

수량민감도와 시각작업기억 및 시각적 주의 간 개인차 연구

A Study of Individual Differences across Numerosity Sensitivity,
Visual Working Memory and Visual Attention

김기연 · 조수현 · 현주석†

Giyeon Kim · Soohyun Cho · Joo-Seok Hyun†

중앙대학교 심리학과

Department of Psychology, Chung-Ang University

Abstract

Numerosity perception is considered as an innate ability of human being where its sensitivity may widely vary across each individual person. The present study explored the relationship between visual working memory (VWM), visual search efficiency, and numerosity sensitivity. To accomplish this, we calculated each participant's K -value from change detection performance representing one's storage capacity in VWM, slopes of search RTs representing the search efficiency, and discrimination sensitivity for a quantity difference across two sets of dot arrays representing the numerosity sensitivity. The correlational analysis across the measurements revealed that participants with a high VWM capacity better discriminated the numerosity difference in the arrays when the spatial information in the two dot arrays was preserved. In contrast, the participants with high search efficiency discriminated better the difference in the arrays when the spatial information in the arrays was not preserved. The results indicate high VWM-capacity individuals were presumably able to use a strategy of storing the dot arrays by grouping them into a smaller pattern of dot arrays while high search-efficiency individuals were able to use a strategy of rapidly switching their focused attention across the dots in the arrays to count each individual dot. These in sum suggest that individual differences in numerosity sensitivity rely on one's working memory capacity as well as their efficient use of switching focused attention.

Key words: numerosity perception, visual working memory, visual search, individual differences

요약

인간의 수량지각은 선천적인 능력으로 생각되지만 그 민감도에 있어서는 개인차가 존재할 가능성이 크다. 본 연구는 시각작업기억과 시각탐색 효율성 그리고 수량민감도 능력 간의 상관 여부를 조사하였다. 이를 위해 변화 탐지 수행 능력에 기초해 개인의 작업기억 저장용량을 정량화시킨 K -값, 시각탐색 효율성의 지표인 탐색함수의 기울기 그리고 두 점 배열내의 점 개수 간 수량 차이에 대한 민감도를 각각 측정하였다. 이들에 대한 상관 관계 분석 결과 시각작업기억 고용량 개인의 경우 점 배열 간 위치 정보가 보존되었을 때 수량 차이에 상대적으로 저

* 이 논문은 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2012R1A1A2044320)

† 교신저자 : 현주석 (중앙대학교 사회과학대학 심리학과, 인지 및 지각 전공)

E-mail : jshyun@cau.ac.kr

Phone : 02-820-5128

Fax : 02-816-5124

용량 개인에 비해 민감했던 반면, 시각탐색 고효율 개인의 경우 점 배열 간 위치 정보가 보전되지 않았을 때 수량 차이에 상대적으로 민감했다. 이러한 결과는 작업기억 고용량 개인들의 경우 점배열을 소수의 점 패턴 형태로 근집화하는 전략을 사용했을 가능성과 함께, 고효율 시각탐색이 가능한 개인들은 배열 내의 개별 점들에 대해 초점 주의를 상대적으로 신속하게 이용하는 전략을 사용했을 가능성을 시사한다. 종합해 볼 때, 개인들의 수량 민감도는 개인의 작업기억 용량 및 초점주의 이동의 효율성에 의존할 가능성이 있는 것으로 판단된다.

주제어: 수량지각, 시각작업기억, 시각탐색, 개인차

1. 연구배경

눈앞에 존재하는 사물이 무엇인지에 관한 정보만큼 그것이 얼마나 많이 존재하는지를 파악하는 것 역시 중요하다. 객체(object)의 수량을 구분하는 능력은 출생 직후의 영아에게서도 관찰되며 따라서 인간이 지닌 기본적인 지각 능력 중 하나로 간주된다(Xu, 2003; Xu & Arriaga, 2007; Xu & Spelke, 2000; Xu, Spelke, & Goddard, 2005).

월령 6개월의 영아들은 두 수량정보가 일정 정도 이상 차이가 난다면 어느 것이 더 많고 적은지를 변별할 수 있었으며 수량정보가 청각적으로 제시되더라도 이를 구분할 수 있다(Lipton & Spelke, 2003; Xu & Spelke, 2000). 심지어 이러한 능력은 태어난 지 몇 시간밖에 지나지 않은 영아에게서도 관찰되었는데 Izard 등(2009)은 영아들이 1:2의 수량차이를 신뢰롭게 변별할 수 있었고 같은 정도의 수량을 표상한다면 자극이 시각적으로 제시되었든 청각적으로 제시되었든지에 관계없이 동일한 범주로 분류할 수 있음을 보고하였다.

수량 변별 능력은 발달과정에 따라 점차 향상되는데 6개월의 영아는 1:2, 9개월이 되면 3:4의 산술적 수량적 차이에 기초한 비율 차이를 구분할 수 있으며 성인이 되면 평균적으로 7:8의 비율 차이를 구분할 수 있게 된다(Halberda & Feigenson, 2008; Pica et al., 2004). 이러한 발달은 경험이나 교육 수준에 의해 결정되기보다 선천적인 것으로 보이며 연령 증가에 따라 자연스럽게 습득되는 것으로 보인다(Halberda & Feigenson, 2008).

예를 들어, Pica 등(2004)은 아마존에 거주하는 부족민을 대상으로 수량정보를 얼마나 잘 변별할 수 있는지를 측정하였다. 이들의 언어에는 ‘6’ 이상을 세는 단어가 없으며 대부분은 특별한 교육을 받은 적이 없

었다. 그러나 부족민 집단의 민감도는 도시에서 수학 교육을 받은 집단과 큰 차이가 없음을 관찰하였다. 또한 인간은 빛, 소리와 마찬가지로 수에 대한 내적 표상을 보유하고 있는 것으로 짐작된다. 즉 서로 다른 수준의 빛의 휘도(luminance)를 구분하기 위해서는 두 빛의 강도가 일정 수준 이상 차이가 나야 하며 빛의 강도가 증가하면 그 차이가 비율적으로 증가되어야 하는데, 인간은 이러한 차이에 비교적 민감한 것이 보고되었다(Shepard, Kilpatric, & Cunningham, 1975).

앞선 연구들의 결과들을 고려할 때, 인간은 발달 초기부터 수량정보를 처리하는 선천적이고 보편적인 능력을 보유한 것으로 짐작된다. 그러나 모든 사람의 수량 정보처리 민감도가 동일한 것은 아니다. 개인의 수량 정보처리 민감도는 주어진 과제에서 요구하는 수량 정보처리의 과제 양상에 따라 달리 관찰된다.

일반적으로 수량정보에 대한 처리는 작은 수 그리고 큰 수 정보에 대한 처리로 구분될 수 있다. 작은 수에 대한 처리는 직산(subitizing)으로 명명되며(Kaufman, Lord, Reese, & Volkman, 1949) 대략 네 개 이하의 수 정보에 대한 신속하고 효율적인 처리를 의미한다. 반면 네 개를 초과하는 수에 대한 처리과정은 셈(counting or enumeration)으로 명명되며 직산에 비해 상대적으로 더디고 부정확한 것으로 알려져 있다(Trick & Pylyshin, 1994).

구체적으로, 화면에 항목개수를 달리하여 수량정보를 제시하고 몇 개 항목이 제시되었는지를 추정하는 과제를 가정해 보자. 항목개수가 적어 직산이 요구되는 경우 수량추정 정확도는 개인 간에 거의 유사하다. 하지만 항목 개수가 증가해 셈을 요구하면 대개 항목들에 대한 개별화(individuation)에 근거한 수량 추정 과정이 수반된다. 이 때, 어떤 개인은 큰 수량을 정확히 추정하는 반면 다른 개인은 그와 달리 부정확한

추정을 보인다.

이러한 결과에 기초해, Trick과 Pylyshyn(1994)은 소수의 항목에 대한 수량 추정인 직산 처리 과정은 전주의적(pre-attentive) 단계에서 완료될 수 있으며, 주어진 항목들에 대한 병렬처리(parallel processing)를 통한 개별화 과정에 기초한다고 보고하였다. 반면 다수 항목에 대한 처리과정인 셸 과정은 초점주의의 개입을 요구하며, 직산에 비해 상대적으로 부정확하고 추가 시간과 노력을 요구하는 것으로 보고하였다(Trick & Pylyshyn, 1994).

개인의 수량민감도를 측정하는 과정에서 흔히 사용되는 방법은 대개 수량 배열의 동시나 순차 제시에 뒤이은 수량 변별 과제이다(박윤지, 조수현, 2014; Price, Palmer, Battista, & Ansari, 2012). 대개 이런 과제는 두 수량배열을 동시 혹은 순차 제시하여 둘 중 어느 것이 더 많은지 혹은 적은지를 판단하도록 요구한다. 이 때, 두 배열 사이의 수량차이 비율을 매 시행마다 증감시켜 각 비율 차이 조건에서 참가자들이 얼마나 정확히 수량을 변별할 수 있는지를 조사하게 된다. 대개 두 배열 간 수량 차이의 비율이 적을수록 변별 정확도가 감소하는데, 수량민감도가 높은 사람은 그렇지 않은 사람에 비해 더 작은 수량차이를 변별할 수 있다.

수량 민감도 차이는 작업기억용량의 개인차와도 관련이 있는 것으로 짐작된다. 예를 들어, Tuholski, Engle과 Baylis(2001)는 작업기억용량이 큰 개인과 적은 개인 집단 각각에게 수량정보에 대한 셸 과제 수행을 요구하였다. 각 참가자들은 화면에 몇 개의 막대 자극이 제시되었는지를 추정했으며 그에 따른 반응시간과 정확도가 측정되었다. 측정 결과, 저용량 개인의 경우, 고용량 개인의 막대 개수 추정의 정확성과 작업기억 용량과는 상관이 관찰되지 않았으며, 고용량 및 저용량 집단 모두 막대 개수를 정확하게 보고하였다.

반면 처리효율성에 있어서는 두 집단 간 분명한 차이가 관찰되었다. 직산 범위 내에서는 두 집단의 반응 시간에 차이가 없었으나 직산의 범위를 초과한 수량 정보에 대해서 고용량 집단의 경우 반응시간의 상대적인 지연 정도가 저용량 집단에 비해 적었다. 이는 작업기억의 용량차이가 단순히 저장 용량의 차이(Cowan, 2001)보다는 개인의 주의통제 능력에 기인한다는 견해와 일치한다(Engle, 2002; Kane, Bleckley, Conway,

& Engle, 2001).

이러한 연구 이외에도 다수의 선행연구 결과들은, 작업기억 용량이 높은 개인의 경우 주의를 포착(capture)하는 방해자극이 있을 경우 저용량 개인에 비해 방해 자극의 간섭을 더 잘 억제함을 관찰하였다. 이는 고용량 개인들이 주어진 과제나 목표와 관련 있는 정보를 더 잘 활성화시키고(Conway & Engle, 1994), 주변 간섭들로부터 작업기억 내 표상들을 더 잘 유지하며(Kane & Engle, 2000), 더 이상 중요하지 않게 된 정보를 억제하거나 과제 무관한 정보를 더 잘 억제한다는데 기인하는 것으로 해석되었다(Brewin & Beaton, 2002; Vogel, McCollough, & Machizawa, 2005).

수량 정보 처리에 대한 작업기억의 역할에 있어서 초점주의의 효과적인 통제가 중요하다는 앞선 연구들의 결과는, 효율적인 수량정보 처리과정에 주의전환 능력이 중요하며 특히 직산의 범위를 초과하는 수량 정보처리 즉 셸 과정을 수행하는데 더욱 중요하다는 연구들(Simon & Vaishnavi, 1996; Van Oeffelen & Vos 1984; Watson, Maylor, & Bruce, 2007)과 맥락을 같이 한다.

예를 들어 Simon과 Vaishnavi(1996)는 참가자들에게 화면의 중심을 응시한 채 화면에 제시된 점의 개수를 추정하도록 요구했다. 참가자들은 직산 범위를 초과한 수량에 대해 상대적으로 부정확했으며 보고의 확신도 또한 낮았다. 특히 자극이 100ms의 짧은 시간 동안 제시되어 안구운동이 어려웠던 경우 이러한 추정은 더욱 부정확하였다. Simon과 Vaishnavi는 이 결과에 대해, 개별 항목들에 대한 개별화와 그에 따른 셸 과정에 도약 안구운동(saccades)이 핵심 역할을 한다고 해석했다.

반면 셸 수행 과정 동안의 안구운동이 개별 항목 단위로 주의가 순차적으로 전환되는 과정이 아님을 시사하는 연구들 또한 발견된다. 예를 들어, Van Oeffelen과 Vos(1984)는 참가자가 셸 과제를 수행하는 동안 단일 항목이 아닌 점집합을 단위로 한 회기의 안구 운동이 발생하는 것을 관찰하였다. 이러한 안구 운동 패턴은, 셸 과정이 궁극적으로는 많은 수량 정보 중 일부 집합을 선택해 직산이 시도된 후 다음 집합에서 직산을 다시 순차 반복하는 과정임을 시사한다. 반면 직산이 가능한 소량의 자극들이라 할지라도 즉각적인

고 효율적인 수량변별이 가능한 것은 아니다. Trick과 Pylyshin(1993)은 수량 자극 자체나 제시 방식이 초점 주의 처리를 특별히 요구할 경우, 직산 가능한 소량 자극이라도 처리 시간이 지체됨을 보고하였다.

직산 및 셈 과정동안의 대조적인 안구운동패턴의 시사점은 단순 세부특징 탐색(simple feature search)과 결합탐색(conjunction search)에서 관찰되는 탐색 반응 시간 패턴과 여러 모로 닮아 있다. 단순 세부특징 탐색은 탐색 표적이 주변 방해자극에 비해 독특한 세부 특징으로 구성되며 따라서 방해자극의 개수가 증가해도 반응시간이 비교적 일정하기 때문에 병렬탐색이 수행되는 것으로 가정된다. 반면 결합탐색의 표적은 둘 이상의 세부특징 조합으로 구성되어 방해자극과 하나 이상의 세부특징을 공유한다. 이 경우 방해자극 개수 증가에 따라 반응시간 또한 점차 지연되며, 결과적으로 순차탐색이 수행되는 것으로 가정된다.

이러한 탐색 과제의 유형 별 특성을 고려할 때, 직산 범위 내의 수량 정보에 대한 병렬적 처리는 단순 탐색의 그것과 닮아 있으며, 직산범위를 초과하는 수량정보에 대한 순차적 처리는 결합탐색의 그것과 닮아 있다. 예를 들어, Zelinsky와 Sheinberg(1997)는 단순 탐색과 결합탐색에서 관찰되는 병렬 혹은 순차적인 정보처리 특성이 안구운동의 횡수에 반영된다고 가정하고 탐색 수행 중의 참가자의 안구운동을 관찰하였다. 그 결과 안구운동을 허용 한 경우, 단순탐색 조건에서는 항목개수에 관계없이 반응시간과 안구운동 횡수가 일정했으나 결합탐색 조건에서는 항목개수 증가에 따라 반응시간과 안구운동 횡수가 모두 선형적으로 증가하였다.

더 나아가 Watson등(2007)은 1-9 개로 변화하는 점 배열을 제시한 후 참가자에게 배열 내의 점 개수를 추정하도록 요구했다. 그에 따른 반응시간과 안구운동을 관찰한 결과, 배열의 점 개수가 직산 범위 내일 경우 반응시간 및 안구운동 횡수가 일정했다. 반면 직산 범위를 초과한 경우 점 개수 증가에 따라 반응시간과 안구운동 빈도가 가파르게 증가하는 것이 관찰되었다. 결과적으로, 직산 범위 내의 수량 자극에 대해서는 단순세부특징 탐색에서 사용되는 즉각적이고 신속한 병렬처리가 반대로, 직산 범위를 초과해 셈 과정을 요구하는 수량자극에 대해서는 상대적으로 시간

과 노력이 요구되는 순차처리가 진행됨을 추측할 수 있다.

현재까지 소개된 연구 결과들을 모두 종합해 볼 때, 수량 지각과 작업기억 그리고 시각탐색 각각에 대한 처리 과정에서 나타나는 정보처리 양상은, 효율적 처리가 가능한 정보의 용량이 제한되어있다는 점에서 매우 유사하며 그에 대한 이론적 해석 면에서도 유사점이 발견된다. 이러한 세 가지 정보처리 상황에서 발견되는 개인차 역시 제한된 정보처리 자원을 토대로 개인이 구사하는 전략 및 효율성과 직결된다는 점 또한 매우 분명하다.

그럼에도 불구하고 세 가지 모두 간의 관련성을 한 연구에서 종합적으로 살펴 본 사례는 매우 드물며, 특히 개인차에 변인을 고려해 그 관련성을 조사한 연구는 거의 전무에 가까운 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 세 과제가 요구하는 정보처리 과정 간의 유사점을 탐색하고, 그에 따른 이론적 시사점을 해석하였다.

개인의 수량 변별 능력의 경우, 수량 변별과제에서 산출된 베버비율(Weber fraction/ratio)을 토대로 개별 참가자의 수량민감도를 추정하였다. 개인의 작업기억 능력의 경우, 변화탐지 과제에서의 탐지 정확도를 토대로 Pashler(1988)와 Cowan(2001)의 방식에 기초한 K 값이 추정되었다. 마지막으로 개인의 시각탐색 능력은 단순 세부특징 및 결합탐색 과제 각각에서 항목개수 증가에 따른 탐색 반응시간의 상대적 증가량 즉 탐색함수(search function)의 기울기(slope)로 정의되었다. 특히 세 과제에서 산출된 개별 참가자들의 추정치 간 상관관계를 분석해 세 과제에 요구되는 정보처리 과정 간의 유사점에 대한 탐색을 시도하였다.

2. 실험

만약 큰 작업기억용량과 높은 시각탐색 효율성이 효율적인 수량정보 처리를 돕는다면 각 능력들 간에 높은 상관 관계가 관찰되어야 한다. 이를 알아보기 위해 여러 과제를 이용해 각 참가자들의 작업기억용량, 시각탐색 효율성, 그리고 수량민감도를 측정하였다.

먼저 개인의 시각작업기억 용량 추정을 위해서 색

상 변화탐지과제가 사용되었다(Luck & Vogel, 1997, Vogel, Woodman, & Luck, 2001). 일반적인 변화탐지 과제에서는 참가자들에게 색상을 가진 여러 개의 자극을 100 혹은 200ms 동안 순간 노출시킨 후 이를 기억하도록 요구한다. 약 1초 정도의 기억 지연시간 후 검사자극이 나타나는데 검사자극들의 색상은 전체 시행의 절반에서는 기억항목과 동일하고 나머지 절반에서는 그중 한 항목의 색상이 기억항목과 다르도록 처리된다. 참가자들은 이러한 색상이 다른 검사항목의 존재 유무 즉 색상 변화의 발생 여부를 정확히 보고해야 한다. 만약 기억항목들의 색상을 기억하는데 성공했다면 변화의 발생 여부를 정확히 보고할 수 있어야 한다. 이 때, 기억항목 개수의 증가는 시각작업기억의 부하(load)를 증가시키는 것으로 가정되며, 따라서 변화탐지과제의 정확도 관찰을 통해 시각작업기억 저장능력을 추정할 수 있다(현주석, 2011).

반면 시각탐색 과제는, 화면에 제시된 여러 탐색항목들 중에서 탐색표적을 최대한 빠르고 정확하게 찾도록 요구한다. 표적이 방해자극과 뚜렷이 구분되는 단일 세부특징으로 정의된 경우, 이를 단순 세부특징 탐색이라 명명한다. 이러한 표적은 그 자체의 현출성(saliency)에 의해 방해자극으로부터 돌출(pop-out)하기 때문에 탐색수행과정에 초점주의가 불필요하며, 방해자극의 개수에 관계없이 즉각 탐지된다(Treisman, 1988). 반면 결합탐색에서는 표적이 둘 이상의 세부특징 조합으로 정의된다. 결합 탐색에서 표적은 방해자극과 세부특징을 공유하므로 표적발견을 위해서는 개별 탐색항목에 대한 순차적 확인이 요구된다. 따라서 방해자극의 개수 증가에 따라 탐색시간이 선형적으로 증가한다. 따라서 항목개수에 따른 탐색시간의 선형함수가 정의되는데, 여기서 항목개수 증가에 따른 탐색시간의 상대적 증가량, 즉 기울기(slope)는 개별 항목의 처리에 소요되는 평균 시간을 반영하며 그 양은 탐색처리의 효율성 지표가 된다. 따라서 본 연구는 탐색 과제에 대한 개인의 탐색 능력 추정치 즉 탐색 효율성의 지표로 참가자 개인의 반응시간에 근거한 탐색 함수의 기울기를 사용하였다).

수량민감도 추정에는 세 가지 수량변별 과제가 실시되었으며, 개별 참가자들이 변별의 대상이 된 두 배열의 수량 차이를 얼마나 잘 구분할 수 있는지를 측정하는 것이었다. 먼저 동시비교 과제(bilateral simultaneous comparison task)에서는 수량 변별이 요구되는 두 집단의 점 배열이 응시점의 좌우에 제시되었다. 위치변화 순차비교과제(sequential comparison location-scrambled task)에서는 두 점 배열이 일정 시간 간격을 두고 순차적으로 제시되었으며, 선행 배열과 비교해 후행 배열 내의 점의 위치를 무선적으로 변화시켜 제시하였다. 마지막으로 위치고정 순차비교과제(sequential comparison location-fixed task)에서는, 두 점 배열을 앞서 순차 비교과제에서처럼 순차적으로 제시하되 선, 후행 배열 간 점들의 위치를 동일하게 유지하였다. 수량 차이는 베버비율을 기준으로 변별이 쉬운 수준부터 어려운 수준까지 다양하게 구성되었다. 각 과제에서 수집된 변별 수행의 정확도를 토대로 심리측정함수(psychometric function)와의 적합도 추정을 시도하였으며, 그 결과 산출된 베버분수가 개인의 수량민감도로 정의되었다.

2.1 방법

2.1.1. 참가자

중앙대학교에 재학 중인 19세 ~ 26세($M = 22.1$, $SD = 1.78$)의 학생 16명이 실험에 참가하였다. 이들 중 남성 참가자는 10명, 여성 참가자는 6명이었다. 한 명을 제외한 나머지 참가자의 우세손은 오른손이었다. 모든 참가자는 정상시력 또는 정상교정시력을 보고하였다.

2.1.2 자극 및 절차

약 2시간 30분에 걸쳐 시각작업기억, 시각탐색 효율성, 수량민감도가 측정되었다. 참가자들은 항상 시각작업기억 과제를 먼저 수행하였고 탐색효율성, 수량민감도 과제의 순서는 참가자에 걸쳐 역균형화되었다. 자극 제시를 위해 19인치 LCD 모니터가 사용되었다. 화면의 해상도는 1280×720 이었다. 모든 자극은 MATLAB을 기반으로 Psychophysics Toolbox(Brainard, 1997)를 통해 구현되었다. 참가자들은 눈을 중심으로

1) 항목개수 효과는 반드시 초점주의의 순차적 이동보다는 탐색반응과 관련된 의사결정 과정 혹은 용량제한적 병렬 처리 모형에 의해 설명될 수 있다는 반론이 가능함을 밝

혀둔다(Pashler & Badgio, 1985; Townsend, 1990; Townsend & Wenger, 2004).

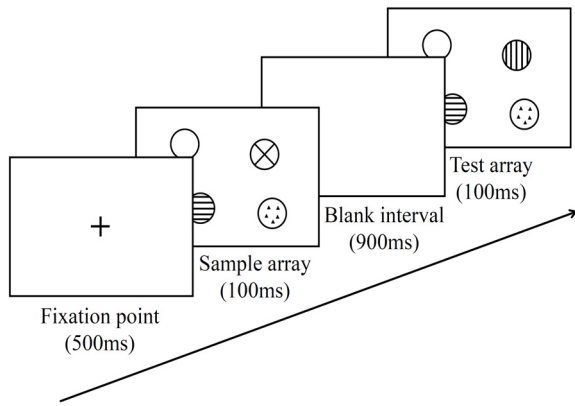


Figure 1. An example of change trial in color change detection task. Different patterns of circles represent different colors. Participants were required to report a change of object color at test array. The number of objects was varied 2, 4, 6, and 8.

화면으로부터 60cm 떨어진 거리에서 과제를 수행하였다.

시각작업기억

참가자들의 시각작업기억을 측정하기 위해 색상변화탐지과제가 사용되었다. 본 연구에서 사용된 변화탐지과제의 자극과 절차의 예시가 Figure 1에 제시되었다. 개별 시행은 화면의 중앙에 흰 색의 십자 응시점(0.29° × 1.09°)이 출현하는 것으로 시작되었다. 응시점은 500ms 동안 제시되었으며 이것이 사라지고 나면 원형의 항목들(1.17° × 1.17°)로 구성된 기억배열(sample array)이 200ms 동안 제시되었다. 제시되는 항목의 개수는 매 시행에 걸쳐 2, 4, 6, 그리고 8개 사이에서 변화되었다.

항목의 색상은 빨강(x = .544, y = .337, 2.00 cd/m²), 파랑(x = .237, y = .212, 1.22 cd/m²), 하늘색(x = .282, y = .412, 8.04 cd/m²), 노랑(x = .463, y = .404, 4.41 cd/m²), 초록(x = .314, y = .510, 5.59 cd/m²), 분홍(x = .433, y = .290, 3.07 cd/m²), 흰색(x = .376, y = .394, 10.73 cd/m²), 그리고 검정(x = .302, y = .320, 0.47 cd/m²) 중에서 무선적으로 선택되었다. 이 때, 한 배열 내에 존재하는 항목 간의 색상이 한 번만 중복 가능하도록 조작되었다.

자극 제시위치는 화면의 중심을 기준으로 14.49° × 14.49°의 공간 내에서 무선 선택되었으며 항목 간 최소 간격은 2.55°로 고정되었다. 기억배열이 사라지고

나면 과제를 위해 빈 화면이 제시되었다. 900ms의 기억지연 후, 기억항목이 제시되었던 위치에 검사배열(test array)로서 기억항목과 동일한 개수의 검사항목이 200ms 동안 제시되었다. 변화있음 시행에서 검사배열은 하나의 항목 색상이 해당 위치에 제시되었던 기억항목의 색상과 달랐고 변화없음 시행에서의 검사배열은 기억배열과 동일하였다. 참가자들은 검사항목의 색상을 기억 속에 저장된 기억항목의 색상과 비교하여 변화가 발생했는지의 여부를 z나 /키를 통해 반응하도록 요구받았다. 각각 변화있음과 없음에 상응하는 반응키의 순서는 참가자에 걸쳐 역균형화 되었다. 전체 시행 수는 200회로 시행의 절반에서만 변화가 발생하였다.

시각탐색 효율성

시각탐색 효율성을 측정하기 위해 색상과 방향에 대한 두 가지의 단순세부특징 탐색과제, 그리고 색상과 방향의 조합으로 정의된 표적을 탐색하는 결합세부특징 탐색과제가 사용되었다. 각각의 탐색과제에서 사용된 자극의 예시가 Figure 2에 도해되었다. 색상에 대한 단순세부특징 탐색과제에서는 색상 원(0.80° × 0.80°)이 자극으로 사용되었다(Figure 2A). 표적은 나머지 주변 방해자극들과 다른 색상을 가진 항목으로 정의되었다. 다시 말해 표적과 방해자극은 색상이라는 하나의 세부특징 차원에서 구분되었다. 표적과 방해자극의 색상은 순서대로 파랑과 초록 혹은 초록과 파랑이었으며 표적을 정의하는 색상 순서는 참가자에 걸쳐 역균형화 되었다.

방향에 대한 단순세부특징 탐색과제에서는 Landolt C 자극과 유사한 형태, 즉 오른쪽이나 왼쪽에 대략 0.44° × 0.36°의 크기의 간극(gap)을 지닌 검정 원(0.80° × 0.80°)이 자극으로 사용되었다(Figure 2B). 표적은 나머지 방해자극과 다른 방향의 간극을 가진 항목으로 정의되었으며 표적의 간극 방향은 색상에 대한 탐색과제와 동일하게 참가자에 걸쳐 역균형화 되었다.

마지막으로 색상과 방향에 대한 결합세부특징 탐색과제에서는 앞선 두 단순세부특징 탐색과제에서 사용되었던 자극의 조합이 사용되었다(Figure 2C). 예를 들어, 표적이 오른쪽에 간극을 지닌 파란색 원이라면 나머지 방해자극들은 오른쪽 간극을 지닌 초록색 원 혹

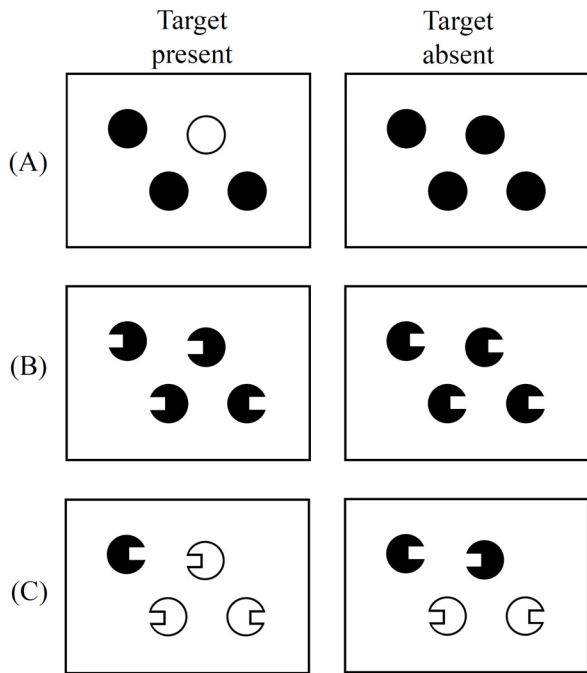


Figure 2. An example of the stimuli in visual search task. The number of objects were varied 4, 8, 12 and 16 across trials. The left panel represents target present trials in each type of search task and the right panel represents target absent trials. (A): Simple search condition for color. The target was defined as an object which has distinctive color. An white circle is a target in this example. (B): Feature search condition for orientation. A circle which has different direction of a gap with other objects was a target. (C): Conjunction search for color and orientation.

은 왼쪽 간극을 지닌 파란색 원이었다. 따라서 방해 자극은 항상 표적과 하나의 세부특징을 공유하도록 하였다.

모든 탐색과제는 500ms의 응시점 제시로 시작되었다. 응시점이 사라지고 나면 탐색배열(search array)이 제시되었으며 참가자들은 표적있음과 없음에 대해 각각 다른 키('z' 혹은 '/')를 눌러 최대한 빠르고 정확하게 반응하도록 지시받았다. 탐색배열은 참가자들이 반응키를 누를 때까지 화면에 유지되었다. 화면에 제시되는 항목개수(setsize)는 시행에 걸쳐 4, 8, 12, 그리고 16개로 변화하였다. 각 탐색과제에서 총 시행 수는 240회로 각 항목개수 조건은 동일한 비율로 제시되었으며 표적은 시행의 절반에만 제시되었다. 참가자들은 세 유형의 탐색과제를 모두 실시하였으며 과제의

수행 순서는 참가자 내에서 무선화되었다.

수량민감도

개인의 수량민감도를 측정하기 위해 참가자가 수량의 차이를 얼마나 잘 구분할 수 있는지에 대한 변별과제를 실시하였다. 총 세 종류의 변별과제가 사용되었으며 실험에서 사용된 자극과 질차예시를 Figure 3에 도해하였다. 모든 과제에서 참가자들은 동시에 (Figure 3A) 혹은 순차적으로(Figure 3B, 3C) 제시된 두 점 배열의 수량차이를 변별하도록 요구받았다. 점 배열은 0.80° × 0.80°의 크기를 가진 검은색 점들로 구성되었고 점의 개수는 최소 1개에서부터 최대 52개로 변화되었다.

두 배열의 수량차이는 사전에 임의 결정된 1:2의 비율에서부터 12:13 이르기까지 총 12 종류의 비율로 구성되었다. Table 1은 수량변별 과제에서 사용된 차이 비율과 그에 상응하는 베버비율, 그리고 배열에 포함된 점들의 개수를 정리한 것이다. 베버비율은 ‘큰 수/작은 수’로 계산되었다.

동시비교 조건(Figure 3A)에서 두 점 배열은 화면의 중심을 기준으로 좌, 우 영역에 200ms 동안 제시되었다. 과제는 좌, 우의 점 배열 중 어떤 것에 더 많은 점이 제시되었는지를 판단하는 것이었다. 이 때, 두 배

Table 2. Difference ratio between two numerosity arrays and its corresponding Weber ratio

Difference ratio	Weber ratio (large/small)	Numerosity of two dot arrays
1:2	2	1:2, 2:4, 3:6, 4:8
2:3	1.500	2:3, 4:6, 6:9, 8:12
3:4	1.333	3:4, 6:8, 9:12, 12:16
4:5	1.250	4:5, 8:10, 12:15, 16:20
5:6	1.200	5:6, 10:12, 15:18, 20:24
6:7	1.166	6:7, 12:14, 18:21, 24:28
7:8	1.143	7:8, 14:16, 21:24, 28:32
8:9	1.125	8:9, 16:18, 24:27, 32:36
9:10	1.111	9:10, 18:20, 27:30, 36:40
10:11	1.100	10:11, 20:22, 30:33, 40:44
11:12	1.091	11:12, 22:24, 33:36, 44:48
12:13	1.083	12:13, 24:26, 36:39, 48:52

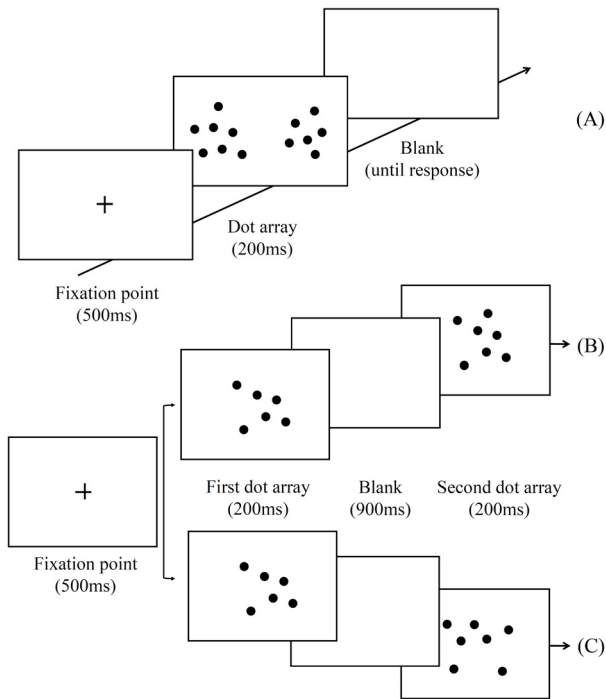


Figure 3. An example of the stimuli and procedures in three numerosity tasks. A: Bilateral comparison. Two dot arrays were presented simultaneously on left and right side of display. B: Sequential comparison location-fixed. The locations of dots in second array were fixed expect for added or illuminated dots. C: Sequential comparison location-scrambled. the locations of dots were varied when second array was presented. B and C show a change of numerosity in second array.

열의 점들이 공간적 중첩되지 않고 구분될 수 있도록 화면의 중심을 기준으로 배열 사이에 18.06° 거리를 두었다. 따라서 화면의 중심으로부터 3.05° × 14.49° 공간 내에서 무선적인 위치에 제시되었다. 총 시행은 240회로 전체 시행의 절반에서는 왼쪽에 더 많은 점이 제시되었고 나머지 절반에서는 오른쪽에 더 많은 점이 제시되었다.

위치변화 순차비교 조건 그리고 위치고정 순차비교 조건에서 두 점 배열은 900ms의 지연을 두고 각각 200ms 동안 제시되었다. 동시비교 조건과 달리 첫 번째 배열과 비교해서 두 번째 배열의 수량이 달라졌는지 아니면 동일한지를 판단하는 것이 과제였다. 두 조건의 유일한 차이는 점들이 제시되는 위치에 있었다. 위치변화 순차비교 과제에서 두 번째 배열에 제시된

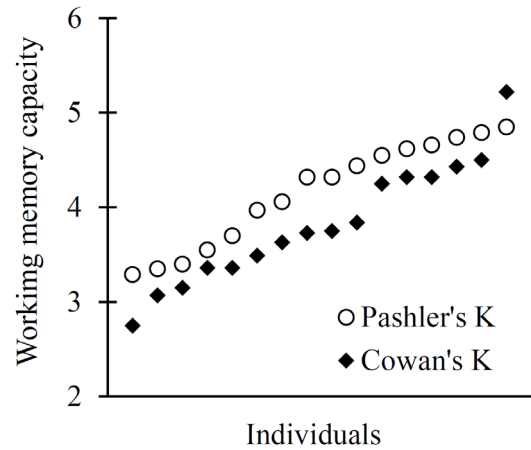


Figure 4. Scatter plot of Cowan's and Pashler's K from color change detection task. Each dot represents one participant.

점들의 위치는 첫 번째 배열에서 제시된 점들의 위치와는 달랐다. 즉, 두 번째 배열이 제시될 때 수량의 변화와는 독립적으로 점들의 위치에 항상 변화가 발생하였다. 따라서 참가자들은 위치의 변화를 무시하고 수량의 변화에 대해 반응해야 했다.

반면 위치고정 순차비교 과제에서 두 배열을 구성하는 점들의 위치는 동일하였다. 만약 두 번째 배열의 수량이 첫 번째와 비교해 더 많은 경우라면 첫 번째 배열의 점을 동일하게 위치시킨 후 나머지 영역에 증가된 개수의 점을 무선적으로 위치시켰다. 반대로 첫 번째 배열의 수량이 더 많은 경우라면 두 번째 배열은 첫 번째 배열의 점을 동일하게 위치시키고 그 중 감소된 수량만큼 점을 제거하였다. 순차제시조건에서는 전체 시행 288회 중 절반에서만 수량변화가 발생하였다.

2.2 결과와 논의

2.2.1 시각작업기억 용량

변화탐지과제에서의 수행을 기반으로 개별 참가자의 작업기억 용량이 추정되었다. 아래 Equation 1과 2는 각각 Pashler(1988)와 Cowan(2001)에 의해 고안된 K값을 산출하는 공식이다.

- Equation 1: Pashler's $K = [N \times (H - F) / (1 - F)]$

- Equation 2: Cowan's $K = C \times [N \times (H - F) / (1 - F)]$

N: 항목개수, H: 정반응율, F: 오경보율, C: 정지각율

Pashler(1988)는 참가자가 K 개의 저장용량을 가지고 있다면 항목개수가 N 개인 시행들 중 K/N 회의 시행에서는 하나의 항목이 변화하였음을 탐지할 수 있다는 가정에 근거하였다. 반응편향을 보정하기 위해 오경보율이 고려되긴 하였으나 Cowan(2001)은 이러한 보정이 충분치 않다고 판단하여 정기각율을 고려한 계산방식을 제안하였다. 일반적으로 Pashler의 K 값은 전체탐사(whole prove)에 Cowan의 K 값은 부분탐사(partial prove) 방식에 적합하다고 알려져 있다. 그러나 Rouder 등(2011)에 따르면 전체탐사를 이용한 선행연구들이 주로 Pashler의 방식을 사용하긴 하였지만 Cowan의 방식 역시 사용되었으며 부분탐사 역시 마찬가지였다.

또한 Lee 등(2011) 그리고 Vogel, Woodman과 Luck (2006)은 부분탐사법을 이용해 작업기억을 측정하였으나 Pashler와 Cowan의 방식을 모두 사용하였으며, Gold 등(2001)은 두 방식에 큰 차이가 없음을 보고하였다. 이러한 선행연구에 근거하여 개별 참가자의 K 값을 두 가지 방식을 모두 이용하여 산출하였다. 전체 참가자의 작업기억용량의 산포도가 Figure 4에 제시되었다. 항목개수 작업기억용량은 4, 6, 그리고 8에서 추정된 K 값의 평균으로 정의되었다. 작업기억의 용량의 범위는 Pashler와 Cowan의 방식에서 각각 3.29 ~ 4.85 ($M=4.16$, $SD=.55$)와 2.78 ~ 4.58 ($M=3.73$, $SD=.41$)이었다.

2.2.2 시각탐색 효율성

탐색배열 제시로부터 반응까지 소요된 시간을 반응시간으로 정의하였다. 반응시간 분석에는 정확히 반응한 시행만이 포함되었다. 참가자들의 평균 오류비율(error rate)은 색상 세부특징탐색, 방향 세부특징탐색, 결합탐색에 대해 각각 1.47%(±1.35), 2.59%(±2.15), 그리고 3.38%(±2.50)이었다. 일원변량분석(one-way ANOVA) 결과 결합탐색이 색상세부특징탐색에 비해 오류비율이 조금 더 높았다, ($F(2, 45)=3.79$, $p<.05$).

정반응 시행에 기초하여 탐색함수를 반응시간을 항목개수에 대한 일차함수로 정의하였다. 이러한 반응시간×항목개수 함수의 기울기는 항목개수 증가에 따른 평균반응시간 증가량을 이용해 계산되었다. 전체 참가자의 탐색함수 그래프가 Figure 5에 제시되었다. 색상 대한 세부특징 탐색의 경우, 표적있음 그리고 없

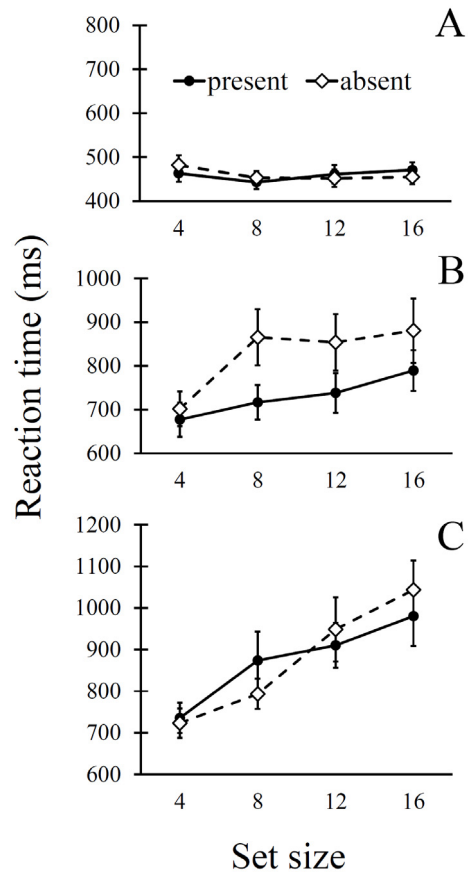


Figure 5. Results of three visual search task. x axis represents the number of item which were presented search array and y axis represents manual reaction time. (A): color simple search task. (B): Orientation simple search task. (C): Conjunction search task. Error bars mean one standard error.

음시행 모두에서 항목개수 증가에 상관없이 표적 탐지에 소요된 시간이 일정하였다, ($F(3, 45)=2.66$, $F(3, 45)=2.41$, all $ps>.05$). 그러나 방향세부특징 탐색의 경우, 세부특징 탐색임에도 불구하고 표적있음 그리고 표적없음 시행 모두에서 항목개수 증가에 따라 반응시간이 증가하는 패턴이 관찰되었으며, ($F(3, 45)=37.9$, $F(3, 45)=8.91$, all $ps<.01$), 표적없음 시행에서의 기울기가 14.0으로 기울기가 9.0인 표적있음 시행에 비해 약 1.5배 정도 컸다. 즉, 방향세부특징탐색에서는 색상에 대한 세부특징탐색과 달리 일반적으로 결합탐색에서 관찰되는 순차적인 탐색패턴이 관찰되었다. 이는 자극의 복잡성 정도에 따라 세부특징탐색에서도 순차적인 탐색패턴이 관찰될 수 있으며 반대로 결합탐색에서도 병렬적인 탐색패턴이 나타날 수

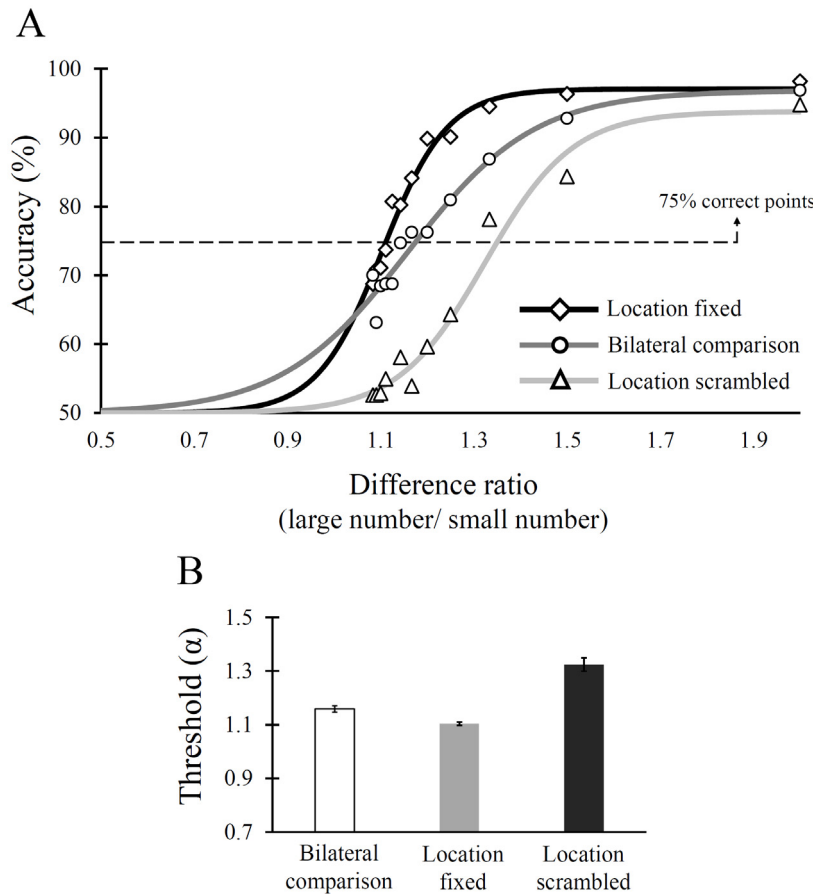


Figure 6. Fitted psychometric functions and estimated thresholds from three numerosity tasks. Fitting based on data from total number of subjects at each task. (A): Psychometric functions for bilateral comparison, sequential comparison location fixed and varied. Data from three tasks were fitted to logistic function with maximum likelihood method. 75% correct points represent thresholds of each psychometric function (B): Estimated threshold values from three psychometric functions. It was low in order of sequential comparison location fixed, bilateral comparison, sequential comparison location varied. Therefore, subject could differentiate two numerosities most well in sequential comparison location fixed condition. Error bars represent one standard error.

있다는 선행연구 결과(Treisman, 1988; Wolfe, 1994)를 고려할 때, 본 실험에서 사용된 형태 자극(Landolt C)의 자극 특수성에 기인한 것으로 추정된다.

반면 색상과 방향에 대한 결합탐색에서는 항목개수의 증가에 따라 표적을 찾는 데 소요되는 시간이 상대적으로 빠르게 증가하는 패턴이 관찰되었다. 이러한 수행패턴은 표적있음시행과 없음시행에서 모두 확인되었다, ($F(3, 45) = 12.4$, $F(3, 45) = 27.2$, all $ps < .01$). 표적없음시행의 탐색기율기(26)는 표적있음시행의 탐색기율기(20)에 비해 1.3배 정도 컸다.

일반적으로 결합탐색에서 표적부재시행의 탐색기율은 표적존재시행의 1.5~2배 정도로 보고되지만 (Triesman, 1988; Treisman & Gelade, 1980; Wolfe, 1998;

1994) 본 연구에서 두 시행조건의 기율기차이는 분명하지 않았다. 이는 앞서 단순 세부특징 탐색 과제와 마찬가지로 색상과 간극의 방향의 조합으로 구성된 방해자극 사이에서 표적을 찾는 것이 일반적인 시각탐색 연구에서 흔히 사용된 색상과 막대의 조합보다 다소 어려웠기 때문으로 보인다(Wolfe, 1994).

2.2.3 수량민감도

세 수량변별 과제에서의 수행을 기반으로 각 과제에 대한 개별 참가자들의 심리측정함수를 추정하였다. 이를 위해 MATLAB의 Palamedes toolbox를 이용하여 각 베버비율에서의 변별정확도와 로지스틱 함수

Table 2. Correlation coefficients between working memory, search efficiency, and numerosity sensitivity.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Working memory	1.Cowan's K	1										
	2.Pashler's K	.921**	1									
Search efficiency	3.color (p)	-.132	-.024	1								
	4.orientation (p)	-.083	.050	.249	1							
	5.conjunction (p)	.027	-.030	.044	.500*	1						
	6.color (a)	-.295	-.292	.204	-.114	-.266	1					
	7.orientation (a)	-.060	-.085	.281	.428	.409	.247	1				
Numerosity sensitivity	8.conjunction (a)	-.373	-.420	-.059	.491	.547*	.004	.292	1			
	9.bilateral	.209	.130	-.027	.216	-.006	-.060	.042	.066	1		
	10.fixed	-.558*	-.411	.455	.121	-.089	.545	.040	.216	-.137	1	
	11.scrambled	-.336	-.426	-.010	.342	.442	.182	.069	.614*	-.117	.222	1

* $p < .05$, ** $p < .01$

(p)=target present trials, (a)=target absent trials

(logistic function) 간의 적합도를 추정하였다. 추정에 사용된 로지스틱 함수의 수식이 Equation 3에 제시되었다.

$$\text{Equation 3: } y = \gamma + (1 - \gamma - \lambda) \times \frac{1}{1 + e^{-\beta(x - \alpha)}}$$

함수의 x 값은 베버비율, y 값은 해당 베버비율에서의 정확도를 의미한다. 알파(α), 베타(β), 감마(γ), 람다(λ)는 심리측정함수의 네 가지 모수이다. 알파는 y 축에서 함수의 상대적인 위치를 결정하며 베타는 함수의 기울기를 결정한다. 감마와 람다는 각각 추측비율(guessing rate)과 오류비율(lapse rate)이며 차례대로 우연수준의 수행 그리고 참가자가 자극강도와 관련 없이 반응 즉 예를 들어 실험 중 재채기 등으로 자극을 보지 못하고 반응 하는 시행 등의 비율을 의미한다. 본 연구에서는 변별과제에 2대안강제선택법(2-Alternative Forced Choice)이 사용되었으므로 감마는 0.5로 고정되었다. 알파, 베타 그리고 람다는 자유 모수(free parameter)로서 최대우도법(maximum likelihood)을 통해 추정되었다. 네 개의 모수 중 알파를 이후의 분석에서 수량민감도를 나타내는 값으로 사용하였다. 이는 심리측정함수에서 알파는 수행의 정확도가 75%가 되는 지점으로 변별역치2)를 의미하기 때문이다.

2) 심리측정함수에 대한 적합도 추정 결과 얻어진 역치, 즉

동시비교, 위치고정 순차비교 그리고 위치변화 순차비교 조건에서 전체 참가자의 수행에 기반하여 추정된 심리측정함수를 Figure 6에 제시하였다. 각 조건에서 계산된 역치(α , 알파)값은 위치변화 순차비교, 동시비교, 위치고정 순차비교 조건 순으로 낮았다. 다시 말해 참가자들은 위치변화 순차비교 조건에서는 두 배열 사이의 수량차이 비율이 큰 경우에도 불구하고 이를 변별하는데 어려움을 겪었던 반면 위치고정 순차비교 조건에서는 비교적 수량차이 비율이 낮은 경우에도 수량차이를 잘 변별할 수 있었음을 의미한다. 이는 위치고정 순차비교 조건에서 두 번째 배열이 제시되었을 때, 점들의 공간적 위치가 대부분 첫 번째 배열과 동일하게 유지되었고 이것이 점배열의 패턴이 변화를 탐지하는데 도움을 주었기 때문으로 보인다. 이러한 결과는 직산의 범위를 초과하는 수량정보라 할지라도 제시되는 점의 패턴이 정형화된 형태를 가지는 경우, 직산만큼 효율적인 처리과정을 통해 수량 정보를 처리할 수 있음을 보고한 선행 연구의 결과와 일치한다(Mandler & Shebo, 1982).

알파값은 베버비율임을 의미한다. 그러나 베버비율은 ‘베버계수 + 1’로 표현할 수 있으며 베버계수는 ‘(큰 수 - 작은 수)/작은 수’로 계산될 수 있으므로 넓은 의미에서 베버비율과 베버계수를 차이역(differential threshold)으로 간주해 기술하였다.

2.2.4 상관분석

개별 과제 분석을 통해 추정된 작업기억용량, 탐색 효율성, 수량민감도에 관한 피어슨 상관분석(pearson correlation analysis)을 실시하였다. 16명 참가자들에서 측정된 과제 점수들 간의 상관분석의 결과가 Table 2에 요약되었다.

세 가지 수량과제가 모두 수량차이 변별에 대한 민감도를 측정하는 것이었음에도 불구하고 세 과제 점수 간에 유의한 상관 관계는 관찰되지 않았다. 이는 각 수량과제에서 성공적으로 수량을 변별하기 위해 요구되는 수량 정보처리 전략이 달랐기 때문으로 해석할 수 있다.

먼저 순차비교 조건은 변별을 위해 수량정보에 대한 표상을 작업기억에 저장하도록 요구한다는 점에서 동시제시조건과 다르다. 두 순차비교 조건에서의 실험 절차는 기억배열에 존재하는 항목들의 표상정보를 저장한 후, 이를 기반으로 검사배열의 항목과 비교하도록 하는 변화탐지과제와 유사하다. 즉 순차제시조건에서 첫 번째 배열이 제시된 이후에 두 번째 배열의 제시까지 어느 정도의 시간간격이 존재하므로 과제를 수행하기 위해서는 첫 번째 제시된 배열의 수량정보를 지연시간 동안 작업기억 속에 과제(retention)하고 있어야 한다. 동시비교 조건에서는 두 수량배열이 동시에 양측에 제시되기 때문에 수량정보에 대한 기억이 요구되지는 않았다. 게다가 두 순차비교조건에서는 하나의 수량배열이 200ms 동안 제시되었던 반면 동시비교 조건의 경우, 두 개의 수량배열이 200ms 동안 제시되었기 때문에 한 배열을 처리하기 위해 할당할 수 있는 시간이 나머지 두 조건에 비해 절반 정도로 짧았다. 따라서 동시비교 조건에서는 빠르게 두 배열의 수량정보를 추출하여 비교해야 한다. 또한 수량배열이 순차적으로 제시되었다고 할지라도 점 위치가 고정되었는지 그렇지 않은지에 따라 다른 처리 전략이 사용된 것으로 보인다.

두 순차비교조건에서 추정된 각각의 수량민감도는 서로 다른 능력과 관련 있었다. 먼저 위치고정 순차비교 조건에서의 수량민감도 그리고 작업기억용량 사이에 부적 상관 관계가 관찰되었다, ($r = -.558, p < .05$). 즉, 작업기억용량이 큰 사람일수록 위치고정 순차비

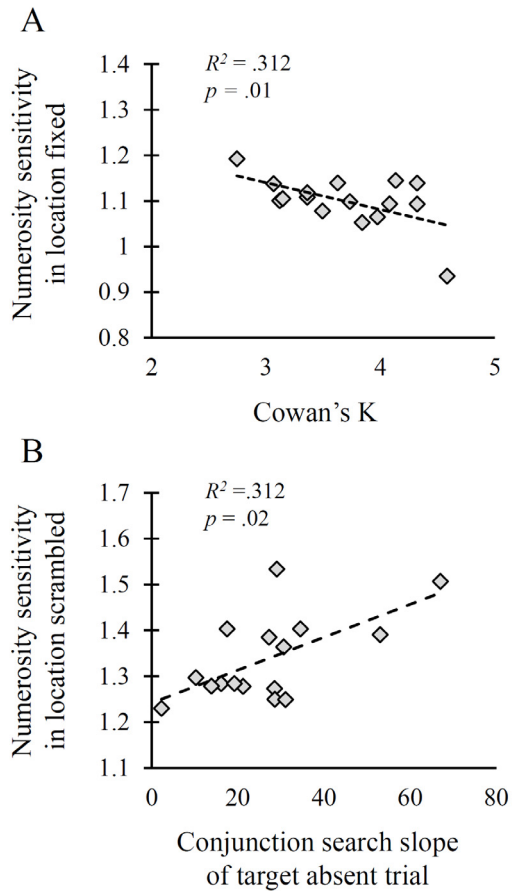


Figure 7. Correlation analysis between working memory capacity, search efficiency, and numerosity sensitivity. (A): A negative correlation between working memory capacity and numerosity sensitivity from sequential comparison location fixed. (B): A positive correlation between visual search efficiency and numerosity sensitivity from sequential comparison location scrambled.

교 조건에서 두 수량 간의 차이를 더 잘 변별하였다. 이는 위치고정 순차비교 조건에서는 첫 번째 배열과 두 번째 배열 내에 존재하는 점들의 위치가 대부분 동일하였기 때문에 점의 공간적 배열을 하나의 패턴으로 작업기억 내에 추가로 저장하는 책략이 상대적으로 고용량 참가자에 게 유리했기 때문으로 해석할 수 있다.

반면 위치변화 순차비교 조건에서의 수량민감도와 표적없음 시행에서의 결합탐색기울기 사이에 정적 상관 관계가 있었다, ($r = .614, p < .05$). 이는 탐색효율성이 높은 사람일수록 위치변화 순차비교 조건에서 수

량차이를 더 잘 변별할 수 있었음을 의미한다. 이러한 결과는 위치변화조건에서 두 번째 배열 출현 시 변화하는 점들의 위치로 인해 매번 다른 위치의 점들에 대한 선택 수행이 요구된 관계로, 결합탐색에서 방해자극 사이에서 표적을 찾는 순차 탐색 능력이 크게 반영된 데 기인한 것으로 보인다.

즉 위치변화조건에서 개별 점들이 구성된 전체 배열의 패턴을 저장하는 것은 수량판단에 도움이 되지 않는다. 따라서 참가자들은 짧은 제시시간 동안 하나의 점에서 다른 점으로 주의를 전환시키는 과정을 반복함으로써 한 배열 내 얼마나 많은 점이 존재하는지를 파악했을 수 있으며 결과적으로 결합 탐색 능력이 우수한 참가자의 수량 민감도가 상대적으로 높게 나타난 것으로 판단된다.

3. 종합논의

본 연구는 인간의 수량지각, 시각작업기억 그리고 시각탐색 능력들에 존재하는 공통적인 속성에 기반하여 각 능력이 동일한 인지적 처리 과정을 통해 완수될 가능성에 대해 탐색해보고자 하였다. 이를 위해 각 참가자들의 작업기억용량, 탐색효율성, 수량민감도를 측정하여 이들 사이의 상관분석을 실시하였다. 그 결과 수량민감도는 그것을 측정하는 과제 유형에 따라 서로 다른 인지적 능력과 관계가 있는 것으로 관찰되었다.

위치고정 순차비교 조건에서 측정된 수량민감도는 작업기억용량과 부적상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 이는 작업기억용량이 큰 개인이 두 수량배열 사이의 차이를 잘 구분함을 의미한다. 특히 이러한 상관은 위치변화 순차비교 조건에 비해 위치고정 순차비교 조건에서 분명했는데, 두 조건 간에는 순차적으로 제시되는 두 점배열의 위치의 동일성 여부를 제외하고는 큰 차이가 없었다. 그럼에도 불구하고 위치고정 조건의 경우에만 수량민감도와의 상관이 관찰되는 점은, 뒤 점배열의 위치가 순차제시되는 점배열 간에 보전되었기 때문인 것으로 추측된다.

즉 이러한 위치 정보의 보전은, 참가자들로 하여금 첫 번째 점배열이 제시되었을 때 각각의 점들을 개별

적으로 처리하기보다 몇 개의 점들을 하나의 패턴으로 간주하여 작업기억에 저장한 후 이를 다음 배열의 패턴과 비교하는 전략을 사용하도록 유도한 것으로 추측할 수 있다. 따라서 기억용량이 큰 개인은 주어진 시간동안 이러한 패턴을 저장하고 활용할 여력이 용량이 낮은 개인에 비해 크므로 위치고정 순차비교 조건에서 수량 민감하게 수량 변별을 수행할 수 있었던 것으로 해석될 수 있다.

반면 위치변화 순차비교 조건에서의 수행은 결합탐색기억기와 정적 상관관계가 있었고, 이는 시각탐색 능력이 우수한 개인일수록 두 점배열 간 수량차이를 상대적으로 더 잘 변별했음을 의미한다. 위치변화 순차비교 조건에서는 두 배열을 구성하는 점들의 위치가 무선적으로 변화되었기 때문에 배열 내 개별 점의 상대적 위치 혹은 점배열의 패턴이 수량변화 탐지에 도움을 줄 수 있는 단서가 아니었다. 그 보다는 점배열이 노출된 찰나의 시간 동안 배열 내의 정확한 수량을 파악하는 과정이 상대적으로 중요해진다.

위치변화 순차비교 조건에서의 수량민감도 과제 정확도와 결합탐색 수행 능력간의 정적 상관 관계는 이러한 정보처리 전략이 결합탐색에서 표적을 찾기 위해 탐색하는 능력과 밀접한 관련이 있음을 시사한다. 다시 말해 위치변화 순차비교 조건과 같이 신속한 수량정보처리를 요구하는 경우에 한 점에서 다른 점으로 빠르게 주의를 전환함으로써 시각배열의 수량정보를 추출하는 것이 중요하며 결과적으로 초점주의 이동이 상대적으로 신속한 즉 탐색 효율성이 높은 개인이 상대적으로 유리하다. 이러한 해석은 특히 효율적인 수량정보 처리에 적절한 주의 전환이 요구된다는 선행연구의 결과에 비추어 볼 때 타당한 것으로 평가된다(Simon & Vaishnavi, 1996; Van Oeffelen & Vos 1984; Watson, Maylor, & Bruce, 2007).

그러나 본 연구의 결과만을 가지고 하나의 수량 집합 내에서 발생하는 신속한 수량정보 처리가 병렬적이라고 단언하기 또한 어렵다. Trick과 Pylyshin (1993)이 보고한 바와 같이, 제시된 정보의 양상에 따라 그 정보를 처리하는데 주의를 요구될 수 있다. 따라서 직관이 가능한 범위 내의 수량에 대한 변별을 요구하더라도 경우에 따라서는 항목 개수 증가에 따라 수량 변별에 요구되는 시간 역시 지연될 수 있기 때문이다.

또한 Cowan의 K값과 Pashler의 K값 모두가 작업기억 용량에 대한 추정치이며 동시에 두 추정치 사이에 높은 정적상관이 관찰되었음에도 불구하고 Pashler의 K값만이 위치고정 순차비교 조건과의 유의한 부적상관을 보였다는 점은 작업기억용량이 특정 수량정보처리 과정에 있어 중요할 수 있다는 본연구의 주장을 다소 약화시키는 것으로 해석될 가능성이 존재 한다. 결과에 있어서 이러한 일관성의 부족은 본 연구에 참가한 참가자의 수가 충분치 않았거나 혹은 과제의 시행횟수가 안정적인 결과를 산출하기에는 부족했던 점에 기인하였을 가능성이 크다. 그러나 지금까지 매우 유사한 세 가지 유사한 인지적 처리과정에 대해 종합적으로 살펴본 연구가 없었고 이에 대한 기초를 제공하고 있다는 점에서 여전히 의미 있는 결과라고 할 수 있으며 항목을 처리하는데 있어 실제로 주의 전환이 어떠한 방식으로 이루어지는지, 그리고 작업기억에 대한 추정치 간 서로 다른 결과가 도출된 것에 대해서는 추후 좀 더 정교한 자극 및 과제 설계에 의한 추가 검증이 필요한 것으로 판단된다.

종합해보면 본 연구는 개인의 수량 민감도는 개인의 작업기억용량 및 주의 사용 능력과 밀접한 관련이 있으며, 이러한 개인의 능력 차이는 변별이 요구되는 수량 자극의 양상 및 형태에 따라 수량 변별 과제의 수행에 영향을 미칠 수 있음을 관찰하였다. 특히 본 연구는 수량지각, 작업기억 그리고 주의 간 관계에 대해 직접적인 비교를 시도했다는 점에서 의미가 있으며, 향후 수량정보처리의 인지적 배경을 밝히고 이를 통해 수량민감도에 있어서 개인차의 영향력을 이해하는데 도움을 줄 것으로 기대된다.

그럼에도 불구하고 본 연구에는 수량 지각에 영향을 미치는 것으로 알려진 다양한 변인들이 정교하게 통제되지 못했다는 제한점이 있다. 예를 들어, 한 배열 내에 존재하는 점들의 개수가 증가하면 동시에 화면에서 점들이 차지하는 면적 역시 넓어지게 된다. 따라서 참가자들은 점의 개수가 아니라 점이 차지하는 면적에 근거하여 어느 배열에 점이 더 많이 제시되었는지를 판단할 가능성이 있다. 더불어 배열 내에서 점의 개수 증가에 따라 점의 밀도(density) 역시 증가하기 때문에 이것이 수량 민감도와는 관계없는 시각적 단서를 제공했을 가능성이 있다. 따라서 후속 연구는

이러한 변인들을 통제하여 수량민감도에 대해 보다 정교하고 정확한 측정을 시도하는 방향으로 수행되어야 할 것이다.

REFERENCES

- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision, 10(4)*, 433-436.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *The Behavioral and Brain Sciences, 24*, 87 - 114.
- Dehaene, S., & Changeux, J. P. (1993). Development of elementary numerical abilities: A neuronal model. *Journal of Cognitive Neuroscience, 5(4)*, 390-407.
- Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science, 11(1)*, 19-23.
- Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the "Number Sense": The Approximate Number System in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology, 44(5)*, 1457-1465.
- Hyun, J.-S. (2011). Understanding visual working memory based on significant examples of behavioral studies (행동적 연구 사례에 근거한 시각작업기억의 이해). *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology, 23(1)*, 45-90.
- Izard, V., Sann, C., Spelke, E. S., & Streri, A. (2009). Newborn infants perceive abstract numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(25)*, 10382-10385.
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General, 130(2)*, 169-183.
- Kaufman, E. L., Lord, M. W., Reese, T. W., & Volkman, J. (1949). The discrimination of visual number. *The American Journal of Psychology, 62(4)*, 498-525.
- Lee, E. Y., Cowan, N., Vogel, E. K., Rolan, T.,

- Valle-Inclán, F., & Hackley, S. A. (2010). Visual working memory deficits in patients with Parkinson's disease are due to both reduced storage capacity and impaired ability to filter out irrelevant information. *Brain*, *133*, 2677-2689.
- Lipton, J. S., & Spelke, E. S. (2003). Origins of number sense large-number discrimination in human infants. *Psychological Science*, *14*(5), 396-401.
- LeFevre, J. A., DeStefano, D., Coleman, B., & Shanahan, T. (2004). Mathematical cognition and working memory. *The handbook of mathematical cognition*, 361-378.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1990). Electrophysiological evidence for parallel and serial processing during visual search. *Perception & psychophysics*, *48*(6), 603-617.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, *390*, 279-281.
- Mandler, G., & Shebo, B. J. (1982). Subitizing: an analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, *111*(1), 1-22.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., & Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*(4), 621-640.
- Park, Y., & Cho, S. (2014). Comparing Construct and predictive validities of the measurement of children's approximate number acuity depending on numerosity comparison task format (수량 비교 과제 의 형식에 따른 아동의 수 민감도 측정치의 구성 타당도 및 예측 타당도 비교). *Korean Journal of Cognitive Science*, *25*(2), 159-187.
- Pashler, H. (1988). Familiarity and visual change detection. *Perception & Psychophysics*, *44*, 369 - 378.
- Pashler, H., & Badgio, P. C. (1985). Visual attention and stimulus identification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *11*(2), 105-121.
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science*, *306*(15), 499-503.
- Rouder, J. N., Morey, R. D., Morey, C. C., & Cowan, N. (2011). How to measure working memory capacity in the change detection paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*(2), 324-330.
- Price, G. R., Palmer, D., Battista, C., & Ansari, D. (2012). Nonsymbolic numeral magnitude comparison: Reliability and validity of different task variants and outcome measures, and their relationship to arithmetic achievement in adults. *Acta Psychologica*, *140*(1), 50-57.
- Prins, N & Kingdom, F. A. A. (2009) Palamedes: Matlab routines for analyzing psychophysical data. <http://www.palamedestoolbox.org>.
- Shepard, R. N., Kilpatrick, D. W., & Cunningham, J. P. (1975). The internal representation of numbers. *Cognitive Psychology*, *7*(1), 82-138.
- 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.
- Treisman, A., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, *95*, 15-48.
- Tuholski, S. W., Engle, R. W., & Baylis, G. C. (2001). Individual differences in working memory capacity and enumeration. *Memory & Cognition*, *29*(3), 484-492.
- 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 & Performance*, *27*(1), 92-114.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2006). The time course of consolidation in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *32*, 1436 - 1451.
- Watson, D. G., Maylor, E. A., & Bruce, L. A. (2007). The role of eye movements in subitizing and counting. *Journal of Experimental Psychology: Human*

Perception and Performance, 33(6), 1389-1399.

Wolfe, J. M. (1998). What can 1 million trials tell us about visual search? *Psychological Science*, 9(1), 33-39.

Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2.0 a revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(2), 202-238.

Xu, F. (2003). Numerosity discrimination in infants: Evidence for two systems of representations. *Cognition*, 89(1), B15-B25.

Xu, F., & Arriaga, R. (2007). Number discrimination in 10-month-old infants. *British Journal of Developmental Psychology*, 25, 103-108.

Xu, F., & Spelke, E. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74, B1-B11.

Xu, F., Spelke, E. S., & Goddard, S. (2005). Number sense in human infants. *Developmental Science*, 8, 88-101.

Zelinsky, G. J., & Sheinberg, D. L. (1997). Eye movements during parallel - serial visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(1), 244-262.

원고접수: 2014.12.09

수정접수: 2015.03.19

게재확정: 2015.04.21