

다중 이용 시설의 에너지 절감을 위한 개별 좌석 공조시스템의 쾌적온도

Seung-Hyun Kwak¹, Sang-Hyeok Seo¹, Eul-Sang Cho¹, Byung-Chan Min¹

¹Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 305-719

ABSTRACT

Objective: This study is to find the comfort temperature condition based on the observed correlation between the temperature control for individual chair applied air conditioning and the comfort of the human body under the room temperature being steady state. **Background:** For a multi-use facilities, such as theaters, the energy is wasted seriously. Because, to maintain an appropriate room temperature based on Energy Use Rationalization Act, regardless of the number of users. In order to reduce the energy of a multi-use facility, the individual chair applied air conditioning systems are more efficient than full air conditioning system. However, according to the temperature change of the individual chair applied air conditioning system, few studies have been done on the effects of energy saving and Comfort of human body.

Method: The subjects were composed of 30 males and females in their twenties, keeping the room temperature was 28°C, temperature of the individual chair applied air conditioning systems was set at 22°C, 25°C and control. And the test procedure was (1) the 1st thermal sensation vote was filled (2min). (2) Rest (3min). (3) Stimulus of a video (15min). (4) Rest (3min). (5) The 2st thermal sensation vote was filed (2min). To measure the comfort for human, the EEG test was performed. The international 10–20 system electrode placement was used and the EEG was recorded by means of a 16-channel EEG signals. To analysis the EEG, frontopolar 4 channel was used. The data was extracted for 2min after 7 min from the start of the stimulus of video. **Results:** As a result of analyzing the relative a power value ratio at each temperature(22°C, 25°C and control), there was a significant difference ($p<0.05$) when the temperature of the individual chair applied air conditioning systems was at 25°C. **Conclusion:** Finally, although room temperature is 28°C, using a the individual chair applied air conditioning systems in Multi-use facilities can be maintain the comfort of human body without unnecessary energy waste. **Application:** If the result of this study may be applied to the temperature control method of a multi-use facility, the energy savings are expected significantly.

Keywords: Comfort Temperature, EEG, Air Conditioning Systems, Multi-Use Facilities, Energy Savings

1. Introduction

최근 경제발전과 생활수준의 향상에 따라 전력 소비량은 지속적으로 증가하는 반면 전력공급량은 전력수요량의 증가를 감당하지 못하여 국가적으로 전력난이 심화되고 있다. 이는 전력공급량을 늘리기 위해서는 수력, 화력, 원자력과 같은 발전소의 추가 증설이 필요하지만 증설에 따른 부정적인 영향으로 인하여 국가가 의사결정을 하기 어려운 상황에 처해 있기 때문이다. 따라서 이러한 전기 에너지의 수급 불균형을 해소하기 위해서 국가적 에너지 절감이 절

실하다. 2000년대 들어서 주거용, 상업용, 산업용 수요의 연평균 증가율이 6.2%, 7.4%, 4.6%를 각각 기록하였다. 특히 상업용 수요의 증가율이 가장 높게 나타나 상업용 수요에 대한 전력 에너지 절감이 시급하다(Lee et al., 2013). 일례로 극장과 같은 다중 이용 시설의 경우 이용자 수의 많고 적음에 관계없이 실내온도를 쾌적온도 이하로 유지하고 있어 에너지 낭비가 심각한 상황이다.

본 연구에서는 다중 이용 시설 내에서 개별 공조 시스템이 설치된 개별 좌석의 온도 제어를 통해서 전체 실내온도를 적정 실내 온도 보다 높여도 인체가 느끼는 쾌적성은 유지함과 동시에 에너지 절감이

기대되는 결과를 제시하고자 한다. 따라서 개별 좌석 공조시스템의 온도변화에 따른 인체의 쾌적성과의 상관 관계를 관찰하고, 실험 결과를 토대로 개별 좌석 공조시스템의 쾌적온도 조건의 검출을 목표로 한다. 이에 대표적인 다중 이용 시설인 극장 환경을 가정하여 실내 온도를 적정실내 온도보다 높은 28℃를 유지함과 동시에 개별 좌석의 공조시스템 온도는 22℃, 25℃ 및 통제조건 하에서 실험을 실시하였다.

이에 개별 좌석의 온도환경 변화에 따른 인체반응을 통하여 인간의 심리적, 생리적 반응을 측정하기 위하여 주관적 온열감 설문 및 뇌파의 측정을 실시하였다.



Figure 1. Chair applied air conditioning systems

2. Method

2.1 Test Subject

만18세 ~ 만29세의 신체적, 정신적으로 건강한 성인 남녀 30명을 대상으로 실시하였다. 이들은 모두 뇌 외상, 간질, 알코올 중독 등의 신경정신계 질환 병력이 없었으며, 실험 당일 피실험자의 건강, 피로, 복장 상태를 확인하였으며, 실험 전 12시간 동안 알코올 등 실험에 영향을 줄 수 있는 약물 복용을 금지 시켰다.

2.2 Test Tools

2.2.1 Test Environment

실험은 본 연구실에 설치된 5.5m X 3.5m 규격의 흡기와 배기를 동시 할 수 있는 시설이 갖추어진 챔버에서 수행되었으며, 챔버 내부는 뇌파 측정 시 외부 전자파에 의한 간섭을 최대한 배제하기 위한 목적으로 구리(Cu) 쉴드가 설치되었다. 실내 온도는 28℃±1℃를 유지 하였다.

2.2.2 Chair applied air conditioning systems

본 연구에서는 공조시스템이 적용된 의자(Figure 1)를 사용하였다. 해당 의자는 외부 공조시스템과 지름이 20cm인 플렉시블 호스로 연결되어 의자의 등받이와 좌석을 통하여 공기가 흐를 수 있도록 특수 제작하였으며 온도 조절은 외부 위치한 공조시스템에서 제어할 수 있다.

2.2.3 QuickAmp

뇌파를 측정을 위하여 사용한 뇌파 측정 장비로는 Brain Vision 사의 QuickAmp를 사용하였다. 이 뇌파 측정기는 최대 32채널의 뇌파 데이터를 측정할 수 있으며, 최대 샘플링 주파는 2,000Hz이다.

2.3 Dependent Measures

뇌파는 주파수에 따라 델타파(0.5~3Hz), 쉐타파(4~7Hz), 알파파(8~13Hz), 베타파(14~30Hz) 및 감마파(30Hz)로 분류되고 각 주파수 대역에 따라 생리적 특성이 다르다(Yoshida, 1998; Davidson, 1992). 따라서 본 연구에서는 측정된 뇌파 데이터를 고속 푸리에 변환(Fast Fourier transform)에 의해서 주파수 별로 분석하는 파워 스펙트럼 분석법을 이용하였다. 측정하는 온도 조건에 따라 쾌적감에 대한 정도를 명확하게 분석하기 위하여 알파파와 베타파 주파수 대역만을 이용하여 상대 파워 스펙트럼분석을 하였다(Regan, 1989).

$$\text{상대 알파 값(\%)} = \frac{\text{알파 POWER}}{\text{베타 POWER}}$$

2.3 Test Procedure

피험자는 총 30명이 참여 하였고, 피험자들은 기본적으로 뇌와 관련된 병력이 없는 만19세에서 만29세의 건강한 남녀들을 선발하였으며 피험자의 복장은 흰색 반팔 면티와 긴 면바지를 착용토록 하였으며 신발은 슬리퍼를 착용시켰다. 실험 전 피험자간 동질성을 확인하기 위하여 성격설문지, 감사성향 설문지를 작성하였다.

뇌파(EEG)측정을 위하여 전극 부착 방법으로 국제적으로 많이 사용되는 10-20 전극 배치법을 적용하여 16 - Channel을 부착하였다.

본 실험은 5단계로 이루어 졌으며 Figure 2와 같다.

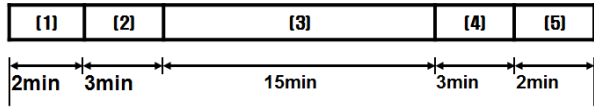


Figure 2. Test Procedure

- (1) 본 실험 Rest 1-1 : 몸상태, 주관적 온열감 및 주관적 쾌적감 설문 작성 (2min)
- (2) 본 실험 Rest 1-2 : 생체신호를 위한 base 구간 측정 (3min)
- (3) 본 실험 Task : 영상 시청 (15min)
- (4) 본 실험 Rest 2-1 : 생체신호를 위한 base 구간 측정 (3min)
- (5) 본 실험 Rest 2-2 : 주관적 온열감, 주관적 쾌적감 및 영상물 집중도 설문 작성 (2min)

실험 온도 조건은 실내온도를 $28 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하면서 개별 좌석 공조시스템 온도를 22°C , 25°C 및 통제조건(공조시스템 미 가동)에서 각각 피험자 10명에 대한 뇌파를 측정하였다. 뇌파의 분석은 인간의 쾌적감성에 관계가 있는 것을 밝혀진 전두엽 4채널을 활용하였다(Heller, 1997).

3. Results

본 실험에서 측정한 뇌파 데이터를 Figure 2의 (3) 번 영상 자극 시작 후 7min 후 부터 2min간 데이터를 추출하였다. 뇌파의 분석절차는 Figure 3와 같다.

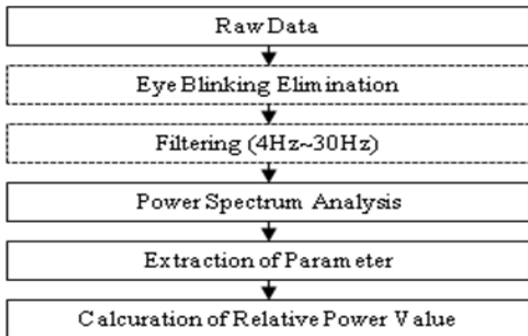


Figure 3. EEG Data Analysis Procedure

조건 별 유의 차를 확인하기 위하여 일원분산분

석을 실시하였다.

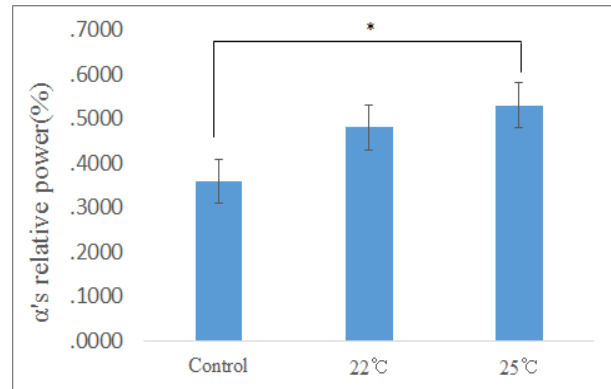


Figure 4. Change in α 's relative power value (%) according to temperature of chair air conditioning systems

분석결과 상대 알파 값의 유의확률은 0.023 ($p < 0.05$)를 나타냈으며 개별 좌석 공조시스템의 온도가 25°C 일 때 상대 알파 값이 가장 높았다. 특히 집단간의 유의 차를 확인하기 위하여 사후검정인 Scheffe 분석을 실시한 결과 25°C 조건과 Control 조건에서 집단 간에 유의한 차가 있었다

Table 1. The result of comparison of α 's relative power value according to temperature of chair air conditioning systems (N=25)

| Temp. ($^\circ\text{C}$) | Avg. | Std. | F | Scheffe |
|----------------------------|-------|-------|-------------------|---------|
| Control(a) | 0.358 | 0.790 | 4.502 (0.023*) | c>a |
| 22°C (b) | 0.479 | 0.118 | | |
| 25°C (c) | 0.528 | 0.113 | | |

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

4. Conclusion

여름철과 겨울철 전력 예비율이 10% 이하 수준으로 고착화 되면서 해마다 전력난이 반복적으로 발생하고 있으나 이에 대한 근본적인 해결방안 제시되지 않고 있다. 다만 건물 내 적정온도를 에너지이용 합리화법으로 규정하여 여름에는 26°C 이상 겨울에는 20°C 이하로 에너지 절감을 유도하고 있는 상황이다. 하지만 극장과 같은 다중 이용 시설의 경우 주말과 평일과 같이 이용자 수의 변동폭이 매우 큼에도 불구하고 전체 실내 온도를 동일한 온도로 유지하고 있다. 이는 정부의 적정 실내 온도를 준수하는 것 처럼 보이지만 실제로는 소수의 이용 고객을 만족시키

기 위하여 필요하지도 않는 전력 에너지를 소모하고 있다고 볼 수 있다.

실내온도 변화에 따른 쾌적성과 관련된 선행연구들을 살펴보면, 전체 실내온도에 따른 쾌적성을 분석하기 위하여 과거에서 물리적 변화에 따른 쾌적성 분석을 주로 하였으며, 현재는 실제 인체가 반응하는 생리적 변화를 측정하여 온도와 쾌적성과의 관계를 기존의 방법과 병행해서 연구하고 있다. 하지만 이러한 선행연구들은 대부분 사무실 환경만을 고려하였기 때문에 대규모 다중이용시설의 전력에너지 감소방안에 활용하기에는 적당하지 않은 부분이 있다. 다만 Jaakkola et al.(1989)은 8층의 사무실 빌딩에서 실내온도에 따른 열쾌적성 연구에서 각 사무실 위치별 개별 온도 제어를 통하여 온열 쾌적성 개선의 필요성을 주장 하였는데 본 연구는 개별 온도 제어 공간을 더 세분화 하고자 하였다.

따라서 본 연구는 이용자 수의 변동폭이 큰 다중이용 시설에서 에너지 절감과 동시에 이용자의 쾌적감을 유지할 수 있는 방안으로 개별좌석 공조시스템을 대안으로 제시하고자 하였다. 본 연구를 통하여 실제 전체 실내 온도를 적정 실내 온도보다 2℃ 높게 설정하였음에도 불구하고 개별 좌석 공조시스템의 온도를 낮추면 이용자가 쾌적감을 느낀다는 것뿐만 아니라 이용자가 쾌적감을 느끼는 쾌적온도가 25℃에서 유의미 하다는 것을 실험을 통하여 증명하였다. 이는 개별 좌석 공조시스템이 사용자의 쾌적감을 유지하면서 에너지를 절약할 수 있다는 것을 의미한다. 다만 본 연구에서는 개별 좌석 공조시스템의 온도제어 방식이 정교하지 않아 실제 좌석의 온도와 상이 할 수 가 있어 향후 추가적인 실험을 통하여 정확한 적정온도를 찾는 노력이 필요할 것이다. 다중이용 시설의 전력에너지 절감을 위하여, 본 연구 결과를 활용한다면 에너지이용 합리화법의 적정실내 온도를 준수는 물론, 에너지 절감과 고객만족이라는 세 마리 토끼를 동시에 잡을 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgements

This work (Grants No.C01505840100408773) was supported by Business for Cooperative R&D between Industry, Academy, and Research Institute funded Korea Small and Medium Business Administration in 2013.

References

- Davidson, R. J., Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion, *Brain and Cognition*, 20(1), 125-151, 1992.
- Heller, W., Nitschke, J. B., Etienne, M. A., Miller, G. A., Patterns of regional brain activity differentiate types of anxiety, *Journal of Abnormal Psychology*, 106(3), 376-385, 1997.
- Lee D. H., Kim D. S., Jo E. J., *Method for Solving Power Reserve Problems*, 1st. ed., KIET, 2013.
- Yoshida, T., The estimation of mental stress by 1/f frequency fluctuation of EEG, *Applied Ergonomics*, 771-777, 1998.
- Jaakkola J.J.K., Heinonen O.P., Seppänen O., Sick building syndrome, sensation of dryness and thermal comfort in relation to room temperature in an office building: Need for individual control of temperature, *Environment International*, 15(1-6), 163-168, 1989.

Author listings

Seung-Hyun Kwak : ecoterran@gmail.com

Highest degree: PhD. Student, Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University

Position title: Student, Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University

Areas of interest: Human Factors in General Area

Sang-Hyeok Seo : fulie@hanmail.net

Highest degree: PhD. Student, Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University

Position title: Student, Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University

Areas of interest: Human Factors in Stress Area

Eul-Sang Cho : ll910507@naver.com

Highest degree: Student, Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University

Position title: Student, Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University

Areas of interest: Human Factors in General Area

Byung-Chan Min : bcmin@hanbat.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University

Position title: Professor, Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University

Areas of interest: Human Factors in General Area