

ERP를 통해 나타난 항공기 진입각 지시등의 배열에 따른 높낮이 판단의 효율성 차이

이 강 준[†]

공군 항공안전관리단

박 창 범 김 현 택

고려대학교 심리학과

진입각 지시등은 항공기가 적절한 각도로 활공하여 활주로에 진입할 수 있도록 진입각에 대한 상태를 시각적인 부호로 알려주는 항공등화(航空燈火)이다. 진입각 지시등으로 현재에는 정밀 진입각 지시등(precision approach path indicator: PAPI)이 사용되고 있다. PAPI 정보는 수평으로 배열된 색조합으로 구성되어 있기 때문에 높낮이 판단과 관련이 있는 수직적 차원의 속성이 포함되어 있지 않다. 이 때문에 높낮이 판단이 자연스럽게 이루어질 수 없으며, 또한 학습이 불충분한 상태에서는 배열의 규칙성이 비슷한 자극들 간에 종종 혼동이 일어난다. PAPI의 이러한 한계를 극복하기 위해서 본 연구에서는 수직적 차원으로 구성된 수직배열의 정밀 진입각 지시등(vertical-precision approach path indicator: V-PAPI) 모델을 상정하고, 이것이 진입각의 높낮이 판단에 있어서 PAPI보다 효율적으로 처리되는지를 알아보았다. 실험 1에서는 PAPI에 대한 경험이 없는 일반인 피험자를 대상으로 PAPI와 V-PAPI의 자극을 제시하고 스위치반응과 ERP를 측정하였다. 스위치반응의 반응시간과 P300의 잠재기에서는 의미있는 차이를 보이지 않았으나 스위치반응의 오류에서는 V-PAPI가 PAPI에 비해 유의미하게 낮았다. 또한 정보의 확실성과 과제의 난이도를 반영하는 것으로 알려진 P300의 진폭도 V-PAPI에서 크게 나타나 V-PAPI의 수직적 배열구성이 높낮이 판단에 효과적이라는 것이 입증되었다. 실험 2는 V-PAPI가 조종사 집단에서도 PAPI에 비해 효과적으로 처리되는지를 알아보기 위해서, 조종사 피험자를 대상으로 PAPI와 V-PAPI의 자극을 비교해 보았다. 스위치반응시간, 반응오류 및 P300의 잠재기에서는 차이가 없었다. 그러나 P300의 진폭은 다소 느슨한 유의도 수준이긴 하지만 PAPI보다 V-PAPI에서 더 크게 나타나 PAPI에 익숙해져 있는 조종사 집단에서도 V-PAPI의 정보가 더 쉽게 처리된다는 것을 보여주었다. 본 연구의 결과는 수직배열의 정밀 진입각 지시등 모델인 V-PAPI가 수평배열로 정보를 제공하는 기존의 PAPI보다 높낮이 판단에서 더 쉽고 확실하게 처리될 수 있음을 시사한다.

[†] 교신저자 : 이 강 준 / 660-929 경남 진주시 금산면 속사리 사서함 306-31 공군항공안전관리단 / leekngjn@unitel.co.kr

항공기 착륙은 어렵고 복잡한 과정이다. 착륙 단계에서는 각종 기기의 조작이나 점검해야 할 사항들이 많기 때문에 조종사의 작업부하(workload)는 다른 어느 비행단계보다도 높다(Hart, Hauser, & Lester, 1984; Hawkins 1993). 착륙이 어렵고 복잡한 과제라는 것은 항공사고통계로도 나타나는데 보잉사가 집계한 정기운항 민간 제트항공기의 사고통계를 보면, 비행단계별로 접근 및 착륙단계에서의 사고가 전체 사고의 50% 이상을 차지하고 있다(Boeing, 2001). 항공기가 안전하게 착륙하기 위해서는 두 가지 요소가 충족되어야 한다. 하나는 활주로의 방향과 항공기의 진행방향을 일치시키는 활주로 정대(alignment)이고, 다른 하나는 적절한 높이로 서서히 하강하여 활주로에 진입하는 진입각(glide slope) 유지이다. 특히 적절한 진입각은 착지 시의 충격을 최소화하면서도 착지 후 길이가 한정되어 있는 활주로 내에서 정지에 필요한 감속 처리가 이루어질 수

있도록 하기 위한 필수적인 조건이다. 진입각에 대한 판단은 기본적으로 활주로 패턴에 대한 시각적 경험에 의존한다. 그러나 활주로의 시각적 패턴은 기상조건에 따라, 그리고 조종사의 신체적, 심리적 조건에 따라 달리 지각될 수 있기 때문에 전적으로 조종사의 시지각에 의한 판단만으로는 안전한 착륙을 보장받을 수 없다. 그래서 대부분의 공항에는 진입각에 대한 조종사의 판단을 돕기 위해서 진입각의 높낮이 정도를 시각적 부호로 알려주는 진입각 지시등(visual glide slope indicator)이라는 항공등화(航空燈火)가 활주로 초입부분에 설치되어 있다. 현재 대부분의 공항에는 정밀 진입각 지시등(precision approach path indicator: PAPI)이 사용되고 있다.

PAPI는 수평으로 배열된 네 개의 등으로 구성되어 있으며, 백색과 적색의 색조합으로 다섯 가지의 높낮이 정보를 제공한다(그림 1). PAPI의 색조합 정보는 간단하면서도 순차적인 규칙성은

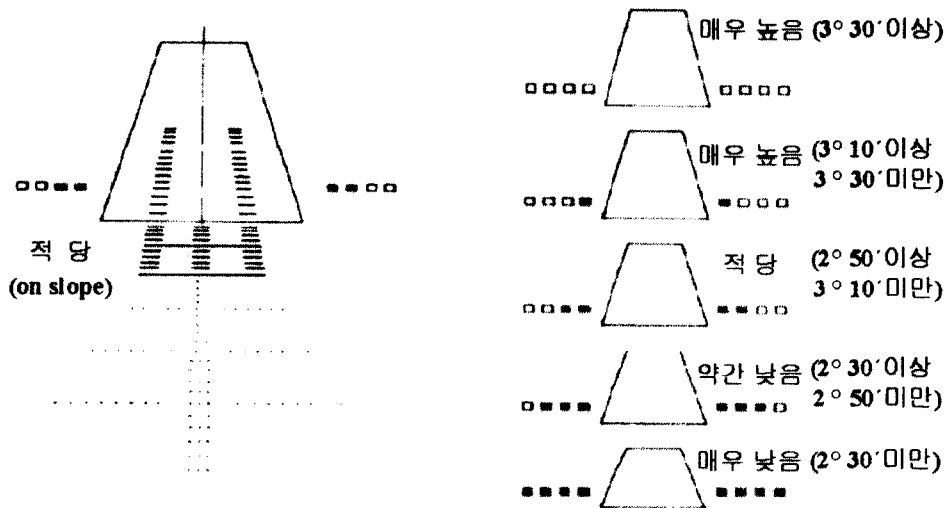


그림 1. PAPI의 배치 위치 및 높낮이 수준별 색조합
(속이 빈 검은선 윤곽의 시각형과 회색의 시각형은 실제로는 각각 백색과 적색이다)

있지만 수평배열 형태의 색조합인 관계로 수직적 차원은 아니다. 또한 일부 색조합 정보의 경우에는 높낮이 판단과 방향성이 상치된다. 즉, PAPI의 정보 중 단색으로 되어 있는 '매우 높음'과 '매우 낮음'은 방향성의 차원과는 무관한 부호인데 반해, '약간 높음', '약간 낮음'은 수평방향의 차원이 포함되어 있는 색조합이다. 이 때문에 PAPI 정보를 보고 직관적으로 높낮이 수준을 연상하기는 힘들며, 따라서 각각의 색조합이 의미하는 높낮이 수준이 사전에 학습을 통해 연결되어 있어야 한다. 실제로 경험이 부족한 초보조종사들의 경우, PAPI의 다섯 가지 높낮이 정보 중 단색으로 이루어져 있어 구별이 쉬운 양극단의 정보, 즉 '매우 높음'과 '매우 낮음'은 비교적 쉽게 높낮이를 판단하는데 비해서, 적색과 백색이 섞여있고 색조합의 규칙성이 비슷한 '약간 높음'과 '약간 낮음'은 빨리 판단하지 못하고 자주 혼동하곤 한다.

PAPI 정보가 사전에 학습이 필요하고 또한 자극들 간에 혼동이 발생하는 것은 높낮이 판단과의 부합성(compatibility)이 낮기 때문이다. 부합성에 대한 현상은 Fitts와 Seeger(1953)에 의해서 알려졌다. 이들은 공간적으로 표시장치의 자극제시 방향과 조작스위치의 방향이 유사할수록 반응이 빠르고 정확하다는 것을 밝혔는데, 이를 자극-반응 부합성(stimulus-response compatibility)이라고 하였다. 부합성의 연구 초창기에는 주로 자극과 반응 간의 부합성에 초점을 맞추었으나(Kantowitz, Triggs, & Barnes, 1990), 근래에는 중추의 과정(central process)이 자극 및 반응과 얼마나 일치되는지가 부합성에 영향을 미칠 수 있다는 점에서 자극-중추-반응의 부합성(S-C-R compatibility)에 대한 연구들이 이루어지고 있다(Eberts & Posey, 1990; Eberts & Schneider, 1985; Robinson & Eberts, 1987; Wickens, Sandry, & Vidulich, 1983). 진입각

지시등의 정보와 높낮이 판단과의 관계는 높낮이 판단이 외현적으로 나타나는 행동이 아닌 머리 속에서 처리되는 중추의 과정이기 때문에 단순히 자극-반응의 부합성 보다는 자극-중추-반응의 부합성 차원으로 다루어 질 수 있을 것이다. 진입각의 높낮이 판단은 수직적 차원인데, PAPI의 정보는 수직적 차원이 결여되어 있다. 이 때문에 자극-중추의 부합성이 낮으며, 결과적으로 높낮이 판단이 효율적으로 이루어지지 않는다고 볼 수 있다. 따라서 진입각 지시등의 정보가 효율적으로 처리되기 위해선 높낮이 판단과 방향이 일치되도록 수직적 차원을 포함하고 있는 진입각 지시등을 고려해 볼 필요가 있다.

PAPI가 지닌 높낮이 판단과의 약한 부합성을 개선하기 위해 권오영과 신현정(1999)은 PAPI를 대체할 수 있는 수직배열 형태의 진입각 지시등 모델을 제안한 바 있다. 이들은 수직적 차원으로 배열된 대안배열(代案配列)의 진입각 지시등 모델이 PAPI와 차이가 있는지를 알아보기 위해서 이들 자극에 대한 높낮이를 판단하도록 하여 키보드를 누르도록 하였다. 실험 결과, 반응오류율에서는 PAPI보다 수직의 대안배열이 통계적으로 유의미하게 낮았다. 그러나 컴퓨터 키보드 누르기 반응시간에서는 수직의 대안배열이 PAPI에 비해 약간 빠르다는 경향성만 보였을 뿐 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지는 않았다. 수직배열의 진입각 지시등 모델은 수직적 차원의 속성을 지니고 있기 때문에 높낮이 판단과의 부합성이 높다고 가정할 수 있는데, 판단반응의 오류율에서 수직배열이 효과적이었다는 것이 이를 뒷받침 해준다. 하지만 키보드 반응시간에서 유의미한 차이가 나타나지 않은 것은 수직배열에 따른 높낮이 판단의 이득이 수평적인 키보드 반응으로 전환되는 과정에서 상실되었을 수도 있다.

본 연구는 수직배열의 진입각 지시등이 효과적이지를 보다 체계적이고 심층적으로 알아보고자 하는 것이 목적이다. 이를 위해 수직배열의 높낮이 판단이 행동적으로도 수직적으로 반응될 수 있도록 부합성을 고려하여 수직으로 스위치를 부착한 스위치 틀을 사용하는 동시에 내적인 높낮이 판단 과정에서 진입각 지시등의 배열형태에 따른 차이가 있는지 알아보기 위해 사건관련전위(event-related potential: ERP)를 적용하였다. ERP 구성성분은 크게 외인적인(exogenous) 것과 내인적인(endogenous) 것으로 구분된다. 외인적인 성분은 자극의 강도, 빈도, 색상, 크기, 패턴, 위치 등 자극이 지니는 물리적인 속성에 좌우되는 성분으로서, 보통 시간적으로 자극발생 후 200 msec이내에 나타난다. 내인적인 성분은 외인적인 성분이 발생하고 난 이후에 나타나는 보다 긴 잠재기를 가지는 성분으로서, 자극의 물리적 속성보다는 과업에 따른 책략, 기대, 의지, 판단 등 인지과정과 관련해서만 나타난다(안한숙, 1995).

내인적인 구성성분 중에서 가장 많은 관심을 가지고 이론적으로, 경험적으로, 임상적으로 광범위하게 연구들이 이루어지고 있는 것이 P300이다(Donchin & Coles, 1988; Donchin, Karis, Bashore, Coles, & Gratton, 1986; Polich, 1993). P300은 300~600msec 사이에서 발생하는 매우 크고 뚜렷한 파형의 양 전위 성분을 말한다(Pritchard, 1981). P300은 여러 연구를 통해서 의사결정, 신호의 확률, 주의, 변별, 불확실성의 해상도, 자극의 관련성, 정보의 전달 등의 여러 다양한 인지적 활동과 관련이 있다는 결과들이 보고되고 있다(Donchin et al., 1988; Karayama & Polich, 1996; Picton, 1992; Polich, 1998). 그 중에서 P300의 진폭이 자극의 확실한 처리 및 확신을 반영하며, 과제의 난이도에 반비례하여 나타난다는 여러 연구들이 있다. 초창기에 Hillyard, Squires, Bauer,

및 Lindsay(1971)는 탐지와 관련된 판단과제에서 자극에 대한 확신의 정도가 높을수록 P300의 진폭이 크게 나타난다는 결과를 발표하였다. 뒤이어 Squires, Hillyard, 및 Lindsay(1973)의 연구에서도 P300의 진폭이 판단의 확신과 밀접한 관계가 있다는 결과가 보고되었다. Ruchkin과 Sutton(1978)은 P300의 진폭이 낮은 것은 자극의 모호성 때문이라고 주장했는데, 자극의 변별이 어려운 경우에는 지각된 자극에 대한 피험자의 불확실성으로 인해 정보가 줄어들고 이것이 P300의 진폭으로 나타난다는 것이다. 즉, P300의 진폭이 크게 나타난다는 것은 전달된 정보의 양이 많다는 것을 반영한 결과라고 하였다. 한편, Fitzgerald와 Picton(1983)은 목표자극 식별의 난이도 변화가 P300에 어떠한 영향을 주는지에 대해 연구하였는데, 동일 조건 내에서 어려운 변별자극과 쉬운 변별자극을 번갈아 가며 같이 제시한 실험에서 변별을 어렵게 할수록 P300의 잠재기가 늦어지고 동시에 진폭이 줄어든다는 결과를 보고하였다. P300의 잠재기는 자극의 분류 속도에 대한 지표로 간주된다(Kutas, McCarthy, & Donchin, 1977; Polich, 1986). ERP는 반응선택의 과정과는 상관이 없는 것으로 알려져 있다(McCarthy & Donchin, 1981; Pfefferbaum, Christensen, Ford, & Kopell, 1986). 이러한 점 때문에 P300은 행동적 측면에 영향을 받지 않고 순수하게 인지적 정보처리과정만을 평가할 수 있는 유용한 수단이 된다. P300의 잠재기는 주의할당과 즉각적인 기억의 처리에 근원이 되는 신경의 활동을 나타내는 시간적 지표로서, P300의 잠재기가 짧을수록 자극을 빠른 시간 내에 처리했다는 것을 의미한다.

본 실험에서 사용된 수직의 정밀 진입각 지시등 모델은 권오영 등(1999)에서 사용한 것과 기본적인 동일한 배열로서, 가칭 V-PAPI(vertical-precision approach path indicator)라고 명명하였다. V-PAPI는

V-PAPI의 전체배열	매우 높음	약간 높음	적당	약간 낮음	매우 낮음

그림 2. V-PAPI의 배열구성 및 높낮이별 표시형태
(속이 빈 검은선 윤곽의 원과 회색의 원은 실제로는 각각 백색과 적색이다)

모두 7개의 등으로 구성되어 있다. 전체적으로는 수직의 배열이나, 상하 판단의 기준을 표시하기 위해서 수직 축의 중심에 세 개의 등을 수평으로 배열하여 ‘+’모양의 형태이다. V-PAPI는 수직적 방향성으로 표현하면서도, PAPI와 같이 진입각을 세밀하게 알려줄 수 있도록 다섯 가지의 높낮이 정보를 줄 수 있도록 되어 있다. V-PAPI에 사용된 색은 PAPI와 마찬가지로 백색과 적색의 두 가지 색이다. 중앙에 수평으로 세 개의 백색등을 배치하였고, 위로 두 개의 등은 밝은 하늘이 연상되도록 백색으로, 아래방향의 두 등은 땅이 연상되도록 진한 색으로 표현하면서도 추락에 대한 경고의 의미를 부여하기 위해 적색을 사용하였다. V-PAPI는 높낮이 수준에 따라서 세 개 또는 네 개의 등이 보이게 되며, 좌우의 백색등은 높낮이 판단의 중간 기준을 제공하면서도 화살표 머리모양의 패턴을 표현하기 위해 높낮이 수준에 상관없이 항상 보이게 된다. 기본적으로 좌우 등의 수평라인을 기준으로 높을수록 위로 백색등이, 낮을수록 아래로 적색등이 추가로 하나씩 더 보이는 방식으로 되어 있으며, ‘적당’의 경우에는 중간에 수평으로 배열된 세 개의 백색등이 수평선처럼 보이게 된다. V-PAPI는 수평배열로 되어 있는 기존의 PAPI 체계와는 달리

수직배열로 되어 있으면서 동시에 높낮이 수준에 따라서 상하 방향의 증감 단서도 같이 제공하고 있다. 즉, 백색(적색)의 등이 위(아래)의 방향으로 하나만 보이느냐 또는 두 개가 보이느냐 따라서 각각 ‘약간 높음(낮음)’, ‘매우 높음(낮음)’으로 판단하도록 되어 있다. 따라서 PAPI와는 달리 특별히 학습하지 않아도 쉽게 높낮이를 판단할 수 있다(그림 2).

본 연구는 반응잠재기 및 반응오류율을 통한 행동적 자료와 더불어 P300성분의 잠재기 및 진폭의 분석을 통해서 수직배열의 진입각 지시등 모델이 진입각 높낮이 판단에 효과적인지를 체계적으로 알아볼 것이다. 실험 1에서는 일반인 피험자를 대상으로 하였으며, 실험 2는 조종사 피험자를 대상으로 진행하였다.

실험 1 : 행동반응 및 ERP 분석을 통한 PAPI와 V-PAPI의 높낮이 판단 효율성 비교

실험 1에서는 PAPI와 V-PAPI가 높낮이 판단과제에서 행동반응 및 ERP에서 차이를 보이는지 알아보려고 한다. 특히 내적인 인지과정을 반영하는 P300 성분의 잠재기 및 진폭에서 높낮이

판단의 효율성을 반영하는 차이들이 나타나는지
가 주 관심사이다.

방 법

피험자

피험자는 오른손잡이로서 신경학적 이상이 없
는 22~33세의 성인남자 12명이었다. 두 배열간
의 순수한 차이를 알아보기 위해서 PAPI에 대한
경험이 전혀 없는 일반인들로 구성하였다.

실험설계

독립변인은 진입각 지시등의 배열형태('PAPI'
와 'V-PAPI'), 높낮이 조건('매우 높음', '약간 높
음', '적당', '약간 낮음', '매우 낮음')으로 모두
참가자 내 변인이었다. 종속변인은 높낮이 판단
에 대한 반응시간, 반응오류율, P300의 잠재기,
P300의 진폭이었다.

뇌파 기록

EEG는 국제 표준규격인 10-20체계(Jasper, 1958)
에 의거하여 Fz, Cz, Pz 등 모두 세 군데의 두피
부위에 은/염화은 전극을 부착하여 기록하였다.
중심선을 따라 전극을 부착한 세 곳은 P300의
구성성분이 가장 잘 탐지되는 부위로 알려진 곳
이다(Fabiani, Gratton, Karis, & Donchin, 1987). 준
거전극(reference)은 좌우측 귓볼에, 접지전극
(ground)은 이마 중앙에 부착하였으며, 눈꺼풀 및
눈동자의 움직임으로 인한 뇌파의 인공산물
(artifact)을 제거하기 위해 눈썹 바로 위와 눈 아
래에 안전도(electro-oculogram; EOG)용 전극을 부

착하여 EOG의 수준을 측정하였다. EEG는 EEG용
증폭기(Biopac MP100 System)에 부착되어 있는 대
역여파기(bandpass filter)의 선택스위치를 조정하여
0.1Hz에서 35Hz 범위로 대역여파한 후 2msec 단
위로 샘플링하여 디지털 값으로 변환하였다.

실험 자극

실험 1에서 사용된 시각적 배열자극은 PAPI와
V-PAPI였다. 두 배열자극 모두 모니터에 그래픽
으로 표현하였다.

실험 절차

전극 부착과 적용

실험은 전기적인 노이즈를 차단할 수 있는 차
폐실에서 진행되었다. 우선 피험자를 실험용 의
자에 앉히기 전에 이름, 신경학적 장애의 유무,
난시의 유무 등을 확인하였다. 난시에 대해서는
사전실험을 통해서 난시를 가진 사람들이 눈동
자 초점고정이 어려운 관계로 눈동자 움직임으
로 인한 인공산물 발생의 가능성이 있다는 것을
발견했기 때문에 난시를 가진 사람은 실험에서
제외하였다. 간단한 신상파악 후, 제시할 자극세
트 및 실험진행에 대한 안내와 더불어 자극세트
를 숙지할 수 있도록 10분간의 학습시간을 주면
서 실험실 상황에 적응할 수 있도록 하였다. 그
다음에 피험자를 목받침이 있는 실험용 의자에
앉힌 후 전극을 부착하고 5분간 안정된 상태에
서 스위치 반응 방법 및 눈꺼풀반응 통제에 대
한 방법을 설명하였다. 실험자극이 제시될 모니
터는 19인치 완전평면사각모니터로서, 모니터 중
앙에 그래픽으로 표현된 실험자극이 5° 이내의
시야에 들어오도록 피험자의 눈으로부터 약 90
cm 떨어진 정면에 설치하였다. 실험은 피험자의

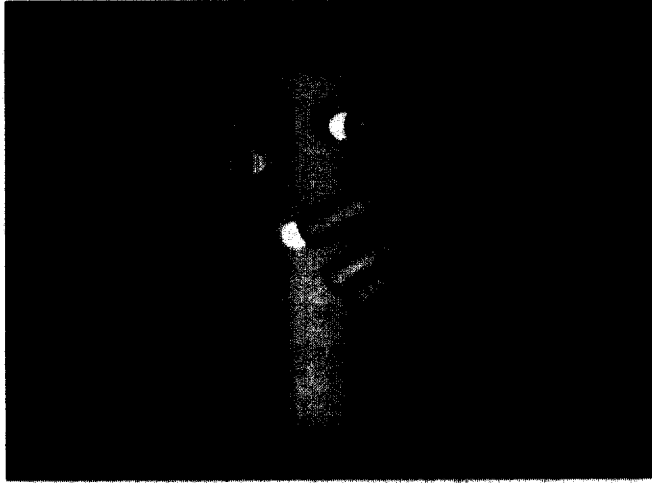


그림 3. 원통형 스위치 틀의 모습
(그림은 스위치 틀을 오른손으로 쥐고 있는 모습의 거울상이다)

시선을 모니터 중앙의 십자표식에 고정시킨 후 EEG가 제대로 측정되고 있는지의 여부를 확인한 후에 시작하였다.

손가락 스위치 반응속도 검사

본 실험에는 실험자극을 보고 그에 대한 높낮이 판단 결과를 스위치로 반응하도록 하였다. 스위치 반응에는 총 세 손가락이 사용되는데, 각 손가락의 고유한 반응시간 차이를 공변인으로 빼내고 판단에 따른 반응치 만을 분석할 필요가 있었다. 이를 위해 뇌파측정 실험에 들어가기 전에 스위치 반응에 대한 각 손가락의 고유한 반응치를 표집하고자, 피험자와 동일한 모습으로 스위치 틀을 잡고 있는 손그림 자극을 피험자 모니터에 무선적으로 제시하고 그림에 표시된 해당 손가락과 스위치를 탐지하자마자 가능한 빨리 누르도록 하여 스위치 반응에 사용되는 세 손가락(엄지, 검지, 중지)의 고유한 반응시간을 측정하였다. 스위치는 모두 세 개로, 수직적 높

낮이 판단이 자연스럽게 수직적으로 반응으로 이어질 수 있도록 부합성을 고려하여 한 손에 자연스럽게 쥐여지는 원통의 플라스틱 통에 각각의 손가락 위치에 맞게 수직의 방향으로 위에서 아래로 차례로 설치하였다(그림 3).

연습시행

본 시행을 시작하기 전에 2분 여 동안 본 시행에 사용될 배열세트에 대한 연습시행을 통해서 배열의 조합을 익히면서 동시에 눈 깜빡임을 통제하는 연습을 하도록 하였다.

본 시행

연습시행이 끝나면 본 시행에 들어가게 되는데, 피험자 내 실험설계에 따라서 동일 피험자가 PAPI 조건의 자극과 V-PAPI 조건의 자극을 모두 받는다. 피험자 내 설계에 따른 배열조건 간 순서의 효과를 상쇄시키기 위해서 피험자의 반은

PAPI 조건의 자극을 먼저 제시받고 나머지 반은 V-PAPI 조건의 자극을 먼저 제시받도록 하였다. 각 배열조건을 한번에 모두 제시하기에는 시행수가 많아서 중간에 피험자 휴식시간을 주기 위해 한 배열조건을 두 회기로 나누어 실시하였다. 각 높낮이별 자극들은 모두 같은 확률로 무선적으로 제시되도록 하였는데, 한 회기는 다섯 가지의 높낮이 자극을 25번씩 받도록 125시행으로 구성하여 각 배열조건 당 두 회기를 통해 얻어지는 시행수는 높낮이별로 각 50시행으로 총 250시행이었다.

일반적으로 확실한 P300 파형을 얻기 위해서 기준자극 중에 낮은 확률로 포함되어 제시되는 목표자극을 변별하도록 하는 'oddball paradigm'을 적용하는 것이 보통이다. 그러나 'oddball paradigm'은 본 연구와 같이 변별해야 하는 자극의 수가 많고 자극의 평가나 분류의 섬세한 차이를 알아보는 방법으로는 부적당하다(Mecklinger, Ullsperger, & Baldeweg, 1993). 또한 표준자극과 목표자극을 같은 확률로 자극을 제시해서 P300을 얻었다는 기존의 연구(Sutton, Braren, Zubin, & John, 1965)에 근거하여 동일 확률로 자극들을 제시하였다.

자극제시 전 100ms 동안 기저선 측정을 위한 기간을 두었고, 300ms 동안 시각자극을 제시하였으며, 자극 종료 이후 700ms까지 EEG를 기록하여 전체 EEG 기록시간은 1,100ms였다. 높낮이 자극에 대한 스위치 반응은 자극 개시 기준으로 2,000ms 이내에 한 반응만을 유효반응으로 처리하고 이 범위를 벗어나는 반응은 오류로 간주하였다. 1,100ms동안의 EEG 기록이 종료된 이후 2초 동안에는 모니터 중앙에 십자표시를 제시하여 피험자가 눈을 깜빡일 수 있도록 하였다. 시행간 간격은 1,000ms였으며, 한 시행에 소요되는 시간은 2,100ms였다.

스위치 반응은 피험자에게 높낮이 판단에 대

한 과제를 부과하고 실제로 높낮이 자극에 대한 행동반응을 측정하기 위해서 실험에 포함되었다. 피험자로 하여금 제시된 자극을 보고 높낮이를 판단하여 각각의 높낮이에 맞는 스위치를 누르도록 하였다. 다섯 가지 높낮이 판단에 대한 스위치 반응은 '매우 높음'의 경우에는 원통에 설치된 맨 위쪽의 스위치를 검지를 사용하여 두 번 연속해서 누르도록 하였고, '약간 높음'의 경우에는 맨 위의 스위치를 한 번 누르고, '적당함'의 경우에는 엄지에 닿아 있는 가운데 스위치를 한 번 누르며, '약간 낮음'과 '매우 낮음'의 경우에는 맨 아래의 스위치를 중지를 이용하여 각각 한 번, 두 번 누르게 하였다. 실험은 전극부착 시간을 포함해서 1시간 정도가 소요되었다.

결 과

결과는 스위치 누르기 반응자료와 ERP에 대한 자료로 나누어 분석하였다. 스위치 반응분석에는 12명의 피험자 모두의 자료가 사용된 반면에, ERP분석에는 오프라인으로 EEG를 검토한 결과 눈꺼풀 반응에 대한 통제 실패로 ERP를 제대로 추출하기 힘들었던 피험자 2명과 외부의 일시적인 전기적 잡음으로 역시 정상적인 EEG가 기록되지 않은 피험자 1명 등 모두 3명의 피험자 자료는 ERP 분석에서 제외하고 총 9명의 피험자 EEG 자료를 대상으로 ERP를 추출하여 분석하였다. 각 배열조건 당 두 회기의 실험에서 각 높낮이 조건별로 ERP 추출에 필요한 20개 이상의 유효시행을 얻었다. EOG에 의한 인공산물의 영향으로 뇌파의 진폭이 크게 흔들렸던 시행은 실험 후 소프트웨어 프로그램을 통해 ERP를 추출해내는 과정에서 제외하였다.

표 1. 원통형 스위치 틀에 대한 반응 손가락별 스위치 누르기 평균 고유 반응시간 (26명의 평균값이며, 단위는 ms이다)

	검 지	엄 지	중 지
평 균	901	851	877
표준편차	60.45	62.27	60.78

높낮이 판단에 대한 스위치 반응 결과

시행에 들어가기 전에 실험에 사용될 각 손가락에 대한 고유의 스위치 반응시간 검사를 실시하였다. 표 1은 오른손가락의 스위치 누르기에 대한 고유 반응시간의 전체 피험자 평균값이다.

전체 피험자의 손가락 고유반응을 반복측정 일원변량분석으로 처리한 결과, 실험에 사용될 세 손가락(오른손 엄지, 검지, 중지)의 반응시간에 유의미한 차이가 있었다(F(2, 50)=25.98, p<.01). 따라서 본 시행에서 실시한 스위치 반응에 대한 분석에서는 개인별로 각 높낮이에 대한 스위치 반응시간에서 이들 세 손가락에 대한 고유 반응시간을 제외한 차이값을 통계분석에 사용하였다.

먼저 행동반응 결과를 보면, 스위치 반응시간에 대해 배열형태와 높낮이를 독립변인으로 한 반복측정 이원변량분석에서 PAPI와 V-PAPI 간에 유의미한 차이가 없었다(F(1, 11)=1.06, n.s.). 그러나 높낮이 조건의 효과와, 그리고 배열형태와 높낮이의 상호작용은 유의미했다(각각 F(4, 44)=33.12, p<.01과 F(4, 44)=6.39, p<.05). 상호작용의 해석을 위해 각각의 높낮이 수준별로 두 배열형태의 평균을 T-test를 실시해본 결과, ‘매우 높음’, ‘적당’, ‘매우 낮음’에서는 차이가 없었으나(각각 t(11)=1.08, n.s.; t(11)=.31, n.s.; t(11)=.72, n.s.), ‘약간 높음’과 ‘약간 낮음’에서는 PAPI가 V-PAPI보다 반응시간이 더 길었다(각각 t(11)= 2.31, p<.05; t(11)=2.64, p<.05). 이는 PAPI에서 자극변

별이 분명한 ‘매우 높음’, ‘적당’, ‘매우 낮음’은 V-PAPI에서처럼 쉽게 판단이 되었던 반면에, 자극변별이 애매한 ‘약간 높음’과 ‘약간 낮음’은 쉽게 판단하지 못한 결과라고 볼 수 있다.

스위치 반응의 오류에 있어서는 V-PAPI가 의미있게 낮은 결과를 보였다(F(1, 11)=27.25, p<.01). 그리고 높낮이 조건간에(F(4, 44)=14.26, p<.01), 그리고 배열형태와 높낮이 조건과의 상호작용에서도 유의미하였다(F(4, 44)=12.69, p<.01). 배열형태별로 높낮이 조건에 따라 반응오류의 개수에 차이가 있었는지를 알아보기 위해서 높낮이 조건을 독립변인으로 한 별도의 일원변량 분석을 실시해 본 결과, V-PAPI에서는 높낮이에 따라 오류율의 차이가 없었으나(F(4, 44)=1.05, n.s.), PAPI에서는 높낮이에 따라 오류율에 차이가 의미있게 나타나(F(4, 44)=15.36, p<.01), 이로 인해 상호작용이 나타났다는 것으로 알 수 있다.

그림 4에 제시된 바와 같이 PAPI에서의 오류 경향을 보면, ‘약간 낮음’과 ‘약간 높음’에 대한 오류가 다른 세 높이수준에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 실제로 이들이 다른 세 높낮이 수준과 차이가 있는지를 알아보기 위해서 나머지 세 높낮이 수준 중에서 평균값이 가장 높은 ‘적당’과 T-test를 해보았다. 그 결과 유의미한 차이를 보여[‘약간 높음’-‘적당’: t(11)=3.72, p<.01; ‘적당’-‘약간 낮음’: t(11)=-2.84, p<.05], 이들 두 수준에서의 오류가 다른 세 수준에 비해서 월등히 높게 나왔다는 것을 알 수 있다.

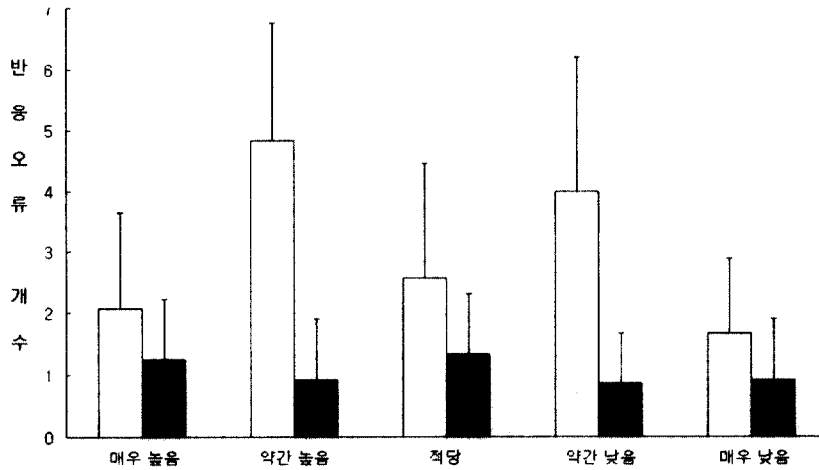


그림 4. PAPI와 V-PAPI에 대한 높낮이 판단의 평균 반응오류 개수
(흰색 막대가 PAPI이고 회색의 막대가 V-PAPI이다. 각 높낮이 수준별 시행수는 50개씩이었다)

ERP 분석 결과

ERP 분석은 P300을 중심으로 살펴보았는데, P300의 범위는 자극제시를 기준으로 320~500ms로 정하였다. P300의 진폭은 정한 범위 내의 파

형 중에서 가장 큰 봉오리의 값으로 하였으며, 잠재기는 자극제시로부터 P300의 최고 진폭에 이르기까지의 시간이었다.

P300의 잠재기에서는 PAPI와 V-PAPI 간에 유의미한 차이가 없었다($F(1, 8)=0.21, n.s.$). 그러나

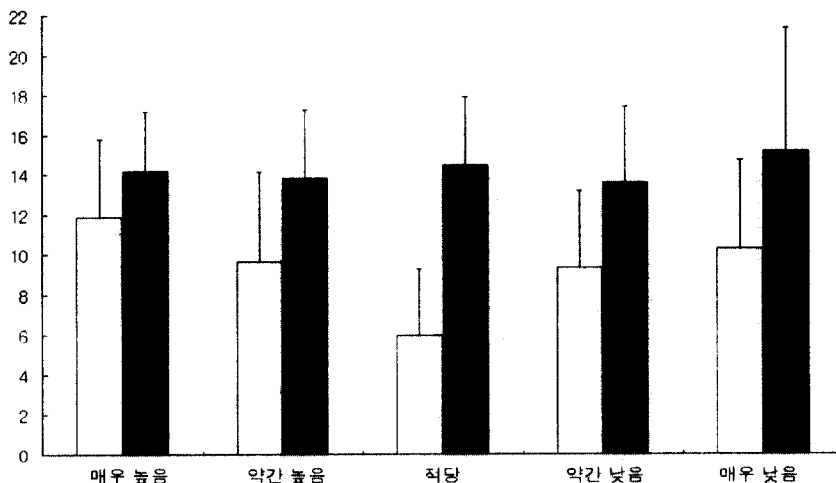


그림 5. Pz에서 측정된 PAPI와 V-PAPI에 대한 높낮이 판단의 P300 진폭 (흰색 막대가 PAPI이고 회색 막대가 V-PAPI이다. 세로축의 단위는 ms이다)

진폭에서는 배열형태간에 의미있는 차이가 나타났는데 $F(1, 8)=22.52, p<.01$, V-PAPI에 대한 높낮이 판단의 P300 진폭이 PAPI의 경우보다 컸다(그림 5). 한편 높낮이 조건과, 그리고 배열형태와 높낮이 수준의 상호작용에서도 유의미한 효과가 나타났다(각각 $F(4, 32)=5.71, p<.01$ 와 $F(4, 32)=9.45, p<.01$). 배열형태와 높낮이 수준의 상호작용 효과는 PAPI에서는 높낮이 수준 간에 진폭의 차이가 있었던 반면에 V-PAPI에서는 높낮이 수준 간에 진폭의 차이가 없이 고른 양상을 보인 결과이다.

그림 6은 전체평균화(grand averaging)한 ERP 모습이다. 전체적으로 V-PAPI의 진폭이 PAPI의 진폭보다 크다는 것을 알 수 있다. 특이한 것은 PAPI의 경우 P300에 이어 또 다른 봉우리가 나타났다는데 이것은 서파(slow wave)로 분류될 수 있다. 서파의 출현 때문에 PAPI에 대한 ERP 파형

이 좀 더 폭이 넓은 양상을 보였다. 서파는 400~800ms의 잠재기로 두정부에서 양성으로 나타나는 반면에 전두부에서는 음성을 띄는 요소로서 P300과 더불어 능동적인 자극의 정보처리를 반영하는 요소로 알려져 있다(Squires, Donchin, Herning, & McCarthy, 1977). V-PAPI의 전체평균화 ERP 파형에서는 서파가 나타나지 않았다. 높낮이 수준별로 ERP 파형을 살펴보았을 때도 V-PAPI는 전체적으로 단일 봉우리 형태의 ERP를 보이는 데 비해, PAPI는 높낮이 수준에 따라서 서로 다른 양상의 ERP 파형을 보이고 있다. 즉, 단일 색으로 정보를 제공하는 '매우 높음'과 '매우 낮음'은 서파의 활동이 거의 눈에 띄지 않는 반면에, 두 가지 색의 조합으로 정보를 제공하는 '약간 높음', '매우 낮음'에서는 서파의 활동의 두드러지게 나타났다(그림 7).

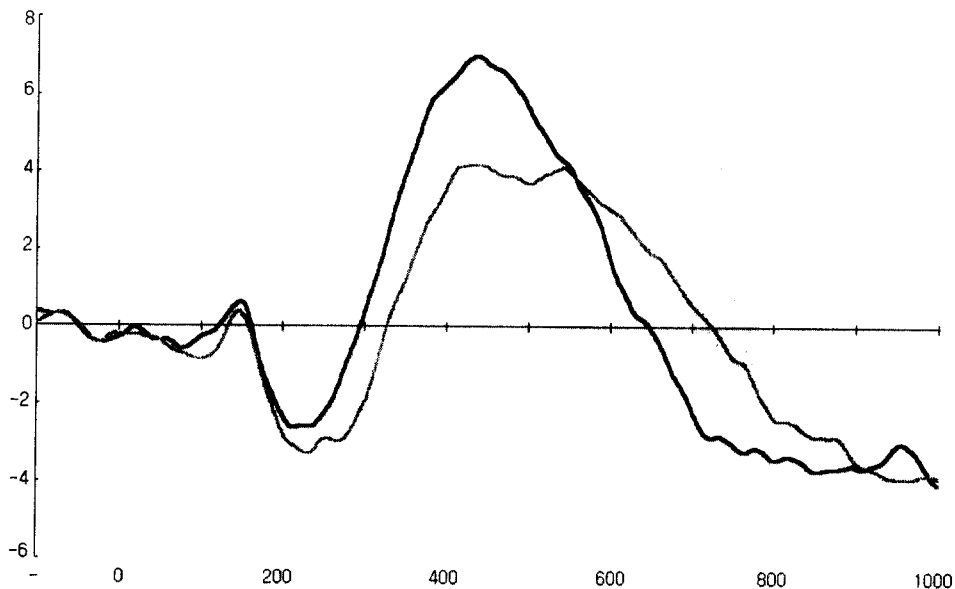


그림 6. PAPI와 V-PAPI에 대한 높낮이 판단의 전체평균화 ERP 파형
(얇은 회색의 선이 PAPI이고, 검은색의 선이 V-PAPI이다. 그리고 단위는 가로축이 ms, 세로축이 μV 이다)

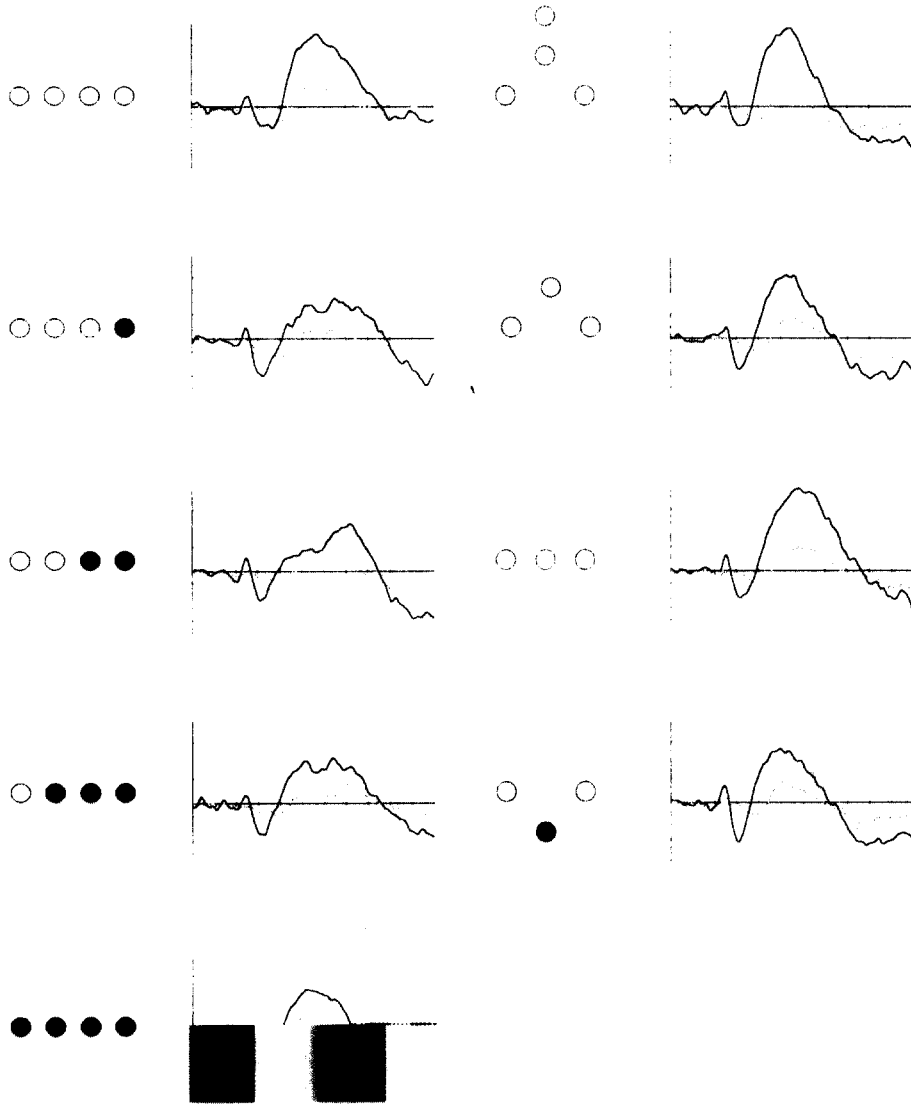


그림 7. 실험 1에 대한 배열형태별 높낮이별 ERP 파형

모든 그래프에서 가장 높은 진폭으로 나타난 선이 Pz, 두 번째 높은 진폭으로 나타난 선이 Cz, 가장 낮은 진폭의 선이 Fz이다. 각 ERP 그래프 좌측에는 해당 높낮이 수준의 진입각 지시등 정보가 제시되어 있다. 진입각 지시등 그림에서 속이 빈 검은선 운곽의 원과 회색의 원은 실제로는 각각 백색과 적색이다

실험 2 : 조종사를 대상으로 한 PAPI와 V-PAPI의 높낮이 판단 효율성 비교

실험 1은 높낮이 판단 개념에 부합하는 수직적 배열의 진입각 지시등 모델(V-PAPI)이 현재 적용되고 있는 PAPI보다 자연스럽고도 효과적으로 처리된다는 것을 입증하였다. 실험 2는 이미 PAPI 정보에 익숙해져 있는 조종사들에게도 과연 V-PAPI의 정보가 보다 더 효과적으로 처리되는지를 알아보기 위해서 실시하였다.

연구 방법

피험자

피험자는 오른손잡이로서 신경학적인 이상이 없는 28~34세의 조종사 6명이었다. 비행시간은 550시간 이상으로 최소 5년 이상의 조종사 생활을 했다.

실험설계 및 절차

실험 2의 실험설계와 절차는 실험 1과 동일하였다.

결 과

높낮이 판단에 대한 스위치 반응 결과

실험 1에서와 같이 스위치 반응시간에서 손가락의 고유한 누르기 반응시간을 제외한 차이값을 분석하였다. 분석 결과, 두 배열형태 간에 의미있는 차이가 없었다($F(1, 5)=0.39, n.s.$). 또한 스

위치 반응의 오류에서도 배열형태간에 의미있는 차이가 없었다($F(1, 5)=3.24, n.s.$).

ERP(P300) 분석 결과

P300의 잠재기에 대해 배열형태와 높이조건을 독립변인으로 한 반복측정 변량분석에서는 PAPI와 V-PAPI 간에 유의미한 차이가 나타나지 않았다($F(1, 5)=0.18, n.s.$).

진폭에 대해 배열형태와 높낮이 조건을 독립변인으로 한 반복측정 이원변량분석에서는 유의도 수준을 $p=.10$ 으로 약간 느슨하게 잡을 경우, 두 배열형태 간에 의미있는 차이가 있었다($F(1, 5)=5.24, p<.10$). 또한 배열형태와 높낮이 조건간의 상호작용도 $P=.10$ 의 유의도 수준에서 유의미하였다($F(4, 20)=2.52, p<.10$). 상호작용 효과는 ‘약간 높음’, ‘적당’, ‘약간 낮음’은 두 배열 간에 차이가 있었던 반면에 ‘매우 높음’, ‘매우 낮음’에서는 두 배열 간에 차이가 없었던 결과이다. 각 배열형태별로 높낮이 조건에 따라 P300 진폭의 차이가 있는지를 알아보기 위해서 높낮이 조건을 독립변인으로 한 별도의 일원변량분석을 실시해 본 결과, PAPI에서는 높낮이 수준별로 P300의 진폭에 차이가 있었던 반면에($F(4, 20)=4.25, p<.05$), V-PAPI에서는 높낮이 조건별로 P300 진폭에 의미 있는 차이가 없는 것으로 나타났다($F(4, 20)=1.22, n.s.$). PAPI에서 ‘매우 높음’과 ‘매우 낮음’의 진폭이 ‘약간 높음’, ‘적당’, ‘약간 낮음’의 진폭에 비해 상대적으로 크게 나타나는 양상은 실험 1과 동일했다(그림 8).

그림 9의 전체평균화 ERP 파형에서도 V-PAPI가 PAPI보다 크게 나오는 것으로 보인다. 실험 1에서와는 다르게 수직배열인 V-PAPI에서도 후반부에 서파의 출현이 보인다. 각 파형 내에서, 앞서 나온 P300 봉오리 정점과 비교해 볼 때 PAPI

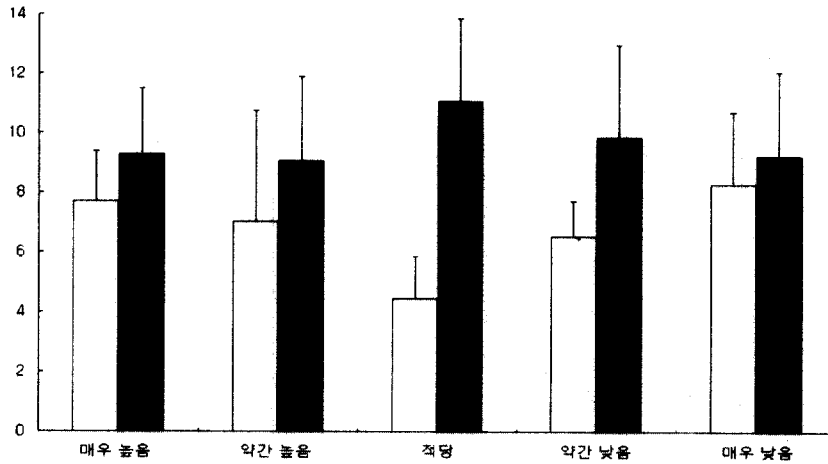


그림 8. 조중사 피험집단에서 나타난 PAPI와 V-PAPI에 대한 높낮이 판단의 P300 평균 진폭(Pz 부위) (흰색의 막대가 PAPI이고 짙은색 막대가 V-PAPI이다. 세로축의 단위는 μV 이다)

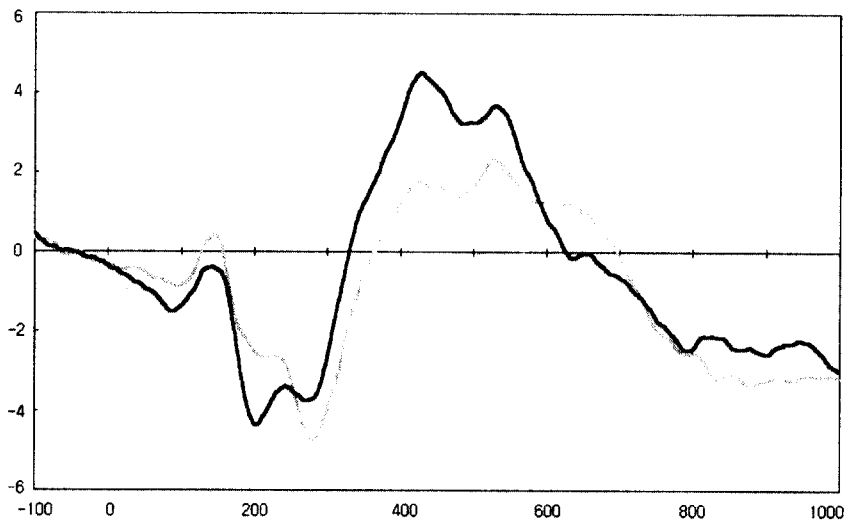


그림 9. 조중사 피험집단에서 나타난 PAPI와 V-PAPI에 대한 높낮이 판단의 전체 평균화된 ERP 파형 (열은 색 선이 PAPI이고, 검은 색의 선이 V-PAPI이다. 가로축의 단위는 ms, 세로축의 단위는 μV 이다)

의 경우가 V-PAPI보다 서파의 진폭이 더 크게 나왔다는 것을 알 수 있다.

논 의

본 연구에서는 기존의 PAPI를 대체하는 모델로 수직배열의 진입각 지시등 체계인 V-PAPI가 진입각 높낮이 판단과제에서 PAPI보다 빠르고 정확하게 판단되는지를 알아보았다. 실험 1에서는 스위치 반응시간에서 PAPI와 V-PAPI 간에 차이가 없었지만 반응오류는 V-PAPI가 더 적었다. 권오영 등(1999)의 연구에서와는 다른 수직배열로 부착된 형태의 스위치 틀을 사용하였음에도 불구하고 두 배열 간에 스위치 반응시간에는 유의미한 차이가 없었던 것은 PAPI 정보가 높낮이 수준별로 자극의 변별 난이도 차이가 있었기 때문이다. 즉, 다섯 가지의 PAPI 정보 모두가 높낮이 판단이 어려운 것이 아니라, 양 극단의 '매우 높음'과 '매우 낮음'은 상대적으로 판단이 쉬워 반응시간에서 V-PAPI와 차이가 없었던 반면에, 판단이 어려운 '약간 높음'과 '약간 낮음'에서만 두 배열 간에 유의미한 차이를 보였다는 것이다. 이는 두 배열이 자극의 난이도에서 완전히 대비를 이루지는 않으며, 그 결과 변량분석에 의한 전체적인 비교에서는 두 배열 간에 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

V-PAPI 자극에 대한 P300의 진폭이 전체적으로 PAPI에 비해 높게 나온 결과는 V-PAPI가 높낮이 단서로서 명확한 정보를 제공해준다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 수직적 차원의 배열에 기인한 것으로서, 자극의 공간적 배열이 높낮이 판단과 차원이 일치될 때 효과적이라는 부합성의 일반적인 논리를 입증해주고 있다. PAPI에서 두 가지의 색조합으로 이루어진 자극들은

P300의 진폭이 낮게 나타나면서 뒤이어 서파가 나타나 난이도가 높은 자극임이 입증되었다. 서파는 P300과는 나타나는 양상이 반대인데, 즉 파제의 난이도나 요구수준이 높아질수록 P300은 진폭이 감소하는데 반해서, 서파는 늘어나는 경향을 보인다. P300은 사건 평가의 중간 단계를 반영하는 요소로서 자극에 대한 초기의 인지적 평가에 관여하기 때문에 전달되는 정보의 양이 풍부할수록 진폭이 증가하지만, 서파는 후반부의 최종적 평가를 담당하기 때문에 판단이 어려워질수록 증가하는 양상을 띤다(Ruchkin, Sutton, Kietzman, & Silver, 1980; Sutton & Ruchkin, 1984). PAPI 자극에서 서파가 눈에 띄게 나타났다는 것은 그만큼 자극이 모호하여 전달된 자극정보의 양이 적고, 이로 인해 판단이 어려워짐에 따라 서파가 증가되었다고 볼 수 있다. 반면에 V-PAPI에서는 모든 높이수준에서 진폭이 높고 그 크기가 고르면서도 서파가 나타나지 않아 단봉의 파형을 보였는데, 이는 V-PAPI의 자극이 전체적으로 자극들간의 난이도가 적으면서도 쉽게 처리될 수 있음을 입증하는 결과이다.

ERP분석에서 한 가지 의외의 결과는 PAPI에서 '적당'의 P300 진폭이 자극이 불명확한 '약간 높음'이나 '약간 낮음'보다도 작았다는 것이다. 스위치 반응시간이나 오류에서는 예상대로 '적당'이 '약간 높음'이나 '약간 낮음'에 비해 반응이 빠르고 정확했는데 P300의 진폭이 작게 나온 것은 서로 불일치되는 결과이다. PAPI에서 '적당'이 두 색의 조합으로 되어 있지만 백색과 적색이 균형을 이루고 있기 때문에 이를 인지하는데 있어서 '약간 높음'이나 '약간 낮음'에 비해 특별히 더 어렵지는 않다. 그럼에도 불구하고 이러한 결과가 나온 것은 피험자의 높낮이 판단 전략이 P300의 진폭에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 즉 PAPI 자극은 색의 개수에 의한 조합으로 높낮이

를 판단해야 하고 자극들간의 난이도 차이가 있는 관계로, '적당'을 판단의 준거로 정하여 놓고 이를 기준으로 다른 자극들을 판단하는 전략을 사용했을 것으로 생각된다. 이렇게 되면 준거자극에 주의를 최소한으로 기울이고 다른 자극에 보다 주의를 더 기울여 판단했을 것이다. 이러한 설명은 Mecklinger 등(1993)이 순차적으로 주파수가 다른 다섯 가지의 청각자극을 가지고 이들 각각을 변별하도록 했던 실험에서도 준거점으로 작용했던 중간음에 대한 P300의 진폭이 낮았으며, 음의 변별기준을 바꾸어 최저음을 목표자극으로 하여 변별하도록 했을 경우에는 목표자극인 최저음을 제외한 나머지 네 음의 P300 진폭이 낮게 나왔다는 결과와 일치한다.

조종사를 대상으로 한 실험 2에서는 스위치 반응의 오류율에서도 유의미한 차이가 없었는데, 이는 조종사들이 PAPI에 대해서 잘 학습되어 있다는 것을 말해주는 결과이다. 그럼에도 불구하고 다소 허용적인 유의도 수준($p=.10$)에서 V-PAPI가 더 큰 P300의 진폭을 보인 결과는 PAPI 보다는 V-PAPI의 정보가 보다 쉽고 자연스럽게 처리된다는 것을 입증해준다. 실험 1과 다른 서파의 출현 양상은 보다 역동적이다. 수직배열에서도 눈에 띄는 서파 출현은 P300 진폭이 상대적으로 더 적었다는 사실과도 맥락을 같이 하는 결과이다(실험 1의 일반인 피험자들의 V-PAPI 자극에 대한 P300 진폭은 후두엽 부위에서 평균 $12\sim 14\mu V$ 였으나 조종사 집단의 경우는 $8\sim 12\mu V$ 정도에 그쳤다). P300의 진폭이 상대적으로 더 적게 나오고 후반부에 서파가 나타났다는 것은 수직배열 자극의 처리가 일반인들과는 차이가 있다는 것이며, 아마도 기존에 익숙해져 있던 PAPI의 기억 내용이 새로운 높낮이 단서자극인 V-PAPI에 대해 부적 전이 효과를 미쳤을 가능성이 있다. 그러나 각 파형 내에서 서파의 출현에

앞서 나온 P300의 진폭과 서파의 진폭을 비교해 보면 PAPI의 경우 후반부에 나온 서파의 진폭 크기가 앞서 나온 P300파의 진폭의 수준을 상회한다. 이는 PAPI에 대한 높이 판단이 수월치 않다는 것을 반영해주는 결과이다.

본 연구는 진입각 지시등의 변천에 관한 문헌, 특히 PAPI의 적용에 대한 이론적 근거를 뒷받침하는 공개된 문헌들을 찾지 못한 관계로 이에 대한 문헌고찰이 제대로 되어 있지 못한 점이 단점일 것이다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 진입각의 높낮이 판단 단서로서 PAPI가 효율적이지 못하며, 수직배열의 V-PAPI가 상대적으로 더 효과적이라는 것을 입증하였다. 그러나 이를 현장에 적용하기 위해서는 현장에서 일어날 수 있는 여러 상황들이 고려되어야 하며, 이러한 여러 상황적 요인들에 대한 후속 연구들을 통해서 실질적으로 적용의 가능성을 충분히 검토할 필요가 있다.

결론적으로 본 연구에서 실시한 실험의 결과들을 종합해 볼 때, 수직의 배열로 구성된 V-PAPI가 높낮이 판단과제에 있어서 기존의 PAPI 체계보다 효율적으로 처리되며, 이는 착륙시 진입각 판단에 대한 명확성을 높임으로써 조종사의 효과적인 착륙업무 수행에 도움이 될 수 있다는 것이 시사한다.

참고문헌

- 권오영, 신현정 (1999). 비행기 착륙장면에서 진입각 지시등의 배열과 거리 및 활주로 단서가 진입각 판단에 미치는 효과. 한국심리학회 및 인지심리학회 여름학술대회발표논문집, 46-52
- 안한숙 (1995). 인지 정보처리 과정의 사건관련

- 전위들: P300과의 연구과정에서 밝혀진 사건관련전위 구성성분에 대한 개관. 한국심리학회지: 생물 및 생리, 7, 1-34.
- Boeing Commercial Airplane Company (2001). Statistical summary of commercial jet airplane accidents: Worldwide operations, 1959-2000.
- Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Brain Behavioral Science*, 11, 357-374.
- Donchin, E., Karis, D., Bashore, T. R., Coles, M. G. H., & Gratton, G. (1986). Cognitive psychophysiology and human information processing. In: M. G. H. Coles, E. Donchin, and S. W. Porges(Eds.). *Psychophysiology: Systems, Processes, and Applications*(pp. 244-267), New York.: The Guilford Press.
- Eberts, R. E., & Posey, J. W. (1990). The mental model in stimulus-response compatibility. In R. W. Proctor & T. G. Reeve(Eds.), *Stimulus-Response Compatibility: An Integrated Perspective*(pp. 389-425), Amsterdam: North-Holland.
- Eberts, R. E., & Schneider, W. (1985). Internalizing the system dynamics for a second order system. *Human Factors*, 27, 371-393.
- Fabiani, M., Gratton, G., Karis, D., & Donchin, E. (1987). The definition, identification, and reliability of measurement of the P300 component of the event-related brain potential. In : Ackles, P.K., Jennings, J.R., and Coles, M.G.H.(Eds.), *Advances in Psychophysiology*, 2.(pp. 1-78), Greenwich, CT: JAI Press.
- Fitts, P., & Seeger, C. (1953). S-R compatibility: Spatial characteristics of stimulus and response codes. *Journal of Experimental Psychology*, 46, 199-210.
- Fitzgerald, P. G., & Picton, T. W. (1983). Event-related potentials recorded during the discrimination of improbable stimuli. *Biological Psychology*, 17, 241-276.
- Hart, S. G., Hauser, J. R., & Lester, P. T. (1984). Inflight evaluation of four measures of pilot workload. In *Proceedings of the 28th Annual Meeting of the Human Factors Society*(pp. 945-949), Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- Hawkins (1993). *Human factors in flight*. Ashgate Publishing Company.
- Hillyard, S. A., Squires, K. C., Bauer, J. W., & Lindsay, P. H. (1971). Evoked potential correlates of auditory signal detection. *Science*, 172, 1357-1360.
- Jasper, H. H. (1958). Report of committee on methods of clinical examination in EEG: Appendix : The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Kantowitz, B. H., Triggs, T. J., & Barnes, V. E. (1990). Stimulus-response compatibility and human factors. In R. W. Proctor & T. G. Reeve(Eds.), *Stimulus-Response Compatibility: An Integrated Perspective*(pp. 365-388), Amsterdam: North-Holland.
- Katayama, J., & Polich, J. (1996). P300, probability, and the three-tone paradigm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 59, 9-20.
- Kutas, M., McCarthy, G., & Donchin, E. (1977). Augmenting mental chronometry : The P300 as a measure of stimulus evaluation. *Science*, 197, 792-795.
- McCarthy, G., & Donchin, E. (1981). A metric for

- thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Science*, 211, 77-80.
- Mecklinger, A., Ullsperger, P., & Baldeweg, T. (1993). In search of the model: P300 amplitude in a multiple stimulus paradigm. In : H. J. Heinze, T. F. Münte, and G. R. Mangun.(Eds.), *New development in event-related potentials*(pp. 131-135), Boston: Birkhäuser.
- Pfefferbaum, A., Christensen, C., Ford, J., & Kopell, B. (1986). Apparent response incompatibility effects on P3 latency depends on the task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 64, 424-437.
- Picton, T. W. (1992). The P300 wave of the human event-related potential. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 9, 456-479.
- Polich, J. (1986). Attention, probability, and task demands as determinants of P300 latency from auditory stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 63, 251-259.
- Polich, J. (1993). P300 in clinical applications: meaning, method, and measurement. In: E. Niedermeyer and F. L. Da Silva(Eds.), *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, 3rd edn.(pp. 1005-1018), Baltimore: Williams & Wilkins.
- Polich, J. (1998). P300 clinical utility and control of variability. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 15, 14-33.
- Pritchard, W. S. (1981). Psychophysiology of P300. *Psychological Bulletin*, 89, 506-540.
- Robinson, C. P., & Eberts, R. E. (1987). Comparison of speech and pictorial displays in a cockpit environment. *Human Factors*, 29, 31-44.
- Ruchkin, D. S., & Sutton, S. (1978). Equivocation and P300 amplitude. In D. Otto(Ed.), *Multidisciplinary perspectives in event-related potential research*(pp. 175-177), Washington, D.C.: EPA-600/9-97-043(Environmental Protection Agency).
- Ruchkin, D. S., Sutton, S., Kietzman, M., & Silver, K. (1980). Slow wave and P300 in signal detection. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 50, 35-47.
- Squires, K. C., Donchin, E., Herning, R. I., & McCarthy, G. (1977). On the influence of task relevance and stimulus probability on the event related potential components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 42, 1-14.
- Squires, K. C., Hillyard, S. A., & Lindsay, P. (1973). Vertex potentials evoked during auditory signal detection: Relation to decision criteria. *Perception and Psychophysics*, 14, 265-272.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.
- Sutton, S., & Ruchkin, D. S. (1984). The late positive complex: Advances and new problems. In R. Karrer, J. Cohen, & P. Teulings(Eds.), *Brain & information: Event-related potentials*. New York Academy of Sciences, Vol. 425(pp. 1-23), New York: New York Academy of Sciences.
- Wickens, C. D., Sandry, D., & Vidulich, M. (1983). Compatibility and resource competition between modalities of input, output, and central processing. *Human Factors*, 25, 227-248.

Difference of the efficiency in judgment of the glide slope due to arrangement of the visual glide slope indicator: An event-related potentials approach

Kangjune Lee

Korea Aerospace Risk Management Agency

Changbum Park

Department of Psychology, Korea University

Hyuntaek Kim

The visual glide slope indicator is a system of lights so arranged to provide visual descent guidance information during the approach to a runway. Now the precision approach path indicator(PAPI) is used in most airports as a visual glide slope indicator. The PAPI has little compatibility with the judgement of the above and the below due to horizontal arrangement. Therefore, it is difficult to judge intuitively the above and the below with the PAPI. To improve this weakness, we suggest a vertical-precision approach path indicator (V-PAPI), and try to evaluate if it is more efficient than the PAPI. In experiment 1, the stimuli of PAPI and V-PAPI were repeatedly presented to ordinary subjects, who didn't have any experience of the PAPI. The subject responded with a vertical arranged button press to the stimuli, and event-related potentials(ERP) recordings obtained from Fz, Cz, and Pz. As a result of behavioral response, there was no significant difference at a response time of button press between the PAPI and the V-PAPI, but response error of the V-PAPI were less than that of the PAPI. In the ERP analyses, there was no difference at the latency of P300 between the PAPI and the V-PAPI, but V-PAPI P300 amplitude was larger than the PAPI P300 over the all electrode sites. In experiment 2, 6 pilots employed as a subject and the experiment method was identical with that of the experiment 1. No differences found between two indicators at the latency and error of button press and the P300 latency, but V-PAPI P300 amplitude was larger than the PAPI, though the pilots were accustomed to the PAPI. The results suggest that the V-PAPI is more efficient than the PAPI in judgement of the glide slope due to a vertical arrangement which is correspondent with concept of the above and the below.