

# 여름철 수면시 온열쾌적감 평가

## — 제 3 보 : 실내온도 상승에 관하여 —

김 동 규, 금 종 수<sup>†</sup>, 김 세 환<sup>\*</sup>

부경대학교 공과대학 기계공학부, <sup>\*</sup>동의대학교 공과대학 건축설비공학과

### Evaluation of Thermal Comfort during Sleeping in Summer

#### — Part III : About Indoor Air Temperatures Rise —

Dong-Gyu Kim, Jong-Soo Kum<sup>†</sup>, Se-Hwan Kim<sup>\*</sup>

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

<sup>\*</sup>Department of Building System Engineering, Dongeui University, Busan 614-714, Korea

(Received July 4, 2005; revision received August 23, 2005)

**ABSTRACT:** This study was performed to evaluate sleep efficiencies and conditions for comfortable sleep based on the analysis of physiological signals under variations in thermal conditions. Five female subjects who have similar life cycle and sleep patterns were participated for the sleep experiment. It was checked whether they had a good sleep before the night of experiment. EEGs were obtained from C3-A2 and C4-A1 electrode sites and EOGs were acquired from LOC (left outer canthus) and ROC (right outer canthus) for REM sleep detection. Sleep stages were classified, then TST (total sleep time), SWS (slow wave sleep) latency and SWS/TST were calculated for the evaluation of sleep efficiencies on thermal conditions. TST was defined as an amount of time from sleep stage 1 to wakeup. SWS latency was from light off time to sleep stage 3 and percentage of SWS over TST was calculated for the evaluation of sleep quality and comfort sleep under thermal conditions. As result, the condition which raise a room temperature provided comfortable sleep.

**Key words:** TST(총수면시간), SWS latency(3,4단계 지속시간), SWS/TST(수면효율)

### 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)

### 1. 서 론

수면은 환경조건에 의해 영향을 받고, 침실의 경우 밝기, 소음, 온도 및 습도 등과 같은 물리적인 환경조건은 수면을 방해하는 요인으로 작용할 수 있다. 여름철 무덥고 습한 기후 및 열섬효과로 야간에 도시의 기온이 25℃를 넘어가는 열대야 현상이 일어나게 되면 잠들기 어렵고, 수면의

<sup>†</sup> Corresponding author

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

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

질도 저하하여 수면 본연의 기능 중 하나인 피로 회복 효과도 불충분하게 된다. 그러므로 열대야 현상이 일어나는 동안에는 쾌적하고 편안한 수면을 위하여 수면 초기에는 약간 시원함을 제공하여 잠들기 쉽게 하는 것이 필요하다. 또한 인체의 체온 사이클과 수면단계는 밀접한 관계가 있다는 점을 고려할 때 잠에서 깬 무렵인 수면 후기에는 따뜻하게 유지하는 것이 수면에 도움이 될 것이다.<sup>(1,2)</sup> 따라서 본 연구는 제 1보 수면 전후의 설문과 제 2보 평균 피부온도 및 생리신호 분석에 이어 수면 중 실내온도 상승에 따른 피험자의 수면상태를 검토하기 위해 평균 피부온도와 수면 생리신호를 이용한 수면단계 및 수면의 효율성, 수면 후 설문 등을 종합적으로 분석하여 쾌적한 수면을 위한 실내온도 상승조건을 검토하고자 하였다.

2. 실험개요 및 조건

2.1 실험장치

인공환경실험실은 가로 4.1 m, 세로 4.9 m, 높이 2.7 m의 크기이며 4벽면과 천장, 바닥이 단열재로서 충분히 단열되었으며 온도와 습도는 향온향습기로 조절이 가능하다. 실내는 수면공간을 위해 판넬을 사용하여 분리하였으며, 향온향습기에 의해 조절된 공급공기는 덕트를 통해 실내로 공급되었다. Fig. 1에 실험장치의 개략도를 나타내었다.

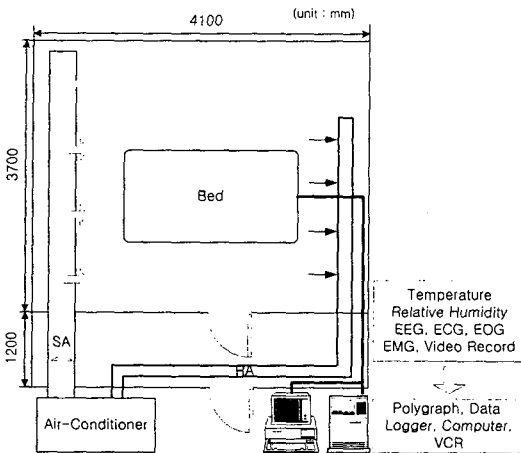


Fig. 1 Schematic of the chamber.

2.2 측정 항목

환경물리량인 온도는 실험실 중앙의 바닥면 기준 10 cm, 60 cm, 110 cm에 직경 0.2 mm T형 C-C 열전대를 두어 계측하였고, 110 cm 지점에서는 글로벌 온도와 습도(BEAM)를 측정하였다. 인체측 평균 피부온도는 직경 0.2 mm인 T형 C-C 열전대로써 Hardy & DuBois의 7점법(복부, 이마, 팔, 대퇴, 하퇴, 발등, 손등)으로 부착하여 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, 아날로그 출력신호를 HP-Vee 4.0 프로그램을 이용하여 A/D 변환(DT 3001)된 디지털 신호를 컴퓨터에 실시간으로 저장하여 수면단계 및 수면효율 분석에 이용하였다. 생리신호 수집 및 분석 프로그램을 Fig. 2에 나타냈다.

2.3 실험순서

피험자는 매일 21시경 실험실에 도착하여 약 2 시간 동안 환경실험실에 적응하였다. 생리신호 및

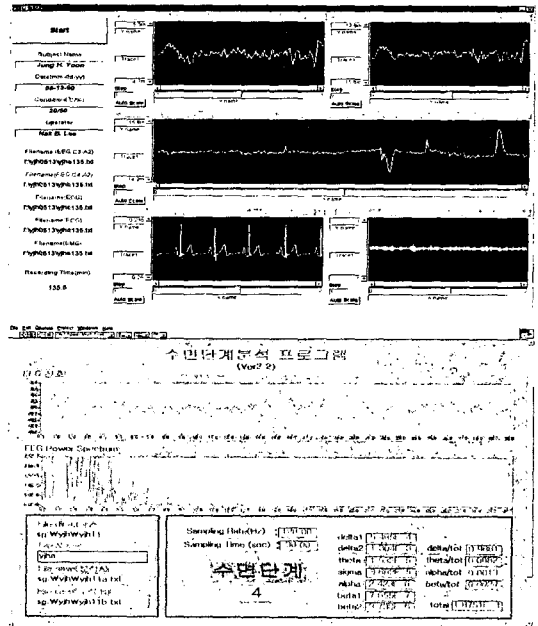


Fig. 2 Physiological signals acquire and analysis program.

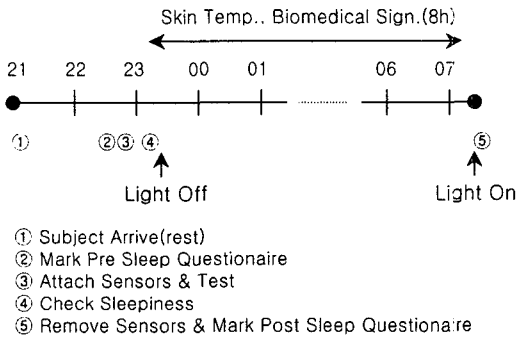


Fig. 3 Experiment process.

피부온도 측정을 위해 각종 센서 부착 후 피험자가 잠이 온다는 신고를 하면 소등(light off)을 하여 8시간 동안 수면을 취하였다. 실험진행순서 및 측정항목을 Fig. 3에 나타내었다. 수면 전의 피험자의 상태를 알아보기 위한 간단한 설문조사를 실시하고, 전극을 부착하였다(제1, 2보 참조).

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 전극접촉 불량 등으로 인한 노이즈가 없는지 확인하였다. 이러한 실험장비의 조정에 관한 확인이 끝나면, 실험시작 전 기록(recording)에서 장비상의 문제나 피험자에게서 발생하는 문제를 알기 위해 피험자 보정(subject calibration)과정을 수행하였다. 이러한 과정이 끝나면 불을 끄고 데이터를 저장하도록 하였으며 이후 8시간 동안 수면데이터를 측정하고 피험자를 깨웠다.

2.4 실험 대상자

피험자는 100여명을 대상으로 수면실태 설문조사와 예비실험을 실시하여, 생활주기 및 수면양상이 비슷하고, 생리신호(EEG)를 기반으로 한 예비실험에서 건강에 이상이 없는 여자 피험자 5명을 선택하였다. 선택된 피험자의 특성은 나이 19.8±1.5세, 신장 164.2±4.6 cm, 체중 51.4±4.1 kg이었다.

수면실험에 앞서 피험자들에게 예비교육을 실시하여 실험에 대한 충분한 이해를 시켰다. 또한 실험기간 중 실험에 영향을 줄 수 있는 무리한

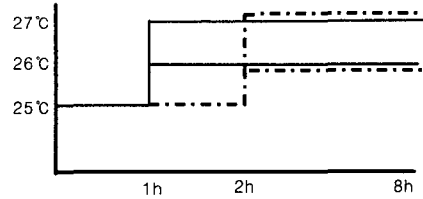


Fig. 4 Setting conditions of experimental.

운동이나 과로, 과식, 음주 등을 금하게 하였고 평상시와 동일한 각성-수면 주기를 유지하도록 통제하였으며, 중간에 매 시간마다 체온을 측정하게 하여 일주기 리듬을 살펴보았다.

2.5 실험방법

본 연구에서는 수면 후기 체온하강에 주목하여 체온보상의 관점에서 실온을 상승시키는 실험을 하였고, Fig. 4에 실험방법을 나타냈다.

제 1 보 및 제 2 보의 실험 및 설문에서 24°C 및 26°C 조건이 수면에 양호한 조건으로 판단되어 수면 초기에는 25°C, 70%의 조건에서 수면을 취하게 하였다. 그후 소등시점으로부터 60분, 120분 후에 실내온도를 1°C, 2°C 상승시키는 4가지 조건으로 실험을 실시하였다.

2.6 수면단계 및 수면효율

수면단계는 Rechtschaffen and Kales<sup>(3)</sup>에 의해 주장된 수면단계 결정방법이 국제적인 표준안으로 이용되어지고 있으며, 이에 따르면 수면단계는 수면 1, 2, 3, 4단계의 NREM 수면과 REM 수면으로 분류되어진다. 수면효율은 수면환경이나 수면의 질적 상태를 평가하는데 이용되어지고, 주로 수면단계를 이용하여 계산되어지며 전체 수면에 대한 각 단계별 비율이나 단계별 지연시간 등을 이용한다. 특히 서파수면(slow wave sleep, SWS)라고 불리는 수면 3, 4단계는 깊은 수면단계를 나타내기 때문에 수면효율 계산에 많이 이용되어지고 있다. 본 연구에서는 온열환경에 따른 수면의 상태를 알고자 전체 수면시간 중에서 각 성상태를 제외한 실제 수면시간을 합한 총 수면시간, 수면 시작시간부터 최초에 수면 3, 4단계가 나타나기까지의 지연시간인 SWS latency, 그리고 전체 수면에 대한 수면 3, 4단계의 비율을 계

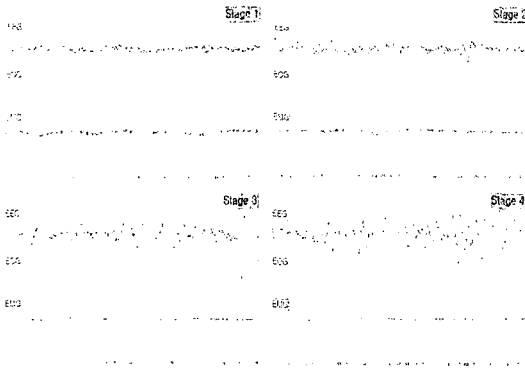


Fig. 5 Sleep stage of physiological signals.

산하여 적용하였다. Fig.5에 생리신호에 대한 수면단계를 나타냈다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 신체 움직임

신체 움직임이 적을수록 수면환경이 좋다고 판단하여 Fig.6에 전체 수면시간 동안 온도조건별 피험자 간의 신체 움직임 조함을 평균한 것을 나타내었다.<sup>(4)</sup> 설정온도 변화에 대한 신체 움직임의 유의차 및 뚜렷한 차이는 나타나지 않았지만, 60분 후 1℃ 상승시키는 조건이 신체 움직임이 적게 나타났다.

#### 3.2 수면 후 설문

개개인의 주관신고 차이는 크게 나타나지 않았다. 전체 34개 설문 중에 수면 후 온열쾌적감에 관련된 항목 중에서 통계적으로 유의차를 나타낸 수면 충족감, 온습도 쾌적감, 피로회복감 등을 분석하였다. 실험에 사용한 설문내용은 각 의미도를 7등분(1~7)하여 신고하도록 하였다.

Fig.7에서 모든 설정온도별 피험자들의 수면 후 수면 충족감 평균을 나타냈다. 여기서 전체적으로 수면 만족감이 4 이상에 있으므로 수면을 잘 취했다고 볼 수 있다. 그중 설정온도 60분 후 26℃로 상승시키는 조건이 수면을 잘 취한 것으로 나타났다.

Fig.8는 각 조건별 피험자들의 수면 동안 온도 및 습도 쾌적감 평균을 나타내었다. 전체적으로

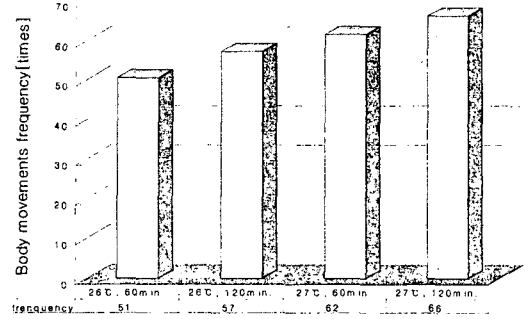


Fig. 6 Body movements for thermal conditions.

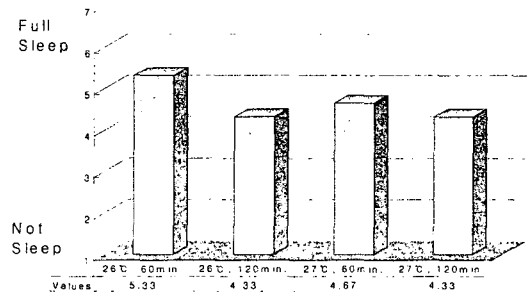


Fig. 7 Sleep sufficiency for thermal conditions.

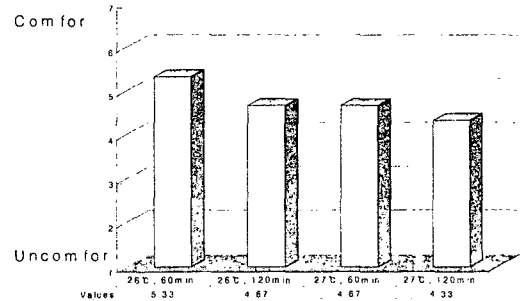


Fig. 8 Temp. & humidity comfort for thermal conditions.

Fig.7과 유사한 결과를 나타냈으며 각 조건별로 쾌적하다고 신고하였지만, 수면 60분 후 설정온도를 25℃에서 26℃로 상승시키는 조건이 가장 쾌적함을 나타내었다.

Fig.9는 각 조건별 피험자들의 수면 후 피로회복감을 나타내었다. 수면 120분 후 25℃에서 27℃로 상승시키는 조건이 수면 후 피로회복감이 좋았다.

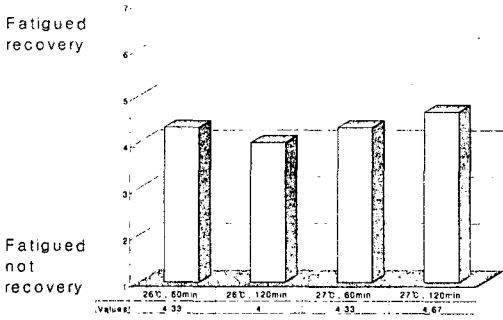


Fig. 9 Fatigued recovery for thermal conditions.

### 3.3 평균 피부온도

Fig. 10의 전반적인 평균 피부온도의 변화경향은 수면 후 온도상승 시점에 다소 상승하였다가 시간의 경과와 더불어 하강을 하며, 기상 직전 상승하는 인체의 체온 일주기 리듬 형태를 나타내고 있다. 실험조건 모두가 쾌적수면 피부온도의 범위로

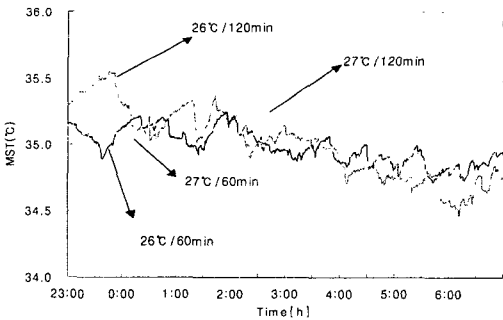


Fig. 10 MST variation during sleeping.

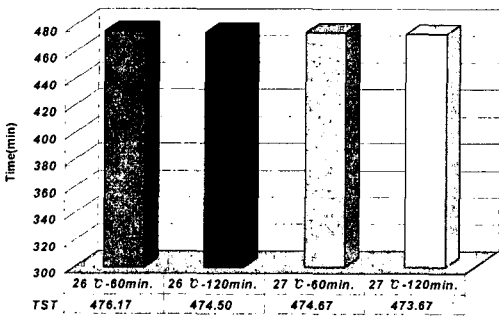


Fig. 11 Result of TST for thermal conditions.

제안된 34.5~35.5°C 내에서 변화하였고, Ogino 등이 제안한 결과와 일치함을 나타냈다.<sup>(5)</sup> 따라서 수면시 체온 일주기 변화 형태에 따른 평균 피부온도의 경시변화와 쾌적범위를 고려할 때 실내온도를 일정시간 후에 상승시키는 온도조건도 편안하게 수면을 취하게 할 수 있음을 나타낸다.

### 3.4 생리신호

각 온도변화 조건에 대한 총 수면시간을 분석한 결과를 Fig. 11에 나타냈다. 모든 조건에서 총 수면시간에는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 수면 후 실내온도 상승 실험임을 고려하여 Fig. 12와 같이 수면 3, 4단계(깊은 수면) 지속시간을 분석한 결과 26°C-60분 조건과 26°C-120분 조건이 다른 조건보다 양호한 것으로 나타났다.

Fig. 13은 각 실험조건별 수면효율을 나타냈다. 수면효율은 27°C-120분 조건에서 가장 높은 효율을 보였으며 26°C-60분, 26°C-120분, 27°C-60분 조

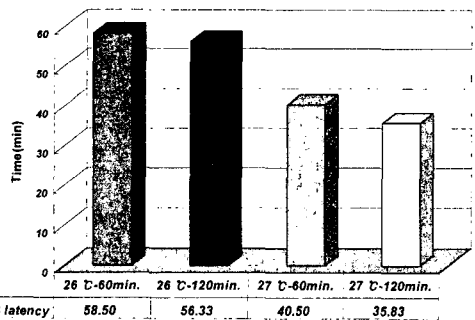


Fig. 12 Result of SWS latency for thermal conditions.

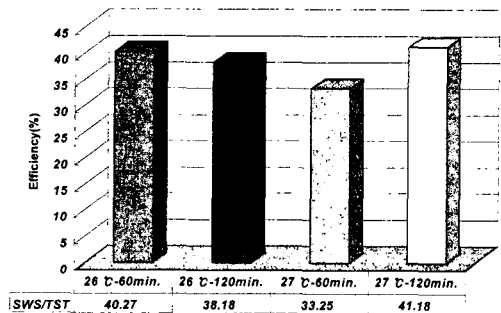


Fig. 13 Result of the SWS/TST for thermal conditions.

Table 1 Result of t-test for thermal conditions

	A-B	A-C	A-D	B-C	B-D	C-D
TST	0.0546	0.3450	0.2869	0.4811	0.4089	0.3946
SWS latency	0.4074	0.2319	0.1310	0.1704	0.0469*	0.2705
SWS/TST	0.3353	0.1761	0.3225	0.3073	0.2397	0.2000

A: 26°C-60 min., B: 26°C-120 min., C: 27°C-60 min., D: 27°C-120 min. ( $P^* < 0.05$ )

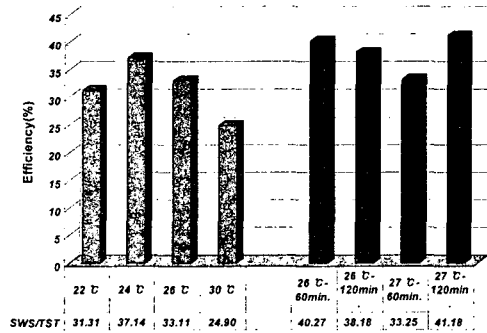


Fig. 14 Compare SWS/TST for thermal conditions.

건의 순서로 나타났다. 하지만 각 분석에 대한 신뢰성 검증결과 3, 4단계 지속시간에서 26°C-120분과 27°C-120분 사이에서만 유의한 차가 있었을 뿐 총 수면시간과 수면효율 분석에서는 각 온도 차 간에 유의한 차가 없었다.

Fig. 14는 실내 설정온도를 일정하게 유지한 경우(제 2 보)와 초기수면 후 일정시간이 경과 후 실내 온도를 상승시킨 경우에 대하여 수면효율을 비교한 것으로 온도를 상승시킨 쪽이 전반적으로 수면효율이 높음을 나타냈다. 26°C의 경우 온도를 1°C 상승시킨 쪽의 수면효율이 5~7% 정도 높았다.

#### 4. 결 론

실내온도 설정온도를 수면 후 60분, 120분 후에 1°C, 2°C씩 상승시키는 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 설정온도변화에 대한 신체 움직임의 유의차 및 뚜렷한 차이도 나타나지 않았지만, 60분 후 1°C 상승시키는 조건이 신체 움직임이 적게 나타났다.

(2) 실내온도를 60분 후 26°C로 상승시키는 조건이 수면 충족감과 온습도 쾌적감이 가장 높게 나타났고, 120분 후 27°C로 상승시키는 조건은 수면 후 피로 회복감이 좋았다.

(3) 실내온도를 상승시킨 경우 평균 피부온도 변화폭은 34.5~35.5°C 범위 내에서 변화하였고, Ogino 등이 제안한 결과와 일치함을 나타냈다.

(4) 실내설정온도를 일정하게 유지한 경우와 일정시간 경과 후 온도를 상승시킨 경우 상승시킨 쪽이 수면효율이 높음을 나타냈다. 26°C의 경우 온도를 1°C 상승시킨 쪽의 수면효율이 5~7% 정도 높았다.

#### 후 기

본 연구를 지원해 준 과학기술부 및 (주)LG전자, 전북대학교 임재중 교수님께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- Muzet, A. and Ehrhart, J., 1983, Rem sleep and ambient temperature in man, J. of the Neuroscience, Vol. 18, pp. 117-126.
- 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.
- 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, 1968.
- Yanase, T., 1981, A condition for good sleep managements for sleep, Sleepless, Yuhikaku, Tokyo, pp. 275-285.
- Ogino, H., Nishida, Y., Tajima, A., Yamamoto, T. and Ishi, K., 1987, The effects of the temperature of the bed upon sleep (Part 2), The Eleventh Symposium on Man-Thermal Environment System, pp. 10-13.