

여름철 실내외 온도차에 따른 인체의 온열쾌적성 평가

금 종 수[†], 김 동 규^{*}, 최 광 환, 이 낙 범^{**},
임 재 중^{**}, 최 호 선^{***}, 배 동 석^{***}

부경대학교 기계공학부, ^{*}동의공업대 건축과, ^{**}전북대학교 전자정보공학부, ^{***}(주)LG전자

Evaluation of Thermal Comfort on Temperature Differences between Outdoor and Indoor Thermal Conditions in Summer

Jong-Soo Kum[†], Dong-Gyu Kim^{*}, Kwang-Hwan Choi, Nak-Bum Lee^{**},
Jae-Jung Im^{**}, Ho-Seon Choi^{***}, Dong-Suk Bae^{***}

Division of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

^{}Department of Architecture, Donggeui Institute University of Technology, Busan 614-715, Korea*

*^{**}Division of Electronics and Information Engineering, Chonbuk National University, Chonbuk 561-756, Korea*

*^{***}LG Electronics Inc., Seoul 153-023, Korea*

(Received February 28, 2002; revision received September 2, 2002)

ABSTRACT: Purpose of this study is to clarify the evaluation of thermal comfort based on temperature differences between outdoor and indoor thermal conditions in summer. The experiments were performed to evaluate temperature difference between indoor and outdoor thermal conditions (29, 31, 33°C) by physiological and psychological responses of human. According to physiological responses, TSV (thermal sensation vote) and CSV (comfort sensation vote) and psychological responses, ECG (electrocardiogram), MST (mean skin temperature) of human, it was clear that the optimum temperature difference is about 5°C and 7°C.

Key words: TSV(전신온냉감), CSV(쾌불쾌감), MST(평균피부온도), ECG(심전도)

기 호 설 명

CSV : Comfort Sensation Vote
ECG : Electrocardiogram
HF : Low Frequency
HRV : Heart Rate Variability
LF : High Frequency
MST : Mean Skin Temperature
TSV : Thermal Sensation Vote

1. 서 론

여름철에 일반적으로 공조가 되는 건물의 실내 설정온도는 24~26°C로 하고 있다. 공조가 되는 건물의 실내온도 범위는 이처럼 제한되어 있는 반면 여름철 최고 외기온은 29~34°C로 변화폭이 크다. 특히 외기온도와 실내온도와의 차이가 크게 되면 재실자들의 냉방병 혹은 열스트레스를 유발할 수 있다. 냉방병은 신체가 장시간 차가운데 있거나 더운 곳에서 냉방이 되는 실내로, 또는 냉방되는 실내에서 더운 실외로 갔을 때 단시간의 온도변화에 기인하는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾ 냉방병 증세를 유발하는 요인으로서 냉방만이 아니라 의복과 환경 등의 복합적 영향이 고려되고 있지만 주로 냉방(너무 낮은 온도)에 의해 장

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-620-1504; fax: +82-2-620-1504

E-mail address: jskum@pknu.ac.kr

시간의 차가움의 상태 또는 외기와외의 급격한 온도차에 의해 발생된다. 본 연구에서는 실외에서 실내로 입실시 실내의 온도차에 따른 체감실험 및 인간의 자율신경계 변화를 통하여 인체의 심리 및 생리적 특성을 정량적으로 파악하여 적절한 실내의 온도차 도출을 목적으로 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

임의의 온도 및 습도를 제어할 수 있는 각 4.1 m×4.9 m×2.7 m의 항온항습실 2실을 사용하여 실험설정조건에 해당하는 외기온도(전실)와 실내온도(환경실험실)를 유지시켰다. 환경실험실의 기류속도는 그릴 및 망사로 이루어진 기류발생기를 통해 제어하였으며, 초음파 풍속계(일본 KAISO, Model WA-390)를 사용하여 실험 실시 전에 기류속도가 0.1 m/s 이하임을 확인하였다. Fig. 1 및 Table 1에 전실 및 환경실험실에서 생리신호 측정 및 항온항습기의 사양을 나타내었다.

2.2 실험기간 및 실험대상^(2,6)

피험자는 31명의 예비실험자 중 심전도 테스트를 합격한 건강한 남녀 대학생 12명(남자 6명, 여자 6명)을 선발하여 실시하였다. 심전도 측정의 정확성을 위하여 피험자의 건강상태 및 여성의 경우 생리주기 등을 고려하였고, 실험 전일부터 커피나 알코올 등 실험에 영향을 줄 수 있는 음

Table 1 Specification of the chamber

	Pretest room	Environmental chamber
Temperature range	10°C~35±1°C	18°C~40±1°C
Humidity range	30%~85±5%	30%~80±5%
Cooling capacity	15,000 W	9,500 W
Heating capacity	12,900 W	14,000 W
Humidifying capacity	4.8 L/h	8 L/h
Dehumidifying capacity		1.8 L/h

식물의 섭취, 흡연 등을 금지하도록 예비교육을 실시하였다. 피험자들은 모두 동일한 의복 열저항치를 가지도록 유니폼을 착용하였고, 의복량을 중량법으로 계산한 결과 남자 0.36 clo, 여자 0.51 clo가 되었다. 또한 피험자는 의자에 앉아서 가벼운 대화 혹은 설문지 작성을 하였기 때문에 대사량을 1.1 met로 가정하였다. 의복량의 단위인 clo는 피부 표면에서 의복 표면까지의 열저항값을(1 clo=0.155 m²C/W)을 의미하고, 대사량의 단위로서 met(1 met=58.2 W/m²)는 인체의 활동상태를 나타낸다. Table 2에 피험자의 신체적 특징을 나타내었다.

Table 2 Anthropometric data of the subjects

Subjects	Number of subjects	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Body area (m ²)
Male	6	25.0 ±0.4	173.1 ±4.5	68.6 ±3.2	1.8 ±0.1
Female	6	21.2 ±1.3	162.5 ±2.8	55.1 ±8.8	1.5 ±0.3

*Body area=71.46×Weight^{0.425}×Height^{0.725}

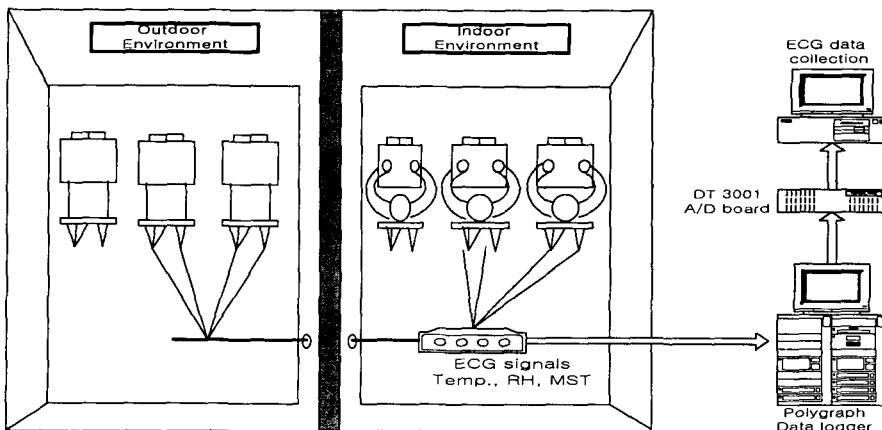


Fig. 1 Schematic of the chamber.

2.3 실험순서 및 방법

각 실험은 1회에 3명의 피험자가 참가하였고, 하루에 4회 실험을 실시하였다. 각 피험자들은 임의의 외기온도로 조절되고 있는 전실에 입실하여 40분간 체재하면서 그 환경에 적응하였다. 전실 입실 후 약 35분경 전실에서 심리신고 및 생리신호(심전도 : ECG), 피부온도(가슴, 팔, 다리), 안면부 열화상을 측정하였다. 그후 본 환경실험실에 입실시켜 입실 초기 및 그후 매 10분마다 총 60분 동안 심리신고, 생리신호, 피부온도 등을 측정하였다. 생리신호의 측정은 3명의 피험자 중 2인만 polygraph 장비를 이용하여 ECG를 측정하였고, 측정된 신호는 모니터와 기록지를 통해 출력함과 동시에 A/D 변환기를 통해 변환된 데이터를 PC에 저장하였다. 심전도는 R-peak를 가장 잘 표현하는 표준전극 유도법을 사용하여 측정하였고, 전극은 심전도용 표면전극을 사용하였다.

2.4 실험조건

외기온도 조건으로는 여름철의 낮 시간 동안 가장 일반적으로 나타나는 외기온도를 기준으로 하여 29℃, 31℃, 33℃를 선정하였다. 그리고 실내온도 조건은 각 외기온도 조건에 대해서 온도차(외기온도 - 실내온도)를 3℃, 5℃, 7℃가 되도록 설정하였다. 상대습도는 여름철에 일반적으로 나타나는 60~70%의 범위로 제어하였다. Table 3에 실험설정조건을 나타내었다.

2.5 설문내용

설문내용은 피험자가 실험설정조건에서 느끼는 심리적인 감각을 표현하기 위해 ASHRAE에서 규정한 전신은냉감 7단계 및 Tanabe가 사용한 쾌불쾌감 4단계법을 사용하였다.^(3,4) Fig. 2에 본 실험에서 사용한 설문내용의 척도를 나타내었다.

Comfort sensation vote						
0	1	2	3			
Comfortable	Slightly uncomfortable	Uncomfortable	Very uncomfortable			

Thermal sensation vote						
-3	-2	-1	0	1	2	3
Cold	Cool	Slightly cool	Neutral	Slightly warm	Warm	Hot

Fig. 2 Voting range of questionnaire.

2.6 생리신호 분석방법⁽⁷⁾

실내외의 온도차에 따른 인간의 자율신경계의 변화를 살펴보고자 심전도를 측정하고 HRV 분석을 하였다. HRV 분석은 심전도상의 R-R peak 간격을 동일간격의 시리드로 재구성하여 HRV 신호를 구성하고 이를 파워스펙트럼 분석을 통해 관찰하면 두 개의 특징점을 가지는 대역으로 나눌 수 있게 된다. 0.04~0.15 Hz의 주파수 대역을 가지는 LF(Low Frequency) 성분은 교감신경계의 활동과 혈압조절에 관계하는 압수용체 반사의 활동을 나타내고, 0.15~0.40 Hz의 주파수 대역을 가지는 HF(High Frequency) 성분은 부교감신경계의 활동과 호흡활동에 대한 정보를 가지는 것으로 알려져 있다.⁽⁵⁾ 교감신경계는 인체항상성(homeostasis)의 유지 및 위급상태(emergency) 때에 대비하여 여러 반응을 일으킨다. 따라서 HF/LF 수치값이 낮다는 사실은 인체가 외부환경에 대해 자극을 받고 불균형상태가 되었으므로 다시 정상상태로 유지하기 위해 교감신경이 작용한 것이라고 말할 수 있다. 따라서 이러한 교감신경과 부교감신경계의 우세 정도를 관찰하기 위하여 HF/LF 라는 파라미터를 추출하였다. 이 분석을 위해서는 정확한 R-peak의 검출이 우선적이다. R-peak 검출의 정확성을 높이기 위해서 샘플링 주파수를 512 Hz로 설정하였고 디지털 필터를 사용하여 노이즈 성분을 제거시켰다. 일련의 분석과정을 Fig. 3에 나타내었다.

Table 3 Setting conditions of experimental

Outdoor temp. (°C)	Indoor temp. (°C)		
	$\Delta T=3^{\circ}\text{C}$	$\Delta T=5^{\circ}\text{C}$	$\Delta T=7^{\circ}\text{C}$
29	26	24	22
31	28	26	24
33	30	28	26

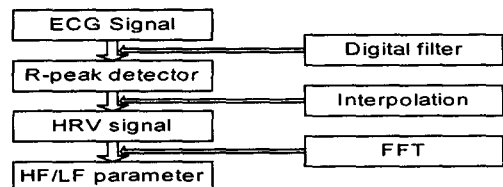


Fig. 3 Flow chart of HRV analysis.

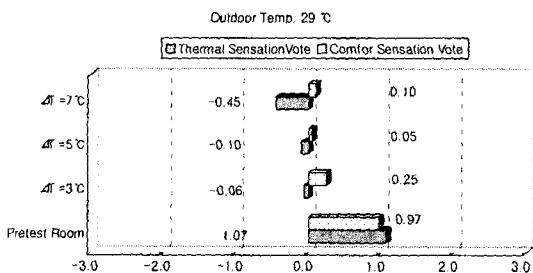
3. 실험결과

3.1 전신온냉감 및 쾌불쾌감

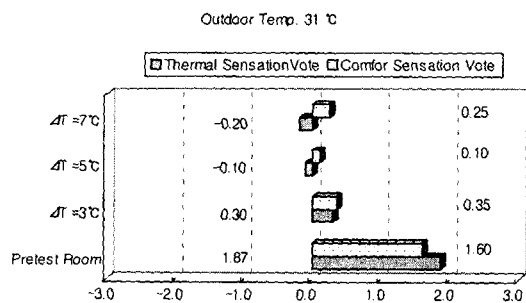
실외에서 실내로 입실한 후 초기 10분 동안 피험자의 심리반응인 전신온냉감 및 쾌불쾌감 신고 비교를 Fig. 4에 나타냈다. 심리반응 중 전신온냉감 측면에서 중립영역($-0.5 < TSV < +0.5$)을 신고한 외기온도 29℃, 31℃의 경우 세 가지 실내외 온도차 조건이 모두 포함되었고, 33℃의 경우는 실내외 온도차 5℃, 7℃가 포함되었다. 쾌불쾌

감 신고의 경우 모든 실험설정 조건에서 “쾌적하다”에서 “약간 불쾌하다” 범위의 신고를 하였다. 따라서 피험자의 심리반응(전신온냉감 및 쾌불쾌감)을 고려할 때 입실 초기에는 7℃까지 실내외 온도차를 허용할 수 있음을 알 수 있다.

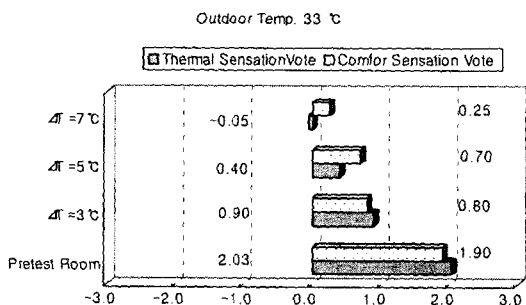
실내외 온도차에 따라 입실 후 피험자들이 시간의 경과에 따라 느끼는 전신온냉감 및 쾌불쾌감의 정서변화를 Fig. 5 및 Fig. 6에 나타내었다. 전신온냉감은 피험자의 신고가 시간의 흐름에 따라 중립범위($-0.5 < TSV < +0.5$)에 속하는가를 기준으로 판단하였다. 외기온도 29℃의 조건에서 실



(a) Outdoor temperature 29°C

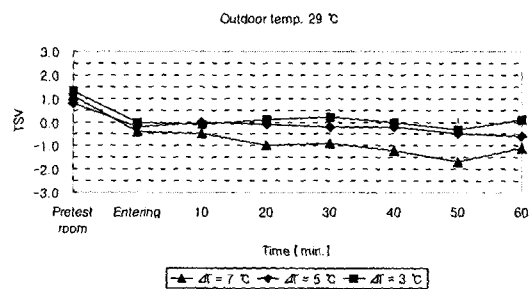


(b) Outdoor temperature 31°C

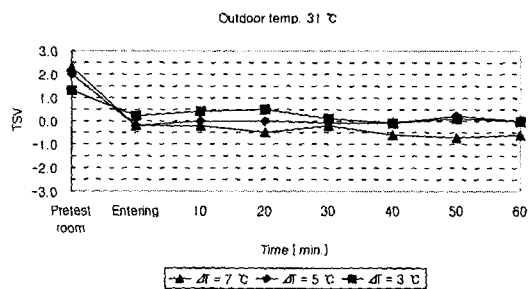


(c) Outdoor temperature 33°C

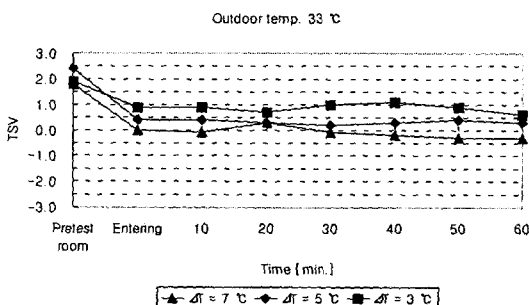
Fig. 4 TSV and CSV at each setting conditions.



(a) Outdoor temperature 29°C



(b) Outdoor temperature 31°C



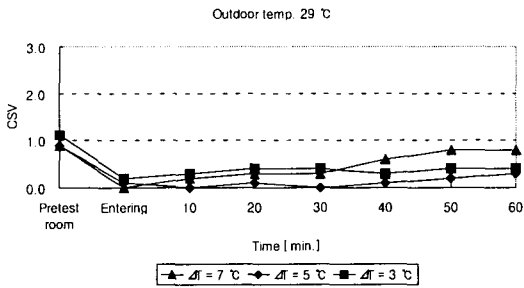
(c) Outdoor temperature 33°C

Fig. 5 TSV during the environmental period.

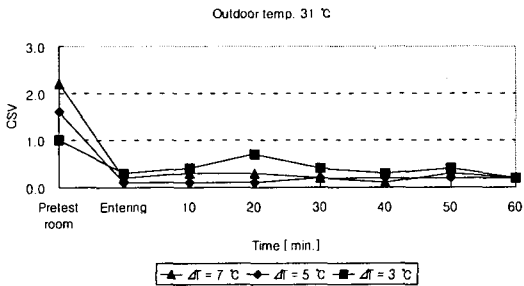
내온도 26℃에 해당하는 온도차 3℃의 경우는 실험시간 동안 모든 신고가 중립영역에 포함이 되었다. 그러나 실내온도 24℃에 해당하는 온도차 5℃의 경우는 50분 이후, 실내온도 22℃에 해당하는 온도차 7℃의 경우는 10분에서 20분 사이에 중립영역을 벗어나기 시작하였다. 외기온도 31℃의 경우 실내온도 28℃ 및 26℃에 해당하는 온도차 3℃ 및 5℃는 30분 이후 신고값이 중립으로 이행하였지만, 실내온도 24℃에 해당하는 온도차 7℃는 40분 이후 중립영역을 벗어나기 시작하였다. 외기온도 33℃의 경우는 실내온도 28℃ 및 26℃에 해당하는 온도차 5℃ 및 7℃는 중립영역에 속하였지만, 실내온도 30℃에 해당하는 온도

차 3℃는 실험시간 동안 중립범위를 벗어남을 알 수 있다.

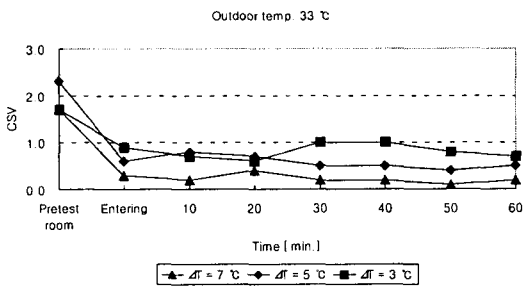
Fig. 6의 쾌불쾌감 경시변화 신고는 모든 설정 조건에서 “쾌적하다”에서 “약간 불쾌하다”를 신고하였다. 외기온도 29℃의 경우 실내온도 22℃에 해당하는 7℃ 차이는 30분 이후 “약간 불쾌하다”로 이동하였고, Fig. 5의 전신온냉감 경시변화로 부터 판단할 때 서늘함에 의한 불쾌감을 느끼기 시작한다고 판단할 수 있다. 외기온도 33℃의 경우 실내온도 30℃에 해당하는 3℃ 차이는 따뜻함에 의해 30분 이후 불쾌감을 신고하고 있음을 알 수 있다. 따라서 전신온냉감 측면에서 허용 가능한 실내외 온도차는 입실 초기와 시간의 경



(a) Outdoor temperature 29°C

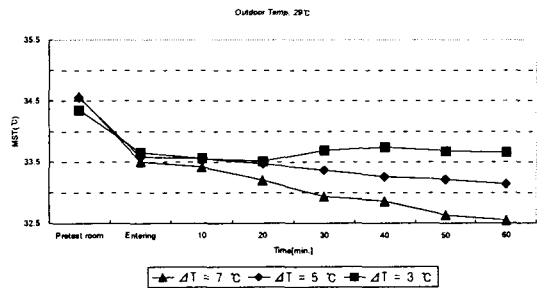


(b) Outdoor temperature 31°C

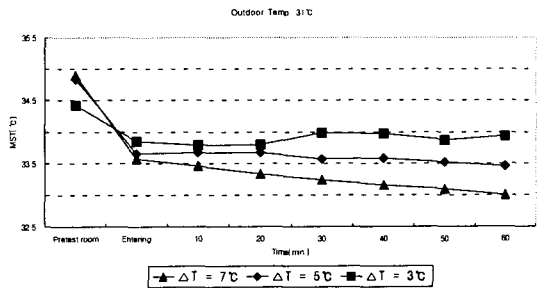


(c) Outdoor temperature 33°C

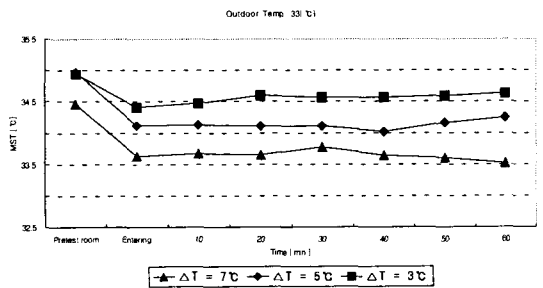
Fig. 6 CSV during the environmental period.



(a) Outdoor temperature 29°C



(b) Outdoor temperature 31°C



(c) Outdoor temperature 33°C

Fig. 7 MST during the environmental period.

과에 따라 차이가 있지만, 쾌불쾌감 측면에서는 차이가 적었다.

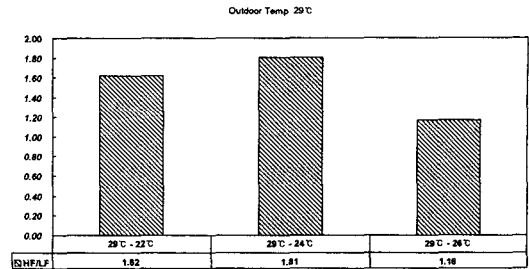
3.2 평균 피부온도의 경시변화

환경실험실 내의 주위공기와 인체 사이의 열교환량을 나타내는 피험자의 평균 피부온도 경시변화를 Fig. 7에 나타내었다.

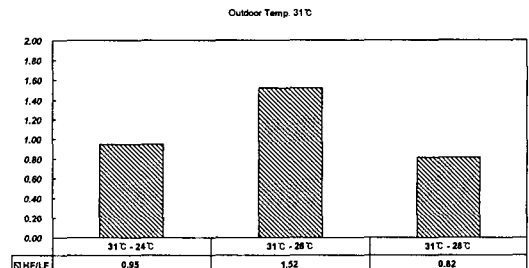
평균 피부온도 변화의 판단기준으로서 쾌적평균 피부온도로 알려진 범위(33~34℃)를 이용하였다.⁽²⁾ 외기온도 29℃의 경우 실내온도 22℃에 해당하는 온도차 7℃는 입실 이후 지속적으로 피부온도가 하강하여 20분에서 30분 사이에 쾌적피부온도 범위를 벗어나고 있고, 이 결과 전신온냉감 및 쾌불쾌감에 영향을 주었다고 판단된다. 실내온도 24℃에 해당하는 온도차 5℃는 지속적으로 하강하는 경향을 나타냈다. 외기온도 31℃의 경우는 3℃, 5℃, 7℃ 등 모든 온도차가 쾌적피부온도 범위에 포함되었지만, 실내온도 28℃에 해당하는 온도차 3℃의 경우는 입실 후 20분 이후 평균 피부온도가 상승하고, 실내온도 24℃에 해당하는 온도차 7℃의 경우는 평균 피부온도가 지속적으로 하강하는 경향을 나타냈다. 외기온도 33℃는 실내온도 26℃에 해당하는 온도차 7℃만이 쾌적평균 피부온도 범위에 포함되었다. 따라서 시간에 따른 평균 피부온도를 고려할 때 외기온도가 29℃에서 33℃의 경우 적절한 온도차는 실내온도가 26℃를 유지하는 경우임을 알 수 있다.

3.3 생리신호

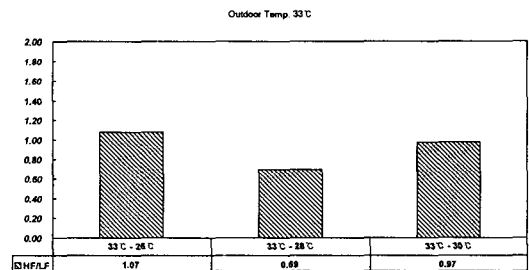
피험자의 주관반응과 생리적인 반응이 서로 밀접한 관련이 있는지를 알아보기 위해 생리신호 분석을 하였고, HRV 분석의 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 외기온도가 29℃로 설정된 경우 실내외 온도차가 5℃인 실내온도 24℃에서 가장 높은 HF/LF값이 나타났다. 외기환경의 온도가 31℃의 경우에도 역시 5℃의 실내외 온도차를 가지는 실내온도 26℃에서 가장 높은 HF/LF값이 나타났다. 외기환경의 온도가 33℃일 때는 앞의 경우와 달리 7℃의 실내외 온도차인 26℃의 실내온열환경에서 가장 큰 HF/LF값이 나타났다. 따라서 외기온도 29℃, 31℃ 조건에서 실내외 온도차가 5℃인 경우에 인체는 상대적으로 항상성을 유지하고 있다고 판단할 수 있다. 본 결과에 대한 분산



(a) Outdoor temperature 29°C



(b) Outdoor temperature 31°C



(c) Outdoor temperature 33°C

Fig. 8 Analysis results of HRV.

분석을 실시한 결과 Table 4와 같이 외기환경온도 31℃ 및 33℃에서 유의차를 나타냈다. 따라서 심리반응과 생리신호의 관련성을 고려한 결과, 피험자의 자율신경계 변화를 나타내는 ECG 분석을 통한 최적의 실내외 온도차(3~7℃)는 피험자의 심리반응 및 평균 피부온도 분석결과와 일치하였다. 다만 33℃ 조건의 경우 온도차 7℃에서

Table 4 Results in analysis of variance

Outdoor temp. (°C)	p=0.1	p=0.05
29	~	~
31	*	*
33	*	~

*: p=0.05 ~: Not significant

가장 높은 값이 나온 점은 냉방병 측면에서 추후 검토가 필요하다고 생각된다.

4. 결 론

실외에서 실내로 입실시 실내의 온도차에 따른 인체의 심리 및 생리적 특성을 정량적으로 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 연구의 경우 최적의 실내외 온도차는 피험자의 심리반응과 생리신호를 고려할 때 실내설정온도를 24~28℃를 유지하는 조건에서 5~7℃로 규명되었다. 그러나 에너지 절약의 관점에서 실내외 온도차를 5℃로 유지하는 것이 바람직하다.

(2) 실내외 온도차에 따른 쾌적성은 외기온도 조건보다 실내온도 및 시간에 영향을 받는다는 것을 알 수 있었고, 실내온도 26℃의 경우가 인체의 생리 및 심리적으로 가장 양호한 결과를 나타냈다.

(3) 외기온도 33℃ 조건의 경우 적절한 실내외 온도차가 실내온도 26℃에 해당하는 온도차 7℃로 나온 점은 냉방병 측면에서 추후 검토가 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1. Takahashi-Nishimura, M., Tochihara, Y. and Enomoto-Koshimizu, H., 1997, Effects of temperature differences between outdoor and indoor thermal conditions and of the length of staying, Summaries of Technical Papers of annual meeting Architectural Institute of Japan, pp. 391-394.
2. Kim, D.G., 1998, Studies on thermal comfort evaluation and corrections of comfort indices for koreans, Ph.D. thesis, Pukyong National University, Pusan, Korea.
3. Shin-ichi, T., 1998, Thermal comfort requirements in Japan, Ph.D. thesis, Waseda University, Tokyo, Japan.
4. ASHRAE, 1989, ASHRAE Handbook Fundamentals, pp. 8.1-8.29.
5. Bootsma, M., Swenne, C. A. and Van Bruschke, H., 1994, Heart rate and heart rate variability as indexes of sympathovagal balance, Am. J. Physiol., Vol. 226, pp. 1565-1571.
6. Bae, D. S., Lee, N. B., Kum, J. S., Choi, H. S., Kim, D. G. and Choi, K. H., 1999, Evaluation of thermal comfort on temperature differences between outdoor and indoor thermal conditions in summer, Proceeding of the Korean society for emotion and sensibility conference, pp. 169-173.
7. Im, J. J., Lee, N. B., Lee, K. H., Choi, H. S., Kum, J. S. and Bae, D. S., 2000, Physiological measures for evaluation thermal comfort, The 5th International Congress on Physiological Anthropology, The Korean Society of Living Environmental System, pp. 23-26.