

평균피부온도 분석을 통한 수면시 쾌적 실내 온도조건에 관한 연구

김 동 규 · 정 용 현[†]

(부경대학교 기계공학부 · [†] 부경대학교 환경시스템공학부)

Study on Comfortable Room Temperature using Mean Skin Temperature analysis in Sleeping

Dong-Gyu KIM · Yong-Hyun CHUNG[†]

Dept. of Mechanical Engineering, Pukyung National University, Busan, Korea

[†] Div. of Environment Engineering, Pukyung National University, Busan, Korea

(Received January 8, 2007 / Accepted May 2, 2007)

Abstract

It is necessary to control the room temperature for comfortable and deep sleep during a tropical night. We need to investigate thermal transport and parameter between human and environment for comfortable sleep. Therefore this study is performed to evaluate the comfortable room temperature based on the change of skin temperature under variations in thermal conditions and several reports .

Five female subjects of 20~22 years with similar sleeping pattern were participated for the experiment. The subjects arrived in chamber at 9 pm and adapted to thermal circumstances during 2 hours. The sensors was sticked in body for skin temperatures. If subjects fall asleep in chamber, lights off and then sleep during 8 hours.

As results, indoor temperature range for comfort sleep was 23.9~28.4℃ based on comfort mean skin temperature. But considering transition of time, minimum indoor temperature was 21.6℃, 22.9℃, 24.1℃, 23.9℃ and maximum indoor temperature was 28.2℃, 30.1℃.

Key Words : ,Mean Skin Temperature(평균피부온도), Comfortable Sleep(쾌적수면)

I. 서론

수면은 인간이 살아가는데 없어서는 안 되며, 고등 생물에서만 볼 수 있는 고도의 적응행동이고 휴식과 신체의 회복, 에너지 보상의 기능을

가지며 건강의 유지와 일상적인 생활을 위한 가장 기본적인 욕구이다. 일반적으로 숙면을 취하기 어려운 여름철 열대야 시기에는 쾌적하고 편안한 수면을 위한 실내온도 조절 조건이 필요하다. 이에 본 연구에서는 수면시 인체의 열수지를

[†] Corresponding author : Tel.: 051-620-6443, chungyh@pknu.ac.kr

판단하기 위해서 피부온도의 경시변화를 분석하였다. 수면시 피부온도는 주변 환경온도의 영향 이외에 피험자의 대사량과 수면단계에 따른 변화와 침구 및 잠옷의 열 특성에 의한 영향도 고려해야 한다(Lee et al, 1997). 기존 연구 내용에 따르면 수면에 있어 피부온도는 입면시에 손 및 발의 피부온도가 상승하고, 말초부의 피부온도가 29℃ 이상이 되면 입면하고, 피부온도가 36℃에 이르면 발한이 시작되며, 수면자세 및 신체 움직임 등에 따라 변동한다(今井京子, 1980). 또한 수면은 주위 기온에 영향을 받으며, 쾌적한 수면이 얻어지는 평균피부온도는 33~35℃ 라는 보고도 있다(梁瀬度子, 1985).

수면시 피부온도에 대한 선행연구(Haskell and Palca, 1981, Rohles, 1983, Hiroyuki Ogino, Yayoi Nishida, Akio Tajima, Teruo Yamamoto and Katsumi Ishi, 1987)의 경우 대부분 피험자는 20세의 성인 남녀였고, 실험환경조건은 실온이 30℃~37℃ 범위에서 실험이 수행되었다. Haskell 등은 실온과 관련하여 침구가 없고 피험자가 짧은 팬티, 베드를 사용한 상태에서 실험결과 실온 29℃~34℃ 일 때 심수면(stage 3, 4)과 REM수면의 출현율이 가장 많고, 각성과 stage 1이 가장 적었으며, MST는 34.5℃~35.3℃였다. Rohles은 침구와 착의한 상태에서 뇌파측정을 하였고 실험결과 쾌적수면이 가능한 평균피부온도(MST)의 영역으로서 34.7℃~35.6℃를 제시하였다. Hiroyuki 등은 채난기구 등을 사용하여 침상 내 온도 및 습도가 수면에 미치는 영향을 조사한 결과 쾌적한 수면을 위한 피부온도 조건으로서 34.5℃~35.6℃를 제시 하였다. 따라서 상기 선행연구자들의 연구 결과를 고려할 때 수면평가지표로서 평균피부온도를 사용하는 경우는 수면시 다양한 피부온도 산출방법 및 실험조건에 의한 상호비교를 행할 필요가 있다.

본 연구에서는 선행연구(Kim et al, 2005, Kim et al, 2006)를 고려하여 다양한 조건에서 여러 연구자들에 의해 제안된 쾌적수면을 위한 평균피

부온도 범위를 기준으로 한국인의 여름철 수면형태를 고려한 냉방시 적절한 실내온도 조건 및 실내온도 변화시점을 제시하고자 한다.

II. 본 론

1. 실험 장치

실험을 위한 온열환경실험실은 가로 4.1 m, 세로 4.9 m, 높이 2.7 m의 크기이며 4벽면과 천장, 바닥이 두께 50mm 단열재로서 충분히 단열 되었으며 실험 설정온도와 습도는 항온항습기로 조절하였다. 온열환경실험실 실내는 수면공간을 위해 단열된 판넬을 사용하여 분리하였으며, 온도 및 습도가 조절된 공급공기는 덕트를 통해 실내로 공급 및 환기되었다. 수면이 진행되는 동안 온열환경실험실의 온도 및 습도 등을 측정하기 위한 환경물리량은 실험실 중앙 바닥면 기준 10cm, 60cm, 110cm 높이에 직경 0.2mm T형 C-C열전대로 측정하였고, 110cm 지점에서 글로브 온도와 상대습도를 측정하였다. 인체측 평균피부온도는 직경 0.2mm T형 C-C열전대로써 Hardy & DuBois의 7점법(복부, 이마, 팔, 대퇴, 하퇴, 발등, 손등)을 근거로 신체 7부위를 측정하였다. 또한 써모스캔을 사용하여 체온을 측정하였다.



[사진 1] 온열환경실험실 장비구성

열전대와 습도센서에서 측정된 데이터는 데이터로거(FLUKE NetDAQ)를 통해 30초 간격으로

PC에 저장되도록 하였고, [사진 1]에 온열환경실험실의 장비구성을 나타내었다.

2. 실험 방법

수면실험에 참여하였던 피험자는 100여명의 실험참가 지원자를 대상으로 수면실태 설문조사와 예비 실험을 실시하여, 생활 주기 및 수면양상이 비슷하고, 생리신호를 기반으로 한 예비실험에서 건강에 이상이 없는 여자 피험자 5명을 선택하였다. 선정된 피험자들에게는 수면 실험에 앞서 예비교육을 실시하여 실험에 대한 충분한 설명을 하였다. 예비교육 내용은 실험기간 중 실험에 영향을 줄 수 있는 무리한 운동이나 과로, 과식, 음주 등을 금하게 하였고 평상시와 동일한 수면주기를 유지하도록 통제하였으며, 주간에 매 시간마다 체온을 측정하게 하여 일주기 리듬(circadian rhythm)을 살펴보았다. 수면실험에 선정된 피험자의 조건은 <표 1>과 같다. 선정된 피험자는 매일 21시경 실험실에 도착하여 약 2시간 동안 환경실험실에 적응하였다. 피부온도 측정을 위해 각종 센서 부착 후 피험자가 잠이 온다는 신고를 하면 소등을 하여 8시간동안 수면을 취하였고, [사진 2]에 피험자의 모습을 나타냈다.

3. 실험 조건

실험데이터의 적정성 및 실험 진행시 피험자의 거부감을 고려하여 실험 시작 초기에 2일간의 적응기간 동안 실제 실험과 동일한 조건에서 실험 환경과 신체에 부착되는 센서에 적응하였고, 이후 무작위로 22℃, 26℃, 30℃의 실내온도와 50% 상대습도 환경에서 수면을 취하였다. 실험설정 조건 및 구현 상태를 <표 2>에 나타내었다. 수면 시간 동안 피험자는 정해진 의복(T-shirts, short sleeve pajama, panty, bra)을 착용한 후 1인용 침대에서 여름에 사용하는 이불(인조견사 합성섬유)을 덮었다. 의복 및 침구의 단열성은 E.A.

McCullough (McCullough, Jones and Huck, 1985) 등이 제시한 식을 사용하였고, 수면시 침구류 및 의복 착용상태를 관찰하여 구한 전체 열저항값은 0.89~2.44 clo로 나타났다.

<표 1> 피험자의 개요

	피험자 수	연령	신장 [cm]	체중 [kg]
여자	5	19.8±1.5	164.2±4.6	51.4±4.1

<표 2> 실험 설정 조건

조건	온도 [℃]	상대습도 [%]
22℃, 50%	22.1±0.2	52.2±3.7
26℃, 50%	26.0±0.1	51.8±1.0
30℃, 50%	29.9±0.1	52.1±0.8



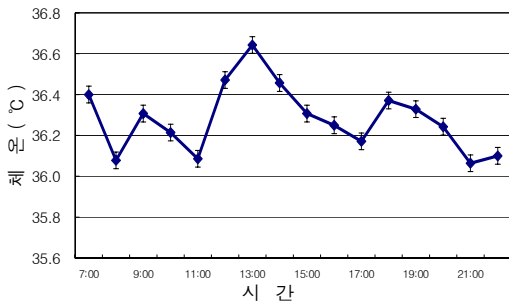
[사진 2] 온열환경실험실 내 피험자 모습

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

1. 주간체온 경시변화

수면실험에 참가한 피험자의 체온 일주기 리듬 및 신체 상태를 파악하기 위해 기상 후부터 일상 생활을 거쳐 수면에 들기 전 까지 매시간 체온(고막온도)을 측정하여 피험자 3인의 평균값을

[그림 1]에 나타내었다. 정상인에게서 체온은 일정한 값을 보이지 않고 생리적인 변동을 보이는데, 하루 중에서도 활동이 왕성한 오후에 최고치를 보이다가 야간에는 떨어지는 일주기 패턴을 보인다(강, 1992). 본 연구에서도 피험자 체온 측정값은 대부분 정상인의 체온범위(36℃~37℃)에 속하였고, 변동범위도 1℃를 넘지 않았으며, 변화 경향은 기상 후 체온이 상승을 하여 13시 경에 최고가 되고 난 후 지속적으로 하강을 하고 있는 전형적인 일주기 패턴을 나타냈다(강, 1992).



[그림 1] 주간체온 경시변화

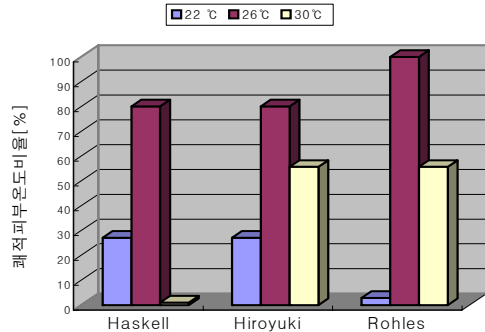
2. 평균피부온도와 실내온도

수면시 피부온도는 주변 환경온도의 영향 이외에도 피험자의 대사량, 수면단계, 침구, 수면시의복 등에 의한 상호영향을 고려해야 하므로 본 연구에서는 Haskell, Hiroyuki, Rohles 등이 제안한 평균피부온도의 범위를 기준으로 검토하였고, [그림 2]는 수면시간 동안 각 제안자별 범위에 속하는 피험자의 평균피부온도 비율을 나타냈다.

비율 분석 결과 26℃ 조건이 공통적으로 가장 높은 비율을 나타냈지만, 22℃ 및 30℃ 조건이 제안자 별로 차이가 발생한 것은 실험조건 등의 차이에 그 원인이 있는 것으로 사료된다.

그러나 평균피부온도가 체온의 일주기 패턴과 수면시간에 따라 초기에 하강을 지속하다가 일정하게 유지하는 경향이 나타남으로 수면 8시간 동안의 평균피부온도의 단순한 전체평균보다는 평균피부온도 변화 추이를 고려하여 실내온도를

조절할 필요성이 있다(김 등; 2006).



[그림 2] 쾌적평균피부온도 비율

따라서 8시간의 수면시간을 초기(0~2h), 중기1(2~4h), 중기2(4~6h), 후기(6~8h) 등으로 나누어 [그림 3 ~ 6]에 설정조건별 평균피부온도를 나타내었다. 실온과 평균피부온도 사이의 회귀식은 식(1)~(4)와 같고, 회귀식을 이용하여 Haskell, Hiroyuki, Rohles 등이 제안한 적정 평균피부온도 범위를 구현할 수 있는 실내온도를 계산한 후 그 결과를 표 3에 나타냈다.

$$\text{초기} : \text{MST} = 0.166 \times (\text{Room Temp.}) + 30.919 \quad (R^2 = 0.8) \quad \text{-----(1)}$$

$$\text{중기1} : \text{MST} = 0.1533 \times (\text{Room Temp.}) + 30.993 \quad (R^2 = 0.6) \quad \text{-----(2)}$$

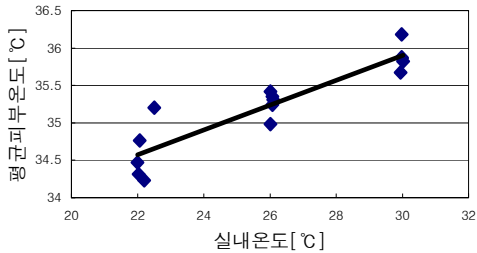
$$\text{중기2} : \text{MST} = 0.1679 \times (\text{Room Temp.}) + 30.449 \quad (R^2 = 0.6) \quad \text{-----(3)}$$

$$\text{후기} : \text{MST} = 0.1690 \times (\text{Room Temp.}) + 30.459 \quad (R^2 = 0.7) \quad \text{-----(4)}$$

계산을 통해 나타난 실내온도 범위는 시간의 추이를 고려할 때 최저 21.6℃에서 최대 30.1℃로 나타났고, Rohles등이 제안한 쾌적수면을 위한 환경온도 21.1℃에서 32.2℃의 범위 내에 속하지만, 실내환경온도 영역이 좁고, 특히 상한값이 있어 약 2℃ 이상의 차이를 나타냈다(Rohles, 1983). 또한 수면초기 시간대의 낮은 온도에서 시간의 경과와 더불어 하한값 등은 상승, 상한값은 일정해 지는 경향을 나타냈다. 따라서 침실에서 수면

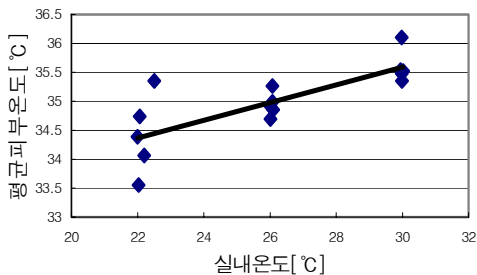
시 에어컨 사용형태를 고려한 각 시간대별 상하한 실내온도는 초기 온도강하 후 시간의 경과와 더불어 6시간까지는 온도가 상승하고 이후 유지되는 형태로 나타나고 있어, 에어컨을 통한 쾌적하고 건강한 수면환경 구현 시 고려해야 할 요소로 사료된다.

초기



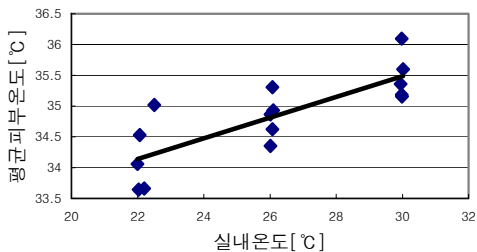
[그림 3] 평균피부온도와 실내온도(0~2h)

중기1



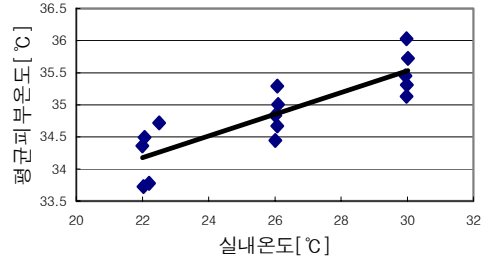
[그림 4] 평균피부온도와 실내온도(2~4h)

중기2



[그림 5] 평균피부온도와 실내온도(4~6h)

후기



[그림 6] 평균피부온도와 실내온도(6~8h)

<표 3> 2시간 간격의 최적실내온도 및 전체 수면 8시간의 최적실내온도 범위

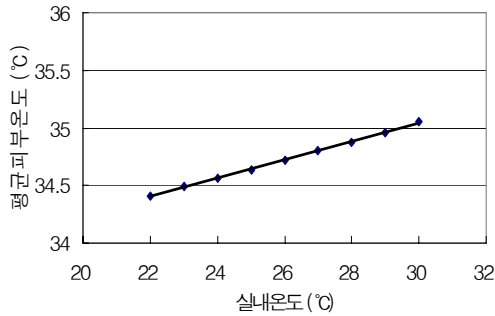
	제안자	실내온도 [°C]
0~2h	Haskell et all	21.6 ~ 26.4
	Hiroyuki Ogino	21.6 ~ 28.2
	Rohles	22.8 ~ 28.2
2~4h	Haskell et all	22.9 ~ 28.1
	Hiroyuki Ogino	22.9 ~ 30.1
	Rohles	24.2 ~ 30.1
4~6h	Haskell et all	24.1 ~ 28.1
	Hiroyuki Ogino	24.1 ~ 30.1
	Rohles	25.3 ~ 30.1
6~8h	Haskell et all	23.9 ~ 28.1
	Hiroyuki Ogino	23.9 ~ 30.1
	Rohles	25.1 ~ 30.1
0~8h	Haskell et all*	23.9 ~ 27.2
	Hiroyuki Ogino*	23.9 ~ 28.4
	Rohles*	24.7 ~ 28.4

*: 제안자의 평균피부온도 기준으로 8시간에 대하여 산출

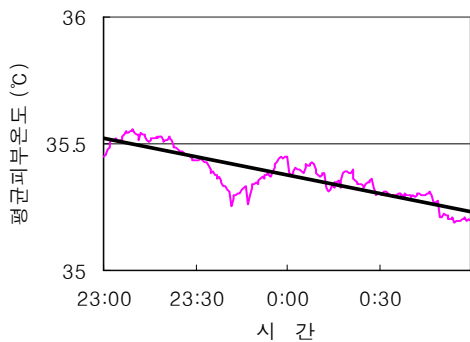
3. 실내온도 변화시점

인체 체온 일주기 패턴을 고려한다면 수면 초기에는 시원함을 잠에서 깬 무렵인 수면 후기에는 약간 따뜻함을 제공하는 것이 실내온도를 일정하게 유지하는 것 보다 쾌적한 수면을 제공할 수 있을 것이다. 따라서 수면 중 불쾌를 유발하지 않는 범위 내에서 실내온도를 상승시켜 주는 것이 에너지 절약적일 뿐만 아니라 쾌적한 수면을 제공할 수 있으므로 실내온도 상승시점을 선

행연구에서 제안 피부온도 비율이 높았던 26℃ 설정조건에 대해서 평균피부온도 변화를 통해 구하였다(김 등; 2006). PMV계산 프로그램을 이용하여 실내온도와 평균피부온도를 [그림 7]에 나타내었고, 회귀식은 식(5)에 나타났다.



[그림 7] 실내온도와 평균피부온도 관계



[그림 8] 수면 초기 평균피부온도 변화(26℃)

$$MST = 0.079T_a + 32.66 \text{ -----(5)}$$

회귀식으로부터 실내온도 1℃ 변화에 해당하는 평균피부온도 변화는 약 0.079℃로 나타났다.

$$MST = -0.0012 \cdot \text{min} + 5.52 \text{ -----(6)}$$

[그림 8]은 실험 데이터로부터 획득된 수면 초기 평균피부온도의 변화이며, 시간에 따른 평균

피부온도 회귀식은 식(6)과 같다. 위의 식으로부터 실내온도 1℃ 변화시점은 66분으로 나타났다. 이러한 점은 에어컨 온도 제어시 고려해야 할 점으로 사료된다.

IV. 결 론

여름철 수면시 실내온도조건에 따른 피험자의 평균피부온도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 체온 측정값은 대부분 정상인의 체온범위(36℃~37℃), 에 속하였으며, 변화 경향은 기상 후 체온이 상승을 하여 13시 경에 최고가 되고 난 후 지속적으로 하강을 하고 있는 전형적인 일주기 패턴을 나타냈다.

2) 쾌적평균피부온도 범위를 기준으로 수면시간 전체(8시간)에 대한 실내온도를 계산한 결과 최저 23.9℃에서 최대 28.4℃로 나타났다.

3) 시간별 추이를 고려한 영역별 실내온도 최저 하한값(2시간 간격)은 21.6℃, 22.9℃, 24.1℃, 23.9℃ 등으로 나타났으며, 상한값은 28.2℃와 이후 30.1℃ 등으로 나타났다.

4) 실내온도 1℃ 변화에 해당하는 평균피부온도 변화는 약 0.079℃로 나타났으며, 실내온도 1℃ 변화시점은 66분으로 나타났다.

참고 문헌

1) Richard de Dear : The Adaptive Model of Thermal Comfort Macquarie University's ASHRAE RP-884 Project
<http://atmos.es.mq.edu.au/~rdedear/pmv/>

강두희(1992). "생리학 개정4판", 신광출판사, 13-4~13-5.
 今井京子(1980). "寢床内暖房時の皮膚温について", 家政學研究, Vol.27 No.1, 49~54.
 梁瀬度子(1985). "寢具と睡眠", 第1回睡眠環境ソソボウム豫告集, 15~20.
 Soon-Won Lee, Soo Ae Kwon(1997). "Thermal

- Environment and Bed climate on Ondol during sleeping in each season”, Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, Vol.21, No.7, 1162-1172.
- Dong-Gyu Kim, Jong-Soo Kum(2005). “Evaluation of Thermal Comfort during Sleeping in summer I”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.17, No.5, 1~6.
- Dong-Gyu Kim, Jong-Soo Kum, Jong-Il Park,(2006). “Evaluation of Thermal Comfort during Sleeping in summer II”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.18, No.1, 1~6.
- Dong-Gyu Kim, Jong-Soo Kum, Se-Hwan Kim(2006). “Evaluation of Thermal Comfort during Sleeping in summer III”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.18, No.7, 535~540.
- Fanger.P.O.(1972). "Thermal Comfort", McGraw-Hill Book Company.
- Hiroyuki Ogino, Yayoi Nishida(1987). Akio Tajima, Teruo Yamamoto and Katsumi Ishi, “The effects of the temperature of the bed upon sleep(Part 2)”, The Eleventh Symposium on Man-Thermal Environment System, 10~13.
- Haskell, E.H. and Palca, J.W.(1981). “The Effects of high and low Ambient Temperature on Human Sleep, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology”, 494~501.
- McCullough, E.A. and Jones, B.W., Huck, J.(1985). “A comprehensive data base for estimating cloth insulation”,ASHRAE Transaction, Vol.91 Part 1, .29~47.
- Rohles, F.H.(1983). “New directions in comfort research”. ASHRAE Trans. DC-83-11, No.3, 634~646.