



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

EEG 신호의 개인적 특성에 대한 분석



2021년 2월

부경대학교 대학원

전기공학과

정유라

공학석사학위논문

EEG 신호의 개인적 특성에 대한 분석

지도교수 장 윤 석

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2021년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

전 기 공 학 과

정 유 라

정유라의 공학석사 학위논문을 인준함.

2021년 2월 19일



위원장 공학박사 박창현

위원 공학박사 장윤석

위원 공학박사 이용욱



목 차

목 차	i
그림 목 차	iii
표 목 차	iv
Abstract	v
I. 서 론	1
II. 이론적 배경	3
1. 뇌파의 개념	3
2. 뇌파의 측정	5
3. 뇌파의 분석	6
III. 수학적 과제와 음악적 자극과의 상관성에 대한 EEG 신호 분석	8
1. 실험 방법	8
가. 실험 설계	8
(1) 자극 및 과제 제시	8

(2) 실험 절차	9
나. EEG 계측	11
다. 데이터 분석	12
(1) 뇌파 분석	12
(2) 통계적 분석	13
2. 결과	14
가. 암기형 과제 수행 시의 채널별 뇌파 비교	14
나. 절차형 과제 수행 시의 채널별 뇌파 비교	19
다. 청각 자극 종류에 따른 평균 상대 파워 스펙트럼 비교	24
IV. 개인 인증을 위한 EEG 신호 분석	27
1. 실험 방법	27
가. 실험 설계	30
나. EEG 계측	31
다. 데이터 분석	31
(1) 뇌파 분석	31
(2) 통계적 분석	32
2. 결과	34
V. 결 론	39
참 고 문 헌	42

그림 목 차

그림 2.1 10-20 국제 전극 배치법	5
그림 2.2 파워스펙트럼 분석	7
그림 3.1 제시한 암기형 과제 예시	9
그림 3.2 제시한 절차형 과제 예시	9
그림 3.3 뇌파 실험 진행 순서	10
그림 3.4 뇌파 계측에 사용된 전극의 위치	11
그림 3.5 세타파 평균 상대 파워 스펙트럼의 비교	24
그림 3.6 SMR과 평균 상대 파워 스펙트럼의 비교	24
그림 3.7 중간베타파 평균 상대 파워 스펙트럼의 비교	25
그림 3.8 음악적 자극의 유형에 따른 평균 정답률의 비교	26
그림 4.1 개안 상태에서 제시한 시각적 과제	27
그림 4.2 뇌파 실험 진행 순서	28
그림 4.3 뇌파 계측에 사용된 전극의 위치	30
그림 4.4 피험자별 주파수 대역에 대한 변동계수 비교	35
그림 4.5 주파수 대역에 대한 동질적 부분집합	38

표 목 차

표 3.1 암기형 과제 수행 시 Theta과 분석결과	16
표 3.2 암기형 과제 수행 시 SMR과 분석결과	17
표 3.3 암기형 과제 수행 시 Mid-beta과 분석결과	18
표 3.4 절차형 과제 수행 시 Theta과 분석결과	21
표 3.5 절차형 과제 수행 시 SMR과 분석결과	22
표 3.6 절차형 과제 수행 시 Mid-beta과 분석결과	23
표 4.1 뇌파 성분의 주파수 대역	31
표 4.2 두가지 독립변수에 따른 변동계수에 대한 기술통계량	34
표 4.3 요인에 따른 변동계수에 대한 이원분산분석	36
표 4.4 주파수 대역에 대한 동질적 부분집합	37

Analysis of the personal characteristics of EEG signals

Yu Ra Jung

Department of Electrical Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

In this study, we presented the results from the analysis of the EEG signals obtained while the tasks assigned to individuals. To begin with, we observed the change of brain wave activity when subjects were solving mathematical tasks. At this time, the subjects were listening to music presented by auditory stimuli. For this purpose, the EEG signals were measured by selecting music according to the subject's preference. And the relative power spectrum values were compared by dividing the EEG signals into theta waves, SMR waves, and mid-beta waves. These are the brain wave components related to concentration. Nextly, we carried out the experiment to check the frequency band of the EEG signals that can be used for personal authentication. Therefore, the EEG signals were measured by dividing into the open-eye state and the closed-eye state depending on the presence or absence of an optical task. These data were divided into the 7 parts frequency bands : delta waves, theta waves, alpha waves, SMR waves, mid-beta waves, beta waves, and gamma waves. At the same time, the power variability of each frequency band over time was observed. In the above two experiments, we presented the quantitative experimental results according to the statistical tests.

I. 서 론

현재 4차 산업혁명 시대의 도래로 미래의 초연결사회에 대비한 지능정보 기술 활용 시스템의 구현이 진행되고 있다. 인공지능기술과 데이터 활용기술을 융합하여 기계에 고차원적인 정보처리 능력을 구현하는 기술을 지능정보 기술이라고 한다[1]. 지능화 기술의 경쟁력 강화를 위해서는 인공지능(AI), 빅데이터, IoT, 클라우드 등 미래 사회를 주도할 기술력 확보가 필요하다. 4차 산업혁명의 신성장동력으로 주목받고 있는 인공지능의 중요한 방법론 중 하나인 딥러닝(Deep Learning)은 인간의 뇌 신경망 구조를 모방한 인공신경망(ANN)을 기반으로 하는 기술이다. 인공신경망은 인간의 뇌 신경세포가 신호를 전달하는 방식에 따라 개발된 인공지능 기술로[2] 인간의 뇌에 관련된 기초연구가 바탕이 되어야 한다. 고효율, 고성능의 인공지능 시스템을 구현하기 위해서는 인간의 뇌의 작용원리에 대한 연구를 통하여 축적한 지식을 기반으로 한 뇌 기능의 포괄적인 이해가 필요하다.

차세대 첨단 기술의 핵심 요소로 대두되고 있는 인간의 뇌에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 따라서 인간의 두뇌활동에 의해 발생하는 전기적 신호인 뇌파를 측정하여 얻어진 인지 정보를 활용하여 실용적인 응용 분야에 적용하는 기술은 꾸준히 발전하고 있다. 현재, 뇌파 기술은 단순히 사람의 감정이나 기억을 인지에 머물지 않고 넘어 음악, 미술, 게임 등 다양한 분야에서 폭넓게 활용되고 있다[3]. 예를 들면, 음악적 자극 부여가 수영선수의 시합 전 뇌파 변화에 미치는 영향[4], 뇌 교육 프로그램이 아동의 집중력 및 전두부 뇌파 활성화도에 미치는 영향[5], 여대생의 이러닝 학습 태도 변화에 따른 뇌파 분석[6], 뇌파 기반 개인 인증 시스템 개발[7] 등 다양한 영역에서 두뇌 활동에 관한 뇌파 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 개인에게 부여하는 과제를 수행하는 동안 얻어지는 EEG(Electroencephalography) 신호의 특성을 확인하고자 하였다. 시계열 신호로 측정된 뇌파 신호를 파워스펙트럼으로 분석한 데이터로 통계적 검정을 실시하였다. 이와 같이 뇌파 계측 실험을 통해 얻은 뇌파 신호의 특성을 해석함으로써 실생활에 적용 가능한 정량적인 뇌파 분석 결과를 제시하고자 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 3장의 내용은 청각적 자극으로 제시하는 음악을 청취하며 수학적 과제를 해결하는 상황에서의 뇌파 활성화 변화 추이를 관측하는 것이다. 이를 위하여 수학적 과제를 2가지 유형으로 구분하였고, 청각적 자극 또한 개인의 선호도에 따라 선호 음악과 비선호 음악으로 구분하여 분석한 결과를 제시하였다. 4장에서는 EEG 신호의 개인 인증 수단으로써 활용 가능성을 분석하기 위하여 불연속적인 시간에 대한 뇌파의 재현성을 관측하였고, 시간에 따른 절대 파워의 변동의 폭이 작게 나타남으로써 높은 재현성으로 인증 시스템에 적용 가능성이 높은 뇌파 성분에 대한 결과를 제시하였다. 마지막으로 5장에서는 각 장의 연구 내용을 요약 및 정리하였고 최종적인 결과에 대하여 논의하는 내용으로 구성하였다.

II. 이론적 배경

1. 뇌파의 개념

뇌파란 생체 신호 중 하나로 두피에서 자발적으로 발생하는 전위로 뇌 신경세포의 활동에 수반되어 생성되는 전기적 변화를 머리 표면에 부착한 전극에 의해 측정하는 전기신호이다[8]. 1875년 영국의 생리학자 R.케이튼이 처음으로 토끼, 원숭이의 대뇌피질에서 나온 미약한 전기활동을 검류계로 기록한 것이 뇌파의 최초 보고이지만 사람의 뇌파를 최초로 검출한 사람은 Hans Berger이다. 머리에 외상을 입은 환자의 두개골 결손부의 피하에 2개의 백금전극을 삽입하여 기록하였고, 두피에 전극을 얹기만 해도 기록될 수 있다는 것을 관찰하였다. 이것을 심전도(ECG)나 근전도(EMG)와 같이 뇌전도(EEG)라고 명명하였다[9]

두피 상에서 측정되는 뇌파의 전위변동은 약 1~60Hz의 주파수와 5~300 μV (보통 20~100 μV)의 전위변동을 나타낸다. 뇌파는 어떠한 질병을 찾아내는 것이 아니라, 뇌의 기능적 변화를 나타내는 것이다. 뇌파 상의 변화를 주는 요인은 개인차, 연령, 의식상태의 변화, 정신 활동 및 지각 자극, 신체의 생리적 변화, 뇌내 병적 과정 혹은 질환 상태 등이 있다[10].

뇌파를 구성하는 요소에는 주파수, 진폭, 출현 양상 등이 있으며, 일반적으로 뇌파를 해석하기 위해서는 신호를 각각의 주파수 성분으로 분해하여 분석하는 방법을 주로 사용한다. 현재 뇌파는 주파수 대역에 따라서 3Hz 이하를 델타(Delta)파, 4~7Hz를 세타(Theta)파, 8~13Hz를 알파(Alpha)파, 14~30Hz를 베타(Beta)파, 30~50Hz를 감마(Gamma)파로 구분하여 분류한다.

델타파는 진폭이 $100\sim 200\mu V$ 로 뇌파 중에서 가장 크고 불규칙하며 서파(slow wave)라고 불린다. 신생아와 유아, 정신적인 성인의 깊은 수면, 무의식 상태와 관련이 깊으며, 유아기에 각성할 시 감지되는 뇌파이다. 특히 느린 진동으로 나타나며 졸리거나 수면, 마취, 의식이 낮은 상태일 때 특히 전두엽 부근에서 나타나고 안구 운동으로 인해 전방 전두부에서 활성이 높게 나타난다.

세타파는 정서적으로 안정적인 상태나 졸리거나 휴식을 취할 때 나타나는 것으로 알려져 있으며, 잠에 빠져들거나 꿈을 꾸고 있는 동안이나 명상, 초능력, 불안 해소, 창의력 등의 경우 나타나는 파장이다. 주의에 대해 흥미를 갖는 행동을 할 경우와 흥분상태나 얕은수면 상태일 경우 발생하며, 졸음파라고 불린다.

알파파는 정상 성인의 각성, 안정, 눈을 감은 상태에서 잘 나타나며 $20\sim 60\mu V$ 의 진폭을 보인다. 명상파 또는 안정파라고 불리며, 주로 후두부에서 각성이 나타난다. 눈을 뜨거나 흥분상태에 이르게 되거나 불안, 스트레스, 암산 등의 정신 활동을 하면 소실되며, 뇌의 상태가 이완, 평안, 흥분억제 그리고 새로운 정보를 받아들일 때 발생이 증가한다.

베타파는 진폭이 $20\mu V$ 이하로 전두엽, 두정엽, 측두엽에 나타난 보고가 있으며 특히 불안, 긴장, 암산 등의 정신 활동이나 자극, 통증 등 흥분할 때 나타나는 뇌파이다. 베타파는 뇌의 감각운동피질에서 발견되었기 때문에 SMR(Sensory Motor Rhythm)파 라고 하며, 특징은 감각 운동 영역에서만 나타나며 주의 집중과 관련이 있다고 알려져 있다. 특히 육체적 움직임을 위해 휴식, 긴장, 이완 대기 상태일 경우 발생한다.

감마파는 $2\sim 20\mu V$ 의 진폭을 보이며, 극도의 각성과 흥분, 초조, 긴장, 불안 및 스트레스를 받을 시 나타난다고 알려져 있으며 고도의 복합정신기능을 수행할 때에도 나타난다[11].

2. 뇌파의 측정

뇌는 해부학적 위치에 따라 그 기능이 다르다고 알려져 있기 때문에 뇌의 해부학적 위치에 따른 뇌 기능의 이해와 올바른 측정이 필요하다[12]. 일반적으로 뇌파를 기록하기 위해서 사용되는 두피 전극 부착 부위는 그림 2.1과 같은 10-20 국제 전극 배치법(International 10-20 system)을 따른다. 이는 머리를 위와 옆면에서 본 것으로 각 전극 간의 비율이 두정부에서 앞으로는 비근부, 뒤로는 후두극, 옆으로는 귓바퀴의 윗부분까지를 각각 50으로 했을 때, 20%, 20%, 10%의 비율로 전후, 좌우의 간격이 같도록 분산하여 배치한 전극 부착 방법이다. 영문자는 각각 전두부(Frontal), 두정부(Parietal), 측두부(Temporal), 후두부(Occipital)를 의미하며, Fp는 전전두부(Frontal Pole)를 의미한다.

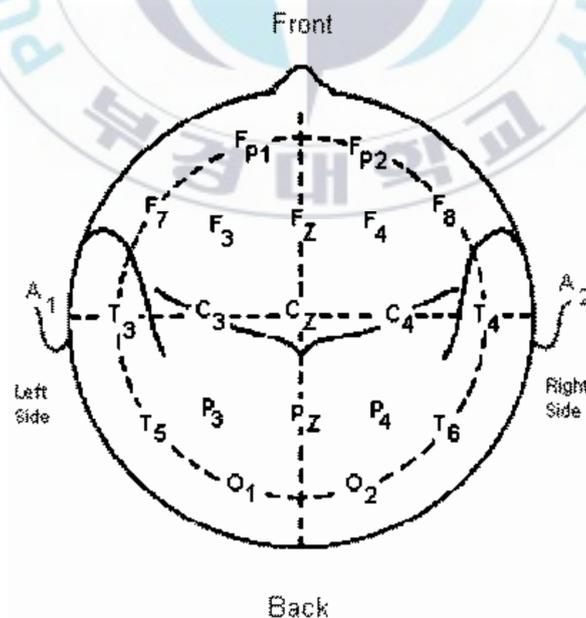


그림 2.1 10-20 국제 전극 배치법

3. 뇌파의 분석

뇌파에 반영되는 뇌의 전기적 활동은 신경세포, 교세포, 혈뇌장벽에 의해 결정되며, 주로 신경세포에 의해 발생한다. 교세포와 혈뇌장벽에 의한 뇌파의 변화는 조금씩 천천히 일어나며, 이에 비해 신경세포의 활동에 의한 뇌파의 변화는 크고 빠르게 다양하게 발생한다. 이렇게 발생한 뇌파는 매우 복잡한 패턴으로 진동하는 파형 형태를 보인다. ‘따라서 뇌파 신호는 일반적으로 매우 느리게 진동하는 성분부터 아주 빠르게 진동하는 성분까지 여러 가지 성분들의 합으로 가정할 수 있다. 뇌파 데이터는 시간에 따라 변화하는 시계열 데이터로 측정되는데 시간에 따른 변화양상을 관찰하기에는 편리하지만, 시간 영역에서 분석하는 것만으로 충분하지 않은 경우가 대부분이다. 시계열 데이터를 주파수 영역으로 변환하면 신호의 주파수 성분을 파악할 수 있는데 시간 영역의 데이터를 주파수 영역으로 변환하는 과정을 FFT(Fast Fourier Transform) 라고 한다. 뇌파 파형 그대로를 시각적으로 관찰하는 것은 유용하지 않기 때문에 뇌파를 관찰할 때 주파수에 따라 분류하는 파워스펙트럼 분석을 이용한다. 파워스펙트럼 분석을 통해 측정된 뇌파 속에 각 진동성분이 얼마만큼의 비중을 차지하고 있는지를 정량적으로 파악할 수 있다.

그림 2.2에서 수평축은 진동의 빠르기를 나타내는 주파수이며, 수직 방향의 막대그래프 높이는 해당 주파수 성분이 출현한 정도를 나타내는 파워값이다. 해당 주파수 영역에 속하는 막대그래프 높이의 합을 해당 영역의 절대파워(Absolute Power)라고 부르며, 전체 영역에 대한 해당 영역의 진동성분이 출현한 상대적인 비율을 나타내는 값을 상대파워(Relative Power)라고 부른다. 실험 시 피험자의 두피 두께, 머리뼈 두께 등에 따라 뇌파 파형의 진폭의 크기가 조금씩 달라지며 이러한 전반적인 진폭의 크기는 절대파워의 값에 영향을 주게 된다. 이러한 이유로 여러 피험자를 대상으로 하는 실험시

에는 절대파워의 개인별 편차가 크게 되어 상대파워값도 함께 사용하는 것이 좋다. 절대파워 값의 단위는 μV^2 이며, 상대파워값은 단위가 없는 비율이기 때문에 0~1 사이의 값을 나타낸다[12].

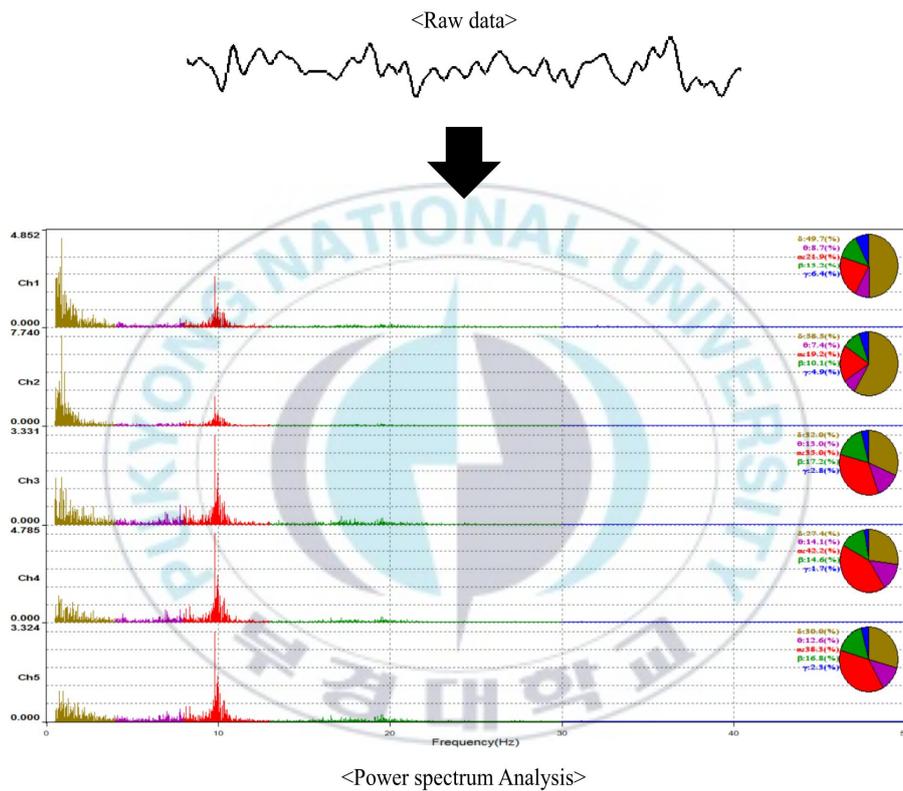


그림 2.2 파워스펙트럼 분석

III. 수학적 과제와 음악적 자극과의 상관성에 대한 EEG 신호 분석

1. 실험 방법

가. 실험 설계

(1) 자극 및 과제 제시

본 연구에서는 학습활동 시 청각 자극에 의한 인간의 집중도 변화 추이를 관측하기 위한 실험을 수행하였다. 음악은 구조와 에너지 성향에 따라 사람을 각성시키거나 이완시키기도 한다[13]. 음악에 대한 개인의 반응은 음악이 지닌 구조적 특성과 더불어 개인별 선호도나 취향에 따라 달라질 수 있다 [14]. 따라서 음악에 의해 유발되는 개인의 정서적 반응 역시 고려되어야 할 것으로 추정된다. 본 연구에서 제시되는 청각 자극은 사전에 수집된 피험자 별 선호 음악과 이와 반대되는 구조적 성격을 가지는 비선호 음악으로 구분하였다. 선호 음악으로는 개인별로 발라드 계열의 가요를 제시하였고, 비선호 음악으로는 프리재즈 음악이 사용되었다.

피험자가 학습활동을 하는 상황을 구성하기 위하여 수학적 과제를 제시하였으며, 과제를 해결하기 위해 요구되는 피험자들의 인지적 사고 수준에 따라서 분류된 과제 중 2가지의 유형을 선정하였다. 본 연구에서는 이전에 학습한 공식 및 정의 등을 재생하여 절차를 사용하지 않고 해결하는 암기형 과제와 문제 해결에 필요한 절차를 사용하기 위해 인지적 노력이 필요한 절차형 과제를 피험자에게 제시하여 해결하도록 하였다[15].

그림 3.1 및 3.2는 피험자에게 제시한 암기형 과제와 절차형 과제의 예시를 나타낸 것이다.

※ 다음 과제를 해결하십시오.

① $5 \div \frac{1}{3}$ ② $13 \div \frac{1}{6}$ ③ $\frac{1}{6} \div \frac{1}{3}$ ④ $\frac{3}{7} \div \frac{13}{4}$ ⑤ $\frac{5}{32} \div \frac{1}{7}$

그림 3.1 제시한 암기형 과제 예시

※ 다음 분수의 혼합계산을 한 후, 값이 큰 차례대로 나열하십시오.

Ⓐ $13 + 45 \div \frac{1}{3}$ Ⓑ $10\frac{2}{5} \times \frac{1}{6} + 22$ Ⓒ $6 \div \frac{1}{3} - 13$
 Ⓓ $5\frac{4}{9} - 2 \times \frac{1}{3}$

그림 3.2 제시한 절차형 과제 예시

(2) 실험 절차

피험자는 청각 자극 제시에 문제가 없으며, 정신적 병력이 없는 건강한 만 19세에서 23세 사이의 남자 6명, 여자 6명 총 12명을 선정하였다. 실험 중에는 움직임에 의한 잡음을 최소화하기 위해서 피험자에게 과제 해결 목적 이외의 불필요한 움직임을 자제하도록 주의사항을 전달하였다. 실험 이외의 자극이 없는 상태에서 과제에 집중할 수 있도록 외부 소음이 차단된 공간에서 실험을 수행하였으며, 청각 자극은 헤드폰을 통하여 피험자에게 제시되었다.

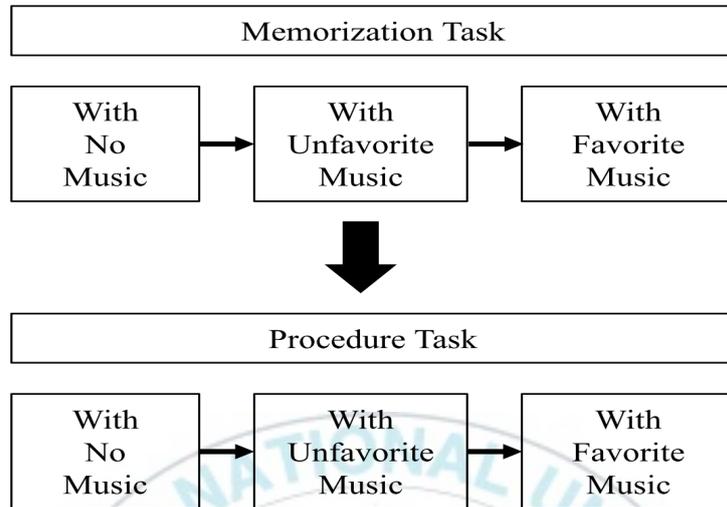


그림 3.3 뇌파 실험 진행 순서

그림 3.3은 뇌파 실험을 수행한 순서를 나타내는 것이다. 실험을 수행하기 전 피험자들이 선호하는 음악을 사전에 조사하였는데, 12명의 피험자 모두 발라드 계열의 음악을 선호함을 확인하였다. 또한, 각 피험자의 선호하는 음악의 곡명을 조사하여 개인별로 선호 음악을 준비하였다. 세부적인 실험 과정은 다음과 같다. 음악적 자극은 무음악, 비선호 음악, 선호 음악의 순서로 제시하였으며, 각각의 음악적 자극은 3분간 제시하였다. 인지적 요구 수준이 상대적으로 낮은 수학적 과제인 암기형 과제를 제시하면서 음악적 자극을 순서대로 제시한 상황에서 과제를 해결하도록 하였으며, 다음에는 이와 동일한 조건으로 수학적 과제를 절차형 과제로 바꾸어 제시한 상황에서 뇌파 계측 실험을 수행하였다. 하나의 수학적 과제 당 실험 시간은 9분이며, 별도의 휴식 시간을 제공하지 않아 총 18분 동안 뇌파 계측 실험을 실행하였다.

나. EEG 측정

뇌파측정용 기기는 LAXTHA의 32채널 전산화 유선 뇌파 측정 시스템 WEEG-32를 사용하였고, 데이터 수집 및 분석 소프트웨어 텔레스칸 (Telescan)을 이용하여 뇌파 신호를 실시간으로 기록 및 저장하였다. 피험자의 뇌파 측정을 위해서는 국제적으로 공인된 10-20 국제 전극 배치법의 기준에 의해서 뇌파 전극을 부착하는 위치를 정하였다. 피험자의 두피 총 8부위에서 뇌파를 측정하였고, 전두엽 부위인 F_{p1} , F_{p2} , F_3 , F_4 및 F_z 와 두정엽 부위인 C_3 , C_4 및 C_z 의 위치에 측정 전극을 부착하였다. 기준전극은 A_2 , 접지전극은 목덜미에 부착하였다. 그림 3.4는 피험자에게 부착한 전극의 위치를 나타내는 것이다.

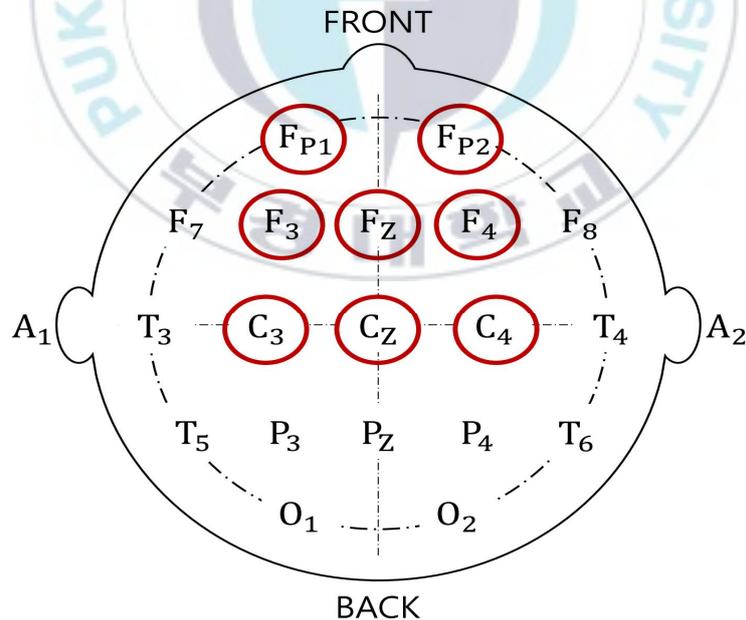


그림 3.4 뇌파 측정에 사용된 전극의 위치

다. 데이터 분석

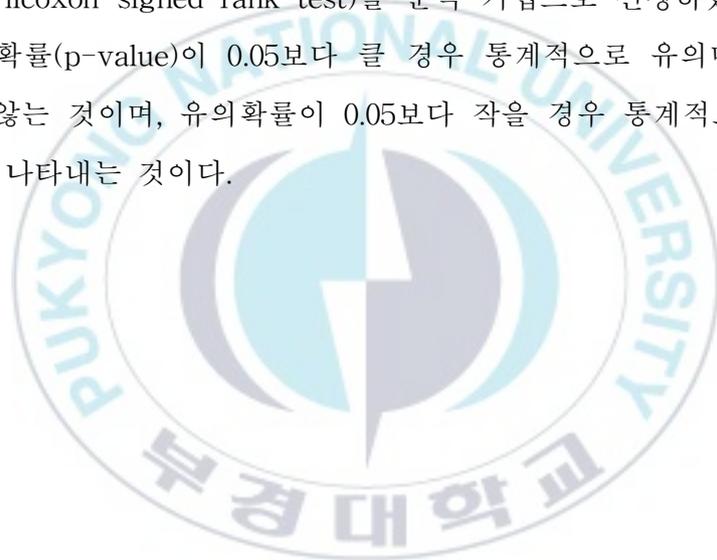
(1) 뇌파 분석

수집된 피험자의 뇌파를 데이터 분석 프로그램 텔레스캔(Telescan)을 사용하여 상대 파워 스펙트럼으로 분석하여 비교하는 것을 기본적인 분석 방법으로 사용하였다. 계측된 뇌파 데이터는 저장된 CDF 파일을 TXT 파일로 변환한 후 EXCEL 프로그램을 활용하여 분석하였다. 본 연구에서는 음악적 자극 제시 상황에 따라 수학적 과제를 수행하는 동안 인간의 두뇌 활동을 관측하기 위한 실험을 진행하였으므로 인간의 집중과 관련이 있는 3가지 주파수 대역의 뇌파 성분을 분석 대상으로 선정하였다. 따라서, 뇌파를 고속 푸리에 변환(FFT : Fast Fourier Transform)을 이용하여 4~7Hz의 세타파, 12~15Hz의 SMR(Sensory Motor Rhythm)파, 15~18Hz의 중간베타파로 구분하여 분석하였다. 각각의 대역으로 구분된 뇌파 신호는 채널별로 전체 주파수 영역의 파워에 대한 각 주파수 대역 성분의 파워의 비로 정의되는 상대 파워 스펙트럼으로 분석한다. 식 (3.1)은 계측에 사용된 모든 채널의 파워 평균인 평균 파워 스펙트럼으로 나타나며, P_{avg} 는 평균 상대 파워, $P(f)$ 가 채널별 상대 파워 스펙트럼값, N 이 뇌파 계측에 사용된 채널의 수이다.

$$P_{avg} = \frac{1}{N} \int_{ch1}^{chN} P(f) df \dots\dots\dots \text{식 (3.1)}$$

(2) 통계적 분석

본 연구에서는 주파수 대역에 따라 무음악, 비선호 음악 및 선호 음악 사이의 평균이 통계적으로 유의미한 차이가 있는지 분석하였다. 데이터를 분석하기 위하여 사용한 통계 분석 프로그램은 IBM SPSS Statistics 25이다. 피험자로부터 측정된 생체 신호는 데이터 정규성 검정 결과 모두 정규 분포를 만족하지 않아 비모수 검정을 실시하였다. 음악적 자극의 종류가 피험자의 두뇌 활성화에 미치는 효과를 검증하기 위하여 윌콕슨 부호순위 검정(Wilcoxon signed rank test)을 분석 기법으로 선정하였다. 일반적으로 유의확률(p-value)이 0.05보다 클 경우 통계적으로 유의미한 차이를 나타내지 않는 것이며, 유의확률이 0.05보다 작을 경우 통계적으로 유의미한 차이를 나타내는 것이다.



2. 결과

가. 암기형 과제 수행 시의 채널별 뇌파 비교

표 3.1, 3.2 및 3.3은 청각 자극으로 무음악, 비선호 음악, 선호 음악을 제시하고, 수학적 과제로 암기형 과제를 수행하도록 하여 측정한 세타파, SMR파 및 중간베타파의 채널별 평균을 분석한 결과를 나타낸 것이다. 청각 자극으로 제시한 음악의 종류가 무음악과 선호 음악인 경우, 무음악과 비선호 음악인 경우 및 선호 음악과 비선호 음악인 경우로 나누어 3가지 경우에서의 결과를 제시하였다.

표 3.1에 따르면, 무음악과 비선호 음악의 관계, 무음악과 선호 음악의 관계, 선호 음악과 비선호 음악의 관계 모두 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 무음악인 경우보다 비선호 음악이나 선호 음악과 같이 음악이 제시된 경우에서의 세타파 수치가 높은 것으로 나타났으며, 비선호 음악보다는 선호 음악의 경우의 세타파 평균이 높은 것으로 관측되었다.

표 3.2에 따르면, 무음악과 선호음악의 관계에서는 전두엽 부위인 F_4 에서만 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다. 하지만, 무음악과 비선호음악의 관계, 선호음악과 비선호 음악의 관계에서는 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 표 3.2의 결과를 종합하면, 선호음악이 청각 자극으로 제시된 경우가 무음악인 경우보다 SMR파의 수치가 높은 것으로 관측되었다. 그리고, 무음악인 경우보다 비선호 음악이 제시된 경우에서의 SMR파 평균이 높은 것으로 나타났으며, 선호음악과 비선호 음악의 SMR파 평균은 비슷한 수치로 나타났다.

표 3.3에 따르면, 무음악과 비선호 음악의 관계, 무음악과 선호 음악의

관계, 선호 음악과 비선호 음악의 관계 모두 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만, 청각 자극으로 음악이 제시되지 않은 경우보다 비선호 음악이나 선호 음악과 같이 음악이 제시된 경우에서의 중간베타파 수치가 높은 것으로 나타났다. 선호 음악과 비선호 음악의 중간베타파 평균은 비슷한 것으로 관측되었다.

암기형 과제를 수학적 과제로 제시한 경우의 결과를 종합하면, 음악이 제시되지 않은 경우보다 선호 및 비선호 음악과 같이 음악이 제시된 경우의 파워가 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 그리고, 음악의 선호도에 따라서는 세타파의 경우에는 선호음악의 파워가 높은 것으로 나타났지만, SMR 파 및 중간베타파의 경우에는 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다.



channel	M	SD	M	SD	Z	p-value
	unfavorite		no-music			
F_{p1}	0.9974	0.0043	0.9949	0.0093	-0.628	0.530
F_{p2}	0.9975	0.0031	0.9962	0.0079	-0.235	0.814
F_3	0.9971	0.0034	0.9935	0.1665	-0.078	0.937
F_z	0.9975	0.0032	0.9955	0.0101	-0.235	0.814
F_4	0.9972	0.0032	0.9931	0.0163	-0.628	0.530
C_3	0.9976	0.002	0.9935	0.0145	-0.628	0.530
C_z	0.9971	0.0027	0.9927	0.0196	-0.235	0.814
C_4	0.9971	0.004	0.9929	0.0184	-0.549	0.583
	favorite		no-music			
F_{p1}	0.9985	0.0014	0.9949	0.0093	-0.392	0.695
F_{p2}	0.9984	0.0012	0.9962	0.0079	-0.549	0.583
F_3	0.9983	0.0012	0.9935	0.1665	-0.392	0.695
F_z	0.9982	0.001	0.9955	0.0101	-0.392	0.695
F_4	0.9979	0.0016	0.9931	0.0163	-0.784	0.433
C_3	0.9985	0.0007	0.9935	0.0145	-1.804	0.071
C_z	0.9978	0.0028	0.9927	0.0196	-0.78	0.937
C_4	0.9977	0.0022	0.9929	0.0184	-0.392	0.695
	favorite		unfavorite			
F_{p1}	0.9985	0.0014	0.9974	0.0043	0.000	1.000
F_{p2}	0.9984	0.0012	0.9975	0.0031	-0.235	0.814
F_3	0.9983	0.0012	0.9971	0.0034	-0.314	0.754
F_z	0.9982	0.001	0.9975	0.0032	0.000	1.000
F_4	0.9979	0.0016	0.9972	0.0032	-0.157	0.875
C_3	0.9985	0.0007	0.9976	0.002	-1.647	0.099
C_z	0.9978	0.0028	0.9971	0.0027	-0.784	0.433
C_4	0.9977	0.0022	0.9971	0.004	-0.471	0.638

*p<0.05

표 3.1 암기형 과제 수행 시 Theta파 분석결과

channel	M	SD	M	SD	Z	p-value
	unfavorite		no-music			
F_{p1}	0.9983	0.0012	0.9935	0.0149	-0.392	0.695
F_{p2}	0.9979	0.0033	0.9929	0.0165	-0.078	0.937
F_3	0.9986	0.0008	0.9923	0.0212	-0.706	0.480
F_z	0.9985	0.0008	0.9927	0.0198	-0.392	0.695
F_4	0.9986	0.0007	0.9916	0.0224	-0.784	0.433
C_3	0.9985	0.0015	0.9927	0.0167	-0.941	0.347
C_z	0.9985	0.001	0.9924	0.0207	0.000	1.000
C_4	0.9985	0.0009	0.9923	0.0212	-0.235	0.814
	favorite		no-music			
F_{p1}	0.9982	0.0019	0.9935	0.0149	-1.177	0.239
F_{p2}	0.9987	0.0008	0.9929	0.0165	-1.334	0.182
F_3	0.9987	0.0009	0.9923	0.0212	-1.412	0.158
F_z	0.9986	0.0008	0.9927	0.0198	-0.941	0.347
F_4	0.9989	0.0007	0.9916	0.0224	-3.059	0.002*
C_3	0.9984	0.0013	0.9927	0.0167	-1.412	0.158
C_z	0.9984	0.001	0.9924	0.0207	-0.314	0.754
C_4	0.9989	0.0005	0.9923	0.0212	-1.334	0.182
	favorite		unfavorite			
F_{p1}	0.9982	0.0019	0.9983	0.0012	-0.549	0.583
F_{p2}	0.9987	0.0008	0.9979	0.0033	-0.314	0.754
F_3	0.9987	0.0009	0.9986	0.0008	-0.157	0.875
F_z	0.9986	0.0008	0.9985	0.0008	-0.392	0.695
F_4	0.9989	0.0007	0.9986	0.0007	-0.941	0.347
C_3	0.9984	0.0013	0.9985	0.0015	-0.314	0.754
C_z	0.9984	0.001	0.9985	0.001	-0.157	0.875
C_4	0.9989	0.0005	0.9985	0.0009	-1.334	0.182

*p<0.05

표 3.2 압기형 과제 수행 시 SMR파 분석결과

channel	M	SD	M	SD	Z	p-value
	unfavorite		no-music			
F_{p1}	0.9986	0.0006	0.9944	0.0121	-0.235	0.814
F_{p2}	0.9988	0.0006	0.9943	0.0143	-0.157	0.875
F_3	0.9987	0.0005	0.9950	0.0142	-0.549	0.583
F_z	0.9988	0.0008	0.9922	0.0208	-0.549	0.583
F_4	0.9990	0.0007	0.9959	0.0113	-0.549	0.583
C_3	0.9987	0.0006	0.9947	0.0127	-0.784	0.433
C_z	0.9987	0.0005	0.9949	0.0147	-0.706	0.480
C_4	0.9988	0.0008	0.9950	0.0132	-0.471	0.638
	favorite		no-music			
F_{p1}	0.9987	0.0010	0.9944	0.0121	-0.941	0.347
F_{p2}	0.9986	0.0010	0.9943	0.0143	-0.235	0.814
F_3	0.9988	0.0006	0.9950	0.0142	-0.078	0.937
F_z	0.9988	0.0006	0.9922	0.0208	-1.020	0.308
F_4	0.9985	0.0008	0.9959	0.0113	-0.863	0.388
C_3	0.9988	0.0008	0.9947	0.0127	-0.941	0.347
C_z	0.9989	0.0007	0.9949	0.0147	-0.078	0.937
C_4	0.9988	0.0009	0.9950	0.0132	-0.706	0.480
	favorite		unfavorite			
F_{p1}	0.9987	0.0010	0.9986	0.0006	-0.863	0.388
F_{p2}	0.9986	0.0010	0.9988	0.0006	-0.314	0.754
F_3	0.9988	0.0006	0.9987	0.0005	-0.078	0.937
F_z	0.9988	0.0006	0.9988	0.0008	-0.392	0.695
F_4	0.9985	0.0008	0.9990	0.0007	-1.177	0.239
C_3	0.9988	0.0008	0.9987	0.0006	-0.078	0.937
C_z	0.9989	0.0007	0.9987	0.0005	-0.784	0.433
C_4	0.9988	0.0009	0.9988	0.0008	-0.235	0.814

*p<0.05

표 3.3 압기형 과제 수행 시 Mid-beta파 분석결과

나. 절차형 과제 수행 시의 채널별 뇌파 비교

표 3.4, 3.5 및 3.6은 청각 자극으로 무음악, 비선호 음악, 선호 음악을 제시하고, 수학적 과제로 절차형 과제를 수행하도록 하여 측정한 세타파, SMR파 및 중간베타파의 채널별 평균을 분석한 결과를 나타낸 것이다. 청각 자극으로 제시한 음악의 종류가 무음악과 선호 음악인 경우, 무음악과 비선호 음악인 경우 및 선호 음악과 비선호 음악인 경우로 나누어 3가지 경우에서의 결과를 제시하였다.

표 3.4에 따르면, 무음악과 비선호 음악의 관계에서는 C_3 에서만 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났으며, 비선호 음악이 청각 자극으로 제시된 경우가 무음악인 경우보다 세타파의 평균이 높은 것으로 나타났다. 무음악과 선호 음악의 관계에서는 F_{p1} 및 F_{p2} 채널을 제외한 전 채널에서 세타파의 파워가 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 유의미한 차이가 있는 것으로 나타난 채널은 모두 음악이 없는 경우보다 선호 음악이 제시된 경우에서의 세타파 평균이 높은 것으로 나타났다. 선호 음악과 비선호 음악의 관계에서는 세타파의 평균 파워가 비슷한 것으로 관측되었다.

표 3.5에 따르면, 무음악과 선호 음악의 관계에서는 F_{p1} 및 F_3 채널에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다. 두 채널을 제외한 6개의 채널에서는 유의미한 차이가 나타나지는 않았지만, 선호 음악이 제시된 경우가 음악이 없는 경우보다 SMR파의 파워가 높은 것으로 나타났다. 무음악과 비선호 음악의 관계 및 선호 음악과 비선호 음악의 관계에서는 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만, 모든 채널에서 비선호 음악이 무음악에 비해 SMR파 파워가 높게 나타났으며, C_2 채널을 제외하고는 선호 음악이 비선호 음악보다 SMR파 파워가 높은

것으로 나타났다.

표 3.6에 따르면, 무음악과 비선호 음악의 관계에서는 F_{p1} 및 F_3 채널에서만 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다. 두 채널을 제외한 6개의 채널에서는 유의미한 차이가 나타나지는 않았지만, 비선호 음악이 제시된 경우가 음악이 없는 경우에 비해서 중간베타파의 파워가 높은 것으로 나타났다. 무음악과 선호 음악의 관계 및 선호 음악과 비선호 음악의 관계에서는 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만, 무음악인 경우보다 비선호 음악이 파워가 높게 나타났으며, 선호도에 따라서는 선호 음악의 중간베타파 파워가 높은 것으로 나타났다.

절차형 과제를 수학적 과제로 제시한 경우의 결과를 종합하면, 전체적으로 음악이 제시되지 않은 경우에 비해서 선호 및 비선호 음악과 같이 음악이 제시된 경우의 파워가 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 그리고 음악의 선호도에 따라서는 세타파를 제외한 두 개의 뇌파 성분에서 선호 음악의 파워가 비선호 음악의 파워에 비해서 높은 것으로 나타났다.

channel	M	SD	M	SD	Z	p-value
	unfavorite		no-music			
F_{p1}	0.9983	0.0023	0.9983	0.0014	-0.628	0.530
F_{p2}	0.9986	0.0021	0.9976	0.0024	-1.177	0.239
F_3	0.9988	0.0005	0.9981	0.0014	-1.647	0.099
F_z	0.9986	0.0010	0.9977	0.0018	-0.863	0.388
F_4	0.9988	0.0006	0.9968	0.0028	-1.804	0.071
C_3	0.9988	0.0006	0.9977	0.0015	-2.040	0.041*
C_z	0.9985	0.0011	0.9979	0.0015	-0.863	0.388
C_4	0.9988	0.0007	0.9976	0.0019	-1.804	0.071
	favorite		no-music			
F_{p1}	0.9988	0.0007	0.9983	0.0014	-1.098	0.272
F_{p2}	0.9987	0.0009	0.9976	0.0024	-1.804	0.071
F_3	0.9991	0.0004	0.9981	0.0014	-2.275	0.023*
F_z	0.9991	0.0005	0.9977	0.0018	-2.197	0.028*
F_4	0.9987	0.0009	0.9968	0.0028	-2.353	0.019*
C_3	0.9991	0.0006	0.9977	0.0015	-2.746	0.006*
C_z	0.9990	0.0005	0.9979	0.0015	-2.040	0.041*
C_4	0.9990	0.0007	0.9976	0.0019	-2.353	0.019*
	favorite		unfavorite			
F_{p1}	0.9988	0.0007	0.9983	0.0023	-0.157	0.875
F_{p2}	0.9987	0.0009	0.9986	0.0021	-0.314	0.754
F_3	0.9991	0.0004	0.9988	0.0005	-0.784	0.433
F_z	0.9991	0.0005	0.9986	0.0010	-1.804	0.071
F_4	0.9987	0.0009	0.9988	0.0006	-0.235	0.814
C_3	0.9991	0.0006	0.9988	0.0006	-0.784	0.433
C_z	0.9990	0.0005	0.9985	0.0011	-1.490	0.136
C_4	0.9990	0.0007	0.9988	0.0007	-0.863	0.388

*p<0.05

표 3.4 절차형 과제 수행 시 Theta파 분석결과

channel	M	SD	M	SD	Z	p-value
	unfavorite		no-music			
F_{p1}	0.9986	0.0010	0.9979	0.0013	-1.255	0.209
F_{p2}	0.9986	0.0008	0.9980	0.0014	-1.020	0.308
F_3	0.9985	0.0008	0.9977	0.0015	-1.569	0.117
F_z	0.9986	0.0009	0.9979	0.0015	-1.255	0.209
F_4	0.9987	0.0008	0.9985	0.0012	-0.392	0.695
C_3	0.9986	0.0007	0.9978	0.0014	-1.726	0.084
C_z	0.9986	0.0008	0.9980	0.0013	-1.334	0.182
C_4	0.9988	0.0009	0.9976	0.0023	-1.490	0.136
	favorite		no-music			
F_{p1}	0.9990	0.0006	0.9979	0.0013	-2.275	0.023*
F_{p2}	0.9990	0.0006	0.9980	0.0014	-1.804	0.071
F_3	0.9987	0.0006	0.9977	0.0015	-2.510	0.012*
F_z	0.9987	0.0008	0.9979	0.0015	-1.412	0.158
F_4	0.9987	0.0013	0.9985	0.0012	-0.941	0.347
C_3	0.9987	0.0007	0.9978	0.0014	-1.804	0.071
C_z	0.9985	0.0008	0.9980	0.0013	-0.941	0.347
C_4	0.9987	0.0011	0.9976	0.0023	-1.177	0.239
	favorite		unfavorite			
F_{p1}	0.9990	0.0006	0.9986	0.0010	-0.471	0.638
F_{p2}	0.9990	0.0006	0.9986	0.0008	-1.569	0.117
F_3	0.9987	0.0006	0.9985	0.0008	-1.177	0.239
F_z	0.9987	0.0008	0.9986	0.0009	-0.235	0.814
F_4	0.9987	0.0013	0.9987	0.0008	-0.078	0.937
C_3	0.9987	0.0007	0.9986	0.0007	-0.471	0.638
C_z	0.9985	0.0008	0.9986	0.0008	-0.235	0.814
C_4	0.9987	0.0011	0.9988	0.0009	-0.078	0.937

*p<0.05

표 3.5 절차형 과제 수행 시 SMR파 분석결과

channel	M	SD	M	SD	Z	p-value
	unfavorite		no-music			
F_{p1}	0.9988	0.0008	0.9980	0.0013	-2.040	0.041*
F_{p2}	0.9984	0.0022	0.9981	0.0013	-1.177	0.239
F_3	0.9991	0.0008	0.9982	0.0014	-1.961	0.050*
F_z	0.9987	0.0012	0.9986	0.0009	-0.157	0.875
F_4	0.9990	0.0007	0.9983	0.0011	-1.726	0.084
C_3	0.9989	0.0009	0.9981	0.0018	-1.334	0.182
C_z	0.9988	0.0010	0.9980	0.0017	-1.490	0.136
C_4	0.9988	0.0008	0.9980	0.0021	-1.334	0.182
	favorite		no-music			
F_{p1}	0.9987	0.0008	0.9980	0.0013	-1.098	0.272
F_{p2}	0.9988	0.0006	0.9981	0.0013	-1.726	0.084
F_3	0.9988	0.0006	0.9982	0.0014	-1.412	0.158
F_z	0.9987	0.0006	0.9986	0.0009	-0.078	0.937
F_4	0.9988	0.0007	0.9983	0.0011	-1.138	0.255
C_3	0.9987	0.0006	0.9981	0.0018	-0.628	0.530
C_z	0.9987	0.0007	0.9980	0.0017	-0.863	0.388
C_4	0.9987	0.0007	0.9980	0.0021	-0.549	0.583
	favorite		unfavorite			
F_{p1}	0.9987	0.0008	0.9988	0.0008	-0.549	0.583
F_{p2}	0.9988	0.0006	0.9984	0.0022	-0.314	0.754
F_3	0.9988	0.0006	0.9991	0.0008	-1.098	0.272
F_z	0.9987	0.0006	0.9987	0.0012	0.000	1.000
F_4	0.9988	0.0007	0.9990	0.0007	-0.628	0.530
C_3	0.9987	0.0006	0.9989	0.0009	-0.863	0.388
C_z	0.9987	0.0007	0.9988	0.0010	-0.471	0.638
C_4	0.9987	0.0007	0.9988	0.0008	-0.078	0.937

*p<0.05

표 3.6 절차형 과제 수행 시 Mid-beta파 분석결과

다. 청각 자극 종류에 따른 평균 상대 파워 스펙트럼 비교

그림 3.5, 3.6 및 3.7은 각각 세타파, SMR파, 중간베타파의 평균 상대 파워 스펙트럼을 제시되는 청각 자극 상황에 따라 무음악, 비선호 음악, 선호 음악으로 구분하여 비교한 결과를 제시한 것이다. 여기서 (a)는 암기형 과제를 수학적 과제로 제시한 경우이고, (b)는 절차형 과제를 수학적 과제로 제시한 경우의 그래프를 나타낸 것이다.

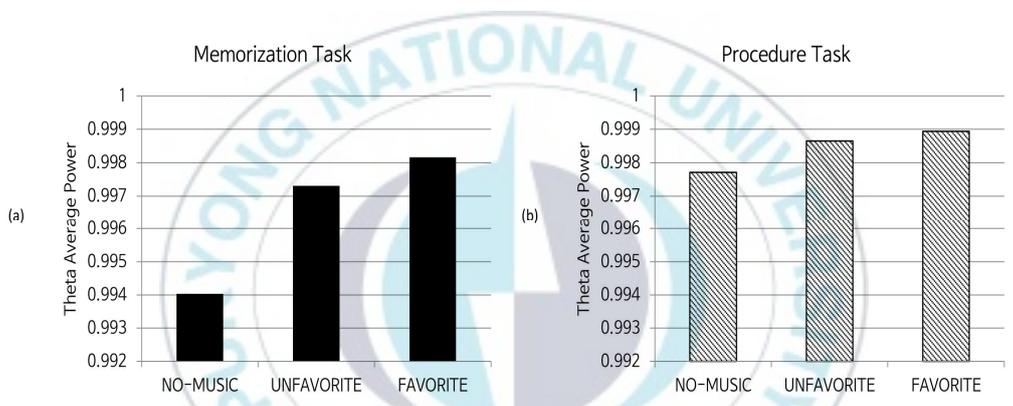


그림 3.5 세타파 평균 상대 파워 스펙트럼의 비교

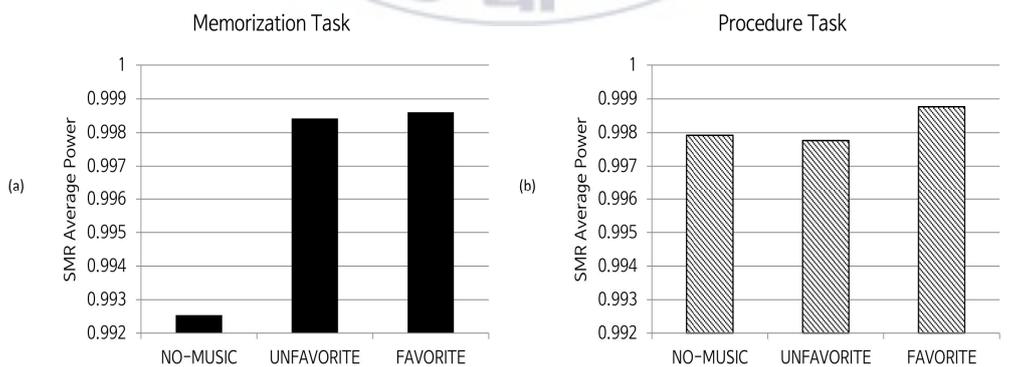


그림 3.6 SMR파 평균 상대 파워 스펙트럼의 비교

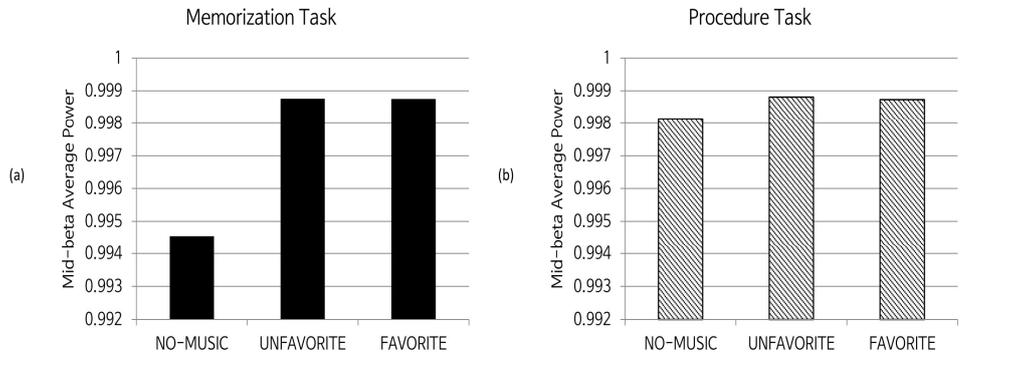


그림 3.7 중간베타파 평균 상대 파워 스펙트럼의 비교

그림 3.5, 3.6 및 3.7의 결과를 종합하면, 음악의 선호도에 따라서는 암기형 과제를 제시한 경우에는 모두 선호 음악을 제시한 경우의 평균 파워가 높게 나타났고, 절차형 과제를 제시한 경우에는 중간베타파를 제외한 세타파와 SMR파의 평균 파워가 높게 나타났다. 이를 통해서 개인의 음악적 선호도에 따라서 선호 음악이 비선호 음악보다 긍정적인 정서적 반응을 유발하는 것으로 추정할 수 있다. 그리고 음악적 자극이 제시되지 않은 상황보다 선호 및 비선호 음악과 같은 음악적 자극을 제시한 상황에서의 평균 파워가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 선호 음악 및 비선호 음악과 같이 음악이 제시되는 경우가 음악적 자극이 제시되지 않은 경우보다 수학적 과제를 해결하려고 할 때의 집중력이 더 높아지는 현상으로 해석할 수 있다.

피험자들의 과제에 대한 집중도를 비교하기 위하여 피험자들이 제출한 답안의 평균 정답률을 확인하였다. 그림 3.8은 음악적 자극의 제시 상황에 따라 무음악, 비선호 음악 및 선호 음악으로 구분하여 피험자들이 해결한 수학적 과제의 평균 정답률을 비교한 결과를 제시한 것이다. 여기서 (a)는 암기형 과제를 수학적 과제로 제시한 경우이고, (b)는 절차형 과제를 수학적 과제로 제시한 경우의 그래프를 나타낸 것이다.

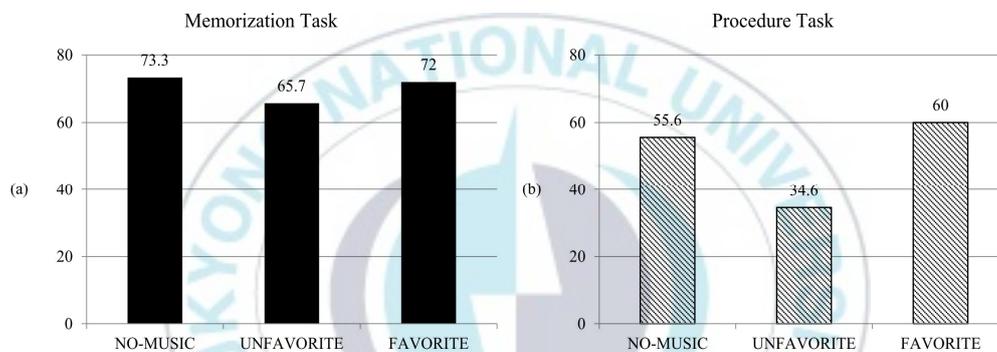


그림 3.8 음악적 자극의 유형에 따른 평균 정답률의 비교

그림 3.8에 따르면, 무음악과 비선호 음악 및 선호 음악과 같이 음악이 주어진 경우 사이의 뚜렷한 차이는 확인할 수 없었다. 하지만 암기형 과제를 해결하는 경우, 비선호 음악과 선호 음악이 제시된 상황의 평균 정답률은 각각 65.7%와 72%이며, 절차형 과제를 해결하는 경우, 비선호 음악과 선호 음악이 제시된 상황의 평균 정답률은 각각 34.6%와 60%이다. 즉, 수학적 과제 유형과 관계없이 피험자의 음악에 대한 선호도에 따라 분류한 비선호 음악과 선호 음악에 대해서는 선호 음악이 비선호 음악보다 평균 정답률이 높음을 확인할 수 있다.

IV. 개인 인증을 위한 EEG 신호 분석

1. 실험 방법

가. 실험 설계

본 연구에서는 개인 인증 시스템에서 EEG 신호를 활용한다고 가정할 때, 활용 가능성이 높은 주파수 대역 및 과제 제시 상황을 확인하고자 한다. 우선 피험자는 인지적 또는 신체적 질환이 없는 평균 연령 25세의 남성 3명을 선정하였다. 피험자에게 연구 방법에 대한 사전 설명을 한 후 연구에 참여하도록 하였고, 움직임에 의한 잡음을 최소화하기 위해서 불필요한 신체적 움직임은 자제하도록 요구하였다. 실험을 수행하기 전에 피험자들은 조용한 장소에서 모니터 화면을 응시하며 심리적으로 안정된 상태를 유지하도록 하였다.

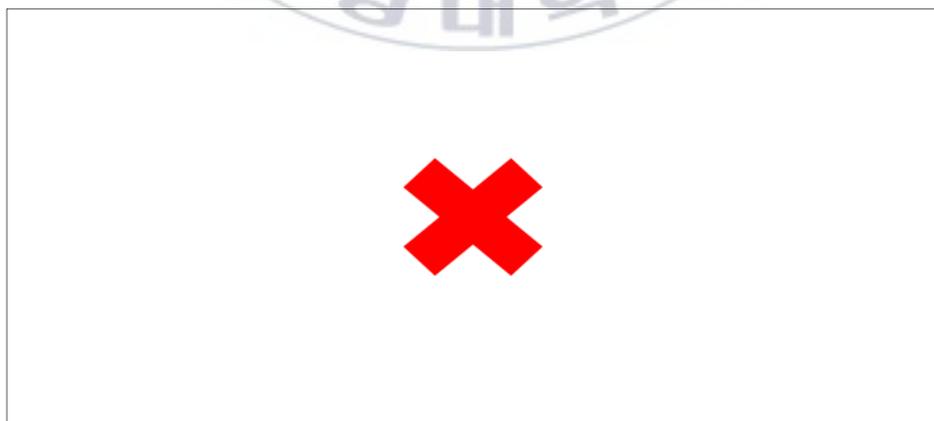


그림 4.1 개안 상태에서 제시한 시각적 과제

피험자에게 제시하는 시각적 과제의 유무에 따라 개안 상태와 폐안 상태로 구분하여 실험을 진행하였다. 본 연구에서 개안 상태와 폐안 상태를 제시하는 조건은 다음과 같다. 그림 4.1은 개안 상태에서 제시한 시각 과제를 나타낸 그림이다. 개안 상태에서 피험자들은 모니터를 통해 제시되는 'X' 표시를 응시하며 최소한의 눈 깜박임으로 눈을 뜬 상태를 유지한다. 이는 화면에 피험자의 시선이 집중되도록 유도하여 시선이 분산되는 것을 방지하기 위함이다. 폐안 상태는 'X' 표시를 떠올리며 눈을 감은 상태를 유지하는 것이다. 실험은 개안 상태에서 2분간 뇌파 측정 후 데이터를 저장 기록하고, 연구자의 안내에 따라서 폐안 상태에서 2분간 뇌파를 측정하는 방식으로 진행되었다. 두가지 조건 사이의 별도의 휴식 시간은 제공하지 않았고 시간에 대해 연속적으로 측정하였다. 그림 4.2는 뇌파 측정 실험의 진행 순서를 나타낸 것으로 실험 시에는 피험자마다 5회의 실험을 수행하였다.

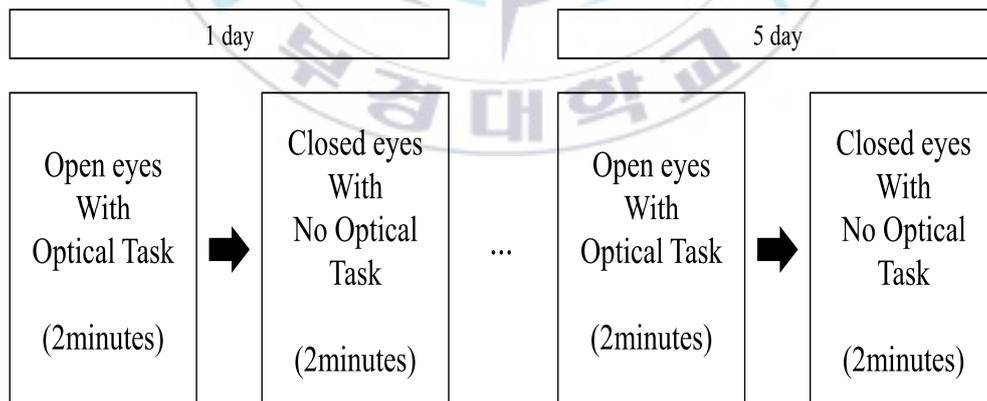


그림 4.2 뇌파 실험 진행 순서

본 연구에서는 시각적 과제의 여부와 주파수 대역이 뇌파의 재현성 즉, 변동계수에 미치는 영향을 분석하는 것을 목적으로 하며, 이때 설정하게 되는 연구가설은 다음과 같다.

첫째,

귀무가설(H_0) : 피험자에게 제시하는 시각적 과제의 유무에 따라 변동계수 평균 차이가 없을 것이다.

대립가설(H_1) : 피험자에게 제시하는 시각적 과제의 유무에 따라 변동계수 평균 차이가 있을 것이다.

둘째,

귀무가설(H_0) : 주파수 대역에 따라 변동계수 평균 차이가 없을 것이다. 대

립가설(H_1) : 주파수 대역에 따라 변동계수 평균 차이가 있을 것이다.

셋째,

귀무가설(H_0) : 시각적 과제의 유무와 주파수 대역 간의 상호 작용 효과가 없을 것이다.

대립가설(H_1) : 시각적 과제의 유무와 주파수 대역 간의 상호 작용 효과가 있을 것이다.

나. EEG 계측

뇌파를 측정하기 위한 기기는 LAXTHA의 32채널 전산화 유선 뇌파 측정 시스템 WEEG-32를 사용하였다. 피험자의 뇌파 측정에 사용된 전극은 접시형태의 디스크 전극이며, 머리 표면의 이물질을 닦아낸 후 의료용 전극 페이스트를 사용하여 디스크 전극을 부착하였다. 이후 데이터 수집 및 분석 소프트웨어 텔레스칸(Telescan)을 이용하여 뇌파 신호를 실시간으로 기록 및 저장하였다. 피험자의 두피 총 5 부위에서 뇌파를 측정하였으며, 국제적으로 공인되어 있는 10-20 국제 전극 배치법의 기준에 의해서 좌우 전전두부(F_{p1} , F_{p2}), 좌우 전두부(F_3 , F_4), F_z 위치에 측정 전극을 부착하였다. 기준전극은 A_2 , 접지전극은 목덜미에 부착하였다. 이 채널들은 뇌파 신호를 활용하여 개인을 인증한다고 가정할 때, 측두엽 및 후두엽 등과 비교하여 상대적으로 접근이 편리하다고 생각되어 설정된 것이다. 그림 4.3은 피험자에게 부착한 전극의 위치를 나타낸 것이다.

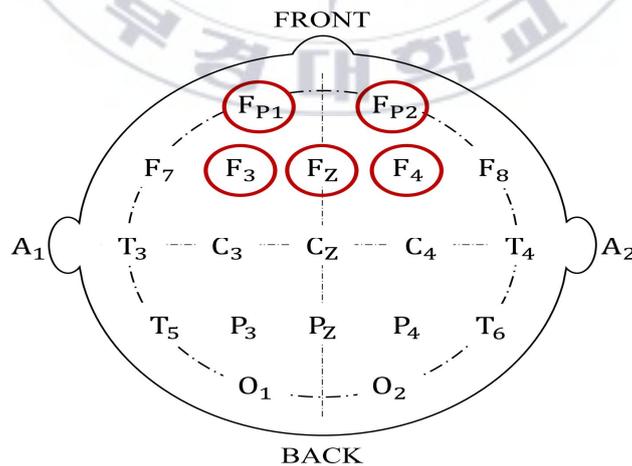


그림 4.3 뇌파 계측에 사용된 전극의 위치

다. 데이터 분석

(1) 뇌파 분석

수집된 피험자의 뇌파 데이터는 데이터 분석 프로그램 Telescan을 이용하여 눈 깜박임과 같은 안구 운동에 의한 잡음 성분을 제거하는 EOG-Artifact filtering 기능을 적용하여 전 처리 과정을 거친 후 분석하였다. 피험자로부터 측정된 뇌파를 고속 푸리에 변환(FFT : Fast Fourier Transform)을 통해 표 4.1과 같이 현재 분류된 뇌파 성분 중 7가지 주파수 대역의 뇌파 성분으로 구분하였다.

뇌파 성분	주파수 대역	뇌파 성분	주파수 대역
Delta파	0.5~4Hz	Mid-beta파	15~18Hz
Theta파	4~7Hz	Beta파	13~30Hz
Alpha파	8~13Hz	Gamma파	30~50Hz
SMR파	12~15Hz		

표 4.1 뇌파 성분의 주파수 대역

각각의 대역으로 구분된 뇌파 신호는 절대 파워 스펙트럼으로 분석하여 측정된 모든 채널 파워의 평균인 평균 절대 파워로 나타낸다. 평균 절대 파워 P_{avg} 는 $P(f)$ 가 채널별 절대 파워 스펙트럼값, N이 뇌파 측정에 사용된 채널의 수라고 할 때, 식 (4.1)과 같이 정의된다.

$$P_{avg} = \frac{1}{N} \int_{ch1}^{chN} P(f) df \dots\dots\dots \text{식 (4.1)}$$

본 연구는 시간에 따른 평균 절대 파워 스펙트럼값의 변동의 폭이 가장 작은 주파수 대역 및 과제 제시상황을 확인하는 것을 목적으로 한다. 5회의 뇌파 실험으로 취득한 각각의 성분별 평균 절대 파워로부터 시간의 변화에 대해서 가장 독립적인 성분을 확인하기 위해서 변동계수(CV : Coefficient of Variation)로 상대 표준 편차를 계산하였다. 변동계수는 데이터의 분포가 얼마나 다양한가에 대한 정도를 나타낸다. 식 (4.2)는 변동계수를 계산하기 위한 식으로 σ 가 표준편차, \bar{x} 가 산술평균이라고 할 때, 다음과 같이 정의된다.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \dots\dots\dots \text{식 (4.2)}$$

변동계수의 값이 커질수록 데이터 집합의 변동성이 증가한다. 즉, 주파수 대역 및 과제 제시상황에 따른 평균 절대 파워의 변동계수가 작다는 것은 변동성이 낮다는 의미이며, 데이터의 평균과 가까운 범위 내에 존재한다는 사실을 의미한다.

(2) 통계적 분석

본 연구에서는 EEG 데이터를 활용하여 통계적 분석을 진행할 때, 더욱 정확한 결과 도출을 위하여 이상치를 제거하는 전처리 과정을 거친 후 분석하였다. 시각적 과제의 유무와 뇌파의 주파수 대역을 각각 독립변수 1, 독립변수 2로 설정하고, 그에 따른 변동계수를 종속 변수로 설정하여 통계적인 분석을 실시하였다. 독립변수 1 및 독립변수 2에 의한 종속 변수의 평균값 차이와 두 가지 독립 변수 사이의 상호작용을 평가하기 위하여 반복 측정에 의한 이원 분산분석(two-way ANOVA with repeated measures)을 분석기법으로 선정하였다.

데이터를 분석하기 위하여 사용한 통계 분석 프로그램은 IBM SPSS Statistics 25 이고, 데이터의 정규성은 정규성 검정에서 Shapiro-Wilk 수치로 검정하여 모든 데이터가 정규성을 만족함을 확인하였다. 이원 분산분석 결과에 의해 유의한 차이를 나타내는 독립 변수는 Scheffe의 사후검정 (Post-hoc analysis)을 통해 평균값의 차이를 검증하였으며, 유의수준은 0.05로 설정하였다. 일반적으로 유의확률(p-value)이 0.05보다 클 경우는 요인에 따른 변동계수의 평균이 같기 때문에 통계적으로 유의미한 차이를 나타내지 않는 것이며, 유의확률이 0.05보다 작을 경우는 요인에 따른 변동계수의 평균이 다르기 때문에 통계적으로 유의미한 차이를 나타내는 것이다.



2. 결과

표 4.2는 주파수 대역별로 시각 과제의 유무에 따라 구분한 2가지의 과제 제시 상황이 변동계수에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각각의 집단에 대한 평균과 표준편차를 나타낸 기술 통계량을 나타낸 것이다.

Optical Task	Frequency Band	M	SD	N
open	delta	0.867	0.433	3
	theta	0.638	0.258	3
	alpha	0.399	0.269	3
	smr	0.247	0.191	3
	mid-beta	0.417	0.195	3
	beta	0.568	0.061	3
	gamma	0.692	0.198	3
	total	0.547	0.289	21
close	delta	0.757	0.278	2
	theta	1.014	0.126	2
	alpha	0.561	0.066	3
	smr	0.375	0.133	3
	mid-beta	0.295	0.215	3
	beta	0.323	0.162	3
	gamma	0.366	0.952	3
	total	0.49	0.268	19
total	delta	0.823	0.342	5
	theta	0.789	0.282	5
	alpha	0.48	0.197	6
	smr	0.311	0.163	6
	mid-beta	0.356	0.195	6
	beta	0.446	0.173	6
	gamma	0.529	0.226	6
	total	0.52	0.277	40

표 4.2 두가지 독립변수에 따른 변동계수에 대한 기술통계량

그림 4.4는 각 피험자마다 실험을 수행할 때 측정된 Delta, Theta, Alpha, SMR(Sensory Motor Rhythm), Mid-beta, Beta, Gamma파의 변동계수 값의 변화를 나타낸 그래프이다. 그림에 표기된 (a)~(c)는 피험자(1)~피험자(3)의 결과이다.

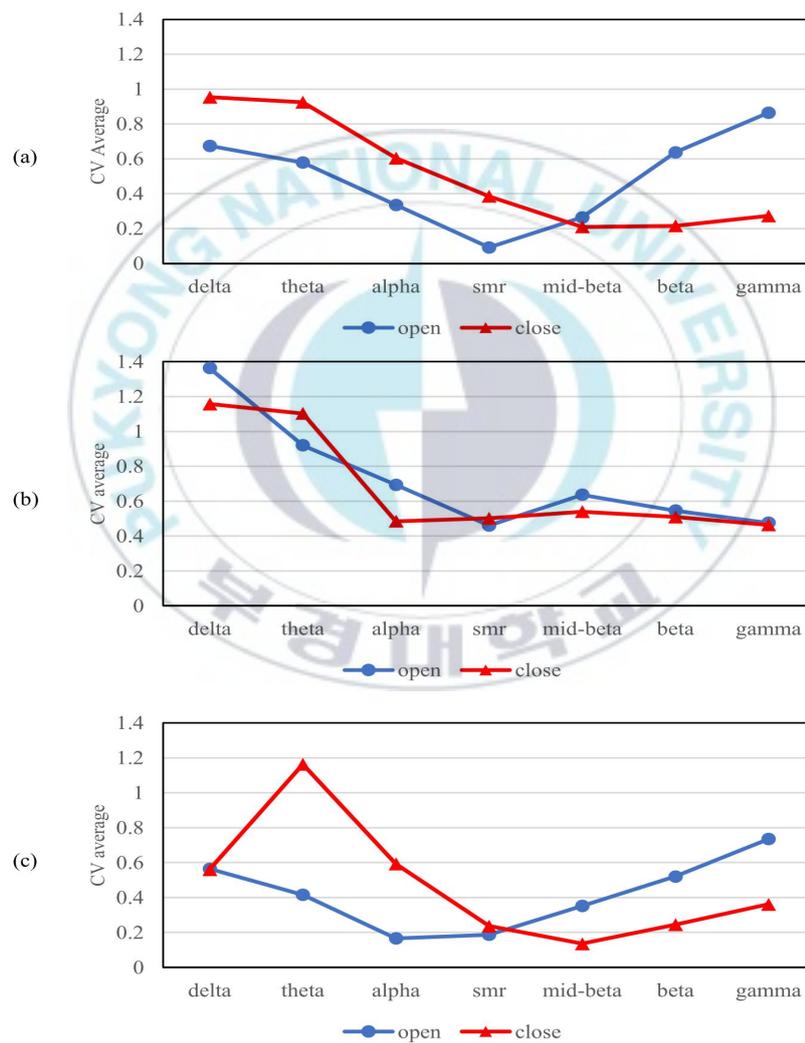


그림 4.4 피험자별 주파수 대역에 대한 변동계수 비교

그림 4.4에 따르면, 피험자(1), (2) 및 (3)은 각각 개안 상태에서의 SMR과 변동계수, 개안 상태에서의 SMR과 변동계수, 폐안 상태에서의 중간베타파 수치가 낮은 것으로 관측되었다. 그리고 3명의 피험자 모두 폐안 상태에서의 중간베타파, 베타파, 감마파가 낮다는 사실을 확인할 수 있었다. 중간베타파와 베타파는 인간의 집중력과 관련이 있는 뇌파 성분으로, 이와 같은 뇌파 주파수 대역의 변동성이 낮게 관측된 것은 피험자가 과제에 집중하도록 한 것이 영향을 미치는 것으로 추정할 수 있다.

표 4.3은 2가지의 독립변수에 따른 변동계수의 평균 차이를 알아보기 위하여 실시한 이원 분산분석 결과를 나타내는 것이다.

Independent variable	SS	df	MS	F	p-value	η^2
Task	0.004	1	0.004	0.081	0.778	0.003
Band	1.328	6	0.221	4.841	0.002	0.528
Task* Band	0.511	6	0.085	1.862	0.126	0.3
Error	1.188	26	0.046			
Total	2.995	39				

표 4.3 요인에 따른 변동계수에 대한 이원분산분석

변동계수에 대한 시각 과제의 유무의 효과를 분석한 결과, F 통계 값 0.081, 유의수준 0.778로 시각 과제에 따라 변동계수에 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 시각 과제의 유무와 주파수 대역 간의 상호 작용 효과에 대해서는 F 통계 값 1.862, 유의수준 0.126으로 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 따라서 대립가설 1과 2가 기각되고, 귀무가설 1과 2가 채택되어 ‘시각 과제의 유무에 따라 변동계수의 평균 차이가 없으며, 시각 과제와 변동계수 간의 상호 작용 효과가 없다’라고 할 수 있다. 반면, 주파수 대역에 따라 변동계수의 평균 차이를 보이는지에 대한 분석 결과에서는 F 통계 값 4.841, 유의수준 0.002로 통계적으로 유의하게 나타났다. 따라서 귀무가설 3이 기각되고, 대립가설 3이 채택되어 ‘주파수 대역 따라 변동계수의 평균 차이가 있다’라고 할 수 있다.

이원 분산분석 결과에 의해 변동계수와 유의미한 차이가 있는 것으로 나타난 주파수 대역에 대해 Scheffe의 사후검정을 실시하였다. 표 4.4는 피험자들로부터 측정된 뇌파의 주파수 대역에 대한 변동계수 평균을 동질적 부분집합으로 나타낸 것이고, 그림 4.5는 변동계수의 평균을 비교한 결과를 그래프로 제시한 것이다.

Frequency	N	Subset	
		1	2
SMR	6	0.311	
Mid-beta	6	0.356	0.356
Beta	6	0.446	0.446
Alpha	6	0.48	0.48
Gamma	6	0.529	0.529
Theta	5	0.789	0.789
Delta	5		0.823

표 4.4 주파수 대역에 대한 동질적 부분집합

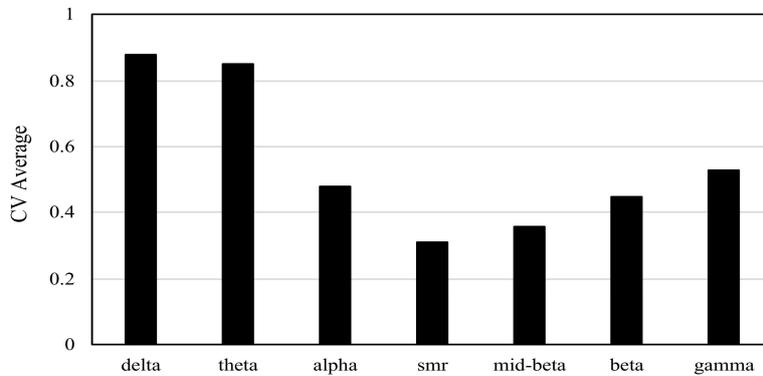


그림 4.5 주파수 대역에 대한 동질적 부분집합

동질적 부분집합에 따르면 주파수 대역에 따른 변동계수는 두 가지의 집단으로 분류되었다. 집단 1은 SMR,파, 중간베타파, 베타파, 알파파, 감마파 및 세타파이고, 집단 2는 중간베타파, 베타파, 알파파, 감마파, 세타파 및 델타파로 분류되었다. 표 4.4에 따라서 SMR파와 델타파의 변동계수 평균값이 유의미한 차이를 나타내는 것으로 관찰되었고, SMR파의 평균값은 0.31, 델타파의 평균값은 0.82로 나타났다. 따라서 SMR파보다 델타파가 변동계수의 평균값이 상대적으로 낮게 나타났다. 이러한 결과로부터 개인인 증수단으로 EEG 신호를 활용함에 있어서 SMR파 성분이 활용 가능성이 더욱 높은 것으로 추정할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 인간의 감각 기관에 의해서 얻어진 자극이 EEG 신호의 특성에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 통계적으로 분석하여 그 결과를 제시하였다.

2장에서는 청각적 자극으로 제시되는 음악이 수학적 과제를 해결하는 동안 인간에게 미치는 영향을 분석하였다. 청각적 자극은 개인의 선호도에 따라서 선호 음악, 비선호 음악 및 무음악으로 구분하여 제시하였고, 수학적 과제는 개인에게 요구되는 인지적 수준에 따라서 암기형 과제와 절차형 과제로 구분하여 뇌파 실험을 수행하였다. 과제 수행 시 인간의 두뇌 활성도의 변화를 알아보기 위해서는 계측한 EEG 신호의 성분 중 인간의 집중력과 밀접한 관련이 있는 세타파, SMR파, 중간베타파의 주파수 대역을 분석 대상으로 선정하였다. 통계 분석은 SPSS 25 프로그램을 사용하였으며, 피험자에게 주어지는 3가지의 음악적 자극 제시 상황에 따른 차이를 분석하기 위해 세타파, SMR파, 중간베타파를 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed ranks test) 방법을 사용하였다. 2장의 연구 결과를 통하여 내린 결론은 다음과 같다.

첫째, 음악적 자극이 암기형 과제 해결에 미치는 영향을 살펴본 결과, 선호 음악과 무음악 사이의 관계에서는 SMR파의 수치가 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 피험자가 많지 않았기 때문에 다른 뇌파 성분 및 음악 제시 조건에서는 유의미한 차이를 보이지 않았지만, 전체적인 수치를 종합하면 음악의 선호도에 따라서는 세타파에서 선호 음악의 파워가 높은 것으로 나타났고, 모든 뇌파 성분에서 음악이 제시되지 않은 경우에 비해 선호 및 비선호 음악과 같이 음악이 제시된 경우의 파워가 높은 것을 알 수 있었다. 둘째, 음

악적 자극이 절차형 과제 해결에 미치는 영향을 살펴본 결과, 선호 음악과 무음악 사이의 관계에서 세타파 및 SMR파, 비선호 음악과 무음악 사이의 관계에서 세타파 및 중간베타파의 수치가 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 이를 제외한 다른 조건에서는 유의미한 차이를 관측할 수 없었지만, 전체적인 결과를 종합하면, 모든 뇌파 성분에서 음악이 제시되지 않은 경우에 비해 선호 및 비선호 음악과 같이 음악적 자극이 제시된 경우의 파워가 높게 나타남을 알 수 있었고, SMR파와 중간베타파에서 선호 음악의 파워가 비선호 음악의 파워에 비해서 높게 나타남을 알 수 있었다. 셋째, 피험자별로 부여한 과제에 대한 정답률을 조사한 결과, 선호 음악을 제시한 경우의 정답률이 가장 높다는 사실을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과로부터 학습활동 시에는 선호 음악을 청취하는 것이 비선호 음악을 청취하는 것보다 더욱 긍정적인 영향을 미치는 것으로 추정할 수 있다. 따라서 음악이 있는 학습 상황이 음악이 없는 학습 상황보다 수학적 과제에 더욱 집중할 수 있는 환경인 것으로 추정할 수도 있다. 따라서 음악이 있는 환경 아울러 개인이 선호하는 음악이 주어진 상황에서 수학적 과제를 해결하는 것이 인간의 집중력에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 사실을 뇌파 분석 결과로부터 확인할 수 있었다.

3장에서는 뇌파가 개인을 인증하는 수단으로 사용된다고 가정할 때, 계측하는 시간에 따른 파워의 변동이 가장 작게 나타나는 뇌파 성분을 확인하기 위하여 EEG 데이터를 분석하였다. 시각적 자극의 유무에 따라 개안 상태와 폐안 상태로 구분하고, 주파수 대역을 델타파, 세타파, 알파파, SMR파, 중간베타파, 베타파 및 감마파로 구분하여 변동계수에 미치는 효과를 분석하였다. 시각적 자극과 주파수 대역에 의한 변동계수의 평균 차이를 검증하기 위해서 반복 측정에 의한 이원 분산분석(two-way ANOVA with repeated measures)을 수행하였다. 3장의 연구 결과를 통하여 내린 결론은 다음과 같다.

첫째, 이원 분산분석 결과 변동계수에 대한 시각 과제의 유무의 효과와 주파수 대역과 시각 과제 유무 사이의 상호작용 효과는 통계적으로 유의미한 차이를 나타내지 않았지만, 주파수 대역은 유의미한 차이를 나타냈다. 둘째, 7가지 주파수 대역 사이의 변동계수 평균값 차이를 검증한 결과, SMR파가 델타파의 변동계수보다 상대적으로 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과로부터 SMR파의 평균 절대 파워가 델타파의 평균 절대 파워보다 상대적으로 시간에 따른 변동의 폭이 작은 뇌파 성분임을 알 수 있었다. 이는 SMR파 성분이 인간의 집중력이 발휘되는 상황에서 활성화된다는 특성을 고려할 때, 개안 상태에서 목표물을 주시하도록 하거나 폐안 상태에서 목표물을 상상하도록 한 것이 주요인이 될 것으로 추정된다. 따라서 개인을 인증하는 시스템으로 뇌파를 활용하는 경우, 간단한 시각적 과제를 제시하여 집중할 수 있는 상황에서의 뇌파 성분을 인증 수단으로 활용하는 것이 효율적일 것이라고 추정된다.

본 논문에서는 위의 결과와 같이 뇌파측정 실험을 통해 다양한 조건에서 인간의 뇌파 변화 추이를 관측하였다. 또한, 인간의 집중과 관련한 뇌파 성분에서 유의미한 결과를 확인할 수 있었다. 본 논문의 결과는 통계적 분석 기법을 활용한 뇌파 분석으로 정량적 분석 결과를 제시하여 과제 수행 시 인간의 두뇌 활동에 대한 정보로 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 뇌파 신호로부터 유의미한 결과를 얻기 위한 다양한 분석법에 대한 연구들이 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] J. Cheon, "The Effect of Software Education Using Student-Centered Assessment on the Improvement of Creative Problem Solving Skills," Master's Thesis, Gyeongin National University of Education Graduate School of Computer Education, 2020.
- [2] S. Choi, "Backcalculation of Asphalt Concrete Pavement Moduli Using Artificial Neural Network," Master's Thesis, Yonsei University Graduate School of Civil Engineering, 2000.
- [3] Y. Ga, "Study on the concentration and immersion state during computer game using EEG analysis," Master's Thesis, Seoul National University of Science and Technology Graduate School of Electronic Engineering, 2016.
- [4] G. Lee, "The effect of musical stimuli on the change in EEG signal of swimmers before the competition," Master's Thesis, Changwon National University Graduate School of Physical Education, 2011.
- [5] J. Shim and I. Seung, "Influences of Brain Education Program on Concentration and Prefrontal EEG Activation of Children's," J. of Child Education, vol. 18, no. 3, Aug. 2009, pp. 19-36.
- [6] J. Jang and H. Kim, "EEG Analysis of Learning Attitude Change of Female College Student on e-Learning," J. of The Korea Contents Society, vol. 11, no. 4, Mar. 2011, pp. 42-50.
- [7] G. Choi, E. Kim, Y. Jang, S. Park, S. Park, S. Choi, and H. Hwang, "Development of a Biometric Authentication System Based on

Electroencephalography," J. of Biomedical Engineering Research, vol. 39, no.1, 2018, pp. 43-47.

[8] J. Goo, "Change of EEG and golf putting power when imagery training of amateur golfer," Master's Thesis, Changwon National University Graduate School of Physical Education, 2010.

[9] S. LEE, "EEG analysis of concentrativeness due to visual stimulus task," Master's Thesis, Pukyong National University Graduate School of Electrical Engineering, 2014.

[10] D. Kim, "Detection of Human's Drowsiness with Eyes Open using EEG-Based Alpha Wave Analysis," Master's Thesis, Ulsan University Graduate School of Computer Engineering and Information Technology, 2013.

[11] J. Kim, "Effect of inhalation of an Earthy Odor Compound 2-Methylisoborneol on Human Electroencephalographic Activity," Master's Thesis, Kangwon National University Graduate School of Bioconvergence Science and Technology, 2018.

[12] M. Im, "Changes of Activated Electroencephalogram by Brain Areas from Manifestation of Heightened Sensory Perception," Master's Thesis, University of Brain Education Graduate School of Brain Education, 2010.

[13] E. T. Gaston, Music in therapy, New York: Macmillan, 1968.

[14] G. Harrer and H. Harrer, Music and the brain, London: William Heinemann Medical Books, 1977.

[15] M. K. Stein, M. S. Smith, M. A Henningsen, and E. S. Silver, Implementing Standards-Based Mathematics Instruction, Virginia: Reston, 2000.

감사의 글

이 논문이 완성되기까지 대학원 생활을 함에 있어 아낌없는 응원과 사랑을 주신 많은 분께 진심 어린 감사의 마음을 전합니다.

먼저 오랜 시간 많은 지도와 관심을 가져주신 장윤석 교수님께 깊이 감사드립니다. 교수님 덕분에 좋은 연구를 할 수 있었고, 연구실에서 많은 경험을 쌓을 수 있었습니다. 석사학위 논문을 무사히 마칠 수 있도록 항상 성심성의껏 지도해 주시고, 인생에 대해 해주신 많은 조언 정말 감사했습니다.

바쁘신 일정 속에서도 귀중한 시간을 내주시어 논문에 대해 충고를 해주신 박창현 교수님, 이용욱 교수님께도 감사드립니다. 그리고 지금까지 많은 가르침을 주신 전기공학과 모든 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

연구실 생활을 함께한 연구실 선배님들도 감사하게 생각합니다. 앞으로의 미래에 좋은 일들만 생기기를 바랍니다. 좋은 사람들을 만나 너무 행복했습니다.

제가 힘들고 지칠 때마다 늘 제게 힘을 주었던 지난 학부 4년 동안 많은 정이 들었던 동기들과 고등학교부터 함께한 나의 가장 오랜 친구들에게도 감사를 전합니다.

저를 믿어주시고 응원해주시는 부모님, 사랑하는 하나뿐인 우리 동생 유빈이에게 항상 감사합니다. 석사 졸업으로 사회에 한 발짝 나아가 자랑스러운 딸, 언니가 되겠습니다.

이외에도 저를 아끼고 격려해주셨던 모든 분께도 진심으로 감사하다는 말씀을 전합니다.

2021년 2월

정유라 올림