뿐이다. 우리나라에서 농약방제복 착용의 필요성을 깨닫고 발표한 정부 관련 법규는 1983년 5월 농수산부 공고 제83-10호를 통하여 방제복의 규격을 공포한 것이 최초이다. 이후 1986년 여름에 기존 방제복의 단점을 보완하기 위하여 관련 기관의 의견을 수렴하여, 1987년부터 새로운 모델의 방제복을 생산 판매하고 있다. 이 방제복은 나일론 원단에 방수코팅을 한 것으로 가볍다. 그리고 망사안감이 부착되어 있어 땀이 났을 때 피부에 달라붙는 것을 방지할 수 있도록 했고, 농약의 침투에도 전보다 안전해졌다. 그러나 이

러한 노력에도 불구하고 농업인들은 더위 스트레스와 작업효율을 감소시킨다는 이유로 방제복의 착용을 꺼려하고 있다(유경숙, 2004b; Hayashi & Tokura, 2004). 이를 위해 농약방제용 피복장비의 성능에 관한 내용을 고찰하고, 현재 실제 착용하고 있는 방제복과 착용시 쾌적성을 향상시킨 방제복 소재를 개발하여 두 소재의 성능을 한국의류시험연구원에 의뢰하여 비교하고 인체 착용평가를 통해 소재의 성능수준과 착용감 관련성을 분석하였다.

II. 연구방법

1. 문헌조사

국내외 국가행정기관의 농약관련 고시나 공고를 분석하여 방제복과 관련된 법령을 고찰하고 동시에 국내외 농약 관련 지침서를 찾아내어 방제복의 안전성을 위한 재료나 성능을 구명하였다. 또한 국내외 화학보호구 (Chemical Protective Clothing; CPC)나 개인보호구 (Personal Protective Equipment; PPE)의 요구성능 및 재료의 성분, 가공법, 기준값 등을 고찰하여 우리나라의

Table 1. Testing item and method of protective clothing for pesticide

Testing item		Method	
Standard	Material	KS K 0210	
	Weight(g/m ²)	KS K 0514	
	Thickness(mm)	KS K 0506	
General performance	Force strength(N)	KS K 0520	
	Puncture strength(N)	EN 863	
	Seam breaking strength(N)	KS K 0530	
	water resistance	High range, hydrostatic pressure method(kPa)	KS K 0592
		Low range, hydrostatic pressure method(cmH ₂ O)	KS K 0591
High level function	Penetration resistance(kPa)	ASTM F 903	
	Water-vapour resistance; Ret(m ² · pa/W)	ISO 11092	
	Surface wetting resistance(level)	KS K 0590	
Properties change to artificial light	Insolation	KS K 0218	
	Force strength(N)	KS K 0520	
Properties change to flex resistance	Flex resistance treatment	ASTM F 392	
	Force strength(N)	KS S 0520	
	Penetration resistance(kPa)	ASTM F 903	
	Water-vapour resistance; Ret(m ² · pa/W)	ISO 11092	

KS : Korean Industrial Standards

ASTM : American Society for Testing and Materials

ISO : International Organization for Standardization

EN : European Standard

농약방제복의 성능평가를 위한 요구항목을 제시하였다.

2. 소재 성능평가

현재 농업인들이 주로 사용하고 있는 4개 회사의 방제복 중 가장 많은 비율을 차지하고 있는 회사의 제품과 투습성을 증가시킨 소재를 개발하여 두 가지 직물에 대해 2006년 12월 중 한국의류시험연구원에 성능평가를 의뢰하여 분석결과를 얻었다. 분석한 시험항목을 <Table 1>에 제시하고 각각의 시험방법을 표기하였다.

1) 규격시험

- (1) 재질: 섬유 제품 중에 혼용되어 있는 섬유의 혼용률을 구하기 위한 시험방법
- (2) 무게: 직물 편성물 및 부직물의 무게 측정
- (3) 두께: 1kPa 이하의 압력을 가한 두개의 레퍼런스 플레이트 사이의 수직거리 측정

2) 일반 성능시험

- (1) 인장강도
주로 직물에 적용
- (2) 꿰뚫림강도

시험 스파이크가 시험편을 관통하여 관통거리가 25mm가 되도록 분당 10mm의 속도로 힘을 가하여 최대 뚫림하중 측정

(3) 봉합강도

봉합선에 수직으로 하중을 가할 때, 봉제품의 봉합강도 측정

(4) 내수도

- 저수압법: 시험편을 조이고 물이 시험편 윗면에 나타나는 순간의 수압 측정
- 고수압법: 시험편 뒷면 3곳으로부터 물방울이 보이기 시작할 때 수압 측정

3) 고기능성 시험

(1) 화학물질침투시험

침투셀에 시험하고자 하는 보호복의 재료를 장착한 후, 재료 외부표면에 해당 시험화학물질을 주입하고, 건조공기 또는 질소로 침투셀을 가압하여 재료 내부표면에 시험화학물질의 방울이 나타날 때의 압력을 측정

(2) 투습저항시험

의복의 쾌적성을 평가하는 방법으로서, 복사, 전도,

대류를 통한 열이동과 수증기의 통과율을 측정. 일반적으로 $2m^2 \cdot K/W \sim 700m^2 \cdot pa/W$ 의 값임

(3) 발수도

직물의 표면 습윤저항성을 측정하는 것으로 5급(표면에 부착 또는 습윤이 없는 것)부터 4급(표면에 약간의 부착 또는 습윤을 나타내는 것), 3급(물이 떨어지지 않은 곳에 습윤을 나타내는 것), 2급(전 표면에 걸쳐 부분적 습윤을 나타내는 것), 1급(전 표면에 습윤을 나타내는 것)으로 성능을 분류

4) 일사처리 후 특성변화

(1) 일사처리

섬유 시험편을 지정된 조건에서 표준 청색 염포와 함께 인공광원에 노출시킨 다음 시험편의 변퇴 정도 같이 노출된 표준 청색 염포와 비교하여 판정

5) 굴곡처리 후 특성변화

(1) 굴곡처리

재료를 일정한 횟수만큼 굴곡시켜 시험편의 손상 유무 평가

3. 인체 착용평가

1) 환경조건 및 실험기간

실험환경은 $30 \pm 0.5^\circ C$, $60 \pm 10\% RH$ 이었으며, 노출 시간 총 90분 동안 10분 휴식, 10분 운동을 4회 반복하여 총 50분 휴식, 40분 운동을 하였다. 운동은 한국인에게 적절한 step test의 높이인 30cm를 선택하여(이장소, 1989) 선행연구(최정화, 이주영, 2002)에서 농약 살포시 측정된 심박수의 평균인 100beats/min(bpm)의 강도로 실시하였다. 이 때 모든 피험자는 예비실험을 통해 100bpm의 심박수를 나타내는 step test의 속도를 설정하였다. 최대 4초에 한번 오르내리기에서 최소 6초의 속도를 갖는 것으로 나타났다.

실험기간은 2006년 7월부터 8월까지였으며, 반복 실험에 의한 더위 적응이 되지 않도록 실험횟수를 일주일에 2-3회로 제한하고 방제복의 실험순서도 무작위로 선택하였다.

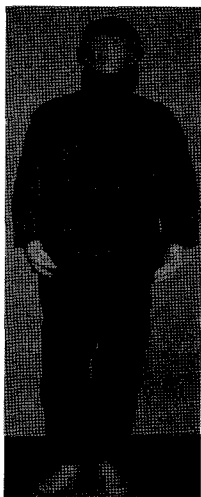
2) 피험자 및 실험방제복

신체 건강한 20대 남자 7명을 대상으로 하였으며, 평균연령은 24.2 ± 2.0 세, 키는 174.1 ± 3.2 cm, 몸무게는 74.8 ± 2.4 kg, 체표면적($Weight^{0.425} \times Height^{0.725} \times 72.46$)은

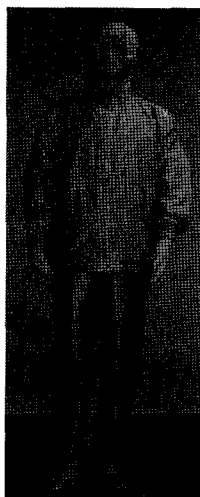
1.84±0.3m²이었다. 실험의복은 방제복 2종류(발수가 공 처리한 폴리에스테르; 508g, 폴리우레탄 코팅 처리한 나일론; 734g)였으며 실험의 반복으로 1명당 총 4회의 실험을 행하였다. 각 방제복의 형태를 <Fig. 1>에 제시하였다. 실험동안 내의로 면소재의 민소매 런닝과 사각팬티, 면양말을 착용하도록 하였다. 각 피험자는 25±1°C의 쾌적한 방에서 실험복으로 갈아입고 모든 측정센서를 착용한 뒤 안정을 회복한 후 인공기 후실에 입실하였다.

3) 측정항목

90분 동안 휴대용 피부온도 측정기(LT 8A, Gram Corp., Japan)로 7부위 피부온도(이마, 배, 아래팔, 손등, 넓적다리, 종아리, 발등)와 직장온도를 측정하고, 휴대용 자동 온·습도 기억장치(Thermo Recorder RS-10, Tabai Espec Corp., Japan)로 가슴부위 의복내 온도 및 습도를, 심박수 측정기(Polar Sports Tester, Polar Electro INC, Finland)로 심박수를 측정하였다. 평균피부온도는 DuBois의 7부위 식을 이용하여 계산하였다. 총발한량은 실험 전후의 체중의 변화량에 의해 계산하였고, 등과 넓적다리부위의 국소 발한량은 여과지법을 이용하였다. 주관적 감각은 Winakor의 11단계 척도를 이용하여 10분 간격으로 측정하였다.



Nylon



Polyester

Fig. 1. The design of two pesticide proof clothing.

4. 자료 분석

실험에 의해 얻어진 측정치는 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 각 독립변인과 방제복간의 차이를 알아보기 위하여 각 변인별로 paired t-test를 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 농약방제복 관련 국내외 규정

1) 농림부에서 발효한 농약방제복 관련 공고

1987년에 공표된 농림수산부 공고 제87-7호가 있으며 공고의 명칭은 농약살포용 방제복과 개량마스크규격이다. 그 내용에는 방제복 재료, 방제복의 모양 및 구조, 마름질 및 바느질, 시험방법, 검사, 표시 등이 있다.

- (1) 방제복 재료 - 겉감: 나일론+폴리우레탄 수지 도포
안감: 나일론·폴리에스테르 망사
- (2) 방제복의 모양 및 구조
- (3) 시험방법(성능시험항목) - 무게, 밀도, 인장강도, 수축율, 염색견뢰도(일광, 세탁, 땀, 마찰), 내수도, 블로킹성
- (4) 검사 - 이화학검사, 외관검사
- (5) 표시 - 호칭, 제품치수, 제조자, 섬유 혼용율, 세탁손질, 보관방법 및 주의사항

위 공고에 따르면 농약방제복의 소재는 나일론 직물에 농약침투를 방지하기 위한 폴리우레탄수지를 도포하도록 되어 있어서 현재 상용화되어 있는 기능성 소재와 가공처리방법의 적용이 불가하다. 또한 디자인 면에서 한가지로 단일화할 것이 아니라 작물의 종류에 따라 머리 위로 분사, 어깨, 허리, 무릎 부근에서만 분사하는 등 살포방법이 다르므로 살포방법에 따른 농약방제복의 디자인의 다양성을 추구하는 것이 바람직할 것이다.

따라서, 새로운 공고는 현재 그리고 미래에 많은 기능성 신소재가 개발될 것이므로 현재 직물 시장에 맞추어 소재 즉 방제복 재료를 지정할 필요가 없으며, 방제복의 모양 및 구조도 작물의 높이나 농약살포방법에 따른 다양성을 추구하여야 한다.

미국의 경우 EPA(Environmental Protection Agency)에서 제정한 지침서에 농약을 취급하는 사람의 보호의 소재가 라미네이트, PVC, 고무 등으로 농약침투를

Table 2. The performance level of testing item to material(Ministry of Labor: 2004)

	Item(unit)	Performance level(class)					
		6	5	4	3	2	1
Material	Transmit resistance(min)	>480	>240	>120	>60	>30	>10
	Penetration resistance(kPa)	>34	>28	>21	>14	>7	>3.5
	Force strength(N)	>1,000	>500	>250	>100	>60	>30
	Tearing strength(N)	>150	>100	>60	>40	>20	>10
	Puncture strength(N)	>250	>150	>100	>50	>10	>5
	Abrasion resistance(time)	>2,000	>1,500	>1,000	>500	>100	>10
	Flex resistance(time)	>100,000	>40,000	>15,000	>5,000	>2,500	>1,000
	Combustion resistance(second)	None	None	None	5	1	flame pass
Seam	Transmit resistance(min)	>480	>240	>120	>60	>30	>10
	Penetration resistance(kPa)	>34	>28	>21	>14	>7	>3.5
	Seam force strength(N)	>500	>300	>125	>75	>50	>30
	Coupla intensity	If coupla is less than 100N, it should not destroy nor separate					

방어하도록 하여야 하고, 면이나 가죽 소재는 사용하지 말 것을 명시하고 있으나 농약방제복의 소재가 지정되어 있지는 않다(EPA, 1993).

2) 노동부에서 발효한 보호복 관련 공고

2004년 공표된 노동부 고시 제 2004-49호의 보호구 성능검정규정 중 제 6편 안전장갑 및 제 12편 보호복 규격에 유기화합물용 보호복에 관한 성능수준이 기재되어 있다. 그 내용은 유기용제의 침투성을 측정하는 투과저항과 침투저항, 내구성을 평가하는 인장강도와 인열강도, 꿰뚫림강도, 사용기간에 의한 내구성 저하를 평가하는 마모저항, 굴곡저항 등으로 구성되어 있다. 재료로서가 아니라 의복으로 제작시의 침투성을 측정하는 투과저항과 침투저항, 내구성을 평가하는 솔기인장강도, 접합부 연결강도 등의 항목도 성능수준별로 값을 구분하여 제시하고 있다(Table 2).

투과저항 및 침투저항에 사용되는 시험화학물질은 메탄올, 아세톤, 디메틸포름아미드, 아세토니트릴, 디클로로메탄, 이황화탄소, 톨루엔, 디메틸아민, 테트라하이드로퓨란, n-헥산, 에틸아세테이트 등 11가지로 규정하였다. 일반적으로 사용되는 물질에 대해서는 1 수준 이상이면 인체에 안전하다고 평가하였다.

그러나 시험항목을 살펴보면, 내구성과 물질의 침투를 방지하는 기능을 평가하는 항목에 치중하고 있어 농림부의 공고와 마찬가지로 인체의 더위로 인한 불쾌감을 줄일 수 있는 시험항목은 없는 실정이다. 다만, 방제복과 달리 유기화합물용 보호복인 경우 실

내에서 착용하는 사례가 많기 때문에 에어컨 등의 냉방장치를 사용하는 비율이 높을 것으로 추측된다. 따라서 더운 시기에 더운 외부에서 작업해야 하는 농약 방제용 피복장비는 더위 축적을 줄일 수 있는 기능을 반드시 갖고 있어야 한다. 또한 농업인의 안전한 방제작업을 위해 의복으로서의 내구성(꿰뚫림강도, 일사·굴곡·세탁처리 후 인장강도), 농약에 대한 불침투성(화학물질 침투시험, 굴곡·세탁처리 후 화학물질 침투시험, 발수도)과 착용시 작업자의 쾌적감을 증진시키기 위한 투습성(투습도, 굴곡·세탁처리 후 투습도) 평가 항목을 도입하여야 한다.

3) 외국 보호복 관련 기준

많은 외국 문헌들이 보호복이나 방제복에 관한 성능항목으로 <Table 3>에 나열한 것처럼 침투성과 쾌적성을 가장 중요하게 평가하고 있으며, 이 중 쾌적성을 평가하는 항목으로 직포의 경우 두께, 구조, 공기투과도, 수증기 투과율 등을(USDA, 2001), 부직포인 경우 무게, 두께, 공기투과도 등이며 특히 온열적 쾌적성은 공기투과도가 좋아야 함을 강조하고 있다(Obendorf, 2003).

미국의 EPA(Environmental Protection Agency)에서 발간한 농약취급자를 위한 지침서에 따르면 개인 보호구(Personal Protective Equipment; PPE)의 재료로 농약이 침투할 수 없는 라미네이트 처리된 것, PVC, 고무류 등을 권하고 있으며, 가죽 제품은 사용을 금지하고 있다(EPA, 1993). 구미나 유럽은 농약살

Table 3. Testing item and standard of protective clothing for pesticide

		the country	foreign
Durability	Force strength (warp/weft); N	Ministry of Labor(2004); 30 over	Hinz et al(2000); 600/400 over
	Tearing strength; N	Ministry of Labor(2004); 10 over	Hinz et al(2000); 25 over
Penetrability	Penetration resistance; kPa	Ministry of Labor(2004); 3.5 over	Anugrah(2004); 0.1ml over
Comfort-ability	Water-vapour resistance; $m^2 \cdot pa/W$	None	Hinz et al.(2000); $20m^2 \cdot pa/W$ below Hanson(2000); $20W \cdot m^2$ below Anugrah(2004); 3.8% below

Table 4. Testing results of protective clothing for pesticide

Testing item			Marketing product fabric	Development fabric
standard	Material	outer(coating)	Polyurethane	Polyester
		inner	Nylon	Polyolefin
	Weight; g/m^2		95.1	80.0
	Thickness; mm		0.11	0.16
General performance	Force strength(warp/weft); N		695/536	577/705
	Puncture strength; N		40.6	69.1
	Seam breaking strength; N		529	256/167
	Water resistance of cloth	High range, hydrostatic pressure method; kPa	1363	33
Low range, hydrostatic pressure method; cmH_2O		1000 over	39	
High level function	Penetration resistance; kPa		>34	4.1
	Water-vapour resistance(Ret); $m^2 \cdot pa/W$		308.5	15.3
	Surface wetting resistance; level		555	555
Change after insolation	Force strength (warp/weft); N	10 hours	657/513	559/686
		300 hours	378/253	311/378
Change after flexion	Penetration resistance; kPa	1000 times	12.4	3.8
		50000 times	4.4	3.7
	Force strength (warp/weft); N	1000 times	686/521	557/678
		50000 times	625/384	476/587
	Water-vapour resistance; $m^2 \cdot pa/W$	1000 times	329.7	13.7
		50000 times	351.3	13.5

포면적이 넓기 때문에 항공방제를 하는 등 우리나라와 살포방식이 다르기 때문에 농약보호구의 재질 규정이 농약을 취급할 때를 대상으로 하는 경우가 대부분이다. 따라서 방제복의 재질이나 성능에 관한 것보다는 앞치마, 장갑, 신발 등의 보조장비에 대한 재질이 규정되어 있다(FAO, 1990).

2. 소재 성능평가 결과

실제 농촌에서 사용중이며, 판매량이 가장 많은 A

사의 농약방제복 소재와 투습성을 증가시켜 착용시 쾌적감을 향상시킨 개발 소재, 총 2종을 한국의류시험연구원에 의뢰하여 성능을 비교분석하였다. 얻어진 결과는 다음과 같았다(Table 4).

1) 소재의 규격

기존 직물은 나일론 소재에 방수성을 부여하기 위해 폴리우레탄 코팅을 한 것으로 매우 가벼운 재질이나 이러한 가공법은 투습성을 낮추어 착용시 쾌적감을 저하시키는 단점이 있다. 개발 소재는 방제작업시

비산되는 액상의 농약물질이 방제복으로 유입되는 것을 차단하고 작업으로 인해 발생하는 열기와 땀을 효과적으로 흡수하여 빠르게 건조시켜 주는 흡한속건 기능과 양방향 통기기능을 부여한 이중직 직물이다. 걸감은 폴리에스테르이고 안감은 폴리오레핀사로 편직되었으며 투습방수필름을 넣지 않은 것이 특징이다.

2) 일반 성능시험

두 직물 모두 인장강도, 꿰뚫림강도, 봉합강도 등에서 높은 값을 보여 튼튼한 직물로 평가되었다. 유럽기준의 400N 이상의 인장강도를 보여 보호구로써 적절한 내구성을 지니고 있었다(Hormer, 2006). 개발 소재의 내수도가 기존 소재에 비해 매우 낮아서 농약의 침투에 대한 방호기능을 착용시험을 통해 평가할 필요성이 제기되었다.

3) 고기능성 시험

기존 소재의 경우, 화학물질 침투시험 결과 농약의 의복내에 침투하지 않음이 증명되었으나, 투습저항 시험에서 유럽 기준의 $20m^2 \cdot pa/W$ 값보다 무려 10배 이상인 값을 보여 인체에서 발생하는 불감증설이나 땀의 의복을 통해 배출되지 않음이 예상되었다. 반면, 개발 소재는 투습성은 $15.3m^2 \cdot pa/W$ 로 매우 쾌적할 것으로 예상되나 침투저항이 4.1kPa로 노동부 고시의 1 수준 수치이므로 착용에 의한 침투성 시험이 필요하다. 두 직물 모두 발수도는 우수하여 외부에서의 액체가 의복내로 흡수되지 않을 것으로 예상되었다.

4) 일광견뢰도

두 시료 모두 300시간 태양광에 노출된 후 인장강도의 값이 의복으로서 내구성이 좋은 것으로 평가되었다.

5) 굴곡저항

50,000회 굴곡처리 후 침투저항이 많이 낮아졌으나 기존/개발 소재의 값이 각각 4.4kPa, 3.7kPa으로 농약이 침투하지 못하는 수치이므로 안전하다고 판단되었다.

섬유에 부여되는 기능성은 대부분 단독으로 혹은 복합적으로 섬유에 부여되며, 그 중에는 방수성, 투습성과 같은 서로 상반되는 성질의 기능도 있다. 1970

년대 도입된 투습방수 소재는 현재는 기술적으로 성숙기에 접어들었으며 레저스포츠가 생활의 일부로 정착되면서 스포츠웨어뿐 만 아니라 스트리트(street) 패션으로 사용범위가 확대되어 여러 가지 기능을 갖는 투습방수 소재가 요구되고 있다. 또한 첨단과학에 힘입어 질감이나 착용감 또는 환경친화성 등 다양한 요구를 충족하는 고기능성 제품의 개발이 요구되고 있다. 최근에는 이러한 투습방수 소재에 다양한 기능을 복합화하는 경향을 보이고 있다. 스판덱스 혼입 필라멘트 또는 권축가공사로부터 만든 직물, 편성물을 무장력 상태의 기포에 코팅시키는 방식 또는 별도의 기포에 코팅한 수 전사, 접착시키는 방식에 의하여 미다공질 코팅 피막을 형성시키는 방법을 통한 스트레치형 투습방수 소재의 개발이 그 한 예이다. 나노 표면가공을 통한 방수성 부여로 방수성은 유지하면서 투습성을 향상시키는 소재의 개발도 이루어지고 있으며 최근에는 경량화 및 캐주얼화 경향에 따라 20d 이하의 細섬도사를 이용한 초경량 박지의 고기능화 및 소프트셸 소재에 대한 관심이 증가하고 있다. 소프트셸(Soft Shell)은 하드셸과 달리 부드러우면서 스트레치성을 갖는 방수, 방풍, 발수 기능을 지닌 원단을 말한다(한국섬유산업연합회, 2005). 이러한 첨단 소재를 사용한다면 좀 더 쾌적한 방제복을 얻을 수 있을 것이며, 이러한 쾌적성을 평가할 수 있는 성능항목이 규정되어야 할 것이다.

따라서 방제복으로서의 내구성이 기준에 합당하다면 침투성이 우수하면서 투습저항값이 되도록 낮은 소재를 선택하여 농작업자의 안전과 쾌적성을 모두 만족하는 방제복 개발이 이루어져야 하며, 이를 뒷받침할 수 있는 내구성, 침투성, 투습성 등의 기준값을 기준으로 하는 농약방제복을 포함한 보호구의 성능 규정을 제정해야 함이 우선되어야 한다.

3. 인체 착용평가

실험동안 각 인체 생리반응의 결과를 평균값과 유의차가 있었는지 <Table 5>에 나타내었다. paired t-test 결과에 의하면 직장은, 피부온, 의복내 습도, 주관감 항목에서 개발방제복이 더 우수한 것으로 나타났다. 심박수, 의복내 온도항목은 유의차를 보이지 않았다. 발한량은 측정값이 적어서 통계처리를 할 수 없었다.

Table 5. Physiological responses during the experiment

Type of pesticide proof clothing	Polyester	Nylon	t
T _{re} (°C)	37.43 (99.60%)	37.59(100%)	7.634**
T _{sk} (°C)	34.68 (97.44)	35.60(100)	14.099**
T _{cl, chest} (°C)	32.99 (96.77)	34.09(100)	-0.084
H _{cl, chest} (%RH)	90.16 (93.96)	95.96(100)	-21.569**
HR(bpm)	90.94 (90.43)	101.67(100)	1.662
Total body weight loss(g/90min)	424.21 (56.52)	750.55(100)	-
Local sweat rate in back(g/12cm ² /90min)	1.183(47.46)	2.493(100)	-
Local sweat rate in thigh(g/12cm ² /90min)	0.276(45.04)	0.613(100)	-
Thermal sensation	2.23 (66.97)	3.33(100)	-25.285**
Humidity sensation	2.52 (75.45)	3.34(100)	4.612**
Thermal comfort	2.29 (70.90)	3.23(100)	6.483**

***p*<.001

1) 발한량

기존의 나일론 소재로 된 방제복을 착용하였을 때, 30°C의 작업환경에서 90분 노출 후 총발한량은 750.55 g/90min이었다. 이에 반해 개발된 폴리에스테르 소재의 경우 424.21g/90min으로 나일론 착용시 발한량을 100으로 하였을 때 발한량이 43.48% 절감되었다. 농민들이 원하는 방제복의 조건은 농약에 대한 방어효과가 있어야 함은 당연하며, 열스트레스가 낮고 작업효율을 떨어뜨리지 말아야 할 것을 들고 있다. 방제복 착용의 첫 번째 문제점은 입으면 덥고 불쾌함, 둘째 일의 능률감소 즉 동작적응성이 낮고 비정상적인 생리상태에 의해 2차적으로 나타나는 체력의 저하에 따른 것이다(유경숙, 2004a). 특히 고온의 조건에서 방제복을 입고 작업할 때는 땀의 증발이 현저히 억제되기 때문에 피로하게 느끼는 시간도 매우 단축된다(Holmer, 1995).

2) 직장온도

나일론 방제복인 경우 90분 노출동안 37.59°C의 직장은 평균값을 보였으나 개발 방제복을 착용하였을 때는 37.43°C로 약 0.16°C 낮았다.

Occupational Safety and Health Administration(OSHA)에서는 보호의복을 착용하고 작업하는 경우 구강온도는 38.1°C를 넘어서는 안되며, 37.6°C를 초과하면 다음 작업은 적어도 3분의 1은 단축되어야 한다고 명시하고 있다(OSHA, 2002). 이러한 선행연구에 의하면 나일론 방제복은 작업시 심각한 열부담이 축적되어 건강에 유해한 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다.

방제복의 정의가 의미하듯이 농약방제복은 열 및

습기의 이동을 제한하는 재질로 만들어질 수밖에 없기 때문에 착용자에게 적절한 열의 발산을 방해하여 상당한 열축적을 유발한다. 게다가 일반적으로 농약의 살포는 연중 기온이 높은 시기인 늦봄-초가을 사이에 집중적으로 수행된다. 이는 방제복을 착용하고 벼 방제 작업을 할 때 직장온과 심박수가 현저히 높아짐을 통해 알 수 있다(Choi et al., 2001). 농업인이 29.8°C, 68.6%R.H.의 온열환경에서 방제작업을 할 때 심부온은 37.8°C였으며, 이는 ACGIH, WHO 등에서 제시한 서열작업시 넘기지 말 것을 권고한 38°C에 근접한 값으로 서열부담이 매우 컸음을 알 수 있다. 또한 심박수는 112bpm이었다(최정화, 이주영, 2002).

3) 평균피부온도

나일론 방제복인 경우 90분 노출동안 35.60°C의 평균값을 보였으나 개발 방제복을 착용하였을 때는 34.68°C로 약 0.92°C 낮았다.

Raheel(1994)에 의하면, 농업인들은 농약중독의 위험성을 간과하기 쉽고 이 때문에 방제복 대신 면이나 cotton/PET 소재의 셔츠 및 바지, 모자를 착용하고 이전에 착용했던 방제복을 포함한 PPE(personal protective equipment)의 불쾌감을 기억하여 새로운 보호의를 거부하였다고 한다. 방제복 착용이 일으키는 피부온의 상승은 심부온 상승과 더불어 새로운 형태의 보호의를 개발할 때 중점적으로 고려하여야 할 항목이다.

4) 심박수

나일론 방제복인 경우 90분 노출동안 101.67bpm의

평균값을 보였으나 개발 방제복을 착용하였을 때는 90.94bpm으로 약 10% 낮았다. 그러나 유의성은 없었다.

심박수로 고강도 작업을 평가하는 경우에는 8시간 작업인 경우 평균 110bpm 이상이어서는 안되고, 1분 이상 최고 심박수가 피험자 최대 심박수의 90% 이하로 할 것을 규정하고 있다(Bernard, 1996). 국내 방제복 관련 연구에서는 2명의 농업인을 대상으로 방제복이 아닌 일반 작업복을 착용하고 29.9°C, 43% R.H./31.9°C, 59% R.H.의 환경에서 각각 방제작업을 한 경우 95.9bpm과 82.7bpm의 심박수를 보여 방제복 착용이 열부담을 가중시키는 것을 알 수 있다(김경란, 1998).

그러나 농약중독 등의 피해를 막으려면 방제복 착용은 반드시 지켜져야 한다. 따라서 방제복 착용율을 높이기 위한 대책이 필요하며 그 중 하나로 많은 연구자들이 농약침투에 안전하면서도 투습성이나 통기성이 우수한 쾌적한 방제복 개발이 필요함을 주장해 오고 있다(유경숙, 2004a; 정연, 성수광, 1994; 정영옥, 1995; 최정화 외, 1987).

5) 의복기후

의복내 온도의 항목을 보면, 나일론 방제복인 경우 90분 노출동안 34.09°C의 평균값을 보였으나 개발 방제복을 착용하였을 때는 32.99°C로 약 1.1°C 낮았다. 그러나 유의성은 없었다. 의복내 습도인 경우는, 나일론 방제복을 입었을 때 95.96%R.H.인 것에 반해 폴리에스테르 소재를 착용하면 90.16%R.H.로 약 10% 정도 유의하게 낮았다. 본 연구는 작업부하를 재현한 것이므로 실제 농촌에서 작업할 경우에는 노동강도가 세서 의복내 기후가 더 높을 것으로 예상된다. 따라서 더운 환경에서 고강도의 방제작업을 할 경우 발한량이 매우 증대되므로 수분증발이 약간이라도 될 수 있는 기능성 신소재를 활용한 새로운 방제복의 개발이 반드시 이루어져야 한다.

6) 주관적 감각

온열감, 습윤감, 쾌적감 모두 유의하게 개발 소재인 폴리에스테르 착용이 덜 덥고, 덜 습하고, 덜 불쾌하다고 답하였다. 평균피부온도에 따른 주관적 반응은 대략 피부온이 32.8°C일 때 '쾌적하게 시원한', 33.9°C일 때 '쾌적한', 34.4°C일 때 '약간 따뜻한', 35.5°C일 때 '불쾌하게 따뜻한', 36.7°C일 때 '매우 더운'으로 알려져 있다(Woodson, 1987). 본 결과를 적용하면 폴리

스테르 소재인 경우 평균피부온이 34.68°C로 '약간 따뜻한', 나일론 방제복은 35.60°C로 '불쾌하게 따뜻한'의 주관감인 것으로 예상되었으며, 실제 결과도 아주 뜨거움이 5일 때 폴리에스테르 2.2점, 나일론 3.3으로 선행연구와 비슷하였다.

주관적, 객관적 생리반응을 종합한 결과, 기존의 나일론 소재의 방제복과 비교해 투습도를 증진시킨 폴리에스테르 소재의 방제복을 착용하였을 때 더 시원하고 쾌적한 것으로 나타났다.

이상의 결과에서, 투습성을 향상시킨 농약방제복 착용은 방제작업시 인체 축적 열부담을 줄이고, 방제복 안에 고이는 땀을 외부로 배출시켜 기존의 나일론 소재 방제복에 비해 쾌적성이 향상되었음을 알 수 있었다. 그러나 내수도와 침투저항 값이 낮아서 농약의 침투에 대한 방호기능을 실제 농촌에서의 착용시험을 통해 평가할 필요성이 제기되었다.

IV. 요약 및 결론

우리나라에서 농약방제복 착용의 필요성을 깨닫고 발표한 정부 관련 법규는 1983년 5월 농수산부 공고 제83-10호를 통하여 방제복의 규격을 공포한 것이 최초이다. 이후 1986년 기존 방제복의 단점을 보완하기 위하여 농약방제복 관련 기관의 의견을 수렴하여, 1987년부터 새로운 모델의 방제복을 생산 판매하고 있다. 이 방제복은 나일론을 원단으로 하고 이 위에 방수코팅을 한 것으로 가볍다. 그리고 망사안감이 부착되어 있어 땀이 났을 때 피부에 달라붙는 것을 방지할 수 있도록 했고, 농약의 침투에도 전보다 더욱 안전해졌다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 농업인들은 더위에 의한 스트레스와 작업효율을 감소시킨다는 이유로 방제복의 착용을 꺼려하고 있다. 이를 위해 기존 문헌을 통해 농약방제용 피복장비의 성능에 관한 내용을 고찰하고, 현재 실제 착용하고 있는 방제복과 착용시 쾌적성을 향상시킨 방제복 소재를 개발하여 두 소재의 성능을 한국의류시험연구원에 의뢰하여 비교하고 인체 착용평가를 통해 소재의 성능수준과 착용감 관련성을 분석하였다.

방제복 비교 성능항목은 규격(재질, 무게, 두께), 일반성능(인장강도, 꿰뚫림강도, 봉합강도, 내수도), 고기능성(화학물질 침투시험, 투습저항시험, 발수도), 일사처리·굴곡처리 후 특성변화 등이었다. 인체 착용평가 실험기간은 2006년 7월부터 8월까지였으며, 신체

건강한 20대 남성 7명을 대상으로 방제복 2종류(기존 소재-폴리우레탄 코팅 처리한 나일론; 734g, 개발 소재-발수가공 처리한 폴리에스테르; 508g)에 대한 쾌적성 비교를 하였다. 측정항목은 발한량, 피부온, 심부온, 심박수, 의복기후, 주관감 등이었다. 다음은 결과이다.

1. 방제복의 성능을 평가하기 위해서는, 농업인의 안전한 방제작업을 위해 의복으로서의 내구성, 농약에 대한 불침투성과 착용시 작업자의 쾌적감을 증진시키기 위한 투습성 평가항목을 도입하여야 한다.

2. 소재 성능평가 결과, 폴리우레탄 코팅을 한 나일론 소재의 기존 방제복은 내구성과 침투성은 우수하나 투습성이 낮아서 착용시 땀을 발산시키지 못하여 쾌적성이 나쁜 것으로 나타났다. 이에 반해 개발한 폴리에스테르 소재는 흡습속건 기능과 양방향 통기 기능을 부여한 이중직 직물로 투습성이 높아서 쾌적할 것으로 예상되었다. 그러나 내수도가 낮아서 농약의 침투에 대한 방호기능을 현장실험을 통해 평가할 필요성이 제기되었다.

3. 인체 착용평가 결과, 직장온, 평균피부온, 심박수, 의복내 온도 및 습도, 발한량, 주관감 모두 개발된 폴리에스테르 소재의 방제복을 입었을 때가 기존의 나일론 방제복을 입은 경우보다 유의하게 시원하고 쾌적한 것으로 평가되었다.

참고문헌

- 김경란. (1998). 노지고추재배 농업인의 농업노동 투하량 연구. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
- 노동부. (2004). 보호구성능검정규정-제6편 안전장갑 및 제12편 보호복 규격. 노동부고시 제2004-49호.
- 농림수산부. (1987). 농약살포용 방제복과 개량마스크 규격 개정. 농림수산부 공고 제 87-7호.
- 농약공업협회. (2001). 2000농약연보. 서울: 농약공업협회.
- 유경숙. (2004a). 농약살포자의 방제복 미작용 요인 및 착용감 개선방안 고찰. *한국생활과학회지*, 13(5), 777-785.
- 유경숙. (2004b). 소규모 농가에서의 농약의 사용행태 및 방제복 착용현황에 대한 조사. *한국의류학회지*, 28(9/10), 1292-1299.
- 이장소. (1989). 한국인의 Step Test 기준치 설정에 관한 연구. *한국체육학회지*, 28(2), 179-188.
- 정연, 성수광. (1994). 농약방제복 착용시의 생리적 반응 및 착의감각. *한국인간온열환경학회지*, 1(1), 31-40.
- 정영옥. (1995). 농약방제복의 기능성과 쾌적성. *농촌생활과학*, 16(2), 55-58.
- 최정화, 김현식, 정영옥. (1987). 농약방제복 개발에 관한 연구. *한국의류학회지*, 11(2), 91-100.
- 최정화, 이주영. (2002). 농약방제 작업자의 작업환경 및 노동부담평가. *한국의류학회지*, 26(11), 1672-1681.
- 최신섬유기술 동향-정보자료 2005-2. (2005, 11). *한국섬유산업연합회*. 자료검색일 2006, 5. 12, 자료출처 <http://www.kofoti.or.kr/bbs/download.php?fileid=6128>
- Bernard, T. E. (1996). *Occupational heat stress in occupational ergonomics*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Choi, J. W., Chung, S. T., & Hwang, K. S. (2001). Environmental condition and humanbody burden of farm work in Korea-In the view of workload, sleeping hour, humanbody burden. *Japanese Society of Farm Work Research*, 36(1), 9-16.
- Environmental Protection Agency. (1993). Protect yourself from pesticides-Guide for pesticide handlers. *U.S. Environmental Protection Agency*. Retrieved February 8, 2006, from http://www.ag.ndsu.nodak.edu/aginfo/pesticide/pdf/wps/EPA_WPS_Handler.pdf.
- Food and Agriculture Organization of the united nations. (1990). Guidelines for personal protection when working with pesticides in tropical climates. *FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS*. Retrieved February 8, 2006, from <http://www.fao.org/ag/agp/agpp/pesticide/Code/Download/protect.doc>
- Hayashi, C. & Tokura, H. (2000). Improvement of thermo-physical stress in participants wearing protective clothing for spraying pesticides and its application in the field. *Int Arch Occup Environ Health*, 73, 187-194.
- Holmer, I. (1995). Protective clothing and heat stress. *Ergonomics*, 38, 166-182.
- Holmer, I. (2006). Protective clothing in hot environments. *Industrial Health*, 44, 404-413.
- Occupational Safety and Health Administration. (2002). Technical manual, section VIII, Chapter 1: Chemical protective clothing. *Occupational Safety and Health Administration*. Retrieved February 8, 2006, from http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_viii/otm_viii_1.html.
- Obendorf, S. K. (2003). Improving the understanding and acceptance of personal protective equipment(PPE). Retrieved December 7, 2005, from <http://www.ntcresearch.org/pdf-rpts/AnRp02/M01-CR02-A2.pdf>.
- Raheel, M. (1994). *Protective clothing systems and materials*. New York: Marcel Dekker.
- US Department of Agriculture. (2001). Mediating exposure to environmental hazards through textile systems-Regional research NC-170. *USDA*. Retrieved December 7, 2005, from <http://hosts.cce.cornell.edu/txnc170/proposal.html>
- Woodson, W. E. (1987). *Human factors reference guide for process plants*. New York: McGraw-Hill.