

여름철 수면시 온열쾌적감 평가

— 제4보 : 쾌적수면을 위한 실내온도 설정에 관한 연구 —

금 종 수, 김 동 규[†], 박 종 일^{*}

부경대학교 기계공학부, ^{*}동의대학교 건축설비공학과

Evaluation of Thermal Comfort during Sleeping in Summer

— Part IV : Study on Indoor Temperature Conditions for Comfort Sleep —

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

Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-738, Korea

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

(Received September 6, 2006; revision received February 19, 2007)

ABSTRACT: This study was performed to evaluate sleep efficiencies and conditions for comfortable sleep based on the analysis of sleep efficiency and MST under four thermal conditions (22°C, 24°C, 26°C, 30°C). 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 using thermo-hygrostat. The physiological signal (EEG) for sleep stage were obtained from C3-A2 and C4-A1 electrode sites. Sleep stages were classified, then SWS latency and SWS/TST were calculated for the evaluation for sleep efficiencies on thermal conditions. As results, mean skin temperature for comfort sleeping was 34.5~35.4°C. Considering sleep efficiency and mean skin temperature, indoor room temperature of upper limit was 28.1°C.

Key words: Comfort sleep(쾌적수면), Sleep efficiency(수면효율), Sleep stage(수면단계)

기 호 설 명

ECG : 심전도(Electrocardiogram)
EEG : 뇌파(Electroencephalogram)
EMG : 근전도(Electromyogram)
EOG : 안구전도(Electro-oculogram)
MST : 평균 피부온도(Mean Skin Temperature)
NREM : 비REM(non-REM)

REM : 급속안구운동(Rapid Eye Movements)
SWS : 서파수면(Slow Wave Sleep)
TST : 총 수면시간(Total Sleep Time)

1. 서 론

쾌적한 실내 온열환경은 일의 효율성을 증대시키고 건물 내 재실자의 건강을 유지하는 데 매우 중요한 요소이다. 사회 및 업무의 전문화가 진행됨에 따라 현대인의 실내 활동시간이 증가하고 있고, 실내 재실환경에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 정보화, 국제화, 기술화된 문

[†] Corresponding author

Tel.: +82-51-620-1617; fax: +82-51-620-1617

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

명 속에서 활동, 휴식 리듬의 폭을 위협 당하고 있는 현대인들의 가장 큰 휴식 및 재충전 시간인 수면시간 동안의 쾌적한 수면환경을 제공할 수 있는 적정 온열환경에 대한 평가는 아직 미비한 실정이다.

수면은 인간이 살아가는 데 없어서는 안 되며, 고등생물에서만 볼 수 있는 고도의 적응행동이고 휴식과 신체의 회복, 에너지 보상의 기능을 가지며 건강의 유지와 일상적인 생활을 위한 가장 기초적인 문제이다. 인간은 빛과 어둠이라는 자연의 일주기에 상응하여 낮에는 각성상태를 유지하면서 활동을 하고, 밤에는 수면상태의 휴식을 취하도록 길들여져 있다. 사람을 대상으로 하는 대부분의 학문은 깨어서 활동하고 있는 동안의 생각과 행동을 논하는 것이 대부분인 반면, 인간 생명현상의 3분의 1에 해당하는 수면에 대한 관심은 상대적으로 적었다. 수면연구에 있어 국내의 경우는 주로 온돌과 관련한 선행연구들이 있지만, 에어컨 사용을 위한 실내 설정온도와 관련된 연구는 미약하다.^(1,2)

수면의 깊이와 이에 따른 연구가 일부 수행되기는 하였으나 강한 자극으로 수면 중의 피험자를 깨우는 문제 등 여러 가지 면에서 어려움이 많았다. 1929년 Hans Berger가 처음으로 대뇌 피질의 전기적 활동을 측정하여, 뇌의 기능적 결함을 관찰할 수 있는 뇌파를 측정할 이후 뇌파에 대한 연구는 활발히 진행되어져 왔으며, 이는 수면연구에 많은 도움이 되었다. 수면의 분류방법은 Rechtschaffen과 Kales에 의해 주장된 수면단계 결정 방법이 국제적으로 널리 이용되어지고 있으며 수면단계의 분류는 수면 1단계, 수면 2단계, 수면 3단계, 수면 4단계로 이루어지는 NREM 수면과 REM 수면으로 분류되어지고 있다.^(3,4)

Knab and Engle-Sittenfeld⁽⁵⁾은 “잘 자는 것”의 기준은 빨리 잠들고, 잠을 깨는 횟수가 적고, 수면시간이 길고, 수면 중 움직임이 적고, 깨고 나서 휴식감이 있는 것이라고 하였다. 수면단계는 부분적인 수면의 상태를 잘 나타내어 주지만 어떠한 자극이나 환경에 따른 전반적인 수면상태

에 대해서는 알 수 없기 때문에 수면의 질적인 상태를 파악하기 위해서는 부가적인 지표가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 앞서 발표된 논문⁽⁶⁾의 연구결과와 관련하여 선행연구자^(5,7,8,9)들의 연구결과인 쾌적수면을 위한 평균 피부온도 범위, 잘자는 것에 대한 기준에 근거하여 쾌적수면을 위한 실내온도, 평균 피부온도 범위를 제안하였다.

2. 실험방법 및 장치

2.1 피험자 선정

실험에 참가한 피험자는 100여명의 참가지원자를 대상으로 수면실태 설문조사와 예비실험을 실시하여, 생활주기 및 수면양상이 비슷하고, 생리신호(EEG)를 기반으로 한 예비실험에서 건강에 이상이 없는 여자 피험자 5명을 선택하였다. 수면실험에 앞서 피험자들에게 예비교육을 실시하였고, 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. 선정된 피험자의 조건은 Table 1과 같고, 매일 21시경 실험실에 도착하여 약 2시간 동안 환경실험실에 적응한 후 실험에 임하였다.

2.2 실험방법

수면환경과 센서에 대한 부담감을 고려하여 초기 2일의 적응기간 동안 실제 실험과 동일한 조건에서 실험환경에 적응하였으며 무작위 순서로 22°C, 24°C, 26°C, 30°C의 실내온도와 50% 상대습도 환경에서 수면을 취하였고, Table 2에 설정조건에 따른 항온항습실의 온도 및 습도를 나타냈다. 수면시간 동안 피험자는 정해진 의복(T-shirts,

Table 1 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

Table 2 Experimental conditions

	Temp. (°C)	Rh (%)
22°C, 50%	22.1±0.2	52.2±3.7
24°C, 50%	23.7±0.5	49.5±2.1
26°C, 50%	26.0±0.1	51.8±1.0
30°C, 50%	29.9±0.1	52.1±0.8

short sleeve pajama, panty, bra)을 착용한 후 1인용 침대에서 여름에 사용하는 이불(인조견사 합성섬유)을 덮었다. 의복 및 침구의 단열성은 McCullough et al.⁽¹⁰⁾ 등이 제시한 식을 사용하였다. 그러나 인체 표면이 설정온도에 따라 의복 및 침구류 전체와 접하거나 덮여 있는 면적비율이 다르므로, 본 연구에서는 설정온도별 수면시 침구류 접촉 및 의복 착용상태를 관찰하여 면적비율을 적용한 결과 전체 열저항값은 0.89~2.44 clo로 나타났다. 생리신호 및 피부온도 측정을 위해 각종 센서 부착 후 피험자가 잠이 온다는 신호를 하면 소등을 하여 8시간 동안 수면을 취하였다. 수면 전의 피험자상태를 알아보기 위한 설문조사를 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, 모니터링 신호를 관찰하여 전원이나 전극접촉 불량 등으로 인한 노이즈를 확인하였다. 실험장비의 조정에 관한 확인이 끝나면, 실험시작 전 기록에서 장비상의 문제나 피험자에게서 발생하는 문제를 알기 위해 피험자 보정과정을 수행하였다. 상기와 같은 일련의 과정이 끝나면 불을 끄고 데이터를 저장하도록 하였으며, 이 후 8시간 동안 수면데이터를 측정하고 피험자를 깨웠다.

2.3 실험장비 및 측정항목

수면환경 구현을 위해 사용된 온열환경 실험실

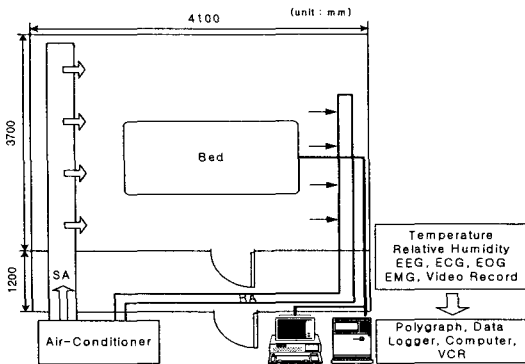


Fig. 1 Schematic of the chamber.

은 가로 4.1 m, 세로 4.9 m, 높이 2.7 m의 크기이며 4벽면과 천장, 바닥이 두께 50 mm 단열재로서 단열되었으며 실험 설정온도와 습도는 항온항습기로 조절하였다. 실내는 수면공간과 소음을 위해 단열된 판넬을 사용하여 분리하였으며, 조절된 공급공기는 덕트를 통해 실내로 공급되었다. Fig.1 및 Table 3에 실험장치의 개략도 및 항온항습기의 사양을 나타내었다. 실험환경 구현 확인을 위한 환경물리량 측정은 실험실 중앙 바닥면 기준 10 cm, 60 cm, 110 cm에 직경 0.2 mm T형 열전대로 계측하였고, 110 cm 지점에서는 글로브 온도와 상대습도를 측정하였다.

인체측 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. 평균 피부온도는 직경 0.2 mm T형 열전대로써 Hardy & DuBois의 7점법을 사용하여 측정하였다.

2.4 수면단계 및 수면효율 분석

수면단계에 관한 연구는 Rechtschaffen and Kales⁽³⁾에 의해 주장된 수면단계 결정방법이 국제적인 표준안으로 이용되며, 표준에 따라 stage W(wake 각성), stage 1, stage 2, stage 3, stage 4, stage REM으로 분류된다. 이에 따라 측정되어진 생리신호를 이용하여 수면단계 분석을 실시하였다. 먼저 EEG 신호 중 1채널(C3-A2)을 선택하여 동잡음이나 전원 노이즈 등을 제거하기 위해 디지털 필터와 hanning window를 적용하여 0.1~30 Hz로 필터링하였다. 필터링된 EEG 신호를 한 개의 epoch(30초)를 기준으로 3,840개의 샘플을 FFT를 분석을 하기 위해 zero padding 기

Table 3 Specification of the chamber

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

법을 이용하여 4,096개의 데이터로 다시 샘플링한 후 파워스펙트럼을 구성하였다. 파워스펙트럼을 이용해 이 각각의 결과를 EEG 파형의 특성에 따라 델타(0.5~2 Hz), 세타(3~7 Hz), 시그마(12~16 Hz), 알파(7~13 Hz), 베타(13~30 Hz)로 구분하고, 이들의 대역값에 따라 파워스펙트럼 밀도를 구하였다. 수면단계분석은 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 이용하였고, 일련의 분석과정은 LabVIEW 프로그램을 이용하여 자동 분석을 실시하였다. 일반적으로 컴퓨터를 이용한 수면단계분석에 대한 정확성은 임상가의 판단이나, 본 연구에서는 임상가의 판단에 의해 정의된 데이터베이스를 이용하여 검증하였다.

Fig. 2는 MIT-BIH Polysomnographic Database 중 REM 수면의 예를 나타낸 것이다. MIT-

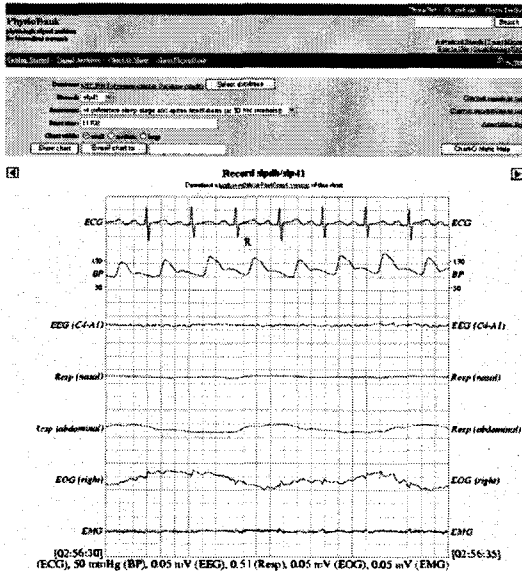


Fig. 2 MIT-BIH data(REM) for sleep stage verification (www.physionet.org/physiobank/database/slpdb).

HIB에는 수면 데이터 외에도 심전도 등의 데이터가 있으며 수면실험 데이터의 경우 수면상태의 판별결과가 같이 수록되어 있으며 심전도 신호의 경우 R파크의 위치정보가 같이 있으므로 생리신호 분석 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 인용된다. 수면단계 분석결과는 선행연구⁽⁶⁾에서 MIT-BIH DB를 통해 검증한 결과 전체적으로 77.4%의 일치도를 나타냈다. 수면효율은 수면환경이나 수면의 질적 상태를 평가하는 데 이용되어지고, 주로 수면단계를 이용하여 계산되어지며 전체 수면에 대한 각 단계별 비율이나 단계별 지연시간 등을 이용한다. 특히 서파수면(SWS : slow wave sleep)이라고 불리는 수면 3, 4단계는 깊은 수면을 나타내기 때문에 수면 효율계산에 많이 이용된다. 따라서 본 논문에서는 하루 중 총 수면 시간(TST : total sleep time)을 계산하고, 수면 중 수면 3, 4단계의 비율과 수면 시작시간부터 최초에 수면 3, 4단계가 나타나기까지의 지연시간(sleep latency)을 계산하였고, 이는 하루 수면에 있어 충분한 숙면의 정도를 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 수면효율

온열환경조건에 따른 수면의 쾌적성과 숙면 정도를 분석하기 위하여 수면효율에 따른 실내온도, 평균 피부온도의 상관 경향을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 3의 실내온도와 수면효율의 회귀관계에서 실내온도 24.2°C에서 가장 높은 수면효율을 나타내고, 이 값을 경계로 하여 수면효율이 감소되는 경향을 나타내고 있다. Fig. 4는 수면효율과 평균 피부온도의 회귀관계를 나타낸 것으로 평균 피부온도값이 34.1°C일 때 가장 높은 수면효율을 나타내고, 평균 피부온도가 상승함에 따라 수면효율이 감소하는 경향을 나타내고 있다. Fig. 3 및 Fig. 4의 경향을 고려하여 쾌적수면을 판단하기 위한 수면효율 기준을 Haskell,⁽⁷⁾ Hiroyuki,⁽⁸⁾ Rohles⁽⁹⁾ 등이 제안한 평균 피부온도 범위를 Fig. 4에 적용하여 쾌적한 수면을 취할 때의 수면효율을 구하였다. 최적 평균 피부온도값을 본 연구결과에 적용하였을 경우 쾌적수면 판단을 위한 수면효율은 26.1~35.3%로 나타났다. 또한 수면효율값을 근거로 쾌적수면을 위한 실내온도를

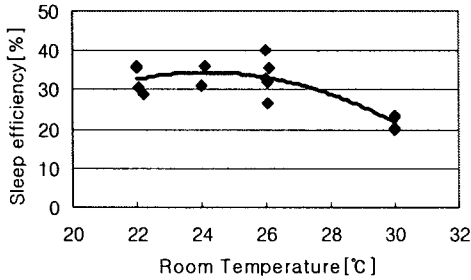


Fig. 3 Room temperature vs. sleep efficiency in sleep ($P < 0.05$).

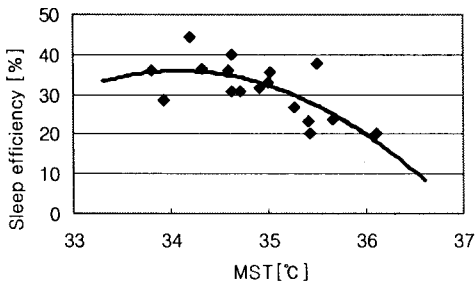


Fig. 4 MST vs. sleep efficiency in sleep ($P < 0.05$).

구한 결과 Table 4와 같이 Haskell, Hiroyuki 제안값의 경우는 상한값으로 27.8°C, 28.9°C로 나타났으며, Rohles의 경우는 24.5~28.9°C로 나타났다. 이 값은 여름철 주간에 권장되는 온도값보다 높은 값을 보여주고 있는데, 수면시 주간보다 대사량이 감소하기 때문에 체온조절의 관점에서 타당한 것으로 판단된다. Fig. 5는 수면효율과 수면 3, 4단계 지연시간을 나타내었고, 3, 4단계 지연 시간이 증가할수록 수면효율이 감소함을 알 수 있

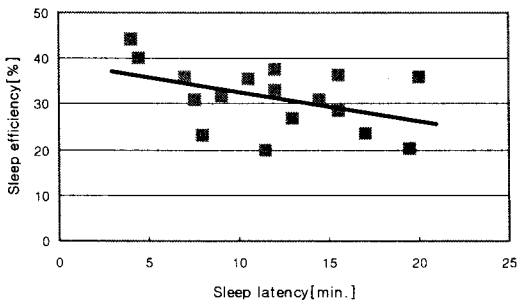


Fig. 5 Sleep efficiency vs. sleep latency in sleep ($P < 0.05$).

Table 4 Optimal MST vs. sleep efficiency and room temperature

	Optimal MST [°C]	Sleep efficiency [%]	Room temp. [°C]
Haskell	34.5~35.3	29.6~35.3	27.8*
Hiroyuki	34.5~35.6	26.1~35.3	28.9*
Rohles	34.7~35.6	26.1~34.4	24.5~28.9

*Upper limit value

다. Table 4를 근거로 쾌적수면을 위한 수면효율 26.1~35.3%를 얻기 위한 지연시간은 최대 20분에서 최소 6분으로 나타났다.

3.2 평균 피부온도

Fig. 6은 각 설정온도별 평균 피부온도를 2시간 간격으로 평균한 것으로 시간의 경과와 더불어 평균값이 하강함을 나타내고 있다. 선행연구에 의한 평균 피부온도 하한값 34.5°C를 적용하면 22°C 조건의 경우는 2시간 경과 이후, 24°C 조건은 4시간 경과 이후 하한값을 이하로 떨어짐을 나타내고 있고, 상한값 35.6°C를 적용하면 30°C 조건

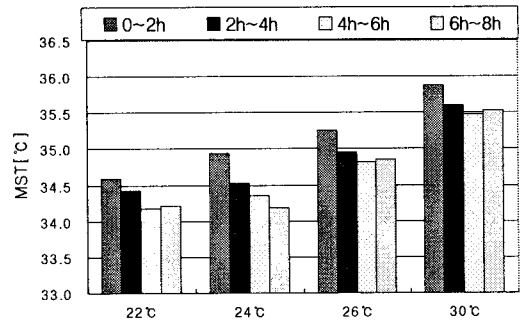


Fig. 6 MST vs. indoor temperature ($P < 0.05$).

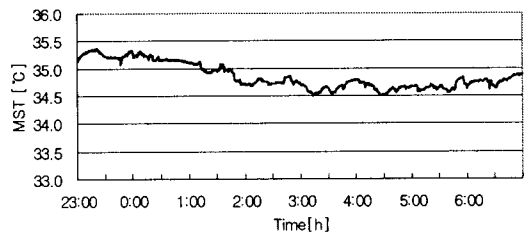


Fig. 8 Optimal MST variation.

은 초기 4시간 동안 상한값을 초과함을 알 수 있다. 따라서 평균 피부온도의 상한한 값을 고려한다면 26°C 조건은 수면시간 전체적으로 양호하고, 반면에 22°C, 24°C 조건은 수면시간의 경과에 따라 적정 피부온도범위를 벗어나지만, 수면 초기조건에 대한 검토는 필요하다고 사료된다.

Fig. 7은 피험자가 참여한 실험조건 중에서 수면효율이 가장 높았던 26°C에 대한 피험자별 평균 피부온도의 평균을 이용하여 변화형태를 추정하였다. 추정결과 평균 피부온도의 변화 범위는 34.5~35.4°C로 나타났고, 실내 적정온도의 상한값은 28.1°C로 나타났다. 이는 Table 4와 같이 선행연구자들이 제안한 쾌적수면을 위한 평균 피부온도 범위와 일치하였다.

4. 결 론

여름철 야간 실내 온도조건에 따른 피험자의 수면효율, 평균 피부온도 등을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 수면효율을 고려한 쾌적수면 평균 피부온도의 변화범위는 34.5~35.4°C로 나타났다.
- (2) 쾌적수면을 위한 수면지연시간은 최대 20분에서 최소 6분으로 나타났다.
- (3) 수면효율을 고려한 적절한 실내 온도범위의 상한값은 28.1°C로 나타났다.
- (4) 본 연구에서 다루지 못한 피험자 성별차이, 수면주위 환경변화 등에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. Lee, S.W. and Kwon, S.A., 1997, Thermal environment and bedclimate on Ondol during sleeping in each season, Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, Vol. 21, No. 7, pp. 1162-1172.
2. Kazue, O.-M., Kazuyo, T., Koh, M. and Tsuchiya, I., 2005, Effects of partial humid heat exposure during different segments of sleep on human sleep stages and body temperature, Physiology & Behavior 83, pp. 759-765.
3. 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.
4. Armitage, R., 1995, The distribution of EEG frequencies in REM and NREM sleep stages in healthy young adults, Sleep, Vol. 18(5), pp. 334-341.
5. Knab, D. and Engle-Sittenfeld, P., 1983, The many facets of poor sleep, Neuropsychobiology, 10, pp. 141-147.
6. Kim, D.G., Kum, J.S. and Park, J.I., 2006, Evaluation of thermal comfort during sleeping in summer, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 1, pp. 1-6.
7. 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.
8. 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.
9. Rohles, F.H., 1983, New directions in comfort research, ASHRAE Trans. DC-83-11, No. 3, pp. 634-646.
10. 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.