

## 기억 표상과 지각적 입력 간 비교 과정을 통해 본 시각작업기억 표상의 특성\*

현 주 석<sup>†</sup>

중앙대학교 심리학과

시각 작업 기억에 저장되는 정보의 표상 특성을 조사하기 위해, 변화 탐지 과제에서 기억 항목과 검사 항목이 비교되는 과정을 사건 관련 전위 측정법을 통해 관찰하였다. 피험자는 기억 항목으로 제시된 막대들의 방위 변화를 검사 항목과의 비교를 통해 탐지하도록 요구되었으며, 각 변화 탐지 시행 내에서 기억해야 할 항목의 개수는 1~6개로 변화되었다. 기억과 검사 항목 간 차이에 의해 촉발되는 주의 전환 시점을 N2pc 성분의 발현 시간을 통해 추정할 결과, 항목 개수 증가에 관계없이 주의 전환 시점은 일정하였다. 이는 기억과 검사 항목 간 비교 처리 과정이 매우 신속하며 즉각적으로 수행됨을 의미하며, 기억에 저장된 정보의 표상이 3~4개의 독립된 고정해상도 슬롯들에 저장됨을 시사한다.

주요어 : 시각작업기억, 변화 탐지, 비교, N2pc, 고정해상도 슬롯

---

\* 본 연구는 2009년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

† 교신저자 : 현주석, 중앙대학교 문과대학 심리학과, (156-756) 서울시 동작구 흑석동 221번지  
E-mail : jshyun@cau.ac.kr

일반적으로 우리는 수 없이 많은 시각 자극 들을 매 순간 정확하고 일관되게 기억한다고 생각하기 쉽다. 이와 같은 주관적 경험에도 불구하고 최근의 연구는, 인간이 짧은 시간 동안 기억할 수 있는 시각 정보의 개수가 지극히 제한되어 있음을 보고하였다. 예를 들어, 여러 개의 색상 도형을 보여준 뒤 1 초 정도의 짧은 시간 후에 그 도형들의 색상을 재인 하는 단순한 기억 과제를 실시할 경우 우리는 약 3~4개만을 정확히 기억한다. 이러한 제한 된 저장 용량을 가진 기억 저장소는 시각 작업 기억(Visual Working Memory, VWM)이라 명명되었다(Baddeley, 1986; Cowan, 2001; Luck & Vogel, 1997).

시각 작업 기억의 특성에 대한 최근 연구에는 변화 탐지 과제(change detection task)가 사용되었다(Hyun & Luck, 2007; Hyun, Woodman, Vogel, Hollingworth, & Luck, 2009; Luck & Vogel, 1997; Vogel, Woodman, & Luck, 2001). 변화 탐지 과제에서는, 단순한 세부 특징(예: 색상, 방위, 크기, 길이 등)으로 구성된 몇 개의 기억 항목들이 제시된다. 뒤이어 약 1초 정도의 기억 지연 시간이 경과한 후 기억 검사를 위해, 동일한 자극 항목이 검사 자극으로 제시되거나 또는 그 중 한 개 항목의 세부 특징이 바뀌어 제시된다. 피험자는 검사 항목들이 기억된 항목과 동일한지 아니면 변화가 있었는지를 재인하도록 요구 받는데, 일반적으로 변화가 가능한 항목의 개수는 한 개로 고정시키되 제시되는 전체 항목의 개수를 변화시켜가며 피험자의 재인 정확도를 측정한다. 측정 결과, 재인에 성공한 시행들의 항목 개수를 조사하여 시각 작업 기억의 저장 용량을

측정한다.

시각 작업 기억의 일반적 모형은 시각 작업 기억 처리와 관련된 구성 요소들을 부호화, 저장, 파지 그리고 인출 단계로 구분한다. 이와 같은 네 단계의 정보 처리 특성에 대한 연구는 광범위하게 실시되어 왔으며, 대다수의 과거 연구는 기억에 저장되는 정보의 용량과 표상 특성을 집중적으로 조사하였다(Alvarez & Cavanagh, 2004; Hyun & Luck, 2007; Luck & Vogel, 1997; Vogel & Machizawa, 2004; Vogel et al., 2001; Zhang & Luck, 2008). 반면에 최근의 연구는, 기억 저장소에 저장된 정보의 인출 단계 이후의 처리 특성에 초점을 맞추었는데, 이 단계는 시각 작업 기억에 저장된 정보와 감각 기관을 통해 새로이 유입된 정보간의 유사점과 차이점을 발견하는 비교(comparison) 처리 과정이다(현주석, 2008b; Agam, Hyun, Danker et al., 2009; Hyun, Hollingworth, & Luck, 2006; Hyun et al., 2009; Hyun, Woodman, Vogel, Niese, & Luck, 2003).

비교 처리 과정에 대한 연구는 기억된 정보의 표상 특성과 저장 용량 보다는 기억된 정보가 새로이 유입된 시각 정보와 서로 대조(marching)되는 과정에 중점을 둔다. 비교 과정을 조사한 최근 연구는, 변화 탐지 과제에서 기억 항목과 검사 항목의 비교 과정이 매우 신속하고 빠르게 수행됨을 보고하였다(현주석, 2008b; Hyun et al., 2009). 이 연구들은 시각 작업 기억의 평균적 용량이 3~4항목임을 고려하여 기억 항목 개수 4개 이하의 경우만을 조사하였다. 그 이유는, 비교 과정만을 선별적으로 조사하기 위해서는 기억 저장소에 저장된 정보의 표상이 비교가 수행되는 시점인 검

사 항목이 제시되는 시기까지 완벽하게 유지되어야(maintain)하기 때문이다. 4개 이상의 기억 항목을 제시할 경우, 비교 과정이 아닌 부호화, 저장, 파지 및 인출 과정에서 오류가 추가될 가능성이 있어 이러한 조건이 성립되기 어렵다.

시각 작업 기억 저장소의 용량 제한적 특성에 비추어 볼 때, 비교 처리 과정은 시각 작업 기억의 평균적인 저장 용량인 약 4개 항목 이상의 기억을 요구하는 변화 탐지(overcapacity change detection) 과제에서 사용되는 기억 정보의 표상 특성에 대해 흥미로운 결과를 예견한다. 기억 용량 이상의 저장이 요구되는 경우, 시각 시스템이 성공적인 비교 수행을 위해 선택하는 기억 정보의 표상 방식은 크게 두 가지를 예상할 수 있다. 먼저, 시각 작업 기억의 저장 용량 한계를 고려하여, 제시된 기억 항목들 중 완벽한 기억 표상을 형성할 수 있는 한정된 개수만을 선별적으로 저장하는 방식이다. 비교 수행은 이러한 선별 저장된 기억 항목표상들과 검사 항목의 지각적 표상과의 대조를 통해 이루어진다. 이 경우, 성공적으로 저장된 항목들에 대한 검사가 요구되면 비교 과정은 매우 정확하고 신속하게 수행될 것으로 예상된다. 그러나 기억에 저장되지 않고 유실된 정보에 대한 검사가 요구되면, 이는 검사 항목과 대조될 기억 표상의 부재를 의미하므로 변화 탐지 오류로 이어진다. 이와는 다른 한 가지의 정보 표상 방식은, 저장 용량 이상의 기억이 요구되면 제시된 항목 모두에 대한 저장을 시도하되 저장되는 모든 항목들의 표상적 질을 평균적으로 떨어뜨리는 방법이다. 이 경우는 모든 항목이 시각 작업

기억에 저장되긴 하나, 개별 기억 항목의 표상적 질이 낮아지므로 항목 개수가 늘어날수록 변화 탐지 오류의 증가가 예상된다.

결과적으로 저장 용량 이상의 기억이 요구되면 두 모형은 전반적인 변화 탐지 정확도 저하에 대한 예견은 동일하지만, 시각 작업 기억에 저장되는 표상의 질적 특성을 설명하는데 있어서는 본질적인 차이가 발견된다. 전자의 경우, 기억에 저장되지 못한 항목과 검사 항목간의 비교가 요구되면 수행 시 오류로 이어지지만, 성공적으로 저장된 정보를 대상으로 비교를 수행할 경우는 기억 표상이 질적으로 우수하므로 비교 과정 자체는 정확하고 신속할 것으로 예상된다. 반면에 전자와 달리 후자의 경우, 기억에 저장되지 못할 정보는 이론상으로는 없지만 기억된 모든 항목의 표상적 질이 상대적으로 저하되므로 비교 과정 자체에서 오류의 가능성이 전반적으로 증가하거나 혹은 처리 속도의 지연이 예상된다.

그러나 이처럼 서로 다른 두 모형은 변화 탐지에 소요된 반응시간이나 재인정확도와 같은 행동적 측정치(behavioral measure)를 통해서 검증하기가 어렵다. 그 이유는, 행동적 측정치의 경우 앞서 언급한 기억 과정의 네 단계 및 비교 처리 단계와 의사 결정 및 반응 선택 과정을 모두 포함한 복잡한 처리 과정의 산물이기 때문에, 비교 과정만을 선별적으로 관찰하기 어렵기 때문이다.

이와 같은 한계점을 극복하기 위해서는 중종 사건 관련 전위(Event-related Potentials, ERPs) 측정법이 사용된다(현주석, 2008b; Hyun et al., 2009). 뇌의 전자기 생리학적 활동은 인간의 두피에 미세한 전류 변화를 일으키는데, 이러

한 전류의 변화는 두피에 부착된 전극을 통해 시간적으로 매우 정밀하게 측정될 수 있다. 과제 자극의 제시 시점으로부터 발현된 두피 전위의 변화를 여러 번의 반복시행을 거쳐 평균하면 시시각각 변화하는 전위 변화의 평균적 패턴을 조사할 수 있다(Luck, 2005). 이러한 전위 변화를 통해 자극의 처리와 관련된 심리적 변화를 추정하는 것이 사건 관련 전위 측정법이다. 이 측정법은, 행동적 측정치와는 달리 수백분의 일초 단위로 연속적인 측정이 가능하며, 특정한 심리적 사건이 발생한 시점으로부터 유발된 뇌의 전자기생리학적 변화를 시간적으로 정밀하게 조사할 수 있다는 장점이 있다.

Hyun 등(2009)은 변화 탐지 과제 수행 시 기억된 항목과 그 기억된 내용을 검사하는 검사 항목간의 비교 처리 과정을 조사하기 위해 사건관련전위 측정법을 사용하였다. 변화 탐지에서 비교 처리의 시작점은 기억 항목이 검사 항목과 비교 되는 시점, 즉 검사 항목이 제시되는 시점에 해당된다. 이에 착안하여, Hyun 등은 두피 전위의 측정 시작점을 변화 탐지 과제의 매 시행에서 검사 항목이 제시되는 시점에 일치(time-lock)시켰다. Hyun 등의 연구에 있어서 주요 가정은 과거 연구에 보고된 시각적 주의의 발현 특성에 근거한다. 시각적 주의를 시야의 돌발적인 변화가 존재하는 위치로 즉각적인 이동이 가능한데, 이러한 즉각적인 주의 집중은 돌발적인 자극이나 세부 특징의 변화로 인한 현저성(saliency)에 의존한다 (Jonides, 1981; Mueller & Rabbit, 1989; Nakayama & Mackeben, 1989).

Hyun 등의 연구에서는 변화 탐지 과제에서

검사 자극의 출현으로 인해 비교 과정이 수행될 때 기억 항목과 다른 검사 항목 즉, 변화(change)가 발생한 위치로 시각적 주의를 즉각적으로 전환됨이 관찰되었다. 이와 같은 즉각적인 주의 전환은, 변화 탐지 과제에서 사용된 검사 항목 중 변화를 유발시킨 항목의 출현이 현저성을 촉발시켰기 때문이다. 또한 그들은 비교 처리의 대상이 되는 항목 개수 즉, 기억 항목과 대조되는 검사 항목이 구성하는 쌍의 수를 1, 2, 3, 4개로 변화시켜 시각적 주의를 이동하는데 소요되는 시간을 측정하였는데, 항목의 개수에 관계없이 주의 전환에 소요되는 시간은 일정한 것으로 나타났다. 이는 변화가 발생한 위치에 촉발된 현저성이 항목의 개수와 관계없이 일정했으므로 시각 시스템의 비교 처리 과정이 비교가 요구되는 항목의 개수에 관계없이 매우 신속하게 수행될 수 있음을 의미한다.

비교 과정의 시간적 특성에 대해 이러한 연구 결과는 앞서 논의된 기억 정보 표상의 특성에 대한 가설에 근거할 때 기억 항목 개수의 증가에 따른 매우 중요한 사실을 예견한다. Hyun 등(2009)의 연구에서는 제시되는 기억 항목 개수가 4개 이하로 제한되었으므로 요구되는 기억 항목의 개수가 4개보다 큰 경우에 형성된 기억 정보 표상의 특성과 그에 따른 비교 과정의 질적 특성을 설명하기에는 무리가 있다. 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하기 위해, 제시되는 항목 개수 5개와 6개 조건을 추가하였다. 이와 같은 처치는 상반된 두 정보 표상 가설 즉, 기억 항목을 선별적으로 저장하여 최상의 표상을 형성하는 경우와 기억 표상의 질적 저하를 감수하고 전체 항목

을 저장하는 경우에 예견되는 변화 탐지 과정의 질적 차이를 관찰 가능하게 해준다. 즉 선별적 저장에 의한 변화 탐지는 성공적 변화 탐지가 수행된 정반응 시행의 경우, 항목 개수 4개 미만과 4개 이상의 조건들 사이에 변화에 의해 유발된 주의 전환 시점에 큰 차이가 없을 것을 예견한다. 반면에 전체 항목 저장에 의한 변화 탐지는 정반응 시행일지라도, 항목 개수 4개 미만의 조건들에 비해 4개 이상 조건들에서는 변화가 발생한 항목의 현저성이 저하되므로 주의 전환이 상대적으로 지연됨을 예견한다. 본 연구는 이와 같은 명확한 두 예견에 대한 검증을 시도하였다.

### 실 험

변화 탐지 과제에서 변화가 발생한 검사 항목이 촉발시키는 주의 전환 시점을 측정하기 위하여, 본 연구는 주의 전환 시점을 비교적 정확하게 반영하는 사건 관련 전위인 N2pc (N2 post-contralateral) 성분의 발현 시점을 측정하였다(현주석, 2008b; Eimer, 1996; Hyun et al., 2009; Luck & Hillyard, 1990, 1994; Woodman & Luck, 1999, 2003). 일반적으로, 주의 유도 항목 제시 후 약 200ms를 전후하여 그 항목이 존재하는 시야와 같은 쪽(동측, ipsilateral) 후두부 두피에 부착된 전극에서 측정된 두피 전위에 비해 반대 쪽(대측, contralateral) 후두부에 부착된 전극에서 측정된 전위가 좀 더 음극화되는(negative-going) 현상이 관찰된다. 이러한 동측과 대측의 차이를 N2pc 성분으로 규정하며, 그 발현 시점은 시각적 주의의 이동 시점과 일치한다.

Hyun 등(2009)은 변화 탐지 과제에서 기억 항목과 검사 항목 간 차이(difference)로 인해 변화(change)가 발생한 위치를 주의 유도 항목이 존재하는 위치로 규정하였으며, 이러한 가정 아래 N2p의 발현 시점을 측정하였다. 본 연구는 동일한 가정 아래, 변화를 촉발시킨 검사 항목이 존재하는 위치로 시각적 주의가 전환되는 시점을 관찰하였다. 또한, 변화 탐지에서 사용되는 기억 및 검사 항목의 개수 조건에 항목 개수 5개와 6개 조건을 추가하여 주의 전환 시점을 측정함으로써 앞서 논의된 두 기억 표상 모형들의 검증을 시도하였다.

이와 같은 처치 아래에서는, 두 상반된 기억 표상 모형에 따라 N2pc 발현 시점에 있어서 서로 다른 결과 패턴이 예견된다. 먼저 기억 항목이 선별적으로 저장되어 기억 표상이 질적으로 매우 우수할 경우, 항목 개수가 4개 이상이라도 Hyun 등(2009)의 연구에서 관찰된 바와 같이 주의의 즉각적인 전환이 나타날 것이다. 따라서 항목 개수 5개와 6개 조건에서도 역시 N2pc의 발현 시점은 1, 2, 3, 4개 조건과 큰 차이가 없을 것이다. 반면에 모든 항목의 저장이 시도되지만 저장되는 항목의 표상이 질이 평균적으로 저하될 경우, 항목 개수 1, 2, 3, 4개 조건과는 달리 5개와 6개 조건에서 주의 전환이 지연될 것이며, 이는 N2pc성분의 발현 시간의 지연으로 나타날 것이다.

### 방 법

**참가자** 아이오와 시(Iowa City) 지역에서 자발적으로 참여한 지역 주민들 중 18-32세 사이

의 유급 피험자 12명이 실험에 참가하였다. 개별 피험자는 신경학적으로 정상임을 보고하였으며 정상 색신과 정상 시력 또는 정상 교정시력을 보고하였다.

**자극 및 절차** 실험에 사용된 자극과 각 시행 내의 절차를 그림 1에 도해하였다. 각 자극(0.8° x 0.8°)은 100cm거리를 두고 19" CRT 화면에 제시되었다. 개별 자극은 회색 배경(10.29 cd/m<sup>2</sup>)에 흰색(25.51 cd/m<sup>2</sup>)응시점(0.1° x 0.1°)을 중심으로 8.2° x 8.2° 크기의 직사각형 영역에 제시되었다. 자극의 광도와 색상을 측정하기 위해 Tektronix 사의 모델명 J17 색상 측정기가 사용되었으며, 1931 CIE(Commission International de L'Eclairage) 색상 좌표 체계가 이용되었다.

기억 및 검사 항목은 서로 다른 네 가지 방위(수직, 수평, 45°, 135°)를 가진 막대(0.39° x 0.05°) 자극이었으며, 좌우 시야에 걸쳐 모두 7개의 막대 자극이 제시되었다. 방위 막대는 각기 녹색(x = .321, y = .545, 14.17 cd/m<sup>2</sup>)

또는 빨간색(x = .625, y = .318, 8.05 cd/m<sup>2</sup>) 색상을 가질 수 있었으며, 각 항목 간 2.8° 및 응시점에서 역시 2.8°의 거리를 두고 좌우측 시야의 지정된 공간(3.3° x 6.0°) 내에 무선적으로 제시되었다. 제시된 막대 자극은 각 시행 내에서 1, 2, 3, 4, 5, 6개까지 녹색일 수 있었으며 그에 대응되는 나머지 다른 6, 5, 4, 3, 2, 1개의 막대는 빨간색이었다. 전체 시행 중 절반의 시행에서 좌측에 세 개의 막대가 제시되면 우측 시야에 네 개가 제시되었으며, 나머지 절반의 시행에서는 우측에 세 개 그리고 좌측에 네 개가 제시되었다.

각 시행은 전 시행의 끝에서 약 1초 (800~1200ms로 매 시행마다 무선적으로 변화) 동안 사라졌던 검은색 응시점의 출현에 의해 시작되었다. 응시점이 나타나고 500ms 후 기억 항목이 100ms동안 제시되었으며, 900ms의 기억 지연(memory delay) 시간이 뒤따른 후 검사 항목이 1초 동안 제시되었다. 시행 내 응시점은 검사 항목이 제시된 후 약 2.5초 뒤에 사라졌다. 피험자는 각 시행 구획(trial block) 직전에 녹색 또는 적색의 막대들 중 어느 막대들의 방위를 기억해야 하는지 각 구획 시작에 앞서 지시 받았다. 구획에서 지정된 색상을 가진 막대들의 경우 전체 시행 중 절반의 시행에서 기억 항목과 검사 항목 간 방위 변화가 있었다. 방위의 변화는 45°이었으며(수직 또는 수평 막대의 경우 45°나 135°로 변화, 45° 또는 135°의 막대는 수직 또는 수평 막대로 변화), 피험자는 매 시행 마다 게임패드 상의 두 개의 반응 단추 중 하나를 눌러 변화 여부를 보고하였다. 각 구획 내에서 방위 기억이 요구되지 않은 막대의 경우 기억 항목과 검사

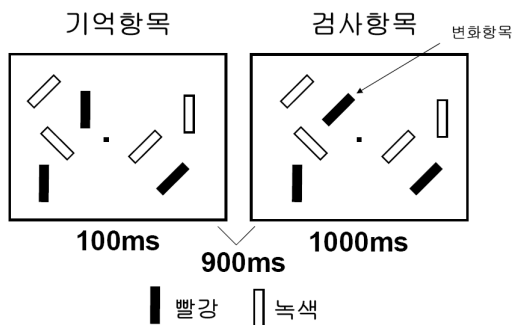


그림 1. 실험의 자극 및 절차. 위의 그림은 빨간색 막대들의 방위를 선별적으로 기억하는 구획내의 변화 있는 시행의 자극과 절차를 예시한다. 위의 사례는 빨간 막대 3개의 방위를 기억해야 하므로 항목 개수 3개 조건에 해당한다. N2pc 성분은 검사 항목의 출현 시점을 기준으로 측정되었다.

항목 사이에 방위 변화는 없었다. 반응의 정확도는 강조되었으나, 반응의 신속성은 강조되지 않았다.

피험자는 96회의 시행으로 구성된 시행 계획을 8번 수행하였으며, 기억해야 할 방위 막대로 녹색이 지정된 구획과 빨간색이 지정된 구획이 번갈아 제시되었다. 또한 시작 구획의 지정 색상을 빨간색 또는 녹색으로 교차시킴으로써 구획의 제시 순서 또한 역균형화 되었다.

**뇌파 자료 측정 및 분석** 피험자의 뇌파(EEGs)는 신속성 있는 모자에 부착된 주석 소재의 전극(tin electrodes)을 사용하여 측정되었다. 전극은 국제 공인된 10/20 체계를 따른 10개(F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, T5, T6)와 비공인된 위치인 O1과 T5 정중앙에 부착된 OL 그리고 O2와 T6 정중앙에 위치한 OR 및 귀 뒤편에 위치한 마스토이드(mastoid) 전극이었다. 모든 전극들로부터 측정된 신호는 마스토이드 전극에서 측정된 신호에 실시간 참조(reference)되었다. 실시간 측정이 종료된 후 평균된 사건 관련 전위 파형들은 좌우측 마스토이드 전극에서 측정된 신호의 평균에 다시 사후 참조(off-line reference)되었다.

수평 안구 운동을 측정하기 위해 좌우 눈의 측면에 부착된 전극으로부터 안구 전위(electrooculogram, EOG)가 측정되었다. 눈깜박임과 수직 안구 운동은 좌측 눈의 하단에 별도로 부착된 전극에서 측정된 신호를 우측 마스토이드 전극의 신호에 참조함으로써 조사되었다. 전극과 두피 사이의 생체 전기 저항은 모두 5k $\Omega$ 이하로 조정되었다. 뇌파와 안구 전위

는 모두 SA Instrument사의 증폭기를 사용하여 증폭되었으며 0.01-80Hz의 대역의 뇌파만을 선별하여 250Hz의 속도로 디지털 신호화 되었다. 눈깜박임이나 눈운동이 일어났던 시행들은 행동적 그리고 사건 관련 전위 분석에서 모두 제거되었다. 기존의 관례에 따라 25%이상의 시행 제거가 필요했던 피험자는 자료 분석에서 제외되었으며, 최종 파형 분석에 앞서 오류 시행들(error trials) 또한 자료 분석에서 제외되었다.

N2pc 성분은 검사 자극의 출현 시점을 기준으로(time-lock) 측정되었다. N2pc 측정치는 다음과 같이 산출되었다. 먼저 좌우 두피의 전극 위치를 기준으로, 검사 자극 제시 시 방위 변화가 발생한 시야가 전극의 대측(contralateral)인 시행들과 동측(ipsilateral)인 시행들에서 얻어진 평균 전위를 산출하였다. 다음으로, 산출된 대측 및 동측의 평균 전위 값에서 방위 변화가 없었던 변화 없음 시행들(no-change trials)에서 얻어진 평균 전위를 빼준 차이 파형(difference waves)이 계산되었다. 이와 같은 변화없음 시행의 평균 전위를 빼주는 감산(subtraction) 과정은 변화(change) 탐지와 무관한 사건 관련 전위 성분들을 제거하기 위한 과정의 일환으로 실시되었다(현주석, 2008b; Hyun et al., 2009).

N2pc의 평균 전위(mean amplitude)는, 변화가 속한 시야 대측 전극에서 측정된 신호로부터 변화 없음 시행의 신호들을 빼낸 차이 파형들 중에서 중앙과 측면 후두부(medial and lateral occipital) 그리고 후면 측두부(posterior temporal)에 위치한 O1/O2, OL/OR 및 T5/6 전극들의 검사 자극 제시 후 150-300ms에 걸친 전위를 평

균함으로써 측정되었다. N2pc의 평균 발현 시간(mean onsetlatency)을 조사하기 위하여, 단편 면적 분석법(fractional area latency measure)에 근거하여 100ms-300ms 구간 내에서 N2pc 차이 파형의 반분 면적(50%)에 해당되는 시점을 조사하여 평균하였다(현주석, 2008a; Hyun et al., 2009; Luck, 2005). 평균된 전위의 통계적 검증을 위한 변량 분석과정에서 모든  $p$  값은 Greenhouse-Geisser 교정(Jennings & Wood, 1976)에 의해 비구형도(nonsphericity)를 감안하여 교정되었다.

### 결과 및 논의

반응시간과 오반응율이 그림 2에 제시되었다. 피험자의 변화 탐지 정확도 조사를 위한 오반응율 분석을 위하여 항목 개수 변인(항목 개수 1, 2, 3, 4, 5, 6개)에 대한 반복 측정에 근거한 일원 변량 분석(repeated-measure one-way ANOVA)이 실시되었다. 분석 결과, 항목 개수

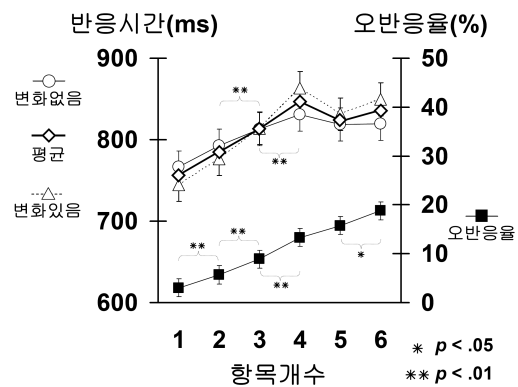


그림 2. 반응 시간과 오반응율 결과(N=12). 본 도표에서 사용된 오차막대는 Loftus와 Masson (1994)이 제안한 95% 피험자 내 신뢰구간(within-subjects confidence interval)이다.

조건에 따른 오반응율에는 통계적으로 유의미한 차이가 있었다,  $F(5, 11) = 43.6, p < .01$ . 개별 항목 개수 조건들 중 어느 조건 간에 차이가 있는가를 조사하기 위하여 각 조건에서 얻어진 오반응율의 평균값들 사이에 쌍별  $t$ -검증(pairwise  $t$ -test)을 실시한 결과, 항목 개수 조건간의 차이는 항목 개수 4와 5조건을 제외하고는 모두 통계적으로 유의미하였다,  $p_s < .05$ . 이는 변화 탐지 과제의 항목 개수가 늘어남에 따라 피험자의 오반응 또한 점진적으로 증가되었음을 의미한다.

한편, 피험자의 반응 시간 측정치에 대한 분석에는 제시된 항목 개수 변인에 변화 유무 변인(기억 항목과 검사 항목 간 변화 유무)이 추가적으로 고려되었다. 이는 사건 관련 전위 분석에서 N2pc 성분 분석이 기억 항목과 검사 항목 사이에 변화가 존재하는 시행들에만 국한되므로 변화 유무에 따른 항목 개수 조건별 반응 시간 값의 독립적인 관찰이 필요했기 때문이다. 항목 개수 변인과 변화 유무 조건의 두 변인에 대하여 반복 측정에 근거한 이원 변량 분석(repeated measure two-way ANOVA)을 실시한 결과, 기억과 검사 항목 간 변화가 있었던 조건과 없었던 조건 간 평균 반응 시간에는 큰 차이가 없었으며 따라서, 변화 유무 변인의 주효과는 통계적으로 유의미하지 않았다,  $F < 1$ . 반면에, 항목 개수에 따른 반응 시간에는 통계적으로 유의미한 차이가 있었으며, 이는 항목 개수 변인의 주효과에 의해 지지되었다,  $F(5, 55) = 11.1, p < .01$ .

변화 유무 여부에 따른 각 항목 개수 조건 간 피험자의 반응 시간에 서로 차이가 있는지를 알아보기 위해 변화 유무 변인과 항목 개



수 변인간의 상호 작용 여부를 조사한 결과, 두 변인 간 상호 작용은 통계적으로 유의미하지 않았다,  $F(5, 55) = 2.59, p = .10$ . 이는 변화의 존재 여부는 항목 개수에 따른 반응 시간의 변화 패턴에 영향을 미치지 못했음을 의미한다. 변화 유무 조건의 반응 시간 값을 서로 합산한 후, 항목 개수 조건에 따른 반응 시간 측정치 중 어느 조건 간에 차이가 있는지를 조사하기 위하여 각 조건의 평균값들 간 쌍별 *t*-검증이 실시되었다. 검증 결과, 각 조건의 평균 반응 시간에는 항목 개수 2, 3, 4 조건 간에 통계적으로 유의미한 차이가 있었다,  $p_s < .01$ . 이는 피험자의 반응 속도가 항목 개수가 늘어남에 따라 상대적으로 지연되긴 하였으나, 4개 이상의 기억 항목과 검사 항목을 비교해야 할 경우는 더 이상의 반응 시간 지연이 없었음을 의미한다.

사건 관련 전위 파형을 그림 3에 제시하였다. 그림 3에 제시된 파형은 변화 있음 시행에서 얻어진 원자료 파형(raw waveform)에서 변화 없음 시행의 원자료 파형을 감산한 차이 파형(difference wave)중 OL/R 전극의 사례를 보여준다<sup>1)</sup>. 사건 관련 전위의 통계적 분석은 N2pc와 P3 성분에 대하여 수행되었는데, 이는 기억 항목과 검사 항목이 비교 되는 과정에서 변화에 의한 주의 발현 특성(N2pc)과 피험자의 의사 결정 및 반응 시간 특성(P3)을 조사하기

1) N2pc는 본 연구에 사용된 10-20 체계 전극들 중 후두부 전극들(O1/2, T5/6 및 OL/R)에서 가장 분명하게 관찰되며, 세 쌍의 전극들은 대략 유사한 N2pc 발현 정도를 보인다. 본 연구에서는 동측과 대측의 차이를 가장 극명하게 예시할 수 있는 대표 전극인 OL/R에서 얻어진 파형만을 선별적으로 제시하였다.

위함이었다. 측정된 N2pc 및 P3의 진폭과 발현 시간의 평균을 그림 4에 도해하였다. 먼저, N2pc 성분은 ‘변화 대측’ 빼기 ‘변화 없음’시행의 차이 파형을 기준으로 분석되었다(그림 3의 우측 참고). N2pc 성분의 분석은 평균 진폭과 발현 시간을 모두 고려하였으며, 평균 진폭의 경우 150-300ms 구간의 전위를 평균하였으며 발현 시간 측정에는 100-300ms 구간에서 음극성 전위(negative potential)가 구성하는 면적의 반분 위치(half-cutoff time point)를 탐색하는 단편 면적 분석 알고리즘이 사용되었다(현주석, 2008a; Luck, 2005).

N2pc 성분의 평균 진폭과 발현 시간에 대한 통계적 분석을 위하여, 항목 개수(1, 2, 3, 4, 5, 6)와 후두부 전극 위치(O1/2, OL/R, T5/6)의 두 변인에 대해 반복 측정에 근거한 이원 변량 분석이 실시되었다. 먼저 항목 개수의 증가에 따른 N2pc 진폭의 변화에는 통계적으로 유의미한 차이가 있었으며, 이는 항목 개수 변인의 주효과에 의해 지지되었다,  $F(5, 55) = 3.40, p < .05$ . 전극 위치에 따른 N2pc 진폭의 변화(O1/2, OL/R, T5/6 순서로 -0.33, -0.85, -0.74 $\mu$ V) 또한 통계적으로 유의미하였으나,  $F(2, 22) = 7.43, p < .05$ , 항목 개수와 전극 위치 변인간의 상호 작용은 유의미하지 않았다,  $F < 1$ . 반면에 동일한 방법으로 N2pc 발현 시간의 변화를 분석한 결과, 항목 개수 변인의 주효과는 통계적으로 유의미하지 않았으며,  $F(5, 55) = 1.77, p = .17, NS$ , 이는 항목 개수 증가에 따라 N2pc 발현 시간이 변화하지 않았음을 의미한다. 전극 위치에 따른 N2pc 발현 시간의 변화(O1/2, OL/R, T5/6 순서로 204, 213, 213ms)에는 통계적으로 유의미한 차이가 있었

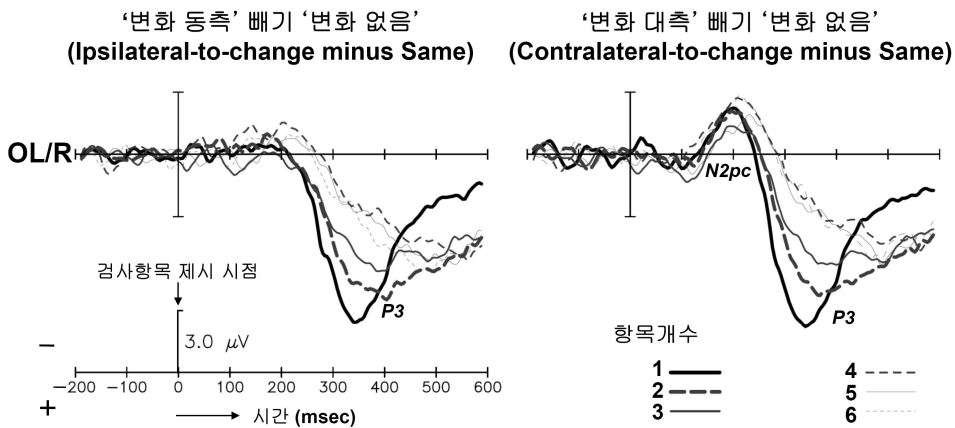


그림 3. OL/R 전극에서 측정된 N2pc 차이 파형 (N=12).

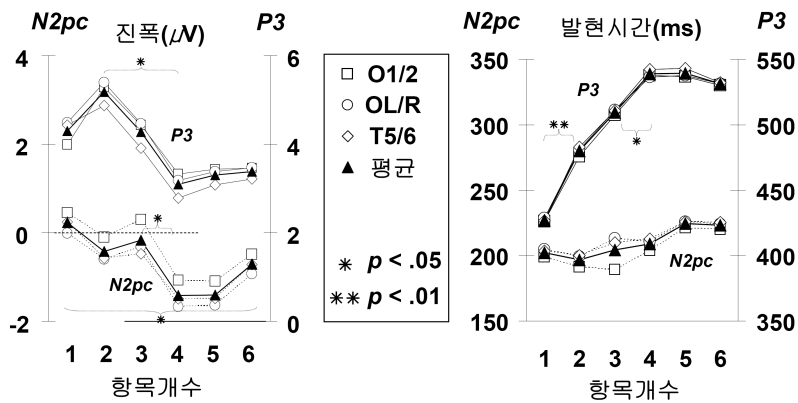


그림 4. N2pc와 P3 성분의 평균 진폭과 발현 시간 (N=12).

으나,  $F(2, 22) = 8.14, p < .05$ , 항목 개수 변인과 전극 위치 변인 간 상호작용은 유의미하지 않았다,  $F(10, 110) = 1.40, p = .27, NS$ . 이러한 결과 패턴을 종합해 볼 때 발현 시간의 경우는 평균 진폭과는 달리 항목 개수의 변화에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다(그림 4 참고).

P3 성분의 분석을 위하여 N2pc 성분 분석에서 사용된 변인과 동일한 변인들 즉, 항목

개수와 전극 위치 변인을 대상으로 반복 측정에 근거한 이원 변량 분석이 실시되었다<sup>2)</sup>. 다

2) 본 연구에서는 N2pc 자료 분석과의 연계성을 고려하여 OL/R의 P3 측정치가 분석되었으나, P3는 흔히 정중선 전극(midline electrode)에 해당하는 Fz, Cz, Pz, Oz 또는 전두, 두정 및 후두부의 다수 전극에서 산출된 평균 파형을 중심으로 분석된다. 이러한 점을 고려하여, 해당되는 각 전극 범주에 따른 P3 발현 패턴을 세밀히 검토하였으나, 해당 전극들 간 P3의 발현 패턴에는 큰

만, 자료 분석 구간에 있어서 P3 성분의 일반적인 발현 시간대를 고려하여 진폭의 경우 300-600ms와 발현 시간의 경우 300-800ms의 구간이 사용되었다. 분석 결과, P3 성분의 경우 항목 개수의 증가에 따른 평균 진폭의 변화에는 통계적으로 유의미한 차이가 있었으며, 이는 항목 개수 변인의 주효과에 의해 지지되었다,  $F(5, 55) = 3.40, p < .05$ . 반면에, 전극 위치에 따른 P3 진폭의 변화(O1/2, OL/R, T5/6 순서로 +3.99, +4.06, +3.72)에는 통계적으로 유의미한 차이가 없었으며,  $F(2, 22) = 1.91, p < .17, NS$ , 항목 개수와 전극 위치의 상호 작용 또한 통계적으로 유의미하지 않았다,  $F(10, 110) = 1.41, p = .19, NS$ . 동일한 방법으로 P3 성분의 평균 발현 시간 변화를 분석한 결과, 항목 개수의 증가에 따른 발현 시간의 변화에는 통계적으로 유의미한 차이가 있었으며,  $F(5, 55) = 18.2, p < .01$ , 이는 P3 성분의 발현 시간이 N2pc와는 달리 항목 개수가 증가함에 따라 지연되었음을 의미한다. 반면에 전극 위치에 따른 P3의 발현 시간의 변화(O1/2, OL/R, T5/6 순서로 502, 504, 506ms)는 통계적으로 유의미하지 않았으며, 항목 개수 변인과 전극 위치 변인 간 상호작용 또한 유의미하지 않았다,  $F_s < 1$ .

이러한 결과를 종합해 볼 때, 항목 개수의 증가는 평균 진폭에 있어서 N2pc와 P3 두 성분 모두에 영향을 미쳤으나, 발현 시간에 있어서는 N2pc에는 영향이 없었으며 P3에만 영향을 주었음을 알 수 있다. N2pc 성분의 진폭이 일반적으로 초점 주의(focused attention)의 집중도를 반영함을 고려할 때(Luck & Ford,

1998; Luck, Girelli, McDermott, & Ford, 1997; Luck & Hillyard, 1990), 항목 개수 4개 이상 조건에서 평균 진폭의 상대적 증가는 항목 개수 증가로 인한 초점 주의 집중도 상승 가능성을 시사한다. 반면에 N2pc 성분의 발현 시간은 일반적으로 주의 유발 자극에 의한 주의 전환 시점을 반영하므로(Hyun et al., 2006; Hyun et al., 2009; Luck, Woodman, & Vogel, 2000), 기억과 검사 항목간의 변화에 의해 유발된 주의 전환 시점은 항목 개수의 변화에 관계없이 일정하였음을 의미한다. P3 성분의 경우, 진폭의 증가와 발현 시간의 지연은 일반적으로 과제와 관련된 피험자의 의사 결정 및 반응 선택 과정을 반영하는 것으로 알려져 있다(Kok, 2001; Verleger, 1997). 따라서 항목 개수에 따른 P3 성분의 평균 진폭 증가와 발현 시간 지연은, 항목 개수의 증가가 피험자의 의사 결정 및 반응 선택 과정에 체계적인 영향을 미쳤을 가능성을 시사한다.

### 종합논의

시각 작업 기억에 저장되는 항목의 개수에 따른 비교 처리 과정의 특성 통해 본 연구는 시각 작업 기억에 저장된 표상의 특성을 조사하였다. 실험 결과, 시각 작업 기억에 저장되는 기억 항목 개수의 증가는 변화 탐지에 소요되는 시간 측면에 있어서는 큰 영향을 미치지 않았으나, 비교 과정과 관련된 피험자의 의사 결정 및 반응 선택 과정에는 체계적인 영향을 주고 있을 가능성을 발견하였다. 즉, 기억 항목의 개수가 증가할수록 기억 표상과 검사 항목의 지각적 표상간의 비교 과정에 고

려되는 경우의 수가 늘어나는데, 이는 처리 속도(processing speed)와 관련된 일반적인 용량 제한 모형(capacity-limited model)의 가정을 따를 경우 변화 탐지 속도의 체계적 지연을 예견한다.

이러한 처리 용량 제한 모형의 예견과는 달리, 본 연구에서는 변화에 의해 유발된 주의 전환의 시점 즉, N2pc의 발현 시간을 측정할 결과 기억 항목 개수의 증가는 N2pc의 발현 시점에 크게 영향을 주지 못했다. 이는 피험자의 행동적 반응에 앞서 처리되는 시각시스템의 변화 탐지 처리 기제는 처리 용량 제한 모형보다는 용량 무제한 모형(capacity-unlimited)에 근사할 가능성을 시사한다. 처리 용량 무제한 모형에 근거할 경우, 일단 기억 항목이 시각 작업 기억에 성공적인 기억 표상을 형성하면 그 표상들과 대조되는 검사 항목의 지각적 표상과의 비교 처리 과정은 본 연구에서 관찰된 바와 같이 매우 빠르고 신속하게 일어날 수 있다.

처리 용량 모형은 일반적으로 시각 작업의 기억 저장소적 특성을 이해할 때 흔히 언급되는 작업 기억 저장소의 저장 용량 모형과 혼동될 가능성이 있는데, 저장 용량 모형은 본 연구에서 제안하는 처리 용량 모형과는 다른 개념이다. 즉 처리 모형(processing model)으로서의 용량 무제한적 기제는 기억의 저장소적 특성을 논할 때 흔히 예시되는 ‘몇 개의 항목을 저장할 수 있는가’의 문제가 아닌 처리 과정에서의 기억과 검사 항목 간 대조 항목의 쌍별 비교가 ‘얼마나 신속하게 처리될 수 있는가’와 관련된다. 바꿔 말하면, 처리 과정에서의 용량 모형은 기억된 항목의 개수가 1, 2, 3,

4개로 변화할 경우 검사 항목과의 대조에 필요한 쌍별 비교 또한 1, 2, 3, 4쌍으로 변화하므로 항목 개수의 증가는 곧 처리해야 할 쌍별 비교의 증가로 이어진다. 따라서 처리 용량 제한 모형은 항목 개수의 증가에 따라 처리에 소요되는 비교 대안(comparison alternative) 개수의 증가로 인한 처리 시간의 지연을 예견한다. 반면에 처리 용량 무제한 모형은 기억된 항목의 개수 증가에 따른 기억과 검사 항목 간 쌍별 비교 증가에 관계없이 일정한 처리 시간을 예견한다.

본 연구는 항목 개수의 증가에 따른 주의 전환 시점 즉, N2pc의 발현 시간에 큰 차이가 없음을 밝혀냄으로써 처리 용량 무제한 모형의 예견을 지지함과 동시에, 시각 작업 기억에 저장된 정보의 표상 특성 또한 예견 가능하게 해준다. 서두에서 논의된 바와 같이, 기억 항목의 개수가 일반적으로 알려진 시각 작업 기억의 용량인 4 항목 이상을 넘어서는 경우, 작업 기억에 저장되는 시각 정보는 기억 항목과 검사 항목간의 효율적인 비교를 위해 두 가지 형태의 정보 표상을 형성할 수 있다. 첫째는, 시각 작업 기억에 저장 가능한 4개의 항목을 무선적으로 선별하여 각기 최상의 정보 표상 형태로 저장한 후 기억 항목과 검사 항목의 비교 과정에서 신속한 비교 수행을 모색하는 방법이다. 이 방법은 기억에 일단 저장된 정보 표상이 질적으로 매우 우수하므로 기억에 저장에 성공한 항목 표상에 대한 검사가 요구될 경우 비교 과정에서의 오류로 이어질 가능성이 최소화된다. 반면에 기억에 저장되지 않고 유실된 정보는 비교 처리 과정에서 검사 항목과 대조될 항목이 존재하지 않는 관

계로 비교 수행 시 오류의 증가로 이어진다. 둘째는, 주어진 기억 항목 모두를 기억하도록 시도하되 개별 기억 항목의 표상적 질을 평균적으로 떨어뜨리는 방법이다. 이는 기억 항목 모두의 표상을 시각 작업 기억에 저장하므로 유실된 항목이 없어 첫 번째의 방법과 같은 대조 항목의 부재로 인한 비교 과정의 오류는 없다. 반면에 기억에 저장된 표상 자체가 첫 번째의 방법에 비해 질적으로 저하되므로 기억 항목과 검사 항목간의 대조 과정에서 변화 탐지와 관련된 신호 대 잡음 비율(signal-to-noise ratio)을 증가시키기 위한 추가적 처리 과정이 필요할 가능성이 있다.

기억 항목의 표상과 관련된 두 방법 모두, 변화 탐지 과정에서 항목 개수가 네 개 이상을 넘어설 경우 비교 처리 과정에서의 오류 증가로 인한 변화 탐지 수행 수준의 저하를 예견한다. 그러나 오류의 속성 자체는 매우 다를 가능성이 있다. 전자의 오류는 기억 표상이 실무율(all-or-nothing)적 표상 특성을 가지기 때문에, 표상이 형성되지 않은 항목에 대한 검사가 요구될 경우 대조 과정 자체가 불가능하기 때문에 발생한다. 후자의 오류는 대조 과정 수행은 가능하나 기억 항목 표상의 질적 저하가 변화 탐지에 필요한 신호 대 잡음 비율을 낮추기 때문에 발생한다. 따라서 전자의 경우는, 저장에 성공한 4개 항목과 검사 항목간의 비교가 요구되면 용량 무제한 모형에서 예견하는 바와 같이 즉각적이며 신속한 변화 탐지가 가능하다. 반면에 후자의 경우는, 4개 항목 이상의 기억이 요구되면 어떤 항목이 저장되더라도 기억 표상의 질적 저하로 인한 신호 대 잡음 비율의 저하를 피할 수

가 없다. 따라서 이를 보완하기 위한 추가적인 처리 과정이 필요하게 되며, 처리 용량 제한 모형에서 예견한 바와 같이 비교 처리 과정이 상대적으로 지연될 가능성이 있다.

본 연구에서 관찰된 바와 같이 항목의 개수가 4개 이상이 넘어설 경우에도 주의 전환 시점이 크게 변화하지 않았다는 사실은, 시각 작업 기억에 저장되는 정보는 평균적으로 4개 항목 정도로 제한되지만 일단 시각 작업 기억에 성공적으로 저장된 정보는 질적으로 매우 우수한 표상을 형성한다는 사실을 의미한다. 또한 기억에 저장되지 않은 정보는 유실되며 비교 과정에서의 오류는 이러한 유실된 정보로 인한 기억 표상의 부재 때문임을 의미한다<sup>3)</sup>.

시각 작업 기억에 저장되는 정보의 특성을 조사한 최근의 연구들은 시각 작업 기억 표상의 특성을 설명하기 위해 크게 두 가지 상반되는 모형을 제안한다. 먼저, 고정 해상도 슬롯 모형(fixed-resolution slot model)을 들 수 있는

3) 변화탐지 오류 시행에서의 N2pc 발현 여부는 두 기억 표상 모형의 검증에 중요하다. 즉 기억 표상의 질을 떨어뜨려 모든 항목의 저장이 시도될 경우, 피험자의 변화 탐지가 행동적으로는 실패한 오반응 시행일지라도 초기 시각 정보처리 과정에서 비교 처리는 성공했을 가능성이 있다. 이는 오류 시행에서의 간헐적인 N2pc의 발현 가능성을 의미하는데, 이에 대한 객관적 검증은 현실적으로 불가능하다. 그 이유는 변화 탐지 정확도가 평균적으로 80%를 넘기 때문에, 자료 분석에 필요한 충분한 시행 수 확보가 불가능하기 때문이다. 다만, 오류가 상대적으로 빈번했던 항목 개수 5개와 6개 조건의 원자료 파형을 육안 검토(visual inspection)한 결과, N2pc 발현에 근사하는 어떠한 패턴도 관찰되지 않았다.

데, 이는 기억 자극이 고정된 해상력을 가진 3~4개의 독립적인 슬롯에 저장 된다고 주장한다. 슬롯에 저장되지 못한 정보는 완전히 유실된다고 설명하며 따라서, 이러한 슬롯은 선별적 저장에 의한 실무울적 저장 특성을 가진다. 반면에 탄력적 자원 모형(flexible resource model)의 경우는, 기억에 표상되는 자극의 세부 특징을 분별하는 해상력이 자극의 복잡성 정도에 따라 유연하게 변화하되, 전체 저장 용량은 제한된 한 가지 저장소에 기억 표상이 보관된다고 주장한다. 탄력적 자원 모형의 경우 이론상으로는, 기억에 저장되지 못할 정보는 없다고 가정하며, 변화 탐지 과정에서의 오류는 기억 항목의 개수가 증가함에 따라 기억 표상의 평균적 해상도가 상대적으로 저하되기 때문인 것으로 설명한다. 결과적으로, 두 모형 모두 시각 작업 기억이 제한된 저장 용량을 가지고 있다는 점에서는 큰 차이가 없으나 변화 탐지를 수행하기 위한 비교 과정에 있어서는 앞서 논의된 바와 같이 질적으로 매우 상이한 오류의 발생을 예견한다.

본 연구에서 관찰된 바와 같이 기억 항목의 개수가 4개 이상이었음에도 불구하고 주의 전환 시점이 크게 지연되지 않았다는 사실은, 시각 작업 기억에 저장되는 정보가 탄력적 자원 모형이 예견하는 바와는 달리 고정 해상도 슬롯 모형이 예견하는 표상 특성을 가짐을 시사한다. 즉, 본 연구에서 사용된 변화 탐지 과제에서 피험자는, 4개 이상의 항목에 대한 기억이 요구될 경우 3~4개의 항목만을 선별해 최상의 기억 표상을 형성한 후 검사 항목과 비교하였으며, 탄력적 자원 모형이 예견하는 기억 표상의 질적 저하는 발생하지 않았다.

행동적 측정만을 통해 모형 검증을 시도하였던 두 기억 표상 모형간의 대립이 결국 절충적 제안(flexible-resolution slot idea)으로 마무리되었음을 고려할 때(Zhang & Luck, 2003; Zhang & Luck, 2008), 본 연구는 사건 관련 전위 측정을 통해 고정 해상도 슬롯 모형을 지지하는 최초의 결과를 얻어냈다는 중요한 시사점을 지닌다.

그럼에도 불구하고, 본 연구의 결과는 크게 두 가지 제한점을 가진다. 첫째, 일반적으로 변화 탐지 과제에서 변화 탐지 정확도는 평균적으로 항목 개수 세 개까지는 큰 차이 없이 천정(ceiling)에 머문다. 즉 기억 항목 개수의 증가에 따른 정확도의 점진적 감소는 항목 개수 네 개 이전까지는 흔히 관찰되지 않는다. 그러나 본 연구에서는 항목 개수 조건 대부분에 걸쳐서 변화 탐지 정확도의 차이가 나타났는데, 이를 설명하기 위해서는 본 연구에 사용된 과제 자극의 특성을 고려할 필요가 있다. 즉 본 연구에서는 항목 개수의 증가로 인한 시행 조건간 자극의 물리적 특성 변화, 즉 자극의 추가로 인한 사건 관련 전위 발생을 최소화하기 위해 전통적인 변화 탐지 과제와 다른 변형된 과제를 사용하였다. 즉, 기억 항목 개수 1~6개 조건 간 기억 항목들 1~6개 제시하기 보다는, 고정된 개수인 7개의 항목 중 특정 색상을 가지는 항목의 개수를 변화시켜 기억 항목의 방위만을 선별적으로 기억하게끔 처치하였다. 이는 검사 항목의 제시 과정에도 동일하게 적용되었는데, 이처럼 변화 탐지 과제와는 무관한 선별 처리 과정으로 인해 항목 개수에 따른 행동적 측정치가 오염되었을 가능성이 있다. 특히 항목 개수 1, 2, 3, 4 조건

에서 P3 성분의 진폭과 발현시간이 점진적으로 지연되었고, 반응 시간에서도 유사한 결과 패턴이 관찰되었음을 고려할 때 본 연구에서 사용된 변형된 변화탐지 과제는 피험자의 의사결정이나 반응 선택 과정에 일종의 잡음으로 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 현재로서는 이러한 가능성을 뒷받침할 뚜렷한 증거를 본 연구는 제시하지 못하고 있다.

둘째, 항목 개수의 증가에 따른 N2pc 발현 시간에는 큰 차이가 없었으나 평균 진폭에 있어서는 항목 개수가 네 개를 넘어서면서 뚜렷한 차이가 관찰되었다. 이는 본 연구의 해석과는 달리, 항목 개수 네 개 이상 조건에서 N2pc의 발현 시간 지연이 진폭의 상대적 증가에 의해 상쇄되었을 가능성을 의미한다. 바꿔 말하면 본 연구에서 관찰된 N2pc의 일관된 발현 시간이 결국 항목 개수 네 개 이상 조건에서의 상대적 진폭 증가에 의한 결과일 가능성이 있다. 반면에, N2pc 진폭과 발현시간의 상대적 특성을 고려할 경우(현주석, 2008a; Luck, 2005), 매 시행마다 발현된 N2pc의 진폭은 일정하였으나 항목 개수가 적은 조건에서는 일반적으로 발현 시간의 편차(deviation)가 컸으며 항목 개수가 큰 조건에서는 발현 시간의 편차가 상대적으로 적었을 가능성 또한 존재한다. 전자의 경우 본 연구의 결과 해석에 있어서 큰 제한을 부여하지만, 두 가지 가능성을 명확하게 검증할 경험적 증거가 현재로서는 부족한 상태이다.

종합해 볼 때, 본 연구는 기존의 시각 작업 기억 표상 모형에 대한 행동적 검증(behavioral test)의 한계를 사건 관련 전위 측정법을 사용해 극복하고, 기억에 저장된 정보의 표상 특

성을 비교 과정에 대한 관찰을 통해 추정하였다. 본 연구의 결과는 비교 처리 과정이 처리 용량 무제한적 특성을 가지며 더 나아가, 시각 작업 기억에 저장된 정보는 탄력적 자원을 가진 하나의 저장소 보다는 실무율적 저장 특성을 가진 3~4개의 고정 해상도 슬롯에 저장될 가능성을 시사한다. 향후 연구는 이러한 두 모형의 장단점을 고려하여 시각 작업 기억 표상의 특성을 종합적으로 이해할 수 있는 이론적 모형을 검증하는 방향으로 진행됨이 바람직할 것이다.

### 참고문헌

- 현주석 (2008a). 시각적 탐색에서 표적에 의해 유발된 N2pc 성분의 특성 및 측정. *한국심리학회지: 실험*, 20(4), 247-263.
- 현주석 (2008b). 차폐 자극이 시각 작업 기억 비교 과정에 미치는 영향. *한국심리학회지: 실험*, 20(3), 167-178.
- Agam, Y., Hyun, J. -S., Danker, J. F., Zhou F., Kahana, M., & Sekuler, R. (2009). Early neural signature of visual short-term memory. *NeuroImage*, 44(2), 531-536.
- Alvarez, G. A., & Cavanagh, P. (2004). The capacity of visual short-term memory is set both by information load and by number of objects. *Psychological Science*, 15, 106-111.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain*

- Sciences*, 24, 87-185.
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99, 225-234.
- Hyun, J.-S., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (2006). How change-detection is related to visual search: A change in a remembered object is like a simple feature. [Abstract]. *Journal of Vision*, 6(6), 985a.
- Hyun, J.-S., & Luck, S. J. (2007). Visual working memory as the substrate for mental rotation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(1), 154-158.
- Hyun, J.-S., Woodman, G. F., Vogel, E. K., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (2009). The comparison of visual working memory representations with perceptual inputs. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35, 1140-1160.
- Hyun, J.-S., Woodman, G. F., Vogel, E. K., Niese, A. T., & Luck, S. J. (2003). How are visual inputs compared with memory representations in the change-detection paradigm? [Abstract]. *Journal of Vision*, 3(9), 322a.
- Jennings, J. R., & Wood, C. C. (1976). The e-adjustment procedure for repeated-measures analyses of variance. *Psychophysiology*, 13, 277-278.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In J. B. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention and Performance IX* (pp.187-203). Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38, 557-577.
- Loftus, G. R., & Masson, M. E. J. (1994). Using confidence intervals in within-subject designs. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(4), 476-490.
- Luck, S. J. (2005). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Luck, S. J., & Ford, M. A. (1998). On the role of selective attention in visual perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*, 95, 825-830.
- Luck, S. J., Girelli, M., McDermott, M. T., & Ford, M. A. (1997). Bridging the gap between monkey neurophysiology and human perception: An ambiguity resolution theory of visual selective attention. *Cognitive Psychology*, 33, 64-87.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1990). Electrophysiological evidence for parallel and serial processing during visual search. *Perception and Psychophysics*, 48, 603-617.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31, 291-308.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-281.
- Luck, S. J., Woodman, G. F., & Vogel, E. K. (2000). Event-related potential studies of



- attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 432-440.
- Mueller, H. J., & Rabbit, P. M. A. (1989). Reflexive and voluntary orienting of visual attention: Time course of activation and resistance to interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 315-330.
- Nakayama, K., & Mackeben, M. (1989). Sustained and transient components of focal visual attention. *Vision Research*, 29, 1631-1647.
- Verleger, R. (1997). On the utility of P3 latency as an index of mental chronometry. *Psychophysiology*, 34, 131-156.
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428, 748-751.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 92-114.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (1999). Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, 400, 867-869.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003). Serial deployment of attention during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 121-138.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2003). Slot-like versus continuous representations in visual working memory. *Journal of Vision*, 3, 681a.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, 453, 233-235.

1 차원고접수 : 2009. 10. 14

최종게재결정 : 2009. 11. 13

## **Properties of Visual Working Memory Representations as Examined by Memory-Perception Comparison Process**

**Joo-Seok Hyun**

Department of Psychology, Chung-Ang University

To examine properties of visual working memory (VWM) representations, event-related potentials were measured during the comparison process between memory and perception in a change-detection task. Subjects were asked to detect an orientation change upon a memory display onset after remembering a few orientation bars, and the memory set size was varied from 1 to 6. Onset latencies of attention shift triggered by a memory-perception difference were measured by N2pc component onset time, and the latencies were constant regardless of the number of items in the display. The results indicate that the comparison between VWM representations and perceptual inputs occurs very rapidly and is accomplished immediately upon a test display onset, and further that the representations in VWM are stored into 3-4 fixed-resolution slots.

*Key words* : visual working memory, change-detection, comparison, N2pc, fixed-resolution slot