

# 습도 변화에 따른 뇌파 기반 생체신호 변화에 관한 연구

## A Study on the Variation of Physiology Signals based on EEG with Humidity

김 명 호<sup>†</sup> · 김 정 민\*  
(Myung-Ho Kim · Jung-Min Kim)

**Abstract** - Subjects with 0.7[clo]'s amount of clothing were estimated on their thermal comfort, concentrativeness, heart rate variability, stress and fatigue degree when given variation in relative humidity to 30, 40, 50, 60, 70, and 80[RH%], in an environmental test room of temperature 25[°C], illumination 1000[lux] and air velocity 0.02[m/sec], by using EEG, learning ability and HRV. At the result, it was at 50~60[RH%] of relative humidity that subject's thermal comfort and concentrativeness were at the highest while stress were at the lowest, and it was at 60[RH%] of relative humidity that heart rate variability was most stabilized. It was found that when temperature and humidity of the environmental test room are at 25[°C] and 50~60[RH%], subject's productivity and psychological state are least affected.

**Key Words** : HRV, EEG, Humidity, Learning ability, Productivity

### 1. 서 론

신축되는 사무실 빌딩은 에너지절약을 위하여 건축물의 기밀화가 강조되기 때문에 실내의 발열부하가 매우 높아져 전반적으로 실내 환경의 질이 악화되어 있으며, 중앙 공조 설비에 의하여 실내의 열·공기가 조절되기 때문에 근무자가 직접 실내 환경을 조절할 수 없다.

이러한 실내공간에서 하루 중 80% 이상의 시간을 생활함으로써 인하여 발생하는 빌딩증후군(Sick Building Syndrome, 이하 SBS)이라는 실내관련 질병과 이것에 의한 생산성 변화에 대한 연구가 미국이나 유럽에서 활발하게 진행되어 왔다.[1]

국내에서도 최적조건의 제어가 가능한 인텔리전트빌딩의 거주 후 실내온열환경평가[2]에 의하면 계절별 사무실에 대한 근무자의 온열감이나 쾌적감은 평균적으로 중립을 나타내었으나, 습도에 대하여는 겨울철이 아닌 중간기의 평균상대습도가 32.2[RH%]로서 보건복지부 공중위생관리법의 최저기준치인 40[RH%]에 도달하지 못하였으며, 5월은 응답자의 68.5%, 1월은 응답자의 80.6%가 낮은 건조감을 개선해야 할 사항이라고 응답한 것으로 미루어 일반 건축물의 습도와 관련된 실내 환경은 이보다 더욱 심각할 것으로 판단된다.

따라서 본 논문에서는 대뇌피질의 전기적 활동을 측정하여 뇌기능의 변화를 관찰하는 뇌파측정법(Electroencephalography, 이하 EEG), 외부 자극의 변화에 따라 인체 자율신경계의 변화를 측정 하는 심박동 변이도(Heart Rate Variability, 이하 HRV) 검사 및 학습능력 측정에 의한 집중도 패턴 변화를 관찰하여 습도 변화에 따른 피험자들의 심리적 및 생리적인 반응의 차이를 분석함으로써 근무자가 가장 높은 생산성을 발휘할 수 있는 습도조건을 찾고자 한다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 측정실의 조건

본 논문에서 사용한 인공기후실의 구조는 그림 1과 같이 4×5×3[m]이고 인공기후실의 제원은 표 1과 같다.[3]

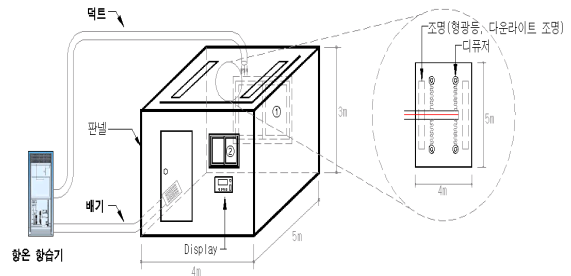


그림 1 인공기후실의 구조

Fig. 1 Structure of Environmental Test Room

표 1 인공기후실의 제원

Table 1 Specification of Environmental Test Room

측정 조건	설정 범위 및 오차 범위
온도	-10~40[°C] ± 0.5[°C]
습도	20~90[RH%] ± 3[RH%]
조도	0~2000[lux] ± 3[lux]

#### 2.2 피험자 조건

피험자 집단은 건강 상태를 점검하여 20명의 남자 대학생으로 선정하였으며, 기본적인 신체 조건은 표 2와 같다.

피험자의 활동량은 열적으로 쾌적한 상태에서 의자에 앉아 안정을 취하고 있을 때의 활동량으로서 1met(metabolic

<sup>†</sup> 교신저자 : 가천대학교 건축설비공학과 교수·공학

E-mail : ibs@gachon.ac.kr

\* 비 회 원 : 가천대학교 건축설비공학과 석사과정

접수일자 : 2012년 11월 19일

최종완료 : 2012년 12월 26일

rate:1met=58.2[W/m<sup>2</sup>]로 하였으며, 착의량 상태는 약 0.7[clo](긴양말 0.10, 팬티 0.05, 와이셔츠 0.25, 하절기용 긴바지 0.28)로 통일하였다.[4]

**표 2** 피험자의 신체 조건

**Table 2** Physique Condition of Subject

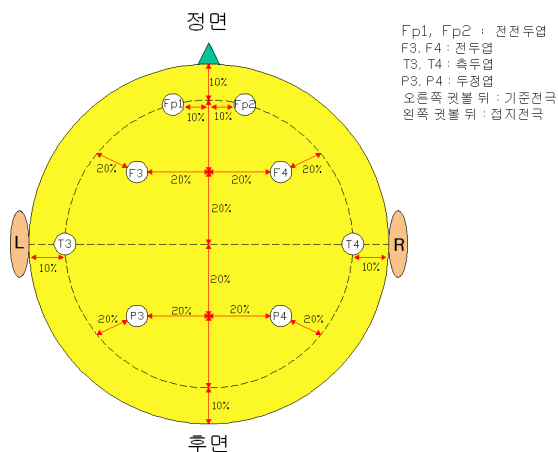
피험자	연령	신장[cm]	체중[kg]
남성	25~27	175~185	65~85

**2.3 측정 조건**

인공기후실의 조건은 미국 공기조화냉동공학회의 쾌적 범위[5]를 만족하는 온도 25[℃], 조도 1000[lux] 및 기류 속도 0.02[m/sec]가 유지되도록 하였으며, 상대습도를 30, 40, 50, 60, 70 및 80[RH%]로 변화되는 공간에서 20분 이상 안정을 시킨 후 피험자 1명당 눈을 감은 폐안상태에서의 기초율동을 각각 5분간 측정하였다.

EEG는 PolyG-I (LAXTHA Inc.)를 활용하여 측정하였고, 국제 전극 배치법인 International 10-20 System(그림 2)에 의해 전전두엽(Fp1, Fp2), 전두엽(F3, F4), 측두엽(T3, T4), 두정엽(P3, P4)에 뇌파 측정 전극을 부착하였다. 오른쪽 귓볼 뒤에 기준전극을 부착하였고, 왼쪽 귓볼 뒤에 접지전극을 부착하였다.

원반형 전극과 두피의 접촉력을 높이기 위하여 알코올로 두피의 이물질을 닦아 낸 후, 전극풀을 사용하여 두피에 고정하였으며, 실험 중에 전극풀이 굳지 않고 두피에 잘 붙어 있도록 거즈를 전극의 상부에 덮었다.



**그림 2** 10-20 국제전극배치법  
**Fig. 2** International 10-20 System

심박동변이도, 스트레스 및 피도로는 전문 스트레스 측정 장비인 SA-3000P(Medicore. Co. Ltd., Korea)를 사용하여 좌측 손목, 우측 손목 및 좌측 발목에 각각 전극을 부착시킨 후 안정상태에서 뇌파 측정과 동시에 5분간 측정하였다.

학습능력은 신경생리학적 학습능력검사 소프트웨어(LXSMD3-1, LAXTHA Inc.)를 사용하여 뇌파 측정과 동일한 상대습도에서 뇌파 측정을 한 후에 5분간 집중도 패턴을 관찰하였다.

**2.4 뇌파신호 분석**

뇌파신호획득은 아날로그필터(0.6~46[Hz])를 통과한 아날로그신호를 표본화주파수 256[Hz], 분해능 16Bit로 디지털 변환하여 이루어졌다. 신호획득과정에서의 장비의 제어와 획득후의 데이터분석은 본 실험실에서 자체 기획하여 프로그래밍언어 C++로 제작한 소프트웨어 (Neurometric HMI)를 이용하여 수행하였다.

**3. 실험 결과**

**3.1 습도 변화에 따른 쾌적성의 변화**

1~50[Hz]까지 방출되는 뇌파중에서 4~7.99[Hz]의 느린 서파에 해당하는  $\theta$ 파는 수면에 빠지기 전과 같이 뇌의 활동 속도가 느려질 때 주로 활성화되는 뇌파이다.[6] 10~12[Hz]의  $\alpha$ 파는 심신이 안정하고 쾌적할 때 활성화되는 안정파로서 두뇌의 안정상태를 반영하는 기본파이며, 이  $\alpha$ 파의 활성화도로 주의 집중력과 창의적 사고정도를 추측할 수가 있다.[7] 또한 주의 집중의 긴장 상태가 지속되면 뇌는 정보처리나 반응에 있어 한계를 나타내어 집중력이 떨어지게 되는데,  $\alpha$ 파는 이러한 긴장상태를 이완시켜서 긴장과 이완의 적절한 전환을 할 수 있도록 하여 집중을 지속할 수 있도록 하는 역할을 한다.[8][9]

상대습도가 30~80[RH%]까지 10[RH%] 간격으로 변화되는 공간에서 피험자들의 상대  $\theta$ 파와 절대  $\alpha$ 파의 활성화도를 측정한 결과, 그림 3과 같이 상대  $\theta$ 파는 40~60[RH%]에서 가장 적게 활성화되고, 절대  $\alpha$ 파는 50~60[RH%]에서 가장 크게 활성화되므로, 다른 습도에 비하여 상대습도 50~60[RH%]에서 피험자가 마음이 편안해지며 쾌적한 조건이 잘 형성된다고 사료된다.

그림 4는 동일한 공간에서 피험자의 좌뇌와 우뇌에서 발생하는 절대  $\alpha$ 파(10~13[Hz])의 비대칭지수를 비교한 결과이다. 비대칭지수 A2는 좌뇌와 우뇌의  $\alpha$ 파 활성화도 차이를 이용하여 나타낸 것으로써 긍정의 감성에서는 좌뇌의  $\alpha$ 파가 활성화되고 부정의 감성에서는 우뇌의  $\alpha$ 파가 활성화되는데, 긍정과 부정의 감성이 균형을 이루게 되면 그 비대칭지수 A2가 "0"에 가까워져서 감성적으로 안정된 상태이다.[10] 비대칭 지표  $A2=(R-L)/(R+L)$ [11]에 의해 습도 변화에 따른 좌뇌와 우뇌의  $\alpha$ 파 비대칭 지표를 계산하면 상대습도 50~60[RH%]에서 -0.014498과 -0.014215로 좌우뇌의  $\alpha$ 파 비대칭지수가 가장 작아진다.

좌뇌와 우뇌의 비대칭지수가 가장 작아지는 50~60[RH%]에서 긍정의 감성과 부정의 감성이 균형을 이루어 감정의 안정도가 가장 높아진다고 판단된다.[12]

절대  $\alpha$ 파와 상대  $\theta$ 파의 분산분석(Analysis of Variance, 이하 ANOVA) 통계검증 결과는 표 3과 같이 절대  $\alpha$ 파의 유의확률(P) 값은 0.095\*로써 유의확률(P)이 0.1보다 작고, 상대  $\theta$ 파의 유의확률(P) 값은 0.042\*\*로써 유의확률(P)이 0.05보다 작기 때문에 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다.

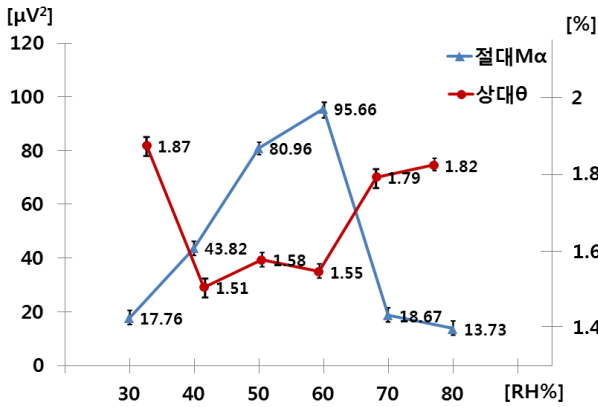


그림 3 습도 변화에 따른 절대 midα파와 상대 θ파의 활성화도 변화

Fig. 3 Activity Variation of Absolute midα and Relative θ wave due to Humidity Variation

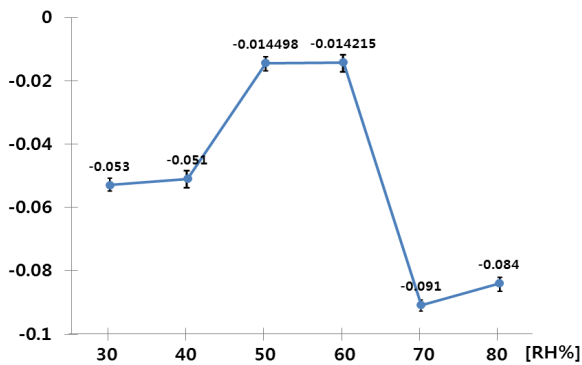


그림 4 습도 변화에 따른 비대칭지수 A2의 변화

Fig. 4 Variation of A2 Asymmetry due to Humidity Variation

표 3 절대 midα파 와 상대 θ파 통계분석

Table 3 Statistical Analysis of Absolute midα wave and Relative θ wave

분산분석(ANOVA) 통계		
	절대 midα파	상대 θ파
제곱합	8967.840	1.689
자유도	119	119
평균제곱	148.381	0.034
F값	2.068	2.511
유의확률(P)	0.095*	0.042**

\*  $P < 0.1$ , \*\*  $P < 0.05$

### 3.2 습도 변화에 따른 집중력의 변화

13~20[Hz]의 Lowβ파는 사물을 인식하고 판단할 때 활성화되는 활동파이고,  $\frac{SMR}{\theta}$  파는 뇌의 감각운동피질에서 관찰되는 SMR파(Sensory Motor Cortex Rhythm, 12~15[Hz])에 대한 θ파의 비율을 통하여 주의지수를 결정할 때 사용되는 뇌파로써, 두 가지 지표 모두 학습능력과 연관이

있으며, 집중하였을 때와 집중을 하지 않았을 때에 이 두 지표의 수치에 차이가 나타난다.[13]

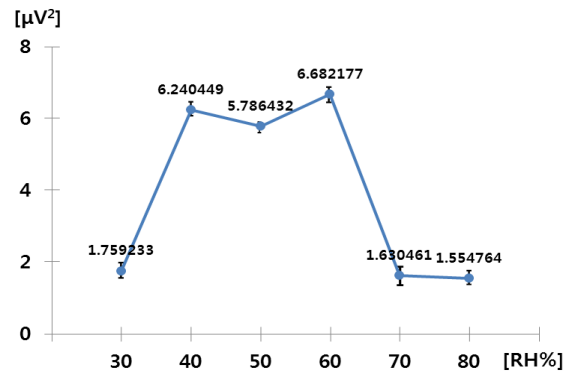


그림 5 습도 변화에 따른 절대 Lowβ파의 변화

Fig. 5 Variation of Absolute Lowβ wave due to Humidity Variation

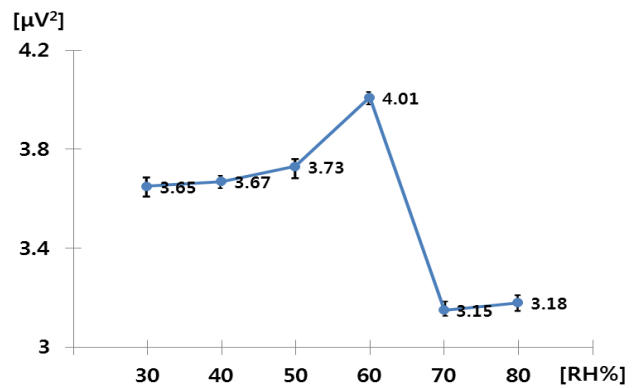


그림 6 습도 변화에 따른  $\frac{SMR}{\theta}$ 의 변화

Fig. 6 Variation of  $\frac{SMR}{\theta}$  due to Humidity Variation

습도가 30, 40, 50, 60, 70 및 80[RH%]로 변화되는 공간에서 피험자의 절대 Lowβ파와  $\frac{SMR}{\theta}$  파의 변화를 측정 한 결과 절대 Lowβ파는 그림 5와 같이 40~60[RH%]에서 가장 활성화되며,  $\frac{SMR}{\theta}$  파는 그림 6과 같이 50~60[RH%]에서 가장 활성화되므로, 다른 습도에 비하여 상대습도 50~60[RH%]에서 피험자가 집중력을 높일 수 있는 조건이 잘 형성된다고 판단된다.

절대 Lowβ파와  $\frac{SMR}{\theta}$  파의 ANOVA 통계검증 결과는 표 4와 같이 절대 Lowβ파의 유의확률(P) 값은 0.053\*으로써 유의확률(P)이 0.1보다 작고,  $\frac{SMR}{\theta}$  파의 유의확률(P) 값은 0.003\*\*으로써 유의확률(P)이 0.05보다 작기 때문에 통계적으로 의미가 있음을 알 수 있다.

표 4 절대 Lowβ파와  $\frac{SMR}{\Theta}$  파 통계분석

Table 4 Statistical Analysis of Absolute Lowβ wave and  $\frac{SMR}{\Theta}$  wave

분산분석(ANOVA) 통계		
	절대 Lowβ파	$\frac{SMR}{\Theta}$ 파
제공합	2.436	4.229
자유도	119	119
평균제곱	2.047	0.277
F값	6.717	11.214
유의확률(P)	0.053*	0.003**

\*  $P < 0.1$ , \*\*  $P < 0.05$

눈을 감은 폐안시 심신의 안정과 집중력이 높게 되면 주로 후두엽에서 8~13[Hz]의 α파가 활성화 되는데[14], 그림 7(b)와 같이 60[RH%]의 습도에 비하여 그림 7(a)의 30[RH%]와 그림 7(c)의 80[RH%]의 습도에서는 후두엽의 α파 활성

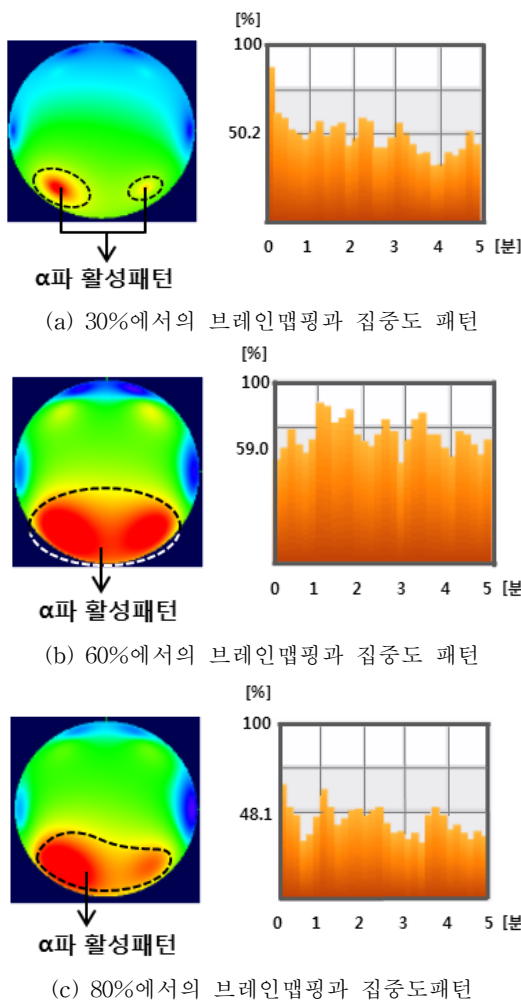


그림 7 습도변화에 따른 브레인맵핑과 집중도패턴의 변화  
Fig. 7 Variation of Brain Mapping and Concentrative Pattern due to Humidity Variation

패턴이 감소되는 것을 볼 수가 있으며, 집중도 패턴 역시 60[RH%]의 습도에서는 59[%](그림 7(b))의 집중도를 유지 하지만, 30[RH%]의 습도에서는 50.2[%](그림 7(a)) 그리고 80[RH%]의 습도에서는 48.1[%](그림 7(c))의 집중도를 유지 하는 것을 볼 수가 있다.

### 3.3 습도 변화에 따른 심박동변이도의 변화

심장 1회 박동의 R-R 간격을 시간의 범위로 표준편차를 구하는 심박변이도 표준편차(Standard Deviation of all the Normal RR intervals, 이하 SDNN)는 그 수치가 클수록 건강하고 안정된 상태이고, 심장의 평균심박동수(Mean Heart rate, 이하 HRT)는 심장이 안정적일수록 그 수치가 낮다.[15] 습도 변화에 따라 SDNN과 HRT를 측정한 결과는 그림 8과 같다.

30~60[RH%]의 습도에서는 HRT가 74~78[bpm]으로 평이한 변화를 보이다가 70[RH%]이상의 습도에서 84[bpm]으로 증가되는 이유는 동일한 온도라도 습도가 높아지면 피부표면과 대기간의 수증기압 차이가 감소하게 되어 발한(Perspiration) 비율이 감소되기 때문에 체온이 증가하게 되고, 이에 따라 외부로의 체열 방출을 증가시키기 위하여 HRT가 증가된다고 사료된다.[16]

SDNN은 다른 습도에 비하여 60[RH%]의 습도에서 58.79[ms]로 가장 높은 것을 알 수가 있다. 부교감신경과 교감신경의 항상성이 긍정적으로 조절될 때 SDNN이 증가되므로, 습도 60[RH%]에서 피험자들이 가장 안정적이 되고 업무 성취도가 가장 높아진다고 판단된다.[17]

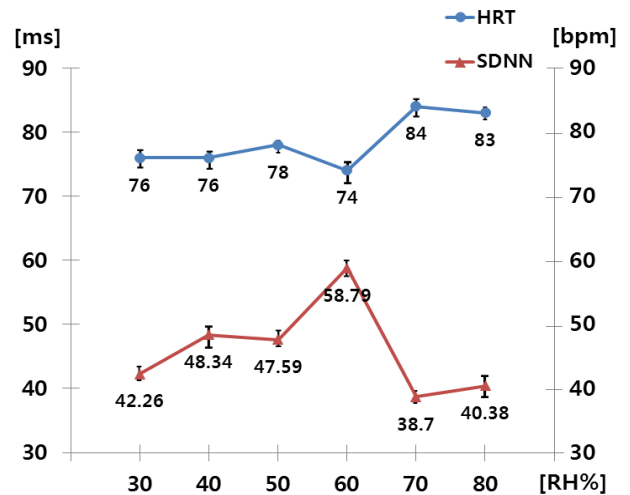


그림 8 습도 변화에 따른 SDNN과 HRT의 변화  
Fig. 8 Variation of SDNN and HRT due to Humidity Variation

### 3.4 습도 변화에 따른 스트레스와 피로도의 변화

습도변화에 따라 스트레스와 피로도를 측정한 결과는 그림 9와 같다.

실내 환경에서의 습도는 상기도점막의 수분함량과 체온조절의 기전(Mechanism)에 직접적으로 영향을 미쳐 동일한

온도에서도 저습한 경우에는 감정적으로 들뜨게 되는 스트레스를 받게 되고, 다습한 경우에는 무기력하게 되는 스트레스를 받게 되기 때문에[18], 온도 25[°C]와 상대습도 60[RH%]에서 다른 습도에 비하여 스트레스 지수와 피로도가 가장 낮아진다고 판단된다.

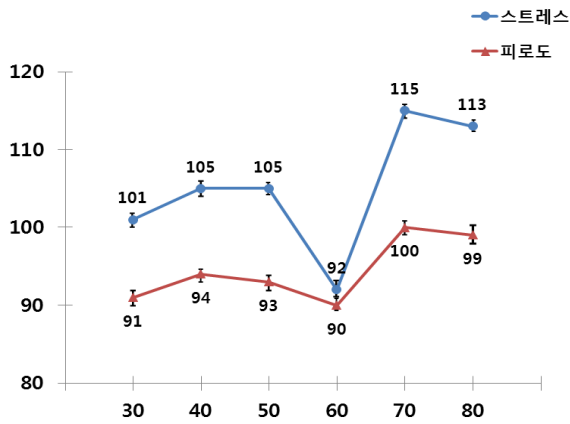


그림 9 습도 변화에 따른 스트레스 지수와 피로도의 변화  
Fig. 9 Variation of Stress and Fatigue Degree due to Humidity Variation

### 3.5 습도 변화에 따른 생체지표분석

습도변화에 따라 생체지표를 분석한 결과는 그림 10과 같다.

습도 60[RH%]에 비해 80[RH%]에서 절대 mida와 86[%] 감소, 절대 Lowβ와 77[%] 감소, SDNN 31[%] 감소, 스트레

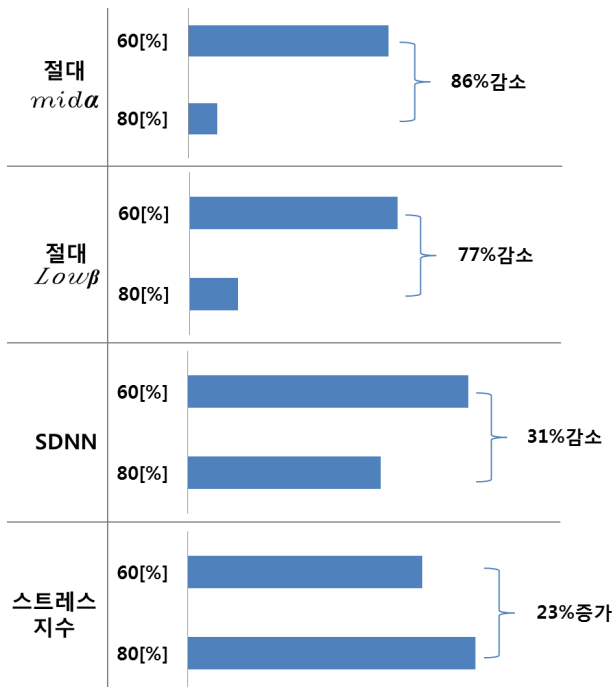


그림 10 습도 변화에 따른 생체지표 변화  
Fig. 10 Variation of Physical Index due to Humidity Variation

스지수 23[%] 증가 하였다.

따라서 습도 60[RH%]일 경우가 80[RH%]일 때 보다 쾌적성 및 집중력이 향상되고 심신이 안정적이며 스트레스가 가장 낮아지기 때문에 생산성 향상에 효과적인 습도라고 사료된다.

## 4. 결 론

온도 25[°C], 조도 1,000[lux] 및 기류속도 0.02[m/sec]의 인공기후실에서 상대습도를 30, 40, 50, 60, 70 및 80[RH%]로 변화시키면서 0.7[clo] 착의량을 한 피험자들의 쾌적성, 집중력, 심박동변이도, 스트레스 및 피로도를 EEG, 학습능력 및 HRV를 사용하여 측정하였다.

그 결과 25[°C]의 인공기후실이 50~60[RH%]의 상대습도로 유지될 때 피험자들의 쾌적성과 집중력이 가장 높아지고 스트레스가 가장 감소되었으며, 심박동변이도는 60[RH%]의 상대습도에서 가장 안정한 상태를 유지하였다.

인공기후실의 온도가 25[°C]일 때, 습도 60[RH%]에 비해 80[RH%]에서 절대 mida와 86[%] 감소, 절대 Lowβ와 77[%] 감소, SDNN 31[%] 감소 및 스트레스지수 23[%] 증가한 결과를 미루어 온도가 25[°C], 습도 60[RH%]일 때 피험자의 생산성 및 심리적 상태에 미치는 영향이 최소가 된다는 것을 알 수 있었다.

본 실험은 12월~2월의 동절기에 0.7[clo]의 착의량으로 이루어졌기 때문에 피험자들의 상대습도에 의한 온열감에 대한 선호도가 하절기와 다를 것이라고 사료되는 바, 향후 하절기에도 동일한 조건으로 측정을 하여 빌딩중후군을 최소화하면서 업무생산성을 최대로 향상시킬 수 있는 온도와 상대습도의 결합 조건을 확립하는 것이 과제라고 생각한다.

## 참 고 문 헌

- [1] Volker Hartkopf et al, "Linking Energy to Health and Productivity in the Built Environment", USGBC 2003 Greenbuild Conference, pp.E.1-E.12, 2004.
- [2] 김효진 외 1인, "VAV 시스템을 사용하는 인텔리전트 사무소 건물의 거주 후 실내온열환경 평가", 한국생활환경학회지, 12권, 1호, pp.7-12, 2005.
- [3] 김명호, "시각적 자극에 의한 뇌파 기반 생체신호에 관한 연구", 대한설비관리학회, 제16권, 1호, pp.61-66, 2011.
- [4] 최정화 외 1인, "씨멀마네킨을 이용한 단일 의복의 중량과 보온력에 관한 연구", 한국의류학회지, Vol.33, No.2, pp.173-186, 2009.
- [5] ASHRAE Handbook Fundamentals, pp. 8.12-8.20, 2001 SI Edition.
- [6] 문덕홍외 3인, "음향진동장치에 의한 인체의 스트레스 저감효과", 한국동력기계공학회, 11권, 2호, pp.32-37, 2007.
- [7] 김성운 외 4인, "EEG 바이오피드백 훈련이 지적장애아동의 주의집중력과 뇌파변화에 미치는 영향", 지적장애연구, 제11집, 4호, pp.117~136, 2009.
- [8] 윤용현 외 3인, "뇌파를 이용한 암산작업시의 집중도

평가”, 한국감성과학회, 추계학술대회, pp.53-56, 2000.

[9] 정소라 외 4인, “Wavelet Transform을 이용한 시청각 학습시의 전두부 뇌파 활성도에 관한 연구”, 대한전기학회 하계학술대회, pp.12-14, 2006.

[10] 서인석, “뇌파 비교를 통한 안정 상태평가에 관한 연구”, 디지털콘텐츠학회 논문지, 제7권, 제1호, pp.47-48, 52, 2006.

[11] 이준석 외 3인, “주요우울증에서 우울과 불안 증상의 심각도에 따른 뇌파 A1, A2, Percent 비대칭 지표들의 특성 연구”, J Korean Neuropsychiatr Assoc. Vol.46, No.2, pp.179-184, 2007.

[12] R.J.Davidson, “Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion”, Brain and Cognition, Vol.20, No.3, pp.125-151, 1992.

[13] 백기자의 2인, “정상인 집단과 비만인 집단간의 뇌파 차이 분석 및 집단별 뇌파차이 분석 연구”, 한국정신과학학회, 25회 추계학술대회, pp.233-246, 2006.

[14] 안예진의 3인, “색채의 정신생리학적 영향에 대한 자발 뇌파 분석”. 한국인터넷정보학회, 7권, 1호, pp.565-569, 2006.

[15] 박진수, “膻中穴 침자극이 정상성인의 심박변이도에 미치는 영향”, 원광대학교 일반대학원 석사학위논문, pp.22-23, 2010.

[16] 김경훈의 4인, “하계 인공환경실험에서의 온열쾌적 특성”, 공기조화 냉동공학회, 10권, 3호, pp.368-377, 1998.

[17] Anderson et al, “An examination of perceived control, humor, irrational beliefs and positive stress as moderators of the relation between negative stress and health”, Basic and Applied Social Psychology, Vol.10, No.2, pp.110-117, 1989.

[18] 조수현 외 1인, “Office Building에서 실내습도가 근무자의 건강에 미치는 영향”, 대한산업의학회지, 2권, 2호, pp.123-133, 1990.

저 자 소 개



**김명호 (金名鎬)**

1995년 광운대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1996년 동경공업대학 전자물리학과 Post Doctor, 2008년 CarnegieMellon 대학 건축과 Visiting Scholar, 2009년 가천대학교 건축설비공학과 정교수  
 관심분야 : 뇌파 기반 생체신호  
 Tel : 031-750-5882  
 E-mail : ibs@gachon.ac.kr



**김정민 (金廷玟)**

1987년 11월 16일생  
 2012년 02월 가천대학교 건축설비공학과 졸업, 2012년 02월~현재 가천대학교 대학원 건축설비공학과 석사과정  
 Tel : 031-750-8948  
 Fax : 031-750-5314  
 E-mail : 0182096768@hanmail.net

**감사의 글**

이 논문은 2012년도 가천대학교 교내 연구비에 의한 결과임(GCU-2013-R001)