

기술 특 집

3차원 모양 항상성의 휴먼팩터 : 정신물리학적 접근

이 형 철 (광운대학교 산업심리학과)

I. 서 론

3D 디스플레이 기술에서 궁극적으로 추구하고자 하는 것은 세상에 존재하는 3차원 대상의 모양과 깊이를 현실감 있게 시청자에게 전달하는 것이다. 만약, 세상에 존재하는 3차원 대상의 깊이가 Z인 경우에, 이 대상을 영상매체를 통하여 관찰자에게 전달했을 때에 관찰자가 이 대상의 깊이를 Z로 지각한다면 아주 이상적인 3차원 영상 디스플레이 기술이라고 할 수 있으며, 3차원 깊이 항상성이 이와 같은 영상 디스플레이 기술에 의해 구현되었다고 말할 수 있다. 3차원 모양은 넓이, 높이 그리고 깊이, 이 세 차원의 비로써 정의할 수 있는데, 외부 세상에 존재하는 대상의 모양이 3차원 영상 디스플레이 시스템에 의해 획득되어 영상매체를 통하여 관찰자에게 전달되고 관찰자가 이 대상의 모양을 외부세계에 존재하는 형태로 그대로 지각한다면 이 3차원 영상 디스플레이 시스템은 3차원 모양항상성을 구현하였다고 볼 수 있다. 3D 디스플레이의 3차원 모양 항상성 구현에 있어서 간과되어서는 안 될 것은 인간시각체계의 3차원 모양 지각 특성이다. 설령, 디스플레이 자체는 외부세계에 존재하는 광학적 속성을 제대로 전달하도록 설계되어 있을지라도, 인간 시각체계가 디스플레이에 의해 전달되는 광학정보를 안정적으로 처리하지 못하면 최종적인 3차원 모양항상성은 구현되지 못할 수 있다. 따라서, 인간의 3차원 모양 정보처리 특성을 연구하여 이 특성을 3D 디스플레이 개발시에 휴먼팩터로써 이용하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 3차원 모양 항상성에 대한 인간의 시각특성이 어떻게 연구되는지를 정신물리학적 연구방법론을 중심으로 소개하고자 한다.

II. 3차원 모양항상성에 대한 기존 연구

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 존재하

는 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 특정 대상의 “3차원 모양”을 어떻게 지각하는가에 대한 연구는 그리 많지 않았다. 한 대상의 모양(예를 들자면, 부드럽게 굽은 모양이라든지, 평평한 모양이라든지, 혹은 지붕모양이라든지)은 국소적인 부분에서의 깊이 및 크기와 같은 일차적인 지각속성으로부터 도출되는 이차적인 지각속성으로 간주될 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 기제에 의하여 추정된 거리에 의해 척도화되거나 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 scaling 함으로써 계산된다. 이를 공식으로 표현하면 다음과 같다: $d = (\delta \times D^2) / I$ (d : 두 점을 분리하는 깊이, d : 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 기제에 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 제2의 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 구해질 수 있다는 것이다. Rogers와 Cagenello(1989)는 양안부등을 공간적으로 2차 미분한 “부등곡률(disparity curvature)”이라고 하는 고차원적인 광학구조를 제안하였다. 이들에 의하면, 시지각 기제가 3차원 모양지각 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 관찰거리 따라 변하지 않으며(invariant) 따라서, 관찰거리에 의해 척도화될 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.

III. 3차원 모양 항상성에 관한 휴먼팩터 : 정신물리학적 연구

본 논문에서 소개할 일련의 실험들은 3차원 모양항상성이 얼마나 성공적으로 일어나는지 관찰하고 동시에 두 개의 독립되는 이론, 즉 척도화 과정과 부등곡률에 의해 불변하는 모양을 찾아낸다는 두 이론들을 검증하고자 설계되었다. 본 논문에 소개된 두 가지 실험 모두에서, 양안부등정보를 사용하여 모사한 반원주체(hemi-cylinders)가 물리적으로 다른 세 가지 관찰 거리에 제시되었다. 거리지각에 관한 앞선 연

구들에 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 추정오류는 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 변화시키는 것은 3차원 모양지각 및 3차원 모양항상성에 아무런 영향을 주지 않을 것이다.

<실험 1>

입체시 3차원 모양항상성이 일어나는 정도를 알아보기 위하여 피험자로 하여금 세가지 다른 관찰 거리에 놓인 동일한 3차원 대상(예: 옆으로 쓰러뜨린 콜라캔)의 곡면성(curvature)을 판단토록 하였다. 실험 1에서는 각기 다른 크기를 갖는 세 가지의 반원주체(circular hemi-cylinder)가 사용되었다. 각각의 반원주체의 물리적인 모양과 크기가 관찰 거리에 따라 변하지 않고 동일하게 유지되었기 때문에 각각의 반원주체에 대한 시각도(visual angle)와 양안부등은 관찰 거리에 따라 자연스럽게 변화하였다. 시각도는 관찰 거리가 증가하는 비율로 감소하였으며, 양안부등은 거리의 제곱에 반비례하여 감소하였다.

① 방 법

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

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 제시되었다. 해상도는 640×480이었고 주사율(refresh rate)은 60Hz였다. 피험자들은 스테레오그램을 보기위해 입체경(goggle)을 착용하였다(이 입체경의 왼쪽과 오른쪽은 각각 녹색과 빨간색의 필터로 구성되었다). 모든 스테레오그램은 검정색을 배경으로 한 수평의 불룩한 반원주체 들이었고, 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 생성되었다.

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

(여기에서, z 는 x 좌표에서의 깊이, a 는 타원형 반원주체의 높이의 1/2, 그리고 b 는 이 반원주체의 반지름 혹은 깊

이 : 만약 $a=b$ 일 경우 이는 원통형 반원주체(circular hemi-cylinder)가 된다. 양안부등값은 다음과 같은 공식에 의하여 결정되었다.

$$\text{공식 (2)} \quad d=Iz/(D(D-z))$$

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

② 실험설계 및 관찰조건

모든 실험조건이 개개의 피험자 모두에게 제시되었다. 세 가지 관찰거리는 45cm, 90cm, 그리고 135cm이었다. 반원주체 자극은 수평으로 누어진 상태로 제시되었으며, 10cm 넓이에 반지름은 2cm, 4cm, 혹은 6cm이었다. 스테레오그램은 두 가지 관찰조건(관찰거리에 대한 정보가 풍부한 조건과 관찰거리에 대한 정보가 감소된 조건)에서 관찰되었다. 이 모든 조건들의 가능한 조합 각각은 5번 반복되어 제시되어, 총시행 수는 90회였다($3 \times 3 \times 2 \times 5$).

철제 레일 위에서 쉽게 움직일 수 있는 미끄럼대 위에 모니터를 올려 놓고 이 미끄럼대를 관찰자로부터 멀리 혹은 관찰자에게 가까이 움직임으로써 관찰거리를 조작하였다. 실험도중 관찰자의 머리가 움직이는 것을 최소화하기 위해 관찰자의 머리를 턱 받침대에 고정하였다. 관찰거리에 대한 정보가 최소화된 조건에서는 실험실의 불빛을 끄고 모니터와 관찰자 사이는 검은 천으로 터널을 만들어서 모니터 주위, 그리고 모니터와 관찰자 사이의 공간들이 보여지지 않도록 하였다. 반면, 관찰거리에 대한 정보가 풍부한 조건에서는 방안의 불빛을 밝게 하고 터널을 걷어내어 주어진 자극뿐 아니라 모니터 주위 및 모니터와 관찰자 사이의 공간이 관찰자에게 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 제시되지 않았다.

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

③ 종속변인

관찰자의 과제는 41평점 척도를 이용하여 모니터에 제시된 각각의 반원주체에 대하여 지각된 3차원 모양을 보고하는 것이었다. 41평점 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 계산되었고, 따

라서 만약 관찰자가 모니터에 제시된 자극의 3차원 모양을 제대로 지각하였다면, 이 비율은 1이 된다. 1 이상의 비율은 실제 제시된 자극의 곡면성보다 더 과장되게 곡면성을 지각하였음을 뜻하며, 1 이하의 비율은 실제 자극의 곡면성을 과소평가하여 지각하였음을 뜻한다.

본 실험 전에 관찰자들은 41평점 척도를 어떻게 사용하는지를 57cm에 제시된 10개의 각기 다른, 그러나 실제 실험에서는 사용되지 않은 자극에 대하여 훈련받았다. 연습에 사용된 자극들은 3개의 기본 자극을 포함하였으며 이는 41평점 척도상에서는 '3'에 해당하는, 깊이 대 넓이의 비율이 0.24인 아주 평평한 반원주체, '20'에 해당하는 완벽한 원통형 반원주체, 그리고 '37'에 해당하는 깊이대 넓이의 비율이 3.82인 반원주체였다.

④ 절차

실험은 관찰자 개개인에 대해 개별적으로 실시되었다. 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 돌아왔다. 실험은 두 가지 관찰조건과 세 가지 관찰거리 조건의 조합인 6 블록에 걸쳐 실시되었고 각 블록에 대해 데이터가 모집되었다. 블록의 순서는 관찰자 각각에 대하여 무선적으로 결정되었다. 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 41평점 척도를 사용하여 제시된 자극의 곡면성을 평가하는 데에 이론상 무제한의 시간이 허용되었다. 관찰자가 곡면성을 구두로 보고한 것을 실험자가 컴퓨터에 입력하면 다음 자극이 자동적으로 제시되었다.

⑤ 결과

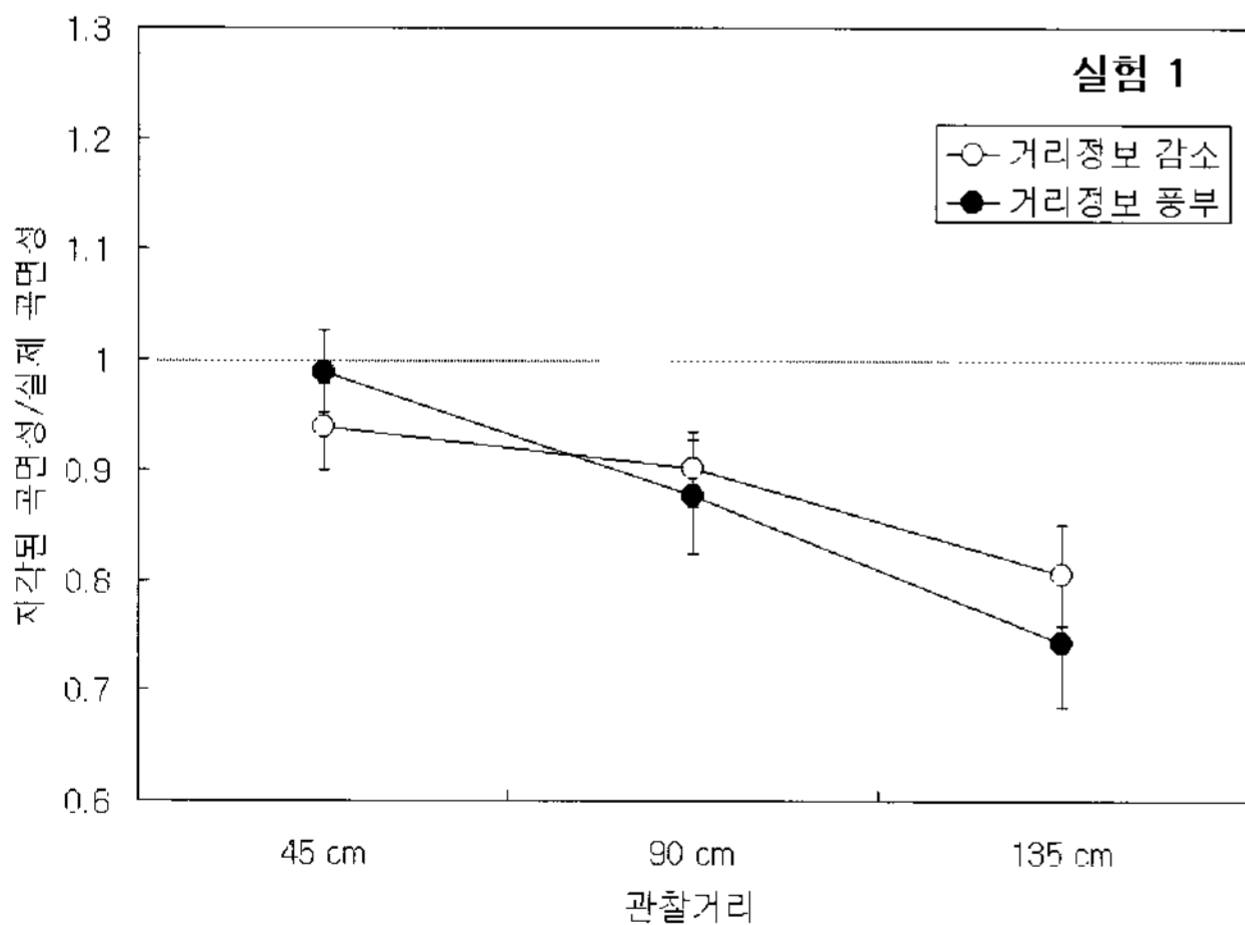
관찰자들은 가장 작은 크기의 자극들에 대해, 특히 이들이 가장 먼 관찰거리(90cm)에 놓여 있을 때에 이들의 모양을 판단하기 힘들다고 보고하였다. 따라서, 가장 작은 크기의 자극에 대하여 모집된 데이터는 분석에서 제외되었다. 결국 데이터는 3(관찰거리) \times 2(크기) \times 2(관찰조건)의 관찰자내 변량분석(repeated measure)으로 분석되었다. 각각의 자극에 대한 다섯번의 관찰자의 반응에 대하여 각 조건별로 평균값이 계산되었다.

관찰자들이 보고한 3차원 곡면성은 체계적으로 왜곡되었다. 반원주체들은 모든 조건에서 완벽한 원통형 반원주체로 지각되지 않았다. 가까운 관찰거리(45cm)에서는 보고된 곡면성이 어느 정도 실제 곡면성과 일치하였으나, 관찰거리가 증가함에 따라 보고된 곡면성은 실제 곡면성보다 과소 평가되었고 그 감소 정도는 관찰거리 135cm에서 75%에 불과하였다. 관찰거리에 대한 주효과는 통계적으로 유의미하였으

며 ($F(1, 10)=5.876, p<.01$), 관찰거리가 증가함에 따라 지각된 곡면성이 점차 감소하는 일차선형 경향성이 발견되었다($F(1, 10)=11.587, p<.01$). [그림 1]은 실제 곡면성에 대한 지각된 곡면성을 관찰거리에 따라 나타낸 것이다. 만약 3차원 모양항상성이 일어났다면, [그림 1]에서 관찰된 데이터를 잇는 함수는 수평이어야 한다(만약, 실제 모양에 대한 지각이 제대로 되었다면 이 함수는 1을 지나는 수평선이어야 한다). [그림 1]에서 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 크기에 대한 효과도 발견되지 않았다.

⑥ 논의

모양항상성이 관찰되지 않는다는 실험결과는 부등곡률을 찾아냄으로써 3차원 모양을 지각한다는 가정이 옳지 않음을 의미한다. 부등곡률은 관찰거리와 관계없이 정의되며, 따라서 대상과 관찰자간의 거리를 변화시키는 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.



[그림 1] 실험 1에서 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 가상의 데이터의 함수를 나타낸다. 그림에서 오차 막대(error bar)는 1 표준오차(standard error)를 나타낸다.

관찰조건은 3차원 모양지각에 영향을 주지 않았다. 실제 이 관찰조건이 실험에 포함된 이유는 만약 모양항상성이 관찰되었을 경우 이것이 부등곡률을 찾아냄으로써 일어난 것인지 아니면 양안부등을 시각기제가 추정한 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 한정시켰을 수 있으며 이것이 두 관찰 조건간의 차이를 감소시켰을 수 있다. 이러한 가능성을 검증하기 위해 실험 2에서는 관찰조건에 대한 통제를 보다 강화하였다.

<실험 2>

3차원 모양항상성이 관찰되지 않는다는 실험 1의 결과는 타원형 반원주체를 사용한 다른 실험들의 결과와 일치한다. 그러나 포물선형의 반원주체(parabolic hemi-cylinder)를 사용한 실험에서는 모양항상성이 관찰되었으며(B. Rogers & Cagenello, 1989), 이러한 실험결과는 한 대상의 양안부등 배열 전체에 대하여 동일한 2차 공간미분결과가 나타나도록 하는 포물선형의 곡선모양이 부등곡률 탐지기의 존재 가능성을 검증할 수 있는 이상적인 자극임을 암시한다. 이러한 가능성을 검증하기 위해 실험 1과 똑같은 실험이 단지 자극을 포물선형의 자극으로 바꾸어 다시 실시되었다. 실험 1에서와 똑같은 방법으로 3차원 모양항상성의 정도가 측정되었다. 타원형 반원주체에 대하여 관찰되지 않았던 모양항상성이 포물선형의 반원주체에 대하여 관찰된다면 기존의 연구들 사이에 나타나는 결과들 사이의 모순성은 자연스럽게 풀릴 것이다. 그러나 만약 포물선형의 반원주체에 대하여서도 모양항상성이 관찰되지 않는다면, 3차원 모양지각은 부등곡률을 탐지하는 것에 의해 이루어지는 것이 아니라고 보아야 한다.

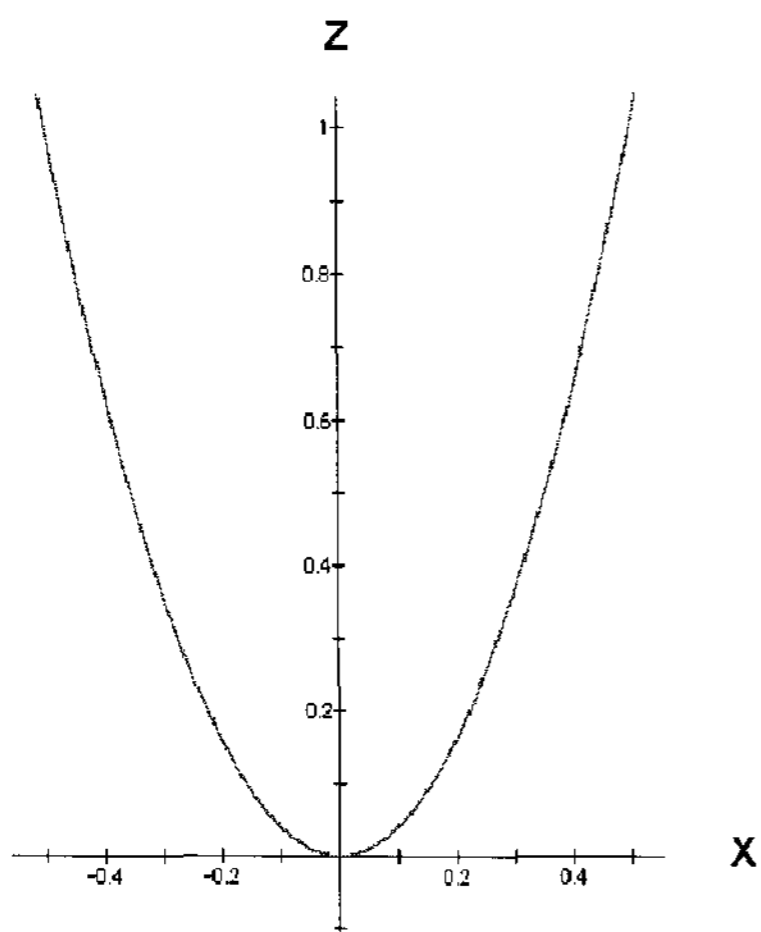
① 방법

관찰자 : 8명의 관찰자들이 자발적으로 참여하였다. 이들 모두 정상시 혹은 정상 교정시와 정상 입체시를 지녔다. 모든 관찰자들은 실험가설을 알지 못하였다.

실험자극 및 장치 : 실험 1에서 사용된 동일한 장치에 의해 생성된 무선점으로 구성된 스테레오그램들이 사용되었다. 포물선형 반원주체의 표면에 위치한 국소적인 위치의 깊이 값들은 다음 공식에 의하여 결정되었다.

$$\text{공식 (3)} \quad z=ax^2$$

(이 공식에서, z는 국소적인 위치에서의 깊이이고, x는 포물선형 표면의 정상점으로부터의 거리 ([그림 2]에서 x축의 값)이고, a는 동일한 밑변의 크기에 대하여 각기 다른 곡면성을 나타나게 하는 계수이다). 본 연구에서 관심이 있었던 실험자극은 계수 4를 갖는 포물선형 반원주체이었는데, 이때 반원주체의 깊이와 높이가 동일하였다. 관찰자들은, 이러한 포물선형 반원주체를 실험 1에서 완벽한 원통형 반원



[그림 2] 실험 2에서 관찰자들은 계수가 4인($z=4x^2$) 포물선형 반원주체의 표면을 41평점 척도상에서 '20'으로 보고하도록 훈련받았는데 그림은 이때 사용된 반원주체를 나타낸다. 이 반원주체는 실험 1과 3에서 사용된 완벽한 원통형 반원주체에 기능적으로 대응된다(피험자들은 실험 1과 3에서 완벽한 원통형 반원주체에 대해 41평점 척도상 '20'으로 보고하도록 훈련받았다)

주체에 대하여 '20'이라고 보고하도록 훈련받았듯이 41평점 척도상에서 '20'이라고 보고할 수 있도록 훈련받았다. 세 가지 크기의 포물선형 반원주체가 실험에 사용되었다(밑변의 크기가 6cm, 8cm, 그리고 10cm). 실험 1에서와 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.

② 설계 및 절차

실험 2는 실험 1과 똑같은 절차를 사용하여 시행되었다. 실험 1에서와 같이 두 가지 관찰조건과 3가지 관찰거리의 조합인 6개의 블록으로 나뉘어서 실시되었다. 세 가지 크기의 실험자극 각각이 각각의 블록에 5번씩 반복되어 나타났으며 12개의 유사자극은 3번씩 반복되어 나타났다. 따라서 총 시행 수는 각 블록 당 실험자극 15회 유사자극 36회(합이 51회)였고 실험 2 전체로는 306회였다. 관찰자들은 매 시행 모든 자극에 대하여 곡면성을 평가하였으며 그 결과를 41평점 척도를 사용하여 보고하였다. 분석은 실험자극에 대한 반응에 대하여만 실시되었다.

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 제한하지만, 이러한 조작용은 두 관

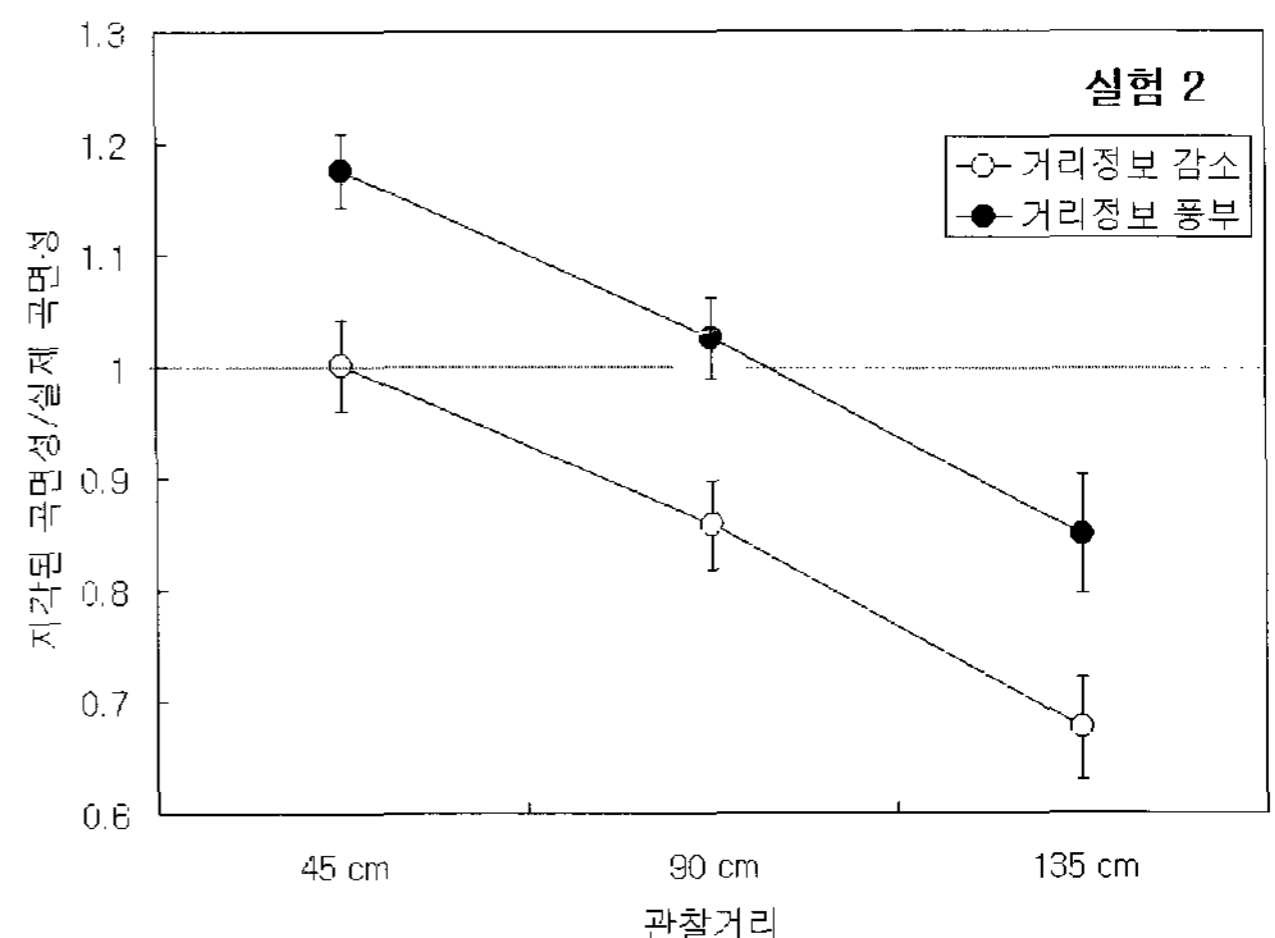
찰조건에서의 거리에 대한 정보 차이를 실험 1에 비하여 상대적으로 증가시켰다고 볼 수 있다.

③ 결과

실험 2의 데이터는 3(관찰거리) × 3(자극의 크기) × 2(관찰조건)의 관찰자내 변량분석에 의해 분석되었다. 6가지 조합 각각에서 반복하여 제시된 다섯번의 관찰자들의 반응의 평균값이 계산되었다. 실험 1에서와 같이 포물선형 반원주체의 3차원 모양이 체계적으로 왜곡되어 지각되었다. 관찰거리에 대한 정보가 풍부한 조건에서 관찰거리가 90cm일 때, 그리고 관찰거리에 대한 정보가 감소된 조건에서 관찰거리가 45cm일 때 포물선형 반원주체는 실제모양에 근사하게 지각되었다. 관찰거리가 증가함에 따라 반원주체의 곡면성은 과소평가 되었는데, 특히 관찰거리가 135cm일 때, 관찰거리에 대한 정보가 감소된 조건에서는 실제 곡면성의 68%로, 그리고 관찰거리에 대한 정보가 풍부한 조건에서는 실제 곡면성의 85%로 지각되었다. 관찰거리의 효과는 통계적으로 유의미하였으며($F(2, 14)=13.812, p<.01$), 일차경향성 또한 유의미하였다($F(1, 7)=27.535, p<.01$). [그림 3]은 실험 1의 [그림 1]과 비슷한 부적인 기울기를 보여주는데 이는 관찰거리에 따라 3차원 모양이 체계적으로 왜곡되어 지각되었음을 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 모양 지각에 유의미한 영향을 미쳤다($F(1, 7)=73.832, p<.01$).

관찰조건과 관찰거리간의 유의미한 상호작용은 발견되지 않았고($F(2, 14)=.006, p>.05$), 크기와 관찰거리간의 상



[그림 3] 실험 2에서 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 가상의 데이터의 함수를 나타낸다. 그림에서 오차 막대는 1 표준오차를 나타낸다.

호작용은 유의미하였다($F(4, 28)=6.841, p<.01$). 특히, 가장 작은 포물선형 반원주체가 다른 두 가지 크기의 반원주체에 비하여 관찰거리 135cm에서 덜 곡면성을 갖는 것으로 관찰되었고(contrast, $F(1, 7)=13.721, p<.01$), 관찰거리 90cm에서도 같은 경향성이 발견되었으나(contrast, $F(1, 7)=9.967, p<.01$), 이러한 경향성이 관찰거리 45cm에서는 발견되지 않았다. 그 외의 다른 대비들은 통계적으로 유의미하지 않았다.

④ 논 의

실험 1에서와 마찬가지로 3차원 모양항상성이 관찰되지 않은 실험 2의 결과는 부등곡률을 탐지함으로써 3차원 모양을 지각한다는 가정이 옳지 않음을 시사한다. 실험에 사용된 3차원 모양의 특성이 입체시 모양항상성(stereoscopic shape constancy)에 영향을 미치지 않았으며 따라서 본 실험결과는 포물선형 반원주체가 부등곡률 탐지기가 존재하는가를 알아보는데 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.

IV. 결 론

본 논문의 모든 실험에서 관찰거리에 따라 3차원 모양의 곡면성이 체계적으로 왜곡되어 지각되었다. 양안부등에 의해 모사된 타원형 반원주체와 포물선형 반원주체가 관찰자로부터 멀어지는가 혹은 가까워지는가에 따라 지각된 모양이 변화하였다. 예를 들자면 완벽한 원통형 반원주체가 성인의 팔 길이 정도 바깥에 놓여지면 실제의 곡면성보다 덜 곡면적인 것으로 지각되었다. 이러한 지각적 왜곡은 시각기제가 양안부등의 배열을 공간적으로 2차 미분한 것 즉 부등곡률을 추출해 낼 것이라는 가정과 일치하지 않는다. 이러한 가정에 의하면 흔히 우리가 일상생활에서 암묵적으로 가정하는 3차원 모양항상성이 일어나야 하지만, 본 실험과 이전의 실험들에서 관찰되듯 오히려 지각적 왜곡이 관찰되었다.

3차원 모양지각에 대한 또 다른 가정은 일단 국소적인 위치의 모든 양안부등이 탐지되고 이것이 관찰자가 추정하는 대상으로부터의 거리에 의해 척도화 된다는 것이다. 본 논문의 세 실험 모두에서의 관찰거리의 변화 및 실험 2에서의 관찰거리에 대한 정보의 변화가 지각된 3차원 모양의 곡면성에 영향을 준다는 것은 이러한 가정과 일치한다.

관찰거리에 따라 3차원 모양이 왜곡되어 지각된다는 것은 우리의 일상생활 경험과 일치하지 않는 것 같다. 그러나 본 논문에서 3차원 모양은 단지 양안부등에 의하여 정의되었음을 주목해야 한다. 일상생활에 존재하는 실제 대상들은 이들의 3차원 모양에 대한 다른 많은 정보들을 제공 한다: 예를 들자면, 그림자, 문양변화율, 운동 시차 등등. 실제, Cutting

과 Vishton(1995)은 3차원 공간에 존재하는 연속적인 표면 구조의 지각은 다양한 정보의 조합에 의존하며, 어떤 정보가 유용하게 사용되는가는 표면과 관찰자와의 거리에 따라 변한다고 제안하였다. 본 논문은 망막상에 나타나는 양안부등 정보는 관찰자 주위의 제한된 범위 안에서만 3차원 모양에 대한 유용한 정보로 사용될 수 있으며, 이 범위 밖에서는 이러한 정보의 가치가 크게 떨어진다는 것을 보여 준다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 대학IT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] Cormack, R. (1984). Stereoscopic depth perception at far viewing distances. *Perception & Psychophysics*, 35, 423-428.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Epstein, W. (1969). Size and distance judgments under reduced conditions of viewing. *Perception & Psychophysics*, 6 (5), 269-272.
- [6] Foley, J.M. (1967). Disparity increase with convergence for constant perceptual criteria. *Perception & Psychophysics*, 2, 605-608.
- [7] Foley, J.M. (1980). Binocular distance perception. *Psychological Review*, 87 (5), 411-434.
- [8] Foley, J.M. & Richards, W. (1972). Effects of voluntary eye movement and convergence on the binocular appreciation of depth. *Perception & Psychophysics*, 11, 423-427.
- [9] Glennerster, 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.
- [10] 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.
- [11] Johnston, E.B. (1991). Systematic distortions of shape from stereopsis. *Vision Research*, 31, 1351-1360.
- [12] Koenderink, J.J. & Van Doorn, A.J. (1976). Geometry of binocular vision and a model for stereopsis. *Biological Cybernetics*, 21, 29-35.
- [13] Marr, D., & Poggio, T.A. (1979). A computational theory of human stereo vision. *Proceedings of the Royal Society of London*, 204, 301-328.
- [14] Ogle, K.N. (1950). *Researches in binocular vision*. Philadelphia: Sanders
- [15] Ono, H. & Comerford, J. (1977). Stereoscopic depth constancy. In W. Epstein (Ed.), *Stability and constancy in visual perception: Mechanisms and processes*. New York: Wiley.
- [16] Ritter, M. (1977). Effect of disparity and viewing distance on perceived depth. *Perception and Psychophysics*, 22, 400-407.
- [17] Rogers, B.J. & Cagenello, R.B. (1989). Disparity curvature and the perception of three-dimensional surfaces. *Nature*, 339, 135-137.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Tittle, J.S., Todd, J.T., Perotti, V.J. & Norman, J. F. (1995). The systematic distortion of perceived 3 D structure from motion and binocular stereopsis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 663-678.
- [22] 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.
- [23] Todd, J.T. & Reichel, F.D. (1989). Ordinal structure in the visual perception and cognition of smoothly curved surfaces. *Psychological Review*, 96, 643-657.
- [24] 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.