

기류속도 변화에 따른 온열쾌적성 평가를 위한 HRV 분석

이낙범¹, 배동석², 임재중³, 이기섭⁴, 금종수², 이구형⁴,
 인제대학교 의용공학과¹, 부경대학교 냉동공조공학과²,
 전북대학교 생체공학과³, LG 전자⁴

Evaluation of Thermal Comfort on Air Flow Velocity Changes using HRV Analysis

Nak B. Lee¹, Dong S. Bae², Jae J. Im³, Gi S. Lee⁴, Jong S. Kum², Koo H. Lee⁴,
 Dept. of Biomedical Eng., Inje Univ.¹
 Dept. of Refrigeration & Air-conditioning Eng., Pukyong National Univ.²
 Dept. of Biomedical & Bionics Eng., Chonbuk National Univ.³
 LG Electronics Inc.⁴

요 약

사회와 생활수준의 발달로 인간은 자연환경하에서의 생활보다 인공적 환경하에서의 생활이 증가하게 되었다. 따라서 인간은 쾌적한 생활공간을 요구하게 되었고 이를 위한 온열환경에 대한 연구가 진행되어져 왔다. 이러한 생활공간에서의 쾌적한 온열환경에 영향을 주는 물리적 요인으로는 온도와 습도 그리고 기류 등이 있다. 또한 온열환경에 대한 인간의 감성적 측면도 쾌적한 온열환경을 결정하는데 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 겨울철 대류난방시 인간에게 가장 쾌적한 환경을 제시할 수 있는 기류속도의 범위를 찾고, 이를 평가하는데 객관적인 지표를 설정하기 위해 온도에 따른 기류조건을 제시하고, HRV 분석을 통하여 인체의 자율신경계의 변화를 관찰하였다.

실험결과 18℃, 21℃, 24℃ 각각의 온도에서 draft를 초래하지 않는 0.15m/sec의 기류속도일 때 가장 높은 MF/(LF+HF) 값을 보여 쾌적한 기류조건으로 나타났고 이는 쾌불쾌감신호(CSV)와 동일한 결과를 나타내었다. 이러한 심전도 신호를 통한 HRV 분석은 기류조건에 따른 온열쾌적성의 평가에도 객관적이고 신뢰성 있는 지표로 제시될 수 있을 것이다. 또한 다른 환경하에서의 감성평가 척도로도 이용될 수 있을 것이라고 생각되어진다.

서 론

생활수준이 향상됨에 따라 종래에는 제품이나 환경, 시설이 있다는 사실만으로 만족하던 것이 이제는 제품이나 환경의 질을 따지게 되었고 이것이 인간이 사용하기에 편리하고 쾌적한 것이 되기를 원하게 되었다. 그렇다면 우리는 어떠한 것이 인간에게 쾌적한가, 가장 쾌적한 제품과 환경을 제공하려면 어떻게 해야 하는가의 의문들을 가지게 되었으며, 이러한 의문들을 풀어가기 위한 방법으로 인간의 감성을 평가하려는 연구들이 활발히 진행되었다.

인간의 감성은 내적, 외적 자극을 통합하여 지각되는 정서상태로서, 개인에 따라 차이가 다양하며, 주관적이면서도 역동적인 특성을 갖고 있다. 이러한 내적, 외적 자극에 대한 어떠한 감성을 느끼게 되면 이에 의해 신체 생리적 변화를 겪게 된다. 모든 심리과정이 그러하듯이 감성상태 또한 두뇌 활동의 산물이며 감성은 주위의 환경의 변화에 따라 유발된다. 감성 특유의 생리 과정은 복합적인 무조건 반사와 조건 반사를 포함하고 있으며, 조건 반사는 대뇌피질에서, 복합적인 무조건반사는 피질하부 중추를 중심으로 일어난다. 인간의 경우는 그 반응이 단순하지 않아 개인의 문화적, 사회적 경험 등에 의해 다르게 나타날 수도 있는 특징을 가지고 있다.

여러 가지의 환경조건 중에서도 사람의 온열감각은 주변환경으로부터 여러 가지 요인

에 의해 영향을 받는다. 그러나, 일반적으로 환경측 4요소(공기온도, 상대습도, 기류속도, 방사온도)와 인간측 2요소(대사량, 착의량)의 영향이 크다고 알려져 있다. 이중 기류속도는 온도와 더불어 온열쾌적성에 매우 큰 영향을 미치는 요소이며, 기류의 증가는 draft를 발생시키기 때문에 기류조건 설정은 매우 중요하다.

온열쾌적감을 관찰하기 위해서는 여러 가지 온도 조건 및 기류조건 뿐만 아니라 연령, 성별, 심리상태 등의 개인적인 요소도 매우 중요한 역할을 하고 있다. 즉 온열환경 조건에 따른 인간의 감성적인 변화를 관찰하는 것이 온열쾌적성을 평가하는데 좋은 방법이라고 할 수 있다.

현재 이러한 온열쾌적성이라는 감성평가에 주관설문평가 등의 여러 가지 방법이 이용되어지고 있으며, 인체의 자율신경계의 변화를 관찰하여 인간의 감성평가에 적용하려는 연구가 시도되어지고 있다. 자율신경계는 교감신경과 부교감신경으로 나누어지는데 교감신경은 인체의 항상성을 조절하는 기능을 하며 부교감신경이 흥분하면 심박수가 증가하고 혈압이 상승한다. 부교감신경은 반대로 내부장기의 기능을 조절하여 원활한 기능을 유지시키는 기능을 한다.

자율신경계의 활동을 관찰하기 위한 방법으로 여러 가지 방법이 연구되어지고 있다. 그 중에서 HRV 분석은 심장의 동방결절(S-A node)의 부교감신경의 활동으로부터 교감신경의 활동을 분류하는데 도움을 준다. HRV 스펙트럼을 관찰하면 0.04~0.15Hz의 주파수 성분을 가지는 LF(Low Frequency) 성분과 0.15~0.50Hz의 주파수 성분을 가지는 HF(High Frequency) 성분으로 두 개의 특징점을 가지는 대역으로 나눌 수 있다. LF 성분은 교감신경계의 활동을 잘 나타내고, HF 성분은 부교감신경계의 활동을 잘 반영하는 것으로 알려져 있으며 최근에는 0.08~0.15Hz의 성분을 가지는 MF(Mid Frequency)성분에 대한 연구도 진행되어지고 있다.

HRV 분석은 감성의 평가뿐 아니라 임상에서는 오래 전부터 사용되어져 왔으며, 심근 경색, 출혈성 심장 질환, 마취 정도의 판단 등에 이용되어지고, 최근에는 우울증 또는 공포증 등의 정신적 질환의 특성화에도 사용되고 있다. 그리고, 온열조건 변화는

자율신경계의 활동에 변화를 주며 이는 또 심전도 등의 신호에 반영되므로 HRV분석을 통해서 온열쾌적감을 평가할 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 겨울철 대류난방시 온열환경 조건에 따른 인간의 온열쾌적성 평가를 위해 온도에 따라 각기 다른 기류를 제시하여 기류속도의 쾌적범위를 찾아내고, HRV 분석을 통한 인체의 자율신경계의 변화를 관찰하여 기류조건에 따른 온열쾌적성을 평가하고자 하였다

실험 방법

본 연구의 실험에서는 신체적 질환이 없는 건강한 21세~25세의 남녀 대학생 8명(남자 4명, 여자 4명)이 참석하였으며, 이들은 예비 실험 및 교육을 통해 선정되었다. 피험자들은 본 연구의 실험 프로토콜에 의해 통제되어 실험기간 중에 생리기간이 있는 여성은 제외되었으며 실험 시 피험자의 의복 착의량을 통일시켰다. 또한 실험 기간 중에는 일정한 생활리듬을 유지하도록 하고 커피나 알코올, 자극적인 음식의 섭취를 금하도록 하였고, 흡연을 못하게 하여 실험에 영향을 주는 요소들을 제거하고자 하였다.

실험은 2인이 1조가 되어 총 4개조로 구성되었고, 하루에 4개조씩 9일 동안 실험을 실시하였다. 피험자는 일정한 온도(18~20℃)로 유지되는 대기실에서 30분간 대기하면서 충분한 안정을 취한 후 실험실에 입실하여 60분간 실험을 실시하였다. 실험실의 모든 벽과 천정, 바닥은 단열재로서 충분히 단열을 하여 벽면의 온도와 실내온도가 거의 같도록 하였다. 실험 조건은 실내온도를 겨울 난방시 조건을 고려하여 난방 최저 수준인 18℃와 21℃, 24℃ 3 가지 조건을 설정하였고, 기류는 일반적으로 기류감을 거의 느끼지 못하는 수준인 0.15m/sec와 기류감이 느껴지는 0.3m/sec, 0.45m/sec로 설정하였다.

생리신호의 측정에는 심전도 신호를 실험 시작전 2분간 1회를 측정하고 10분 간격으로 2분 동안 계속 측정하였으며, 생리신호 측정 후 설문지 평가를 실시하고 열화상을 촬영하였다. 심전도 신호는 Polygraph 장비를 통해 측정되었고 측정된 신호는 512Hz로 샘플링되어 A/D보드를 통해 분석용 컴퓨터에 저장하였다. 심전도 측정법은 표준 전극 유도법

으로 침두치의 절대값의 크기를 가장 크게 나타낼 수 있는 Lead II를 사용하였으며, 전극은 움직임에 의한 잡음을 최소화하기 위해 비분극형 표면전극인 Ag-AgCl을 사용하여 측정하였다. 전체적인 실험장면을 <그림 1>



그림 1. 실험실 구성 및 실험장면에 나타내었다.

데이터 분석

HRV 분석은 심전도에서 나타나는 파형에서 우선한 시점의 R-peak와 다음 시점의 R-peak 간의 시간간격을 시간축에 재배열하여 HR 데이터를 구성하고 이에 대한 주파수 분석을 수행하였다. 수집된 심전도 데이터를 디지털 필터를 이용하여 호흡과 피험자의 움직임에 의한 심전도의 기저선(baseline)을 움직임을 초래할 수 있는 1Hz이하의 성분과 전극이 위치해 있는 곳의 우리가 원하지 않는 근전도 등의 잡음을 제거하기 위해 80Hz 이상의 신호들은 필터링되어 신호의 S/N비를 높였다. 이 필터에서는 hanning 윈도우를 사용하였고 필터의 계수 200으로 정하였다. 필터링된 신호에서 문턱치 값을 이용하여 R-peak를 검출하고 한 시점의 R-peak와 다음 시점의 R-peak까지의 시간간격을 구하여 R-R interval series를 구성하고 이를 동일시간 간격으로 새로운 시간축에 HR 데이터를 재구성하였다. 이 때 2분 동안의 R-peak의 수는 약 120회에서 140회 정도이므로 주파수 분석을 하기에는 데이터 수가 부족하기 때문에 보간법(interpolation)을 이용하여 샘플링 주파수를 10배 증가 시켰다.

이렇게 얻어진 HRV 파형으로부터 power

spectrum 분석을 위해 FFT를 통하여 최종적인 HRV 스펙트럼을 구성하였다. 여기서 LF(0.05~0.15Hz) 성분과 MF(0.08~0.15Hz) 성분, 그리고 HF(0.15~0.50Hz) 성분을 추출하였다. 부교감 신경계의 활동을 잘 반영한다는 MF성분을 이용한 MF/(LF+HF) 값을 통해 자율신경계의 변화 중에서 부교감 신경의 활동을 중심으로 관찰하였다. 이와 같은 일련의 분석과정을 <그림 2>에 나타내었다.

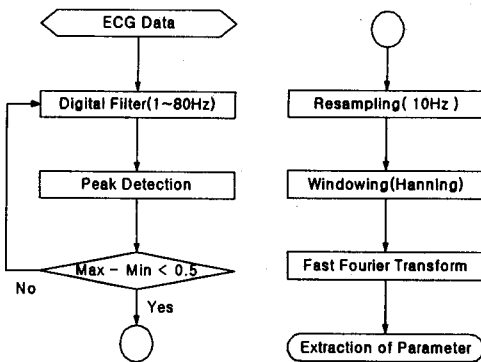


그림 2. HRV 분석 block diagram

분석 결과

개인별로 시간에 대한 HRV 분석결과를 살펴보면 MF/(LF+HF) 값의 변화는 <그림 3>와 같이 피검자가 휴지기 상태에서 기류 자극을 받았을 때 기류 변화의 영향은 시작 후 20분 동안 가장 많은 변화를 보였으며 시간이 경과할수록 인체의 항상성으로 인한 자율신경계의 적응이 관찰되어 휴지기 상태로의 복귀현상이 나타났다. 따라서 본 연구에서는 자극제시 후 초기 20분까지의 데이터를 이용하여 분석을 실시하였다. 또한 결과의 비교에 신뢰성을 두기 위해 각각의 결과값을 기류자극이 없는 실험 전 상태에 대한 비교값으로 정규화하였다.

각각의 자극제시 온도에서 기류변화에 따른 MF/(LF+HF) 값을 살펴보았다. <그림 4>에서 보듯이 실내온도가 18℃일 때 기류속도가 증가함에 따라 MF/(LF+HF) 값이 크게 감소하고 있음을 알 수 있다. 실내온도가 21℃와 24℃의 경우도 마찬가지로 기류속

도가 증가하면 MF/(LF+HF) 값은 감소하였고 <그림5, 6>에 나타내었다.

<그림 7>에서 각 기류별로 나타나는 결과값을 살펴보면 동일 기류시는 온도가 24℃에서 가장 높은 MF/(LF+HF) 값을 나타내고 다음은 21℃, 18℃의 순으로 나타나고 있다. 그리고 기류속도는 0.15m/sec일 때가 가장 높은 MF/(LF+HF) 값을 나타내고 있다. 특히 기류속도가 0.45m/sec가 되면 MF/(LF+HF) 값이 급격히 낮아진다.

본 실험 각각의 온도와 기류속도에 대한 결과 값들과 주관 설문 신고를 통한 쾌적쾌감 분석결과와의 유의성 검증을 실시한 결과를 <표 1>에 나타내었다. 이 결과 각 온도와 기류에서 HRV 분석은 쾌적쾌감 신고결과와 매우 높은 신뢰성을 보였다

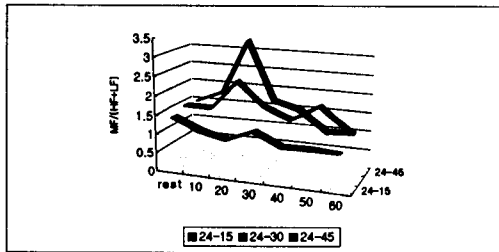


그림 3. 시간경과에 따른 MF/(HF+LF) 값 변화

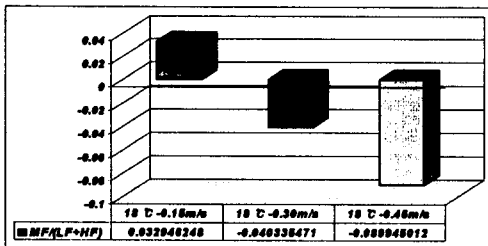


그림 4. 18℃에서 기류변화에 따른 MF/(LF+HF) 값

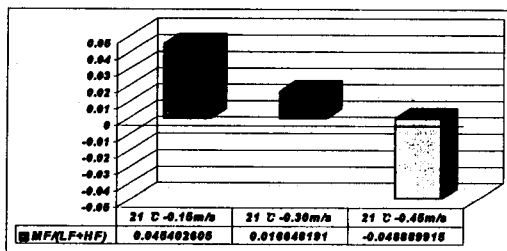


그림 5. 21℃에서 기류변화에 따른 MF/(LF+HF) 값

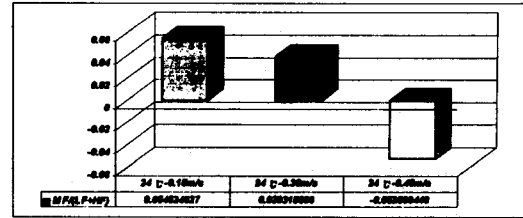


그림 6. 24℃에서 기류변화에 따른 MF/(LF+HF) 값

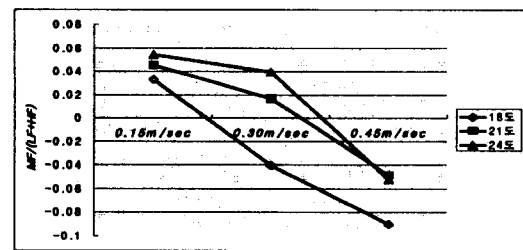


그림 7. 기류별 MF/(LF+HF) 값

온도 \ 기류속도	18도	21도	24도
0.15m/sec	0.007***	0.049**	0.003***
0.30m/sec	0.012**	0.074*	0.019**
0.45m/sec	0.003***	0.178	0.353

표 13. HRV와 CSV간의 t-test 결과
* p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01

결과 및 고찰

기류의 속도에 따른 HRV분석을 실시한 결과 MF/(LF+HF) 값이 각각의 온도에서 0.15m/sec일 때 가장 높게 나타나 본 실험의 경우에서 가장 쾌적한 조건으로 나타났다. 실험결과에서 겨울철 대류난방시 기류속도가 0.15m/sec 이상일 때는 드래프트가 발생하여 불쾌한 자극이 됨을 알 수 있었다. 또한 온도별 비교에서는 24℃의 경우가 전체적으로 가장 쾌적한 조건으로 나타났다. 추가적인 온도조건을 설정하여 실험한다면 쾌적한 기류조건에 맞는 적정온도 영역을 찾을 수 있을 것이라 생각된다.

MF/(LF+HF) 값을 이용한 HRV 분석결과

가 설문조사에 의한 쾌불쾌감신고의 결과와 동일하게 나타났다. 이는 기류속도에 따른 온열쾌적성을 평가하는데 있어 객관적인 지표로 이용될 것이라고 생각한다. 또한 이러한 생리신호분석을 통한 쾌적성 평가를 정량화 한다면 다른 모든 감성평가에 적용할 수 있을 것이고, 또한 제품개발 등의 여러 가지 분야에 응용할 수 있을 것이라고 생각되어진다.

참고 문헌

1) Kunsoo shin, "The Study on Power Spectral Analysis of Heart Rate Variability for Assessment of Autonomic

Functions in Cardiovascular Control", Institute of Biomedical Engineering Keio Univ., 1995

2) 여형석, "Sympathectomy 및 Vagotomy 에 따른 자율신경계 변화의 관찰을 위한 HRV 스펙트럼 분석", 인제대학교 의용공학과 석사학위논문, 1997

3) P. O. Fanger, "Thermal Comfort, Danish Technical Press", 1970

4) 興水知 ら, "室内等温變動氣流の體感効果に關する研究", 日本空氣調和・衛生工學會學術講演概集 pp.1257-1260, 1990.10

5) 木村建一 ら, "夏季の通風・室内氣流が體感に及ぼす影響に關する研究", 日本建築學會大會學術講演概集 pp.337-338, 1985-87