

여름철 수면시 온열쾌적감 평가

— 제 2 보 : 평균 피부온도 및 생리신호에 관하여 —

김 동 규, 금 종 수^{*}, 박 종 일^{**}

GE 엔지니어링, ^{*}부경대학교 기계공학부, ^{**}동의대학교 건축설비공학과

Evaluation of Thermal Comfort during Sleeping in Summer — Part II : About mean Skin Temperatures and Physiological Signals —

Dong-Gyu Kim, Jong-Soo Kum^{*}, Jong-Il Park^{**}

Global Environment Engineering, Busan 120-700, Korea

^{*}Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-738, Korea

^{**}Department of Building System Engineering, Donggeui University, Busan 614-714, Korea

(Received May 31, 2005; revision received September 22, 2005)

ABSTRACT: This study was performed to evaluate sleep efficiencies and conditions for comfortable sleep based on the analysis of EEGs and MST under four thermal conditions. Five female subjects who have similar life cycle and sleep patterns were participated for the sleep experiment. Their age was from 20 to 22 years old. They were healthy, and had regular sleep with consistent bed and wakeup time. It was checked whether they had a good sleep before the night of experiment. Experiments were performed in an environmental chamber of 4.1×4.9×2.7 m size. EEGs were obtained from C3-A2 and C4-A1 electrode sites. Sleep stages were classified, then TST, SWS latency and SWS/TST were calculated for the evaluation of sleep efficiencies on thermal conditions. As results, it was concluded that indoor thermal environments of 24~26°C was the best for comfortable and deep sleep.

Key words: TST(총수면시간), SWS latency(3,4단계 지연시간), SWS/TST(수면효율), SWS(서파수면)

기 호 설 명

ECG : 심전도(Electrocardiogram)
EEG : 뇌파(Electroencephalogram)
EMG : 근전도(Electromyogram)
EOG : 안구전도(Electro-oculogram)
MST : 평균 피부온도(Mean skin temperature)
REM : 급속안구운동(Rapid eye movements)

SWS : 서파수면(Slow wave sleep)
TST : 총수면시간(Total sleep time)

1. 서 론

일반적인 건물의 공기조화는 인간의 주 활동시간인 낮 시간 동안 이루어지며 야간에는 실시하지 않는 것이 보통이다. 그러나 여름철 열대야 현상이 일어나는 동안에는 쾌적하고 편안한 수면을 위한 공기조화조건이 필요하다. 그러나 국내의 경우 수면에 대한 연구는 주로 수면과 관련된 병의 진단과 치료에 주된 관심이 모아졌고, 외국의 경

† Corresponding author

Tel.: +82-51-620-1504; fax: +82-51-620-1504

E-mail address: jskum@pknu.ac.kr

우는 실내온도가 수면단계의 변화에 미치는 영향, 체온조절 반응과 수면단계의 관계에 관한 연구^(1,2)는 다수 행해졌지만, 수면시간 동안의 적절한 실내온도 조절에 관한 연구로서는 미흡하였다. 따라서 본 연구는 제 1 보에 이어 여름철 야간 실내온도조건에 따른 피험자의 수면상태를 판단하기 위해 평균 피부온도 분석과 수면다원검사서 얻어진 수면생리신호를 이용한 수면단계 및 수면의 효율성 등을 분석하여 쾌적한 수면을 위한 실내온도조건을 검토하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

인공환경실험실은 가로 4.1 m, 세로 4.9 m, 높이 2.7 m의 크기이며 4벽면과 천장, 바닥이 두께 50 mm 단열재로서 충분히 단열되었으며 실험 설정 온도와 습도는 항온항습기로 조절하였다. 실내 수면공간을 위해 단열된 판넬을 사용하여 분리하였으며, 조절된 공급공기는 덕트를 통해 실내로

공급되었다. Fig. 1에 실험장치의 개략도를 나타내었다.

2.2 측정항목

환경물리량 측정은 실험실 중앙 바닥면 기준 10 cm, 60 cm, 110 cm에 직경 0.2 mm T형 C-C 열전대로 계측하였고, 110 cm 지점에서는 글로브 온도와 상대습도를 측정하였다.

인체측 평균 피부온도는 직경 0.2 mm T형 C-C 열전대로써 Hardy & DuBois의 7점법(복부, 이마, 팔, 대퇴, 하퇴, 발등, 손등)을 근거로 신체 7 부위를 측정하였다. 열전대와 습도센서에서 측정된 데이터는 데이터로그(FLUKE NetDAQ)를 통해 PC에서 매 30초 간격으로 저장되도록 하였다. 생리신호는 Polygraph(San-ei 386)를 이용하여 뇌파, 심전도, 안구전도, 근전도를 측정하였으며 아날로그출력 신호를 HP-Vee 4.0 프로그램을 이용하여 A/D 변환(DT 3001)된 디지털 신호를 컴퓨터에 실시간으로 저장하여 수면단계 및 수면효율 분석에 이용하였다. 각 생리신호에 대하여 Table 1에 정리하였고, 센서 부착위치는 Fig. 2와 같다.

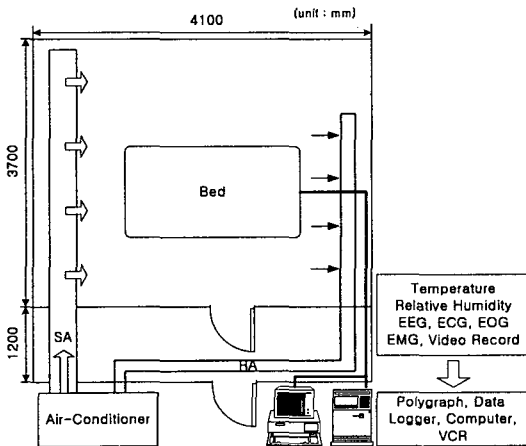


Fig. 1 Schematic of the chamber.

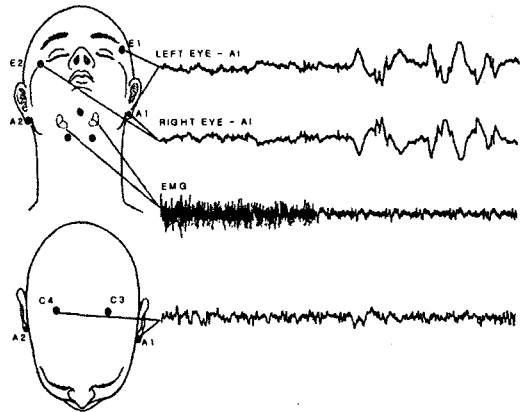


Fig. 2 Position of physiological signal sensors

Table 1 Equipment settings for data collection

	No. of channels	Analog filter	Time constant	Sampling frequency	Sites
EEG	2	30 Hz low-pass	0.3 sec	128 Hz	C3/A2
EOG	1	30 Hz low-pass	0.3 sec	128 Hz	LOC*/ROC**
EMG	1	100 Hz high-pass	0.015 sec	512 Hz	Chin/chin
ECG	1	100 Hz high-pass	0.3 sec	512 Hz	Lead I

*ROC: Right outer canthus, **LOC: Left outer canthus.

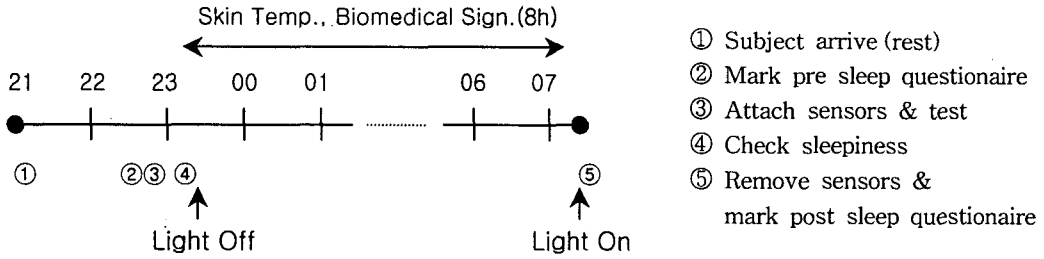


Fig. 3 Experimental process.

2.3 실험순서

피험자는 매일 21시경 실험실에 도착하여 약 2시간 동안 환경실험실에 적응하였다. 생리신호 및 피부온도 측정을 위해 각종 센서부착 후 피험자가 잠이 온다는 신고를 하면 소등(Light Off)을 하여 8시간 동안 수면을 취하였다. 실험 진행순서 및 측정항목을 Fig. 3에 나타내었다. 수면 전의 피험자 상태를 알아보기 위한 설문조사(제 1 보 참조)를 실시하고 전극을 부착하였다. 전극 부착이 끝난 후 실험에 앞서 먼저 피험자가 전극이나 환경에 의해 불편함을 느끼고 있는지의 여부를 확인하고, 수면실험에 방해가 될 만한 요소들이 없는지 확인하였다. 그리고 전극 부착상태와 리드선의 결합 여부를 확인하고, 모니터링되어지는 신호를 관찰하여 전원이나 전극 접촉불량 등으로 인

한 노이즈가 없는지 확인하였다. 이러한 실험장비의 조정에 관한 확인이 끝나면, 실험시작 전 기록에서 장비상의 문제나 피험자에게서 발생하는 문제를 알기 위해 피험자 보정(subject calibration) 과정을 Fig. 4와 같이 수행하였다. 이러한 과정이 끝나면 불을 끄고 데이터를 저장하도록 하였으며, 이후 8시간 동안 수면데이터를 측정하고 피험자를 깨웠다.

2.4 실험 대상자

피험자는 100여 명을 대상으로 수면실험 설문 조사와 예비실험을 실시하여, 생활주기 및 수면 양상이 비슷하고, 생리신호(EEG)를 기반으로 한 예비실험에서 건강에 이상이 없는 여자 피험자 5명을 선택하였다. 수면실험에 앞서 피험자들에게 예비교육을 실시하여 실험에 대한 충분한 이해를 시켰다. 또한 실험기간 중 실험에 영향을 줄 수 있는 무리한 운동이나 과로, 과식, 음주 등을 금하게 하였고 평상시와 동일한 각성-수면 주기를 유지하도록 통제하였으며, 주간에 매 시간마다 체온을 측정하게 하여 일주기 리듬을 살펴보았다. 피험자에 대한 조건을 Table 2에 나타내었다.

2.5 실험조건

초기 2일의 적응기간 동안 실제 실험과 동일한 조건에서 실험환경에 적응하였으며 제 1 보의 결과를 고려하여 실험조건에 24℃를 추가하여 랜덤

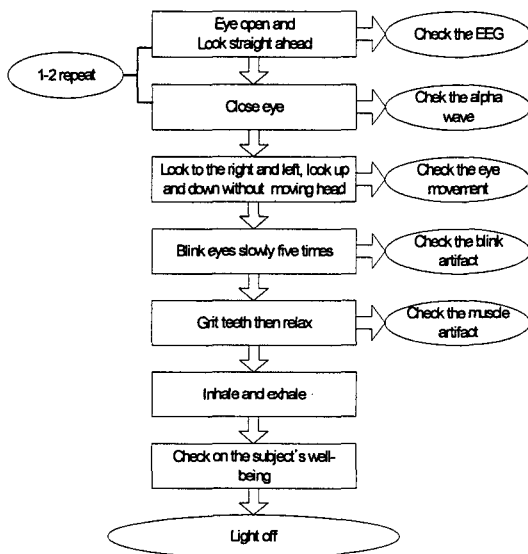


Fig. 4 Procedures for the subject calibrations.

Table 2 Data of the subjects

	Num. of subjects	Age	Height [cm]	Weight [kg]
Female	5	19.8±1.5	164.2±4.6	51.4±4.1

한 순서로 22℃, 24℃, 26℃, 30℃의 실내온도와 50% 상대습도 환경에서 수면을 취하였다. 수면 시간 동안 피험자는 정해진 의복(T-shirts, short sleeve pajama, panty, bra)을 착용한 후 1인용 침대에서 여름에 사용하는 이불(인조견사 합성 섬유)을 덮었다. 의복 및 침구의 단열성은 McCullough et al.⁽³⁾이 제시한 식을 사용하였고, 수면시 침구류 및 의복 착용상태를 관찰하여 구한 전체 열저항값은 0.89~2.44 clo로 나타났다.

2.6 생리신호 분석⁽⁴⁾

생리신호를 이용하여 수면단계 분석을 실시하였고, Fig. 5에 22℃에 대한 예를 나타내었다. Rechtschaffen과 Kales의 룰에 따라 수면 3단계와 4단계(SWS: slow wave sleep, deep sleep)는 델타파의 활동에 의해 결정하고, 수면 2단계는 수면방추파의 활동을 반영하는 시그마파를 이용하였으며, 수면 1단계의 경우는 세타파와 알파파를 이용하여 결정하였다. 또한 안구전도 신호를 이용해 REMs(rapid eye movements)를 검출하여 REM 수면단계를 판별하고, 뇌파분석에 있어 움직임으로 인한 오류를 제거하기 위해 근전도 신호를 이용하였다. 수면단계 결정은 LabVIEW 프로그램을 이용하여 자동분석을 실시하였다. 또한 온열환경 조건에 따른 수면의 쾌적성과 숙면 정도를 알아보기 위한 수면효율 평가도 평가하였다. 먼저 전체적인 충분한 수면의 정도를 관찰하기 위해 하루 중의 총수면시간(total sleep time, TST)을 계산하고, 온도조건에 따라 얼마나 빨리 깊은 잠에 들어가는지를 관찰하기 위해 수면 3, 4단계까지의 지연시간(SWS latency)을 계산하였다. 그리고 하루 수면 중 수면 3, 4단계의 비율을 계산하여 전체 수면에 대한 깊은 수면의 정도를 관찰하였다. 수면단계 분석에 대한 정확성은 임

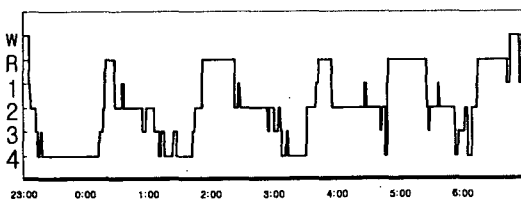


Fig. 5 Sleep stage 22℃ (W: state of wake, R: state of REM, 1-4: sleep stage).

Table 3 Results of sleep stage analysis program verification

	Stage wake	Stage 1, 2	Stage 3	Stage 4	Stage REM
MIT-BIH DB	48	103	143	84	157
Analysis program	27	72	118	61	136
Agreement (%)	56.25	69.90	82.52	72.62	86.62

상의에 의한 판단으로 해야 하지만, 본 연구에서는 임상과의 판단에 의해 정의된 ECG 표준 데이터베이스 중의 하나인 MIT-BIH DB를 이용하여 검증하였다. 수면단계 분석결과는 MIT-BIH DB를 통해 검증한 결과 전체적으로 77.4%의 일치도를 보였으며 Table 3에 검증결과를 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 평균 피부온도

Fig. 6에 평균 피부온도 변화형태를 나타내었다. 각 설정온도별 평균 피부온도의 차이가 뚜렷하게 나타남을 볼 수 있다. 수면 초기에는 수면 전에 비하여 대사량이 줄어들었기 때문에 평균 피부온도가 저하하는 변화형태를 보인다. 그 변화형태는 거의 선형적이지만, 수면 후 약 60~120분 사이에 초기의 변화형태에 호트러짐이 생기는데, 이것이 평균 피부온도의 최초 최저시점이다.

Hiroyuki et al.⁽⁵⁾이 제안한 적정 평균 피부온도 범위(34.5~35.6℃) 관점에서 평균 피부온도 경시 변화는 26℃의 경우는 초기에는 경계역에 있지만 수면 후기로 갈수록 적정영역에 속하고, 반면에 24℃는 수면 초기에는 적정영역 내에 속하지만, 수면 후기로 갈수록 적정피부온도 경계범위를 벗

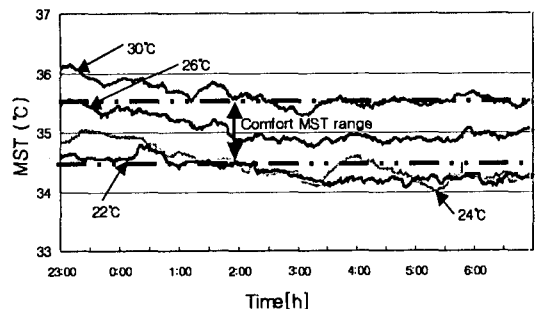


Fig. 6 MST variation during sleeping.

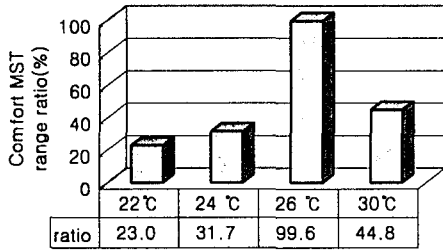


Fig. 7 Result of MST range ratio for thermal conditions.

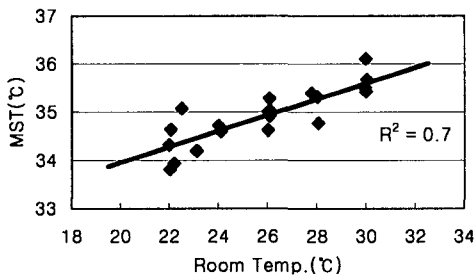


Fig. 8 Results of MST for thermal conditions.

어남을 알 수 있다. 전 수면시간 동안 적정 평균 피부온도 범위에 속하는 비율을 Fig. 7에 나타내었다. 실내온도 26°C 조건이 다른 조건보다 쾌적한 수면을 취할 수 있는 평균 피부온도 비율이 높게 나타났다.

수면시 실내온도와 평균 피부온도 사이의 관계를 Fig. 8에 나타내었고, 상관식은 아래와 같다.

$$MST = 0.164 \times (\text{Room Temp.}) + 30.673 \quad (R^2 = 0.7)$$

상관식을 이용하여 Hiroyuki et al.이 제안한 적정 평균 피부온도 범위(34.5~35.6°C)로 실내온도를 계산한 결과 23.3~30°C로 나타났다.

3.2 생리신호

온열환경조건에 따른 수면 쾌적성과 숙면 정도를 알아보기 위하여 수면효율 및 수면단계를 Fig. 9~12에 나타내었다.

Fig. 9의 총 수면시간은 각 조건에서 매우 비슷한 결과가 나타났고, 24°C와 26°C의 온도조건에서 다소 크게 나타났다.

Fig. 10의 수면 3,4단계(깊은 잠) 지연시간(SWS

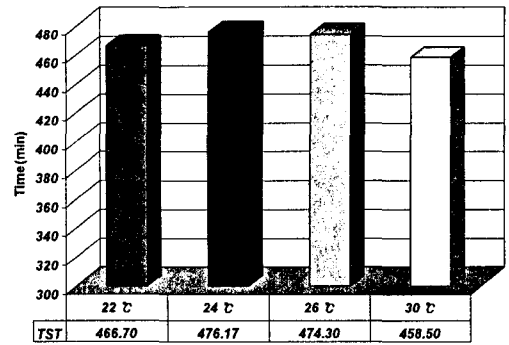


Fig. 9 Result of TST for thermal conditions.

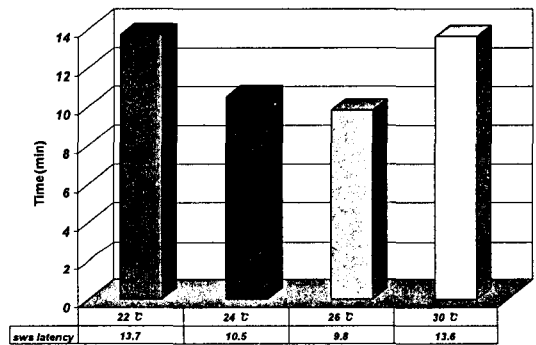


Fig. 10 Result of SWS latency for thermal conditions.

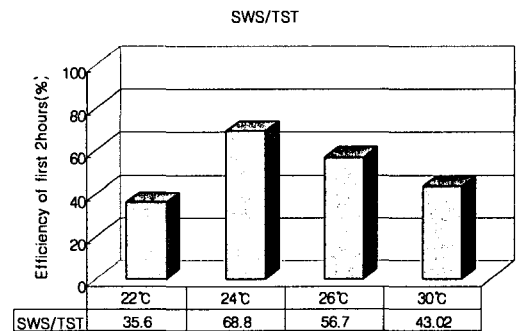


Fig. 11 Result of the first SWS/TST for thermal conditions.

latency)은 26°C에서 가장 낮은 값을 보였고, 다음은 24°C의 조건에서 낮게 나타났다.

Fig. 11은 수면 초기 2시간 동안 실내온도와 수면효율의 관계를 나타내었다. 수면 초기에 수면효율이 가장 높은 조건은 24°C로 나타났다.

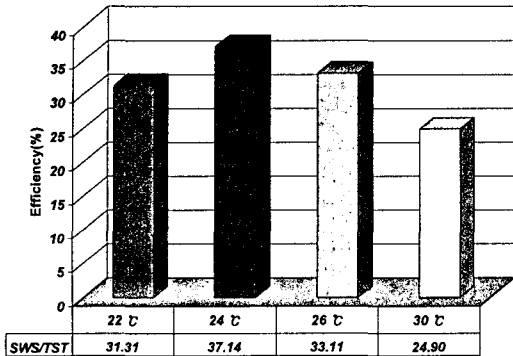


Fig. 12 Result of SWS/TST for thermal conditions.

Fig. 12의 전체 수면시간에 대한 SWS 시간의 비율인 수면효율로써 24°C의 조건에서 가장 높은 효율을 나타내었고, 다음은 26°C의 온도조건에서 높게 나타났다. 따라서 총수면시간, 수면효율, 수면단계를 고려할 때 수면시 적정 실내온도조건은 24~26°C가 적당하다고 판단된다.

4. 결 론

여름철 야간 실내온도조건에 따른 피험자의 평균 피부온도, 수면다원검사에서 얻어진 수면생리신호 등을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 평균 피부온도

수면 초기에는 평균 피부온도 최초 최저시점은 수면 후 약 60~120분 사이에 나타났다. Hiroyuki et al.이 제안한 적정 평균 피부온도범위(34.5~35.6°C)로 실내온도를 계산한 결과 23.3~30°C로 나타났으며, 실내온도 26°C 조건이 다른 조건보다 쾌적한 수면을 취할 수 있는 평균 피부온도 비율이 높게 나타났다.

(2) 생리신호

총수면시간, 수면효율, 수면단계를 고려할 때 수면시 적정 실내온도 조건은 24~26°C로 나타났다.

(3) 평균 피부온도와 생리신호

쾌적한 수면을 위한 적절한 온열환경조건은 24~26°C의 범위가 적절하며, 24°C의 경우는 쾌적

평균 피부온도범위를 고려하면 수면 초기에 양호한 것으로 나타났지만, 수면 후기에는 범위를 벗어나고 있고, 26°C의 경우는 초기 경계역에서 시작해서 적정영역을 이행하고 있음을 나타내고 있다. 이러한 점은 인체의 생리 및 평균 피부온도를 고려할 때 수면 도중 온도상승의 필요성을 의미하며 추후 검토가 필요하다고 사료된다.

후 기

본 연구를 지원해 준 과학기술부 및 (주)LG전자, 전북대학교 임계중 교수님께 감사드립니다. 또한 이 논문은 2005년도 두뇌한국21사업에 의하여 일부 지원되었습니다.

참고문헌

1. Muzet, A. and Ehrhart, J., 1983, Rem sleep and ambient temperature in man, *Journal of the Neuroscience*, Vol. 18, pp. 117-126.
2. Haskell, E. H. and Palca, J. W., 1981, The effects of high and low ambient temperature on human sleep, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, pp. 494-501.
3. McCullough, E. A., Jones, B. W. and Huck, J., 1985, A comprehensive data base for estimating cloth insulation, *ASHRAE Transaction*, Vol. 91, Part 1, pp. 29-47.
4. Rechtschaffen A. and Kales A., 1968, A manual of standardized terminology techniques and scoring systems for sleep stages of human subjects, Los Angeles Brain Information Service/Brain Research Institute, UCLA.
5. Hiroyuki, O., Yayoi, N., Akio, T., Teruo, Y. and Katsumi, I., 1987, The effects of the temperature of the bed upon sleep (Part 2), *The Eleventh Symposium on Man-Thermal Environment System*, pp. 10-13.