

상의 대응 문제 해결에 미치는 밝기대비의 영향*

The effect of brightness contrast on resolving the correspondence problem

감기택** 정찬섭***
(Kee-taek Kham) (Chan-sup Chung)

요약 입체시 계산 모형들은 국지적으로 대응 가능한 여러 대상들이 있는 경우 가설적인 부등 탐지자들간의 상호 작용을 통해 대응될 대상을 결정한다. 이 연구에서는 인간의 양안시 기제도 입체시 모형들의 가정과 유사하게 부등 탐지자들의 활성화 수준에 따라 대응될 대상을 선택하는 지를 알아보기 위해서 깊이가 다른 두 표면을 가지는 무선점 패턴을 입체 그림으로 사용하였다. 응시 표면과 같은 깊이에 놓여 있는 표면을 구성하는 점들은 무선적으로 선택되었으며(원 무선 패턴), 이 표면보다 앞에 놓여있는 표면을 구성할 점들은 원 무선 패턴의 각 점들과 다음과 같은 방식으로 짝지어졌다. 원 무선 패턴을 구성하는 점들의 위치를 발견하여 왼쪽 입체 그림에서는 무선 점들의 왼쪽 3분에, 오른쪽 입체 그림에서는 무선 점들의 오른쪽 3분에 위치하도록 하여 6 분의 깊이에 해당하는 또 다른 표면을 만들었다. 원 무선점 패턴의 밝기를 고정시킨 채, 새로운 패턴의 밝기를 변화시키면 가설적인 탐지자들의 상대적인 활성화 수준이 서로 달라질 것을 추정할 수 있다. 상대적인 활성화 수준에 따라 대응될 대상이 변화되는 지를 알아보기 위해서, 모든 점들의 위치는 고정시킨 채 두 표면을 구성하는 점들간의 상대적인 밝기를 변화시켜가면서 각 밝기 수준에서 두 표면의 깊이를 측정하였다. 쌍을 이루는 점들간의 밝기 차가 30% 이내인 조건에서는 3 분의 부등에 해당되는 하나의 표면이 지각되었지만, 두 점의 밝기가 차이가 날수록 이 표면 이외의 다른 표면과 더불어 모두 두개의 표면이 지각되었다. 특히, 새로운 표면의 깊이는 무선점 패턴을 구성하는 점들과 추가된 점들의 상대적 밝기에 따라 달라졌다. 추가된 점들이 밝은 조건에서는 이 점들의 부등에 해당되는 깊이를 갖는 표면이, 원 무선점 패턴이 밝은 조건에서는 무선점 패턴의 부등에 해당되는 깊이를 가진 표면이 추가적으로 지각되었다. 이러한 결과는 보다 활성화 된 탐지자들이 약한 탐지자들을 억제하여 있음을 시사한다.

주제어 입체시, 상의 대응 문제, 밝기 대비

Abstract When multiple features are presented in the image, the computational models for stereopsis select the most activated matches through the excitatory and inhibitory interactions among all possible matches. Using the random-dot stereogram with two surfaces, we investigate whether human binocular mechanism selects the most activated matches. The dots consisting a surface lying in a fixation plane were selected randomly, while each of the dots consisting the other surface was paired with each of the original dots in the following manner. After finding the position of each dots in the original random pattern, we placed an additional dot to the left, and to the right of the original position in each of the left and right image of a stereogram, respectively. The luminance of additional dots was varied, while that of the original random dots was fixed so that the hypothetical matches presumably could be activated differently. Across the luminance condition, the depth of each surface was measured to examine whether matches to be selected were changed depending on the activation level of possible matches. When the luminance of two patterns was within 30% of one another, observers perceived an opaque surface. Beyond this value, two transparent surfaces were seen, with the magnitude of

* 이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의해서 연구되었음(KRF-2000-005-C00011). 본 논문의 그림을 준비하는데 많은 도움을 준 강 파라님께 감사드립니다.

** 연세대학교 Yonsei University
인지과학 연구소 Center for Cognitive Science

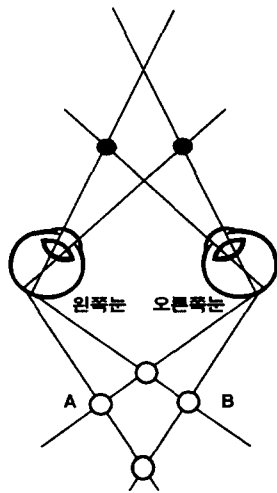
전화: 02-2123-4909 Fax: 02-364-2440
e-mail: kham@yonsei.ac.kr

*** 연세대학교 심리학과
Yonsei University Department of Psychology
연구 세부 분야: 실험 심리학, 공간 시각
주소: 서울시 서대문구 신촌동 연세대학교 인지과학 연구소

perceived depth varying with relative luminance of two patterns. When original pattern was brighter, one additional surface was perceived at the depth corresponding to the disparity of original pattern. When original dot was dimmer, however, the depth of an additional surface corresponded to the disparity of newly introduced pattern. These results suggest that there are dynamic interactions within the matching process whereby highly activated matches inhibit weaker one.

Keywords stereopsis, correspondence problem, brightness contrast

두 눈이 측면으로 떨어져 있기 때문에 대상들의 상대적인 깊이에 따라 각 망막에 투사되는 영상들의 위치는 조금씩 달라지게 된다. 두 망막에 맺힌 영상들의 위치 차이인 양안 부등(binocular disparity)은 삼차원 깊이를 양적으로 제공해 주는 중요한 깊이 단서들 중의 하나이다. 인간의 양안시 기제는 양안 부등으로부터 어떻게 대상들의 상대적인 깊이를 계산해 낼까? 인간의 시각 기제가 이 문제를 어떻게 해결하는 지를 알아보기 위해 오래 전부터 무선점 입체 그림(random-dot stereogram: RDS)이 사용되어 왔다 [1]. 윤곽선으로 구성되어 대응될 대상의 밀도가 낮은 고전적인 입체 그림과는 달리 RDS 자극은 주어진 영역에 대응될 수 있는 대상이 많이 존재하기 때문에 국소적인 영역에서는 한쪽 눈의 한 영상이 다른 쪽 눈의 어떤 영상과 대응될 지를 결정하기 어렵다[2].



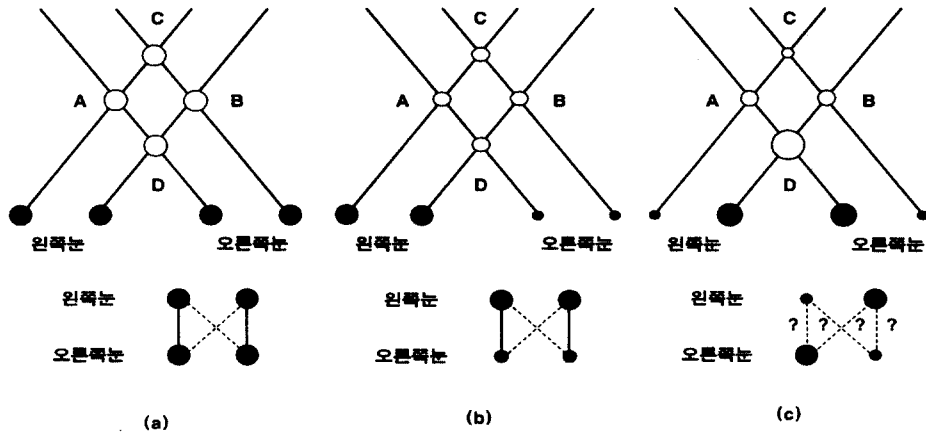
(그림 1) 각 눈의 위쪽에 제시된 검은 원들은 시야에 제시된 자극을 나타내며, 각 눈의 아래쪽에 제시된 흰 원들은 뇌속의 가설적인 투사장에 있는 양안 부등 탐지기를 나타낸다. 그림과 같이 두 개의 대상이 시야에 제시되면 네 개의 부등 탐지기가 모두 흥분할 가능성이 있지만 실제 지각되는 대상에 해당되는 탐지기는 A와 B 탐지기들이다.

(그림 1)은 상의 대응 문제(correspondence problem)라고 불리는 이 문제를 잘 보여주고 있다. 두 눈의 위쪽에 제시된 검은 점들은 시야에 제시된 물리적 자극을 나타내며, 아래쪽에 제시된 흰 점들은 뇌 속의 가설적인 투사장(projection field)에 있는 부등탐지기를 나타낸다. 그림과 같이 시야에 양측으로 두 개의 대상이 제시되면 각 눈의 망막에는 두 대상들이 각각 투사된다. 이때 각 대상들이 투사된 영역을 수용장으로 하는 네 개의 부등 탐지기가 모두 흥분하게 되며, 왼쪽눈에 제시된 한 대상은 오른쪽눈에 제시된 두 대상들 중 어느 것보다도 대응될 수 있으므로 국소적인 영역에서 대응될 대상을 결정할 수가 없다. 상의 대응 문제가 있음에도 불구하고 이 같은 자극이 주어지면 사람들은 네 개의 점들이 있는 것으로 지각하지 않고 두 개의 점들이 양 측면에 있는 것처럼 지각하게 된다.

입체시 모형들[3,4,5,6]은 이 문제를 해결하기 위해서 인간의 지각 경험에 해당되는 두 개의 부등 탐지기 A와 B를 정 대응(correct match)으로 나머지 두 부등 탐지기를 오 대응(false match)으로 취급한다. 이에 따라 정 대응을 제외한 나머지 대응의 활성화 수준을 억제할 수 있도록 부등 탐지기들간의 억제적, 촉진적 상호작용을 부과한 후 최종 활성화 수준이 가장 높은 탐지기들을 최종 출력으로 결정한다.

입체시 모형들은 상의 대응 문제를 해결하기 위해 부등 탐지기간의 상호작용을 가정하고 있지만, 인간의 양안시 기제도 계산 모형들의 해결방식과 유사한 방식으로 상의 대응 문제를 해결하는 지는 잘 알려져 있지 않다. 이를 살펴볼 수 있는 한 가지 방법은 부등 탐지기들의 상대적인 활성화 수준을 변화시켜 가면서 이에 따라 대응될 대상이 변화되는 지를 살펴보는 것이다.

밝기 대비는 대뇌 신경 세포의 입력 강도에 직접적으로 영향을 미치는 변인이므로, 자극의 밝기를 조합함으로써 탐지기들의 초기 활성화 수준을 조작할 수 있을 것이다. 실제 시각 정보의 처리 경로에서 처음으로 양안성(Binocularly)이 발견되는 V1에 있는 단순 세포나 복합 세포들은 각 눈의 밝기 대비에 선형적으로 반응하며, 이 세포들의 흥분 수준은 각 눈에 제시



(그림 2) 각 눈에 제시된 자극 밝기에 따른 부등 탐지기의 활성화 수준. 윗 줄에 제시된 흰색 점들은 가설적인 부등 탐지기를, 점들의 크기는 활성화 수준을 나타내고, 검은 점은 각 눈에 제시된 자극을, 점의 크기는 그 자극의 밝기를 나타낸다. 아래 줄에 제시된 그림은 각 눈에 투사된 영상들의 대응관계를 나타내고 있다. 실선으로 표시된 대응은 부등 탐지기 A, B에 해당하는 정 대응에 나타내며, 점선은 C와 D에 해당하는 오대응을 나타낸다. 어떤 대응이 발생될 지가 명확하지 않은 대응은 '?'로 표시되어 있다. (a)는 두 눈에 제시된 점들의 밝기가 동일한 경우이며, (b)는 각 눈에 제시된 점들의 밝기는 동일하지만 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 제시된 점들의 밝기는 다른 경우이며, (c)는 한 점과 다른 점의 밝기가 다른 경우를 나타낸다. (자세한 내용은 본문을 참조).

된 자극의 밝기가 다른 경우에도 두 자극의 밝기 합에 따라 변화된다(7). V1 수준에서 상의 대응 문제가 해결되는 지는 알지 못하므로 부등 탐지기들의 활성화 수준이 자극 밝기의 선형함으로 변화될 것이라고 예측할 수는 없다. 그러나, V1 이후에서 상의 대응 문제가 해결되는 경우에도 V1에 있는 신경 세포의 활성화 수준이 체계적으로 영향을 줄 것이므로 자극의 밝기 변화는 부등 탐지기의 활성화 수준을 변화시킬 것을 예상할 수 있다.

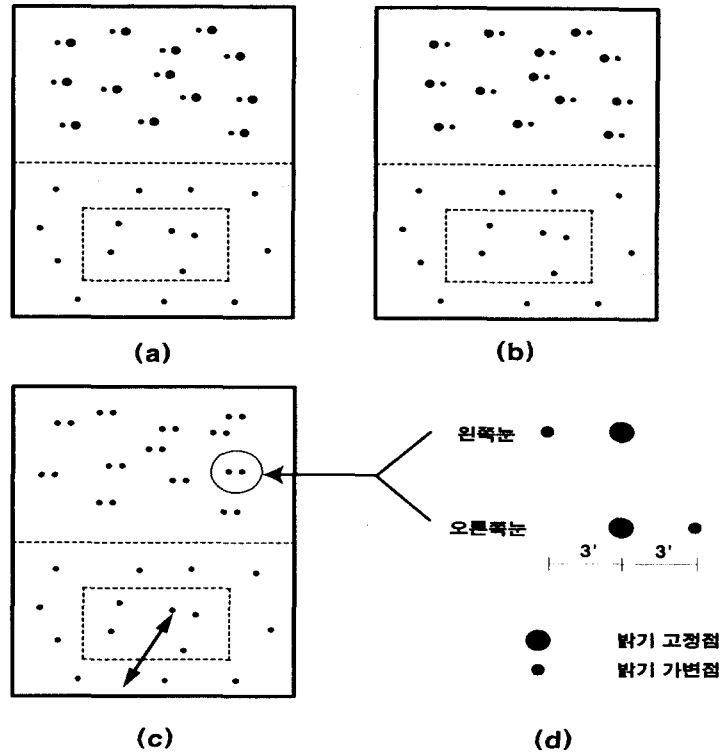
(그림 2)는 제시된 두 점의 밝기에 따라 가설적인 부등 탐지기의 초기 활성화 수준을 보여준다. (그림 2)의 (a)에 나타나 있는 바와 같이 각 눈에 제시된 두 점의 밝기가 동일하다면 각 부등 탐지기로 입력되는 신호도 모두 동일하므로 각 탐지기들의 초기 활성화 수준은 동일할 것이다. 또한 (그림 2)의 (b)와 같이 왼쪽 눈에 제시된 각 점들의 밝기가 오른쪽 눈에 제시된 각 점들보다 밝으면 각 탐지기로 입력되는 신호는 모두 왼쪽 눈에서는 강하지만 오른쪽 눈에서는 약하므로 부등 탐지기의 절대적인 활성화 수준은 (a)의 경우보다 감소할 것이다. 하지만 각 탐지기로 입력되는 신호의 크기는 모두 동일하므로 탐지기들의 상대적인 활성화 수준의 관점에서 보면 상황 (a)와 상황 (b)는 정확히 동일하다. 따라서, 최종적으로 선정되는 탐지기도 동일할 것이므로 지각된 깊이도 두 조건에서 모두 동일할 것을 예측할

수 있다.

각 눈에 제시되는 자극의 밝기 대비를 변화시켜 가면서 상의 대응 문제를 살펴본 기존의 정신 물리학적 연구 결과들은 이와 같은 예측과 일치한다. (그림 2)의 (b)와 같이 각 눈에 밝기가 다른 자극이 제시되었을 때 입체시력(stereoacuity)은 떨어지지만(8,9,10), 지각된 표면의 깊이는 거의 일정하다(11,12). 이는 두 눈에 제시된 자극의 밝기가 다른 경우에도 대응 문제가 해결되는 방식은 영향을 받지 않음을 시사하는 것이다.

(그림 2)의 (c)는 왼쪽 눈의 오른쪽 상과 오른쪽 눈의 왼쪽 상의 밝기를 고정한 채 나머지 점들의 밝기를 변화시키면 (a)나 (b)와는 달리 부등 탐지기들의 초기 활성화 수준이 각기 달라질 수 있음을 보여준다. 만약 부등 탐지기들의 활성화 수준이 상의 대응 문제를 해결하는 방식에 영향을 주지 못한다면 그림 (a), (b), 그리고 (c)에서의 대응 문제는 동일하게 해결될 것이므로 지각되는 깊이도 동일할 것을 예상할 수 있다. 이와 달리 부등 탐지기들의 상대적 활성화 수준이 대응 문제를 해결하는 방식에 영향을 준다면 그림 (c)와 같은 자극이 주어졌을 때의 대응 문제는 (a), (b)의 그것과는 달리 해결될 것이다.

본 연구에서는 네 탐지기들의 상대적인 활성화 수준이 달라질 수 있는 자극을 이용하여, 탐지기들의 상대적인 활성화 수준이 상의 대응 문제를 해결하는 방식에 영향을 미쳐 지각



(그림 3) (a)와 (b)는 실험에 사용된 입체 그림쌍의 왼쪽 상과 오른쪽 상을 각각 보여주고 있다. (c)는 위 두 자극을 입체경으로 보았을 때의 상황을 표시한다. 자극의 뒷 절반은 밝기 고정점과 가변점의 두 짝진 점들로서 구성되었으며, 아래 부분에 점선으로 제시된 사각형은 위에 제시된 표면 깊이를 측정하기 위한 비교 표면으로, 관찰자들은 이 표면의 깊이를 조절할 수 있었다. 실제 자극에서는 점선은 제시되지 않았다. (d)는 각 눈에 제시된 한 쌍의 짝진 점들의 밝기와 위치를 나타내고 있다. 밝기 고정점은 두 눈의 동일한 위치에 제시되어 부등이 없음을 보여주고 있으며, 밝기 가변점은 6'의 부등을 갖고 있음을 보여준다. 이 예는 가변점의 밝기가 밝기 고정점보다 어두운 조건이다.

되는 깊이가 달라지는 지를 살펴보았다. 즉, 자극의 위치 부등(positional disparity)은 변화되지 않았지만 대응될 대상이 변화됨으로써 지각된 깊이가 변화되는 지를 살펴보았다.

실험

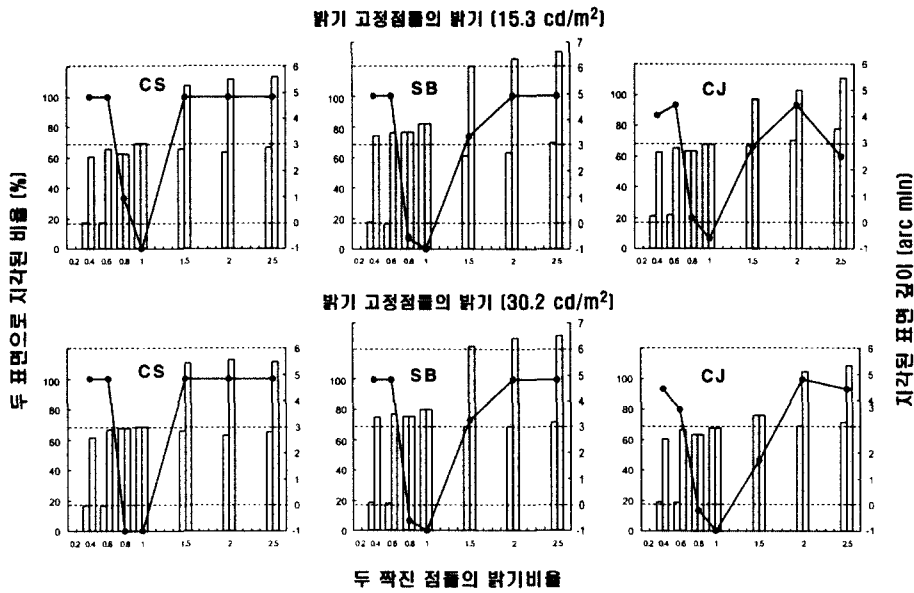
(그림 2)의 (c)와 같은 상황에서 두 자극의 밝기 차가 커짐에 따라서 (그림 2)의 (a)나 (b)에서 지각되는 깊이와는 다른 깊이가 지각되는 지를 살펴보았다. 이 실험은 단안 깊이 단서로서 밝기 대비가 대상의 지각된 깊이에 미치는 영향을 살펴본 연구(14)나 각 눈에 제시되는 자극의 밝기가 다른 조건에서 지각된 깊이를 살펴본 연구들(11,12)과는 구별된다. 이 연구에서는 각 눈에 제시된 특정 자극의 밝기를 변화시킴으로써, 상의 대응 문제가 변화되어 그 결과로 지각된 깊이가 변화되는 지를 살펴보았다.

관찰자

교정시력이 0.8이상인 세 명의 관찰자가 실험에 참가하였으며, 관찰자 CS와 SB는 정신 물리학적 실험에는 익숙해있지만 본 실험의 목적을 알지 못하였으며, 관찰자 CJ는 정신 물리학적 실험에 처음으로 참가하는 사람이었다.

장치

실험자극은 1024 x 768의 해상도를 제공할 수 있는 그래픽 카드에서 만들어졌고, 17' 칼라 모니터에 제시되었다. 각 관찰자는 머리운동을 통제하기 위해 턱받이에 턱을 고정시킨 채 눈앞에 놓여있는 거울형 입체경(mirror-type stereoscope)을 통해 모니터에 제시



(그림 4) 위쪽 열은 고정된 밝기를 가지는 점의 밝기가 15.3 cd/m² 인 조건, 아래쪽 열은 고정된 밝기를 가지는 점의 밝기가 30.2 cd/m²인 조건을 나타내며, 세 개의 행은 세 관찰자의 자료를 나타낸다. 찍은 선 그래프가 나타내는 것은 두 표면을 지각한 비율을, 막대그래프는 각 표면의 지각된 깊이를 각각 나타낸다. 각 점선으로 표시된 수평선들은 대응 가능한 점들에 의해 예상할 수 있는 깊이를 나타낸다.

된 입체 그림쌍을 보았다. 눈과 모니터와의 거리는 190cm로 이 거리에서 화면의 한 화소는 0.5'에 해당하였다. 실험에 사용된 자극의 밝기는 Minolta사의 LS-110으로 측정되었다.

자극

본 연구에 사용된 자극은 가로 90', 세로 120' 영역에 RDS로 제시되었다. 검사 자극은 이 사각형 영역 중 위쪽 절반에 해당하는 가로 90', 세로 60' 영역에 제시되었으며, (그림 3)의 (a)에서 볼 수 있듯이 각 눈에 제시된 두 점이 한 쌍을 이루도록 하였다. 각 쌍들은 (그림 3)의 (b)에 나타나 있는 것 같이 다음과 같은 방식으로 만들어졌다. 먼저, 5%의 밀도를 가지는 무선점 패턴을 왼쪽과 오른쪽 입체 그림의 동일한 위치에 찍어 응시 표면과 같은 깊이를 가지도록 하였으며 이 무선점들의 밝기는 고정시켰다(밝기 고정점). 이 패턴의 각 점들과 쌍이 될 점들은 왼쪽 입체 그림에서는 각 밝기 고정점의 왼쪽 3'에, 오른쪽 입체 그림에서는 오른쪽 3'에 위치하도록 하였고, 이들 점들의 밝기는 밝기 비율 조건에 따라 변화되었다(밝기 가변점). 따라서, 밝기 고정점은 두 눈의 동일 위치에

제시되어 양안 부등은 0'이었고 밝기 가변점들 간의 양안 부등은 6'이었으며, 밝기 고정점과 밝기 가변점들 간의 양안 부등은 3'이었다. 따라서, 두 점의 밝기가 같으면 (그림 2)의(a)에서 설명한 바와 같이 3'의 양안 부등 갖는 점들간에 대응이 이루어져 한 표면으로 지각될 것이지만, 두 점의 밝기 차이가 커짐에 따라 대응될 대상이 변화된다면 양안 부등 0'이나 6'에 해당하는 표면이 지각될 것이다. 밝기 고정점들의 밝기는 15.3 cd/m², 30.2cd/m² 두 수준으로 결정되었고, 짝진 점들의 밝기 비율 조건에 따라 밝기 가변점들의 밝기는 밝기 고정점 밝기의 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.5, 2, 2.5 배에 해당되는 밝기가 선정되었다.

검사 자극의 표면 깊이는 RDS의 아래쪽에 가로 45', 세로 20'크기로 제시된 비교자극의 깊이를 이용하여 측정되었다.

절차

RDS의 가장자리에 제시된 점들이 응시 표면의 역할을 하므로 각 시행에서 응시점은 주어지지 않았다. 관찰자들의 과제는 비교표면의 깊이를 키보드를 통해 조절하여 RDS의 위쪽에 제시된 표면의 깊이를 평가하는 것이

었다. 비교표면의 깊이는 컴퓨터 자판을 누름으로써 다가오거나 물러나게 조절할 수 있었으며 조절 단계는 1' 이었다. 한 표면과 비교 표면의 깊이를 일치시킨 후 특정 자판을 누르도록 했으며, 이 반응은 한 표면에 대한 깊이조절이 완료되었음을 의미하는 것이었다. 모든 시행은 두 번의 깊이조절 완료반응으로 종결되었으며, 곧바로 다음 시행의 자극이 제시되었다. 따라서, 두 표면이 지각되면 비교 자극의 깊이를 조절하여 두 표면의 깊이 각각에 일치시킨 후 완료반응을 하도록 하였으며, 단일 표면으로 지각되면 한 번의 깊이 조절 후에 완료반응을 연속적으로 두 번 하도록 하였다. 두 수준의 밝기 고정점들의 밝기, 일곱 수준의 밝기 고정점과 가변점간의 밝기 비율에 의해 14회의 시행으로 한 구획이 구성되었다. 한 세션에서는 각 구획을 다섯 번씩 반복 측정하였으며, 이때 각 시행은 완전 무선화되었다. 실험은 세 번의 세션으로 구성되어 있었으므로 각 조건들은 15회 반복되었고 이에 따라 총 시행은 210 회였다.

결과

각 시행에서 관찰자들은 항상 두 번에 걸쳐 표면 깊이에 대해 반응을 하였는데, 두 반응의 깊이가 동일하거나 1' 이내인 경우 단일 표면을 지각한 것으로, 두 표면의 깊이가 1'보다 큰 차이를 보이는 경우는 두 표면을 지각한 것으로 판단하였다. (그림 4)의 윗줄과 아랫줄 각각은 밝기 고정 점들의 밝기가 15.3, 30.2 cd/m² 일때 밝기 고정점과 가변점의 밝기 비율에 따른 표면 깊이의 변화를 나타내며 세 행은 각 관찰자의 자료를 보여준다.

(그림 4)에서 볼 수 있듯이 두 짝진 점들의 밝기가 동일하거나 유사한 경우 단일 표면으로 지각하는 비율이 높았고, 밝기 가변점이 고정점 보다 어둡거나 밝은 것과 무관하게 두 점의 밝기차가 커짐에 따라 두 표면으로 지각하는 비율은 증가하였다. 이는 두 짝진 점들의 밝기차에 따라 지각된 표면이 질적으로 달라짐을 보여주는 것으로 부등 탐지기들의 활성화 수준이 변함에 따라 대응 문제를 해결하는 방식이 달라질 수 있음을 시사한다. 특히, 관찰자 CS와 SB는 두 점의 밝기 비율이 0.8에서 1.0 조건의 거의 모든 시행에서 하나의 표면으로 지각했으며, 밝기 가변점의 밝기가 이 범위 이하이거나 이상인 모든 밝기 비율조건에서 항상 두 표면으로 지각하였다.

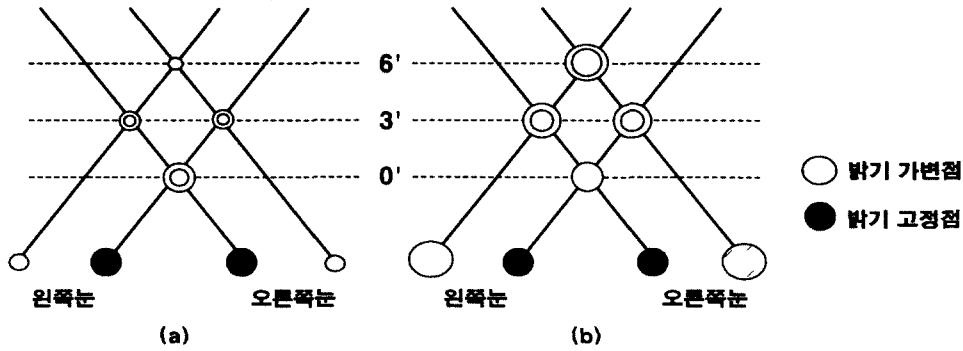
밝기 가변점이 밝기 고정점 보다 더 밝은 경우나 더 어두운 경우 모두 두 표면으로 지각했지만, 매우 흥미롭게도 밝기 가변점이 보다 어두운 조건(밝기 비율 1 이하)과 보다 밝은 조건(밝기 비율 1 이상)에서 각 표면의 깊이는 질적으로 서로 다른 것으로 나타났다. 세

관찰자들의 결과들을 살펴보면 밝기 비율 조건에 따른 표면 깊이의 변화는 밝기 고정점이 15.3 cd/m²인 조건과, 30.2cd/m² 인 조건 모두에서 발생하여 밝기 고정점의 밝기 수준과는 무관한 것으로 나타났다. 따라서 밝기 고정점의 두 밝기 수준에서 얻어진 결과들을 모두 합쳐서 살펴본 결과 밝기 가변점이 밝기 고정점 보다 어두운 밝기 비율 0.4 조건에서 지각된 두 평면의 깊이는 각각 0.0(±0.1)과 2.8(±0.4)로, 밝기 비율 0.6조건에서의 두 평면의 깊이는 0.0(±0.1)과 3.1(±0.3)로 나타나 밝기 고정점간의 부등인 0'와 밝기 고정점과 밝기 가변점간의 부등인 3'에 해당되는 깊이가 지각되었음을 확인하였다. 또한 밝기 가변점이 밝기 고정점보다 더 밝은 밝기 비율 2.0에서 두 평면의 깊이는 2.9(±0.3), 5.7(±0.5)로, 밝기 비율 2.5 조건에서 두 평면의 깊이는 3.1(±0.2), 5.8(±0.5)로 나타나 밝기 가변점간의 부등인 6'과 밝기 고정점과 밝기 가변점간의 부등인 3'에 해당되는 깊이가 지각되었다.

논의

본 연구는 밝기 대비에 의해서 상의 대응 문제가 해결되는 방식이 변화될 수 있으며, 그 결과 위치 부등의 변화가 없음에도 불구하고 다른 깊이가 지각될 수 있음을 보여 주었다. 이러한 결과는 두 눈에 제시된 자극의 밝기 차를 크게 한 경우에도 대응될 대상은 변화되지 않는다는 연구결과(14)와 상충되는 것처럼 보인다. 두 연구에서 발견된 차이는 대상의 밝기를 변화시킨 방법이 달랐기 때문에 발생한 것으로 설명 가능하다. 본 연구와 Schor등(14)의 연구는 모두 대응될 대상의 밝기를 변화시켰다는 점에서는 동일하지만, 그들의 연구에서는 자극이 어느 눈에 제시되었느냐에 따라 자극의 밝기가 결정되어 부등 탐지기의 상대적 활성화 수준은 모두 동일하도록 제시되었다. 이와 달리, 본 연구에 사용된 자극에서는 짝지어진 두 점들 중 한 점의 밝기를 각 눈에서 변화시킴으로써 각 눈에 제시된 자극의 평균 밝기는 동일하였지만, 부등 탐지기들의 상대적 활성화 수준이 변화되도록 제시되었다.

두 짝진 점들의 밝기차이가 커질수록 하나의 표면에서 두 개의 표면으로 지각된다는 사실이외에 밝기 고정점들이 밝기 가변점들 보다 상대적으로 밝을 때와 어두울 때 지각되는 표면 깊이가 질적으로 다르다는 사실은 부등 탐지기들의 상대적인 활성화 수준에 따라 상의 대응 문제가 해결되는 방식이 변화될 것이라는 가설을 보다 강력히 지지한다. (그림 5)에서 (a)와 (b)는 각각 밝기 가변점이 밝기 고정점보다 상대적으로 밝은 조건과 어두운 조건을



(그림 5) 밝기 가변점과 밝기 고정점의 상대적 밝기에 따른 가설적인 부등 탐지기의 상대적인 활성화 수준. 검은 점은 검은 밝기 고정점을 빛금 친 점은 밝기 가변점을 나타내며 흰 점들은 가설적인 부등 탐지기를 나타낸다. 그림 (a)와 (b)는 각각 밝기 고정점이 밝기 가변점보다 밝은 경우와 어두운 경우를 나타내는데, 이중 원으로 표시된 탐지기는 각 조건에서 지각된 표면 깊이에 해당되는 탐지기를 나타낸다.

나타낸다. 밝기 고정점이 밝은 (그림 5)의 (a)와 같은 조건에서는 밝기 고정점들 간의 대응과 밝기 고정점과 밝기 가변점 간의 대응에 해당되는 표면 깊이 0', 3'이 지각된 반면, 밝기 고정점이 어두운 (그림 5)의 (b)와 같은 조건에서는 밝기 가변점들 간의 대응과 밝기 고정점과 밝기 가변점 간의 대응에 해당되는 3', 6'의 깊이가 지각되었다. 이러한 사실은 두 조건 모두에서 활성화 수준이 높은 부등 탐지기에 해당되는 깊이가 지각되었음을 보여준다.

본 연구에서 대응될 대상이 변화되는 밝기 비율은 무엇을 의미하는가? 세 관찰자 결과에서 밝기 비율 0.6과 0.8 사이, 대략 0.7 부근에서 대응될 대상이 변화됨을 보았다. 두 짝진 점들의 밝기비율이 0.7 이상부터 밝기가 동일한 1.0 수준에서 대응될 대상이 동일하게 결정된다는 사실은 밝기 비율이 0.7에서 1보다 작은 수준의 자극이 제시된 경우 (그림 2)의 A, B 탐지기의 초기 활성화 수준이 비록 다른 탐지기보다 작은 경우에도 상호 촉진적인 상호작용을 통해 궁극적으로는 최대화될 수 있음을 시사한다. 따라서, 밝기 비율 1.0으로부터 대응될 상이 바뀌는 밝기 비율 0.7을 뺀 0.3이 부등 탐지기들간의 상호 작용을 통해 부등 탐지기 A, B가 얻을 수 있는 이득(gain)을 반영한다고 볼 수 있다. 여기서 0.3의 값이 부등 탐지기 A, B의 이득 값을 나타내는 것이 아니라 반영한다는 용어를 사용한 것은 가설 탐지기의 활성화 수준이 자극의 밝기 수준에 따라 선형적으로 변할 지를 확인할 수 없기 때문이다. 즉, 상의 대응 문제가 밝기 정보의 선형성이 유지되는 수준에서 발생하는 것인지, 혹은 입체시력(9)이나 지각된 밝기(15)와 같이 밝기 정보의 비선형적 압축이 발생하는 수준에서 발생하는 것인지를

알지 못하기 때문에 자극의 밝기 변화에 따른 부등 탐지기의 활성화 수준을 예측할 수 없기 때문이다.

이 연구에서 가정하고 있는 가설적인 부등 탐지기들의 상호작용은 양안 정보의 처리 경로 중 어디에서 발생하는 것일까? V1 영역에 있는 각 세포들은 두 눈으로부터 동시에 입력을 받는 첫 번째 대뇌 영역으로 [16], 입체시 기체의 기본적인 신경기체이다. Poggio와 그의 동료들은 [17,18,19] V1에 있는 대부분의 세포들이 양안 부등에 조율되어 있음을 보여주었지만, V1 수준에서 입체시 깊이가 처리되는 것이 아니라 후속의 부가적인 처리가 필요함을 시사하는 정신 물리학적, 신경 생리학적 연구들이 있다.

Cumming, Shapiro 와 Parker [20]는 두 눈에 제시되는 자극의 부등 부호 (contrast sign)가 서로 반대인-왼쪽 입체시 그림에서 배경자극 보다 밝은 점은 오른쪽 입체시 그림에서는 배경보다 어둡게 만든-반 상관 (anticorrelated) RDS를 제시하였을 때 사람들은 양안 부등에 따른 입체시 깊이를 지각하지 못했음을 발견했다. 그러나, 원숭이에게 반 상관 RDS 자극을 제시하였을 때 V1세포들의 활성화 수준은 양안 부등의 함수로 변화되며, 특히 반상관 RDS를 제시했을 때 발견되는 부등 조율 함수는 상관 RDS를 제시했을 때의 부등 조율함수가 뒤집혀진 형태로 나타난다[21]. 이들 세포들의 활성화 수준이 깊이 지각과 직접적인 연관이 있다면 반 상관 RDS에서 지각되었던 깊이는 상관 RDS에서 지각되었던 깊이의 반대 깊이가 지각되어야 함에도 불구하고 반상관 RDS에서는 양안 부등에 따른 깊이 지각이 발생되지 않았다. 따라서, V1에 있는 양안 부등에 조율된 세포들의 반응은 직접 깊이 변별에 관여하고 있는 것이 아니라 후속의 처리가 필요함을 시사하는 것으로 깊이 변별이 발

생하는 수준에서 해결되어야 하는 상의 대응 문제 역시 최소한 V1 이후에서 처리될 것이다.

본 실험에 사용된 자극은 부등 탐지기들의 상호 작용의 특성을 정신 물리학적 방법으로 살펴볼 수 있도록 하지만, 상의 대응 문제가 발생하는 신경 생리학적 토대를 발견하는 데도 유용하게 사용될 수 있을 것이라고 생각된다. 특정 신경 세포들이 상의 대응 문제에 관여한다면 본 연구에서 사용된 자극을 제시하고 두 점의 밝기 비율을 점진적으로 변화시켜간다면 0.7 부근에서 질적인 변화를 발견할 가능성이 있기 때문이다.

참고 문헌

- [1] Julesz, B. (1971). Foundations of cyclopean perception. Chicago: University of Chicago Press.
- [2] Marr, D. (1982). Vision. New York: Freeman.
- [3] Dev, P. (1975). Perception of depth surfaces in random-dot stereograms: A neural model. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7, 511-528.
- [4] McLoughlin, N. P. & Grossberg, S. (1998). Cortical computation of stereo disparity. *Vision Research*, 38, 91-99.
- [5] Marr, D. & Poggio, T. (1979). A computational theory of human stereo vision. *Proceedings of the Royal Society of London*, 204(B), 301-328.
- [6] 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.
- [7] Freeman, R. D. & Ohzawa, I. (1990). On the neurophysiological organization of binocular vision. *Vision Research*, 30, 1661-1676.
- [8] Cormack, L. K., Stevenson, S. B., & Schor, C. M. (1991). Interocular correlation, luminance contrast and cyclopean processing. *Vision Research*, 31, 2195-2207.
- [9] Halpern, D. L. & Blake, R. (1988). How contrast affects stereoacuity. *Perception*, 17(4), 483-495.
- [10] Legge, G. E. & Gu, Y. (1989). Stereopsis and contrast. *Vision Research*, 29, 989-1004.
- [11] Mansfield, J. S. & Legge, G. E. (1996). The binocular computation of visual direction. *Vision Research*, 36(1), 27-41.
- [12] Rohaly, A. M. & Wilson, H. R. (1999). The effects of contrast on perceived depth and depth discrimination. *Vision Research*, 39, 9-18.
- [13] O'Shea R. P., Blackburn, S. G., & Ono, H. (1994). Contrast as a depth cue. *Vision Research*, 34, 1595-1604.
- [14] Schor, C. M. & Howarth, P. A. (1986). Suprathreshold stereo-depth matches as a function of contrast and spatial frequency. *Perception*, 15, 249-258.
- [15] Anderson, P. A. & Movshon, J. A. (1989). Binocular combination of contrast signals. *Vision Research*, 29, 1115-1132.
- [16] Hubel, D. H & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology*, 160, 106-154.
- [17] Poggio, G. F. & Fischer, B. (1977). Binocular interaction and depth sensitivity in striate and prestriate cortex of behaving rhesus monkey. *Journal of Neurophysiology*, 40, 1392-1405.
- [18] Poggio, G. F., Gonzalesz, F. & Krause, F. (1988). Stereoscopic mechanism in monkey visual cortex: Binocular correlation and disparity selectivity. *Journal of Neuroscience*, 8, 4531-4550.
- [19] Poggio, G. F., Mottor, B. C., Squatrito, S. & Trotter, Y. (1985). Responses of neurons in visual cortex (V1 and V2) of the alert macaque to dynamic random-dot stereograms. *Vision Research*, 25, 397-406.
- [20] Cumming, B. G., Shapiro, S. E., & Parker, A. J. (1998). Disparity detection in anticorrelated stereograms. *Perception*, 27, 1367-1377.
- [21] Cumming, B. G. & Parker, A. J. (1997). Responses of primary visual cortical neurons to binocular disparity without the perception of depth. *Nature*, 389, 280-283.