

인체 발한 시뮬레이터의 유용도 (제1보) - 동적 상태에서의 보온성 측정 -

김은애, 유신정, 심현섭, 김정진

연세대학교 의류환경학과 기능성 섬유시스템 연구실

Assessing Performance of the Sweating Simulator (Part 1) - Evaluation of Dynamic Insulation Properties -

Eun Ae Kim, Shinjung Yoo, Huensup Shim, Jungjin Kim

Yonsei University, Department of Clothing & Textiles,

Functional Textile System Research Lab., Seoul, Korea

1. 머리말

섬유제품과 기술의 스마트화에 따라 소재와 가공 및 프로세싱에서 새로운 개념과 복합적인 기능을 가진 섬유제품이 개발되고 있으나 이들 제품을 평가하는 기술이나 표준 또는 장비는 이에 부응하지 못하는 경우가 많다. 섬유제품의 주요 성능중의 하나인 착용감을 평가하는 기술은 레저·스포츠 웨어의 개발이 활발하고 수요가 급증하는데 비하여 이들 성능을 제대로 평가하는 기술은 확립되어 있지 않은 상태이다. 이는 착용감의 열적 또는 감각적 쾌적성을 평가함에 있어 인체와 의복사이에 형성되는 공기층의 미세 기후나 인체에서 발생하는 열과 수분의 의복을 통한 전달을 정량적으로 측정하는데는 인체 의복 환경의 제반 요소가 복합적으로 작용하는데, 이들 제반 요소를 동시에 통제하기는 매우 어렵기 때문이다. 따라서 지금까지, 의복을 개발하는데 있어 착용감을 평가하고 예측하기 위해서는 발한 마네킨, 동작 마네킨 등과 같이 인체의 열역학적인 메카니즘과 동작을 그대로 시뮬레이트 할 수 있는 장비를 이용하거나, 경제성과 용이성, 정확성 등을 고려하여 스킨모델(skin model), 발한열판(sweating hot plate) 등을 사용하여 왔다 [1-3]. 발한 마네킨은 가격도 비쌌 뿐 아니라 내부 구조가 복잡하여, 사용에 제한이 따르고, 스킨모델은 소재의 고유한 특성을 기술하는 데는 유용한 정보를 제공해 줄 수 있으나 실제 상황에서의 성능을 잘 반영하지 못하는 경우가 빈번하다.

본 연구실에서 개발한 수직형 인체발한 시뮬레이터는 환경조건과 활동에 의한 변화상황에 처한 인체가 의복을 착용했을 때, 인체로부터 방출되는 열과 땀이 어떠한 양상으로 의복을 통해 공기 중으로 배출되는지를 측정하여 의복의 쾌적성을 예측하고 평가할 수 있는 장치이다. 이와 더불어 겹침의 효과, 통풍(ventilation) 효과나 서로 다른 디자인의 개구부의 효과 등을 정량적으로 관찰할 수 있도록 고안되었다. 본 고에서는 극한 환경 조건의 제어가 가능한 인체-의복-환경의 시뮬레이터의 설계와 구성을 소개하였으며, 이 시뮬레이터를 이용하여 동적 상태에서의 의류소재의 열전달 특성을 측정함으로써 유용도를 검증 하고자 하였다.

2. 인체 발한 시뮬레이터

2.1. 구성

수직형 인체 발한 시뮬레이터는(Fig. 1) 고온 및 저온 환경을 제공하는 고온 챔버 및 저온 챔버, 수직으로 세워진 발열·발한판과 직물의 각 층의 안쪽과 바깥쪽의 온도와 습도를 측정하는 센서로 구성되어 있다.

측정부는 스킨모델의 기본적인 개념을 그대로 보유하면서 측정부의 양쪽으로 고온용과 저온용 챔버를 장치하여 착용시 급격한 환경변화의 효과를 고찰 할 수 있도록 시료가 장착된 측정부가 두개의 서로 다른 환경조건을 갖춘 챔버에 교대로 부착될 수 있도록 설계되었다. 또한 인체의 피부를 시뮬레이트 하는 열판과 수분공급 장치가 수평방향이 아닌 수직방향으로 구성되어 실제로 인체가 의복을 착용했을 때의 상황을 반영하도록 하였으며, 여러 겹으로 구성된 의복시스템일 경우 의복내의 온습도의 변이를 관찰 할 수 있도록 마이크로 온습도 센서가 각 층마다 부착되어 있다. 각 층의 온습도 센서로부터 얻은 데이터는 컴퓨터 프로그램을 이용하여 실시간으로 기록된다. 직물 프레임에는 인체의 목이나 팔에 대응되는 개구부가 형성될 수 있어서 디자인의 차이에 따른 열수분전달의 효과를 고찰 할 수 있도록 하였다.

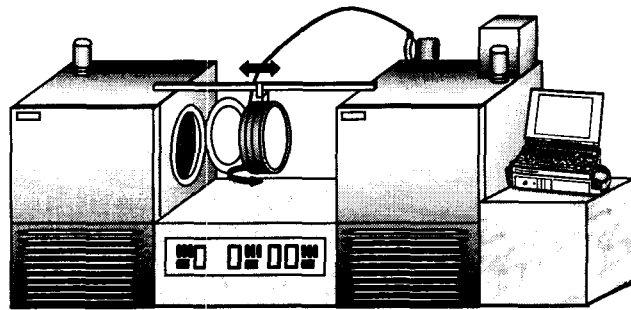


Figure 1. Sweating Simulator

2.2. 유용도

인체 발한 시뮬레이터의 유용도는 Figure 2와 같으며 타 스킨모델과 비교하여 인체발한 시뮬레이터의 장점을 살펴보면 다음과 같다.

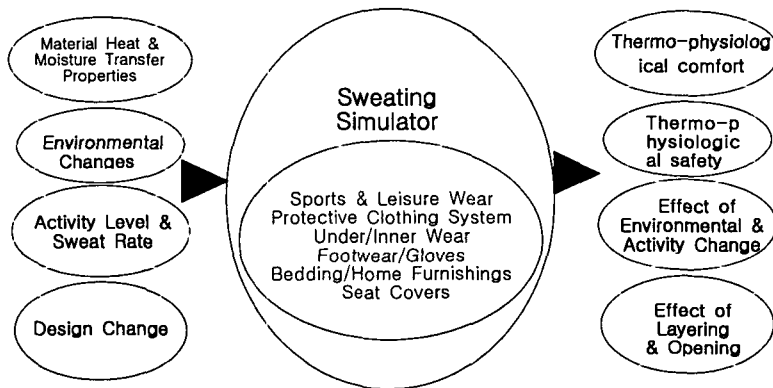


Figure 2. Application Range of The Sweating Simulator

첫째, 동일한 시료에 대하여 두개의 독립적인 환경 챔버를 왕복할 수 있어서 다양한 환경의 변화를 고찰 할 수 있는 장점이 있다. 대표적인 예로 PCM 소재의 경우 평형 상태에서는 확인하기 어려운, 환경 온도 변화에 따른 발열과 흡열효과를 관찰할 수 있다.

둘째, 측정 환경의 온도를 -30도에서 50도로 극한 환경까지 시뮬레이트 할 수 있어서 기존의 표준 상태의 측정에서는 파악 할 수 없었던 기능성 소재의 성능을 측정할 수 있다. 예를 들어 근래 스포

츠웨어나 레저 웨어용으로 급속히 사용이 증가하고 있는 투습방수 성능을 가지는 미세다공 멤브레인의 경우 표준상태에서는 투습성을 유지할 수 있으나 극한지방에서 사용될 경우 수분이 동결하여 미세기공을 막음으로써 설계시에 의도하였던 투습기능을 기대할 수 없게 될 수도 있다.

셋째, 수분 공급량과 속도를 조절함으로써 다양한 활동에 따른 발한량의 변화를 시뮬레이트 할 수 있다.

넷째, 착용 시스템의 겹침의 효과와 각 의복층의 효과, 개폐구의 디자인 변화의 효과 등을 고찰할 수 있다. Table 1은 기존의 실험 방법과 비교한 것으로 인체발한 시뮬레이터는 인체실험이나 발한 마네킨 등이 가진 장점인 의복과 인체의 형태적인 요소를 포함하는 총체적인 효과를 평가하는 데에는 한계가 있으나 경제성, 정확성, 실험의 용이성에서 유리한 점을 가지고 있으며 인체 실험을 통해서 얻을 수 없는 열 수분 전달의 메카니즘의 분석에 사용될 수 있다.

Table 1. Comparison of Comfort Evaluation Methods

	Sweating Simulator	Human Test	Sweating Manikin	Skin Model	Walk-in Chamber
Cost	●	△	△	●	△
Easy to Prepare	●	△	△	●	-
Speed	◎	△	○	◎	-
Reproducibility	◎	△	◎	◎	-
Accuracy	◎	△	◎	◎	-
Accessible Information	●	○	◎	△	-

● excellent ◎ very good ○ good △ not good

3. 동적 상태에서의 보온성 측정

3.1. 시료

인체발한 시뮬레이터의 유용성을 검증하기 위해 환경온에 따라 열적 성질이 변화하는 (temperature adaptable) 상변이 물질 중의 하나인 폴리에틸렌 글리콜(PEG)을 처리한 부직포를 사용하여 동적상태에서의 보온력 측정하였다. 실험을 위해 중량이 150g/cm²인 부직포에 분자량이 각각 400과 1500인 PEG를 부가량 50%로 동일하게 처리하여 인체발한 시뮬레이터를 사용하여 동적 보온성을 측정하였다. Table 2에 DSC 분석에 따른 시료의 열적 특성과 20±1°C에서의 보온성 측정 결과를 요약하였다.

Table 2. Thermal Properties of Specimens with Different Molecular Weight of PEG

molecular weight of PEG	T _m (°C)	T _c (°C)	ΔH _f (J/g)	ΔH _c (J/g)	Thermal Conductivity (W/cm °C)
400	-	-	-	-	1.9×10 ⁻⁴
1500	47.36	20.89	40.65	34.76	1.9×10 ⁻⁴

3.2. 실험 방법

인체의 평균 피부온(33°C)을 유지하는 발열판 위에 시료를 장착하였으며 최외층은 기류의 효과를 막기 위해 고어텍스 직물을 사용하였다. 준비된 시료를 2시간동안 고온 챔버(25±1°C, 50±2% RH)와 저온챔버(-20±1°C)에 30분씩 번갈아가면서 노출시키면서 각 층의 온도와 습도의 변화를 측정하였다.

3.3. 결과 및 고찰

PEG 1500g, 400g 처리시료와 미처리 시료의 동적상태에서의 의복내 온도를 비교한 실험결과는 Figure 3과 같다. 환경온이 25℃인 고온 챔버에서는 시료간의 의복내 온도차이가 발견되지 않았으나 -20℃의 저온 챔버로 옮겨진 후 발열반응이 예상되는 PEG 1500으로 처리된 시료는 첫 번째 층과 두 번째 층 모두에서 발열반응이 일어나지 않는 분자량 400으로 처리된 시료와 미처리 시료에 비해 높은 온도를 나타냈다. 그 차이는 첫 번째 층(0.5℃)보다 두 번째 층(1.3℃)에서 좀 더 크게 나타난 것을 볼 수 있다. 이는 피부와 가까운 첫 번째 층의 온도(29~30℃)는 분자량1500의 발열 반응 온도인 20~22℃ 보다 높으므로 발열효과가 뚜렷이 나타나지 않으나 외부환경 쪽에 가까운 두 번째 층의 의복 내 온도는 저온 환경에서 0℃이하로 내려가면서 발열반응 온도를 거치기 때문으로 해석된다.

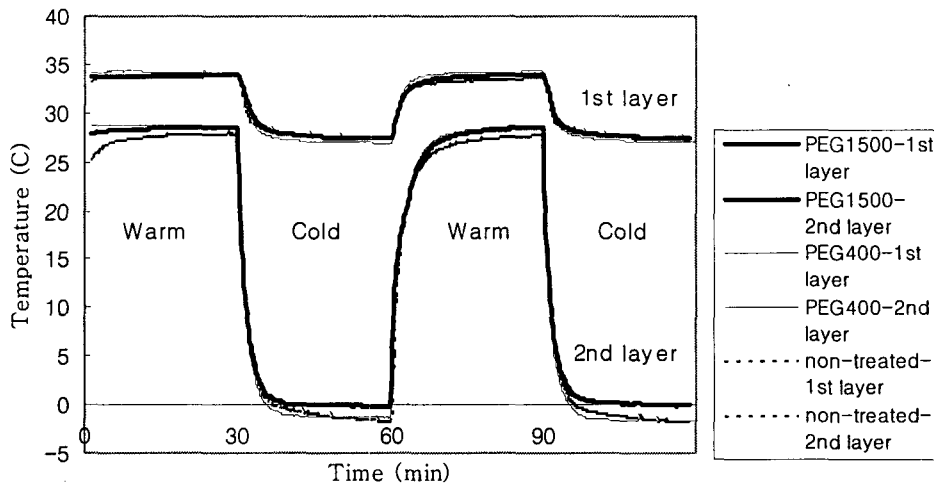


Figure 3. Micro-Climate Temperature of PEG Treated and Non-Treated Nonwovens

4. 결론

본 연구 결과는 기기의 유용도를 평가하기 위하여 환경온에 가장 민감한 상변이 물질로 처리된 부직포를 이용하여 의복내 미세 기후를 측정하였으며, 정확성과 재현성에서 우수함을 확인하였다. 앞으로 다양한 인체, 의복, 환경 조건을 시뮬레이트하여 얻은 결과는 마네킹 실험이나 인체 착용실험을 통해 검증하고 각각의 변인들의 중요성과 가중치를 결정하여 착용감을 예측할 수 있을 것이다. 또한 직물의 개발과 기획단계에서 사용하여 쾌적성에 대한 평가지수를 제공해 줌으로써 제품의 표준화 작업에 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

1. Apparatus for simulating the thermoregulatory responses of human skin and related method for predicting fabric comfort level, US patent 5749259 (1998)
2. ISO 11092:1993 Textiles - Physiological effects - Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hot plate test)
3. Umbach, K. H., Measurement of the Buffering Capacity of Textiles with the Thermoregulatory Model of Human Skin, Standard-Test Specification, BPL 1,2, March (1994)