

## 반향 눈 운동에 의한 3차원 경사의 왜곡된 지각\*

## Distorted perception of 3D slant caused by disjunctive-eye-movements

이 형 철\*\*                      감 기 택\*\*\*  
 (Hyung-Chul O. Li\*\*) (Kee-Taek Kham\*\*\*)  
 김 은 수\*\*\*\*                  윤 장 한\*\*  
 (Eun-Soo Kim\*\*\*\*) (Jang-Han Yoon\*\*)

**요 약** 추적 눈 운동에 의해 망막에서의 상이 역동적으로 변화함에도 불구하고 우리는 외부세계의 공간속성을 대부분 안정적으로 지각한다. Helmholtz를 비롯한 많은 연구자들은 우리의 시각체계가 망막에서의 상의 움직임과 눈 운동정보를 동시에 고려하여 외부세계의 공간속성을 지각한다고 믿어 왔다. Helmholtz가 제안한 체계가 완벽하게 작용하지 않음을 나타내는 증거들을 여러 연구들이 제시 하여 왔지만, 대부분의 연구는 두 눈이 같은 방향으로 움직이는 상황에 국한되었다. 본 연구는 관찰자로부터 멀어지거나 가까워지는 대상을 두 눈으로 추적하는 경우에서처럼 두 눈이 각기 반대 방향으로 움직이는 상황에 의해 유발되는 양안부등이 시각체계에 의해 교정되는지를 검증하였으며, 피험자들은 반향 눈 운동 동안에 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의되는 대상의 경사를 2AFC과제를 이용하여 보고하였다. 실제 제시되는 대상이 피험자와 평행하게 경사 없이 놓여 있음에도 불구하고 반향 눈 운동에 의해 망막에 생성되는 양안부등과 일치하는 방향으로 피험자들은 대상의 경사를 왜곡하여 지각하였다. 이러한 실험결과는 우리의 시각체계가 반향 눈 운동에 의해 유발되는 양안부등을 적절히 교정하지 못함을 의미한다.

**주제어** 3차원 공간지각, 양안부등, 반향 눈 운동

**Abstract** Despite dynamical retinal image changes caused by pursuit eye movements, we usually perceive the stable spatial properties of the environment quite successfully. Helmholtz and his followers have suggested that the visual system coordinates the retinal and extraretinal eye position information to represent the spatial properties of the environment. However, there have been a significant amount of researches showing that this kind of mechanism may not operate perfectly, and the pursuit eye movement employed in those researches were limited to conjugate eye movements. When an observer tracks an object moving away from the observer with his/her eyes, the two eyes rotate in opposite direction, and this kind of disjunctive eye movement may produce undesirable binocular disparities for the objects in the background. The present study examined whether the visual system compensated for the undesirable binocular disparities caused by disjunctive eye movements with extraretinal eye position information. Although the target object was presented frontoparallely to the subjects, the subjects reported that the object was slanted toward (or away from) them in consistent with the undesirable binocular disparities produced by the disjunctive eye movements. These results imply that the visual system may not perfectly compensate for the undesirable binocular disparities with

\* 본 논문은 과학기술부 국가지정과제 (NRL)의 지원을 받았다.  
 \*\* 광운대학교 산업심리학과  
 \*\*\* 연세대학교 인지과학 연구소  
 \*\*\*\* 광운대학교 3D Media Lab

연구세부분야: 심리학 (시지각, 3차원 공간지각)  
 주소: 노원구 월계동 광운대학교 산업심리학과, 이형철(교수)  
 우편번호: 139-701  
 전화: 02-940-5425 Fax: 02-940-5420  
 Email: hyung@daisy.kwangwoon.ac.kr

extraretinal eye position information.

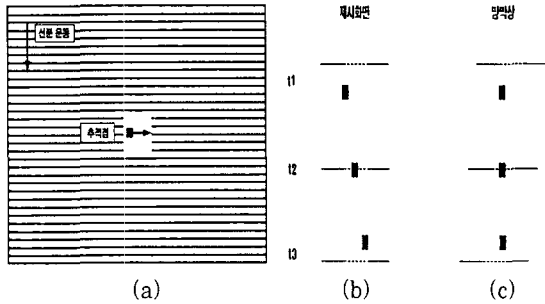
**Keywords** 3D perception, binocular disparity, disjunctive eye movements

지속적인 눈 운동에 의해 망막에서의 상이 역동적으로 변화함에도 불구하고 우리는 세상의 공간적 속성을 안정적으로 지각한다. 예를 들어, 움직이는 대상을 눈으로 추적하게 되면 추적되는 대상의 영상은 망막의 중심와 (fovea)에 고정되어 맵게 되지만, 정지해 있는 주위환경으로부터 투사된 망막상은 추적방향과 반대 방향으로 움직인다. 추적 눈 운동에 의해서 정지된 대상의 망막상이 움직이기도 하고 운동하는 대상의 망막상이 고정되기도 하지만, 대부분의 경우에 우리는 망막상과는 독립적으로 정지된 대상은 정지되어 있는 것으로, 운동하는 대상은 움직이는 것으로 지각한다. Helmholtz를 비롯한 많은 연구자들은 우리의 시각체계가 망막에서의 상의 움직임과 눈의 움직임 정보를 통합하여 특정 대상의 공간속성을 지각한다고 주장하였다. 이와 같은 Helmholtz의 제안이 옳다는 많은 실험적 증거들이 제시되었지만, Helmholtz가 제안한 체계가 완벽하게 작동하는 것 같지 않다는 여러 실험적 증거들도 제시되었다. 일정한 속도로 움직이는 대상을 추적할 때, 200 msec 이하의 짧은 시간으로 정지해 있는 배경이 순간적으로 제시되면, 이 배경은 추적 눈 운동 방향과 반대 방향으로 움직이는 것으로 지각되는데(1, 2). 이를 Filehne 착시라고 한다. 뿐만 아니라, 움직이는 대상을 추적하지 않을 때에 비하여 추적할 때, 이 대상의 속도는 더욱 느리게 지각되는데(3, 4). 이를 Aubert- Fleischl 현상이라고 한다. Helmholtz의 전통을 따르는 연구자들은, Filehne 착시나 Aubert-Fleischl 현상을 시각체계가 눈 운동을 과소 추정하거나 또는 망막에서의 상의 움직임을 과대 추정해서 나타나는 현상으로 해석하며(5, 6), 궁극적으로 눈 운동과 망막에서의 상의 움직임에 대한 추정에서의 상대적인 차이가 이러한 현상을 발생시킨다고 주장한다(7). 최근에, Li, Brenner, Cornelissen 과 Kim 은 추적 눈 운동 동안에 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의된 대상의 모양 지각이 망막에서의 상을 그대로 반영한다는 연구결과를 보고하면서 우리의 시각체계가 특정 조건 하에서는 눈 운동에 관한 정보를 전혀 고려하지 않을 수 있다는 가능성을 제시 하였다(8).

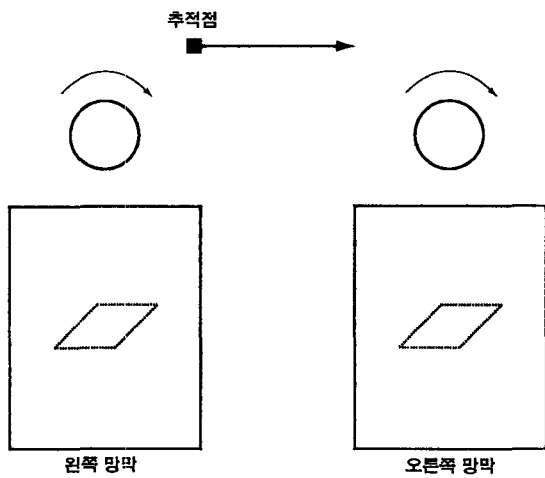
일상 생활 속에서 우리가 처해 있는 상황의 대부분의 경우에 관찰자의 움직임에 의해서든 아니면 관찰자의 눈 운동에 의해서든 망막에서의 상의 변화는 매우 역동적이다. 지각 연구의 일반화 및 타당화를 높이기 위해서

관찰자가 일반적으로 처해 있는 상황을 설정하여 연구를 수행하는 것은 매우 중요하다. 이와 같은 관점에서, 우리가 일상 생활에서 사물을 지각할 때에는 지속적으로 눈을 움직인다는 점을 고려 할 때, 추적 눈 운동이 공간 지각에 미치는 영향을 연구하는 것은 일상 생활 속에서 우리의 지각체계가 어떻게 작동하는지를 이해하는 데에 매우 중요한 역할을 한다. 추적 눈 운동 동안에 발생하는 공간지각의 특성에 관한 연구는 여러 과제에 의해 지속적으로 수행되어 왔다: 추적 눈 운동 동안에 실제 정지상태에 있는 배경이 움직이는지 정지해 있는지(2, 9, 10, 11), 추적하는 대상의 속도 지각에는 어떤 변화가 있는지(12, 13), 아주 잠깐 제시되는 정지된 대상의 위치 지각은 얼마나 잘 수행하는지에 대하여(14, 15, 16) 연구가 진행되어 왔다. 하지만, 이 연구들에서 추적 눈 운동을 유도하기 위해 제시되는 추적점들은 일반적으로 관찰자의 앞에 관찰자와 평행하게 놓여 있는 가상의 2차원 평면상(frontoparallel surface)에서 수평방향으로 움직이고, 따라서 두 눈은 같은 방향으로 움직인다(conjugate eye movement: 지금부터 동향 눈 운동이라고 명명한다). 이는 우리가 일상 생활에서 겪는 일반적인 상황이 아니다. 우리가 일상생활에서 겪는 일반적인 상황에서 추적점은 관찰자의 앞에 관찰자와 평행하게 놓여 있는 가상의 2차원 평면상에서 움직이는 것뿐만 아니라, 3차원 공간의 깊이 차원에서도 움직이게 된다. 2차원 평면상에서 수평 방향으로 움직이는 추적점을 추적할 때 두 눈은 같은 방향으로 움직이는데 반하여, 관찰자로부터 멀어지거나 가까워지는 추적점을 추적할 때 두 눈은 각기 반대 방향으로 움직인다(disjunctive eye movement: 지금부터 반향 눈 운동이라고 명명한다).

동향 눈 운동의 경우에 외부세계에 속한 대상의 망막에서의 움직임은 양쪽 눈에서 같은 반면에, 반향 눈 운동의 경우에 외부세계에 속한 대상의 망막에서의 움직임은 양쪽 눈에서 서로 반대 방향이다. 그림 1에서, 목표대상인 정사각형은 배경과 동일한 명도를 갖는 불투명한 대상이라고 가정하자. 이 대상은 배경과 동일한 명도를 가지고 있으므로 밝기 대비에 의해서는 대상으로 지각되지 않는다. 그러나, 만약 한 수평선이 위에서 아래로 운동하면서 이 대상 뒤로 지나간다고 하면 수평선 중 일부만이 이 대상에 가려 보이지 않게 되고 이러한 정보가 시공간적으로 통합됨으로써 밝기 대비에 의해서



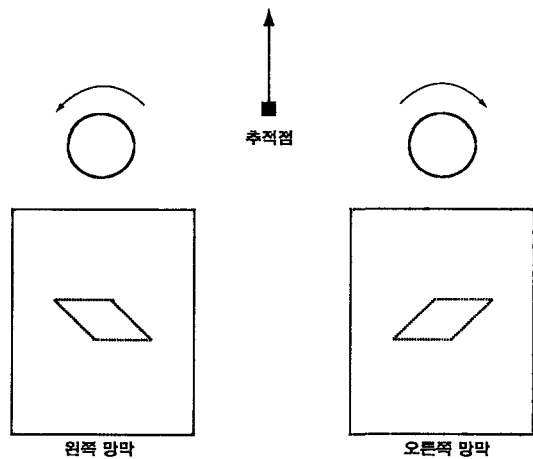
(그림 1) 추적 눈 운동 동안에 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의되는 목표대상. (a)는 화면의 중앙에 검은 사각형으로 표시되어 있는 추적 점을 추적하는 동안 하나의 수평선이 자극의 윗부분에서 아래부분으로 운동하고 있는 자극 상황을 나타내고 있다. 화면의 중앙에 제시되어 있는 흰색 사각형은 가림에 의해 수평선의 일부분이 사라지기 때문에 발생된다. (b)는 각 시간마다 추적점과 수평선의 화면상에서의 상대적인 위치를 보여주고 있다. 가림에 의해 수평선이 제시되지 않는 영역이 점선으로 표시되어 있는데, 매 시간마다 수평위치는 변화되지 않음을 보여준다. (c)는 이를 망막에서의 상의 위치를 기준으로 표시한 것으로 가림에 의해 수평선에서 사라지는 부분들의 수평 위치가 시간이 지남에 따라 달라짐을 보여준다(실제 망막 상은 화면에 제시된 자극의 상하와 좌우가 바뀐 채로 맺혀지지만, 혼란을 피하기 위해서 이 논문의 그림에서는 망막으로 투사되는 자극을 망막상으로 표시하였다).



(그림 2) 그림 1의 자극이 제시되고 추적 점이 관찰자의 정면에서 오른쪽으로 운동할 때 각 눈이 움직이는 방향과 이에 따라 각 망막에 형성되는 상. 모니터상에서 추적점은 동일방향 동일속도로 움직인다. 하지만, 추적이 성공적일 경우에 망막에서 추적 점은 중심좌에 고정된다.

는 보이지 않던 대상이 선분운동에 의해 발생하는 시공간적인 중첩패턴에 의해 지각되게 된다. 이때, 화면상에 제시되는 중첩패턴이 (그림 1)의 (b)와 같이 제시될 경우 시공간적으로 통합되는 모양은 정사각형이지만, 추적하는 점은 항상 중심좌에 맺히게 되므로 (그림 1)의 (c)

에서와 같이 망막에 형성된 중첩패턴이 시공간적으로 통합될 경우에 실제 모양은 평행사변형으로 형성된다. Li 등의 연구에 의하면 관찰자들은 이와 같은 자극이 주어지면 눈 운동 정보가 고려되지 않은 채 평행사변형으로 지각한다 (8). 만약, 추적점이 관찰자의 앞에 놓여 있는 가상의 2차원 평면에서 오른쪽으로 움직이고 관찰자가 이를 추적하는 경우에 관찰자는 동향 눈 운동을 하게 되고, 동향 눈 운동 동안에 화면에는 (그림 1)과 같은 수평 선분의 운동에 의해서 정의되는 정사각형이 제시되더라도 동향 눈 운동에 의해서 양쪽 눈에 맺히는 상은 모두 동일하게 오른쪽으로 기울어진 평행사변형이 될 것이다 (그림 2 참조). 이와 달리, 관찰자로부터 멀어지고 있는 한 점을 추적하는 경우와 같이 추적점이 이차원 평면상이 아닌 깊이 차원에서 움직이면 (e.g. 추적점이 관찰자로부터 멀어지면) 각 눈의 추적 점의 운동 방향은 반대가 되므로 양쪽 눈에 맺히는 두 망막 상은 (그림 3)과 같이 상이할 것이다. (그림 3)의 상황에서처럼 반향 눈 운동이 발생하는 동안에 일정 시간에 걸쳐 2차원 모양이 정의 될 때 (그림 1참조) 각 눈에 맺히는 사각형의 윗부분과 아래부분의 상대적 위치는 달라지게 되어 윗부분과 아래부분에서의 양안부등 (binocular disparity)이 발생한다. 다시 말해서, (그림 1)과 같이 일정 시간에 걸쳐 정의되는 2차원 사각형이 눈을 고정된 상태에서는 윗부분과 아래부분의 양안부등이 동일하지만, 반향 눈 운동이 발생하는 경우에 두 영역의 양안부등이 0이 아닌 상



(그림 3) 그림 1의 자극이 제시되고 추적 점이 관찰자로부터 멀어질 때 각 눈이 움직이는 방향과 이에 따라 각 망막에 형성되는 상. 이 상황에서 추적 점의 망막상은 각 눈에서 동일 속도로 반대 방향으로 운동하므로 시공간적으로 정의되는 평행사변형의 방향도 반대가 된다.

황이 된다. 문제는 동일 평면에 놓여있는 한 표면의 각 부분이 반향 눈 운동에 의해서 0이 아닌 양안 부등을 가질 때 물리적으로는 관찰자로부터 동일한 깊이에서 있는 대상이 각기 다른 깊이에서 있는 것으로 왜곡되어 지각될 것인가 하는 점이다. 본 연구의 관심은 반향 눈 운동에 의해 유발된 양안부등이 지각적 오류를 유발하여 관찰자의 앞에 평행하게 놓여 있는 사각형을 관찰자로부터 기울어진 것으로 지각하는지 아니면 이러한 양안부등으로 인한 효과가 시각체계 내에서 교정되어 사각형이 관찰자와 평행하게 놓여 있는 것으로 제대로 지각하는지를 검증하는 것이다.

추적점이 관찰자로부터 멀어지고 관찰자가 두 눈으로 이 점을 추적하게 되면 반향 눈 운동이 발생하게 되는데, 반향 눈 운동 동안에 (그림 1)과 같이 시공간적인 중첩패턴에 의해 관찰자와 평행하게 수직방향으로 정사각형 모양을 갖는 대상이 정의되는 경우에, 관찰자가 이 정사각형의 윗변과 아랫변의 상대적인 깊이에 대해 지각할 수 있는 가능성에는 두 가지 유형이 존재한다: 1) 외부세계의 속성을 제대로 지각 (윗변과 아랫변이 관찰자로부터 같은 깊이에 있다고 지각) 2) 외부세계의 속성을 왜곡하여 지각 (윗변과 아랫변이 관찰자로부터 다른 깊이에 있다고 지각). 첫째 유형은, 눈 운동과 관계없이 외부세계에 존재하는 대상의 상대적인 깊이 (관찰자로부터 같은 깊이에 존재)를 제대로 지각하는 것이다. 이를 위해서는 눈 운동에 의해 유발된 윗변과 아랫변의 양안부등에 의해 나타날 수 있는 효과가 어떤 방식으로든 깊이 처리과정에서 교정되어야 한다. 눈 운동에 의해 유발된 양안부등의 효과를 교정할 수 있는 한 가지 가능성은 Helmholtz가 제안한 것과 비슷한 방식으로 두 눈의 망막에서의 상의 변화로 인한 효과를 각각의 눈 운동에 대한 정보를 토대로 교정하는 것이다. 둘째 유형은, 외부세계에 존재하는 대상의 상대적인 깊이를 제대로 지각하지 못하고 왜곡하여 지각하는 것이다. 둘째 유형으로 관찰자가 지각한다면 이는 눈 운동에 의해 유발된 양안부등으로 인한 효과가 눈 운동 정보를 이용하여 제대로 교정되지 못함을 시사한다. 이는 동향 눈 운동 동안에 시공간적으로 정의되는 대상의 모양을 지각할 때 눈 운동 정보를 전혀 고려하지 못한다는 Li 등의 연구결과로 볼 때 가능성이 충분하다. 본 연구에서는 추적 눈 운동 동안에 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의되는 동일 대상을 구성하는 부분들의 상대적인 깊이에 대한 피험자들의 지각감을 측정함으로써 이 두 가지 가능성을 검증하였다.

## 실험 1

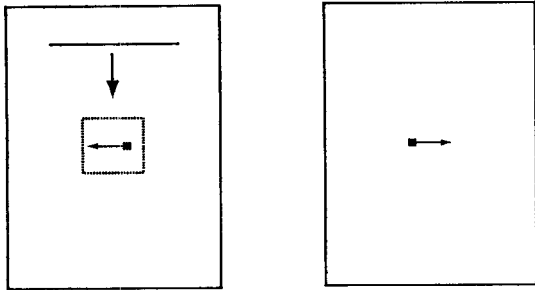
반향 눈 운동 동안에 그림 1과 같이 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의되는 대상을 구성하는 부분들이 관찰자로부터 동일한 깊이에서 있는 것으로 지각되는 경우, 이를 단순히 반향 눈 운동에 의해 유발된 양안부등으로 인한 효과가 눈 운동 정보를 고려하여 교정된 것으로 해석할 것인가? 두 가지 가능성이 있다. 첫째 가능성은 앞서 언급한 것처럼 반향 눈 운동에 의해 유발된 양안부등으로 인한 효과가 눈 운동 정보를 고려하여 교정된 것이다. 둘째 가능성은, 실험에 사용된 자극이 양안부등 자체를 유발하지 않았을 수 있다는 것이다. 본 연구에서 눈 운동에 의해 양안부등이 유발되기 위해서는 피험자가 깊이차원에서 움직이는 추적점을 적절히 추적하는 것이 매우 중요하다. 만약 피험자가 추적점을 적절히 추적하는 데에 실패하면 양안부등은 유발되지 않고 결국 눈 운동 정보를 고려하여 교정해야 할 양안부등의 효과도 없기 때문에 실험결과 자체가 무의미해진다. 만약 양안부등을 확실하게 유발시키기 위하여 눈 운동양을 증가시키게 되면 유발된 양안부등이 너무 커서 깊이 지각 자체가 불가능해질 수도 있다. 따라서, 이중상이 나타나지 않도록 눈 운동양을 제한한 상태에서 연구자들이 기대하는 만큼 눈 운동이 일어나 양안부등이 적절히 유발되는지를 확인하는 것은 매우 중요하다. 실험 1에서는 양안부등이 적절히 유발될 수 있는지를 알아보기 위해 깊이차원에서 움직이는 추적점을 두 눈으로 추적하게 하면서 두 눈 중 한 쪽 눈에 무선적으로 제시되는 목표대상의 모양을 보고 하게 하였다.

## 방법

피험자: 연구가설을 아는 연구자 2명과 연구가설을 알지 못하는 2명이 피험자로서 실험에 참가 하였다. 피험자들은 정상시력 또는 정상 교정시력을 지녔다.

## 도구

자극은 1024 X 768 해상도와 85Hz의 수평 주파수를 갖는 17인치 LG Flatron 모니터에 제시 되었다. 자극의 생성 및 실험통제는 PowerMac G4/450에 의해 이루어졌으며, 실험 프로그램은 Matlab과 Matlab함수 모음인 Psychophysics Toolbox [17, 18]에 의해 구성되었다. 실험 자극으로 사용된 입체 그림쌍 (stereogram pairs)을 관찰하는데 거울식 입체경 (mirror type stereoscope)이 이용되었다.



(그림 4) 실험 1에 사용된 입체 그림쌍. 추적 점이 깊이 방향으로 운동하는 것을 모사하기 위해 추적 점이 두 눈 모두에 제시되었으며 서로 반대방향으로 운동하였다. 수평선에 의해 시공간적으로 정의되는 사각형이 점선으로 표시되어 있는데 이 사각형은 왼쪽이나 오른쪽 눈 중 하나에만 제시되었다.

**자극**

Li등의 연구에서 사용된 시공간적으로 정의된 대상이 기본적인 자극으로 사용되었으며, 자극은 입체 그림쌍으로 제시되었고, 수평선의 가려짐에 의해 발생하는 도형은 한쪽 눈에만 제시되었다 (그림 4 참조). 배경 보다 밝은 5.9 deg크기의 수평선(116.4 cd/m<sup>2</sup>)이 배경과 같은 밝기(56.8 cd/m<sup>2</sup>)를 갖는 가상의 대상 (가로, 세로 1.18 deg의 크기의 항상 정사각형의 모양을 갖는 대상 - 목표대상) 뒤를 6.7 deg/sec의 속도로 위에서 아래로 수직방향으로 이동하였다. 수평선분의 수직이동거리는 3.94 deg 이었다. 이 수평선이 목표대상 뒤를 지나게 되면 목표대상에 의해 가려지게 되는데, 이때 수평선의 가려짐 정보가 시공간적으로 통합됨으로써 목표대상의 모양에 대한 중첩정보가 제공된다. 피험자가 눈으로 추적해야 할 점(가로, 세로 0.16 deg의 크기를 갖는 점으로 구성, 116.4 cd/m<sup>2</sup>)은 양쪽 눈에 모두 제시되었는데, 이 점이 깊이 방향으로 운동하는 것을 모사하기 위해서 각 눈에 제시된 추적 점들은 서로 반대 방향으로 수평으로 운동하였다. 수평선분과 추적점은 시간적으로 조율되어 (synchronized) 움직였다. 각 추적점은 목표대상의 가운데 부위를 0.197, 0.384, 또는 0.985 deg 만큼 좌에서 우로 또는 우에서 좌로 수평방향으로 목표대상 위를 통과 하면서 588 msec 동안 움직였다<sup>1)</sup>. 추적점의 속도는 눈 운동 양에 따라 달라졌는데, 0.335 deg/sec, 0.67 deg/sec 그리고 1.68 deg/sec 이었다. 전체 자극은 총 50 프레임으로 구성되었으며 수평선의 시공간적인 중첩 패턴에 의해 목표대상이 정의되는데 걸리는 시간은 약

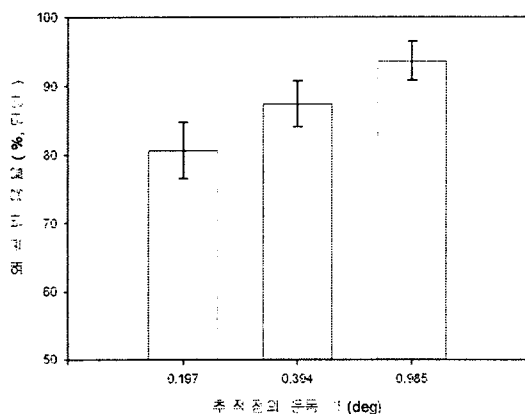
353 msec 이었고, 추적 눈 운동을 이끌기 위해 제시된 추적점이 나타남과 사라짐을 포함한 전체 자극 제시 시간은 약 588 msec 였다. 매 시행에서 추적점은 양쪽 눈 모두에 제시되었지만 목표대상은 한 쪽 눈에 무선적으로 제시 되었다. 각기 두 눈에 제시된 상들이 쉽게 접합되어 단일상이 형성되는 것을 돕기 위하여 각 눈에 제시되는 자극은 가로 7.9 deg, 세로 11.8 deg 의 크기를 갖는 배경과 다른 명도에 의해 정의된 직사각형의 윤곽 안에 제시되었다.

**실험절차**

하나의 세션은 60회의 시행으로 구성되었다: 두 가지 추적 눈 운동 방향 (다가오거나 물러감) X 두 가지 목표 대상이 제시되는 조건 (왼쪽 눈, 오른쪽 눈) X 세 가지 추적 점 운동 양 (0.197 deg, 0.394 deg, 0.985 deg) X 반복 5회. 각 세션 내에서 각 각의 조건은 무선적으로 제시 되었다. 모든 시행에서 먼저 추적 해야 할 점이 제시되고, 피험자는 준비가 되면 키보드 버튼을 누르도록 지시 받았다. 피험자가 키보드 버튼을 누르면 이와 동시에 추적 점이 움직이기 시작하고 피험자는 추적 점을 눈으로 추적하였다. 추적 점이 수평방향으로 이동하는 가운데 시점에 수직방향으로 움직이는 수평선에 의해 시공간적으로 정의되는 목표대상이 제시 되었다 사라졌다. 피험자들의 과제는 2 AFC 과제 (2 Alternative-Forced-Choice Task) 였다. 반향추적 눈 운동이 끝난 후에 피험자는 제시된 목표대상의 지각된 모양을 키보드 버튼을 이용하여 보고 하였다: 윗변이 아랫변보다 왼쪽으로 치우친 평행사변형으로 지각되면 "1"을 누르고, 윗변이 아랫변보다 오른쪽으로 치우친 평행사변형으로 지각되면 "2"를 눌렀다. 만약 피험자의 눈 운동 정보가 시각체계에 의해 완벽하게 고려되지 못했다면 피험자들은 망막에 맺힌 상의 모양에 근거해서 과제를 수행할 것이다. Li등은 동향 눈 운동 동안에 시공간적으로 정의된 대상의 2차원 모양지각에서 눈 운동정보가 전혀 고려되지 못함을 이미 보여 주었다. 한쪽 눈에만 자극이 제시 되기에 실험 1의 자극에서 윗변과 아랫변이 0이 아닌 양안부등을 갖는지는 확인할 수 없다. 단, 무선적으로 각 눈에 제시된 자극의 모양판단이 망막에 맺힌 상을 그대로 반영하는 것으로 결과가 나온다면 두 눈에 자극이 제시될 때에 윗변과 아랫변이 0이 아닌 양안부등을 가짐을 추론해 볼 수 있다. 한 시행 내에서 피험자들은 추적 눈 운동을 수행하면서 목표대상의 모양을 원하는 만큼 반복하여 관찰할 수 있었다. 한 시행이 종료되면 자동적으로 그 다음 시행으로 진행되었다. 각 피험자들은 세션

1) 추적점의 운동양은 절대적으로 큰 것은 아니지만 반향 눈 운동을 유도하기에는 충분히 컸음을 실험결과를 통해 확인할 수 있다.

을 4회 반복하여, 열 두 실험 조건 각각에 대하여 총 20회 반복 수행하였다. 첫번째 세션의 데이터는 연습세션으로 간주되었고, 결과분석에서는 마지막 3회 세션의 데이터만 이용되었다. 피험자의 머리 움직임을 최소화하기 위하여 턱 받침대가 사용되었고, 관찰 거리는 45cm 이었다. 피험자들은 실험에 사용된 입체 그림쌍을 입체경을 이용하여 관찰하였다.



(그림 5) 실험 1의 결과: 반향 눈 운동 양에 따른 왜곡 반응율 (단안)

### 결과 및 논의

반향 눈 운동에 의해 양안부등이 유발되었는지를 추정하기 위하여 반향 눈 운동 동안에 시공간적인 중첩 패턴에 의해 정의된 대상이 망막에 맺힌 대로 피험자들이 지각하는지를 검증하였다. 망막에 맺히는 상은 모니터에 제시되는 상과 눈의 움직임의 기하학적 관계에 의해 결정되는 것이다. 만약 각 눈의 운동 방향과 제시되는 상의 시공간적 특성을 고려하여 기대되는 망막에서의 상을 반영하는 방향으로 피험자가 보고를 한다면 추적 눈 운동에 의해 양안부등이 적절히 유발되었음을 추론할 수 있다.

피험자들이 보고한 모양이 망막에 맺힐 것으로 기대되는 대상의 모양인 특정 방향으로 기울어진 평행사변형과 일치하면 이를 왜곡반응으로 간주하였다 (실제 화면에 제시된 모양과 지각반응이 일치하지 않기 때문에 왜곡반응으로 명명함). (그림 5)는 추적점의 운동양에 따른 피험자의 왜곡 반응율을 나타낸다. 추적 점의 운동 방향 (관찰자로부터 추적점이 멀어지거나 관찰자에게 추적점이 가까이 다가감) 과 목표대상이 제시되는 위치에 따른 피험자들의 수행에는 차이가 없었으며 피험자들간에 자료 유형이 동일함으로 결과분석에서는 피험자들

들의 평균 왜곡 반응율을 사용하였다. 만약, 2AFC과제에서 피험자들의 수행이 우연수준 (왜곡반응율이 50%) 이상이라면 이는 추적 눈 운동에 의해서 망막 상에서의 상의 왜곡이 발생되었음을 나타내며, 각 눈에서 추적 점의 운동 방향이 반대가 되면 시공간적 중첩정보에 의해서 발생하는 도형의 윗부분과 아랫부분의 양안 부등이 각기 다를 수 있음을 보여주는 것이다. 본 연구에서 사용된 추적점의 운동 양 전 범위에서 피험자들의 수행은 우연수준 이상이었으며, 이는 추적 눈 운동에 의해 눈 운동 동안에 제시된 도형의 윗부분과 아랫부분의 양안 부등이 0이 아님을 의미한다.

### 실험 2

실험 1의 결과에 의하면 실험 1에 사용된 추적점의 운동을 추적하는 관찰자의 눈 운동에 의해 양안부등이 유발됨을 추정해 볼 수 있다. 실험 2는 추적 눈 운동에 의해 유발된 양안 부등으로 인한 효과가 시각체계 내에서 추적 눈 운동 정보를 고려하여 교정 되는지 알아보기 위해 설계되었다.

### 방법

#### 피험자

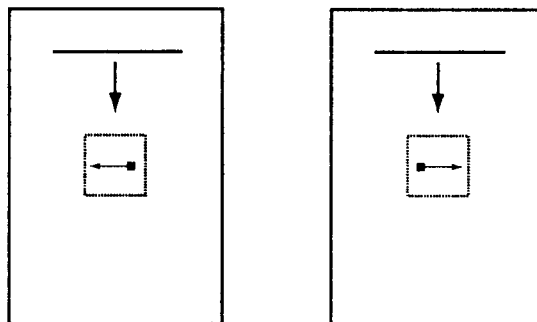
실험 1에 참가한 피험자 4명이 실험 2에 참가하였다

#### 도구

실험 1에 사용된 도구가 실험 2에 그대로 사용되었다

#### 자극

실험 1에 기술된 방식으로 자극이 만들어 졌다. 기본

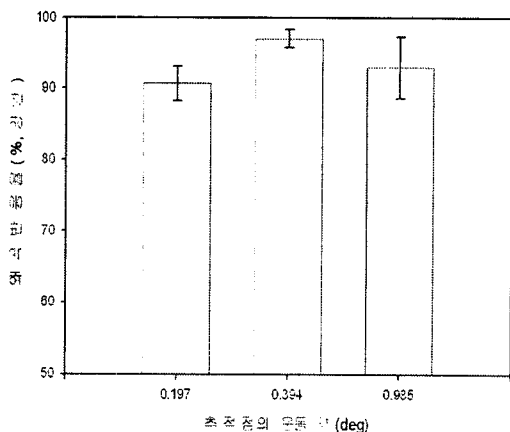


(그림 6) 실험 2에 사용된 입체 그림쌍의 예. 실험 1에서와 같이 깊이 방향으로 운동하는 추적 점을 모사하기 위해서 추적 점은 두 눈 모두에 제시되었으며, 각 점의 운동 방향은 2차원 자극에서 서로 반대였다. 실험 1과는 달리 수평선의 운동에 의해 시공간적으로 정의되는 사각형은 두 눈 모두에 제시되었다.

적으로 실험 1에 사용된 자극과 동일하였는데, 단, 실험 1에 사용된 자극에서는 매 회 목표대상은 한 쪽 눈에만 무선적으로 제시 되었는데 반하여, 실험 2에서는 양 쪽 눈 모두에 제시 되었다 (그림 6 참조).

**실험절차**

피험자의 과제를 제외하고 실험 2의 절차는 실험 1의 절차와 동일하였다. 실험 2에서 피험자의 과제는 지각된 목표대상의 경사패턴에 대한 2AFC과제였다: 목표 대상인 직사각형의 윗변이 아랫변 보다 관찰자에게서 상대적으로 멀리 떨어져 있다고 지각하면 키보드의 버튼 "1"을 누르고, 아랫변이 윗변보다 상대적으로 멀리 떨어져 있다고 지각하면 키보드의 버튼 "2"를 누르도록 하였다. 반향 눈 운동에 의해 형성된 양안부등이 시각체계에 의해 교정되었다면 피험자의 반응은 2AFC과제에서 망막에 형성된 양안부등과 관계없이 무선적인 형태를 취할 것이다. 하지만, 반향 눈 운동에 의해 형성된 양안부등이 시각체계에 의해 교정되지 않는다면 피험자의 반응은 망막에 형성되는 양안부등에 의해 체계적으로 영향을 받을 것이다. 하나의 세션은 30회의 시행으로 구성되었다: 두 가지 추적 눈 운동 방향 (다가오거나 물러남) X 세 가지 추적 점 운동 양 (0.197 deg, 0.394 deg, 0.985 deg) X 반복 5회. 각 세션 내에서 각각의 조건은 무선적으로 제시 되었다. 각 피험자들은 세션을 4회 반복하여, 여섯 실험 조건 각각에 대하여 총 20회 반복 수행 하였다. 첫번째 세션의 데이터는 연습세션으로 간주되었고, 결과분석에서는 마지막 3회 세션의 데이터만 이용되었다.



(그림 7) 실험 2의 결과: 눈 운동 양에 따른 왜곡반응율 (양안)

**결과 및 논의**

반향 눈 운동에 의해서 발생된 양안 부등의 차이가 시각 기체에 의해서 교정될 수 있다면 시공간적 중첩 정보에 의해서 정의된 도형은 관찰자의 정면에서 관찰자와 평행하게 놓여있는 것으로 지각될 것이다. 그러나, 반향 눈 운동에 의해서 만들어진 윗부분과 아랫부분의 양안 부등 차이가 교정되지 못한다면 추적점의 깊이상에서의 운동 방향에 따라 사각형의 윗부분이나 아랫부분이 관찰자쪽으로 기울어져 지각될 것이다. 즉, 추적점이 관찰자로부터 멀어지는 경우 사각형의 아랫부분이 관찰자쪽으로 기울어져 지각될 것이고, 추적점이 관찰자에게로 다가오는 경우 사각형의 윗부분이 관찰자쪽으로 기울어져 지각될 것이다. 이 두 반응 모두 우리의 시각기체가 눈 운동에 의해 발생된 양안 부등을 교정하지 못했기 때문에 망막 상의 양안 부등에 해당되는 표면 기울어짐을 보고하는 경우이므로 이를 왜곡 반응으로 간주하였다. 추적 점의 눈 운동 방향 (관찰자에게서 추적점이 멀어지거나 관찰자에게 추적점이 다가섬)에 따른 피험자들의 수행은 차이가 없었으며 피험자들간의 수행패턴이 비슷하여 각 피험자의 평균 수행을 구하여 분석에 사용하였다. (그림 7)은 추적점의 운동양에 따른 왜곡반응율을 나타낸다. 실험 2에서 사용된 2AFC과제에서 만약 피험자가 목표대상인 직사각형의 경사를 실제 세계와 부합되게 피험자와 평행하게 윗변과 아랫변이 관찰자로부터 모두 같은 거리에 있다고 지각한다면 피험자들의 수행은 우연수준 (왜곡반응율 50%) 에 머물 것이다. (그림 7)에 나타나듯이 실험에서 사용된 추적점의 운동 범위 전체에서 피험자들의 수행은 우연수준 보다 높았다. 이러한 실험 결과는 반향 눈 운동에 의해 유발된 양안부등의 효과가 눈 운동 정보를 고려하여 충분히 교정되지 못하였음을 의미한다<sup>2)</sup>.

**종합논의**

추적 눈 운동이 공간지각에 미치는 영향에 관한 지금까지의 연구들은 두 눈이 같은 방향으로 움직이는 경우, 즉 추적대상이 2차원 평면상에서 움직이는 경우에 국한되어 왔다. 이는 우리가 일상생활에서 겪는 일반적인 상황이 아닌데, 우리는 3차원 공간에서 주로 생활하며 추

2) 실험 2에서의 자극상황에서 추적점의 운동량이 아주 큰 경우 각 눈에 제시되는 사각형의 양안 부등은 크게 되어 접합이 되지 않을 수도 있으며 극단적으로는 양안경쟁 (binocular rivalry)이 발생할 가능성도 있다. 하지만 추적점의 운동양을 조정함으로써 양안경쟁이 심하게 발생하지 않았으며, 주목해야 할 것은 접합 (fusion)이 깊이지각의 필수요건이 아니므로(Ogle, 1952) [19] 본 연구에서 깊이를 지각하는 데 아무런 문제가 없었다.

적해야 할 대상은 3차원 공간에서 움직이기 때문이다. 추적대상이 2차원 평면에서 움직일 경우에 두 눈이 같은 방향으로 움직이고 (동향 눈 운동) 망막에서의 상의 변화도 두 눈에서 동일한 특성을 지니는데 반하여, 만약 관찰자로부터 멀어 지거나 가까워지는 추적대상을 추적하는 반향 눈 운동의 경우에 두 눈은 각기 반대 방향으로 움직이게 되고, 이러한 반향 눈 운동 동안에 일정시간에 걸쳐 정의되는 (그림 1)과 같은 목표대상은 두 눈의 망막에서 각기 상이한 양식으로 변화되어 눈을 고정하였을 때에는 나타나지 않는 양안부등이 유발된다. 본 연구는 깊이차원에서 움직이는 추적대상을 두 눈으로 추적하는 반향 눈 운동의 경우에 목표대상에서 발생하는 양안부등의 효과를 우리의 시각체계가 극복하고 목표대상의 공간속성을 제대로 지각하는지에 주된 관심이 있었다. 만약 우리의 시각체계가 반향 눈 운동에 의해 유발되는 양안부등의 효과를 눈 운동에 대한 정보를 이용하여 교정한다면, 눈이 고정되어 있을 때에는 나타나지 않던 양안부등이 추적 눈 운동에 의해 유발되더라도 우리는 목표대상의 공간속성을 제대로 지각할 것이다.

실험 2에서 관찰자로부터 멀어지거나 가까워지는 대상을 두 눈으로 추적하는 동안에 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의되는 목표대상의 경사를 판단하게 하였을 때, 실제 이 대상의 경사는 피험자와 평행한 상태였음에도 불구하고 피험자들은 반향 눈 운동에 의해 유발된 양안부등과 일치하는 방향으로 목표대상이 경사를 가지고 있는 것으로 왜곡하여 지각하였다. 이러한 실험결과는 우리의 시각체계가 반향 눈 운동 동안에 유발되는 양안부등의 효과를 눈 운동 정보를 이용하여 완벽하게 교정하지 못함을 시사한다. 이러한 실험결과에 대하여 두 가지 해석 가능성이 있다. 첫째, 동향 눈 운동 동안에 시공간적으로 정의되는 대상의 2차원 모양지각에 눈 운동 정보가 전혀 고려되지 않을 수 있다고 하는 Li등(8)의 주장처럼, 우리의 시각체계가 반향 눈 운동에 의해 유발되는 양안부등의 효과를 교정하는데 눈 운동에 관한 정보가 전혀 고려되지 않았을 수 있다는 것이다. 둘째, 망막에서의 상의 움직임 양과 눈 운동 양의 추정에 있어서의 상대적인 차이가 존재하는 경우에 추적 눈 운동에 의한 공간지각에서의 왜곡이 발생한다는 Freeman과 Banks (7)의 주장과 같은 맥락에서, 추적 눈 운동에 의해 유발된 양안부등의 양과 눈 운동 양에 관한 추정에서의 상대적인 차이가 존재하였을 수 있다는 것이다. 본 연구에서는 눈 운동을 기록하지 않았기 때문에 두 가지 가능성을 평가하기에는 정보가 부족하며, 두 가지 가능성을 평가하기 위해서는 눈 운동의 측정이 필요하다.

양안부등 (binocular disparity)은 3차원 공간에 존재하는 대상이 두 눈에 맺는 망막에서의 상의 위치차이로써, 양안부등 자체는 하나의 대상이 가지고 있는 깊이 에 대한 절대적인 정보를 제공하지 못한다. 일반적으로 특정대상이 갖는 깊이가 유발하는 양안부등의 양은 관찰자로부터의 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 특정대상의 깊이를 관찰자로부터의 거리에 관계없이 항상성 있게 지각하기 위해서는 양안부등과 관찰거리에 대한 정보가 통합되어야 한다. 관찰거리에 따라서 변화하지 않는 특정대상의 깊이에 대응하는 정보 (부등곡률: 양안부등을 공간적으로 2차 미분한 것, disparity curvature)가 존재하며 이 정보를 시각체계가 찾아 내기만 하면 깊이 항상성이 유지된다고 주장하는 연구자들 (20)도 있지만, Johnston은 관찰거리가 증가함에 따라 특정대상의 깊이가 과소평가되어 지각된다는 연구결과를 발표하면서, 이러한 깊이의 과소평가가 관찰거리의 과소 추정에 의한 것이라고 해석하였다 (21). 양안부등이 관찰거리 정보를 고려하여 특정대상의 깊이를 지각하는데 사용된다는 Johnston의 제안과 유사한 방식으로 추적 반향 눈 운동에 의해 부수적으로 산출되는 양안부등을 시각체계가 추적 눈 운동 정보를 고려하여 상쇄시킬 가능성도 있다. 하지만, 추적 반향 눈 운동 동안에 발생하는 양안부등패턴과 일치하게 목표대상의 경사를 왜곡하여 지각한다는 실험 2의 결과는 이러한 체계가 최소한 완벽하게 작동하지 않음을 시사한다.

#### 참고문헌

- [1] Filehne, W. (1922). Ueber das optische Wahnehmen von Bewegungen. *Zeitschrift für Sinnesphysiologie*, 53, 134-145.
- [2] Mack, A., & Herman, E. (1973). Position constancy during pursuit eye movements: an investigation of the Filehne illusion. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 25, 71-84.
- [3] Aubert, H. (1886). Die Bewegungsemphindungen. *Pflüger's Archiv für die Gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 39, 347-370.
- [4] Fleischl, E. (1882). Von Physiologieschoptische notizen. *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften*, 86, 17-25.
- [5] Howard, I. P. (1982). *Human Visual Orientation*. New York: Wiley.
- [6] Wertheim, A. H. (1994). Motion perception during self-motion-direct versus inferential controversy



- revised. *Behavioural and Brain Sciences*, 17, 293-311.
- [7] Freeman, T. C. A. & Banks, M. S. (1998). Perceived head-centric speed is affected by both extra-retinal and retinal errors. *Vision Research*, 38, 941-945.
- [8] Li, H.-C. O., Brenner, E., Cornelissen, F. W. & Kim, E.-S. (in press). Systematic distortion of 2D shape during pursuit eye-movements. *Vision Research*.
- [9] Ehrenstein, W. H., Mateef, S., & Hohnsbein, J. (1986). Temporal aspects of position constancy during ocular pursuit. *Pflügers Archiv*, 406, R15, 47.
- [10] Haarmeier, T., & Their, P. (1996). Modification of Fiehn illusion by conditioning visual stimuli. *Vision Research*, 36, 741-750.
- [11] Wertheim, A. H. (1981). On the relativity of perceived motion. *Acta Psychologica*, 48, 97-110.
- [12] Brenner, E., & van den Berg, A. V. (1994). Judging object velocity during smooth pursuit eye movements. *Experimental Brain Research*, 99, 316-324.
- [13] Turano, K. A., & Heidenreich, S. M. (1999). Eye movements affect the perceived speed of visual motion. *Vision Research*, 39, 1177-1187.
- [14] Brenner, E. & Cornelissen, F. W. (2000). Separate simultaneous processing of egocentric and relative positions. *Vision Research*, 40, 2557-2563.
- [15] Mateeff, S., Yakimoff, N., & Dimirtrov, G. (1981). Localization of brief visual stimuli during pursuit eye movements. *Acta Psychologica*, 48, 133-140.
- [16] Mita, T., Hironaka, K., & Koike, I. (1950). The influence of retinal adaptation and location on the Empfindungszeit. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 52, 397-405.
- [17] Brainard, D. H. (1997) The *Psychophysics Toolbox*. *Spatial Vision* 10:433-436.
- [18] Pelli, D. G. (1997) The *VideoToolbox* software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision* 10,437-442.
- [19] Ogle, K. N. (1952). Disparity limits of stereoscopic vision. *Journal of Experimental Psychology*, 44, 253-259.
- [20] Rogers, B. J. & Cagenello, R. B. (1989). Disparity curvature and the perception of three-dimensional surfaces. *Nature*, 339, 135-137.
- [21] Johnston, E. B. (1991). Systematic distortions of shape from stereopsis. *Vision Research*, 31, 1351-1360.