



# 쾌적수면 알고리즘 개발을 위한 온열감성 평가에 관한 연구 - 수면시 기류효과에 관하여 -

최형우 · 김종수\*

LG전자(선임) · \*부경대학교(교수)

## A Study on Thermal Sensitivity Evaluation for Development of Comfortable Sleep Algorithm(About airflow effect during sleep)

Hyung-Woo CHOI · Jong-Soo KUM†

LG Electronics(senior) · \*Pukyong National University(professor)

### Abstract

Existent researches about Indoor thermal comfort during sleep had been studied the fact that sleep comfort is influence of ambient temperature. But they did not consider airflow. So the objective of this study is to define sleep comfort by ambient temperature fluctuations and airflow during middle part of sleep. This study was performed to evaluate sleep comfort based on the analysis of physiological signals and MST under constant thermal condition and fluctuated thermal conditions constant thermal condition with airflow. As results, we found that ambient temperature fluctuations and exposed to airflow was better than constant ambient temperature without airflow for sleep comfort.

**Key words :** Thermal comfort, Sleep comfort, Mean skin temperature, Temperature fluctuation, Airflow

### I. 서론

최근 건물의 온열환경에 대한 요구가 한층 다양화, 양질화됨에 따라 에너지 소비가 적으면서도 쾌적한 거주공간을 구현할 수 있는 에어컨의 개발이 강하게 요구되고 있다. 일반적인 공기조화는 인간의 주 활동시간인 낮 시간 동안 이루어지며 야간에는 실시하지 않는 게 보통이다. 그러나 여름철 열대야 현상이 일어나는 동안에는 쾌적하고 편안한 수면을 위한 공기조화조건이 필요하다. 특히 지구온난화 현상과 더불어 우리나라의 경우도 점차 아열대 기후가 되어감에 따라 여

름철 고온다습한 기후로 인해 야간의 실외 기온이 25℃를 넘어가는 열대야가 빈번히 나타나는 실정이다. 무덥고 습한 열대야 환경에서는 잠들기 어렵고, 수면의 질도 저하되며, 피로 회복 효과도 불충분 하게 된다. 따라서 쾌적한 수면을 위하여 온열환경요소의 제어가 필요하다. 특히 온열환경 4요소 중 동일한 온도영역에서 기류 속도가 증가 할수록 인체로부터 많은 열을 빼앗을 뿐만 아니라 인체와 접촉을 통하여 빠른 냉각효과를 볼 수 있으며, 또한 습도 및 복사열을 이용해서 시원함을 얻는 것보다 큰 냉각효과를 볼 수 있다. 현재 국내에서는 기류에 관한 연구는 주간

† Corresponding author : 051-629-6178, [jskum@pknu.ac.kr](mailto:jskum@pknu.ac.kr)

\* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의해 연구되었으며, 제1저자 최형우의 석사학위 논문을 일부 수정·보완하였음

의 냉방 시 기류에 의한 에너지 절감 효과에 관한 방향으로 집중되어 있으며, 수면 시 기류에 의한 온열쾌적감에 관한 연구는 부족한 실정이다. 선행연구에서 여름철 수면 시 26℃에서 가장 쾌적한 수면을 취할 수 있다고 연구되었고, 또한 여름철 수면초기 실내온도를 24℃로 유지시킨 후 1시간 뒤 실내온도를 상승시키는 것이 입면에 도움이 된다고 연구되었다(Shin, 2007, Kim et al., 2014). 본 연구는 선행연구에서처럼 수면초기에는 실내온도를 24℃로 하강시키지만 그 후 온도를 쾌적한 수면 온도인 26℃보다 2℃높인 28℃를 유지하도록 하였다. 그러나 실온이 26℃이상 상승하기 시작하는 실험시작 1시간 30분경부터는 높은 설정온도에 대한 보상으로 기류를 가함으로서 28℃로 설정된 실내온도에 대하여 쾌적수면을 유도하기 위한 기류의 유효성을 검증하는 것을 목적으로 하였다. 따라서 본 연구에서는 수면 중에 기류자극을 통해 수면쾌적감의 변화를 관찰하고, 온도와 기류의 관계에 관한 인체의 심리·생리신호의 분석(Muzet et al., 1983, Haskel et al., 1981, Kim et al., 2006, Kum et al., 2007)을 통하여 수면 중 기류가 온열감성에 어떠한 영향이 주는지를 평가하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 측정요소 및 측정장비

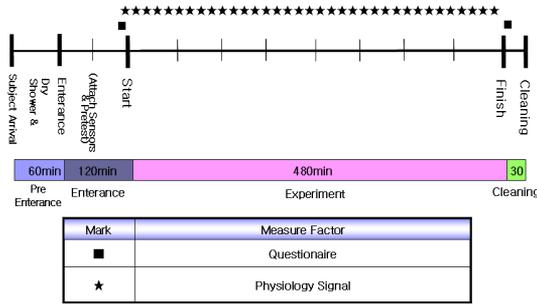
<Table 1> Measurement Factor & Measurement Position

Measurement Factor	Measurement Position	Measurement Equipment
Human body	Psychological signal	Head(C3-A2, C4-A1), Eye, Chin
	Skin temperature	Forehead, Forearm, Back of the hand, Abdomen, Upper things, Lower things, Foot
Environment	Indoor temperature Measurement	Upside human's head (0.3m)
	Indoor temperature record	-
	Air velocity	Upside human's head (0.3m)

환경물리량 측정은 실험실 중앙 바닥면 기준 110cm 지점에 직경 0.2mm T형 C-C열전대로 측정하였으며 데이터로그(MV200)에 매 10초마다 저장하였다. 피부온도는 무선피부온도 측정기 NYlogger로 측정하였고, 평균피부온도는 Hardy-Debois의 7점(복부, 이마, 팔, 대퇴, 하퇴, 발등, 손등)을 근거로 신체7부위를 매 10초마다 측정·저장하였다. 수면단계 및 생리신호 분석을 위해 뇌파(EEG), 안구전도(EOG), 근전도(EMG)를 측정하였으며 매 30초마다 PC에 저장하였다. 각 측정 요소와 측정 위치, 측정 장비는 <Table 1>에 정리하였다.

### 2. 실험순서

피험자는 21시경에 실험실에 도착하게 하였고 샤워 및 신체건강을 한 후 2시간 정도 여름철 열대야 조건인 기온 28±0.5℃, 상대습도 50±5%의 환경실험실에서 적응하였고 그 후 생리신호 및 피부온도 측정을 위해 각종 센서를 부착하였다. 데이터 수집에 이상 유무를 확인하고 수면 전 주관설문을 받은 후 피험자가 잠이 온다는 신고를 하면 소등을 하고 8시간 동안 수면을 취하도록 하였다. 기상 후에는 수면에 대한 만족도, 기류 영향도 및 온습도 환경에 대한 주관 설문을 받았다. 실험 진행순서는 [Fig. 1]에 나타내었고, 주관설문의 온냉감(TSV), 쾌적감(CSV) 문항의 설문척도를 <Table 2>에 나타내었다.



[Fig. 1] Experimental Procedure

<Table 2> TSV & CSV Scales

	TSV	CSV
-3	hot	very discomfortable
-2	warm	discomfortable
-1	slightly warm	slightly discomfortable
0	neutral	neutral
1	slightly cool	slightly comfortable
2	cool	comfortable
3	cold	very comfortable

### 3. 실험대상자

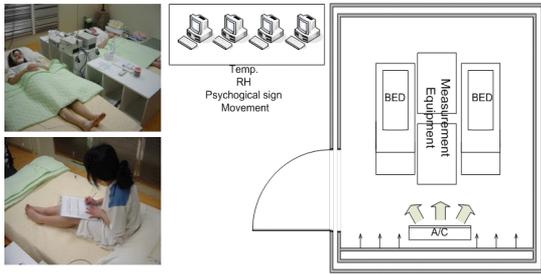
피험자는 30여명의 남녀 참가지원자를 대상으로 개인별 일주기 리듬을 판별하기 위해 MEQ(Morningness-Eveningness Questionnaire)검사와 예비실험을 실시하여 아침형 및 저녁형 지원자를 배제하고 중간형 피험자(MEQ 점수 42-58점)를 선정하였다(Chung, 2009). 선정된 피험자는 생활주기 및 수면양상이 유사하고, 뇌파신호(EEG)를 기반으로 한 예비실험에서 건강에 이상이 없는 성인 비혈연자로서 남녀 피험자 4명을 선정하였고, 선정된 피험자의 신체적 특징은 <Table 3>과 같다. 또한 본 실험에 앞서 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.

<Table 3> Anthropometric data of the subjects

	Male(2)	Female(2)
Age	25.5±1.5	22.5±0.5
Height[cm]	175.0±1.5	164.0±2.0
Weight[kg]	71.5±3.5	49±4.0
Core Temperature[ °C]	37.0±0.3	37.0±0.3
Blood Pressure[H/L]	123/85 ±5/5	118/76 ±8/4
Pulse[bpm]	73±1.4	72.5±0.5
MEQ	50±5	58±3

### 4. 실험조건

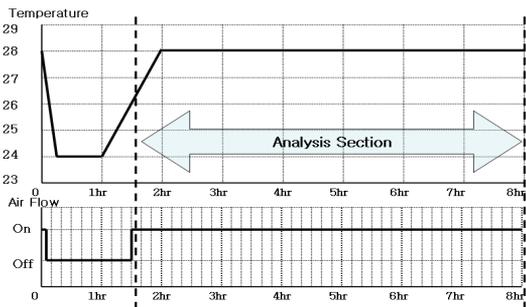
실험은 온도 및 습도 등이 조절되는 인공환경 실험실에서 실시하였고, [Fig. 2]와 <Table 4>는 실험실의 개략도 및 사양을 나타내었다. 수면 도중 피험자에게 제공되는 기류발생을 위해 일반 에어컨의 실내기를 사용하여 송풍운전을 하였다. 본 실험에 앞선 예비실험에서 첫 번째 날은 실제 실험과 동일한 조건에서 실험환경에 적응하였다. 수면환경 조성을 위한 실내온도 조건은 실험시작과 동시에 24℃하강 후 실험시작 1시간 후부터 28℃로 유지하는 온도조건으로서, 동일한 온도 조건에서 기류가 없는 Case A와 기류를 가하는 Case B의 총 2 case로 실험을 진행하였다. 분석은 기류가 있는 구간인 실험시작 1시간 30분 후부터 수면이 끝나는 8시간까지 하였다. [Fig. 3]은 실험에 사용된 수면 알고리즘으로서 온도와 기류 변동의 개략을 나타내었다. 기류는 약풍과 중풍이 10분씩 반복되는 변동풍으로 하였고 피험자의 다리 부분에 닿도록 설정하였다. 수면시간 동안 피험자는 정해진 의복(short sleeve T-shirts, short pants, underwear)을 착용하였고, 여름에 사용하는 이불(인조견사 합성섬유)을 가슴부터 무릎까지 덮었다. 착의량은 의복중량법을 이용하여 계산한 결과 0.3 clo로 나타났다.



[Fig. 2] Experimental Environment

<Table 4> Environmental chamber specification

Item	Specification
Air temperature	5°C ~ 45°C (DB)
Relative humidity	20% ~ 95%
Cooling capacity	9.41 kW
Heating capacity	13.9 kW
Humidifying capacity	8 l/h
Dehumidifying capacity	1.8 l/h



[Fig. 3] Experimental Case

### 5. 생리신호 분석

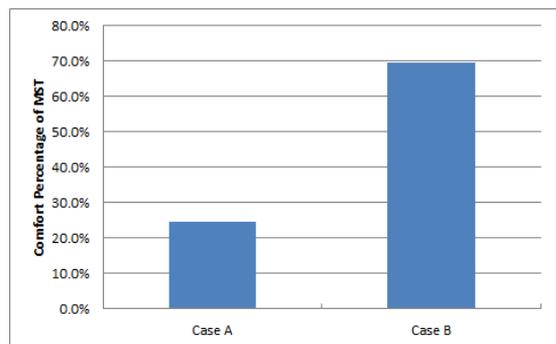
본 연구의 수면단계 분석에는 뇌파(EEG), 안구전도(EOG), 근전도(EMG) 등의 생리신호 데이터가 사용이 되었으며, 심전도(ECG)는 감성적인 분석을 위한 보조 생리신호로서 측정되었다. 생리신호는 LabVIEW로 제작된 데이터 수집프로그램에 의해 측정 중인 신호를 실시간으로 display하며 동시에 컴퓨터에 저장하였다. 수집된 생리신호는 LabVIEW와 Matlab으로 구현된 수면 상태 분석 프로그램으로 각 epoch의 수면 상태와 수면 중 분당심박수(BPM)결과를 파일로 출력하였다.

생리신호 분석은 Rechtschaffen과 Kales의 룰에 따라 수면 3, 4단계(SWS: slow wave sleep, deep sleep)는 델타파의 활동에 의해 결정하고, 수면 2단계는 수면방추파의 활동을 반영하는 시그마파를 이용하였으며, 수면 1단계의 경우는 세타파와 알파파를 이용하여 결정하였다.(Rechtschaffen et al., 1968) 안구전도 신호를 이용하여 REM(rapid eye movement)을 검출하여 REM 수면단계를 판별하였고, 뇌파분석에 있어 움직임으로 인한 오류를 제거하기 위해 근전도 신호를 이용하였다. 수면단계 결정은 LabVIEW 프로그램을 이용하여 자동분석을 실시하였다.

## Ⅲ. 연구 결과

### 1. 평균피부온도

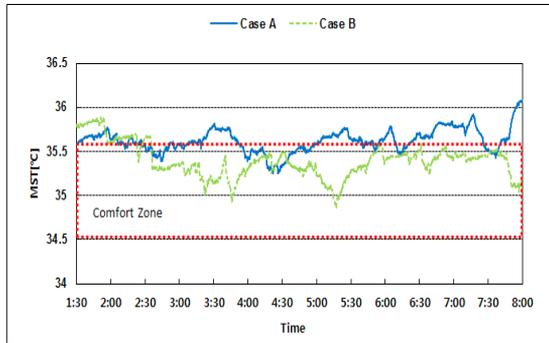
[Fig. 4]는 기류유무에 따른 MST 쾌적영역에 포함된 백분율을 나타낸 그래프이다. MST 쾌적영역은 Hiroyuki 등이 제안한 수면시 적정 평균피부온도 범위(34.5~35.6°C)를 기준으로 하였다(Hiroyuki et al., 1987). 분석구간인 6시간 30분 동안의 MST 백분율을 비교하였다. 실험결과 Case A(24.5%)보다 Case B(69.7%)가 45.2%정도 MST 쾌적영역에 더 많이 포함되는 것으로 나타났다.



[Fig. 4] Comfort Percentage of MST

[Fig. 5]에서는 MST 경시변화 그래프를 나타낸

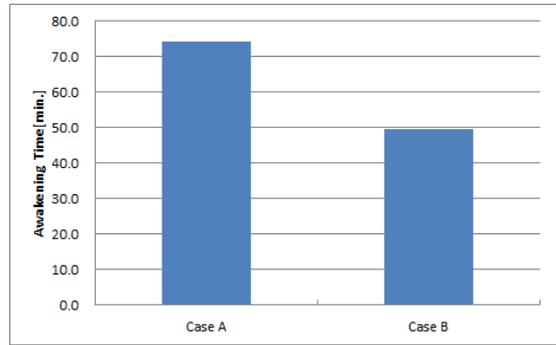
것이다. 그래프에서 보듯이 Case A는 점선으로 표시된 MST 쾌적영역 상한선보다 높게 나타나는 경향을 보이고 있다. 반면 Case B는 MST 쾌적영역에 거의 다 포함되는 것을 볼 수 있다. 이는 기류자극이 어느 정도의 온도보상 기능을 했다고 판단되어진다. 하지만 [Fig. 5]의 Case B에서 기상 직전 MST가 하강하는 것을 볼 수 있는데, 이는 기상 후 불쾌함을 유발할 수도 있을 것으로 판단된다. 추후 기상 30분 전에는 기류를 가하지 않고 자연스럽게 체온을 상승시키는 것이 쾌적감을 향상시킬 수 있는지에 대해서 연구할 필요가 있을 것이다.



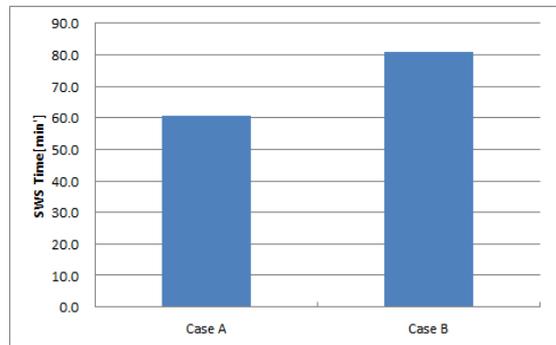
[Fig. 5] Change of MST

## 2. 생리신호

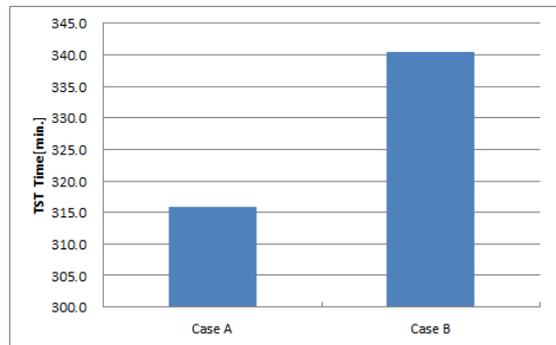
피험자의 생리신호를 통해 온도와 기류 조건에 따른 수면 쾌적성과 숙면과의 관계를 정도를 분석하였다. [Fig. 6]은 각성시간으로서 Case A(74.2분)조건보다 Case B(49.5분)조건에서 24.7분정도 적게 깬음을 알 수 있다. [Fig. 7]은 서파수면시간(SWS)을 비교한 그래프이다. Case A(60.8분)조건보다 Case B(81.0분)조건에서 20.2분 더 깊은 수면을 취한 것으로 나타났다. [Fig. 8]은 총 수면시간(TST)을 비교한 그래프이다. Case A(315.8분)조건보다 Case B(340.5분)조건에서 24.7분 더 많은 수면을 취한 것으로 나타났다. [Fig. 9]는 수면의 질과 관련된 수면효율(SWS/TST)를 비교한 그래프이다. Case A(9.9%)조건보다 Case B(11.8%)조건



[Fig. 6] Result of Wake time [min]



[Fig. 7] Result of SWS [min]

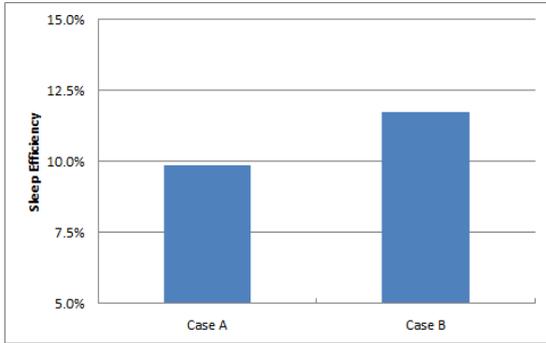


[Fig. 8] Result of TST [min]

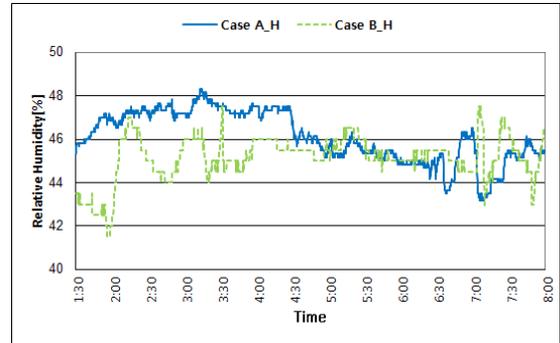
이 1.9% 높게 나타났다. 분석 대상 수면시간 동안(390분) 생리신호를 분석한 결과 각성, 서파수면시간, 총 수면시간 등에서는 Case B조건이 우수한 것으로 나타났지만, 수면효율 측면에서는 양 조건에 있어 차이가 약 1.9%로 미비하게 나타났다. 이러한 점은 실험 수행에 있어 피험자 수

등의 제약조건 있어 이러한 결과가 나온 것으로 여겨지며, 향후 실험계획에서 고려해야 할 점으로 판단된다.

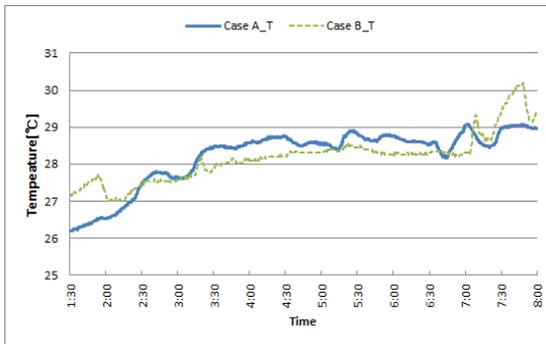
의 경우 0.3 만큼 높게 나타났고, 온냉감의 경우 0.5만큼 낮게 나타났다.



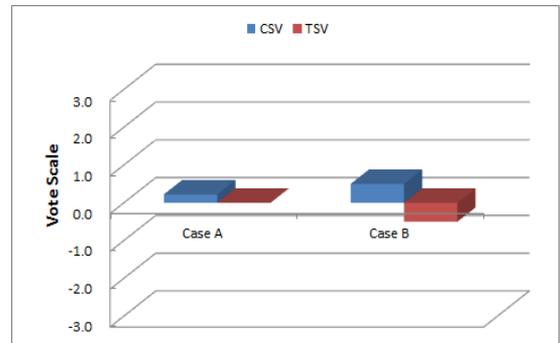
[Fig. 9] Result of Sleep Efficiency



[Fig. 11] Result of Sleep



[Fig. 10] Result of Sleep



[Fig. 12] Result of CSV & TSV

### 3. 침구내 온도 및 습도

침구 내 온도 및 습도는 피험자가 덮는 이불 속에 휴대용 온습도계를 설치하여 측정하였고, 결과는 [Fig.11] 및 [Fig.12]에 나타났다. 측정 결과 침구내 온도 및 습도는 전반적으로 기류가 제공되었던 Case B조건이 양호한 것으로 나타났다.

### 4. 주관설문

[Fig. 12]는 Case A, B의 수면 후 설문결과로 온냉감(TSV)과 쾌적감(CSV)의 평균값을 그래프로 나타낸 것이다. Case A보다 Case B가 쾌적감

## IV. 결론

여름철 열대야 수면 중 기류 조건에 따른 피험자의 평균피부온도와 수면효율, 주관설문을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1)평균피부온도 측면에서 Case B조건이 Case A조건보다 MST 쾌적 영역(34.5℃~35.6℃)포함비율이 45.2% 더 높은 것으로 나타났다.

(2)생리신호 측면에서 Case B조건이 Case A조건보다 각성시간, 총 수면시간, 서파수면시간, 수면효율 측면에서 우수한 것으로 나타났다.

(3)침구 내 온습도 및 주관설문 측면에서 Case B조건이 Case A조건보다 양호한 침구내 수면환

경을 제공하는 것으로 나타났고, 수면 후 주관설문에서도 Case B조건이 Case A조건보다 높은 쾌적감을 나타냈다.

## References

- Chung SH(2009). How to measure the circadian rhythm in human being?, *Journal of Korean Sleep Research Society* 6(2), 63~68.  
doi: <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.  
doi: <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.
- 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.
- Muzet A and Ehrhart J(1983). REM sleep and ambient temperature in man, *Journal of the Neuroscience* 18, 117~126.
- 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(2007). Effect of indoor temperature change on Human Body Physiology at Forepart of sleep, MS thesis, Pukyong National University, Busan Korea

- 
- Received : 08 May, 2019
  - Revised : 31 May, 2019
  - Accepted : 05 June, 2019