에어컨 장시간 운전시 온열쾌적감 평가에 관한 연구

The Analysis for Thermal Comfort Evaluation during long time operating Air Conditioner

김 동 규* 박 종 일** 김 세 환***
Kim, Dong-Gyu Park, Jong-Il Kim, Se-Hwan

Abstract

Using air conditioner has been increased in home or office buildings in summer. Also various problems related to air conditioning such as disease induction happened by using air conditioner excessively and operating long. Active operation control is needed for occupant's health when air conditioner operates long. We should think ahead to acquire thermal comfort of occupants which represents psychological and physiological reaction for this operation. Research has been progressed to observe activity of autonomic nervous system by trying to quantitate change of thermal comfort. In this study, questions of the subject and change of body's autonomic nervous system were chosen to evaluate thermal comfort during operation of air conditioner for a long time. Electrocardiogram and questions of the subject which is the progress of changing TSV and CSV by occupants indoor were measured when room air conditioner is operated for a long time, and an air-conditioned adaptability of human body was evaluated by acquiring the change rate of autonomic nervous system through analyzing HRV. As a result of the evaluation, change rate of body's autonomic nervous system corresponded to votes of the subject's question generally, but was distinguished from analysis result of warm-cold sensation in a low temperature area.

키워드: 온열쾌적감, HRV, 쾌적감, 온냉감
Keywords: Thermal Comfort, Heart Rate Variability, Comfor Sensation Vote, Thermal Sensation Vote

1. 연구의 배경 및 목적

여름철 일반 가정이나 사무실에서의 에어컨 사용이 늘어나고 있다. 또한 에어컨의 과도한 사용이나 장시간 운전으로 인한 질병유발이나 냉방병 등으로 인한 여러 가지 문제점이 발생하게 되었다. 에어컨 가동의 초기에는 단순히 더위를 식히기 위한 것이 주목적이지만 장시간 가동할 때는 주거자의 건강을 고려한 능동적인 운전이 필요하다. 이를 위해서는 에어컨의 장시간 운전에 따른 재실자의 심리, 생리적 반응의 변화를 잘 나타내는 재실자의 온열쾌적감을 파악하는 것이 선행되어야 한다. 온열쾌적감의 변화를 정량화하는 시도로써 자율신경계의 활동을 관찰하고자 하는 연구가 진행되어 왔다[1,2,3,4]. 자율신경계는 교감신경과 부교감신경으로 나누어지며, 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[5]. 이와 같은 정보는 심전도(ECG)상의 R-R peak의 간격을 시계열로 재구성하여 만들어진 HRV(Heart Rate Variability) 파형을 주파수 분석하여 얻을 수 있게 된다[6, 7]. 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 지니므로 인간의 온열쾌적감을 평가하는 지표로 활용될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 여름철 룸 에어컨을 장시간 운전할 때 실내 거주자가 느끼는 온냉감, 불쾌감 등의 주관설문 및 생리적 변화과정인 심전도를 측정하여 HRV 분석을 통하여 자율신경계의 변화정도를 파악하여, 인체의 냉방순응도[2,3,4]를 평가하여, 에어컨의 장시간 운전시 주거자의 건강을 고려한 제어알고리즘 및 인체평가 방법에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

* 주저자, 부경대학교 기계공학부 계약교수
** 동의대학교 건축설비공학과 부교수
*** 교신저자, 동의대학교 건축설비공학과 (ksh@deu.ac.kr)

2. 실험개요

2.1 실험장치

임의의 온열환경을 만들어 실험을 하기 위한 인공환경 실험실은 4.1m × 4.9m× 2.7m의 크기이며 모든 벽과 천정, 바닥은 단열재로서 단열을 하였다. 전실의 실내온도와 습도 조절을 위해 항온항습기를 사용하였고, 그 후 대상실의 열부하에 충분히 대응할 수 있는 용량의 룸에어컨을 가동하여 실내 설정온도를 구현하였다. 실험장치 및 항온항습기 사양은 <표 1> 및 <그림 1>과 같다.

인공환경실내의 물리량 측정은 실내의 수직 공기온도 분포를 측정하기 위해 실 중앙의 바닥면을 기준으로 10cm, 60cm, 110cm, 170cm에 φ 0.2mm T형 C-C열전대를 사용하여 계측하였고, 글로브온도를 110cm지점에서 측정하였다. 습도는 같은 위치의 바닥면으로부터 60cm 지점에 BEAM 습도센서를 두어 측정하였다. 기류는 초음파풍속계(일본 KAISO, Model WA-390)를 이용하여 풍속을 측정하였다. 측정된 데이터는 HYBRID RECORDER (YOKOGAWA, Model 3880)를 통해 PC에 저장하여 분석에 이용하였다. 생리신호는 Polygraph (SAN-EI, polygraph 363) 장비를 이용하여 심전도 1채널을 측정하였다. 측정된 데이터는 각각 512Hz의 샘플링 주파수로 A/D 보드(DT-3001)를 통해 변환된 후, 컴퓨터에 저장하고 동시에 기록지를 통해 관찰하였다. 심전도는 표준전극 유도법(리드 I)을 사용하여 표면전극을 통해 측정하였다.

2.2 실험방법

여름철 가장 많이 사용되고 있는 에어컨 설정온도인 24℃와 26℃, 그리고 28℃로 설정하였다. 에어컨 기류는 피험자가 기류를 느끼지 못하도록 수평 취출하여 기류의 영향을 배재하여 간접풍에 노출되도록 하였다. 실험에 참여하는 피험자는 설문과 더불어 생리신호를 위해 여성 피험자의 경우 실험기간 중에 생리기간이 있는 여성은 제외되었으며 실험 전일부터는 커피나 알코올, 자극적인 음식의 섭취를 금하도록 하였고, 흡연을 못하게 하여 생리신호 측정에 영향을 주는 요소들을 제거하고자 하였다. 실험 참가인원은 1회 실험에 2명씩 참가하여 <사진 1>과 같이 실험하였다.

각 피험자들은 임의의 외기온도(약 31℃)로 조절되고 있는 대상실에 입실하여 약 30분간 체재하면서 그 환경에 적응하였다. 그 동안 실내 열환경에 대한 주관신고 및 생리신호, 피부온도, 안면부 열화상을 측정하였다. 그 후

표 1. 항온항습기 사양

	Environmental chamber
Temperature range	18℃~40℃±1℃
Humidity range	30%~80%±5%
Cooling capacity	9,500 W
Heating capacity	14,000 W
Humidifying capacity	8 *l/h*
Dehumidifying capacity	1.8 *l/h*

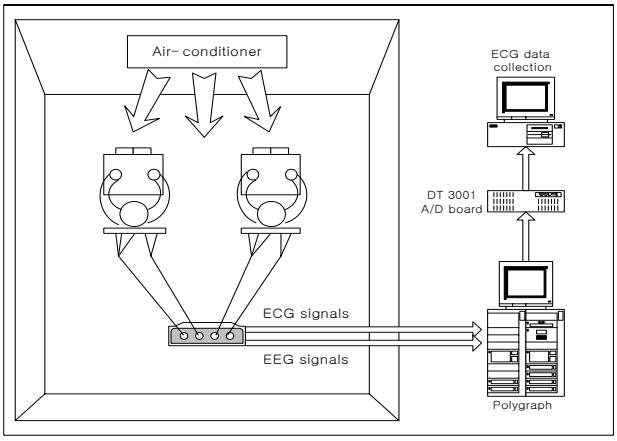


그림 1. 실험장치 개략도

사진 1. 실험에 참가한 피험자 모습

9	20	81	10	78	49	21	41	28	82
43	92	33	68	55	99	73	11	76	4
69	42	74	2	83	12	77	57	32	44
34	14	62	29	88	5	22	67	53	61
48	56	30	8	66	40	80	18	50	17
16	75	51	13	79	45	94	60	36	0
52	87	1	23	7	31	24	54	3	64
93	6	38	96	37	19	91	89	84	46
27	71	47	65	58	85	97	15	63	72
59	98	26	86	90	35	70	95	39	25

그림 2. Performance 양식

표 3. 실험에 참가한 피험자 개요

Subjects	Num. of Subjects	Age	Height [cm]	Weight [kg]	Body Area*[m^2]
Female	12	21.2 ±1.3**	162.5 ±2.8	55.1 ±8.8	1.5 ±0.3

*) Takahira's Equation: $A = 71.46 \times W^{0.425} \times H^{0.725}$
**) Mean ± S.D.

Comfort Sensation Vote			
0	1	2	3
Comfort	Slightly uncomfort -able	Uncomfort -able	Very uncomfort -able

Thermal Sensation Vote						
-3	-2	-1	0	1	2	3
Cold	Cool	Slightly cool	Neutral	Slightly warm	Warm	Hot

그림 3. 설문 내용 및 척도

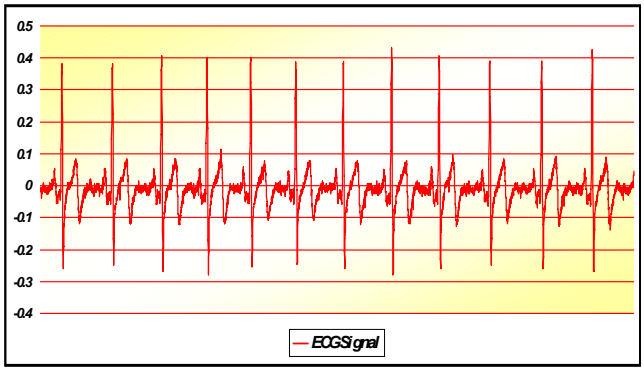
에어컨을 가동하여 120분 동안 10분마다 주관신고 및 생리신호, 피부온도, 안면부 열화상을 측정하였고, 2분 동안 심전도를 측정하였다. 실험시간이 총 150분 가량 소요됨으로 인하여 피험자의 지루함을 방지하고 심전도 측정시간까지 실험환경에 대한 집중을 위해 <그림 2>와 같은 간단한 Performance를 20분마다 실시하였다. 실험에 사용한 Performance 양식은 총 7가지이며 그 중 하나를 그림 2에 나타내었다. 각 Performance는 1분간 진행되었으며, 임의로 지정된 숫자부터 연속 오름차순으로 숫자들을 찾아가는 방법으로 하였다.

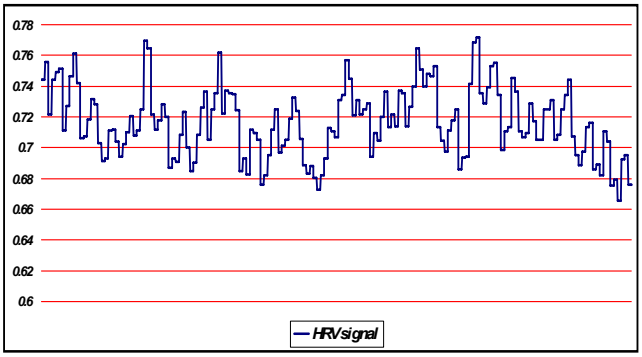
2.3 피험자 개요

피험자로는 여자대학생(12명)을 대상으로 하였다. 모든 피험자들은 구강온도 37 ℃이하이고 정상혈압의 건강한 사람들로 구성되었으며 연령 및 신체적 조건을 표 3에 나타내었다. 실험 시 피험자들은 동일한 유니폼을 착용하였고, 의복 중량법으로 clo치를 계산한 결과 0.51 이었다. 또한 실험 중 의자에 앉아서 독서 및 가벼운 대화, 설문지의 응답작성 등 행동이 제한되어 있으므로 대사량은 1.1 met로 가정하였다[8].

2.4 설문 및 생리신호 분석방법

설문내용은 피험자가 실험설정조건에서 느끼는 주관적인 감각을 표현하기 위해 ASHRAE에서 규정한 전신온냉감 7단계 및 쾌적감 4단계법을 사용하였다[8]. <그림 3>에 본 실험에서 사용한 설문내용을 나타내었다.





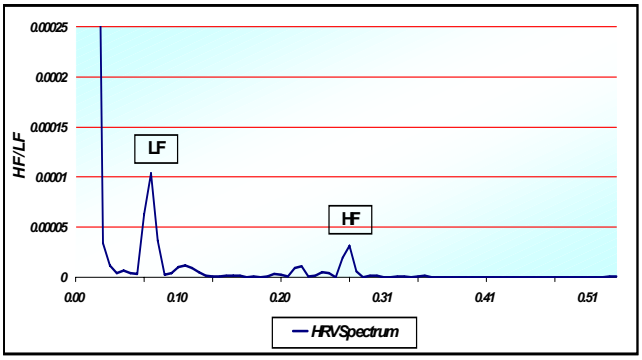


그림 4. HRV 분석과정

HRV 분석은 심전도상의 R-R peak 간격을 새로운 시간축에 재배열하여 HRV를 구성하고 이를 주파수 분석을 한다. HRV의 스펙트럼을 살펴보면 크게 두 가지의 특징점을 가지는 LF와 HF 대역으로 나누어진다. 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. 이러한 HRV 분석을 위해서는 R-peak의 정확한 검출이 매우 중요하며, peak의 위치에 대한 해상도는 심전도 데이터의 샘플링 주파수에 의해 결정되므로 높은 샘플링 주파수를 통해 고해상도의 심전도 데이터를 구성하였다. 하지만 이때 피험자의 움직임이나 고주파 성분의 노이즈는 peak 검출에 치명적인 오류를 발생시킬 수 있으므로 주의를 기울였고, 512Hz로 A/D 변환한 데이터를 다시 1-80Hz의 디지털 대역통과필터를 통과시켜 호흡이나 움직임에 의한 저주파 성분 및 기기잡음, 전기적 노이즈 등을 효과적으로 제거하여 peak 검출의 효율성을 증대시켰다. 또한 검출되어진 peak간 시간간격으로 구성된 HR데이터는 비록 120초 길이의 데이터라고 해도 발생회수가 약 140정도밖에 되지 않으므로 주파수 영역에서는 해상도가 너무 낮게 나타난다. 따라서 원래의 HR 데이터의 샘플링 주파수를 보간법(interpolation)을 이용해서 10배 증가시켜주었다. 이상의 절차에 따라 본 연구에서는 교감신경과 부교감신경의 우세정도를 나타내기 위해서 HF/LF라는 변수를 정의하였고 이를 통해 인간의 온열쾌적감을 분석하고자 하였다[9]. 분석방법을 <그림 4>에 나타냈다.

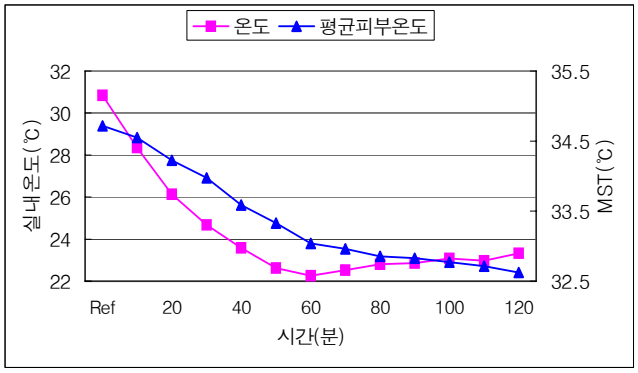


그림 5. 실온, 평균피부온도 경시변화(24℃)

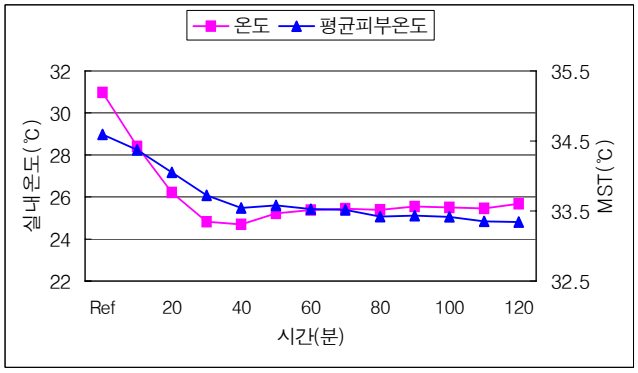


그림 6. 실온, 평균피부온도 경시변화(26℃)

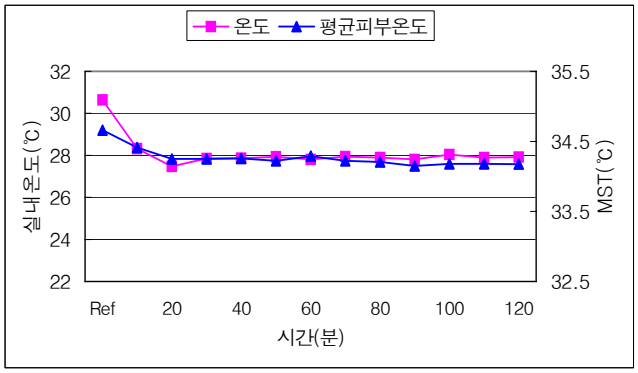


그림 7. 실온, 평균피부온도 경시변화(28℃)

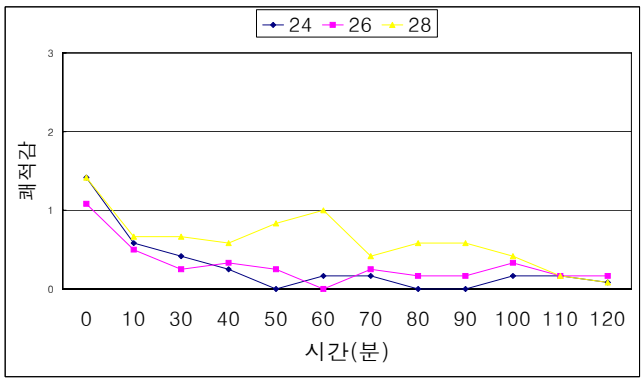


그림 8. 쾌적감 경시변화

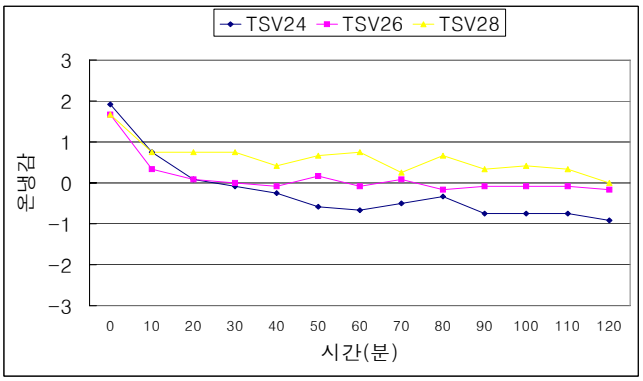


그림 9. 온냉감 경시변화

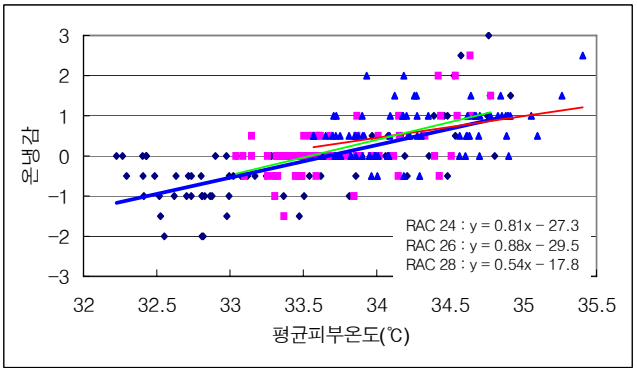


그림 10. 온냉감과 평균피부온도 관계

3. 결과 및 고찰

3.1 주관설문 및 평균피부온도 분석

<그림 5>, <그림 6>, <그림 7>에 각 설정온도별 실온과 평균피부온도의 변화를 나타내었다. 실온 변화와 평균피부온도변화는 밀접한 관계가 있으며 피부온도는 설정온도 24℃일 때 저하율이 가장 높았다. 설정온도가 낮을수록 설정온도에 도달하는 시간이 길어졌고, 설정온도가 24℃일 때는 약 60분 가동 후에 설정온도에 도달하며, 설정온도 26℃와 28℃는 각각 에어컨 가동 후 50분, 40분에 설정온도에 도달하였다.

<그림 8>에 각 조건별 쾌적감 경시변화를 나타내었다. 쾌적감의 경시변화는 설정온도 24℃와 26℃가 비슷한 경향을 나타내었고, 설정온도 28℃의 경우는 에어컨 가동 후 약 60분 경과 후 쾌적 영역으로 진입함을 알 수 있다. 설정온도 28℃의 경우는 실내온도가 설정온도에 도달한 이후부터 습도가 지속적으로 상승한 것이 불쾌의 원인이 되었던 것으로 생각된다.

<그림 9>에 각 조건별 온냉감 경시변화를 나타내었다. 그래프에서 설정온도 24℃에서는 가동시간 약 60분 후부터 온냉감적 중립영역 이하로 내려가며, 설정온도 28℃의 경우는 가동시간 약 90분 후부터 온냉감적 중립영역으로 들어오게 됨을 알 수 있다. 그러나 설정온도 26℃ 운전 후 10 이후부터 지속적으로 중립영역을 유지하고 있음을 알 수 있다.

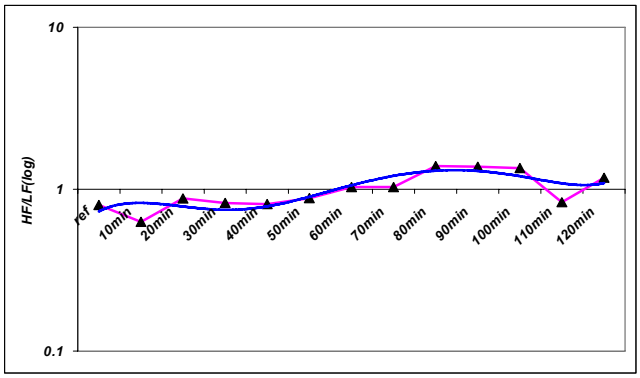


그림 11. 24℃ HF/LF 경시변화

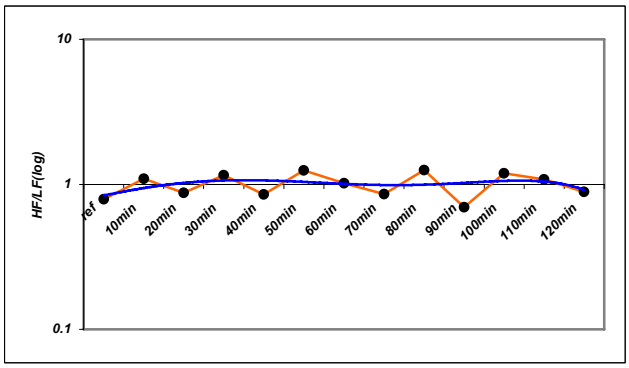


그림 12. 26℃ HF/LF 경시변화

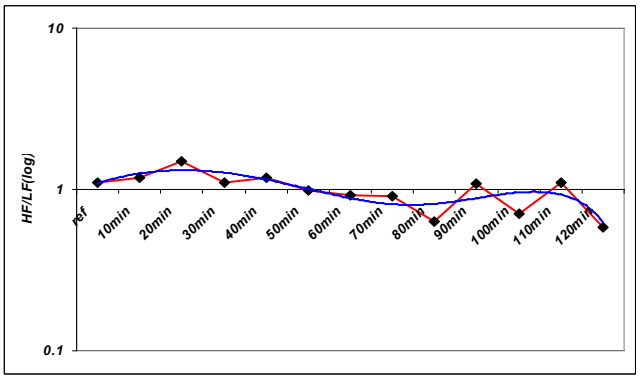


그림 13. 28℃ HF/LF의 경시변화

<그림 10>에 각 조건별 온냉감과 평균피부온도와의 관계를 나타내었다. 전체적으로 유사한 경향을 보이며 설정온도가 높을수록 피부온도도 높음을 알 수 있다.

3.2 HRV 분석

시간에 따른 인체의 순응 정도를 파악하기 위하여 자율신경계의 변화를 관찰하였다. 각각의 온도에 따른 2시간 동안의 HF/LF 변화를 살펴보면 <그림 11>, <그림 12>, <그림 13>과 같다. 여기서는 전체적인 결과들의 비교분석을 용이하게 하기 위해 HF/LF를 log값을 이용하여 그래프를 작성하여 결과에 대해서 5차 다항식을 이용한 회귀분석을 실시하였다. 그 결과 24℃일 때는 시간에 따라 점차 HF/LF 값이 증가하는 경향을 나타내었고, 26℃의 경우는 시간의 진행에 관계없이 거의 일정한 값을 보였다. 또한 28℃의 경우는 시간의 경과에 따라 HF/LF 값이 점차적으로 낮아지고 있음을 볼 수 있다.

3.3 주관설분과 HRV 분석의 고찰

시간에 따른 HRV 분석을 고려할 때 24℃에서는 시간의 경과에 따라 점차적으로 쾌적영역의 범위로 변화하는 추세를 보이고 불쾌영역으로 변화하는 시간은 실험 시작 후 90분 후 정도로 나타났다. 그러나 <그림 8>, <그림 9>에 따르면 주관신고반응인 쾌적감은 HRV 분석과 유사한 경향을 나타냈지만, 온냉감의 경우는 실제 60분 이후 중립영역을 이탈하고 있음을 알 수 있다. 반면에 26℃의 경우는 주관신고인 쾌적감, 온냉감 경시변화와 HRV 분석이 상호 일치하고 있음을 알 수 있다. 특히 28℃에서는 HRV 분석에서 실험 시작 후 20분경에서 불쾌영역으로 접어드는 것을 알 수 있는데, 역시 쾌적감 및 온냉감의 경향과 유사하였다.

이러한 결과로 주관설문이 반영된 인간의 심리적 반응 중 온냉감 부분과 생리신호 분석을 통한 자율신경계의 반응이 설정온도 대에 따라 달리 나타남을 알 수 있었다. 즉 생리적인 측면에서 볼 때 이러한 자율신경계의 변화는 온도에 관련되어 시간의 경과에 따라 쾌적성의 측면보다는 피로도의 측면이 크게 작용했다고 할 수 있겠다.

4. 결 론

본 실험을 통하여 에어컨의 장시간 가동 시 시간의 경과에 따른 주관설문 및 인체의 자율신경계의 변화를 관찰하여 온열쾌적성을 평가하고자 하였다. 하지만 결과적인 측면에서 볼 때 주관설문 신고의 분석결과인 쾌적감과는 전반적으로 일치하는 경향을 보였지만, 반면에 온냉감 분석결과와는 저온영역에서 차이가 발생하였다. 이상의 체감실험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 24℃ 설정조건에서는 주관신고반응인 쾌적감은 HRV 분석과 유사한 경향을 나타냈지만, 온냉감의 경우는 실제 60분 이후 중립영역을 이탈하고 있음을 알 수 있었다. 반면에 26℃ 및 28℃의 경우는 주관신고인 쾌적감, 온냉감 경시변화와 HRV 분석이 상호 일치하고 있음을 알 수 있었다.

2) 시간에 따른 온열쾌적성 평가에 있어 HRV 분석 결과는 주관설문 신고의 분석결과인 쾌적감과는 전반적으로 일치하는 경향을 보였지만, 반면에 온냉감 분석 결과와는 저온영역에서 차이가 발생하였다. 즉 생리적인 측면에서 볼 때 이러한 자율신경계의 변화는 온도에 관련되어 시간의 경과에 따라 쾌적성의 측면보다는 피로도의 측면이 크게 작용했다고 판단된다.

3) 온열쾌적성의 경시변화를 관찰하기 위해서는 온도영역에 따른 인체의 피로도를 고려한 새로운 분석알고리즘이 요구되어 지며, 이러한 분석방법의 개선과 이를 위해

다양한 생리신호를 측정하고 더욱 장시간에서의 실험이 이루어진다면 시간의 경과에 따른 온열쾌적성의 측정 및 평가에 생리신호의 측정 및 분석이 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Kum, J.S, Kim, D.G. Choi, K.H, Lee, N.B, Im, J.J, Choi, H.S and Bae, D.S, 2002, “Evaluation of Thermal Comfort on Temperature Differences between Outdoor and Indoor Thermal Conditions in Summer”, Korean Jounal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.14, No.11, pp.890-896
2. Kim, H.C, Kum, J.S, Shin, B.H and Chung, Y.H, 2006, “Research in Physiology Signal Change of Thermal Comfort Evaluation by Air Conditioner Temperature Change”, Jour. Fish. Mar. Sci. Edu., Vol.18(1), pp.11-18
3. Kim, H.C, Kum, J.S, Kim, D.G and Chung, Y.H, 2006, “Research on Thermal Comfort by Increasing Air Conditioner Temperature”, Jour. Fish. Mar. Sci. Edu., Vol.18(2), pp.77-84
4. Kim, H.C, 2006, “A Study on Varable Conditions of Air-velocity and Temperature for Acquiring the Thermal-Comfort in the Air Conditioning System”, Ph.D. Pukyong National University
5. Pomeranz. B,. Macaulay RJB, Candill MA, et al. “Assessment. of autonomic function in humans by heart rate spectral. analysis”. Am J Physiol 1985;248:H151-H153
6. Rollin McCraty MS, Mike Atkinson, William A, et al. ,1995, “The Effect of Emotions on Short-Term Power Spectrum Analysis of Heart Rate Variability”, The american Journal of Cardiology Vol 76 No. 14, pp. 1089-1093
7. Shin, K.S, 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. Kim, D. G., 1998, "Studies on thermal comfort evaluation and corrections of comfort indices for koreans", Ph.D. thesis, Pukyong National University, Pusan, Korea
9. M. Bootsman, C. A. Swenne, H. Van Bruschke, 1994, "Heart rate and Heart rate variability as indexes of sympathovagal balance", Am. J. Physiol., 226, pp.1565-1571