한국동력기계공학회지 제11권 제3호 pp.29~34 2007년 8월

쾌적제어를 위한 수면 초기 실내온도 변동이 인체 생리에 미치는 영향
The Effect of Indoor Temperature Change on Human Physiology for Comfort Control during Sleep Early Stage

신효준 · 김동규 · 정석권 · 금종수 · 김형철
H. J. Shin, D. G. Kim, S. K. Jeong, J. S. Kum and H. C. Kim

Key Words : Mean Skin Temperature(평균 피부 온도), Body Core Temperature(심부 온도), Sleep Efficiency(수면 효율), Slow Wave Sleep(서파수면), Sleep Stage(수면단계)

Abstract : Existent researches about indoor thermal environment have been focused on to seek human's comfort in daytime. Also researches about thermal comfort during the sleeping time that is important for resting and recharging to modern people have been seldom existed. At present, as global warming phenomenon is being continued, most people are going through inconvenience by sultriness during the sleeping hours in sweltering summer night. Therefore we need another control method of an air conditioner to keep human's thermal comfort. Ambient temperature is a common factor of the environment, but analysis of its effect on human body physiology is still unknown. The effect of ambient temperature on human sleep has been increasingly studied in the last decade. This research investigated about optimal indoor temperature to maintain proper skin temperature and comfortable sleep when indoor air is cooled by an air conditioner in sweltering summer night.

1. 서 론

인간이 살아가는 동안 깨어서 활동하는 시간은 전체의 2/3이고, 잠을 자는 시간은 전체의 1/3이다. 신생아의 경우는 하루 24시간 중에 16시간 동안 수면을 취하며, 노인의 경우 5~6시간 동안 수면을 취한다. 인간을 대상으로 한 기존 학문들은 주로 인간이 깨어서 활동하고 있는 동안의 생각과 행동을 논하는 것이 대부분이었다. 그러나 인간 생명 현상의 1/3에 해당하는 수면에 대한 관심을 상대적으로 적었다. 수면은 인체의 심리적, 생리적 회복과 에너지 보충의 시간으로 인간에게 없어서는 안 될 필수적인 시간이다. 그러므로 인간의 수면에 관한 연구는 앞으로 더욱 활발히 진행되어야 할 것이지만, 수면에 관한 기존 연구는 대부분 임상적 측면 즉, 수면장애와 관련된 병의 진단과 치료에 관심이 모아졌다. 그리고 소수의 연구자에 의해서 실내온도가 수면단계의 변화에 미치는 영향[1], 체온조절의 반응과 수면단계의 관계[2]에 관한 연구 등이 행하여졌다. 하지만 이러한 연구들은 단순히 현상을 밝히는 수준에 그쳐, 야간 수면시간 동안 실내 온도를 적절하게 조절하기 위한 기초 연구로서는 미흡한 실정이다. 더욱이 지구 온난화 현상이 가속화 되면서 여름철 야간에 실외 기온이 25℃를 넘는 열대야 현상의 발생일수가 증가하고, 무더위로 인하여 많은 사람들이 수면에 대한 불편을 호소하고 있다. 따라서 열대야 발생기간 동안 쾌적하고 편안한 수면상태를 유지할 수 있는 실내 온열환경 조건에 대한 연구의 필요성은 더욱 강조되고 있다. 이와 관련된 선행연구[3]에서는 여름철 야간 실내온도조건에 따른 피험자의 평균피부온도와 수면생리신호를 환경실험실에서 실험하여 분석하였고, 쾌적한 수면을 위한 적절한 실내온도 조건으로 24℃~26℃를 제안하였다.

본 연구에서는 선행연구 결과를 고려하여 아파트에서 여름철에 에어컨을 사용하여 실내를 냉방시킬 때 침실 온열환경 조건에 따른 초기 수면상태와 인체 생리반응의 변화 형태를 실험을 통해 관찰함으로써, 입면시간의 단축 및 건강한 수면상태를 유지할 수 있는 침실 온열환경 초기조건에 대한 기초 자

접수일 : 2007년 4월 13일, 채택확정 : 2007년 8월 27일
김동규(책임저자) : 부경대학교 기계공학부
E-mail : arckim@pknu.ac..kr Tel. 051-620-1617
신효준, 정석권, 금종수 : 부경대학교 냉동공조공학과
김형철: 삼성전자 생활가전총괄연구소

료를 제시하고자 한다.

2. 실험 개요

2.1 실험 장소

수면실험은 2005년 7월 18일부터 8월 29일까지 부산광역시 수영구 남천동에 소재한 아파트의 거실(면적 : 25.79㎡)에서 실시되었다. 실험이 진행된 아파트는 수면에 영향을 미칠 수 있는 외부 소음의 영향을 차단하기 위하여 방음 공사를 실시하여 실내 암소음이 35[dB]이하가 되도록 하였다. Fig. 1은 아파트의 평면도 및 침실로 사용된 거실의 전경을 나타내었다.

2.2 실험 방법

2.2.1 피험자

피험자는 남녀 102명을 대상으로 수면 실태 설문조사, 예비 실험(혈압, 맥박, 비만도, 생리 신호 점검)을 실시하여 체격이나 생활 주기 및 수면 양상이 비슷하고, 생리 신호를 기반으로 건강에 이상이 없고, Table 1과 같은 한국 표준 과학 연구원의 조사자료[4]를 참고하여 한국인 평균 인체 치수에 근접한 신체 건강한 피험자 10명(남자 5명, 여자 5명)을 선정하였고, 선정된 피험자의 신체조건은 Table 2와 같다. 피험자들은 실험 전에 실험에 대한 예비 교육을 실시함으로써 실험에 영향을 줄 수 있는 인자(지나친 운동, 과로, 음주, 흡연, 과식, 약물 복용 등)를 배제하도록 하였다. 실험에 참가한 피험자는 실험에 들어가기 전, 초기 2일 동안의 적응 기간에 실험과 동일한 환경조건 및 센서부착 등에 대한 적응 과정을 거친 후 2일간의 본 실험에 임하였다. 피험자는 정해진 의복을 착용하고, Fig. 1과 같이 여름철에 일반적으로 사용되는 침구(인조견사 합성섬유)가 갖추어진 1인용 침대에서 수면을 취하였다.

Fig. 1 Experimental environment

Table 1 Korean mean body size(2004 Size Korea)[4]

	Male	Female
Height[cm]	173.2	160.0
Weight[kg]	69.8	54.1

Table 2 Conditions of subjects

	Male	Female
Number of subjects	5	5
Age	24.5±3.0	23.5±1.5
Height[cm]	173.0±3.4	164.2±4.5
Weight[kg]	65.0±3.8	51.4±4.1

2.2.2 실험방법

피험자는 실험 당일 21시에 아파트에 도착하여 1시간 동안 실험 환경에 적응하였으며, 22시에는 생리 신호를 측정하기 위한 센서를 부착하였다. 센서를 부착하고 난 후, 실험자는 피험자가 센서의 부착이나 실험 환경에 의하여 불편을 느끼고 있는지의 여부를 확인하였으며, Fig. 2와 같이 생리 신호 수집 pre-test를 실시하였다.

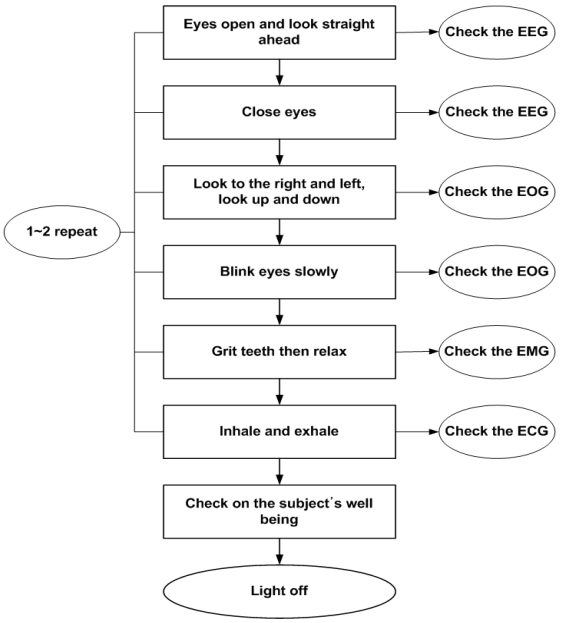

Fig. 2 Physiology signal pre-test[5]

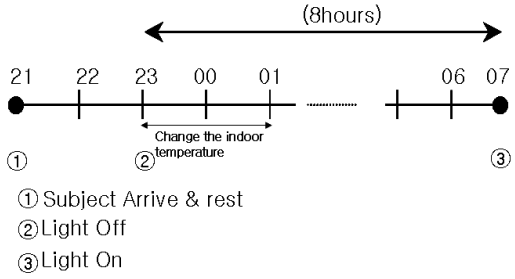

Fig. 3 Experimental process

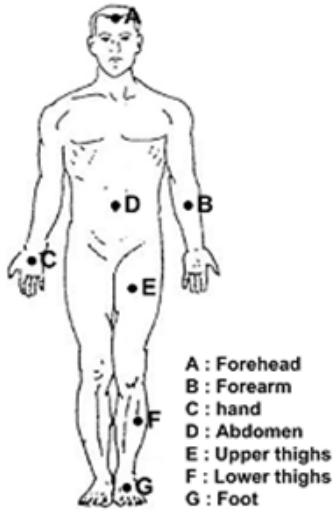

Fig. 4 Sticking position of skin temperature measurement sensors

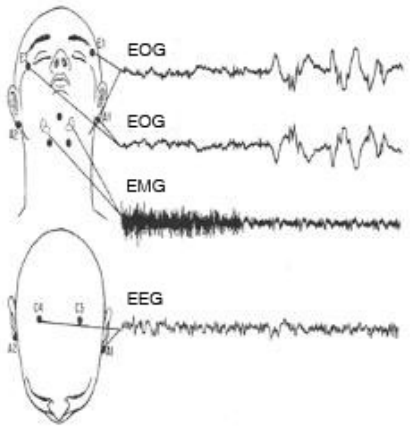

Fig. 5 Sticking position of physiology signal measurement sensors[6)]

Table 3 Measurement item and equipment

Measurement item		Measurement equipment
Man's body	Skin temperature	NKYSI NYLogger
	Core temperature	
	Electroencephalogram	LAXTHA LXE1104-RS232
	Electrooculogram	
	Electrocardiogram	HANBYUL Meditech
	Electromyogram	
Indoor environment	Indoor temperature measurement	Thermocouple(T-type)
	Indoor temperature record	YOKOGAWA MV200
	Noise	RION NA27
	CO_2 density	BABUC A/C

Table 4 Initial indoor conditions

Item	Range
Room temperature[℃]	29.0±1.0
Relative humidity[%]	50.0±10.0
CO_2 density [ppm]	800~900
Noise level[dB]	Below 40.0

Pre-test가 끝나면 실험자는 수면 실험에 방해가 될 요소가 없는지 점검하고 피험자의 수면 욕구 신고를 확인한 후, 23시부터 8시간 동안 수면을 취하도록 하였다. Fig. 3에는 수면 실험의 진행 순서를 나타내었다. 실내 온도의 측정은 피험자의 머리, 복부, 발등의 위치에 해당하는 지점에 T-type 열전대를 이용하여 측정하였고, 데이터 저장 장치(Yokogawa MV200)를 사용하여 10초 간격으로 데이터를 저장하였다.

피부온도는 Hardy & Dubois의 7점법[7)]에 따라 피부 온도 측정 장치(NKYSI NYLogger)를 사용하여 이마, 하박, 손등, 복부, 대퇴, 하퇴, 발등의 7부위를 의료용 써지컬 테이프를 이용하여 센서 부착 후 측정하였고, Fig. 4에는 피부 온도 측정 센서의 부착 위치를 나타내었다. 심부온도는 직장온도(rectal temperature)를 측정하였으며, 전용 센서를 직장에 삽입하여 심부 온도 측정 장치(NKYSI NYLogger)를 통해 데이터를 수집하였다. 수면 단계 분석을 위해 뇌파(EEG), 안구전도(EOG), 근전도(EMG)는 Fig. 5의 위치에 센서를 부착하여 데이터를 수집하였다. Table 3에는 본 실험의 인체측 · 환경측 측정 항목과 측정 장치를 나타내었다.

2.2.3 실험 조건

매일 밤 실험을 실시하기에 앞서 여름철 열대야 발생시와 동일한 실내 온도 조건을 구현하기 위하여 실내를 충분히 환기시킨 후 전열 히터를 가동하여 실내 공기를 30분 정도 가열하였으며, Table 4에 나타낸 것과 같이 초기 실내 조건을 동일하게 설정한 후에 실험을 실시하였다. 본 실험에서는 수면 초기에 실내 온도를 24℃로 떨어뜨리는 조건과 선행연구[3,8)]에서 전체 수면 시간 동안 평균 피부 온도를 가장 쾌적하게 유지시켜주는 것으로 밝혀진 26℃로 떨어뜨리는 조건을 비교하고자 하였다. 이를 위하여 국내 S사의 가정용 스탠드형 에어컨을 사용하였고, 에어컨 알고리즘은 초기 온도변동 이후 24℃와 26℃의 정온 모드로 운전되는 2가지로 전자는 Case

A로 하였고, 후자는 Case B로 하였다.

Fig. 6은 Case A와 Case B의 실내온도 제어 알고리즘을 나타낸 것이다.

2.2.4 수면단계 및 수면효율

수면단계에 관한 연구는 A. Rechtschaffen과 A. Kales[6]에 의해 주장된 수면단계 결정 방법이 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. Fig. 7에 생리신호에 따른 수면단계를 나타내었고, Fig.8에 수면단계 분석프로그램을 나타내었다. 수면효율은 수면환경이나 수면의 질적 상태를 평가하는데 이용되어지고, 주로 수면단계를 이용하여 계산되어지며 전체수면에 대한 각 단계별 비율이나 단계별 지연시간 등을 이용한다. 특히 서파수면(SWS: slow wave sleep)이라고 불려지는 수면 3, 4단계는 깊은 수면을 나타내기 때문에 수면 효율계산에 많이 이용된다. 따라서 본 논문에서는 하루 중 총수면시간(TST : total sleep time)을 계산하고, 수면 중 수면 3, 4단계의 비율과 수면 시작시간부터 최초에 수면 3, 4단계가 나타나기까지의 지연시간(sleep latency)을 계산하였다.

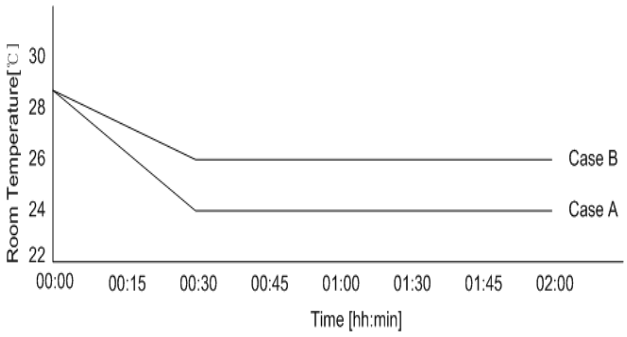

Fig. 6 Algorithm of Case A and B

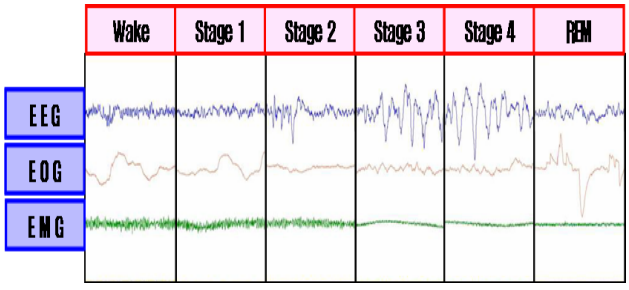

Fig. 7 Summary of sleep stage

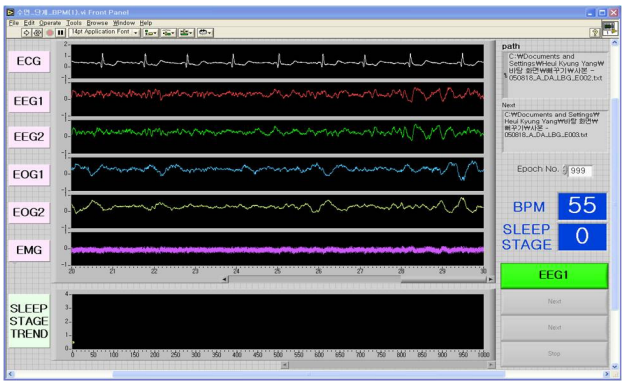

Fig. 8 Sleep stage analysis program

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실내 온도 및 습도

Fig. 9에 Case A와 B의 실내 온도 변화를 나타내었고, Fig. 10에는 Case A와 B의 실내 습도 변화를 나타내었다. 실내온도의 경우 Case A는 24℃를 유지하기 위해 계속운전이 되는 형태를 보이고 있지만, B는 26℃를 유지하기 위해 압축기의 ON/OFF 운전양상을 나타내었다. 반면에 실내 상대습도의 경우는 운전초기에 60% 정도에서 실험 초기에 급격하게 감소한 뒤 50%대를 유지하였다.

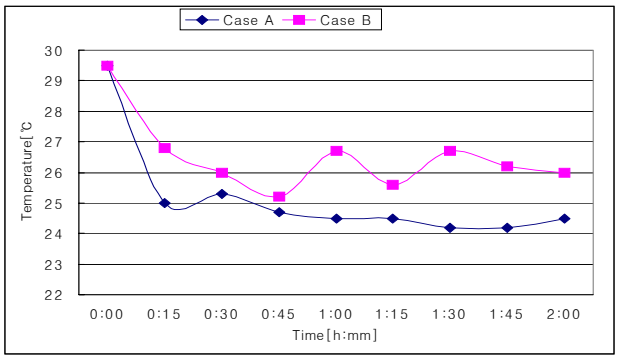

Fig. 9 Indoor air temperature of case A and B

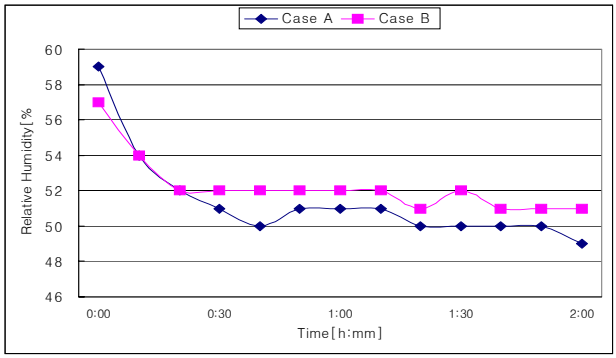

Fig. 10 Indoor relative humidity of case A and B

3.2 실내 CO_2 농도

Fig. 11에는 Case A와 Case B의 실내 CO_2 농도 변화를 나타내었다. 수면 실험 중에는 외부와 환기를 하지 않기 때문에 실내 CO_2 농도는 수면 시간 동안 피험자들의 호흡에 의해 지속적으로 증가하는 것으로 나타났지만, 제한값이 1000ppm은 초과하지 않는 것으로 나타났다.

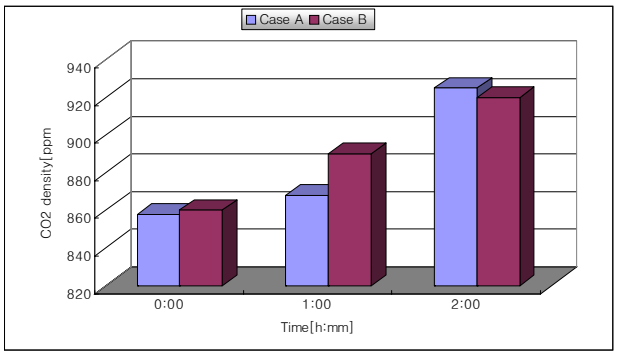

Fig. 11 Indoor CO_2 density

3.3 평균피부온도 및 심부온도

Fig. 12에 Case A와 B의 평균피부온도의 경시 변화를 나타내었으며, Fig. 13은 수면 시간 중 평균 피부온도가 쾌적 범위에 포함된 비율을 시간대별로 비교한 것이다. 평균피부온도 경시변화는 에어컨에 의해 구현된 실내온도 변동 패턴에 따라 나타났다. 평균피부온도의 쾌적 범위는 Hiroyuki Ogino의 쾌적한 수면시 평균피부온도 범위 조건(34.5℃~35.6℃)[9]을 참고하였다. 수면초기 1시간에 있어서 Case A가 Case B보다 높았고, 2시간에 있어 서는 24℃를 유지한 Case A의 경우는 26℃를유지한 Case B와 달리 쾌적범위에서 거의 벗어나 있음을 알 수 있다. Fig. 14는 Case A, B의 심부온도(직장온도)변화를 나타내었다. 수면 초기 심부온도는 Case A의 경우 실험 시작 후 약 45분이 경과한 시점부터 하루 중

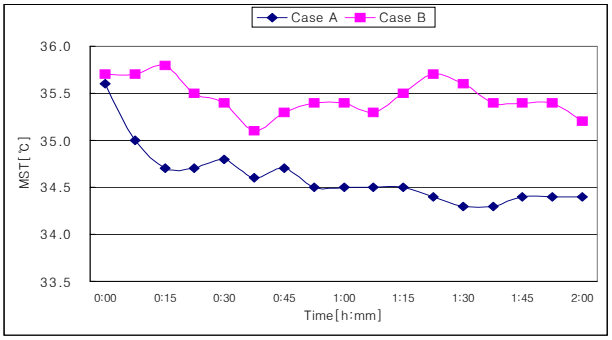

Fig. 12 Mean skin temperature of case A and B

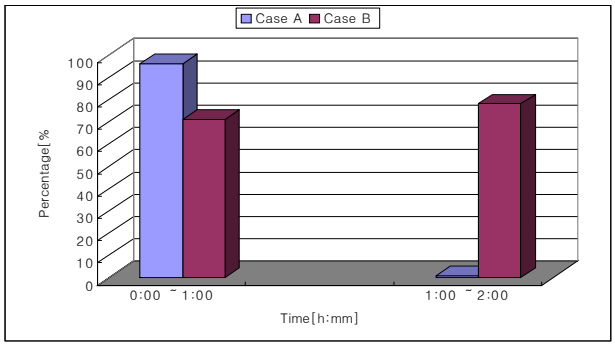

Fig. 13 Distribution of MST in comfort range

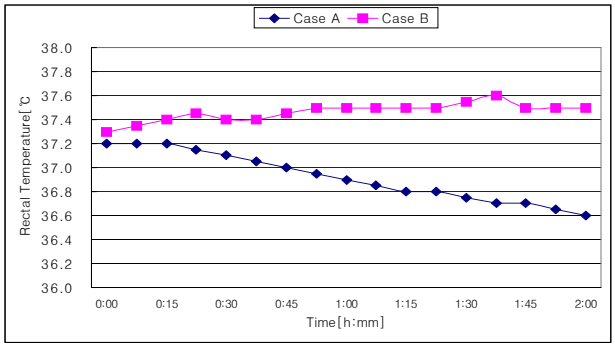

Fig. 14 Rectal temperature of case A and B

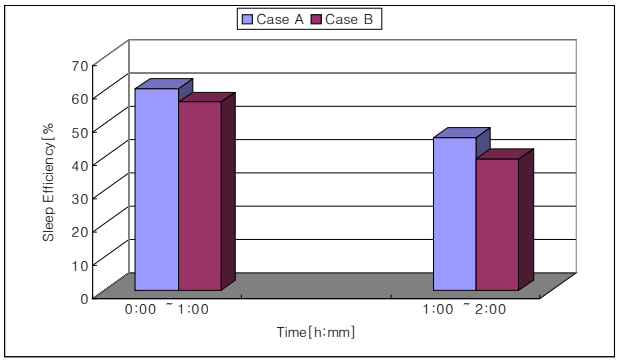

Fig. 15 Sleep efficiency of case A and B

정상인의 심부 온도 범위(36℃~37℃)[10]에 포함되지만, 심부온도가 지속적으로 하강하는 경향을 나타냈다. 반면에 Case B의 경우 심부 온도는 실내 온도의 변화 패턴을 나타냈으며, Case A와 달리 정상인의 심부 온도 범위를 초과하였다. 따라서 본 연구에서 고려하고 있는 수면초기 조건에서 평균피부온도와 심부온도를 고려한다면 Case A(24℃) 조건은 초기 1시간 이후 온도상승이 필요함을 알 수 있다.

3.4 수면 효율 및 수면지연시간

Fig. 15에는 시간에 따른 Case별 수면 효율의 변화를 나타내었고, 수면 시작 시간으로부터 최초로

수면 3·4단계가 나타나기까지의 지연 시간인 Slow Wave Sleep(SWS) Latency는 Case A의 경우 9.7±3.2분, Case B의 경우 25.3.±6.6분으로 나타났다. 수면효율의 경우는 Case A가 다소 높게 나타났지만, 수면초기에 깊은 잠에 얼마나 빨리 들어가는가를 나타내는 수면 지연시간은 Case A가 Case B보다 짧았다. 따라서 생리신호 측면에서 수면초기 신속한 숙면을 유도하기 위해서는 Case A(24℃) 조건이 Case B(26℃) 조건보다 우수하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 여름철에 적정 피부 온도를 유지하면서 수면 초기에 쾌적한 입면을 유도하기 위한 수면 실험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 열대야 조건의 여름철 야간에 수면초기에 실내온도를 강하시키는 것은 인체의 평균피부온도를 쾌적하게 유지하고, 입면시간을 단축시켜 수면효율을 높이는데 도움이 된다는 사실을 알 수 있었고, 생리신호 측면에서 수면초기 신속한 숙면을 유도하기 위해서는 Case A(24℃) 조건이 Case B(26℃) 조건보다 우수하다고 판단된다.

2) 수면초기 생리신호 측면에서 Case A(24℃) 조건이 우수하지만, 평균피부온도 및 심부온도변화를 고려할 때 Case A(24℃) 조건은 온도상승이 필요함을 알 수 있다.

참고 문헌

1. K.Mizuno, K. Tsuzuki, K. Mizuno and T. Iwaki, 2005, "Effect of partial humid heat exposure during different segments of sleep on human sleep stage and body temperature", Physiology & Behavior, Vol. 83, pp. 759~765.
2. Day R., 1941, "Regulation of body temperature during sleep", Am. J. Dis. Child. 61, pp. 734~746.
3. 김동규, 금종수, 박종일, 2006, "여름철 수면시 온열쾌적감 평가", 대한설비공학회, Vol. 18, pp. 1~6.
4. 산업자원부 기술표준원, 2004, "제5차 한국인 인체치수 조사사업 결과 보고서 Size Korea 2004", pp. 3~4.
5. 이낙범, 1999, "REM 수면 검출을 위한 뇌파의 스펙트럼 분석 빛 평가요소 유출", 인제대학교 공학석사학위 논문.
6. Rechtschaffen and A. Kales, 1968, "A manual of standardized terminology, Techniques and scoring system for sleep stage of human subjects", Public Health Service U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
7. S. Tanabe, Ph. D., 1988, "Thermal comfort requirements in Japan", Waseda University.
8. 이낙범 임재중, 허덕, 조관식, 금종수, 최홍호, 이구형, 최호선, 1999, "온도차에 따른 수면상태 평가를 위한 생리신호 분석", 한국감성과학회 학술대회지, pp. 38~42.
9. H. Ogino, Y. Nishida, A. Tajima, T. Yamamoto and K. Ishii, 1987, "The effects of ambient temperature upon sleep(part 2)", Report : The 11th symposium of Human - Environment System, No. 3, pp. 11~13.
10. 강두희, 1992, "생리학(개정4판)", 신광출판사.