

## Prior information on the number of items to remember can change representations of items in visual working memory\*

Sung Jun Joo<sup>†</sup>

Department of Psychology, Pusan National University

It has long been debated how the limited visual working memory resources are allocated among the items in the storage. The core of this debate can be summarized as to whether the resources are allocated with fixed resolution in the discrete slots or can be flexibly allocated. Here we test whether representation of the visual working memory can be affected by prior information on the number of items to remember. Our results show that in the conditions where prior information is given, the precision of the representation is reduced when observers remember 6 items compared to 3 items. This finding suggests that observers can use the prior information and flexibly allocate the visual working memory resources, possibly setting a task strategy to remember more items by sacrificing the resolution of each item. Thus, our results support the claim that the visual working memory resources are continuous and flexibly allocated.

**Keywords:** visual working memory, resource allocation, fixed slot model, flexible resources model

1차원고접수 21.07.25; 수정본접수: 21.09.15; 최종게재결정 21.09.27

시각 작업기억(visual working memory)은 시지각(visual perception)과 같은 하위 수준의 처리 과정에 중요한 역할을 할 뿐만 아니라, 지능과 여러 인지 과제의 수행과 같은 상위 수준의 인지 처리과정과 연관이 있다. 우리는 보통 1초에 3~4회 안구운동을 하여 해상도가 높은 중심와(fovea)에 있는 시각 정보를 처리하고 통합하여 시각 장면을 지각한다 (Irwin, 1991). 매우 빨리 갱신되고 추가되는 시각 정보를 통합하기 위해 각 응시점의 시각 정보를 시각 작업기억에 저장하고 유지하는 것이 매우 중요하다(Luck & Vogel, 2013). 한편, 시각 작업기억의 용량은 상위 인지 기능과 매우 밀접한 상관관계가 있다. 시각 작업기억의 용량은 약 43%의 설명력으로 유동지능(fluid intelligence)의 개인차를 예측할 수 있으며(Fukuda et al., 2010), 약 46%의 설명력으로 다양한 인지 과제 수행의 개인차를 예측할 수 있다(Johnson et al.,

2013).

시각 작업기억의 용량에는 한계가 있다. 시각 장면에 제시된 모든 물체를 동시에 시각 작업기억에 저장할 수 없다. 한정된 시각 작업기억의 자원을 시각 장면의 항목들에게 어떻게 할당할 것인가에 대한 연구는 하위 수준의 시각 정보 처리 과정뿐 아니라 상위 수준의 인지 기능을 이해하는 데에 있어서 매우 중요한 문제이며, 시각 작업기억의 용량에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다.

한정된 시각 작업기억의 자원을 어떻게 할당할 것인가에 대한 논의는 크게 두 주장으로 요약될 수 있다. 하나는 시각 작업기억의 용량이 별개의 한정된 수의 표상을 가진다는 것(개별 슬롯 모델)이고(Zhang & Luck, 2008; Luck & Vogel, 1997, 2013), 다른 하나는 자원이 연속적이고 유연하게 시각 작업기억 내의 항목들에 나뉘어 할당될 수 있다(연

\* 이 논문은 2019년도 부산대학교 인문사회연구기금의 지원을 받아 연구되었음.

† 교신저자: 주성준, 부산대학교 심리학과, (46241) 부산광역시 금정구 부산대학교 63번길 2 사회관 119호, E-mail: sjjoo@pusan.ac.kr

속적 자원 모델)는 주장이다(Bays & Husain, 2008; Ma, 2014; van den Berg et al., 2012). 시각 작업기억의 용량이 별개의 한정된 수의 표상을 가진다는 주장은 변화 탐지 (change detection) 실험 패러다임의 결과에 바탕을 둔다 (Luck & Vogel, 1997). 변화 탐지 실험 패러다임은 두 개의 연속적인 물체의 배열을 보고 두 번째 제시된 화면의 물체 중 첫 번째 제시된 화면의 물체와 다른 것이 있는지 탐지하는 과제이다. 이 실험 패러다임을 활용하여 Luck & Vogel (1997)은 한 번에 시각 작업기억에 담을 수 있는 항목의 개수가 3-4개 정도라는 것을 보여주었다. 뇌영상 연구들은 개별 슬롯 모델을 지지하는 것처럼 보인다. 연구자들은 사건 관련 전위와 기능성 자기 공명 영상 반응이 시각 작업기억의 최대 용량까지는 기억해야 할 항목의 개수에 비례하여 증가하지만, 최대 용량을 초과하면 더 이상 증가하지 않는다는 것을 보여주었다(Vogel & Machizawa, 2004; Todd et al., 2004).

지금까지의 시각 작업기억의 용량에 대한 연구는 대부분 화면에 제시된 기억해야 할 자극의 개수를 증가시키며 시각 작업기억 과제의 수행률을 측정하였다. 따라서 참가자들이 작업기억의 용량을 벗어나는 자극의 수를 가진 화면을 기억해야 할 때, 전체 자극을 기억하기보다 자극의 일부분만 완벽하게 기억하려는 전략을 사용하여 과제를 수행했을 가능성이 있다. 따라서 강력한 개별 슬롯 모델이 주장하는 것처럼 시각 작업기억 표상이 개별 슬롯의 일정한 해상도 (resolution)를 갖는 결과(Zhang & Luck, 2008)를 야기할 수 있다.

실제로 참가자 집단별로 다른 과제 전략을 사용하도록 지시문을 주었을 경우, 시각 작업기억의 용량이 지시문에 따라 변화된다(Bengson & Luck, 2015). 전체기억 집단에게는 “전체 화면을 기억하라”라는 지시문을, 일부기억 집단에게는 “일부분에 집중해서 더 잘 기억하도록 하라”라는 지시문을, 통제 집단에게는 “최대한 많은 시행에서 정답을 맞출 수 있도록 하라”라는 지시문을 주었다. 그 결과, 전체 화면을 기억하는 집단의 시각 작업기억 용량이 가장 컸고, 일부분을 기억하는 집단과 통제집단의 시각 작업기억 용량은 비슷하였다. 이러한 결과는 시각 작업기억의 용량이 과제 전략에 의해 유동적으로 변할 수 있음을 시사한다.

본 연구에서는 한정된 시각 작업기억의 자원이 과제 전략에 따라 유동적(flexible)으로 할당될 수 있는지를 조사하였다. 특히 강력한 슬롯 모델을 지지하는 선행 연구 패러다임 (Zhang & Luck, 2008)을 사용하여 과제 전략에 따라 시각 작업기억의 표상의 정확성(precision)이 변화하는지를 조사하

였다. 만약 시각 작업기억의 자원이 고정된 해상도를 가진 개별 슬롯에 할당된다면, 시각 작업기억의 용량을 초과하는 항목에 대한 표상의 정확성이 일정하게 유지될 것이다 (Zhang & Luck, 2008). 하지만 시각 작업기억의 자원이 과제 전략에 따라 유연하게 할당될 수 있다면, 시각 작업기억의 용량을 초과하는 항목에 대한 표상의 정확성은 시각 작업기억 용량 내의 항목에 비해 상대적으로 작아질 것이다.

## 방 법

### 참가자

워싱턴대학교의 학생 33명이 자발적으로 참가하였다. 실험 1, 2, 4에는 8명의 참가자가, 실험 3에는 9명의 참가자가 참가하였다. 모든 참가자는 교정시력 1.0 이상이었다. 참가자들은 연구 참여에 대한 소정의 보상을 받았다. 실험의 모든 절차는 워싱턴대학교의 생명연구윤리위원회의 승인을 얻었고, 각 참가자는 연구 참여 전에 참가동의서를 작성하였다.

### 자극

모든 실험은 암실에서 진행되었다. 관측거리(viewing distance)는 턱고정장치를 사용하여 통제되었다. 모든 자극은 선형화된(linearized) 19인치 CRT 모니터(주사율 60 Hz)에 제시되었다. 참가자와 모니터와의 거리는 50 cm였다. 자극의 생성과 자극의 제시 제어, 반응 기록 등 실험의 모든 절차는 MATLAB Psychtoolbox(Brainard, 1997)를 활용하여 구현되었다. 본 연구의 모든 자극은 Zhang & Luck (2008)을 따라 생성되었다. 색환(color wheel)은 2.2의 두께를 가졌고, 반지름은 8.2였으며 화면의 중앙에 제시되었다. 색환을 구성하는 180개의 색은 CIE L\*a\*b 색 공간 안의 중심(L=70, a=20, b=38)과 반지름 60을 가지는 색 원의 균일 분포(uniform distribution) 내에서 선택되었다. 이 모든 색은 동일한 휘도(luminance)를 가졌다. 기억 항목은 2x2의 크기를 갖는 정사각형들로 구성되었고, 각 정사각형의 색은 색환 안의 색에서 선택하여 제시하였다. 기억 항목은 3개 또는 6개의 정사각형들로 구성되었는데, 3개의 정사각형의 경우 각 정사각형의 색은 색환에서 120°만큼 떨어지도록 선택하였고, 6개의 정사각형의 경우 각 정사각형의 색은 60°만큼 떨어지도록 선택하였다. 매 시행마다 색환을 무선적으로 회전했기(rotation) 때문에 기억 항목의 색은 매 시행 무선적으로 선택되었다. 정사각형들의 중심은 화면의 중앙을 중심으로 한 반지름 4.5를 가지는 보이지 않는 원에 위치하였고, 이 원의 둘레에 균등하게 떨어지도록 위치한 8개의 정사각형의

위치로부터 각 조건에 따라 무선적으로 선택되었다. 총 시행 수는 300(기억 항목 3: 150 시행, 기억 항목 6: 150 시행)이었다.

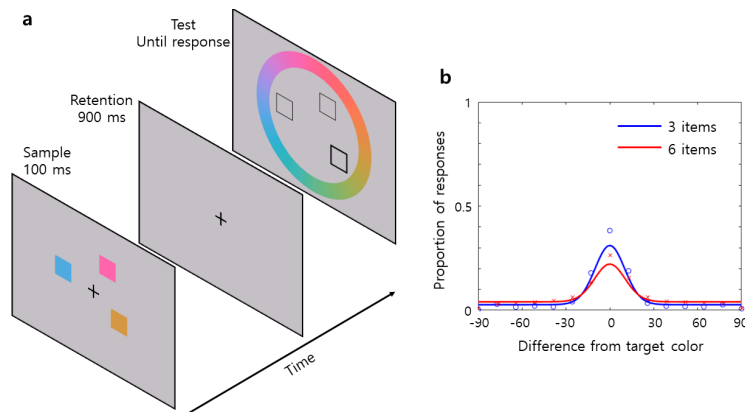
**절차**

모든 실험에 사용된 기본적인 절차는 다음과 같다(Figure 1a). 기억 항목들(색이 채워진 정사각형)은 0.1초간 제시된 후 사라졌다. 이후 기억 유지기 동안 회색 배경 색이 0.9초간 제시되었다. 기억 유지기 후 기억 항목들의 위치에 검정 색 테두리만 있는 정사각형이 제시되었고, 그 중 무선적으로 선택된 하나의 정사각형의 테두리(0.20 )는 다른 정사각형의 테두리(0.04 )보다 굵게 제시되었다. 참가자는 기억 속에 있는 테두리가 굵은 정사각형의 색을 보고하였다. 참가자의 보고를 위해 색환이 제시되었고, 참가자는 컴퓨터 마우스를 이용하여 기억하고 있는 정사각형의 색을 마우스 클릭을 통해 보고하였다. 반응에 대한 피드백은 주어지지 않았으며, 반응 후 다음 시행까지 1초간의 휴지기가 있었다. 실험 1은 Zhang & Luck (2008)의 결과를 반복검증하기 위해 수행되었다. 매 시행의 기억 항목의 수는 3개 또는 6개 중 무선적으로 선택되어 제시되었다. 따라서 실험 1에서 참가자는 몇 개의 항목을 기억해야 하는지 각 시행 전 알 수가 없었다. 실험 2 - 4는 과제 전략에 따른 시각 작업기억 자원 할당의 변화를 조사하기 위해 참가자에게 다음 시행에서 기억해야 할 항목에 대한 단서를 제공하였다. 실험 2에서는 각 기억 항목 수 조건을 무선적으로 제시하지 않고 블록화(blocked)하였다. 하나의 블록에는 3개의 항목만을 다른 블록에는 6개의 항목만을 제시하였고, 각 블록이 시작하기 전에 참가자에게 이 정보를 제공하였다. 블록의 순서는 참가자마다 균형화

(counterbalance)하였다. 실험 3에서는 자극의 위치 정보가 작업기억의 해상도에 미치는 영향을 조사하기 위해 기억 항목의 수는 무선적으로 제시되었지만, 매 시행이 시작되기 전에 기억 항목이 제시되는 위치에 테두리만 있는 정사각형을 짧은 시간 동안(0.1초) 먼저 제시하였다. 따라서 참가자는 기억 항목이 3개인지 6개인지 매 시행 전에 알 수 있었다. 실험 4에서는 기억 항목의 수에 대한 기호 정보가 해상도에 미치는 영향을 조사하기 위해 기억 항목의 수는 무선적으로 제시되었고, 매 시행이 시작되기 전 화면의 중앙에 기억 항목의 수를 숫자로 제시하였다(Ambinder & Simons, 2007).

**분석**

각 참가자의 데이터는 색환에서 참가자가 반응한 색과 실제 제시된 색 간의 거리, 즉 오차값으로 저장하였다(Figure 1b). 참가자의 반응이 정확할 경우 데이터는 0이고, 데이터의 범위는 [-90, 90]의 값을 가질 수 있다. 각 참가자의 데이터는 최대우도법(maximum likelihood estimation)을 사용하여 균일 분포(uniform distribution)와 본 마이시스 분포(von Mises distribution)의 조합으로 이루어진 함수를 근사(fitting)하여 목표 항목이 작업기억에 부호화 되지 않은 시행과 부호화된 시행을 나타내었다. 본 마이시스 분포는 연속적인 색환 내의 반응을 표상하는데 적합한 순환적인(circular) 정규분포이다. 오차의 균일 분포는 목표 항목이 작업기억에 부호화되지 않을 확률을 나타내고, 균일분포 높이의 역은 목표 항목이 작업기억에 표상될 확률( $P_m$ )을 의미한다. 오차의 본 마이시스 분포는 정규분포와 같이 평균과 표준편차(SD), 두 파라미터로 나타낼 수 있다. 본 마이시스 분포의 평균이 0이 아닌 경우는 반응의 조직적인 편향을 의미한다. 하지만



**Figure 1.** The procedure of the experiment and an example data. (a) Observers perceived color squares (3 or 6) for 100 ms and after 900 ms retention period, tested one of the locations. They responded using the mouse by clicking the color of the square with the thick lines. (b) shows the curve fitting of the von mises function to the averaged data in the Experiment 1. The function is the mixture of the flat guess rate (not in memory) across all data points and the Gaussian function (in memory) around the target color.

본 연구에서는 목표 항목의 색이 무선적으로 제시되었기 때문에 참가자들의 반응이 특정한 방향으로의 편향될 것으로 예측하기 어렵다. 따라서 근사 절차에 있어서 평균 파라미터는 고려하지 않고 0으로 고정하였다. 표준편차는 오차 분포가 평균을 중심으로 얼마나 넓게 퍼져있는지를 나타내며, 작업기억 내의 항목의 정확성(precision) 또는 해상도를 나타낸다.

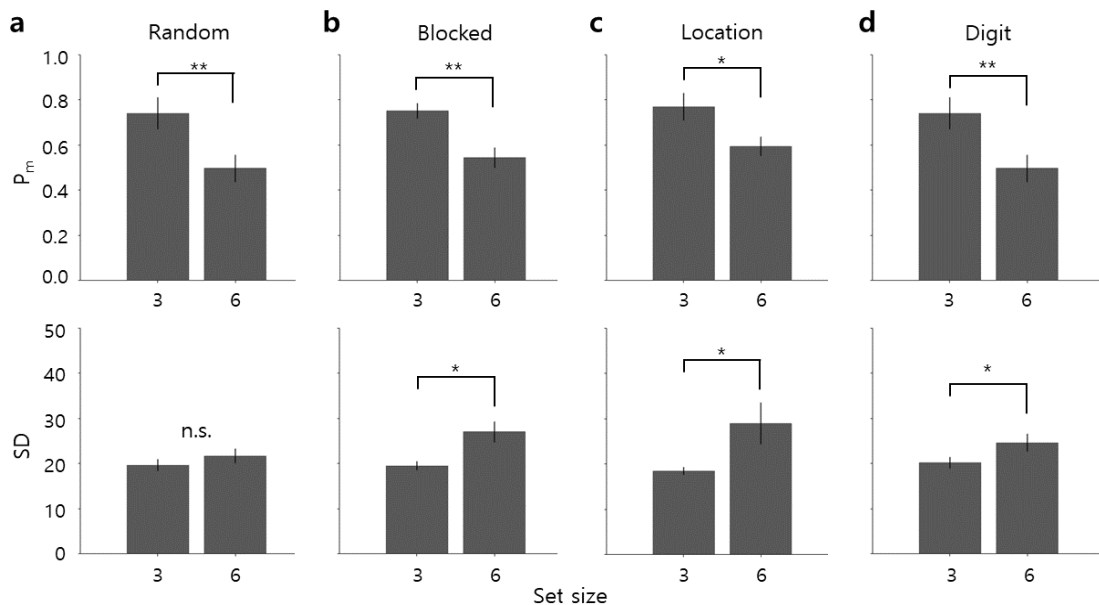
### 결 과

Figure 2는 본 실험의 결과를 보여준다. 실험 1에서는(Figure 2a) 기억 항목 수가 각 시행에 무선적으로 3개 또는 6개 제시되었고, 참가자는 각 시행의 기억 항목 수에 대해 사전에 알지 못했다. Zhang & Luck (2008)의 결과와 같이 기억 항목 수가 3개에서 6개로 증가함에 따라  $P_m$ 은 감소하였지만 (0.74 versus 0.49;  $t(7) = 5.27, p = 0.001, \text{cohen's } d = 1.83$ ), 표준 편차는 통계적으로 유의미한 변화가 없었다(19.7 versus 21.7;  $t(7) = -1.24, p = 0.26$ ). 이 결과는 시각 작업 기억 용량의 한계보다 더 많은 항목을 기억할 때라도(6개 versus 3개) 시각 작업기억의 자원이 연속적으로 할당되는 것이 아니라 일정한 해상도를 가지는 정해진 수의 슬롯에 할당된다는 주장을 지지한다. 실험 1에서는 본 연구에서 사용한 자극과 절차를 통해 시각 작업기억 자원이 정해진 슬롯에 할당된다는 것을 보여준 사전연구를 성공적으로 반복검증하

였고, 따라서 이후의 실험 결과는 상이한 자극과 절차에 의한 것이 아니라 참가자에게 가용한 기억 항목의 정보에 따른 참가자의 과제 전략에 의한 것이라 할 수 있다.

실험 2에서는(Figure 2b) 기억 항목 수를 블록화하여 각 블록 내의 모든 시행의 기억 항목 수는 동일하게 제시하였다. 실험 1과 마찬가지로 기억 항목 수가 3개에서 6개로 증가할 때,  $P_m$ 은 감소하였다(0.75 versus 0.54;  $t(7) = 5.36, p = 0.001, \text{cohen's } d = 1.90$ ). 하지만 몇 개의 항목을 기억해야 하는지에 대한 정보가 참가자에게 주어진 경우, 그리고 블록 내의 모든 시행의 기억 항목이 동일한 경우에는 기억 항목 3개에 비해 6개에 대한 표준 편차는 증가하였다(19.5 versus 27.0;  $t(7) = -2.68, p = 0.03, \text{cohen's } d = 0.95$ ). 이 결과는 실험 1과는 다르게 6개의 항목을 기억해야 하는 경우에 시각 작업기억 용량을 연속적으로 각 항목에 할당하여 3개의 항목을 기억해야 하는 경우보다 기억 내 항목의 해상도가 유의미하게 낮아졌음을 의미한다.

실험 3에서는(Figure 2c) 실험 1과 같이 기억해야 할 항목은 각 시행마다 무선적으로 결정되었지만, 각 시행 시작 전에 기억해야 할 항목의 위치 정보를 참가자에게 제공하였다. 따라서, 참가자는 각 항목이 제시될 위치에 공간 주의 및 시각 작업기억의 용량을 할당할 수 있었다. 실험 1과 마찬가지로 기억 항목 수가 3개에서 6개로 증가할 때,  $P_m$ 은 감소하였다(0.76 versus 0.59;  $t(8) = 2.40, p = 0.04, \text{cohen's } d = 0.80$ ). 하지만 참가자에게 기억 항목의 위치 정보를 제공하



**Figure 2.**  $P_m$  and SD from experiments. (a) In Experiment 1, the set size was randomly selected in each trial. (b) In Experiment 2, the set size was blocked. (c-d) In Experiment 3 and 4, the set size was randomly selected but information on the set size was given by showing the location or the digit before the trial began. The error bars represent the standard error of the mean across observers. n.s. not significant, \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.001$ .

였을 때, 기억 항목 3개에 비해 6개에 대한 표준편차는 증가하였다(18.5 versus 28.9;  $t(8) = -2.40, p = 0.04$ , cohen's  $d = 0.80$ ). 이 결과는 실험 2의 결과와 마찬가지로, 사전에 기억해야 할 항목의 수와 공간 정보를 제시한 경우, 참가자들이 시각 작업기억의 용량을 각 항목에 연속적으로 할당하였음을 의미한다.

실험 4에서는(Figure 2d) 실험 1과 같이 기억해야 할 항목은 각 시행마다 무선적으로 결정되었지만, 각 시행 시작 전에 몇 개의 항목이 나오는지 화면의 중앙에 숫자로 제시하였다. 실험 1과 마찬가지로 기억 항목 수가 3개에서 6개로 증가할 때,  $P_m$ 은 감소하였다(0.78 versus 0.49;  $t(7) = 6.390, p = 0.0003$ , cohen's  $d = 2.26$ ). 하지만 기억 항목의 수를 시행 전에 알려주었을 때, 기억 항목 3개에 비해 6개에 대한 표준편차는 증가하였다(20.2 versus 24.6;  $t(8) = -2.74, p = 0.03$ , cohen's  $d = 0.97$ ).

## 논 의

본 연구의 목적은 시각 작업기억의 자원이 고정된 해상도를 가진 개별 슬롯에 할당된다는 Zhang & Luck (2008)의 연구 결과를 동일한 참가자수( $n = 8$ ), 자극, 절차를 이용하여 반복검증하고, 본 연구 가설을 검증하는 것이다. 실험 1에서는 선행 연구(Zhang & Luck, 2008)의 결과를 반복검증 하였다. 기억해야 할 항목의 수가 3개에서 6개로 증가함에도 불구하고 작업기억 내의 항목의 정확성(precision)은 변하지 않았다. 또한 모든 실험에서 3개를 기억해야 하는 조건이 6개를 기억해야 하는 조건보다 각 항목이 작업기억에 저장되어 있을 확률( $P_m$ )이 더 컸다. 이는 시각 작업기억 용량의 한계를 의미한다.

실험 2-4에서는 한정된 시각 작업기억의 자원이 유동적으로 할당될 수 있는지, 아니면 고정된 자원이 정해진 슬롯에 할당되는지를 조사하기 위해, 각 시행 전 기억 항목들의 개수에 대한 정보를 제시하는 조건에서 시각 작업기억 내의 항목에 대한 표상의 정확성(precision)이 기억해야 할 항목의 수에 따라 달라지는지 비교하였다. 실험 2-4의 모든 조건에서 3개의 항목보다 6개의 항목을 기억해야 할 때 시각 작업기억 내의 항목의 정확성이 유의미하게 감소하는 것을 관찰하였다. 항목 수가 실험 블록 내에 정해진 조건이든 매 시행 무선적으로 항목 수가 선택되어 제시되는 조건이든 상관없이, 항목의 수에 대한 단서의 종류(위치, 숫자로 제시)에 상관없이 동일한 결과를 얻었다. 이러한 결과는 시각 작업기억의 일정한 수의 슬롯에 할당된다는 모델(Zhang & Luck,

2008)로는 설명할 수가 없다. Zhang & Luck(2008) 모델은 작업기억 용량 내의 항목들(1~3개)에 대해서는 정확성이 감소할 것을 예측하지만, 작업기억 용량을 넘어서는 항목들(6개)에 대해서는 3개의 항목과 비교하여 정확성이 변하지 않을 것을 예측한다.

본 연구 결과는 참가자들이 기억해야 할 항목의 수에 대한 정보를 바탕으로 시각 작업기억의 자원을 연속적이고 유연하게 할당하였음을 의미한다. 즉, 더 많은 항목을 기억해야 하는 경우 작업기억 내의 각 항목의 해상도를 희생하여 더 많은 항목을 기억하려는 전략(성공적인 저장 여부와 관계 없이)을 적용했다는 것을 시사한다. 이러한 결과는 시각 작업기억의 한계를 벗어난 항목을 기억하는 경우에 시각 작업기억의 자원의 해상도(resolution)를 희생하여 보다 덜 정확하지만 많은 항목을 기억하는 것이 아니라 일정한 수의 슬롯에 동일한 해상도의 자원을 할당한다고 주장한 선행 연구의 결과도 참가자들의 과제 전략에 따른 것임을 보여준다(Bengson & Luck, 2015).

시각 작업기억 내의 항목이 동일한 해상도를 가진 일정한 수의 슬롯에 의해 표상된다는 주장의 가장 큰 한계는 피질의 신경세포들의 신경활동으로 설명할 수 없다는 것이다. 하지만 시각 피질 등의 여러 신경세포들의 신경활동의 조합으로 설명할 수 있는 시각 정보의 부호와, 복호와 모델 등의 이론(Walker et al., 2020)은 시각 작업기억이 연속적이고 유연하게 표상된다는 것을 지지한다. 즉, 시각 작업기억이 실무(all or none)적인 표상을 갖는 것이 아닌 단계적(graded)인 표상을 가질 수 있음을 시사한다.

## References

- Ambinder, M., & Simons, D. (2007). Pre-cuing the number of objects modulates visual short-term memory performance. *Journal of Vision, 7*(9), 657-657.
- Bays, P. M., & Husain, M. (2008). Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision. *Science, 321*, 851-854.
- Bengson, J. J., & Luck, S. J. (2016). Effects of strategy on visual working memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review, 23*, 265-270.
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial vision, 10*, 433-436.
- Fukuda, K., Vogel, E., Mayr, U. & Awh, E. (2010). Quantity, not quality: the relationship between fluid intelligence and

- working memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*, *17*, 673-679.
- Irwin, D. E. (1991). Information integration across saccadic eye movements. *Cognitive Psychology*, *23*, 420-456.
- Johnson, M. K., McMahon, R. P., Robinson, B. M., Harvey, A. N., Hahn, B., Leonard, C. J., Luck, S. J., & Gold, J. M. (2013). The relationship between working memory capacity and broad measures of cognitive ability in healthy adults and people with schizophrenia. *Neuropsychology*, *27*, 220-229.
- Luck, S., & Vogel, E. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, *390*, 279-281.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (2013). Visual working memory capacity: from psychophysics and neurobiology to individual differences. *Trends in Cognitive Sciences*, *17*, 391-400.
- Ma, W. J., Husain, M., & Bays, P. M. (2014). Changing concepts of working memory. *Nature neuroscience*, *17*, 347-356.
- Todd, J. J., & Marois, R. (2004). Capacity limit of visual short-term memory in human posterior parietal cortex. *Nature*, *428*, 751-754.
- Van den Berg, R., Shin, H., Chou, W. C., George, R., & Ma, W. J. (2012). Variability in encoding precision accounts for visual short-term memory limitations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*, 8780-8785.
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, *428*, 748-751.
- Walker, E. Y., Cotton, R. J., Ma, W. J., & Tolias, A. S. (2020). A neural basis of probabilistic computation in visual cortex. *Nature Neuroscience*, *23*, 122-129.
- Zhang, W., & Luck, S. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, *453*, 233-235.

## 기억해야 할 항목 수에 대한 정보가 시각 작업기억 표상에 미치는 영향

주성준

부산대학교 심리학과

시각 작업기억의 자원에는 한계가 있다. 한정된 시각 작업기억의 자원이 기억해야 할 항목들에 어떠한 방식으로 분배가 되는지에 대한 논의는 여전히 진행 중이다. 대표적으로 시각 작업기억은 특정 개수만큼의 정해진 용량이 있으며, 한정된 자원을 용량 내의 각 항목에 대한 별개의 슬롯에 할당한다는 주장이 있다. 이에 반해 최신 연구들은 시각 작업기억의 자원이 연속적이고 유연하게 할당될 수 있다고 주장한다. 본 연구에서는 시각 작업기억 내의 항목들에 대한 표상이 기억해야 할 항목의 사전 정보에 의해 영향을 받는지를 조사하였다. 연구 결과, 기억해야 할 항목의 사전 정보가 주어진 경우에만 적은 항목을 기억해야 하는 조건(3개)보다 많은 항목을 기억해야 하는 조건(6개)에서 시각 작업기억 내의 각 항목들의 정확성이 감소하는 것을 관찰하였다. 이는 더 많은 항목을 기억해야 하는 정보가 사전에 주어지면, 참가자들이 시각 작업기억의 자원을 유연하게 할당하여 정확성이 감소하지만 더 많은 항목을 작업기억에 저장하였음을 의미한다. 따라서 본 연구의 결과는 시각 작업기억의 자원은 연속적이라는 모델을 지지한다.

**주제어:** 시각 작업기억, 자원 할당, 슬롯 모델, 연속 모델