

## 대류 난방시 수면 열환경에 관한 연구

이제현 · 김동규<sup>†</sup>  
부경대학교(교수)

### A Study on the Analysis of Sleep Thermal Environment during Convection Heating

Je Hyeon LEE · Dong-Gyu KIM<sup>†</sup>  
Pukyong National University(professor)

#### Abstract

In this study, the sleep thermal environment was evaluated during convection heating using a heater pump in winter. As a result of analyzing changes in temperature and humidity in the bedroom and bedding and physiological signals through the subject's sleep experiment, the following conclusions were obtained. (1) It was found that the temperature and humidity conditions inside the bedroom and bedding formed by convection heating suggest a comfortable sleep thermal environment. (2) Convection heating conditions were superior to that of non-air conditions, with 7% higher sleep efficiency. (3) As for the mean skin temperature comfort zone ratio, it was found that the convection heating condition (97.8%) included more than the non-heating condition (86.9%).

**Key words :** Sleep thermal environment, Convection heating, Sleep efficiency, Mean skin temperature, Comfort zone

#### I. 서론

수면은 사람의 신체적·정신적 기능을 유지하기 위한 필수적인 생리과정으로, 보통 사람은 하루 7-8시간 정도 수면을 취하며 신체 기능을 재충전함으로써, 에너지와 건강을 유지한다. 따라서 수면은 사람의 기본적 생리적 욕구임과 동시에 신체적, 정신적 휴식 및 보상의 시간으로 삶의 필수적인 요소라 할 수 있다. Knab은 쾌적한 수면의 기준은 빨리 잠들고, 수면 중 깨는 횟수와 신체 움직임이 적고, 수면시간이 길고, 수면 후 휴식감이 있는 것이라고 하였다(Knab et al., 1983). 쾌적한 수면에 영향을 미치는 요인으로는

실내환경, 생리적·정신적 요인, 침구 등을 들 수 있다. 정상적인 수면상태에서 대부분의 사람들은 무방비 상태로 수면환경에 노출되어 있다는 점을 고려할 때, 수면은 온도, 습도, 공기질, 조도, 소음 등의 다양한 환경 요인에 영향을 받는다. 수면의 영향 요인 중 열적인 관점에서 사람은 수면 중 주위환경과 열교환을 하기 때문에 수면 중 침실온도는 수면시의 생리변화와 관련이 있고, 이는 궁극적으로 수면의 질에 영향을 미치게 된다고 할 수 있다. 이에 현대인들의 가장 큰 휴식 및 재충전 시간인 수면시간 동안 쾌적한 수면환경을 제공할 수 있는 적정 온열환경에 대한 관심이 증가하고 있는 실정이다. 수면과 온도에 관한

<sup>†</sup> Corresponding author : 051-629-7818, dgkim@pknu.ac.kr

\* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2021년)에 의해 연구되었음

연구에 의하면 추운환경에서 잠들면 수면 중에 각성이 많이 발생하게 된다고 알려져 있다. Haskell에 의하면 옷을 입지 않고 자는 사람들, 이불을 제대로 덮지 않고 자는 사람들이 추위에 노출되면 각성이 증가하고, 램수면과 서파수면이 줄어든다고 하였다(Haskell et al., 1981). 그러나 수면 중 추위로 인한 수면 장애는 더위에 비해 덜 흔한데, 그 이유는 사람들이 잠을 잘 때 잠옷을 입고 이불을 덮기 때문이며, 이불을 덮을 경우 실내온도가 13-23℃, 옷까지 입고 잘 경우 3-17℃의 범위에서는 수면의 질적 차이는 없는 것으로 알려져 있다(Muzet et al., 1984). 우리나라는 겨울철에 대부분 보일러 온수를 통한 바닥 온수난방을 하고 있는 관계로 바닥난방으로 형성된 수면 온열환경에서 침상기후, 침실 온습도 환경, 생리반응에 관한 연구들이 수행되어 왔다(Lee et al., 1996, Choi et al., 2005). 또한 쾌적수면 알고리즘 개발과 관련된 선행연구들은 무더운 여름철 열대야를 극복하기 위해 쾌적한 수면환경을 위한 실내설정온도, 소음, 평균피부온도, 수면단계 분석을 통한 수면효율 등에 관한 연구를 수행하여 왔다(Kim et al., 2014, Kum et al., 2007, Shin et al., 2007). 하지만 겨울철 쾌적한 실내 온열환경 구현을 위해 향후 사용이 증대될 것으로 기대되

는 히트 펌프(Heat Pump)형 대류 난방기를 사용하는 경우 재실자의 수면에 주는 영향에 대한 체계적인 연구는 미비한 상황이다. 본 연구에서는 겨울철 히터펌프를 사용한 대류 난방시 피험자 수면 실험을 통해 침실, 침구 내 온습도 변화를 관찰하고, 인체의 생리신호 분석(Kim et al., 2014, Kim et al., 2006, Kum et al., 2007)을 통하여 수면 열환경을 평가하고자 하였다.

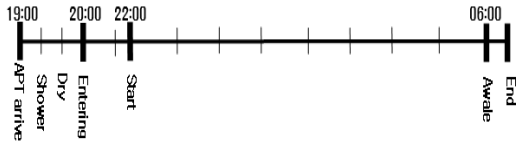
## II. 연구 방법

### 1. 측정요소 및 측정장비

환경물리량 측정은 침실 중앙 바닥면 기준 110cm 지점에 직경 0.2mm C-C열전대로 계측하였으며 데이터로그에 10초마다 저장하였다. 피험자 피부온도는 무선피부온도 측정기 NYlogger를 사용하여 측정하였고, 평균피부온도는 Hardy-Dubois의 측정법을 사용하여 신체 7부위를 10초마다 측정하여 저장하였다. 침구 내부 온도 및 습도는 휴대용 온습도 측정 장치를 이용하여 10초마다 저장하였다. 수면단계 및 생리신호 분석을 위해 뇌파, 안구전도, 근전도, 심전도를 측정하였으며 30초마다 PC에 저장하였다. 각 측정 요소와 측정 위치, 측정 장비는 <Table 1>에 정리하였다.

<Table 1> Measurement Factor & Measurement Position

Measurement Factor		Measurement Position	Measurement Equipment
Human body	Psychological signal	Head(C3-A2, C4-A1, REF, GND), Eye(LA, RA, GND), Chin(LA, RA, GND)	LAXTHA LXE 1104 Hanbyul Meditech HB-001
	Skin temperature	Forehead, Forearm, Back of the hand, Abdomen, Upper things, Lower things, Foot	NKYSI NYLogger
Environment	Physical element	Indoor temperature(18 points) Globe temperature Outdoor temperature Heat-pump outlet & intake	Thermocouple (T-type) YOKOGAWA MV200
Bedding	Temperature & Humidity	Inside the blanket	Thermo-record



[Fig. 1] Experimental Procedure.

<Table 2> Anthropometric data of the subjects

Age	23.3±0.4
Height[cm]	161.8±2.8
Weight[kg]	50.7±3.7
Eardrum Temperature[°C]	36.9±0.2
Blood Pressure[H/L]	120/78 ±5/5
Pulse[bpm]	78.8±7.8

## 2. 실험진행 순서

피험자는 20시경에 아파트에 도착하게 되면, 그날의 주간활동사항과 건강에 대해 인터뷰를 하고, 샤워 및 신체건강을 한 후 침실로 21:00에 입실하도록 하였다. 본 실험에 앞서 1시간동안 생리신호 및 피부온도 측정을 위해 각종 센서를 부착한 뒤 pretest를 통해 생리신호의 이상 유무를 파악 후 이상이 없으면 소등하고 22:00부터 Heat Pump를 가동하고 8시간 동안 수면을 취하도록 하였다. 실험 진행순서는 [Fig. 1]과 같다.

## 3. 실험대상자

피험자는 참가지원자를 대상으로 개인별 일주기리듬을 판별하기 위해 MEQ검사와 예비실험을 통해 아침 및 저녁형 지원자를 배제하고 중간형 피험자를 선정하였다(Chung et al., 2009). 선정된 피험자는 생활주기 및 수면양상이 유사하고, 뇌파신호(EEG)를 기반으로 한 예비실험에서 건강에 이상이 없는 성인 비흡연자로서 여자 6명을 선정하였고, 선정된 피험자의 신체적 특징은 <Table 2>와 같다. 본 실험에 앞서 예비 교육을 통하여

실험에 대한 충분한 이해를 시켰다. 실험기간 중 실험에 영향을 줄 수 있는 무리한 운동이나 과로, 과식, 음주 등을 엄격히 금하게 하였고 평상시와 동일한 각성-수면 주기를 유지하도록 통제하였으며, 주간에 매 시간마다의 고막온도를 측정하게 하여 일주기 리듬을 살펴보았다.



[Fig. 2] Photo of bedroom(3.9m×3.9m×2.6m).

## 4. 실험조건

실험은 12월부터 3월초까지 부산에 소재하는 25층 아파트의 21층에서 수행하였다. 아파트 내부는 거실, 방 4개, 욕실 2개로 구성되었고, 방위는 동남향으로, [Fig. 2]에 실험을 수행한 침실 모습을 나타내었다. 침대는 Heat Pump 취출구와 1.2m의 거리를 유지하였고, 침실 바닥은 카펫을 사용하지 않은 일반바닥이며, 침대는 다리가 있는 침대로서 매트리스에 침대틀을 사용하였다. 수면환경 조성을 위하여 실 중앙 벽면 상부에 바닥으로부터 2m 높이에 설치된 Heat Pump를 이용하여 실내온도를 22°C조건으로 8시간 동안 운전하였고, 기류제어를 위해 swing방식을 사용하였다. 그리고 대류난방 효과와 비교하기 위해 난방을 하지 않는 경우에 대해서도 실험을 하였다. 침실 습도는 제어량이 표시되는 가슴기를 사용하여 설정습도 50%로 피험자 침대 주위의 습도를 조절하였다. 침실 창측의 경우 난방부하 감소를 위해 겨울용 블라인드를 사용하였다. 수면시간

동안 피험자는 정해진 의복(상하 속옷, 겨울용 잠옷)을 착용하였고, 겨울에 사용하는 이불(극세사 난방용 침구류)을 가슴부터 발까지 덮었다. 착의량은 의복중량법을 이용하여 계산한 결과 0.6 clo로 나타났다. 분석에 사용한 데이터는 총 21 실험케이스 중에서 수면시간 동안 생리신호 센서 탈락 및 수면을 이루지 못한 상황이 없는 13 케이스를 대상으로 하였다. 분석 데이터 중 4 케이스는 바닥난방이 되지 않은 비난방 조건이고, 9 케이스는 Heat Pump를 사용한 대류난방 조건이었다.

### 5. 생리신호 분석

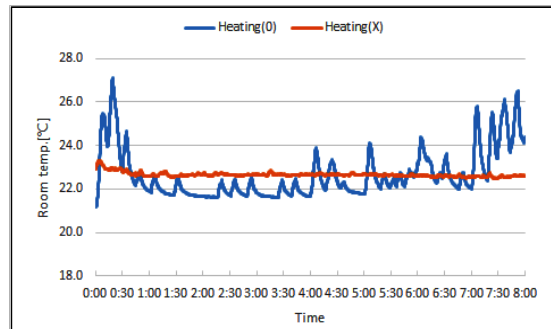
수면단계는 LabVIEW 프로그램을 이용하여 판별을 하였다. 수면단계 분석에는 뇌파, 안구전도, 근전도 등의 생리신호 데이터가 사용이 되었으며, 심전도는 감성적인 분석을 위한 보조 생리신호로서 측정하였다. 측정된 생리신호는 수면 상태 분석 프로그램으로 각 epoch의 수면 상태와 수면 중 분당 심박수 결과를 출력하였다. 생리신호 분석은 Rechtschaffen과 Kales의 규칙에 따라 수면 3, 4단계는 델타파의 활동에 의해 결정하고, 수면 2단계는 수면방추파의 활동을 반영하는 시그마 파를 이용하였으며, 수면 1단계의 경우는 세타파와 알파파를 이용하여 결정하였다 (Rechtschaffen et al., 1968). REM 수면단계 판별은 안구전도 신호를 이용하였고, 근전도 신호를 이용하여 뇌파분석에 있어 움직임으로 인한 오류를 제거하였다.

## Ⅲ. 연구 결과

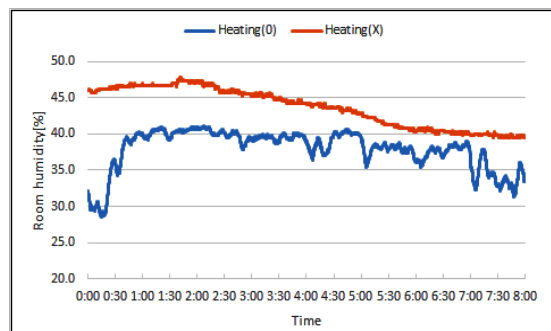
### 1. 실내 및 침구 온습도

[Figs. 3, 4]는 수면시간 동안 침실 내 온습도 경시변화이다. 대류 난방 시 실내온도는 평균 22.7℃, 습도는 37.9%였고, 비난방시 실내온도평균은 22.7℃, 습도는 43.7%였다. 기존 연구(Lee et

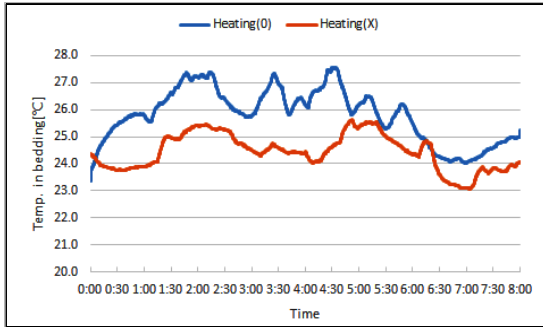
al., 1996)에서 온돌난방 시 쾌적한 침실온습도 조건으로서 제안한 온도 21.8(±4.1)℃와 습도 44(±8)%를 고려하면 대류난방 및 비난방 조건 모두 제안 범위에 속하는 것으로 나타났다. 따라서 실내온도의 경우 수면시간 동안의 평균만을 고려한다면 차이가 없었지만, 경시변화 형태에서는 차이를 나타냈다. 대류 난방시 실내온도는 가동 초기 약 1시간 정도 온도가 높았고, 이후 설정온도를 유지하다가 기상에 앞서 온도가 상승하였다. 반면에 비난방의 경우 실내온도가 거의 일정하게 유지되었다. 실내 습도의 경우 대류 난방시 실내온도가 높았던 시점에서는 습도가 낮은 경향을 보였다. 반면에 비 난방시는 습도가 완만하게 하강하였고, 약 5%정도 차이를 나타냈다. 따라서 대류 난방시는 실내 온습도 경시변화에 변화가 있었지만, 비 난방시에는 상대적으로 온습도 변화폭이 적었다.



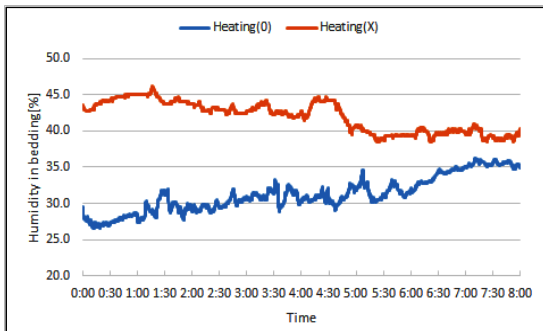
[Fig. 3] Room temperature change in bedroom.



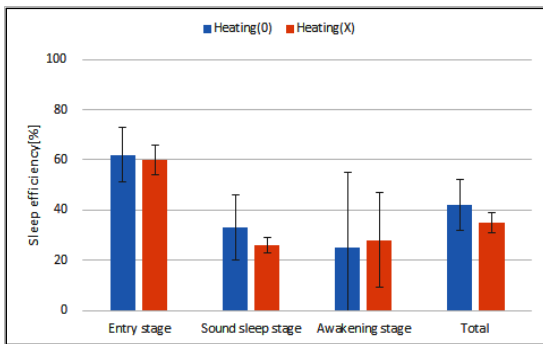
[Fig. 4] Room humidity change in bedroom.



[Fig. 5] Temperature change inside bedding.



[Fig. 6] Humidity change inside bedding.



[Fig. 7] Sleep efficiency by sleep stage(N.S).

[Figs. 5, 6]의 침구 내 온습도 측정 결과 대류 난방의 경우 평균 온도 25.8°C, 습도는 31.2%로 나타났고, 난방을 하지 않은 경우 평균 온도 24.4°C, 습도는 42.0%였다. 실내온도와 달리 침구 내 온도는 대류난방조건이 비난방에 비해 높았는데, 이는 난방기로부터의 따뜻한 바람이 덮고 있던 이불에 영향을 준 것으로 판단된다. 침구 내 습

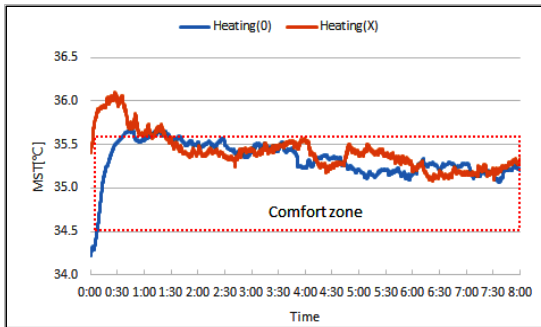
도는 대류난방 조건이 15~5%정도 낮게 나타났다. 공동 및 단독주택을 대상으로 수행된 기존 연구에 의하면 겨울철 온돌 조건에서 수면 시 이불 내 온도는 23.3-45.5°C(평균 28.4°C), 습도는 평균 28%로 보고되었다(Lee et al., 1996). 본 연구에서 구현된 수면환경조건은 온돌조건에 비해 평균온도는 약 3~4°C정도 낮았고, 습도조건은 약 3~14%정도 높게 나타났다. 대류난방과 온돌 난방 조건의 침구 내 온습도 범위를 고려 했을때, 대류 난방으로 구현되는 침구 내 온습도 조건은 온돌 난방에서 구현되는 침구 내 온습도 조건을 구현하는 것으로 판단된다.

## 2. 수면효율 및 평균피부온도

수면의 질을 분석하기 위해 8시간의 수면시간을 입면기(2시간), 숙면기(5시간), 각성기(1시간)로 구분하였고, [Fig. 7]에 생리신호 분석결과인 수면효율을 나타냈다. 수면 시작 후 초기 2시간인 입면기 동안 수면 효율(sleep efficiency)은 대류난방 시 62%, 비난방 시에는 60%로 나타났고, 숙면기에는 33%, 26% 마지막 각성기 시간에는 25%, 28%로 나타났다. 수면 전체 시간 동안에는 난방 42%, 비난방 35%로 나타나, 수면초기 즉 입면기에는 수면효율이 높게 나타났고, 숙면기를 지나 각성기로 들어감에 따라 수면효율이 낮아지고 있음을 알 수 있었다. 기존 연구(Muzet et al., 1984)에서 이불을 덮을 경우 실내온도가 13~23°C범위에서는 수면의 질적 차이는 없는 것으로 알려져 있지만, 본 연구에서는 난방조건이 비난방 조건에 비해 수면효율이 약 7% 높게 나타났지만, 통계적인 유의차는 보이지 않았다.

[Fig. 8]은 수면시간 동안 평균피부온도의 경시변화를 나타내었다. 대류 난방 시 평균피부온도는 평균 35.3°C, 비 난방시는 평균 35.4°C로 나타나, 평균적인 측면에서는 차이가 없었다. 평균피부온도 쾌적영역은 Hiroyuki 등이 제안한 수면 시 적정 평균피부온도 범위(34.5~35.6°C)를 기준

(Hiroyuki et al., 1987)으로 하였고, 수면시간 동안 평균피부온도 백분율을 비교하였다. 대류난방 조건은 수면시간 동안 쾌적영역 범위내에서 변화를 나타냈지만, 비 난방조건은 수면 초기에 쾌적영역을 벗어나 있음을 알 수 있다. 분석결과 난방조건(97.8%)이 비 난방조건(86.9%)보다 11%정도 MST쾌적영역에 더 많이 포함되는 것으로 나타났다.



[Fig. 8] Change in mean skin temperature.

#### IV. 결론

겨울철 수면시 실내 온습도, 침구 내 온습도, 수면효율, 평균피부온도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1)대류난방으로 형성된 침실 내 온도, 습도, 침구 내 온습도는 기존 연구에서 제시한 온돌난방의 침실 온습도, 침구 내 온습도와 비교했을 때 쾌적한 수면환경을 제시하고 있음을 알 수 있었다.

(2)대류난방 조건이 비난방 조건보다 수면효율 7% 높아 수면의 질이 우수한 것으로 나타났지만, 통계적인 유의차는 없었다.

(3)평균피부온도 쾌적영역 비율은 대류난방 조건(97.8%)이 비난방 조건(86.9%)보다 더 많이 포함되는 것으로 나타났다.

(4)실내 및 침구 내 온습도, 수면효율, 평균피부온도 쾌적영역 비율 등을 종합적으로 고려했을

때, 비 난방조건보다 대류난방 조건이 쾌적한 수면환경을 제공함을 알 수 있지만, 실험에 참가한 피험자 수, 주거 형태, 계절적 요인 등의 제약에 대한 보완이 추가 연구에서 필요하다고 사료된다.

#### References

- Choi JW and Song EY(2005). Thermophysiological Responses of Korean During Night Sleep on Bed or Ondol, Journal of The Korean Society of Living Environmental System 12(1), 56~66.
- Chung SH(2009). How to measure the circadian rhythm in human being?, Journal of Korean Sleep Research Society 6(2), 63~68.  
<https://doi.org/10.13078/jksrs09013>
- Haskel EH and Palca JW(1981). The effects of high and low ambient temperature on human sleep, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 494~501.
- Hiroyuki O, Yayoi N, Akio T, Teruo Y and Katsumi I(1987). The Effects of the Temperature of the Bed upon Sleep(Part2), Report : The 11th symposium on man-thermal environment system 3, 11~13.
- Kim DG and Kum JS(2014). Study on Room Temperature Condition Effects on the Sleep Stage and Physiological Reactions During Sleep, Journal of Korean Society Living Environment System 21(6), 942~948.  
<https://doi.org/10.21086/ksles.2014.12.21.6.942>
- Kim DG, Kum JS and Park JI(2006). Evaluation of thermal comfort during sleeping in summer, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 18(1), 1~6.
- Knab B and Engel-Sittenfeld P(1983), The many facets of poor sleep, Neuropsychobiology 10, 14 1~147.
- Kum JS, Chung YH and Kim DG(2019). A Study on Air Conditioning Noise Evaluation Using Sleeping Stage for Comfortable Sleep(Focusing on 20-years-old female subjects), The Journal of the Korean Society for Fisheries and Marine Sciences Education 31(1), 176~182.

- <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2019.2.31.1.176>
- Kum JS, Kim DG and Kim HC(2007). A Study of Physiology Signal Change by Air Conditioner Temperature Change, The Journal of the Korean Society for Fisheries and Marine Sciences Education 19(3), 502~509.
- Lee SW, Kweon SA and Choi JW(1996). Effect of Ondol on physiological Responses during Sleep ( I)-On the focus of Bedclimate in Autumn and Winter-, Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles 20(4), 697~706.
- Muzet A and Ehrhart J(1983). REM sleep and ambient temperature in man, Journal of the Neuroscience 18, 117~126.
- Muzet A, Libert JP and Candas V(1984), Ambient temperature and human sleep, Experientia 40, 42 5~429.
- 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.
- Shin HJ, Kim DG, Jeong SK, Kum JS and Kim HC(2007). The Effect of indoor temperature change on Human Physiology for Comfort Control during Sleep Early Stage, Journal of Power System Engineering 11(3), 29~34.
- 
- Received : 22 July, 2022
  - Revised : 17 August, 2022
  - Accepted : 20 August, 2022