



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](#)

공 학 박 사 학 위 논 문

인간의 시각자극 과제에 관련된 뇌파에
대한 연구



2015년 12월

부 경 대 학 교 대 학 원

전 기 공 학 과

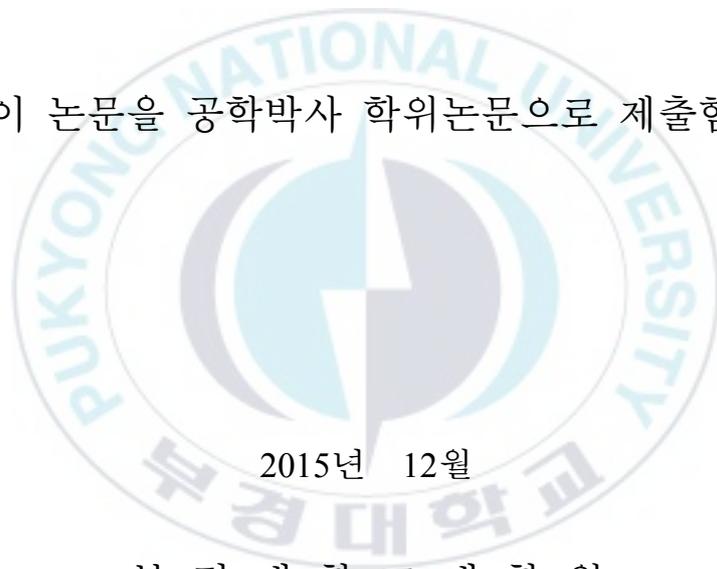
한 재 응

공 학 박 사 학 위 논 문

인간의 시각자극 과제에 관련된 뇌파에
대한 연구

지 도 교 수 장 윤 석

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함.



2015년 12월

부 경 대 학 교 대 학 원

전 기 공 학 과

한 재 응

한재웅의 공학박사 학위논문을 인준함

2015년 12월



주 심 공학박사 박 창 현 (인)

위 원 공학박사 옥 영 석 (인)

위 원 공학박사 이 용 욱 (인)

위 원 공학박사 최 진 호 (인)

위 원 공학박사 장 윤 석 (인)

목 차

그림목차	iii
표 목 차	viii
1. 서 론	1
1-1. 연구의 배경	1
1-2. 연구의 목적	3
1-3. 연구의 구성	4
2. 뇌파의 특성 및 분석	5
2-1. 뇌의 특성	5
2-2. 뇌파의 분석	11
2.2.1 사건 관련 전위	11
2.2.2 파워 스펙트럼에 의한 분석법	13
2.2.3 앙상블 평균(Ensemble Average)에 의한 분석법	14
3. 집중력 관련 뇌파분석 (I)	16
3-1. 뇌파 계측 실험	16
3-2. 뇌파 분석 방법	19
3-3. 뇌파 분석 결과	61
4. 집중력 관련 뇌파분석 (II)	67
4-1. 뇌파 계측 실험	67
4-2. 뇌파 분석 방법	70
4-3. 뇌파 분석 결과	79

5. 결 론	84
참 고 문 헌	87
감사의 글	90



그림 목 차

그림 2-1. 뇌의 구조	5
그림 2-2. 주파수 대역에 의한 뇌파의분석	7
그림 2-3. 10-20 국제 전극 배치법	10
그림 2-4. 사건 관련 전위	12
그림 2-5. 파워 스펙트럼법	13
그림 2-6. 채널별 파형	15
그림 2-7. 앙상블 평균	15



그림 3-1. 뇌파 계측을 위한 전극 위치	17
그림 3-2. 시각자극 과제 의 제시 과정	18
그림 3-3. (a)피험자 1의 글자 집중도와 뇌파 분석 결과	21
그림 3-3. (a)피험자 1의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	22
그림 3-3. (a)피험자 1의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과	23
그림 3-3. (a)피험자 1의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	24
그림 3-3. (b)피험자 2의 글자 집중도와 뇌파 분석 결과	25
그림 3-3. (b)피험자 2의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	26
그림 3-3. (b)피험자 2의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과	27
그림 3-3. (b)피험자 2의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	28
그림 3-3. (c)피험자 3의 글자 집중도와 뇌파 분석 결과	29
그림 3-3. (c)피험자 3의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	30
그림 3-3. (c)피험자 3의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과	31
그림 3-3. (c)피험자 3의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	32
그림 3-3. (d)피험자 4의 글자 집중도와 뇌파 분석 결과	33
그림 3-3. (d)피험자 4의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	34
그림 3-3. (d)피험자 4의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과	35
그림 3-3. (d)피험자 4의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	36
그림 3-3. (e)피험자 5의 글자 집중도와 뇌파 분석 결과	37
그림 3-3. (e)피험자 5의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	38
그림 3-3. (e)피험자 5의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과	39
그림 3-3. (e)피험자 5의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	40
그림 3-3. (f)피험자 6의 글자 집중도와 뇌파 분석 결과	41

그림 3-3. (f)피험자 6의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	42
그림 3-3. (f)피험자 6의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과	43
그림 3-3. (f)피험자 6의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	44
그림 3-3. (g)피험자 7의 글자 집중도와 뇌파 분석 결과	45
그림 3-3. (g)피험자 7의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	46
그림 3-3. (g)피험자 7의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과	47
그림 3-3. (g)피험자 7의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	48
그림 3-3. (h)피험자 8의 글자 집중도와 뇌파 분석 결과	49
그림 3-3. (h)피험자 8의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	50
그림 3-3. (h)피험자 8의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과	51
그림 3-3. (h)피험자 8의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	52
그림 3-3. (i)피험자 9의 글자 집중도와 뇌파 분석 결과	53
그림 3-3. (i)피험자 9의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	54
그림 3-3. (i)피험자 9의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과	55
그림 3-3. (i)피험자 9의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	56
그림 3-3. (j)피험자 10의 글자 집중도와 뇌파 분석 결과	57
그림 3-3. (j)피험자 10의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	58
그림 3-3. (j)피험자 10의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과	59
그림 3-3. (j)피험자 10의 휴식 집중도와 뇌파 분석 결과	60
그림 3-4. 그림자극 과제의 파워 스펙트럼 비교 (a)세타파, (b)SMR파, (c)중간 베타파	63
그림 3-5. 글자자극 과제의 파워 스펙트럼 비교 (a)세타파, (b)SMR파, (c)중간 베타파	64

그림 3-6. 그림자극 및 글자자극 과제에의 평균 파워 65

그림 3-7. 그림 및 글자자극 과제에의 집중 지표 비교 66



그림 4-1. 전극이 부착된 위치	68
그림 4-2. 시각자극 과제에 대한 데이터 분석과정	69
그림 4-3. 피험자 1 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교	71
그림 4-3. 피험자 2 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교	72
그림 4-3. 피험자 3 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교	73
그림 4-3. 피험자 4 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교	74
그림 4-3. 피험자 5 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교	75
그림 4-3. 피험자 6 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교	76
그림 4-3. 피험자 7 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교	77
그림 4-3. 피험자 8 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교	78
그림 4-4. R_A 와 R_B 의 파워 (a) SMR파, (b) 중간 베타파	81
그림 4-5. 중간 베타파와 채널별 파워	82

표 목 차

표 1. 평균 이상이 파워를 가지는 채널과 정답률 83



Study on brain wave related to visual stimulitask

Jae Wooung Han

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

In the information age, most people always use the information equipments such as computers and smartphones. Those can be very useful to work but become a serious problem because of being exposed to media regardless of their own will. Especially people are disturbed in their concentration by exposing to media.

It has been known that the particular brain waves are induced when a human concentrates. In this paper, it was aimed to analyze EEG signals related to human concentration using visual stimulus to induce the concentration. The visual stimulus tasks were presented to subjects for concentration. The EEG signals were measured with several channels and be analyzed into several frequency bands. In the measured EEG signals, those were analyzed to focus on theta waves, SMR waves and mid-beta waves.

Next, it was aimed to analyze the EEG signals related to concentration of adolescents using letter visual stimulus to induce the concentration. The visual stimulus tasks were searching errors of propositional particle in several sentences. In the EEG signals, it was specially focussed on SMR waves and mid-beta waves according to the results of a preceding research.

Therefore this paper presented the results to investigate characteristics of the EEG signals related to the human concentration and presented the position of channel and the frequency band of mid-beta significantly related to the concentration waves as the experimental results. It was finally aimed that the results from this paper could be applied to the radiation of the human concentration.

제1장. 서 론

1-1. 연구의 배경

최근 정보화 시대에 접어들면서 현대 사회에서는 컴퓨터, 스마트폰 등을 필두로 한 정보기기를 사용함으로써 편리한 점도 있겠지만, 자신의 의지와 상관없이 다양한 미디어에 무방비 상태로 노출되는 것 또한 문제가 되고 있다. 미디어에의 노출 중에서 가장 문제가 되는 것은 인간의 집중력을 들 수 있다. 인간의 가장 손쉬운 자리에 위치한 미디어 때문에 집중력이 부족한 인간이 갈수록 늘어가는 추세에 있는 것이다.

특히 컴퓨터 게임이나 텔레비전 등의 미디어에서 일방적인 자극은 성장기에 있는 청소년들의 사고와 창의력에 문제가 될 소지를 다분히 안고 있다. 컴퓨터 게임, 텔레비전 방송, SNS 활동 등 모든 미디어의 기능을 동시에 수행할 수 있는 스마트폰은 청소년의 주의력을 더욱 저하시키는 역할을 하고 있다.

주의력 부족을 이끄는 이와 같은 환경에서는 뇌의 전두엽 기능이 저하되고 좌뇌와 우뇌의 교류가 부족해지면서 창조적 작업을 위한 사고보다는 게임이나 방송 시청과 같은 단순하고 반복적인 일에만 익숙해질 확률이 높아지는 것이다. 그러한 단순하고 반복적인 일에만 몰두하게 되면 집중력이 저하되기 쉬우며 어지럼증이나 알레르기성 질환 등의 병리적 증상을 동반하게 되고, 성장기 청소년들에게는 학습에의 집중력이 부족해짐으로써 학습부진 현상이 나타나기 쉽다. 이러한 현상이 더욱 심화되면 주의력 결핍 과잉행동장애(Attention Deficit Hyperactivity Disorder : ADHD)나 틱장애(Tic Disorder)와 같은 질환으로 나타날 수 있는 심각한 문제를 발생시킨다[1].

위에서 열거한 바와 같이 여러 가지 미디어에 노출되어 인간의 집중력이 저하되는 상황을 겪게 되는 최근의 현상을 극복하기 위해서는 우선 인간의 뇌와 집중력과의 상관관계를 분석하는 것이 중요하다고 생각된다. 현재까지 인간의 인지과정에 대한 연구[2-4], 집중력과 관한 연구[5-7], 시각자극 과제와 집중력과의 관계에 대한 연구[8], 스마트폰과 전자책에 대한 연구[9-11] 등 인간의

시각과 집중력에 관계된 연구들이 꾸준히 수행되어 오고 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 미디어에 의한 집중력 부족은 인간의 시각과 관련된 부분이 가장 크다고 판단되므로 기본적으로 인간의 시각자극과 관련된 과제에 의한 뇌파를 분석하는 것을 목표로 한다.

본 논문에서는 특정한 시각자극을 피험자에게 제시하여 그 자극에 집중하도록 한 다음, 집중력이 유발될 때의 뇌파 특성을 분석하여 집중력과 뇌파의 상관성을 파악함으로써 궁극적으로는 집중력 향상 프로그램 개발에 도움을 줄 수 있는 결과를 도출하고자 하는 필요성을 가지고 수행된 연구이다.

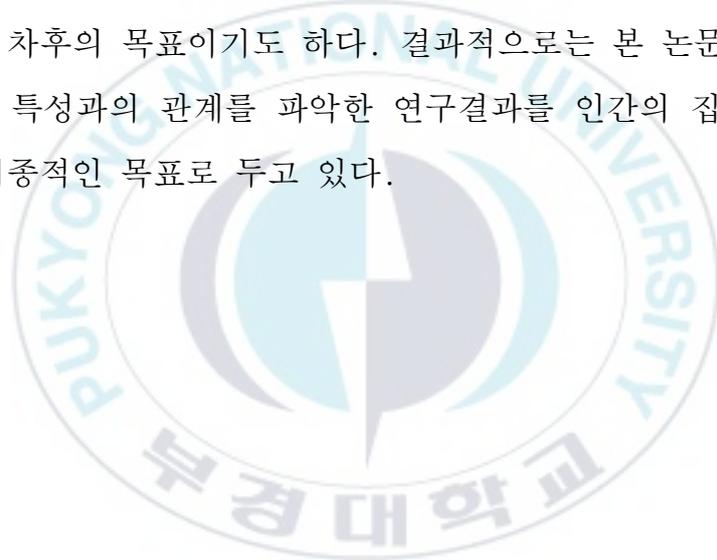


1-2. 연구의 목적

현재 사회적 활동을 하는 인간과 가장 가까운 위치에 있는 미디어들이 인간의 집중력에 상당한 영향을 미치고 있는 것으로 드러나고 있다. 따라서 인간의 집중력과 관계가 있는 인간의 뇌 활동에 대한 정보가 필요한 것은 분명한 사실이다.

따라서 본 논문에서는 인간의 집중력이 발휘되어야 하는 시각자극을 피험자에게 과제 형태로 제시하여 그때 발생하는 뇌파를 여러 가지 방법으로 분석함으로써 인간의 집중력과 뇌파와의 상관관계를 조사하는 것을 기본적인 목표로 하고 있다.

인간의 집중력과 상관성이 높은 뇌파가 명확히 구분되는 결과를 얻으면 이를 응용하는 것이 차후의 목표이기도 하다. 결과적으로는 본 논문에서 인간의 집중력과 뇌파의 특성과의 관계를 파악한 연구결과를 인간의 집중력 발휘에 응용하는 것을 최종적인 목표로 두고 있다.



1-3. 연구의 구성

본 논문에서는 인간의 집중력이 요구되는 시각자극 과제를 사용하여야 하므로 우선 집중력을 일으킬 수 있는 시각자극 과제를 개발하는 것이 우선 필요하다. 이를 위한 시각자극으로는 그림 및 글자를 활용하는 것을 기본적인 방법으로 생각하였다. 따라서 본 논문에서 시각자극 그림 및 글자를 활용한 뇌파실험을 통하여 인간의 집중력과 관련된 뇌파를 분석한 결과를 제시한다.

먼저 3장에서는 피험자가 동일한 그림과 글자 속에 다른 형태의 그림과 글자를 숨은 그림과 글자형태로 삽입한 것을 시각 자극으로 제시하여 찾아내도록 하는 과제를 수행할 때 발생한 뇌파를 측정하여 분석하는 실험을 한 결과를 제시하고 있다. 측정된 뇌파는 주파수대역에 따라 세타파(4~7Hz), SMR파(12~15Hz) 및 중간 베타파(15~18Hz)로 나누어 분석한 결과를 가지고 집중과 상관있는 집중 지표를 계산하는 방법으로 인간의 뇌파와 집중력과의 관계를 나타내었다.

4장에서는 A4용지 1장 분량의 문장 속에 들어 있는 주격 및 보격조사(은, 는, 이, 가), 목적격조사(을, 를), 접속조사(과, 와), 관형격조사(의)의 틀린 형태를 찾아내는 시각자극 과제를 제시하여 뇌파를 계측한 결과를 제시하였다. 이를 위하여 피험자의 두피에 부착한 각각의 채널 군별로 SMR파 및 중간 베타파의 파워를 분석하여, 비교하는 방법을 사용하였다. 이것은 인간의 뇌에서 집중력을 발휘하여 정답률이 높아지는 부위를 뇌파의 파워를 분석하여 알아내기 위한 방법으로 제시한 것이다. 5장에서는 본 논문의 전체적인 결론을 제시한다.

제2장 뇌파의 특성 및 분석

2-1. 뇌파의 특성

인간의 뇌는 인지, 언어 기억 등의 고차원적인 기능을 담당하는 대뇌가 대부분을 차지하고 있으며 대뇌에서 뉴런이 고밀도로 밀집되어 있는 표층을 대뇌 피질(cerebral cortex)이라 부른다. 대뇌피질은 크게 전두엽(Frontal Lobe), 측두엽(Temporal Lobe), 두정엽(Parietal Lobe), 후두엽(Occipital lobe) 네 개의 영역으로 나눌 수 있다. 시각정보의 분석을 수행하는 제1차, 제2차 시각 영역은 후두엽에 포함되며 청각정보의 분석영역은 측두엽에 존재한다. 두정엽은 체성감각 및 내장감각을 처리하는 영역과 시공간의 지각에 관여하는 영역이다. 전두엽은 수의 운동 명령의 중추인 운동영역, 전운동영역, 운동연합영역 등의 운동계에 관여하는 영역이다. 전두엽의 최전방은 전두영역이라 부르며, 이 영역에서는 사고, 창조, 의지 등의 고도의 정신활동에 관여한다고 알려져 있다[12].

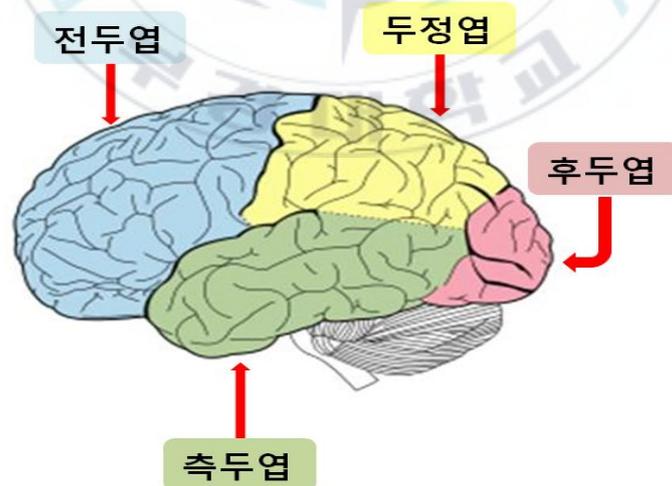


그림 2-1. 뇌의 구조

인간의 대뇌피질은 약 1,000억개의 뉴런으로 이루어져 있으며 각 뉴런은 약 1,000개의 수상돌기를 가지므로 대뇌는 모두 100조개의 시냅스를 가진다. 뇌파(EEG : Electroencephalogram)는 대뇌피질의 정보처리 과정을 반영하는 것으로 신경세포들의 전기적 활동을 머리 표면에 부착한 전극에 의해서 측정되는 전기신호이다[13].

1875년 영국의 생리학자 R.케이튼이 처음으로 토끼, 원숭이의 대뇌피질에서 나온 미약한 전기활동을 검류계로 기록한 것이 뇌파의 최초 보고이다.

사람의 뇌파를 최초로 검출한 사람은 Hans Berger(한스 베르거)이다. 머리에 외상을 입은 환자의 두개골 결손부의 피하에 2개의 백금전극을 삽입하여 기록하였고, 두피에 전극을 얹기만 하여도 기록될 수 있다는 것을 관찰하였다. 이것을 심전도(ECG)나 근전도(EMG)와 같이 뇌전도(EEG)라고 명명하였다 [14][15].

뇌파는 매우 복잡한 패턴으로 진동하는 파형형태로 보이기 때문에 뇌파 파형 그대로를 시각적으로 관찰하는 것은 유용하지 않다. 일반적으로 뇌파를 관찰할 때는 주파수에 따라 분류하는 스펙트럼 분석을 이용한다. 스펙트럼 분석은 뇌파를 특정 주파수로 진동하는 단순 진동들의 선형적 결합이라고 가정하고, 이 신호에서 각각의 주파수 성분을 분해하여 그 크기(또는 파워)를 표시한 것이다.

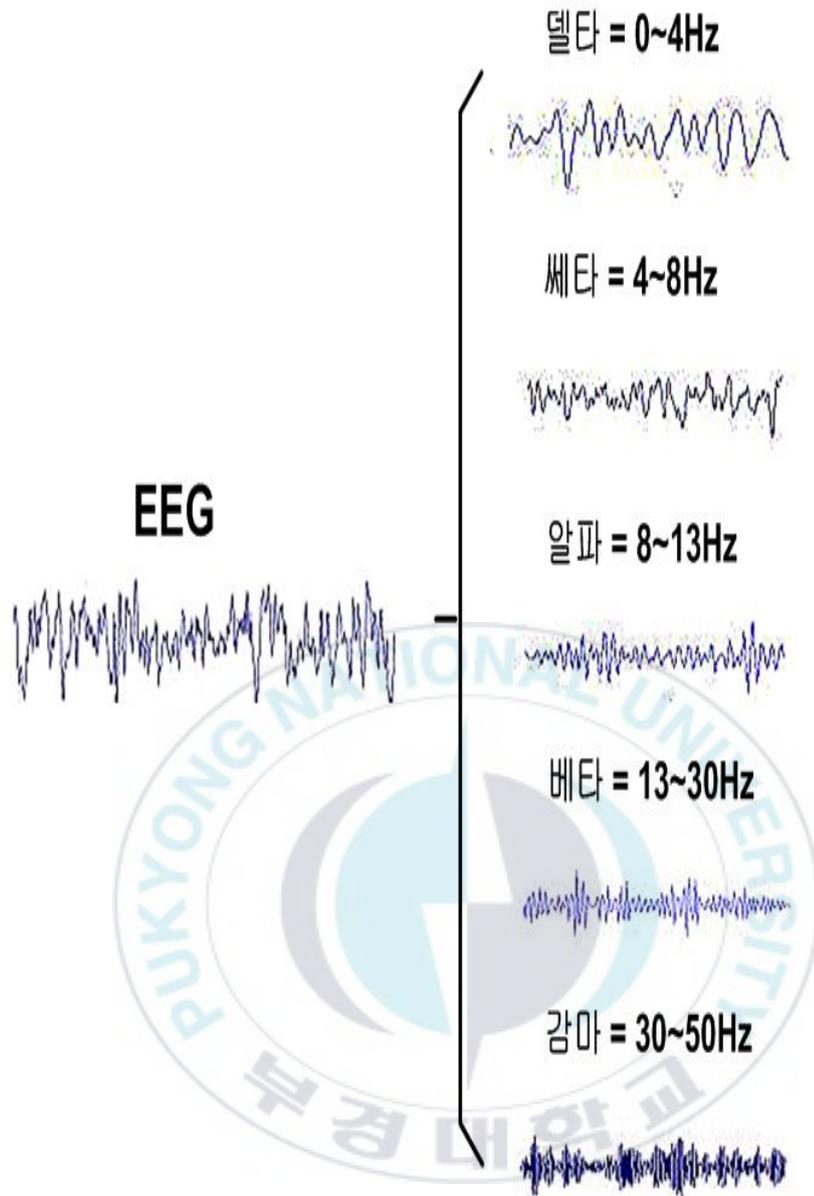


그림 2-2. 주파수 대역에 의한 뇌파의 구분

그림 2-2와 같이 뇌파는 일반적으로 진동하는 주파수의 범위에 따라 델타(δ)파(0.2~3.99Hz), 세타(θ)파(4~7.99Hz), 알파(α)파(8~12.99Hz), 베타(β)파(13~29.99Hz), 감마(γ)파(30~50Hz)로 구분하여 분류한다[14][16].

델타파는 가장 느린 서파로 숙면 중에 나타나는 수면 뇌파이다. 세타파보다 더 느리게 4Hz 이하에서 형성되며, 간질, 뇌종양, 정신박약 등의 이상이 있을 때 나타난다. 델타파 상태에서는 많은 양의 성장 호르몬이 생성 분비된다[6]. 주로 정상인의 깊은 수면 시나 신생아의 경우 두드러지게 나타난다. 깨어 있는 사람에게서 델타파가 평균범위보다 매우 많이 나타난다면 대뇌피질부위의 악성 종양 또는 마취, 혼수 상태관련 질병일 수 있다. 만약 건강한 정상인의 경우인데 델타파가 두드러진다면 뇌파 측정 시 눈을 깜박이거나 몸을 심하게 움직인 경우가 대부분이다. 이러한 눈 움직임이나 몸 움직임에 의해 발생하는 잡음(artifact)의 주파수 영역은 델타파 주파수 영역과 거의 일치하므로 마치 델타파가 증가한 것처럼 보일 수 있다. 따라서 보통 장시간 뇌파 측정실험을 할 경우엔 눈 움직임과 몸 움직임이 필연적으로 발생하므로 보통 델타파의 파워증감은 분석요소로 고려하지 않는다.

세타파는 4~8Hz의 서파로 숙면 중에 나타나므로 잠에 빠져들 때의 뇌파로 서파수면파 혹은 졸음파라고도 부른다. 꿈을 꾸고 있는 동안이나 명상하는 동안에 나타나기도 하며, 통찰력이 커지고 의식과 무의식 사이에 존재한다고도 하며, 수면과 깨어 있는 중간의 여명 상태라고도 한다.

명상상태의 뇌파는 세타파의 활성이 가장 우세하며 알파파도 높게 나타나지만 베타파는 낮게 나타난다. 세타파는 작동기억(working memory)의 등록(encoding)과 검색(retrieval)에 관여하고 있는 것으로 보고되고 있으며 최고 성과 수행력(peak performance)에도 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다.

알파파는 뇌파의 기본이며 기조율동이라고도 표현하고, 정상성인의 각성, 안정 및 폐안 상태에서 잘 나타나 건강상태의 기준이 된다. 눈을 뜨면 억제(α -blocking)되고, 건강하거나 집중되는 정신활동에서는 약해진다. 알파파는 뇌의 발달과 밀접한 관계가 있으며 어린이의 알파파 주파수는 4~6Hz 정도이고

성장하면서 점점 높아져서 15세경에는 성인의 주파수와 같은 8~12Hz, 진폭은 20~50 μ V 정도로 점증, 점감(waxing and warning)을 보이는 것이 많다. 알파파는 뇌가 이완된 상태로서 근육도 동시에 이완되면서 몸과 마음이 조화를 이룰 때 발생한다.

피곤하면 눈을 감아도 알파파가 잘 나타나지 않는다. 알파파가 나오지 않는다는 것은 뇌가 휴식을 취하지 못해 정신적으로 긴장이나 불안, 스트레스상태라는 것이다[18].

베타파는 12~30Hz 사이의 뇌파를 말한다. 의식이 깨어 있을 때의 진폭이 짧은 속파로 긴장하거나 집중되는 정신활동 시 뇌 전체에서 광범위하게 나타난다. 이를 좀 더 세분화 하면 SMR파 (12~15Hz), 중간 베타파 (15Hz~18Hz), 높은 베타파(20Hz 이상)로 구분하며, 각각의 뇌파는 뇌기능이 서로 다른 상태를 반영하고 있다[19].

중간 베타파는 정상적인 논리적 사고와 문제의 해결, 외적 주의력에 관여할 때 나타난다. 긴장과 불안이 계속될 때 20Hz 이상의 높은 베타파가 관측된다. 치료 약제의 종류에 따라 광범위하게 베타파가 증가하는 경우도 있다. 불안, 긴장 등의 스트레스를 받을 때 더 강하게 나타난다고 한다. 민첩성, 각성, 집중력 및 인식력과 관련 되어 있으며 과도할 때 불안을 유발하기도 한다.

감마파는 30Hz 이상의 빠른 뇌파를 말한다. 대개 뇌손상 같은 경우에 나타나는 병적인 뇌파이지만 고도의 능력을 수행 할 때에도 나타난다고 한다[16]. 가장 빠른 속파로 의식 상태와 명확한 연관은 밝혀지지 않았으나 극도의 각성, 고민, 흥분 시 발생하며, 긴장과 능동적 고도의 정신 기능 수행 시에 나타나기도 한다.

대뇌기능 평가방법중에서 뇌파(EEG) 측정은 객관적이고 비침습적으로 연속하여 간단하게 측정할 수 있는 우수한 검사 방법으로 평가되고 있다[20]. 뇌파측정을 위한 전극부착 방법으로 가장 많이 쓰이고 있는 것은 국제 표준규격인 10-20 전극 배치법(10-20 시스템)이다[21][22]. 인지적 정신과제 수행시에는 그림 2-3과 같이 10-20 전극배치법에 따라서 전극을 통하여 측정되며 좌우 귀에 전극을 부착하여 기준전극을 삼는다.

본 연구에서는 인지과정 중 시력자극에 의한 집중력과 관련된 부분으로 전두엽부분과 측두엽의 위치에서 뇌파를 측정하여 사용하였다.

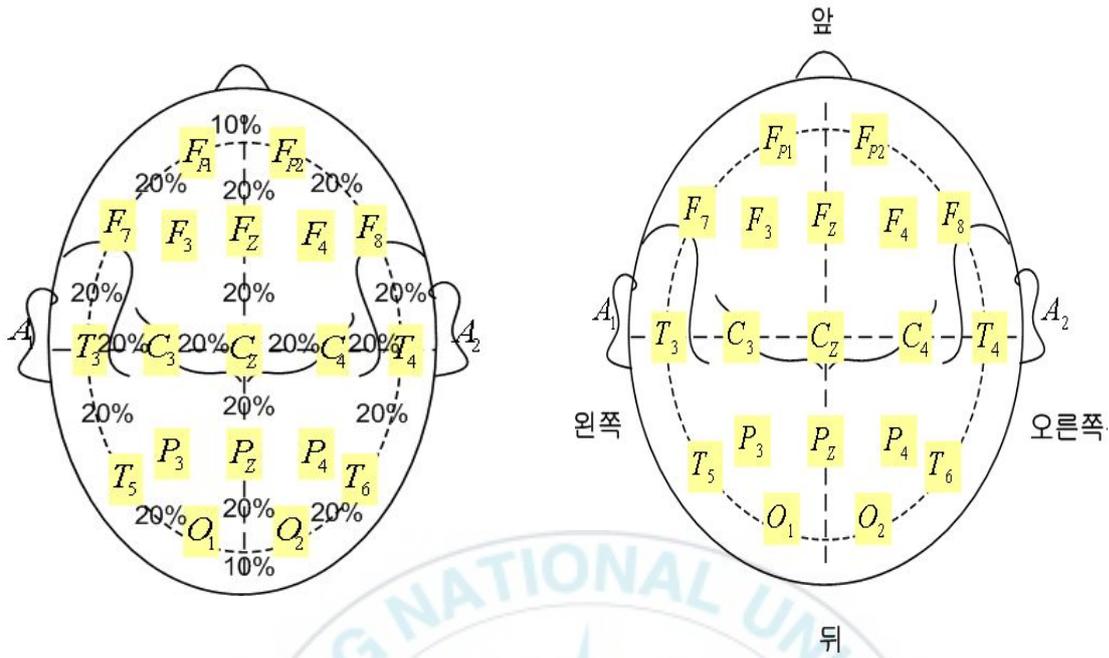


그림 2-3. 10-20 국제 전극 배치법

2-2. 뇌파의 분석

2.2.1 사건 관련 전위(Event-Related Potential)

뇌파는 크게 자발뇌파(SP : Spontaneous Potential)와 유발뇌파(EP : Evoked Potential)로 구분할 수 있다. 일반적으로 사용되어지는 뇌파는 비침습적인 방법 즉 두피상에 부착된 전극으로 측정되어 지므로 뇌파를 측정하고 분석할 때 어려운 점은 피험자의 움직임이나 생리적인 다른 신호들의 영향으로 실험 할 때마다 뇌파의 측정이 다르게 나타난다는 것이다. 사건관련전위는 유발뇌파의 하나로 과제 수행 중에 특정한 자극을 주어 이 자극과 관련한 일정한 시간동안 발생하는 뇌파를 말한다. 사건관련전위는 자극을 제시하고 그 변화를 동시에 알아볼 수가 있는 장점이 있다. 일반적으로 사건관련전위는 동일한 실험을 여러 번 반복하여 그 신호들의 평균을 구한 뒤 뇌파의 변화를 살펴본다. 자극 제시 후 300ms 후에 나타나는 양의 전위를 띄는 피크를 P300이라고 부른다. 이 P300은 인지과정 혹은 정보처리과정에서 가장 많이 연구되어 지고 있다[23].

P300은 1965년 Sutton 등에 의해 처음으로 보고되었다. 이들은 청각자극과 시각자극 등 두 개의 자극을 사용하여 두 가지 조건에서 실험을 하였다[24]. 자극제시 방법으로는 양자극 패러다임을 통하여 측정되는데 이 방법에서는 두 종류의 자극이 제시된다. 한 자극은 표준자극(standard stimulus)으로서 높은 제시 확률을 갖는 반면 다른 자극인 목표자극(target stimulus)은 제시 확률이 낮다. 표준자극은 자주 제시되는 반면 목표자극은 드물게 제시된다는 것이다. 피험자의 과제는 제시된 전체 자극들 중에서 목표자극이 몇 번 제시되었는지를 마음속으로 세거나 목표자극이 제시될 때마다 버튼 등을 눌러 반응하는 것이다. 양자극 패러다임을 사용하여 P300을 조사한 연구들은 비교적 일관성 있는 결과를 보여 주고 있는데 표준자극보다는 목표자극에 의해 충분히 큰 P300을 얻을 수 있다[25]. 양자극 패러다임으로 P300을 측정하는 연구를 통하여 표준자극보다 목표자극에서 보다 큰 진폭의 P300을 얻을 수 있었고, 지형적으로는 뇌의 중앙선을 따라 전두엽 부위, 중앙부위, 후두엽부위에서 P300

이 크게 관찰되었다[26]. 또한 P300은 자극제시 후 300msec 근처에 반듯이 나타나는 것이 아니라 여러 가지 원인에 의해 250msec와 600msec 사이의 어느 시점에서든 나타날 수 있다는 사실도 관찰되었다[27].

제시 400ms 정도에 나타나며 음의 전위를 띄는 피크를 N400이라고 한다 [28]. 뇌파를 분류 할 때 크게 두 개의 범주로도 나누는데 자극제시 200ms 이전에 관찰되는 정점인 N100과 N200등을 초기 피크(early peak)로 분류하는 한편 200ms 이후에 나타나는 P300, N400, slow-wave 등을 후기 인지적 피크(late cognitive component)로 나눈다.

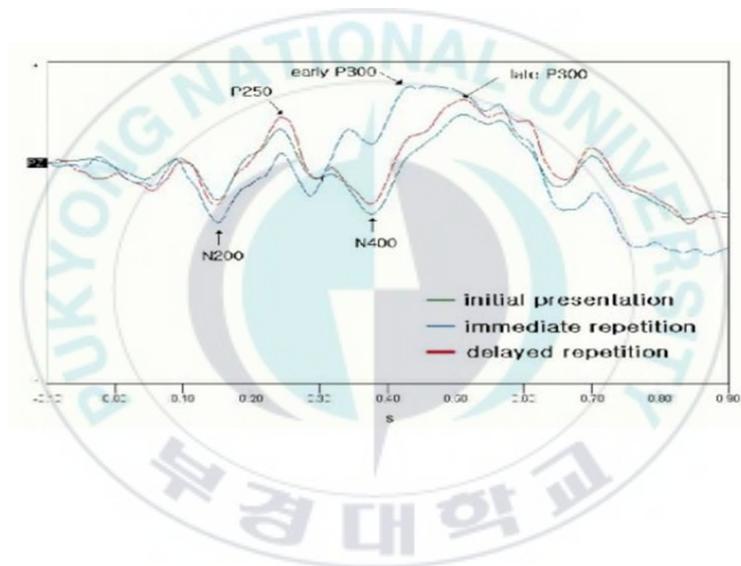


그림 2-4 사건관련전위

2.2.2 파워 스펙트럼에 의한 분석법

시간에 따라 변화하는 시계열 신호를 주파수 영역으로 변환하여 주파수 변화에 따른 신호의 양상을 판단할 때 사용되는 방법으로 측정된 뇌파에서 각 진동성분이 얼마만큼의 비중을 차지하고 있는지 정량적으로 파악하는 것이 필요한데, 이때 주파수에 따라 분류하는 파워 스펙트럼 분석을 이용한다. 파워 스펙트럼은 생체신호를 포함하여 화상신호, 음성신호, 통신신호등의 많은 분야에서 널리 사용되고 있고 파워 스펙트럼 분석은 뇌파가 특정 주파수로 진동하는 단순 진동들의 선형적 결합이라고 가정하고, 이 신호에서 각각의 주파수 성분을 분해하여 그 크기 또는 파워를 표시한 것이다. 관찰하고자하는 주파수 대역이 뇌의 어느 영역에서 활성화되는지 아닌지를 쉽게 알 수 있고, 과제별로 주파수 대역의 차이를 쉽게 알 수 있다.

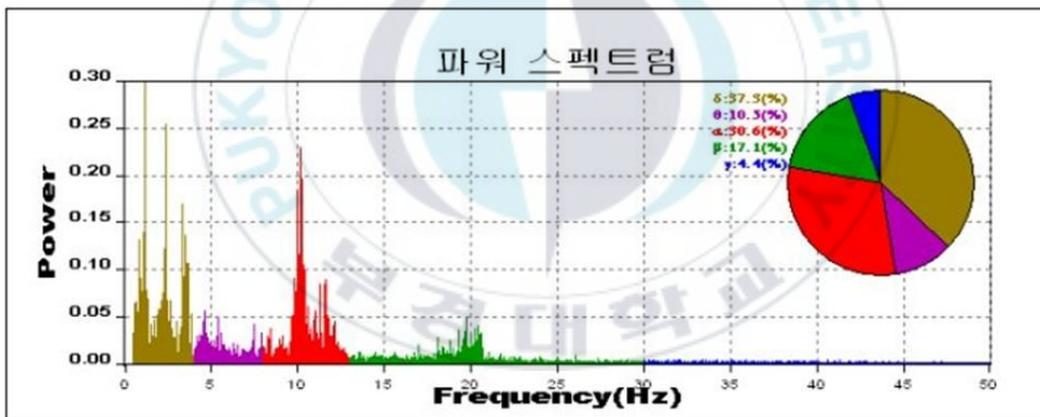


그림 2-5 파워 스펙트럼법

2.2.3 앙상블 평균(Ensemble Average)에 의한 분석법

지금까지 랜덤 디지털 신호 또는 시계열의 다양한 이산값들에 관련된 확률은 이미 알려져 있으며 계산할 수 있다. 그러한 확률은 신호의 평균이나 분산 측정값으로 추정하기 위해 사용되고 있다. 랜덤 변수들의 무한한 조합을 발생시키는 특정 샘플 순서열 $x(n)$ ($-\infty < n < \infty$)을 하나의 예로 들면, 순서열들의 조합은 무한 앙상블(infinite ensemble)이라고 알려져 있으며, 확률함수와 기대값들을 계산함으로써 앙상블 평균을 구할 수 있다.

특별한 조건하에서는 식 (1), 식 (2)로 시간 평균을 앙상블 평균 대신 사용할 수 있다[29].

$$m_x = \langle x[n] \rangle = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x[n] \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \langle (x[n] - m_x)^2 \rangle = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N (x[n] - m_x)^2 \quad (2)$$

뇌파는 랜덤하게 나타나는 전기적 신호로서 자발 뇌파와 어떤 자극을 주었을 때 나타나는 유발 뇌파가 같이 섞여진 상태의 파형으로 나타난다. 자발 뇌파의 진폭에 비해 유발 뇌파의 진폭은 매우 작기 때문에 자발 뇌파 속에 포함되어 있는 것으로 보이므로 파형을 찾기가 어렵다. 따라서 특정한 자극이 주어진 시점을 기준으로 측정된 뇌파를 평균함으로써 자극과 관련 없는 자발 뇌파는 제거하고 자극과 관련된 유발 뇌파만을 얻는 것이 가능하다. 이런 방법으로 평균화 하는 과정을 앙상블 평균(Ensemble Average) 분석이라고 한다.

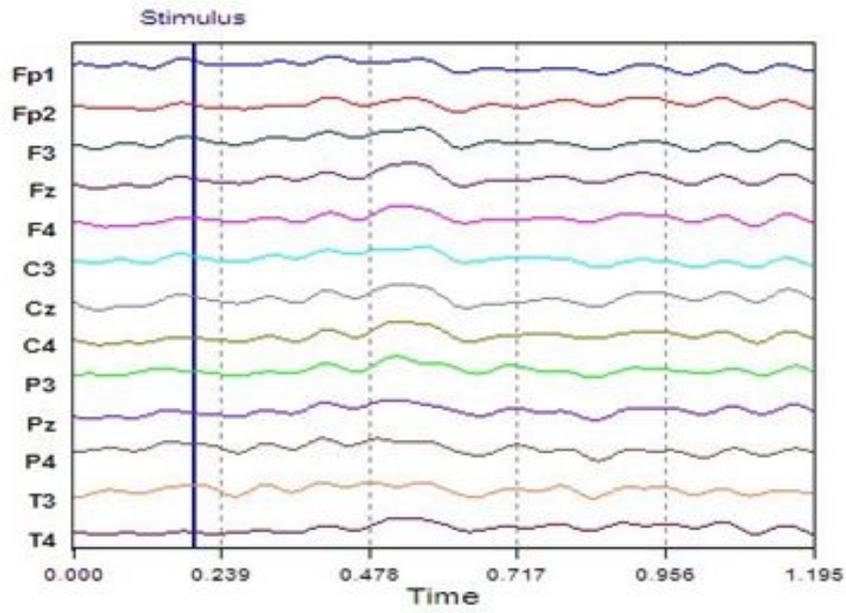


그림 2-6 채널별 파형

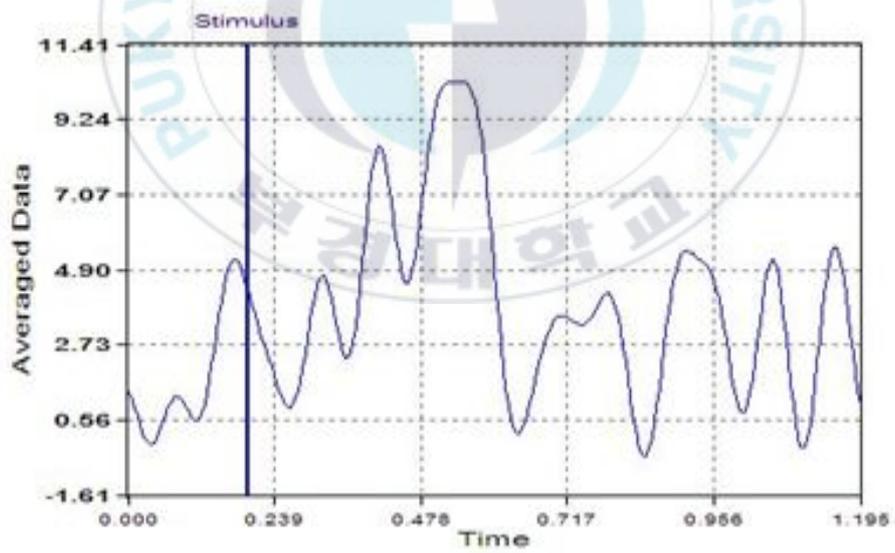


그림 2-7양상블 평균

제3장 집중력 관련 뇌파분석 (I)

3-1 뇌파 계측 실험

본 논문에서의 첫 번째 뇌파실험에는 10명의 피험자가 참여하였고, 실험에 참여한 피험자들은 기본적으로 정신적, 인지적 병력이 없는 만 15세, 16세의 건강한 여성들로 구성되었다. 본 논문에서의 뇌파실험에서는 뇌파계로 (주)Laxtha의 poly G-A를 이용하였다. 피험자들로부터 뇌파를 측정하기 위하여 전극을 부착하는 방법으로는 국제적으로 공인되어있는 10-20 전극배치법을 사용하였다.

본 뇌파실험에서는 10명의 피험자에게 동일한 그림과 글자 속에 다른 형태의 그림과 글자를 숨은 그림과 글자형태로 삽입한 것을 시각 자극으로 제시하여 찾아내도록 하는 과제를 주었다. 따라서 피험자들이 숨은 그림과 글자를 해답으로 찾아내려고 집중할 때의 뇌파를 계측하는 방법을 사용하였다. 그림 3.1과 같이 8개소(Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, C3, Cz, C4)의 위치의 피험자의 두 피에 부착한 전극에서 계측한 뇌파를 분석대상으로 하였다.

각각의 시각자극인 그림과 글자 속에 피험자가 찾아야 할 숨은 그림과 글자로 제시되는 목표물은 시각자극마다 1개씩 배당하였고, 하나의 시각자극이 제시되는 시간은 20초로 설정하였다.

본 뇌파실험의 구성은 뇌파계 프로그램 중 자극 스케줄링 프로그램을 이용하여 진행되었고, 알림말 10초, 시각 자극 제시 20초, 휴식 20초의 순서로 구성된 것을 1세트의 자극으로 설정하였다. 숨은 그림자극 및 숨은 글자자극은 각각 5세트로 구성하여 피험자가 총 10세트의 과제를 수행하도록 실험을 진행하였다. 그림 3-2는 자극 1세트의 피험자에게 제시하는 과정을 나타낸 블록 다이어그램이다.

실험에서 측정된 뇌파는 4~50Hz의 Band pass filter로 처리한 다음 분석하였는데, 자극이 제시된 시간에 유발된 뇌파를 구분하여 분석하였다. 구분된 데이터는 주파수 대역으로 나누어 분석하였는데, 주로 Mid-beta파, SMR파,

theta과 등의 파워 스펙트럼으로 분석하여 비교하는 방법을 이용하였다.

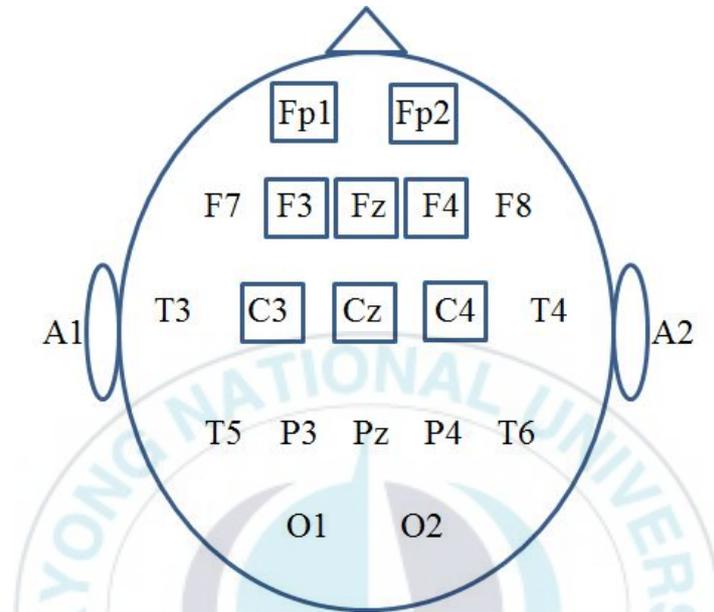


그림 3-1 뇌파계측을 위한 전극 위치

Fig. 1 Electrode location for EEG signal measurement

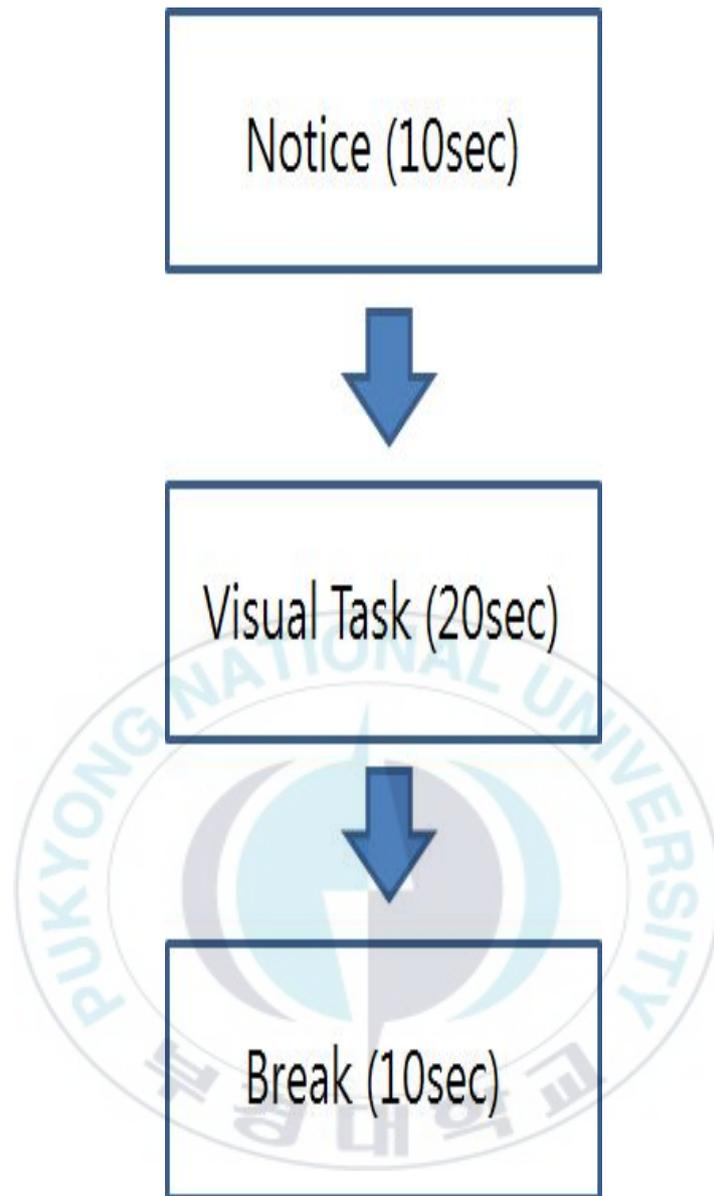


그림 3-2 시각자극 과제의 제시 과정

3-2 뇌파 분석 방법

본 논문에서는 시각자극 과제를 수행하는 과정에서 발생한 뇌파를 반복적으로 측정하였다. 각각 20초 단위로 구분되어 있는 과제수행 구간 단위로 측정된 뇌파는 주파수대역을 구분하여 분석하였다. 최종적으로 분석된 뇌파는 주파수대역에 따라 세타파(4~7kHz), SMR파(12~15kHz) 및 중간 베타파(15~18kHz)이고, 이와 같은 뇌파성분들의 파워 스펙트럼을 분석하는 대상으로 설정하였다.

그림 3.3은 숨은 그림 및 숨은 글자 찾기 과제를 수행할 때와 과제수행을 중단하고 휴식할 때 측정된 뇌파를 제시된 자극의 순서에 따라 피험자별로 세타파, SMR파 및 중간 베타파로 분석하여 각각의 절대파워 값의 변화를 나타낸 것이다.

인간의 뇌파를 분석한 파워 스펙트럼으로 집중과 관련된 상태를 나타내는 집중 지표(Concentration Index) CI를 계산할 수 있다. 세타파의 파워를 $P(\theta)$, SMR파의 파워를 $P(SMR)$, 중간 베타파의 파워를 $P(Mid\beta)$ 라고 하면, 집중 지표 CI는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$CI = \frac{P(SMR) + P(Mid\beta)}{P(\theta)} \quad (1)$$

기존의 뇌파 연구에서는 세타파와 SMR파 및 베타파의 활성화 합의 비율을 주의 집중도로 사용하며, 집중장애가 있을 경우 이 지표가 낮은 것으로 보고하고 있다. 그림 3-3에서 각 피험자의 분석결과마다 아랫쪽에 나타낸 그래프는 식 (1)에 나타낸 집중 지표 CI에 따라 피험자의 집중도를 분석한 것이다.

본 논문에서는 뇌파실험으로부터 측정한 뇌파의 파워 스펙트럼을 이용하여 식 (1)의 집중 지표로 분석한 후, 시각자극에 의한 집중과 관련된 뇌파의 특성을 분석하는 방법을 사용하였다.



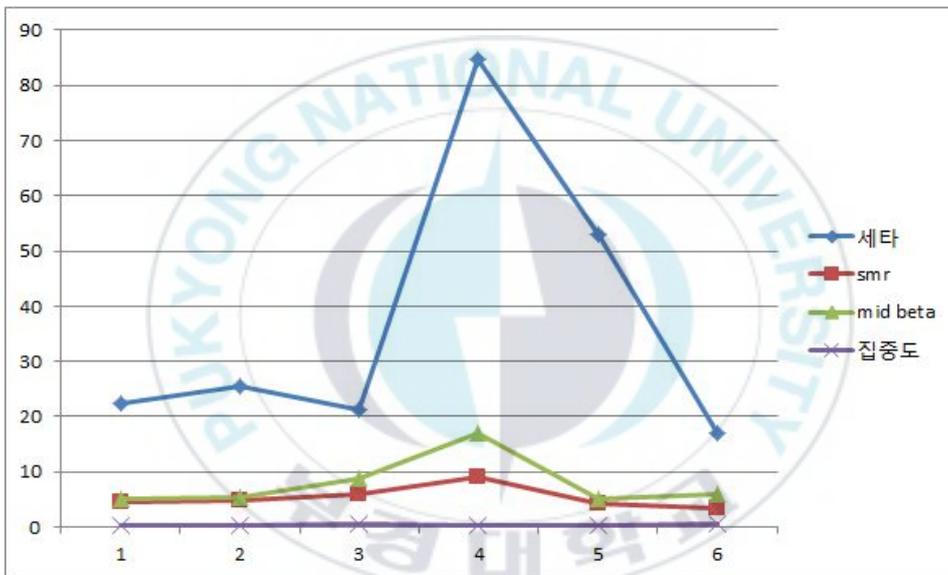
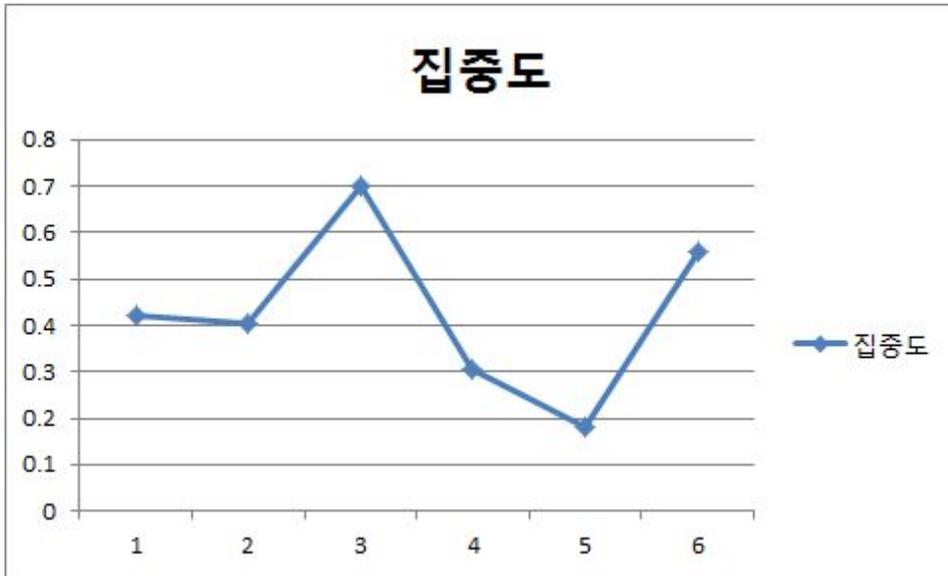


그림 3-3 (a) 피험자 1의 글 자 집중도와 뇌파 분석 결과

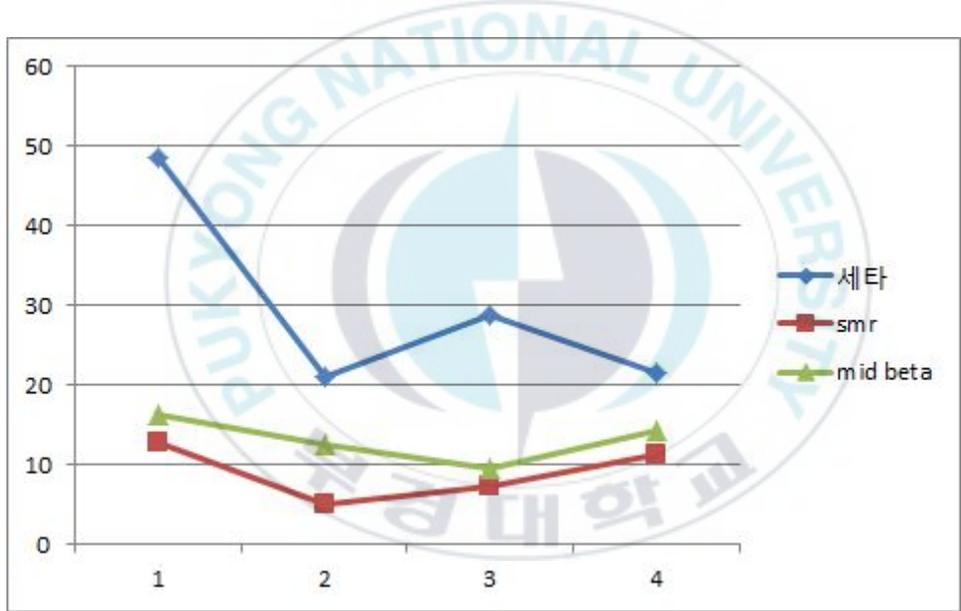
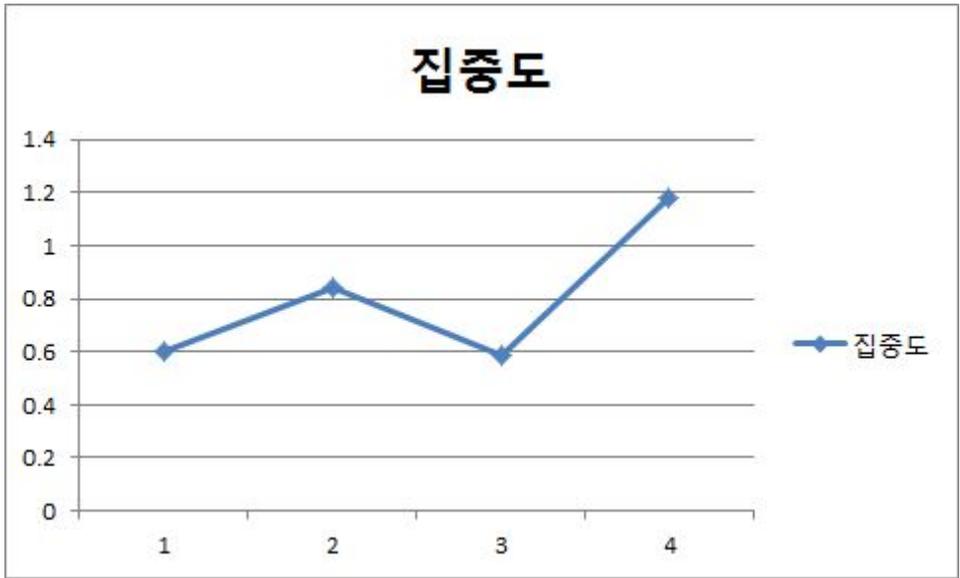


그림 3-3 (a) 피험자 1의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

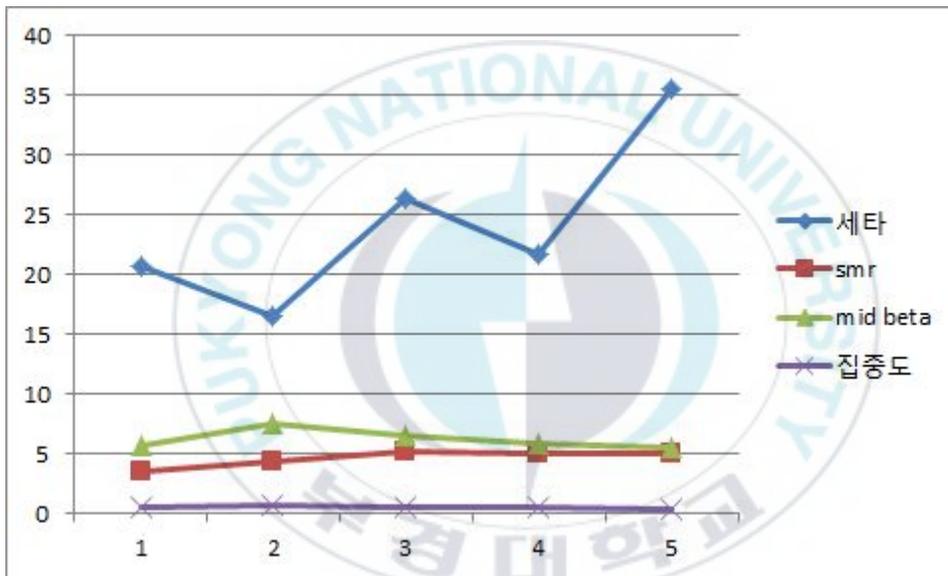


그림 3-3 (a) 피험자 1의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과

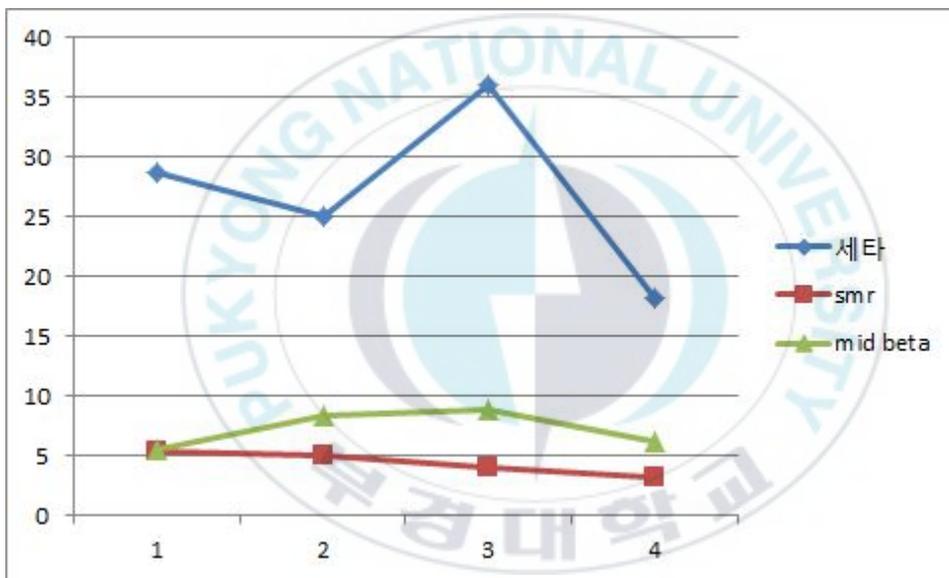
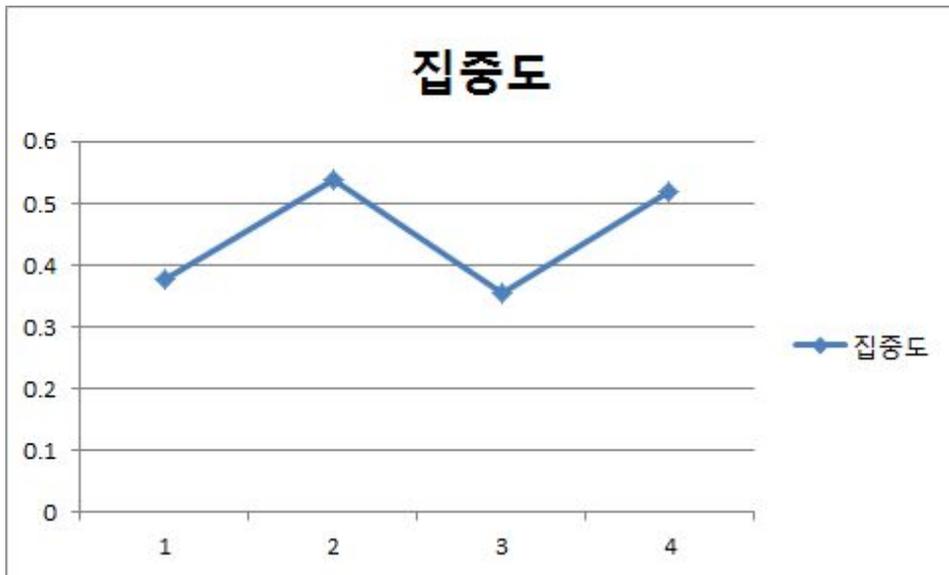


그림 3-3 (a) 피험자 1의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

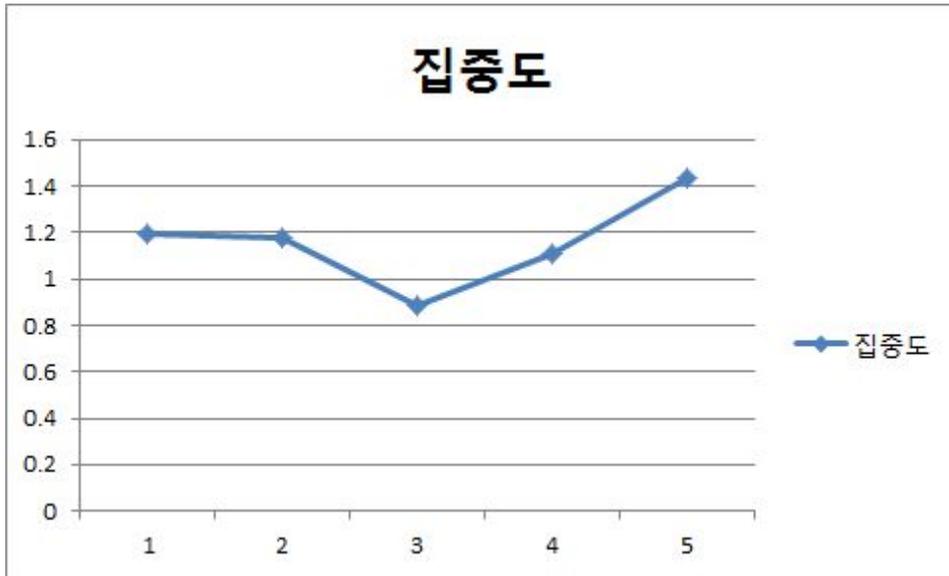


그림 3-3 (b) 피험자 2의 글 자 집중도와 뇌파 분석 결과

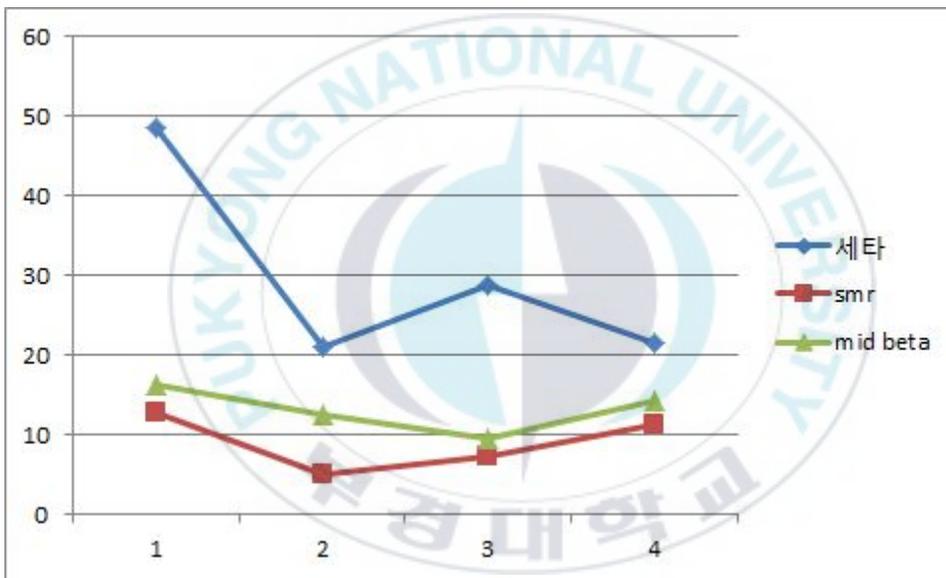
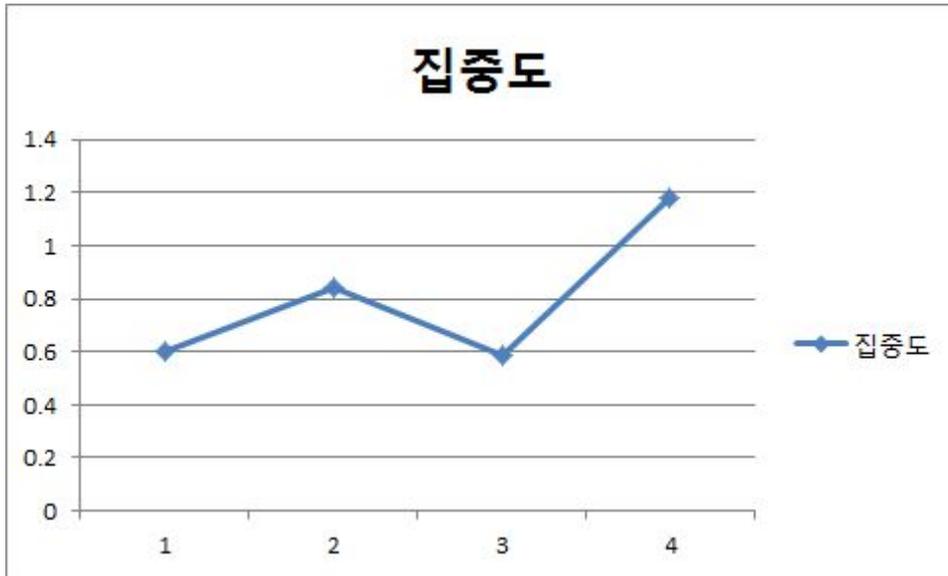


그림 3-3 (a) 피험자 2의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

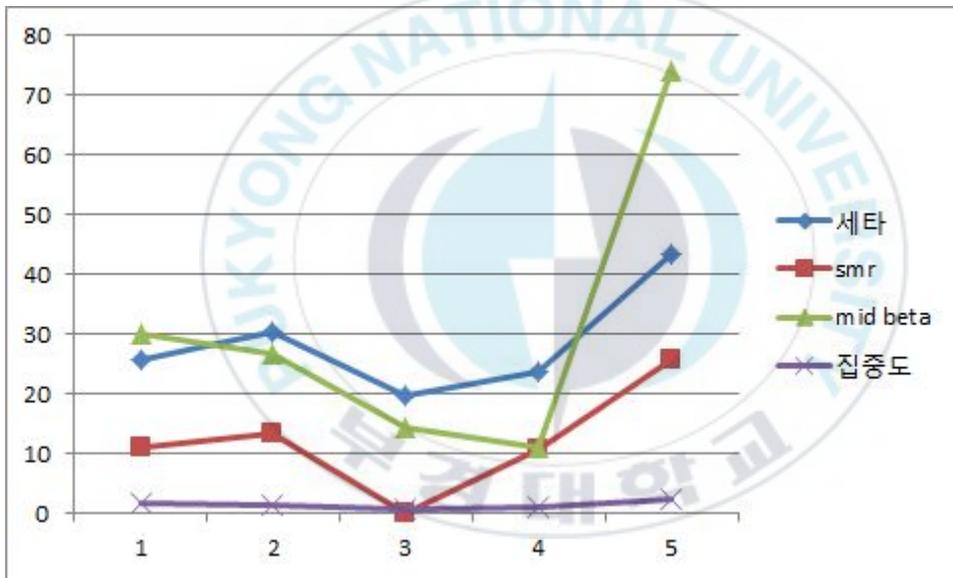
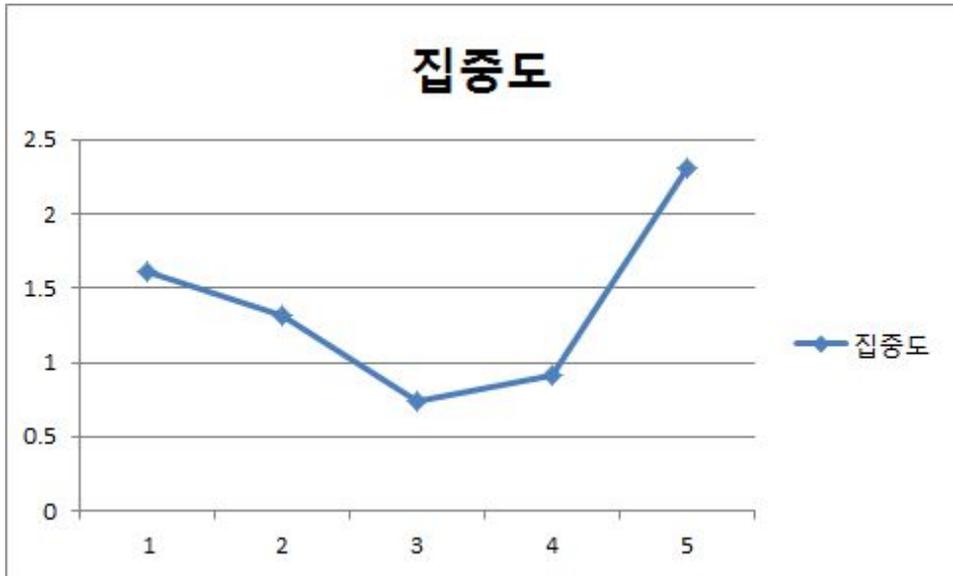


그림 3-3 (b) 피험자 2의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과

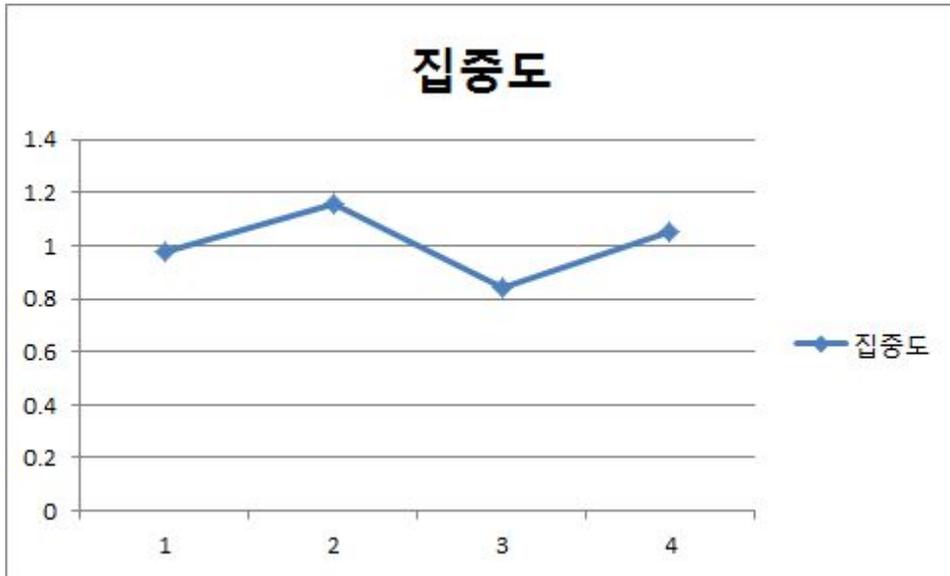


그림 3-3 (b) 피험자 2의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

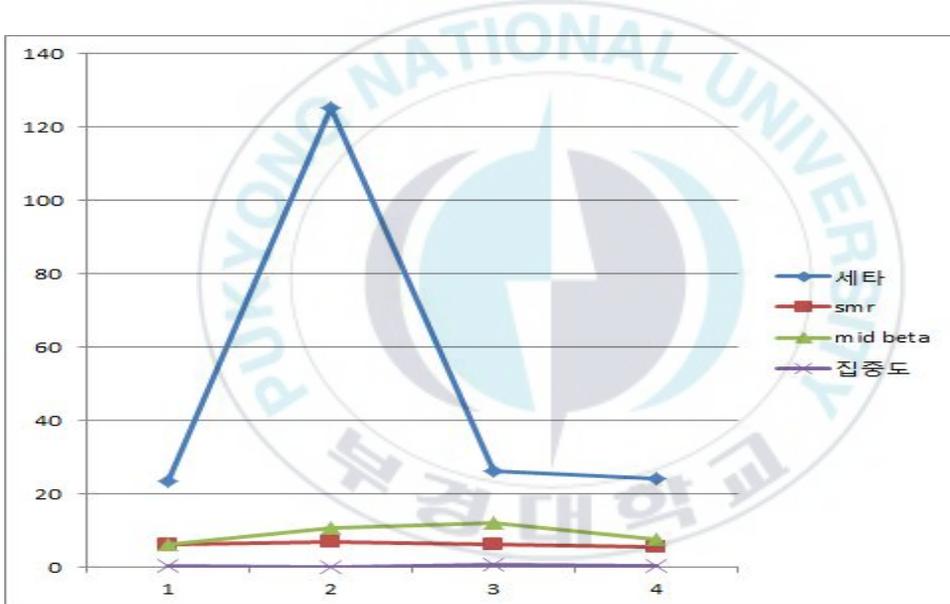
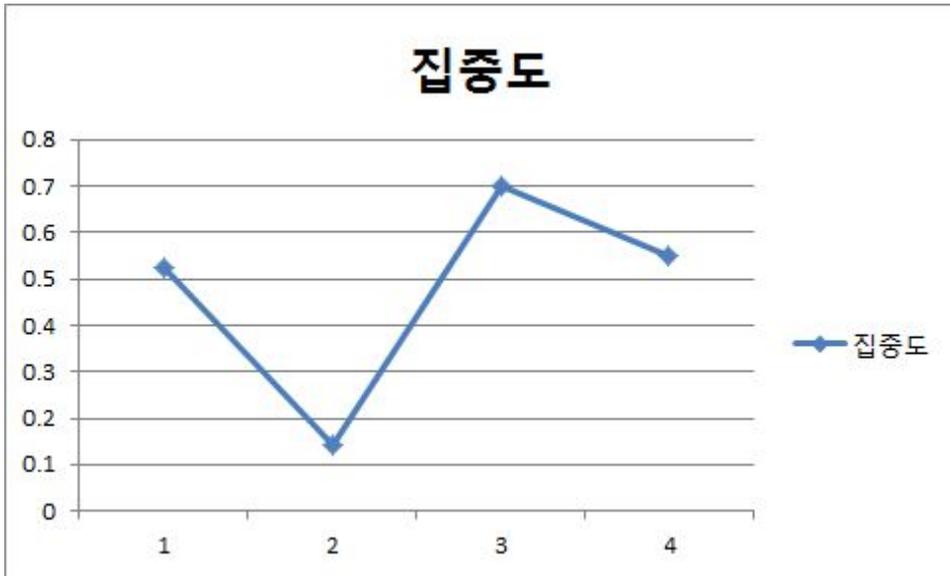


그림 3-3 (c) 피험자 3의 글 자 집중도와 뇌파 분석 결과

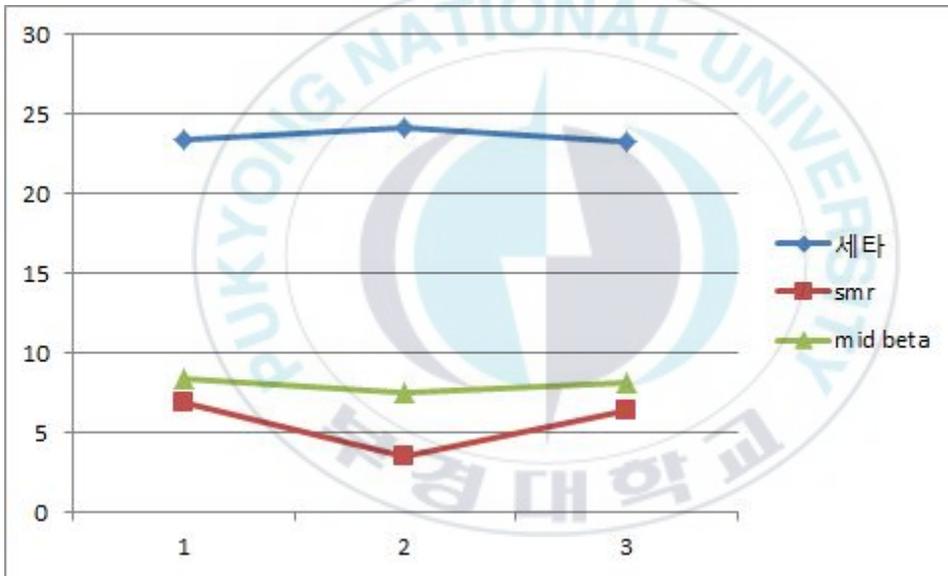
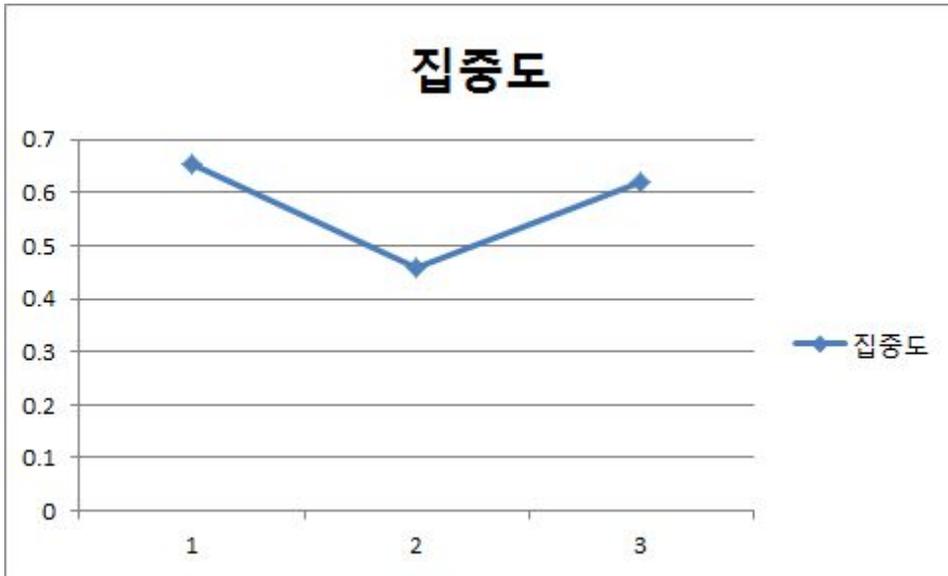


그림 3-3 (c) 피험자 3의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

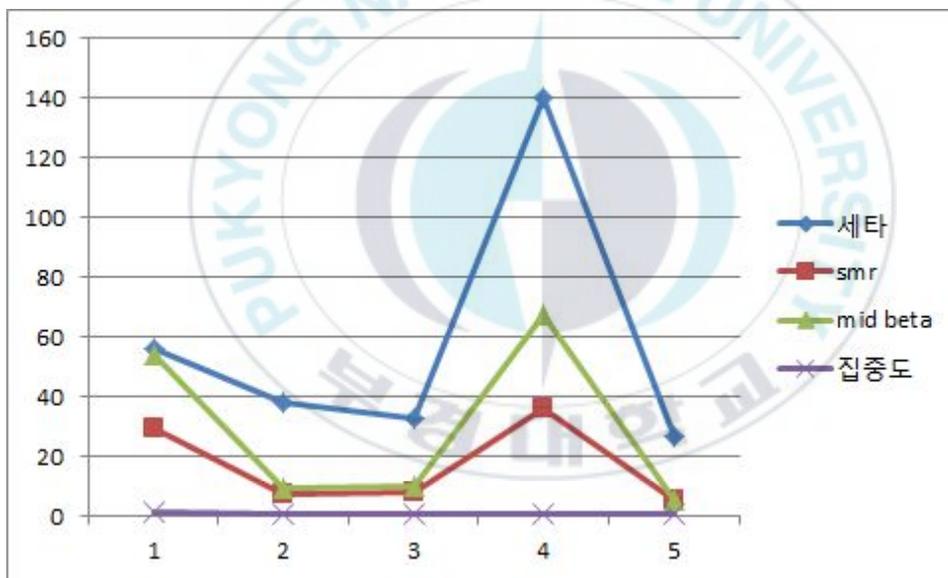
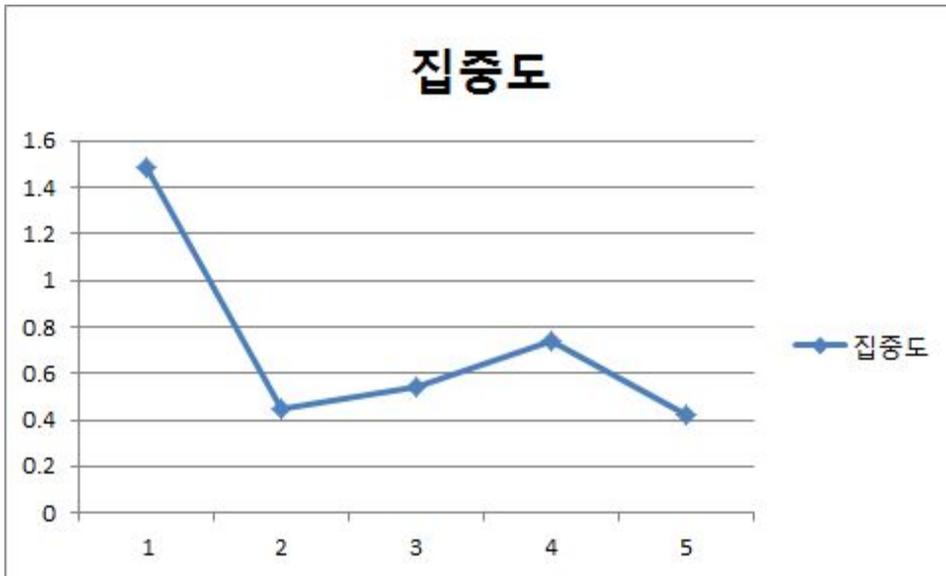


그림 3-3 (c) 피험자 3의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과

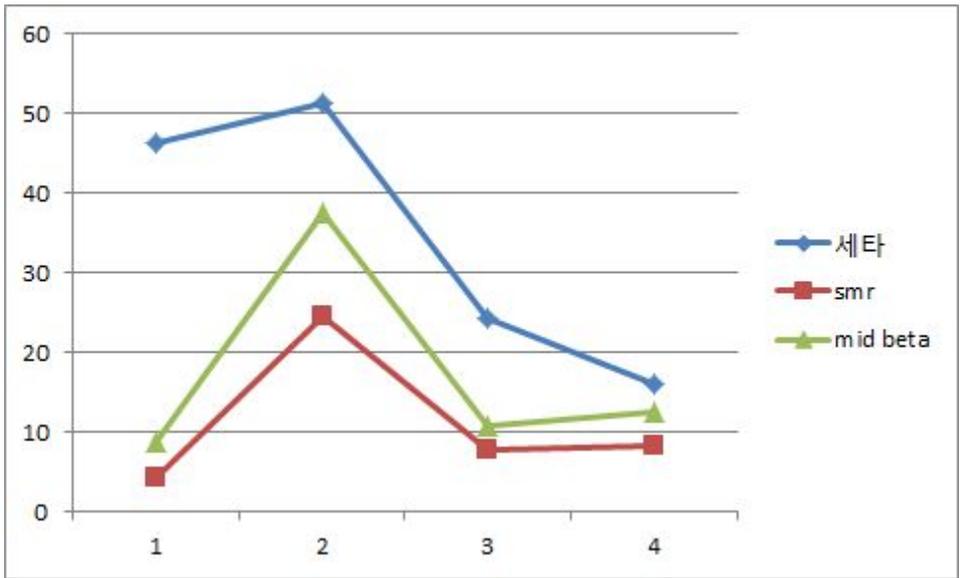


그림 3-3 (c) 피험자 3의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

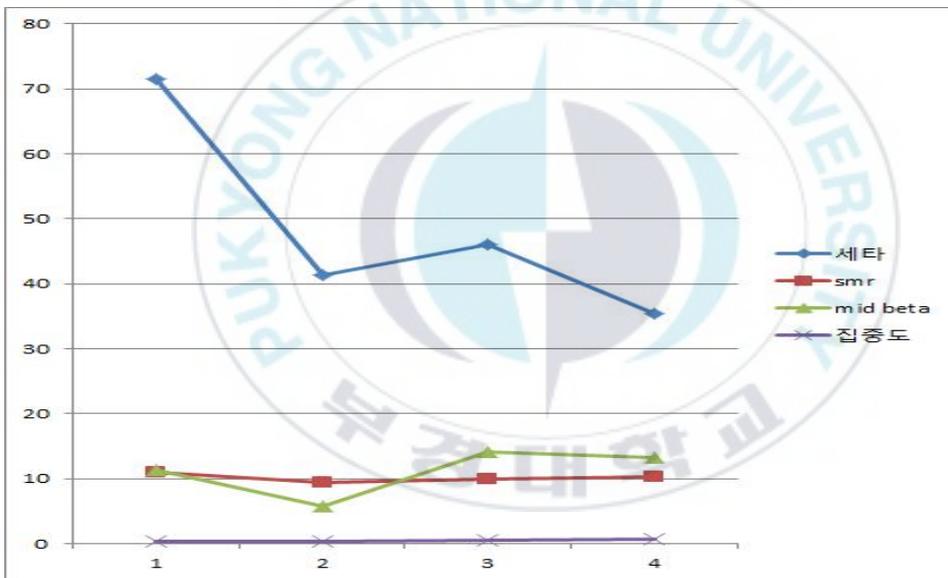
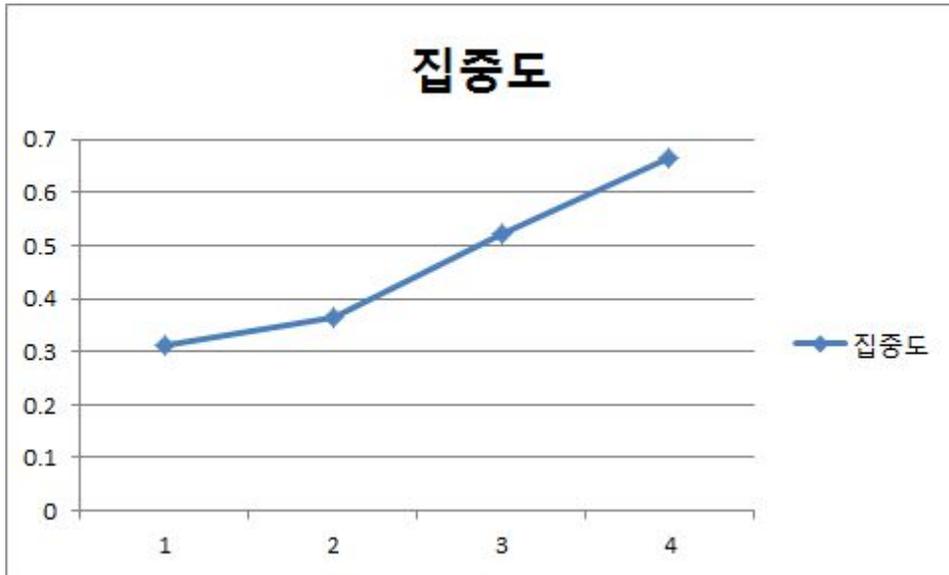


그림 3-3 (d) 피험자 4의 글 자 집중도와 뇌파 분석 결과

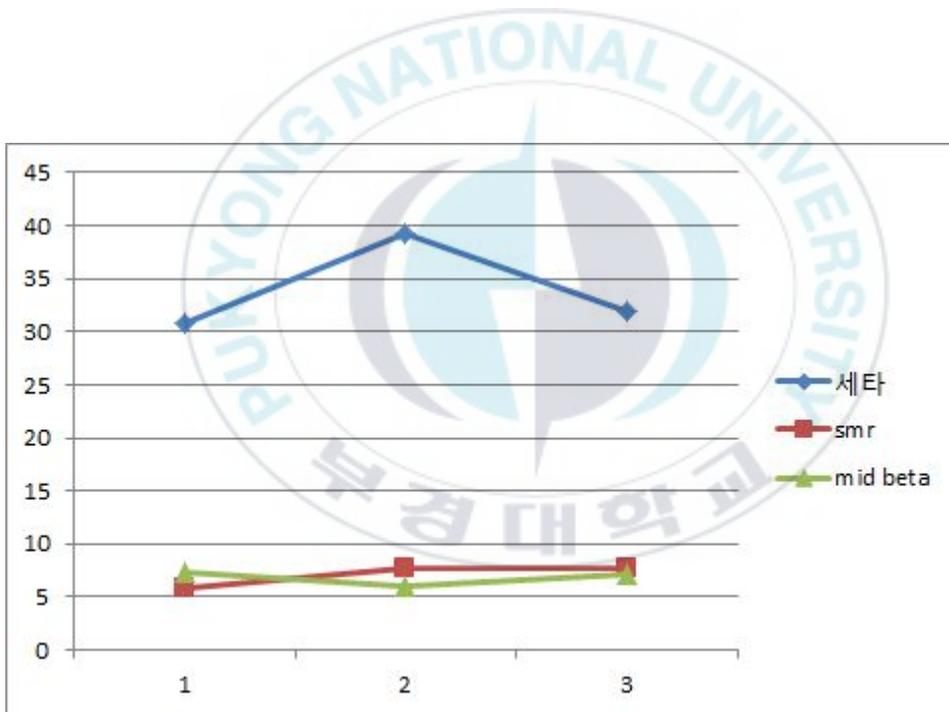
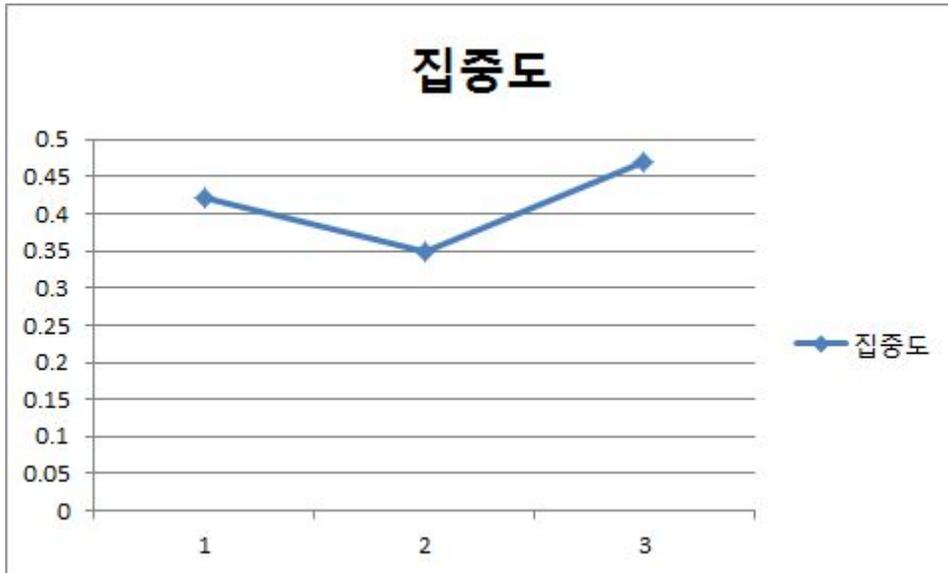


그림 3-3 (d) 피험자 4의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

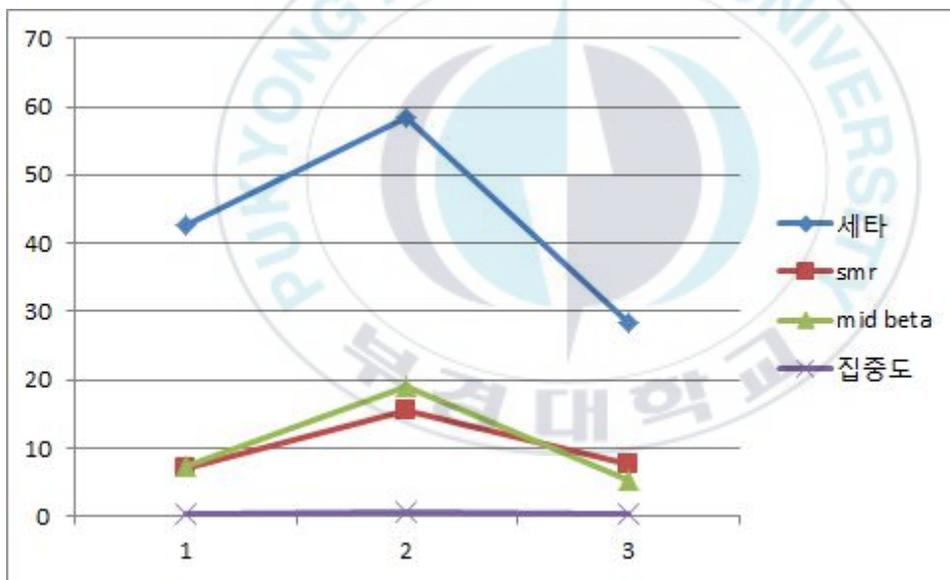
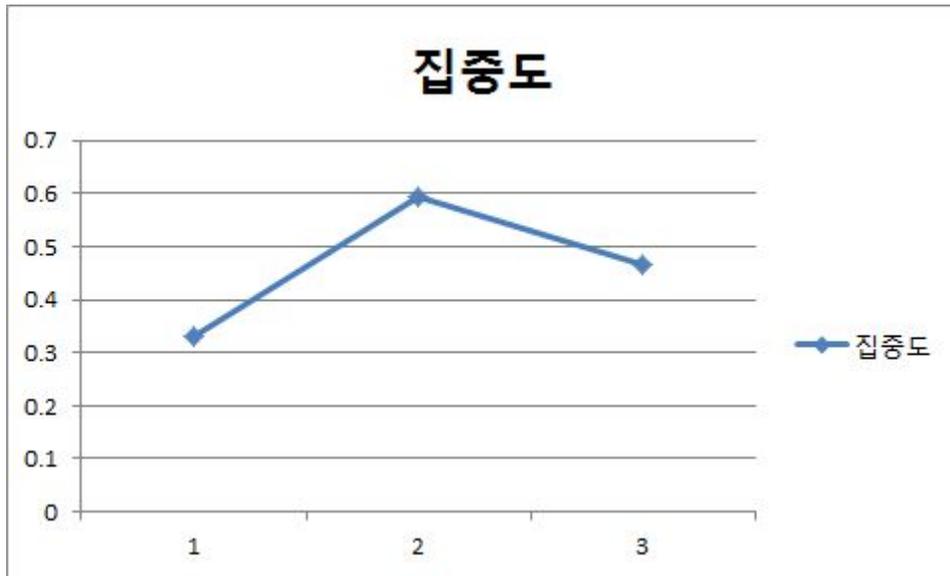


그림 3-3 (d) 피험자 4의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과

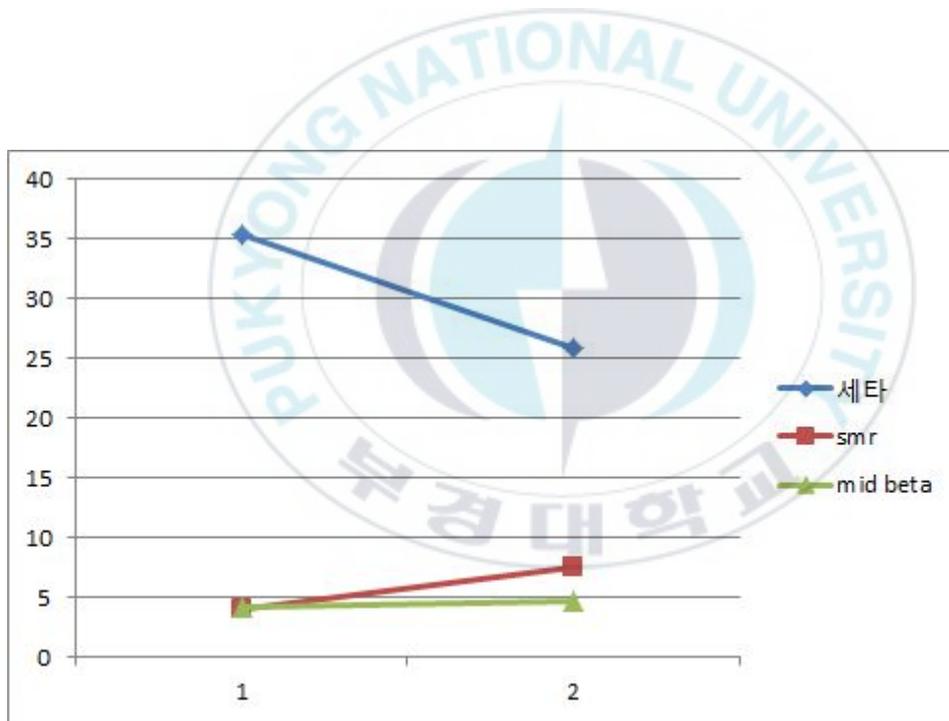
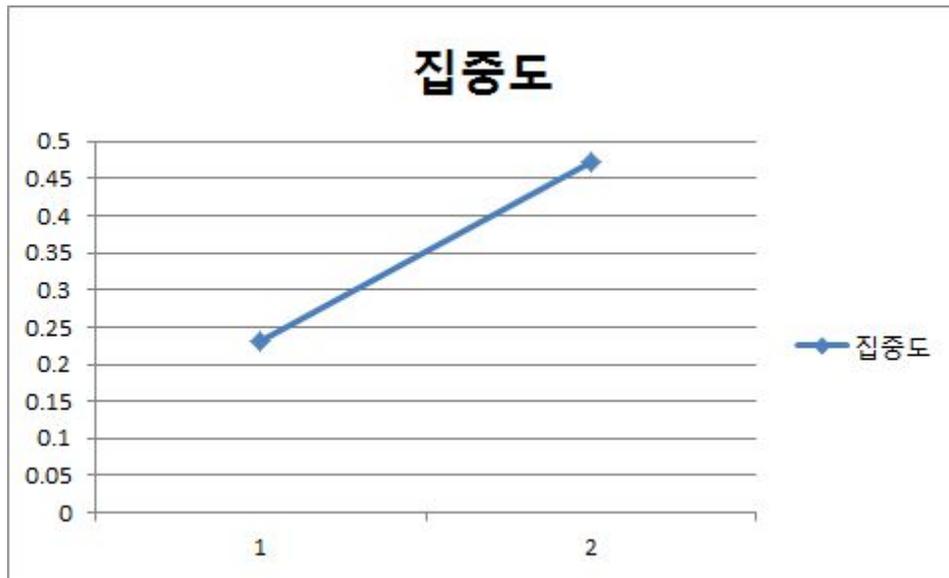


그림 3-3 (d) 피험자 4의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

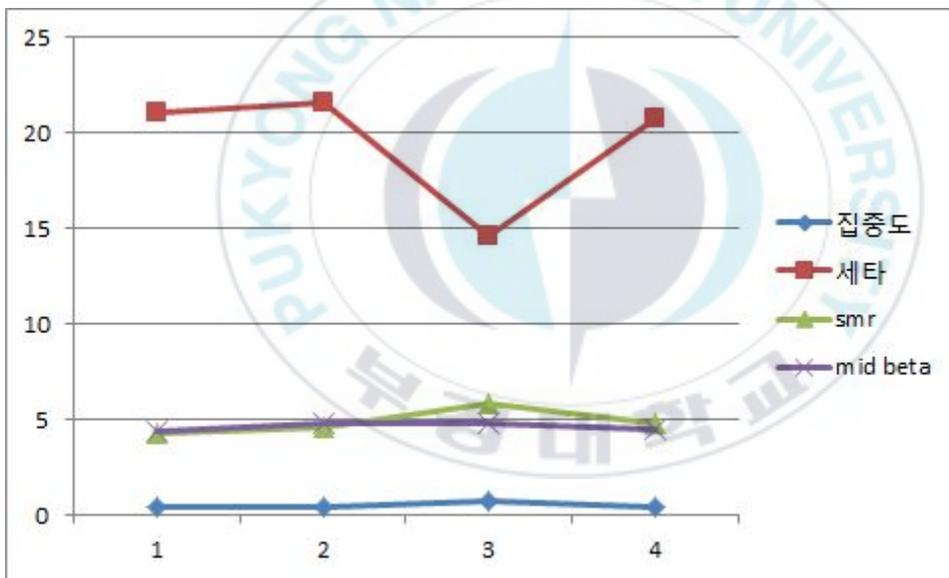
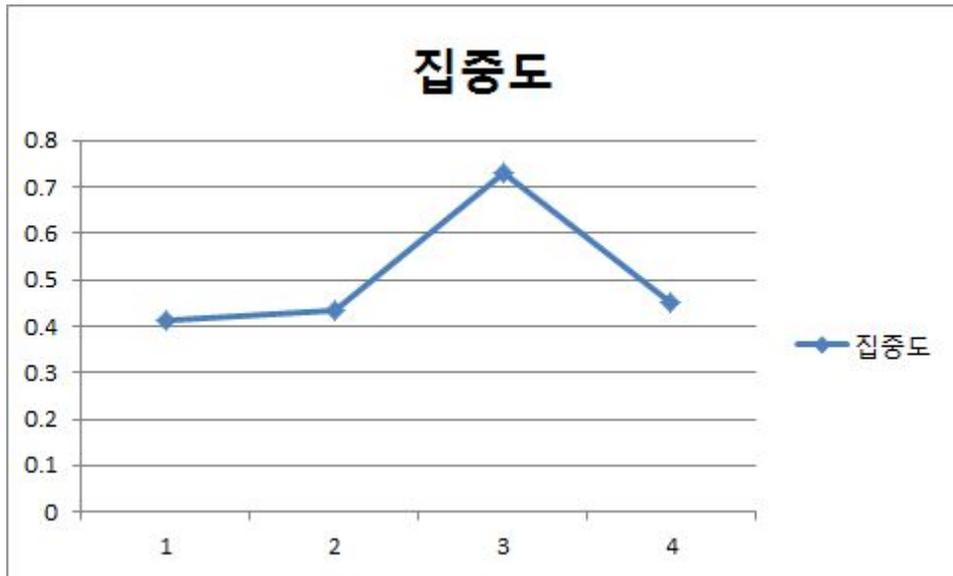


그림 3-3 (e) 피험자 5의 글 자 집중도와 뇌파 분석 결과

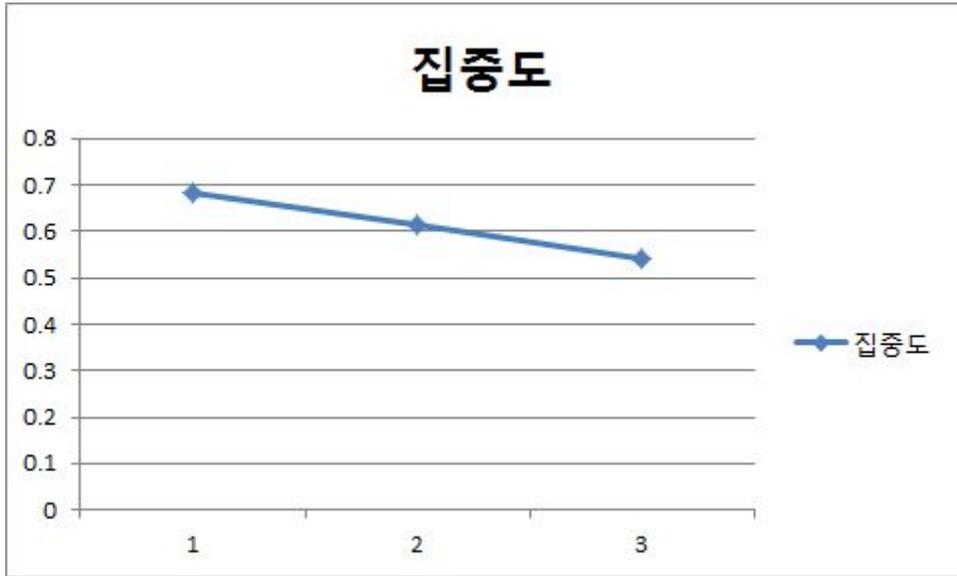


그림 3-3 (e) 피험자 5의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

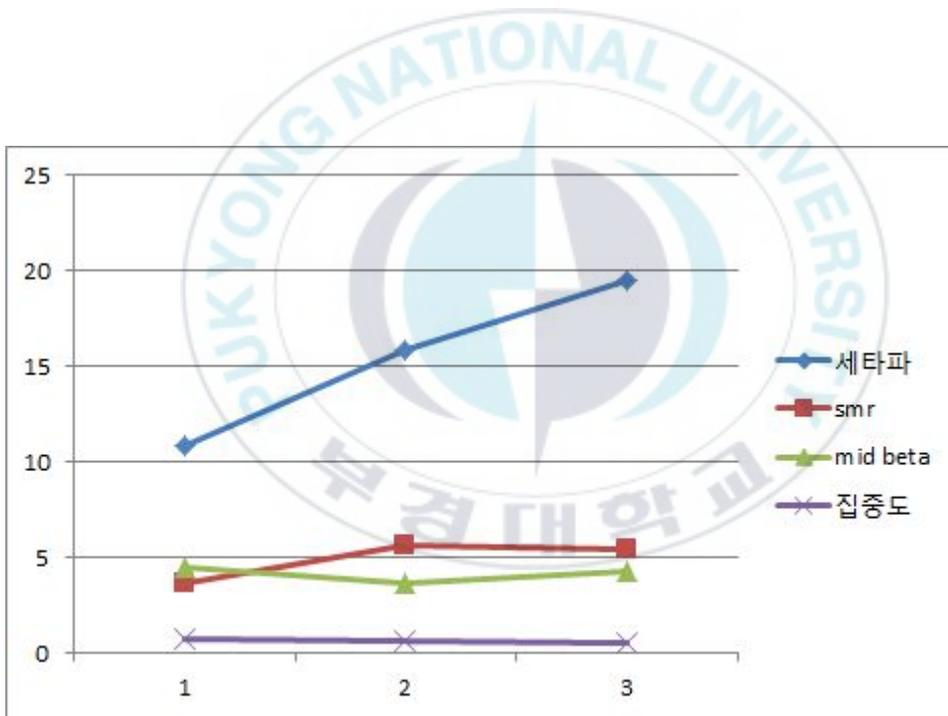
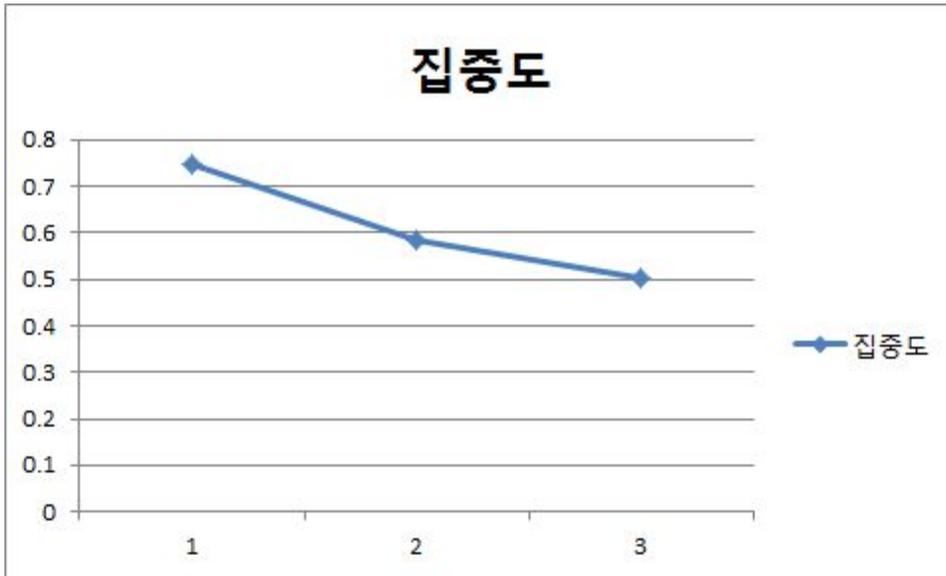


그림 3-3 (e) 피험자 5의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과

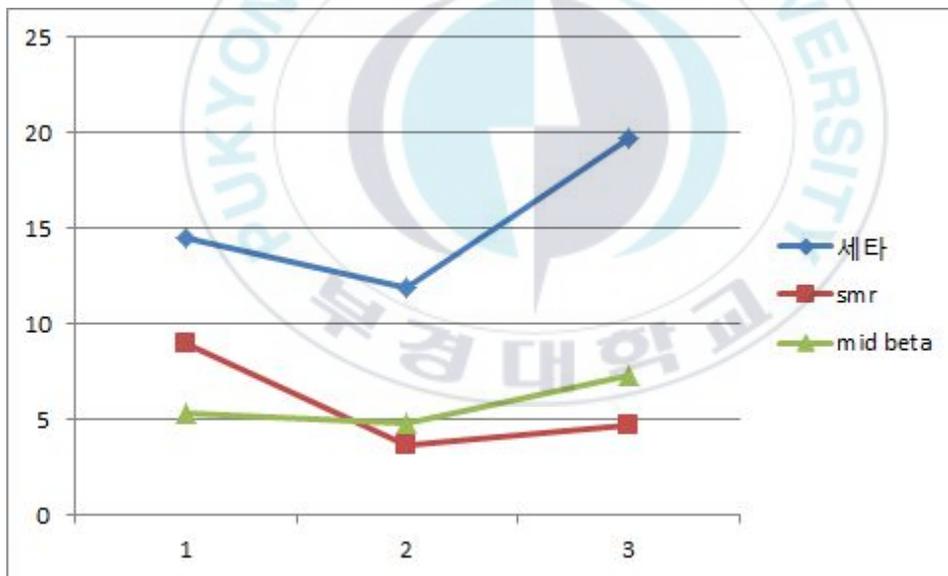
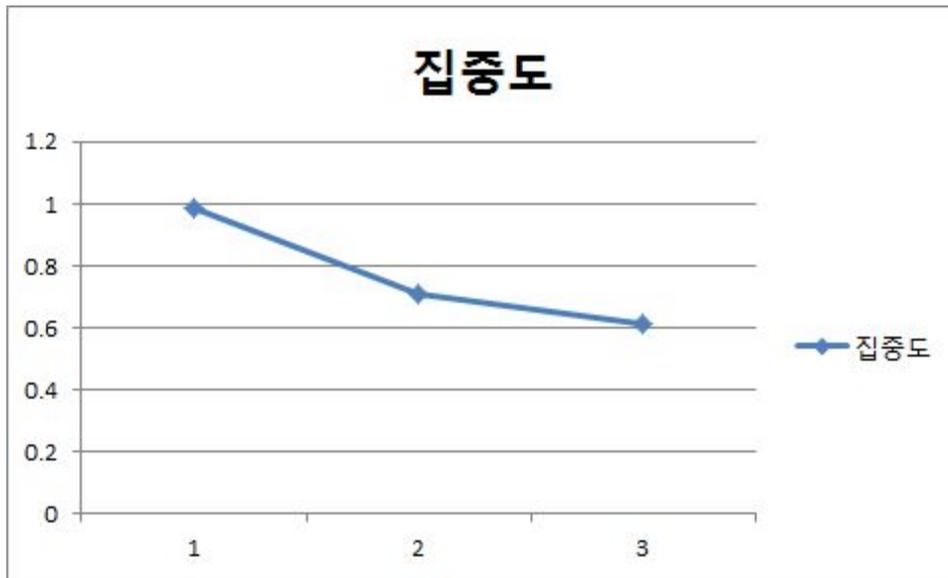


그림 3-3 (e) 피험자 5의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

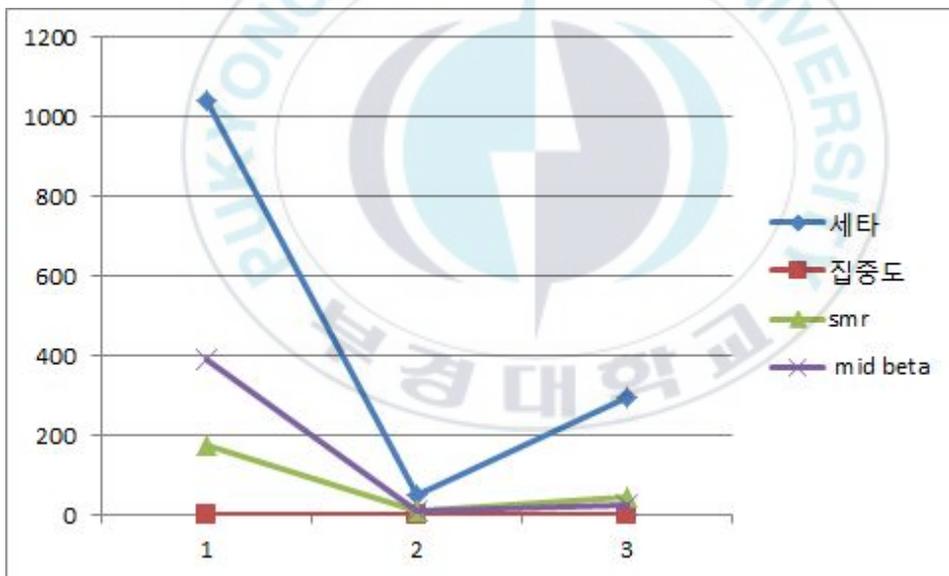
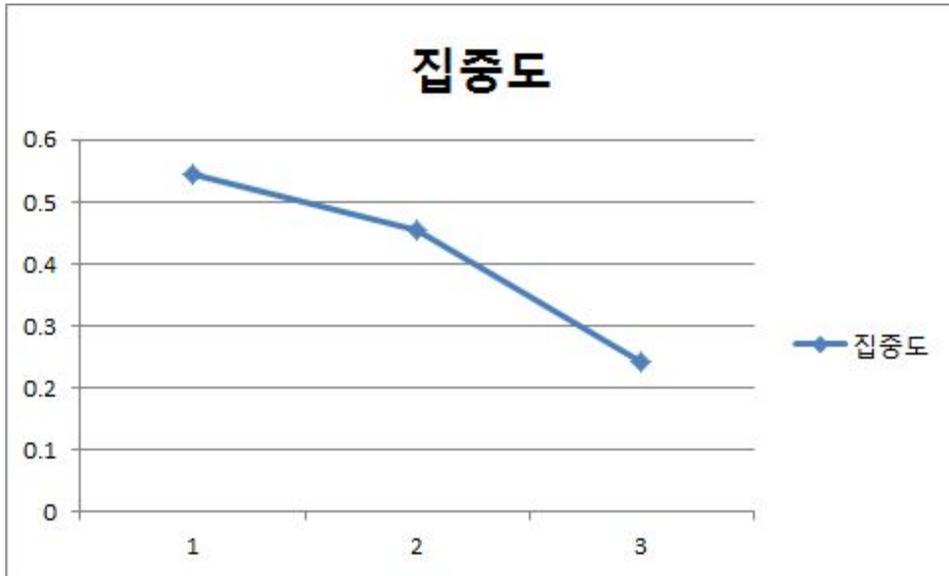


그림 3-3 (f) 피험자 6의 글 자 집중도와 뇌파 분석 결과

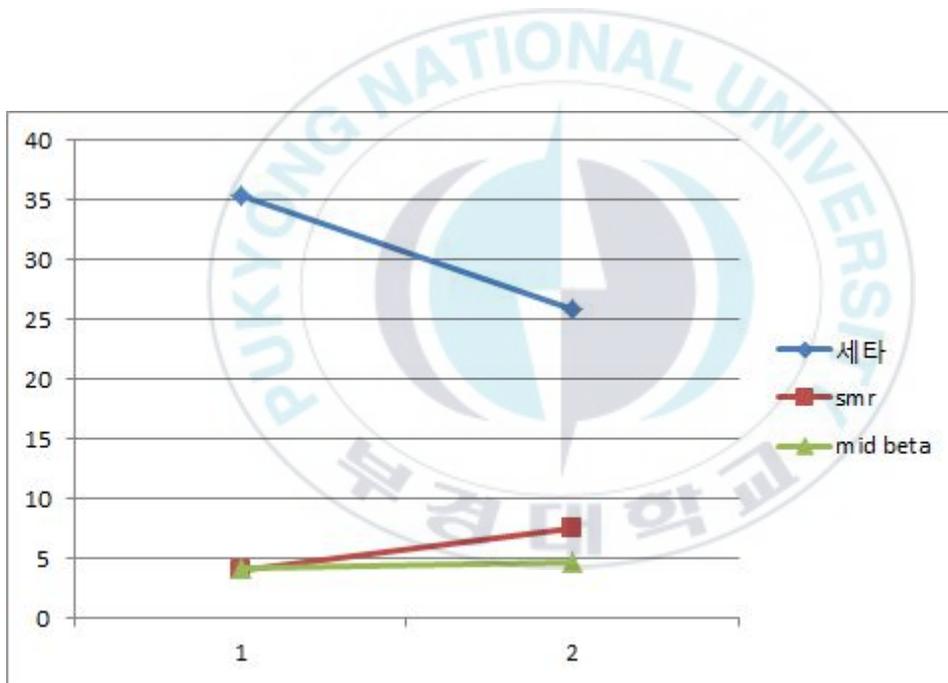
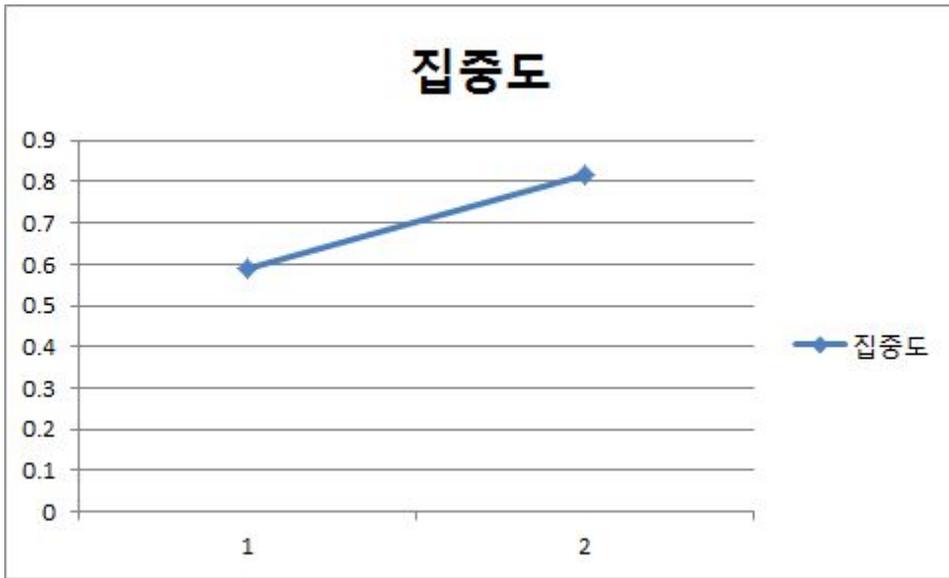


그림 3-3 (f) 피험자 6의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

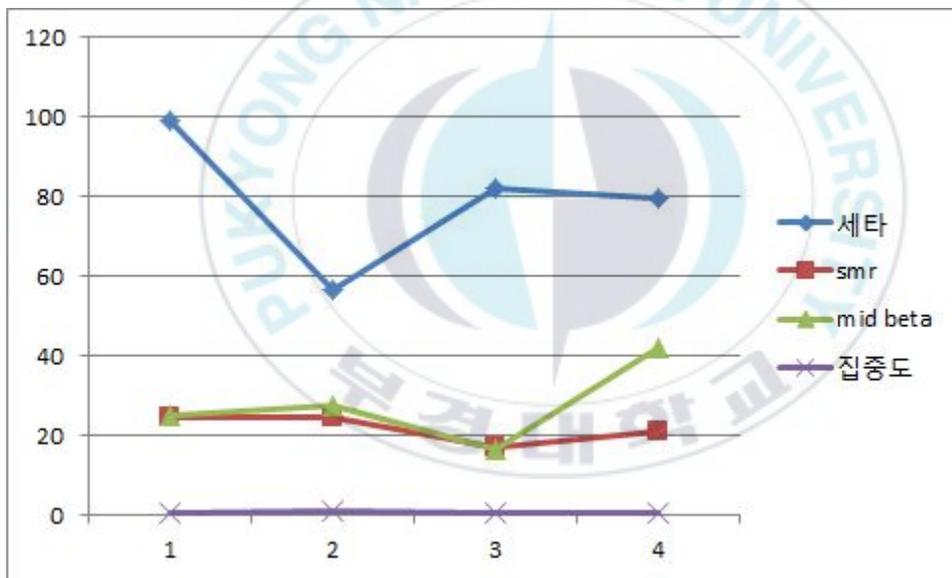
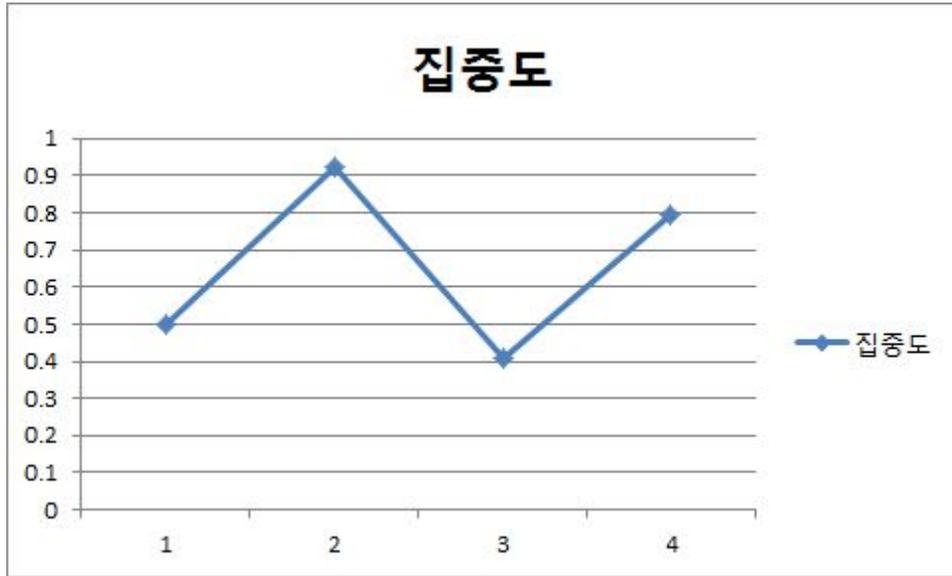


그림 3-3 (f) 피험자 6의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과

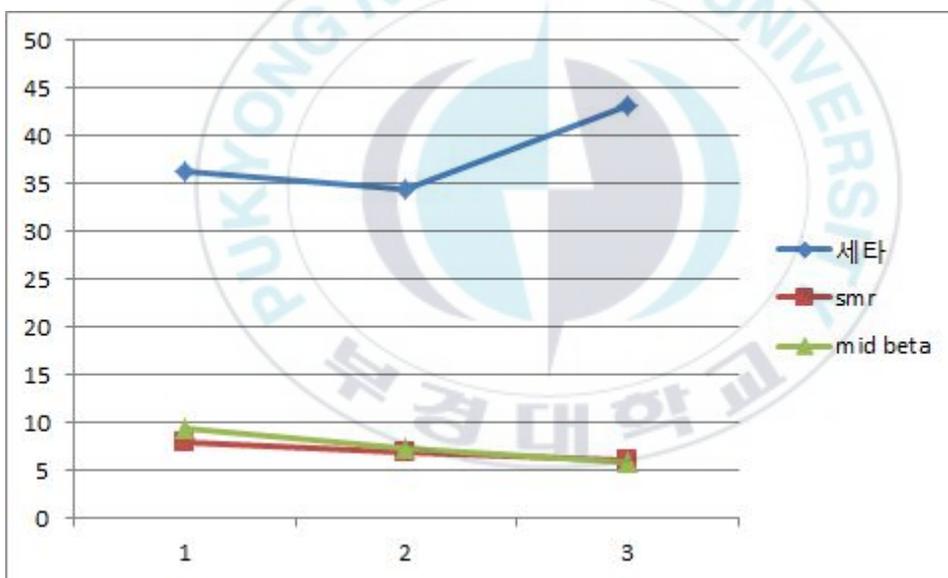
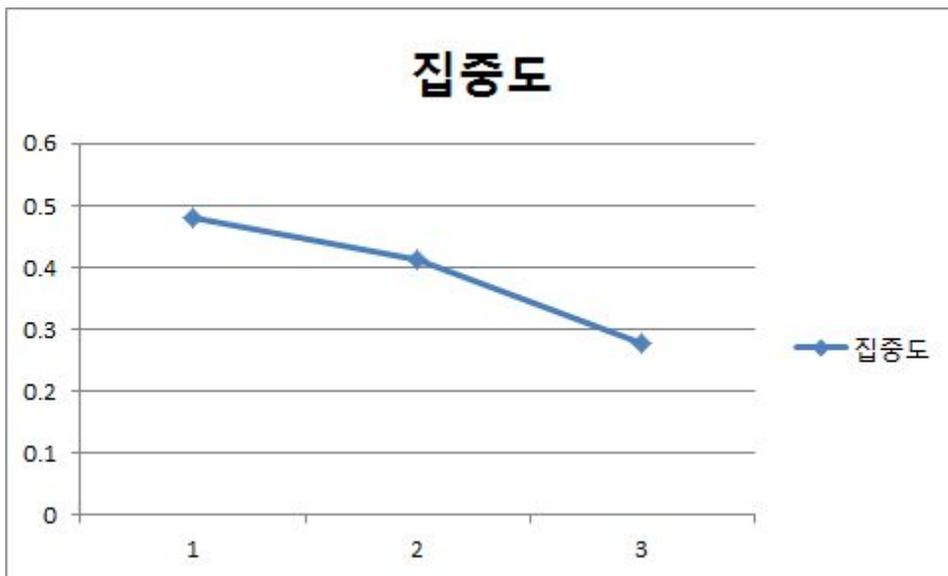


그림 3-3 (f) 피험자 6의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

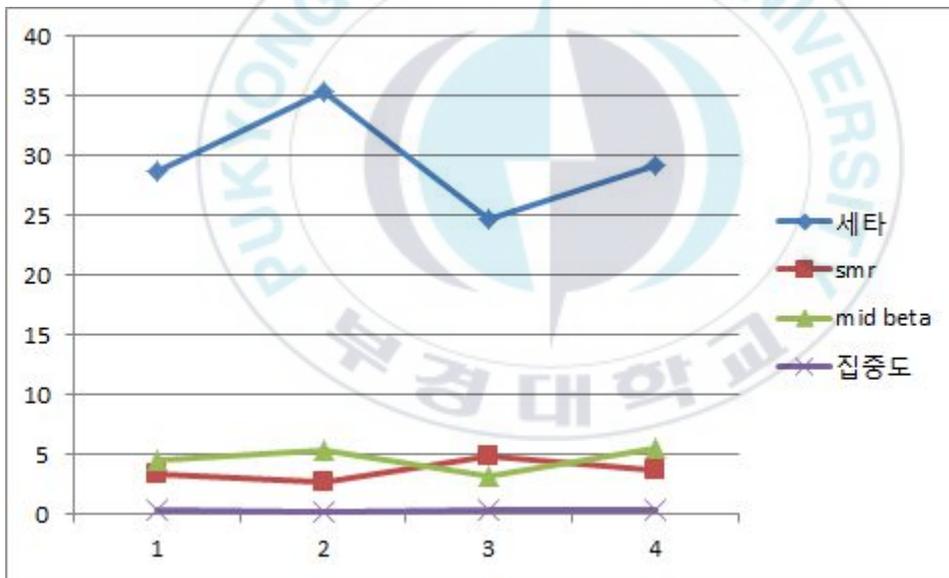
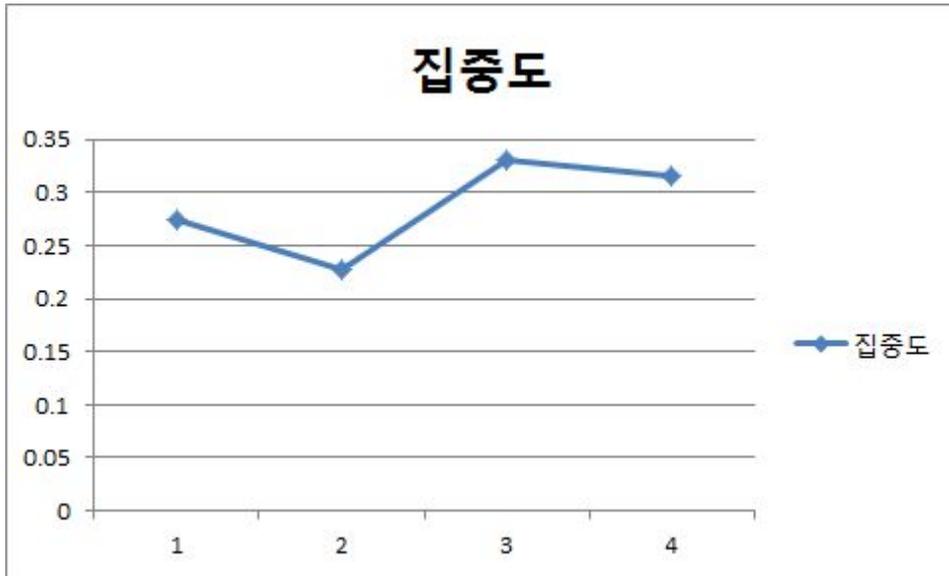


그림 3-3 (g) 피험자 7의 글 자 집중도와 뇌파 분석 결과

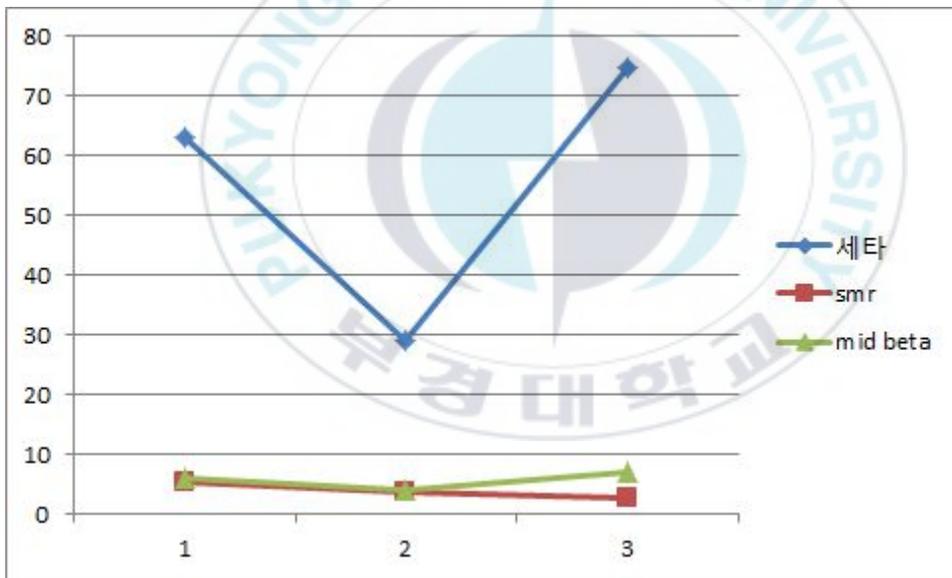
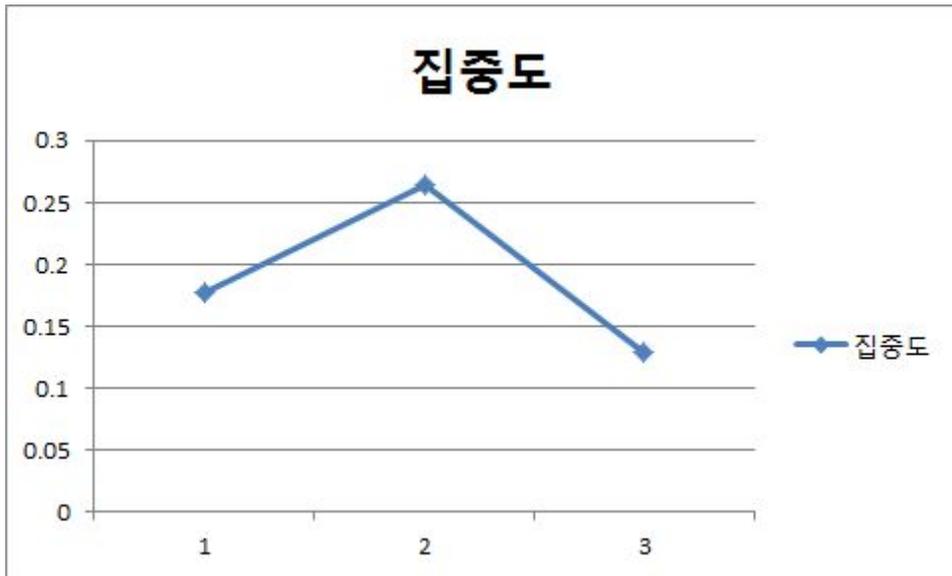


그림 3-3 (g) 피험자 7의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

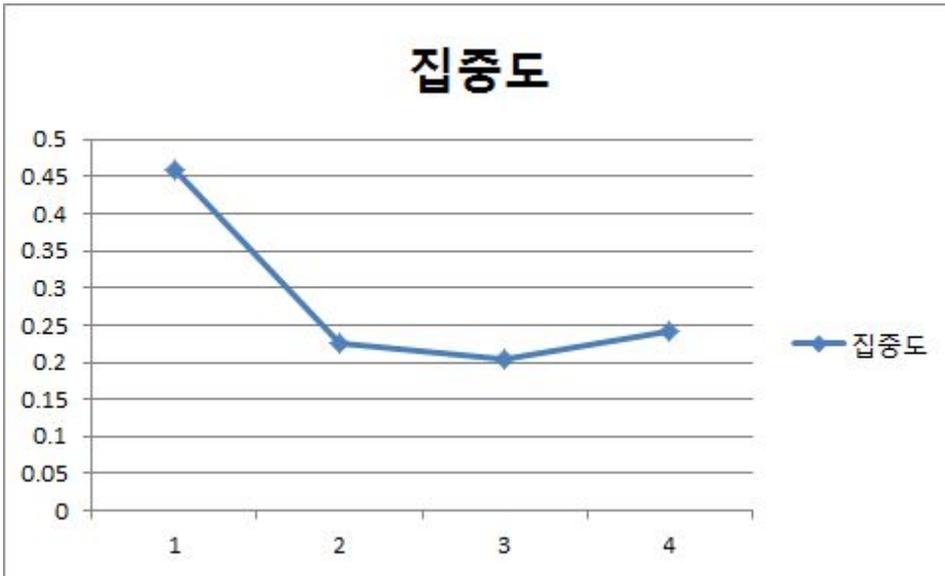


그림 3-3 (g) 피험자 7의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과

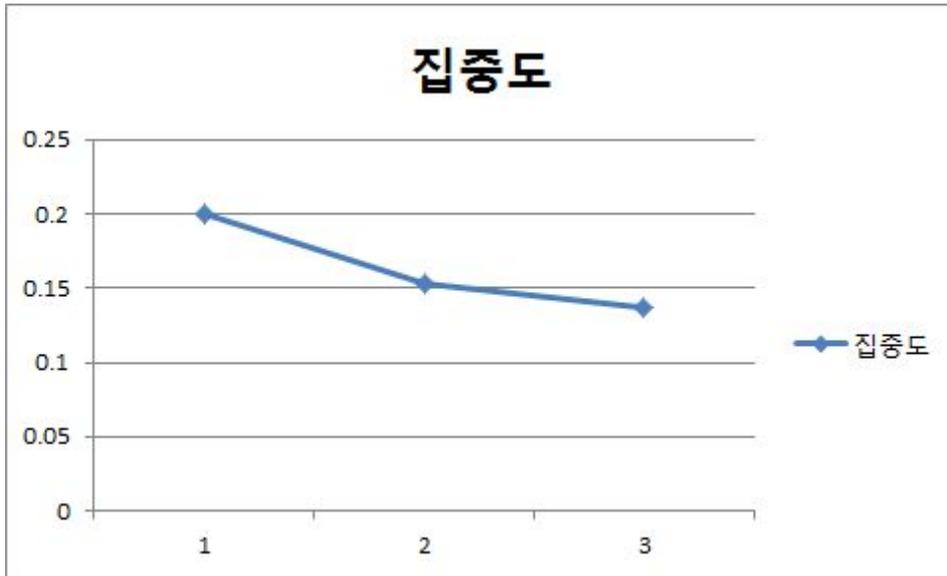


그림 3-3 (g) 피험자 7의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

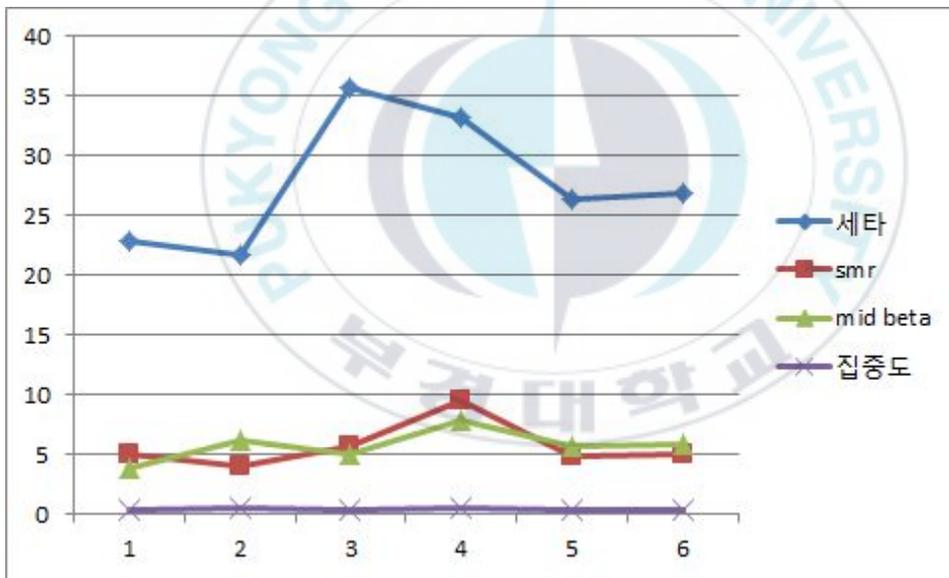
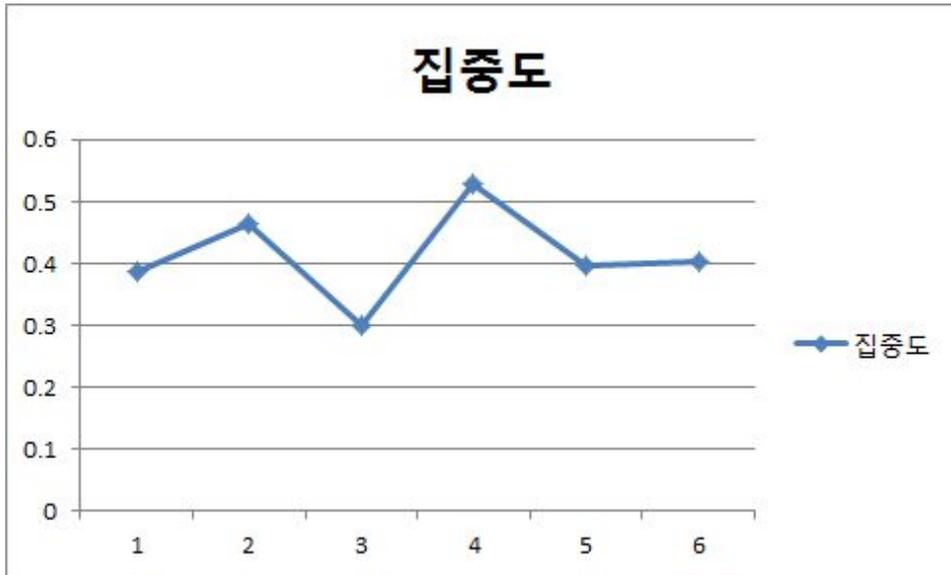


그림 3-3 (h) 피험자 8의 글 자 집중도와 뇌파 분석 결과

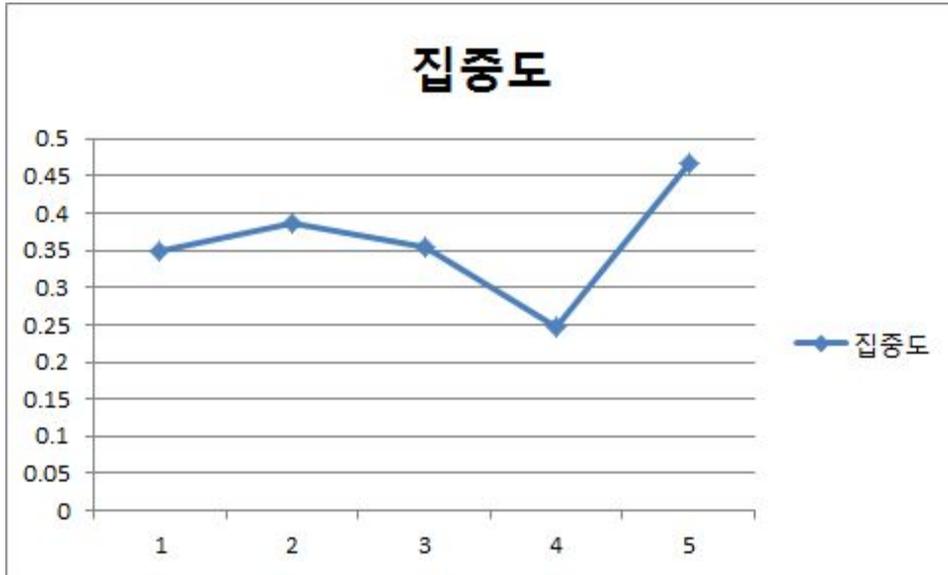


그림 3-3 (h) 피험자 8의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

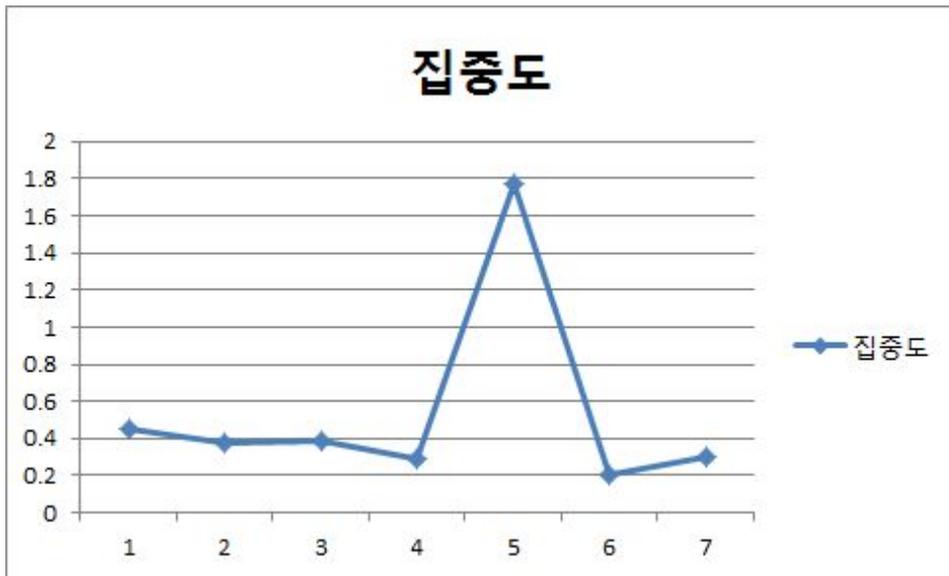


그림 3-3 (h) 피험자 8의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과

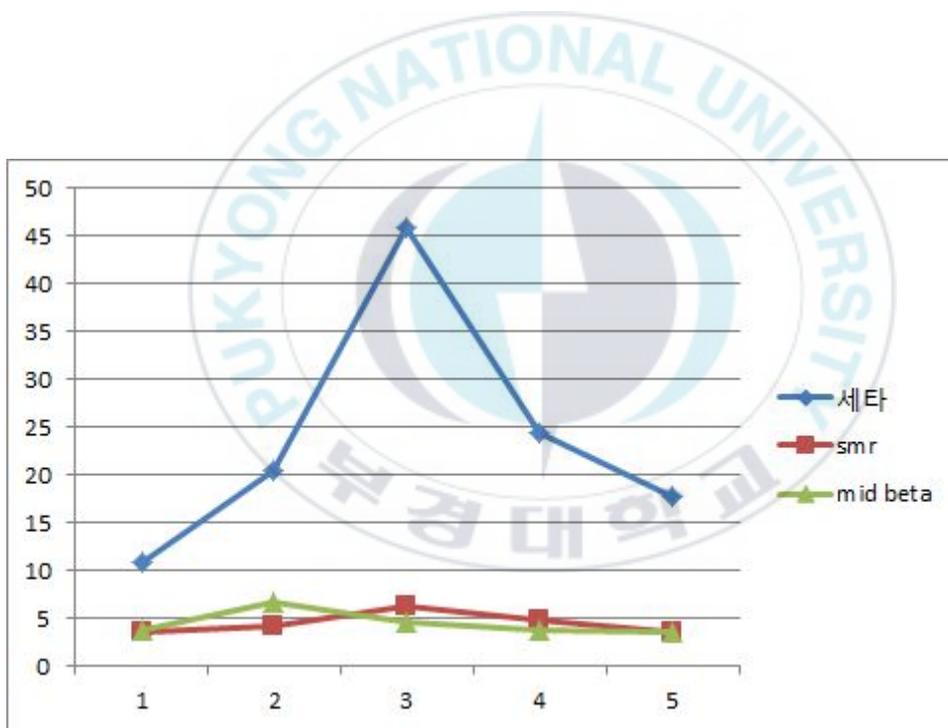
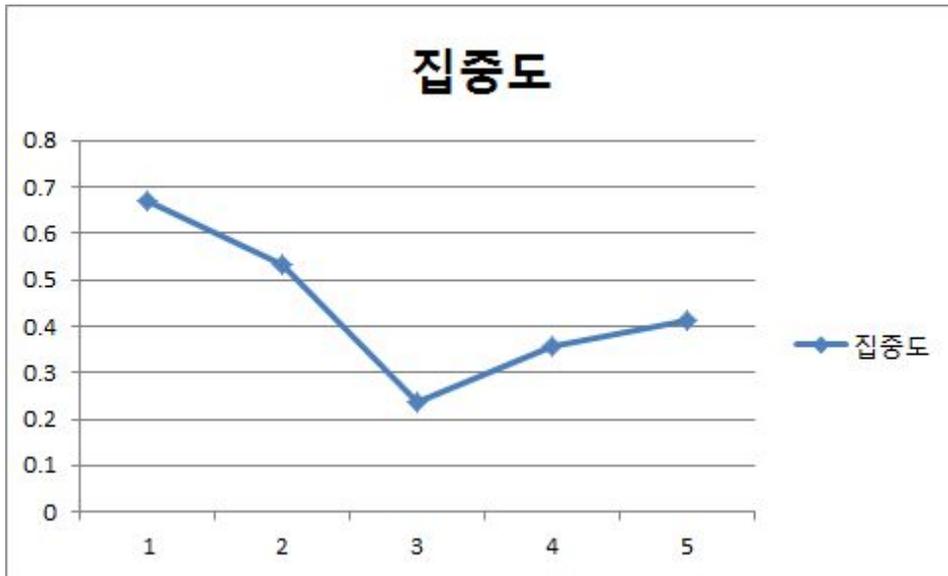


그림 3-3 (h) 피험자 8의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

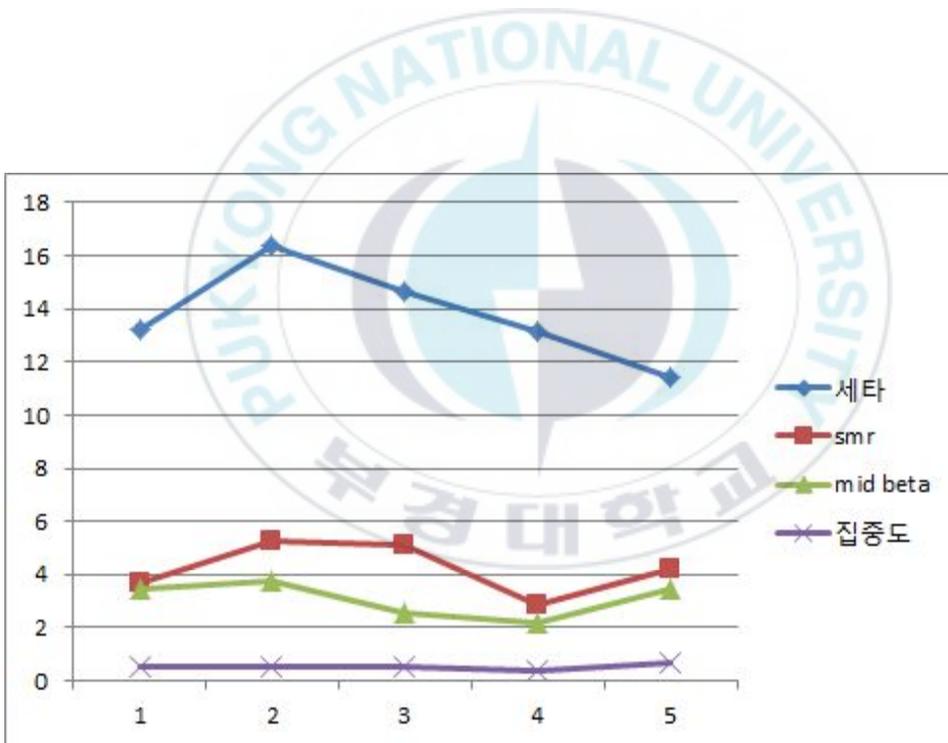
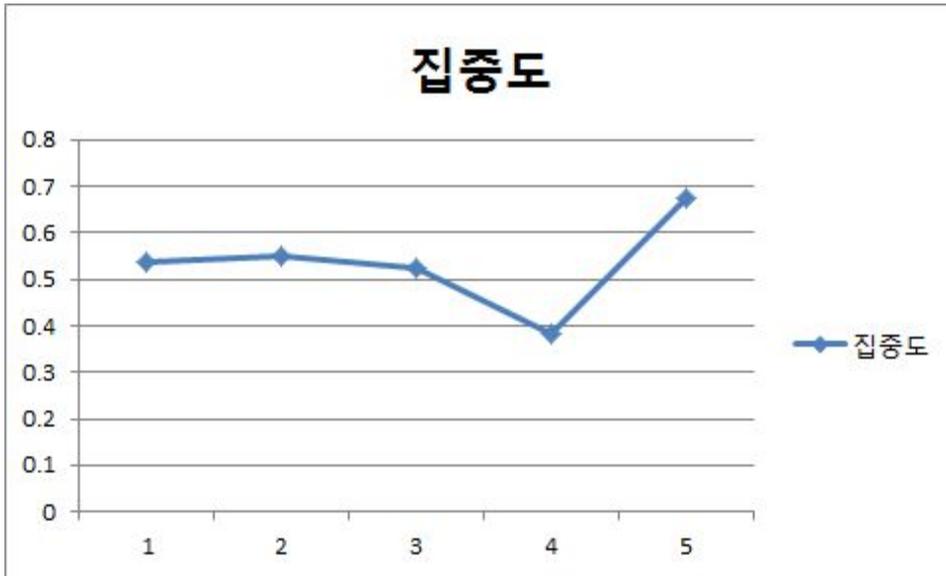


그림 3-3 (i) 피험자 9의 글 자 집중도와 뇌파 분석 결과

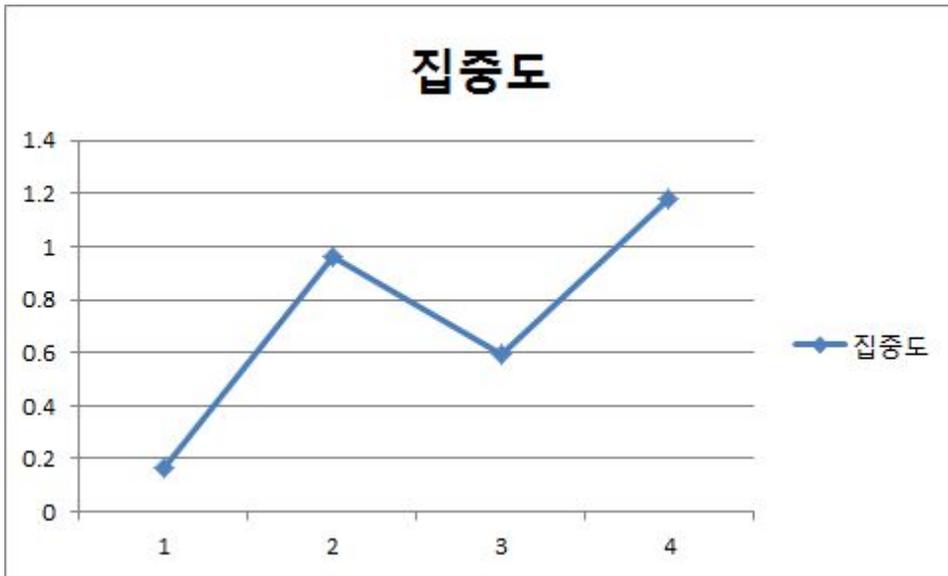


그림 3-3 (i) 피험자 9의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

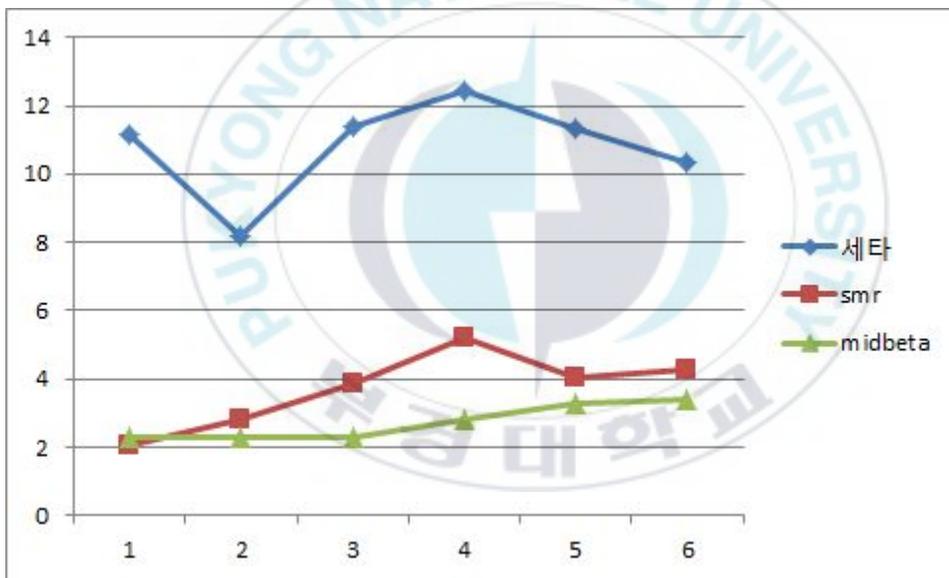


그림 3-3 (i) 피험자 9의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과

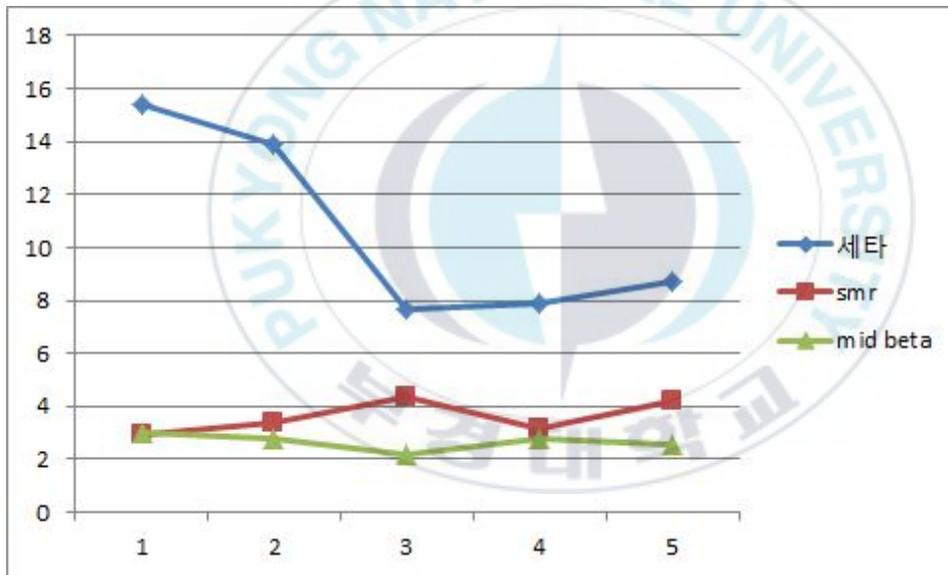


그림 3-3 (i) 피험자 9의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

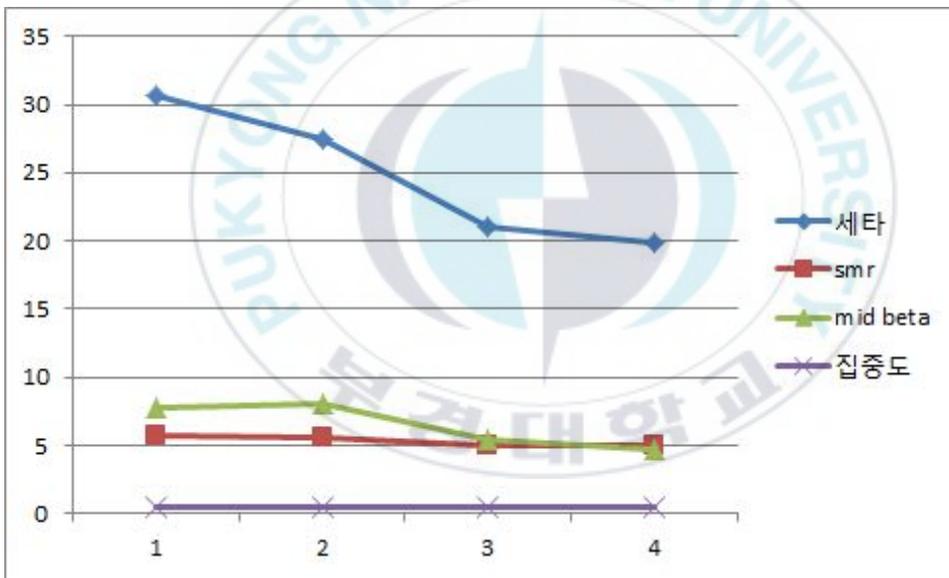
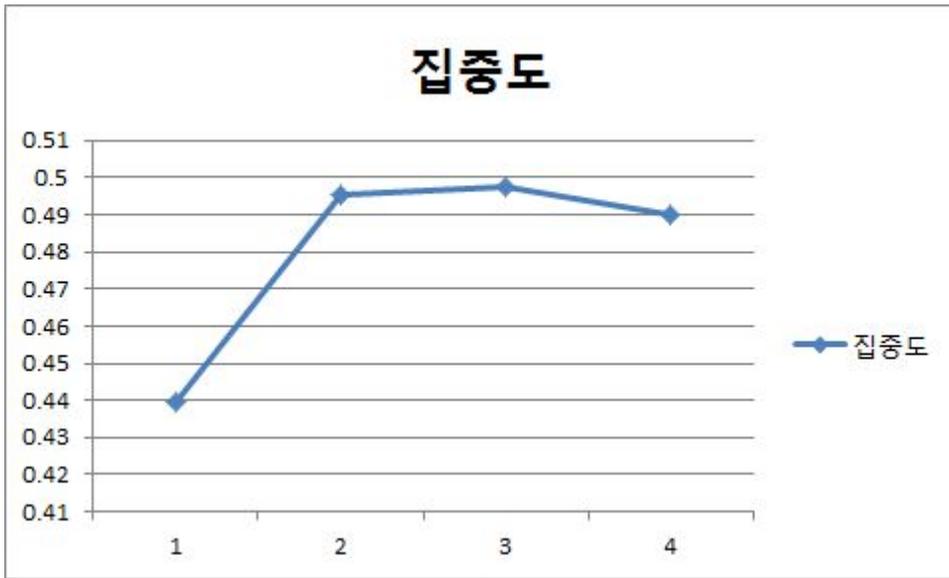


그림 3-3 (j) 피험자 10의 글 자 집중도와 뇌파 분석 결과

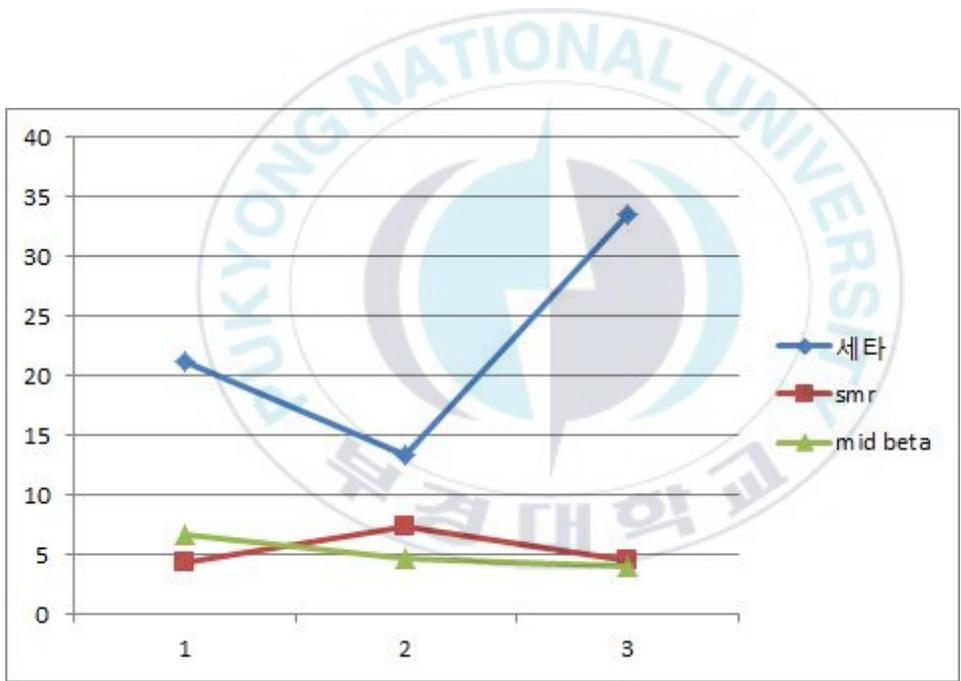
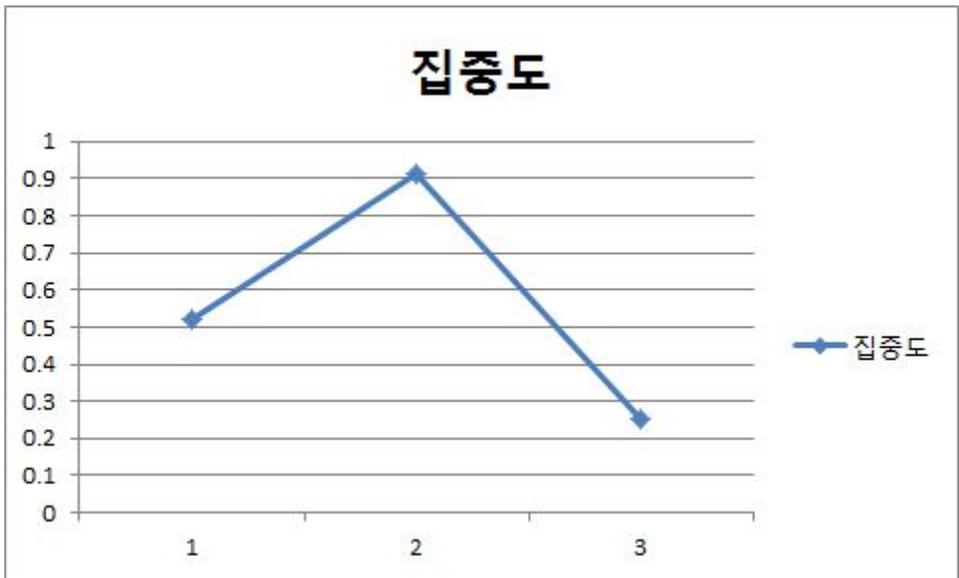


그림 3-3 (j) 피험자 10의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

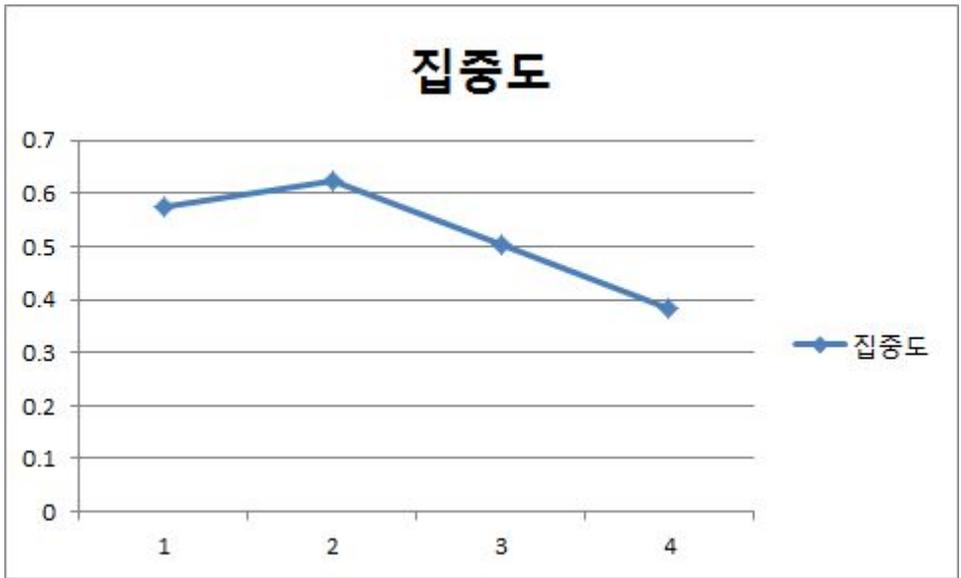


그림 3-3 (j) 피험자 10의 그림 집중도와 뇌파 분석 결과

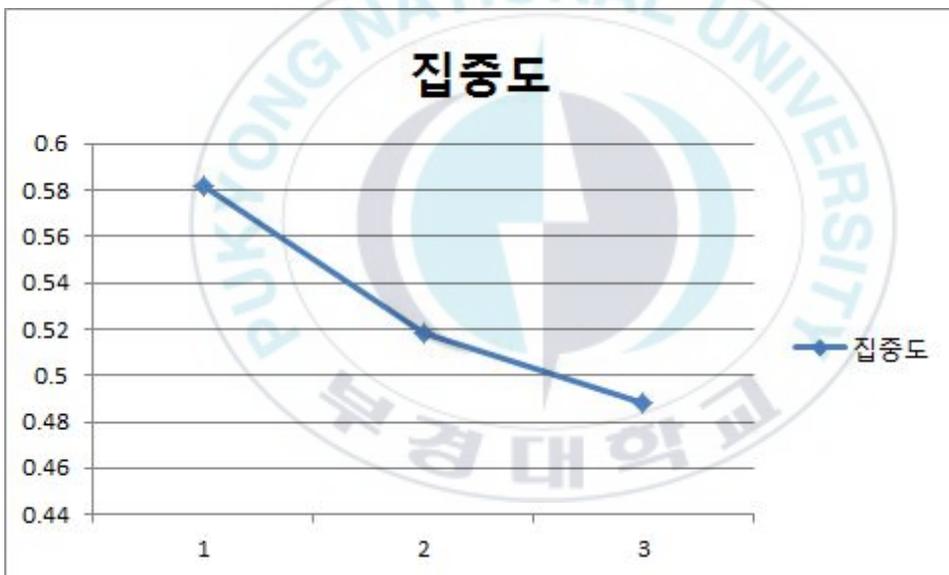
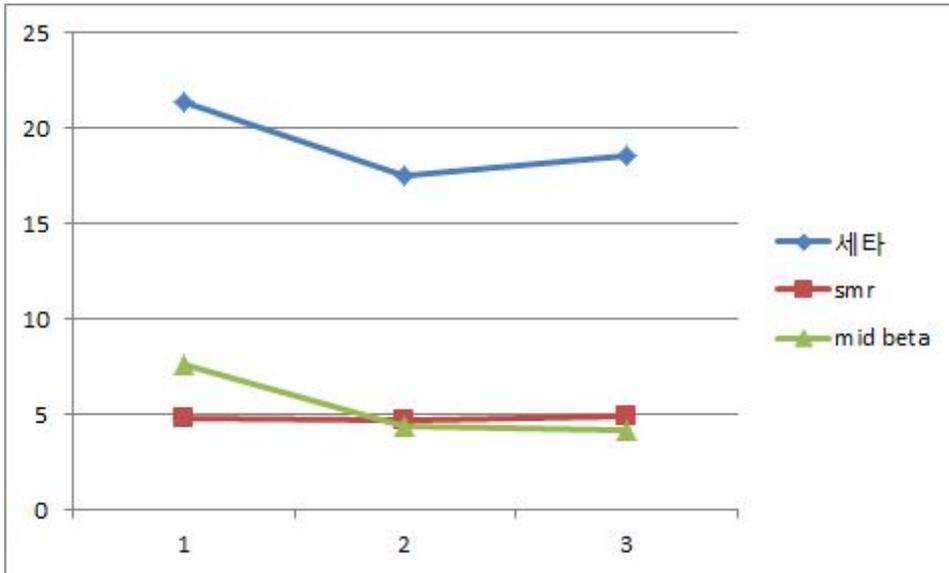


그림 3-3 (j) 피험자 10의 휴 식 집중도와 뇌파 분석 결과

3-3. 뇌파 분석 결과

본 논문에서는 피험자가 시각자극 과제를 수행하는 동안 각 전극위치를 채널로 구분하여 측정한 뇌파를 주파수대역에 따른 파워 스펙트럼으로 분석하는 것을 기본적인 방법으로 설정하였다. 주파수대역별로 분류되어 있는 뇌파 중에서도 상대적으로 인간의 집중과 관련성이 크다고 보고되어 있는 세타파, SMR파 및 중간 베타파에 주목하여 피험자의 뇌파를 비교 분석하였다. 10명의 피험자 중 측정한 뇌파가 다른 피험자에 비해 비정상적으로 크게 나타난 1명의 피험자의 데이터는 제외하고, 총 9명의 피험자의 뇌파의 결과를 분석하는데 사용되었다.

먼저 시각자극 과제의 종류에 따른 피험자의 뇌파를 비교하기 위하여, 피험자에게 제시한 시각자극 과제를 숨은 그림자극의 형태와 글자자극의 형태로 구분하여 뇌파를 분석하였다. 그림 4는 각 피험자가 숨은 그림자극에 의한 과제를 수행하는 동안 측정한 뇌파를 분석한 결과이다. 그림 3.4의 (a), (b), (c)는 순서대로 세타파, SMR파, 중간 베타파로 구분하여 시각자극 과제를 수행 중인 경우와 휴식하는 경우에 유발된 뇌파의 파워 스펙트럼을 비교분석한 것이다. 그림 3-5는 숨은 글자자극에 의한 과제를 수행하는 동안 측정한 뇌파를 분석한 것이다. 그림 3-5(a)~(c)는 그림 4의 순서와 동일하게 세타파, SMR파, 중간 베타파로 구분하여 과제를 수행 중인 경우와 휴식하는 경우에 측정한 뇌파의 파워 스펙트럼을 비교한 것이다. 그림 3-6은 과제를 수행 중인 경우와 휴식 중인 경우의 총 피험자의 뇌파를 평균하여 비교한 것이다. 왼쪽의 그림은 숨은 그림자극에 의한 결과이고, 오른쪽의 그림은 숨은 글자자극에 의한 결과이다.

각각의 그림 3-6의 (a), (b), (c)는 순서대로 세타파, SMR파, 중간 베타파의 파워 스펙트럼 크기를 나타낸 것이다.

숨은 그림자극에 의한 결과인 그림 4에서는 세타파의 경우 3명, SMR파와 중간 베타파의 경우 7명의 피험자가 과제를 수행 중인 경우의 파워가 더 높게 나타났다. 숨은 글자자극에 의한 결과인 그림 3-5에서도 세타파의 경우 3명, SMR파와 중간 베타파의 경우 7명의 피험자가 과제를 수행 중인 경우의 파워가 더 높게 나타났다. 피험자들의 파워 스펙트럼을 평균하여 과제 수행과 휴식상태의 뇌파를 비교한 그림 3-6은 앞의 결과 그림 3-4와 그림 3-5의 결과를 종합적으로 반영시킨 결과이다. 그림 3-6의 결과로부터 그림과 글자 시각 자극 과제 모두에서 세타파는 휴식의 경우, SMR파와 중간 베타파는 과제를 수행 중인 경우에서의 파워가 더욱 높게 나타난다는 사실을 분명히 알 수 있다.

위의 결과로부터 뇌파 분석 결과에서 과제 수행 시에 파워가 크게 나타난 SMR파와 중간 베타파의 경우가 시각자극에 의한 피험자의 집중도와 관련성이 보다 높다는 사실을 확인할 수 있다. 세타파의 경우는 과제의 종류에 관계없이 휴식 중인 경우의 파워 스펙트럼 값이 과제수행 중인 경우보다 오히려 높게 나타나고 있다. 따라서 집중과 휴식의 비교 지표로는 사용될 수 있지만 집중력과의 상관성 지표로 활용하기에는 한계가 있을 것으로 생각된다.

다음으로는 각각의 피험자에 대하여 식 (1)로 정의되는 집중 지표를 계산하여 숨은 그림자극과 숨은 글자자극으로 구성된 과제에 대한 집중도를 비교 분석한 결과를 제시하였다. 그림 3-7은 9명의 피험자의 데이터를 분석하여 숨은 글자자극에 대한 집중 지표와 숨은 그림자극에 대한 집중 지표를 비교한 것이다. 이때 각 피험자의 집중 지표는 10세트의 시각자극 과제를 수행할 때의 데이터를 평균한 것이다. 그림 3-7을 살펴보면, 9명의 피험자 중에서 7명의 피험자의 경우가 숨은 그림자극에서 상대적으로 높은 집중 지표를 나타내고 있다. 즉 77.78%의 피험자가 숨은 글자 시각자극보다 숨은 그림 시각자극에서 높은 집중도를 보이고 있다는 사실을 알 수 있다.

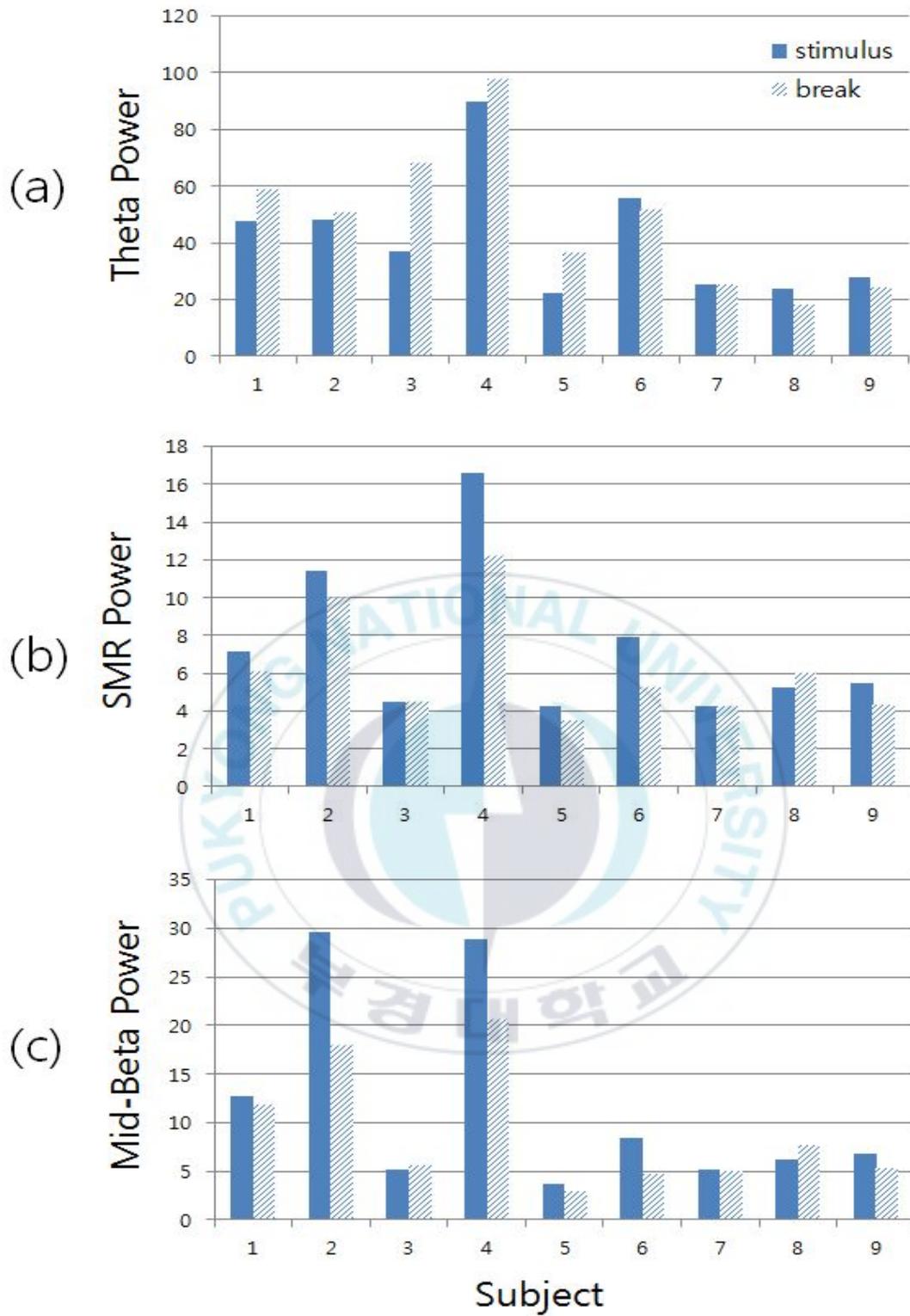


그림 3-4 그림자극 과제의 파워 스펙트럼 비교 (a)세타파, (b)SMR파, (c)중간 베타파
 Fig. 3-4 Comparison of power spectra from pictorial stimulus task (a)theta wave, (b)SMR wave, (c)mid-beta wave

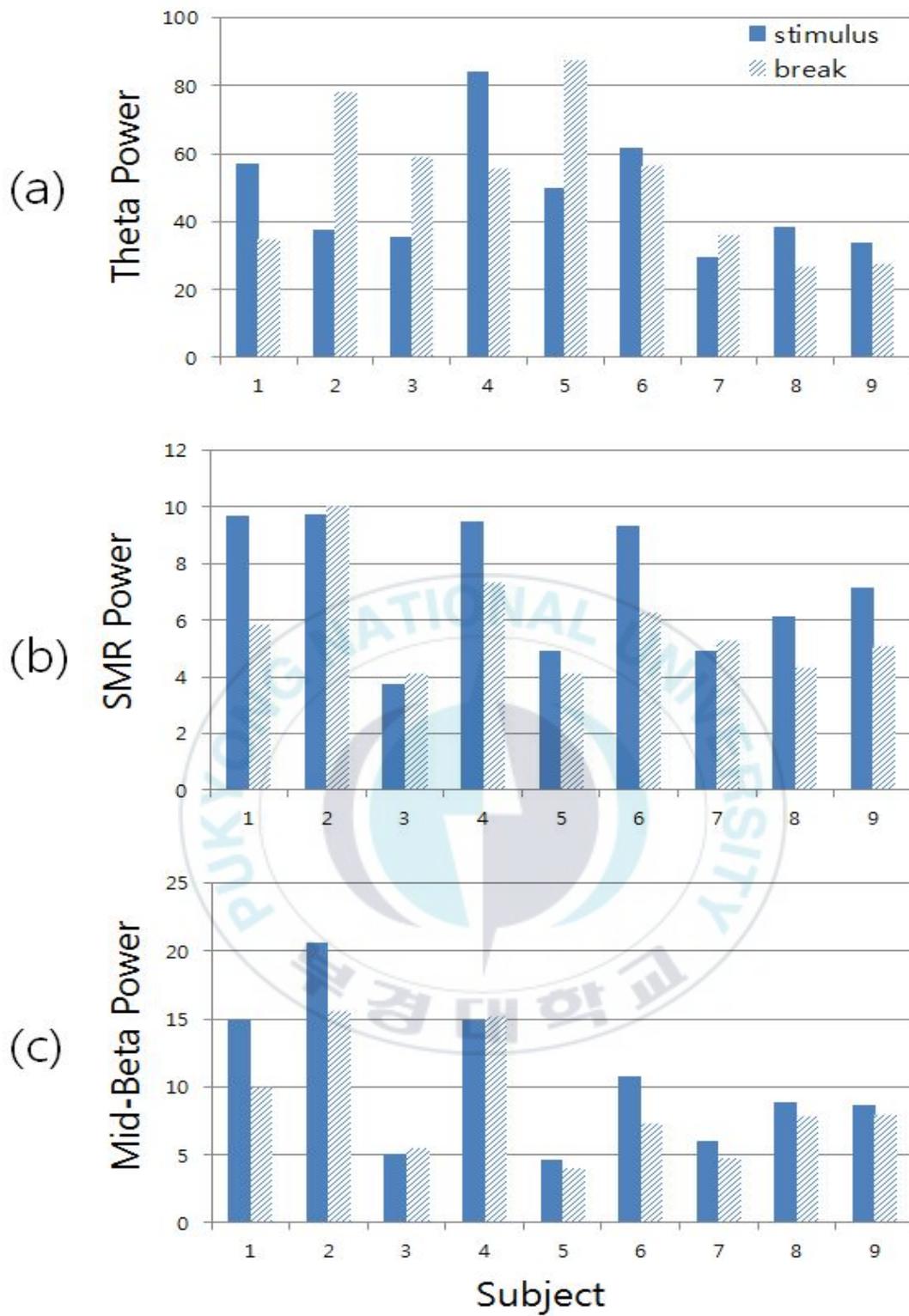


그림 3-5 글자자극 과제의 파워 스펙트럼 비교 (a)세타파, (b)SMR파, (c)중간 베타파
 Fig. 3-5 Comparison of power spectra from letter stimulus task (a)theta wave, (b)SMR wave, (c)mid-beta wave

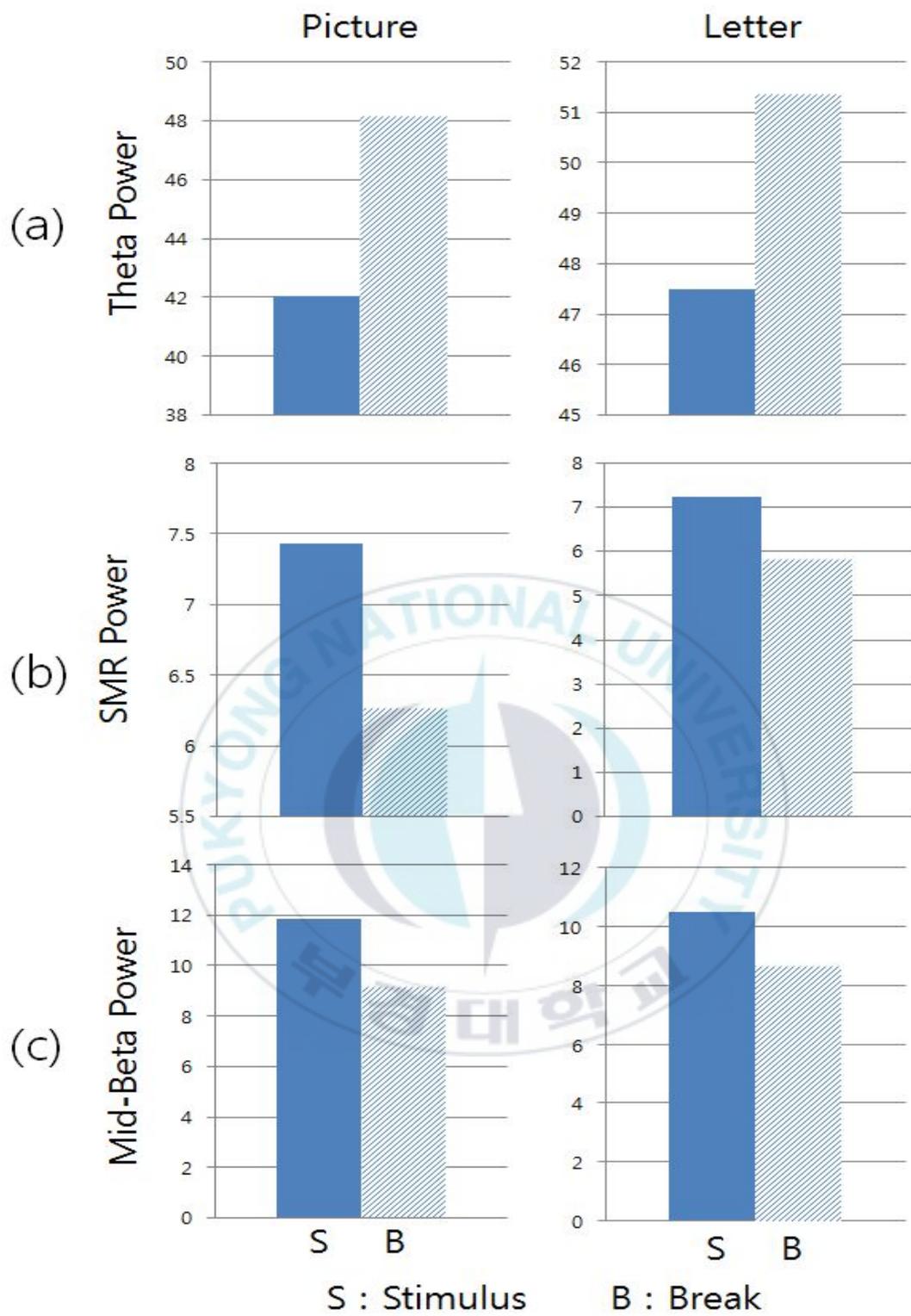


그림 3-6 그림자극 및 글자자극 과제의 평균 파워

Fig. 3-6 Average power from pictorial and letter stimulus task

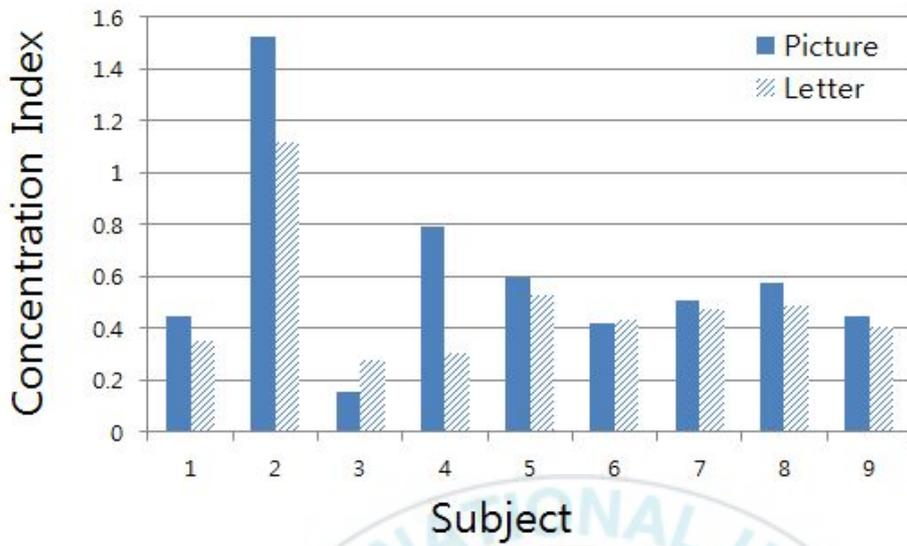


그림 3-7 그림 및 글자자극 과제의 집중 지표 비교

Fig. 3-7 Comparison of concentration index between pictorial and letter stimulus task

제4장 집중력 관련 뇌파분석 (II)

4.1 뇌파 계측 실험

본 장에서의 뇌파실험에서는 정신적, 인지적 병력이 없는 만 15, 16세의 청소년 8명이 피험자로 참여하였다. 뇌파신호를 측정하는 뇌파계는 (주) 락사의 WEEG32를 사용하였다.

3장에서의 뇌파실험과 마찬가지로 전극 부착 방법은 10-20 국제 전극 배치법을 이용하였다. 피험자 두피에서의 전극 부착 위치는 그림 4-1과 같이 전두부와 측두부에 위치한 F_{p1} , F_{p2} , F_7 , F_3 , F_4 , F_8 , T_3 , C_3 , C_4 , T_4 의 총 10개소를 설정하여 뇌파실험을 수행하였다. 그림 4.1에서 제시한 위치는 인간의 주의력 즉 집중력과 언어와 관계된 부위로 알려진 전전두엽과 측두엽 부근에서 뇌파를 계측하기 위해서 선택된 것이다.

본 뇌파실험에서는 내용이 쉬운 도서의 내용을 A4용지 1장 분량으로 발췌하여 내용에 들어 있는 주격 및 보격조사(은, 는, 이, 가), 목적격조사(을, 를), 접속조사(과, 와), 관형격조사(의)를 틀린 형태로 바꾼 것을 내용에 삽입하여 시각자극 과제로 제시하였다. 뇌파를 계측할 때, 피험자는 자신에게 주어진 유인물에서 틀린 조사들을 찾는 과제를 받아서 시각적으로 틀린 글자 찾기에 집중할 수 있는 상황을 설정하였다. 피험자들은 과제 수행 전에 2분간 눈을 감고 안정을 취하도록 하였다.

하나의 과제 당 형태가 틀린 조사의 수는 10개를 설정하여 내용 속에 삽입하였고, 피험자마다 2개의 과제를 수행하도록 하였다. 과제를 수행하는 시간은 별도로 제한을 두지 않았고, 과제 수행이 완료되었을 때 각 피험자의 정답률을 확인하여 기록하였다. 그림 4-2는 본 뇌파실험에서 시각자극 과제를 제시하여 피험자의 뇌파신호를 분석하기까지의 과정을 나타낸 것이다.

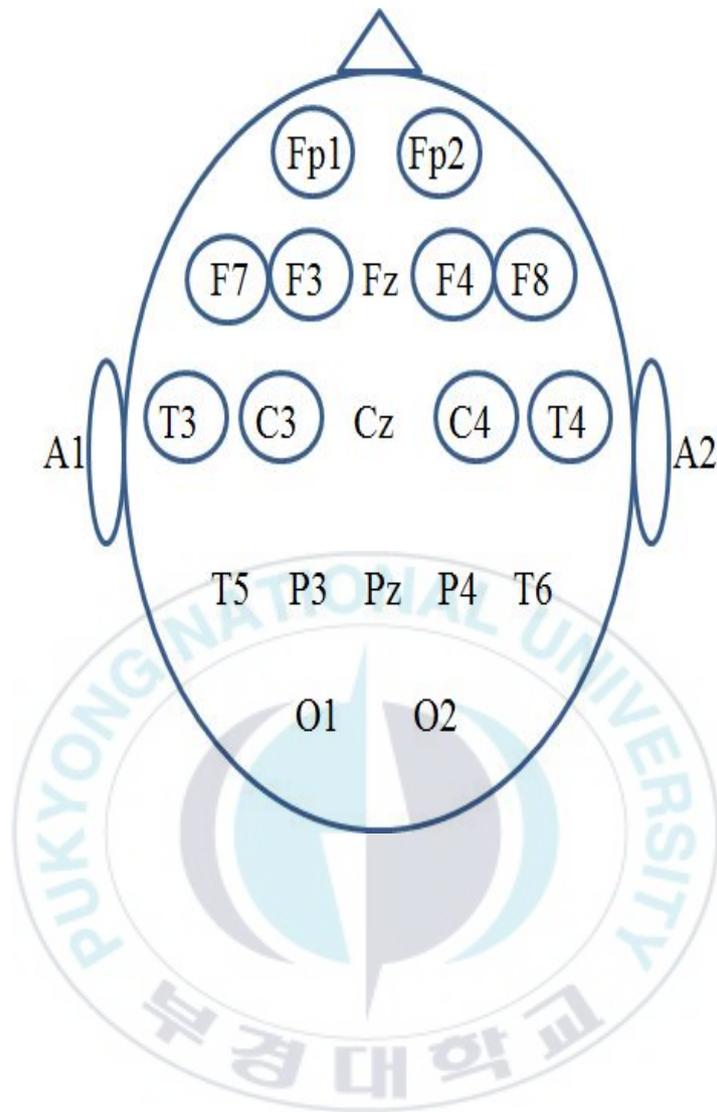


그림 4-1 전극이 부착된 위치

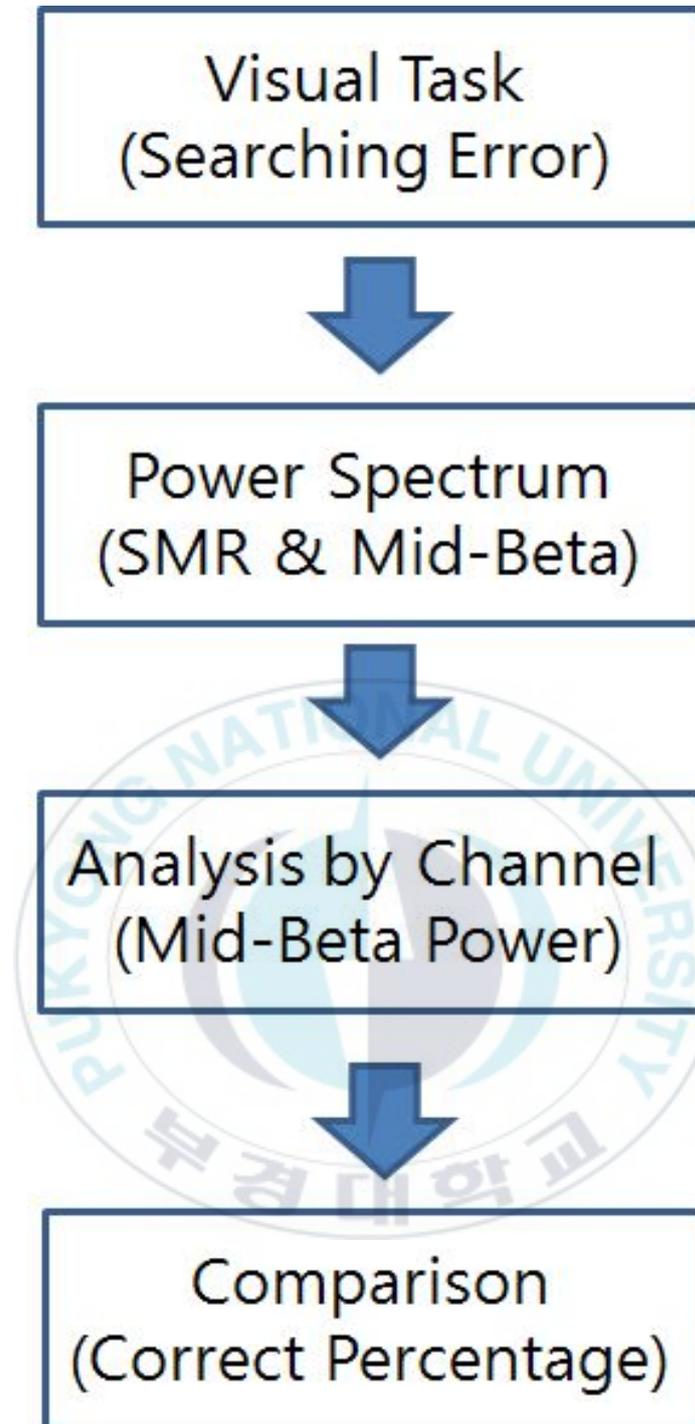


그림 4-2 시각자극 과제의 데이터 분석 과정

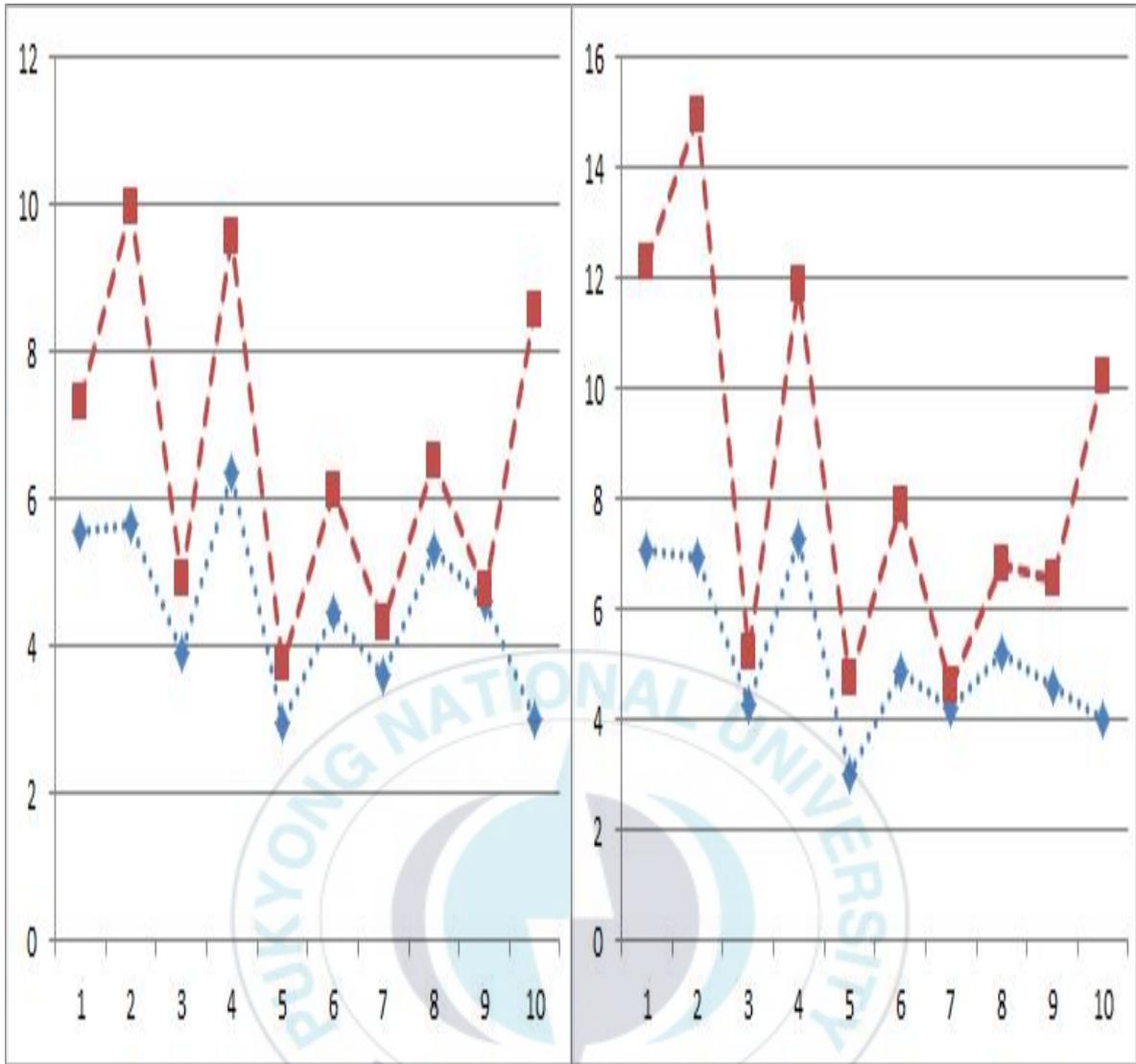
4-2. 뇌파 분석 방법

본 뇌파실험에서는 과제를 수행하는 동안 측정된 뇌파를 분석하여 SMR파와 중간 베타파의 평균값을 채널 별로 계산하여 각 피험자들의 과제 정답률과 비교하는 것을 기본적인 방법으로 사용하였다.

시각자극 관련 선행 연구에서 시각자극 과제 수행 상황에서는 SMR파와 중간 베타파의 파워가 높게 나타나는 것으로 관찰되었기 때문에 본 실험결과의 분석에서는 각 피험자의 SMR파와 중간 베타파의 파워 스펙트럼을 비교하는 것을 기본적인 뇌파 분석 방법으로 설정하였다.

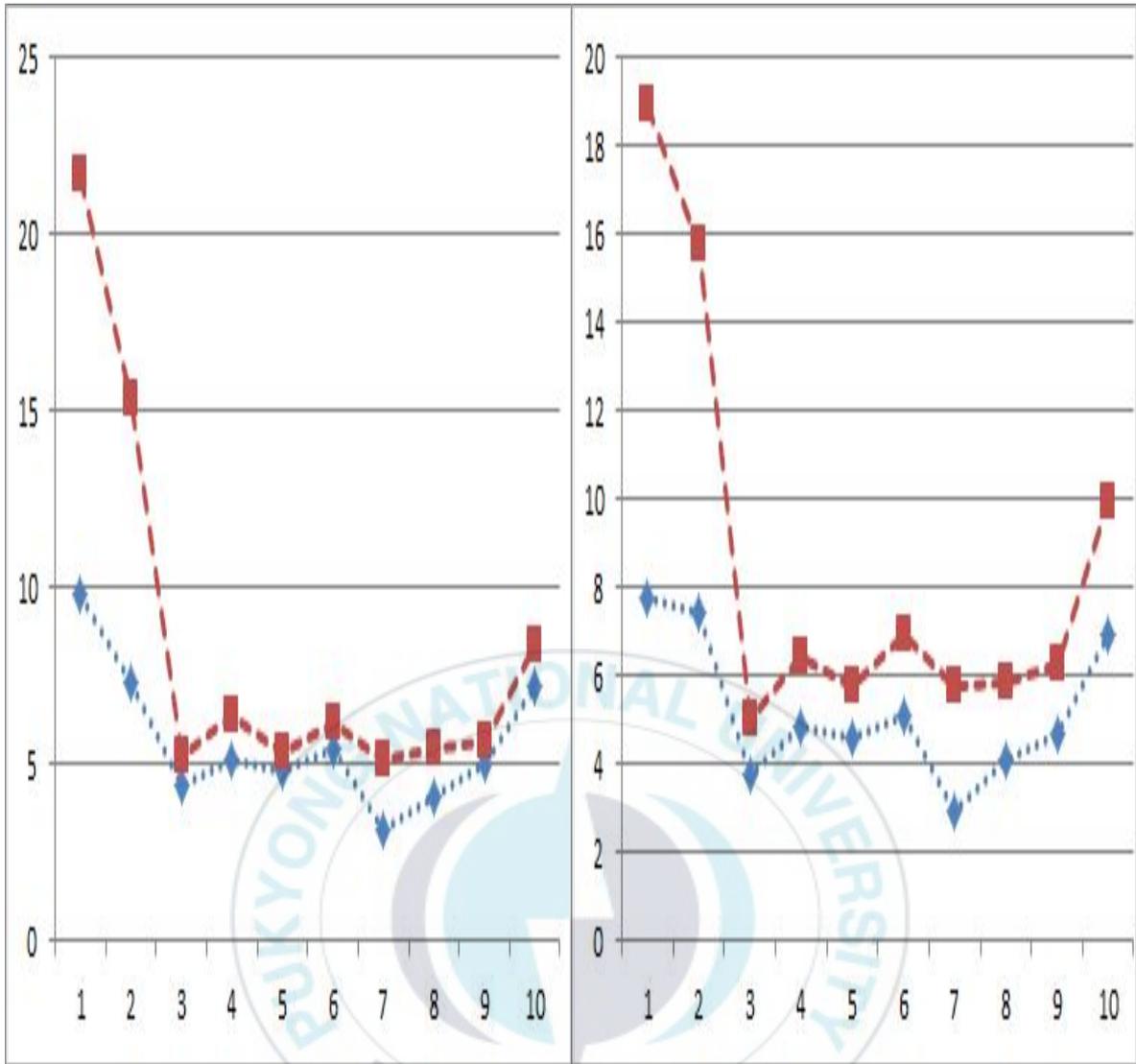
그림 4-3 (a)~(h)는 틀린 조사 찾기 과제를 수행하는 과정에서 8명의 피험자로부터 유발된 뇌파 중 SMR파와 중간 베타파의 절대 파워를 분석하여 나타낸 뇌파 분석 결과이다. 본 뇌파실험에서는 피험자 당 기본적으로 2개의 과제를 수행하도록 하였기 때문에, 그림 4-3에서 왼쪽의 그림은 첫 번째 과제, 오른쪽의 그림은 두 번째 과제를 수행한 경우에 대한 결과를 나타낸 것이다.

피험자의 뇌파를 분석한 그래프에서 수평축은 채널의 번호를 나타낸다. 그림 4-3에서 번호에 따른 채널의 위치는 1번 Fp1, 2번 Fp2, 3번 F7, 4번 F3, 5번 F8, 6번 F4, 7번 T3, 8번 C3, 9번 C4, 10번 T4와 같다. 또한 그림에서 수직축은 피험자 뇌파를 분석한 중간 베타파와 SMR파의 절대파워를 나타낸 것이다.



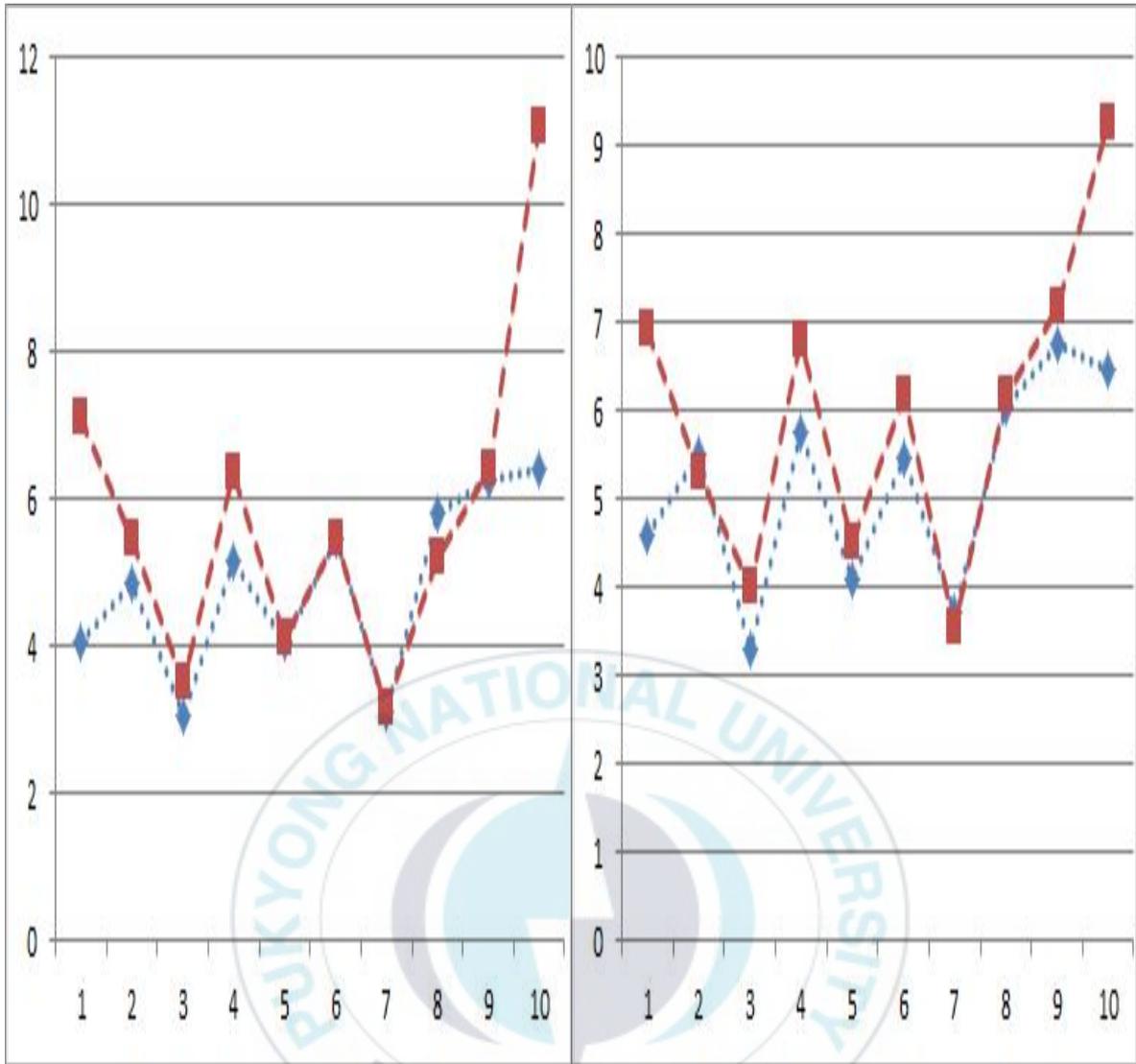
(a) 피험자 1

그림 4-3 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교



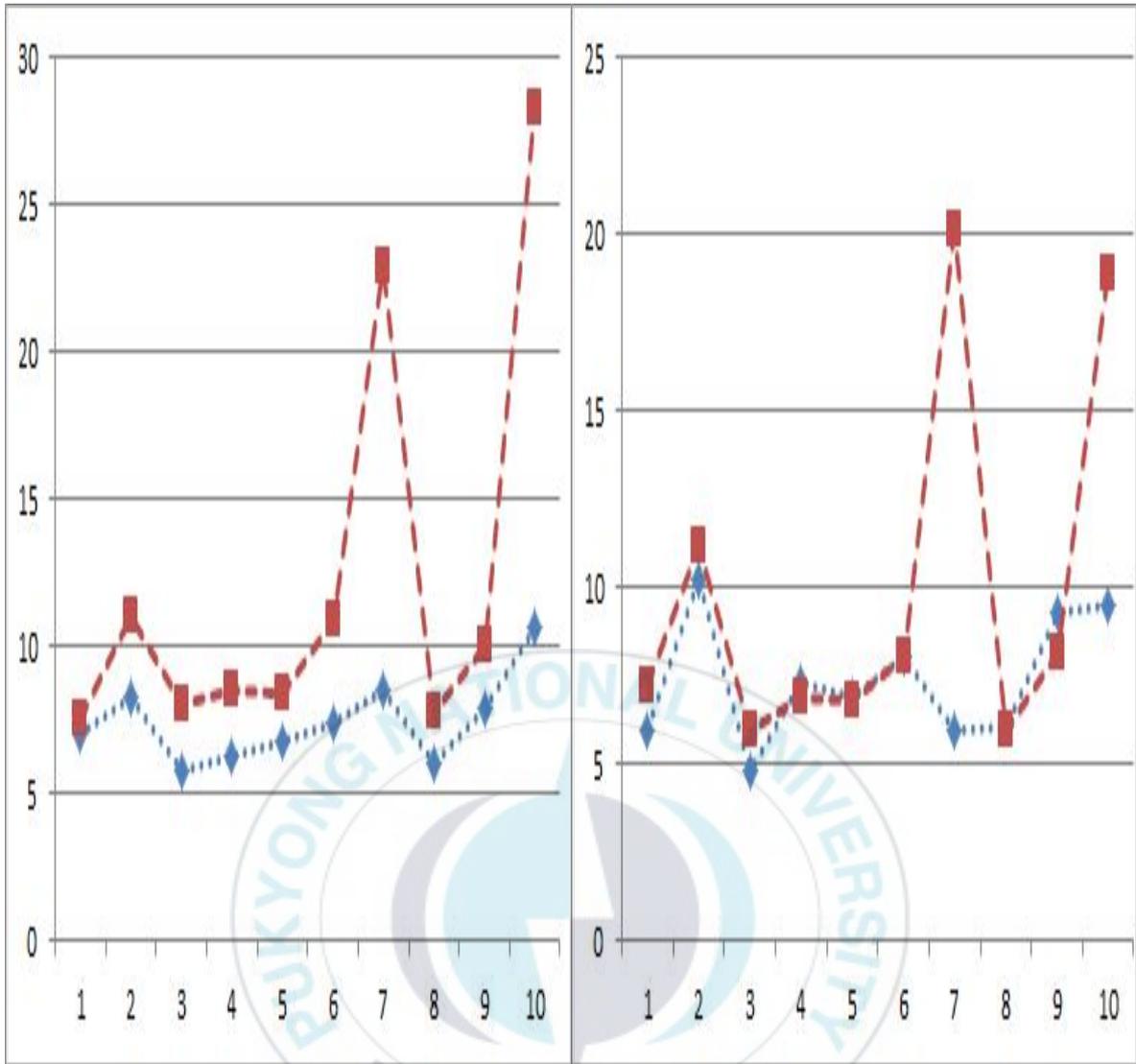
(b) 피험자 2

그림 4-3 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교



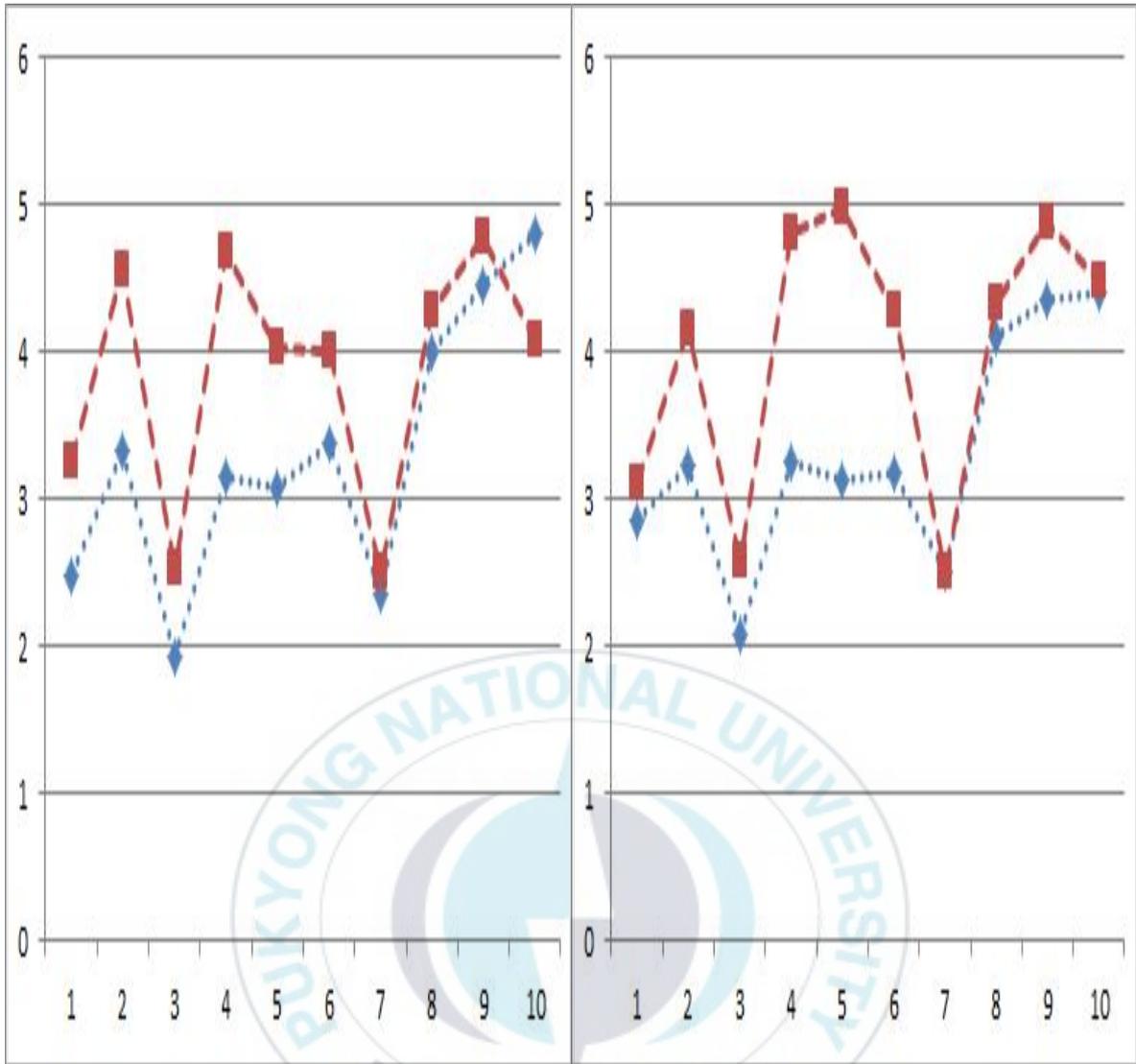
(c) 피험자 3

그림 4-3 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교



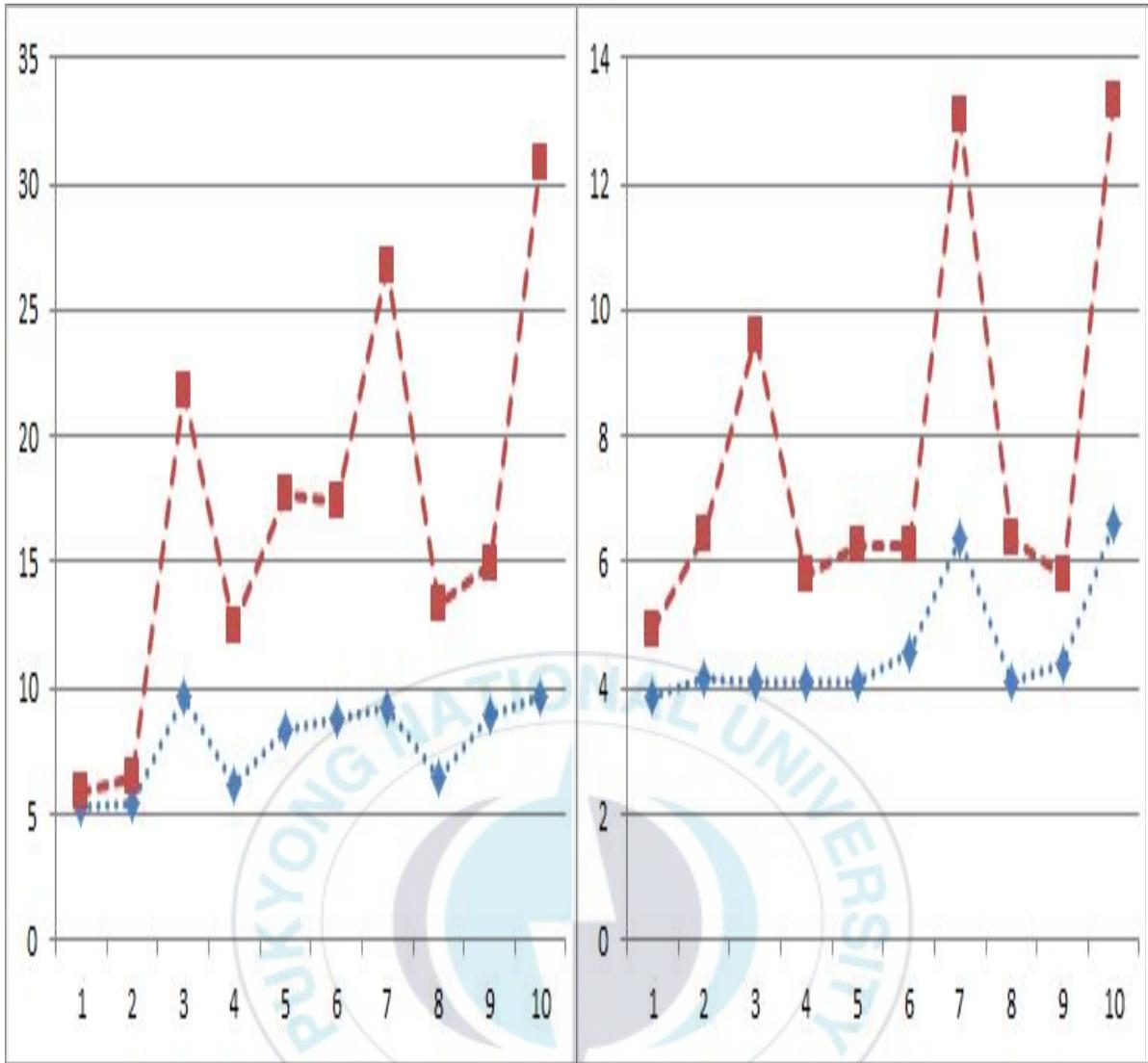
(d) 피험자 4

그림 4-3 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교



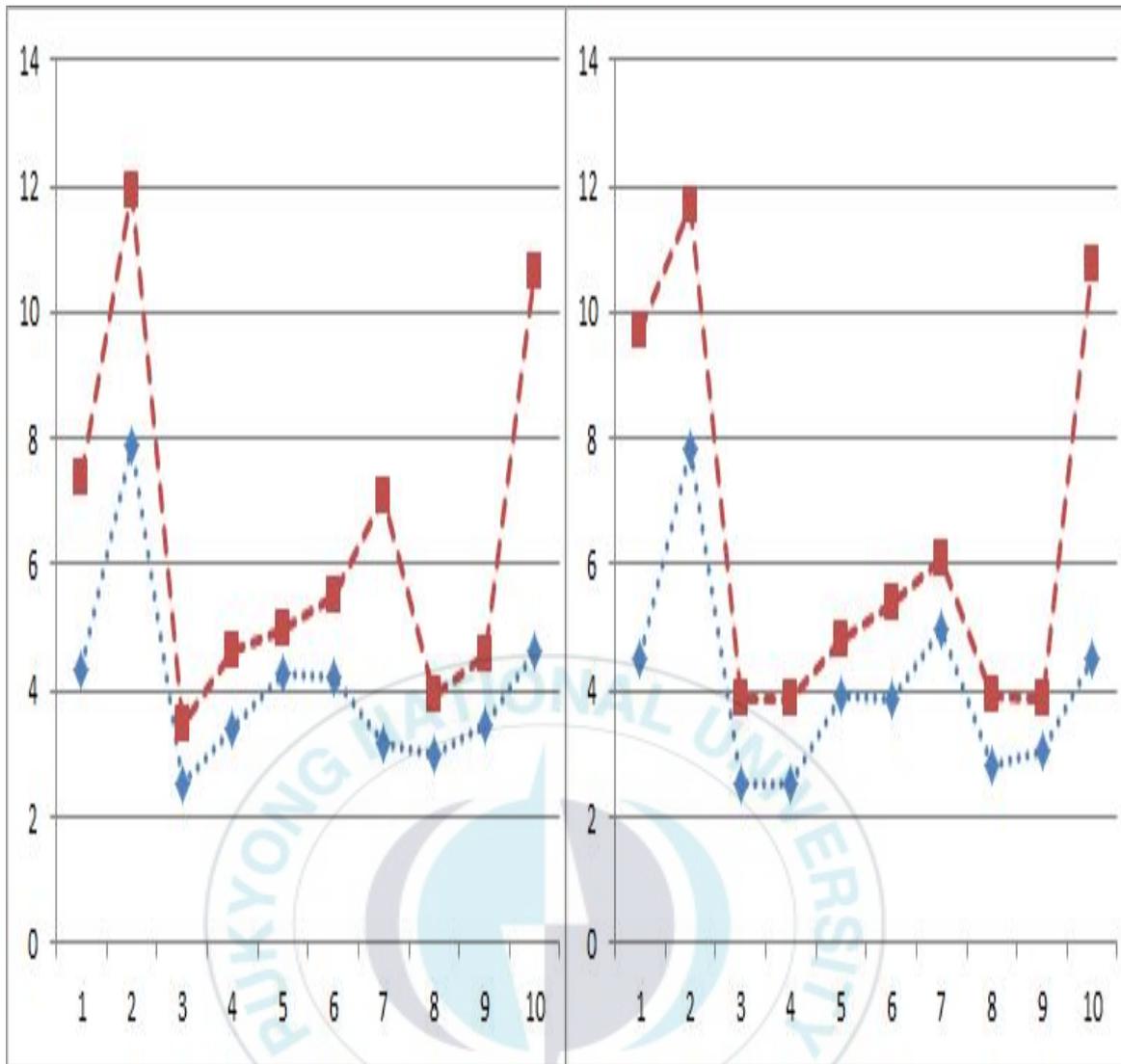
(e) 피험자 5

그림 4-3 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교



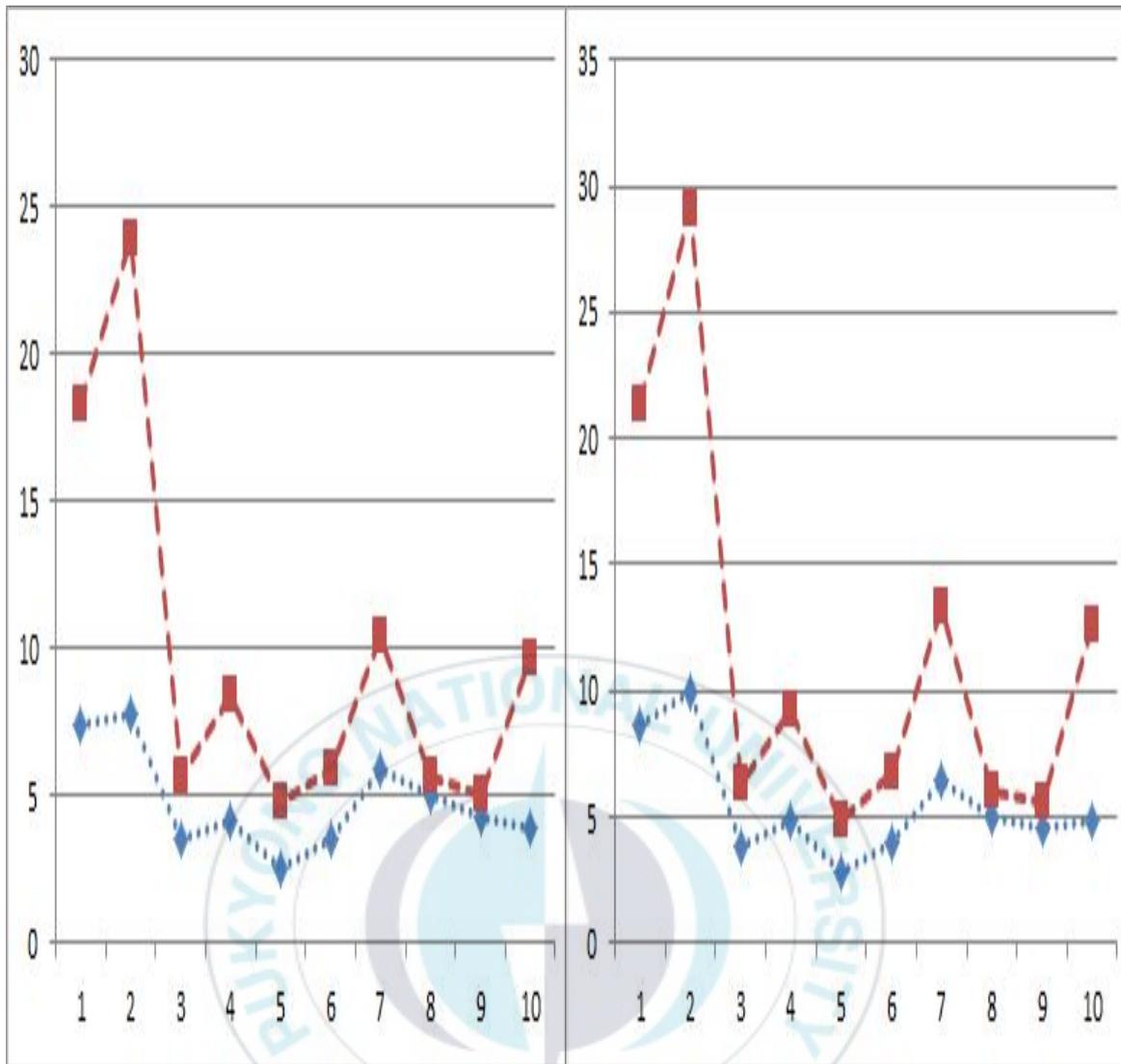
(f) 피험자 6

그림 4-3 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교



(g) 피험자 7

그림 4-3 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교



(h) 피험자 8

그림 4-3 채널별 중간 베타파와 SMR파의 절대파워 비교

4-3 뇌파 분석 결과

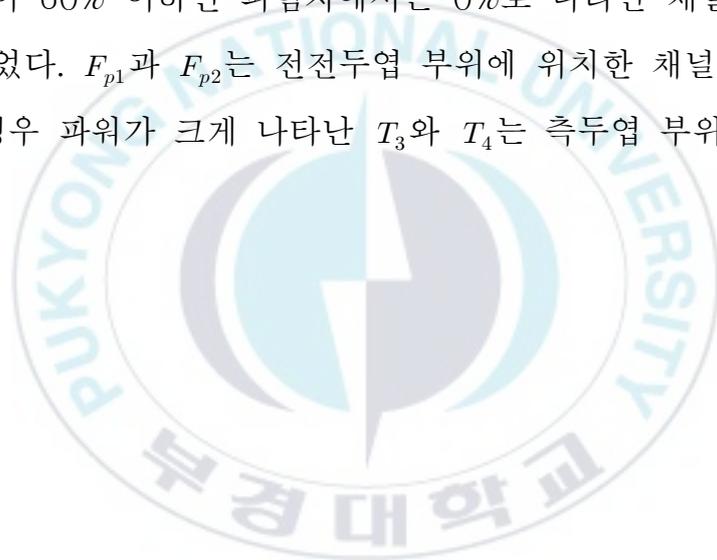
본 뇌파실험에서는 과제를 수행하는 동안 측정된 뇌파를 분석하여 SMR파와 중간 베타파의 평균값을 채널 별로 계산하여 각 피험자들의 과제 정답률과 비교하는 것을 기본적인 방법으로 사용하였다. 따라서 그림 4-3에서는 피험자별 뇌파를 비교한 결과를 제시하였다.

그림 4-4는 각 피험자가 글자 시각과제를 수행하는 동안 측정한 EEG신호를 집중력과 관련된 것으로 알려져 있는 전전두엽 영역 R_A 와 나머지 영역 R_B 로 나누어 분석한 결과이다. 전전두엽 영역의 채널은 F_{p1} , F_{p2} 이고, 나머지 영역의 채널은 F_7 , F_3 , F_4 , F_8 , T_3 , C_3 , C_4 , T_4 이다. 그림 4.4 (a)는 SMR파의 파워, (b)는 중간 베타파의 파워를 R_A 와 R_B 의 영역으로 나누어 비교한 것이다.

그림 4-4 (a)와 (b)를 비교하면 전체적으로 중간 베타파를 분석한 (b)의 파워가 SMR파를 분석한 (a)보다 높다는 사실을 관찰할 수 있다. 또한 각 피험자 별로 R_A 와 R_B 의 파워를 비교해 본 결과, 8명의 피험자 중 SMR파 및 중간 베타파의 경우 모두 5명의 피험자에서 전전두엽 대역인 R_A 에서의 파워가 높게 나타났다. 특히 두 영역의 파워의 차를 나타내는 $|R_A - R_B|$ 를 비교하면, R_A 의 파워가 높게 나타난 피험자의 경우가 더 큰 값을 가진다는 사실을 알 수 있다.

그림 4-5는 그림 4-4의 분석결과를 고려하여 피험자의 EEG신호를 중간 베타파 대역만으로 압축하여 분석한 결과를 제시한 것이다. 이 결과는 피험자에게 부착한 모든 전극 즉 모든 채널에서의 중간 베타파의 파워를 분석한 것으로, 모든 피험자 중에서 최상의 정답률을 보인 2명과 최하의 정답률을 보인 2명의 데이터이다. 피험자 2와 8은 정답률이 높은 피험자이고, 피험자 4와 6은 정답률이 낮은 피험자이다. 각 피험자의 글자 시각과제에서의 정답률은 표 1에 나타내었고, 각 피험자마다 모든 채널을 평균한 것 이상의 파워가 관측되는 채널도 같이 나타내었다. 평균이상의 파워가 관측되는 채널은 SMR파와 중간 베타파로 나누어서 분석한 결과이다.

우선 표 1에서 정답률이 가장 높은 피험자 2 및 8과 정답률이 가장 낮은 피험자 4 및 6의 채널별 파워를 그림 4에서 비교해 보면 명확한 공통점을 관찰할 수 있다. 피험자 2와 8은 채널 F_{p1} 및 F_{p2} 의 파워가 크게 나타나고 있고, 피험자 4와 6은 T_3 및 T_4 의 파워가 크게 나타나고 있다. 아울러 표 1의 중간 베타파의 파워에 주목해서 전체적인 평균보다 파워가 크게 관측된 채널을 분석해 보면 F_{p1} 이 5명, F_{p2} 가 6명, T_4 가 7명으로 가장 빈도수가 높다는 결과를 얻었다. 따라서 정답률이 높거나 낮은 피험자들의 파워가 높게 나타난 채널이 가장 빈도수 높은 채널과 일치한다는 사실을 확인할 수 있다. 이와 같은 사실에서 정답률과 상관성이 높은 채널이 존재한다는 추정이 가능하다. 결과적으로 평균파워 이상이 관측된 채널 중에서 정답률이 90% 이상인 피험자에서는 100%, 정답률이 60% 이하인 피험자에서는 0%로 나타난 채널은 F_{p1} 과 F_{p2} 인 것으로 확인되었다. F_{p1} 과 F_{p2} 는 전전두엽 부위에 위치한 채널이고, 정답률 낮은 피험자의 경우 파워가 크게 나타난 T_3 와 T_4 는 측두엽 부위에 위치한 채널이다.



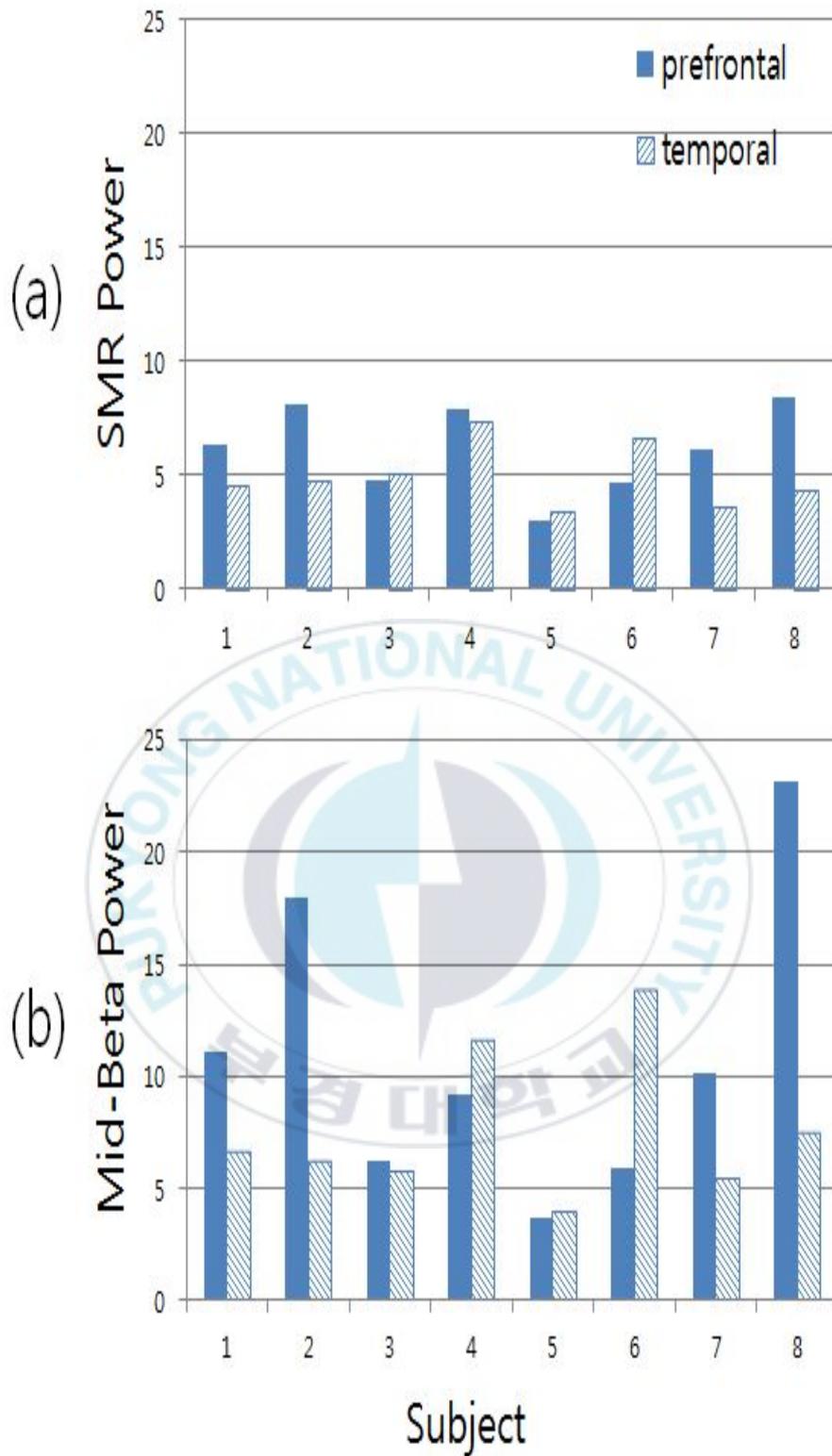


그림 4-4 R_A 와 R_B 의 파워 (a) SMR파, (b) 중간 베타파

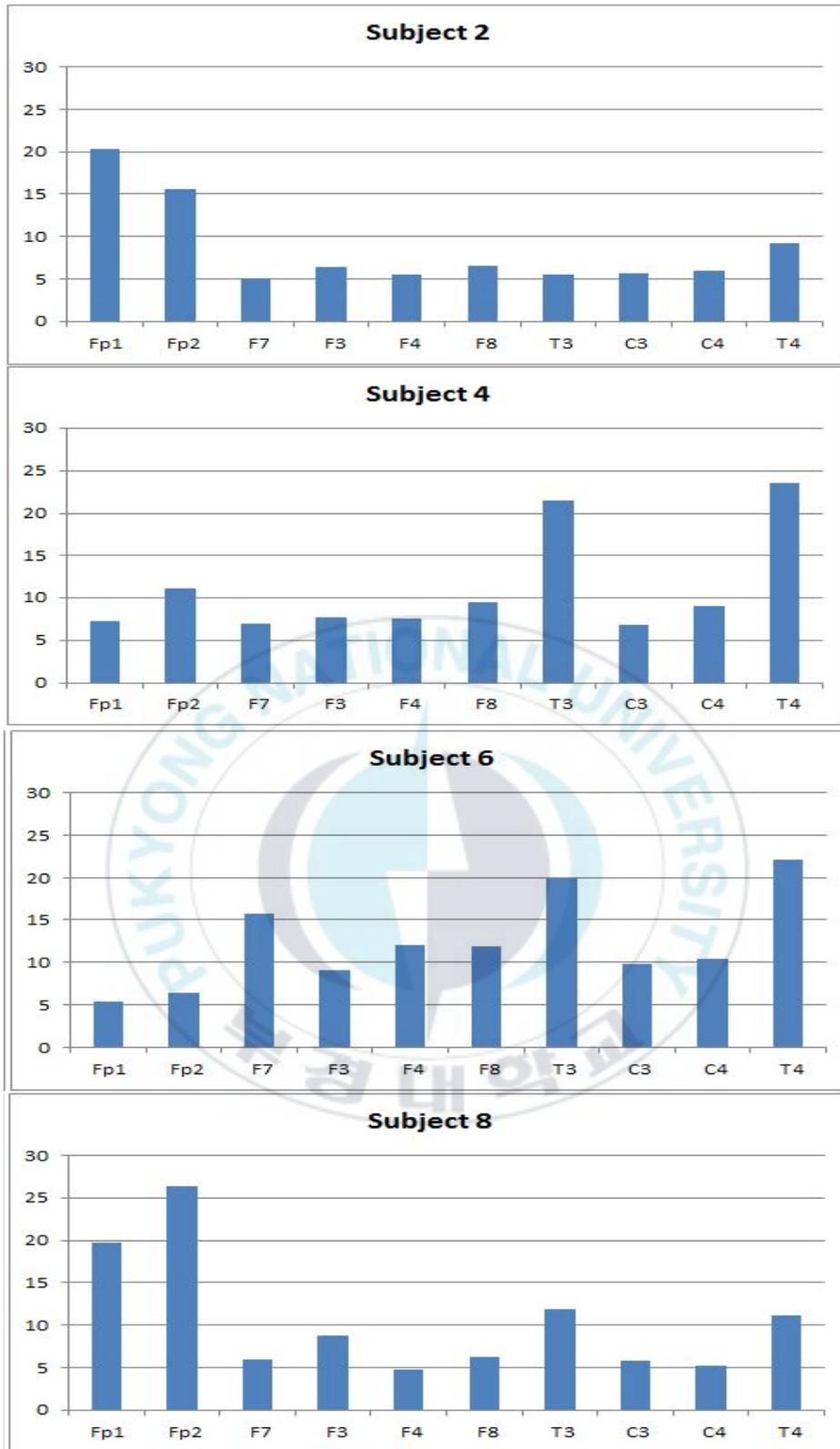


그림 4-5 중간 베타파의 채널별 파워

표 1. 평균 이상의 파워를 가지는 채널과 정답률

Table 1. Channels to have higher than average power and percentage of correct

subject	SMR	percentage of correct (%) / time (sec)
	Mid-Beta	
1	$F_{p1} F_{p2} F_3 T_3$	70 / 252
	$F_{p1} F_{p2} F_3 T_4$	
2	$F_{p1} F_{p2} T_4$	100 / 160
	$F_{p1} F_{p2} T_4$	
3	$C_3 C_4 T_4$	65 / 187
	$F_{p1} F_{p2}$	
4	$F_{p2} C_4 T_4$	55 / 177.5
	$F_{p2} T_3 T_4$	
5	$C_3 C_4 T_4$	75 / 218.5
	$F_{p2} F_3 F_3 C_3 C_4 T_4$	
6	$F_7 T_3 T_4$	60 / 110.5
	$F_7 T_3 T_4$	
7	$F_{p1} F_{p2} T_4$	70 / 174
	$F_{p1} F_{p2} T_4$	
8	$F_{p1} F_{p2}$	95 / 235
	$F_{p1} F_{p2}$	

제5장 결 론

본 논문에서는 시각자극 과제에 관련된 인간의 뇌파를 분석하여 집중도와 관련된 뇌파를 분류 및 분석한 결과를 제시하였다. 이것은 다양한 미디어가 인간의 집중력에 영향을 미치고 있다는 사실이 나타나고 있으므로, 뇌파와 집중력과의 관계를 분석하여 보다 정확하게 파악하는 것이 필요하다는 판단에서 수행된 연구이다. 앞으로 본 논문에서는 수행한 뇌파실험에서 분석된 결과가 인간의 집중력이 미디어로 인하여 저하되는 현상을 방지할 수 있는데 필요한 정보로 사용될 것을 최종적인 목표로 하여 연구를 수행하였다.

본 논문의 3장에서는 숨은 그림 및 글자 찾기 형태의 시각자극 과제로 피험자의 집중을 유발시켜 뇌파를 계측한 다음, 주파수대역에 따른 파워 스펙트럼으로 분석한 결과를 제시하였다. 특히 인간의 집중과 관련도가 높은 것으로 알려진 세타파, SMR파 및 중간 베타파를 분석대상으로 하여 시각자극에 의한 인간의 집중과 관련된 특성을 조사하고자 하였다.

3장의 실험결과에서 숨은 그림자극 및 숨은 글자자극 과제 모두에서 시각자극에 집중하는 경우, SMR파와 중간 베타파는 높게 나타나고, 세타파는 낮게 나타난다는 사실이 관측되었다. 각 피험자에 대하여 각각 비교한 결과로도 77.78%의 피험자의 경우에 SMR파와 중간 베타파는 집중 시가 휴식 시보다 높게 나타나는 결과를 관측하였다. 피험자의 파워를 평균한 값으로 비교한 결과에서도 그림 및 글자자극 과제에서 모두 SMR파와 중간 베타파는 집중 시에 높게 나타난다는 사실을 확인할 수 있었다. 따라서 인간의 시각자극과 관련된 집중에 대해서는 SMR파와 중간 베타파의 상관성이 큰 것으로 추정되며, 시각자극 관련 집중 현상을 관찰하기 위해서는 SMR파와 중간 베타파를 분석하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 또한 인간의 집중도와 관련된 집중 지표를 분석해 본 결과, 77.78%에 해당되는 피험자가 숨은 글자보다는 숨은 그림자극 과제의 경우에 집중 지표가 높게 나타나는 현상을 관측할 수 있었다. 이런 결과로 미루어 볼 때, 시각자극에 의한 인간의 집중도는 뇌파 중에서도 SMR파와 중간 베타파의 활성상태로 추정하는 것이 효율적일 것으로 판단된

다. 아울러 인간의 집중에 상대적으로 효율적인 시각자극은 글자의 형태보다는 그림의 형태라는 추정도 가능할 것으로 판단된다.

따라서 3장의 결과로부터 숨은 그림 및 글자자극으로 인간의 집중도를 뇌파로 분석하여 시각자극에 의한 집중도는 SMR파와 중간 베타파로 추정 가능하다는 사실과 인간의 집중에는 글자의 형태보다는 그림형태의 시각자극이 보다 효율적이라는 사실을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과로부터 주의력결핍과 같은 장애를 가진 인간의 집중력을 개선하는데 간단한 시각자극을 이용할 수도 있고, 그러한 시각자극이 집중에 활용되는 정도는 SMR파와 중간 베타파의 활성도로 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 4장에서는 청소년을 피험자로 하여 글자 시각자극 과제를 제시하여 집중력과 관련된 EEG신호를 분석한 결과를 나타내었다. 청소년을 피험자로 학습과 관련된 집중력을 유발시키기 위하여 시각자극으로는 문헌에서 발췌한 글을 사용하였고, 그 속에서 여러 가지 조사가 틀리게 되어 있는 부분을 찾아내는 형태로 과제를 제시하였다. 피험자에게서 수집한 EEG신호는 SMR파와 중간 베타파 대역의 파워 스펙트럼으로 나타내어 비교 분석하는 방법을 사용하였다.

4장에서는 먼저 전전두엽 부위와 측두엽 부위로 채널 군을 나눈 다음 각각의 채널 군별로 SMR파 및 중간 베타파의 파워를 비교하는 방법을 사용하였다. 그 결과, 중간 베타파의 파워가 SMR파보다 전체적으로 크게 나타나는 사실과 전전두엽 부위가 측두엽 부위보다는 파워가 크게 나타나는 경우가 많다는 사실을 확인하였다. 특히 정답률이 높은 피험자일수록 전전두엽의 중간 베타파 대역의 파워가 크게 나타난다는 사실을 확인하였다.

앞의 분석결과에 따라 중간 베타파의 파워에만 주목하여 각 피험자 별로 모든 채널의 파워를 상호 비교 분석하였다. 그 결과, 정답률이 90% 이상인 피험자에서는 100% 파워가 크게 나타나고, 정답률이 60% 이하인 피험자에서는 파워가 작게 나타나는 채널이 F_{p1} 과 F_{p2} 라는 사실을 확인하였다. 아울러 정답률이 낮은 피험자에게는 채널 T_3 와 T_4 의 파워가 높게 나타난다는 사실을 관측하였다. F_{p1} 과 F_{p2} 는 전전두엽 부위의 채널이고, T_3 와 T_4 는 측두엽 부위의

채널이다. 따라서 집중력과 관련된 뇌 부위로 알려진 전전두엽이 틀린 조사를 찾아내는 시각자극 과제와 같은 형태로 집중력을 유발하는 경우에도 다른 부위보다 활성도가 높다는 사실을 알 수 있다. 또한 정답률이 낮은 피험자의 경우 상대적으로 활성도가 높게 나타났던 측두엽 부위는 언어에 관계된 점으로 미루어보아 틀린 것을 찾으려는 집중력보다는 언어로 쓰인 문장에 더 주의를 기울인 결과라는 추정도 해 볼 수 있다. 정답률이 중간 정도인 피험자들의 EEG신호에서는 채널 F_{p1} , F_{p2} 의 파워와 채널 T_3 , T_4 의 차이가 크지 않았다. 결과적으로 본 실험과 같이 집중력과 언어가 섞여있는 과제의 경우, 언어 관련 부위를 억제하고 집중력 관련 부위를 더 활성화시킬 수 있는 피험자의 정답률이 높다는 사실을 추정할 수 있다.

상술한 바와 같이 4장에서는 글자 시각자극으로 구성된 집중력 관련 과제로부터 전전두엽 부위의 중간 베타파 대역이 집중력과 가장 상관성 높은 EEG신호의 성분이라는 사실을 확인하였다. 특히 4장의 실험에서는 두 가지 영역이 존재하는 과제에서는 어떤 부위를 활성화시킬지의 문제가 발생할 수 있다는 사실을 관찰할 수 있었다. 이와 같은 결과에서 단순히 집중력이라고 하기 보다는 어떤 뇌 부위가 같이 활성화될 수 있을지를 고려하여 집중력 개선 프로그램을 작성해야 한다는 사실을 알 수 있다. 현재의 청소년의 집중력 부족 문제를 감안하여 효율적인 집중력 개선 프로그램을 개발하기 위해서는 특정 뇌 부위의 활성 및 억제에 대한 다양한 과제에 의한 EEG신호의 분석결과가 필요할 것으로 생각된다.

본 논문에서는 인간의 집중력과 뇌파의 관계를 분석하기 위한 뇌파실험을 수행하였고, 그 결과를 제시하였다. 이것은 현대의 다양한 미디어에 노출되어 집중력이 저하되는 문제를 극복하기 위해서는 뇌의 어떤 부분이 집중력을 발휘하는 부위인지를 명확히 관찰하는 것이 필요하다는 판단에서 수행된 것이다. 따라서 보다 효과적인 뇌의 사용법을 위해서 본 논문에서 제시한 뇌파 분석 결과를 활용할 수 있을 것으로 기대되며, 본 논문의 결과를 응용한 프로그램 개발의 기본적인 자료로 사용될 것을 기대한다.

References

- [1] J. D. Kropotov, V. A. Grin-Yatsenko, V. A. Ponomarev, L. S. Chutko, E. A. Yakovenko and I. S. Nikishena, "Changes in EEG spectrograms, event-related potentials and event-related desynchronization induced by relative beta training in ADHD children", *J. of Neurotherapy*, vol. 11, no. 2, 2008, pp. 3-11.
- [2] Y-S. Jang, S-L. Lee and S-A. Ryu, "Characteristics of frequency band on EEG signal causing human drowsiness", *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 6, 2013, pp. 949-954.
- [3] J-H. Kim and M-H. Oh, "IT based EMG biofeedback training on the effects of upper extremity function in chronic stroke patients", *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 1, 2013, pp. 41-49.
- [4] J-M. Jo, "A study on the sensor node based wireless network communication system for efficient EEG transmission", *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 5, 2013, pp. 791-796.
- [5] D-J. Kang, "The development of attention enhancement system using virtual reality and EEG biofeedback and its clinical trial", Hanyang University, Thesis for Ph.D's degree, 2002.
- [6] J. O. Lubar and J. F. Lubar, "EEG biofeedback of SMR and beta for treatment of attention deficit disorders in clinical setting", *Biofeedback Self Regul.*, vol. 9, no.1, 1984, pp.1-23.
- [7] J-K. Jang and H. Kim, "EEG analysis of learning attitude change of female college student on e-learning", *J. of the Korea Contents Association*, vol. 11, no. 4, 2011, pp. 42-50.
- [8] Y-S. Jang and J-W, Han, "Analysis of EEG Generated from concentration

- by visual stimulus task”, *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 5, 2014, pp. 589-594.
- [9] H. Dundar and M. Akcayir, “Tablet vs. Paper: The effect on learners’ reading performance”, *International Electronic J. of Elementary Education*, vol. 4, no. 3, 2011, pp. 441-450.
- [10] S-H. Kim, S-I. Chun and S-Y. Chun, “The influence of smart phone display colors on the emotional stability of adolescents”, *J. of the Korean Academy of Clinical Art Therapy*, vol. 6, no. 2, 2011, pp. 70-84.
- [11] E-H. Son, “Research on Awareness and prevention of Smartphone addiction”, Chung-Ang University, Thesis for Master’s degree, 2022.
- [12] 김대수, 신경망 이론과 응용(1), 진한엠앤비, pp27~30, 2005.
- [13] C. Langton, *Artificial life*, Addison Wesley, 1989.
- [14] 李昌燮, 腦波學 入門, 하나의학사, pp47~67, 1997.
- [15] Berger Hans. “On the Electroencephalogram of Man. Discoverer of Brain Wave”, *Book Review Science*, 1970, pp.562~563.
- [16] LAXTHA Inc., [Online]. Available ; <http://www.laxtha.com>
- [17] 김동구, 박형배, 안영우, “Neurofeedback : 원리와 응용”, *스트레스 연구* 13권 2호, 200~5, pp93~88.
- [18] 한영수, “전전두엽 EEG뉴로피드백 훈련이 암환자들의 뇌 기능에 미치는 영향”, *번초정보대학교 박사학위 논문*, 2007, pp.24~35.
- [19] 박병훈 *뉴로피드백*(정신과학연구소, 2005), pp.37~43.
- [20] Zillmer, E. A., & Spier, M. V., *Principles of neuropsychology*, Belmont : Wadsworth, 2001.
- [21] P. F. Harner and T. Sannit, “A review of the international ten-twenty system of electrode placement”, *Grass Instrument*, 1974.
- [22] Jasper. H. H., “The ten-twenty electrode system of the International Federation.” *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 56, 6(1958), pp.898~902.

- [23] Humphery & Kramer, "Toward a psychophysiological assessment of dynamic changes in mental workload", *Human factors*, vol.36, pp3~26, 1994.
- [24] Sutton S., Braren M., & Zubin J., "Evoked potentials correlates of stimulus uncertainty", *Science*, vol.150, pp 1187~1188, 1965.
- [25] Duncan Johnson, & Donchin E., "The variation in event-related potentials with subjective probability", *Psychophysiology*, vol.14, pp456~467, 1977.
- [26] J. Katayama, J. Polich, "Auditory visual P300 topography from a 3 stimulus paradigm", 1998.
- [27] Oken B. S., "Endogenous event related potentials", 1989.
- [28] Friedman D., "Cognitive event-related potentials components during continuous recognition memory for pictures", 1990. Nigam A., Hofman J. E. & Simon R. F., "N400 to semantically autonomous pictures and words", *Journal of Cognitive Neuro Science*, vol.4, pp1 5~22, 1992.
- [29] Paul A. Lynn, Wolfgang Fuerst, *Introductory Digital Signal Processing with Computer Application*. 1998.

감사의 글

박사과정에 진학한지가 엇그제 같은데 벌써 20년이라는 시간이 지나고 가장 존경하는 이미 고인이 되신 두 분 김천덕 교수님과 항상 관심과 조언을 주신 사랑하는 아버지께 이논문을 지면을 빌어 진심으로 감사의 뜻을 전하고자 합니다.

그동안 연구에 매진할 수 있도록 아낌없는 지도와 격려를 해 주신 지도교수 장윤석 교수님께 감사를 드립니다.

저의 모든 면에 있어 늘 소중한 조언을 아끼지 않으시고, 많은 격려와 지도를 해주신 김영학 교수님, 김인동 교수님, 노의철 교수님께 고개 숙여 감사드리며, 항상 그 가르침 잊지 않도록 노력 하겠습니다

또한 바쁘신 와중에도 논문 심사를 맡아 주시며 단어 하나 문장 하나에 까지 소중한 조언을 해주신 박창현 교수님, 옥영석 교수님, 이용욱 교수님, 최진호 교수님께도 감사의 인사를 올립니다. 그리고 여러 교수님들의 격려와 지도 덕분에 여러 고난과 고비를 넘기고 이 자리까지 온 것 같습니다.

특히 동서대학교 정보통신과 장원태 교수님, 이상곤 교수님, 이훈재 교수님, 김태용 교수님, 경영학부 정종덕 교수님 동원과학기술대학교 박지언 교수님, 김행구 교수님 깊은 감사를 드립니다.

저는 학문을 즐겨하는 사람도, 연구에 취미가 있는 사람도 아닙니다. 그러나 공부라는 것이 사람에게 큰 버팀목이 될 수 있다는 생각을 항상 가지고 있었습니다. 과정을 밟으며 바쁜 시간을 쪼개어 책 읽고 자료를 탐독하는 박사과정의 무게에 포기하고 싶은 생각도 들었습니다. 하지만 저의 학문에 도움을 주신 많은 교수님들 덕분에 학문이라는 것은 혼자만의 탐구가 아닌 여러 사람과의 관계 속에서 이루어지는 것이라는 점을 깨달았습니다.

어렵고 힘든 시기에 항상 뒷받침을 해주며 저의 힘이 되어준 친구이자 지엠아이 CEO 김영상 사장에게 고마움을 전합니다.

그리고 항상 옆에서 조용히 응원하고 힘이 되어준 사하중앙교회 박무렬 장료님, D&W 권종달 회장님, MS테크노 안근환 사장님, 부경다이렉트 김점선 사장님, 권영욱 박사님, 권혁관 사장님, 류원근 사장님, 밀양 한국식물클리닉 류충동 회장님께 고마움을 전합니다

오늘에 이르기까지 사랑과 정성으로 제가 학업을 계속 할 수 있도록 제 곁에서 늘 믿어주시고 응원해주신 어머니, 한웅형님, 한소향 누님, 한기웅 동생에게 모든 영광을 돌리면 이 논문을 바칩니다.

함께 공부하며 힘들 때 기쁨이 되어 준 두 딸 한산지, 한예준과 묵묵히 지켜

봐준 사랑하는 아내 권명숙에게 감사와 사랑을 전합니다.

한예준 : 아버지가 박사가 되어서 정말 좋아요 친구들에게 자랑할래요

한상지 : 아버지 박사가 된 것을 진심으로 축하드리고 제 인생의 롤모델입니다.

권명숙 : 여보 그동안 고생 많았어요 이때까지의 노력이 큰 열매를 맺은거 같아 기뻐요

마지막으로 지면을 통해서 일일이 언급하지 못했지만 그동안 저를 아끼고 사랑해주신 모든 분들께 다시 한 번 감사드리며 김영학 교수님 말씀처럼 지금보다 더 열심히 하는 모습 보여드릴 것을 약속드리며 이 감사의 글을 마치겠습니다.



2015년12월

한재웅 올림