

The Influence of Visual Short-term Memory Process on Detection of a Peripheral Sensory Change*

Hae-In Kang¹, Joo-Seok Hyun^{1†}

¹Department of Psychology, Chung-Ang University

Change detection process based upon visual short-term memory (VSTM) requires consolidation and maintenance of memory items as well as their comparison against test items. Assuming that the amount of information-processing resources may be different for these three processes, the present study examined presence or absence of performance interference between VSTM-based change detection task at the center of display and a sensory change detection task at periphery. The results showed that less interference between the central change-detection (i.e., memory-intensive) task and peripheral sensory change-detection (i.e., perception-intensive) task was observed near the time the test items were displayed than around when the memory items were displayed. The results indicate that the amount of information-processing resources required for the comparison process is relatively small compared to the consolidation or maintenance process during the VSTM-based change detection.

Keywords: visual short-term memory, consolidation, maintenance, information-processing resource

1차원고접수 20.08.24; 수정본접수: 20.12.17; 최종게재결정 21.01.05

인간의 시각정보처리 과정에서 시각단기기억(visual short-term memory, 이하 VSTM)은 시각장면을 통합적으로 이해하기 위한 중추 기제에 해당된다(Luck & Hollingworth, 2008; 현주석, 2011). 즉 VSTM은 우리의 안구 및 신체 운동 그리고 주변 사물들의 역동적 움직임으로 인해 불안정할 수밖에 없는 시각각 입력 정보 중 우리의 현재 행동에 필요한 핵심 정보들을 짧은 시간 동안 저장해 우리의 시각 경험에 안정성을 부여한다(Hollingworth, Richard, & Luck, 2008).

VSTM의 특성을 이해하기 위한 기억 과제 중 널리 사용되어 온 과제 중 하나는 변화탐지(change detection) 과제이다(Luck & Vogel, 1997; Vogel, Woodman, & Luck,

2001). 대개 변화탐지 과제에서는, 참가자가 기억할 자극 배열(memory array)을 잠시 제시하고 다시 제거한 뒤 약 1초 정도의 기억 지연(memory delay) 이후 이와 동일하거나 혹은 한 항목을 다른 항목으로 교체한 검사자극 배열(test array)을 제시한다. 참가자는 해당 교체 항목의 유무를 보고 해야 하는데, 선행한 기억항목들을 모두 정확하게 기억하고 있었다면 교체된 항목의 유무 즉 변화의 유무를 정확히 보고할 수 있지만 반대로 기억하지 못했다면 변화 유무에 대한 보고 정확도가 감소한다(현주석, 2017).

VSTM에 관한 과거 연구들에 기초할 때, 성공적인 변화탐지 수행에 관여하는 핵심 정보 처리 과정은 첫째, 기억 자극의 감각 표상을 견고한 기억 표상으로 전환시키는 공고화

* 이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업으로(NRF-2020 R1F1A1071424), 1저자의 석사학위 논문 연구에서 얻어진 자료 중 Experiment 4와 5의 결과에 대한 재분석 및 새로운 해석에 근거를 두었음을 밝혀둔다.

† 교신저자: 현주석, 중앙대학교 사회과학대학 심리학과, (06974) 서울시 동작구 흑석로 84
E-mail: jshyun@cau.ac.kr

(consolidation) 과정(Vogel, Woodman, & Luck, 2006) 과 둘째, 공고화된 표상을 유지하는(maintenance) 과정(McCollough, Machizawa, & Vogel, 2007) 및 셋째, 유지된 표상과 검사 자극과의 대조를 통해 변화 발생 여부를 판단하는 비교처리(comparison) 과정(Hyun, Woodman, Vogel, Hollingworth, & Luck, 2009; Pilling & Barrett, 2018) 등의 세 종류 단계로 구성된다. 이러한 세 종류의 처리 과정에 대해 현재까지 보고된 내용은 먼저 공고화와 유지 과정은 용량제한적(capacity-limited) 특성을 가진다는 점이다(Vogel & Machizawa, 2004; Vogel et al., 2006; Woodman & Vogel, 2005). 예를 들어 기억항목에 뒤이어 출현한 차폐 자극은 선행한 기억항목에 대한 공고화 처리 자원의 결핍을 심화시켜 변화탐지 수행을 현저하게 저하시키며(Vogel et al., 2006; 한지은, 현주석, 2011), 공고화에 성공해 VSTM에 유지된 정보 또한 방해 자극으로부터의 간섭에 취약하다(McCollough et al., 2007; Vogel & Machizawa, 2004).

한편 비교처리 과정은 앞서 두 단계와 달리 용량 제한으로부터 상대적으로 자유로운(capacity-unlimited) 것으로 짐작된다(Hyun et al., 2009; 강해인, 현주석, 2011). 예를 들어 Hyun et al. (2009)은 변화탐지로 인해 촉발되는 초점주의 이동 시점이 탐지 대상인 자극의 개수에 관계없이 일정한 것을 발견했다. 후속 연구 또한 기억항목에 비해 검사항목에 대한 후행 차폐의 간섭 효과가 상대적으로 약한 것을 관찰했다(한지은, 현주석, 2011; 현주석, 2008). 이러한 결과는 변화탐지 과제에서 기억항목에 대한 공고화나 유지 과정에 비해 이를 검사항목과 대조하는 비교 처리 과정이 요구하는 정보처리 자원량이 상대적으로 적을 가능성을 시사한다.

현재까지 VSTM 공고화 및 유지 그리고 비교처리 과정의 정보처리 특성에 관한 연구들은 세 단계 각각의 특성을 개별적으로 조사한 경우가 대부분이었다(Vogel et al., 2006; Awh, Barton, & Vogel, 2007; Konstantinou, Beal, King, & Lavie, 2014; Liesefeld, Liesefeld, Muller, & Rangelov, 2017; 한지은, 현주석, 2011; 현주석, 2008). 이를 보완하기 위해 강해인과 현주석(2011)은 단일 연구 내에서 세 단계의 특성에 대한 종합적인 관찰을 시도했다. 구체적으로 그들은 시야 중앙의 변화탐지 과제 자극에 대한 VSTM 공고화와 유지 및 비교 처리가 진행되던 각 시점에 시야 주변부 자극의 색상을 변화시키고 이에 대한 감각적 탐지를 요구하는 이중 변화탐지 과제(dual change-detection task)를 사용했다(Pashler, 1994; Ruthruff, Pashler, & Klaassen, 2001). 그 결과 시야 중앙의 변화탐지 과제의 공고화 및 유지 처리가

진행된 시점에 비해 비교 처리가 진행된 시점에 시야 주변부 자극의 색상 변화가 좀 더 수월하게 탐지된 것이 관찰되었다.

강해인과 현주석(2011)의 연구 결과는 VSTM 공고화 및 유지가 비교처리 과정에 비해 상대적으로 많은 정보처리 자원을 요구하기 때문에 비교처리 시점의 주변부 자극의 색상 변화에 대한 탐지가 더 쉬웠던 것으로 해석할 수 있다. 다만 해당 연구에서는 시야 중앙의 변화탐지 과제에서 VSTM 공고화와 비교처리 두 단계가 진행된 각 시점을 각각 기억항목이 사라진 시점과 검사항목이 출현한 시점으로 정의했는데, 이는 엄밀히 보면 정확하지 않다. 구체적으로 그들은 공고화 완료 시점을 기억항목 제시 이후 500ms가 경과해 기억항목이 화면에서 사라진 시점으로 정의했다. 그러나 VSTM 공고화는 색상 도형 자극 하나 당 약 50ms가 소요되므로(Vogel et al., 2006), 이론상으로는 네 개의 기억항목이 화면에 머무르던 기억항목 출현 이후 200ms 경과 시점이 공고화 완료 시점에 해당한다. 또한 그들의 연구에서 비교처리 시점으로 정의된 검사항목의 출현 시점 또한 엄밀히 보면 검사항목이 출현한 바로 그 시점이 아닌 검사항목이 출현 이후의 시점이 좀 더 타당하다. 다만 변화탐지 과제의 비교처리가 검사항목 출현 후 매우 짧은 시간 내에(<200ms) 완료될 수 있으므로(현주석, 2008; Hyun et al., 2009) 해당 비교처리의 진행 시점은 검사항목의 출현 시점에 매우 인접할 것이 예상된다.

본 연구는 과거 강해인과 현주석(2011)이 가정한 VSTM 공고화와 비교처리 시점의 정의를 바로잡고 이를 바탕으로 해당 연구의 주요 가설 즉 VSTM 공고화와 유지 단계에 비해 비교 처리 단계가 요구하는 정보처리 자원량이 상대적으로 적다는 점을 반복 검증하는 것에 목적을 두었다. 이를 위해 해당 연구와 동일한 이중 과제 방식을 사용하되 시야 주변부에 출현하는 색상 변화의 시점을 다섯 시점으로 세분화해 그에 따른 중심 과제와 주변 과제 사이의 수행 간섭 여부를 관찰했다.

실험 1

실험 1에서는 참가자에게, VSTM 활용이 요구되는 시야 중앙의 단기기억 변화탐지 과제(중심 과제)와 그 주변의 색상 도형에 발생하는 색상 변화를 탐지하는 감각적 변화탐지 과제(주변 과제)를 병행시켰다. 이러한 이중 과제 상황에서는 두 과제 사이의 한정된 자원의 공유로 인한 간섭 및 그 간섭의 양상에 대한 관찰이 가능한데(Pashler, 1994; Ruthruff et al., 2001), 이를 통해 중심 과제에 대한 VSTM 처리 및 주변 과제에 대한 감각적 탐지 처리에 필요한 자원 할당의

특성을 조사할 수 있다.

먼저 중심 과제인 VSTM 기반 변화탐지 과제에서는 기억 항목에 대한 공고화, 유지 및 비교처리가 진행되는 단계들을 다섯 시점으로 상세 구분하였다. 구분된 시점들은 네 개의 단순 색상 도형에 대한 VSTM 공고화가 진행되는 시점으로 추정되는 기억항목 출현 후 200ms 시점(Woodman & Vogel, 2005; Woodman, Vogel, & Luck, 2012; 한지은, 현주석, 2011) 및 기억항목 소멸로 인해 유지 과정이 개시되고 본격적으로 진행되는 시점인 기억항목 출현 후 500 및 1000ms 시점(Vogel, McCollough, & Machizawa, 2005) 그리고 기억항목 출현 후 검사항목이 출현하는 시점과 그 직후인 1500ms과 1548ms 시점 등(Hyun et al., 2009; 한지은, 현주석, 2011) 총 다섯 처치 수준으로 구분되었다.¹⁾ 두 과제가 동시에 수행된 이중 과제 시행에서는 이와 같은 다섯 시점들 중 하나(peripheral change-onset asynchrony, PCOA)를 선택해 주변 과제의 색상 사각형들 중 하나의 색상을 변화시켰다. 이중 과제 시행에서 참가자의 과제는 이러한 중심과 주변 과제에서 발생한 변화 유무를 정확하게 보고하는 것이었다.

실험 1에서는 이중 과제 처치에 따른 중심과 주변 과제 간 처리 자원의 공유를 가정해, 중심 과제 수행을 위한 VSTM 공고화, 유지 및 비교 처리 단계에 할당되는 자원량의 상대적 차이 및 중심 과제와 자원을 공유하는 주변 과제의 색상 변화탐지 정확성이 변화할 것을 예상했다. 특히 비교처리 과정의 자동적 그리고 용량 무제한적 특성(강해인, 현주석, 2011)을 토대로 용량 제한적 정보처리가 예상되는 중심 과제의 VSTM 공고화 및 유지 처리 단계에 발생한 주변 과제의 색상 변화에 대한 탐지보다는 중심 과제의 비교처리 단계에 발생한 주변 과제의 색상 변화에 대한 탐지가 좀 더 수월할 것을 예상했다.

방 법

참가자

중앙대학교에 재학 중인 학부생 16명(여: 10) 중 절반이 실험 1의 이중 과제 조건에, 나머지 절반이 단독 과제 조건에 참가했다. 참가자 연령은 18-26세였고 모두 정상 색각 및 정상시력 혹은 정상 교정시력을 보고했다. 모든 참가자는 참

1) PCOA 1500 및 1548ms 두 처치 수준 사이의 48ms라는 근소한 차이는 비교 처리 과정이 100ms 이내의 짧은 차폐 간격에도 불구하고 큰 무리 없이 완료될 수 있음을 보고한 과거 연구(한지은, 현주석, 2011; 현주석, 2008)를 토대로 비교 처리 시점의 세분화에 있어서 100ms 이내의 짧은 차이를 선택했기 때문임을 밝혀 둔다.

가동의서에 서명했으며 소정의 참가 사례비를 지급받았다.

자극 및 절차

Figure 1에 실험 1의 자극과 절차를 예시했다. 실험 자극은 참가자와 57cm 떨어진 1920x1080 해상도의 17인치 LCD 모니터상의 회색 배경 화면상에 제시되었다. 화면 중앙에는 검은색 응시점($0.35^\circ \times 0.35^\circ$)이 시행 내에서 항상 지속 제시되었으며 참가자는 이 응시점에 시선을 고정시켰다. 매 시행에서, 중심 과제의 변화탐지 자극 위치를 지정하는 네 개의 사각형(개별 $0.83^\circ \times 0.83^\circ$)이 응시점 주변 가상 영역($5.91^\circ \times 5.91^\circ$) 내에 응시점에서 최소 1.28° 의 거리를 두고 무선 배치되었다. 또한 중앙의 위치 단서 사각형이 제시되는 영역을 제외한 화면상의 나머지 영역 내($11.78^\circ \times 11.78^\circ$)에 주변 과제 자극 배열을 위해 열 개의 사각형이 무선 배치되었다. 중심 및 주변 과제의 색상 사각형은 서로 최소한 1.68° 의 거리를 두도록 배치되었다. 중심 과제의 사각형의 색상으로는 여덟 가지 색상들(빨강, 파랑, 연두, 검정, 하양, 노랑, 청록, 보라) 중 서로 다른 네 가지가 무선 할당되었다. 주변 과제 사각형의 색상은 해당 여덟 가지 색상 중 한 번의 반복을 허용해 무선 할당되었다.

개별 시행이 시작되면 중심 과제의 기억항목이 출현할 위치에 어두운 회색의 선으로 그려진 네 개의 사각형이 위치 단서(location marker)로 제시되었으며 이 단서들은 시행 종료 시점까지 화면상에 머물렀다. 뒤이어 중심 및 주변 과제를 위한 색상 사각형들이 함께 출현했다. 해당 사각형들의 출현 이후 500ms가 지난 시점에 중심 과제의 사각형은 모두 사라졌으나 주변 과제의 사각형들은 시행 종료 시점까지 그대로 화면상에 머물렀다. 중심 과제의 기억항목인 네 사각형이 사라진 시점으로부터 1초가 지난 후 해당 위치에 검사항목에 해당하는 네 개의 사각형이 제시되었다. 참가자는 선행했던 기억항목과 검사항목의 색상을 비교해 색상이 변한 항목의 유무를 판단해 서로 다른 두 반응 단추 중 하나를 눌러 변화의 여부를 보고했다. 검사항목은 참가자의 반응이 완료된 즉시 화면에서 사라졌으며, 반응이 없을 경우 2초 동안 화면에 머물다 사라졌다. 중심 과제의 변화 발생 가능성은 전체 시행 중 50%로 처치되었다.

중심 과제의 변화 여부와는 독립적으로, 전체 시행 중 50%의 시행에서 주변 과제의 사각형들 중 하나에 색상 변화가 발생했다. 주변 과제의 색상 변화 시점(peripheral change-onset asynchrony, PCOA)은 다섯 시점으로 구분되었는데 이는 다음과 같다: 중심과 주변 과제의 사각형이 함께 출현한 후 200ms가 경과한 시점(PCOA 200ms), 중심과

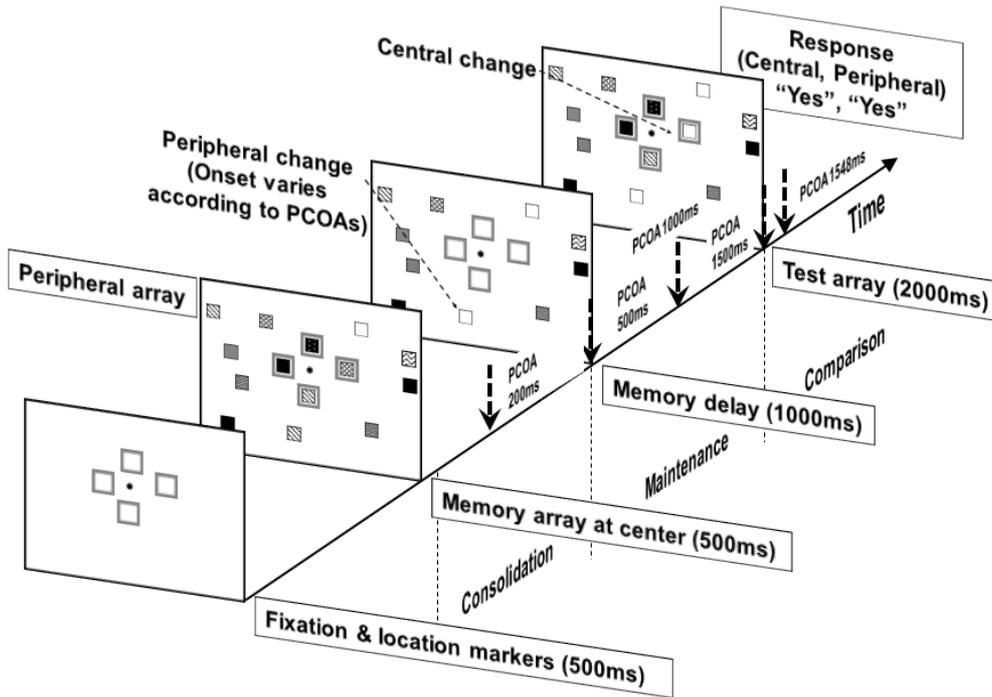


Figure 1. Example stimuli and procedure of a dual-change detection trial in Experiment 1. The example illustrates the stimuli and procedure of a trial in which both peripheral and central arrays had an item with a color change. Differently-filled patterns represent different colors. The bigger arrows with PCOA values on the time-line indicate when a peripheral item changed its color with respect to the onset of memory array, although the arrows were not displayed in the actual trial display. Dotted vertical lines below the time-line and their labels underneath indicate the stages of visual short-term memory processes the central memory task is supposed to undergo. At the end of each trial, participants gave two consecutive responses to report the presence or absence of change for each central and peripheral array (e.g., central first then peripheral second). Note that PCOA represents ‘peripheral change onset asynchrony’ which is the interval in milliseconds between the onset of memory array at the center and the onset of a color change in the peripheral array.

제의 사각형들이 사라진 시점(PCOA 500ms) 혹은 사라지고 난 후 500ms가 경과한 시점(PCOA 1000ms) 그리고 검사항목의 출현 시점(PCOA 1500ms) 및 검사항목 출현 후 48ms가 경과한 시점(PCOA 1548ms) 등이다. 나머지 50% 시행에서는 주변 과제의 사각형에 색상 변화가 없었다.

실험 1에는 이중 과제(dual task) 및 단독 과제(single task) 수행 조건이 있었으며 각각의 조건에 서로 다른 참가자가 무선 할당되었다. 이중 과제 조건의 참가자는 시행 종료 시점에 중심 과제의 색상 변화 유무를 보고한 후 바로 뒤이어 주변 과제의 색상 변화 유무를 보고했다. 단독 과제 조건에서는 이중 과제 조건과 동일한 자극과 제시 절차가 사용되었으나 전체 시행은 중심 혹은 주변 과제 각각에 대한 단독 수행을 요구하는 두 가지 구획으로 구분되었다. ‘중심 변화탐지’ 단독 과제 구획에서는 주변 과제를 무시하고 중심 과제의 색상 변화 여부만을 보고했으며 ‘주변변화탐지’ 단독 구획에서는 중심 과제를 무시하고 주변 과제에 발생한 색상 변화 여부만을 보고했다.

참가자는 이중 과제 조건에서 총 720 시행을 수행했으며 그 절반인 360 시행들에서는 중심 과제에서 색상 변화가 있었으나 나머지 절반에서는 변화가 없었다. 마찬가지로 해당 720시행 중 절반인 360시행에서는 주변 과제에서 변화가 있었고 해당 시행들은 다섯 종류의 PCOA 조건 별 72개 시행들로 구성되었다. 절반인 나머지 360 시행에서는 주변 과제의 색상 변화가 없었다. 그 밖에 중심 및 주변 과제 두 종류 구획으로 구성된 단독 과제 조건의 경우 자극과 제시 절차 및 변화 유무, PCOA 시행 조건의 구성 비율은 이중 과제 조건과 동일했으나 각 구획 내의 전체 시행 수를 1/3로 감소시켜 중심 및 주변 단독 과제 구획 별로 총 240 시행을 수행하도록 처치했다. 단독 과제 조건의 두 구획의 제시 순서는 참가자들 간에 걸쳐 역균형화되었으며 각 구획 내의 시행 순서는 역시 무선화되었다. 과제 반응의 정확도는 강조한 반면 반응의 신속성은 강조하지 않았다.

결과 및 논의

실험 1의 정확도 결과를 Figure 2에 요약 및 도해하였다. 먼저 이중 과제 조건에 비해 단독 과제 조건에서 중심 과제에 대한 변화탐지가 좀 더 정확한 것으로 나타났으나(80.0% vs. 85.8%) 그 차이는 통계적으로 유의한 경향성만이 관찰되었다, $t(14) = 2.09, p = .055$. 주변 과제에 대한 변화탐지는 이중 과제 조건에 비해 단독 과제 조건에서 역시 좀 더 정확했으며(96.9% vs. 89.2%) 이 차이는 통계적으로도 유의했다, $t(14) = 3.76, p < .01$. 다음으로 단독 및 이중 과제 조건 각각에서 주변 과제의 다섯 가지 PCOA 처치 수준에 따른 중심 과제 변화탐지 정확도를 파악했다. 이를 위해 단독 및 이중 과제 조건 각각의 전체 시행을 주변 과제 변화없음 및 PCOA 200, 500, 1000, 1500 및 1548ms 시행 등 여섯 종류로 구분하였다.

먼저 단독 과제 조건에서 주변 과제의 색상 사각형에 변화가 없었을 경우 이를 참가자가 정확히 보고한 비율은 98.4%이었으며²⁾ 이중 과제 조건의 경우 상대적으로 저조한 92.0%였다, $t(14) = 3.75, p < .01$. 이러한 결과는 주변 과제의 사각형에 색상 변화가 없었을 경우, 이에 대한 참가자의 ‘변화없음’ 보고가 중심 과제를 병행한 경우보다 병행하지 않았던 단독 과제 수행 시 더 정확했음을 의미한다. 또한 주변 과제의 색상 사각형에 역시 변화가 없었을 때, 단독 및 이중 과제 조건 각각에서 중심 과제의 변화탐지 정확도 즉 기억 수행 정확도는 각각 87.0% 및 83.4%였고 그 차이는 통계적으로 유의하지 않았다, $t(14) = 1.25, p = .23$. 이는 주변 과제에 색상 변화가 발생하지 않았을 경우 VSTM 기반 변화탐지가 요구된 중심 과제에는 적어도 단독 혹은 이중 과제 수행 여부와 관계없이 변화탐지 정확도에 큰 차이가 없음을 의미한다.

다음으로 주변 과제에 색상 변화가 있었던 경우 해당 변화가 발생한 시점 각각을 기준으로 단독 및 이중 과제 조건에서 주변 과제에 대한 색상 변화탐지 및 중심과제의 변화탐지 정확도를 각각 조사하였다. 단독 및 이중 과제 각 조건에서 주변 과제의 색상 변화에 대해 참가자가 ‘변화있음’을 보고한 정반응율은 평균적으로 각각 95.3%와 86.5%였으며,

2) PCOA 수준에 따른 주변 과제의 변화탐지 정확도 해석을 위해, 주변 과제의 변화없음 시행에서 ‘변화없음’을 제대로 보고한 비율과 변화있음 시행(PCOA 처치 시행)에서 ‘변화있음’ 제대로 보고한 비율을 각각 서로 분리해 산정했다. 따라서 주변과제의 PCOA에 따른 정확도 값은, ‘변화있음’과 ‘변화없음’ 양자 시행의 정확도를 합산 평균에 산출하는 중심 과제의 VSTM 변화탐지 정확도와는 직접 견주기 어려운 서로 다른 정확도 값을 밝혀 둔다.

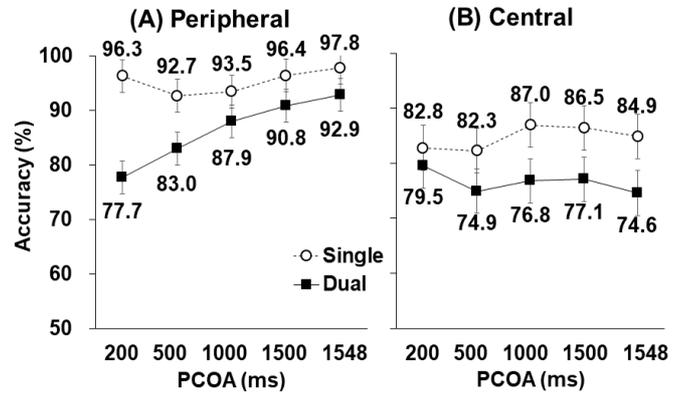


Figure 2. Results of Experiment 1 (N = 16). (A) Accuracies of the peripheral color-change detection task and (B) central VSTM-based change detection task. The accuracy of the peripheral task was calculated according to the proportion of correct ‘change’ responses only for change-present trials in the peripheral color-change detection task. Note however that the accuracy of central task per each PCOA condition was calculated according to the proportion of correct responses in both change-present and change-absent trials of the central memory task partitioned depending on which PCOA condition both the trials belong to. Error bars here and all subsequent charts represent 95% confidence interval calculated according to Loftus and Masson (1994).

이에 상응하는 중심 과제의 변화탐지 정확도는 각각 84.7%와 76.6%였다. 이는 평균적으로 볼 때 이중 과제보다는 단독 과제 수행 시에 주변 및 중심 과제 양측 모두 변화탐지 수행이 정확했던 것으로 짐작할 수 있다.

더 나아가 주변 과제의 색상 변화 발생 시점 즉 PCOA 수준(200, 500, 1000, 1500, 1543ms)별 과제 수행 양상을 정확히 조사하기 위해 먼저 단독 및 이중 과제 조건 각각에서 다섯 PCOA 처치 수준별로 주변 그리고 중심 과제의 수행 정확도를 각각 산출했다. 그 결과 주변 과제의 경우 단독 과제 조건에서는 PCOA가 연장됨에 따라 주변 과제의 변화탐지 정확도에 큰 차이가 발견되지 않았으나, 중심 과제를 병행한 이중 과제 조건에서는 PCOA가 연장됨에 따라 정확도가 점차 상승한 것이 관찰되었다(Figure 2A). 반면 중심 과제의 경우 단독 및 이중 과제 조건 모두 PCOA의 연장에도 불구하고 변화탐지 정확도가 대략 일정한 수준에 머물렀다(Figure 2B).

주변 및 중심 과제 조건 각각에서 PCOA의 연장에 따른 단독 그리고 이중 과제 수행 차이에 대한 통계적 검증을 위해 먼저 주변 과제의 수행 정확도 자료를 대상으로, 참가자 간(between-subject) 변인인 과제 변인(단독 및 이중)과 참가자 내(within-subject) 변인인 PCOA 변인(200, 500, 1000,

1500, 1548ms)을 대상으로 혼합 모형에 기초한 이원 분산분석(mixed-model 2-way ANOVA)을 실시했다. 그 결과 과제 변인 및 PCOA 변인 각각의 주효과가 모두 유의했으며, 각각 $F(1, 14) = 11.70, p < .01, \eta^2 = .46$ 그리고 $F(4, 56) = 13.08, p < .01, \eta^2 = .48$, 두 변인 간 상호작용 또한 유의했다, $F(4, 56) = 8.40, p < .01, \eta^2 = .38$. 다음으로 중심 과제의 변화탐지 정확도 자료를 대상으로 동일한 분산분석을 실시한 결과 과제 변인의 주효과는 유의했으나, $F(1, 14) = 7.39, p < .05, \eta^2 = .35$, PCOA 변인의 주효과, $F(4, 56) = 0.98, p = .43, \eta^2 = .07$, 및 두 변인 간 상호작용이 유의하지 않았다, $F(4, 56) = 1.04, p = .39, \eta^2 = .07$. 이러한 결과는 주변 과제에서 변화가 발생했을 경우, 이중 과제보다는 단독 과제를 수행할 때 주변 및 중심 과제 양자 모두의 수행이 더 정확했으며 더 나아가 이중 과제 수행 시 중심 과제에서는 PCOA의 연장에 따른 수행 향상이 없었으나 주변 과제에서는 수행 향상이 있었음을 의미한다³⁾.

마지막으로 주변 과제에서 유의했던 과제 변인과 PCOA 변인 간 상호작용의 양상을 정확히 이해하기 위해, 주변 과제 조건의 자료를 대상으로(Figure 2A 결과 자료) 앞서 상호작용 분석과 동일한 형태의 이원분산분석을 PCOA 두 처리 수준 간에 걸쳐 실시하는 쌍별(pairwise) 구간 분산분석을 진행했다. 이러한 구간 분석 결과 PCOA 200과 500ms 구간, $F(1, 14) = 5.29, p < .05, \eta^2 = .27$, 및 PCOA 200과 1000ms 구간, $F(1, 14) = 18.69, p < .01, \eta^2 = .57$, 그리고 PCA 200과 1500ms 구간, $F(1, 14) = 38.23, p < .01, \eta^2 = .73$, 사이에서 과제 변인과 PCOA 변인 간 상호작용이 유의했으며 나머지 구간에서는 유의한 상호작용이 발견되지 않았다, $ps > .18$. 이러한 결과는 주변 과제와 중심 과제를 병행할 경우 중심 과제의 기억항목이 출현한 후 200ms 경과 시점에 발생한 주변 과제의 색상 변화는 탐지가 어려웠지만, 기억항목 출현 후 1500ms를 경과 시점 즉 검사항목 출현 시점 부근에 주변 과제의 색상 변화는 탐지가 오히려 수월했음을 의미한다.

요약해 볼 때, 실험 1에서는 주변 시야에 발생하는 감각적 변화에 대한 탐지가 요구될 경우 시야 중앙에서 진행되는 VSTM 기반 변화탐지 과제의 처리 단계별 자원 요구량에 따라 주변 시야에 출현한 감각적 변화에 대한 탐지 정확도가 변화할 것을 예상했다. 이를 위해 주변 시야와 중심 시야에

각각 색상 변화탐지 과제와 VSTM 변화탐지 과제를 병행시킨 결과 두 과제 사이의 간섭이 관찰되었다. 구체적으로, 주변 과제의 색상 도형들 중 하나에 발생한 색상 변화에 대한 탐지는 해당 과제의 단독 수행 시에는 PCOA에 관계없이 정확했지만, 중심 과제를 병행한 경우 상대적으로 어려워졌다. 더 나아가 이러한 이중 과제 수행 시 주변 과제의 색상 변화에 대한 탐지는 중심 과제의 기억처리가 개시된 시점 즉 기억항목 출현 후 200ms 경과 시점에 가장 어려웠으며 중심 과제의 변화탐지가 개시되는 시점 즉 검사항목 출현 시점에 이르러 상대적으로 수월해졌다. 이러한 결과는 실험 1의 중심 및 주변 과제가 서로 한정된 처리 자원을 공유하며, 그로 인해 많은 처리 자원을 요구하는 중심 과제의 기억 공고화나 유지 단계에 비해 상대적으로 적은 처리 자원을 요구하는 비교 처리 단계에 출현한 주변 과제의 색상 변화 탐지가 좀 더 수월했음을 시사한다(Hyun et al., 2009; 강해인, 현주석, 2011).

실험 2

실험 2는 앞서 실험 1에서 사용된 중심 과제를 단순 색상 (simple color-feature) 변화탐지 과제가 아닌 색상-방위 결합(color-orientation conjunction) 과제(Vogel et al., 2001)로 교체한 후 실험 1의 결과에 대한 반복 검증을 시도했다. 중심 과제 교체의 주요 근거는 첫째, 결합 세부특징 변화탐지 과제는 기억 자극의 복잡성 증가로 인해 기억 처리 과정에서 단순 세부특징 과제보다 더 많은 처리 자원의 할당을 요구할 가능성이 있다(Alvarez & Cavanagh, 2004; Brady & Alvarez, 2014; Bays & Husain, 2008). 따라서 실험 1의 단순 세부특징 변화탐지 중심 과제를 결합 세부특징 과제로 교체하는 것은, 해당 중심 과제에 대한 기억 처리 단계별 자원 집중이 초래하는 주변 과제의 수행 변화 조사를 위해 더 효과적인 처치가 될 수 있다. 둘째, 이와는 반대로 단순 혹은 결합 세부특징 변화탐지 과제의 기억 효율성에는 차이가 없음이 보고된 바 있다(Luck & Vogel, 1997; Vogel et al., 2001). 따라서 결합 세부특징 자극이 중심 과제에 사용되더라도 단순 세부특징 자극이 사용된 경우와 유사한 기억 처리 자원량이 할당되어 실험 1과 동일한 결과를 얻을 가능성이 있다. 마지막으로 실험 1에서 중심 과제와 주변 과제는 동일한 색상 사각형 자극 세트를 사용했으므로 중심과 주변 시야라는 공간적 차이외에 두 과제 자극들 사이의 시각적 유사성에 의한 감각적 간섭(sensory interference)을 배제하기 어려웠다(Ben-Av, Sagi, & Braun, 1992; Braun & Sagi, 1991;

3) 주변 과제 시행을 대상으로 과제 변인(이중 vs. 단독)과 PCOA 변인 간 이원 상호작용에 대한 통계적 검증력을 확인한 결과 .99였으며 중심 과제 시행의 경우 해당 상호작용의 검증력은 .31이었다. 검증력 분석에는 G*Power 프로그램이 사용되었다(Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007).

Levin, 2008). 만약 이러한 간섭이 있었다면, 실험 1의 이중 과제 수행 시 PCOA 200ms 수준에서의 주변 과제의 수행 저하는 중심과 주변 과제에 대한 자원 경쟁이 아닌 단순히 두 과제 자극 간 감각적 구분의 실패와 같은 가외 변인이 원인일 수 있다.

첫 번째와 두 번째 가능성은 실험 1과 비교해 결국 동일 결과를 예상한다는 점에서 VSTM에 대한 이론적 시사점만을 더할 뿐이다. 즉 중심 과제에서 결합 세부특징 자극 사용으로 인해 PCOA 1500 및 1548ms 시행의 주변 과제의 상대적 수행 향상이 실험 1과 비교해 실험 2에서 더욱 분명해질 수 있지만, 이 역시 VSTM 공고화 및 유지에 비해 비교처리 단계의 자원 요구량이 더 적다는 실험 1의 해석을 부정하지는 못한다. 반면 마지막 가능성은 실험 1의 해석에 반증의 계기를 제공하는데 예를 들어, 주변 과제에 예상된 PCOA 연장에 따른 이중 및 단독 과제의 수행 차이가 불분명해지거나 사라질 수 있다. 이는 실험 1의 결과가 중심 과제의 기억 처리 단계별 자원 요구량의 차이가 아닌 PCOA 200ms 및 500ms 인근에 동시에 화면상에 머문 중심과 주변 과제 자극 사이의 감각적 간섭에서 비롯되었을 가능성을 시사한다 (Ben-Av, Sagi, & Braun, 1992; Braun & Sagi, 1991; Levin, 2008). 실험 2에서는 이러한 세 가지 가능성을 염두에 두고 중심 과제 자극을 결합 세부특징 자극으로 교체해 실험 1의 결과에 대한 반복 검증을 시도했다.

방 법

참가자

중앙대학교에 재학 중인 학부생 중 실험 1에 참가하지 않았던 8명(남: 5)이 실험 2에 참가했다. 참가자 연령은 20-27세였고 모두 정상 색시각 및 정상시력 혹은 정상 교정시력을 보고했다. 모든 참가자는 참가 동의서에 서명했으며 소정의 참가사례비를 지급받았다.

자극 및 절차

실험 2에서 사용된 자극과 절차는 첫째, 실험 1에서 사용된 단순 색상 변화탐지 중심 과제를 방위와 색상 세부특징 양자의 기억을 요구하는 결합 세부특징 과제로 대체한 점과 둘째, 천정 수준(ceiling level)의 수행이 명백히 예상되는 단독 과제 시행을 제거하고 PCOA 처치 효과만을 집중 관찰하기 위한 이중 과제 시행만을 실시한 점을 제외하고는 실험 1과 모두 동일하였다. 중심 과제 자극으로 사용된 네 개의 선분(개별 길이 1.47°)들 각각의 방위로는 수직, 수평 및 좌 또

는 우로 45° 기울어진 네 종류 방위 중 무선 선택된 하나를 부여했으며 각 선분의 색상은 실험 1과 동일한 방식으로 선택되었다. 네 선분들은 응시점 주변 가상 영역(5.32° × 5.32°) 내에 응시점으로부터 최소 1.28°의 거리를 두고 무선 배치되었으며 실험 1에서 중심 과제 자극의 위치 단서 역할을 했던 네 개의 회색 사각형은 실험 2에서 모두 제거되었다. 또한 선분들이 제시되는 영역과 주변 과제 자극들의 구분을 실험 1에 비해 좀 더 분명히 하기 위해 중심 과제의 방위 선분이 제시되는 영역으로부터 수직, 수평 방향 약 3.5 거리를 둔 영역(8.85° × 8.85°)을 제외한 나머지 화면상의 사각형 영역 내(14.69° × 14.69°)에 주변 과제를 위한 열 개의 색상 사각형이 역시 실험 1과 동일한 색상 및 자극 간 거리 부여 과정을 거쳐 무선 배치되었다. 참가자는 중심 과제의 기억항목인 개별 선분의 색상과 방위를 모두 기억할 것을 요구받았으며 검사항목 출현 시 색상 혹은 방위 중 한 가지가 변화한 선분이 있을 경우 이를 '변화있음'으로, 두 가지 모두에 변화가 없을 경우 '변화없음'으로 반응하도록 지시받았다. 참가자는 단독 과제 조건 없이 실시된 실험 2에서 이중 과제 시행만을 총 720회 수행했다.

결과 및 논의

Figure 3에 실험 2의 주변 과제와 중심 과제의 수행 결과를 요약해 도해하였다. 먼저 주변 과제에 색상 변화가 없었던 시행들에서 중심 과제의 변화없음과 변화있음 시행 정확도는 각각 86.6 그리고 80.2%였다, $t(7) = 4.71, p < .01$. 한편 주변 과제에 색상 변화가 있었던 시행들을 대상으로 해당 변화 발생 시점인 PCOA 200, 500, 1000, 1500 및 1548ms 다섯 수준의 중심 과제 변화탐지 정확도(각각 83.2, 80.0, 76.4, 80.1 및 81.3%)에 대해 일원 분산분석을 실시한 결과 유의한 차이가 발견되지 않았다, $F(4, 28) = 1.73, p = .17, \eta^2 = .20$. 이는 PCOA를 달리한 다섯 가지 시행 조건 각각에서 참가자의 중심 과제에서의 기억 수행이 80% 안팎으로 비교적 일정했음을 의미한다.

다음으로 주변 과제의 색상 변화 출현에 대한 탐지 정확도를 가늠하기 위해 먼저 주변 과제 시행의 색상 변화 유무에 따른 탐지 정확도를 산출한 결과 변화없음 시행(96.2%)이 변화있음 시행(92.2%)에 비해 정확했던 것으로 나타났다, $t(7) = 2.95, p < .05$. 또한 실험 1에서처럼 주변 과제의 변화있음 시행들을 대상으로 PCOA 200, 500, 1000, 1500 및 1548ms 수준 각각에서 '변화있음' 보고의 정반응률 즉 주변 과제 변화탐지 정확도(각각 83.2, 80.0, 76.4, 80.1 및

종합 논의

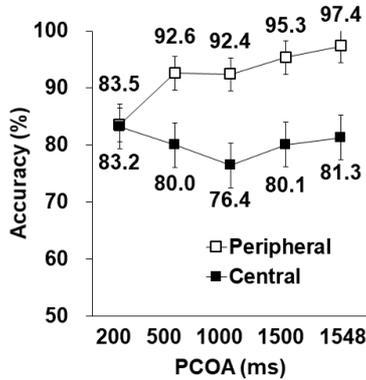


Figure 3. Accuracies of the central conjunction-feature memory and peripheral color-change detection tasks in Experiment 2 (N = 8). Unlike Experiment 1, only the dual-task condition was employed in Experiment 2 without running single-task condition. Accuracy of the peripheral task (open square) in each PCOA condition was calculated according to the proportion of correct ‘change’ responses only in peripheral change-present trials whereas the accuracy of the central task (filled square) in each PCOA condition was calculated according to the proportion of correct responses in both change-present and change-absent trials of the central memory task, just as in Experiment 1.

81.3%)를 산출해 일원분산분석을 실시한 결과 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었다, $F(4, 28) = 13.88, p < .01, \eta^2 = .67$. 이는 PCOA 연장에 따른 주변 과제의 색상 변화탐지 정확도에 차이가 있었음을 의미한다⁴⁾.

PCOA 수준에 따른 주변 과제의 변화탐지 정확도 차이를 구체적으로 이해하기 위해, 다섯 PCOA 수준의 평균 정확도 값들을 대상으로 쌍별 *t*-검정(pairwise *t*-test)을 실시했다. 그 결과 PCOA 200ms 조건과 나머지 네 PCOA 조건들 사이에 유의한 차이가 발견되었으며, PCOA 500과 1500ms 조건 간, 500과 1548ms 조건 간 그리고 PCA 1000과 1548ms 조건 간 통계적으로 유의한 차이가 발견되었다, $ps < .05$. 이러한 결과는 실험 1에서처럼, 중심 과제의 기억 공고화 단계인 PCOA 200ms 시점에 발생한 주변 과제의 색상 변화가 가장 탐지하기 어려웠으며 PCOA가 연장됨에 따라 이 어려움은 점차 완화되어 PCOA 1500ms 시점에 이르러 사라진 것으로 해석된다. 이는 실험 1의 이중 과제 조건의 주변 과제 변화있음 시행에서 관찰된 PCOA 처치 효과와 일관된 것으로 판단된다.

본 연구에서는 시야의 중심부에 VSTM 처리를 요구하는 중심 과제와 시야의 주변부에 감각적 변화의 탐지를 요구하는 주변 과제를 동시에 실시하고, 중심 과제의 VSTM 공고화, 유지 및 비교 처리에 대한 처리 자원 할당이 초래한 주변 과제의 수행 변화를 관찰했다. 실험 1에서는 중심과 주변 과제가 색상 사각형 자극으로 구성되었으며, 중심 과제의 기억 항목 출현 이후 주변 과제 자극에 색상 변화가 발생한 시점(PCOA)을 점차 연장해 가며 그에 따른 중심 과제 그리고 주변 과제의 변화탐지 정확도를 각각 조사했다. 그 결과 중심 과제의 변화탐지 정확도는 PCOA 처치 수준에 관계없이 비교적 일정했던 반면, 주변 과제에서는 중심 과제의 검사항목이 출현한 시점에 해당하는 PCOA 조건(1500 및 1548ms)에서 주변 과제 자극의 색상 변화에 대한 탐지가 상대적으로 정확한 것이 관찰되었다. 실험 2에서는 중심 과제의 자극을 색상 도형 자극이 아닌 색상-방위 결합 자극으로 교체했다. 그 결과 실험 1의 이중 과제 조건에서 관찰된 PCOA 연장에 따른 주변 과제 변화탐지 정확도의 향상이 역시 관찰되었다.

본 연구는 실험 1과 2 이중 과제 수행 시 관찰된 주변 과제의 PCOA 처치 효과에 대한 원인으로 주변 과제와 같이 실시된 중심 과제의 기억처리 단계별 처리 자원량의 차이에 주목한다(강해인, 현주석, 2011). 관련 연구에 따르면 VSTM에 견고한 기억 표상을 형성하는 공고화 단계의 경우 처리 용량의 제한으로 인해 선택적 정보처리가 불가피하며(Vogel, Woodman, & Luck, 2005; Vogel et al., 2006; 한지은, 현주석, 2011), 이에 뒤이은 유지 단계 또한 기억 표상의 지속적 유지를 위한 초점주의 집중이 필요하므로 결과적으로 선택적 정보처리가 불가피하다(Vogel, McCollough, et al., 2005). 더 나아가 이러한 두 처리 단계에 선택적 처리가 불가피하다는 점은 결국 두 단계 모두에 정보처리 병목(bottleneck)이 있음을 시사한다(Luck & Vogel, 2001; Ruthruff et al., 2001). 따라서 가용한 처리 자원의 집중 즉 초점주의 집중을 통해 해당 병목의 해소가 전제되지 않으면 VSTM에 견고한 기억 표상을 형성하는 것과 그 형성된 표상에 대한 원활한 유지가 매우 어려울 수 있다.

반면 앞서 두 단계에 뒤이어 진행되는 변화탐지 완료 단계 즉 기억항목과 검사항목 사이의 비교를 통해 두 항목들 사이의 차이점을 탐지하는 비교 처리 단계는 이러한 병목이 완화되거나 아예 존재하지 않을 것을 예상한다(Hyun et al., 2009; 한지은, 현주석, 2011). 즉 기억항목에 대한 견고한

4) 주변 과제 시행을 대상으로 PCOA 변인의 주효과에 대한 통계적 검증력을 확인한 결과 .99였으며 앞서 중심 과제 시행의 경우 해당 검증력은 .47이었다.

기억 표상이 형성되고 이에 대한 원활한 유지가 가능할 경우, 해당 기억 표상과 이를 검사하는 자극을 비교해 차이점을 탐지하는 과정은 매우 신속하고 정확하게 완료된다. 이는 앞서 기억 공고화 및 유지 과정과 달리 비교 처리 과정에 필요한 처리 자원량이 상대적으로 적다는 점을 의미한다 (Liesefeld et al., 2017).

본 연구에서 이중 과제 수행 시 중심 과제에 기억처리 과정에서 VSTM 공고화가 진행되었을 것으로 추정되는 시점은 기억항목 화면상에 출현한 뒤 200ms가 경과한 PCOA 200ms 조건이다(Vogel et al., 2006; 한지은, 현주석, 2011). 여기서 해당 시점은 한 개의 색상 도형에 대한 공고화 소요 시간(50ms/item; Vogel et al., 2006)을 고려할 때 공고화 진행 시점이 아닌 기억 공고화의 종료 시점 또는 유지 단계의 개시 시점에 해당한다고 반론할 수 있다. 그러나 단독 과제를 사용했던 과거 연구에 비해 본 연구의 실험 1과 2에서는 주변 과제 자극들이 추가된 이중 과제가 사용되었다. 따라서 주변과 중심 과제를 위한 다수 자극들 사이의 감각적 분리 및 부호화 시간의 추가가 불가피했던 본 연구의 자극 처리 상황을 고려할 때, 실험 1과 2의 PCOA 200ms 조건은 중심 과제에 기억항목들에 대한 공고화 처리가 진행 중인 시점일 가능성이 크다고 짐작된다.

이러한 중심 과제 자극에 대한 기억 공고화 이후 기억항목에 대한 유지 처리가 진행되었을 것으로 예상된 시점은 PCOA 500 및 1000ms 처리 조건이다. PCOA 500ms 시점은 중심 과제에 기억항목이 화면에서 사라져 감각적 입력이 중단된 지점에 해당하며, PCOA 1000ms 시점은 기억 지연 시간 총 1초 구간의 정중앙 시점으로 화면상에 응시점과 주변 과제의 색상 사각형을 제외하고 중심 과제에 기억항목에 대한 어떠한 감각적 입력도 없이 기억 파지(retention)에 의존하던 시점이다.

본 연구의 배경이 된 과거 강해인과 현주석(2011)의 연구에서는 PCOA 500ms 시점을 VSTM 공고화 단계로, 1000ms 시점을 유지 단계로 정의했으나 전자의 경우는 VSTM 공고화에 관한 관련 연구 결과에 비추어(Vogel et al., 2005) 엄밀히 말하면 공고화 시점이 아닌 공고화 완료 후 유지 단계의 개시 시점에 가까울 가능성이 크다. 중요한 것은 앞서 관련 연구들을 통해 강조한 바와 같이 VSTM 공고화 및 유지 과정 모두 정보처리 병목이 불가피하므로 이를 해소하기 위해 중심 과제에 대한 처리 자원의 집중적 할당이 불가피하다는 점이다. 물론 강해인과 현주석(2011)의 연구에서도 두 처리 단계에 상응하는 PCOA 500 및 1000ms 시점 모두에서 주변 과제의 변화탐지 수행이 상대적으로 저하된

것을 관찰했다. 본 연구 역시 PCOA 200, 500 및 1000ms 조건에서 주변 과제의 색상 변화 탐지가 비교적 정확하지 못했는데 따라서 이는 과거 강해인과 현주석(2011)의 주요 연구 결과를 반복 검증한 것으로 해석할 수 있다.

한편 실험 1과 2에서 중심 과제에 대한 비교 처리가 진행되었을 것으로 예상된 시점은, 주변 과제의 색상 변화 출현이 가장 지연된 시점인 PCOA 1500과 1548ms의 두 조건 즉 검사항목의 출현 시점 및 그 직후 약 50ms가 경과한 시점에 해당한다. 이 두 조건에서는 앞서 중심 과제에 대한 VSTM 공고화 및 유지 처리가 진행된 PCOA 200, 500 및 1000ms 조건들에 비해 주변 과제에 색상 변화 발생 시에 대한 탐지가 상대적으로 수월했다. 이러한 향상은 선행한 VSTM 공고화 및 유지 단계에서 중심 과제에 편중되었던 처리 자원이 비교 처리 단계에 해당하는 PCOA 1500과 1548ms 시점에서는 다시 회수되어 주변 과제에 할당 가능했음을 의미한다. 바꿔 말하면 기억 공고화나 유지 과정에 비해 중심 과제의 비교 처리 단계가 요구하는 처리 자원량이 상대적으로 적어 그로 인한 잉여 처리 자원이 주변 과제에 할당 가능해졌으며 결과적으로 PCOA 1500과 1548ms 조건의 주변 과제 색상 변화에 대한 탐지가 상대적으로 수월해졌다는 해석이다. 이러한 해석은 앞서 관련 연구들이 제안한 기억 공고화 및 유지 과정의 용량 제한적 특성 및 이와 상반되는 비교 과정의 용량 무제한적 특성에 대한 가설과 그 맥락을 같이 한다(Hyun et al., 2009; 강해인, 현주석, 2011; 한지은, 현주석, 2011).

본 연구의 실험 1과 2에는 몇 가지 중요한 이론적 해석의 추가가 필요한 부분들이 발견되는데 이는 다음과 같다. 먼저 실험 2에서는 실험 1의 중심 과제를 색상-방위 결합 세부특징 변화탐지 과제로 교체했다. 이러한 처리의 목적은 첫째, 실험 2의 결합 과제 자극에 대한 기억 공고화, 유지 및 비교 처리 과정에 필요한 정보처리 자원량이 색상에 대한 기억 및 검사만을 요구했던 실험 1의 중심 과제에 비해 상대적으로 많을 수 있으며(Alvarez & Cavanagh, 2004; Bays & Husain, 2008) 따라서 PCOA 효과에 대한 좀 더 효과적 검증이 가능할 것을 예상했기 때문이다. 둘째, 주변과 중심 과제 모두 색상 사각형이 사용된 실험 1에서는 최초 과제 자극 출현 시점에 두 과제 자극들을 감각적으로 분리하는 과정의 처리 부담이 본 연구에서 관찰된 PCOA 처리 효과와 유사한 결과를 초래할 수 있다는 우려 때문이었다.

첫 번째 예상에 대해서는 실험 2의 중심 및 주변 과제에 대한 단독 과제 수행 결과를 추가해 실험 1의 결과와 직접 비교하기 전에는 정량적 판단이 어렵다. 그러나 적어도 실험

2의 PCOA 연장에 따른 중심 및 주변 과제 수행 정확도가 이에 상응하는 실험 1의 이중 과제 조건의 그것에 비해 적어도 외형적으로는 크게 저하되지 않았다는 점을 고려할 때, 결합 세부특징 자극 사용으로 인한 처리 부담의 증가는 분명치 않았던 것으로 짐작된다. 오히려 이러한 결과는 과거 단순 및 결합 세부특징 자극에 대한 변화탐지 효율성에 차이가 없다는 연구 결과에 기초해(Vogel et al., 2001) 실험 2의 중심 과제 자극이 통합적 객체(integrated object)로 VSTM에 표상되어 실험 1에 비해 기억처리 부담에 큰 변화가 없었고 따라서 실험 2의 이중 과제 수행의 저하가 없었다고 추측할 수 있다. 다만 실험 1과 2에서 항목 개수 처치가 없었고, 실험 2의 경우 단독 과제 시행의 부재로 인해 실험 1과 비교가 불가능하므로 이러한 해석은 큰 설득력을 얻지 못한다.

두 번째 가능성은 본 연구 및 과거 강해인과 현주석(2011) 연구의 결론에 반론의 여지를 제공하므로 좀 더 면밀한 판단이 필요하다. 구체적으로 실험 1에서는 중심 과제와 주변 과제 자극에 모두 색상 사각형이 사용되었다. 물론 실험 1에서는 중심 과제 자극의 정확한 위치 지정 및 주변 과제 자극과의 명확한 구분을 위해 네 개의 사각형이 매 시행에서 위치 단서로 제시되어 있었으나, 동일한 사물 유목(object category)에 해당하는 중심과 주변 과제의 색상 사각형들 사이에 예상치 못한 자극 간섭이 가능했다(Levin, 2008). 반면 실험 2에서는 적어도 주변 과제의 색상 사각형과는 사물 유목 자체가 다른 막대 자극이 중심 과제 자극으로 사용되었고 중심과 주변 과제 자극 간의 거리 또한 늘어났다. 물론 실험 2의 색상-방위 막대 자극은 주변 과제 자극과 색상이라는 세부특징을 여전히 공유하지만 적어도 사각형과는 완전히 구분되는 선분 형태였던 만큼 실험 1에 비해 중심과 주변 과제 간 자극 구분이 수월했을 수 있다. 실험 2의 과제 수행이 이에 상응하는 실험 1의 이중 과제 수행에 비해 저하되지 않았던 것은 아마도 이와 같은 자극 간섭의 감소가 원인일 가능성이 있다.

더 나아가 중심 과제와 주변 과제 자극들 사이의 자극 간섭 가능성은 새로운 해석의 여지를 제공한다. 예를 들어 실험 1과 2에서는 모두 시행의 개시 시점에 주변 과제와 중심 과제 자극들이 동시 다발적으로 출현하므로 이러한 밀집한(cluttered) 자극들에 대해서는 지각적 군집화(perceptual grouping)에 기초한 과제 자극들 사이의 구분이 선행될 필요가 있다(Ben-Av et al., 1992; Braun & Sagi, 1991; Levin, 2008). 실험 1과 2의 이중 과제 자극 상황에서 지각적 군집화는 주변과 중심 과제 자극이 함께 출현하는 매 시행의 개

시 시점에 완료될 필요가 있는데, 이 경우 중심과 주변 과제 자극 사이에 우선 처리 순위가 명시적으로 처치되지 않았다면 이심률 효과(eccentricity effect)에 의해 자극 이심률이 상대적으로 낮은 즉 응시점 주변의 중심 과제 자극이 우선 처리될 가능성이 크다(Carrasco, Evert, Chang, & Katz, 1995; Wolfe, O'Neill, Bennett, 1998). 특히 중심 과제 자극에 대한 처리가 선행할 경우 해당 과제 자극들에 대한 기억 저장에는 선택적 처리 즉 초점주의 집중이 수반될 것이 예상된다(Konstantinou & Lavie, 2013; Lavie, 1995; Lavie, Hirst, de Fockert, & Viding, 2004).

이처럼 시야의 특정 위치에 초점주의가 집중되면 해당 위치를 제외한 다른 시야 위치에 출현하는 감각적 변화나 새로운 사물에 대한 탐지와 변별 가능성은 그에 상응하는 만큼 감소한다(Intriligator & Cavanagh, 2001; Lavie, 1995; Mangun & Hillyard, 1988; Posner, 1980). 특히 중심과 주변 과제 양자에 대한 우선 처리 순위를 명시적으로 지정하지 않았던 실험 1과 2의 이중 과제 상황에서 참가자는, 매 시행의 개시 이후 얼마 지나지 않아 사라지게 될 중심 과제의 기억항목들 위치 즉 응시점 인접 영역에 초점주의를 집중했을 가능성이 크다. 만약 해당 기억항목들에 대한 공고화가 순조롭게 완료된다면 시야 중앙에 집중된 초점 주의는 분산주의(distributed attention) 상태로 전환되어 주변 시야로 처리 자원이 분산될 가능성이 있는데(Beck & Ambler, 1973; A. Treisman, 1986; A. M. Treisman & Gelade, 1980) 이러한 선택적 처리의 공간적 순차 전환은 본 연구에서 관찰된 PCOA 처치 효과와 유사한 형태의 주변 과제 수행 결과를 예측할 수 있다.

초점주의 이론에 기초한 이러한 해석은 실험 1과 2의 PCOA 처치 효과가 오로지 이중 과제의 효과적 수행을 위한 초점주의 집중과 뒤이은 분산주의 상태로의 순차 전환에서 기인했다는 반론을 제공한다. 그러나 본 연구는 잘 알려진 초점주의 이론에 기초해 PCOA 처치 효과를 설명하기보다는 이러한 초점주의와 분산주의 사이의 순차 전환이 필요했던 근본적인 이유에 초점을 맞춘다. 바꿔 말하면 첫째, 실험 1과 2의 이중 과제 상황에서 참가자가 중심 과제의 기억항목들을 구분하고 초점주의 집중을 통해 우선 처리를 시도했던 근본적인 이유는 무엇인가? 둘째, 기억항목에 집중되었던 초점주의가 기억 공고화 이후 주변 과제에 발생하는 색상 변화를 탐지하도록 어떻게 분산주의 상태로 전환되었는가? 마지막으로 검사항목 출현으로 인해 다시 중심 과제 자극으로의 초점주의 집중이 필요했던 시행 말미의 비교 처리 단계 즉 PCOA 1500 및 1548ms 조건에서는 왜 주변 과제의 색상

변화탐지가 용이했는가?

첫 번째 질문에 대해서는, 본 연구에서 강조한 VSTM 기억 공고화 및 유지 과정의 용량 제한적 특성이 근거가 된다. 만약 본 연구의 주장과 달리 두 과정에 처리 병목이 없다면 실험 1과 2의 이중 과제 상황에서 참가자가 중심 과제 자극을 주변 과제 자극과 감각적으로 분리한 후 중심 과제 자극에 대해 초점주의 집중을 지속할 하등의 이유가 없다. 즉 시행 개시 시점부터 중심 과제 자극에 대해 분산주의 상태로 기억 공고화와 유지 처리가 가능했다면 PCOA 1500 및 1548ms 조건에 비해 PCOA 200, 500, 1000ms 세 조건에서 주변 과제의 색상 변화탐지가 어려울 이유가 전혀 없다는 점이다. 결국 세 PCOA 조건에서 주변 과제의 변화탐지 수행 저하는 중심 과제의 VSTM 공고화와 유지 과정에서 예상되는 처리 병목의 완화를 위해 시야 중앙에 초점주의가 지속 집중된 결과 주변 과제에서 발생하는 색상 변화의 탐지에 빈번하게 실패했기 때문이라고 해석할 수 있다.

두 번째 의문에 대해서는 VSTM 공고화를 거친 기억 표상에 대한 유지 과정 즉 단기 파지(short-term retention)의 정보처리 특성에 주목할 필요가 있다. 기존 VSTM의 유지 과정의 처리 특성에 대한 연구들은 비록 개인차가 있긴 하지만(McCollough et al., 2007; Vogel & Machizawa, 2004; Vogel, McCollough, et al., 2005), 기억 공고화에 성공한 VSTM 정보들이 수 초에서 수십 초까지 초점주의 집중 없이 안정적으로 파지된다고 주장한 바 있다(Hollingworth & Henderson, 2002; Johnson, Hollingworth, & Luck, 2008; Vogel et al., 2001; Woodman et al., 2012). 반면 또 다른 일련의 연구들은 해당 기억 정보의 정확한 파지에는 반드시 초점주의의 지속적 집중이 필요하다고 단언한 바 있다(Rensink, 2000; Simons & Rensink, 2005; Wheeler & Treisman, 2002; Zokaei, Heider, & Husain, 2014). 이러한 상충되는 주장을 고려할 때 단기 파지 과정에서 예상되는 처리 병목은 적어도 앞서 VSTM 공고화 과정의 병목보다 다소 약해질 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서 PCOA 200ms 조건에 비해 PCOA 500 및 1000ms 조건에서 주변 과제 수행이 다소 향상된 것은 아마도 VSTM 공고화 단계에 비해 유지 처리 단계의 병목이 다소 완화되어 중심 과제에 집중된 초점주의가 주변 과제로 일부 분산되었기 때문일 수 있다.

마지막 질문에 대해서는 역시 VSTM 비교 처리 과정의 용량 무제한적 특성에 주목할 필요가 있다. 본 연구는 VSTM 기억 공고화 및 유지 과정에 예상되는 정보처리 병목이 적어도 비교 처리 과정에는 이론적으로는 존재하지 않

음을 가정한다(Hyun et al., 2009; 강해인, 현주석, 2011). 이러한 병목의 부재는 실험 1과 2에서 중심 과제의 검사항목이 출현한 PCOA 1500 및 1548ms 시점에 해당 검사항목들에 대한 자동적(automatic) 변화탐지 이외에 초점주의 개입에 의한 어떠한 선택적 정보처리도 필요치 않음을 의미한다. 만약 비교 처리 과정에 분명한 처리 병목이 있었다면 실험 1과 2의 PCOA의 1500 및 1548ms 조건에서 관찰된 주변 과제의 변화탐지 정확도의 분명한 향상은 예상하기 어려우며, 해당 PCOA 조건에서 분산주의 사용에 의한 중심 및 주변 과제 양자에 대한 원활한 변화탐지가 가능했다는 초점주의 이론에 기초한 해석 역시 타당치 않다.

종합해 볼 때 본 연구는 강해인과 현주석(2011)의 연구를 배경으로 시야 중앙 및 주변부에 제시된 자극에 대해 VSTM 기반 및 감각적 변화탐지를 요구하는 이중 변화탐지 과제 방식을 사용해 시야 중앙에서 진행된 VSTM 과제의 기억처리 단계 별 정보처리 특성을 조사했다. 그 결과 VSTM의 기억 공고화 및 유지 단계의 경우 용량 제한적 특성이 분명하게 관찰된 반면 비교처리 단계의 경우 그러한 용량 제한으로부터 상대적으로 자유로웠다.

그러나 본 연구에는 몇 가지 보완이 필요한 부분들이 발견된다. 첫째 실험 1과 2에서는 이중 과제 실험 방식에서 일반적으로 처치되는 일차 및 이차 과제에 대한 명시적 지정이 없었다(Luck, 1998; Pashler, 1994; Ruthruff et al., 2001). 이러한 과제 지정의 부재는 개별 참가자 간에 걸쳐 중심과 주변 과제에 대한 병행 시 우선 처리될 과제 선택에 일관성을 저하시켜 처치 효과를 감소시키거나 자료 변산성을 증가시킬 가능성이 있다. 물론 실험 1과 2의 이중 과제에서는 이심률 효과와 단기 파지가 명시적으로 요구되는 중심 과제를 일차 과제로 선택한 참가자가 다수였을 것으로 추측되지만, 일반적이고 보편적인 이중 과제 방식을 따르지 않았다는 점은 여전히 약점으로 지적된다. 둘째, 실험 1과 달리 이중 과제 수행에 국한해 PCOA 처치 효과를 관찰한 실험 2에서는 단독 과제 수행 관찰의 부재로 인해 실험 2의 새로운 중심 과제의 영향력을 실험 1의 그것과 직접 비교해 볼 수가 없었다. 물론 단독 과제의 수행 결과가 천정 수준에 머물 것이 당연한 만큼 해당 과제 조건의 수행 관찰이 반드시 필요했다고 볼 수는 없으나 결과적으로 해당 자료의 부재로 인해 실험 1과 직접적인 정량적 비교가 어렵다는 점은 본 연구의 타당성을 저해하는 주요 근거가 될 수 있다. 셋째, 실험 1과 2는 모두 소수 참가자 사용으로 인해 통계적 검증력 문제가 지적될 수 있다. 물론 개별 처치 수준 내에서 동일 시행 유형이 다수 반복되어 시행 간 변산성은 크지 않았던 것으로

집착되지만 소수 참가자로 인한 개인차 변인의 영향을 배제하기 어려운 것은 결과의 신뢰도 측면에서 분명한 약점으로 지적될 수 있다. 마지막으로 중심 및 주변 과제에 자극으로 다양한 유목의 자극들이 사용되지 못한 것은 본 연구의 결과 일반화 가능성을 저하시킨다. 앞서 논의된 바와 같이 실험 1에서는 중심 및 주변 과제에 동일한 종류의 자극이 사용되어 이중 과제 수행에 있어서 예기치 못할 과제 간섭의 가능성이 있었다. 실험 2 역시 단독 과제 수행에 대한 관찰이 시도되지 않아 실험 1의 이러한 우려를 해소시키기에는 해석상의 무리가 뒤따른다. 후속 연구는 본 연구에서 지적된 이러한 단점들을 보완해 다양한 자극과 과제를 사용한 반복 검증을 시도하는 방향으로 수행되는 것이 타당할 것으로 예상된다.

References

- 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*(2), 106-111.
- Awh, E., Barton, B., & Vogel, E. K. (2007). Visual working memory represents a fixed number of items regardless of complexity. *Psychological Science, 18*(7), 622-628.
- Bays, P. M., & Husain, M. (2008). Dynamic shift of limited working memory resources in human vision. *Science, 321*, 851-854.
- Beck, J., & Ambler, B. (1973). The effects of concentrated and distributed attention on peripheral acuity. *Perception & Psychophysics, 14*, 225-230.
- Ben-Av, M. B., Sagi, D., & Braun, J. (1992). Visual attention and perceptual grouping. *Perception & Psychophysics, 52*, 277-294.
- Brady, T. F., & Alvarez, G. A. (2014). No evidence for a fixed object limit in working memory: spatial ensemble representations inflate estimates of working memory capacity for complex objects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition, 41*(3), 921-929.
- Braun, J., & Sagi, D. (1991). Texture-based tasks are little affected by second tasks requiring peripheral or central attentive fixation. *Perception, 20*(4), 483-500.
- Carrasco, M., Evert, D. L., Chang, I., & Katz, S. M. (1995). The eccentricity effect: Target eccentricity affects performance on conjunction searches. *Perception and Psychophysics, 57*(8), 1241-1261.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods, 39*, 175-191.
- Han, J. E. & Hyun, J. S. (2011). The consolidation and comparison processes in visual working memory tested under pattern-backward masking. *Korean Journal of Cognitive Science, 22*(4).
- Hollingworth, A., & Henderson, J. M. (2002). Accurate visual memory for previously attended objects in natural scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 28*, 113-136.
- Hollingworth, A., Richard, A. M., & Luck, S. J. (2008). Understanding the function of visual short-term memory in human cognition: Transsaccadic memory, object correspondence, and gaze correction. *Journal of Experimental Psychology: General, 137*(1), 163-181.
- Hyun, J. S. (2008). Test of comparison process in visual working memory by consolidation masking. *The Korean Journal of Experimental Psychology, 20*(3), 167-178.
- 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*(4), 1140-1160.
- Hyun, J. S. (2011). Understanding visual working memory based on significant examples of behavioral studies. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology, 23*(1), 45-90.
- Hyun, J. S. (2017). A review of methodological limitations of change detection task and their theoretical implications for studying visual working memory. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology, 29*(3), 287-373.
- Intriligator, J., & Cavanagh, P. (2001). The spatial resolution of visual attention. *Cognitive Psychology, 43*, 171-216.
- Johnson, J. S., Hollingworth, A., & Luck, S. J. (2008). The role of attention in the maintenance of feature bindings in visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 34*(1), 41-55.
- Kang, H. I. & Hyun, J. S. (2011). The property of attentional-resource allocation by the processing stages of visual working memory, *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology, 23*(4), 487-504.
- Konstantinou, N., Beal, E., King, J. R., & Lavie, N. (2014). Working memory load and distraction: dissociable effects

- of visual maintenance and cognitive control. *Attention, Perception & Psychophys*, 76(7), 1985-1997.
- Konstantinou, N., & Lavie, N. (2013). Dissociable roles of different types of working memory load in visual detection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(4), 919.
- Lavie, N. (1995). Perceptual Load as a Necessary Condition for Selective Attention. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 21(3), 451-468.
- Lavie, N., Hirst, A., de Fockert, J. W., & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 339-354.
- Levin, D. M. (2008). Crowding-An essential bottleneck for object recognition: A mini-review. *Vision Research*, 48(5), 635-654.
- Liesefeld, H. R., Liesefeld, A. M., Muller, H. J., & Rangelov, D. (2017). Saliency maps for finding changes in visual scene? *Attention, Perception & Psychophysics*, 79, 2190-2201.
- 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. (1998). Sources of dual-task interference: Evidence from human electrophysiology. *Psychological Science*, 9, 223-227.
- Luck, S. J., & Hollingworth, A. (2008). *Visual Memory*: Oxford University Press.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-281.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (2001). Multiple sources of interference in dual-task performance: The cases of the attentional blink and the psychological refractory period. In K. L. Shapiro (Ed.), *The Limits of Attention* (pp. 124-140). London: Oxford University Press.
- Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1988). Spatial gradients of visual attention: Behavioral and electrophysiological evidence. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 70, 417-428.
- McCollough, A. W., Machizawa, M. G., & Vogel, E. K. (2007). Electrophysiological measures of maintaining representations in visual working memory. *Cortex*, 43(1), 77-94.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116, 220-244.
- Pilling, M., & Barrett, D. J. K. (2018). Change perception and change interference within and across feature dimensions. *Acta Psychologica*, 188, 84-96.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Rensink, R. A. (2000). Visual search for change: A probe into the nature of attentional processing. *Visual Cognition*, 7, 345-376.
- Ruthruff, E., Pashler, H. E., & Klaassen, A. (2001). Processing bottlenecks in dual-task performance: Structural limitation or strategic postponement? *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 73-80.
- Simons, D. J., & Rensink, R. A. (2005). Change blindness: Past, present, and future. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(1), 16-20.
- Treisman, A. (1986). Features and objects in visual processing. *Scientific American*, 255(5), 114B-125.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428, 748-751.
- Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, 438, 500-503.
- 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(1), 92-114.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2005). Pushing around the locus of selection: Evidence for the flexible-selection hypothesis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(12), 1907-1922.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2006). The time course of consolidation in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(6), 1436-1451.
- Wheeler, M. E., & Treisman, A. M. (2002). Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131(1), 48-64.
- Woodman, G. F., & Vogel, E. K. (2005). Fractionating working memory: Consolidation and maintenance are independent processes. *Psychological Science*, 16(2), 106-113.
- Woodman, G. F., Vogel, E. K., & Luck, S. (2012). Flexibility

- in visual working memory: Accurate change detection in the face of irrelevant variations in position. *Visual Cognition*, 20(1), 1-28.
- Wolfe, J., O'Neill, P., & Bennett, S. C. (1998). Why are there eccentricity effects in visual search? Visual and attentional hypotheses. *Perception & Psychophysics*, 60(1), 140-156.
- Zokaei, N., Heider, M., & Husain, M. (2014). Attention is required for maintenance of feature binding in visual working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(6), 1191-1213.

시야 중앙의 시각단기기억 처리가 주변 시야의 감각적 변화탐지에 미치는 영향

강해인¹, 현주석¹

¹중앙대학교 심리학과

시각단기기억에 기초한 변화탐지 처리 과정은 기억항목에 대한 공고화 및 유지 그리고 검사항목에 대한 비교 처리를 요구한다. 본 연구에서는 이 세 과정에 요구되는 정보처리 자원의 양이 서로 다를 수 있음을 가정하고, 시야 중앙에 제시된 시각단기기억 기반 변화탐지 과제와 주변 배경 시야의 감각적 변화에 대한 탐지 과제 간 수행 간섭 여부를 조사했다. 그 결과 중앙의 변화탐지 과제(기억기반 과제)와 주변 시야의 변화탐지 과제(지각기반 과제) 간 간섭은 기억항목의 출현 인접 시점에 비해 검사항목이 출현한 시점에 가장 감소한 것이 관찰되었다. 이 결과는 시각단기기억 기반 변화탐지 과정에서 공고화 및 유지 과정에 비해 비교 처리 과정에 요구되는 정보 처리 자원의 양이 상대적으로 적은 것을 시사한다.

주제어: 시각단기기억, 공고화, 유지, 비교, 정보 처리 자원