

주변 자극의 대비 강도와 중심와로부터의 거리가 맹점 채우기에 미치는 영향*

김 지 현¹⁾ 홍 석 준²⁾ 정 상 철³⁾

¹⁾연세대학교 인지과학 협동과정, ²⁾연세대학교 컴퓨터과학과, ³⁾연세대학교 심리학과

시신경 다발이 안구를 나가는 출구를 맹점이라고 한다. 맹점에는 감광 세포가 존재하지 않기 때문에 실질적으로 맹점에 대응하는 시각장의 정보는 입력되지 않는다. 그러나 우리는 실생활에서 맹점의 공백을 지각하지 못한다. 그 이유는 인간의 시각 체계가 맹점 주변에 제시된 정보로 맹점을 채우기(filling-in) 때문이다. 본 실험에서는 맹점 주변 정보의 신호 강도가 맹점을 채우는데 어떻게 영향을 미치는지 알아보기 위하여 참가자의 맹점 주변에 대비(contrast)와 중심와로부터 상대적 위치가 각기 다른 격자 자극을 제시하고 맹점을 채우는데 필요한 최소한의 자극 크기를 측정하였다. 그 결과 자극의 대비 강도가 강하고 중심와에 가까울수록 자극 크기가 작아도 맹점을 채울 수 있음을 발견하였다. 이는 맹점의 주변 정보가 모두 동등하게 맹점 채우기에 영향을 미치는 것이 아니며, 자극의 강도가 맹점 채우기에 중요한 요인임을 시사한다.

주제어 : 맹점(blind spot), 채워넣기 과정(filling-in process), 자극 강도

* 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. M10644020001-06N4402-00110).

† 교신저자 : 정상철, 연세대학교 인지과학 협동과정 / 심리학과 조교수, 서울시 서대문구 신촌동 134
Tel : 02) 2123-2447, E-mail: scchong@yonsei.ac.kr

망막 상의 감광 세포는 외부 세상의 시각 정보를 처음으로 처리하여 그 정보를 상위 뇌 영역으로 전달한다. 망막에서 상위 영역으로 정보를 전달하는 시신경 다발이 망막을 빠져 나가는 곳에는 감광 세포가 존재하지 않는 망막 상의 영역이 발생하는데 이를 맹점(blind spot)이라고 한다. 감광 세포가 존재하지 않으므로 맹점에 상응하는 망막의 영역은 외부의 정보를 받아들이지 못한다. 맹점의 크기가 시각 5~6°(Awater, Kerlin, Evans, & Tong, 2005)임에도 불구하고, 우리는 세상을 공백 없이 연속적으로 지각한다. 이는 인간의 지각 체계가 맹점 주변 정보로 맹점을 채우기(filling-in) 때문이다(Ramachandran, 1992; Walls, 1954).

망막상에는 맹점을 담당하는 감광세포가 존재하지 않지만 최초 시각 피질에는 맹점을 담당하는 뉴런들이 존재한다. Komatsu, Kinoshita와 Murakami(2000)는 망막위상적 지도를 통해 맹점에 대응되는 최초 시각 피질 영역을 정의한 후 그 영역에서 맹점과 그 주변에 제시된 자극에 대한 반응을 측정하였다. 측정 결과 맹점보다 큰 자극이 맹점 위치에 제시되었을 경우 이 자극에 반응하는 뉴런이 존재했다. 이 뉴런들은 대부분 맹점 주변까지 걸쳐있는 큰 양안 수용장(binocular receptive fields)으로 이루어져 있었으며, 상대적으로 큰 자극을 선호했다. 양안 수용장 때문에 반대편 눈에 들어온 정보가 맹점에 해당하는 영역을 채울 수 있으며, 광범위한 영역의 정보를 포괄하는 넓은 수용장을 통해 맹점 주변에 제시된 정보를 이용하여 단안 수준에서 맹점을 채울 수 있다.

원숭이의 단일 세포 측정 결과는 인간 행동 연구와도 일치한다. Murakami(1995)는 한쪽 눈의 맹점 주변에 움직이는 격자 자극을 제시하여 맹점이 채워지도록 하면 반대편 눈에 운동

잔여효과가 일어남을 보고하였다. 운동 잔여효과가 맹점 반대편 눈으로 전이된다는 결과는 맹점 주변 정보로 맹점이 채워지며 이 채워진 정보가 맹점을 담당하는 양안 뉴런에 의해 맹점 반대편 눈에 영향을 미친다는 것을 시사한다.

맹점 채우기 기제와 최초 시각 피질에 대한 최근 연구는 맹점 채우기가 단안 수준에서도 발생한다는 것을 보여준다. Matsumoto와 Komatsu(2005)는 막대 자극의 한쪽 끝을 맹점 주변에 제시하고 다른 한 쪽 끝의 길이를 조절하여 자극이 맹점에 제시되지 않거나, 맹점의 일부분에만 제시되거나, 맹점을 넘어 반대편 영역까지 제시되도록 하였다. 동일한 자극을 인간 참가자에게 제시하였을 경우 막대 자극이 맹점을 넘어 반대편 영역까지 제시되었을 경우에만 맹점 채우기를 지각할 수 있었다. 원숭이 최초 시각 피질에서도 막대 자극이 맹점의 반대편 영역까지 제시된 경우에만 발화가 증가하는 뉴런이 발견되었는데, 이는 인간의 지각 경험과 일치하는 결과이다.

단안 수준의 맹점 연구가 주변 정보에 의한 맹점 채우기를 중심으로 이루어지고 있음에도 불구하고 주변 정보가 어떤 방식으로 맹점 채우기에 영향을 미치는지에 대한 연구는 많지 않다. 최근 Spillmann, Otte, Hamburger와 Magnussen (2006)은 자극의 종류를 달리하여 주변 자극의 크기를 변화시키면서 맹점이 채워지는 양상을 관찰하였다. 그들은 맹점 주변 자극이 시각 0.2° ~ 0.5°의 작은 크기로 제시되어도 맹점 채우기가 일어나며 주변 자극의 크기가 클수록 맹점 채우기가 더 용이함을 보고하였다. 이 연구에서 Spillman과 동료들은 자극의 색과 결(texture) 정보를 달리하여 맹점 주변에 제시하였다. 색 정보는 시각 피질의

V4 영역에서 처리되며 색 자극에 의한 V4의 발화는 하위 시각 피질인 V1/V2와는 구분되는 양상을 보인다(MacKeefry & Zeki, 1997). 격자와 점 등의 구체적인 결 정보도 최초 시각 영역과 구별되는 후기 시각 영역에서 처리된다(Kourtzi, 2006; Larsson, Landy, & Heeger, 2006). 맹점을 담당하는 뉴런들이 최초 시각 피질에서 발견되는 것과는 달리 Spillman과 그의 동료들은 비교적 후기 시각 영역에서 처리된다고 알려진 색이나 결의 자극 특성에 따른 맹점 채우기의 양상을 관찰하였다. 직접적으로 맹점 채우기와 주변 자극 특성의 관계를 연구하기 위해서는 최초 시각 피질과 관련한 주변 자극 특성을 조작할 필요가 있다.

색과 결 정보와 달리 대비 정보는 최초 시각 피질에 특징적인 자극 특성으로 알려져 있다. 대비 강도는 최초 시각 피질(V1)에서 시작하여 V3까지의 초기 시각 영역들의 활성화 양에 영향을 준다(Boynton, Demb, Glover, & Heeger, 1999). 대비 정보와 마찬가지로 중심와로부터 거리에 따른 망막위상적 지도는 V1에서 V3까지 유사한 양상을 보이는데, 중심와로부터의 거리가 증가함에 따라 시각장을 표상하는 대뇌 표면 영역이 감소한다(Dougherty, Koch, Brewer, Fischer, Modersitzki, & Wandell, 2003). 시각장의 동일한 영역에 표상되는 정보가 중심와로부터 거리에 따라 서로 다른 피질 확대 계수(Cortical magnification factor)를 갖는 것인데, 특히 V1에서의 확대 계수는 뉴런 분포의 특성상 V2와 V3보다 더 크다. 초기 맹점 채우기에 영향을 미치는 자극 특성을 연구하기 위해서는 최초 시각 피질에서 가장 중점적으로 처리되는 대비, 중심와로부터의 거리에 따른 효과를 관찰해야 한다.

본 실험에서는 맹점의 주변 정보 특성이 맹

점 채우기에 서로 다른 영향을 미치며, 주변 자극의 크기가 클수록 더 명확하게 맹점 채우기를 지각한 Spillmann 등의 연구 결과를 기반으로 주변 자극의 여러 가지 특성에 따라 맹점을 채우는데 필요한 자극의 크기가 서로 다를 것이라고 가정하고, 최초 시각 피질 특정한 자극 특성을 중심으로 맹점 채우기에 영향을 미치는 주변 자극의 특성과 맹점 채우기의 관계를 관찰하였다. 대비 강도, 중심와로부터 상대적 거리의 두 가지 기본적인 자극 특성을 가진 주변 자극을 제시하여 맹점을 채우는데 필요한 최소한의 자극 크기를 측정하였다.

실험 1

최초 시각 피질 특정한 자극 특성 중 하나인 대비가 맹점 채우기에 어떻게 영향을 미치는지 알아보기 위하여 실험 1을 수행하였다. 맹점 주변에 대비 강도가 각각 다른 자극을 제시하고 참가자가 맹점 채우기를 지각하는데 필요한 최소한의 주변 자극 크기를 측정하였다.

방법

참가자 교정시력이 정상인 연세대학교 학생 다섯 명이 실험에 참가하였다. 이들은 모두 실험의 목적과 가설을 알지 못하였다.

기구 실험 자극의 제시와 반응의 기록은 IBM 호환 Pentium 4 프로세서가 탑재된 컴퓨터에서 MATLAB과 Psychophysics Toolbox로 제작된 프로그램을 통하여 통제되었다(Brainard, 1997; Pelli, 1997). 자극은 해상도 1600 x

1400, 주사율 85 Hz인 삼성 21인치 평면 CRT 모니터에 제시되었다. 참가자들은 이마-턱 받침대(chin and forehead rest)에 턱을 고정하여 모니터와의 거리를 75cm로 유지하였다. 실험은 암실에서 진행되었다. 참가자들은 실험을 진행하는 동안 실험에 사용하지 않는 반대편 눈에 안대를 착용하였다.

재료 및 절차 맹점 채우기에 필요한 자극의 최소 크기가 실험의 종속 변인이었으므로 자극을 최소한의 크기로 맹점 주변에 제시하기

위하여 본 실험이 시작되기 전에 정교하게 참가자들의 맹점을 측정하였다. 그림 1과 같이, 측정이 시작되면 화면의 자극 제시 영역에 검은 색 원이 제시되었다. 자극 제시 영역은 오른쪽 눈 맹점 측정시는 모니터 오른쪽이며, 왼쪽 눈 맹점 측정시는 모니터 왼쪽이었다. 모니터의 반대편 중앙에는 응시점이 제시되었다. 참가자들은 응시점에 눈을 고정하고 키보드를 이용해 제시된 원이 맹점 영역과 일치하도록 위치와 크기를 조정하였다(A-왼쪽, D-오른쪽, W-위, X-아래, L-크게, K-작게). 조정된

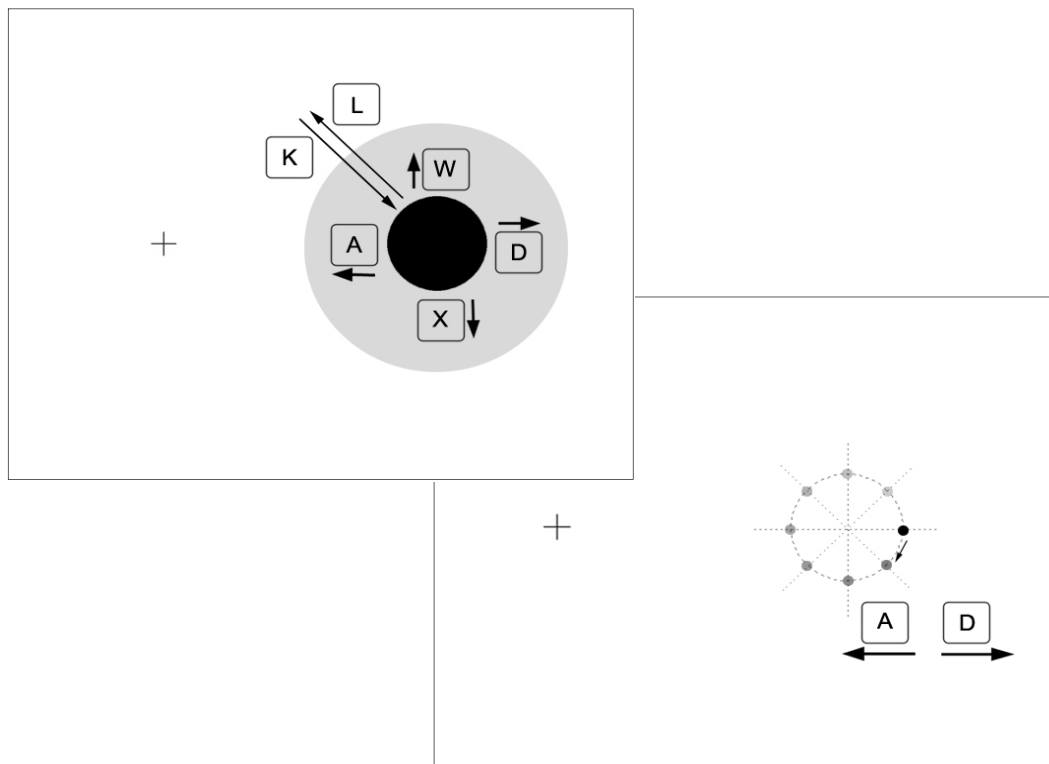


그림 1. 맹점 위치 측정. 측정이 시작되면 화면에 응시점과 함께 검은 원이 제시되었다. 참가자가 키보드의 A, D, W, X 버튼을 이용하여 위치를 조정하고, K, L 버튼을 이용하여 크기를 조정한 후 스페이스바를 누르면 원이 사라지고 원주의 위치에 점이 제시되었다. 점은 원주를 여덟 영역으로 균등 분할한 위치에 제시되며 참가자는 키보드의 A, D 버튼을 이용해 점이 사라지기 시작하는 위치를 측정하였다. 그림에 제시된 자극의 크기와 배경 색은 편의를 위하여 조절된 것으로, 실험에 사용된 점의 크기는 그림보다 작았고 배경 색은 회색이었다.

원이 맹점의 위치에 정확히 놓여져 있다고 판단되었을 때 참가자들은 스페이스 키를 눌러 다음 단계로 진행하였다. 이 단계에서는 정교한 맹점의 모양을 측정하기 위해서 참가자들이 전 단계에서 조작한 원의 원주 위에 등 간격을 이루는 여덟 개의 검은 점이 순차적으로 제시되었다. 참가자들은 키보드를 이용해 제시된 점을 움직여 점이 사라지기 시작하는 위치를 판단하였다. 참가자가 전체 과정을 두 번 시행한 후, 보고된 두 점의 평균 위치를 계산하여 맹점을 정의하는 여덟 개의 꼭지점으로 지정하였다. 본 실험에서는 이 여덟 개의 꼭지점을 연결하는 다각형을 맹점 영역으로 정의하였다.

실험 1에서는 대비 강도의 차이가 맹점 채우기에 어떻게 영향을 미치는지를 알아보았다. 예비 실험에서 맹점으로 정의한 다각형의 중심을 지나는 가장 긴 선분을 지름으로 하는 원형 격자 자극이 최초 자극으로 제시되었다(그림 2, 왼쪽). 원형 자극의 중심은 정의된 맹

점의 중심과 일치하였다. 자극의 대비 강도는 20%, 40%, 60%, 80%, 100%의 다섯 가지 조건으로 이루어졌다. 다섯 가지 수준의 대비는 격자를 구성하는 밝기 값의 최대값과 최소값의 차이를 최대값과 최소값의 합으로 나눈 것으로 정의되었다. 최초 시각 피질에는 수평, 수직 방향의 세포들이 다른 방위의 세포들보다 많이 존재하므로(Furmanski & Engel, 2000), 이러한 방위의 편향성을 통제하기 위하여 45°와 135° 방위의 격자 자극을 사용하였다. 45° 방위는 수직을 기준으로 우측으로 45° 기울어진 격자 자극이었으며, 135° 방위는 수직을 기준으로 좌측으로 45° 기울어진 격자 자극이었다. 다섯 가지 대비와 두 가지 방위로 구성된 총 10가지 조건이 세 번씩 반복되어 총 30번의 시행이 무선화된 순서로 제시되었다. 각 조건별로 세 번 반복된 값의 평균값을 종속측정치로 사용하였다.

맹점 채우기에 필요한 최소한의 주변 자극 크기를 측정하기 위해 조절법을 사용하였다.

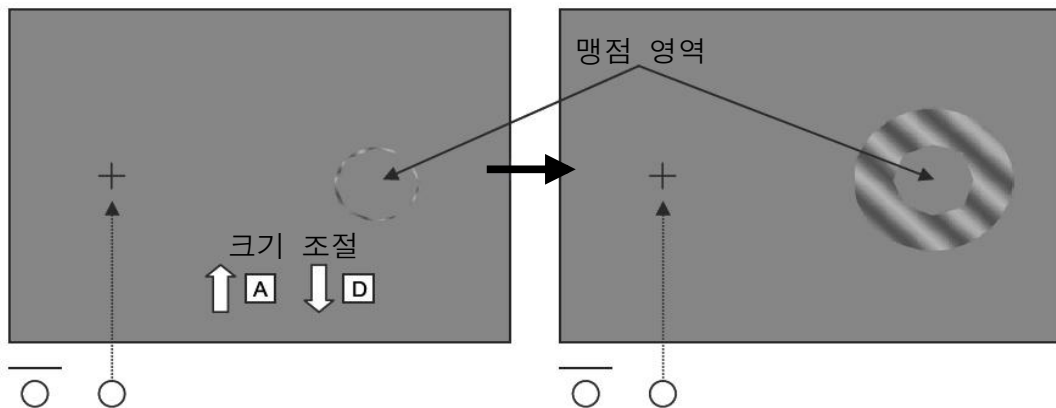


그림 2. 실험 1의 자극 및 절차. 오른쪽 눈 조건의 예이다. 참가자들이 응시점에 눈을 고정한 상태에서 사전에 정의된 맹점 영역 주변에 맹점을 둘러싸는 원형 자극이 제시되었다. 참가자들은 키보드를 이용하여 제시된 자극을 확대하거나(버튼 A) 축소하였고(버튼 D), 맹점이 채워졌다고 판단하면 스페이스 바를 눌러 다음 시행을 진행하였다.

참가자들은 응시점에 눈을 고정하고 키보드의 버튼을 이용하여 주변 자극의 크기를 확대하거나(버튼 A) 축소하였다(버튼 D). 각 시행이 시작되면 참가자들은 주변 자극이 맹점을 선명하게 채울 때까지 자극의 크기를 확대하였다. 맹점이 완전히 채워짐을 지각하면 참가자들은 세밀하게 주변 자극의 크기를 재조정하여 맹점이 채워지는데 필요한 최소한의 크기를 판단하였다(그림 2). 측정을 마치고 스페이스 키를 누르면 다음 시행이 시작되었다. 본 실험의 종속 측정치는 최초 원형 자극으로부터 참가자가 맹점이 완전히 채워지는 최소한의 주변 자극으로 판단할 때까지 자극의 증가 폭이었다. 맹점을 완전히 채우는 최소한의 자극 크기로 판단한 원형 자극의 반지름에서 최초로 제시된 원형 자극의 반지름을 감한 값을 자극의 증가폭으로 정의하였다.

안구 운동에 의한 맹점 채우기를 방지하기 위하여 참가자에게 매 시행에서 최종적으로 반응하기 전에 정확히 응시점을 바라보고 일관된 기준으로 맹점이 완전히 채워지는 것을 판단하도록 지시하였다. 참가자가 반응 버튼을 누를 때 응시점의 휘도가 검정색에서 흰색으로, 흰색에서 검정색으로 교차하여 시선을 응시점으로 유도하고 참가자 스스로 응시점에 시선을 고정하고 있는 것을 확인하도록 하였다. 모든 참가자들은 위와 같은 과정을 양 눈 모두에서 실시하였다. 이들은 한 쪽 눈 실험 후에 충분한 휴식을 취한 후 다른 쪽 눈에 대한 실험을 진행하였다.

결 과

참가자들이 맹점이 완전히 채워진다고 판단한 자극의 증가 폭은 최소 0.44°에서 최대

3.08° 사이에 분포했다. 참가자들은 평균적으로 대비 강도 100%와 80%에서 1.27°, 60%에서 1.48°, 40%에서 1.59°, 20%에서 1.86° 정도 자극을 증가하였을 때 맹점이 완전히 채워진다고 지각하였다. 반면 통제 변인인 방위에 따른 자극의 평균 증가 폭은 45° 방위에서 1.52° 이었고 135° 방위에서 1.48° 이었다.

참가자들의 맹점 크기는 6.6°에서 9.5°로 다양하였고 개인 내에서도 왼쪽, 오른쪽 눈의 맹점 크기 차이도 평균 1.28° 이었다. 맹점 채우기에 필요한 자극 크기의 증가 폭은 개인 평균 1.23°에서 1.74° 사이로 맹점이 완전히 채워지는 주관적 경험에 대한 지각적 판단 기준도 참가자 간에 차이가 나타났다. 개인 간 및 눈 위치 간 맹점의 크기나 형태의 차이와 맹점이 완전히 채워지는데 대한 개인 간 판단 기준의 차이가 결과에 미치는 영향을 배제하기 위하여, 통계 분석을 실시하기 전에 참가자 간의 주관적인 차이를 표준화하였다. 참가자 각각에 대한 주변 자극 크기의 최대값과 최소값을 기준으로 특정 조건에서의 주변 자극 크기를 S라고 하고 표준화된 자극 크기를 S'이라고 할 때 표준화 공식은 다음과 같다.

$$S' = (S - \text{최소값}) / (\text{최대값} - \text{최소값})$$

즉, 참가자 개인의 결과 중 최대값을 1, 최소값을 0으로 하고 자료의 상대적인 차이를 정리하여 모든 참가자들의 측정값이 0 ~ 1 사이에 분포하도록 표준화하였다.

실험 1의 결과 눈의 위치나 방위와는 상관 없이 대비 강도가 강할수록 맹점을 채우는데 필요한 자극의 상대적 크기가 작아졌다(그림 3). 반복측정(Repeated measure) 통계 분석 결과, 대비 강도가 강할수록 맹점을 채우는데 필요한 최소한의 자극 크기가 통계적으로 유의미

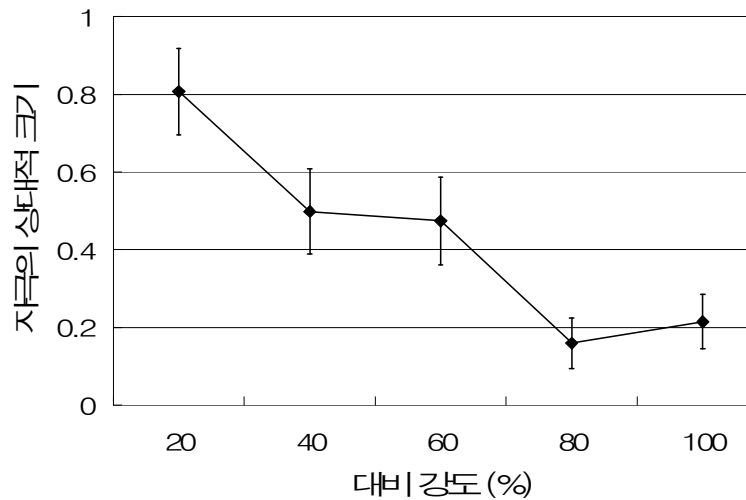


그림 3. 대비 강도에 따른 자극의 상대적 크기. 자극의 대비가 클수록 맹점 채우기에 필요한 자극의 크기가 작아졌다.

하게 작아졌다($F(4, 16) = 20.343, p < 0.01$). 그러나 방위 조건의 효과는 통계적으로 유의미하지 않았고($F(1, 4) = 0.179, p = 0.694$), 왼쪽 눈과 오른쪽 눈의 차이도 나타나지 않았다($F(1, 4) = 0.079, p = 0.792$). 다른 모든 조건 간 상호작용은 나타나지 않았다. 이와 같은 통계 결과의 경향은 표준화하지 않은 원자료 분석에서도 동일하게 나타났다.

맹점을 완전히 채우는데 필요한 자극의 크기는 통제 변인인 방위에 상관없이 대비 강도에 의해서만 영향을 받았다. 방위 특성은 자극의 내용(contents)에 대한 구체적인 정보를 담고 있는 반면 대비 강도는 자극의 신호 강도를 변화시키는 요인이다. 자극의 대비 강도가 강할수록 주변 자극의 크기가 더 작아도 맹점이 완전히 채워진 결과는 자극의 신호 강도가 강할수록 맹점 채우기가 용이하다는 것을 시사한다.

실험 2

실험 1에서는 주변 자극에 의한 맹점 채우기가 자극의 대비 강도 특성에 영향을 받았다. 실험 2의 목적은 실험 1을 반복 검증하고 신호 강도에 영향을 줄 수 있는 또 다른 변인인 중심와로부터의 거리가 맹점 채우기에 미치는 영향을 측정하는 것이었다. 중심와에 가까워질수록 시야를 담당하는 시각 피질의 영역이 넓어지기 때문에 자극이 동일한 크기로 제시되어도 중심와에서 주변부보다 fMRI 신호 강도가 강해진다(Dougherty et al., 2003). 중심와에 상대적으로 가깝게 제시된 자극은 주변 시에 제시된 자극보다 신호 강도가 강하므로 중심와에 가깝게 제시된 자극은 상대적으로 멀리 제시된 자극보다 더 작은 크기의 주변 자극으로 맹점을 완전히 채울 수 있을 것이다.

방 법

참가자 참가자들은 실험 1과 동일하였다.

재료 및 절차 실험 2에서는 대비 강도가 맹점 채우기에 미치는 영향을 반복검증하고, 중심와로부터 상대적인 거리가 맹점 채우기에 어떻게 영향을 미치는지 알아보고자 하였다. 이를 위하여 실험 1에서 사용된 격자 자극과 동일한 자극을 각각 좌, 우의 반원으로 나누어 제시하였다(그림 4). 즉, 왼쪽 눈의 경우 맹점의 오른쪽을 둘러싸는 반원이 왼쪽의 반원에 비해 상대적으로 중심와에 가깝게 제시되었고, 오른쪽 눈의 경우는 그 반대였다. 자극의 방위와 대비 강도는 실험 1과 동일하였다. 중심와로부터의 상대적 거리(가까운 영역, 먼 영역), 대비강도(20%, 40%, 60%, 80%, 100%), 통제 변인인 방위(45°, 135°)가 각각 다른 20가지 조건을 갖는 반원형 격자 자극이 세 번씩 반복되어 총 60번의 시행이 무선화된 순서로 제시되었다.

실험 1과 같이 조절법을 통하여 맹점을 채우는데 필요한 최소한의 주변 자극 크기를 측정하였다. 참가자들은 응시점에 눈을 고정한 상태에서 키보드의 버튼을 이용하여 주변 자극의 크기를 확대하거나(버튼 A) 축소하였다(버튼 D). 각 시행이 시작되면 자극이 맹점을 채울 때까지 자극의 크기를 확대하였다. 맹점이 채워졌다고 판단하면 참가자들은 자극의 크기를 세밀하게 재조정하여 맹점 채우기에 필요한 최소한의 주변 자극 크기를 측정하였다(그림 4). 측정을 마치고 스페이스 키를 누르면 다음 시행이 시작되었다. 종속측정치는 실험 1과 동일하였다.

결 과

실험 2에서 참가자들은 맹점 영역이 반원 형태로 채워지는 것을 지각하였다. 반원형 주변 자극이 맹점을 완전히 채울 때까지의 자극 증가 폭은 최소 0.76°에서 최대 4.15°사이로 원형 자극에 비해서 최소값은 0.32°, 최대값은

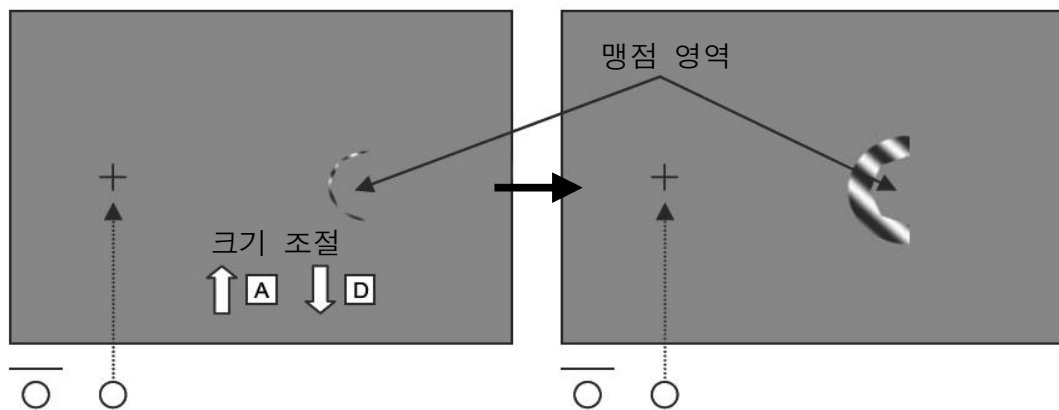


그림 4. 실험 2의 자극 및 절차. 오른쪽 눈 조건의 예이다. 참가자들이 응시점에 눈을 고정한 상태에서 맹점 영역의 왼쪽, 혹은 오른쪽을 둘러싸는 반원형 자극이 제시되었다. 참가자들은 키보드를 이용하여 제시된 자극을 확대하거나(버튼 A) 축소하였고(버튼 D), 맹점이 채워졌다고 판단하면 스페이스 바를 눌러 다음 시행을 진행하였다.

1.07° 더 컸다. 대비 강도에 따른 증가 폭의 평균은 100%에서 1.83°, 80%에서 1.84°, 60%에서 1.89°, 40%에서 2.09°, 20%에서 2.43°로 강한 대비 강도에서 증가 폭이 더 적었다. 중심와로부터 상대적 거리에 따른 평균 증가 폭은 가깝게 제시되었을 때 1.81°, 멀리 제시되었을 때 2.24° 이었다. 방위 45° 자극의 평균 증가 폭은 2.03°, 방위 135° 자극은 2.01° 이었다. 맹점 채우기에 필요한 자극의 증가 폭의 개인 평균은 1.25°에서 2.48°로 원형 자극보다 평균적으로 더 큰 증가 폭을 보였다.

실험 2의 통계 분석을 실시하기 전에 실험 1과 동일한 방법으로 참가자 간의 주관적인 차이를 표준화하였다. 실험 2의 결과, 실험 1과 마찬가지로 대비 강도에 따른 주변 자극의 크기 차이가 나타났다. 또한 중심와에 상대적으로 가깝게 제시된 자극은 맹점을 채우는데 필요한 자극의 크기가 더 작았다. 반복측정 통계 분석 결과, 실험 1과 마찬가지로 대비

강도($F(4, 16) = 20.862, p < 0.01$)가 강해짐에 따라 맹점 채우기에 필요한 최소한의 주변 자극 크기가 작아졌다(그림 5). 그림 5에서 볼 수 있듯이 중심와로부터 상대적 거리가 가까운 주변 자극은 맹점을 채우는데 필요한 최소한의 자극 크기가 중심와에서 상대적으로 멀리 제시된 자극보다 작았다($F(1, 4) = 9.150, p < 0.05$). 그러나 눈의 위치($F(1, 4) = 0.081, p = 0.791$)와 통제 변인인 방위 조건($F(1, 4) = 0.001, p = 0.978$)의 효과는 통계적으로 유의미하지 않았다. 눈 위치 × 방위 × 중심와로부터 상대적 거리간의 상호작용이 나타났다($F(1, 4) = 31.059, p < 0.01$). 다른 가능한 조건 간의 상호작용은 통계적으로 유의미하지 않았다. 원자료를 사용하여 분석하였을 경우도 통계 분석의 경향성이 동일하였다.

실험 2의 결과 맹점 채우기에 필요한 자극의 크기는 실험 1과 마찬가지로 대비 강도에 영향을 받았고, 자극이 중심와에 상대적으로

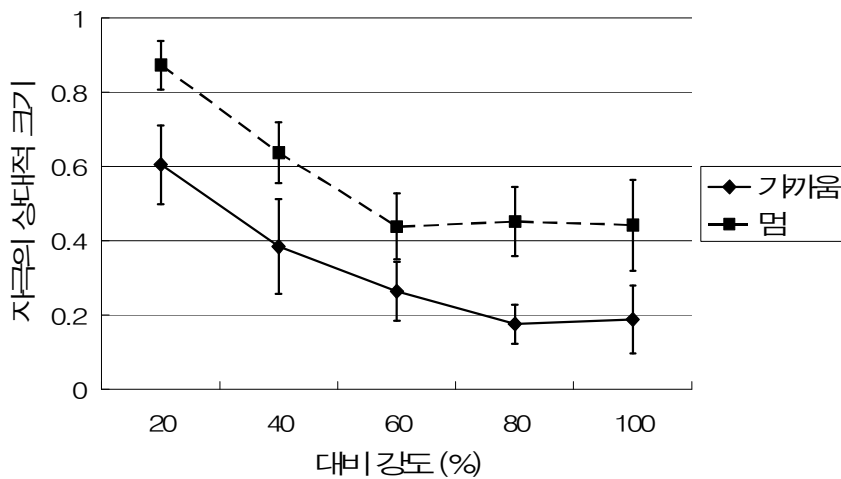


그림 5. 대비 강도에 따른 자극의 상대적 크기. 대비 강도가 강할수록 자극의 크기가 작아도 맹점이 채워졌다. 또한 중심와로부터 거리가 상대적으로 가까우면 맹점을 채우는데 필요한 자극의 크기가 작았다.

가깝게 제시되었을 때가 그렇지 않은 경우보다 맹점 채우는데 필요한 주변 자극의 크기가 작았다. 이 결과는 신호 강도가 강할수록 맹점을 채우는데 필요한 자극의 크기가 줄어들 것이라는 본 연구의 가정과 일치했다.

실험 2의 반원형 자극은 실험 1의 원형 자극에 비해 더 큰 증가 폭을 보였다. 막대 자극이 맹점의 한쪽에만 걸쳐 있을 때는 맹점에 해당하는 최초 시각 피질이 발화하지 않았던 Matsumoto(2005) 등의 단일 세포 연구 결과를 기반으로, 반원형 자극이 원형 자극에 비해서 증가 폭이 큰 것은 주변 자극이 맹점의 상하에는 제시되지만 좌우를 완전히 둘러싸지 않아 맹점 채우기가 원형 자극보다 잘 일어나지 않았기 때문일 수 있다.

실험 1과 실험 2에서 나타나는 자극 증가 폭의 차이는 본 연구의 가설인 신호 강도의 차이가 맹점 채우기에 미치는 영향으로 해석할 수도 있다. 실험 2(반원형 자극)는 실험 1(원형 자극)에 비해 제시된 자극의 양이 절반이었으므로, 실험 1, 2의 결과를 직접 비교해 볼 수 없다. 그러나 참가자 간의 주관적인 차이를 표준화한 자료를 통해서는 실험 1, 2의 직접적인 비교가 불가능하다. 두 실험을 직접 비교하기 위하여 실험 1, 2 모두에 대하여 맹점이 완전히 채워지는데 필요한 주변 자극의 면적을 계산하였다(측정된 자극의 면적 - 최초 자극의 면적). 그 결과 실험 1에서 맹점 채우기에 필요한 면적(43.2°)은 실험 2에서의 면적(61.3°)보다 통계적으로 유의미하게 작았다 ($t(4) = 3.930, p < 0.05$). 맹점을 완전히 채우는 주변 자극의 면적을 통해 실험 1, 2의 결과를 직접 비교함으로써 맹점 채우기에 있어서 신호 강도가 중요하다는 것을 재확인할 수

있었다.

종합논의

실험 결과 대비 강도와 중심와로부터의 거리에 따라서 맹점 채우기에 필요한 자극의 크기가 감소한다는 것을 알 수 있었다. 참가자들은 대비 강도가 강하고 중심와에 가깝게 제시된 자극일수록 조절한 자극의 증가 폭이 작아도 맹점이 완전히 채워진다고 보고하였다. 실험 1, 2를 비교한 결과, 자극의 양이 적었던 실험 2는 실험 1보다 더 큰 자극의 증가 폭을 보였다. 격자자극이 45°로 제시되었을 때나 135°로 제시되었을 때의 자극의 증가 폭은 차이가 나지 않았다. 본 연구 결과는 자극의 신호 강도가 맹점 채우기의 양상에 중요한 역할을 수행함을 보여준다. 맹점 주변에 제시된 자극의 신호 강도가 강할수록 주변 자극에 의한 맹점 채우기가 더 용이하다는 것이다. 이 결과는 무형 완성(modal completion)에서 자극의 휘도가 높을수록 지각적인 보간의 강도가 높아진다는 Anderson, Singh과 Fleming(2002)의 연구 결과와 일치한다. 즉, 맹점 채우기와 무형 완성의 보간이 같은 기제로 이루어질 가능성이 높음을 시사한다.

본 연구에서 맹점을 완전히 채우는데 필요한 주변 자극의 크기는 이전의 Spillmann 등(2006)의 연구 결과와 차이를 보였다. 그들의 연구에서는 주변 자극이 색 자극은 시각 0.33°, 결 자극은 0.66°의 크기로 제시되었을 때 맹점이 채워졌다. 그러나 본 연구에서는 대부분의 시행에서 맹점을 완전히 채우기 위한 주변 자극의 크기가 1° 이상이었으며, 평균 크기는 실험 1에서 1.45°, 실험 2에서 2.02°이었다. 위와 같은 차이는 자극 제시 조건과

과제의 차이 때문일 수 있다. Spillmann 등은 동일한 대비의 자극에 대해서 검정색 배경이 흰색 배경보다 맹점 채우기가 더 잘 일어나는 것을 발견하고 검정색 배경을 사용하여 맹점 채우기를 측정하였다. 그러나 본 연구에서는 대비의 양을 조절하기 위해 자극이 회색 배경에 제시되었기 때문에 맹점을 채우기 위한 주변 자극 크기가 Spillmann 등의 연구보다 큰 것으로 해석된다. 나아가 본 연구의 과제는 조절법을 사용하여 맹점이 선명하게 채워지는 주변 자극의 크기를 정밀하게 보고한 반면 Spillmann 등의 연구에서는 특정 크기의 자극을 제시한 상태에서 자극의 결이나 색 특성을 참가자가 구두로 보고하였다. 그러므로 Spillmann 등의 주관적 보고와 본 연구의 조절법을 통한 측정 결과를 직접 비교하는 것은 문제가 있을 수 있다.

양안 경쟁을 이용하여 맹점 채우기를 연구한 결과는 주변 자극에 의해 채워진 맹점의 지각 경험이 실제 자극이 제시되었을 때와 매우 유사함을 시사한다(He & Davis, 1999). 한쪽 눈의 맹점 영역과 그에 상응하는 반대편 눈의 영역에 서로 다른 자극을 제시하고 특정 자극을 지각하고 있는 시간을 측정한 결과, 주변 정보로 맹점 채우기가 일어난 경우 맹점에 해당하지 않는 중심와로부터 동일한 거리의 주변시 영역에 제시된 자극과 유사한 양상으로 양안 경쟁이 일어났다. fMRI를 이용해 뇌의 활성화를 관찰한 연구도 이와 일치하는 결과를 보인다. Tong과 Engels(2001)는 양안 경쟁에서 일어나는 맹점 채우기의 지각적인 특성을 신경 발화와 비교하기 위하여 양안 경쟁 시의 최초 시각 피질 반응을 fMRI로 측정하였다. 맹점 주변에 제시된 자극이 맹점을 채운 경우 실제 자극이 없음에도 불구하고 맹점에 상응

하는 최초 시각 피질이 활성화되었다. 이 활성화 정도는 양안 경쟁이 아닌 실제 자극이 교차 제시되는 경우와 유사하였다. 이 결과는 맹점에 채워진 자극의 질이 실제 자극과 매우 유사함을 시사한다.

Awatramani(2005) 등의 능동적인 맹점 채우기에 관한 연구는 주변 자극이 맹점 채우기에 중요한 기제임을 시사한다. 그들은 맹점 채우기에 단순히 맹점의 주변 자극을 맹점에 재배치(remapping)하는 것 이상의 능동적인 처리 과정이 개입함을 강조한다. 췌기 형태의 자극을 맹점 주변이나 맹점이 아닌 반대편 눈의 왼쪽과 오른쪽에 제시하고 고해상도 fMRI 영상촬영을 통해 최초 시각 피질의 활성화를 관찰한 결과 맹점 주변에 제시된 자극과 그렇지 않은 자극 간의 차이가 나타나지 않았다. 주변 자극이 수동적으로 재배치되어 맹점에 상응하는 최초 시각 피질 영역에 표상된다면 맹점의 왼쪽과 오른쪽에 제시된 자극은 맹점 채우기에 의해 하나로 연결된 활성화 패턴을 보여야 하지만, 측정 결과 왼쪽 자극에 의해 활성화된 최초 시각 피질 영역과 오른쪽 자극에 의해 활성화된 최초 시각 피질 영역 사이의 간격은 맹점이 아닌 반대편 영역에 제시된 자극들 간의 활성화 간격과 유사하였다. 맹점 채우기가 주변 자극을 수동적으로 재배치한 결과라면 왼편과 오른편 자극간의 활성화 간격이 맹점에서 맹점이 아닌 영역보다 작았어야 하므로, 동일한 간격을 보인 실험 결과는 맹점에 상응하는 최초 시각 피질 영역이 수동적 재배치와는 다른 능동적인 맹점 복원 과정을 수행할 가능성을 보여준다.

맹점 채우기 현상은 손실된 정보에 대한 인간 시각 시스템의 복원 기술을 반영한다. 장기적인 관점에서 맹점 채우기를 연구함으로써

시각 5~6°에 해당하는 시각장의 정보를 복원하는 시각 체계의 원리를 규명하여 인간의 시각 체계를 이미지 복원과 관련된 공학적 응용 분야에 적용할 수 있다. 가령, 사물들의 중첩에 의해 가려진 이미지를 복원하는 연구(Criminisi, Perez, & Toyama, 2004)는 중첩된 이미지의 주변 정보를 통하여 이미지를 복원하는 기술이 손실된 이미지를 정교하게 복원할 수 있음을 보여준다. 맹점 채우기의 연구는 주변 자극의 양적인 차이를 측정하여 이미지 복원을 시도하는 공학적인 연구에 기초 자료가 될 수 있다.

참고문헌

- Anderson, B. L., Singh, M., & Fleming, R. W. (2002). The interpolation of object and surface structure. *Cognitive Psychology*, 44, 148-190.
- Awater, H., Kerlin, J. R., Evans, K. K. & Tong, F. (2005). Cortical representation of space around the blind spot. *Journal of Neurophysiology*, 94, 3314-3324.
- Boyton, G. M., Demb, J. B., Glover, G. H., & Heeger, D. J. (1999). Neuronal basis of contrast discrimination. *Vision Research*, 39, 257-269.
- Brainard, D. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10, 433-436.
- Criminisi, A., Perez, P., & Toyama, K. (2004). Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13, 1-13.
- Dougherty, R. F., Koch, V. M., Brewer, A. A., Fischer, B., Modersitzki, J., & Wandell, B. A. (2003). Visual field representations and locations of visual areas V1/2/3 in human visual cortex. *Journal of Vision*, 3, 586-598.
- Furmanski, C. S., & Engel, S. A. (2000). An oblique effect in human primary visual cortex. *Nature Neuroscience*, 3, 535-536.
- He, S., & Davis, W. L. (2001). Filling-in at the natural blind spot contributes to binocular rivalry. *Vision Research*, 41, 835-840.
- Komatsu, H., Kinoshita, M., & Murikami, I. (2000). Neural responses in the retinotopic representation of the blind spot in the Macaque V1 to Stimuli for Perceptual Filling-In. *Journal of Neuroscience*, 20, 9310-9319.
- Kourtzi, Z. (2006). Textures of natural images in the human brain. Focus on "orientation selective adaptation to first- and second-order patterns in human visual cortex." *Journal of Neurophysiology*, 95, 591-592.
- Larsson, J., Landy, M. S., & Heeger, D. J. (2006). Orientation-selective adaptation to first- and second-order patterns in human visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, 95, 862-881.
- MacKeefry, D. J., & Zeki, S. (1997). The position and topography of the human colour centre as revealed by functional magnetic resonance imaging. *Brain*, 120, 2229-2242.
- Matsumoto, M., & Komatsu, H. (2005). Neural responses in the macaque V1 to bar stimuli with various lengths presented on the blind spot. *Journal of Neurophysiology*, 93, 2374-2387.

- Murakami, I. (1995). Motion aftereffect after monocular adaptation to filled-in motion at the blindspot. *Vision Research*, 35, 1041-1045.
- Ramachandran, V. S. (1992). Filling in the blind spot. *Nature*, 356, 115.
- Spillmann, L., Otte, T., Hamburger, K., & Magnussen, S. (2006). Perceptual filling-in from the edge of the blind spot. *Vision Research*, 46, 4252-4257.
- Tong, F., & Engel, S. A. (2001). Interocular rivalry revealed in the human blind-spot representation. *Nature*, 411, 195-199.
- Walls, G. L. (1954). The filling-in process. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, 31, 329-341.
- 1 차원고접수 : 2007. 9. 3
최종게재결정 : 2007. 12. 20

Effects of Contrast and Relative Distance from Fovea of Surrounding Stimulus on Perceptual Completion at the Blind Spot

Jihyun Kim¹⁾ Seok Joon Hong²⁾ Sang Chul Chong^{1),3)}

¹⁾Graduate Program in Cognitive Science, ²⁾Department of Computer Science,

³⁾Department of Psychology, Yonsei University

Blind spot is the area where optic nerves exit out of the retina. Since there is no photoreceptor in the blind spot, no visual input is present in this portion of the retina. Despite the lack of visual input, we do not realize the presence of the blind spot due to the filling-in mechanism of the human visual system. The visual system fills in the blind spot using surrounding information. We investigated the relationship between characteristics of the surrounding information and the aspect of the filling-in process of the blind spot. We varied stimuli characteristics such as contrast and the relative distance from the fovea. Participants' task was to report the smallest surrounding stimulus which could fill in the blind spot. Surrounding stimuli with higher contrast and relatively closer distance from the fovea filled in the blind spot with relatively smaller size of the stimuli. These results suggest that the signal strength of the surrounding information is an important factor in filling-in of the blind spot.

Key words : blind spot, filling-in process, signal strength of the stimuli