

## 물체 내부 윤곽선의 시각 작업기억 표상: 구멍이 있는 물체를 중심으로\*

김 성 호<sup>†</sup>

이화여자대학교 심리학과

이차원 표면에 난 구멍은 이를 둘러싼 물체에 의해 경계 지워진 빈 배경임에도 불구하고, 구멍의 모양은 다른 물체만큼 쉽게 지각된다. 즉, 구멍은 전경-배경 조직화의 깊이-형태 간 연결 관계(depth-shape coupling)를 예외적으로 위반하여, 깊이 상으로는 배경임에도 불구하고 형태를 갖는 준-전경적(quasi-figural) 사례처럼 보인다. 구멍의 준-전경적 속성을 지지하는 연구들은 구멍과 물체의 재인율이 유사하다는 기억 과제 결과에 주로 의존하고 있으므로, 구멍 모양의 기억이 지각적 처리에 기반하고 있는지는 불분명하다. 본 연구는 재인 과제보다 즉각적인 지각 처리를 반영하는 변화탐지 과제를 이용하여, 구멍을 경계 짓는 물체의 안쪽 윤곽선이 시각 작업기억에 어떻게 표상되는지 알아보았다. 이를 위해, 물체 내부에 다른 물체가 중첩된 집합 물체 조건과 구멍이 있는 물체 조건에서 안쪽 윤곽선과 바깥 영역의 색에 대한 변화탐지 수행을 비교하였다. 시각 작업기억의 선행 연구들은 형태나 방향과 같은 물체의 윤곽선 속성(boundary feature)이 표면 속성(surface feature)과 함께 통합되어 하나의 물체로 저장됨을 시사한다. 만일 구멍의 경계선이 구멍을 둘러싼 물체에 지각적으로 할당된다면, 이 경계선과 물체의 표면색이 통합적으로 부호화되는 물체 중심적 처리 이득으로 인해, 구멍 자극 조건에서 집합 자극 조건보다 높은 변화 탐지 수행이 예측되었다. 두 실험의 결과, 구멍 자극 조건의 변화 탐지 수행은 집합 자극 조건과 다르지 않았다. 이는 물체 내부의 윤곽선(구멍의 경계선) 속성이 물체의 표면 속성과 통합적으로 부호화되지 않으며, 구멍을 둘러싼 물체와 독립적으로 처리됨을 시사한다.

주제어 : 지각적 체제화, 시각작업기억, 구멍, 변화탐지과제, 전경/배경

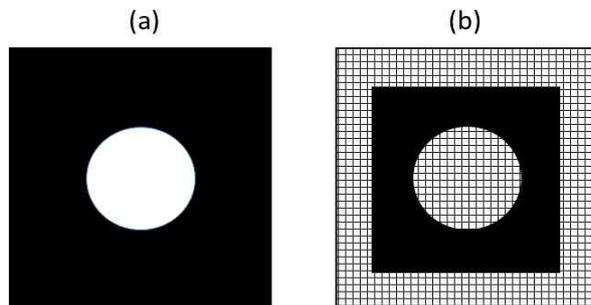
\* 본 연구는 2016년 정부(교육인적자원부) 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음 (NRF-2016S1A5A8017600).

† 교신저자: 김성호, 이화여자대학교 심리학과, (120-750) 서울 서대문구 이화여대길 52  
연구분야: 인지 및 지각 심리학  
Tel: 02-3277-2645, E-mail: [sunghokim@ewha.ac.kr](mailto:sunghokim@ewha.ac.kr)

구멍은 독특한 존재론적(ontological), 위상학적(topological), 지각적 속성을 가지고 있는 대상이다. 빈 공간으로서 구멍은 실재하지만, 물질적이고 물리적인 실체는 아니다(Casati & Varzi, 1994). 구멍이 있는 물체는, 늘리거나 찌그러뜨리는 변형 과정을 통해 구멍이 없는 물체로 변환될 수 없기 때문에, 구멍이 없는 물체와 위상학적으로 구별된다(Chen, 1982; Zhou, Luo, Zhou, Zhuo, & Chen, 2010). 또한, 구멍은 지각적 체제화의 맥락에서 독특한 시각 자극으로서 많은 심리학자들의 관심 대상이었고(Arnheim, 1954; Koffka, 1935; Rubin, 1921), 특히 최근 십여 년간 구멍이 전경-배경 조직화(figure-ground organization) 원리의 예외 사례인지에 대한 논쟁이 활발히 진행되었다(예, Bertamini, 2006; Bertamini & Croucher, 2003; Bertamini & Farrant, 2006; Bertamini & Helmy, 2012; Bertamini & Mosca, 2004; Feldman & Singh, 2005; Horowitz & Kuzmova, 2011; Nelson, Thierman, & Palmer, 2009; Palmer, Davis, Nelson, & Rock, 2008; 리뷰를 위해 Bertamini & Casati, 2014 참조).

한 영역이 작은 영역을 완벽히 둘러싸고 있는 이차원 그림은, 이차원 이미지의 지각적 애매성으로 인해, 두 가지 지각적 해석과 대응될 수 있다. 그림 1a와 같이 큰 사각형 영역에 의해 둘러싸인 작은 원은 폐쇄성(closure), 작은 영역(small area), 볼록한 영역(convexity) 등의 전경 단서로 인해 삼차원 깊이 상에서 큰 사각형 앞에 놓인 작은 원으로 지각될 가능성이 높다. 한편 원형 구멍이 나 있는 큰 사각형이라는 지각적 해석 또한 가능한데, 그림 1b와 같이 깊이 단서(예, 그림자, 양안부동, 배경 집단화 단서)가 적절히 주어지면 이차원 이미지 상에서 닫힌 영역이 큰 물체 표면에 난 구멍(배경)으로 지각될 가능성이 높아진다. 본 연구에서 다루고자 하는 구멍은, 이처럼 이차원 이미지 상에서 다른 영역에 의해 둘러싸여 있으나, 전경이 아닌 배경으로 지각되는 사례를 지칭한다.

게슈탈트 심리학의 전경-배경 조직화 원리에 따르면, 이차원 이미지 상에서 인접한 두 영역의 경계선은 오직 한 영역에만 할당(unidirectional border assignment)되어, 경계선을 할당받은 전경은

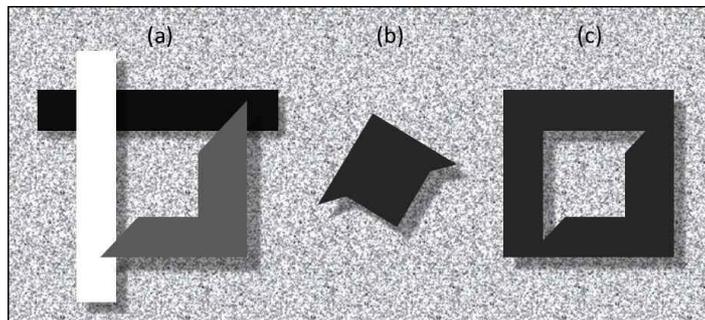


(그림 1) 중앙의 원형 영역은 사각형 앞에 놓인 원, 또는 사각형에 난 구멍으로 지각될 수 있으나, 첫 번째 해석이 지각적으로 더 우세하다(a). 한편, 적절한 깊이 단서가 추가되면, 구멍이라는 지각적 해석이 더 우세해질 수 있다(b).

그 형태가 지각될 수 있는 반면, 경계선을 할당받지 못한 배경은 전경 뒤로 지각적 양상 없이 연장(amodal completion)되는 것으로 지각된다. 즉, 그림 1a의 원형 윤곽선이 원 “내부”에 할당되면 그 내부 영역은 사각형 “앞에 놓인 원”으로 지각되나, 원 “외부”에 할당되면 사각형 “뒤로 연장되는 빈 배경(구멍)”으로 지각된다.

전경-배경 조직화와 구멍 지각 간 관계에 대한 이해를 돕고자 다른 예시를 들자면, 그림 2a가 깊이 상에서 중첩된 세 도형으로 지각될 때 이 도형들이 에워싸고 있는 중앙 영역의 윤곽선은 각 도형들에 할당되므로, 중앙의 배경 영역은 형체 없이 도형들 뒤로 연장되는 것처럼 지각된다. 이 배경 영역이 그림 2b와 같이 독립적인 전경 물체로 제시되면, 그림 2a를 자세히 들여다본 후에야 동일한 모양의 닫힌 윤곽선이 존재함을 확인할 수 있다. 한편, 구멍이 전경이 아닌 배경이라면, 구멍의 윤곽선은 구멍을 에워싼 외부 영역에 할당되어야 하므로 구멍의 모양은 지각될 수 없다. 하지만, 일상에서 구멍의 모양은 전경으로 지각되는 다른 대상들만큼 쉽게 지각된다(그림 2c). 즉, 구멍은 전경-배경 조직화의 깊이-형태 간 연결 관계(depth-shape coupling)를 예외적으로 위반하여, 깊이 상으로는 배경이지만 경계선을 소유하여 그 형태기술이 가능한 준-전경적(quasi-figural) 사례처럼 보인다(Palmer, 1999).

현상학적인 분석이 보여주는 구멍 지각의 모순적인 양상을 해결하기 위해, 지난 십여 년 간의 구멍 형태지각 연구는 구멍이 다른 배경 영역과 구별되는 독특한 대상인지, 그리고 구멍의 모양은 실제로 다른 전경 물체처럼 처리되는지를 확인하고자 하였다. Bertamini와 그 동료들이 수행한 일련의 연구들은 구멍이 다른 배경들과 동일하게 지각적으로 처리되어, 구멍의 윤곽선은 구멍 내부가 아닌 구멍 외부의 물체에 할당됨을 보여준다(예, Bertamini, 2006; Bertamini & Croucher, 2003; Bertamini & Farrant, 2006; Bertamini & Helmy, 2012; Bertamini & Mosca, 2004). 부정형(irregular) 육각형 자극의 좌우 측면에 놓인 꼭지점간 상대적 위치 판단(어떤 꼭지점이 더 위에 위치하는지)시 볼록한 꼭지점간 비교가 오목한 꼭지점간 비교보다 더 쉽고 빠르다고 알려져 있다(Baylis & Driver, 1993; Bertamini, 2001). Bertamini와 Croucher(2003)는 이러한 볼록 편향(convex bias) 현상을 이용하여, 동일한 윤곽선을 갖는 물체와 구멍의 지각적 양상을 비교하였다. 물체 조건에서는, 선

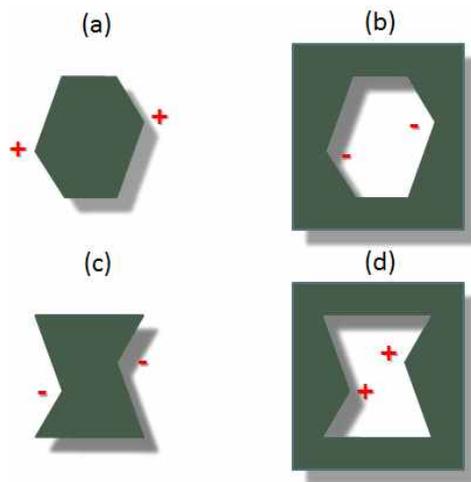


(그림 2) (b)의 윤곽선 형태가 (a)에서는 잘 지각되지 않지만, (c)에서는 쉽게 지각된다.

행 연구와 마찬가지로, 맥주통 모양 물체(그림 3a)의 불룩한 꼭지점간 비교가 모래시계 모양 물체(그림 3c)의 오목한 꼭지점간 비교보다 빨랐으나, 구멍 조건에서는 맥주통 모양의 구멍(그림 3b)보다 모래시계 모양의 구멍(그림 3d)에서 비교 판단이 더 빨랐다. 이는 구멍의 모서리가 구멍 내부가 아닌, 구멍을 둘러싼 물체에 할당되었기 때문에, 그림 3c의 구멍 좌우 꼭지점은 오목하게, 그림 3d의 좌우 꼭지점은 불룩하게 지각된 결과로 해석된다. 즉, 구멍의 윤곽선은 구멍 외부의 물체에 할당되기 때문에, 윤곽선의 곡률(그리고, 곡률에 따라 결정되는 윤곽선의 모양)은 외부 물체의 관점에서 정의됨을 시사한다.

한편, 구멍의 준-전경적인 속성을 지지하는 연구들은 주로 재인 과제를 통해 구멍 모양이 다른 물체처럼 쉽게 기억될 수 있는지를 확인하였다. Palmer 등(2008)은 실험 참여자들에게 이차원 이미지 자극들을 학습시킨 후 사후 재인 과제를 실시하였다. 물체 내부의 구멍으로 지각되는 닫힌 영역은 채워진 물체(solid object)로 지각된 영역들만큼 잘 재인되었으나, 일반적인 배경 영역의 모양에 대한 재인율은 매우 낮았다. Nelson 등(2009)은 한 물체의 내부에 있는 구멍(intrinsic hole)에 대한 재인은 우수하나, 여러 물체들의 우연한 배치에 의해 형성되는 구멍(extrinsic hole; 예, 그림 2a의 세 도형에 둘러싸인 영역)의 모양에 대한 재인율은 우연 수준에 머물렀다. 이 결과는, 물체 내부에 난 구멍은 물체 자체의 속성(intrinsic property)으로서, 물체들의 우연한 배치에 의해 형성된 닫힌 윤곽선과 달리 그 모양이 지각적으로 표상될 수 있음을 시사한다.

이상의 연구들은 배경과 전경의 속성을 모두 가지는 것처럼 보이는 구멍의 모순적인 양상이 실험적 상황에서도 반복됨을 보여준다. 구멍의 윤곽선은 분명 구멍을 둘러싼 전경인 외부 물체에 할당되므로(Bertamini & Croucher, 2003), 구멍은 전경-배경 조직화의 원리를 위배하지 않는 듯



(그림 3) Bertamini와 Croucher(2003)의 실험자극. 도형 좌우 꼭지점의 곡률은 “+”(불룩)와 “-”(오목)로 표시되었다.

하다. 그러나, 구멍은 다른 배경과 달리 그 모양이 잘 기억된다(Palmer et al., 2008). 따라서, 구멍의 윤곽선이 구멍 내부에 할당되지 않는다면, 구멍의 모양 지각은 과연 어떤 처리과정을 통해 이뤄지는지 규명되어야 한다.

한편, 구멍의 형태 지각에 관한 대부분의 선행 연구들은 구멍의 형태지각을 직접 확인하는 대신, 형태지각과 관련된 간접적인 측정치에 의존해왔다. 우선 배경으로서 구멍의 속성을 확인한 많은 연구들은 구멍 전체의 모양 지각 대신 국지적인 모서리의 지각 양상(예, Bertamini & Croucher, 2003)을 확인하였다. 구멍 윤곽선이 국지적으로는 외부 물체에 할당될지라도, 다른 통합적 처리과정을 통해 구멍 윤곽선 전체의 모양이 지각될 수 있는 가능성을 배제할 수 없다. 반면, 구멍의 준-전경적 속성을 지지하는 연구들은 구멍의 형태 지각 대신 형태 재인을 측정하였다. 재인 과제 수행은 상위수준의 인지적 추론에 영향 받을 수 있으며, 학습과 검사 시기 간 시간적 간격으로 인해 즉각적이고 자동적인 지각적 반응과 거리가 멀다.

본 연구는 변화탐지 과제(Luck & Vogel, 1997)를 사용하여, 구멍의 윤곽선이 시각 작업기억에 어떻게 부호화되는지 확인하고자 하였다. 시각 작업기억은 시지각과 긴밀하게 연결되어 있으며, 시각 작업기억의 부호화는 전경-배경 조직화의 결과물인 표면 표상에 기반한다고 알려져 있다(예, Xu, 2002b). 따라서, 재인 과제보다 즉각적이고 실시간적인 과제인 변화탐지 과제를 통해 구멍 윤곽선의 부호화를 확인하면, 구멍의 모양 지각에 대해 더 직접적인 증거를 얻을 수 있을 것이다.

시각 작업기억에 대한 선행 연구들은 관찰자가 짧은 시간동안 대체적으로 4개 정도의 자극을 기억할 수 있음을 수렴적으로 확인하였다(예, Luck & Vogel, 1997; Vogel, Woodman, & Luck, 2001; 김대규와 현주석, 2012). 특히 색, 방향 등의 여러 특질들(features)이 할당된 자극의 경우에도 하나의 특질로 이뤄진 자극과 마찬가지로 4개 정도의 자극을 기억할 수 있다는 실험 증거는 개별 특질들이 아니라 특질들이 통합된 물체가 시각 작업기억의 저장 단위임을 시사한다. 한편, 같은 물체에 할당된 두 특질이라 할지라도 물체 내의 서로 다른 두 영역(예컨대 색으로 구별되는 두 영역)에 할당될 경우, 영역 간 경계를 넘어서는 물체 중심의 통합이 일어나지 않거나, 또는 약간의 물체 중심 저장 이득(object-based encoding benefit)만을 관찰할 수 있었다(예, Delvenne & Bruyer, 2004; Ecker, Maybery, & Zimmer, 2013; Kim & Kim, 2011; Xu, 2002a; Xu, 2002b). 종합하자면, 시각 작업기억의 선행 연구들은 윤곽선 특질(모양, 방향 등)과 표면 특질(색, 표면결 등)이 단일 물체나 또는 물체 내의 동일 영역에 할당될 때, 특질 간 통합을 통해 물체 중심 저장 이득을 얻을 수 있음을 보여준다.

본 연구는 구멍의 방향과 구멍 외부 물체의 색에 대한 시각 작업기억 부호화에서 물체 중심의 특질 통합이 가능한지 확인하고자 하였다. 이를 위해 한 물체 내부에 막대 모양의 작은 물체가 중첩된 접합 물체 조건과 막대 모양의 구멍이 나 있는 물체 조건에서 내부 윤곽선 방향과 그 바깥 영역 색에 대한 변화탐지 수행을 비교하였다. 구멍이 있는 물체에서, 전경-배경 조직화의 원리에 따라 구멍의 경계선(물체 내부 윤곽선)이 구멍을 둘러싼 물체에 지각적으로 할당된다

면, 물체의 표면색이 내부 윤곽선과 통합적으로 부호화될 수 있을 것이다. 따라서 방향 특질은 막대 모양의 내부 영역에서, 색 특질은 막대 외부 영역에서 각각 독립적으로 부호화될 것으로 예상되는 접합 물체 조건에 비해, 구멍이 있는 물체 조건에서 변화 탐지의 이득이 예상되었다. 한편, 구멍의 윤곽선이 구멍을 둘러싼 물체와 독립적으로 부호화된다면, 구멍의 방향 특질은 바깥 물체의 색 특질과 통합적으로 부호화되지 못하여 접합 물체 조건과 구멍난 물체 조건 간 변화탐지 수행의 차이가 관찰되지 못할 것이다.

실험 1에서는 정사각형 내부에 직사각 막대 모양의 영역을 배치하고, 직사각 막대가 표면색에 따라 정사각형 앞에 놓인 막대, 혹은 정사각형에 난 막대 모양의 구멍으로 지각되도록 조작하였다. 실험 2에서는 이차원 이미지 자극의 지각적 애매성을 보완하고자, 양안부등 단서를 조작하여 삼차원 깊이 상에서 원 앞에 놓인 막대, 혹은 막대 모양의 구멍이 있는 원을 자극으로 사용하였다.

## 실험 1

실험 1은 자극의 지각적 조직화 양상에 따라 방향과 색, 두 특질에 대한 변화탐지 수행이 어떻게 달라지는가를 살펴보았다. 한 영역으로 이뤄진 물체에 두 특질이 함께 할당된 색방향 막대 조건, 두 특질이 각각 한 물체의 두 영역에 할당된 접합물체 조건, 두 특질이 각각 물체 내부의 경계선과 그 바깥 영역에 할당된 구멍난 물체 조건, 두 특질이 각각 개별 물체들에 할당된 분리된 물체 조건이 사용되었다.

구멍난 물체 조건에서 구멍의 윤곽선이 구멍을 둘러싼 물체에 할당되어 바깥 영역의 색과 통합적으로 부호화된다면, 이 조건에서의 수행은 물체 중심 부호화의 이득이 예상되는 색방향 막대 조건과 비슷하거나 적어도 접합물체 조건보다 우수하리라 기대되었다. 그러나 구멍의 윤곽선이 구멍을 둘러싼 물체와 독립적으로 부호화된다면, 구멍난 물체 조건의 수행율은 색방향 막대 조건보다는 낮고, 접합물체 조건과 비슷하리라고 예상되었다.

## 방 법

### 참가자

심리학 개론을 수강하는 학부생 20명이 본 실험에 참가하였다.

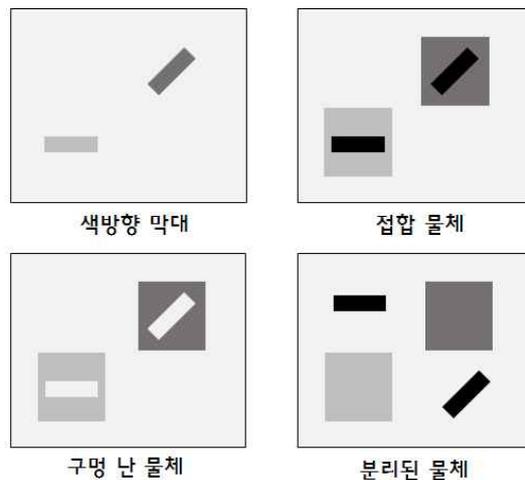
## 기구

실험은 빛이 차단된 암실에서 진행되었으며, IBM 호환 개인용 컴퓨터가 사용되었다. 실험 절차는 C 언어로 제작된 스크립트를 통해 통제되었고, 자극은 17 인치 CRT 모니터(해상도 800 × 600 pixel, 수직 주사율 60 Hz)를 통해 제시되었다. 참가자와 모니터 간 거리는 대략 60cm이었으며, 실험 진행 중에 머리카나 눈의 움직임은 통제하지 않았다.

## 자극 및 설계

실험에 사용된 자극 도형은 직사각 막대(1.15°×0.39°)와 정사각형(1.3°×1.3°)이었다. 변화탐지 과제 상에서 참가자들이 기억해야 할 표적 특질은 방향(0°, 45°, 90°, 135°)과 표면색(빨강, 녹색, 파랑, 보라)이었다. 매 시행에서 각각 2, 4, 또는 6쌍의 방향과 색 특질이 담긴 자극들이 회색 화면 중앙의 시야각 7.80°×7.20° 영역에 제시되었고, 자극의 공간적 조직화에 따라 아래의 네 조건이 구성되었다(그림 4).

(1) *색방향 막대(colored oriented bars)*: 한 쌍의 색과 방향 특질이 각 직사각 막대에 할당되었다. 즉, 각 직사각 막대는 빨강, 녹색, 파랑, 보라 중 한 색을 갖고, 0°, 45°, 90°, 135° 중 한 방향으로 기울어져 있었다. (2) *접합 물체(conjunction objects)*: 노란 직사각 막대가 정사각형의 중앙에 중첩된 방식으로 결합하여 한 물체를 구성하였다. 방향은 노란 직사각 막대에 할당되고, 색은 정사각형에 할당되었다. (3) *구멍 난 물체(objects with a slit)*: 직사각 막대의 색으로 노랑 대신 배경색과 같은

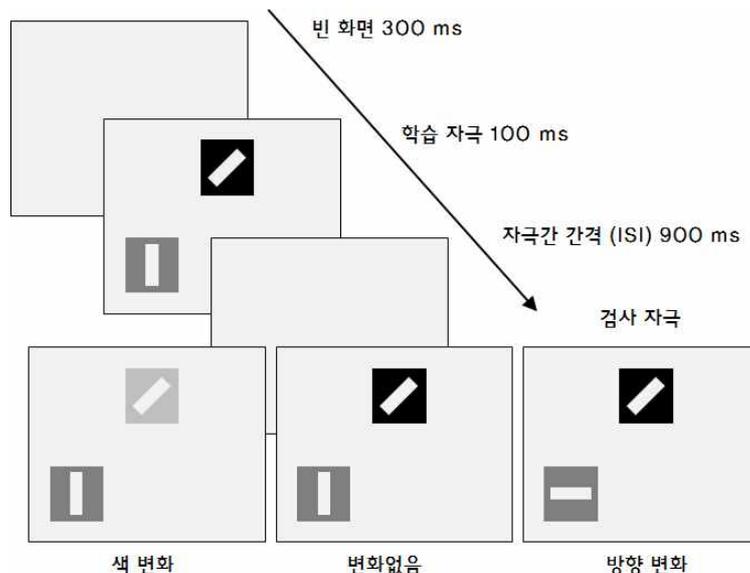


(그림 4) 실험 1에 사용된 자극 예시. 자극의 음영은 표면색을 의미한다.

어두운 회색이 사용되었으며, 그 밖의 모든 사항들은 접합 물체 조건과 동일하였다. 직사각 막대의 색이 배경과 동일하므로, 이 자극은 막대 모양의 구멍이 나 있는 정사각형으로 지각될 수 있었다. (4) *분리된 물체(disjunction objects)*: 접합 물체 조건과 마찬가지로, 방향은 노란 사각 막대에, 색은 정사각형에 할당되었으나, 두 자극이 중첩되지 않고, 각각 분리되어 다른 위치를 점유하도록 제시되었다.

분리된 물체 조건에서는 색과 방향 특질들이 각각 개별 물체(총 4, 8, 또는 12개)에 할당되었고, 그 외의 자극 조건에서는 각 색/방향 특질 쌍이 한 물체(총 2, 4, 또는 6개)에 할당되었다. 모든 자극 조건에서 각 물체간 거리는 2.6° 이상(중심 간 거리)이 되도록 조작되었다. 한 자극판의 자극들에 동일한 색이나 방향이 중복 할당될 수 있었으나, 모든 자극이 같은 방향이나 색을 갖지는 않도록 하였다.

매 시행은 변화탐지 과제(Luck & Vogel, 1997)의 절차에 따라, 연이어 제시되는 학습 자극과 검사 자극 화면으로 구성되었으며 두 화면 사이에는 900ms의 빈 화면이 제시되었다(그림 5). 학습 화면은 2, 4, 혹은 6 쌍의 방향과 색 특질로 이뤄진 자극들이 100ms 동안 제시되었다. 전체 시행 중 50%의 “변화없음” 시행에서는 검사 자극과 학습 자극이 동일하였으며, 나머지 50%의 “변화있음” 시행에서는 학습 자극 화면에 제시된 특질들 중 색 또는 방향 값 하나가 검사 자극 화면에서 달라졌다. 방향 변화 시행에서 표적 방향 특질은 학습 자극 화면에서 제시된 방향에 직교



(그림 5) 실험 1의 변화탐지 과제 절차. 빈 화면이 300ms 동안 제시된 후, 2, 4, 또는 6 쌍의 색과 방향 특질이 할당된 학습 자극 화면이 100ms 동안 제시되었고, 900ms의 자극간 간격 후 검사 자극화면이 제시되었다. 검사 자극은 학습 자극과 동일하거나 한 특질(색 또는 방향)이 달랐으며, 참가자들이 동일 여부 반응을 내릴 때까지 화면에 제시되었다.

하는 방향 값으로 대체되었다. 자극 조건 간 차이로 인한 과제 수행의 혼동을 막기 위해, 각 자극 조건은 독립된 블록에 할당되었으며, 블록별로 각각 24회의 연습시행과 96회의 본 시행(3[자극 개수] × 4[동일 vs. 색 또는 방향 변화] × 8)이 제시되었다. 블록 제시 순서는 라틴 방격 설계를 통해 피험자 간 역균형화하였고, 블록 내 시행 순서는 무선화하였다.

## 절차

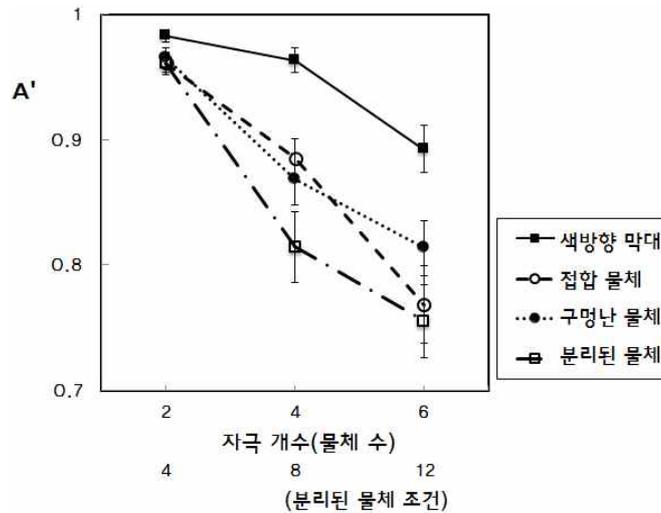
키보드의 스페이스 바를 누르면 1000ms 후에 매 시행이 시작되어, 학습 자극판이 100ms간 제시되었다. 이어 빈 화면이 900ms 동안 나타난 후, 검사 자극판이 제시되었다. 검사 자극판은 학습 자극판과 동일하거나, 혹은 학습 자극판에 제시되었던 자극들 중 오직 한 부분의 색 또는 방향이 다른 값으로 대체되어 제시되었다. 검사 자극판이 제시되면 참여자는 두 자극판이 동일한지 여부를 판단하여 키보드의 두 반응키 중 하나를 누르도록 하였고, 속도보다는 정확도가 강조되었다. 키보드 반응과 함께 검사 자극판이 사라지고, 정오(正誤) 여부에 대한 피드백이 화면에 제시되었다. 이어서 스페이스 바를 누르면 다음 시행이 개시되었다.

## 결 과

본 연구에서 변화탐지 수행 데이터에 대한 통계적 추론에는 비모수적 민감도 측정치인  $A'$ (Grier, 1971)이 종속변인으로 사용되었으며,<sup>1)</sup> 원 데이터의 평균 정확율(correctness)도 함께 명시하였다. 참가자들은 색과 방향 특질을 함께 기억하고 그 변화를 탐지해야 했기 때문에, “변화없음” 시행에서 “변화있음”으로 오반응할 경우 어떤 특질에 대한 오경보(false alarm) 반응인지 확인할 수 없었다. 즉, 두 특질 각각에 대해 독립적인 오경보율을 구할 수 없었다. 따라서, 색과 방향 변화 탐지 각각에 대한  $A'$  값을 분리하여 계산하는 대신, 각 조건 별 수행 전체에 대한  $A'$  을 구하였다(그림 6).

반복측정 변산 분석(repeated measures analysis of variance) 결과 자극 개수의 주효과는 유의미하였다,  $F(2, 38) = 131.81, p < .0001$ . 변화 탐지 수행율은 기억해야 할 자극 개수가 증가함에 따라 감소하여, 평균 정확율은 자극 개수 2, 4, 6개에서 각각 94.0%, 81.9%, 71.8%이었다. 자극 조

1)  $A'$ 은 각 참여자, 각 조건 별로 다음의 공식(Grier, 1971)에 따라 계산되었다:  $A' = 0.5 + [(H - g)(1 + H - g) / 4H(1 - g)]$ . 이 식에서 H는 정확한 변화 탐지율(hit rate), g는 변화 탐지의 오경보율(false alarm rate)을 의미한다. g 값이 H 값보다 클 경우에는 다음의 식이 사용되었다:  $A' = 0.5 + [(g - H)(1 + g - H) / 4g(1 - H)]$ .  $A'$ 은 0.5와 1.0 사이에 값을 갖으며, 0.5는 우연 수준의 수행, 1.0은 완벽한 탐지 수행에 대응된다.



(그림 6) 실험1 결과. 오차막대는 표준오차를 나타낸다.

건의 주효과도 유의미하여,  $F(3, 57) = 61.03, p < .0001$ , 색방향 막대 조건에서 다른 조건들 보다 변화탐지 수행율이 높았다. 색방향 막대, 접합 물체, 구멍난 물체, 분리된 물체 조건에서 평균 정확율은 각각 91.0%, 80.6%, 81.4%, 77.4%이었다. 마지막으로, 자극 조건과 자극 개수 간 상호작용 역시 유의미하여,  $F(6, 114) = 4.31, p = .001$ , 색방향 막대 조건과 다른 조건들 간의 수행을 차이가 자극개수가 늘어남에 따라 증가하였다.

본 실험의 주 관심사인 구멍난 물체 조건과 다른 자극 조건들 간의 수행 차이였으므로, 자극 조건의 주효과에 대해 Bonferroni 사후 검정을 실시하였다. 색방향 막대 조건은 다른 모든 조건들 보다 유의미하게 높은 수행율을 보였다,  $p < .001$ . 접합물체 조건과 구멍난 물체 조건 간 차이는 유의미하지 않았으나,  $p > .05$ , 이 두 조건에서의 수행율은 각각 분리된 물체 조건보다 높았다,  $p < .05$ .

## 논 의

색방향 막대 조건의 수행율이 다른 조건들보다 높았던 결과는 한 물체에 할당된 경계선 특질과 표면 특질의 물체 중심 통합의 효과를 확인한 선행 연구들과 일치하는 결과로서, 단일 물체에 할당된 두 특질에 대한 물체 중심 부호화의 이득을 시사한다. 접합물체 조건의 수행율이 분리된 물체 조건보다 높았던 결과는 자극의 공간적 조직화 양상에 따라 색과 방향 특질에 대한 시각 작업기억의 용량이 달라질 수 있음을 시사한다. 두 조건 모두에서 색과 방향은 각각 막대와 정사각형에 할당되었음에도 불구하고, 이 두 도형이 하나의 자극으로 결합되었을 때, 각각

분리되어 제시된 조건에 비해 물체 중심의 통합에 따른 약간의 이득이 있음을 보여준다. 이 결과는 색과 방향의 두 특질이 한 물체 내에서 서로 다른 두 부분에 할당되는 경우에도 약간의 물체 중심 이득을 관찰한 Xu(2002b)의 결과와 일치한다.

본 실험의 핵심 조건인 구멍난 물체 조건에서 직사각형 막대 영역을 구멍으로 지각하였다면, 이 막대 영역의 경계선은, 접합물체의 직사각 막대와 달리, 그 내부(구멍)가 아닌 외부의 정사각형에 지각적으로 할당되어야 한다. 이 경우, 방향과 색은 한 물체 내의 같은 영역에 할당된 두 특질이므로, 물체 중심 부호화의 이득으로 인해 접합 물체 조건보다 높고, 색방향 막대 조건과 유사한 수준의 변화 탐지 수행이 예상되었다. 이러한 예측과 달리, 구멍난 물체 조건의 변화탐지 수행율은 접합물체 조건과 다르지 않았다. 이는 구멍의 윤곽선이 구멍을 둘러싼 영역의 표면 색과 통합적으로 처리되지 않으며, 구멍이 있는 물체의 부호화에 구멍에 대응되는(complemental) 물리적 물체(직사각 막대)가 포함된 접합 자극과 유사한 수준의 시각 작업기억 용량이 소요됨을 시사한다.

한편, 구멍난 물체와 접합 물체 간 지각적 동등성에 대한 논의는 두 조건 간 변화 탐지 수행의 차이가 유의미하지 않았다는 관찰, 즉 영가설 기각 실패(null result)에 기반하고 있으므로, 전통적인 영가설 검증의 논리에 위배되는 방식의 해석이다. 두 조건 간 유의미하지 않은 차이가 두 조건의 지각적 동등성을 담보할 수 있는지를 확인하기 위해(즉, 영가설을 확증하기 위해) 베이저안 방식의  $t$ -검증인 베이즈 팩터(Bayes factor) 분석을 실시하였다. 베이즈 팩터는 관찰된 데이터가 두 가설 중 어떤 가설을 더 지지하는지를 비율로 표시한 값으로서, 대안가설에 비해 영가설이 얼마나 지지될 수 있는지를 보여줄 수 있다(Gallistel, 2009; Kruschke, 2011; Rouder, Speckman, Sun, Morey, & Iverson, 2009). R의 BayesFactor(Morey, Rouder, & Jamil, 2015; <http://bayesfactorpcl.r-forge.r-project.org/>) 패키지를 사용하여 추정한 베이즈 팩터는 4.32:1의 비율로 대안가설보다 영가설을 더 지지하였다.<sup>2)</sup>

실험 참가자들의 사후 보고에 따르면, 대부분의 참가자들은 구멍난 물체 조건에서 배경색과 동일한 직사각 막대 영역을 정사각형 내부의 빈틈이나 구멍으로 지각했으며, 방향 변화 시행 시 막대의 독립적인 방향 변화가 아닌 구멍난 정사각형 전체의 회전으로 지각하였다. 이러한 현상학적 보고는 표면 색 집단화를 기반으로 하는 구멍에 대한 시각적 조작이 적절하여 구멍을 외부 물체에 할당된 속성으로 지각했음을 보여주며, 동시에 (구멍의 윤곽선과 외 물체 색의 독립적 부호화를 시사하는) 구멍난 물체 조건의 저조한 수행 결과와 배치되는 모순적인 양상을 드러낸다. 현상학적 보고와 변화탐지 과제 수행 간의 모순적 양상에 대해서는 실험 2의 논의에서 자

2) 최근 베이저안 가설 검증을 지원하는 다양한 상용 통계 패키지가 개발되었다. R의 BayesFactor 패키지에 대한 대안으로 스프레드시트 방식의 무료 통계 패키지인 JASP(<https://jasp-stats.org/>)나 웹 방식의 베이즈 팩터 계산기(Rouder & Morey, 2012; <http://pcl.missouri.edu/bf-reg>) 등을 이용하면, 비교적 손쉽게 베이즈 팩터를 구할 수 있다.

세히 다루겠다.

마지막으로, 실험 1은 방법론적으로 몇 가지 문제점을 내포한다. 첫째, 구멍의 지각적 처리를 확인하기 위한 기본적인 전제조건은 구멍이 구멍으로, 즉 빈 배경으로, 지각되어야 한다는 점이다(Bertamini, 2006). 배경색과 동일한 물체 내부 영역을 구멍으로 지각한 것으로 보이는 참여자들의 사후 보고에도 불구하고, 이차원 자극의 본질적 애매성으로 인해 실제 실험과정에서는 구멍난 물체 조건의 내부 막대 영역이, 구멍이 아닌, 배경과 동일한 색으로 채워진 막대로 지각되었을 가능성이 있다. 이 경우, 구멍난 물체 조건은 접합 물체 조건과 유사하게 지각될 수 있다. 둘째, 색방향 막대 조건에서는 정사각형 없이 오직 직사각 막대만 제시되었으므로, 이 조건은 다른 조건들에 비해 시각적으로 더 단순하다. 색방향 막대 조건이 단순히 시각적으로 덜 복잡하여 구멍난 물체 조건이나 접합물체 조건보다 변화탐지 수행이 용이했을 가능성을 배제할 수 없다. 이러한 한계점들을 보완하기 위해, 이차원 이미지 자극 대신 삼차원 입체 자극을 사용하여 실험 2를 수행하였다.

## 실험 2

실험 2는 삼차원 입체자극을 사용하여 실험 1의 결과를 반복 검증하였다. 선행 연구에 따르면, 그림자, 표면결, 색 등의 단안 단서에 의해 적절히 조작된 구멍은 지각적 과제 수행에서 양안부등 단서를 통해 구현된 구멍 자극과 큰 차이가 없었다(Bertamini & Croucher, 2003; Bertamini & Mosca, 2004; Palmer, Davis, Nelson, & Rock, 2008). 한편 실험 1에서 막대 모양의 구멍이 배경이 아닌 전경 물체로 지각되었다면 구멍난 물체는 접합 물체와 동일한 자극이 되므로, 이 경우에도 접합 물체와 구멍난 물체 조건 간 수행 차이가 없었던 실험 1의 결과가 동일하게 예측된다. 즉, 실험 1의 결과가 곧장 구멍 조작의 타당성을 담보하지는 않는다. 따라서 실험 2는 양안부등 단서를 사용하여 이차원 이미지 자극에서 발생할 수 있는 전경-배경 지각의 애매성을 제거하고자 하였다. 삼차원 깊이 상에서 구멍으로 지각되는 자극에 대해서도 실험 1의 결과가 반복 관찰된다면, 물체의 내부 윤곽선(=구멍의 윤곽선)과 표면 특질은 통합적으로 부호화되지 않는다면 해석이 지지될 수 있을 것이다.

구멍이 있는 물체 조건에서는 삼차원 깊이 상에서 물체와 배경의 두 레이어(layer)가 제시되었고, 다른 조건들에서는 중첩된 두 자극과 배경의 세 레이어가 제시되었다. 또한, 실험 1에서 사용된 정사각형은 원으로 대체되었다. 구멍은 독립된 물체가 아니므로, 물리적으로 구멍의 방향 변화란 구멍이 난 물체 전체의 회전을 의미한다. 정사각형 대신 모든 방향축에 대해 대칭인 원을 사용하면, 방향 변화 시행에서 구멍을 담고 있는 자극의 생태학적, 지각적 타당성이 높아질리라 기대하였다. 또한, 색방향 막대 조건의 자극 복잡성을 다른 조건들과 유사하게 통제하기

위해, 막대 자극 뒤에 회색 원을 추가하였다.

## 방 법

### 참가자

심리학 개론을 수강하는 학부생 12명이 본 실험에 참가하였다.

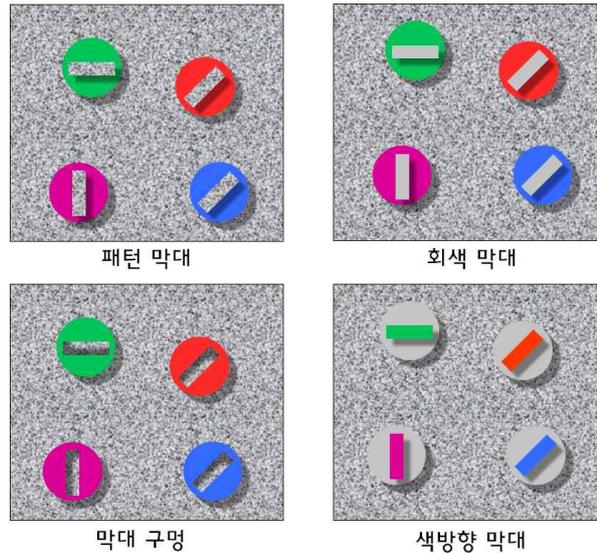
### 기구

실험은 빛이 차단된 암실에서 IBM 호환 개인용 컴퓨터를 이용하여 진행되었다. 실험 절차와 자극 제시는 MATLAB에서 Psychophysics Toolbox(Brainard, 1997; Pelli, 1997)를 사용하여 제작된 프로그램을 통해 통제되었다. 자극은 19 인치 CRT 모니터(해상도 1,024 × 768 pixel, 수직 주사율 120 Hz)를 통해 제시되었고 참가자와 모니터 간 거리는 턱 받침대(chinrest)를 사용하여 100 cm로 통제하였다. 참가자들은 NVIDIA사의 액정 셔터 안경(NVIDIA GeForce 3D Vision Kit)을 착용하고, 두 눈에 번갈아가며 제시되는 두 화면 이미지(각 눈에 제시되는 프레임 빈도는 60 Hz)를 통해 삼차원 입체 자극을 관찰하였다.

### 자극 및 설계

이미지의 입체적 합성(stereoscopic fusion)을 촉진하기 위해, 배경에는 검정/흰색의 무작위 점(random dot) 패턴이 제시되었으며, 배경 표면의 양안 부등 값은 10 pixel(-13.4 arcmin)이었다. 직사각형( $1.28^\circ \times 0.40^\circ$ )과 원(직경  $1.56^\circ$ )이 자극으로 사용되었으며, 이미지 상에서 직사각 막대가 원 중앙에 중첩된 방식으로 두 도형이 결합되었다. 변화탐지 과제 상에서 참가자들이 기억해야 할 표적 특질은 실험 1과 마찬가지로 방향( $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ )과 색(빨강, 녹색, 파랑, 보라)이었고, 각 색들은 화소화되어(pixelated) 흰점들과 뒤섞인 무작위 점 패턴으로 제시되었다. 원은 언제나 삼차원 깊이 상에서 모니터 깊이(양안 부등 0)에 제시되었으며, 직사각형 영역에 할당된 삼차원 깊이와 두 도형 영역에 할당된 특질 유형에 따라 아래와 같은 4가지 자극 조건이 구성되었다(그림 7).

(1) *패턴 막대(textured bars)*: 배경 표면과 동일한 무작위 점 패턴의 막대가 삼차원 깊이 상에서 원 앞(양안부등 +13.4 arcmin)에 배치되었다. 방향 특질은 직사각 막대에 할당되고, 색은 원에 할



(그림 7) 실험 2에 사용된 자극 예시. 그림자는 양안부동에 의해 조작된 삼차원 깊이를 나타냄.

당되었다. (2) 회색 막대(gray bars): 막대 표면에 무작위 점 패턴 대신 회색이 할당되었고, 그 밖의 사항들은 패턴 막대 조건과 동일하였다. (3) 막대 구멍(bar-shaped holes): 막대 모양의 구멍이 있는 원이 제시되었다. (4) 색방향 막대(colored oriented bars): 실험 1의 색방향 막대 조건과 마찬가지로, 색과 방향 특질이 모두 직사각 막대에 할당되었다. 다른 조건들과 비슷한 수준의 자극 복잡성을 유지하고, 방향 특질간의 통합적(configural) 처리를 막기 위해(Delvenne & Bruyer, 2006), 직사각 막대 뒤에 회색 원이 함께 제시되었다.

실험 1과 달리 모든 시행에서 4쌍의 방향과 색 특질만 제시되었고, 직사각 막대와 원이 중첩된 자극 4개가 화면의 각 사분면마다 하나씩 할당되도록 하였다. 구체적으로, 각 사분면마다 화면의 중앙으로부터  $2.24^\circ \times 2.18^\circ$  만큼 떨어진 지점을 중심으로 하는, 가상의  $4 \times 4$  사각 격자 ( $1.34^\circ \times 1.01^\circ$ )의 16 개 점 중 한 위치에 자극이 제시되었다. 따라서 화면 중앙의  $3.58^\circ \times 3.35^\circ$  영역에는 어떠한 자극도 제시되지 않았다.

변화탐지 과제 종료 후, 추가적으로 방향 변화 시행에서 일어난 방향 변화가 어떤 유형의 회전으로 지각되었는지를 확인하였다. 연이어 제시되는 두 자극 화면(학습과 검사 자극판)에서 자극의 방향 변화는 일종의 가현운동(apparent motion)으로 지각될 수 있었다. 이 때, 이론적으로 두 가지 방식의 회전 움직임 지각이 가능한데, 하나는 막대 모양의 독립적인 회전, 다른 하나는 막대와 이를 에워싼 원 전체의 회전이다. 화면의 네 사분면 중 한 곳에 제시되는 한 자극의 방향 값이 연이어 제시되는 두 화면 사이에서 달라질 때, 이 두 방식 중 어떤 회전이 지각되었는지를 판단하도록 하였다. 패턴 막대, 회색 막대, 막대 구멍의 세 조건에 대해 각각 10 시행씩, 총 30

시행이 무선화된 순서에 따라 제시되었다. 학습 화면이 400ms 동안 제시되는 점을 제외하고, 자극 제시 절차는 변화탐지 과제의 방향 변화 시행과 동일하였다.

## 절차

실험에 앞서 간단한 검사를 통해 참여자들의 입체시를 측정하였다. 참가자들은 액정 셔터 안경을 착용한 후, 서로 다른 삼차원 깊이 상에 제시된 두 자극 중 한 자극이 다른 자극과 같은 깊이에 놓이도록 키보드를 이용하여 조정하였다. 참여자들은 모두 대체적으로 정확한 상대적 깊이를 조정 수행을 보였다.

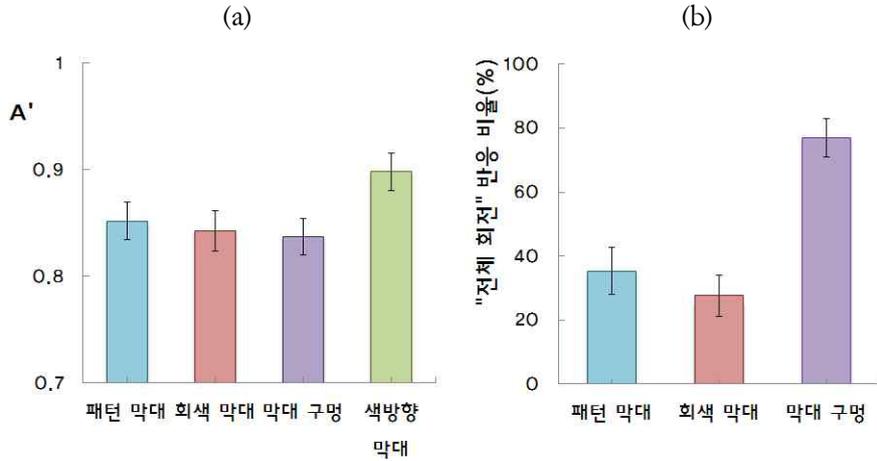
본 실험은 순차적으로 변화탐지 과제 두 과제가 할당된 두 세션으로 구성되었다. 첫 과제인 변화탐지 과제는 실험 1과 유사한 절차에 따라 진행되었다. 입체적으로 제시되는 자극의 깊이 지각에 충분한 시간을 제공하기 위해, 매 시행이 시작되면 무선점 패턴의 배경과 함께 화면 중앙에 '+' 모양의 응시점(양안부등 0)이 300ms 동안 제시되었고, 학습 화면의 제시 시간도 실험 1의 100ms보다 긴 300ms이었다. 각 시행의 학습과 검사 화면에는 언제나 4쌍의 방향과 색 특질이 할당된 자극들이 제시되었다. 변화탐지 과제 후 회전 유형 판단 과제가 추가로 실시되었다. 참가자들은 변화탐지 과제와 유사한 절차에 따라 주어지는 한 자극의 방향 변화를 본 후, 지각된 회전 움직임이 “나침반 바늘” 회전(=막대만의 회전)과 “바퀴살” 회전(=막대와 원 전체의 회전) 중 어떤 회전과 더 유사한지 판단하도록 하였다.

이상에서 언급된 사항을 제외한 실험 자극 및 절차의 모든 세부 사항은 실험 1과 동일하였다.

## 결 과

실험 2의 변화탐지 수행 결과는 그림 8a에 제시되었다. 반복측정 변산 분석 결과 자극 조건의 주효과는 유의미하여,  $F(3, 33) = 6.49, p = .001$ , 색방향 막대 조건에서 다른 조건들 보다 높은 수행율을 나타내었다. 패턴막대, 회색막대, 막대구멍, 색방향 막대 조건에서 평균 정확율은 각각 77.3%, 76.4%, 75.3%, 83.6%이었다. 본 실험의 핵심 조건인 막대구멍 조건과 두 접합물체 조건(패턴막대, 회색막대)의 차이는 유의미하지 않았다,  $p_s > .05$ . 막대구멍과 두 접합물체 조건 간 차이에 대해 베이지안 t 검증을 실시한 결과, 베이스 팩터는 각각 6.68:1과 4.51:1의 비율로 대안 가설보다 영가설을 더 지지하였다.<sup>3)</sup>

3) 구멍난 물체와 접합 물체 조건 간 차이에 대한 가설 검증 시, 대안가설(H<sub>1</sub>)은 구멍의 윤곽선이 바깥 물체의 표면 특질과 통합적으로 부호화될 것이라는 물체 중심 부호화 가설에 근거한다. 이에 따르면, 막대의 윤곽선과 원의 색이 통합되지 않을 것으로 기대되는 접합 물체 조건보다 막대 구멍 조건에서 수행을



(그림 8) 실험 2 결과. (a) 각 조건별 변화탐지 수행율(A') (b) 각 조건별 회전유형 판단 과제에서 "전체 물체" 회전 판단의 비율.

회전유형 판단 과제 결과는 그림 8b에 제시되었다. 막대 모양의 윤곽선과 원을 포함한 전체 물체의 회전으로 지각한 반응 비율은 막대구멍 조건(76.9%)에서 패턴막대(35.4%)와 회색막대(27.7%) 조건보다 높았다,  $F(2, 33) = 6.49, p = .001$ .

## 논 의

실험 2는 실험 1에서 관찰한 색방향 막대 조건의 수행 이득을 재확인하였다. 색방향 막대를 회색 원과 함께 중첩하여 제시하였음에도 수행 이득을 관찰하였으므로, 이는 자극판의 지각적 단순함이나 방향 막대들 간 지각적 집단화에 따른 결과라기보다는, 색과 방향 특질의 물체 중심 부호화의 효과임을 시사한다.

본 실험의 주 목적은 양안부등 단서를 통해 삼차원 깊이 상에서 구현된, 구멍이 있는 물체에서 방향색 특질의 시각 작업기억 부호화 양상을 확인하는 것이었다. 구멍이 있는 물체에서 구멍의 윤곽선은 물체의 내부 경계선이므로, 삼차원 깊이 상에서 분명 구멍이 아닌 물체에 할당되는 속성이다. 회전유형 판단 과제의 결과는 이러한 해석의 지각적 타당성을 보여준다. 원과 막

이 높을 것이므로,  $H_1$ 은 두 조건 간 양(+)의 차이를 예측한다. 하지만, 실제 데이터는 이와 반대로 막대 구멍 조건에서 두 집합 물체 조건들보다 수행율이 약간 낮았다. 양방 검증시,  $H_1$ 의 예측과 반대되는 방향의 결과인 음(-)의 차이가 오히려  $H_1$ 를 지지하는 증거로 계산될 수 있고, 이 때  $H_0$ 에 대한 증거가 과소추정될 수 있으므로, 양방 검증 대신 일방 베이지안  $t$  검증을 사용하여 베이스 팩터를 추정하였다.

대가 삼차원 깊이 상에서 서로 다른 두 표면에 할당된 접합 물체 조건들에서는 방향 변화를 막대만의 독자적인 회전으로 지각하는 경향성이 높았다. 반면, 구멍이 있는 물체에서 발생한 방향 변화는 구멍의 독립적인 방향 변화 대신 구멍난 원 전체의 회전으로 지각되는 경향성이 우세하였다. 이는 구멍이 독립된 대상이 아니며, 그 윤곽선이 구멍 외부의 물체에 할당된 속성으로 지각되었음을 보여준다.

따라서 두 특질의 물체 중심 통합을 시사하는 색방향 막대 조건과 마찬가지로, 구멍난 물체의 방향과 색 또한 공통 위치 기반의 주의 선택(예, Treisman & Gelade, 1980)을 통해 물체 중심 특질 통합의 이득을 얻으리라 기대할 수 있었다. 더욱이, 구멍이 있는 물체는 한 표면의 레이어만으로 구성되므로, 두 특질이 깊이 상에서 각각 다른 레이어에 할당된 패턴 막대 조건이나 회색 막대 조건의 접합 물체에 비해 주의 선택의 이득이 가능하였다. 그럼에도 불구하고, 막대 구멍 조건의 변화탐지율은 두 접합 물체 조건들과 차이가 없었으며, 색방향 막대 조건보다 유의미하게 낮았다. 이 결과는 구멍의 경계선이 지각적으로 구멍을 둘러싼 물체에 할당됨에도 불구하고, 구멍을 둘러싼 물체의 표면색과 통합적으로 부호화되지 않음을 시사한다.

한편 양안부등을 통해 삼차원 상에서 자극 표면의 깊이를 조작하였음에도 본 과제 수행에 깊이 지각이 필수적이지는 않으므로, 표면 표상 대신 단순히 이미지 기반의 특질 처리가 이뤄졌을 가능성이 여전히 제기될 수 있다. 이미지 수준에서 분석하자면, 네 자극 조건 모두에서 색 특질이 할당된 영역과 그 인접 영역이 이루는 경계선에 의해 방향 특질이 정의된다. 즉, 모든 조건에서 내부 모서리를 사이에 둔 두 이미지 영역 중 한 곳에 색 특질이 할당된다. 이미지 상에서 내부 모서리의 방향에 주의를 할당하고 그 주변에서 탐지된 색 특질을 함께 처리하였다면, 구멍난 물체와 접합물체 조건의 유사한 수행은 잘 설명될 수 있다. 그러나, 이 경우 색방향 막대 조건에서도 유사한 수행이 예측된다. 색방향 막대 조건에서 접합물체(패턴막대나 회색막대) 조건보다 수행율이 높았다는 점은, 내부 윤곽선과 색 특질이 같은 표면에 할당된 것으로 지각되었을 때(색방향 막대 조건), 서로 다른 표면에 할당된 것으로 지각될 때(접합물체 조건)보다 물체 중심의 특질 통합이 용이했음을 보여준다. 이러한 차이는 참가자들의 변화탐지 수행이 하위 수준의 이미지 표상이 아닌, 표면 표상에 기반하고 있음을 시사한다.

## 종합논의

본 연구는 이차원 이미지 상에서 색 집단화 단서를 조작하거나(실험 1), 삼차원 깊이 상에서 양안부등 단서를 조작하여(실험 2), 구멍이 있는 물체에 할당된 방향과 색 특질의 통합적 부호화 여부를 검증하였다. 실험 2의 회전유형 판단 과제 결과는 구멍의 윤곽선이 구멍 내부가 아니라 구멍을 둘러싼 물체에 할당되는 속성임을 시사하며, 이는 구멍이 전경-배경 조직화의 원리에 위

배되는 예외적인 사례가 아님을 보여준다. 그럼에도 불구하고 두 실험의 변화탐지 과제에서 구멍난 물체 조건의 변화 탐지율은 접합 물체 조건보다 높지 않았고, 구멍의 경계선이 물체의 표면색과 통합적으로 부호화된다는 증거를 관찰하지 못하였다. 본 연구의 결과는 구멍이 있는 물체의 부호화가 구멍에 대응되는(complemental) 물리적 물체를 포함하는 접합 물체와 유사한 수준의 시각 작업기억 용량이 소요됨을 시사한다.

변화탐지 과제와 회전유형 판단 과제 결과의 해리(dissociation)는 구멍의 모양 지각을 둘러싼 선행 연구들의 대립적 논쟁과 유사한 양상을 보여준다. 회전유형 판단 과제 결과가 보여주듯이 구멍의 윤곽선이 구멍 내부가 아닌 외부 물체에 할당됨에도, 구멍의 윤곽선과 외부 물체의 표면 속성이 통합적으로 처리되지 않는다면, 구멍의 모양 지각은 과연 어떤 처리과정을 통해 이뤄지는가? 이에 대한 가설로서 두 과제가 구멍에 대한 서로 다른 수준의 표상에 의존할 가능성을 고려해 볼 수 있다. 즉, 경계선의 부분들에 대한 국지적인 전경-배경 조직화 이후, 구멍 전체의 형태에 대한 지각적 처리가 일어날 가능성이 있다. 가령, 'S'로 이뤄진 'H' 형태의 Navon(1977) 자극에서 국지적인 입자들은 'S' 모양이지만 자극 전체의 모양은 'H'로 지각된다. 마찬가지로, 구멍 윤곽선의 부분들이 국지적으로는 외부 물체에 할당될지라도, 모서리 통합 과정의 창발적 속성(emergent feature)으로서 구멍 전체의 모양이 표상될 가능성이 있다.

다른 가설적 가능성은 닫힌 영역 기반의 지각적 처리이다. 닫힌 영역은 강력한 전경 단서이므로, 대부분의 경우 닫힌 영역은 전경-배경 조직화 상에서 전경과 지각적으로 대응된다. 한편, 전경-배경 조직화와 무관한 조건에서도 이미지 상에서 닫힌 영역은 지각적 처리(주의 선택, 표적 탐지, 시각탐색 등)의 이득(Elder & Zucker, 1993, 1994; Kovacs & Julesz, 1993; Marino & Scholl, 2005)을 보인다. 따라서 전경-배경 조직화 기반의 표면 표상(surface representation)과 독립적인 표상으로서 닫힌 영역이 구멍 지각에 기여할 가능성을 고려해 볼 수 있다.

전경-배경 조직화의 원리에 따르면 구멍이 난 물체나 “닫혀있는 선”(폐곡선)으로 이뤄진 물체(예, 철사 옷걸이; Kennedy, 1974)에서는 닫힌 영역 내부가 전경과 대응되지 않는다(닫힌 선으로 이뤄진 물체의 경우, 선 내부가 아닌 선 자체가 전경이다). 구멍이 있는 물체(예, 그림 3b나 3d)에서 내부 윤곽선의 모서리 부분들은 물체의 관점에서 오목(그림 3b)이나 볼록(그림 3d)한 것으로 지각될 수 있다. 그러나, 외부 영역(물체)의 관점에서 이 윤곽선 “전체”에 대응되는 표상을 언어적으로 기술하기 어렵다. 가령 그림 3d의 내부 윤곽선이 이루는 형태를 닫힌 영역 내부의 관점에서 해석하면 “모래시계”라는 이름을 붙일 수 있으나, 그 외부의 관점에서 전역적 형태를 기술하거나 그 형태에 붙일 이름을 상상하기 어렵다. 마찬가지로 선으로 된 물체의 경우에도, 예컨대 철사 옷걸이의 삼각형 모양 윤곽선은 그 내부의 빈 공간이 아닌 전경인 철사 프레임 자체에 지각적으로 할당된다. 이 때, 삼각형 철사 프레임(닫힌 영역) 내부의 관점에서는 “삼각형”이라는 이름을 붙여 그 형태를 기술할 수 있으나, 철사 프레임 자체의 전역적인 형태에 대응될 만한 이름을 상상하기는 어렵다.

이러한 현상학적인 분석은 전경-배경 조직화에 따르는 국지적인 윤곽선 할당 과정과 독립적으로, 구멍의 전역적 형태 처리가 닫힌 영역 기반의 표상에 의존할 가능성을 제기한다. 닫힌 영역에서 주의 선택(attentional selection)에 따른 물체 중심 이득을 관찰한 선행연구들은 주로 이차원 이미지 상의 닫힌 영역의 표상에 대해 다뤘으나(예, Marino & Scholl, 2005), 본 연구자의 최근 연구(Kim, in preparation)는 삼차원 깊이 상에서 구멍 안 영역이나 선으로 된 물체의 내부는 물체의 표면이 아닌 빈 공간임에도 주의 선택의 효과를 얻을 수 있음을 보여준다. 이러한 결과는 전경-배경 조직화의 효과와 구별되는 닫힌 영역 자체의 지각적 효과를 보여준다.

이상에서 구멍은 전경-배경 조직화의 원리를 연구하는데 이상적인 자극(ideal stimulus)으로 기능할 수 있다. 구멍의 표상에 대한 연구는 전경-배경 지각과 복잡하게 맞물려 있는 세 가지 지각적 대립쌍인, 깊이상의 전경/원경 구별(closer/farther distinction), 물리적 속성상의 채워진/빈 영역 구별(material/immaterial distinction), 경계선을 사이에 둔 내부/외부 구별(inside/outside distinction) 간 관계의 규명에 기여할 수 있을 것이다.

한편 본 연구는 시각 작업기억의 저장 단위로서의 물체 표상에 대한 지각적인 제약을 보여준다. Luck과 Vogel(1997)의 기념비적인 시각 작업기억 연구 이래로, 어떤 특질들이 어떤 조건에서 물체 기반으로 통합가능한지의 문제는 지속적인 논쟁의 대상이었다. 본 연구는 단일 표면 영역으로 구성된 물체라 할지라도, 구멍이 있는 물체의 내부의 윤곽선은 물체의 표면 특질과 함께 통합적으로 부호화되지 않음을 보여, 지각적 조직화 양상이 물체 기반의 부호화에 제약 조건이 될 수 있음을 시사한다.

마지막으로, 구멍은 물체에 기생하는(parasitic) 존재로서, 어디에나 존재한다. 여러 물체들의 우연한 배치에 의해 형성되는 배경 영역과 구별되는 물체의 본질적 속성으로서, 구멍은 그 내부의 통과가능성(passibility)과 같이 유기체의 행동에 적절한 정보(affordance)를 제공한다. 유기체의 시각 시스템이 생태적 환경의 규칙성과 불변 정보를 적절히 처리하도록 진화되었다면, 구멍의 모양은 물체의 모양과 마찬가지로 시지각 처리의 대상이어야 할 것이다. 본 연구는 구멍이 전경-배경 조직화를 통해 형성되는 표면 표상의 속성을 규명하는데 이상적인 자극이며, 동시에 지각적 조직화의 양상이 시각 작업기억의 부호화 과정을 미치는 영향을 확인하는 데에도 유용한 자극임을 보여준다.

## 참고문헌

- 김대규, 현주석 (2012). 기억 항목 간 상이하거나 동일한 세부특징에 대한 저장 요구가 시각작업 기억 수행에 미치는 영향. **한국심리학회지: 인지 및 생물**, 24(4), 393-410.
- Arnheim, R. (1954). *Art and Visual Perception: A Psychology of the Creative Eye*. Berkeley: University of

California Press.

- Baylis, G. C., & Driver, J. (1993). Visual attention and objects: evidence for hierarchical coding of location. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *19*, 451-470.
- Bertamini, M. (2001). The importance of being convex: an advantage for convexity when judging position. *Perception*, *30*, 1295-1310.
- Bertamini, M. (2006). Who owns the contour of a hole?. *Perception*, *35*, 883-894.
- Bertamini, M., & Casati, R. (2014). Figures and Holes, in J. Wagemans (ed.), *Handbook of Perceptual Organization*, Oxford: Oxford University Press.
- Bertamini, M., & Croucher, C. J. (2003). The shape of holes. *Cognition*, *87*, 33-54.
- Bertamini, M., & Farrant, T. (2006). The perceived structural shape of thin (wire-like) objects is different from that of silhouettes. *Perception*, *35*, 1679-1692.
- Bertamini, M., & Helmy, M. S. (2012). The shape of a hole and that of the surface-with-hole cannot be analysed separately. *Psychonomic Bulletin & Review*, *19*, 608-616.
- Bertamini, M., & Mosca, F. (2004). Early computation of contour curvature and part structure: Evidence from holes. *Perception*, *33*, 35-48.
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, *10*, 433-436.
- Casati, R., & Varzi, A. C. (1994). *Holes and other superficialities*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Chen, L. (1982). Topological structure in visual perception. *Science*, *218*, 699-700.
- Delvenne, J. F., & Bruyer, R. (2004). Does visual short-term memory store bound features?. *Visual Cognition*, *11*, 1-27.
- Delvenne, J. F., & Bruyer, R. (2006). A configural effect in visual short-term memory for features from different parts of an object. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *59*, 1567-1580.
- Ecker, U. K., Maybery, M., & Zimmer, H. D. (2013). Binding of intrinsic and extrinsic features in working memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *142*, 218.
- Elder, J. H., & Zucker, S. W. (1993). The effect of contour closure on the rapid discrimination of two-dimensional shapes. *Vision Research*, *33*, 981-991.
- Feldman, J., & Singh, M. (2005). Information along contours and object boundaries. *Psychological Review*, *112*, 243-252.
- Grier, J. B. (1971). Nonparametric indexes for sensitivity and bias: Computing formulas. *Psychological Bulletin*, *75*, 424-429.
- Horowitz, T. S., & Kuzmova, Y. (2011). Can we track holes?. *Vision Research*, *51*, 1013-1021.
- Kennedy, J. M. (1974). *A Psychology of Picture Perception*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Kim, S. -H. (in preparation). Attentional selection of closed empty areas in 3D space: Cases of holes and

thin objects.

- Kim, S. -H., & Kim, J. -O. (2011). The Benefit of Surface Uniformity for Encoding Boundary Features in Visual Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 37, 1767-1783.
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt Psychology*. New York: Harcourt.
- Navon, D. (1977). Forest before trees - precedence of global features in visual-perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353-383.
- Nelson, R., & Palmer, S. E. (2001). Of holes and wholes: The perception of surrounded regions. *Perception*, 30, 1213-1226.
- Nelson, R., Thierman, J., & Palmer, S. E. (2009). Shape memory for intrinsic versus accidental holes. *Perception & Psychophysics*, 71, 200-206.
- Palmer, S. E. (1999). *Vision Science: Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Palmer, S. E., Davis, J., Nelson, R., & Rock, I. (2008). Figure-ground effects on shape memory for objects versus holes. *Perception*, 37, 1569-1586.
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10, 437-442.
- Rubin E. (1921). *Visuell wahrgenommene Figuren*. Copenhagen: Gyldendals.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Xu, Y. (2002a). Limitations of object-based feature encoding in visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 458-468.
- Xu, Y. (2002b). Encoding color and shape from different parts of an object in visual short-term memory. *Perception & Psychophysics*, 64, 1260-1280.
- Zhou, K., Luo, H., Zhou, T., Zhuo, Y., & Chen, L. (2010). Topological change disturbs object continuity in attentive tracking. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 107(50), 21920-21924.

차원고접수 : 2016. 03. 03  
1차심사완료 : 2016. 04. 21  
2차원고접수 : 2016. 07. 10  
최종게재승인 : 2016. 07. 18

*(Abstract)*

## How is the inner contour of objects encoded in visual working memory: evidence from holes

Sung-Ho Kim

Department of Psychology, Ewha Womans University

We used holes defined by color similarity (Experiment 1) and binocular disparity (Experiment 2) to study how the inner contour of an object (i.e., boundary of a hole in it) is encoded in visual working memory. Many studies in VWM have shown that an object's boundary properties can be integrated with its surface properties via their shared spatial location, yielding an object-based encoding benefit. However, encoding of the hole contours has rarely been tested. We presented objects (squares or circles) containing a bar under a change detection paradigm, and relevant features to be remembered were the color of objects and the orientation of bars (or holes). If the contour of a hole belongs to the surrounding object rather than to the hole itself, the object-based feature binding hypothesis predicts that the shape of it can be integrated with color of an outer object, via their shared spatial location. Thus, in the hole display, change detection performance was expected to be better than in the conjunction display where orientation and color features to be remembered were assigned to different parts of a conjunction object, and comparable to that in a single bar display where both orientation and color were assigned into a single bar. However, the results revealed that performance in the hole display did not differ from that in the conjunction display. This suggests that the shape of holes is not automatically encoded together with the surface properties of the outer object via object-based feature binding, but encoded independently from the surrounding object.

*Key words* : Holes, Figure/ground organization, Visual working memory, Change detection, Object-based encoding