

The Study about Variation of Physiology Signal based on EEG due to Variation of Illumination

김 명 호[†]
(Myung Ho Kim)

Abstract - By using EEG and HRV, subjects were estimated on their psychological and physiological reaction when reading psychometric chart in 7 point century font, in an environmental test room in the condition of temperature 25 [°C], relative humidity 50[RH%], air current speed 0.02[m/sec], giving variation in illuminance to 0.1, 300, 600, 1000, 1300 and 1600[lux]. As a result, it was at 1300[lux] that absolute α wave, SMR, SDNN were most vitalized, and also both sides α wave asymmetry index, SEF50, HRT, stress and fatigue degree were at the lowest. It was found that a certain illuminance which minimizes psychological stress and fatigue degree while enhancing concentration and task achievement stably does exist.

Key Words : HRV, EEG, awake, SMR, Productivity

1. 서론

실내 환경 인자 중에서 빛의 밝기는 신체, 감정 및 지성의 생체리듬 시스템(Circadian system)을 변화시켜서 체온, 수면 패턴, 호르몬 분비 및 혈압 등의 생리학적 리듬을 조절한다.[1]

핀란드에서 조명공장의 근로자들을 대상으로 실험한 결과 1,000~1,200[lux] 주변에서 생산성이 최대로 되었으며, 일본의 와세다 대학의 학생들을 대상으로 Task 조명의 조도를 제어할 수 있도록 한 결과 제어할 수 없는 경우보다 세자리수 곱셈 성능이 11%가 개선되었다.[2] 하루의 80% 이상의 시간을 실내 공간에서 생활해야만 하는 근무자들에게 적절하지 못한 조도는 작업 능력 저하에 따른 생산성을 감소시킬 뿐만 아니라 각종 질병의 원인이 되고 있다.[3]

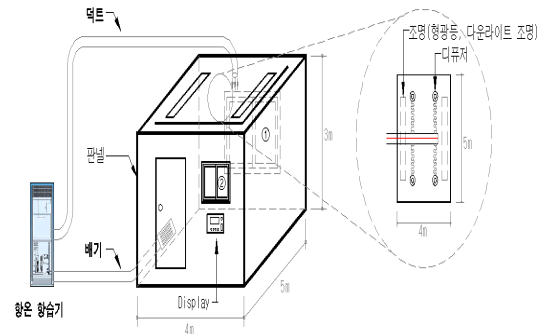
외부 자극의 변화에 따라 인간의 정신생리상태의 변화를 관찰 및 측정하는 방법에는 1942년 Beger가 사용한 대뇌피질의 전기적 활동을 측정하여 뇌기능의 변화를 관찰하는 뇌파측정법(Electroencephalography, 이하 EEG)이 있으며, 외부 자극의 변화에 따라 인간의 자율신경계의 변화를 관찰 및 측정하는 방법에는 심박동 변이도 검사(Heart Rate Variability, 이하 HRV)가 있다. 따라서 본 논문에서는 EEG와 HRV를 사용하여 조도 변화에 따른 피험자들의 심리적 및 생리적인 반응의 차이를 분석함으로써 근무자가 가장 높은 생산성을 발휘할 수 있는 조도를 찾고자 한다.

2. 실험방법

2.1 측정실의 조건

본 논문에서 사용한 측정실인 인공기후실의 구조는 그림

1의 (a)와 같이 4×5×3[m]이고, 내부 모습은 그림 1의 (b)와 같으며, 인공기후실의 제원은 표 1과 같다.[4]



(a) 구조도

(a) schematic diagram



(b) 내부 사진

(b) Interior Photograph

그림 1 인공기후실의 구조

Fig. 1 Structure of Environmental Test Room

[†] 교신저자, 정회원 : 가천대학교 건축설비공학과 교수

E-mail : ibs@gachon.ac.kr

접수일자 : 2012년 2월 1일

최종완료 : 2012년 2월 20일

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

피실험자 집단은 건강 상태를 점검하여 25명의 남자 대학생으로 선정하였으며, 기본적인 신체 조건은 표 2와 같다.

피험자의 활동량은 열적으로 쾌적한 상태에서 의자에 앉아 안정을 취하고 있을 때의 활동량으로서 1met(metabolic rate:1met=58.2W/m²)로 하였으며, 착의량 상태는 약 0.7clo(긴양말 0.10, 팬티 0.05, 와이셔츠 0.25, 하절기용 긴 바지 0.28)로 통일하였다.[5]

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[6]를 만족하는 온도 25[°C], 상대습도 50[RH%] 및 기류 속도 0.02[m/sec]로 유지되도록 하였으며, 조도를 암전(0.1[lux]), 300, 600, 1000, 1300 및 1600[lux]로 변화되는 공간에서 20분 이상 안정을 시킨 후 피험자들에게 신명조체(7포인트)의 습공기선도표(Psychrometric chart)를 읽게 할 때의 EEG와 HRV를 각각 5분간 측정하였다.

EEG측정은 PolyG-I (LAXTHA Inc.)를 활용하여 측정하였고, 국제 전극 배치법인 International 10-20 System(그림 4)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.

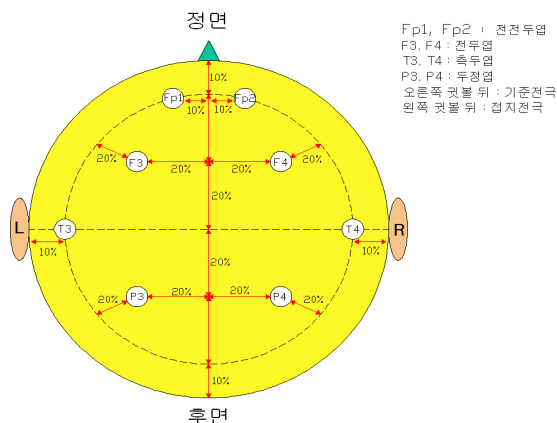


그림 2 10-20 국제전극배치법
Fig. 2 International 10-20 System

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.

HRV측정은 뇌파 측정과 동시에 SA-3000P(Medi-core.co)를 사용하여 좌측 손목, 우측 손목 및 좌측 발목에 각각 전극을 부착시킨 후 안정상태에서 5분간 측정하였다.

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 조도 변화에 따른 절대 α파 활성도와 좌우뇌 비대칭 지수의 변화

조도가 암전(0.1[lux]), 300, 600, 1000, 1300 및 1600[lux]로 변화되는 공간에서 피험자가 7포인트의 습공기선도표를 읽을 때 발생하는 절대 α파(8~13[Hz])의 활성도를 측정한 결과는 그림 3과 같다.

암전에서 조도가 높아질수록 α파의 활성도가 점차 증가되다가 1,300[lux]에서 43.9[μV²]으로 α파의 활성도가 가장 높아지는 것을 알 수 있다.

α파는 두뇌의 안정상태를 반영하는 기본파이며 전통적으로 인간 행동에 대한 두뇌 좌우반구의 기능 상태를 판정하는데 사용되어 온 뇌파로서, α파의 활성도가 높을 때 마음이 편안하며 주의 집중이 가장 효과적으로 이루어지기 때문에 [7] 1,300[lux]에서 피험자가 습공기선도표를 읽을 때에 다른 조도에 비하여 마음이 편안해지며 집중력을 높일 수 있는 조건이 잘 형성된다고 사료된다.

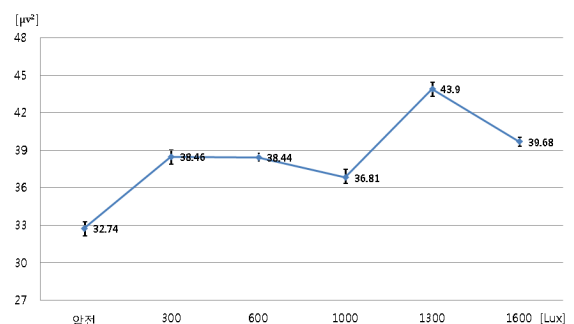


그림 3 조도 변화에 따른 절대 α파 활성도 변화
Fig. 3 Activity Variation of Absolute alpha wave due to Illumination Variation

그림 4는 동일한 공간에서 피험자가 습공기선도표를 읽을 때 좌뇌와 우뇌에서 발생하는 절대 α파의 비대칭 지수를 비교한 결과이다.

비대칭 지표 A2=(R-L)/(R+L)[8]에 의해 조도 변화에 따른 좌뇌와 우뇌의 α파 비대칭 지표를 계산하면 1,300[lux]에

서 -0.0008로 좌우뇌의 비대칭지수가 가장 작아진다.

좌뇌와 우뇌의 비대칭지수가 가장 작아지는 1,300[lux]에서 피험자들의 좌뇌와 우뇌에서 발생하는 α 파 활성도의 균형도가 높아져서 감정적으로 안정이 되며, 감정의 균형이 이루어진다고 판단된다.[9]

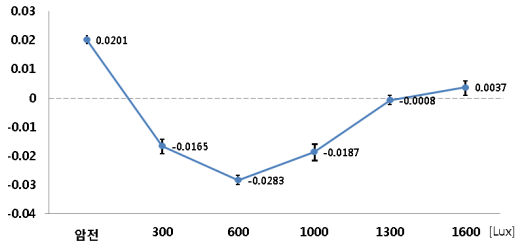


그림 4 조도 변화에 따른 A2 비대칭지수의 변화
Fig. 4 Variation of A2 Asymmetry due to Illumination Variation

3.2 조도 변화에 따른 SEF 50과 SMR의 변화

조도가 암전(0.1[lux]), 300, 600, 1000, 1300 및 1600[lux]로 변화되는 공간에서 피험자가 습공기선도표를 읽을 때 발생하는 SEF50과 SMR의 변화를 관찰한 결과는 그림 5, 6과 같다.

그림 5와 같이 암전에서 조도가 높아질수록 SEF50이 감소되는 것을 알 수 있다.

SEF50(Spectral Edge Frequency 50)은 뇌파의 파워스펙트럼 분포가 저주파에 비하여 고주파 쪽으로 얼마나 편향되었는지를 정량화하는 지표로서 이 지표의 수치가 작을수록 β 파(13~30[Hz])나 γ 파(30~50[Hz])가 적게 발생하였다는 것을 의미하며, 인지부하도와 작업부하도가 낮다는 것을 의미한다.[10]

따라서 조도가 높아질수록 7포인트의 작은 글자를 읽기 위한 피험자들의 인지부하도와 작업부하도가 낮아진다고 판단된다.

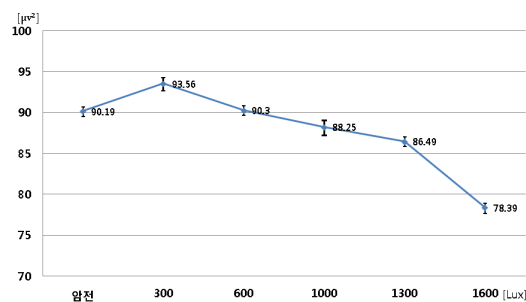


그림 5 조도 변화에 따른 SEF 50의 변화
Fig. 5 Variation of SEF50 due to Illumination Variation

그림 6과 같이 조도가 높아질수록 SMR파의 활성도가 점차 증가되다가 1,300[lux]에서 26.1[μV^2]으로 가장 커지는 것을 알 수 있다.

SMR(Sensory Motor Cortex Rhythm, 12~15[Hz])은 뇌의 감각운동피질에서 관찰되는 뇌파로서, 호흡이 안정되고 심박수가 낮아지며 집중력이 높아질 때 활성화되는 뇌파이기 때문에[11] 1,300[lux]에서 과제물에 대한 피험자들의 집중력이 가장 높아진다고 생각된다.

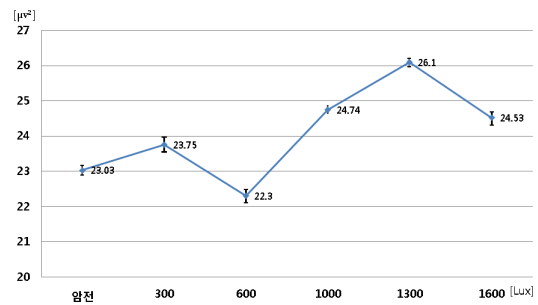


그림 6 조도 변화에 따른 SMR의 변화
Fig. 6 Variation of SMR due to Illumination Variation

3.3 조도 변화에 따른 심장박동의 변화

심장 1회 박동의 R-R 간격을 통계적으로 처리하여 시간의 범위로 표준편차를 구하는 심박변이도 표준편차 (standard deviation of all the normal RR intervals, 이하 SDNN)를 조도 변화에 따라 측정된 결과는 그림 7과 같으며, 평균심박동수(Mean Heart rate, 이하 HRT)를 측정된 결과는 그림 8과 같다.

그림 7, 8에서와 같이 1,300[lux]에서 SDNN은 66.13[ms]로 가장 높으며, HRT는 65[bpm]으로 가장 낮은 것을 알 수 있다.

HRT가 낮다는 것은 심장이 안정적이라는 것을 의미하며, SDNN의 증가는 자율신경의 항상성 조절 기전이 긍정적으로 작동하고 있고 긍정적 스트레스(eustress) 상태가 된다는 것을 의미한다.[12]

이러한 긍정적인 스트레스는 업무나 학업의 성취도를 증가시키기 때문에 1,300[lux]에서 피험자들이 습공기선도표를 읽을 때 가장 안정적이 되고 업무 성취도가 가장 높아진다고 판단된다.[13]

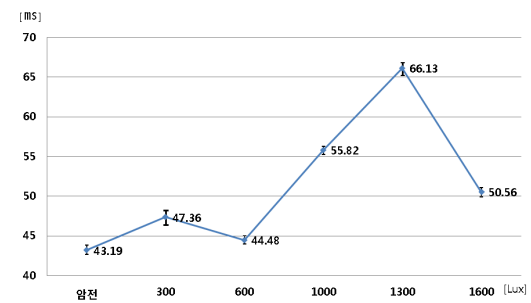


그림 7 조도 변화에 따른 SDNN의 변화
Fig. 7 Variation of SDNN due to Illumination Variation

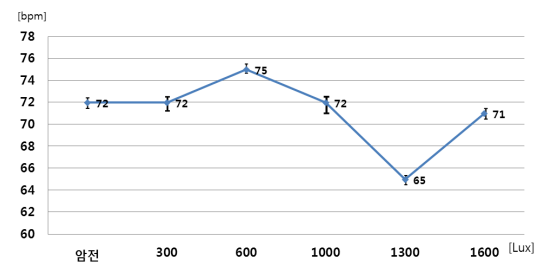


그림 8 조도 변화에 따른 HRT의 변화
Fig. 8 Variation of HRT due to Illumination Variation

3.4 조도 변화에 따른 스트레스와 피로도의 변화

조도변화에 따라 스트레스와 피로도를 측정된 결과는 그림 9와 같다.

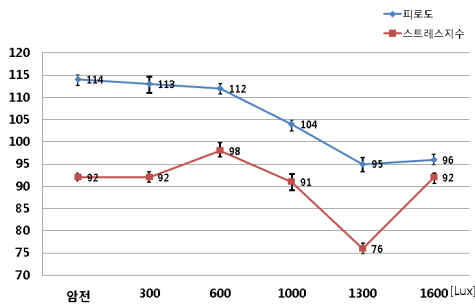


그림 9 조도 변화에 따른 스트레스 지수와 피로도의 변화
Fig. 9 Variation of Stress and Fatigue Degree due to Illumination Variation

조도가 낮을 때에는 빛에너지에 대한 절대적인 반응도인 민감도가 극대화되며, 조도가 높을 때에는 빛에너지분포변화에 대한 반응도인 시감도가 극대화되는데, 조도에 따라 동공의 크기가 결정되는 동공반사에 의해 1,300[lux]에서 민감도와 시감도가 함께 최대가 되기 때문에 1,000[lux] 이하의 조도에서는 스트레스와 피로도의 변화가 거의 관찰되지 않다가 1,300[lux]에서 스트레스와 피로도가 가장 낮아진다고 판단된다.[14]

감사의 글

이 논문은 2012년도 가천대학교 교내 연구비에 의한 결과임(GCU-2011-R371)

4. 결 론

온도 25[°C], 상대습도 50[RH%] 및 기류속도 0.02[m/sec]의 인공기후실에서 조도를 암전(0.1[lux]), 300, 600, 1000, 1300 및 1600[lux]로 변화시키면서 피험자들이 7포인트 신명조체의 습공기선도표를 읽을 때 심리적 및 생리적 반응을 EEG와 HRV를 사용하여 측정하였다.

그 결과 1,300[lux]에서 절대 α파, SMR 및 SDNN이 가장 활성화되었으며 좌우뇌의 α파 비대칭지수, SEF50, HRT, 스트레스 및 피로도 지수는 가장 낮았다.

심리적으로 가장 스트레스를 적게 받으면서 피로도를 최소화하며 안정적으로 집중력과 업무성취도를 높일 수 있는 조도가 있다는 것을 알 수 있었다.

본 실험에서는 7포인트의 신명조체를 읽을 때 1,300[lux]의 조도가 가장 효과적이었지만, 글자체나 글자의 크기가 바뀌게 되면 이 조도 단계도 함께 바뀔 것으로 사료되는 바, 향후 업무생산성을 향상시킬 수 있는 조도와 글자형태의 조건을 확립하는 것이 과제라고 생각한다.

참 고 문 헌

[1] 최안섭 외 2인, “주거 공간의 건강 조명 시스템 개발 및 적용방안”, 대한건축학회, 제 20권, 10호, pp.287-294, 2004.

[2] Vivian Loftness et al, " Linking Energy to Health and Productivity in the Built Enviroment", USGBC 2003 Greenbuild Conference, pp.E.1-E.12, 2003.

[3] 문소원 외 2인, “실내환경이 작업 생산성에 미치는 영향에 관한 연구”, 한국 친환경설비학회, Vol.2, No.2, pp.7-13, 2008.

[4] 김명호, “시각적 자극에 의한 뇌파 기반 생체신호에 관한 연구”, 대한설비관리학회, 제16권, 1호, pp.61-66, 2011.

[5] 최정화 외 1인, “썬말마네킨을 이용한 단일 의복의 중량과 보온력에 관한 연구”, 한국의류학회지, Vol.33, No.2, pp.173-186, 2009.

[6] ASHRAE Handbook Fundamentals, pp. 8.12-8.20, 2001 SI Edition.

[7] 김종수 외 2인, “에어컨 온도 변동에 따른 생리신호 변화에 관한 연구”, 수산해양교육연구, 19권, 3호, pp. 502-509, 2007.

[8] 이준석 외 3인, “주요 우울증에서 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.

[9] 박병운, “뇌파밴드별 상호연관성에 따른 뇌기능 최적화 연구”, 한국정신과학연구소, pp.103-108, 2005.

[10] 김준 외 1인, “이러닝 적용을 위한 뇌파기반 인지부하 측정”, 인지과학, 20권, 2호, pp.125-154, 2009.

[11] 이창조, “뇌파 신호를 이용한 집중력 향상 게임 구현”, 한국 게임학회, 9권, 2호, pp.23-28, 2009.

[12] 정기삼 외 6인, “긍정적 감정 경험에 의한 심박변이도의 변화에 대한 연구”, 한국감성과학회, 9권, 2호, pp.111-118, 2006

[13] 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.

[14] 고은경 외 1인, “야행성 동물의 민감도와 시감도의 균형을 최적화하는 광학적 기전”, 한국안광학회 춘계학술대회, pp.35-39, 2010.

저 자 소 개



김 명 호 (金 名 鎬)

1995년 광운대 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사)
1996년 동경공업대학 전자물리학과 Post Doctor
2008년 CarnegieMellon대학 건축과 Visiting Scholar

2009년 가천대학교 건축설비공학과 정교수

관심분야 : 뇌파 기반 생체신호

Tel : 031-750-5882

E-mail : ibs@gachon.ac.kr