

물체의 운동 방식이 대상의 3차원 구조 지각에 미치는 영향

손 원 영 · 정 우 현 · 정 찬 섭

연세대학교 심리학과

물체의 운동 방식에 따라 대상의 3차원 구조 지각이 어떻게 달라지는가를 알아보았다. 물체가 좌우나 전후 방향으로 평행운동할 때보다 물체 내의 수직축을 중심으로 회전운동할 때 그 물체의 표면에 있는 점들간의 상대적인 깊이가 더 잘 지각되었다. 이는 전후 또는 좌우 평행운동은 운동 중에 물체의 일부분만을 드러내지만 수직축 회전운동은 여러 각도에서 바라본 대상의 모습을 제공하여 관찰자의 시선이 우연시점(accidental view)에만 머물지 않도록 해주기 때문인 것으로 보인다. 회전운동의 경우에도 회전축에 따라 대상의 3차원 구조 지각이 달라질 수 있는 것으로 나타났다. 물체의 제한된 부분에 대한 정보만을 제공하는 깊이축에서 3차원 구조 지각이 가장 저조하였으며 수직축과 수평축보다는 대상의 여러 측면을 드러내는 조합축에서 대상의 구조가 더 잘 지각되었다. 물체가 대상의 여러 측면에 대한 정보를 제공하는 축을 중심으로 회전한다 해도 그 물체가 배경과 경계를 이루는 외곽선 정보가 제공되지 않으면 피험자들은 운동으로부터 대상의 3차원 구조를 정확히 지각하지 못했다. 운동 방식, 회전축, 외곽 정보가 대상의 3차원 구조 지각에 영향을 미친다는 본 연구의 결과는 대상의 3차원 구조가 운동 방식에 상관없이 복원될 수 있다는 Ullman(1979)의 모형이 수정될 필요가 있음을 시사한다.

운동 정보는 인간이 2차원 망막 영상으로부터 세상을 3차원으로 해석하는 데 중요한 단서를 제공해준다(Nakayama, 1985). Wallach과 O'Connell(1953)의 실험에서 피험자들은 2차원 화면에 투사된 운동하는 물체의 그림자만을 보고 이 그림자가 정지해 있을 때에는 알 수 없었던 대상의 3차원 구조를 정확히 지각할 수 있었으며 Rogers와 Graham(1979; 1982)은 무선점들이 각각 다른 속도로 운동할 때 이 점들로부터 3차원에서 깊이 차이를 가진 굴곡 있는 표면이 지각될 수 있다는 사실을 보여

주었다.

Ullman(1979)은 2차원 영상의 운동 정보를 통해서 대상의 3차원 구조를 복원하는 인간의 지각 과정에 대한 수리적인 모형을 제안했다. 그는 크기가 다른 투명한 두 원통(cylinder)의 표면에 점들을 찍고 이 원통이 회전하는 모습을 투사한 영상을 모사하여 컴퓨터 화면에 제시하였다. 두 원통의 회전축은 동일하였으며 컴퓨터 화면에는 원통의 외곽선 없이 점들만이 제시되었다. 피험자들은 컴퓨터 화면의 점들이 정지해 있을 때에는 특정한 형태를 가진

대상을 알아 볼 수 없었으나 점들이 운동하면 두 개의 원통을 분리해 낼 수 있을 뿐 아니라 원통의 정확한 형태도 알 수 있었다. 점들의 움직임만을 보고 물체의 3차원 구조를 복원하는 인간의 지각 과정에 대한 Ullman(1979)의 모형에서 대상의 3차원 구조가 계산되기 위해서는 두 가지 가정이 필요하다. 첫 번째 가정은 물체가 운동할 때 그 물체 본래의 형태가 변형되지 않아야 한다는 견고성(rigidity) 가정이고 두 번째 가정은 한 장면에서 임의의 한 점이 다음 장면의 어떤 점과 대응되어야 한다는 대응성 가정이다. 이러한 가정들이 만족된 상태에서 운동하는 대상의 3차원 구조가 복원되기 위해서는 한 물체 표면에 있는 넷 이상의 점을 셋 이상의 장면에서 본 좌표가 있어야 한다. 이 때 표면 위의 네 점은 동일 평면 위에 있지 않아야 한다. 그의 모형에서 대상의 3차원 구조를 복원하는 과정은 운동하는 점들의 2차원 위치 정보로부터 3차원 좌표를 계산해 내는 과정이다. 점들의 2차원 위치 정보란 대상에 평행한 빛을 투사(orthogonal projection)하여 얻어진 2차원 평면에서 물체 표면 위의 한 점을 원점으로 정했을 때 이 점에 대한 상대적인 좌표를 말한다. Ullman (1979)의 모형에서는 물체가 운동할 때 각 장면에서 구해진 개개 점들의 2차원 위치 정보와 장면 사이의 이동량을 가지고 점들의 3차원 공간에서의 좌표가 계산된다. 이렇게 구해진 개개 점들의 3차원 좌표는 다른 점들에 대한 상대적 좌표이므로 Ullman의 모형에서 파악되는 대상의 구조는 3차원 공간상에서 물체내 각 지점들간의 상대적인 거리를 말하며 물체의 실제 크기나 관찰자로부터의 거리를 의미하지는 않는다. 그의 모형이 세 장면, 네 점보다 더 많은 수의 장면과 점을 가진 실제 대상의 구조 파악에 적용될 때는 대상을 작은 영역으로 분할하여 국소 영역들의 구조가 계산되고 이 계산 결과들의 총합으로 전체 대상의 구조가 파악된다. Ullman (1979)의 이론은 인간이 운동 정보를

통해 3차원 구조를 파악하는 과정에 대해 비교적 간단하면서도 수리적으로 분명한 설명을 제공해 줌으로써(Marr, 1982) 기계시각에 적용될 때 많은 장점을 갖는다. 그러나 그의 이론은 운동하는 대상의 3차원 구조를 파악할 때 개개 점들의 2차원 위치 정보 이외의 정보들이 사용될 수 있는 가능성에 대해서는 고려하지 않았으며 그의 모형으로 설명될 수 없는 인간의 지각 현상이 있다는 점에서 비판받는다.

Ullman(1979)의 모형이 인간의 지각과정과 일치하지 않는다는 비판은 물체가 운동하는 방식에 따라 피험자들이 대상의 구조를 쉽게 파악하기도 하고 잘 파악하지 못하기도 한다는 연구 결과들로 뒷받침될 수 있다. Ullman (1979) 자신의 실험에서조차 원통이 회전하는 경우에는 피험자들이 원통의 모양을 쉽게 알 수 있었지만 원통이 회전하지 않고 멀어지기만 하면 점들이 전체적으로 수축한다는 느낌을 받을 뿐 원통의 모양을 알 수 없었다. Cornilleau-Pérés와 Droulez(1994)의 실험에서 피험자들은 물체가 회전운동할 때보다 좌우로 평행하게 운동할 때 대상의 3차원 구조를 지각하는데 더 어려움을 겪었다. 운동 방식에 대한 고려 없이 개별 점들의 2차원 위치 정보만을 사용하여 대상의 3차원 구조를 복원하는 Ullman의 모형에서는 한 물체가 다른 방식으로 운동하더라도 대상의 구조를 복원하는 계산 과정이 동일하므로 물체의 운동 방식에 따라 인간이 대상의 3차원 구조를 쉽게 파악하기도 하고 어려움을 겪기도 하는 현상을 설명할 수 없다. Cornilleau-Pérés와 Droulez (1994)는 물체가 회전할 때보다 평행운동할 때 대상의 3차원 구조를 파악하기가 더 어려운 이유를 물체의 운동 방식에 따라 관찰자의 눈 운동이 달라지기 때문이라고 설명했다. 그들의 주장에 따르면 제자리에서 회전운동하는 물체를 관찰할 때에는 눈이 많이 움직일 필요가 없지만 평행운동하는 물체를 관찰할 때에는 눈으로 좇아야 하기 때문에 대상을 놓치기 쉬

우므로 3차원 구조를 파악하는 것이 더 어렵다는 것이다. 그러나 물체가 관찰자의 시선 방향을 따라 멀어질 때 대상을 쫓아 눈이 많이 움직일 필요가 없었음에도 피험자들이 대상의 구조를 파악하지 못했다는 사실(Ullman, 1979)은 물체의 운동 방식에 따라 인간이 대상의 3차원 구조를 잘 파악하기도 하고 어려움을 느끼기도 하는 이유를 눈운동만으로는 설명할 수 없음을 의미한다.

물체가 어떻게 운동하는가에 따라 인간의 3차원 구조 지각이 달라지는 현상은 물체가 운동할 때 제공하는 정보의 측면에서 설명될 수 있다. Biederman(1985)은 대상의 3차원 구조를 특징짓는 기초적인 기하 요소(geon)를 많이 포함하고 있는 시점(view)에서 정지한 대상을 바라볼 때 3차원 구조를 더 쉽게 파악할 수 있으며 이러한 시점을 일반시점(generic view) 또는 비우연시점(non-accidental view)이라고 하였다. 일반시점과 반대되는 시점은 대상을 특징짓는 요소를 거의 포함하고 있지 않아서 대상의 형태를 잘 파악할 수 없는 우연시점(accidental view)이다. 우연시점은 일상 생활에서 발생할 확률이 매우 적지만 비우연시점은 일상 생활에서 발생할 확률이 높다. 그림 1은 한 대상을 바라볼 수 있는 모든 방향에서의 관점을 나타내주는 구 좌표계의 세 관점에서 육면체를 바라본 모습이다. 그림 1의 (가)는 육면체로 잘 지각되지만(나)와 (다)의 모습은 육면체의 일부로 쉽게 지각되지 않는다. (나)는 육면체의 일부이기보다는 평평한 사각형으로 지각되는 경향이 있으며 (다)는 보여지는 모습만으로는 육면체의 옆면인지 삼각기둥의 옆면인지가 분명하지 않다. 이는 (가)에 비해서 (나)와 (다)의 모습이 육면체를 이루는 기하적 요소들을 거의 포함하고 있지 않은 우연시점에 가깝기 때문이다. Kitazaki와 Shimojo(1996)에 의하면 일반시점은 관찰자의 작은 움직임에 따라 대상이 제공하는 정보가 크게 변하지 않는 관점이며 우연시점은 관찰자의

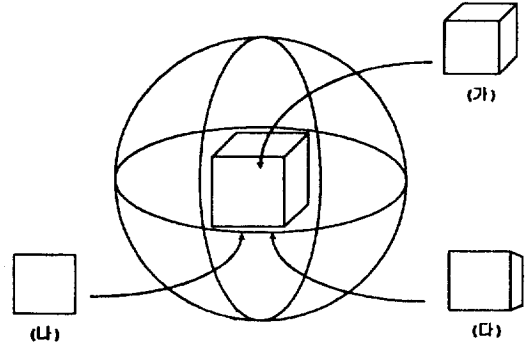


그림 1. 구좌표계로 표시한 관찰자의 시점. (가), (나), (다)는 관찰자의 시점이 화살표 끝에 있을 때 볼 수 있는 육면체의 모습들이다. Kitazaki와 Shimojo (1996)에서 인용, 수정하였음.

작은 움직임에 따라 대상이 제공하는 정보가 많이 달라지는 관점이라고 정의된다.

운동하는 물체가 시간이 지남에 따라 이전 시점에서는 보이지 않던 측면들을 드러내면 정지해 있을 때와는 달리 대상의 여러 측면들에 대한 다양한 정보가 제공된다. 관찰자가 우연시점에서 물체를 보고 있었다고 하더라도 물체가 운동하면서 보이지 않던 부분이 드러나면 관찰자는 물체의 더 많은 특징을 포함한 시점을 얻을 수 있다. 그러나 물체가 운동하더라도 계속 같은 면밖에 드러내지 않는다면 관찰자는 물체에 관한 추가적인 정보를 얻지 못해 3차원 구조를 파악하는 일이 어려워질 것이다. 물체가 회전운동할 때 관찰자는 시간이 지남에 따라 동일한 물체를 여러 각도에서 본 것과 유사한 정보를 얻을 수 있지만 물체가 평행운동할 때에는 물체를 제한된 각도에서만 볼 수 있다.

운동하는 물체의 표면에 있는 점들의 2차원 위치 정보만으로 대상의 3차원 구조를 계산하는 Ullman(1979)의 모형에서는 한 물체가 일정한 수의 점과 장면을 제공하면 운동 방식에 상관없이 언제나 동일한 계산과정을 거쳐 3차원 구조가 복원된다. 인간이 대상의 3차원 구조를 복원할 때 이와 같은 계산과정을 사용한

다면 일정한 수의 점과 장면이 제공될 때 각각 다른 방식으로 운동하는 동일 물체의 지각이 달라질 이유가 없다. 그러나 운동 방식에 따라 물체가 제공하는 정보가 달라진다면 물체의 운동 방식이 변화함에 따라 인간이 대상의 구조지각에 느끼는 어려움은 달라질 것이다. 운동하는 물체가 물체의 일부분만을 드러내어 제한된 부분에 관한 정보만을 제공한다면 대상의 구조를 파악하는 일은 어려운 것이며 운동 중에 많은 부분을 드러내어 다양한 정보를 제공한다면 관찰자의 시선이 우연시점에만 머물 확률이 줄어들고 대상의 구조를 지각하는 일은 쉬워질 것이다.

본 연구에서는 물체의 3차원 구조 지각이 대상의 운동 방식에 따라 달라질 수 있음을 보이고 그 원인을 규명하기 위하여 세 개의 실험을 수행하였다. 실험 1에서는 대상의 운동 방식에 따라 물체 표면 위에 있는 점들 사이의 상대적인 깊이 지각이 달라지는지를 알아보았다. 실험 2에서는 물체가 회전운동할 때 다른 정보를 제공하는 회전축들에 따라 점들 사이의 상대적인 깊이 지각이 달라지는지를 알아보았다. 실험 3에서는 Ullman이 가정했던 것처럼 운동의 대응성, 견고성 가정과 세 장면 네 점의 조건이 충족되면 한 물체 표면에 있는 점들간의 상대적인 깊이를 지각하는 것만으로 대상의 형태를 파악할 수 있는지를 물체의 외곽선 정보가 없는 조건에서 알아보았다.

실험 1: 물체의 운동 방식에 따른 점들간의 상대적인 깊이 지각

실험 1에서는 물체의 운동 방식에 따라 대상의 3차원 구조 지각이 어떻게 달라지는지를 장면 수와 점의 수를 변화시켜가면서 알아보았다. 운동 정보를 통한 대상의 3차원 구조 복원에 관한 기존 연구들(Ullman, 1979; Cornilleau-Pérès와 Droulez, 1994)에서 사용되

었던 회전운동과 좌우 평행운동, 전후 평행운동의 세 가지 운동 방식들이 비교되었다.

Ullman(1979)은 2차원 운동 정보로부터 대상을 이루는 점들간의 상대적인 깊이가 계산되어 대상의 3차원 구조가 파악된다고 보았으며 점들간의 상대적인 깊이가 계산되기 위해서는 최소한 세 개의 장면과 네 개의 점이 필요하다고 하였다. 실험 1에서는 점과 장면의 수가 Ullman의 최소 조건과 크게 다르지 않았기 때문에 점들간의 상대적인 깊이를 지각하는 과제를 사용하였다. 인간이 운동 정보로부터 대상의 3차원 구조를 복원할 때 Ullman (1979)의 모형에서처럼 개개 점들의 2차원 위치 정보만을 사용한다면 물체의 운동 방식이 달라지더라도 대상의 3차원 구조 지각은 동일할 것이며 물체 표면에 있는 점들간의 상대적인 깊이의 명확도 역시 동일하게 지각될 것이다. 만일 물체의 운동 방식에 따라 관찰자에게 제공되는 정보가 달라지고 이것이 대상의 3차원 구조 지각에 영향을 미친다면 운동 방식에 따라 점들의 상대적인 깊이 지각도 달라질 것이다.

방법

피험자. 연세대학교 심리학과에 재학중인 대학원생 다섯 명이 개별적으로 실험에 참가하였다. 이들은 교정 시력 0.8 이상의 정상 시력이었으며 일상 생활에서 운동 지각과 깊이 지각에 별다른 어려움을 겪지 않는다고 보고했다.

장치. 실험 자극의 제시와 피험자의 반응을 비롯한 모든 절차는 IBM 586 호환 개인용 컴퓨터를 통해 통제되었다. 자극은 1024 × 768의 해상도를 가진 17인치 칼라 모니터 상에 제시되었고 컴퓨터 자판을 통해 피험자의 반응이 수집되었다. 컴퓨터의 화면과 피험자간의 거리를 일정하게 유지시키기 위해 턱받이가 사용되었다. 제시된 실험 자극 이외의 다른 단안 단서들이 사용될 수 없도록 하기 위해 실험은 조명이 차단된 암실에서 실시되었다.

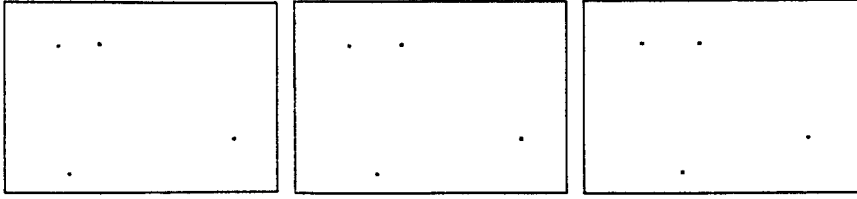


그림 2. 실험 1에 사용된 자극 예. 세 장면 네 점 조건에서 회전운동하는 점들이다. 좌측1이 첫 번째 장면이고 우측으로 갈수록 시간이 흐름에 따라 좌표가 달라진 점들이 나타나 있다. 실제 자극은 검은 배경에 흰색 점으로 표시되었다.

자극. 피험자의 눈과 화면 사이의 거리는 약 110cm였고 구 또는 정육면체의 표면에서 무선적으로 추출된 점들이 운동하는 모습을 모사한 것이 컴퓨터 화면에 자극으로 제시되었다. 자극을 이루는 점의 수와 장면 수가 변화함에 따라 물체의 운동 방식이 대상의 구조 지각에 미치는 영향이 달라지는가를 알아보기 위해 네 개, 여섯 개, 여덟 개의 세 가지 점의 종류와 세 장면, 다섯 장면, 일곱 장면의 세 가지 장면의 종류가 사용되었다. 이는 Ullman (1979)이 점들의 상대적인 깊이를 계산할 수 있는 최소 조건이라고 했던 세 장면 네 점에서 장면과 점의 수를 각각 두 개씩 증가시킨 것이다. 구의 지름과 정육면체의 한 모서리의 길이가 120화소(시각 $1^{\circ} 38'$)인 도형에서 추출된 점 하나의 크기는 시각 $1'$ 이었다. 자극이 나타나는 위치를 알려주기 위해 화면의 중앙에 가로 세로 각각 8화소(시각 $7' 28''$)인 흰색의 '+'가 응시점으로 제시되었다.

3차원 공간에서 물체가 움직이는 상황을 모사하기 위해 수평축, 수직축, 깊이축으로 이루어진 직각 좌표계에서 물체 표면에 있는 점들의 좌표를 설정하고 도형이 운동함에 따라 매 장면마다 변화된 새로운 좌표를 구하였다. 3차원 공간에 있는 각 점들의 좌표를 2차원의 컴퓨터 화면에 나타내기 위해 화면을 투영면으로 정하고 원근 투시 도법(perspective projection)에 따라 각 점의 2차원 좌표를 구하였다.

도형들이 3차원 공간에서 이동하는 양은 매 장면마다 동일했으며 이 거리가 2차원의 컴퓨터 화면에 투사되었을 때 장면간 최대 이동량은 0.5cm로, 이는 시각으로 환산하면 $15'$ 이었다. 자극이 2차원 컴퓨터 화면에 투사될 때 각 운동 조건에서 장면간 최대 이동량을 같도록 하여 망막에서의 이동 거리도 운동 조건 별로 동일하도록 통제하였다. 회전운동 조건에서는 물체가 수직축을 중심으로 시계의 반대 방향으로 회전하는 운동이 모사되었다. 좌우 평행 운동 조건에서는 왼쪽에서 오른쪽으로 운동하는 모습이 모사되었고 전후 평행운동에서는 관찰자를 향해 다가오는 운동이 모사되었다. 각 장면들의 제시 시간은 200ms였고 장면간 지연 시간은 없었다. 실제 자극의 예가 그림 2에 나타나 있다.

절차. 본시행은 총 216회로 구성되었으며 매 시행에서 세 종류의 운동이 두 개씩 쌍별로 제시되었다. 자극의 운동 조건과 도형의 종류, 점의 수, 장면 수 조건은 매 시행마다 완전히 무선적으로 제시되었다. 실험이 시작되면 피험자들은 컴퓨터 화면에 나타난 응시점을 바라보도록 지시를 받았다. 응시점이 제시되고 1000ms 후에 자극이 제시되었다. 첫 번째 자극이 사라진 후 다시 응시점이 제시되고 1000ms 후에 두 번째 자극이 제시되었다. 피험자의 과제는 차례로 제시된 두 개의 자극 중 어느 자극에서 점들간의 상대적인 깊이가 더 뚜렷하게 지각되는가를 선택하여 컴퓨터 자판에 미리 지

정된 자식을 눌러 반응하는 것이었다. 비교되는 두 자극은 점의 수와 장면 수, 도형의 종류에 있어서 동일한 자극들이었다. 자극들의 제시 순서 효과를 통제하기 위해 쌍을 이루는 두 자극 중 한 자극이 먼저 제시되는 횟수와 나중에 제시되는 횟수를 같도록 하였다. 피험자들이 한 시행에 대해 반응을 하면 바로 다음 시행이 시작되었다.

피험자들이 실험 절차에 익숙해질 수 있도록 본시행에 앞서 연습시행이 실시되었다. 연습시행에서 장면 수는 일곱 장면으로 고정되었으며 점의 수는 24부터 시작하여 시행이 진행됨에 따라 네 개씩 줄어들면서 여섯 쌍의 운동조건이 차례로 제시되었다. 피험자들은 스스로 과제에 충분히 익숙해졌다고 판단할 때까지 연습시행을 반복할 수 있었다. 연습시행에서와는 달리 본시행에서는 점의 수와 장면의 수가 무선적으로 변화될 것이라는 사실을 피험자에게 알려주었다.

결과 및 논의

실험 1에서 수집된 자료는 점들이 추출된 도형의 모양과 점의 수, 장면 수의 구별없이 세 운동 조건들에 대해 쌍별 비교에서 깊이가 더 뚜렷하게 지각된다고 선택된 빈도였다. 실험이 끝난 후 피험자가 실험 절차를 올바르게 이해했는지 확인하는 과정에서 한 명의 피험자가 지시문의 내용을 잘못 이해한 상태로 실험을 수행했다고 보고하였고 이 피험자의 자료는 결과 분석에서 제외되었다. 구해진 개별 피험자들의 측정치들을 평균하여 세 종류의 운동에 대해 반복측정 방안으로 일원 변량분석을 실시하였다. 분석 결과 세 가지 운동 방식에서의 주효과는 통계적으로 유의했다, $F_{(2,6)} = 8.62 (p < .05)$, $MS_e = 1048.75$. 세 가지 운동 방식의 평균차이를 Tukey의 HSD 방법에 따라 사후 분석한 결과 좌우 평행운동 (36.75 ± 34.94)과 전후 평행운동(53 ± 12.75)은

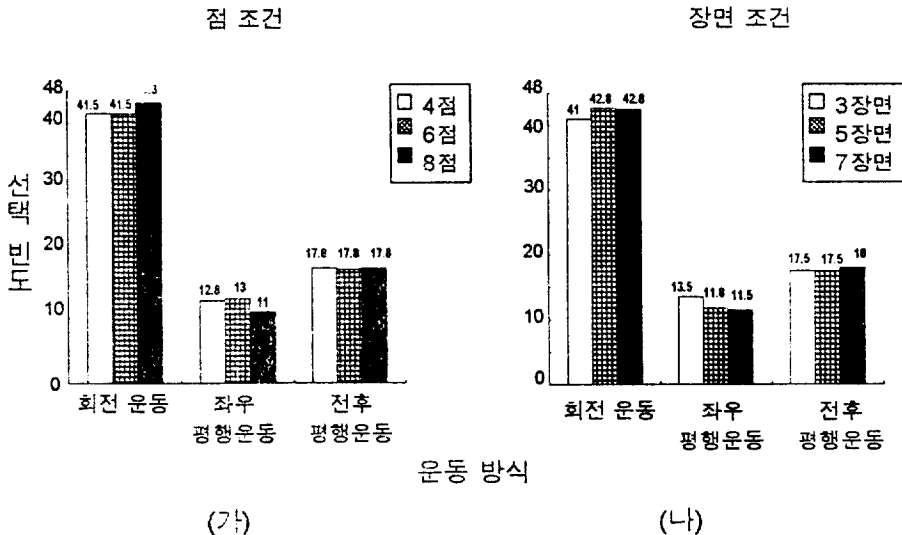


그림 3. 운동 방식에 따른 점들의 상대적인 깊이 지각. 수직축은 수평축의 운동 조건들이 선택된 빈도를 의미한다. 한 운동 조건에서의 빈도는 나머지 두 운동 조건들과의 쌍별 비교에서 해당 운동 조건의 자극이 선택된 빈도를 합한 것으로 한 운동 조건이 선택될 수 있는 최대 빈도는 48이다. (가)는 점의 수 조건이며 (나)는 장면 수 조건이다. 막대 위에 쓰여진 숫자는 각 조건에서의 평균 선택빈도를 나타낸다.

평균 선택 빈도에서 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았으나 이들 평행운동 조건과 회전운동 조건(126 ± 26.72)의 차이는 통계적으로 유의했다($p < .05$). 그림 3은 각 장면 조건과 점 조건에서 피험자 네 명이 세 가지의 운동 방식에 대해 반응한 평균 빈도를 도표로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 장면 수와 점의 수가 변화함에 따라 운동 방식에 따른 점들의 상대적인 깊이 지각은 거의 변화하지 않았다.

실험 1의 결과는 물체가 운동할 때 그 물체 표면 위에 있는 점들간의 상대적인 깊이 지각이 운동 방식에 따라서 달라진다는 사실을 보여 주며 모든 점의 수와 장면 수 조건에서 두 평행운동 조건들간에는 점들의 상대적인 깊이 지각이 거의 차이가 없으나 평행운동 조건보다 회전운동 조건에서 깊이가 더 뚜렷하게 지각되었다는 사실을 보여준다. 본 실험은 운동 정보를 통해 대상의 3차원 구조를 복원하는 인간의 지각 과정에 관한 기존의 연구들(Ullman, 1979; Cornilleau-Péres와 Droulez, 1994)과 피험자의 과제는 달랐지만 일치된 결과를 보여주었다. 기존 연구들에서 피험자의 과제는 대상이나 표면의 형태를 파악하는 것이었고 본 실험에서 피험자의 과제는 점들간의 상대적인 깊이를 지각하는 것이었다.

Ullman(1979)의 이론에서 주장한 것처럼 대상의 구조를 파악하기 위해서 각 점들의 2차원 위치 정보만이 사용된다면 대상의 운동 방식에 따라 점들의 상대적인 깊이 지각이 달라질 이유가 없다. 물체의 운동 방식에 따라 대상의 3차원 깊이 지각이 달라졌다는 사실은 개개 점들의 2차원 위치 정보만으로 대상의 3차원 구조가 계산될 수 있다는 Ullman의 모형이 인간의 지각 과정을 설명하기에는 부적절하며 대상의 구조를 지각하는 과정에 다른 정보들이 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

실험 2: 회전축 변화에 따른 점들간의 상대적인 깊이 지각

실험 1에서 운동 조건에 따라 대상의 상대적인 깊이 지각이 차이를 보인 이유는 물체의 운동 방식에 따라 관찰자가 대상에 관해 얻을 수 있는 정보가 달랐기 때문이라고 생각해 볼 수 있다. 좌우 또는 전후 평행운동하는 물체는 제한된 부분만을 드러내어 정지한 물체를 우연시점에서 바라볼 때 얻는 정보와 유사한 정보를 제공한다. 반면에 수직축을 중심으로 회전하는 물체는 여러 부분을 드러내어 정지한 대상을 각도가 다른 여러 시점에서 볼 때와 유사한 정보를 제공한다. 이 때문에 회전운동하는 대상의 3차원 구조가 좀더 용이하게 파악될 수 있으며 점들간의 상대적인 깊이가 더 뚜렷하게 지각되었다고 할 수 있다. 실험 2에서는 운동 방식에 따라 대상의 3차원 구조 지각이 달라지는 원인이 운동 방식 자체라기 보다는 각 운동 조건에서 제공되는 정보의 차이 때문인지를 알아보기 위하여 회전운동 조건만을 사용하였고 회전축을 변화시켜 대상이 운동할 때 제공되는 정보가 달라지도록 하였다. 물체가 운동 중에 여러 부분을 드러내어 물체에 대한 다양한 정보를 제공할수록 대상의 구조를 지각하는 일이 더 용이하다면 운동 중에 대상의 여러 부분을 드러내는 회전축 조건과 제한된 부분만을 드러내는 회전축 조건에서 점들의 상대적인 깊이 지각이 달라질 것이다.

방법

피험자. 연세대학교 심리학과에 재학중인 학부생 일곱 명이 개별적으로 실험에 참가하였다. 이들은 교정 시력 0.8 이상의 정상 시력이었으며 일상 생활에서 운동 지각과 깊이 지각에 별다른 어려움을 겪지 않는다고 보고했다.

장치. 장치는 실험 1과 동일하였다.

자극. 자극이 만들어진 방법은 실험 1에서와

동일하였으나 피험자들이 점들간의 상대적인 깊이를 쉽게 지각할 수 있도록 더 많은 수의 점과 장면이 사용되었다. 실험 1의 결과에서 점의 수와 장면의 수는 운동 방식 조건과 상호 작용하지 않는 것으로 나타났으므로 실험 2에서는 점의 수를 40, 장면의 수를 일곱 장면의 한 조건으로 고정시켰다. 자극의 운동 방식에는 회전운동만이 포함되었으며 서로 다른 일곱 개의 회전축들이 사용되었다. 자극들은 3차원의 직각 좌표계에서 일정한 좌표를 가진 물체의 표면에 있는 점들이 일곱 종류의 축을 따라 회전운동하는 모습을 모사한 것이었다. 일곱 종류의 회전축은 직각 좌표계의 세 축에 해당하는 수평(X), 수직(Y), 깊이(Z)축과 이 기본축들의 조합으로 이루어진 축들이었다. 조합축은 네 종류였으며 수평과 수직의 조합(X+Y), 수직과 깊이의 조합(Y+Z), 수평과 깊이의 조합(X+Z), 그리고 수평, 수직, 깊이의 조합(X+Y+Z)으로 이루어진 축들이었다. 조합축들은 각 축의 성분을 45° 씩 포함하고 있었다.

절차. 본시행은 총 168회로 구성되었으며 각 조건은 매 시행마다 완전히 무선적으로 제시

되었다. 자극은 일곱 종류의 회전축 조건이 두 개씩 쌍별로 제시된 것이었다. 그 밖의 나머지 실험 절차와 피험자 과제는 실험 1과 동일하였다. 본시행의 조건들 중 무선추출한 열 가지 조건들로 구성된 연습시행이 본시행 전에 실시되었다.

결과 및 논의

쌍별 비교에서 깊이가 더 뚜렷하다고 선택된 빈도를 피험자 7인에 대해 평균하여 도형의 구별 없이 일곱 가지 회전축에 대해 나타낸 것과 일곱 가지 회전축들을 다시 세 종류로 구분하고 이에 대한 평균 빈도를 도표로 나타낸 것이 그림 4에 제시되어 있다. 일곱가지의 회전축들은 운동 중에 물체의 제한된 부분만을 드러내는 깊이축 조건과 수평, 수직의 두 기본축 조건, 조합축 조건의 세 가지로 구분되었다. 각 조건별로 선택 빈도를 평균한 다음 이 세 조건에 대하여 반복 측정 방안으로 일원 변량분석을 실시하였다. 분석 결과 세 조건에 대한 주효과는 통계적으로 매우 유의했다,

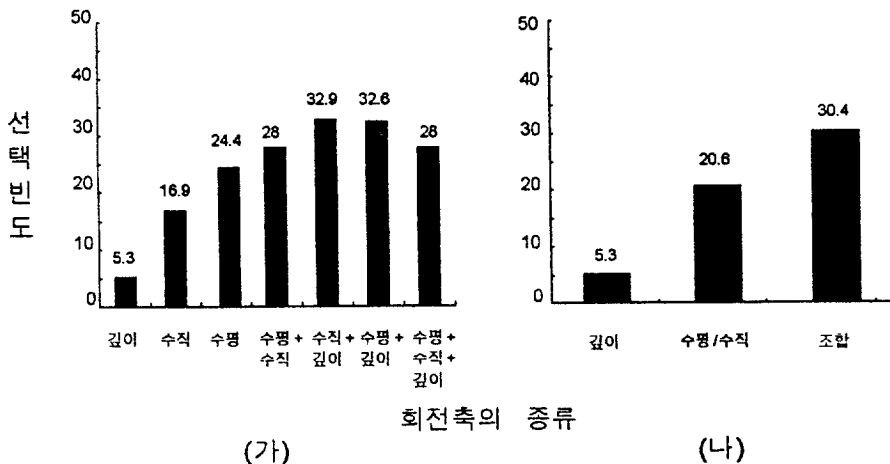


그림 4. 회전축 종류에 따른 대상의 깊이 지각. 수직축은 수평축에 표시된 각 회전축 조건에서 더 깊이가 뚜렷하게 지각된다고 선택된 빈도를 나타낸다. (가)는 일곱 개의 회전축 조건에 대한 선택 빈도이고 (나)는 일곱 가지 회전축을 세 가지의 조건으로 나누었을 때의 평균 선택 빈도이다. 막대 위에 쓰여진 숫자는 각 회전축 조건에서 피험자들의 선택 빈도를 평균한 값이다.

$F_{(2,12)} = 240.054 (p < .0001)$, $MS_e = 4.66$. 수준별 평균차이를 Scheffé의 방법에 따라 사후 분석한 결과 세 수준들간의 평균차이는 모두 통계적으로 유의했다 ($p < .05$). 깊이축 조건 (5.29 ± 1.25)과 다른 두 조건들은 평균 선택 빈도에서 통계적으로 유의한 차이가 있었으며 수평, 수직의 기본축 조건 (20.64 ± 2.61)과 조합축 조건 (30.36 ± 1.27)에서도 평균 선택 빈도의 차이는 통계적으로 유의했다. 같은 조건 내에서 회전축들간 평균 차이는 통계적으로 유의하지 않았다.

운동 중에 대상의 제한된 부분만을 드러내는 깊이축으로 회전할 때보다 다른 축으로 회전할 때 상대적으로 깊이가 더 뚜렷하게 지각되었다는 결과는 운동하는 물체가 정지해 있을 때에는 보이지 않던 부분을 드러내어 관찰자의 시선이 우연시점에서 벗어나게 될 때 대상의 구조를 더 쉽게 지각할 수 있다는 본 연구의 가설을 지지한다. 직각 좌표계의 기본축인 수평축과 수직축으로 회전했을 때보다 기본축들이 조합된 축을 따라 회전했을 때 점들간의 상대적인 깊이가 더 뚜렷하게 지각되었다는 결과는 운동 중에 물체의 제한된 부분만을 보이는 깊이축 회전운동을 제외한 나머지 회전운동들 중에서도 대상의 3차원 구조 파악을 더 용이하게 하는 회전축이 존재함을 암시한다. 한 물체의 구조를 더 쉽게 파악하도록 해 주는 회전축은 운동 중에 그 물체의 여러 부분을 드러내어 관찰자의 시선이 우연시점에만 머물지 않도록 해주는 축이다. 정육면체의 여섯 면 중 하나가 바닥에 접한 상태에서 수직축을 중심으로 회전한다면 관찰자는 육면체의 여섯 면 중 네 면에 대한 정보만을 얻게 된다. 그러나 이 육면체가 수직축과 수평축 성분이 절반씩 조합된 축을 따라 회전한다면 관찰자는 육면체의 여섯 면 모두에 관한 정보를 얻을 수 있다. 육면체의 경우에는 면을 통과하는 축보다 모서리를 통과하는 축을 따라 물체

가 회전할 때 물체의 여러 부분이 드러난다.

Biederman(1985)은 정지한 물체에 대해 일반시점과 우연시점을 구별하였고 Kitazaki와 Shimojo(1996)은 관찰자가 움직일 때의 일반시점과 우연시점에 대해 정의하였다. 본 연구의 결과는 물체가 운동할 때 일반시점을 제공하는지 또는 우연시점을 제공하는지에 따라 2차원 운동 정보로부터 대상의 3차원 구조를 복원하는 과정이 달라질 수 있음을 시사한다.

실험 3: 외곽선 정보가 제공되지 않았을 때의 운동 정보를 통한 대상의 형태 지각

실험 3에서는 대상의 외곽선 정보 없이 한 물체 내 점들간의 상대적인 깊이를 지각하는 것만으로 형태 파악이 가능한가를 알아 보기 위해 여덟 가지 회전축 조건에 대해 피험자들에게 회전운동하는 대상의 형태를 판단하도록 하였다. Ullman(1979)의 모형에서 주장하듯이 물체의 국소 영역에서 계산된 점들간의 상대적인 깊이 계산 결과가 합산되어 대상의 전체 구조가 지각될 수 있다면 대상 내 점들간의 상대적인 깊이 정보가 충분히 주어졌을 때 이 정보만으로 대상의 전체 형태를 판별하는 일이 가능할 것이며 회전축 조건들에 대하여 실험 2와 유사한 결과가 나올 것이다.

방법

피험자. 연세대학교 심리학과에 재학중인 대학원생 두 명과 학부생 한 명이 개별적으로 실험에 참가하였다. 이들은 교정 시력 0.8 이상의 정상 시력이었으며 일상 생활에서 운동 지각과 깊이 지각에 별다른 어려움을 겪지 않는다고 보고했다.

장치. 장치는 실험 1, 2와 동일하였다.

자극. 자극은 실험 1과 실험 2에서 사용된 방법과 동일한 과정으로 만들어졌으나 점들의

상대적인 깊이가 아닌 대상의 형태를 파악하기에 용이하도록 앞의 두 실험들에서보다 훨씬 더 많은 1200개의 점이 추출되었다. 외곽선 정보를 통제하지 않은 예비실험에서 1200개의 점들을 제시했을 때 피험자들은 대상의 형태를 쉽게 지각할 수 있었다. 점의 수가 많아짐에 따라 점들이 배경과 경계를 이루는 외곽선 정보에 의해 피험자들이 대상의 형태를 판단할 가능성을 배제하기 위하여 본 실험에서는 회색으로 이루어진 컴퓨터 화면 중앙에 검은색을 배경으로 하여 가로 세로 250화소(시각 3° 25')인 정사각형의 창을 통해 도형의 일부만이 제시되었다. 창을 통해 보이는 점들은 약 300개였다. 점들이 추출된 구의 지름과 육면체의 한 변의 길이는 500화소였고 이는 시각으로 환산하면 7° 44' 이었다. 도형의 크기가 커지고 점의 수가 많아진 대신에 점들은 더 작게 표현되었다(시각 56"). 자극의 제시 조건은 실험 2에서 사용된 일곱 가지 회전축에 물체가 운동하는 도중 회전축이 수평에서 수직으로 변화되는 조건이 하나 더 추가되어 여덟가지였다. 자극의 제시 장면 수는 열 장면으로 고정되었다.

절차. 본시행은 총 240회였으며 각 조건은 매 시행마다 완전히 무선적으로 제시되었다. 실험이 시작되면 피험자들은 컴퓨터 화면 중앙에 나타난 창을 바라보도록 지시를 받았고 1000ms 후에 자극이 제시되었다. 피험자의 과제는 창을 통해서 보이는 움직이는 점들이 구의 일부인지 아니면 정육면체의 일부인지를 판단하여 컴퓨터 자판에서 미리 지정된 자쇠를 눌러 반응하는 것이었다. 한 시행에 대해 반응을 하면 바로 다음 시행이 시작되었다. 연습시행에서는 본시행에 제시될 모든 종류의 조건이 제시되었으며 16회로 이루어져 있었다. 본시행 전에 피험자들에게 반드시 자극을 끝까지 보고 반응할 것과 시행 도중 눈이 피로하면 잠시 쉴 수 있다는 사항을 주지시켰다.

결과 및 논의

실험 3에서 수집된 자료는 여덟 가지 운동 조건에 대해 도형의 구별 없이 30번씩 반복 측정된 것으로 도형의 형태를 맞춘 평균 정반응률이었다. 이렇게 구해진 개별 피험자들의 측정치들을 평균하여 반복 측정 방안으로 여덟 개의 조건에 대해 일원 변량분석을 실시하였다. 변량분석 결과 여덟 가지 회전축 종류에 따른 정반응률의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 각각의 조건에서 정반응률은 우연수준에서 크게 벗어나지 않았으며 3인의 자료를 평균했을 때 정반응률이 60% 이상인 조건은 하나도 없었다. 실험 3의 결과를 여덟 가지 회전축 조건에 대해 세 명의 개인 자료와 이들의 평균값을 도표로 나타낸 것이 그림 5에 제시되어 있다.

실험 2에서 물체 내 점들간의 상대적인 깊이 지각이 가장 저조하였던 깊이축 조건과 깊이 지각이 가장 잘 되었던 조합축 조건간에 도형의 형태를 맞춘 정반응률이 거의 차이가 없었다는 결과는 인간이 대상 내 점들간의 상대적인 깊이를 잘 지각하더라도 외곽선 정보가 제공되지 않으면 대상의 형태를 파악할 수 없음을 의미한다. 실험 3의 결과는 인간이 한 물체 표면에 있는 점들의 상대적인 깊이 정보만으로는 대상의 전체 형태를 정확히 파악할 수 없음을 시사한다. 이는 물체의 국소 영역 구조를 계산한 결과가 합산되어 전체 대상의 구조 지각이 가능하다는 Ullman(1979)의 주장과는 대립된다. 본 실험의 결과로부터 물체가 운동할 때 한 물체내 각 지점들간의 상대적인 거리 지각은 구와 같이 완만한 표면을 가진 물체와 정육면체와 같이 각진 물체를 구분할 수 있을 정도로 정확하지 못함을 알 수 있다. 이는 물체의 형태를 더 정확히 지각할 수 있으려면 운동 정보를 통한 상대적인 깊이 정보 이외에 외곽선과 같은 다른 정보들이 추가적으로 필요하다는 것을 시사한다.

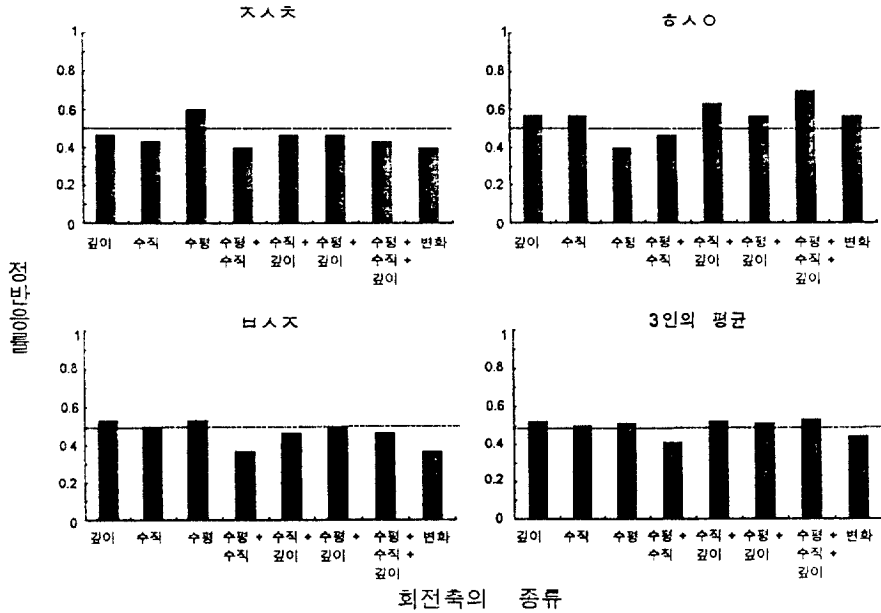


그림 5. 회전축 종류에 따른 대상의 형태 판별. 수직축은 수평축의 각 회전축 조건에서 도형의 형태를 맞춘 평균 정반응률이다. 위의 두 도표와 아래의 왼쪽 도표는 개인의 자료를 나타낸 것이고 아래의 오른쪽 도표는 세 명의 자료를 평균한 것이다. 점선은 정반응률 50%를 나타낸다.

종합 논의

본 연구의 결과들은 물체의 운동 방식에 따라 한 물체 표면 위에 있는 점들의 상대적인 깊이 지각이 달라질 수 있음을 보여 주었다. 이러한 결과는 물체의 운동 방식에 상관없이 개별 점들의 2차원 위치 정보만으로 대상의 3차원 구조를 복원할 수 있다는 Ullman(1979)의 모형이 인간의 지각 과정을 설명하기에는 부적절함을 의미한다.

운동하는 대상을 좇아 눈운동이 많이 발생하지 않도록 회전운동들만이 비교된 경우에 피험자들이 회전축 변화에 따라 물체 내 점들의 상대적인 깊이의 명확도를 다르게 지각했다는 결과는 대상의 운동 방식에 따라 3차원 구조 지각이 달라지는 이유를 Cornilleau-Pérès와 Droulez(1994)가 말한 눈운동의 차이만으로는 설명할 수 없음을 의미한다.

물체가 어떻게 운동하는가에 따라 인간의 3차원 구조 지각이 달라지는 현상은 물체의 운동 방식에 따라 제공되는 정보의 차이로 설명될 수 있다. 본 연구의 결과들은 운동하는 물체가 물체의 일부분만을 드러내어 제한된 부분에 관한 정보만을 제공할 때보다 많은 부분을 드러내어 다양한 정보를 제공할 때 관찰자의 시선이 우연시점에만 머물 확률이 줄어 들고 대상의 구조 파악이 더 용이해질 것이라는 가설을 지지한다. 일상 생활에 존재하는 물체들은 대부분 불투명하여 관찰자가 정지한 물체의 한 부분을 보고 있을 때에는 그 뒤에 가려진 다른 부분을 보지 못하지만 이 물체가 여러 부분을 드러내는 방식으로 운동하면 관찰자는 이전 시간에 보지 못했던 부분에 대한 정보를 얻게 된다. Ullman(1979)의 예와 본 실험에서 뒷면을 볼 수 있는 투명한 물체 위의 점들을 사용하여 모든 운동 조건에서 물체의

뒷면 정보를 사용할 수 있었음에도 피험자들은 대상에 관한 정보를 여러 각도에서 제공하는 운동에서 3차원 구조를 더 잘 지각했다. 이러한 결과는 인간의 시각 기제가 시간이 지남에 따라 물체의 다른 부분을 보고 이를 통해 대상의 모양을 파악하는 방법에 더 잘 조율되어 있을 가능성을 시사한다.

Ullman(1979)의 이론에 따르면 개개 점들의 위치 정보로 계산된 물체의 국소 영역 구조가 합산되어 전체 대상의 구조가 파악될 수 있다. 이러한 가설이 맞다면 한 물체의 상대적인 깊이에 관한 정보가 충분히 주어졌을 때 대상의 전체 구조가 파악될 수 있어야 한다. 그러나 본 연구에서 많은 점들을 통해 충분한 깊이 정보가 주어졌음에도 피험자들은 대상의 형태를 파악하지 못했다. 이는 한 물체의 표면을 이루는 점들의 운동속도 차이만으로 점들간의 상대적인 깊이를 지각할 수 있고 이로부터 대상의 표면 구조를 알 수 있었다는 기존 연구들(Rogers와 Graham, 1979, 1982 ; Ullman, 1979)과 일치하지 않는 결과이다. 이러한 차이점은 기존 연구들에서는 운동하는 점들이 배경과 경계를 이루는 외곽 정보가 대상의 구조를 파악하기 위한 참조틀의 역할을 할 수 있었음에 반해 본 연구에서는 외곽선이 제시되지 않아 참조틀의 역할을 하는 정보가 없었던 사실로 설명될 수 있다. 물체가 운동할 때는 매 순간 장면들이 변화하므로 한 순간의 운동 정보만으로는 대상의 3차원 구조를 파악할 수 없다. 장면 내 점들의 위상적(topographic) 관계는 여러 시간 차원에서 비교되기 위해 기억될 필요가 있는데 이 때 참조틀은 운동 정보의 기억에 영향을 줄 수 있는 것으로 보인다.

Schachter(1994)는 대상의 3차원 구조를 파악하는 과정에서 참조틀의 역할에 대해 강조하였다. 그는 흔히 볼 수 없는 도형들을 사용한 실험에서 물체의 전체 참조틀에 대한 정보가 변화됨에 따라 대상의 3차원 구조에 대한

기억이 달라질 수 있음을 보여주었다. 본 연구에서 물체 표면 위에 있는 점들간의 상대적인 깊이 정보만으로 대상의 형태를 파악할 수 없었다는 결과도 이런 점에서 볼 때 각 장면내 점들의 위상적인 관계를 기억하는 데 도움을 주는 참조틀이 제공되지 않았기 때문이라고 추론된다. Treue(1995) 등과 Ramachandran (1988) 등도 운동하는 점들과 배경이 이루는 경계선의 모양이 달라지면 피험자들이 동일한 대상의 구조를 다르게 지각한다는 것을 보고하고 있다. 기존의 연구와 본 연구 결과를 통합하면 운동하는 점들과 배경이 경계를 이루는 대상의 외곽선은 인간이 운동 정보로부터 대상의 3차원 구조를 파악할 때 여러 시간 차원에서 점들의 위상적 관계를 기억하는 데 큰 도움을 주는 것으로 결론지을 수 있다.

참고 문헌

- Biederman, I. (1985). Human image understanding: recent research and theory. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 32, 29-73.
- Cornilleau-Péres, V. & Droulez, J. (1994). The Visual Perception of Three-Dimensional Shape from Self-Motion and Object Motion. *Vision Research*, 34, 18, 2331-2336.
- Kitazaki, M. & Shimojo, S. (1996). 'Generic-view principle' for three-dimensional motion perception: optics and inverse optics of a moving straight bar. *Perception*, 25, 797- 814.
- Marr, D. (1982). *Vision*. New York: Freeman and Company.
- Nakayama, K. (1985). Biological image motion processing: a review. *Vision Research*, 25, 5, 625-660.
- Ramachandran, V. S., Cobb, S., & Rogers-Ramachandran, D. (1988). Perception of 3-D structure from motion: The role of velocity gradients and segmentation boundaries. *Perception & Psychophysics*, 44, 390-393.

- Rogers, B. & Graham, M. (1979). Motion Parallax as an independent cue for depth perception. *Perception, 8*, 125-134.
- Rogers, B. J. & Graham, M. (1982). Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception. *Vision Research, 22*, 261-270.
- Schachter, D. L. (1994). Priming and multiple memory systems: perceptual mechanisms of implicit memory. In Schachter, D. L. & Tulving, E.(Eds.). *Memory Systems 1994*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Treue, S., Anderson, R. A., Ando, H., & Hildreth, E. C. (1995). Structure-from-motion: perceptual evidence for surface interpolation. *Vision Research, 35, 1*, 139-148.
- Ullman, S. (1979). *The Interpretation of Visual Motion*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Wallach, H. & O'Connell, D. N. (1953). The kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology, 45*, 205-217.

The Effect of Different Types of Motion on the Perception of Three-dimensional Structure

Wonyeong Sohn, Woo Hyun Jung, and Chan Sup Chung

Department of Psychology, Yonsei University

The variation in the perception of three-dimensional structures due to different types of motion was investigated. The depth perception of points on surfaces of a rigid object was best when it was in vertical rotation. When the object was in translation (ie. sidewise or approaching motion), the effect was not as clear. Hence, an assumption could be derived that this difference in effects due to motion types resulted from the nature of display patterns, of which translation only reveals limited parts of an object while vertical rotation provides dimensions of the object viewed from diverse angles. In order to further investigate the effect of rotation in the perception of three-dimensional structures, the objects were rotated around the vertical, horizontal and depth axes, and their combinations. The perception of three-dimensional structure was poorest when the object was rotated around the axis of depth in which case only limited parts of the object could be seen. The structure was more easily perceived when the object was rotated around the combinations of axes rather than the vertical or the horizontal axis alone. However, even when the object was rotated around an axis which provided information from various angles, the subjects had difficulty in distinguishing its three-dimensional structure unless the outline was provided. These results imply that different motion types and outline information of a moving object affect the perception of three-dimensional structures.