한국심리학회지 : 인지 및 생물
The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology
2010, Vol. 22, No. 1, 41-58

Koffka 고리의 밝기 균질성에 영향을 미치는 두 반 고리의 접촉면의 폭*

감 기 택†

강원대학교 심리학과

동일한 밝기를 가진 회색 고리의 절반을 각기 다른 밝기를 가진 배경위에 제시하면 각 반 고리의 밝기는 서로 다르게 보이지만, 배경은 그대로 둔 채 두 반 고리를 이어 하나의 고리로 만들면 각 반 고리의 밝기는 균질하게 하나의 밝기를 가지는 것으로 지각된다. Koffka의 고리로 알려진 이 현상에서 고리의 두께가 얇아지게 되면 하나의 고리이지만 배경에 따라 지각되는 밝기는 서로 다르게 지각된다. 본 연구에서는 Koffka 고리의 밝기 균질성이 고리의 두께에 의존적인 현상의 원인을 알아보기 위해서 고리의 두께 변화와 공변하는 두 변인 즉 고리 내부 윤곽의 길이와 두 반 고리의 접촉면의 폭의 효과를 살펴보았다. 실험 결과 고리 내부의 길이는 두 반 고리의 밝기 균질성에 거의 영향을 주지 못하지만, 접촉면의 폭은 유의하게 영향을 주고 있음을 발견하였다. 이러한 결과는 두 반 고리의 밝기 균질성은 각 반 고리에서 발생된 서로 다른 밝기 정보가 섞여서 발생하며, 각기 다른 밝기 정보들이 섞이기 위해서는 일정 수준 이상의 공간적 영역이 필요함을 시사한다.

주요어 : Koffka 고리, 밝기 대비, 접촉면의 폭, 채워넣기

* 세심하고 중요한 지적을 해 주신 세 분의 심사위원께 감사를 표하며, 정현파 Koffka 고리에서 정현파의 길이 계산에 도움을 준 김상래께 감사를 표한다.

† 교신저자 : 감기택, 강원대학교 사회과학대학 심리학과, (200-701) 강원도 춘천시 강원대학길 1
E-mail : kham@kangwon.ac.kr

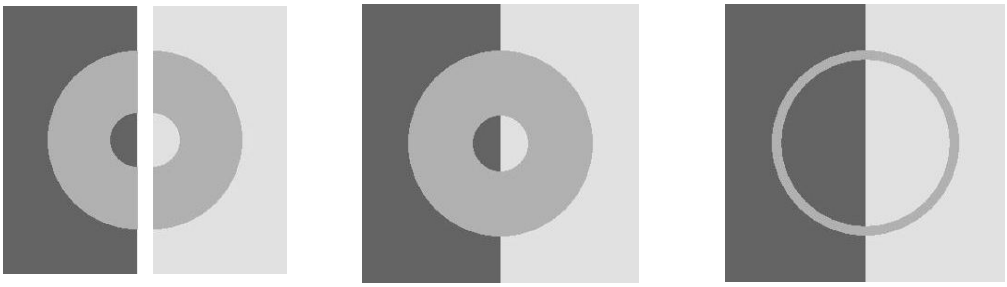
www.kci.go.kr

표면의 밝기는 해당 영역에서 투사되는 영상의 강도뿐만 아니라 주변영역 이나 윤곽의 밝기(Cornsweet 1970; O'Brien, 1958), 혹은 대상의 삼차원적 구조(Adelson, 1993; Knill & Kersten, 1991)등 다양한 요인에 의해 영향을 받기 때문에 밝기 지각은 매우 복잡한 과정을 통해서 이루어지는 것으로 고려되고 있다. 그림 1의 (b)에서와 같이 밝기가 다른 두 배경이 인접하고 있을 때 각 배경의 중간 밝기를 가진 고리가 두 배경의 중앙에 제시되면 각기 다른 배경위에 놓인 반 고리들의 밝기는 서로 유사하게 보인다. Koffka의 고리(Adelson, 2000; Koffka, 1935)라 불리는 이 자극은 그 자극의 단순함에도 불구하고 주변영역의 밝기나 윤곽정보가 표면의 밝기 지각에 미치는 영향을 살펴볼 수 있는 좋은 도구이다.

Koffka의 고리에서 그림 1의 (a)와 같이 밝기가 다른 두 배경을 공간적으로 분리하여 제시하면 각 반 고리의 밝기가 서로 다르게 지각되는 전형적인 밝기대비(brightness contrast)를 볼 수 있다. 즉 보다 밝은 배경위에 있는 회색 반 고리는 어두운 배경위에 있는 동일한 밝기의 회색 반 고리보다 더 어둡게 지각된다. 밝기 대비현상은 망막의 신경절 세포나 LGN, 그리고 시뇌에 분포해 있는 동심원적 중심 흥분(On-center)이나 주변 흥분(Off-center) 세포들의 측면 억제 과정으로 설명될 수 있다(Kuffler, 1953; Hubel & Wiesel, 1962, 1968). 이러한 세포들의 수용장 특징을 고려해 볼 때 광도수준과 무관하게 밝기변화에 민감하게 반응하게 되는데 회색고리와 배경에서 이러한 세포들의 활성화 수준은 달라진다. 측면억제에 의한 설명은 배경 밝기에 따라 윤곽선부근에서의 밝기 차이를 잘 설명할 수 있지만, 윤곽선 내부의 표면 영역 전체에서 지각되는 균질한 밝기를 설명하지는 못한다. 이를 위해 윤곽선에서 발생된 국소 대비 정보의 소위 '채워넣기(filling-in) 과정'을 가정해야 한다(Cohen & Grossberg, 1984; Pessoa, & DeWeerd, 2003). 채워넣기 과정에 대한 이론적인 가정은 윤곽내부의 밝기를 동일하게 한 채 윤곽선의 밝기를 밝거나 어둡게 조작하면 윤곽내부의 밝기가 윤곽선의 밝기에 의해 변화되는 Cornsweet 착시와 유사현상들(Cornsweet, 1970; O'Brien, 1958)과 같은 현상적인 결과뿐만 아니라 해당자극이나 주변 자극의 밝기 변화의 시간을 조작한 다양한 연구결과에 의해서도 지지받고 있다(Davey, Maddess, & Srinivasan, 1998; Rossi & Paradiso, 1996). 또한 최근 신경생리학적 연구들은 균질한 밝기를 가진 표면 광도에 반응하는 신경세포들이 시뇌에 있으며(MacEvoy, Kim, & Paradiso, 1998: Peng & Van Essen, 2005), 이 세포들의 시간적 반응 특징을 살펴보면 표면 내부의 신경흥분은 윤곽부근에서의 신경흥분보다 지연되는 것으로 나타나(Huang & Paradiso, 2008), 밝기의 채워 넣기 현상에 대한 이론적 가정에 합치되는 신경기제가 V1과 같은 시각 정보의 초기 처리 단계에 존재함이 보고되었다.

균질한 표면위에 있는 단일 대상의 밝기 지각과정에서 발생되는 밝기 대비는 위에 기술한 기제로 설명될 수 있다. 그림 1의 (b)에 제시된 것과 같이 단일 대상이 서로 다른 배경위에 있는 Koffka의 고리(Adelson, 2000; Koffka, 1935)의 경우 각 반 고리의 밝기는 거의 유사한 것으로 지각된다. 이는 그림 1의 (a)와 같이

www.kci.go.kr



(a) (b) (c)

그림 1. Koffka 고리와 그 변형들

각 반 고리 사이에 공간적 간격이 주어질 때 발생되는 전형적인 밝기 대비 현상을 고려하면 매우 흥미로운 현상이다. 형태주의자의 경우 그림 1의 (a)와 (b)에서 지각되는 반 고리의 밝기의 차이점들을 설명하기 위해서 형태 연속성이나 단일대상의 개념을 제안하여 하나의 고리로 지각될 때 단일한 밝기를 가지지만 두 개의 반 고리로 지각될 때에는 각각의 밝기는 다르게 지각될 수 있다고 설명한다. 표면의 밝기가 윤곽에서 발생된 밝기 속성 정보로부터 주어진 윤곽내부에 번져나가는 가설적인 개념들을 채용하고 있는 이론적 모형들(예를 들어, Grossberg & Todorovic, 1988)의 관점으로 보면 형태주의자들의 단일 대상의 개념을 하나의 윤곽으로 구성된 대상으로 정의할 수 있다. Koffka 고리의 밝기 균질성을 설명하기 위해서는 윤곽선에서 발생된 국소 밝기 정보가 표면 내부로 퍼져나가는 채워 넣기 과정을 확장하여 각 반 고리에서 발생된 밝기정보가 서로 다른 반 고리로 번져나가는 채워 넣기 과정을 가정하는 것이 필요하다[1]. 즉, 좌 우 반 고리에서는 배경 밝기의 차이에 따라 윤곽선에서 발생되는 밝기 정보는 달라지지만, 윤곽선이 없는 각 반 고리에서 발생된 밝기정보들이 다른 고리쪽으로 흘러들어가는 채워 넣기 과정에 의해 균질한 밝기를 가진다고 설명될 수 있다. 그림 2는 이 과정들을 도식적으로 나타내고 있다.

최근 Koffka 고리의 한 변종 자극으로서 그림 1의 (c)와 같이 고리의 폭을 좁게 할수록 균질한 밝기로 지각되던 두 반 고리가 서로 다른 밝기로 지각된다는 현상적인 보고가 있었지만(Huang, Hon & Altschuler, 2008) 그 현상에 대한 설명적인 개념을 제시하지는 않았다. 고리의 폭이 좁아지는 경우에도 하나의 윤곽을 가진 대상 혹은 단일한 고리로 지각될 수 있기 때문에 각 반 고리의 밝기가 서로 다르게 지각되는 현상은 흥미롭다.

1) 채워 넣기 혹은 밝기 정보의 번짐 과정은 행동적 자료나 신경생리학적 자료에 의해 지지받고 있지만 여전히 가설적인 개념이다. 또한 본 연구에서는 반 고리의 윤곽선에서 반 고리 내부로의 채워 넣기 과정과 두 반 고리 간의 채워 넣기 과정을 논리적인 측면에서 구분하고 있지만 두 과정이 서로 다른 기제에 의해서 발생됨을 가정하거나 시간적 선후 관계가 있는 개념으로 사용한 것은 아니다.

www.kci.go.kr

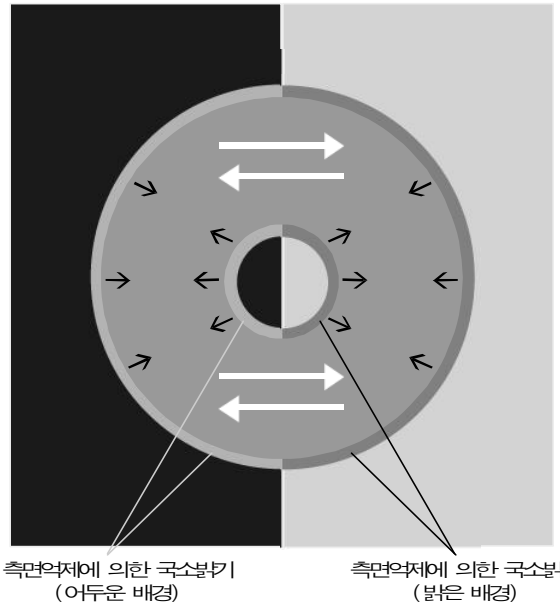


그림 2. Koffka 고리에 대한 밝기 처리과정의 도식적 그림

고리의 윤곽선 부분의 회색 띠는 측면억제 과정에 의해 배경과 고리의 윤곽에서 처리된 국소 밝기 정보를 나타내며, 검은색과 흰색 화살표는 각각 국소 밝기정보가 각 반 고리 내부로 채워지는 과정과 각 반 고리의 각기 다른 밝기 정보의 확산에 의해 균질한 밝기로 되는 과정을 도식적으로 나타내고 있다.

앞서 Koffka 고리의 균질한 밝기를 설명하기 위해 윤곽선의 국소 밝기 정보의 산출과정과 이 정보들의 번짐 혹은 채워 넣기 과정을 가정하였다. 이러한 가정들을 토대로 Koffka 고리의 폭이 좁아짐에 따라 각 반 고리의 밝기 균질성이 깨어질 수 있는 가능한 원인을 살펴보자. 먼저, 윤곽선의 국소 밝기 정보와 관련하여 그림 1의 (b)와 (c)에서 두 반 고리의 밝기 차가 발생될 가능성을 살펴보자. 그림 1의 (c)는 그림 1의 (b)에 제시된 Koffka 고리의 바깥쪽 원의 직경을 고정한 채 고리의 폭을 좁게 만든 것이다. 이에 따라 안쪽 원의 윤곽선이 더 길어지기 때문에 고리의 전체 윤곽의 길이가 더 길어진다. 고리의 윤곽이 길어질수록 윤곽선에서 발생되는 국소 밝기정보의 절대량이 증가할 것을 예상할 수 있으며, 국소밝기 정보의 절대량이 각 반 고리의 밝기 균질성과 연관이 있다면 폭이 좁은 반 고리의 밝기 차이는 더 커질 것을 예상할 수 있다. 이에 따라 고리의 폭이 좁아질수록 윤곽정보가 없음에도 불구하고 두 반 고리의 밝기가 서로 다르게 지각될 수 있다. 두 번째, 서로 다른 국소적인 밝기 정보를 가진 두 반 고리가 균질한 밝기로 지각되기 위해서는 각 반 고리에서 발생된 국소정보들이 서로 다른 반 고리로 번져나가는 과정에 대한 가정이 필요하다. 이러한 가정을 토대로 그림 1의 (b)와 (c)에서 밝기 차가 발생될 가능성을 고려해 보면, 밝기가 다른 각

www.kci.go.kr

반 고리의 밝기 정보는 각 반 고리가 접촉하고 있는 곳을 통해서 번져나갈 수 있다. 비유적으로 이 통로가 충분히 넓지 못하면 각 반 고리에서 발생된 밝기 정보의 번짐 과정이 제약을 받게 되어 각 반 고리의 밝기는 윤곽선에서 발생된 밝기정보와 유사하게 된다. 그 결과로 번짐 현상이 상대적으로 제약을 받을 수 있는 폭이 좁은 Koffka 고리의 각 반 고리의 밝기는 다르게 지각될 가능성이 있다.

본 연구는 Koffka 고리의 밝기 균질성을 설명할 수 있는 두 과정을 토대로 Koffka 고리의 폭에 따라 밝기 균질성이 변화되는 원인을 알아보기 위해서 실험 1에서는 국소 밝기 정보의 양에 영향을 미칠 수 있는 윤곽선의 길이를 조작하였고, 실험 2에서는 각 반 고리에서 발생된 밝기 번짐의 통로인 두 반 고리의 접촉면의 폭을 조작한 후 두 반 고리의 밝기 차의 정도를 측정하였다.

실험 1. 반 고리의 윤곽의 길이변화에 따른 Koffka 고리의 밝기 균질성

서론에서 기술한 바와 같이 윤곽에서의 국소 밝기 정보는 윤곽의 길이가 변화됨에 따라 달라질 수 있다. 그림 1의 (b)와 (c)에서 보듯이 고리의 폭이 좁아질수록 고리의 안쪽 원의 직경은 길어지게 되어 결과적으로 고리의 전체 윤곽의 길이는 길어진다. 만약 윤곽의 길이가 폭이 좁은 Koffka 고리의 비균질한 밝기의 원인이라면 고리의 폭을 고정시킨 채 윤곽의 길이를 변화시키는 경우에도 반 고리들의 밝기는 달라질 것을 예상할 수 있다. 본 실험에서는 고리의 폭과 윤곽선의 길이가 혼입되지 않도록 하기 위해서 고리의 폭을 고정시킨 채 윤곽선의 길이를 독립적으로 조작하였다.

방 법

관찰자 나안이나 교정시력 0.8이상인 10명의 관찰자들이 실험에 참가하였으며, 정신물리학적 실험에 처음 노출되는 대학생들이었다.

자극 및 장치 시각 자극은 1680x1050(60 Hz)의 해상도를 갖는 22인치 CRT 칼라 모니터에서 제시되었고, 관찰자들은 일반적인 방 밝기 하에서 150cm 떨어진 거리에서 턱받이를 한 채 자극을 보았다. 밝기가 다른 두 배경의 크기는 각각 300 x 150 픽셀로 제시되었으며(시각으로 약 196분 x 98분), Koffka 고리의 바깥쪽 원의 반지름은 100 픽셀(시각으로 약 65분)로 모든 조건에서 동일하였다. 각 조건의 자극은 일반적인 Koffka 고리인 그림 3의 통제조건을 기준으로 만들어졌으며 이 조건에서 고리의 안쪽 직경은 30 픽셀로 시각으로 약 19.5분이었다.

Huang 등(2008)의 결과를 반복하기 위해 고리의 폭이 좁아지면서 고리의 윤곽경계가 길어지는 자극이 그림 3의 (a)와 (b)에 제시되어 있다. 두 자극 모두 고리 안쪽원은 바깥쪽 원과 동심원으로 제시하였으며(그에 따라 정현파의 주파수는 0이었다), 안쪽 고리의 직경은 각각 60 픽셀(시각으로 약 39분), 90 픽셀(시각으로 약 59분)이었다. 고리의 폭을 고정시킨 채 고리의 윤곽길이를 독립적으로 조작하기위해 안쪽 고리를 동심원으로 제시하는 대신 동심원을 기준으로 하는 정현파 곡선을 사용하

www.kci.go.kr

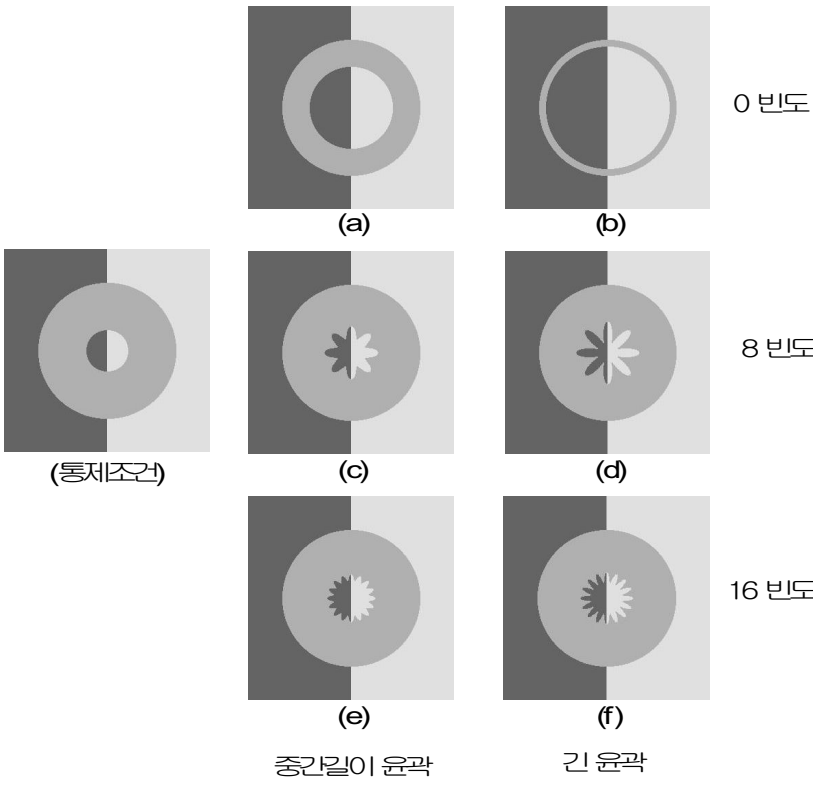


그림 3. 실험 1에 사용된 자극들

각 자극들은 통제조건으로 표현되어 있는 Koffka 고리 자극으로부터 만들어졌다. 0 주파수 자극들은 전형적인 Koffka 고리의 안쪽 윤곽을 원으로 유지한 채 원의 직경을 변화(고리의 폭을 변화)시켜서 윤곽의 길이를 증가시켰고, 8 주파수와 16 주파수 조건의 자극은 통제 조건의 자극과 고리의 폭을 동일하게 유지한 채 안쪽 윤곽을 원에서 해당 조건의 주파수를 가진 정현파 윤곽으로 변경시킨 후 진폭을 변화시켜가면서 윤곽의 길이를 조작하였다. 각 칼럼에 제시되어 있는 각기 다른 윤곽 길이 자극들의 고리 안쪽 윤곽의 길이는 유사하였다.

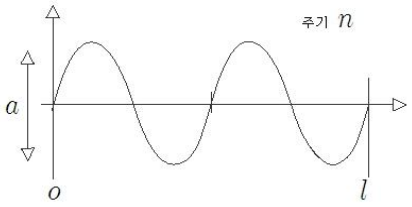
였다. 따라서 그림 (c)에서 (f)까지의 자극의 내부 고리의 직경은 통제 조건의 내부 고리의 직경과 동일하였다. 정현파의 주파수는 일반화를 위해서 주파수 8과 16 두 가지가 사용되었으며 동일한 주파수 조건 내에서 경계선의 길이는 정현파 곡선의 진폭을 조작하여 변화시켰다. 모니터에서 정현파의 진폭은 화소 단위로만 조작할 수 있었기 때문에 그림 2의 (a)와 (b)의 안쪽 원둘레를 먼저 구한 후, 각 주파수 조건에서 정현파의 주파수를 고정시킨 채 진폭을 증가시켜가면서 정현파의 길이를 구하였다.[2] 이때 먼저 구해진 원둘레의 길이와 가장 유사한 정현파를 결정한 후 해당 정현파의 주파수와 진폭을 결정하였다. 결정된

2) 그림과 같이 길이가 l인 직선위에서 진폭이 a이고 주파수가 n인 정현파 함수에서

www.kci.go.kr

정현파의 공간적 좌표를 계산한 다음 이를 안쪽 고리의 원의 좌표와 합산함으로써 고리의 내부 윤곽이 정현파로 변화되도록 조작하였다. 그 결과 그림 (c)와 (d)는 각각 (a)와 (b) 길이의 94%, 99%였으며, 그림 (e)와 (f)는 각각 (a)와 (b) 길이의 101%, 99%로 원의 둘레 길이와 정현파의 길이가 동일하지는 않았지만 그 차이는 미미하였다. Koffka 고리에서 어두운 배경, 밝은 배경, 그리고 고리의 밝기는 모든 조건에서 동일하게 제시되었으며 각각 20.1 cd/m^2, 93.0 cd/m^2, 55.7cd/m^2 이었다.

절차 각 조건에서 Koffka 반 고리의 밝기 차는 관찰자의 지각된 밝기 차의 평정 점수를 통해서 평가되었다. 실험에 앞서 그림 1의 (a)에서와 같이 반 고리 간에 간격이 주어진 자극과 그림 1의 (b)에 제시되어 있는 전형적인 Koffka 고리 자극을 화면 상단의 좌, 우에 제시한 후 이 자극들의 밝기 차를 기준으로 주어진 자극의 밝기 차를 평가하도록 하였다[3]. 즉 그림 1의 (a)와 (b) 자극 각각에 밝기 차 점수를 7점과 1점으로 할당한 후 이 값을 기준으로 주어진 자극의 밝기 차의 정도를 0점에서 9점까지 평가하도록 하였다. 전형적인 Koffka 고리의 균질한 밝기보다 더 균질하게 보이거나 분리된 Koffka 고리에서 지각되는 각 반 고리의 밝기 차보다 더 큰 차이를 지각할 경우를 가정하여 기준 자극의 평정치보다 더 넓은 범위에서 자극의 밝기를 평정하도록 하였다. 실험에 앞서 각 자극에 대한 주관적인 평정치의 변산을 줄이기 위해 6 개의 자극을 동시에 제시한 후 각 자극의 주관적인 밝기 정도를 평정하도록 한 연습시행이 끝난 후 본



정현파의 x, y 좌표를 각각 x, y라 할 때

$$y = a\sin(\frac{2n\pi}{l}x),$$

$$dy = \frac{2an\pi}{l}\cos(\frac{2n\pi}{l}x)dx,$$

$$dy^2 = \frac{4a^2n^2\pi^2}{l^2}\cos^2(\frac{2n\pi}{l}x)dx^2$$

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 = [1 + \frac{4a^2n^2\pi^2}{l^2}\cos^2(\frac{2n\pi}{l}x)]dx^2$$

정현파 궤적의 길이 L은

$$L = \int ds = \int_0^l [[1 + \frac{4a^2n^2\pi^2}{l^2}\cos^2(\frac{2n\pi}{l}x)]dx^2]^{\frac{1}{2}}dx$$

3) 예비 실험에서는 항상법을 이용하여 각 반 고리의 밝기를 직접 측정하여 두 반 고리의 밝기를 비교하였다. 항상법에서는 동심원의 중심과 수평인 각 반 고리 영역과 다양한 밝기를 가진 비교자극의 밝기를 비교하도록 하였다. 정신물리학 실험에 처음 참가하는 관찰자들은 전형적인 Koffka 고리의 밝기를 균질하다고 보고하였지만 항상법을 통해 반 고리의 특정 영역의 밝기를 판단하도록 한 결과는 두 반 고리 각각의 밝기가 유사지 않고 오히려 밝기 대비 현상이 뚜렷이 나타나는 경우가 많았다. Mackavey(1969)도 예비실험의 결과와 유사하게 동심원의 중심과 수평위치에 있는 반 고리의 밝기는 밝기 대비현상을 보이며 두 반 고리의 접촉면에 가까워질수록 밝기 차는 줄어드는 것을 보고하였다. 이러한 결과는 아마도 국소적인 영역에 주의를 준 경우 국소 대비 정보가 크게 영향을 주었기 때문으로 추정된다. 본 실험에서는 국소적인 효과를 최소화하기위해 자극 전체를 관찰하면서 각 반 고리의 밝기 차이를 평정하는 방법을 사용하였다.

www.kci.go.kr

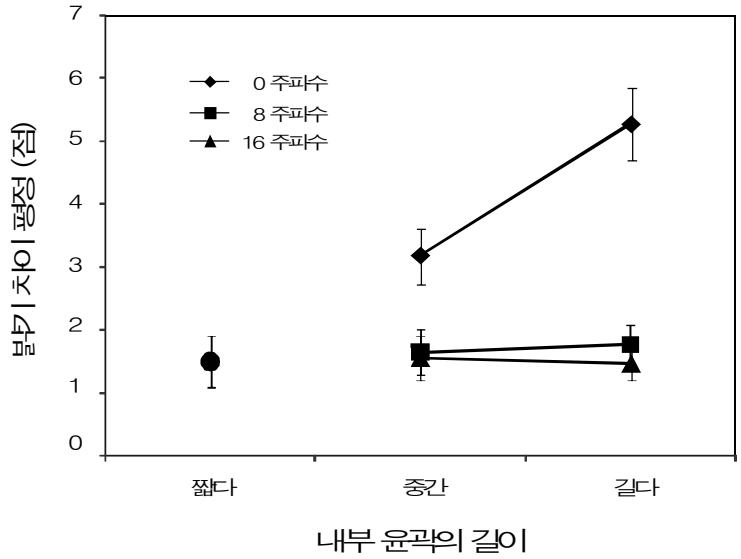


그림 4. 내부 윤곽의 길이에 따른 Koffka 좌우 반 고리의 밝기 차의 평정점수들이 내부 고리의 주파수 조건별로 제시되어 있다. 전형적인 Koffka 고리자극에 대한 평정점수가 오른쪽에 원으로 제시되어 있다.

시행을 실시하였다. 본 시행에서도 항상 화면의 좌우에는 좌우 반 고리 간 간격이 있는 자극과 전형적인 Koffka 자극이 각 조건의 자극과 동일한 크기로 제시되어 있었으며 관찰자가 스페이스 바를 누르면 화면의 중앙에 해당 조건의 자극만 제시되었다. 관찰자들은 동심원의 중앙을 응시하면서 좌우 반 고리의 밝기 차를 평가한 후 화면의 상단에 제시된 두 자극의 평점을 기준으로 하여 0점(밝기 차 없음)에서 9점(밝기 차 아주 큼)까지의 점수로 반 고리의 밝기 차를 평가하도록 하였다. 7개 자극 각각은 모두 6번씩 반복 측정되어 총 시행수는 42번 이었다.

결과 및 논의

내부 윤곽의 길이와 내부 윤곽의 주파수에 따라 각 Koffka 좌우 반 고리 간의 밝기 차에 대해 각 관찰자들이 평정한 점수들의 평균이 조건별로 그림 4에 제시되어 있다. 먼저 그림 4에서 통제조건으로 제시된 전형적인 Koffka 고리에 대한 밝기 차의 평균은 1.1 점으로 좌우 반 고리 간 밝기가 거의 없음을 보여주고 있다. 관찰자들이 Huang 등(2008)의 보고와 같이 Koffka 고리의 폭이 좁아질수록 두 반 고리의 밝기를 다르게 지각하는 지를 알아보기 위해서 포함시킨 0 주기 조건에서는 고리의 두께가 얇아질수록(즉, 내부 윤곽의 길이가 길어질수록) 밝기 차가 점점 커진다고 보고했다. 0 주기의 두 조건과 통제조건 간에 밝기 차가 있는 지를 반복측정방안 일원 변량분석을 한 결과 세 조건간의 밝기 차는 통계적으로 유의하였으며($F(2, 18) = 56.3$, $p < .001$), 이러한 결과는 Huang 등의 보고와 일치하는 것으로 그

www.kci.go.kr

들의 보고가 반복됨을 확인하였다.

본 연구의 주된 목적은 Koffka 고리의 폭을 변화시키지 않은 채 고리 내부의 윤곽의 길이를 정현파를 이용하여 변화시켰을 때 Koffka 좌우 반 고리의 밝기 차가 0 주파수 조건에서 발생하는 밝기 차와 동등하게 나타나는 지를 확인하는 것이었다. 이를 위해 고리내부의 길이변인(2: 중간 길이, 긴 조건)과 주파수 변인(3조건: 0 주파수, 8 주파수, 16주파수)을 독립변인으로 삼아 밝기 차에 대한 관찰자들의 평정 점수를 반복측정 방안 변량분석으로 분석하였다. 그 결과 고리의 폭이 변화된 0주파수 조건의 밝기 차의 평균은 4.72점로 8주파수와 16주파수에서 얻어진 밝기 차인 1.54와 1.47보다 높게 나왔지만($F(2,18)=74.32$, $p < .001$) 8주파수와 16주파수에서 밝기 차의 정도는 차이가 없었다. 전형적인 Koffka 고리의 밝기를 1점으로 고정했다는 사실을 고려한다면 8주파수와 16 주파수 조건에서 관찰자들은 좌우 반 고리 간 밝기 차가 거의 없는 것으로 판단했음을 알 수 있다. 이러한 결과는 8주파수와 16 주파수 조건에 속한 네 실험 조건을 통제조건과 비교하기 위해 5개 실험조건을 대상으로 반복측정방안 일원변량분석을 한 결과 조건 간에 유의한 차이가 발견되지 않았다는 사실에서도 확인할 수 있다. 즉, 고리의 폭을 고정시킨 채 고리내부 경계선의 길이를 변화시켰음에도 불구하고 두 반 고리의 밝기는 전형적인 Koffka 고리와 유사하게 균질하였으며, 이러한 결과는 Koffka 고리의 폭이 좁아짐에 따라 두 반 고리의 밝기 차의 정도가 커지는 이유가 단지 고리 내부의 윤곽의 길이가 증가하기 때문에 발생한 것이 아님을 시사한다.

본 연구에서 적용한 정현파 곡선 윤곽은 시각기제 연구에서 많이 사용되는 밝기 변화(luminance-modulated)가 정현파로 변화되는 공간 주파수 자극과는 구별되어야 한다. 그러나 윤곽 부근에서 밝기 변화의 패턴이 밝기 지각에 영향을 주는 것과 유사하게 윤곽의 패턴도 영향을 줄 가능성이 있다. 본 연구에서는 정현파 자극만 사용했을 뿐 사각파와 같은 보다 '복잡한' 윤곽을 사용하지 않았기 때문에 윤곽 패턴의 효과를 직접적으로 살펴볼 수 없었다. 그러나 원으로 구성된 윤곽을 가장 단순한 윤곽으로 고려한다면 다양한 주파수와 진폭을 가지는 정현파의 합으로 만들어질 수 있는 사각파는 정현파보다 훨씬 복잡한 패턴으로 고려될 수 있다. 완전한 원으로 구성되어 단순한 윤곽을 가지는 0주파수 조건에서는 반 고리간의 밝기차가 큰 것으로 나타났지만 중간 수준의 복잡도(8 혹은 16 주파수 조건)를 가지는 정현파 윤곽에서는 반 고리간 밝기차가 거의 발생하지 않았다는 사실을 고려해 볼 때 더 복잡한 사각파 윤곽을 사용했을 때에도 두 반 고리 간 밝기 차가 거의 없을 것을 예상할 수 있다.

실험 2. Koffka 반 고리의 밝기 균질성에 영향을 미치는 두 반 고리의 접촉면의 폭의 효과

실험 1을 통해 고리의 윤곽선의 길이 자체는 Koffka 반 고리의 밝기 균질성에 영향을 거의 주지 못하는 것을 확인하였다. 서론에서 논의한 두 번째 가설은 각 반 고리에서 발생된 밝기 정보들 간의 번짐 과정에 대한 제약이다. 그림 2의 도식적 그림에서 제시되어 있

www.kci.go.kr

는 바와 같이 각 반 고리에서 발생된 각기 다른 국소밝기 정보들이 서로 다른 반 고리 쪽으로 번져나가 섞이는 과정이 필요하다. 이 과정에서 두 반 고리가 서로 맞닿는 접촉면의 폭이 충분하지 않다면 국소 밝기 정보에 의해 발생된 밝기 정보가 서로 다른 반 고리로 번져나가기 어려워지고 이에 따라 두 반 고리의 지각된 밝기는 밝기 대비에 의해 차이가 발생될 수 있다. 다시 말하자면 폭이 좁은 고리의 경우 반 고리 간의 밝기의 번짐은 폭이 넓은 고리에서의 밝기 번짐보다 상대적으로 제약을 받을 수 있고 그 결과로 폭이 좁은 반 고리 간의 밝기 차가 크게 나타날 수 있다. 본 실험에서도 고리의 폭은 고정시킨 채 균질한 밝기를 가지는 전형적인 Koffka 고리인 두꺼운 고리자극의 접촉면을 좁혀나감에 따라 두 반 고리의 밝기 균질성이 깨어지는지, 그리고 얇은 고리에서 발견되는 밝기의 비균질성이 접촉면의 폭이 넓어짐에 따라 균질하게 변화되는 지를 살펴보았다.

방 법

관찰자 실험 1에 참가했던 관찰자들이 실험 2에도 참가하였다.

자극 및 장치 실험 2의 장치와 실험 상황은 실험 1과 유사하였다. 실험에 사용된 자극의 밝은 배경, 어두운 배경, 그리고 고리의 밝기도 실험 1과 동일하였으며 자극의 크기도 동일하였다. 고리의 두께 조건에서 두껍고 얇은 조건의 고리의 두께는 각각 70과 10 픽셀 이었고 이는 시각으로 46분과 6.5분에 해당되었다. 그리고 두 반 고리의 접촉면의 폭은 10,

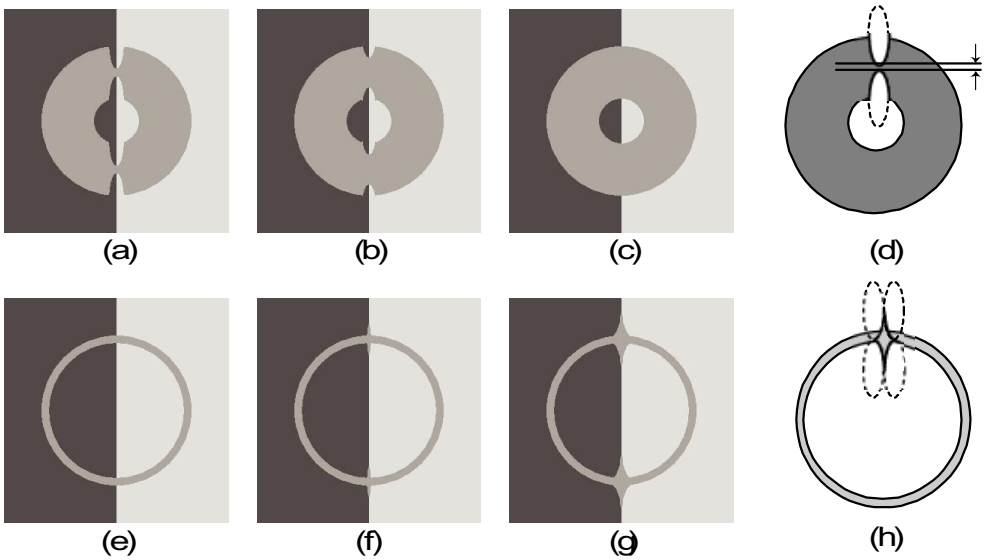


그림 5. 실험 2에 사용된 자극들. 얇은 고리와 두꺼운 고리 조건이 각각 첫째 줄과 둘째 줄에 제시되어 있다. 각 칼럼은 두 반 고리의 접촉면의 폭이 좁은 조건, 중간 조건, 넓은 조건을 각각 나타내며, 마지막 칼럼은 해당 자극들이 만들어진 과정을 도식적으로 보여주고 있다.(자세한 내용은 본문 참조)

www.kci.go.kr

40, 70 픽셀로 결정되었으며 이는 시각으로 각각 약 6.5분, 26분, 46분에 해당되었다. 두꺼운 고리 조건에서 접촉면의 폭은 그림 4의 (d)에 제시되어 있는 바와 같이 장축이 70 픽셀이고 단축이 20 픽셀인 두 개의 타원을 고리 폭의 중앙에서부터 상하 대칭적으로 움직이면서 두 타원사이의 거리로 결정되었고, 최종 윤곽선은 Koffka 고리의 내부에 있는 타원의 윤곽들과 Koffka 고리의 윤곽선들을 통해 결정되었다. 얇은 고리 조건에서 접촉면의 폭은 장축이 70 픽셀이고 단축이 20 픽셀인 타원 4개를 그림 4의 (h)에 제시되어 있는 것과 배치하여 발생되는 다이아몬드 모양의 상하 폭으로 결정하였다. 두꺼운 고리에서 접촉면이 가장 넓은 조건과 얇은 고리 조건에서 접촉면이 가장 좁은 조건에서의 자극은 고리의 바깥과 안쪽 윤곽이 동심원으로 이루어져 있었다.

절차 실험 2에서 Koffka 반 고리의 밝기 차는 실험 1과 동일하게 관찰자들에게 좌우 반 고리의 지각된 밝기 차를 평정하도록 하여 측정되었다. 실험1과 동일하게 그림 1의 (a)에서와 같이 반 고리 간에 간격이 주어진 자극의 밝기 차를 7점, 전형적인 Koffka 고리인 그림 1의 (b)자극의 밝기 차를 1점으로 제시한 후 이 점수를 기준으로 주어진 자극에서 지각된 밝기 차의 정도를 0점에서 9점으로 평정하도록 하였다. 실험에 앞서 연습시행으로 각 자극에 대한 주관적인 평정치의 변산을 줄이기 위해 6 개의 자극을 동시에 제시한 후 각 자극의 주관적인 밝기 정도를 평정하도록 하였다. 연습시행이 끝나면 본 시행이 시작되었다. 본 시행에서도 항상 화면의 위 좌우에는 좌우 반 고리 간 간격이 있는 자극과 전형적인 Koffka 자극이 각 조건의 자극과 동일한 크기로 제시되어 있었으며 관찰자가 스페이스 바를 누르면 화면의 중앙에 해당 조건의 자극만 제시되었다. 관찰자들은 동심원의 중앙을 응시하면서 좌우 반 고리의 밝기 차를 평가한 후 화면의 상단에 제시된 두 자극의 평점을 기준으로 하여 0점(밝기 차 없음)에서 9점(밝기 차 아주 큼)까지의 점수로 해당 조건의 좌우 반 고리의 밝기 차를 평가하도록 하였다. 실험 조건들은 고리의 두께(2: 두꺼운 고리, 얇은 고리)와 접촉면의 폭(3: 좁은 조건, 중간조건, 넓은 조건)의 조합으로 만들어질 수 있는 6개의 자극 각각에 대해 모두 6번씩 반복 측정이 이루어져 총 시행 수는 42번이었다.

결과 및 논의

그림 6에는 두 반 고리의 밝기 차에 대한 관찰자들의 평정 점수들의 평균이 접촉면의 폭과 고리의 두께에 따라 제시되어 있다. 전형적인 Koffka 고리는 두꺼운 고리에서 접촉면의 폭이 두꺼운 조건에 해당하며, 이 조건에서 관찰자들의 평정치는 .94 (± .78)로 나타나 밝기 차가 거의 없다고 판단했다. Huang 등(2008)에서 고리의 폭을 좁게 만든 자극은 본 실험의 자극들 중 얇은 고리 조건에서 접촉면의 폭이 좁은 조건의 자극과 유사하였으며, 이 자극에 대한 관찰자들의 밝기 차 평정 점수는 7.8(±1.77)로 나타나 고리의 폭이 좁아질수록 좌우 반 고리의 밝기 차가 커진다는 그들의 결과를 실험 1에 이어 또 다시 확인하였다.

www.kci.go.kr

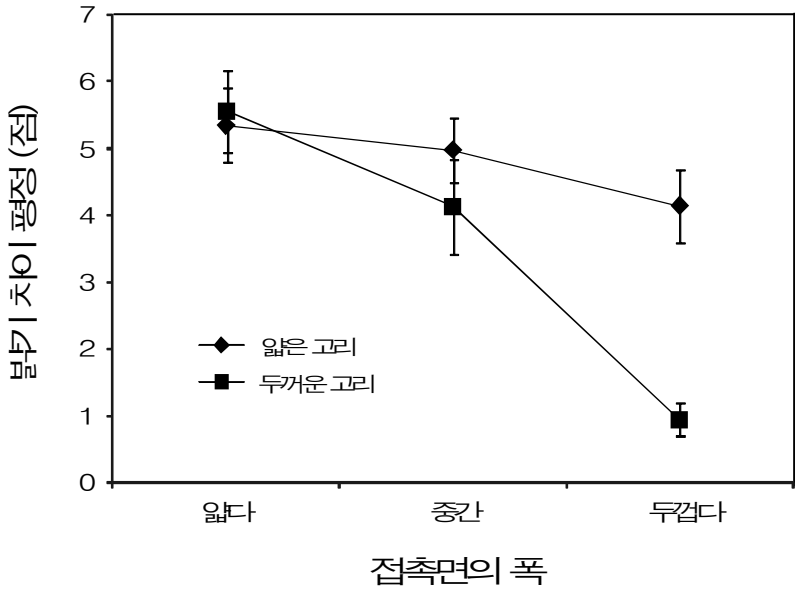


그림 6. 두 반 고리의 밝기 차에 대한 관찰자들의 평정 점수의 평균들이 접촉면의 폭과 고리의 두께에 따라 제시되어 있다.

접폭면의 폭이 좁아질수록 좌우 반 고리의 밝기 차가 커지는 지를 확인하기 위해 고리의 두께와 접촉면의 폭을 독립변인으로 하여 좌우 반 고리의 밝기 차에 대한 평점 점수를 반복측정방안 변량분석을 실시하였다. 접촉면의 폭이 좁은 조건, 중간조건, 넓은 조건에서 밝기 평정 점수는 각각 5.47, 4.56, 그리고 2.55로 나와 접촉면의 폭이 넓어질수록 두 반 고리의 밝기 차는 점차 줄어드는 것으로 나타났다 ($F(2,18)=64.82$, $p < .001$). 고리의 폭에서도 얇은 고리의 전반적인 밝기 차는 4.83 으로 넓은 고리의 전반적인 밝기 차인 3.55 보다 유의하게 더 컸으며($F(1,9)=12.92$, $p < .01$), 이러한 결과는 접촉면의 폭이 좁은 조건에서는 얇은고리(5.36)와 두꺼운 고리(5.57) 조건 모두에서 좌우 반 고리의 밝기 차가 큰 것으로 지각하였지만 접촉면의 폭이 점점 넓어짐에 따라 두꺼운 고리 조건에서는 두 반 고리의 밝기가 거의 균질한 것(0.94)으로 지각한 반면, 얇은 고리 조건에서는 밝기 차가 줄어들기는 하지만 여전히 밝기 차가 있는 것(4.15)으로 지각했기 때문에 나타난 것이다. 이와 같이 각 고리의 두께 조건에서 접촉면의 폭에 따라 두 반 고리 간 밝기 차의 변화가 다르게 나타났기 때문에 고리의 두께 변인과 접촉면의 폭 변인 사이의 상호작용은 유의하였다($F(2,18)=14.72$, $p < .001$). 즉 전형적인 Koffka 고리(두꺼운 고리에서 접촉면의 폭이 넓은 자극)에서 접촉면의 폭을 줄여나가면 밝기 차가 점점 커짐을 볼 수 있으며, 특히 고리의 두께가 두꺼운 조건에서는 접촉면의 폭이 점차 넓어짐에 따라 두 반 고리의 밝기 평점이 비교적 차이가 큰 5.57점에서 거의 균질하다고 지각되는 0.97점으로 변화되었다. 이에 반해 고리의 두

www.kci.go.kr

께가 얇은 조건에서는 접촉면의 폭이 넓어짐에 따라 밝기 평점이 5.36에서 4.15로 감소하였지만 접촉면의 폭의 변화에 따른 반 고리의 밝기 차의 변화 정도는 고리의 두께가 두꺼운 조건보다는 적게 나타났다.

고리의 두께 차에 따라 접촉면의 폭의 효과가 다르게 나타난 것을 자세히 살펴보기 위해서 각 두께 조건 내에서 접촉면의 폭의 효과를 일원 변량분석으로 통해 살펴보았다. 두꺼운 고리 조건에서 접촉면의 폭에 따른 차이는 통계적으로 유의했으며($F(2,18)=44.59$, $p < .001$) 사후 검증 결과에서도 접촉면의 폭에 따른 세 조건들 각각의 평균은 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 얇은 고리조건에서는 접촉면의 폭이 두꺼워짐에 따라 밝기 차가 감소했지만 두꺼운 고리 조건과 달리 균질한 수준까지 감소하지는 않았다. 그러나 얇은 고리 조건에서도 접촉면의 폭에 따른 차이는 통계적으로 유의했을 뿐만 아니라($F(2,18)=8.12$, $p < .01$), 사후 검증 결과 세 조건 각각의 평균 값들도 서로 차이가 있는 것으로 나타났다.

고리의 두께에 따른 이러한 차이는 접촉면 자체보다는 반 고리 간 밝기 정보의 번짐이 발생할 수 있는 통로의 개념이 더 적절한 것으로 해석할 수 있다. 비유적으로 수도관을 통해 물이 전달되는 현상으로 설명할 수 있다. 직경이 넓은 통로를 통해 전달되는 물이 통로가 갑자기 좁아지면 병목 현상으로 인해 물의 흐름이 지속적으로 방해를 받을 수 있지만, 직경이 좁은 통로를 통해 전달되는 물은 일시적으로 통로가 넓어진다고 해도 또다시 좁은 통로를 통해 전달되어야 하므로 통로가 넓어진 효과는 제한적일 수 있다. 이러한 비유를 본 연구에 적용하면 두꺼운 고리 조건에서 접촉면의 폭이 좁아지는 경우 각 반 고리에서 발생된 국소 밝기정보가 서로 다른 반 고리로 전달되기 어려워지지만, 얇은 고리 조건에서는 접촉면의 폭이 넓어지는 경우에도 그 효과가 제한적일 가능성이 있다.

정신물리학적 결과로부터 신경생리학적 기제에 대한 강한 결론을 내릴 수는 없지만 '통로'라는 가설적 개념에 대응될 수 있는 신경기제를 추정해 볼 수는 있다. 윤곽으로부터 윤곽내부로의 채워넣기 과정을 지지하는 신경생리학적 결과로서 신경세포의 수용장이 윤곽으로부터 멀어질수록 해당 신경세포의 흥분시간이 지연됨이 보고되었다(Huang & Paradiso, 2008). 이러한 결과는 각기 다른 공간적 위치에 수용장을 갖는 신경세포들 간에 모종의 연결이 있음을 시사한다. 이와 유사하게 반 고리 간 밝기 정보가 번져나가는 '통로'라는 가설적 개념도 피질 세포들 간의 연결로 설명될 수 있다. 사실 피질에서 신경세포들 간의 연결은 새로운 개념이 아니다. 예를 들어 공선적(collinear)인 관계에 있는 선분이나 가보 자극들이 추가되면 기존 자극의 탐지가 촉진될 뿐만 아니라(Dresp & Bonnet, 1995; Polat & Sagi, 1994), V1 혹은 V2에 있는 방위 선별적인 신경세포들은 서로 윤곽을 형성할 수 있는 공선적(collinear)인 관계에 있는 경우 다른 신경세포의 신경흥분을 촉진시키거나(Kapadia, Ito, Gilbert & Westheimer, 1995) 그 중간 영역에 있는 신경세포의 흥분을 발생시킨다(Meng, Remus & Tong, 2005). 이러한 정신물리학적, 신경생리학적 결과는 동일 방위에 선별적인 신경세포들 간에 신경흥분을 전달하는 연결이

www.kci.go.kr

있음을 시사하며, 이러한 신경세포들의 상호 활성화는 여러 공간적 영역에 있는 시각정보들로부터 윤곽정보를 추출하는 기능을 한다고 제안되고 있다. 특히, 공선적 관계를 확장하여 직선적인 윤곽뿐만 아니라 곡선적 윤곽을 추출할 수 있는 기제로 Field, Hayes와 Hess(1993)은 연합장(association field) 모형을 제안하였다. 이 모형에서 특정 방위에 선별적인 신경세포는 직선상의 동일방위에 선별적인 신경세포와 연결되어 있으며, 공간적 위치가 변화됨에 따라 방위 선별성이 조금씩 다른 신경세포와 연결되어 있음을 가정하여 곡선윤곽도 추출할 수 있는 기제로 삼았다. Field 등(1993)은 윤곽 추출 기제로서의 연합장을 제안했지만 반 고리 간 밝기 번짐 과정을 설명하는 '통로'라는 가설적 개념도 이와 유사한 모형으로 추정해 볼 수 있다. '연합장'과 같은 피질 연결들 속에서 윤곽선과 평행하게 배치된 신경세포들이 하나의 '통로'를 구성할 수 있으며, 고리의 두께가 두꺼워질수록 보다 많은 수의 동심원적으로 배치된 연결 구조 혹은 '통로'에 의해서 각 반 고리의 밝기 정보들이 번져나갈 수 있다. 이러한 모형은 곡선적인 경로의 연결도 가정하므로 얇은 고리 조건에서 접촉면의 폭이 넓은 경우에도 그 효과가 제한적인 이유를 일부 설명할 수 있다.

종합 논의

본 연구는 좌우 반 고리의 배경밝기가 다름에도 불구하고 전체 고리의 밝기가 균질하게 보이는 Koffka 고리에서 고리의 두께가 얇아질수록 고리의 밝기 균질성이 깨어지고 각 반 고리의 밝기가 서로 다르게 지각되는 현상의 원인을 알아보기 위해서 수행되었다. 고리의 두께가 얇아질 때 두께와 공변하는 변인들 중 국소 밝기 정보의 산출에 영향을 미칠 수 있는 고리 내부의 윤곽의 길이와 각 반 고리간 밝기 정보의 번짐에 영향을 줄 수 있는 접촉면의 폭의 효과를 살펴보았다. 고리 윤곽선의 길이가 변화되는 경우에도 반 고리의 밝기는 큰 변화가 없는 것으로 나타나 윤곽에서 발생될 수 있는 국소 밝기 정보는 반 고리의 밝기 균질성에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 이에 반해 접촉면의 폭이 변화함에 따라 각 반고리의 밝기 균질성은 변화되었는데 두꺼운 고리의 경우 접촉면의 폭이 좁아질수록 반 고리의 밝기 차는 크게 변한 반면, 얇은 고리의 경우 접촉면의 폭이 두꺼워지는 경우 밝기 차의 정도는 약화되었지만 여전히 밝기 차가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는, 실험 2의 논의에서 언급한 것과 같이, 각 반 고리 간 밝기 번짐 현상이 발생되기 위해서는 일정 수준 이상의 공간적 간격 즉 밝기 번짐이 발생될 수 있는 '통로'가 필요로 함을 시사한다.

일반적으로 대상의 밝기는 대상의 공간 주파수에 의해서도 영향을 받기 때문에 고리의 두께에 따라 각 반 고리의 밝기 차이들이 변화되는 한 원인이 자극이 가지는 공간 주파수에 따른 차이일 가능성을 제기할 수 있다. 그러나 일반적으로 밝기나 색상 유도에서 공간 주파수의 효과는 자극의 공간 주파수가 증가함에 따라 검사 자극의 밝기가 유도자극의 밝기와는 반대 방향으로 변화되는 밝기 대비 현상으로부터 검사 자극의 밝기가 유도 자극의

www.kci.go.kr

밝기들과 유사해지는 밝기 동화 현상으로 바뀌는 형태로 나타난다(Fach & Sharpe, 1986; Helson, 1963; Smith, Jin, & Polensky. 2001). 고리의 폭이 좁아질수록 상대적으로 고주파 성분이 많아질 것을 예상할 수 있으므로 밝기 유도에서의 공간 주파수의 효과를 고려하면 고리의 폭이 좁아질수록 밝기 동화가 일어날 것을 예측할 수 있다. 그러나 이러한 예측은 고리의 폭에 따라 변화되는 각 반 고리의 밝기 변화와 정확히 반대 방향이다. 즉 상대적으로 고주파 성분이 많이 포함된 폭이 좁은 Koffka 고리에서 각 반 고리의 밝기 차는 크게 나타난다. 따라서 본 연구의 관심대상인 고리의 폭에 따른 Koffka 반 고리의 밝기 차의 변화는 밝기 유도 현상에 영향을 미치는 공간 주파수의 효과로 설명되기 어렵다.

여러 신경생리학적 연구들은 다양한 밝기 지각현상의 신경적 근거들이 일차 시각영역인 V1에서 발견됨을 보고했으며, 이 결과들은 기존 정신물리학적 연구들이나 밝기 지각의 이론적 모형들과 일치한다. 예를 들어, V1에 있는 신경세포들은 배경과의 밝기대비가 발생하는 윤곽정보에 대해서 반응(Hubel & Wiesel, 1962, 1968)할 뿐만 아니라 윤곽정보가 없는 표면 내부의 광도변화에도 반응한다(Friedmann, Zhou & von der Heydt, 2003; Kinoshita & Komatsu, 2001). 특히 표면 내부의 광도를 고정시킨 채 주변 영역의 광도를 변화시키는 경우 밝기지각은 크게 영향을 받는데(DeValois, Webster, DeValois & Lingelbach, 1986; Paradiso & Hahn, 1996), 지각된 밝기변화와 일치하는 방식으로 주변 광도의 변화에 의해서도 신경흥분을 보이는 세포들도 발견되며, 밝기지각의 시간적 변조(temporal modulation) 특성(DeValois 등, 1986; Rossi & Paradiso, 1996)은 신경세포 흥분의 시간적 변조 특성과 유사하다(Rossi & Paradiso, 1999). 특히, Huang과 Paradiso(2008)은 V1의 세포들의 반응을 통해 밝기정보의 채워넣기 현상이 V1에서 발생될 수 있음을 보고하였다. 이들 세포들은 윤곽정보에 대한 반응보다는 균질한 표면 내부에서의 반응이 느려지며, 윤곽에서의 공간적 거리가 증가할수록 반응 잠재시간이 증가하는 것을 보였다.

위에서 언급된 밝기 지각에 대한 신경생리학적 연구들은 주로 균질한 배경위에 균질한 표면이 놓여있는 자극들을 대상으로 주로 연구했다. Koffka 고리의 경우 오래 전에 발견된 고전적인 현상임에도 불구하고 이에 대한 신경생리학적 연구들은 상대적으로 많이 이루어지지 않았지만, 밝기지각의 여러 과정, 즉 윤곽선 부근에서의 국소 대비 정보, 윤곽선 부근의 밝기정보에 의해 표면 내부로의 채워넣기 과정, 그리고 각 반 고리에서 발생된 서로 다른 밝기 정보들의 번짐 과정까지를 포함하고 있다. 특히 세 번째 과정은 균질한 배경위에 균질한 표면을 가진 자극에서는 발견할 수 없는 과정으로 반 고리간의 밝기 정보의 번짐 현상이 개입됨을 시사한다. Huang과 Paradiso (2008)의 방법론을 적용하여 Koffka 고리와 다양한 변종 자극들에서 고리의 각 영역에 따라 신경정보의 활성화 정도와 반응 잠재시간을 측정함으로써 반 고리 간 밝기 번짐 현상에 대응될 수 있는 기제를 신경 생리학적으로 살펴볼 수 있을 것이다.

www.kci.go.kr

참고문헌

Adelson, E. H. (1993). Perceptual organization and the judgment of brightness. *Science, 262*, 2042-2044.

Adelson, E. H. (2000). *Lightness perception and lightness illusion*. In M. S. Gazzaniga (Ed.), The New Cognitive Neurosciences 2nd edition (pp. 339-351). Cambridge, MA: MIT Press.

Cohen, M. A., & Grossberg, S. (1984). Neural dynamics of brightness perception: features, boundaries, diffusion, and resonance. *Perception & Psychophysics, 36*(5), 428-456.

Cornsweet, T. N. (1970). *Visual Perception.* New York, NY: Academic.

Davey, M., P., Maddess, T., & Srinivasan, M. V. (1998). The spatiotemporal properties of the Craik－-O'Brien－-Cornsweet effect are consistent with "filling-in." *Vision Res,* 38, 2037－2046.

DeValois, R. L., Webster, M. A., DeValois, K. K., & Lingelbach, B. (1986). Temporal properties of brightness and color induction. *Vision Research, 26*, 887－897.

Dresp, B., & Bonnet, C. (1995). Subthreshold summation with illusory contours. *Vision Research, 35*, 1071-1078.

Fach, C., & Sharpe, L. T. (1986). Assimilative hue shifts in color gratings depend on bar width. *erception & Psychophysics*, 40, 412-418.

Field, D., Hayes, A., & Hess, R. (1993). "Contour integration by the human visual system: Evidence for a local "association field". *Vision Research, 33*, 173-193.

Friedman, H. S., Zhou, H., & von der Heydt, R. (2003). The coding of uniform colour figures in monkey visual cortex. *Journal of Physiology, 548,* 593 - 613.

Grossberg, S., & Todorovic, D. (1988). Neural dynamics of 1-D and 2-D brightness perception: A unified model of classical and recent phenomena. *Perception & Psychophysics, 43*(3), 241-277.

Helson, H. (1963). Studies of anomalous contrast and assimilation. *Journal of the Optical Society of America*, 53, 179－184.

Huang, A. E., Hon, A. J., & Altschuler, E. L. (2008). Thickness and the Koffka ring effect. *Perception, 37*, 1458-1460.

Huang, X., & Paradiso, M. A. (2008). V1 Response Timing and Surface Filling-In. *Journal of Neurophysiology, 100*(1), 539－547.

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *The Journal of Physiology, 160*, 106-154..

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *The Journal of Physiology, 195*, 215-243.

Kapadia, M. K., Ito, M., Gilbert, C. D. & Westheimer, G. (1995). Improvement in visual sensitivity by changes in local context: parallel studies in human observers and in V1 of alert monkeys. *Neuron, 14*, 843-856.

Kinoshita, M., & Komatsu, H. (2001). Neural

www.kci.go.kr

representation of the luminance and brightness of a uniform surface in the macaque primary visual cortex. *Journal of Neurophysiology, 86*, 2559-2570.

Knill, D., & Kersten, D. (1991). Apparent surface curvature affects lightness perception. *Nature, 351*, 228-230.

Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt Psychology*. London: Lund Humphries.

Kuffler, S. W. (1953). Discharge patterns and functional organization of mammalian retina. *Journal of Neurophysiology, 16*, 37 – 68.

MacEvoy, S. P., Kim, W., & Paradiso, M. A. (1998). Integration of surface information in primary visual cortex. *Nature neuroscience, 1*(7), 616-620.

Mackavey, W. R. (1969). Spatial brightness changes in Koffka's ring. *Journal of Experimental Psychology, 82*(3), 405-409.

Meng, M., Remus, D. A., & Tong, F. (2005). Filling-in of visual phantoms in the human brain, *Nature Neuroscience, 8*, 1248 – 1254.

O'brien, V. (1958). Contour perception, illusion and reality. *Journal of the Optical Society of America, 48*, 112-119.

Paradiso, M. A., & Hahn, S. (1996). Filling-in percepts produced by luminance modulation. *Vision Research,* 36, 2657 – 2663.

Peng, X., & Van Essen, D. C. (2005). Peaked encoding of relative luminance in macaque areas V1 and V2. *Journal of Neurophysiology, 93*(3), 1620-1632.

Pessoa, L., & De Weerd, P. (2003). *Filling-In: From Perceptual Completion to Cortical Reorganization.* Oxford: Oxford University Press.

Polat, U., & Sagi, D. (1994). The architecture of perceptual spatial interactions. *Vision Research, 28*, 115-132.

Rossi, A. F., & Paradiso, M. A. (1996). Temporal limits of brightness induction and mechanisms of brightness perception. *Vision Research, 36,* 1391 – 1398.

Rossi, A. F., & Paradiso, M. A. (1999). Neural correlates of perceived brightness in the retina, lateral geniculate nucleus, and striate cortex. *Journal of Neuroscience,* 19, 6145-6156.

Smith, V. C., Jin, P. Q., & Polensky. J. (2001) The role of spatial frequency in color induction, *Vision Research*, 41, 1007-1021.

1 차 원고접수 : 2010. 1. 10
수정원고접수 : 2010. 3. 1
최종게재결정 : 2010. 3. 10

www.kci.go.kr

한국심리학회지 : 인지 및 생물
The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology
2010, Vol. 22, No. 1, 41-58

The effect of width of contacting region of Koffka's ring on brightness homogeneity

Keetaek Kham

Kangwon National University

A gray ring placed against a black and white background is perceived as uniformly bright unless two half rings are separated, which is known as Koffka's ring. When the width of the ring was narrowed, each half ring was perceived to have different brightness. In the present study, the dependency of uniform brightness on the width of ring was tested by manipulating the length of inner contour of the ring and width of contacting lines between two half rings, which are covaried with the width of Koffka's ring. The results showed that the length of inner contour has little effect, but the brightness of half rings is greatly changed depending on the length of contacting lines. These results suggest that uniform brightness in Koffka's ring would be produced by mixture of the different brightness from each of half rings and a sufficient region might be necessary for brightness spreading.

Key words : Koffka's ring, brightness contrast, the width of contacting region, filling-in

www.kci.go.kr