

시간 지연과 오정보 경험이 목격 자극과 비목격 자극에 대한 사건관련전위에 미치는 영향*

김 기 평 정 호 진 김 예 슬 함 근 수[†]
국립과학수사연구원 법심리과

목격자 기억을 조사한 사건관련전위(event-related potentials, ERPs) 연구들은 목격 여부에 따라 친숙성(familiarity)과 의도적 회상(recollection)과 같은 재인 처리를 반영하는 ERP 성분(FN400, LPC)에서 차이가 발생한다고 보고했다. 본 연구는 목격 여부에 따른 FN400과 LPC와 같은 재인 관련 ERP 성분의 차이가 일정 시간의 지연 이후에도 나타나는지, 그리고 오정보의 영향을 받는지 조사했다. 특히, 목격 대상의 속성이 일부 바뀐 변형 자극이 비교자극으로 사용됐을 때에도 시간 지연에 따른 사건관련전위의 차이가 유지되는지 알아보았다. 31명의 20대 성인들을 대상으로 범죄 동영상을 보고 나서 1시간과 2주 지연 이후 재인 과제를 수행하는 동안 뇌파를 수집하여 분석했다. 동영상에 대한 정확한 정보나 오정보는 첫 재인 과제 직전에 제시했다. 중앙 전두 부근에서 관찰되며 친숙성 판단과 관련 있다고 알려진 FN400을 분석한 결과, 변형 자극과 무관한 자극이 목격 자극보다 큰 부정 진폭을 유발했다. 2주의 시간 지연은 자극 유형과 무관하게 부정 진폭을 증가시켰지만, 목격 여부에 따른 FN400의 차이는 유지됐다. 의도적 회상을 반영하는 LPC를 분석한 결과, 목격 자극에 대해 유발된 LPC의 정적 진폭이 변형 자극, 무관한 자극보다 유의하게 높았다. FN400과 다르게 LPC는 시간 지연이 있었음에도 감소되지 않았으며, 목격한 자극에 대해 더 높은 진폭이 관찰됐다. 오정보는 목격 자극에 대한 분류 정확률을 감소시켰지만, 목격 자극이나 비목격 자극에 대한 FN400과 LPC에 어떠한 영향도 미치지 않았다. 이런 결과는 일정한 시간 지연이 있어도 목격한 자극과 비목격 자극의 재인 과정에서 차이가 있음을 보여준다. 목격 단서에 대한 재인처리를 반영하는 ERP 성분(특히 LPC)이 시간 지연이나 오정보의 영향을 적게 받는다는 결과는 추후 목격자들의 기억을 ERP 분석을 통해 평가할 수 있음을 시사한다.

주요어 : 사건관련전위, 목격자 기억, FN400, LPC, 시간 지연, 오정보

* 본 연구는 행정안전부 주관 국립과학수사연구원 과학수사감정기법 연구개발 사업의 지원을 받아 수행되었음(2018-심리-01).

† 교신저자: 함근수, 국립과학수사연구원 법심리과, (26460) 강원도 원주시 입춘로 10
Tel: 033-902-5355, E-mail: ksham@korea.kr

범죄 사건을 수사할 때 목격자들의 기억은 가장 중요한 수사 관련 정보의 원천 중 하나이다. 목격자들을 대상으로 정확한 기억 정보를 효과적으로 수집하려는 방법들을 탐색하는 연구들은 많이 수행됐으나(김미영, 김시업, 2016; Wells, Memon, & Penrod, 2006), 그 기억의 정확성을 평가하려는 시도는 적다. 이는 목격자들을 대상으로 기억 정보를 수집하는 방법이 진술에 크게 의존하기 때문일 것이다. 그렇지만 최근 들어 정확한 기억 인출을 반영하는 신경생리학적 지표들이 발견되면서 목격한 장면과 관련된 대상들을 재인할 때 발생하는 사건관련전위(event-related potentials, ERPs)나 두뇌 활성화의 차이를 조사함으로써 목격 여부를 평가하려는 시도가 이뤄지고 있다(Schacter & Loftus, 2013). 목격자 기억에 대한 선행 ERP 연구들은 목격 여부에 따라 일화 기억 인출과 관련 있는 ERP 성분에서도 진폭 차이가 관찰된다는 것을 보여주었으며(함근수, 김기평, 정호진, 2018), 목격 여부를 ERP(Lefebvre, Marchand, Smith, & Connolly, 2007)나 단일 시행의 뇌파(함근수, 김기평, 정호진, 유성호, 2018)를 이용하여 우연 수준 이상으로 판별할 수 있음을 보여주었다. 이런 결과는 뇌파나 ERP가 사실을 숨기고 진술을 하거나 증상을 속이는 등의 거짓말뿐만 아니라(이민희, 전하정, 손진훈, 엄진섭, 2018; Rosenfeld, Hu, Labkovsky, Meixner, & Winograd, 2013) 목격자들의 기억을 조사하는데 활용할 가치가 충분하다는 것을 시사한다.

단서에 대한 목격 여부를 평가하는 데 사용할 수 있는 심리과학적 접근 방법 중 하나는 해당 단서에 의해 유발된 인출 정보처리를 반영하는 신경생리학적 반응을 조사하는 것이다. 기억의 이중 처리 모델(Atkinson & Juola,

1974)에서는 친숙성(familiarity)과 의도적 회상(recollection)이라는 두 개의 독립된 인출 정보 처리를 제안한다. 친숙성은 ‘안다(know)’ 판단과 관련 있으며, 자극의 친숙함을 고려하여 자동적이고 무의식적으로 목격 여부를 판단하는 재인 처리이다. 의도적 회상은 ‘기억한다(remember)’ 판단과 관련이 있으며, 해당 단서와 연관 있는 세부적인 맥락 정보들에 대한 인출을 포함하는 의식적인 재인 과정이다(Yonelinas, 1994). 친숙성과 의도적 회상이 구분되는 재인 정보처리임을 지지하는 ERP 연구들은 친숙성 판단은 전두 부적 성분(frontal negativity, FN400)과 관련이 있으며, 의도적 회상은 후기 정적 성분(late positive component, LPC)과 관련이 있음을 보여주었다(Rugg & Curran, 2007). 선행 연구들은 목격 여부에 따라 재인 관련 ERP 성분에 차이가 발생한다는 것을 보여주는데, 이를 old/new 효과라고 부른다. Old/new 효과는 단어(Stroczak et al., 2016), 사진(Curran & Cleary, 2003), 얼굴(Curran & Hancock, 2007) 등 다양한 재료를 사용한 재인 과제에서 보고되었고, 부호화와 인출 재료의 자극 양식(modality)을 다르게 사용했을 때, 예를 들어 소리로 부호화한 자극을 시각적인 단어 자극으로 재인할 때도 나타났다(Boldini, Beato, Cadavi, 2013; Griffin et al., 2013).

FN400 성분은 중전두(mid-frontal) 부근에서 단서 제시 후 약 300~500ms에서 관찰된다. 구체적으로, 목격한 대상을 목격했다고 정확하게 분류하는 적중(hit) 조건보다 목격하지 않은 대상을 목격하지 않았다고 분류하는 정확 기각(correct rejection) 조건에서 상대적으로 부적 진폭이 높게 유발된다(Stroczak, Bird, Corby, Frishkoff, & Curran, 2016). 이렇게 FN400 성분에서 목격 자극과 비목격 자극의 차이가 관

찰되는 것을 전극의 위치를 고려하여 전두 old/new 효과라고 부른다. FN400이 친숙성과 연결되는 이유는 이 성분의 진폭이 적중 시행에서 맥락적 세부사항의 영향을 받지 않고 (Friedman, 2004), ‘안다(과거에 본 것 같다는 느낌)’나 ‘기억한다(봤다는 것을 자세하게 기억함)’ 반응에서 진폭 차이를 보이지 않기 때문이다(Trott et al., 1999). 즉, 기억 대상에 대해 보유하고 있는 정보의 양에 따라 FN400의 진폭이 다르게 나타나지 않는다는 점에서 친숙성과 연결된다. 또한, 목격 대상과 유사성이 높은 다른 자극(목격하지 않음)과 진폭 차이가 관찰되지 않을 때도 있다(Curran, 2000). 이런 FN400의 신경 실질(correlates)로는 배외측 전전두 피질을 포함하는 전전두엽이 제안된다. fMRI와 EEG를 동일한 참가자에게 측정한 연구에서 FN400(350~500ms) 크기에 따라 활성화 수준이 변화하는 두뇌 영역으로 전전두 피질, 특히 배외측 전전두피질이 발견되었으며(Herzmann, Jin, Cordes, & Curran, 2012; Hoppstadter, Baeuchl, Diener, Flor, & Meyer, 2015), 손상환자 연구에서는 전전두 피질의 손상이 친숙성 판단의 결함과 관련이 있었다(Aly, Yonelinas, Kishiyama, & Knight, 2011).

LPC 성분은 두정 부근에서 단서 제시 후 약 400~700ms 사이에 관찰되며, 유사한 항목들이 제시되어도 목격한 항목들에서만 유의하게 높은 진폭이 유발된다(Curran, 2000). 이를 두정 old/new 효과라고 부른다. LPC는 원 정보(source information)에 대한 기억이 명확한 자극일수록 진폭이 더 높게 유발되는 경향이 있어 의도적 회상 정보처리와 연결된다(Addante, Ranganath, & Yonelinas, 2012). 연구들에 따르면, LPC는 FN400과 달리 인출된 정보의 양이 많을수록 진폭이 높게 유발되는 경향이 있고

(Finnigan, Humphreys, Dennis, & Geffen, 2002), ‘기억한다’ 반응에서 ‘안다’ 반응보다 진폭이 더 높다(Trott et al., 1999). 외현 기억의 손상을 보이는 기억 상실증(amanesia) 환자들의 경우 재인 검사 동안 FN400은 정상 통제군과 차이가 없었으나, LPC는 감소하는 양상을 보인다(Olichney, Paller, Salmon, Irarui, & Kutas, 2000). LPC의 신경 실질로는 해마방회(parahippocampal gyrus)가 제안되는데, EEG-fMRI 연구에서 이 영역의 활성화 정도가 LPC(580~750ms)와 관련이 있었고, 국소원 분석(source localization)을 시도한 연구에서 목격 자극을 정확하게 식별할 때 해마방회에서 유의미한 활동성이 증가했다는 보고가 있었다(Kiar & Belli, 2017).

기억 정보에 대한 재인 정보처리를 반영하는 ERP 성분들이 발견되면서, 목격자들을 대상으로 이들 ERP 성분을 분석하여 목격 여부에 따른 차이를 조사하는 연구도 수행되었다(함근수, 김기평, 정호진, 2018; Lefebvre et al., 2007). 예를 들어, Lefebvre 등(2007)은 모의 범죄 동영상에서 목격한 범인에 대해서 더 높은 진폭의 LPC가 유발되는 것을 발견했다. 이런 차이는 동영상을 목격하고 나서 1주일 이후에 진행된 ERP 실험에서도 발견되었다. 다음으로, 함근수, 김기평, 정호진(2018)은 절도 범죄 동영상에서 목격할 수 있었던 주요 물건들을 실험 자극으로 이용하여 사진(실험 1)과 색상 및 형태를 묘사하는 단어들 포함 단어구(실험 2)의 형태로 제시하고 목격 여부에 따른 FN400과 LPC의 차이를 분석했다. 그 결과 목격하지 않은 물건과 목격한 물건을 사진으로 제시했을 때는 전두 old/new 효과가 발견되었고, 단어구로 제시했을 때는 두정 old/new 효과가 관찰됐다. 이런 연구 결과들은 제시되는 기억 단서의 재료(예, 사진, 단어)와 무관하게,

목격자들을 대상으로 기억 단서에 대한 FN400이나 LPC 진폭의 차이를 조사하여 목격 여부를 구분할 수 있음을 시사한다.

본 연구에서는 목격하거나 목격하지 않은 물건을 단서로 제시했을 때 발생하는 ERP를 분석하여 신경생리학적 반응을 목격 여부 판별에 활용할 수 있는지에 관한 타당성을 검증하고자 한다. 목격자 기억을 연구한 몇몇 ERP 연구들은 목격 여부에 따른 ERP의 차이를 조사하는데 중점을 두었다(함근수, 김기평, 정호진, 2018). 하지만, 현실적으로 목격자들이 목격 후 사건과 관련 있는 정보를 수사기관에 제공하기까지는 일정 시간의 지연이 발생할 수 있다. Lefebvre 등(2007)의 연구에서 범인 사진과 범죄와 관련 없는 사람의 사진에 대해 LPC의 차이가 발생하는 두정 old/new 효과가 1주일 이후에도 유지되는 것을 관찰했지만, 목격한 대상과 비교 대상의 유사성을 고려하지 않았다. 하지만 자극들 간 유사성은 뇌파를 이용한 검사의 탐지율에 영향을 미치는 변인이다(엄진섭, 전하정, 손진훈, 2018). 따라서 본 연구에서는 목격 대상과 유사하지만 목격하지 못한 비목격 자극을 포함하여 재인 검사를 구성하고 시간 지연의 효과를 검증했다. 즉, 목격 자극과 유사한 자극을 비교 자극으로 제시했을 때, 시간 지연이 전두 old/new 효과나 두정 old/new에 미치는 효과를 검증함으로써 뇌파를 이용한 목격자 기억 식별 검사의 타당성을 재검증하고자 한다.

또한, 본 연구는 부호화 이후 경험한 오정보가 재인 동안 유발되는 ERP에 미치는 영향도 조사하였다. 목격 후 진술까지 지연 시간을 보내는 동안 목격자들은 언론, 수사기관 혹은 다른 외부 요인으로 인해 오정보를 경험할 가능성이 있다. 이는 시간 지연과 오정보

경험의 효과를 동시에 검증할 필요가 있음을 보여준다. 하지만 선행 연구들은 시간 지연의 효과나 오정보의 효과를 독립적으로 살펴 보았다. 오정보는 목격 자극에 대한 LPC를 감소시킬 수 있는데(Meek, Phillips, Boswell, & Vendemia, 2013), 이런 효과가 목격 자극보다 오정보 경험 후 짧은 지연을 두고 재인 검사를 진행했기 때문에 발생했을 수 있다. 즉, 최신 기억인 오정보의 효과가 과대 평가될 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 오정보 경험 후 시간이 지연되었을 때도 오정보 효과가 나타나는지 확인하고자 한다. 또한, Meek 등(2013)의 연구는 진술문에서 제거된 단서를 회상해야 하는 과제를 사용했는데, 일반적으로 수사 장면에서 목격자들의 기억을 평가할 때는 단서 회상보다 재인 절차가 사용된다. 각각의 단서(예, 물건)를 보여주고 봤는지 혹은 보지 못했는지 질문하는 것이다. 그리고 재인이 단서 회상보다 비교적 쉬우므로(Allan & Rugg, 1997), 재인 검사 패러다임에서는 오정보의 영향이 적을 수 있다. 본 연구는 재인 과제를 수행하는 동안 오정보를 경험한 집단과 정확한 정보만을 경험한 집단을 대상으로 2주 간격을 두고 수집한 ERP를 비교하고자 한다. 오정보를 경험하고 2주의 지연 이후 재인 검사에서 오정보 효과를 평가하고자 한다.

정리하면, 본 연구는 범죄 재연 동영상에서 목격한 물건을 재인하는 동안 발생하는 인출 관련 ERP 성분(FN400, LPC)의 차이를 살펴보고자 한다. 첫째, 목격 여부에 따라 발생하는 FN400과 LPC의 전위차이가 2주의 시간 지연 후에도 유지되는지 확인하고자 한다. 둘째, 첫 번째 재인 과제 직전에 경험한 오정보가 2주 지연 후 재인 검사에서 FN400이나 LPC에 미치는 영향을 조사하고자 한다. 이를 통해, 인

출 처리를 반영하는 신경생리학적 반응에 영향을 미치는 외부 요인(예, 오정보, 시간 지연)의 효과를 확인하고, 목격자들의 기억을 식별하기 위한 도구로서 ERP의 효용성을 규명하는데 정보를 제공하기를 기대한다.

연구방법

참가자

강원도 지역에 위치한 대학교들의 온라인 커뮤니티에 심리학 실험 참가자를 모집하는 게시글을 통해 자발적으로 참여 의사를 밝힌 43명(정확정보 집단 21명, 오정보 집단 22명)의 성인을 대상으로 자료를 수집했다. 참가자들은 무선적으로 실험 조건에 할당되었고, 뇌파 검사 직전에 집단에 따라 각기 다른 처치를 받았다. 이들 중 2회기의 실험에 모두 참여한 38명의 자료를 분석했으며, 분석 요건(뇌파 기록 및 전처리 참고)을 충족시킨 31명(정확정보 집단 13명, 오정보 집단 18명)의 자료가 최종 분석에 사용되었다(평균 연령: 22.26 ± 2.42 세; 남성 17명, 여성 14명). 분석 대상자와 제외된 참가자들 간 심리적 특성(digit span, 손잡이)과 행동 반응(정확률, 적중률, 정확 기각률)에서 차이는 없었다(p range: 0.09 ~ 0.92).

참가자들은 2회기에 걸쳐 실험 전에 동의서에 자필로 서명했으며, 2회기의 실험이 모두 종료된 후 10만원의 사례비를 지급받았다. 대학원에서 심리평가 수업을 이수했고, 임상심리사 2급 자격을 가진 실험자 한 명이 참가자들의 정신의학적 장애를 한국판 Mini-International Neuropsychiatric Interview(유상

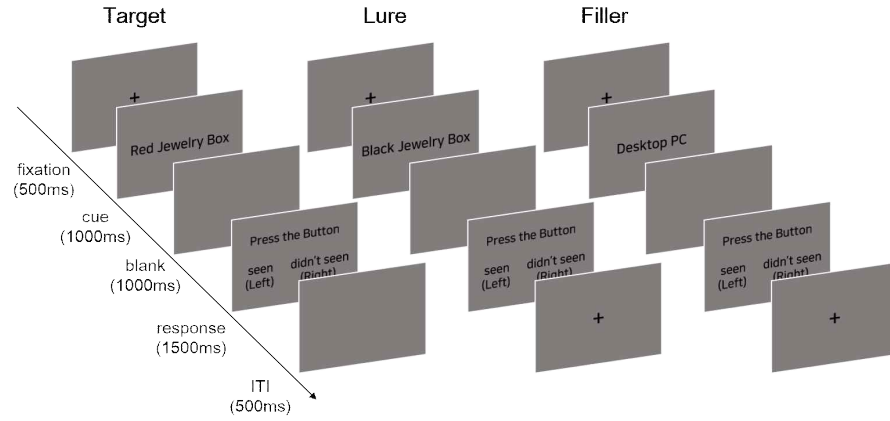
우 등, 2006)를 이용하여 평가했으며, 이 면담에서 정신의학적 장애의 병력을 보고한 사람은 없었다. 본 연구는 국립과학수사연구원의 기관윤리심의위원회(IRB)의 승인을 받고 진행되었다.

실험 재료 및 재인 과제

본 연구에서 부호화를 위해 선행 연구(함근수, 김기평, 정호진, 2018)에서 사용한 절도 범 죄 재연 동영상을 사용했다. 동영상의 내용은 남성 3명이 아파트 창문을 열고 가정집에 침입하여 귀금속과 현금을 훔치고 도주한 후, 훔친 귀금속을 금은방에 판매하는 장면으로 구성되어 있다. 실험 종료 후 해당 동영상을 본 적이 있었다고 보고한 참가자들은 없었다. 이 동영상에서 목격할 수 있었던 물건들 중에서 10개의 목격 자극(target)을 선정하여 재인 과제에 사용했다(예, 빨간 보석함, 금색 반지). 비목격 자극으로는 목격 자극의 속성 중 색이나 형태를 변형한 변형 자극(lure)을 10개(예, 검정 보석함, 다이아 반지), 동영상에서 전혀 목격하지 못했던 무관련 자극(filler)을 10개 선정했다(예, 흰색 선풍기, 정수기). 즉, 총 30개의 자극을 재인 과제에 사용했다. 이 자극들을 세 개의 리스트(리스트마다 10개씩 배정)에 무선적으로 할당했으며, 한 실험 자극은 세 실험 구획 중 하나에서만 제시되었다.

참가자들은 뇌파를 기록하는 동안 Stim2 (Neuroscan, Compumedics) 프로그램을 이용하여 구현된 재인 과제를 수행했다(Figure 1A). 재인 과제는 총 3개의 구획(block)으로 구성되었으며, 구획마다 10개의 실험 자극들이 무선적으로 10회에 걸쳐 제시되었으며, 두 번 이상 연속으로 제시되지 않도록 자극 제시 순서를 조

A. Recognition Task



B. Experimental Procedure

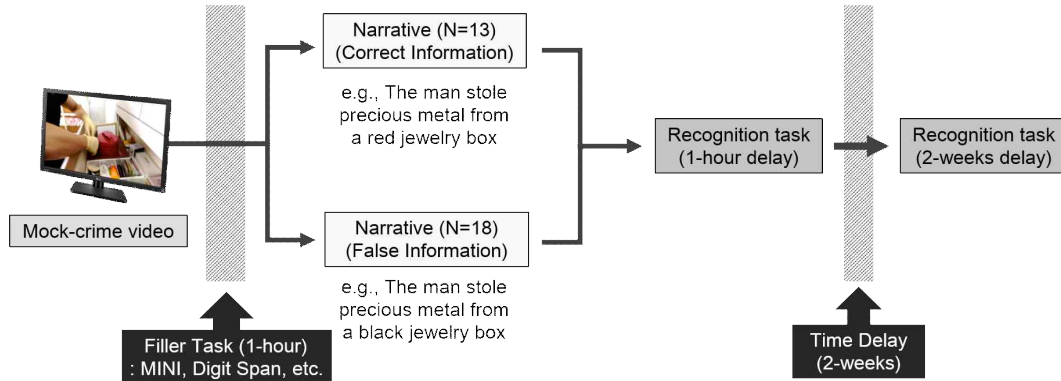


Figure 1. Overview of the (A) recognition task and (B) experimental procedure

작했다. 본 연구에서는 버튼을 누를 때 유발될 수 있는 움직임 관련 전위(movement-related potentials)의 영향을 최소화하기 위해서 단서 제시 구간과 반응 버튼을 누르는 구간을 분리했다(Hallett, 1994). 세부적인 자극 제시 절차는 다음과 같다. 화면의 정중앙으로 참가자들의 주의를 끌기 위해 고정점(+)이 500ms 동안 제시된 후 기억 단서가 1000ms 동안 제시되었다. 참가자들은 단서가 사라지고 빈화면이 나타나는 1000ms 동안 해당 기억 단서를 목격했는지 여부를 판단한 후, 반응을 안내하는 화

면이 제시되었을 때 목격 여부에 따라 지정된 반응 버튼을 눌렀다. 반응 버튼은 1500ms 내로 눌러야만 했으며, 그 시간 동안 반응하지 못했다면 해당 시행은 오답 시행으로 간주되고 다음 시행으로 넘어갔다.

정확정보/오정보 경험

참가자들은 정보 조건(정확정보, 오정보)에 따라 첫 회기의 뇌파 과제 직전에 절도 범죄 사건을 기술한 문장들을 읽었다. 정확정보 조

건의 참가자들(N=13)에게는 동영상에서 목격할 수 있었던 장면이 정확하게 묘사된 문장(예, 남자가 서랍에서 빨강 보석함을 발견했다)을 보여주었고, 오정보 조건의 참가자들(N=18)에게는 동영상에서 목격한 장면과 다른 물건을 묘사하는 문장(예, 남자가 서랍에서 검정 보석함을 발견했다)을 보여주었다. 총 10개의 문장이 각각 5초 동안 제시되었다.

실험 절차

실험 절차에 대한 요약이 Figure 1B에 제시되어있다. 첫 회기 시작 전에 면담실에 도착한 참가자들은 실험을 진행하기에 앞서 실험에 대한 설명을 듣고 동의서를 작성했다. 참가자들이 실험 자극들에 대해 특정 전략을 사용하여 부호화하거나 의도적으로 시연(rehearsal)하는 것을 통제하기 위해, 연구의 목적을 절도 범죄의 해석을 위한 것으로 설명했으며, '기억'과 연관된 표현은 사용하지 않았다. 동의서를 작성한 참가자들은 방음 시설이 마련된 실험실로 이동하여 절도 범죄를 재연한 동영상을 보았다. 다음으로 뇌파 검사를 앞두고 일정 시간 지연을 두기 위해 약 1시간 동안 MINI 면담, WAIS-R의 숫자 외우기(digit span), 손잡이 측정을 위한 에든버러 손잡이 검사(Oldfield, 1971) 등 본 연구의 목적과 무관한 과제(filler task)를 수행했다. 본 연구의 분석 대상자들은 모두 오른손 우세성을 가진 사람들로 나타났다. 다음으로 참가자들은 차폐 시설이 마련된 뇌파실로 이동하여 뇌파 실험에 대한 안내를 듣고 전극이 부착된 모자를 착용했다.

뇌파실에서 참가자들은 27인치 LCD 모니터에서 60cm 떨어진 의자에 앉아 진술문을 읽는

과제와 재인 과제를 수행했다. 재인 과제를 진행하기 전 참가자들에게 모니터에 나타나는 물건을 절도 범죄 동영상에서 목격했는지 여부에 따라 지정된 반응 버튼을 누르도록 안내했다. 참가자들 중 절반은 기억 단서를 목격했다면 왼손 엄지로 반응 버튼을 누르고, 목격하지 않았다면 오른손 엄지로 반응 누르도록 안내했다. 나머지 절반은 목격한 자극은 오른손으로, 목격하지 않은 자극은 왼손을 이용하여 버튼을 누르도록 안내했다. 재인 과제는 총 3개의 구획으로 구성되었으며, 참가자들의 피로를 고려하여 한 구획을 마치고 5분의 휴식 시간을 가진 후 다음 구획을 진행하였다. 모든 과제를 마치는데 약 40분 정도 소요됐다.

참가자들은 첫 회기를 마치고 나서 2주 후 동일한 시간에 재방문했다. 두 번째 재인 과제를 진행하기에 앞서 실험 동의서를 작성하고 뇌파실로 이동하여 전극이 부착된 모자를 착용한 후 재인 과제를 진행했다.

뇌파 기록과 전처리

재인 과제를 수행하는 동안 EEG는 국제 10-20 시스템에 따른 64개의 전극 부위에서 초당 500번 기록되었다. EEG를 기록하는 동안 Cz 전극에서 후측(posterior)으로 1cm 떨어진 곳에 있는 전극을 참조(reference) 전극으로 사용했으며, 실험 종료 후 좌-우 유양돌기(mastroid)의 신호의 평균값을 계산하여 재참조(re-reference)된 신호를 뇌파 분석에 사용했다. 뇌파에 영향을 미칠 수 있는 눈 깜빡임(blink)을 기록하기 위해 수직 안전도(vertical electrooculogram, vEOG) 기록 전극을 왼쪽 눈썹 위와 눈 밑에 부착했으며, 미세한 도약 안구

움직임(saccadic)을 기록하기 위해 수평 안전도(horizontal electrooculogram, hEOG) 기록 전극을 좌우 눈썹 옆에 부착했다. 뇌파 실험 동안 vEOG와 hEOG의 전극 저항은 10k Ω 이하를 유지했으며, 그 외 나머지 전극들의 저항은 5k Ω 이하를 유지하였다.

EEG의 전처리에는 Curry7(Compumedics, Neuroscan)을 이용하여 이뤄졌다. 먼저, 참가자들의 전체 뇌파 기록을 시각적으로 검토하여 실험 도중 과도한 움직임이나 근육 긴장으로 인한 잡파(artifact)들이 발생한 구간을 지정했다. 제외된 구간을 포함하고 있는 시행의 뇌파는 사건관련전위 분석에서 사용되지 않았다. 다음으로 뇌파 신호에서 butterworth infinite impulse response(4th order)를 이용하여 0.3~30Hz 대역의 신호만 부분적으로 여과했다(Tanner, Morgan-Short, & Luck, 2015). 이후 눈 깜빡임(blink)으로 인한 왜곡된 뇌파를 Semlitsch 등(1986)이 제안한 통계적 절차를 통해 교정했다. 이 방법은 눈 깜빡임이 관찰되는 구간에서 EOG와 뇌파의 상관을 최소화하는 회귀 분석을 수행함으로써 눈 깜빡임으로 인한 뇌파의 왜곡을 감소시킨다.

다음으로, 잡파와 눈 깜빡임의 영향을 어느 정도 제거한 뇌파를 이용하여 목격 자극, 변형 자극, 그리고 무관련 자극을 정확하게 분류한 시행의 사건관련전위를 계산하기 위해, 모든 조건의 시행마다 기억 단서가 제시되기 전 200ms부터 제시 후 1000ms까지 총 1200ms 구간을 분리했다. 그리고 매 시행마다 기억 단서 제시 전 200ms부터 자극 제시 시점(0ms)까지 뇌파 신호의 평균을 계산하여 기준선(baseline)을 보정했다. 마지막으로, 각 자극 유형마다 뇌파 구간(-200~1000ms)에서 최대 혹은 최소 전위가 75 μ V를 초과하는 시행을 제외

하고 남은 뇌파 시행들을 평균하여 ERP를 산출했다. 이때 한 조건이라도 분석기준을 충족한 시행 수가 20개 미만인 자료는 신뢰할 수 있을 만한 ERP를 계산하기 어렵다고 판단하여 분석에서 제외했으며(Cohen & Polich, 1997), 이 기준을 충족시키지 못한 7명의 자료가 최종 분석에서 제외되었다.

자료 분석

행동 분석은 목격 자극, 변형 자극, 그리고 무관련 자극에 대한 반응 정확률에 대해 수행되었다. 구체적으로, 3(자극 유형: 목격 자극 vs. 변형 자극 vs. 무관련 자극) \times 2(시간 지연: 1시간 후 vs. 2주 후) \times 2(집단: 정확정보 집단 vs. 오정보 집단) 반복 측정 변량분석(repeated measure ANOVA)을 수행했다. 집단은 피험자 간 변인에 포함되었고, 시간 지연과 자극 유형은 피험자 내 변인에 포함되었다.

다음으로 참가자들이 2회에 걸쳐 진행된 제1인 과제를 통해 목격 자극, 변형 자극, 그리고 무관련 자극을 정확하게 반응한 시행들의 평균 ERP를 이용하여 FN400과 LPC 성분의 진폭 차이를 검증했다. 본 연구에서 FN400 성분을 분석하기 위해 중앙 전두 부근의 전극(F_z)에서 300~500ms 구간의 평균 진폭을 계산하여 사용했으며, LPC 성분은 중앙 두정 부근의 전극(P_z)에서 500~700ms 구간의 평균 진폭으로 계산되었다. 이렇게 계산된 FN400 성분과 LPC 성분 측정치에 대해 행동분석과 동일하게 3(자극 유형) \times 2(시간 지연) \times 2(집단) 반복측정 변량분석을 수행했다. 반복측정 변량분석에서 구형성 가정이 위배되었을 때를 고려하여 Greenhouse-Geisser 방법으로 유의도를 교정한 p 값을 이용하여 유의 여부를 판단했다. 연구

결과에서 자유도는 구형성이 가정된 값으로 기술하였다.

결 과

인구통계학적 및 인지 특성

본 연구에 참여한 정확정보 집단과 오정보 집단의 심리적 특성이 Table 1에 제시되어 있다. 집단 간 연령, 손잡이 특성, 작업 기억 용량을 독립표본 t 검증을 이용하여 비교했을 때, 유의미한 차이를 보이는 특성은 발견되지 않았다. 성별 분포에서 오정보 집단은 남성과 여성의 수가 각각 8명, 10명으로 큰 차이가 없었으나, 정확 정보 집단에서는 남성이 여성보다 2배 이상 많았다. 그러나 교차검증을 수행했을 때, 집단에 따른 성별 분포의 차이는 유의하지 않았으며, 심리적 특성에서 유의한 성차도 발견되지 않았다(Table 1).

행동 측정치 결과

2주의 지연이 포함된 실험에서 참가자들이

기억 단서들에 대해 정확하게 반응한 비율(정확률)과 반응시간이 Table 2에 제시되어 있다. 정확률에 대한 변량분석 결과, 자극 유형의 주효과가 유의했는데($F(2, 58)=80.06, p<.001, \eta_p^2=.73$), Bonferroni 교정을 적용한 사후 검정 결과, 무관련 자극($M=.97$)이 정확률이 가장 높았으며, 변형 자극($M=.87$), 목격 자극($M=.71$) 순이었다. 시간 지연과 오정보의 주효과는 유의하지 않았다(시간 지연: $p=.67$; 오정보: $p=.68$). 자극 유형과 집단 간 상호작용 효과는 유의미한 것으로 나타났다($F(2, 58) = 6.83, p=.005, \eta_p^2=.19$). 자극 유형을 구분하여 정확률에 대한 집단의 단순 주효과를 살펴봤을 때, 오정보를 제공받은 집단($M=.66$)이 정확정보를 제공받은 집단($M=.78$)보다 목격 자극에 대한 정확률만 유의미하게 낮았다($p=0.04$). 변형 자극이나 무관련 자극에 대해서는 집단 간 정확률의 차이가 유의하지 않았다(변형 자극: $p=.76$; 무관련 자극: $p=.06$).

반응시간을 분석했을 때, 자극 유형의 주효과($F(2, 58)=5.74, p=.005, \eta_p^2=.17$)와 시간 지연의 주효과가 유의했다($F(1, 29)=13.99, p<.001, \eta_p^2=.33$). 또한 자극 유형×시간 지연의 상호작용

Table 1. Participant characteristics

	CI Group (n=13)		FI Group (n=18)		$t(\chi^2)$	p
	M	SD	M	SD		
Age (years)	21.85	1.41	22.50	2.96	-.74	.47
Handedness (EHI)	84.23	24.05	81.67	16.54	.35	.73
Digit span	19.92	3.50	19.39	4.67	.35	.73
Forward	11.31	1.38	10.39	2.48	1.32	.20
Backward	8.62	2.50	9.00	2.63	-.41	.69
Gender (Male/Female)	9/4		8/10		1.87	.28

Note. CI group: Correct information group, FI group: false information group. EHI: Edinburgh handedness inventory.

Table 2. Mean (SD) accuracy and reaction time (ms) of recognition task as a function of stimulus type, time delay, and group

		Target		Lure		Filler	
		1-hour delay	2-weeks delay	1-hour delay	2-weeks delay	1-hour delay	2-weeks delay
CI Group (n=13)	ACC	.78 (.12)	.74 (.14)	.85 (.17)	.89 (.12)	.96 (.12)	.92 (.12)
	RT	263.77 (37.76)	257.76 (49.27)	290.00 (51.37)	267.30 (48.55)	281.79 (57.03)	273.39 (41.46)
FI Group (n=18)	ACC	.66 (.10)	.67 (.14)	.87 (.09)	.88 (.06)	1.00 (.00)	.99 (.03)
	RT	279.91 (48.05)	248.01 (48.23)	291.42 (49.36)	255.24 (49.37)	292.56 (48.89)	267.10 (58.60)

Note. CI group: correct information group, FI group: false information group, ACC: accuracy, RT: reaction time.

용도 유의한 것으로 나타났다($F(2, 58)=3.17$, $p=.049$, $\eta_p^2=.10$). 집단의 주효과는 유의하지 않았다($p=.99$). 시간 지연을 구분하여 자극 유형의 단순 주효과를 검증했을 때, 1시간 지연 후 진행된 검사에서는 목격 자극에 대한 반응 속도($M=271.84$)가 변형 자극($M=290.71$), 무관련 자극($M=287.18$)보다 빨랐다($p=.03$). 변형 자극과 무관련 자극에 대한 반응 속도는 차이가 없었다($p=.48$). 2주의 지연 후에는 목격 자극($M=252.88$)과 무관련 자극($M=270.25$) 간 반응 속도의 차이만 유의했으며($p=.01$), 변형 자극($M=261.27$)과 유의한 차이를 보이지 않았다($p=.36$). 변형 자극과 무관련 자극에 대한 반응속도는 차이가 없었다($p=.14$). 즉, 2주의 지연 후 변형 자극에 대한 반응 속도가 상대적으로 빨라진 것으로 보인다. 자극 유형을 구분하여 시간 지연의 단순 주효과를 검증했을 때, 세 자극 유형에 대한 반응 속도가 모두 2회기에서 빨라진 것으로 나타났다(목격 자

극: $p=.01$, 변형 자극: $p<.001$, 무관련 자극: $p=.02$).

사건관련전위 결과

시간 지연과 오정보가 FN400(300~500ms)에 미치는 영향

정확정보 집단과 오정보 집단을 대상으로 1시간 지연과 2주 지연 후 동영상에서 목격한 자극과 목격 자극의 일부 속성이 변형된 자극, 그리고 목격하지 않은 자극을 제시했을 때 Fz 전극에서 기록된 사건관련전위가 Figure 2에 제시되어있다.

FN400 성분에 대한 자극 유형, 시간 지연, 집단의 효과를 분석한 결과는 Table 3에 요약되어 있다. 먼저, 자극 유형의 주효과가 유의했다($F(2, 58)=6.43$, $p=.003$, $\eta_p^2=.18$). Bonferroni 교정을 적용한 사후 검정 결과 FN400의 부적 진폭은 목격 자극($M=-2.13$)보다 변형 자극

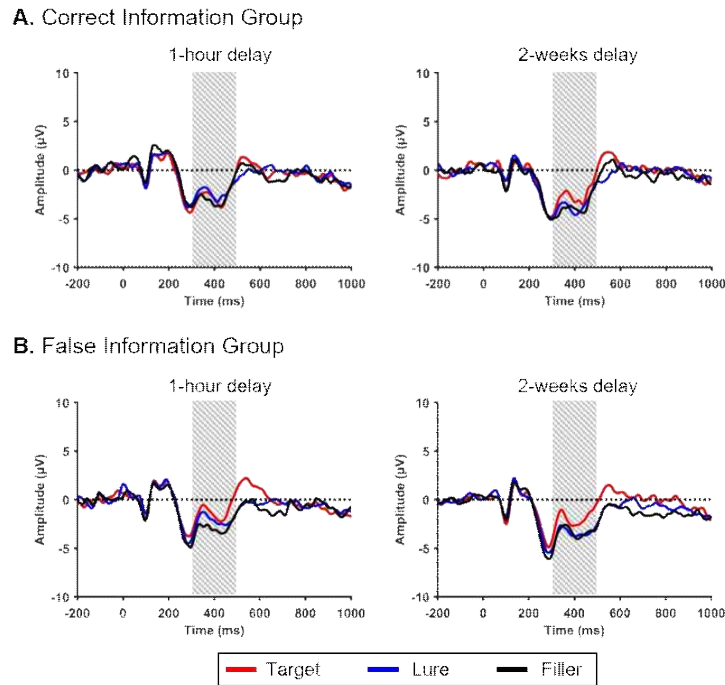


Figure 2. Grand average ERP for each stimulus type across two session at Fz electrode for the (A) correct information (N=13) and (B) False information group (N=18).

($M = -2.88$)이나 무관련 자극($M = -3.23$)에서 유의하게 컸다(목격 자극 vs 변형 자극: $p = .04$; 목격 자극 vs 무관련 자극: $p = .02$). 무관련 자극과 변형 자극의 차이는 유의하지 않았다($p = .21$).

다음으로 시간 지연의 주효과도 유의했는데 ($R(1, 29) = 14.65$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .34$), 1시간 이후 진행된 과제에서 유발된 FN400($M = -2.35$)보다 2주 지연 이후 진행된 재인 과제에서 유발된 FN400($M = -3.14$)의 부적 진폭이 컸다($p < .05$). 집단에 따른 FN400의 차이는 유의하지 않았다($p = .74$). 상호작용 효과를 살펴봤을 때 자극 유형과 시간 지연 간 상호작용 효과의 경향성이 관찰되었지만, 통계적으로 유의하지는 않았다($R(2, 58) = 3.27$, $p = .055$, $\eta_p^2 = .10$).

시간 지연과 오정보가 LPC(500~700ms)에 미치는 영향

정확정보 집단과 오정보 집단을 대상으로 1시간 지연과 2주 지연 후 동영상에서 목격한 자극과 목격 자극의 일부 속성이 변형된 자극, 그리고 목격하지 않은 자극을 제시했을 때 Pz 전극에서 기록된 사건관련전위가 Figure 3에 제시되어있다.

LPC 성분에 대한 자극 유형, 시간 지연, 집단의 효과를 분석한 결과가 Table 4에 요약되어 있다. LPC 분석 결과 자극 유형의 주효과만 유의한 것으로 나타났는데($R(2, 58) = 30.85$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .52$), Bonferroni 교정을 적용하여 사후 검정을 수행했을 때 변형 자극($M = 3.46$)이나 무관련 자극($M = 3.37$)보다 목격 자극

Table 3. Results of the three-way repeated measured ANOVA on FN400 amplitude following the Greenhouse-Geisser correction

Effects	<i>df</i>	<i>MS(MSE)</i>	<i>F</i>	η_p^2
Stimulus Type (A)	2	19.18(3.32)	6.43 [*] ^a T>L=F	.18
Time Delay (B)	1	14.65(1.93)	14.65 ^{**} ^b 1H>2W	.34
Group (C)	1	6.59(57.98)	.11	.00
A×B	2	3.27(1.05)	3.10 [†]	.10
A×C	2	4.32(3.32)	1.30	.04
B×C	1	.12(1.93)	.06	.00
A×B×C	2	1.23(1.05)	1.17	.04

^aT: Target, L: Lure, F: Filler, ^b1H: 1-hour delay, 2W: 2-weeks delay

[†] $p < .10$ ^{*} $p < .05$, ^{**} $p < .01$, ^{***} $p < .001$

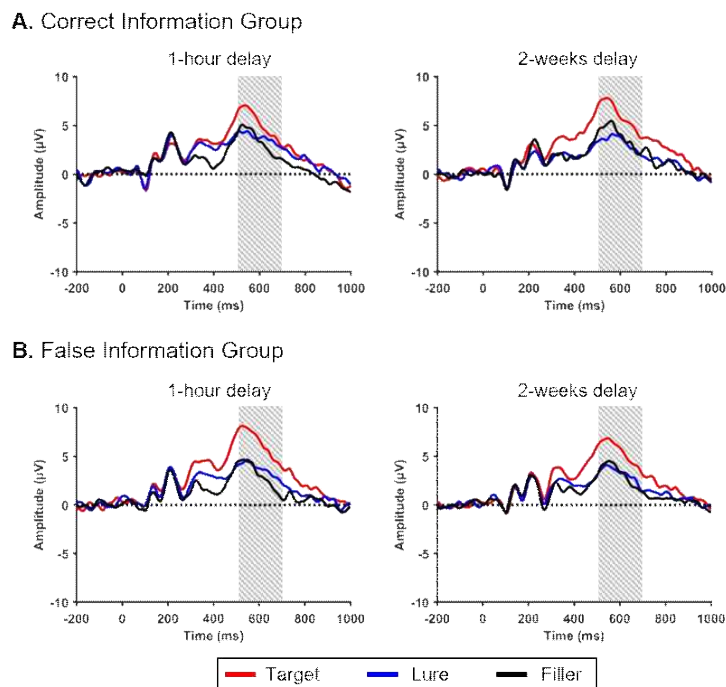


Figure 3. Grand average ERP for each stimulus type across two session at Pz electrode for the (A) correct information (N=13) and (B) False information group (N=18).

Table 4. Results of the three-way repeated measured ANOVA on LPC amplitude following the Greenhouse-Geisser correction

Effects	<i>df</i>	<i>MS(MSE)</i>	<i>F</i>	η_p^2
Stimulus Type (A)	2	126.13(4.09)	30.85*** *T<L=F	.52
Time Delay (B)	1	6.33(4.44)	1.43	.05
Group (C)	1	.13(29.71)	.00	.00
A×B	2	1.12(2.37)	.47	.02
A×C	2	3.39(4.44)	.76	.03
B×C	1	15.58(6.46)	2.41	.08
A×B×C	2	4.30(2.37)	1.81	.06

^aT: Target, L: Lure, F: Filler

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

($M=5.78$)이 유의하게 정적으로 큰 LPC를 유발한 것으로 나타났다($p < .001$).

논 의

본 연구는 범죄 목격자들을 대상으로 ERP old/new 효과를 조사하여 오정보나 시간 지연이 재인 동안 유발되는 ERP에 미치는 효과를 알아보고자 했다. 범죄 동영상을 목격하고 정확한 정보를 제공받은 집단과 오정보를 제공받은 집단을 대상으로 1시간과 2주의 시간 지연 후 목격 여부에 따른 기억 단서에 대한 ERP의 차이를 검증했다. 동영상에서 목격했던 단서를 정확 정보로 제시했을 때보다 일부 속성이 변형된 단서를 오정보로 제시했을 때 목격 자극에 대한 분류 정확률이 감소하는 것이 관찰되었다. 참가자들은 첫 회기에서는 변형 자극, 무관한 자극보다 목격 자극에 대해서 반응하는 속도가 빨랐는데, 두 번째 회기에서

는 변형 자극도 목격 자극만큼 빠르게 반응했다.

친숙성을 반영하는 FN400을 분석한 결과, 목격 자극보다 변형 자극이나 무관한 자극에 대해 유의하게 높은 부정 진폭이 관찰됐다. 이는 목격하지 않은 대상들을 무의식적으로 익숙하지 않다고 인식하고 있다는 것을 보여준다. 의도적 회상을 반영하는 LPC를 분석한 결과는 변형 자극이나 무관한 자극보다 목격 자극에 대해 유의하게 높은 정적 진폭이 관찰됐다. 이는 목격한 대상과 관련 있는 정보 인출 과정에서 기인한 것으로 보인다. 요약하면 전두 old/new 효과와 두정 old/new 효과 모두 나타났다. 시간 지연의 효과를 살펴봤을 때, FN400의 경우 2주의 지연 이후 부정 진폭이 증가했지만, LPC는 시간 지연의 영향을 받지 않았다. 오정보는 FN400과 LPC에 어떠한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

시간 지연과 목격 여부에 따른 FN400의 차이

본 연구에서 참가자들이 범죄 동영상에서 목격하지 않았던 물건들은 목격한 물건보다 더 큰 FN400을 유발했다. 이러한 전두 old/new 효과는 선행 연구(함근수, 김기평, 정호진, 2018)에서도 관찰된 것이다. 동영상에서 목격했었던 물건보다 목격한 경험이 없는 물건이 낯설게 느껴져서 FN400의 부적 진폭이 더 크게 유발됐을 것으로 생각된다. 목격 자극과 유사성이 높은 변형 자극이 제시되었을 때도 전두 old/new 효과가 나타난 것은 주목할만한 결과이다. 물론 FN400에 대한 연구들은 목격한 대상을 적중시킬 때보다 목격하지 않은 대상을 기각할 때 전두 영역에서 유발되는 부적 진폭이 더 크다는 것을 보고하지만(Stroczak, Bird, Corby, Frishkoff, & Curran, 2016), FN400이 유사성이 높은 자극들은 구분하지 못한다는 발견도 있다(Curran, 2000). 본 연구에서 변형 자극에 대한 정확 기각률(.87)이 목격 자극에 대한 적중률(.71)보다 높았다는 것을 고려해본다면, 참가자들이 변형 자극과 목격 자극을 비교적 명확하게 분류할 수 있었던 것으로 생각된다. 이런 점이 목격 자극과 변형 자극의 FN400의 차이를 발생시켰을 가능성이 있다.

FN400의 부적 진폭은 시간이 지연됨에 따라 커지는 것으로 나타났다. 선행연구에 따르면, FN400의 경우 친숙하지 않은 자극일수록 부적 진폭이 커진다(Curran, 2000). 시간 지연이 FN400에 미치는 효과를 검증한 연구는 하루 정도의 지연이 FN400에 영향을 미치지 않았다는 것을 보여주었는데(Curran & Friedman, 2004), 본 연구의 결과와는 다소 다르다. 본 연구에서 2주의 지연으로 인해 동영상을 통해

부호화된 기억 정보가 약화되고 친숙성이 감소함에 따라 FN400의 진폭도 감소했을 가능성이 있다. FN400이 자동적이고 무의식적으로 이뤄지는 친숙성 판단을 반영하기 때문에 (Rugg & Curran, 2007), 시간 지연이 적어도 무의식적인 수준에서는 친숙성을 감소시켰다고 해석할 수 있을 것으로 보인다. 그러나 본 연구에서 시간 지연이 기억 강도를 감소시켰다는 외현적인 행동 지표(정확률, 반응시간)가 발견되지 않았으며, 인출되는 정보의 양을 반영하는 LPC도 시간 지연에 따라 정적 진폭이 감소하는 모습을 보이지 않았다. 이는 본 연구의 FN400에 대한 해석을 제한하는 요인으로 고려해야 한다.

목격 여부에 따른 LPC의 차이

동영상에서 목격한 물건과 목격하지 않은 물건의 진폭 차이는 FN400뿐만 아니라 LPC에서도 나타났는데(두정 old/new 효과), 이런 결과는 선행 연구에서 보고한 것과 일치한다(Lefebvre et al., 2007; 함근수, 김기평, 정호진, 2018). 목격한 물건에 대해서만 LPC의 진폭이 크게 유발되는 것은 해당 물건과 관련된 세부적인 정보들을 탐색하는 정보처리로 인해 발생했을 가능성이 있다(Addante, Ranganath, & Yonelinas, 2012; Curran, 2000). 목격한 물건들은 관련된 부가적인 정보들(예, 목격 장소, 주변 상황)에 있어서 목격하지 않은 물건들과 차이가 있기 때문이다. 특히, 목격 자극과 유사성이 높은 변형 자극의 LPC 차이가 유의했다는 것에 주목할 필요가 있다. 이런 결과는 함근수 등(2018)의 연구에서도 발견된 것으로, 자극의 물리적 유사성과 무관하게 LPC가 목격한 대상에 대해서만 차별적으로 반응할 가능성이

있음을 보여주는 것이다. LPC가 정보의 인출량을 반영한다는 점을 고려해본다면(Finnigan et al., 2002), 목격 대상에 대해서만 부호화된 세부적인 맥락 정보들의 인출이 목격 자극과 변형 자극의 LPC 차이를 발생시켰을 수 있다.

시간 지연에 따라 부적 진폭이 커진 FN400과 다르게, LPC는 시간 지연의 영향을 받지 않았으며, 두정 old/new 효과도 유지되었다. 이런 결과는 1주일의 시간 지연을 두고 목격했던 범인을 재인할 때 ERP를 조사한 선행 연구(Lefebvre et al., 2007)에서도 발견된 것이다. 이런 결과는 목격자가 내용을 정확하게 기억하고 있다면, 일정 시간 지연 후에도 목격 여부에 따라 유발되는 LPC에서 차이가 발견된다는 것을 보여준다. 시간 지연에 따라 LPC의 진폭이 감소하지 않은 데는 목격 자극에 대한 인출 정보량이 2주 후에도 유지되었기 때문일 수 있다. 행동적으로 참가자들의 반응 정확률이 시간 지연에 따라 감소하지 않은 것은 이를 지지해준다. 즉, 2주의 지연으로 인한 망각이나 기억의 왜곡이 적었기 때문에, LPC 진폭의 감소가 발생하지 않았다는 것이다. 본 연구에서 실험 자극으로 사용한 목격 단서가 10개로 적었고 첫 재인 검사 직전에 정확정보 혹은 오정보에 다시 한 번 노출되었기 때문에, 두 번째 재인 검사에서 기억이 보존됐을 가능성이 높다. 이는 본 연구의 한계점으로 부호화 대상을 늘려 인출 난이도가 높고 반복 노출이 없을 때, 시간 지연이 LPC나 두정 old/new 효과에 미치는 영향을 검증하는 추가 연구가 필요하다고 생각된다. 본 연구에서 참가자들의 반응 속도가 2회기에서 더 빨라졌다는 것은 반복 효과의 가능성을 시사하기 때문에, 검사의 반복 효과를 통제하기 위해서 피험자 간 설계를 사용하는 것이 필요하다.

종합해보면, 본 연구의 결과는 목격자의 기억이 정확하다면, 일정 시간의 지연과 무관하게 목격 자극이 비목격 자극보다 유의미하게 높은 LPC를 유발시킨다는 것을 보여준다. 이런 결과는 목격 후 일정 시간의 지연이 있어도 인출과 관련된 정보처리를 반영하는 신경생리학적 반응들을 조사하여 목격 여부를 판단하는데 활용할 수 있음을 시사한다. FN400에서도 목격 여부에 따라 유의미한 전위차가 발생했지만, LPC가 시간 지연의 효과를 적게 받고 자극 유형에 대한 효과 크기(.52)가 FN400(.18)보다 높다는 것을 고려해본다면, LPC가 FN400보다 목격 여부를 판단할 수 있는 더 신뢰롭고 타당한 생리학적 지표로 활용될 가능성이 높다고 생각된다(Wolk et al., 2006). 또한 기억 능력의 감퇴와 관련 있는 정신장애(예, 기억상실증, 우울장애 등) 환자들을 대상으로 기억 능력을 평가하는데도 활용할 수 있을 것이다. 예를 들어, 한 연구에서는 기억 상실증 환자의 LPC가 기억 검사 수행과 정적 상관을 보였다(Olichney et al., 2000). 다만, 환자군들의 경우 검사에 낮은 동기를 보일 수 있는데, 인출 동기가 낮은 상황(예, 불쾌한 기억 인출)에서는 LPC가 발생하지 않는다고 알려져 있어(Anderson & Hanslmayr, 2014), 기억력에 대한 지표로 LPC를 사용할 때는 검사 동기에 주의를 기울여야 할 것이다.

한편으로, 실험결과와 응용 측면에서, 이렇게 축적된 연구 결과를 바탕으로 자극들 간 ERP의 차이를 분석하여 여러 자극 중에서 실제로 목격한 자극만을 분류하는 시도를 해볼 수 있을 것이다. 현재 거짓말 탐지와 관련해서, 사건 관련 단서들 간 P300의 차이를 부트스트래핑 방법을 이용하여 검증함으로써 진술

의 진위를 판단하는 프로토콜이 개발되어 사용되고 있다(엄진섭, 전하정, 손진훈, 2018; Rosenfeld et al., 2013). 마찬가지로 재인 검사에서 LPC의 차이를 검증하여 목격 여부를 판별하는 프로토콜을 개발하고 적용하기 위한 타당성도 검증해야 할 것이다. 아직 뇌파를 이용하여 목격 여부를 판별하는 보편화된 분석 프로토콜이 개발되어 있지 않은 만큼 정확한 분석 프로토콜을 탐색하려는 시도를 해볼 필요가 있다. 최근에는 딥러닝(deep-learning) 모델을 이용하여 목격 여부를 변별하고자 하는 시도가 이뤄지고 있다. 한 연구에서는 이 방법을 이용해 ERP로 목격 여부를 65~75% 정확하게 변별할 수 있다고 보고했다(김기평, 정호진, 함근수, 2019). 현재는 변별 정확률이 높지 않지만, 검사 절차와 분석 방법의 개선을 통해 정확률이 향상된다면, 수사 장면에서 심리학적 지식들을 응용하여 목격자들의 기억을 과학적으로 평가할 수 있을 것으로 기대한다.

오정보 효과

본 연구에서 오정보를 제공받은 집단의 참가자들은 정확 정보를 제공받은 집단의 참가자들보다 목격 자극에 대한 정확률이 감소했다. 그러나, 두 집단 간 FN400이나 LPC와 같은 ERP 성분에는 차이가 없었다. 이는 오정보가 목격 자극에 대한 LPC의 진폭을 감소시켰던 결과와 대비된다(Meek et al., 2013). 이런 결과의 불일치는 검사의 난이도 차이로 인해 발생했을 수 있다. 우선, 재인 검사는 단서 회상 검사보다 인지적 자원을 덜 요구하고 상대적으로 쉽다(Allan & Rugg, 1997). 이 외에도 본 연구에서 기억해야 할 대상이 10개로 인출

난이도가 쉬웠기 때문에 오정보가 제공되었더라도 영향을 적게 받았을 것이다. 즉, 오정보를 경험해도 목격 단서에 대한 기억 강도가 감소 되지 않았기 때문에 old/new 효과가 유지되었을 가능성이 있다. 만약 반복적으로 노출되는 오정보로 인해 기억 강도가 감소되었을 때, old/new 효과가 감소한다면 이런 해석을 지지할 것으로 생각한다(Ecker, Lewandowsky, Swire, & Chang, 2011). 본 연구의 결과는 사람들이 정확하게 기억하고 있는 대상과 관련된 오정보에 문장으로 단 한 번 노출되는 것은 해당 대상에 대한 인출 정보처리에 영향을 미치지 않는다는 것을 보여준다.

제한점과 의의

본 연구에서 발견한 결과를 해석하는데 고려해야 할 점이 있다. 먼저 본 연구는 20대 성인(주로 대학생)을 대상으로 이뤄진 연구였기 때문에 본 연구의 결과를 다른 연령층으로 일반화하는데 어려움이 있다. 예를 들어, 본 연구에서 분석의 초점을 둔 FN400과 LPC의 차이가 65세 이상의 노인 집단에서는 발견되지 않거나 약해진다는 결과가 보고되었다(Wolk et al., 2009). 전두 old/new 효과나 두정 old/new 효과의 감소가 기억 능력이 낮은 노인 집단에서 두드러질 수 있음을 보고한 연구도 있다(Friedman, de Chastelaine, Nessler, & Malcolm, 2010). 따라서 사건관련전위를 이용한 목격자 기억 식별 검사의 적용 범위를 넓히기 위해서 후속 연구에서 노인 집단을 대상으로 본 연구의 결과를 반복검증하고 연령이 ERP에 미치는 효과를 검증할 필요가 있다.

또한, 본 연구에서 목격 자극으로 선정한 10개의 실험 자극들을 참가자들이 동영상에서

모두 목격하도록 조작할 수 없었다. 이는 본 연구에서 목격 자극이나 비목격 자극을 잘못 분류한 시행을 분석하기 어렵게 만든 제한 요인이다. 예를 들어, 동영상에서 나타난 물건을 보지 못했다고 판단했을 때, 이들이 해당 물건을 동영상에서 봤지만 인출을 하지 못해 목격하지 않았다고 분류할 가능성도 있다. 그러나 그 물건을 동영상에서 보지 못했다면, 이 시행을 인출 실패로 간주하는 것이 어려울 것이다. 추후 연구에서 사진 슬라이드 형식으로 자극을 제시하거나 동영상에서 목격 여부를 확인하고 후속 재인 검사를 진행함으로써, 인출에 실패한 시행에서 관찰할 수 있는 ERP도 분석할 필요가 있을 것이다.

다음으로 2주에 걸쳐 동일한 검사 과제 수행으로 인한 반복 효과를 통제하지 못했다. 반응 속도에 대한 분석은 참가자들이 실험 자극과 과제에 익숙해졌다는 것을 보여주었다. 즉, 한정된 실험 자극(10개)을 2회기에 걸쳐 반복 제시했기 때문에 목격 여부에 대한 변별이 쉽게 이뤄졌을 가능성이 있다. 또한, 참가자들은 첫 회기의 검사 직전에 정확정보(혹은 오정보)에 노출됐는데 이런 요인들도 자극 유형에 따른 시간 지연의 효과를 제한했을 가능성이 있다. 추후 연구에서 검사 자극을 늘리고 검사를 반복하지 않는 피험자 간 설계를 적용했을 때, 시간 지연에 따른 old/new 효과가 유지되는지 반복 검증이 이뤄져야 할 것이다.

마지막으로, 본 연구의 결과를 폭행이나 강도와 같은 강력 범죄를 목격한 상황에 일반화시킬 수 없다는 것이다. 재인 검사에 사용된 보여준 절도 범죄 동영상의 경우, 정서적 강도가 낮고 기억해야 할 대상이 물건에 한정됐다. 그러나 수사 장면에서 검사를 의뢰하는

목격자들은 대개 높은 각성이나 강렬한 정서를 경험했을 가능성도 있고, 특정 인물을 식별해야 하는 상황도 존재한다. 정서와 각성은 기억 부호화와 인출에 영향을 미치는 변인이다(Forgas & Koch, 2013). 예를 들어, 정서적 강도가 old/new 효과에 미치는 영향을 조사한 연구에 따르면, 경미한 긍정적 정서 자극은 두정 old/new 효과를 감소시켰다(Meng et al., 2017). 따라서, 추후 연구에서 강렬한 정서를 유발시키는 목격 상황을 조작할 필요가 있으며, 재인 검사에서 물건, 인물 등 다양한 대상을 고려할 필요가 있을 것이다.

본 연구는 범죄 목격자들을 대상으로 ERP를 통해 기억 여부를 평가할 때 시간 지연이나 오정보 노출 경험의 효과를 조사함으로써, 인출 처리에 영향을 미치는 외부 요인의 효과를 검증했다. 본 연구의 주요 결과는 재인 단서에 대한 정보 탐색을 반영하는 LPC가 오정보나 시간 지연의 영향을 받지 않고 목격 자극에 대해서만 차별화된 반응을 보인다는 것이다. 다음으로, 친숙성 판단을 반영하는 FN400 또한 목격 자극에 대해서 차별화된 반응을 보였지만, 시간 지연의 영향을 받았다. 이런 결과는 목격한 장면을 정확하게 기억하고 있다면, 외부에서 경험할 수 있는 오정보나 일정 시간의 지연이 인출 정보처리에 영향을 적게 미친다는 것을 보여준다. 특히, 2주 지연 이후 부적 진폭이 증가한 FN400보다는 LPC가 기억 여부를 반영하는 강건한 측정치임을 확인했다. 이런 ERP 성분(특히, LPC)은 목격 여부를 구별하는데 사용할 수 있는 신경생리학적 지표가 될 수 있을 것이다. 이런 결과는 법심리학 분야에서 ERP 기법이 숨김정보검사를 이용한 진위 판별뿐만 아니라(강기영, 김영운, 2010; 홍현기, 김희송, 지형기, 김기평,

2015; Rosenfeld, Soskins, Bosh, & Ryan, 2004), 사건 관련자들을 대상으로 목격 여부를 판별하는데 활용될 수 있음을 보여준다. 추후 연구에서 ERP나 fMRI와 같은 신경생리학적 측정치를 조사하여 여러 기억 단서 중 목격한 자극만을 분류하는 프로토콜의 타당성이 검증된다면, 법과학 영역에서 인지 및 생물심리학 기법을 응용할 수 있는 분야가 넓어질 것으로 기대한다. 예를 들어, 숨김정보검사와 재인검사에서 요구되는 정보처리가 다르기 때문에 (엄진섭, 한유화, 박광배, 손진훈, 2008), 두 검사를 함께 실시했을 때 결과가 일치하는지 확인함으로써 수렴적 조작(converging operation)에 근거한 판단을 내릴 수 있을 것이다.

참고문헌

- 강기영, 김영운 (2010). 문장을 이용한 P300-기반 유죄지식검사. *한국심리학회지: 사회 및 성격*, 24(4), 19-41.
- 김기평, 정호진, 함근수 (2019). 딥러닝 알고리즘을 이용한 뇌파-기반 목격 여부 분류 시스템의 성능 비교. *과학수사학회지*, 13(1), 인쇄중.
- 김미영, 김시업 (2016). SAI(Self-Administered Interview)가 사건회상 정확성에 미치는 효과. *한국심리학회지: 사회 및 성격*, 30(3), 63-75.
- 엄진섭, 전하정, 손진훈 (2018). P300 숨김정보검사의 오류 긍정률. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 30(3), 241-259.
- 엄진섭, 한유화, 박광배, 손진훈 (2008). P300 숨김정보검사의 민감도: 목표자극을 이용하는 측정 패러다임과 두 자극에 대한 범주판단 및 재인검사를 이용하는 측정 패러다임의 비교. *한국심리학회지: 일반*, 27(3), 653-673.
- 유상우, 김영신, 노주선, 오강섭, 김찬형, 남궁기, ..., 김세주 (2006). 한국판 Mini International Neuropsychiatric Interview 타당도 연구. *대한불안학회지*, 2(1), 50-55.
- 이민희, 전하정, 손진훈, 엄진섭 (2018). 뇌파동과 사건관련전위를 이용한 허위기억손상의 탐지. *대한인간공학학회지*, 37(2), 205-217.
- 함근수, 김기평, 정호진 (2018) 유형이 다른 기억 단서에 대한 사건관련전위의 차이: FN400과 LPC. *한국수사심리학회지*, 4(1), 1-12.
- 함근수, 김기평, 정호진, 유성호 (2018). 뇌파를 이용한 목격자 기억의 평가: 기계학습의 적용. *대한법의학회지*, 42(2), 62-70.
- 홍현기, 김희송, 지형기, 김기평 (2015). 사건관련전위(ERP)를 이용한 CIT 검사 시 관련 자극과 무관련 자극 간의 P3 진폭의 차이 연구. *스트레스연구*, 23(2), 101-107.
- Addante, R. J., Ranganath, C., & Yonelinas, A. P. (2012). Examining ERP correlates of recognition memory: Evidence of accurate source recognition without recollection. *Neuroimage*, 62, 439-450.
- Allan, K., & Rugg, M. D. (1997). An event-related potential study of explicit memory on tests of cued recall and recognition. *Neuropsychologia*, 35(4), 387-397.
- Anderson, M. C., & Hanslmayr, S. (2014). Neural mechanisms of motivated forgetting. *Trends in cognitive sciences*, 18(6), 279-292.
- Atkinson, R. C., & Juola, J. F. (1974). *Search and*

- decision processes in recognition memory*. WH Freeman.
- Boldini, A., Beato, M. S., & Cadavid, S. (2013). Modality-match effect in false recognition: An event-related potential study. *Neuroreport*, *24*, 108-113.
- Curran, T., & Cleary, A. M. (2003). Using ERPs to dissociate recollection from familiarity in picture recognition. *Cognitive Brain Research*, *15*(2), 191-205.
- Curran, T., & Friedman, W. J. (2004). ERP old/new effects at different retention intervals in recency discrimination tasks. *Cognitive Brain Research*, *18*(2), 107-120.
- Curran, T., & Hancock, J. (2007). The FN400 indexes familiarity-based recognition of faces. *Neuroimage*, *36*(2), 464-471.
- Ecker, U. K., Lewandowsky, S., Swire, B., & Chang, D. (2011). Correcting false information in memory: Manipulating the strength of misinformation encoding and its retraction. *Psychonomic Bulletin Review*, *18*(3), 570-578.
- Finnigan, S., Humphreys, M. S., Dennis, S., & Geffen, G. (2002). ERP 'old/new' effects: Memory strength and decisional factor (s). *Neuropsychologia*, *40*(13), 2288-2304.
- Forgas, J. P., & Koch, A. S. (2013). Mood effects on cognition. In *Handbook of cognition and emotion* (pp. 231-251).
- Friedman, D., 2004. ERP studies of recognition memory: differential effects of familiarity, recollection and episodic priming. *Cognitive Sciences*, *1*(1), 81-121.
- Friedman, D., de Chastelaine, M., Nessler, D., & Malcolm, B. (2010). Changes in familiarity and recollection across the lifespan: An ERP perspective. *Brain Research*, *1310*, 124-141.
- Gardiner, J. M., & Java, R. I. (1991). Forgetting in recognition memory with and without recollective experience. *Memory & Cognition*, *19*(6), 617-623.
- Griffin, M., DeWolf, M., Keinath, A., Liu, X., & Reder, L. (2013). Identical versus conceptual repetition FN400 and parietal old/new ERP components occur during encoding and predict subsequent memory. *Brain research*, *1512*, 68-77.
- Hallett, M. (1994). Movement-related cortical potentials. *Electromyography and clinical neurophysiology*, *34*(1), 5-13.
- Herzmann, G., Jin, M., Cordes, D., & Curran, T. (2012). A within-subject ERP and fMRI investigation of orientation-specific recognition memory for pictures. *Cognitive Neuroscience*, *3*(3-4), 174-192.
- Hoppstädter, M., Baeuchl, C., Diener, C., Flor, H., & Meyer, P. (2015). Simultaneous EEG-fMRI reveals brain networks underlying recognition memory ERP old/new effects. *Neuroimage*, *116*, 112-122.
- Kiat, J. E., & Belli, R. F. (2017). An exploratory high-density EEG investigation of the misinformation effect: Attentional and recollective differences between true and false perceptual memories. *Neurobiology of learning and memory*, *141*, 199-208.
- Lefebvre, C. D., Marchand, Y., Smith, S. M., & Connolly, J. F. (2007). Determining eyewitness identification accuracy using event-related brain potentials (ERPs). *Psychophysiology*, *44*(6),

- 894-904.
- Meek, S. W., Phillips, M. C., Boswell, C. P., & Vendemia, J. M. (2013). Deception and the misinformation effect: An event-related potential study. *International Journal of Psychophysiology, 87*(1), 81-87.
- Meng, X., Zhang, L., Liu, W., Ding, X., Li, H., Yang, J., & Yuan, J. (2017). The impact of emotion intensity on recognition memory: valence polarity matters. *International Journal of Psychophysiology, 116*, 16-25.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia, 9*(1), 97-113.
- Olichney, J. M., Van Petten, C., Paller, K. A., Salmon, D. P., Iragui, V. J., & Kutas, M. (2000). Word repetition in amnesia: Electrophysiological measures of impaired and spared memory. *Brain, 123*(9), 1948-1963.
- Rosenfeld, J. P., Hu, X., Labkovsky, E., Meixner, J., & Winograd, M. R. (2013). Review of recent studies and issues regarding the P300-based complex trial protocol for detection of concealed information. *International Journal of Psychophysiology, 90*(2), 118-134.
- 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.
- Rugg, M. D., & Curran, T. (2007). Event-related potentials and recognition memory. *Trends in Cognitive Science, 11*(6), 251-257.
- Schacter, D. L., & Loftus, E. F. (2013). Memory and law: What can cognitive neuroscience contribute? *Nature Neuroscience, 16*(2), 119-123.
- 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.
- Strozak, P., Bird, C. W., Corby, K., Frishkoff, G., & Curran, T. (2016). FN400 and LPC memory effects for concrete and abstract words. *Psychophysiology, 53*(11), 1669-1678.
- Tanner, D., Morgan-Short, K., & Luck, S. J. (2015). How inappropriate high-pass filters can produce artifactual effects and incorrect conclusions in ERP studies of language and cognition. *Psychophysiology, 52*(8), 997-1009.
- Trott, C. T., Friedman, D., Ritter, W., Fabiani, M., & Snodgrass, J. G. (1999). Episodic priming and memory for temporal source: Event-related potentials reveal age-related differences in prefrontal functioning. *Psychology and Aging, 14*(3), 390.
- Wells, G. L., Memon, A., & Penrod, S. D. (2006). Eyewitness Evidence: Improving Its Probative Value. *Psychological Science in the Public Interest, 7*(2), 45-75.
- Wolk, D. A., Schacter, D. L., Lygizos, M., Sen, N. M., Holcomb, P. J., Daffner, K. R., & Budson, A. E. (2006). ERP correlates of recognition memory: Effects of retention interval and false alarms. *Brain Research, 1096*(1), 148-162.
- Wolk, D. A., Sen, N. M., Chong, H., Riis, J. L., McGinnis, S. M., Holcomb, P. J., & Daffner, K. R. (2009). ERP correlates of item recognition memory: Effects of age and

performance. *Brain Research*, 1250, 218-231.
Yonelinas, A. P. (1994). Receiver-operating characteristics in recognition memory: Evidence for a dual-process model. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 1341-1354.

1차원고접수 : 2018. 09. 10.

수정원고접수 : 2018. 12. 04.

최종게재결정 : 2019. 03. 07.

ERP correlates of eyewitness memory recognition: Effects of time delay and misinformation

Kipyong Kim

Hojin Jeong

Yeseul Kim

Keunsoo Ham

Department of Psychological Forensics, National Forensic Service

Recent event-related potentials (ERP) studies for eyewitness memory recognition have been reported the frontal N400 (FN400), and late positive complex (LPC) old/new differences. This study investigated the effect of time delay and misinformation on FN400 and LPC old/new differences. Especially, we investigated whether the old/new effects were remained after time delay even when similar lure stimuli was presented. Thirty-one participants watched staged-crime video and performed recognition task across two session (1-hour delay, 2-weeks delay). Correct or false information about the video was presented just before the 1st recognition task session. The attenuation of the FN400 occurred in time delay, but the FN400 old/new difference was remained. The LPC old/new difference was not affected by time delay. Although the group with misinformation showed decreased accuracy for witnessed cue, there were no differences in FN400 and LPC. These results indicate that there is a difference of the familiarity and the amount of information retrieved from memory between observed stimuli and unobserved stimuli even with a certain time delay. This results suggest some ERP component (especially, LPC) could be useful for eyewitness memory identification.

Key words : event-related potentials, eyewitness memory, FN400, LPC, time delay, misinformation