

## 일화기억과 의미기억 간의 차이를 이용한 거짓말 탐지

Lie Detection Using the Difference Between Episodic and Semantic Memory

엄진섭\* · 전하정\*\* · 손진훈\*\*\*†  
Jin-Sup Eom\* · Hajung Jeon\*\* · Jin-Hun Sohn\*\*\*†

\*충북대학교 심리학과

\*Department of Psychology, Chungbuk National University

\*\*충남대학교 심리학과

\*\*Department of Psychology, Chungnam National University

### Abstract

Items related to a crime that are known only to criminals and investigators can be used in the concealed information test (CIT) to assess whether the suspect is guilty of the offense. However, in many cases wherein the suspect is exposed to information about the crime, the CIT cannot be used. Although the perpetrator's memories about the details of the crime are episodic, the memories of a suspect who has inadvertently discovered the details of the crime are more likely to be semantic. The retrieval of episodic memories is associated with theta wave activity, whereas that of semantic memories is associated with alpha wave activity. Therefore, these aspects of memory retrieval can be useful in identifying the perpetrator of the crime. In this study, P300-based CITs were conducted in a guilty participant in a mock crime and an innocent participant who has been given information about the simulated offense. The results demonstrate that the difference in P300 amplitudes between the probe and the irrelevant stimulus did not differ between the guilty and innocent conditions. As expected, the lower theta band power (4-6 Hz) was higher in the probe than in the irrelevant stimulus in the guilty condition, but there was no difference in the innocent condition. Conversely, the upper alpha band power (8-10 Hz) was lower in the probe than in the irrelevant stimulus in the innocent condition, but there was no difference in the guilty condition. The possibility of using theta and alpha band powers in lie detection is discussed.

**Key words:** Episodic Memory, Semantic Memory, Lie Detection, P300, Concealed Information Test

### 요약

범죄현장에 오직 범인과 수사관만 알 수 있는 범죄와 관련된 사항들이 있는 경우에 숨긴정보검사를 이용하여 용의자가 범인인지 또는 범인이 아닌지 평가할 수 있다. 그러나 범죄와 관련된 사항이 용의자에게 노출되어 숨긴정보검사를 사용하지 못하는 경우가 많이 발생한다. 범죄관련 사항들에 대한 범인의 기억은 일화기억에 해당하는 반면, 범죄관련 사항들을 우연히 알게 된 용의자의 기억은 일화기억보다는 의미기억에 가까울 수 있다. 일화기억의 인출은 세타파와

※ 이 논문은 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015S1A5A8014315).

† 교신저자 : 손진훈 (충남대학교 심리학과)

E-mail : jhsohn@cnu.ac.kr

TEL : 042-821-6369

FAX : 042-821-8875

관련이 있고 의미기억은 알파파와 관련이 있으므로, 이를 이용하여 범인을 가려낼 수 있을 것이다. 본 연구에서는 모의 범죄를 수행한 유죄조건의 실험참가자와 모의 범죄의 내용을 들어서 알게 된 무죄조건의 실험참가자에게 P300-기반 숨긴정보검사를 실시하였다. 실험결과 관련자극과 무관련자극 간의 P300 진폭 차이는 유죄조건과 무죄조건 간에 다르지 않았다. 예상한 바와 같이 유죄조건에서 낮은 대역의 세타 파위는 무관련자극보다 관련자극에서 더 크게 나타났으며, 무죄조건에서 세타 파위는 자극 간에 차이가 없었다. 그리고 무죄조건에서 높은 대역의 알파 파위는 무관련자극보다 관련자극에서 더 작게 나타났으며, 유죄조건에서 알파 파위는 자극 간에 차이가 없었다. 알파 파위와 세타 파위를 이용한 거짓말 탐지의 가능성에 대하여 논의하였다.

**주제어: 일화기억, 의미기억, 거짓말 탐지, P300, 숨긴정보검사**

## 1. 서론

거짓말 탐지는 크게 두 가지 질문기법을 사용한다. 한 가지는 비교질문검사(comparison question test: CQT)로 조사 중인 범죄와 직접 관련된 질문에 대한 반응(예, 당신은 어제 돈을 훔쳤습니까?)과 조사 중인 범죄와 관련된 주제이지만 직접 관련이 없는 질문(예, 당신은 2018년 이전에 타인의 돈을 훔친 적이 있습니까?)에 대한 생리적 반응을 서로 비교한다(Reid & Inbau, 1977). CQT는 모든 범죄 사건에 사용할 수 있다는 장점이 있지만, 이론적 근거가 약하고 검사절차의 표준화, 채점의 객관성 및 판단의 독립성 등에서 문제가 있는 것으로 보고하고 있다(Ben-Shakhar, 2002; Furedy, 1996).

다른 한 가지 기법은 숨긴정보검사(concealed information test: CIT)로 오직 수사관과 범인만 알고 있는 범죄관련 항목(관련자극; 예, 도난당한 돈의 금액)과 이것과 동일한 범주에 속하지만 범죄와 직접 관련이 없는 여러 개의 항목(무관련자극; 예, 도난당한 금액이 아닌 다른 금액들)을 섞어서 조사대상자에게 하나씩 제시하고 생리적 반응을 관찰한다(Lykken, 1988). CIT는 이론적으로 타당한 심리생리적 근거를 가지고 있으며, 검사의 표준화가 용이하고 오류긍정률이 낮다는 장점을 가진다(Ben-Shakhar & Elaad, 2002).

그러나 사건 현장에는 오직 수사관과 범인만 알고 있는 범죄관련 항목이 드물기 때문에, 실제로는 CIT가 널리 사용되지 못하고 있다(Podlesny, 2003). CIT에 사용할 항목이 드문 이유 중 하나는 수사과정에서 범죄관련 항목이 조사대상자에게 노출되는 경우가 많기 때문이다. 국내 수사체계의 특성으로 인하여 국내 검

찰에서도 CIT를 거의 사용하지 못하는 것으로 알려져 있는데, 경찰의 수사과정에서 범죄관련 정보가 조사대상자에게 노출되기 때문이다.

CIT가 탐지하는 것은 범죄관련 항목에 대한 조사대상자의 기억이다(Verschuere et al., 2011). 그런데 경찰의 수사과정이나 기타 과정을 통하여 범죄관련 항목이 조사대상자에게 알려지면 무죄인 조사대상자도 범죄관련 기억을 가지고 있을 것이므로 범죄관련 기억 여부를 통하여 범인을 가려낼 수 없게 된다. 결국 이러한 상황에서는 CIT를 사용하는 것이 무의미하므로 CIT를 실시하지 않는 것이 일반적이다.

만약 범인의 범죄관련 기억과 무죄인 조사대상자의 범죄관련 기억을 서로 구별할 수 있다면, 이것을 이용한 거짓말 탐지가 가능할 것이다. 일화기억은 자기가 경험한 사건들에 대한 기억인 반면에 의미기억은 삶을 통하여 누적된 세상에 대한 일반적인 지식을 의미한다(McRae & Jones, 2013; Tulving, 1984). 따라서 범인이 가지고 있는 범죄 수행에 대한 기억은 일화기억(episodic memory)으로 분류할 수 있다. 반면에 경찰의 수사과정이나 기타 과정을 통해서 범죄관련 정보를 습득한 무죄인 조사대상자가 가지고 있는 범죄관련 기억은 특정 사건에 관한 사실을 기억하는 것이므로 의미기억(semantic memory)으로 분류될 수 있을 것이다.

Schacter와 Tulving(1994)의 기억모형에 따르면, 일화기억은 전두엽과 관련이 있고 의미기억은 측두엽과 간뇌가 관여되어 있는 것으로 가정하고 있다. 뇌활성화 연구의 결과는 일화기억과 의미기억이 구별되는 뇌활성화 특징을 가진다고 보고하고 있으며(Hantke et al., 2013; Ryan et al., 2008), 뇌파를 측정하는 연구들에서 일화기억의 처리는 세타(theta)파와 관련이 있고 의

미기억의 처리는 알파(alpha)파와 관련이 있는 것으로 보고되고 있다(Berger et al., 2014; Doppelmayr et al., 1998; Doppelmayr et al., 2005; Klimesch, 1997; Klimesch et al., 1994; Klimesch et al., 2001; Nyhus & Curran, 2010; Pastötter & Bäuml, 2014).

따라서 범인의 범죄관련 기억이 일화기억이라면 이 기억을 활성화시켰을 때 세타파가 증가될 것이라고 예상할 수 있다. 반면에 무죄인 조사대상자의 범죄관련 기억이 의미기억이라면 알파파가 증가될 것이라고 예상할 수 있다.

2000년대 들어서 P300-기반 숨긴정보검사(P300-based concealed information test: P300 CIT)에 대한 연구가 활발히 진행되었다(Mertens & Allen, 2008; Rosenfeld et al., 2006). P300 CIT는 CIT의 종속측정치로 사건관련전위(event-related potential: ERP)의 P300 성분을 이용한다. P300 CIT는 뇌파를 측정하기 때문에 일반적인 CIT와 약간의 차이가 있다. 첫째로 CIT에서는 관련자극과 무관련자극만 사용하며 모든 자극에 ‘아니오’ 반응을 하게 되어 있는 반면, P300 CIT에서는 목표자극을 추가하여 세 가지 자극을 사용한다<sup>1)</sup>. 목표자극은 조사대상자의 주의를 집중시키기 위한 것으로 검사 중에 목표자극이 제시되면 특정 반응을 하고 다른 자극이 제시되면 다른 반응을 하도록 지시한다(Rosenfeld et al., 2004). 두 번째로 CIT는 일련의 관련자극과 무관련자극을 수회 반복 제시하지만, P300 CIT에서는 일련의 관련자극과 무관련자극, 목표자극을 수십 회(적어도 30회 이상) 반복 제시한다. P300 CIT의 첫 번째 특징은 제시되는 모든 자극을재인하도록 만들며, 두 번째 특징은 반복측정을 통하여 신뢰로운 사건관련전위를 추출하도록 한다. P300 CIT의 이러한 특징은 각 자극에 대한 알파파와 세타파의 양을 측정하기에도 적당하다(Klimesch et al., 1994).

본 연구의 목적은 범인이 범죄관련 정보에 대한 기억을 인출할 때 세타파가 증가하고, 무죄인 조사대상자가 범죄관련 정보에 대한 기억을 인출할 때 알파파가 증가하는지 확인하는 것이다. 만약 본 연구에서 예측한 바가 관찰된다면, 세타파와 알파파를 이용한 새로운 거짓말 탐지가 가능할 것이다. 본 연구에서는 모

의범죄와 P300 CIT 절차를 사용한 실험연구를 실시하였다. P300이 기억의 종류(즉, 일화기억과 의미기억)에 민감하다는 연구는 찾을 수 없으므로, 관련자극과 무관련자극 간의 P300 차이는 유죄인 조사대상자와 범죄관련 정보를 알고 있는 무죄인 조사대상자 간에 다르지 않을 것으로 예상된다. 그러나 관련자극과 무관련자극 간의 세타파 차이는 범죄관련정보를 알고 있는 무죄인 조사대상자보다는 유죄인 조사대상자에서 더 크게 나타날 것이며, 관련자극과 무관련자극 간의 알파파 차이는 그 반대일 것으로 예상된다.

## 2. 방법

### 2.1. 실험참가자

남녀 대학생 34명이 실험에 참가하였다. 평균 연령은 22.9세(범위 20~29세)였으며, 남녀 각각 16명과 18명이었다. 유죄조건과 무죄조건에 각각 17명씩 할당하였다. 무죄조건에 포함된 1명은 목표자극에 대한 반응 오류율이 95%로 높아 분석에서 제외하였다. 실험참가자들을 모두 신경과나 정신과적 병력이 없다고 응답하였으며, 실험참여에 대한 금전적 보상을 받았다.

### 2.2. 실험자극

모의범죄 사건을 이용하여 P300 CIT에 사용할 자극을 구성하였다. 모의범죄 사건은 5층 실습실에서 가방에 들어 있던 반지와 50만원이 도난당한 것이었다. 범죄관련 항목, 즉 관련자극은 5층, 실습실, 가방, 반지, 50만원으로 총 5개였다. 무관련자극은 관련자극의 각 항목 당 네 개씩으로 총 20개였다(1층, 3층, 6층, 7층; 행정실, 사무실, 회의실, 강의실; 목걸이, 시계, 귀걸이, 브로치; 45만원, 50만원, 55만원, 60만원; 책상, 서랍, 핸드백, 잠바). 목표자극은 관련자극의 각 항목 당 한 개씩으로 총 5개였다(2층, 연구실, 팔찌, 65만원, 지갑).

### 2.3. 실험절차

실험은 이틀에 걸쳐서 실시하였다. 첫째 날 실험참가자들은 유죄조건에서 모의범죄를 수행하거나 또는

1) 목표자극을 사용하지 않는 패러다임도 있지만 널리 사용되는 것은 아니다.

무죄조건에서 모의범죄에 관한 내용을 전해 들었다. 각 실험참가자가 어떤 조건에 참가할지는 연구자들이 사전에 정하였다. 모의범죄 지시문은 다음과 같다. “현재 실험참가자가 있는 건물의 5층 실습실에 들어가서 가방 안에 들어 있는 반지와 50만원을 훔쳐서 건물 밖으로 빠져나가세요.” 실험참가자에게 위 사항을 읽어주고 잘 암기하였는지 확인한 후에 실제로 모의범죄를 수행하도록 하였다. 모의범죄를 수행한 후에는 반지와 50만원을 가지고 집으로 돌아간 후, 다음날 약속한 시간에 실험실로 오도록 하였다. 무죄조건에서는 실험참가자에게 다음과 같은 범죄사건에 대한 정보를 구두로 알려주었다. “오늘 5층 실습실에서 가방 안에 두었던 반지와 50만원이 도난당한 사건이 발생하였습니다.” 실험참가자가 범죄사건에 대한 정보를 잘 기억하고 있는지 확인한 후 다음날 약속한 시간에 실험실로 오도록 하였다.

둘째 날에는 전날 있었던 모의범죄 사건에 대한 거짓말 탐지를 실시하였다. 실험참가자에게 뇌파측정을 위한 전극을 부착한 후에 P300 CIT를 실시하였다. 실험참가자에게 구두로 목표자극이 무엇인지 알려주었으며, 잘 암기하였는지 확인하였다. 실험참가자에게 관련자극 5개와 무관련자극 20개, 목표자극 5개를 섞어서 무선으로 하나씩 제시하였으며, 목표자극이 제시되면 ‘예’ 버튼(마우스 왼쪽 버튼), 다른 자극(즉 관련자극과 무관련자극)이 제시되면 ‘아니오’ 버튼(마우스 오른쪽 버튼)을 가능한 빠르게 누르라고 지시하였다.

자극은 실험참가자로부터 1m 앞에 놓여 있는 컴퓨터 모니터 중앙에 1.5cm 높이의 신명조체 한글로 제시하였다. 자극은 300ms 동안 제시하였으며, 자극 간 제시 간격은 평균 2700ms(범위 2200~3200ms)였다. 30개의 자극을 9회 반복 제시하여 총 270회 자극을 제시하였다. 자극의 제시와 반응의 기록은 SuperLab 5.0을 이용하였다.

## 2.4. 뇌파기록

뇌파는 Grass Model 12 Neurodata Acquisition System (Grass Instruments, Quincy, MA, USA)을 이용하여 측정하였다. Ag/AgCl 전극을 국제 10-20 체계에 따라 F3, Fz, F4, Cz, P3, Pz, 및 P4에 부착하여 뇌파를 기록

하였으며, 양쪽 컷볼에 연결된 기준전극을 부착하였고, 이마에 접지전극을 부착하였다. 왼쪽 눈의 위와 아래에 전극을 부착하여 안전도(electrooculogram: EOG)를 측정하였다. 뇌파는 0.3~100Hz 대역여과한 후 20000배 증폭하였으며, 안전도는 5000배 증폭하였다. 증폭된 뇌파를 250Hz 표집률로 디지털 변환하여 컴퓨터에 저장하였다.

## 2.5. 분석

P300 CIT 실시하면서 측정된 뇌파를 분석하였다. 먼저 EOG를 이용하여 눈깜박임과 안구운동에 의한 뇌파의 변형을 교정하였다(Semlitsch et al., 1986). 전체 뇌파를 각 자극의 제시 전 100ms부터 자극제시 후 1200ms까지 총 1300ms 구간으로 나눈 후, 관련자극과 무관련자극, 목표자극이 제시되었을 때의 뇌파를 각각 평균하여 ERP를 산출하였다.

P300 진폭은 정점-정점 방법을 이용하여 계산하였다. 정점-정점 방법은 P300의 전위와 P300 이후에 나타나는 부적 정점 전위 간의 차이를 사용한다. P300 전위는 자극 제시 후 300ms에서 700ms 사이에 100ms 구간의 평균값이 가장 큰 값을 사용하였으며, P300 이후 부적 정점의 전위는 P300이 나타난 이후부터 1200ms까지 100ms 구간의 평균값이 가장 작은 값을 사용하였다.

실험조건 별로 관련자극과 무관련자극 간의 P300 진폭이 통계적으로 유의하게 다른지 검증하기 위하여 대응표본 t 검증을 실시하였다. 또한 관련자극과 무관련자극 간의 P300 진폭 차이가 실험조건 별로 다른지 검증하기 위하여 독립표본 t 검증을 실시하였다.

알파파와 세타파의 크기는 선행연구(Klimesch et al., 1994)에 따라서 낮은 대역의 세타파(4~6Hz), 높은 대역의 세타파(6~8Hz), 낮은 대역의 알파파(8~10Hz), 및 높은 대역의 알파파(10~12Hz)로 나누어 산출하였다. 알파파와 세타파는 Klimesch 등(2000)의 절차에 따라 다음과 같이 유도된 대역 파워(induced band power)를 산출하였다. ① 전체 뇌파를 해당 주파수 영역으로 대역 여과(band pass)한다. ② 대역 여과된 뇌파를 각 자극의 제시 전 100ms부터 자극제시 후 1200ms까지 총 1300ms 구간으로 나눈다. ③ 자극종류(관련자극과 무관련자극, 목표자극) 별로 1300ms 구간의 뇌파들을

시간에 맞추어 평균하여 유발된 활동(evoked activity)을 산출한다. ④ 자극종류 별로 각 자극의 1300ms 구간의 뇌파에서 유발된 활동을 빼 유도된 활동(induced activity)을 계산한다. ⑤ 자극종류 별로 유도된 활동값을 제공하고 전체 시행을 평균하여 유도된 파워(induced power)를 계산한다. ⑥ 유도된 파워는 개인 차이가 크기 때문에 각 개인별, 전극위치별로 1300ms 구간의 유도된 파워를 평균 0과 표준편차 1을 가지는 z 점수로 변환한다. ⑦ 고주파수 성분을 제거하기 위하여 100ms 간격의 이동평균을 구한다.

네 가지 주파수 파워(낮은 대역의 세타 파워, 높은 대역의 세타 파워, 낮은 대역의 알파 파워, 높은 대역의 알파 파워) 각각에 대하여 관련자극과 무관련자극 간의 차이가 통계적으로 유의한지 검증하였다. 종속 측정치(0ms부터 1200ms까지 300개의 측정값)가 너무 많으므로, 100ms 구간씩 평균을 산출하여 12개의 측정치를 사용하였다. 실험조건과 전극위치 별로 자극(관련자극과 무관련자극)과 시간(0~1200ms구간의 12개 측정치)을 독립변인으로 한 반복측정 이원변량분석을 실시하였다. 만약 주파수 파워가 자극 종류에 따라 다르다면 이 효과는 자극과 시간의 상호작용효과로 나타날 것이다. 왜냐하면 자극제시 직후에는 자극 종류에 따라서 주파수 파워가 같을 것이지만 그 이후 어느 시점에서 달라질 것이기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 자극과 시간의 상호작용효과만 해석하였다. 상호작용효과가 유의한 경우에는 대응표본 t 검증을 통하여 시간대 별로 두 자극 간의 차이가 유의한지 확인하였다. 대응표본 t 검증에서 자극 간 차이가 유의한 경우에는 독립표본 t 검증을 통하여 관련자극과 무관련자극 간의 차이가 실험조건(무죄집단과 유죄집단) 간에 다른지 검증하였다. 반복측정 변량분석에서는  $\epsilon$ 을 이용하여 교정한 확률을 보고하였다.

### 3. 결과

#### 3.1. 반응오류율과 반응시간

Table 1에 실험조건 별 오류율과 반응시간이 제시되어 있다. 무죄조건과 유죄조건에서 목표자극의 반

Table 1. Error rates (%) and reaction times (ms)

		Target	Probe	Irrelevant
Error rates	Innocent	14.4( 9.6)	2.5(2.9)	0.5(1.1)
	Guilty	14.4(10.4)	2.0(1.9)	0.9(1.2)
Reaction times	Innocent	791(140)	725(145)	664(130)
	Guilty	826(150)	803(169)	708(124)

Note. standard deviations are in parentheses.

응오류율 평균은 14.4%로 동일하였으며, 관련자극의 반응오류율 평균은 각각 2.5%와 2.0%였다. 무관련자극의 평균 반응오류율은 1%이내였다. 유죄조건과 무죄조건 모두에서 목표자극에 대한 반응시간이 가장 길었으며, 관련자극에 대한 반응시간은 무관련자극에 대한 반응시간 보다 길었다.

#### 3.2. P300 진폭

실험조건별 ERP가 Fig. 1에 제시되어 있다. 유죄조건과 무죄조건 모두 자극 제시 후 600ms에서 큰 정적 전위가 관찰되었다. 이 전위는 Fz 영역에서 Pz 영역으로 갈수록 진폭이 더 크게 나타났으며, 목표자극에서 크게 나타났다. 관련자극과 무관련자극 간의 ERP 차이는 뚜렷하지 않았으며, 유죄집단과 무죄집단 간에도 ERP에서 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다.

P300 CIT에서는 대부분의 경우 Pz 영역의 자료만 이용하므로, 본 연구에서도 Pz 영역의 P300 진폭만 분석하였다. 무죄조건에서 관련자극의 평균 P300 진폭(M=13.82, SD=4.12)은 무관련자극의 평균 P300 진폭(M=12.81, SD=3.49)과 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $t(15)=1.35, p=.196, d=0.26$ ). 유죄조건에서 관련자극의 평균 P300 진폭(M=14.02, SD=4.44)은 무관련자극의 평균 P300 진폭(M=12.11, SD=3.91)보다 통계적으로 유의하게 더 큰 것으로 나타났다( $t(16)=3.00, p=.009, d=0.46$ ). 그러나 관련자극과 무관련자극 간의 평균 P300 진폭 차이는 유죄집단과 무죄집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $t(31)=0.91, p=.643, d=0.17$ ).

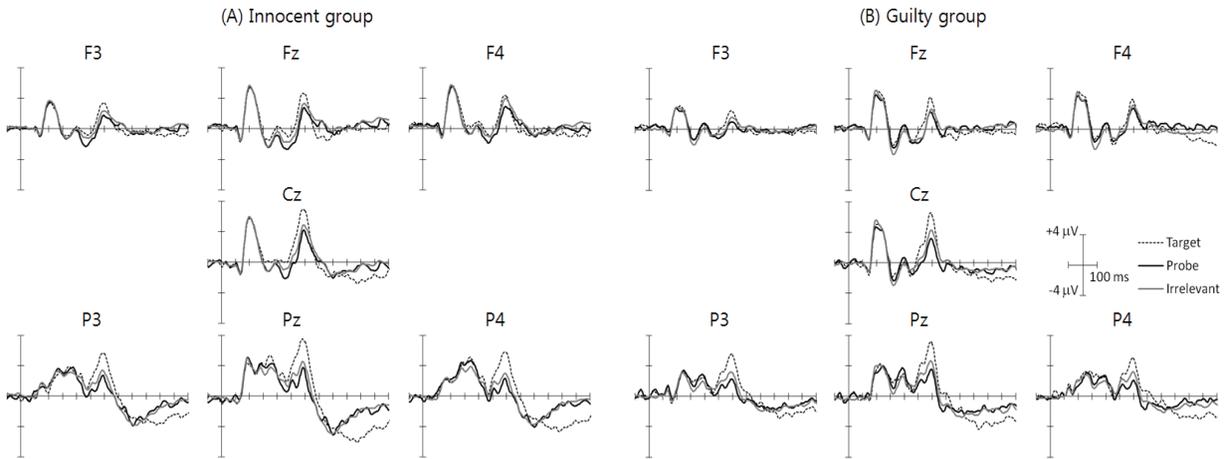


Fig. 1. Grand ERPs

### 3.3. 낮은 대역의 세타 파워

실험조건별 낮은 대역의 세타 파워가 Fig. 2의 (A)에 제시되어 있다. 목표자극에 대한 낮은 대역의 세타 파워는 모든 집단과 전극위치에서 자극 제시 후 600ms 전후에 가장 높은 값을 보였다. 관련자극과 무관련자극에 대한 낮은 대역의 세타 파워는 유죄집단과 무죄집단 간에 다소 상이한 모습을 보이고 있다. 무죄집단의 경우에 관련자극과 무관련자극에 대한 세타 파워는 비슷한 양상을 보이는 반면에 유죄집단의 경우에 관련자극과 무관련자극에 대한 세타 파워가 다르게 나타났다. 유죄집단에서 관련자극에 대한 낮은 대역의 세타 파워는 약 600ms 이후부터 상승하는데 반하여, 무관련자극에 대한 파워는 600ms 이후에 낮은 값을 유지하고 있었다.

실험조건과 전극위치 별로 자극(관련자극과 무관련자극)과 시간(100ms씩 12 구간)을 독립변인으로 한 반복측정 이원변량분석을 실시하였다. 무죄조건에서는 어떤 전극위치에서도 자극과 시간의 상호작용효과가 유의하지 않았다( $p > .05$ ). 즉 무죄조건에서는 관련자극과 무관련자극 간에 낮은 대역의 세타 파워가 다르지 않았다. 반면에 유죄조건에서는 P3 영역과 Pz 영역에서 자극과 시간의 상호작용효과가 유의하였다 (P3:  $F(11,176)=4.542, p=.003$ ; P4:  $F(11,176)=2.915, p=.036$ ). 대응표본 t 검증에서 관련자극과 무관련자극 간의 평균 차이가 통계적으로 유의한 것으로 나타난 시간대가 Fig. 2 (A)에 ‘\*’ 표시로 제시되어 있다. P3

영역에서는 자극 제시 후 800ms부터 1200ms까지 4개의 구간에서 평균차이가 유의하였으며(800~900ms:  $t(16)=2.38, p=.030, d=0.58$ ; 900~1000ms:  $t(16)=2.91, p=.010, d=0.70$ ; 1000~1100ms:  $t(16)=3.85, p=.001, d=0.93$ ; 1100~1200ms:  $t(16)=4.86, p<.001, d=1.17$ ), Pz 영역에서는 600~700ms, 900~1000ms, 1000~1100ms, 및 1100~1200ms 구간에서 유의한 차이가 있었다 (600~700ms:  $t(16)=2.36, p=.031, d=0.57$ ; 900~1000ms:  $t(16)=3.07, p=.007, d=0.74$ ; 1000~1100ms:  $t(16)=4.07, p=.001, d=0.99$ ; 1100~1200ms:  $t(16)=2.58, p=.020, d=0.63$ ).

P3 영역과 Pz 영역에서 관련자극과 무관련자극 간 낮은 대역의 세타 파워의 차이가 유죄집단과 무죄집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는지 검증한 결과가 Table 2에 제시되어 있다. P3 영역의 800~900ms, 900~1000ms, 1000~1100ms, 1100~1200ms 구간, Pz 영역의 1000~1100ms 구간에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다(P3 800~900ms:  $t(31)=2.13, p=.041, d=0.77$ ; P3 900~1000ms:  $t(31)=2.58, p=.015, d=0.91$ ; P3 1000~1100ms:  $t(31)=2.72, p=.011, d=0.96$ ; P3 1100~1200ms:  $t(31)=2.13, p=.042, d=0.76$ ; Pz 1000~1100ms:  $t(31)=2.32, p=.027, d=0.82$ ).

### 3.4. 높은 대역의 세타 파워

실험조건별 높은 대역의 세타 파워가 Fig. 2의 (B)에 제시되어 있다. 전체적으로 관련자극과 무관련자

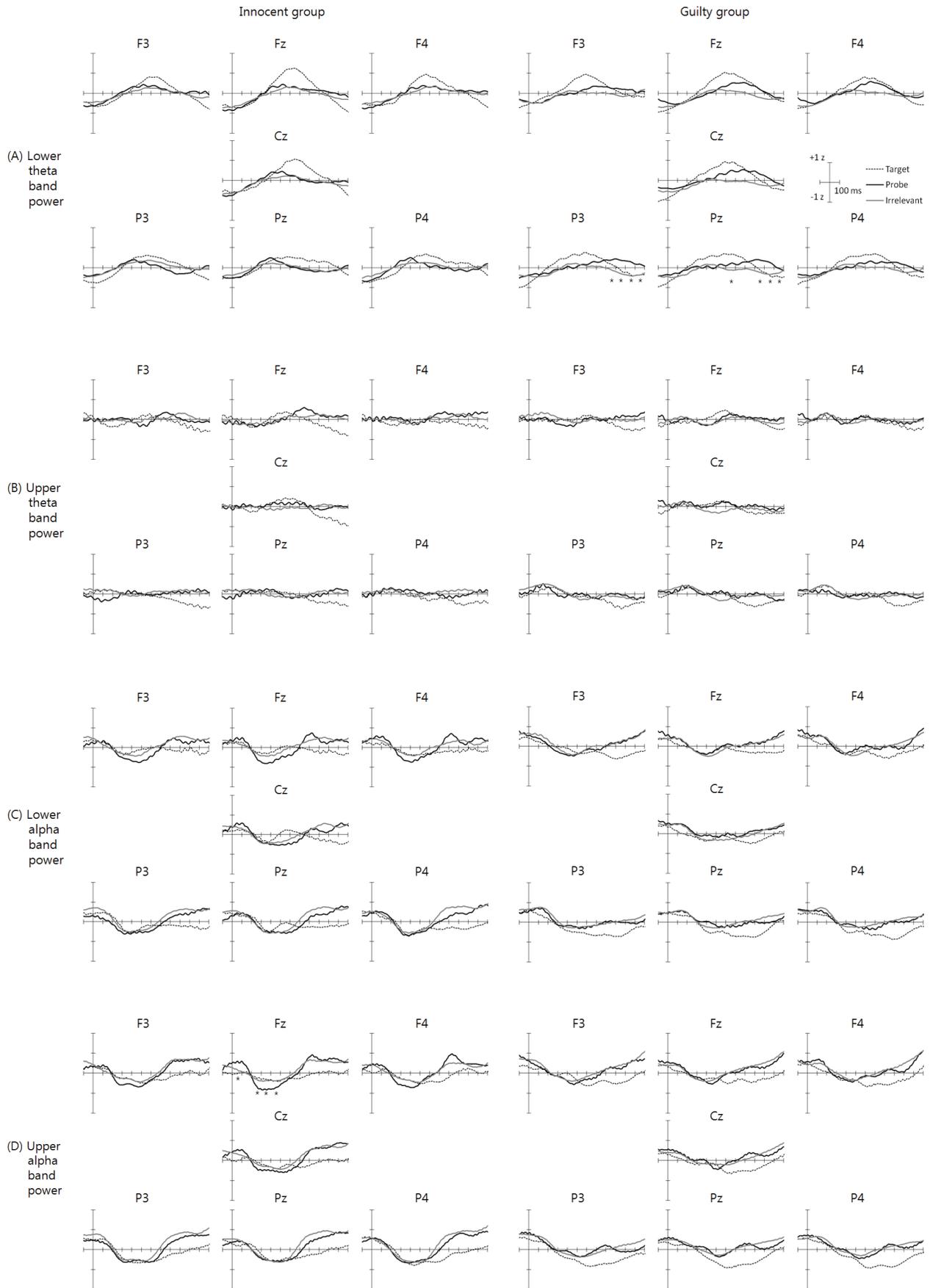


Fig. 2. Induced band powers. An asterisk (\*) represents significant difference between probe and irrelevant at the  $p < .05$  level.

극에 대한 파워는 두 실험조건에서 모두 비슷하였다.

각 실험조건에서 자극(관련자극과 무관련자극)과 시간(100ms씩 12 구간)을 독립변인으로 한 반복측정 이원변량분석을 실시한 결과, 어떤 조건에서도 상호작용효과가 통계적으로 유의한 경우는 없었다 ( $p>.05$ ). 즉 무죄조건과 유죄조건 모두 높은 대역의 세타 파워는 관련자극과 무관련자극 간에 유의한 차이가 없었다.

### 3.5. 낮은 대역의 알파 파워

실험조건별 낮은 대역의 알파 파워가 Fig. 2의 (C)에 제시되어 있다. 낮은 대역의 알파 파워는 전체적으로 자극 제시 후 300~500ms 구간에서 가장 낮은 값을 보였다. 무죄조건과 유죄조건에서 약간 다른 모습을 보였다. 무죄조건에서는 전두영역(F3, Fz, 및 F4)에서 관련자극의 알파 파워가 무관련자극의 알파 파워보다 낮은 경향을 보였으며, 유죄조건에서는 관련자극과 무관련자극 간에 큰 차이가 없었다.

그러나 각 실험조건에서 자극(관련자극과 무관련자극)과 시간(100ms씩 12 구간)을 독립변인으로 한 반복측정 이원변량분석을 실시한 결과에서는 어떤 조건에서도 상호작용효과가 통계적으로 유의한 경우는 없었다( $p>.05$ ).

### 3.6. 높은 대역의 알파 파워

실험조건별 높은 대역의 알파 파워가 Fig. 2의 (D)에 제시되어 있다. 높은 대역의 알파 파워는 낮은 대

역의 알파 파워와 비슷한 양상을 보였는데, 자극 제시 후 300~500ms 구간에서 가장 낮은 값을 보였다. 무죄조건에서는 전두영역(F3, Fz, 및 F4)에서 관련자극의 알파 파워가 무관련자극의 알파 파워보다 낮은 경향을 보였으며, 유죄조건에서는 큰 차이가 없었다.

실험조건과 전극위치 별로 자극(관련자극과 무관련자극)과 시간(100ms씩 12 구간)을 독립변인으로 한 반복측정 이원변량분석을 실시하였다. 무죄조건에서는 Fz 영역에서만 자극과 시간의 상호작용효과가 유의하였다(P3:  $F(11,165)=2.580, p=.046$ ). 대응표본 t 검증에서 관련자극과 무관련자극 간의 평균 차이가 통계적으로 유의한 것으로 나타난 시간대가 Fig. 2 (D)에 ‘\*’ 표시로 제시되어 있다. Fz 영역에서 자극 제시 후 0~100ms, 200ms부터 500ms까지 4개의 구간에서 평균차이가 유의하였다(0~100ms:  $t(15)=2.26, p=.039, d=0.57$ ; 200~300ms:  $t(15)=-2.72, p=.016, d=0.68$ ; 300~400ms:  $t(15)=-3.28, p=.005, d=0.82$ ; 400~500ms:  $t(15)=-3.61, p<.002, d=0.91$ ).

유죄조건에서는 어떤 전극위치에서도 자극과 시간의 상호작용효과가 유의하지 않았다( $p>.05$ ). 즉 유죄조건에서는 관련자극과 무관련자극 간에 높은 대역의 알파 파워가 다르지 않았다.

Fz 영역에서 관련자극과 무관련자극 간 낮은 대역의 알파 파워의 차이가 유죄집단과 무죄집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는지 검증한 결과가 Table 2에 제시되어 있다. Fz 영역의 200~300ms 구간과 300~400ms 구간에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Fz 200~300ms:  $t(31)=2.06, p=.048, d=0.74$ ; Fz 300~400ms:  $t(31)=2.83, p=.008, d=1.00$ ).

Table 2. T-tests of between innocent group and guilty group for Probe - Irrelevant

Dependent variable	Site	Time	Innocent	Guilty	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Lower theta band power	P3	800~900ms	-0.29(1.13)	0.43(0.74)	2.13	.041	0.77
		900~1000ms	-0.17(0.89)	0.66(0.94)	2.58	.015	0.91
		1000~1100ms	0.02(0.71)	0.75(0.80)	2.72	.011	0.96
		1100~1200ms	0.14(0.79)	0.65(0.55)	2.13	.042	0.76
	Pz	1000~1100ms	0.09(0.72)	0.64(0.65)	2.32	.027	0.82
Upper alpha band power	Fz	200~300ms	-0.32(0.47)	0.10(0.68)	2.06	.048	0.74
		300~400ms	-0.46(0.56)	0.14(0.64)	2.83	.008	1.00

Note. Standard deviations are in parentheses.

#### 4. 논의

범행을 한 조사대상자가 그 범죄와 관련된 구체적 사항들에 직면하게 되면 자신이 행한 범죄의 일화기억이 회상될 것이다. 그리고 이것은 뇌파 상에서 세타파로 나타날 것이라고 예측할 수 있다. 만약 범행을 하지 않았지만 범죄관련 사항들을 알고 있는 조사대상자가 그 범죄와 관련된 사항들에 직면하게 되었을 때 그 사항들이 의미기억으로부터 회상된다면, 이것은 뇌파 상에서 알파파로 나타날 것이라고 예측할 수 있다. 본 연구는 이러한 예측을 모의범죄 실험을 이용하여 검증하였다.

반응오류율과 반응시간은 실험참가자들이 실험과제를 충실하게 수행하였는지에 대한 지표가 된다. 본 연구에서 반응오류율은 15% 내외로 선행연구들과 큰 차이가 없었다(Cutmore et al., 2009; Rosenfeld et al., 2004). 반응시간도 선행연구와 비슷하게 나타났으며(Farwell & Donchin, 1991; Mertens & Allen, 2008), 목표자극과 관련자극, 무관련자극에 대한 반응시간 유형도 선행연구와 일치하였다(Verschuere et al., 2015). 따라서 본 연구의 실험참가자들이 실험 과제를 적절하게 수행하였다고 할 수 있다.

전체 실험참가자들의 평균 ERP에서는 자극 제시 후 600ms 전후에 무관련자극이 관련자극보다 약간 더 큰 전위를 보였다. 그러나 P300 진폭을 측정할 결과에서는 관련자극에 대한 P300 진폭이 무관련자극에 대한 P300 진폭보다 통계적으로 유의하게 더 큰 것으로 나타났다. 전체 ERP는 모든 참가자들의 ERP를 단순히 평균한 것인 반면, 평균 P300 진폭은 개인별로 서로 다른 시간에 측정되는 P300 진폭을 평균한 것이기 때문에 평균 ERP와 평균 P300 진폭이 일치하지 않을 수 있다.

Pz 영역에서 P300 CIT의 효과크기는 약  $d=0.5$ 로 선행연구들 보다 작은 편이었다. 두 가지 이유를 생각해 볼 수 있다. 하나는 본 연구에서 모의범죄를 이용하였기 때문이다. 메타분석 연구에 의하면 개인적 항목(예, 자신의 이름)을 이용한 경우의 효과크기 평균은  $d=2.17$ 로 모의범죄를 이용한 경우의 효과크기 평균  $d=1.56$ 보다 높았다(Meijer et al., 2014). 모의범죄와 개인적 항목이 가지는 가치와 기억강도가 다르기 때문일 것이다. 다른 하나는 범죄관련 항목을 학습시키

는 과정이 단순했기 때문일 것이다. 본 연구에서는 범죄관련 항목을 단순히 구두로 불러주고 기억하도록 한 반면 선행연구들에서는 컴퓨터를 이용하여 범죄관련 항목을 기억시키는 과정을 여러 번 반복하였다(Farwell & Donchin, 1991; Rosenfeld et al., 2004).

선행연구에 의하면(Rosenfeld et al., 2006), 실제로 범죄를 수행한 사람과 단순히 범죄의 내용을 알고 있는 사람 간에 범죄관련 항목(관련자극)의 기억강도 또는 의미가 다르기 때문에 두 집단 간에 관련자극과 무관련자극 간의 P300 진폭 차이가 다를 것으로 기대되었다. 그러나 본 연구에서는 관련자극과 무관련자극 간의 P300 차이가 유죄조건과 무죄조건에서 통계적으로 유의하지 않았다. 이러한 결과가 나타난 이유는 앞서 논의한 바와 같이 유죄조건에 대한 조작이 약했기 때문일 것이다.

모의 범죄를 수행한 참가자들은 P3와 Pz 영역에서 관련자극과 무관련자극 간 낮은 대역의 세타 파워의 차이가 나타났지만, 모의 범죄 내용을 단순히 듣기만 한 참가자들은 두 자극 간에 낮은 대역의 세타 파워가 유의하게 다르지 않았다. 세타파는 해마로부터 신피질로 가는 경로를 통하여 전체 기억표상을 회복시키는 역할을 하는 것으로(Nyhus & Curran, 2010), 일화 기억을 인출할 때 활성화되는 것으로 잘 알려져 있다(Doppelmayr et al., 1998; Klimesch et al., 2001; Klimesch et al., 1994; Pastötter & Bäuml, 2014). 이러한 결과는 유죄조건에서 범죄관련 사항은 실험참가자에게 일화기억으로 저장되어 있지만, 무죄조건에서는 범죄관련 사항이 일화기억으로 저장되어 있지 않을 가능성을 반영한 것으로 해석된다.

본 연구의 유죄조건에서 자극 종류 간 세타 파워의 차이는 두정영역에서만 유의하였는데, 선행연구에서는 전두영역과 두정영역에서 일화기억과 세타 파워가 관련이 있다고 보고하고 있어서(Gruber et al., 2008; Klimesch et al., 2000) 다소 차이가 있는 것처럼 보인다. 그러나 Figure 2의 (A)를 보면 전두영역과 두정영역에서 모두 관련자극에 대한 세타 파워가 무관련자극보다 더 크게 나타나 본 연구와 선행연구가 일치하는 것으로 생각할 수 있다.

낮은 대역의 세타 파워와 달리 높은 대역의 세타 파워는 자극 종류와 실험 집단에 따라서 다르지 않은

것으로 나타났다. 이러한 결과가 나타난 이유를 정확하게 파악하기는 어렵다. 그러나 낮은 대역의 세타 파워가 작업 기억과 관련이 있다는 점을 고려하면 (Stam, 2000), P300 CIT에서 관련자극에 대한 처리가 작업기억에서 이루어질 가능성이 있다. 즉 일화기억에 대한 처리가 작업기억에서 이루어지기 때문에 낮은 대역의 세타 파워만 자극 종류에 따라 다르게 나타났을 것이다.

무죄조건의 Fz 영역에서 높은 대역의 알파 파워가 무관련자극보다 관련자극에서 더 작게 나타난 반면, 유죄조건에서는 두 자극 종류 간에 유의한 차이가 없었다. 높은 대역의 알파 파워는 의미기억의 인출과 관련이 있는 것으로(Berger et al., 2014; Doppelmayr et al., 2005; Klimesch, 1997), 특히 의미기억으로의 접근을 반영한다(Sauseng et al., 2005). 그러나 본 연구에서 관찰된 알파 파워의 효과와 선행연구는 차이가 있다 (Berger et al., 2014; Klimesch et al., 1999). 우선 선행연구들에서는 알파 파워의 효과가 두정 영역에서 나타났지만, 본 연구에서는 전두 영역에서 나타났다. 다른 하나는 알파 파워의 효과가 나타난 시간으로 선행연구들에서는 자극 제시 후 1초 전후에 나타나지만, 본 연구에서는 200~400ms에 나타났다는 점이다. 따라서 본 연구에서 관찰된 높은 대역의 알파 파워 효과가 의미기억의 인출과 관련되어 있다고 단언하기 어렵다.

현 상태에서는 Fz 영역에서 자극 제시 후 200~400ms에 나타난 알파 파워의 효과를 정확하게 해석하기는 어렵다. 그러나 무죄조건에서 알파 파워의 효과가 나타난 영역과 시간대는재인기억 연구에서 널리 알려진 전두 old/new 효과가 나타나는 뇌영역 및 시간대와 매우 유사하다. 전두 old/new 효과는 학습한 단어와 학습하지 않았던 단어를 변별할 때 ERP 상에 나타나는 효과로 두정 영역의 600ms 전후에 나타나는 두정 old/new 효과와 전두 영역의 400ms 전후에 나타나는 전두 old/new 효과로 나누어진다. 전두 old/new 효과는 이전 경험에 대한 맥락정보는 없지만 ‘그 자극을 안다’라는 느낌을 주는 친숙성(familiarity)을 반영하는 한편, 두정 old/new 효과는 그 자극과 관련된 구체적 맥락정보를 기억으로부터 인출하는 회상(recollection) 과정을 반영한다(Rugg & Curran, 2007; Wilding & Rugg, 1997). 유죄조건의 실험참가

자들은 분명한 맥락정보를 기억하고 있을 것이므로 전두 영역에서 알파 파워의 차이가 없었지만, 무죄조건의 실험참가자들은 맥락정보가 분명하지 않은 친숙성에 기초한 정보확인이 이루어져 관련자극과 무관련자극 간 알파 파워에서 차이가 나타났을 가능성이 있다. 이 부분에 대해서는 추가 연구를 통하여 본 연구에서 발견된 높은 대역의 알파 파워 효과가 무엇을 의미하는지 좀 더 정확하게 파악할 필요가 있다.

관련자극과 무관련자극 간 세타 파워의 차이와 알파 파워의 차이가 유죄집단과 무죄집단에서 다르게 나타났지만, 효과크기는  $d=1.0$ 을 넘지 못하였다. 피부 전기반응이나 P300을 이용한 CIT의 평균 효과크기가  $d=1.5$ 를 넘는 것에 비교하면(Meijer et al., 2014) 다소 작은 편이다. 알파 파워와 세타 파워를 거짓말 탐지에 사용하기 위해서는 효과크기를 더 높일 수 있는 방안이 필요하다.

우선, 본 연구에서는 알파 파워와 세타 파워를 계산하기 위하여 모든 실험참가자에게 동일한 주파수 대역을 사용하였다. 그러나 실험참가자마다 알파파와 세타파의 주파수 대역이 다르므로(Klimesch et al., 2001), 각 실험참가자에게 고유한 알파 대역과 세타 대역을 사용한다면 더 큰 효과크기를 보일 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서는 P300 CIT의 패러다임을 그대로 사용하였다. 서론에 언급한 바와 같이 P300 CIT의 패러다임이 알파파와 세타파를 측정하기에 적절하지는 않지만 일화기억을 이용한 거짓말 탐지 방법으로는 다소 적절하지 않을 수 있다. P300 CIT에 주어지는 과제는 목표자극을 찾는 것이므로 관련자극에 대한 인출이 적극적으로 이루어지지 못하였을 가능성이 있기 때문이다. 따라서 관련자극에 대한 기억의 인출을 적극적으로 유도하는 새로운 패러다임을 사용한다면 거짓말 탐지의 효과크기가 더 커질 수 있을 것이다.

## REFERENCES

- Ben-Shakhar, G., & Elaad, E. (2002). The guilty knowledge test (GKT) as an application of psychophysiology: Future prospects and obstacles. In Murray Kleiner (Ed.), *Handbook of Polygraph Testing*. San Diego: Academic Press.

- Ben-Shakhar, G. (2002). A Critical review of the control question test (CQT). In Murray Kleiner (Ed.), *Handbook of Polygraph Testing*. San Diego: Academic Press.
- Berger, B., Omer, S., Minarik, T., Sterr, A., & Sauseng, P. (2014). Interacting memory systems-Does EEG alpha activity respond to semantic long-term memory access in a working memory task? *Biology*, 4(1), 1-16. DOI: 10.3390/biology4010001
- Cutmore, T. R. H., Djakovic, T., Kebell, M. R., & Shum, D. H. K. (2009). An object cue is more effective than a word in ERP-based detection of deception. *International Journal of Psychophysiology*, 71(3), 185-192. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2008.08.003
- Doppelmayr, M., Klimesch, W., Hodlmoser, K., Sauseng, P., & Gruber, W. (2005). Intelligence related upper alpha desynchronization in a semantic memory task. *Brain Research Bulletin*, 66(2), 171-177. DOI: 10.1016/j.brainresbull.2005.04.007
- Doppelmayr, M., Klimesch, W., Schwaiger, J., Auinger, P., & Winkler, T. (1998). Theta synchronization in the human EEG and episodic retrieval. *Neuroscience Letters*, 257(1), 41-44. DOI: 10.1016/s0304-3940(98)00805-2
- Farwell, L. A., & Donchin, E. (1991). The truth will out: Interrogative polygraphy ("lie detection") with event-related Potentials. *Psychophysiology*, 28(5), 531-547. DOI: 10.1111/j.1469-8986.1991.tb01990.x
- Furedy, J. J. (1996). Some elementary distinctions among and comments concerning the 'control' question 'test' (CQT) polygrapher's many problems: A reply to Honts, Kircher, and Raskin. *International Journal of Psychophysiology*, 22(1), 53-59. DOI: 10.1016/0167-8760(96)00007-4
- Gruber, T., Tsivilis, D., Giabbiconi, C. M., & Müller, M. M. (2008). Induced electroencephalogram oscillations during source memory: familiarity is reflected in the gamma band, recollection in the theta band. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(6), 1043-1053. DOI: 10.1162/jocn.2008.20068
- Hantke, N., Nielson, K. A., Woodard, J. L., Breting L. M. G., Butts, A., Seidenbert, M., Smith, J. C., Durgerian, S., Lancaster, M., Matthews, M., Sugarman, M. A., & Rao, S. M. (2013). Comparison of semantic and episodic memory BOLD fMRI activation in predicting cognitive decline in older adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 19(1), 11-21. DOI: 10.1017/s1355617712000951
- Klimesch, W. (1997). EEG-alpha rhythms and memory processes. *International Journal of Psychophysiology*, 26(3), 319-340. DOI: 10.1016/s0167-8760(97)00773-3
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2-3), 169-195. DOI: 10.1016/s0165-0173(98)00056-3
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schwaiger, J., Winkler, T., & Gruber, W. (2000). Theta oscillations and the ERP old/new effect: independent phenomena? *Clinical Neurophysiology*, 111(5), 781-793. DOI: 10.1016/s1388-2457(00)00254-6
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Stadler, W., Pollhuber, D., Sauseng, P., & Rohm, S. D. (2001). Episodic retrieval is reflected by a process specific increase in human electroencephalographic theta activity. *Neuroscience Letters*, 302(1), 49-52. DOI: 10.1016/s0304-3940(01)01656-1
- Klimesch, W., Schimke, H., & Schwaiger, J. (1994). Episodic and semantic memory: an analysis in the EEG theta and alpha band. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 91(6), 428-441. DOI: 10.1016/0013-4694(94)90164-3
- Lykken, D. T. (1988). Detection of guilty knowledge: A comment on Forman and McCauley. *Journal of Applied Psychology*, 73(2), 303-304. DOI: 10.1037//0021-9010.73.2.303
- McRae, K., & Jones, M. (2013). Semantic Memory. In Reisberg, Daniel. *The Oxford Handbook of Cognitive Psychology*. New York, NY: Oxford University Press.
- Meijer, E. H., Selle, N. K., Elber, L., & Ben-Shakhar, G. (2014). Memory detection with the Concealed Information Test: A meta analysis of skin conductance, respiration, heart rate, and P300 data. *Psychophysiology*, 51(9), 879-904. DOI: 10.1111/psyp.12239
- Mertens, R., & Allen, J. J. (2008). The role of psychophysiology in forensic assessments: Deception

- detection, ERPs, and virtual reality mock crime scenarios. *Psychophysiology*, 45(2), 286-298.  
DOI: 10.1111/j.1469-8986.2007.00615.x
- Nyhus, E., & Curran, T. (2010). Functional role of gamma and theta oscillations in episodic memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 1023-1035. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2009.12.014
- Pastötter, B., & Bäuml, K. H. T. (2014). Distinct slow and fast cortical theta dynamics in episodic memory retrieval. *Neuroimage*, 94, 155-161.  
DOI: 10.1016/j.neuroimage.2014.03.002
- Podlesny, J. A. (2003). A paucity of operable case facts restricts applicability of the guilty knowledge technique in FBI criminal polygraph examinations. *Forensic Science Communications*, 5(3).
- Reid, J. E., & Inbau, F. E. (1977). *Truth and deception: The polygraph ("Lie Detector") technique*. Baltimore: Williams and Wilkins.
- Rosenfeld, J. P., Biroshak, J. R., & Furedy, J. J. (2006). P300-based detection of concealed autobiographical versus incidentally acquired information in target and non-target paradigms. *International Journal of Psychophysiology*, 60(3), 251-259.  
DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2005.06.002
- Rosenfeld, J. P., Soskins, M., Bosh, G., & Ryan, A. (2004). Simple, effective countermeasures to P300-based tests of detection of concealed information. *Psychophysiology*, 41(2), 205-219.  
DOI: 10.1111/j.1469-8986.2004.00158.x
- Rugg, M. D., & Curran, T. (2007). Event-related potentials and recognition memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(6), 251-257.  
DOI: 10.1016/j.tics.2007.04.004
- Ryan, L., Cox, C., Hayes, S. M., & Nadel L. (2008). Hippocampal activation during episodic and semantic memory retrieval: Comparing category production and category cued recall. *Neuropsychologia*, 46(8), 2109-2121.  
DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2008.02.030
- Sauseng, P., Klimesch, W., Doppelmayr, M., Pecherstorfer, T., Freunberger, R., & Hanslmayr, S. (2005). EEG alpha synchronization and functional coupling during top down processing in a working memory task. *Human Brain Mapping*, 26(2), 148-155.  
DOI: 10.1002/hbm.20150
- Schacter, D. L., & Tulving, E. (1994). What are memory systems of 1994? In D. Schacter, & E. Tulving (Eds.). *Memory Systems* 1994. Cambridge: MIT Press.
- Semlitsch, H. V., Anderer, P., Schuster, P., & Presslich, O. (1986). A solution for reliable and valid reduction of ocular artifacts, applied to the P300 ERP. *Psychophysiology*, 23(6), 695-703.  
DOI: 10.1111/j.1469-8986.1986.tb00696.x
- Stam, C. J. (2000). Brain dynamics in theta and alpha frequency bands and working memory performance in humans. *Neuroscience Letters*, 286(2), 115-118.  
DOI: 10.1016/s0304-3940(00)01109-5
- Tulving, E. (1984). Precis of elements of episodic memory. *Behavioral and Brain Sciences*, 7(2), 223-238. DOI: doi.org/10.1017/s0140525x0004440x
- Verschuere, B., Ben-Shakhar, G., & Meijer, E. (Eds.). (2011). *Memory detection: Theory and application of the Concealed Information Test*. Cambridge University Press.
- Verschuere, B., Kleinberg, B., & Theodoridou, K. (2015). RT-based memory detection: Item saliency effects in the single-probe and the multiple-probe protocol. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 4(1), 59-65.  
DOI: 10.1016/j.jarmac.2015.01.001
- Wilding, E. L., & Rugg, M. D. (1997). An event-related potential study of memory for words spoken aloud or heard. *Neuropsychologia*, 35(9), 1185-1195.  
DOI: 10.1016/s0028-3932(97)00048-1

원고접수: 2018.08.29

수정접수: 2018.09.12

게재확정: 2018.09.18