

작업복 소재 직물의 액상 수분 전달 특성 및 표면특성 연구

유 신 정

한국생산기술 연구원

Liquid Moisture Management and Surface Properties of the Fabric in Transient Condition

Shin Jung Yoo

Korea Institute of Industrial Technology

(2000. 6. 7 접수)

Abstract

As important factors determining human sensorial comfort, liquid moisture management and surface properties of heat resistant workwear materials were examined. To figure out liquid moisture management properties of the test materials, absorption capacity, rate of absorption, and evaporation properties were assessed. A modified GATS(Gravimetric Absorbency Testing System) was used to measure the liquid moisture accumulation associated with the wicking of liquid moisture from sweating skin. The GATS procedure measures demand wettability of materials to take up liquid in a direction perpendicular to the fabric surface and it was modified to incorporate a special test cell and cover to assess absorption behavior in the presence of evaporation. Fabric stiffness, smoothness, number and the length of surface fibers, and an estimate of the contact area between the skin and fabric surface were measured to characterize the mechanical and surface properties of the test materials. Also an estimate of the force with which a fabric clings to moist skin was made using a wet-cling index.

Key words: liquid moisture management property, rate of absorption, evaporation, surface property, modified GATS; 액상수분전달, 흡수성, 흡수속도, 표면특성, 방열복

I. 서 론

접촉 쾌적성(sensorial comfort)은 주로 직물의 표면 구조와 수분전달 특성에 의해 결정된다. 이러한 감각은 부드러운(soft), 매끈한(smooth), 따끔거리는(prickly) 등과 같은 직물의 표면 성질과 관련된 느낌과 눅눅한(damp), 축축한(clammy), 끈적거리는

(sticky)등의 직물의 수분전달 특성에 의해 좌우되는 느낌으로 표현되는데 이는 피복재료물질의 표면 섬유 수와 길이, 접촉면적, 흡수성, 흡수속도, 굽힘강성, 전단강성, 표면 거칠기, 표면 마찰등을 통해 측정하고 예측할 수 있다.

본 연구에서는 기능성과 함께 작업능률의 향상을 위해 필수적으로 요구되는 착용자의 주관적인 쾌적성에 영향을 미치는 직물의 특성을 연구하기 위하여 방열 소재 작업복 직물과 면직물을 대상으로 액

체 상태의 수분 전달 특성과 표면 특성을 고찰하였다.

II. 이론적 배경

피부의 습윤감(dampness)과 의복기후내의 습기가 의복의 쾌적성을 결정하는 중요한 지수라는 것은 잘 알려져 있다.^{4, 7~10)} 이는 피부의 습윤이 초래하는 불쾌감이 의복의 생리학적 스트레인을 증가시킴으로써 의복자체에 대한 불쾌감을 일으키기 때문으로, 수증기와 액체 상태의 수분전달 특성은 의복의 접촉(sensorial) 쾌적성을 결정하는데 크게 기여하게 된다.

피복재료의 수분처리능력에 영향을 미치는 요인은 다양하다. 수증기와 액체상태의 수분전달경로가 서로 다르기 때문에 수증기 전달에 유리한 특성들이 액체상태의 수분전달에는 불리한 점으로 작용하기도 한다. 예를 들어, 섬유 흡습성(hygroscopicity)은 미시적인 혹은 거시적인 환경에서 급격한 상대습도의 변화를 완화해 주는 완충작용(buffering effect)을 부여할 수 있으나, 액체상태의 수분전달의 경우 습기를 흡수한 섬유가 팽윤되어 기공을 좁게 만듦으로써 기공을 통한 수증기나 액체의 투과율을 저하시키며 흡수된 수분은 제거되기 어려워서 건조속도가 저하되는 결과를 낳는다. 이같은 이유로 흡습성이 큰 소재를 사용한 작업복이나 액티브 스포츠 웨어의 수분관련 착용 쾌적성이 항상 좋은 평가를 받을 것으로 예측되지 못한다. 피복재료의 액체상태의 수분전달은 건조한 상태의 시료와 액체의 초기 접촉, 완전히 젖어 있는 시료 속을 이동하는 액체의 흐름, 그리고 시료로부터 그 액체를 제거하는 등의 다양한 양상을 가진다. 이러한 다양한 조건을 반영하기 위해 피복재료를 통한 액상수분전달은 'wettability'와 'wickability'의 두가지 현상으로 구분된다. Hamet과 Mehta⁶⁾는 wickability는 '모세관의 흐름을 지속시키는 능력'으로, wettability를 '피복재료가 액체와 접촉한 순간 직물이나 실, 섬유의 초기의 반응 상태'로 정의하였다. 비록 wetting과 wicking이 서로 다른 현상으로 기술된다고 하더라도 이들은 '모세관현상에 의한 액체의 이동'이라

는 하나의 과정으로 설명될 수 있다. 비록 추진압차(driving pressure gradient)가 전혀 없거나 마이너스의 값을 가질 때 일지라도 직물이 액체를 흡수하기 시작했을 때를 wicking이라고 하고 이는 직물의 어느 부분으로부터 흡수되기 시작한 액체가 직물면으로 퍼져나가는 때를 일컫는다. 일단 액체가 직물의 표면을 통해 이동해 가면 이것은 통상 wicking이라고 부르지는 않고 특별히 demand wettability라고 부른다³⁾.

직물의 기공도(porosity)는 세가지 요소로 구성된다: 1) 섬유 내(纖維內, intrafiber) 기공으로 20~60 Å 정도의 크기이다. 2) 섬유와 섬유 사이(纖維間, interfiber)의 기공으로 5μm 보다 작은 값을 가진다. 3) 실과 실 사이(絲間, interyarn)의 기공으로 30~50μm정도이다.

액상 수분이 이동하는데 사용되는 기공을 '유효기공도(effective porosity)'라고 하며 이것은 주로 실과 실 사이(interyarn)와 섬유와 섬유 사이(interfiber)의 기공도에 의존한다.

기공물질 내에서의 액체의 이동에 대한 연구는 토양물리학등에서 주로 활발하게 이루어져 왔으며 섬유과학 내에서는 거의 이루어지지 않아 왔다. 전통적인 이론들이 직물의 흡수성을 예측하기 위해 적용되어 왔지만 좋은 성과를 거두지 못하고 있어 왔는데 이것은 직물이라는 기공물질의 복잡한 기공구조를 충분히 설명해 줄 이론이 부족하였기 때문이다. 직물 내 액체 이동에 대해서는 비록 피복재료 물질이 복잡한 기공구조를 가지고 있지만 간단한 모세관이동의 모델을 사용하여 설명해 왔다. 이 모델은 기공물질 내의 액체는 액체와 공기와의 접촉면에서 생기는 압력의 차이, 즉 모세관 현상으로 이동해 간다는 것이다.

직물이 이상적인 관 구조를 가진다고 가정한다면, Hagen-Poiseuille 법칙을 적용할 수 있다.

$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{\pi R_c^4}{8\eta} \right) \frac{\Delta P}{L} \quad (1)$$

여기서 dV/dt 는 단위시간당 이동한 액체의 용적, η 는 액체의 점도, L 은 액체로 채워진 관의 길이, ΔP 는 정미(正味) 추진압(net driving pressure)이

다. 그러므로 자발적인 흐름이라면 흡수속도(dV/dt)는 유효압력차이(ΔP)와 피복재료에서의 기공의 크기(R_c)에 의해 결정된다. 관을 타고 액체가 이동할 때 형성되는 요철 면(concave meniscus)에 의해 유발되는 추진력은 La place relationship에 의해 구할 수 있다.

$$\Delta P = \frac{2\gamma\cos\theta}{R_c} \quad (2)$$

여기서 γ 는 액체의 표면 장력, θ 는 접촉각이다. 그러나 반대편으로 중력이 작용하므로,

$$\Delta P_h = hg\delta \quad (3)$$

여기서 h 는 액체의 상승높이, δ 는 액체 밀도, g 는 중력 가속도이며, 식 (1), (2), (3)에서 Washburn Equation과 유사한 관계를 찾을 수 있다.

$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{2\gamma\cos\theta}{R_c} - hg\delta \right) \frac{\pi R_c^4}{8\eta L} \quad (4)$$

Demand wettability인 경우 음수압이 적용되면 중력에 의한 영향보다 반대편으로 작용하는 압력인 P_H 가 더 큰 역할을 하므로 식 (4)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{2\gamma\cos\theta}{R_c} - P_H \right) \frac{\pi R_c^4}{8\eta L} \quad (5)$$

식 (4)에 의하면 흡수속도는 흡수되는 액체의 특성 세 가지(표면장력, γ , 밀도, δ , 점도, η)와 흡수하는 직물의 특성(유효 기공크기, R_c) 그리고 이 둘간의 상호 작용(접촉각, θ)에 의해 결정된다. 흡수되는 액체의 종류가 일정하다면 액체의 특성인 밀도(δ)와 점도(η)는 일정하므로 직물의 구조적 요인인 유효기공의 크기(R_c)와 직물과 액체간의 상호작용인 표면장력(γ)과 접촉각(θ)을 조정함으로써 직물에 흡수되는 액체의 속도를 증가시킬 수 있다. 유효기공의 반경인 R_c 이 흡수속도와 정적인 관계에 있으므로 기공의 크기가 클 수록 주어진 시간에 모세관을 타고 흐르는 액체의 양은 많아 질 것이다. 기공 물질에 액체를 흡수시키기 용이하게 하기 위해 계면활성제를 사용하는 경우 Washburn relationship에

따르자면 표면장력을 낮추게 되면 오히려 흡수속도가 줄어들어야 한다. 그러나 실제에서 이러한 현상은 나타나지 않는데 이렇게 모순된 현상이 나타나는 이유는 표면장력을 줄이면 접촉각도 작아지기 때문이다. θ 가 작아짐으로써 $\cos\theta$ 의 값이 증가되고 이러한 복합적인 현상의 결과로써 흡수속도는 증가하는 것이다. 따라서 흡수속도를 언급할 때는 언제나 표면장력과 접촉각의 역할을 동시에 고려하여 'wettability function, $\gamma\cos\theta$ '의 개념으로 보아야한다. 뿐만 아니라 이 $\gamma\cos\theta$ 의 값은 액체의 특성을 변화시키지 않을 경우 흡수하는 물질인 섬유나 직물 표면의 화학적 특성을 변화시킴으로써 증가시킬 수 있다.

흡수속도를 향상시키기 위한 대표적인 방법은 접촉각을 줄이는 것인데 이러한 원리를 이용한 가장 효과적인 방법 중의 하나가 직물에 행하는 wicking finish이다. 만일 원래의 접촉각이 90° 보다 컸다면 wicking 처리로 접촉각을 90° 이하로 감소시킬 경우 흡수속도는 빨라질 것이다. 그러나 원래의 접촉각이 90° 보다 작고 표면장력이 작다면 흡수속도(wicking rate)는 $\gamma\cos\theta$ (wettability function)의 방향에 따라 줄어들 수도 증가할 수도 있다.

III. 실험

1) 실험 재료

시료는 다섯 가지의 서로 다른 섬유와 직조, 후처리로 구성된 아라미드직물과 한 종류의 면직물을 사용하였으며, 모든 시료의 평량(basis weight)은 4.5에서 5.5oz/yd²로 통제되어 Dupont사에서 제작되었다. 모든 시료는 실험 전, 생산 과정 중 처리된 첨가물과 오염을 제거하기 위해 AATCC방법으로 세 차례 세탁되었다. 직물에 사용된 원사와 직물의 기본 구성 및 wicking 처리 여부는 Table 1과 같다.

2) 실험 방법

(1) 액체상태의 수분전달

기존의 흡수성 측정방법들은 손과 육안으로 하는 작업에 의존해야 하기 때문에 상대적으로 정확도가 떨어지고 실제 피부와 직물의 접촉 상황을 재현할

Table 1. Description of test materials

Fabric	Fiber Contents	Fabric Construction	Fabric Density (1/inch)	Basis weight (oz/yd ²)	Bulk Density (kg/m ³)	Thickness (mm)
T1	Developmental Nomex	2/1 right hand twill	72×54	5.30	192.37	0.92
T2	Developmental 75/25 Nomex/FR rayon Blend, w/o wicking finish	Plain weave	68×48	4.62	176.93	0.87
T3	NomexIII A, w/o wicking finish	Plain weave	67×43	4.71	166.50	0.94
T4	NomexIII A, with wicking finish	Plain weave	67×43	4.78	161.02	0.99
T5	Developmental 75/25 Nomex/FR rayon Blend, with wicking finish	Plain weave	67×47	4.62	159.33	0.96
T6	100 % preshrunk cotton	2/1 left hand twill	100×52	5.58	182.46	1.03

FR: Flame Resistant

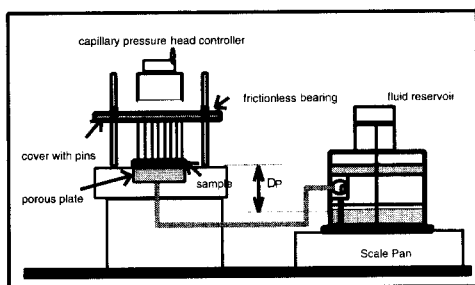


Fig. 1. Schematic diagram of modified GATS

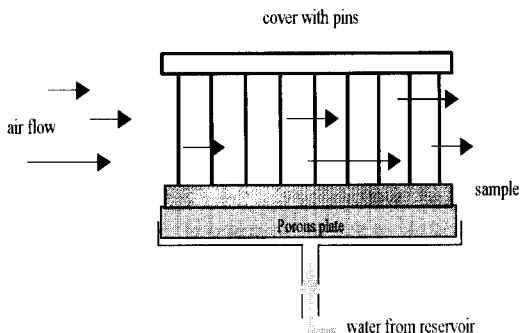


Fig. 2. Modified cell and cover

수 없는 단점 등이 있어 왔다.

본 연구에서는 직물의 흡수성과 증발을 동시에 측정하기 위해 modified Gravimetric Absorbency Testing System(GATS)이 사용되었다. GATS의 기본적인 구성을 Fig. 1에 나타내었다. Data 저장에 위한 컴퓨터와 연결된 전자저울을 이용하여 액체 저장용기에서 실험판에 놓인 시료위로 이동하는 액체의 양을 지속적으로 기록할 수 있도록 고안되어 있다. 본 연구에서는 주어진 시간 안에 증발이 일어나는 가운데 시료의 흡수성 변화를 고찰하기 위해 시료를 장착하는 셀과 덮개를 변형하여 이용하였다(Fig. 2).

단일의 구멍대신 다공판(porous plate)을 사용하여 시료가 땀으로 젖은 피부에 접촉하였을 때의 상황을 모사하였다. 특수 커버는 아크릴 판 대신 여러 개의 핀을 장치하여 액체가 시료를 통해 흡수되고

공기중으로 증발되는 과정을 관찰 할 수 있도록 하였다. 시료를 다공판에 올려놓을 때 무마찰 베어링(frictionless bearing)을 사용하여 시료의 모든 면이 동시에 고르게 다공판에 접촉할 수 있게 하였으며 다공판의 모세관압력조절장치(capillary pressure head controller)를 사용하여 실험판의 높이를 조정하여 액체저장용기로부터의 시료의 높이(ΔP)를 설정하였다. 본 실험을 위하여는 4cm가 채택되었다. 시간에 따라 시료에 의해 흡수되는 액체의 변화량이 기록되었으며 오차를 최소화하기 위해 액체가 흡수됨에 따라 변하는 저장용기 내의 액체의 높이와 시료와의 차이(ΔP)는 항상 같은 상태로 유지되도록 하였다. 시료에 의해 흡수되는 액체의 무게가 10초에 0.01g 보다 적을 경우 흡수성실험은 자동으로 정지되며 증발 실험은 각 시료 당 1000초 동안

Table 2. Measured properties from absorption test using modified GATS

Symbol	Property	Description
W(g)	Sample dry weight	weight of dry sample
V(cc)	Absorbent Capacity	total amount of fluid absorbed by sample
C(cc/g)	Specific Absorbent Capacity	$C=V/W$
Q(cc/min)	Absorbent Rate	average of instantaneous slope for a specific time increment

Table 3. Measured properties from evaporation test using modified GATS

Symbol	Property	Description
T(cc)	Total fluid loss from reservoir	amount of fluid driven by the sample during 1000 seconds
A(cc)	Amount of fluid absorbed by the sample	the difference between the wet and the dry sample weights before and after the test
E(cc)	Amount of fluid evaporated from the sample	total amount of fluid evaporated to the environment: $E=T-A$
R(%)	% of water remaining in the sample after test based on its capacity	$R(\%)=100 \times A/WC$

계속되었다. 실험을 통해 얻을 수 있는 액체 상태의 수분전달 특성들을 Table 2와 3에 나타내었다.

(2) 표면 특성

의복 착용 시(時) 피부에 접촉되는 피복재료의 표면 특성을 이해하고 주관적인 착용 쾌적성과의 관계를 고찰하기 위해 시료의 표면 특성과 접촉특성들이 측정되었다.

시료의 물리적인 성질과 역학 특성을 위해 KES (Kawabata Evaluation System)를 사용하였다. FB-4 Surface Tester를 사용하여 시료의 거친 정도(roughness)를 측정하였고 FB-2 Bending Tester와 FB-1 Tensile and Shear Tester를 사용하여 굽힘강성과 전단강성을 측정하였다. Table 4에 KES를 통해 측정된 물리적, 역학적 성질을 나타내었다.

피복재료가 착용자의 피부에 접촉되었을 때의 접촉면적(contact area)과 접촉쾌적성(sensorial comfort)을 예측하기 위해 n_k (number of contact points)와 i_0 (surface hairiness)가 측정되었다. 접촉점의 수, n_k 는 염색한 시료를 종이 사이에 두고 일정한 압력 하에서 롤러를 통과시키는 방법을 사용했으며, 표면 섬유 수와 길이, i_0 는 시료의 단면을 확대하여 관찰하는 방법으로 측정되었다. 땀으로 젖은 피부에 시료가 달라붙는 정도(wet clinginess)는 Hohenstein Institute¹¹⁾의 측정 기구를 사용하여 측정되었다. 이 기구를 사용하여 땀으로 젖은 피부를 모사하기 위해 수분 공급장치와 연결된 소결 유리판(sintered glass plate)위에 시료를 올려놓은 후 옆에서 시료를 당길 때 필요한 힘을 측정하고 그 결과를

Table 4. Mechanical and surface properties measured by KES

Properties	Symbols	Characteristic	Unit
Bending	B	bending rigidity per unit fabric weight	gf cm ² /cm
	2HB	hysteresis of bending momentum	gf cm ² cm
Surface	MIU	coefficient of friction, 0 to 1 value	-
	MMD	mean deviation of MIU	-
	SMD	geometric roughness	μm
Shear	G	shear stiffness	gf/cm degree
	2HG	hysteresis of shear force at 0.5 degrees of shear angle	gf/cm
	2HG5	hysteresis of shear force at 5.0 degrees of shear angle	gf/cm

Table 5. Liquid water transfer properties measured using GATS

Sample	V(cc)	C(cc/g)	Q _{1sec} (cc/min)	Q _{1min} (cc/min)	T(cc)	A(cc)	R(%)	E(cc)
T1	1.136	1.036	0.189	0.318	1.386	0.949	83.49	0.437
T2	1.022	1.097	0.190	0.237	1.270	0.851	83.19	0.419
T3	1.037	1.069	0.398	0.301	1.339	0.904	87.16	0.435
T4	1.068	1.080	1.427	0.329	1.391	0.951	89.03	0.440
T5	1.060	1.117	0.345	0.304	1.337	0.915	86.35	0.422
T6	1.411	1.210	1.539	0.493	1.791	1.313	93.04	0.478

V(cc): Absorption Capacity, C(cc/g): Specific Absorption Capacity, Q_{1sec} and Q_{1min}(cc/min): Average Rate of Absorption after 1 sec. and 30 sec. through 1 min, respectively, T(cc): Total water driven by a sample with air flow, A(cc): Water absorbed in the sample, E(cc): Water evaporated, R(%): Percentage of water remaining in the sample based on its maximum absorbent capacity.

이용하여 wet-cling index가 계산되었다.

IV. 실험결과 및 고찰

1) 액체 상태의 수분 전달

Table 5에 modified GATS를 사용하여 측정된 흡수성(absorbency)과 흡수속도(rate of absorption), 증발을 포함한 수분 처리특성에 대한 결과를 나타내었다. 다섯 종류의 서로 다른 방열 작업복직물과 면직물의 흡수특성을 비교한 Fig. 3을 보면, 각 시료를 나타내는 커브가 서로 다른 기울기와 최대값을 가지고 있으며 포화상태에 도달하기까지 걸리는 시간 역시 시료간 차이를 나타내고 있다. Fig. 4에 흡수용량(absorbent capacity)을 비교하였는데 섬유종류는 흡수용량에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있다.

이론적으로 흡수용량은 주로 직물의 구조적인 특성인 두께나 부피 등에 의해 좌우되며 기공도가 매

우 큰 시료의 경우 시료의 건조두께는 흡수용량에 비례한다고 알려져 있다⁹⁾.

그러나 본 연구에서 사용된 평직물과 능직물 시료의 경우 시료의 두께와 흡수용량사이의 명확한 관계가 성립하지 않는 것을 Fig. 5에서 확인할 수 있다. 이는 앞의 이론이 가정하는 매우 큰 기공도를 가진 물질의 흡수용량은 시료가 수평으로 놓인 상태에서 시료안의 공기층에 함유된 모든 액체의 양을 포함하는 것이다. 즉, 젖은 상태의 시료의 두께의 최상층까지 채우고 있는 모든 액체의 양으로써 시료에 의해 흡수(absorbed) 되기보다는 함유(held)된 상태를 포함한다. 이러한 값은 영수압인 상태의 실험 조건에서 얻을 수 있다. 그러나 피복재료의 흡수용량측정에 있어서는 의복을 착용했을 때 흡수되지 않고 떨어지게 되는 액체의 양을 포함시키는 것은 의미가 없으며 이렇게 측정된 흡수용량은 그 시료가 실제 의복으로 만들어 착용되었을 때 흡수성과

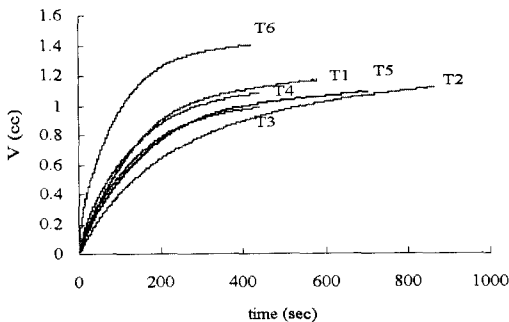


Fig. 3. Absorbent property curves

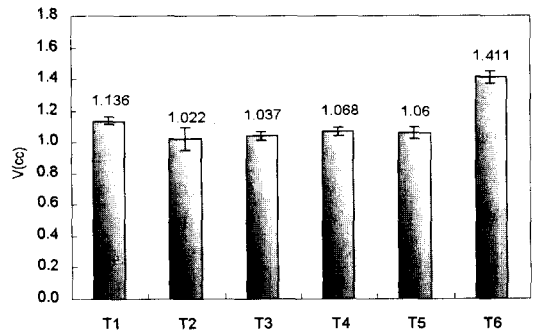


Fig. 4. Absorbent capacity

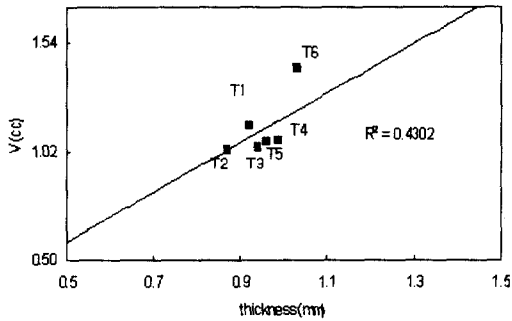


Fig. 5. Relationship between thickness and absorption capacity (V)

관련하여 착용자가 느낄 수 있는 쾌적성 여부를 예측하는데 사용될 수 없다. 따라서 본 연구에서의 흡수용량은 음수압하에서 측정하여 비교되었다.

FR레이온 첨가 시료(T2와 T5)의 흡수용량은 100% Nomex시료(T3와 T4)에 비해 의미 있는 큰 값을 갖지 않는다. 따라서 FR레이온의 첨가는 흡수용량에 중요한 영향을 미치지 않은 것으로 생각된다. wicking 처리를 한 시료(T4와 T5) 역시 흡수용량에서 약간의 증가를 보였을 뿐 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 이는 시료 T3와 T4, T2와 T5를 각각 비교함으로써 알 수 있다 (Fig. 4).

Fig. 6에 흡수가 시작된 시점으로부터 1초 후와 30초에서 1분사이의 시료의 흡수속도를 비교하였다. 흡수를 시작한 후 1초 동안의 평균흡수속도(Q_{1sec})에서는 wicking 처리를 한 시료(T4와 T5)들이 wicking 처리되지 않은 시료(T3와 T2)에 비해 모두

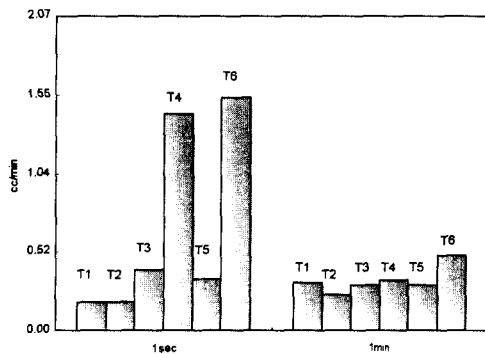


Fig. 6. Rate of absorption(cc/min)

큰 값을 나타내고 있다. 주목할 만한 점은 wicking 처리한 Nomex(T4) 직물의 경우 wicking 처리되지 않은 시료(T3)에 비해 현저히 큰 값을 가져서 100% 면직물(T6)의 흡수속도에 필적하고 있다. 그러나 이러한 wicking 처리의 효과는 시간이 경과함에 따라 현저히 줄어 30초에서 1분 사이에 측정된 흡수속도에서는 wicking 처리의 효과나 시료간의 차이를 발견하기 어려운 것을 볼 수 있다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 모든 시료의 포화시간(saturation time)이 7분에서 10분 사이에 놓여있으므로 1분 후의 시료는 활발히 흡수가 진행되고 있는 상태로 보여지나 wicking 처리의 효과는 그보다 빠른 시점에서 나타났다. 그러나 Fig. 4에서 관찰되듯이 흡수된 물의 총량에서는 wicking 처리된 시료나 그렇지 않은 시료에서 차이를 보이고 있지 않아 wicking 처리는 시료의 초기 흡수속도에만 영향을 미칠 뿐임을 확인할 수 있다. FR레이온이 첨가된 Nomex 시료(T2와 T5)의 wicking 처리효과는 100% Nomex 시료에서와 같은 극적인 증가효과는 보이지 않으나 wicking 처리된 시료(T5)의 흡수속도가 wicking 처리되지 않은 시료(T2)에 비해 큰 값을 나타내었다. Nomex에 첨가된 FR레이온이 흡수속도에 미친 영향은 시료 T2와 T3를 비교함으로써 관찰할 수 있다. 그러나 Fig. 6에서 나타나듯이 결과에서 의미 있는 차이가 발견되지 않았으며 오히려 FR레이온을 함유한 시료(T2)가 약간 낮은 흡수속도를 보이고 있다.

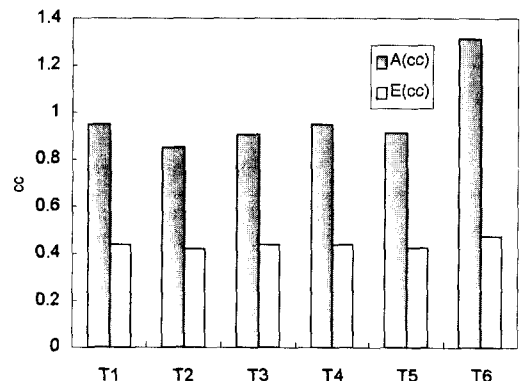


Fig. 7. Liquid moisture management properties measured using GATS with air flow for 1000seconds(A: remaining in the fabric, E: evaporated)

흡수용량(V)과 흡수속도에서 뛰어난 면직물 시료(T6)의 경우 많은 양의 땀을 빠르게 흡수하는 장점이 있으나 증발 후의 잔류수분의 값(Fig. 7의 A)이 커서 다른 모든 시료보다 발한 후 오한(after chilling)을 발생시킬 가능성이 크므로 착용자가 더운 환경에 장시간 노출되거나 운동량이 많은 경우 발한 후 축축하고 서늘한(clammy)느낌을 갖게 될 가능성이 클 것으로 보인다.

2) 표면 특성

Table 6에 착용자의 주관적 쾌적성을 결정하는데 중요한 역할을 하는 직물의 표면특성들을 정리하였다. 대부분의 시료는 비슷한 값의 굽힘강성을 보이나 Nomex 시료들(T3, T4)이 FR 레이온첨가 시료(T2, T5) 보다 전단 강성이 작았다.

면직물의 경우 가장 큰 굽힘강성과 전단 강성을 가지는 반면 직물표면의 기하학적 거칠기(SMD)와 피부표면을 자극하는 표면 섬유 수와 길이(i_b)가 다른 시료에 비해 작은 값을 갖는다. 이는 피부에 닿았을 때 피부를 자극하는 자극의 수가 상대적으로 적은 것을 의미하므로 면직물의 경우 착용시 접촉에 의한 불쾌감이 비교적 적을 것으로 추측할 수 있다.

Nomex 그룹(T3, T4)이 FR레이온 첨가 시료들에 비해 더 큰 SMD와 표면 섬유의 수(i_b) 값을 가지는 것으로 이들이 더 거친 표면특성을 나타내고 있다. Nomex 시료들 중 특히 wicking 처리된 시료(T4)의 경우 그 차이가 더 컸다.

Fig. 8은 시료의 안쪽 면과 피부표면이 닿을 때의 접촉점의 수를 나타낸 그래프이다. 비교를 쉽게 하

기 위해 표준 편차의 값(± 80)을 주 단위로 하였다. 일반적으로 피부에 닿는 접촉면이 많을 수록 착용시 주관적 촉감의 쾌적성이 떨어지므로 다른 시료에 비해 큰 값을 갖는 FR 레이온 첨가시료들(T2, T5)은 주관적 촉감에서의 쾌적감이 떨어질 것으로 생각할 수 있다. 특히 이 FR 레이온 첨가직물들은 wet-cling index(i_k)의 값도 다른 시료에 비해 커서(Fig. 9) 발한 후 피부에 직물이 달라붙어 움직임에 장애를 주고 축축한 느낌을 일으킬 것으로 예측된다. 반면에 면 능직물(T6)은 가장 적은 접촉점을 가지며 가장 작은 wet-cling index값을 나타냄으로써 촉감의 쾌적성이 좋고 초기 발한 시 몸에 달라붙는

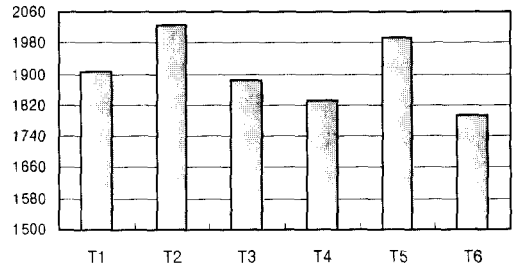


Fig. 8. Number of contact points(n_k)

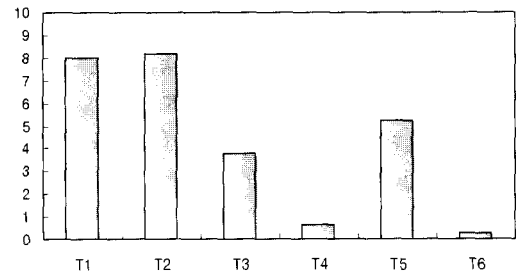


Fig. 9. Wet-Cling index(i_k)

Table 6. Tactile properties(surface and mechanical properties)

Sample	Bending Rigidity, B(gfcm ² /cm)	Shear Stiffness, G(gf/cm degree)	Surface Roughness, SMD(micron)	Surface Index, i_b^*	Number of Contact Points, n_k^*	Wet-Cling Index, i_k^*
T1	0.08	0.77	5.49	3.5	1907	10.1
T2	0.07	0.78	8.88	3.6	2025	11.0
T3	0.06	0.42	9.88	3.9	1885	10.3
T4	0.07	0.44	10.41	4.1	1833	10.9
T5	0.07	0.77	9.56	3.7	1992	11.4
T6	0.12	1.83	7.26	1.7	1795	6.1

*Measurement done by Hohenstein Institute

느낌이 가장 적을 것으로 예측되었다(*less clingy*).

V. 요약 및 결론

많은 양의 활동과 다양한 기후변화에 적응해야 하는 방열 작업복 소재 직물을 대상으로 착용 시 쾌적성에 중요한 영향을 미치는 액체상태의 수분 처리 능력과 표면특성에 관하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

시료의 흡수용량은 구성 섬유의 종류보다 직물의 구조적인 특성인 두께나 부피 등에 의해 좌우된다. 그러나 기공도가 매우 큰 흡수물질(기저귀, 여성용 생리대 *etc.*)과 달리 본 연구에서 사용된 평직물, 능직물과 같은 셔츠직물 밀도를 가진 시료에서는 직물의 두께와 흡수용량간에 명확한 비례관계가 성립되지 않았다.

Nomex 시료에 대한 *wicking* 처리나 FR 레이온 첨가는 시료가 흡수하는 물의 전체 양을 증가시키지는 않으나 *wicking* 처리의 경우 흡수속도에 큰 영향을 미치며 특히 흡수가 진행되기 시작하는 초기(5초 이내)에 *wicking* 처리의 효과가 현저하였다. 이와 같은 흡수속도에 대한 *wicking* 처리의 효과는 100% Nomex 시료와 FR 레이온 첨가 시료 모두에서 명확히 관찰되었다.

직물의 흡수속도는 비교적 흡수시작 초기에서 시료간의 차이를 잘 관찰할 수 있었으며 시간이 경과할 수록 그 차이는 현저히 줄어들어 5분이 지난 후에는 거의 시료간의 차이가 관찰되지 않았다.

흡수용량과 흡수속도에서 가장 큰 값을 가지는 면 능직물 시료(T6)의 경우 증발 후 시료에 남아 있는 수분의 양 (Fig. 7의 A)이 다른 시료에 비해 현저히 커서 많은 양의 발한 후 착용자가 오한 (*after chill*)을 느끼거나 축축하고 서늘한 느낌 (*clammy*)을 가질 가능성을 가장 많이 보유하고 있는 것으로 나타났다.

표면 특성의 경우 면 능직물 시료(T6)가 다른 시료들 보다 훨씬 큰 굽힘과 전단강성을 보여 뻣뻣한 성질을 가지고 있는 것으로 나타났으나 직물표면의 표면 섬유 길이와 수가 가장 적고 (i_k), 피부와 닿는 접촉면적(n_k), 그리고 *wet-cling index*(i_k)가 가

장 작아 가장 표면이 부드럽고 어느 정도의 발한 후 피부에 달라붙는 경향이 적을 것으로 나타났다.

이는 면 능직물의 흡수용량이 다른 시료에 비해 크기 때문에 일정한 양의 발한이 일어난 경우, 흡수용량이 큰 면 능직물은 직물표면에 수분을 보유하지 않고 내부에 함유할 수 있으므로 표면 수분으로 인해 야기되는 *wet-cling* 의 값이 작아지는 것이다. 그러나 발한의 양이 많아지거나 발한에 노출된 시간이 길어지면 위에서 언급한 바와 같이 면직물에 의해 흡수된 수분이 다른 시료에 비해 빠르게 증발되지 않아 발한이 멈춘 후에도 축축한 느낌을 일으킬 수 있다. 반면, 굽힘강성과 전단 강성이 가장 작은 FR레이온 첨가 시료들(T2, T5)은 가장 큰 접촉 면적을 가짐으로써 제일 유연하나(*flexible*) 표면 접촉시 가장 불편감을 일으키기 쉬운 것으로 나타났다. SMD에서 가장 큰 값을 가지는 *wicking* 처리 Nomex시료(T4)는 가장 거친 표면특성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 밝혀진 아라미드 직물의 물리적, 표면특성들이 의복으로 제작되어 실제 상황에서 착용되었을 때 주관적 착용감에 어떠한 양상으로 영향을 미치는지에 대한 연구와 검증이 필요하며 또한 다양한 물리적, 표면적 특성들 가운데 착용 쾌적감을 결정하고 예측하는데 중요한 역할을 하는 특성들을 선별하기 위해 주관적인 착용실험에 대한 연구 보고가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문을 위해 시료를 제공해주신 E.I. du Pont de Nemours & Co. Inc.의 Dr. J. Rappaport와 Ms. S. L. Lovasic, 그리고 실험에 도움을 주신 Hohenstein Institute의 Dr. K. H. Umbach께 감사드립니다.

참고 문헌

1. Andreen, J. H., Gibson, J. W., and Wetmore, O. L., Fabric Evaluations Based on Physiological Measurements of Comfort, *Textile Research*

- Journal*, **23**, 11, 1953. 53.
2. Burleigh, E. G., Wakeham, H., Honold, E., and Skau, E. L., Pore-Size Distribution in Textiles, *Textile Research Journal*, **19**, 547, 1949.
 3. Chatterjee, P. K., Absorbency, Elsevier, Amsterdam, 1985.
 4. Gagge, A. P. and Gonzalez, R. R., Physiological and Physical Factors Associated with Warm Discomfort and Sedentary Man, *Environmental Research*, **7**, 230, 1974.
 5. Gupta, B. S. and Hong, C. J., Absorbent Characteristics of Nonwovens Containing Cellulosic Fibers, *International Nonwovens Journal*, **7**(1), 34, 1995.
 6. Harnett, P. R. and Mehta, P. N., A Survey and Comparison of Laboratory Test Methods for Measuring Wicking, *Textile Research Journal*, **54**, 471, 1984.
 7. Hollies, N.R.S., et al., A human Perception Analysis Approach to Clothing Comfort, *Textile Research Journal*, **49**, 557, 1979.
 8. Kim, J. O. and Spivak, S. M., Dynamic Moisture Vapor Transfer Through Textiles, *Textile Research Journal*, **64**, 112, 1994.
 9. Plante, A.M., Holcombe, B. V., and Stephens, L.G., Fiber Hygroscopicity and Perceptions of Dampness: Part 1. Subjective Trials, *Textile Research Journal*, **65**, 293, 1995.
 10. Scheurell, D. M., Spivak, S. M., and Hollies, N. R. S., Dynamic Surface Wetness of Fabrics in Relation to Clothing Comfort, *Textile Research Journal*, **55**, 394, 1985.
 11. Umbach, K. H., Physiological Tests and Evaluation Models for the Optimization of the Performance of Protective Clothing, *Environmental Ergonomics*, **139**, 1988.