

가상환경 내 위반행동 경험에 따른 대뇌전위 변화 연구*

The change of brain potentials to offense behavior experience in virtual environment

장기원, Ki-Won Jang, 이장한, Jang-Han Lee**
중앙대학교 심리학과, CNS Lab.

요약 본 연구는 가상환경에서 위반행동을 한 사람에게 그 행동에 관한 단서를 제시하였을 때 나타나는 심리 생리적 변화를 측정하고자 한다. 피험자는 가상환경에서 주어진 시나리오에 따라 목적지까지 자동차를 운전하는 역할을 수행한다. 시나리오는 운전을 하는 도중에 사고를 내고 차량을 수리하는 내용으로 구성하였다. 피험자는 위반, 관찰, 통제집단의 세 집단으로 선별되며, 위반집단은 고의적으로 교통사고를 일으키게 된다. 위반 행동을 한 피험자에게 사건에 관련된 질문을 컴퓨터로 제시하고 동시에 뇌파를 측정한다. 사건 관련 질문은 위반행동과 관련이 있는 장소, 차량, 행동에 대한 답변보기들로 구성되었으며 피험자에게는 위반행동과 무관한 보기답안과 함께 제시된다. 측정결과, 위반행동과 무관한 보기답안 보다 위반행동과 관련된 보기답안에서 높은 뇌파 반응이 나타났다. 따라서 이를 이용하여 위반행동을 탐지하는 것이 가능할 것으로 보인다. 연구 확장을 통해 가상환경으로 실제 위반 상황을 재구성하여 적용하는 것도 유용해 보인다.

핵심어: 가상환경, 탐지, 위반행동, 뇌파, ERP

1. 서론

거짓말 탐지는 오늘날 우리가 미신이라고 생각하는 방법으로부터 시작되었다. 영국의 중세시대 재판에서는 용의자의 거짓말 여부를 판단하기 위해서 불 위를 걸게 하거나 사지를 결박한 후 물속에 던지는 시험을 겪도록 했으며 이를 통해서 죽거나 다치지 않는 경우에 그 결백을 믿었다. 이러한 판단은 결백한 사람은 신성한 힘에 의해 보호 받을 것이라고 생각했던 주술적 또는 종교적인 믿음에서 비롯된 것이었다[1]. 종교적 신념이 아닌 생리적 현상에 근거한 좀더 과학적인 거짓말 탐지 방법이 BC 1000년 중국에서 사용되었다. 용의자의 입에 마른 쌀 한줌을 물고 있도록 한 다음 뱉었을 때 쌀이 말라 있으면 거짓말을 한 것으로 판단하였다. 이는 공포나 불안상황에서 침의 분비가 감소하여 입안이 마르는 생리적인 현상에 근거한 방법이었다[2].

현재까지도 거짓말 할 때의 생리적인 변화를 측정하는 거짓말 탐지 방법이 꾸준히 개발되어왔으며 우리나라를 포함한 세계 각국의 사법기관에서 관심을 갖고 있는 분야이기도 하다. 오늘날 생리적 측정치를 이용한 거짓말 탐지의 현대적인 방법으로 폴리그래프(Polygraph)가 있으며 그 동안 많은 연구들이 거짓말을 할 때 유발되는 각성 상태를 측정하기 위해 땀, 혈압호흡, 대뇌전위를 측정하는 폴리그래프를 이용해 왔다[3]. 특히, 피험자가 중요한 정보를 알고 있는지 탐지하려고 할 때, 폴리그래프 검사에서 사용하는 과학적 질문법으로

GKT(Guilty Knowledge Test)가 있다.

GKT는 피험자가 숨기려고 하는 중요한 정보를 가지고 있는지를 판별하기 위한 기법으로 질문 구성이 논리적으로 구성되어 사건단서조사에 적용할 수 있다[4]. GKT는 한 개의 사건관련질문에 여러 개의 보기문항이 제시되는 다중문항방식으로 구성되며 보기문항 중 사건과 관련 있는 문항이 제시되었을 때 일시적으로 생리적 반응이 나타나게 된다. 또한 사건관련질문이 여러 개로 구성되어 관련문항에 대해 지속적인 생리반응이 나타나면 피험자가 그 정보를 인지하는 것으로 판단한다.

폴리그래프에서 측정하는 여러 생리반응 중에서 자극을 인지했을 때 순간적으로 나타나는 변화를 분석하는데 유용한 측정치는 대뇌 전위(EEG)이다. 피험자에게 의미가 없는 자극들이 계속적으로 제시되는 상황에서 의미 있는 자극이 무선적으로 드물게 제시되면, 특정한 파형을 나타내는 P300 사건유발전위(ERP; event-related EEG potential)가 발생한다[5]. P300는 피험자가 자극에 대해서 정신적으로 또는 생리적으로 반응했을 때 나타난다. 또한 두정엽(전극위치 Pz)에서 가장 크게 발생하며, 진폭의 최고점은 성인의 경우 시각 자극 제시 후 약 400ms 전후로 나타난다[6][7][8].

일반적으로 P300-GKT 기법을 사용한 연구들은 실제상황에서 일어날 수 있는 사건을 실험상황에서 연출하기 위해 모의사건을 구성한다. 주로 피험자에게 실제 특정장소로 가도록 한 뒤, 그 곳에 숨겨져 있는 귀중품에 대한 정보를 얻고

* 이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. M10640010 000-06N4001-00310).

**교신저자: 중앙대학교 심리학과 조교수; e-mail: clipsy@cau.ac.kr

험치는 역할을 수행하게 한다[9][10]. 모의사건을 이용한 GKT 연구에서 직접 사건과제를 수행하는 집단이 수행 없이 정보만 가진 집단과 사건과 관계없는 과제를 수행한 집단들보다 정보탐지가 효과적이었다[11]. 하지만 모의사건관련 연구는 윤리적인 문제로 인해 다양한 실제위반행동을 연출하기 어렵고, 실제 위반행동을 할 때 느끼는 불안상황을 구성하기 어렵다는 문제점이 제시되어 왔다[12]. 이런 문제를 해결하기 위해 가상환경(virtual environment)을 이용하여 피험자에게 실제 범죄상황과 유사한 경험을 겪도록 할 수 있다. 가상환경은 3차원의 그래픽 영상을 통해서 구현된 세계로서 모의사건보다 다양한 상황을 연출할 수 있고 피험자에게 다양한 자극을 제시할 수 있다. 또한 피험자가 실제 위반 상황에 있는 것 같은 실제감과 현실감을 증가시켜 실험연구의 단점을 보완할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 가상환경을 이용한 P300-GKT를 실시하고자 한다. 가상환경 내에서 각 피험자는 사건 경험에 따른 위반행동을 실행한 경우와 위반행동을 단순히 목격만 한 경우, 위반행동과 무관한 경험을 한 경우로 집단이 구분되며, 경험 후 P300-GKT를 통해 사건관련 정보의 유무를 탐지하고 세 집단간의 대뇌전위 반응 정도를 비교하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 피험자

성인 남성 45명(각 집단 15명씩)을 대상으로 실험한다. 실험 전에 성격과 불안, 기억력 평가를 실시하고, 실험 후 가상현실, 몰입감, 실제감과 가상현실 멀미 질문지를 작성한다. 각 피험자는 무선적으로 위반행동 경험에 따른 위반집단, 관찰집단, 통제집단에 할당된다.

2.2 행동 시나리오

가상환경 내에서 3인칭 시점의 아바타(avatar)가 위반자를 대신하게 되며 피험자는 키보드와 마우스를 조작하여 아바타의 시점과 위치를 이동시킬 수 있다. 위반집단은 렌트카 운전기사가 된다. 위반자는 승객과의 다툼으로 인해 사장으로부터 해고 통지를 받은 상태이다. 승객에 대한 분노와 사장에게 대한 서운함 때문에 위반자는 회사 차량을 파손시키려고 한다. 위반자는 렌트카 회사의 차고에서 자신이 운전하는 렌트카 '은색 리무진'에 탑승한다. 시내로 운전하여 고의로 차량을 가로등에 부딪힌다. 사고 후 회사에서 해고를 철회하며 위로 회식을 마련했다는 전화가 걸려온다. 이에 위반자는 사고 사실을 은폐하기 위해 '정비소'로 이동하여 차량을 '수리'한다. 수리가 끝나고 회식장소까지 운전한다. 위반집단은 가상환경 경험 후 실시하는 P300-GKT 검사에서 사고를 내지 않은 것으로 위장한다. 관찰집단은 위반집단의 동료 운전기사 사가 된다. 위반자가 억울하게 해고통지를 받은 것을 위로해 주기 위해 위반자를 뒤따라다 수행자가 고의로 사고를 내는 장면을 목격한다. 또한 정비소에서 수리 후 목적지로 가는 위반자의 모든 행동을 지켜본다. 관찰집단은 가상환경 경험 후 P300-GKT 검사에서 위반자의 실수를 덮어주기 위해 사건에 대해 전혀 모르는 것처럼 위장한다. 통제집단은 사건과 관련이 없는 렌트카 운전기사 사가 된다. 위반집단처럼 차고에

서 차를 타고 나와 회식장소까지 운전하지만 사고에 대한 정보는 주어지지 않는다. 가상환경 경험 후 진실되게 P300-GKT 검사에 임한다.

2.3 P300-GKT

위반사건에 대한 3개의 사건관련질문으로 구성되어 있으며 하나의 사건관련질문에 5개의 보기문항이 포함되어 있다. 사건 관련 질문은 사고차량, 행동, 행동장소를 묻는 내용이며 보기문항은 사건과 관련된 탐지문항 1개, 반응문항 1개, 사건과 관련이 없는 무관련문항 3개로 구성되었다. 반응문항은 사건과 관련이 없고 피험자는 탐지문항과 무관련문항에서 '아니오' 버튼을 누르고 반응문항에서만 '예' 버튼을 누르기 때문에 실험에 대한 피험자의 주의를 유도하고 P300 반응이 발생하게 한다[13][14][15]. 하나씩 제시되며 보기문항은 3개의 사건관련질문은 15회 반복피험자들은 P300-GKT를 실시하기 전에 반응문항에 대한 설명을 미리 듣고, 반응문항이 제시될 때 '예' 버튼을 누르고 나머지 문항에 대해 '아니오' 버튼을 누르도록 지시 받는다. 각 질문과 문항은 컴퓨터 모니터를 통해 검은색 바탕에 흰색글씨로 제시된다. 자극제시 순서와 간격은 질문 2초, 공백 0.5초, '+' 기호 0.5초, 보기문항 0.5초, 흰색 사각형 2초, 공백 0.5초의 순서로 구성하였다. 위 2개의 공백 사이에 '+'와 사각형을 앞뒤로 동반한 보기문항 5개가 포함된다. 따라서 1개의 질문은 공백 2개, '+' 기호 5개, 보기문항 5개, 흰색 사각형 5개로 구성되어 18초 동안 제시된다. 3개의 사건관련질문은 15회 반복되어 제시되며 질문에 속한 문항의 제시순서는 무선적이다. 총 검사시간은 810초이다.

2.4 측정도구

뇌파 측정을 위해 전산화 뇌파측정기인 QEEG-4(모델명:LXE3204, LAXTHA Inc.) 장비를 사용하였으며 10/20%-전극배치법에 따라 Cz, Fz, F3, F4 부위에 뇌파를 측정하였다. 뇌파 자료는 256Hz 샘플링 주파수 변환에 의해 컴퓨터로 저장되었다. 사용된 전극은 금으로 도포된 접시형태의 디스크전극이며, 머리표면의 이물질을 닦아낸 후 접시전극에 뇌파전용 전극풀을 묻혀 부착하였다. 또한 부착된 접시전극 위에 거즈를 살짝 덮어줌으로써 전극풀이 빨리 굳지 않고 머리표면에 잘 고정되어 있도록 하였다.

2.5 연구절차

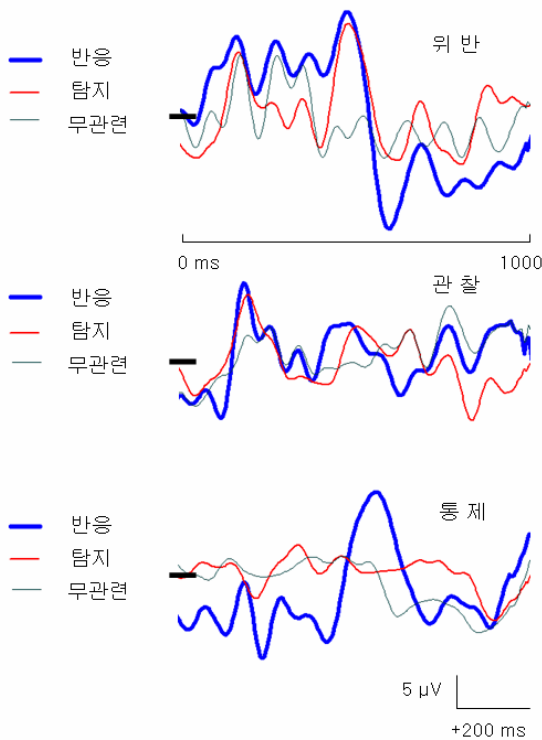
피험자가 실험실에 도착하면 성격과 불안, 기억력 평가 질문지를 작성한다. 그리고 모든 피험자는 무선적으로 세 집단으로 구분되어 집단에 따라 다른 경험을 하게 된다. 위반집단과 관찰집단으로 구분된 피험자에게 시나리오를 설명하고 실험 참여여부를 결정하도록 한다. 위반집단은 시나리오에 따라 가상환경에서 위반 행동을 하고 관찰집단은 위반집단이 위반 행동을 하는 동안 다른 장소에서 위반자의 활동을 모니터링 한다. 통제집단은 위반집단과 동일한 가상환경에서 목적지까지 차를 안전하게 운전하는 임무를 수행한다. 세 집단 모두 가상환경을 경험한 후에 가상현실 몰입감 척도, 실제감 척도와 가상현실 멀미 질문지를 작성한다. 위반집단과 관찰집단은 인터뷰와 정서 질문지 검사를 통해 위반상황에서 어

떠한 심리상태를 느꼈는지를 보고한다. 모든 피험자는 위반 행동을 하지 않았다고 주장하도록 지시 받는다. 피험자는 편안한 의자에 앉아 1m 앞의 컴퓨터 모니터를 응시하고 P300-GKT를 실시한다. 측정하는 실험자는 위반자가 누구인지 모르는 상태로 피험자들에게 검사를 실시한다. 뇌파 측정은 소음이 없는 조용한 환경에서 피검자의 몸 움직임을 통제 한 상태에서 시행되었다.

3. 결과

현재 연구가 진행중인 관계로 위반집단 1명, 관찰집단 1명, 통제집단 1명의 자료를 분석하였다. 분석결과, 위반집단과 관찰집단에서 반응문항과 탐지문항에 대한 P300 ERP가 발생하였다. 통제집단에서는 반응문항에 대해서만 P300 반응이 나타났다. 위반집단에서 반응문항에 대한 반응과 탐지 문항에 대한 반응이 유사하게 발생하였고, 관찰집단에서 나타난 반응은 다른 두 집단보다 낮게 나타났다. (그림 1).

그림 1. 위반, 관찰, 통제집단의 문항유형별 평균 Pz 파형



4. 논의

본 연구는 가상환경을 이용하여 위반행동을 수행하는 집단과 관찰을 통해 사건정보만 있는 집단, 그리고 사건에 대한 정보가 없는 집단을 대상으로 P300-GKT 검사를 실시하여 위반행동 경험에 따른 ERP 반응차이를 보고자 했다. 각 집단에서 탐지, 반응, 무관련문항에 대해 발생한 평균 Pz 파형을 분석한 결과, 위반집단의 탐지문항 반응이 반응문항 반응과 유사하게 나타났다. 이는 위반자가 탐지문항에 대해 인지를 한 것으로 판단되며, 탐지문항이 무관련문항과 같이 ‘아니

오’ 버튼을 눌러 정보를 숨기려는 시도가 있음에도 인지반응이 나타난 것으로 보인다. 위반집단에서의 탐지, 반응문항에 대한 반응과 통제집단의 반응문항에 대한 P300 파형은 탐지 문항으로 자기관련자극을 이용한 ERP 연구결과와 유사하게 나타났다[16]. 현재 분석한 자료가 적기 때문에 연구가 더 진행되면 집단에 따른 문항유형별 반응차이가 더욱 커질 것이라 예상된다.

본 연구에서 사용한 사건관련 질문 수는 3개이며 질문의 개수가 평균 ERP 파형에 영향을 줄 수 있는 있다는 것은 밝혀졌으나 아직 어느 정도가 적합한지는 불명확하다. 질문의 수가 많을수록 탐지 효율성은 증가하는 것으로 알려져 있지만[17], 피험자가 검사에 집중하는데 요구부담으로 작용하여 P300의 진폭이 줄어들 수 있다[18]. 본 연구에서는 3개의 질문을 15회 반복 제시하여 총 45개의 탐지문항으로부터 평균 ERP 그래프를 도출하였다. 이전 연구에서 3개의 질문을 5회 반복하는 방법은 평균 ERP 그래프를 얻기에 부족하였고[19], 대안적으로 6개의 질문을 3개씩 묶어서 10번씩 반복하는 방법이 있었다[20][15]. 본 연구에서는 질문의 수를 줄여 요구부담을 줄이고 반복횟수를 늘려 안정적인 평균 ERP 그래프를 얻고자 하였다.

P300-GKT를 실제사건에 적용하여 연구하는 것은 현행수사 여건상 몇 가지 제약이 따른다. 실제 사건수사의 경우 용의자 확보에 오랜 시간이 걸릴 수 있으며 그 동안 용의자가 사건에 대한 중요정보를 기억하지 못할 수 가 있다. 또한 결백한 사람에게 탐지정보가 누출되어 반응을 나타낼 수도 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 P300-GKT에 적합한 사건유형을 분류하는 작업과 마스크나 수사과정에 따른 정보유출을 통제하는 대안이 필요하다. 더불어 가상환경을 이용한 거짓말 탐지 연구가 더욱 진행되면 실제상황을 재구성할 수 있는 가상환경의 유용성을 통해 다양한 위반상황에 적용이 가능할 것이라 기대된다.

참고문헌

- [1] E. Sullivan, "The concise book of lying". New York: Farrar, Straus and Giroux, 2001.
- [2] E. B. Ford, "Lie detection: Historical, neuropsychiatric and legal dimensions". International Journal of Law and Psychiatry, Vol. 29, pp. 159~177, 2006.
- [3] A. Vrij, "Detecting Lies and Deceit", New York, Wiley, 2000.
- [4] J.J. Furedy & R.J. Heslegrave, "The forensic use of the polygraph: A psychophysiological analysis of current trends and future prospects", In: J.R. Jennings, P.K. Ackles & M.G.H. Coles (Eds.), Greenwich Press, CT: Jessica Kingsley, Advances in psychophysiology, Vol. pp. 157~189, 1991.
- [5] Jr.R. Johnson, "The amplitude of the P300 component of the event-related potential. In: P.K. Ackles, J.R. Jennings & M.G.H. Coles, (Eds.), JAI Press, CT: Greenwich, Advances in Psychophysiology, Vol. 2. pp. 69~138, 1988.

- [6] R. Johnson, "On the neural generators of the P300 component of the event related potential", *Psychophysiology*, Vol. 30, pp. 90~97, 1993.
- [7] R. Mertens & J. Polich, "P300 from a single-stimulus paradigm: passive versus active tasks and stimulus modality", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 104, pp. 488~497, 1997.
- [8] J. Polich, "Neuropsychology of P3a and P3b: a theoretical overview", In: N. Moore & K. Arikan, (Eds.), *Kjellberg Press*, CT: Wheaton, IL, *Brainwaves and Mind: Recent Developments*, pp. 15~29, 2004.
- [9] V. Abootalebi, M.H. Moradi & M.A. Khalilzadeh, "A comparison of methods for ERP assessment in a P300-based GKT", *International Journal of Psychophysiology*, Vol. 62, pp. 309~320, 2006.
- [10] J.P. Rosenfeld, E. Shue & E. Singer, "Single versus multiple probe blocks of P300-based concealed information tests for self-referring versus incidentally obtained information", *Biological Psychology*, in press.
- [11] M.T. Bradley & J.F. Warfield, "Innocence, information, and the guilty knowledge test in the detection of deception", *Psychophysiology*, Vol. 21, pp. 683~689, 1984.
- [12] M. Gamer, H.G. Rill, G. Vossel & H.W. Gödert, "Psychophysiological and Vocal Measures in the Detection of Guilty Knowledge", *International Journal of Psychophysiology*, Vol. 60, pp. 76~87, 2006.
- [13] J.P. Rosenfeld, A. Angell, M. Johnson & J. Qian, "An ERP-based, control question lie detector analog: algorithms for discriminating effects within individuals' average waveforms", *Psychophysiology*, Vol. 38, pp. 319~335, 1991.
- [14] J.P. Rosenfeld, G. Cantwell, V.T. Nasman, V. Wojdac, S. Ivanov & L. Mazzeri, "A modified, event-related potential-based guilty knowledge test". *International Journal of Neuroscience*, Vol. 24, pp. 157~161, 1988.
- [15] J.P. Rosenfeld, M. Soskins, G. Bosh & A. Ryan, "Simple effective countermeasures to P300-based tests of detection of concealed information", *Psychophysiology*, Vol. 41, pp. 205~219, 2004.
- [16] L.A. Farwell, & S.S. Smith, "Using Brain MERMER Testing to Detect Concealed Knowledge Despite Efforts to Conceal", *Journal of Forensic Sciences* Vol. 46(1), pp. 1~9, 2001.
- [17] G. Ben-Shakhar & E. Elaad, "The Validity of Psychophysiological Detection of Information With the Guilty Knowledge Test: A Meta-Analytic Review", *Journal of Applied Psychology*, Vol. 88(1), pp. 131~151, 2003.
- [18] A.F. Kramer, E.J. Sirevaag & R. Braune, "A psychological assessment of operator workload during simulated flight missions", *Human Factors* Vol. 29(2), pp. 145~160, 1987.
- [19] J. Polich, "P300 in clinical applications", In: E. Niedermeyer, F.L. Silva, (Eds.), *Urban & Schwarzenberg Press*, CT: Baltimore-Munich, *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields*, Vol. 4, pp. 1073-1091, 1999.
- [20] L.A. Farwell & E. Donchin, "The truth will out: interrogative polygraphy ("lie detection") with event-related potentials", *Psychophysiology*, Vol. 28, pp. 531~547, 1991.