발한써멀마네킨을 이용한 투습방수의류의 착용쾌적성 평가

강인형 · 이한섭*†

인하대학교 스포츠레저섬유연구센터, *인하대학교 섬유신소재전공

Wear Comfort Evaluation on Water-vapor-permeable (WVP) Garments Using a Movable Sweating Thermal Manikin

Inhyeng Kang · Han Sup Lee*†

Sports Leisure Textile Research Center, Inha University

*Dept. of Advanced Fiber Engineering, Inha University

접수일(2013년 8월 13일), 수정일(1차 : 2013년 10월 4일, 완료일 : 2013년 12월 6일), 게재확정일(2013년 12월 16일)

Abstract

This study evaluated the wear comfort properties of water-vapor-permeable (WVP) garments using a movable sweating thermal manikin. Manikin tests were performed in a climatic chamber (temperature $T=20, 35\pm0.5^{\circ}\text{C}$ and relative humidity $H=50\pm10\%$) using seven sportswear outfits (a long sleeve shirts and a long pants) made with seven different WVP fabrics. Physiological responses of wear trials could be correlated with measurement parameters of the thermal manikin experiment; subsequently, a regression model that represented a final comfort sensation could be obtained. The regression model developed in this work is based on thermal manikin measurements; consequently, it provides an independent comfort sensation level in a relatively short time at a low cost while maintaining the reproducibility of results. It translates into more actual choices for sportswear manufacturers and sportswear consumers.

Key words: Wear comfort, Sweating thermal manikin, Thermal resistance, Evaporative resistance; 착용 쾌적성, 발한써멀마네킨, 열저항, 증발저항

I. 서 론

최근 주 5일 근무제의 전면 실시로 2011년 기준 국내 스포츠 산업의 규모가 꾸준히 상승하였고 이에 국내 아웃도어 시장은 2011년 33.85%, 2012년 32.18% 등 매년 30% 가량 급격히 성장해왔다(Ministry of Culture Sports Tourism, 2011). 주 40시간 근무제 실시자들의 경우, 스포츠 활동(14.7%), 관광활동(13.8%) 등 적극적인 활동의

참여비율이 높았고(Korea Culture & Tourism Institute, 2012), 또한 스포츠 레저의류의 기능성, 쾌적성에 대한 높은 관심을 나타내었다(Sports Leisure Textile Research Center of INHA Univ., 2005).

인간의 의복착용조건에 대한 쾌적성 평가를 비롯한 인간이 처한 다양한 상태에 대한 심리생리평가는 크게 쾌·불쾌, 각성·안정으로 나눌 수 있는데 이는 인체를 대상으로 평가의 결과를 산출한다. 사용하는 평가지표에는 뇌파, 심전도를 비롯하여 전기저항, 피부온도, 자율신경계의 교감신경과 부교감신경 등이 있다. 일본 Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan(2009)의 심리생리 쾌적성 소재의 개발 보고서에 의하면 뇌파와 심전도를 사용하여 심리생리평가 시스템을 개발하였는데 심전도

†Corresponding author
E-mail: hslee@inha.ac.kr

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업 중 지식경제 기술혁신사업(과제번호 10033501)으로 수행된 연구의 일부이며 이에 감사드립니다.

의 RR간격으로 나른감을, 개안(開眼)상태 뇌파 중 α 파의 역수로 각성도를 예측하는데 사용하고 있다. 피로도 평가에는 자율신경계의 LF/HF를, 쾌적도 평가에는 $1/(LF/HF)$ 를 사용하고 있다. 또한 압력 자극과 나른감의 관계에서는 등에 압력을 가하면 심전도의 RR간격이 커져 나른감이 증가하는 경향이 나타났고 각성 향 자극 시에는 개안상태 뇌파 중 α 파의 역수가 커져 각성도가 증가하였다고 보고하고 있다. 침구 심리생리평가에 주로 사용하는 부피감, 보드라움, 따뜻함은 뇌파 중 α 파의 증가로 확인하고 있다. 또한 열증독의 예방과 서열환경 평가를 위한 인체예측모델 개발 연구는 무효발汗과 착의 중 인체와 의류의 젖음을 고려한 예측모델의 개발(Amemiya et al., 2006), 심박수와 인체생리상태 데이터의 관계식 개발(Kuwabara et al., 2006), 착의의 일사흡수특성을 고려한 인체일사흡수모델 개발(Nakaya et al., 2007), 일사작용온도 측정과 인체 평균 피부온도의 예측(Kuwabara et al., 2007), 무효발汗을 고려한 인체예측모델에 의한 심박수의 예측과 서열환경평가(Amemiya et al., 2002), 평균 피부온도와 산소섭취수준(%VO₂ max)을 사용한 심박수와 체내온도의 예측이 있다(Amemiya et al., 2007). 또한 서열환경에서의 체내온도와 WBGT의 관계를 규명하고(Ikeda et al., 2008) 비정상상태에서의 평균 피부온도와 체내온도의 예측모델을 개발하였다(Ikeda et al., 2009). 국내의 착용쾌적성 연구에는 소재에 기능성을 부여한 착용쾌적성 소재를 중심으로 실시되었고(Korea Textile Development Institute, 2007), Yi et al.(1997)은 의복용 직물, 편성물, 부직포를 대상으로 의복착용쾌적감에 대한 영향요인을 분석하였는데 직접적으로 큰 영향을 미치는 요인은 의복 내 기후변화보다는 직물의 특성이라고 보고하였다. Kang et al.(2012)은 스포츠 레저의류의 주요 소재인 투습방수소재를 사용한 투습방수의류를 제작하여 피험자를 대상으로 착용쾌적성 평가를 실시하여 투습방수의류에 대한 “쾌적감 지수” 산출식을 개발하였는데 개발된 산출식에는 피부온도, 발한량, 의복 내 온습도를 사용하였다.

그러나 이미 알려진 바와 같이 인체는 체격, 체형, 생리반응, 운동 등의 개인차가 크고 결과가 분산되기 쉽다. 더욱이 긴 시간의 반복된 실험을 하면 피로누적 등의 다른 요인으로 생리반응에 변화를 가져온다. 이러한 불리한 점을 보완하기 위해 본 연구에서는 인체의 형상과 생리적 현상을 시뮬레이션한 발한씨털마네킨을 사용하였다. 씨털마네킨은 Winslow and Herrington(1949)에 의해 제작되어 의복의 열저항 평가가 시작되었고 이후

1970년에는 체간부 부분을 중심으로 발한이 가능한 발한씨털마네킨이 개발되어 증발저항 평가의 톨로 사용되고 있다(Fonseca, 1970). 또한 실내 온열쾌적성 평가, 차량 내의 온열특성평가 및 차량공조평가, 에어컨 및 냉난방 기기 연구 등 다양한 쾌적성 평가에 사용되고 있다.

투습방수의류의 쾌적성을 객관적으로 평가하기 위한 전반적인 실험계획 및 본 연구의 범위를 <Fig. 1>에 나타낸다. 쾌적성 지수를 산출하기 위해 선행연구(Kang et al., 2012)에서는 먼저, 쾌적감에 영향을 미치는 인체착용평가 측정변수를 도출하여 “쾌적감 지수 산출식”을 개발하였다. 이에 본 연구에서는 발한씨털마네킨을 사용하여 스포츠웨어 착용쾌적성 품질표시를 위한 상대적으로 저비용, 단시간으로 재현성 있는 착용쾌적성 평가시스템 구축의 기초를 마련하고자 한다.

II. 실험방법

1. 발한씨털마네킨

본 실험은 인하대학교 스포츠레저섬유연구센터의 성인 남자(178cm, 1.8m²) 발한씨털마네킨(Newton, Measurement Technology NORTH WEST, 미국)을 사용하였다. 마네킨의 분할부위가 20부위이고 각 부위와 그 분할면적을 <Table 1>에 나타내었다. 마네킨 제어방식은 온도제어방식으로 마네킨 각 분할부위의 표면온도를 35±0.2°C로 설정하였다. 자세는 선자세로 하였고 조건은 정지와 보행조건에서 각각 실시하였다. 보행조건에서 마네킨 팔, 다리의 동작횟수는 ISO/CD 15831(2004)과 EN V 342(1997)에 준하여 45±2steps/min로 설정하였다.

2. 실험의복

실험에 사용한 실험의복은 투습방수의류의 착용쾌적성 평가(Kang et al., 2012)와 동일한 7종이며 <Table 2>에 대표적인 투습방수소재 6종 및 방수소재 1종의 특성을 나타내었다. 실험의복의 형태는 긴팔셔츠와 긴바지이며 동일형태, 동일사이즈로 제작하여 실험 전 12시간 동안 항온항습실에서 보관하였다. 실험의복 제시는 무작위로 실시하였다.

3. 실험방법

환경조건은 다음과 같다. 열저항의 측정은 20±0.5°C, 50

Fig. 1. Schematics of overall wear comfort test.

$\pm 10\%$ R.H., 0.1m/s 이하의 인공기후실(EBL-5HW2P3A-23, TABAI ESPEC, 일본)에서 실시하였다. 마네킨 각 표면온도를 $35\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 로 설정하고 건성소비전력량은 $\pm 2\%$ 이내의 일정성을 확인하였다. 증발저항의 측정은 $35\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, $40\pm 10\%$ R.H., 0.1m/s 이하의 인공기후실(EBL-5HW2P3A-23, TABAI ESPEC, 일본)에서 측정하였고 마네킨 각 표면온도를 $35\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 로 설정하고 습성소비전력량은 $\pm 2\%$ 이내의 일정성을 확인하였다. 열저항 측정은 ASTM F 1291 (2005)에, 증발저항 측정은 ASTM F 2370(2005)에 준하여 실시하였다.

측정항목은 마네킨 각 부위의 표면온도와 소비전력 공급량, 인공기후실 내의 온도와 상대습도이다. 마네킨 각 부위의 표면온도, 소비전력공급량이 안정된 후 30분 이상 진행하였으며 각 조건별 무작위로 2회 반복 실시하였다.

사용한 7종 실험의복의 열저항과 증발저항은 <Eq. 1> -<Eq. 2>로 산출하였다.

$$R_{ct} = (T_s - T_a)A/H_d \quad \dots \text{Eq. 1.}$$

R_{ct} = total thermal resistance of clothing ensemble

and surface air layer, $^{\circ}\text{C m}^2/\text{W}$

T_s = temperature at the manikin surface, $^{\circ}\text{C}$

T_a = temperature in the air flowing over the clothing, $^{\circ}\text{C}$

A = area of the manikin's surface, m^2

H_d = power required to heat manikin, W

$$R_{et} = (P_s - P_a)A/H_e \quad \dots \text{Eq. 2.}$$

R_{et} = total evaporative resistance of clothing ensemble and surface air layer, $\text{Pa m}^2/\text{W}$

P_s = water vapor pressure at the manikin's sweating surface, Pa

P_a = water vapor pressure at the air flowing over the clothing, Pa

A = area of the manikin's surface, m^2

H_e = power required for sweating areas, W

4. 결과분석

측정항목의 결과는 정지와 보행조건의 평균치를 사용하였고 통계분석은 SPSS(Ver 18.0)과 Excel을 이용하여

One-way ANOVA로 실시하였으며 사후분석방법은 Duncan 방법을 사용하였다. 인체착용평가(Kang et al., 2012) 항목과 발한써멀마네킨 평가 측정항목의 관계를 분석하기 위해서는 상관분석과 다중회귀분석을 실시하였다. 유의수준은 $p<.05$ 로 하였다.

Table 1. Surface area of each segment of the sweating thermal manikin

	Segment	Area (m ²)	Ratio (%)
1	Face	0.04569	2.5
2	Head	0.09687	5.4
3	Upper arm (R)	0.08356	4.6
4	Upper arm (L)	0.08356	4.6
5	Forearm (R)	0.06483	3.6
6	Forearm (L)	0.06483	3.6
7	Hand (R)	0.04604	2.6
8	Hand (L)	0.04604	2.6
9	Chest	0.12096	6.7
10	Shoulders	0.10089	5.6
11	Stomach	0.19915	6.6
12	Back	0.09395	5.2
13	Up thigh (R)	0.07604	4.2
14	Up thigh (L)	0.07604	4.2
15	Low thigh (R)	0.15193	8.4
16	Low thigh (L)	0.15193	8.4
17	Calf (R)	0.13510	7.5
18	Calf (L)	0.13510	7.5
19	Foot (R)	0.05965	3.3
20	Foot (L)	0.05965	3.3
Total		1.8	100

Table 2. Characteristics of samples

	Fiber type	Density (pick/in.)		Film description	Weight (g/cm ²)	Thickness (mm)	Air Permeability (cm ³ /cm ² /s)	WVT (g/m ² 24hr)
		warp	weft					
K1	N66/DTY	111	90	Micro porous structure-coating	0.56	0.20	-	2527
K3	PE/DTY	154	105	Hydrophilic non-porous structure-laminating	0.58	0.17	-	1794
SP6	PE100%	270	189	Compound management	0.53	0.20	-	2325
P6	PA51%, CO49%	151	78	Micro porous structure-laminating	0.77	0.34	-	1172
G20	Nylon	240	147	High-density Fabric	0.21	0.06	1.1	2995
G21	PE	102	84	Waterproofing finishing (PU coating)	0.43	0.11	-	291
NANO	Nylon100%	-	-	NANO film	0.41	0.26	0.7	3533

III. 결과 및 고찰

1. 건성소비전력량과 열저항

<Table 3>에 건성소비전력량과 열저항에 대한 평균치와 표준편차를 나타낸다. 마네킨 가슴, 등, 어깨, 배, 위팔, 아래팔, 허벅지(상, 하), 종아리의 각 분할부위에 대한 건성소비전력량과 열저항에서 실험의복에 따른 차이는 나타나지 않았으나 NANO 소재 실험의복의 열저항이 낮게 나타나 소재의 공기투과도, 0.7cm³/cm²/s가 우수한 소재의 경우, 의복에서도 그 영향을 확인할 수 있었다.

2. 습성소비전력량과 증발저항

<Table 4>에 습성소비전력량과 증발저항에 대한 평균치와 표준편차를 나타낸다. 방수소재인 G21의 증발저항 측정은 이루어지지 않았다. 마네킨 가슴, 어깨, 위팔, 아래팔의 각 분할부위에 대한 습성소비전력량과 증발저항에서 실험의복에 따른 차이가 유의미하게 나타났다. 습성소비전력량은 가슴과 위팔에서 Duncan의 사후분석결과, 기타 의복>G21 순으로 나뉘어져 집단 간에 유의한 차이가 나타났다($p<.001$). 어깨에서는 집단 a>b>c 순으로 K1, SP6, G20, Nano가 a집단, K3, P6가 b집단, G21이 c집단으로 나뉘어져 집단 간에 유의한 차이가 나타났다($p<.001$). 증발저항은 어깨에서는 P6>기타 의복 순으로 나뉘어져 집단 간에 유의한 차이가 나타났다($p<.01$). 아래팔에서는 집단 b>a 순으로 K1, SP6, G20, Nano가 a집단, K3, P6가 b집단으로 나뉘어져 집단 간에 유의한 차이가 나타났다($p<.05$). 이는 소재의 물리적 특성 중 투습도가 우수한 소재인 Nano, G20, K1, SP6의 경우, 기타

Table 3. Dry heat supply (Hd) and thermal resistance (Rct) for each segment

Parts	Sample	K1	K3	SP6	P6	G20	G21	NANO	F-value
		mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.	
Hd (W/m ²)	chest	71.37±7.7	68.39±7.5	68.69±5.9	69.72±7.7	71.79±7.7	65.76±7.7	69.78±7.7	.681
	back	57.62±15.2	57.42±17.3	57.16±15.4	55.90±13.1	60.05±14.7	59.05±14.6	57.06±15.5	.033
	shoulder	69.94±7.8	68.17±7.5	67.32±5.2	66.11±1.0	71.21±5.5	71.75±5.1	66.47±3.3	.681
	stomach	63.30±20.2	57.94±16.7	57.61±14.8	60.56±17.6	61.64±16.0	58.46±14.2	57.25±16.1	.078
	upper arm	73.68±10.7	71.73±13.4	72.99±12.1	70.23±9.0	73.64±11.5	73.32±12.2	70.54±9.1	.141
	forearm	76.69±19.2	80.20±19.7	79.91±19.8	79.18±16.7	80.85±16.6	81.98±18.6	77.78±18.5	.020
	up thigh	53.50±18.7	52.04±20.5	52.50±18.9	52.58±15.1	55.65±19.7	56.81±19.1	47.89±18.5	.094
	low thigh	79.10±27.5	78.03±28.3	76.77±24.2	73.83±20.0	76.09±19.4	81.19±28.7	76.69±28.0	.034
	calf	96.23±28.4	90.41±24.7	88.71±28.6	92.53±23.2	88.25±28.6	94.72±27.1	90.82±24.8	.046
Rct (°C m ² /W)	chest	0.06±0.0	0.07±0.0	0.06±0.0	0.06±0.0	0.06±0.0	0.05±0.0	0.07±0.0	3.388
	back	0.11±0.0	0.11±1.0	0.11±0.0	0.11±0.0	0.10±0.0	0.10±0.0	0.11±0.0	.072
	shoulder	0.06±0.0	0.06±0.0	0.06±0.0	0.07±0.0	0.05±0.0	0.05±0.0	0.07±0.0	1.310
	stomach	0.10±0.1	0.12±0.0	0.12±0.0	0.11±0.0	0.10±0.0	0.11±0.0	0.12±0.0	.124
	upper arm	0.06±0.0	0.07±0.0	0.07±0.0	0.07±0.0	0.06±0.0	0.06±0.0	0.07±0.0	.337
	forearm	0.08±0.0	0.08±0.0	0.08±0.0	0.08±0.0	0.07±0.0	0.07±0.0	0.08±0.0	.333
	up thigh	0.12±0.1	0.13±0.1	0.12±0.1	0.12±0.0	0.11±0.1	0.10±0.1	0.16±0.1	.291
	low thigh	0.07±0.0	0.07±0.1	0.07±0.0	0.07±0.0	0.07±0.0	0.07±0.0	0.08±0.1	.034
	calf	0.07±0.0	0.07±0.0	0.07±0.0	0.07±0.0	0.07±0.0	0.06±0.0	0.07±0.0	.062

Table 4. Wet heat supply (He) and evaporative resistance (Ret) for each segment

Parts	Sample	K1	K3	SP6	P6	G20	G21	NANO	F-value
		mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.	
He (W/m ²)	chest	74.11±15.3a	69.02±16.0a	83.65±16.2a	62.07±14.1a	82.90±11.7a	12.83±11.1c	73.29±17.2a	11.043***
	back	71.43±42.1	62.16±41.7	73.13±42.8	56.37±36.8	69.23±37.5	41.03±42.0	68.58±41.3	.311
	shoulder	86.30±13.2a	79.04±11.7b	93.48±11.5a	63.70±13.8b	94.05±14.1a	12.40±9.5c	97.88±11.3a	24.066***
	stomach	84.07±51.0	66.57±46.6	82.36±41.7	68.43±51.4	73.36±38.2	50.72±50.2	86.69±48.2	.289
	upper arm	88.34±29.6a	75.34±22.2a	99.95±30.6a	68.13±22.1a	100.68±32.6a	18.81±15.4c	93.42±32.4a	4.488**
	forearm	95.13±37.5	69.40±22.2	106.52±41.9	66.53±22.7	110.02±47.4	17.90±15.0	109.15±48.3	3.532
	up thigh	59.91±27.3	51.26±22.4	72.12±37.4	44.74±16.6	73.35±35.6	5.07±0.5	75.62±46.0	2.731
	low thigh	97.71±46.2	78.34±41.3	119.38±63.5	67.63±31.3	123.35±78.7	13.35±7.0	116.78±80.5	1.997
	calf	111.24±51.4	89.63±48.3	130.05±65.5	80.05±39.4	141.79±78.4	30.54±25.7	143.98±86.2	1.850
Ret (Pa m ² /W)	chest	14.98±5.9	18.56±7.8	10.10±4.5	23.56±8.6	9.74±2.8	-	15.70±7.5	2.593
	back	24.40±24.6	40.23±39.5	22.68±23.3	46.11±42.4	22.92±21.3	-	27.59±27.5	.423
	shoulder	10.46±4.8a	13.74±5.2a	7.53±3.6a	23.97±10.2b	7.38±4.4a	-	5.94±3.1a	5.516**
	stomach	25.18±25.6	47.38±45.9	20.90±18.5	51.46±51.9	27.02±22.8	-	20.83±20.8	.664
	upper arm	16.88±8.6	22.04±8.5	12.04±5.9	27.40±11.2	11.93±6.7	-	14.99±8.6	.337
	forearm	21.19±7.0a	32.69±8.2b	17.43±5.5a	35.18±10.1b	17.11±6.6a	-	17.90±7.3a	4.647*
	up thigh	29.84±14.7	38.78±17.5	22.54±14.3	45.64±15.7	20.06±12.0	-	25.79±21.5	1.500
	low thigh	19.64±12.7	31.23±20.9	14.53±11.9	35.53±19.5	17.67±17.4	-	22.73±22.8	.825
	calf	21.40±10.4	31.92±18.3	17.82±9.8	35.54±18.2	16.70±10.6	-	17.88±12.7	1.386

 * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

a, b, c groups are results of Duncan's Multiple Range Test

의복과 유의한 차이가 나타나 소재뿐만 아니라 의복에서도 투습도의 영향을 확인할 수 있었다.

3. 발한써멀마네킨 평가 및 인체착용평가(Kang et al., 2012) 측정항목 간의 상관관계 및 회귀식 분석

1) 발한써멀마네킨 평가 및 인체착용평가(Kang et al., 2012) 측정항목 간의 상관관계

<Table 5>는 발한써멀마네킨 평가 및 인체착용평가

(Kang et al., 2012) 측정항목 간의 상관관계를 나타낸다. 여기서 사용한 인체착용평가 측정항목은 선행연구에서 보고한 투습방수의류의 착용쾌적성 평가(Kang et al., 2012) 측정항목의 측정치와 동일하다. 인체착용평가 측정항목은 피부온도, 직장온도, 발한량, 의복 내 온습도이며, 발한써멀마네킨 평가 측정항목은 습성소비전력량, 열저항, 증발저항이다. 두 평가의 측정항목을 독립변수로 상관계수 0.2 이상이면 상관관계가 존재하는 것으로 판단하였고 유의확률 $p < .05$ 이면 상관계수가 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

Table 5. Pearson's correlation coefficients of sweating thermal manikin results and physiological responses in wearer

Physiological responses Manikin results		Skin temperature										Rectal temperature
		fore-head	chest	back	upper arm	forearm	hand	thigh	calf	foot	mean	
Wet heat supply (He)	chest	.497**	-.797**	-.821**	-.603**	-.516**	-.157	-.626**	-.390*	.190	-.792**	-.069
	back	.288	-.284	-.321	-.274	-.136	.047	-.287	-.031	.100	-.274	-.092
	shoulder	.578**	-.868**	-.862**	-.719**	-.496**	-.066	-.709**	-.493**	.165	-.857**	-.068
	stomach	.277	-.268	-.265	-.269	-.116	.059	-.267	-.026	.013	-.256	-.103
	upper arm	.497**	-.690**	-.713**	-.570**	-.478*	-.130	-.612**	-.376*	.101	-.713**	-.146
	forearm	.532**	-.645**	-.658**	-.583**	-.477*	-.121	-.635**	-.381*	.012	-.691**	-.225
	up thigh	.533**	-.645**	-.663**	-.585**	-.396*	-.040	-.601**	-.302	.089	-.655**	-.164
	low thigh	.430*	-.547**	-.566**	-.480**	-.408*	-.110	-.532**	-.345	.037	-.587**	-.170
	calf	.420*	-.519**	-.522**	-.481**	-.395*	-.106	-.521**	-.382*	-.010	-.567**	-.178
Dry heat resistance (Ret)	chest	.166	-.457*	-.270	-.359	.090	.322	-.188	-.197	.006	-.315	.246
	back	-.002	-.063	-.026	-.022	.055	.075	.016	.052	.020	-.017	.073
	shoulder	.067	-.325	-.165	-.173	-.001	.098	-.060	.020	-.079	-.214	.147
	stomach	-.053	-.015	.032	.012	.077	.092	.033	-.028	-.014	.016	.086
	upper arm	.045	-.211	-.136	-.134	-.016	.032	-.038	-.059	.021	-.148	.124
	forearm	.160	-.217	-.144	-.202	.013	.140	-.135	-.003	-.033	-.161	.020
	up thigh	.160	-.217	-.144	-.202	.013	.140	-.135	-.003	-.033	-.161	.020
	low thigh	.108	-.192	-.131	-.179	.033	.147	-.111	-.093	.020	-.141	.077
	calf	.028	-.070	-.041	-.054	-.003	.023	-.024	-.021	-.010	-.051	.027
Evaporative heat resistance (Ret)	chest	.013	-.085	-.082	-.046	-.065	-.035	-.054	-.101	.021	-.089	.022
	back	-.270	.231	.535**	.192	.377	.153	.496*	.330	.039	.461*	.357
	shoulder	-.229	.184	.297	.182	.165	.021	.299	.110	.050	.256	.222
	stomach	-.441*	.551**	.682**	.475*	.211	-.132	.635**	.433*	.002	.571**	.294
	upper arm	-.304	.306	.325	.267	.174	-.020	.376	.124	.129	.336	.273
	forearm	-.543**	.522**	.638**	.480*	.433*	.088	.722**	.353	.245	.680**	.544**
	up thigh	-.337	.345	.523**	.294	.330	.077	.527**	.330	.096	.496*	.358
	low thigh	-.543**	.522**	.638**	.480*	.433*	.088	.722**	.353	.245	.680**	.544**
	calf	-.315	.311	.464*	.280	.326	.103	.482*	.318	.114	.466*	.344

* $p < .05$, ** $p < .01$

Table 5. Continued

Physiological responses Manikin results		Microclimate temperature				Sweat rate		Microclimate humidity			
		chest	back	upper arm	thigh	chest	back	chest	back	upper arm	thigh
Wet heat supply (He)	chest	-.753**	-.780**	-.712**	-.681**	-.827**	-.450*	-.739**	-.755**	-.763**	-.730**
	back	-.297	-.307	-.273	-.275	-.260	-.076	-.247	-.276	-.297	-.283
	shoulder	-.819**	-.862**	-.805**	-.759**	-.846**	-.353	-.709**	-.778**	-.810**	-.810**
	stomach	-.272	-.284	-.264	-.239	-.211	.000	-.205	-.243	-.265	-.261
	upper arm	-.696**	-.708**	-.670**	-.616**	-.678**	-.285	-.642**	-.681**	-.694**	-.672**
	forearm	-.688**	-.688**	-.676**	-.599**	-.589**	-.152	-.594**	-.661**	-.678**	-.665**
	up thigh	-.655**	-.671**	-.637**	-.599**	-.596**	-.181	-.550**	-.621**	-.650**	-.642**
	low thigh	-.583**	-.584**	-.569**	-.505**	-.515**	-.159	-.513**	-.559**	-.572**	-.559**
	calf	-.560**	-.559**	-.562**	-.492**	-.468*	-.098	-.462*	-.530**	-.545**	-.547**
	upper arm	-.696**	-.708**	-.670**	-.616**	-.678**	-.285	-.642**	-.681**	-.694**	-.672**
	forearm	-.688**	-.688**	-.676**	-.599**	-.589**	-.152	-.594**	-.661**	-.678**	-.665**
	up thigh	-.655**	-.671**	-.637**	-.599**	-.596**	-.181	-.550**	-.621**	-.650**	-.642**
	low thigh	-.583**	-.584**	-.569**	-.505**	-.515**	-.159	-.513**	-.559**	-.572**	-.559**
	calf	-.560**	-.559**	-.562**	-.492**	-.468*	-.098	-.462*	-.530**	-.545**	-.547**
Dry heat resistance (Rct)	chest	-.254	-.367	-.315	-.237	.000	-.348	.520**	.476*	.442*	.266
	back	-.005	-.031	-.006	.001	-.031	-.054	.298	.289	.265	.184
	shoulder	-.148	-.217	-.171	-.094	-.100	-.272	.632**	.694**	.612**	.460*
	stomach	.026	.001	.010	.048	.036	.004	.375	.385	.356	.215
	upper arm	-.097	-.139	-.114	-.123	-.126	-.205	.543**	.529**	.496*	.313
	forearm	-.150	-.190	-.169	-.134	.044	-.144	.732**	.716**	.693**	.450*
	up thigh	-.126	-.169	-.151	-.131	.021	-.140	.497*	.475*	.461*	.306
	low thigh	-.038	-.052	-.046	-.040	-.012	-.056	.381	.360	.326	.179
	calf	-.076	-.081	-.076	-.062	-.068	-.100	.509*	.500*	.483*	.326
Evaporative heat resistance (Ret)	chest	.520**	.476*	.442*	.266	-.166	.306	.453*	.465*	.478*	.388
	back	.298	.289	.265	.184	-.174	.067	.202	.253	.279	.246
	shoulder	.632**	.694**	.612**	.460*	-.398	.364	.263	.426*	.535**	.554**
	stomach	.375	.385	.356	.215	-.295	.023	.217	.295	.338	.315
	upper arm	.543**	.529**	.496*	.313	-.279	.237	.381	.453*	.491*	.441*
	forearm	.732**	.716**	.693**	.450*	-.492*	.123	.465*	.622**	.680**	.632**
	up thigh	.497*	.475*	.461*	.306	-.260	.195	.346	.430*	.460*	.420*
	low thigh	.381	.360	.326	.179	-.198	.100	.312	.331	.350	.283
	calf	.509*	.500*	.483*	.326	-.332	.112	.314	.429*	.473*	.445*

 * $p < .05$, ** $p < .01$

두 평가의 측정항목 간에 상관이 있는 독립변수로 피부온도는 습성소비전력량, 열저항, 증발저항에서 상관이 나타났는데 습성소비전력량, 열저항과는 부적상관이, 증발저항과는 정적상관이 나타났다. 발한량은 습성소비

전력량과 증발저항에서 상관이 나타났는데 모두 부적상관이 나타났다. 의복 내 온도는 습성소비전력량, 증발저항에서 상관이 나타났는데 습성소비전력량과는 부적상관이, 증발저항과는 정적상관이 나타났다. 의복 내 습도

는 습성소비전력량, 열저항, 증발저항에서 상관성이 나타났는데 습성소비전력량과는 부적상관이, 열저항과 증발저항과는 정적상관이 나타났다. 이는 습성소비전력량이 클수록, 증발저항이 작을수록 증발량이 증가하여 노출부위인 이마 피부온도를 제외한 모든 피부온도는 낮게, 발한량은 작게 그리고 의복 내 온습도는 낮게 나타난 것이다.

부위별 피부온도와 습성소비전력량, 열저항, 증발저항의 상관은 다음과 같다. 이마, 가슴, 등, 위팔, 아래팔, 허벅지, 종아리, 평균의 피부온도는 가슴, 어깨, 위팔, 아래팔, 허벅지(상, 하), 종아리의 습성소비전력량에서 상관성이 나타났다($p<.05$, $p<.01$). 가슴의 피부온도는 가슴의 열저항에서 상관성이 나타났다($p<.05$). 등, 허벅지, 평균의 피부온도는 등, 배, 아래팔, 허벅지(상, 하), 종아리의 증발저항에서 이마, 가슴, 위팔의 피부온도는 배, 아래팔, 허벅지(하)의 증발저항에서 상관성이 나타났다($p<.05$, $p<.01$). 아래팔 피부온도와 직장온도는 아래팔, 허벅지(하)의 증발저항에서 상관성이 나타났다($p<.05$, $p<.01$).

부위별 발한량과 습성소비전력량, 증발저항의 상관은 다음과 같다. 가슴의 발한량은 가슴, 어깨, 위팔, 아래팔, 허벅지(상, 하), 종아리의 습성소비전력량과 아래팔의 증발저항에서 상관성이 나타났다($p<.05$, $p<.01$). 등의 발한량은 가슴의 습성소비전력량에서 상관성이 나타났다($p<.05$).

부위별 의복 내 온도와 습성소비전력량, 증발저항의 상관은 다음과 같다. 가슴, 등, 위팔의 의복 내 온도는 가슴, 어깨, 위팔, 아래팔, 허벅지(상, 하), 종아리의 습성소비전력량과 증발저항에서 상관성이 나타났다($p<.05$, $p<.01$). 허벅지의 의복 내 온도는 가슴, 어깨, 위팔, 아래팔, 허벅지(상, 하), 종아리의 습성소비전력량과 어깨, 아래팔의 증발저항에서 상관성이 나타났다($p<.05$, $p<.01$).

부위별 의복 내 습도와 습성소비전력량, 열저항, 증발저항의 상관은 다음과 같다. 가슴의 의복 내 습도는 가슴, 어깨, 위팔, 아래팔, 허벅지(상, 하), 종아리의 습성소비전력량에서, 가슴, 어깨, 위팔, 아래팔, 허벅지(상), 종아리의 열저항에서, 가슴, 아래팔의 증발저항에서 상관성이 나타났다($p<.05$, $p<.01$). 등, 위팔의 의복 내 습도는 가슴, 어깨, 위팔, 아래팔, 허벅지(상, 하), 종아리의 습성소비전력량에서, 가슴, 어깨, 위팔, 아래팔, 허벅지(상), 종아리의 열저항과 증발저항에서 상관성이 나타났다($p<.05$, $p<.01$). 허벅지의 의복 내 습도는 가슴, 어깨, 위팔, 아래팔, 허벅지(상, 하), 종아리의 습성소비전력량에서, 어깨와 아래팔의 열저항에서, 어깨, 위팔, 아래팔, 허벅지(상), 종아리의 증발저항에서 상관성이 나타났다($p<.05$, $p<.01$).

이상에서 동일소재와 디자인으로 제작된 의복을 대상으로 진행한 두 평가에서 쾌적감과 상관성이 있는 부위가 동일하게 나타나지 않았다. 그 이유로 먼저, 인체착용평가와 마네킨 평가에서의 유효 분할부위가 상이하다는 것이다. 인체착용평가에서는 피하지방 비율이 높은 엉덩이와 배부위, 전면과 후면의 연결부위인 어깨 부위 등은 유효한 측정부위가 아니지만 마네킨 평가에서는 전신을 인체공학적으로 구분한 분할부위를 모두 사용하고 있다. 다음으로, 인체착용평가와 마네킨 평가에서의 유효 분할부위를 사용한 측정항목의 측정방법이 상이하다는 것이다. 인체착용평가에서는 피부온도, 의복 내 온습도, 국소발한량 등을 접촉식으로 유효 분할부위에서 일점(one point)으로 측정한다. 반면 마네킨 평가에서는 Hd, He 등을 모든 분할부위에서 일점이 아닌 체표면 전체에서 정보를 얻는 방식이다. 마지막으로 마네킨 평가에서는 인체착용평가에서의 발한과 대류에 의한 열손실은 충분히 재현하였으나 안면부의 코와 입, 피부표면의 호흡으로 인한 열손실을 고려하지 않고 있다는 점이다. 이상의 이유로 인체착용평가와 마네킨 평가에서의 쾌적감과 상관성이 있는 부위가 상이하게 나타난 것으로 생각된다.

2) 발한써멀마네킨 평가 및 인체착용평가(Kang et al., 2012) 측정항목 간의 회귀식

발한써멀마네킨 평가 및 인체착용평가(Kang et al., 2012) 측정항목 간의 상관관계에서 상관성이 낮게 나타난 인체착용평가 측정항목 중 이마, 손등, 발등, 평균의 피부온도와 등의 발한량을 제외한 측정항목이 쾌적감에 미치는 영향을 나타낸 다중회귀식을 도출하였다.

<Eq. 3>과 <Table 6>은 발한써멀마네킨 평가 및 인체착용평가(Kang et al., 2012) 측정항목에서 높은 상관성이 나타난 인체착용평가 항목이 쾌적감에 미치는 영향을 나타낸 다중회귀분석의 결과이다. 단계선택법으로 독립변수를 선택하였으며 상수항이 유의미하지 않아 제외 후 회귀식을 도출하였다. 비표준화계수 B를 회귀식의 계수로 간주하였고 유의확률 $p<.05$ 이면 회귀계수로 판단하였다. 모형의 유의성에 대해서는 F-value의 유의확률 $p<.05$ 이면 유도된 회귀모형이 유의미하다고 판단하였다. X_1 의 회귀계수는 0.304이다. X_1 의 회귀계수의 유의성을 검정하는 t값, -6.826의 확률적 표시인 유의확률은 0.0001이므로 $\alpha=0.05$ 에서 이 회귀계수는 통계적으로 매우 유의미하다고 볼 수 있다. 마찬가지로 X_2 - X_8 의 회귀계수도 통계적으로 매우 유의미하다고 볼 수 있다. 회귀모형은 다음과 같다.

Table 6. A regression model of sweating thermal manikin results and physiological responses in wearer trials

Independent variable		Non-standardized Coefficients		Standardized Coefficients	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>R</i> ²	adj. <i>R</i> ²
		B	SE	β						
Skin temperature	forearm	0.304	0.044	3.324	-6.826	.000	269.684	.000	0.878	0.875
	thigh	-0.457	0.068	-5.329	-6.742	.000				
Sweat rate	back	-1.316	0.188	-0.311	-6.989	.000				
Microclimate temperature	chest	0.186	0.045	0.214	4.168	.000				
	back	-0.084	0.037	-1.010	2.270	.024				
	thigh	0.192	0.059	2.126	3.280	.001				
Microclimate humidity	chest	0.013	0.004	0.332	3.337	.001				
	thigh	-0.024	0.003	-0.503	-7.156	.000				

$$Y=0.304 \times X_1 - 0.457 \times X_2 - 1.316 \times X_3 + 0.186 \times X_4 - 0.084 \times X_5 + 0.192 \times X_6 + 0.013 \times X_7 - 0.024 \times X_8 \quad \cdots \text{Eq. 3.}$$

여기서 Y=쾌적감, X₁=아래팔의 피부온도, X₂=허벅지의 피부온도, X₃=등의 발한량, X₄=가슴의 의복 내 온도, X₅=등의 의복 내 온도, X₆=허벅지의 의복 내 온도, X₇=가슴의 의복 내 습도, X₈=허벅지의 의복 내 습도이다.

3) 개발된 쾌적성 산출식 변수와 발한씨얼마네킨 평가 변수 간의 상관분석

<Table 7>은 개발된 쾌적성 산출식, <Eq. 3>의 각 변수, X₁~X₈과 발한씨얼마네킨 평가변수 간에 회귀분석을 나타낸다. <Eq. 3>에서 X₁변수인 아래팔의 피부온도와 발한씨얼마네킨 평가변수 중 x₁변수인 아래팔 증발저항 간에 상관이 나타났고 두 변수 간의 관계를 나타내는 회귀식을 구하였다. 회귀식은 X₁=30.357×0.015x₁이며 회귀식의 상수는 30.357이고 x₁의 회귀계수는 0.015이다. 마찬가지로 쾌적성 산출식 변수(X₂~X₈)와 발한씨얼마네킨 평가변수(x₂~x₉) 간에 회귀식을 구하였다. 각 회귀식은 <Eq. 4>~<Eq. 11>과 같다.

$$X_1=30.357+0.015 \times x_1 \quad \cdots \text{Eq. 4.}$$

$$X_2=30.012+0.034 \times x_2+0.022 \times x_3 \quad \cdots \text{Eq. 5.}$$

$$X_3=0.069+0.014 \times x_4-0.005 \times x_5 \quad \cdots \text{Eq. 6.}$$

$$X_4=28.359+0.063 \times x_6+0.056 \times x_7 \quad \cdots \text{Eq. 7.}$$

$$X_5=28.748-0.052 \times x_5+0.137 \times x_4 \quad \cdots \text{Eq. 8.}$$

$$X_6=30.919+0.031 \times x_8-0.022 \times x_9 \quad \cdots \text{Eq. 9.}$$

$$X_7=63.053+0.384 \times x_6 \quad \cdots \text{Eq. 10.}$$

$$X_8=-23.248+0.976 \times x_2+0.629 \times x_3 \quad \cdots \text{Eq. 11.}$$

여기서 X₁=아래팔의 피부온도, X₂=허벅지의 피부온

도, X₃=등의 발한량, X₄=가슴의 의복 내 온도, X₅=등의 의복 내 온도, X₆=허벅지의 의복 내 온도, X₇=가슴의 의복 내 습도, X₈=허벅지의 의복 내 습도, x₁=아래팔의 증발저항, x₂=허벅지(상)의 증발저항, x₃=허벅지(하)의 건성소비전력량, x₄=등의 건성소비전력량, x₅=등의 습성소비전력량, x₆=가슴의 증발저항, x₇=가슴의 건성소비전력량, x₈=허벅지(상)의 건성소비전력량, x₉=허벅지(상)의 습성소비전력량이다.

이로써 개발된 쾌적성 산출식, <Eq. 3>의 변수는 모두 발한씨얼마네킨 평가변수로 대체하여 활용가능하다. 즉, 발한씨얼마네킨 평가변수만으로 착용쾌적감의 산출이 가능하게 되었다.

4. 산출된 쾌적감 지수와 소재투습도와와의 관계

개발된 쾌적성 산출식, <Eq. 3>에서의 변수를 모두 발한씨얼마네킨 평가변수로 대체하여 산출된 실험의복의 쾌적감을 산출하였다. 실험의복의 쾌적감은 1.0~5.0의 범위에서 형성되고 쾌적감의 값이 클수록 쾌적하다. G21, P6-K3-Nano-K1-SP6-G20 순으로, G20 실험의복의 쾌적감 지수가 유의하게(*p*<.05) 높아 쾌적하게 나타났다.

이상의 결과로부터 <Eq. 3>에서 산출된 실험의복의 쾌적감의 신뢰성을 확보하기 위하여 사용한 투습방수 소재의 특성이 가장 뚜렷하게 반영되고 쾌적감과 관계가 있는 소재의 투습도와 개발된 쾌적성 산출식에 의해 계산된 쾌적감의 관계를 <Fig. 2>에 나타낸다. 투습도와 계산된 쾌적감 간에는 높은 상관(*R*²=0.77)을 보여 투습도가 클수록 쾌적한 느낌을 주는 것으로 나타났다. 이로써 산출된 쾌적감 지수의 신뢰성을 확인하였다. 이에 대해서는 Yi et al.(1997)이 의복작용쾌적감에 가장 영향력 있

Table 7. Correlation analysis of between dependent variables from <Eq. 3> and sweating thermal manikin results

	Dependent variable (Physiological responses)	Independent variable (Manikin results)	Non-standardized Coefficients		Standardized Coefficients	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>R</i> ²	adj. <i>R</i> ²
			B	SE	β					
<i>X</i> ₁	forearm skin T	a constant	30.357	0.169		179.861	.000	5.072	.187	.150
		<i>x</i> ₁ Ret_forearm	0.015	0.007	0.433	2.252	.035	(.035)		
<i>X</i> ₂	thigh skin T	a constant	30.012	0.397		75.533	.000	28.357	.730	.704
		<i>x</i> ₂ Ret_up thigh	0.034	0.005	1.570	7.529	.000	(.000)		
		<i>x</i> ₃ Hd_low thigh	0.022	0.004	1.296	6.217	.000			
<i>X</i> ₃	back sweat rate	a constant	0.069	0.083		.831	.414	22.677	.645	.616
		<i>x</i> ₄ Hd_back	0.014	0.002	2.224	6.407	.000	(.000)		
		<i>x</i> ₅ He_back	-0.005	0.001	-2.336	-6.730	.000			
<i>X</i> ₄	T of chest microclimate	a constant	28.359	1.556		18.224	.000	9.218	.467	.417
		<i>x</i> ₆ Ret_chest	0.063	0.015	0.918	4.292	.000	(.001)		
		<i>x</i> ₇ Hd_chest	0.056	0.020	0.596	2.785	.011			
<i>X</i> ₅	T of back microclimate	a constant	28.748	0.703		40.884	.000	30.055	.706	.683
		<i>x</i> ₅ He_back	-0.052	0.007	-2.447	-7.752	.000	(.000)		
		<i>x</i> ₄ Hd_back	0.137	0.019	2.313	7.328	.000			
<i>X</i> ₆	T of thigh microclimate	a constant	30.919	0.361		85.757	.000	16.559	.570	.535
		<i>x</i> ₈ Hd_up thigh	0.031	0.008	0.621	3.822	.001	(.000)		
		<i>x</i> ₉ He_up thigh	-0.022	0.004	-0.931	-5.728	.000			
<i>X</i> ₇	H of chest microclimate	a constant	63.053	2.756		22.876	.000	5.681	.205	.169
		<i>x</i> ₆ Ret_chest	0.384	0.161	0.453	2.384	.026	(.026)		
<i>X</i> ₈	H of thigh microclimate	a constant	-23.248	15.974		-1.455	.160	14.145	.574	.533
		<i>x</i> ₂ Ret_up thigh	0.976	0.183	1.392	5.318	.000	(.000)		
		<i>x</i> ₃ Hd_low thigh	0.629	0.142	1.159	4.425	.000

Fig. 2. The relation between calculated wear comfort and Water Vapor Transmission Rate, WVTR (g/m² 24hr) for different samples.

는 요인은 공기투과도와 투습도 순으로 나타났다고 보고한 바 있다.

5. 산출된 쾌적감 지수와 측정된 쾌적감과의 관계

인체착용평가(Kang et al., 2012)에서 피험자를 대상으로 실시한 주관적 감각평가의 쾌적감 평가의 실측치(*x*)와 개발된 쾌적성 산출식, <Eq. 3>에서 계산된 실험의복의 쾌적감 지수(*y*)의 관계를 <Fig. 3>에 나타낸다. 양자 간에는 $y=0.8197x+0.5846$, $R^2=0.96$ 의 1차 회귀식이 구해졌고 그 상관관계수가 비교적 높은 것으로 나타나 실험의복 착용쾌적감을 개발된 쾌적성 산출식으로 예측하는 것이 타당성이 있는 것으로 확인하였다.

본 실험에서는 투습방수의류의 착용쾌적감 지수를 발한써멀마네킨 평가 및 인체착용평가(Kang et al., 2012) 측정항목(변수) 간의 상관관계를 살펴본 후 양자 간에 회귀식을 구하는 방법으로 착용쾌적성 산출식을 개발하였다. 개발된 착용쾌적성 산출식을 활용하면 인체착용평가

Fig. 3. The relation between calculated wear comfort values from <Eq. 3> and measured comfort sensation in wearer trials.

의 변수는 모두 발한써멀마네킨 평가변수로 대체 가능하다. 마찬가지로 발한써멀마네킨 평가변수만으로 착용쾌적감의 산출이 가능하다. 이에 대해서는 산출된 쾌적감 지수와 소재의 투습도와 관계, 인체착용평가(Kang et al., 2012)에서 피험자를 대상으로 실시한 주관적 쾌적감 평가의 실측치와의 관계에서 확인하였다.

착용쾌적감 지수 관련 연구에서, Bartels(2006)는 bio-functional 섬유를 대상으로 피부감각과 열생리 데이터를 skin model과 피부감각 측정장치를 이용하여 이들 섬유의 쾌적감 지수를 등급화하였고 피험자의 주관적 감각결과와 일치한다고 보고하고 있다. Ali et al.(2011)은 10km 달리기 착용하는 양말의 쾌적감을 압력을 중심 요소로 설정하고 쾌적감 지수를 등급화하였다. 이와 같은 연구는 섬유 혹은 양말류에 한정된 착용쾌적감을 중심으로 이루어졌으나 본 연구에서는 의류형태의 투습방수의류를 대상으로 착용쾌적감의 등급화가 가능하게 되었다.

IV. 요약 및 결론

투습방수의류의 제작 및 판매시 기획자, 생산자가 활용가능하고 이를 구입하는 소비자에게 객관적인 데이터 제공이 가능하도록 기능성 비교평가 중 쾌적성 평가의 기초를 마련하고자 발한써멀마네킨 평가를 실시하여 먼저, 발한써멀마네킨 평가와 인체착용평가(Kang et al., 2012) 측정변수 간의 상관관계를 구하였고 다음으로 상관관계가 있는 인체착용평가(Kang et al., 2012) 측정변수로 쾌적감 산출식을 개발하였으며 마지막으로 개발된 산출식에 사용한 인체착용평가(Kang et al., 2012) 측정변수와

발한써멀마네킨 평가 측정변수 간에 회귀식을 얻어 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 발한써멀마네킨평가 측정변수와 상관관계가 있는 인체착용평가 변수와 주관적 쾌적감의 쾌적감으로 산출된 관계식을 개발하였다. <Eq. 3>-<Eq. 11>에 나타난 바와 같이 발한써멀마네킨 평가 측정변수만으로 착용 쾌적감의 산출이 가능하다.

2. 계산된 실험의복 쾌적감 지수와 소재의 투습도 간에는 높은 상관($R^2=0.77$)을 보였고 실측치와도 높은 상관($R^2=0.96$)을 보여 개발된 쾌적감 지수의 신뢰성을 확인하였다.

투습방수의류의 착용쾌적성을 평가하기위해 선행연구에서는 먼저 인체착용평가를 통한 착용쾌적성의 산출식을 개발하였고, 본 연구에서는 인체의 형상과 생리적 현상을 시뮬레이션한 발한써멀마네킨을 이용하여 착용쾌적성의 산출식을 개발하였다. 산출식의 개발단계에서는 주관적 쾌적감의 쾌적감을 종속변수로 사용하였고 7종 의복의 제한된 데이터를 사용하여 산출식을 개발하였으며 제한된 범위에서 식의 타당성을 확인하였으나 향후 상기 개발식을 활용하여 데이터를 축적해 간다면 상대적으로 저비용, 단시간으로 재현성 있는 착용쾌적성 산출이 가능할 것으로 기대된다. 따라서 개발된 산출식의 타당성을 재확인하고 그 활용범위를 확대하기 위해서는 시판 중인 투습방수자켓을 대상으로 한 후속연구를 통해 생산자뿐만 아니라 소비자들의 쾌적성 확보에 다가가는 유용한 데이터를 축적해 나가고자 한다.

References

- Ali, A., Creasy, R. H., & Edge, J. A. (2011). The effect of graduated compression stocking on running performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(5), 1385-1392.
- Amemiya, S., Kuwabara, K., Kubota, H., Hamada, Y., Nakamura, M., & Nakaya, N. (2006). Model of predicting body temperature of protecting heat disorder in hot environment-Part I. *Proceedings of the Society of Heating Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, Japan*, 1973-1976.
- Amemiya, S., Kuwabara, K., Kubota, H., Hamada, Y., Nakamura, M., Nakaya, N., & Nagano, K. (2007). Model of predicting body temperature of protecting heat disorder in hot environment-Part VI. *Proceedings of the Society of Heating Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, Japan*, 1291-1294.

- ASTM F 1291. (2005). *Standard test method for measuring the thermal insulation of clothing using a heated manikin*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials Organization.
- ASTM F 2370. (2005). *Standard test method for measuring the evaporative resistance of clothing using a sweating manikin*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials Organization.
- Bartels, V. T. (2006). Physiological comfort of biofunctional textiles. *Curr Probl Dermatol*, 33, 51–66.
- EN V 342. (1997). *Protective clothing*. Brussels: European Standards Organization.
- Fonseca, G. F. (1970). Heat-transfer properties of ten underwear-outwear ensembles. *Textile research Journal*, 40, 553–558.
- Ikeda, K., Kuwabara, K., Kubota, H., Amemiya, S., Hamada, Y., Nakamura, M., & Nagano, K. (2008). Model of predicting body temperature of protecting heat disorder in hot environment-Part VIII. *Proceedings of the Society of Heating Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, Japan*, 1185–1188.
- Ikeda, K., Kuwabara, K., Kubota, H., Hamada, Y., Nakamura, M., & Nagano, K. (2009). Model of predicting body temperature of protecting heat disorder in hot environment-Part IX. *Proceedings of the Society of Heating Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, Japan*, 1295–1298.
- ISO 15831. (2004). *Clothing-physiological effects-measurement of thermal insulation by means of a thermal manikin*. Geneva: International Standards Organization.
- Kang, I. H., Park, H. S., & Lee, H. S. (2012). Assessment of wear comfort of water-vapor-permeable (WVP) garments. *Journal of Korean Society of Clothing and Textiles*, 36(9), 928–939.
- Korea Culture & Tourism Institute. (2012). *Fundamental statute law study for vitalization of leisure culture*. Seoul: Author.
- Korea Textile Development Institute. (2007). *착용쾌적성 소재의 제조 기술* [Manufacture technology in wear comfort fabrics]. Daegu: Author.
- Kuwabara, K., Kubota, H., Hamada, Y., Nakamura, M., Nakaya, N., & Amemiya, S. (2006). Model of predicting body temperature of protecting heat disorder in hot environment-Part III. *Proceedings of the Society of Heating Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, Japan*, 1981–1984.
- Kuwabara, K., Nakaya, N., Kubota, H., Hamada, Y., Nakamura, M., Amemiya, S., & Nagano, K. (2007). Model of predicting body temperature of protecting heat disorder in hot environment-Part V. *Proceedings of the Society of Heating Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, Japan*, 1287–1290.
- Ministry of Culture Sports Tourism. (2011). *Sports industrial management information*. Seoul: Author.
- Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan. (2009). *心理生理快適性素材の開発* [Development of physiological and psychological comfort fabrics]. Tokyo: Author.
- Nakaya, N., Kuwabara, K., Kubota, H., Hamada, Y., Nakamura, M., Amemiya, S., & Nagano, K. (2007). Model of predicting body temperature of protecting heat disorder in hot environment-Part IV. *Proceedings of the Society of Heating Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, Japan*, 1283–1286.
- Sports Leisure Textile Research Center of INHA Univ. (2005). *Study of satisfaction on sports leisure wear consumers*. Incheon: Author.
- Winslow, L. E. A., & Herrington, L. P. (1949). *Temperature and human life*. New Jersey: Princeton Univ.
- Yi, E. J., Cho, J. S., Lee, J. J., Choi, H. M., & Cho, G. S. (1997). An analysis of effective variables on clothing wear comfort using linear structural equation. *Proceedings of Korean Journal of The Science of Emotion & Sensibility, Annual conference, Korea*, 47–52.