

쾌적수면을 위한 에어컨 알고리즘에 관한 실증연구

김 종 수, 김 동 규[†]

부경대학교 기계공학부

Empirical Study of Air Conditioner Control Algorithm for Comfort Sleeping

Jong-Soo Kum, Dong-Gyu Kim[†]

Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-738, Korea

(Received July 28, 2008; revision received November 3, 2008)

ABSTRACT: The study was to evaluate the air-conditioning of sleep algorithm. The algorithm was developed through the analysis of brain waves and MST, the experiments using air conditioner was performed in a apartment bedroom. Five female subjects were participated for the experiment. Eight hours of data collection a day was performed under different algorithm, case A, case B and case C. Physiological signals, EEG, ECG, EOG, and EMG, were obtained using polygraph and converted into digital signal. Then, subjects were asked to answer the questionnaire about their thermal sensation after experiment in bedroom. Sleep stages were classified, then TST, Sleep latency and Sleep efficiency were calculated for the three different air conditioner algorithm. As results, TST, Sleep efficiency, questionnaire showed the higher values for Case B algorithm than that for other algorithm. On the other hand, SWS latency was lower than for other conditions. Therefore, it was concluded that Case B of the algorithm was the best for comfortable and deep sleep.

Key words: Comfort sleep(쾌적수면), Sleep efficiency(수면효율), Sleep stage(수면단계)

기 호 설 명

EEG : 뇌전도 [Electroencephalogram]
 ECG : 심전도 [Electrocardiogram]
 EMG : 근전도 [Electromyogram]
 EOG : 안구전도 [Electro-oculogram]
 REM : 급속안구운동 [Rapid eye movements]
 NREM : 비REM [non-REM]
 SWS : 서파수면 [Slow Wave Sleep]
 TST : 총수면시간 [Total Sleep Time]
 MST : 평균피부온도 [Mean Skin Temperature]

1. 서 론

현대인의 실내 활동시간이 증가함에 따라 실내 재실환경에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 쾌적한 실내 환경은 일의 효율성을 증대시키고 재실자의 건강을 유지하는 데 매우 중요한 요소이다. 기존의 실내 온열환경에 대한 평가는 주로 낮 시간 동안의 쾌적을 추구하는데 관심이 모아졌다. 하지만 정보화, 국제화, 기술화된 문명 속에서 활동-휴식 리듬의 폭을 위협 당하고 있는 현대인들의 가장 큰 휴식 및 재충전 시간인 수면 시간동안의 적정 온열환경에 대한 평가는 아직 미비한 실정이다. 더욱이 여름철 열대야 현상이 일어나는 기간에는 쾌적하고도 편안한 수면을 위한 적절한 온열환경조건이 요구되고, 이에 대한

[†] Corresponding author

Tel.: +82-51-629-7661; fax: +82-51-629-6174

E-mail address: arckim@pknu.ac.kr

많은 연구의 필요성이 대두되고 있다. 그러나 수면 연구에 대한 제한적 요인들로는 수면 실험 자체가 많은 시간과 비용이 들고, 실험상의 통제방법이나 생리신호의 측정에도 많은 어려움이 있으며, 한 가지 연구를 위해서 매우 장기간의 실험이 요구되어진다는 점이다. 따라서 인간의 수면에 관한 많은 연구들이 대학이나 병원의 수면연구실에서 주로 수면장애와 관련하여 진행이 되어왔다. 국내의 수면연구는 주로 전통적인 난방방식에서 활용되는 온돌⁽¹⁾ 및 수면을 취하는데 문제를 야기하는 수면장애에 관심을 집중해 왔다. 그러나 지구온난화로 인하여 여름철 기온의 상승과 열대야 발생일수의 증가로 인하여 수면장애를 유발할 수 있는 환경조건이 증가하고 있다. 그러나 이와 같은 실내온열환경을 인위적으로 해소하기 위해 주택 등에 광범위하게 설치되고 있는 에어컨 운전과 관련된 실증연구는 실험의 어려움으로 인하여 전무한 실정이다. 수면과 관련하여 조사된 에어컨 사용 실태조사 결과를 살펴보면 기존 취침기능에 대한 불안 및 수면도중의 추위로 인한 불편함을 호소하였다.

따라서 본 연구는 여름철 공동주택의 침실에 에어컨 운전을 통해 구현되는 실내온도조건에 따른 피험자의 수면상태를 판단하기 위하여 과거 수면연구에서 시도하지 않았던 새로운 방법으로 인공환경 실험실의 수면실험에 관한 선행연구⁽²⁻⁵⁾ 결과를 바탕으로 인체의 뇌파^(6,7) 및 감성을 고려한 알고리즘을 탑재한 에어컨을 실험대상으로 하였다. 실험장소로서는 실험실 환경과 열부하, 외기조건, 단열 및 기밀성 등에서 차이가 발생할 것으로 예상되는 실제 아파트 침실에 적용하여 체감실험을 통하여 인체로부터 측정된 생리신호인 뇌파 및 피부온도에 대하여 수면효율, 평균피부온도 등을 분석하였고 또한 피험자로부터 수면 후 주관 설문 등을 종합적으로 검토하여 에어컨 운전을 통한 쾌적수면 알고리즘을 제시하고자 하였다.

2. 실험방법 및 장치

2.1 실험장소

아파트 적용 실험을 위하여 부산광역시 금곡동에 위치한 ○○아파트 17평형을 임대하였다. 아

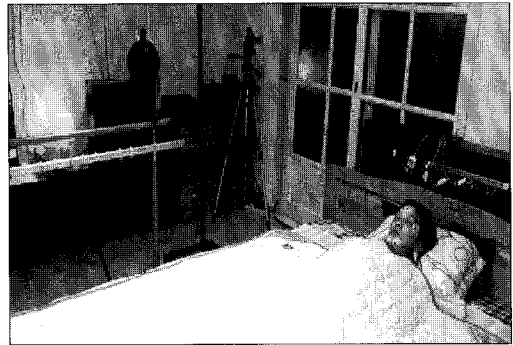


Fig. 1 Photograph of experimental room.

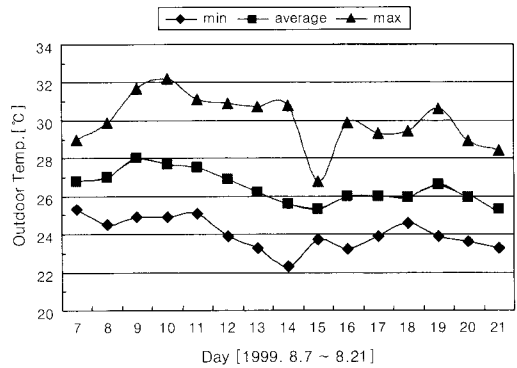


Fig. 2 Outdoor temperature.

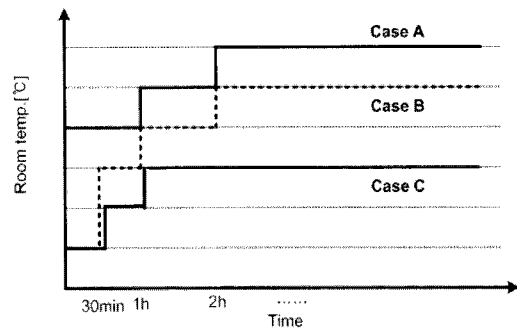


Fig. 3 Sleep algorithm of air conditioner.

파트 내부는 실 2개와 거실 1개를 가지고 있고, Fig. 1에 벽걸이형 에어컨이 설치된 침실과 실험을 수행하고 있는 피험자의 모습을 나타냈다. 실험은 여름철 무더위를 고려하여 8월 7일부터 8월 21일까지 실시하였고, Fig. 2는 실험이 진행되는 동안 부산지역 기상대에서 관측된 일 최저, 평균, 최고외기온도를 나타내었다. 실험기간 동안 평균 외기온도는 25 °C를 상회하였다.

2.2 실험방법

아파트 적용 실험의 경우 선행연구⁽²⁻⁵⁾의 환경 실험실 실험에 참가하였던 5명의 동일한 여자 피험자가 수면실험에 참가하였다. 피험자는 매일 21시경 아파트에 도착하여 1인용 침실에서 약 2시간 동안 초기 수면환경에 적응한 후 실험에 참여하였다. 실험은 아파트 침실 바닥면으로부터 180 cm 높이에 벽걸이형 에어컨을 설치하여 선행연구결과⁽³⁻⁵⁾를 바탕으로 수면 중 체온하강에 대한 보상 및 쾌적 평균피부온도 범위의 유지를 위하여 Fig. 3과 같이 제안된 수면 알고리즘(Case A, B)과 기존의 알고리즘(Case C)이 탑재된 에어컨 으로서 실험을 진행하였다. Case A는 최초 실내 온도를 26℃로 만든 다음 1시간 후 1℃ 상승시키고, 그 후 1시간 후 다시 실내온도를 1℃ 상승시키는 알고리즘이다. Case B는 최초 23℃로 실내온도를 조절 한 다음 30분 후에 2℃상승, 그 후 30분 후에 1℃ 상승, 그리고 1시간 후에 다시 1℃ 상승시키는 알고리즘이다. Case C는 최초 23℃조건으로 실내온도를 조절한 다음 30분, 1시간 후에 각각 실내온도를 1℃씩 상승시킨 후 일정하게 유지되는 알고리즘이다.

2.3 측정항목 및 분석

실험환경 구현 확인을 위한 환경물리량 측정은 침실 바닥면 기준 10 cm, 60 cm, 110 cm에 직경 0.2 mm T형 열전대로 계측하였고, 110 cm 지점에서 글로벌 온도와 상대습도를 측정하였다. 또한 에어컨 가동상태 및 침실 주위 환경 확인을 위해 에어컨 취출구 및 흡입구 온도, 아파트 벽면 및 베란다 온습도 등을 추가로 측정하였다.

생리신호를 활용한 수면분석에 있어 기존에 이용되어지고 있는 시각적 수면단계 분석(visual scoring analysis)이나 이 방법을 따르는 컴퓨터 분석에서는 REM 수면을 뇌전도 1채널과 안구전도 2채널, 근전도 1채널을 이용해 판단하고 있다. 이것은 REM 수면의 특징이 수면 1단계의 특징과 비슷하여 구분이 용이하지 않기 때문에 안구전도 신호의 급속안구운동이나 근전도 신호의 근육 긴장도(muscle tonus)로 REM 수면을 판단하기 때문이다.⁽⁶⁾ 따라서 인체측 생리신호는 Polygraph(Sanei 386)를 이용하여 뇌전도(EEG), 심전

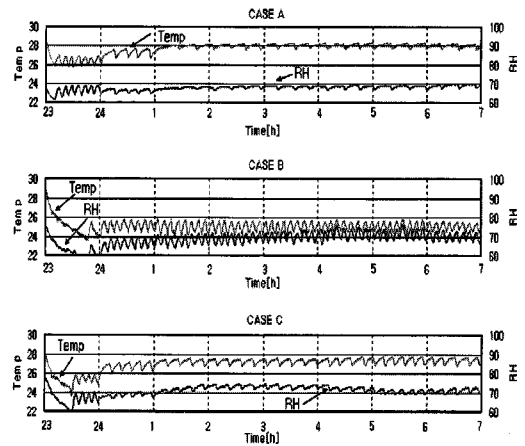


Fig. 4 Room temperature and relative in air conditioner operating.

도(ECG), 안구전도(EOG), 근전도(EMG)를 측정하였고, 측정된 아날로그출력 신호를 HP-Vee 4.0 프로그램을 이용하여 A/D 변환(DT 3001)된 디지털 신호를 컴퓨터에 실시간으로 저장하여 수면단계 및 수면효율 분석에 이용하였다.^(6,7) 평균피부온도는 직경 0.2 mm T형 열전대로써 Hard & DuBois의 7점법을 사용하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 에어컨 알고리즘 구현

인공환경 실험실에서 알고리즘의 구현과 실제 아파트에서 알고리즘 구현에 있어서는 외부환경 조건 및 실내온열조건의 차이가 있어, 이를 확인하기 위하여 Fig. 3과 같은 운전 알고리즘이 적용된 에어컨을 아파트 침실에서 8시간 동안 운전하였다. 에어컨 운전은 침실에서 수면에 들기 전에 높은 온도에서 에어컨을 가동 후 수면에 드는 상황을 가정하였다. 침실에서 에어컨 운전 초기 실내온도는 29℃ 이었고, 에어컨 운전에 따른 실내 온도 및 습도의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. Case A 조건은 초기 온도 강하 폭이 적어 에어컨 가동 후 10분 이내에 알고리즘을 구현하였고, 이후 온도가 상승되어 실온이 유지가 되는 형태이다. Case B는 Case A에 비해 초기 설정온도가 낮지만, 제어알고리즘을 잘 구현하였다. Case C는 Case A에 비해 초기 설정온도가 낮고, 림에

어컨 압축기 제어 방법인 on/off 운전 특성에 의해 초기 1시간 정도의 운전패턴이 실제 알고리즘과 차이가 발생하였다. 그리고 낮은 설정온도로 인한 압축기 운전에 따라 Case C의 온도 및 습도 변동 폭이 Case A 및 Case C에 비해 크게 나타났다.

3.2 평균피부온도

Fig. 5에 평균 피부온도의 경시변화를 나타내었다. 에어컨으로 제어되는 침실은 Fig. 4와 같이 수면 전 실내온도가 29℃ 이상이었기 때문에 수면 초기 평균 피부온도가 높게 나타났다. 각 Case 별 평균 피부온도 경시변화는 에어컨 설정 알고리즘의 온도상승 시점 및 유지형태와 유사한 경향이 나타났으며, 전체적으로 수면 후 4시간까지 온도가 하강하다가 이후 유지 그리고 기상에 앞서 상승하는 일주기 체온리듬을 나타냈다. 선행연구에 의해 제안된 쾌적 평균피부온도 범위^(5, 8, 9)를 고려할 때 모든 Case가 쾌적범위에서 변화하고 있음을 알 수 있었다. 다만 기존 에어컨에서 사용되고 있던 알고리즘 Case C는 인체의 생리 및 평균피부온도 변화를 고려해 제안하였던 Case A 및 B에 비해 쾌적범위 하한값에 근접하여 변화하는 경향을 나타내었다.

3.3 생리신호

아파트 침실에 적용된 에어컨의 수면알고리즘에 의해 구현된 실내온열환경에 따른 수면의 쾌적성과 숙면정도를 파악하기 위해 수집된 뇌파를 수면단계결정법⁽⁶⁾에 따라 수면단계를 결정하고 총수면시간(Total Sleep Time), 3, 4단계 진입시간(Sleep Latency), 수면효율(Sleep Efficiency)⁽³⁻⁵⁾ 등에 대하여 분석하고, 알고리즘별 평균값에 대하여 Table 1과 같이 신뢰성을 검증하였다. 신뢰성 검증결과 총수면시간과 수면효율에 있어 유의한 차가 있었다. Fig. 6과 같이 총 수면시간은 Case A, Case B, Case C순으로 나타났으며, 수면시간에 있어 큰 차이는 없었고, Case B와 Case C는 통계적으로 유의차가 있었다. Fig. 7은 설정 조건에 따라 얼마나 빨리 깊은 수면에 들어가는지 판단하기 위한 수면 3, 4단계 진입시간으로 Case B의 조건이 약 8분으로 Case A조건보다 8

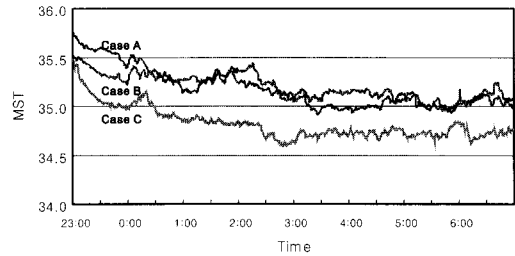


Fig. 5 Mean Skin Temperature variation during sleeping.

Table 1 Results of t-test for sleep efficiencies under different algorithm

Case	C-A	C-B	A-B
Total Sleep Time	0.1151	0.0273*	0.2488
Sleep Latency	0.4237	0.1856	0.0897
Sleep Efficiency	0.0475*	0.0071**	0.1766

* p < 0.05 ** p < 0.01.

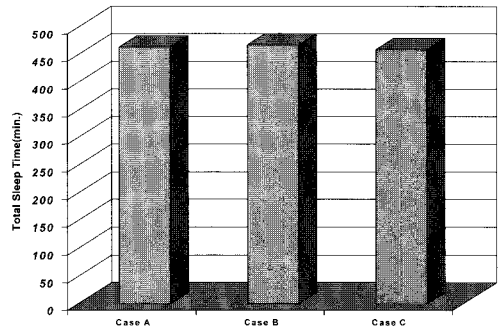


Fig. 6 TST during sleeping.

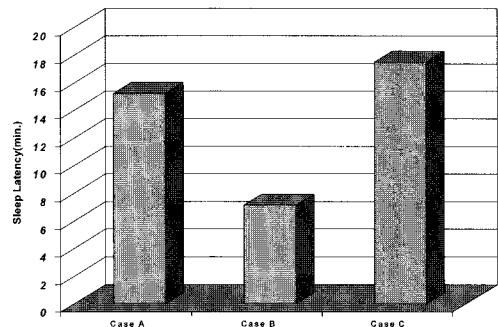


Fig. 7 SWS latency during sleeping.

분 빠르며, Case C조건 보다는 9분 빠르지만, 각 조건사이에 유의한 차는 없었다.

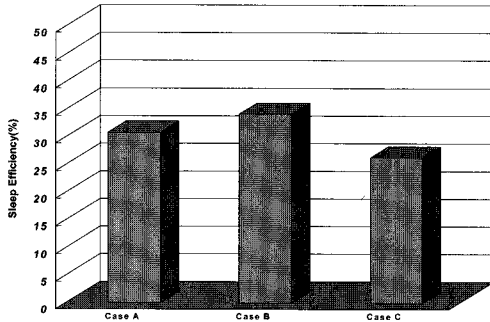


Fig. 8 Sleep efficiency during sleeping.

Fig. 8은 전체 수면시간 중에서 깊은 잠에 해당하는 수면 3, 4단계의 비율인 수면 효율을 나타냈다. 수면효율은 Case B가 34.2%로 Case A 조건보다 3.3%, Case C조건 보다 7.8%높게 나타났다, 신뢰성 검증 결과 수면효율에 있어 유의한 차이가 있었다.

따라서 인체의 생리신호인 뇌파를 통한 수면효율 측면에서는 새롭게 제안된 Case B의 알고리즘이 기존 알고리즘 보다 수면효율 측면에서 약 8% 정도 높음을 알 수 있고, 쾌적한 수면을 취할 수 있는 조건으로 판단된다.

3.4 주관설문

본 연구에 사용한 설문내용은 각 의미척도를 7 scale로 나타내었고, 전체 34개 설문중 수면 후 온열쾌적감에 관련된 항목인 수면 충족감, 온습도 쾌적감, 피로 회복감을 비교하였지만, 유의차는 나타나지 않았다.

Fig. 9에 수면에 대한 충족감(1 : 자지 못함, 7 : 폭잠)을 나타내었다. 여기서 전체적으로 수면충족감 척도 4(중립) 이상에 속했으며, 그 중 Case B일 때 가장 수면을 잘 취했다고 응답하였다.

Fig. 10은 온습도에 대한 쾌적감(1 : 불쾌, 7 : 쾌적) 평균을 나타냈다. 여기서 각 모드 모두 중립영역(4)이상으로 쾌적하다고 신고한 것으로 나타났다. 온습도 쾌적감 역시 Case B일 때 수면시 온도 및 습도가 가장 쾌적함을 알 수 있었다.

Fig. 11은 피로회복감(1 : 피로가 풀리지 않음, 7 : 피로 풀림)평균을 나타내었다. Case A 모드 보다는 Case B, Case C가 수면 후 피로회복감이 더 좋게 신고함을 알 수 있었다. 설문분석결과 Case B, C 조건이 중립이상의 결과를 나타내었

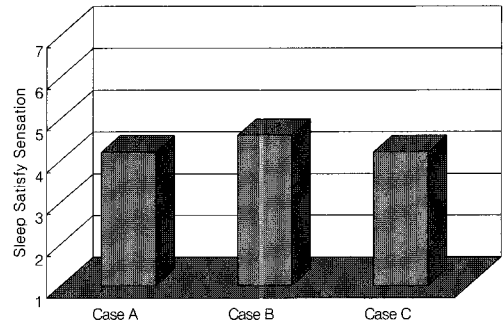


Fig. 9 Sleep satisfy sensation after sleeping.

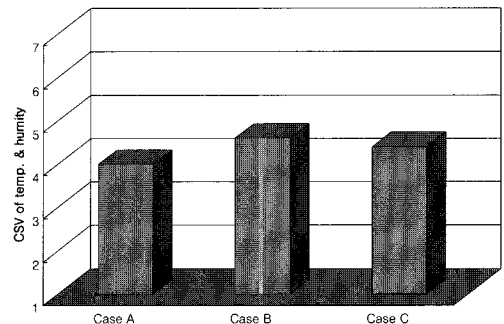


Fig. 10 CSV of temperature and humidity after sleeping.

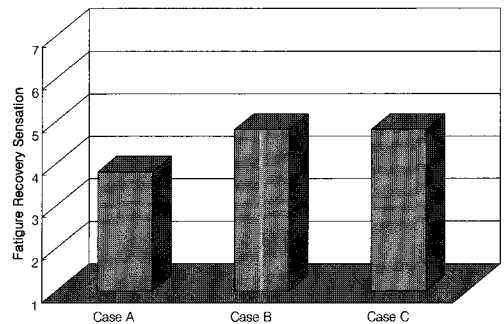


Fig. 11 Fatigue Recovery Sensation after sleeping.

고, 상대적으로 Case B가 양호한 결과를 나타내었다.

4. 결 론

여름철 에어컨 운전을 통한 쾌적한 침실 내 수면환경을 구현하기 위해 과거연구에서 시도되지 않았던 새로운 방법인 인공환경 실험실의 기초

수면실험에 관한 선행연구를 바탕으로 개발된 인체의 뇌파 및 감성을 고려한 알고리즘을 탑재한 에어컨을 실제 공동주택에 적용하여 수면환경을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 평균 피부온도의 시간에 따른 변화 경향은 서로 유사하였지만 기준이 알고리즘인 Case C는 나머지 조건보다 평균피부온도 지하가 컸다. 이는 Case C 알고리즘이 수면 중 인체의 체온을 저하시킬 우려가 있을 것으로 판단된다.

(2) 인체의 생리신호인 뇌파를 통한 수면효율 측면에서는 새롭게 제안된 Case B의 알고리즘이 기존 알고리즘 보다 수면효율 측면에서 약 8% 정도 높게 나타났고, 쾌적한 수면을 취할 수 있는 조건으로 판단된다.

(3) 생리신호, 평균 피부온도, 주관설문 분석결과 인체 체온보상 및 수면단계를 고려한 Case B의 알고리즘이 쾌적한 수면을 취할 수 있는 조건으로 판단된다.

(4) 본 연구를 통해 건강과 감성을 고려하는 에어컨 개발을 위한 최적의 방법으로서 인간의 감성을 제품의 알고리즘으로 구현하여 실제 사용 공간에서 평가하는 방법이 적절하다고 사료된다.

후 기

본 연구를 도와주신 (주)LG전자, 전북대학교 임재중 교수님, 이낙범 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

1. Soon Won Lee and Soo Ae Kwon, 1997, Thermal Environment and Bed climate on Ondol during sleeping in each season, Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, Vol. 21, No. 7, pp. 1162-1172.
2. Dong-Gyu Kim and Jong-Soo Kum, 2005, Evaluation of Thermal Comfort during Sleeping in summer(Part I: On results of questionnaire before and after sleep), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 5, pp. 1-6.
3. Dong-Gyu Kim, Jong-Soo Kum and Jong-II Park, 2006, Evaluation of Thermal Comfort during Sleeping in summer(Part II : About mean Skin Temperatures and Physiological Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 1, pp. 1-6.
4. Dong-Gyu Kim, Jong-Soo Kum and Se-Hwan Kim, 2006, Evaluation of Thermal Comfort during Sleeping in summer(Part III : About indoor air temperatures rise, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 7, pp. 535-540.
5. Dong-Gyu Kim, Jong-Soo Kum and Jong-II Park, 2007, Evaluation of Thermal Comfort during Sleeping in summer(Part IV : Study on Indoor Temperature Conditions for Comfort Sleep), Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 19, No. 4, pp. 307-312.
6. Rechtschaffen A. and Kales A., 1968, A manual of standardized terminology techniques and scoring systems for sleep stages of human subjects, Los Angeles Brain Information Service/Brain Research Institute, UCLA.
7. R. Armitage, 1995, The distribution of EEG frequencies in REM and NREM sleep stages in healthy young adults, Sleep, Vol. 18, No. 5, pp. 334-341.
8. Haskell, E. H. and Palca, J. W., 1981, The Effects of high and low Ambient Temperature on Human Sleep, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, pp. 494-501.
9. Hiroyuki Ogino, Yayoi Nishida, Akio Tajima, Teruo Yamamoto and Katsumi Ishi, 1987, The effects of the temperature of the bed upon sleep(Part 2), The Eleventh Symposium on Man-Thermal Environment System, pp. 10-13.