

## 운동정보에 근거한 입체지각에서의 세부특징에 따른 다중 표면분리

이 형 철

광운대학교 산업심리학과

회전하는 투명한 3차원 원통체의 운동정보만 사용하여 이 원통체의 3차원 입체성을 모사할 수 있는데, 흥미롭게도 원통체의 회전방향 역전에 관한 물리적인 정보가 존재함에도 불구하고 피험자들은 원통체의 회전방향 역전을 잘 지각하지 못한다 (Treue, Andersen, Ando, & Hildreth, 1995; Li, 1996). Treue 등은 무선점들이 시각정보처리 과정에서 원통체의 표면을 구성 하는데 (surface-interpolation) 사용되고 난 이후에는 구성요소들의 국소적인 정보가 상실되며 따라서 국소적인 무선점들을 통하여 모사된 원통체의 회전방향 역전이 지각되지 않는다고 해석하였다. 본 연구의 목적은 국소적인 요소들에 의해 원통체의 표면이 재구성된 이후에도 문양들의 방위, 공간빈도 및 광도와 같은 구성 요소들의 특징이 여전히 표상 되는지를 검증하는 것이었다. 원통체의 앞면과 뒷면이 국소문양의 세부특징에 의해 분리되지 않았을 때에 비해, 분리되었을 때 피험자들은 원통체의 회전방향 역전을 더욱 잘 탐지하였다. 또한 원통체의 앞면과 뒷면이 분리되지 않았을 때 보다 분리되었을 때, 회전방향 역전에 관한 물리적인 정보는 존재하지 않고 단지 국소문양의 세부특징만이 서로 뒤바뀌는 것을 원통체가 회전방향을 역전하는 것으로 피험자들은 더욱 착각하여 지각하였다. 이러한 실험결과는 운동정보에 근거하여 3차원 입체특성을 표상하는 기체가 국소문양의 세부특징들에 민감하게 반응하며, 또한 시각정보처리 후기에 원통체의 앞뒷면들이 국소문양의 세부특징들로 명명될 가능성을 시사한다.

다른 많은 3차원 정보들이 모두 제거되고 대상의 운동정보만 남아 있어도 시지각 기체는 이 운동 정보에 근거해서 대상의 3차원성을 지각할 수 있는데 (Wallach & OConnell, 1953; Braunstein, 1962; Rogers & Graham, 1979; Todd, 1984; Ullman, 1984), 이를 운동정

보에 근거한 3차원 입체지각 (structure-from-motion) 이라고 한다. 3차원 입체지각 연구에 많이 사용되어온 자극들은 무선점으로 구성된 원통체 혹은 구 (sphere) 였는데, 이들은 주로 평행투사법(parallel projection)에 의해 모사되었다 (Braunstein, Andersen & Riefer, 1982;

---

이 논문은 1999년도 광운대학교 교내 학술연구비에 의하여 연구되었음. 세심한 심사를 해 준 익명의 세 분 심사위원에게 진심으로 감사드립니다.

교신저자 주소: 이형철, 서울시 노원구 월계동 광운대학교 산업심리학과, 〒 139-701

(e-mail: hyung@daisy.kwangwoon.ac.kr)

Andersen & Braunstein, 1983; Nawrot & Blake, 1989, 1991; Treue, Husain & Andersen, 1991; Treue, Andersen, Ando & Hildreth, 1995; Jiang, Pantle & Mark, 1998). 회전하는 투명한 원통체가 평행투사법에 의해 모사될 경우, 피험자들은 일정방향으로 회전하는 견고한 3차원 원통체를 지각하지만, 깊이정보가 모호하기에 앞면과 뒷면의 구분이 모호하며 따라서 원통체가 (운동하는 회전체의 위에서 보았을 때) 때로는 시계방향으로, 때로는 시계 반대 방향으로 회전하는 것으로 지각하게 된다. 실제로 피험자들은 평행투사법에 의해 모사된 원통체를 관찰 하는 동안 회전방향의 역전에 관한 정보가 물리적으로 존재하지 않음에도 불구하고 회전 방향이 가끔씩 저절로 역전하는 것으로 지각하는데 이를 ‘자발적 역전’ (spontaneous reversal) 이라고 한다 (Nawrot & Blake, 1989, 1991). 흥미롭게도, 최근의 연구에서 Treue 등과 (1995) Li (1996) 는 회전방향의 역전에 관한 정보가 물리적으로 존재 하여 회전방향의 역전을 지각하는 것이 기대되는 상황에서, 피험자들이 회전방향의 역전을 잘 지각하지 못함을 발견하였다. 회전방향 정보가 없음에도 불구하고 원통체가 가끔씩 회전방향을 역전하는 것으로 지각하는 자발적 역전에 비추어 볼 때, 회전 방향 역전 정보가 존재함에도 불구하고 이를 탐지하지 못하는 것은 다소 놀라운 일이다. 회전방향의 역전에 관한 정보가 없을 때에 때때로 회전방향의 역전(spontaneous-reversal)을 지각하는 피험자들이, 왜 회전방향의 역전에 관한 정보가 물리적으로 존재 할 때에, 회전방향의 역전을 제대로 지각하지 못할까? Treue 등은 무선점으로 구성된 원통체가 단순한 무선점들의 집합체로써 표상되기 보다는 3차원의 표면 (surface)으로 표상되기 때문에 이러한 현상이 일어난다고 보았다. Treue 등은 시각정보처리 과정에서 원통체의 표면이 표상되기 이전에 국소적인 점들 사이가 채워지는 과정 (surface interpolation) 혹은 표면구성 과정

을 가정하는데, 이 표면구성 과정에서는 국소적인 점들로부터 얻어진 깊이 및 위치정보가 유용하게 사용되지만, 일단 표면구성 과정이 끝나고 표면이 표상되면 더 이상 국소적인 점들의 정보가 표상되지 않는다고 보았다. 실제로, 독립된 실험에서 Treue등은 무선적인 점들로 구성된 원통체의 일부분이 국소적인 점들을 포함하고 있지 않았을 때에도 피험자들이 이를 잘 알아 차리지 못함을 보여 주었다. 물리적으로, 원통체의 회전방향 역전은 국소적인 점들의 운동방향을 역전시킴으로써 모사되는데, 만약 이러한 국소적인 점들의 정보가 회전방향 지각단계에서 제대로 표상되지 않는다면, 원통체의 회전방향 역전은 제대로 지각되지 못할 것이다. Treue 등은 원통체의 표면이 표상되면, 원통체를 구성하는 무선점들의 국소적인 점들이 더 이상 구체적으로 표상되지 않고, 따라서, 각각의 무선점들이 움직이는 방향을 역전하더라도 이를 전체 원통체의 회전방향 역전으로 지각하지 않는다고 주장하였다.

비록 Treue 등이 원통체를 구성하는 국소적인 요소들의 공간 배열이 구체적으로 표상되지 않는다는 것을 보여 주었지만, 과연 국소적인 요소들의 세부특징 (type of the feature)들이 표상 되는지 안되는지에 대한 문제는 여전히 남아있다. 예를 들자면, Treue 등이나 Li의 연구에 사용된 자극들과 달리, 만약 투명한 원통체의 앞면과 뒷면이 각기 다른 방위 (orientation), 공간빈도 (spacial frequency), 광도 (luminance), 색채 (colour) 혹은 크기 (size) 를 갖는 요소들로 구성되어 있을 때에도 피험자들이 원통체의 회전방향 역전을 지각하지 못할까? 다시 말해서 이러한 원통체의 앞면과 뒷면의 차이를 시지각 기제가 무시하고 회전방향의 역전을 표상하지 못할까?

Li와 Kingdom (1999)은 이러한 질문에 답하기 위하여 투명한 원통체의 두 면이 각기 다른 방위를 갖는 가보문양 (Gabor micropatterns)으로 구성된 경우와 두가지 방위를 갖는

가보문양의 조합으로 두 면이 동일하게 구성된 경우에 얼마나 원통체의 회전방향 역전을 잘 탐지해 내는지에 관한 연구를 보고 하였다. 이들에 의하면 피험자들은, 원통체의 두 면이 가보문양의 방위에 의해 분리되는 경우, 두 방위의 차이가 증가할수록, 회전방향 역전을 더욱 잘 탐지하였다. 하지만 두 면이 방위에 의해 분리되지 않는 경우, 면을 구성하는 가보문양의 방위 차이는 피험자의 수행에 전혀 영향을 미치지 못하였다.

투명한 원통체의 두 면이 각기 다른 방위를 갖는 문양으로 구성되어 있을 때 피험자들이 원통체의 회전방향 역전을 더욱 잘 탐지해 낸다는 실험결과는 운동정보에 근거하여 3차원 입체지각을 가능하게 하는 기제가 어떤 방식으로든 국소문양의 세부특징정보를 이용한다는 것을 뜻한다. 국소문양의 세부특징정보가 이용될 수 있는 방식에는 두 가지 가능성이 있다. 첫째 가능성은 국소문양의 세부특징정보가 시각각 정보처리 초기에 이용될 수 있다는 것이다. 표면 구성 이전에 국소문양의 세부특징에 따라 국소문양들이 군집화 (grouping) 되고 이후에 표면구성이 일어날 수 있는 것이다. 둘째 가능성은 국소문양의 세부특징정보가 정보처리 후기에 이용되는 것인데, 표면이 구성된 후 표면이 이를 구성하는 대표적인 국소문양의 세부특징들로 인지적으로 명명 (labeling) 될 수 있다는 것이다. 엄밀히 따져보면, Li와 Kingdom (1999)의 연구결과는 이 두 가지 가능성 모두에 의해 설명이 가능하다. 국소문양의 세부특징정보가 시각 정보처리 초기에 이용되던 후기에 이용되던 원통체의 두 면이 국소문양의 방위에 의해 분리되지 않은 경우에 비해 분리된 경우에 두 면이 지각적으로 더욱 구별되어 지각될 것이고 따라서 원통체의 회전방향 역전을 더욱 잘 탐지하게 될 것이다. 본 연구는 운동정보에 근거한 3차원 입체지각 기제가 시각 정보처리 후기에 국소문양의 세부특징정보를 이용할 가능성을 강력히 시사하

는 증거를 보여 주고자 한다. 만약, 원통체의 앞뒷면이 국소문양의 세부특징에 의해 분리되어 있다면, 그리고 시각기제가 원통체의 표면이 표상된 후, 원통체의 앞뒷면을 국소문양의 세부특징들로 인지적으로 명명한다면 (예를 들어, 앞면은 45도 방위 뒷면은 -45도 방위를 갖는 문양), 국소적인 문양의 운동방향은 그대로 유지한 채 물리적으로 국소적인 문양의 특징을 뒤바꾸면 (예들 들어 -45도는 45도로 45도는 -45로 뒤바꾸면), 피험자들은 이것을 원통체가 회전방향을 역전하는 것으로 착각하여 지각할 것이다. 하지만, 원통체의 앞뒷면이 국소문양의 세부특징에 의해 분리되지 않는다면, 원통체의 앞뒷면은 인지적 명명에서 차이가 나지 않을 것이며, 개개의 국소문양의 특징을 뒤바꾸어 주는 것은 피험자로 하여금 어떠한 착각도 일으키지 않을 것이다.

본 논문의 전반적인 구조는 다음과 같이 구성되어 있다. 첫째, 국소문양의 방위 이외에 공간빈도와 광도정보가 운동정보에 근거한 3차원 입체지각에 이용될 수 있는지를 알아볼 것이다. 이를 위해 원통체의 회전방향을 실제로 역전 시키고 국소문양의 세부특징에 따른 두 면의 비분리/분리 조건에서 피험자들이 얼마나 잘 회전방향 역전을 탐지하는지를 비교할 것이다. 둘째, 투명한 원통체가 동일한 방향으로 계속해서 회전하도록 하고 원통체의 두 면을 구성하는 국소문양의 세부특징들을 서로 뒤바꿀 때 피험자들이 얼마나 자주 이를 원통체가 회전방향을 역전하는 것으로 착각하여 지각하는지를 국소문양의 세부특징에 따른 두 표면의 비분리/분리 조건에서 비교해 볼 것이다. 셋째, 원통체의 회전방향 역전에 관한 물리적인 정보가 존재하지도 않고 두 면을 구성하는 국소문양의 세부특징들이 서로 뒤바뀌지도 않는 상태에서 피험자들이 얼마나 자주 회전방향 역전 (즉, 자발적인 역전)을 보고하는지를 비분리/분리 조건으로 구분지어 비교할 것이다.

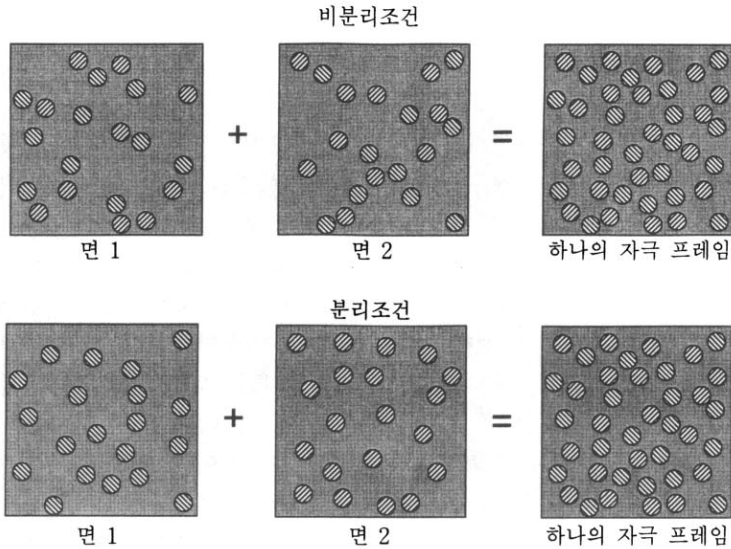


그림 1. 국소문양의 방위에 의해 투명한 원통체의 두 면이 비분리/분리 된 조건. 비분리 조건에서는 두 면 모두 -45도와 45도 방위를 갖는 문양으로 구성되었고, 분리조건에서는 한 면은 -45도 방위를 갖는 문양으로 다른 면은 45도 방위를 갖는 문양으로 구성되었다. 그러나 두 면이 겹쳐진 하나의 정지된 자극 프레임에서 두 조건은 구별되지 않는다.

본 연구는 투명한 원통체를 구성하는 가보 (Gabor) 혹은 가우시안 (Gaussian) 국소문양의 방위, 공간빈도 또는 광도를 조작함으로써 앞서 제기된 질문에 답하고자 한다. 원통체를 구성하는 기본 자극배열은 다음과 같다. 원통체의 앞면과 뒷면이 요소의 방위에 의해 분리될 때 (segregated condition), 한면은 -45도 방위를 갖는 문양들에 의해 그리고 다른 면은 45도 방위를 갖는 문양들에 의해 구성되었다. 반면, 원통체의 앞면과 뒷면이 문양들의 방위에 의해 분리되지 않을 때에는 (unsegregated condition), 양면모두 -45도와 45도의 방위를 갖는 문양들의 조합에 의해 구성되었다 (그림 1 참조). 만약 두 조건의 자극을 정지된 2차원 영상으로 보면 두 조건은 구별되지 않으며, 운동정보가 포함될 때에만 앞면과 뒷면의 차이

가 지각적으로 드러난다. 공간빈도 및 광도에 의한 실험조건도 이와 같은 방법으로 구성되었다. 세 명의 피험자가 실험에 참가하였으며, 이중 두 명은 실험가설을 알지 못한 순수 피험자였다. 각 실험에서는 국소문양의 세부특징에 의해 앞면과 뒷면이 분리되지 않는 조건과 분리되는 조건에서 피험자들이 원통체의 회전방향이 역전하는 것으로 지각한 횟수를 비교하였다.

## 방 법

자극은 PowerMac 8500/180에 의해 생성되어 17' NEC MultiSync XV 17+RGB 모니터에 제시되었다 (640H × 480V pixel resolution;

P22 phosphors; 120 Hz frame rate). 모니터의 비선형성은 각 주사기(gun)의 광도를 측정하여 선형화 되도록 바로 잡았다. 원통체를 구성하는 요소, 즉 가보(Gabor) 혹은 가우시안(Gaussian) 문양의 크기는 0.34도 이고, 배경의 광도는 7.7 cd/m<sup>2</sup> 이었다. 문양의 방위 및 공간빈도특징의 효과를 알아보기 위한 실험에서의 자극은 가보문양으로 구성되었고, 광도의 효과를 알아보기 위한 실험의 자극은 가우시안 문양으로 구성 되었는데, 밝은 가우시안 문양의 가장 밝은 곳의 광도는 15.1 cd/m<sup>2</sup> 이었고, 가장 어두운 곳의 광도는 7.7 cd/m<sup>2</sup> 이었다. 어두운 가우시안 문양의 가장 어두운 곳의 광도는 0.3 cd/m<sup>2</sup> 이었고 가장 밝은 곳의 광도는 7.7 cd/m<sup>2</sup> 이었다 (따라서, 밝은 가우시안 문양의 가장 밝은 곳의 광도와 어두운 가우시안 문양의 가장 어두운 곳의 광도를 기준으로 할 때, 배경과의 광도 대비 (Weber contrast)는 두 문양 모두 0.96 으로 동일하였다). 원통체는 선형조광 정보가 없는 평행투사법에 의해 구성되었으며, 원통체의 크기는 반지름 3.4도 그리고 높이 6.8도 였다. 각 프레임은 400개의 문양 (앞뒤면 각각 200개)으로 구성되었으며, 전체 프레임 수는 400개 였고, 각 프레임은 0.033 초 동안 제시되어 총 자극 제시시간은 13.32 초 였다. 각각의 구성문양은 0.067 초 동안 제시되었다 사라지고 (dot lifetime, 0.067 초) 무선적인 위치에 다시 나타나도록 하였다. 원통체의 앞면과 뒷면은 다음과 같은 문양의 세부특징에 따라 분리되거나 되지 않았다: (1) 문양의 방위 (-45도 vs 45도), (2) 문양의 공간빈도 (3.3 cycles/deg vs. 5.6 cycles/deg), (3) 문양의 광도 (밝음 vs. 어두움). 엄밀히 따지자면, 원통체는 한 면으로 구성되어 있고 따라서 특정 시점에서는 앞면과 뒷면이 나뉘어 지지만 회전을 하는 경우 앞면에 있는 자극이 뒷면으로, 뒷면에 있는 자극이 앞면으로 나오게 된다. 특히, 90도 회전하면, 앞면에 있던 문양의 반은 뒷면으로 나머지 반은 여전히

히 앞면에 남아 있게 된다. 본 연구에서는 문양의 세부특징에 따른 앞뒷면의 비분리/분리 조건에서의 지각경험을 탐색하기 위하여 첫 프레임에서 결정된 문양의 세부특징이 앞면에서 뒷면으로 혹은 뒷면에서 앞면으로 바뀌게 되면 (다시 말해서 국소적인 문양의 운동방향이 바뀌게 되면) 또 다른 특징으로 바뀌도록 조작하여, 원통체의 앞뒷면이 첫 프레임에서 문양의 세부특징에 따라 분리되었으면 마지막 프레임 까지도 이러한 분리가 유지 되도록 하였다. 피험자들은 모니터로부터 57 cm 떨어진 곳에서 우세한 눈 (dominant eye)으로 모니터에 나타난 자극을 보았으며 나머지 눈은 가려졌다. 피험자의 과제는 원통체의 회전 방향이 역전 하는 것으로 지각할 때마다 키보드의 특정 버튼을 누르는 것이었으며, 이들은 실험에 앞서 최대 수행 수준에 도달하도록 충분한 훈련을 받았다. 하나의 운동자극이 13.32 초 동안 제시된 후 약 5초가 지난 후에 새로운 운동 자극이 제시되었다. 동일조건의 자극은 한 실험블록에서 3회에 걸쳐 무선적으로 제시 되었으며, 각 블록은 세 번 반복되었다. 매 시행마다, 혹은 13.32초 동안 8번의 회전방향 역전과 관련된 정보가 제시 되었기에 각 조건마다 총 72회의 회전방향역전을 탐지할 기회가 있었으며, 실험 후에는 회전방향역전을 지각한 비율을 계산하였다. 세 가지 자극 (문양의 방위, 공간빈도와 광도의 조작에 의해 구성된 자극들)은 한 블록 내에서 무선적으로 뒤섞여서 제시되지 않고 각각의 독립적인 블록에서 제시되었다.

## 실험 1

실험 1에서는 자극이 제시되는 13.32초 동안 원통체의 회전방향이 8번 물리적으로 역전하도록 하였다. 다시 말해서, 원통체의 회전방향이 물리적으로 역전할 때, 왼쪽으로 움직이던

모든 요소들은 오른쪽으로 움직이도록, 그리고 오른쪽으로 움직이던 모든 요소들은 왼쪽으로 움직이도록 조작하였다. 주목해야 할 것은 이때, 요소들의 운동방향만 역전될 뿐 요소들의 세부특징 (type of the feature)은 그대로 유지된다는 것이다.

## 결과

그림 2에서 보듯 세 피험자 모두 원통체의 앞면과 뒷면이 문양들의 방위에 의해 분리되어 있지 않을 때 보다 분리되어 있을 때 원통체의 회전방향 역전을 더욱 잘 지각하였다 (21% (S.E. 5%) vs. 66% (S.E. 5%);  $F(1, 2) = 27.463, p < .05$ ). 다소의 차이는 있지만 이러한 반응패턴은 문양들의 다른 두 가지 세부특징 (공간빈도와 광도) 모두에서도 관찰되었다. 세 피험자 모두 일관되게 원통체의 앞/뒷면이 문양의 공간빈도에 의해 분리되지 않았을 때에 비해 분리 되었을 때 회전방향의 역전을 더욱 잘 탐지 하였다 (20% (S.E. 10%) vs. 90% (S.E. 7%);  $F(1, 2) = 53.727, p < .05$ ). 문양의 광도에 의해 앞/뒷면이 비분리/분리 된 조건에서도 비슷한 결과가 발견되었다 (23% (S.E. 6%) vs. 65% (S.E. 12%);  $F(1, 2) = 20.122, p < .05$ ).

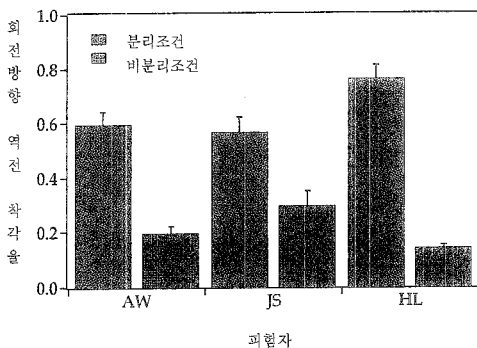


그림 2. 실험 1에서 문양의 결방향에 따른 비분리/분리 조건에서의 회전방향 역전 지각율

## 실험 2

실험 2는 문양의 세부특징 들이 시각정보처리 후기에도 표상되어 유용하게 사용되는지를 알아 보기 위해 설계되었다. 만약 원통체의 표면이 표상된 후 앞뒷면이 문양의 세부특징들로 명명된다면, 국소문양의 세부특징이 뒤바뀌는 것을 피험자들은 원통체가 회전방향을 역전하는 것으로 착각하여 지각할 것이다. 실험 1과 달리 실험 2에서는 원통체의 회전방향은 물리적으로 역전하지 않았다. 하지만 13.32초의 자극 제시 시간 동안 문양들의 특징이 8번 역전하도록 조작 하였다. 다시 말해서, 방위가 -45도이던 문양은 45도로 바뀌도록 하고 45도이던 것은 -45도로 바뀌도록 하였다. 마찬가지로 어두운 문양은 밝은 문양으로 밝은 문양은 어두운 문양으로 바뀌도록 하였으며, 공간빈도도 같은 방법으로 바뀌도록 조작하였다. 주목해야 할 것은, 문양들의 세부특징이 바뀔 때, 문양들의 운동방향은 그대로 유지 되도록 하였다. 즉, 실험 2에서는 원통체의 회전방향 역전에 대한 물리적인 정보가 존재하지 않았다. 피험자들의 과제는 실험 1에서와 마찬가지로 원통체의 회전방향이 역전한다고 지각할 때마다 키보드의 특정 버튼을 누르는 것이었다.

## 결과

그림 3은 원통체의 앞면과 뒷면이 문양의 방위에 의해 비분리/분리 된 조건에서 회전방향 역전에 관한 정보는 물리적으로 존재하지 않지만 13.32초 동안 8번 문양의 결방향이 서로 뒤바뀐 상태에서 얼마나 자주 원통체가 회전방향이 역전하는 것으로 착각하여 지각하였는지를 나타낸다. 세 피험자 모두 원통체의 앞면과 뒷면이 요소들의 세부특징으로 분리되어 있지 않을 때 보다 분리되어 있을 때 요소들의 세부특징이 역전하는 것을 원통체가 회전

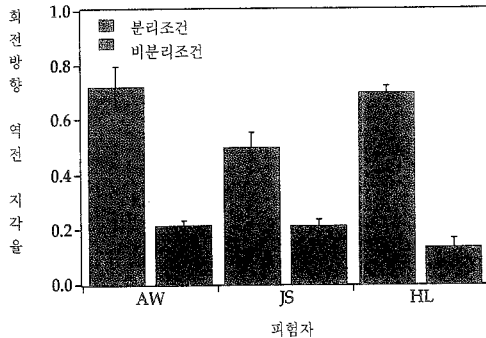


그림 3. 실험 2의 비분리/분리 조건에서 문양의 방위가 역전하는 것을 원통체의 회전방향 역전으로 착각하여 지각하는 비율.

방향을 역전하는 것으로 착각하여 지각하는 경향이 더욱 두드러 졌다 (19% (S.E. 3%) vs. 64% (S.E. 7%);  $F(1, 2) = 28.703, p < .05$ ). 다소의 차이는 있지만 이러한 반응패턴은 다른 두 가지 요소들의 세부특징 (공간빈도, 그리고 광도) 모두에서 관찰 되었다. 세 피험자 모두 일관되게, 원통체의 앞/뒷면이 문양의 공간빈도에 의해 비분리 되었을 때 보다 분리 되었을 때 원통체가 회전 방향을 역전하는 것으로 더욱 착각하여 지각하였다 (17% (S.E. 4%) vs. 77% (S.E. 8%);  $F(1, 2) = 37.416, p < .05$ ). 또한 원통체의 두면이 문양의 광도에 의해 비분리 되었을 때에 비하여 분리 되었을 때 세 피험자 모두 원통체의 회전방향이 역전 되는 것으로 더욱 착각하여 지각하였다 (28% (S.E. 9%) vs. 68% (S.E. 3%);  $F(1, 2) = 23.572, p < .05$ ).

### 실험 3

실험 3은 실험 1과 실험 2에 대한 통제실험으로써 수행되었다. 실험 1과 실험 2에서 피험자들은 비분리 조건보다 분리조건에서 원통체의 회전방향 역전을 더욱 잘 지각하거나 혹은

더욱 착각하여 원통체의 회전방향이 역전하는 것으로 지각하였다. 실험 1과 2의 이러한 결과를 보다 잘 이해하기 위해서는 회전방향의 역전이나 문양의 세부특징들의 역전에 관한 물리적인 정보가 없는 상태에서 얼마나 자발적인 역전이 일어나는 지를 비분리/분리조건에서 비교해 보아야 한다. 만약 회전방향이나 문양 특징의 역전에 관한 정보가 존재하지 않는 상태에서 피험자들이 비분리 조건보다 분리조건에서 자발적 역전을 더욱 많이 경험한다면 실험 1과 2의 결과는 단순히 비분리/분리 조건에서의 자발적 역전의 차이로 설명될 수 있기 때문이다.

실험 1에서는 매 시행 13.32 초 동안 투명한 원통체가 8번 물리적으로 회전방향을 역전하였으며, 실험 2에서는 매 시행 원통체는 동일한 방향으로 회전을 계속하고 실험 1에서와 같은 시간 간격으로 원통체의 두 면을 구성하는 국소문양의 세부특징들이 서로 뒤바뀌었다. 실험 3에서는 원통체의 회전방향은 매 시행, 시행초기의 회전방향이 지속되도록 하였으며 앞면과 뒷면을 구성하는 국소문양의 세부특징들도 뒤바뀌지 않았다. 다른 모든 실험 조건은 실험 1 및 2에서와 동일 하였다. 피험자들은 실험 1 및 실험 2에서와 마찬가지로 원통체가 회전방향을 역전하는 것으로 지각 할 때마다 키보드의 특정 버튼을 눌러 반응하도록 하였다. 본 실험에서 측정된 피험자의 회전방향 역전 지각율은 피험자들이 얼마나 자주 자발적 역전을 경험하는지를 나타내는 지표가 된다.

### 결과

그림 4는 원통체의 앞/뒷면이 문양의 방위에 의해 비분리 되었을 때와 분리되었을 때 자발적인 역전이 얼마나 자주 일어났는지를 나타낸다. 실험 1과 2의 회전방향 역전 지각율과 비교하기 위하여 자발적인 회전방향의 역전 지각수를 실험 1과 2에서 사용된 물리적인 역전정보 제시수, 즉 72 (매시행 8회 × 3회 반복

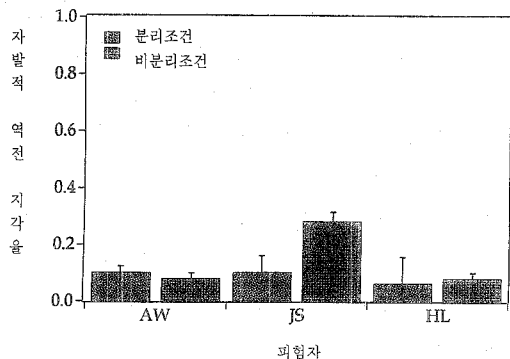


그림 4. 실험 3에서의 문양의 방위에 따른 비분리/분리 조건에서의 '자발적 역전' 지각율.

× 3블록 반복 = 72회 반복측정)로 나누어 주었다. 그림에서 1.0은 매시행 평균적으로 8번 자발적 역전이 일어났음을 나타낸다. 그림 4에서 보듯, 자발적 역전은 비분리 조건에서 보다 분리 조건에서 더 적게 관찰 되었으나 이 차이는 유의미 하지 않았다 (15% (S.E. 7%) vs. 9% (S.E. 1%);  $F(1, 2) = 0.924, p > .05$ ). 이러한 반응 패턴은 다른 두 가지 문양의 세부 특징들에서도 비슷하게 나타났다. 원통체의 두 면이 문양의 공간빈도에 의해 비분리 되었을 때 보다 분리 되었을 때 자발적 역전은 더 적게 관찰 되었으나 그 차이는 유의미 하지 않았다 (20% (S.E. 5%) vs. 4% (S.E. 2%);  $F(1, 2) = 7.344, p > .05$ ). 마찬가지로 원통체의 두 면이 문양의 광도에 의해 비분리 되었을 때에 비하여 분리 되었을 때 피험자들은 더 적게 자발적 역전을 보고 하였지만 이 차이 역시 유의미 하지 않았다 (20% (S.E. 5%) vs. 6% (S.E. 1%);  $F(1, 2) = 9.995, p > .05$ ).

## 논 의

실험 1에서 원통체의 앞면과 뒷면이 요소의 세부특징에 의해 분리될 때, 피험자들은 원통체의 회전 방향이 역전하는 것을 더욱 잘 탐

지 하였다. Treue 등 (1995)과 Hildreth 등 (1995)은 운동정보에 근거한 3차원 입체지각 과정에서 국소적인 요소들이 어떻게 표면 구성에 (surface interpolation) 이용되는지에 초점을 맞추었으며, 일단 표면구성에 국소적인 요소의 정보가 사용되고 나면, 더 이상 국소적인 요소가 표상 되지 않는다고 주장하였다. 하지만 실험 1의 결과는 운동정보에 근거해서 3차원 입체감을 표상하는 기체가 대상을 구성하는 요소들의 국소적인 공간배열에는 민감하지 않을지라도 표면을 구성하는 문양들의 세부특정 차이에는 민감하게 반응함을 의미하며, 이러한 실험 결과는 Li등(1999)의 실험 결과와 일치한다. 동시에 시각기체가 문양의 방위 뿐만 아니라 문양의 공간빈도와 광도에도 민감하게 반응하는 것으로 일반화 할 수 있다.

해결되어야 할 문제는 문양의 세부특징들이 시각정보 처리의 어느 단계에서 처리되고 이용되느냐 하는 점인데, 여기에는 두 가지 가능성이 있다. 먼저, 국소적인 요소의 세부특징들이 시각정보처리 초기인 표면구성시에 요소들의 군집화 요인 (grouping factor) 으로 사용될 가능성이 있다. 하지만 이것이 유일한 가능성일 수는 없으며 대안이 되는 가능성은, 표면이 구성된 뒤 각각의 표면이 구성 요소들의 대표적인 특징 (the type of the feature)에 의해 명명 (labeling; 원통체의 앞뒤면을 요소의 공통 특징으로 명명하기) 될 수 있다는 것이다.

실험 2에서 원통체의 두 면이 문양의 세부특징에 의해 분리되지 않았을 때 보다 분리 되었을 때 피험자들은 문양의 세부특징이 서로 뒤바뀌는 것을 원통체가 회전방향을 역전하는 것으로 더욱 착각하여 지각하였다. 이와 같은 실험 2의 결과는 앞서의 두 번째 가능성 (feature-labeling) 에 의해 더욱 잘 설명된다. 문양의 세부특징에 따라 문양들이 군집화 (grouping) 된다는 것은 단지 앞면과 뒷면이 잘 구분된다는 것은 설명할 수 있지만 왜 회전방향의 역전에 관한 물리적인 정보가 없는



데 문양의 세부특징이 역전할 때 마다 원통체가 회전방향을 역전하는 것으로 착각하여 지각하는지를 설명하지 못한다. 하지만, 구성된 표면이 문양의 세부특징에 의해 명명되면, 예를 들어, 앞면은 밝고, 뒷면은 어둡다 혹은 밝은 것은 앞면이고 어두운 것은 뒷면이다와 같이 주어진 자극이 표상 되면, 그리고 원통체의 앞면과 뒷면이 문양의 세부특징에 의해 구분되면, 문양의 세부특징을 역전 시키는 것은 구성된 표면에 대한 시각기체의 명명 자체는 바꾸지 않고 앞뒤표면의 운동 방향만 바꾸는 효과를 가져와 결국 원통체가 회전방향을 역전하는 것으로 착각하여 지각하게 된다.

중첩 (occlusion) 이나 양안 부등 (binocular disparity) 과 같은 정보가 평행투사법이나 네커큐브 (Necker Cube) 에서 발생하는 깊이정보에 대한 모호성을 제거해 준다는 많은 연구결과가 있다 (Braunstein, Andersen & Riefer, 1982; Andersen & Braunstein, 1983; Braunstein, Andersen, Rouse & Tittle, 1986; Doshier, Sperling & Worst, 1986). 특히 Doshier 등은 네커큐브를 구성하는 모서리 (edge)와 배경과의 광도대비 (luminance contrast) 정보가 (예를 들자면, 먼 거리에 있는 경우 낮은 광도 대비, 가까운 거리에 있는 경우 높은 광도 대비) 깊이 정보에 대한 모호성을 제공해 줄 수 있음을 보여 주었다. 하지만 본 연구에서 쓰인 밝은 문양과 어두운 문양의 배경과의 광도대비 (Weber contrast)는 모두 0.96 으로서 동일하였다. 비록 거리가 멀어질수록 높은 공간빈도 정보가 감소 하기 때문에 공간빈도가 깊이정보를 포함하고 있다고 볼 수 있지만, 문양의 방위와 본 연구에 사용된 광도 정보 자체는 거리정보와 무관하다. 따라서 앞서의 연구결과를 평행투사법에 의해 발생한 깊이정보에 대한 모호성이 제거되어서 나타난 효과로 설명하는 데에는 무리가 있다.

실험 3에서는 원통체의 두 면이 문양의 세부특징들에 의해 분리 되지 않았을 때 보다

분리 되었을 때, 통계적으로 유의미 하지는 않았지만 자발적인 역전이 조금 더 잘 관찰되었다. 피험자 수를 늘릴 경우 통계적 유의도는 증가할 것으로 기대 되는데, 실험 자발적인 역전이 비분리 조건에서 유의미하게 더욱 잘 관찰 되더라도 이는 실험 1과 2의 결과와 일관된 실험 결과라고 보여진다. 실험 3의 분리 조건에서 원통체의 앞뒷면은 각기 다른 문양특징들로 명명될 것이고 따라서 앞뒤 표면의 혼동은 적게 되며 결국 피험자들은 원통체가 동일한 방향으로 회전하는 것으로, 혹은 물리적인 정보와 일관되게 원통체의 회전방향을 지각할 것이다. 반면, 비분리 조건에서 원통체의 앞뒷면은 동일한 문양의 조합으로 구성되고 결국 같은 특징으로 명명되어 지각적으로 더욱 혼동될 것이고 따라서 회전방향 역전에 관한 물리적인 정보가 존재하지 않음에도 불구하고 피험자들은 때때로 원통체가 회전방향을 역전하는 것으로 (spontaneous reversal) 지각하게 될 것이다.

본 연구 결과는 시각기체, 특히 운동정보에 근거한 3차원 입체지각(SFM) 기체가 문양의 세부특징들에 민감하게 반응함을 시사하고, 또한 표면이 구성된 이후에 표면을 문양의 세부특징들로 명명할 가능성을 보여준다. 또한 본 연구에서 사용된 연구기법은 색채차이 혹은 고차적 특징 (higher-order features) 차이가 표면분리 지각에 이용되는지를 연구하는데 이용될 수 있을 뿐만 아니라 더 나아가 운동정보에 근거한 입체지각 기체의 특성을 보다 깊이 이해하는데 이용될 수 있다.

## 참 고 문 헌

- Andersen, G. J. & Braunstein, M. L. (1983). Dynamic occlusion in the perception of rotation in depth. *Perception & Psychophysics*, 34, 356-362.
- Braunstein, M. L. (1962). Depth perception in

- rotating dot patterns: Effects of numerosity and perspective. *Journal of Experimental Psychology*, *64*, 415-420.
- Braunstein, M. L., Andersen, G. J. & Riefer, D. M. (1982). The use of occlusion to resolve ambiguity in parallel projections. *Perception & Psychophysics*, *31*, 261-267.
- Braunstein, M. L., Andersen, G. J., Rouse, M. W. & Tittle, J. S. (1986). Recovering viewer-centered depth from disparity, occlusion, and velocity gradients. *Perception & Psychophysics*, *40*, 216-224.
- Dosher, B. A., Sperling, G. & Worst, S. A. (1986). Tradeoffs between stereopsis and proximity luminance covariance as determinants of perceived 3D structure. *Vision Research*, *26*, 973-990.
- Hildreth, E. C., Ando, H., Andersen, R. A. & Treue, S. (1995). Recovering three-dimensional structure from motion with surface reconstruction. *Vision Research*, *35*, 117-137.
- Jiang, Y., Pantle, A. J. & Mark, L. S. (1998). Visual inertia of rotating 3-D objects. *Perception & Psychophysics*, *60*, 275-286.
- Li, H.-C. O. (1996). *Direction perception of rotating 3-D cylinders*. Doctoral dissertation. University of Wisconsin, Madison.
- Li, H.-C. O. & Kingdom, F. A. A. (1999). Feature specific segmentation in perceived structure-from-motion. *Vision Research*, *39*, 881-886.
- Nawrot, M. & Blake, R. (1989). Neural integration of information specifying structure from stereopsis and motion. *Science*, *244*, 716-718.
- Nawrot, M. & Blake, R. (1991). The interplay between stereopsis and structure from motion. *Perception & Psychophysics*, *49*, 230-244.
- Rogers, B. J. & Graham, M. (1979). Motion parallax as an independent cue for depth perception. *Perception*, *8*, 125-134.
- Todd, J. T. (1984). The perception of three-dimensional structure from rigid and nonrigid motion. *Perception & Psychophysics*, *50*, 509-523.
- Treue, S., Andersen, R. A., Ando, H. & Hildreth, E. C. (1995). Structure-from-motion: Perceptual evidence for surface interpolation. *Vision Research*, *35*, 139-148.
- Treue, S., Husain, M. & Andersen, R. A. (1991). Human perception of structure from motion. *Vision Research*, *31*, 59-75.
- Ullman, S. (1984). Maximizing rigidity: the incremental recovery of 3-D structure from rigid and nonrigid motion. *Perception*, *13*, 255-274.
- Wallach, H. & O'Connell, D. N. (1953). The kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology*, *45*, 205-217.

## Feature Specific Surface Labeling in Perceived Structure-from-Motion

Hyung-Chul Li

Department of Industrial Psychology, Kwangwoon University

The compelling percept of three-dimensionality of a transparent rotating cylinder is attainable from the displays which are purely motion-defined. Interestingly, subjects rarely perceive the rotation direction reversals of the cylinder which are physically introduced (Treue, Andersen, Ando, & Hildreth, 1995; Li, 1996). Treue et al interpret this result as showing the possibility that the local feature information is not available any more after the surface interpolation occurs. To test this possibility, subjects performances of perceiving rotation reversals were compared in two different conditions: segregated condition vs. unsegregated condition. In the segregated condition, the front/back surfaces were segregated by the type of micropatterns (orientation, spatial frequency or luminance polarity), but they were not in the unsegregated condition. Subjects perceived much more rotation direction reversals in the segregated condition than in the unsegregated condition. When the rotation reversals were not physically introduced but the local feature types were exchanged, subjects perceived much more illusory rotation reversals in the segregated condition. These results imply that the visual system sensitively responds to the local feature types and the front/back surfaces of the cylinder are labeled by the type of micropatterns after the surface interpolation occurs.