

## 색채-운동 속성 결합에서의 양안시차의 역할\*

이 형 철†

광운대학교

본 연구의 목적은 시각체계가 색채-운동 속성의 결합에 양안시차 정보를 이용하는지를 검증하는 것이었다. Wu, Kanai와 Shimojo (2004)는 주변시야에 제시되는 색채와 운동 속성이 잘못 결합되는 색채-운동 착각 결합 현상을 보고하였는데, 본 연구는 이러한 착각 결합이 양안시차 정보가 가용하지 않은 상황에서 관찰되며 양안시차 정보가 가용한 상황에서는 색채와 운동 속성이 제대로 결합됨을 발견하였다. 이러한 실험결과는 시각체계가 속성들의 결합에 양안시차 정보를 유용하게 사용하며 속성들의 결합이 양안시차 정보가 처리되는 이후의 단계에서 발생함을 시사한다.

주제어 : 속성 결합, 착각 속성 결합, 운동, 색채, 양안시차

---

\* 본 연구는 교육인적자원부에서 지원받은 2005년 광운대학교 대학특성화사업(차세대 신성장 동력산업을 위한 실감 IT 전문인력 양성사업) 및 2006년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행되었다.

† 교신저자 : 이형철, 광운대학교 산업심리학과  
연구세부분야 : 지각심리학, E-mail : hyungli@empal.com

## 연구배경

외부의 3차원 공간에 존재하는 시각적 대상들은 명암, 색채, 운동 및 모양 등의 속성차원에서 구별이 되며 각기 상이한 위치를 점유하고 있는데, 우리의 시각 체계는 일반적으로 각각의 시각 속성이 하나의 대상에서 통합된 것으로 성공적으로 표상하고 대상과 대상을 구별한다. 예를 들어 특정 공간에서 빨간 공이 오른쪽으로 굴러간다면 공의 빨간색과 둥근 모양 그리고 오른쪽으로의 운동방향을 모두 통합하여 하나의 대상으로 표상한다. 시각 속성들이 시신경 중추의 독립적인 영역에서 표상된다는 신경생리학적인 연구결과(Livingstone & Hubel, 1988; Mishkin, Ungerleider & Macko, 1983; Ungerleider & Mishkin, 1982; Zeki, 1993)를 고려해 볼 때, 독립적인 시각 속성들이 제각각 독립적인 상태로 표상되지 않고 하나의 대상에서 결합되어 표상된다는 것은 독립적으로 처리된 시각 속성들이 어떤 형태로든 결합될 가능성을 시사한다. 독립적인 시각 중추에서 처리된 시각 속성들이 우리의 일상생활에서의 표상과 일치되게 하나의 대상에서 결합되어 단일하게 표상되기 위해서는 독립적인 시각 속성 정보들이 통합되어야 할 필요성이 있는데, 이와 같은 필요성이 곧 속성 결합의 문제(binding-problem)이다 (Arnold & Clifford, 2002; Clifford, Spehar & Pearson, 2004; Robertson, 2003; Zeki & Bartels, 1998).

속성 결합은 색 속성과 문자 사이에 잘못된 연합이 나타나는 ‘착각 결합(illusory conjunction)’이라는 현상(Treisman & Schmidt, 1982)으로 인지 심리학자들에 의해 연구되기 시작하였다. 이 연구에서 색을 가진 문자들, 예를 들어 “빨간색 O”와 “노란색 X”가 컴퓨터 스크린에 짧게 제시되었을 때, 관찰자들은 문자와 색 속성을 “노란색 O”, “빨간색 X”로 종종 잘못 결합하여 보고하였다. 연구자들은 왜 착각 결합이 발생하는지를 연구함으로써 어떻게 독립된 영역에서 처리된 속성들이 제대로 결합되는지를 규명하려고 하였는데, 착각 결합을 설명하는 대표적인 이론 중의 하나가 속성 통합 이론이다. 속성 통합 이론(Feature Integration Theory)은 시각 피질의 분리된 영역에서 부호화된 속성 정보들이 공간적인 주의에 의해 통합되기 때문에, 공간적인 주의가 올바른 속성 결합을 유지하는데 결정적인 요인이라고 제안하였다(Treisman & Gelade, 1982). 뇌 손상에 의해 공간 주의를 한 쪽에서 다른 쪽으로 이동시킬 수 없는 환자들에게서 착각 결합률이 증가하거나(Cohan & Rafal, 1991) 실

협적인 조작을 통하여 정상인들로 하여금 주의를 다른 쪽으로 이동시키지 못하게 한 상태에서 착각률이 증가한다는 것을 보여주는 연구(Robertson, 2003)들은 공간 주위가 올바른 속성 결합을 이끈다는 속성 통합 이론의 제안을 지지한다.

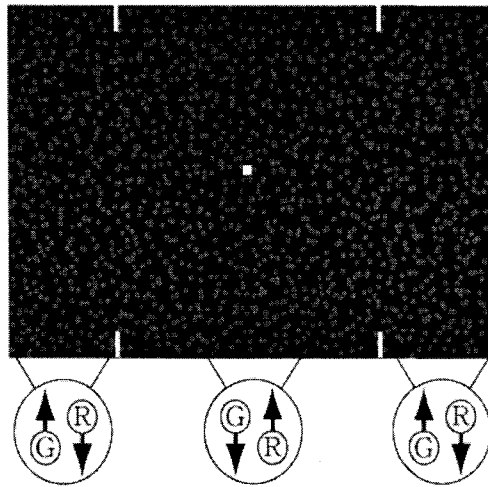
속성들이 공간적인 주의를 통해 올바르게 통합되기 위해서는 또한 각 속성들의 공간 정보가 중요하다. 만약 각 속성이 어디에 위치하는지에 대한 공간 정보가 주어지지 않는다면 주위가 올바르게 주어지더라도 속성들은 무선적으로 결합될 것이다(Robertson, 2003). 두정엽에 손상을 입은 발린트 신드롬 (Balint's syndrom)을 지닌 환자는 하나의 사물을 오랜 시간 관찰한 후에도 그것이 어디에 위치했는지 알지 못하는데(Robertson, Treisman, Friedman- Hill & Grabowecky, 1997), 이 환자들은 자극을 10초 이상(정상인들은 더 짧은 제시 조건에서만 착각 결합을 보인다) 제시하였을 때에도 38%의 착각 결합률을 보였다(Robertson, 2003). 제시된 여러 증거들은 결론적으로 속성들의 공간 정보가 올바르게 처리되고, 주위가 공간적으로 제대로 주어졌을 때 올바른 속성 결합이 일어남을 시사한다.

뇌의 특정 영역에서 독립적으로 처리된 시각 속성들이 결합되는 뇌의 특정 부위가 존재한다는 신경생리학적인 증거는 현재 상태에서 존재하지 않는다. 그렇다면 속성결합은 어떻게 일어나는 것일까? 시각 속성들이 제시된 (또는 뇌에서 처리된) 시간이나 공간에 기반하여 시각 속성들의 결합이 일어날 가능성이 높다. 뇌에서 처리된 시간을 기준으로 동일 시간대에 처리된 속성들이 결합될 것이라는 뇌-시간(brain-time)이론이 있으며, 이와 같은 뇌-시간 이론은 상이한 시간대에 제시된 운동 속성 변화와 색채 속성 변화가 동일한 시간대에 제시된 것으로 착각하여 지각하는 지각 비동기성(perceptual asynchrony) 현상에 의해 지지되고 있다. 시각 속성들이 처리된 시간 이외에 시각 속성들이 제시된 공간에 기반하여 시각 속성들이 결합될 가능성이 있는데, 공간적 주위가 시각 속성 결합에 중요한 역할을 할 것이라는 속성 통합 이론은 이러한 가능성이 매우 높을 것임을 시사하기는 하지만 이러한 가능성을 직접 검증하지는 않았다. 속성 결합에 이용될 공간 정보로는 2차원 공간 정보와 3차원 공간 정보가 있는데, 시각 시스템이 3차원 공간에서 작용한다는 점과 3차원 공간 정보가 2차원 공간 정보를 내포한다는 점을 고려할 때, 3차원 공간 정보가 시각 속성 결합에서 얼마나 유용하게 이용될 수 있는지 검증할 필요가 있다. 본 연구는 대표적인 3차원 공간 정보인 양안시차(binocular disparity)가 시

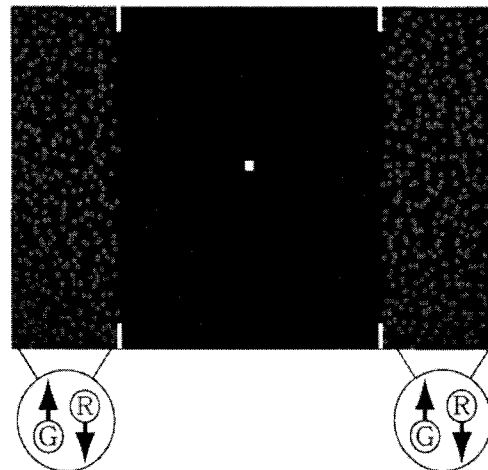
각 속성 결합에 얼마나 유용하게 사용되는지를 검증하였으며, 이를 위하여 Wu, Kanai와 Shimojo (2004)의 실험패러다임을 이용하였다.

Wu, Kanai와 Shimojo (2004)는 색채와 운동 방향에 의해 정의되는 다수의 무선점들로 구성된 자극이 지속적으로 피험자에게 보여 지는 상황에서 색채와 운동 속성이 잘못 결합될 수 있음을 보여줌으로써 속성 결합의 문제가 시각 체계가 풀어야 할 문제라는 입장을 제시하였다. Wu 등의 실험은 동일한 2차원 공간에 겹쳐서 제시되는 두 개 시각 면(sheet)의 무선점 운동 자극으로 구성되었다. 한 시각 면(sheet)의 점들은 모두 위쪽 방향으로 움직였으며 다른 한 시각 면(sheet)의 점들은 모두 아래 쪽 방향으로 움직였다(그림 1 참조: 좌/우 주변 부위와 중앙 부위 모두에서 50%의 점은 위로 나머지 50%의 점은 아래로 움직임). 그림에서 G는 녹색 점을 R은 빨간색 점을 나타내며 화살표의 방향은 각점의 운동 방향을 나타낸다. 이 때, 위쪽 방향으로 움직이는 장에서의 중앙 부위는 빨간색 점으로, 주변부의 점은 녹색 점으로 구성하였다. 반대로, 아래쪽 방향으로 움직이는 장에서의 중앙 부위는 녹색 점으로, 주변부의 점은 빨간색 점으로 구성하였다. 피험자로 하여금 중앙 부위를 응시하면서 주변부의 빨간색 점들의 전체적인 운동방향(global motion)을 보고하게 하면 피험자들은 물리적으로는 아래 방향으로 움직이는 빨간색 점들이 마치 위로 움직이는 것으로 착각하여 보고하였다. 이는 아마도 주변부의 빨간색과 아래로 움직이는 운동 속성이 잘못 결합되어 발생한 현상일 수 있다. 두 시각 면(sheet) 모두의 자극에서 중앙 부위가 제거된 통제 조건(그림 2 참조)에서 피험자들은 중앙 부위를 응시하면서도 주변부의 빨간색의 운동방향을 제대로(주변부의 빨간색 점이 아래로 움직이는 것으로) 보고하였다. Wu 등은, 그림 1과 같이 제시된 자극의 중앙 부위를 응시하는 상황에서 시각 시스템이 상대적으로 모호해지는 주변부의 지각에 중앙 부위의 속성을 확장하여 표상함으로써 이와 같은 착각 결합이 발생하는 것이라고 해석하였다. Wu 등의 실험에서 발견된 색채-운동 착각 결합이 흥미로운 것은, 고전적인 착각 결합 실험에서와 달리, 보고해야 할 자극 속성에 피험자가 충분히 공간적 주의를 기울이는 것이 가능하였고 자극이 상대적으로 안정적이며 지속적으로 제시되었기에 기억에 의존할 필요가 없는 지각 과제에서 발견된 현상이기 때문이다.

본 연구의 목적은 시각적 요소들의 3차원 공간 정보, 특히 양안시차가 상이한 시각 속성들의 결합에 얼마나 유용하게 사용되는지를 Wu 등(2004)이 보고한 색채-



(그림 1) Wu, Kanai와 Shimojo(2004)의 실험에 사용된 자극 예: 실험 조건



(그림 2) Wu, Kanai와 Shimojo(2004)의 실험에 사용된 자극 예: 통제 조건

운동 속성 착각결합 실험 패러다임을 이용하여 규명하는 것이다. 이를 위하여 실험 1에서는 양안시차가 존재하지 않는 자극 상황에서 Wu 등이 보고한 색채-운동 착각 결합 현상을 재연하였다. 실험 2에서는 실험 1의 자극에 화면시차(screen

disparity: 좌안/우안으로 입력되는 자극 영상의 시차)를 포함시켜 궁극적으로 피험자의 망막에 양안시차를 유발함으로써 두 개의 운동 방향이 각기 상이한 깊이에 존재하는 것으로 지각될 때에 실험 1에서 관찰되었던 색채-운동 착각 결합이 소멸함을 발견하였다. 양안시차 정보가 존재하지 않을 때에는 색채와 운동이 잘못 결합되는 착각 결합 현상이 나타나는데 반하여 양안시차 정보가 존재하는 상황에서는 색채와 운동 속성이 제대로 결합되어 착각 결합이 나타나지 않는다는 실험 결과는 색채-운동 속성 결합에 3차원 공간 정보인 양안시차 정보가 유용하게 사용됨을 시사한다.

## 실험 1. 양안시차가 존재하지 않는 상황에서의 색채-운동 착각 결합

Wu, Kanai와 Shimojo (2004)는 상이한 방향으로 움직이는 두 시각 면(sheet)의 시각 자극이 동일한 2차원 공간에 겹쳐져서 제시될 때에 주변 시야에서 움직이는 자극의 색채와 운동 속성이 잘 못 결합되는 색채-운동 착각 결합 현상을 보고하였다. Wu등의 실험에 사용된 두 시각 면(sheet)의 자극은 왼쪽 눈과 오른쪽 눈에 들어오는 자극이 동일하여 왼 쪽 눈과 오른 쪽 눈에 양안시차를 유발하지 않았다. 실험 1의 목적은 Wu 등의 연구에서 관찰된 색채-운동 속성의 착각 결합이 양안시차를 유발하지 않는 본 연구의 자극 상황에서도 관찰되는지를 밝히는 것이었다.

본 연구의 목적은 관찰자의 양 쪽 눈에 입력되는 시각 자극이 유발하는 양안시차가 색채와 운동 속성의 올바른 속성 결합을 촉진하는지를 검증하는 것이다. 본 연구의 실험 2에서는 왼 쪽 눈에 입력되는 두 시각 면(sheet)의 시각 자극과 오른쪽 눈에 입력되는 두 시각 면(sheet)의 시각 자극 사이에 화면시차를 두어 궁극적으로 양 쪽 눈에서 두 시각 면(sheet)의 시각 자극 사이에 양안시차가 유발되도록 유도함으로써 양안시차가 속성 결합에 미치는 영향을 규명하였다. 따라서 양안시차 이외에 다른 요인들은 두 시각 면(sheet)의 시각 자극 사이에 동일하도록 통제하는 것이 필요한데, 두 시각 면(sheet)의 시각 자극 사이의 지각된 밝기 차이에 의해 두 시각 면(sheet)의 시각 자극이 각기 상이한 깊이에 존재하는 것으로 표상될 가능성이 있다. 특히 자극의 중앙 부위에 존재하는 녹색과 빨간색 점들의 지각된 밝기

차이로 인하여 두 시각 면(sheet)에 있는 빨간색 점들과 녹색 점들이 3차원 공간에서 각기 상이한 위치에 있는 것으로 표상되어 속성 결합에 영향을 미칠 가능성이 있다. 이를 통제하기 위하여 동일 위치에 빨간색과 녹색을 번갈아 교체시켜가면서 점멸 (flickering)이 가장 적게 지각되는 빨간색과 녹색의 명도를 피험자별로 측정하였고, 이렇게 측정된 빨간색과 녹색의 명도를 실험 1과 실험 2의 자극 구성에 사용하였다. 빨간색 점과 녹색 점들이 동일한 밝기로 지각되도록 자극을 구성하면 빨간색과 녹색의 지각된 밝기에 의한 3차원 정보는 동일하게 통제될 것이다.

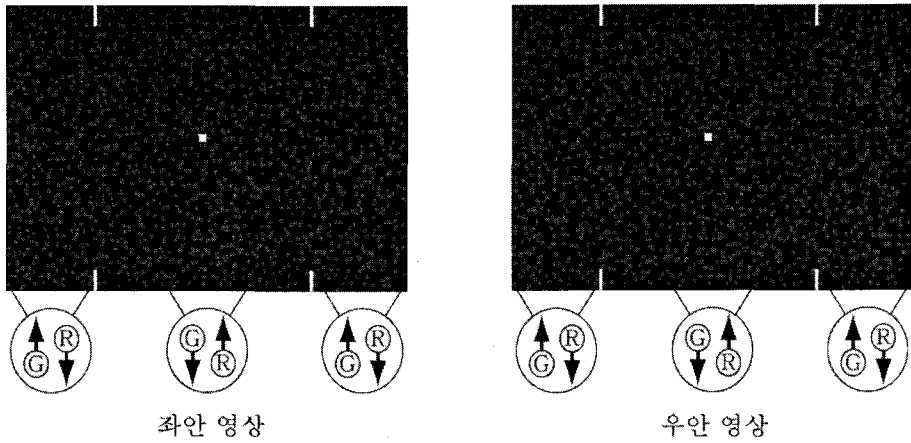
## 방 법

### 피험자

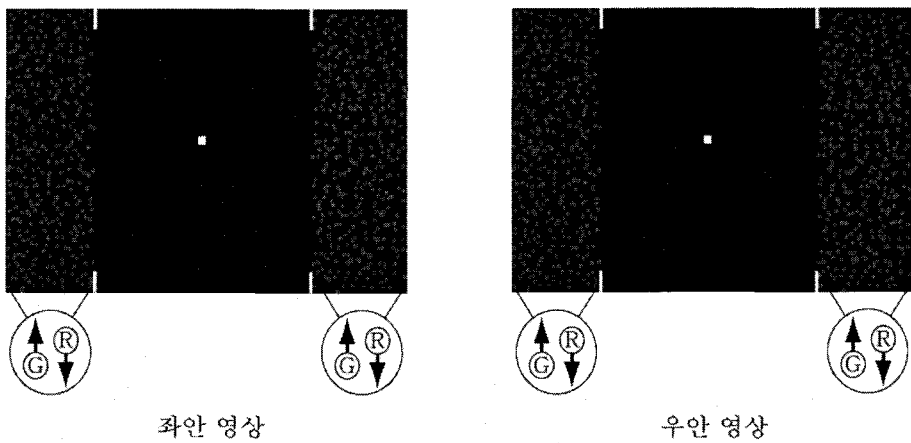
총 5명의 피험자가 실험에 참가하였다. 실험에 참가한 5명의 피험자 모두 정상 시력 (또는 정상 교정시력), 정상 색채시 그리고 정상 입체시를 지니고 있었다.

### 자극 및 도구

실험프로그램은 Matlab 5.2와 Matlab 함수모음인 Psychophysics Toolbox에 의해 구성되었다. 가로 23.5도 세로 20.6도 크기의 윈도우에 각기 상이한 방향 (위, 아래)으로 움직이는 무선 점으로 구성된 두 시각 면(sheet)의 시각자극이(그림 3, 4 참조) 1152 X 865 (80Hz)의 해상도와 13인치 크기의 모니터를 갖는 애플 eMac (450Mhz)에 의해 역동적인 입체경 자극(kinematographic stereogram) 형태로 제시되었으며 피험자들은 거울형 입체경을 이용하여 제시되는 자극을 관찰하였다. 왼 쪽 눈과 오른 쪽 눈에 제시되는 시각 자극은 각 각 세 영역으로 나뉘는데 (각 눈에 각기 두 시각 면(sheet)의 시각 자극이 제시됨), 자극의 중앙 영역 (가로 9.4도, 세로 20.6도)과 중앙 영역의 좌/우 주변 영역이다. 한 장의 중앙 영역은 빨간색 무선 점(600개, 평균 명도  $31.1 \text{ cd/m}^2$ )들로 그리고 주변 영역은 녹색 무선 점(400개, 명도  $23.3 \text{ cd/m}^2$ )들로 구성하였고, 다른 장의 중앙 영역은 녹색 무선 점(600개, 평균 명도



(그림 3) 실험 1에 사용된 역동적인 입체경 자극의 실험조건을 나타내는 예



(그림 4) 실험 1에 사용된 역동적인 입체경 자극의 통제조건을 나타내는 예

23.3  $cd/m^2$ 들로 그리고 주변 영역은 빨간색 무선 점(400개, 평균 명도 31.1  $cd/m^2$ ) 들로 구성하였다. 무선 점들의 운동속도는 3.4도/초 이었고, 제시 시간은 약 1.9 초이었으며 양 쪽 눈에 제시된 시각 자극 사이에 화면시차는 존재하지 않았다. 양 쪽 눈에 제시된 시각 자극 사이에 화면시차가 존재하지 않기에 양 쪽 눈에 제



시되는 두 시각 면(sheet)의 시각 자극 사이에 양안시차를 유발하지 않으며 따라서 두 시각 면(sheet)의 시각자극은 3차원 공간에서 동일한 깊이에 위치하는 것으로 표상될 것이다.

주변 영역에 제시되는 자극의 색채와 운동 방향이 모호하여 주변 영역의 운동 방향을 제대로 지각하지 못하고 중앙 영역에 제시되는 자극의 운동 방향을 그대로 보고할 가능성을 배제하기 위하여 중앙 영역에 움직이는 무선 점을 제시하지 않은 통제 조건과 움직이는 무선점이 포함된 실험 조건의 자극을 구성하였다. 실험 조건에는 두 가지가 있었는데, 중앙 영역의 빨간색 무선점이 위로 움직이는 조건(이 때 중앙 영역의 녹색 점은 아래로 움직임)과 빨간색 무선점이 아래로 움직이는 조건(이 때 중앙 영역의 녹색 점은 위로 움직임)으로 구성하였다. 두 가지의 실험 조건 모두에 대하여 주변 영역에 존재하는 빨간색 무선 점들에서 위로 올라가는 빨간색 무선 점의 비율을 조작하였다(0%, 25%, 50%, 75%, 100%). 그림 3은 중앙 영역의 빨간색 무선 점들은 위로 움직이고, 주변의 빨간색 무선 점들이 위로 올라가는 비율이 0%인 경우를 나타낸다. 주변 영역의 빨간색 무선점이 위로 올라가는 비율이 0%일 때에 주변 영역에 존재하는 빨간색 무선 점들은 모두 아래로 움직였으며 이 경우에 주변부에 존재하는 녹색 점들은 모두 위로 움직이도록 하였다. 이 비율이 25%인 경우에 주변 영역에 존재하는 빨간색 무선 점들의 25%는 위로 움직이도록 하고 75%는 아래로 움직이도록 하였으며, 주변 영역에 존재하는 녹색 무선 점들의 75%는 위로 움직이도록 하고 25%는 아래로 움직이도록 하였다. 따라서 중앙 영역과 주변 영역 모두에서 위로 움직이는 무선 점과 아래로 움직이는 무선 점의 비율은 동일하였다. 그림 4는 통제 조건 자극으로서 주변 영역에 있는 빨간색 무선점이 위로 올라가는 비율이 0%인 조건을 나타내는데, 실제 실험에서는 25%, 50%, 75%, 100% 비율 조건도 포함하였다.

## 절차

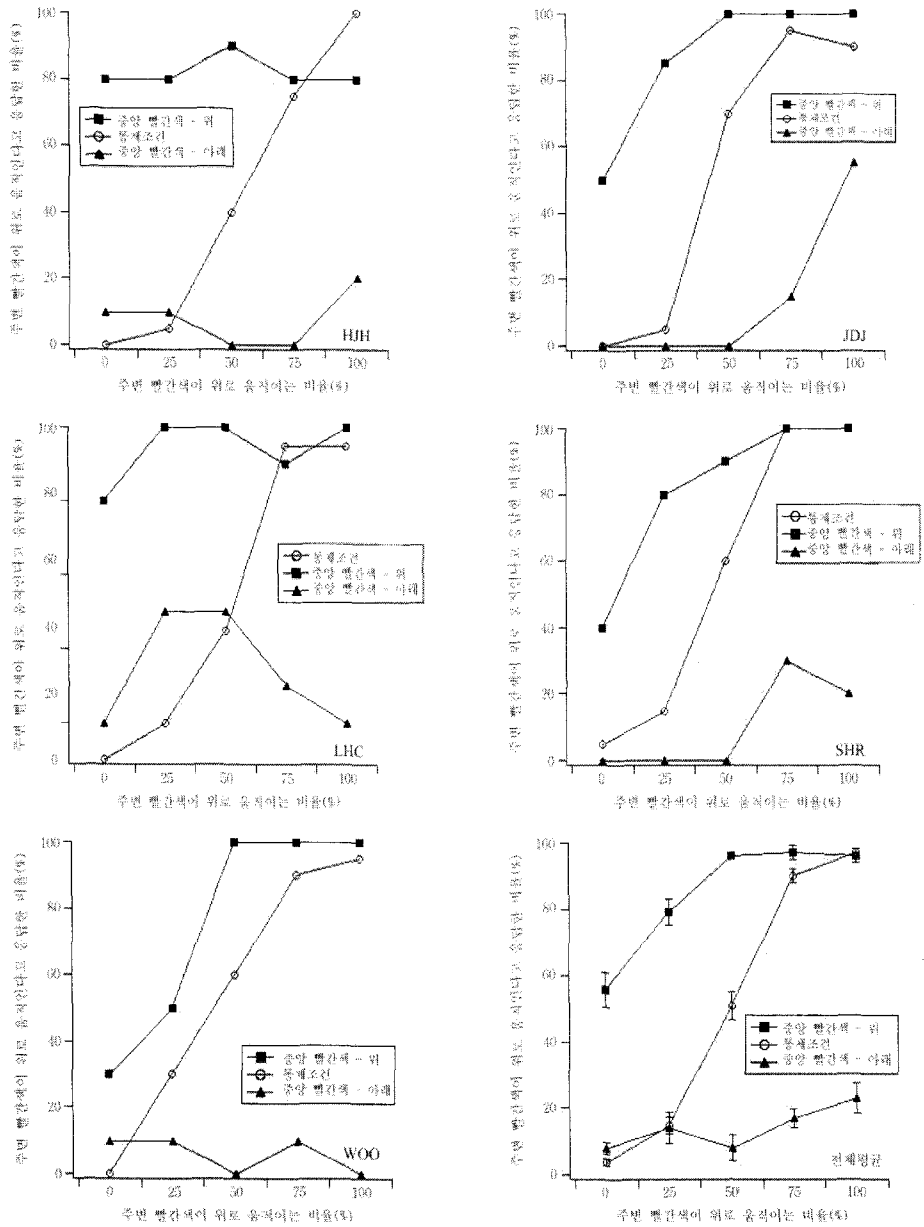
피험자들은 컴퓨터 화면에서 나오는 빛만 존재하는 암실에서 자극을 제시받고, 입체경을 이용하여 제시된 자극을 관찰하였다. 실험 자극에 반응할 준비가 되면 피험자는 조이스틱의 “A” 버튼을 눌렀고, 자극이 약 1.9초 동안 제시되었다 사라졌

다. 자극이 제시되는 동안에 자극의 중앙 영역의 중심부에 0.76도 X 0.76도 크기의 흰색 십자가가 제시되었는데 피험자로 하여금 이 십자가를 응시하도록 요구하였으며, 자극 제시가 끝나면 주변 영역에 제시되는 빨간색 무선점들의 전반적인 운동 방향을 위/아래 중에서 선택하여 보고하도록 하였다. 주변 영역에 제시되는 빨간색 무선점들이 전반적으로 위로 움직이는 것으로 지각하면 조이스틱 버튼의 1번을, 아래로 움직이는 것으로 지각하면 조이스틱의 버튼의 3번을 눌러서 반응하였다. 피험자가 조이스틱으로 주변 영역에 제시되는 빨간색 점들의 전반적인 운동 방향을 보고한 후에 조이스틱의 “A” 버튼을 누르면 다시 그 다음 시행의 자극이 제시되었다.

피험자들은 통제 조건과 실험 조건 두 개의 독립적인 세션 각 각에서 반복 측정되었는데, 세 명의 피험자는 실험 조건에 먼저 참여하고 통제 조건에 참여하였으며 나머지 두 명의 피험자는 통제 조건에 먼저 참여하고 실험 조건에 참여하였다. 통제 조건에서의 전체 시행 수는 50회(주변 영역의 빨간색 무선점들이 위로 움직이는 비율 5 가지: 0%, 25%, 50%, 75%, 100% X 반복 10회)이었고, 실험 조건에서의 전체 시행 수는 100회(주변 영역의 빨간색 무선점들이 위로 움직이는 비율 5 가지 X 중앙영역의 빨간색 무선점들이 움직이는 방향 2가지: 위, 아래 X 반복 10회)이었다. 각 피험자들은 통제 조건과 실험 조건 각 각에 대하여 4회 반복적으로 측정 받았다. 피험자의 머리를 고정시키기 위하여 턱 받침대를 사용하였으며, 컴퓨터 화면과 피험자까지의 거리는 30cm 이었다.

## 결과 및 논의

통제 조건과 실험 조건 세션 각 각에서 피험자들은 4회 반복 측정 되었는데 첫 번째 측정은 연습 세션으로 간주하여 결과 분석에서 제외하였다. 피험자별로 통제 조건과 실험 조건 각 각의 세션에서 주변 영역의 빨간색 무선점들이 위로 움직이는 비율에 따라서 주변 영역의 빨간색 무선점들이 전반적으로 위로 올라간다고 보고한 비율을 계산하였다. 그림 5는 주변 영역의 빨간색 무선점들이 물리적으로 위로 움직이는 비율에 따라서 주변 영역의 빨간색 무선점의 전반적인 운동 방향이 위라고 보고한 비율의 피험자 개별 결과와 5명 피험자의 평균결과를 나타낸다.



(그림 5) 실험 1의 결과: 5명의 피험자별 결과와 5명 피험자의 평균 결과.

중앙 영역에 움직이는 무선점 자극이 존재하지 않는 통제 조건에서 주변 영역의 빨간색 무선점들이 위로 움직인다고 보고한 비율은 주변 영역의 무선점들이 실제 물리적인 자극에서 위로 움직이는 비율에 비례하였다. 주변 영역에서 위로 움직이는 빨간색 무선점의 비율이 50% 미만인 경우에 피험자들은 자극과 일치하게 주변 영역의 빨간색 무선점들이 위로 움직인다고 보고한 비율은 50% 미만이었다. 하지만, 빨간색의 무선점들이 위로 움직이는 비율이 50% 이상인 경우에는 빨간색의 무선점들이 위로 움직인다고 보고한 비율 역시 50% 이상이었다. 실험 조건에서의 주변 영역의 물리적인 자극 특성과 통제 조건에서의 주변 영역의 물리적인 자극 특성은 동일하였다. 흥미롭게도 중앙 영역에 위/아래로 움직이는 방향에 의하여 분리된 빨간색과 녹색의 무선점들이 첨가된 실험 조건에서는 주변 영역의 빨간색 무선점들이 위로 움직인다고 보고한 비율이 통제 조건에서의 비율과 분명한 차이를 보였다. 특히, 중앙 영역의 빨간색 무선점들이 위로 움직이는 실험 조건에서는 주변 영역의 빨간색 무선점들이 대체로 위로 움직인다고 보고하였으며 반대로 중앙 영역의 빨간색 무선점들이 아래로 움직이는 실험 조건에서는 주변 영역의 동일한 빨간색 무선점들이 대체로 아래로 움직인다고 보고하였다. 중앙 영역의 빨간색 무선점들이 위로 움직이는 실험 조건에서는 주변 영역의 빨간색 무선점들이 물리적으로 모두 아래로 움직이는 경우에도 시행의 50% 이상에서 이들이 위로 움직이는 것으로 지각하였다. 또한 중앙 영역의 빨간색 무선점들이 아래로 움직이는 실험조건에서는 주변 영역의 무선점들이 물리적으로 모두 위로 움직이는 경우에도 시행의 30% 미만에서만 이들이 위로 움직이는 것으로 지각하였다.

이러한 실험 결과는 Wu, Kanai 와 Shimojo (2004)의 실험 결과와 일치한다. 자극의 중앙 영역에 아무런 자극이 존재하지 않는 통제 조건에서 주변 영역의 빨간색 무선점들의 운동 방향이 물리적인 자극 조건과 일치하게 제대로 지각되었는데, 이는 통제 조건에서 색채와 운동 속성의 결합이 올바르게 형성되었음을 시사한다. 하지만, 중앙 영역에 자극이 존재하여 전체 자극이 하나의 덩어리로 지각되는 실험 조건에서 주변 영역의 빨간색 무선점의 운동 방향은 잘못 지각되었는데 이는 실험 조건에서 색채와 운동 속성의 결합이 잘 못 형성되었음을 시사한다. 주목해야 할 것은 통제 조건과 실험 조건 모두에서 주변 영역에 존재하는 무선점의 색채와 운동 속성은 동일함에도 불구하고 중앙 영역에 자극이 존재하지 않는 경우에는

관찰되지 않던 색채-운동 속성의 착각 결합 현상이 중앙 영역에 자극이 존재하는 경우에는 관찰된다는 것이다. 실험 1에 사용된 좌안 영상과 우안 영상 사이에는 화면시차가 존재하지 않아서 피험자의 망막에 양안시차를 유발하지 않았다. 본 연구의 목적은 3차원 공간 정보인 양안시차가 색채-운동 속성의 제대로 된 결합을 촉진하여 색채-운동 속성의 착각 결합이 소멸되는지를 규명하는 것이다. 실험 2에서 이를 검증하였다.

## 실험 2. 양안시차가 존재하는 상황에서의 색채-운동 착각 결합 현상의 소멸

실험 1에서 상이한 방향으로 움직이는 두 시각 면(sheet)의 시각 자극을 2차원 동일 공간에 포개어 제시하고 피험자로 하여금 중앙 영역을 응시하면서 주변 영역의 색채와 운동 속성을 보고하게 하면, 색채와 운동 속성을 잘못 결합하는 이른바 색채-운동 속성의 착각 결합 현상이 관찰되었다. 실험 2의 목적은 상이한 방향으로 움직이는 두 시각 면(sheet)의 시각 자극이 각기 다른 깊이 존재하는 것으로 지각되도록 하였을 때 주변 영역에 제시되는 색채와 운동 속성의 결합이 물리적인 자극 상황과 일치하게 결합되어 색채-운동 속성의 착각 결합 현상이 소멸하는지를 규명하는 것이다.

## 방 법

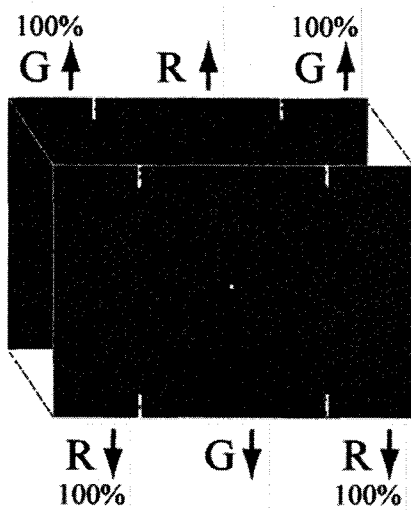
### 피험자

실험 1에 참여한 피험자가 실험 2에 모두 참여하였다.

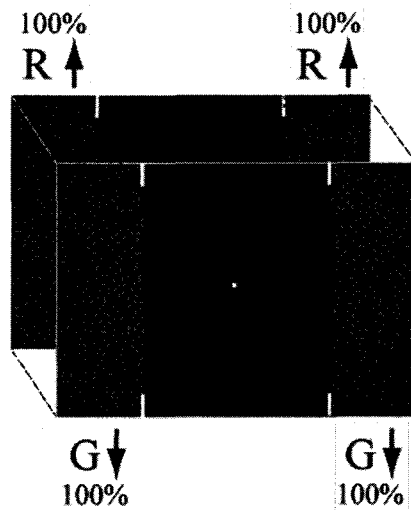
### 자극

실험 1에서 상이한 방향으로 움직이는 두 시각 면(sheet)의 시각 자극 사이에 화

면시차가 존재하지 않았던데 비하여 실험 2에서는 두 시각 면(sheet)의 시각 자극 사이에 화면시차가 존재하도록 하였다. 화면시차는 두 시각 면(sheet)의 시각 자극이 피험자의 왼 쪽 눈과 오른 쪽 눈에 입력되었을 때 0.1도, 0.25도 또는 0.5도의 양안시차를 유발하도록 조작하였다. 실험 1과 마찬가지로 통제 조건과 실험 조건으로 자극을 구성하였고, 각 장의 시각 자극이 피험자에 가까이 나타나거나 멀리 나타날 확률은 동일하게 유지하였으며, 실험 1에서와 동일하게 주변 영역의 빨간색 무선점이 위로 올라가는 비율과 이 비율에 연계하여 녹색 무선점이 아래로 움직이는 비율을 조작하였다. 그림 6은 중앙영역의 빨간색 무선점은 위로 움직이고 주변 영역의 빨간색 무선점이 위로 움직이는 비율이 0%인 실험 조건을 나타내고 그림 7은 통제 조건 예로써, 주변 영역의 빨간색 무선점이 위로 움직이는 비율이 100% 인 자극 예를 나타낸다. 이외의 조건은 실험 1과 동일하였다. 자극은 실험 1에서와 마찬가지로 입체경 자극 형태로 제시되었으며 피험자들은 입체경을 통하여 자극을 관찰하였다.



(그림 6) 실험 2의 실험조건 예.



(그림 7) 실험 2의 통제조건 예.

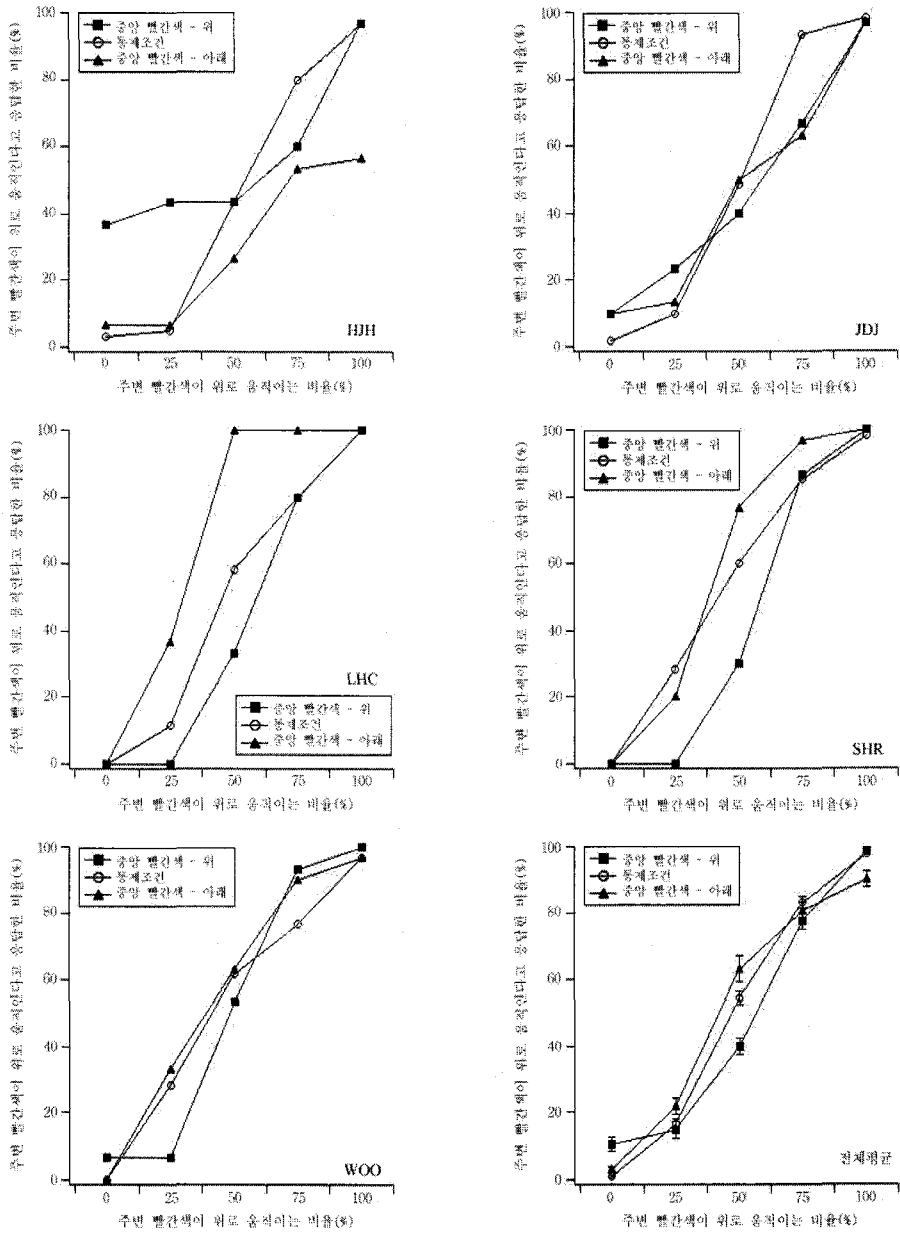
## 절 차

실험 2의 절차는 총 시행수를 제외하고는 실험 1의 절차와 동일하였다. 통제 조건에서의 전체 시행 수는 300회(주변 영역의 빨간색 무선점들이 위로 움직이는 비율 5가지: 0%, 25%, 50%, 75%, 100% X 각 장의 시각자극의 깊이 2 가지: 관찰자 가까이, 관찰자 멀리 X 화면시차의 양 3 가지 X 반복 10회)이었고, 실험 조건에서의 전체 시행 수는 600회(주변 영역의 빨간색 무선점들이 위로 움직이는 비율 5가지 X 중앙영역의 빨간색 무선점들이 움직이는 방향 2가지: 위, 아래 X 각 장의 시각 자극의 깊이 2 가지 X 화면시차의 양 3 가지 X 반복 10회)이었다. 두 시각 면(sheet)의 시각 자극의 중앙 영역의 중간 깊이에 흰색의 십자가를 제시하고 피험자로 하여금 이 응시 점을 응시하면서 주변 영역에 제시되는 빨간색 무선점의 전반적인 움직임 방향을 위/아래 중에서 선택하여 조이스틱을 이용하여 보고하도록 하였다. 각 피험자들은 실험 조건과 통제 조건 각 각에 대하여 4회 반복적으로 측정 받았다.

## 결과 및 논의

통제 조건과 실험 조건 세션 각 각에서 피험자들은 4회 반복측정 되었는데 첫 번째 측정은 연습 세션으로 간주하여 결과 분석에서 제외하였고, 피험자별로 통제 조건과 실험 조건 각 각의 세션에서 주변 영역의 빨간색 무선점들이 위로 움직이는 비율에 따라서 주변 영역의 빨간색 무선점들이 전반적으로 위로 올라간다고 보고한 비율을 계산하였다. 그림 8은 주변 영역의 빨간색 무선점들이 물리적으로 위로 움직이는 비율에 따라서 주변 영역의 빨간색 무선점의 전반적인 운동 방향이 위라고 보고한 비율의 피험자 개별 결과와 5명 피험자의 평균 결과를 나타낸다. 화면시차의 양에 따른 차이는 유의미하지 않아서 합산하여 계산하였다.

실험 1에서와 마찬가지로 통제 조건에서는 두 시각 면(sheet)의 시각 자극 사이에 화면시차가 존재하는 경우에도 주변 영역의 빨간색 무선점들의 전반적인 운동 방향이 위라고 응답한 비율은 물리적으로 빨간색 무선점들이 위로 움직인 비율과



(그림 8) 실험 2의 결과: 5명의 피험자별 결과와 5명 피험자의 평균 결과



비례하여 증가하였다. 흥미롭게도 실험 조건에서 중앙 영역의 빨간색 무선점의 운동 방향과 관계없이 주변 영역에 제시되는 빨간색 무선점의 전반적인 운동 방향은 주변 영역에서 움직이는 빨간색 무선점들의 물리적인 비율에 비례하여 증가하였다. 이러한 실험 결과는 두 시각 면(sheet)의 시각 자극 사이에 화면시차가 존재하지 않았던 실험 1에서 관찰되었던 색채-운동 속성의 착각 결합이 화면시차가 존재하는 실험 2의 실험 조건에서는 관찰되지 않았음을 시사한다. 두 시각 면(sheet)의 시각 자극 사이에 화면시차가 존재하는 상황에서는 중앙 영역에 시각 자극이 존재하지 않는 통제 조건이던 시각 자극이 존재하는 실험 조건이던 관계없이 주변 영역에 존재하는 빨간색 무선점의 전반적인 운동 방향이 물리적인 자극 조건과 일치하게 올바르게 지각되었으며 주변 영역의 색채와 운동 속성이 물리적인 자극 상황과 일치하게 올바르게 결합되었음을 시사한다.

## 종합논의

본 연구의 목적은 시각 시스템이 자극의 속성을 처리할 때에 접하게 되는 속성 결합의 문제를 해결함에 있어 양안시차 정보를 얼마나 적절하게 이용하는지를 구명하는 것이었다. Wu, Kanai와 Shimojo(2004)는 색채와 운동 방향에 의해 정의되는 다수의 점들로 구성된 자극이 지속적으로 피험자에게 보여 지는 상황에서 색채와 운동 속성이 잘못 결합될 수 있음을 보여 줌으로써 속성 결합의 문제가 시각 체계가 풀어야 할 문제라는 입장을 지지하였다. 본 연구의 실험 1에서는 Wu 등의 실험에서 관찰되었던 색채-운동 착각 결합이 본 연구의 자극 상황에서도 재연됨을 확인하였다. Wu 등의 실험과 달리 실험 1에서는 입체경 자극 형태로 실험 자극이 피험자에게 제시되었고 피험자는 입체경을 통하여 주어진 자극을 관찰하였다. 입체경 자극 형태로 자극이 제시되었더라도 왼 쪽 눈에 입력되는 영상과 오른 쪽 눈에 입력되는 영상은 동일하여 피험자의 망막에 양안시차를 유발하지 않았다는 점에서 Wu 등의 실험에 사용된 자극과 유사하였다. 실험 2에서는 실험 1에서와 마찬가지로 입체경 자극 형태로 실험 자극을 제시하였는데, 실험 1과 달리, 두 시각 면(sheet)의 시각 자극 사이에 화면시차가 존재하도록 조작하여 피험자의 망막에 양

양안시차가 유발되도록 하였다. 두 시각 면(sheet)의 시각 자극 사이에 화면시차가 존재하는 상황에서는 Wu 등의 실험에서 보고되었던 색채-운동 착각 결합 현상이 발견되지 않았다. 실험 1의 결과는 Wu 등이 보고한 색채-운동 착각이 반복적으로 관찰될 수 있는 안정적인 현상임을 나타낸다. 두 개의 시각 장 사이에 양안시차 정보가 존재하지 않는 실험 1에서 관찰되었던 색채-운동 착각 결합이 양안시차 정보가 존재하는 실험 2에서 관찰되지 않았다는 것은 Wu 등이 보고한 색채-운동 착각 결합이 양안시차 정보가 가용하지 않은 제한된 상황에 국한하여 나타나며 양안시차 정보가 이용 가능한 일반적인 시각 상황에서는 양안시차 정보가 이용 가능하여 색채-운동 속성의 착각 결합이 나타나지 않음을 시사한다. 또한 양안시차 정보의 가용성에 따라서 색채-운동 착각 결합이 나타나기도 하고 제대로 된 색채-운동 결합이 나타나기도 한다는 본 연구의 결과는 색채 속성과 운동 속성의 결합이 신경정보 처리 메카니즘에서 양안시차 정보가 처리된 이후의 단계에서 발생함을 시사한다.

Wu, Kanai와 Shimojo(2004)는 주변시야에서의 속성결합이 모호한 상황에서 중심시야와 주변시야가 단일표면으로 지각되는 상황에서 중심시야에서 획득된 속성결합이 주변시야의 속성결합에 이용될 수 있다는 것을 보여주었다. 본 연구의 결과는 양안부등에 의해 분리된 두 개의 독립적인 표면에 소속된 색채와 운동 속성이 착각적으로 결합되지 않는다는 것을 보여주면서 양안부등정보가 속성결합에서 중요한 정보원으로 이용될 가능성을 시사할 뿐, Wu등의 실험결과가 제안하는 시사점이 틀렸다고 주장하지 않는다. 양안부등이 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우, 두 경우 각 각에서 어떤 색채와 어떤 운동 속성이 결합될 것인가의 문제해결 정도가 망막 수준에서는 차이가 없지만, 양안부등이 처리되고 난 이후의 신경정보처리 단계에서는 논리적으로 색채-운동 속성 결합의 문제해결 정도에 차이가 있을 수 있다. 본 연구결과는 색채-운동 속성결합의 문제해결에 양안부등 정보만 유일하게 이용된다고 주장하는 것이 아니라 단지 양안부등 정보가 속성결합 문제에 중요하게 이용될 수 있음을 제안한다.

시각체계가 속성결합에서 양안부등을 기본적인 지표로 이용할 가능성을 시사하는 연구결과가 Nakayama와 Silverman에 의해 제시되었다(Nakayama & Silverman, 1986). 이들은 두 개의 시각속성 차원 조합(conjunction)에 의해 정의되는 목표자극의

탐색시간을 측정하였는데, 색채-운동방향의 조합에 의해 정의된 목표자극의 탐색 시간은 자극에 포함된 항목의 수에 따라서 증가하였는데 비하여 양안부동-색채 또는 양안부동-운동방향의 조합에 의하여 정의된 목표자극의 탐색시간은 항목의 수에 따라서 증가하지 않았다. Nakayama와 Silverman은 이러한 결과에 기초하여 색채와 운동방향은 계열적으로 탐색되고 양안부동과 색채 그리고 양안부동과 운동방향은 병렬적으로 탐색된다고 보았다. 특히 양안부동과 운동방향을 모두 처리하는 것으로 알려진 MT신경세포가 양안부동과 운동방향을 병렬적으로 처리하는 신경메카니즘이라고 제안하면서 아마도 양안부동 이외의 시각속성들이 양안부동과 결합하여 부호화될 것이라고 제안하였다. 본 연구의 결과는 Nakayama와 Silverman의 제안처럼 양안부동이 운동방향과 색채와 결합될 것이며 더 나아가 양안부동을 매개로 색채와 운동방향이 결합될 가능성을 지지한다.

양안시차 정보에 근거하여 색채와 운동 속성의 결합이 어떻게 처리될 수 있는가? 동일 대상에 내재된 색채와 운동은 외부 세계에서 동일한 시간대에 동일한 공간에 존재할 것이다. 양안시차는 중요한 3차원 공간 정보로서 동일 대상에 포함된 색채와 운동은 관찰자의 망막에서 0의 양안시차를 형성하고 반면에 0이 아닌 양안시차를 형성하는 색채와 운동은 동일 대상이 아닌 상이한 대상을 구성하는 속성일 것이다. 만약, 시각체계가 독립적인 신경 경로에서 처리된 색채와 운동 속성을 결합할 때 색채와 운동 속성의 양안시차 정보를 이용할 수 있다면, 0이 아닌 양안시차를 갖는 색채와 운동 속성의 결합은 허용하지 않는 것이 가능할 것이다. 본 연구의 결과는 시각체계가 색채-운동 속성 결합에 양안시차 정보를 이용할 것이라는 이와 같은 가능성을 지지한다. Moradi 와 Shimojo(2004)는 운동-색채 속성 결합 실험에서 투명성 정보에 의해 표면이 분리된 이후에 운동-색채 시각 속성의 결합될 가능성을 제안하면서 투명성 이외에 어떤 표면 분리 정보가 속성결합을 촉진할 것인지에 대한 지속적인 연구의 필요성을 제시하였다. 본 연구 결과는 투명성 정보 이외에 양안시차가 표면분리 정보로 이용되어 색채-운동 속성 결합을 촉진할 가능성을 시사한다.

올바른 속성 결합을 위해 공간적인 주의가 요구되며(Cohan & Rafal, 1991; Treisman & Gelade, 1982) 공간적인 주의 이외에 공간 정보가 제대로 처리되어야 속성 결합이 제대로 형성될 것이라는 신경과학적 연구들(Kim & Robertson, 2001; Robertson,

2003)이 보고되었으나 3차원 공간 정보인 양안시차 정보가 속성 결합에 중요하게 이용될 수 있다는 것을 보여준 정신물리학적 연구는 드물다. 공간적 주의와 독립적으로 속성 결합에 3차원 공간 정보가 유용하게 사용될 가능성이 있으며, 또한 적절한 공간 주의를 할당하기 위해서도 3차원 공간 정보가 제대로 처리되어야 할 필요성이 있다. 속성 통합의 구체적인 메카니즘을 밝히기 위해서는 지속적인 연구가 수행되어야 하는데, 특히 공간적 주의, 공간 정보 뿐 아니라 속성들과 연합된 시간 정보가 어떻게 상호작용하여 속성 통합에 이용될 것인지에 대한 연구가 추가로 수행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- Arnold, D. H. & Clifford, C. W. G. (2002). Determinants of asynchronous processing in vision. *Proceedings of Royal Society of Lond. Series B: Biological Sciences*, 269, 579-583.
- Clifford, C. W. G., Spehar, B. & Pearson, J. (2004). Motion transparency promotes synchronous perceptual binding. *Vision Research*, 44, 3073-3080.
- Cohan, A & Rafal, R. (1991). Attention and feature integration: illusory conjunctions in patient with parietal lobe lesions. *Psychological Science*, 2, 106-110.
- Kim, M.-S. & Robertson, L. C. (2001). Implicit representations of visual space after bilateral parietal damage. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 1080-1087.
- Livingstone, M. S., & Hubel, D. H. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, 240, 740-749.
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K.(1983). Object vision and spatial vision: Two central pathway. *Trends in Neuroscience*, 6, 14-417.
- Moradi, F. & Shimojo, S. (2004). Perceptual- binding and persistent surface segregation. *Vision Research*, 44, 2885-2899.
- Nakayama, K. & Silverman, G. (1986). Serial and parallel processing of visual feature conjunctions. *Nature*, 320, 264-265.

- Robertson, L. C., Treisman, A. M., Friedman-Hill, S. & Grabowecky, M. (1997). The interaction of spatial and object pathways: evidence from Balint's syndrome. *Journal of Cognitive Neurosciences*, 9, 295-317.
- Robertson, L. C. (2003). Binding, spatial attention and perceptual awareness. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 93-102.
- Treisman, A. M. & Gelade, G. A. (1982). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treisman, A., & Schmidt, H. (1982). Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology*, 14, 107-141.
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). *Two cortical visual systems*. In *Analysis of Visual Behavior*, D.J. Ingle, M.A. Goodale, and R.J.W. Mansfield, eds. (Cambridge, MA: MIT Press).
- Wu, D., Kanai, G. & Shimojo, S. (2004). Vision: Steady-state misbinding of color and motion. *Nature*, 429, 262.
- Zeki, S. M. (1993). *A vision of the brain*. (Oxford: Blackwell).
- Zeki, S. & Bartels, A. (1998). The asynchrony of consciousness. *Proceedings of Royal Society of Lond. Series B: Biological Sciences*, 265, 1583-1585.

1 차원고접수 : 2006. 12. 18

2 차원고접수 : 2007. 2. 15

최종게재승인 : 2007. 3. 22

*(Abstract)*

## The Role of Binocular Disparity at Color-Motion Binding

Hyung-Chul O. Li

Kwangwoon University

The purpose of the present research was to examine whether the visual system importantly use binocular disparity information in color-motion binding. Wu, Kanai and Shimojo (2004) reported an illusory color-motion binding which was observed in the peripheral visual area when observers fixated on the central area of visual stimulus. We have found that illusory color-motion binding was not observed at the situation where binocular disparity was available but was where it was not available. These results imply that the visual system uses binocular disparity information when it binds color and motion and that the binding process occurs after binocular disparity information is processed.

*Keywords : feature binding, illusory feature binding, motion, color, binocular disparity*