

LED 광색이 학습상태 정량뇌파의 미드베타파 활성에 미치는 영향

Effect of LED Light Color on Mid Beta Wave Activities of QEEG in Learning State

이호성* Lee, Ho Sung

Abstract

Purpose: The purpose of this study is to find out whether the color change of the LED light source has a significant effect on the beta wave activity of EEG in the learning state. **Methods:** The subjects of the experiment were 20 male and female college students between the ages of 19 and 25 who routinely perform their studies. In the created learning environment, the EEG change according to the change in the lighting color was measured while solving the Mensa thinking ability problem while sitting on a desk with LED lights installed on the top and a chair with a footrest to stabilize the legs. The light source consisted of 3 ready-made colors and 6 newly created colors. A total of 9 color light stimuli were given for 2 minutes each, and the EEG change of the subject was observed. After the experiment, the correlation was analyzed based on the mid-beta wave data recorded on the QEEG according to the color change of light and the Mensa problem score. **Results:** It was found that the activation of mid-beta waves was stimulated in the temporal lobes (T5, T3, T6, T4) and occipital lobes (O1, O2) of all subjects who focused on solving Mensa thinking problems. As a result of comparing the top 20% and the bottom 20% of problem solving scores, the upper group had no effect of lighting, while the lower group showed increased beta wave activity in response to color light stimulation in the order of T4, T6, and T5. **Implications:** It was confirmed that the color of light that activates the middle beta wave varies greatly depending on the subject's attention and learning ability, and it is judged that the color of light including the green wavelength is helpful in activating the middle beta wave in the group with low learning ability.

주제어: 학습상태 정량 뇌파, 미드베타파, LED 광색, 색온도

Keywords: QEEG of learning status, Mid Beta wave, LED lighting color, color temperature

1. 서론

1.1 배경 및 목적

2000년대 이후 뇌파에 관한 연구들이 의료분야뿐만 아니라 건축 분야에서도 활발하게 진행되어왔다. 건축 분야에서는 특히 조명의 조도나 색온도, 공간의 색채 변화가 정량 뇌파에 미치는 영향 등을 실험하였는데 그간 건축 분야의 조명환경과 관련된 실험연구들에서는 광원의 색상이 뇌파에 미치는 효과가 있음을 주장하는 사례들이 많이 있었으나 대부분 실험에 사용한 광원들은 매우 제한적이었다. 기성 조명의 색온도인 3000K에서 7000K 사이의 광원들을 서너 개씩 짝을 지어 비교하거나 생활 조명으로는 사용하기 어려운 Red, Yellow, Blue, Orange,

Green, Purple 등 원색 광 자극을 준 뒤 피험자의 뇌파 반응을 관찰하는 실험들이 주였다.

본 실험에 사용한 광원을 현재 시판되는 일반 LED조명 3종(3000K, 4000K, 6000K)에 더하여 생활 조명으로 사용할 수 있는 범위의 RGB값을 갖는 6가지 광색을 새로 만들어 총 9가지의 LED광색을 변인으로 실험하였다. 본 연구의 목적은 첫째, 특정한 9가지 LED조명의 광색이 학습상태 정량뇌파(QEEG)의 Mid beta파(15-20Hz) 활성에 영향을 주는지를 확인하는 것, 둘째, 피험자의 어느 뇌 부위에 베타파(15~20Hz)의 활성화가 주로 나타나는지를 확인하기 위한 것이다. 이는 학습상태 정량뇌파의 Mid beta파 활성에 유익한 LED 광색의 기능적 효과를 확인하기 위한 기초연구로서 의의가 있다.

* 회장, 교수, 인테리어디자인과, 한양여자대학교
(주저자: hslee007@hywom.ac.kr)

1.2 연구방법

1) 피험자의 선정

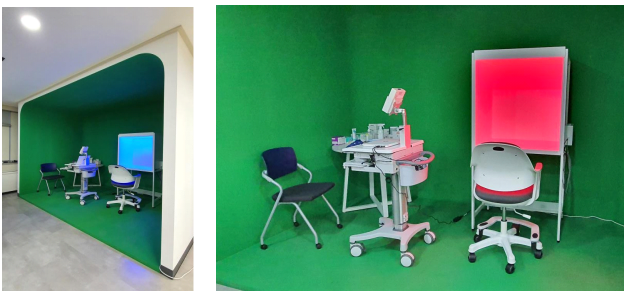
피험자는 연령 만 19세 이상 25세 이하로 일상적으로 학업을 수행하고 있는 대학생들을 대상으로 하였다.

사전 설문을 통하여 피험자가 다음과 같은 특성을 가진 경우 제외하였다. ADHD 등 학습장애 진단을 받은 전력이 있는 사람, 뇌전증 등 신경과 병력이 있는 사람, 우울증, 공황장애 등 정신과 병력이 있는 사람, 실험 참여일 기준 2일 이내 음주 전력이 있는 사람, 불면증 등 수면 부족으로 인한 피로감을 가진 사람, 자발적 동의를 하기에 제한적인 장애가 있는 사람, 시각, 청각 장애 등 시청각 반응 지각이 어려운 사람.

또한 피실험자는 주의 집중의 문제가 없는지를 점검하기 위해 한국어판 FAIR주의력검사지(H. Moosbrugger; J. Oehlschagel 원저, 한국판 저자 오현숙, 중앙적성연구원 발행)를 수행하였고, Cronbach's alpha 계수가 모든 항목에서 신뢰할 수 있어 주의 집중력에 문제가 없음을 확인하고 실험에 참여하도록 하였다.

2) 실험 공간

실험을 위하여 제작된 부스는 3.0×2.1×2.4M 부스에 암막 커튼을 설치하여 실험 중 외부 광과 소음을 차단하였다. 피험자가 앉는 책상은 상부에 LED조명 패널을 설치한 박스형으로 피험자가 앉는 쪽을 제외하고는 5면이 막힌 형태이다. 책상 내부의 용적은 750×600×750mm 이고 책상 다리 프레임에 활용하여 수평으로 발판을 부착하였다. 피험자가 앉는 의자 또한 좌면을 고정할 수 있고 다리를 안정되게 유지할 수 있도록 고정 발판이 달려있어서 하지 진전으로 인한 불필요한 잡파 발생을 최대한 방지하였다.



[그림 1] 실험부스 및 데스크

3) 실험 장치

실험장비 Electroencephalographic system Mitsar-EEG-BT는 인증 등급: Class IIa(MDD, Annex IX)의 의료장비이며 ISO 13485의 적합성 인증을 받은 생체신호 증폭기로 검측 EEG 채널의 기술 특성은 [표 0]과 같다. 국제뇌파학회연합 표준전극배치법(tentwenty electrode system, 10-20법)에 따라 10-20 system에 맞게 피험자의 머리에서 발생하는 19개 전극의 뇌파 신호를 테스트 한 후 측정하였다.

[표 1] 검측 EEG채널의 기술 특성

EEG 채널 수	21 EEG, A1, A2, REF, GND
대역폭(샘플링 주파수)	DC(0) - 70 Hz
전극 임피던스 검사 기능	On-line
입력전압범위	±300mV
최대 상대오차	±10% in range[10 μV, 50 μV]
샘플링 주파수	2000 Hz per channel
저장 주파수	250 Hz per channel
입력 저항	over 200 MΩ
내부 노이즈 전압	≤0.25 μV RMS
채널 간 상관 비율	≤1%
Common-mode rejection	over 100 dB at 10 Hz
ADC(Analog to digital converter)	24 bit

4) 실험 광원

실험에 사용한 9가지 조명은 3000K, 4000K, 6000K(이후 3K, 4K, 6K로 표기함) 3가지와 RGB컬러값의 비율을 조합한 6가지 새로운 색광(이후 T1,T2,T3,T4,T5,T6로 표기함)을 만들어 실험하였다. 실험 광원의 조도는 국내 KS조도 기준표(2021)에서 학습 환경의 조도 기준으로 사용되는 주택의 공부방, 공부(2), 독서(2), 학교의 도서 열람(2) 조도 600-1000-1500lx 범위인 650lux를 기준으로 하였고 광원의 특성은 [표 2]와 같다.

실험에 사용한 RGB LED모듈은 S사의 White, Red, Green, Blue칩을 사용하였다. 색변환을 위한 콘트롤러는 4 Channel DMX512 decoder(32A) LT-DMX-4C8A,이며 SMPS는 Input AC200~240V, Output 12V, 24V, 100W, Single Output 제품(UP100S12W2(V1))이다.

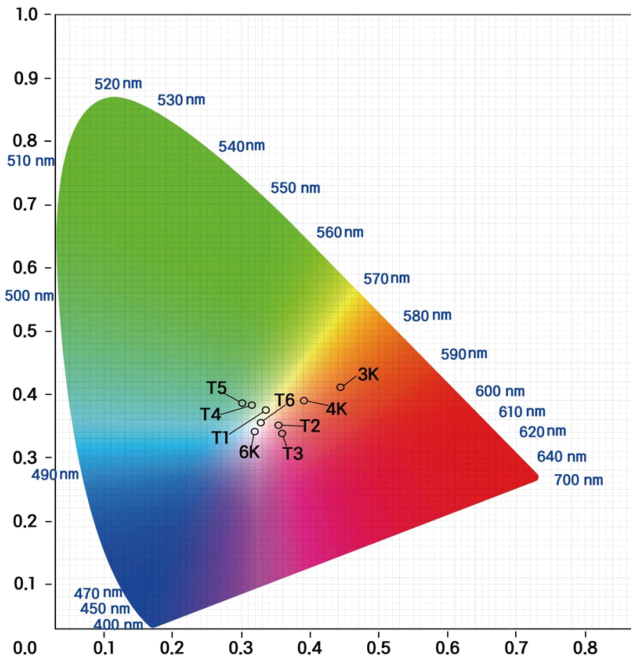
[표 2] 실험 광원의 광학적 특성

실험 조명	Basic		Spectrum		CIE		CRI	
	Lux	CCT	λP	λPV	X	Y	CRI	R9
3K	662.1	2955	605	13.42	0.4434	0.4113	82.9	7.8
4K	656.4	3844	597	11.44	0.3900	0.3884	83.9	13.8
6K	652.0	5987	455	19.82	0.3217	0.3414	85.5	18.8
T1	653.1	5317	628	15.06	0.3373	0.3752	96.3	98.4
T2	654.3	4789	628	17.16	0.3529	0.3518	93.3	80.1
T3	653.9	4355	628	18.38	0.3593	0.3382	91.0	73.4
T4	657.3	6121	455	15.45	0.3152	0.3816	87.5	32.8
T5	652.2	6610	455	15.95	0.3020	0.3851	79.7	-16.2
T6	650.4	5678	455	17.65	0.3282	0.3552	92.1	54.2



[그림 2] 9가지 광색에서 학습상태 뇌파 측정 광경

9가지 실험 광색의 CIE 좌표값은 [그림 3]과 같다.



[그림 3] 실험 광원의 CIE 좌표값

5) 실험 프로토콜

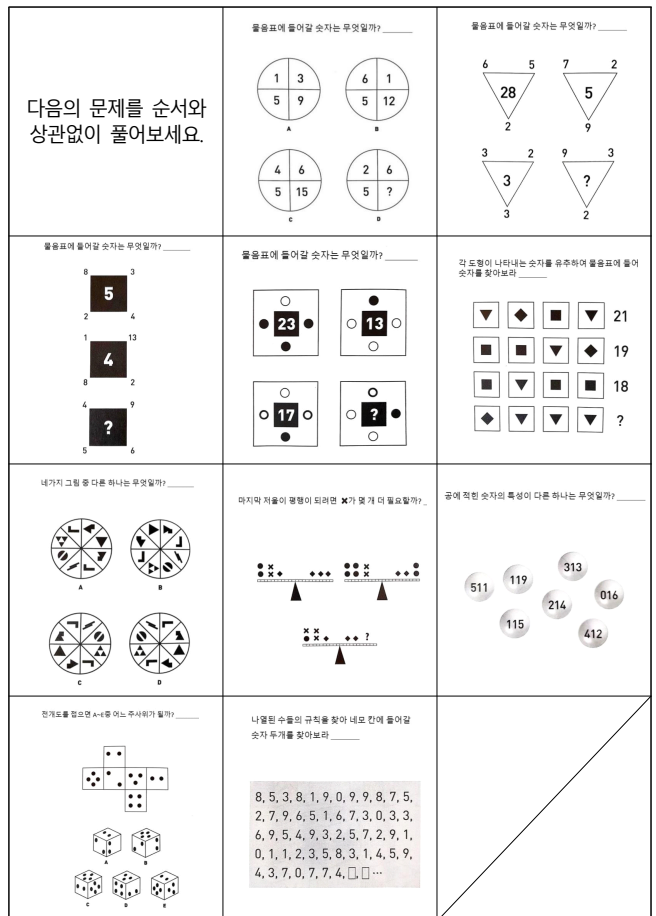
사전에 FAIR주의력 테스트를 마친 피험자들은 실험을 위해 부스 내부로 이동하여 뇌파 측정용 캡을 착용한다. 실험 공간은 소음이나 여타의 광 간섭이 없는 상태에서 피험자의 양안 필드는 실험 광원에만 전적으로 자극받게 하였다. 안전과 함께 실험이 시작되면 2분간 눈을 감고 명상하도록 하고 이때 실험자는 피험자의 뇌파가 잘 기록되는지 관찰하여 모든 전극에서 뇌파 감지에 오류가 없는 상태임을 확인한다.

조명이 켜지며 실험이 시작되면 각 2분씩 9가지 광색을 받는 동안 피험자는 멘사 사고력 문제를 집중해서 수행한다. 사고력 문제는 페이지 순서와 상관없이 난이도 수준이 같고 피험자는 실험 시간 내내 풀이에 집중하여 학습상태를 유지하도록 하였다. 9가지 광색 자극 종료 후 안전과 함께 실험이 종료된다.

[표 3] 실험 프로토콜

Light stimulus	Exposure time	Note
blackout	00:00	eye Closed
3K	02:00	eye open 3000K
4K	04:00	eye open 4000K
6K	06:00	eye open 6000K
T1	08:00	eye open R255/G255
T2	10:00	eye open R255/G128
T3	12:00	eye open R255/G0
T4	14:00	eye open R128/G255
T5	16:00	eye open R0/G255
T6	18:00	eye open R128/G128
blackout	20:00	eye Closed

[그림 4]에서와 같이 피험자에게 주어진 10개의 멘사 사고력 문제는 동일 수준의 난이도로 구성되었으며 객체 인식(물체에 대한 시각적 인식)과 논리적 추론으로 정답을 찾아야 한다.



[그림 4] 실험에 사용한 멘사 사고력 문제

20명의 피험자가 2분간격으로 변화하는 광자극 아래에서 사고력 문제를 풀이하는 동안 측정된 뇌파 중, Mid beta파 (15Hz~20Hz)가 9가지 색상의 광 자극에 따라 활성화되는 정도를 측정하였다.

실험 중 수행한 멘사 사고력 문제 풀이의 정답률은 최고점 100%, 최저점 20%, 평균 55.5%, 표준편차 29.99였다.

[표 4] 피험자 멘사 사고력 문제 풀이 점수

피험자명	A01	B02	C03	C04	C05
점수(%)	30	30	40	80	80
피험자명	E06	H07	J08	J09	J10
점수(%)	90	80	40	60	100
피험자명	J11	L12	L13	L14	L15
점수(%)	20	20	90	20	30
피험자명	L16	P17	S18	Y19	Y20
점수(%)	80	30	70	20	100

2. 본론

2.1 선행연구의 시사점

건축 분야에서 조명의 색상과 뇌파 관련 연구는 2000년 대 이후 다양한 실험 논문들로 발표되기 시작했다.

2016년까지 발표된 조명 색상과 뇌파의 관계를 연구한 15편의 논문들을 분석한 선행연구 분석에서는 "유사 실험들의 한계로서 '실험변인이 주로 Red, Yellow, Green, Blue, Orange, White의 한정된 색채를 사용한 반응실험이었거나 색온도(K) 3000-4500-6000, 2700-4500-7000, 3000-4500-6000, 2700-3700-4700-5700, 3000-5000-7000 등의 CCD 조합으로 실험한 것'이라는 한계점이 있다고 하였다(이진숙 외, 2016). 또한 2001년부터 2014년까지 13편의 뇌파의 색채 반응에 대한 선행연구를 분석한 논문에서도 색채 변인으로 빨강, 주황, 노랑, 초록, 청록, 파랑, 남색, 보라, 흰색 등 관용적인 색채만을 실험함으로써 문제가 있음을 지적한 바 있다(신동준 외, 2017).

2012년 카이스트에서는 초등학생을 대상으로 수리 영역의 문제 풀이 시 6000k 이상의 조명에서 정답률이 17% 향상되었다는 실험 결과를 내었으나 실험에 사용된 문제가 어떤 근거로 도출된 것인지 불분명하다. 한편 수리영역, 암기영역, 예술영역 등 초등학생의 학업 유형에 따라 두뇌활동을 향상시키는 조명의 색온도를 각각 제시한 사례도 있었으나 그 근거 또한 불분명하다(서은지 외, 2016). 2000년 이후 그간의 국내외 연구를 종합하면 학습력이나 주의 집중력이 특정 파장의 뇌파의 효과로만 단정할 수는 없다. 그러나 베타파, 그중에서도 Mid Beta파가 학습의 주의집중력과 밀접하게 연관되어 있다는 것은 여러 실험 연구에서 공통적으로 나타난다.

[표 5] 파장대에 따른 뇌파 종류와 특징

뇌파	주파수	특징
델타파	4Hz 이하	•정상인이 깊은 잠에 빠졌을 때(최윤식, 2014) •각성상태에서 델타파가 높게 발생하면 뇌기능이 저하된 상태를 의미(박병운, 2005)
세타파	4-8Hz	•선잠 든 것 같은 몽롱한 상태 뇌파(신진아, 2016) •쉬운과제 수행 시 전두엽에서 활성화(전현진, 이승환, 2016)
알파파	8-13Hz	•신체적·정신적 안정시 활성화됨(박경신, 구자영, 2007)
베타파	SMR Wave 13-15Hz	•주의를 기울이는 비교적 단순한 과제를 수행할 때 우세한 뇌파(지순덕, 2014)
	M Beta 15-20Hz	•계산이나 암산과 같이 한 가지 주제에 집중하면서 정신 부하가 동반되는 활동을 수행할 때 우세 파(지순덕, 2014) •집중력과 연관성이 높고 그림 자극이 글자 자극보다 집중력을 높이는데 효과적임(이슬이, 2014)
	H Beta 20-30Hz	•흥분, 긴장, 스트레스에 노출시 많이 나타남(김용진, 2000)
감마파	30-50Hz	•고난도 작업으로 스트레스 발생시 활성화됨(박경신, 구자영, 2007) •고도의 인지 정보처리와 관련이 있는 뇌파(김은미, 2013)

이선아, 2021, 참조 편집

일반적인 각성상태에서 베타파는 간단한 집중력이 요구되는 문제를 해결할 뿐만 아니라 논리적 추론, 문제해결 등과 같이 학습활동 및 학습자의 집중력에 직접적으로 관련되어 있다(박상남, 2001). 베타파는 세타파와 함께 주의력 집중지표로 활용되고 있으며(고병진 외 2012; 박경신 외, 2007), 베타파는 13~30Hz 주파수의 파형으로 전두부에서 주로 출현하지만 긴장하거나 집중되는 정신활동 시에는 두뇌 전체에서 광범위하게 나타난다(김대식 외 2001). 베타파는 의사결정, 논리적 추론, 문제해결 등과 관련한 뇌파로 해석하며(강영희, 2015), 정상적으로 깨어있는 의식상태, 언어적 설명을 듣거나 말할 때 주로 발생하는 등 학습능력과 매우 관계가 깊은 것으로 해석된다(황태경, 2012; 최윤식, 2014). 학습에 관여하는 뇌파에 대한 광범위한 실험 연구 중에서 고차인지학습 시 두뇌 부위에 따라 어떤 뇌파가 활성화 되는가를 실험한 것은 측두엽(T4, T5, T6)의 부위 베타파의 증가, 중심엽(Cz, C3)과 두정엽(Pz, P3), 후두엽(O1) 부위 세타파 증가가 관찰되었다. 측두엽(T5, T6)에서는 세타파와 M-베타파가, 중심엽(Cz, C3)과 두정엽(Pz, P3)에서는 세타파가 유의하게 증가하였다(이선아, 2021).

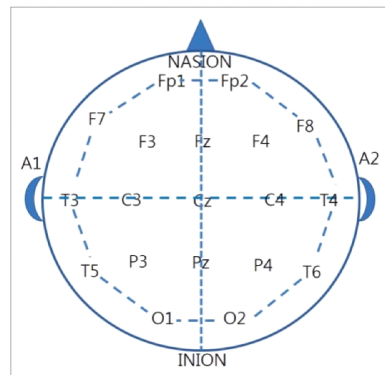
이처럼 학습상태에 영향을 미치는 베타파는 L-beta(SMR), M-beta, H-beta 3가지 범위로 구분하는데 Low Beta(13-15Hz)는 "SMR"로 불리우며 C3, Cz 또는 C4에서 주로 활성화되는 감각 모터 리듬인 hi 알파이다. 주로 신체가 가만히 있을 때 최대로 활성화되며 편안하면서도 집중적이며 통합적인 특징이 있다. 전반적 관심, 주의, 주목 시 관찰되며, 낮은 SMR은 주의력결핍증(ADD: Attention Deficit Disorder)의 특징일 수 있다.

Mid beta(15-20Hz)는 주관적인 느낌과 상태의 사고, 자기 및 주변에 대한 인식, 관련된 작업 및 행동, 정신적 활동과 생리학적 상관 관계, 작업을 수행하는 지역화 된 활동, 비동기화 등의 특징이 있다. 집중적 몰입 시 관찰되는 뇌파이다.

High beta(20Hz 이상)는 긴장, 분노, 스트레스, 흥분 등 매우 빠른 뇌파 단계로 주관적 감정 상태인 각성, 동요에 관찰되는 특징이 있다.

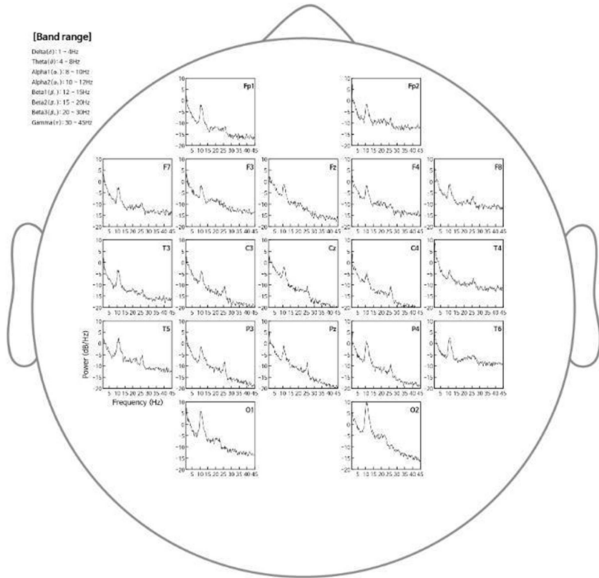
본 연구에서는 9가지 실험 광원이 15~20Hz영역의 Mid beta 파의 활성화에 미치는 영향을 [그림 5]와 같이 10-20 system의 전극 위치를 기준으로 관찰하였다.

2.2 실험데이터의 정량뇌파 분석

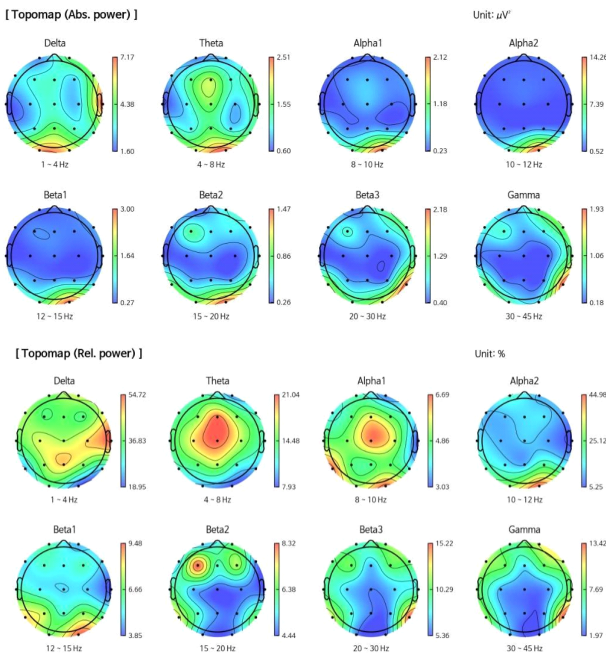


[그림 5] 10-20 SYSTEM의 전극위치

측정된 피험자의 뇌파를 정량뇌파(QEEG) 데이터로 만들기 위해서는 Raw Data 뇌파의 파형을 분석하여 Cleaned data로 수치화한 후 Power Spectrum, Topomap, ICA components 등 시로 분석한 데이터로 뇌파의 특성을 볼 수 있다.



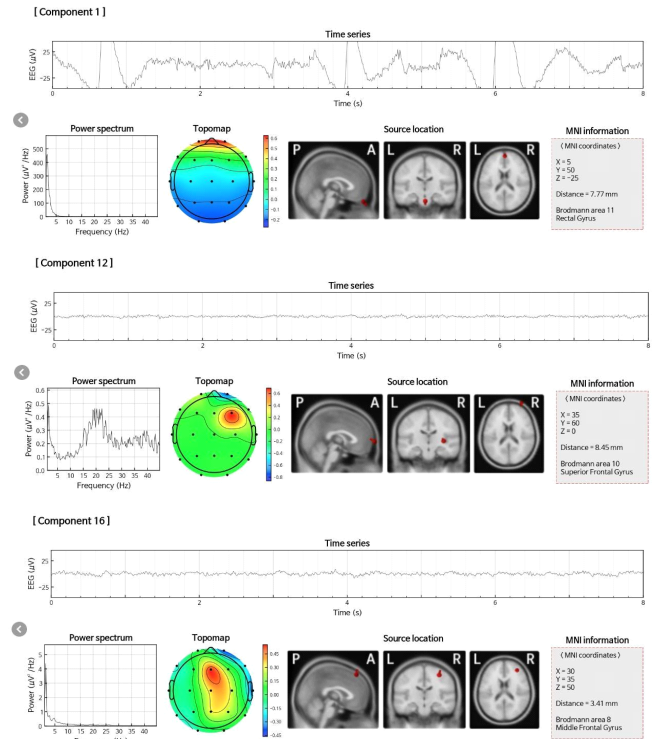
[그림 6] 광색 별 Power Spectrum(L12, 3K사례)¹⁾



[그림 7] 자극원 별 Topomap(L12, 3K사례)²⁾

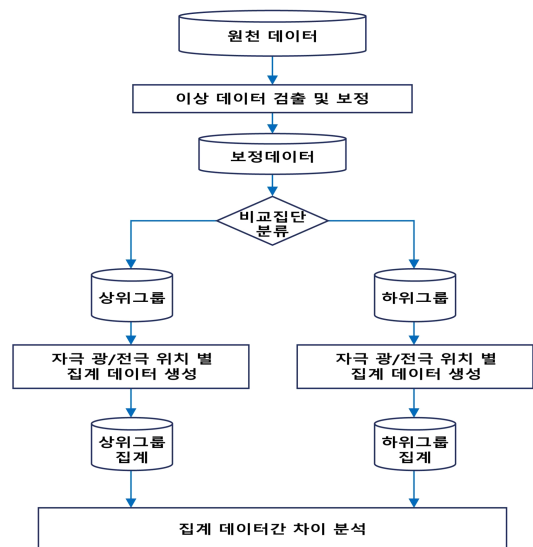
- 1) iSyncBrain의 AI를 활용한 자동 노이즈 제거기술과 표준화된 정량뇌파 분석 프로세스를 활용한 Power Spectrum 정보는 측정된 뇌파의 파장과 강도를 전극별 그래프로 보여주므로 활성화된 뇌 부위의 위치와 뇌파의 유형을 알 수 있다.
- 2) 뇌과학에서 Topographic map은 뇌파의 활성, 비활성 정도에 따라 질병을 진단하거나 자극에 따른 반응 등 뇌의 특성을 관찰하는데 유용한 정보이다.

파워스펙트럼과 토포맵을 비교하여 피험자의 뇌파특성을 구체적으로 볼 수 있으며 자극원에 따라 뇌의 부위별로 정량뇌파의 분포와 활성화 정도를 파악하기 수월하다.



[그림 8] ICA에 의한 피험자 뇌파 특성(L12,3K사례)³⁾

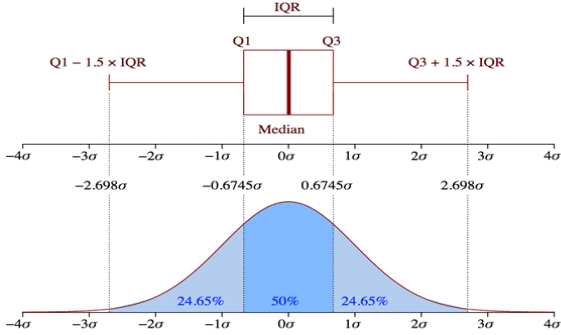
위와 같이 20명의 피험자로부터 측정된 뇌파 기록은 모두 1,799,091개의 정량 데이터로 추출되었고 이중 Mid Beta파 (15~20Hz)에 해당하는 71,820개의 데이터를 대상으로 피험자 20명의 19개 전극에서 측정된 뇌파를 상호 비교하였다.



[그림 9] 정량뇌파 이상치 검출 보정 프로세스

- 3) 독립성분 분석기법에 의해 Raw data의 노이즈를 제거하고 보다 선명한 뇌파 특성과 분석 결과를 얻을 수 있다.

측정된 뇌파는 다중의 신호원이 합쳐져 있고, 여러 노이즈도 포함되어 있어 사건 관련 유발전위 신호 해석에 어려움이 있으므로 정량뇌파 분석의 신뢰도를 높이기 위해 Raw data에서 잡파를 제거한 Cleaned data를 가지고 한 번 더 이상치를 검출하고 검출된 이상치를 평균값으로 보정한 데이터를 최종 적용하였다.



[그림 10] 뇌파의 이상치 검출 보정 방법

[그림 10]과 같이 $Q1 - 1.5 * IQR$ 이하 값과 $Q3 + 1.5 * IQR$ 이상 값은 이상치로 판정하고 추출된 이상치는 평균 값으로 대체하는 방식으로 데이터를 보정하였다.

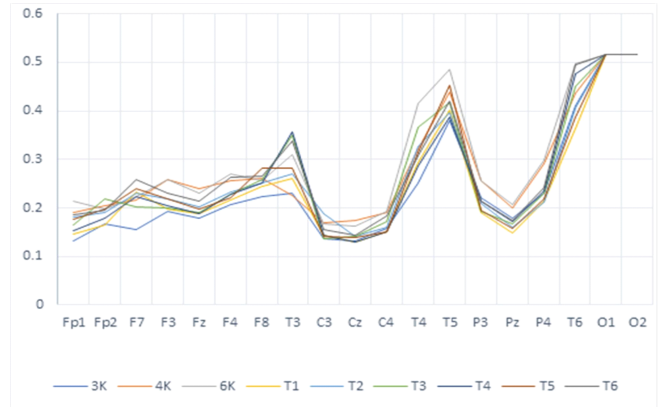
2.3 광색이 미드베타파 활성화에 미치는 영향

Mid Beta파(15~20Hz)에 해당하는 71,820개 QEEG Data에서 이상치를 보정한 후 20명 피험자의 19개 측정 부위에서 검출된 광색별 Mid Beta파의 평균치를 구한 것이 [표 6]이다.4)

[표 6] 9가지 광색의 전극별 Mid-beta파 평균값

Br	3K	4K	6K	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Fp1	0.132243	0.190275	0.213585	0.147093	0.180578	0.163742	0.153958	0.176944	0.187025
Fp2	0.166749	0.203962	0.196878	0.163739	0.190679	0.217593	0.179219	0.197915	0.195526
F7	0.155563	0.217026	0.223841	0.233155	0.230662	0.202473	0.222535	0.239723	0.257842
F3	0.192192	0.259054	0.258551	0.198358	0.219315	0.198919	0.205583	0.218463	0.230097
Fz	0.179924	0.240293	0.231282	0.189168	0.202476	0.190114	0.187293	0.197024	0.214288
F4	0.207167	0.256675	0.270298	0.217385	0.233136	0.22733	0.226949	0.220577	0.262826
F8	0.223426	0.260073	0.255456	0.245101	0.251093	0.259298	0.251554	0.282843	0.265243
T3	0.230324	0.225399	0.310571	0.26189	0.270276	0.350531	0.356938	0.281912	0.338394
C3	0.13725	0.168413	0.167056	0.143131	0.18857	0.137341	0.144056	0.140419	0.15441
Cz	0.132873	0.173257	0.162635	0.129898	0.140613	0.142378	0.129255	0.138747	0.144346
C4	0.156779	0.191473	0.192017	0.15024	0.160008	0.171054	0.151271	0.150875	0.182487
T4	0.25171	0.322703	0.416567	0.29313	0.326774	0.36633	0.286219	0.314662	0.307614
T5	0.379672	0.439923	0.486266	0.402429	0.396339	0.417009	0.38706	0.45238	0.420135
P3	0.221166	0.255445	0.256891	0.190021	0.209223	0.192891	0.213994	0.195508	0.213578
Pz	0.17852	0.200116	0.20609	0.148354	0.160228	0.166061	0.172687	0.158081	0.175022
P4	0.229298	0.2917	0.299467	0.215199	0.212014	0.230319	0.234384	0.219084	0.241338
T6	0.410365	0.435918	0.498061	0.363199	0.40531	0.450394	0.476499	0.387496	0.496018
O1	0.515968	0.515968	0.515968	0.515968	0.515968	0.515968	0.515968	0.515968	0.515968
O2	0.515968	0.515968	0.515968	0.515968	0.515968	0.515968	0.515968	0.515968	0.515968

4) 19개 전극별 Mid Beta파의 평균치는 Raw data에서 노이즈와 잡파를 제거한 Cleaned data를 한 번 더 이상치를 제거한후 보정하여 표로 만든 것이다.



[그림 11] 9개 색광의 전극별 M-beta wave 평균값 그래프

[표 6]의 그래프 [그림 11]에서 볼 수 있는 바와 같이 20명의 피험자 대부분이 특정한 부위의 전극에서 뇌파의 증감이 매우 유사한 패턴을 보여주는 것을 볼 수 있다. 측두엽(T5,T3,T6,T4)과 후두부(O1, O2)에서 특히 높은 강도의 M-beta 파가 검출되었는데, 측두엽 중 T3, T5는 물체에 대한 시각적 인식, 처리통합 및 청각, 시지각의 이해와 관계가 깊은 부위이고 T4, T6는 시각 기억 및 시각화 분류, 공간 및 얼굴 인식, 객체인식(물체에 대한 시각적 인식)과 관계가 깊다. 후두엽의 O1, O2는 시각연관 피질로서 절차적 기억, 시각적 인식, 그림을 인식하고 개체를 올바르게 식별하고 읽고 쓰고 철자를 지정하는데 도움을 주는 영역이다.(Steven Warner, 2013) [그림 11]의 결과는 일반적인 수리문제나 기억학습과 달리 맨사 사고력 문제의 특성상 도형과 추론을 위한 시각적 기억과 분류, 공간 및 객체 인식 등 사고력 문제 풀이를 위해 활성화된 피험자들의 측두엽과 후두부의 공통된 위치에서 자극이 촉진된 이유로 판단된다.

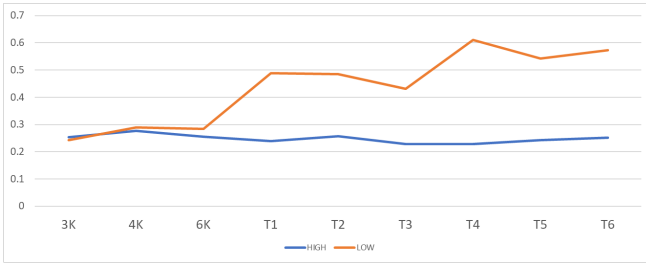
2.4 사고력 수준과 색광 자극의 연관성

20명의 피험자가 실험 중 수행한 맨사 문제 풀이 점수를 기준으로 피험자를 상위 20%, 중위60%, 하위20% 세 그룹으로 분류하고 그중 상위 20%그룹과 하위 20%그룹 간 9가지 색광 자극에 따른 Mid beta파의 활성화 정도를 비교하였다.

[표 7] 상위 20%-하위 20% 그룹간 Mid beta파 활성화 차이

색광종류	상위20%그룹	하위20%그룹
3K	0.252922216	0.241978906
4K	0.277268416	0.28936284
6K	0.255758574	0.284718009
T1	0.239088136	0.488396353
T2	0.257694841	0.484610661
T3	0.228541209	0.43159781
T4	0.228417834	0.611240168
T5	0.241997231	0.542542159
T6	0.250980593	0.572773928

[표 7]의 상위그룹과 하위그룹 간의 Mid beta파 활성화의 차이를 그래프로 나타내면 [그림 12]와 같다.



[그림 12] 상위 20%-하위 20% 간 M-beta파 활성화 비교

사고력 문제해결 능력 상위 20%와 하위 20% 그룹 간의 Mid beta파 활성화 정도를 비교한 결과 뚜렷한 차이가 나타났다.

상위 20%에 해당하는 그룹은 9가지 광색의 종류와 상관없이 Mid beta파가 크게 자극되지 않은 반면, 하위 20% 그룹에서는 T4, T6, T5의 광색이 Mid beta파를 활성화시키는데 효과적이었던 것으로 나타났다. 3000K, 4000K, 6000K의 일반 색온도의 광색은 상위20%, 하위20% 그룹 모두의 Mid beta파 활성화에 유의미한 영향을 나타내지 않았다.

[표 8] 하위20%그룹에서 Mid beta파 활성화 순위5)

실험 조명	Basic		Spectrum		CIE		CRI		RGB Color
	Lux	CCT	λP	λPV	X	Y	CRI	R9	
T4	657.3	6121	455	15.45	0.3152	0.3816	87.5	32.8	Light Green
T6	650.4	5678	455	17.65	0.3282	0.3552	92.1	54.2	Light Green
T5	652.2	6610	455	15.95	0.3020	0.3851	79.7	-16.2	Light Green
T1	653.1	5317	628	15.06	0.3373	0.3752	96.3	98.4	Light Yellow
T2	654.3	4789	628	17.16	0.3529	0.3518	93.3	80.1	Light Orange
T3	653.9	4355	628	18.38	0.3593	0.3382	91.0	73.4	Light Orange
4K	656.4	3844	597	11.44	0.3900	0.3884	83.9	13.8	Light Orange
6K	652.0	5987	455	19.82	0.3217	0.3414	85.5	18.8	Light Orange
3K	662.1	2955	605	13.42	0.4434	0.4113	82.9	7.8	Light Orange

3. 결론

본 연구는 특정한 9가지 LED조명의 광색이 학습상태 정량뇌파(QEEG)의 Mid beta파(15-20Hz) 활성화에 영향을 주는지를 관찰하고 피험자의 어느 뇌 부위에 베타2파(15~20Hz)의 활성화가 나타나는지를 확인하기 위한 것이다. 학습상태의 Task로서 멘사 사고력 문제를 사용하여 실험한 결과, 첫째, 피험자들 모두 광색의 종류와 무관하게 측두엽(T5,T3,T6,T4)과 후두부(O1, O2)에서 Mid beta파의 높은 활성이 관찰되었다.

5) 조광계로 측정된 실험변인의 RGB data 값과 모니터, 또는 지면상에서 보이는 색상은 매우 다를 수 있음.

둘째, 멘사 사고력 문제 풀이 성적 상위 20%, 하위 20% 그룹 간 비교에서 상위 20% 그룹은 9가지 모든 광색 자극에 영향이 없었던데 반해 하위 20% 그룹은 T4, T6, T5, T1, T2, T3 순서로 광색 자극에 따른 Mid beta파의 활성 변화가 관찰되었다. 학습력이 낮은 그룹의 미드베타파 활성화에 영향을 미친 광색은 RGB 비율이 Red보다 Green의 분포가 높거나(T4, T5) Red와 Green이 동일한 비율(T6)이었다.

주의 집중력에 관여하는 Mid beta파의 활성화는 개인의 학습력과 문제 난이도에 대한 인식 정도에 따라 차이가 난다. 실험에서 성적 상위그룹에 비해 하위그룹의 Mid beta파 활성이 크게 나타난 것은 하위 20% 그룹이 상대적으로 문제의 난이도를 높게 인식했기 때문이라 판단된다. 즉, 피험자는 자신의 학습력 수준에 비해 Task의 난이도가 높을수록 Mid beta파의 활성이 촉진되며 이때 광색의 종류에 따라 활성 정도에 영향을 줄 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이는 학습상태 정량 뇌파의 Mid beta파 활성화에 유익한 LED 광색의 기능적 효과를 확인하는 기초연구로서 의의가 있다.

본 연구가 갖는 한계로서 피험자를 학습상태로 몰입시키기 위한 Task로 사용한 멘사 사고력 문제는 객체 인식과 논리적 추론으로 정답을 찾아야 하는 특성으로 모든 학습상태, 주의집중 상황을 대표하는 것은 아니다. 또한 실험을 방해하는 노이즈, 잡파를 방지하기 위한 실험환경을 위해 주의를 기울였음에도 불구하고 개인의 학습경험에 따라 Task를 수행하면서 느끼는 긴장이나 불안감 등 정서적 개입이 뇌파에 영향을 미칠 수 있다. 또한 세타-베타파 비율(TBR)을 ADHD 진단 지표로 활용하는 것 같이 뇌파는 독립적이지 않고 상호작용이 중요하기 때문에 특정한 단일채널 뇌파의 증감만으로 두뇌의 상태를 해석하는 것은 제한적일 수 있다. 실험 결과 도출된 하위 20%그룹에 대한 T4, T6, T5 광색의 Mid beta파 활성화 효과는 이후 세분화된 채널 분석지표를 활용한 후속 연구를 통한 검증이 필요하다.

검증된 연구의 결과는 주의 집중력의 유지를 필요로 하는 검사, 작업환경 등에 적용하거나 학습력이 부진한 청소년, 치매 환자나 발달장애인의 사고력 증진에 도움을 주는 조명환경의 구성에도 활용될 수 있다.

사사: 본 연구는 2020년도 한양여자대학교의 연구지원을 받아 수행되었음(과제번호:2020-2-006)

참고문헌

고병진, 심준영, 2012, "청소년 뇌 발달 프로그램이 집중력 수준에 따른 두뇌 부위별 뇌파 변화와 정신력에 미치는 영향", 청소년시설환경 김대식, 최장욱, 2001, "뇌파검사학", 고려의학, 서울
김병남, 유선국, 2014, "독립성분 분석기법에 의한 집중상태 뇌파의 주파수 요소 특성", 한국산학기술학회논문지 제15권 제4호
김용진, 2000, "학습의 뇌파분석에 기초한 두뇌순환 학습모형의 개발과 과학 학습에의 적용", 서울대학교대학원, 박사

- 박경신, 구자영, 2007, "가상현실 교육설계방식에 따른 학습자 주의와 학습기억에 관한 연구", 정보처리학회논문지
- 박상남, 2001, "신경생리검사학", 고려의학, 서울
- 백승현, 2009, "LED광원의 색온도가 작업자의 시각업 성능 및 선호도에 미치는 영향", 경희대학교 대학원 건축공학과, 석논
- 서은지, 이중엽, 김도형, 이진숙, 2016, "주의집중력에 따른 학습유형별 적정 조명환경 도출에 관한 연구", 한국색채학회 학술발표논문집
- 신동준, 김주연, 2017, 뇌파 선행 실험연구 분석에 의한 색채반응에 관한 연구 한국색채학회논문집, Vol 31, No 4
- 이선아, 2021, "뇌파를 이용한 학습자의 인지학습활동 분석", 충북대학교 대학원, 박논
- 이재원, 2019, "중독과 정량뇌파", 대한신경정신의학회, 58(2)호
- 이진숙, 류지선, 이희원, 2016, "조명의 색채가 뇌파반응에 미치는 영향에 관한 선행연구 분석", 한국색채학회논문집, Vol 30, No2.
- 이진숙, 이희원, 김한나, 류지선, 2014, "청소년의 주의집중력에 따른 Red, Blue, Green, White 색자극에서의 생리반응에 관한 기초연구", 한국색채학회논문집, Vol 28, No1
- 전현진, 이승환, 2016, "학습과 기억의 뇌파", 대한생물정신의학회, Vol 23
- 정희석, 2018, "IES TM-30-15 평가방법 기반의 백색 가변 LED 조명 색 품질 예측모델", 숭실대학 대학원, 박논
- 지순덕, 김채복, 2014, "이완집중 시 LED 조명의 색온도에 따른 학습요인의 뇌파분석", 한국교육시설학회 논문집, 제21권 제6호
- 최윤식, 2014, "호흡명상을 병행한 뉴로피드백 훈련이 뇌 기능 활성화에 미치는 영향", 부산대학교대학원, 박논
- 황태경, 2012, "뇌의 부위별 언어 자극유형에 따른 뇌파 분석 연구", 창원대학교 대학원, 박논
- Christina Artemenko; Mojtaba Soltanlou; Silke M. Bieck; Ann-Christine Ehlis; Thomas Dresler; Hans-Christoph Nuerk, 2019, "Individual Differences in Math Ability Determine Neurocognitive Processing of Arithmetic Complexity: A Combined fNIRS-EEG Study", Frontiers in Human Neuroscience, Vol 13, Article 227
- Onton, J. A. Delorme; Makeig, S., 2005, "Frontal midline EEG dynamics during working memory", Neuroimage
- Ray, W. J.; Cole, H. W., 1985, "EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive process", Science
- Shi Xiong; Chen Cheng; Xia Wu; Xiaojuan Guo; Li Yaob; Jiakai Zhang, 2014, "Working memory training using EEG neurofeedback in normal young adults", Bio-Medical Materials and Engineering 24

접수 : 2023년 8월 11일

1차 심사완료 : 2023년 8월 21일

게재확정일자 : 2023년 8월 21일

3인 익명 심사 필

www.kci.go.kr