

인체 전력에너지 수확의류 개발을 위한 의복내 온도 측정의 기초적 고찰

A study on the temperature inside clothing as fundamental data for development of the heat energy harvesting clothing

양진희* · 조현승** · 박선형* · 이주현†

Jin-Hee Yang* · Hyun-Seung Cho** · Sun-Hyung Park* · Joo-Hyeon Lee†

*연세대학교 생활과학대학 의류환경학과

*Department of Clothing & Textiles, Yonsei University

**연세대학교 생활과학대학 심바이오틱라이프텍연구원

**Symbiotic Life-tech Institute, Yonsei University

Abstract

Recently, the consciousness of energy crisis is rapidly growing and sustainable eco-friendly energy sources are becoming issue. Therefore the portable electronic device requires new energy sources for providing continuous power supply and the power energy harvesting system of the human body that enables the power-harvesting research requests anytime, anywhere. One of the sources for energy harvesting is heat energy, which is the difference in temperature of the body and the surrounding environment. We tried to analyze the temperature difference between the environmental temperature and the temperature inside clothing according to the structure of the closed portion. And we examined the temperature difference between the environmental temperature and the temperature inside clothing according to the material of the clothing. The analysis showed that we have been able to get different results at parts of the body in the temperature inside clothing according to the structure of clothing. In upper torso of the chest and back, the temperature inside clothing of 'closed structure' was higher than the temperature inside clothing of 'opened structure'. In the section of arm and leg, it was reduced the difference of temperature inside clothing between 'closed structure' and 'opened structure'. It was particularly noticeable in the section of leg. The results of analysis of the difference between the environmental temperature and the temperature inside clothing according to the material of the clothing, in both cases of the two materials, 'closed structure' was higher than the 'opened structure' in the difference value between the environmental temperature and the temperature inside clothing. There was a difference according to the material in the section of leg. In this study, we outlined the basic guidelines for developing heat energy harvesting clothing by exploring the structure and material of clothing suitable for the heat energy harvesting.

Key words : temperature inside clothing, heat energy harvesting, energy harvesting clothing

* 본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 미래유망 융합기술 파이오니어사업으로부터 지원을 받아 수행되었음 (과제번호-2012-8-2040).

† 교신저자 : 이주현 (연세대학교 생활과학대학 의류환경학과)

E-mail : ljhyeon@yonsei.ac.kr

TEL : 02-2123-3108

FAX : 02-312-8554

요 약

에너지 위기의식이 급격히 고조되고 지속 가능한 친환경 에너지원이 이슈화되면서 휴대용 전자기기 산업의 발전은 전원을 공급하기 위한 새로운 에너지원을 요구하고 있으며, 이러한 점에서 언제 어디서나 전력 수확을 가능하게 하는 인체 전력에너지 수확 시스템의 연구가 요청된다. 인체 에너지를 수확하는 방식의 하나인 열전은 인체와 주위 환경간의 온도차이로부터 에너지를 수확하는 방식으로, 본 연구에서는 열전수확에 적합한 의복의 구조와 소재를 탐색하여 인체 전력에너지 수확의류를 위한 기초적 지침을 마련하고자 하였다. 이를 위해 의복의 폐쇄부 구조에 따른 환경 온도와 의복내 온도 간의 차이를 분석하고, 의복의 소재에 따른 환경 온도와 의복내 온도 간의 차이를 도출하였다. 분석 결과, 의복구조에 따른 의복내 온도에 있어서는 인체 부위에 따른 차별화된 결과를 얻을 수 있었는데, 가슴과 등 부위에서는 ‘폐쇄부 유’의 의복구조인 경우가 ‘폐쇄부 무’ 의복구조에 비하여 의복내 온도가 더 높은 것으로 나타났고, 팔 부위에서 다리 부위로 갈수록 ‘폐쇄부 유’와 ‘폐쇄부 무’의 의복구조에 따른 의복내 온도의 차이가 줄어들었다. 한편, 의복소재에 따른 환경 온도와 의복내 온도 간의 차이를 분석한 결과, 두 소재 중 하나의 소재가 일관성 있게 더 높은 온도를 보이지는 않았으며, 인체 부위별로 차이를 보였다. 이러한 의복구조와 소재에 따른 환경 온도와 의복내 온도 간의 차이 결과를 토대로, 인체 전력에너지 수확의류를 위한 지침을 도출하였다.

주제어 : 의복내 온도, 열전에너지 수확, 에너지 수확의류

1. 서론

21세기에 들어와 전세계적으로 에너지 위기의식이 급격히 고조되고 지속 가능한 친환경 에너지원이 이슈화되면서 에너지 수확 기술은 대표적인 그린에너지 기술의 하나로서 많은 관심을 받아왔다. 또한 휴대용 전자기기 산업의 발전은 전원을 공급하기 위한 새로운 에너지원을 요구하고 있으며, 이러한 점에서 언제 어디서나 전력 수확을 가능케 하는 인체 전력에너지 수확 시스템의 연구가 요청된다. 현재 인체로부터 에너지를 수확하는 시스템은 충분히 연구되고 있지 않아 이에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다.

인체 에너지를 수확하는 대표적 방식에는 열전과 압전이 있다. 열전은 인체의 열적 현상 변화를 기초로 하는 에너지 수확으로 인체와 주위 환경간의 온도차로부터 에너지를 수확하는 방식이다. 압전은 인체의 동작에 의한 에너지를 수확하는 방식이다. 한편, 의복은 인체로부터 전력에너지를 항시 수확 가능하게 만드는 주요 미디어이다. 본 연구에서는 인체 전력에너지 수확 의류를 위한 기초연구를 수행하고자 하였고, 인체 에너지 수확 방식 중 열전 수확 방식에 기초하여 의복내 온도를 연구하였다. 의복은 인체를 둘러싼 최인접 온열환경을 형성하고, 인체와 외부 환경 사이에 존재함으로써 외부 환경의 온열 조건과는 다른 기후를 의복 내에 조성한다. 이처럼 의복 착용 시, 인체 주위에 형성되는 미세 기후인 의복내 온도는 인체생

리반응에 직접적인 영향을 끼치고 인체의 체온조절에도 핵심적인 역할을 하므로(최정화, 1995; Wen Zhong, 2006) 열전에 있어서 매우 중요하다. 또한 의복내 온도가 피부 온도보다 외부 환경 온도로부터 더 큰 영향을 받으므로, 의복내 온도를 최대한 보존·유지하여 에너지 수확의 효율을 극대화시킬 수 있는 의복의 구조 요건에 관한 연구가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 첫째, 의복의 폐쇄부 구조에 따른 환경 온도와 의복내 온도 간의 차이를 분석하고, 둘째, 의복의 소재에 따른 환경 온도와 의복내 온도 간의 차이를 도출하며, 셋째, 열전수확에 적합한 의복의 구조와 소재를 탐색하여 인체 전력에너지 수확의류를 위한 기초적 지침을 마련하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1. 환경 온도와 의복내 온도

의복은 언제 어디서나 인체와 함께 한다는 점에서 매우 중요한 온열환경으로 볼 수 있으며, 인간을 둘러싸고 있는 가장 가까운 미소환경으로, 의복 설계 시 인간-의복-환경계를 연계하여 하나의 상황으로 파악하는 것이 중요하다고 보고되었다(최정화, 2011).

인체와 의복 사이에 형성된 미세기후를 의미하는 의복기후는 외부 환경, 의복, 인체의 영향을 모두 받는다(최정화, 1995; 김양원, 1997), 의복 내의 국소적인

온습도 분포와 기류의 움직임 및 환기능력을 제시해주는 값이라고 정의되었다(김양원, 2002).

의복을 착용함에 따라 인체와 의복 간에는 외부의 환경과는 다른 특수한 기후가 형성되는데 의복착용에 의해 형성된 기후상태, 즉 의복과 피부와의 미세 공간내 온도, 습도, 기류의 총칭을 의복기후(clothing climate, micro climate)라고 한다(권수애, 2003). 본 연구에서는 의복기후 중 온도를 다루었고 이를 의복내 온도라고 정의하였다.

2.2. 의복내 온도의 측정

의복기후 측정 연구는 1896년 Ruber와 Von Lewwaschew가 셔츠 속의 의복내 온도와 의복내 습도를 동시에 측정함으로써 시작되었고(Mellanby, 1932), 의복기후를 연속 기록하는 장치는 1948년 Korgh라는 연구자에 의해 최초로 고안되었다(Haredy, 1950). 의복기후를 중점적으로 다룬 선행 연구는 크게 둘로 나뉘는데 첫째, 의복기후와 환경요인과의 관련성을 다룬 연구들(김소영, 2005; 박우미, 1983; Humphreys, 1977)과 둘째, 피부 온도, 체지방률 등의 인체 생리반응과 내한내열성 등의 건강 관련 변인과의 관련성을 살펴본 연구들(김소영, 2005; 김양원, 1997)이다(박준희, 2008).

인체 부위별로 의복내 온도를 측정한 연구에 따르면, 의복내 온도는 일반적으로 외기온보다 높으며 의복의 최외층에서 최내층으로 갈수록 온도는 점차 높아진다고 보고하였다. 외기온이 25°C 이하이면 외계의 환경 온도가 변화하여도 체간부의 의복내 온도는 거의 일정하게 유지되며, 연중 변동은 5°C 내외로 측정되었다. 그러나 사지부의 의복내 온도는 외기온의 변화에 따라 말단으로 갈수록 크게 변동하여 팔과 대퇴부의 연간 변동은 5~10°C이고 하퇴부는 10~15°C로 보고하였다(권수애, 2003).

대부분의 선행 연구들은 다양한 온열환경에서 조성되는 의복내 온도의 변화를 살펴보거나 부위별 의복내 온도 값을 제시하는 것에 초점을 맞추었고, 환경 온도와 의복내 온도의 차이값 분석 및 의복의 구조나 소재에 따른 의복내 온도의 차이를 살펴본 연구는 드물다.

2.3. 인체 에너지 수확

인체 에너지 수확 시스템이란, 인간의 기초대사 및

운동으로부터 얻을 수 있는 인체 에너지와 자동차 진동과 같이 주변 환경으로부터 얻을 수 있는 외부에서 발생하여 인체에 영향을 미치는 에너지 모두를 포함하는 개념이다. 미국 Texas Instruments사는 저소비 전력 마이크로컴퓨터 'MSP430'에 Adaptive Energy사나 Cymbet사의 혁신적인 배터리 기술 등을 조합한 에너지 수확 모듈인 'Joule-Thief'를 개발, 공급하였다(Texas Instruments, 2011).

인체 에너지 수확 중 열전에너지 수확의 원리는 외부 환경과 의복 내부 간 온도차를 이용하여 에너지를 수확하는 방식이다. 인체 열에너지원 중 체표열-외기 온도 간 온도차는 인위적인 제어가 거의 불가능하나, 의복기후열-외기 온도 간 온도차는 인체적용 패키징 설계에 의해 어느 정도까지는 제어가 가능하다. 따라서 인체 두 가지 열에너지원 중 의복기후열-외기 온도 간 온도차를 극대화시킴으로써 에너지 수확의 효율을 높일 수 있다. 의복에 장착되는 열전소자 모듈의 외부는 cold junction 기반의 냉각 시스템으로 제품의 내부보다 낮은 온도를 유지할 수 있도록 설계하여 hot junction과 cold junction의 온도차를 증가시킴으로써 에너지 수확의 효율을 높일 수 있다(이주현, 2012).

독일의 Infineon Technology사는 외부 온도와 의복내의 온도차를 이용한 체열발전을 연구하였다. 온도차에 의해 발생된 전기를 통해 신호발신이 가능한 전원을 얻도록 하는 시스템을 개발한 바 있다(섬유기술과 산업, 2004).

에너지 수확 방식 중 열전에 관한 기초적인 연구로 열화상 기기를 통해 인체의 구간별 표면온도를 도출하여 분석한 최근 연구들(Zaproudina, 2008; 양진희, 2011)에서는 상체의 체표온도가 하체에 비해 높았고 특히 심장과 가깝고 혈류량이 많은 몸통 부위의 체표온도가 높게 나타났다. 뒷목과 등, 허리의 후면 부위 체표온도가 앞면에 비해 높았으며, 팔 부위의 경우 위쪽 부위의 체표온도가 아래쪽 부위보다 높고 팔 후면이 정면과 측면에 비해 온도가 낮게 나타났다고 보고하였다(Zaproudina, 2008; 양진희, 2011). 그러나 의복이 인체 전력에너지를 수확하기에 유리한 매개체임에도 불구하고, 의복을 통해 인체 전력에너지를 수확하는 에너지 수확에 관한 연구는 현재까지 없는 실정이다.

이상의 이론적 고찰을 통해 볼 때, 의복내 온도의 분포를 분석하고 환경 온도와 의복내 온도와의 차이를 분석하는 것은 인체 전력에너지 수확의류를 연구하기 위한 첫 걸음이라고 할 수 있다.

3. 연구방법

3.1. 연구의 절차와 방법

3.1.1. 실험방법 및 절차

본 연구의 방식은 현장실험 연구였으며, 현장실험은 환경 온도와 의복내 온도의 차이값이 높아 에너지 수확의 효율이 높을 것으로 예상되는 영하의 겨울날씨 및 야외환경(서강대학교 R관 후문)에서 2013년 1월에 실시되었다.

실험 시 4명의 피험자는 긴팔 상의와 긴바지 하의 세트의 총 2벌의 실험복을 착용하였으며, 실험복 착용 상태에서 가슴, 등, 팔, 다리의 인체 4개 부위의 의복내 온도를 측정하였다. 또한, 실험시의 환경 온도, 습도, 풍속 등이 실험 시작 직전에 측정되었다.

실험 시작 전 피험자는 환경 온도 20°C의 실내에서 10분간 적응시간을 갖게 한 후, 야외에서 5분간 노출시키고 측정기기인 testo 175-H1 thermistor의 매뉴얼에 근거하여 기기 삽입 10초 후의 의복내 온도를 측정하였다. 측정 후에는 기기의 온도가 올라간 상태이므로 7초의 간격을 유지하고 다음 부위를 측정하였다. 이상의 측정 절차를 실험복의 조건이 바뀔 때 마다 반복하였다(표 1).

Table 1. The process of experiment

Clothing		Process of experiment
Fabric	opened/closed	
PE	1. closed	1) 10 minutes adaptation at indoor of 20°C environmental temperature 2) 5 minutes exposure at outdoor of -5°C environmental temperature 3) Measurement of temperature inside clothing after 10seconds upon inserting instrument 4) Measurement of another section after 7seconds
	2. opened	same as above
CT	3. closed	same as above
	4. opened	same as above

3.1.2. 환경 온도, 습도, 풍속의 측정

환경 온도, 습도 및 풍속은 동일한 피험자의 실험복

이 바뀔 때 마다 1회씩 측정하여 총 4회를 측정하였다. 측정된 환경 온도는 -4.5°C~2.5°C, 상대습도는 37%~53%, 풍속은 0.7m/s~2.1m/s였다.

3.1.3. 피험자

피험자는 신체 조건이 유사한 20대 남성 4명이었다. 피험자들의 평균 나이는 25.2세였고, 신장은 174.3cm, 몸무게는 70.5kg이었다.

3.1.4. 실험복

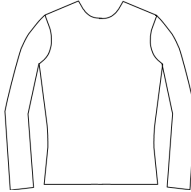
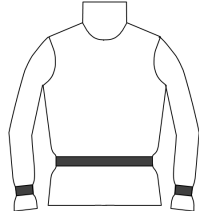
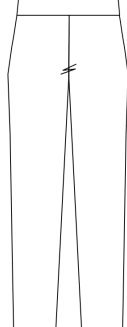
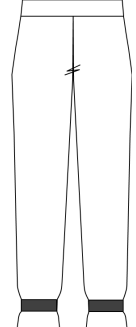
실험복은 긴팔 티셔츠 상의와 긴바지 하의의 세트 형태다. 소재는 폴리에스테르 100%의 소재, 면 100%의 소재의 총 2가지 소재 유형(표 2)과 ‘폐쇄부 유’와 ‘폐쇄부 무’의 2가지 의복구조로 조합된 총 4개 유형이 실험을 위해 제작되었다. ‘폐쇄부 유’ 구조란 엘라 스틱 밴드(E-band)를 실험복에 장착하여 환경 온도의 영향을 감소시키고자 고안된 의복구조를 가리킨다. 한편 ‘폐쇄부 무’ 구조는 폐쇄부가 제거된 실험복을 의미한다(표 3). ‘폐쇄부 유’의 폐쇄 부위는 총 4개 부위로 엘라 스틱 밴드 장착 부위는 허리 부위, 손목 부위, 발목 부위의 총 3개 부위였고 목 부위는 탈부착이 가능한 몸판과 동일한 소재의 터틀넥(turtleneck)을 장착하여 폐쇄하였다(그림 1). 열전에너지 수확 소자는 외부 환경에 노출되는 면(cold junction)과 피부에 밀착되는 면(hot junction)의 온도 차이로 에너지를 수확하기 때문에, 겨울 환경임에도 불구하고 접히는 제외하고 티셔츠와 긴바지만을 실험복으로 채택하였다.

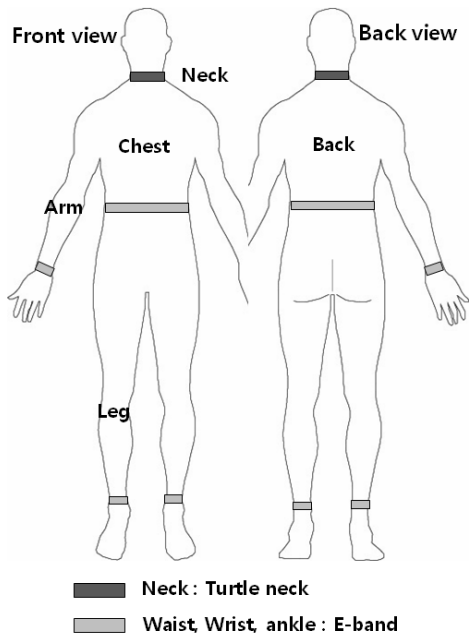
폐쇄부 소재로 사용된 엘라 스틱 밴드는 나일론(79%), 폴리에스테르(10%), 고무(6%), 폴리우레탄(5%)의 혼방 소재였다. 엘라 스틱 밴드의 굵기는 300denier, 폭은 3/4인치, 둘레는 허리 부위 26인치, 손목 부위 8인치, 발목 부위 11인치로 제작되었다.

Table 2. The mechanical property of fabrics

Fabric	Weave	Thickness (mm)	Weight (mg/cm ²)	Density (wp/wf)	Air-Permeability (cm ³ /min to cm ²)
PE	plain	0.48	13.3	134/96	28
CT	plain	0.48	13.4	132/82	35

Table 3. Types of the clothing

	clothing of structure	
	opened	closed
upper		
lower		



3.1.5. 측정기기

환경 온도와 습도는 Testo사의 온습도 측정기기인 testo 175-H1 thermistor 기기를 통해 측정하였고, 의복내 온도 측정은 Testo사의 온도측정기기인 testo 905-T2 thermistor 기기를 사용하여 측정하였다(그림 2). 풍속은 스마트폰의 기상 애플리케이션인 ‘바깥날씨’ 프로

그램을 통해 계측하였다.

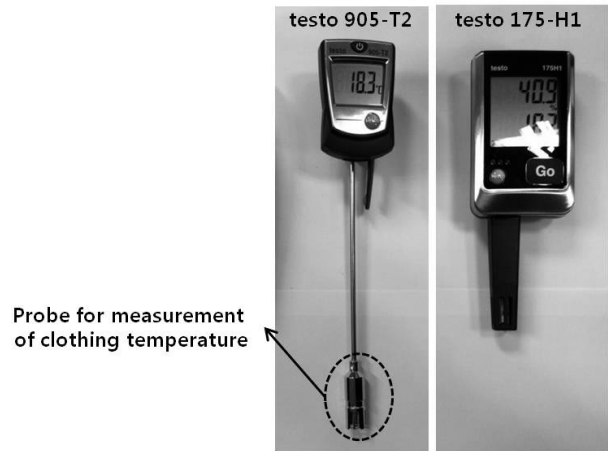


Figure 2. Instruments of measurement

3.2. 자료 분석

의복내 온도 측정부위는 가슴 부위, 등 부위, 팔 부위, 다리 부위의 총 4개 부위를 선정하였고, 측정점은 그림 3과 같다.

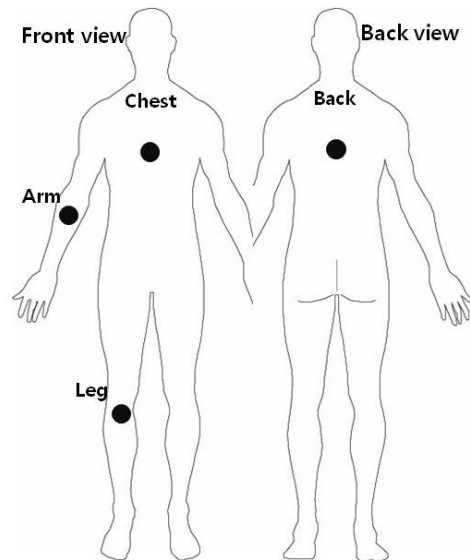


Figure 3. Measuring points(●)

피험자 4명간의 부위별 의복내 온도 값이 통계적으로 유의한 차이가 없었으므로 측정치로서, 각각의 부위별로 4명 피험자의 산술평균값(Mean) 및 표준편차(SD)를 도출하였다. 의복구조에 따른 부위별 의복내 온도와 소재에 따른 부위별 의복내 온도를 분석하였다. ‘폐쇄부 유’와 ‘폐쇄부 무’의 의복구조의 의복내 온도의 통계적 차이 검증을 위해 t-test를 실시하였고,

마찬가지로 폴리에스테르 소재와 면 소재의 의복내 온도 역시 t-test를 통해 통계적 차이를 검증하였다. 이를 토대로 인체 전력에너지 수확의류를 위한 지침을 제시하였다.

4. 결과 및 고찰

의복구조 및 의복소재에 따른 인체 부위별 의복내 온도를 분석한 결과는 다음과 같다. ‘폐쇄부 유’ 의복구조의 의복내 온도를 측정된 결과, 가슴 부위에서는 폴리에스테르 소재와 면 소재의 의복내 온도가 각각 22.5℃와 23.3℃로 나타났다. 등 부위에서는 폴리에스테르 소재와 면 소재의 의복내 온도가 각각 22.1℃와 22.9℃의 측정값을 보였다. 팔 부위에서는 폴리에스테르 소재와 면 소재의 의복내 온도가 각각 16.5℃와 18.5℃로 나타났으며, 다리 부위에서는 폴리에스테르 소재와 면 소재의 의복내 온도가 각각 14.8℃와 14.0℃로 측정되었다(표 4).

‘폐쇄부 무’ 의복구조의 의복내 온도를 측정된 결과, 가슴 부위에서는 폴리에스테르 소재와 면 소재의 의복내 온도가 각각 15.8℃와 18.2℃의 측정값을 보였다. 등 부위에서는 폴리에스테르 소재와 면 소재의 의복내 온도가 각각 17.4℃와 18.8℃로 나타났다. 팔 부위에서는 폴리에스테르 소재와 면 소재의 의복내 온도가 각각 14.9℃와 14.5℃로 나타났으며, 다리 부위에서는 폴리에스테르 소재와 면 소재의 의복내 온도가 각각 14.0℃와 13.2℃의 측정값을 보였다(표 4).

Table 4. The temperature inside clothing by structures(℃), Mean±SD, n=4

Clothing		Temperature inside clothing of section			
Fabric	Structure	Chest	Back	Arm	Leg
PE	Closed	22.5±2.3	22.1±2.3	16.5±1.8	14.8±2.5
	Opened	15.8±1.6	17.4±0.1	14.9±2.1	14.0±3.4
CT	Closed	23.3±2.0	22.9±1.3	18.5±0.7	14.0±0.9
	Opened	18.2±3.1	18.8±0.9	14.5±2.8	13.2±0.9

4.1. 의복구조에 따른 의복내 온도

의복의 폐쇄구조 유무에 따른 의복내 온도를 분석한 결과, 인체 부위에 따라 차별화된 결과를 얻을 수 있었다. 다리 부위를 제외한 가슴과 등, 팔 부위에서

는 유의수준이 0.05 이하로 나타나 의복의 폐쇄구조 유무에 따른 차이를 보였다(표 5).

Table 5. T-test of temperature inside clothing between closed and opened structure(p<0.05), n=4

Section	Between closed and opened structure
Chest	0.0001
Back	0.0003
Arm	0.0185
Leg	0.9202

가슴과 등의 부위에서는 ‘폐쇄부 유’의 의복구조인 경우가 ‘폐쇄부 무’ 의복구조에 비하여 의복내 온도가 더 높은 것으로 나타났다(표 6, 그림 4). 이는 폐쇄부가 없는 의복구조보다 폐쇄부가 있는 의복구조에서 의복내 온도가 더욱 잘 유지되며 환경 온도의 영향을 적게 받음을 의미한다. 다시 말해, 폐쇄부가 있는 의복구조의 경우가 겨울 야외 환경 온도와 의복내 온도 간의 차이를 더욱 크게 만들 수 있어 열에너지 수확에 유리한 구조임을 시사한다.

팔 부위에서는 가슴, 등 부위와 마찬가지로 ‘폐쇄부 유’의 의복구조인 경우가 ‘폐쇄부 무’ 의복구조에 비하여 의복내 온도가 더 높은 것으로 나타났으나, 의복구조에 따른 의복내 온도의 차이가 가슴, 등 부위에 비해 줄어들었다(표 6, 그림 4).

다리 부위에서는 ‘폐쇄부 유’의 의복구조와 ‘폐쇄부 무’ 의복구조의 의복내 온도의 차이가 가슴, 등 및 팔 부위보다 주목할 만하게 줄어들었으며, 면 소재에서는 오히려 ‘폐쇄부 무’ 의복구조인 경우가 ‘폐쇄부 유’ 의복구조에 비해 의복내 온도가 높게 나타났다(표 6, 그림 4).

Table 6. The difference of temperature inside clothing between closed and opened structure(℃), Mean±SD, n=4

Clothing		Difference(closed-opened structure)			
Type	Fabric	Chest	Back	Arm	Leg
Type	PE	6.7±1.3	4.7±2.4	1.7±2.1	0.8±3.0
	CT	5.2±2.4	4.1±0.4	4.0±2.2	-0.6±0.4

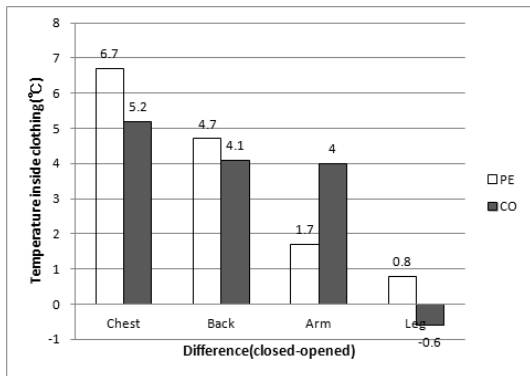


Figure 4. The difference of temperature inside clothing between closed and opened structure

심장에 가까운 가슴과 등 부위는 피부온도가 다른 부위에 비해 높은 부위이므로, ‘폐쇄부 유’ 의복구조가 ‘폐쇄부 무’ 의복구조에 비해 의복내 온도의 보존·유지에 효과를 보인 것으로 사료된다. 인체 부위별로 공기층의 분포가 다르다는 점도 의복구조에 따른 부위별 의복내 온도의 보존·유지에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 또한 팔과 다리 부위의 개구부 공간이 가슴과 등에 비해 작아, 개구부에 의한 대류의 영향을 덜 받았다는 점도 고려될 수 있다.

4.2. 의복소재에 따른 의복내 온도

의복소재에 따른 의복내 온도를 분석한 결과, 가슴, 등, 팔, 다리의 모든 부위에서 유의수준이 0.05 이상으로 나타나, 의복구조에 따른 의복내 온도 간의 차이와 다른 경향을 보였다(표 7).

의복소재에 있어서 인체 부위별로 다른 결과를 보인 이유는 물리적 특성에 있어서 두 소재 간의 밀도와 통기성이 다르고(표 2), 인체 부위에 따라 공기층의 분포가 차이를 보이기 때문으로 판단된다. 또한 실험 시 야외 환경으로 인한 풍속 및 습도의 통제가 되지 않아 의복소재 변인에 의한 오차가 있었다는 점 역시 두 소재 간에 뚜렷한 경향이 나타나지 않았던 이유로 사료된다.

Table 7. T-test of temperature inside clothing between polyester and cotton fabric($p>0.05$, $n=4$)

Section	Between closed and opened structure
Chest	0.0667
Back	0.2122
Arm	0.4036
Leg	0.1740

한편, 가슴과 등, 팔 부위에서는 두 소재의 경우 모두에서 ‘폐쇄부 유’ 의복구조가 ‘폐쇄부 무’ 의복구조에 비하여, 환경 온도와 의복내 온도의 차이가 더욱 큰 경향의 일치를 발견할 수 있었다(표 6, 그림 4).

다리 부위에서는 폴리에스테르 소재의 경우는 ‘폐쇄부 유’ 의복구조가 ‘폐쇄부 무’ 의복구조에 비하여 환경 온도와 의복내 온도의 차이가 더 컸으나, 면 소재의 경우는 ‘폐쇄부 무’ 의복구조가 ‘폐쇄부 유’ 의복구조에 비하여 환경 온도와 의복내 온도의 차이가 더 크게 나타나, 인체 부위에 따른 차이를 보였다. 다리 부위의 의복내 온도는 다른 부위에 비해 낮았는데, 외부 환경 온도로 인해 일정 온도 이하로 의복내 온도가 내려간 경우에는 ‘폐쇄부 유’ 의복구조의 효과가 미비해지는 것으로 사료된다(표 6, 그림 4).

5. 결론

본 연구의 결과를 토대로 인체 전력에너지 수확의류를 위한 지침을 도출하였다.

첫째, 폐쇄부를 지닌 의복구조 설치를 통하여 겨울 야외 환경 하에서 환경 온도-의복내 온도 간의 차이를 증가시킴으로써, 열전 수확의 효율을 높이는 데 기여할 수 있다.

둘째, 의복소재에 따른 의복내 온도 간의 차이는 인체 부위별로 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 인체 부위별로 환경 온도-의복내 온도 간의 차이를 높일 수 있는 적절한 소재를 선정하고 조합할 필요가 있다.

셋째, 인체 전력에너지 수확의류에서 있어서, 폐쇄부의 의복 상 위치는 팔, 다리 부위보다는 가슴과 등 부위의 의복내 온도를 보존·유지할 수 있는 목과 허리 부위에 선정하는 것이 유리한 것으로 나타났다.

본 연구의 제한점은 의복소재에 있어서 2가지 종류의 소재로만 제한했다는 점과, 실험 시 야외 환경으로 인한 풍속 및 습도의 통제가 되지 않아 의복구조 변인 및 의복소재 변인에 의한 오차가 있었다는 점이다. 이에 다리 부위의 경우 의복소재에 따라 의복구조의 폐쇄의 효과가 다르게 나타났는데, 추후 피험자 수를 늘리고 반복 실험을 실시하는 동시에 풍속이 통제된 실내 환경에서의 실험을 추가로 진행하여 실험의 오차를 줄이고자 한다.

REFERENCES

- Fibers Technology and Industry. (2004). Proceedings of the Fibers and polymers, 8(1), 51-61.
- Jeong-hwa Choi. (1995). Effect of Clothing Climate on Health. Proceedings of the Korean Journal of the Thermal Environment, 2(1), 1-8.
- Jeong-hwa Choi, Ju-myung Kim. (2011). Clothing and Health. Editing of Kyomunsa.
- Jin-hee Yang, Hyun-seung Cho, Sun-hyung Park, & Joo-hyeon Lee. (2011). A study on skin temperature distribution of the human body as fundamental data for developing heat energy harvesting clothing. Proceedings of the Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility, 14(3), 435-444.
- Joon-hee Park, Jeong-wha Choi. (2008). The relationship between clothing microclimate and physiological responses at 15°C environment. Proceedings of the Korean Home Economics Association, 26(4), 97-105.
- Joo-Hyeon Lee, Yong-jun Kim. (2012). Energy harvesting system using the temperature difference of human-environment relations. Patent Number 10-1216425. Yonsei University, All Right Reserved.
- Joo-Hyeon Lee, Gil-Soo Cho, Yong-jun Kim, Kee-Sam Jeong. (2012). Energy harvesting device using the Human body-Environment relationship. Patent Number 1146439. Yonsei University, All Right Reserved.
- Nina Zaproudina, Ville Varmavuo, Olavi Airaksinen., & Matti N`arhi. (2008). Reproducibility of infrared thermography measurements in healthy individuals. Institute of Physics and Engineering in Medicine, Physiol. Meas, 29, 515 - 524.
- Soo-ae Kweon, Jong-min Lee, Jong-myung Choi. (2003). Adaptation of environment between clothing and human body. Editing of Kyohak Publishing Co., Ltd All Right Reserved.
- Texas Instruments. (2011). Energy haversting modules and kits, Copyright 2011 Mouser Electronics.
- Wen Zhong, Malcolm M. Q. Xing, Ning Pan, & Howard I. Maibach.(2006). Textiles and Human skin, microclimate, cutaneous reactions: an overview. Cutaneous and Ocular Toxicology, 25, 23-39.
- Yang-weon Kim. (1997). The effects of subcutaneous fat on the system of clothing weights, Proceedings of the Korean Home Economics Association 35(4), 147-155.
- Yang-weon Kim, Han-woo Ko. (2002). Measurement of seasonal changes in clothing microclimate for the assessment of clothing comfort during office-work. Proceedings of the Journal of Korean Fiber Society, 39(2), 233-239.
- Yong-jun Kim, Joo-hyeun Lee, Won-suk Eom., & Gyu-ho Sin. (2010). Human-friendly electronic packaging technology for human energy harvesting. Ministry Of Education, Science And Technology Development of Key Technologies project report, 69-80.

원고접수: 2013.01.29

수정접수: 2013.02.26

게재확정: 2013.03.29