

열전에너지 수확 의류를 위한 인체표면 온도분포의 기초적 고찰*

A study on skin temperature distribution of the human body as fundamental data for developing 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 의류과학연구소***

Research Institute of Clothing & Textile Sciences, Yonsei University***

Abstract

The development of ubiquitous healthcare technology and portable electronic devices requires new energy sources for providing continuous power supply. This study particularly focuses on an energy harvesting system capable of charging energy using clothing. One of the sources for energy harvesting is heat energy, which is the difference in temperature of the body and the surrounding environment. In this study, the skin temperature distribution of the human body was empirically measured to determine the basic materials needed to develop heat energy harvesting clothing. The distribution of skin temperature in different sections of the human body was analyzed. The analysis found that the skin temperature of the upper body was higher than that of the lower body. The area close to the heart with a lot of blood flow was especially high. The skin temperature of the back side of the body, such as the back of the neck, upper back, and waist, was higher than that of the front side of the body. As for the arms, the skin temperature of the upper arms was higher than that of the lower arms, and the skin temperature of the back side of the arms was lower than that of the front and the flank side of the arms. The difference in the average skin temperature and the environment temperature was highest at the back of the neck, and thereby is considered to be the most appropriate section to integrate the heat energy harvesting function and structure. The following sections had the next highest difference in values, listed in descending order: the back of the waist, the sides of shoulders, the front chest area, the front side of the upper arms, and the front abdomen. Based on the skin temperatures of the different sections of the human body, this study outlines the basic guidelines for developing heat energy harvesting clothing.

Keywords : body temperature atlas, heat energy harvesting, energy harvesting clothing

요약

유비쿼터스 헬스케어 기술 및 휴대용 전자기기의 발전은 지속적으로 전원을 공급하기 위한 새로운 에너지

* 본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 미래유망 융합기술 파이오니어사업으로부터 지원을 받아 수행되었음 (과제번호-2010-0019313).

† 교신저자 : 조현승 (연세대학교 생활과학대학 의류과학연구소)

E-mail : hyunseung-cho@yonsei.ac.kr

TEL : 02-2123-3571

FAX : 02-312-8554

원을 요구하고 있으며, 이러한 점에서 의류를 통한 인체 에너지 수확 시스템의 연구가 요청되고 있다. 인체 에너지를 수확하는 방식의 하나인 열전은 인체와 주위 환경간의 온도차이로부터 에너지를 수확하는 방식으로, 본 연구에서 의복을 통한 열전에너지 수확의 기초자료를 확보하기 위하여 인체표면 온도의 분포를 실증적으로 고찰하였다. 이를 위해 체표 구간을 설정하고 구간별 온도분포를 분석하였다. 분석 결과, 상체의 체표온도가 하체에 비해 높았고 특히 심장과 가깝고 혈류량이 많은 몸통 부위의 체표온도가 높았다. 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 나타났다. 체표 구간별 평균 온도와 환경온 간의 차이값이 가장 높아 열전 수확 기능구조 설치에 가장 적합한 위치는 뒷목 부위로 나타났고, 등과 허리 부위, 측면 어깨 부위, 가슴 부위, 정면 위팔 부위, 배 부위가 그 뒤를 이었다. 이러한 인체표면 온도분포 결과를 토대로, 본 연구에서는 열에너지 수확의류 개발을 위한 기본 지침을 도출하였다.

주제어 : 인체표면 온도분포, 열전에너지 수확, 에너지하베스팅 의류

1. 서론

스마트 의류는 높은 소비자들의 수요와 시장의 잠재력에 의해 빠른 속도의 발전과 변화가 이루어지고 있어 그 산업적 가치가 매우 높다. 최근 들어 스마트 의류 중 생체신호 모니터링 등 U-healthcare(유비쿼터스 헬스케어)와 관련된 주제가 부각되고 있으며, 이러한 모니터링 의류에 있어서 낮은 에너지 사용 등 에너지하베스팅에 관한 연구들이 주목을 받고 있다.

에너지하베스팅 의류는 U-healthcare 네트워크가 시간과 장소의 제약을 받지 않고 24시간 무구속적인 전력 공급이 필요하다는 점에서 U-healthcare 의류와 관련성이 높다. 또한 차세대 U-healthcare 기술 및 휴대용 전자기기 산업의 발전은 전원을 공급하기 위한 새로운 에너지원을 요구하고 있으며, 이러한 점에서 의류를 통한 인체 에너지 수확 시스템의 연구가 요청된다. 최근 지속 가능한 친환경 에너지원, 그린에너지에 대한 관심이 높아짐에 따라, 최근 미세 열전에너지 수확을 위한 연구가 부각되고 있으나, 직접적으로 인체에 적용되는 에너지 수확 시스템은 충분히 개발되고 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 온도차, 이로부터 에너지를 수확하는 방식이다. 한편 압전은 인체의 동작에 의한 에너지를 수확하는 방식이다. 본 연구는 위의 두 가지 에너지 수확 방식 중 열전수확 방식을 의류에 적용하기 위한 기초적 연구로서 수행되었다.

본 연구의 목적은 열전에너지 수확의 기초자료를

확보하기 위하여 인체표면 온도의 분포를 실증적으로 고찰하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 첫째, 인체의 체표 구간별 체온분포를 분석하고 둘째, 인체표면 온도분포도(body temperature atlas)를 도출하며 셋째, 열전에너지 수확의류의 기초적 지침을 도출하는 것을 목표로 삼았다.

2. 이론적 배경

2.1. 인체의 열과 체표온도 분포

인체의 체표온도 분포의 연구는 인체 열전에너지 수확 부위를 선정하는데 있어서 매우 중요한 기초자료이다. 인체 중심부의 열은 신체중심부와 피부사이의 온도경사에 따라 피부로 이동한 후 피부를 통하여 주위환경으로 이동하므로, 피부의 온도는 피부와 주변 사이의 열의 이동을 말해주는 지표라고 보고하였다(박대순 등, 2004).

인체는 끊임없이 열을 생산하고 방출하는데, 중심체온은 신체내부의 온도로 신체활동량이 변하더라도 35.8℃~37.2℃로 유지되는 반면, 체표온도는 중심체온에 비해 변화가 상대적으로 크며 외부환경 및 외계온도에 따라 큰 변화를 나타낸다고 한다. 피하조직은 다른 조직의 열전도율의 1/3이므로 중요한 절연체 역할을 하며 피부로의 혈류는 중심체온을 피부로 이동시키는 가장 효과적인 기전으로 작용한다고 보고하였다. 땀을 흘리지 않아도 피부와 폐를 통해 하루 450~600ml의 물이 증발하므로 시간당 12~16cal의 지속적인 열 방출이 발생하게 된다고 논하였다(김상록 등, 2005).

환경온과 체표온의 차이에 대한 연구로는 건강한 개인 16명을 대상으로 열화상 기기를 통해 실내 환경은 23°C~24°C 온도 하에서 피험자의 인체표면 체표온의 차이를 최소값과 최대값, 평균값과 표준편차를 통해 분석한 연구가 수행되었는데, 연구 결과 인체 구간별로 최저온 22.3°C에서 최고온 34.1°C까지 분포하여 인체 체표온이 최대 11°C~12°C의 차이를 보이며 분포하는 것으로 나타났다(Zaproudina et al., 2008).

최영근, 임청산 및 권기록(2008)은 열화상 기기의 임상적 사용을 활성화하기 위하여 남녀 각각 50명의 전신을 안면, 흉부, 복부, 상지, 하지의 총 5부위로 구간을 나누어 체표온도의 분포를 분석하였다. 그 결과 안면 내에서의 체표온도차는 1.86°C, 흉부 내에서의 체표온도차는 1.6°C, 복부 내에서의 체표온도차는 1.19°C, 상지 내에서의 체표온도차는 4.15°C, 하지 내에서의 체표온도차는 5.79°C로 나타났다. 전신에서의 체표온도차는 최저온 27.0°C에서 최고온 34.9°C까지 분포하여 최대 7°C~8°C의 차이를 보이는 것으로 나타났고, 인체의 모든 구간에서 좌우나 남녀에 따른 유의한 차이는 발견되지 않았다고 보고하였다.

2.2. 인체 표면 온도 측정

Tkacova(2010)는 열화상기기 측정환경요건이 측정에 미치는 영향을 분석하였다. 그는 실내 환경은 18°C~21°C 온도 하에서, 측정 장비와 피험자와의 거리 5개 유형(0.2m, 0.5m, 1m, 1.5m, 2.5m), 카메라 각도 8개 유형(0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°)의 조건으로 측정하였을 때, 환경온도와 습도는 피부표면 온도에 영향을 미친 반면, 카메라와 피험자간 거리 및 각도는 의미 있는 영향을 미치지 않았다는 결과를 보고하였다.

2.3. 인체 에너지의 수확

‘인체 에너지 수확 시스템’이란, 인간의 기초대사 및 운동으로부터 얻을 수 있는 ‘인체 에너지’와 자동차 진동과 같이 주변 환경으로부터 얻을 수 있는 ‘외부에서 발생하여 인체에 영향을 미치는 에너지’ 모두를 포함하는 개념이다. 김용준(2010)은 열전에너지 수확을 위한 인체적용 패키징을 개발하는 연구에서, 인체 열 에너지원 중 체표열-외기온도 간 온도차를 통한 열전에너지 수확이 가능하다고 보고하였다. 또한, 미

국 Texas Instruments사(2008)는 저소비 전력 마이크로 컴퓨터 ‘MSP430’에 Adaptive Energy사나 Cymbet사의 혁신적인 배터리 기술 등을 조합한 에너지 수확 모듈인 ‘Joule-Thief’를 개발, 공급하였다.

이상의 이론적 고찰을 통해 볼 때, 인체 열전에너지 수확의류 개발을 위한 기초자료를 확보하는데 있어서, 인체의 체표온도 분포를 분석하는 것은 열전에너지 수확의류를 연구하기 위한 첫 걸음이라고 할 수 있다.

3. 연구 방법

3.1. 연구의 절차와 방법

3.1.1. 실험방법 및 절차

본 연구의 방식은 현장실험 연구였으며, 실험은 2010년 11월 27일에 실시되었다. 실험 시 피험자는 상의를 탈의하고, 하의는 반바지(short pants)를 착용하였으며, 이 상태에서 적외선 열화상 카메라를 통해 이들의 인체표면 체표온도가 측정되었다. 실험 시 실내 환경온도는 17°C~18°C이고 습도는 56%였으며, 기타 외부 환경온습도의 영향을 받지 않도록 피험자는 실험시작 전 1시간의 적응시간을 실험장소에서 가졌다.

3.1.2. 피험자

피험자는 신체 조건이 유사한 20대 남성 33명이었으며, 그 구체적 내용은 표 1과 같다.

Table 1. Some characteristics of the 33 subjects participating in the present study

Variable	Mean(SD)
Age(years)	25.7(2.6)
Height(cm)	175.7(4.9)
Weight(kg)	71.1(6.1)

3.1.3. 측정 도구

체표온도 변화를 관찰하는 방법의 하나인 적외선 열화상 시스템은 인체의 미세한 체열 변화를 디지털화하여 가시화하고, 정량적으로 객관화시킬 수 있는

방법으로 인정받고 있다.

적외선 열화상 측정 이외에 기존의 인체표면 온도 측정방법으로는 평균피부온을 산출법으로 측정점수에 따라서 4점법, 5점법, 7점법, 12점법 등 여러 가지 피부온 센서 측정이 있으나, Ramanathan의 4점법과 Dubois의 7점법이 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 이들의 피부온 센서 측정은 피부접촉으로 인한 열저항이나 오차가 발생하는 단점이 있다. 반면 적외선 열화상 측정의 장점은 첫째, 직접적인 피부접촉 없이 특정점에 국한하지 않고 인체표면의 어느 부위나 측정이 가능해 필요한 부위의 온도를 편리하게 파악할 수 있어 온도패턴을 관찰하기에 용이하다. 둘째, 면적의 측정이 가능하여 열전에너지 수확의류를 위한 인체 아틀라스 구획에 적합하다. 셋째, 최대 초당 60프레임이 저장 가능해 4점법이나 7점법에 비해 인체의 각도에 따라 순간적으로 촬영이 이루어지므로 환경은 변화에 따른 피부표면 온도 차이를 줄일 수 있다.

본 연구의 인체표면 온도측정에 사용된 열화상 측정기기는 FLIR 적외선 열화상 기기인 ThermoVision™ A40-M이었다(그림 1). 이 장비의 기본렌즈의 시야각은 24° X 18°/ 0.3m Third generation Microbolometer이고, 픽셀당 계측할 수 있는 오브젝트의 최소면적인 순시시야각은 1.3mrad이며, 온도 분해 능력은 0.08℃(상온 30℃ 기준)이다. 온도감지 파장대역은 장파역대인 7.5μm ~ 13μm이고, 계측 온도대역은 Range 1은 -40℃ ~ +120℃, Range 2는 -0℃ ~ +500℃이다(표 2).



Figure 1. ThermoVision™ A40-M

Table 2. The function of ThermoVision™ A40-M

Function	Detail	FLIR A40
Thermal	Field of View	24°X 18°
	Spatial Resolution	1.3mrad
	Thermal sensitivity	0.08℃ at 30℃
	Spectral range	7.5μm ~ 13μm
	Temperature Range 1	-40℃ ~ +120℃
	Temperature Range 2	-0℃ ~ +500℃

3.1.4. 인체표면 온도측정

카메라와 피험자간 거리 및 각도는 열상측정에 영향을 미치지 않았다는 선행 연구(Tkáčová 등, 2010)에 기초하여, 본 실험에서의 측정기기-피험자간 거리는 2.5m로, 측정각도는 0°의 위치에서 피험자의 정/후/측면의 3개로 통제하였다. 측정거리를 2.5, 측정각도를 0°로 선정한 이유는 전신 측정에 용이했기 때문이다(그림 2). 모든 피험자에 대하여 3개 각도(정면, 후면, 측면)의 인체 표면 온도를 상기한 조건 하에서 측정하였다(그림 3).

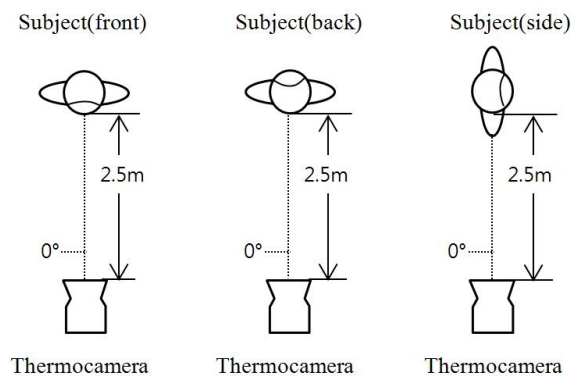


Figure 2. Subject - thermocamera positioning (distance 2.5m, angle adjustment 0°)

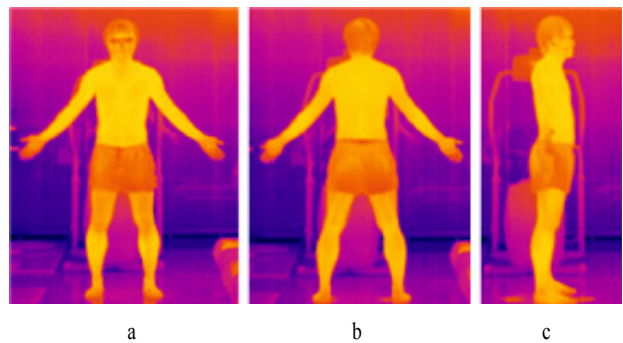


Figure 3. Measurements of skin temperature using thermocamera (a)-front, (b)-back, (c)-side

3.2. 자료 분석

선행 연구 결과(Zaproudina 등, 2008)에 기초하여, 인체의 온도측정구간을 그림 4에서와 같이 정면 10개, 후면 7개, 측면 5개의 총 22개 구간으로 구분하여 측정, 분석하였으며, 표 3에서와 같이 각 구간을 명명하였다.

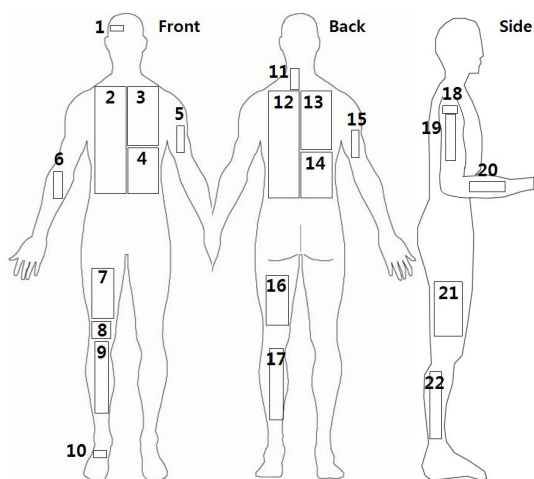


Figure 4. Areas of temperature measurements

Number 1~22 : Skin areas of temperature measurements(Table 3)

피험자 33명간의 통계적으로 유의한 차이가 없었으므로 측정치로서, 체표 구간별 최소값(Min), 최대값(Max), 산술평균값(Mean), 전체 피험자의 편차(Max-Min)를 도출하였다. 산술평균값(Mean)을 기준으로 체표온도가 높은 순서대로 인체에 표기하고, 정면, 후면, 측면으로 체온분포를 나누어 그래프로 나타내었다. 체표 구간별 산술평균값(Mean)과 피험자간 편차(Max-Min)를 중심으로 본 연구와 선행 연구(Zaproudina 등, 2008)의 공통점과 차이점을 비교하고 인체표면 온도분포도를 도출하였다. 두 연구간 체표 구간별 평균온도와 환경온도의 차이 비교를 통해 열전에너지 수확 의류 개발을 위한 지침을 제시하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 체표 구간별 체온분포

4.1.1. 체표분포의 구간별 순위

체표 구간별 최소값(Min), 최대값(Max), 산술평균값(Mean), 피험자간 최대 편차(Max-Min)의 체온분포 측정값은 표 3과 같다. 체표 구간별 산술평균은 1순위 뒷목 부위(11번)가 31.1℃로 가장 높았으며, 2순위 등 부위(13번)가 30.7℃, 3순위로는 등+허리 부위(12번)와 측면 어깨 부위(18번)가 30.4℃로 동일한 순위를 나타냈다. 5순위로는 가슴 부위(3번)와 정면 위팔 부위(5번)가 30.3℃로 동일한 순위를 나타냈고, 7순위 배 부위(4번)가 30.0℃, 8순위 후면 허리 부위(14번)가 29.

8℃, 9순위 측면 위팔 부위(19번)가 29.7℃로 나타났다. 10순위로는 이마 부위(1번)와 가슴+배 부위(2번), 정면 아래팔 부위(6번)가 29.5℃로 동일한 순위를 나타냈다. 13순위 측면 종아리 부위(22번)가 29.4℃, 14순위 측면 아래팔 부위(20번)가 28.9℃, 15순위로는 정면 종아리 부위(9번)와 후면 위팔 부위(15번)가 28.8℃로 동일한 순위를 나타냈다. 17순위 후면 종아리 부위(17번)가 28.5℃, 18순위 측면 넓다리 부위(21번)가 28.3℃, 19순위 후면 넓다리 부위(16번)가 28.1℃, 20순위 정면 넓다리 부위(7번)가 27.2℃, 21순위 발등 부위(10번)가 27.1℃, 22순위 정면 무릎 부위(8번)가 26.2℃를 보여, 산술평균값 기준 구간별 체표온도의 1순위 구간과 22순위 구간의 차이값은 4.9℃로 나타났다(표 3).

Table 3. The mean, minimal and maximal values of regional skin temperature(℃) (n=33)

Areas of temperature measurements			Min	Max	Mean	Max-Min
Angle	No.	Skin area				
Front	1	Forehead	27.6	31.1	29.5	3.5
	2	Chest+Abdomen	28.2	32.0	29.5	3.8
	3	Chest	28.9	31.9	30.3	3.0
	4	Abdomen	28.2	31.2	30.0	3.0
	5	Arm anterior	29.2	31.1	30.3	1.9
	6	Forearm anterior	27.1	30.1	29.5	3.0
	7	Thigh anterior	25.8	28.3	27.2	2.6
	8	Knee	24.8	28.0	26.2	3.2
	9	Calf anterior	26.5	30.2	28.8	3.6
	10	Foot dorsal	25.0	28.4	27.1	3.4
Back	11	Neck	30.2	31.9	31.1	1.7
	12	Back	28.4	32.1	30.4	3.7
	13	Upper back	29.4	32.1	30.7	2.6
	14	Low back	28.3	30.9	29.8	2.6
	15	Arm posterior	28.0	29.9	28.8	1.9
	16	Thigh posterior	26.2	29.6	28.1	3.4
	17	Calf posterior	27.0	29.7	28.5	2.7
Side	18	Shoulder lateral	29.6	31.1	30.4	1.6
	19	Arm lateral	28.5	31.0	29.7	2.5
	20	Forearm lateral	27.2	30.1	28.9	2.9
	21	Thigh lateral	26.4	29.3	28.3	2.9
	22	Calf lateral	27.8	30.3	29.4	2.5

산술평균값(Mean)을 기준으로 보았을 때, 체표 구간별 체온분포의 순위는 그림 5와 같다.

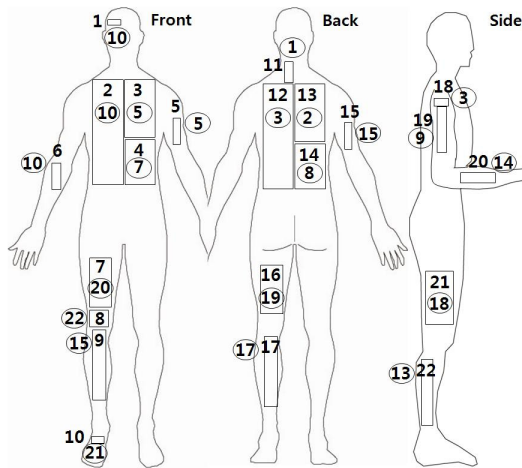


Figure 5. The ranking of skin temperature distribution(mean values)

Number 1~22 : Skin areas of temperature measurements(Table 3)

①~② : The ranking in the areas of temperature distribution

③, ⑤, ⑩, ⑮ : Present the same rank

산술평균값 기준의 구간별 체표온도 분포를 정면, 후면, 측면으로 나누어 그래프로 도시해보면, 정면에서는 가슴 부위(3번), 위팔 부위(5번), 배 부위(4번), 후면에서는 뒷목 부위(11번), 등 부위(13번), 등+허리 부위(12번), 측면에서는 어깨 부위(18번) 등이 높은 체표온도를 보여 정면, 후면, 측면 모두에서 심장과 가깝고 혈류량이 많은 부위의 체표온도가 높음을 알 수 있었으며, 정면보다는 후면의 온도가 다소 높았다.

팔 부위만을 비교해보면 측면 어깨 부위(18번), 정면 위팔 부위(5번), 측면 위팔 부위(19번), 정면 아래팔 부위(6번), 측면 아래팔 부위(20번)의 위치가 높은 순서대로 체표온도가 높게 나타나 인체의 중심에서 위치가 멀어질수록 온도가 낮아짐을 알 수 있었다. 후면의 위팔 부위(15번)는 위치가 높지만 온도가 낮게 나타나, 팔 부위에 있어서는 후면이 정면과 측면에 비해 온도가 낮은 것으로 나타났다(그림 6, 7, 8).

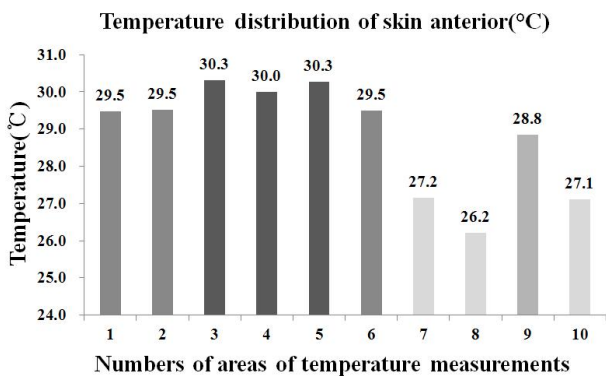


Figure 6. Temperature distribution of skin anterior(Mean values)

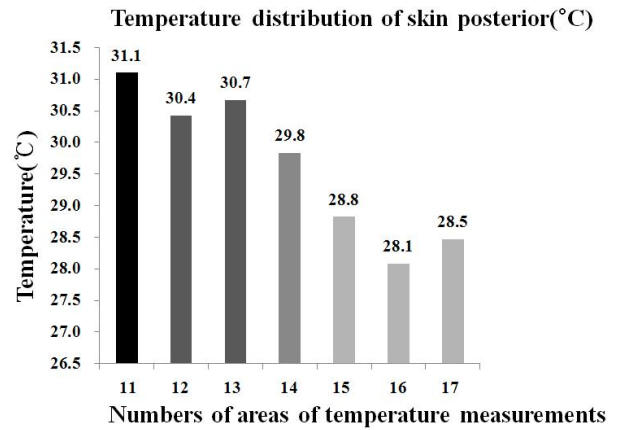


Figure 7. Temperature distribution of skin posterior(Mean values)

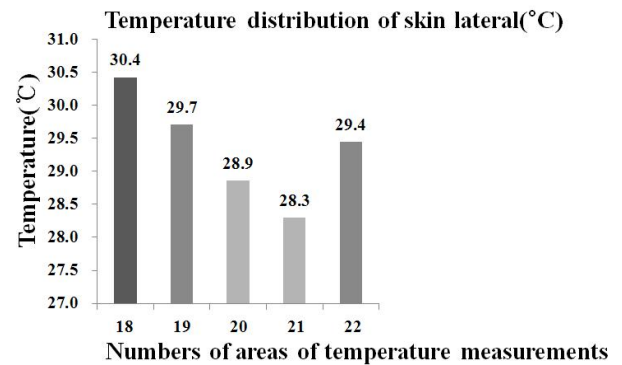


Figure 8. Temperature distribution of skin lateral(Mean values)

표 3의 체표 구간별 체온분포 측정값을 Zaproudina 등(2008)의 선행 연구와 비교한 결과는 표 4와 같다. 본 연구의 체온분포가 전반적으로 2.4°C~3°C 정도 낮게 나타났는데, 이러한 결과는 선행 연구의 실험 환경 온이 23°C~24°C 사이였던 반면, 본 연구의 실험 환경 온은 상대적으로 낮은 17°C~18°C 사이였기 때문으로 해석될 수 있다. 또한 이는 열상 측정 시 측정 조건 중 환경온 만이 열상측정에 영향을 미친다고 보고한 Tkáčová(2010)의 연구 결과와도 일치하는 경향을 보인다.

또한 산술평균값 기준으로 본 연구의 체온분포를 상(30°C 이상), 중(28°C 이상~30°C 미만), 하(28°C 미만)로 분류하면 다음과 같다. ‘상’에 속하는 부위는 7개로, 뒷목 부위(31.1°C), 등 부위(30.7°C), 등+허리 부위(30.4°C), 측면 어깨 부위(30.4°C), 가슴 부위(30.3°C), 정면 위팔 부위(30.3°C), 배 부위(30.0°C)로 나타났다. ‘중’에 속하는 부위는 12개로, 후면 허리 부위(29.8°C), 측면 위팔 부위(29.7°C), 이마 부위(29.5°C), 가슴+배 부위(29.5°C), 정면 아래팔 부위(29.5°C), 측면 종아리

부위(29.4℃), 측면 아래팔 부위(28.9℃), 정면 종아리 부위(28.8℃), 후면 위팔 부위(28.8℃), 후면 종아리 부위(28.5℃), 측면 넙다리 부위(28.3℃), 후면 넙다리 부위(28.1℃)로 나타났다. ‘하’에 속하는 부위는 3개로, 정면 넙다리 부위(27.2℃), 정면 발등 부위(27.1℃), 정면 무릎 부위(26.2℃)로 나타났다(표 4).

Table 4. Comparison of rankings between this study and Precedent research of skin temperature distribution

The ranking of skin temperature distribution(Mean values)				
This study		Precedent researchc		
Rankings				
No. ^a	Skin area	No. ^a	Skin area	
1	Neck(31.1℃)	1	Forehead(34.1℃)	
2	Upper back(30.7℃)	2	Neck(33.2℃)	
H ^b	Back(30.4℃)	3	Upper back(32.7℃)	
	Shoulder lateral(30.4℃)	4	Chest(32.3℃)	
5	Chest(30.3℃)	5	Chest+Abdomen(32.2℃)	
	Arm anterior(30.3℃)		Back(32.2℃)	
7	Abdomen(30.0℃)	7	Abdomen(32.1℃)	
8	Low back(29.8℃)	8	Low back(31.8℃)	
9	Arm lateral(29.7℃)	9	Arm anterior(31.7℃)	
10	Forehead(29.5℃)	10	Forearm anterior(31.5℃)	
	Chest+Abdomen(29.5℃)	11	Calf lateral(31.3℃)	
	Forearm anterior(29.5℃)	12	Calf anterior(31.2℃)	
M ^b	13	Calf lateral(29.4℃)	13	Arm lateral(30.9℃)
14	Forearm lateral(28.9℃)	15	Shoulder lateral(30.9℃)	
15	Calf anterior(28.8℃)		Thigh posterior(30.8℃)	
	Arm posterior(28.8℃)	Calf posterior(30.8℃)		
17	Calf posterior(28.5℃)	17	Thigh lateral(30.7℃)	
18	Thigh lateral(28.3℃)	18	Forearm lateral(30.5℃)	
19	Thigh posterior(28.1℃)		Arm posterior(30.5℃)	
L ^b	20	Thigh anterior(27.2℃)	20	Thigh anterior(30.3℃)
21	Foot dorsal(27.1℃)	21	Knee(29.1℃)	
22	Knee(26.2℃)	22	Foot dorsal(28.6℃)	

a) The numbers mean rankings of ‘Mean’ values.
 b) High(over 30℃), Medium(over 28℃~under 30℃), Low(under 28℃) : High, medium, low that matches the cross-section of the distinction was shaded.
 c) Precedent research(Zaproudina et al, 2008) : Some skin areas were not analyzed in this study are excluded in Precedent research.

위의 상, 중, 하 분류의 기준에 따라, 선행 연구(Zaproudina 등, 2008)와 결과를 비교해 보면 다음과 같다. 본 연구의 ‘상’에 속하는 5개 부위인 뒷목 부위, 등 부위, 등+허리 부위, 가슴, 배 부위는 선행 연구에서도 ‘상’에 속하는 부위로 나타나 일치되는 경향을 보였다. 본 연구의 ‘중’에 속하는 10개 부위인 후면 허리 부위, 측면 위팔 부위, 정면 아래팔 부위, 측면 종아리 부위, 측면 아래팔 부위, 정면 종아리 부위, 후면 위팔 부위, 후면 종아리 부위, 측면 넙다리 부위, 후면 넙다리 부위도 선행 연구의 ‘중’에 속하는 부위로 나타났고, 본 연구의 ‘하’에 속하는 3개 부위인 정면 넙다리 부위, 발등 부위, 정면 무릎 부위 역시 선행 연구에서 ‘하’에 속하는 부위로 나타났다. 상체의 체표온도가 하체에 비해 높고, 뒷목과 등+허리의 후면 부위의 체표온도가 앞면에 비해 높게 나온 결과 역시 선행 연구와 일치했다. 그러나 선행 연구에서 이마 부위와 가슴+배 부위가 7순위까지의 ‘상’에 속하였고 특히 이마 부위가 34.1℃로 1순위였으나, 본 연구에서는 ‘중’에 속하는 10순위로 나타나는 차이를 보였다.

팔 부위는 위쪽 부위의 체표온도가 아래쪽 부위보다 높아 인체의 중심에서 위치가 멀어질수록 온도가 낮아졌으나, 후면의 위팔 부위는 위치가 높지만 온도가 낮아 팔 부위에 있어서 후면이 정면과 측면에 비해 온도가 낮게 나타났고 이는 선행 연구의 결과와도 일치했다. 그러나 측면 어깨 부위와 정면 위팔 부위는 본 연구에서는 ‘상’에 속하였으나, 선행 연구에서는 각각 9순위, 13순위로 ‘중’에 속하여 차이를 보였다.

본 연구와 선행 연구(Zaproudina 등, 2008)간 체표 구간별 온도분포의 순위를 비교해본 결과, ‘상’에 속하는 7개 부위 중 5개 부위, ‘중’에 속하는 12개 부위 중 10개 부위, ‘하’에 속하는 3개 부위 중 3개 부위가 일치하여, 총 22개 중 18개 부위에서 일치하는 경향을 보였다(표 4).

4.1.2. 구간별 체온의 피험자간 편차

표 3에서, 최대값(Max)과 최소값(Min)의 차이인 Max-Min은 피험자 33명 전체의 최대, 최소값이므로 이는 각 체표 구간별 피험자간 편차로 해석될 수 있다. 체표 구간별 피험자간 편차(Max-Min)가 3.2℃ 이상인 상위 7순위의 부위를 살펴보면, 가슴+배 부위(2번)가 3.8℃로 가장 높게 나타났고, 등+허리 부위(12번)가 3.7℃, 정면 종아리 부위(9번)가 3.6℃, 이마 부

위(1번)가 3.5℃, 발등 부위(10번)가 3.4℃, 후면 넓다리 부위(16번)가 3.4℃, 정면 무릎 부위가 3.2℃의 순위로 나타났다. 구간별 체온의 피험자간 편차가 가장 큰 구간은 가슴+배 부위였고 산술평균값(Mean)이 3.0℃ 이상이면서 구간내 체표온도차가 3.2℃ 이상인 구간은 등+허리 부위(12번)였다(표 5).

Table 5. The rankings of skin temperature distribution(Max-Min values)

The rankings of skin temperature distribution(Max-Min values)	
Rankings	
No. ^a	Skin area
1	Chest+Abdomen(3.8℃)
2	Back(3.7℃)
H ^b 3	Calf anterior(3.6℃)
4	Forehead(3.5℃)
5	Foot dorsal(3.4℃)
	Thigh posterior(3.4℃)
7	Knee(3.2℃)

a) The numbers mean rankings of 'Max-Min' values.
 b) High(over 3.2℃) : Ranking from number 1~number 7

4.2. 인체표면 온도분포도의 도출

측정값 중 산술평균값(Mean)과 체표 구간별 피험자간 편차(Max-Min)를 기준으로 체온분포에 따른 인체표면 온도분포도(body temperature atlas)를 도출하였다.

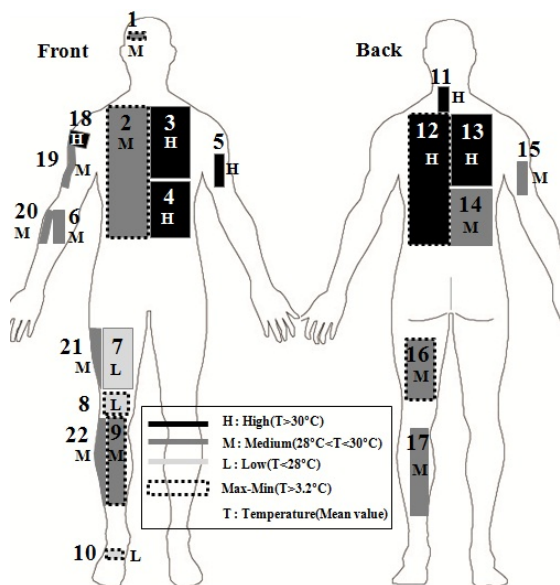


Figure 9. Classification of high, medium, and low level of skin temperature distribution(Mean values)

Number 1~22 : Skin areas of temperature measurements(Table 3)

온도는 상(30℃ 이상), 중(28℃ 이상~30℃ 미만), 하(28℃ 미만)의 3개 구간으로 구분하고, 구간별로 명도를 다르게 도시하였다. 피험자간 편차가 3.2℃ 이상인 구간은 테두리에 점선으로 표시하였다(그림 9).

4.3. 열전에너지 수확의류를 위한 지침

인체 에너지를 수확하는 대표적 방식 중 열전은 인체와 주위 환경간의 온도차이로부터 에너지를 수확하는 방식이다. 따라서 열전에너지 수확에 유리한 위치를 찾기 위해서 체표 구간별 온도(산술평균값)와 실험시 실내 환경온 17.5℃의 차이값을 살펴보았다. 차이값 산출을 위해 환경온은 17℃와 18℃의 평균값인 17.5℃로 임의로 정하였다(표 6).

Table 6. The rankings of difference between the skin temperature and environmental temperature

The rankings of difference between the skin temperature and environmental temperature (℃)	
Rankings	
No. ^a	Skin area
1	Neck(13.6℃)
2	Upper back(13.2℃)
H ^b 3	Back(12.9℃)
	Shoulder lateral(12.9℃)
5	Chest(12.8℃)
	Arm anterior(12.8℃)
7	Abdomen(12.5℃)
8	Low back(12.3℃)
9	Arm lateral(12.2℃)
M ^b 10	Forehead(12.0℃)
	Chest+Abdomen(12.0℃)
	Forearm anterior(12.0℃)
13	Calf lateral(11.9℃)
14	Forearm lateral(11.4℃)
15	Calf anterior(11.3℃)
	Arm posterior(11.3℃)
17	Calf posterior(11.0℃)
18	Thigh lateral(10.8℃)
19	Thigh posterior(10.6℃)
L ^b 20	Thigh anterior(9.7℃)
	Foot dorsal(9.6℃)
22	Knee(8.7℃)

a) The numbers presented the difference between the skin temperature and environmental temperature(Mean values).
 b) Classification of high, medium, and low level is same the skin temperature distribution of table 4.
 c) Environmental temperature is 17.5℃(Average of 17℃ and 18℃)

체표 구간별 평균 온도와 환경온간의 차이값의 순서는 표 4의 산술평균값 기준 체표 구간별 체온분포의 상, 중, 하 순서와 동일하다. ‘상’에 속하는 7개 부위의 구간별 평균 온도와 환경온간의 차이값은 뒷목 부위가 13.6℃, 등 부위가 13.2℃, 등+허리 부위와 측면 어깨 부위가 12.9℃, 가슴 부위와 정면 위팔 부위가 12.8℃, 배 부위가 12.5℃로 나타났다. ‘중’에 속하는 12개 부위를 살펴보면, 후면 허리 부위가 12.3℃, 측면 위팔 부위가 12.2℃, 이마 부위와 가슴+배 부위, 정면 아래팔 부위가 12.0℃, 측면 종아리 부위가 11.9℃, 측면 아래팔 부위가 11.4℃, 정면 종아리 부위와 후면 위팔 부위가 11.3℃, 후면 종아리 부위가 11.0℃, 측면 넓다리 부위가 10.8℃, 후면 넓다리 부위가 10.6℃로 나타났다. ‘하’에 속하는 3개 부위를 살펴보면, 정면 넓다리 부위가 9.7℃, 발등 부위가 9.6℃, 정면 무릎 부위가 8.7℃로 나타났다(표 6).

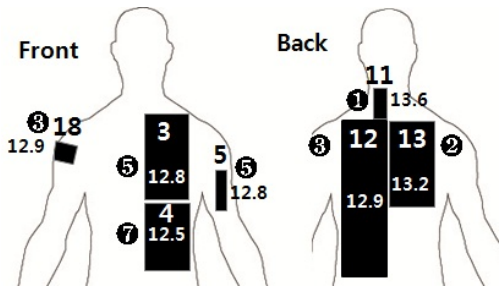


Figure 10. Difference between the skin temperature and environmental temperature

1~22 : Numbers of areas of temperature measurements(Table 3)
 ①-⑦ : The ranking of skin temperature distribution(mean values)
 ③, ⑤ : Present the same rank

결과적으로 인체 표면에서 열에너지 수확에 유리한 위치는 1순위 뒷목 부위, 2순위 등 부위, 3순위 등+허리 부위와 측면 어깨 부위, 5순위 가슴 부위와 정면 위팔 부위, 7순위 배 부위의 순으로 나타났다(그림 10). 그러므로 이들 7개 부위의 위치에 열전수확 기능 구조를 설치하는 것이 유리하다.

앞서 언급했듯이 인체의 열전에너지 수확은 인체의 열적 현상 변화를 기초로 하는 에너지 수확으로 체표 구간별 온도와 주위 환경온간의 온도차로부터 에너지를 수확하는 방식이다.

따라서 본 연구에서는 체표 구간별 온도와 환경온간의 차이를 분석하였고 이를 통해 얻은 열전에너지 수확의류를 위한 지침은 다음과 같다. 인체의 체표 구간별로 환경온에 따른 체표온도가 다르며, 체표온도

와 환경온간의 차이가 클수록 열전에너지 수확량이 크다. 이처럼 인체의 체표 부위별로 수확할 수 있는 열전에너지의 양이 달라 각각의 구간별로 열에너지를 저장, 내부 온도를 유지 및 상승 시킬 수 있는 구조를 설계하는 등 에너지 수확 소자의 적절한 배치가 요구된다. 또한, 체표온도와 환경온간의 온도차를 최대화하기 위하여 열전에너지 수확의류에 있어서 부분적인 축열 보온 시스템 기능을 갖는 등 모듈형 구조의 설계가 필요하다고 판단된다.

한편, 환경온 23℃~24℃인 선행연구에 비해 환경온이 17℃~18℃인 본 연구의 체표 구간별 환경온과의 차이값이 1.4℃~5.5℃ 더 크다는 점에서 환경온, 즉 계절에 따라 수확할 수 있는 열전에너지의 양이 다르다는 것을 파악할 수 있었고, 좀 더 구체적인 열전에너지 수확의류의 지침을 위해 향후 더 다양한 환경온에서의 실험이 필요하다고 본다.

5. 결론

본 연구는 에너지하베스팅 방식 중 열전에 관한 기초적인 연구로 열화상 기기를 통해 인체의 구간별 표면온도를 도출하여 분석하였으며, 열전에너지 수확의류의 기초자료로서의 인체표면 온도분포도를 도출하고, 이를 토대로 인체 열전에너지 수확의류를 위한 기초적 지침을 마련하였다.

첫째, 산술평균값 기준으로 본 연구와 선행 연구(Zaproudina 등, 2008)간 체표 구간별 온도분포의 순위를 비교해본 결과, ‘상’에 속하는 7개 부위 중 5개 부위, ‘중’에 속하는 12개 부위 중 10개 부위, ‘하’에 속하는 3개 부위 중 3개 부위가 일치하여, 총 22개 체표구간 중 18개 부위에서 일치하는 경향을 보였다. 선행 연구와 공통적으로, 상체의 체표온도가 하체에 비해 높았고, 특히 심장과 가깝고 혈류량이 많은 부위의 체표온도가 높았으며, 뒷목 부위와 등+허리 부위의 후면 부위 체온이 앞면 부위에 비해 높았다. 팔 부위의 경우 위쪽 부위의 체온이 아래쪽 부위보다 높아 인체의 중심에서 위치가 멀어질수록 온도가 낮아졌으나, 후면의 위팔 부위는 위치가 높지만 온도가 낮아 팔 부위에 있어서 후면 부위가 정면과 측면 부위에 비해 낮은 온도를 나타냈고 이는 선행 연구의 결과와도 일치했다.

둘째, 환경온이 17~18℃와 23~24℃일 때 인체표면 온도에 차이를 보이는 부위는 정면 이마 부위, 정면 흉+복부 부위, 측면 어깨 부위, 정면 위팔 부위로 나

타났다. 정면 이마 부위, 정면 흉+복부 부위는 환경온도가 23~24℃일 때 상대적으로 더 높은 반면, 측면 어깨 부위, 정면 위팔 부위는 환경온도가 17~18℃일 때 상대적으로 더 높게 나타나 차이를 보였다.

셋째, 체표 구간별 피험자간 편차(Max-Min)를 기준으로, 상위 7순위는 가슴+배 부위, 등+허리 부위, 정면 종아리 부위, 이마 부위, 발등 부위, 후면 넙다리 부위, 정면 무릎 부위로 나타났다.

넷째, 체표 구간별 평균 온도와 환경온간의 차이값이 가장 높은 부위는 뒷목 부위(13.6℃)였고 차이값이 가장 낮은 부위는 정면 무릎 부위(8.7℃)였다. 따라서 열전수확 기능구조 설치에 가장 적합한 위치는 뒷목 부위였고 다음으로 등 부위, 등+허리 부위, 측면 어깨 부위, 가슴 부위, 정면 위팔 부위, 배 부위의 순으로 나타났다. 체표 부위별로 수확할 수 있는 열전에너지의 양이 각기 다른 상황에서 체표온도와 환경온간의 온도차를 극대화하기 위해서는 열전에너지 수확의류에 있어 부분적인 모듈형 구조의 설계가 필요할 것으로 보인다.

본 논문에서 제안된 인체표면 온도분포도는 열전에너지 수확의류 설계를 위한 기초 자료로써 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 향후 운동 전후와 같은 인체 움직임에 따른 체온 변화를 반영한 열전에너지 수확의류의 기본 지침 및 환경온 변화에 따른 인체표면 온도분포도가 도출되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- Choi, Y. C., Lim, C. S., & Kwon, K. R. (2008). Standardization Study of Thermal Imaging using the Acupoints in Human Body. *Journal of Pharmacopuncture*, 11(3), 113-122.
- Han, H. T., Kim, M. K., Park, M. K., & Lee, S. S. (2002). Measurements of Temperature Distribution on Human Body Surface using Multi-Channel Skin Temperature Sensors. *Proceedings of the Korean Society for Emotion and Sensibility Conference*, 205-209.
- Hong, S. M., Song, I. S., Kim, C. W., You, W. K., & Kim, H. S. (2004). Thermal imaging sensor design using 320×240 IRFPA. *Hankook Kwanghak Hoeji*, 15(5), 423-428.
- Kim, S. R., Lee, C. H., Cho, J. H., Jang, J. B., & Lee, K. S. (2005). A literature study on change of superficial temperature. *Journal of Oriental Medical Thermology* 2005, 4(1), 54-60.
- Kim, Y. J., Lee, J. H., Eom, W. S., & Sin, G. H. (2010). Human-friendly electronic packaging technology for human energy harvesting. *Ministry Of Education, Science And Technology Development of Key Technologies project report*, 69-80.
- 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.
- Park, D. S., Cho, J. H., Jang, J. B., & Lee, K. S. (2004). Observation of the change of body temperature during the adaptation time in D.I.T.I (1). *Journal of Oriental Medical Thermology*, 3(1), 20-26.
- Park, D. S., Cho, J. H., Jang, J. B., & Lee, K. S. (2004). Observation of the change of body temperature during the adaptation time in D.I.T.I (2). *Journal of Oriental Medical Thermology*, 3(1), 52-59.
- Park, S. Y., Kim, S. H., Chung, D. K., & Kim, J. B. (2009). The Relativity of Thermography to HRV in Sasang Constitutional Groups. *Journal of Oriental Neuropsychiatry*, 20(3), 121-132.
- Stefan Jung, Christl Lauterbach, Marc Strasser., & Werner Weber. (2003). Enabling Technologies for Disappearing Electronics in Smart Textiles. *IEEE International Solid-State Circuits Conference*, Paper, 22.1.
- The embedded software strategic market intelligence program 2002/2003, VDC(Venture Development Corporation), Feb, 2003.
- Tkáčová, M., Foffová, P., Živčák, J., & Hudák, R. (2010). The methodics of medical thermography in the diagnostics of the human body musculoskeletal system. *SAMI 2010 8th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*, Jan, 28-30.
- www.wearable-technologies.com, *Wearable Technologies Conference*, Feb, 2011.

원고접수 : 2011.05.25

수정접수 : 2011.08.16

게재확정 : 2011.08.20