

발한 마네킹을 이용한 보호복용 언더웨어의 동적(Transient) 열류량 평가

박혜준 · 김현정* · 홍경희†

충남대학교 생활과학연구소, *충남대학교 의류학과

Transient Heat Flux Evaluation of Underwear for Protective Clothing using Sweating Manikin

Hyejun Park · Hyun-jung Kim* · Kyunghi Hong*†

Research Institute of Human Ecology, Chungnam National University

*Dept. of Clothing & Textiles, Chungnam National University

(2007. 7. 12. 접수)

Abstract

Transient thermal response of five types of underwear(cotton jersey, wool jersey, nylon jersey, cotton mesh and polyester mesh) for a protective coverall is evaluated using a sweating thermal manikin. Experimental protocol for transient thermal response of the sweating thermal manikin was also proposed. As results, it was found that steady state thermal response from sweating thermal manikin was not sensitive enough to evaluate thermal comfort of the experimental garments. However, when half time is used as an index of the heat flux change in transient thermal response, difference was found among underwear materials. Half time of cotton was the shortest and heat transfer of cotton was the fastest followed by polyester mesh, cotton jersey, nylon jersey and wool jersey. Dynamic thermal response of wool underwear was quite different from that of cotton underwear. Wool shows quite less heat flow at the initial stage, however, moisture permeability of wool was higher than cotton at the later stage. It was difficult to distinguish surface temperature difference visually using thermogram taken right before the completion of dry and wet test in steady state thermal response.

Key words: Thermal comfort, Protective clothing, Sweating thermal manikin, Transient thermal response, Half time; 열쾌적성, 보호복, 발한 서열 마네킹, 동적 상태, 반감기

1. 서 론

우리나라의 산업구조가 고도화 · 다양화됨에 따라 여러 가지 물리 · 화학적 위해 요인들로부터 인체를 보호하기 위한 보호복 착용에 대한 요구가 증대되어 왔다. 그러나 보호복이 인체를 위해요소로부터 격리

시키기 위한 보호기능을 보유하고 있지만, 한편으로 열적 스트레스를 축적시켜 심각한 생리적 부담을 가중시키는 것으로 알려져 왔다(홍성애, 1999; Slater, 1996). 이에 따라 보호복을 착용하는 인체의 퀘적성을 높여 보호복에 대한 선호도를 높이고 작업의 안정성이나 효율을 높이기 위해서는 보호복에 대한 열적 퀘적성에 대한 평가가 선행되어야 한다.

보호복의 열적 퀘적성을 향상시키기 위해서 방호력과 투습력을 동시에 갖는 신소재의 개발과 신소재를 활용한 보호복 착용 시의 생리현상들에 대한 연구

[†]Corresponding author

E-mail: khong@cnu.ac.kr

본 논문은 2005년도 충남대학교 자체연구과제(2005-6478) 지원으로 수행되었음.

도 활발하게 이루어지고 있다(Endrusick et al., 2002; Ilmarinen & Londholm, 2000; Smolander et al., 1992). 일반적으로 다층구조를 갖는 보호복의 열적 쾌적성은 의복내 공기층의 형태·배치 그리고 언더웨어의 조합 등에 따른 의복내 수분의 분포 및 전달 현상 등에 영향을 받는다. 이러한 관점에서 보호복의 제작과 평가에 관한 연구(최정화, 2001; 최정화 외, 2004; 최혜선, 도월희, 2002; 최혜선, 손부현, 2001; 홍성애, 1996, 2000)가 활발하게 이루어지고 있으나, 대부분이 발한이 되지 않는 서멀 마네킹을 이용하여 열평형 상태에서의 열차단력을 측정하거나, 인체 착용실험을 주를 이루고 있다.

평형상태(Steady-state thermal response)에서의 보호복 연구는 의복이나 인체 반응에 대한 평가를 손쉽고 안정적으로 제공하는 장점은 있으나, 보호복 착용 시에는 지속적인 자세변화와 활동을 수반하고 있어 실제 인체내에서 생산되는 에너지의 양과 착용자가 경험하는 환경조건 등과는 차이가 있다. 즉 의복 착용 시의 열·수분 전달 현상은 복합적인 인체-의복-환경 시스템에 연결되어 있으며, 이 시스템이 평형을 이루는 것은 실제 상황에서 거의 불가능하다(Hironobu, 1989). 또한 직물의 수분이동특성을 이용하여 의복에 대한 주관적인 쾌적감을 예측하는 데는 평형상태보다는 동적 상태에서 더 높은 상관관계를 나타내며(홍경희, 김은숙, 1986), 인체와 환경사이의 열교환은 의복의 동적 특성에 의해 영향을 받는다(Huang, 2006).

지금까지의 서멀 마네킹 실험이 평형 상태에서 실험되어왔지만, 서멀 마네킹 실험도 동적 상태(Transient thermal response)로 실험할 필요가 있음은 여러 연구자에 의하여 지적되어 왔다(Fan & Chen, 2002; Hong et al., 1988; McCullough, 1991; Teal, 1990). 발한 서멀 마네킹으로 의복 요소에 대한 동적 실험을 실시한다면, 필드 실험에서 흔히 나타나는 개인차에 따른 오차를 줄이면서도 좀 더 실제와 비슷한 상황을 연출할 수

있어 인체 실험에서 보다 의복 소재나 종류에 따른 근원적 차이를 판별하기가 용이하다는 장점도 있다. 이에 따라, 발한 서멀 마네킹으로 동적 상태에서의 열·수분 전달을 규명하는 것에 대한 관심도 증가하고 있다.

그러나, 발한 서멀 마네킹을 이용한 많은 관련 연구(Fan & Chen, 2002; Fan et al., 2005) 아직까지 열평형상태에서 이루어지고 있다. 비록 마네킹으로 걷는 동작을 하게 하면서 실험한다 하더라도 동적 상태에서 측정한 값은 분석하지 않고 평형이 된 상태에서 총체적인 열류량 등을 측정하고 있다. ISO와 ASHRAE의 열적 쾌적성에 관한 기준도 평형상태의 자료를 근거로 제정되고 있고 동적 상태의 열적 쾌적성을 측정하기 위한 명확한 프로토콜도 확립되어있지 않은 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 보호복과 언더웨어를 착용한 발한 서멀 마네킹을 대상으로 동적 상태에서 열류량을 측정하는 방법을 고안하고자 하였다. 아울러, 본 연구에서 제안하고자 하는 동적 프로토콜을 이용하여 친수성과 기공도가 다른 언더웨어를 보호복 아래 착용했을 경우의 서멀 마네킹의 동적 열류량을 분석하여 소재의 종류(면, 모, 나일론, 폴리에스테르)와 구조(저지 구조, 메쉬구조)가 동적 열류량에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 실험의복

실험의복은 언더웨어와 보호복 외피로 구성되었는데 언더웨어는 직물의 친수성 또는 구조가 다른 면저지(C), 울저지(W), 나일론저지(N), 면메쉬(Cm) 그리고 폴리에스테르메쉬(Pm)를 사용하여 바디슈트 형태로 각 2벌 제작하였다. 언더웨어 소재의 특성은 <Table 1>과 같다. 보호복은 미세기공 필름과 부직포를 결합시

Table 1. Physical characteristics of the experimental under garments

	Fiber Content(%)	Weight(g/m ²)	Regain(%)	Weaves	Thickness(mm)
C	Cotton (100)	208.4	9.18	Interlock	0.72
W	Wool (100)	176.4	6.18	Interlock	0.52
N	Nylon (92.2) Polyester (7.8)	157.4	2.91	Interlock	0.33
Cm	Cotton (100)	186.3	6.84	Mesh	0.98
Pm	Polyester (100)	110.8	1.28	Mesh	0.65

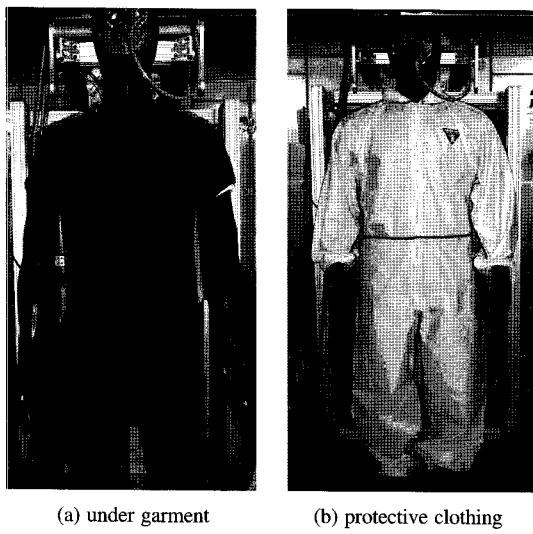


Fig. 1. Experimental garments.

켜 방진·방수·방유기능과 통기성을 갖는 크린가드®XP(유한킴벌리, Korea)를 사용하였다. <Fig. 1(a)>는 바디슈트 형태로 만들어진 언더웨어, <Fig. 1(b)>는 오버올(Overall) 형태의 보호복 크린가드®XP를 발한 서 멀 마네킹에 입힌 모습이다.

2. 측정장비

I) 발한 서멀 마네킹(Sweating Thermal Manikin)

발한 서멀 마네킹은 한국 성인 남자 표준 사이즈(체 표면적: $1.7m^2$, 신장: 170cm)로 제작된 Newton type (Measurement Technology NW)이며 실험은 서울대학교 패션신소재연구센터에서 실시하였다. 발한 서멀 마네킹은 20부위로 나뉘어 독립적인 온도 제어 및 측정이 가능하고 피부 표면에 134개의 발한샘이 고르게 분포하고 있어 발한량의 설정 및 제어가 가능하였다. 마네킹의 평균 피부온은 34.5°C 가 되도록 설정하였다. <Fig. 2>에 발한 서멀 마네킹의 부위별 피부온을 나타내었다. 실험은 $25\pm0.3^{\circ}\text{C}$, 습도 $50\pm2.5\%\text{RH}$, 0.1m/s 의 환경조건 하에서 인공기후실에서 진행되었다.

2) 열화상 분석(Thermogram)

언더웨어 소재 및 실험방법에 따른 보호복의 표면 온도를 시각적으로 살펴보기 위하여 열화상 카메라 ThermaCAM P25(FLIR Systems AB, USA)를 이용하여 촬영하였다.

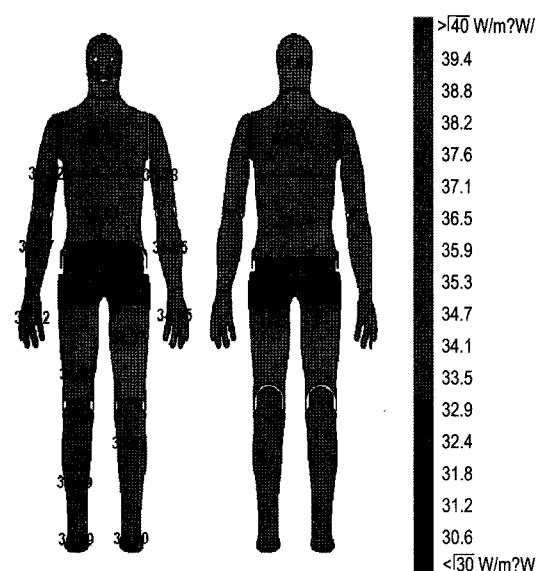


Fig. 2. Sweating thermal manikin's skin temperature setting.

3. 실험방법

본 연구에서 동적 상태(Transient thermal response)란 마네킹의 팔다리를 움직이는 동작은 취하지 않은 상태이며, 열이나 수분 이동 현상이 평형상태에 이르기 전의 전이상태에 대한 분석을 말한다. 전반적인 실험 프로토콜에 따른 열류량과 마네킹의 표면온 변화를 <Fig. 3>에서 볼 수 있다.

1) 발한 서열 마네킹의 평균 피부온이 34.5°C 가 되도록 가열되었다. 2) 이때의 발한량은 중등 작업시의 평균 피부온 34.5°C 에서 발생하는 발한량 범위($200\sim 500\text{g/h}$)(Blockley, 1965)인 $200\text{ml/h} \cdot \text{m}^2$ 로 설정하였다. 발한이 공급되어도 마네킹 피부에 고르게 수분이 펴지지 않아서 비교적 빠른 시간내에 마네킹의 피부가 고르게 젖게 하기 위하여 초기에 스프레이로 450ml 의 증류수를 뿐였다. 3) 그 후 약 $30\sim 40$ 분 후 발한 서열 마네킹의 열류량(Heat flux) 곡선과 피부온이 안정화가 되면 발한 공급을 중지하고 실험복을 착의시켰다. 발한을 중지시킨 것은 보호복 외피를 착용한 상태에서 마네킹에 발한을 지속적으로 공급하면 보호복내에 수분이 응축되고, 과도한 수분으로 인하여 습도 센서에 손상을 가져 오기 때문이었다. 4) 실험의복을 착의시키는 과정과 그 후에도 지속적으로 마네킹의 공급되는 열류량(HF_w)을 측정하면서 동적 상태에서의 열

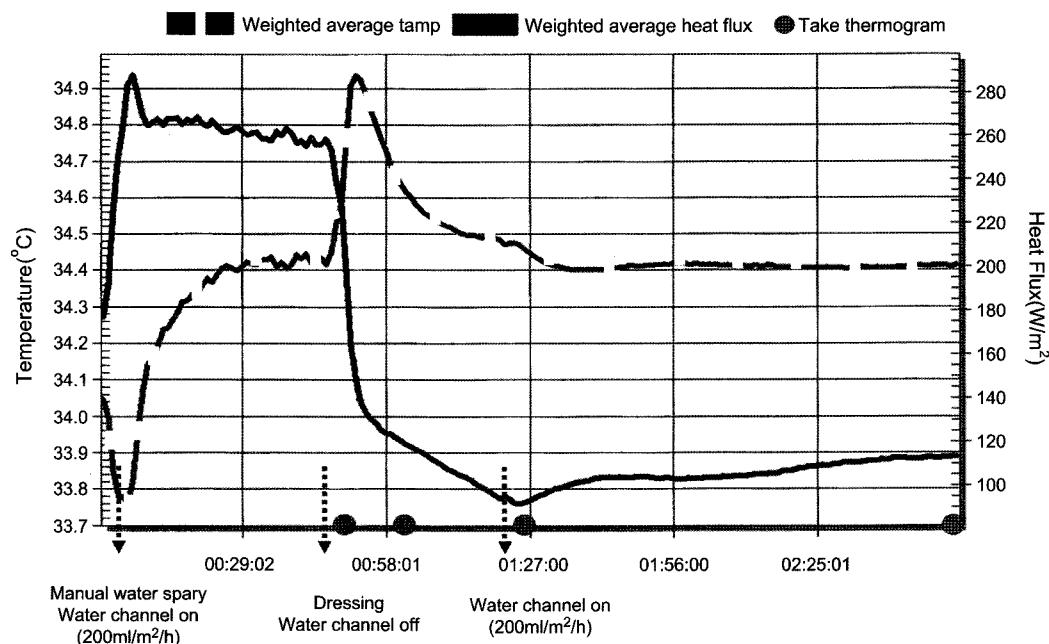


Fig. 3. Average heat flux and skin temperature of manikin.

류량 변화를 측정하였다. <Fig. 3>에 보이는 바와 같이 의복을 착용하면 마네킹의 피부온이 올라가고 열류량은 강하하는 것을 알 수 있다. 5) 이 때 열류량이 강하하는 양상을 반감기로 측정하여 언더웨어의 종류에 따른 효과로 분석하였다. 6) 동적 상태에서의 열류량 측정이 끝나면 다시 $200\text{ml}/\text{h} \cdot \text{m}^2$ 로 발한을 지속시키고 열류량이 안정화되는 시점부터 다시 약 30분 후 평형상태에 도달하는 것을 기다려 발한 서멀 마네킹을 이용한 습열 테스트에서의 열류량(Hf_w)과 투습지수(i_m)를 측정하였다. 7) 평형상태의 건열 테스트는 발한 서멀 마네킹에 수분공급을 하지 않고 평균 피부온이 34.5°C 가 되도록 가열한 후 열류량이 안정이 되면, 평균 피부온을 유지하는 데 필요한 열류량(Hf_d)과 열저항(R_d)을 측정하였다. 8) 건열과 습열 테스트 모두 5가지의 언더웨어와 보호복의 랜덤한 조합에 따라 각 3회씩 실시하였으며, 종료 직전에 열화상 분석기를 이용하여 의복 표면온도를 측정하였다.

4. 분석방법

I) 열류량 반감기 측정

반감기(half time)의 원래 개념은 특정 방사성 핵종

의 원자수가 방사성 붕괴에 의해서 원래의 수의 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간을 의미하는 것이나, 각종 동적 실험시 측정신호가 변화하는 상태에서 시작 점과 종료시 값의 차이가 반으로 줄어들 때까지 필요 한 시간(half time)의 의미로도 쓰이고 있다.

본 연구에서는 동적 상태의 실험에서 발한 서멀 마네킹에 실험복을 착의시킨 후 30분 동안 열류량(Hf_w)을 측정하여 그 사이의 열류량 변화에 대한 반감기를 산출하였다. 즉, y축에 열류량(W/m^2), x축에 시간(min)을 표시하는 그래프를 작성하여 로그함수를 이용하여 회귀식을 구한 후 이 식으로부터 보호복 착용 후 열류량의 변화가 반으로 줄어드는데 소요되는 시간을 반감기로 구하였다.

2) 열투과저항과 투습지수

기본적으로 평형상태에서의 열 · 수분 이동 현상도 실험하기 위하여 발한을 주지 않은 상태에서 공기층을 포함한 총단열력인 건열 투과저항(R_d)을 <식 1>로, 발한을 준 습열 테스트에서는 증발저항력인 습열투과저항(R_e)을 <식 2>로 산출하였다(ASTM, 2005a; 2005b; ISO, 2004).

$$R_t = \frac{A(T_s - T_a)}{H} \quad <\text{식 } 1>$$

$$R_e = \frac{A \times (P_s - P_a)}{H - \frac{(T_s - T_a)A}{R_t}} \quad <\text{식 } 2>$$

R_t : resistance to dry heat transfer provided by clothing system and air layer($m^2 \cdot ^\circ C/W$), R_e : total resistance to evaporative heat transfer provided by clothing system and outer air layer ($m^2 kPa/W$), A: area of the manikin's surface(m^2), P_s : water vapor pressure at the manikin surface(kPa), P_a : water vapor pressure in the air flowing over the clothing(kPa), T_s : temperature at the manikin surface($^\circ C$), T_a : temperature in the air flowing over the clothing($^\circ C$), H: power required to heat manikin(W)

또한 직물의 보온성을 고려하여 공기의 투습저항에 대한 비율로 직물의 투습성을 나타낸 투습지수(vapor permeability index, i_m)를 <식 3>을 사용하여 평가하였다.

$$i_m = \frac{R_t/R_e}{R'_T/R'_E} \quad <\text{식 } 3>$$

R_t : resistance to dry heat transfer provided by clothing system and air layer(m^2/W), R_e : total resistance to evaporative heat transfer provided by clothing system and outer air layer ($m^2 kPa/W$), R'_T : the thermal resistance of thin air firm($m^2 \cdot ^\circ C/W$), R'_E : the evaporative resistance for the same air firm($m^2 kPa/W$)

III. 결과 및 고찰

1. 평형상태의 열 · 수분 전달

건열 테스트에서의 열류량(Hf_d)은 폴리에스테르 메쉬(Pm)가 $38.3 W/m^2$ 으로 제일 높고 면(C)은 $34.3 W/m^2$ 으로 제일 낮게 나타났다(Table 2). 열투과 저항(R_t)은 C가 $0.2 m^2 \cdot ^\circ C/W$ 로 가장 크고 다음이 Cm, W, Rt은 C가 $0.2 m^2 \cdot ^\circ C/W$ 로 가장 낮았다. Rt와 Hf_d 의 소재별 차이에 대한 일원분산분석을 실시한 결과 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다($p<.01$).

N순으로 나타났으며, Pm이 $0.193 m^2 \cdot ^\circ C/W$ 로 가장 낮았다. Rt와 Hf_d 의 소재별 차이에 대한 일원분산분석을 실시한 결과 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다($p<.01$).

습열 테스트에서 열류량 Hf_w 는 Pm이 $98.431 W/m^2$ 로 제일 높고 다음이 C로 $96.263 W/m^2$ 였으며, N이 $93.3531 W/m^2$ 로 가장 낮게 나타났다. 투과저항 R_e 는 W와 C가 $0.060 m^2 \cdot kPa/W$, Cm, N이 $0.059 m^2 \cdot kPa/W$ 로 큰 차이를 나타내지 않고, Pm이 $0.056 m^2 \cdot kPa/W$ 로 약간 낮았으나 언더웨어 소재에 대한 R_e 와 Hf_w 의 일원분산분석을 실시한 결과 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 또한 Hf_w 와 R_e 의 결과를 비교해 보면 Pm이 열저항이 가장 작다는 것 이외에는 서로 일치되는 순서를 나타내지 않았다.

Pm과 W는 높은 투습지수 i_m 을 가지고 있어 수증기의 증발이 용이하고, 소수성 저지구조의 N은 i_m 이 0.163으로 가장 낮아 수증기 투과하는 능력이 낮음을 알 수 있었으나 언더웨어 소재별 차이에 대한 분산분석을 실시한 결과 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다.

이상의 결과에서 언더웨어 소재에 대한 평형상태의 건열 실험과 습열 테스트의 결과 순서가 일치하지 않았는데 이는 건열 실험만으로 실제 환경에서와 같이 동적 환경에서의 열적 쾌적성을 평가하는 것은 무리가 있음을 나타낸 결과라고 하겠다.

2. 열류량 반감기를 이용한 동적 상태의 열 · 수분 전달

<Fig. 4>에는 언더웨어 소재 N의 동적 상태의 전체 열류량 변화의 한 예를 나타내었다. 발한을 설정한 후 열류량 곡선이 안정화가 되면 발한 공급을 중지하고 실험복을 착용시킨 후 약 30분 동안 1분 간격으로

Table 2. Results of the dry & wet test

	Dry test		$R_e(m^2 \cdot ^\circ C/W)$	$Hf_d(W/m^2)$	i_m
	$R_t(m^2 \cdot ^\circ C/W)$	$Hf_d(W/m^2)$			
C	0.210	33.11	0.060	96.26	0.167
N	0.203	35.11	0.059	93.35	0.163
W	0.205	34.25	0.060	94.50	0.179
Cm	0.206	34.77	0.059	94.01	0.174
Pm	0.193	38.29	0.056	98.43	0.184

* $p<.01$

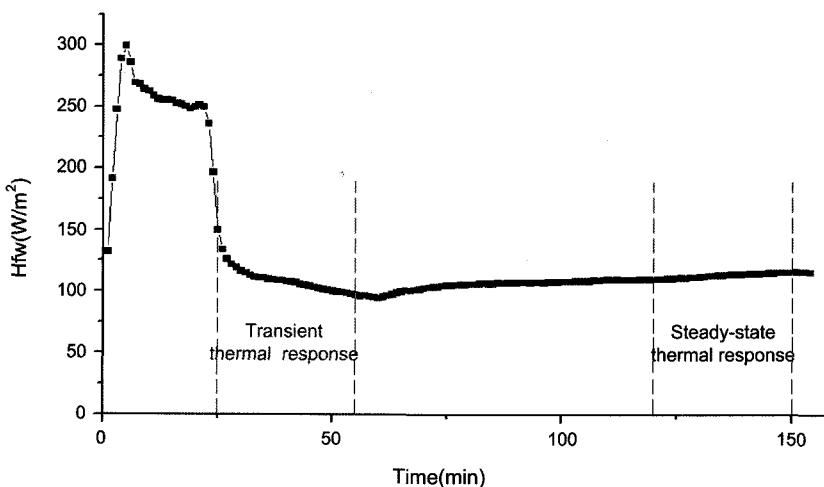


Fig. 4. Change of heat flux during total experiment(nylon).

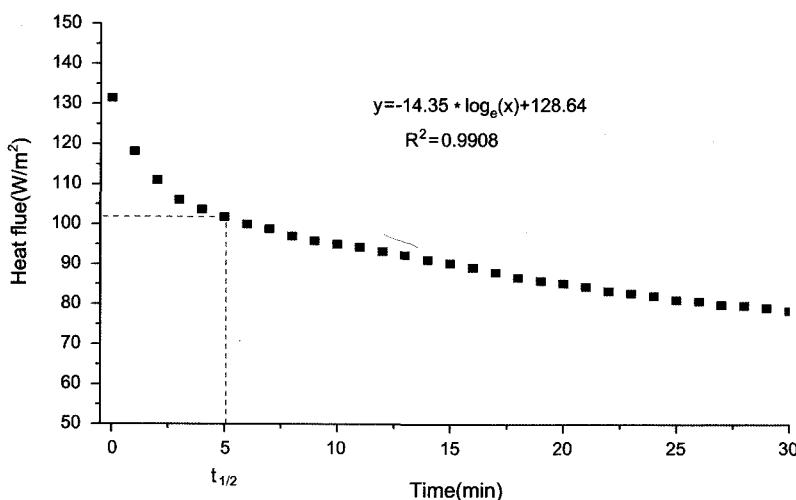


Fig. 5. Regression equation for detection half time of heat flux(wool).

동적 상태에서의 열류량을 측정하였다. 이 때 열류량 측정의 개시점은 실험복 착용에 소요되는 시간차이 등을 고려하여 보호복 착용 개시 후 가장 큰 열류량의 저하가 일어난 직후를 동적 상태의 열류량 측정의 개시점으로 설정하였다. 그리고 완료점은 개시점을 기준으로 30분간 설정하였다.

<Fig. 5>에는 언더웨어 소재 W의 동적 상태의 열류량 변화곡선을 나타낸 것으로, 언더웨어 소재별로 이러한 그래프를 이용하여 열류량의 반감기(half time)를 산출하여 동적 상태의 열·수분 이동 특성의 지표로 사용할 수 있는지 살펴보았다. <Fig. 5>에 나타낸 것과

같은 비선형곡선을 로그함수를 이용하여 회귀식을 산출하였다. 회귀식의 R^2 값의 평균은 약 0.95이었고 그 결과는 <Table 3>에 나타내었다. 이 회귀식을 이용하여 열류량이 최고값에서 반으로 줄어들 때까지 소요되는 시간을 반감기로 구하였다.

이들 회귀식을 사용하여 산출한 반감기를 언더웨어 소재별로 평균한 결과를 <Fig. 6>에 나타내었다. 반감기 평균은 C가 3.48분, W가 5.07분, N이 5.38분, Cm이 3.06분, Pm가 3.87분이었으며, 일원분산분석을 실시한 결과에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다($p<0.05$). 즉, C는 W보다 반감기가 짧아 동적상

Table 3. Regression equation to calculate a half time

	Regression equation		
	1	2	3
C	$y = -20.241\log_e(x) + 154.7$	$y = -14.031\log_e(x) + 146.27$	$y = -18.906\log_e(x) + 142.3$
N	$y = -15.332\log_e(x) + 150.19$	$y = -13.075\log_e(x) + 142.4$	$y = -15.579\log_e(x) + 124.87$
W	$y = -13.568\log_e(x) + 139.34$	$y = -17.361\log_e(x) + 144.47$	$y = -14.35\log_e(x) + 128.64$
Cm	$y = -18.568\log_e(x) + 157.13$	$y = -18.553\log_e(x) + 142.65$	$y = -14.759\log_e(x) + 144.25$
Pm	$y = -15.677\log_e(x) + 146.16$	$y = -17.625\log_e(x) + 165.74$	$y = -13.452\log_e(x) + 141.74$

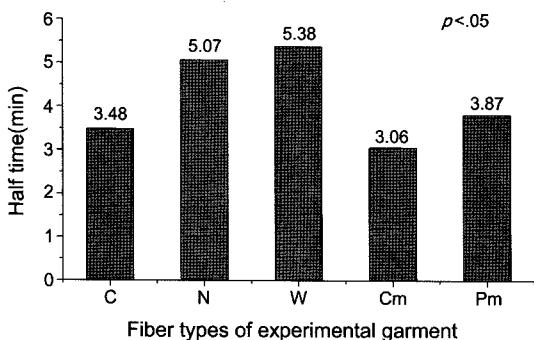


Fig. 6. Half time of heat flux in transient thermal response.

태에서는 열이 밖으로 빨리 방출되어 열류량의 변화가 많은 것으로 나타났으나, 평형상태에서의 투습지수는 C가 W보다 더 작아 면이 양모보다 투습이 잘 되지 않는 것으로 나타났다. 반면, 양모는 동적 반감기는 매우 커 서서히 변화하였으나, 시간이 흘러 평형까지 기다리면 양모의 투습지수는 면 보다 더 컸다. 즉, 초기에는 면이 쾌적할 것으로 예상되나 변화가 예상되는 환경에서 오랜 기간 착용하고자 하면 양모가 더 쾌적할 것으로 생각된다. 즉, C와 W는 동일한 구조의 친수성 소재라도 동적상태와 평형상태인가에 따라 열·수분 이동이 다른 양상을 나타낼 수 있었다.

반감기가 짧은 Cm, Pm, C는 메쉬의 구조적 특성으로 보호복 착용시 동적 상태에서 발한 서멀 마네킹 피부에 있는 수분을 빨리 이동시켜 마네킹의 표면온도를 일정하게 유지하기 위한 열류량의 변화가 빠르게 일어나는 것으로 생각된다. 또한 Cm과 Pm의 경우 이들 메쉬의 구조적인 특성이 동적 반감기와 앞의 <Table 2> 평형상태에서의 투습지수에도 영향을 미치는 것으로 생각된다. 면메쉬, Cm의 경우 동적으로도 반감기가 빨랐고, 투습지수도 컸으며, 건열 마네킹

으로 측정한 경우의 보온성은 저지구조만큼 유지되었다. 즉, 면메쉬는 추운 지방에서의 언더웨어로서 적합하였다. 폴리에스테르메쉬, Pm의 경우는 동적인 상태에서는 면메쉬보다는 반감기가 다소 컸으나, 평형상태에서는 투습지수가 가장 커 보온성은 나빴으므로 덥고 땀이 나는 경우에 유리한 것으로 나타났으나 의복 기후와 주관적 쾌적성을 추가하여 고려해야만 종합적인 결론이 도출될 것으로 보인다.

이상의 결과에서 발한 서멀 마네킹을 이용하더라도 평형상태의 습열 테스트에서는 언더웨어 소재의 열·수분 특성에 대한 변별력이 없었던 것에 반하여 동적 상태의 열류량의 반감기 평가에서는 변별력이 있었다는 것을 알 수 있었다. 즉, 본 실험에서 제안한 실험 프로토콜을 이용한 열류량의 반감기는 보호복 언더웨어 소재에 따른 열·수분 이동을 변별할 수 있음을 확인하였다. 또한, 언더웨어 소재의 구조적인 층면이 열·수분 이동의 동적특성에 영향을 끼치며, 동일한 친수성 소재일지라도 면과 양모의 열·수분 이동 특성은 평형상태인가 동적 상태인가에 따라 다른 양상을 나타낼 수 있었다.

3. 열화상 분석

평형상태의 건열 테스트와 습열 테스트의 종료직전에 촬영한 열화상을 <Fig. 7>에 나타내었다. 보호복의 표면온도는 건열 테스트의 경우 비교적 고른 온도 분포를 보인 반면, 습열 테스트에서는 온도 분포차가 커 가슴 가운데 부위가 건열 테스트보다 습열 테스트에서 대체로 높게 나타났으나, 더 낮게 나타난 부위도 불규칙하게 보였다. 즉, 발한시에는 다층의 복의 주름등에 의하여 피부 표면에서 의복의 겉 표면으로의 거리에 따라 수분이 통과되고 증발되는 양상이 매우 달랐다. 또한, 건열 테스트에서의 Hf_d 와 Rt 이 언더웨어의 종류에 따라 통계적으로 유의미한 차이를

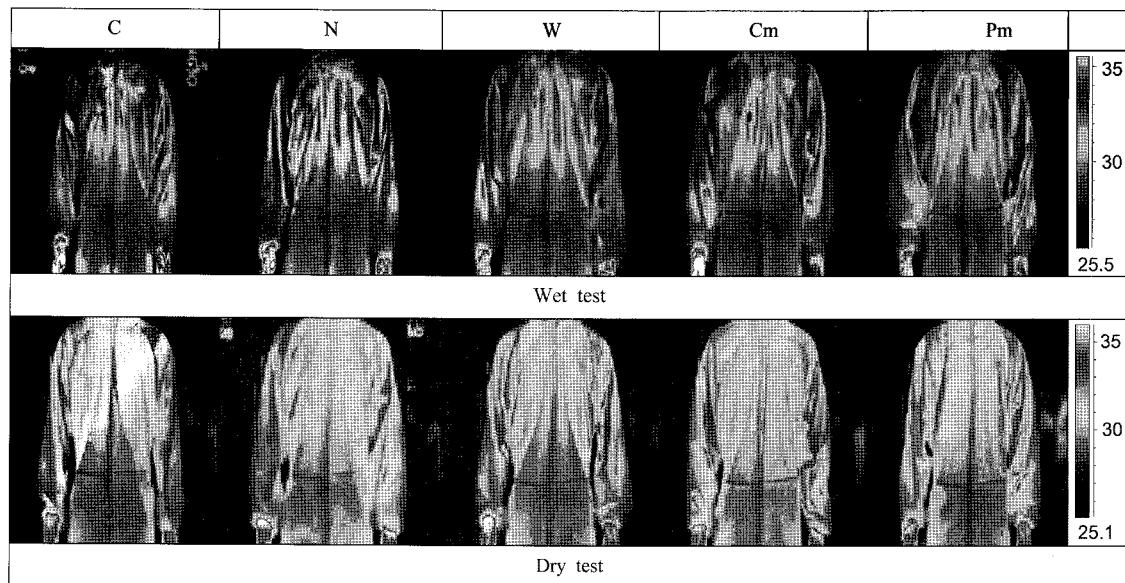


Fig. 7. Thermogram of steady state thermal response.

나타낸 것과는 달리 열화상 측정에서는 습열 테스트와 건열 테스트 모두에서 언더웨어에 따른 의복 표면의 온도 차이를 시각적으로 판별하기 어려웠다. 이러한 결과로부터 체적성과 직접 연관이 되는 피부 표면에서의 열적 상태를 직물 표면에서 열상도로 예측하기가 매우 곤란함을 알 수 있었다. 즉, 비침습적인 방법으로 온도 분포를 시각적으로 용이하게 판단할 수 있어 열적 체적성 평가에 널리 사용되고 있는 열화상 측정은 본 연구에서와 같이 다층으로 의복을 착용하였을 경우에는 소재의 특성에 따른 차이를 쉽게 판별하기 어려웠다.

IV. 결 론

보호복(크린가드®XP)내에 착용하는 언더웨어 5종(면지, 울저지, 나일론저지, 면메쉬, 폴리에스테르메쉬)의 열적 체적성을 발한 마네킹을 이용하여 동적상태에 측정하는 실험프로토콜을 제안하고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 발한 서밀 마네킹을 대상으로 동적상태에서 열류량을 측정하는 실험 프로토콜을 제안하고, 시간경과에 따른 열류량의 변화에서 반감기를 산출하여 동적상태의 열적 체적성을 평가하는 방법을 제안하였다.

2. 같은 발한 마네킹을 이용한 동적상태에서의 열류량 평가는 본 실험의 프로토콜에 따르면 3-4시간

안에 1회의 실험이 가능하였으며 동적상태를 정량적으로 평가하기 위해 도입한 열류량 변화에 대한 반감기 산출은 언더웨어 소재의 차이를 변별할 수 있는 항목이었다. 평형상태까지 기다린 상태에서의 열류량 측정이 언더웨어 소재의 차이를 변별할 수 없었던 점과 비교해 볼 때 동적 열체적성을 평가할 때 도입할 만한 측정 항목이었다.

3. 동적 상태에서의 언더웨어 소재별 특성을 살펴보면, 같은 친수성 소재라도 면이 초기에 수분을 빠르게 외부로 전달하였으며 양모는 서서히 전달하였다. 시간이 흘러 평형상태가 되면 투습지수는 면보다 양모가 컸다. 즉, 초기에는 면이 체적하나 오랜기간 동안 착용하고 있으면 양모가 더 체적할 것으로 보인다. 메쉬 중에서는 면메쉬가 동적 상태에서 반감기가 빨랐고 투습지수도 컸다. 추운지방에서 활동량이 크지 않을 경우, 단기간의 작업시 언더웨어로서 적합할 것으로 생각된다. 폴리에스테르메쉬의 경우 동적 상태에서는 면메쉬보다 반감기가 다소 컸으나, 평형상태에서는 투습지수가 가장 컸고 보온성은 나빴으므로 덥고 땀이 많이 나는 경우에 유리할 것으로 예측된다.

4. 평형상태의 건열 테스트에서는 소재간의 열저항에서 유의차가 나타났으나, 발한 마네킹을 이용한 발한시 평형상태에서의 열류량이나 열투과저항은 언더웨어 소재별로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 이를

통해 기존의 드라이 서멀 마네킹으로는 땀이 나지 않는 상황에서의 보온성을 평가할 수 있으나, 발한이 수반된 상태에서의 보온성과는 차이가 있어 건열 테스트만으로 열적 쾌적성을 평가하는 것은 무리가 있음을 알 수 있었다.

5. 평형상태의 건열 테스트와 습열 테스트의 종료 직전의 열화상을 측정한 결과, 언더웨어 소재에 따른 보호복 표면의 온도 차이를 시각적으로 변별하기 어려웠다. 따라서 열화상 측정만으로는 다풍구조 의복내부의 열적 쾌적성을 평가하기 어려움을 알 수 있었다.

참고문헌

- 박진희, 최혜선. (1999). 봄철 등산복의 착용실태에 관한 연구. *대한인간공학회 학술대회 논문집*, 1(2), 51-54.
- 유신정, Barker, R. L. (2000) 동적 상태에서 주관적 착용감에 영향을 미치는 직물의 수증기 상태의 수분전달 특성. *한국의류학회지*, 24(7), 1073-1080.
- 최정화. (2001). 스포츠 의류. *한국생활학회지*, 8(2), 146-151.
- 최정화, 김소영, 이주영. (2004). 철도 차량 정비 작업자를 위한 일회용 부직포 작업복의 온열적 성능 평가에 관한 연구. *한국의류학회지*, 28(8), 1175-1184.
- 최혜선, 도월희. (2002). 국내 모터사이클복의 착용실태 및 불만족도에 관한 연구-남성용 모터사이클 자켓을 중심으로-. *한국의류학회지*, 26(12), 1765-1777.
- 최혜선, 손부현. (2001). 지뢰제거복의 착용실태에 관한 기초조사연구. *한국의류학회지*, 25(2), 259-267.
- 홍경희, 김은숙. (1986). 염화코발트법을 이용한 직물의 동적 수분전달에 대한 연구. *한국의류학회지*, 13(4), 400-411.
- 홍성애. (1996). Thermal manikin과 국제 표준 7730을 이용한 원자력 발전소 작업복의 열적 쾌적성 판별. *대한인간공학회지*, 15(1), 91-103.
- 홍성애. (1999). 의류제품의 열적 쾌적성 평가를 위한 정량적 분석기술. *한국생활환경학회지*, 6(1), 1-10.
- 홍성애. (2000). 특수복 착용으로 인한 Heat Stress. *한국생활환경학회지*, 7(1), 37-46.
- ASTM. (2005a). *Standard method for measuring the thermal insulation of clothing using a heated manikin*. (ASTM F1291-05). West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM. (2005b). *Standard method for measuring the evaporative resistance of clothing using a sweating manikin*. (ASTM F2370-05). West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Blockley, W. V. (1965). *A Systematic study of the human sweat response to activity and environment in the compensable zone of thermal stress*. NASA CR-65260. Washington D. C.: Webb Associates.
- Endrusick, T. L., Gonzalez, J. A., & Gonzalez, R. R. (2002). Improved comfort of U.S military chemical and biological protective clothing. *The 10th international conference on environmental ergonomics*, Fukuoka, 439.
- Fan, J. & Chen, Y. S. (2002). Measurement of clothing thermal insulation and moisture vapour resistance using a novel perspiring fabric thermal manikin. *Measurement Science and Technology*, 13, 1115-1123.
- Fan, J., Chen, Y. S., & Zhang, W. (2005). Clothing thermal insulation when sweating and when non-sweating. In Tochihara, Y. & Ohnaka T. (Eds.), *Environmental ergonomics* (pp. 437-443). Amsterdam: Elsevier.
- Hironobu, K. (1989). Skin surface temperature on various thermal environments (parts 2). *The 13th Symposium on Man-Thermal Environment System*, Sapporo, 54-57.
- Hong, K., Hollies, N. R. S., & Spivak, S. M. (1998). Dynamic moisture transfer through textiles-pt 1: Clothing hygrometry and the influence of fiber type. *Textile Research Journal*, 58, 697-706.
- Huang J. (2006). Thermal parameters for assessing thermal properties of clothing. *Journal of Thermal Biology*, 31, 461-466.
- Ilmarinen, R. & Londholm, H. (2000). The influence of age and gender on thermoregulatory control during Heat stress. *The 9th international conference on environmental ergonomics*, Dortmund, 19-20.
- ISO. (2004). *Clothing-physiological effects-measurement of thermal insulation by means of a thermal manikin*. (ISO 15831). Geneva: International Organization for Standardization.
- Jianhua, H. (2006). Thermal parameters for assessing thermal properties of clothing. *Journal of Thermal Biology*, 31, 461-466.
- McCullough, E. A. (1991). Transient thermal response of different types of clothing due to humidity step changes, *Proceedings of 2nd International symposium on clothing comfort studies*, Mt. Fuji, 19-22.
- Slater K. (1996). Comfort or protection. In Johnson, J. S. & Mansdorf, S. Z. (Eds.), *Performance of protective clothing: fifth volume* (pp. 486-497). Pennsylvania: ASTM.
- Smolander, J., Bar-Or, O., Korhonen, O., & Ilmarinen, J. (1992). Thermoregulation during rest and exercise in the cold in pre and early pubescent boys and in young men. *Journal of Applied Physiology*, 72, 1589-1594.
- Teal, W. (1990). A thermal manikin test method for evaluating the performance of liquid circulating cooling garments. In Y., Moran, D. S., & Epstein, Y. (Eds.), *Environmental ergonomics: Recent progress and new frontiers* (pp. 355-358). London: Freund Publishing House.