

눈 운동 측정 및 분석을 이용한 추적 눈 운동 동안의 모양지각 왜곡에 대한 참조대상의 영향 검증*

Examination of the Effect of Reference on Shape Perception during Pursuit by Eye Movements Recording and Analysis

이 형 철** Frans Cornelissen*** Eli Brenner****
(Hyung-Chul O. Li) (Frans Cornelissen) (Eli Brenner)

요약 최근의 연구에서 Li, Brenner, Cornelissen과 Kim (2002)은 추적 눈 운동 동안의 2차원 모양지각이 망막에 형성된 이미지 내용을 그대로 반영한다는 것을 보여 주었는데, 이러한 연구는 2차원 모양판단에 있어서 망막 외 정보가 전혀 고려되지 않았음을 시사한다. 이와 같은 실험실 연구와 달리, 실제 생활에서 2차원 모양지각의 왜곡은 대부분의 경우에 발생하지 않는데, 가능한 한 가지 이유는 실험실 연구에서 사용된 자극의 경우에 참조대상이 존재하지 않는데 비하여, 실제 생활에서는 다양한 참조대상이 목표대상의 주변에 존재하기 때문이다. 목표대상과 참조대상의 상대적인 위치관계는 추적 눈 운동 동안에 망막에서도 그대로 유지되는데 시각체계가 이러한 안정적인 관계를 목표대상의 모양을 지각할 때에 이용할 가능성이 있다. 본 연구에서는 다양한 참조대상을 이용하여 이러한 가능성을 검증하였다. 흥미롭게도, 추적 눈 운동 동안에 참조대상이 목표대상 주위에 존재할 때에도 모양지각 왜곡이 관찰되었는데, 왜곡의 양은 참조대상이 존재하지 않을 때에 비하여 감소하였다. 참조대상의 효과는 참조대상과 목표대상의 거리에 비례하였다. 이러한 실험결과는 추적 눈 운동 동안의 2차원 모양지각에 참조대상 정보가 이용되지만, 참조대상에 대한 정보만으로는 실제생활에서의 안정적인 모양지각을 설명할 수 없음을 시사한다.

주제어 추적 눈 운동, 모양지각, 참조대상

Abstract Recently, Li, Brenner, Cornelissen and Kim (2002) reported that 2D shape perception during pursuit eye movement just reflected the retinal image, and this result implies that the visual system ignored the extra-retinal information. In reality, however, we usually do not experience the perceptual distortion of 2D shape during pursuit eye movement. One possibility is that the visual system might exploit the fact that the relative location between objects on retinal image is constantly maintained even during pursuit eye movement. The present research examined this possibility. Interestingly, perceptual distortion of 2D shape was observed even in the presence of reference, however, the amount of distortion decreased compared to when the reference does not exist. The distance between the reference and the target affected the perceptual distortion. These results imply that reference information is used in 2D shape perception during pursuit eye movement but it cannot completely explain the stable and accurate representation of 2D shape perception during pursuit eye movement.

Keywords pursuit eye movement, shape perception, reference

* 이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구 되었음 (KRF-2002-042-H00004).

** 광운대학교 산업심리학과, 연구세부분야: 지각심리학, 시지각, 3차원공간지각
서울시 노원구 월계동 447-1, E-mail: hyung@daisy.kw.ac.kr

*** Laboratory of Experimental Ophthalmology, Groningen University, The Netherlands

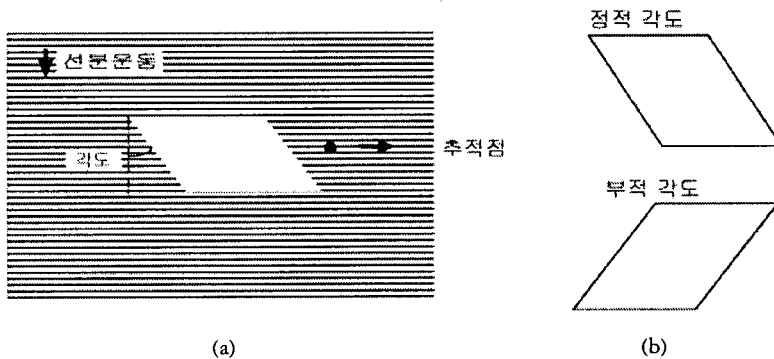
**** Department of Neuroscience, Erasmus University, The Netherlands

움직이는 작은 대상을 눈으로 추적하면 외부에 놓여 있는 정지된 대상이 망막 상에서 움직임에도 불구하고 정지된 대상이 외부세계에서 정지되어 있는 것으로 제대로 지각된다.

Helmholtz(1867/1925)는 눈 운동 동안에 형성되는 망막 상 신호에서 눈 움직임 신호를 감산함으로써 눈 운동 동안에 나타나는 안정적인 공간지각이 가능하다고 제안하였다. 최근의 연구에서 Li, Brenner, Cornelissen과 Kim (2002)은 추적 눈 운동 동안에 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의되는 대상의 지각된 2차원 모양이 체계적으로 왜곡된다는 것을 보고하면서 지각된 모양이 단순히 추적 눈 운동 동안에 망막에 형성된 대상의 상을 그대로 반영한다는 것을 보여 주었다. 이러한 실험결과를 추적 눈 운동 동안의 2차원 모양 판단에 있어서 망막 외 정보(extra-retinal information: 눈 운동 정보)가 전혀 고려되지 않음을 시사한다. 하지만, Li등의 실험실 상황에서의 연구결과와 달리, 일상생활에서는 끊임없는 눈 운동에도 불구하고 우리는 외부세계의 속성을 안정적

로 지각한다. 끊임없는 눈 운동에도 불구하고 일상생활에서 어떻게 외부세계의 속성을 안정적으로 지각할 수 있는 것일까?

한 가지 가능성은 일상생활에서 목표대상 주위에 다양한 참조대상이 존재하며 또한, 끊임없는 눈 운동에도 불구하고 목표대상과 참조대상의 상대적인 위치가 망막 상에서도 그대로 유지된다는 사실을 우리의 시각체계가 이용할 수 있다는 것이다. 만약 우리의 시각체계가 목표대상의 모양을 표상할 때에 목표대상을 구성하는 요소들과 목표대상 주위의 참조대상의 상대적인 위치정보를 이용한다면, 추적 눈 운동에 의해 망막 상에서의 목표대상의 모양이 왜곡될지라도 목표대상의 모양이 제대로 표상될 수 있을 것이다. Li 등의 연구에서 사용된 목표대상은 그림 1에 나타나 있는 것과 같이 수직방향으로 움직이는 막대의 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의되었는데 목표대상 주위에 어떤 참조대상도 존재하지 않았다. 본 연구는 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의된 대상의 2차원 모양판단에 참조대상의



(그림 1) (a) Li 등의 연구(2002)에 사용되었던 자극의 개념도. 추적점은 모니터 상에서 수평으로 움직였고, 목표대상을 정의하는 중첩패턴을 유발하는 수평선분은 수직 방향으로 움직였다. 목표대상의 모양은 각도에 의하여 정의되었다. (b) 목표대상의 모양이나 목표대상의 지각된 모양을 보고하기 위하여 사용된 예시대상의 모양은 0도와 다를 수 있었는데, 정적인 각도 또는 부적인 각도 모두로 표현될 수 있었다.

정보가 이용되는지를 검증하였다.

실험 1

추적 눈 운동 동안의 2차원 모양지각에 대한 참조대상의 영향을 검증하기 위하여 목표대상과 동일한 크기를 갖는 회색 원형이 목표대상의 왼쪽 위 모서리에 정렬되도록 제시되었다(그림 2 참조: 원형 참조대상의 지름과 평행사변형 목표대상의 폭/높이가 동일). 목표대상의 주위에 참조대상이 존재하는 참조조건과의 비교를 위하여 참조대상이 존재하지 않는 비 참조 조건이 실험에 포함되었다. 목표대상의 모양을 보고하기 위하여 사용된 예시대상(set figure)이 배경과의 명도대비에 의하여 정의된데 반하여 목표대상은 명도대비가 아닌 중첩패턴에 의하여 정의되었다. 명도대비에 의해 정의된 예시대상을 이용하여 중첩패턴에 의해 정의된 목표대상의 모양을 보고하는 것이 피험자들의 반응편향을 유발하는지를 평가하기 위하여 눈 고정 조건이 포함되었다. 추적 눈 운동 조건과 눈 고정 조건은 각기 독립적인 세션에서 측정되었다. 각 독립적인 세션의 매 시행에서 다섯 가지 모양(0°, 15°, 30°, 45°, 60°) 중의 한 가지 모양이 목표대상으로 제시되었다.

방 법

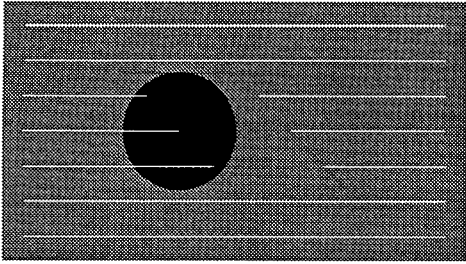
피험자

실험가설을 알지 못하는 다섯 명의 피험자

가 실험에 참여하였다. 모든 피험자들은 정상 또는 정상교정시력을 지녔다.

자극

실험자극은 Psychophysics Toolbox에 의해 제공된 Matlab 함수 (Brainard, 1997; Pelli, 1997)를 이용하여 Power Macintosh에 의해 생성되어 20인치 CRT 모니터(39cm 관찰거리에서 51.2도 X 38.4도 시야각을 지님)에 제시되었다. 모니터 해상도는 1024X768 이었고 화면재생빈도는 75Hz 이었으며 배경화면의 명도는 9.06 cd/m² 이었다. 수직방향으로 움직이는 막대의 명도는 66 cd/m² 이었고, 막대의 너비는 51.2° 높이는 0.15° 이었으며, 11.25 deg/sec의 속도로 움직였다. 피험자가 눈으로 추적해야할 적색 추적점의 크기는 0.5° X 0.5° 이었고 밝기는 12.85 cd/m² 이었으며, 화면 중앙에서 왼쪽으로 20° 떨어진 곳에서 오른쪽으로 11.25 deg/sec의 속도로 움직였다. 목표대상의 위치는 화면 중앙에서 수직/수평 방향으로 매 시행 ±1.25°내에서 무선적으로 결정되었는데, 추적점이 움직이기 시작한지 약 1700 msec 후에(정확한 시간은 목표대상의 위치에 따라 약간씩 차이가 있었음) 나타났다. 목표대상과 동일한 크기를 갖는 참조대상은 그림 2에 나타나 있는 것처럼 목표대상과 중첩되어서 나타났다. 목표대상과 참조대상의 윗부분은 정확하게 정렬되었으나, 아래 부분은 목표대상의 모양에 따라서 정렬정도가 달랐다. 매 시행, 목표대상은 다섯 가지 모양 중에서 하나로 무선적으로 결정되었다: 0°, 15°, 30°, 45°, 60°. 참조대상은 매 시행, 두 가지 명도 대비 중 하나를 갖도록 무선적으로 결정되었다: 0.0 또



(그림 2) 실험 1에 사용된 목표대상과 참조대상의 관계를 보여주는 그림. 원형모양의 참조대상은 목표대상의 윗부분과 완벽하게 정렬되도록 제시되었다.

는 6.3 (Weber contrast로 계산하였을 때), 참조대상의 명도대비가 0인 조건에서 참조대상과 화면배경의 명도가 동일하였으므로 이 조건은 실질적으로 참조대상이 존재하지 않는 조건과 동일하였다. 목표대상의 높이와 수평방향으로 움직이는 막대가 목표대상과 중첩되는 길이는 2° 로써 동일하였다. 목표대상의 모양을 보고하기 위하여 사용된 예시대상 (set figure)은 0° 의 목표대상과 동일한 척도를 지녔다. 턱받이에 피험자의 턱을 고정시킴으로써 피험자의 머리 움직임을 최소화 하였다.

눈 운동 측정

피험자의 눈 운동은 Matlab 함수모음인 EYELINK Toolbox(Cornelissen, Peters & Palmer, 2002)와 이미지 기반 적외선 눈 운동 측정기 (EYELINK Gazetracker; SensoMotoric Instruments, Teltow, Germany)에 의해 250Hz의 빈도로 측정되었다. 눈 운동 자료는 목표대상이 제시되는 동안의 눈 운동에 국한해서 분석되었으며, 목표대상이 제시되는 동안에 도약 눈 운동이 발생하지 않은 시행만이 추후의 분석에 이용되었다. 눈 운동 측정을 한 이유는 눈 운동 동

안에 제시되는 동안에 망막에 형성되는 목표대상의 모양을 추정하기 위함이었다. 시공간적인 중첩패턴에 의해 정의되는 목표대상의 특성상, 눈 운동 특성에 따라서, 망막에 형성되는 목표대상의 모양이 달라지기 때문이다. 따라서, 목표대상이 제시되는 동안의 눈 운동 측정치만을 이용하여 망막에 형성되는 목표대상의 모양을 추정하는 것이 가능하다. 눈 운동 속도는 측정된 눈 운동 자료를 가장 잘 묘사하는 일차함수를 찾아냄으로써 추정되었는데, 추적 눈 운동 조건의 경우에, 추적계수 (pursuit gain)가 0.7보다 크고 1.3보다 작은 시행(눈 운동 속도가 7.9 deg/sec 보다 크고 14.6 deg/sec 보다 작은 시행) 만 추후 분석에 이용될 수 있는 적절한 자료로 분류하였다. 눈 고정 조건의 경우에는 추적점이 움직이는 속도보다 눈 움직임 속도가 0.3배 이하(눈 운동 속도가 3.4 deg/sec 이하)인 시행만이 추후 분석에 이용될 수 있는 적절한 자료로 분류되었다. 추적 눈 운동 조건과 눈 고정 조건 모두의 경우에, 수직방향으로의 눈 운동 속도가 수직방향으로 움직이는 막대의 속도보다 0.3배 이하(눈 운동 속도가 3.4 deg/sec 이하)인 시행만이 적절한 자료로 분류되었다. 이 기준에 어긋나는 시행은 실험결과 분석에서 제외되었다.

절차

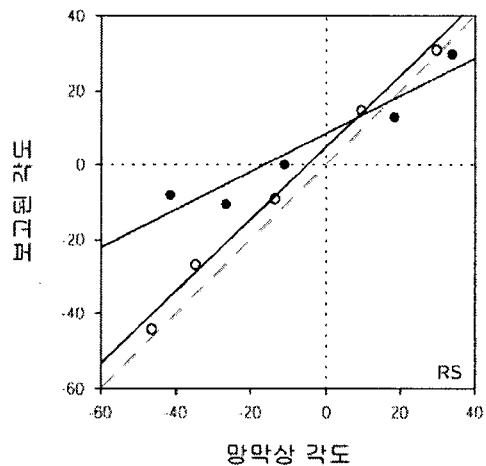
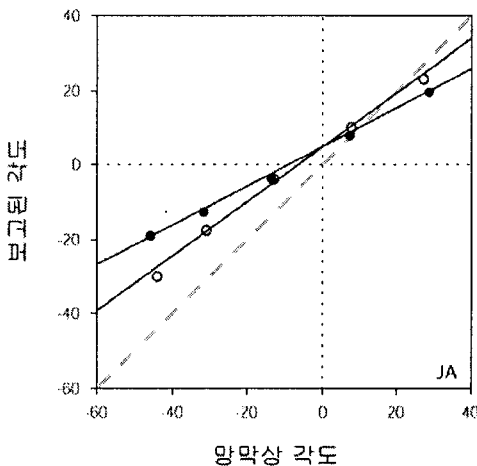
피험자들은 화면 중앙의 왼쪽에서 오른쪽으로 움직이는 적색 추적점을 머리를 고정한 상태에서 추적하도록 요구되었다. 목표대상이 제시된 후에 예시대상(66 cd/m^2) 이 제시되었는데 피험자들은 목표대상의 지각된 모양을 보고하기 위하여 지각된 모양과 동일해지도록

록 컴퓨터의 마우스를 이용함으로써 예시대상의 모양을 조작하여 보고하였다. 피험자들이 마우스를 움직이는 동안에 예시대상의 높이는 고정된 채 변화하지 않았고 단지 예시대상을 구성하는 윗 선분과 아래 선분만이 반대 방향으로 움직이도록 하여 궁극적으로 예시대상의 양 옆 선분의 기울기가 변하도록 조작하였으며, 실험에서는 이러한 기울기 각도를 이용하여 목표대상의 지각된 모양을 측정하였다. 예시대상은 화면 중앙으로부터 3도 아래에 제시되었으며 예시대상의 최초 모양은 무선적으로 결정되었다. 피험자들은 자신이 지각한 목표대상의 모양과 마우스를 움직여서 구성한 예시대상의 모양이 만족할 만큼 일치한다고 판단하면 마우스버튼을 누름으로써 지각된 모양을 보고하였다. 다섯 가지의 목표대상 모양 X 두 가지 참조대상 조건 X 반복 10회의 결합으로 총 시행 수는 40회 이었다.

결 과

그림 3은 실험 1에서의 전형적인 결과를 나타내는 전형적인 두 피험자의 추적 눈 운동 동안의 목표대상의 모양판단을 나타낸다. 그림 3에서 흰색 원은 비 참조 조건에서의 모양판단을 그리고 흑색 원은 참조 조건에서의 모양판단 결과를 나타낸다. 피험자들의 모양판단이 망막에 형성된 상에 근거해서 이루어졌을 때의 예상 결과는 그림 3에서 회색 점선 사선으로 나타나 있다. 그림 3에 나타나 있듯이 비 참조 조건에서 피험자들의 모양판단은 이 회색 사선에 매우 근접해 있고 참조조건에서는 이 사선으로부터 약간 벗어나 있다.

그림 4에서 결과 막대는 눈 운동에 의해 유발된 망막 상 이미지 변화 전체 중에서 피험자의 최종적인 모양판단이 망막 상 이미지에 근거한 모양판단에서 벗어나는 비율을 나타낸다. Li 등의 연구는 추적 눈 운동 동안에 시공



(그림 3) 실험 1에서 목표대상의 모양을 보고한 전형적인 두 피험자의 결과 그래프. 검은색 점은 참조조건에서의 보고된 모양을, 흰색점은 비 참조조건에서의 보고된 모양을 나타내고 회색 점선은 보고된 모양이 망막에 형성된 목표대상의 모양을 그대로 반영했을 때 기대되는 값을 나타낸다.

간적인 중첩패턴에 의해 정의되는 대상의 모양지각 왜곡정도는 단순히 눈 운동에 의한 망막상의 이미지 변화를 대부분 반영한다는 결과를 보여주는데, 그림 4에서의 결과막대는 피험자의 모양지각 왜곡이 눈 운동에 의한 망막상의 이미지 변화를 반영하는 것에서 얼마나 벗어나는지를 알려 주는 지표가 된다. 만약, 추적 눈 운동 동안에 목표대상의 주위에 존재하는 참조대상이 목표대상의 모양지각에 도움을 준다면 피험자의 모양지각 왜곡이 줄어들 것이며, 동시에 눈 운동에 의한 망막상의 이미지 변화를 반영하는 것에서 벗어날 것이다. 따라서, 그림 4의 결과막대는 궁극적으로 본 실험에서 참조대상이 모니터에 제시된 실제 목표대상의 모양지각에 얼마나 도움이 되는가를 나타내는 지표가 된다. 여기서는 이를 “눈 운동 설명량” 이라고 이름 붙였다. 눈 운동 설명량은 다음과 같은 공식에 의하여 계산되었다. 여기서 소개하는 눈 운동 설명량은 피험자의 모양지각이 실제 목표대상의 모양과 상이하게 얼마나 왜곡되었는가를 나타내는 것이 아니고, 오히려 실제의 모양과 얼마나 가깝게 지각되었는가를 나타내는 지표이다. 만약, 추적 눈 운동 동안의 피험자의 목표대상에 대한 모양지각이 피험자의 망막에 형성된 이미지를 그대로 반영한다면, 눈 운동 설명량은 0이 될 것이고, 모니터에 제시된 실제 모양과 가깝게 지각할 수록 눈 운동 설명량은 0에서 멀어질 것이다.

눈 운동 설명량 = $100 \times (\text{반응 각도} - \text{망막 상에서의 각도}) / (\text{모니터 상에 제시된 목표대상의 각도} - \text{망막 상에서의 각도})$

눈 운동 설명량 공식의 분자는 피험자의 목표대상에 대한 모양판단이 망막상의 모양에만 근거한 모양판단에서 얼마나 벗어나는 지를 나타내고, 분모는 눈 운동에 의해 유발된 망막 상에서의 이미지 변화량을 나타낸다. 예를 들어, 실제 목표대상의 모양이 0° (정사각형)인데, 추적 눈 운동을 완벽하게 하는 경우에 망막에 형성된 목표대상의 모양은 45° 에 근접한다¹⁾. 눈 운동 설명량의 공식에 의하면 분모값은 -45가 되는데, 이는 추적 눈 운동에 의해 유발된 망막 상에서의 이미지 변화가 45° 임을 의미한다. 만약, 이러한 자극상황에서 피험자가 지각한 모양, 즉 반응 각도가 실제 화면에 제시된 모양과 일치하는 0° 라면, 분자값 역시 -45가 되고 눈 운동 설명량은 100이 되는 것이다. 눈 운동 설명량이 100이라고 하는 것은, 우리의 시각체계가 눈 운동에 의해 유발된 망막상에서의 이미지 변화를 망막 외 정보를 이용하여 100% 보정에 성공하고 실제 외부세계의 모양을 항상성 있게 지각하였음을 의미한다. 반면, 동일한 자극상황에서 피험자가 지각한 모양이 망막에 형성된 이미지라면, 반응각도는 45° 가 되고 이때 분자값은 0이 되며 결국 눈 운동 설명량은 0이 된다. 눈 운동 설명량이 0이라고 하는 것은 눈 운동 동안에 발생한 망막상 이미지 변화를 보정함에 있어서 망막 외 정보가 고려된 비율이 0%임을 의미한다.

1) 망막에서의 목표대상의 각도는 눈 운동 측정을 통하여 계산된 눈 운동 속도와 모니터에 제시되는 목표대상이 정의되는 속도(수평선분의 수직운동 속도) 및 목표대상의 각도에 의하여 계산되었다. 수평선분의 수직운동 속도는 추적 점의 속도와 동일하였기에, 만약 목표대상의 각도가 0° 인 경우, 추적 눈 운동이 완벽하였다면 망막에 형성된 목표대상의 각도는 45° 가 된다.

실험 1에서는 통제조건으로서 눈 고정 조건이 포함되었는데, 눈 고정조건에서 눈 운동으로 인한 망막에서의 이미지 변화량은 0에 가깝다. 만약, 눈 고정 조건에서의 눈 운동 설명량을 계산하기 위하여 분모에 0에 가까운 이미지 변화량을 투입하게 되면 무의미한 수치가 산출될 것이다. 본 실험에서는 실험조건에서 산출된 눈 운동 설명량과의 비교를 위하여 눈 고정조건에서의 눈 운동 설명량 계산시에는 해당 피험자에 대하여 해당 목표대상의 모양 판단시에 눈 운동 측정에서 유추된 추적 눈 운동 동안의 망막에서의 이미지 변화를 분모로 사용하였다. 먼저 각 피험자별로 목표대상의 모양에 따른 눈 운동 설명량을 계산하였고, 목표대상의 모양전체에 걸친 각 피험자의 평균값을 계산하고 전체피험자의 평균 눈 운동 설명량을 계산하였다. 그림 4에서 오차막대는 95% 신뢰구간을 나타낸다.

그림 4에서 흰 색 막대는 눈 고정 조건에서의 눈 운동 설명량을, 검정 색 막대는 추적 눈 운동 조건에서의 눈 운동 설명량을 나타낸다. 비 참조 조건에서의 눈 운동 설명량은 15%이었고, 참조 조건에서 눈 운동 설명량은 23% 이었으며, t 검증 (paired t -test) 결과 둘 간의 차이는 유의미하였다 ($t_4=3.8$; $p=0.02$).

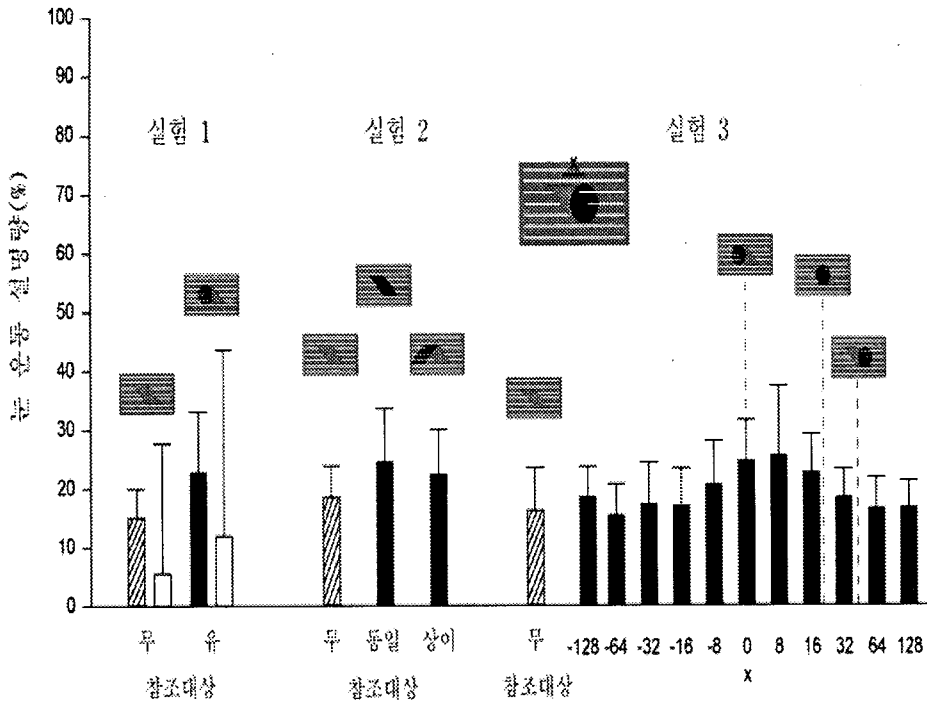
논 의

그림 3의 두 피험자의 결과는 추적 눈 운동 동안의 비 참조 조건에서의 모양지각은 망막에 형성된 이미지 모양을 대부분 반영한 것을 나타낸다. 이러한 결과는 실험 1의 비참조 조건에서의 모양판단시에 시각체계가 망막 외

정보 (extra-retinal information)를 대부분 무시하였음을 시사한다. 이러한 실험결과는 Li 등의 연구결과와 일치한다. 목표대상의 주위에 참조대상이 존재하는 조건에서는 그림 3 뿐만 아니라 그림 4의 실험 1 부분에서도 알 수 있듯이 피험자의 모양판단이 망막에 맺힌 이미지 상을 반영하는 것에서 벗어나 있다.

실험 1의 결과는 목표대상 주위에 참조대상이 존재할 때에 추적 눈 운동 동안의 목표대상의 모양지각 왜곡은 감소하는 경향을 보인다. 하지만, 참조대상이 존재할 때와 존재하지 않을 때에 모양지각 왜곡의 차이는 크지 않다. 눈 고정 조건에서의 눈 운동 설명량은 눈 운동 설명량에 대한 피험자의 편중을 나타내는데, 이러한 고정적인 피험자의 눈 운동 설명량에 대한 편중을 고려할 때, 그림 4의 실험 1의 결과에 나타난 참조 조건에서의 눈 운동 설명량은 매우 작음을 알 수 있다.

이러한 결과들은 참조대상이 존재하지 않을 때에 나타나는 모양지각 왜곡이 감소하기는 하지만, 참조대상이 존재할 때에도 모양지각 왜곡이 유사한 정도로 존재함을 시사한다. 이러한 결과는 아마도 실험 1에 사용된 흰색 원형 참조대상이 추적 눈 운동 동안의 목표대상의 모양지각 판단에 적절하고 안정적인 공간 참조정보를 제공하지 않았기 때문일 수 있다. 실험 1에서 목표대상은 사각형 또는 사다리꼴인데, 참조대상은 원형이었다. 목표대상의 모양판단에서 목표대상을 구성하는 네 변이 모두 중요하게 이용될 수 있지만, 특히 상이한 방위를 갖는 이웃하는 두 변이 만나는 모서리에서의 각도가 목표대상의 모양판단에 매우 중요하게 이용될 수 있다. 목표대상인 평행사변형의 모서리 부분에 대하여 원형 참조대상



(그림 4) 목표대상에 대한 피험자의 지각된 모양 보고에 근거하여 계산된 각 실험별 눈 운동 설명량. 눈 운동 설명량 계산 방식에 대해서는 본문을 참조할 것. 실험 1 부분에서 흰색 막대는 눈 고정 조건을 그리고 사선막대 및 흑색 막대는 추적 눈 운동 조건의 결과를 나타낸다. 참조대상이 있는 조건에서는 목표대상의 가로 크기와 동일한 지름을 갖는 원형의 참조대상이 제시되었다. 실험 2 부분에서 사선막대는 참조대상이 없는 조건을 그리고 흑색막대는 참조대상이 존재하는 조건에서의 결과를 나타내는데, 동일 조건은 목표대상과 동일한 모양을 갖는 참조대상이 제시되었고 상이조건에서는 정 반대로 기울어진 모양의 참조대상이 제시되었다. 실험 3 부분에서 사선막대는 참조대상이 없는 조건에서의 결과를 그리고 흑색막대는 참조대상이 존재하는 조건에서의 결과를 나타내는데, 특히 참조대상이 존재하는 조건에서의 x 값은 참조대상과 목표대상과의 거리를 나타낸다.

이 안정적인 공간참조 정보를 제공하지 못하였다고 가정할 수 있다. 만약 피험자가 목표대상의 모서리 정보에 근거하여 목표대상의 모양을 판단하였다면 참조대상이 존재할 때에도 불구하고 모양지각의 왜곡이 참조대상의 존재유무에 관계없이 발생할 수 있다. 실험 2에서는 이러한 가능성을 검증하였다.

실험 2

실험 1에서는 목표대상과 동일한 크기를 갖는 참조대상이 목표대상과 동일한 위치에 제시되었는데, 참조대상이 존재하지 않을 때에 비하여 존재할 때에 추적 눈 운동 동안의 모양지각 왜곡이 감소하였지만 그 효과는 미약하였다. 참조대상의 효과가 미약한 한 가지 가능한 이유는 목표대상의 모양과 상이한 원

형모양의 참조대상이 사용되었기 때문일 수 있다. 이러한 가능성을 검증하기 위하여 목표 대상의 모양과 동일한 모양을 갖는 참조대상이 실험 2에서 사용되었다.

방 법

피험자

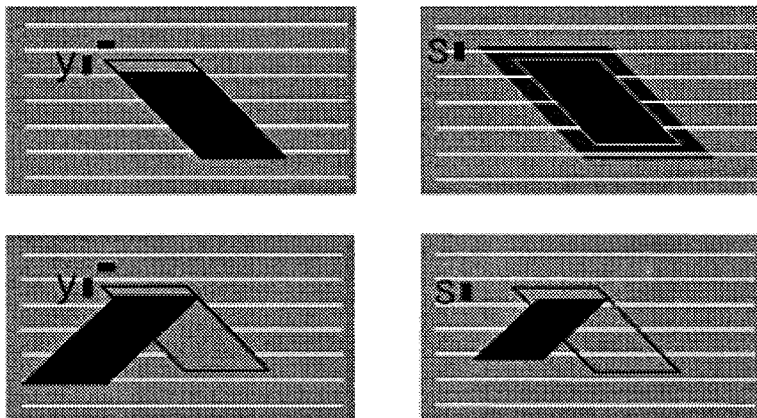
실험 1에 참가한 피험자들이 실험 2에 참가하였다.

자극

실험자극은 기본적으로 실험 1에서와 동일한 방식으로 구성되었다. 실험 1과의 차이점

은 실험 2에서 참조대상의 모양이 목표대상의 모양과 동일하다는 것이다. 목표대상과 참조대상은 모니터에서 다음 다섯 가지 모양 중 한 가지를 갖도록 조작되었다: 0°, 20°, 35°, 48°, 60°. 참조대상의 모양이 목표대상과 동일한 모양을 갖는다는 사실을 피험자가 아는 것이 목표대상의 모양지각에 영향을 줄 수 있다. 이러한 가능성을 막기 위하여 목표대상의 모양으로부터 +15° 또는 -15° 벗어난 두 가지 종류의 참조대상이 포함되었다. 매 시행, 참조대상이 포함되거나 포함되지 않도록 무선적으로 조작하였으며, 참조대상이 존재하는 경우에 배경화면에 대한 참조대상의 명도대비는 10%가 되도록 고정하였다.

목표대상과 참조대상과의 거리는 두 가지 방법으로 조작하였다. 첫째, 그림 5-a에 제시된 바와 같이 목표대상의 위치(목표대상 사각



(그림 5) 실험 2에 사용된 목표대상과 참조대상의 거리를 조작한 두 가지 방법을 대략적으로 묘사한 그림. (a) 목표대상과 동일한 방위(위) 및 상이한 방위(아래)를 갖는 참조대상이 목표대상(흰색 사각형)으로부터 오른쪽 그리고 아래쪽 방향으로 이동하여 특정한 거리(y)를 갖도록 조작한 상태. (b) 목표대상과 동일한 방위(위) 및 상이한 방위(아래)를 갖는 참조대상이 목표대상을 구성하는 선분들로부터 동일하게 특정 거리를 유지하도록 조작한 상태. 이 경우에 참조대상의 방위에 관계없이 참조대상은 목표대상보다 크거나 작을 수 있었다.

형의 좌측 상단 점 기준)에서 오른쪽 아래 방향으로 움직여서 거리를 두도록 하였는데 그 거리는 다음 네 가지 중 하나였다: 0, 2, 4, 또는 8 픽셀. 거리 0은 목표대상과 참조대상의 윗부분이 정확히 정렬되었음을 의미한다. 둘째, 그림 5-b에 제시된 바와 같이 참조대상의 사면이 목표대상의 사면으로부터 각각 동일한 거리를 유지하도록 조작하였다. 이때, 참조대상은 목표대상 안에 제시되거나 목표대상 밖에 제시되도록 하였다. 거리는 여섯 가지 중 하나가 되도록 조작하였는데, 음수는 참조대상이 목표대상의 안에, 0은 목표대상과 참조대상이 중첩되었음을 의미한다.: -10, -5, 0, 5, 10, 20 픽셀. 두 가지 경우 모두에서, 참조대상의 기울기 (orientation)는 목표대상과 동일하거나 상이하도록 하였다.

절차

실험 2의 절차는 실험 1의 절차와 기본적으로 동일하였다. 실험 1에서와 달리, 실험 2에서 참조대상의 크기와 모양이 목표대상의 크기 또는 모양과 동일한 조건이 포함되었다. 이 경우에 피험자는 목표대상의 모양을 적절히 지각하지 못할 수 있는데, 이러한 상황에서 피험자들은 마우스를 수직으로 움직여 화면 밖으로 커서를 몰아냄으로써 자신들이 목표대상의 모양을 제대로 지각할 수 없다는 사실을 보고하게 하였고 이 경우, 피험자의 응답은 무응답 처리되었다.

결 과

참조대상과 목표대상의 거리는 눈 운동 설

명량에 영향을 미치지 않았고 참조대상의 크기는 미미한 영향을 미쳤다. 따라서 실험 2의 결과 분석을 위하여 각 피험자 및 각 목표대상의 모양별로 목표대상과 참조대상과의 다양한 거리에 따른 자료와 참조대상의 다양한 크기에 따른 자료들이 통합되었고 평균값이 계산되었고 최종적으로 95% 신뢰구간의 전체 피험자 평균이 계산되었다.

그림 4의 실험 2 결과 부분이 보여 주듯이 비참조 조건에 비하여 참조 조건에서의 눈 운동 설명량이 상대적으로 높았다. 참조대상의 모양이 평행사변형인 실험 2의 참조조건에서의 설명량은 참조대상의 모양이 원형이었던 실험 1의 참조조건에서의 눈 운동 설명량과 유사한 정도로 나타났다. 참조대상의 기울기는 결과에 영향을 미치지 않았다.

논 의

비참조 조건에 비해서 참조조건에서의 눈 운동 설명량은 상대적으로 증가하였다. 이러한 실험 결과는 시각체계가 목표대상 주위의 참조대상의 정보를 이용한다는 것을 시사한다. 그러나, 두 조건에서의 눈 운동 설명량의 차이는 미미하였고 보다 중요한 것은 참조대상이 존재하는 조건에서도 여전히 목표대상의 모양지각 왜곡이 경험된다는 것이다. 이러한 결과는 참조대상의 존재자체가 눈 운동 동안의 망막 상에서의 목표대상의 이미지 왜곡을 완전하게 보정하지 못한다는 것을 시사한다.

실험 2의 목표는 참조대상의 모양이 참조대상의 효과를 조정하는지를 확인하는 것이었는데, 그림 4의 결과가 보여주듯이, 실험 2의 참조조건

과 비참조 조건에서의 설명량은 실험 1에서의 두 조건의 눈 운동 설명량과 각각 유사함을 보인다. 이러한 결과는 참조대상의 모양이 추적 눈 운동 동안의 모양지각의 왜곡에 영향을 미치지 않음을 시사한다.

참조대상이 추적 눈 운동 동안의 2차원 모양 지각에 미미하나마 영향을 미친다는 것이 발견되었는데, 흥미롭게도 참조대상과 목표대상의 거리는 눈 운동 설명량에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 한 가지 가능한 이유는 실험 2에서 조작한 참조대상과 목표대상의 거리가 너무 작은 범위만을 포함하였기 때문일 수 있다. 실험 3에서는 이러한 가능성을 검증하였다.

실험 3

실험 2에서 검증하였던 참조대상과 목표대상의 거리범위보다 넓은 거리범위가 실험 3에서 검증되었다. 실험 2에서 참조대상의 모양은 사각형이었던데 반하여 실험 3에서는 실험 1에 사용된 원형 모양의 참조대상을 사용하였다. 참조대상의 모양 자체는 눈 운동 설명량에 영향을 미치지 않는 것으로 실험 2에서 검증되었기에 실험 3에서 원형의 참조대상을 사용하는 것이 참조대상과 목표대상의 거리효과를 검증하는 데에 문제가 되지는 않을 것이다.

방 법

피험자

실험 1과 실험 2에 참가하였던 피험자들이

실험 3에 참가하였다.

자극

참조대상과 목표대상의 거리가 조작되었다는 것을 제외하고 실험 3에 사용된 자극은 실험 1에 사용된 자극과 동일하였다. 또한 참조대상의 모양이 원형이고 보다 큰 참조대상과 목표대상의 거리범위가 조작되었다는 것을 제외하고 실험 3의 자극은 실험 2의 자극과 동일하였다. 실험 3에서 참조대상과 목표대상의 거리는 가로 축, 즉 X 축에 걸쳐서만 조작되었는데 조작된 거리 범위는 총 11가지였다: -128, -64, -32, -16, -8, 0, 8, 16, 32, 64, 128 픽셀. 참조대상과 목표대상의 거리는 참조대상과 목표대상 각각의 윗부분의 거리를 의미한다. 통제조건으로서 비 참조 조건이 포함되었다. 실험 1에서와 같이, 다섯 가지 중의 한 가지 모양이 매 시행 무선적으로 제시되었다: 0°, 15°, 30°, 45°, 60°.

절차

실험 3의 절차는 실험 1의 절차와 동일하였다.

결 과

그림 4의 실험 3 부분이 보여주듯이, 참조대상과 목표대상의 거리가 증가함에 따라서는 눈 운동 설명량도 증가하였다. 참조대상과 목표대상이 중첩되는 거리 0 조건에서 참조조건과 비참조 조건간의 의미있는 차이가 발견되

었다. 목표대상과 중첩대상의 거리가 128 픽셀에 근접할수록 참조조건의 설명량은 비 참조 조건의 설명량에 근접하였다.

논 의

실험 2에서 참조대상이 목표대상의 모양지각 왜곡에 영향을 미친다는 것을 발견하였지만 목표대상과 참조대상의 거리는 영향을 주지 않는 것처럼 보였다. 실험 2에서 조작된 참조대상과 목표대상의 거리는 최대 20 픽셀이었던데 반하여, 실험 3에서는 최대 128 픽셀이었다. 그림 4의 실험 3 부분이 보여 주듯이 실험 3에서 참조대상과 목표대상의 거리가 눈 운동 설명량에 영향을 주는 것을 확인하였다. 이러한 실험 결과는 실험 2에서 참조대상과 목표대상의 거리가 눈 운동 설명량에 영향을 주지 않는 것처럼 나타난 결과가 실험 2에서 조작된 거리의 범위가 제한되었기 때문임을 시사한다.

종합논의

일상생활에서 추적 눈 운동이 발생할 때 망막 상의 이미지가 끊임없이 움직임에도 불구하고 시각체계는 외부세계를 안정적으로 표상한다. Helmholtz는 시각체계가 망막 외 정보를 이용하여 망막 상의 이미지를 보정 (calibration) 함으로써 눈 운동 중에도 3차원 공간의 속성을 안정적으로 표상할 수 있다고 제안하였다. 그러나, Helmholtz가 제안한 망막 외 정보를 이용한 망막 상 이미지의 보정이 완벽하게 작

용하지 않음을 보여주는 연구결과들이 지속적으로 보고되어 왔다 (Aubert, 1886; Filehne, 1922; Fleischl, 1882; Mack & Herman, 1978). Freeman과 Banks (1998)는 망막상 정보 (retinal information)와 망막상 외적 정보 (extra-retinal information 또는 eye position information)를 추정할 때의 상대적인 오차가 공간지각에서의 오류로 나타난다고 제안하였다. 최근에 Brenner와 Cornelissen (2000) 그리고 Li 등 (2002)은 상대적인 위치지각과 시공간적으로 정의된 대상의 2차원 모양지각에서 시각체계가 망막 외 정보를 전혀 사용하지 않을 수 있다는 것을 보여 주었다. 흥미로운 것은, 실생활에서 우리는 눈 운동 동안에 공간지각에서의 오류를 거의 경험하지 않는다는 것이다. 만약, 시각체계가 망막 외 정보를 사용하지 않는다면, 안정적인 3차원 공간 표상은 어떻게 가능한 것일까? 그동안 실험실에서 관찰된 눈 운동 동안의 공간지각 왜곡은 대부분의 경우에 제한된 상황에서 관찰되었다. 제한된 실험실 상황과 실제 세계의 차이점은 실험실 모니터에 제시되는 자극상황에 비하여 실제세계는 다양하고 풍부한 배경자극과 참조자극을 포함하고 있다는 것이다. 우리는 본 연구에서 시각체계가 목표대상 주위에 존재하는 참조대상의 정보를 추적 눈 운동 동안의 2차원 모양지각에서 사용하는지를 검증하였다.

Li등의 연구에서와 같이, 실험 1에서 목표대상의 주위에 참조대상이 존재하지 않을 때, 추적 눈 운동 동안의 목표대상의 모양지각은 망막에 형성된 목표대상의 상의 모양을 그대로 반영하였다. 목표대상과 중첩되는 원형의 참조대상이 존재할 때에는, 참조대상이 존재하지 않을 때에 비하여 설명량이 증가하였다.

이러한 실험결과는 참조대상이 존재할 때에는 추적 눈 운동 동안의 모양지각이 망막에 형성된 대상의 모양을 그대로 반영하는 것에서 어느 정도 벗어난다는 것을 시사한다. 하지만 실험 1에서 발견된 참조대상 효과는 비록 의미있기는 하지만 크지 않았다. 아마도 본 연구에서 사용된 목표대상의 모양이 사각형인데 비하여 실험 1에 사용된 참조대상의 모양이 원형이었고 목표대상과 상이한 참조대상을 사용한 것이 망막에 형성된 목표대상의 모양을 해석하는 데에 제한을 충분히 가하지 않았기 때문에 이와 같은 결과가 나타났을 수 있다. 실험 2에서는 사각형 모양의 참조대상을 사용함으로써 이와 같은 가능성을 검증하였다. 실험 1에서와 마찬가지로 사각형 모양의 참조대상 역시 비참조 조건에 비하여 눈 운동 설명량을 증가시켰다. 하지만, 사각형 모양의 참조대상이 존재할 때의 눈 운동 설명량은 원형 모양의 참조대상이 존재할 때의 눈 운동 설명량과 유사하였다. 이러한 실험결과는 참조대상의 모양 자체는 눈 운동 설명량에 영향을 미치지 않음을 시사한다. 실험 3에서는 참조대상과 목표대상의 거리가 추적 눈 운동 동안의 모양지각 왜곡에 미치는 영향을 검증하였다. 참조대상과 목표대상의 거리가 눈 운동 설명량에 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 거리가 가까울수록 눈 운동 설명량이 증가하였고, 거리가 큰 128 픽셀일 때의 눈 운동 설명량은 감소하여서 참조대상이 존재하지 않는 비참조조건의 눈 운동 설명량과 유사해졌다. 이러한 실험결과는 참조대상과 목표대상의 거리가 충분히 클 때에는 추적 눈 운동 동안의 모양지각이 망막에 형성된 목표대상의 모양을 대부분 반영하는데, 거리가 감소할수록 모양

지각이 망막에 형성된 목표대상의 모양을 반영하는 것에서 점차 벗어남을 의미한다.

이러한 실험결과는 추적 눈 운동 동안의 2차원 모양지각에 참조대상의 정보가 이용됨을 시사하는데, 하지만 참조대상의 정보를 이용한다는 것 자체만으로는 실제생활에서 획득되는 2차원 모양표상의 안정성과 정확성을 완벽하게 설명하지 못함을 시사한다. 본 연구에서 밝혀진 바와 같이 참조대상이 존재하지 않는 비참조조건에 비하여 참조조건에서 눈 운동 설명량이 유의미하게 증가하였지만 그 양은 매우 작았다. 더욱 중요한 것은 참조대상이 목표대상의 주위에 존재함에도 불구하고 추적 눈 운동 동안의 모양지각 왜곡이 여전히 관찰된다는 점이다. 본 연구는 참조대상의 존재가 눈 운동 동안의 공간표상에서의 오류를 감소시키기는 하지만, 일상생활에서 관찰되는 눈 운동 동안의 공간지각의 안정성과 정확성을 완벽히 설명하지 못한다는 것을 보여준다. 눈 운동 동안의 공간지각의 안정성과 정확성은 어떻게 해결되는 것일까에 대한 추가적인 질문은 앞으로의 연구문제로 남는다.

참고문헌

- Aubert, H. (1886). Die Bewegungsempfindung. Pflügers Archiv, 39, 347-370.
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox, Spatial Vision 10:433-436.
- Brenner, E. & Cornelissen, F. W. (2000). Separate simultaneous processing of egocentric and relative positions. Vision Research, 40, 2557-2563.

- Brenner, E. & Smeets, J. B. J. (1998). Using oculo-motor efference to predict a moving target's position. In B. Bril, A. Ledebt, G. Dietrich, & A. Roby-Brami, *Advances in perception-action coupling* (pp. 90-94). Paris: EDK.
- Cornelissen, F. W., Peters, E., & Palmer, J. (2002). The eyelink toolbox eye tracking with MATLAB and the psychophysics toolbox. *Behavioral Research Methods, Instrumentation and Computers*, 34, 613-616.
- Filehne, W. (1922). *Über das optische Wahrnehmen von Bewegungen*. *Zeitschrift für Sinnphysiologie*, 53, 134-145.
- Fleischl, E. V. (1882). Physiologisch-optische Notizen, 2 Mitteilung. Sitzung Wiener Bereichder Akademie der Wissenschaften, 3, 7-25.
- 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
- Helmholtz, H. von (1867/1925) *Treatise on physiological optics* (from 3rd German edition, Trans.) (3rd ed., Vol III). New York: Dover Publications.
- Honda, H. (1995). Visual Mislocalization produced by a rapid image displacement on the retina: examination by means of dichoptic presentation of a target and its background scene. *Vision Research*, 35, 3021-3028.
- Li, H.-C. O., Brenner, E., Cornelissen, F. W., & Kim, E. (2002). Systematic distortion of perceived 2D shape during smooth pursuit eye movements. *Vision Research*, 42, 2569-2575.
- Mack, A. & Herman, E. (1978). Position constancy during pursuit eye movements: in investigation of the Filehne Illusion. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 25, 71-84.
- Mitrani, L., Dimitrov, G., Yakimoff, N., & Mateef, S. (1979). Oculomotor and perceptual localization during smooth eye movements. *Vision Research*, 19, 609-612.
- 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.
- Pelli, D. G. (1997) *TheVideoToolbox* software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies, *Spatial Vision* 10,437-442.

1 차원고접수: 2005. 4. 19

2차원고접수 2005. 7. 21

최종게재승인: 2005. 8. 24