

입체시에 근거한 3차원 모양 항상성의 검증

Stereoscopic 3-D shape constancy

이 형 철*
(Hyung-Chul Li)

요 약 양안부등정보에 근거하여 모사된 타원형 및 포물선형 반원주체가 관찰거리가 변화함에 따라 체계적으로 왜곡되어 지각되었다. 실험1과 실험3의 두 가지 관찰조건 모두에서, 타원형 반원주체는 45 cm의 관찰거리에서는 실제 모양과 근사하게 지각되었으나 135 cm의 관찰거리에서는 실제 곡면성의 75%로 과소평가되어 지각 되었다. 실험2에서는, 관찰거리에 대한 정보가 풍부할 때, 포물선형 반원주체가 45 cm의 관찰거리에서 실제 곡면성에 비해 118%의 곡면성을 갖는 것으로 과장되어 지각되었으며, 90 cm의 관찰거리에서는 실제에 근접하여 지각되었고, 135 cm의 관찰거리에서는 실제 곡면성에 비해 85%로 과소평가되어 지각되었다. 관찰거리에 대한 정보가 감소된 관찰조건에서는 모든 관찰거리에서 실제의 곡면성보다 다소 과소평가되어 지각되었다. 예를 들어, 45 cm의 관찰거리에서는 실제 곡면성에 근접하여 지각되었고, 135 cm의 관찰거리에서는 실제 곡면성에 비해 68%로 과소평가되어 지각되었다. 이러한 실험 결과들은 시각기제가 양안부등을 추정한 관찰거리로 척도화(scale) 하여 3차원 모양을 표상하게 된다는 설명을 지지하고, 이에 대립되는 가정, 즉 거리에 따라 변하지 않는 부등곡률(disparity curvature)을 탐지해냄으로써 3차원 모양을 직접 지각할 수 있다는 가정이 타당하지 않음을 시사한다.

연구세부분야 입체지각, 공간지각, 시지각

주제어 모양항상성, 척도화이론, 부등곡률

Abstract Systematic distortions in perceived 3-D shape were obtained for elliptical and parabolic stereoscopic surfaces viewed at different distances under full and reduced cue conditions. In both conditions of Experiments 1 and 3, elliptical hemi-cylinders appeared near veridical at the 45 cm viewing distances and flattened up to 74% of veridical at 135 cm. In Experiment 2, under full cue conditions, parabolic hemi-cylinders appeared stretched to 118% of veridical at 45 cm, near veridical at 90 cm, and flattened to 85% of veridical at 135 cm. Under reduced cue conditions parabolas appeared flatter overall: veridical curvature was obtained at 45 cm viewing distance with flatness increasing to 68% of veridical at 135 cm. Results support a scaling explanation of perceived 3-D shape from disparity and rule out the alternative hypothesis that disparity curvature, an optical invariant, provides information for the direct perception of 3-D shape.

Keywords shape constancy, scaling theory, Disparity curvature

우리들이 살고 있는 3차원 공간에 존재하는 대부분의 대상들은 영구적인 그들 나름대로의 3차원 모양이나 형태를 지니고 있으며 우리의 지각경험은 이러한

사실로부터 크게 벗어나지 않는다. 따라서 인간의 시각기제는 세상에 존재하는 3차원 대상의 모양을 일반적으로 항상성 있게 지각하는 것으로 가정되어 왔다.

그러나, 3차원 공간의 속성 특히 깊이를 어떻게 지각하는가에 대한 연구가 활발하게 진행되어 온 것에 반하여 특정대상의 3차원 모양을 어떻게 지각하는가에 대한 연구는 그리 많지 않았다. 한 대상의 모양

* Department of Industrial Psychology
Kwangwoon University.
광운대학교 산업심리학과
e-mail : hyung@daisy.kwangwoon.ac.kr

(예를 들자면, 부드럽게 굽은 모양이라든지, 평평한 모양이라든지, 혹은 지붕모양이라든지)은 국소적인 부분에서의 깊이 및 크기와 같은 일차적인 지각속성으로부터 도출되는 이차적인 지각속성으로 간주 될 수 있다. 예를 들자면 한 대상의 국소적인 부분에서의 깊이와 크기 혹은 넓이가 같다는 지각경험에 근거하여 이 대상을 원통모양(circular)인 것으로 지각할 수 있다. 이러한 관점에서는 깊이와 크기 항상성이 3차원 모양 항상성의 선행 조건이 된다. 깊이에 대한 중요한 정보 중 하나는 근접한 대상을 두 눈으로 관찰할 때 얻어지는 양안부등(binocular disparity) 정보이다. 그러나, 양안부등은 관찰자와 대상간의 거리의 제곱에 반비례하여 감소하기 때문에 깊이항상성(depth constancy)이 일어나기 위해서는 이 양안부등이 시지각 기체에 의하여 추정된 거리에 의해 척도화 되거나 혹은 깊이 지각이 양안부등 이외의 정보에 의존해야 한다.

계산 이론가들이 가정하는 전형적인 입체시지각(stereopsis) 과정은 다음과 같다. 관찰자로부터 대상의 표면에 위치한 국소적인 점 사이의 거리에 대한 일종의 지도가 형성된다(Marr & Poggio, 1979). 이들에 의하면, 깊이는 두 눈간의 거리, 그리고 관찰자와 대상간의 거리를 사용하여 양안부등을 척도화(scaling) 함으로써 계산된다. 이를 공식으로 표현하면 다음과 같다: $d = (\delta \times D^2) / I$ (d : 두 점을 분리하는 깊이, δ : 양안부등(radian 단위), D : 관찰자로부터 대상까지의 거리, I : 두 눈 사이 거리). 이와 비슷하게 대상의 크기도 이 대상이 차지하는 시각도(visual angle)를 관찰거리로 척도화 함으로써 얻어질 수 있다. 주의할 점은 시각도는 양안부등과 달리 관찰거리에 반비례하여 감소한다는 점이다.

시지각 기체에 의해 추정되는 관찰 거리가 일관성 있고 안정적이며 또한 동일한 관찰거리가 깊이 및 크기의 계산에 사용된다면, 3차원 모양 항상성은 척도화 과정을 통하여 성취될 수 있다. 그러나, 관찰거리가 제대로 추정되지 않는다는 여러 증거가 있다(Sedgwick, 1986을 참조). 만약 관찰거리가 왜곡되어 추정된다면, 그리고 이러한 왜곡이 체계적으로 일어난다면, 지각되는 깊이 혹은 3차원 모양도 체계적으로 왜곡될 것이다. 이러한 논리에 근거하여 몇몇 연구자들은 깊이나 3차원 모양지각에서 체계적인 왜곡이 발견되는 것을 척도화 과정이 깊이나 3차원 모양지각 과정에서 이용된 것으로 해석하였다(Foley, 1980; Johnston, 1991).

3차원 모양항상성을 설명할 수 있는 제 2의 이론은 척도화 이론에서 필연적으로 가정한 두개의 독립적인 척도화 과정(하나는 깊이지각과정에서 또 다른 하나는 크기지각과정에서 사용된)을 전혀 필요로 하지 않는다. 이 제2의 이론에 의하면, 국소적인 위치에서의 깊이나 크기를 먼저 계산할 필요 없이, 3차원 모양에 관한 정보가 연속적인 표면에 의해 제공되어지는 풍부한 양안부등의 배열에서 직접 구해 질 수 있다는 것이다. Rogers 와 Cagenello(1989)는 양안부등을 공간적으로 2차 미분한 부등곡률(disparity curvature) 이라고 하는 고차원적인 광학구조를 제안하였다. 이들에 의하면, 시지각 기체가 3차원 모양 지각 과정에서 사용하는 것은 단순한 양안부등이 아니라 부등곡률과 같은 고차원적인 광학구조라는 것이다. 양안부등 배열을 미분하는 것은 양안부등이 공간상에서 어떻게 변하는지에 관한 패턴을 보여준다. 양안부등을 공간적으로 미분한 것은 양안부등이 대상의 표면에 걸쳐서 변화하는 부등비율(disparity gradient)을 나타내고, 이것을 다시 미분한 것 즉, 부등곡률은 부등비율이 변화하는 비율을 나타낸다. 예를 들자면 일정한 비율로 경사진 표면(ramp surface)은 0의 부등곡률을 갖고, 포물선 모양의 표면(parabolic surface)은 일정한 동일한 부등곡률을 갖는다.

앞서 설명한 3차원 모양항상성에 대한 제2의 이론은 아주 매력적이다. 양안부등을 공간적으로 2차 미분한 것은 관찰거리에 따라 변하지 않으며(invariant) 따라서, 관찰거리에 의해 척도화 될 필요가 없어지는 것이다. 이러한 관점에서 보면, 3차원 모양항상성이 가능하다는 것이 깊이 및 거리에 대한 추정이 정확하지 않고 안정적이지 않다는 증거와 양립 불가능한 것이 아니다. 왜냐하면, 제2의 이론에 의하면, 깊이나 거리 모두 3차원 모양지각에 관여하지 않기 때문이다.

본 논문에서 소개할 일련의 실험들은 3차원 모양항상성이 얼마나 성공적으로 일어나는지 관찰하고 동시에 두개의 대립되는 이론, 즉 척도화 과정과 부등곡률에 의해 불변하는 모양을 찾아낸다는 두 이론들을 검증하고자 설계되었다.

깊이나 3차원 모양을 관찰거리에 관계없이 얼마나 항상성 있게 지각할 수 있는냐에 관한 그 동안의 연구결과는 일관적이지 못하다. 실제의 3차원 대상에 대한 모양지각에서 조차 항상성이 일관적으로 관찰되지 않았다(Durgin, Proffitt, Olson & Reinke,

1995; Jain, Tsina & Durgin, 1997; Todd & Norman, 1995). 양안부등정보에 근거한 깊이항상성이 어떤 연구에서는 관찰거리 2 m 이내에서만 관찰되었으며 (Ogle, 1950; Foley & Richards, 1972; Ritter, 1977), 어떤 연구에서는 100 m 까지도 관찰되었다 (Foley, 1967; Wallach, Frey & Bode, 1972). (초기 연구에 대한 보다 완벽한 review를 위해서는 Ono & Comerford, 1977을 참조).

초기의 깊이 지각에 대한 연구에서는 깨끗하게 정의되지 않은 불특정 공간내에 떨어져 있는 두 점간의 깊이가 연구 되었다. 반면, 최근에는 보다 생태학적으로 타당한 지각과제가 사용되고 있는데, 연속적인 표면에서의 두 점간의 깊이나 혹은 연속적인 표면의 3차원 모양에 대한 지각실험이 그것이다 (Koenderink & Van Doorn, 1976; Rogers & Cagenello, 1989; Rogers, Cagenello & Rogers, 1987; Rogers & Li, & Dannemiller, 1995; Tittle, Todd, Perotti & Norman, 1995). 3차원 모양항상성에 대한 연구결과도 상당히 일관적이지 못하다. 양안부등정보를 사용하여 모사한 타원형의 반원주체(elliptical hemi-cylinders)를 사용한 실험에서 관찰거리에 따른 3차원 모양의 체계적인 왜곡이 관찰되었으나 (Johnston, 1991; Rogers, Li & Dannemiller, 1995; Tittle, Todd, Perotti & Norman, 1995), 포물선모양의 반원주체(parabolic hemi-cylinders)를 사용한 실험에서는 3차원 모양항상성이 관찰 되었다 (Rogers & Cagenello, 1989). 이러한 연구 결과들의 불일치는 실험에 사용된 3차원 표면의 모양자체가 3차원 모양항상성에 관한 실험결과에 영향을 미쳤을 수 있음을 시사한다.

부등곡률에 근거하여 3차원 모양지각을 하는 시각 기체에 가장 이상적인 자극은 포물선형의 반원주체일 가능성이 있다. 만약 3차원 모양을 지각하는 기체가 연속적인 표면의 모든 국소적인 부등곡률을 고려 한다면, 3차원 모양항상성은 다양한 국소적인 부등곡률이 비슷한 경우에만 관찰될 것이다. 다시 말해서 Rogers 와 Cagenello (1989)가 사용한 포물선형의 반원주체처럼 연속적인 표면에서의 모든 국소적인 요소의 양안부등의 공간적인 2차미분이 동일한 자극상황에서 3차원 모양항상성이 관찰 될 것이다. Johnston (1991)과 S. Rogerse등(1995)이 사용한 타원형의 반원주체에서는 각각의 국소적인 위치에서의 부등곡률이 동일하지 않다.

따라서 본 논문의 또 다른 목적은 과연 초기의 연

구들에서 발견되는 비 일관적인 실험 결과들이 실험에서 사용된 3차원 모양의 차이에 기인하는 지를 결정하는 것이다. 실제, 실험에 사용된 과제와 관찰 조건들이 결과에 영향을 미친다는 연구가 있기 때문에 (Glennerster, B. Rogers & Bradshaw, 1994), 본 논문에서는 동일한 관찰조건에서의 타원형의 반원주체와 포물선형의 반원주체에 대한 피험자들의 지각을 비교하였다. 본논문의 실험에서, 만약 타원형의 반원주체에서 관찰되지 않은 모양 항상성이 포물선형의 반원주체에서 관찰된다면 초기의 연구들에서 나타나는 실험 결과들 간의 비 일관성이 해결될 것이다.

본 논문에 소개된 세가지 실험 모두에서, 양안부등정보를 사용하여 모사한 반원주체(hemi-cylinders)가 물리적으로 다른 세가지 관찰 거리에 제시 되었다. 거리지각에 관한 앞선 연구들에 의하면, 관찰 거리에 따른 체계적인 3차원 모양의 왜곡이 기대되는데, 왜냐하면 관찰자들은 실제거리를 과소 추정하는 경향이 있으며 이러한 경향은 실제 관찰 거리가 증가함에 따라 증가하기 때문이다. 척도화 이론에 의하면, 관찰 거리에 대한 추정 오류는 지각되는 깊이나 크기에 있어서의 왜곡으로 이어지며 최종적으로 지각되는 3차원 모양의 왜곡으로 나타날 것이다. 관찰 거리가 과소 추정될 때 실제 반원주체는 납작하게 (flattened or less curved) 보이는 경향이 증가할 것이고, 만약 관찰 거리가 과대 추정되면 실제 반원주체는 깊이차원에서 길게 늘어난(stretched) 것으로 지각될 것이다. 척도화 이론이 옳다면, 이러한 지각적 왜곡은 타원형의 반원주체와 포물선형의 반원주체 모두에서 관찰될 것이다. 한편, 3차원 모양지각이 부등곡률에 의존하여 일어난다고 보는 입장은 이와는 다른 예언을 할 것이다. 이 이론에 의하면, 관찰거리를 변화 시키는 것은 3차원 모양지각 및 3차원 모양항상성에 아무런 영향을 주지 않을 것이다. 특히 이 이론을 검증하는데 가장 이상적인 자극으로 간주 되는 포물선형의 반원주체에서는 3차원 모양 항상성이 나타날 것이다.

만약 관찰거리에 따라서 특정 표면의 3차원 모양이, 특히 포물선형의 반원주체가 체계적으로 왜곡되어 지각된다면, 이때의 3차원 모양지각은 부등곡률에 의존하여 일어난 것이라고 볼 수 없으며, 따라서 척도화 이론의 대안이 되는 제 2의 이론은 3차원 모양항상성을 설명하는 이론에서 제외 되어야 한다. 그러나 3차원 모양 항상성이 일어 났다고 해서 척도화 이론이 필연적으로 제외 되어야 할 이유는 없다. 왜냐하면, 만약 관찰거리가 정확하게 추정된다면, 깊이 및

크기가 정확하게 추정될 것이고 따라서 최종적으로 3차원 모양도 정확하게 혹은 항상성 있게 지각될 것이기 때문이다. 만약 3차원 모양항상성이 관찰될 경우 이것이 척도화에 의한 것인지 아니면 부등곡률의 탐지에 의한 것인지 구별하기 위하여 관찰거리에 대한 정보가 각기 다른 두 관찰조건 (관찰거리에 대한 정보가 풍부한 조건과 관찰거리에 대한 정보가 감소된 조건)에서의 3차원 모양에 대한 관찰자들의 지각을 비교하였다. 각기 다른 두 관찰조건에서의 거리에 대한 추정이 각기 다를 것이라고 예상하는데, 만약 척도화가 일어난다면, 두 관찰조건에서의 피험자들의 3차원 모양지각은 다를 것이다. 정확한 거리 추정은 단지 거리에 대한 정보가 풍성한 관찰조건에서만 가능할 것이고 모양항상성은 이 조건에서만 관찰될 것이다. 그리고 거리에 대한 정보가 감소된 관찰 조건에서는 관찰거리가 정확하지 않게 추정될 것이며 이는 곧 왜곡된 3차원 모양의 지각으로 연결될 것이다. 만약 이러한 오류가 일정하다면, 관찰조건에 대한 주효과가 나타날 것이고, 만약 관찰거리가 과소 추정되고 이러한 경향이 관찰거리가 증가할수록 증가한다면, 관찰조건과 관찰거리사이의 상호작용이 나타날 것이다.

한편, 부등곡률이 3차원 모양지각의 기본이 된다면, 관찰거리에 대한 정보를 변화 시키는 것은 3차원 모양지각에 어떤 영향도 주지 않을 것이다. 앞서 밝혔듯이 부등곡률은 추정된 거리로 척도화 될 필요가 없으며, 따라서 3차원 모양지각이 잘못 추정된 관찰거리에 의해 영향 받지 않을 것이다. 부등곡률에 의존하여 3차원 모양이 지각된다면, 어떤 관찰 조건에서는 3차원 모양 항상성이 관찰 될 것이다.

실험 1

입체시 3차원 모양항상성이 일어나는 정도를 알아 보기 위하여 피험자로 하여금 세가지 다른 관찰 거리에 놓인 동일한 3차원 대상 (예: 옆으로 쓰러뜨린 콜라 캔)의 곡면성(curvature)을 판단토록 하였다. 실험1에서는 각기 다른 크기를 갖는 세 가지의 반원주체(circular hemi-cylinder)가 사용되었다. 각각의 반원주체의 물리적인 모양과 크기가 관찰 거리에 따라 변하지 않고 동일하게 유지 되었기 때문에 각각의 반원주체에 대한 시각도(visual angle)와 양안부등은 관찰 거리에 따라 자연스럽게 변화 하였다. 시각도는 관찰 거리가 증가하는 비율로 감소하였으며, 양안부등은 거리의 제곱에 반비례하여 감소 하였다.

방법

관찰자: 11명의 관찰자가 자발적으로 참여 하였다. 이들 모두 정상시 혹은 정상 교정시와 정상 입체시를 지녔으며, 실험 가설을 알지 못한 채로 실험에 참여 하였다.

실험 자극 및 장치: 무선점 애너글립 스테레오그램(random-dot, red/green anaglyphic stereograms)이 매킨토시 (Mac IICI)에 의해 생성되어 13인치 애플모니터 (Apple 13' RGB monitor)에 제시 되었다. 해상도는 640X480이었고 주사율(refresh rate)은 60Hz였다. 피험자들은 스테레오그램을 보기위해 입체경(goggle)을 착용 하였다 (이 입체경의 왼쪽과 오른쪽은 각각 녹색과 빨간색의 필터로 구성되었다). 모든 스테레오그램은 검정색을 배경으로 한 수평의 볼록한 반원주체 들어있고, 이 스테레오그램을 구성하는 무선점들의 크기는 1 화소(pixel) 이었으며 점밀도(dot density)는 20% 이었다. 타원형 반원주체의 표면에 있는 각각의 국소적인 위치의 깊이값 등은 다음과 같은 공식에 의하여 생성 되었다.

$$\text{공식 (1)} \quad z = b(1 - [x^2/a^2])^{1/2}$$

(여기에서, z 는 x 좌표에서의 깊이, a 는 타원형 반원주체의 높이의 1/2, 그리고 b 는 이 반원주체의 반지름 혹은 깊이: 만약 $a = b$ 일 경우 이는 원통형 반원주체(circular hemi-cylinder)가 된다). 양안부등값은 다음과 같은 공식에 의하여 결정되었다.

$$\text{공식 (2)} \quad \delta = Iz / (D(D - z))$$

(여기에서, δ 는 양안부등, I 는 양안거리 (평균 6.5 cm), D 는 관찰거리, z 는 공식 (1)에 의하여 계산된 깊이값).

실험설계 및 관찰조건

모든 실험조건이 개개의 피험자 모두에게 제시되었다. 세가지 관찰거리는 45cm, 90cm, 그리고 135cm 이었다. 반원주체 자극은 수평으로 뉘어진 상태로 제시 되었으며, 10cm 넓이에 반지름은 2cm, 4cm, 혹은 6cm 이었다. 스테레오그램은 두 가지 관찰조건 (관찰거리에 대한 정보가 풍부한 조건과 관찰거리에 대한 정보가 감소된 조건)에서 관찰 되었다. 이 모

든 조건들의 가능한 조합 각각은 5번 반복되어 제시되어, 총시행 수는 90회 였다 (3 X 3 X 2 X 5).

철제 레일 위에서 쉽게 움직일 수 있는 미끄럼대 위에 모니터를 올려 놓고 이 미끄럼대를 관찰자로부터 멀리 혹은 관찰자에게 가까이 움직임으로써 관찰 거리를 조작하였다. 실험도중 관찰자의 머리가 움직이는 것을 최소화 하기 위해 관찰자의 머리를 턱 받침대에 고정 하였다.

관찰거리에 대한 정보가 최소화 된 조건에서는 실험실의 불빛을 끄고 모니터와 관찰자 사이는 검은 천으로 터널을 만들어서 모니터 주위, 그리고 모니터와 관찰자 사이의 공간들이 보여 지지 않도록 하였다. 반면, 관찰거리에 대한 정보가 풍부한 조건에서는 방안의 불빛을 밝게 하고 터널을 건어 내어 주어진 자극뿐 아니라 모니터 주위 및 모니터와 관찰자 사이의 공간이 관찰자 에게 잘 보여질 수 있도록 하였다.

매 시행 전에, 검은 십자가가 각각의 스테레오그램에 제시되어 접합(fusion)을 유도하고 또한 관찰자의 응시점을 통제하기 위해 제시되었으며, 자극이 제시되는 동안에 이 십자가는 제시 되지 않았다.

본 실험에서 관심 있었던 실험자극 모두가 원통형의 반원주체(circular hemi-cylincer)이었기에, 관찰자를 속이기 위하여 원통형이 아닌 (noncircular) 타원형의 반원주체들이 유사자극 (foils)으로 이용되었다. 세가지 크기 (시각도로 계산하면 4도 5.5도 7도)와 세가지 깊이 (2 cm 4 cm 6 cm)의 조합으로 구성된 각기 다른 곡면성(curvature)을 갖는 9가지의 유사자극이 사용 되었다. 어떤 유사자극은 원통형보다 납작했고 어떤 유사자극은 원통형보다 깊이가 더 깊었다(stretched). 이 9가지의 유사자극 각각은 세가지 관찰거리와 두 가지 관찰조건에서 각각 5번씩 반복 제시되어서 총 유사자극이 제시된 시행은 270 회 였다.

증속변인

관찰자의 과제는 41평점 척도를 이용하여 모니터에 제시된 각각의 반원주체에 대하여 지각된 3차원 모양을 보고하는 것이었다. 41 평점 척도에서, 0은 평평한 면을, 20은 완벽한 원통형 반원주체를, 그리고 40은 아주 날카롭게 굽은 곡면을 나타내었다. 측정치 즉 지각된 곡면성(curvature)은 실제 곡면성에 대한 보고된 곡면성의 비율로 계산 되었고, 따라서 만약 관찰자가 모니터에 제시된 자극의 3차원 모양을 제대로 지각 하였다면, 이 비율은 1이 된다. 1이상의 비율은 실제

제시된 자극의 곡면성보다 더 과장되게 곡면성을 지각 하였음을 뜻하며, 1 이하의 비율은 실제 자극의 곡면성을 과소평가 하여 지각 하였음을 뜻한다.

본 실험 전에 관찰자들은 41 평점척도를 어떻게 사용하는지를 57 cm 에 제시된 10개의 각기 다른, 그러나 실제 실험에서는 사용되지 않은 자극에 대하여 훈련 받았다. 연습에 사용된 자극들은 3개의 기본 자극을 포함하였으며 이는 41 평점척도 상에서는 '3'에 해당하는, 깊이대 넓이의 비율이 0.24인 아주 평평한 반원주체, '20'에 해당하는 완벽한 원통형 반원주체, 그리고 '37'에 해당하는 깊이대 넓이의 비율이 3.82인 반원주체 였다.

절차

실험은 관찰자 개개인에 대해 개별적으로 실시 되었다. 입체시가 정상인지 알아보는 테스트를 통과한 관찰자들은 먼저 곡면성을 41평점 척도를 사용하여 보고할 수 있는 훈련을 받았다. 그리고 곧바로 관찰자들은 실험실을 당분간 떠났다가 첫번째 블록의 실험이 준비된 후에 다시 실험실로 돌아 왔다. 실험은 두 가지 관찰조건과 세가지 관찰거리 조건의 조합인 6 블록에 걸쳐 실시 되었고 각 블록에 대해 데이터가 모집 되었다. 블록의 순서는 관찰자 각각에 대하여 무선적으로 결정 되었다. 블록간에 관찰자들은 실험실을 떠나 있도록 하여 관찰자들은 실험자들이 어떻게 모니터를 움직이는지 그리고 검은 천으로 구성된 터널이 있는지 알지 못하였다. 실험 1과 3에서 자극들은 270개의 유사 자극들과 뒤섞여 제시되어 총 450 시행이었으며, 이들은 6개 블록에 각각 75회씩 분산되어 제시되었다. 관찰자들이 41점 평점척도를 사용하여 제시된 자극의 곡면성을 평가하는 데에 이론상 무제한의 시간이 허용 되었다. 관찰자가 곡면성을 구두로 보고한 것을 실험자가 컴퓨터에 입력하면 다음 자극이 자동적으로 제시 되었다.

결과

관찰자들은 가장 작은 크기의 자극들에 대해, 특히 이들이 가장 먼 관찰거리 (90 cm)에 놓여 있을 때에 이들의 모양을 판단하기 힘들다고 보고 하였다. 따라서, 가장 작은 크기의 자극에 대하여 모집된 데이터는 분석에서 제외 되었다. 결국 데이터는 3 (관찰거리) X 2 (크기) X 2 (관찰조건)의 관찰자내 변량분석(repeated measure)으로 분석 되었다. 각각의 자극에 대한 다섯번의 관찰자의 반응에 대하여 각 조건

별로 평균값이 계산되었다.

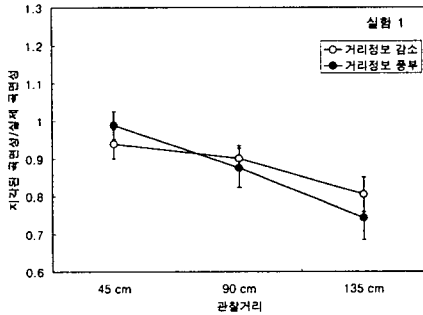


그림 1. 실험1에서 관찰거리 및 관찰조건에 따른 실제 곡면성에 대한 지각된 곡면성의 비율. 비율 1은 지각된 곡면성이 실제 대상의 곡면성과 일치함을 뜻하고, 데이터를 이은 점들이 수평선을 형성하면 이는 모양항상성이 관찰되었음을 뜻한다. 그림에서 점선은 지각된 곡면성이 실제 곡면성과 일치하면서 동시에 모양항상성이 일어났을 경우의 가상적인 데이터의 합수를 나타낸다. 그림에서 오차 막대(error bar)는 1 표준오차(standard error)를 나타낸다.

관찰자들이 보고한 3차원 곡면성은 체계적으로 왜곡되었다. 반원주체들은 모든 조건에서 완벽한 원통형 반원주체로 지각되지 않았다. 가까운 관찰거리(45 cm)에서는 보고된 곡면성이 어느 정도 실제 곡면성과 일치 하였으나, 관찰거리가 증가함에 따라 보고된 곡면성은 실제 곡면성보다 과소 평가 되었고 그 감소 정도는 관찰거리 135 cm 에서 75%에 불과 하였다. 관찰거리에 대한 주효과는 통계적으로 유의미 하였으며 ($F(1,10)=5.876, p<.01$), 관찰거리가 증가함에 따라 지각된 곡면성이 점차 감소하는 일차선형 경향성이 발견 되었다 ($F(1,10)=11.587, p<.01$). 그림1은 실제 곡면성에 대한 지각된 곡면성을 관찰거리에 따라 나타낸 것이다. 만약 3차원 모양항상성이 일어났다면, 그림1에서 관찰된 데이터를 잇는 함수는 수평이어야 한다 (만약, 실제 모양에 대한 지각이 제대로 되었다면 이 함수는 1을 지나는 수평선 이어야 한다). 그림1에서 관찰되는 부적인 기울기는 관찰거리에 따라 3차원 모양이 체계적으로 왜곡되어 지각되었음을 뜻한다.

관찰조건은 3차원 모양지각에 영향을 주지 않았으며 ($F(1,10)=.157, p>.05$), 관찰거리와의 상호작용도 발견되지 않았다 ($F(2,20)=1.48, p>.05$). 자극의 크

기에 대한 효과도 발견되지 않았다.

논의

모양항상성이 관찰되지 않는다는 실험결과는 부등곡률을 찾아냄으로써 3차원 모양을 지각한다는 가정이 옳지 않음을 의미한다. 부등곡률은 관찰거리와 관계없이 정의되며, 따라서 대상과 관찰자간의 거리를 변화 시키는 것은 이 대상의 모양을 지각하는데 영향을 주지 말아야 한다. 대상의 곡면성에 대한 과소평가의 정도가 관찰거리가 증가함에 따라 증가한다는 실험결과는 대상의 곡면성이 부등곡률이 아닌 추정된 관찰거리에 의해 척도화 된 양안부등에 의존함을 암시한다. 실제 기존의 연구 결과들은 거리의 증가에 비례하여 관찰거리에 대한 추정치가 과소평가되는 정도가 증가한다는 것을 보여 주었다. 또한 이러한 실험결과는 3차원 모양지각이 깊이와 크기지각 다음에 나타나는 이차적인 속성임을 암시한다.

관찰조건은 3차원 모양지각에 영향을 주지 않았다. 실제 이 관찰조건이 실험에 포함된 이유는 만약 모양항상성이 관찰되었을 경우 이것이 부등곡률을 찾아냄으로써 일어난 것인지 아니면 양안부등을 시각지각이 추정된 관찰거리로 척도화 함으로써 일어난 것인지를 구별하기 위한 것이었다. 실제 모양 항상성이 관찰되지 않았지만, 관찰거리에 대한 정보의 많고 적음이 척도화 과정에 영향을 미치지 않았다는 것은 놀라운 일이다. 아마도 녹색과 빨간색 필터를 고정시키기 위해 사용된 입체경 자체가 두 가지 관찰조건 모두에서 주변시에 포함된 정보를 이용하는 것을 한정 시켰을 수 있으며 이것이 두 관찰 조건간의 차이를 감소 시켰을 수 있다. 이러한 가능성을 검증하기 위해 실험2에서는 관찰조건에 대한 통제를 보다 강화 하였다.

실험2

3차원 모양항상성이 관찰되지 않는다는 실험1의 결과는 타원형 반원주체를 사용한 다른 실험들의 결과와 일치한다. 그러나 포물선형의 반원주체(parabolic hemi-cylinder)를 사용한 실험에서는 모양항상성이 관찰 되었으며 (B. Rogers & Cagenello, 1989), 이러한 실험결과는 한 대상의 양안부등 배열 전체에 대하여 동일한 2차 공간미분결과가 나타나도록 하는 포물선형의 곡선모양이 부등곡률 탐지기의 존재가능성을 검증할 수 있는 이상적인 자극임을 암시한다. 이러한 가능성을 검증하기 위해 실험1과 똑같은 실험이

단지 자극을 포물선 형의 자극으로 바꾸어 다시 실시되었다. 실험1에서와 똑같은 방법으로 3차원 모양 항상성의 정도가 측정되었다. 타원형 반원주체에 대하여 관찰되지 않았던 모양 항상성이 포물선형의 반원주체에 대하여 관찰된다면 기존의 연구들 사이에 나타나는 결과들 사이의 모순성은 자연스럽게 풀릴 것이다. 그러나 만약 포물선형의 반원주체에 대하여서도 모양 항상성이 관찰되지 않는다면, 3차원 모양지각은 부등곡률을 탐지하는 것에 의해 이루어지는 것이 아니라고 보아야 한다.

방법

관찰자: 8명의 관찰자들이 자발적으로 참여 하였다. 이들 모두 정상시 혹은 정상 교정시력과 정상 입체시를 지녔다. 모든 관찰자들은 실험가설을 알지 못 하였다.

실험자극 및 장치

실험1에서 사용된 동일한 장치에 의해 생성된 무선 점으로 구성된 스테레오그램들이 사용되었다. 포물선형 반원주체의 표면에 위치한 국소적인 위치의 깊이 값들은 다음 공식에 의하여 결정 되었다.

$$\text{공식 (3)} \quad z = ax^2$$

(이 공식에서, z는 국소적인 위치에서의 깊이이고, x는 포물선형 표면의 정상 점으로부터 의 거리 (그림 2에서 x축의 값)이고, a는 동일한 밀변의 크기에 대하여 각기 다른 곡면성을 나타나게 하는 계수이다). 본 연구에서 관심이 있었던 실험자극은 계수 4를 갖는 포물선형 반원주체 이었는데, 이때 반원주체의 깊이와 높이가 동일 하였다. 관찰자들은, 이러한 포물선형 반원주체를 실험1에서 완벽한 원통형 반원주체에 대하여 '20' 이라고 보고하도록 훈련 받았듯이 41평점 척도상에서 '20' 이라고 보고할 수 있도록 훈련 받았다. 세가지 크기의 포물선형 반원주체가 실험에 사용되었다 (밀변의 크기가 6 cm, 8 cm, 그리고 10 cm). 실험1에서와 똑같은 이유로 유사자극 (foils)들이 사용되었는데, 이는 포물선형의 곡면성을 결정해주는 계수를 1에서 7까지 바꾸어 줌으로써 생성하였고, 이러한 유사자극의 곡면성과 깊이는 아주 평평한 것에서부터 아주 날카롭게 곡면적인 것까지 모두 12가지였다. 포물선형의 반원주체가 원통형의 반원주체 보다 더욱 깊은 깊이를 지녔음을 강조해 둔다.

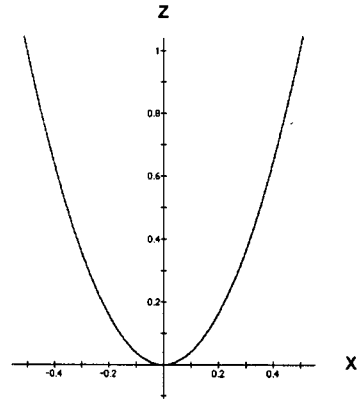


그림 2. 실험2에서 관찰자들은 계수가 4인 ($z=4x^2$) 포물선형 반원주체의 표면을 41평점 척도상에서 20 으로 보고하도록 훈련 받았는데 그림은 이때 사용된 반원주체를 나타낸다. 이 반원주체는 실험1과 3에서 사용된 완벽한 원통형 반원주체에 기능적으로 대응된다 (피험자들은 실험1과 3에서 완벽한 원통형 반원주체에 대해 41평점 척도상 20 으로 보고하도록 훈련 받았다).

설계 및 절차

실험2는 실험1과 똑같은 절차를 사용하여 시행 되었다. 실험1에서와 같이 두 가지 관찰조건과 3가지 관찰거리의 조합인 6개의 블록으로 나뉘어서 실시 되었다. 세 가지 크기의 실험자극 각각이 각각의 블록에 5번씩 반복되어 나타났으며 12개의 유사자극은 3번씩 반복되어 나타났다. 따라서 총 시행 수는 각 블록당 실험자극 15회 유사자극 36회 (합이 51회)였고 실험2 전체로는 306회였다. 관찰자들은 매 시행 모든 자극에 대하여 곡면성을 평가하였으며 그 결과를 41평점척도를 사용하여 보고 하였다. 분석은 실험 자극에 대한 반응에 대하여만 실시 되었다.

두 가지의 관찰조건에서 관찰거리에 대한 정보의 통제를 강화하기 위하여 두 가지 형태의 입체경 (goggle)을 사용하였다. 관찰거리에 대한 정보가 크게 감소된 조건에서는 검은 천으로 입체경의 주변부를 감싸서 제시된 자극이외의 것은 보이지 않도록 하였으며, 관찰거리에 대한 정보가 풍부한 조건에서는 제시된 자극이외의 주변부까지 흰히 보일 수 있도록 투명한 입체경이 사용되었다. 입체경을 사용하는 것 자체가 주변부에 대한 시야를 제한 하지만, 이러한 조작은 두 관찰조건에서의 거리에 대한 정보 차이를 실험1에 비하여 상대적으로 증가 시켰다고 볼 수 있다.

결과

실험2의 데이터는 3 (관찰거리) X 3 (자극의 크기) X 2 (관찰조건) 의 관찰자내 변량분석에 의해 분석되었다. 6가지 조합 각각에서 반복하여 제시된 다섯번의 관찰자들의 반응의 평균값이 계산되었다. 실험1에서와 같이 포물선형 반원주체의 3차원 모양이 체계적으로 왜곡되어 지각되었다. 관찰거리에 대한 정보가 풍부한 조건에서 관찰거리가 90 cm 일 때, 그리고 관찰거리에 대한 정보가 감소된 조건에서 관찰거리가 45 cm일때 포물선형 반원주체는 실제모양에 근사하게 지각되었다. 관찰거리가 증가함에 따라 반원주체의 곡면성은 과소평가 되었는데, 특히 관찰거리가 135 cm일때, 관찰거리에 대한 정보가 감소된 조건에서는 실제 곡면성의 68%로, 그리고 관찰거리에 대한 정보가 풍부한 조건에서는 실제 곡면성의 85%로 지각되었다. 관찰거리의 효과는 통계적으로 유의미 하였으며 ($F(2,14)=13.812, p<.01$), 일차경향성 또한 유의미 하였다 ($F(1,7)=27.535, p<.01$). 그림3은 실험1의 그림1과 비슷한 부적인 기울기를 보여주는데 이는 관찰거리에 따라 3차원 모양이 체계적으로 왜곡되어 지각 되었음을 나타낸다.

관찰거리에 대한 정보가 감소된 조건에서의 포물선형 반원주체의 지각된 곡면성은 관찰거리에 대한 정보가 풍부한 조건에서의 곡면성보다 18% 과소평가 되었다. 이러한 차이는 모든 관찰거리에서 관찰되었으며 관찰조건은 3차원 모양지각에 유의미한 영향을 미쳤다 ($F(1,7)=73.832, p<.01$).

관찰조건과 관찰 거리간의 유의미한 상호작용은 발견되지 않았고 ($F(2,14)=.006, p>.05$). 크기와 관찰거리간의 상호작용은 유의미 하였다 ($F(4,28)=6.841, p<.01$). 특히, 가장 작은 포물선형 반원주체가 다른 두 가지 크기의 반원주체에 비하여 관찰거리 135 cm에서 덜 곡면성을 갖는 것으로 관찰되었고 (contrast, $F(1,7)=13.721, p<.01$), 관찰거리 90 cm에서도 같은 경향성이 발견되었으나 (contrast, $F(1,7)=9.967, p<.01$), 이러한 경향성이 관찰거리 45cm에서는 발견되지 않았다. 그 외의 다른 대비들은 통계적으로 유의미 하지 않았다.

논의

실험1에서와 마찬가지로 3차원 모양항상성이 관찰되지 않은 실험2의 결과는 부등곡률을 탐지함으로써 3차원 모양을 지각한다는 가정이 옳지 않음을 시사한

다. 실험에 사용된 3차원 모양의 특성이 입체시 모양항상성(stereoscopic shape constancy)에 영향을 미치지 않았으며 따라서 본 실험결과는 포물선형 반원주체가 부등곡률 탐지기가 존재하는가를 알아보는 데 가장 이상적인 자극일 것이라는 가정을 지지하지 않는다. 관찰거리 및 관찰조건이 3차원 모양지각에 영향을 미친다는 실험결과는 관찰자가 추정하는 관찰거리가 양안부등을 척도화 하는데 사용되어 깊이지각을 하게 되고 이것이 궁극적으로 3차원 모양지각을 가능케 할 것이라는 것을 강력히 시사한다.

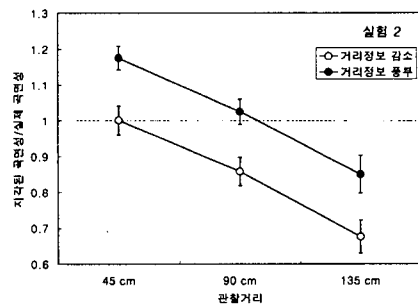


그림 3. 실험2에서 관찰거리 및 관찰조건에 따른 실제 곡면성에 대한 지각된 곡면성의 비율. 비율 1은 지각된 곡면성이 실제 대상의 곡면성과 일치함을 뜻하고, 데이터를 이은 점들이 수평선을 형성하면 이는 모양항상성이 관찰되었음을 뜻한다. 그림에서 점선은 지각된 곡면성이 실제 곡면성과 일치하면서 동시에 모양항상성이 일어났을 경우의 가상적인 데이터의 합수를 나타낸다. 그림에서 오차 막대는 1 표준오차를 나타낸다.

실험3

실험1과 실험2에서는 물리적으로 동일한 (똑같은 크기와 똑같은 모양) 타원형 혹은 포물선형 반원주체가 세 가지의 관찰거리에 각각 제시 되었다. 따라서 두 경우 모두에서, 주어진 자극에 대한 시각도(visual angle)와 양안부등은 관찰거리에 따라 체계적으로 변화 하였다. 이러한 사실들을 관찰자에게 감추기 위하여 다양한 시각도와 양안부등을 갖는 유사자극(foils)이 사용 되었다. 그러나 반원주체들이 거리가 증가함에 따라 점점 덜 곡면적인 것으로 지각되는 경향이 관찰자들이 관찰거리를 과소추정해서가 아니라 시각도 및 양안부등이 관찰거리가 증가함에 따라 점점 더 역치에 근접해서 나타난 결과일 가능성은 아직 남아

있다. 따라서 실험3에서는 세가지 관찰거리에서 동일 시각도를 유지하는 세 가지의 시각도를 갖는 완벽한 원통형의 반원주체가 사용되었다. 따라서, 하나의 시각도를 지니면서 세가지 관찰거리에 제시된 각각의 반원주체들은 망막상에 동일한 크기로 투사된다. 동일한 시각도를 유지하기 위해, 관찰거리가 증가함에 따라 반원주체들의 크기는 물리적으로 증가한다. 만약, 이와같은 실험3의 조건에서도 관찰거리에 따라 반원주체가 체계적으로 왜곡되어 지각된다면, 실험1과 실험2의 결과는 동일한 크기의 반원주체가 제시될 때 수반되는, 관찰거리의 증가에 따른 시각도 및 양안부등이 감소한 결과로 설명될 수 없다.

방법

관찰자: 실험1에 참가한 관찰자들이 자발적으로 참가 하였다. 이들 모두 실험가설을 알지 못하였다.

실험자극 및 장치

실험1에 사용된 것과 비슷한 자극들이 사용되었다.

설계 및 관찰조건

실험설계 및 측정 변인은 실험1에서의 것들과 동일하였다. 세가지 수준의 관찰거리와 두 가지의 관찰조건에서 관찰자가 스테레오그램으로 제시된 관찰자극에 대한 곡면성의 정도를 41평점척도를 사용하여 보고하였다. 한가지 차이점은 실험1에서는 물리적으로 다른 세 가지의 크기를 갖는 자극이 사용 되는데 반하여, 실험3에서는 각각의 관찰거리에서 동일한 시각도를 갖도록 자극이 구성되었으며, 총 세 가지의 시각도 (4도, 5.5도 그리고 7도)에 대하여 실험이 수행되었다. 이러한 조작하에서 반원주체의 크기와 양안부등은 관찰거리에 따라 변하게 되는데, 관찰거리가 두 배가 되면 동일 시각도를 유지하기 위해 반지름은 두 배가 되어야 하며, 양안부등은 반으로 줄어 들게 된다. 예를 들자면, 45 cm의 관찰거리에서 4도의 시각도를 갖는 반원주체는 1.57 cm의 깊이와 반지름을 갖고 이때 최대 양안부등은 0.0052 라디안이 된다. 관찰거리가 90 cm이면, 동일 시각도, 즉 45도를 유지하기 위해 깊이는 3.14 cm가 되어야 하고 이때 양안부등은 0.0026라디안이 된다. 그리고 관찰거리가 135 cm가 되면, 반원주체의 깊이는 4.71 cm가 되어야 하고 양안부등은 0.0017라디안이 된다. 본 실험에서는 관찰거리에 따른 양안부등의 변화가 실험1과 2에 비해 상당히 작았다.

각각의 실험자극은 5번씩 반복되어 제시 되었으며 총 시행 수는 90회 였다 (3X3X2X5). 실험1과 3은 같이 실시 되었는데, 각기 다른 조합의 자극이 무선적으로 뒤섞여서 제시 되었다. 따라서, 실험1에 사용된 270회의 유사자극 시행이 실험3에서도 수행되었다고 보아야 한다. 따라서 실험1과 3의 총 시행 수는 450이었다 (90 + 90 + 270 = 450 시행).

절차

실험1과 3이 함께 수행되었기 때문에, 두 실험의 절차는 동일하였다. 실험1에서의 관찰거리에 대한 정보의 통제가 약하였기 때문에, 그리고 실험1과 3이 함께 수행되었기 때문에 이 변인의 효과가 실험 3 에서는 관찰되지 않을 것으로 기대된다.

결과

데이터는 3 (관찰거리) X 3 (크기) X 2 (관찰조건) 의 관찰자내 변량분석에 의해 분석 되었다. 다섯 번 반복 제시된 각 자극에 대한 관찰자 개개인의 반응의 평균값이 계산되었다.

관찰거리에 따른 3차원 모양의 곡면성이 체계적으로 왜곡되어 지각되었다. 실험1에서와 마찬가지로 물리적으로 완벽한 원통형의 반원주체는 어떤 관찰거리에서도 완벽하게 원통형인 것으로 지각되지 않았다. 관찰거리가 가까운 경우 (45 cm), 지각된 3차원 모양의 곡면성이 완벽한 원통형에 가까웠으나, 관찰거리가 증가함에 따라 실제 원통형의 곡면성이 감소되어 지각되었으며, 135 cm의 관찰거리에서 지각된 곡면성은 실제 곡면성의 75%에 불과 하였다. 관찰거리의 효과는 통계적으로 유의미 하였으며 ($F(2,20)=7.449, p<.01$), 일차경향성 또한 유의미 하였다 ($F(1,10)=14.994, p<.01$).

실험1에서와 마찬가지로 두 관찰조건 간의 차이는 유의미 하지 않았다 ($F(1,10)=.012, p>.05$). 관찰조건과 관찰거리사이의 상호작용은 통계적 유의미성에 상당히 근접하였다 ($F(2,20)=3.253, p=.0598$). 그림4에 나타나 있듯이 관찰거리에 대한 정보가 감소된 조건에서 세가지 관찰거리에 대한 효과가 줄어드는 경향을 보인다.

3차원 표현에 대한 관찰자의 시각도는 3차원 모양의 곡면성 지각에 통계적으로 유의미한 영향을 미쳤다 ($F(2,20)=8.31, p<.01$). 가장 큰 시각도 (7도)를 갖는 자극에 대하여 지각된 곡면성은 실제자극의 곡면성에 상당히 근접하였다 ($M=.91$). 그러나 작은 시

각도를 갖는 자극에 대한 곡면성 지각은 큰 시각도를 갖는 자극에 비하여 상당히 낮았다 (4도의 시각도를 갖는 자극에 있어서 $M=.84$, contrast $F(1,10)=15.274$, $p<.01$; 5.5도의 시각도를 갖는 자극에 있어서 $M=.86$, contrast $F(1,10)=9.063$, $p<.01$). 4도와 5.5도의 시각도를 갖는 두 자극에 대한 곡면성지각에는 유의미한 차이가 발견되지 않았다. 또한 시각도와 관찰거리사이의 유의미한 상호작용 효과가 발견되었다 ($F(4,40)=5.228$, $p<.01$). 그림5를 잘 살펴 보면 이러한 결과가 가까운 관찰거리 (45 cm)에서 7도의 시각도를 갖는 자극의 곡면성이 과도하게 지각되고 (M=1.044) 4도나 5.5도의 시각도를 갖는 자극의 곡면성이 과소하게 지각된다는 (각각 $M=.9$ 와 $M=.93$) 사실에 근거한 것임을 알 수 있다. 이 둘 간의 대비 효과는 통계적으로 유의미 하였다 ($F(1,10)=27.626$, $p<.01$).

논의

실험1과 실험2에서 관찰된 관찰거리에 따른 체계적인 3차원 모양지각의 왜곡이 본 실험에서도 발견되었다. 3차원 반구가 멀리 떨어져 있으면 있을수록 곡면성이 과소 평가 되었다. 중요한 것은 지각적 왜곡의 정도가 실험1과 실험2에서 관찰된 것과 상당히 유사하다는 점이다. 가까운 관찰거리 (45 cm)에서는 지각적 왜곡이 상당히 적게 일어나 실제 곡면성에 가깝게 지각 되었고 먼 관찰거리 (135 cm)에서는 실제 곡면성의 75%정도로 과소평가되어 지각되었다. 실험3에서, 망막상에 맺힌 자극의 크기(retinal size)가 관찰거리에 비례하여 작아지지 않고 동일하게 유지되었다는 점을 고려할 때, 실험1과 실험2에서 발견된 결과, 즉 지각된 곡면성이 관찰거리에 비례하여 작아진다는 실험결과는 자극이 망막상에 작게 맺혔기 때문이라는 것으로 설명될 수 없다.

그러나 망막상에 맺히는 자극의 크기가 3차원 모양의 곡면성 지각에 어느 정도 영향을 미친다는 것이 관찰 되었다. 가까운 관찰거리에서 망막상에 크게 맺히는 자극 (시각도 7도)에 대한 곡면성이 작은 망막상의 크기를 갖는 자극 (시각도 4도와 5.5도)에 대한 곡면성보다 약간 크게 지각되었다. 이러한 실험결과는 여러 가지로 설명될 수 있겠지만 일단 이중 하나의 설명은 설명력이 약한 것 같다. 망막에 맺힌 상의 크기는 종종 거리 지각에 영향을 주는 것으로 알려져 왔다 (Collet, Schwartz 과 Sobel, 1991; Epstein, 1969). 만약 이와 같은 것이 본 실험에서 일어 났다

면, 작은 시각도를 갖는 자극은 멀리 있는 것으로 그리고 큰 시각도를 갖는 자극은 가까이 있는 것으로 지각될 것이다. 그러나 과소 추정된 거리가 동일한 양안부동에 대한 척도화에 적용될 경우 적은 깊이 값으로 환산될 것이고 이는 본 실험에서 관찰되는 것보다 곡면성이 더 과소평가 되어 나타나야만 한다.

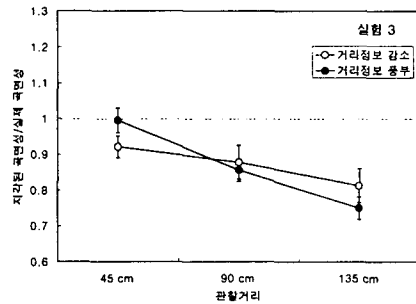


그림 4. 실험3에서 관찰거리 및 관찰조건에 따른 실제 곡면성에 대한 지각된 곡면성의 비율. 비율 1은 지각된 곡면성이 실제 대상의 곡면성과 일치함을 뜻하고, 데이터를 이은 점들이 수평선을 형성하면 이는 모양항상성이 관찰되었음을 뜻한다. 그림에서 점선은 지각된 곡면성이 실제 곡면성과 일치하면서 동시에 모양항상성이 일어났을 경우의 가상적인 데이터의 함수를 나타낸다. 그림에서 오차 막대는 1 표준오차를 나타낸다.

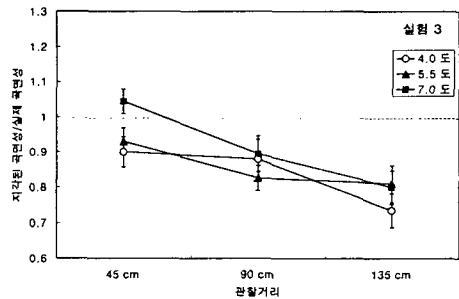


그림 5. 실험3에서 관찰거리 및 자극에 대한 시각도에 따른 실제 곡면성에 대한 지각된 곡면성의 비율. 비율 1은 지각된 곡면성이 실제 대상의 곡면성과 일치함을 뜻하고, 데이터를 이은 점들이 수평선을 형성하면 이는 모양항상성이 관찰되었음을 뜻한다. 그림에서 점선은 지각된 곡면성이 실제 곡면성과 일치하면서 동시에 모양항상성이 일어났을 경우의 가상적인 데이터의 함수를 나타낸다. 그림에서 오차 막대는 1 표준오차를 나타낸다.

더욱이 본 실험에서 얻어진 시각도 효과는 전적으로 가까운 관찰거리 (45cm)에 제시된 큰 시각도를 갖는 자극 (7도의 시지각을 갖는 자극)에 대한 반응에 기인한다. 따라서, 망막상에 작은 크기를 맺게 하는 자극 자체가 양안부등을 찾아내기 힘들게 한다는 증거가 될 수 없다.

끝으로 실험3의 결과는, 실험1과 실험2에서 발견된 것처럼 관찰거리에 따라 체계적으로 곡면성이 왜곡되어 지각되는 것이 양안부등이 관찰거리의 제곱에 비례하여 급속하게 작아진다는 사실에 기인하지 않는다는 것을 시사한다. 앞서의 실험들에서 가장 큰 곡면성 왜곡이 가장 먼 관찰거리 (135 cm)에서 주로 발견되었는데 아마도 이 근처에서 양안부등은 이를 일관성 있게 지각할 수 있는 역치 근처에 있었을 수 있다. 본 실험에서는 관찰거리에 관계없이 자극의 시각도를 동일 하게 유지 하기 위하여 관찰거리가 증가함에 따라 반원주체의 반지름도 증가하여 양안부등은 실험1과 실험2에 비해 관찰거리에 따라 덜 급속하게 감소 하였다. 그러나 본 실험에서 관찰된 관찰거리의 증가에 따른 지각된 곡면성의 감소 정도는 실험1과 실험2에서 발견된 곡면성의 감소정도와 매우 유사 하였다. 이러한 결과는 관찰거리 자체가 지각된 깊이 혹은 곡면성에 대한 중요한 변인임을 시사한다.

종합논의 및 결론

본 논문의 모든 실험에서 관찰거리에 따라 3차원 모양의 곡면성이 체계적으로 왜곡되어 지각되었다. 양안부등에 의해 모사된 타원형 반원주체와 포물선형 반원주체가 관찰자로부터 멀어지거나 혹은 가까워 지는가에 따라 지각된 모양이 변화 하였다. 예를 들자면 완벽한 원통형 반원주체가 성인의 팔 길이 정도 바깥에 놓여지면 실제의 곡면성보다 덜 곡면적인 것으로 지각되었다.

이러한 지각적 왜곡은 시각기계가 양안부등의 배열을 공간적으로 2차 미분한 것 즉 부등곡률을 추출해 낼 것이라는 가정과 일치 하지 않는다. 이러한 가정에 의하면 흔히 우리가 일상생활에서 암묵적으로 가정하는 3차원 모양항상성이 일어나야 하지만, 본 실험과 이전의 실험들에서 관찰되듯 오히려 지각적 왜곡이 관찰 되었다.

3차원 모양지각에 대한 또 다른 가정은 일단 국소적인 위치의 모든 양안부등이 탐지되고 이것이 관찰자가 추정하는 대상으로 부터의 거리에 의해 척도화 된다는 것이다. 본 논문의 세 실험 모두에서의 관찰

거리의 변화 및 실험2에서의 관찰거리에 대한 정보의 변화가 지각된 3차원 모양의 곡면성에 영향을 준다는 것은 이러한 가정과 일치한다.

관찰거리에 따라 3차원 모양이 왜곡되어 지각된다는 것은 우리의 일상생활 경험과 일치 하지 않는 것 같다. 그러나 본 논문에서 3차원 모양은 단지 양안부등에 의하여 정의 되었음을 주목해야 한다. 일상생활에 존재하는 실제 대상들은 이들의 3차원 모양에 대한 다른 많은 정보들을 제공한다: 예들 들자면, 그림자, 문양변화율, 운동시차등등. 실제, Cutting과 Vishton (1995)은 3차원 공간에 존재하는 연속적인 표면구조의 지각은 다양한 정보의 조합에 의존하며, 어떤 정보가 유용하게 사용되는가는 표면과 관찰자와의 거리에 따라 변한다고 제안하였다. 본 논문은 망막상에 나타나는 양안부등정보는 관찰자 주위의 제한된 범위 안에서만 3차원 모양에 대한 유용한 정보로 사용될 수 있으며, 이 범위 밖에서는 이러한 정보의 가치가 크게 떨어진다는 것을 보여 준다.

참고문헌

- Collett, T.S., Schwartz, U. & Sobel, E.C. (1991). The interaction of oculomotor cues and stimulus size in stereoscopic depth constancy. *Perception*, 20, 733-754.
- Cormack, R. (1984). Stereoscopic depth perception at far viewing distances. *Perception & Psychophysics*, 35, 423-428.
- Cutting, J.E. & Vishton, P.M. (1995). Perceiving layout and knowing distances: The integration, relative potency, and contextual use of different information about depth. In W. Epstein and S. Rogers (Eds). *Perception of Space and Motion* (pp. 69-117). San Diego: Academic Press.
- Durgin, F.H., Proffitt, D.R., Olson, T.J. & Reinke, K.S. (1995). Comparing depth from binocular disparity with depth from motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 6739-6799.
- Epstein, W. (1969). Size and distance judgments under reduced conditions of viewing. *Perception & Psychophysics*, 6 (5), 269-272.
- Foley, J.M. (1967). Disparity increase with convergence for constant perceptual criteria.

- Perception & Psychophysics*, 2, 605-608.
- Foley, J.M. (1980). Binocular distance perception. *Psychological Review*, 87 (5), 411-434.
- Foley, J.M. & Richards, W. (1972). Effects of voluntary eye movement and convergence on the binocular appreciation of depth. *Perception & Psychophysics*, 11, 423-427.
- Glennester, A., Rogers, B.J. & Bradshaw, M.F. (1994). The effects of different cues and the observer's task in stereoscopic depth constancy. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 35 (4), 2112.
- Jain, R.A., Tsina, L. & Durgin, F.H. (1997). Stereoscopic 3-D shape constancy with real objects in the real world: effects of contextual disparity contrast. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 38, S904.
- Johnston, E.B. (1991). Systematic distortions of shape from stereopsis. *Vision Research*, 31, 1351-1360.
- Koenderink, J.J. & Van Doorn, A.J. (1976). Geometry of binocular vision and a model for stereopsis. *Biological Cybernetics*, 21, 29-35.
- Marr, D., & Poggio, T.A. (1979). A computational theory of human stereo vision. *Proceedings of the Royal Society of London*, 204, 301-328.
- Ogle, K.N. (1950). *Researches in binocular vision*. Philadelphia: Sanders.
- Ono, H. & Comerford, J. (1977). Stereoscopic depth constancy. In W. Epstein (Ed.), *Stability and constancy in visual perception: Mechanisms and processes*. New York: Wiley.
- Ritter, M. (1977). Effect of disparity and viewing distance on perceived depth. *Perception and Psychophysics*, 22, 400-407.
- Rogers, B.J. & Cagenello, R.B. (1989). Disparity curvature and the perception of three-dimensional surfaces. *Nature*, 339, 135-137.
- Rogers, B.J., Cagenello, R.B. & Rogers, S. (1987). Simultaneous contrast effects in stereoscopic surfaces: The role of tilt, slant, and surface discontinuities. *Perception*, 16 (2), 251, A27.
- Rogers, S., Li, H.-C. & Dannemiller, J.D. (1995). Scaling, not disparity curvature, explains 3-D shape perception. *Investigative Ophthalmology and Visual Science* (Supplement), 36 (4), 185.
- Sedgwick, H.A. (1986). Space perception. In K. Boff, L. Kaufman & J. Thomas (Eds.), *Handbook of Perception and Human Performance* (Ch. 21, pp 1-57). New York: Wiley.
- Tittle, J.S., Todd, J.T., Perotti, V.J. & Norman, J.F. (1995). The systematic distortion of perceived 3D structure from motion and binocular stereopsis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 663-678.
- Todd, J.T. & Norman, J.F. (November, 1995). Distortions of perceived 3-D structure in natural vision. Presented at the 36th annual meeting of the Psychonomic Society, Los Angeles.
- Todd, J.T. & Reichel, F.D. (1989). Ordinal structure in the visual perception and cognition of smoothly curved surfaces. *Psychological Review*, 96, 643-657.
- Wallach, H., Frey, K.J. & Bode, K.A. (1972). The nature of adaptation in distance perception based on oculomotor cues. *Perception & Psychophysics*, 11, 110-116.