

Polyethylene Glycol 처리한 아크릴 운동용 양말의
축열·방열성과 수분전달 특성이
착용 성능에 미치는 영향

이 은 주·조 길 수

연세대학교 생활과학대학 의생활학과

**The Effect of Thermal Storage/Release and Moisture Transport
Properties of Polyethylene Glycol-Treated Acrylic
Athletic Socks on the Wear Performance**

Eunjou Yi · Gilsoo Cho

Dept. of Clothing and Textiles, College of Human Ecology, Yonsei University
(1994. 10. 10 접수)

Abstract

The purpose of this study was 1) to estimate the improvement of thermal storage/release and moisture transport properties of PEG-treated acrylic athletic socks and suggest the optimum add-on for PEG treatment, 2) to investigate wear performance of untreated socks and two kinds of socks treated with PEG of minimum and optimum add-on respectively, and 3) to consider the effect of thermal storage/release and moisture transport properties of PEG-treated socks on the wear performance and the subjective comfort zone.

Thermal activities of specimens treated by PDC were evaluated on a DSC by measuring the heat of fusion on heating and the heat of crystallization on cooling. Moisture regain, absorption speed, wickability, water retention value, and water-vapor permeability were measured. In the wear trials that the subjects performed a subsequent exercise protocol wearing three differently treated socks in a conditioned environment ($14\pm2^\circ\text{C}$, $65\pm2\%$ R.H.), microclimate temperature and humidity, and subjective wear sensations including thermal sensation, wettedness, softness, fit, and overall comfort were obtained.

PEG-treated specimens with more than 20% add-on showed thermal storage on heating and thermal release on cooling by a DSC and the heat contents of treated ones were generally proportional to the add-ons. Moisture transport properties were highly improved after PEG treatment and increased rapidly with increasing add-on. The tendencies were, however, relaxed above 50% add-on and the treated knits were much stiffer above that add-on. In the wear trials of untreated, PEG add-on 20%, and 50% acrylic socks, the changes of microclimate temperature of 50% socks were significantly less than that of 20% socks. PEG add-on 50%

socks showed significantly less changes of microclimate humidity than other two kinds of socks. Three kinds of socks showed significant differences in overall comfort and add-on 50% socks were accepted more comfortable than other two kinds of socks. Comfort zone of foot was extended after PEG treatment on socks and it implied that the subjects wearing PEG-treated socks felt comfortable in wider ranges of microclimate temperature and humidity.

I. 서 론

지금까지 쾌적성과 관련된 의복의 기능성은 의복의 재료적 측면뿐 아니라 인체 및 환경의 조건에 따라 다양하게 고찰되어 왔다. Harada 등^{1,2)}은 피복 재료 상태에서의 특성은 의복내 온·습도의 양상과 관련되며, 이러한 의복내 기후는 주관적인 쾌적감으로 반영될 수 있다고 하였다. 또한 Yokoyama³⁾는 의복내 기후와 쾌적감과의 관계 연구에서 표준 의복 기후는 재조사되어야 하며 신체의 운동을 수반한 경우에는 이러한 표준 의복 기후가 반드시 적용될 수는 없다고 하였다. 한편 Vokac⁴⁾은 운동 중 신체의 전반적인 주관적 감각은 사지 말단부의 온열감과 일치한다고 보고하면서 의복의 쾌적성을 평가할 때에는 신체 사지 말단부의 쾌적성을 고려해야 한다고 제안하였다. 따라서 발과 같은 신체 말단부의 쾌적성을 의복과의 구체적인 연계 속에서 고찰하여 쾌적한 의복내 기후를 재설정하여야 할 필요가 있다. 또한 의복 제품의 평가⁵⁾는 그 제품의 자체 특성과 함께 최종 용도와 착용자의 지각이 통합된 맥락 안에서 이루어져야 함을 고려하면, 발을 피복하는 양말의 쾌적 성능은 재료 상태에서의 특성과 착용시의 성능과 함께 고려되어야 한다.

현대 사회의 소비자는 일차적인 물리적 욕구뿐 아니라 고도의 감성적 만족을 추구하고 있으며, 의복에 있어서도 인간과 환경의 다양한 변화에 대응할 수 있는 보다 능동적인 기능을 요구하고 있다. 따라서 의복을 구성하는 기능성 섬유가 추구하는 궁극적인 방향은 단순 공정을 통해 보다 복합적인 다기능성을 지니며 외부 환경의 변화를 감지하여 조건에 따라 스스로 쾌적성을 조절, 유지하는 지능 섬유이다.

*polyethylene glycol (PEG)*은 자체의 우수한 친수성으로 인하여 섬유의 흡수성과 염색성 및 대전성을 향상시키기 위하여 후처리에 의한 친수화 가공에 널리 쓰이고 있으나, 상변이 (phase change) 물질로서의

기능성은 거의 주목받지 못하여 왔다. 그러나 최근 Vigo 등^{6~9)}에 의하여 PEG를 직물에 후처리하였을 경우, 온도 변화에 따라 상변이를 통해 엔탈피의 변화로 흡열 및 발열 현상이 일어남이 확인되었다. 이러한 PEG 처리 직물의 열적 거동은 의복 시스템에서 인체 및 환경의 변화에 따라 축열과 발열의 기능을 가질 수 있을 것으로 기대되어, 우수한 수분전달 특성과 함께 의복 환경의 조절성을 갖춘 다기능성 의복 소재로 주목받게 되었다. 이에 PEG 처리의 최적 조건과 함께 PEG 처리 의복의 쾌적성에 관한 고찰이 시작되어 PEG 처리 언더웨어¹⁰⁾와 운동용 양말의 물성 및 착용감¹¹⁾에 대한 극히 소수의 연구가 이루어졌다. 그러나 아직 처리된 PEG의 부가량 (add-on)에 따른 객관적 물성 및 착용 성능의 양상에 대한 분석적인 고찰이 부족하며, 의복내 기후와 같이 보다 객관적인 착용 성능에 대한 구체적인 보고가 없으므로, 이에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 운동용 아크릴 양말에 PEG를 처리하여 부가량에 따른 축열·방열성과 수분전달 특성을 고찰하고 착용 실험을 통해 PEG 처리 양말이 신체 및 외부 환경의 변화에 민감한 발의 객관적 주관적 쾌적성에 미치는 영향에 대하여 논하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 시료제작 및 가공

1-1. 시료제작

본 연구를 위해 36번수 2합사의 스테이플사를 사용하여 1×1 고무편으로 운동용 아크릴 양말을 재편하였다. 시료의 특성은 Table 1과 같다.

1-2. 가공제

*polyethylene glycol (PEG, Mw=1000)*을 사용하였으며, 가교제로 *dimethylolhydroxyethyleneurea* (DMDHEU)를, 촉매로 *magnesiumchloride* ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)와 *citric acid*를 사용하였다. 가공액의 구

Table 1. Characteristics of Specimen

Fiber Components	Yarn Type	Yarn Number	Fabric Construction	Thickness (mm)	Weight (g/cm ²)	Gauge (wale × course/cm ²)
Acrylics 85%						
Nylon 10%	staple	36's/2	1×1 Rib and Pile Knitted double knit	2.10	0.06	8×5
Polyurethane 5%						

Table 2. Bath Ratio (o.w.b) of PEG Treatment and Range of Add-ons

PEG ratio (%)	DMDHEU ratio (%)	catalyst ratio* (%)	add-on (%)
40	8	3	19±3
45	9	3	21±2
50	10	3	24±3
55	11	3	31±2
60	12	3	56±4
70	14	3	66±2

*MgCl₂·6H₂O/citric acid : molar ratio 5/1

성비와 이에 따른 가공 후 부가량의 분포는 Table 2 와 같다.

1-3. 가공 절차

시료를 제시한 옥비의 조건에 따라 침지 후 pad-dry-cure법으로 처리하였다. wet pick-up이 80% 이 상되도록 1 dip-1 nip으로 두번 패딩하여 실행연구⁷⁾에서 제시된 최적 조건인 85°C에서 5분간 전조한 후 140°C에서 2분간 열처리하였다.

2. 전자현미경 관찰

미처리와 가공 시료를 0.5cm×0.5cm로 자르고 42 nm의 두께로 금으로 피복한 다음, 주사형 전자현미경 (SEM: 日本電子 JSM-820, Japan)을 사용하여 시료의 측면과 단면을 500배와 1,000배의 배율로 각각 관찰하였다.

3. 축열·방열성 평가

시차 주사 열량기(DSC : V4.0B DuPont 2000)로 시료의 축열·방열성을 측정하였다. 10°C/min의 변온

속도로 시료의 축열성은 0~40°C의 가온 범위에서 용융열(ΔH_f)로 측정하였으며, 방열성은 15~25°C의 냉각 범위에서 결정화열(ΔH_c)로 측정하였다. 용융열과 결정화열은 피크의 면적으로부터 산출하였다.

4. 수분전달 특성 평가

4-1. 수분율

KS K 0220 Oven법을 준하여 수분율을 측정하였다.

4-2. 흡수속도와 심지흡수력

KS K 0815-1986에 준하여 흡수 속도와 심지 흡수력을 측정하였다.

4-3. 보수율

KS K 0815-1986에 준하여 시료를 종류수에 24시간 침지시킨 후 가정용 세탁기(금성사 제품)에서 1분 탈수하여 침치전 무게와 침지후 무게의 비율로 구하였다.

4-4. 투습도¹²⁾

BS 7209-1990에 준하여 제작된 투습도 측정기를 사용하여 측정하였다.

5. 착용성능 평가

5-1. 실험양말

미처리 아크릴 양말(UT)과 20% 부가량으로 처리된 양말(Trt_1), 그리고 50% 부가량으로 처리된 양말(Trt_2)의 세가지를 실험 양말로 선정하였다. 그 외에 편성직 팬티와, 65/35 면/폴리에스터 혼방의 추동용 트레이닝복, 철연 피혁의 테니스용 운동화를 보조 실험의로 사용하였다.

5-2. 피험자

피험자는 19~20세의 남자 대학생 6명으로 각 피험자의 신체 조건은 Table 3에 제시되었다.

Table 3. Characteristics of Subjects

No. of Subject	age (years)	height (cm)	weight (kg)	foot length (mm)	Body Surface Area* (m ²)
S ₁	19	176	67	265	1.80
S ₂	20	173	70	265	1.84
S ₃	20	177	67	265	1.84
S ₄	20	170	66	260	1.74
S ₅	19	170	66	260	1.74
S ₆	19	174	64	265	1.76

*DuBois Surface Area = $H^{0.725} \times W^{0.425} \times 71.84$

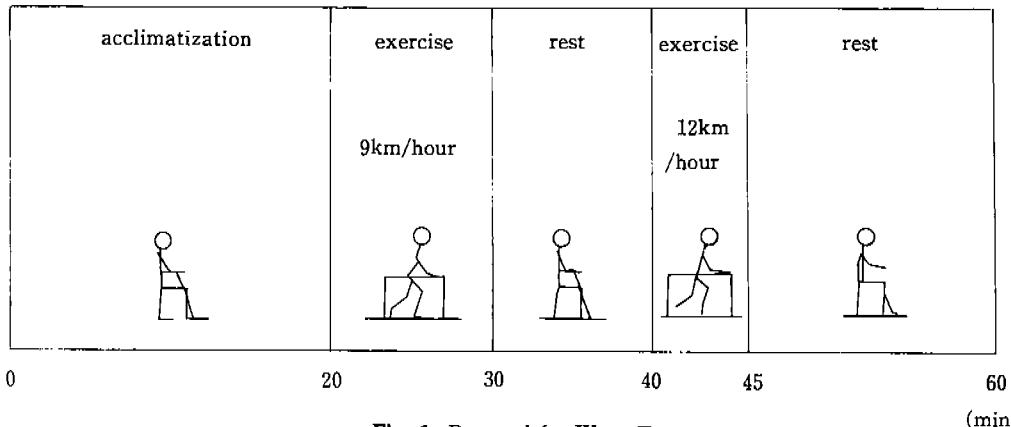


Fig. 1. Protocol for Wear Test

Table 4. Scales of Subjective Sensations

scale	Thermal Sensation	Wettedness	Softness	Fit	Overall Comfort
1	very warm	very dry	very soft	very tight	very comfortable
2	warm	dry	soft	tight	comfortable
3	slightly warm	indifferent dry	slightly soft	slightly tight	indifferent
4	neutral	moist	neutral	neutral	uncomfortable
5	slightly cold	dripping wet	slightly harsh	slightly loose	very uncomfortable
6	cold		harsh	loose	
7	very cold		very harsh	very loose	

5-3. 환경 및 운동 조건

PEG 처리 시료의 축열·방열성을 효과적으로 평가하기 위하여 환경 조건은 온도 $14 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $65 \pm 2\%$, 평균 기류 0.25m/sec 의 저온 환경으로 설정

하였다. 각 피험자는 실험용 양말과 트레이닝복, 운동화를 착용하였다. 운동 조건은 선행연구²⁰⁾등을 참고하여 Fig. 1의 순서로 운동과 휴식을 반복하였다.

5-4. 양말내 온·습도

Thermohygrometer (Model X712-1 Takara Thermistor Instruments Co. Ltd.)를 이용하여 양쪽 발등에서 양말내 온도와 습도를 1분 간격으로 측정하였다. 이때 피부와 양말 사이에 공간을 두기 위하여 센서에 캡을 씌어 측정하였다.

5-5. 양말의 땀 보유량

착용 전과 후에 양말의 무게를 측정하여 양말 무게당 땀 보유량(mg/g)을 구하였다.

5-6. 주관적 감각^{11,13,14)}

온열감과 습윤감, 부드러움, 맛음새, 전반적인 쾌적감을 Table 4에 제시한 척도를 이용하여 5분간격으로 질문하여 평가하였다.

5-7. 실험계획 및 통계분석

Table 5와 같이 균형 불완전 블록 계획법(balanced incomplete block design, BIBD)¹⁵⁾을 이용하였다. 양말내 온·습도는 실험 시작시에서의 측정치와 각 시간에 따른 측정치와의 차이를 산출하여, 각 구간별로 ANOVA F-test로 검정하였다. 주관적 감각치는 Chi-Square test로 검정하였다.

Table 5. Diagram of Experimental Design for Wear Test

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
UT ^a	Rc	Ld		L	R	
Trt ^b 1	L		R	R		L
Trt 2		R	L		L	R

^a: untreated socks ^c: right foot

^b: treated socks ^d: left foot

III. 결과 및 고찰

1. PEG 처리 아크릴 편성물의 축열·방열성

미처리 시료와 부가량 16%~65%까지의 PEG 처리 시료의 DSC 곡선이 Fig. 2와 Fig. 3에 제시되었다. 미처리 아크릴 시료의 DSC 곡선은 가온시와 냉각시 전혀 피크가 나타나지 않았다. 아크릴 섬유의 용융점이 일반 합성 섬유보다도 높은 300°C 이상이며¹⁶⁾, 유리전이 온도는 비동적 측정에서는 85~90°C, 동적 측정에서는 110~160°C 부근에서 나타나 두개의

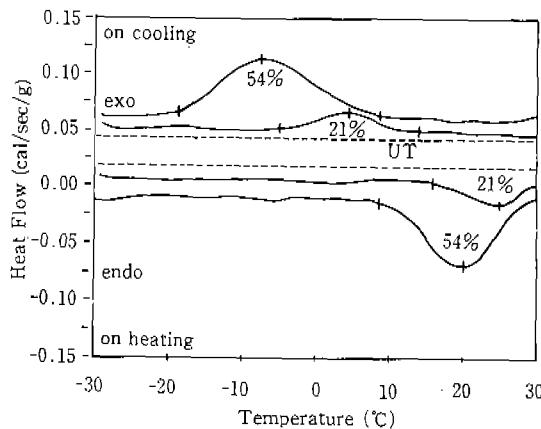


Fig. 2. Comparison of DSC Scanning of Untreated and Treated Specimens.

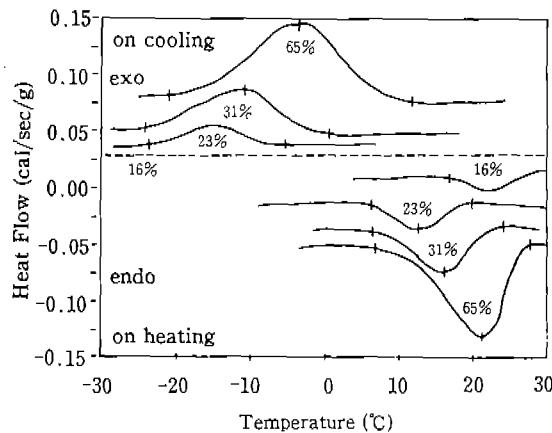


Fig. 3. Comparison of DSC Scanning of Four Differently Treated Specimens.

유리전이 온도를 가지고 있으므로¹⁷⁾, 본 실험에서 주어진 온도 범위에서 미처리 아크릴 섬유는 용융과 결정화의 열적 거동을 일으키지 않음을 알 수 있다.

반면 처리 시료의 DSC 곡선을 관찰하면, PEG 부가량 20% 이상의 시료에서부터 각각 일정한 온도에서 가온시에는 용융으로 인한 흡열피크(endothermic peak)와 냉각시에는 결정화로 인한 방열피크(exothermic peak)가 나타났는데, 이들 피크는 아크릴 섬유에 처리된 PEG 고분자의 열적거동을 의미하는 것이다. 이때의 온도는 흡열시 약 20°C 내외에서, 방열시에는 약 0°C 부근과 -10°C 사이에서 피크를 나

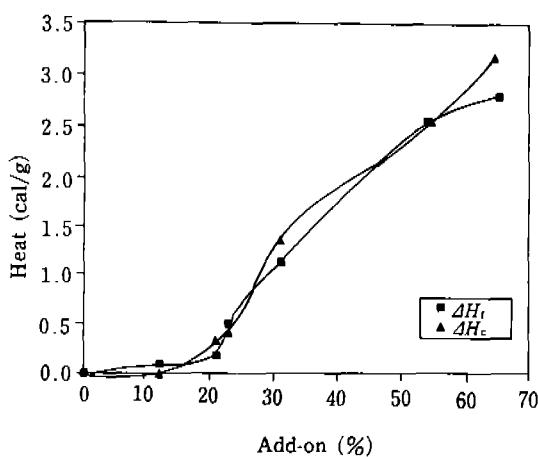


Fig. 4. Effect of Add-on Heat of Fusion and Heat of Crystallization.

타내었는데, 이들의 온도 범위는 의복을 착용하고 있을 때의 환경 온도에 해당한다. 따라서 의복에 PEG를 처리하였을 경우 의복을 착용한 인체가 PEG의 축열·방열성으로 인한 기후 조절력을 의복 재료로부터 부여받을 수 있을 것으로 생각된다.

또한 이들 푸션의 면적으로부터 산출한 용해열(ΔH_f)과 결정화열(ΔH_c)을 PEG 부가량에 따라 Fig. 4에 제시하였다. 처리 시료의 용해열은 0.086~2.848 cal/g 결정화열은 0.318~3.229cal/g의 범위를 이루고 있으며, 이들 열량은 PEG의 부가량과 비례하여

증가함을 알 수 있는데, 이는 아크릴 편성물에 결합된 PEG 고분자의 양이 많아질수록 이를 고분자의 용해열과 결정화열이 증가하는 것으로 설명할 수 있다.

2. PEG 처리 아크릴 편성물의 수분전달 특성

2-1. 수분율

PEG의 부가량에 따른 수분율 변화가 Fig. 5에 제시되었다. 미처리 아크릴 시료는 약 1.3%의 수분율을 보인 반면 부가량 50%에서는 약 2.2%, 60%에서는 약 3.0%의 수분율을 보여서 PEG의 부가량이 증가할수록 시료의 수분율도 증가하는 경향을 나타내었다.

2-2. 흡수속도와 심지흡수력

직하법으로 측정한 흡수속도는 Fig. 6에서 알 수 있

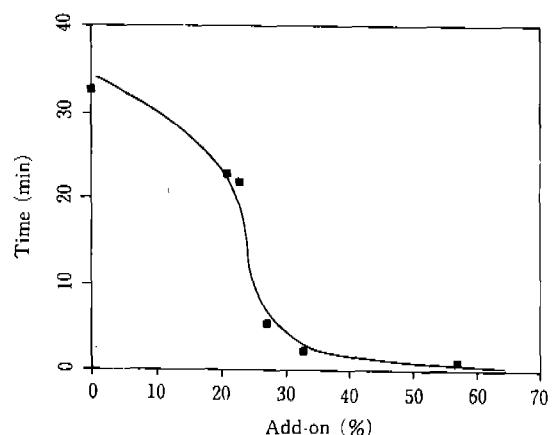


Fig. 6. Effect of Add-on on Drop Absorption Time.

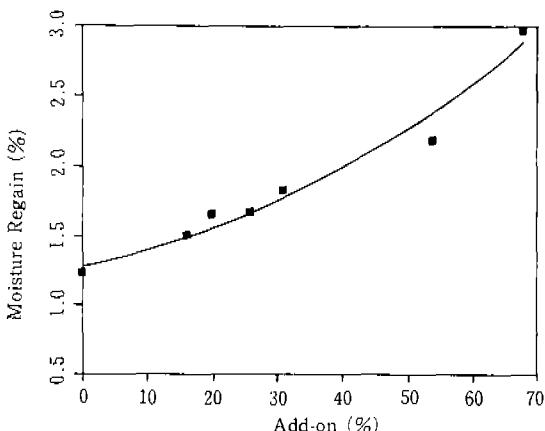


Fig. 5. Effect of Add-on on Moisture Regain.

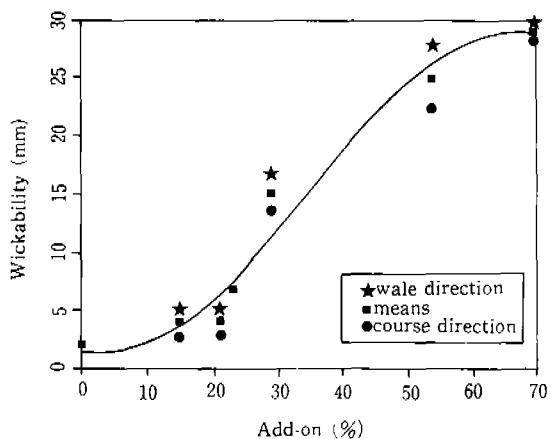


Fig. 7. Effect of Add-on on Wickability.

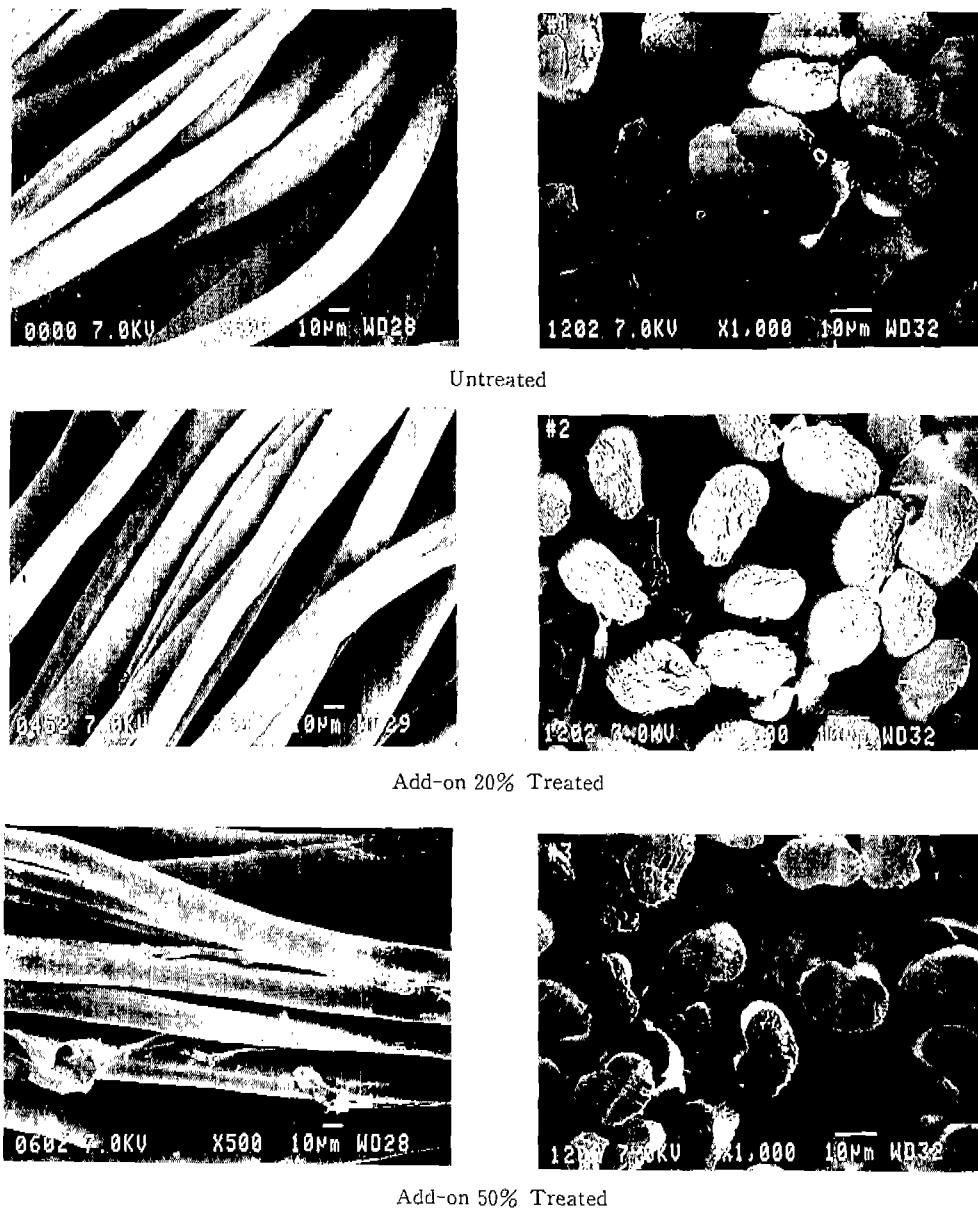


Fig. 8. Photographs of Untreated and Treated Specimens (SEM)

듯이 부가량이 증가할수록 함께 빨라지다가 부가량이 커질수록 점차 완만해졌다. Fig. 7에 제시한 심지흡수력 또한 PEG 처리 시료의 부가량이 커질수록 증가하였다. 이처럼 흡수속도와 심지흡수력은 미처리 시료와 비교하여 처리 시료의 PEG 부가량이 증가할수록 크게 향상되었다. Fig. 8에서 섬유 측면에서는 PEG 고

분자가 거의 보이지 않는 매끈한 외관을 보이고 있으나, 단면에서는 PEG 부가량이 증가할수록 섬유의 단면과 단면 사이에 PEG 고분자가 더 많이 채워져 있음을 알 수 있다. 이는 PEG를 직물에 후처리할 경우 PEG가 직물의 표면보다는, DMDHEU를 가교제로 하여 섬유와 섬유 사이에 주로 자리잡는 것으로 보고

된 선행연구¹⁸⁾와 일치한다. 따라서 섬유와 섬유의 단면 사이에 흡착된 PEG 고분자의 친수성이 섬유간 수분의 흡수와 이동을 신속하게 하여 심지흡수력이 커지게 된 것으로 생각된다.

2-3. 보수율

PEG 부가량에 따른 시료의 보수율은 Fig. 9에 제시되었다. 미처리 시료의 보수율은 약 38%였다. PEG 처리후 부가량이 증가함에 따라 계속 커져서 부가량 50% 이상에서는 200%에 이르는 큰 값을 보였다가 다소 완만해지는 경향을 나타내었다.

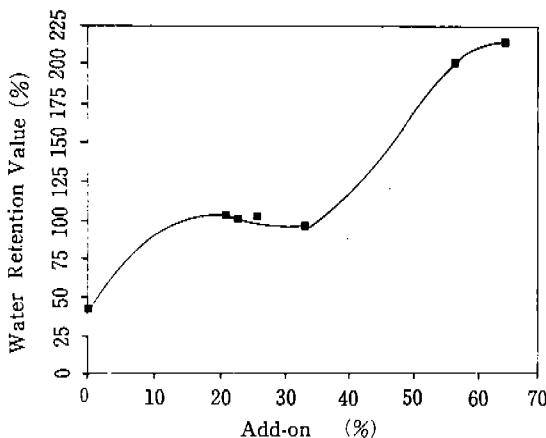


Fig. 9. Effect of Add-On on Water Retention

2-4. 투습도

투습도는 Fig. 10과 같이 미처리 시료에서는 약 $625 \text{ g/m}^2/24\text{hr}$ 의 값을 보였는데, PEG의 부가량이 증가할 수록 감소하여 부가량 60% 이상의 시료에서는 $350 \text{ g/m}^2/24\text{hr}$ 의 값을 보였다. 직물의 투습성은 섬유 자체의 화학적 성질 외에 기공도, 두께 등과 같은 직물 구조의 기하학적 특성의 영향을 크게 받으므로¹⁹⁾ PEG 처리로 인하여 투습성이 감소된 사실 또한 Fig. 8의 SEM에서 기하학적 구조의 변화에 의해 설명될 수 있다. 즉 PEG 처리는 다른 가공에 비하여 PEG 고분자가 직물 표면보다는 직물내 섬유와 섬유 사이에 더 많이 흡착되어 채워지므로 미세 기공의 크기가 감소하게 되어 vapor 상태의 수증기가 통과하기 어렵기 때문에 부가량이 증가할수록 투습성은 감소한 것으로 생각된다.

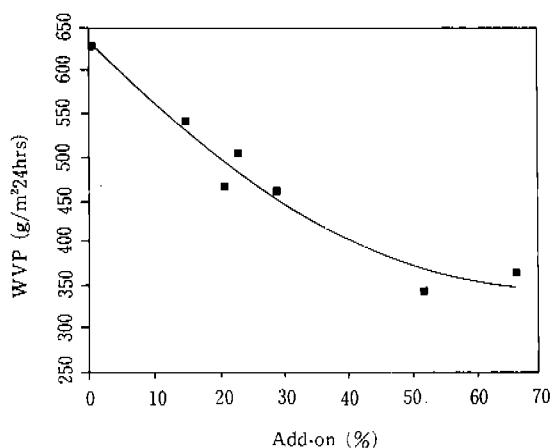


Fig. 10. Effect of Add-On on Water-Vapor Permeability

이상과 같은 PEG 처리 아크릴의 축열·방열성 및 객관적 물성 실험의 결과를 종합해 보면, PEG의 부가량이 증가함에 따라 PEG 처리 아크릴의 축열·방열성이 증가하였으며, 흡수속도와 심지 흡수력 등의 액상 수분전달 특성이 향상되었다. 그런데 DSC 곡선의 분석에서 축열·방열성은 부가량 20% 이상에서부터 나타났으며, 그밖의 물성들은 PEG 부가량의 증가에 따라 50% 정도까지는 급격히 증가하는 추세이지만 대부분이 50~60% 이상에서부터는 증가율이 다소 완만해지는 경향을 보이고 있어, PEG 부가량이 50%에서 60% 정도일 때, 최대의 물성 향상을 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 또한 부가량 65%에서는 시료의 축감이 현저히 빼빼해지는 경향이 나타나므로, 최적부가량 설정에 이를 고려해야 할 것으로 생각된다. 한편 Vigo⁹⁾는 열적 활동성을 나타내는 PEG의 최소 부가량은 20%라고 하였으며, Callan과 Kim¹¹⁾은 부가량 20%일 경우에 착용자의 주관적 감각에는 영향을 주지 못한다고 보고하면서 주관적 감각과 관련된 PEG 부가량의 연구가 필요하다고 하였다. 따라서 인체 착용 실험에서는 미처리 양말과 축열·방열성을 얻을 수 있는 최소 부가량인 PEG 20% 처리 양말, 그리고 처리 시료의 축감을 고려하여 PEG 50% 처리 양말을 대상으로 이들의 착용성능을 객관적·주관적 평가성을 중심으로 고찰하고자 한다.

3. PEG 처리 양말의 착용 성능

3-1. 양말내 온도와 양말내 습도

운동과 휴식의 반복에 따른 세 가지 양말의 양말내 온도의 변화를 Fig. 11에 제시하였다. 양말내 온도는 초기의 $30.04 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서부터 출발하여 전 구간에 걸쳐 꾸준히 상승하여 $33.4 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 까지 상승하

였다. 그런데 세 양말 모두 전반적으로 운동기가 시작되면서 양말내 온도가 잠시 하강하였다가 상승하기 시작하였으며, 휴식기가 시작되면서 양말내 온도가 잠시 상승하였다가 하강하는 추세를 보이는데, 이는 Vokac⁶⁾이 제안한 바와 같이 운동이 시작되면 Bellows' Ventilation이 일어나게 되어 순관적으로 대류에 의한 열 손실이 일어나게 되어 양말내 온도가 하

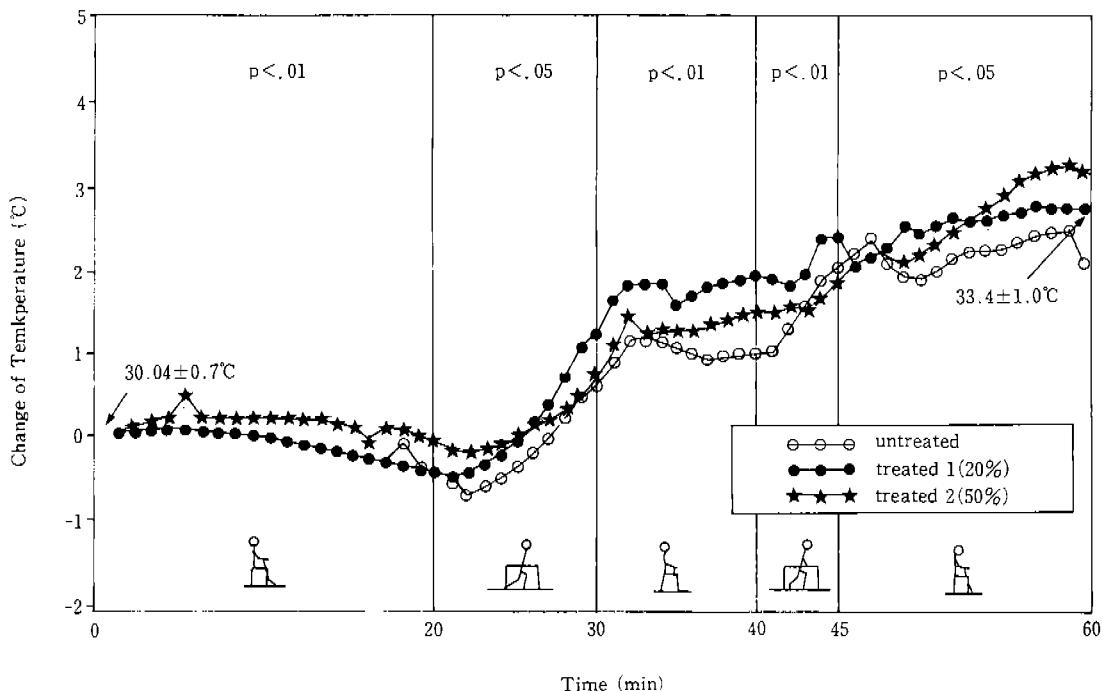


Fig. 11. Change of Microclimate Temperature with the Lapse of Time

Table 6. ANOVA F-test: Change of Microclimate Temperature of Socks

Period	Source	DF	Type III SS	MS	F value	Pr>F
exercise I	TRT	2	29.82861	14.914	3.87	0.023
	Error	117	451.12235	3.855		
rest I	TRT	2	118.32661	59.163	14.43	0.0001
	Error	117	479.56047	4.098		
exercise II	TRT	2	17.17940	8.589	5.41	0.007
	Error	57	90.53245	1.588		
rest II	TRT	2	96.70415	48.352	4.20	0.016
	Error	117	2038.36607	11.516		

강하게 되며, 휴식이 시작될 때에는 Bellows' Ventilation이 정지하게 되어 옆의 발산이 잠시 저하되어 양말내 온도가 상승하게 되는 것이다.

세 가지 양말내 온도의 변화 정도를 두 차례의 운동기와 두 차례의 휴식기별로 각각 일원배치분산분석(one-way ANOVA)한 결과 Table 6과 Table 7에 제시된 바와 같이 각 구간 별로 세 양말 사이에 모두 의미있는 차이가 나타났다. Fig. 11에서 알 수 있듯이 우선 두 가지 처리 양말보다 미처리 양말의 양말내 온도 변화가 거의 전 구간에 걸쳐 더 적게 나타났으며, 처리 양말의 경우에는 부가량 50% 양말의 양말내 온도 변화가 20% 양말보다 대부분의 구간에서 다소 적은 경향을 보였다.

양말내 습도는 Fig. 12에 제시한 바와 같이, 실험 초기에 $39.2 \pm 2.0\%$ 의 범위에 있었으나, 세 양말 모두 운동의 시작과 함께 증가하여 운동과 휴식에 따라 오르내리는 경향을 보여, $70.8 \pm 5.4\%$ 까지 상승하였다. 세 가지 양말내 습도의 변화 정도는 Table 8과 Table 9와 같이 모든 구간에서 세 양말 사이에 모두 의미있

Table 7. Duncan's Multiple Range Test : Change of Microclimate Temperature of Socks

period	UT	Trt 1	Trt 2
exercise I	-0.940 ^a (mean)	2.703 ^b	1.993 ^b
rest I	11.375 ^a	19.005 ^b	14.348 ^c
exercise II	8.447 ^a	11.143 ^b	8.798 ^a
rest II	35.560 ^a	40.573 ^b	42.240 ^b

*Means with the same letter are not significantly different

UT : untreated

Trt 1 : PEG add-on 20% treated

Trt 2 : PEG add-on 50% treated

는 차이가 나타났다. 구체적으로, 운동이 시작되면서 세 양말의 양말내 습도 변화의 차이는 점차 커졌는데, 세 가지 양말 중에서 미처리 양말과 PEG 부가량 20% 양말의 습도 변화는 거의 비슷한 경향을 보였다. 이는 객관적 수분전달 특성의 평가에서 PEG 부가량

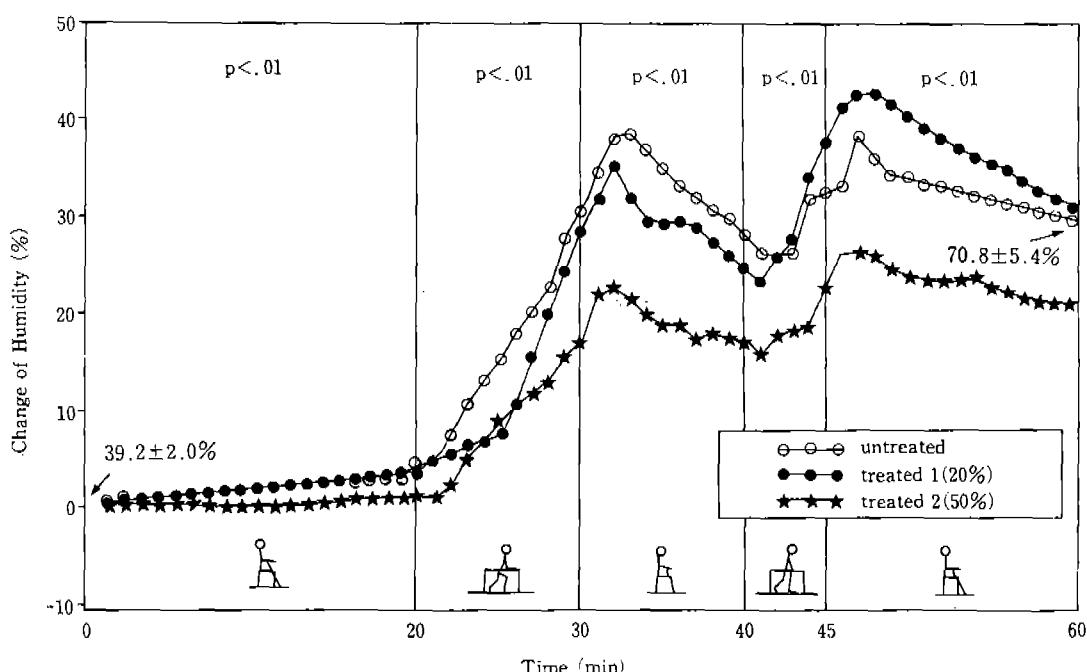


Fig. 12. Change of Microclimate Humidity with the Lapse of Time

Table 8. ANOVA F-test : Change of Microclimate Humidity of Socks

Period	Source	DF	Type III SS	MS	F value	Pr > F
exercise I	TRT	2	11842.62395	921.311	14.38	0.0001
	Error	117	48173.59027	411.740		
rest I	TRT	2	42894.70682	21447.353	12.90	0.001
	Error	117	194520.22727	1662.566		
exercise II	TRT	2	7294.75502	3647.377	5.49	0.0066
	Error	57	37841.45265	663.885		
rest II	TRT	2	88625.8899	44312.945	14.77	0.0001
	Error	117	530967.24477	2999.814		

Table 9. Duncan's Multiple Range Test : Change of Humidity of Socks

period	UT	Trt 1	Trt 2
exercise I	176.52 ^a (mean)	138.58 ^b	99.57 ^c
rest I	343.92 ^a	302.01 ^a	201.44 ^b
exercise II	146.45 ^a	152.94 ^a	97.70 ^b
rest II	503.92 ^a	572.25 ^a	365.65 ^b

*Means with the same letter are not significantly different

UT : untreated

Trt 1 : PEG add-on 20% treated

Trt 2 : PEG add-on 50% treated

20%의 시료는 수분율과 심지 흡수력이 약간 향상되기는 하였으나, 양말내 습도가 매우 높아지는 두번째 휴식기에서는 많은 양의 땀을 원활히 방출하기에는 어려워 생기는 결과라고 풀이되며, 친수 가공한 합성 섬유의 경우 수분을 흡수하여 섬유 사이가 물로 채워져 통기력이 떨어지게 되어서 습도가 높아진다고 보고한 선행 연구²⁰⁾와 일치하는 결과이다. 그러나 부가량 50% 양말의 경우에는 양말내 습도 변화가 다른 두 양말과 비교하여 훨씬 적었다. 이는 PEG 부가량 50% 양말이 격렬한 운동으로 인한 액체 상태의 땀을 보다 잘 흡수하였으며, 또한 외부로 신속하게 방출하여 양말내 습도가 급격히 상승하는 것을 완화시킨 것으로 해석할 수 있다.

이상의 양말내 온도와 습도의 경향에서 부가량 50%

처리 양말이 전반적으로 적은 양말내 온·습도 변화를 보인 것은, 처리된 PEG 고분자의 축열성이 나타난 인체운동으로 인한 과도한 열 생산을 완화시키고 수분의 원활한 방출로 생기는 흡수열과 증발열 때문인 것으로 생각된다.

3-2. 양말의 땀 보유량

착용이 끝난 후 양말의 무게 증가로부터 산출한 땀의 보유량은 양말 한짝에 대하여 미처리 양말의 경우 14.535g, 부가량 20% 양말은 14.175g, 부가량 50% 양말은 10.123g로 나타났다. 이를 양말 무게당 땀 보유량으로 비교한 결과, 미처리 양말과 부가량 20% 양말의 땀 보유량은 각각 0.323mg/g과 0.315mg/g으로서 거의 차이가 없었으며, 부가량 50% 양말의 땀 보유량은 0.214g으로 다른 두 양말에 비하여 매우 적은 양의 땀을 보유하였음을 알 수 있다. 이와 같이 PEG 처리한 양말이 특히 부가량 50% 양말의 경우 양말내 습도의 변화와 함께 양말의 땀 보유량 또한 적은 것은, 합성섬유인 아크릴 직물에 PEG를 처리함으로써, 액체 상태의 땀을 더 잘 흡수하여 보다 빨리 외부로 방출할 수 있었으며 이로 인하여 양말내에 땀이 적게 남아있는 것으로 풀이할 수 있다. 또한 이는 Morris²¹⁾가 제시한 바와 같이 의복 소재의 객관적인 물성 가운데에서 액체 수분의 전달성능과 흡수성이 의복내 습도와 의복의 친류 수분량을 가장 잘 예측할 수 있음을 시사하는 것이다.

3-3. PEG 처리 양말의 주관적 착용 성능

3-3-1. 온열감과 습윤감

세 가지 양말 모두 운동이 시작되면서 온열감은 '보통이다'에서 '덥다'의 방향으로 이전하기 시작하였으

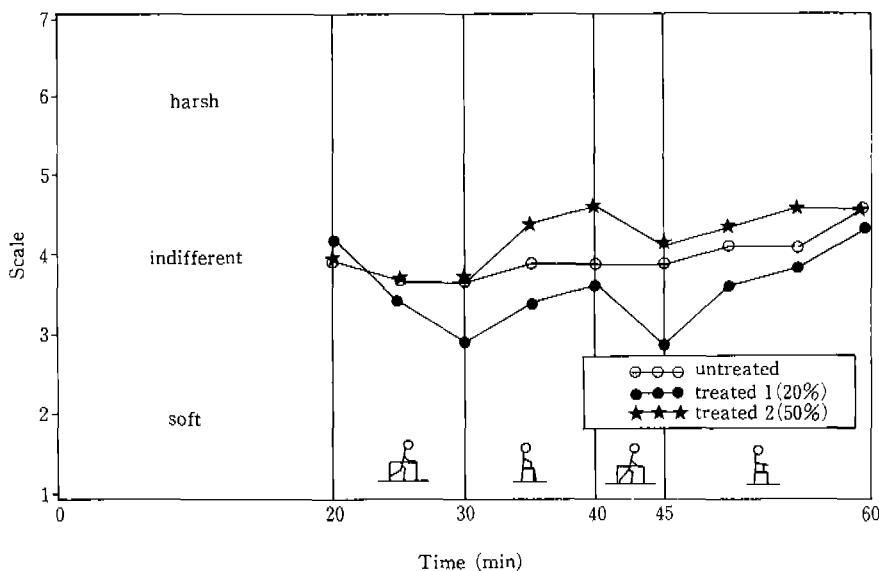


Fig. 13. Subjective Softness with the Lapse of Time

나, 세가지 양말 종류에 따라 일정한 온열감의 평가 양상을 찾아볼 수 없었으며 ($p=0.430$), 습윤감의 평가에서도 이러한 양상은 나타나지 않았다($p=0.300$).

3-3-2. 촉감과 맞음새

주관적인 촉감에서는 세 가지 종류의 양말에 따라

의미있는 양상이 나타났다($p=0.017 < .05$). 즉 시간에 따른 촉감의 변화를 보면 Fig. 13에서 알 수 있듯이 미처리 양말은 전 구간에 걸쳐 거의 촉감의 차이가 나타나지 않는 반면, 부가량 50% 양말에서는 ‘뻣뻣하다’의 반응이 다른 두 양말과 비교하여 더 많이 나타

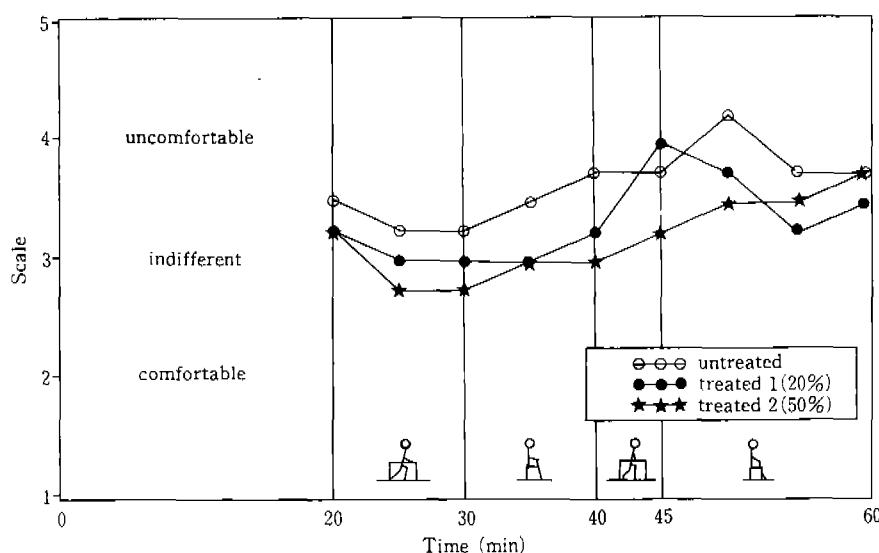


Fig. 14. Overall Comfort with the Lapse of Time

났다. 이는 본 연구에서 PEG 처리로 인하여 부가량 50% 이상에서부터 축감이 뺏뺏해지는데, 착용자 역시 이를 감지하는 것을 의미한다. 한편 맛음새에서는 세 양말에 따라 의미있는 주관적 평가의 경향이 나타나지 않았다($p=0.129$).

3-3-3. 전반적인 쾌적감

전반적인 쾌적감에 대하여 7점 척도로 대답하게 한 결과, Fig. 14와 같이 세 양말에 따라 전반적인 쾌적감에 대하여 의미있는 양상이 나타났다($p=0.037 < 0.05$). 즉 PEG 처리에 의해 양말 착용자의 전반적인 쾌적감이 영향을 받아 보다 쾌적한 반응을 보인 것으로 풀이되며, 이는 Callan과 Kim의 연구⁸⁾와 일치하는 결과이다.

3-4. 양말내 온·습도와 주관적 감각에 의한 쾌적역

일반적으로 인체가 가장 쾌적하게 느낄 수 있는 의복내 기후의 영역은 의복내 온도가 31~33°C, 의복내 습도가 40~60%이며 이 영역에서 멀어질수록 불쾌하게 느끼는 정도가 심해지는 것으로 알려져 있다²²⁾. 그러나 이는 신체 전반에 대한 쾌적역이며, 발의 경우는 정상 체온이 30°C 내외로서 신체 구간부보다 다소 낮은 체온을 유지하고 있다. 또한 많은 선행 연구^{4,22~24)}에서 지적되었듯이 발과 같은 사지 말단부는 환경과 인체 생리 조건에 매우 민감할 뿐 아니라 신체 전체에 대한 주관적인 쾌적감에도 큰 영향을 줄 수 있다. 따라서 발의 쾌적성에 대한 의복내 기후의 영역이 재설정되어야 한다.

Fig. 15에 미처리 양말과 두 가지 처리 양말의 쾌적역이 제시되었다. 우선 미처리 양말의 쾌적역에서 착용자가 주관적으로 쾌적하다고 느끼는 양말내 온도는 30.2~31.3°C, 양말내 습도는 38~46%의 구간이며, 양말내 온·습도가 이보다 높아지면 불쾌하게 느끼는 것으로 나타났다. 이러한 쾌적역은 일반적으로 인체가 쾌적하다고 알려진 범위보다 훨씬 작은데, 이는 발의 경우 외부환경의 변화에 민감한 부분이기 때문에 양말내 온·습도에 의해 결정된 주관적인 쾌적역의 범위가 일반적인 의복의 쾌적역보다 작아진다고 생각된다.

다음 PEG 처리가 양말의 주관적 쾌적역에 미치는 영향에 대하여 알아보면, PEG 부가량 20% 처리 양말의 쾌적역은 주관적으로 쾌적하다고 느끼는 양말내 기후의 범위가 미처리 양말보다 훨씬 확장되었다. 또한 부가량 50% 양말의 쾌적역도 확장되어 양말내 온도는

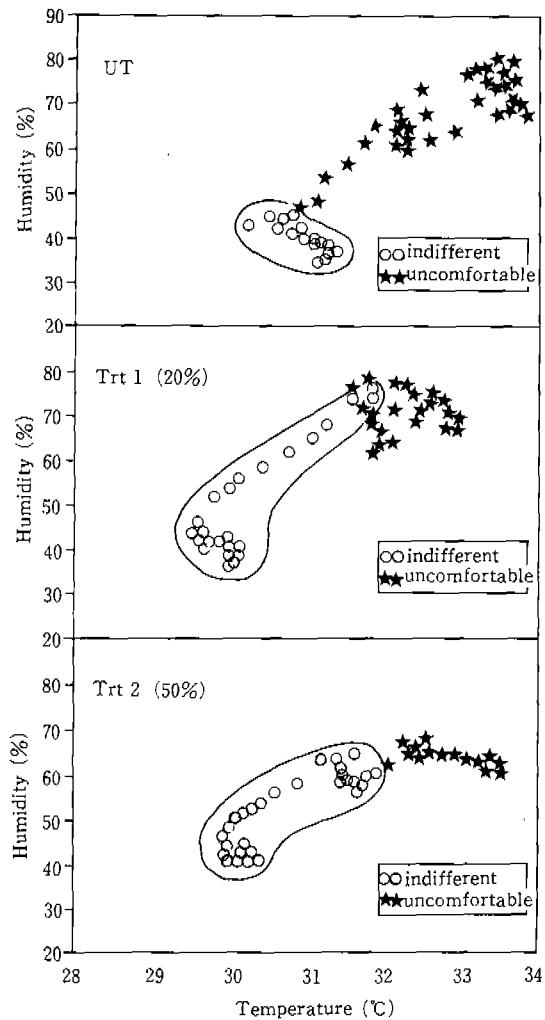


Fig. 15. Comfort Zone in Wearing Untreated and Two Differently Treated Socks

32.6°C까지이며 양말내 습도는 그 경계가 확실하지 않다.

세가지 양말의 쾌적역을 상호 비교해 보면 PEG 처리로 인하여 양말의 쾌적역이 확장되어서 미처리 양말의 쾌적역보다 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 이는 PEG 처리로 인한 축열·방열성의 효과와 수분전달 특성의 향상으로 양말내 온·습도의 계속적인 조절이 가능하기 때문에, 주관적인 쾌적역이 넓어진 것으로 풀이할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

연구 결과를 토대로 얻은 결론은 다음과 같다.

1. DSC 분석을 통해 PEG 부가량에 따른 양말의 열적 거동을 관찰한 결과, 가온과 냉각에 따라 부가량 20% 이상에서부터 흡열 및 발열 현상을 보여 PEG의 축열·방열성을 확인하였는데, 이는 부가량과 비례하여 증가하였다.

2. 수분전달 특성 가운데에서 수분율과 흡수속도, 심지 흡수력, 보수율은 PEG 처리로 인하여 크게 향상하여 부가량이 커짐에 따라 증가하였고, 투습도는 부가량이 증가하면서 감소하였다. 또한 PEG 부가량 50% 이상의 시료에서는 축간이 빠르해지기 시작하였으므로, PEG 처리의 최적 부가량을 50%로 제시하였다.

3. 부가량 20%와 50% 양말을 선정하여 미처리 양말과 함께 착용 실험을 하였는데, 양말내 온도의 경우 세 양말간에 운동과 휴식의 전 구간에 걸쳐 의미있는 차이가 나타나, PEG 부가량 50% 양말이 20% 양말보다 대부분의 구간에서 양말내 온도의 변화가 더 적어 낮은 온도를 유지하여 PEG 처리 양말의 축열성이 확인되었다.

4. 양말내 습도에서도 세 양말간에 전 구간에 걸쳐 의미있는 차이가 나타나서 PEG 부가량 50% 양말이 다른 두 양말보다 낮은 습도 변화를 유지하였으며, 양말의 땀 보유량에서도 PEG 부가량 50% 양말이 다른 두 양말보다 더 적은 땀을 보유하는 것으로 나타났는데, 이는 양말내 온도 변화의 결과와 더불어 PEG 처리로 인한 축열·방열성 및 수분전달 특성의 복합적인 영향으로 인한 결과로 생각된다.

5. 주관적인 온열감과 습윤감 및 맞음새는 세 양말 간에 의미있는 차이가 나타나지 않았다. 전반적인 쾌적감은 세 양말간에 의미있는 차이를 보여 미처리 양말과 PEG 부가량 20% 양말보다 50% 양말이 더 쾌적하게 느끼는 것으로 나타나, 재료 상태의 물리적 성능과 객관적인 의복 기후가 주관적인 착용감에 영향을 줄 수 있음을 알 수 있었다.

6. 전반적인 쾌적감을 중심으로 발의 쾌적역에 해당하는 세 가지 양말의 양말내 온·습도를 살펴본 결과, PEG 처리에 의해 양말의 주관적 쾌적역이 증가하는

경향을 보여 PEG 처리를 통해 보다 넓은 양말내 온·습도 범위에서 주관적으로 쾌적하게 느낄 수 있음을 시사하였다.

앞으로 PEG의 축열·방열성만을 확인할 수 있는 착용 실험 조건을 설정하여 PEG의 축열·방열성이 의복의 쾌적성에 미치는 영향을 보다 명확하게 밝힐 필요가 있으며, 세탁에 따른 내구성을 확인하고 축감 등의 물성을 개선시키는 방법이 모색되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Harada, T., Uchiyama, S., and Tsuchida, K., "The Transfer Properties of Moisture and Heat through Clothing Materials. Part 2: Wear Sensations of Socks and Analysis of the Microclimate within Clothing on the Simulator", 纖維機械學會誌, Vol. 35, No. 5, pp. 210-218, 1982.
- 2) Harada, T., and Tsuchida, K., "The Transfer Properties of Moisture and Heat through Clothing Materials. Part 5: Wear Trials of Underwear in a Climate Chamber", 纖維機械學會誌, Vol. 36, No. 9, pp. 392-399, 1983.
- 3) Yokoyama, K., "Relation between Clothing Microclimate and Comfort of Subjects", The 11th Symposium on Man-Thermal Environment System", 1987, in 김양선, 차옥선, "인체의 생리적 반응과 의복 기후, 주관적 감각에 미친 계절의 영향", 대한가정학회지, 제 30권, 제 4호, pp. 15-26, 1992.
- 4) Vokac, Z., Kopke, V., and Kuel, P., "Evaluation of the Properties and Clothing Comfort of the Scandinavian Ski Dress in Wear Trials", Textile Research Journal, Vol. 42, pp. 125-134, 1972.
- 5) Sieben, W.A., "An Interdisciplinary Concept of Apparel Quality", ITAA Special Publication, No. 4, International Textile and Apparel Association, pp. 65-73, 1991.
- 6) Vigo, T.L., and Frost, C.M., "Temperature-Adaptable Fabrics". Textile Research Journal, Vol. 55, pp. 737-743, 1985.
- 7) Bruno, J. S., and Vigo, T. L., "Temperature-Adaptable Fabrics with Multifunctional Properties", Textile Chemist and Colorist, Vol. 20, No. 3, pp. 17-20, 1988.
- 8) Bruno, J.S., and Vigo, T.L., "Multifunctional Properties of Knits Containing Crosslinked Polyethylene

- Glycols", *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 21, No. 5, pp. 13-17, 1989.
- 9) Vigo, T.L., and Bruno, J.S., "Improvement of Various Properties of Fiber Surfaces Containing Cross-linked PEG", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 37, pp. 371-379, 1989.
- 10) Harlan, S.L., "A New Concept in Temperature-Adaptable Fabrics Containing Polyethylene Glycols for Skiing and Skiing-Like Activities", *High-Tech Fibrous materials: Composites, Biomedical Materials, Protective Clothing, and Geotextiles*, Edit., Vigo, T.L., and Turbak, A. F., American Chemical Society, Washington, DC, pp. 248-259, 1991.
- 11) Callan, E., and Kim, H.S., et al., "Physical Performance and Wear Assessment of PEG-treated Athletic Socks", *ITAA Proceedings*, No. 5, International Textile and Apparel Association, pp. 41, 1992.
- 12) BS 7209: 1990
- 13) Morris, M.A., et al, "Relationship of Fiber Content and Fabric Properties to Comfort of Socks", *Clothing and Textile Research Journal*, Vol. 65, No. 11, pp. 14-19, 1984-85.
- 14) 이순원 외 2인, "내의류의 수분 특성 및 착용감에 관한 연구(I)", *대한가정학회지*, 제26권, 제 4 호, pp.1-13, 1988.
- 15) Montgomery, D.C., *Design and Analysis of Experiments*, 2nd edt., John Willy, New York, pp. 165-173, 1984.
- 16) 이화섭 외 2인, "Polyacrylonitrile (PAN) 섬유의 분자 구조(I)", *한국섬유공학회지*, 제29권, 제12호, pp. 1-11, 1992.
- 17) 조현혹, "기능성 Polyacrylonitrile 섬유의 동향", 1991 추계세미나, 한국섬유공학회, pp. 81-110, 1991.
- 18) Goynes, W. R., Vigo, T. L., and Bruno, J. S., "Microstructure of Fabrics Chemically Finished for Thermal Adaptability", *Textile Research Journal*, Vol. 60, pp. 277-284, 1990.
- 19) Yoon, H. N., and Buckley, A., "Improved Comfort Polyester I: Transport Properties and Thermal Comfort of Polyester/Cotton Blend Fabrics", *Textile Research Journal*, Vol. 54, pp. 289-298, 1984.
- 20) 류숙희, 이순원, "시판 에어로빅복의 재료 특성에 따른 쾌적성능에 관한 연구", *한국의류학회지*, 제15권, 제1호, pp. 61-69, 1991.
- 21) Morris, M. A., and Bernauer, E. M., "Comfort of Warm-Up Suits During Exercise As Related to Moisture Transport Properties of Fabrics", *Home Economics Research Journal*, Vol. 14, No. 1, pp. 163-170, 1985.
- 22) 이법우, "의류소재의 온냉감 습윤감", *FITI 섬유정보*, 제 20권, 제 1호, pp. 111-118, 1992.
- 23) 강두희, 생리학, 신광 출판사, 3rd edt., pp. 13(1)-13(5), 1988.
- 24) Helal, B., and Wilson, D., *The Foot*, Vol. 2, Churchill Livingston, pp. 1054-1057, 1988.
- 25) Vokac, Z., Kopke, V., and Kuel, P., "Effect of Cooling of Peripheral the Body on General Thermal Comfort", *Textile Research Journal*, Vol. 41, pp. 827-833, 1971.