

# 표면 요소의 시선방향에 의한 동일시선 상에 놓여있는 표면의 입체시 깊이 변화

## Stereoscopic depth of surfaces lying in the same visual direction depends on the visual direction of surface features

감기택\*  
(Keetaek Kham)

**요약** 동일한 시선방향에 놓여있는 두 대상의 경우 공간적으로 가까운 영역에서 급격한 깊이 변화가 발생된다. 이 상황은 고전적인 계산 모형들이 상의 대응 문제를 해결하는 과정에서 적용하고 있는 제약들의 가정과 배치되므로, 이 상황에서 얻어진 정신물리학적 결과는 여러 제약들의 타당성을 검토하는 데 유용하게 사용되어 왔다. 두 못 착시와 같이 두 대상이 동일시선에 놓여있는 상황에서는 각 대상의 양안 시차에 해당하는 입체시 깊이가 지각되지 않는다는 정신물리학적 결과와는 달리 동일시선에 무선점으로 구성된 두 표면이 주어지는 경우 각 표면은 해당 표면에 속한 점들의 양안시차에 해당하는 입체시 깊이가 지각된다. 두 상황에서 얻어진 상충된 결과가 양안시기제가 상의 대응 문제를 해결하는 방식의 차이 때문에 발생된 것인지, 단순히 무선점 표면을 구성하는 표면 요소인 각 점들의 시선방향이 고려되지 않았기 때문에 발생된 것임을 확인하기 위해 표면 요소들의 시선방향을 조작한 후 표면의 입체시 깊이를 조사하였다. 실험 1에서는 깊이가 각기 다른 표면을 가지는 무선점 입체 그림(random-dot stereogram: 이후 RDS)을 중첩시키면서 각 표면에 속한 점들의 시선 방향이 동일한 조건과 서로 다른 조건에서 지각되는 표면의 입체시 깊이를 측정하였다. 실험 2에서는 윤곽선에 의해 규정된 표면의 입체시 깊이가 다른 자극과의 시선방향에 따라 변화되는 지를 조사하였다. 두 실험 모두에서 다른 대상과 동일시선에 주어진 표면의 경우에도 표면 요소들의 시선방향이 다른 경우 각 표면 요소의 양안시차와 유사한 입체시 깊이가 지각된 반면, 표면 요소들의 시선방향이 동일한 경우 표면의 입체시 깊이는 해당 표면 요소의 양안 시차보다 과소평가되었고 그 깊이 정도는 두 못 착시에서 발견되었던 입체시 깊이와 유사하였다. 이러한 결과는 각 표면 요소들의 시선 방향이 고려될 경우 두 점 상황과 두 표면 상황에서 상의 대응 문제는 유사한 방식으로 해결되며, 표면의 시선방향보다 표면 요소의 시선방향이 중요함을 시사한다. 본 연구에서 밝혀진 결과를 계산 모형의 여러 제약조건의 유용성 맥락에서 논의하였다.

주제어 입체시 깊이, 상의 대응 문제, 입체시 투명 표면

**Abstracts** When two objects are lying in the same visual direction, there occurs abrupt depth change between two objects, which is against the assumption of the computational model for stereopsis on the surfaces in a natural scene. For this reason, this stimulus configuration is popularly used in the studies for the effectiveness of the constraints employed in the computational model. Contrary to the results from two nails (or objects) lying in the same visual direction, the two different surfaces from random-dot stereogram (RDS) in the same situation can be seen simultaneously in the different depth. The seemingly contradictory results between two situations may reflect the different strategies imposed by binocular mechanism for each situation during binocular matching process. Otherwise, the surfaces lying in the same visual direction is not equivalent situation to two objects lying in the same visual direction with regards to matching process. In order to examine above possibilities, the stereoscopic depth of the surface was measured after manipulating the visual

\* 연세대학교 인지과학 연구소  
Center for Cognitive Science, Yonsei University  
연구 세부 분야: 실험 심리학, 입체시각  
주소: 서울 서대문구 신촌동 연세대학교 인지과학 연구소  
120-749 감기택

전화: 02-2123-3893, Fax: 02-364-2440  
e-mail: kham@yonsei.ac.kr

감사의 글: 과학기술부 뇌신경 정보화 사업의 지원을 받아 연구되었음. 좋은 지적을 해 주신 두 분의 심사위원께 감사드립니다.

direction of the surface elements. The visual direction of each dot pair from different surfaces in RDS (in Experiment 1) or the visual direction of line drawing rectangle with regard to that of the vertical line (in Experiment 2) was manipulated. The stereoscopic depth of the surface was found to be varied depending on visual direction of the surface elements in both RDS and line drawing stimulus. Similar to the results from two nails situation, depth of the surface was greatly reduced when each surface element was lying in the same visual direction as that of the other surface element or the other object. These results suggest that binocular mechanism imposes no different strategy in resolving correspondence problem in both two objects and two surfaces situation. And the results were discussed in the context of usefulness of the constraints employed in the computational model for stereopsis.

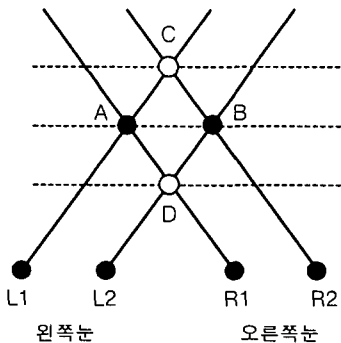
**Keywords** stereoscopic depth, correspondence problem, stereoscopic transparency

무선점을 이용한 입체그림(Julesz, 1960)이 인간의 입체시 기체의 정보 처리 원리를 밝히기 위한 정신 물리학적 연구에 사용된 이래, 그 연구 결과들은 입체시 기체에 대한 계산 모형을 개발하는 데 중요한 이론적인 근거들을 제공해왔다. 무선점 입체 그림(random-dot stereogram: 이후 RDS)은 그 이전에 사용되었던 입체 그림들과 비교해 볼 때 동일한 특성을 가진 수많은 점들로 구성되어 있다는 특징이 있다. 두 눈에 투사된 영상들의 위치 차이인 양안 시차(binocular disparity)로부터 입체시 깊이가 계산되기 위해서는 먼저 왼쪽 눈에 투사된 특정 영상이 오른쪽 눈에 제시된 어떤 영상과 대응이 될 것인지를 결정하는 상의 대응 문제(correspondence problem)가 해결되어야 한다. 그러나 RDS와 같은 자극에서는 왼쪽 영상의 한 점과 대응 가능한 점들이 오른쪽 영상에서 매우 많이 존재하므로 상의 대응 과정이 매우 복잡한 과정을 통해 결정될 것을 예상할 수 있다. (그림 1)은 설명을 단순화하기 위해서 상의 대응 문제가 발생할 수 있는 최소 상황인 같은 깊이에 두 점이 놓여있을 때 각 눈에 투사된 영상과 이로부터 발생할 수 있

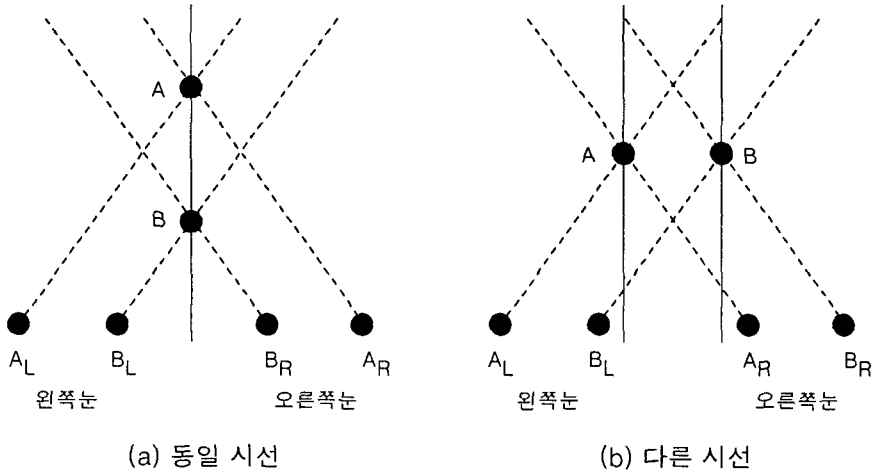
는 상의 대응 문제를 보여주고 있다. (그림 1)에서 왼쪽 눈에 투사된 한 점 L1과 L2 각각은 오른쪽 눈에 제시된 두 점과 대응될 가능성이 동등하므로 L1과 R1, L1과 R2, L2와 R1, L2와 R2 영상들의 대응에 의해 만들어질 수 있는 대응 A, B, C 그리고 D들은 모두 논리적으로 가능한 대응들이다. 그러나 이와 같은 논리적인 가능성과는 달리 각 눈에 두 점이 제시되었을 때 실제 지각되는 입체시 깊이는 대응 A와 B에 해당되는 것이다. 이러한 현상적인 결과는 양안시 기체가 가능한 여러 대응들 중 특정 대응만을 선정하고 있음을 시사하며, 입체시 계산 모형이 주어진 영상으로부터 삼차원 깊이를 정확히 표상하기 위해서는 가능한 대응들 중 C나 D와 같은 대응들을 억제시키거나 제거할 수 있는 규칙 혹은 제약(constraint)을 적용해야 한다.

여러 계산 모형들은 환경 속에 놓여있는 표면의 특성들에 근거한 제약들을 고안하여 상의 대응 문제를 해결하는데 적용했다. 예를 들어, Marr와 그의 동료들(Marr & Poggio, 1976; Marr, 1982)은 불투명 표면에 속해있는 표면 요소들의 양안 시차는 유사하다는 특징에 근거하여 연속성 제약(continuity constraint) 혹은 매끈함 제약(smoothness constraint)을 제안했다. 이러한 제약들은 그들의 계산 모형에서 유사한 시차를 표상하는 대응들 간에는 흥분성 연결, 서로 다른 시차를 갖는 대응들 간에는 억제성 연결을 갖도록 구현되었다. 이를 (그림 1)의 예에 적용하면 흥분성 연결을 갖게 되는 대응 A와 B는 서로 활성화 수준을 높게 되고 나머지 대응 C와 D의 활성화 수준은 억제되므로 최종적으로 대응 C와 D는 제거되고 대응 A와 B만 살아남게 된다. Baker(1982)가 제안한 또 다른 제약은 여러 가능한 대응들 중 영상들의 순서가 뒤바뀌지 않는 대응들을 선정하도록 하는 순서제약(ordering constraint)이다. 이에 따르면 영상 L1-R1, L2-R2의 대응에 의한 A와 B와 같이 각 눈에 제시된 영상의 순서가 유지되는 대응들은 허용하지만, 영상 L1-R2, L2-R1의 대응에 의한 C와 D와 같이 각 눈에 제시된 영상의 순서가 바뀌는 대응들은 허용하지 않는다.

이러한 제약들을 이용한 계산모형은 불투명 표면을 구성



(그림 1) 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 각각 두 영상이 투사되었을 때 가능한 네 가지 대응(가설적인 양안시차 탐지기)들이 원으로 표시되어 있다. 실제 지각되는 것은 가능한 대응들 중 검은 원(대응 A와 B)에 해당된다. 점선으로 표시된 세 수평선은 각기 다른 깊이를 나타낸다.



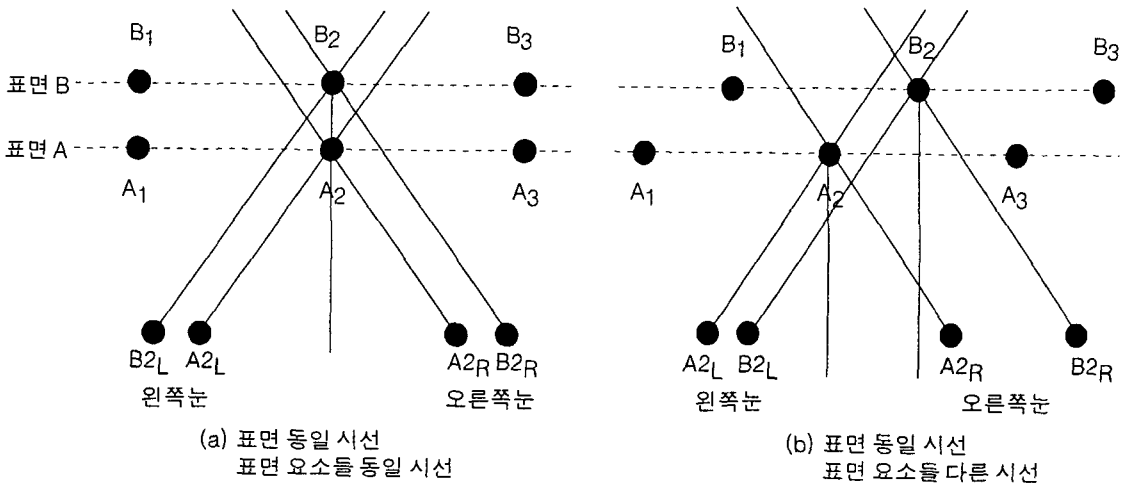
(그림 2) 두 대상의 시선방향이 동일한 조건과 다른 조건에서 각 눈으로 투사되는 영상들의 예. (그림 1)에서와는 달리 점 A와 B는 가설적인 시차 탐지기가 아니라 환경 속에 주어진 자극을 표시한다. 그림에서 각 점선은 단안으로 볼 때의 시선방향을 나타내며 실선은 양안에 의해 주관적으로 지각되는 시선방향, 즉 일안(cyclopean eye)(Julesz, 1971) 시선방향을 나타낸다. 자세한 내용은 본문을 볼 것.

하는 RDS의 입체시 깊이를 훌륭히 계산해 낼 수 있지만 (Marr, Palm & Poggio, 1978; Marr & Poggio, 1976), 실제 환경 장면들은 불투명 표면으로만 구성되어 있는 것은 아니다. Marr(1982, pp.123)가 지적하듯이 얇은 호수를 바라볼 때 호수 표면과 같이 투명한 표면이 존재하는 경우 동일시선 상에서 깊이가 다른 두 표면을 동시에 지각할 수 있다. 특히 이러한 상황을 모사하여 깊이가 다른 두 표면을 가진 두 RDS를 중첩시켰을 때에도 상대적으로 가까운 깊이에 있는 표면이 투명하게 지각되면서 동일시선 상에서 두 표면이 한꺼번에 지각된다(Akerstrom & Todd, 1988; Gepshtein & Cooperman, 1998; Weinshall, 1989, 1991). 인간의 양안시 기제는 깊이가 다른 두 표면을 표상할 수 있지만, 투명 표면 상황에서는 인접 영역에 있는 대상들의 시차들이 급격하게 변화되므로 깊이가 다른 대응들 간에 억제적인 상호작용을 가정하는 모형들(eg. Marr & Poggio, 1976; Grimson, 1985)들은 투명 표면의 깊이를 해결하지 못한다. 따라서 고전적인 계산 모형들의 가정에 위배되는 투명 표면 자극은 인간의 양안시 기제가 상의 대응 문제를 해결하는 과정을 살펴보기 위한 연구들(Gepshtein & Cooperman, 1998; McKee & Verghese, 2002)에 많이 사용되어 왔다.

깊이가 다른 두 표면이 동일시선 상에 있는 경우에도 두 표면의 깊이를 동시에 표상할 수 있다는 정신 물리학적 결과로부터 계산 모형에서 상의 대응 문제에 적용하던 제약 조건들을 수정하려는 시도들이 있었다(예를 들어, Prazdny, 1985). 그러나 RDS로부터 투명표면을 지각할 수

있다는 사실이 양안시기제가 동일시선 상에 있는 두 대상의 대응 문제를 정확히 해결하여 각 대상의 양안 시차에 해당하는 입체시 깊이를 표상한다는 것을 의미하지는 않는다. 왜냐하면 RDS로부터 지각되는 표면의 깊이는 상의 대응 문제의 해결로부터 직접 산출되는 것이 아니라 각 점들의 대응 문제가 해결되고 이로부터 계산된 각 점들의 국소 깊이가 표면 요소들이 없는 인접 영역에까지 보간(Grimson, 1981)이나 확산(Nishina, Okada & Kawato, 2003)에 의해서 발생된다. 따라서 투명 표면이 지각된다는 사실로부터 상의 대응 문제를 해결하는 데 적용하는 제약들의 타당성을 살펴보기 위해서는 동일시선 상에서 두 표면이 지각될 수 있는 지가 아니라 동일시선 상에 놓여있는 표면에 속한 표면 요소들의 대응 문제를 분석해야 한다.

설명을 단순화시키기 위해서 대응될 수 있는 영상들이 많은 RDS대신에 동일시선 상에 두 대상이 놓여있는 상황에서 각 눈으로 투사되는 망막상과 이로부터 지각되는 입체시 깊이를 살펴보고 이들 대상들의 대응 문제가 어떻게 해결되는지를 살펴보자. (그림 2)의 (a)에 제시되어 있는 것과 같이 대상 A와 B가 동일시선 상의 다른 깊이에 있을 때 왼쪽 눈에는 A와 B의 순서대로 투사되지만 오른쪽 눈에는 이와 반대로 B와 A의 순서대로 투사된다. 이와 달리 (그림 2)의 (b)와 같이 동일 깊이의 양 측면에 두 대상이 있는 상황에서는 왼쪽 눈과 오른쪽 눈 모두에서 A와 B의 순서대로 상이 투사된다. 두 상황에서 각 눈으로 투사되는 영상의 순서가 다르지만 두 대상의 속성이 동일하다면 두 눈으로 투사되는 영



(그림 3) 깊이가 다른 두 표면이 동일시선 상에 제시될 때 표면 요소들의 시선방향에 따라 두 다른 상황이 발생할 수 있다. 표면 A와 B에 속하는 각각 세 개의 점들이 주어질 때, 서로 다른 표면에 있는 표면 요소들 간의 시선 방향이 동일한 경우와 서로 다른 경우가 각각 그림 (a)와 (b)에 제시되어 있다. 점선으로 표시된 두 수평선은 각각 깊이가 동일한 점들로부터 형성될 수 있는 주관적인 표면을 나타낸다. 그림을 단순하게 제시하기 위해 세 쌍의 점들 중 한 쌍의 점의 시선방향만 표시되어 있다. 표면 요소들의 시선방향이 동일한 (a)에서는 각 눈으로 투사되는 영상의 순서가 각 눈에서 바뀌는 것을 볼 수 있으며 (b)에서는 각 눈으로 투사되는 영상의 순서가 유지되는 것을 볼 수 있다. 점선으로 표시되어 있는 수평선은 동일한 깊이를 가진 점들의 시차가 계산된 후 형성될 수 있는 표면을 나타내며 수직선은 주관적인 시선방향을 나타낸다.

상은 모두 동일하게 된다. 이 경우 시각기제는 두 상황을 정확히 구별해서 각기 다른 방식으로 대상의 깊이를 표상할 수 있을까? Krol과 van de Grind (1980) 등은 (그림 2)의 (a)와 같은 상황을 정확히 모사해 두 개의 가는 못을 동일시선의 앞 뒤쪽에 제시하면 두 못이 동일시선의 앞뒤에 있는 것으로 지각되지 않고 (그림 2)의 (b)와 같이 두 못이 같은 깊이의 양 측면에 있는 것으로 지각되며 그 깊이는 두 못의 양안 시차의 평균에 해당됨을 발견하였다. 이러한 결과는 (그림 2)의 (a)에서 한 대상으로부터 투사된 영상들인  $A_L-A_R, B_L-B_R$ 의 대응이 발생하지 않고 각기 다른 대상으로부터 투사된 영상들인  $A_L-B_R, B_L-A_R$ 의 대응에 의해 입체시 깊이가 표상되었음을 시사한다. 두 못 착시(double-nail illusion)라 불리는 이 현상은 동일 대상이 아니라 다른 대상으로부터 투사된 영상들이 대응되어 입체시 깊이가 발생되므로, 주어진 대상들의 양안 시차에 해당되는 입체시 깊이가 표상될 수 없음을 보여준다. 이와 달리 깊이가 다른 두 RDS를 중첩시키는 경우 각 표면의 입체시 깊이는 각 표면의 양안시차에 해당된다(Akerstrom & Todd, 1988; Gepshtein & Cooperman, 1998; Weinsall, 1989).

두 점 상황과 두 표면을 포함하는 RDS 상황에서 얻어진 상충되는 결과는 상의 대응 문제의 관점에서 매우 흥미로운 질문을 제기한다. 양안시계가 두 점 상황과 두 표면을 가진 RDS 상황에서 상의 대응 문제를 각기 다른 방

식으로 해결하기 때문에 두 상황에서 서로 상충되는 결과가 발생되는가? 두 상황에서 상의 대응 문제가 해결되는 방식이 서로 다르다면 투명 표면의 깊이를 처리하기 위해서는 동일시선 상에 있는 점들의 깊이를 정확히 표상할 수 있는 제약들을 고안할 필요가 있다. 이와 달리 두 상황에서 상의 대응 문제가 해결되는 방식에 차이가 있는 것이 아니라 두 표면이 중첩된 RDS 상황은 상의 대응 문제의 관점에서 두 점이 동일시선 상에 있는 조건과 달랐기 때문에 서로 상충되는 결과가 발생되었을 가능성이 있다. 즉 투명 표면이 지각되는 RDS 상황에서 비록 두 표면은 동일시선 상에 있지만 각 표면에 속한 표면 요소들(표면을 구성하는 각 점들)의 시선방향이 서로 달라 각 표면의 양안 시차에 해당되는 깊이가 지각될 수 있었을 가능성이 있다. 이러한 가능성이 타당하다면 비록 두 표면이 동일시선 상에 놓여있지만 상의 대응 문제에 직접 관련있는 각 표면에 속한 점들은 (그림 2)의 동일시선 조건이 아니라 다른 시선 조건에 해당되며, 동일시선 상에 있는 두 표면을 표상할 수 있다는 것이 반드시 상의 대응 문제가 해결되는 단계에서 동일시선 상에 있는 두 대상을 동시에 표상할 수 있음을 뜻하는 것이 아니다. 이를 확인하기 위해서는 동일시선 상에 놓여있는 두 표면에 속한 점들의 시선방향을 조작하여 표면 요소의 시선방향에 따라 각 표면의 입체시 깊이가 달라지는 지를 살펴보아야 한다.

깊이가 다른 표면을 가진 두 RDS를 중첩시킬 때 각 표면에 속한 점들의 시선방향에 따라 발생될 수 있는 두 가지 상황이 (그림 3)에 제시되어 있다. (그림 3)의 (a)에서와 같이 각 표면에 속한 점들이 모두 동일시선 상에 있는 경우 각 눈으로 투사되는 점들의 영상 순서는 바뀌게 되며, 이는 두 못 착시 상황을 표시한 (그림 2)의 동일시선 조건과 동일하다. 이에 반해 (그림 3)의 (b)에서와 같이 각 표면에 속한 점들의 시선방향에 다른 경우 (그림 2)의 다른 시선 조건과 유사하게 각 눈으로 투사되는 영상들의 순서는 바뀌지 않는다. 따라서 (그림 3)의 (a)와 (b)는 각 표면 요소들의 시선 차이에 근거하여 두 상황을 구별한 것으로 (그림 3)의 (a)는 두 점이 동일시선에 놓여있는 상황과 동등한데 반해 (그림 3)의 (b)는 두 점이 다른 시선 상에 있는 상황과 동등하다. 각 표면이 제시되는 영역은 중첩되므로 각 표면의 관점에서 볼 때 두 조건 모두는 동일시선에 두 표면이 놓여있는 조건이다.

두 표면 상황에서 상의 대응 문제가 두 점 상황과 유사하게 해결된다면 표면 요소들이 동일시선에 있는 (그림 3)의 (a)에서는 두 못 착시에서와 같이  $B_{2L}-A_{2R}$ ,  $A_{2L}-B_{2R}$ 가 대응되어 A2와 B2의 평균 시차에 해당되는 단일 깊이가 지각될 것을 예상할 수 있으며, 표면 요소들이 다른 시선에 있는 그림 3의 (b)에서는  $A_{2L}-A_{2R}$ ,  $B_{2L}-B_{2R}$ 가 대응되어 A2와 B2의 양안 시차에 해당되는 깊이가 각각 계산될 수 있다. 두 점 상황과는 달리 양안시 기체가 두 표면을 가진 RDS의 표면 깊이를 정확히 표상할 수 있다면 표면 요소들의 시선방향과 무관하게 두 조건에서 모두에서  $A_{2L}-A_{2R}$ ,  $B_{2L}-B_{2R}$ 가 대응될 수 있으므로 각 표면의 양안 시차에 해당되는 입체시 깊이가 지각될 것을 예상할 수 있다.

투명 표면의 깊이를 살펴본 기존의 정신 물리학적 연구들은 대응될 각 표면에 속한 점들의 시선 방향의 관점에서 살펴보지 않았기 때문에 두 상황에서 얻어진 결과를 직접 비교하는 것은 적절하지 않다. 본 연구에서는 표면 요소들의 시선방향을 조작하여 표면요소들의 시선방향에 따라 지각되는 표면의 입체시 깊이가 변화되는지 그리고 지각된 입체시 깊이가 두 점 상황에서 얻어진 기존의 연구 결과들과 유사한지를 살펴보기 위해서 실시되었다. 실험 1에서는 깊이가 다른 표면을 가진 두 개의 RDS를 동일시선 상에 중첩시키는 과정에서 각 표면에 속한 점들의 시선 방향이 동일한 조건과 다른 조건을 나누어 각 조건에서 입체시 깊이가 달라지는 지를 살펴보고, 실험 2에서는 단안 자극에서 윤곽선에 의한 형태가 주어지는 입체 그림을 사용하는 경우에도 표면 요소들의 시선 방향에 따라 지각되는 표면의 입체시 깊이가 달라지는 지를 살펴보고자 하였다.

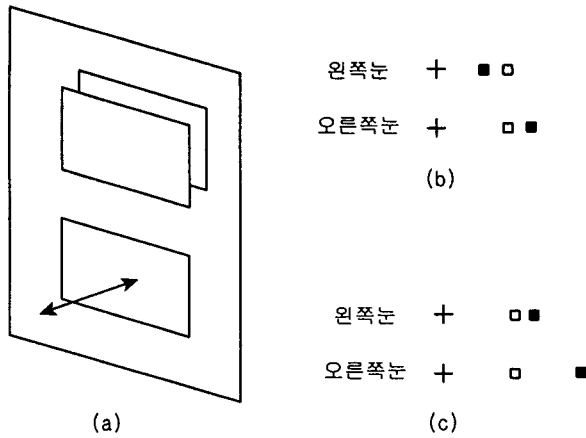
### 실험 1. 표면 요소들의 시선방향에 따른 중첩된 RDS 표면의 입체시 깊이

두 대상이 동일시선의 다른 깊이에 놓여 있을 때 두 못 착시(Krol & van de Grind, 1980)에서 볼 수 있듯이 양안시 기체는 각 대상의 양안 시차에 해당하는 입체시 깊이를 표상하지 못하며 두 대상의 양안 시차의 평균에 해당하는 깊이 에 있는 것으로 표상한다. 이와 달리 깊이가 다른 두 표면이 동일시선 상에 중첩된 RDS에서는 각 표면의 시차에 해당되는 두 깊이가 지각된다. 그러나 이러한 결과는 반드시 양안시기체가 동일시선에 놓여있는 두 대상의 입체시 깊이를 동시에 표상할 수 있음을 나타내는 것이 아니다. 두 표면이 동일시선에 있는 자극을 이용한 정신물리학적 결과로부터 상의 대응 문제가 해결되는 방식을 알아보기 위해서는 지각된 표면이 아니라 각 표면 요소들의 대응 문제를 살펴보아야 하며, 이로써 두 점상황과 두 표면 상황의 결과를 직접 비교할 수도 있다.

본 연구에서는 깊이가 다른 두 표면이 동일시선 상에 중첩되는 상황에서 각 표면 요소들의 시선방향에 따라 지각되는 입체시 깊이가 달라지는 지를 살펴보고, 지각된 표면의 깊이가 두 점 상황을 이용한 정신물리학적 연구에서 발견된 입체시 깊이와 유사한지를 살펴볼 것이다. 두 점 상황과 두 표면 상황에서 상의 대응 문제가 해결되는 방식이 유사하다면 두 표면이 중첩되는 RDS상황에서도 각 표면에 속한 점들(표면 요소들)의 시선 방향에 따라 지각되는 표면의 입체시 깊이는 변화될 것을 예상할 수 있다. 즉 서로 다른 표면에 속한 점들의 시선방향에 동일하다면 두 못 착시와 같이 하나의 표면으로 지각될 것이며, 시선방향이 다를 경우 각기 다른 두 대상의 깊이가 주어진 양안시차에 따라 서로 구분될 수 있는 것과 같이 두 표면이 지각될 것을 예상할 수 있다.

### 방법

관찰자 각 관찰자는 실험에 앞서 깊이변별검사를 통해 입체시력(stereo acuity)을 조사받았다. 입체 시력은 시각으로 6분과 -6분의 양안 시차를 갖는 수직선(검사자극: 가로 1분 세로 12분)의 깊이를 일곱 수준의 양안 시차를 가지는 동일한 크기의 수직선(비교자극)의 깊이와 비교하는 항상법(method of constant stimuli)을 통해서 측정되었다. 비교자극의 일곱 시차 수준 각각에 대해서 검사자극과 비교자극의 깊이는 20번 비교되었으며, 각 시차 수준에서 비교자극이 검사 자극보다 가깝게 있다고 판단한 비율을 프로빗 분석을 통해 누적 가우시안 함수에 합치시켰다. 이 함수의 1 표준편차를 입체시력 지수로 삼았으며, 입체시력이 시각



(그림 4) 실험 1에 사용된 자극의 도식적 그림과 각 표면에 속한 점들 간의 시선 방향에 따른 점들의 상대적 위치. (a)에서 작은 사각형들은 무선점 자극에서 검사자극과 비교자극이 제시된 영역을 도식적으로 보여준다. 깊이가 다른 두 표면에 중첩된 검사자극과 검사자극의 깊이를 평가하기 위해 단일표면으로 제시된 비교자극이 자극의 수직 중심을 기준으로 각각 위쪽과 아래쪽에 제시되었으며 관찰자들은 비교자극의 깊이를 조절하여 검사자극에서 지각되는 표면의 깊이와 일치시키도록 지시받았다. 실제 자극에서는 사각형 윤곽이 제시되지 않았다. 그림 (b)와 (c)는 깊이가 다른 두 표면에 속한 각 점들의 시선 방향이 동일한 조건과 다른 조건에서 각 점들의 상대적인 위치가 어떻게 결정되었는지를 보여주고 있다. 흰색과 검은색 점은 각각 응시점과 동일한 깊이를 가진 표면과 응시 표면보다 뒤에 놓여있는 표면에 속한 점들 중 하나를 나타내며 실제 실험에서 두 점들의 속성은 모두 동일하였다. (자세한 설명은 본문을 참조할 것)

으로 1분 이하인 네 사람이 실험에 참가하였다. 각 관찰자들은 나안이나 교정시력이 0.8이상이었으며, 필요할 경우 안경이나 콘택트렌즈를 낀 채 실험에 참가했으며, 모두 실험의 목적을 알지 못하였다.

장치 및 자극 실험자극은 1024x768의 해상도를 가진 17" 칼라 모니터에 제시되었다. 각 관찰자는 머리운동을 통제하기 위해 턱받이에 턱을 고정시킨 채 눈앞에 놓여있는 거울형 입체경(mirror-type stereoscope)을 통해 모니터의 양 측면에 제시된 입체경 자극을 보았다. 눈과 모니터와의 거리는 190cm로 이 거리에서 화면의 한 화소는 0.5"에 해당하였다. 관찰자의 반응은 마우스의 왼쪽과 오른쪽 버튼을 통해서 입력받았고, 자극의 제시, 관찰자의 반응수집등 일련의 과정은 개인용 컴퓨터를 이용하여 통제하였다.

RDS가 실험 자극으로 사용되었으며, 그 크기는 가로 90°, 세로 120°이었다. (그림 4)의 (a)에 제시되어 있는 것과 같이 깊이가 다른 두 표면을 중첩시켜서 만든 검사자극과 이 자극의 깊이를 측정하기 위한 비교자극 각각은 RDS의 중심에서 위쪽과 아래쪽으로 15" 떨어진 곳에 가로 45", 세로 30"의 크기로 제시되었다. 먼저 입체 그림의 전 영역에 걸쳐 5% 밀도를 가진 무선점들이 선정되었으며, 이 무

선 패턴을 왼쪽과 오른쪽 입체경 그림의 동일한 위치에 제시해서 응시점과 깊이가 동일한 시차 0인 배경 표면을 만들었다(그림 3)의 (b)와 (c)에서 흰색 점). 검사 자극이 제시되는 영역에는 이 배경 표면위에 깊이가 다른 표면(6분 혹은 -6분의 시차를 가지는 표면)을 구성하는 점들의 위치를 표면 요소의 시선방향에 따라 다음과 같은 방법으로 결정하였다. (그림 4)의 (b)와 (c)는 검사 자극이 제시되는 영역 내에 0시차를 가지는 표면에 속한 점들과 -6분의 시차를 가지는 표면에 속한 점들의 위치가 시선방향에 따라 어떻게 결정되었는지를 자세히 보여주고 있다. 두 표면에 속한 각 점들의 시선방향에 동일한 조건을 나타내는 그림 3의 (b)에서는 0시차를 가진 점(흰색으로 표시된 점들)들의 위치를 발견한 다음 왼쪽 입체 그림에서는 각 점들의 위치에서 3분 왼쪽에, 오른쪽 입체 그림에서는 3분 오른쪽에 각각 점들(검은색으로 표시된 점들)을 찍어 비교차 시차가 6분인 무선점들을 만들었다. 두 표면에 속한 점들의 시선 방향이 서로 다른 조건을 나타내는 (그림 4)의 (c)에서는 0시차를 가진 점(흰색 점들)들의 위치를 발견한 다음 왼쪽 입체 그림에서는 각 점들의 위치에서 2분 오른쪽에, 오른쪽 입체 그림에서는 8분 오른쪽에 제시하여 해당 점(검은

색 점들)의 양안 시차가 비교차 시차 6분이 되도록 하였다. 중첩되는 표면이 응시 표면보다 앞쪽에 있는 교차 시차 조건에서는 위와 동일한 절차를 통해서 왼쪽 상과 오른쪽 상을 만든 후 두 상을 서로 반대쪽 눈에 제시하였다. 두 표면 요소들은 모두 84.3 cd/m<sup>2</sup> 밝기를 가지는 흰색 점으로 30.2 cd/m<sup>2</sup>의 밝기를 가지는 회색 표면위에 제시되었다.

절차 각 관찰자들은 직, 간접 조명이 차단된 암막에서 개별적으로 실험을 수행하였다. 각 시행에서 십자 모양으로 제시된 응시점에 초점을 맞춘 후 특정 키를 누르면 RDS 자극이 바로 제시되었다. 관찰자들의 과제는 응시점에 시선을 고정시킨 채, 검사 자극이 제시된 영역에서 지각되는 표면 깊이를 비교표면의 깊이를 조절하여 판단하는 것이었다. 비교표면의 깊이는 컴퓨터 자판의 특정 키를 누름으로써 다가오거나 물러나게 조절할 수 있었으며 조절 단계는 시각으로 1'이었다. 한 표면과 비교표면의 깊이가 일치했을 때 정해진 키를 누르도록 하였으며, 이 반응은 한 표면에 대한 깊이 조절이 완료되었음을 의미하는 것이었다. 모든 시행은 두 번의 깊이조절 완료반응으로 종결되었고, 곧바로 다음 시행의 자극이 제시되었다. 따라서 두 표면이 겹쳐있는 영역에서 두 표면이 지각되면 무명 표면과 배경표면 각각에 대한 깊이조절 후에 완료반응을 했고, 단일 표면이 지각되는 경우 한 표면에 대한 깊이조절 후에 두 번의 완료반응을 연속적으로 하도록 하였다. 표면 요소들의 시선방향(2 : 동일시선과 다른 시선), 중첩된 표면의 시차방향(2 : 교차 시차와 비교차 시차)의 조합에 의해 만들어지는 네 조건이 하나의 구획을 구성하였고, 각 구획은 8번 반복 측정되어 총 32회의 시행으로 이루어졌다.

### 결과 및 논의

(그림 5)는 중첩된 표면의 각 시차 방향조건에서 각 표면 요소들의 시선 방향에 따라 지각된 각 표면의 입체시 깊이에 대한 네 관찰자들의 평균자료를 보여주고 있다. 단일 표면으로 지각되는 경우 관찰자들은 깊이 비교를 한번만 한 후 깊이 비교 종료반응을 연속해서 두 번 하도록 지시받았다. 따라서 (그림 5)에서 두 표면의 깊이가 동일하게 나타난 그래프는 단일 표면으로 지각된 것을 나타내고 두 표면의 깊이가 차이가 있게 나타난 것은 두 표면으로 지각되었음을 나타낸다. (그림 5)는 두 조건 모두 중첩된 표면들이 동일시선에 있었지만 표면 요소들이 동일시선에 제시된 조건에서는 단일 표면으로, 다른 시선에 제시된 조건에서는 두 개의 표면으로 지각되었음을 보여준다.

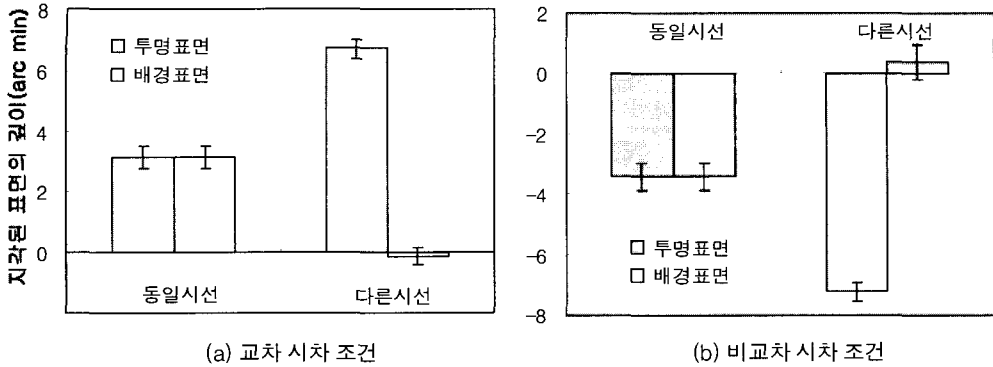
각 조건에서 상의 대응 문제가 어떻게 해결 되었는지를 살펴보기 위해서 각 조건에서 지각된 표면의 입체시 깊이를 양적으로 살펴보았다. 동일시선 조건에서 상의 대응 문

제가 이중 못 착시(Krol & van de Grind, 1980)에서와 유사한 방식으로 해결된 결과라면 단일 표면의 입체시 깊이는 중첩된 두 표면의 양안 시차(0과 6분 혹은 0과 -6분)의 평균 시차인 3 혹은 -3분에 해당될 것을 예상할 수 있다. 동일시선조건에서 지각된 단일 표면의 입체시 깊이는 교차 시차를 가진 표면이 중첩된 조건에서  $2.9 \pm .4$ 분으로, 비교차 시차를 가진 표면이 중첩된 조건에서  $-3.4 \pm .5$ 분으로 나타나 이중 못 착시에서 예상되는 깊이와 통계적으로 유의한 차이가 발견되지 않았다. 두 표면이 중첩되었음에도 불구하고 단일 표면으로 지각되며 그 표면의 지각된 깊이 또한 두 표면 시차의 평균 시차에 해당된다는 결과는 동일시선에 있는 표면 요소들의 대응이 (그림 3)의 (a)에서 B<sub>2L</sub>-B<sub>2R</sub>, A<sub>2L</sub>-A<sub>2R</sub>간의 대응이 발생되지 않고 B<sub>2L</sub>-A<sub>2R</sub>, A<sub>2L</sub>-B<sub>2R</sub>의 대응이 발생됨을 보여준다.

각 표면 요소들이 다른 시선에 있는 조건에서는 각 점들의 양안 시차에 해당하는 입체시 깊이가 지각될 것을 예상할 수 있는데 이에 따르면 두 표면의 입체시 깊이는 각각 0과 6분 혹은 0과 -6분에 해당될 것을 예상할 수 있다. 0의 시차를 가진 표면의 입체시 깊이는 교차시차 조건에서는  $-0.1 \pm .6$ 분으로 비교차 시차 조건에서는  $0.4 \pm .6$ 분으로 나타났으며 두 조건 모두에서 해당 표면의 시차인 0과 통계적으로 유의하지 않았다. 6과 -6분의 시차를 가진 표면의 지각된 깊이는 교차시차 조건에서  $6.5 \pm .4$ 분으로 해당 표면의 시차인 6분보다 약간 과대평가되었지만 통계적으로 유의하지 않게 나타난 반면, 비교차 시차 조건에서는  $-7.5 \pm .4$ 로 과대평가된 것으로 나타났다.

대응과정을 통해 산출될 수 있는 깊이는 6분이나 -6분보다 더 커질 수 없으므로 과대 평가된 표면의 깊이는 대응 과정이외의 요인에 의해 발생되었을 가능성이 있다. 예를 들어, 한 표면의 밝기가 인접 표면의 밝기에 영향을 받는 밝기대비현상과 유사하게 한 대상의 깊이는 인접한 대상의 깊이에 영향 받아 자극의 시차보다 과대평가되는 깊이 밀침(depth repulsion)현상이 발생된다(Westheimer, 1986; Westheimer 와 Levi, 1987). 이러한 깊이 밀침 현상은 점과 선을 자극으로 사용한 연구(Westheimer, 1986)뿐만 아니라 무선점입체경 그림을 자극으로 사용한 연구(Stevenson, Cormack 와 Schor, 1991)에서도 일관되게 나타나며, 두 대상의 공간적 거리가 가까운 경우에 발생된다. 두 점들 간의 공간적 거리가 가까운 본 실험의 다른 시선조건에서 과대 평가된 표면의 입체시 깊이는 깊이 밀침 효과에 의해서 발생되었을 가능성이 있다<sup>1)</sup>.

1) 각 표면 요소들의 시선 방향이 다른 조건에서 깊이 밀침과 같은 대응의적인 요인의 영향을 감소시키기 위해서는 각 요소들의 공간적 거리를 멀리하면 된다. (그림 4)의 (b)의 예에서 모든 B점들을 오른쪽으로 수평 이동시키면 A점들과 B점



(그림 5) 두 표면 요소들의 시선방향에 따라 지각된 표면의 깊이. 중첩되는 표면의 양안 시차와 무관하게 동일시선 조건에서 하나의 표면으로 시선 방향이 다른 조건에서는 깊이가 다른 두 표면이 지각되었음을 보여주고 있다.

본 실험에 포함된 두 조건 모두는 깊이가 다른 두 표면이 중첩되어 동일시선에 제시되었지만 각 표면 요소의 시선방향에 따라 지각되는 표면 깊이는 달라지는 것으로 나타났다. 특히 각 표면 요소들이 동일시선 상에 있는 조건에서는 각 표면의 양안 시차에 해당되는 깊이가 지각되는 대신에 두 표면의 양안 시차의 평균에 해당되는 깊이가 지각되는 것으로 나타났다. 이는 정확히 두 점이 동일시선 상에 있는 자극으로부터 얻어진 두 점의 입체시 깊이에 해당되었다. 이러한 결과는 두 점 상황과 두 표면 상황에서 상의 대응 문제가 해결되는 방식이 다르지 않음을 시사하며, 두 표면이 중첩되었을 때 투명 표면이 지각된다는 정신물리학적 결과(Akerstrom & Todd, 1988; Gepstein & Cooperman, 1998; Weinshall, 1989)들은 본 실험의 다른 시선 조건에 해당될 가능성이 높다.

두 망막에 투사된 영상으로부터 입체시 깊이를 추출하는 모형들의 기본적 구조는 1980년대 초 MIT 학자들에 의해서 제안된 모형(Horn, 1986; Marr, 1982)을 따르고 있다. 즉 상의 대응 문제를 통해서 국소 시차가 계산되는 단계와 국소 시차들의 보간에 의해서 표면이 추출되는 단계를 통해 3차원의 형태들이 추출되는 단계적 모형을 제안하고 있다. 이러한 모형의 관점에서 볼 때 RDS의 표면은 대응 문제의 해결을 통해 각 점들의 국소 깊이가 해결된 이후에 발생하는 것이므로 두 표면이 지각된다는 결과를

곧바로 상의 대응 문제에 적용할 제약들을 고안하는 데 사용하는 것은 적절하지 못함을 알 수 있다.

## 실험 2. 국소 영상들의 시선방향에 따른 윤곽선 표면의 입체시 깊이

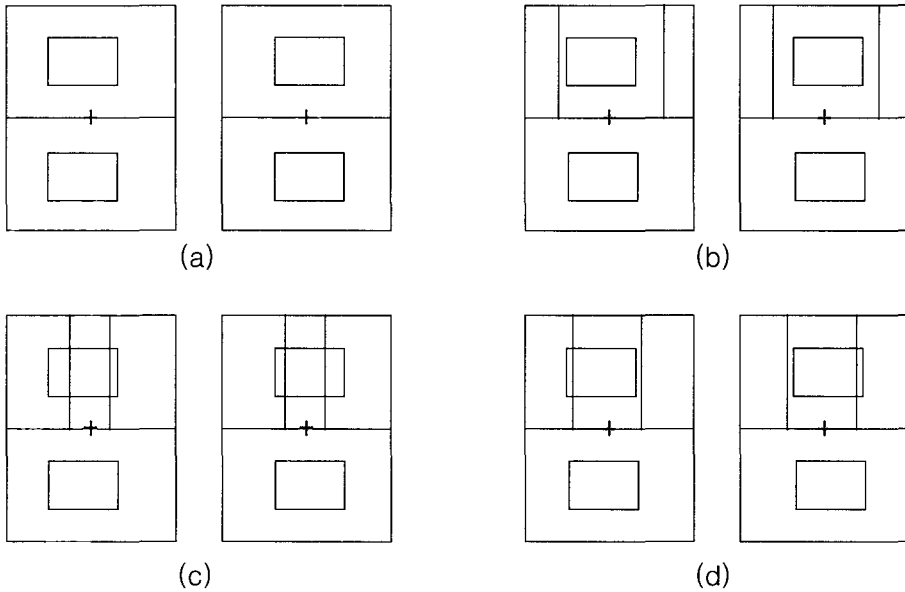
실험 1에서는 RDS자극을 이용하여 동일시선방향에 깊이가 다른 두 표면에 중첩될 때 각 표면에 속한 점들의 시선방향에 따라 지각되는 입체시 깊이가 변화될 수 있음을 보았다. 즉, 상의 대응 문제는 두 표면이 동일시선에 있는 것이 아니라 각 표면에 속한 점들이 동일시선에 있는 지에 따라 변화됨을 확인하였다. 그러나 RDS에서 발생하는 표면은 상의 대응 문제가 해결되어 각 점들의 국소 깊이가 계산된 이후에 발생할 수 있으므로 상의 대응 문제에 표면들의 시선방향이 영향을 줄 수 없는 것은 당연한 것으로 받아들여질 수 있다. 실험 2에서는 상의 대응 문제가 발생하는 단계에서 표면이 주어지는 경우에도 표면의 입체시 깊이가 표면 요소의 시선방향에 의해 영향받을 수 있는지를 알아보았다. 이를 위해 실험 2에서는 각 점들의 깊이 보간에 의해 발생하는 주관적인 표면(subjective surface)대신에 윤곽에 의해 형태가 주어지는 자극을 입체경 자극의 각 단안 영상으로 사용하였다.

## 방법

관찰자 실험 1의 입체시력 기준에 적합한 관찰자 네 명이 실험에 참가하였으며, 이 들 중 세 명은 실험 1에 참가한 사람이었다. 각 관찰자들의 시력은 나안이나 교정시력 0.8이상이었고 필요할 경우 안경이나 콘택트렌즈를 낀 채 실험에 참가했다. 관찰자 모두는 실험의 목적을 알지 못하였다.

들의 공간적 거리는 멀어지게 되어 깊이 밀침의 효과를 감소시킬 수 있다(Westheimer, 1986). 그러나 이러한 조작은 예를 들어 B2와 A2의 공간적 거리를 더 크게 만들 수는 있지만 동시에 B2와 A3가 동일시선방향에 놓일 가능성이 있으며 이는 다른 시선조건으로 조작된 몇몇 점들이 동일시선에 놓일 가능성을 높힐 수 있다. 이러한 가능성을 줄이기 위해 밀도가 낮은(5%) RDS가 사용되었으며 각 점들의 공간적 거리도 좁게 제시되었다.





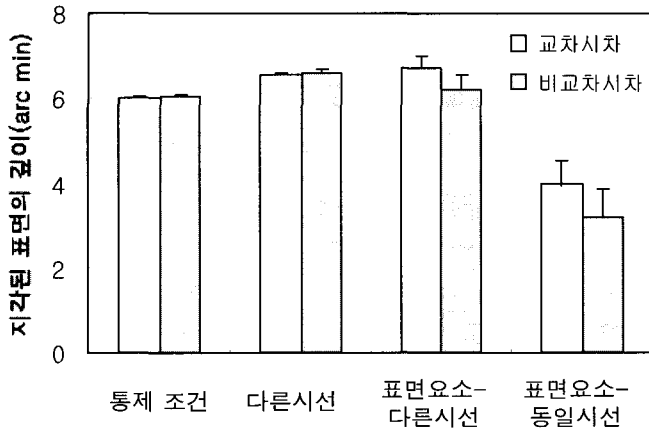
(그림 6) 실험 2에 사용된 각 조건별 입체경 자극. (a)는 검사 자극만 제시된 통제조건이며, (b)는 수직선과 검사 자극이 각기 다른 시선상에 있는 표면-다른시선 조건이며, (c)와 (d)는 모두 검사자극과 수직선이 동일 시선방향에 있지만 표면 요소의 관점에서 볼 때 (c)는 검사자극의 수직 모서리와 수직선의 시선방향이 서로 다른 표면요소-다른시선 조건이며 (d)는 검사 자극의 수직 모서리가 수직선의 시선 방향이 모두 동일한 표면요소-동일시선 조건이다. 두 개씩 제시된 자극은 각 조건에서 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 투사된 입체 그림쌍을 나타낸다.

장치 및 자극 실험 2에서 사용된 장치는 앞 실험에서 사용된 것과 동일하였으며 실험 2에서 사용된 입체 그림쌍이 (그림 6)에 제시되어 있다. 가로 90°, 세로 120° 크기의 큰 사각형이 응시깊이에 제시되었고, 이 사각형의 중앙 수평선의 가운데 부분에 십자형태의 응시점이 주어졌다. 이 사각형의 중앙 수평선을 기준으로 위, 아래 15° 떨어진 곳에 검사 자극과 비교 자극이 가로 30°, 세로 20°의 크기를 가진 작은 사각형으로 제시되었다. 검사 자극과 다른 자극의 시선 방향을 조작하기 위해 60분의 길이를 가진 두 개의 긴 수직선의 수평 위치는 각 조건에서 변화되었지만 양안 시차는 항상 0으로 고정되어 있었다. 각 조건에서 검사 자극으로 사용된 사각형의 양안 시차는 교차 시차와 비교차 시차 조건 모두에서 6분으로 동일하였으며, 검사 자극이 응시점보다 가까이(멀리) 있는 교차(비교차) 시차 조건에서는 왼쪽 입체 그림의 중심에서 3분 왼쪽(오른쪽)으로, 오른쪽 입체경그림에서 3°오른쪽(왼쪽)으로 제시되었다.

(그림 6)의 (c)와 (d)는 실험 1의 두 조건과 동등한 것으로 각각 검사자극으로 제시된 사각형과 긴 수직선의 시선 방향이 동일한 조건을 나타내고 있다. 그 중 (그림 6)의 (c)는 두 자극이 동일시선 상에 있지만 사각형 표면을 구성하는 양 수직 변과 두 개의 긴 수직선의 시선방향은 서로 다

른 '표면요소 다른 시선'조건을 나타내며, (그림 6)의 (d)는 두 자극이 동일시선 상에 있을 뿐만 아니라 사각형의 양 수직 변과 두 개의 긴 수직선들의 시선방향이 동일한 '표면요소 동일시선'조건을 나타낸다. '표면요소 다른 시선' 조건에서는 각 입체그림의 중앙으로부터 좌, 우로 각각 9° 떨어진 곳에 두개의 긴 수직선을 제시하여 검사 자극과 긴 수직선이 동일시선에 놓여있었으며, 표면 요소 동일시선 조건에서는 중앙으로부터 각각 15° 떨어진 곳에 대칭적으로 두 개의 수직선이 제시되어 사각형의 두 수직 변과 긴 수직선의 영상순서가 왼쪽상과 오른쪽 상에서 서로 바뀌도록 제시함으로써 사각형 양 수직변이 긴 수직선과 동일한 시선방향에 놓여있도록 조작되었다. 이 조건이외에 검사 자극으로 사각형만 제시된 '통제'조건(그림 6)의 a)과 긴 수직선이 제시되었지만 사각형 표면과 시선방향이 다른 '표면 다른 시선'조건(그림 6)의 b)이 포함되었다. '표면 다른 시선'조건에서는 각 입체 그림의 중앙으로부터 왼쪽과 오른쪽으로 21분 떨어진 곳에 대칭적으로 두 개의 긴 수직선을 제시하여 두 수직선과 사각형이 겹쳐지지 않았다. 네 조건에서 모든 자극은 30.2 cd/m<sup>2</sup>의 회색 배경위에 84.3cd/m<sup>2</sup>의 밝기로 제시되었다.

검사 자극으로 제시된 사각형의 입체시 깊이는 항상법



(그림 7) 표면 시선방향과 표면요소 시선방향에 따라 교차와 비교차 시차를 가지는 검사 자극의 지각된 깊이. 통제조건은 검사 자극인 사각형만 제시된 경우이며 '다른 시선' 조건은 사각형과 긴 수직선의 시선방향이 다른 조건을, '표면요소 다른시선'은 긴 수직선과 사각형이 동일시선 상에 있지만 사각형의 양 수직변은 긴 수직선과 시선방향이 다른 조건을, '표면요소 동일시선'조건은 사각형과 수직선이 동일시선 상에 있을 뿐만 아니라 사각형의 표면 요소인 양 수직변이 긴 수직선과 동일시선 상에 있는 조건을 나타낸다.

을 통해 측정되었다. 검사 자극과 깊이비교에 사용될 비교 자극들은 모두 7 수준의 양안 시차를 갖고 있었으며, 각 수준들 간의 시차 정도는 1"으로 동일하였다.

절 차 각 관찰자들은 개별적으로 실험에 참가하였으며 자극제시와 반응요령에 대해 설명을 들었다. 각 시행에서는 먼저 응시표면인 큰 사각형과 수직선이 함께 제시되었다. 관찰자가 응시점을 응시한 후 마우스의 버튼을 누르면 검사 자극과 비교 자극이 중앙 수평선을 기준으로 위쪽과 아래쪽으로 각각 15° 떨어진 곳에 제시되었다. 관찰자의 과제는 위쪽과 아래쪽에 제시된 두 사각형 중 어느 사각형이 더 가깝게 보이는지를 강제 선택하여 해당 마우스 버튼을 누르는 것이었다. 관찰자의 반응에 대한 피드백은 주어지지 않았고, 관찰자의 반응 후 500ms 후에 응시사각형과 수직선이 함께 제시되어 다음 시행이 준비되었음을 표시해 주었다. 실험은 네 조건별로 따로 실시되었다.

각 조건에서는 ±6" 시차를 갖는 두 검사 자극 각각에 대해 동일한 시차 간격을 갖는 7개의 비교 자극이 제시되어, 검사 자극의 시차 방향(2: 비교차와 교차 시차), 비교 자극의 시차(7 수준), 그리고 검사 자극과 비교 자극의 수직위치에 대한 역균형화(2: 검사 자극이 위쪽과 아래쪽에 제시된 조건)에 따라 28번의 시행이 하나의 구획을 이루었고, 각 구획에 대해 10번의 반복 측정을 실시하였다. 두 사각형의 역균형화에 따른 효과는 분석하지 않았으므로 검사 자극은 시차가 다른 7개의 비교 자극 각각과 20번 깊이 비교가 이루어졌다. 따라서 깊이 방향이 다른 두 검사 자극의 깊이는 각각 140회의 시행을 통해 측정되어 한 조건의

총 시행 수는 280회이었으며, 각 관찰자들은 네 조건을 모두 완료하기 위해서 총 1120번의 시행을 수행하였다.

### 결과 및 논의

통제 조건을 포함하여 네 실험 조건에서 시차방향이 다른 두 검사 자극 각각은 7 수준의 양안 시차를 가지는 비교 자극들 각각과 20번 반복비교 되었고, 각 비교 자극의 양안 시차 수준에서 비교 자극이 검사 자극보다 가까이 있다고 반응한 비율을 프로빗 분석을 통해 누적 가우시안 함수에 합치시켰다. 이 함수에서 비교 자극이 검사 자극보다 가까이 있다고 반응한 확률이 50% 되는 지점에 해당되는 비교 자극의 시차를 검사 자극의 지각된 깊이로 삼았다. 각 실험 조건에 따라 네 명의 관찰자들로부터 얻어진 검사 자극의 지각된 깊이 평균이 (그림 7)에 나타나 있다.

검사 자극의 시차 부호(2: 교차 시차와 비교차 시차)와 표면이나 표면 요소의 시선방향에 따른 네 조건의 조합으로 구성된 여덟 개의 실험 조건에서 얻어진 각 개인의 검사 자극에 대한 입체시 깊이를 원자료로 삼아 반복 측정방안 이원 변량 분석을 실시하였다(2). (그림 7)에서 볼 수 있듯이 교차 시차 조건에서 지각된 검사 자극의 입체시 깊

2) 교차와 비교차 시차조건에서 얻어진 검사 자극의 입체시 깊이는 응시점을 기준으로 깊이의 방향이 다르지만, 각 조건에서 얻어진 깊이의 절대값을 이용하여 변량분석을 하였다. 이는 검사 자극 깊이의 방향을 무시하고 응시 표면으로부터 검사 자극의 깊이가 얼마나 떨어져 있는 지를 이용하여 변량분석을 한 것이다.

이가 비교차 시차 보다 약간 크게 지각되었지만 통계적으로 유의하지 않았다( $F(1,4)=1.63$ , NS). 표면이나 표면 요소들의 시선방향에 따른 네 조건들에서 지각된 검사자극의 입체시 깊이는 통계적으로 매우 유의한 것으로 나타났으며( $F(3, 12)=13.428$ ,  $p < .001$ ) 두 변인간의 상호작용 효과는 유의하지 않았다( $F(3,12)=2.31$ , NS).

표면이나 표면 요소의 시선방향에 따른 네 조건 중 어떤 조건에서 검사자극의 입체시 깊이가 다른 지를 알아보기 위해서 검사자극의 두 시차 부호조건 각각에서 네 조건 간의 깊이차이를 Turkey의 HSD(.05수준)를 이용하여 분석하였다. 실험 1에서와 유사하게 '표면요소 다른 시선'조건에서 지각된 사각형의 깊이는 교차 시차(6.70±.55분)와 비교차 시차(-6.23±.60분)에서 검사자극의 양안 시차보다 약간 과대평가되었지만, 통계조건에서 지각된 사각형의 깊이(교차시차: 6.01±.08분, 비교차 시차: -6.09±.10")나 수직선과 사각형의 시선방향에 다른 '다른 시선'조건에서 지각된 사각형의 깊이(교차 시차:6.58±.12, 비교차 시차: -6.59±.45)와 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 그러나 사각형의 양 수직 변의 시선방향에 긴 수직선의 시선방향과 동일한 '표면요소 동일시선'조건에서는 교차 시차 조건(4.02±.6")과 비교차 시차 조건(3.19±.9") 모두에서 지각된 사각형의 깊이는 나머지 세 조건과 통계적으로 유의하게 낮았다.

본 실험에서 주된 관심은 상의 대응 문제가 해결되는 단계에서 주어지는 표면의 입체시 깊이가 다른 자극과의 시선방향에 따라 영향을 받는 지, 혹은 실험 1의 결과와 유사하게 표면 요소인 사각형의 양 수직변이 다른 자극과 동일시선 상에 있는 것이 표면의 입체시 깊이에 영향을 미치는 지를 알아보는 것이었다. 만약 전자와 같이 표면이 다른 시선 상에 있는 것이 중요하다면 사각형 표면이 수직선과 동일시선 상에 있는 세 번째와 네 번째 조건 모두에서 유사한 입체시 깊이가 지각되어야 하지만, 본 실험의 결과는 표면 요소들이 일직선상에 있는 네 번째 조건에서만 표면의 깊이가 해당 자극의 양안 시차보다 과소평가되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 한 표면이 다른 자극과 동일시선 상에 있다는 것이 상의 대응 문제에 영향을 주는 것이 아니라 표면에 속하는 표면 요소들이 동일시선에 있다는 것이 상의 대응 문제에 영향을 줄 수 있다는 실험 1의 결과를 다시 한번 확인한 것이며, RDS자극뿐만 아니라 윤곽에 의해 표면이 규정된 자극에서도 유사한 결과가 발견됨을 확인하였다.

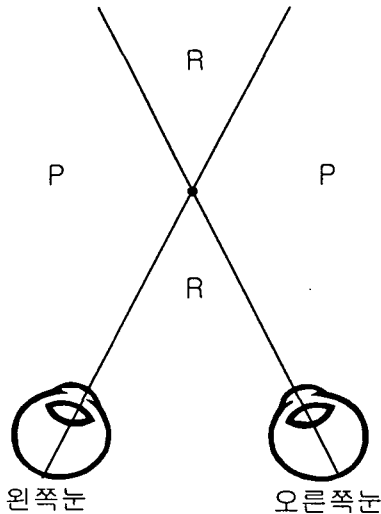
특히 사각형 표면은 긴 수직선과 겹쳐있었지만 표면 요소인 사각형의 양 수직변이 긴 수직선과 다른 시선 상에 있는 '표면요소 다른 시선'조건에서 지각된 사각형의 입체

시 깊이는 통계조건이나 '다른 시선'조건외의 그것과 유사하였다. 이러한 결과는 표면이 다른 대상의 시선방향과 같은 방향에 제시되는 경우에도 표면 요소들 간의 시선방향이 다르면 각 눈에 투사된 사각형의 영상들이 정확히 대응될 수 있음을 보여준다. 이와 달리 사각형 표면 요소인 양 수직변이 긴 수직선과 동일시선 상에 있는 경우 사각형의 양안 시차보다 과소평가되는 결과는 사각형 각 변의 대응이 긴 수직선에 의해 영향을 받아 두 눈에 투사된 각 변에 대한 영상들이 대응되지 않음을 시사한다.

실험 2의 결과는 단안 정보처리와 입체시 깊이 처리의 선후 관계를 설명하는 데도 도움을 줄 수 있다. 단안에서 구별될 수 있는 사각형의 양안 시차는 네 조건 모두에서 동일하게 제시되었다는 점을 고려하면 사각형의 깊이가 다른 자극에 의해 영향을 받는다는 결과는 각 눈의 망막상으로부터 형태가 먼저 파악된 후 각 눈에서 발견된 형태들 간에 대응이 이루어지고 시차가 계산된다는 고전적인 입체시 이론(Ogle, 1952)으로 설명될 수 없다. Julesz(1960)가 고안한 RDS는 단안에 제공된 형태 정보의 처리가 입체시 깊이를 지각하기 위한 필수적인 과정이 아님을 보여주었지만, 단안 자극으로 형태가 제시되는 경우 형태정보가 입체시 깊이보다 먼저 혹은 이후에 처리되는 지를 확인할 수는 없었다. 그러나 사각형의 깊이가 다른 수직선 자극에 의해 변화될 수 있다는 결과는 단안에 주어진 형태들이 먼저 처리되고 형태들 간에 대응이 발생되어 입체시 깊이가 계산되는 것이 아님을 보여준다.

### 종합 논의

표면의 입체시 깊이에 영향을 주는 것은 특정 표면이 다른 자극과 동일시선 상에 놓여있다는 것이 아니라 특정 표면에 속한 표면 요소들이 동일시선 상에 있다는 것임이 두 실험을 통해 발견되었다. RDS를 사용한 실험 1의 결과에서 표면 요소들의 시선방향이 다른 경우에는 해당 표면의 양안 시차에 해당하는 입체시 깊이가 지각된 반면, 표면 요소들의 시선방향이 동일한 경우에는 해당 표면의 양안 시차보다 과소평가되는 것으로 나타났으며 그 깊이 정도는 두 못 착시에서 발견된 입체시 깊이와 유사하였다. 이러한 결과는 표면 요소들의 시선 방향이 다를 때에는 비록 두 표면이 동일시선에 있는 경우에도 한 대상으로부터 각 눈으로 투사된 영상들이 대응되어 주어진 영상의 양안 시차에 해당되는 입체시 깊이가 지각되는 반면, 표면 요소들의 시선 방향이 동일할 때에는 동일한 대상으로부터 투사된 영상들이 대응되지 못해 입체시 깊이가 과소평가 되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 깊이가 다른 두 표면



(그림 10) 시각장에 특정 대상이 주어질 때 시차 기울기 크기에 따라 구별될 수 있는 두 영역. 각 눈의 중심와 해당 대상을 연결하는 두 선을 기준으로 각 눈에 투사되는 영상의 순서가 바뀌는 영역(R영역)과 유지되는 영역(P 영역)으로 나눌 수 있다. 이 두 영역들은 해당 대상을 기준으로 각 영역에 제시된 대상의 시차 기울기를 계산하였을 때 대략 2를 기준으로 나눈 영역과 유사하다.

의 RDS를 증첩시켰을 때 두 표면이 지각된다는 정신물리학적 결과들(Akerstrom & Todd, 1988; Weinshall, 1989)을 인간의 양안시 기제가 동일시선상에 있는 두 대상의 입체시 깊이를 정확히 표상할 수 있는 것으로 해석할 수 없음을 보여준다. 특히 윤곽선에 의해 표면이 주어진 실험 2에서도 표면 요소들의 시선방향이 다른 자극과 동일할 때 표면의 입체시 깊이가 과소평가되지만 표면 요소들의 시선방향이 다른 경우에는 표면의 입체시 깊이가 양안 시차에 해당되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 이차원 표면이든 국소 깊이의 통합에 의한 삼차원 표면이든 간에 표면 자체는 상의 대응 문제에는 영향을 주지 않으며 표면 요소들의 시선방향이 중요함을 보여주는 것이다.

본 연구의 결과들로부터 계산 모형들이 적용하고 있는 제약들의 어떤 점들을 수정 혹은 보완할 수 있을까? 동일 깊이와 다른 깊이를 표상하는 대응들 간에 각각 흥분성과 억제성 연결을 가정하고 있는 고전적인 계산 모형들(Marr 등, 1976, 1979)은 서로 다른 깊이를 표상하는 대응들을 서로 억제시키므로, 이 과정에 의해 깊이가 다른 두 표면이 증첩된 자극의 입체시 깊이를 표상할 수 없다. 그렇다면 다른 깊이에 놓여있는 대응들 간에 억제적인 연결을 제거하고 동일 깊이에 있는 대응들의 흥분성 연결만을 가정하는 계산모형(예를 들어, Prazdny, 1985)은 어떤가? 다른 깊

이에 있는 대상들 간에도 표면 요소들의 시선 방향에 따라 깊이가 달라질 뿐만 아니라 표면 요소들이 동일시선 상에 있는 상황에서는 해당 표면의 양안 시차에 해당하는 깊이를 표상할 수 없다는 본 연구의 결과는 단순히 다른 깊이를 표상하는 대응들 간에 억제성 연결을 제거하는 Prazdny의 알고리즘이 적절하지 않으며 표면 요소들의 시선방향을 고려할 수 있는 제약들이 필요함을 보여준다.

시선 방향의 차이를 고려한 제약들 중의 하나가 시차 기울기 제약(disparity gradient limit constraint: DGL constraint)이다. 원래 시차 기울기의 개념은 주어진 영상이 융합(fusion)되어 단일상으로 지각될 수 있는 지의 여부가 양안 시차의 크기뿐만 아니라 인접 영역에 주어진 영상과의 거리 즉, 시선방향에 의해서도 변화된다는 정신물리학적 결과(Burt와 Julesz, 1980; Tyler, 1973, 1974)로부터 발전되었다. 즉, 융합될 수 있는 시차를 가진 대상이라도 인접한 영역에 다른 대상이 주어지는 경우 융합되지 않을 수 있음이 발견되었으며, 두 점들 간의 양안 시차의 차이를 두 점들의 거리 혹은 시선방향으로 나눈 것으로 정의되는 시차 기울기가 대략 1 부근이 융합이 될 수 있는 한계임이 발견되었다(Burt와 Julesz, 1980). 몇몇 계산 모형에서는 양안 시차의 기울기를 대응 문제를 해결하는 제약으로 적용하였고, 그 결과 투명 표면이 지각되는 RDS의 표면 깊이를 정확히 계산할 수 있음을 보여 주었다(예를 들어, PMF 모형, Pollard, Mayhew, & Frisby, 1985).

시차 기울기 제약은 본 연구의 결과들을 잘 설명할 수 있을까? 그리고 다른 제약들과 어떤 관계가 있을까? 정의에 따르면 시차 기울기는 연속적인 값으로 계산할 수 있고 그 값에 따라 시차 기울기가 2이상인 영역과 2이하인 영역을 공간상에 표시하면 (그림 8)에 제시된 것과 같이 나타낼 수 있다. 이 두 영역을 각 망막에 투사되는 영상들의 순서의 관점에서 볼 때 시차 기울기가 2보다 큰 영역은 각 눈에 투사되는 망막상의 순서가 바뀌는 공간적 영역에 해당된다(Gepshtein & Cooperman, 1998의 그림 10; Parker, Johnston, Mansfield, & Yang, 1991의 그림 22.6). 따라서 시차 기울기 제약은 순서 제약의 일반적인 경우로 고려될 수 있다. 본 연구에서 해당 자극의 양안시차로부터 예상할 수 있는 입체시 깊이보다 과소평가된 조건은 표면 요소들이 동일시선 상에 있는 조건이었다. 이 조건에서는 각 눈에 투사된 영상의 순서가 바뀔 뿐만 아니라, 시차 기울기의 값도 '무한대'로 극단적으로 큰 값이었다. 따라서 영상의 순서가 바뀌는 대응을 제거하는 순서 제약이나 시차 기울기가 큰 대응들을 제거하는 시차 기울기 제약 모두는 본 연구결과를 잘 설명해 줄 수 있다. 그러나 순서 제약과 같이 영상의 순서가 바뀌는 상황과 그렇지 않는 두 상황만을 구

별하는 순서제약이 제약조건으로 충분한지, 시차기율기와 같이 연속적인 값으로 변환할 수 있는 시차 기율기 제약이 필요한지를 알아보기 위해서는 시차 기율기를 연속적으로 변화시켜가면서 상의 대응 문제가 변화되는 양상을 살펴 볼 수 있는 후속연구가 필요하다.

일반적으로 시각 기체의 과제는 주어진 망막상으로부터 실제 외부에 주어진 대상들의 시각적 속성이나 공간적 배열들을 표상하는 것이다. 역문제(inverse problem)라고 불리는 이 문제를 해결하는 과정에서 시각 기체가 직면하는 어려움은 외부에 주어진 자극과 그것으로부터 투사된 두 망막상들이 1:1의 대응관계에 있지 않다는 점이다. 삼차원 공간 지각의 관점에서 볼 때, (그림 2)에서와 같이 두 개의 다른 배열로부터 투사된 망막상이 동일한 경우가 발생할 수 있다. 대상들의 공간적 배열과 망막상은 일대일의 관계가 아니라 다대일의 관계가 만들어지므로 주어진 특정 망막상으로부터 각기 다른 공간적 배열을 표상할 가능성이 있다. 따라서 주어진 정보(망막상)로부터 유일한 해(공간적 표상)가 보장되지 않는 비정치 문제(ill-posed problem)가 발생된다(Poggio et al 1985; Nakayama & Shimojo, 1992; for a review see, Pizlo 2001). 이러한 비정치 문제는 두 망막상으로부터 영상의 위치차이 즉 양안 시차를 발견하여 이로부터 깊이를 산출해야 하는 입체시기체(stereopsis)에서는 여러 가능한 대응들 중에서 어떤 대응들을 최종적으로 선정할 것인가를 결정해야 하는 상의 대응 문제(correspondence problem)로 고려될 수 있다.

Nakayama와 Shimojo는 시각 기체가 비정치 문제를 해결하는 과정에서 주어진 망막상으로부터 가능한 다수의 공간적인 배열 중 가장 가능성이 높은 배열을 표상한다는 개연성의 원리(likelihood principle)를 제안했다. (그림 2)에 제시되어 있는 것과 같이 동일시선 상의 다른 깊이에 두 개의 점들이 제시될 때의 망막상은 같은 깊이의 양 측면에 두 개의 점들이 있는 경우의 망막상과 동일한 경우가 발생할 수 있다. 그러나 실제 상황에서 관찰자의 운동이나 머리 움직임에 의해서 각 표면 요소의 시선방향이 달라질 수 있기 때문에 동일시선 조건은 아주 특정한 시점에서 (specific view point) 관찰하는 경우에서만 발생할 수 있는 자극 상황이다. 이에 반해 동일시선 조건에 해당하는 망막상을 발생시킬 수 있는 관찰 시점을 제외한 대부분의 관찰 시점에서는 다른 시선조건에 해당되는 망막상을 발생시킬 수 있으므로 후자가 보다 일반적인 상황에 속한다. 주어진 망막상을 발생시키는 자극상황들 중 보다 일반적인 자극 상황에 해당되는 공간적 표상을 하게 된다는 개연성의 원리는 실험 1의 동일시선조건에서 얻어진 결과를 잘 설명해 줄 수 있다. 동일시선에 있는 점들의 속성이 동일할 경

우 두 자극상황에서 얻어질 수 있는 망막상은 정확히 동일하며, 주어진 망막상으로부터 보다 개연성이 높은 자극상황 즉 서로 다른 시선 상에 두 대상이 놓여있는 것으로 표상되었다. 그러나 실험 2에서 표면 요소들의 동일시선에 있는 조건에서 제시된 사각형의 양 수직변은 이와 동일시선에 놓여있는 긴 수직선과 길어도 다를 뿐만 아니라 형태 정보에 의해서도 서로 구별될 수 있으며, 해당 망막상을 만들어 낼 수 있는 자극 상황은 사각형 표면과 긴 수직선이 동일시선에 있는 자극 상황이 유일하다. 개연성의 원리는 망막상과 자극의 공간적 배열이 1:1의 관계에 있어 애매성이 없는 경우 자극의 공간적 상황에 해당되는 깊이가 지각될 것을 예측할 수 있지만 실험 2에서는 사각형 표면의 입체시 깊이가 해당 양안시차보다 과소평가되는 것으로 나타났다. 특히 실험 1과 같은 동일시선조건에서 두 자극의 밝기를 서로 다르게 제시하거나 (감기택, 2001), 높이를 서로 다르게 제시하는 경우(감기택, 2000; McKee & Vergheese, 2002)에도 망막상과 자극의 공간적 상황 간에 발생하는 애매성은 사라진다. 그럼에도 불구하고 해당 자극의 입체시 깊이는 실험 2의 결과와 유사하게 실제 자극의 양안 시차보다도 과소평가되는 것으로 나타났다. 이는 양안시 기체가 동일시선 상에 있는 대응들을 동시에 표상하지 못함을 시사한다.

결론적으로 대응문제 해결과정을 살펴보기 위해서는 표면이 아니라 표면 요소들의 시선 방향을 고려해야 하며, 표면 요소들의 시선 방향이 조작되면 두 대상이나 두 표면이 제시되었을 때 지각되는 입체시 깊이는 유사한 것으로 나타났다. 두 대상과 두 표면을 자극으로 사용한 기존의 연구들에서 발견된 상충되는 결과는 표면 요소들의 시선 방향이 고려되지 않았기 때문에 발생된 것으로 해석될 수 있다.

### 참고 문헌

- 감기택, 정찬섭 (2000). 동일시선에 놓여있는 두 대상의 입체시 깊이. *한국 심리학회지: 일반*, 19, 119-135.
- 감기택, 정찬섭 (2001). 상의 대응문제 해결에 미치는 밝기대비의 영향. *인지과학*, 12, 49-56.
- Akerstrom, R. A., & Todd, J. T. (1988). The perception of stereoscopic transparency. *Perception and Psychophysics*, 44, 421-432.
- Baker, H. H., & Binford, T. O. (1981). Depth from edge and intensity absed stereo. In *Proceedings of 7th international joint conference on artificial intelligence* (pp. 631-636). Los Altos, CA:Willam Kaufman.

- Burt, P., & Julesz, B. (1980). A disparity gradient limit for binocular fusion. *Science*, 208, 615-617.
- Frisby, J. P., & Pollard, S. B. (1991). Computational issues in solving the stereo correspondence problem. In *Computational models of visual processing*, (ed. M. S. Landy and J. A. Movshon), pp. 331-357. MIT Press, Cambridge, MA.
- Gepshtein, S., & Cooperman, A. (1998). Stereoscopic transparency: a test for binocular vision's disambiguating power. *Vision Research*, 38, 2913-2932.
- Grimson, W. E. L. (1981). A computer implementation of a theory of human stereo vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 292, 217-253.
- Grimson, W. E. L. (1985). A computational theory of visual surface interpolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 292, 397-425.
- Horn, B. K. P. (1986). Robot vision. Cambridge, MA: MIT Press.
- Julesz, B. (1960). Binocular depth perception of computer generated patterns. *Bell System Technical Journal*, 39, 1125-1162.
- Julesz, B. (1971). Foundations of cyclopean perception. Chicago: University of Chicago Press.
- Krol, J. D., & van de Grind, W. A. (1980). The double nail illusion: experiments on binocular vision with nails, needles, and pins. *Perception*, 9, 651-669.
- Marr, D., & Poggio, T. (1976). Cooperative computation of stereo disparity. *Science*, 194, 28-37.
- 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.
- Marr, D., Palm, G., & Poggio, T. (1978). Analysis of a cooperative stereo algorithm. *Biological Cybernetics*, 28, 223-239.
- McKee, S. P., & Verghese, P. (2002). Stereo transparency and the disparity gradient limit. *Vision Research*, 42, 1963-1977.
- Nakayama, K., & Shimojo, S. (1992). Experiencing and perceiving visual surfaces. *Science*, 257, 1357-1363.
- Nishina, S., Okada, M., & Kawato, M. (2003). Spatio-temporal dynamics of depth propagation on uniform region. *Vision Research*, 43, 2493-2503.
- Ogle, K. N. (1952). On the limits of stereoscopic vision. *Journal of Experimental Psychology*, 44, 253-9.
- Parker, A. J., Johnston, E. B., Mansfield, J. S., & Yang, Y. (1991). Stereo, surfaces, and shape. In *Computational models of visual processing*, (ed. M. S. Landy and J. A. Movshon), pp. 359-381. MIT Press, Cambridge, MA.
- Pizlo, Z. (2001). Perception viewed as an inverse problem. *Vision Research*, 41, 3145-3161.
- Poggio, T., Torre, V., & Koch, C. (1985). Computational vision and regularization theory. *Nature*, 317, 314 - 319.
- 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.
- Prazdny, K. (1985). On the disparity gradient limit for binocular fusion. *Perception and Psychophysics*, 37, 813.
- Stevenson, S. B., Cormack, L. K. & Schor, C. M. (1991). Depth attraction and repulsion in random dot stereogram. *Vision Research*, 31(5), 805-813.
- Tyler, C. W. (1973). Stereoscopic vision: cortical limitations and a disparity scaling effect. *Science*, 181, 276-278.
- Tyler, C. W. (1974). Depth perception in disparity gratings. *Nature*, 251, 140-142.
- Weinshall, D. (1989). Perception of multiple transparent planes in stereo vision. *Nature*, 26, 737-739.
- Weinshall, D. (1991). Seeing "ghost" planes in stereo vision. *Vision Research*, 31, 1731-1748.
- Westheimer, G. (1986). Spatial interaction in the domain of disparity signals in human stereoscopic vision. *Journal of Physiology*, 370, 619-629.
- Westheimer, G., & Levi, D. M. (1987). Depth Attraction and repulsion of disparate foveal stimuli. *Vision Research*, 8, 1361-1368.

접 수	2004년 09월 20일
게재승인	2004년 10월 20일