

생리신호 분석을 통한 감성기류의 온열쾌적성 평가

이낙범*, 임재중**, 금종수***, 임금식****, 최호선****, 이구형****

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

Evaluation of Thermal Comfort for the Sensible Wind based on HRV & EEG Spectrum Analysis

Nak-Bum Lee*, Jae Joong Im**, Jong-Soo Kum***, Keum-Sik Im****, Ho-Seon Choi****, Koo-Hyoung Lee****

Dept. of Biomedical Engineering, Inje Univ.*
Dept. of Bionics & Biomedical Engineering, Chonbuk Univ.**
Dept. of Refrigeration and Air-Conditioning Eng., Pukyung Univ.**
LG Electronics Inc.****

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

요 약

최근 온열 환경에서 인간의 쾌적함에 대한 관심이 커지고 있다. 온열쾌적감에 영향을 주는 요인들로는 온도, 습도, 기류 등의 물리적 요인과 성별이나 체질 등의 개인적인 요인들 뿐만 아니라 온열환경에서 느끼는 인간의 감성적인 측면도 요인으로 작용하게 된다. 본 연구에서는 여러가지 온열 환경 중에서 기류환경에 따른 인간의 온열 쾌적감을 평가하기 위해 생체반응의 변화 및 감성의 변화에 따른 생리신호를 분석을 통해 살펴보았다. 기류환경은 기존에 사용되고 있는 풍향변화기류 및 풍량변화기류와 새롭게 개발되어진 감성기류의 3가지 기류 조건을 제시하였고, 이에 따른 인체의 자율신경계의 반응과 감성 상태를 관찰하기 위해 심전도(ECG)와 뇌파(EEG)를 측정하여 HRV(Heart Rate Variability) 분석과 EEG 주파수 스펙트럼 분석을 시행하였다. 생리신호 분석결과 심전도의 HRV 분석에서는 감성기류가 풍향변화기류와 풍속변화기류에 비해 HF/LF 비가 높게 나타났고, 뇌파의 주파수 스펙트럼 분석에서도 β 파에 대한 α 파의 상대 전력비가 감성기류에서 높게 나타나 감성기류가 제시된 다른 기류인 풍향변화기류나 풍속변화기류에 비해 쾌적한 온열환경 제시를 위한 기류조건이라고 평가되었다.

결론적으로 심전도의 HRV 분석과 뇌파의 주파수 분석이 제시된 기류환경의 온열쾌적감 평가에서 서로 유의한 결과를 나타냄으로써, 이들 생리신호의 분석이 온열환경에 따른 인간의 감성 변화를 객관적으로 나타내고 온열 쾌적감을 평가하는데 있어 유용한 정보가 될 수 있음을 제시하였다.

서 론

현대에 들어서 인간이 실내의 환경에서 생활하는 시간의 비율이 외부의 환경에서 생활하는 시간의 비율보다 훨씬 많아졌다. 따라서 건강의 유지나 일의 효율적인 측면에서 볼 때 쾌적한 실내환경이 중요한 역할을 하게 되어 점차 쾌적한 실내의 온열환경에 대한 관심도가 높아졌다. 근래에는 단순히 더위나 추위에 대한 보호적인 측면을 넘어서 인간에게 쾌적감을 줄 수 있는 실내 온열환경에 대한 많은 연구들이 수행되고 있다.

온열환경에서 인간의 쾌적감에 영향을 주는 요인들은 온도, 습도, 기류 등의 물리적인 요인뿐만 아니라 성별이나 체질, 심리상태를 고려한 개인적인 요인도 고려되어 진다. 실내의 쾌적한 온열환경을 제시하기 위해서

는 한국인의 특성에 맞는 적정 온도에 대한 연구뿐만 아니라 기류조건에 대한 연구도 선행되어야 할 것이다. 또한, 개인적인 특성을 고려한 인간의 감성에 대한 연구가 함께 병행되어야 한다.

감성의 변화를 정량화하는 시도로써 자율신경계의 활동을 관찰하고자 하는 연구가 진행되어 왔다. 자율신경계는 교감신경과 부교감신경으로 나뉘어지는데, 교감신경은 신체의 항상성을 조절하는 기능을 하며, 교감신경이 흥분하면 심박동 수가 빨라지고 근수축력이 증가하며 혈압을 상승시킨다. 부교감신경은 교감신경과 길항작용을 하며 내부장기의 기능을 조절하여 원활한 기능을 유지시키고 심박수를 감소시킨다. 이와 같은 정보는 심전도(ECG)상의 R-R peak의 간격을 시계열로 재구성하여 만들어진 HRV(Heart Rate Variability) 파형을 주파수 분석하여 얻을 수 있게 된다. 즉, 부교감신경의 활동에 관계하는 HF(High Frequency)와 교감신경의 활동에 관계하는 LF(Low Frequency)와 같은 특성 주파수 대역을 가지는 변수를 추출할 수 있게 되며, 이 변수들은 온열환경에 따른 생체반응의 관찰에 유용한 정보를 지닌다.

감성의 변화를 정량화 하는 또 하나의 시도로써 뇌파(EEG)의 주파수 분석에 대한 연구가 이미 많이 수행되어져 왔다. 뇌파는 0.1Hz에서 30Hz 정도의 주파수 특성을 가지며 이는 각각의 주파수에 따라 δ 파(0.1-4Hz), θ 파(4-8Hz), α 파(8-13Hz), β 파(13-30Hz)로 세분화되어질 수 있다. α 파는 정상 성인의 안정 및 각성상태에서 잘 나타나며, β 파는 불안, 긴장 등의 정신활동 및 자극, 통증 등의 흥분에 의해 나타난다. 이러한 뇌파의 α 파와 β 파의 상관성을 관찰하면 온열환경에 따른 인간의 쾌적성을 평가하는 지표로 이용될 수 있다.

본 연구에서는 온열 쾌적감에 영향을 미치는 요인들 중에서 기류환경을 실험조건으로 선택하여 기존의 제품에 적용되어지고 있는 풍향변화-기류와 풍량변화 기류, 그리고 인간의 감성적 측면을 고려하여 새롭게 개발되어진 감성기류(Sensible wind)에 따른 생체반응의 변화와 감성의 변화를 HRV 분석과 EEG 주파수 스펙트럼 분석을 통해 살펴보고 이들 기류들의 온열 쾌적성을 평가하고자 하였다.

실험 방법

1. 실험 대상 및 일시

피험자는 신체의 질환이 없는 건강한 남녀 대학생 31명을 예비 실험 및 교육을 통해 선정하여 98년 7월 14일부터 19일까지 부경대학교 건축환경설비 실험실에서 실험을 실시하였다. 본 실험이 온열에 관계되는 실험임을 고려해 실험 기간 중에 생리 기간이 있는 여성을 선정대상에서 제외하였다. 실험 당일에는 흡연 및 커피, 알코올 복용을 금지하였고, 또한 동일한 조건에서의 실험

을 위해 의복 착용량을 통일하였다.

2. 실험 방법

본 실험의 전체 구성도는 <그림 1>에 나타내었다. 피험자들은 2인 1조로 에어컨이 가동되지 않는 전실 조건에서 30분, 에어컨을 동작 시 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 풍향변화 기류, 풍량변화 기류, 감성기류 중 한가지를 무작위로 제시하였다.

측정되어진 생리신호는 Polygraph(SAN-EI, polygraph 363) 장비를 통해 심전도 1채널, 뇌파 1채널을 측정하였다. 측정된 데이터는 각각 512Hz, 256Hz의 샘플링 주파수로 A/D 보드(DT-3001)를 통해 변환된 후, 컴퓨터에

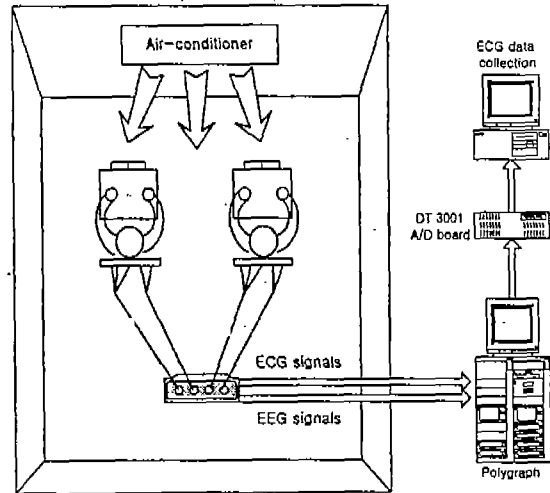


그림 1. 전체 실험 구성도

저장하고 동시에 기록지를 통해 관찰하였다.

여기서 심전도는 표준전극 유도법(리드 I)을 사용하여 표면전극을 통해 측정하였고 뇌파는 10/20 전극 시스템에 의해 C_z 지점을 단극 유도법으로 측정하였다. 그리고 본 실험에서의 온도 및 습도 조건은 <표 1>에 나타내었다.

표 1. 실험 시 평균온도 및 습도조건

		온도(°C)	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	26.26	61.86

3. 실험 조건

본 실험에 사용되어진 기류는 풍향변화 기류, 풍량변화 기류, 감성기류의 세가지로 각각의 기류에 대한 동작원리는 <그림 2>에 나타내었다.

풍향변화 기류는 에어컨에서 토출되는 기류의 풍량이 일정한 상태에서 상하 풍향조절기가 상하로 균일한 속도로 반복적으로 움직여 발생하는 기류를 말하고, 풍량변화 기류는 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 기류로써 토출되는 풍량은 일정하다. 이 때 상하풍향 조절장치가 위에서 아래방향으로 내려올 때는 올라갈 때에 비해 두배 빠르게 구동하였다.

각각의 기류 순서는 시간에 따른 온냉감을 고려하여

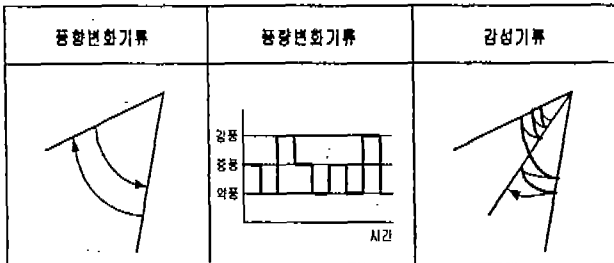


그림 2. 기류의 종류 및 동작특성

무작위로 제시하였으며 생리신호를 측정하는 2분 동안만 동작하도록 하였다. 실험 중 동일한 온도와 습도조건을 유지하기 위해 한가지 기류자극 제시 후 다음 기류자극 제시까지 8분 동안의 지연시간을 두었다.

데이터 분석

HRV 분석

HRV 분석은 심전도상의 R-R peak 간격을 새로운 시간축에 재배열하여 HRV를 구성하고 이를 주파수 분석을 한다. HRV의 스펙트럼을 살펴보면 크게 두가지의 특징점을 가지는 LF와 HF 대역으로 나뉘어진다. 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. 이러한 HRV 분석을 효과적으

로 수행하기 위해서는 정확한 R peak 검출 방법이 매우 중요하다.

<그림 3>에서 보는 바와 같이 R peak 검출의 정확성을 높이기 위해 샘플링 주파수를 높게 설정하였고, 수집되어진 신호를 hanning window 기법을 이용한 1-80Hz의 신호만을 대역통과 시키는 디지털 필터를 사용하여 동작 잡음이나 기기잡음, 전원잡음 같은 노이즈를 효과적으로 제거시켰다. 심전도 파형에서 나타나는 R peak를 검출하여 한 시점의 R peak와 다음 시점의 R peak 간의 시간간격을 R-R interval series 알고리즘을 이용하여 동일한 시간간격을 갖는 새로운 형태의 시계열 데이터로 변환하여 HRV를 구성하였다. 하지만 2분 동안의 심전도 신호에서 검출되는 HRV는 데이터가 120-140회 정도로 주파수 영역에서의 해상도가 매우 낮아지기 때

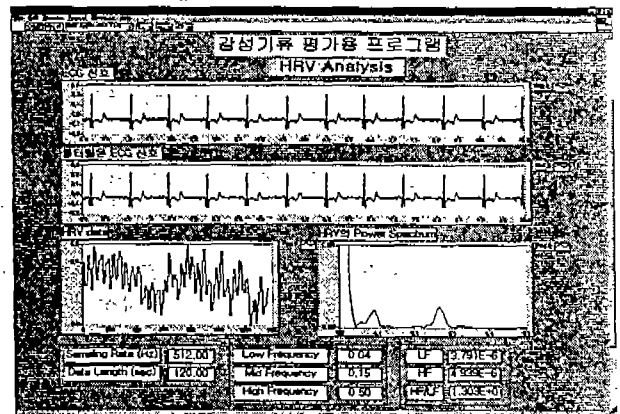


그림 3. HRV 분석 프로그램

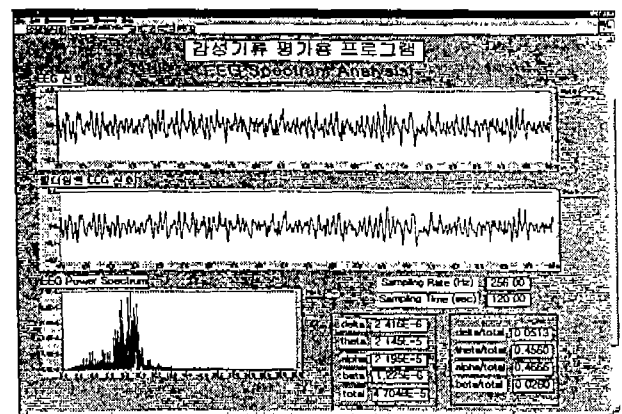


그림 4. EEG 주파수분석 프로그램

문에, 이를 보완하기 위해 Interpolation(보간법)을 이용하여 샘플링 주파수를 10배 증가시켜 주었다. 이렇게 만들어진 HRV를 FFT를 이용하여 주파수 분석을 하였다.

이 분석을 위해 HRV 분석용 프로그램은 Labview 5.0 프로그램을 이용하여 데이터의 입력에서부터 HF/LF 값의 출력까지의 전과정이 자동적으로 처리되도록 하였다.

EEG 주파수 스펙트럼 분석

뇌파의 주파수 스펙트럼 분석은 <그림 4>와 같이 뇌파 신호를 0.1- 30Hz의 대역통과 디지털 필터에 통과시켰다. 필터링된 신호를 FFT 하여 주파수 스펙트럼을 살펴 보고 대역별 주파수 구간을 선택하여 적분을 한 뒤 구간별 총합에 대한 α 파의 상대적인 값을 살펴 보았다. 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 자동화 하였으며 분석 프로그램은 Labview 5.0 프로그램을 이용하였다.

결 과

각 기류별로 분석한 결과 31명의 피험자 중에서 심전도 파형 이상으로 인해 분석이 불가능한 2명과, HRV 분석결과에서 1명의 HF/LF 값이 평균 값의 3배 이상의 수치를 보여 예러치리를 하였다. 따라서 남자 14명과 여자 14명의 데이터를 분석에 사용하였다.

기류가 없을 때의 작용을 고려하여 HRV 데이터를 다음 식을 이용하여 Normalize 시켜 보았고 그 결과는 <그림 5>에 나타내었다.

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

HRV 분석결과에서 나타난 전체 피험자에 대한 HF/LF 값의 평균 및 표준편차는 0.965 ± 0.043 이었으며, Normalize 한 결과 세가지 기류 모두에서 무자극시의 경우보다 HF/LF 값이 크게 나타났고, 감성기류가 풍향변화 기류나 풍량변화 기류보다 HF/LF 값이 크게 나타났.

성별 차이에 따른 비교 분석결과를 <그림 6>에 나타내었다. 전체적으로 남성이 여성에 비해 HF/LF 값이 높게 나타났으며 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>에 전체 피험자의 α 파와 β 파의 상대적인 비율을 비교해 놓았다. 분석 결과 α 파가 β 파보다 매우 높은 비율을 보이고 있다. 그리고 감성기류와 풍향변화 기류가

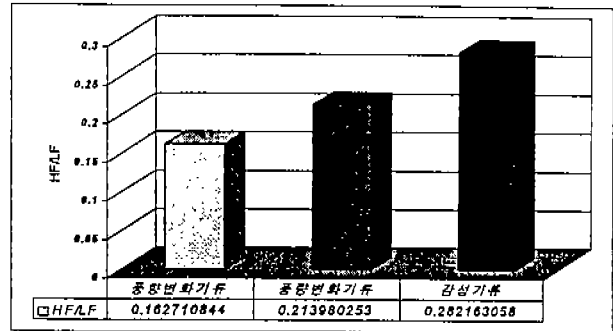


그림 5. Normalize 된 HRV 분석결과

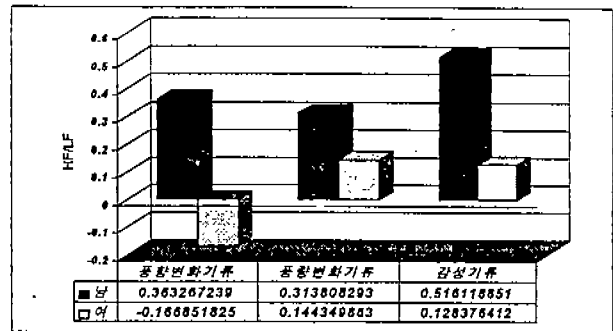


그림 6. 성별에 따른 HRV 분석결과

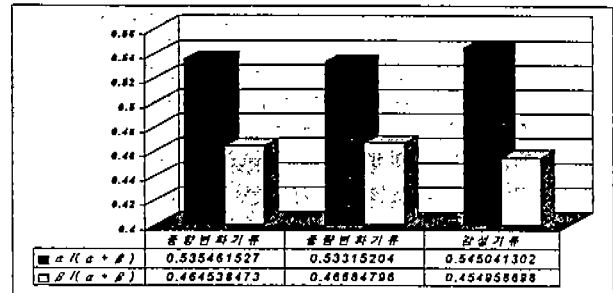


그림 7. EEG 주파수 분석결과

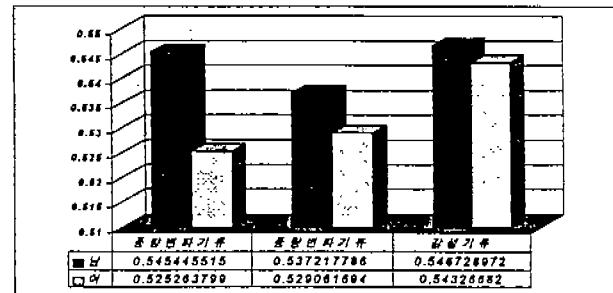


그림 8. 성별에 따른 EEG 주파수 분석결과

비슷한 값을 나타내고 있다.

성별에 따른 분석결과는 <그림 8>에 나타내었다. 여기에서는 남성의 경우가 여성의 경우에 비해 α 파가 β 파에 대한 상대적인 비율이 전반적으로 크게 나타났다. 그리고 여성의 경우는 감성기류에서 남성의 경우는 감성기류와 풍향변화 기류에서 높은 α 파 비율을 나타내었다.

통계학적인 유의성 검정(t-test)을 실시한 결과 α 파에서 풍향변화 기류와 감성기류가 $p < 0.05$ 인 0.038256의 값을 보였다.

결론 및 토의

본 연구는 기류패턴에 따른 온열 쾌적감을 평가하기 위한 방법으로 기류에 따른 뇌파와 심전도를 측정하고 HRV 분석과 EEG 주파수 분석을 실시하였다.

HRV 분석결과 자극으로 제시한 3가지 기류 모두가 기류 자극이 없을 때 보다는 HF/LF 성분이 높게 나타나 교감신경의 활동에 비해 부교감 신경의 활동이 크게 작용 했음을 알 수 있었다. 따라서 이 기류들이 무자극 시 보다는 쾌적한 조건을 제시하는 기류들임을 알 수 있었고, 특히 감성 기류가 제시된 기류자극 중에서 가장 쾌적한 온열 조건임을 알 수 있었다.

EEG 주파수 분석결과는 β 파에 대한 α 파의 비율이 각 기류자극별로 큰 차이를 나타내지는 못하였지만 감성기류가 제시되어진 다른 기류에 비해 상대적으로 값이 크게 나타나 가장 편안함을 주는 것으로 평가되었다. 그리고 유의성 검정결과는 풍향변화 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 보임으로 해서 성별이나 체질 등의 개인적인 특성을 고려한 분석도 필요하다고 생각되어진다.

결론적으로 감성기류가 제시된 다른 기류에 비해 쾌적하고 편안한 온열환경을 제시하는데 가장 적합한 기류로 평가되었고, 이러한 HRV 분석과 EEG 주파수 분석이 서로 유의한 결과를 나타냄으로써, 온열감성의 평가에 있어 객관적인 평가방법으로 적용되어질 수 있음을 보였다.

인간의 온열환경에 대한 쾌적감을 평가하기 위한 방법으로 기류를 포함한 온도 및 습도 등의 여러가지 조건들에 대한 실험을 실시하고, 호흡이나 GSR 등의 다양

한 생리신호의 측정과 동시에 온열환경의 분석에 적합한 알고리즘의 개발이 병행 된다면, 보다 객관적이고 신뢰성 높은 평가 기준을 제시함으로써 인간에게 최적의 온열환경을 제공하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. 中山昭雄, "온열 생리학", 理工學社, 1987.
2. 금종수, "온열쾌적감 측정기술 및 DB 개발", 감성공학 기술개발 1 단계 연구결과 발표자료집, pp 81-90.
3. 김동규, "한국인의 온열쾌적감 평가 및 쾌적지표의 적용성에 관한 연구", 부경대학교 냉동공학과 박사학위 논문, 1998.
4. Enomoto-Koshimizu, Takahashi-Nishimura, Tochiara, "Effects of Temperature Differences between Outdoor and Indoor Thermal Condition and of the Length of Staying Times on Physiological and Psychological Responses of Human", 일본건축학회 학술대회학술강연경개집, pp 391-394, 1997.
5. 여형석, "Sympsectomy 및 Vagotomy 에 따른 자율신경계 변화의 관찰을 위한 HRV 스펙트럼 분석", 인제대학교 의용공학과 석사학위논문, 1997.
6. Bootsma, M.C.A.Swenne, H.H.Van Brusckhe. "Heart rate variability as indexes of sympathovagal balance", Am.J.Physiol.226, pp 1565-1751, 1994.
7. R.Cooper, J.W.Osselton, J.C.Shaw, "EEG Technology", Butterworths, 1980.
8. Paul Ekman, Wallace V. Friesen, Richard J. Davidson, "Emotional Expression and Brain Physiology II", Journal of Personality and Social Psychology. Vol 58. NO 2., pp 342-353, 1990.
9. 최현배, 김동규, 임재중, 금종수, 이구형, 최호선, "온열쾌적감 평가를 위한 생리신호의 분석", 한국감성과학회 연차학술대회논문집, 1997.