

시각 탐색에서의 기억: 탐색 효율성에 근거한 증거*

Memory in visual search: Evidence from search efficiency

백종수
(Jongsoo Baek)

김민식**
(Min-Shik Kim)

요약 인간의 시각 체계는 제한된 용량으로 인해 매 순간 입력되는 정보들 중에 필요한 일부 정보만을 선택하는 주의 기제를 사용한다. 최근의 여러 연구들은 주의를 요구되는 시각 탐색 과제에서 탐색 자극에 대한 기억이 주의의 이동 과정에 사용될 수 있음을 보고해 왔다(Chun & Jiang, 1998, 1999; Klein, 1988; Klein & MacInnes, 1999). 하지만 다른 일련의 연구들은, 인간의 시각 정보 유지능력이 순간적으로 일어나는 시각적 변화를 잘 탐지하지 못할 뿐 아니라(Rensink, O'Regan, & Clark, 1997; Simons & Levin, 1997), 시각 탐색에서도 기억이 형성되지 못해, 이미 탐색한 대상에 대한 재탐색이 계속적으로 이루어짐을 주장하였다(Horowitz & Wolfe, 1998). 본 연구에서는 시각 탐색 과정에서 이미 탐색한 자극이나 그 위치에 대한 기억이 사용되어 탐색 효율성에 영향을 주는지 알아보기 위해, 재탐색을 할 수 없도록 제한한 탐색 조건(부분 노출 조건, 확장 노출 조건)을 새로 고안하여 이들 조건에서의 탐색 효율성이 기존의 탐색 방식을 제한하지 않는 탐색 조건(전체 노출 조건)에서의 탐색 효율성과 어떤 차이를 보이는지를 비교하였다. 만일 일반적인 탐색 환경인 전체 노출 조건에서 재탐색이 일어난다면, 재탐색이 일어나지 않도록 조작한 다른 조건에 비해 탐색 효율성이 떨어질 것으로 예상하였다. 실험 결과, 탐색 효율성은 탐색 조건에 상관없이 비슷하게 나타났다. 이러한 결과는 실험 참가자들이 전체 노출 조건에서도 탐색했던 대상에 대해서 재탐색을 거의 하지 않았음을 의미하는 것이며, 따라서 탐색 과정에서 기억이 사용되고 있는 것으로 해석할 수 있다. 본 연구 결과는 시각 탐색에 기억이 사용되지 않는다는 최근의 일부 연구 결과와 상반된 것으로서, 기존 연구 패러다임의 문제점과 가능한 해석들을 논의하였다.

주제어 시각 탐색, 선택적 주의, 시각적 기억, 재탐색

Abstracts Since human visual system has limited capacity for visual information processing, it should select goal-relevant information for further processing. There have been several studies that emphasized the possible involvement of memory in spatial shift of selective attention (Chun & Jiang, 1998, 1999; Klein, 1988; Klein & MacInnes, 1999). However, other studies suggested the inferiority of human visual memory in change detection(Rensink, O'Regan, & Clark, 1997; Simons & Levin, 1997) and in visual search(Horowitz & Wolfe, 1998). The present study examined the involvement of memory in visual search; whether memory for the previously searched items guides selective attentional shift or not. We investigated how search works by comparing visual search performances in three different conditions; *full exposure* condition, *partial exposure* condition, and *partial-to-full exposure* condition. Revisiting searched items was allowed only in full exposure condition and not in either partial or partial-to-full exposure condition. The results showed that the efficiencies of attentional shift were nearly identical for all conditions. This finding implies that even in full exposure condition the participants scarcely re-examined the previously searched items. The results suggest that instant memory can be formed and used in visual search process. These results disagree with the earlier studies claiming that visual search has no memory. We discussed the problems of the previous research paradigms and suggested some alternative accounts.

Keywords *Visual Search, Selective Attention, Visual Memory, Revisiting*

* 이 논문은 2002년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-074-HS1003).

** 연세대학교 심리학부, 연구세부분야: 인지심리학, 시각, 주의, 기억
서울시 서대문구 신촌동 134번지, 전화: 02-2123-2443, E-mail: kimm@yonsei.ac.

일상생활에서 우리의 시각 체계는 매 순간 입력되는 수많은 시각 정보들을 모두 처리할 수 없으며, 이러한 처리 용량의 제한은 입력되는 정보 가운데 필요한 정보만을 선별하여 처리하는 선택적 주의 과정을 요구한다. 선택적 주의 과정을 연구하기 위해 많은 인지 심리학자들은 시야에 제시된 수많은 자극들 가운데 자신의 행동 목적과 관련되지 않은 방해 자극들을 걸러내고 관련된 자극을 탐지해 내는 시각 탐색 패러다임을 사용하여 왔다(Duncan & Humphreys, 1989; Kim & Cave, 1995; Treisman, 1986; Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Sato, 1990; Wolfe, Cave, & Franzel, 1989).

전통적으로, 주의를 요구되는 것으로 여겨지는 결합 탐색(conjunction search)에서는 하나 혹은 제한된 수의 항목에 대하여 순차적인 탐색이 일어나는 것으로 가정되었으며(예, Treisman, 1986), 탐색 과정에서 표적 자극을 찾기까지 이미 탐색된 항목들에 대해서는 어느 정도 기억이 되어 있어 이들에 대한 재탐색은 거의 이루어지지 않는 것으로 암묵적으로 가정되어 왔다(예, Horowitz & Wolfe, 1998). 시각 탐색 과정에서 탐색된 항목들에 대한 기억은 탐색 효율성을 높여줄 수 있다. 즉 탐색 자극에 대한 기억을 통하여 이미 탐색되어 표적 자극이 아님을 확인한 방해 자극을 다시 탐색하지 않음으로 표적 자극을 더 빨리 찾을 수 있는 것이다. 시각 탐색 과정에서 기억이 사용될 수 있음을 간접적으로 시사하는 증거로서 회귀 억제(inhibition of return) 현상을 들 수 있다. 회귀 억제란 이미 주의를 받은 대상이나 혹은 그 대상의 위치가 억제되어 다시 동일한 위치로 주의를 향하는 것이 지연되는 현상이다(Kingstone & Pratt, 1999; Klein, 1988; Posner & Cohen, 1984; Takeda & Yagi, 2000). Klein(1988)

은 시각 탐색 중 방해 자극이 있던 위치와 빈 위치에 탐사 자극을 제시하여 각 위치에서의 공간적 주의의 양을 측정했는데, 측정 결과 방해자극이 제시되었던 위치에서의 탐사 반응 시간(probe RT)이 빈 위치에 비해 유의미하게 느린 것으로 나타났다. 이러한 결과는 시각 탐색 과정에서도 회귀 억제가 나타남을 시사하는 것이다. 이와 같이, 시각 탐색에서 회귀 억제의 기능은 이미 주의를 주어졌던 방해 자극의 위치에서 다른 곳으로 주의를 이동한 후, 다시 이전의 그 위치로 주의를 회귀되는 것을 억제함으로써 탐색된 항목을 재탐색하는 비효율성을 방지할 수 있을 것으로 가정되었다.

시각 탐색에서 회귀 억제를 통한 기억의 사용 가능성 외에도, 시각 탐색에서 기억이 사용되는 증거들은 시각 탐색에서 맥락 단서 효과(contextual cueing effect)를 보이는 실험들에서도 제시되었다(Chun, 2000; Chun & Jiang, 1998, 1999; Jiang, Olson & Chun, 2000). 이들 연구들은 이전에 탐색되었던 자극들의 배열 모양이나 위치, 대상의 형태 등이 암묵적으로 기억되어 동일한 탐색 자극판이 여러 회귀에 걸쳐 반복되는 경우 같은 자극판에 대해 탐색 반응이 점점 더 빨라짐을 보고하였다. 기억과 탐색간의 서로 영향을 주고 받을 수 있음을 시사하는 또 다른 최근 연구들은 공간적 작업 기억의 유지가 시각 탐색 수행에 방해가 됨을 보고하였는데(Oh & Kim, 2004; Woodman & Luck, 2004), 이러한 결과는 시각 탐색 과정에서 공간적 기억에 필요한 인지적 자원이 사용됨을 시사하는 것이다.

하지만, 이와는 상반되는 연구 결과들도 보고되었다. Horowitz와 Wolfe(1998)는 시각 탐색에서 이미 탐색한 자극에 대해서 순간적인 기억이 형성되지 않으며, 이로 인해 방해 자극

으로 판단되었던 자극들에 대해서도 계속해서 재탐색이 일어난다고 주장하였다. 이들은 빠른 시간(111ms)동안 계속해서 탐색 자극들의 배치가 바뀌는 동적(dynamic) 조건을 통해 실험 참가자들이 지나간 탐색 대상 혹은 위치에 대해 기억하지 못하도록 했다. 다른 조건에서는 자극들의 배치가 바뀌지 않는 정적인(static) 탐색 자극을 제시해, 동적 조건의 표적 자극 탐지 시간과 비교했다. 이들은 정적 조건에서 과거 탐색 대상에 대한 기억이 형성되지 않는다면, 탐색했던 자극들에 대해서 재탐색이 계속해서 일어나서 동적 조건과 비슷한 탐색 효율성을 나타낼 것이라고 가정했다. 반대로, 정적 조건에서 과거 탐색에 대한 기억이 형성되었다면, 정적 조건에서 탐색했던 자극들에 대해서 재탐색이 일어나지 않아서 동적 조건보다 더 효율적인 수행이 나타날 것이라고 가정했다. 시각 탐색에서 효율성을 나타내는 지표로 사용되는 자극 개수에 대한 표적 자극 탐색시간의 증가율, 즉 탐색 기울기를 비교한 결과, 두 조건의 탐색 기울기는 유의미한 차이를 보이지 않았다. 그들은 이 결과를 통해, 시각 탐색에서 계속해서 재탐색이 일어나며, 이것은 지난 탐색에 대한 기억이 형성되지 않아서 매순간 새로운 탐색 대상을 무선적으로 선택하기 때문이라고 주장하였다.

Horowitz와 Wolfe(1998)의 연구가 발표된 이래, 시각 탐색에서의 기억의 유무 여부와 그 사용 여부에 대한 치열한 논쟁이 계속되어왔다. Kristjansson(2000)은 Horowitz와 Wolfe의 주장과는 달리 시각 탐색에서 기억이 사용됨을 주장하였는데, 그는 Horowitz와 Wolfe가 사용한 동적 조건에서 표적을 방해자극이 위치했던 곳에만 제시하는 경우에는 동적 조건이 정적 조건에 비해 낮은 탐색 효율성을 보인다는 것

을 발견하였다. 이러한 결과는 동적 조건에서도 이미 탐색한 방해 자극의 위치로는 재탐색이 잘 일어나지 않음을 의미하는 것으로 해석할 수 있다.

한편, Peterson, Kramer, Wang, Irwin과 McCarley(2001)는 시각 탐색 중인 실험 참가자의 눈움직임을 직접적으로 관찰한 결과, 재탐색이 거의 발견되지 않았음을 보고했다. 비록 이미 탐색한 대상에 대해 재탐색을 하는 경우가 있기는 했지만 그 수가 매우 적었고, 재탐색이 일어나는 대부분의 경우는 현재 탐색하고 있는 방해 자극의 두 세 번 전에 탐색했던 표적 자극에 대한 재탐색임을 밝혔다. 이 결과를 통해 Peterson 등은 재탐색은 대상이 정확하게 확인되지 않았음을 기억(miss and realization)하기 때문에 일어난다고 주장했다.

Kristjansson(2000)과 Peterson 등(2001)의 연구는 시각 탐색에서 재탐색이 거의 일어나지 않으며 탐색 자극에 대한 기억이 존재할 수 있음을 제안하고 있지만, 전자는 Horowitz와 Wolfe의 실험 패러다임을 그대로 사용했다는 점에서(그 문제점은 추후에 좀 더 언급할 것임), 그리고 후자는 눈운동과 탐색이 일대일 대응되는 개념은 아니라는 점에서 결과 해석이 제한될 수밖에 없다. 또한 이러한 연구에도 불구하고 시각 탐색에서 탐색한 대상에 대한 기억이 형성되지 않으며, 재탐색이 일어난다는 주장을 지지하는 연구 결과들이 그 이후에도 발표되었다. Gibson, Li, Skow, Salvagni와 Cooke(2000)은 표적 자극에 대한 기억은 존재하지만 방해 자극에 대한 기억은 존재하지 않음을 주장하면서, 이러한 기제는 인간의 시각 체계가 방해 자극의 위치를 기억할 때에, 그로 인해 얻는 정보 탐색의 이득보다 손실이 더 크기 때문이라고 주장했다. 또 다른 연구

에서 Horowitz와 Wolfe(2001)는 여러 개의 자극을 세는 시각 탐색 실험을 실시하였는데, 실험 참가자의 반응 시간이 표적 자극의 수가 증가함에 따라 급격히 증가한다는 것을 발견하였다. 그들은 이런 반응 시간 양상이 하나의 표적 자극을 탐색한 후에도 나머지 표적 자극들이 매번 새로운 선택 확률을 갖기 때문에 생기는 결과라고 해석하며, 다시 한 번 시각 탐색에서 기억이 존재하지 않음을 주장하였다.

이 같은 논쟁에서 많은 연구들(예, Gibson, Li, Skow, Salvagni, & Cooke, 2000; Kristjansson, 2000)은 Horowitz와 Wolfe(1998)의 실험에서 사용된 무선화된 탐색 기법(동적 조건)을 기반으로 하여 지지 혹은 반박 증거를 유도해냈다. 하지만 Horowitz와 Wolfe가 시각 탐색에서 기억이 존재하지 않음을 주장하기 위해 사용한 동적 조건은 그 자체로 문제점을 지니고 있다. 즉, 비교의 대상인 동적 조건과 정적 조건에서, 실험 참가자들이 다른 탐색 전략을 사용했을 가능성이 있다. 정적 조건에서 참가자들은 표적 자극을 찾아 적극적으로 주의를 이동해야 했지만, 동적 조건에서는 특정 위치 혹은 영역에 주의를 기울이면서 표적자극이 나타날 때까지 기다리는 책략(sit-and-wait strategy)을 사용하여 반응했을 수 있다. 만일 참가자들이 동적 조건에서는 정적 조건과 다른 책략을 사용하여 표적을 탐지하였다면 일반적인 시각 탐색 조건인 정적 조건을 동적 조건의 결과와 비교하여 일반화하는 것 자체가 타당하지 않을 수 있다.

본 연구는 동적 조건을 사용한 이전 연구들의 문제점들을 배제하고 재탐색이 일어날 수 없는 새로운 탐색 조건을 포함시켜 시각 탐색에서의 재탐색 여부를 재조명하려 하였다. 이

전 연구들에서 사용해 왔던, 재탐색이 일어날 수밖에 없는 조건인 동적 조건과는 반대로, 본 연구에서는 재탐색을 할 수 없도록 조작한 조건과 정적 조건의 비교를 통해 시각 탐색에서의 재탐색의 여부를 알아보았다. 시각 탐색 과정에서 이미 탐색한 자극에 대한 재탐색이 일어나지 않도록 하기 위해 '부분 노출 조건'을 포함하였는데, 부분 노출 조건은 마치 작은 창을 통해 탐색 자극들을 보여주는 것과 같이, 전체 탐색 자극판에서 일정한 방향으로 소수의 탐색 자극들을 순차적으로 제시하고 제시된 순서대로 이들을 사라지도록 만들었다. 이러한 부분 노출 조건은 모든 탐색자극들이 동시에 제시되고 동시에 사라지는 '전체 노출 조건'(이전 연구들에서 정적 조건에 해당)과 비교되어 재탐색 여부를 추론하였다. 본 연구에서는 또한 부분 노출과 전체 노출 조건 사이에 '확장 노출 조건'을 추가하여 탐색 기율기를 비교하였는데, 확장 노출 조건에서는 탐색 자극판의 자극들이 부분 노출 조건처럼 일정한 방향으로 순차적으로 제시되나 이미 제시된 자극들은 사라지지 않고 그대로 노출되도록 하였다.

Johnson과 Kots(1977)이 공식화한 탐색 종료 시간은 표적 자극을 찾기 위해 탐색해야 할 대상의 수에 비례한다. 참가자들이 이미 탐색한 자극에 대해 재탐색하지 않는다면, 표적 자극을 탐색하기 위해 탐색해야 할 전체 대상의 수의 기대값 $E(S)$ 는 전체 자극 개수 N 에서의 비복원 추출 확률과 동일해진다. 이를 공식화하면 공식 1과 같다.

$$E(S) = \frac{N+1}{2}$$

공식 1

반면, 이미 탐색한 자극에 대해서 계속해서 재탐색이 일어난다면, 표적 자극을 탐색하기 위해 탐색해야 할 대상의 수의 기대값 $E(S)$ 는 전체 자극의 개수 N 에서의 복원추출 확률과 동일해 진다. 이를 공식화 하면 공식 2와 같다.

$$E(S) = N \quad \text{공식 2}$$

시각 탐색에서 기대값 $E(S)$ 는 자극 개수의 증가에 따른 반응시간 증가의 기울기로 나타난다. 공식1과 공식2를 비교해 보면, 전체 자극 개수가 동일할 경우에 공식2가 약 두 배의 값을 갖는 것을 알 수 있다. 즉, 시각 탐색에서 재탐색이 일어날 경우에는, 재탐색이 일어나지 않는 경우에 비해 자극 개수에 대한 반응 시간 혹은 오류율의 기울기가 약 두 배의 기울기를 가질 것이다. 전형적인 시각 탐색 상황인 전체 노출 조건에서 재탐색이 이루어진다면 전체 노출 조건에서의 자극 개수에 대한 반응시간의 기울기(공식2)는 부분 노출 조건에서 나타나는 기울기(공식1)의 두 배에 가까운 기울기를 보일 것이다. 반면에 재탐색이 이루어지지 않는다면 부분 노출 조건과 동일한 기울기를 보일 것이다.

일반적인 시각 탐색 패러다임에서는 반응 속도와 오류율을 종속 측정치로 사용한다. 본 연구에서 실험1은 반응 속도-정확율 상쇄 효과(speed-accuracy trade-off)를 가정하여 종속 측정치로 오류율을 측정했다. 실험2에서는 좀 더 직접적으로 반응 시간과 오류율을 모두 측정하여 탐색 방식에 제한이 없는 시각 탐색 장면에서의 탐색 방식을 살펴보았다.

실험 1

본 연구는 시각 탐색에서 이미 탐색한 대상에 대한 재탐색 가능 수준이 각각 다른 세 조건의 탐색 효율성을 비교했다. 즉, 각 탐색 자극들이 순차적으로 제시되고 제시된 순서대로 사라지는 부분 노출 조건, 각 탐색 자극들이 시계 방향으로 순차적으로 제시되면서 모든 자극이 제시될 때까지 그대로 남아 있는 확장 노출 조건, 그리고 모든 탐색 자극들이 동시에 제시되고 동시에 사라지는 전체 노출 조건에서, 자극 개수에 대한 탐색 오류율의 증가를 비교했다.

각 조건에서 비슷한 탐색 효율성을 나타낸다면, 시각 탐색 환경에서(전체 노출 조건) 일종의 체계적인 방식으로 탐색을 진행해서, 이미 탐색한 대상에 대해 재탐색을 하지 않는 것으로 해석할 수 있다. 하지만 전체 노출 조건이 다른 조건에 비해 낮은 탐색 효율성을 보인다면, 이것은 재탐색을 거의 할 수 없었던 부분 노출 조건에서와는 달리, 전체 노출 조건에서 이미 탐색한 대상에 대해서 재탐색이 일어난다고 해석할 수 있다.

방법

실험 참가자

연세대학교 심리학 교양 과목을 수강하는 학부생 15명이 과목 이수 요건의 하나로 실험에 참가하였다. 참가자들의 정상 시력 및 교정 시력은 좌우 0.6이상이었다. 참가자들은 모두 실험의 가설이나 목적을 실험 참가 전에 알지 못했다.

도구 및 자극

각각의 참가자들은 자연광이 차단된 개별 실험실에서 실험에 참여했다. 실험은 IBM 호환 펜티엄-IV급 개인용 컴퓨터를 이용해 실시되었으며, Matlab R12.1과 심리학 실험용 도구 상자(Brainard, 1997)로 제작된 실험용 프로그램에 의해 통제되었다. 실험 자극은 화면 주사율 75Hz(13.3 ms/frame)인 17인치 평면 모니터에 제시되었다. 참가자들은 실험용으로 제작된 턴받이를 이용해 모니터와의 거리를 57cm로 고정된 상태에서 화면을 응시했으며, 일반 PS2 컴퓨터 키보드를 이용해 반응하였다.

전체 화면은 회색이었고, 모든 자극들은 시각 각도 $19.2 \times 19.2^\circ$ 의 흰색 정사각형 안에 제시되었다. 자극들은 가상의 8×8 배열에 제시되었고, 안쪽 4×4 의 칸에는 자극이 제시되지 않았다. 방해 자극으로 사용된 네 방향으로 회전된 'C'자들과 표적 자극으로 사용된 'O'자들은 모두 지름이 1.2° 였으며, 무선회전 위치와 방향으로 제시되었다.

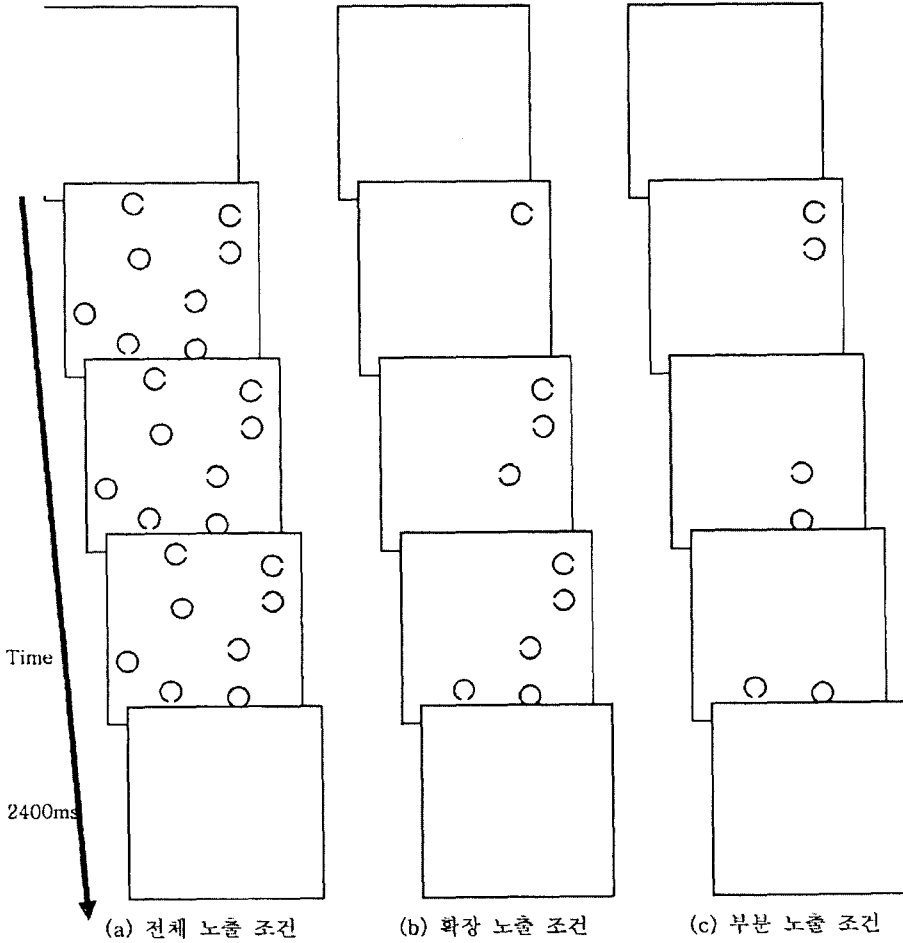
절차 및 설계

실험1의 조건별 자극 제시 방식의 도식적 예시가 그림 1에 제시되어 있다. 각 조건은 자극이 화면상에 나타나는 방법에서 차이가 났다. 전체 노출 조건에서는 탐색 자극들 모두가 동시에 제시되어 유지되다가 2400ms가 지나면 동시에 사라졌다. 확장 노출 조건에서는 탐색 자극들이 매 150ms마다 순차적으로 나타났다. 모든 탐색 자극들이 나타날 때까지의 시간은 1800ms였고, 600ms동안 전체 자극이 노출된 상태로 유지되다가 모든 자극이 사라졌다. 부분 노출 조건은 확장 노출 조건과

동일하게 각각의 자극들이 나타나지만, 모든 탐색 자극들이 동시에 사라지는 것이 아니라, 각각의 탐색 자극들이 나타난 후 600ms동안만 제시되고 사라지도록 하였다.

화면에 제시되는 자극(표적 자극과 방해 자극)의 개수는 12개, 24개, 36개였다. 전체 시행의 50%에서는 표적 자극이 한 개 제시되었고, 25%에서는 두 개 제시되었으며, 나머지 25%에서는 제시되지 않았다. 참가자들은 표적 자극의 개수가 한 개인지 아닌지 여부를 반응해야 했다. 표적 자극 하나가 있는 조건과 없는 조건만을 사용하는 대신 표적 자극 두 개를 포함시킨 이유는 참가자들로 하여금 표적 자극 하나만을 탐지한 후 탐색을 종료할 가능성을 줄이고 탐색을 좀 더 어렵게 만들기 위해서였다. 참가자가 틀린 반응을 했을 경우에는 경고음과 함께 '틀렸습니다.'라는 경고문이 1초간 제시되었고, 맞는 반응을 했을 경우에는 아무런 경고문이나 경고음 없이 다음 시행으로 진행되었다. 시행 간 시간 간격(ITI)은 1초였다.

참가자들은 각각 24시행으로 이루어진 세 블록을 연습한 후, 각각 48시행으로 이루어진 여섯 블록(총 288회)의 본 시행을 실시했다. 각 시행에 사용된 자극 개수(12, 24, 36개)와 표적 개수(0개, 1개, 2개)는 블록 내에서 무선적인 순서로 섞여서 제시되었다. 한 블록 내에 모든 자극 제시 조건이 나타날 경우, 부분 노출 조건 혹은 확장 노출 조건에서 사용한 탐색 방식에 의해 전체 노출 조건에서의 탐색 방식이 영향 받을 가능성이 있기 때문에, 블록별로 각각 다른 탐색 조건이 할당되었다. 자극 제시 조건의 순서는 무선적으로 섞여 있었고, 매 블록이 끝날 때마다 30초 이상 쉬는 시간이 주어졌다. 총 시행에 소요되는 시간은 약 30분이었다.



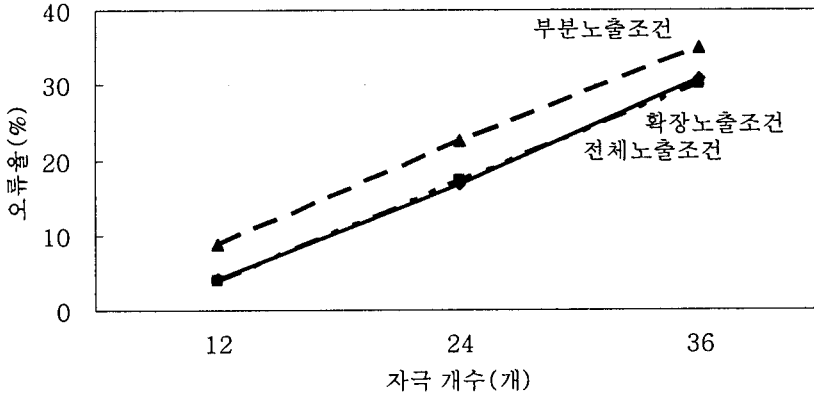
(그림 1) 실험1의 조건별 자극 제시 방식의 도식적 예시. (a) 전체 노출 조건에서는 탐색 자극들 모두가 동시에 제시되어 유지되다가 2400ms가 지나면 동시에 사라졌다. (b) 확장 노출 조건에서는 탐색 자극들이 순차적으로 나타나고, 모든 탐색 자극들이 나타난 후, 600ms동안 유지되다가 사라졌다. (c) 부분 노출 조건에서는 각각의 탐색 자극들이 순차적으로 나타난 후 600ms동안만 제시되고 사라졌다.

결 과

본 실험에서는 각 자극 제시 조건별 오류율이 종속측정치로 사용되었다. 반응의 오류율 평균은 각 자극 제시 조건별(전체 노출 조건, 확장 노출 조건, 부분 노출 조건), 자극 개수

별(12개, 24개, 36개)로 따로 계산되었고, 이 값이 자극 제시 조건과 자극 개수를 두 요인으로 하는 반복측정 변량 분석(repeated-measures ANOVA)에 사용되었다.

실험 결과는 그림 2에 정리되어 있다. 변량 분석 결과, 유의미한 자극 제시 조건의 주효



(그림 2) 실험1의 결과. 자극 개수에 따른 자극 제시 조건별 오류율(%)

과와, $F(2,28)=9.68$, $p<.01$, 자극 개수의 주효과가 발견되었고, $F(2,28)=223.49$, $p<.001$, 자극 개수와 자극 제시 조건의 상호작용은 유의미하지 않은 것으로 나타났다, $F(4,56)<1$. 즉, 각 조건별 탐색 효율성은 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

논 의

실험 결과, 자극 개수가 증가함에 따라 제한된 시간 내에 표적 자극을 탐색해내지 못하는 오류율이 유의미하게 증가하였다. 이러한 결과는 시간 - 정확을 상쇄를 고려하면, 자극 개수가 증가함에 따라 자극 탐색시간이 증가하게 된다는 기존의 연구 결과들(Treisman & Gelade, 1980)과 같은 의미로 해석할 수 있다. 또한 자극 제시 조건에 따라 오류율의 차이가 나타났다. 부분 노출 조건은 확장 노출 조건이나 전체 노출 조건에 비해서 더 높은 오류율을 나타냈다. 이런 오류율 상의 절편의 차이는 각 제시 조건에 따른 탐색 방식의 차이

의 요인들에 의한 것으로 해석할 수 있다. 예를 들어, 각 조건은 한 순간에 노출되는 자극들의 개수가 동일하지 않기 때문에, 표적 자극의 탐색 시간 혹은 오류율의 차이가 나타날 가능성이 있다. Cave와 Wolfe는 시각 탐색에서 자극들에 대해서 각각 독립적인 상향적 정보와 하향적 정보에 의한 활성화 지도가 형성되며, 이 지도상에서 활성화의 정도가 가장 큰 위치로 주의가 주어진다고 주장했다(유도 탐색 모형 Guided search model; Cave & Wolfe, 1990; Wolfe, 1994). 따라서 전체 노출 조건에 비해 부분 노출 조건에서는 전체 자극에 대한 병렬적으로 활성화되는 자극의 세부 특징을 활용할 수 없고, 이로 인해 전체적인 오류율의 차이, 즉 탐색 기울기 절편의 차이가 나타난 것으로 해석할 수 있다.

본 실험에서 주된 관심 분석 대상은 탐색 효율성으로, 이것은 자극 개수에 대한 탐색 오류율의 기울기로 정의된다. 실험 결과, 각 조건별 탐색 효율성은 유의미한 차이가 나타나지 않았다. Johnson과 Kots(1977)의 탐색 종료 시간 공식에서 유도된 탐색 효율성에 따르면,

전체 노출 조건에서 재탐색이 일어날 경우 전체 노출 조건의 오류율 기울기가 부분 노출 조건의 오류율 기울기의 약 두 배에 해당할 것으로 예상된다. 하지만 본 실험의 결과는, 모든 조건의 기울기가 매우 유사한 것으로 나타났다. 오히려 이 결과는 재탐색이 일어나지 않을 경우에 예상되는 오류율 기울기의 차이와 일치한다. 이것은 전체 노출 조건에서, 탐색한 대상에 대해서 재탐색이 거의 일어나지 않는 것으로 해석할 수 있다.

실험 2

실험 1은 탐색 자극들을 제한된 시간 내에 제시함으로써 종속측정치로 오류율을 사용하였다. 일반적으로 시각 탐색 연구들이 탐색 자극들을 참가자들이 반응할 때까지 제시하면서 탐색 반응 시간을 종속 측정치로 사용한다는 점을 고려할 때 실험1에서 측정한 오류율만으로 탐색 효율성을 논하는 데에는 제한이 있을 수 있다. 따라서 실험2는 기존의 시각 탐색 패러다임과 마찬가지로 탐색 자극들을 참가자들이 반응할 때까지 계속 제시하면서 종속측정치로 오류율 뿐 아니라 반응 시간도 측정하여 실험1의 결과를 재확인해보려는 목적으로 수행되었다.

방 법

실험 참가자

연세대학교 심리학 교양 과목을 수강하는 13명의 학부생들이 과목 이수 요건의 하나로

실험에 참가하였다. 모든 참가자들은 실험1에 참여하지 않았으며, 실험과 관련된 참가자들의 조건은 실험 1과 동일했다.

도구 및 재료

실험 1에서 사용된 자극과 도구가 동일하게 사용되었다. 다만, 실험1과는 달리 전체 시행의 50%에서 하나의 표적 자극이 나타났고, 나머지 50%에서는 나타나지 않았다. 표적 자극이 나타나는 시행과 나타나지 않는 시행은 블록 내에서 무선적으로 섞여 있었다. 전체 노출 조건에서는 탐색 자극들이 동시에 제시되어 참가자들이 반응할 때까지 지속되었다. 확장 노출 조건에서는 각각의 자극들이 시계 방향으로 순차적으로 제시되었고, 모든 자극들이 제시된 후에는 다시 빈 화면에 순차적으로 반복해서 제시되었다. 부분 노출 조건에서는 각각의 자극들이 시계 방향으로 순차적으로 600ms동안 제시된 후에 사라지도록 하였으며 이러한 부분 노출이 참가자들의 반응시까지 계속 반복되었다. 부분 노출 조건과 확장 노출조건에서 모든 자극들이 한번 나타났다가 사라지는데 걸리는 시간은 1400ms로 동일했다. 8명의 다른 참가자들을 통해 사전 측정한 결과, 전체 노출 조건에서 자극 개수가 12개 일 때의 평균 반응시간은 1327ms였다. 실험2에서 사용된 자극 제시 주기인 1400ms는 실험 장비의 제약상 1327ms와 가장 가까운 근사치였다.

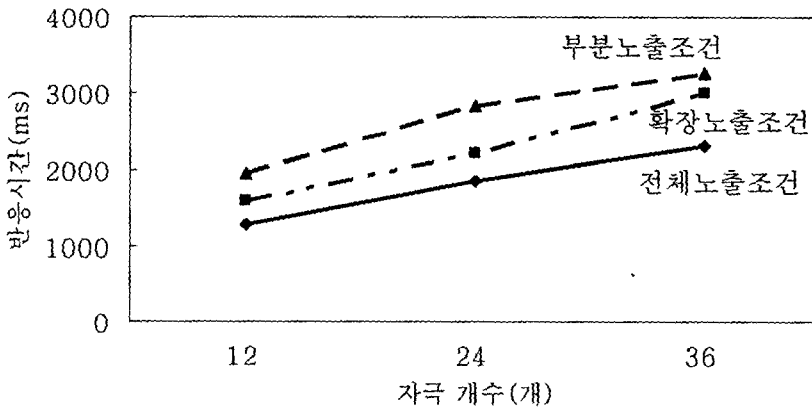
설계 및 절차

실험 1에서는 자극이 제시되었다가 사라진 후, 자극 제시 여부를 물었지만, 실험2에서는

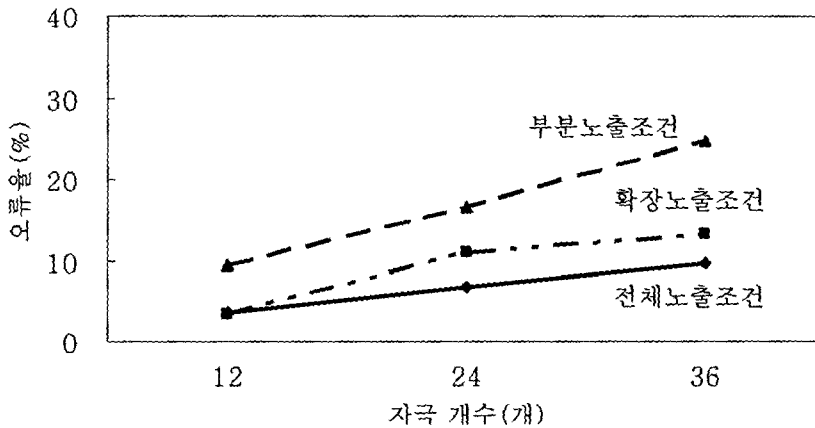
자극이 계속해서 제시되는 중에, 표적 자극의 제시 여부를 되도록 빠르게 반응하도록 요구했다. 참가자가 반응을 하면, 화면에 제시되던 탐색 자극들이 사라지고 정오여부를 알려주는 경고문이 제시되었다. 그 외의 다른 설계와 절차는 실험 1과 동일하다.

결과 및 논의

실험2의 평균 탐색 반응 시간과 오류율이 그림 3과 그림 4에 각각 나타나있다. 표적 자극이 제시되지 않은 시행의 반응 시간은 자극 탐색 시간 이외의 다양한 요인들에 의해 영향 받을 수 있으므로(Chun & Wolfe, 1996), 본 연구에서도 Horowitz와 Wolfe(1998)와 마찬가지로 표적 자극이 제시되는 시행에서의 반응 시간에 초점을 두어 분석을 하였다. 각 참가자들



(그림 3) 실험 2의 결과. 자극 개수에 따른 자극 제시 조건별 반응시간(ms)



(그림 4) 실험 2의 결과. 자극 개수에 따른 자극 제시조건별 오류율(%)

의 조건별, 자극 개수별 반응시간을 근거로 전체 참가자들의 평균 반응 시간을 구했고, 이 값을 이용하여 자극 제시 조건과 자극 개수를 두 요인으로 하는 반복측정 변량 분석을 실시하였다.

평균 반응 시간에 대한 변량 분석 결과, 유의미한 자극 제시 조건의 주효과와, $F(2,24)=23.35, p<.001$, 자극 개수의 주효과가 발견되었고, $F(2,24)=35.52, p<.001$, 자극 개수와 자극 제시 조건의 상호작용은 유의미하지 않은 것으로 나타났다, $F(4,48)=4.91, p>.1$. 즉, 자극 개수가 증가함에 따라 반응시간이 유의미하게 증가하였고, 제시 조건별로 반응시간에 차이가 남을 의미하는 것이다. 하지만 두 요인간에 상호작용이 나타나지 않았다는 것은 탐색 효율성이 자극 제시 조건에 따라 차이를 보이지 않았음 의미하는 것이며, 이것은 우리가 시각 탐색을 할 때, 재탐색이 거의 일어나지 않는다는 실험 1의 결과를 다시 한 번 확인하는 것이다. 표적 자극이 제시되지 않은 시행에서도 탐색 효율성은 자극 제시 조건별로 유의미한 차이를 보이지 않았다, $F(4,48)=1.137, p>.1$ (표 1 참조).

오류율에 대한 반복 측정 변량 분석 결과, 유의미한 자극 제시 조건의 주효과와, $F(2,24)=48.20, p<.001$, 자극 개수의 주효과가 발견되었고, $F(2,24)=70.52, p<.001$, 실험1과는 달리 자극 개수와 자극 제시 조건간에 통계적으로 유

의미한 상호작용효과가 발견되었다, $F(4,48)=4.40, p<.05$. 본 연구 가설은 참가자들이 이미 탐색했던 대상에 대해 재탐색에 일어날 경우 부분 노출 조건에 비해 전체 노출 조건에서 탐색 효율성의 기울기가 더 증가할 것으로 예상하였다. 실험 2의 오류율에 대한 결과는 비록 상호작용이 나타나기는 했지만, 재탐색이 일어날 경우에 나타날 것으로 예상되는 경향 성과는 반대로, 부분 노출 조건에서 더 비효율적인 탐색을 한 것으로 나타났다. 이 결과는 부분 노출 조건에서 탐색 자극을 정확히 확인하지 못했을 경우, 제시되었던 자극들이 빠르게 사라져서 재확인 과정을 거치지 못하기 때문으로 해석할 수 있다. 즉, Peterson 등(2001)의 연구 결과에서 지적된 바와 같이, 부분적으로 나타나는 재탐색은 주로 현재 탐색 중인 자극 직전의 몇 개 자극에 대해서 표적일 경우 재확인을 위해 일어날 가능성이 있다. 본 실험의 부분 노출 조건은 자극 개수가 많아질수록 탐색 자극은 더욱 빠른 속도로 사라지게 되며, 이로 인해 전체 노출조건에 비해 부분적인 재확인을 할 수 없게 될 가능성이 크다. 따라서 본 실험 결과에서 나타난, 부분 노출 조건에서의 증가된 탐색 오류율의 기울기는 무선적인 재탐색을 주장하는 Horowitz와 Wolfe (1998)의 연구 결과와는 상반된 것이며, 오히려 전체 노출 조건에서의 재탐색 가능성이 표적 자극을 재확인하는 과정에만 국한될 수 있다는 Peterson 등(2001)의 주장을 지지하는 것으로 해석할 수 있다.

<표 1> 탐색 자극 개수에 대한 반응 시간 증가율(ms)

	표적 자극이 나타난 시행	표적 자극이 나타나지 않은 시행
전체 노출 조건	39	83
확장 노출 조건	58	98
부분 노출 조건	52	103

종합논의

본 실험의 목적은 인간이 일상적으로 접하

게 되는 시각 탐색 조건인 전체 노출 조건에서 탐색 자극에 대한 기억이 존재하는지 여부를 알아보기 위한 것이었다. 만일 이미 탐색했던 자극을 기억하고 이러한 정보를 탐색 과정에서 사용한다면 재탐색은 거의 일어나지 않을 것으로 가정하였다. 재탐색이 거의 불가능하도록 조작된 부분 노출조건을 새로 고안하여 전체 노출 조건과 비교한 결과, 전체 노출 조건의 탐색 효율성은 부분 노출 조건 혹은 확장 노출조건의 효율성과 유의미한 차이를 보이지 않았다. 이들 조건간에 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다고 해서 그 결과가 같은 것으로 가정할 수는 없지만, 적어도 재탐색이 일어났다면 가정할 수 있는 통계적 차이를 나타내지 않았다는 점에서 일반적인 시각 탐색 상황에서 우리가 이미 탐색한 자극들을 재탐색할 가능성은 매우 낮다고 해석할 수 있다.

부분 노출 조건과 확장 노출 조건에서 탐색 자극이 나타나는 영역은 12시 방향에서 시작하여 시계 방향으로 이동 혹은 확장하였으며, 따라서 참가자들이 이들 조건에서 효율적으로 탐색하기 위해서는 제시된 순서대로 즉, 시계 방향으로 나타나는 자극들을 순차적 탐색해야 할 것으로 판단된다. 자연적인 시각 탐색 상황에서 우리의 탐색 경로는 다양한 요인들에 의해 영향을 받을 수 있으며 따라서 본 연구에서 사용한 단조로운 방식이 아닐 가능성이 더 크다. 시각 탐색에서 눈 운동을 측정하는 연구에서도 우리의 탐색 경로는 시계 방향이나 혹은 단순한 일 방향으로 진행되는 것이 아니라 마치 무선적인 것처럼 보일 만큼 시각 장 전체에서 다양한 위치로 이동되고 있음을 밝히고 있다. 따라서 본 연구에서 재탐색을 막기 위해 사용한 자극 제시 방식이 일반적인

탐색 조건과 유사하다고 얘기할 수는 없다. 하지만 본 연구에서 사용한 자극 제시 방식은 적어도 재탐색을 방지하기 위한 효과적인 방식 중에 하나이며, 본 연구에서 알아보려고 한 요인들을 직접적으로 측정하기 위해 필요한 조작이라고 할 수 있다. 추후 연구에서 보다 다양한 방식의 부분 노출 조건들(예, 무선적 위치에서의 부분 노출 조건)이 포함된다면 더 일반화된 결론을 도출하는데 도움이 될 것이다.

본 연구 결과는, 재탐색이 가능했던 정적 조건과 재탐색이 필수적인 동적 조건에서 비슷한 탐색 효율성이 나타난 Horowitz와 Wolfe (1998)의 연구 결과와 상반된다. 이러한 차이는 동적 조건에서의 탐색 전략 때문인 것으로 보인다. 최근, Muhlénen 등(2003)은 동적 조건에서 참가자들의 탐색 전략을 알아보기 위해서, 한 사분면의 자극들만 화면에 보이는 변형된 동적 조건의 탐색 효율성을 측정하였다. 그들은 이 조건에서의 탐색 효율성이 동적 조건에서 나타난 탐색 효율성과 비슷함을 관찰하고, 참가자들이 동적 조건에서 특정 위치 혹은 영역에 주의를 할당한 채 표적 자극을 기다렸을 가능성이 있다고 주장하였다. Horowitz와 Wolfe의 데이터를 재분석한 Shore와 Klein(2000)도 이와 같은 가능성을 지적했다. 그들은 정적 조건에서 표적 자극이 나타난 시행과 나타나지 않은 시행의 탐색 기울기가 1:2정도임에 반해, 동적 조건에서는 거의 비슷했음을 지적하며, 두 조건에서 서로 다른 탐색 전략이 사용되었다고 주장했다. 본 연구는 참가자들이 특정 영역에만 주의를 할당한 채 표적 자극을 기다리는 전략을 효율적으로 배제하도록 설계되었다. 본 연구에서 비교의 기준이 된 부분 노출 조건은, 피험자들이 표적 자극을 찾기

위해 주의를 이동시키는 과정을 필요로 했다. 이러한 조작을 통해, 표적 자극을 찾아 순차적으로 주의를 이동시킬 때의 조건간 탐색 효율성의 차이를 비교해 볼 수 있었다.

Horowitz & Wolfe(1998)의 연구에서처럼 재탐색이 발견된다고 하더라도, 이 결과를 반드시 시각 탐색에서의 기억이 존재하지 않는다고 해석할 수는 없다. 탐색 대상이 정확하게 확인되지 않았기 때문에, 다시 확인하기 위해 재탐색이 일어날 가능성도 있기 때문이다. 하지만 이미 탐색한 대상에 대해 재탐색이 거의 일어나지 않는다는 본 연구 결과는, 인간의 시각 체계가 시각 탐색에서 어떤 형태의 기억을 형성하고, 이 기억을 이용한다는 것으로 해석될 수 있다. 본 실험에서 사용된 전체 탐색 자극들의 개수 12, 24, 36개는 인간의 시각 작업 기억의 용량 한계로 알려진 3~4개(Luck & Vogel, 1997)를 훨씬 넘는 수이다. 인간의 시각 작업 기억의 용량을 감안하면 용량 한계보다 훨씬 많은 수의 자극들에 대한 기억을 형성했다는 주장은 불합리하게 보일 수도 있다. 하지만 참가자들은 군집화와 같은 전략을 사용하여 기억 용량을 확장시켰거나, 개별 탐색 대상에 대한 자세한 세부 특징이나 위치가 아닌 전체적인 탐색 경로에 대한 정보를 기억했을 수 있다.

시각 탐색에서 이미 탐색한 대상에 대해 기억하고 이 정보를 탐색에 이용하는 것은 인간의 실제 생활에 유용한 생태학적 가치를 가질 것이다. 자신이 어디를 탐색했었는지 기억하지 못해서 탐색한 곳을 계속해서 재탐색하는 것은, 막대한 인지적 자원의 낭비를 유발할 것이다. 따라서 약간의 기억 용량의 손실을 감수하더라도, 탐색에 대한 기억이 주의의 이동을 안내한다면 인간의 인지 체계는 효율적

으로 인지 자원을 분배할 수 있을 것이다. Horowitz와 Wolfe(1998)는 시각 장면에서 대상의 내용에 대한 기억과 대상의 위치에 대한 기억을 구분하지 않았기 때문에, "시각 탐색에는 기억이 없다"라고 주장한 것으로 여겨진다. 그들은 일상적인 시각 탐색 상황에서 탐색했던 대상에 대해 상세하게 기억하지 못하더라도 그 대상을 다시 보고자 한다면, 언제든지 대상에 다시 주의를 할당해 대상을 재확인할 수 있기 때문에, 탐색한 대상에 대한 내용과 위치를 자세하게 기억하는 것은 불필요한 기억 용량을 차지하는 것이라고 주장했다. 하지만 탐색된 대상의 위치 혹은 영역에 대한 순간적인 기억을 형성하고 사용하는 것은 많은 양의 기억으로 인한 인지적 과부하를 유도하지 않을 뿐만 아니라, 훨씬 큰 주의 이동의 이득을 얻을 수 있을 것이다. 이러한 기제는 인간의 인지 체계가 느리지만 정확한 처리보다는, 다소 오류가 있더라도 더 빠른 처리를 선호하는 "인지적 구두쇠"(Taylor, 1981)이기 때문에 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

참고문헌

- Brainard, D. H. (1997) The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10, 443-446.
- Cave, K. R., & Wolfe, J. M. (1990). Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, 22(2), 225-271.
- Chun, M. M. (2000). Contextual cueing of visual attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 170-178.
- Chun, M. M., & Jiang, Y. (1998). Contextual cueing: implicit learning and memory of

- visual context guides spatial attention. *Cognitive Psychology*, 36, 28-71.
- Chun, M. M., & Jiang, Y. (1999). Top-down attentional guidance based on implicit learning of visual covariation. *Psychological Science*, 10, 360-365.
- Chun, M. M., & Wolfe, J. M. (1996). Just say no: How are visual searches terminated when there is no target present? *Cognitive Psychology*, 30(1), 39-78.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological review*, 96(3), 433-458.
- Gibson, B. S., Li, L., Skow, E., Salvagni, K., & Cooke, L. (2000). Memory-based tagging of targets during visual search for one versus two identical targets. *Psychological Science*, 11(4), 324-328.
- Horowitz, T. S., & Wolfe, J. M. (1998). Visual search has no memory. *Nature*, 394(6693), 575-577.
- Horowitz, T. S., & Wolfe, J. M. (2001). Search for multiple targets: Remember the targets, forget the search, *Perception & Psychophysics*, 63 (2), 272-285.
- Jiang, Y., Olson, I. R., & Chun, M. M. (2000). Organization of visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and cognition*, 26(3), 683-702.
- Johnson, N. L., & Kotz, S. (1977). *Urn models and their applications*. New York: John Wiley & Sons.
- Kim, M.-S., & Cave, K. R. (1995). Spatial attention in visual search for features and feature conjunctions. *Psychological Science*, 6, 376-380.
- Kingstone, A. and Pratt, J. (1999) Inhibition of return is composed of attentional and oculomotor processes. *Perception & psychophysics*. 61, 1046-1054
- Klein, R. M. (1988). Inhibitory tagging system facilitates visual search. *Nature*, 334, 430-431.
- Klein, R. M., & MacInnes, W. J. (1999). Inhibition of return is a foraging facilitator in visual search. *Psychological Science*, 10(4), 346-352.
- Kristjansson, A. (2000). In search of remembrance: Evidence for memory in visual search. *Psychological Science*, 11(4), 328-332.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279-281.
- Muhlenen, A., Muller, H. J., & Muller, D. (2003). Sit-and-wait strategies in dynamic visual search. *Psychological Science*, 14(4), 309-314.
- Oh, S. H. & Kim, M. -S. (2004). The role of spatial working memory in visual search efficiency. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 275-81.
- 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.
- 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.
- Rensink, R. A., O'Regan, J. K., & Clark, J. J. (1997) To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes.

- Psychological Science*, 8, 368373.
- Simons, D. J. & Levin, D. T. (1997) Change blindness. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 261-267.
- Shore, D. I., & Klein, R. M. (2000). On the manifestations of memory in visual search. *Spatial Vision*, 14, 59-75.
- Takeda, Y., & Yagi, A. (2000). Inhibitory tagging in visual search can be found if search stimuli remain visible. *Perception & Psychophysics*, 62(5), 927-934.
- Taylor, S. E. (1981). A categorization approach to stereotyping. In D.L. Hamilton (Ed.), *Cognitive progress in stereotyping and intergrouping behavior* (pp. 88-114). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Treisman, A. M. (1986). Features and objects in visual processing, *Scientific American*, 254(11), 114-125.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treisman, A. M., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 16, 456-478.
- Wolfe, J. M., Cave, K. R., and 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), 419-433.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0: A Revised Model of Visual Search. *Psychonomic Bulletin & Review* 1(2), 202-238.
- Woodman, G.F. & Luck, S.J. (2004). Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 269-274.

1 차원고접수: 2004. 11. 25

2 차원고접수: 2005. 3. 3

최종게재승인: 2005. 3. 5