

시각작업기억 및 중앙집행부의 부하가 시각탐색의 효율성과 반응시간에 미치는 영향: 임시완충기의 존재가능성

김 초 복 서 창 원 민 윤 기
충남대학교 심리학과

본 연구에서는 최근 작업기억의 새로운 구성요소로 제안된 임시완충기(episodic buffer)의 존재 가능성을 살펴보기 위해 시각탐색과제에서 시각 작업기억과 중앙집행부의 부하가 탐색 효율성과 반응시간에 미치는 영향을 조사하였다. 실험 1에서는 작업기억의 구성요소인 시각작업기억과 중앙집행부에 독립적인, 그리고 동시적인 부하를 가한 후 탐색과제를 제시하였다. 실험 결과, 각각의 구성요소에 독립적으로 부하를 가한 조건뿐만 아니라, 동시적으로 부하를 가한 조건에서도 탐색 효율성의 감소가 나타나지 않았다. 실험 2와 3에서는 탐색된 대상과 표적자극간 비교에 시각작업이 관여하는가를 살펴보았다. 그 결과, 저장된 시각정보와 입력된 시각정보간의 간섭이 발견되지 않았다. 이러한 결과들은 작업기억 내에 시각정보를 저장할 수 있는 또다른 요소가 가정되어야 함을 시사하며, 임시완충기의 존재 가능성을 지지하는 증거로 해석된다.

주제어: 시각작업기억, 중앙집행부, 임시완충기, 시각탐색

초기에 제안된 작업기억 모형에서는 청각 정보와 시각 정보를 독립적으로 저장하는 두 저장체계(음운회로와 시공간 작업기억)와 집행기능과 주의의 통제를 담당하는 중앙집행부의 세 가지 구성요소로 이루어져 있다고 보았다(Baddeley, 1986; Baddeley & Hitch, 1974). 음운회로는 발음시간과 단어학습과의 관련성을 증명한 연구들을 통해 밝혀진 바와 같이, 제한된 저장용량을 가지고 있고(Gathercole, 1997; Gathercole & Baddeley, 1993), 시공간 작업기억은 시각적, 공간적 정보를 저장하는 한정된 용량을 가진 저장체계이다(Luck & Vogel, 1997). 특히, 시각 작업기억은 특정 상황에 대한 묘사나, 대상의 색상, 형태 등에 대한 음운 입력정보를 시각 정보로 변환하여 저장하는 기능을 한다(Baddeley, 1999). 중앙집행부는 작업기억의 다른 두 구성요소와 장기기억으로부터의 정보를 통합하는 집행기능을 하며, 주의의 통제, 문제 해결을 위한 표상 형성 등에서 중요한 역할을 한다(Baddeley, 1996).

작업기억의 초기 모형에서는 작업기억과 장기기억을 독립적이라고 보았기 때문에 이들간의 상호 관련성에 대한 부분은 제시되지 않았다. 그러나, 최근 Baddeley와 동료들은 음운회로가 손상

된 환자들의 경우 장기-음운 학습(long-term phonological learning)에도 결함이 있음을 밝혀냈다. 이는 시공간 작업기억의 경우에도 마찬가지였다. 이를 바탕으로 그들은 초기의 작업기억 모형을 장기기억과의 관계를 포함한 모형으로 수정하였다(Baddeley, Gathercole, & Papagno, 1998).

더 최근에 Baddeley(2000a)는 작업기억을 구성하는 세 가지 하위요소 외에 하나를 더 추가시켜 이를 임시완충기(episodic buffer)라 명명하였다. Baddeley에 의하면, 임시완충기는 청각적, 시각적, 그리고 가능한 여러 다른 형태의 입력정보들을 통합하는 예비 저장소(back-up store)의 기능을 담당하며, 작업기억의 다른 두 저장체계와 마찬가지로 제한된 수의 정보들을 일시적으로 저장한다. 또한, 장기기억인 일화기억으로 정보를 입력하거나, 일화기억에서 정보를 인출하는데 중요한 기능을 한다. 뿐만 아니라, 문제 해결과 같은 새로운 표상을 생성하기 위하여 여러 출처로부터 나온 정보들을 다중-속성의 부호로 저장한다(Baddeley, 2000b).

Zimmer와 동료들에 의하면, 복측 경로(ventral pathway)와 배측 경로(dorsal pathway)의 서로 다른 시각경로를 통해 입력된 ‘무엇’과 ‘어디’의 시각

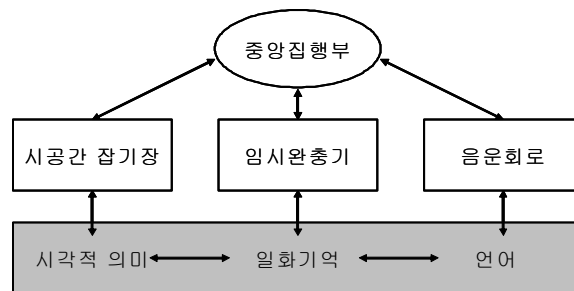


그림 1. 임시완충기가 포함된 작업기억 모형

Baddeley(2000a)는 중앙집행부, 시공간 잡기장, 음운회로, 그리고 임시완충기가 포함된 수정된 작업기억 모형을 제안하였다.

정보는 통합된 형태로 저장되며, 이러한 통합형태로 저장되는 과정에 임시완충기가 관여한다고 한다(Zimmer, Speiser, & Seidler, 2003). 따라서, 임시완충기는 초기의 작업기억 모형에서 중앙집행부가 기능하는 것으로 가정되어온 정보 통합기능을 담당하는 것으로 볼 수 있다. 임시완충기를 포함한 가장 최근의 작업기억 모형을 그림 1에 제시하였다.

임시완충기의 존재는 인지신경과학적 연구를 통해서도 지지되고 있다. Prabhakaran과 동료들은 fMRI 연구에서, 청각 정보와 시공간 정보를 독립적으로 유지하고 있을 때보다 청각과 시공간의 통합정보를 유지하고 있을 때 우측 전전두엽(right prefrontal lobe)에서 더 많은 활성화가 일어남을 발견하였다. 그들은 이 결과를 바탕으로 중앙집행부와 구별되는 새로운 구성요소를 가정해야 한다고 주장하였다(Prabhakaran, Narayanan, Zhao, & Gabriele, 2000). 또한, 주의 통제가 필요한 과제들을 이용하여 수행한 작업기억에 대한 다른 여러 연구들에서 전측 대상피질(anterior cingulate cortex, ACC)과 배외측 전전두피질(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)의 활성화를 보고하였다. 이 중 ACC는 전측 주의망의 한 부분으로, 상충되는 자극에 대한 검색과 감시(conflict monitoring)를 하는 것으로 알려져 있다(Carter, Braver, Barch, Botvinick, Noll, & Cohen, 1998; D'Esposito, Detre, Alsop, Shin, Atlas, & Grossman, 1995). DLPFC는 장기기억을 이용해야 하는 의미과제나 시공간과제의 단독 제시로는 활성화되지 않는 반면, 중앙집행부의 자원을 사용하여 다중부호를 처리해야 하는 이중과제에 대해서만 선택적으로 반응하였다. 즉, DLPFC가 임시완충기의 기능을 하는 것으로 보고되고 있다(Milham, Banich, Claus, & Cohen, 2003; Veen, Cohen, Botvinick, Stenger, & Carter, 2001). 이러한 여러 증거들에 의하면, 수정된 작

업기억 모형에서 Baddeley가 제안한 임시완충기는 중앙집행부와는 분명히 구분되는 구성요소이며, 인지신경과학적 연구 결과들 또한 임시완충기의 존재 가능성을 충분히 시사하는 것으로 보인다.

한편, 시각작업기억이 시각탐색과정에서 어떠한 역할을 하는가와 관련하여 많은 연구들이 수행되었고, 이러한 연구들은 두 가지 관점으로 요약될 수 있다. 첫 번째 관점은 시각 탐색의 결과 입력된 모든 표적자극과 방해자극은 반드시 시각 작업기억으로 저장되거나(Bundesen, 1990; Duncan & Humphreys, 1989; Treisman & Gelade, 1980), 시각 작업기억에 저장된 표적자극의 표상(형판)과 유사성이 높은 항목의 경우에만 시각작업기억에 저장된다는 입장이다(Desimone & Duncan, 1995). 이러한 주의 이론들은 시각 탐색과정에서 시각 작업기억이 중요한 역할을 담당하기 때문에, 시각작업기억의 가용한 저장용량은 시각탐색에 직접적인 영향을 준다고 설명한다.

두 번째는 대부분의 주의이론과 상반된 주장으로 시각작업기억이 시각탐색에 직접적인 영향을 주는 것은 아니라는 입장이다. Woodman과 동료들은 시각 작업기억의 저장용량을 가득 채운 상태에서 시각 탐색과제를 수행한 결과, 자극수의 증가에 따른 반응시간함수의 기울기인 탐색의 효율성에는 변함이 없기 때문에, 시각 작업기억이 시각탐색에 직접적인 영향을 주는 것은 아니라고 주장하였다(Woodman, Vogel, & Luck, 2001). 이러한 결과는 후속 연구들을 통해 지지되었으며, 시각체계는 탐색과정동안 대상에 대한 정보를 축적하지 않는다는 결과들이 보고되었다(Horowitz & Wolfe, 1998; Wolfe & Horowitz, 2003).

Woodman 등(2001)은 시각 탐색 동안 시각 작업기억의 관련성을 더 면밀히 관찰할 수 있는

실험절차를 이용하여, 시각 작업기억이 시각 탐색의 효율성에 영향을 미치지 않는다는 결론을 내렸다. 그들은 이 연구에서 이중과제 실험 절차를 사용하였는데, 피험자들은 먼저 시각 작업기억을 가득 채우는 색판들을 기억한 후 탐색과제를 수행하였으며, 그 후에 기억하고 있는 색판에 대한 재인검사를 받았다. 통제 조건은 탐색과제만을 실시하였다. 실험 결과, 탐색 배열의 항목 수(4, 8, 12개)가 증가함에 따라, 실험조건과 통제 조건에서 관찰된 반응시간의 기울기, 즉 탐색 효율성에서 차이가 나타나지 않았고, Woodman 등(2001)은 이 결과를 바탕으로 시각 작업기억이 시각 탐색에 직접적인 영향을 주지 않으며, 탐색된 방해자극은 시각작업기억에 저장되지 않는다고 주장하였다.

시각 탐색과정에서 시각작업기억이 정보의 저장에 관여한다면, 중앙집행부는 시각 탐색에 요구되는 선택적 주의의 통제에 관여한다. 주의의 다중자원이론(multiple-resource theory)에 의하면, 인간의 인지체계는 한정된 주의자원을 여러 다른 출처의 과제에 할당할 수 있는 병렬적 처리를 수행한다(Navon & Gopher, 1979). 마찬가지로 중앙집행부는 여러 하위처리를 동시에 효율적으로 수행할 수 있도록 주의를 할당하는 역할을 한다(Baddeley, 1998). 따라서, 중앙집행부의 부하는 시각탐색과정에서 반응시간의 증가를 가져올 수는 있으나, 탐색의 효율성에는 영향을 미치지 않을 것으로 예상할 수 있다.

한상훈과 김민식(2001)은 시각탐색과제에서 중앙집행부의 역할과 관련하여 Woodman 등(2001)과 동일한 방법으로 연구를 수행하였다. 그들은 피험자들에게 숫자 거꾸로 세기 과제를 이용하여 중앙집행부에 대한 부하를 가한 상태에서 동시에 시각탐색과제를 수행하도록 하였다. 그 결과, 중앙집행부의 부하는 시각탐색의 효율성을

감소시킨다는 결과를 확인하였다. 그러나, 이 연구는 다음과 같은 절차적 문제점을 가지고 있다.

첫째, 단독과제조건(단독탐색과제)과 이중과제조건(시각탐색+숫자 거꾸로세기 과제)의 절차가 상이함으로 인해, 반응시간에 차이가 발생하도록 영향을 끼쳤을 가능성이 있다. 즉, 이중과제조건에서는 중앙집행부의 활성화를 조작하기 위해 3자리 숫자를 제시한 후 3씩 거꾸로 빼는 숫자 거꾸로 세기 과제를 이용하였는데, 피험자들은 각 시행이 끝나면 시연하고 있던 숫자를 종이에 기록해야 했다. 반면, 단독과제조건에서는 이러한 절차가 없도록 구성되었다. 둘째, 단독과제조건에서는 단지 시각탐색과제만이 이루어진 반면, 중앙집행부의 활성화를 조작하기 위한 이중과제조건에서는 숫자 거꾸로 세기 과제를 수행하기 위한 내적 시연으로 인해 중앙집행부 뿐만 아니라 음운회로의 활성화를 가져왔다. 따라서, 관찰된 탐색 효율성의 차이가 순수한 중앙집행부의 활성화에 기인한 것은 아니라고 할 수 있다.

이상의 여러 연구들을 종합해 볼 때, 초기의 작업기억 모형에 따르면 시각작업기억에 여분의 저장공간이 없는 경우에는 표적에 대한 정체확인이 효율적으로 수행될 수 없고, 시각작업기억에 저장된 정보들에 대한 성공적 재인이 불가능하다고 할 수 있다. 따라서, 시각작업기억의 저장용량이 가득 찼음에도 불구하고 표적확인이 효율적으로 수행되고, 시각작업기억에 저장된 정보들에 대한 재인이 성공적으로 이루어진다면, 시각작업기억 이외에 시각 정보를 저장할 수 있는 또 다른 구성요소인 임시완충기가 존재한다는 증거로 해석될 수 있다.

본 연구는 이중과제 절차를 이용하여 시각탐색과제에서 시각작업기억과 중앙집행부가 어떠한 영향을 주는가를 살펴보기 위해 수행되었다. 구체적으로, 시각작업기억과 중앙집행부 각각의

부하는 탐색 효율성에 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다. 또한, 두 요소에 동시적인 부하를 가한 상태에서도 탐색 효율성에 변함이 없다면, 탐색과정에 임시 완충기가 관여한 것으로 해석할 수 있다.

실 험 1

실험 1에서는 시각 작업기억과 중앙집행부의 부하가 시각탐색의 효율성에 미치는 영향을 검증하기 위해 수행되었다. 이를 위해 기저선 측정을 위한 단독탐색과제 조건, 시각 작업기억에 부하를 가한 기억이중과제 조건, 중앙집행부에 부하를 가한 숫자 이중과제 조건, 그리고 시각 작업기억과 중앙집행부에 동시에 부하를 가한 기억+숫자 이중과제 조건을 실험에 포함시켰다. 탐색과제와 기억과제는 Woodman 등(2001)의 연구에서 사용된 자극과 절차를 이용하였다. 또한, 한상훈과 김민식(2001)의 연구에서 사용된 절차를 수정하여 실험에 포함하였다.

방 법

피험자 충남대학교 재학생 13명이 실험에 참여하였다.

실험자극 실험은 Pentium-IV PC에서 SuperLab 1.06 프로그램에 의해 제시되었다. 자극은 17인치 평면 모니터를 통해 75Hz의 화면 주사율과 1024×768의 해상도로 화면에 제시되었다. 피험자의 시선을 고정시키기 위해 턱받침대를 이용하였고, 피험자와 모니터 화면까지의 거리는 70cm를 유지하였다.

실험에서 사용된 자극은 Woodman 등(2001)의

실험과 동일하였다(그림 2 참조). 제시되는 자극의 바탕은 흰색이었고, 색상판을 제외한 모든 자극은 검정색으로 제시되었다. 탐색 배열에 제시되는 항목들은 각 변 중앙에 0.6°의 틈이 있는 1.2°×1.2°의 정사각형으로, 이 중 표적자극은 위 또는 아래로 틈이 있는 것이고, 방해자극은 왼쪽 또는 오른쪽에 틈이 있는 것으로 구성되었다. 각 항목들은 10°×7.5°의 범위에서 무선적으로 위치가 변하였다. 탐색배열은 4개의 단위로 제시되었고, 자극수는 4, 8, 12개의 세 가지 조건으로 제시되었다. 기억 배열에 제시된 항목들은 탐색배열의 항목과 크기가 같은 정사각형 색상판으로 이루어졌다. 한 화면에는 7가지 색상(빨강, 파랑, 노랑, 초록, 주황, 자주, 갈색) 중에서 4가지 다른 색상들을 무선적으로 제시하였다. 각 정사각형 항목들은 화면 중심으로부터 1.3°×1.3° 거리에 배치되었다. 이렇게 4가지 색상을 기억하는 과제는 관찰자의 시각 작업기억의 용량을 모두 채울 수 있음이 증명되었다(Luck & Vogel, 1997).

절차 주요 실험 절차는 Woodman 등(2001)의 실험 절차를 따랐고, 무선적인 순서로 5조건의 실험을 실시하였다. 모든 조건은 48시행으로 구성되었으며, 본시행 전에 10회의 연습시행을 실시하였다. 모든 조건의 각 시행은 '1234', '가나다라', 혹은 'abcd' 중 하나가 제시되면서 시작되고, 피험자들에게 그 시행이 끝날 때까지 반복적으로 소리내어 암송하도록 지시하였다. 이러한 조음억제과제는 피험자들이 음운부호화를 통해 색상판을 기억할 가능성을 배제하고, 모든 조건에서 음운회로가 동일하게 작용하도록 하기 위해 조작되었다. 각 조건은 기저선 측정을 위한 단독 탐색과제, 시각작업기억의 저장용량을 채운 후 탐색과제를 수행해야 하는 기억 이중과제와 중

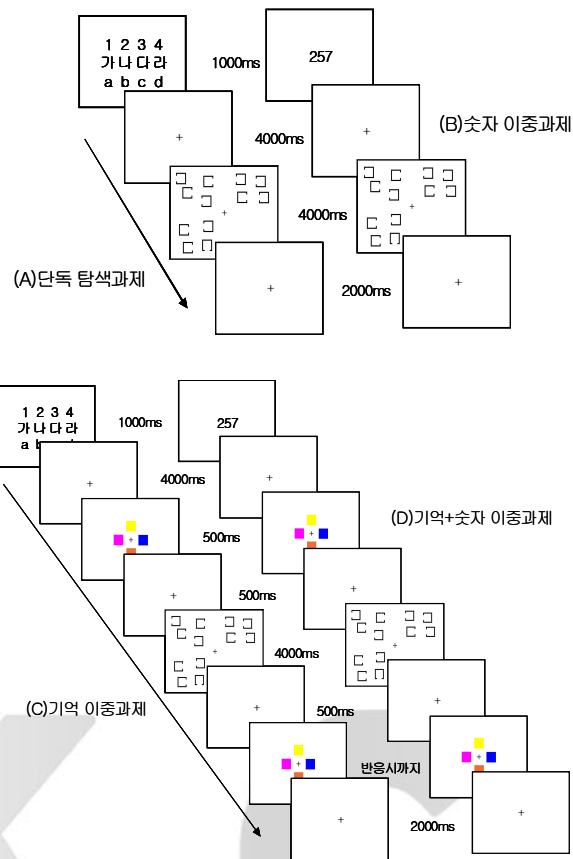


그림 2. 실험의 자극 및 절차

(A)단독 탐색과제, (B)숫자 이중과제(숫자 거꾸로세기 과제+ 탐색과제), (C)기억 이중과제(색상기억과제+탐색과제), (D)기억+숫자 이중과제(숫자 거꾸로세기 과제+기억 이중과제)

양집행부에 부하를 가한 후 탐색과제를 수행하는 숫자 이중과제, 그리고 시각작업기억과 중앙집행부 모두에 부하를 가한 후 탐색과제를 수행해야 하는 기억+숫자 이중과제가 포함되었다.

단독탐색과제에서는 음운부호화를 배제하기 위한 화면이 1초가 제시된 후, 4000ms동안의 고정점이 제시된 이후 4000ms동안 탐색과제가 제

시되었다. 피험자들은 표적자극이 위로 틸이 있는 사각형이면 왼손을 이용하여 'S', 위로 틸이 없으면 'X'로 반응하였다. 4000ms 이내에 반응하지 못한 경우에는 다음 시행으로 넘어가도록 구성하였으며, 시행간 간격은 200ms였다. 숫자 이중과제는 조음억제과제를 위한 화면 대신에 3자리 숫자가 제시되는 것을 제외하고는 단독탐색

과제와 동일하게 구성되었다. 피험자들은 시행이 끝날 때까지 제시된 숫자에서 3씩 거꾸로 빼면서 소리내어 말하도록 요구받았다. 기억 이중과제 조건에서는 탐색과제 이전에 500ms 동안 색상판이 제시되고, 피험자들은 탐색과제가 끝난 500ms의 고정점 이후 색상판에 대한 재인검사를 받았다. 기억+숫자 이중과제 조건은 피험자들이 조음억제과제 대신 숫자 거꾸로 세기 과제를 수행한 것을 제외하면 기억 이중과제와 동일하게 구성되었다. 기억 이중과제와 기억+숫자 이중과제의 색상판 재인검사에서는 오른손을 이용하여 이전에 본 것과 동일하면 'N', 그렇지 않으면 'M'으로 반응하도록 하였다. 구체적인 절차는 그림 2에 제시한 바와 같다.

결과 및 논의

실험 결과는 탐색자극의 수(4, 8, 12개)와 과제 종류(단독탐색과제, 기억이중과제, 숫자이중과제, 기억+숫자 이중과제)에 따른 반응시간을 종속측

정치로 하여 반복측정변량분석을 통해 분석되었고, 기억검사가 포함된 두 이중과제의 경우에는 정확기억률을 분석하였다.

각 조건에서 탐색 정확률은 자극수에 관계없이 97% 이상으로 나타나, 이중과제로 인한 수행 저조는 나타나지 않았다. 각 조건별 탐색 반응 시간은 그림 3에 제시되어 있다. 과제유형과 자극수에 따른 반응시간의 차이를 분석한 결과, 과제유형의 주효과($F(3,36)=14.07, p<.001, MS_e=33537.11$)와 자극수의 주효과가 유의한 것으로 나타났다($F(2,24)=135.50, p<.001, MS_e=52703.37$). 그러나, 과제유형과 자극수간의 상호작용효과는 없는 것으로 나타나, 탐색시간 함수의 기울기는 과제 유형에 따라 차이가 없었다($F(6,72)=1.33, p>.05, MS_e=14182.61$). 탐색기울기는 단독탐색과제의 경우 67ms/item, 기억 이중과제에서는 65 ms/item, 숫자 이중과제에서는 79ms/item, 기억+숫자 이중과제에서는 83ms/item 으로 나타났다.

기억 이중과제와 기억+숫자 이중과제의 기억 검사에 대한 정확기억률을 분석한 결과, 과제유

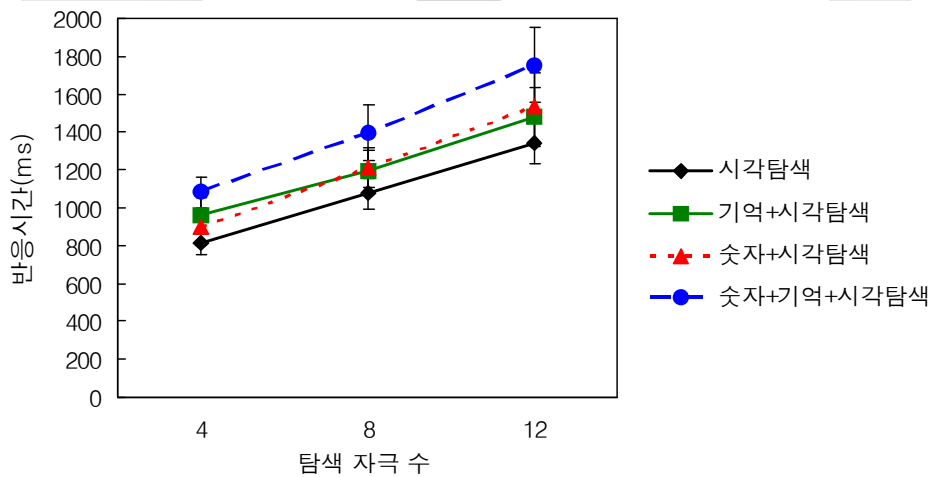


그림 3. 작업기억 부하와 탐색자극 수에 따른 탐색시간 반응시간의 기울기는 탐색효율성을 나타낸다.

형의 주효과와 $F(1,12)=.10, p>.05, MS_e=253.49$, 자극수의 주효과 $F(2,24)=1.51, p>.05, MS_e=83.34$, 그리고 상호작용효과 $F(2,24)=.47, p>.05, MS_e=29.76$ 가 모두 유의하지 않았다(그림 4).

시각 작업기억의 부하는 탐색의 효율성에 영향을 미치지 않았다. 이는 시각 작업기억의 부하(기억 이중과제)가 시각 탐색의 효율성에 영향을 미치지 않는다는 Woodman 등(2001)의 연구와 일치한다. 반면, 탐색된 모든 항목이 시각 작업기억에 저장된다고 주장한 Treisman과 Gelade(1980)의 견해와는 상반되는 결과이다. 만일, 탐색된 모든 대상이 시각작업기억에 저장된다면 자극수가 증가함에 따라 탐색 효율성이 감소되거나, 정확 기억률이 감소되어야 한다. 그러나, 이러한 결과는 관찰되지 않았다. 표적이 아닌 다른 항목을 작업기억으로 전이하는 것은 기억할 필요가 없는 항목들을 작업기억에 저장하는 것이기에 때문에 매우 비효율적이다. 따라서, 실험 1의 결과는 인지체계의 효율적인 정보처리를 반영하는 것으로 보인다. 유사한 연구로, Horowitz와 Wolfe(1998)

는 시각탐색과정동안 시각 체계가 대상에 관한 정보들을 축적하지 않는다는 증거를 제시한 바 있다. 이들의 연구에서, 피험자들은 표적자극이 아닌 방해자극을 기억하지 못하였을 뿐만 아니라, 탐색했던 항목들의 위치조차 기억하지 못하였다.

중앙집행부에 부하를 가한 상태의 시각탐색 결과 또한 효율성에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 이는 한상훈과 김민식(2001)의 연구에서 이중과제의 효율성이 감소된 결과와는 상반된 것으로, 주의의 다중자원이론에서 예측하는 바와 같은 결과이다(Navon & Gopher, 1979). 중앙집행부는 여러 하위처리를 동시에 효율적으로 수행할 수 있도록 주의를 할당하는 역할을 하기 때문에(Baddeley, 1998), 중앙집행부의 부하에도 불구하고, 탐색 효율성이 유지되었다고 볼 수 있다.

시각작업기억과 중앙집행부에 대한 각각의 결과에 대해 다른 설명을 할 수도 있다. 즉, 기억 이중과제에서는 탐색해야 할 대상의 수가 적으면 시각 작업기억에 주의 자원의 할당을 적게 하고, 대상의 수가 많을 때에는 시각 작업기억에 주의 자원을 보다 많이 할당함으로써 시각 탐색의 효율성에 변함이 없었을 가능성이 있다. 숫자 이중과제에서는 중앙집행부의 부하가 많아졌다 할지라도 시각 작업기억의 용량에는 영향을 미치지 않기 때문일 수 있다. 즉, 시각작업기억의 용량이 가득 찬 조건에서는 중앙집행부의 주의 자원을 시각작업기억에 대해 더 많이 할당하여 이를 보완하고, 중앙집행부의 기능을 활성화시킨 조건에서는 시각작업기억에서 탐색자극을 선택, 저장하여 기억의 표상과 비교하는 과정에 영향을 주지 않았다고 주장할 수 있다.

그러나, 시각작업기억과 중앙집행부에 동시에 부하를 가한 상태에서도 탐색의 효율성은 변함

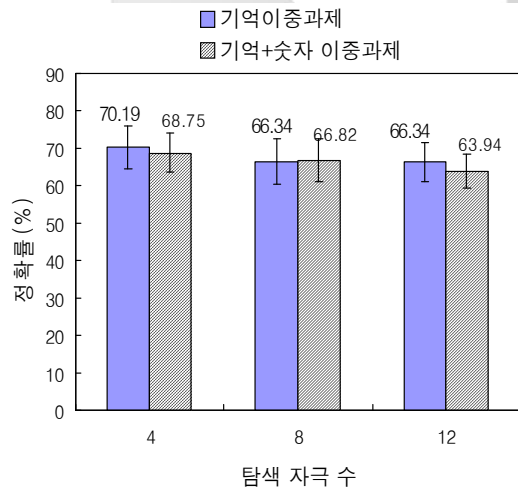


그림 4. 시각작업기억, 중앙집행부의 부하와 탐색자극 수에 따른 기억검사의 정확기억률

이 없었다. 시각 탐색과정에서 탐색된 모든 자극들에 대해 방해자극을 배제하고 표적자극에 올바르게 반응하기 위해서는 반드시 탐색된 자극에 대한 해석, 즉 기억에 저장된 표적자극의 표상과 비교되어야 한다. 그런데 시각 작업기억은 그 용량이 이미 가득 찬 상태이고, 중앙집행부는 저장체계가 아니기 때문에, 자극수의 증가에 따라 탐색 효율성, 또는 정확기억률이 감소되어야 하지만, 이러한 결과는 관찰되지 않았다.

이 결과는 시각탐색과정에서 작업기억에 표적자극의 표상이 저장되어 있고, 이 표상과 유사성이 높은 항목들에 주의를 할당하는 하향처리를 통해 효율적인 탐색이 가능하다는 설명을 지지하는 것처럼 보인다. 그러나, 시각 탐색과정에서 탐색된 모든 자극들에 대해 방해자극을 배제하고 표적자극에 올바르게 반응하기 위해서는 반드시 탐색된 자극에 대한 해석, 즉 기억에 저장된 표적자극의 표상과의 비교가 이루어져야 한다. 그런데 시각 작업기억은 그 용량이 이미 가득 찬 상태이고, 중앙집행부는 저장체계가 아니기 때문에, 단지 하나의 표상일지라도 정확기억률에서 간섭이 일어나야 한다. 이에 대해 Woodman 등(2001)은 기억 이중과제와 단독 기억과제의 정확기억률이 차이가 없음을 밝히면서, 시각탐색된 잠정적 표적자극조차 시각 작업기억에 저장되지 않음을 시사하고 있다.

이는 탐색된 대상을 확인하는 과정이 시각 작업기억과 중앙집행부에서는 이루어지지 않는다는 것을 의미하기 때문에, 작업기억 내에 시각 정보를 저장, 혹은 처리할 수 있는 또 다른 구성요소를 가정해야만 한다. 이는 Logan(1988)의 주장처럼 표적자극의 표상이 장기기억에 저장되어 있다 할지라도 마찬가지로 적용된다. 뿐만 아니라, 동시적인 다중과제를 효율적으로 수행하기 위해서는 여러 입력정보들을 분류, 통합 및 저장

할 수 있는 구성요소가 필요함을 알 수 있다.

색상과 형태정보는 동일한 시각경로를 통해 지각될 뿐만 아니라, 동일한 주의기제의 작용을 통해 선택된다(Girelli & Luck, 1997). 따라서, 탐색 효율성과 정확기억률에서 차이가 나타나지 않는 실험 1의 결과가 기억과제(색상정보)와 탐색과제(형태정보)간의 속성 차이로 인한 결과라고 주장하는 것은 한계가 있다. 그러나, 이 결과에 대한 다른 해석이 가능하다. 형태정보와 색상정보가 서로 다른 속성이기 때문에 기억전략을 사용했을 가능성도 있고, 색상 기억과제와 탐색과제의 제시 순서가 동일했기 때문에 관찰자가 반응에 대한 자동성을 획득했다고 볼 수 있다. 또한, Desimone과 Duncan(1995)이 주장한 바와 같이, 시각 작업기억에 저장된 표적자극과 유사성이 높은 항목들에 주의를 할당함으로써, 탐색의 효율성이 유지되었다고 설명할 수 있다. 즉, 잠정적 표적자극에 대한 표상이 작업기억에 저장되어 있기 때문에 기억+숫자 이중과제에서의 전체반응시간의 증가로 나타났을 가능성이 있다. 따라서, 이러한 대안적 설명의 가능성을 배제하기 위해 기억검사의 항목을 탐색과제의 항목과 동일하게 제시하는 또 다른 실험이 요구된다.

실 험 2

실험 2는 탐색과정에서 표적자극의 표상 혹은 형편이 시각작업기억에 유지되어 탐색된 자극과 비교되는지의 여부를 확인하기 위해 수행되었다. 탐색된 대상이 시각작업기억에 저장되고, 탐색된 잠정적 표적이 시각작업기억에서 비교된다면, 기억검사 항목 중에 탐색과제의 표적자극과 동일한 자극이 포함되는 경우에는 간섭이 일어날 가능성이 낮고, 반대의 경우라면 간섭이 일어날 가

능성이 높다. 다시 말해, 만일 탐색과제의 표적 자극이 위로 틈이 있는 정사각형이라면, 기억과제에 위로 틈이 있는 정사각형이 포함된 경우가 비간섭 조건이 되고, 기억과제에 아래로 틈이 있는 정사각형이 포함된 경우가 간섭 조건이 된다. 이 때 비간섭 조건에서는 탐색과제 혹은 기억과제의 수행에 영향을 미치지 않겠지만, 간섭조건에서는 탐색과제, 혹은 기억과제의 수행을 저조하게 함으로써, 탐색 반응시간의 증가, 혹은 정확기억률에서의 감소가 나타날 것으로 예상할 수 있다.

따라서, 실험 2에서는 실험 1을 바탕으로 탐색된 잠정적 표적자극과 이미 기억하고 있는 표적 자극 표상과의 비교과정이 시각작업기억에서 이루어지는지의 여부를 살펴보았다.

방 법

피험자 충남대학교 재학생 11명이 실험에 참여하였다.

실험자극 기억검사에 사용된 자극을 탐색과제에 사용된 동일한 정사각형 항목으로 구성한 것을 제외하면, 다른 조건들은 실험 1과 동일하였다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, 비간섭 조건은 탐색과제의 표적자극과 동일한 항목 2개를 포함하였고, 간섭자극은 표적자극과 반대의 방향으로 틈이 있어 탐색과제에서 잠정적으로 표적자극이 될 수 있는 항목 2개를 포함하였다.

절차 단독탐색과제와 기억이중과제로 구성되었다. 또한 기억이중과제는 비간섭 조건과 간섭 조건이 구획내에서 무선적으로 제시되었다. 나머지 실험 절차는 실험 1에 제시한 바와 같다.

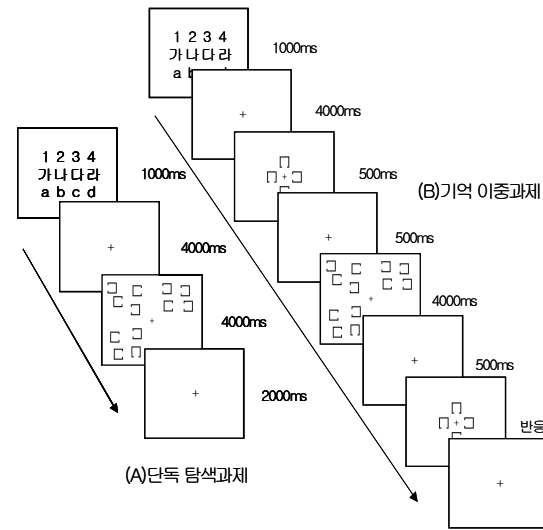


그림 5. 실험 2의 자극 및 절차

단독탐색과제(A)와 기억이중과제(B)로 구성되었다.

결과 및 논의

실험 2에서는 탐색자극의 수(4, 8, 12개)와 과제 종류(단독탐색과제, 기억이중과제)에 따른 반응시간을 종속측정치로 하여 분석하였고, 이중과제의 경우에는 비간섭조건과 간섭조건간 탐색 반응시간과 정확기억률을 분석하였다. 모든 탐색과제의 정확반응률은 자극수에 관계없이 98% 이상 정반응하였다. 과제유형과 자극수에 따른 반응시간의 차이를 분석한 결과, 과제유형의 주효과 $[F(1,10)=6.95, p<.05, MS_e=92335.92]$ 와 자극수의 주효과가 유의한 것으로 나타났다 $[F(2,20)=61.55, p<.01, MS_e=24269.30]$. 그러나, 과제유형과 자극수의 상호작용효과는 관찰되지 않았다 $[F(2,20)=.90, p>.05, MS_e=15695.42]$. 탐색기울기는 단독탐색과제와 기억이중과제의 경우 모두 65 ms/item 으로 나타났다(그림 6).

비간섭 조건과 간섭 조건의 탐색 반응시간의

차이를 분석한 결과, 자극수에 따른 주효과가 유의한 것으로 나타났다($F(2,20)=26.60, p<.001, MS_e=56850.80$). 그러나, 과제유형의 주효과는 유의하지 않았고($F(1,10)=.01, p>.05, MS_e=19918.25$), 과제유형과 자극수간의 상호작용효과 또한 유의하지 않았다($F(2,20)=.76, p>.05, MS_e=20373.63$). 비간섭 조건의 탐색기울기는 59ms/item, 간섭조건은 72ms/item 으로 나타났으며, 그림 7에 이 결과를 제시하였다.

또한, 비간섭 조건과 간섭 조건의 정확기억률의 차이를 분석한 결과, 과제유형($F(1,10)=.81, p>.05, MS_e=272.25$), 자극수($F(2,20)=.05, p>.05, MS_e=176.14$)의 주효과, 그리고 상호작용효과($F(2,20)=2.05, p>.05, MS_e=49.72$)가 모두 유의하지 않았다(표 1).

실험 2의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 기억과제의 자극을 시각탐색에 사용된 재료들로 구성하여 실험한 결과, 단독탐색과제와 이중과제의 반응시간합수 기울기는 차이가 없는 것으로

나타났다. 실험 1의 색상을 이용한 이중과제의 탐색시간 함수의 기울기(65ms/item)와 비교해도 차이가 없었다. 둘째, 기억에 저장된 표적의 표상과 시각탐색된 잠정적 표적의 표상이 시각작업기억에 저장된다면, 비간섭 조건에 비해 간섭

표 1. 이중과제 유형과 탐색자극수에 따른 정확기억률(%(SD))

	N	4개	8개	
비간섭 조건	11	56.82(12.94)	57.95(15.07)	50.
간섭 조건	11	57.95(12.83)	52.27(18.38)	52.
전체	22	57.39(12.59)	55.11(16.66)	51.

조건에서 탐색시간, 또는 정확기억률이 차이가 나타나야 한다. 즉, 탐색시간이 증가하거나, 탐색시간 함수의 Y절편이 증가되거나, 또는 정확기억률의 감소가 나타나야 한다. 그러나, 실험 결과 두 조건 모두에서 차이가 나타나지 않았다.

실험 2의 결과는 시각 작업기억에 저장된 대

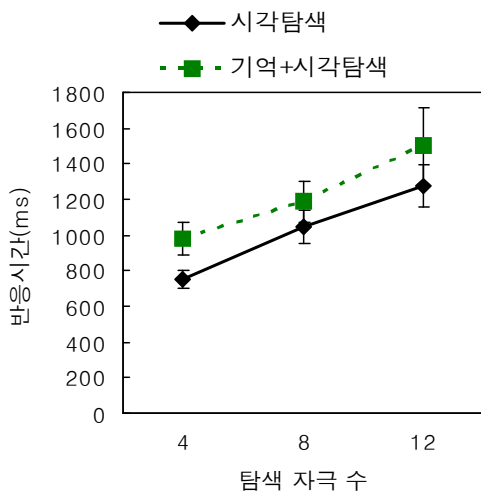


그림 6. 시각작업기억 부하와 탐색자극수에 따른 탐색시간

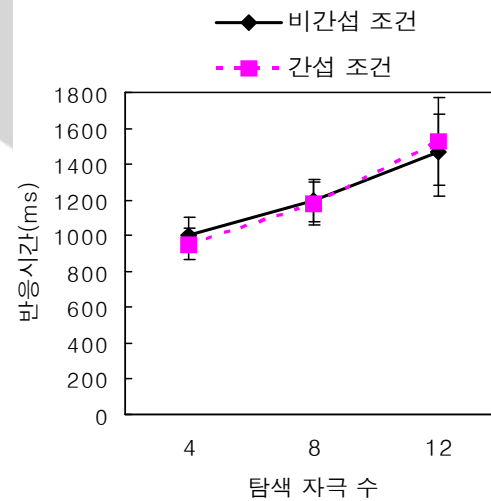


그림 7. 이중과제 유형과 탐색자극수에 따른 탐색시간

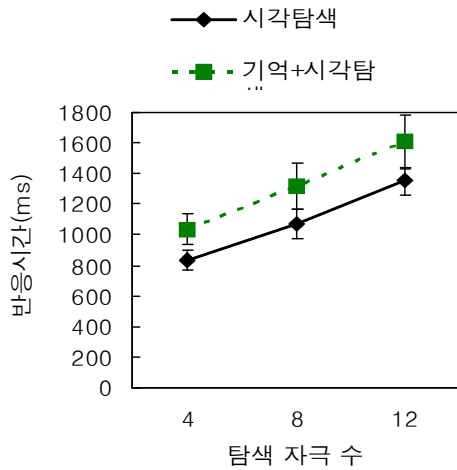


그림 8. 시각작업기억 부하와 탐색자극수에 따른 탐색시간

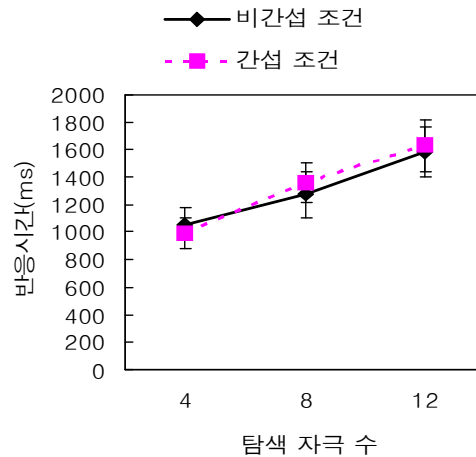


그림 9. 이중과제 유형과 탐색자극수에 따른 탐색시간

상과 탐색된 대상 사이의 간섭이 일어나지 않았음을 보여준다. 즉, 기억과제의 표상들은 시각작업기억에 저장되어 있는 반면, 탐색된 잠정적 표적자극의 표상은 시각 작업기억에 저장되지 않았음을 의미한다. 이 결과는 시각탐색과정 자체에는 시각작업기억이 관여하지 않는다는 것으로 해석될 수 있기 때문에 인지체계의 효율성 측면에서 볼 때, 매우 흥미로운 결과이다. 실험 2의 결과는 Baddeley(2000b)의 임시완충기에 관한 주장을 뒷받침한다. 실험 2의 결과를 이 모형에 적용시키면, 탐색과제에서 선택된 잠정적 표적자극의 정보는 시각작업기억에 저장된다기보다는 임시완충기에 저장되어, 장기기억에 저장된 표적자극에 대한 표상과 비교된다고 설명할 수 있다.

그러나, 실험 2에서는 이중과제에서 정확기억률이 54.55%로 우연수준을 겨우 넘는 결과이기 때문에, 이를 보완하기 위해 실험 3을 수행하였다.

실험 3

실험 3에서는 기억검사의 정확반응률을 높이기 위해, 비간섭 조건에는 탐색과제의 표적자극과 동일한 대상을 3개씩 포함하였고, 간섭조건에서는 반대방향으로 틈이 있는 대상을 3개씩 포함하여 실험 2를 반복하였다.

방법

피험자 충남대학교 재학생 9명이 실험에 참여하였다.

실험자극 기억검사에 사용된 자극을 제외한 모든 자극 구성은 실험 2와 동일하였다. 절차. 실험 2에 기술한 바와 같다.

결과 및 논의

모든 조건에서 탐색 정확률은 98% 이상으로

나타났다. 과제유형과 자극수에 따른 반응시간의 차이를 분석한 결과, 과제유형의 주효과 [$F(1,8)=10.88, p<.05, MS_e=65820.72$]와 자극수의 주효과가 유의한 것으로 나타났으나 [$F(2,16)=254.75, p<.01, MS_e=5340.86$], 두 변인간 상호작용효과는 나타나지 않았다 [$F(2,16)=.68, p>.05, MS_e=7569.44$]. 탐색기울기는 단독탐색과제의 경우 65ms/item, 기억이중과제의 경우 73ms/item 으로 나타났다(그림 8).

비간섭 조건과 간섭 조건의 탐색 반응시간 분석 결과, 자극수에 따른 주효과가 유의하였다 [$F(2,16)=84.80, p<.001, MS_e=17855.79$]. 그러나, 과제유형의 주효과 [$F(1,8)=.013, p>.05, MS_e=14143.95$]와 과제유형과 자극수의 상호작용효과는 유의하지 않았다 [$F(2,16)=1.93, p>.05, MS_e=15426.12$]. 비간섭 조건의 탐색기울기는 65ms/item, 간섭조건은 80ms/item 였다(그림 9).

비간섭 조건과 간섭 조건의 정확기억률의 차이를 분석한 결과, 과제유형의 주효과와 [$F(2,16)=1.10, p>.05, MS_e=103.08$] 자극수의 주효과 [$F(1,8)=.03, p>.05, MS_e=103.08$], 그리고 두 변

시 한번 확인하였고, 앞서 논의한 바와 같이, 임시완충기에 관한 주장을 지지하는 결과이다.

그러나, 실험 2와 실험 3에서 기억과제에 제시된 자극의 종류와 관련하여 논의해야 할 부분이 있다. 즉, 4가지 색상으로 시각 작업기억의 용량을 가득 채울 수 있음은 이미 증명되었지만, 둘 혹은 세 가지 대상으로 구성된 4개의 배열이 시각 작업기억의 용량을 가득 채웠다고 할 수는 없다. 다만, 색상을 사용한 실험결과와 비교해 볼 때, 탐색과제의 반응시간이 유사한 점과, 기억검사의 정확률이 오히려 낮은 것으로 볼 때, 유사한 효과를 가져왔을 것으로 추정된다.

종합 논의

본 연구를 종합하면, 첫째, 시각작업기억의 부하는 시각탐색의 반응시간에는 영향을 주었으나, 그 효율성에는 영향을 미치지 않았다. 이는 기억과제의 항목들이 색상판인 경우뿐만 아니라, 탐색과제의 대상과 동일한 형태일 때에도 마찬가지로

표 2. 이중과제 유형과 탐색자극수에 따른 정확기억률(%(SD))

	N	4set	8set	12set	전체
비간섭 조건	9	73.61(9.77)	72.22(13.66)	77.78(15.02)	74.54(7.35)
간섭 조건	9	69.44(9.08)	80.55(9.08)	72.22(15.02)	74.07(5.81)
전체	18	71.52(9.40)	76.38(12.04)	75.00(14.85)	74.30(6.43)

인간 상호작용효과 [$F(2,16)=1.23, p>.05, MS_e=214.48$] 모두가 유의하지 않았다(표 2).

실험 3은 실험 2의 결과에서 기억검사의 정확 반응률이 전체적으로 우연수준을 겨우 넘는 바닥효과를 나타내었다고 판단되어 수행되었다. 그 결과, 정확 기억률이 74% 로 실험 2에 비해 증가하였다. 실험 3의 결과는 실험 2의 결과를 다

지였다. 만일 탐색된 모든 자극이 기억에 저장된다면, 자극수가 증가함에 따라 반응시간의 더 큰 증가를 기대할 수 있다. 그러나, 실험 1의 결과에 의하면, 단독탐색과제와 이중과제의 탐색시간 함수의 기울기가 동일하였다. 따라서, 탐색된 자극 모두가 작업기억에 저장되는 것이 아니며, 자극의 선택과정에 주의를 개입하여 선택된 자극

만을 표적자극의 표상과 비교한다는 결론을 내릴 수 있다. 이는 기억해야 할 필요성이 없는 대상까지 기억하지는 않는 것이므로, 인지기능의 효율성의 측면에서 매우 타당한 것으로 보인다.

인간의 시각체계는 서로 관련이 많은 대상에 주의를 기울이면서 동시에 방해자극을 여과할 수 있는 능력이 있다. 즉, 탐색된 대상이 표적자극일 때에만 선택적으로 받아들이는 필터가 존재하고, 이 필터는 측두엽(상향처리)과 전두엽(하향처리)이 상호작용한 결과이며, 그 결과, 올바른 자극에 대해서만 반응한다(Friedman-Hill, Robertson, Desimone, & Ungerleider, 2003; Sakai, Rowe, & Passingham, 2002).

둘째, 중앙집행부의 부하는 시각탐색의 효율성에 영향을 미치지 않았다. 중앙집행부의 부하는 탐색시간의 저하를 가져왔을 뿐, 탐색의 효율성은 변화시키지 않았다. 이는 한상훈과 김민식(2001)의 연구에서 효율성이 감소된 결과와 일치하지 않은 결과이다. 중앙집행부는 여러 가지 동시 과제에 주의를 할당하는 역할을 하기 때문에, 전체적인 반응시간의 증가는 관찰되었으나 기울기는 변함이 없었다. 만일, 중앙집행부가 다중속성의 정보들을 저장하는 기능을 한다면, 기울기의 증가가 관찰되어야 하지만, 이러한 증가는 관찰되지 않았다. 이는 수정된 작업기억 모형에서 Baddeley(2000a)가 제기한 중앙집행부가 저장체계가 아니라는 주장과 일치한다.

셋째, 시각작업기억과 중앙집행부의 동시부하의 영향은 전체적인 탐색시간의 증가를 일으켰으나, 시각탐색의 효율성에는 영향을 미치지 않았다. 이는 시각작업기억과 중앙집행부의 상보적 역할로 인한 결과가 아니며, 작업기억의 구성요소 중 시각정보를 저장할 수 있는 다른 요소를 가정해야 함을 시사한다. 즉, 임시완충기의 존재 가능성을 뒷받침한다. Baddeley(2000b)는 수정된

작업기억 모형에서 임시완충기가 다양한 속성의 정보들을 통합하는 역할을 한다고 하였다. 뿐만 아니라, 중앙집행부는 저장체계가 아니라는 주장을 하였다. 실험 1의 결과를 이 모형에 적용하면, 선택된 잠정적 표적자극의 정보는 장기기억에 저장된 표적자극에 대한 표상 정보와의 비교를 위해 임시완충기에 일시적으로 저장된다고 설명할 수 있다. 또는 장기기억에 저장된 표적자극의 표상이 임시완충기에서 활성화되고, 그 정보에 따라 잠정적 표적자극에 주의를 기울였을 수 있다. 즉, 장기기억에 저장된 표적의 표상은 시각체계를 통해 입력된 자극과의 비교를 위해 임시완충기에서 다시 활성화된 것으로 해석할 수 있다.

넷째, 탐색된 잠정적 표적자극과 기억에 저장된 표적자극의 표상은 시각작업기억에서 비교되지 않는 것으로 보인다. 즉, 수정된 작업기억 모형에서 제안된 임시완충기에서 이러한 비교과정이 이루어졌다고 생각할 수 있다. 중앙집행부의 기능을 연구한 fMRI 연구들은 우측 전전두엽, 혹은 배외측 전전두엽이 임시완충기의 기능을 담당할 가능성이 있다는 증거들을 보여주고 있으며, 이러한 증거들은 본 연구결과들을 뒷받침해주고 있다(Milham, et al., 2003; Prabhakaran et al., 2000).

결론적으로, 시각 탐색의 목적은 대상에 대한 기억이 아니라 확인이다. 기억할 필요성이 없음에도 불구하고 탐색과제의 여러 항목들이 시각작업기억에 저장되는 것은 매우 비효율적이다. 또한, 그 대상이 표적자극이라 할지라도, 그것이 시각작업기억에 저장된다는 어떠한 증거도 발견할 수 없었다. 다만, 임시완충기에서 이러한 과정이 이루어질 가능성이 매우 높은 것으로 보인다. 임시완충기의 기능을 보다 상세하게 이해하기 위해서는 다중-부호화된 정보처리 기능에 초

점을 두고, 자극제시 조건과 출처(예를 들어, 시각과 청각)를 다양화시킨 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 한상훈, 김민식 (2001). 작업기억이 시각탐색의 효율에 미치는 영향. 2001년도 한국실험 및 인지심리학회 겨울학술대회 발표논문집. 39-45.
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. London: Oxford University Press.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49(1), 5-28.
- Baddeley, A. (1998). Recent developments in working memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 8, 234-238.
- Baddeley, A. (1999). *Essentials of human memory*. East Sussex, England: Psychology Press.
- Baddeley, A. (2000a). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2000b). The magic number and the episodic buffer. *The Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 117-118.
- Baddeley, A., & Hitch, G.J. (1974). Working memory. In Bower, G.H., (Ed.), *Recent advances in learning and motivation* (pp. 47-90). New York: Academic Press.
- Baddeley, A., Gathercole, S.E., & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review*, 105(1) 158-173.
- Bundesen, C. (1990). A theory of visual attention. *Psychological Review*, 97, 523-547.
- Carter, C.S., Braver, T.S., Barch, D.M., Botvinick, M.M., Noll, D., & Cohen, J.D. (1998). Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science*, 280, 747-749.
- D'Esposito, M., Detre, J.A., Alsop, D.C., Shin, R.K., Atlas, S., & Grossman, M. (1995). The neural basis of the central executive system of working memory. *Nature*, 378(16), 279-281.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193-222.
- Duncan, J., & Humphreys, G. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 433-458.
- Friedman-Hill, S.R., Robertson, L.C., Desimone, R., & Ungerleider, L.G. (2003). Posterior parietal cortex and the filtering of distractors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(7), 4263-4268.
- Gathercole, S.E. (1997). Models of verbal short-term memory. In Conway, M.A.(Ed.), *Cognitive models of memory*(pp. 13-45). Cambridge, MA: MIT Press.
- Gathercole S.E., & Baddeley, A. (1993). *Working memory and language*, England: Erlbaum.
- Girelli, M., & Luck, S.J. (1997). Are the Same Attentional Mechanisms Used to Detect Visual Search Targets Defined by Color, Orientation, and Motion? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(2), 283-253.
- Horowitz, T.S., & Wolfe, J.M (1998). Visual search has no memory. *Nature*, 394, 575-577.
- Logan, G.D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, 95(4), 492-527.
- Luck, S.J., & Vogel, E.K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-281.
- Milham, M.P., Banich, M.T., Claus, E.D., & Cohen, N.J. (2003). Practice-related effects demonstrate

- complementary roles of anterior cingulate and prefrontal cortices in attentional control. *NeuroImage*, 18, 483-493.
- Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review*, 86(3), 214-255.
- Prabhakaran, V., Narayanan, K., Zhao, Z., & Gabriele, J.D.E. (2000). Integration of diverse information in working memory within the frontal lobe. *Nature Neuroscience*, 3(1), 85-90.
- Sakai, K., Rowe, J.B., & Passingham, R.E. (2002). Active maintenance in prefrontal area 46 creates distractor-resistant memory. *Nature Neuroscience*, 5(5), 479-484.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature- integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Veen, V., Cohen, J.D., Botvinick, M.M., Stenger, V.A., & Carter, C.S. (2001). Anterior cingulate cortex, conflict monitoring, and levels of processing. *NeuroImage*, 14, 1302-1308.
- Wolfe, J.M., & Horowitz, T.S. (2003). Memory for rejected distractors in visual search? *Visual Cognition*, 10(3), 257-298.
- 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.
- Zimmer, H.D., Speiser, H.R., & Seidler, B. (2003). Spatio-temporal working memory and short-term object-location tasks use different memory mechanisms. *Acta Psychologica*, 114, 41-65.

1 차원고접수 : 2004. 2. 8

최종게재결정 : 2004. 3. 12

Effects of loads on Visual Working Memory and Central Executive on Efficiency and Reaction Time of Visual Search: the Possibility of Existence of Episodic Buffer

Chobok Kim Chang-won Seo Yoon-Ki Min
Department of Psychology, Chungnam National University

The purpose of this study was to investigate the possibility of existence of episodic buffer proposed as a new component of working memory. To do so, we examined the effects of loads on visual working memory and central executive on search efficiency and reaction times in visual search tasks. Experiment 1 investigated the role of visual working memory and central executive on visual search. The results showed that separate loads on visual working memory and central executive did not impair search. The simultaneous loads on visual working memory and central executive increased reaction times, but it did not impair search efficiency. Experiment 2 and 3 examined whether the comparison between the searched objects and target representation was involved in visual working memory. In result, it was not found that searched-visual information interfered with stored-visual information. These results suggest that another component of working memory should be assumed to be able to store visual information. Therefore, the findings support the possibility of existence of episodic buffer.

Keywords: visual working memory, central executive, episodic buffer, visual search