

색채 - 운동 오결합에서 삼차원 표면배열의 효과*

감 기 택†

강원대학교 심리학과

색상이 다른 점들이 서로 반대 방향으로 움직이는 무선점 자극을 중앙 영역에 제시하고, 주변 영역에는 이와 반대의 색상을 가진 무선점 자극을 제시하면 주변 영역에 있는 점들의 속성은 중앙 영역에 있는 점들의 속성과 동일하게 지각되는 색상-운동 오결합 현상이 발견된다. 본 연구에서는 이러한 오결합이 중앙영역과 주변영역이 동일한 깊이 표면을 구성하지 못하는 상황에서도 여전히 발생하는지를 알아보기 위해 실험 1에서는 주변영역의 점들을 중앙영역과는 다른 깊이에 제시하였고 실험 2에서는 주변영역의 점들을 주어진 깊이 범위 내에서 무선적으로 변화시켰다. 두 실험 결과 중앙과 주변영역의 점들이 동일 깊이에 제시된 조건과 비교해 볼 때 두 영역이 동일한 표면을 형성하지 못할 때 오결합 정도는 약화되었지만 완전히 사라지는 않았다. 이러한 결과는 운동정보에 의한 표면뿐만 아니라 양안시차에 의한 표면정보가 오결합 과정에 영향을 주는 것을 보여준다.

주제어 : 색채 운동 오결합, 양안시차, 삼차원 표면

* 본 연구는 2007년도 강원대학교 학술연구 조성비로 연구하였음.

† 교신저자: 감기택, 강원대학교 심리학과

E-mail: kham@kangwon.ac.kr

시각정보 처리의 초기단계에서 색상, 형태, 운동, 깊이 등의 기초 시각속성들은 각기 독립적인 영역에서 처리된다는 사실들은 여러 신경생리학적 연구결과들로부터 지지받고 있다[1, 2, 3, 4]. 예를 들어, 피질의 MT영역이나 MST영역은 운동 지각과 연관되어 있으며[5], V4영역은 색채 지각과 관련된 정보를 처리한다[6]. 기초 속성들의 독립적인 처리에도 불구하고 사람들은 여러 속성들이 통합된 방식으로 대상을 지각한다는 사실은 각기 다른 피질 영역에서 처리된 신경정보들의 조각들이 통합되어 하나의 완전한 대상을 구성하는 과정이 필요함을 시사한다. 이러한 과정과 더불어 망막의 각기 다른 영역에 투사된 시각정보로부터 삼차원 대상을 표상하기 위해서는 우선적으로 유사한 시각정보를 가진 영역들을 주변영역으로부터 구분하는 과정 또한 필수적이다. 따라서 시각기체는 망막상으로부터 구분될 수 있는 표면을 분리해 내고 각 표면의 속성정보들의 조합을 정확히 결정해야 하는 복잡한 과제 즉, 속성결합문제(binding problem)에 직면하게 된다. Treisman과 그 동료들[7, 8]은 다양한 속성을 가진 자극이 짧은 시간 제시되는 경우 각기 다른 대상의 속성들이 오결합되는 착각적 결합(illusory conjunction)을 보고하였는데 이는 시각정보 처리과정에서 독립적으로 처리된 속성들의 통합과정이 있음을 시사하는 현상적인 예이다.

최근 Wu, Kanai와 Shimojo [9]는 제시시간이 충분함에도 불구하고 속성들의 오결합이 발생할 수 있음을 보고하였다. 그들은 화면의 중앙에 제시된 무선점의 50%는 빨간색으로 나머지 50%는 녹색으로 제시한 후, 빨간색은 모두 위쪽방향으로 녹색은 모두 아래쪽 방향으로 움직이도록 만들었다. 화면의 좌우 주변부에 제시된 무선점들의 50%는 위쪽으로 나머지 50%는 아래쪽으로 움직이는 것은 중앙영역과 동일하였다. 각 점들의 색상은 빨간색과 녹색의 비율은 고정된 채 위쪽으로 움직이는 빨간 점들의 비율을 변화시키면서(이에 따라 아래쪽으로 움직이는 빨간색 점들의 비율이 변화되었다) 관찰자들에게 주변부에서 빨간색 점들이 우세하게 움직이는 운동방향을 답하도록 요구하였다. 그 결과 관찰자들의 반응은 중앙영역에 제시된 무선점들의 운동방향에 영향을 받아 위쪽으로 움직이는 빨간색 점의 물리적인 비율보다 더 높은 수준으로 빨간색이 위쪽으로 움직이는 것으로 지각하는 반응편파가 발생하였다. 심지어는 위쪽으로 움직이는 빨간색이 없는 조건에서도 빨간색이 위쪽으로 움직인다는 반응이 많은 시행에서 보고되었다. 그들은 이 현상을

무선점들의 색상 속성과 운동 속성이 잘못 결합되어 발생하는 색상-운동 오결합(color motion misbinding; 이후 오결합)으로 불렸고, 이 현상을 발생시키는 가능한 이유들 중의 하나로 응시점으로부터 멀리 떨어진 영역에 제시된 자극의 경우 이들 자극들은 수용기의 밀도가 낮아 해상도가 떨어지는 망막 주변부로 투사되어 자세한 처리가 일어나지 않아 애매성이 높았을 가능성을 제안했다. 즉 중앙영역과 공통의 표면으로 지각될 때 애매성이 낮은 중심영역의 속성에 영향을 받아 주변 자극 속성들의 오결합이 발생했을 가능성을 제안했다.

여러 실험적 보고들은 오결합 현상이 단순히 주변시에 제시된 영상들의 애매성에 의해 발생되지 않음을 시사한다. 중앙영역에 무선점들이 제시되지 않거나⁹⁾, 중앙영역에서 특정 색깔과 특정 방향을 가진 점들의 양안시차를 각기 다르게 조작하여 두 개의 다른 깊이 표면을 구성하면¹⁰⁾ 망막의 주변부에 제시되었음에도 불구하고 오결합이 발생하지 않는다. 특히 후자의 결과는 오결합이 발생되기 위해서는 운동방향이 다른 두 표면이 동일한 깊이에 제시되어야 함을 보여준다.

오결합을 보고한 Wu 등⁹⁾의 연구에서 사용된 자극은 동일 깊이에서 서로 다른 방향으로 운동하는 무선점들로 구성되어 있어서 무선점들의 운동방향에 의해 두 표면이 구별되는 운동투명(motion transparency) 자극이다. 관찰자들이 이 자극으로부터 투명한 두 표면을 지각한다는 점을 고려할 때 오결합의 발생에 운동 투명에 의한 표면 형성과정이 영향을 줄 가능성이 있다. 유사한 방향으로 움직이는 무선점으로부터 하나의 전역적 표면이 분리되기 위해서는 각 점들로부터 추출된 국소적인 운동 정보들이 통합되는 과정이 필요하며^{11, 12)}, 이 과정에서 국소적으로 운동정보가 없는 영역에까지 국소 운동정보가 보간(interpolation)되거나 혹은 채워 넣기(filling-in)를 통해 전역적인 표면이 지각된다. 운동 투명의 경우 일정 영역 내에 있는 운동방향이 서로 다른 국소 운동정보로부터 두 개의 전역적인 표면을 생성하는 과정에서 출현하게 된다¹³⁾. 특히 운동 투명에 의해 두 표면이 분리될 수 있는 경우 표면 분리가 속성통합에 앞서 발생하며 속성통합을 촉진시킨다는 점을 고려할 때¹⁴⁾, 오결합 현상이 단순히 각 무선점의 운동속성과 색깔 속성의 오결합이 아니라 운동정보에 의해 만들어진 표면 형성과정이 중요한 역할을 하며 형성된 표면의 색깔 속성이 결정되는 과정에서 발생하는 것으로 이해할 수 있다. 즉 운동투명에 의해 만들어진 표면에서 중앙영역의 색상정보가 주변영역으로 번져나가는 색

상 채워 넣기 과정[15]으로 이해할 수 있다.

시각 속성의 채워 넣기(filling-in) 혹은 번짐(spreading)현상은 밝기나 색상 혹은 텍스처 등에 의한 윤곽정보에 영향받는데[16, 17] 오결합 자극에서도 이와 유사하게 중앙영역과 주변영역의 경계부근에 제시된 색상에 의한 윤곽정보에 의해 영향 받는다[15]. 시각 속성들의 번짐 현상에서 윤곽정보의 효과에 대한 연구들은 주로 밝기와 색상 등과 같은 이차원 윤곽정보의 효과를 살펴보았지만, 이차원의 윤곽정보가 가림(occluding)과 같이 삼차원 표면관계를 정확히 반영하지 못하는 경우 삼차원의 표면이나 분절된 대상 내에서 채워 넣기가 발생한다[15]. 즉 채워 넣기 과정은 삼차원 표면정보에 의해 영향을 받는다.

삼차원 표면을 추출할 수 있는 대표적인 시각정보들 중의 하나는 국소 양안시차 정보이다. 유사한 양안시차를 가진 무선점이 인접영역에 제시되는 경우 국소 운동정보로부터 표면이 형성되는 것과 같이 국소적으로 양안시차 정보가 없는 영역까지 보간이 일어나 하나의 표면을 구성한다[18]. 본 연구는 양안시차에 의한 표면정보가 오결합에 미치는 영향을 알아보기 위해서 양안시차에 의해 단일한 표면을 형성할 수 없는 상황에서의 오결합 현상을 조사하였다. 즉 운동정보에 의해서는 중앙영역과 주변영역이 단일한 표면을 구성할 수 있지만 양안시차 정보에 의해서는 두 영역이 단일한 표면을 구성하기 어려운 경우에도 오결합이 발생하는지를 확인하였다. 이를 위해서 실험 1에서는 주변영역에 제시된 점들의 양안시차를 조작하여 중앙영역에 있는 점들에 의해 만들어질 수 있는 깊이 표면과 다른 깊이에 표면이 제시되었고, 실험 2에서는 주변영역에 제시된 점들의 양안시차를 무선적으로 할당하여 주변영역의 점들이 단일한 표면이 아니라 부피감 있는 입체를 구성하는 자극을 제시하였다.

실험 1: 중앙과 주변의 표면깊이가 다른 상황에서의 색채 운동 오결합

운동정보에 의해서는 중앙영역과 주변영역의 점들이 동일한 표면을 형성할 수 있는 반면, 양안시차에 의해서는 두 영역의 깊이가 구별되는 경우에도 여전히 오결합이 발생하는 지를 살펴보았다. 즉, 운동정보에 의해서는 중앙영역과 주변영역

이 하나의 표면으로, 양안시차에 의해서는 두 개의 다른 표면으로 구별되는 자극 상황에서 오결합이 발생하는 지를 살펴보았다. 양안시차에 의한 표면의 깊이정보가 영향을 미치지 못한다면 중앙영역과 주변영역의 깊이가 구별되는 경우에도 두 영역의 깊이가 동일한 조건과 유사하게 오결합이 발생할 것이지만, 이와 반대로 양안시차에 의한 표면정보가 운동정보에 의한 표면정보보다 강력하다면 오결합이 전혀 발생하지 않을 것을 예상할 수 있다.

방 법

관찰자

입체시각에 이상이 없는 11명의 대학생이 본 연구에 참여하였다. 이들은 모두 나안이나 교정시력 0.8이상이었고 무선점 입체 그림에서 깊이를 정확히 지각할 수 있었다. 기존 Wu 등[9]의 자극으로부터도 오결합 현상을 전혀 보이지 않는 3명의 자료는 분석에서 제외되었다.

자극 및 장치

시각 자극은 1920 x 1200(60 Hz)의 해상도를 갖는 30인치 칼라 모니터에 무선점들이 움직이는 입체그림쌍(stereogram pairs)으로 제시되었다. 각 눈에는 기본적으로 Wu 등[9]의 연구에 사용된 자극과 유사한 자극이 제시되었다. 시각(visual angle)으로 7 x 3.5도의 직사각형 윈도우 내에 제시되었으며 이 중 중앙 영역은 3.5 x 3.5도의 크기였고 중앙영역 좌우의 주변영역은 중앙영역 크기의 절반인 1.75 x 3.5도이었다. 중앙과 주변영역의 경계부분 위쪽과 아래쪽에 3 x 21분 크기의 수직선이 제시되어 두 영역이 구별되도록 하였다. 중앙 영역에는 800개의 점들이 제시되었으며 이들 중 반은 빨간색이었으며 나머지 반은 빨간색과 동일한 밝기(32.5 cd/m^2)를 가지는 녹색이었으며, 모든 빨간색 점들은 위쪽으로, 모든 녹색 점들은 아래쪽으로 1.5°/초의 속도로 움직였다. 중앙 영역 좌우의 주변 영역들에는 중앙영역에

제시된 점 밀도와 동일하게 각각 400개의 점들이 위쪽 방향과 아래쪽 방향으로 움직였지만 각 운동 방향에 따른 점들의 색상 비율은 각각 100%에서 0%까지 25% 간격으로 변화되었다. 예를 들어 100% 조건에서는 중앙 영역과 동일한 조건으로 모든 빨간색 점들이 위쪽으로 모든 녹색 점들이 아래쪽으로 움직였다. 75% 조건에서는 빨간색 점들의 75%는 위쪽으로 25%는 아래쪽으로 움직였으며, 녹색 점의 75%는 아래쪽으로 25%는 위쪽으로 움직이는 조건이었다. 점들의 추적을 방지하기 위해 각 무선점들의 수명은 16 운동 프레임으로 고정되었고, 수명이 다한 점들은 무선적인 위치에서 새로 생성되는 다른 점들로 대체되었다. 또한 각 무선점들이 수명 내에서 자극 제시 윈도우의 경계를 넘어서게 되면 반대편 경계에서 다시 나타나도록 하였다. 특정색깔이 특정방향으로 움직이는 효과를 배제하기 위해 시행의 절반은 위에서 기술된 자극과 정반대의 자극으로 제시되었다. 즉, 중앙영역에 제시된 점들 중 빨간색들은 모두 아래방향으로, 녹색 점들은 모두 위 방향으로 운동하였고 주변 영역에 있는 점들의 운동방향에 따른 비율도 중앙영역에 제시된 점들의 운동방향에 따라 변화되었다.

중앙영역과 주변영역에 제시된 점들의 깊이차이에 따라 그림 1에 제시되어 있는 것과 같이 세 가지 조건이 만들어졌다. 점들의 깊이는 양안시차를 통해 조작되는데 0깊이(zero depth)에서는 중앙 영역에 제시된 점들의 양안시차를 0으로 조작하여 주변 영역에 제시된 점들과 동일한 깊이에 제시되도록 하였다. 근 깊이(near depth)와 원 깊이(far depth) 조건에서는 각각 중앙영역에 제시된 각 점들의 입체시 깊이를 주변영역에 제시된 점들보다 가깝거나 멀도록 조작하였으며 두 조건 모두에서 주변영역과 중앙영역에 제시된 점들의 양안 시차의 차이는 시각으로 6분으로 고정시켰다. 양안시차는 좌 우 영상을 깊이 조건에 따라 좌안영상을 왼쪽이나 오른쪽으로 3분, 우안영상을 오른쪽이나 왼쪽으로 3분 이동시켜 조작하였으며, 이동 후 비어있는 짝이 없는 영역(unpaired region)은 주변영역의 점들 조건에 해당되도록 무선점을 삽입하여 두 영역 사이에 물리적인 경계가 발생되지 않도록 하였다.

주변영역에 제시된 점들의 운동방향이 중앙영역에 제시된 점들의 운동방향에 의해 영향을 받는지를 확인하기 위해 중앙영역에는 점들이 제시되지 않은 통제조건을 포함시켜 실험 1에는 모두 네 조건이 포함되었다. 0깊이 조건과 통제조건은 입체 그림쌍으로 제시된 것을 제외하고 Wu 등[9]의 실험에 포함된 조건과 유사하였

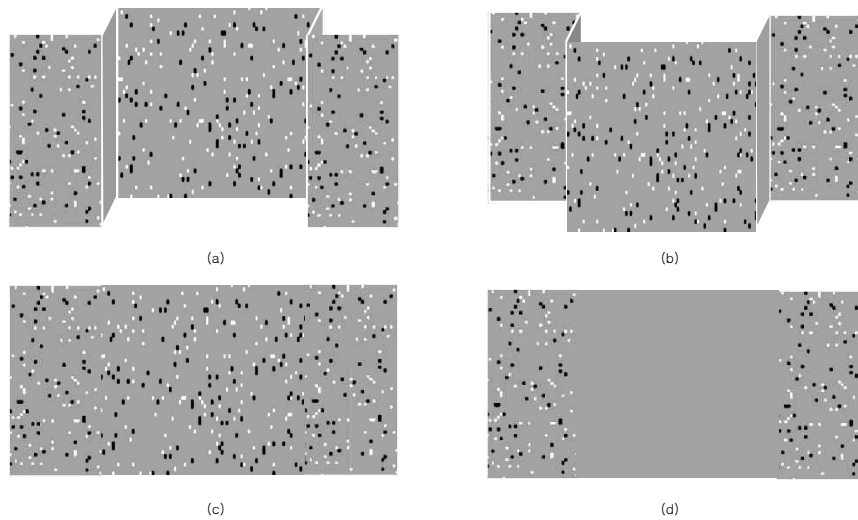


그림 1. 실험 1에 사용된 자극 조건들

검은색과 흰색 점은 각각 실제 빨간색 점과 녹색 점을 나타낸다. 중앙영역과 주변영역에 제시된 점들의 양안시차를 조작하여 중앙영역이 주변영역보다 들어가 있는 원 깊이 조건(a), 혹은 튀어나와 있는 근 깊이 조건(b), 그리고 동일한 깊이에 있는 0깊이 조건(c)으로 구분하였다. 그리고 전형적인 오결합을 확인하기 위해 중앙영역에 무선점들이 제시되지 않은 통제조건(d)을 실험에 포함시켰다.

다. 이들 두 조건의 실험결과를 비교함으로써 색채운동 오결합 현상이 본 실험에서도 발생되었는지를 확인할 수 있었다.

절차

관찰자들은 암실에서 거울형 입체경을 통해 150 cm 거리에서 자극을 보았다. 실험에 앞서 먼저 좌 우안에 제시된 응시점이 하나로 보이는 지를 확인한 후 필요한 경우 응시점이 하나로 보일 때까지 우안에 제시된 응시점의 위치를 조정하였다. 각 시행은 움직이는 무선점 그림의 첫 번째 프레임 자극 위에 십자형태의 응시점이 제시되는 것으로 시작되었다. 관찰자들이 응시점을 응시한 채 스페이스 바를 누르면 무선점들의 움직임이 시작되었으며, 3.5초 동안 운동자극이 지속되다가 응

시점으로 대치되었다. 관찰자들은 시행의 시작에서부터 운동 자극이 사라질 때까지 항상 응시점을 응시하도록 지시받았다. 각 관찰자들의 과제는 주변 영역에 있는 빨간색 점들의 운동 방향이 위쪽과 아래쪽 중 어느 쪽이 더 우세하게 지각되는지를 판단하는 것이었다.

주변영역과 중앙영역에 제시된 점들의 깊이조건(4: 통제조건, 원 깊이, 영 깊이, 근 깊이), 주변영역에서 운동하는 점들의 색깔 비(5수준), 중앙영역에 제시된 빨간 점들의 운동 방향(2 방향: 위쪽과 아래쪽)의 조합으로 만들어질 수 있는 40개의 실험조건이 네 번씩 반복되었으며 시행들의 무선화는 40개의 실험조건들이 무선적으로 선정되는 구획 내 무선화를 통해 구현되었다. 총 160회의 시행이 끝난 후 5분간의 휴식이 주어졌으며 동일한 방법으로 160회의 시행이 반복되었다. 중앙 영역에 제시된 빨간 점들의 운동방향에 따른 두 조건의 자료는 합쳐졌기 때문에 실험은 20개의 조건(깊이조건 4 x 색깔 비 5) 각각에 대해 모두 16번의 반복 시행으로 구성되었다.

결과 및 논의

관찰자들에게 중앙에 눈을 고정시키도록 요구했음에도 불구하고 주변 영역으로 눈을 돌려 반응을 하는 경우 오결합 현상이 발생하지 않을 가능성이 있다. 이러한 가능성이나 혹은 확인할 수 없는 다른 이유로 0깊이 조건에서 오결합 현상을 보이지 않는 3명의 관찰자의 자료를 분석에서 제외한 후 나머지 8명의 자료를 추후 분석에 사용하였다. 각 실험조건에서 빨간색 점들이 우세하게 위로 움직인다고 지각한 시행의 비율이 그림 2에 각 표면깊이 조건별로 제시되어 있다. 중앙에 점들이 제시되지 않은 통제조건의 경우 주변에 제시된 빨간색 점들이 위쪽으로 운동하는 비율에 따라 빨간색 점들이 위쪽으로 운동한다고 반응한 비율이 0%부근에서 100%부근에 이르기까지 체계적으로 증가하였다. 이와 달리 주변과 중앙영역의 깊이 차이가 없는 영 깊이 조건에서는 주변 영역에서 위쪽으로 움직이는 빨간색 점들이 전혀 없는 경우(0% 조건)에서도 시행의 약 40%에서는 빨간색 점들이 위쪽으로 움직이는 것으로 보고했으며, 이는 중앙 영역의 모든 빨간색 점들이 위쪽으로 움

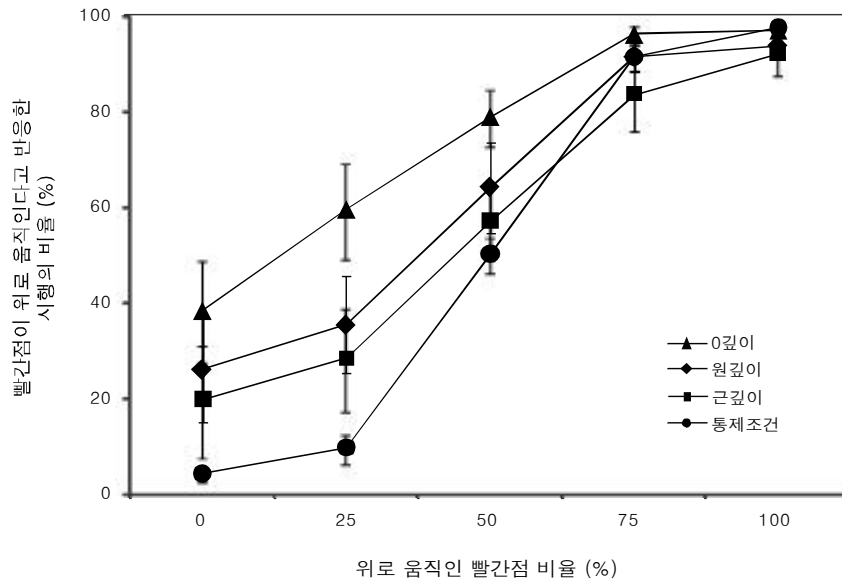


그림 2. 표면깊이 조건 각각에서 관찰자들이 빨간 점이 위로 움직이는 것이 우세하다고 반응한 시행의 비율이 주변영역에서 위로 움직인 빨간 점의 비율의 함수로 제시되어 있다.

직인 것에 의해 영향을 받은 결과로 전형적인 오결합 현상을 보여준다.

위로 움직이는 빨간색의 물리적인 비율에 따라 관찰자들의 반응이 체계적으로 바뀌는 통제조건과 비교해 볼 때, 오결합이 발생하는 경우에는 각 빨간 점의 비율 조건에서 빨간색이 위로 움직인다고 보고한 시행의 비율이 통제조건보다 더 높게 나올 것을 예상할 수 있다. 그러나 빨간색 점의 비율이 100%인 조건에서는 중앙영역의 영향과 무관하게 통제조건에서도 빨간색 점이 위로 움직인다고 보고한 시행의 비율이 100%에 가까울 때문에 서로 다른 표면깊이조건 모두에서 관찰자들의 반응은 100%에 가까울 것을 예상할 수 있다. 하지만 빨간 점의 비율이 낮아짐에 따라 빨간 점이 위로 움직인다고 보고한 시행의 비율은 오결합의 정도에 따라 차이가 날 것을 예상할 수 있다. 그 결과 특정 표면조건들 간에 오결합의 정도에서 차이가 발생된다면 표면조건 변인의 주 효과나 표면조건 변인과 빨간 점의 비율 변인사이에 유의한 상호작용을 예상할 수 있다.

본 연구의 주된 목적은 주변 영역과 중앙 영역의 표면 깊이가 다를 때에도 두

영역의 표면깊이가 동일할 때 관찰되는 오결합이 여전히 발생하는지, 혹은 중앙영역의 영향력이 전혀 없는 통제조건과 같이 오결합이 거의 발생하지 않는 지를 살펴보는 것이었다. 이를 위해 먼저 두 영역의 표면 깊이가 다른 두 조건(근 깊이 원 깊이 조건)에서 통제조건과 달리 오결합이 발생하는 지를 살펴보기 위해 세 가지 표면깊이 조건(근 깊이, 원 깊이, 통제조건)을 한 변인으로 그리고 빨간색 점의 비율을 또 다른 변인으로 하여 반복측정방안 변량분석을 실시하였다. 그 결과 표면 깊이가 변인과 빨간색 점의 비율 변인 간 상호작용이 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($F(8,56)=3.34, p < .01$). 이러한 결과는 그림 2에서 볼 수 있는 것과 같이 빨간 점의 물리적 비율이 낮아짐에 따라 표면 깊이 조건과 통제조건간의 차이가 나타났기 때문에 발생한 것으로 볼 수 있으며, 표면의 깊이가 다른 경우에도 통제조건과는 달리 중앙에 제시된 자극의 영향을 받아 색상 운동 오결합이 발생했음을 시사한다.

두 영역의 표면 깊이가 다를 때에도 오결합이 발생했음을 확인했지만 오결합의 정도가 표면깊이가 동일한 조건과 차이가 있는 지를 살펴보기 위해 이번에는 근 깊이, 원 깊이와 0깊이 조건만을 표면깊이 조건에 포함시키고, 빨간색 점의 비율을 두 번째 독립변인으로 삼아 반복측정방안 변량분석을 실시하였다. 전형적인 색상 운동 오결합을 보여주는 0깊이 조건보다 원 깊이나 근 깊이에서 관찰자들이 빨간 점이 위로 간다고 반응한 비율은 낮았으며($F(2,14)=8.85, p < .01$) 빨간 점들의 비율이 낮은 조건으로 갈수록 관찰자들의 반응은 더 떨어져 두 변인 간 상호작용도 유의하였다 ($F(8,56)=2.28, p < .05$). 요약하면 두 영역의 깊이가 다른 경우에도 오결합이 발생하지만 두 영역의 표면깊이가 동일한 0표면 조건과 비교해 볼 때 오결합의 정도는 약화되었음을 보여준다.

이러한 결과들은 양안시차에 의해 중앙영역과 주변영역이 구별되는 경우 삼차원 깊이 윤곽이 오결합 현상에 영향을 주는 것을 보여준다. 이는 색상정보와 같이 이차원 영상에서 추출될 수 있는 윤곽정보가 오결합에 영향을 미친다는 결과[15]와 일치할 뿐만 아니라 윤곽정보의 효과를 삼차원 윤곽으로 확대시킬 수 있음을 보여준다. 또한 오결합 자극에서 양안시차가 제공될 경우 더 이상 오결합이 발생되지 않는다는 결과[10]는 두 영역의 양안시차가 동일한 조건보다 차이가 있는 조건에서 오결합이 약화된다는 본 결과와 부분적으로는 일치하지만 오결합이 여전히 나

타났다는 측면에서 차이가 있다. 한 가지 가능성은 이형철의 연구에서 사용된 양안시차의 크기(6분에서 30분)가 본 연구에 사용된 양안시차보다 크거나 같아 양안시차의 효과가 더 강하게 나타나 오결합이 발생하지 않았을 가능성이 있다. 그러나 이러한 가능성보다 이형철의 연구에서 사용된 자극과 본 연구에 사용된 자극의 본질적인 차이에 의해서 두 연구결과의 차이가 발생했을 가능성이 있다. 즉, 이형철의 연구에서는 주변영역과 중앙영역에 제시된 점들의 양안시차를 조작한 것이 아니라 운동방향이 다른 점들의 양안시차를 조작했기 때문에 한 영역에서 두 개의 서로 다른 삼차원 깊이를 가진 표면이 존재하는 자극상황이었다. 이에 반해 본 연구에서는 주변영역과 중앙영역은 서로 다른 깊이를 가지지만 한 영역 내에서는 운동 투명으로 구별되는 표면들도 양안시차에 의한 깊이는 동일한 자극이었다. 따라서 본 연구에서 사용된 자극에서 주변영역의 점들 중 위로 움직이는 빨간색 점들의 비율은 변화되었지만 한 깊이 내에서 빨간색과 녹색 점들의 비율은 항상 동일하게 유지되었기 때문에 오결합의 가능성이 존재한다. 이에 반해 이형철의 연구(그의 연구 그림 6 참고)에서 사용된 자극에서 양안시차에 의해 구별되는 두 깊이 표면 중 한 표면만을 고려하면 주변영역의 빨간색 점의 비율이 변화됨에 따라 특정 깊이가 표면에 있는 빨간색 점의 비율 또한 변화되었기 때문에 오결합의 가능성이 훨씬 떨어질 수 있다. 운동 투명과 같은 자극에서 두 표면이 양안시차에 의해 분리된다면 각 표면들 간의 상호작용은 줄어들고 독립적으로 처리된다[19]는 점을 고려할 때 이형철의 자극은 전형적인 오결합자극과는 구별될 수 있는 자극으로 고려될 수 있다.

실험 2. 주변영역의 단일표면 여부에 따른 색깔 운동 오결합

실험 1에서는 특정 영역 내에서의 양안시차는 동일하게 고정된 채 중앙영역과 주변영역에 제시된 점들의 양안시차를 다르게 제시하여 두 영역이 양안시차에 의해 단일한 표면이 형성될 수 없도록 조작하였다. 본 실험에서는 양안시차의 표면 효과를 추가적으로 알아보기 위해서 주변영역의 양안시차를 일정범위 내에서 무작위로 제시하여 주변 영역이 부피감 있는 입체 형태로 지각되게 하여 두 영역이 단

일표면을 형성할 수 없도록 조작하였다. 실험 1에서와 동일하게 운동정보에 의해서 여전히 두 영역이 하나의 표면을 형성할 수 있었지만 양안시차에 의해서는 하나의 표면을 구성할 수 없는 자극이었다.

방 법

관찰자

실험 1에 참가한 8명이 실험 2에도 참가하였다.

자극 및 장치

실험 2에서 관찰자들은 실험 1과 유사한 실험 상황 하에서 자극을 보았다. 실험 자극 또한 주변영역에 제시된 점들의 양안시차가 일정 범위 내에서 무선적으로 제시되었다는 것을 제외하면 기본적으로 실험 1과 동일하였다. 즉, 자극이 제시된 영

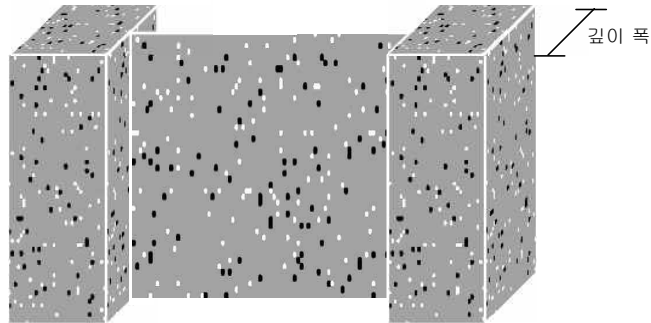


그림 3. 실험 2에 사용된 자극의 도식적 그림

검은색과 흰색 점은 각각 실제 빨간색 점과 녹색 점을 나타낸다. 주변영역에 제시된 점들의 양안시차의 범위를 0, 3, 6분으로 조작하였다. 0 표면은 주변영역이 중앙영역의 점들과 같이 단일한 양안시차를 가지는 조건이며, 3과 6분 조건에서는 주변영역에 제시된 점들의 양안시차가 각각 ± 3 , ± 6 분의 범위 내에서 무선적으로 선정되어 입체경으로 보면 부피감이 있는 입체로 지각되었다.

역의 크기, 점의 개수와 크기, 점의 색깔과 밝기 등은 실험 1과 동일하였다. 그림 3에 제시되어 있는 것과 같이 본 실험에서는 주변영역에 제시된 무선점들의 양안시차를 주어진 양안시차의 범위 내에서 무선적으로 할당하여 0시차, 3시차, 6시차 조건을 구성하였으며, 실험 1과 동일하게 중앙영역에 무선점들이 없는 통제조건이 포함되었다. 0 시차 조건의 자극은 실험1의 0 깊이 조건과 동일한 자극이 사용되었으며, 주변영역에 제시된 무선점들의 양안시차는 중앙영역에 제시된 점들의 양안시차인 0과 동일하였다. 3양안시차 조건에서는 주변영역에 제시된 점들의 양안시차는 시각으로 ± 3 분의 범위 내에서 무선적으로 선정되었다. 6 양안시차 조건도 이와 동일한 방법으로 조작되어 주변영역에 제시된 각 점들의 양안시차는 -6에서 6사이의 양안시차 범위 내에서 무선적으로 선정되었다. 이들 자극의 정지된 영상을 입체경으로 보았을 때 그림 3에 제시되어 있는 것과 같이 중앙영역은 단일 표면으로, 주변영역은 단일표면이 아니라 부피가 있는 두꺼운 입체 형태로 지각되었다.

절차

관찰거리, 기본적인 절차, 관찰자들의 과제는 실험 1과 모두 동일하였다. 주변영역에 제시된 점들의 양안시차 범위조건(4: 통제조건, 0 양안시차, 3양안시차, 6양안시차)과 주변영역에서 운동하는 점들의 색깔 비(5수준), 중앙영역에 제시된 빨간 점들의 운동 방향(2 방향: 위쪽과 아래쪽)의 조합으로 만들어질 수 있는 40개의 실험조건이 네 번씩 반복되었으며 시행들의 무선화는 40개의 실험조건들이 무선적으로 선정되는 구획 내 무선화를 통해 구현되었다. 160회의 시행이 끝난 후 필요에 따라 휴식이 주어졌고, 다시 160회의 시행을 반복하였다. 중앙영역에 제시된 빨간 점들의 운동방향에 따른 두 조건의 자료는 합쳐졌기 때문에 20개의 조건 각각은 16번씩 반복되어 실험 2는 총 320회의 시행으로 구성되어 있었다.

결과 및 논의

네 실험 조건 각각에서 주변영역에서 위로 움직이는 빨간색 점들의 비율에 따라 관찰자들이 빨간색 점들이 우세하게 위로 움직인다고 보고한 비율이 그림 4에 제시되어 있다. 실험 1에서와 같이 중앙에 점들이 제시되지 않은 통제조건에서 관찰자들이 빨간색 점들이 위로 우세하게 움직인다고 보고한 시행의 비율은 물리적으로 빨간색 점들이 위로 움직인 비율에 따라 변화되었고, 주변영역의 무선점들의 양안시차가 0으로 제시되어 중앙 표면과 동일한 깊이에 있는 조건에서는 빨간 점이 모두 내려가는 0% 조건에서도 시행의 약 40%는 빨간색 점들이 올라간다고 보고하여 색깔 운동 오결합이 발생했음을 보여주고 있다.

실험 1에서와 같이 주변영역과 중앙영역이 하나의 표면을 형성할 수 없을 때에도 중앙영역의 영향력이 전혀 없는 통제조건과 마찬가지로 오결합이 발생하지 않는 지를 살펴보기 위해서 통제조건을 포함한 3분 범위와 6분 범위 세 조건을 하나의 변인으로, 위로 움직인 빨간색 점의 비율을 두 번째 변인으로 삼아 반복 측정

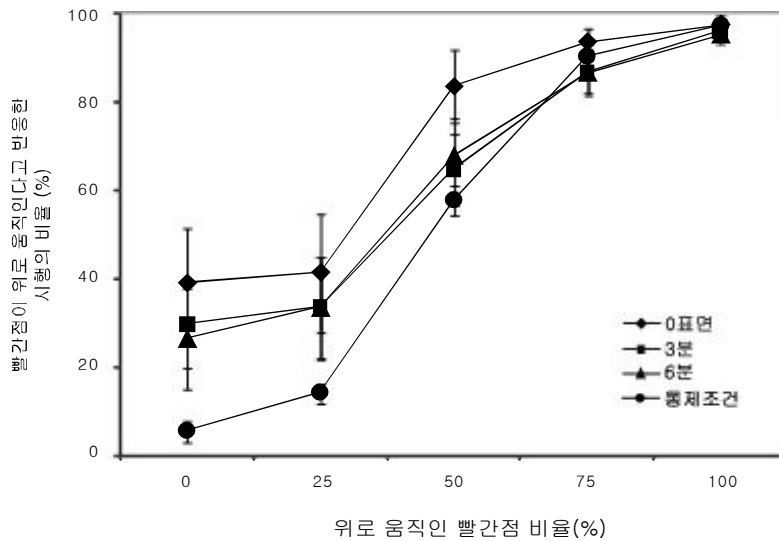


그림 4. 표면두께 조건 각각에서 관찰자들이 빨간 점이 위로 움직이는 것이 우세하다고 반응한 시행의 비율이 주변영역에서 위로 움직인 빨간 점의 비율의 함수로 제시되어 있다.

방안 변량분석을 하였다. 양안시차의 범위 변인의 주 효과는 유의하지 않았지만 두 변인 간 상호작용 효과는 유의하였다($F(8,56) = 2.96, p < .01$). 이러한 결과는 그림 4에서 보는 바와 같이 빨간색 점의 비율이 100%인 조건에서는 세 표면조건 모두에서 거의 100%에 가까운 비율로 빨간색 점이 위쪽으로 움직이는 것으로 보고한 반면, 0%나 25%조건과 같이 빨간 점의 비율이 물리적으로 낮은 수준에서는 표면 조건들 간에 관찰자들의 반응에서 큰 차이를 보였기 때문에 나타난 것으로 해석할 수 있다. 즉, 통제조건에서는 빨간색 점이 위로 움직인다고 보고한 비율이 아주 낮았지만 나머지 두 표면 조건에서는 30% 정도의 시행에서 빨간색 점이 위로 움직인다고 보고했다. 이러한 결과는 주변영역의 점들이 중앙영역과 동일한 표면이 아닌 경우에도 오결합이 발생한 것으로 해석될 수 있다.

주변영역의 점들이 중앙영역과 단일한 표면을 형성하지 못하는 조건(3범위와 6범위 조건들)들과 단일한 표면을 형성하는 조건(0 범위 조건) 간에 오결합 정도에서 차이가 있는 지를 살펴보기 위해서 이들 세 가지 표면깊이 범위조건(0범위, 3분 범위, 6분 범위 조건)을 한 변인으로, 위로 움직인 빨간색 점의 비율을 두 번째 변인으로 하여 반복측정방안 변량분석을 실시하였다. 그 결과 0범위 조건에서 빨간 점이 위로 움직인다고 반응한 비율이 전반적으로 3분이나 6분 범위조건에서의 반응 비율보다 높게 나타나 표면변인의 주 효과가 통계적으로 유의하게 나타났지만 ($F(2,14) = 7.64, p < .01$), 두 변인 간 상호작용은 유의하지 않았다. 이러한 결과는 중앙영역과 주변영역이 단일 표면이 아닌 경우 오결합의 정도는 단일표면인 경우보다 약화된 것을 보여준다.

그러나 그림에서 볼 수 있듯이 3분 시차와 6분 시차 조건 간에는 유의한 차이가 발견되지 않았다. 5도 부근의 주변시에서 융합(fusion) 가능한 양안 시차의 범위가 시각도로 15분임[20]을 고려할 때, 본 연구에 적용된 양안시차의 최대 크기가 작아 중앙표면과 주변 표면의 깊이차가 충분치 않았을 가능성을 배제할 순 없다. 그러나 응시 깊이를 기준으로 앞 뒤 대칭적으로 점들의 양안시차를 조작한 실험 2에서는 실험 1에서보다 두 배 큰 12분의 양안 시차가 주변 영역에 제공되었다는 사실을 고려할 때 단순히 본 연구에 사용된 양안시차의 크기가 충분하지 않았기 때문에 발생되었다고 보기는 어렵다. 이와 반대로 양안시차의 크기를 더 줄여나가면서 양안 시차에 의한 표면깊이와 오결합 정도를 비교해 봄으로써 표면들 사이의 깊이

효과를 체계적으로 살펴볼 수 있을 것으로 기대한다.

결론적으로 실험 2에서 얻어진 결과들은 실험 1에서 얻어진 결과와 유사한 것으로 양안시차 정보에 의해 중앙영역과 주변영역이 단일표면을 형성하지 못하는 경우에도 중앙영역으로부터 아무런 영향이 없어 오결합이 발생되지 않는 통제조건과는 달리 오결합이 발생됨을 확인하였다. 그러나 두 영역이 단일표면인 조건과 비교해 볼 때 오결합의 정도는 통계적으로 유의하게 약화됨을 발견하였다.

종합 논의

본 연구는 중앙 영역과 주변 영역이 양안 시차에 의해 단일한 하나의 표면을 형성할 수 없는 상황에서도 여전히 오결합이 발생하는 지를 살펴보았다. 주변영역을 중앙영역과 다른 깊이에 제시한 실험 1의 결과나 주변영역을 단일한 표면이 아니라 부피감 있는 입체 형태로 제시한 실험 2의 결과는 유사하게 나왔다. 즉 중앙영역에 어떤 자극도 제시되지 않은 통제조건과 비교해 볼 때 주변영역이 중앙영역과 단일 표면으로 지각되지 않는 상황에서도 여전히 오결합이 발생되었다. 그러나 그 정도는 단일 표면으로 지각되는 상황보다는 약화되는 것으로 나타났다. 본 연구에서의 기본적인 조작은 삼차원 깊이 차원에서 중앙영역과 주변영역이 단일한 표면을 형성할 수 있는지의 여부였다. 그러나 본 연구에 사용된 모든 자극은 운동 투명 자극으로서 운동정보에 의해서는 표면이 형성될 수 있는 자극이었다. 따라서 두 영역의 깊이가 동일한 조건에서는 운동정보와 양안시차에 의한 깊이정보 모두에서 단일한 표면을 이룰 수 있었던 반면, 두 영역의 깊이가 다른 조건은 운동정보만으로는 단일 표면을 형성할 수 있었지만 양안시차에 의한 깊이로는 단일 표면을 형성할 수 없는 조건이었다. 따라서 단일표면을 형성할 수 없는 경우 오결합의 정도가 약화된다는 본 실험의 결과는 양안시차에 의한 동일 표면 여부가 오결합에 영향을 미칠 수 있음을 보여준다. 또한 양안시차에 의해 단일표면을 형성할 수 없는 상황에서도, 비록 오결합의 정도는 약화되었지만 여전히 오결합이 발생되었다. 이러한 결과는 속성통합과정에서 운동정보에 의한 표면이 중요한 영향을 미친다는 연구 결과[14]와 일치한다.

또한 이러한 결과는 운동 정보와 양안시차 정보에 의한 표면 형성과정이 밀접하게 연관되어 있을 가능성을 시사한다. 실제 MT 영역에 있는 많은 신경세포들은 운동정보와 양안시차 정보 모두에 선별적일뿐만 아니라[21, 22], 운동정보에 의한 표면에 반응하는 동시에 양안시차 정보에 의해 표면에 대해서도 동등하게 반응한다.[23]

오결합 과정에서 운동정보에 의한 표면효과와 양안시차에 의한 표면효과의 상대적인 중요성이나 상호작용을 보다 구체적으로 이해하기 위해서는 주변영역에서 운동하는 점들의 깊이를 중앙에 제시된 점들과 동일하게 한 채 운동방향을 중앙영역과 다르게 제시하여(예를 들어, 45도 위, 아래 방향으로 운동하는 자극), 운동정보에서는 단일표면을 형성할 수 없지만 양안시차에 의한 깊이정보로는 단일표면을 형성할 수 있는 자극상황에서 오결합 과정을 연구해 볼 필요가 있다.

삼차원 깊이 차원에서 두 영역의 단일표면 여부는 두 눈의 정보가 수렴된 이후에 발생하는 정보이므로 각 눈에 제시된 단안 정보로는 구별할 수 없다. 따라서 오결합의 정도가 삼차원 깊이차원에서 단일표면 여부에 따라 변화된다는 사실은 시각정보의 처리 단계의 관점에서 볼 때 오결합 과정이 두 눈의 정보가 수렴된 이후에도 영향 받을 수 있음을 시사한다. 또한 망막 주변부의 해상도에 의한 애매성은 단안정보에 의해 결정된다는 점을 고려할 때 단안정보에서는 구별될 수 없는 각 표면조건들에서 오결합의 정도가 달라진다는 본 연구의 결과는 오결합이 망막 주변부에 제시된 자극처리의 애매성에 기초하고 있다는 설명[9]이 적절하지 않음을 시사한다.

본 연구는 오결합이 발생하는 과정 자체를 밝히려는 연구는 아니다. 하지만 오결합 현상과 관련될 수 있는 다른 시각적 현상들을 고려할 때 오결합 과정이 단순히 실험실에서 유도되는 아주 특이한 현상이라기보다는 표면형성과정과 해당 표면의 속성들이 결정되는 시각정보 처리의 일반적인 과정을 반영하고 있을 가능성이 매우 높다. 오결합 현상과 연관 지을 수 있는 또 다른 대표적인 현상은 운동정보에 의해 추출된 구조(structure from motion: SFM)와 관련된 연구이다. 예를 들어 실린더를 모사한 SFM 자극에서는 무선점들의 공간적 위치에 따라 운동 속도가 달라진다는 점을 제외하고는 운동 투명 상황과 아주 유사하다. 즉 서로 반대 방향으로 운동하는 무선점들로부터 각기 다른 깊이 표면을 형성한다[24, 25]. 예를 들어 좌

로 움직이는 점들은 전면 표면을 형성하고 우로 움직이는 점들은 후면 표면을 형성하면서 시계방향이나 반시계 방향으로 회전하는 것으로 지각되며, 이 자극을 지속적으로 관찰하면 간헐적으로 회전방향의 자발적 반전을 경험하게 된다[26, 25, 27]. 흥미로운 점은 SFM 자극으로부터 특정방향으로 회전하는 실린더를 지각하고 있을 때, 각 무선점들의 운동 방향을 물리적으로 반대로 바꾸는 경우에도 실린더의 지각된 회전방향이 바뀌지 않는다는 것이다[28]. 그들은 이러한 현상으로부터 우리의 시각기제는 각 개별적인 점들의 정보로부터 보간된 표면을 추출하지만 표면 형성이후의 단계에서는 개별적인 점들의 위치정보와 같은 속성정보가 더 이상 정확히 표상되지 않을 수 있음을 제안했다. 이와 유사하게 오결합 현상에서도 운동 투명에 의해 표면이 형성된 이후 주변영역에 있는 각 점들의 위치나 색깔 속성은 더 이상 유지되지 않기 때문에(즉, 어떤 점이 빨간 점인지), 색깔과 운동정보가 항상 균질적이고 응집적인 중앙영역에 제시된 점들의 영향을 받을 가능성이 있다.

참고문헌

- [1] Goodale, M. A., & Milner, D. A. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20 - 25.
- [2] Fellman, D. J., & Van Essen, D. C. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex*, 1, 1-47.
- [3] Livingstone, M. S., & Hubel, D. H. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, 240, 740-749.
- [4] Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior* (pp. 549-586). Cambridge, MA: The MIT Press.
- [5] Parker, A. J., & Newsome, W. T. (1998). Sense and the single neuron: probing the physiology of perception. *Annual Review of Neuroscience*, 21, 227 - 277.
- [6] Zeki, S. M. (1992). The visual image in mind and brain. *Scientific American*, 267, 68 - 76.

- [7] Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97 - 136.
- [8] Treisman, A., & Schmidt, H. (1982). Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology*, 14(1), 107-141.
- [9] Wu, D., Kanai, R., & Shimojo, S. (2004). Steady-state misbinding of color and motion. *Nature*, 429, 262.
- [10] 이형철 (2007). 색채-운동 속성 결합에서의 양안시차의 역할. *인지과학*, 18(1), 69-90.
- [11] Braddick, O. (1993). Segmentation versus integration in visual motion processing. *Trends in Neuroscience*, 16(7), 263 - 268.
- [12] Williams, D. W., & Sekuler, R. (1984). Coherent global motion percepts from stochastic local motions. *Vision Research*, 24, 55-62.
- [13] Qian, N., & Andersen, R. A. (1994). Transparent motion perception as detection of unbalanced motion signals. II. Physiology. *Journal of Neuroscience*, 14, 7367-7380.
- [14] Moradi, F., & Shimojo, S. (2004). Perceptual-binding and persistent surface segregation. *Vision Research*, 44, 2885-2899.
- [15] Kanai, R., Wu, D., Verstraten, F. A., & Shimojo, S. (2006). Discrete color filling beyond luminance gaps along perceptual surfaces. *Journal of Vision*, 6(12), 1380-1395.
- [16] Paradiso, M. A., & Nakayama, K. (1991). Brightness perception and filling-in. *Vision Research*, 31, 1221 - 1236.
- [17] Watanabe, T., & Cavanagh, P. (1991a). Texture and motion spreading, the aperture problem, and transparency. *Perception & Psychophysics*, 50, 459-464.
- [18] Julesz, B. (1971). *Foundations of cyclopean perception*. Chicago: Chicago University Press.
- [19] Bradley, D. C., Qian, N., & Andersen, R. A. (1995). Integration of motion and stereopsis in middle temporal cortical area of macaques. *Nature*, 373, 609 - 611.
- [20] Ogle, K. N. (1950). *Researches in Binocular Vision*, Philadelphia: Sanders.
- [21] Anzai, A., Ohzawa, I., & Freeman, R. D. (2001). Joint-encoding of motion and depth by visual cortical neurons: neural basis of the Pulfrich effect. *Nature neuroscience*, 4(5), 513 - 518.

- [22] DeAngelis, G. C., Cumming, B. G., & Newsome, W. T. (1998). Cortical area MT and the perception of stereoscopic depth. *Nature*, 394(6694), 677 - 680.
- [23] Bradley, D. C., Chang, G. C., & Andersen, R. A., (1998). Encoding of three-dimensional structure-from-motion by primate area MT neurons. *Nature*, 392, 714 - 717.
- [24] Andersen, G. J., & Braunstein, M. L. (1983). Dynamic occlusion in the perception of rotation in depth. *Perception & Psychophysics*, 34, 356-362.
- [25] Nawrot, M., & Blake, R. (1989). Neural integration of information specifying structure from stereopsis and motion. *Science*, 244, 716-718.
- [26] Johansson, G. (1964). Perception of motion and changing form. *Scandinavian Journal of Psychology*, 5, 181-208.
- [27] Nawrot, M., & Blake, R. (1991a). The interplay between stereopsis and structure from motion. *Perception & Psychophysics*, 49, 230-244.
- [28] Treue, S., Andersen, R. A., Ando, H., & Hildreth, E. C. (1995). Structure-from-motion: Perceptual Evidence for Surface interpolation. *Vision Research*, 35(1), 139-148.

1 차원고접수 : 2010. 1. 8
2 차원고접수 : 2010. 3. 4
최종게재승인 : 2010. 3. 4

(*Abstract*)

The effect of 3D surface configuration on color-motion misbinding

Keetaek Kham

Department of Psychology, Kangwon National University

If color and motion direction of random dots in the central region was combined in opposite fashions with those of random dots in the peripheral region, the color of dots with a particular direction in the peripheral region is perceived as that of dots in the central region, known as color-motion mis-binding phenomenon. In the present study, it is investigated whether mis-binding would happen even if the central and peripheral region do not have a common three-dimensional surface. In the first experiment, the dots in the peripheral were presented in a different depth plane with use of binocular disparity, and in the second experiment the disparity of dots in the peripheral region was randomly selected from a given range. The results showed that the magnitude of mis-binding was weakened, but not completely disappeared even when two regions did not have a common 3D surface. These results indicate that the surface information from motion and stereodepth may influence in the process of color-motion mis-binding.

Keywords : color-motion misbinding, three-dimensional surface, binocular disparity