

생리신호 분석을 이용한 실내온열환경에서의 수면 쾌적성 평가

Evaluation of Sleep Comfort for Indoor Thermal Environment based on the Physiological Signal Analysis

이낙범*, 임재중**, 금종수***, 이구형****, 최호선****
N.B.Lee*, J.J.Im**, J.S.Kum***, K.H.Lee****, H.S.Choi****

전북대학교 대학원 메카트로닉스공학과* / 전북대학교 공과대학 전자정보공학부**
부경대학교 공과대학 냉동공조공학과*** / LG 전자****

요 약 문명의 발달과 함께 수면부족으로 인한 여러 가지 스트레스와 질환이 증가하게 되어 최근 수면연구에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 연구는 다양한 온열환경 조건에서의 쾌적한 수면을 위한 온열환경을 제시하기 위해, 5명의 여성 피험자를 대상으로 22℃, 26℃, 30℃의 일정온도 조건과 25℃에서 1시간 후와 2시간 후에 각각 1, 2℃를 상승시켜주는 변동온도 조건하에서 수면생리신호를 측정하였다. 그리고, 수면단계 평가를 이용하여 총 수면시간, 깊은 수면의 비율, 그리고 최초 수면시작 시간에서 최초의 서파 수면이 나타나기까지의 지연시간 등의 수면효율을 평가하였다. 그 결과, 일정온도 조건에서는 26℃에서 총 수면시간(466.7±10.25분)과 깊은 수면의 비율(33.1±4.93%)은 타 조건에 비해 높게 나타났고, 최초 서파수면까지의 지연시간(9.8±3.33분)은 타 조건에 비해 낮게 나타나 쾌적한 수면을 위한 가장 적절한 온열조건임을 관찰할 수 있었다. 그리고 변동온도 조건에서는 4가지 온열조건간에는 큰 차이가 나타나지 않았지만, 모든 조건에서 일정온도 조건보다는 좋은 결과를 나타내었다. 또한 수면 중 신체 움직임과 설문 분석에서도 동일한 결과를 보였다. 본 연구를 통해, 수면생리신호를 이용한 수면 쾌적성 분석은 수면의 질적인 상태를 관찰하는데 매우 적합한 파라미터를 도출할 수 있으며, 여러 가지 수면환경 조건을 평가하는데 매우 유용한 지표가 될 수 있음을 보였다.

1. 서론

쾌적한 실내환경은 일의 효율성을 증대시키고 재실자의 건강을 유지하는 데 매우 중요한 요소이며, 현대

인의 실내활동 시간이 증가함에 따라 실내 재실환경에 대한 연구가 활발히 진행되어왔다. 또한, 기존의 실내 온열환경에 대한 평가는 주로 낮 시간 동안의 쾌적함을 추구하는데 관심이 모아졌지만, 정보화, 국제화, 기술화된 문명 속에서 활동-휴식 리듬의 폭을 위협 당하고 있는 현대인들의 가장 큰 휴식 및 재충전 시간인 수면시간동안의 적정 온열환경에 대한 평가는 아직 미비한 실정이다[1].

수면은 인간이 살아가는데 없어서는 안되며, 고등

이낙범
(561-756) 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14 전북대학교
대학원 메카트로닉스공학과
Tel : 063-273-4064
Fax : 063-270-4064
E-mail : sleep@bme.chonbuk.ac.kr

생물에서만 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 1/3에 해당하는 수면에 대한 관심은 상대적으로 적었다[2].

수면에 대한 국내의 연구는 임상적 측면 즉, 수면과 관련된 병의 진단과 치료에 주된 관심이 모아졌다. 그리고 외국의 경우 실내온도가 수면단계의 변화에 미치는 영향, 체온조절 반응과 수면단계의 관계에 관한 연구는 다수 행해졌지만 그것은 단지 현상을 밝히는 수준에 그쳐, 수면시간 동안의 적절한 실내온도 조절에 관한 연구로서는 미흡하였다. 이에 쾌적하고 안락한 수면을 유지할 수 있는 실내 온열환경에 대한 기초 연구의 필요성이 대두되었다[3].

수면의 진행 및 수면과 연관되어진 생리적 현상은 인간의 정신적 신체적 상태를 반영하는 측정치로 사용되어질 수 있다. 이러한 변화들은 인체에 영향을 주는 생리심리학적 변화, 질병, 혹은 다양한 화학적 생리적 요인들과 연관될 수 있다. 인체의 생리학적 상태에 따라 수면의 특성은 변화하게 되고, 수면의 상태를 진단하거나 평가하기 위해서는 수면을 그 기능에 따라 분류하는 작업이 요구되어진다. 이를 위한 방법으로 생리신호를 이용하여 수면을 분류하는 방법이 일반적으로 이용되고 있으며, 뇌의 해부학적 기능 관찰이나, 호르몬 분비 관찰을 통해 수면을 분류하는 방법들도 연구되고 있다[4,5]. 하지만, 수면연구의 제한적 요인들로는 수면실험 자체가 많은 시간과 비용이 들고, 실험상의 통제방법이나 생리신호의 측정에 많은 어려움이 있으며, 한가지 연구를 위해서 매우 장기간의 실험이 요구되어진다는 점이다. 따라서 수면과 관련된 질환이나 수면상태의 정확한 판단, 그리고 인간의 심리적 요소를 판단하기 위해서는 수면생리신호의 정량적인 분석에 근거한 수면단계의 분류가 요구되어지고 있으며, 수면단계의 세분화와 정확한 판단은 수면연구의 중요한 과제가 되고 있다[6,7].

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 결합을 관찰할 수 있는 뇌

파를 측정된 이후 뇌파에 대한 연구는 활발히 진행되어져 왔으며, 이는 수면연구에 큰 도움이 되었다. 수면의 분류방법은 Rechtschaffen과 Kales에 의해 주장된 수면단계결정 방법이 국제적으로 널리 이용되어지고 있으며 수면단계의 분류는 수면 1단계, 수면 2단계, 수면 3단계, 수면 4단계로 이루어지는 NREM 수면과 REM 수면으로 분류되어지고 있다[8,9]. 각 수면단계는 다른 생리적 특징을 가지는데 수면 1단계에서는 각성상태에서 나타나던 알파파 활동이 사라지게 되고, 수면 2단계에서는 수면 방추파(spindle)와 K-복합파(K-complex)가 출현하며, 수면 3, 4단계에서는 큰 진폭을 가지는 서파(slow wave)활동이 나타난다[10].

REM 수면은 흔히 역설적 수면(paradoxical sleep), 활동 수면(active sleep), 꿈 수면(dream sleep) 등으로 불리며, 각성과 NREM 수면과는 다른 기능적 상태를 의미한다. 상대적으로 낮은 전압과 혼합되어진 주파수 성분 그리고 주기적인 급속안구운동이 나타나며, 근전도 신호의 크기는 다른 수면단계에 비해 극도로 작아진다. REM 수면 시 뇌파 활동은 날카로운 파형이 나타나지 않는 것을 제외하고는 수면 1단계의 특성과 매우 흡사하다[11-12].

수면단계는 부분적인 수면의 상태를 잘 나타내어 주지만 어떠한 자극이나 환경에 따른 전반적인 수면 상태에 대해서는 알 수 없기 때문에 수면의 질적인 상태에 대한 지표가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 실내온도 변화가 야간수면에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 일정하게 제어되는 실내온열환경 조건과 온도변화가 있는 실내온열환경 조건을 제시하고, 수면 단계의 분류를 이용하여 총 수면시간, 깊은 수면의 비율, 그리고 최초 수면시작 시간에서 최초의 서파 수면이 나타나기까지의 지연시간 등의 관찰을 통해 수면의 질적인 평가를 실시함으로써, 여름철 쾌적한 수면을 유지할 수 있는 실내온열환경을 설정하고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구는 크게 두 부분으로 나누어 수행되었다. 첫째는 실험 초기에 피험자가 쾌적하게 수면을 취할 수 있는 온열조건을 찾기 위하여 하룻밤 동안 실내온도를 일정하게 유지되도록 한 일정온도조건 실험을 실시하였다. 그 후 여기에서 유출된 온도를 근거로 한 온열환경을 제시한 후 실험 중 온도변화를 주는 변동온도조건 실험을 실시하였다.

피험자 선정은 100여명을 대상으로 수면실태 설문

조사와 예비 실험을 실시하여, 생활 주기 및 수면양상이 비슷하고, 생리신호를 기반으로 한 소견에서 건강에 이상이 없는 여성 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.

2.1 실험조건

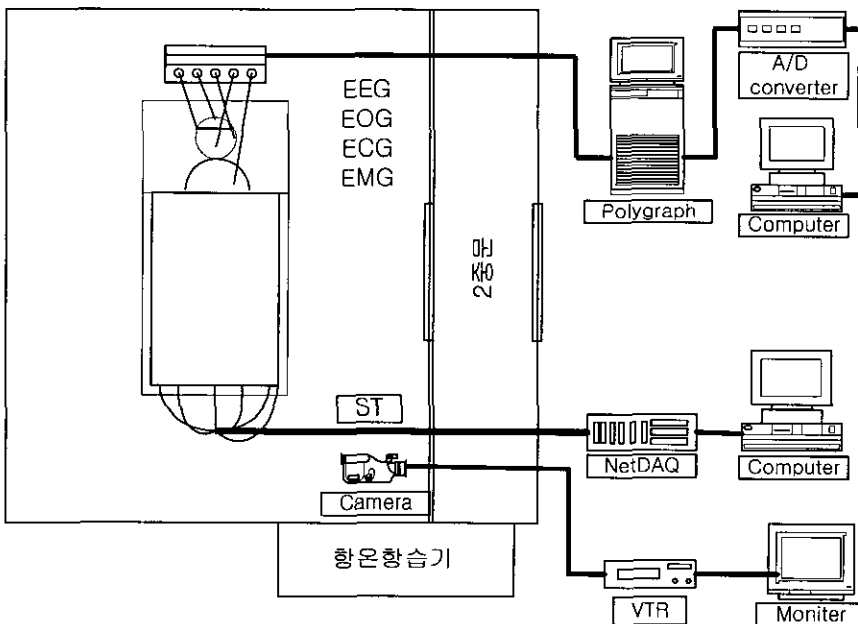
일정온도조건 실험은 수면실험 중 일정한 온열환경을 유지하였으며, 온도조건은 22℃, 26℃, 30℃의 3가지 조건을 제시하였고, 습도 조건은 모두 50%로 일정하게 유지하였다. 변동온도조건 실험은 실험 시작 시 온도와 습도를 25℃/70%로 설정하고, 피부온도의 하강시점을 고려해 불을 끈 시점으로부터 1시간 후에 실내온도를 각각 1, 2℃씩 상승시키는 조건과 2시간 후에 실내온도를 각각 1, 2℃씩 상승시키는 4가지 실험 조건을 제시하였으며, 표 1에 실험조건이 요약되어 있다.

〈표 1〉 각 실험별 온습도 조건

실험명	일정온도조건실험	변동온도조건실험
온열 조건	22℃ 일정온도	25℃ → 60분 후 1℃ 상승
	26℃ 일정온도	25℃ → 120분 후 1℃ 상승
	30℃ 일정온도	25℃ → 60분 후 2℃ 상승
	-	25℃ → 120분 후 1℃ 상승

2.2 데이터 수집

실험은 부경대학교 냉동공조공학과 인공환경실험실에서 실시하였다. 수면 실험실은 4.1m × 4.9m × 2.7m의 크기에 벽면과 천장, 바닥이 단열재로서 충분히 단열 되도록 하였고, 온도와 습도는 항온항습기로 조절이 가능하게 하였다. 실험실의 전체적인 구성이 그림 1에 나타나 있다.



(그림 1) 실험실의 전체적인 구성도

데이터 수집은 그림 2에 나타나 있듯이 침대에 누워있는 피험자에게 전극을 부착시키고 수면 중의 뇌전도(EEG), 심전도(ECG), 안구전도(EOG), 근전도(EMG) 등의 생리신호를 polygraph (SAN-EI 386)를 통해 측정하였다. 각 생리신호는 표 2에 요약되어 있는 조건으로 검출하였으며 polygraph에 출력되어지는 아날로그 신호를 DT-3001을 이용하여

A/D 변환하고, 컴퓨터에 실시간으로 저장하여 분석에 이용하였다. A/D 변환 및 데이터의 저장을 위해서 HP-Vee 4.0 프로그램을 이용하여 A/D 변환된 디지털 신호를 컴퓨터 상에 실시간으로 출력하고, 30초 동안 수집된 데이터를 하나의 분석단위(epoch)로 하여, 파일명을 순차적으로 변화시켜가며 저장하도록 프로그래밍 하였다.



(그림 1) 데이터 수집장비 및 실험장면

<표 2> 장비 세팅 및 전극부착 위치

	채널 수	필터 차단주파수	시정수	샘플링주파수	전극부착위치
EEG	2	30Hz	0.3초	128Hz	C ₃ /A ₂
EOG	1	30Hz	0.3초	128Hz	LOC/ROC
EMG	1	100Hz	0.015초	512Hz	chin
ECG	1	100Hz	0.3초	512Hz	Lead I

수면 단계분석을 위해 가장 중요하게 여겨지는 뇌파의 경우 C3-A2 부위에 전극을 부착하여 측정하고, 데이터 손실이나 그 이외의 문제에 대비하여 백업용으로 C4-A1 부위에 전극을 부착하여 측정하였다. 그리고 8시간 이상 지속되는 장시간의 뇌파 측정을 위해 뇌파측정용 젤을 채운 컵(cup) 전극을 측정부위에 부착한 후 거즈와 콜로디온(collodion)을 이용하여 전극을 완전하게 고정시켰다. 안구전도는 좌측 눈 가장자리(LOC, left outer canthus)와 우측 눈 가장자리(ROC, right outer canthus)에 표면전극을 부착하여 측정하였다. 근전도의 경우는 턱(chin) 부위에 전극을 부착하였으며, 심전도는 표준사지 유도법인 Lead I 방법을 적용하여 측정하였다. 또한 신체움직임을 파악하기 위해 전 수면시간동안 피험자의 행동을 비디오로 녹화하였고, 수면 전후 피험자의 심리적, 생리적 상태를 파악하기 위하여 수면 전후에 설문을 작성하게 하였다.

전극 부착이 끝난 후 실험에 들어가기 앞서 피험자와 실험장비에 대한 교정을 실시하였다. 먼저 피험자가 전극이나 환경에 의해 불편함을 느끼고 있는지의 여부를 확인하고, 수면실험에 방해가 될만한 요소들이 없는지 확인한다. 그리고 전극의 부착상태와 리드선들의 결합여부를 확인하고, 모니터링 되어지는 신호를 관찰하여 전원이나 전극접촉불량 등으로 인한 노이즈가 없는지 확인하였다. 그 후 피험자가 눈을 감고 잠 자리에 들 수 있게 하며 불을 끄기 전에 피험자가 잠 들어 있는가를 다시 한번 확인한 후 불을 끄고 데이터를 저장하도록 하였으며 이 후 8시간 동안 수면데이터를 측정하고 피험자를 깨웠다.

2.3 데이터 분석

측정되어진 생리신호를 이용하여 수면단계 분석을 실시하였다. 먼저 뇌파 신호 중 1채널(C3-A2)을 선택하여 동잡음이나 전원 노이즈 등을 제거하기 위해 디지털 필터와 해닝창(hanning window)을 적용하여 0.1~30Hz로 필터링하였다. 필터링된 뇌파 신호를 한 개의 epoch(30초)를 기준으로 3840개의 샘플을 FFT를 분석을 하기 위해 영점 추가(zero padding) 기법을 이용하여 4096개의 데이터로 다시 샘플링 한 후 파워스펙트럼을 구성하였다. 파워스펙트럼을 이용해 각각의 결과를 뇌파 파형의 특성에 따라 델타파(0.5~3Hz), 세타파(3~7Hz), 시그마파(12~16Hz), 알파파(7~13Hz), 베타파(13~30Hz)로 구분하고, 이들의 대역 값에 따라 파워스펙트럼 밀도를 구하였다.

Rechtachaffen과 Kales의 규칙에 따라 수면 3, 4단계(SWS : slow wave sleep, deep sleep)는 델타파의 활동에 의해 결정하고, 수면 2단계는 방추파의 활동을 반영하는 시그마파 활동을 검출하여 결정하였으며, 수면 1단계의 경우는 세타파와 알파파 활동을 이용하여 결정하였다. 또한 안구전도 신호를 이용해 REMs(rapid eye movements)를 검출하여 REM 수면단계를 판별하고, 뇌파분석에 있어 신체움직임에 의한 잠을 깨움 때문에 잘못 분석되어지는 것을 막기 위해 근전도 신호를 이용하였다.

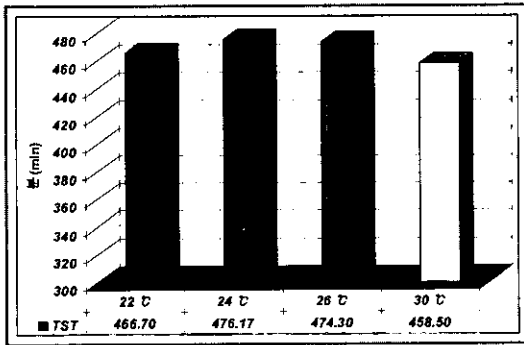
온열환경에 따른 수면의 쾌적성과 숙면정도를 알아보기 위하여 일정온도조건 실험에서는 총 수면시간(TST : total sleep time), 수면 3, 4단계까지의 지연시간(SWS latency), 그리고 하루 수면 중에 나타난 수면 3, 4단계의 비율(SWS/TST) 등의 수면효율을 관찰하였다. TST는 소동시점에서 점동시점까지의 시간에서 수면 중 각성(wake)단계가 차지하는 시간을 감산하여 계산하며, TST가 클수록 깨어있는 시간이 적고 많은 수면을 취했다는 것을 알 수 있다. 그리고 SWS latency는 수면시작시간(sleep onset time)에서 최초의 서파 수면에 이르는 시간을 계산한 것으로, 얼마나 빨리 깊은 수면에 들어가는 지를 확인할 수 있다. SWS/TST는 총 수면시간 중에서 깊은 수면이 차지하는 비율을 계산한 것으로 하루 수면동안 충분한 숙면의 정도를 나타낸다. 그리고 변동온도조건 실험에서는 TST, SWS/TST와 함께 온도변화가 수면에 어떠한 영향을 주었는지를 관찰하기 위해 첫째 SWS 지속시간(f-SWS time)을 살펴보았다.

3: 결과 및 고찰

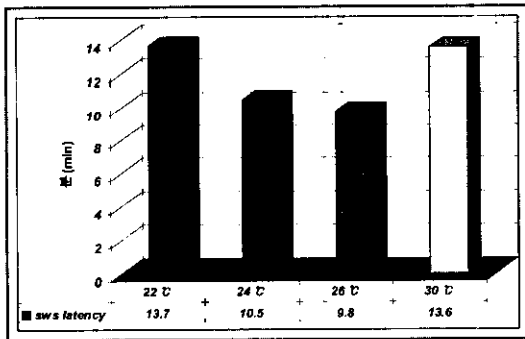
3.1 일정온도조건 실험

피험자 5명의 총 수면시간에 대한 평균값을 그림 3에 나타내었다. 그 결과 총 수면시간은 26℃ 조건에서 474.3 ± 2.28 분으로 타 조건에 비해 높게 나타났으며, 22℃(466.7 ± 10.25)와 30℃(458.5 ± 11.60)의 순서로 나타났다. 그리고 그림 4에 나타난 SWS latency 결과에서는 26℃ 조건에서 9.8 ± 3.33 분으로 가장 작게 나타나 빨리 깊은 수면으로 들어갔음을 알 수 있었으며, 22℃와 26℃에서는 13.7 ± 3.78 분과 13.6 ± 4.60 분으로 큰 차이가 없었다. 그림 5에 나타난 것처럼 SWS/TST 비율을 조사한 결과 26℃의 온도조건이 $33.1 \pm 4.93\%$ 로 가장 크게 나타나 가장 숙면을 취한 실험조건으로 나타났으며, 30℃의 실험 조건에서는 $24.9 \pm 7.30\%$ 로 매우 낮게 나타났다. 각각

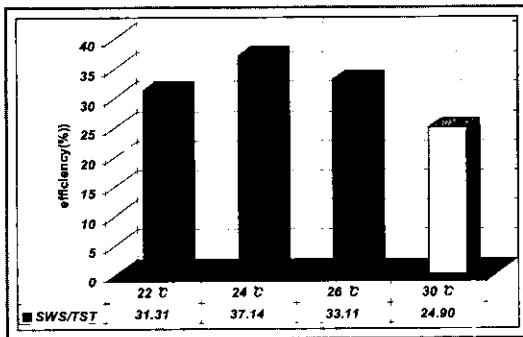
의 분석에 대해 온도 조건별에 따른 신뢰성 검증결과를 표 3에 나타내었다. 그 결과 총 수면시간에 대해서는 각 온도간에 유의한 차가 있음을 알 수 있었고, SWS/TST는 22℃와 30℃, 26℃와 30℃ 간에 유의한 차를 나타내었다.



(그림 3) 일정온도조건 실험 : 각 조건별 TST



(그림 4) 일정온도조건 실험 : 각 조건별 SWS latency



(그림 5) 일정온도조건 실험 : 각 조건별 SWS/TST (%)

(표 2) 일정온도조건 실험 : 각 조건별 t-test 결과

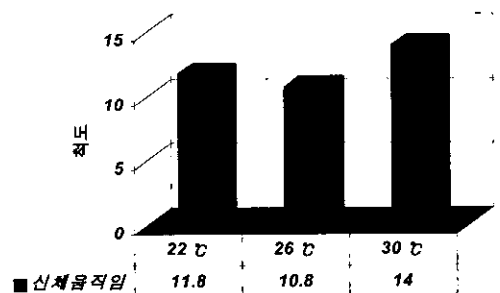
	22℃-26℃	22℃-30℃	26℃-30℃
TST	0.035 [*]	0.026 [*]	0.050 [*]
SWS latency	0.001 ^{**}	0.484	0.070
SWS/TST	0.140	0.045 [*]	0.006 ^{**}

^{*}p < 0.05, ^{**}p < 0.01

수면 중에 피험자의 신체움직임에 대해서는 신체움직임의 많고 적음에 대한 기준은 명확하지 않지만 신체움직임이 많은 경우보다 적은 경우가 보다 더 잘 잤다고 보는 연구들이 발표되었다. 따라서 본 실험에서도 신체움직임이 적을수록 그 수면환경이 좋다고 판단하고 신체움직임의 빈도를 비교평가의 기준으로 삼았다. 본 연구에서는 신체움직임의 분석기준을 표 4와 같이 정하여 신체움직임에 대한 결과를 정량화 하였으며, 그림 6에 각 실험조건별 피험자들의 초기 2시간 동안의 수면에 대한 신체움직임 평균이 나타나있다. 그 결과 26℃의 실내온열환경에서는 신체움직임이 가장 적게 나타났고 22℃, 30℃의 순서로 증가하였다.

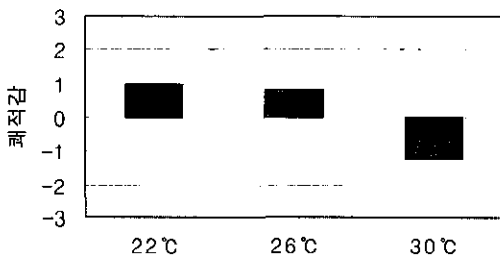
<표 4> 신체움직임 분석기준

척도	내용
0	전혀 움직이지 않음
1	국부적인 움직임(머리, 팔, 다리 등)
2	전체적인 움직임

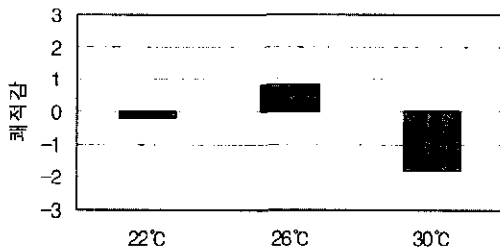


(그림 6) 신체움직임 빈도

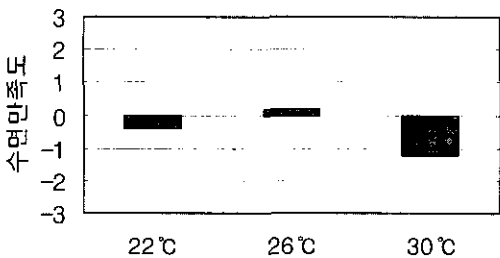
수면에 대한 설문평가 결과를 그림 7에 나타내었다. 수면 전 쾌적감(쾌적하다: +3, 불쾌하다: -3)에 대한 평가에서는 30℃ 조건에서는 불쾌하게 평가되었고, 22℃와 26℃ 조건에서는 약간 쾌적한 것으로 평가되었다. 그리고 수면 후 쾌적감(쾌적하다: +3, 불쾌하다: -3) 평가에서는 26℃ 조건에서만 쾌적한 것으로 평가되었으며, 30℃ 조건에서는 매우 불쾌한 것으로 평가되었다. 그리고 어젯밤에 잘 잤는지를 묻는 수면의 질에 대한 전반적 평가(꼭 잤다: +3, 잘 자지 못했다: -3)와 수면 시 온도와 습도에 관한 쾌적감(쾌적했다: +3, 불쾌했다: -3)에 대한 평가에서도 26℃, 22℃, 30℃의 순서로 나타났다.



(a) 수면 전 쾌적성 평가



(b) 수면 후 쾌적감 평가

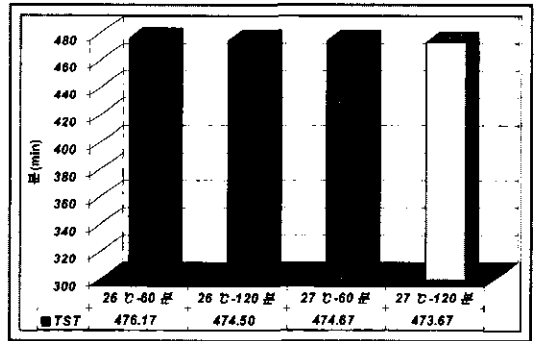


(c) 수면의 질에 대한 전반적 평가

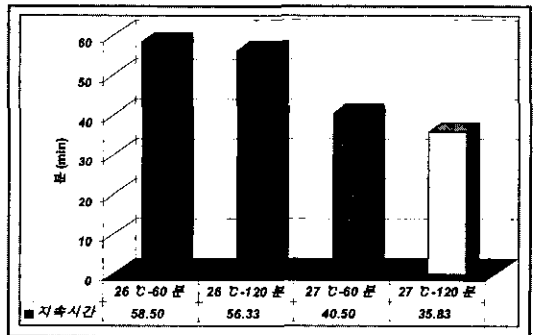
(그림 7) 일정온도조건 설문조사 결과

3.2 일정온도조건 실험

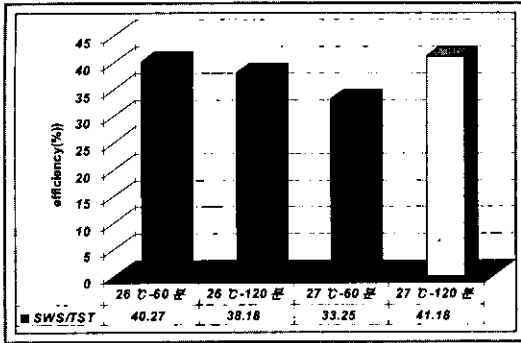
각 온도변화 조건에 대한 TST, f-SWS time, SWS/TST를 관찰한 결과가 그림 8, 9, 10에 나타나 있다. TST 분석 결과 모든 조건이 473.7±5.51분에서 476±1.26분 사이의 결과를 나타내어 각 조건간에 큰 차이가 나타나지 않았다. 그리고 변동온도조건 실험임을 고려하여 f-SWS time을 계산한 결과 60분/1℃ 상승조건과 120분/1℃ 상승조건에서 각각 58.5±1.26분, 56.3±1.80분으로 가장 높게 나타나 오랫동안 숙면을 취했다는 것을 알 수 있었다. 실험 전체적인 숙면정도를 관찰하기 위해 SWS/TST를 계산한 결과 120분/2℃ 상승조건에서 41.2±8.19%로 가장 높은 효율을 보였으며 60분/1℃, 120분/1℃, 60분/2℃ 상승조건의 순서로 나타났다. 하지만 각 분석에 대한 신뢰성 검증 결과 3, 4단계 지속시간에서 120분/1℃ 상승조건과 120분/2℃ 상승조건 사이에서만 유의한 차가 있었을 뿐 TST와 SWS/TST에서는 각 온도차간에 유의한 차가 없었다.



(그림 8) 변동온도조건 실험 : 각 조건별 TST

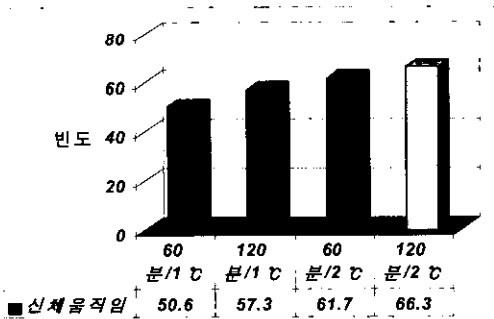


(그림 9) 변동온도조건 실험 : 각 조건별 f-SWS time

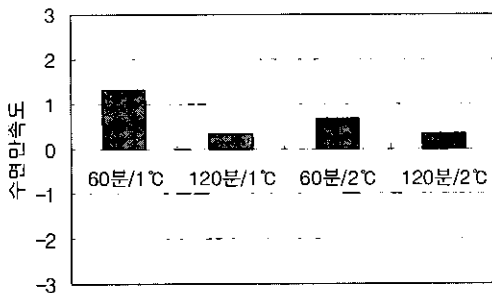


(그림 10) 변동온도조건 실험 : 각 조건별 SWS/TST(%)

신체움직임의 경우 전체수면시간에 대해서 뚜렷한 차이는 나타나지 않았으며, 실험조건에 따른 유의한 차는 없었다. 그림 11은 전체 수면시간 동안 온도 조건별 피험자간의 신체움직임 조합을 평균한 것을 나타내었다. 여기서 실내온도를 60분/1°C로 상승조건이 신체움직임이 가장 적게 나타났으며, 120분/1°C 상승조건이 다음으로 적게 나타났다.



(그림 11) 변동온도조건 실험 : 신체움직임 빈도

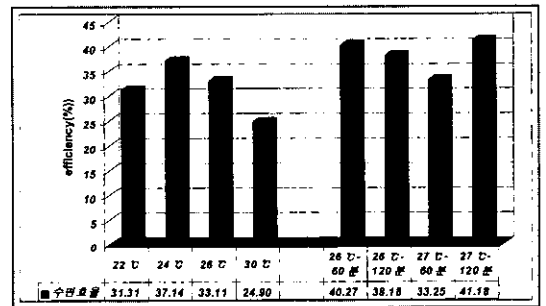


(그림 12) 변동온도조건 설문평가 - 수면만족도

그림 12에서 나타났듯이 모든 설정온도별 피험자들의 수면 후 수면 충족감 평균을 살펴보면 전체적으로 수면 만족감이 4이상에 있으므로 수면을 잘 취했다고 볼 수 있다. 그 중 설정온도 60분/1°C 상승조건이 가장 좋게 나타났다.

3.3 실험결과 비교

일정온도조건 실험과 변동온도조건 실험의 TST 결과와 비교하면 변동온도조건 실험의 모든 조건에 대한 TST는 일정온도조건 실험에서 가장 높게 나타난 26°C 조건과 비슷한 결과 값을 나타내었다. 그리고 그림 13에 나타난 SWS/TST의 비교에서는 변동온도조건 실험의 SWS/TST 비율이 일정온도조건 실험에 비해 모두 높은 값을 나타내었다.



(그림 13) 일정/변동조건 실험간 SWS/TST 결과 비교

4. 결론

일정온도조건 실험에서 3가지 온열조건에 대한 수면효율을 비교한 결과 TST 및 SWS latency, SWS/TST 모두 26°C의 온열조건이 가장 깊은 수면과 편안한 수면을 제공해주는 쾌적한 환경조건임을 알 수 있었다. 일반적으로 알려진 쾌적 온열환경 조건이 24°C~26°C라는 것과 일치한다. 하지만 수면 시 체온은 떨어지게 되므로 낮은 온도가 일정하게 유지된다면 피험자는 추위를 느끼게 될 것이다. 이러한 인간의 수면 시 체온하강을 고려할 때 수면 중에 일정온도를 유지하는 것보다 온도 변화를 주는 것이 더욱 좋다고 생각되어진다. 변동온도조건 실험에서는 수면 시작 후 가장 쾌적한 수면을 제공하기 위한 온도 변화 시점과 그 변화치를 설정하고자 하였다. 그 결과 각 조건들은 수면효율에 있어 큰 차이를 나타내지는 못하였다. 하지만 이러한 4가지 온도변화조건 모두가 일정온도조

진 실험의 26℃에 대한 결과보다 더욱 좋은 조건으로 나타났다. 따라서 수면 시에 온도 변화가 필요하다는 것이 본 실험을 통해 증명되었으며, 수면시작 후 1시간 내지 2시간 사이에 1℃~2℃ 정도의 온도 상승은 깊고 편안한 수면을 위한 매우 쾌적한 조건임을 알 수 있었다.

생리신호를 이용한 수면단계 평가와 이를 통한 수면 효율 분석에서 나타난 TST, SWS latency, f-SWS time, SWS/TST 등은 수면의 질적인 상태를 관찰 하는데 매우 적합한 파라미터로써 이용되어 질 수 있으며, 여러 가지 수면환경 조건을 평가하는데 유용한 지표가 될 수 있음을 보였다.

결론적으로 본 실험의 결과를 통해 더욱 쾌적한 온열환경 조건을 설정할 수 있었으며, 추가적인 분석 알고리즘의 개발과, 더욱 세분화된 조건에서의 실험이 진행되어 진다면, 보다 객관적이고 신뢰성 있는 평가 기준을 제시할 수 있으며, 여름철의 불쾌한 수면환경을 개선할 수 있는 최적의 쾌적한 온열환경을 구현하는데 도움이 될 수 있을 것이다. 또한 이러한 결과를 에어컨 등의 제품에 응용한다면, 우수하고 경쟁력 있는 감성공학적 제품의 개발뿐만 아니라 에너지 절약차원에서도 큰 효과를 기대할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] P.O. Fanger, Thermal comfort, Danish Technical Press, 1970
- [2] J. Horne, Why we sleep : The functions of sleep in humans and other mammals, Oxford University Press, 1988
- [3] C. Balland, M. Peebles, P.G. Bolton et al., Sleep state organization in the developing piglet during exposure to different thermal stimuli, Sleep, Vol. 16(7), pp.610-619, 1993
- [4] D. Dijk, C. Cajochen, I. Tobler et al., Sleep extension in humans: Sleep stages, EEG power spectra and body temperature, Sleep, Vol. 14(4), pp294-306, 1991
- [5] M. Clodore, O. Benoit, J. Foret et al., The multiple sleep latency test: Individual variability and time of day effect in normal young adults, Vol. 13(5), pp 385-394, 1990
- [6] C. Cuilleminault, Sleeping and waking disorders : Indications and techniques, Butterworths, pp.1-16, 1982
- [7] J. Hasan, Differentiation of normal and disturbed sleep by automatic analysis, Acta physiologica scandinavica supplementum Vol. 526, 1983
- [8] A.Rechtschaffen and A. Kales, A manual of standardized terminology, Techniques and human subjects, Brain Information Service/Brain Research Institute of UCLA, 1968
- [9] R. Armitage, The distribution of EEG frequencies in REM and NREM sleep stages in healthy young adults, Sleep, Vol. 18(5), pp.334-341, 1995
- [10] N. Schaltenbrand, R. Lengelle, M. Toussaint et al., Sleep stage scoring using the neural network model : Comparison between visual and automatic analysis in normal subjects and patients, Sleep, Vol. 19(1), pp.26-35, 1996
- [11] M. Toussaint, R. Luthringer, N. Schaltenbrand et al., Changes in EEG power density during sleep laboratory adaptation, Sleep, Vol. 20(12), pp.1201-1207, 1997
- [12] M. Jobert, H. Schulz, P. Jahng et al., A computerized method for detecting episodes of wakefulness during sleep based on the alpha slow wave index(ASI), Sleep, Vol. 17(1), pp.37-46, 1994

Evaluation of Sleep Comfort for Indoor Thermal Environment based on the Physiological Signal Analysis

N.B.Lee*, J.J.Im**, J.S.Kum***, K.H.Lee****, H.S.Choi****

Dept. of Mechatronics Engineering, Chonbuk National University*
Division of Electronics and Information Engineering, Chonbuk National University**
Dept. of Refrigeration and Air Conditioning Engineering, Pukyong National University***
LG Electronics Inc.****

Abstract According to the rapid development of society, stress and disease are increased because of insufficient sleep. This study was performed to evaluate sleep efficiencies and conditions for comfortable sleep based on the analysis of physiological signals under constant thermal conditions(22°C, 26°C, 30°C) and variations in thermal conditions(1°C and 2°C raise after 1 hour and 2 hours at 25°C, respectively). Five female subjects were participated for the experiment. Total sleep time, percentage of deep sleep, first slow wave sleep latency were extracted as parameters for the evaluation of sleep efficiency. As results, total sleep time(466.7 ± 10.25 min) and percentage of deep sleep($33.1 \pm 4.93\%$) for 26°C condition showed the higher values and first slow wave sleep latency(9.8 ± 3.33 min) for 26°C condition showed the lower values than that for 22°C and 30°C conditions at constant thermal conditions. While the thermal conditions were varied during experimentation, there were no significant changes appeared between each step, but showed an effective sleep than under constant thermal conditions. Same results were obtained from the analysis of thermal sensation vote and body movements during sleep. Analysis of sleep comfort using physiological signals could extract useful parameters for the sleep research, and could be used as indices for the evaluation of the various sleep environment.