

P300 숨긴정보검사에서 BAD 방법과 BCD 방법의 비교*

엄진섭†

충북대학교

P300 숨긴정보검사에서 거짓말 여부를 판단하기 위하여 가장 많이 사용되는 기법은 부트스트랩 진폭차이(BAD) 방법과 부트스트랩 상관차이(BCD) 방법이다. 두 방법의 정확판단율을 비교한 선행연구들은 일관되지 않은 결과를 보고하였다. 일부의 연구들에서 BAD 방법이 BCD 방법보다 더 정확하다고 보고되고 있지만, 다른 연구에서는 BCD 방법이 BAD 방법보다 더 정확한 것으로 나타났다. 본 연구의 목적은 BAD 방법의 정확도가 더 높은 조건과 BCD 방법의 정확도가 더 높은 조건을 확인하는 것이다. 몬테 카를로 연구결과, 전반적으로 BAD 방법의 오경보율이 BCD 방법의 오경보율보다 더 높았으며, BAD 방법의 적중률이 BCD 방법의 적중률보다 더 높았다. 관련자극과 무관련자극의 P300 잠재시간이 비슷한 경우에 비교하여 관련자극의 P300 잠재시간이 약 100ms 빠른 경우에는 BCD 방법의 적중률이 크게 감소하였으며, 약 100ms 느린 경우에는 BCD 방법의 적중률이 증가하였다. 관련자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 약간 더 크면서 관련자극의 P300 잠재시간이 목표자극의 P300 잠재시간보다 긴 경우에는 BCD 방법의 적중률이 BAD 방법의 적중률보다 더 높았다. BAD 방법의 오경보율이 높은 이유와 BCD 방법의 적중률이 관련자극의 P300 잠재시간에 영향을 받는 이유에 대해서 논의하였다.

주제어 : P 300, 숨긴정보검사, 부트스트랩, 진폭차이, 상관차이

* 이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2019S1A5B5A07093030).

† 교신저자: 엄진섭, 충북대학교 심리학과, (28644) 충북 청주시 서원구 충대로 1
Tel: 043-261-2188, E-mail: jseom2003@hanmail.net

P300 숨긴정보검사(P300-based concealed information test: P300 CIT)는 거짓말 탐지 검사의 한 종류로 조사 중인 사안과 관련된 피검사자의 기억을 탐지하는 방법이다(Rosenfeld, 2011). 예를 들어 ‘반지’를 도난당한 사건이 있을 때, 범인인 용의자는 도난품이 ‘반지’라는 것을 기억할 것이지만, 범인이 아닌 용의자는 그렇지 않을 것이다. 의미 있는 자극은 그렇지 않은 자극보다 뇌파의 P300 성분이 더 크게 나타나므로(Johnson, 1993), 범인인 용의자에게 도난품인 ‘반지’라는 단어(즉, 관련자극)를 제시하면 도난품이 아닌 ‘지갑’이나 ‘시계’ 등의 단어(즉, 무관련자극)를 제시할 때보다 더 큰 P300 진폭이 나타날 것이다(Farwell & Donchin, 1991). 범인이 아닌 용의자는 관련자극인 ‘반지’와 무관련자극인 ‘지갑’, ‘시계’ 등이 비슷한 의미를 지닐 것이므로, 두 자극종류 간에 P300 진폭차이가 나타나지 않을 것이다. 따라서 용의자의 뇌파를 측정하면서 관련자극과 무관련자극을 제시한 후 관련자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 더 큰지를 확인하면 용의자가 관련자극을 기억하고 있는지 추정할 수 있다. 전형적인 P300 CIT에서는 피검사자가 검사 자극에 주의를 집중하도록 만들기 위하여 관련자극과 무관련자극 외에 목표자극을 추가로 제시한다. 목표자극은 무관련자극과 같은 종류의 자극(예, 목걸이)이지만, 피검사자에게 변별반응을 하도록 요구하는 자극이다. 관련자극과 무관련자극, 목표자극의 비율은 보통 1:4:1로 한다.

자극을 제시하면서 측정된 뇌파에는 자극과 관련된 뇌파와 자극과 관련이 없는 배경 뇌파가 함께 포함되어 있으므로(Luck, 2014), 한 번의 시행에서 P300 진폭을 측정하면 매우 불안정한 값이 산출된다. 이 문제에 대한 일반적

인 해결책은 자극을 여러 번 제시한 후 뇌파를 평균하여 P300 진폭을 측정하는 것이다. 배경 뇌파는 무선적인 진폭을 가지므로 자극을 여러 번 제시한 후 뇌파를 평균하여 사건 관련전위(event-related potential: ERP)를 산출하면, ERP에 포함된 배경 뇌파의 진폭이 감소하여 상대적으로 안정적인 P300 진폭이 측정된다. 자극을 20회 제시한 후 뇌파를 평균하면 비교적 안정적인 P300 진폭이 측정된다고 보고하고 있으며(Cohen & Polich, 1997), 대부분의 P300 CIT에서는 각 범주의 자극을 최소 30회 이상 제시한다.

평균화 기법을 통하여 좀 더 안정적인 P300 진폭을 측정할 수 있지만, ERP에는 여전히 배경 뇌파가 포함되어 있어서 P300 진폭의 측정치에 영향을 미친다. P300 CIT 연구자들은 이 문제를 해결하기 위하여 관련자극에 대한 P300 진폭이 무관련자극에 대한 P300 진폭보다 ‘유의미’하게 더 큰지를 판단한다. ‘유의미’를 조작적으로 정의하기 위하여 여러 가지 방법이 개발되었지만, 가장 널리 사용된 방법은 Rosenfeld, Soskins, Bosh, 및 Ryan(2004)의 부트스트랩 진폭차이(bootstrapped amplitude difference: BAD) 방법과 Farwell과 Donchin(1991)의 부트스트랩 상관차이(bootstrapped correlation difference: BCD) 방법이다. Rosenfeld 등(2004)의 BAD 방법은 부트스트랩 절차를 이용하여 관련자극에 대한 P300 진폭이 무관련자극에 대한 P300 진폭보다 통계적으로 유의하게 더 큰지를 평가한다. 반면에 Farwell과 Donchin(1991)의 BCD 방법은 부트스트랩 절차를 이용하여 관련자극에 대한 ERP 파형이 목표자극에 대한 ERP 파형과 무관련자극에 대한 ERP 파형 중 어느 것과 더 유사한지를 통계적으로 평가한다.

BAD 방법과 BCD 방법의 정확판단율을 비

교한 연구들이 있다. 이 연구들은 일관되지 않은 결과를 보고하고 있는데, 일부의 연구들은 BAD의 적중률이 BCD보다 높은 것으로 보고하였으며(송인욱, 김혜민, 이경은, 장은희, 김현택, 2018; 엄진섭, 박광배, 2014; 정은경, 김영윤, 2013; Alsufyani, 2017; Mertens & Allen, 2008; Rosenfeld et al., 2004), 다른 연구들은 BCD의 적중률이 BAD보다 높은 것으로 보고하였다(Allen & Iacono, 1997; Farwell, Richardson, Richardson, & Furedy, 2014). 적중률과 오경보율을 함께 고려한 경우에도 BAD가 BCD보다 더 좋다는 연구도 있고(송인욱 등, 2018; Mertens & Allen, 2008; Rosenfeld et al., 2004), BCD가 BAD보다 더 좋다는 연구도 있다(Allen & Iacono, 1997; Farwell et al., 2014).

BAD의 적중률이 BCD보다 더 높다고 보고한 연구들은 BCD 방법이 너무 보수적인 방법이기에 때문에 BCD 방법의 적중률이 BAD 방법보다 더 낮다고 설명하고 있다(Alsufyani, 2017; Rosenfeld et al., 2004). 관련자극에 대한 P300 진폭이 무관련자극에 대한 P300 진폭보다 통계적으로 유의하게 더 커서 BAD 방법에서는 ‘기억 있음’ 판단을 하더라도, 목표자극에 대한 P300 진폭이 관련자극에 대한 P300 진폭보다 훨씬 더 크면 BCD 방법에서는 ‘기억 있음’ 판단을 내리지 못하기 때문이다. Rosenfeld 등(2004)은 BCD 방법의 적중률이 낮은 또 다른 이유를 제시하였다. 목표자극과 관련자극의 P300 잠재시간이 서로 다르면 목표자극과 관련자극의 ERP 간 상관계수가 낮아져 적중률이 낮아진다는 점이다.

BCD의 적중률이 BAD보다 더 높다고 보고한 연구들은 그 이유를 설명하지 않았기 때문에 어떤 조건에서 BCD의 적중률이 BAD의 적중률보다 더 높은지 추론하기 어렵다. 이 추

론이 어려운 이유 중 하나는 BCD 방법이 아직 P300 CIT에서만 사용되는 독특한 방법이며, BCD의 통계적 특성이 알려져 있지 않기 때문이다. 그러나 Farwell 등(2014)이 개인별 ERP와 함께 BAD 방법과 BCD 방법의 부트스트랩 분석 결과를 제시하고 있으므로, 어떤 조건에서 BCD 방법의 적중률이 BAD 방법보다 더 높았는지에 대한 단서를 얻을 수 있었다. BAD 방법에서 ‘정보 있음’ 집단의 참가자를 ‘정보 없음’으로 잘못 분류한 3개의 사례는 모두 목표자극과 관련자극, 무관련자극 간의 P300 진폭 차이가 작고 관련자극과 목표자극의 ERP가 매우 유사한 경우였다. 그리고 BAD 방법에서 ‘정보 없음’ 집단의 참가자를 ‘정보 있음’으로 잘못 분류한 3개의 사례는 모두 관련자극과 무관련자극 간의 P300 진폭차이는 작고, 목표자극의 P300 진폭은 큰 경우였다. 따라서 목표자극과 관련자극, 무관련자극 간 P300 진폭 차이의 유형이 BAD 방법과 BCD 방법의 결과에 영향을 미치며, 목표자극과 관련자극의 P300 잠재시간이 BCD 방법의 결과에 영향을 미칠 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 상반된 결과를 제시하고 있는 선행연구들의 결과를 이해하기 위하여, BAD 방법과 BCD 방법의 결과 차이를 유발하였다고 추정되는 요인들(즉, ‘세 자극 간의 P300 진폭 차이’와 ‘P300 잠재시간’)의 효과를 체계적으로 확인하는 것이다. 본 연구에서는 몬테 카를로 연구(Monte Carlo study)를 통하여 이러한 요인들이 BAD와 BCD 방법의 적중률과 오경보율에 미치는 영향을 확인하였다. 통계적 방법의 1종 오류율(즉, 오경보율)과 검증력(즉, 적중률)을 확인하기 위해서는 모집단의 평균과 같은 특성들을 정확하게 알고 있어야 하며, 통계치를 정확하게 산출하기 위하여 많

은 수의 표본이 필요하다. 실험 연구에서 이러한 조건을 충족시키기 어려우므로, 통계적 방법의 정확도를 평가할 때에는 일반적으로 몬테 카를로 연구를 활용한다(Ahad, Abdullah, & Lai, 2012; Dwivedi, Mallawaarachchi, & Alvarado, 2017; Konietzschke & Pauly, 2014). 몬테 카를로 연구에서는 연구자가 모집단의 특성(평균, 표준편차 등)을 정의하고, 컴퓨터를 이용하여 모집단으로부터 매우 많은 표본을 추출하는 것이 가능하므로 정확한 통계치를 산출할 수 있다.

방 법

모집단 정의

일반적인 몬테 카를로 연구에서는 컴퓨터를 이용하여 모집단을 생성하지만(Ahad et al., 2012; Dwivedi et al., 2017; Konietzschke & Pauly, 2014), 뇌파에 대한 몬테 카를로 연구에서는 실험 연구에서 측정된 뇌파를 이용하여 모집단을 정의하는 경우가 많다(엄진섭, 손진훈, 박미숙, 2020; Yeung, Bogacz, Holroyd, & Cohen, 2004). 뇌파는 시계열 자료이므로 컴퓨터로 뇌파의 모집단을 생성하는 것이 쉽지 않기 때문이다. 본 연구에서도 P300 CIT 실험을 실시한 후, 실험에서 측정된 뇌파를 이용하여 모집단을 정의하였다.

실험참가자

실험참가자들은 대학교 홈페이지의 구인/구직란에 실린 거짓말 탐지 실험참가자 모집공고를 보고 자원하여 실험에 참가하였다. 남녀 대학생 30명이 실험에 참가하였으며, 성별은

남여 각 15명이었고, 평균연령은 21.1세(범위 18-27세)였다. 30명중 15명은 무죄집단에, 나머지 15명은 유죄집단에 참가하였다. 실험이 끝난 후 모든 실험참가자들은 실험참가에 대한 보상으로 25,000원씩 지급받았다. 본 연구는 충북대학교 생명윤리위원회 승인을 받았다(IRB No. CBNU-201911-SB-0270).

실험자극

개인적 항목 패러다임을 이용하여 P300 CIT에 사용할 실험자극을 구성하였다(Rosenfeld, Hu, & Pederson, 2012). 유죄집단에서는 실험참가자의 이름, 생일, 학과, 출신 고등학교를 관련자극으로 사용하였으며, 실험참가자와 관련이 없는 이름, 생일, 학과, 출신 고등학교를 각각 4개씩 만들어 무관련자극으로 사용하였고, 실험참가자와 관련이 없는 또 다른 이름, 생일, 학과, 출신 고등학교를 각각 1개씩 만들어 목표자극으로 사용하였다. 무죄집단에서는 유죄집단에 속한 실험참가자 중 한 명의 이름, 생일, 학과, 출신 고등학교를 관련자극으로 사용하였으며¹⁾, 실험참가자와 관련이 없는 이름, 생일, 학과, 출신 고등학교를 각각 4개씩 만들

1) 개인적 항목 패러다임에서 유죄조건은 ‘자신과 관련된 것들이 기억나지 않는다고 거짓으로 주장’하는 조건이므로, 참가자의 이름 등을 관련자극을 사용한다. 무죄조건은 ‘기억손상이 진짜인’ 조건이므로 기억이 손상된 사람들을 대상으로 자신의 이름 등을 관련자극으로 사용해야 하지만, 이러한 사람들을 구하는 것이 어렵다. 따라서 기억이 정상인 실험참가자를 무죄조건에 할당하고, 실험참가자와 관련이 없는 정보(일반적으로 유죄집단에 속한 실험참가자의 정보)를 실험참가자의 정보인 것처럼 관련자극으로 사용한다. 실험참가자의 기억에 관련자극에 대한 내용이 없으므로, 진짜로 기억이 손상된 사람들과 동일한 반응이 나타날 것으로 기대한다.

어 무관련자극으로 사용하였고, 실험참가자와 관련이 없는 또 다른 이름, 생일, 학과, 출신 고등학교를 각각 1개씩 만들어 목표자극으로 사용하였다.

실험절차

실험참가자 모집공고를 통하여 실험참가를 원하는 대학생은 이메일을 통하여 연구자에게 연락을 하도록 하였다. 이메일을 통하여 실험 일시를 정하였으며, 실험자극으로 사용하기 위한 실험참가자의 이름, 생일, 학과, 출신 고등학교를 확인하였다. 실험참가자가 실험실에 도착하면 실험에 대한 설명을 듣고 실험참가 동의서에 서명을 한 후 실험에 참가하였다. 실험참가자들은 실험에 참가하는 순서대로 유죄집단과 무죄집단에 번갈아 할당되었다. 실험참가자의 두피에 전극을 부착하고 개인적 항목에 대한 P300 CIT를 실시하였다. 실험참가자에게 4개의 목표자극을 알려주고 암기하도록 하였으며, “목표자극을 모두 말해보세요”라는 질문을 통하여 목표자극을 잘 암기하였는지 확인하였다. P300 CIT에서 목표자극이 제시되면 ‘예’ 버튼(마우스 왼쪽 버튼)을, 다른 자극이 제시되면 ‘아니오’ 버튼(마우스 오른쪽 버튼)을 가능한 빠르고 정확하게 누르라고 지시하였다. 무죄집단의 실험참가자에게는 “지금부터 기억검사를 실시하겠습니다.”라는 안내와 함께 P300 CIT를 실시하였으며, 유죄집단의 실험참가자에게는 아래의 지시문을 읽어주고 P300 CIT를 실시하였다.

“지금부터 기억검사를 실시하겠습니다. 본 실험은 실험참가자가 사고 후에 더 큰 피해 보상금을 얻기 위하여 허위로 기억 손상을 주장하는 상황을 가정합니다. 그러

므로 실험참가자께서는 본인과 관련된 어떠한 정보도 기억나지 않는다고 주장해야 합니다. 검사가 시작되고 실험참가자와 관련된 정보가 모니터에 제시되었을 때, 자신과 관련된 정보가 아닌 것처럼 생각하고 검사에 반응해야 합니다”.

P300 CIT에서 목표자극 4개, 관련자극 4개, 무관련자극 16개를 섞어서 24개의 자극을 무선적인 순서로 하나씩 제시하였으며, 이 과정을 10회 반복하여 총 240회 자극을 제시하였다. 자극은 실험참가자로부터 1m 앞에 놓여 있는 LCD 모니터 중앙에 흰색 바탕의 검은색 글씨로 제시하였으며, 수직 시각도는 2.36°였고, 수평 시각도는 최대 3.44°였다. 각 자극을 300ms 동안 제시하였으며, 앞선 자극이 제시된 후 다음 자극이 제시되기까지의 시간 간격은 평균 3,000ms(범위 2,700 ~ 3,300ms)였다. 자극의 제시와 반응의 기록은 SuperLab 5.0을 이용하였다.

뇌파기록 및 분석

뇌파는 Grass Model 12 Neurodata Acquisition System(Grass Instruments, Quincy, MA, USA)을 이용하여 측정하였다. 두피의 중심선을 따라 전두영역, 중심영역, 두정영역(국제 10-20 체계의 Fz, Cz, Pz)에 Ag/AgCl 전극을 부착하여 뇌파를 기록하였으며, 양쪽 귓볼에 참조전극을 부착하였고, 이마에 접지전극을 부착하였다. 왼쪽 눈의 위와 아래, 양쪽 관자놀이에서 각각 전극을 부착하여 안전도(electrooculogram: EOG)를 기록하였다. 뇌파는 0.3 ~ 100Hz 대역역과한 후 20,000배 증폭하였으며, 안전도는 5,000배 증폭하였다. 증폭된 뇌파를 250Hz 표집률로 디지털 변환하여 컴퓨터에 저장하였다.

P300 진폭은 Pz 영역에서 가장 크게 나타나므로(Polich, 2007), Pz의 뇌파만 분석에 이용하였다. 먼저 전체 뇌파에 대해서 EOG를 이용하여 눈깜박임과 안구운동에 의한 뇌파의 변형을 교정한 후(Semlitsch, Anderer, Schuster, & Presslich, 1986), 선행연구와 유사하게 6Hz 저역 통과필터를 적용하였다. 전체 뇌파를 각 시행별로 자극 제시 전 100ms부터 자극제시 후 1,300ms까지 총 1,400ms 구간으로 나누어, 관련자극과 무관련자극, 목표자극에 대한 단일 시행 뇌파(single sweep)를 추출하였다. 단일 시행 뇌파들 중에서 $\pm 50\mu V$ 를 넘는 값이 있는 경우는 이후 분석에서 제외하였다. 제외된 시행수는 전체 시행의 2%이내였다.

목표자극에 대한 반응오류율은 목표자극에 대한 오반응 수를 목표자극의 전체 시행수로 나누어 계산하였으며, 관련자극과 무관련자극에 대한 반응오류율도 동일한 방식으로 계산하였다. 반응시간은 자극이 제시된 후부터 반응이 시작되기까지의 시간으로 정의하였다.

반응오류율과 반응시간

무죄집단과 유죄집단에서 목표자극의 평균 반응오류율은 각각 17.3%와 14.3%였으며, 관련자극과 무관련자극에 대한 평균 반응오류율은

모두 2% 이내였다. 무죄집단과 유죄집단 모두에서 목표자극에 대한 반응시간(각각 675ms와 620ms)이 관련자극(각각 592ms와 569ms)과 무관련자극에 대한 반응시간(각각 594ms와 546ms)보다 더 길었다.

사건관련전위

그림 1에 P300 CIT에서 측정된 ERP가 제시되어 있다. 예상한 바와 같이 무죄집단에서는 관련자극의 ERP와 무관련자극의 ERP가 매우 유사하였으며, 유죄집단에서는 관련자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 더 컸다. 두 집단에서 목표자극의 ERP는 매우 유사하였으며, 무관련자극의 ERP도 매우 유사하였다.

단일 시행 뇌파의 모집단 정의

단일 시행 뇌파의 모집단을 구성하기 위하여 다음의 세 단계를 거쳤다. 첫 단계로 실험 조건별 순수한 ERP를 정의하였으며, 두 번째 단계로 배경뇌파를 구성하였고, 세 번째 단계로 순수한 ERP에 배경뇌파를 더하여 단일 시행 뇌파의 모집단을 구성하였다. 먼저, P300 CIT 실험에서 측정된 ERP를 이용하여 몬테 카를로 연구에 사용할 순수한 ERP를 구성하였

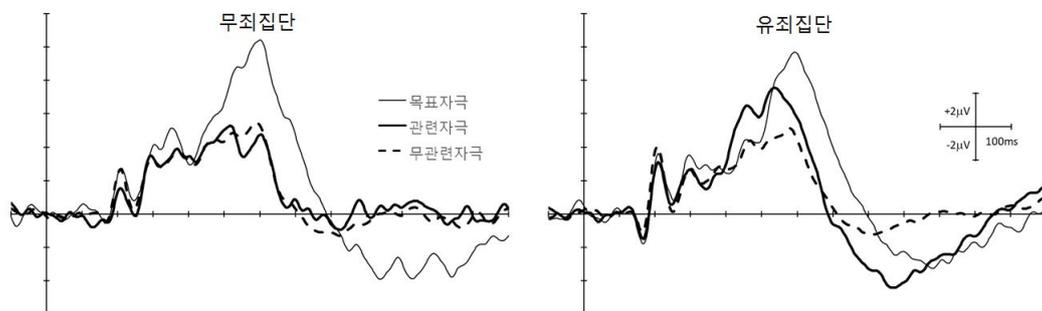


그림 1. P300 CIT에서 측정된 ERP

다. BAD 방법과 BCD 방법의 오경보율을 추정하기 위하여 무죄조건이 필요하며, 적중률을 추정하기 위하여 유죄조건이 필요하다. 무죄조건에서는 관련자극과 무관련자극에 대한 ERP를 동일하게 구성하였으며, 유죄조건에서는 관련자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 더 크게 구성하였다. 자극들 간의 P300 진폭차이가 두 가지 판단방법에 미치는 효과를 확인하기 위하여 목표자극과 관련자극의 P300 진폭을 3수준으로 구성하였다. 예비연구를 통하여 일부 실험조건에서는 천장효과(ceiling effect)가 나타나지만 다른 실험조건에서는 천장효과가 나타나지 않는 P300 진폭을 가장 큰 수준의 P300 진폭으로 정의하였으며, 일부 실험조건에서는 바닥효과(floor effect)가 나타나지만 다른 실험조건에서는 바닥효과가 나타나지 않는 P300 진폭을 가장 작은 수준의 P300 진폭으로 정의하였다. 가장 큰 수준과 가장 작은 수준의 P300 진폭 사이를 여러 수준으로 나누어 분석한 결과, 한 수준만 추가하여도 전체적인 경향을 파악할 수 있었다. 따라서 두 가지 P300 진폭의 가운데를 중간 수준의 P300 진폭으로 정의하였다. P300 잠재시간의 효과를 확인하기 위하여 관련자극의 P300 잠재시간을 3 수준으로 정의하였다. P300 CIT 실험에서 측정한 개인별 ERP를 살펴본 결과, P300 잠재시간이 빨랐던 사례는 전체 ERP의 P300 잠재시간보다 약 100ms 빨랐으며, P300 잠재시간이 느렸던 사례는 전체 ERP의 P300 잠재시간보다 약 100ms 느렸다. 따라서 P300 실험에서 측정한 전체 ERP의 P300 잠재시간을 중간 수준의 P300 잠재시간으로 정의하였으며, 이보다 P300 잠재시간이 100ms 빠른 수준과 100ms 느린 수준을 각각 실험조건으로 설정하였다.

무죄조건에서 순수한 ERP는 다음과 같이 구성하였다. P300 CIT 실험의 무죄집단과 유죄집단에 측정한 무관련자극의 ERP를 평균하여 무관련자극에 대한 순수한 ERP로 사용하였다(P300 진폭 = $5.76\mu V$, P300 잠재시간 = 560ms). 무죄조건에서 관련자극에 대한 ERP와 무관련자극에 대한 ERP는 동일할 것이므로, 무관련자극에 대한 순수한 ERP를 관련자극에 대한 순수한 ERP로 사용하였다. 목표자극에 대한 순수한 ERP는 앞서 언급한 바와 같이 세 수준으로 만들었다. 즉 P300 CIT 실험의 무죄집단과 유죄집단에 측정한 목표자극의 ERP를 평균하여 목표자극에 대한 순수한 ERP 중 P300 진폭이 가장 큰 조건으로 사용하였다(P300 진폭 = $12.32\mu V$, P300 잠재시간 = 580ms). P300 진폭이 더 작은 목표자극에 대한 순수한 ERP를 만들기 위하여, P300 진폭이 가장 큰 목표자극의 ERP와 무관련자극의 ERP 차이를 계산한 후, P300 진폭이 가장 큰 목표자극에 대한 순수한 ERP에서 이 차이의 50%와 90% 감소시켜 두 개의 ERP를 추가로 만들었다(각각의 P300 진폭은 $8.48\mu V$ 와 $6.15\mu V$, 각각의 P300 잠재시간은 572ms와 564ms). 그림 2의 왼편에 무죄조건에 대한 순수한 ERP가 제시되어 있다.

유죄조건에서 순수한 ERP는 다음과 같이 구성하였다. 목표자극과 무관련자극에 대한 순수한 ERP는 무죄조건과 동일하게 구성하였다. 관련자극에 대한 순수한 ERP는 목표자극에 대한 순수한 ERP와 동일한 크기로 세 가지를 구성하였다. 그리고 앞서 언급한 바와 같이 관련자극에 대한 ERP의 P300 잠재시간을 100ms 빠르게 만들어 잠재시간이 빠른 관련자극의 ERP를 구성하였으며, P300 잠재시간을 100ms 느리게 만들어 잠재시간이 느린 관련

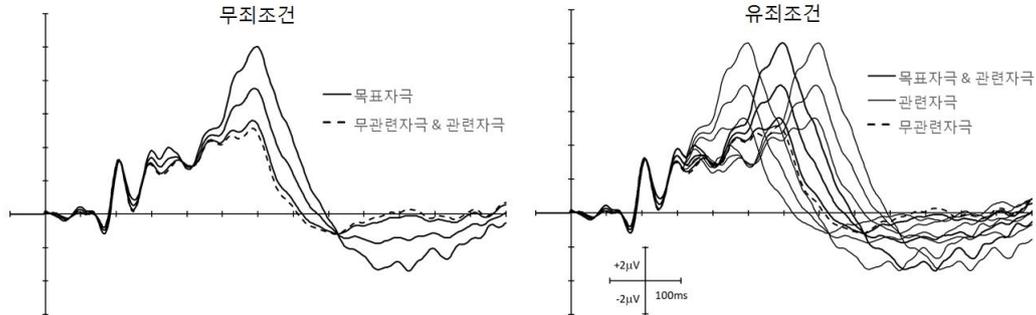


그림 2. 몬테 카를로 연구에 사용한 ERP

자극의 ERP를 구성하였다. 그림 2의 오른쪽에 유죄조건에 대한 순수한 ERP가 제시되어 있다.

두 번째 단계로 P300 CIT에서 측정된 단일 시행 뇌파를 이용하여 배경뇌파를 구성하였다. 배경뇌파는 각 참가자별로 단일 시행 뇌파에서 ERP를 제거하여 만들었다. 즉, 각 참가자별로 관련자극에 대한 단일 시행 뇌파에서 관련자극의 ERP를 제거하고, 무관련자극에 대한 단일 시행 뇌파에서 무관련자극의 ERP를 제거하고, 목표자극에 대한 단일 시행 뇌파에서 목표자극의 ERP를 제거하여 배경뇌파를 만들었다. 이러한 방법을 통하여 30명의 실험참가자로부터 총 7076개의 배경뇌파를 구성하였다. 마지막으로 배경뇌파에 순수한 ERP를 각각 더하여 몬테 카를로 연구에 사용할 단일 시행 뇌파의 모집단을 구성하였다.

연구 조건

무죄조건에서는 목표자극의 P300 진폭 크기 3수준(12.32 μ V, 8.48 μ V, 6.15 μ V)에 따라서 총 3개의 실험조건을 구성하였다. 유죄조건에서는 목표자극의 P300 진폭 크기 3수준(12.32 μ V, 8.48 μ V, 6.15 μ V)과 관련자극의 P300 진폭 크기

3수준(12.32 μ V, 8.48 μ V, 6.15 μ V), 관련자극의 P300 잠재시간 3수준(480ms, 580ms, 680ms)을 조합하여 총 27개의 실험조건을 구성하였다. 선행연구에서 관련자극의 시행수가 작았던 연구는 30 시행이었으며(Rosenfeld et al., 2004), 관련자극의 시행수가 많았던 연구는 84 시행이었다(Farwell et al., 2014). 본 연구에서도 목표자극, 관련자극, 무관련자극의 시행수를 각각 30, 30, 120으로 한 실험조건과 84, 84, 336으로 한 실험조건을 구성하였다.

표본추출

단일 시행 뇌파의 모집단에서 표본을 추출하여 BAD 방법과 BCD 방법으로 분석하였다. 각 실험조건 당 반복 시행 수는 선행 몬테 카를로 연구(Janssen & Pauls, 2005; Konietzschke & Pauly, 2014)와 컴퓨터 연산 시간, 표준오차를 고려하여 50,000번으로 정하였다. 즉, 30개의 실험조건에 대한 모집단 각각에서 관련자극의 단일 시행 뇌파 30개(또는 84개)와 무관련자극 단일 시행 뇌파 120개(또는 336개), 목표자극에 대한 단일 시행 뇌파 30개(또는 84개)를 표본추출하여 분석하는 과정을 50,000번 반복하여 BAD 방법과 BCD 방법의 오경보율과 적응

률을 산출하였다. 표본수가 50,000일 때, 비율의 최대 표준오차는 .002이다. 본 연구에서 오경보율과 적중률을 소수점 이하 2자리까지 제시하였으므로, 통계적 검증없이 제시된 수치들의 차이를 있는 그대로 해석하는 것이 가능하다.

분석방법

표본추출된 단일 시행 뇌파들을 목표자극과 관련자극, 무관련자극 각각에 대하여 평균하여 목표자극의 ERP와 관련자극의 ERP, 무관련자극의 ERP를 산출하였으며, BAD 방법과 BCD 방법으로 ‘기억’ 유무에 대한 판단을 하였다. BAD 방법은 다음과 같은 절차로 진행하였다. 관련자극에 대한 30개(또는 84개)의 단일 시행 뇌파에서 30개(또는 84개)를 복원추출하고, 무관련자극에 대한 120개(또는 336개)의 단일 시행 뇌파에서 120개(또는 336개)를 복원추출한다. 복원추출한 표본에서 관련자극과 무관련자극에 대한 ERP를 각각 산출하고 P300 진폭을 계산한다. 관련자극에 대한 P300 진폭이 무관련자극에 대한 P300 진폭보다 더 크면 부트스트랩 지수에 1을 더한다. 이 과정을 1000번 반복한다. 90% 신뢰수준에서 부트스트랩 지수가 900 이상이면 ‘기억 있음’ 판단을 하며, 그렇지 않으면 ‘기억 없음’ 판단을 한다. BCD 방법의 절차는 다음과 같다. 관련자극에 대한 30개(또는 84개)의 단일 시행 뇌파에서 30개(또는 84개)를 복원추출하고, 무관련자극에 대한 120개(또는 336개)의 단일 시행 뇌파에서 120개(또는 336개)를 복원추출하고, 목표자극에 대한 30개(또는 84개)의 단일 시행 뇌파에서 30개(또는 84개)를 복원추출한다. 복원추출한 표본에서 각 자극에 대한 ERP를 산

출하고, 전체 자극에 대한 ERP를 산출한다. 각 자극의 ERP에서 전체 자극의 ERP를 빼 평균중심화된 ERP를 만든다. 0 ~ 1300ms 구간에서 관련자극과 목표자극에 대한 ERP 간의 상관계수가 관련자극과 무관련자극에 대한 ERP 간의 상관계수보다 크면 부트스트랩 지수에 1을 더한다. 이 과정을 1000번 반복한다. 부트스트랩 지수가 900 이상이면 ‘기억 있음’ 판단을 하고 그렇지 않으면 ‘기억 없음’ 판단을 하였다. Farwell과 Donchin(1991)은 부트스트랩 지수가 900 이상이면 ‘기억 있음’ 판단을 하고, 300 이하면 ‘기억 없음’ 판단, 300에서 900 사이면 ‘판단불능’으로 하였으나 본 연구에서는 BAD 방법과 BCD 방법의 결과를 서로 비교하기 위하여 ‘판단불능’ 범주를 제외하였다.

BAD에서 P300 진폭은 선행연구(Rosenfeld et al., 2004)와 동일하게 정점-정점(peak-to-peak) 방법을 사용하였다. 정점-정점 방법은 P300 정점과 P300 이후에 나타나는 부적 정점 간의 차이를 진폭으로 사용한다. 구체적으로 자극 제시 후 350ms ~ 700ms 사이에 100ms 구간의 평균값이 가장 큰 값에서 P300 정점이 나타난 이후부터 1300ms 사이에 100ms 구간의 평균값이 가장 작은 값을 뺀 값으로 정의하였다. 세 개의 무죄조건 별로 50,000개의 표본 중에서 ‘기억 있음’으로 판단된 표본의 비율을 계산하여 오경보율을 산출하였으며, 27개의 유죄조건 별로 50,000개의 표본 중에서 ‘기억 있음’으로 판단된 비율을 계산하여 적중률을 계산하였다.

결 과

오경보율

몬테 카를로 연구에서 산출된 BAD 방법과 BCD 방법의 오경보율이 표 1에 제시되어 있다. BAD 방법의 오경보율은 관련자극과 무관련자극의 시행수가 각각 30과 120인 경우에 .34였으며, 시행수가 각각 84와 336인 경우에는 .26으로 나타나 유의수준 .10 보다 높은 수치를 보였다. BCD 방법의 오경보율은 목표자극의 P300 진폭 크기가 클수록 낮아졌다. 목표자극과 무관련자극 간의 P300 진폭차이가 큰 경우($12.32\mu V - 5.76\mu V = 6.56\mu V$)에 오경보율은 .05(관련자극의 시행수가 30인 경우)와 .01(관련자극의 시행수가 84인 경우)로 BAD 방법의 오경보율보다 훨씬 낮았다. 그러나 목표자극과 무관련자극 간의 P300 진폭차이가 작은 경우($6.15\mu V - 5.76\mu V = 0.39\mu V$)에 오경보율은 .29(관련자극의 시행수가 30인 경우)와 .26(관련자극의 시행수가 84인 경우)으로 BAD 방법의 오경보율에 근접하였다.

적중률

몬테 카를로 연구에서 산출한 BAD 방법과 BCD 방법의 적중률이 표 2에 제시되어 있다. BAD 방법과 BCD 방법 모두 관련자극의 P300

진폭이 작아질수록 적중률이 감소하였지만, BCD 방법의 감소율이 BAD 방법의 감소율보다 더 컸다. BAD 방법의 적중률은 관련자극의 P300 잠재시간에 영향을 받지 않았지만, BCD 방법의 적중률은 큰 영향을 받았다. 관련자극의 P300 잠재시간이 목표자극의 P300 잠재시간과 비슷한 경우와 비교하여, 관련자극의 P300 잠재시간이 100ms 빠른 경우(480ms 조건)에 대부분의 실험조건에서 적중률이 크게 감소하였다. 그러나 관련자극의 P300 잠재시간이 100 ms 더 느린 경우(680ms 조건)에 대부분의 실험조건에서 적중률이 크게 증가하였다. 관련자극의 P300 진폭이 작은 경우에는 시행수가 증가할 때 BAD 방법의 적중률이 약간 감소하였지만, 관련자극의 P300 진폭이 더 큰 경우에는 시행수가 증가할수록 적중률이 증가하였다. 시행수가 BCD 방법의 적중률에 미치는 영향은 목표자극의 P300 진폭에 따라 달랐다. 목표자극의 P300 진폭이 작은 경우에는 관련자극의 P300 진폭 크기에 관계없이 시행수가 클수록 적중률이 증가하였지만, 목표자극의 P300 진폭이 큰 경우에는 관련자극의 P300 진폭도 중간 이상일 때 적중률이 증가하였다.

BAD 방법과 BCD 방법의 적중률을 비교하면, 관련자극의 P300 잠재시간이 목표자극과

표 1. BAD 방법과 BCD 방법의 오경보율

| 목표자극의 P300 진폭 | N = 30 | | N = 84 | |
|------------------|--------|--------|--------|--------|
| | BAD 방법 | BCD 방법 | BAD 방법 | BCD 방법 |
| 12.32 μV | .34 | .05 | .26 | .01 |
| 8.48 μV | .34 | .16 | .26 | .07 |
| 6.15 μV | .34 | .29 | .26 | .26 |

주. 무관련자극의 P300 진폭 = 5.76 μV . N = 관련자극의 시행수

표 2. BAD 방법과 BCD 방법의 적중률

| 목표자극의 P300 진폭 | 관련자극의 P300 잠재시간 | 관련자극의 P300 진폭 | N = 30 | | N = 84 | | |
|------------------|--------------------|------------------|---------------|--------|--------|--------|------|
| | | | BAD 방법 | BCD 방법 | BAD 방법 | BCD 방법 | |
| 12.32 μV | 580 ms | 12.32 μV | 1.00 | .99 | 1.00 | 1.00 | |
| | | 8.48 μV | .87 | .68 | .97 | .90 | |
| | | 6.15 μV | .44 | .11 | .41 | .04 | |
| | 480 ms | 12.32 μV | 1.00 | .63 | 1.00 | .86 | |
| | | 8.48 μV | .87 | .11 | .98 | .05 | |
| | | 6.15 μV | .42 | .01 | .41 | .00 | |
| | 680 ms | 12.32 μV | 1.00 | .99 | 1.00 | 1.00 | |
| | | 8.48 μV | .85 | .88 | .97 | .99 | |
| | | 6.15 μV | .43 | .49 | .40 | .66 | |
| | 8.48 μV | 580 ms | 12.32 μV | 1.00 | .98 | 1.00 | 1.00 |
| | | | 8.48 μV | .87 | .77 | .97 | .97 |
| | | | 6.15 μV | .44 | .26 | .41 | .22 |
| 480 ms | | 12.32 μV | 1.00 | .75 | 1.00 | .95 | |
| | | 8.48 μV | .87 | .31 | .98 | .32 | |
| | | 6.15 μV | .42 | .10 | .41 | .03 | |
| 680 ms | | 12.32 μV | 1.00 | .98 | 1.00 | 1.00 | |
| | | 8.48 μV | .85 | .90 | .97 | 1.00 | |
| | | 6.15 μV | .43 | .66 | .40 | .89 | |
| 6.15 μV | | 580 ms | 12.32 μV | 1.00 | .78 | 1.00 | .97 |
| | | | 8.48 μV | .87 | .55 | .97 | .79 |
| | | | 6.15 μV | .44 | .32 | .41 | .36 |
| | 480 ms | 12.32 μV | 1.00 | .68 | 1.00 | .91 | |
| | | 8.48 μV | .87 | .47 | .98 | .65 | |
| | | 6.15 μV | .42 | .40 | .41 | .49 | |
| | 680 ms | 12.32 μV | 1.00 | .88 | 1.00 | 1.00 | |
| | | 8.48 μV | .85 | .74 | .97 | .95 | |
| | | 6.15 μV | .43 | .58 | .40 | .82 | |

주. 무관련자극의 P300 진폭 = 5.76 μV . N = 관련자극의 시행수

유사하거나 100ms 더 빠른 경우에는 BAD 방법의 적중률이 BCD 방법의 적중률보다 더 높은 경향이 명확하였지만, 관련자극의 P300 잠재시간이 목표자극보다 100ms 더 느린 경우에는 BCD 방법의 적중률이 BAD 방법의 적중률보다 더 높은 경향이 있었다. 특히, 관련자극의 P300 진폭이 작고 잠재시간이 목표자극보다 더 긴 경우에 BCD 방법의 적중률이 BAD 방법의 적중률보다 훨씬 더 높았다. 그러나 관련자극과 목표자극, 무관련자극의 ERP가 모두 비슷한 경우(관련자극과 목표자극의 P300 진폭 = $6.15\mu V$, 잠재시간 = 580ms)에는 시행수에 관계없이 BAD 방법의 적중률이 BCD 방법의 적중률보다 .05~.12 더 높았다.

논 의

BAD 방법의 정확도가 BCD 방법보다 더 높다고 보고한 연구들은 BCD 방법이 BAD 방법보다 더 보수적인 방법이며 관련자극의 잠재시간이 목표자극의 잠재시간과 크게 다를 수 있기 때문에 이러한 결과가 나타났다고 주장하였다. 반면에 다른 연구들은 BAD 방법보다 BCD 방법이 더 우수하다는 실험 결과를 제시하였다. 본 연구의 목적은 몬테 카를로 연구를 통하여 BAD 방법이 더 우수한 조건과 BCD 방법이 더 우수한 조건을 확인하는 것이었다. 이를 위하여 목표자극과 관련자극의 P300 진폭과 관련자극의 P300 잠재시간을 체계적으로 변화시키면서 BAD 방법과 BCD 방법의 정확판단율을 산출하였다.

몬테 카를로 연구에 사용할 다양한 ERP와 단일 시행 뇌파를 만들기 위하여 개인적 항목을 이용한 P300 CIT를 실시하였다. 유죄집단

과 무죄집단에서 목표자극에 대한 평균 반응 오류율은 20% 이내였으며, 목표자극에 대한 반응시간이 나머지 자극에 대한 반응시간보다 더 길었다. 유죄집단과 무죄집단 모두에서 목표자극에 대한 P300 진폭이 가장 컸으며, 유죄집단에서는 관련자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 더 컸고, 무죄집단에서는 관련자극과 무관련자극에 대한 P300 진폭이 비슷하였다. 이러한 모든 점을 고려해보면, P300 CIT가 적절하게 수행되었다는 것을 알 수 있다. P300 CIT 실험에서 산출한 ERP를 이용하여 다양한 조건의 ERP를 만들었으며, 이를 이용하여 몬테 카를로 연구에 사용할 단일 시행 뇌파를 구성하였다.

몬테 카를로 연구 결과, BCD 방법의 오경보율이 BAD 방법보다 더 낮았으며, BAD 방법의 적중률이 BCD 방법보다 더 높았다. 이러한 결과는 BCD 방법이 BAD 방법보다 더 보수적이라는 연구자들의 의견과 일치하는 것이다(Alsufyani, 2017; Rosenfeld et al., 2004). 서론에서 언급하였듯이 관련자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 통계적으로 유의하게 더 크더라도 목표자극의 P300 진폭이 관련자극보다 훨씬 더 크다면 BCD 방법에서는 유의한 결과가 산출되기 어렵기 때문이다. 본 연구결과에서 목표자극의 P300 진폭이 커질수록 BCD 방법의 적중률이 감소하는 경향성은 이러한 해석을 지지해준다. 또한 이러한 결과는 BAD 방법과 BCD 방법의 오경보율과 적중률을 비교한 대부분의 연구결과와 일치하는 것이다(송인욱 등, 2018; 엄진섭, 박광배, 2014; 정은경, 김영운, 2013; Alsufyani, 2017; Mertens & Allen, 2008). 두 편의 예외가 있었는데, 한편은 Farwell 등(2014)의 연구이며 다른 한편은 Allen과 Iacono(1997)의 연구이다. 그러나 Allen

과 Iacono(1997)의 연구에서는 BAD 방법을 사용할 때 정점-정점 P300 진폭을 사용하는 대신에 기저선-정점 P300 진폭을 사용하였다. P300 CIT에서 기저선-정점 P300 진폭을 사용하는 것이 정점-정점 P300 진폭을 사용하는 것보다 효율성이 낮으므로 이러한 결과가 나타났을 가능성이 높다(Rosenfeld et al., 2004; Soskins, Rosenfeld, & Niendam, 2001).

관련자극의 P300 잠재시간이 목표자극과 유사한 경우에 비하여, 관련자극의 P300 잠재시간이 100ms 빠른 경우에 BCD 방법의 적중률은 감소하였다. 그러나 관련자극의 P300 잠재시간이 100ms 느린 경우에는 BCD 방법의 적중률이 오히려 증가하였다. 특히, 관련자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 약간 더 큰 경우($1\mu V$ 이내)에는 BCD 방법의 적중률이 BAD 방법의 적중률보다 더 높았다. 이러한 결과는 Rosenfeld 등(2004, 2005, 2011)이 관련자극의 P300 잠재시간이 목표자극의 P300 잠재시간과 다르면 두 파형 간 상관관계수가 작아지고 결과적으로 적중률이 낮아진다고 한 주장과 일부는 일치하지만 일부는 불일치하는 것이다. 관련자극의 P300 잠재시간이 목표자극의 P300 잠재시간보다 느린 경우에 적중률이 오히려 높아진 이유는 관련자극과 목표자극의 ERP 간 상관관계수가 감소한 크기보다 관련자극과 무관련자극의 ERP 간 상관관계수가 감소한 크기가 더 컸기 때문일 것이다. 결과적으로 관련자극과 목표자극, 무관련자극의 P300 잠재시간 패턴에 따라서 BCD 방법의 적중률은 높아질 수도 있고 낮아질 수도 있는 것이다. 그러나 Farwell 등(1991, 2013, 2014)이 제시한 개인별 ERP에서 세 자극의 P300 잠재시간이 크게 다른 경우가 많지 않으므로, 관련자극의 P300 잠재시간이 BCD 방법의 전반

적인 정확도에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 보인다.

목표자극과 관련자극, 무관련자극의 P300 진폭과 잠재시간이 비슷한 경우에 BAD 방법의 적중률이 BCD 방법의 적중률보다 약간 더 높았다. 이것은 Farwell 등(2014)의 결과와 불일치하는 것이다. Farwell 등(2014)의 유죄집단에서 BAD 방법으로 ‘기억 없음’ 판단이 나왔지만 BCD 방법으로 ‘기억 있음’ 판단이 나온 3개의 사례는 모두 세 자극 간의 P300 진폭과 잠재시간이 비슷한 경우였다. 따라서 3개의 사례는 본 연구에서 다루지 않은 특별한 원인에 의한 결과이며 일반적이지 않은 상황일 것이다. 특별한 원인이 무엇인지는 추후 연구에서 다루어야 할 주제가 될 것이다.

무죄조건에서 시행수가 많을수록 BAD 방법과 BCD 방법 모두 오경보율이 낮아졌다. 시행수가 많을수록 표준오차가 작아져서 발생한 당연한 결과이다. 유죄조건에서는 전반적으로 시행수가 많을수록 적중률이 높아졌다. 그러나 관련자극의 P300 진폭이 작은 조건에서는 시행수의 긍정적인 효과가 나타나지 않았다. 표준오차의 감소로 인하여 무죄조건에서는 시행수가 많을수록 ‘기억 없음’ 판단이 많이 나오며 유죄조건에서는 시행수가 많을수록 ‘기억 있음’ 판단이 많이 나오므로, 관련자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 약간 더 큰 경우($1\mu V$ 이내)에는 두 가지 효과가 상쇄되어 시행수의 영향이 없었던 것으로 보인다.

네 가지 독립변인(목표자극의 P300 진폭, 관련자극의 P300 진폭, 관련자극의 P300 잠재시간, 시행수)의 수준들이 거짓말 탐지 현장에서 동일한 발생빈도를 지닌다고 가정하고 전체 적중률을 계산하면, BAD 방법의 적중률은 .78

이고 BCD 방법의 적중률은 .64이다. BAD 방법의 오경보율은 .30이며, BCD 방법의 오경보율은 .14이다. 오경보율과 적중률을 통합하여 정확판단율을 계산하면 BAD 방법은 .74이고 BCD 방법은 .75가 되어 두 방법의 정확판단율이 거의 비슷하였다. BCD 방법이 BAD 방법보다 더 보수적인 절차임에도 불구하고 두 가지 방법의 정확판단율이 비슷하게 나타난 이유는 BAD 방법의 오경보율이 지나치게 높았기 때문이다.

BAD 방법은 두 조건 간의 평균차이검증과 동일한 절차이므로, 유의수준과 동일한 오경보율이 추정되어야 한다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 BAD 방법의 오경보율이 유의수준인 .10보다 높은 .34와 .26으로 추정된 이유는 관련자극의 시행수가 목표자극의 시행수보다 훨씬 더 작기 때문이다. 비교하려는 두 자극의 시행수가 서로 다르면 각 자극의 ERP에 포함된 노이즈의 양이 서로 다르게 되고, 시행수가 더 적은 ERP의 P300 진폭을 더 크게 추정하도록 만든다(전하정, 손진훈, 엄진섭, 2020; Luck, 2014). 이러한 효과는 개인별 부트스트랩 지수를 제시한 대부분의 연구에서 관찰된다. 무죄조건에서 관련자극과 무관련자극의 P300 진폭은 궁극적으로 동일하므로, BAD 방법에서 부트스트랩 지수의 평균은 $0.5 \times$ 부트스트랩 표집횟수가 될 것이다(Farwell et al., 2014). 그러나 개인별로 BAD 방법의 부트스트랩 지수를 제시한 연구결과들을 살펴보면, 대부분의 경우에 무죄조건에 평균 부트스트랩 지수는 $0.5 \times$ 부트스트랩 표집횟수보다 더 컸다(김혜민, 송인욱, 장은희, 김현택, 2020; 송인욱 등 2018; 정은경, 김영운, 2013; Farwell et al., 2014). 본 연구에서 BAD 방법의 오경보율이 높게 나타난 또 다른 이유는 P300 측정치

로 정점-정점 방법을 사용하였기 때문이다. 기저선-정점 방법과 정점-정점 방법을 모두 사용한 선행연구에서 정점-정점 방법의 오경보율을 더 높게 보고하고 있다(송인욱 등 2018; 정은경, 김영운, 2013). 정점-정점 방법에서는 노이즈의 효과가 정적 정점과 부적 정점에 두 번 영향을 미치므로 오경보율이 훨씬 더 높게 산출될 것이다.

본 연구의 무죄조건에서 시행수 차이로 인한 노이즈의 효과가 .24(.34 - .10)와 .16(.26 - .10)으로 높게 추정되었지만, 유죄조건에서 시행수 차이로 인한 노이즈의 효과는 이보다 훨씬 더 작을 것이다. 그 이유는 목표자극의 P300 진폭이 커짐에 따라서 노이즈에 의해 증가되는 P300 진폭의 비율이 상대적으로 작아지기 때문이다. 노이즈에 영향을 받지 않은 적중률이 .90인 경우에 노이즈가 포함된다 해서 적중률이 1.00을 넘지 않는 것과 같은 이유이다. 이러한 점을 모두 고려해보면, BAD 방법에서 노이즈에 의한 영향을 적절하게 통제한다면 BAD 방법의 정확판단율이 BCD 방법의 정확판단율보다 더 높을 것이다.

BAD 방법에서 관련자극과 무관련자극 간의 시행수 차이로 인한 노이즈의 영향을 통제하는 방법으로 네 가지가 사용되었다. 첫 번째는 P300 측정치로 P300 정점 대신에 정점이 포함된 100ms 구간의 평균을 사용하는 것이며, 두 번째는 고주파 노이즈를 제거하는 저역통과필터를 사용하는 것이다. 이 두 가지는 P300 CIT 연구에서 일반적으로 사용하는 방법이며, 본 연구에서도 사용한 방법이다. 그러나 본 연구의 결과에서도 볼 수 있듯이 이 방법 만으로는 시행수 차이로 인한 노이즈의 영향이 제거되지 않는다. 세 번째는 Rosenfeld 등 (2008)의 연구에서 처음 사용되었으며 이후에

Rosenfeld와 동료들에 의해서 널리 사용된 방법으로 무관련자극의 부트스트랩 표본을 추출할 때 무관련자극의 단일 시행 뇌파에서 관련자극의 시행수 만큼만 표본을 추출하는 것이다. 그러나 이 방법의 오경보율은 유의수준보다 낮은 것으로 나타나(엄진섭, 전하정, 2021), 적중률도 낮아질 것이다. 네 번째 방법은 무관련자극의 시행들 중에서 관련자극의 시행수 만큼만 뽑아서 분석에 이용하는 것이다 (Meixner & Rosenfeld, 2011). 세 번째 방법에서는 무관련자극에 대한 모든 시행들을 분석에 이용하지만 부트스트랩 표본을 추출할 때 표본수를 축소하는 것이며, 네 번째 방법은 처음부터 무관련자극의 시행들 중 일부만 분석에 이용하는 것이다. 그러나 이 방법은 무관련자극에 대한 시행들 중에서 일부만 분석에 사용하므로 적중률이 감소할 것이다.

통계적 검증방법은 1종 오류율(즉, 오경보율)을 통제할 수 있어야 한다. 1종 오류율이 통제되지 않는다면, 통계적 검증의 확률이 부정확해진다. 본 연구의 결과, BAD 방법의 오경보율은 시행수 차이로 인한 노이즈와 시행수에 영향을 받았으며, BCD 방법의 오경보율은 목표자극의 P300 진폭 및 시행수에 영향을 받았다. 실제 현장의 P300 CIT에서 목표자극의 P300 진폭을 통제할 수 없으므로 BCD 방법에서 오경보율을 통제하기는 어렵다. 앞서 살펴보았듯이 BAD 방법에서 시행수 차이로 인한 노이즈의 효과는 무관련자극의 시행들 중 일부만 분석에 사용하므로써 제거될 수도 있다. 물론 이 경우에 적중률이 감소할 것으로 예상되지만 오경보율을 통제하는 것이 적중률을 증가시키는 것보다 더 중요하므로 사용할 가치가 있다. 따라서 무관련자극의 시행들 중 일부만 분석에 사용하는 BAD 방법이

BCD 방법보다 통계적 분석에 더 적합한 방법일 것이다.

BAD 방법처럼 관련자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 통계적으로 유의하게 더 큰지 검증하는 절차이지만, 시행수 차이로 인한 노이즈에 영향을 받지 않는 분석방법이 최근에 보고되었다. 전하정 등(2020)의 연구에서 무관련자극의 시행수가 관련자극의 시행수보다 4배 더 많음에도 불구하고 순열검증의 오경보율이 유의수준과 일치하는 것으로 나타났다. 무관련자극의 시행수들 중 일부만 분석에 사용하는 BAD 방법보다는 모든 시행들을 분석에 사용하는 순열검증의 적중률이 더 높을 것이므로, P300 CIT에서 순열검증을 사용한다면 오경보율 통제와 적중률의 증가를 동시에 달성할 수 있을 것이다.

BAD와 BCD 방법을 비교한 선행연구들은 주로 어떤 방법이 더 정확한지를 평가한 반면, 본 연구에서는 각각의 방법이 더 정확한 조건을 확인하였다는데 의미가 있다. 전반적으로 BAD 방법의 오경보율과 적중률이 BCD 방법보다 높았으며, 관련자극과 무관련자극의 P300 진폭차이가 작으면서 관련자극의 P300 잠재시간이 긴 조건에서는 BCD 방법의 적중률이 BAD 방법보다 더 높았다. 이러한 연구 결과는 서로 상이한 결과를 제시하고 있는 선행연구들을 이해하는데 도움이 될 것이며, 실제 거짓말 탐지 수사관들이 P300 CIT의 판단을 위한 통계적 방법을 선택할 때 좋은 정보가 될 것이다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫 번째로, 몬테 카를로 연구에서 무관련자극의 P300 진폭과 P300 잠재시간에 대한 효과는 확인하지 않았다. 가장 큰 이유는 실험설계가 너무 복잡해지는 것을 방지하기 위해서였다.

일반적으로 무관련자극의 P300 진폭이 크지 않으므로, 무관련자극의 P300 진폭과 잠재시간이 BAD나 BCD 방법의 결과에 큰 영향을 미치지 않을 것이다. 두 번째로, P300 잠재시간은 각각 시행에서 서로 다르게 나타난다 (Luck, 2014). 즉 단일 시행 뇌파에서 P300 잠재시간이 서로 다르다. 그러나 본 연구에서는 순수한 ERP를 배경뇌파에 더하여 단일 시행 뇌파의 모집단을 구성하였기 때문에 단일 시행 뇌파에서 P300 잠재시간이 동일하였다. 세 번째로, Farwell과 Donchin(1991)은 판단불가 범주를 포함하였지만, 본 연구에서는 BAD 방법과 BCD 방법을 동일한 선상에서 비교하기 위하여 BCD 방법에서 판단불가 범주를 포함하지 않았다. 만약 BCD 방법에서 판단불가 범주를 포함시키고 판단불가 사례를 오경보율과 적중률 계산에서 제외한다면, 본 연구에서 추정된 BCD 방법의 오경보율과 적중률은 더 높아질 것이다. 그러나 오경보율과 적중률 계산에서 판단불가 사례를 포함시킨다면 본 연구에서 추정된 오경보율과 적중률은 달라지지 않는다. 네 번째로, 본 연구에서 무죄조건은 관련자극의 P300 진폭과 무관련자극의 P300 진폭이 동일한 것으로 정의하였으며, 유죄조건은 관련자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 더 큰 것으로 정의하였다. 이러한 정의는 BAD 방법과 부합하는 것이며, BCD 방법과 다소 차이가 있다. 따라서 본 연구는 BAD 방법에 더 유리한 상황에서 진행되었다고 볼 수도 있다. 다섯 번째로 몬테 카를로 연구를 통하여 BAD 방법이 더 정확한 조건과 BCD 방법이 더 정확한 조건을 확인할 수 있었지만, 각각의 실험조건이 실제 P300 CIT에서 얼마나 나타나는지는 알 수 없다. P300 CIT의 실험연구가 누적되면 각 실험 조

건의 발생 비율을 추정할 수 있을 것이며, 전반적으로 어떤 방법이 더 우수한지를 정확하게 평가할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김혜민, 송인옥, 장은희, 김현택 (2020). 설문 기반 대응방안을 사용한 복합시행 프로토콜의 재평가. *한국심리학회지: 법*, 11(1), 89-115.
- 송인옥, 김혜민, 이경은, 장은희, 김현택 (2018). P300-CIT 부트스트랩 분석 비교. *한국심리학회지: 법*, 9(2), 75-99.
- 엄진섭, 박광배 (2014). P300 숨긴정보검사에서 시행수가 검사결과에 미치는 영향. *한국심리학회지: 사회 및 성격*, 28(3), 61-79.
- 엄진섭, 손진훈, 박미숙 (2020). P300 숨긴정보 검사에서 t 검증이 부트스트랩 방법보다 덜 민감한가?. *한국심리학회지: 법*, 11(1), 21-36.
- 엄진섭, 전하정 (2021). P300 숨긴정보검사에 사용되는 부트스트랩 방법의 표본 크기. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 33(3), 133-141.
- 전하정, 손진훈, 엄진섭 (2020). P300 숨긴정보 검사에서 순열 검증의 정확도. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 32(1), 69-83.
- 정은경, 김영운 (2013). P300-기반 유죄지식검사의 탐지정확률 비교. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 25(1), 75-92.
- Ahad, N. A., Abdullah, S., & Lai, C. H. (2012). Relative power performance of t-test and bootstrap procedure for two-sample. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 20(1), 43-52.

- Allen, J. J., & Iacono, W. G. (1997). A comparison of methods for the analysis of event potentials in deception detection. *Psychophysiology*, 34(2), 234-240.
- Alsufyani, A. (2017, August). A comparison of classification algorithms for Event Related Potentials. In 2017 4th International Conference on Computer Applications and Information Processing Technology (CAIPT) (pp. 1-5). IEEE.
- Cohen, J., & Polich, J. (1997). On the number of trials needed for P300. *International Journal of Psychophysiology*, 25(3), 249-255.
- Dwivedi, A. K., Mallawaarachchi, I., & Alvarado, L. A. (2017). Analysis of small sample size studies using nonparametric bootstrap test with pooled resampling method. *Statistics in Medicine*, 36(14), 2187-2205.
- Farwell, L. A. & Donchin, E. (1991). The truth will out: Interrogative polygraphy ("lie detection") with event-related Potentials. *Psychophysiology*, 28(5), 531-547.
- Farwell, L. A., Richardson, D. C., & Richardson, G. M. (2013). Brain fingerprinting field studies comparing P300-MERMER and P300 brainwave responses in the detection of concealed information. *Cognitive Neurodynamics*, 7(4), 263-299.
- Farwell, L. A., Richardson, D. C., Richardson, G. M., & Furedy, J. J. (2014). Brain fingerprinting classification concealed information test detects US Navy military medical information with P300. *Frontiers in neuroscience*, 8, 410.
- Janssen, A., & Pauls, T. (2005). A Monte Carlo comparison of studentized bootstrap and permutation tests for heteroscedastic two-sample problems. *Computational Statistics*, 20(3), 369-383.
- Johnson, R. (1993). On the neural generators of the P300 component of the event-related potential. *Psychophysiology*, 30(1), 90-97.
- Konietschke, F., & Pauly, M. (2014). Bootstrapping and permuting paired t-test type statistics. *Statistics and Computing*, 24(3), 283-296.
- Luck, S. J. (2014). *An introduction to the event-related potential technique*. MIT press.
- Meixner, J. B., & Rosenfeld, J. P. (2011). A mock terrorism application of the P300 based concealed information test. *Psychophysiology*, 48(2), 149-154.
- 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.
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical neurophysiology*, 118(10), 2128-2148.
- Rosenfeld, J. P. (2005). Brain fingerprinting: A critical analysis. *The Scientific Review of Mental Health Practice*, 4(1), 20-37.
- Rosenfeld, J. P. (2011). P300 in detecting concealed information. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar, & E. Meijer (Eds.), *Memory detection: Theory and application of the concealed information test* (pp. 63-89). Cambridge, UK: Cambridge University Press
- Rosenfeld, J. P., Hu, X., & Pederson, K. (2012). Deception awareness improves P300-based deception detection in concealed information

- tests. *International Journal of Psychophysiology*, 86(1), 114-121.
- Rosenfeld, J. P., Labkovsky, E., Winogard, M., Lui, M. A., Vandenboom, C., & Chedid, E. (2008). The complex trial protocol(CTP): A new, countermeasure-resistant, accurate, P300-based method for detection of concealed information. *Psychophysiology*, 45(6), 906-919.
- 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.
- 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.
- Soskins, M., Rosenfeld, J. P., & Niendam, T. (2001). Peak-to-peak measurement of P300 recorded at 0.3 Hz high pass filter settings in intraindividual diagnosis: complex vs. simple paradigms. *International Journal of Psychophysiology*, 40(2), 173-180.
- Yeung, N., Bogacz, R., Holroyd, C. B., & Cohen, J. D. (2004). Detection of synchronized oscillations in the electroencephalogram: an evaluation of methods. *Psychophysiology*, 41(6), 822-832.

1 차원고접수 : 2021. 04. 25.

심사통과접수 : 2021. 07. 14.

최종원고접수 : 2021. 07. 17.

The comparison of the BAD and the BCD methods in a P300-based concealed information test

Jin-Sup Eom

Department of Psychology, Chungbuk National University

In the P300-based concealed information test, most commonly used methods to detect whether a subject is lying are the bootstrapped amplitude difference (BAD) and the bootstrap correlation difference (BCD). Previous studies comparing the accuracy of the two methods reported inconsistent results. Most studies showed that the BAD is more accurate than the BCD, but some studies found that the BCD had a higher accuracy rate than the BAD. The purpose of the study is to identify conditions where the each method has higher accuracy compared to the other. In the result of Monte Carlo study, the false alarm rate of the BAD was generally higher than that of the BCD, and the hit rate of the BAD was higher than that of the BCD. Compared to the condition where the P300 latencies of probe and irrelevant were similar, the hit rate of the BCD was decreased when the P300 latency of probe was about 100 ms faster, and the hit rate of the BCD was increased when the P300 latency of probe was about 100 ms slower. When the P300 amplitude of the probe was slightly larger than that of the irrelevant and the P300 latency of probe was longer than that of target, the hit rate of the BCD was higher than that of the BAD. The reason why the false alarm rate of the BAD is higher than that of BCD and why the hit rate of the BCD is affected by the P300 latency of the probe were discussed.

Key words : P300, concealed information test, bootstrapping, amplitude difference, correlation difference