

온열쾌적성 평가를 위한 다채널 온습도 분포측정 시스템의 설계

한화택, 김성환*, 김묘향**, 박명규**, 지용주**
국민대학교, 서울시립대학교*, [주]테크녹스기술연구소**

Design of Multi-channel Temperature/Humidity Measurement System for Thermal Comfort Evaluation

Hwa taik Han, Sung Hwan Kim*, Myo Hyang Kim**,
Myung Kyu Park**, Yong Ju Ji**
(Kookmin University, University of Seoul*, Technox R&D Center.**)

Abstract

본 논문에서는 온열환경 평가를 위한 다채널 온습도 분포측정 시스템을 개발하기 위하여 인체의 쾌적성에 영향을 미치는 온열환경요소를 분석, 이를 적용하기 위한 측정시스템의 설계개념과 요구사항에 관하여 고찰하였다. 정밀도를 확보하기 위하여 센서의 응답성과 회로의 선형화에 관한 연구를 수행하고 사용자 편의를 도모하기 위한 분석 소프트웨어를 설계하였다. 소프트웨어는 의복 내의 온열환경과 실내공간의 온열환경을 분석하기 위한 것으로 나누어져 있고 각각의 소프트웨어는 전처리와 후처리 프로그램 그리고 측정시스템과의 통신 인터페이스를 포함하고 있다. 이와 같은 설계 개념을 반영하여 다채널 온습도 분포측정 시스템이 개발될 경우, 각종 온열환경에 관한 연구에 널리 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

Key Words: 온열쾌적성(Thermal Comfort), 시스템설계(System Design), 소프트웨어(Software), 하드웨어(Hardware)

1. 서 론

현대사회는 인간 삶의 질적 변화와 과학의 발전으로 인해 외부환경이 급속하게 변화하고 있으며, 이러한 변화는 인간의 쾌적감과 깊은 관계를 가진다.

쾌적감을 결정하는 요인에는 여러 가지가 있으나 온습도와 관련된 온열환경에 대한 영향이 크다. 이러한 연구에 공통적으로 요구되고 있는

것은 온습도 분포에 대한 편리한 측정, 여러 지점을 동시에 측정할 수 있는 다채널 기능, 정확도, 인체활동에 자장을 주지 않는 소형 경량화 등이 있다. 또한 사용자의 응용분야에 따른 편의성이 고려되고 감성공학과와의 연계를 강화한 온열환경 측정시스템에 대한 필요성이 높아지고 있다. 이러한 중요성을 감안하면 다채널온습도분포 측정 시스템의 개발은 급속히 확산 발전되는 감성공학기술과 더불어 매우 중요한 부

분으로 연구, 개발되어야 할 것이다.[1][2]

본 논문에서는 온열환경 측정시스템에 필요한 요구사항 등을 분석하고 대체될 온습도 측정시스템에 대한 기본 설계를 수행하였다. 측정시스템의 설계는 측정 하드웨어와 분석 소프트웨어를 포함하며 향후 제품의 개발로 이어져 여러 온열환경 분야의 연구확성화와 응용분야의 확산에 기여할 것으로 기대된다.

2. 온열환경 요소

인체의 쾌적성에 영향을 미치는 주된 온열환경 관련 요소들은 크게 개인적 변수와 물리적 변수로 구분할 수 있다. 개인적 변수에는 성별과 나이 외에 활동량과 착의량이 있다. 활동량에 비례하여 인체의 열발산율이 결정되고 개인에 따른 신진대사량과 신체의 표면적에 따라 변화한다. 동상 met 라는 단위로 표시하며 열적으로 쾌적한 상태에서 의자에 앉아 안정을 취하고 있을 때의 대사량으로 정의하고 있다.

$$1 \text{ met} = 58.2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{h}$$

착의량은 의복의 열절연성으로 나타내는데 clo는 21°C, 50% RH, 기류속도 0.1 cm/s 이하에서 인체표면의 열발산율이 1met의 활동량과 병형상태에서 피부표면으로부터 착의표면까지의 열저항값으로도 정의된다.

$$1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2\text{C/W}$$

표 1. 온열환경 변수

개인적 변수 (Personal variables)	활동량 (Activity) 착의량 (Clothing) 나이 (Age) 성별 (Sex)
물리적 변수 (Physical variables)	기온 (Air temperature) 표면온도 (Surface temperature) 습도 (Humidity) 기류 (Air movement)

온열환경의 물리적 변수에는 실내온도, 습도, 기류속도, 그리고 복사온도가 있다. 온도는 열적 쾌적성을 유지하기 위한 가장 중요한 요소로서 공기온도와 표면온도가 있다. 표면온도는

인체를 둘러싸고 있는 표면온도가 기온과 다를 때 중요하며 동상 주위의 표면적으로 가중평균된 평균복사온도로 나타낸다. 습도는 공기중의 수분량을 나타내며 인체의 발한량과 밀접한 관계가 있다. 상대습도가 40-70% RH 범위에서 쾌적소건을 나타낸다. 또 실내의 공기 움직임은 대류에 의한 인체의 열손실을 증가시킴으로써 열적 쾌적성에 영향을 미친다.[5]

2-1 의복내 온습도 측정

의복내기후는 의복을 착용함에 따라 생기는 최인접환경으로 현대인의 쾌적감과 가장 밀접한 관계를 가진다. 의복기후는 의복내 최내층의 기후가 32 ± 1 °C, 50 ± 10 %RH, 기류 25 ± 15 cm/s일 때를 쾌적범위로 보고 있으며[4], 일반적으로 외층으로 향할수록 의복내 공기층의 기온은 낮아지고 기습은 증가하게 된다. 또 외기온이 25 °C이하 일 때는 의복 각층의 온도에 거의 변화가 없으나, 30 °C이상 이 되면 의복내의 기온도 33 °C를 넘어 발한이 일어나게 되고, 기습도 급격히 상승하여 불쾌감을 갖게 된다.

의복기후는 체위, 체력, 체온조절기구(체온, 부위별 피부온, 평균 피부온, 혈류량, 총발한량), 혈압, 맥박 등의 인체생리 부분과 연계하여 연구되고 있다[5]. 체온조절기구는 쾌적감과 관련한 것으로, 여기에서 말하는 체온은 심부온도를 말한다. 심부온은 액와온, 구강온, 직장온, 식도온, 고막온 등으로 측정하며, 부위별 피부온도는 측정부위의 수에 따라 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ... , 27심까지 측정할 수 있다. 평균피부온은 평균적 지표로 전신의 몇 군데의 피부온과 그 측정심이 대표하는 부위의 전신표면적에 대한 체표면적의 비율을 곱한 값의 합계를 말하며, Ramanathan의 4심법과 Hardy Dubois의 7심법 [6]을 가장 많이 사용하고 있다. 측정하는 부위 및 평균피부온 산출시의 계수는 표2에 나타내었으며, 7심법에 의한 산출식은 다음과 같다.

$$\overline{T}_s = 0.07T_{\text{head}} + 0.35T_{\text{trunk}} + 0.14T_{\text{arms}} + 0.05T_{\text{hands}} + 0.19T_{\text{feet}} + 0.13T_{\text{legs}} + 0.07T_{\text{feet}}$$

표 2. 피부온 측정부위와 산출계수

	Ramanathan	Hardy/ Dubois(7)	Hardy/ Dubois(12)
측정 부 위	앞이마		0.07
	뺨		
	가슴	0.3	
	상완	0.3	
	복부		0.35
	전완		0.14
	손등		0.05
	대퇴	0.2	0.19
	하퇴	0.2	0.13
	발등		0.07
	목(뒤)		
	등		
	허리		
	대퇴(뒤)		
	하퇴(뒤)		
	대퇴(안쪽)		

2-2 실내온열환경의 측정

실내의 온열환경을 단일요소로 평가하는 것은 어려우므로 쾌적성을 지배하는 위의 온열환경요소를 2가지 이상 결합하여 단일한 지표로 나타내려는 연구가 많이 진행되어 왔다. 지금까지 20여 가지의 온열환경 평가지표를 나타내면 다음과 같다.

유효온도 (ET: Effective Temperature): 온도, 기류속도, 습도 3요소를 일반적인 착의상태 및 활동상태 하에서 하나의 온도로 표현한 것으로 가장 보편적인 환경지수이며, 넓은 응용범위를 갖고 있다.

수정유효온도 (CET: Corrected Effective Temperature): 건구온도를 알로브온도로 대체하여 복사열 효과를 감안한 온도이다.

신유효온도 (ET*: New Effective Temperature): 온도(기온, 평균복사온도)와 습도의 영향을 결합하여 열환경을 단일한 지표로 나타낸 것으로 1923년 Houghten과 Yaglou가 제안한 유효온도 (ET)는 습도의 영향이 저온영역에서 과대평가

되고, 반대로 고온영역에서 과소평가되는 것으로 지적되어 이러한 단점을 보완한 것이다.

표준 신유효온도 (SET*: Standard Effective Temperature): 착의상태 0.6 clo, 기류속도 0.1m/sec, 상대습도 50%인 표준적인 조건하에서 경험하는 기온(단, 복사에 의한 영향은 무시)과 동가인 열적 자극을 사람에게 주는 온열조건을 나타내는 지표이다.

작용온도 (OT: Operative Temperature): Gagge 등이 1940년 개발한 지표로 인체와 환경간의 열교환에 기초를 두어 기온과 복사온도를 열전달계수로 가중하여 평균한 값이다. 작용온도는 ASHRAE 및 ISO 7730에서 쾌적범위를 알기 쉽게 표현하는데 사용된다.

예상 온열감 반응 (PMV): 활동을 많이 할 때 평균 피부 온도는 감소하고 땀의 손실은 증가한다. 들 사이의 작용에 의하여 몸 중심에서 주위로의 열손실은 증가한다. 생리방정식과 열유동 방정식은 열적 쾌적성과 연관되어 있는데 Fanger는 인체의 대사율, 의복의 열저항 등을 종합하여 열적 쾌적성을 표시하는 하나의 경험에 의한 방정식을 제안하였다. PMV를 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$PMV = [0.303e^{-0.006M} + 0.028] \cdot L$$

여기서 M은 인체의 대사량이며, L은 내부 열생산과 실제 주위로의 열손실 차이로 정의된다. L은 의복의 열저항성과 기류속도와 온도에 의하여 결정되는 의복표면의 열전달계수와 의복표면온도의 함수로 나타낼 수 있다.

3. 측정시스템의 설계

3-1. 하드웨어의 설계

온열환경 측정실험에 필요한 채널수는 최대 24ch로 한다. 온습도 기록범위는 0-90°C 분해능은 0.01°C, 10.0-90.0% ± 3% 까지로 한다. 계측 주기는 1/8초-30분의 범위에 대하여 선택할 수 있도록 한다. 따라서 이에 따른 데이터 기록용량은 640,000 데이터를 기록할 수 있는 메모리

를 요한다. 디스플레이는 8digit LCD로 numeric display를 채택하며 채널번호, 온도, 습도, LOW Battery 표시 등의 기능을 갖도록 한다.

(1) 센서출력의 선형화(linearization)

인체의 표면온도는 매우 민감하여 온도측정의 정밀도가 0.1°C 이하이어야 한다. 이를 위해서 센서출력을 선형화하고 피부와의 접촉저항을 최소화하여야 한다. 또한 센서를 통한 전류에 의한 자기 발열(self heating)을 줄여야 한다.

전압 디바이더(voltage divider)회로와 로그 컨버터(log converter)를 사용한 경우의 출력 특성과 본 연구에서 채택한 회로[7]의 결과를 그림 1에 나타내었다.

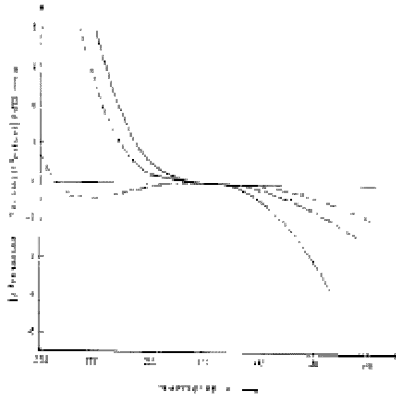


그림 1. 써미스터의 출력특성(실선:전압디바이더, x: 로그컨버터, o:본연구)

(2) 통신 인터페이스

인체에 부착하여 실시간 측정을 위해서는 장치의 크기가 작아서 휴대할 수 있어야 한다. 의복내 온열환경을 측정하기 위해서는 인체 표면이나 의복내에 온습도 센서를 부착하여야 한다. 이러한 센서로부터 데이터를 전송하기 위하여 무선 커뮤니케이션 방식을 채택함으로써 인체 활동을 자유롭게 할 수 있고 실시간 연속 데이터를 받아들일 수 있다.

데이터의 전송은 9600bps 및 19200bps로 PC와 RS232 시리얼 통신을 하고 소프트웨어의 download 버튼에 의하여 계측된 데이터를 전송 받을 수 있도록 한다.

3-2 소프트웨어의 설계

응용분야가 서로 다른 의복내 온열환경 분석 프로그램과 실내공간 온열환경 분석 프로그램으로 나누어 구성하며 통신과 그래프출력에 관한 공통부분을 공유하고 있다. 전체적인 소프트웨어의 구조는 그림 2와 같다.

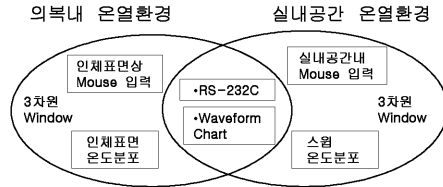


그림 2. 온열환경 분석 소프트웨어의 모듈구조

(1) 의복내 온열환경 분석

전처리 프로그램에서는 3차원 인체 데이터를 활용하여 특정 점법에 의한 센서위치를 자동적으로 지정되도록 하거나 그림 3에서와 같이 마우스를 이용하여 임의의 센서위치를 지정할 수 있도록 한다. 또한 기타 피험자의 정보를 입력한다.

후처리 프로그램에서는 3차원 인체표면상에 온도분포를 출력하고 열환경 평가지표를 분석한 결과를 수치적으로 보일 수 있도록 한다. 또한 각 채널 별 실시간 입력 데이터와 이로부터 계산된 평균 피부온 등을 그래프 형태로 보이도록 한다.

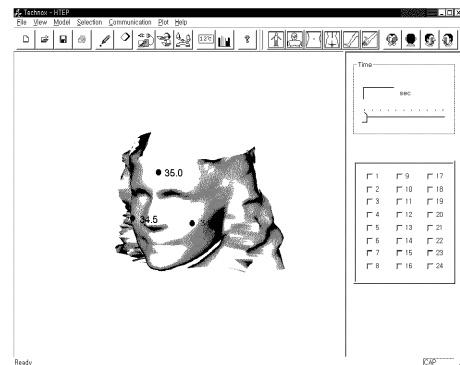


그림 3. 의복내 온열환경 전처리 프로그램의 화면구성의 예

(2) 실내 온열환경 분석

직각 좌표계를 갖는 챔버를 기본으로 하여 측정공간의 크기를 설정할 수 있도록 하고 평면도상에서 센서막대의 위치를 지정할 수 있도록 한다. 센서 막대에는 1차원적으로 센서가 고정 배열되어 있기 때문에 이동이 편리하다. 센서막대의 구조는 그림 4와 같다. 후처리 프로그램은 각 센서별 실시간 그래프 출력과 3차원 공간상의 온도분포 contour의 출력이다. 1차원 비정상상태의 측정은 실내 온도성층화 실험 등에 이용될 수 있다. 또한 각종 열환경 지표들을 계산함으로써 쾌적성 평가와 연계시키도록 한다.

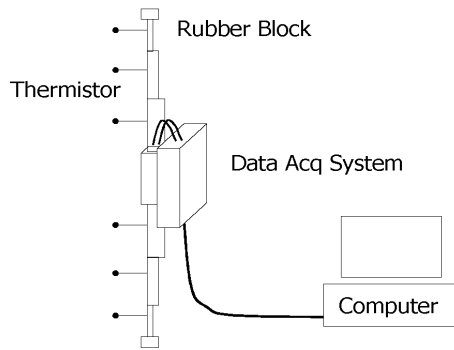


그림 4. 공간측정용 센서막대의 구조

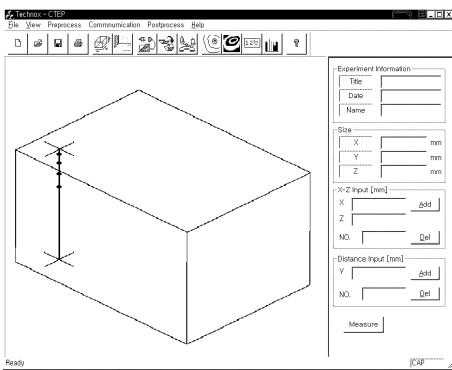


그림 5. 실내온열환경분석 전처리프로그램의 화면구성의 예

4. 결론

다양한 온열환경에 대한 쾌적성 평가 수요가 증가함에 따라 온습도 분포를 측정하여 온열환

경을 분석 평가하기 위한 기술과 제품의 필요성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 쾌적성에 영향을 미치는 온열환경요소를 분석하고 측정 시스템의 기본적인 설계를 수행하였다. 다채널 온습도 분포측정 시스템이 개발되면 온열 쾌적성 평가를 통한 인간친화적 제품 개발과 환경 설계에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

예를 들어 의복내 온습도 측정에 의한 감성적인 쾌적한 의류개발에 활용, 인체의 심전도, 혈류량 등과의 연계에 의한 온열쾌적성의 정량적 평가에 활용, 아파트나 단독 주택 등의 감성공학적 쾌적한 주택 건설설계에 활용, 에너지 절약형 주택, 농업용 축사, 온실 등의 평가와 성능시험이 가능하여 체계적인 관리에 활용될 수 있을 것이다.

* 본 연구는 G-7 감성공학 기반기술개발사업에 의해 지원되었음(2000-J-ES-02-A-07).

참고문헌

1. Ashrae (1997), 'Fundamentals-ASHRAE Handbook' American Society of Heating Air- Conditioning, Refrigerating Engineers.
2. 한국동력자원연구소 (1991), "신주택 기술개발 - 저가 고효율 난방 시스템의 개발연구 (I)," 과학기술처.
3. Fanger, P. O. (1982), 'Thermal Comfort,' Analysis and Applications in Environmental Engineering, Robert E Krieger Publishing Co., Malabar, Florida.
4. 新しい衣服衛生 (1990) 中較美智子, 吉田敬一, 南江堂, p11-27.
5. 최정화 (1994) 의복기후가 건강에 미치는 영향, 한국온열환경학회지, 2(1),1-8.
6. 中山昭雄 (1981) 温熱生理學, 理工學社, p498-549.
7. Anwar A. Khan et al (1987), "A novel wide range Linearization Approach for Thermistor Thermometer", IEEE Trans. on Instrument and Measurement, vol. IM-36, pp.763-769.