

# 온도차에 따른 수면상태 평가를 위한 생리신호 분석

이낙범\*, 임재중\*\*, 허덕\*\*\*, 조관식\*\*\*, 금종수\*\*\*\*, 최홍호\*, 이구형\*\*\*, 최호선\*\*\*  
인제대학교 의용공학과\*  
전북대학교 생체공학과\*\*  
LG전자\*\*\*  
부경대학교 냉동공조 공학과\*\*\*\*

## Analysis of Physiological Signals for Evaluating Sleep States on the Different Thermal Conditions

N.B. Lee\*, J.J. Im\*\*, D. Huh\*\*\*, K.S. Cho\*\*\*, J.S. Kum\*\*\*\*, H.H. Choi\*, K.H. Lee\*\*\*, H.S. Choi\*\*\*  
Dept. of Biomedical Engineering, Inje Univ.\*  
Dept. of Bionics and Biomedical Engineering, Chonbuk National Univ.\*\*  
LG Electronics Inc.\*\*\*  
Dept. of Refrigeration and Air Conditioning Engineering, Pukyong National Univ.\*\*\*\*

### Abstract

문명의 발달과 함께 인간은 사회생활의 증가와 부족한 수면으로 인한 스트레스와 병이 증가하고 있다. 따라서 수면에 대한 관심이 증가하면서 편안하고 쾌적한 수면을 위한 수면환경에 대한 연구가 진행되어지고 있다. 본 연구는 쾌적한 온열환경 제시를 위한 방법으로서 여름철 실내환경이 수면에 미치는 영향을 알아보기 위해 22℃, 26℃, 30℃의 3가지 온도조건을 제시하고 5명의 피험자를 대상으로 수면다원검사를 실시하여 EEG, EOG, ECG, EMG 등의 생리신호를 측정하였다. 측정된 생리신호를 통해 수면단계분석과 수면효율을 분석한 결과 총 수면시간, SWS latency, 총 수면시간에 대한 SWS 시간의 비율이 26℃의 조건에서 가장 좋은 결과를 나타내었으며, 22℃, 30℃의 순서로 나타났다. 이러한 분석을 통해 온도차에 따라 수면상태가 달라짐을 관찰할 수 있었고, 여름철에 26℃ 정도의 실내온도가 편안하고 쾌적한 수면을 위한 실내온열환경임을 알 수 있었다.

## I. 서 론

수면은 인간이 살아가는데 없어서는 안 되는 것이다. 수면은 고등 생물에서만 볼 수 있는 고도의 적응행동이며 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. 하지만 현대 문명과 산업의 발달, 국제화 사회의 영향 등으로 현대인의 사회 참여도가 더욱 높아짐에 따라 많은 사람들이 부자연스러운 환경에서 생활하게 되고 점점 휴식과 수면의 시간이 줄어들고 있어, 이는 여러 가지 형태의 스트레스나 병을 발생시키는 원인이 되고 있다. 따라서 주어진 시간 내에 충분한 숙면을 취할 수 있는 수면방법이나 가장 편안하고 쾌적하게 잠을 잘 수 있도록 수면환경을 개선하는 것에 대한 문제들이 절실히 검토되어져 왔다.

수면의 깊이와 이에 따른 연구는 1800년대에도 수행되기는 하였으나 강한 자극으로 수면 중의 피험자를 깨우는 문제 등 여러 가지 면에서 어려움이 많았다. Hans Berger(1929)가 처음으로 사람에게서 대뇌 피질의 전기적 활동을 측정하여, 뇌의 기능적 결합을 관찰할 수 있도록 해주는 뇌파를 측정한 이후 뇌파에 대한 연구는 활발히 진행되어져 왔으며, 이는 수면연구에 큰 도움이 되었다. 특히, Aserinsky와 Kleitman(1953)이 수면 중에 일어나는 급속안구운동(REM, rapid eye movement)을 발견한 후부터 REM 수면의 기능은 이전부터 꿈을 연구해 온 많은 사람들의 관심의 대상이 되어왔다고 볼 수 있다. REM 수면은 흔히 paradoxical sleep, active sleep, dream sleep 등으로 불리며, 각성과 NREM 수면과는 다른 기능적 상태를 의미한다. 현재 이러한 수면의 분류방법은 Rechtschaffen과 Kales에 의해 주장된 수면단계결정 방법이 국제적으로 널리 이용되어지고 있으며 수면단계의 분류는 수면 1단계, 수면 2단계, 수면 3 단계, 수면 4단계로 이루어지는 NREM 수면과 REM 수면으로 분류되어지고 있다.

본 연구는 쾌적한 온열환경 구현을 위한 방법으로서 3가지의 다른 온열조건에 따른 수면의 상태를 관찰하고자 수면다원검사서 얻어진 수면생리신호를 이용하여 컴퓨터를 이용한 수면단계 분석을 통

해, 수면의 효율성 및 쾌적한 수면상태를 평가하는 기준을 제시하고자 수행하였다.

## II. 실험 설계

실험을 위해 부경대학교 냉동공학과 온열환경 실험실에 수면다원 검사를 위한 항온 항습실을 구성하고 실험을 실시하였다. 실험실은 항온항습기로 실험실 내의 온습도가 제어 되도록 하였다. 실험실과 계측기를 분리하고, 2중으로 출입문을 만들어 소음으로 인한 수면방해요소를 제거하였다. 피험자들의 새로운 수면환경과 전극부착에 대한 첫날밤효과(FNE : first night effect)를 고려하여 첫 2일 동안 적응기간을 포함하여 5일 동안 연속으로 실험을 실시하였다. 피험자 선정은 100여명을 대상으로 수면 실태 설문 조사와 예비 실험을 실시하여, 생활 주기 및 수면양상이 비슷하고, 생리신호를 기반으로 한 소견에서 건강에 이상이 없는 피험자 5명을 선택하였다. 수면 실험에 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.

수면실험에서는 그림 1에서처럼 침대에 누워있는 피험자에게 전극을 부착시키고 수면 중의 EEG, ECG, EOG, EMG 등의 생리신호를 polygraph (SAN-EI 386)를 통해 측정하였고 아날로그 출력신호를 A/D 변환(DT 3001)시켜 컴퓨터에 실시간으로 저장하여 분석에 이용하였다. EEG 신호와 EOG 신호를 128Hz의 샘플링 주파수로 측정하였고, ECG 신호와 EMG 신호는 100Hz의 lowpass 필터를 거치도록 setting하였으며 샘플링 주파수는 512Hz로 설정하였다. Time constant는 EEG, EOG, ECG 신호는 0.3sec, EMG 신호는 0.015sec로 충분한 값을 설정하였으며, 기록용지의 속도는 10mm/sec로 하였다. A/D 변환 및 데이터의 저장을 위해서 HP-Vee 4.0 프로그램을 이용하여 A/D 변환된 디지털 신호를 컴퓨터 상에 realtime으로 출력을 하고, 데이터를 30초를 한 epoch로 하여, 각 epoch마다 파일명을 순차적으로 변화시켜가며 저장하도록

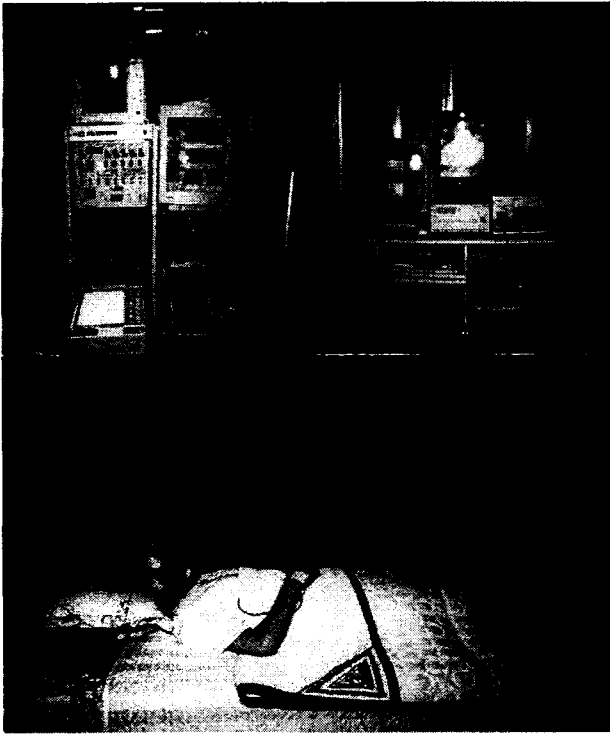


그림 1. 실험장면 및 측정장치

프로그래밍 하였다.

온열환경에 따른 수면의 질적 상태를 평가하기 위한 실험조건으로는 22℃, 26℃, 30℃의 3가지 온도를 설정하였으며, 습도는 50%로 유지하였다.

피험자는 21시에 세면 등의 수면 위생을 실시한 후 수면 시 의복을 착용하고 실험실 내에서 1시간 정도의 휴식을 취했다. 이후 수면 전의 피험자의 상태를 알아보기 위한 간단한 설문조사를 실시하고, 전극을 부착하였다. EEG의 경우 백업용 1채널을 포함하여 C<sub>3</sub>-A<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>-A<sub>1</sub> 부위에 전극을 부착하였으며, 장시간 측정을 위해 EEG용 젤을 채운 cup 전극을 측정부위에 부착한 후 가아제와 collodion을 이용하여 완전히 고정시켰다. EOG는 LOC(left outer canthus)와 ROC(right outer canthus)에 한 개씩 표면전극을 사용하여 부착하였다. EMG의 경우는 chin EMG를 측정하기 위해 chin 부위에 전극을 부착하였으며, ECG의 경우는 표준사지 유도법인 Lead I 방법을 적용하였다. 전극 부착이 끝난 후 실험에 들어가기 앞서 실험장비의 setting 확인과 subject calibration을 실시하였다.

먼저 피험자가 전극이나 환경에 의해 불편함을 느끼고 있는지의 여부를 확인하고, 수면실험에 방해가 될만한 요소들이 없는지 확인하였다. 그리고 전

극의 부착상태와 리드선들의 결합여부를 확인하고, 모니터링 되어지는 신호를 관찰하여 전원이나 전극 접촉불량 등으로 인한 노이즈가 없는지 확인하였다. 이러한 실험장비의 setting에 관한 확인이 끝나면 subject calibration 과정을 수행하였다. 이 과정은 실험시작 전 recording에서 장비상의 문제나 피험자에게서 발생하는 문제를 알 수 있게 해주며 그림 2와 같은 순서로 진행되어졌다.

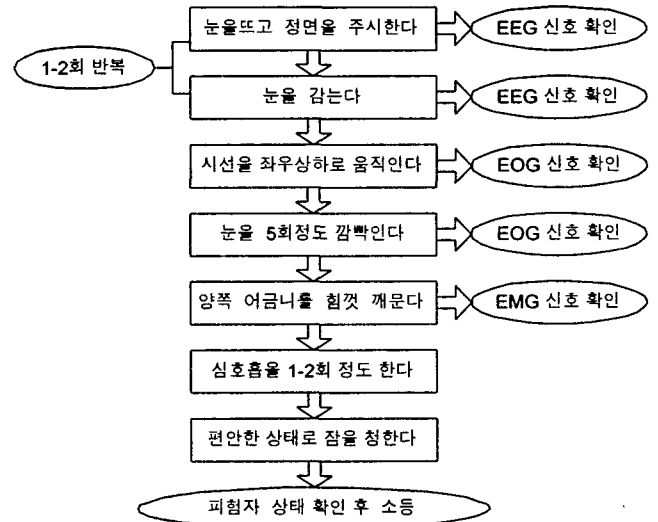


그림 2. 피험자 calibration

먼저 피험자에게 눈을 뜨고 정면을 주시하게 한 후 EEG 신호를 30초 정도 측정하면서 관찰하였다. 그런 다음 눈을 감은 상태에서 30초 정도 EEG를 측정하여 alpha activity가 발생하는지를 관찰하였다. 이 과정은 측정신호가 안정될 때까지 2-3회 정도 반복하였다. 다음은 EOG 신호를 calibration하기 위해 피험자에게 시선을 좌우상하로 움직이게 하고, 이 때 EOG 신호가 눈동자의 움직임에 따라 변화하는 것을 관찰하였다. 눈을 깜빡이게 하는 것은 눈 깜빡임으로 인한 artifact가 EEG 신호에 어느 정도 영향을 주는지 관찰하기 위함이었다. 이 과정이 끝나면 피험자에게 어금니를 5초 정도 깨물게 하여 EMG 신호의 변화를 관찰하고 EEG 신호와 EOG 신호에 작용하는 muscle artifact를 관찰하였다. 그런 다음 피험자에게 심호흡을 1,2회 정도 시킨 후 눈을 감고 잠자리에 들 수 있게 하였다. 이후 불을 끄기 전에 피험자가 잠들어 있지 않는가를 다시 한번 확인하고, 이러한 과정이 끝나면 불을 끄고 데이터를 저장하도록 하였으며 이 후 8시간 동안 수면 데이터를 측정하고 피험자를 깨웠다.

### III. 분석방법

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 0.1-30Hz로 필터링 하였다. 필터링된 EEG 신호를 한 개의 epoch(30초)를 기준으로 3840개의 샘플을 FFT를 분석을 하기 위해 zero padding 기법을 이용하여 4096개의 데이터로 다시 샘플링 한 후 파워스펙트럼을 구성하였다. 파워스펙트럼을 이용해 각각의 결과를 EEG 파형의 특성에 따라 delta(0.5-2Hz), theta(3-7Hz), sigma(12-16Hz), alpha(7-13Hz), beta(13-30Hz)로 구분하고, 이들의 대역 값에 따라 파워스펙트럼 밀도를 구하였다.

Rechtschaffen과 Kales의 룰을 고려하여 수면 3단계와 4단계(SWS : slow wave sleep, deep sleep)는 delta wave의 활동에 의해 결정하고, 수면 2단계와 1단계는 theta wave와 alpha wave를 이용하여 결정하였다. 또한 EOG 신호를 이용해 REMs(rapid eye movements)를 검출하여 REM 수면단계를 판별하고, 뇌파분석에 있어 movement artifact로 인한 오류를 제거하기 위해 EMG 신호를 이용하였다. 수면단계 결정은 LabVIEW 프로그램을 이용하여 자동분석을 실시하였다.

최종적으로 온열환경에 따른 수면의 쾌적성과 숙면정도를 알아보기 위하여 수면효율을 평가하였다. 먼저 전체적인 충분한 수면의 정도를 관찰하기 위해 하루중의 총수면시간(TST : total sleep time)을 계산하고, 온도 조건에 따라 얼마나 빨리 깊은 잠에 들어가는지를 관찰하기 위해 수면 3,4단계까지의 지연시간(SWS latency)을 계산하였다, 그리고 하루수면 중 수면 3,4단계의 비율을 계산하여 전체수면에 대한 깊은 수면의 정도를 관찰하였다.

### IV. 분석 결과

온열환경 조건에 따른 5명의 피험자에 대한 수면 효율을 그림 3부터 그림 5에 나타내었다. 총 수면시간의 경우 한 명의 피험자를 제외한 모든 피험자에 게서 26℃의 경우가 수면 시간이 가장 길게 나타났고, 다음은 22℃, 30℃의 순서로 나타났다. 그리고

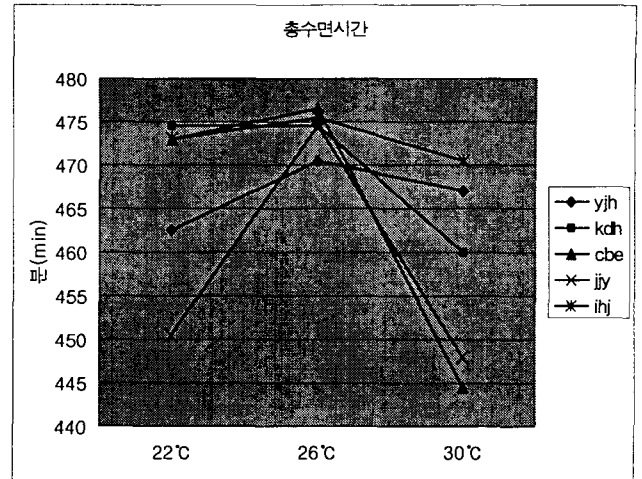


그림 3. 각 피험자에 대한 온도조건별 총 수면시간

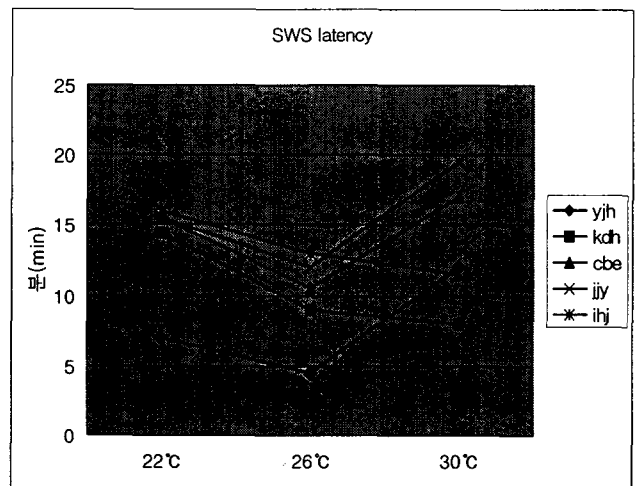


그림 4. 각 피험자에 대한 온도조건별 SWS 지연시간

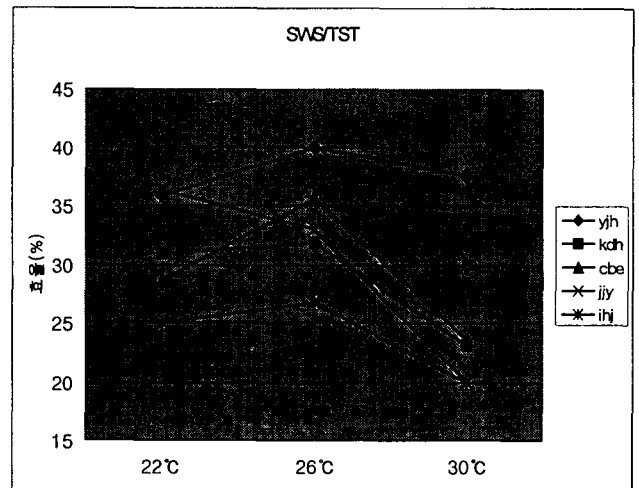


그림 5. 각 피험자에 대한 온도조건별 전체수면중의 SWS 비율

SWS latency 분석결과는 3명의 피험자는 26℃에서 2명의 피험자는 30℃에서 가장 작게 나타나 빨리 깊은 수면으로 들어갔음을 알 수 있었다. 전체 수면 시간에 대한 SWS 시간의 비율을 조사한 결과 모든 피험자에서 26℃의 온도조건이 가장 크게 나타났다.

또한 각각의 분석에 대해 온도조건별에 따른 신뢰성을 t-test를 검증하였다. 그 결과 총 수면시간은 모든 온도조건에서 \* $p < 0.5$ 의 신뢰수준을 나타내었고, SWS latency의 경우는 22℃와 26℃간 \*\* $p < 0.01$ 의 신뢰수준을 나타내었다. 또한 SWS/TST는 22℃와 30℃간 \* $p < 0.5$ , 26℃와 30℃간에는 \*\* $p < 0.01$ 의 신뢰수준을 보였다.

## V. 결론 및 토의

본 실험을 통해 22℃, 26℃, 30℃의 3가지 온열조건에 대한 수면효율을 관찰하였다. 그 결과 26℃ 조건이 타 조건에 비해 총 수면 시간이 길고, 수면 3, 4단계까지의 진행시간이 짧았으며, 전체 수면 중 수면 3, 4단계의 비중이 크게 나타나 충분한 잠을 자고 숙면을 취한 조건임을 알 수 있었다. 따라서 여름철에 쾌적하고 편안한 수면을 취하기 위해서는 22℃나 30℃에 비해 26℃ 정도의 온도를 취하는 실내환경을 구현하는 것이 바람직함을 알 수 있었다. 향후 세부적인 온도조건에 대한 실험과, 습도와 기류 등의 다양한 온열환경조건에 대한 실험이 진행되어진다면 쾌적한 여름철의 실내온열환경을 구현하는데 매우 유용하고 신뢰성 있는 자료로 이용되어 질 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

1. Allan Rechtschaffen, Anthony Kales. A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Human Subjects, Brain Information Service/Brain REsearch Institute of UCLA, 1968.
2. Joel Hasan. Differentiation of normal and disturbed sleep by automatic analysis. Acta physiologica scandinavica supplementum 526,

1983.

3. Michel Toussaint, Remy Luthringer, Nicolas Schaltenbrand, Alain Nicolas, Anne jacqmin, Gabriella Carelli, Julien Gresser, Alain Muzet, Jean Paul Macher. Changes in EEG Power Density During Sleep Laboratory Adaptation. Sleep, 1997 ; 20(12) : 1201-1207.
4. N Schaltenbrand, R Lengelle, M Toussaint, R Luthringer, G Carelli, A Jacqmin, E Lainey, A Muzet, and JP Macher. Sleep stage scoring using the neural network model : Comparison between visual and automatic analysis in normal subjects and patients. Sleep, 1996 ; 19(1) : 26-35.