

표적에 대한 기억 부담이 시각탐색의 초점주의 집중에 미치는 영향*

김 혜 윤

현 주 석[†]

중앙대학교 심리학과

시각탐색 표적에 대한 기억 부담이 탐색 수행에 미치는 영향력을 살펴본 연구는 그다지 흔치 않다. 본 연구는 시각탐색 과정에서 초점주의 집중에 반영하는 사건관련전위인 P3 성분을 측정해 표적에 대한 항목 단위 혹은 세부특징 단위의 시각작업기억 부담이 탐색 수행에 미치는 영향을 관찰하였다. 이를 위해 참가자는 표적 단서에 해당되는 두 개의 색상방위막대를 기억하고 뒤이어 출현한 네 색상 막대로 구성된 탐색 화면 내에서 표적의 유무를 판단해 보고하였다. 두 표적 단서막대는 색상 혹은 방위가 서로 동일하거나 달랐으므로 항목개수 차원의 표적에 대한 기억 부담은 하나 혹은 두 항목이었으나 세부특징개수 차원의 기억부담은 하나에서 네 세부특징까지 증감한 것으로 간주되었다. 측정된 P3 성분을 항목 및 세부특징 차원의 기억부담 증감 여부에 걸쳐 비교한 결과 항목 개수 차원의 기억 부담 증가에 따른 진폭 증가만이 확인되었으며 세부특징 개수 차원의 기억 부담 증가에 따른 진폭 증가는 분명하지 않았다. 이는 탐색표적에 대한 기억 부담 증가는 탐색 과정에서 요구되는 초점 주의 집중에 방해하며 이 때 탐색 수행을 방해하는 기억부담의 정도는 표적들의 개별 세부특징이 아닌 항목 개수 단위를 토대로 증감할 가능성을 시사한다.

주제어: 시각탐색, 초점주의, P3, 시각작업기억, 기억부담

* 본 연구는 1저자의 석사학위 논문 연구에서 얻어진 실험 자료들 중 실험 1의 결과에 대한 재분석 및 해석에 근거를 두었음을 밝혀둔다.

[†] 교신저자 : 현주석, 중앙대학교 사회과학대학 심리학과, (06974) 서울시 동작구 흑석로 84

E-mail : jshyun@cau.ac.kr

시각탐색 과정에서 표적에 대한 방해자극의 간섭을 배제하고 신속하고 정확한 탐색을 위해 초점주의가 개입된다는 사실은 다수 연구에 의해 잘 알려진 사실이다(Forster & Lavie, 2007; Lavie, 2005). 다만 시각탐색을 방해하는 요인들에는 방해자극의 영향력뿐만 아니라 다양한 요인들이 있을 수 있는데 그 중 하나가 표적에 대한 정확한 기억표상 형성 유무이다(Oh & Kim, 2004; Woodman & Luck, 2004). 특히 표적 표상의 정확한 형성을 위해서는 탐색 수행 중 표적에 관한 시각 정보를 정확히 저장하는 저장소가 필요한데 기존 연구는 이러한 기억 저장소의 역할을 시각작업기억이 담당하는 것으로 보고하였다(Bundesen, 1990; Duncan & Humphreys, 1989; Treisman, 1988).

탐색 수행에 영향을 미칠 것으로 예상되는 표적에 대한 기억 부담은 탐색 항목이 시각적으로 복잡해질수록 증가할 것이 짐작될 수 있다. 예를 들어 색상 단순세부특징 탐색과제의 경우 표적 색상으로 지정된 특정 색상에 대한 기억만이 요구되는 반면 색상-방위결합 탐색과제의 경우 색상뿐만이 아닌 방위 정보의 기억 또한 요구되므로 기억부담이 상대적으로 클 것으로 흔히 예상할 수 있다. 아울러 표적으로 출현할 가능성이 있는 잠재적 표적 항목이 하나가 아닌 둘 이상일 경우 이러한 기억 부담은 더욱 커질 것 또한 예상된다. 예를 들어 잠재적인 표적 항목으로 한 개의 항목이 아닌 두 항목이 주어질 경우 예상되는 기억부담은 개별 항목에 단일 세부특징이 부여되는 단순세부특징 과제보다 둘 이상의 세부특징이 부여되는 결합탐색과제의 경우 더욱 현격하게 증가할 것으로 예상할 수 있다.

그럼에도 불구하고 시각작업기억의 저장 특성에 대한 기존 연구들은 앞서 탐색 수행에 영향을 미칠 것으로 예상되는 잠재적 표적의 개수와 세부특징의 개수가 초래하는 기억 부담의 정도를 예상함에 있어서 다소 상반된 예측을 이끌어 낸다. 이를 이해하기 위해서는 먼저 시각작업기억의 정보 표상 특성에 대한 두 가지 서로 상반되는 가설을 살펴볼 필요가 있다. 첫째는 시각작업기억의 용량 제한은 전적으로 항목 단위의 구분에 기초한 기억항목의 개수에 의해 결정된다고 주장한 객체 가설(object-based storage hypothesis)이다(Luck & Vogel, 1997; Vogel, Woodman, & Luck, 2001). 이와 관련된 연구들은 항목개수 단위가 증가할수록 기억 정확도가 감소하지만 항목 내 포함된 세부특징의 개수는 정확도에 큰 영향을 주지 않는 것을 관찰해 항목 단위의 용량 제한을 주장한 바 있다. 객체 가설은 시각작업기억이 개별 기억항목의 시각적 복잡성에 관계없이 항목 단위의 매우 선명한 기억 표상을 형성하며 다만 저장 가능한 기억항목의 개수는 3-4개 정도로 매우 제한되어 있음을 주장한다(Awh, Barton, & Vogel, 2007; Luck & Vogel, 1997; Luria & Vogel, 2011; Zhang & Luck, 2008). 이는 시각작업기억의 저장 용량의 전 기생리학적 지표로 알려진 대측지연활동(contralateral delayed activity, CDA)이 이러한 행동적 수행 결과와 정확한 상관관을 보인다는 점을 통해서도 지지된다(Vogel & Machizawa, 2004).

반면 다른 하나는 시각작업기억의 용량 제한이 항목 단위의 개수가 아닌 기억 정보의 총체적 복잡성에 의해 결정된다고 주장한 병

렬독립 저장 가설(parallel-independent storage hypothesis)이다(Magnussen, Greenlee, & Thomas, 1996). 이 모형은 시각작업기억이 기억 정보를 저장하기 위해 사용하는 저장소는 개별 세부 특징 차원 별로 독립되어 있으며 이러한 개별 저장소의 총 저장 용량 또한 한정되어 있다고 가정한다. 따라서 세부특징의 개수가 증가하거나 그것들이 구성하는 시각적 복잡성이 높아지면 이러한 독립적 저장소가 다수 요구되어 기억 부담이 초래되며 세부특징들간의 결합을 유지하는 것도 상대적으로 어려워진다고 가정한다. 또한 개별 기억항목 및 전체 기억 항목들이 구성하는 세부특징의 개수나 시각적 복잡성이 높으면 소수 항목이 저장되고 그 반대의 경우 다수 항목이 저장될 수 있다고 가정하므로 앞서 객체 가설에서 주장한 항목 개수에 기초한 용량 제한보다는 시각적 복잡성에 기초한 용량 제한을 가정한다(Allon, Balaban, & Luria, 2014; Alvarez & Cavanagh, 2004; Olson & Jiang, 2002; Ye, Zhang, Liu, Li, & Liu, 2014). 예컨대 Luria 등(2010)은 시각적 복잡성이 높은 세부특징(e.g. polygon shape)으로 구성된 기억항목의 경우 낮은 세부특징(e.g. color)에 비해 대측지연활동 증가시키는 것을 관찰해 시각적 복잡성에 근거한 시각작업기억 저장 특성을 주장한 바 있다.

시각탐색을 위한 표적 정보에 대한 일시적 저장을 시각작업기억이 담당함을 가정할 때 이와 같은 상반된 기억 표상 모형은 탐색 수행 과정에서 요구되는 초점주의의 집중을 방해할 수 있는 기억부담의 정도를 예상함에 있어서 서로 다른 예측을 이끌어 낸다. 먼저 표적의 세부특징으로 단일 세부특징 차원의 한

값을 부여했을 경우 객체 모형의 경우 단일 항목 수준 그리고 병렬독립 저장 모형의 경우 단일 저장소를 요구하므로 기억 부담이 최소화된다. 다음으로 단일 세부특징 차원의 서로 다른 두 값을 서로 다른 두 항목에 각기 부여해 표적 단서를 제공할 경우 앞서의 경우에 비해 두 모형 모두 상대적으로 증가할 것을 예상한다.

마지막으로 서로 다른 세부특징 차원값을 서로 다른 두 항목에 각기 부여해 결합(conjunction) 두 표적 단서를 제공할 경우 객체 모형의 경우에는 세부특징의 개수에 관계 없이 두 개의 표적 단서 항목에 대한 기억 부담만이 예상되므로 단일 세부특징 차원의 서로 다른 두 값을 두 항목에 부여하는 경우와 기억 부담의 정도 면에서 차이를 예상하지 않는다. 반면 병렬독립 저장 모형의 경우 두 독립적 세부특징 저장소에 두 항목의 서로 다른 두 세부특징 저장이 요구되므로(i.e., 기억항목 2 x 세부특징 2 = 4 단위) 두 항목의 동일 세부특징 차원의 서로 다른 값 (i.e., 기억항목 2 x 세부특징 1 = 2 단위)을 저장하는 경우에 비해 기억 부담이 상대적으로 클 것을 예상한다.

결과적으로 표적에 대한 기억 부담이 증가할수록 뒤이은 탐색 과정에서 초점주의 집중에 방해가 초래될 가능성이 증가함을 경우 두 잠재적 결합 표적에 대한 시각탐색에 대해 객체 모형과 병렬독립 저장 모형은 매우 다른 예측을 한다. 즉 객체 모형은 두 개의 단순세부특징 표적에 대한 시각탐색에 비해 초점주의 집중 정도와 그에 따른 탐색 수행에 큰 차이가 없을 것을 예상하는 반면 병렬독립저장

모형은 두 개의 단순세부특징 표적을 토대로 탐색을 수행하는 경우에 비해 상대적인 기억 부담의 증가를 예상하므로 초점주의 집중이 어려울 것을 예상한다.

이러한 기억부담의 증가가 탐색 과제의 초점주의 집중에 미치는 영향은 탐색 반응시간 및 탐색 정확도와 같은 전형적인 행동적 측정치와 더불어 사건관련전위 측정이 병행될 경우 그 결과가 더욱 분명해 질 수 있다. 탐색 과제에서 초점주의 집중을 반영하는 대표적 사건관련전위 성분 중 하나는 P3로서 탐색 화면 출현을 기점으로 200-600 ms 이후에 전위가 정적 정점에 도달하는 사건관련전위 성분이다. 탐색 과제에서 발현되는 P3 성분의 진폭은 탐색 과정에 할당되는 주의 자원의 강도를 반영하는 지표로 알려진 바 있으며(Kok, 1997; 2001; Polich, 2007), 다수의 연구자들이 기억 부담의 증가에 따른 주의 자원 감소가 P3 성분의 진폭을 감소시킬 수 있음을 밝혀낸 바 있다(Kok, 1997; Pratt, Willoughby, & Swick, 2011; Watter, Geffen, & Geffen, 2001). 구체적으로 탐색과제를 활용한 일련의 연구들은 표적 탐지를 위해 기억해야 하는 잠재적 표적의 개수가 증가했을 때, 탐색 과정에서 발현되는 P3 성분의 진폭이 감소함을 발견하였다(Hoffman et al, 1983; Kok, 1997; 2001; Kramer, Schneider, Fisk, & Donchin, 1986; Kramer & Strayer, 1988; Wijers, Mulder et al, 1989; Wijers, Otten, Feenstra, Mulder, & Mulder, 1989).

P3 성분의 진폭이 기억 부담의 증가에 따른 초점주의 집중을 반영한다는 점을 고려할 때, 객체 모형 및 병렬독립저장 모형에서 각기 설명하는 기억 표상의 특성은 P3 성분에 대한

서로 상반된 결과를 예측한다. 객체 모형의 항목 단위의 기억 저장 단위를 예상하기 때문에, 항목개수 증가에 따른 P3 성분의 진폭 감소가 탐색과정에서 발현되겠지만 반면 동일한 항목개수를 가진 단일 세부특징표적과 두 개의 결합 세부특징 표적 간 P3 진폭 차이가 없으리라 예측할 수 있다. 반면 병렬독립저장 모형은 세부특징 단위의 개수 및 시각적 복잡성에 의한 기억 부담이 상대적으로 높은 두 결합 세부특징을 가진 잠재적 표적의 경우 단일 세부특징 표적에 비해 P3 성분의 진폭 감소가 더 증가하리라 예상한다.

본 연구는 시각탐색에서 표적에 대한 기억 부담 수준이 탐색 과정에서 초점주의 집중에 미치는 영향을 탐색 반응시간과 P3 성분의 발현 정도를 통해 관찰하였다. 이를 위해 시각작업기억에 대한 대표적 저장 모형인 객체 모형과 병렬독립 저장 모형을 토대로 표적에 대한 기억 부담의 수준을 예측하였으며, 이를 바탕으로 한 탐색 과제에서의 초점주의 집중 정도와 방해자극의 영향력을 조사하였다. 본 연구에서는 시각작업기억의 두 모형에 대한 검증과 동시에 더 나아가 시각작업기억 저장 특성이 시각탐색에서의 정보 처리에 미치는 영향에 대해 살펴보는데 중점을 두었다.

실 험

본 실험에서는 두 개의 색상방위 막대를 표적에 대한 사전 단서로 제시하고 뒤이어 탐색 화면을 제시해 표적 유형에 따른 탐색 반응시간 및 탐색 정확도 그리고 탐색 처리 과정 중 발현된 P3 성분의 진폭을 관찰하였다. 본 실

험의 탐색 과제는 탐색 화면 제시에 앞서 두 개의 색상방위 막대를 제시함으로써 다음과 같은 네 종류의 표적 유형 조건들로 구분되었다. 첫째 두 막대의 방위와 색상이 모두 같아 특정 방위의 특정 색상 한 개의 항목이 표적으로 지정되는 ‘항목개수 1개’ 조건, 둘째 두 막대의 색상이 같고 방위가 다른 ‘항목개수 2개/방위 2개’ 조건, 셋째 두 막대의 방위가 같고 색상이 다른 ‘항목개수 2개/색상 2개’ 조건, 마지막으로 두 막대의 방위와 색상이 모두 다른 ‘항목개수 2개/색상 및 방위 2개’ 조건의 네 유형으로 구분되었다. 이중 첫째 ‘항목개수 1개’ 조건의 경우 특정 방위 및 색상 한 개의 항목만을 탐색 과정 동안 기억해야 하므로 기억 부담이 가장 낮은 조건으로 가정되었으며 둘째와 셋째인 ‘항목개수 2개/색상 2개’ 혹은 ‘항목개수 2개/방위 2개’ 조건은 두 단서 막대의 색상 혹은 방위 차원에 의해 구분되는 두 개의 잠재적 표적을 기억해야 하므로 항목개수 1개 조건에 비해 상대적으로 기억 부담이 큰 것으로 가정되었다.

마지막으로 ‘항목개수 2개/색상 및 방위 2개’ 조건의 경우 두 단서에 걸쳐 상이한 색상과 방위의 기억을 요구하므로 앞서 세 단서 유형 조건에 비해 외형적으로는 탐색과정에서 표적을 기억에 유지하는 과정에서의 정보처리 부담이 가장 클 것으로 예상할 수 있다. 그러나 이러한 예측은 병렬독립 저장 모형의 관점에서는 타당하나 객체저장 모형에 근거할 경우 사뭇 달라질 수 있다. 구체적으로 ‘항목개수 2개/색상 및 방위 2개’ 조건은 ‘객체’의 개수 측면에서는 두 객체에 대한 기억이 요구되므로 앞서 ‘항목개수 2개/색상 (혹은 방위) 2개’

조건과 비교해 기억 부담이 증가된 것으로 간주할 수 없다.

본 실험에서는 이처럼 두 모형에 근거해 상이한 예측을 이끌어내는 ‘항목개수 2개/색상 (혹은 방위) 2개’ 조건과 ‘항목개수 2개/색상 및 방위 2개’ 조건간에 걸쳐 탐색수행의 차이 및 P3에 반영된 초점 주의의 집중 정도를 비교함으로써 이론적으로 매우 상이한 두 가설에 대한 검증은 시도하였다.

방 법

참가자 서울 소재 C대학교에 재학 중인 대학생 여덟 명이 유급 참가자로 실험에 참여하였으며 참가자의 연령은 평균 24.1세로 그 중 참가자 중 네 명은 남학생 그리고 나머지는 여학생이었다. 모든 참가자는 오른손잡이였으며 정상 및 정상교정시력을 보유하고 동시에 색 지각에 문제가 없음을 보고하였다. 모든 참가자는 실험참가 전에 참가 동의서에 소개된 내용을 숙지하고 뒤이어 서명하였다.

자극 및 절차 실험의 자극은 52 x 30 cm 크기의 LED 모니터에 참가자로부터 100cm 거리를 두고 제시되었으며, Mathwork사의 MATLAB 및 Psychophysics Toolbox를 통해 구현되었다 (Brainard, 1997). 표적단서 제시 및 탐색 화면에 사용된 자극은 색상방위 막대(0.16°x 0.80°)였으며, 빨강, 녹색, 파랑 및 노랑 네 색상과 45°, 90°, 135° 및 180° 네 방위가 사용되었다.

실험의 절차를 Figure 1A에 도해하였다. 실험이 시작되면 매 시행 마다 시행의 시작을 알리는 응시점(0.16°x 0.16°)이 1000 ms 동안 화

면 중앙에 제시되었다. 응시점이 500 ms 동안 사라진 이후 그 위치 좌우에 각각 화면 중앙으로부터 0.62°의 거리를 두고 표적 단서에 해당하는 두 개의 막대가 1000 ms 동안 제시되었으며 참가자는 이 두 막대의 색상과 방위를 기억해 뒤이어 출현할 탐색 화면의 표적을 예상하도록 지시 받았다. 표적 단서 제시 이후 1500 ms가 경과한 뒤 화면 정중앙의 가상 사

각형(1.55°x 1.59°)의 꼭지점 위치에 네 개의 색상막대가 탐색 화면에 1500 ms 동안 제시되었으며, 각 항목의 위치는 화면 중앙으로부터 1.10°의 거리를 두도록 처치되었다. 참가자는 탐색 화면 내에서 표적 단서에 의해 지정된 표적의 출현 유무를 판단해 게임패드의 '2' 혹은 '3' 키를 오른손 검지로 눌러 신속하고 정확하게 반응하도록 요구 받았으며, 반응키는

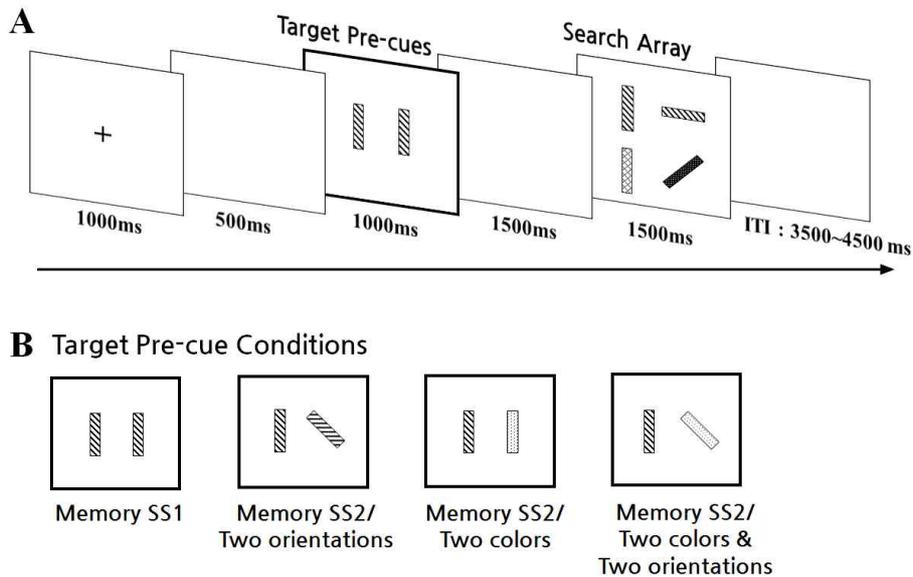


Figure 1. Stimuli and Procedure used in Experiment. A. Example of a 'target-present' trial. After two colored orientation bars as target pre-cues, either of the two bars were selected as the target and presented together with three distractors in the subsequent search display. The three distractors on the search display was made of two bars sharing either the same color or the orientation as the selected target and a single bar sharing neither of the color or orientation. In 'target-absence' trials, the same three distractors were displayed while the remaining one item was replaced with a single bar sharing neither of the features with the pre-cues. B. The target pre-cue displays in the search task. According to the possible combination of the color and orientation for the target pre-cues, four conditions were constructed: 1) two pre-cues had the same color and orientation (memory setsize 1), 2) the color was the same but orientation differed between the pre-cues (memory setsize 2 for orientation-only), 3) the orientations were the same but the colors differed (memory setsize 2 for color-only), and 4) both the color and orientation differed (memory setsize 2 for each color and orientation). The different filled patterns represent different colors.

참가자 별로 역균형화(counterbalancing)되었다. 개별 시행 내에서 참가자들은 1500ms 동안 지속된 탐색 화면의 출현 시점을 기점으로 표적 출현 여부를 보고하도록 지시받았으며 탐색 화면이 사라진 이후 다음 시행의 응시점 출현까지는 3500-4500ms의 변동시행간격(variable inter-trial interval, variable ITI) 동안 빈화면이 제시되었다. 탐색 화면 출현 후 3000ms 이내의 반응은 모두 기록되었으나 자료 분석 과정에서는 탐색 화면 출현 후 200ms 이내 및 2000ms 이후의 반응은 오반응으로 분류해 정확도 환산에만 사용하고 정반응만이 대상이된 반응시간 및 뇌파 분석에서는 제외시켰다.

탐색 과제에는 표적 단서 유형에 따라 네 가지 표적 단서 조건이 있었다(Figure 1B). ‘항목개수 1개’ 조건의 경우 표적 단서로서 색상과 방위가 동일한 두 개의 막대가 제시되었다. ‘항목개수 2개/색상 혹은 방위 2개’ 조건에서는 각기 색상 혹은 방위가 다른 두 막대를 표적 단서로 제시하되 서로 색상이 다를 경우 방위를 같게 하거나 반대로 방위가 다를 경우 색상이 같도록 처치하였다. 마지막으로 ‘항목개수 2개/색상 및 방위 2개’ 조건의 경우 색상과 방위 모두가 서로 다른 두 막대를 제시하였다. 표적 단서에 뒤이어 진행된 탐색 과제의 ‘표적있음’ 시행에서는 표적 단서 중 하나가 50%의 확률로 선택되어 실제 탐색 표적으로 제시되었으며 나머지 세 개의 방해 자극들은 선택된 표적과 색상 혹은 방위 세부특징을 공유하는 두 개의 막대와 공유하지 않는 하나의 막대로 구성되었다. 표적은 화면 정중앙의 가상 사각형의 네 꼭지점 중 하나의 위치에 25%의 확률로 출현하였으며, 방해자극의 위치는 나

머지 세 꼭지점 위치에서 무선적으로 선택되었다. ‘표적없음’ 시행에서는 선택된 표적과 색상 혹은 방위 세부특징을 공유하는 방해자극이 무선적으로 표적과 대체되었으며, 대체된 방해자극이 세 종류의 방해자극과 함께 탐색 화면에 제시되었다. 표적있음 및 표적없음 시행의 탐색 화면에는 선택되지 않은 나머지 하나의 표적 단서의 세부특징은 제시되지 않았으며, 탐색 화면 내 네 자극들 간 서로 하나의 방위 및 색상 세부특징만을 공유하도록 하여 탐색 화면에서 단일 세부특징이 돌출(pop-out)하지 않도록 구성하였다.

각 표적 단서 조건별 ‘표적있음’ 및 ‘표적없음’ 조건에 각기 56개씩 총 112개의 시행이 포함되었으며, 각 조건의 시행 유형은 4번씩 반복되어 도합 총 448회의 시행이 실시되었다. 참가자는 뇌파 기록이 개시되는 본 시행 이전에 과제에 편안함을 느낄 때까지 본 시행과 동일하게 구성된 연습 시행을 수행하였으며 본 시행이 개시된 이후는 매 25 시행마다 20초 간 짧은 휴식이 제공되었으며 192 시행 및 320 시행 이후 최소 3분 이상의 긴 휴식을 취했다.

뇌파(EEG) 자료 기록 및 분석 EEG는 International 10-20 체계에 따르는 32개의 전극을 통해 측정되었으며, Biosimi 사(Amsterdam, Netherlands)의 ActiveTwo 시스템을 통해 기록되었다. 참조 전극으로는 오른쪽 및 왼쪽 mastoid에 부착된 전극이 사용되었다. 눈깜빡임 및 상하 좌우 안구운동에 따른 안구 전위도(electrooculogram, EOG) 측정을 위해 양 눈의 바깥쪽 및 왼쪽 눈 상하 부위에 전극을

부착하였다. EEG의 표본율은 256 Hz이었으며, 0.16-100 Hz의 통과대역에서 대역 여과 (band-pass filtered) 되었다

기록된 뇌파 자료의 분석에는 EEGLAB Toolbox(Delorme & Makeig, 2004) 및 ERPLAB Toolbox(Lopez-Calderon & Luck, 2014)가 사용되었다. 기록된 EEG 및 EOG는 양쪽 mastoid의 평균 신호를 바탕으로 재참조(re-referenced)되었다. ERP 자료 구간(epoch)은 매 시행의 탐색 화면 출현으로부터 200 ms 이전부터 출현 후 800 ms 까지로 설정되었으며, -200-0 ms 구간의 파형으로 기준 값 교정(baseline correction)을 실시하였다. 반응시간 및 ERP 분석에는 탐색 화면 출현 이후 200-2000 ms 시간 범위 내 반응이 이루어진 정당 시행만이 포함되었다. 탐색 과정에서의 EEG 신호에서 불필요한 잡음을 제거하기 위해, 탐색 화면 출현을 기준으로 -200-800 ms 시간구간에서 참가자 별로 100 ms 간격의 200 ms 시간 범위 내에 100-120 μ V 이상의 진폭 변화가 있는 시행은 분석에서 제외되었다. 탐색 과정에서 눈깜빡임 및 안구운동이 나타난 시행은 계단형 함수(step function)에 기초해, 전체 참가자들별로 50 ms 간격의 200 ms 시간 범위 내 75 μ V 이상의 진폭 변화가 나타난 시행을 제거하였다. 그 결과 전체 참가자 시행의 9.17%가 제거되었으며, 모든 참가자들의 제거된 시행은 각 참가자별로 20% 이상을 초과하지 않았다.

P3 성분의 평균 진폭은 정중안선의 전극들 중 P3 성분의 발현이 가장 현저한 Pz 전극에서 산출된 파형을 바탕으로 분석되었다(Kok, 1997; Polich, 2007). 탐색 과정에 따른 P3 평균 진폭의 변화를 보다 구체적으로 살피기 위해

각 참가자 별로 탐색 화면 출현 이후 300-800 ms 구간 내 P3 성분이 발현되는 전반기 (300-550 ms)와 성분이 지연되는 후반기 (550-800 ms)의 평균 진폭을 각기 분석하였다. 이는 전반기 및 후반기의 P3 진폭 변화를 비교함으로써, 일반적으로 알려진 P3 발현구간인 300-600ms 이후 기억 갱신(memory updating) 등과 같은 후기 처리와 관련된 사건관련전위 (e.g., positive slow wave)가 P3 파형에 중첩되었을 가능성(Kok, 2001)을 배제하기 위해서이다. 또한 P3 진폭 변화를 세분화함으로써 기억 부담에 따른 전반기의 초점 주의 발현의 강도와, 시각정보처리가 지속되는 후반기에 초점 주의 강도가 유지되는 정도를 각기 살펴보고자 하였다.

결 과

탐색 정확도 및 반응시간 전체 참가자의 탐색 과제 평균 정확도 및 반응시간을 Figure 2A, 2B에 각각 제시하였다. 참가자들의 전체 평균 정확도는 $94.9 \pm 3.1\%$ 로 매우 정확하였다. 표적 단서 조건 (항목개수 1개, 항목개수 2개/방위 2개, 항목개수 2개/색상 2개, 항목개수 2개/색상 및 방위 2개) 및 탐색 화면에서의 표적 출현 여부 (표적있음 및 표적없음)에 따른 탐색 과제 정확도 차이를 살피기 위해 반복 측정에 근거한 이원변량분석(repeated-measure two-way ANOVA)을 실시하였으며, 더불어 1종 오류의 가능성을 배제하기 위해 구형성 검정을 실시하였다. 그 결과 표적 단서 조건 및 표적 단서 조건과 표적 출현 여부 간 상호작용의 구형성 가정은 모두 충족되었다, 각각 p

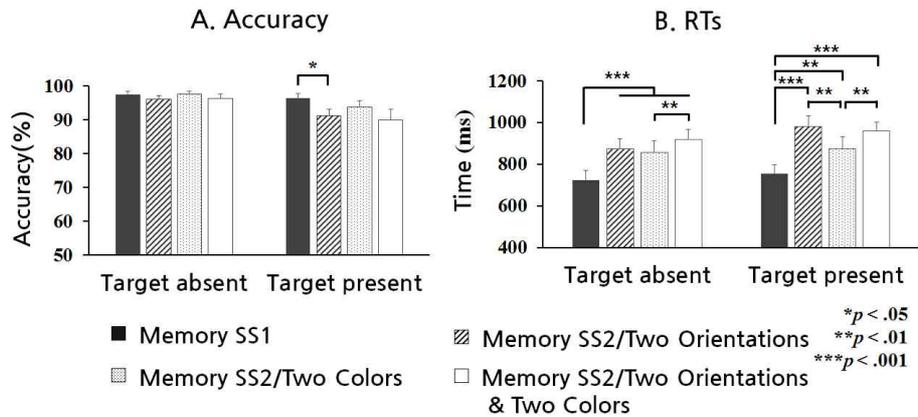


Figure 2. Mean accuracy (2A) and RTs (2B) of the search task. The error bars in the present and all subsequent charts represent standard error of the mean.

= .545, $p = .212$. 반복측정 이원변량분석 결과 표적 단서 조건의 주효과가 유의미하게 나타났으며, $F(3,21) = 4.876$, $p = .010$, $\eta^2 = .411$. 표적 출현 여부에 따른 차이 또한 유의미하였는데, $F(1,7) = 9.717$, $p = .017$, $\eta^2 = .581$, 탐색 화면에 표적이 출현한 경우 ($92.8 \pm 4.6\%$) 출현하지 않은 경우($97.0 \pm 2.1\%$)에 비해 탐색 정확도가 떨어진 것이 관찰되었다. 표적 단서 조건과 표적 출현 유무 간 상호작용은 유의미하지 않았다, $p = .286$.

표적 단서 조건 간 정확도 차이를 구체적으로 살피기 위해 표적있음 및 표적없음 조건별로 쌍별 비교(pairwise t -test)를 실시한 결과, 표적있음 조건의 ‘항목개수 1개’ 조건($96.4 \pm 3.9\%$)에 비해 ‘항목개수 2개/방위 2개’ 조건($91.2 \pm 5.3\%$)에서 정확도가 감소한 것이 관찰되었다, $t(7) = 2.874$, $p = .024$. 이러한 결과는 정확도 차원에서 항목개수의 증가가 탐색 과제에서의 표적 탐지를 방해할 수 있음을 시사하며, 표적에 대한 기억 부담에 의한 차이가 탐색 화면에 표적이 출현하는 경우에 보다 분

명하게 나타날 가능성을 제기한다. 그 외 표적있음 및 표적없음 조건에서의 표적 단서 조건 간 이외의 차이는 모두 유의미하지 않았다, $ps > .054$.

탐색 과제 수행이 매우 정확하여 천정 수준에 머문 관계로 기억 부담에 의한 탐색 과제 수행의 차이는 반응시간 분석 결과에 대한 해석에 집중되었다. 반응시간 분석에는 극단치 배제를 위해 각 참가자 별로 탐색화면 출현 이후 200-2000 ms 시간구간 내 응답된 정답 반응이 분석에 활용되었다.

탐색 과제의 평균 반응시간은 862 ± 131 ms 로, 참가자들은 대체로 빠른 탐색 반응시간을 보였다. 표적 단서 조건 및 표적 출현 여부에 따른 탐색 반응시간 차이를 살피기 위해 반복측정 이원변량분석을 실시하였으며, 1종 오류의 가능성을 배제하기 위해 구형성 검증 또한 실시하였다. 그 결과 표적 단서 조건의 경우 구형성 가정이 충족되었으나, $p = .447$, 표적 단서 조건 및 표적 출현 여부 간 상호작용에서 구형성 가정이 위배되어, $p = .035$, 이에

한하여 Greenhouse-Geisser p -value 교정치를 사용하였다. 반복측정 이원변량분석 결과, 표적 단서 조건 및 표적 출현 여부의 주효과가 모두 유의미하게 나타났다, 표적 단서 조건, $F(3,21) = 102.093, p < .001, \eta^2 = .936$, 표적 출현 여부, $F(1,7) = 7.177, p = .032, \eta^2 = .506$. 참가자들은 탐색 화면에 표적이 나타난 경우(884 ± 132 ms) 나타나지 않은 경우(840 ± 135 ms)에 비해 지연된 반응시간을 보였다. 이는 하나 이상의 표적 단서가 시각탐색 이전에 제공됨에 따라, 표적있음 조건에서 출현한 표적이 두 표적 단서 중 어느 것인지에 대한 판단이 지연된 것에서 비롯되었을 수 있다. 표적 단서 조건 및 표적 출현 여부 변인 간 상호작용은 유의미하지 않았다, $p = .136$.

이원변량분석 결과 표적 단서 조건 및 표적 출현 여부의 유의미한 상호작용은 발견되지 않았으나, 기억 부담 효과가 세부특징 혹은 항목 단위에서 나타나는지 구체적으로 살피기 위해서는 표적 단서 조건 간 차이를 각 세부 조건별로 나누어 검증할 필요가 있다. 따라서 추가적으로 표적있음 및 표적없음 조건에서의 표적 단서 조건 간 차이를 살피기 위해 각 조건별 쌍별 비교를 실시하였다. 그 결과 항목 개수의 증가에 따른 반응시간 지연이 표적있음 및 표적없음에서 각기 관찰되었는데, 구체적으로 표적있음 및 표적없음 조건에서 ‘항목개수 1개(754 ± 127 ms, 723 ± 131 ms)’와 ‘항목개수 2개/방위 2개(981 ± 143 ms, 875 ± 129 ms),’ ‘항목개수 2개/색상 2개(874 ± 163 ms, 855 ± 157)’ 및 ‘항목개수 2개/색상 및 방위 2개(959 ± 120 ms 917 ± 142 ms)’ 조건간 차이가 각기 유의미하게 나타났다, 표적있음, $t(7) = -15.720, p <$

$.001, t(7) = -4.665, p = .002, t(7) = -11.073, p < .001$, 표적없음, $t(7) = -7.949, p < .001, t(7) = -10.217, p < .001, t(7) = -13.204, p < .001$. 이는 탐색 과제에서 잠재적 표적의 항목 개수 증가에 따른 기억 부담의 증가가 탐색 과제 수행을 지연시켰음을 의미한다.

표적 단서 조건 간 쌍별 비교 분석에서 ‘항목개수 2개’ 조건들 간 결합 세부특징의 차이에 따른 탐색 반응시간 지연 또한 추가적으로 발견되었다. 표적있음 조건에서는 ‘항목개수 2개/색상 2개(874 ± 163 ms)’ 조건에 비해 ‘항목개수 2개/방위 2개(981 ± 143 ms)’ 조건과 ‘항목개수 2개/색상 및 방위 2개(959 ± 120 ms)’ 조건의 반응시간이 각기 지연되었다, 각각 $t(7) = 4.583, p = .003, t(7) = -3.628, p = .008$. 표적없음 조건에서는 ‘항목개수 2개/색상 2개(855 ± 157 ms)’ 조건에 비해 ‘항목개수 2개/색상 및 방위 2개(917 ± 142 ms)’ 조건에서 탐색 반응시간이 지연되는 결과를 보였다, $t(7) = -4.765, p = .002$. 이는 잠재적 표적 항목 개수가 2개로 동일한 경우에도 항목 내 포함된 세부특징 개수에 의해 경우 탐색 반응시간이 지연될 수 있음을 의미한다.

P3 탐색 과정에서 Pz 전극에서 발현된 P3 성분의 파형을 Figure 3에 제시하였으며, 각 표적 단서 조건(항목개수 1개, 항목개수 2개/방위 2개, 항목개수 2개/색상 2개, 항목개수 2개/색상 및 방위 2개)별 P3 파형을 탐색 화면에서의 표적 출현 여부(표적있음, 표적 없음)에 따라 각기 도해하였다. P3 평균 진폭은 탐색 화면 출현 이후 300-800 ms 시간구간 내에서 P3가 발현되는 전반기(300-550 ms)와 성분이

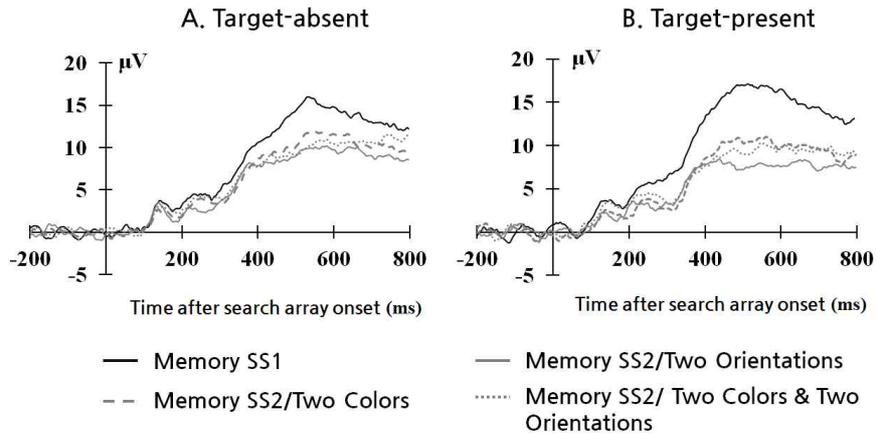


Figure 3. Grand-averaged waveforms of P3 component observed at Pz electrode measured during the search task ($N=8$). A. Target-absent trials. B. Target-present trials. The measurement was timelocked to the onset of search array.

유지되는 후반기 (550-800 ms) 로 시간대를 나누어 각기 평균하였다.

기억 부담에 따른 탐색 과정에서의 P3 평균 진폭 차이를 살피기 위해 표적 단서 조건, 표적 출현 여부 및 시간 구간을 변인으로 한 반복측정 삼원변량분석(repeated-measure three-way ANOVA)을 실시하였다. 분석에 앞서 구형성 검정을 실시하였는데, 모든 조건 및 상호작용의 구형성 가정이 충족되었다, $p_s > .167$. 반복측정 삼원변량분석 결과, 표적 단서 조건의 주효과가 유의미하게 관찰되었다, $F(3,21) = 11.030, p < .001, \eta^2 = .612$. 또한 시간 구간 조건의 주효과 또한 유의미하게 나타났으며, $F(1,7) = 6.356, p = .040, \eta^2 = .476$, 전반기 ($8.9 \pm 2.2 \mu V$) 에 비해 후반기($10.7 \pm 2.3 \mu V$)의 평균 진폭이 증가하였다. 표적 출현 여부의 주효과, 변인들 간 이원 및 삼원 상호작용은 유의미하지 않았다, $p_s > .113$.

비록 삼원변량분석에서 유의미한 상호작용

을 발견하지 못했으나, 반응시간 결과와 마찬가지로 표적 단서 조건의 주효과가 발견되었다. 본 연구에서 주요히 살피고자 하는 항목 혹은 세부특징에 따른 기억 부담 효과를 구체적으로 살피기 위해서는, 표적 단서 조건에 따른 P3 진폭 차이가 어떠한 세부 조건별로 나타났는지를 나누어 살펴볼 필요가 있다. 이에 따라 추가적으로 각 시간 구간(전반기, 후반기)별로 표적 단서 조건 및 표적 출현 여부에 대한 반복측정 이원변량분석을 실시하였다. 전반기 및 후반기의 P3 평균진폭 결과가 각각 Figure 4A 및 4B에 제시되었다. 전반기 이원변량분석 결과, 표적 단서 조건의 주효과가 유의미하게 관찰되었으며, $F(3,21) = 8.964, p = .001, \eta^2 = .562$, 그 외 주효과 및 상호작용은 유의미하지 않았다, $p_s > .175$. 표적 단서 조건 간 전반기 P3 평균진폭 차이를 구체적으로 살피기 위해 표적있음 및 표적없음 조건 별로 쌍별 비교를 각기 실시하였다. 그 결과 표적

있음 조건에서 잠재적 표적의 항목개수가 증가했을 때 전반기 P3 평균진폭이 감소하는 것이 발견되었다. 구체적으로 ‘항목개수 1개 (13.3±3.0 μV)’ 조건에 비해 ‘항목개수 2개/방위 2개(6.9±2.2 μV),’ ‘항목개수 2개/색상 2개 (8.1±2.3 μV),’ ‘항목개수 2개/색상 및 방위 2개 (7.6±2.0 μV)’ 조건들 간 차이가 유의미하게 나타났으며, 각각 $t(7) = 5.004, p = .002, d(7) = 4.337, p = .003, d(7) = 4.337, p = .003$, 그 외 항목개수 2개 조건들 간 세부특징 구성에 따른 평균진폭 차이는 모두 유의미하지 않았다, $p_s > .339$ (Figure 4A). 표적없음 조건에서도 표적있음 조건과 유사하게 항목개수 증가에 따른 진폭 감소가 발견되었는데, ‘항목개수 1개(11.2±2.8 μV)’ 조건에 비해 ‘항목개수 2개/방위 2개(7.8±2.0 μV)’ 및 ‘항목개수 2개/색상 및 방위 2개(8.0±2.3 μV)’ 조건에서 상대적으로 진폭이 감소하였다, 각각 $t(7) = 3.138, p = .016, d(7) = 2.752, p = .028$. 이러한 결과는 탐색 과정에서 발현된 P3 성분의 진폭이 잠재

적 표적의 항목 개수에 의한 기억 부담에 의해 감소하였으며, 항목 내 결합 세부특징의 개수에 의해서는 영향을 받지 않았음을 의미한다.

탐색 과정에서 발현된 P3 성분이 유지되는 후반기의 P3 평균 진폭 분석 결과 또한 전반기와 유사하게 나타났다(Figure 4B). 후반기의 반복측정 이원변량분석(표적 단서 조건 X 표적 출현 여부) 결과, 전반기와 마찬가지로 표적 단서 조건의 주효과가 유의미하게 관찰되었으며, $F(3,21) = 12.663, p < .001, \eta^2 = .644$, 이외의 주효과 및 상호작용은 유의미하지 않았다, $p_s > .480$. 표적 단서 조건의 처치 효과가 표적있음 및 표적없음 조건에서 명확히 관찰되는지를 살피기 위해 각 표적 출현 유무 조건별로 표적 단서 조건에 대해 쌍별 비교를 각기 실시하였다. 그 결과 우선 표적있음 조건에서 항목 개수 증가에 따른 후반기 P3 평균진폭 감소가 발견되었는데, 구체적으로 ‘항목개수 1개(14.6±3.4 μV)’ 조건에 비교해 ‘항목

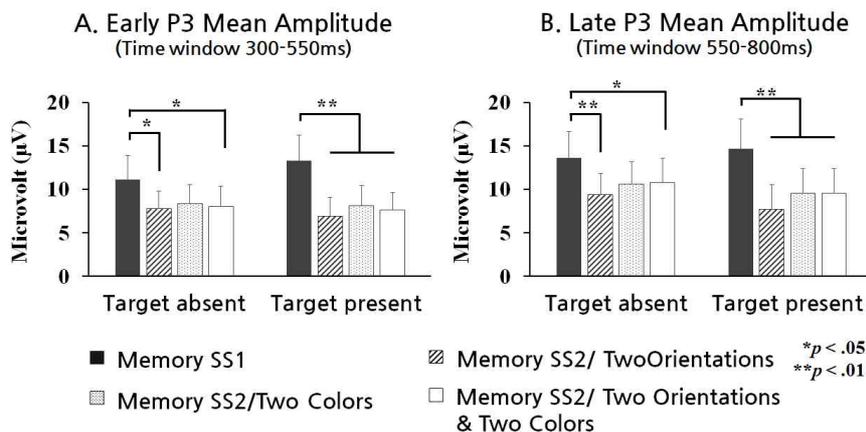


Figure 4. Mean amplitude of P3 component measured during the time windows of 300-500ms (A) and 550-800ms (B).

개수 2개/방위 2개($7.7 \pm 2.8 \mu V$), '항목개수 2개/색상 2개($9.6 \pm 2.8 \mu V$), '항목개수 2개/색상 및 방위 2개($9.6 \pm 2.8 \mu V$)' 조건들에서 진폭이 감소하였다, 순서대로 $t(7) = 5.396, p = .001$, $t(7) = 3.639, p = .008$, $t(7) = 4.616, p = .002$. 그 외 항목개수 2개 조건들 간 세부특징 구성에 따른 진폭 차이는 모두 유의미하지 않았다, $p_s > .212$. 표적없음 조건에서도 표적있음 조건과 마찬가지로 항목개수 증가에 따른 P3 평균진폭 감소가 유사하게 관찰되었다. 표적없음 조건의 쌍별 비교 결과 '항목개수 1개' 조건에 비해 '항목개수 2개/방위 2개' 및 '항목개수 2개/색상 및 방위 2개' 조건에서 P3 평균진폭이 유의미하게 감소하였다, 각각 $t(7) = 4.484, p = .003$, $t(7) = 2.594, p = .036$. 이외의 모든 조건들 간 차이는 유의미하지 않았다, $p_s > .094$. 이러한 결과는 P3가 발현되는 전반기 평균 진폭 결과와 마찬가지로, 항목 단위의 기억 부담에 의한 P3 진폭 감소가 탐색 과정 동안에 지속적으로 유지되었음을 의미한다.

논 의

본 연구에서는 항목 단위 혹은 세부특징 단위의 시각작업기억 부담이 탐색 수행과정에서 초점 주의 집중에 미치는 영향을 관찰하였다. 표적 단서에 대한 색상과 방위 차원에 대한 처치를 통해 항목 개수 혹은 개별 세부특징의 개수 차원을 토대로 표적에 대한 기억 부담을 정의해 그에 따른 탐색 과정에서의 초점 주의 집중 정도를 평가한 결과 항목 개수 차원의 기억 부담 효과가 상대적으로 좀 더 분명한 것이 관찰되었다.

구체적으로 두 개의 표적 단서에 부여된 색상과 방위가 각기 항목 간에 걸쳐 상이하어 (i.e., 항목 2개/색상 및 방위 2개) 세부특징 개수가 4개로 기억 부담이 가장 클 것이 예상되었음에도 불구하고 탐색 과정에서의 초점 주의의 집중 정도를 반영하는 P3 성분의 진폭은 항목 개수 2개/색상 2개 및 항목 개수 2개/방위 2개 조건과 큰 차이가 없었다. 이는 표적 단서에 부여된 개별 세부 특징의 총 개수가 아닌 항목 개수에 기초한 기억 부담이 초래되었을 가능성을 시사한다. 또한 두 표적 단서에 부여된 색상과 방위가 동일해 오직 하나의 항목에 대한 기억을 통해 탐색 수행이 가능했으리라고 예상된 경우(i.e., 항목 개수 1개)에는 나머지 조건들에 비해 P3 성분의 진폭이 분명하게 증가된 것이 관찰되었다. 이처럼 세부특징의 개수가 아닌 항목 개수 차원의 기억 부담이 감소했을 때 더욱 분명한 P3 발현이 관찰되었다는 점은 앞서 표적의 개별 세부특징의 총 개수가 아닌 항목 개수 단위에 기초한 기억 부담 가설을 더욱 분명하게 지지하는 결과로 해석할 수 있다.

비록 P3 진폭이 항목 단위 증가에 따라 감소한 것과는 달리 탐색 반응시간은 표적 단서에 부여된 세부특징 구성에 따른 차이를 보였으나, 항목 단위의 기억 부담 가설과는 상이한 결과라 간주하기 어렵다. 본 연구의 탐색 반응시간 결과에서 잠재적 표적의 개수가 2개로 동일한 경우 세부특징의 개수가 증가한 조건(항목 2개/색상 및 방위 2개)에서 다른 조건에 비해 탐색 반응시간이 지연되는 결과를 보였다. 만약 이 같은 반응시간 지연이 표적 단서에 부여된 세부특징 개수에 의한 기억 부담

에 기인한 것이라면 이 또한 탐색 과정에서 발견되는 초점 주의 집중 정도를 저하시키리라 예측할 수 있으나, 본 연구에서는 잠재적 표적 개수가 2개인 조건들 간 세부특징 개수에 따른 P3 진폭의 차이는 발견되지 않았다. 이는 세부특징 개수에 따른 탐색 반응시간 차이가 탐색 과정에서 부가된 기억 부담에 의해 초래된 것이 아니라는 것을 의미한다.

이 같은 P3 및 반응시간 결과의 차이는 초점 주의 처리가 요구되는 시각탐색 이후의 처리 과정에서 발생한 잡음에 의해 기인한 것으로 추정할 수 있다. 탐색 과정에서의 P3 성분의 발현이 표적 반응에 선행한다는 점에서, 세부특징에 개수에 의한 반응시간 지연은 탐색 이후 표적 출현 유무에 대한 의사 결정(decision making) 및 반응 선택(response selection)에 영향을 미쳤으리라 간주할 수 있다. 예컨대 동일한 개수의 항목들 내 포함된 세부특징 개수의 증가(항목 2개/색상 및 방위 2개)는 다른 조건에 비해 상대적으로 높은 시각적 복잡성을 가지게 되는데, 이것이 표적 출현 유무에 대한 낮은 확신(confidence)으로 인한 반응 지연을 이끌어냈을 가능성이 있다. 이러한 추정은 본 연구의 결과에서 탐색 처리 과정에 대한 엄격한 구분이 어렵다는 점에서 제한적인 해석이지만, 세부특징과는 달리 항목개수에 따른 효과가 P3 진폭 및 반응시간 모두에서 분명히 발견되었다는 점을 고려할 때 본 연구의 결과는 항목 단위의 기억 부담 가설을 지지하는 결과로 해석할 수 있다.

탐색 표적에 대한 항목 개수 단위의 기억 부담은 시각작업기억의 표상 특성을 소개한 고전적 연구에 의해 그 개연성이 발견된다.

Luck과 Vogel(1997)은 시각작업기억에 저장되는 정보에 대한 기억 부담은 기억이 요구되는 개별 기억 항목들 간에 걸친 세부특징의 총 개수가 아닌 기억 항목들의 개수 그 자체에 의해 결정된다는 강한 객체근원적 표상 가설(strong object-based representation)을 제안하였다. 이 가설의 핵심은 개별 항목의 세부특징이 구성하는 시각적 복잡성은 기억부담과는 무관하며 사실상 개별 항목의 개수(number of items)만이 중요하다는 점이다. 따라서 시각작업기억은 소수의 항목만을 표상할 수 있지만 개별 항목이 보유할 수 있는 세부특징의 개수는 이론적으로 매우 클 수 있으며 이러한 효율적인 기억 표상을 통해 소수 항목에 대한 정확한 단기 파지가 가능함을 주장하였다.

최근의 시각탐색 연구들은 탐색 수행 과정에 요구되는 표적 정보는 시각작업기억에 저장 및 유지됨을 지지하고 있으며(Bundesen, 1990; Duncan & Humphreys, 1989; Vickery, King, & Jiang, 2005; Woodman & Arita, 2011), 이러한 사실에 기초할 때 본 연구에서 관찰된 표적 단서 항목에 대한 항목 단위의 기억 부담은 시각작업기억 표상의 객체근원적 관점과 연계해 기존 시각탐색 이론에서 분명치 않았던 흥미로운 시사점을 제공한다. 일반적으로 잘 알려진 시각탐색에 대한 순차처리(serial process) 모형에서는 탐색 항목에 대한 순차적 처리를 위한 초점 주의의 이동이 항목의 위치(item location)를 토대로 일어남을 가정한다(Treisman, 1988; Treisman & Gelade, 1980). 이러한 가정은 비교적 여러 모형에 걸쳐 지배적인 것이 발견되는데 이러한 암묵적 가정에 대한 이론적 근거는 사실상 현재까지 분명하지 않

았다(Wolfe, 1994; Wolfe, Cave, & Franzel, 1989; Woodman & Luck, 1999).

만약 기존 연구에서 보고된 바와 같이 탐색 표적이 시각작업기억에 객체근원적 표상 형태로 저장되는 것이 분명하다면 이러한 암묵적 가정은 사실상 개연성에 기초한 추측이 아닌 비교적 타당한 것으로 평가될 수 있으며 그 이유는 다음과 같다. 예를 들어 대표적인 고전적 탐색 모형인 세부특징통합이론의 경우 초점주의의 역할을 전주의 처리 단계(preattentive stage)에서 분석된 표적 항목들에 대한 시각적 세부특징들의 공간적 위치 정보를 의식적 수준으로 이끌어 내는 것으로 가정하고 있으며 궁극적으로는 개별 항목 위치에서 그 위치에 존재하는 세부특징들 간의 정확한 결합을 유도해 정확한 사물지각(object perception)이 가능케 하는 것으로 정의하고 있다(Treisman, 1986; 1988). 이러한 사물지각에는 궁극적으로 기억에 저장된 정보(i.e., 표적)와의 재인이 불가피한데 그 재인의 대상이 되는 표적 형편이 저장되는 곳을 현재의 기억 이론은 시각작업기억으로 추정하는 것이다.

이처럼 개별 항목 위치에서 초점주의에 의한 세부특징의 결합이 궁극적으로 개별 항목에 대한 사물 표상(object representation) 형성 및 그것과 시각작업기억에 저장된 표적 표상과의 대조가 목적이라면 두 표상 간의 일관성이 있을 가능성이 충분히 존재한다. 만약 시각작업 기억에 저장된 표적 형편이 항목단위에 기초한 개체중심 표상이 아닌 병렬독립 저장 모형에서 가정한 바와 같이 세부특징들의 단순 조합에 불과해 개별 세부특징 차원에서의 대조가 요구된다면 앞서 고전적 탐색 모형에서 가

정한 초점주의 처리과정에서 결합된 세부특징들을 다시 분리해 개별 세부특징 차원에서 대조하는 다소 비효율적인 정보처리가 요구될 가능성이 있다. 따라서 기존의 고전적 탐색 모형이 타당함을 가정할 때 그에 상응하는 탐색 표적의 표상이 객체 근원적 특성을 가지리라고 예상하는 것은 큰 무리가 없어 보인다.

본 연구에서 관찰된 항목 단위에 기초한 표적 기억 부담은 사실상 이러한 해석의 개연성을 지지하는 결과로 평가되기도 하지만 더 나아가 한 가지 탐색 정보 처리에 대한 중요한 시사점을 추가한다. 구체적으로 최근의 연구에서는 시각탐색을 지극히 감각적 그리고 지각적 수준의 정보처리 과정으로 가정해 탐색 수행 과정에서의 기억 부담이 사실상 탐색 정보처리 효율성에 큰 영향을 끼치지 않을 것을 주장한 바 있다(Horowitz & Wolfe, 1998; Johnson, Hollingworth, & Luck, 2008; Woodman & Luck, 2004; Woodman, Vogel, & Luck, 2001). 그러나 이러한 극단적인 관점을 지지하는 연구들은 대개 탐색 과정에 기억 부담을 부과하기 위해 본 연구에서처럼 탐색 처리와 직결되는 과제관련 처치가 아닌 탐색과 무관한 부가 과제(secondary task)를 사용한 경우가 흔히 발견된다(Johnson et al, 2008; Woodman & Luck, 2004). 이러한 처치에 대해서는 작업기억의 핵심인 중앙집행기능에 대한 부담 면에서 매우 미미한 영향을 미치거나(Han & Kim, 2004) 혹은 탐색 과정에서 요구되는 핵심 기억 저장소에 부담을 초래하지 않는다는 비판이 있어왔다(Woodman & Luck, 2004). 아울러 그러나 이들의 주장에 반하는 직접적인 증거가 발견된 것(Peterson, Kramer, Wang, Irwin, & McCarterly,

2001)을 고려할 때 탐색 과정에 대한 기억 정보처리의 영향력은 사실상 부정하기 어려운 것으로 판단된다.

본 연구는 이러한 기억 부담이 탐색과 직결되는 표적 표상에 대한 것일 때 그 표상에 기초해 수행되는 탐색 정보 처리에 직접적인 영향을 초래할 수 있음을 보여준다. 특히 표적 표상에 대한 기억 부담이 증가했을 때 탐색 처리 과정에 분명한 지연이 초래되었고 그것이 탐색 과정의 초점 주의 집중 능력 감소에 기인했을 가능성이 있다는 점(예: P3 진폭 감소)은 탐색 수행 과정에서 처리되는 선택적 정보처리 과정에 시각작업기억이 매우 깊숙이 관여하고 있을 가능성을 보여준다. 물론 앞서 해석한 바와 같이 이러한 기억 부담이 시각작업기억에 저장된 객체근원적 표적 표상 혹은 표상들의 개수에 의해 좌우되고 이러한 객체 표상의 증가가 어떻게 초점주의의 집중을 방해하는지에 대해서 본 연구는 뚜렷한 시사점을 제공하지 못하나 적어도 탐색 과정과 직결되는 표적으로 여러 대안적 항목들이 고려될 필요가 있을 경우 그것이 단일한 경우보다 탐색 수행 능력이 저하될 수 있다는 분명한 해석은 가능한 것으로 판단된다.

이러한 해석에도 불구하고 본 연구의 해석에는 기억 부담을 정의하는 측면에서 강한 객체근원적 표상 모형과는 배치되는 중요한 문제점을 가지고 있다. 이 모형에서는 개별 기억 항목이 객체 근원적 표상을 가지되 큰 무리 없이 기억에 표상할 수 있는 기억 항목의 개수 즉 저장 용량 한계를 약 3~4개 항목 정도로 추정하고 있다(Luck & Vogel, 1997). 만약 이러한 객체근원적 표상 모형의 추정이 타당

하다면 본 연구에서 관찰된 항목개수 1개 조건과 나머지 조건은 항목 개수 조건에서는 이러한 기억 저장 용량의 한계 내에 위치하게 되므로 사실상 기억 부담 면에서는 조건 간 차이가 없게 된다. 그러나 이러한 추정에 대한 극심한 논란이 있어왔으며 지금까지 다수의 연구를 통해 다양한 자극을 사용한 시각작업기억 과제에서 기억에 표상된 실제 항목의 개수(K)가 1개에서 4개까지 다양하게 추정된 것을 고려할 때(Awh et al, 2007; Cowan, 2001; Vogel et al, 2001; Vogel & Machizawa, 2004) 고전적 연구에서 추정된 3-4개의 용량적 한계는 반드시 절대적인 것은 아닌 것으로 판단된다.

한 가지 고려할 것은 본 연구의 가정 및 해석과 달리 표적 단서에 부가된 세부특징 및 항목 개수 처치를 탐색 과정에 요구되는 개별 탐색 항목과 기억에 저장된 표적 표상 혹은 표상들과의 비교처리(comparison process) 과정에 대한 처치로 보는 해석이다. 예를 들어 Hyun 등(2009)은 시각작업기억에 부담을 초래하기 어려운 소수의 기억 항목들 즉 항목 개수 4개 이하의 기억 항목들에 대한 기억 재인을 요구했을 경우 재인의사결정(recognition decision) 즉 기억항목과 검사항목 간 차이를 발견하는 과정에서 기억항목의 개수 증가에 따른 반응시간의 지연 및 검사자극에 의해 발현된 P3 진폭이 변화한 것을 관찰하였다. 다만 그들의 연구에서 사용된 자극이 본 연구와 같은 방위와 색상의 결합자극이 아닌 색상만으로 구성된 단순세부특징 자극이었다는 점과 P3의 변화 양상이 정반대였다는 점에서 직접적인 연관성을 찾기에는 무리가 있는 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서 기억 부담 효과가 시각탐색과정에서 초점 주의 강도를 떨어뜨린 것이 아닌, 표적 판단에 대한 모호함을 증가시켜 P3 진폭을 감소시켰을 가능성 또한 고려해볼 수 있다. 표적 정보의 복잡성으로 인한 불명확한 기억 표상의 형성, 혹은 다수의 표적 단서로 인한 표적 판단의 확신의 저하는 P3 성분의 진폭을 감소시킬 수 있다(Johnson, 1988; Kok, 2001). 하지만 이러한 해석을 바탕으로 할 때 본 연구의 결과에서 명확히 설명되기 어려운 부분이 존재한다. 예를 들어 본 연구에서는 항목개수는 동일하지만 상대적으로 시각적 복잡성이 높은 조건(항목개수 2개/색상 및 방위 2개)과 낮은 조건들(항목개수 2개/색상, 혹은 방위 2개) 간 P3 성분의 진폭의 차이가 발견되지 않았다. 만약 시각탐색에서 P3 진폭 감소가 표적 판단의 모호함에서 기인하였다면 다수의 세부특징이 표적 단서로 포함된 조건에서 다른 조건에 비해 P3 진폭의 감소가 발견되었어야 하지만 본 연구에서는 동일한 항목개수 내 세부특징 개수에 따른 차이는 발견되지 않았다. 이는 본 연구의 기억 부담 효과가 표적 판단의 모호함에서 기인하였다기보다 항목 단위의 시각작업기억 부담으로 인한 시각탐색에서의 초점 주의 강도의 저하와 보다 관련성이 있을 가능성을 시사한다.

비록 추측에 근거하나 본 연구에서 관찰된 기억 부담의 영향력은 Sternberg(1969)가 제안했던 기억 주사(memory scanning) 실험에 근거한 단기재인 모형에서 그 개연성이 발견된다. 그는 기억 정보에 대한 탐색은 근본적으로 항목 단위 별 순차적 정보처리에 의해 수행되며 결과적으로 기억 항목의 개수가 증가할수록 기

역 재인에 대한 정보처리 부담은 증가할 수 밖에 없음을 주장하였다. 만약 본 연구에서 실시된 시각탐색 과제가 개별 항목에 대한 초점 주의 집중에 의한 순차 탐색에 기초해 수행되었음을 가정한다면 초점 주의 이동간 주의가 집중된 개별 탐색 항목은 Sternberg의 기억 주사 실험에서의 탐사자극(probe)과 동일한 역할을 한 것으로 추측할 수 있다. 만약 개별 탐사 항목이 이러한 탐사자극으로 간주될 수 있다면 사실상 본 연구에서 관찰된 표적 항목 개수의 증가에 의한 반응 시간 증가 및 P3의 진폭의 감소는 이러한 순차적 정보처리에 기초한 기억 주사의 산물이 가능성이 있다. 다만 이러한 결론의 개연성을 평가할 분명한 증거가 현재의 연구에서는 분명히 확보되지 않았으며 이에 대해서는 후속 연구를 통해 상세한 검증시도가 있어야 할 것으로 판단된다.

마지막으로 본 연구에서는 비교적 적은 참가자 수로 인한 검증력의 열세가 문제점으로 지적될 수 있다. 본 연구의 적은 참가자 수는 무엇보다도 표적 단서에 기초한 기억 과제에 시각 탐색 과제에 추가됨으로 인해 개별 시행의 길이와 실험에 소요되는 총 시간이 전형적인 시각 탐색 실험보다 상당히 길어진 데에 일차적인 원인이 있다. 실험 소요시간의 지나친 연장은 시행수와 참가자 수 확보 면에서 어려움을 초래하며 그에 따른 검증력 논란 문제로부터 자유로울 수가 없다. 다만 본 연구의 실험에서 잡음으로 간주되어 제거된 시행(artifact rejection trial)의 비율이 20% 이내로 자료가 비교적 안정적이었으며 출처가 분명한 잡음(예: 알파파 및 전선잡음) 등에 기인한 오염이 관찰되지 않는 전형적인 P3 파형이 대표

전극에서 발현되었다는 점에 기초해 자료의 신뢰도 자체에는 문제가 없는 것으로 판단하였다. 그러나 본 연구에서는 미세할 수 있는 처치 효과의 유무를 토대로 상충되는 모형에 대한 지지 여부가 결정될 수 있는 만큼 검증력의 열세에 대한 신랄한 지적을 피해가기는 여전히 쉽지 않은 것으로 판단된다.

요약하면 본 연구는 탐색 표적의 개수 혹은 세부특징의 개수 증감에 따른 탐색 반응 시간 및 P3 진폭의 증감을 관찰한 결과 탐색 표적의 개수가 증가한 경우 탐색 반응시간이 지연되고 P3 진폭이 감소한 것을 관찰하였다. 특히 이러한 표적에 대한 기억 부담 증가는 기억이 요구되는 표적 단서 혹은 단서들이 보유한 세부특징의 총 개수가 아닌 표적 단서로 제공된 항목의 개수에 의해 좌우되는 것이 관찰되었다. 이러한 결과는 탐색 수행 중 요구되는 표적에 대한 기억 정보는 기억 정보를 객체근원적으로 표상하는 시각작업기억에 저장된다는 점을 시사하며 이러한 기억 정보의 저장 부담에 증감이 있을 경우 그로 인한 탐색 정보 처리가 지연될 가능성을 의미한다.

참고문헌

- Allon, A. S., Balaban, H., & Luria, R. (2014). How low can you go? Changing the resolution of novel complex objects in visual working memory according to task demands. *Frontiers in Psychology, 5*, 265.
- Alvarez, G. A., & Cavanagh, P. (2004). The capacity of visual short-term memory is set both by visual 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.
- Awh, E., Vogel, E., & Oh, S. -H. (2006). Interactions between attention and working memory. *Neuroscience, 139*(1), 201-208.
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision, 10*, 433-436.
- Bundesen, C. (1990). A theory of visual attention. *Psychological Review, 97*(4), 523.
- Cowan, N. (2001). Metatheory of storage capacity limits. *Behavioral and Brain Sciences, 24*(01), 154-176.
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods, 134*(1), 9-21.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review, 96*(3), 433.
- Forster, S., & Lavie, N. (2007). High perceptual load makes everybody equal eliminating individual differences in distractibility with load. *Psychological Science, 18*(5), 377-381.
- Han, S. H., & Kim, M. S. (2004). Visual search does not remain efficient when executive working memory is working. *Psychological Science, 15*(9), 623-628.

- Hoffman, J. E., Simons, R. F., & Houck, M. R. (1983). Event Related Potentials During Controlled and Automatic Target Detection. *Psychophysiology*, 20(6), 625-632.
- Horowitz, T. S., & Wolfe, J. M. (1998). Visual search has no memory. *Nature*, 394(6693), 575-577.
- Hyun, J., 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.
- Johnson, R. (1988). The amplitude of the P300 component of the event-related potential: Review and synthesis. *Advances in Psychophysiology*, 3, 69-137.
- 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.
- Kok, A. (1997). Event-related-potential (ERP) reflections of mental resources: a review and synthesis. *Biological Psychology*, 48(1), 19-56.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38(3), 557-577.
- Kramer, A., Schneider, W., Fisk, A., & Donchin, E. (1986). The Effects of Practice and Task Structure on Components of the Event Related Brain Potential. *Psychophysiology*, 23(1), 33-47.
- Kramer, A. F., & Strayer, D. L. (1988). Assessing the development of automatic processing: an application of dual-task and event-related brain potential methodologies. *Biological Psychology*, 24(1), 231-267.
- Lavie, N. (2005). Distracted and confused?: Selective attention under load. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(2), 75-82.
- Lopez-Calderon, J., & Luck, S. J. (2014). ERPLAB: an open-source toolbox for the analysis of event-related potentials. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 213.
- Luck, S. J. (2005). Ten simple rules for designing ERP experiments. In T. C. Handy (Ed.), *Event-related potentials: A methods handbook* (pp.17-32), Cambridge: MIT Press.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279-281.
- Luria, R., Sessa, P., Gotler, A., Jolicœur, P., & Dell'Acqua, R. (2010). Visual short-term memory capacity for simple and complex objects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(3), 496-512.
- Luria, R., & Vogel, E. K. (2011). Shape and color conjunction stimuli are represented as bound objects in visual working memory. *Neuropsychologia*, 49(6), 1632-1639.
- Magnussen, S., Greenlee, M. W., & Thomas, J. P. (1996). Parallel processing in visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(1), 202-212.

- Nothdurft, H. C. (1993). The role of features in preattentive vision: Comparison of orientation, motion and color cues. *Vision Research*, 33(14), 1937-1958.
- Oh, S. H., & Kim, M. S. (2004). The role of spatial working memory in visual search efficiency. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 275-281.
- Olson, I. R., & Jiang, Y. (2002). Is visual short-term memory object based? Rejection of the "strong-object" hypothesis. *Perception & Psychophysics*, 64(7), 1055-1067.
- Peterson, M. S., Kramer, A. F., Wang, R. F., Irwin, D. E., & McCarley, J. S. (2001). Visual search has memory. *Psychological Science*, 12(4), 287-292.
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118(10), 2128-2148.
- Pratt, N., Willoughby, A., & Swick, D. (2011). Effects of working memory load on visual selective attention: behavioral and electrophysiological evidence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 57.
- Soto, D., Heinke, D., Humphreys, G. W., & Blanco, M. J. (2005). Early, involuntary top-down guidance of attention from working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(2), 248-261.
- Soto, D., Hodsoll, J., Rotshtein, P., & Humphreys, G. W. (2008). Automatic guidance of attention from working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(9), 342-348.
- Sternberg, S. (1969). Memory-scanning: Mental processes revealed by reaction-time experiments. *American Scientist*, 57(4), 421-457.
- Stevanovski, B., & Jolicœur, P. (2011). Consolidation of multifeature items in visual working memory: Central capacity requirements for visual consolidation. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(4), 1108-1119.
- Treisman, A. (1986). Features and objects in visual processing. *Scientific American*, 255(5), 114-125.
- Treisman, A. (1988). Features and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40(2), 201-237.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136.
- Vickery, T. J., King, L.-W., & Jiang, Y. (2005). Setting up the target template in visual search. *Journal of Vision*, 5(1), 8.
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428(6984), 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(1), 92-114.
- Watter, S., Geffen, G. M., & Geffen, L. B. (2001). The n-back as a dual-task: P300 morphology under divided attention.

- Psychophysiology*, 38(06), 998-1003.
- Wijers, A. A., Mulder, G., Okita, T., & Mulder, L. J. (1989). Event Related Potentials During Memory Search and Selective Attention to Letter Size and Conjunctions of Letter Size and Color. *Psychophysiology*, 26(5), 529-547.
- Wijers, A. A., Otten, L. J., Feenstra, S., Mulder, G., & Mulder, L. J. (1989). Brain potentials during selective attention, memory search, and mental rotation. *Psychophysiology*, 26(4), 452-467.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2.0 a revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(2), 202-238.
- Wolfe, J. M., 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(3), 419.
- Woodman, G. F., & Arita, J. T. (2011). Direct electrophysiological measurement of attentional templates in visual working memory. *Psychological Science*, 22(2), 212-215.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (1999). Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, 400(6747), 867-869.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2004). Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 269-274.
- Woodman, G. F., & Vogel, E. K. (2008). Selective storage and maintenance of an object's features in visual working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(1), 223-229.
- Woodman, G. F., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2001). Visual search remains efficient when visual working memory is full. *Psychological Science*, 12(3), 219-224.
- Ye, C., Zhang, L., Liu, T., Li, H., & Liu, Q. (2014). Visual working memory capacity for color is independent of representation resolution. *PLoS ONE*, 9(3), e91681.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, 455(7192), 233-235.

1 차원고접수 : 2016. 03. 15

수정원고접수 : 2016. 07. 07

최종게재결정 : 2016. 07. 28

The Effect of Target Memory Load on Attentional Focusing in Visual Search

Hye-Yun Kim

Joo-Seok Hyun

Department of Psychology, Chung-Ang University

Few studies have examined the influence of target memory load on focusing attention during visual search. The present study examined the effect of VWM load imposed according either to the number of potential target items or to the number of their features by measuring P3 component supposedly reflecting the intensity of focused attention during visual search. In each trial, participants reported presence or absence of a target on a search array after memorizing two colored orientation bars that were provided as target-informative cues ahead of the search array. Across the trials, either the orientations or the colors of the bars, or both were manipulated to be the same or different, and thus the memory load from the target-informative cues in each trial was assumed to increase from one to two items according to the number of cue items whereas one to four features according to the total number of features on the cue items. When compared between these two alternative assumptions, the increase in P3 amplitude was better explained according to the item-load than the feature-load assumption. The results indicate that increasing memory load for potential search targets can impair focusing of attention during visual search where the degree of memory load varies according to the number of potential target items rather than the total number of features in the targets.

Key words : Visual search, focused attention, P3, Visual working memory(VWM), Memory load