

온도변동에 따른 인체 생리적 반응 -제2보: 맥파를 중심으로-

강 석 중, 금 종 수[†], 김 동 규, 정 용 현*, 이 낙 범**
부경대학교 냉동공조공학과, 부경대학교 생태공학과*, 전주비전대학 보건행정과**

Physiological Response of Human Body by Temperature Change -Part 2: In Priority to Pulse wave-

Suk-Jung Kang, Jong-Soo Kum[†], Dong-Gyu Kim, Yong-Hyun Chung*, Nak-Bum Lee**
Department of Refrigeration & Air conditioning Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

**Department of ecology Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*
***Department of Public Health Administration, Vision College of Jeonju, Jeonju 560-760, Korea*

ABSTRACT: In most existing research, it is difficult to evaluate thermal comfort exactly because of reflecting individual ideal or psychological response by subjective questions. Physiological variable was selected in this study to evaluate objectively thermal comfort. MST was appeared very sensitively in indoor temperature and can express correctly thermal comfort of human body. The results of CSV are different each individual feeling sensation, so is difficult to evaluate detailedly thermal comfort unlike TSV. But the results of PP, AIx, ED, SEVR are greatly related to temperature change. So thermal comfort is evaluated more objectively by using PP, AIx, ED, SEVR on behalf of TSV, CSV. Human body was presented physiological feedback by temperature impetus and specially, tendency of heart rate agree with temperature change. Physiological reaction was showed sufficient possibility availing evaluation index of thermal comfort. In the future another one needs to review beside the selected physiological variable.

Key words: Temperature Change(온도변동), Physiological Response(생리반응), Pulse Wave(맥파), Physiological variable(심리적 변수), Thermal comfort(온열쾌적감)

기 호 설 명

TSV : Thermal Sensation Vote
CSV : Comfort Sensation Vote
PP : Pulse Pressure
AIx : Augmentation Index
ED : Ejection Duration

SEVR: Subendocardial Viability Ration

1. 서 론

과학의 발달로 인간은 실내생활의 목적이 단순한 보호수준을 넘어 자신의 건강을 유지하거나 업무 효율을 높이기 위해 쾌적한 생활을 요구한다.

쾌적감이란 인간이 쉽게 동조하고 몰입할 수 있어서 인간과 환경이 일체가 되기 쉬운 상태를

[†] Corresponding author
Tel.: +82-51-620-1504; fax: +82-51-620-1504
E-mail address: jskum@pknu.ac.kr

말하며 최근에는 이 쾌적성을 평가하기 위한 연구들이 많이 진행되고 있다.

그러나 지금까지 대부분의 연구는 제한된 인자나 물리적 환경에 의한 실험 환경을 엄격하게 제한하여 오류요소를 최소화하면서 정량화된 데이터를 얻을 수 있으나 주관 설문에 의존하는 경향이 강하므로 설문의 스케일에 따라 각 개인에 대하여 정확한 온열환경 쾌적감을 평가하기가 어렵다. 하지만 각 환경요소에 대한 개인의 생리적 반응을 임상병리학적으로 접근한다면 개인의 생각이나 심리적 변화를 어느 정도 제한하여 온열쾌적성 평가를 좀 더 객관적으로 할 수 있다.

최근 이러한 연구들이 다소 이루어지고 있으나 데이터의 정량화와 상관관계가 미흡한 상태이므로 본 연구는 제1보에 이어 실내온도조건에 따라 인체 생리적 반응에서 맥파를 중심으로 온열쾌적성 평가의 가능성을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

심장이 수축할 때마다 심장으로부터 대동맥을 통하여 전신에 혈액이 공급되며 이때 대동맥에 압력의 변동이 일어나서 손과 발의 말초 소동맥까지 전달된다. 맥파란 이 변동을 파형으로 표현

Table 1 Specification of the chamber

	Environmental chamber
Temperature range	DB 5°C ~ DB 45°C
Humidity range	RH 20% ~ RH 95%
Cooling capacity	13,500 Kcal/h
Heating capacity	17,200 Kcal/h
Humidifying capacity	30 kg/h

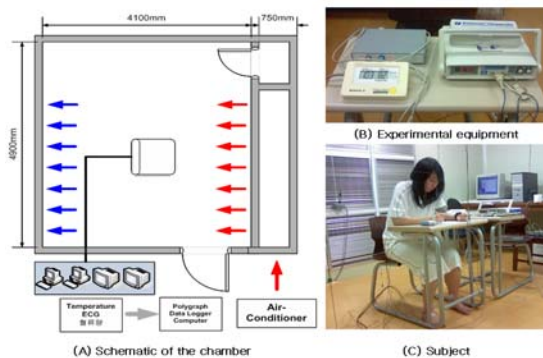


Fig. 1 Schematic of the chamber

한 것으로 질병이나 혈관의 노화, 동맥경화의 정도를 판단하는 근거로 측정되지만 온열환경에 따른 인체의 혈류량 변화와도 매우 밀접한 관계를 가진다.

특히 맥파는 정신적인 불안, 긴장, 스트레스와도 밀접한 관련이 있어 심리적인 상태를 반영하는 지표로 이용되어질 수 있으며, 실온이 높으면 말초혈관이 확장되어 파고가 높아질 수 있고, 온도가 떨어지면 말초 혈관이 수축해서 파고가 낮아져 단상파의 형태를 가져온다. 과도한 냉방으로 인해 실내온도가 지나치게 추워지면 근육이 떨리기 때문에 이상 측정파형을 나타낸다.⁽¹⁾

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서 사용되는 실험실은 가로 4.1m, 세로 4.9m, 높이 2.7m의 크기로 임의의 온도 및 습도를 제어할 수 있는 인공기후실을 사용하였다. Table 1에 인공기후실의 사양을 나타내었고 Fig. 1에는 실험환경을 나타내었다.

3.2 실험순서

실험순서는 Fig. 2에 도식화하여 나타내었으며, 본 실험을 시작하기 전에 인공기후실을 미리 예열하고 각종 실험장비를 점검 하였다. 실험대상자는 실험시작 30분 전 실험실에 도착하여 간단한 건강상태를 점검하면서 실험에 방해가 될 만한 요소들이 있는지 확인한다. 이상이 없으면 센서를 부착하고 테스트를 한 후 실험을 시작한다.

실험시작부터 매 10분마다 2시간 동안 생리신

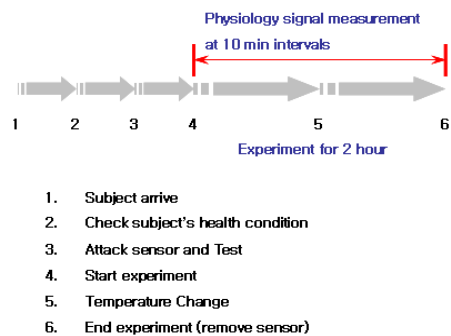


Fig. 2 Experiment Procedure

호, 피부온도, 혈류량, 주관설문 등을 측정한다. 정확한 데이터 확보를 위하여 실험 1회에 1명의 실험대상자가 참가하였고 하루에 2회 실험을 실시하였다.

3.3 실험조건

실험대상자는 초기 2회의 적응기간 동안 실제 실험과 동일한 조건에서 실험을 진행하였고 1시간동안 실내온도 32℃을 유지한 후 랜덤한 순서로 20℃, 26℃, 32℃의 실내온도 변화를 주었으며 상대습도 50±5% 일정한 환경 속에서 실험을 하였다.

Fig. 3은 실내온도 조건을 도식화하여 나타내었으며 실내온도에 따라 각 구간을 지정하였다. A구간은 초기의 실내온도에서 안정화된 부분, B구간은 온도변화가 있는 부분, C구간은 온도변화 후 안정화된 부분이다.

Table 2는 주관설문에 사용된 주요항목으로 ASHRAE에서 규정한 TSV 7단계법⁽²⁾과 Tanabe가 사용한 CSV 4단계법⁽³⁾을 나타냈으며 Table 3은 실험조건을 나타내었다.

3.4 실험대상자

실험대상자 선정은 자체 설문조사 결과와 예비 실험(혈압, 설문, 생리신호)을 바탕으로 생활 주기가 규칙적이고 건강한 실험대상자 8명(남자 4, 여자 4)을 선정하였다.

실험기간 중에는 실험의 객관성을 부여하기 위해 실험에 영향을 줄 수 있는 무리한 운동이나 과로, 과식, 음주, 흡연 등을 금하게 하였으며, 특히 감기나 여성의 경우 생리와 같은 급격한 인체

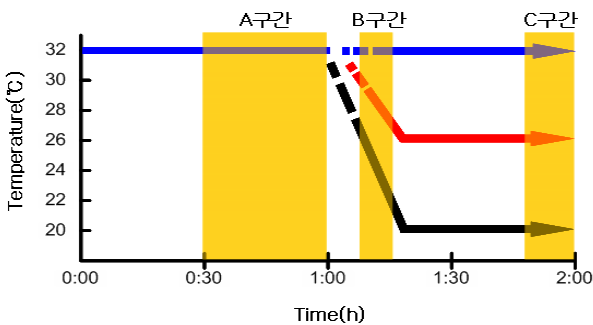


Fig. 3 Indoor Temperature Change

변화를 파악하여 실험에서 제외하였다. 그리고 모든 피험자에게 평상시와 동일한 생활을 유지하도록 통제하였다.

Table 4는 실험대상의 신체조건을 나타내었다.

3.5 맥파형 분석

맥파형의 분석은 주로 요골동맥과 경동맥에서 센서를 혈관에 눌러 그 파형을 얻어 generalized transfer function을 이용하여 중심동맥(대동맥)의 파형을 구한다. 요골동맥에서 수축기혈압과 이완기혈압의 차이를 PP라고 부르며 일반적으로 정상 성인에서 PP는 대략 35~45 mmHg 정도가 되는데 이것은 주로 일회박출량과 동맥혈관의 탄성에 의해서 크게 영향을 받는다.⁽⁴⁾ 중심동맥(대동맥)에서 얻어진 파형으로 이전까지 관혈적 방법에 의해서만 얻을 수 있었던 중심동맥(대동맥)의 압력을 얻을 수 있고, AIx를 구하여 혈관경직도를 측정하고 SERV를 구하여 관상동맥 혈류상태 및 관상동맥질환의 위험성을 파악하고 ED를 측정하여 심근 수축력 상태를 판단할 수 있다.⁽⁵⁾

Table 2 Voting Scales

	Scales						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
TSV	Cold	Cool	Slightly cool	Neutral	Slightly Warm	Warm	Hot
CSV	-3	-2	-1	0			
	Very uncomfortable	Uncomfortable	Slightly uncomfortable	Comfortable			

Table 3 Experimental Requirement

	Requirement
Temperature	20℃, 26℃, 32℃
Humidity	50±5%
clo	0.3
Met	0.1

Table 4 The terms of subject's body

	Male(4 persons)	Female(4 persons)
Age	24±1.5	22±0.5
Height	176±4.6	165.5±5
Weight	65.8±8.2	53.5±3.5

4. 실험결과 및 고찰

4.1 전신은냉감 및 쾌적감

본 실험에서 CASE별로 구현한 실내온도를 Fig. 4에 나타내었으며 주관설문을 통해 TSV와 CSV를 측정하여 분석하였다. Fig. 5에서는 TSV가 각 구간별로 실내온도 변화에 따라 실험대상자들의 반응이 확실히 나타났다. 하지만 실내온도 32°C인 A구간에서 같은 온도라도 TSV 값이 일정하지 않았다.

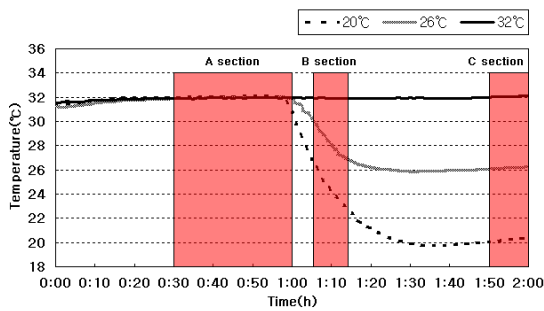


Fig. 4 Indoor Temperature

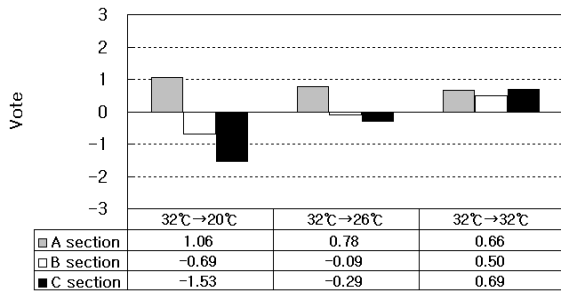


Fig. 5 Thermal Sensation Vote

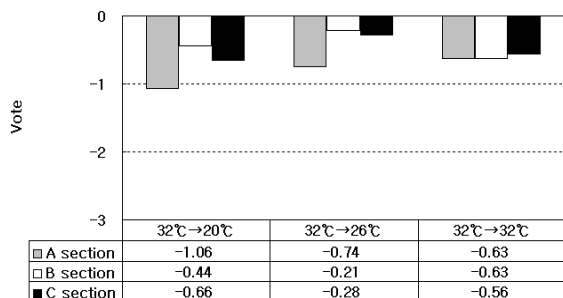


Fig. 6 Comfort Sensation Vote

Fig. 6에서는 실내온도 변화에 따라 CSV를 나타내었다. 실내온도 32°C인 A구간에서 불쾌감이 나타났지만 불쾌감의 정도를 정확히 알 수 없었으며, CSV의 값이 같은 실내온도라도 일정하지 않게 나타났다. 이것은 주위온도 외에 설문을 받는 상황이나 개인의 생각과 심리적 반응에 영향을 받았다고 할 수 있다.

4.2 맥파형 분석

4.2.1 PP (Pulse Pressure)

PP는 혈액량이 증가하거나 혈관의 탄력성이 상실될 때 상승한다. Fig. 7은 실내온도 변화에 따른 PP변화를 그래프화 하였다. 실내온도가 3°C에서 20, 26°C 내려가는 조건에서는 PP가 감소하였다. 이것은 주위온도가 낮아지면서 인체는 스스로 체온을 조절하기 위해 혈액량을 줄이고 혈관의 벽이 딱딱해지는 것을 의미한다. 실내온도 32°C를 유지하는 조건에서는 PP는 변화가 일어나지 않았다.

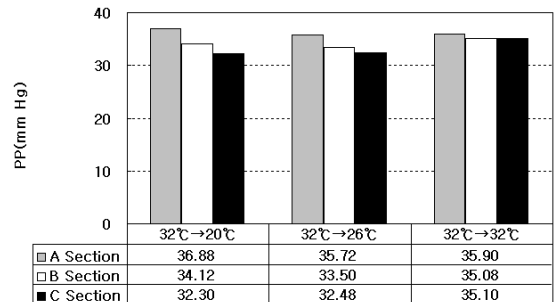


Fig. 7 PP results of Pulse Wave Analysis

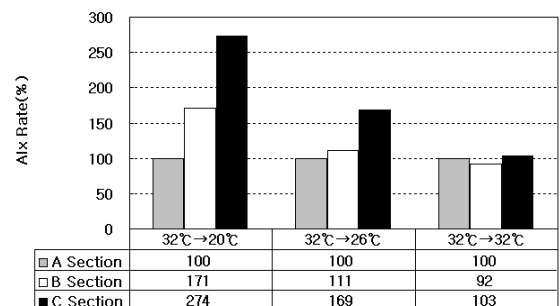


Fig. 8 AIx results of Pulse Wave Analysis

4.2.2 Aix (Augmentation Index)

Fig. 8에서는 Aix가 실내온도 32℃에서 20, 26℃ 내려가는 조건에서 증가하였다. 그리고 실내온도가 크게 낮아지는 20℃ 경우 26℃ 보다 Aix가 더 크게 증가하였다. 이것은 실내온도가 내려가면서 혈관이 점점 딱딱해지는 것을 의미한다.

4.2.3 ED (Ejection Duration)

Fig. 9를 보면 실내온도가 32℃에서 20, 26℃로 하강하면서 ED 역시 감소하였다. 온도가 내려가면 인체는 혈액량을 점점 감소하면서 심장 수축 시간 역시 줄어드는 것을 알 수 있다.

4.2.4 SEVR (Subendocardial Viability Ration)

Fig. 10에서 SEVR는 실내온도가 내려가면 상승하였다. 낮은 온도에서 관상동맥이 좁아지면서 SEVR이 상승하게 되는데 관상동맥은 심장에 산소를 공급하는 혈관으로 실내온도변화는 심장에 대한 산소 공급을 제한하기 한다.

실내온도 32℃인 A구간에서 PP, Aix, SEVR은

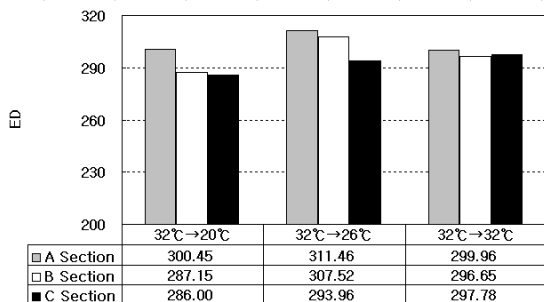


Fig. 9 ED results of Pulse Wave Analysis

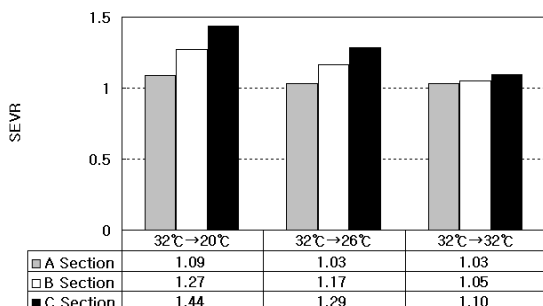


Fig. 10 SEVR results of Pulse Wave Analysis

각각 일정한 값을 가지고 ED도 실내온도 32℃에서 26℃로 변화하는 경우만 제외하면 A구간에서 일정한 값을 가졌다. 이것은 개인의 생각이나 심리적 반응이 제한되었다고 할 수 있다.

4.3 HRV 분석과 맥파형 분석 비교

제1보에서 HRV분석을 통해 얻어진 LF/HF와 SDNN은 실내온도변화에 대하여 상관적인 반응을 보였다.⁽⁶⁾ Fig. 11에 나타낸 CSV 값과 Fig.12에 나타낸 LF/HF 값을 비교해 보면 실내온도 변화에 따라 그 값의 경향이 일치하는 것을 볼 수 있다. 특히 LF/HF는 인체가 온도자극을 받게 되면 스트레스를 받아 교감신경계의 활성이 반영되어 실내온도에 대한 쾌적감을 스트레스를 받는 것과 받지 않는 것으로 평가가 가능하였다. 반면에 맥파형분석을 통해 얻어진 PP, Aix, ED, SEVR은 실내온도변화와 그 값의 경향이 일치하고 변화 스케일의 정도도 비슷하게 나타났으며 온도조건이 같은 A구간에서도 ED를 제외한 각각의 값이 일정하였다.

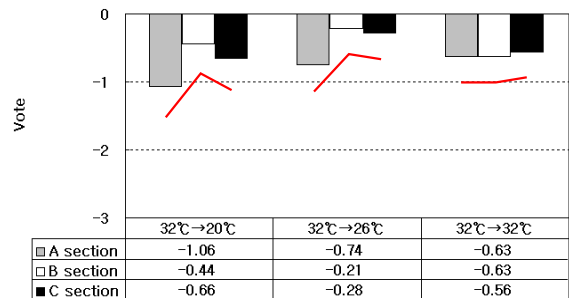


Fig. 11 Comfort Sensation Vote

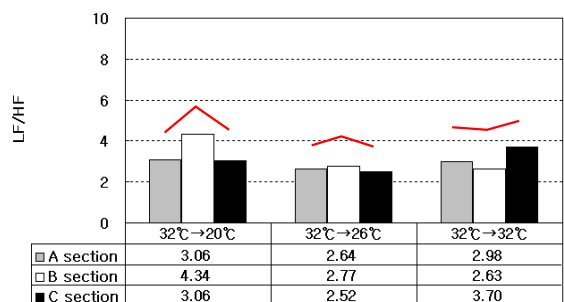


Fig. 12 LF/HF results of HRV Analysis

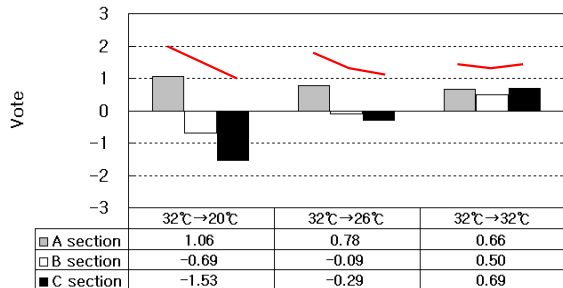


Fig. 13 Thermal Sensation Vote

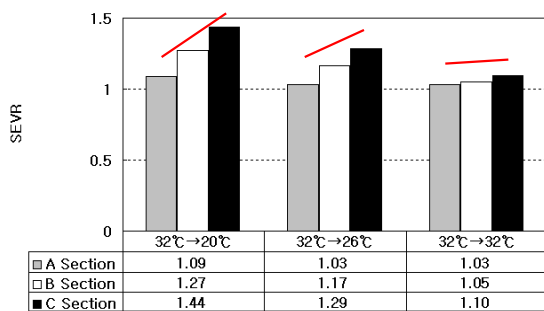


Fig. 14 SEVR results of Pulse Wave Analysis

Fig. 13에 나타난 TSV 값과 Fig. 14에 나타난 SEVR 값을 비교해 보면 서로 반대의 결과가 나타나지만 실내온도에 따른 일정한 경향을 보였으며 특히 SEVR의 경우 실내온도 32°C A구간에서 그 값이 일정하게 나타나 TSV를 보완할 수 있었다.

그러므로 개인의 생각이나 심리적 반응의 영향으로 정확한 온열쾌적감 평가에 어려움이 있는 설문평가에서 CSV을 대신하여 LF/HF 값으로 온도변동에 대한 쾌적감을 정확히 평가할 수 있고 TSV을 대신하여 SEVR 값으로 실내온도변화를 파악할 수 있으며 변화 스케일도 평가할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 온도변동에 따른 인체 생리적 반응을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) TSV와는 달리 CSV의 경우 온열쾌적성 평가에 있어 개인차를 나타내므로 평가 방법에 대

한 고려가 필요하다.

(2) HRV분석을 통해 얻어진 LF/HF와 SDNN 값은 CSV의 문제점을 보완하여 온도변화에 따른 쾌적감을 정확히 평가 하였다.

(3) 맥파형 분석을 통해 얻어진 PP, AIx, ED, SEVR값은 개인의 생각이나 심리적 반응이 제한되고 실내온도변화와 경향이 일치하였다. 특히 SEVR는 실내변화 스케일과 비슷하고 실내온도가 같은 경우에도 값이 일정하게 나타나 TSV의 문제점을 보완하여 온도변화에 따른 온열쾌적감을 정확히 평가할 수 있었다.

이러한 결과로 생리적 반응이 온열쾌적성 평가 지표로써 활용될 충분한 가능성을 보여주었으며 본 연구에 선정된 생리적 변수 외에 다른 생리적 변수의 상관성을 추후 검토할 필요가 있다.

참고문헌

1. Jang, C. S., 2005, "Study for Temperature Sensation's Change as Seasons", The Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineering of Korea, pp. 26-31.
2. ASHRAE, 1989, "ASHRAE Handbook Fundamental", pp. 8.1-8.29.
3. S. Tanabe, 1998, "Thermal comfort requirements in Japan, Ph.D. thesis, Waseda University, Tokyo, Japan.
4. Bennett J. C, Plum F., 1996, Cecil The Textbook of medicine. 20th ed, Philadelphia, WB Saunders Co, pp. 256.
5. Park, J. B., 2006, "Significance of Measuring Pulse wave analysis", Clinical Medicine.
6. Kang, S. J., 2007, "Physiological Response of Human Body by Temperature Change -Part 1: In Priority to HRV and Heart Rate-", The Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineering of Korea, pp. 39.