

시각적 표시와 작업기억 간의 독립성

탁 경 진 김 민 식
연세대학교 심리학과

시각 탐색에서 모든 자극들을 동시에 제시하는 경우보다 방해자극들 중의 일부를 먼저 제시하고 이어서 나머지 자극들을 제시하면 탐색의 효율성이 더 높아지는 현상이 나타나는데, 이러한 '선제시 효과(preview effect)'는 시각적 표시(visual marking)를 통하여 설명되어 왔다(Watson & Humphreys, 1997). 효율적인 시각 탐색을 가능하게 하는 시각적 표시가 작업기억의 인지 자원을 사용하는지 여부와, 사용한다면 어떤 유형의 인지 자원을 사용하는지를 알아보기 위하여 세 개의 실험을 수행하였다. 실험 1에서는 시각적 작업기억 과제의 수행이 시각적 표시에서의 선제시 효과에 미치는 영향, 실험 2에서는 공간적 작업기억 과제의 수행이 선제시 효과에 미치는 영향, 그리고 실험 3에서는 집행적 작업기억 과제의 수행이 선제시 효과에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 실험 결과, 선제시 효과는 시각적 및 공간적 작업기억 뿐 아니라 집행적 작업기억 과제의 수행에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과들은 시각적 표시가 작업기억과 독립적이며, 작업기억과 관련된 인지 자원을 소모하지 않음을 시사한다. 연구 결과에 기초하여, 시각적 표시를 설명하는 공간적 억제 가설과 시간적 균집화 가설을 비교, 논의하였다.

주요어: 시각적 표시, 작업기억, 선제시 효과

위 연구는 21세기프론티어연구개발사업인 뇌기능활용및뇌질환치료기술개발연구사업단의 연구비 지원(M103KV 010021 05K2201 02110)에 의해 수행되었습니다.

교신저자: 김민식, (120-749) 서울시 서대문구 신촌동 134, 연세대학교 심리학과

E-mail: kimm@yonsei.ac.kr

우리의 눈을 통하여 매 순간 수많은 시각 정보가 들어오지만 우리의 시각 체계는 이들 입력정보를 모두 처리할 수 없다. 따라서 수많은 시각 정보 속에서 행동과 관련된 시각 정보들을 효율적으로 탐색하는 기제들이 필요할 것으로 예상할 수 있으며, 실제로 선행 연구들은 이러한 효율적인 탐색을 가능하게 하는 몇 가지 기제들을 보고하여 왔다. 가령, 돌출된 특성을 지닌 자극에 자동적인 주의 할당이 이루어지거나, 혹은 일단 주의를 주었던 물체나 위치에 대해 다시 주의가 할당되는 것이 억제될 수 있다(Kim & Cave, 1999, 2001; Posner & Cohen, 1984; Treisman, 1986; Yantis & Jonides, 1984). 이에 덧붙여 우리의 시각 체계는 이미 제시된 자극과 새롭게 제시되는 자극을 변별하여 이미 제시된 자극들에 대해서는 우선순위를 낮추고 새롭게 제시되는 자극들을 우선적으로 처리하는데, Watson과 Humphreys(1997)는 이를 시각적 표시(visual marking)라고 명명하였다. 즉, 시각적 표시는 시간적으로 먼저 나타나고 현재의 목표 행동과 무관한 정보들에 대해 시각적으로 표시를 부여하고, 새롭게 나타난 정보들에 주의를 우선적으로 할당하여, 결국 시각 정보를 보다 효율적으로 처리할 수 있도록 하는 것이다.

Watson과 Humphreys(1997)는 기존의 시각 탐색 과제에서 많이 사용했던 두 조건, 즉 세부 특징 조건(feature condition)과 접합 조건(conjunction condition)에 선제시 조건(preview condition)이라는 새로운 조건을 덧붙여 실험하였다. 선제시 조건은 접합 조건에서의 방해자극 일부를 먼저 제시한 후 잠시 뒤에 나머지 방해자극과 표적자극을 제시하는 조건을 말한다. 예를 들면, 녹색 H와 파란색 A라는 방해자극들 중에서 파란색 H라는 표적자극을 찾

는 시각 탐색 과제에서, 방해자극들 중 일부를 먼저 제시한 후 나머지 방해자극을 표적자극과 함께 제시하여 표적자극을 탐색하도록 하는 것이다. 기존의 연구에서 밝혔듯이, 세부 특징 조건에서는 표적자극을 탐색하는 시간이 자극 수의 증가에 관계없이 거의 일정하지만, 접합 조건에서는 자극 수가 증가함에 따라 표적자극 탐색 시간이 선형적으로 증가한다(예, Treisman & Gelade, 1980). Treisman과 Sato(1990)의 설명에 따르면, 세부 특징 조건의 시각 탐색에서는 모든 시각 탐색자극이 전주의적인 처리 과정에서 병렬적으로 처리되므로, 탐색자극의 수가 증가하더라도 표적자극 탐색 시간이 증가하지 않는다. 반면에 접합 조건의 경우, 탐색자극이 하나씩 순차적으로 처리되므로 탐색자극의 수가 많아질수록 표적자극 탐색 시간이 선형적으로 증가한다고 보았다. 선제시 조건은 방해자극의 일부를 표적자극을 제시하기 전에 약간의 시간 간격을 두고 제시한 것만 제외하면 접합 조건과 동일하지만, 탐색 기울기는 접합 조건보다 유의미하게 낮아져 세부 특징 조건만큼 효율적인 것으로 나타났다. 이러한 현상을 Watson과 Humphreys(1997)는 선제시 효과(preview effect) 또는 간격 효과(gap effect)라고 하였다. 즉, 선제시 효과는 일부 방해자극들을 미리 제시함으로써 탐색 효율이 증가되는 결과를 통해 나타나며, 시각적 표시를 추정하는 지표로 사용되어 왔다.

그렇다면 선제시 효과가 나타나는 이유는 무엇일까? 한 가지 설명은 실험 참가자들이 처음에 일부 제시된 방해자극들(선제시 자극)의 위치를 미리 억제하여 나중에 제시되는 방해자극과 표적(후제시 자극)만을 보다 효율적으로 처리하게 된다는 것이다. Watson과 Humphreys(2000)는 점 탐사 과제를 사용하여

이미 제시된 탐색자극의 위치가 새롭게 제시된 탐색자극의 위치에 비해 더 억제되는지를 측정하였다. 전체 시행의 76%에서는 표적자극을 탐색하고 나머지 24%에서는 짧은 소리를 들려주어 점 탐사 과제를 수행하도록 한 결과, 접합 조건에서는 점이 나타나는 위치에 따라 정확율이 유의미한 차이를 보이지 않았지만, 선제시 조건에서는 선제시 자극의 위치에 점이 나타날 때의 정확율이 다른 위치에 점이 나타날 때에 비해 유의미하게 낮았다. 선제시 자극의 위치에서 점 탐사 과제의 수행이 저하되었다는 결과는 선제시 자극의 위치가 상대적으로 더 억제되었음을 의미하는 것으로, 연구자들은 이러한 공간적 주의의 억제 기제를 통해 선제시 효과가 나타난다고 주장하였다.

Watson과 Humphreys(2000)의 주장과는 달리, Jiang, Chun과 Marks(2002b)는 시간적 군집화에 의해 시각적 표시가 나타날 것이라는 가설을 바탕으로 실험을 실시하였다. 이들은 만약 제시 시간을 기준으로 선제시 자극과 후제시 자극이 구분될 수 없으면 선제시 효과가 나타나지 않을 것으로 기대하였다. 이 실험에서 후제시 자극이 나타나기 직전에 선제시 자극의 휘도(luminance)가 변하도록 조작한 조건에서는 선제시 효과가 관찰되었지만, 후제시 자극이 나타남과 동시에 선제시 자극의 휘도가 변하는 조건에서는 선제시 효과가 관찰되지 않았다. 이들 연구자들은, 후제시 자극이 나타나기 직전에 선제시 자극의 휘도를 변화시켰을 때 선제시 효과가 나타난 것은 선제시 자극의 휘도 변화와 후제시 자극의 출현이 두 개의 사건으로 분리되어 인식될 수 있었기 때문이라고 보았다. 반면 선제시 자극과 후제시 자극의 휘도가 동시에 변하는 조건에서 선제시 효과가 관찰되지 않은 것은 우리의 시각 체계가

제시 자극의 휘도 변화와 후제시 자극의 출현을 하나의 사건으로 인식하므로 후제시 자극만 따로 군집화하여 처리하는 것이 어렵기 때문인 것으로 해석하였다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 이들은 선제시 자극이 단지 시간적으로 미리 제시되었기 때문에 억제적인 표시가 가능하다는 Watson과 Humphreys(1997, 2000)의 주장에 이의를 제기하면서, 선제시와 후제시를 이용하여 두 탐색자극 군이 시간적으로 분리되어 제시되는 경우에도 이들이 지각적으로 구분될 수 없다면 선제시 효과가 나타나지 않음을 주장하였다.

Donk와 Theeuwes(2001) 역시 선제시 효과는 선제시 자극을 하향적으로 억제함으로 인해 나타나는 것이라기보다는 배경과 다른 휘도를 갖는 후제시 자극의 돌발적 출현(abrupt onset)으로 인해 나타난다는 가설 하에 몇 가지 실험을 실시하였다. 이들의 실험에서 후제시 자극들을 배경과 동일한 휘도를 갖도록 하여 제시한 경우에는 선제시 효과가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 선제시 자극과 후제시 자극의 시간적 분리보다는 지각적인 분리가 시각적 표시 기제와 더 관련이 있음을 의미하는 것이다.

이와 같은 선행 연구들은, 선제시 효과가 일어날 때 선제시 자극의 위치가 억제된다는 점에서는 대체로 동의하지만, 어떻게 억제되는가에 대해서는 의견을 달리 하고 있다. Watson과 Humphreys(1997, 2000)는 시간적으로 먼저 제시되는 선제시 자극의 위치가 적극적으로 억제되고 이를 통해 후제시 자극들이 우선적으로 주의를 받게 되어 선제시 효과가 발생하는 것으로 보았으며, 이러한 해석을 바탕으로 시각적 표시는 하향적이고 의도적인 속성을 지니고 있다고 제시하였다. 이들의 주장

처럼 만일 시각적 표시가 하향적이고 자발적인 기제라면, 목표 행동이 무엇인지를 기억 상에 유지하고 선택적 주의를 할당하는 기제와 밀접한 관련이 있는 작업기억이 개입하고 있을 가능성은 더 높을 것이다. 반면 Jiang, Chun과 Marks(2002b)와, Donk와 Theeuwes(2001)는 선제시 자극이 적극적으로 억제된다기보다는, 근집화나 돌발적 출현으로 인해 후제시 자극이 주의를 더 끌기 때문에 선제시 효과가 나타나는 것이라고 주장하였다. 이들의 입장에서 보면, 시각적 표시는 지각적 수준의 처리 과정에서 발생하며 비교적 상향적 처리 과정에 의존한 기제라고 해석될 수 있다. 만일 Jiang 등과 Donk 등이 주장하는 것처럼 시각적 표시가 지각적 수준의 처리 과정에서 나타나는 기제이며 상향적인 속성을 지니고 있다면, 선제시 자극에 대한 기억이 시각적 표시에 기여하고 있을 가능성은 매우 낮을 것이다.

Jiang과 Wang(2004)은 선제시 자극의 위치가 단기적으로 기억되어 억제되는지를 검증하기 위한 연구를 수행하였다. 이들은 선제시 자극이 같은 위치에 같은 모양으로 유지되는 조건과 다른 위치로 이동하는 조건, 선제시 자극이 같은 위치에서 다른 모양의 자극으로 바뀌는 조건을 비교하였다. 만약 선제시 자극의 위치가 시각적 작업기억에 저장되어 억제된다면, 선제시 자극이 다른 모양으로 대치되는 조건에서도 선제시 효과는 감소하지 않을 것으로 예상할 수 있다. 반대로 선제시 자극의 위치가 기억에 저장되지 않는다면, 선제시 자극의 위치에서 자극의 모양이 변하는 경우 선제시 효과가 감소할 것이다. 실험 결과, 선제시 자극의 모양이 바뀌는 경우에는 시각 탐색에서 선제시의 이득이 사라지는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 이들은 선제시

자극의 위치에 대한 기억이 시각적 표시에 관여하지 않으며, 후제시 자극들에 대한 시각적 작업기억과 선제시 자극과 후제시 자극을 두 개의 지각적 그룹으로 구분해주는 시간차에 대한 기억(memory for asynchrony)이 시각적 표시에 관여하고 있을 가능성을 제안하였다.

선제시 자극의 모양이 바뀌는 경우 선제시 이득이 사라진다는 Jiang과 Wang(2004)의 연구는 선제시 자극들의 위치에 대한 기억이 탐색 과정에 사용되지 않는다는 증거로 해석될 수 있다. 그러나 선제시 자극들의 위치가 탐색에 사용되지 않음을 의미하는 결과가, 실제로 그 위치들을 기억하고 있었는지 여부를 알려줄 수는 없다. 즉, 참가자들은 선제시 자극들의 위치를 기억했을 수도 있지만, 후제시 자극이 나타나는 시점에서 그 기억 정보들을 사용하지 않을 수도 있다. 따라서 이들의 실험 결과만으로는 선제시 자극을 처리하는데 시각적 작업기억이 관여했을 가능성을 완전히 배제하기 어렵다. 그렇다면, 어떻게 선제시 자극들의 위치에 대한 기억이 관여했는지 여부를 측정할 수 있겠는가? 한 가지 방법은 선제시 조건에서 추가적인 공간적 작업기억 과제를 부과하여, 선제시 자극의 개수가 증가함에 따라 선제시 효과의 변화를 측정하는 것이다. 만일 선제시 자극에 대한 공간적 작업기억이 존재한다면, 공간적 작업기억 과제가 이중과제로 주어지는 경우 선제시 효과는 선제시 자극의 개수가 증가함에 따라 감소할 것으로 예상할 수 있다.

또한 Jiang과 Wang(2004)의 연구는 선제시 자극에 대한 공간적 기억만을 검증한 것으로, 그 밖의 다른 종류의 작업기억이 시각적 표시에 관여하는지에 대해서는 시사점을 제공하지 못하였다. 작업기억에는 공간적 작업기억 이

외에도 비공간적인 작업기억, 집행적 작업기억이 있으며, 이들이 선제시 자극의 처리에 관여하는가에 대한 의문 역시 이중과제 패러다임을 통해 검증될 수 있을 것이다. 선행 연구들에서 시각적 작업기억의 경우 시각 탐색에 영향을 주지 않는 반면(Han & Kim, 2004; Oh & Kim, 2004; Woodman, Vogel, & Luck, 2001), 공간적 작업기억과 집행적 작업기억은 시각 탐색 과정에 관여할 수 있음을 보고하였다(Han & Kim, 2004; Oh & Kim, 2004; Woodman & Luck, 2004). 이러한 선행 연구들에 기초하여, 본 연구에서는 다양한 작업기억 과제를 시각적 표시 패러다임에 이중과제로 함께 사용함으로써, 시각적 표시에 어떤 유형의 작업기억이 관여하는지를 알아보려고 하였다.

만약 선제시 조건에서 선제시 자극을 처리하는 과정에 특정 종류의 작업기억이 요구되거나 시각적 표시와 작업기억이 인지적 자원을 공유하고 있다면, 시각 탐색 과제에 추가적으로 부과된 작업기억 과제의 수행이 선제시 효과를 감소시켜 결과적으로 탐색 효율성의 저하를 가져올 것으로 예상할 수 있다. 반대로 선제시 자극을 처리하는 과정에 작업기억이 필요하지 않거나 시각적 표시와 작업기억이 인지적 자원을 공유하지 않는다면 작업기억 과제의 수행은 선제시 효과를 감소시키지 않을 것이다. 본 실험에서는 작업기억 과제를 시각적 작업기억 과제, 공간적 작업기억 과제, 집행적 작업기억 과제로 나누어 시각적 표시에 대한 각각의 효과를 살펴보았다. 실험 1에서는 시각적 작업기억 과제와 선제시 조건의 시각 탐색을 동시에 수행하도록 하였을 때 선제시 효과가 감소하는가를 알아보았고, 실험 2에서는 공간적 작업기억 과제와 선제시

조건의 시각 탐색을 동시에 수행하도록 하였을 때 선제시 효과의 변화를 관찰하였다. 그리고 실험 3에서는 집행적 작업기억 과제와 선제시 조건의 시각 탐색을 동시에 수행하도록 하였을 때 선제시 효과의 변화를 측정하였다. 만약 시각적 표시에 비공간적, 공간적, 집행적 작업기억이 관여한다면, 작업기억 과제가 선제시 탐색에 추가적으로 주어진 조건에서 선제시 효과가 감소할 것이며, 시각적 표시에 기억이 관여한다는 증거는 하향적이며 의도적인 처리에 의한 선제시 자극들의 역할을 제안하는 Watson과 Humphreys(1997)의 가설을 지지하는 것으로 해석할 수 있다. 반면, 시각적 표시에 비공간적, 공간적, 또는 집행적 작업기억이 관여하지 않는다면, 작업기억 과제와 선제시 탐색을 동시에 수행하더라도 선제시 효과는 선제시 탐색만 수행하는 조건과 비슷하게 나타날 것이다. 이 결과는 시각적 표시가 작업기억과 관련된 인지적 자원을 요구하지 않으며, 시각적 표시가 지각적 수준의 처리 과정에서 군집화나 후제시 자극의 돌발적 출현에 의한 주의의 포획으로 인한 기제임을 보여준다고 해석할 수 있을 것이다.

실험 1. 시각적 작업기억과 선제시 효과

시각적 표시에 시각적 작업기억이 관여하는지를 알아보기 위해 접합 조건과 선제시 조건의 탐색, 그리고 선제시 조건의 탐색과 시각적 작업기억 과제를 동시에 수행하도록 하는 이중과제 조건을 포함하는 실험을 실시하였다. 만일 시각적 작업기억이 사용하는 인지적 자원이 시각적 표시에도 사용된다면, 이중과제 조건에서 선제시 효과는 단일 선제시 조건에 비해 감소할 것으로 예상할 수 있다. 반면에

시각적 표시가 시각적 작업기억과 독립적인 기제가거나 서로 인지적 자원을 공유하지 않는다면, 비공간적인 시각 정보를 작업기억 상에 단순히 유지하는 과제를 선제시 조건의 탐색과 동시에 수행하도록 요구하더라도 선제시 효과는 감소하지 않을 것이다. 즉, 시각적 작업기억 과제와 선제시 조건의 시각 탐색을 동시에 수행할 때, 선제시 자극의 개수가 증가함에 따른 시각 탐색색의 효율은 선제시 조건의 시각 탐색만 수행하도록 했을 때의 탐색 효율과 비슷할 것이다.

실험 1의 시각 탐색자극 제시 조건은 모두 세 가지로, 모든 탐색자극이 동시에 제시되는 접합 조건, 4, 8, 12개의 자극이 선제시되고 네 개의 자극이 후제시되는 선제시 조건, 그리고 시각적 작업기억 과제와 선제시 조건이 결합된 이중과제 조건이었다. 접합 조건과 선제시 조건의 시각 탐색에서는 회전된 L 중에서 오른쪽 또는 왼쪽으로 90° 회전된 하나의 T를 찾아 변별하도록 하였으며, 이중과제 조건에서 사용된 시각적 작업기억 과제는 Woodman, Vogel과 Luck(2001)의 연구에서처럼 네 개의 색상을 외우는 것으로 하였다. 접합 조건과 선제시 조건에서 실험 참가자들은 가능한 한 빨리 하나의 T를 찾아 방향을 변별하여야만 했고, 이중과제 조건에서 실험 참가자는 매 시행 처음에 화면 중앙을 기준으로 상하좌우에 제시되는 네 개의 색상을 작업기억 상에 담아둔 후, 시각 탐색이 끝난 직후에 재인해야 했다.

방 법

실험 참가자 연세대학교에서 교양 심리학을 수강하는 학생 13 명을 대상으로 실험을 실시

하였다. 모든 실험 참가자는 나안 혹은 교정 시력 0.8 이상의 정상 시력이었으며, 본 실험의 가설과 목적을 알지 못했다.

도구 및 장치 실험 자극을 제시하고 실험 참가자의 반응을 기록하는 일련의 절차들은 Matlab과 심리학 실험용 도구 상자(Brainard, 1997)로 제작된 프로그램을 통해 IBM 호환 Pentium 120 개인용 컴퓨터에서 제어되었다. 자극은 LG Flatron 795 FT 모니터에 제시되었으며, 피험자의 반응은 시각 탐색 과제에 대해서는 오른손을, 작업기억 과제에 대해서는 왼손을 이용하여 자판을 통해 입력되었다. 실험에 참여하는 동안 실험 참가자들은 모니터로부터 57 cm 떨어진 거리에 눈의 위치를 일정하게 유지하였다.

자극 본 실험에 사용된 탐색자극들은 Jiang, Chun과 Marks(2002b)의 연구에서 사용된 것과 동일하였다. 시각 탐색 과제에서 사용된 선제시 방해자극과 후제시 방해자극은 모두 0°, 90°, 180°, 270° 회전된 회색 L이며, 표적자극은 오른쪽 또는 왼쪽으로 90° 회전된 회색 T였다. 탐색자극의 크기는 모두 시각도 0.42° x 0.42°이었으며, 탐색자극들은 시각도 21.1° x 21.1°의 10 x 10의 격자 중에서 화면 중앙을 중심으로 시각도 6.45° x 6.45°의 공간을 제외한 영역에 무선적으로 제시되었다. 모든 시행에서 표적자극은 항상 존재하였으며, 두 가지 종류의 표적자극, 즉, 왼쪽 또는 오른쪽으로 회전된 T는 각각 총 시행의 50%에 해당하는 횟수만큼 제시되었다. 작업기억 과제에 사용된 자극은 시각도 0.51° x 0.51° 크기의 사각형이었으며, 작업기억 과제에 사용된 색상은 빨간색, 주황색, 노란색, 하늘색, 파란색, 분홍색,

보라색, 연두색, 초록색, 흰색으로 총 열 가지였다. 화면 중앙을 중심으로, 시각도 $6.45^\circ \times 6.45^\circ$ 크기만큼의 공간에는 작업기억 자극이 제시되었다. 시각 탐색 과제와 작업기억 과제에서 배경은 모두 검정색이었다. 전체 제시 자극 수는 8, 12, 16이었으며, 이 중 후제시 자극의 개수는 항상 네 개였고, 선제시 자극의 개수는 4, 8, 12였다.

절차 제시 조건은 접합 조건, 선제시 조건 그리고 이중과제 조건으로 모두 세 가지였으며, 접합 조건과 선제시 조건에서는 표적자극을 탐색하는 단독 과제를 수행하였고, 이중과제 조건에서는 선제시 조건의 시각 탐색과 시각적 작업기억 과제를 함께 수행하였다.

접합 조건에서는 500 ms 동안 응시점이 제시된 후, 실험 참가자들은 네 가지 방향으로 회전된 L 속에서 오른쪽 또는 왼쪽으로 회전된 T를 찾는 시각 탐색 과제를 수행하였다. 총 시행의 50%에서는 오른쪽으로 회전된 T, 나머지 50%에서는 왼쪽으로 회전된 T가 제시되었으며, 이 두 종류의 표적자극은 무선적인 순서로 제시되었다. 표적자극이 오른쪽으로 90° 회전되어 있으면 오른손의 검지로 ‘.’ 키를, 왼쪽으로 90° 회전되어 있으면 오른손의 중지로 ‘/’ 키를 가능한 한 빠르고 정확하게 누르도록 지시받았다.

선제시 조건에서는 500 ms 동안 응시점이 제시된 후, 방해자극이 1000 ms 동안 제시되었다. 선제시된 방해자극이 화면에 나타나 있는 상태에서 세 개의 방해자극과 한 개의 표적이 선제시 자극이 나타나지 않았던 위치에 동시에 제시되었다. 세 개의 방해자극과 한 개의 표적자극이 동시에 나타나면, 실험 참가자들은 접합 조건과 동일한 방법으로 표적자

극에 대해 반응해야 했다.

이중과제 조건에서는 응시점이 500 ms 동안 제시된 후 먼저 사각형 모양의 색 조각 네 개가 1000 ms 동안 나타났으며, 실험 참가자는 이 네 개의 색상을 기억해야 했다. 매 시행마다 색 조각은 화면 중앙을 기준으로 위, 아래, 오른쪽, 왼쪽의 동일한 위치에 나타났다. 색 조각이 화면에서 사라진 후, 선제시 조건과 마찬가지로 4, 8, 12개의 방해자극이 1000 ms 동안 먼저 제시되었고 세 개의 방해자극과 한 개의 표적자극이 나타나는 탐색 화면이 제시되면 실험 참가자들은 표적자극을 탐색하였다. 우선 실험 참가자는 표적자극의 회전 방향에 대해 선제시 조건과 동일한 방법으로 반응한 후, 곧이어 화면 중앙에 나타나는 색 조각의 색상이 각 시행의 처음에 제시되어 작업기억 상에 유지하고 있는 네 개의 색 조각 중의 하나와 같은 색상인지를 판별하여 같으면 ‘x(같음)’ 키를, 다르면 ‘z(다름)’ 키를 왼손 검지, 중지를 이용하여 누르도록 하였다(그림 1).

시각 탐색에서 표적자극을 찾는 데에 걸린 반응 시간과 정확율, 그리고 작업기억 과제 검사에서 걸린 반응 시간(한 개의 색 조각이 제시된 후 색상을 비교하여 같음 또는 다름 키를 눌러 반응하기까지의 시간)과 정확율을 측정하였다. 접합 조건, 선제시 조건, 이중과제 조건은 각각 블록으로 나누어져 있으며, 각 실험 참가자는 세 가지 제시 조건 모두를 실시하였다. 각 블록은 모두 60 시행으로 이루어져 있었으며, 각 블록마다 본 시행을 실시하기에 앞서 5회의 연습 시행을 실시하였고 블록의 순서는 실험 참가자 간 무선적으로 제시되었다.

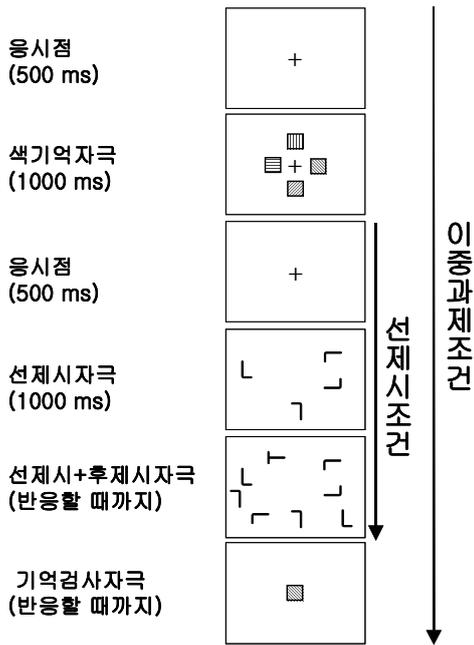


그림 1. 실험 1의 선제시 조건, 이중과제 조건의 실험 절차. 집합 조건에서는 모든 방해자극과 표적자극이 동시에 제시되었으며, 선제시 조건에서는 방해자극의 일부가 선제시되고 1000 ms 후에 세 개의 방해자극과 한 개의 표적자극이 제시되었다. 이중과제 조건에서는 네 가지 색상을 작업기억 상에 유지하면서 선제시 조건의 시각 탐색을 수행한 후, 마지막에 제시되는 색 조각이 작업기억 상에 유지하고 있는 것과 같은지 또는 다른지를 판별하도록 하였다.

결 과

시각 탐색과 작업기억 과제에서 모두 정반응 시간 분석에 포함되었으며, 제시 자극 수에 따른 반응 시간의 변화는 그림 2와 같이 나타났다. 집합 조건에서는 제시 자극 수가 증가함에 따라 반응 시간이 선형적으로 증가한 반면, 선제시 조건과 이중과제 조건에서는 거의 일정한 수준의 반응 시간을 보였다(표 1 참조).

표 1. 실험 1의 평균 반응 시간 (ms)과 평균 탐색 기울기 (ms/item)

제시자극수	8	12	16	탐색기울기
집합	1099.66	1385.82	1640.11	67.56
선제시	774.71	808.92	849.50	9.35
이중과제	860.61	884.77	954.19	11.70

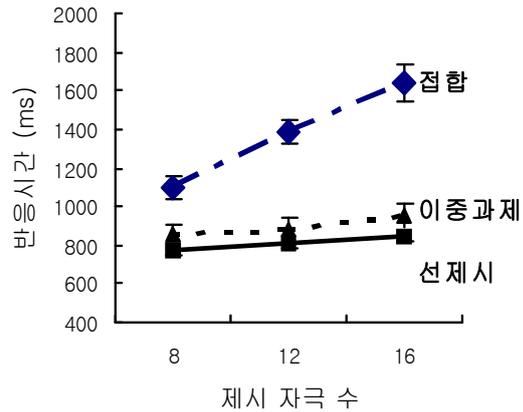


그림 2. 실험 1의 제시 자극 수에 따른 반응 시간 변화 그래프. 집합 조건에 비해 선제시 조건의 시각 탐색이 보다 효율적이었으며, 이중과제 조건의 시각 탐색 역시 선제시 조건만큼 효율적인 것으로 관찰되었다.

반복 측정 이원변량 분석(repeated measures two-way ANOVA) 결과, 제시 조건의 주효과는 유의미하였으며, $F(2, 24) = 92.543$, $MSe = 38778.44$, $p < .01$, 제시 자극 수의 주효과도 유의미하였다, $F(2, 24) = 39.412$, $MSe = 13813.18$, $p < .01$. 또한 제시 조건과 제시 자극 수와의 상호작용도 유의미한 것으로 나타났다, $F(4, 48) = 15.131$, $MSe = 15030.39$, $p < .01$.

집합 조건과 선제시 조건을 비교해보면, 제시 조건의 주효과는 유의미하였으며, $F(1, 12) = 133.604$, $MSe = 92904.78$, $p < .01$, 제시 자극 수의 주효과도 유의미하였다, $F(1, 12) =$

41.460, $MS_e = 6372.07$, $p < .01$. 또한 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용도 유의미하였다, $F(1, 12) = 40.653$, $MS_e = 41894.13$, $p < .01$.

선제시조건과 이중과제 조건을 비교해보았을 때, 제시 조건의 주효과는 유의미하였으며, $F(1, 12) = 6.169$, $MS_e = 49865.47$, $p < .05$, 제시 자극 수의 주효과도 유의미하였다, $F(1, 12) = 56.942$, $MS_e = 6372.07$, $p < .05$. 그러나 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용은 유의미하지 않았다, $F(1, 12) = .099$, $MS_e = 23275.83$, $p > .05$. 시각 탐색 과제의 정확율은 평균 99%였으며, 작업기억 과제의 정확율은 평균 86%로 나타났다. 제시 자극 수에 따른 작업기억 과제의 정확율은 제시 자극 수가 8개일 때 86%, 12개일 때 88%, 16개일 때 84%였으며 제시 자극 수와 작업기억 과제 정확율 간의 상쇄(trade-off) 경향성은 관찰되지 않았다.

논 의

실험 결과, 접합 조건과 선제시 조건을 비교해보았을 때, 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용이 유의미하였으므로, 선제시 조건의 시각 탐색이 접합 조건의 시각 탐색보다 효율적이었다고 해석할 수 있다. 즉, 선제시 조건에서 유의미한 선제시 효과가 관찰되었다. 또한 선제시 조건과 이중과제 조건에서 제시 자극 수가 증가함에도 불구하고 반응 시간이 거의 일정한 것으로 관찰되었다. 제시 자극 수가 8, 12, 16일 경우 선제시 자극의 개수가 4, 8, 12로써 제시 자극 총 개수의 절반 이상을 차지하였고, 후제시 자극의 개수가 네 개로 항상 일정했기 때문에 이러한 현상이 나타난 것으로 볼 수 있다. 이중과제 조건의 반응 시

간이 선제시 조건에 비해 전반적으로 높은 것은 시각 탐색 과제와 시각적 작업기억 과제 간의 과제 전환(task switching)때문인 것으로 볼 수 있다. 일반적으로 한 가지 과제를 반복적으로 수행할 때에 비해 동시에 여러 가지 과제를 수행할 때에는 반응 시간은 높아지고 정확율은 떨어지는 양상을 보이는데 (Jersild, 1927), 본 실험의 이중과제 조건에서도 작업기억 과제와 선제시 탐색 간의 과제 전환으로 인해 반응 시간이 전반적으로 증가한 것으로 해석할 수 있다.

선제시 조건과 이중과제 조건을 비교해보면 두 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용이 유의미하지 않았으므로, 작업기억 상에 시각적인 정보를 유지하도록 하는 과제의 수행은 선제시 효과를 감소시키지 않았다. 만약 시각적 작업기억의 사용이 선제시 효과에 부적 영향을 미쳤다면, 시각적 작업기억이 시각적 표시에 관여한다고 볼 수도 있을 것이다. 그러나 제시 자극 수가 증가함에 따른 반응 시간의 변화에서 탐색 기울기의 유의미한 변화가 없다는 실험 결과를 통해 볼 때, 비공간적이며 시각적인 작업기억은 선제시 효과에 영향을 주지 않음을 추론해 볼 수 있다.

Woodman, Vogel과 Luck(2001)은 공간적 속성이 배제된 시각 정보를 작업기억 상에 유지하도록 하는 과제와 시각 탐색을 동시에 수행하도록 하였을 때, 이 두 과제가 서로의 수행을 방해하지 않음을 밝힘으로써, 주의와 작업기억 간의 밀접한 관계가 있다는 기존의 주장과 불일치하는 연구 결과를 보여주었다. 색상과 같은 비공간적인 시각 정보를 작업기억 상에 유지하고 있는 것은 시각 탐색은 물론 시각적 표시의 탐색 효율에도 영향을 주지 않는다는 것을 실험 1의 결과를 통해 알 수 있다.

실험 2. 공간적 작업기억 과제와 선제시 효과

실험 1에서 시각적 작업기억 과제를 수행하는 것은 선제시 효과를 유의미하게 감소시키지 못했다. 그러나 시각적 표시가 선제시 자극의 위치 역제로 인해 나타난다는 기존의 연구 결과(Watson & Humphreys, 2000)를 토대로 시각적 표시는 공간적 주의와 밀접한 관련이 있다고 볼 수 있다. 또한 공간적 작업기억은 공간적 주의를 요구하는 시각 탐색과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되었으므로(Oh & Kim, 2004; Woodman & Luck, 2004), 시각적 표시는 공간적 작업기억의 영향을 받을 수도 있을 것이다. 따라서 실험 2에서는 공간적 작업기억 과제의 수행이 선제시 효과에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해 선제시 탐색과 동시에 수행하는 이중과제를 사용하였다. 만약 시각적 표시에 공간적 작업기억이 관여하거나, 시각적 표시에 소모되는 인지적 자원이 공간적 작업기억에서 필요로 하는 인지적 자원과 동일하다면, 공간적 작업기억 과제를 수행할 때 제시 자극 수가 증가함에 따라 표적자극의 탐색 효율은 저하될 것이다. 반대로 시각적 표시와 공간적 작업기억이 서로 인지적 자원을 공유하지 않거나, 이들 두 기제가 서로 독립적이라면, 공간적 작업기억 과제를 수행하더라도 선제시 효과는 감소하지 않을 것이라고 예상하였다.

실험 2의 시각 탐색자극 제시 조건은 실험 1과 마찬가지로 접합 조건 선제시 조건 이중과제 조건으로 모두 세 가지였다. 접합 조건 선제시 조건은 모두 실험 1과 동일하였으며, 실험 2의 이중과제 조건에서는 매 시행 처음에 제시되는 공간적인 정보를 작업기억 상에

유지하고 시각 탐색이 끝난 후 화면에 제시된 위치가 작업기억 상의 공간적 정보와 일치하는지를 비교하여 반응해야만 했다.

방 법

실험 참가자 연세대학교에서 교양 심리학을 수강하는 학생 14 명을 대상으로 실험을 실시하였다. 모든 실험 참가자는 나안 혹은 교정 시력 0.8 이상의 정상 시력이었으며, 본 실험의 가설과 목적을 알지 못했다.

도구 및 장치 실험 1과 모두 동일하였다.

자극 시각 탐색자극은 실험 1과 동일하였으며, 이중과제 조건에서 사용된 작업기억 과제의 자극은 시각도 $0.51^\circ \times 0.51^\circ$ 크기의 회색 사각형이었다.

절차 실험 1과 마찬가지로 접합 조건과 선제시 조건, 두 가지의 단독 과제와 한 가지의 이중과제를 수행하도록 하였다. 공간적 작업기억 과제로는 제시되는 네 개의 위치를 외우게 하는 과제를 사용하였다.

실험 1의 이중과제 조건과 마찬가지로 500 ms 동안 응시점이 제시된 후, 1000 ms 동안 제시되는 네 개의 사각형의 위치를 작업기억 속에 유지해야 했다. 시각도 $6.45^\circ \times 6.45^\circ$ 크기의 4 X 4 격자에 네 모서리 부분과 정 가운데의 네 위치를 제외하고, 상하좌우의 두 개의 위치 중의 각각 한 곳에 한 개의 회색 사각형이 제시되었다. 이 때 만약 작업기억 과제의 사각형이 나타나는 위치와 탐색자극의 위치가 같을 경우 서로의 수행을 방해하거나 촉진할 가능성이 있으므로, 사각형의 위치와

시각 탐색자극의 위치는 겹치지 않도록 조작하였다. 화면 중앙을 중심으로 시각도 $6.45^\circ \times 6.45^\circ$ 크기만큼의 공간에는 작업기억 자극이 제시되었으며, 시각 탐색자극은 시각도 $6.45^\circ \times 6.45^\circ$ 의 바깥 부분에 제시되었다. 사각형이 화면에서 사라지면, 4, 8, 또는 12개의 방해자극이 1000 ms 동안 제시된 후 곧이어 방해자극 세 개와 표적자극 한 개가 나타나면 실험 참가자들은 실험 1과 동일한 방법으로 반응해야 했다. 표적자극 탐색이 끝나면, 한 개의 사각형이 나타나는데 실험 참가자는 이 사각형의 위치가 작업기억 속에 담아두었던 사각형의 위치와 같은 것인지를 판별하여, 같으면

‘x(같음)’, 다르면 ‘ㄴ(다름)’ 키를 왼손으로 눌러야 했다(그림 3). 실험 1과 실험 2의 작업기억 과제 모두 작업기억 상에 시각 정보를 유지 또는 보관하도록 요구하는 것이지만, 실험 1은 공간적 요소를 배제한 시각적 정보를, 실험 2는 공간적인 속성을 지닌 시각적 정보를 작업기억 상에 유지하도록 한다는 점이 두 과제의 차이점이었다.

실험 1과 마찬가지로, 실험 2에서도 표적자극을 찾는 데에 걸린 반응 시간과 정확율, 작업기억 과제를 수행하는 데에 걸린 반응 시간(한 개의 사각형이 제시된 시점으로부터 같음/다름 키를 눌러 반응하기까지의 시간)과 정확율을 측정하였다. 접합 조건, 선제시 조건, 이중과제 조건은 각각 블록으로 나누어져 있으며, 각 실험 참가자는 세 가지 조건 모두를 실시하였다. 각 블록은 51 시행으로 이루어져 있었으며, 본 시행에 앞서 5 회의 연습 시행을 실시하였다. 블록의 순서는 실험 참가자간 무선적으로 제시되었다.

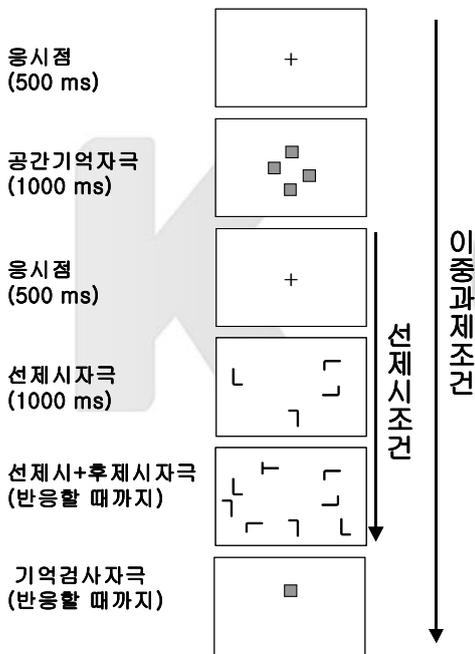


그림 3. 실험 2의 선제시 조건, 이중과제 조건의 실험 절차. 이중과제 조건에서는 매 시행 처음 제시된 네 위치를 작업기억 상에 유지한 상태에서 선제시 조건의 시각 탐색을 수행하였다. 시각 탐색이 끝나면 곧이어 제시된 위치가 작업기억에 담고 있는 위치와 같은지를 비교하여 같음/다름 반응키를 눌러야 했다.

결 과

시각 탐색과 작업기억 과제에서 모두 정반응 시간만 분석에 포함시켰으며, 제시 자극 수에 따른 반응 시간의 변화는 그림 4와 같이 나타났다. 제시 자극 수가 증가함에 따라 접합 조건의 반응 시간은 선형적으로 증가하는 양상을 보였고 기울기가 컸지만, 선제시 조건과 이중과제 조건에서는 전체 제시 자극 개수의 영향을 거의 받지 않고 거의 일정한 반응 시간을 보였다(표 2 참조).

반복 측정 이원변량 분석 결과, 제시 조건의 주효과는 유의미하였으며, $F(2, 26) = 101.442$, $MSe = 36851.68$, $p < .01$, 제시 자극 수의 주

효과도 유의미하였다, $F(2, 26) = 14.077$, $MSe = 27771.75$, $p < .01$. 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용도 역시 유의미하였다, $F(4, 52) = 7.209$, $MSe = 32169.74$, $p < .01$.

접합 조건과 선제시 조건을 비교해볼 때, 제시 조건의 주효과는 유의미하였으며, $F(1, 13) = 185.405$, $MSe = 70502.01$, $p < .01$, 제시 자극 수의 주효과도 유의미하였다, $F(1, 13) = 21.211$, $MSe = 12255.67$, $p < .01$. 또한 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용도 유의미하였다, $F(1, 13) = 38.675$, $MSe = 29953.05$, $p < .01$.

선제시 조건과 이중과제 조건을 비교해볼 때, 제시 조건의 주효과는 유의미하였고 $F(1, 13) = 8.179$, $MSe = 46958.33$, $p < .05$, 제시 자극 수의 주효과도 유의미하였다, $F(1, 13) = 21.211$, $MSe = 12255.67$, $p < .01$. 그러나 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용은 유의미하지 않았다, $F(1, 13) = .231$, $MSe = 64786.23$, $p > .05$. 시각 탐색 과제의 정확율은 평균 99%였으며, 작업기억 과제의 정확율은 평균 75%로 나타났다. 제시 자극 수에 따른 작업기억 과제의 정확율은 제시 자극 수가 8개일 때 74%, 12개일 때 75%, 16개일 때 76%였으며 제시 자극 수와 작업기억 과제 정확율 간의 상쇄(trade-off) 경향성은 관찰되지 않았다.

논 의

실험 2의 접합 조건과 선제시 조건을 비교해보면, 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용이 유의미하였다. 이러한 결과는 접합 조건에 비해 선제시 조건의 탐색이 유의미하게 효율적임을 의미하며, 선제시 효과가 나타났다고 말할 수 있다.

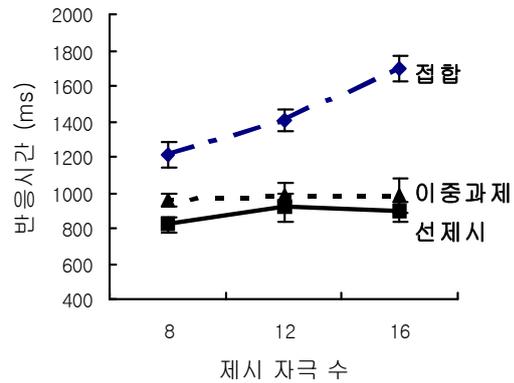


그림 4. 실험 2의 제시 자극 수에 따른 반응 시간의 변화 그래프. 제시 자극 수가 증가함에 따라 접합 조건의 반응 시간은 선형적으로 증가하였으나, 선제시 조건과 이중과제 조건의 반응 시간은 제시 자극 수에 관계없이 거의 일정하게 나타났다.

표 2. 실험 2의 평균 반응 시간 (ms)과 평균 탐색 기울기 (ms/item)

제시자극수	8	12	16	탐색기울기
접합	1214.83	1404.53	1694.15	59.92
선제시	823.48	920.41	895.99	9.07
이중과제	957.54	985.41	983.82	3.29

그러나 선제시 자극의 개수가 4, 8, 12로 증가할 때, 선제시 조건과 이중과제 조건의 두 가지 제시 조건과 제시 자극 수 간의 탐색 효율성은 유의미한 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 공간적 작업기억 과제의 수행은 선제시 효과를 유의미하게 감소시키지 못하였음을 의미하며, 이것을 통해 시각적 표시에서 선제시 자극의 처리는 공간적 작업기억 과제 수행으로 인해 방해받지 않음을 알 수 있다. 실험 1과 마찬가지로, 실험 2의 이중과제 조건의 반응 시간이 선제시 조건에 비해 전반적으로 높은 것은 시각 탐색 과제와 공간적 작

업기억 과제 간의 과제 전환 때문인 것으로 해석할 수 있다.

Jiang과 Wang(2004)은 선제시 자극에 대한 시각적 작업기억은 시각적 표시에 관여하지 않는다고 주장하였으나, 이들의 연구에서는 공간적 기억이 시각적 표시에 관여하고 있을 가능성을 완전히 배제하지는 못하였다. 보다 직접적인 방법으로 공간적 작업기억의 사용 가능성을 알아보기 위해 본 연구의 실험 3에서는 공간적 작업기억 과제를 선제시 조건의 탐색에 추가적으로 부여하였다. 실험 결과, Jiang 등의 주장과 마찬가지로 공간적 작업기억 과제의 수행이 선제시 자극의 처리에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 따라서 선제시 자극의 처리에는 공간적 작업기억이 관여하지 않는다고 볼 수 있다. 다시 말해, 시각적 표시와 공간적 작업기억은 모두 공간적 주의와 밀접한 관련을 가지고 있음에도 불구하고, 이 두 기제는 서로 독립적인 것으로 추정할 수 있다.

실험 3. 집행적 작업기억 과제와 선제시 효과

실험 1과 2에 의하면, 시각적, 공간적 작업기억의 부하는 선제시 효과를 유의미하게 감소시키지 않았다. 그러나 작업기억에는 시각적 작업기억, 공간적 작업기억 뿐만 아니라 집행적 작업기억도 있으며, 작업기억이 시각적 표시에 관여하는지에 대한 의문을 해결하기 위해서는 집행적 작업기억 과제가 이중과제로 주어졌을 경우 선제시 효과가 어떻게 변하는지 관찰할 필요가 있다.

따라서 실험 3의 이중과제 조건에서는 집행적 작업기억 과제를 선제시 조건의 탐색과 동

시에 수행하도록 하였다. 실험 1에서는 시각적 정보를, 실험 2에서는 공간적인 정보를 각각 작업기억 상에 유지하고 있다가 표적자극 탐색이 끝난 후, 작업기억 상의 정보를 그대로 인출하는 과정만 거쳤다. 그러나 실험 3의 이중과제 조건에서 사용된 집행적 작업기억 과제는 받아들인 정보를 일정 기준에 근거하여 조작하는 과정이 요구되었다. 만약 집행적 작업기억이 시각적 표시에 관여한다면, 이중과제 조건에서 선제시 효과가 유의미하게 감소할 것이며, 이러한 결과는 선제시 자극의 처리에 집행적 작업기억이 사용되거나 또는 시각적 표시와 집행적 작업기억이 인지적 자원을 공유하고 있음을 시사해준다고 주장할 수 있을 것이다. 반면에 시각적 표시에 집행적 작업기억이 사용되지 않는다면 이중과제 조건에서 탐색 효율이 감소하지 않을 것이며, 이러한 결과는 시각적 표시에 집행적 작업기억이 사용되지 않음을 보여준다고 말할 수 있을 것이다.

실험 1과 2에서처럼 제시 자극의 전체 개수 8, 12, 16 중에서 후제시 자극의 개수는 네 개로 고정시키고 선제시 자극의 개수만 4, 8, 12로 증가시킴으로써, 집행적 작업기억 과제의 수행이 선제시 효과에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보았다. Han과 Kim(2004)의 연구에서처럼, 선제시 조건의 탐색을 수행하는 동안 주어진 알파벳을 재배열하는 과제를 집행적 작업기억 과제로 사용하였다. 이중과제 조건에서는 매 시행 처음에 제시된 무선적인 순서의 네 개의 알파벳을 시각 탐색을 수행하는 동안 알파벳 순서대로 재배열하여, 표적자극을 찾은 후에 알파벳 순서대로 자판을 통해 가능한 한 빠르게 입력해야 했다.

방 법

실험 참가자 연세대학교에서 교양 심리학을 수강하는 학생 17 명을 대상으로 실험을 실시하였다. 모든 실험 참가자는 나안 혹은 교정 시력 0.8 이상의 정상 시력이었으며, 본 실험의 가설과 목적을 알지 못했다.

도구 및 장치 모두 실험 1과 동일하였다.

자극 시각 탐색자극은 실험 1과 동일하였으며, 이중과제 조건에서 사용된 작업기억 과제의 자극은 시각도 1.03° x 1.03° 크기의 흰색의 대문자 알파벳 26개였다.

절차 실험 3에서도 역시 실험 1, 2에서와 마찬가지로 제시 자극 수는 8, 12, 16이었으며, 제시 조건은 접합 조건, 선제시 조건 그리고 이중과제 조건으로 모두 세 가지였다. 접합 조건과 선제시 조건의 절차는 실험 1과 동일하였으며, 이중과제 조건도 실험 1과 비슷한 절차를 이용하였다.

이중과제 조건에서는 각 시행의 처음에 500 ms 동안 응시점이 제시된 후, 500 ms 동안 제시되는 네 개의 알파벳을 작업기억 속에서 알파벳 순서대로 재배열하기 시작해야 했다. 방해자극 4, 8, 또는 12개가 1000 ms 동안 제시되었고, 비어있던 공간에 세 개의 방해자극과 한 개의 표적자극이 나타났다. 이 때, 실험 참가자는 오른쪽 또는 왼쪽으로 회전되어 있는 T를 찾아 해당하는 키를 가능한 한 빠르고 정확하게 눌러야 했다. 실험 참가자는 시각 탐색에 앞서 보았던 무선적 순서의 알파벳 네 개를 선제시 조건의 시각 탐색을 수행하는 동안 알파벳 순서에 맞게 재배열하여, 표적자극

의 탐색이 끝난 직후 자판으로 직접 입력하였다(그림 5).

실험 1과 마찬가지로, 표적자극을 찾는 데에 걸린 반응 시간과 정확율, 작업기억 과제를 수행하는 데에 걸린 반응 시간('입력'라는 문구가 나온 시간으로부터 알파벳 네 개의 입력이 완료된 시간)과 정확율을 측정하였다. 접합 조건, 선제시 조건, 이중과제 조건은 각각 블록으로 나누어져 있었으며, 각 실험 참가자는 세 가지 제시 조건의 실험을 모두 실시하였다. 각 블록은 42 시행으로 이루어져 있었으며, 각 블록마다 본 시행을 실시하기에 앞서 5회의 연습 시행을 실시하였다. 그리고 블록의 순서는 실험 참가자 간 무선적으로 제시되었다.

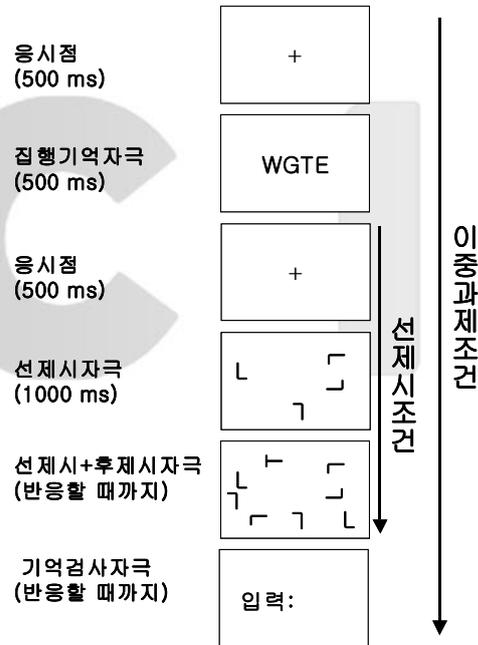


그림 5. 실험 3의 선제시 조건, 이중과제 조건의 실험 절차. 응시점 다음에 제시되는 알파벳 네 개를 선제시 조건의 시각 탐색을 수행하는 동안 알파벳 순서대로 재배열하여 시각 탐색을 끝낸 직후 자판을 통해 입력하여야 했다.

결 과

시각 탐색과 작업기억 과제에서 모두 옳은 반응만 분석에 포함되었으며, 제시 자극 수에 따른 반응 시간의 변화는 그림 6과 같이 나타났다. 제시 자극 수가 많아짐에 따라 접합 조건에서는 표적자극을 찾는 시간이 선형적으로 증가하였고 기울기가 비교적 큰 편이지만 (75.164 ms/item), 선제시 조건과 이중과제 조건에서는 그 증가폭이 매우 미미하였다(표 3).

반복 측정 이원변량 분석 결과, 제시 조건의 주효과는 유의미하였으며, $F(2, 32) = 38.121$, $MSe = 104195.54$, $p < .01$, 제시 자극 수의 주효과도 유의미하였다, $F(2, 32) = 28.626$, $MSe = 28158.79$, $p < .01$. 또한 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용도 유의미하였다, $F(4, 64) = 21.258$, $MSe = 19670.27$, $p < .01$.

접합 조건과 선제시 조건을 비교해볼 때, 제시 조건의 주효과는 유의미하였으며, $F(1, 16) = 228.594$, $MSe = 65432.40$, $p < .01$, 제시 자극 수의 주효과도 유의미하였다, $F(1, 16) = 48.110$, $MSe = 11144.79$, $p < .01$. 또한 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용도 유의미하였다, $F(1, 16) = 56.427$, $MSe = 50668.18$, $p < .05$.

선제시조건과 이중과제 조건을 비교해볼 때, 제시 조건의 주효과는 유의미하였으며, $F(1, 16) = 29.667$, $MSe = 258486.98$, $p < .01$, 제시 자극 수의 주효과도 유의미하였다, $F(1, 16) = 48.110$, $MSe = 11144.79$, $p < .01$. 그러나 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용은 유의미하지 않았다, $F(1, 16) = 3.020$, $MSe = 33723.09$, $p > .05$. 시각 탐색 과제의 정확율은 평균 99%였으며, 작업기억 과제의 정확율은 평균 77%였다. 제시 자극 수에 따른 작업기억

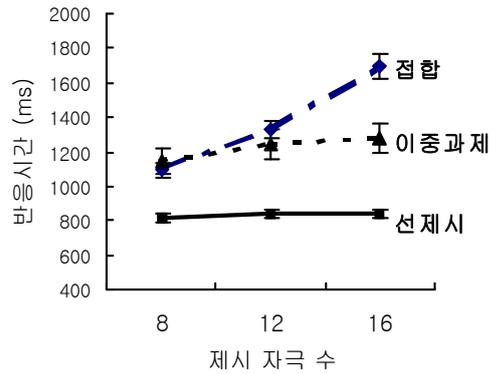


그림 6. 실험 3의 제시 자극 수에 따른 반응 시간의 변화 그래프. 제시 자극 수가 증가함에 따라 접합 조건에서는 반응 시간이 선형적으로 증가하였으나, 선제시 조건과 이중과제 조건에서는 탐색 효율성의 차이를 보이지 않았다.

표 3. 실험 2의 평균 반응 시간 (ms)과 평균 탐색 기울기 (ms/item)

제시자극수	8	12	16	평균기울기
접합	1094.76	1328.46	1696.07	75.16
선제시	819.21	834.86	840.55	2.67
이중과제	1143.55	1240.02	1274.36	16.35

과제의 정확율은 제시 자극 수가 8개일 때 74%, 12개일 때 80%, 16개일 때 79%였으며 제시 자극 수와 작업기억 과제 정확율 간의 상쇄(trade-off) 경향성은 관찰되지 않았다.

논 의

실험 결과, 접합 조건과 선제시 조건을 비교해보았을 때, 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용은 유의미하였다. 즉, 선제시 조건의 시각 탐색이 접합 조건에서보다 더 효율적이므로, 유의미한 선제시 효과가 관찰되었다고

할 수 있다. 실험 1과 마찬가지로, 제시 자극 수가 8, 12, 16일 때, 선제시 자극의 개수가 4, 8, 12로써 선제시 자극의 개수가 전체 제시 자극 수의 절반 이상을 차지하였으므로, 선제시 효과가 뚜렷하게 나타났다.

선제시 조건과 이중과제 조건 이들 두 제시 조건과 제시 자극 수의 상호작용이 유의미하지 않았다는 결과는 집행적 작업기억 과제의 수행이 선제시 효과를 감소시키지 않았음을 의미한다. 실험 1, 2의 결과와 마찬가지로, 이중과제 조건의 반응 시간이 증가한 것은 선제시 탐색과 집행적 작업기억 과제 간의 과제 전환 때문인 것으로 해석할 수 있다.

Han과 Kim(2004)은 집행적 작업기억 과제와 시각 탐색 과제를 동시에 수행할 때, 이들 두 기제가 서로의 수행을 방해함을 밝힘으로써, 시각 탐색에서 요구되는 선택적 주의가 집행적 작업기억과 밀접한 관계가 있다고 결론지었다. 집행적 작업기억이 시각 탐색과는 밀접한 관계가 있고 공통의 인지적 자원을 요구하지만, 실험 3에서 시각적 표시와 집행적 작업기억 간의 연관성은 발견되지 않았다. 따라서 선제시 효과가 집행적 작업기억의 방해받지 않는다는 실험 3의 결과는 시각적 표시는 일반적인 시각 탐색과는 다른 속성을 갖는 기제이며, 집행적 작업기억과 독립적임을 말해준다고 볼 수 있다.

종합논의

실험 1에서는 시각적 작업기억 과제를 수행하면서 선제시 탐색을 동시에 수행했을 경우, 실험 2에서는 공간적 작업기억 과제를 수행하면서 선제시 탐색을 수행했을 경우, 그리고 실험 3에서는 집행적 작업기억 과제를 수행하

면서 선제시 탐색을 동시에 수행했을 경우, 시각적 표시로 인한 선제시 효과가 어떻게 변화하는지에 대해 살펴보았다. 실험 결과, 실험 1, 2, 3의 이중과제 조건에서의 선제시 효과는 각각의 작업기억 과제를 수행함으로써 인한 방해를 받지 않은 것으로 나타났다. 실험 1, 2, 3의 결과를 종합해볼 때 여러 가지 작업기억 과제와 선제시 조건의 탐색을 동시에 수행하는 것은 선제시 효과에 방해를 주지 않으며, 이를 통해 시각적 표시와 작업기억은 서로 독립적인 기제라고 결론내릴 수 있다.

이처럼 시각적 표시와 작업기억 과제가 서로의 수행을 방해하지 않는 것으로 나타난 이유를 크게 두 가지 정도로 생각해볼 수 있다.

첫째로, 후제시 자극의 개수가 항상 네 개로 고정되어 있었으므로, 표적자극의 탐색이 너무 쉬웠기 때문에 작업기억 과제의 수행이 선제시 효과를 방해하지 않았을 수도 있다. 즉 선제시 조건의 표적자극을 탐색하는 과정에서 후제시 자극의 개수가 너무 적어서 매우 적은 인지적 자원을 요구하였기 때문에 선제시 효과가 유의미하게 감소하지 않았을 가능성을 제기해볼 수 있다. 그러나 본 연구에는 포함되지 않았지만, 본 연구의 실험 조건과는 반대로 선제시 자극의 개수가 일정하고 후제시 자극의 개수가 4, 8, 12개로 증가하는 실험도 실시하였다. 이 실험에서 제시 자극 수를 제외한 다른 조건과 자극, 절차 등은 본 연구의 실험과 모두 동일하였다. 실험 결과, 실험 1의 선제시 조건과 이중과제 조건을 비교하였을 때 제시 조건과 제시 자극 수의 주효과는 유의미하였으나, $F(1, 12) = 4.868$, $MS_e = 35528.58$, $p < .05$; $F(1, 12) = 150.434$, $MS_e = 7632.18$, $p < .01$, 제시 자극 수와 제시 조건 간의 상호 작용은 유의미하지 않은 것으로 나

타났다, $F(1, 12) = .062$, $MS_e = 34639.48$, $p > .05$. 작업기억 과제의 정확율은 평균 86%로 나타났으며 제시 자극 수와 작업기억 과제의 정확율 간의 상쇄(trade-off)는 관찰되지 않았다. 실험 2의 경우, 선제시 조건과 이중과제 조건을 비교하였을 때 제시 조건과 제시 자극 수의 주효과는 유의미하였으나, $F(1, 17) = 10.059$, $MS_e = 75316.91$, $p < .01$; $F(1, 17) = 113.611$, $MS_e = 7900.89$, $p < .01$, 제시 자극 수와 제시 조건 간의 상호 작용은 유의미하지 않았다, $F(1, 17) = 3.670$, $MS_e = 56774.62$, $p > .05$. 작업기억 과제의 정확율은 평균 74%로 나타났으며, 역시 제시 자극 수와 작업기억 과제의 정확율 간의 상쇄(trade-off)는 관찰되지 않았다. 실험 3의 선제시 조건과 이중과제 조건을 비교하였을 때 제시 조건과 제시 자극 수의 주효과는 유의미하였으나, $F(1, 16) = 21.323$, $MS_e = 106987.05$, $p < .01$; $F(1, 16) = 186.855$, $MS_e = 17837.34$, $p < .01$, 제시 자극 수와 제시 조건 간의 상호 작용은 유의미하지 않았다, $F(1, 16) = .081$, $MS_e = 80434.85$, $p > .05$. 작업기억 과제의 정확율은 평균 75%로 나타났으며, 제시 자극 수와 작업기억 과제의 정확율 간의 상쇄(trade-off)는 관찰되지 않았다. 즉, 후제시 자극의 개수가 4, 8, 12로 증가하는 조건에서는 시각 탐색 과제가 적지 않은 인지적 자원을 요구함에도 불구하고, 작업기억 과제의 수행은 선제시 효과를 유의미하게 감소시키지 않았다. 그러므로 본 실험에서 사용된 시각 탐색 과제가 매우 적은 인지적 자원을 요구하였기 때문에 이중과제 조건에서 선제시 효과가 방해받지 않았다고 보기는 어렵다.

둘째로, 시각적 표시가 하향적 처리 속성을 지닌 주의 기제라고 보고되기는 하였으나 (Watson & Humphreys, 1997), 그보다는 보다 더

상향적 처리 과정에 의해 발생하는 기제이기 때문에 작업기억의 방해를 받지 않았을 수 있다. Donk와 Theeuwes(2001)는 후제시 자극이 자동적으로 주의를 포획함으로 인해 선제시 효과가 나타난다고 설명하였으며, Jiang, Chun과 Marks(2002b)는 선제시 자극과 후제시 자극 간의 지각적 군집화로 인해 선제시 효과가 나타나는 것이라는 보고하였다. 만약 이들의 연구 결과처럼 자동적인 주의 포획과 지각적 군집화로 인해 선제시 효과가 나타나는 것이라면, 시각적 표시는 정보 처리 단계에서 상대적으로 낮은 수준의 처리 과정에서 일어나는 기제로 간주될 수 있다. 만약 시각적 표시가 상대적으로 상위 수준의 처리 기제인 작업기억의 영향을 받지 않는다면, 선제시 효과가 상향적 처리 과정에 의존하고 있고 자동적인 속성을 지니고 있다고 해석할 수 있다. 따라서 본 연구의 이중과제 조건에서 작업기억을 동시에 사용함에도 불구하고 선제시 효과가 감소하지 않았다는 결과는 시각적 표시가 하향적 기제라기보다는 상향적 처리 과정에 의존적인 기제를 지지해주는 증거라고 볼 수 있다.

시각적 표시가 하향적 처리 속성을 지닌 고유 의 억제 기제인지, 또는 주의의 자동적 포획이나 지각적 군집화로 인한 것인가에 관한 문제는 본 실험의 결과만으로는 단정하기 어려우며, 이 의문을 해결하기 위해서는 보다 더 정교한 연구가 필요할 것이다. 다만 본 연구는 선제시 효과가 작업기억 과제의 수행에 의해 감소되지 않는다는 것을 보여줌으로써, 시각적 표시는 작업기억에 대해 독립적인 기제이며 작업기억과 관련된 인지적 자원을 소모하지 않음을 시사하였다. 그리고 시각적 표시가 작업기억과 독립적이라는 해석을 바탕으로, 시각적 표시가 지각적이고 상향적인 기제

라는 주장을 지지할 수 있다.

또한 본 실험의 결과는 시각적 표시와 회귀 억제(IOR)는 서로 다른 기제임을 말해주는 한 가지 증거로 볼 수도 있다. 시각적 표시가 이미 한 번 주의를 주었던 물체나 위치를 배제하고 새로운 자극에 주의를 우선적으로 할당하게 한다는 점에서 회귀 억제와 비슷한 것처럼 보인다. 그러나 시각적 표시는 회귀 억제와는 다르다는 것을 보여주는 증거가 제시되어 왔다. 우선, 회귀 억제에서는 마지막으로 주의를 주어졌던 넷 또는 다섯 위치만이 억제될 수 있기 때문에 회귀 억제에서 억제될 수 있는 위치나 물체의 용량은 지극히 제한적인 것으로 보고되었다(Watson, Humphreys & Olivers, 2003). 그러나 시각적 표시는 선제시 자극이 30개 이상일 때, 그리고 새롭게 제시되는 자극이 15개일 때에도 나타나는 것으로 밝혀졌으며, 이것은 시각적 표시가 회귀 억제와는 다른 기제임을 시사하는 하나의 증거가 될 수 있다(Jiang, Chun & Marks, 2002a; Theeuwes, Kramer & Atchley, 1998). 또한 회귀 억제의 경우, Castel, Pratt와 Craik(2003)는 공간적 작업기억 과제를 수행하는 것은 회귀 억제를 방해하는 것으로 보고하였다. 그러나 본 실험에서 시각적 표시는 공간적 작업기억을 사용하도록 할 때에도 방해 받지 않음을 보여 주었다. 그러므로 본 실험의 결과는 시각적 표시가 회귀 억제와는 다른 기제라는 설명(Watson et al., 2003)을 뒷받침해주는 또 하나의 근거가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, 10(4), 443-446.
- Castel, A. D., Pratt, J., & Craik, F. I. M. (2003). The role of spatial working memory in inhibition of return: Evidence from divided attention tasks. *Perception & Psychophysics*, 65(6), 970-981.
- Donk, M., & Theeuwes, J. (2001). Visual marking beside the mark: Prioritizing selection by abrupt onsets. *Perception & Psychophysics*, 63(5), 891-900.
- Han, S. H., & Kim, M. -S. (2004). The influence of working memory on visual search efficiency: Visual search does not remain efficient when working memory is working. *Psychological Science*, 15(9), 623-628.
- Jersild, A. T. (1927). *Mental set and shift*. Archives of Psychology, Whole No. 89.
- Jiang, Y., Chun, M. M., & Marks, L. E. (2002a). Visual marking: Dissociating effects of new and old set size. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 28(2), 293-302.
- Jiang, Y., Chun, M. M., & Marks, L. E. (2002b). Visual marking: Selective attention to asynchronous temporal groups. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(3), 717-730.
- Jiang, Y., & Wang, S. W. (2004). What kinds of memory supports visual marking? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(1), 79-91.
- Kim, M. -S., & Cave, K. R. (1999). Grouping effects on spatial attention in visual search. *The Journal of General Psychology*, 126(4), 326-352.
- Kim, M. -S., & Cave, K. R. (2001). Perceptual

- grouping via spatial selection in a focused-attention task, *Vision Research*, 41(5), 611-624.
- Oh, S. -H., & Kim, M. -S. (2004). The role of spatial working memory in visual search efficiency. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 275-281.
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In H. Bouma & D. G. Bouwhuis (Eds.), *Attention and Performance X* (pp. 531-556). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Theeuwes, J., Kramer, A. F., & Archley, P. (1998). Visual marking of old objects. *Psychological Review*, 5(1), 130-134.
- Treisman, A. (1986). Features and objects in visual processing, *Scientific American*, 255 (5), 114B.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136.
- Treisman, A. & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(3), 459-478.
- Watson, D. G., & Humphreys, G. W. (1997). Visual marking: Prioritizing selection for new objects by top-down attentional inhibition of old objects. *Psychological Review*, 104(1), 90-122.
- Watson, D. G., & Humphreys, G. W. (2000). Visual marking: Evidence for inhibition using a probe-dot detection paradigm. *Perception & Psychophysics*, 62(3), 471-481.
- Watson, D. G., Humphreys, G. W., & Olivers, C. N. L. (2003). Visual marking: Using time in visual selection. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(4), 180-186.
- Woodman, G. F., Vogel, E. L., & Luck, S. J. (2001). Visual search remains efficient when visual working memory is full. *Psychological Science*, 12(3), 219-224.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2004). Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 269-274.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1984). Abrupt visual onsets and selective attention: Evidence from visual search, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10(5), 601-621.

1차원고 접수: 2005. 6. 30

2차원고 접수: 2005. 11. 10

최종게재결정: 2005. 12. 1

Visual Marking is Independent of Working Memory

Kyeongjin Tark

Min-Shik Kim

Department of Psychology, Yonsei University

Visual marking is one of the mechanisms contributing to efficient processing of visual information, by deprioritizing visual attention for old items irrelevant to the behavioral goals. In other words, when some of the distractors were previewed, the search was faster than when the whole stimuli set was presented at a time, and this enhancement in search efficiency was named 'gap effect' or 'preview effect' by Watson and Humphreys (1997). In this study, it was investigated whether working memory affected the preview effect visual marking draws. Experiment 1 examined whether the preview effect was decreased by performing non-spatial visual working memory task as the number of previewed items increased. Experiment 2 tested whether the preview effect was affected by visuo-spatial working memory load and experiment 3 tested whether the preview effect was affected by executive working memory load. The results showed all three types of working memory load did not interfere with the preview effect. Visual marking can be considered to be independent of working memory system and it does not seem to consume cognitive resources relating working memory. Based on these results, we discussed spatial inhibition and temporal grouping hypotheses.

Keywords: visual marking, working memory, preview effect