

동일 시선에 놓여있는 두 대상의 입체시 깊이

감 기택

정 찬 섭

연세대학교 인지과학 연구소

연세대학교 심리학과

동일한 시선에 놓여있는 두 대상으로부터 투사된 망막 상의 특징은 두 대상의 영상의 순서가 각 망막 상에서 바뀐다는 점이다. 입체시 깊이를 계산하는 과정에서 순서가 바뀐 영상들의 대응 문제를 살펴보기 위해 동일한 시선에 두 대상이 놓여있는 자극의 입체시 깊이를 측정하였다. 두 자극이 크기, 밝기 대비, 대비 부호, 그리고 높이가 다른 조건에서 두 대상의 입체시 깊이를 측정한 결과, 크기와 밝기가 다른 조건에서 두 대상의 거리는 실제 거리의 절반에 해당되었지만 대비 부호가 다른 조건에서 두 대상의 지각된 거리는 실제 거리에 해당하는 것으로 지각되었다. 두 대상의 높이 차가 증가할수록 두 대상의 거리는 점진적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 입체시 기체가 대응 문제를 해결하는 과정에서 크기나 밝기가 다른 영상들간에는 순서 제약을 적용하지만, 대비 부호가 다른 영상들 간에는 순서 제약을 적용하지 않음을 시사한다.

두 눈이 양 측면으로 떨어져 있기 때문에 각 의 위치가 조금씩 달라지는 양안 부동(binocular disparity)이 발생된다. 시각 기체는 대상들의 양안 눈으로 투사되는 영상은 정확히 동일하지 않다. 즉, 각 대상의 깊이에 따라 두 망막 상에서 영상 부동을 발견하여 이로부터 대상의 삼차원 깊이를

이 연구는 과학 기술부의 뇌과학 연구 사업의 지원을 받고 수행된 것임

그림과 그래프를 그리는 데 도움을 준 정상철과 김근영, 그리고 논문의 초고에 대해 여러 지적과 방향을 제시해준 두 분 심사위원께 감사드립니다.

계산해 낼 수 있다. 이 과정에서 대응될 대상이 결정되면 대상들 간의 양안 부동을 계산하는 것은 쉽기 때문에 우선적으로 해결되어야 하는 것은 두 망막 상의 어떤 영상들이 대응될 지를 결정하는 것이다. 두 눈에 각각 하나의 영상만이 투사된 경우 대응될 영상들은 쉽게 발견될 수 있지만, 무선점 입체 그림(random dot stereogram)과 같이 각 눈에 여러 개의 영상이 투사되면 한쪽 눈의 한 영상이 다른 쪽 눈의 어떤 영상과 대응될 지를 결정하는 것은 쉽지 않다(Julesz, 1971; Marr, 1982). 소위 대응 문제(correspondence problem)라 불리는 이러한 문제를 해결하기 위해 대부분의 계산 모형들(Dev, 1975; Geiger, Ladendorf, & Yuille, 1993; Julesz, 1971; Marr & Poggio, 1979; Pollard, Mayhew, & Frisby, 1985)은 대응 될 상을 결정하는 과정에서 여러 제약들(constraints)을 부과한다.

Marr와 Poggio(1976)는 다음과 같은 세 가지 제약을 제안했다. 첫째, 합치성 제약(compatibility constraint)은 한 대상으로부터 투사된 영상은 두 눈에서 유사하므로 대응 될 수 있는 영상들을 속성이 유사한 것으로 제한한다. 둘째, 연속성(continuity) 제약은 단일 표면의 깊이는 전 표면에 걸쳐 유사하므로 가능한 대응들 중 양안 부동이 유사한 대응들을 촉진시킨다. 셋째, 유일성(uniqueness) 제약은 한쪽 망막 상의 한 영상은 다른 쪽 망막 상의 단지 하나의 영상과 대응될 수 있게 제한한다.

최근에 제시된 또 다른 제약들은 epipolar 제약(Pollard, Mayhew, & Frisby, 1985; Frisby & Pollard, 1991)과 순서 제약(Arnold & Binford, 1980; Baker, 1982)이다. 한 대상의 영상은 두 망막에서 유사한 높이로 투사되므로 대응될 영상들 동일한 높이에 있는 영상으로 한정하면 대응 상을

발견하는 과정이 이차원적인 탐색에서 일차원적 탐색으로 줄어들 수 있어 효율적이다. 또한, 단일 표면으로부터 투사된 영상들은 양안 부동을 가지는 경우에도 두 망막에서 그것들의 순서는 항상 동일하므로 영상들의 순서에 따라 대응 상대를 결정하면 오 대응의 문제를 쉽게 해결할 수 있다(Yuille & Poggio, 1984).

계산 모형들이 적용하는 제약들의 공통점들은 시각 장(visual field)에 불투명한 표면이 놓여있다는 일반적인 가정에 근거하여 논리적으로 만들어진 것으로, 인간의 입체시 기체가 대응 문제를 해결하는 과정을 직접적으로 반영한 것이 아니다. 따라서, 계산 모형들이 제안하는 제약 조건들이 타당한지를 살펴볼 필요가 있으며, 이를 위한 한 가지 방법은 시각 장에 있는 표면은 불투명하다는 계산 모형의 가정에 위배된 자극 즉, 대응 될 영상들이 계산 모형들의 제약에 위배된 자극이 주어졌을 때 그 자극의 입체시 깊이를 조사해보는 것이다.

각기 다른 깊이를 갖는 무선점 입체 그림들을 중첩시켰을 때 가까이 있는 표면은 투명하게 지각되어 서로 다른 깊이의 두 표면을 지각할 수 있다(Akerstrom & Todd, 1988; Schumer, 1979; Tyler, 1983; Weinshall, 1989; 1991). 이와 같은 투명 표면은 한 시선¹⁾ 방향에 두 개의 깊이가 할당되므로 유일성 제약을, 인접 영역에 있는 대응 요소의 깊이가 급격하게 변하므로 연속성 제약을, 두 망막 상에서 영상의 순서도 바뀔 수 있으므로 순서 제약을 어길 수 있는 자극이다. 투명 표면의 깊이를 해결하기 어려운 계산 모형(Marr & Poggio,

1) 본 논문에서 '시선 방향'이란 용어는 두 눈에 의해서 주관적으로 지각된 일안 시선 방향(cyclopean visual direction)을 가르킨다.

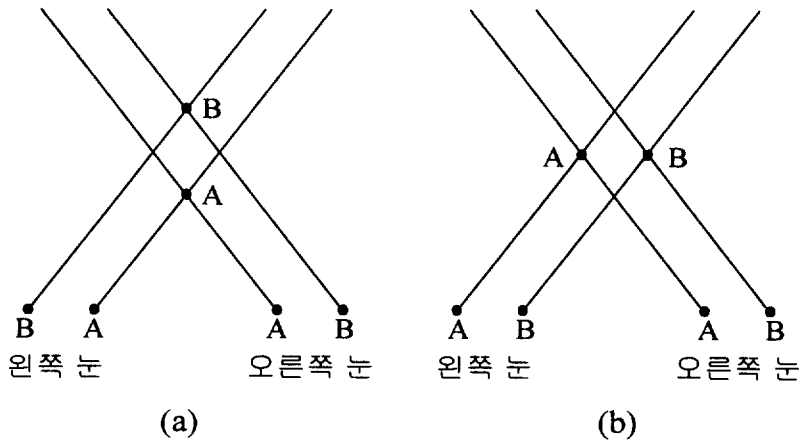


그림 2. 동일 시선과 다른 시선에 두 대상이 놓여있는 자극 배열과 그 자극에 대한 망막 상

그림 (a)는 한 시선에 두 대상이 놓여 있는 자극 상황을 보여준다. 이러한 배열에서 두 대상의 망막 상에서의 순서는 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에서 바뀌게 되지만 (b)와 같이 다른 시선에 두 대상이 있는 자극 배열에서 투사된 두 대상의 망막 상의 순서는 두 눈에서 동일하다. 그러나, (a)와 (b)에서 두 대상의 속성이 동일하면 두 자극에 대한 망막 상은 구별되지 않는다.

1976, 1979)과는 달리 인간의 시각 기체가 투명한 표면을 지각할 수 있다는 사실은 계산 모형에서 사용되는 제약들이 타당하지 않음을 의미하는가? 혹은, 인간의 시각 기체는 계산 모형에서 고려되지 않는 다른 처리 과정을 통해서 투명한 표면의 깊이를 해결할 수 있는가?

이러한 질문에 대답하기 위해서는 무선점 입체 그림에서 어떤 영상들이 대응되어 투명 표면의 깊이가 지각되는지를 살펴보아야 하지만, 대응될 영상이 많은 무선점 입체 그림에서는 이 과정을 자세히 살펴보기 어렵다. 대신에, 투명 표면의 가장 단순한 상황인 두 대상들(혹은 점들)이 하나의 시선 상에 놓여있는 자극의 입체시 깊이를 조사함으로써 계산 모형의 제약 조건을 위반한 자극의 대응 문제를 살펴볼 수 있다.

그림 1의 (a)에서와 같이 동일한 두 개의 가는 못을 동일 시선의 앞, 뒤쪽에 놓았을 때, 자극의

물리적 배열과는 달리 그림 1의 (b) 처럼 동일 깊이의 좌, 우에 있는 것으로 지각된다(Krol & van de Grind, 1980). '두 못 착시(double nail illusion)'로 알려져 있는 이 현상은 그림 1의 (a)에서 왼쪽 눈의 A와 B 각각이 오른쪽 눈의 B, A와 대응되었기 때문에 발생한 것으로 해석될 수 있다. 즉, 동일한 대상으로부터 투사된 영상들(왼쪽 눈의 A와 오른쪽 눈의 A, 그리고 왼쪽 눈의 B와 오른쪽 눈의 B)이 대응된 것이 아니라 연속성 제약이나 순서 제약에 합치되는 영상들이 대응되어 깊이가 산출되었음을 알 수 있다. 따라서, 이 착시는 입체시 기체가 연속성 제약이나 순서 제약을 적용하기 때문에 발생하는 것으로 해석될 수 있지만, 그림 1의 (a)와 (b)의 망막 상을 비교해 보면 두 못 착시는 제약 조건을 어긴 영상들의 대응 문제를 살펴보기에는 적절한 자극이 아님을 알 수 있다. 즉, 두 못 착시에서는 두 못의 속성이 동일하므로 영

상의 순서가 바뀌지 않는 (b)와 영상의 순서가 바뀐 (a)의 망막 상은 구별되지 않고 정확히 동일하기 때문이다.

따라서, 계산 모형의 제약을 어긴 자극의 대응 문제를 살펴보기 위해서는 두 자극 배열이 구별될 수 있는 자극 상황이 적절하다. 두 영상의 속성이 달라지거나, 혹은 속성은 동일하지만 제시 높이가 달라지면 동일 시선의 앞, 뒤에 있는 자극 배열과 동일 깊이의 좌, 우에 있는 자극 배열 각각으로부터 투사된 망막 상은 구별된다. 또한 각 망막 상으로부터 복원될 수 있는 물리적 배열 또한 유일하므로 자극의 물리적 배열대로 지각될 가능성이 있다. 만약, 시각 기체가 입체시 깊이를 계산하는 과정에서 계산 모형이 부과하는 제약들 특히, 순서 제약을 적용한다면 동일 시선에 있는 대상들의 입체시 깊이를 정확히 계산할 수 없을 것이다. 반면, 순서 제약을 적용하지 않는다면 동일 시선에 있는 대상의 입체시 깊이를 정확히 계산할 수 있을 것이다.

요약하면, 본 연구에서는 계산 모형의 제약을 어기는 자극의 대응 문제를 살펴보기 위해 실험 1에서는 동일 시선 상에 있는 두 영상의 속성이 다른 조건에서 입체시 깊이를 측정하였으며, 실험 2에서는 동일 시선 상에 있는 두 영상의 높이가 다른 조건에서 입체시 깊이를 측정하였다.

실험 1. 동일 시선에 있는 두 대상의 속성 차에 따른 입체시 깊이

동일 시선에 있는 두 대상의 속성이 다른 경우, 한 영상과 속성이 동일한 영상은 다른 쪽 망막에 하나밖에 없으므로 대응 모호성이 없지만 두 영상들은 순서 제약을 어기게 된다. 실험 1에서는 순서 제약을 어긴 영상들의 크기, 밝기 대비, 대비

부호가 다를 때 대응 문제가 어떻게 해결되는지를 살펴보기 위해서, 순서 제약을 어긴 대상의 입체시 깊이를 측정하였다.

방 법

관찰자 각 관찰자는 실험에 앞서 깊이 변별 검사를 통해 입체 시력(stereo acuity)을 조사 받았다. 각 관찰자의 입체 시력은 시각으로 ± 6 분(arc min)의 양안 부등을 갖는 검사 자극의 깊이를 각 비교 자극의 깊이와 비교하는 향상법을 사용하여 측정되었다. 일곱 수준의 양안 부등을 갖는 비교 자극의 각 부등 수준에서 비교 자극이 검사 자극보다 가깝게 지각된 비율을 원자료로 삼아 프로빗 분석을 통해 누적 가우시안 함수에 합치시켰다. 이 함수의 1 표준 편차를 입체 시력 지수로 삼았으며, 입체 시력이 시각으로 1 분 이상인 사람은 실험에서 제외하였다. 이 기준에 맞는 네 명의 관찰자가 실험 1에 참가하였으며, 그 중 한 명은 실험자였고 나머지 세 명은 실험의 목적을 알지 못하였다.

장치 실험 자극은 1024x768의 해상도를 제공할 수 있는 그래픽 카드에서 만들어졌고, 17 인치 컬러 모니터에 제시되었다. 관찰자의 머리 움직임을 통제하기 위해 턱받이가 제공되었고, 그림 2에서 볼 수 있듯이 모니터에 제시된 입체경 자극을 거울형 입체경(mirror-type stereoscope)을 통해 보았다. 눈과 모니터와의 거리는 190cm로 이 거리에서 화면의 한 화소는 시각으로 0.5 분에 해당하였다. 관찰자의 반응은 마우스의 왼쪽과 오른쪽 버튼을 통해서 입력받았고, 자극의 제시, 관찰자의 반응 수집 등 일련의 과정은 개인용 컴퓨터를 이용하여 통제하였다. 실험에 사용된 자극의 밝기는

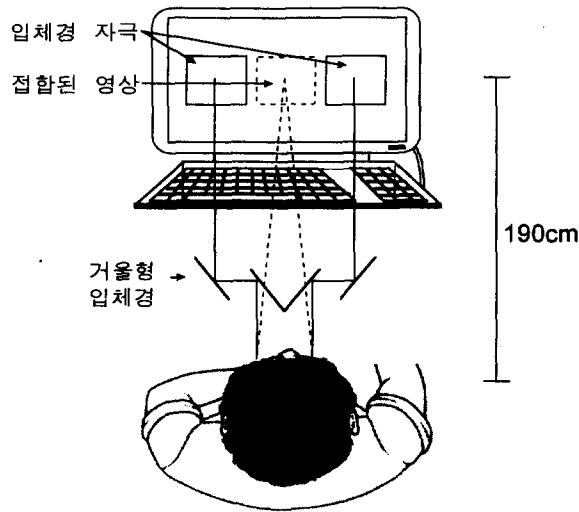


그림 3. 실험 상황의 도식적 그림

관찰자는 입체경 자극이 제시된 모니터로부터 190cm 떨어진 곳에서 거울형 입체경을 통해 자극을 보았다. 모니터에서 실선으로 나타난 두 사각형은 각각 왼쪽과 오른쪽 입체경 그림이 제시된 영역을 나타내며 점선으로 표시된 사각형은 이를 입체경으로 보았을 때 주관적으로 지각되는 자극 영역을 나타낸다.

자극의 크기를 가로, 세로 5 cm인 사각형으로 만든 후 응시 거리인 190cm에서 Minolta사의 LS-110으로 측정되었다.

자극 실험 1에 사용된 자극의 공간적 위치와 입체경 자극이 그림 3에 제시되어 있다. 영상 순서가 두 망막에서 바뀌는 대상의 깊이를 조사하기 위해 검사 자극의 영상 순서를 바꿔게 하는 순서 역전 유도 자극(이하 유도 자극)을 제시하였다. 검사 자극의 양안 부등은 검사 자극이 유도 자극보다 가까이 있는 조건(교차 부등 조건)에서는 시각으로 6 분이었고 유도 자극보다 멀리 있는 조건(비교차 부등 조건)에서는 -6 분으로 고정되었다. 유도 자극은 항상 응시 표면에 놓여있어 양안 부등이 없었다. 검사 자극의 깊이는 항상법으로 측정되었고 검사 자극과 깊이 비교에 사용될 비교

자극들의 양안 부등은 7 수준이었으며 각 수준들 간의 부등 차는 1 분으로 동일하였다.

그림 3의 (b)와 같이 검사 자극이 유도 자극의 뒤(앞)에 있는 경우 왼쪽 상에서는 유도 자극의 왼쪽(오른쪽) 3 분에, 오른쪽 상에서는 유도 자극의 오른쪽(왼쪽) 3 분에 검사 자극이 제시되어, 왼쪽과 오른쪽 입체경 자극에서 검사 자극과 유도 자극의 순서는 항상 바뀌었다. 검사 자극과 비교 자극은 응시 점을 기준으로 40 분 좌/우에 대칭적으로 제시되었으며, 모니터의 곡률에 의해 발생하는 양안 부등 효과를 상쇄시키기 위해 검사 자극과 비교 자극의 좌 우 위치는 역균형(counterbalancing)되었다. 각 실험 조건별 자극 속성은 다음과 같았다.

통제 조건 : 각 개별 관찰자의 입체 시력을 측정

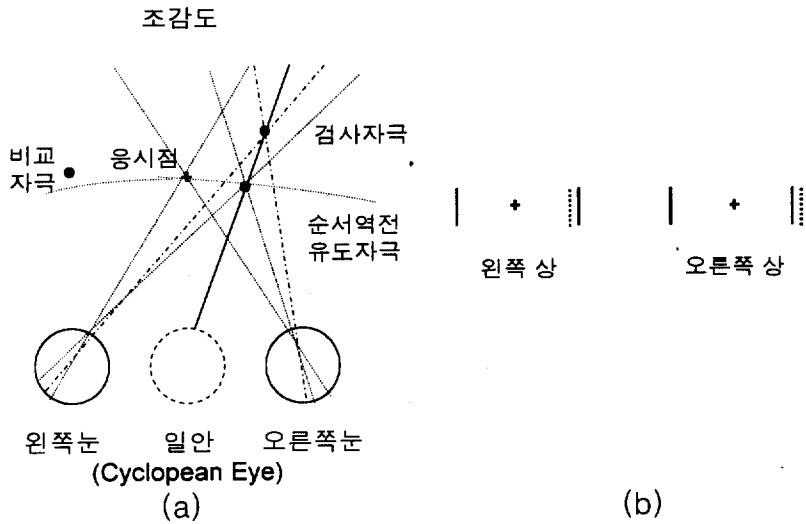


그림 4. 실험 1에 사용된 자극의 공간적 위치와 입체경 자극

유도 자극은 항상 응시 표면에 제시되었고 검사 자극은 유도 자극과 동일시선 상의 앞, 뒤에 놓여있었다. (a)는 검사 자극이 유도 자극보다 뒤에 있는 조건에서 자극들의 공간적 위치를 나타내며 (b)는 이 자극 상황에 해당하는 입체경 자극을 나타낸다. 각 입체 그림에서 + 표시는 응시 점을, 응시 점의 좌측 실선은 비교 자극을, 응시 점의 우측 실선은 유도 자극을, 그리고 점선은 검사 자극을 각각 나타낸다. 실제 실험에서 검사 자극은 실선으로 제시되었다.

하기 위해 검사 자극과 비교 자극만 제시되었다. 검사 자극은 폭 0.5 분 길이 10 분인 수직선이었으며, 84.3 cd/m^2 의 밝기를 가지는 흰색으로 제시되었다.

크기 차 조건 : 이 조건에 사용된 검사 자극은 폭 0.5 분 길이 10 분인 수직선이었고, 유도 자극은 폭 0.5 분 길이 20 분으로 검사 자극의 길이보다 두 배 긴 수직선이었다. 두 자극은 84.3 cd/m^2 의 밝기를 가지는 흰색으로 30.2 cd/m^2 의 밝기를 갖는 회색 배경에 제시되었다.

밝기 차 조건 : 검사 자극의 밝기는 15.3 cd/m^2 이었고, 유도 자극의 밝기는 30.2 cd/m^2 류 검은색 배경 위에 제시되어, 유도 자극이 검사

자극보다 항상 밝게 제시되었다.

대비 부호 반대 조건 : 검사 자극과 유도 자극이 대비 부호에서 서로 반대되는 자극을 만들기 위해 30.2 cd/m^2 의 밝기를 갖는 배경 위에 유도 자극은 84.3 cd/m^2 로 배경보다 밝게, 검사 자극은 밝기가 없는 검은색으로 배경보다 어둡게 제시되었다.

각 실험 조건에서 검사 자극의 깊이 비교에 사용될 비교 자극의 속성은 검사 자극과 동일하였다.

절차 각 관찰자들은 직, 간접 조명이 차단된 암막에서 개별적으로 실험을 수행하였으며, 각 실험 조건들은 개별적으로 나뉘어 실시되었다. 실험의 각 시행에서는 먼저 십자 형태의 응시 점과 유

도 자극이 함께 제시되었다. 관찰자가 응시 점을 정확히 응시한 후에 마우스 버튼을 누르면 검사 자극과 비교 자극이 응시 점의 좌, 우측으로 40분 떨어진 곳에 동시에 제시되었다. 관찰자의 과제는 양 측면에 제시된 두 자극 중 어느 것이 더 가깝게 보이는지를 강제 선택하여 마우스 버튼을 누르는 것이었으며, 자극들은 관찰자의 반응 후에 곧바로 사라졌다. 관찰자의 반응에 대한 피드백은 주어지지 않았고, 관찰자의 반응 후 500ms 후에 응시 점과 유도 자극이 동시에 제시되어 다음 시행이 준비되었음을 표시해 주었다.

각 실험 조건에서 시각으로 ± 6 분의 부등을 갖는 두 검사 자극 각각은 시각 1 분의 부등 간격을 갖는 7개의 비교 자극과 비교되어, 검사 자극의 깊이 방향(2 수준: 교차 부등과 비교차 부등), 비교 자극의 부등(7 부등 수준), 그리고 검사 자극과 비교 자극의 좌우 위치에 대한 역균형에 따라 28번의 시행이 하나의 구획을 이루었다. 각 구획은 10번 반복 측정되어 깊이 방향이 다른 두 검사 자극들의 깊이를 측정하기 위해 280회의 시행이 실시되었으므로, 한 검사 자극의 깊이는 비교 자극과 140회의 시행을 통해 비교되었다. 각 실험 조건에서 제시된 검사 자극은 응시 점의 왼쪽이나 오른쪽에 제시되는 것을 제외하고 항상 동일하였다. 검사 자극의 깊이 측정이 끝난 후 각 조건에서 검사 자극이 단일 상으로 보이는지의 여부를 물어보았다.

결과 및 논의

네 명의 관찰자들은 검사 자극과 비교 자극만 제시된 통제 조건에서는 단일 상이 지각됨을 보고

하여, 실험에 사용된 검사 자극의 부등이 단일 상으로 지각될 수 있는 영역에 있었음을 확인하였다. 그러나, 유도 자극이 추가로 제시된 실험 조건들에서는 검사 자극이 이중 상으로 지각됨을 보고하였는데, 이러한 결과는 단일 상으로 지각될지의 여부는 양안 부등의 크기뿐만이 아니라 인접 영역에 있는 대상에 의해서도 영향받는다(Burt와 Julesz(1980)의 보고와 일치하는 것으로, 한 시선 위에 있는 대상들은 동시에 단일 상으로 지각되지 않음을 확인하였다.

검사 자극의 입체시 깊이도 입체 시력을 측정 한 방법과 동일하게 측정되었다. 즉, 각 실험 조건에서 검사 자극의 깊이는 7 수준의 부등을 갖는 비교 자극 각각과 20(10번의 반복 측정 x 검사 자극의 좌우 위치에 따른 2번의 측정)번씩 비교되었다. 비교 자극의 각 부등 수준에서 검사 자극보다 비교 자극이 가까이 있다고 판단한 비율을 원 자료로 삼아 프로빗 분석을 하였다. 이 비율을 누적 가우시안 함수에 합치시킨 후, 그 함수의 50% 확률에 해당하는 비교 자극의 부등을 검사 자극의 주관적 깊이로 삼았다. 네 명의 관찰자로부터 얻어진 검사 자극의 깊이 평균이 그림 4에 각 조건 별로 제시되어 있다.

네 명의 관찰자로부터 얻어진 각 조건에서의 검사 자극의 주관적 깊이를 통계 분석의 원 자료로 삼았다. 검사 자극의 깊이는 검사 자극의 깊이 방향(2: 교차 및 비교차 부등), 유도 자극과 검사 자극의 속성 차(4: 통제, 크기, 밝기 대비, 대비 부호)에 따라 반복 측정 방안으로 이원 변량 분석을 실시하였다. 교차 부등과 비교차 부등 조건은 각각 검사 자극이 응시점보다 가까이 제시되거나 멀리 제시된 조건이므로 지각된 깊이의 방향이 반대가 된다. 따라서, 두 조건에서 얻어진 검사 자극의

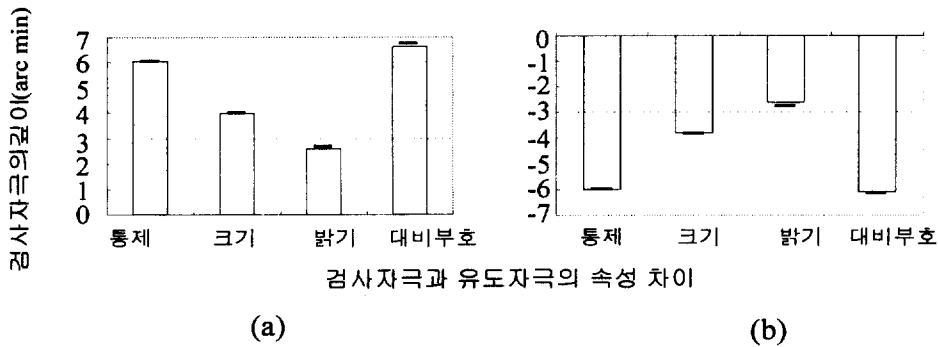


그림 5. 동일시선 상에 있는 두 대상의 속성 차에 따른 검사 자극의 깊이

(a) 검사 자극의 양안 부등이 6'인 교차 부등 조건.(b) 검사 자극이 양안 부등이 -6'인 비교차 부등 조건. 각 그림에서 점선은 검사 자극의 양안 부등에 해당하는 깊이를 나타내며 쇠선은 다중 대응에 의해 예상되는 깊이를 나타내며 오차 막대는 네 명의 관찰자로부터 얻은 측정치의 1 표준편차에 해당한다.

깊이를 절대값으로 변환하여 변량 분석을 하였다. 교차 부등조건(4.6 ± 1.6)과 비교차 부등(4.7 ± 1.8) 조건간에는 검사 자극의 지각된 깊이에서 차이가 없었지만($F(1,3)=1.53, p > .05$), 검사 자극과 유도 자극의 속성에 따라 검사 자극의 깊이는 달라졌다($F(3,9)=226.77, p < .001, MSe=.12$).

두 자극의 속성에 따른 조건들에서의 깊이 차이를 자세히 알아보기 위해 유도 자극이 제시되지 않은 통제 조건과 나머지 세 조건 각각을 짝진 표본 t-검증(paired sample t-test)으로 살펴보았다. 검사 자극의 깊이 방향과 속성 차 조건간의 상호작용이 유의하지 않았기 때문에($F(3,9)=3.01, p > .05$) 교차 부등 조건과 비교차 부등 조건의 자료를 합쳐서 t-검증을 실시하였다. 검사 자극과 유도 자극의 크기가 다를 때 검사 자극의 깊이(3.9 ± 0.1)와 밝기 대비가 다를 때 검사 자극의 깊이(2.64 ± 0.5)는 통제 조건의 검사 자극 깊이보다 과소 평가되었다(각각, $t(7)=47.02, p < .001, SE=.04, t(7)=21.34, p < .001, SE=.17$). 이와 달리, 두 자극의 대비 부

호가 다른 조건에서 검사 자극의 깊이(6.4 ± 0.4)는 통제 조건의 그것과 유의미한 차이가 없었다($t(7)=-2.339, p > .05$).

검사 자극의 깊이가 통제 조건보다 과소 평가된 크기 차 조건과 밝기 대비차 조건의 자료를 합치면 두 조건에서의 검사 자극의 깊이의 평균은 3.2 분으로 나타났다. 이러한 결과는 입체시 깊이를 계산하는 과정에서 동일한 속성을 가졌지만 순서 제약을 어긴 대응에 의해서 깊이가 계산되지 않았음을 보여준다. 다시 말해, 입체시 깊이의 계산 과정에서 순서 제약이 적용되고 있음을 보여주는 것으로, 계산 모형의 용어로 표현하면 순서 제약을 어긴 대응들 간에는 억제적인 상호작용이 있음을 시사하는 것이다. 특히, 이 두 조건에서 검사 자극의 깊이의 평균은 검사 자극의 실제 양안 부등의 거의 절반에 해당되었는데 이러한 결과는 순서 제약을 어긴 영상들 간에 다중 대응으로 설명될 수 있다.

대표적인 다중 대응의 예는 그림 5의 (a)에서

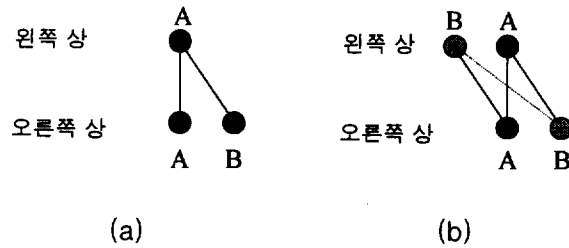


그림 6. Panum의 최소 경우와 다중 대응.

(a)는 Panum의 최소 경우의 다중 대응을, (b)는 실험 1에 사용된 자극의 다중 대응을 나타내고 있다. (b)에서 검정색은 유도 자극을 회색은 검사 자극을 각각 나타내며, 두 자극의 속성이 다름을 표시하기 위해서 두 자극의 색깔을 다르게 제시되어 있다. 자세한 내용은 본문을 볼 것.

볼 수 있듯이 한쪽 눈에는 한 점이 투사되고 다른 쪽 눈에는 두 점이 투사되어 오른쪽 상의 점 A는 왼쪽 상의 점 A와 대응될 수 있지만 오른쪽 상의 점 B는 대응될 상이 없는 Panum의 최소 경우 (Panum's limiting case)를 들 수 있다(Hering, 1879/1942). 이 경우 대응될 상이 없는 점 B도 입체시 깊이가 지각되며 그 지각된 깊이는 오른쪽 상의 점 B와 왼쪽 상의 점 A의 대응에 의해서 계산될 수 있는 부동에 해당된다. 왼쪽 상의 점 A는 오른쪽 상의 점 A, B와 모두 대응된 것이므로 점 B의 입체시 깊이는 다중 대응(multiple matching)에 의해서 계산되었다고 해석된다(Kumar, 1996; Westheimer, 1986). 그림 5의 (b)와 같이 본 실험에 사용된 자극 배열에서도 다중 대응이 예측하는 바와 같이 왼쪽 상의 점 B가 오른쪽 상의 점 A와, 오른쪽 상의 점 B가 왼쪽 상의 점 A와 대응된다면 점 B의 입체시 깊이는 실제 부동의 절반에 해당될 것을 예측할 수 있다. 또한, 다중 대응은 한 쪽 상의 한 대상이 다른 쪽 상의 두 대상과 대응된 것이므로 한 대상은 반드시 하나의 대상과 대응될 수 있다는 유일성 제약을 엄격하게 적용하지 않는

다는 McKee, Bravo, Smallman, 그리고 Legge(1995)등의 연구와 합치되는 결과이다.

검사 자극과 유도 자극이 대비 부호에서 차이가 있었던 조건에서는 검사 자극의 깊이(6.4±0.4)가 통제 조건에서의 그것과 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다($t(7)=2.34, p > .05$). 이 결과는 순서 제약을 어김에도 불구하고 동일 속성을 가진 영상들이 대응되어 입체시 깊이가 계산되었음을 시사한다. 크기나 밝기 대비가 다른 조건에서 나타난 결과와 대비 부호가 다른 조건에서 나타난 결과의 차이는 대비 부호가 다른 자극이 처리되는 과정에서의 차이로 설명될 수 있다.

대비 부호가 다른 정보는 망막에서부터 독립적으로 처리된다. 시각 정보처리의 초기 단계인 망막 수준에서 흥분-중심(on-center), 억제-중심(off-center)의 신경절 세포(ganglion cells)들은 각기 다른 층을 차지하고 있고(Nelson, Famiglietti & Kolb, 1978), 두 종류의 신경절 세포는 각각 독립적인 수용장 모자아크를 갖고 있다(Wässle, Peichl & Boycott, 1983). 신경절 세포에서 외측 슬상핵(LGN)으로 투사되는 과정에서도 대비 부호

가 다른 정보는 독립적인 처리 경로를 가지며, 대뇌의 피질 수준에서 두 체계는 해부학적 구분은 없지만 기능적인 측면에서는 분리되어 있다 (Schiller, 1984). 특히, 상의 대응 문제를 해결하는 단계에서 대비 부호가 다른 영상들은 독립적으로 처리된다(Harris & Parker, 1995). 따라서, 대비 부호가 다른 영상들의 대응은 대응 문제가 해결되는 단계에서 서로 영향을 주지 않았을 가능성이 있다.

대비 부호가 다른 조건에서 지각된 이중 상의 깊이는 또 다른 의문을 제기한다. 밝기나 크기가 다른 조건에서 이중 상의 깊이는 각각의 다중 대응에 의해 결정될 수 있지만, 대비 부호가 반대인 조건에서 검사 자극의 부등에 해당되는 깊이가 지각되기 위해서는 하나의 대응에 의해 계산되는 깊이가 이중 상 각각에 할당되어야 한다. 계산 모형들은 이중 상의 문제를 다루지 않으므로, 하나의 대응으로부터 계산된 깊이를 이중 상에 할당하는 과정을 포함하고 있는 모형은 거의 없다. 그러나, 양안 부등이 커 접합이 되지 않고 이중 상으로 지각되는 상황 - 적정 입체시(patent stereopsis) - 에서도 이중 상들의 깊이는 그 대상의 부등 수준대로 지각된다 (Ogle, 1952). 대비 부호가 다른 조건에서 이중 상의 깊이는 적정 입체시에서 이중 상의 깊이가 계산되는 것과 유사한 방식으로 계산되었을 가능성이 있다.

실험 2. 동일 시선에 있는 두 대상의 높이 차에 따른 입체시 깊이

대응될 영상을 발견하는 과정에서 입체시 기제는 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에서 동일 높이에 있는 영상만을 대상으로 삼는 것이 아니라, 수직 부등(vertical disparity)이 있는 영상들도 대응될 대상으로 고려된다(Tyler, 1983). 이는 대응들 간에 제

약 조건이 부과된다면 높이 차가 있는 대응들의 경우에도 일정 범위 내에서 적용될 것임을 시사한다. 순서 제약을 어긴 대응들이 높이가 다를 때 각 대응들이 독립적으로 처리된다면 각 대응의 부등 수준에 해당하는 깊이가 지각될 것을 예상할 수 있지만, 실험 1의 결과가 시사하는 바와 같이 순서가 바뀐 대응들이 높이가 다른 경우에도 역제적 상호작용이 발생한다면 다중 대응에 의해 예상될 수 있는 깊이가 지각될 것이다.

방 법

관찰자 실험 1에서 사용된 입체시 기준에 적합한 관찰자 다섯 명이 실험에 참가하였다. 각 관찰자들의 시력은 나안이나 교정시력 0.8이상이고 필요할 경우 안경이나 콘택트렌즈를 낀 채 실험에 참가했다. 관찰자 다섯 명 모두 실험의 목적을 알지 못하였고 이중 세 명은 실험 1에 참가했던 관찰자였다.

장치 및 자극 실험 2에서도 실험 1에 사용된 실험 장치를 그대로 사용하였다. 실험 2에 사용된 자극은 실험 1에 사용된 자극 배열과 유사하였지만, 수직선 대신 가로 세로 1 분인 점을 자극으로 사용한 것과 검사 자극과 유도 자극의 높이 차를 둔 것이 차이점이었다. 실험 2에 사용된 자극의 시야 위치와 입체경 자극이 그림 6에 나타나 있다. 실험 1에 사용된 수직선 자극을 점으로 바꾼 것은 실험 2의 목적이 한 시선 상에 있지만 높이가 다른 대상의 깊이를 측정하는 것이므로 유도 자극과 검사 자극이 같은 높이에 놓여있지 않도록 하기 위해서였다. 검사 자극의 깊이는 교차 부등 조건과 비교차 부등 조건 각각에서 측정되었으며 검사

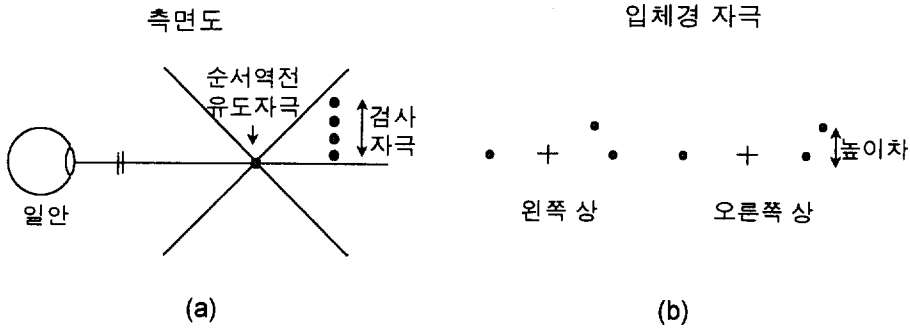


그림 7. 실험 2에 사용된 자극의 측면도와 입체경 자극

실험 2에서 사용된 자극 배열은 검사 자극의 높이가 변한 것을 제외하고는 실험 1과 동일하였으므로 실험 2의 자극 상황에 대한 조감도는 실험 1의 그것과 정확히 동일하였다. 유도 자극은 항상 응시 표면에 제시되었고 검사 자극은 유도 자극과 동일한 시선의 앞, 뒤에 놓여있었다.(a)는 검사 자극이 유도 자극보다 뒤에 있는 조건에서 자극들의 공간적 위치를 측면에서 본 그림이다. 검사 자극과 유도 자극이 동일 시선에 있지만 실험 1에서와는 달리 검사 자극의 높이는 유도 자극의 높이와 다르게 제시되었다. 그림에서 보는 4개의 검은 점들은 두 자극의 높이 차에 따른 검사 자극의 수직 위치를 나타내며, 이를 입체경 자극으로 나타낸 것이 (b)에 제시되어 있다. 각 입체 그림에서 + 표시는 응시 점을, 응시 점의 좌측에 있는 점은 비교 자극을, 응시 점의 우측에 있는 점은 유도 자극을 나타내며, 이들 자극과 다른 높이에 있는 점은 검사 자극을 나타낸다. 실제 실험에서 검사 자극과 유도 자극은 응시 점의 좌/우에 역균형 되어 제시되었다.

자극의 부등 크기는 6으로 실험 1과 동일하였다.

실험 2에서 사용된 입체경 자극이 그림 6의(b)에 제시되어 있다. 응시 표면에 있는 유도 자극은 두 입체경 그림에서 응시 점으로부터 30 분 떨어진 곳에 부등이 없게 제시되었다. 검사 자극의 수평적 위치는 실험 1과 동일하게 결정되었다. 검사 자극이 유도 자극의 뒤(앞)에 있는 조건에서 검사 자극의 수평적 위치는 왼쪽 입체경 그림에서는 유도 자극의 왼쪽(오른쪽) 3 분에, 오른쪽 입체경 그림에서는 유도 자극의 오른쪽(왼쪽) 3 분으로 결정되어 왼쪽과 오른쪽 입체경 자극에서 검사 자극과 유도 자극의 순서는 항상 바뀌었으며, 검사 자극의 양안 부등은 시각으로 -6 분(6 분)이었다. 비교 자극과 유도 자극의 높이는 응시 점과 동일하

였으며 검사 자극의 높이는 유도 자극과의 높이 차 변인의 각 수준에 따라 유도 자극보다 위쪽으로 각각 1 분, 2 분, 3 분, 4 분 떨어진 곳으로 결정되었다. 검사 자극과 비교 자극은 응시 점을 기준으로 좌/우에 대칭적으로 제시되었으며, 모니터의 곡면에 의해 발생하는 양안 부등 효과를 상쇄시키기 위해 검사 자극과 비교 자극의 위치는 역균형(counter balancing)되었다. 자극의 배경 밝기는 실험 1의 해당 조건과 동일하였다.

절차 실험 2의 절차 역시 실험 1과 동일하였다. 검사 자극과 유도 자극의 높이 차이는 시각으로 1, 2, 3, 4분의 네 수준으로 결정되었고 두 자극들이 동일 속성을 갖는 조건과 대비 부호가 다른 조건 두 종류로 구별되었다. 두 변인에 의해

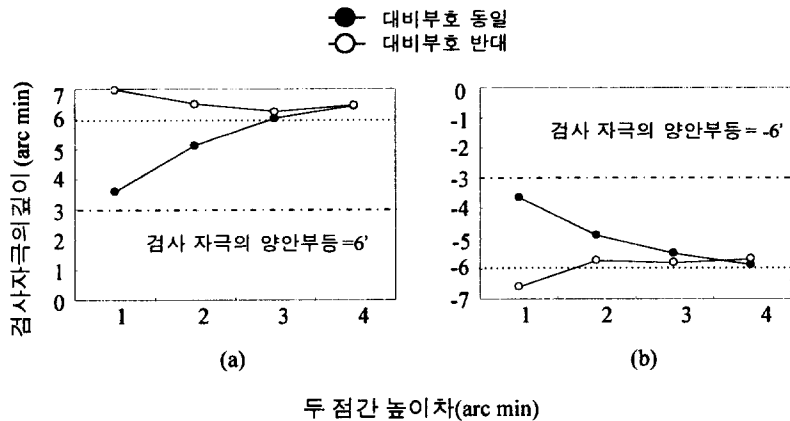


그림 8. 두 대상의 높이차와 대비부호차에 따른 검사 자극의 깊이

(a) 검사 자극이 교차 부등인 조건. (b) 검사 자극이 비교차 부등인 조건. 각 그림에서 점선은 검사 자극의 양안 부등에 해당하는 깊이를 나타내며 쇠선은 다중 결합에 의해 예상되는 깊이를 나타낸다.

만들어진 8 개의 실험 조건 각각은 분리되어 실험이 수행되었고 본 실험의 절차는 실험 1과 동일하였다.

결과 및 논의

실험의 각 조건에서 항상법을 통해서 측정된 검사 자극의 깊이는 실험 1에서와 같이 프로빗 분석을 통해서 결정되었다. 관찰자 다섯 명으로부터 얻어진 검사 자극 깊이 평균이 그림 7에 나타나 있다. 다섯 명의 관찰자로부터 얻어진 각 조건에서의 검사 자극의 깊이를 변량 분석의 원 자료로 삼아 검사 자극의 깊이 방향(2: 교차 및 비교차), 유도 자극과 검사 자극의 속성차(2: 속성 동일과 대비 부호 다름), 유도 자극과 검사 자극의 높이차(4 수준)에 따라 반복 측정 방안으로 3원 변량 분석을 실시하였다. 교차 부등(5.9±1.2)과 비교차 부등(5.5±1.0)조건 간에는 검사 자극의 지각된 깊

이에서 차이가 없었지만($F(1,4) = 5.55, p > .05$), 두 자극의 속성이 동일한 조건(5.1±1.2)과 대비 부호가 반대인 조건(6.2±0.6)간에는 검사 자극의 깊이가 다르게 나타났으며($F(1,4)=22.48, p < .01, MS_e=1.11$), 검사 자극과 유도 자극의 높이 차에 따라서도 검사 자극의 깊이는 달라졌다($F(3,12)=10.16, p < .01, MS_e=.31$). 검사 자극의 깊이 방향과 속성차 변인간, 그리고 검사 자극의 깊이 방향과 높이차 변인간에 상호 작용 효과는 없었다. 그러나, 그림에서 보는 바와 같이 검사 자극과 유도 자극의 속성이 동일하면 두 자극의 높이 차이가 증가할수록 검사 자극의 깊이는 증가하였지만, 두 자극의 대비 부호가 반대인 조건에서 검사 자극의 깊이는 두 자극의 높이차에 따라 큰 차이를 보이지 않아 속성 차와 높이 차 변인들 간의 상호 작용은 유의하게 나타났다($F(3,12)=81.08, p < .001, MS_e=.13$). 또한 세 변인간의 삼원 상호 작용은 유의하지 않았다.

속성차와 높이차 변인간에 나타난 상호 작용 효과를 자세하게 살펴보고 검사 자극의 입체시 깊이가 두 자극의 높이 차가 증가함에 따라 변화되는 패턴을 살펴보기 위해서, 속성이 동일한 조건과 대비 부호가 다른 조건 각각에 대해 높이 차에 따른 검사 자극의 입체시 깊이를 추세 분석하였다. 두 자극의 속성이 동일한 조건에서는 높이 차가 증가됨에 따라 검사 자극의 깊이도 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다($F(1, 27)=20.43, p<.001, MSE=1.71$). 이러한 결과는 각 영상들의 대응이 다른 높이에 있는 영상들에 의해서 영향을 받았음을 보여주는 것으로, 순서 제약은 일정 범위 내에서 높이 차가 있는 영상들 간에도 적용되고 있음을 시사하는 것이다. 한가지 흥미로운 결과는 검사 자극의 깊이가 유도 자극과의 높이 차가 커질수록 다중 대응이 예견하는 깊이로부터 검사 자극의 실제 부등에 해당하는 깊이에 이르기까지 점진적으로 증가하는 점이다. 단순히 대응 문제만을 고려한다면 다중 대응에 의해 예상되는 깊이로부터 실제 부등으로 급격하게 변화되어야 한다. 따라서, 높이 차에 따른 검사 자극 깊이의 점진적인 변화는 상의 대응 문제에 의한 입체시 깊이가 계산되는 과정 이외에 다른 기제가 관여하고 있음을 암시한다.

두 자극의 대비 부호가 다른 조건에서 검사 자극의 깊이는 두 자극의 높이 차와는 무관하여 추세 분석의 1차 성분이 유의하지 않은 것으로 나타났다($F(1,27)=2.76, p >.05$). 이는 실험 1의 대비 부호가 다른 조건에서 나타난 결과를 다시 한 번 확인한 것으로, 대비 부호가 다른 영상들 각각은 서로 독립적으로 대응 문제가 해결됨을 시사한다.

종합 논의

두 대상이 동일한 시선 상에 놓여 있으면 각 영상들의 대응들은 순서 제약을 어기게 된다. 이 경우 자극의 속성이 동일하면 자극의 물리적 배열과는 달리 동일 깊이의 좌, 우에 두 대상이 있는 것으로 지각된다(Krol & van de Grind, 1980). 본 연구에서는 이들 연구에서 사용된 자극과 그 배열은 유사하지만 속성을 변화시킨 자극을 사용하여, 두 못 착시와는 다른 결과를 얻었다. 두 대상이 크기와 밝기에서 차이가 있으면 자극의 실제 깊이보다 과소 평가되었고 과소 평가된 입체시 깊이의 정도는 다중 대응에 의해서 예상될 수 있었다. 이와 같은 결과는 입체시 깊이가 계산되는 단계에서 순서 제약을 적용하고 있는 반면, 유일성 제약은 엄격히 적용하지 않고 있음을 시사한다. 반면, 두 대상의 대비 부호가 다른 조건에서 이중 상의 깊이는 그 대상의 양안 부등에 해당하였는데, 이는 밝기나 크기 차 조건의 결과와 달리 대비 부호가 다른 대응들 간에는 순서 제약이 적용되지 않음을 시사하는 것이다.

크기차와 밝기차 조건과 대비 부호 조건에서 나타난 상충된 결과를 대응 과정에서의 처리 과정의 차이로 해석하기 위해서는 실험 1에서 사용된 밝기와 크기 차 조건에서 차이의 크기를 변화시켜 가면서 검사 자극의 입체시 깊이를 살펴볼 필요가 있다. 만약 밝기나 크기 차의 정도가 실험 1에서 사용된 차이보다 커짐에도 불구하고 실험 1의 결과와 동일한 결과를 얻는다면 위에 제시된 해석이 보다 타당한 것으로 고려될 수 있다. 하지만, 밝기와 크기 차의 정도가 커짐에 따라 대비 부호 차 조건에서 발견된 결과와 유사한 결과를 얻는다면, 이는 두 속성의 차이가 커질수록 순서 제약의 적

용을 받지 않는 것으로 해석될 수 있고 이는 곧 입체시 기제가 상의 대응 문제를 해결하는 과정에서 속성의 차이가 큰 대응들 간에는 순서 제약을 적용하지 않는다는 것을 시사하기 때문이다.

대부분의 계산 모형들은(예를 들어, Marr & Poggio, 1976, 1979; Pollard 등, 1985) 대응될 기초 요소(matching primitive)를 발견하는 단계에서는 각 영상들의 대비 부호를 고려하지만, 순서 제약을 적용하는 과정에서는 각 대응들의 대비 부호를 고려하지 않는다. 따라서, 본 연구에서 사용된 자극이 주어졌을 때 이러한 계산 모형들이 예측할 수 있는 입체시 깊이는 본 연구의 정신 물리학적 결과와 합치될 수 없다. 자극의 속성에 따라 순서 제약의 적용 여부가 다르게 나타난 본 연구 결과를 반영할 수 있는 한가지 대안은 대비 부호가 다른 영상들을 분리하여 처리하는 기제를 구성하고 이 기제 내에서 순서 제약을 적용하는 것이다. 이러한 방식은 대비 부호가 다른 영상들이 시너 수준까지 독립적으로 처리된다는 신경 생리학적 보고들(Nelson 등, 1978; Wässle 등, 1983)과 대비 부호가 다른 영상들은 대응 문제가 독립적으로 해결된다는 정신 물리학적 연구(Harris & Parker, 1995)와도 합치된다.

한 대상의 입체시 깊이는 다른 높이에 있는 대상들에 의해서도 영향받는 것으로 나타났다. 이는 상의 대응 과정에서 동일 높이에 있는 영상들 뿐 만 아니라, 일정 범위 내의 다른 높이에 있는 영상들도 대응될 후보가 될 수 있음을 시사한다. 역동적 무선 점을 이용하여 입체시 깊이가 산출될 수 있는 수직 차이의 범위를 측정된 연구(Stevenson & Schor, 1997)에서 발견된 한계는 약 40분으로 본 연구에서 발견된 순서 제약이 적용되는 높이의 범위와는 차이가 난다. 이러한 차이는

아마도 본 연구에서는 정지된 자극을 사용했기 때문에 발생한 것일 가능성이 있다.

두 대상의 양안 부등의 차이를 시선 방향의 차이로 나누어 준 부등 기울기(disparity gradient)는 순서 제약의 보다 일반적 형태로 고려될 수 있다(Parker, Johnston, Mansfield, & Yang, 1991). 즉, 대상의 시선 방향이 유사할수록 부등 기울기가 증가하여 대략 1 이상이 되면 순서 제약을 어긴 자극이 된다. 순서 제약의 경우와 유사하게 불투명한 표면에서 투사된 영상들은 부등 기울기가 작기 때문에, 이 제약을 적용하면 불투명한 표면의 대응 문제를 해결하는 데 도움이 된다. 그러나, 본 실험에 사용된 자극과 같이 부등 기울기가 큰 자극은 대응될 대상으로 고려하지 않으므로 부등 기울기 제약을 적용하여 대응 문제를 해결하는 모형으로는(예를 들어, Frisby & Pollard, 1991) 본 연구에 사용된 자극의 입체시 깊이를 설명할 수 없다.

실험 2에서 검사 자극의 양안 부등이 6분이었고, 유도 자극과의 높이 차가 1분, 2분, 3분, 4분이었으므로 부등 기울기로 표시하면 각각 6, 3, 2, 1.5로서 모든 실험 조건들이 대응될 수 있는 부등 기울기의 임계치인 1(Burt & Julesz, 1980)보다 큰 자극이었다. 두 영상의 대비 부호가 반대인 경우 대응 될 수 있는 임계치가 2로 상승한다는 연구(Prazdny, 1985)를 고려하더라도 높이 차가 1분, 2분, 3분 조건의 자극들은 부등 기울기 임계치인 2보다 컸고 높이 차가 4분인 조건의 자극들은 임계치보다 작은 변인들이었다. 따라서, 부등 기울기가 임계치보다도 크게 제시된 실험 조건에서도 입체시 깊이가 지각된 결과는 인간의 입체시 기제가 깊이를 계산하는 과정에서 부등 기울기 제약을 사용하지 않음을 시사한다.

참고문헌

- Akerstom, R. A. & Todd, J. T. (1988). The perception of stereoscopic transparency. *Perception & Psychophysics*, 44, 421-432.
- Arnold, R. D. & Binford, T. (1980). Geometric constraints in stereo vision. *Society of Photo-Optical Instrumentation and Engineering*, 238, 281-292.
- Baker, H. H. (1982). Depth from edge and intensity based stereo. PhD thesis, University of Illinois.
- Burt, P. & Julesz, B. (1980). A disparity gradient limit for binocular fusion, *Science*, 208, 615-617.
- Dev, P. (1975). Perception of depth surfaces in random-dot stereograms: A neural model. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7, 511-528.
- Frisby, J. P. & Pollard, S. B. (1991). Computational issues in solving the stereo correspondence problem. In M. S. Landy & J. A. Movshon(Ed.), *Computational Models of Visual Processing*, pp.332-356. MA: The MIT Press.
- Geiger, D., Ladendorf, B., & Yuille, A. L. (1993). Occlusions and binocular stereo (Tech. Rep. No. 93-1). Harvard Robotics Laboratory, Harvard University, Cambridge, MA.
- Harris, J. M. & Parker, A. J. (1995). Independent neural mechanisms for bright and dark information in binocular stereopsis. *Nature*, 374(27), 808-811.
- Hering, E. (1879/1942). *Spatial Sense and Movement of the Eye*(Baltimore, MD: American Academy of Optometry, 1942); English translation by C. A. Radde of "Der Raumsinn und die Bewegung des Auges" in *Handbuch der Physiologie* ed L Hermann, Band III, Teil 1 (Leipzig: Vogel, 1879).
- Julesz, B. (1971). *Foundations of cyclopean perception*. Chicago: Univerasity of Chicago Press.
- Krol, J. D. & van de Grind, W. A. (1980). The double nail illusion, *Perception*, 9, 651-669.
- Kumar, T. (1996). Multiple matching of features in simple stereograms. *Vision Research*, 36(5), 675-698.
- Marr, D. & Poggio, T. (1976). Cooperative computation of stereo disparity. *Science*, 194, 283-287.
- Marr, D. & Poggio, T. (1979). A computational theory of human stereo vision. *Proceedings of the Royal Society of London*, 204(B), 301-328.
- Marr, D. (1982). *Vision*. New York: Freeman.
- McKee, S. P., Bravo, M. J., Smallman, H. S., & Legge, G. E. (1995). The uniqueness constraint and binocular masking, *Perception*, 24, 49-65.
- Nelson, R., Famiglietti, E. V. Jr., & Kolb, H. (1978). Intracellular staining reveals different levels of stratification for ON- and OFF-center ganglion cells in the cat retina. *Journal of Neurophysiology*, 41, 472-483.
- Ogle, K. N. (1952). Disparity limits of

- stereoscopic vision. *Journal of Experimental Psychology*, 44, 253-259.
- Parker, A. J., Johnston, E. B., Mansfield, S. S., & Yang, Y. (1991). Stereo, Surface, and Shape. In M. S. Landy & J. A. Movshon(Ed.), *Computational Models of Visual Processing*, (pp, 359-382). MA: The MIT Press.
- Pollard, S. B., Mayhew, J. E. W., & Frisby, J. P. (1985). PMF:A stereo correspondence algorithm using a disparity gradient limit. *Perception*, 14, 449-470.
- Pradny, K. (1985). Detection of binocular disparities. *Biological Cybernetics*, 52, 93-99.
- Schiller, P. H. (1984). The connections of the retinal ON- and OFF-pathways on the lateral geniculate nucleus of the monkey. *Vision Research*, 24, 923-932.
- Schumer, R. A. (1979). Mechanisms in human stereopsis. Thesis, Stanford University.
- Stevenson, S. B. & Schor, C. M. (1997). Human Stereo matching is not restricted to epipolar lines. *Vision Research*, 37, 2717-2723.
- Tyler, C. W. (1983). Sensory Processing of binocular disparity. In *Vergence Eye Movements: Basic and Clinical Aspects*. Schor, C. M. & Ciuffreda, k. J. (Eds.). London:Butterworths.
- Weinshall, D. (1989). Perception of multiple transparent planes in stereo vision. *Nature*, 341, 737-739.
- Weinshall, D. (1991). Seeing 'ghost' planes in stereo vision. *Vision Research*, 31(10), 1731-1748.
- Westheimer, G. (1986). Panum's phenomenon and the confluence of signals from the two eyes in stereoscopy. *Proceedings of the Royal Society, London B*, 228, 289-305.
- Wässle, H., Peichl, L. & Boycott, B. B. (1983). A spatial analysis of on- and off-ganglion cells in the cat retina. *Vision Research*, 23, 1151-1160.
- Yuille, A. L. & Poggio, T. (1984). A generalized ordering constraint for stereo correspondence. Tech Report AIM-777, Artificial Intelligence Laboratory, MIT

1차 원고 접수 : 2000년 5월 10일

최종 원고 접수 : 2000년 8월 5일

Stereoscopic depth of two objects in the same cyclopean visual direction

Keetaek Kham, Chan-Sup Chung

The Center for Cognitive Science, Yonsei University;
Department of Psychology, Yonsei University

The characteristic of the retinal images projected from two objects lying in the same visual direction is that the order of the retinal images in one eye is reversed with regard to that in the other eye. To examine how the brain solves the correspondence problem when two matches violate ordering constraint, we measured depth of double images in this stimulus configuration. The results show that the perceived distance between two objects is the half of the actual one when two objects differs in size or luminance contrast, implying that the depth of the double image is determined by multiple matching. By contrast, the perceived distance between two stimuli is the same as the actual one when they are different in contrast polarity. These results suggest that the visual system apply the ordering constraints between matches with different size or different contrast, not between those with different polarity.