

## P300-기반 유죄지식검사의 탐지정확률 비교: 부트스트랩 방법을 중심으로\*

정 은 경

김 영 윤<sup>†</sup>

경기대학교 일반대학원 범죄심리학과

본 연구는 상관부트스트랩(bootstrapped correlation difference, BCD)법과 진폭부트스트랩(bootstrapped amplitude difference, BAD)법을 이용하여 P300-기반 유죄지식검사의 탐지정확률을 도출하고 이를 비교하였다. 강기영과 김영윤(2010)의 연구에서 유죄집단과 무죄집단으로 분류된 총 24명의 피험자들의 사건관련전위 데이터를 이용하여 부트스트랩 분석을 수행하였다. 개개 피험자들의 세 가지 자극 유형(목표자극, 탐침자극, 무관련자극)에 대한 두정중심영역(Pz) 혹은 전두중심영역(Fz)에서의 모든 시행의 사건관련전위 진폭값이 분석에 이용되었다. 목표자극은 유죄지식을 포함하지 않는 실험과제와 관련된 자극으로, 모든 피험자는 실험과제에서 목표자극과 목표자극이 아닌 자극을 분류하도록 지시받았다. 탐침자극은 유죄지식을 포함한 자극으로, 무관련자극은 유죄지식을 포함하지 않는 실험과제와 관련이 없는 자극으로 구성되었다. 부트스트랩 분석은 BCD법과 BAD법으로 나뉘어 실시하였다. BCD법은 목표자극과 탐침자극의 사건관련전위 사이의 상관이 탐침자극과 무관련자극의 사건관련전위 사이의 상관보다 크지를 계산하는 방법이며, BAD법은 탐침자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 크지를 계산하여 한 피험자의 유/무죄 여부를 가려내는 방법이다. 부트스트랩 분석 결과 판정불능을 제외한 BCD법의 탐지정확률은 최대 80.0%, 판정불능을 제외한 BAD법의 탐지정확률은 최대 56.5%로 BCD법의 탐지정확률이 더 높게 나타났다. 본 연구에서는 탐지정확률을 계산하는 방법 중 BAD법보다 BCD법이 더 효율적인 방법으로 나타났다.

주요어 : 유죄지식검사, 사건관련전위, P300, 탐지정확률, 부트스트랩

\* 본 연구는 2010학년도 경기대학교 학술연구비(일반연구과제) 지원에 의하여 수행되었음(2010-006).

자료 분석에 도움을 주신 이동희 교수님(경기대학교 경성대학)께 감사드립니다.

<sup>†</sup> 교신저자 : 김영윤, 경기대학교 일반대학원 범죄심리학과, (443-760) 경기도 수원시 영통구 광교산로 154-42, E-mail : youngy@kgu.ac.kr

P300-기반 유죄지식검사(guilty knowledge test; GKT)는 사건관련전위(event-related potential; ERP) P300을 이용하여 유죄지식을 가진 사람과 유죄지식을 가지지 않은 사람을 분류해 내는 검사기법이다(Abootalebi, Moradi, & Khalilzadeh, 2006; Rosenfeld, Cantwell, Nasman, Wojdac, Ivanov, & Mazzeri, 1988). P300-기반 유죄지식검사의 전제는 범죄를 저질러 범죄관련 지식을 학습한 사람은 유죄지식을 포함한 자극에 주의를 기울이게 되어 범죄관련자극에서 P300이 관찰된다는 것으로, 검사에서는 총 세 가지 자극에 대한 사건관련전위 반응을 비교하여 유죄지식을 가지고 있는지를 탐지한다. 먼저 목표자극(target)은 범죄와는 관련이 없지만 검사 시 수행하는 과제와 관련된 자극이다. 탐침자극(probe)은 검사 과제와는 관련이 없는 범죄관련 자극으로, 범죄와 관련된 소수의 사람만이 학습하는 정보를 포함한다. 무관련자극(irrelevant)은 검사 과제 및 범죄사건과 모두 관련이 없는 자극이다. 유죄지식을 가진 집단(유죄집단)과 그렇지 않은 집단(무죄집단) 모두 목표자극에서 유사한 사건관련전위 반응을 보이는 데 비해, 탐침자극에서는 다른 사건관련전위 반응을 나타내게 된다. 유죄집단은 무죄집단보다 탐침자극에서 더 큰 P300 진폭을 보이게 된다. 이는 범죄관련 정보가 없어 탐침자극을 무관련자극과 구별하여 처리하지 않는 무죄집단에 비해 유죄집단이 탐침자극에 선택적으로 주의를 기울이고 있음을 나타낸다.

최근 20여 년간 유죄지식검사의 탐지정확률을 계산하고, 효과적으로 피험자의 유죄지식 소유 유무를 탐지하려는 연구들이 진행되었으며, 이 과정에서 부트스트랩(bootstrap)법, 웨이

브렛(wavelet)법, 베이지안(bayesian)법 등 다양한 분류법들이 개발되었다(김영운, 2009). 이 방법들 중 연구자들에 의해 빈번하게 활용되고 있는 부트스트랩 방법은 반복적 복원추출 기법을 이용해 모수적 검정의 전제가 충족되지 않는 상황에서 통계적 추론을 가능하게 하는 기법으로, 무작위적 표집 과정을 여러 번 반복하여 표본 분포를 추정하는 기법이다(Efron, 1979; Wasserman & Bockenholt, 1989). P300-기반 유죄지식검사에서는 상관부트스트랩법(bootstrapped correlation difference, BCD)과 진폭 부트스트랩법(bootstrapped amplitude difference, BAD), RT-BOOT법(bootstrapped analysis of reaction time) 등이 활용되고 있다. BCD법은 목표자극, 탐침자극, 무관련자극의 모든 잡음이 제거된 시행(trial)들을 자극 유형별로 재표집하여 목표자극과 탐침자극과의 상관이 탐침자극과 무관련자극과의 상관보다 크면 해당 피검자를 유죄지식을 가진 것으로 간주하는 방법이다(Farwell & Donchin, 1991). BAD법은 탐침자극, 무관련자극의 모든 잡음이 제거된 시행들을 자극 유형별로 재표집하여 탐침자극의 P300 진폭이 무관련자극의 P300 진폭보다 크면 유죄지식을 가진 것으로 간주하는 방법이다(Soskins, Rosenfeld, & Niendam, 2001). BAD법은 진폭 차이를 계산할 때 기준을 어디에 두느냐에 따라 base to peak(b-p)법과 peak to peak(p-p)법으로 나뉜다. RT-BOOT법은 BAD법과 계산방법은 같지만 진폭이 아닌 반응시간을 대상으로 하며, 탐침자극에 대한 반응시간이 무관련자극에 대한 반응시간보다 크면 유죄지식을 가진 것으로 간주한다(Rosenfeld, Soskins, Bosh, & Ryan, 2004). 한편 웨이브렛법

은 주파수 분석을 통해 탐침자극의 사건관련 전위 반응에 특별한 패턴이 있는지를 조사하여 있으면 유죄지식을 가진 것으로 결정하는 방법이다(Abootalebi et al., 2006). 베이지안법은 탐침자극의 사건관련전위 파형이 전형적인 P300과 유사한가를 조사하여 유죄지식을 가진 피검자를 탐지해내는 방법이다(Mertens & Allen, 2008). 또한 최근 연구들은 유죄지식검사의 탐지정확률을 구하는 데 Support vector machine(SVM)을 적용하였다(Gao, Lu, Yang, Yu, Na, & Rao, 2012; Gao, Yan, Sun, & Zheng, 2011; Zhao, Zheng, & Zhao, 2012). SVM은 기계 학습알고리즘의 일종으로 주어진 데이터를 두 집단으로 분류할 수 있는 최적의 분리 경계면(hyperplane)을 찾아준다(안현철, 김경재, 한인구, 2005). 이러한 분류법들에서 탐지정확률은 유죄인 사람을 유죄로 탐지할 확률과 무죄인 사람을 무죄로 탐지할 확률의 평균으로 정의된다.

기존 연구자들은 이러한 계산 방법들 중 어느 방법이 더 효율적으로 피험자의 유/무죄 여부를 탐지할 수 있는지를 연구해 왔다. 먼저 Rosenfeld 등(2004)은 BCD법, BAD(b-p)법과 BAD(p-p)법, RT-BOOT법을 사용하여 유죄지식검사의 탐지정확률을 비교했는데, RT-BOOT법의 탐지정확률이 91%로 가장 높게 나타났고 BAD(p-p)법, BAD(b-p)법, BCD법의 탐지정확률이 각각 86.5%, 82%, 77%를 보였다. 한편 Abootalebi 등(2006)은 BCD법, BAD(p-p)법, 웨이브렛법을 사용하여 탐지정확률을 비교하였으며, 그 결과 BCD법의 탐지정확률이 86%로 가장 높게 나타났다. BAD(p-p)법과 웨이브렛법의 탐지정확률이 83%, 82%로 뒤를 이었다. 또한

Mertens와 Allen(2008)은 BCD법, BAD(p-p)법, 베이지안법으로 유죄지식검사의 탐지정확률을 비교하였는데, BAD(p-p)법의 탐지정확률이 73.5%로 가장 높게 나타났다. 베이지안법은 70.5%, BCD법은 35.5%의 정확률을 보였다. 한편 Lui와 Rosenfeld(2008)는 시공간 주성분 분석법(spatio-temporal principal component analysis)을 유죄지식검사의 분류법으로 제시하였다. 이 방법은 각 자극에 대한 사건관련전위 데이터에서 주어진 데이터를 가장 잘 설명할 수 있는 최소 요인을 추출한 다음 BAD(b-p)법과 마찬가지로 진폭 차이를 계산하여 분류정확률을 계산하는 방법으로, 연구자들이 추가적으로 수행한 기존 BAD법보다 높은 78.6%의 분류정확률을 나타냈다.

이러한 결과들을 종합해 보면 특정 분류법이 우수하다기보다는 연구자들이 사용한 패러다임에 따라 상이한 결과가 나오는 것을 알 수 있다. 최근 시도되고 있는 SVM법이 91.4%의 분류정확도를(Gao et al., 2011), SVM법과 주성분분석법을 결합한 방법이 93.6%의 분류정확도를 보여주고 있으나(Zhao et al., 2012), 가장 보편적으로는 부트스트랩법, 특히 BCD법과 BAD법이 개개인의 유/무죄 여부를 탐지하는 분류법으로 연구되어 왔다(Verschuere, Ben-Shakhar, & Meijer, 2011). 국내의 유죄지식검사 연구들은 주로 부트스트랩 방법 중에서 비교적 정확도가 높은 것으로 보고된 BAD(p-p)법(Soskins et al., 2001)을 사용하여 탐지정확률을 도출하였다(엄진섭, 박광배, 손진훈, 2012; 엄진섭, 한유화, 박광배, 손진훈, 2008). 그러나 BAD(p-p)법을 제외한 유죄지식검사의 다른 분류법들에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이러

한 맥락에서 본 연구는 BCD법과 BAD법을 사용하여 P300-기반 유죄지식검사의 탐지정확률을 도출하고, 이를 비교하는 것을 목적으로 하였다.

강기영과 김영윤(2010)의 연구에서는 유죄집단과 무죄집단의 세 가지 자극 유형(목표자극, 탐침자극, 무관련자극)에 대한 사건관련전위를 측정하였다. 피험자들은 유죄집단과 무죄집단에 무선적으로 할당되었으며, 유죄집단은 모의절도범죄를 수행하였고 무죄집단은 범죄와는 관련이 없는 행동지시문을 수행한 뒤 뇌파를 측정하였다. 자극은 문장의 형태로 컴퓨터 모니터를 통해 제시되었으며 한 문장의 세 가지 구성 성분이 개별적으로 제시되었다. 과제 1에서는 “주어-목적어-서술어”로 구성된 문장을 사용하였고 자극 유형에 따라 목적어를 달리하였으며, 과제 2에서는 “목적어-부사구-서

술어”로 구성된 문장을 사용하였고 자극 유형에 따라 부사구를 달리하였다. 앞서 언급한 것과 마찬가지로, 탐침문장은 모의절도범죄의 세부 사항을 포함하도록 구성하였다. 뇌파를 측정하는 동안 피험자들은 목표문장과 비목표문장을 구별하도록 지시받았다.

그 결과, 무죄집단이 탐침자극과 무관련자극간의 사건관련전위 반응의 차이를 보이지 않는 것에 비해, 유죄집단에서 탐침자극이 무관련자극보다 큰 P300 진폭을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또한 유죄집단의 탐침자극, 무관련자극 간 P300 진폭의 차이는 과제 1의 목적어에 대해서는 두정영역에서 두드러지게 나타났고(그림 1), 과제 1의 서술어에 대해서는 전두영역에서 두드러지게 나타났다(그림 2). 과제 2의 부사구에 대해서는 과제 1의 목적어에 대한 결과와 유사하게 유죄집단의 사

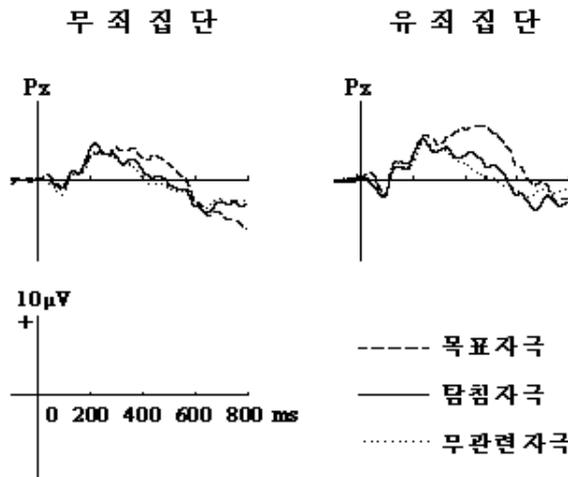


그림 1. 과제 1의 목적어에 대한 두 집단의 자극유형별 사건관련전위(강기영, 김영윤, 2010). 유죄집단의 경우, 두정중심영역(Pz)에서 탐침자극이 무관련자극보다 큰 진폭을 보이는 것을 관찰할 수 있다. 반면 무죄집단에서는 탐침자극과 무관련자극의 차이를 보이는 전극부위가 관찰되지 않았다. 과제 2의 부사구에 대한 사건관련전위 패턴도 과제 1의 목적어에 대한 패턴과 유사하게 나타났다.

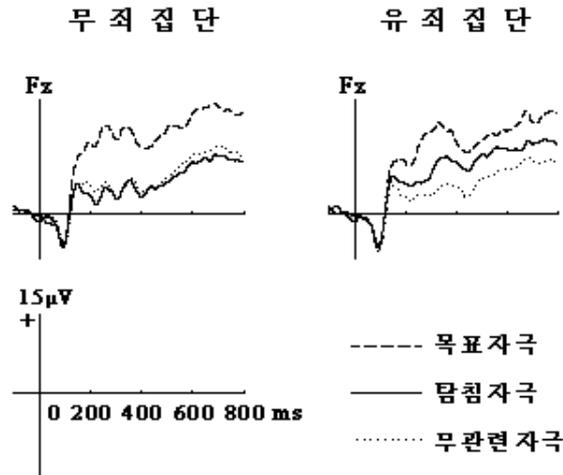


그림 2. 과제 1의 서술어에 대한 두 집단의 자극유형별 사건관련전위(강기영, 김영윤, 2010). 유죄집단의 경우, 전두중심영역(Fz)에서 탐침자극이 무관련자극보다 큰 진폭을 보이는 것을 관찰할 수 있다. 반면 무죄집단에서는 탐침자극과 무관련자극의 차이를 보이는 전극부위가 관찰되지 않았다. 과제 2의 서술어에 대한 사건관련전위 패턴도 과제 1의 서술어에 대한 패턴과 유사하게 나타났다. 서술어가 목표자극, 탐침자극, 무관련자극에 따라 다르지 않았음에도 불구하고 유죄집단의 탐침문장의 서술어에 대한 사건관련전위에서 P300이 나타난 것은 문장을 이용한 유죄지식검사에서 유죄집단이 탐침문장의 서술어를 구별하여 처리하고 있음을 의미한다.

건관련전위에서 두정영역에서 탐침자극과 무관련자극간 P300 진폭의 차이가 나타났으며, 과제 2의 서술어에 대해서는 과제 1의 서술어에 대한 결과와 마찬가지로 유죄집단의 탐침자극과 무관련자극간 P300 진폭의 차이가 전두영역에서 나타났다.

이러한 결과에 의거하여 본 연구에서는 강기영과 김영윤(2010)의 유죄지식 연구에서 얻은 사건관련전위 데이터를 이용하여 부트스트랩 방법 중 빈번하게 활용되고 있는 BCD법, BAD법을 수행하고, 탐지정확률을 도출하였다. 본 연구에서 BCD법은 Farwell과 Donchin(1991)이 제안한 방법을 사용하였고, BAD법은 Rosenfeld 등(2004)이 제안한 방법을 사용하였다. 이를 통해 여러 분류법들을 사용하여 유

죄지식검사의 탐지정확률을 비교한 기존 연구들과 더불어 유/무죄 탐지 여부에 효과적인 분류법을 찾아내는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구는 기존 연구와 다음과 같은 점에서 차별화된다.

첫째로, 본 연구는 두 가지 부트스트랩 방법을 한국어 문장을 사용한 P300-기반 유죄지식검사에 최초로 적용한 것이다. 기존 유죄지식검사의 분류법들은 대부분 단어나 숫자, 소리 자극을 사용하여 피험자의 유죄지식 유무를 탐지하였으며, 문장 자극을 사용하더라도 문장 내 한 단어에 부트스트랩 방법을 적용하였다. 예를 들어 MacLaren과 Taukulis(2000)는 자극 문장(예: I shot / Steven)의 제일 마지막 단어(예: Steven)에 대한 P300에 대하여 BCD법

을 적용하였다. 이는 문장의 제일 마지막 단어에 유죄지식, 즉 행위의 대상이 포함되기 때문이라고 볼 수 있다. 그러나 “주어-목적어-서술어”의 문장구조를 갖는 한국어에서는 목적어가 유죄지식을 포함하고 있더라도 문장의 마지막 서술어가 무엇이나에 따라 피험자의 반응이 달라질 수 있다. 만약 “나는”-“지갑을”-“훔쳤다”는 문장과 “나는”-“지갑을”-“샀다”는 문장이 제시되었을 때 피험자는 문장의 서술어를 보기 전까지는 자신의 반응을 결정할 수 없다. 따라서 한국어 문장을 사용한 유죄지식검사에서 목적어뿐 아니라 서술어에서 나타난 P300에 대하여 부트스트랩 방법을 적용해야 할 필요가 있다고 판단된다.

또한, 기존 부트스트랩을 이용한 P300-기반 유죄지식 연구들에서 주로 두정중심영역을 분석대상으로 삼은 데 비해, 본 연구에서는 과제 1과 2의 서술어 자극에 대해서는 전두중심영역을 분석 대상으로 하였다. 이는 강기영과 김영운(2010)의 연구에서 앞에 제시되는 목적어, 혹은 부사구가 어떤 자극이나에 따라 같은 서술어라도 다른 P300 진폭을 나타냈으며 (그림 2), 자극 간 진폭 차이가 전두중심영역에서 가장 크게 나타났기 때문이다. 만약 전두중심영역의 P300 진폭에 대해 부트스트랩 방법을 적용했을 때 탐지정확률이 두정중심영역에 대한 부트스트랩 방법의 결과와 차이가 없을 경우, 유죄지식 패러다임을 이용해 피험자의 유/무죄 여부를 더 효율적으로 탐지할 수 있을 것으로 기대된다.

## 방 법

**연구대상** 강기영과 김영운(2010)의 연구에서 얻은 총 24명(유죄집단 12명, 무죄집단 12명)의 사건관련전위 데이터(64개 전극, 표집률 1000Hz)를 연구에 활용하였다. 해당 연구에서 유죄지식을 포함한 문장(탐침문장)을 처리하는데 영향을 미친다고 판단된 문장성분, 즉 과제 1의 목적어 및 서술어 및 과제 2의 부사구 및 서술어에 대한 사건관련전위 데이터가 이용되었다. 한 과제 내에서 1개의 목표자극과 1개의 탐침자극, 4개의 무관련자극이 각각 60회씩 반복되었으며, 사건관련전위 데이터에서 잡음이 있는 시행을 제외한 후 남은 시행을 문장 성분 및 자극 유형별로 분류하였다. 이때 과제 1의 목적어와 과제 2의 부사구에 대해서는 유죄집단의 사건관련전위에서 탐침자극과 무관련자극의 차이가 가장 크게 나타났던 두정중심영역(Pz), 과제 1과 과제 2의 서술어에 대해서는 탐침자극과 무관련자극의 차이가 가장 크게 나타났던 전두중심영역(Fz)에서 얻어진 시행만을 추출하였다.

**절차** 부트스트랩 분석은 BCD법 및 BAD법을 실시하였으며 분석에는 SAS 9.3(SAS Institute Inc., Cary, USA)을 이용하였다.

**BCD법.** BCD법은 Farwell과 Donchin(1991)이 제안한 방법을 사용하였다. 먼저 한 피험자의 목표자극, 탐침자극, 무관련자극의 모든 잡음이 제거된 시행들을 자극 유형별로 재표집한다. 자극 제시 전 -100ms부터 자극 제시 후 800ms 사이의 총 900ms 구간을 이용한다. 재

표집한 자극 유형별 표본에서 목표자극 및 탐침자극 간의 상관, 탐침자극 및 무관련자극 간의 상관계수를 구한다. 이때 상관계수는 double-centered correlation을 통해 계산하였다. 즉 먼저 전체 자극 유형(목표자극, 탐침자극, 무관련자극)의 표본의 평균을 구한 다음, 이것을 한 가지 자극 유형에 대한 표본에서 빼서 나온 값들을 해당 자극의 표본으로 하여 상관계수를 구하였다. 만약 목표자극과 탐침자극 사이의 상관이 탐침자극과 무관련자극간의 상관보다 높다면 부트스트랩 지수(bootstrap index)에 1을 추가한다. (부트스트랩 지수의 초기 값은 0이다.) 이 과정을 1,000회 반복하여 부트스트랩 지수가 600 이상(상위 40%)이면 유죄지식을 가진 것으로 간주하고, 400 이하(하위 40%)이면 유죄지식을 가지지 않은 것으로 판단한다. 400에서 600 사이의 부트스트랩 지수 값은 판정불능으로 간주한다. 과제 1의 목적어와 서술어, 과제 2의 부사구와 서술어 각각에 대하여 집단별로 부트스트랩 지수를 도출한 다음, 문장 성분에 따른 부트스트랩 지수를 평균한다. 이후 유죄지식을 가진 사람을 유죄로 탐지한 확률, 즉 거짓을 탐지하는 확률(hit)과 유죄지식이 없는 사람을 무죄로 탐지한 확률, 즉 참을 탐지하는 확률(correct rejection)을 계산한 다음 평균하여 탐지정확률을 구한다.

**BAD법.** BAD법은 크게 base to peak(b-p), peak to peak(p-p) 방법으로 나뉘지는데 본 연구에서는 Rosenfeld 등(2004)의 연구에서 사용된 base to peak(b-p) 방법을 사용하였다. 이는 최대진폭을 보이는 100ms 구간과 자극 제시 전

100ms 구간의 차이를 구해 유죄지식을 가진 사람을 탐지하는 방법이다. 먼저 BCD법과 마찬가지로 한 피험자의 탐침자극, 무관련자극의 모든 잡음이 제거된 시행들을 자극 유형별로 재표집한다. 자극 제시 후 251ms부터 650ms 구간 사이에서 1ms씩 이동하며 100ms 구간마다 진폭의 평균을 구한 다음, 평균값이 최대를 보이는 100ms 구간을 찾는다. 즉, 251ms-350ms 구간부터 1ms씩 이동하면서 551-650ms 구간까지의 평균을 구한다. 그 후 최대 평균 진폭을 보이는 구간을 찾고, 해당 구간의 가운데 있는 지점을 최댓값 지점으로 정한다. 최댓값 지점의 평균진폭에서 자극 제시 전 100ms 구간의 평균 진폭을 뺀 값을 구한다. 탐침자극의 최댓값-기저선 차이가 무관련자극의 최댓값-기저선 차이보다 크다면 부트스트랩 지수에 1을 추가한다. 이 과정을 1,000회 반복하여 부트스트랩 지수가 600 이상이면 유죄지식을 가진 것으로, 400 이하이면 유죄지식을 가지지 않은 것으로 본다. 400에서 600 사이의 부트스트랩 지수 값은 판정불능으로 간주한다. BCD법과 마찬가지로 과제 1의 목적어와 서술어, 과제 2의 부사구와 서술어 각각에 대하여 집단별로 부트스트랩 지수를 도출한 다음, 문장 성분에 따른 부트스트랩 지수를 평균하여 평균 부트스트랩 지수를 구한다. 거짓을 탐지하는 확률과 참을 탐지하는 확률을 계산한 다음 평균하여 탐지정확률을 구한다.

## 결 과

**BCD법 결과** 표 1은 과제 1의 목적어와 서

술어의 사건관련전위에 대해 BCD법을 수행한 결과이다. 목적어의 사건관련전위는 두정중심영역(Pz)에서의 진폭값을, 서술어의 사건관련전위는 전두중심영역(Fz)에서의 진폭값을 이용하였다. 먼저 목적어의 경우, 유죄집단 12명 중 4명, 무죄집단 12명 중 11명이 정확하게 분류되었다. 유죄집단 12명 중 1명이 540의 부트스트랩 지수를 가진 것으로 나타나 판정불능

으로 탐지되었으며, 무죄집단에서는 판정불능으로 탐지된 피험자가 없었다. 거짓을 탐지하는 확률은 33.3%, 참을 탐지하는 확률은 91.7%였으며, 거짓을 탐지하는 확률과 참을 탐지하는 확률을 평균한 탐지정확률은 판정불능을 포함해 62.5%였다. 판정불능인 피험자 한 명을 제외시키면 탐지정확률이 65.2%로 상승하였다. 한편 서술어의 경우, 유죄집단 12명

표 1. 과제 1의 목적어와 서술어의 사건관련전위에 대해 BCD법을 실시한 결과

목적어(Pz)			서술어(Fz)		
ID	Bootstrap index		ID	Bootstrap index	
	유죄집단	무죄집단		유죄집단	무죄집단
1	908	618	1	994	788
2	876	376	2	982	366
3	800	327	3	715	334
4	602	282	4	519	252
5	540	169	5	511	219
6	316	67	6	331	120
7	309	50	7	259	113
8	158	44	8	228	50
9	76	36	9	126	32
10	71	8	10	89	25
11	28	7	11	33	11
12	2	3	12	8	8
분류결과(명)			분류결과(명)		
유죄	4	1	유죄	3	1
무죄	7	11	무죄	7	11
판정불능	1	0	판정불능	2	0
탐지정확률(%)			탐지정확률(%)		
판정불능 포함	62.5		판정불능 포함	58.3	
판정불능 제외	65.2		판정불능 제외	63.6	

\* 수치는 내림차순으로 정렬하였다.

중 3명, 무죄집단 12명 중 11명이 정확하게 분류되었다. 유죄집단 중 2명이 판정불능으로 나타났다. 거짓을 탐지하는 확률은 25.0%, 참을 탐지하는 확률은 91.7%였으며 탐지정확률은 판정불능을 포함해 58.3%, 제외했을 때 63.6%였다.

표 2는 과제 2의 부사구와 서술어의 사건관련전위에 대해 BCD법을 수행한 결과이다. 부

사구의 경우, 유죄집단 12명 중 8명, 무죄집단 12명 중 8명이 정확하게 분류되었다. 각 집단에서 2명이 판정불능으로 나타났으며, 거짓을 탐지하는 확률과 참을 탐지하는 확률은 각각 66.7%이었다. 판정불능인 피험자를 제외시키면 탐지정확률이 80.0%로 상승하였다. 한편 서술어의 경우, 유죄집단 12명 중 4명, 무죄집단 12명 중 9명이 정확하게 분류되었다. 두

표 2. 과제 2의 부사구와 서술어의 사건관련전위에 대해 BCD법을 실시한 결과

부사구(Pz)		Bootstrap index		서술어(Fz)		Bootstrap index	
ID	유죄집단	무죄집단	ID	유죄집단	무죄집단	ID	유죄집단
1	1000	901	1	885	639	1	885
2	996	730	2	884	547	2	884
3	966	484	3	746	403	3	746
4	961	428	4	721	379	4	721
5	948	365	5	531	328	5	531
6	699	158	6	528	268	6	528
7	628	142	7	518	216	7	518
8	615	94	8	517	193	8	517
9	511	62	9	382	148	9	382
10	436	27	10	359	89	10	359
11	396	22	11	117	60	11	117
12	154	13	12	81	36	12	81
분류결과(명)			분류결과(명)				
유죄	8	2	유죄	4	1		
무죄	2	8	무죄	4	9		
판정불능	2	2	판정불능	4	2		
탐지정확률(%)			탐지정확률(%)				
판정불능 포함	66.7		판정불능 포함	54.2			
판정불능 제외	80.0		판정불능 제외	72.2			

\* 수치는 내림차순으로 정렬하였다.

표 3. 과제 1(목적어, 서술어), 과제 2(부사구, 서술어)에 대한 평균 탐지정확률(BCD법)

분류결과(명)	유죄집단 (n=12)	무죄집단 (n=12)
유죄	4	0
무죄	5	10
판정불능	3	2
탐지정확률(%)		
판정불능 포함	58.3	
판정불능 제외	73.7	

집단에서 총 6명이 판정불능으로 나타났다. 거짓을 탐지하는 확률은 33.3%, 참을 탐지하는 확률은 75.0%였으며 탐지정확률은 판정불능을 포함해 54.2%, 제외했을 때 72.2%였다.

과제 1과 과제 2의 사건관련전위에 대한 BCD법 결과를 요약하면, 판정불능을 포함하면 탐지정확률이 최소 54.2%에서 최대 66.7%, 판정불능을 제외시키면 탐지정확률이 최소 63.6%에서 최대 80.0%로 나타났다. 과제 1의 목적어, 서술어 및 과제 2의 부사구, 서술어에 대한 각각의 부트스트랩 지수를 평균하여 동일한 분류기준(600 이상이면 유죄, 400 이하면 무죄, 400에서 600 사이는 판정불능)을 적용하면 유죄집단 12명 중 4명이 유죄집단으로, 무죄집단 12명 중 10명이 무죄집단으로 분류되었다. 거짓을 탐지하는 확률은 33.3%, 참을 탐지하는 확률이 83.3%, 이 둘을 평균한 탐지정확률이 58.3%로 나타났다. 판정불능을 제외하면 73.7%의 분류정확도를 보였다(표 3).

**BAD법 결과** 표 4는 과제 1의 목적어와 서술어의 사건관련전위에 대해 BAD(b-p)법을 수행한 결과이다. BCD법과 마찬가지로 목적어의

사건관련전위는 두정중심영역(Pz)에서의 진폭값을, 서술어의 사건관련전위는 전두중심영역(Fz)에서의 진폭값을 이용하였다. 독립표본 t 검정 결과 두 자극 모두 탐침자극과 무관련자극간의 기저선(-100ms-0ms) 구간에서의 평균 진폭 차이는 없었다[목적어,  $t(23)=.480, p=n.s.$ ; 서술어,  $t(23)=.485, p=n.s.$ ]. 먼저 목적어의 경우, 유죄집단 12명 중 10명이 유죄로 분류되었다. 그러나 무죄집단 12명 중 10명이 유죄로 탐지되어 허위긍정(false positive), 즉 무죄인 사람을 유죄라고 판단하는 오류가 83.3%로 나타났다. 거짓을 탐지하는 확률과 참을 탐지하는 확률을 평균한 탐지정확률은 판정불능을 포함하면 41.7%, 판정불능을 제외하면 50.0%로 나타났다. 서술어의 경우도 마찬가지로 유죄집단은 12명 중 12명 모두가 유죄로 분류됨에 비해 무죄집단은 12명 중 1명만 정확하게 분류되었다. 판정불능은 없었으며 탐지정확률은 54.2%로 나타났다.

표 5는 과제 2의 부사구와 서술어의 사건관련전위에 대해 BAD(b-p)법을 수행한 결과이다. 독립표본 t 검정 결과, 서술어의 경우 탐침자극과 무관련자극간의 기저선 구간에서 평균

표 4. 과제 1의 목적어와 서술어의 사건관련전위에 대해 BAD법을 실시한 결과

목적어(Pz)			서술어(Fz)		
ID	Bootstrap index		ID	Bootstrap index	
	유죄집단	무죄집단		유죄집단	무죄집단
1	1000	994	1	1000	999
2	997	988	2	1000	997
3	988	974	3	1000	992
4	987	969	4	1000	990
5	987	948	5	1000	974
6	961	937	6	1000	960
7	918	915	7	1000	958
8	855	911	8	998	939
9	772	862	9	977	913
10	660	754	10	966	849
11	537	520	11	900	778
12	523	484	12	821	57
분류결과(명)			분류결과(명)		
유죄	10	10	유죄	12	11
무죄	0	0	무죄	0	1
판정불능	2	2	판정불능	0	0
탐지정확률(%)			탐지정확률(%)		
판정불능 포함	41.7		판정불능 포함	54.2	
판정불능 제외	50.0		판정불능 제외	54.2	

\* 수치는 내림차순으로 정렬하였다.

진폭 차이가 없었으며 [ $t(23) = -.612, p = n.s.$ ], 부사구의 경우는 무죄집단에서만 기저선 구간에서의 탐침자극과 무관련자극의 평균 진폭 차이가 없는 것으로 나타났다 [유죄집단,  $t(11) = 2.54, p < .05$ ; 무죄집단,  $t(11) = 1.92, p = n.s.$ ]. 부사구의 경우, 유죄집단 12명 중 12명 모두가 유죄로 분류되었고 무죄집단 12명 중 9명이 유죄로 탐지되어 허위긍정률이 75.0%로 나타났

다. 탐지정확률은 판정불능을 포함했을 때 54.2%, 판정불능을 제외시키면 59.1%로 상승하였다. 서술어의 경우도 유사하게 유죄집단은 12명 중 11명이 유죄로 분류됨에 비해 무죄집단은 12명 모두가 유죄로 잘못 분류되었다. 판정불능은 없었으며 탐지정확률은 45.8%로 나타났다.

과제 1과 과제 2의 사건관련전위에 대한

표 5. 과제 2의 부사구와 서술어의 사건관련전위에 대해 BAD법을 실시한 결과

부사구(Pz)			서술어(Fz)		
ID	Bootstrap index		ID	Bootstrap index	
	유죄집단	무죄집단		유죄집단	무죄집단
1	1000	1000	1	1000	1000
2	1000	1000	2	1000	1000
3	1000	999	3	1000	995
4	1000	992	4	998	994
5	1000	989	5	997	993
6	1000	976	6	990	989
7	1000	973	7	987	912
8	1000	864	8	966	864
9	1000	753	9	955	860
10	994	544	10	952	832
11	959	410	11	856	828
12	618	20	12	376	616
분류결과(명)			분류결과(명)		
유죄	12	9	유죄	11	12
무죄	0	1	무죄	1	0
판정불능	0	2	판정불능	0	0
탐지정확률(%)			탐지정확률(%)		
판정불능 포함	54.2		판정불능 포함	45.8	
판정불능 제외	59.1		판정불능 제외	45.8	

\* 수치는 내림차순으로 정렬하였다.

표 6. 과제 1(목적어, 서술어), 과제 2(부사구, 서술어)에 대한 평균 탐지정확률(BAD법)

분류결과(명)	유죄집단 (n=12)	무죄집단 (n=12)
유죄	12	11
무죄	0	1
판정불능	0	0
탐지정확률(%)		
판정불능 포함	54.2	
판정불능 제외	54.2	

BAD법 결과를 요약하면, 판정불능을 포함하면 탐지정확률이 최소 41.7%에서 최대 54.2%, 판정불능을 제외시키면 탐지정확률이 최소 45.8%에서 최대 59.1%로 나타났다. 과제 1의 목적어, 서술어 및 과제 2의 부사구, 서술어에 대한 각각의 부트스트랩 지수를 평균하여 동일한 분류기준(600 이상이면 유죄, 400 이하면 무죄, 400에서 600 사이는 판정불능)을 적용하면 유죄집단 12명 중 12명이 유죄집단으로, 무죄집단 12명 중 1명이 무죄집단으로 분류되었다. 거짓을 탐지하는 확률은 100%, 참을 탐지하는 확률이 8.3%, 이 둘을 평균한 탐지정확률이 54.2%로 나타났다(표 6).

## 논 의

본 연구에서는 강기영과 김영윤(2010)의 P300-기반 유죄지식검사 연구 결과를 바탕으로 대표적인 부트스트랩법인 BCD법과 BAD법을 수행하여 분류정확도를 도출하고 비교하였다. 그 결과 BCD법에서는 판정불능을 제외했을 때 평균 73.7%, BAD법에서는 판정불능을 제외하고 평균 54.2%의 분류정확도를 보여 BCD법의 분류정확도가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 BCD방법의 분류정확도가 가장 높게 나타났다고 보고한 Abootalebi 등(2006)의 결과와도 일치하는 것으로, 문장성분에 따른 분류정확도는 다소 상이하였으나 동일한 문장성분에서 BCD법이 BAD법보다 높은 분류정확도를 보였다.

BCD법을 실시한 결과, 최대 탐지정확률은 과제 2의 부사구에서 판정불능을 제외시켰을 때 80.0%로 높게 나타났다. 과제 1의 목적어,

서술어 및 과제 2의 부사구, 서술어에 대한 부트스트랩 지수를 평균했을 때 유죄지식을 가진 피험자를 유죄로 정확히 탐지하는 비율은 평균 25.0%로 높지 않았으나 유죄지식이 없는 피험자를 무죄로 정확히 탐지하는 비율은 평균 83.3%로 나타났다. 이때 탐지정확률은 판정불능을 제외했을 때 73.7%, 판정불능을 포함시켰을 때는 58.3%이었다. 유죄집단의 피험자를 유죄집단으로 탐지하는 비율이 상대적으로 낮은 것에 비해, 무죄집단의 피험자의 경우 모든 문장성분에서 최소 66.7% 이상의 피험자가 정확히 탐지되었다. 이는 BCD법을 사용하면 허위부정(false negative), 즉 유죄인 사람을 무죄라고 잘못 판단하는 오류보다는 무죄인 사람을 유죄라고 잘못 판단하는 허위긍정의 오류를 줄일 수 있는 것으로 보인다. 무고한 사람을 용의선상에서 제외시킬 수 있다는 점을 고려할 때, BCD법을 분류법으로 사용하는 것이 실제 사건관련전위를 이용한 유죄지식검사를 수행할 때 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

BAD(b-p)법을 실시한 결과는 BCD법의 결과와는 대조적인 양상을 보였다. 과제 2의 서술어에 대한 결과를 제외하고는 유죄집단의 피험자가 무죄로 잘못 탐지된 경우가 없었으며, 과제 2의 서술어 또한 12명의 피험자 중 1명만 잘못 탐지된 것으로 나타나 8.3%의 낮은 허위부정률을 보였다. 반면 무죄집단의 경우 대부분의 피험자가 유죄로 잘못 탐지되었으며 과제 1의 서술어, 과제 2의 부사구에 대해서 각각 1명의 피험자만이 무죄집단으로 정확히 분류되었다. 따라서 거짓을 탐지하는 확률이 거의 100%에 달하는 데 비해 참을 탐지하는

확률은 최대 8.3%로 대부분의 무죄집단의 피험자를 정확하게 분류하지 못했다. 과제 1의 목적어, 서술어 및 과제 2의 부사구, 서술어에 대한 부트스트랩 지수를 평균한 탐지정확률 역시 54.2%에 그쳤다. 한편 기존 연구에서는 BAD법을 실시함에 있어 p-p법이 b-p법보다 높은 분류정확도를 갖는 것으로 보고한 바 있는데(Mertens & Allen, 2008; Rosenfeld et al., 2004; Soskins et al., 2001), 본 연구에 사용한 데이터에 b-p방법이 아닌 p-p방법으로 적용하면 이러한 오류는 더 크게 나타나 탐지정확률이 50%를 넘지 않았다. 이러한 결과는 BAD법을 사용할 경우 허위긍정률이 높게 나타날 가능성을 배제할 수 없으며, 따라서 용의자의 유/무죄 여부를 정확하게 판단할 수 없는 것으로 보인다.

기존 연구들은 BAD법이 BCD법보다 높은 분류정확도를 갖는다고 보고하였는데(Mertens & Allen, 2008; Rosenfeld et al., 2004; Soskins et al., 2001), 본 연구에서 이러한 경향이 나타나지 않은 것은 패러다임의 차이인 것으로 보인다. 기존 연구들에서는 단어를 자극으로 제시하였으며 자극 간 간격이 3초 이상이거나 자극 제시 시간이 약 2초 이상이었다. 실험과제의 난이도가 높을수록 P300 진폭이 낮아진다는 것은 기존 연구들을 통해 이미 입증된 사실이며(Picton, 1992), Strüber와 Polich(2002)는 자극 간 간격이 상대적으로 길 때 P300이 더 잘 나타난다고 보고된 바 있다. 한편 자극 제시 시간에 따른 P300 진폭의 변화는 없었지만 P300의 잠재기는 자극 제시 시간이 길 때 더 짧은 것으로 나타났다(Polich, 1989). 본 연구의 자료로 사용한 연구(강기영, 김영운, 2010)에서

는 문장을 자극으로 사용하였으며, 이는 단어 자극을 처리하는 과제보다는 과제의 난이도가 높다는 것을 의미한다. 또한 피로에 따른 영향을 최소화하기 위해 자극 간 간격을 500ms로, 실험과제를 되도록 짧게 구성하였다. 이는 비교적 실험 과제가 쉽고, 자극 제시 시간 및 자극 간 간격이 긴 기존 연구들보다는 높은 P300 진폭을 얻기 어려운 조건이었음을 보여준다. 따라서 본 연구에서는 P300의 절대적인 진폭 차이에 의존하는 BAD법보다는 자극 간 진폭의 상관을 기준으로 유/무죄 여부를 판단하는 BCD법이 더 높은 탐지정확률을 도출한 것으로 보인다.

한편 본 연구는 P300-기반 유죄지식검사의 부트스트랩법을 이용한 유/무죄 분류에 있어 두정중심영역과 함께 전두중심영역의 전극 또한 분석대상으로 삼았다는 점에서 의의가 있다. P300-기반 유죄지식검사의 분류법들을 비교한 기존 연구들은 P300 진폭이 가장 크게 나타난다고 알려져 있는 두정영역의 전극의 사건관련전위 데이터를 이용하였다(Abootalebi et al., 2006; Farwell & Donchin, 1991; Mertens & Allen, 2008; Soskins et al., 2001). 본 연구 결과, 두정중심영역과 전두중심영역이 피험자의 유/무죄 여부를 탐지하는 정확도에 있어 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 전두영역의 전극이 두정영역의 전극과 더불어 피험자의 사건관련전위 데이터를 이용하여 유/무죄를 분류하는 기준으로 사용될 수 있는 가능성, 즉 보다 많은 자료를 부트스트랩법을 통한 유/무죄 분류에 이용할 수 있는 가능성을 제시하는 것으로 보인다. 또한 더 많은 전극의 사건관련전위 데이터를 이용할 수 있게 되면,

P300이 아니라 다른 사건관련전위 요인에 기반한 유죄지식검사를 시행하는 경우에도 기존의 분류법을 적용할 수 있을 것으로 보인다. 본 연구의 한계는 다음과 같으며 이를 토대로 후속 연구를 제안한다.

첫째, 유죄집단과 무죄집단을 분류하기 위한 분류기준점의 문제이다. 본 연구에서는 유죄집단을 분류하는 기준점으로 600을, 무죄집단을 분류하는 기준점으로 400을 설정하였다. 그러나 기존 연구들에서는 대개 유죄집단을 분류하기 위해서 기준점을 900, 즉 1,000번의 부트스트랩 중 90%이상이 분류 조건을 만족시키는 지점으로 설정하였다(Abootalebi et al., 2006; Farwell & Donchin, 1991; Mertens & Allen, 2008; Rosenfeld et al., 2004). BCD법을 사용한 Farwell과 Donchin의 연구(1991)는 유죄집단과 무죄집단을 분류하기 위해서 부트스트랩을 100회 실시하였고 이 중 90회 이상, 즉 90% 이상이 목표자극과 탐침자극의 상관인 탐침자극과 무관련자극보다 큰 조건을 만족시키면 유죄로 판단하였다. 무죄집단의 경우 100회 중 조건을 만족시키는 횟수가 30회 미만일 경우 무죄집단으로 분류하였다. 본 연구에서 동일한 기준(900 이상, 300 이하)을 적용하면 BAD법의 경우 유죄집단을 분류하기 위한 기준점을 올려도 유죄집단을 정확히 분류해내는 데는 큰 문제가 없으나 BCD법의 경우 유죄집단 피험자의 상당수가 판정불능으로 탐지되게 된다. 이와 유사하게 무죄집단을 분류하는 기준점을 낮추게 되면 본 연구에서는 무죄집단 피험자를 정확하게 걸러낼 수 없었다. 본 연구에 900, 300 기준을 설정해서 계산한 탐지정확률은 BCD법이 평균 72.7%로 비교적 높았으

나 전체 피험자 24명 중 13명이 판정불능이었고, BAD법 역시 평균 60.0%였으나 판정불능이 9명으로 나타났다. 따라서 적절한 분류기준점 설정이 매우 중요하다고 판단되는데, 이는 연구에서 어떤 패러다임을 사용하느냐에 따라, 혹은 사용한 표본 수에 따라 달라질 수 있는 것으로 보인다. 따라서 유죄지식검사의 분류법이 실제 과학수사 현장에서 적용되기 위해서는 더 많은 연구를 통해 보다 엄정하고 일관적인 기준을 설정하려는 노력을 기울여야 할 것이다.

둘째, 분석구간 및 분류법에 따른 비일관성 문제이다. 본 연구에서 BCD법의 경우 -100ms부터 800ms까지의 구간을 대상으로 자극간 상관을 구해 분류정확도를 계산한 반면, BAD법의 경우 300ms에서 600ms까지의 구간에서 최댓값을 찾은 다음 이를 기저선에서 빼는 방법으로 분류정확도를 계산하였다. 전체 구간을 대상으로, 또 300-600ms 구간만을 대상으로 결과를 도출한 결과 BCD법은 전체 구간을 대상으로 한 결과가 탐지정확률도 높고 판정불능도 낮았던 반면, BAD법의 경우 300-600ms 구간을 대상으로 분석한 결과가 높은 탐지정확률과 낮은 판정불능을 보였다. 이는 어떤 분류법을 사용하고, 어떤 분석구간을 사용하느냐에 따라 결과가 달라질 수 있음을 의미한다. 앞서 언급한 일관적인 분류기준 설정 노력과 마찬가지로, 사건관련전위 기반 유죄지식검사가 실제 과학수사 실무에 이용되려면 검사 종류 및 분석 대상이 되는 구간에 상관없이 일관적인 결과를 도출할 수 있는 분류법을 개발하는 것이 선행되어야 할 것이다. 특히 기존 유죄지식검사의 분류법에 대한 연구는 해외에

서 이루어져 한국어를 이용한 유죄지식검사에 적용하기에는 적합하지 않을 수 있다. 이러한 맥락에서, 한국어를 이용한 유죄지식검사에까지 타당도와 신뢰도가 입증된 분류법이 나오기 전까지는 다양한 분류법들을 동시에 비교하여 유/무죄를 판단하려는 노력이 있어야 할 것으로 보인다. 본 연구에서는 부트스트랩법 중 BCD법과 BAD법만을 이용하여 분석을 진행하였는데, 후속 연구에서는 웨이브렛법이나 베이지안법, 시공간 주성분 분석법 및 SVM법 등 아직 많이 연구되지 않은 분류법들을 이용하여 분석을 진행해볼 수 있을 것이다.

요약하면, 본 연구는 P300-기반 유죄지식검사의 분류법 중 BCD법과 BAD법을 이용하여 탐지정확률을 비교하였다. 그 결과 BCD법이 평균 탐지정확률 73.7%(판정불능 제외)로 피험자의 유/무죄를 탐지하는 데 BAD법보다 효과적인 것으로 나타났으며, 허위부정보다는 허위긍정 오류가 낮게 나타났다. 후속 연구에서는 판정불능 감소 및 일관적인 분류 기준점 설정과 더불어 여러 분류법들의 타당도 및 신뢰도 검증이 필요할 것으로 보인다.

### 참고문헌

- 강기영, 김영운 (2010). 문장을 이용한 P300-기반 유죄지식검사. *한국심리학회지: 사회 및 성격*, 23, 19-41.
- 김영운 (2009). P300-기반 거짓말 탐지 연구. *한국심리학회지: 사회 및 성격*, 23, 111-129.
- 안현철, 김경재, 한인구 (2005). Support Vector Machine을 이용한 고객구매예측모형. *한국지능정보시스템학회논문지*, 11, 69-81.
- 엄진섭, 박광배, 손진훈 (2012). ERP와 동공 반응을 이용한 숨긴정보검사. *감성과학*, 15, 259-268.
- 엄진섭, 한유화, 박광배, 손진훈 (2008). P300 숨긴정보검사의 민감도: 목표자극을 이용하는 측정 패러다임과 두 자극에 대한 범주판단 및 재인검사를 이용하는 측정 패러다임의 비교. *한국심리학회지: 일반*, 27, 653-673.
- Abotalebi, V., Moradi, M. H., & Khalilzadeh, M. A. (2006). A comparison of methods for ERP assessment in a P300-based GKT. *International Journal of Psychophysiology*, 62, 309-320.
- Efron, B. (1979). Bootstrap methods: Another look at the jackknife. *Annals of Statistics*, 7, 1-26.
- Farwell, L. A., & Donchin, E. (1991). The truth will out: Interrogative polygraphy ("lie detection") with event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 28, 531-547.
- Gao, J., Lu, L., Yang, Y., Yu, G., Na, L., & Rao, N. (2012). A novel concealed information test method based on independent component analysis and support vector machine. *Clinical EEG and Neuroscience*, 43, 54-63.
- Gao, J., Yan, X., Sun, J., & Zheng, C. (2011). Denoised P300 and machine learning-based concealed information test method. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 104, 410-417.
- Lui, M., & Rosenfeld, J. P. (2008). Detection of deception about multiple, concealed, mock

- crime items, based on a spatial-temporal analysis of ERP amplitude and scalp distribution. *Psychophysiology*, 45, 721-730.
- MacLaren, V., & Taukulis, H. (2000). Forensic identification with event related potentials. *Polygraph*, 29, 330-343.
- Mertens, R., & Allen, J. J. B. (2008). The role of psychophysiology in forensic assessments: Deception detection, ERPs, and virtual reality mock crime scenarios. *Psychophysiology*, 45, 286-298.
- Picton, T. W. (1992). The P300 wave of the human event-related potential. *Journal of Clinical Neurophysiology: Official Publication of the American Electroencephalographic Society*, 9, 456-479.
- Polich, J. (1989). Frequency, intensity, and duration as determinants of P300 from auditory stimuli. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 6, 277-286.
- Rosenfeld, J. P., Cantwell, B., Nasman, V. T., Wojdac, V., Ivanov, S., & Mazzeri, L. (1988). A modified, event-related potential-based guilty knowledge test. *International Journal of Neuroscience*, 42, 157-161.
- Rosenfeld, J. P., Soskins, M., Bosh, G., & Ryan, A. (2004). Simple, effective countermeasures to P300-based tests of detection of concealed information. *Psychophysiology*, 41, 205-219.
- 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, 173-180.
- Strüber, D., & Polich, J. (2002). P300 and slow wave from oddball and single-stimulus visual tasks: inter-stimulus interval effects. *International Journal of Psychophysiology*, 45, 187-196.
- Verschuere, B., Ben-Shakhar, G., & Meijer, E. (2011). *Memory detection: Theory and application of the concealed information test*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wasserman, S., & Bockenholt, U. (1989). Bootstrapping: Applications to psychophysiology. *Psychophysiology*, 26, 208-221.
- Zhao, M., Zheng, C., & Zhao, C. (2012). A new approach for concealed information identification based on ERP assessment. *Journal of Medical Systems*, 36, 2401-2409.

1 차원고접수 : 2012. 12. 21  
수정원고접수 : 2013. 2. 13  
최종게재결정 : 2013. 3. 10

## A Comparison of Detection Accuracy of P300-based Guilty Knowledge Test: Based on Bootstrap Approach

Eun Kyung Jung

Young Youn Kim

Department of Forensic Psychology, Kyonggi University

We compared detection accuracies of P300-based guilty knowledge test based on 2 bootstrap approaches: bootstrapped correlation difference (BCD) and bootstrapped amplitude difference (BAD). Event-related potential data of the guilty group (n=12) and the innocent group (n=12) in Kang and Kim(2010)'s study were subjected to bootstrap analysis. P300 amplitude from all single sweeps of each of target, probe, and irrelevant stimulus at the parietal midline (Pz) or the frontal midline (Fz) electrode site was collected for each participant. Target stimulus is relevant to the experimental task, but not related to the crime. Participants were asked to discriminate the target stimulus from other stimuli. Probe stimulus includes the critical information of the crime, the guilty knowledge, thus guilty participants are supposed to pay attention to it compared to irrelevant stimulus. Irrelevant stimulus is not relevant to the crime and the task. Two different bootstrap analysis were applied to determine individual's guilt or innocence. BCD method estimated double-centered correlation coefficients between the average of target and probe sweeps, and between the average of probe and irrelevant sweeps for a participant. If the former are greater than the latter in 600 trials out of 1,000 bootstrap iterations, the participant is regarded as guilty. BAD method estimated amplitude difference between probe and irrelevant sweeps, and if the difference is positive, the participant is found to be guilty. As a result, BCD method outperformed BAD method. The detection accuracies, without indeterminacy, of BCD and BAD were up to 80.0%, 56.5%, respectively. It seems that BCD method is more appropriate to determine individual's guilt or innocence, and to get high detection accuracy of the guilty knowledge test using event-related potentials.

*Key words* : guilty knowledge test, event-related potential, P300, detection accuracy, bootstrap