

부직포를 이용한 쾌적한 농약 방호복 개발

조길수* · 최종명** · 김양희*

(*연세대학교 생활과학대학 의생활학과, **서원대학교 가정교육과)

Development of Comfortable Pesticide Protective Clothing System Using Nonwoven Fabrics

Cho, Gil-soo* · Choi, Jong-myung** · Kim, Yang-Hee

*Dept. of Clothing and Textiles, Yonsei Univ.

**Dept. of Home Economics Education, Seowon Univ.

Abstract

The objectives of this study were: 1) to evaluate the pesticide barrier property and performance property of untreated and treated nonwoven fabrics (Tyvek, Sontara, and Kimlon), 2) to determine performance change before and after laundering, 3) to investigate the comfort properties of newly developed pesticide protective clothing based on both barrier property and comfort properties.

The pesticide barrier properties (amount of pesticide penetration and residue) were measured by the gas chromatography. The performance properties were evaluated with respect to water repellency (KS K 0590), oil repellency (AATCC 118), water resistance (KS K 0591, AATCC 42), water vapor transmission (KS A 1013) and air permeability (KS K 0570). The antimicrobial activity was evaluated by shake flask method. As a next step, wearing experiment was conducted for the actual human-body system in the conditioned laboratory adjusted to maintain the condition of common pesticide spraying environment, $28 \pm 2^\circ\text{C}$ and $70 \pm 5\%$ RH. In the experiment above, a newly developed protective clothing made with water-oil repellent finished nonwoven fabrics which differ just in conventional protective clothing made with PU coated nylon were worn. Skin temperature, microclimate temperature and humidity were measured by thermohygrometer. The subjective wear sensation were asked using previously developed thermal, humidity, and comfort scales.

The results obtained from this study were as follows: The untreated Sontara showed much more amount of pesticide penetration than untreated Tyvek and Kimlon, while water and oil repellent, and dual functional finished Sontara showed little amount of pesticide penetration. The laundered Sontara showed lower pesticide residue than Tyvek and Kimlon. The water and oil repellent, and the dual functional finish improved both water and oil repellency and water resistance of Sontara and Kimlon, and oil repellency and water resistance of Tyvek. The untreated Sontara and Kimlon showed higher water vapor transmission and air permeability than untreated Tyvek. The antimicrobial and dual functional finished nonwoven fabrics showed excellent antimicrobial activity.

In the experiment using the thermohyrometer, the water and oil repellent finished Sontara showed lower skin temperature, microclimate temperature and humidity than the PU coated nylon when worn as the protective clothing. Differences of the design and fabric of each protective clothing seemed to effect on the change of skin temperature, microclimate temperature and humidity so much. Besides, the pesticide protective clothing of new design made with water and oil repellent finished Sontara was assessed as the more comfortable than conventional one made with PU coated nylon in terms of subjective wearing sensation and was successful in the duration in which the sensation of comfort was maintained.

The conclusion reached after considering all of the results above was as follows. The protective clothing of new design made with water and oil repellent finished Sontara, which shows high comfort property, ease of usage and care, and economical efficiency, would be the most useful protective clothing.

Considering every possible way of pesticide penetration, additional study of protective cap, mask, gloves, and boots would be necessary as well as that of pesticide protective clothing.

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 필요성

의복은 인간과 가장 가까운 환경으로 인체와 환경 가운데 놓임으로써 환경에 따른 인체의 생리적 조절 기능을 돕거나 수정할 뿐 아니라 인간-환경과의 열교환의 평형을 이루게 하며 궁극적으로 인간의 물리적, 생리적, 심리적 쾌적감을 증진시키며, 활동 영역을 넓혀 주는 역할을 한다.²⁶⁾

작업복은 의복기후 조절이 양호하며 위험한 환경으로부터 인체를 보호하며 작업 능률 향상을 위한 적응 능력이 요구되므로, 적절한 소재의 선택, 의복형태, 착용방법이 필요하다. 농촌 작업복은 추위, 더위, 습기 등의 자연 환경과 비닐하우스, 농약 살포, 작업 자세 등의 작업환경으로부터 인체를 보다 안전하고 쾌적하게 유지하면서 능률적인 작업을 수행하도록 해 주어야 한다.^{23,10)}

현대 농촌은 경제적 수준 향상과 생활의 과학화를 추구하며 생활 환경이 개선되고 농작물의 획기적인 증산과 농업이 발전되고 있다. 그러나 이러한 농작물의 생산성 향상을 위해 농약의 사용량도 증가하고 있으며, 농약에 대한 병충해의 내성 또한 점차 커져 농약의 독성과 농도도 급증하고 있다. 최근 들어 농약에 의한 환경오염과 더불어 인체 중독의 문제가 폭넓게 제기되고 있다. 특히 농약 살포시 88.3%가 농약에 중독되었던 경험을 가지고 있으며, 22.8%는 급성 중독의 증상을 보인 실태 조사 연구가 보고되고 있어, 농약으로부터 인체를 보호하기 위하여 농약 살포시 농약방호복

착용이 절실히 요구되고 있다.³⁵⁾

농약 방호복에 관한 연구가 1980년대 중반부터 증가하기 시작하여, 1987년 농수산부 공고 제 83-10 호로 방호복의 규격을 정하였다. 그러나 방수천을 이용하여 농약의 차단성만을 고려하였기 때문에 땀과 열의 발산이 불가능하여 덥고 끈끈하며, 착용이 불편하여 대부분의 농약 살포자가 방호복 착용의 필요성을 느끼고 있지만 실제 농약살포 전용 방호복의 착용은 10%미만이며, 70% 이상이 우의나 기타 작업복을 착용하고 있다고 보고되었다.²⁾

우리 나라의 여름철의 덥고 습한 자연 환경과 농약 살포 작업의 유해한 작업환경에서 농약으로부터 인체를 보호해 주며, 인체에서 발생하는 열과 땀을 환경으로 빨리 전달해 줄 수 있는 방호복에 대한 국내 연구는 아직 미비한 상태이다. 따라서 아직도 우리의 농민은 농약살포의 유해한 환경에 그대로 노출되어 있으며, 보다 쾌적한 방호복의 소재와 의복형태 개발이 요구되고 있다.

농약은 그 종류에 따라서 유효 성분이 다르고 해당되는 병해충에 대한 작용 기전도 각각 다르다. 농약의 살충 작용은 우선 약제가 해충 체내에 들어가야 하고, 체내에 들어가는 약제는 일정한 작용점(site of action)에서 독성 작용을 일으켜야 이루어진다. 살충체에서 이 점이 가장 중요한데, 즉 해충의 표피 또는 환절간모(tarsus)를 통하여 해충의 체내로의 침투가 용이해야 함을 말한다. 이것은 약제의 화학 구조와 해충의 표피 구조 및 이의 화학 성분과 밀접한 관계가 있으며, 표피를 통과하려면 지질층을 잘 용해시키거나 또는 흡착, 용해시켜야 하기 때문에 집착 독제의 화학 구조 중에는 친유성이나 지질층을 가수분해시켜서 녹이는 성질을

이는 성질을 가진 반응기가 있어야 한다. DDT의 경우 클로로 포름기(-CCl₃)와 같은 강력한 유용성기가 포함되어 있다. 또한 살충제의 성분에 유용성과 침투성을 부가시키면 살충력이 증강되는데 일반적으로 유제가 수화제나 분제보다 비교적 약효가 큰데, 이는 유제 중에 들어있는 용매나 유화제는 대개 지질을 녹이거나 친유성을 지니기 때문이다.^{7,16)}

이러한 농약의 화학적 성질과 함께 농약 살포시 분사를 통해 나타나는 농약의 물리적 성질은 다음과 같은 특징을 지닌다. 첫째로 분제가 균일하게 분사되려면 아주 작은 크기로 한 입자씩 떨어져 공기중에 오래도록 분산될 수 있는 성질인 분산성(flowability; dispersibility), 둘째로 작물 사이로 약제가 고르게 침투해야 하는 비산성(floatability), 셋째로 살분된 후 잘 부착되고 기후의 변화에 의해 유실되지 않아야 하는 부착성(deposition) 및 고착성(adherence), 넷째로 저장 중 공기 중의 산소 및 수분 등에 의해 분해되지 않는 안정성(stability) 등이다.⁷⁾

이러한 물리적 성질들은 작업 장소에서 농약의 인체로의 침투를 여러 측면에서 가능하게 만들며, 또한 인체에 오랜 기간 동안 머무르게 함으로써 그 화학적인 독성들을 인체에 작용시키게 한다. 즉 살충제의 일부는 피부의 지질을 용해시키며 신경을 마비시켜 급성 중독의 원인을 제공하고, 또 다른 일부는 체내에 분해되지 않은 채로 쌓이게 되어 만성 중독의 잠재적인 원인이 되기도 한다.^{4,6)}

현재 우리 농촌에서 주로 사용되는 농약들의 종류와 그 독성들을 살펴보면 다음과 같다.^{4,6,21)}

유기염소계 농약에 중독될 경우 여성들의 유산, 조산 등을 야기시키며, 또한 phenoxy 계통의 제초제 등은 중독시 신경관 결손, 구개 및 구순 결손, 자연 유산, 사산, 남성 불임, 정자 감소증 등을 일으킬 위험성이 있다. 또한 보고된 바에 의하면 이 유기염소계 농약은 신경계 내의 아세틸콜린 에스테라제(acetyl choline esterase) 억제제로 나타나는 급성 중독 증상이 대표적으로 인정되었다.⁴⁾

또한 유기인계 농약에 심하게 노출될 경우, 하체의 심한 근육통과 함께 신체 말단 부분의 지각 이상, 저리는 현상이 발생하고, 심한 경우 지연성 다발성 신경염(delayed poly neuropathy)과 같은 마비 현상을 일으키게 된다.

이러한 유독성 농약으로부터 인체를 보호하고 쾌적한 작업환경 조성을 위해 이상적인 방호복이 갖추어야 할 기본적인 조건은 농약의 피부침투에 대한 우수한 방호성(good dermal protection), 쾌적성(comfort), 내구성(durability) 등을 들 수 있다. 즉, 이상적인 방호복은 농약 살포시 농약이 피부에 닿

기 전에 차단할 수 있어야 하고, 열적 긴장(thermal stress)을 많이 받는 고온다습(32℃, 80% RH)한 기후, 작업환경에서도 온열 생리학적 측면에서의 인체의 열 수분 전달을 효과적으로 수행하여, 쾌적감을 제공해 줄 수 있어야 하며, 또한 마모, 파손되지 않는 내구성을 지님으로써, 여러 번 착용시에도 농약 차단성과 쾌적성을 유지할 수 있어야 한다.^{18,21,27)}

초기의 방호복의 농약 차단성 증대를 위해 개발된 PVC 코팅법으로 제조된 방호복은 인체실험 결과, 지나치게 두꺼운 직물의 두께로 인해, 직장온(rectal temp., 37.2±2℃), 피부온, 의복내 온도, 의복내 상대습도(95±2% RH) 등이 상당히 높은 값을 나타내어,¹⁵⁾ 농약 차단성의 측면에서는 우수한 방호복이지만, 쾌적성의 측면에서는 많은 문제점을 나타내었다. 이러한 단점을 극복하기 위해 투습방수포로 제조된 방호복의 개발이 시작되었으며, 투습방수포의 경우 PVC 코팅 제품보다 상대적으로 낮은 심박수, 의복내 온도, 습도 등을 나타내어, 쾌적성이 증대되었음을 알 수 있었으나,¹⁷⁾ 가격이 비싸서 경제성이 없으므로 실용화되기 어려웠다. 따라서 농약 차단성을 증대시켜 주고 쾌적성을 향상시켜 줄 수 있으며, 또한 수세, 마모 등에 대한 내구성이 없으면 결국 차단성과 쾌적성을 오랜 기간 동안 유지하지 못하게 되므로 내구성을 부여한 방호복의 소재의 개발 또한 상당히 중요하다.

이상은 소재적인 측면에서의 이상적인 방호복의 고찰이므로 인간이 특정한 생활활동을 위해 육체적인 작업 중에 착용하는 의복임을 감안하여 작업의 용이성, 착의, 탈의의 용이성도 고려되어야 한다.^{23,8)} 왜냐하면 작업, 착의, 탈의의 용이성은 작업을 효율적으로 수행하도록 해 주며 바로 직접적인 쾌적성과 연관되어 나아가서는 생산성과도 직결되기 때문이다. 이러한 관점에서 볼 때, 인체의 구조, 작업의 종류에 따른 작업의 동작 및 피부 재료 등을 기본 바탕으로 한 방호복의 디자인 개발은 매우 중요한 작업이며, 실제적으로도 많은 연구가 이루어져 여러 디자인이 개발되어 왔다.

Branson 등¹⁴⁾은 같은 소재로 Ventsuit, Coverall, 2-piece 의 형태로 디자인된 방호복에 대하여 열적 쾌적감(assessment of thermal response)을 측정, 평가한 결과, Coverall의 의복 형태가 가장 우수함을 발견하였다.

또한 통풍성(통기성), 착의, 탈의의 편리성, 저렴한 가격 등을 고려한 GIFAP(세계농업기구; Groupement International Des Associations Nationales Fabricants De Produits Agrochimiques)에서 개발된 상의, 하의 분리형인 투피스 형태의 방호복을 살펴보면, 먼저 상의와 하의를 분리해 줌으로써 적

절한 통기성을 부여해 주고 있다. 또한 작업과 농약 형태에 따라 일반 작업복 위에 상의, 하의, 또는 상하의 모두를 선택적으로 착용할 수 있게 해 줌으로써, 사용에 있어서 최대한의 유용성(maximum flexibility)을 제공해 주고 있다. 상의는 허리 부분에서 띠로 묶을 수도 있고 개방시켜 놓을 수도 있어서 통기성 조절이 용이하다. 하의는 일자형이고 허리 부분에 신축성을 주었다. 또한 지퍼를 없앴으로써 방제복의 무게를 감소시키고 원가를 절감시켜 주는 효과를 얻어내고 있다.¹¹⁸⁾

이상에서 볼 때 방호복이 갖추어야 할 조건은 효과적인 농약의 차단성, 내구성 및 경제성과 농민들이 농약 살포 작업시 특징적인 동작에 따른 인체 여러 부위의 변화량을 고려하여 작업하기에 용이성을 충분히 갖도록 하는 여유있는 디자인이어야 함을 알 수 있다. 따라서 작업 용이성을 증대시키는 디자인의 개발과 함께, 작업자의 열적 쾌적감을 고려한 농약 방호복의 디자인 또한 중요하며, 농약 방호복에 요구되는 피복재료의 특성을 고려하여 인체-의복 계(system)에서 인체 생리적 쾌적성과 주관적 쾌적성을 부여한 농약 방호복의 개발이 필요하다.

2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 농약 차단성과 착용시 쾌적성 향상에 요구되는 방호복 소재로서 3종의 부직포를 선택하여, 발수발유가공·항미생물가공을 한 후 이들의 농약 차단성과 기능성을 비교·평가하였으며, 이를 바탕으로 새로운 디자인의 농약 방호복을 개발하여 기존 농약 방호복과 인체착의 실험을 실시하여 착의시 쾌적성을 비교, 평가함으로써 농약 차단성과 쾌적성을 갖춘 농약 방호복을 개발하는데 있다.

먼저 방호복의 소재적 측면에서 한가지 아이디어는 부직포 표면에 통기성 발수발유 코팅막을 형성시키는 것이다.¹²⁾ 이 코팅막은 농약 살포시 방호벽으로서의 기능이 부여되며, 가볍고 부드러우며 가격이 저렴한 뿐만 아니라 직물에 가장 유사한 스펠본드(spun-bonded)와 스펠레이스(spun-laced) 부직포는 3차원적 망상 구조로 된 직물 자체의 구조적 특성으로 인한 통기성이 있으므로 인체에서 발산되는 열 수분 전달이 원활하여 이 소재로된 의복의 착용시 쾌적감을 느낄 수 있을 것으로 기대한다.

그리고 우리 나라 농민기는 매우 덥고 습하여 작업시 발생하는 땀이나 분비물로 인해 세균의 번식이 용이하므로 이를 방지할 수 있는 항미생물가공을 부여하는 것은 의미 있

다고 생각된다. 유기실리콘계 제4차 암모늄염을 이용한 항미생물가공은 섬유 표면에 양이온을 갖는 polysiloxane 피막을 형성함에 의해 항미생물성을 발휘하며¹³⁾, 이 polysiloxane 피막은 fluorocarbon계 발수발유제로 복합가공할 때 이의 내구성이 향상되어 내세탁성이 기대된다.

또한 GIFAP에서 권장한 농약 살포용 방호복을 응용하여 새로운 디자인의 방호복을 개발, 제작하였으며, 이 농약 방호복은 농약 차단성, 착용시 쾌적성, 여러 용도로써 이용될 수 있는 유용성, 경제성, 관리의 용이성 등의 효과를 기대할 수 있다.

따라서 부직포를 이용하여 발수발유가공과 항미생물가공을 하여 이들의 농약에 대한 차단성, 기능성, 쾌적성을 부여하고, 이에 대하여 비교·평가함으로써 차세대 농약 방호복 소재를 개발하며, 착용시 쾌적한 농약 방호복을 개발하고자 한 것이다.

본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

첫째, 구성섬유와 제조공법이 상이한 3종의 부직포를 사용하여 fluorocarbon계 발수발유제에 의한 발수발유가공, 유기실리콘계 제4차 암모늄염을 이용한 항미생물가공, 그리고 이 두가공의 복합가공에서 얻어진 9종의 제품에 대하여 농약 차단성을 평가한다.

둘째, 발수발유가공, 항미생물가공 및 이 두가공을 복합한 복합가공의 9종의 부직포의 기능성을 평가하여 가공에 따른 변화를 고찰한다.

셋째, 상기 세가지 가공방법에 의해 가공된 부직포의 내세탁성을 평가한다.

넷째, 상기 가공방법으로 가공된 부직포 중 농약 차단성이 가장 우수하다고 평가된 발수발유가공 Sontara를 이용하여 새로운 디자인으로 고안, 제작된 방호복 1종을 제작하고, 기존의 농수산부 지정 농약 방호복과 인체착의 실험을 실시하여 방호복의 소재의 종류 및 디자인을 달리하였을 때의 객관적, 주관적 쾌적성에 대하여 비교·평가함으로써 궁극적으로 피복재료-의복형태-착의방법의 연계성을 고찰하고 쾌적한 농약방호복을 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

본 실험은 부직포에 발수발유가공, 항미생물가공과 세탁을 실시하여, 이에 따른 부직포의 농약 차단성과 기능성을 피복재료 상태에서 평가하는 실험과 기존의 농약 살포용 방

호복 1종을 선택하고, 시판용 발수발유가공 부직포를 이용하여 새로운 디자인의 방호복 1종을 고안, 제작하여 인체착의 실험을 실시하여 쾌적성 평가실험으로 구성되었다.

1. 방호복 소재의 농약 차단성 및 기능성 평가

Table 1. Characteristics of Nonwoven Fabrics

Nonwoven fabrics	Tyvek(PE)	Sontara(W/P)	Kimlon(PP)
Fiber content	polyethylene 100%	wood pulp/polyester 55/45(%)	polypropylene 100%
Manufacturing method	spun-bonded	spun-laced	SMS *
Weight(g/m ²)	47.4	69.7	67.7
Thickness(mm)	0.17	0.30	0.36
Warmth retention(%) **	38.7	52.3	59.2

* spun-bonded/melt-blown/spun-bonded

** Data from Thermo Labo II

2) 가공제

발수발유 가공제로는 불소계화합물인 FC-232 (3M, U. S. A.)를 사용하였으며, 향미생물 가공제로는 유기실리콘계 제4차 암모늄염인 DC-5700 (Dow Corning, Japan)을 사용하였다.

나. 가공방법

1) 발수발유가공

시료에 따라 처리농도와 조건을 달리하여 pad-dry-cure법으로 처리하였다. 1 dip-1 nip 패더(padder)로 두번 패딩(padding)하였으며, Tyvek의 구성성분은 polyethylene이므로 다른 시료보다 낮은 온도인 70℃, 100℃에서 각각 drying과 curing을 하였고, Kimlon의 경우 구성성분인 polypropylene 이 낮은 용점을 갖기 때문에 curing의 온도를 140℃로 하였으며 curing시간을 짧게 하면서 두번 실시하였다.

2) 향미생물가공

pad-dry-cure법으로 처리하였으며, 모든 시료를 처리농도 1%의 가공제 용액속에 2번 패딩하였으며, 85℃에서 3분간 건조와 동시에 curing하였다.

3) 복합가공

향미생물가공과 발수발유가공의 복합가공은 위에 제시한 가공 조건에 따라 하였으며, 모든 시료에 선 향미생물가공 후 발수발유가공 하였다.

가. 시료 및 가공제

1) 시료

방호복 소재 개발을 위한 시료로는 부직포 소재인 Tyvek (Du Pont), Sontara(Du Pont) 그리고 Kimlon(Yuhan Kimberly)을 사용하였으며, 각 시료의 특성은 Table 1과 같다.

다. 세탁방법

세탁은 KS K 0465에 준하여 가정용 전기세탁기(SEW-67FX: 삼성)를 사용하여 시판 약알칼리성 합성세제를 물 1ℓ 당 1.5g을 넣고 세탁물을 그물망에 넣어 1회, 5회 세탁을 하였다. 이때 상온에서 표준세탁코스로서 세탁하였으며, 건조는 line-dry 하였다.

라. 농약 차단성 평가

1) 농약

농약은 살충제로서 시판 유기인계화합물인 fenitrothion (C₉H₁₂NO₅PS, 상품명: 스미치온) 50% 유화액을 사용하였으며, 정량분석을 위해서는 99% 이상의 표준품을 사용하였다.

2) 농약 살포 방법

시료를 틀에 고정시키고 분무기를 사용하여 일정거리(30cm)를 두고 2mℓ의 농약 용액(0.05% AI)을 뿌린 후 18~22℃에서 5시간 건조하였다. 이때 시료 뒤에 여과지를 부착하여 시료를 통과한 농약의 양을 측정하였다.

3) 농약 침투량 및 잔류량 측정

시료와 여과지를 각각 hexane 200mℓ에 넣어 2시간 동안 shaker에서 100R. P. M. 의 속도로 진탕하여 농약을 추출하여 rotary evaporator로 농축시킨 다음 hexane 10mℓ를 가하였다. 추출된 용액은 Gas Chromatography(HE WLETT PACKARD

5890)를 사용하여 다음과 같은 조건으로 분석하였으며, 표준 용액으로 부터 미리 작성된 검량선으로부터 농도(ppm)를 계산하여 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 표시하였다.

G. C. 의 분석조건은 다음과 같다. detector는 NPD(nitrogen phosphorous detector)를 사용하였고, column은 25m×0.2mm의 HP-1(crosslinked methyl silicone gum)이었으며, carrier gas(N₂)의 유속은 30ml/min이었고, oven, injector, detector의 온도는 각각 210℃, 240℃, 250℃ 이었다.

이때 침투량은 여과지로, 잔류량은 1회 세탁한 시료로부터 구하였다.

마. 기능성 평가

1) 발수도, 발유도

발수도는 KS K 0590에 준하여 spray method로 측정하였으며, 발유도는 AATCC Test Method 118-1983 에 의하여 측정하였다.

2) 내수도

KS K 0591에 정한 저수압법과 AATCC Test Method 42-1985에 의한 impact penetration 시험법에 의하여 평가하였다.

3) 투습도

ASTM E 96-66에 의하여 제작된 compact humid chamber를 사용하여 KS A 1013에 의하여 측정하였다.

4) 공기투과도

KS K 0570에 정한 프라지어법에 의하여 측정하였다.

5) 항미생물성

항미생물성은 정량적인 방법인 shake flask법으로 균감소율을 측정하였으며, 시험세균은 그람양성지정세균인 포도상구균(*Staphylococcus aureus* ; ATCC 6358)을 사용하였다.

2. 농약 방호복의 착의시 쾌적성 평가

가. 실험의 고안 및 제작^{2,15,18,23,24,27)}

본 연구에서 인체착의 실험을 위한 실험의로 선택된 농약 방호복은 현재 농림수산부 공고 제 87-7호에서 지정한 폴리우레탄 코팅 나일론(polyurethane coated nylon) 소재의 H사 제품을 1종 선택하였으며, 본 연구의 실험 결과에 로부터 농약 차단성과 쾌적성과 관련된 기능성이 가장 우수하다고 평가된 발수발유가공 부직포와 섬유의 혼용율, 직물의 구조, 가공방법이 유사한 시판용 발수발유가공 스펀레이스 부직포(spun-laced nonwoven; water and oil repellent finished Sontara 808, Dupont Co.) 1종을 이용하여 새로운 디자인의 방호복 1종을 고안, 제작하였다. 두 방호복 소재에 대한 구체적인 특징은 다음의 Table 2와 같다.

Table 2. Specifications of Pesticide Protective Clothing Materials

Fabric type	Fiber content(%)	Fabric structure	Count(5cm ²)	Thickness(mm)	Weight(g/m ²)
Water-oil repellent finished Sontara	Wood pulp/ PET (55/45 %)	Spun-laced nonwoven		0.34	64.79
PU coated nylon	100% nylon	Plain weave	224×184	0.13	93.16

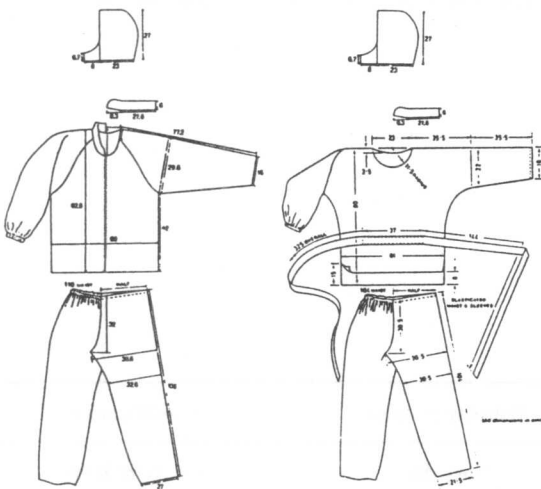
기존 방호복은 폴리우레탄이 습식 코팅된 나일론으로서 투습성과 통기성과 같은 기능성을 발휘하기 어려워 방제복 내의 열 수분 전달을 효과적으로 수행해 줄 수없는 소재로 되어 있으며, 방호복 직물이 피부와 접촉되는 것을 방지하기 위해 나일론 망사로 된 안감이 있었다.

본 연구에서 새로이 고안, 제작된 방호복의 기존의 디자인과 가장 큰 차이점은 상의의 앞트임으로서 새로이 고안된 방호복은 티셔츠(T-Shirt) 형태로 기존 방호복의 앞여밈을 위한 지퍼를 없애줌으로써 솔기(seam)를 통한 농약의 침투를 막아주도록 하였다. 또한 상의, 하의가 분리되어 상의의 밑

단의 개구부를 이용한 적절한 통기성을 부여하여 쾌적성을 향상시키고자 하였으며, 허리 부분에 띠를 달아 농약 살포시는 개구부를 통한 의복내 기류를 차단하여 농약의 의복내 유입을 막아주도록 하였다. 그리고 공기 중의 기류 상태에서 존재하는 농약을 차단하기 위해 방호복 상의에 모자를 부착하여 머리와 몸통 상부를 보호하도록 하였으며, 필요에 따라 자유롭게 탈착이 가능하도록 하였으며, 발수발유가공 Sontara로 된 방제복은 소재의 특성을 고려해 볼 때 안감의 필요성이 없으므로 안감 처리를 하지 않았다. 따라서 새로운 방호복은 농약에 대한 차단성, 착용시 쾌적성, 유용성, 관

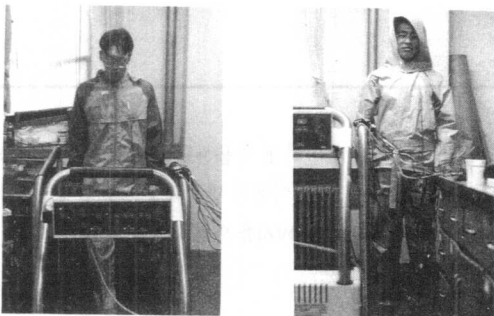
리의 용이성, 원가 절감을 통한 경제성 등을 고려하여 고안, 제작되었다.

본 연구에서의 인체착용 실험을 위한 실험의로써 제작된 각 방호복의 치수와 패턴은 우리나라 성인 남자의 신체 평균 치수에 맞추어 2종의 방호복이 같도록 제작하였다. 방호복의 패턴과 형태는 Fig. 1, Fig. 2와 같다. 실험의 안에는 같은 종류의 여름철 면내의, 면양말과 운동화를 착용하도록 하였다.



D1; conventional design D2; new design

Fig. 1. Patterns of protective clothings



Clothing 1

Clothing 2

Fig. 2. Photographs each type of protective clothing

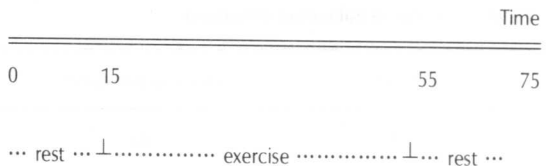
나. 피험자

피험자간의 차이를 최소화하기 위해 키와 체중을 기준으로 우리나라 성인 남자의 신체 평균의 범위에 속하며, 연령, 키, 몸무게, 체표면적(DuBois surface area = $H^{0.725} \times W^{0.425} \times 71.84$)이 유사한 4명의 남자 대학생을 피험자로 선정하였으며, 이들 피험자들의 신체 평균은 20세, 172cm, 63kg이며, 평균 체표면적 1.74 이다.

다. 실험조건^{8,14,31)}

실험실 환경 조건은 온도와 습도의 경우 농약 살포시 우리나라 6, 7, 8월의 평균 기후 조건에 준하여 $28 \pm 2^\circ\text{C}$, $70 \pm 5\%$ RH로 하였으며, 기류는 0.3m/sec 이하의 무풍정지기류(still air)로 조절하였다.

운동량과 시간 설정은 선행연구에 준하여 농약 살포시 작업량과 시간을 고려하여 설정하였다. 운동량은 5.4met. ($270\text{KCal/hr} \cdot \text{m}^2$)로 하였으며, 4.8km/hr의 속도와 5%의 경사각을 갖는 treadmill에서 운동하도록 하였다. 운동 시간은 15분 안정, 40분 운동, 20분 휴식의 총 1시간 15분간 진행하였으며, 구체적인 내용은 Fig. 3과 같다.



5.4 met

In a controlled LAB($28 \pm 2^\circ\text{C}$, $70 \pm 5\%$),
walked on a motor-driven treadmill
(4.8km/hr, 5% uphill grade)

Fig. 3. Exercising protocol

라. 인체의 피부온 측정^{10,8,14,31)}

피부온은 5점법으로 앞이마, 가슴, 전완, 대퇴, 그리고 하퇴 부위에서 Thermohyrometer (Model; X 712-1, Takara Thermister Instruments Co. Ltd)를 사용하여 측정하였다.

측정부위는 Fig. 4와 같으며, 평균피부온은 다음의 식에 의해 산출하였다.

$$\begin{aligned} \text{평균피부온(}^\circ\text{C)} &= \{10.3 \cdot \text{forehead temp.} + 31.3 \cdot \text{chest} \\ &\quad \text{temp.} + 19.0 \cdot \text{arm temp.} + 19.7 \cdot \\ &\quad \text{thigh temp.} + 19.2 \cdot \text{leg temp.}\} \\ &\quad \times 1/100 \end{aligned}$$

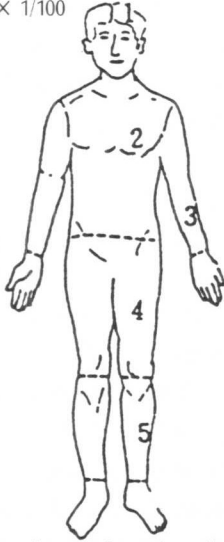


Fig. 4. The locations of measuring points of skin temperature

마. 의복내 온·습도 측정^[8,12,13,14,17,19]

의복내 온·습도는 Thermohyrometer(Model; X 712-1, Takara Thermister Instruments Co. Ltd)를 사용하여 의복내 온도는 가슴, 등, 대퇴 부위에서 내의와 방호복 사이의 층에서 측정하였으며, 의복내 습도는 가슴 부위의 피부와 내의, 내의와 방호복의 2개 층에서 그리고 대퇴 부위에서 각각 측정하였다.

바. 주관적 쾌적감에 대한 측정 및 평가^[8,12,13]

실험 기간 동안 피험자가 느끼는 온열감, 습윤감, 전체적 쾌적감 등의 주관적 감각을 5분 간격으로 평가하도록 하였으며, 각각의 주관적 감각의 척도는 Table 3과 같다.

Table 3. Scales of Subjective Sensations

Scales	Thermal sensation	Humidity sensation	Overall comfort
1	cool	very dry	very comfortable
2	neutral	dry	comfortable
3	slightly warm	indifferent	indifferent
4	warm	moist	uncomfortable
5	slightly hot	dripping wet	very uncomfortable
6	hot		
7	very hot		

사. 실험설계 및 통계처리 방법

Table 4와 같이 불완전 확률화 블록 디자인(randomized incomplete block design)을 이용하여 2종류의 방호복에 대한

여 2명의 피험자가 동일하게 착용하도록 하여 반복 측정하였다. 자료분석은 SAS를 이용한 반복측정 자료의 분산분석법(repeated measures ANOVA)을 이용하였다.

Table 4. Experimental Design

Subject	Specification of protective clothings		Clothing 1	Clothing 2
	Fabric	Design	P ^a D1 ^c	S ^b D2 ^d
S1			*	
S2				*
S3			*	
S4				*

^aP : PU coated nylon^bS : Water-oil repellent finished Sontara^cD1 : Conventional design^dD2 : New design

III. 결과 및 고찰

발수발유가공, 향미생물가공 및 이 두 가공으로 복합가공한 부직포의 농약 차단성과 기능성에 대한 측정, 평가 결과와 기존의 농약 살포용 방호복 1종을 선택하고, 시판용 발수발유가공 부직포를 이용하여 새로운 디자인의 방호복을 착용시 객관적, 주관적 쾌적성을 측정, 평가하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 방호복 소재의 농약 차단성 및 기능성

가. 발수발유가공, 향미생물가공 및 복합가공된 부직포의 농약 차단성

1) 농약 침투량 변화

Table 5는 부직포를 통과한 농약의 양을 측정하여 소재와 가공별로 나타낸 것이다.

미처리 Tyvek은 농약이 거의 침투하지 않은 반면, 미처리 Kimlon과 Sontara는 농약이 침투하였으나, Sontara의 침투량이 더 크게 나타났다. 이와 같이 미처리 시료에서 부직포의 종류에 따라 농약 침투량의 차이가 나타난 것은 부직포를 구성하는 섬유가 다르고 제조공법이 다르기 때문으로 설명할 수 있다.

즉 Tyvek은 소수성이며 초극세 폴리에틸렌 섬유가 스펀본드공법에 의해 접착제나 첨가제가 없이 열과 압력에 의해 서로 얽혀 형성된 치밀한 구조로 되어 있어 농약용액의 침투가 어렵기 때문으로 생각된다. Kimlon은 폴리프로필렌을 스펀본드/멜트블로운/스펀본드의 3중구조로 만든 부직포로 내층이 미세한 섬유조직으로 서로 얽혀 있어 농약 침투가 적은 반면, Sontara는 폴리에스테르 스테이플 섬유와 목재펄프를 고압의 수류제트 힘에 의해 서로 얽혀 형성되는 스펀레이스 공법에 의한 것이므로 다른 제조공법보다 직물구조상 기공이 크고, 부직포의 표면에 목재펄프가 배열되어 친수성을 띠어 농약용액의 통과가 용이하기 때문이라고 생각된다.

한편 가공의 효과를 살펴 보면 발수발유가공과 복합가공에 의해서 Sontara와 Kimlon의 경우 농약 침투량이 감소하였으며, Sontara에서는 감소 정도가 크게 나타났다. 이는 발수발유가공에 의해서 표면특성이 변화함으로써 농약 침투량이 미처리시료에 비해 적게 나타난 것으로 해석되며, 특히 Sontara에서 발수발유가공은 농약 차단성을 부여하는데 매우 효과적임을 알 수 있다.

따라서 농약 차단성의 측면에서 살펴 보면 스펀본드법에 의한 Tyvek은 가공처리에 관계없이 차단성이 우수하며, Kimlon과 Sontara는 발수발유가공과 복합가공처리시 차단성이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

Table 5. Amount of Pesticide Contamination on Inner Layer

Nonwoven fabrics	Tyvek(PE)				Sontara(W/P)				Kimlon(PP)			
	U	A	R	D	U	A	R	D	U	A	R	D
Amount of Pesticide ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	N.D*	N.D	N.D	N.D	0.567	0.538	Trace	0.069	0.145	0.085	0.054	Trace

* N.D : non detection. U: untreated.
 A: antimicrobial finish. R: water and oil repellent finish. D: dual functional finish.

2) 세탁에 의한 농약 제거 효과

Fig. 8은 1회 세탁한 시료의 농약 잔류량을 측정하여 시료에 따라 나타낸 것이다.

세탁에 의한 농약 제거 효과를 보면 Sontara의 경우 농약 잔류량이 거의 없는 반면($0.03\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 이하), Kimlon과 Tyvek의 경우 잔류량은 $0.25\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 이상으로 나타났다. 이는 Sontara의 표면이 Tyvek이나 Kimlon의 표면보다 친수성이 크므로 세제와 물의 침투가 용이하여 세탁에 의해 농약이 잘 제거되지만 표면이 소수성인 Tyvek과 Kimlon은 세제와 물의 침투가 어려워 세탁에 의해 농약이 잘 제거되지 않는 것으로 생각된다. 특히 Tyvek에서 농약 잔류량이 높게 나타났는데, 이는 Tyvek 부직포의 두께가 얇아 서로 엉킬 뿐만 아니라 물을 전혀 흡수하지 않는 섬유 특성과 치밀한 직물 구조 때문에 세액이 충분히 침투되지 못해 세탁에 의한 제거율이 낮았기 때문으로 생각된다.

나. 발수발유가공, 항미생물가공 및 복합가공에 따른 기 능성 변화

1) 발수도

Fig. 5는 세가지 부직포의 발수도를 가공방법에 따라 나타낸 것이다.

발수도는 미처리시 부직포의 종류에 따라 차이를 나타내어 Tyvek의 발수도 가장 크고 그 다음이 Kimlon이었고 Sontara의 발수도는 가장 낮았다. 가공의 영향을 살펴 보면 발수발유가공과 복합가공에 의해서 Sontara의 발수도는 크게 증가하였으나, Kimlon과 Tyvek은 가공에 의한 변화는 거의 없었다.

여기서 미처리 부직포의 발수도가 부직포의 종류에 따라 차이를 나타낸 것은 직물의 표면장력, 표면구조, 표면의 기

공성 등에 발수도가 의존하기 때문³⁰⁾으로 Tyvek과 Sontara 그리고 Kimlon의 표면구조가 각기 다르며, 구성 섬유에 따라 다른 표면장력을 나타내기 때문이다. 즉 Tyvek의 구성섬유인 폴리에틸렌의 표면장력은 $32.4\text{dynes}/\text{cm}^{30)}$ 이고, Kimlon을 구성하는 섬유인 폴리프로필렌의 표면장력은 $30.1\text{dynes}/\text{cm}^{30)}$ 이므로 물의 표면장력($72\text{dynes}/\text{cm}^{22)}$ 과의 차이가 커서 물의 확산이 어려워 발수성이 있게 된다. 한편 Sontara를 구성하는 목재펄프의 표면장력은 물의 표면장력과의 차이가 적어 쉽게 물이 섬유표면에 확산하기 때문에 발수성이 없는 것으로 보인다.

발수발유가공된 부직포의 발수도의 변화를 고찰해보면, Sontara의 경우 미처리 시료는 발수성이 전혀 없지만, 발수발유가공처리에 의해서는 불소화합물이 부직포의 표면에 흡수되어 얇은 피막을 형성하여 부직포의 표면장력을 저하시킴²⁹⁾으로써 발수도가 향상되는 것으로 생각된다.

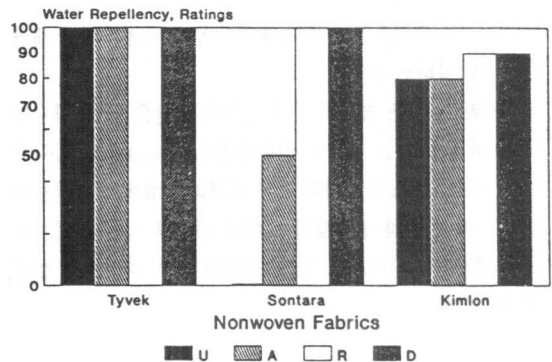


Fig. 5. Water repellency of untreated and treated nonwoven fabrics

2) 발유도

Fig. 6은 가공에 따른 소재별 발유도를 나타낸 것이다. 발유도는 부직포의 종류와 가공에 따라 차이가 크게 나타났다.

미처리 부직포는 모두 발유성이 없었지만 발수발유가공과 복합가공에 의해서는 발유성이 향상되었고, Sontara와 Kimlon은 크게 향상되었다. 그러나 Tyvek 과 Sontara 그리고 Kimlon모두에서 항미생물가공처리에 의해서는 발유도에는 변화가 없어 미처리 시료의 발유도를 그대로 나타내었다.

이처럼 미처리 부직포 모두 발유성이 없게 나타난 것은 Tyvek을 구성하는 폴리에틸렌, Sontara를 구성하는 폴리에스테르, 그리고 Kimlon을 구성하는 폴리프로필렌의 표면장력이 발유도를 평가하는 등급 1의 Nujol 오일의 표면장력(31.2dynes/cm)²²과의 차이가 적어서 미처리 시료에서는 발유성이 없는 것으로 보인다.

한편 가공의 효과를 살펴 보면 항미생물가공은 유기실리콘이 섬유주위에 얇은 친유성 막을 형성하기 때문에 발유성은 변화시키지 못하였다고 생각되며, 발수발유가공과 복합가공에 의해서는 불소계 발수발유가공제가 부직포의 표면장력을 낮추어 주기 때문에 모든 시료의 발유성은 향상되었다. 여기서 Tyvek의 발유성이 크게 향상되지 못한 것은 curing온도가 낮아서 유화된 불소계 가공제가 충분한 가소성을 갖지 못해 섬유표면을 고르게 피복하지 못하기 때문으로 보인다.

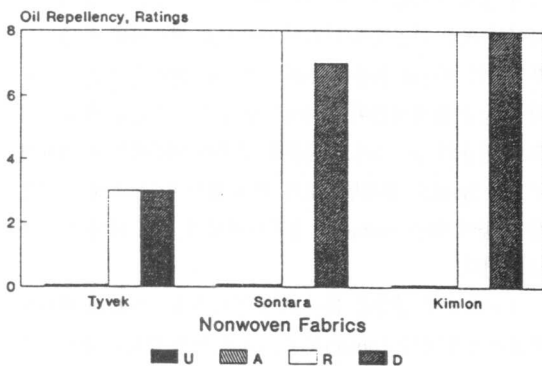


Fig. 6. Oil repellency of untreated and treated nonwoven fabrics

3) 내수도

Fig. 7은 부직포 소재별 가공에 따른 내수도의 변화를 나타낸 것이다.

미처리 시료의 내수도는 Tyvek, Kimlon, Sontara의 순으로 나타났다. 가공의 효과를 살펴 보면 모든 시료의 내수도가 발수발유가공과 복합가공처리에 의해서 증가되는 경향을 보였으며, 특히 Sontara와 Tyvek의 내수도는 미처리 시료에 비해 크게 증가하였다. 그러나 항미생물가공에 의해서는 별 변화를 나타내지 않았다.

미처리시료에서 소재에 따라 내수도가 다르게 나타난 이유는 앞서 고찰한 것처럼 부직포의 구성섬유의 특성과 제조방법의 차이로 인한 부직포의 표면구조가 다르기 때문으로, 즉 소수성 섬유로 표면장력이 물보다 낮고 표면구조가 치밀한 Tyvek의 내수도는 크지만, 친수성 섬유이며 섬유가 엉성하게 배열된 구조인 Sontara의 내수도는 거의 없는 것으로 보인다.

한편 미처리시 내수도가 매우 낮은 Sontara는 발수발유가공과 복합가공에 의해서 내수도가 상당히 증가하여 Kimlon과 유사해 지는데, 이는 발수발유가공처리로 인하여 부직포 표면에 형성된 피막이 표면장력을 저하시키며, 가공의 크기가 감소하기 때문에 내수도가 증가하는 것으로 생각된다.

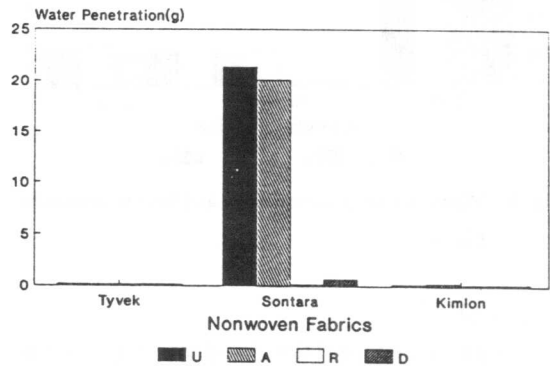


Fig. 7. Water penetration of untreated and treated nonwoven fabrics

4) 수분침투량

수분침투량은 발수도, 내수도와 마찬가지로 미처리 시료 간의 차이를 보였고 가공에 의해서도 변화를 보였다 (Fig. 8).

미처리 시료에서 Tyvek이나 Kimlon은 수분침투량이 매우 적었으나 Sontara는 수분침투량이 많았다. 그러나 발수발유 가공과 복합가공에 의해서 Sontara는 수분침투량이 현저하게 감소하여 Tyvek이나 Kimlon과 유사한 아주 적은 수분침투량을 보였다.

여기서 미처리 시료간에 수분침투량이 큰 차이를 보이는 것은 발수도에서 설명한 것처럼 구성섬유의 특성과 제조공법의 차이에 의한 것으로 설명할 수 있다. 한편 Tyvek은 가공처리에 관계없이 수분침투량은 변화가 없었다. 그러나 Kimlon과 Sontara에서 발수발유가공과 복합가공은 수분침투량에 많은 영향을 미쳐 수분침투량이 모두 감소하였으며, 감소정도가 Sontara에서 아주 두드러지게 나타났으나, 향미생물가공에 의해 수분침투량은 별 변화가 없었다. 이러한 결과도 발수발유가공제가 부직포의 표면장력을 감소시켜 발수성을 부여하기 때문으로 생각된다.

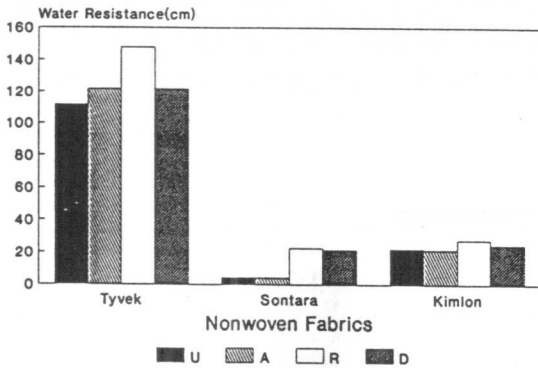


Fig. 8. Water resistance of untreated and treated nonwoven fabrics

5) 투습도

부직포의 투습도를 측정하여 소재에 따른 가공의 효과를 Fig. 9로 나타내었다. 부직포의 투습도는 시료간에 차이가 크게 나타났으나, 가공에 따른 차이는 적었다. 미처리시료의 경우 Sontara와 Kimlon은 투습도가 크게 나타났으나, Tyvek은 매우 낮게 나타났다. 또한 가공처리에 의해서 투습도는 적은 양이지만 전체적으로 감소하는 경향을 보였다.

이렇게 Tyvek이 다른 부직포에 비해 투습도가 매우 낮게 나타난 것은 Tyvek은 제조공법상 매우 가는 0.5~10 μ 의 무지향성 섬유(plexifilament)가 결합제나 충전제의 첨가없이

방사된 후 적정한 열과 압력으로서 성형된 섬유제품이므로 치밀한 구조로 인해 수증기가 거의 통과할 수 없기 때문이며, Sontara나 Kimlon은 제조방법상 기공이 커서 투습도가 높은 것으로 생각되며, 투습도는 구성섬유와 아울러 부직포의 두께나 기공 등의 구조적 요인이 주된 영향을 미치므로 발수발유가공에 의해서는 부직포의 기공의 크기가 작아지기 때문에 약간 감소한 것으로 보인다.

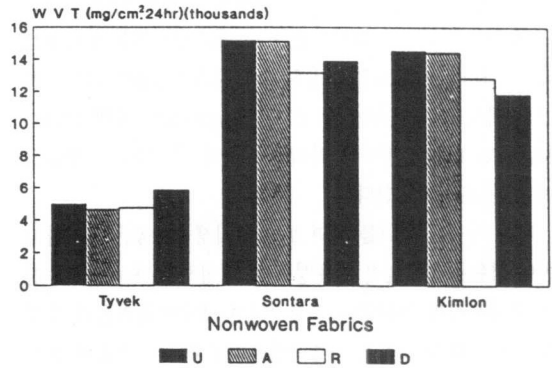


Fig. 9. Water vapor transmission of untreated and treated nonwoven fabrics

6) 공기투과도

Fig. 10은 부직포의 소재별 가공처리에 따른 공기투과도의 변화를 나타낸 것이다.

공기투과도는 미처리시 부직포의 종류에 따라 차이를 보여 Tyvek이 가장 낮고 그 다음이 Kimlon이었으며, Sontara가 가장 높게 나타났다. 이러한 차이는 부직포의 제조방법의 차이에 의한 기공도가 다르기 때문으로 생각되며, 수증기는 부직포의 기공과 섬유를 통해 증발되는 반면 공기는 부직포의 기공을 통해서만이 통과되므로 공기투과도는 거의 전적으로 섬유와 실, 그리고 직물의 구조에 의존하므로 치밀한 구조인 Tyvek은 공기투과도가 거의 없는 반면, 직물의 구조상 기공이 있는 Sontara는 공기투과도가 크게 나타난 것으로 보인다.

가공에 의한 영향을 살펴 보면 공기투과도는 Tyvek에서는 변화가 없었으나, Sontara와 Kimlon은 적은 정도이지만 감소하였다. 직물의 공기투과도는 직물의 구조적 특성, 특히 기공의 크기에 의해 좌우되는 특성이므로 가공처리에 의한 부직포 시료의 공기투과도 감소는 섬유표면에 형성된 것으로

인해 섬유내 공간이 작아졌기 때문으로 생각된다.

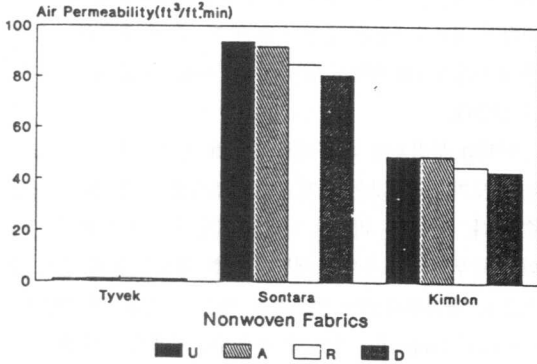


Fig. 10. Air permeability of untreated and treated nonwoven fabrics.

직물의 공기투과도는 의복의 통기성을 좌우하는 주된 요인임을 감안할 때 더운 여름철에 착용하는 방호복의 소재로 Tyvek은 공기투과도가 낮아 다른 부직포에 비해서 착용시 불편할 것으로 생각된다.

이들 가공에 따른 부직포의 기능성을 종합하여 고찰해 보면 발수도, 발유도, 내수도, 수분침투량 등의 기능성은 부직포의 구성섬유와 제조공법의 차이, 그리고 발수발유가공처리에 따른 표면특성에 영향을 받는다는 것을 알 수 있었으며, 특히 이 중에서 Sontara의 기능성은 발수발유가공에 의

해서 상당히 향상되었다. 따라서 가공처리에 관계없이 Tyvek과 Kimlon, 그리고 발수발유가공과 복합가공된 Sontara는 농약 차단성능이 우수하지만, Kimlon과 발수발유가공과 복합가공된 Sontara가 농약 차단성도 있으면서 투습도와 공기투과도가 크기 때문에 방호복으로 착용시 쾌적할 것으로 생각된다.

다. 항미생물가공에 따른 항미생물성 변화

세가지 제조방법에 따른 부직포에 항미생물가공처리를 하여 균 감소율로 항미생물성을 측정된 결과는 Table 6과 같다.

항미생물가공된 Sontara와 Kimlon은 균감소율이 99.9% 이었고 Tyvek은 93.9%이었으며, 복합가공에 의해서는 세가지 부직포 모두 99.9%의 균감소율을 나타냈다.

미처리 시료에서는 Tyvek과 Kimlon은 균감소율이 0%이었으나, Sontara에서는 27.3%의 균감소율을 보였다. 이는 Sontara의 구성섬유인 목재펄프가 셀룰로오스이므로 면과 같은 천연섬유에서 나타나는 균 흡착 현상²⁾에 의한 결과라고 생각된다.

유기실리콘계 제4차 암모늄염을 이용한 항미생물가공에 의해서 모든 시료는 우수한 항미생물성을 나타냈다. 이로써 pad-dry-cure법으로 항미생물가공시 처리농도 1%에서도 충분한 항미생물성을 나타낸다는 것을 알 수 있었으며, 이는 항미생물가공제인 유기실리콘계 제4차 암모늄염이 섬유와 반응시 유기실리콘이 섬유표면에 이온결합 또는 공유결합을 함과 동시에 반응기가 없는 합성섬유와는 표면에 단단하고 얇은 피막을 형성하기 때문이다.

Table 6. Reduction Rates in Number of Colonies According to Treatment

Nonwoven fabrics	Tyvek(PE)			Sontara(W/P)			Kimlon(PP)		
	U	A	D	U	A	D	U	A	D
Reduction rates in number of colonies(%)	0	93.9	99.9	27.3	99.9	99.9	0	99.9	99.9

* U: untreated.
 A: antimicrobial finish.
 D: dual functional finish.

라. 세탁에 의한 기능성 변화

1) 발수도의 변화

발수도는 세탁횟수가 증가함에 따라 모든 시료가 감소하는 경향을 나타내었다 (Fig. 11).

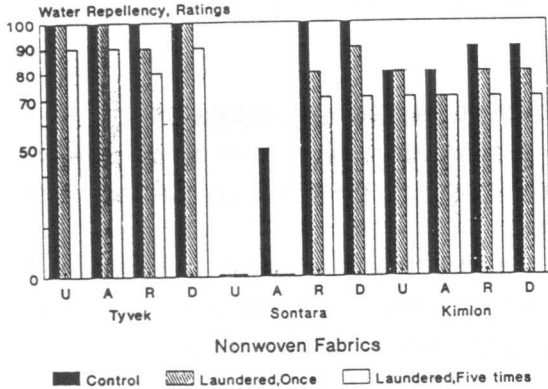


Fig. 11. Water repency of laundered nonwoven fabrics

세탁에 의한 발수도의 변화를 부직포별로 살펴 보면 다음과 같다. 발수발유가공과 복합가공된 Tyvek의 경우 1회 세탁한 시료에서 발수도는 변화가 없었으나, 5회 세탁시 모든 시료의 발수도는 크게 감소하였고, 발수발유가공의 시료들은 다른 가공에 의한 시료들보다 발수도의 감소 정도가 비교적 적게 나타났다.

이는 세탁에 의해서 세액과 기계적인 힘에 의해서 가공제가 탈락하거나 표면특성이 변화하였기 때문으로 사료된다.

2) 공기투과도의 변화

공기투과도는 세탁횟수가 증가함에 따라 부직포의 종류와 가공의 종류에 따라 차이가 나타났다 (Fig. 12).

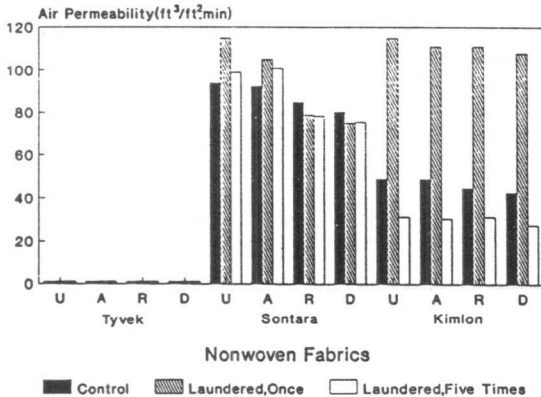


Fig. 12. Air permeability of laundered nonwoven fabrics

세탁에 의해 Tyvek의 공기투과도는 변화가 없었다. 반면에 Sontara는 1회 세탁시 미처리와 항미생물가공시료는 약간 증가하는 경향을 보이나, 발수발유가공과 복합가공시료는 약간 감소하는 경향을 보이다가 5회 세탁시 모든 시료가 1회 세탁한 경우보다 공기투과도가 낮았으며, Kimlon은 1회 세탁시 공기투과도는 모든 시료가 현저하게 증가하는 경향을 보이다가 5회 세탁시에는 세탁전 시료보다도 공기투과도가 낮았다.

이처럼 부직포에 따라 세탁에 의해 공기투과도가 변화하는 정도가 다른 것은 부직포의 제조방법의 차이로 설명할 수 있다. Tyvek은 비중이 가볍고 치밀한 구조로 세탁시 세액의 침투가 어려우므로 세탁에 의한 영향을 거의 받지 않으므로 공기투과도는 변화하지 않는 것으로 생각된다. Sontara나 Kimlon은 세탁도중 세액이나 기계적 힘에 의해 직물구조가 영향을 받아 기공의 크기가 증가되어 1회 세탁시 공기투과도는 증가하지만, 점차 반복세탁에 의해 기계적 힘이 가해짐으로 부직포의 조직이 치밀해져 부직포의 기공도 및 기공의 직경이 감소되었기 때문에 5회 세탁한 시료의 공기투과도는 감소한 것으로 생각된다.

3) 수분침투량의 변화

수분침투량은 Tyvek과 Kimlon에서 세탁에 의한 변화가 적으나, Sontara의 경우 세탁에 의한 변화가 크게 나타났다 (Fig. 13).

여기서 Tyvek이나 Kimlon이 세탁에 의한 수분침투량의 변화가 적은 것은 구성섬유가 소수성이고 부직포의 구조가 치밀하기 때문에 세탁에 의해 수분이 통과할 수 있을 정도로 구조적 변화를 가져오지 못했기 때문으로 생각된다. 그러나 Sontara에서 발수발유가공과 복합가공을 한 시료는 세탁 횟수가 증가함에 따라 수분침투량이 커졌지만 발수발유가공시료의 수분침투량이 복합가공을 한 시료보다 크게 나타났다. Sontara에서 나타난 이러한 결과는 복합가공처리된 부직포 표면은 항미생물가공제인 유기실리콘이 섬유표면에 graft 중합하여 얽은 피막을 형성하고 이러한 피막이 세탁시 유연제와 같은 역할을 했기 때문에 발수발유가공된 시료보다 복합가공된 시료의 표면이 유연하기 때문에 세탁시 표면에 코팅된 가공제의 탈락이 어렵기 때문으로 풀이된다.

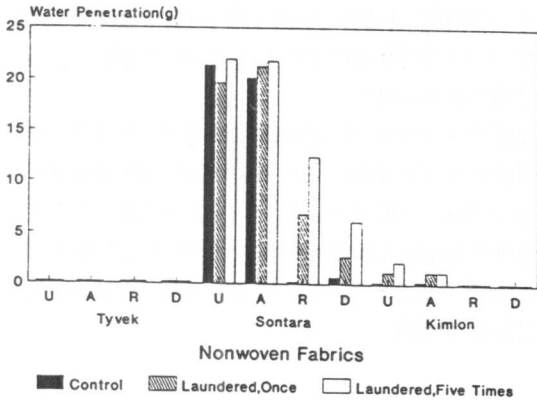


Fig. 13. Water penetration of laundered nonwoven fabrics

2. 방호복 착용시 쾌적성의 비교 및 평가

가. 인체 생리 반응에 따른 쾌적성의 비교 및 평가

1) 인체의 피부온 비교

인체의 피부온은 이마, 가슴, 팔, 대퇴, 하퇴 부위에서 각각 1분마다 측정하여 평균 피부온을 산출하였다. 방호복 소재의 종류와 디자인에 따른 피부온의 변화를 시간의 변화에 따라 측정된 결과를 Fig. 14에 제시하였다.

피부온은 Clothing 1 이 Clothing 2 보다 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$, F 값; 0.0474).

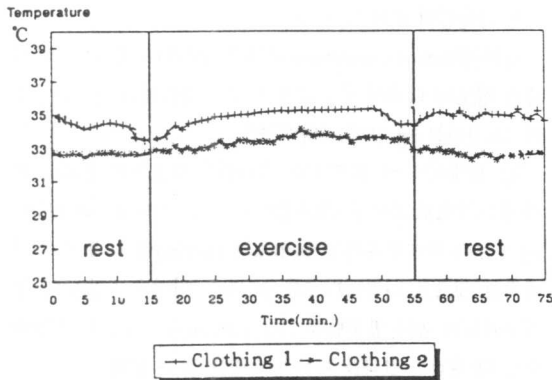


Fig. 14. Changes of weighted mean skin temperatures in each type of protective clothing

즉, PU 코팅 나일론 소재로 된 기존 방호복인 Clothing 1 보다 발수발유가공 Sontara 소재의 새로운 디자인의 Clothing 2 의 착용시가 평균 피부온이 낮게 나타났음을 알 수 있으며, 이러한 결과로부터 인체 피부온은 투습성, 통기성이 부여된 소재와 새로운 디자인으로 된 방호복의 착용시 인체의 피부온을 낮게 해 주는데 효과적인 영향을 미침을 알 수 있다.

2) 의복내 온도 비교

두 가지 종류의 방호복에서 시간의 변화에 따른 각각의 부위(Fig. 8 참조)에서 측정된 의복내 온도의 측정값들을 평균하여 Fig. 15에 제시되었다.

먼저, Clothing 1 과 Clothing 2 를 비교해 보면, PU 코팅 나일론인 Clothing 1 보다 발수발유가공 Sontara 의 방호복인 Clothing 2 의 의복내 온도가 상당히 낮게 나타났다(F 값, 0.0189). 즉, 발수발유가공 Sontara로 된 새로운 디자인의 방호복이 기존 방호복보다 의복내 온도를 낮게 해 주는데 큰 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다. 따라서 의복내 온도는 방호복 소재와 디자인의 변화에 따라 영향을 크게 받는 것으로 해석할 수 있다.

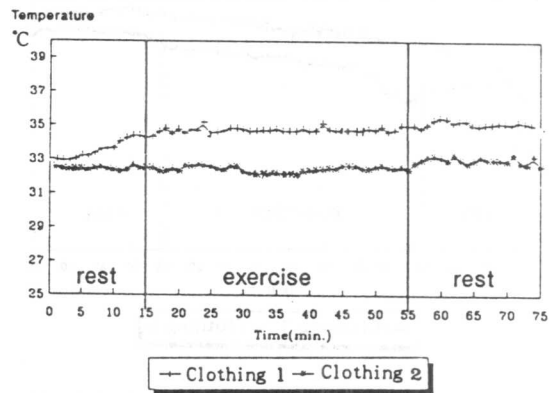


Fig. 15. Changes of means of microclimate temperatures((a), (b),(c)) in each type of protective clothing

3) 의복내 습도 비교

의복내 습도는 착의시 인체의 부위에 따라 의복층을 이루고 있는 의복의 종류가 의복내 습도에 미치는 영향을 알아보고자 인체-의복 계에서 상이한 세 부분의 습도를 측정하였으며(Fig. 9. 참조), 이들 세 부위의 습도로부터 평균 습도를

산출하여 그 결과를 Fig. 16에 나타내었다.

우선 인체-의복 계의 평균 습도를 살펴보면, Clothing 2 와 Clothing 1 의 의복내 습도는 상당히 의미있는 차이를 나타내었다(F값, 0.0339). 즉 Clothing 2 의 착용시가 Clothing 1의 착용시보다 의복내 습도가 상대적으로 낮게 나타났으며, 방호복의 소재 및 디자인이 의복내 습도의 변화에도 상당한 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다.

또한 Clothing 2 의 결과를 보면, 운동 시작 30분 후에는 의복내 습도가 80% 이상의 수준으로 높아지는 경향을 볼 수 있다. 이것은 발수발유가공 Sontara 소재 및 새로운 디자인의 방호복이 의복내 습도 감소에 미치는 한계 시간이 있음을 나타낸다고 할 수 있다.

즉, 장시간 운동으로 인해 의복내 습도가 일정한 한계수준에 도달하면, 의복의 소재나 의복형태를 달리 하여도 인체-의복 계에서의 습도 조절 기능성에는 한계가 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 농약 살포 환경과 같은 열적 환경에서 작업시 작업 시간과 휴식 시간을 적절히 배분하여 작업하는 것은 의복을 통한 효과적인 쾌적성의 향상을 기대할 수 있을 것으로 본다.

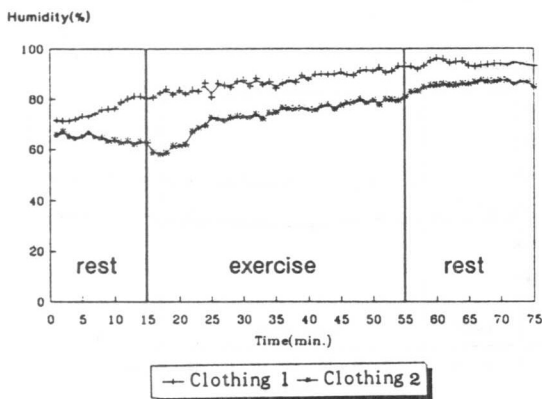


Fig. 16. Changes of means of microclimate humidities(a),(b), (c) in each type of protective clothing

나. 주관적 쾌적성에 대한 비교 및 평가

1) 온열감의 비교 및 평가

온열감(thermal sensation)은 피험자들에게 5분마다 온열 정도에 대해 응답하게 하여 측정하였으며, 이에 대한 결과를 Fig. 17에 나타내었다. 초기 휴식 시간에는 Clothing 1 이 Clothing 2 보다 온열감 지수가 약 2 정도 높게 나타났

(F값, 0.0017).

이것은 발수발유가공 Sontara에 대한 물성의 평가시 투습도와 공기투과도의 평가 결과에서 예상되었던 결과이며, 이러한 물성이 주관적 쾌적성의 평가 결과에 영향을 미친 것으로 해석할 수 있다.

또한 운동 시작 후 약 30분이 경과하면 방호복의 종류에 관계없이 온열감 지수는 6~7 사이의 값을 나타내어, 쾌적성을 유지하는 것이 불가능하게 됨을 알 수 있다. 즉, 열적 환경에서 투습성 소재 및 새로운 디자인의 방호복 착용역시 주관적 온열감에 효과적인 영향을 미치는 적정 시간이 있음을 알 수 있다.

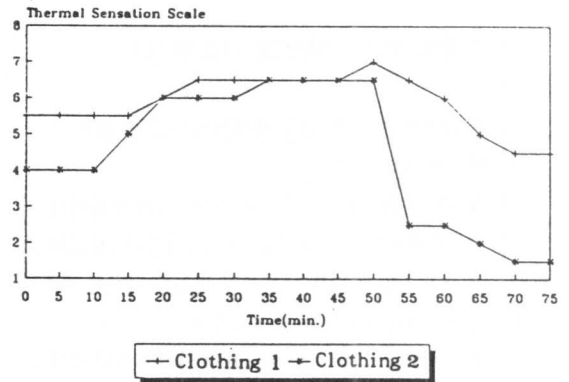


Fig. 17. Changes of subjective thermal sensation ratings in each type of protective clothing

2) 습윤감의 비교 및 평가

습윤감(humidity sensation) 측정은 5분마다 피험자들에게 습윤 정도에 대해서 주관적인 느낌을 질문하여 평가하였으며, 그 결과는 Fig. 18에 나타내었다.

Fig. 18에서도 알 수 있듯이 습윤감은 방호복의 종류에 따라 유의적으로 차이를 나타냈으며, PU 코팅 나일론의 Clothing 1 보다 발수발유가공 Sontara의 Clothing 2 의 경우가 더 쾌적한 것으로 나타났다(F값, 0.0458). 이것은 투습도와 공기투과도가 높은 발수발유 가공 Sontara가 습윤감의 측면에서도 더 쾌적한 결과를 제시하여 줌을 알 수 있다.

또한 운동 시간이 30분 경과 후 습윤감의 지수가 5에 가까워져서, 주관적 쾌적감은 거의 기대할 수 없게 됨을 알 수 있다.

이상과 같은 결과로부터, 발수발유가공 Sontara로 된 새로운 디자인의 방호복은 습윤감에 대한 쾌적감을 유지시켜 주고 그 시간의 길이를 증가시켜 주는 역할을 하고 있음을 알 수 있으며, 그 적정 시간은 운동 시작 30분 정도임을 알 수 있다.

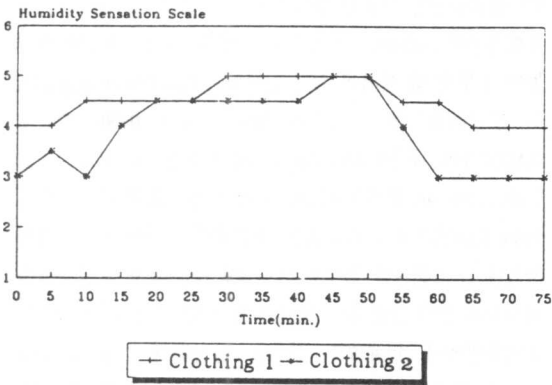


Fig. 18. Changes of subjective humidity sensation ratings in each type of protective clothing

3) 전체적 쾌적감의 비교

전체적 쾌적감(overall comfort) 또한 피험자에게 5분마다 질문하였으며, 그 결과를 Fig. 19에 제시하였다. 이 결과를 살펴보면 Clothing 1 과 Clothing 2 간에는 전체적 쾌적감의 차이가 유의적으로 나타났다 (F값, 0.0025).

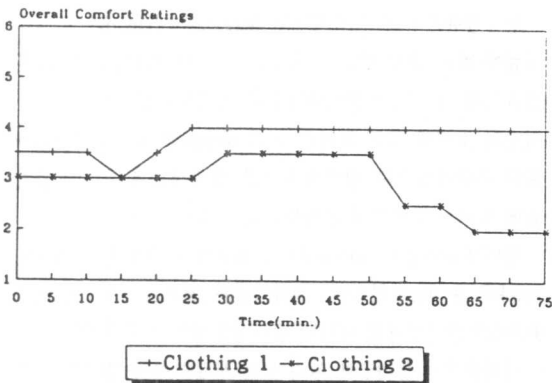


Fig. 19. Changes of subjective overall comfort ratings in each type of protective clothing

앞에서 살펴 본 온열감, 습윤감의 결과와 마찬가지로, 방호복의 소재 및 디자인이 전체적인 쾌적감에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다. Clothing 2 의 경우 Clothing 1에 비해서 전체적인 쾌적감의 지수가 1 정도로 낮게 나타나고 있으며, 이것으로써 방호복의 종류가 전체적 쾌적감 향상에 의미있는 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다.

즉, 전체적 쾌적감은 방호복 종류에 따라 다른 결과를 나타냈으며, 발수발유가공 Sontara 방호복의 착용시 일정한 작업 시간 내에서 쾌적감이 유지, 향상됨을 알 수 있다.

IV. 결 론

발수발유가공, 향미생물가공 및 이 두가공의 복합가공처리 가 부직포의 농약 차단성과 기능성에 미친 영향과 세탁에 의한 기능성의 변화를 고찰하고, 이 결과를 토대로 하여 농약 차단성이 가장 우수하다고 평가된 발수발유가공 부직포를 이용하여 생리적 부담감을 줄이기 위한 새로운 디자인의 방호복을 고안, 실험의를 제작한 후 인체착의 실험을 실시하여 기존 방호복과 객관적, 주관적 쾌적감을 평가하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 방호복 소재의 농약 차단성과 기능성의 평가 결과

- 가. 농약 차단성은 미처리 부직포에서 소재에 따른 차이를 보여 Tyvek과 Kimlon은 차단성이 우수하였으나, Sontara의 차단성은 좋지 않았다. 그러나 발수발유가공과 복합가공된 Sontara의 농약 차단성은 향상되었다.
- 나. 세탁에 의한 농약 제거는 부직포의 소재에 따라 차이가 있어 Tyvek이나 Kimlon은 제거되는 정도가 낮아 잔류량이 많았고, Sontara는 농약의 잔류량이 적었다.
- 다. 발수발유가공과 복합가공된 Sontara는 미처리 시료에 비해 발수 발유도, 내수도 등이 향상되었고, Tyvek과 Kimlon은 발유도와 내수도가 향상되었다.
- 라. 투습도와 공기투과도는 부직포의 소재에 따른 차이를 보여 Sontara와 Kimlon이 Tyvek보다 우수하였으며, 발수발유가공, 향미생물가공 및 복합가공에 의해서 투습도와 공기투과도는 감소하였다.
- 마. 향미생물가공된 Sontara와 Kimlon의 균감소율은 99.9%,

Tyvek은 93.9%이었으며, 복합가공된 세가지 부직포는 모두 99.9%이상의 균감소율을 나타내었다.

- 바. 세탁횟수가 증가함에 따라 모든 시료의 발유도는 감소하였고, Sontara와 Kimlon의 수분침투량은 증가하였지만 공기투과도는 증가하다가 감소하였다. 그러나 세탁 후 복합가공된 Sontara의 수분침투량은 발수발유가공된 시료보다 적었다.

2. 방호복 착용시 쾌적성의 평가 결과

- 가. 발수발유가공 Sontara로 된 실험의(Clothing 2)의 착용시 PU 코팅 나일론의 실험의(Clothing 1)인 기존 방호복보다 인체의 피부온과 의복내 온습도가 낮게 나타났으며, 상승하는 시간을 지연시켜 주는데 효과적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- 나. 주관적 쾌적감에서는 Clothing 2 가 Clothing 1 보다 쾌적하다고 평가하였으며, 쾌적감을 유지시켜 주는 시간을 증가시켜 주었다. 이것은 열적 환경에서의 작업시, 작업량을 고려한 작업 시간 및 휴식 시간을 적절하게 설정하는 것도 인체-의복의 쾌적성을 증가시켜 줄 수 있을 것으로 사료된다.

이상의 결론을 종합해 볼 때 Tyvek과 Kimlon은 농약 차단성은 매우 우수하며, 발수발유가공된 Sontara는 농약에 대한 차단성도 있으면서 쾌적하며 복합가공된 Sontara도 향미생물성과 아울러 내세탁성이 향상되므로, 쾌적한 차세대 농약 방호복의 소재로 발수발유가공과 복합가공된 Sontara가 가장 적합한 것으로 기대되어진다.

또한, 발수발유가공 Sontara 로 된 새로운 디자인의 실험의가 기존 방호복보다 인체의 피부온, 방호복 내의 온습도가 낮게 평가되었으며, 이와 관련된 쾌적성이 향상된 것으로 평가되었다.

적 요

본 연구의 목적은 농약 방호복 소재 상태로 발수발유가공, 향미생물가공 및 이 두가공의 복합가공이 부직포의 농약 차단성과 기능성에 미친 영향과 세탁에 의한 기능성의 변화를 비교 평가하는데 있으며, 이를 바탕으로 새로운 디자인의 방호복을 고안, 제작한 후 기존의 농약 방호복과 인체착의 실험을 실시하여 객관적 주관적 쾌적성에 대하여 비

교 평가함으로써 농약 차단성과 쾌적성을 갖춘 방호복 소재 및 농약 방호복을 개발, 제안하는데 있다.

본 연구의 실험 방법은 다음과 같다.

농약 방호복의 소재 상태에서 구성섬유와 제조공법이 상이한 세가지 부직포인 스펀본드와 스펀레이스, 그리고 스펀본드/멜트블로운/스펀본드 부직포를 시료로 하여 불소계 가공제(fluorocarbon)에 의해 발수발유가공과 유기실리콘계 제4차 암모늄염을 이용한 항미생물가공, 그리고 이 두 가공의 복합가공을 pad-dry-cure법으로 하였다. 이들 가공에 따른 농약 침투량 및 세탁에 의한 잔류량은 Gas Chromatography로 분석하였으며, 기능성은 발수도(KS K 0590), 발유도(AATCC 118), 내수도(KS K 0591), 수분침투량(AATCC 42), 투습도(BS 7209-1990), 공기투과도(KS K 0570) 등으로 평가하였으며, shake flask법으로 균감소율을 측정하여 향미생물성을 평가하였다. 그 결과를 토대로 발수발유가공 소재로 방호복을 제작하여 농약 살포 환경 조건인 $28 \pm 2^\circ\text{C}$, $70 \pm 5\% \text{RH}$ 의 인공기후실에서, 인체착의 실험을 실시하여, Thermohygrometer를 이용하여 피부온과 의복내 온습도를 측정하였으며, 객관적 주관적 쾌적감을 비교 평가하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같다.

농약 차단성은 미처리 부직포에서 소재의 차이를 보여 Tyvek과 Kimlon은 우수하였으나, Sontara의 차단성은 좋지 않았으나, 발수발유가공과 복합가공된 Sontara의 농약 차단성은 향상되었다. 세탁에 의한 농약의 제거는 부직포의 소재에 따라 차이가 나서 Tyvek과 Kimlon은 제거되는 정도가 낮아 농약 잔류량이 많았지만, Sontara는 농약의 잔류량이 적었다.

발수발유가공과 복합가공된 Sontara와 Kimlon은 미처리 시료에 비해 발수 발유도, 내수도 등이 향상되었고, Tyvek은 발유도와 내수도가 향상되었으며, 공기투과도, 투습도는 부직포의 소재에 따른 차이를 보여 Sontara와 Kimlon이 Tyvek보다 우수하였으며, 발수발유가공, 향미생물가공 및 복합가공에 의해서 투습도와 공기투과도는 감소하였다.

향미생물가공된 Sontara와 Kimlon의 균감소율은 99.9%, Tyvek은 93.9%이었으며, 복합가공된 세가지 부직포 모두 99.9%의 균감소율을 나타내 향미생물성이 우수하였다.

세탁횟수가 증가함에 따라 모든 시료의 발수 발유도는 감소하였고, Sontara와 Kimlon의 수분침투량은 증가하였지만 공기투과도는 증가하다가 감소하였다. 그러나 세탁 후 복합가공된 Sontara의 수분침투량은 발수발유가공된 시료보다 적었다.

발수발유가공 Sontara로 된 새로운 디자인의 방호복의 착용시 PU 코팅 나일론의 기존 방호복보다 피부온, 의복내 온습도가 낮게 나타났다. 주관적 쾌적감의 측면에서 볼 때, 발수발유가공 Sontara로 된 새로운 디자인의 방호복이 기존의 방호복보다 더 우수하다고 평가되었으며, 쾌적감을 유지시켜 주는 시간이 증가된 것으로 나타났다.

이상과 같은 결론을 종합해 볼 때, Tyvek과 Kimlon은 농약 차단성은 매우 우수하며, 발수발유가공과 복합가공의 Sontara는 농약 차단성 및 쾌적성이 모두 우수하였으며 아울러 내세탁성도 향상되었다. 또한, 발수발유가공 Sontara로 된 새로운 디자인의 방호복이 기존의 방호복보다 더 쾌적한 것으로 평가되었다. 따라서 발수발유가공 Sontara로 된 새로운 디자인의 방호복은 기존의 방호복에 비하여 쾌적성, 경제성, 착탈의 편리성, 작업 용이성이 향상된 농약 방호복으로서 농약 차단성과 쾌적성이 향상된 차세대 농약 방호복으로서 유용할 것으로 기대된다.

본 연구는 방호복 소재로서 요구되는 농약 차단성 및 기능성과 쾌적성을 평가하고 이 결과를 토대로 제작된 의복의 착의 실험을 실제 환경조건과 유사한 인공기후실에서 실시함으로써 쾌적한 방호복 소재 및 디자인 개발의 기초자료를 제공하고자 한 점에 의의가 있다. 또한 앞으로는 인공기후실에서 thermal manikin으로 의복 성능을 평가하고, 보호 장갑, 마스크, 농작업모 등 기타 수반되는 보호구와 장비들에 대한 후속 연구가 이루어져야 할 것으로 본다. 또한 본 연구는 인공기후실에서 실시되었으나, 실제 농약 살포의 작업 환경, 작업동작 등의 다양한 환경조건에서 의복의 쾌적감을 평가하는 단계를 보완하여 보다 체계적인 의복 쾌적감에 대한 후속연구가 수행되어야 할 것으로 본다.

인용 및 참고문헌

- 高麗實紀, "섬유제품의 위생가공", 섬유 위생가공 세미나, 공업진흥청, 국립공업시험원, 서울중부 염색공업협동조합, (1987).
- 김의영, "농약살포시 농약방제복의 필요성 및 디자인에 관한 연구", 이화여자 대학교 석사학위논문, 1984.
- 농약공업협회, "농약 사용자를 위한 보호복", 농약 정보, 12(4), p. 10~14, 1991.
- 보건사회부, "농약사용으로 인한 농촌주민들의 인체중독 실태", p. 64~91, 1990.
- 신동천, "농촌주민들의 농약사용 행태와 중독실태 조사", 농약 정보, 12(5), p. 35~43, 1991.
- 유영선, "농약 피해 현황 조사 연구", 건국대학교 석사학위논문, 1981.
- 이성환, 홍종욱, 개정농약학, 10판, p. 19~35, 1990.
- 이순원, 조길수, 이영숙 공역, "피부과학총론", p. 352~362, 교문사, 1991.
- 정운선, "한국 농촌 의생활 연구의 동향", 한국농촌과학회지, 4(2), p. 67~73, 1993.
- 최석철, 조경래, "피부위생학", p. 81~183, 형설출판사, 1991.
- 최정화 외3명, "농약방제복 개발에 관한 연구", 한국의류학회, 11(1), p. 91~100, 1987.
- 최종명, "발수발유가공과 함미생물가공이 부직포의 살충제 차단성, 기능성 및 쾌적성에 미치는 영향", 연세대학교 박사학위논문, 1993.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc., "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy," ANSI/ASHRAE 55, p. 3~17, 1992.
- Branson, D. H., "Thermal Response Associated with Prototype Pesticide Protective Clothing", Text. Res. J., p. 54~64, 1986.
- Fraser, A. J. and Keeble, V. B., "Factors Influencing Design of Protective Clothing for Pesticide Application," Performance of Protective Clothing, ASTM STP 989, p. 365~374, 1988.
- Finley, E. L. and Rogilio, T. R. B., "DDT and Methyl Paration Residues found in Cotton and Cotton-Polyester Fabrics worn in Cotton Fields," Bulltin of Environ. Contam. & Tox., Vol. 4, No. 6, p. 15~19, 1969.
- Gagge, A. P., and Saltin, B. S., "Comfort and Thermal Sensation and Associated Physiological Responses during Exercise at Various Ambient Temperatures", Environmental Research, 2, p. 1~20, 1969.
- GIFAP, "Specification for Protective Garment", The GIFAP Guidelines for the Safe and Effective Use of Pesticides State, AP., Brussel, p. 1~15, May 1993.
- Hatch, K. L., Markee, N. L., Maaibach, H. I., "Skin Response to Fabric; A Review of Studies and Assessment Method," Clo. Text. Res. J., 10(4), p. 54~62, 1992.

20. Hollies, N., and Gordon, R., "Clothing Comfort", Ann Arbor Science Publisher Inc., Michigan, 1977.
21. Keeble, V. B., et al, "Evaluation of knit glove fabrics as barriers to dermal absorption of organophosphorus insecticides using an in vitro test system," *Toxicology*, 81, p. 195~203, 1993.
22. Kissa, E., "Repellent Finishes", in M. Lewin and S. B. Sello, Eds., *Handbook of Fiber Science and Technology*, Vol. II, Part A, New York: Marcel Dekker Inc., 1984.
23. Lloyd, G. A., "Efficiency of Protective Clothing for Pesticide Spraying", *Performance of Protective Clothing*, ASTM STP 900, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, p. 121~135, 1986.
24. Popendorf, W., "Mechanisms of Clothing Exposure and Dermal Dosing during Spray Application", *Performance of Protective Clothing*, ASTM STP 989, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, p. 611~624, 1988.
25. Schick, M. J. *Surface Characteristics of Fibers and Textiles*, New York: Marcel Dekker, Inc., 1975.
26. Shell I. C. C. Limited, "Shell Agriculture Safety Guide", Chemicals Health, Safety and Environment Division, Shell International Chemical Company Limited Shell Centre, London SE1 79C, p. 6~39, December 1990.
27. Smith, B. F., and Block, I., *Textiles in Perspective*, New York: Prentice Hall, Inc., 1982.
28. Watkins, S. M., "Clothing: The Portable Environment," Iowa State University, 1984.
29. Webb, P., "Temperature of skin subcutaneous tissue, muscle and core in resting men in cold, comfortable and hot conditions," *J. of Appl. Physiol.*, 64(5), p. 471~476, 1992.
30. Wu, S., *Polymer Interface and Adhesion*, New York: Marcell Dekker, Inc., 1982.
31. Yuka Yamashita, et al, "The Effects of Textile Materials in Protective Clothing Against Pesticide vis-a-vis Sweat Rates," *Proceedings of Fifth Int. Conf. on Environmental Ergonomics*, 2(6), p. 158~159, 1992.