

시각작업기억과 지각입력 간 비교 처리 과정에서의 선별적 변화 탐지의 특성*

현 주 석[†]

중앙대학교 심리학과

시각작업기억과 유입되는 지각정보와의 비교 처리는 매우 신속하고 즉각적임이 알려져 있다 (Hyun, Woodman, Vogel, Niese, & Luck, 2003). 본 연구는 피험자에게 개체들의 특정 세부특징 차원에서 발생하는 변화를 탐지하도록 하고, 다른 무시된(ignored) 즉, 과제 무관한 세부특징 차원에서 변화를 유발시켜 무관한 변화가 탐지될 수 있는가를 검사하였다. 무관한 세부특징 탐지 여부를 알아보기 위해 표적 탐지에 따른 주의 전환과 동시에 나타나는 사건관련전위인 N2pc(N2 post contralateral component)를 측정하였다. 그 결과 무관한 차원에서의 변화는 변화가 탐지된 위치로 주의 전환을 유발시키지 않는 것으로 나타났다. 그러나 무관한 차원에서 발생하는 변화의 개수를 한 개에서 네 개로 증가시켰을 경우 피험자는 변화가 한 개였던 경우에 비해 무관한 차원의 변화들에 의해 과제수행에 좀 더 방해를 받은 것으로 나타났다. 이 결과는 시각작업기억 표상과 유입되는 지각적 표상간의 비교는 매우 신속하고 무한용량 처리 과정인 동시에 필요한 경우, 통제적 처리 기제에 의해 선별적으로 수행될 수 있음을 의미한다.

주요어 : 시각작업기억, 비교, 변화탐지, N2pc, 통제적 처리

* 이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구 조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-332-H00032)

† 교신저자 : 현주석, 중앙대학교 문과대학 심리학과, (156-756) 서울시 동작구 흑석동 221번지

시각작업기억에 저장된 정보는 어떻게 다음 순간 유입되는 지각적 정보들과 비교될까? 최근 변화탐지(change-detection) 연구는 시각작업 기억 내의 기억표상과 시각 기관을 통해 지각된 정보 표상과의 비교는 신속하고 빠르게 처리된다고 보고하였다(현주석, 2008a; Hyun, Woodman, Vogel, Hollingworth, & Luck, in press). 이러한 결과는 기억표상과 지각표상과의 비교는 마치 시각탐색과제에서 돌출(pop-out)하는 세부특징(Folk, Remington, & Wright, 1994)이 매우 신속하고 빠르게 탐지되는 것(Treisman, 1986; Treisman, 1988; Wolfe, 1994)과 유사한 과정을 짐작하게 해준다.

변화탐지와 시각탐색 과제간 유사성은 비교적 새로운 제안이긴 하지만 최근 행동적, 전기생리학적 그리고 안구운동추적 측정 결과 얻어진 증거들을 고려할 때 그 가능성이 매우 큰 것으로 사려된다(Hyun, Hollingworth, & Luck, 2006; Hyun et al., in press). 이와 같은 다양한 관찰 과정에서 중요한 질문은, 시각탐색에서 돌출하는 세부 특징이 추가적 처리 부담(cost of processing)없이 신속하게 탐지되듯 변화탐지에서도 기억 검사 자극간 비교의 개수(number of comparison alternatives), 즉 항목의 수(set sizes)가 늘어나도 시각탐색처럼 신속하게 탐지될 수 있는지의 여부였다.

이에 답하기 위해, Hyun 등(2006)은 변화탐지 과제에서 시야에 제시되는 항목의 수를 한 개에서 네 개까지 변화시켜 가면서 검사 자극 제시와 동시에 발생한 시각적 변화(visual change)가 유발시킨 주의 전환의 정확한 시점(latency of attention shift)을 조사하였다. 이 조사를 통해 Hyun 등은, 시각탐색 항목들 중 단

순세부특징이 돌출(simple feature pop-out)되는 현상과 유사하게, 변화 탐지 과제에서 자극의 현저한 변화(salient change)는 그 변화의 시야 위치로 주의를 반사적으로 전환시키는 것을 발견하였다(Mueller & Rabbit, 1989; Nakayama & Mackeben, 1989). 이 전환의 시점은 시각 시스템이 정확하게 어느 순간에 변화를 탐지하였는지를 알려주며, 그 시점은 주의 전환을 측정하는 사건관련전위인 N2pc 성분의 발현 시점을 조사함으로써 측정될 수 있다(현주석, 2008b; Luck, Girelli, McDermott, & Ford, 1997; Luck & Hillyard, 1994b; Woodman & Luck, 2003b).

이 연구의 핵심은, 마치 시각탐색에서 돌출 자극이 탐지될 때 항목 수에 관계없이 반응시간(reaction time, RT)이 일정한 것처럼 변화탐지 과제에서도 항목 수가 증가하여도 추가적인 처리 자원의 요구 없이 시각적 변화가 탐지될 수 있는지의 여부이다. 만약 변화탐지 과제에서 추가적 처리 자원이 필요하지 않다면 제시되는 항목 수의 증가에 관계없이 주의가 전환되는 시점, 즉 N2pc의 발현 시점이 일정함을 추정해 볼 수 있다. 이러한 예견을 지지하듯 변화탐지 과제에서 제시되는 항목 수의 증가에 의한 N2pc 발현시점은 항목 수 조건에 관계없이 일정하였다(Hyun et al., 2003). 후속 연구는 변화가 존재하는 위치로 발생한 도약안구운동 시간(saccade onset latency) 또한 항목 수에 관계없이 일정함을 보여주어 선행 연구 결과를 지지하였다(Hyun et al., in press).

이처럼 빠르고 신속한 변화탐지 기제와 단순세부특징 탐색과제에서의 돌출하는 세부특징 탐지기제가 서로 유사함을 고려할 때 중요

해지는 것은, 만약 변화가 발생하는 세부특징 차원이 하나 이상일 경우의 탐지 처리 과정 또한 매우 빠르고 신속할 것인가의 여부이다. 거의 무한대에 가까운 처리 용량을 가져 그 속도가 매우 빠르고 신속한 인지 시스템의 경우는 일반적으로 자동화 처리 특성(automaticity)을 보이는 반면, 제한된 용량을 가진 시스템의 경우는 종종 통제적(controlled) 처리 특성을 보인다(Schneider & Shiffrin, 1977). Hyun 등(in press)의 연구가 비록 기억과 지각적 표상간의 비교 시 나타나는 자동화된 처리 특성을 조사하는 것이 주요 목적이긴 하였으나, 이와 같은 자동화 처리 특성이 발현되는 상황을 반드시 단일 세부특징 차원에서의 변화 탐지 처리의 문제로만 한정 지을 필요는 없다. 오히려 단일 세부특징 차원에서의 실험 결과는 하나 이상의 세부특징을 대상으로 변화탐지를 수행할 경우에도 자동화된 처리가 가능할 수 있다는 흥미로운 가설을 제안한다. 이처럼, 자동화된 다중 세부특징 비교 모형을 가정할 경우 변화 탐지의 대상이 되는 세부특징 차원에서 일어나는 변화와 마찬가지로 변화탐지 과제와는 무관한 즉, 무시되는(ignored) 세부특징 차원에서의 변화 또한 병렬 처리에 의한 자동화된 처리 과정을 거침을 예상할 수 있다. 특히 변화탐지의 대상이 되는, 과제 관련 세부특징 차원에서 실제 변화가 발생하는 상황에서 과제와는 무관한 세부특징 차원에서 변화가 일어날지라도 기억 지각 표상 간 비교는 두 차원모두 동일한 처리 기제에 의해 좌우될 것이다.

비록 직접적인 증거는 기억 관련 연구들로부터 충분히 확보되지 않았지만, 자동화된 비

교 모형은 시각 세부특징들이 시각작업기억에 부호화되고 표상되는 과정에 대한 제안과 밀접한 관련이 있다(Luck & Vogel, 1997; Vogel, Woodman, & Luck, 2001; Xu, 2006; Xu & Chun, 2007). 예를 들어, 시각작업기억 내부에 표상된 복잡한 객체(complex object)는 그 객체를 구성하는 다양한 세부특징들 간 서로 공고한 결합에 의한(well-bound) 하나의 단일 구조체를 이룬다. 변화탐지 패러다임을 사용해 다양한 세부특징들의 기억여부를 검사할 경우 각각의 세부특징들에 대한 재인 정확도는 단일 세부특징에 대한 변화탐지만큼 효율성이 높은 것으로 드러났다. 이러한 다중 세부특징 객체(multi-feature object)의 여러 세부특징에 대한 정확하고 효율적인 기억 수행은 그 세부특징들이 시각작업기억 내에서 공고하게 결합되어 있을 때만 가능하다. 따라서 다중 세부특징 차원 간에 비교가 필요할 경우 단일 세부특징 차원에서 비교 처리가 이루어질 때와 비교해 추가적인 노력이 필요하지 않을 수도 있다.

그럼에도 불구하고 기존의 시각작업기억 연구는 둘 이상의 세부특징 간 선별적 비교 처리 과정에 대한 구체적인 측정을 시도한 경우가 매우 드물었다. 그 대표적인 이유는, 실시간 관찰(real-time observation)이 불가능한 행동적 측정(behavioral measure)법 아래서는 변화 탐지와 관련된 일괄된 처리 과정으로부터 비교 과정 자체를 분리해서 관찰하기가 매우 어렵기 때문이다. 이러한 어려움을 극복하기 위하여, 본 연구에서는 행동적 측정뿐 아니라 사건관련전위 측정법을 사용하여 비교 과정에 대한 실시간 조사와 함께, 무시된 무관련 세부특징 또한 자동적 비교 처리 과정을 거치는

지의 여부를 검사하였다.

실험 1

실험1은 피험자가 과제에서 요구되는 특정 세부특징 차원에서의 변화탐지를 수행하는 동안 과제와는 무관한 차원에서 발생한 변화가 N2pc 성분을 발현시킬 수 있는가를 검사하였다. 바꿔 말하면, N2pc 성분에 반영되는 대용량 비교처리 과정이 과제와는 무관한 변화 또한 자동적으로 탐지해낼 수 있는지를 조사하였다.

기존의 연구는 N2pc 성분(N2-posterior-contralateral component)이 자극 화면이 제시된 직후 정확히 어느 시점에 주의전환이 발생하는가를 알려줄 수 있다고 보고하였다(Luck & Girelli, 1998; Luck et al., 1997; Woodman & Luck, 1999, 2003b). N2pc 성분은 시각탐색 화면에서 표적에 반응하는 음극화된 전기적 전위로써, 시각탐색 자극제시 약 200ms 후 발현된다. 이 음극화된 전위는 표적이 속한 시야의 방향으로부터 동측(同側, ipsilateral) 두피상의 전극들보다 대측(對側, contralateral) 두피상에 위치한 전극들에서 좀 더 크게 나타난다(현주석, 2008b; Luck & Ford, 1998; Luck et al., 1997; Luck & Hillyard, 1990, 1994a, 1994b). 관련 연구들은 이러한 N2pc와 같은 측성화(lateralized)된 뇌의 반응이 자극으로 제시된 항목들 중 한 객체(object)에 주의가 집중되는 현상을 반영한다고 보고하였다(Luck & Hillyard, 1990, 1994a, 1994b; Woodman & Luck, 1999, 2003a, 2003b).

본 연구에는 변화탐지과제에서 검사항목 제

시와 동시에 발견되는 변화는 그 위치로 주의를 즉각적으로 이동시킨다고 가정한다. 시각적 주의의 일반적 특성에 관한 기존 연구는 현저한 시각적 변화가 그 변화의 위치로 주의를 유도한다고 보고하였으며(현주석, 정상철과 정찬섭, 1996; Folk & Annett, 1994; Folk et al., 1994; Mueller & Humphreys, 1991; Mueller & Rabbit, 1989; Nakayama & Mackeben, 1989), 본 연구의 사전 실험에서 검사 항목 내 변화 항목은 마치 시각탐색과제에서 표적의 위치로 주의가 유도되듯 N2pc 성분을 유발시켰다. 따라서 검사항목의 변화에 의해 유도된 N2pc 성분은 기억항목과 검사항목 간 비교에 의해 돌출된 현저한 변화의 위치로 주의가 전환되는 과정을 조사하는 데 사용될 수 있다.

결과적으로, 본 연구에서 사용된 N2pc 측정법은 피험자의 행동적 보고를 측정함과 동시에, 과제와 관련된 또는 관련되지 않은 차원에서의 변화를 시각 시스템이 정확히 어느 시점에 발견하는지를 알려준다. 만약 비교 과정이 과제 관련성(task relevancy)과는 상관없이 자동적으로 수행된다면 N2pc는 관련 그리고 무관한 세부특징 차원의 변화 모두에 대해서 발현되어야 한다. 그러나 비교가 통제적 처리 형태로 일어난다면 N2pc는 무관한 세부 특징 차원의 변화에 대해서는 발현되지 않아야 한다.

방 법

참가자 아이오와시에 거주하는 14명의 유급 피험자가 자발적 신청에 의해 참여하였다. 모든 피험자는 정상 색신과 정상 시력 또는

정상 교정시력을 보고하였으며 신경학적으로 문제가 없음을 보고하였다.

자극 및 절차 그림 1은 실험 1의 자극과 절차를 보여준다. 모든 자극들은 100cm 거리에 위치한 모니터에 제시되었다. 기억 항목들은 네 개의 막대 자극(0.39° x 0.05°)들로 구성되었으며 각각의 막대는 시야의 각 사분면내 응시점으로부터 5.15° 만큼 대각선 방향으로 떨어진 고정된 위치에 제시되었다. 각 막대의 색상은 일곱 가지의 색상으로부터 무선적으로 복원(with-replacement) 추출되었다: 흰색(25.49 cd/m²), 빨강(x = .625, y = .313, 8.05 cd/m²), 파랑(x = .202, y = .131, 6.64 cd/m²), 녹색(x = .321, y = .545, 14.17 cd/m²), 검정(< 0.01 cd/m²), 노랑(x = .458, y = .445, 24.99 cd/m²), 그리고 자주(x = .324, y = .151, 4.72cd/m²). 각 막대의 방위 또한 복원 추출에 의해 네 가지의 방위(수직, 수평, 45°, 135°)로부터 무선적으로 선택되었다. 응시점은 매 시행 내에서 배경 화면의 일부로 항상 제시되어 있었으나 시행 간 간격(inter-trial interval) 동안 잠시 사라

져 다음 시행의 시작을 알렸다.

매 시행의 시작부터 반응이 보고되는 시점까지 피험자는 응시점에 시선을 고정하도록 요구받았다. 응시점 제시 후 약 500ms 이후(450-550ms 무선적 변화) 각 시행 내에서 기억 항목들은 100ms 동안 제시되었으며 뒤이어 900ms의 기억지연 시간(memory delay)이 지난 후 100ms 동안 검사 항목이 제시되었다. 검사 항목 제시 후 피험자가 반응할 때까지 화면에는 응시점을 제외하고는 아무런 자극도 제시되지 않았으며, 이러한 개별 시행이 끝난 후 다음 시행까지는 550ms에서 750ms까지 무선적으로 변화하는 시행 간 간격이 뒤따랐다. 개별 구획 내에서 피험자는 두 개의 세부 특징, 즉 방위 또는 색상 중 어느 것이 변화 탐지 과제와 관련이 있는 세부 특징인가를 지시 받았다. 피험자는 기억항목 중 과제와 관련된 세부 특징(관련 세부특징)에 해당하는 것만 기억하도록 지시받았으며, 관련 세부 특징 차원에서 발생하는(관련 변화) 변화의 유무는 게임 패드의 단추를 눌러 보고하고 관련이 없는 차원에서 발생하는(무관련) 변화는 무시하도록

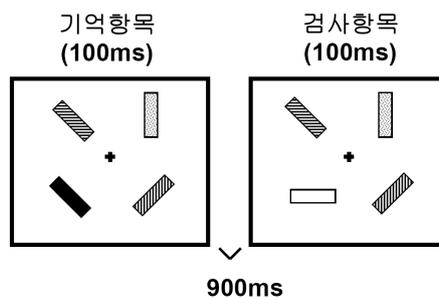


그림 1. 실험 1의 “변화있음” 시행에서 제시된 자극 및 절차의 예. 위 그림의 예에서 변화가 발생한 항목은 두 가지의 세부특징 차원 즉, 색상과 방위가 그 항목의 위치에서 동시에 변화하였다. 이러한 변화들은 또한 서로 다른 항목에 걸쳐 발생할 수 있으며 두 차원의 변화 확률은 서로 독립적이었다.

요구 받았다. 예를 들어 색상이 관련 세부 특징일 경우, 피험자는 방위 세부특징 차원에서 변화는 무시하고 색상 차원에서의 변화 유무만을 보고하도록 지시 받았다. 변화는 자극으로 제시된 막대의 방위 차원(25%), 색상 차원(25%), 방위와 색상 양쪽 차원(25%)에서 일어날 수 있었으며 방위와 색상 차원에서 모두 일어나지 않을 수도 있었다(25%).

피험자는 과제와 관련된 세부특징 차원의 변화를 탐지할 때마다 우세 손의 검지를 사용해 게임패드상의 버튼을, 변화를 탐지하지 못했을 경우는 중지를 사용해 다른 버튼을 누르도록 지시 받았다. 변화 탐지 결과를 보고함에 있어서 피험자는 정확한 반응을 요구 받았으나 신속한 반응은 강조되지 않았다. 피험자는 여덟 구획에 걸쳐 반복되는 시행을 수행하였으며, 각 구획에 걸쳐서 과제와 관련된 세부 특징은 색상과 방위가 교대로 지정되었다. 첫 구획의 관련 세부특징 또한 각 피험자마다 색상과 방위가 교대로 지정되었다.

자료 측정 및 분석 뇌파(electroencephalogram, EEG)는 주석으로 만들어진 전극(tin electrode)으로부터 측정되었으며 이 전극들은 신축성 있는 모자에 부착되어 피험자가 과제 수행 중 착용하고 있도록 준비되었다. 측정에 사용된 전극들의 위치는 국제 10/20 체계에 근거한 10개의 표준 위치(F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, T5, T6)와 비공인된 2개의 위치("OL", O1과 T5 사이의 중간, 그리고 "OR", O2와 T6 사이의 중간), 마지막으로 좌측과 우측 마스토이드(mastoid)였다. 이 전극들은 모두 실시간으로 오른쪽 마스토이드에서 측정된 신호에 참조

(referenced)되었다. 측정 후 평균된 파형들은 오프라인 분석과정에서 모두 좌측과 우측 마스토이드에서 측정된 신호들의 평균에 다시 참조(re-referenced) 되었다. 수평안구운동(horizontal electrooculogram, HEOG)은 좌우 눈의 측면에 부착된 전극으로부터 측정되었다. 눈깜박임(blink)과 수직안구운동(vertical electrooculogram, VEOG)은 왼쪽 눈의 하단에 부착된 또 다른 전극의 신호를 오른쪽 마스토이드에서 측정된 신호에 참조함으로써 조사하였다. 각 전극과 피부 사이의 전기저항은 5k Ω 이하로 유지되었다. 뇌파 및 안구전위는 SA Instrument사의 증폭기를 사용하여 증폭되었으며 0.01-80Hz 대역의 뇌파만을 선별하여 250Hz의 속도로 디지털 신호화 되었다. 눈 깜박임이나 눈 운동이 일어났던 모든 시행들은 행동적 그리고 사건 관련전위 분석 과정에서 모두 제거(reject)되었다¹⁾. 일반적인 관례를 따라, 25% 이상의 시행 제거가 필요할 경우, 그 피험자는 분석에서 제외되었다. 오반응 시행들(error trials) 역시 자료 분석에서 제외되었다.

N2pc 성분 파형은, 검사 항목 중 색상이 변화한 항목이 속한 시야를 기준으로 대측 및 동측 전극(change contra and change ipsi electrodes)에서 얻어진 평균 파형에서 변화없음 시행(no change trials)의 좌 그리고 우측 두피 전극에서 얻어진 평균 파형을 감산(subtraction)하여 구성되었다. 이 과정은 기억과 검사 항목 간 비교 과정에서 변화 탐지와 무관한 원

1) 눈 깜박임과 눈 운동은 기존 관례에 따라, 분석 구간 단위(EOG epoch)내 최소와 최대 전압 차이가 75 μ V가 넘을 경우 오프라인 분석 시 자동적으로 제거되었다 (Luck, 2005).

인에 의해 발생하는 전위 변화를 없애기 위한 목적으로 수행되었다. 분석에 사용된 N2pc의 평균 전위(mean amplitude)는 변화한 항목의 시야 위치로부터 대측에 위치한 두피 전극에서 측정된 신호로부터 변화없음 시행의 신호들을 빼낸 차이 파형(difference wave)이며, 검사 자극 제시 직후 200-400ms에 걸쳐 중앙과 측면 후두부(medial and lateral occipital) 그리고 후 측두부(posterior temporal)에 위치한 O1/O2, OL/OR 및 T5/T6 전극들에서 측정된 전위를 평균함으로써 측정되었다²⁾ 이 결과값에 대한 통계적 검증을 위하여 변량분석(analysis of variance, ANOVA)이 사용되었으며, 모든 p 값은 Greenhouse-Geisser 교정(Jennings & Wood, 1976)을 따라 비구형도(nonsphericity) 교정 과정을 거쳤다.

결과 및 논의

그림 2의 (가)에 피험자의 정반응 시행에서 얻어진 반응 시간 값을 요약하였다. 반응 시간은 변화 없음 시행에서 가장 빨랐으며, 과제 관련 세부특징 변화(relevant change), 과제 무관한 세부특징 변화(irrelevant change), 그리고 양쪽 차원 모두 변화(both change) 시행들에서 약 40ms 정도씩 지연되었다. 관련 세부 특징 차원(관련 대 무관한 세부 특징)과 변화 유무

(변화 있음 대 없음)의 두 요인을 이원 변량분석(2 way ANOVA)한 결과 관련 차원과 변화 유무 간 상호작용은 유의미하였다, $F(1, 13) = 12.8, p < .01$. 이는 변화가 발생한 시행중에서 특히 무관련 차원에서 변화가 발생했을 경우 피험자의 반응시간이 실제로 지연되었음을 의미한다.

변화 유무에 따른 반응 시간 차이를 살펴보기 위해 변화없음 시행과 나머지 세 가지 시행들(관련, 무관련 변화 그리고 모두변화)의 평균 반응 시간을 별도로 t -검증하였다. 그 결과 변화 없음 시행의 반응시간이 그렇지 않은 경우에 비해 유의미하게 빨랐다, $t(13) = 3.17, p < .01$. 이는 고전적 “빠른-동일” 효과(classic “fast-same” effect)로서 비교의 대상이 되는 두 자극쌍이 동일할 경우 그에 대한 반응이 동일하지 않은 경우에 비해 일반적으로 빠르게 보고되는 효과이다(Bamber, 1969a, 1969b, 1972; Egeth, 1966; Sekuler & Abrams, 1968). 반면에 세 가지 서로 다른 종류의 변화있음 시행들(관련, 무관련 변화 및 모두 변화 시행)간의 반응 시간 차이는 통계적으로 유의미하지 않았다, $F < 1$. 사전 대비 검증(planned test)의 일환으로 실시된 변화 없음 시행과 무관련 변화 시행간의 반응 시간 비교 결과, 무관련 변화 시행의 평균 반응시간이 변화없음 시행에 비해 유의미하게 지연되었다, $t(13) = 4.21, p < .01$. 이처럼 무관련 차원의 변화에 의한 반응시간 지연은, 적지 않은 수의 시행들에서 무관련 차원의 변화가 기억 검사 항목 간 비교과정의 일정 단계까지 처리 되었을 가능성을 시사한다.

정확도는 그림 2의 (나)에 요약되었으며, 변

2) 일반적으로 사건 관련 전위 성분의 발현 여부는 전위와 잠재기(amplitude and latency)의 양쪽 차원에서 논의되어야 바람직하나, 본 연구의 경우 시간적 특성 보다는 주의 전환이 발생했는가의 여부에 중점을 두었기 때문에 편의상 평균 전위 차이(mean amplitude difference) 차원에만 분석을 국한하였다.

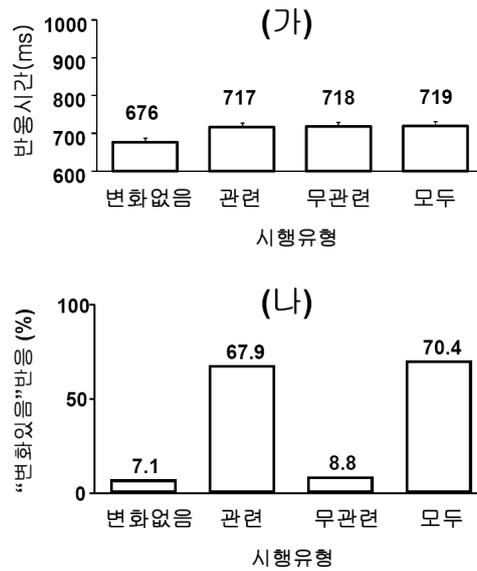


그림 2. 실험 1에서 얻어진 (가) 반응시간과 (나) 정확도. (나)의 경우, 변화없음과 무관련 조건은 오반응율을, 관련과 모두 조건은 정반응율을 의미한다. 본 도표와 이후 모든 도표에서 사용된 오차막대는 Loftus와 Masson (1994)이 제안한 95% 피험자내 신뢰구간(within-subjects confidence interval)이다. 각 막대 위의 숫자는 각 시행 유형내 평균 반응시간(mean RT; (가))과 "변화있음" 반응(% "change" responses; (나))의 비율을 나타낸다.

화없음 시행과 관련변화, 무관련변화, 모두변화 조건에 걸쳐 피험자가 보고한 전체 반응 중 "변화있음(change)" 반응을 보고한 비율을 계산하여 정반응율(관련변화와 모두변화 조건)과 오반응율(무관련변화와 변화없음 조건)을 동시에 고려하였다. 피험자는 관련변화와 모두변화 조건에서 약 70% 정도의 "변화있음"을 보고하였으며(정반응), 무관련 및 변화없음 조건에서는 9% 이하의 "변화있음"을 보고하였다(오반응). 관련변화 및 변화없음 조건 즉, 무관련 변화가 전혀 발생하지 않은 경우와 모두변화 및 무관련 변화 조건 즉, 무관련 변화가 반드시 발생한 경우 간의 "변화있음" 반응율을 비교한 결과, 피험자는 무관련 변화가 발

생한 경우 약 4% 정도 더 "변화있음"을 보고하였다. 이 차이는 통계적으로 유의미하지 않았는데, $F < 1$, 이와 같은 미미한 차이는 피험자가 어떤 세부특징 차원에 변화가 있었는지 일반적으로 변별해 낼 수 있으며 무관련 변화에 대해 변화가 있다고 반응하는 오류(false-change response to an irrelevant change)는 자주 범하지 않았음을 의미한다.

실험 1의 변화 탐지 정확도는 일반적으로 기억 항목의 개수가 4개인 색상 또는 방위 변화탐지 과제 즉, 둘 이상의 세부특징 차원을 고려해야 하는 결합 세부 특징 탐지 과제(conjunction-feature detection task)에서 기존에 보고된 정확도에 비해 상대적으로 저조하다.

예를 들어, 기존 연구에서 피험자는 실험 1과 유사한 자극을 사용한 결합 세부 특징 과제에서, 과제와 관련된 변화가 발생한 시행의 경우 약 90% 정도에 해당하는 시행에서 “변화있음”을 보고했으며 변화가 전혀 발생하지 않은 조건의 경우 약 5% 정도만 “변화있음”을 보고하였다(Luck & Vogel, 1997; Vogel et al., 2001). 실험 1에서는 각각 69.1%와 7.1%로 상대적으로 보고의 정확도가 낮았는데, 이는 결합 세부 특징 탐지 과제에서 탐지의 대상이 되는 세부 특징을 단일 차원으로 제한해 선별적인 탐지를 수행하는 것은 그러한 제한이 없는 경우에 비해 어려웠음을 의미한다.

그림 3은 변화가 존재하는 각 시행 조건의 사건관련전위 평균파형(averaged ERP waveform)에서 변화없음 시행 조건의 평균파형을 감산한 결과이다. 과제 관련 변화가 존재할 경우의 시행(관련변화 및 모두변화시행)에서 N2pc

성분은 분명하게 발견되었으나 무관련 시행들의 경우 N2pc는 매우 미세하거나 발견되지 않았다. 200-300ms 사이의 평균 전위(mean amplitude)값을 대측성(contralaterality) 요인(동측 빼기 변화없음 대 대측 빼기 변화없음 시행), 변화 유형(관련, 무관련 및 모두변화 시행), 그리고 측정전극위치(O1/O2, OL/OR, T5/T6)의 세 요인에 대한 변량분석을 수행하였다. 변량분석 결과 대측 전극들에서 측정된 변화있음 시행들 간 N2pc 성분의 크기 차이는 유의미하였으며, 이는 대측성과 변화 유형간 유의미한 상호작용에 의해 지지되었다, $F(2, 26) = 5.70, p < .01$ (표 1 참고). 사후검증의 일환으로 관련 조건과 무관련 조건간의 대측 변화없음 파형을 비교하였다. 비교 결과 무관련 변화 시행에서 관련 변화 시행에 비해 유의미하게 적은 N2pc 성분이 관찰되었으나, $t(13) = 2.35, p < .05$, 관련변화 시행과 모두변화 시행간의

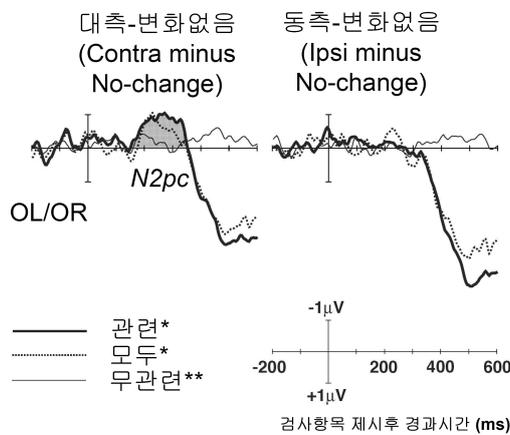


그림 3. 실험 1에서 전체 피험자로부터 얻어진 OL/OR 전극의 평균 차이 파형(grand average difference waveforms). 이 파형들은 변화가 존재하는 위치의 대측(contra-to-change) 또는 동측(ipsi-to-change) 전극 파형에서 변화없음(no-change) 시행의 파형을 감산함으로써 얻어졌다. 제시된 파형의 음영 부분은 N2pc 성분을 의미한다 (*관련 변화에 대하여 대측 또는 동측; **무관련 변화에 대하여 대측 또는 동측)

표 1. 200-300ms 구간에서 측정된 평균 전위에 대한 삼원 변량 분석 결과

변량원	자승합	자유도	평균 자승	F
피험자(S)	107.21	13	8.25	
대측성(A)	13.27	1	13.27	19.48**
변화유형(B)	7.79	2	3.90	1.51
전극위치(C)	0.55	2	0.27	0.70
A X B	3.62	2	1.81	5.70**
B X C	0.33	2	0.08	0.81
A X C	1.01	4	0.51	8.98**
A X B X C	0.19	4	0.05	1.84
오차(A X S)	8.86	13	0.68	
오차(B X S)	67.12	26	2.58	
오차(C X S)	10.12	26	0.39	
오차(A X B X S)	8.27	26	0.32	
오차(B X C X S)	5.32	52	0.10	
오차(A X C X S)	1.47	26	0.06	
오차(A X B X C X S)	1.31	52	0.03	

** $p < .01$ (Greenhouse-Geisser epsilon corrected)

차이는 유의미하지 않았다, $F < 1$.

관련변화 시행이 무관련 시행보다 더 큰 N2pc를 발현시키기는 하였으나, 그림 3의 차이 파형을 좀 더 자세히 관찰하면 무관련 시행에서도 미약하나마 N2pc가 나타나고 있음을 알 수 있다. 대측 빼기 변화없음 시행에서 얻어진 차이파형을 동측 빼기 변화없음 시행의 차이파형과 비교한 결과 N2pc 성분의 크기 차이는 외견상으로는 미약하였지만 통계적으로 유의미하였다, $t(13) = 2.35, p < .05$. 이러한 결과 패턴은 행동적 자료의 패턴과 일치하는

것으로서 무관련 차원의 변화 또한 일부의 시행에서 탐지되었음을 의미한다. 그러나 N2pc 결과는 무관련 차원의 변화는 주의 전환을 논할 만큼 관련 차원의 변화와 동일 정도의 N2pc를 발현시키는 것이 아님을 확실하게 보여준다. 이것이 아마도 무관련 변화 시행에서 얻어진 상대적으로 매우 낮은 정도의 오경보율(false alarm or false-change response rates)이 원인일 것이다.

종합해 볼 때, 실험 1의 결과는 작업 기억 표상들과 지각적 입력이 비교되는 과정이 통제적 조작 과정(controlled operation)임을 시사한다. 반면에 또 다른 해석은, 실험 1에서 관찰된 선택적 처리가 비교 과정이 아닌 자극의 초기 부호화 과정에서 이루어졌을 가능성이 있다. 즉 피험자는 기억해야 할 항목의 세부 특징 차원 중 과제 관련 차원만 부호화하여, 뒤이어 수행된 기억 항목의 표상과 지각 표상간의 비교는 오직 관련 세부 특징 차원만을 대상으로 제한되었을 가능성이 있다. 결국 무관련 차원의 변화에 의해 유발된 미약한 N2pc 성분은 비교 과정 자체보다는 부호화 과정이나 파지의 간헐적인 실패가 원인일 가능성이 있다. 일반적으로 색상 및 방위 양 차원을 부호화하는 것은 색상 또는 방위 단독 차원과 동일한 정도의 정확한 수행이 가능하기 때문에 (Duncan, 1984; Luck & Vogel, 1997), 다른 차원을 무시하고 특정 차원만 부호화하는 것은 매우 어려운 것으로 받아들여지고 있다. 그러나 부호화시 개체의 모든 세부특징을 부호화한다는 사실을 지지하는 직접적인 증거 또한 존재하지 않으므로 이 점을 알아보기 위해 실험 2가 수행되었다.

실험 2

실험 1에서는 비교 처리 과정이 무관련 세부 특징 차원을 완전히 무시한 채 수행 될 수 있음을 보여주긴 했으나, 무관련 세부특징이 단순히 부호화 과정에서 무시되었거나 유지(maintenance) 과정에서 유실되었을 경우 동일한 N2pc 결과 패턴이 나타날 수 있다. 부호화 과정이나 유지 과정에서의 실패는 실험 1에서 관찰된 것처럼 무관련 차원의 변화가 존재하더라도 주의 전환이 발생하지 않을 가능성을 증가시키게 된다.

실험 2는 이 점을 고려하여, 실험 1의 무관련 차원의 세부특징이 기억 검사간 비교가 일어나는 단계까지는 어느 정도 저장되었으리라는 가설을 반응 시간과 정확도의 행동적 측정 차원에서 검증하였다. 실험 2에서는 실험 1과 마찬가지로 전체시행에서 “변화있음”을 보고한 시행의 비율을 조사한 행동적 측정치를 사용하여 실험 2의 결과를 실험 1과 비교하였다. 즉 무관련 변화 조건의 경우, 실험 1에서는 한 개의 방위 막대에 한정되어 무관련 변화가 발생한 반면에 실험 2에서는 네 개의 방위 막대 모두에 무관련 변화가 일어났다.

이러한 처치 아래서는 만약, 실험 1에서 지적된 바와 같이 관련 세부 특징만이 비교 과정까지 부호화되어 파지되었다면, 피험자가 보고하는 “변화있음” 반응(false-change response)은 무관련 변화의 개수에 관계없이 일정해야 할 것이다. 반면에 무관련 세부 특징도 관련 세부 특징과 함께 작업기억에 부호화 및 파지되었으나 피험자가 비교 과정에서 무관련 차원을 무시하는 통제적 처리(controlled process)를

수행하였다면, 통제 과정의 간헐적인 실패로 인해 “변화있음” 반응의 비율이 증가할 것이다. 실험 2는 정확히 이러한 가능성들을 검증하였다.

방법

피험자 심리학 개론 수업을 수강하는 16명의 아이오와 대학 학부생들이 자발적으로 참가하였다. 모든 피험자들은 정상 색신과 정상시력 또는 정상교정시력을 보고하였으며, 신경학적으로 문제가 없음을 보고하였다.

자극과 절차 실험 1에서 사용되었던 동일한 색상방위 막대가 사용되었다. 모든 자극의 제시 방법과 형태는 실험 1과 동일하였으나, 색상 또는 방위가 관련 세부 특징인 구획일 경우 무관련 변화시행에서는 모든 4개 막대의 방위 또는 색상이 동시에 변화하였다. 각 조건들 간 시행수 비율은 실험 1과 동일하였으며, 피험자는 128 시행으로 구성된 두 개의 구획을 수행하였고 구획들의 제시 순서는 색상과 방위 조건에 걸쳐 교대로 제시되었다. 피험자는 과제 수행에 불편이 없을 정도까지 연습 시행을 수행하였다. 피험자는 무관련 세부특징의 변화가 있을 경우 네 방위 막대 모두에서 변화가 발생함을 미리 알고 있었으며, 그 외의 지시문 내용은 실험 1과 거의 동일하였다.

결과 및 논의

그림 4의 (가)는 피험자의 정반응 시행에서

얻어진 반응 시간 값을 요약하였다. 실험 1에서 처럼 반응 시간은 변화없음 시행에서 가장 빨랐으며, 관련, 무관련 그리고 모두변화 조건들 모두에 걸쳐서 변화없음 시행에 비해 약 60ms 정도 지연되었다. 관련 세부특징 차원(관련 대 무관련)과 변화 유무(변화 있음 대 없음)의 두 요인을 실험 1에서와 마찬가지로 이원 변량분석(2-way ANOVA)한 결과 두 요인간의 상호작용은 유의미하였으며, $F(1, 15) = 7.57, p < .05$, 이는 실험 1에서와 마찬가지로 변화가 발생한 시행의 경우, 무관련 차원에서의 변화가 존재하였을 때 피험자의 반응이 지연되었음을 의미한다.

실험 1에서와 마찬가지로 변화 유무에 따른 반응 시간 차이를 살펴보기 위해, 변화없음

시행의 반응시간을 변화가 발생한 나머지 세 가지 시행에서 얻어진 반응시간의 평균값과 비교하였다. 비교 결과 변화없음 시행의 반응 시간이 변화가 존재한 시행들 간의 평균값보다 유의미하게 빨랐다, $t(15) = 3.72, p < .01$. 세 가지 변화 시행들 간 차이를 살펴보기 위한 변량 분석 결과 그 차이는 유의미하지 않았으나 경향성이 관찰되었다, $F(2, 30) = 3.07, p = .06$. 변화없음 조건과 무관련 변화 조건에서 얻어진 반응 시간 값의 차이를 t -검정한 결과 무관련 변화 조건보다 변화없음 조건의 반응 시간이 유의미하게 빨랐다, $t(15) = 5.73, p < .01$. 따라서 실험 1과 마찬가지로 무관련 변화는 상당수의 시행에 걸쳐서 탐지되었던 것으로 추정되며 이는 실험 1에서 관찰된 결

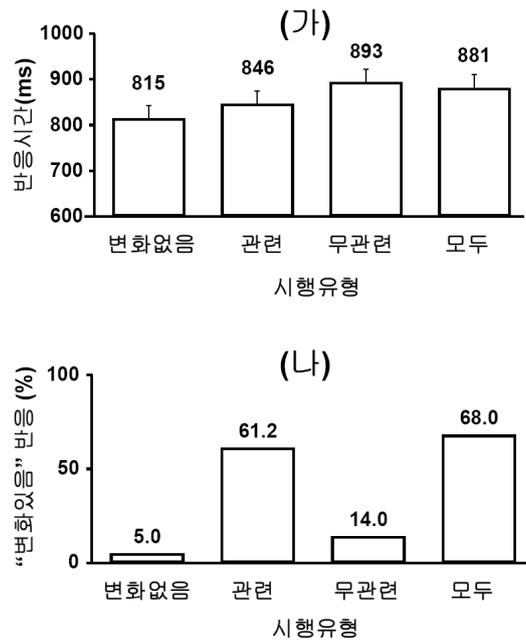


그림 4. 실험 2에서 얻어진 (가) 반응시간 및 (나) 정확도 결과. (나)의 경우, 변화없음과 무관련 조건은 오반응율을, 관련과 모두 조건은 정반응율을 의미한다. 각각의 막대 위에 제시된 숫자는 (가)의 경우 평균 반응시간을, (나)의 경우는 “변화있음” 반응의 비율을 의미한다.

과와 정확히 일치한다.

그림 4의 (나)는 정확도 결과를 요약하며, 실험 1에서와 마찬가지로 변화없음, 관련, 무관련, 그리고 모두변화 조건 내 전체 시행 수준 피험자가 “변화있음” 반응을 보고한 비율을 각각 나타낸다. 피험자는 실험 1에서와 마찬가지로 관련 그리고 모두변화 시행에서 70%이내(각각 61.2%, 68.0%)의 시행에서 “변화있음” 반응을 보고하였으며, 무관련 그리고 변화없음 조건 내에서는 각각 14%보다 적은(각각 5.0%, 14.0%) “변화있음” 반응을 보고하였다. 그러나 관련 및 변화없음 시행에 비해 모두변화 및 무관련 세부특징 변화 시행에서 피험자는 무관련 세부특징 변화가 존재할 경우 약 16%정도 증가된 “변화있음” 반응을 하였으며, 관련 및 변화없음 시행과 모두변화 및 무관련 시행간의 평균 차이에 대한 *t*-검증 결과 그 차이는 통계적으로 유의미하였다, $t(15) = 6.58, p < .01$. 이와 같은 차이는 실험 1과는 달리 실험 2에서 피험자가 무관련 세부 특징 차원에서 발생한 변화가 존재할 경우 착각에 의한 오반응(false-change response)을 하는 정도가 증가했음을 의미한다.

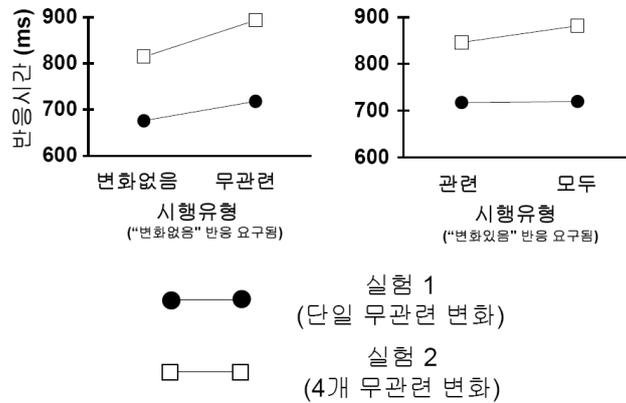
실험 2에서 중요한 분석은 실험1에서의 단일 막대의 무관련 차원의 변화와는 달리 실험 2에서 모든 막대의 무관련 변화에 따른 피험자의 반응시간과 “변화있음” 반응 비율이 증가하였는가의 여부이다. 이를 알아보기 위하여 실험 1과 2에서 피험자가 무관련 변화 시행에서 “변화있음”을 보고한 오류 시행들의 반응시간을 사전대비 변량분석(planned ANOVA)하였다. 그림 5의 (가)는 반응시간 결과를 요약한다. 분석 결과, 무관련 세부특징 변화의

개수가 늘어난 실험 2에서 무관련 조건의 반응시간은 실험 1에 비해 지연되었으며(그림 5 (가)의 왼쪽 도표), 이는 시행 유형(변화없음 대 무관련 변화)과 실험 유형(단일 대 4개의 무관련 변화) 요인 간 유의미한 상호작용으로 나타났다, $F(1, 28) = 4.41, p < .05$. 또한 실험 2에서 관련 및 무관련 차원에서의 변화가 동시에 존재할 경우 또한 반응시간의 지연이 발생하는지를 살펴보기 위해 또 다른 시행 유형(관련변화 대 모두변화)과 실험 유형간 상호작용 여부를 조사한 결과 유의미하지 않았다(그림 5 (나)의 오른쪽 도표), $F(1, 28) = 2.70, p = .11$.

그림 5 (나)는 실험 1과 2의 정확도 결과를 각 시행 유형별 보고된 “변화있음” 시행의 비율로 나타낸다. 반응시간 분석과 동일한 사전대비 변량분석을 정확도 자료에 적용한 결과 실험 2에서 증가된 무관련 변화의 숫자는 무관련 변화 시행의 경우, “변화있음” 반응의 증가로 나타났으며(그림 5 (나)의 왼쪽 도표), 이는 시행 유형(변화없음 대 무관련변화)과 실험 유형간의 유의미한 상호작용을 통해 지지되었다, $F(1, 28) = 17.8, p < .01$. 그러나 반응시간 분석에서 관찰된 것과 동일하게, 시행 유형(관련 대 모두변화)과 실험유형간의 상호작용은 유의미하지 않았다(그림 5 (나)의 오른쪽 도표), $F(1, 28) = 3.08, p = .09$.

실험 2에서 실험 1에 비해 무관련 변화에 대해 반응시간이 상대적으로 지연되고 오반응이 증가한 현상이 관찰된다. 이러한 결과의 원인으로서는 실험 2에서 발생한 변화의 총량 증가 즉, 비교 수행 과정에 발생한 잡음의 양이나 강도의 증가를 고려해 볼 수 있다. 그러

(가)



(나)

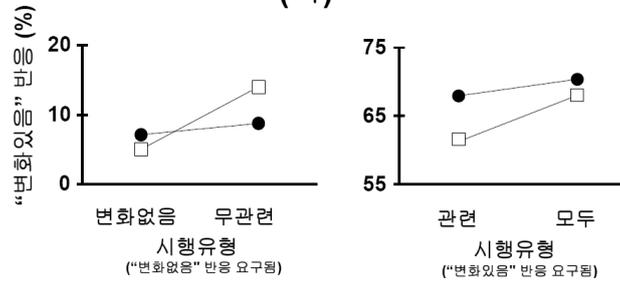


그림 5. 실험 1의 반응시간과 정확도 결과를 실험 2와 비교한 결과

나 무관련 변화에 의한 잡음 증가 또한 기억 항목으로부터 무관련 세부특징이 부호화되어 비교 단계까지 파지되어야 발생 가능하기 때문에 실험 2의 결과를 잡음 증가 차원에서 해석하기에는 무리가 뒤따른다. 따라서 궁극적으로, 실험 1과 2에서 공통적으로 관찰된 무관련 변화에 대한 반응시간 지연과 오반응 증가는 무관련 차원에서 발생하는 변화를 무시(ignore)하는 과정 즉, 통제적 비교 처리 실패 때문이며, 무관련 변화에 대한 반응시간이 실험 2에서 상대적으로 지연된 것은 증가된 무관련 변화 때문에 비교 수행시 통제적 처리가

실패할 가능성이 커졌기 때문으로 해석하는 것이 좀 더 바람직 할 것이다.

종합해볼 때, 이 결과는 무관련 변화의 증가는 반응시간과 정확도에 있어서 증가된 처리비용(cost)을 요구하며 결국 무관련 변화에 대한 “변화있음” 오반응이 증가함과 동시에 반응시간도 지연되는 현상으로 나타났다. 따라서 이 결과는 변화탐지에서 무관련 세부특징 차원에서 발생하는 변화의 수가 증가로 인해 비교 과정에서 통제적 처리가 간헐적으로 실패했으며, 그로 인해 “변화있음” 반응 보고가 증가하고 반응시간 또한 지연되었음을 의

미한다. 결론적으로, 실험 1과 2에서 제시된 무관한 세부 특징들은 변화 탐지의 비교 (comparison) 과정 이전, 즉 부호화 과정이나 파지 단계에서 크게 유실되지 않고 비교 처리 단계까지 유지되었음을 의미한다.

종합논의

본 연구는 과제와는 무관한 세부특징 차원에서의 변화는 수행되는 변화 탐지 과제와 관련된 세부 특징 차원에서의 변화가 탐색되는 (sought for) 동안에는 주의 전환을 유발시키지 않음을 보여주었다. 무관한 변화에 대한 주의 전환이 발생하지 않는다는 사실은 또한, 무관한 세부특징 차원이 부호화 또는 파지단계 동안 유실되어서가 아니라 관련 세부 특징 차원에만 선별적으로 비교가 수행되기 때문임을 의미한다. 결국 변화탐지 수행 중 비교 과정 중에 발생하는 시각적 변화에 대한 자동적인 주의 전환은 과제와 관련된 세부특징 차원에만 국한되고, 과제와 관련이 없는 차원에 대해서는 발생하지 않는다.

본 연구에서 관찰된 통제적 처리 과정의 존재는 변화 탐지 과제에서 비교 과정에 대한 개념적 정의를 잘 보여준다. 이 정의에 의하면, 시각 탐색(visual search)과 변화 탐지 처리 과정 사이에는 명백한 유사성이 존재한다. 즉 빠르고 신속한 대용량 처리과정인 변화 탐지 과정은 단순 세부 특징 과제에서 세부 특징이 탐지(feature detection)되는 과정과 유사하다. 색상과 방위와 같은 매우 단순한 세부 특징의 경우는, 용량의 제한 없이 시각 정보 입력 시 세부특징이 병렬적으로 빠르게 추출됨

이 이미 알려져 있다(Treisman, 1986; Treisman, 1988; Wolfe, 1994; Wolfe, Klempe, & Dahlen, 2000). 시각 탐색 과제들에서 이와 같은 병렬적 세부 특징 분석은 현저하게 두드러지는 세부특징을 가진 개체의 존재 유무를 매우 빠르게 결정할 수 있도록 신속한 특징 정보(featural information)를 제공한다.

이와 같은 유사점에 근거할 때, 주어진 변화 탐지 과제와 무관한 세부특징 변화를 무시하고 관계있는 차원의 변화만 선별적으로 탐지하게 해주는 통제적 처리 과정이 가능하며 이것은 시각 탐색 과제에서 표적과 무관한 세부특징들을 걸러내는(filtering out) 과정으로 볼 수 있다. 주의에 관한 기존 이론들은 시각 정보 처리 시 주어진 과제에 국한된 세부특징들에 대한 무한용량처리(unlimited capacity process)가 가능함을 분명히 시사하였다(예: 안내된 탐색(guided search) 모형, Wolfe, Cave, & Franzel, 1989). 구체적으로, 시각 자극 입력 중 일부분(subset)이 단일 세부 특징 차원에서 먼저 선정되고 나면, 선정된 세부 특징 차원에서 결합에 의해 정의된 표적(conjunction target)을 찾기 위한 병렬적 탐색이 수행될 수 있다. 따라서 변화탐지 과제에서 비교 처리 과정 또한 검사 항목의 일부분 차원, 즉 과제와 관련된 세부 특징 차원에 한정될 수 있음을 추정해 볼 수 있다. 본 연구는 결과적으로, 시각탐색과 변화 탐지 처리 과정은 실제로는 동일한 처리 기제를 가지고 있음을 보여준다.

이러한 유사성에 근거한 제안은 매력적이긴 하지만 몇 가지 고려해야 할 문제점이 존재한다. 첫째, N2pc 결과를 통해 본 바와 같이 무관한 변화차원에서는 완벽하게 자동적 주의

전환이 억제되는 반면에, 실험 2에서 관찰된 바와 같이 무관한 변화에 대한 “변화없음” 정반응의 반응시간이 어떻게 지연될 수 있는가의 원인이 불분명하다. 이와 같은 지연된 반응시간은 적어도 시각 정보 처리 체계가 기억과 유입되는 시각적 자극간의 차이를 어느 정도는 간과하고 있었지만, 비자발적 주의 전환은 억제할 수 있었음을 의미한다. 시각 탐색의 경우, 이는 하향적 처리(top down process)가 현저성에 의한 상향적 처리(bottom up process) 과정을 완벽하게 통제하였고 따라서 무관한 변화가 돌출하는 것이 완벽하게 억제되었지만, 어떤 연유로건 그러한 돌출 자극이 행동적 결과(behavioral report)에는 유의미하게 영향을 미쳤음을 의미한다. 시각 탐색과 선별적 주의 분야에서 이러한 강력한 하향 통제는 그 동안 매우 큰 관심을 받아왔지만(Yantis, 2000; Yantis & Jonides, 1984, 1990), 변화 탐지에 대한 연구 분야에는 비교적 생소한 제안이다. 본 연구는 이에 대해서는 뚜렷한 해답을 제시하지 못하고 있다.

둘째, 하향적 처리가 개별 세부 특징 차원에 발생할 수 있는 무한 용량(unlimited-capacity)의 탐지 처리 과정을 완벽하게 통제할 수 있다면, 이는 검사 자극이 제시되는 시점의 비교 과정에서 통제 처리를 사용하기 보다는 기억 항목이 제시되었을 때 무관한 세부특징 차원을 단순히 부호화시키지 않거나 파지간격 중 의도적으로 유실시킴으로써 간단히 수행될 수 있다. 본 연구는 이와는 다르게 시각 체계가 무관한 차원의 세부 특징을 비교 과정까지 파지하고 있었으며, 실험 2에서 관찰된 바와 같이 불필요한 비교 과정 수행에 의한 오반응

의 증가로 이어질 수 있음을 보여주었다. 이는 주어진 과제가 변화 탐지 과제에서 제시된 세부 특징들 모두를 기억하도록 요구하지 않아도 시각 작업 체계는 모든 세부 특징들을 전부 저장함을 의미한다. 이것은 시각 작업 기억의 통합된 객체 중심적(integrated object-based) 표상과 일맥상통하지만, 본 연구에서 사용된 변화탐지 과제의 요구 아래에서는 부호화나 파지간격 동안에 단순히 무시할 수 있음에도 불구하고 변화가 수행되는 시점까지 공고하게 통합된 표상을 유지할 하등의 이유가 없어 보인다. 그럼에도 불구하고 피험자는 무관한 세부 특징 차원을 상당수의 시행에 걸쳐서 부호화하고 파지하였다.

종합해 볼 때, 본 연구는 변화 탐지에서 무관한 세부 특징들이 자동적으로 탐지될 수 있으나 그러한 자동적 처리는 필요에 따라서는 통제적으로 처리될 수 있다. 이러한 통제적 처리는 시각 탐색에서 방해 자극의 세부 특징은 걸러지고 표적의 세부특징이 선별적으로 처리되는 것과 매우 유사하다. 추후의 연구는 이러한 두 처리 모형간의 차이점을 좀 더 명확하게 밝히는 것이 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.
- 현주석, 정상철, 정찬섭 (1998). 선분 운동 착

- 시를 통해 본 주의 효과의 공간적 패턴. *인지과학*, 9(4), 107-120.
- Bamber, D. E. (1969a). Reaction times and error rates for “same” “different” judgments of multidimensional stimuli. *Perception & Psychophysics*, 6(3), 169-174.
- Bamber, D. E. (1969b). “Same” “different” judgments of multidimensional stimuli: Reaction times and error rates. *Dissertation Abstracts International*, 30(4 B).
- Bamber, D. E. (1972). Reaction times and error rates for judging nominal identity of letter strings. *Perception & Psychophysics. Vol.*, 12(4), 321-326.
- Duncan, J. (1984). Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 501-517.
- Egeth, H. (1966). Parallel versus serial processing in multidimensional stimulus discrimination. *Perception and Psychophysics*, 1, 245-252.
- Folk, C. L., & Annett, S. (1994). Do locally defined feature discontinuities capture attention? *Perception and Psychophysics*, 56(3), 277-287.
- Folk, C. L., Remington, R. W., & Wright, J. H. (1994). The structure of attentional control: Contingent attentional capture by apparent motion, abrupt onset, and color. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(2), 317-329.
- 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., Woodman, G. F., Vogel, E. K., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (in press). The comparison process of visual working memory representations with perceptual inputs. *Journal of Experimental Psychology*.
- 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.
- 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. (2005a). *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. (1998). Electrophysiological approaches to the study of selective attention in the human brain. In R. Parasuraman (Ed.), *The Attentive Brain* (pp.71-94). Cambridge, MA: MIT Press.
- 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. (1994a). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31, 291-308.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994b). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1000-1014.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-281.
- Mueller, H. J., & Humphreys, G. W. (1991). Luminance increment detection: Capacity-limited or not? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 107-124.
- 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.
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing. I: Detection, search and attention. *Psychology Review*, 84, 1-66.
- Sekuler, R. W., & Abrams, M. (1968). Visual sameness: A choice time analysis of pattern recognition processes. *Journal of Experimental Psychology*, 77, 232-238.
- Treisman, A. (1986). Features and objects in visual processing. *Scientific American*, 255(5), 114B-125.
- Treisman, A. (1988). Features and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40, 201-237.
- 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.
- Wolfe, J. (1994). Guided search 2.0: A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 202-238.
- Wolfe, J., Klempen, N., & Dahlen, K. (2000). Postattentive vision. 2000. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(2), 693-716.
- Wolfe, J. (1994). Guided search 2.0: A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 202-238.
- Wolfe, J., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: An alternative to the feature

- integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 419-433.
- 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. (2003a). Dissociations among attention, perception, and awareness during object substitution masking. *Psychological Science*, 14, 605-111.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003b). Serial deployment of attention during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 121-138.
- Xu, Y. (2006). Dissociable neural mechanisms supporting visual short term memory for objects. *Nature*, 440, 91-95.
- Xu, Y., & Chun, M. (2007). The role of the superior intra-parietal sulcus in supporting visual short-term memory for multifeature objects. *Journal of Neuroscience*, 27, 11676-11686.
- Yantis, S. (2000). Goal directed and stimulus-driven determinants of attentional control. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention & Performance XVIII* (pp.73-103). Cambridge, MA: MIT Press.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1984). Abrupt visual onsets and selective attention: Evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 601-621.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1990). Abrupt visual onsets and selective attention: Voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 121-134.

1 차원고접수 : 2009. 2. 12
최종게재결정 : 2009. 8. 25

The Nature of Selective Process during The Comparison between Visual Working Memory and Perceptual Inputs

Joo-Seok Hyun

Department of Psychology, Chung-Ang University

Comparison between visual working memory (VWM) representation and incoming perception has been reported to be rapid and immediate (Hyun, Woodman, Vogel, Niese, & Luck, 2003). The present study further tested if a visual change in an ignored or in other words, a task irrelevant feature dimension would be detected while a relevant feature dimension is paid attention for change detection. Electrophysiological index of change induced shift of attention (e.g., N2pc) indicated that the irrelevant change does not appear triggering the shift of attention to a location of the change. When increased the number of changes however, subjects were more distracted than when there was only a single change. The results indicate that comparison between solid VWM representation and incoming perception occurs in an automatic fashion but can operate selectively in a controlled manner if necessary.

Key words : visual working memory, comparison, change detection, N2pc, controlled process