

단일채널 공간 모형은 대칭성 지각을 잘 설명하지 못한다

홍 성 희

연세대학교 심리학과

인간의 대칭성 지각에 대한 현존 모형은 점비교 모형과 밀도비교 모형으로 요약할 수 있는데, 이 두 모형 모두 공간적 영역의 정보인 흑백도를 바탕으로 하는 단일채널 모형이다. 현존 단일채널 공간 모형은 대칭축으로부터 다른 거리에 위치한 정보가 인간의 대칭성 지각에 다른 영향을 미친다는 것(예, Barlow와 Reeves, 1979)을 설명하지 못한다. 따라서 대칭축으로부터의 거리에 따른 정보의 상대적인 효과를 현존 단일채널 공간 모형에 가중치의 형태로 포함시켜 인간의 대칭성 지각을 설명하려고 하였다. 실험 1에서 Barlow와 Reeves의 연구가 재현되고 그 결과를 다중회귀분석하여 가중치를 구하였다. 그러나 실험 2에서 다른 상황에서의 인간의 대칭성 지각을 수정된 가중치 밀도비교 모형이 설명하지 못하므로써, 인간 시각체계의 대칭성 지각 모형은 단일채널 공간 모형이 아니라는 가능성을 시사하였다. 단일채널 공간 모형과는 달리 공간빈도 영역에서의 정보를 이용하여 다중채널을 통해 정보를 처리하는 다중채널 모형이 대칭성 지각에서도 사용될 수 있는 가능성에 대해서 논의되었다.

물체가 부분적으로 가려졌을 때, 이론적으로 그 시각자극은 여러가지로 해석될 수 있다. 그러나 이와 같이 시각자극이 불충분함에도 불구하고 실제로 인간의 시각체계는 그 자극에 대한 해석을 몇몇 개로 제한한다. 이러한 사실은 우리의 시각체계가 해석의 수를 줄이기 위해서 여러가지 제약조건을 이용한다는 것을 시사한다.

제약조건들에 의해 시각체계가 하나의 해석을 다른 해석들보다 선호하게 되는데, 이러한 제약조건들 중의 하나가 대칭성이다. 따라서 시각자극을 해석하는데 대칭성이 제약조건으로 쓰이기 위해서는 우선 시각체계가 그 시각자극이 대칭성을 포함하고 있는가를 결정해야 한다.

현재까지의 인간의 대칭성 지각에 대한 이론은 크게 점비교 모형(point-by-point comparison; Julesz, 1971)과 밀도비교 모형(density comparison; Barlow와 Reeves, 1979)으로 요약할 수 있다.

Mach(1987)는 여러가지 단순한 도형을 사용하여 대칭성이 시각 도형의 중요한 특질이라고 말한 최초의 연구자이다. Julesz(1971)는 대칭적인 무선점 도형을 사용하여 대칭성 지각을 연구하였다. 그의 피험자들은 응시점 위에 대칭축이 위치한 경우에는 도형이 잠깐동안 제시되어도 대칭성을 잘 지각하였다. 이와 같은 결과로부터 Julesz는 중심와를 중심으로 하여 대칭적으로 배열되어 있는 신경구조에 바탕을 둔 점간의 비교에 의해서 대칭성 지각

이 이루어진다고 주장하였다. 이 점비교 이론은 Corballis와 Beale(1976)에 의해서 좀 더 신경학적인 관점에서 표현되었다. 망막의 이미지가 대뇌피질에 위상적으로 투사되고, 특히 응시점을 중심으로 양 시각장의 이미지는 시각장과는 반대의 뇌반구로 각기 분리되어 투사된다. 따라서 응시점을 중심으로 대칭적인 도형의 좌우 반은 뇌의 양반구로 각각 투사된다. 점간의 비교는 양반구에 각각 따로 투사된 두 반쪽의 이미지를 비교하는 것이다.

그러나 그 뒤의 후속 연구들에 의하면 인간은 각 점간의 정확한 매칭(matching)이 없는 상황에서도 대칭성을 지각한다는 것을 보여주고 있다(Barlow와 Reeves, 1979; Jenkins, 1983; Hong와 Pavel, 1991). Jenkins(1983)는 인간의 시각체계에는 점비교를 하는 구조가 존재한다는 신경생리학적인 증거가 없다고 주장하였다. 대신에 대칭성은 각쌍의 두 점을 이은 선의 방위와 그 중간점들이 동일선상에 있는가의 여부에 의해서 지각될 수 있다고 주장하였다. 비슷한 방위에 대해 특징적으로 반응하는 여러 다른 크기의 수용장을 가진 일련의 세포들(Hubel과 Wiesel, 1977)을 위와 같은 대칭성 지각 과정의 메커니즘이라고 가정하였다. 또한 그는 각쌍의 두 점을 이은 선의 중간점들이 한 동일선상에서 어느 정도 벗어나도 대칭성이 지각된다는 것을 보여주었다. 그의 실험에 따르면 중간점들이 시각 1° 안에서 무선적으로 배열되어도 대칭성이 지각되었다. 즉, 대칭성이 지각되기 위해서 한 쌍의 점이 정확하게 대칭적인 위치에 놓일 필요는 없었다.

비슷한 결과가 무선점 도형을 사용하여 대칭성 지각을 연구한 Barlow와 Reeves(1979)의 연구에서도 나타났다. 무선적으로 배열된 점과 대칭적으로 짝지워진 점의 비율을 변화시켰는데, 이 때 대칭적인 점의 비율이 50%가 못되어도 대칭성은 탐지되었다. 또한 한 쌍의 점이 정확히 대칭적인 위치에 제시되지 않고 대칭적인 위치를 중심으로 일정 크기의 영역내에 무선적으로 제시되어도 대칭성은 탐지되었다. 이러한 결과는 대칭성 지각이 단순한 점비교 모형이 예측하는 것보다는 더 융통적이라는 것을 시사한다. Barlow와 Reeves는 시각 체계가 일정 영역내의 정보를 통합하여 처리하며, 따라서 대칭성은 각 점들의 정확한 위치보다는 일정한 영역내 점의 밀도를 비교하여 지각된다고 주장하였다.

점비교 모형의 대안적 모형으로 Barlow와 Reeves는 시각 체계가 시각 영역을 몇 개의 작은 부분으로 나누고 각 부분 내에 있는 점의 밀도를 계산한다고 하였다. 이 밀도들을 바탕으로 비대칭성 지표인 χ^2 는 다음과 같이 계산된다.

$$\chi^2 = \sum \frac{(L_i - R_i)^2}{L_i + R_i} \quad (1)$$

여기서 L_i 와 R_i 는 각각 한 쌍의 부분 내의 점의 밀도를 일컫는다. 만약 자극도형이 완전히 비대칭이라면 χ^2 는 분할된 부분의 수(χ^2 의 자유도와 같다)와 동일한 값을 갖는다. 그러나 도형이 부분적으로 대칭이라면 L_i 와 R_i 가 비슷할 것이므로 χ^2 는 점차 작아져서, 완전히 대칭적인 도형의 경우에는 0이 된다.

대칭성 지각이 각각의 점비교에 의해서 완전히 결정되는 것이 아님을 Hong과 Pavel(1991)의 연구에서도 보여준다. Hong과 Pavel은 그림 1에서 나타난 것과 같이 점으로 된 마름모 도형을 이용하여 대칭성 지각을 연구하였다. 한 조건에서는 도형의 좌우 반쪽의 대칭적인 위치에 점이 놓여져 있었으며, 다른 조건에서는 점들이 대칭적인 위치에 놓여져 있지 않았다. 두 조건 모두 전체적인 형태는 마름모로 동일하였다. 세번째 조건에서는 첫번째 조건(대칭적인 점들로 이루어진 마름모들)의 점쌍들을 위 아래로 섞어서 좌우 대칭적인 위치에 점들이 놓이기는 하되 그 전체적인 모양이 마름모가 아니도록 하였다. 피험자들은 중앙의 대칭축에 대해서 도형이 오른쪽으로 더 튀어나왔는지 아니면 왼쪽으로 더 튀어나왔는지를 판단하도록 요구되었다. 첫번째 조건과 두번째 조건의 jnd(최소 식별 차이)는 차이가 없었으며, 이 두 조건의 jnd들은 세번째 조건의 jnd보다 훨씬 작았다. 이와 같은 결과는 대칭성 지각이 점 비교보다는 점들의 집합에 의해서 이루어지는 속성(이 연구의 경우에는 선분의 방위라고 볼 수 있다)에 의존한다는 것을 시사한다.

점비교 모형과 밀도비교 모형은 대칭성 지각의 결정 요인으로서 한 도형이 갖고 있는 대칭정보의 양을 중요시 한다. 그러나 다른 한편으로는 대칭정보의 양뿐만아니라 대칭정보가 어디에 위치하는가도 대칭성 지각에 영향을 미친다는 것을 보여주는 몇몇의 연구가 있다(Bruce와 Morgan, 1975; Barlow

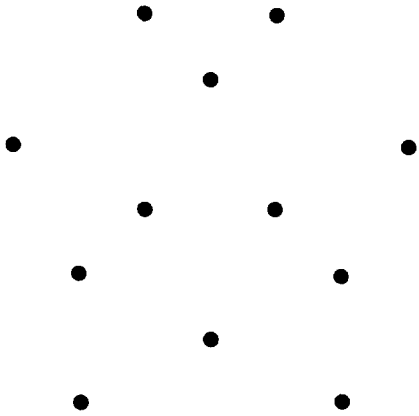
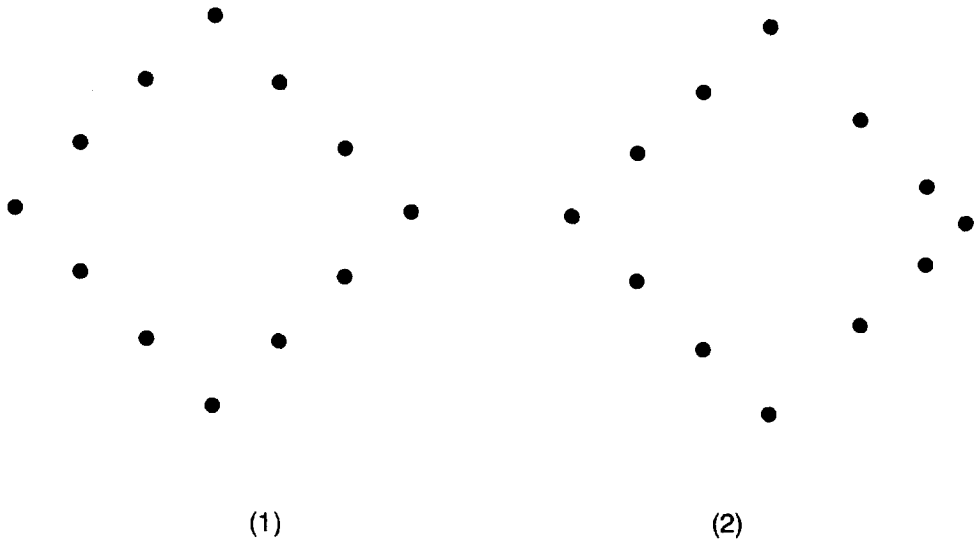


그림 1. Hong과 Pavel(1991)의 연구에서 사용한 점으로 된 도형들. (1) 조건에서는 도형의 좌우 반쪽의 대칭적인 위치에 점이 놓인 마름모이며, (2) 조건에서는 점들이 대칭적인 위치에 놓여져 있지 않은 마름모이고, (3) 조건에서는 (1) 조건의 점쌍들을 위 아래로 섞어서 좌우 대칭적인 위치에 점들이 놓이기는 하되 그 전체적인 모양이 마름모가 아니도록 하였다. 그림에서는 모두 어느 쪽으로도 튀어나가지 않은 경우의 도형을 보여주고 있다.

와 Reeves, 1979). 대칭축에 가까운 정보들이 대칭성 지각에 현저한 영향을 미친다는 것은 점간의 비교가 “대칭축 가까운 부근에 높은 가중치를 두고 일어난다(strongly weighted in favor of areas close to the axis of symmetry)”고 한 Julesz(1971, p. 131) 언급에서도 잘 나타나 있다. 이러한 Julesz의 가정은 인간 관찰자들의 대칭성 지각에 있어서 정보의 효과가 대칭축으로부터의 거리에 따라 상대적임을 보여준 후속 연구들에 의해서 지지되었다(Bruce와 Morgan, 1975; Barlow와 Reeves, 1979).

부분적으로 대칭적인 도형에서 대칭성을 탐지하는데 대칭축이 중요하다라는 것이 Bruce와 Morgan(1975)에 의해서 연구되었다. 그들은 비대칭적인 정보의 위치를 체계적으로 통제하므로써, 대칭축 주변의 비대칭성이 가장 잘 탐지된다고 보고하였다. 그들은 대칭축 주변에 있는 정보의 우월성을 가깝게 위치한 두 점의 비교가 쉽다는 비교의 용이성으로 설명하였다.

Barlow와 Reeves(1979) 역시 같은 양의 정보라도 정보의 위치에 따라 대칭성에 미치는 영향이 다르다는 것에 대하여 연구하였다. 그림 2와 같이 도형

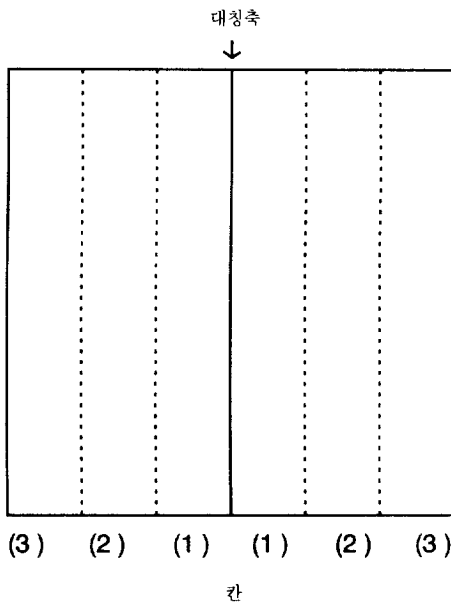


그림 2. Barlow와 Reeves(1979)연구에서 사용한 무선점 신호자극의 분할 영역. 도형을 세로의 6칸으로 나눈 뒤 한 쌍의 칸에만 대칭적인 점들을 배치하고 다른 4칸에는 무선적으로 점들을 배치하였다.

을 세로의 6칸으로 나눈 뒤 한 쌍의 칸에만 대칭적인 점들을 배치하고 다른 4칸에는 무선적으로 점들을 배치하였다. 피험자들은 이렇게 만들어진 부분적 대칭 그림을 완전히 비대칭적인 그림으로부터 변별하도록 요구되었다. 그들의 실험에서 피험자들은 대칭축 부근(그림 2에서 (1))이 대칭적일 때 대칭성을 가장 잘 탐지하였으며, 양 외곽(그림 2에서 (3))이 대칭적일 때 그 다음으로 잘 탐지하였고, 양쪽 가운데 부근(그림 2에서 (2))이 대칭적일 때 대칭성을 가장 잘 탐지하지 못하였다.

Barlow와 Reeves의 원 χ^2 모형은 대칭적인 정보의 위치를 고려하지 않고 대칭적인 점의 양에 의해서만 대칭성 정도를 결정하였으므로 위와 같은 인간 피험자의 수행을 설명하지 못한다. 따라서 대칭축으로부터의 거리에 따른 정보의 상대적인 효과를 설명하기 위해서는 Barlow와 Reeves의 원 χ^2 모형이 수정되어야 한다. 대칭축으로부터 다른 거리에 있는 정보들이 대칭성 지각에 미치는 상대적 기여도를 가중치의 형태로서 Barlow와 Reeves의 χ^2 모형에 반영하면 이 새 모형은 인간 피험자들이 보이는 대칭축으로부터의 거리에 따른 정보의 상대적인 효과를 설명할 수 있을 것이다.

현 연구는 대칭축으로부터의 거리에 따른 정보의 상대적인 효과를 설명하기 위해서 Barlow와 Reeves의 원 χ^2 모형에 가중치를 포함시켜 새로운 모형(이후 이를 가중치 밀도비교 모형이라고 칭하겠음)으로서 인간 관찰자의 대칭성 지각을 설명하고자 하였다. 실험 1에서는 가중치를 구하기 위해서 위에서 소개된 Barlow와 Reeves의 실험이 재현되었다. 공간적 영역의 밀도 값에 따른 가중치를 포함시켜 원 χ^2 모형을 수정하기 위해서 인간 관찰자의 수행과 가장 가까운 결과를 주는 가중치의 값이 결정되었다. 그 외에 부가적으로 본 연구의 인간 관찰자의 수행이 Barlow와 Reeves의 원 관찰자들과 같은 수행을 보이거나 실험과 동시에 점비교 모형 관찰자와 원 χ^2 모형 관찰자가 어떠한 수행을 보이는가도 시뮬레이션되었다.

실험 2에서는 공간적 위치에 따라 가중치를 결부시킨 새로운 모형이 인간 시각 체계가 대칭성 지각 시 일반적으로 사용하는 모형인가를 알아보았다. 이를 위해서 실험 1에서 얻은 가중치중 가장 높은 값을 갖는 공간적 영역에 아무런 자극도 제시하지 않고, 이 때 나타나는 인간 관찰자의 수행을 가중

치 밀도비교 모형이 설명하는가를 살펴보았다. 이를 위해서 인간 관찰자의 수행이 실험을 통해서 측정되었으며 가중치 밀도비교 모형 관찰자의 수행이 시물레이션되었다.

실험 1

방법

피험자. 세 피험자가 실험에 참가하였다.

기구. Silicon Graphics IRIS에 의해 통제되는 컬러 모니터에 자극이 제시되었다. 스크린의 해상도는 1022(가로) × 767(세로)였다.

자극. 자극은 270 × 180(화소)의 크기에 102개의 점이 제시되었는데, 이는 가로로 시각 2.04°, 세로로는 시각 1.36°의 크기였다. 하나의 점은 시각 1.82°의 크기였다. 점은 하얀색 바탕에 검은색이었다.

자극은 Barlow와 Reeves(1979)의 연구에서와 같이 여섯 개의 세로칸으로 나누어져(그림 2 참조) 각 칸은 17개씩의 점을 포함하였다. 부분적으로 대칭적인 신호자극의 경우 17쌍의 점은 한 쌍의 칸에 서로 대칭적인 위치에 놓여졌으며, 68개의 점은 나머지 4 개의 칸에 무선적으로 놓여졌다. 잡음 자극에서는 모든 점이 무선적으로 배열되었다.

실험 1에서는 세가지 종류의 신호자극이 있었다: 중앙-대칭, 띠-대칭, 그리고 양끝-대칭. 중앙-대칭에서는 그림 2에서 (1)의 칸에, 띠-대칭에서는 (2)의 칸에, 그리고 양끝-대칭에서는 (3)의 칸에 점들이 대칭적으로 배열되었다.

절차. 각 신호자극 종류에 대해서 100회의 시행이 실시되었다. 전체 신호자극의 수와 동일한 수만큼의 잡음자극 시행이 실시되었다. 따라서 실험 1에서는 세 종류의 신호자극이 있으므로 전체 600회의 시행이 실시되었다. 각 시행에서 신호자극이나 잡음자극이 무선적으로 제시되었다. 각 자극은 600 msec 동안 제시되었다.

과제. 실험에서 피험자의 과제는 제시된 자극이

신호자극인지 잡음자극인지를 마우스(mouse)의 단추를 누름으로써 대답하는 것이었다.

결과

인간 관찰자의 수행. 각 인간 관찰자의 수행은 탐지력으로 측정되는데, 탐지력, d' 은 적중률과 오경보의 비율로부터 다음과 같이 결정되었다.

$$d' = F^{-1}(p(\text{적중률})) - F^{-1}(p(\text{오경보}))$$

여기서 F^{-1} 은 누적 정상 분포의 역함수이다.

실험 1에서 인간 관찰자는 Barlow와 Reeves(1979)의 실험에서와 같이 중앙-대칭에서 최고의 탐지력을, 양끝-대칭에서 그 다음으로 높은 탐지력을, 그

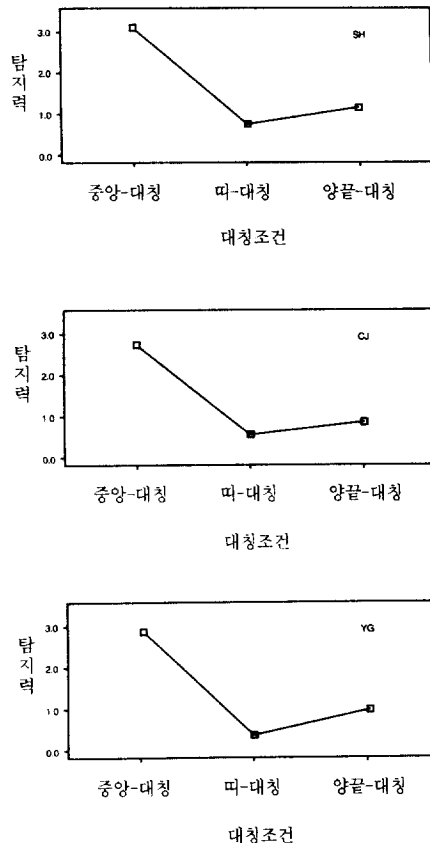


그림 3. 세 대칭조건에 대한 세 인간 관찰자의 대칭성 탐지력(실험 1). 중앙-대칭에서 최고의 탐지력을, 양끝-대칭에서 그 다음으로 높은 탐지력을, 그리고 띠-대칭에서 가장 낮은 탐지력을 보였다.

리고 띠-대칭에서 가장 낮은 탐지력을 보였다(그림 3).

점비교 모형 관찰자의 수행. 점비교 모형은 대칭축을 중심으로 좌우 양쪽에 있는 화소들의 상관계수를 계산하므로써 시물레이션될 수 있다. 상관계수, r ,은 다음과 같이 정의된다.

$$r = \sum x_i x_{-i}$$

x_i 와 x_{-i} 는 각각 대칭축을 중심으로 양쪽의 상대적인 위치에 있는 점의 흑백도를 말한다.

현 실험의 경우 각 화소는 점이 찍혔느냐 아니냐에 따라 1이나 0의 값을 취하므로, 이 상관계수는 대칭축을 중심으로 대칭적인 위치에 놓여있는 점 쌍의 수와 같다. 점비교 모형은 대칭적인 점 쌍을 찾지 때문에 신호자극이 잡음자극보다 훨씬 많은 대칭적인 점 쌍을 갖는 본 실험의 경우 점비교 모형 관찰자의 대칭성 탐지력은 매우 높을 것으로 기대된다. 그러나 대칭적인 점 쌍의 위치에 관한 정보는 처리하지 않으므로 세 대칭조건(중앙-대칭, 띠-대칭, 양끝-대칭)에서의 수행이 다를 것이라고 기대되지 않는다.

세 대칭조건에 대한 점비교 모형 관찰자의 수행은 상관계수로 시물레이션되어 그림 4에 나타나 있다. 시물레이션은 인간 관찰자에게 제시되었던 것과 같은 식으로 만들어진 600개의 자극에 바탕을 둔 것이다. 기대했던 대로 탐지력은 매우 높았

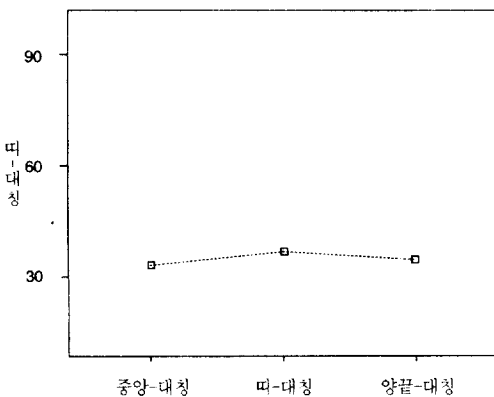


그림 4. 세 대칭조건에 대한 상관계수로 시물레이션된 점비교 모형 관찰자의 수행. 탐지력은 전체적으로 매우 높았으나, 부분적인 대칭정보의 위치에 따라서 다르지는 않았다. 시물레이션은 600개의 자극에 바탕을 둔 것이다.

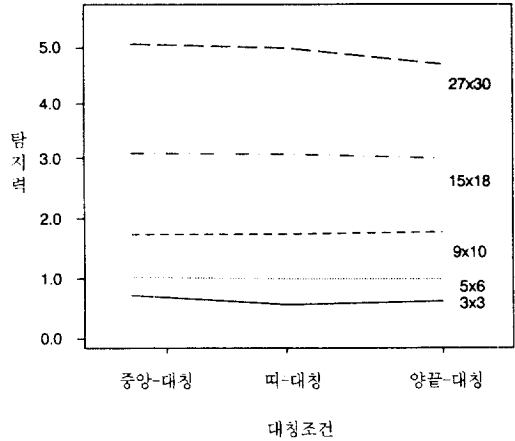


그림 5. 다섯 개의 자유도별로 세 부분대칭 조건에 대해 시물레이션된 밀도비교 모형 관찰자의 탐지력. 탐지력은 대칭정보의 위치에 무관하였으나, 자유도가 증가할수록 탐지력은 증가하였다.

으나, 그림의 평평한 선이 보여주듯이 부분적인 대칭의 위치에 따라서 다르지는 않았다.

밀도비교 모형 관찰자의 수행. 밀도비교 모형인 χ^2 모형에 의하면 대칭성 탐지는 한 쌍의 대칭적인 위치에 있는 작은 영역들에 있는 점의 밀도를 비교하는 것에 지나지 않는다. 따라서 밀도비교 모형은 한 자극에 대한 비대칭성 지표를 공식 1과 같이 구한다. 만약 영가설이 맞다면(즉 자극에 대칭성이 전혀 없다면) 이 비대칭성 지표는 자유도인 분할된 부분의 수와 같을 것이다. 만약 영가설이 맞지 않는다면 이 지표는 자유도보다 작아져서 완전히 대칭적인 자극의 경우에는 0에 이를 것이다.

χ^2 모형에 의하면 세 부분대칭 조건 모두 대칭적인 점 쌍의 수가 같으므로 대칭성 탐지력에 있어서 아무런 차이도 기대되지 않는다. 이러한 예측은 인간 관찰자에게 제시된 것과 같은 방식으로 만들어진 600개의 자극에 바탕을 두어 χ^2 모형을 시물레이션하므로써 검증되었다. 시물레이션은 5개의 다른 자유도의 경우에 대해서 실시되었다: 3(자극의 반쪽이 수평의 방향으로 분할된 부분의 수) \times 3(자극의 반쪽이 수직의 방향으로 분할된 부분의 수), 5 \times 6, 9 \times 10, 15 \times 18, 27 \times 30. 그림 5에 다섯 개의 자유도별로 세 부분대칭 조건에 대해 시물레이션된 탐지력이 나타나 있다. 기대했던대로 탐지력은 대칭

정보의 위치에 무관하였다. 그러나 자유도가 증가할수록 탐지력은 증가하였다.

가중치 밀도비교 모형 원 χ^2 모형은 대칭축으로부터의 거리에 따른 정보의 상대적 효과를 예측하지 못하지만, 다른 거리에 있는 정보들이 대칭성 지각에 미치는 상대적 기여도를 가중치의 형태로서 χ^2 모형에 반영하면 밀도비교 모형으로 인간의 수행을 설명할 수 있다. 이와 같이 수정된 밀도비교 모형의 경우 비대칭성 지표, A는 다음과 같이 나타낼 수 있다."

$$A = \sum w_j \frac{(L_j - R_j)^2}{L_j + R_j}$$

w_j 는 j 번째의 거리에 있는 정보들에 대한 가중치이다. 이 가중치들은 좌우 밀도 차이의 자승화값의 선형 조합이 각 자극에 대한 피험자의 반응을 가장 잘 설명할 때의 값으로 결정되었다. 즉, 이 공간적 위치에 따라 다른 가중치를 포함하는 밀도들의 선형조합에 의한 예언과 실제의 피험자의 반응과의 오차를 가장 적게 해주는 가중치, w_j 는 중다 회귀를 통하여 결정되었다. 따라서 예측값으로서는 여러 부분의 점의 밀도가, 결정값(criterion value)으로서는 피험자의 반응이 입력되었다. 5×6 의 자유도 경우의 각 수평적 공간 위치에 맞는 가중치가 그림 6에 제시되어 있다. 기대했던 대로 가중치는 대칭축 근처에서 높았으며 그 다음으로는 자극의 외곽 근처가 높았다. 세 관찰자 모두 비슷한 경향을 보였다.

실험 1에서는 인간 관찰자가 부분적으로 대칭인 자극의 대칭성을 지각하는데 대칭정보들이 대칭축으로부터 다른 거리에 위치할 때 대칭성 지각이 그 거리에 따라 상대적이라는 결과를 보여서 Barlow와 Reeves(1979)의 연구 결과가 재현되었다. 이와 같은 인간 관찰자의 수행이 Julesz(1971)의 점비교 모형이나 Barlow와 Reeves의 원 χ^2 모형으로는 설명되지 않는다. 따라서 공간적 위치의 상대적인 효율성을 Barlow와 Reeves의 χ^2 모형에 포함시키기 위해서 공간적 위치에 따른 가중치를 구하여 밀도비교

1) 이 가중치 모형은 자승화된 가우시안(Gaussian) 변인의 가중치를 둔 합계이므로 다이상 χ^2 모형이라고 부를 수 없다.

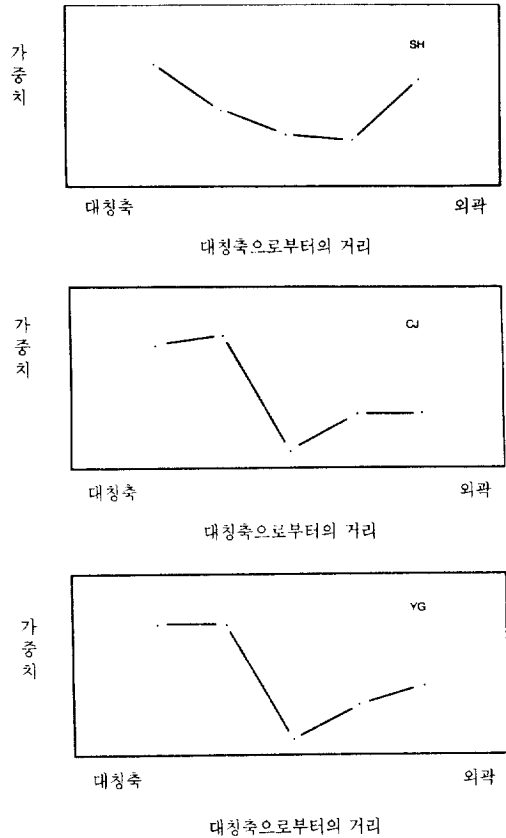


그림 6. 가중치 밀도비교 모형을 위한 세 관찰자의 수평적 공간 위치에 따른 가중치(5×6 의 자유도 경우). 가중치는 대칭축 근처에서 높았으며 그 다음으로는 자극의 외곽 근처가 높았다.

모형을 수정하였다. 즉, 이 가중치 밀도비교 모형에서는 전체 자극에 대한 비대칭성 지표를 원 χ^2 모형에서처럼 대칭적인 위치에 놓인 두 공간적 영역의 밀도 차이의 선형적인 합에 의해서 결정하되, 공간적 위치에 따른 가중치를 선형적인 합에 포함시킨다.

실험 2

실험 1에서는 공간적 위치에 따라 가중치를 결부시킨 새로운 대칭성 지각 모형을 제시하였다. 이렇게 공간적 위치에 따른 가중치를 포함하여 변형시킨 밀도 모형이 다른 상황에서의 인간의 대칭성

도 잘 설명하는가를 알아보기 위해서 실험 2가 실시되었다. 실험 2에서는 실험 1에서 얻은 가중치 중 가장 높은 값을 갖는 공간적 영역에 아무런 자극도 제시하지 않았을 때 나타나는 인간 관찰자의 수행과 가중치 밀도비교 모형 관찰자의 수행을 비교하였다. 이를 위해서 인간 관찰자의 수행이 실험을 통해서 측정되었으며 가중치 밀도비교 모형 관찰자의 수행이 시물레이션되었다.

방법

피험자. 실험 1에 참가하였던 세 피험자가 실험 2에 참가하였다.

기구. 실험 1과 동일하다.

자극. 실험 2에서는 자극의 대칭축 부근의 두 칸(그림 2의 (1))에 전혀 점도 제시되지 않았다는 것을 제외하면 실험 1의 자극과 동일하다. 따라서 실험 2에서는 실험 1과는 달리 두가지 종류의 신호 자극이 있었다: 띠-대칭과 양끝-대칭. 띠-대칭과 양끝-대칭은 각각 그림 2의 (2)와 (3)의 칸에 점들이 대칭적으로 배열되었다. 또한 제시된 전체 점의 수는 68이었다. 띠-대칭 신호자극의 한 예가 그림 7에 나타나 있다.

절차. 실험 2에서도 각 신호자극 종류에 대해서 100개의 시행이 실시되었다. 또한 전체 신호자극의 수와 동일한 수만큼의 잡음자극 시행이 실시되었다. 따라서 실험 2에서는 400개의 시행이 실시되었다. 그외의 다른 절차는 실험 1과 같다.

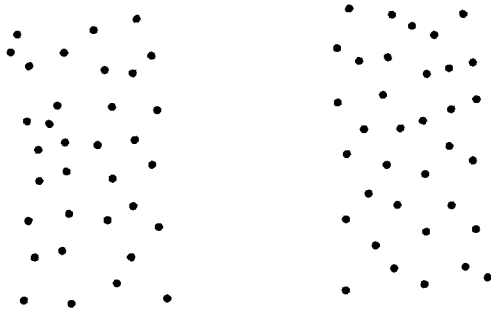


그림 7. 실험 2에서 사용된 띠-대칭 신호자극의 한 예.

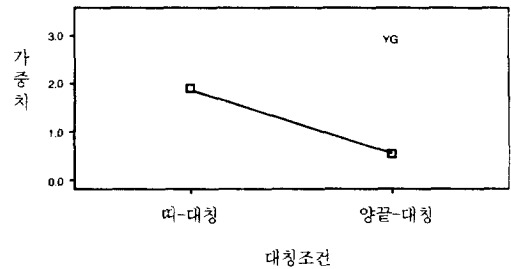
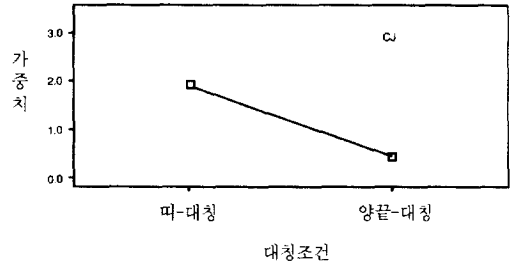
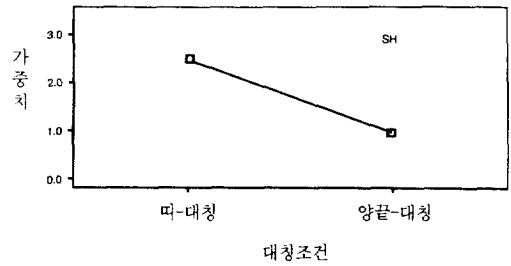


그림 8. 두 대칭조건에 대한 세 인간 관찰자의 대칭성 탐지력(실험 2). 양끝-대칭보다 띠-대칭에서 더 낮은 대칭성 탐지력을 보였다.

과제 실험 1에서와 마찬가지로 피험자의 과제는 제시된 자극이 신호자극인지 잡음자극인지를 마우스의 단추를 누름으로서 대답하는 것이었다.

결과

인간 관찰자의 수행. 각 인간 관찰자의 수행은 실험 1에서와 마찬가지로 탐지력에 의해 측정되었다. 인간 관찰자는 실험 1에서와는 달리 양끝-대칭보다 띠-대칭에서 더 낮은 대칭성 탐지력을 보였다. 그림 8에는 두 부분대칭 조건에 대한 세 인간 관찰자의 수행이 나타나 있다. 세 피험자 모두 비슷한 양상을 보였다.

밀도비교 모형 관찰자의 수행. χ^2 모형 관찰자의 수행의 시물레이션은 실험 1에서와 같은 방법으로

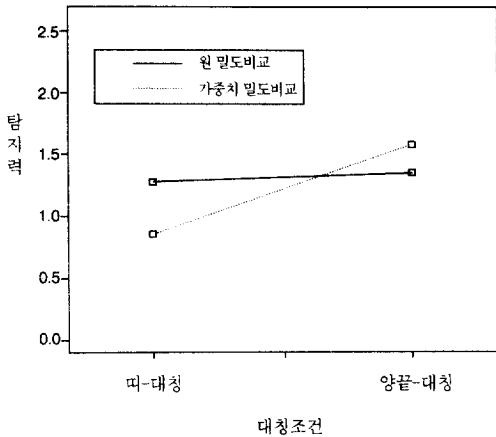


그림 9. 두 대칭조건에 대한 시물레이션된 밀도비교 모형 관찰자와 가중치 밀도비교 모형 관찰자의 수행. 직선은 밀도비교 모형 관찰자의 수행을 점선은 가중치 밀도비교 모형 관찰자의 수행을 나타낸다. 5 x 6의 자유도를 갖는 경우에 대해서 400 개의 자극에 바탕을 두어 시물레이션되었다.

실시되었다. χ^2 모형에 의하면 실험 1에서와 마찬가지로 두 부분대칭 조건 모두 대칭적인 점 쌍의 수가 같으므로 대칭성 탐지력에 있어서 아무런 차이도 기대되지 않는다. 이러한 예측은 인간 관찰자에게 제시된 것과 같은 방식으로 만들어진 400개의 자극에 바탕을 두어 χ^2 모형을 시물레이션함으로써 검증되었다. 시물레이션은 5 x 6의 자유도를 갖는 경우에 대해서 실시되었다. 그림 9에 두 부분대칭 조건에 대해 시물레이션된 탐지력이 직선으로 나타나 있다. 기대했던 대로 탐지력은 대칭정보의 위치에 무관하였다.

가중치 밀도비교 모형 관찰자의 수행. 실험 1에서 얻은 가중치를 공간적 위치에 따라 결부시킨 가중치 밀도비교 모형 관찰자의 수행이 시물레이션되었다. 시물레이션은 χ^2 모형 관찰자의 수행의 시물레이션시 사용되었던 것과 동일한 자극 400개가 사용되었다. 시물레이션된 탐지력은 인간 관찰자와 정반대로 양끝-대칭에서보다 따-대칭에서 더 높은 탐지력을 보였다. 두 부분대칭 조건에서 가중치 밀도비교 모형 관찰자의 시물레이션된 탐지력은 그림 9에 점선으로 나타나 있다.

논 의

공간적인 정보인 밀도를 바탕으로 위치에 따른 가중치를 포함시킨 가중치 밀도비교 모형이 인간의 시각체계가 사용하는 대칭성 지각 모형인가를 검증하기 위해서 실험 2에서는 가장 높은 가중치를 갖는 공간적 영역에 아무런 자극도 제시하지 않고 이때 나타나는 인간 관찰자의 수행을 가중치 밀도비교 모형의 수행과 비교하였다. 그러나 원 밀도비교 모형이나 가중치 밀도비교 모형 모두 인간 관찰자의 수행을 설명하지 못하였다.

전 체 논 의

대칭성은 물체지각에서 유용한 특질이므로 시각체계가 어떻게 대칭성을 지각하는가를 아는 것은 중요하다. 현재까지의 대칭성 지각에 관한 이론은 점비교 모형(Julesz, 1971)과 밀도비교 모형(Barlow와 Reeves, 1979)으로 요약된다. 그러나 이 두 이론은 모두 인간 관찰자의 대칭축으로부터의 거리에 따른 정보의 상대적인 효과를 설명하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 인간 관찰자의 대칭성 지각을 설명하기 위해서 공간적인 위치에 따른 가중치를 밀도비교 모형에 포함시켰다. 그러나 가중치 밀도비교 모형 역시 인간 관찰자의 대칭성 지각을 잘 설명하지 못하였다(실험 2).

점비교 모형과 밀도비교 모형 모두 공간적인 영역에 바탕을 둔 흑백도(luminance) 정보를 사용한다. 밀도를 비교하는 것은 입력자극을 필터링을 한 후 비교를 하는 것이라고 볼 수 있다. 반대로 점비교 과정을 필터의 개념을 빌려서 설명하자면, 매우 작은 필터를 사용한 것과 동일하다고 할 수 있다. 이 두 모형 모두 인간의 대칭성 지각을 설명하려면 필터의 크기로 인간 시각체계의 대칭성에 대한 민감성이나 내성(tolerance)을 반영한다. 다시 말해서 이 두 모형은 시각체계가 공간적으로 특정한 크기를 갖는 하나의 필터를 사용한다고 가정하는데 이러한 점에서 단일채널 공간 모형이라고 부를 수 있다. 그러나 단하나의 필터로서 인간의 수행을 설명하는 것은 불가능하다. 작은 필터를 사용하면 낮은 공간빈도 정보를 얻지 못할 것이며, 큰 필터를 사용하면 높은 공간빈도 정보를 얻지 못할 것이다.

이러한 문제점은 인간의 시각체계가 여러 크기의 필터를 동시에 사용한다는 것을 시사한다. 이와 같

은 다중채널 모형의 한 예로서 한 이미지를 다중해상 피라미드(multiresolution pyramid)를 사용해서 표상하는 이미지 처리 방법을 들 수 있다(예, Adelson et al., 1984; Watson, 1987). 다중해상 표상은 한 이미지를 각각 특정 공간빈도에 선택적으로 반응하는 여러 필터에 의해서 처리한 일련의 결과들로 구성된다. 이 다중해상 표상중 넓은 범위에 걸쳐 나타나는 정보는 낮은 공간빈도 표상에서, 좁은 범위에 걸쳐 나타나는 정보는 높은 공간빈도 표상에서 나타난다. 이와 같은 다중해상 표상 모형은 인간의 대뇌 시각피질에 공간빈도에 대해 선택적으로 반응하는 세포가 존재한다는 신경생리학적 증거와도 일치한다(Campbell, Cooper와 Enroth-Cugell, 1969).

인간의 시각체계가 다중채널을 사용한다는 증거는 인간 피험자들로부터 얻어진 정신물리학 연구에서도 많이 보인다. 그 첫번째 부류의 증거로는 순응을 이용한 연구결과이다 특정한 공간빈도에 순응을 시키고 난 후 대비민감도 함수(contrast sensitivity function: CSF)를 측정하여 순응전의 CSF와 비교하였더니, 모든 공간빈도에서 일정하게 민감도가 떨어진 것이 아니라 순응하였던 공간빈도 근처에서만 민감도가 감도되었다(예, Blakemore와 Campbell, 1969).

또한 한 공간빈도의 격자(grating)에 순응을 한 후 다른 공간빈도를 가진 격자를 볼 경우, 순응된 공간빈도보다 낮은 공간빈도 격자는 실제보다 더 낮게 보이며, 순응된 공간빈도보다 높은 격자는 더 높게 보인다는 결과(예, Blakemore와 Sutton, 1969)도 역시 인간의 시각체계가 다중해상 채널을 사용한다는 증거를 보여준다.

다중채널 모형은 이미지 표상으로서 널리 사용되고 있으며 대칭성 지각과 같은 능동적인 처리 모형으로서의 가능성도 제시되고 있다. 특히, Julesz와 Chang(1979)의 연구는 대칭성 지각에 있어서도 다중 해상 표상 처리가 개입된다는 것을 보여주고 있다. 일반적으로 서로 직교적인 방위에 대해 대칭적인 두 도형, 예를 들어 중앙의 수직축에 대해 대칭인 도형과 수평축에 대해 대칭인 도형을 겹쳐서 대칭성이 없어진다. 그러나 Julesz와 Chang이 이 두 대칭 도형중 하나는 낮은 공간빈도 필터에 의해 필터링을 하고 다른 하나는 높은 공간빈도 필터에 의해 필터링을 한 후 겹쳐 놓으면 대칭성이 지각되었

다. 이러한 연구 결과는 인간의 시각체계가 해상도가 다른 여러 채널에 의해 정보를 다중적으로 처리한다는 다중해상모형과 일치한다.

본 연구에서는 공간적 영역의 정보인 밀도를 바탕으로 하는 현존 단일채널 모형을 변형하여 인간의 대칭성 지각을 설명하려고 하였다. 그러나 실험 2에서도 보여주듯이 이 변형된 단일채널 모형도 인간의 대칭성 지각을 잘 설명하지 못한다. 다중채널 모형이 단일채널 모형과 다른 점은 여러개의 채널이 공간적인 영역에서의 정보가 아니라 공간빈도 영역에서의 정보를 표상한다는 것이다. 따라서 본 연구의 결과는 인간의 대칭성 지각이 다중채널에 의해서 공간빈도 영역에서의 정보 처리로 이루어지는 것이 아닌가 하는 것을 시사한다. 물론, 본연구에서 다루었던 단일채널 모형이 인간의 대칭성 지각을 설명하는데 실패하였다고 해서 인간의 대칭성 지각 체계는 단일채널이 아니라고 결론을 내리는 것은 너무 성급한 것인지도 모른다. 그러나 다른 많은 지각현상들과 마찬가지로 대칭성 지각도 공간빈도 영역에서의 정보에 바탕을 둔 다중채널에 의해 이루어진다는 가능성 또한 경험적으로 검증해 볼 가치가 있다.

참고 문헌

- Adelson, E. H., Adelson, C. H., Bergen, J. R., Burt, P. J., & Ogden, J. M. (1984). Pyramid methods in image processing. *RCA Engineer*, 29.
- Barlow, H. B., & Reeves, B. C. (1979). The versatility and absolute efficiency of detecting mirror symmetry in random dot displays. *Vision Research*, 19, 783-793
- Blakemore, C., & Campbell, F. W. (1969). On the existence of neurones in the human visual system selectively sensitive to the orientation of size of retinal images. *Journal of Physiology*, 203, 237-260.
- Blakemore, C., & Sutton, P. (1969). Size adaptation: A new aftereffect. *Science*, 166, 245-247.
- Bruce, V. G., & Morgan, M. J. (1975). Violations of symmetry and repetition in visual patterns. *Perception*, 4, 239-249.

- Campbell, F. W., Cooper, G. F., & Enroth-Cugell, C. (1969). The spatial selectivity of the visual cells of the cat. *Journal of Physiology*, 203, 223-235.
- Corballis, M. C., & Beale, I. L. (1976). The psychology of left and right. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1977). Ferrier lecture: Functional architecture of macaque monkey visual cortex. *Proceedings of the Royal Society, London, B*, 198, 1-59.
- Hong, S., & Pavel, M. (1991). *Symmetry perception: The role of features*. Paper presented at the meeting of the Psychonomics Society, SF, CA.
- Jenkins, B. (1983). Component process in the perception of bilaterally symmetric dot textures. *Perception & Psychophysics*, 34, 433-440.
- Julesz, B. (1971). *Foundations of cyclopean perception*. Chicago: University of Chicago Press.
- Julesz, B., & Chang, J. (1979). Symmetry perception and spatial-frequency channels. *Perception*, 8, 711-718.
- Mach, E. (1897). *Analysis of the sensations*. Chicago: Open Court Publishing House.
- Watson, A. B. (1987). The cortex transform: rapid computation of simulated neural images. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 39, 311-327.

Single-Channel Model Based on Spatial Domain Cannot Explain the Human Symmetry Perception

Seonghee Hong
Yonsei Unviersity

The previous models of human symmetry perception can be summarized as a point-by-point comparison model (Julesz, 1971) and a density comparison model (Barlow & Reeves, 1979), both of which are single-channel model based on spatial domain. Neither of these spatial domain model, however, cannot account for the relative effectiveness of symmetric information as a function of the distance of the information from the axis of symmetry. In order to incorporate the relative effectiveness from the axis on symmetry perception into the density comparison model, the study by Barlow & Reeves was replicated and the weights for each spatial location were calculated by multiple regression. By this way, the degree of symmetry of an input image is a weighted sum of small areas, not a straight forward sum. In experiment 2, however, in which no dots in the areas near the axis was presented, the weighted density comparison model fails to account for the human observers' performance. With the other research results showing that the detection of symmetry as a combination of two orthogonal symmetries depended on the two independent symmetries (Julesz & Chang, 1979) the present result suggests that human symmetry perception may be processed through multiple channels, which differing in resolution and/or orientation.