

실내 상하온도차와 기류방식 제어에 따른 온열쾌적성 평가를 위한 생리신호분석

Evaluation of Thermal Comfort for the Vertical Room Air Temperature Difference and for the Control of Air Stream based on Physiological Signal Analysis

이낙범, 임재중*, 배동석**, 금중수**, 최호선***, 이구형***

N.B.Lee, J.J.Im*, D.S.Bae**, J.S.Kum**, H.S.Choi***, K.H.Lee***

요 약 온열쾌적함에 영향을 주는 중요한 요인들로는 온도, 습도, 기류 등의 물리적 요인과 성별이나 체질 등 뿐만 아니라 온열환경에서 느끼는 인간의 감성적인 측면도 요인으로 작용한다. 본 연구에서는 여러 가지 온열 환경 중에서 실내의 상하온도차와 기류방식의 제어에 따른 생체반응의 변화 및 감성의 변화를 관찰하여 온열환경에 따른 인간의 온열쾌적감을 평가하기 위해 생리신호를 측정, 분석하였다. 인간에게 가장 쾌적함을 주는 최적의 실내 상하온도차와 기류제어방식을 구현하기 위한 평가 방법으로 MST(mean skin temperature) 분석 및 HRV(heart rate variability) 분석과 EEG 주파수 스펙트럼 분석을 시행하였다. 그 결과 실내의 상하온도차는 23℃의 머리부위 온도에서 발 부위와의 온도차가 -3℃일 때 가장 쾌적한 조건으로 나타났고, 기류제어방식은 감성기류조건에서 가장 쾌적함을 보였다. 본 연구를 통해 실내의 상하온도차와 기류방식에 대한 온열환경의 쾌적조건을 설정하였고, HRV 분석과 EEG의 주파수 분석이 주관신호분석평가와 유의한 결과를 나타내어 이러한 생리신호의 분석이 인간의 감성적 측면을 고려한 온열쾌적성을 평가하는데 보다 객관적이고 신뢰성 있는 평가지표로 이용될 수 있음을 제시하였다

1. 서론

오래 전부터 온열환경에 기반하여 에너지 절약 및 쾌적한 공간조성을 위한 공조기술과 건축기술들이 연구되어 왔지만, 인간의 온열쾌적성과 관련해서는 단지

외부환경에 대한 보호적인 측면과 한서불쾌감을 제거하는 소극적 쾌적성에 대한 연구가 일반적이었다. 그러나 이러한 생활환경에서 생활하게 되는 인간의 감성에 대한 중요성 인식이 증가되면서, 최근에는 인간의 다양한 감성을 고려한 적극적 온열쾌적성에 대한 연구가 활발하게 진행되어지고 있다(1-2). ASHRAE(미국난방냉동공기조화학회)에서는 인간의 온열환경에 대한 감각인 온열쾌적성을 덤지도 춥지도 않은 열적 중립상태로 온열환경에 만족하는 마음의 상태라고 정의하고 있다. 온열환경에서 인간의 쾌적함에 영향을 주는 요인들은 온도, 습도, 기류, 방사온도 등의 물리적인 요인과 소음이나 조명, 날씨 등에 의한 환경적 요인뿐만 아니라 성별이나 연령, 체질, 심리상태 등을

* 본 연구비는 과학기술부 G7 감성공학과제의 연구비 지원을 받아 수행되었음. (과제번호 : 17-01-08)

** 인제대학교 의용공학과, 전북대학교 생체공학과*,
부경대학교 냉동공조공학과**, LG 전자***

주소 : (561-756) 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14
전북대학교 공과대학 생체공학과

TEL : 0652-270-4064

FAX : 0652-270-2247

E-mail : jjim@moak.chonbuk.ac.kr

고려한 개인적인 요인도 고려되어 진다[3-4]. 따라서 실내의 쾌적한 온열환경을 제시하기 위해서는 각 지역의 생활습관이나 문화적 특성에 맞는 적정 온도 및 습도, 기류에 대한 연구가 선행되어야 하며, 개인적인 특성을 고려한 인간의 감성 평가에 대한 연구가 함께 병행되어야 한다.

감성의 변화를 정량화하는 시도로서 생리신호를 이용하여 자율신경계의 활동을 관찰하고자 하는 연구가 진행되어 왔는데 교감신경과 부교감신경으로 나뉘어지는 자율신경계에 대한 정보는 심전도(ECG, electrocardiograph)상의 R-R peak의 간격을 시계열로 재구성하여 만들어진 HRV(heart rate variability) 파형을 주파수 분석하여 얻을 수 있게 된다. 즉, 부교감신경의 활동을 반영하는 HF(high frequency: 0.15-0.40Hz)와 교감신경의 활동을 반영하는 LF(low frequency: 0.04-0.15Hz)와 같은 특정 주파수 대역을 가지는 변수를 추출할 수 있게 되며, 이 변수들의 sympathovagal balance는 온열 환경에 따른 감성의 변화가 자율신경계의 활동에 변화를 주어 심전도 신호에 반영되어지므로 생체반응의 관찰에 유용한 정보를 지닌다(5-6). 이러한 HF와 LF의 상관성을 통한 HRV 분석은 감성의 평가에서뿐만 아니라 임상에서도 심장질환이나 정신질환 등의 판별을 위해 이용되어지고 있으며, 최근에는 감성의 변화 관찰에 더욱 적합한 분석을 위해 MF(mid frequency: 0.08-0.15Hz)의 영역으로 주파수 대역을 세분화하는 연구가 진행되어지고 있다(7). 또한, 감성의 변화를 정량화하는 또 하나의 시도로서 뇌파의 주파수 분석(power spectrum)에 대한 연구가 이미 많이 수행되어져 왔으며, 이러한 뇌파의 α 파와 β 파의 상관성을 관찰하면 온열환경에 따른 인간의 쾌적성을 평가하는 지표로 이용될 수 있다(8-9).

본 연구에서는 실내의 상하온도차 및 기류제어방식에 따른 온열환경을 실험조건으로 온열쾌적감을 평가하고자 실시하였다. 상하온도차 실험의 경우 실제환경하에서는 상하온도차가 발생 시 발부근의 기류속도가 증가하는 경우가 많아서 국소불쾌감으로 작용하게 된다[10]. 따라서 이러한 온열환경을 개선하고자 머리부위(바닥 위 1.1m)와 발부위(바닥 위 0.1m)의 온도차를 여러 가지 경우의 실험 조건으로 제시하였다. 기류제어 방식에 따른 실험의 경우는 에어컨을 통해서 제시되었고, 기존의 제품에 적용되어지고 있는 풍향변화기류와 풍량변화기류, 그리고 인간의 감성적 측면을 고려하여 새롭게 개발되어진 감성기류(sensible wind)를 실험 조건으로 제시하였다. 이러한 조건들에 따른 인간의 생

체반응 변화와 감성의 변화를 관찰하기 위해서 HRV 분석과 MST(mean skin temperature) 분석, EEG 주파수 스펙트럼 분석을 실시하였고 각 조건에서의 온열쾌적성을 평가하고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 겨울철 환경조건인 실내 상하온도차에 따른 온열쾌적감 평가 실험을 위하여 신체 질환이 없는 12명의 건강한 남녀대학생(남6, 여6)을 예비실험 및 교육을 통해 선정하였다. 그리고, 여름철 환경조건인 기류제어방식에 따른 온열쾌적감 평가 실험은 31명(남16, 여15)의 피험자를 선정하여 실험을 실시하였다. 본 연구는 온열에 밀접한 관계를 가지고 있으므로 여성의 생리주기를 고려하여 피험자를 선정하였으며, 실험 전일 흡연 및 커피, 음주를 금하게 하고 충분한 숙면을 취하도록 하여 실험에 영향을 끼치는 요인들을 제거하고자 하였다. 또한, 동일한 조건하에서의 실험을 위해 각각의 실험에 적합한 의복량을 통일하였다.

2.1. 실험조건

2.1.1. 실내 상하온도차

실내 상하온도차 조건은 실내온도의 상하분포를 머리부위(바닥으로부터 1.1m)를 따뜻하게 하고 발부위(바닥으로부터 0.1m)를 차갑게 하는 두열족한 조건과 이와 반대의 경우인 두한족열 조건을 가지도록 하였고, 각각의 조건에서 상하온도차는 현실적인 공조여건을 감안하여 상하온도 차이를 3℃차와 6℃차이로 두어 총 12가지의 상하온도차 조건을 설정하였으며 상세한 설정조건이 <표 1>에 나타나 있다. 이 때 습도는 30-40%로 유지하였고, 기류속도는 0.1m/s 이하가 되도록 유지하였다.

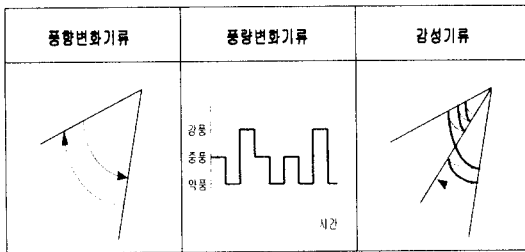
(표 1) 상하온도차 온열환경조건

	온도차 3℃	온도차 6℃
두열족한	23℃/20℃	23℃/17℃
	25℃/22℃	25℃/19℃
	27℃/24℃	27℃/21℃
두한족열	17℃/20℃	17℃/23℃
	20℃/23℃	20℃/26℃
	23℃/26℃	23℃/29℃

2.1.2. 기류제어방식

기류는 풍향변화기류, 풍량변화 기류, 감성기류의 세 가지로 구분하였으며 (그림 1)에 동작원리가 나타나 있다. 풍향변화기류는 에어컨에서 토출되는 기류의 풍량이 일정한 상태에서 상하 풍향조절기가 상하로 균일한 속도로 반복적으로 움직여 발생하는 기류를 말하고, 풍량변화기류는 상하풍향 조절장치를 일정하게 고정시킨 상태에서 강풍, 중풍, 약풍으로 풍량을 나누어 일정한 시간간격으로 토출되는 기류를 말한다. 감성기류는 상하 풍향조절기의 회전범위를 2등분하여 상부범위에서 3회, 하부범위에서 2회를 왕복하는 주기를 지나는 기류로서 토출되는 풍량은 일정하다. 이 때 상하풍향 조절장치가 위에서 아래방향으로 내려올 때는 올라갈 때에 비해 두배 빠르게 구동하였다. 그리고, 각 기류자극 제시 전의 온·습도 조건을 온도 30℃, 습도 65%로 설정하여 각 기류가 동일한 조건을 가지도록 하였으며, 실험시의 온습도 조건이 <표 2>에 요약되어 있다.

각각의 기류 순서는 시간에 따른 온냉감을 고려하여 무작위로 제시하였으며 생리신호를 측정하는 2분 동안 동작하도록 하였고, 생리신호 측정 후 주관 설문 실험을 실시하였다. 또한 이전 자극이 다음 자극에 미치는 영향을 배제하기 위해 기류자극간에 8분의 지연시간을 두었다.



(그림 1) 풍향 변화기류, 감성기류의 기류제어 방식 및 동작원리

2.2. 데이터수집

2.2.1. 실내 상하온도차

본 실험은 (그림 2)에 나타난 것처럼 상하온도차의 구현을 위해 향온습기 및 인버터를 이용하여 실험장치를 구성하였고, 피험자들은 전실에 30분간 체재한 후 실험실에 입실하여 60분 동안 실험에 참여하였다. 3인 1조로 실험실에 입실하였으며 두 명으

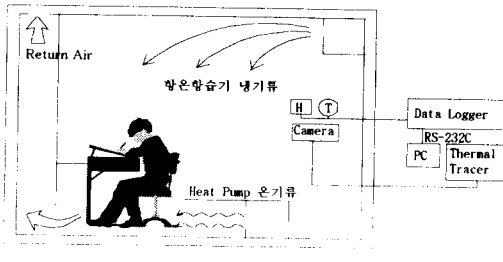
로부터 매 10분마다 2분 동안 ECG와 호흡을 측정하였고, 생리신호 측정 후 주관 설문 실험을 실시하였다. 생리신호는 polygraph(SAN-EI, polygraph 363)를 이용하여 ECG는 512Hz, 호흡은 128Hz의 샘플링 주파수로 ADC(analog-digital converter, DT3001)를 통해 변환한 후 PC에 저장하였다. 또한, 모든 피험자로부터 가슴과 팔, 다리의 세 부위에서 피부온도를 측정하여 PC에 30초 간격으로 자동으로 저장되도록 하였다.

(표 2) 기류제어방식 실험시 온습도 조건

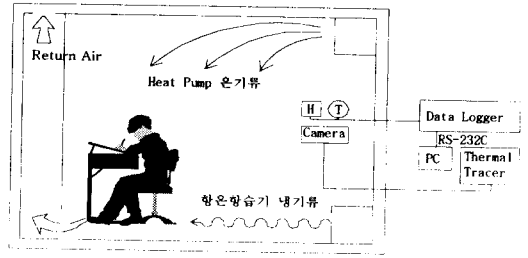
		온도(℃)	습도(%)
실험전		30.22	64.69
풍향변화기류	제시 전	30.03	57.50
	제시 후	26.17	62.39
풍량변화기류	제시 전	30.18	57.29
	제시 후	26.05	63.77
감성기류	제시 전	30.07	56.79
	제시 후	20.26	61.86

2.2.2. 기류제어방식

피험자들은 2인 1조로 에어컨이 가동되지 않는 전실 조건에서 30분, 에어컨을 동작한 후 각 기류마다 10분씩, 총 60분 동안 실험에 참가하였다. 실험 순서는 우선 전실 조건에서 30분을 대기한 후, 각 기류별로 동일 온도 하에서 2분 동안 10분 간격으로 풍향변화기류, 풍량변화기류, 감성기류 중 한가지를 무작위로 제시하였다. 기류가 제시되는 동안에는 ECG, EEG, EOG를 측정하였다. 생리신호는 polygraph(SAN-EI, polygraph 363)를 통해 기록지를 관찰함과 동시에 ECG는 512Hz, EEG는 256Hz의 샘플링 주파수로 ADC(DT3001)를 이용하여 변환, 저장하였다. 이때 심전도는 Lead I을 사용하였으며, 뇌파는 10/20 전극 시스템에 의해 C₂ 부위에서 단극 유도법으로 측정하였다. 측정이 끝난 후 주관 설문 실험을 실시하고 피험자의 열 화상을 측정하였다.



(a) 두한족열



(b) 두열족한

(그림 2) 실험시스템의 전체적인 구성

2.3. 데이터분석

2.3.1. HRV 스펙트럼

HRV 분석은 ECG 상의 R-R peak 간격을 새로운 시간축에 재배열하여 HRV를 구성하고 이에 대한 주파수 분석을 하여 두 가지의 특징점을 가지는 LF와 HF 대역으로 나눈다. 0.04-0.15Hz 대역의 LF 성분은 교감신경계의 활동과 혈압 조절에 관계하는 압수용체 반사의 활동을 나타내고, 0.15-0.4Hz 대역을 가지는 HF 성분은 부교감신경계의 활동과 호흡 활동에 대한 정보를 가지는 것으로 알려져 있다. 교감신경과 부교감신경의 우세정도를 나타내기 위해서 HF/LF라는 변수를 정의하고 이를 통해 인간의 감성을 분석하고자 하였다.

R peak 검출의 정확성을 높이기 위해 샘플링 주파수를 높게 설정하였고, 수집되어진 신호를 hanning window 기법을 이용한 1-80Hz의 신호만을 대역통과시키는 디지털 필터를 사용하여 동작잡음이나 기기 잡음, 전원잡음 같은 노이즈를 효과적으로 제거시켰다. 심전도 파형에서 나타나는 R peak를 검출하여 한 시점의 R peak와 다음 시점의 R peak간의 시간간격을 R-R interval series 알고리즘을 이용하여 동일한 시간간격을 갖는 새로운 형태의 시계열 데이터로 변환하여 HRV를 구성하였다. 하지만 2분 동안의 ECG 신호에서 검출되는 HRV는 데이터가 120-140회 정도로 주파수 영역에서의 해상도가 매우 낮아지기 때문에, 이를 보완하기 위해 보간법(interpolation)을 이용하여 샘플링 주파수를 10배 증가시켜 주었다. 이렇게 만들어진 HRV를 FFT를 이용하여 주파수 분석을 하였다. 이 분석을 위한 HRV 분석용 프로그램은 Labview 5.0 프로그램을 이용하여 데이터의 입

력에서부터 HF/LF 값의 출력까지의 전과정이 자동적으로 처리되도록 하였다.

2.3.2. EEG 주파수 스펙트럼

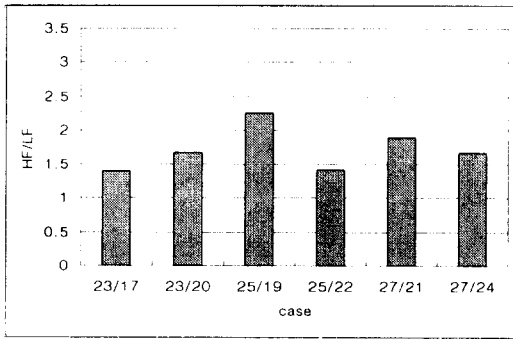
EEG 주파수 스펙트럼 분석은 EEG 신호를 0.1 - 30Hz의 대역통과 디지털 필터에 통과시켜 필터링 된 신호를 FFT 하여 주파수 스펙트럼을 살펴보고 대역별 주파수 구간을 선택하여 적분을 한 뒤 구간별 총합에 대한 α 파의 상대적인 값을 살펴보았다. 각 주파수 대역은 δ 파(0.1-4Hz), θ 파(4-8Hz), α 파(8-13Hz), β 파(13-30Hz)로 구분하였다. 이 분석 또한 직접 제작한 프로그램을 이용해 전과정을 자동화하였으며 분석 프로그램은 Labview 5.0 프로그램을 이용하였다.

2.3.3. MST(평균피부온도)

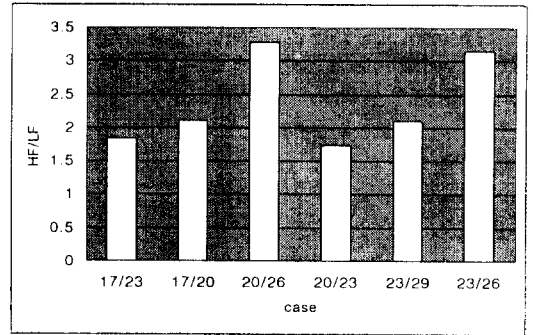
피부온도는 주위환경 온도에 의해 직접적으로 결정되는 것이 아니라 말초의 혈액 순환량에 의해 주로 결정된다. 즉 피부온도는 주로 혈액에 의해 심부로부터 피부로 운반되는 열량에 의해 결정되어지고 신체부위에 따라 다르므로 인체의 열평형을 논의할 때는 MST를 이용하여 인간과 주위환경 사이의 열교환량을 결정한다. MST는 여러 곳의 피부온도를 측정한 후 그 부위의 중량비 및 면적비를 적용하여 산출하는데 실내 상하온도차 실험에서 측정되어진 피부온도에서 MST를 구하기 위해 다음과 같은 Burton의 방정식을 이용하여 측정 부위의 중량비 및 면적비를 가중치로 환산하여 MST를 계산하였다.

$$\bar{t}_s = 0.5t_{sk}(\text{chest}) + 0.14t_{sk}(\text{arm}) + 0.36t_{sk}(\text{thigh})$$

* t_{sk} : 피부표면온도(°C)

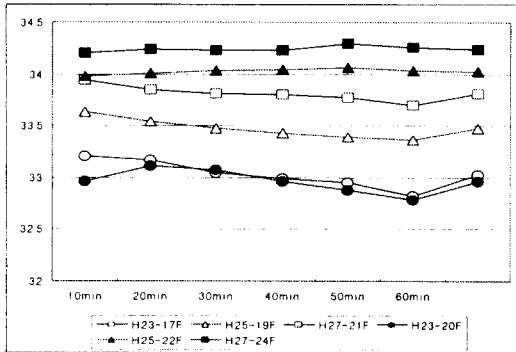


(a) 두열제한

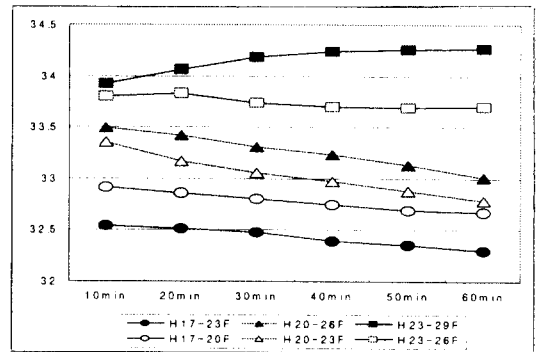


(b) 두한제한

(그림 3) 상하 온도차 HRV 분석결과



(a) 두열제한



(b) 두한제한

(그림 4) 상하온도차 MST 분석결과

3. 결과

3.1. 실내 상하온도차

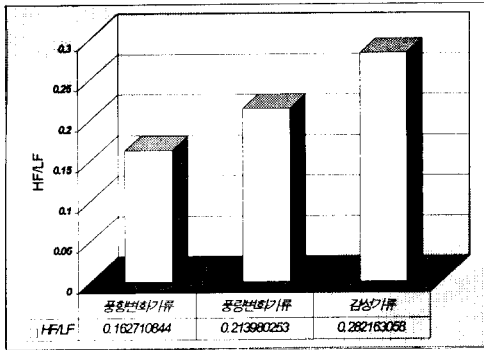
실내 상하온도차에 따른 HRV 분석에서 HF/LF 변수의 변화에 대한 비교가 (그림 3)에 나타나 있으며, 두한제한의 경우가 두열제한의 경우에 비해 높은 HF/LF 값을 보임을 알 수 있다. 두열제한 조건에서는 상하온도차가 3°C차의 경우와 6°C차의 경우에서 큰 차이가 나타나지 않고 있으며, 두한제한 조건에서는, 6°C차의 경우에는 머리부위 온도가 20°C일 때와 3°C 차의 경우에는 머리 부위의 온도가 23°C일 때 큰 HF/LF 값을 나타내고 있다. 또한, MST 분석결과가 (그림 4)에 나타나 있는데 두열제한 조건에서는 머리부위의 온도가 25°C이고 발부위의 온도가 22°C인

경우에 MST가 중립영역인 34°C를 유지하고 있으며, 발부위의 온도가 20°C 이하인 경우는 MST가 하강하는 추세를 보이고 있다. 두한제한 조건에서는 머리부위의 온도가 23°C일 때 발부위의 온도가 26°C와 29°C인 경우 MST가 중립영역을 유지하고 있음을 알 수 있다.

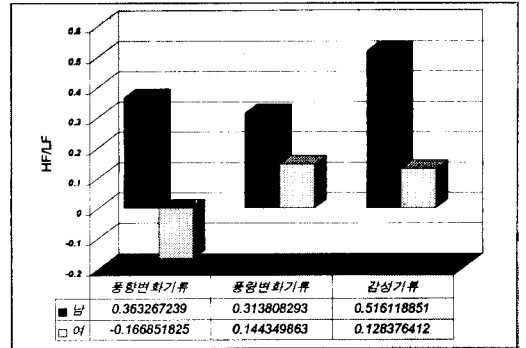
3.2. 기류속도제어

각 기류별로 남자 14명과 여자 14명의 데이터를 분석에 사용하였으며 기류가 없을 때의 작용을 고려하여 HRV 데이터를 다음 식을 이용하여 정규화시켰고, 그 결과가 (그림 5)에 나타나 있다.

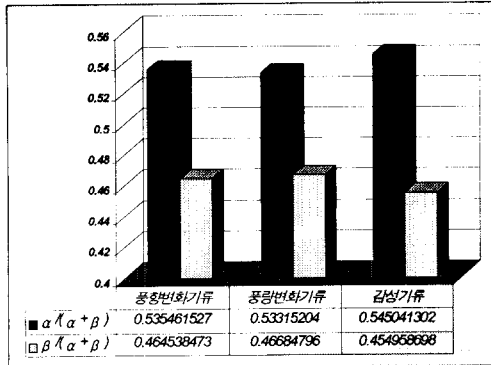
$$Normalizing = \frac{\text{자극시 } HF/LF - \text{무자극시 } HF/LF}{\text{무자극시 } HF/LF}$$



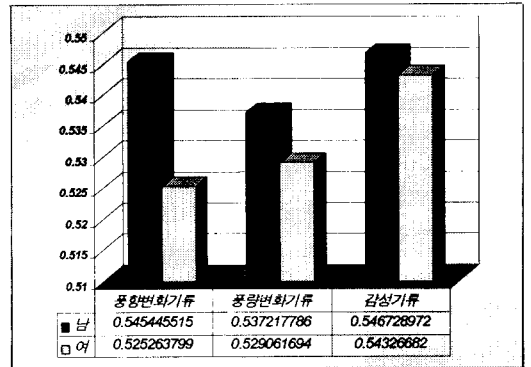
(그림 5) Normalize된 HRV 분석결과



(그림 6) 성별에 따른 HRV 분석결과



(그림 7) 각 기류조건에서의 EEG의 α 파 및 β 파 비율



(그림 8) 각 기류조건에서의 성별에 따른 EEG의 β 파에 대한 α 의 비율

HRV 분석결과에서 나타난 전체 피험자에 대한 HF/LF 값을 정규화 한 결과 세 가지 기류 모두에서 무자극시의 경우보다 HF/LF 값이 크게 나타났고, 감성기류가 풍향변화 기류나 풍량변화 기류보다 HF/LF 값이 크게 나타났다. 성별 차이에 따른 비교 분석결과는 (그림 6)에 나타나 있으며, 전체적으로 남성이 여성에 비해 HF/LF 값이 높게 나타났다. 여성의 경우는 풍량변화 기류가 감성기류에 비해 약간 높은 HF/LF 값을 보였고, 남성의 경우는 감성기류가 타 기류에 비해 월등히 높은 HF/LF 값을 보였다.

EEG 주파수 분석에는 31명의 데이터가 사용되었으며, 2분 동안의 데이터 중에서 자극특성을 고려하여 기류자극 후 30초 동안의 데이터를 분석하였다. (그림 7)은 전체 피험자의 α 파와 β 파의 상대적인 비율을 비교한 것이며, 분석결과 α 파가 β 파보다 매우 높은 비율을 보이고 있음을 알 수 있었다. 성별에 따른 분석결과는 (그림 8)에 나타나 있듯이 남성의 경우가

여성의 경우에 비하여 β 파에 대한 α 파의 상대적인 비율이 전반적으로 크게 나타났다. 그리고 여성의 경우는 감성기류에서 남성의 경우는 감성기류와 풍향변화 기류에서 높은 α 파 비율을 나타내었다.

<표 3>에 HRV 분석결과와 EEG 주파수분석결과를 통해, 각 기류조건들 사이에 나타난 HF/LF 값과 $\alpha / (\alpha + \beta)$ 값들의 t-test결과를 나타내었다.

(표 4) 각 기류조건들에 대한 t-test결과

	HRV	풍향변화기류	풍량변화기류	감성기류
EEG				
풍향변화기류			0.030*	0.013*
풍량변화기류		0.382		0.036*
감성기류		0.096	0.038*	

* $P < 0.05$

4. 토의 및 결론

실내 상하온도차 실험의 경우 HRV 분석에서 전반적으로 두열족한의 경우보다 두한족열의 경우에 더욱 쾌적한 조건으로 나타났다. 두한족열의 경우에는 머리부위의 온도가 25℃일 때 가장 쾌적한 상태를 나타냈으며, 두한족열의 경우에는 겨울철이라는 실험조건상 머리부위의 온도가 17℃일때는 20℃일때에 비해서 쾌적함을 주지 못하는 조건으로 나타났다. 그러나, 머리부위 온도를 20℃로 하더라도 다리 온도가 23℃로 큰 차이가 없게되면 역시 쾌적하지 못한 것으로 나타났다. 즉, 상하온도차는 HRV 분석과 MST 분석을 종합해 볼 때 3℃차의 경우가 6℃차의 경우보다 조금 더 쾌적한 환경으로 나타났다. 특히 두한족열의 경우 머리부위 온도가 23℃일 때 발부위 온도가 26℃인 조건이 가장 쾌적하게 나타났다.

기류제어방식 실험에서는 HRV 분석결과 자극으로 제시한 세가지 기류 모두가 기류 자극이 없을 때보다 HF/LF 성분이 높게 나타나 교감신경의 활동에 비해 부교감 신경의 활동이 크게 작용했음을 알 수 있었다. 따라서 이 기류들이 무자극시 보다 쾌적한 조건을 제시하는 기류들임을 알 수 있었고, 특히 제시된 기류자극 중에서 감성 기류가 가장 쾌적한 온열 조건을 제공함을 알 수 있었다. EEG 주파수 분석결과는 β 파에 대한 α 파의 비율이 각 기류자극별로 큰 차이를 나타내지는 못하였지만 제시되었던 다른 기류에 비해 감성기류가 상대적으로 값이 크게 나타나 가장 편안함을 주는 것으로 평가되었다. 그리고 유의성 검정 결과는 풍량변화 기류와 감성기류 사이에서만 유의한 차를 보였는데 이는 개인적인 편차가 다소 존재한다고 해석될 수 있을 것이다. 성별에 따른 분석결과에서는 HRV 분석과 EEG 주파수 분석에서 남녀별로 다소 차이는 있으나 전체적으로 감성기류가 타 기류에 비해 가장 쾌적함과 편안함을 주는 기류로 평가되었다. 또한 풍향변화 기류에 대해서는 남성의 경우에는 쾌적함을 느끼는 반면, 여성의 경우는 반대의 경향을 보여, 남성과 여성의 차이가 크게 나타났다. 그 결과 이러한 온열 쾌적감의 평가에 있어서 성별에 따라 다소 차이를 보이므로 성별이나 체질 등의 개인적인 특성을 고려한 분석도 필요하다고 생각되어진다.

결론적으로 본 실험들의 결과를 통해 조금 더 나은 온열쾌적성을 제공할 수 있는 실내 상하온도차와 기류방식을 제시할 수 있었고, 이러한 HRV 분석과 MST 분석, EEG 주파수 분석이 서로 유의한 결과를 나타냄으로써, 온열감성의 평가에 있어 객관적인 평가방법

으로 적용되어질 수 있음을 보였다. 인간의 온열환경에 대한 쾌적감을 평가하기 위한 방법으로 기류를 포함한 온도 및 습도 등의 여러 가지 조건들에 대한 실험을 실시하고, 호흡과 GSR 등의 다양한 생리신호의 측정과 동시에 온열환경의 분석에 적합한 알고리즘의 개발을 병행한다면, 보다 객관적이고 신뢰성 높은 평가 기준을 제시함으로써 인간에게 최적의 온열환경을 제공하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] P.O.Fanger(1970), *Thermal Comfort-Analysis and Applications in Environmental Engineering*, McGraw-Hill Book Company
- [2] 금종수, 윤정인, 최광환(1998), 건축환경공학, 시그마프레스
- [3] ASHRAE(1992), Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55
- [4] 김동규(1998), 한국인의 온열쾌적감 평가 및 쾌적지표의 적용성에 관한 연구, 부경대 냉동 공학과 박사학위 논문, pp.14-42
- [5] Narendra Singh, Dmitry Mironov, Paul W.A.(1996), Heart Rate Variability Assessment Early After Acute Myocardial Infarction, American Heart Association, Vol. 93, No. 7, pp.1388-1395
- [6] Glenn A., Myers G., Martin J.(1986), Power Spectral Analysis of Heart Rate Variability in Sudden Cardiac Death - Comparison to Other Methods, IEEE Transactions on biomedical engineering, Vol. 33, No. 12, pp.1149-1156
- [7] Kunsoo Shin(1995), The Study on Power Spectral Analysis of Heart Rate Variability for Assessment of Autonomic Functions in Cardiovascular Control, Ph. D. Dissertation, Institute of Biomedical Engineering, Keio University, Japan
- [8] R.Cooper, J.W.Osselton, J.C.Shaw (1980), *EEG Technology*, Butterworths
- [9] Paul Ekman, Wallace V. Friesen, Richard J. Davidson(1990), Emotional

Expression and Brain Physiology II,
Journal of Personality and Social
Psychology. Vol. 58, No. 2,
pp.342-353

- [10] Kazuaki BOHGAKI, Nozomu IMA-
GAWA, Hiroyasu ITOH(1990). The
effects of vertical air temperature
differences on thermal comfort and
physiological response, Journal of
Archit. Plann. Environ. Eng. AIJ., No.
417, pp.31-42
- [11] Jorn Toftum., Anette S. Jorgensen.,
P.O. Fanger.(1998), Upper limits for
indoor air humidity to avoid
uncomfortably humid skin, Elsevier,
Energy and Buildings, Vol. 28, pp.1-13

Evaluation of Thermal Comfort for the Vertical Room Air Temperature Difference and for the Control of Air Stream based on Physiological Signal Analysis

N.B.Lee, J.J.Im*, D.S.Bae**, J.S.Kum**, H.S.Choi***, K.H.Lee***

Dept. of Biomedical Eng., Inje Univ.

*Dept. of Bionics and Biomedical Eng., Chonbuk National Univ.

**Dept. of Refrigeration and Air-Conditioning Eng., Pukyong National Univ.

***LG Electronics Inc.

Key words : thermal comfort, temperature difference, air stream, EEG, MST, HRV spectrum

Abstract Important factors which affect sense of thermal comfort are not only physical factors(temperature, humidity, air stream, etc.) and personal difference factors(age, sex, physiological constitution, etc.), but also emotion and sensibility in the thermal environment. Purpose of this study was to evaluate thermal comfort for the vertical room air temperature difference and for the control of air stream based on the physiological reaction and emotional changes. MST(mean skin temperature), HRV(heart rate variability), and EEG were analyzed to establish an algorithm for the most comfort thermal environment of vertical room air temperature difference and air stream. As results, in the experiment of the vertical difference of room temperature, it was found that air temperature difference of -3°C from head to foots at 23°C around head was the most comfort condition. Also, in the experiment of air stream, it was found that the sensible wind provided the most comfort thermal condition. Moreover, parameters of HRV and EEG analysis showed the significant relationship with the results of thermal sensation vote. It was concluded that physiological signal analysis with considering human emotion and sensibility could be used as an objective and reliable indicator for the evaluation of thermal comfort.