

<관찰>

배경 패턴의 밀도에 의한 Pulfrich 효과에서의 깊이 변화*

감 기 택[†]

연세대학교 인지과학 연구소

김 선 아

연세대학교 심리학과

진자가 관찰자의 정면에 해당되는 가상의 평면 위에서 좌우로 흔들리고 있을 때, 빛의 강도를 감소시키는 필터(neutral density filter)를 한쪽 눈앞에만 둔 채 두 눈으로 진자를 바라보면 진자가 마치 깊이를 가진 타원의 궤도로 돌아가고 있는 것으로 지각된다. Pulfrich 효과라고 불리는 이 현상에서 진자의 물리적인 속도를 증가시키면 진자의 지각된 궤도의 폭은 깊이 차원에서 더 증가하는 것으로 나타나게 되는데, 본 연구에서는 진자의 지각된 속도에 의해서도 지각된 궤도의 폭이 증가하는 지를 살펴보았다. 물리적인 속도는 고정시킨 채 진자의 지각된 속도를 변화시키기 위해서 진자의 경로 배경에 무선점으로 이루어진 정지된 패턴을 제시하고 그 밀도를 조작하였다. 실험 결과는 패턴의 밀도가 증가할수록 지각된 경로의 깊이의 폭은 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 망막 혹은 공간상의 위치 정보로부터 Pulfrich 현상의 깊이를 계산하는 기존의 모형으로 설명되기 어려우며, Pulfrich 현상의 깊이는 운동 자극의 위치 정보가 산출된 후에 발생됨을 시사한다.

주제어 Pulfrich 현상, 배경 패턴의 밀도, 지각된 속도, 지각된 깊이

* 본 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의해서 연구되었음(KRF-2002-005-H20001).

본 논문의 세세한 부분까지 지적해 주신 심사위원께 감사드립니다.

[†] 교신저자 : 감 기 택, (120-749) 서울시 서대문구 신촌동 134, 연세대학교 인지과학연구소

E-mail : kham@yonsei.ac.kr

관찰자의 정면에 놓여있는 가상의 평면 위에서 진자가 좌우로 운동하고 있을 때, 한쪽 눈에만 빛의 강도를 감소시키는 필터(neutral density filter)를 낀 채 두 눈으로 진자를 바라보면 진자가 마치 타원으로 돌아가는 것으로 지각된다(그림 1의 (a)) (Pulfrich, 1922). Pulfrich 효과라고 불리는 이 현상에서 발생하는 깊이를 설명하는 여러 이론들은 공통적으로 밝기가 다른 두 영상의 처리 잠재 시간(latency)이 달라질 것을 가정하며, 이 차이로부터 Pulfrich 현상의 깊이가 산출된다

고 설명한다. 그림 1은 진자가 정면에서 오른쪽 방향으로 운동할 때 잠재 시간의 차이가 어떻게 깊이로 산출되는 지, 그리고 그 결과로 지각되는 경로가 어떻게 결정되는 지에 대한 공간적 위치차 이론(spatial offset theory)의 설명을 도식적으로 보여주고 있다.

그림 1의 (a)에서와 같이 진자가 왼쪽에서 오른쪽 방향으로 움직이고 있을 때, t_0 에서 진자의 물리적인 위치는 $t-1$ 보다 오른쪽에 놓여있게 된다. 따라서, 각 망막으로 투사되는 영상들의 위

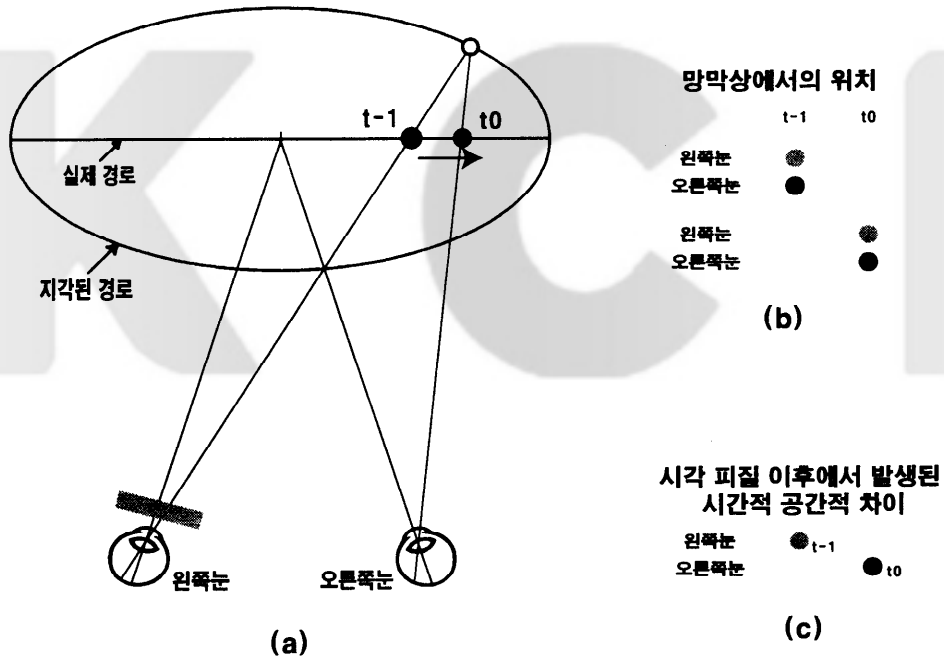


그림 1. Pulfrich 현상과 이에 대한 공간적 위치차 모형의 설명

(a)는 진자가 정면에서 왕복 운동을 할 때의 실제 경로와 지각된 경로가 기하학적으로 표시되어 있다. 특정 시간 $t-1$ 과 t_0 일 때의 진자의 실제 위치가 검은색 점으로 표시되어 있고, 각 눈에 투사된 밝기가 다른 영상들의 처리 속도 차이에 의한 공간적 위치 차이로부터 예상할 수 있는 진자의 지각된 위치가 흰 점으로 나타나 있다. (b)는 특정 시간 t_0 와 $t-1$ 에서 각 망막에 맺힌 영상의 위치를 나타낸다. 특정시간에 투사된 두 영상의 위치 차이는 없지만 왼쪽 눈에 투사된 영상(회색으로 표시되어 있음)의 밝기는 필터에 의해 오른쪽 영상보다 떨어진다. (c)는 시각 피질 혹은 그 이후에서 밝기가 다른 대상의 처리 속도 차이에 의해 동일 시간에 처리될 것이라고 생각되는 영상들의 공간적 위치 차이를 보여주고 있다.(자세한 내용은 본문을 볼 것).

치는 그림 1의 (b)에서와 같이 $t-1$ 에서보다 t_0 에서 오른쪽으로 옮겨가지만 주어진 시간에 각 망막으로 투사되는 영상들의 위치는 동일하다. 그러나 각 눈에 투사되는 영상의 밝기는 왼쪽 눈 앞에 제시된 필터에 의해 달라져 왼쪽 눈으로 투사되는 영상의 밝기는 오른쪽 눈에 투사되는 영상보다 어두워지게 된다. 그림에서 회색으로 표시된 영상은 밝기가 떨어진 것을 나타내고 있다. 공간적 위치차 이론의 가정과 같이 오른쪽 눈에 투사된 밝은 영상의 처리속도는 빠르고 왼쪽 눈에 투사된 어두운 영상의 처리속도는 느리다면, 시뇌 혹은 그 이후의 단계에서는 각기 다른 시간에 망막에 투사된 영상들이 동일 시간에 처리될 것을 예상할 수 있다. 즉, 그림 1의 (c)와 같이 t_0 시간에 오른쪽 눈에 제시된 영상과 $t-1$ 시간에 왼쪽 눈에 제시된 영상들이 동시에 처리될 것을 예상할 수 있는 데 이 상황은 마치 동일 시간에 망막의 각기 다른 위치에 투사된 즉, 양안 부등 (binocular disparity)이 있는 두 영상이 제시된 것과 동일하다. 공간적 위치차 이론에서는 특정 시간의 망막에는 양안 부등이 없는 자극이 제시되었지만, 밝기가 다른 영상의 처리 시간의 차이에 의해 양안 부등이 있는 자극과 유사하게 처리되기 때문에 깊이가 계산된다고 설명한다(Pulfrich, 1922).

Pulfrich 현상의 깊이를 설명하는 시간차 이론 (temporal delay theory)은 두 눈의 동일한 위치에 투사되는 영상의 시간차에 의해서 Pulfrich 현상의 깊이가 산출된다고 설명한다. 그림 2에 제시되어 있는 것과 같이 특정 지점(응시점)을 응시하고 있을 때 물체가 오른쪽으로 운동하는 경우 응시 표면보다 앞쪽에서 운동하는 대상은 $t-1$ 의 시점에서 왼쪽 눈의 중심와에, t_0 의 시점에서 오른쪽 눈의 중심와에 투사된다. 이와 반대로 응시 표면보다 뒤에서 운동하는 대상의 영상은 t_0 시

점에서 오른쪽 눈의 중심와에, $t-1$ 시점에서 왼쪽 눈의 중심와에 투사된다. 두 망막의 동일한 영역을 다른 시간에 걸쳐 투사되는 영상의 깊이를 처리하는 기제가 있다면 부등 정보를 추출하지 않고도 시간차에 의해서 Pulfrich 진자의 깊이를 계산할 수 있다. 시간차 이론도 공간적 위치차 이론과 유사하게 밝은 영상과 어두운 영상이 처리되는 잠재 시간의 차이가 날 것을 가정하고 있지만, 망막의 다른 영역에 투사된 영상들의 양안 부등을 계산하여 Pulfrich 깊이가 산출될 것이라고 주장하는 공간적 위치차 이론과는 달리 시간차 이론에서는 망막의 동일 영역에 투사된 영상들의 시간 차이를 탐지하는 기제로부터 직접 깊이가 계산될 것을 가정한다(Ross, 1974; Burr & Ross, 1979). 그림 2에서 움직이는 대상의 속도가 고정되어 있다면 응시 표면으로부터의 깊이가 증가함에 따라 시간 차이가 증가될 것을 예상할 수 있다. 그러나 운동하는 대상의 속도는 가변적이므로 운동하는 대상의 운동 방향과 속도에 대한 구체적인 기제 없이는 시간차 이론은 Pulfrich 현상에서 발생하는 깊이를 설명하는 데 제한적이다.

Pulfrich 현상에서 지각되는 진자의 경로는 여러 매개 변수들에 의해서 달라진다. 예를 들어 각 눈에 제시된 영상의 밝기차가 클수록(Lit, 1949), 진자의 속도가 빨라질수록(Lit, 1960) 지각되는 경로는 깊이 방향으로 더 큰 폭을 가진다. 공간적 위치차 이론에 따르면 영상의 밝기차가 커지면 두 영상의 처리 시간 차이는 더 커지게 되며, 동일한 속도하에서 같은 시간에 처리되는 영상들 간의 망막상의 위치 차이는 커질 것을 예상된다. 즉, 그림 1의 (c)에서 t_0 에 제시된 영상과 동일 시간에 처리되는 영상은 $t-1$ 보다도 더 빨리 제시된 영상(예를 들어 $t-2$)이 될 것이다. 따라서 동일 시간에 처리되는 두 영상의 위치 차이는 더

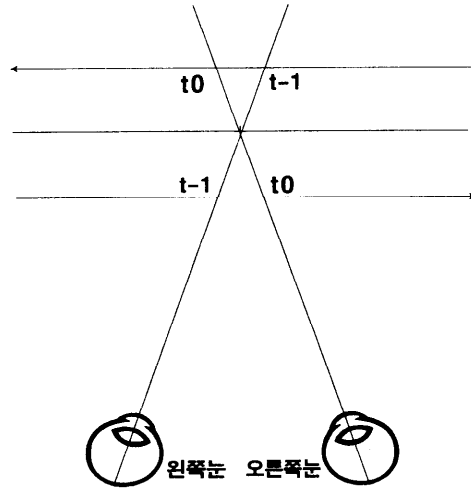


그림 2. Pulfrich 현상에 대한 시간차 이론의 도식적 설명
(자세한 내용은 본문을 볼 것)

커지게 될 것이므로 지각된 깊이의 폭도 더 커질 것을 예상한다. 진자의 운동 속도가 빨라질 때의 지각된 진자의 경로 변화도 공간적 위치차 이론은 잘 설명한다. 두 눈에 투사된 영상의 처리 시간 차이가 고정되어 있을 때, 진자의 운동 속도가 증가하게 되면 t_0 와 $t-1$ 에 제시된 영상들 간의 위치 차이는 더 커지게 된다. 그 결과 동일 시간에 처리되는 영상들간의 위치 차이는 더 커지게 되어 지각된 진자 경로의 깊이 폭도 더 커질 것으로 예상된다.

대상의 운동 지각은 운동하는 자극의 물리적인 변인들뿐만 아니라 주변 자극에 의해 변화될 수 있다. 예를 들어, 운동하는 자극 주변에 정지된 패턴이 주어지는 경우 운동 탐지의 절대역이 감소한다(Tyler & Torres, 1972; Legge & Campbell, 1981). 즉, 아주 천천히 운동하여 정지되어 있는 것으로 보이는 자극이라도 그 주변에 정지된 패턴이 제시되면 움직이는 것으로 지각된다. 운동 탐지의 절대역 이외에 운동 자극의 지각된 속도

도 배경 패턴의 속성에 따라 변화될 수 있다 (Blakemore & Snowden, 2000). 예를 들어, 패턴이 있는 배경을 가로질러 이동하는 대상의 지각된 속도는 패턴이 없는 배경 위를 이동하는 대상의 지각된 속도보다 빨라지며(Brown, 1931), 두 동심원의 안쪽 영역에 제시된 무선 점들의 지각된 운동 속도는 주변 동심원 영역에 패턴이 없는 경우보다 정지된 무선점 패턴이 주어질 때 더 빨라지며, 주변 영역에 제시된 패턴이 운동하고 그 운동 속도가 빨라질수록 중심 영역의 무선점들의 지각된 운동 속도는 더 느리게 지각된다 (Norman, Norman, Todd & Lindsey, 1996). 또한 운동하는 자극의 지각된 속도는 정지된 배경 패턴의 밀도가 증가할수록 더 빨라지게 된다(Gogel & McNulty, 1983).

배경 패턴에 의해 지각된 진자의 속도 변화는 Pulfrich 현상에서 진자의 지각된 경로의 깊이를 변화시킬 것인가? 진자의 물리적인 속도가 증가하면 진자의 깊이가 증가되는 결과와 유사하게

지각된 속도 역시 진자의 깊이를 증가시킬 수 있는가? 본 연구에서는 진자의 지각된 속도 변화가 Pulfrich 현상에서 진자의 깊이에 영향을 주는지를 알아보기 위해서 진자의 물리적인 속도는 고정시킨 채 진자의 경로 주위에 무선점 패턴의 밀도를 조작하였다. 공간적 위치차 이론에서 양안 부동을 계산하는 데 사용되는 영상의 위치 정보는 망막 상의 위치에 근거한 것이기 때문에, 진자의 물리적인 속도가 고정된 채 주변 자극에 의해 지각되는 속도가 변화되는 경우에는 진자의 지각된 깊이가 변화되지 않을 것을 예상한다. 이와 달리, 대상의 속도를 처리하는 기제나 이와 유사한 기제의 산출값에 근거하여 Pulfrich 깊이가 계산된다면 진자의 지각된 속도의 변화에 의해서도 진자의 깊이가 달라질 것을 예상할 수 있다.

실 험

방법

참가자. 실험의 목적을 알지 못하는 5명의 대학원생이 실험에 참가하였다.

자극 및 장치. 작은 회색 실린더(직경 1cm 높이 2cm)가 왕복 운동을 하는 진자로 사용되었으며, 이것은 천장에 달려있는 철사로부터 길이 100 cm의 실에 매달려 있었다. 움직일 수 있는 수직 막대(0.5 × 32.5cm)가 탁자 위의 레일에 올려져 있었는데, 관찰자는 막대에 연결되어 있는 두 줄 중 하나를 잡아당김으로써 막대의 깊이를 조절할 수 있었다. 이 막대의 깊이를 진자의 지각된 깊이와 일치시킴으로써 진자의 깊이를 추정하도록 하였다. 레일은 관찰자의 중앙 평면

(mid-sagittal plane) 상에 놓여있었으며, 이 레일에는 센티미터 줄자가 붙어 있어 관찰자가 추정한 진자의 깊이를 실험자가 읽을 수 있도록 만들어져 있었다.

실험자가 정해진 특정 높이(수직 위치로부터 30도)에서 진자를 자유 낙하시켰으므로 진자의 왕복운동은 기계적이거나 전기에 의한 동력으로 구동된 것은 아니었다. 관찰자들은 왕복운동을 하는 진자를 한쪽 눈앞에 광도를 떨어뜨리는 필터(neutral density filter) (KODAK, OD 0.9)를 댄 채 3.3m 밖에서 양안으로 관찰하였다. 관찰자의 머리 운동을 통제하기 위해서 턱받이가 제공되었다.

배경 자극은 진자의 물리적인 경로로부터 1.7m (관찰자로부터 5.0m) 떨어져 있는 실험실 벽면에 제시되었다. 패턴이 주어지지 않은 통제 조건에서는 흰색 종이(90 × 180cm)가 배경으로 주어졌으며, 패턴 배경조건에서는 검정색 점(1 × 1cm)들로 구성된 무선 패턴이 찍혀있는 흰색 종이(90 × 180cm)가 배경으로 사용되었다. 패턴 배경 조건에서는 각각 5%, 10%, 15%의 밀도의 무선 패턴 조건들이 포함되었다. 각 조건에서 무선점들의 밀도를 정확히 통제하기 위해서 무선점 패턴 그림 파일을 컴퓨터로 만든 다음 이를 인쇄하여 사용하였다. 따라서, 반복시행이나 관찰자와 상관없이 해당 밀도 조건의 무선점 패턴은 동일한 것이 사용되었다.

절차. 실제 실험에 앞서 관찰자들이 주어진 실험 환경과 장비를 가지고 지각된 깊이를 정확히 추정할 수 있는지를 알아보기 위해 측정 레일을 따라 진자의 실제 경로보다 50cm 앞과 뒤 두 위치를 지시봉으로 지정한 다음 관찰자들에게 세로 막대의 깊이를 변화시켜 가면서 지시봉의 깊이와 일치시키도록 하였다.

어느 쪽 눈이 필터로 가려질 것인지는 관찰자마다 무선적으로 정해졌다. 진자의 깊이 추정에 사용된 수직 막대의 초기 위치는 진자의 물리적인 경로의 깊이로 정해졌다. 각 시행에서 진자가 자유 낙하된 후, 관찰자는 세로 막대의 깊이를 조절하여 진자의 가장 가까운 지점(최근점)과 가장 먼 지점(최원점) 중 무선적으로 선정된 지점의 깊이를 막대의 깊이와 일치시키도록 지시받았다. 진자의 운동이 반복될수록 진자의 물리적인 속도가 줄어들어 진자의 지각된 깊이도 감소할 수 있으므로, 진자가 세 번 반복 운동을 하는 동안에 관찰자가 반응을 끝내지 않으면 실험자가 다시 진자를 정해진 위치에서 자유 낙하시켰다. 관찰자가 특정 위치에 대한 깊이 추정을 마치면 실험자는 레일에 붙어있는 줄자의 눈금을 읽어 해당조건의 추정치를 용지에 기록하였다. 눈운동에 대한 특별한 지시는 없었다.

통제 조건을 포함하여 네 가지 다른 실험 조건들(통제조건, 세 수준의 배경 점들의 밀도)은 따로 실시되었으며 각 수준의 실험 조건들의 실시 순서는 관찰자마다 무선적으로 정해졌다. 해당 조건 내에서 진자 경로의 깊이는 최근점과 최원점을 번갈아가면서 각각 두 번씩 추정하도록 하였는데 어떤 지점의 깊이를 먼저 추정할 것인지는 무선적으로 선정되었다. 네 수준의 밀도 조건에서 최원점과 최근점을 각각 두 번씩 측정하였으므로 모두 16회의 측정이 이루어졌다. 이 16번의 시행이 끝난 후 필요한 경우 일분에 걸쳐 휴식을 취하도록 하였으며 휴식 후에 곧바로 각 조건별 각 측정 지점별에 따른 16회의 측정이 반복되었다. 따라서 배경의 밀도(네 조건)와 측정 지점(두 지점) 변인의 조합에 의한 각 조건은 각각 네 번씩 반복 측정되어 총 시행 수는 모두 32회였다.

결과 및 논의

배경 밀도(네 조건)와 측정 지점(두 지점)의 조합에 따른 여덟 조건 각각에서 네 번에 걸친 반복 측정치들의 평균을 해당 조건의 진자의 깊이로 삼았으며 각 개인들에게서 얻어진 각 조건의 평균치들이 그림 3에 제시되어 있다. 두 측정 지점의 깊이는 실제 경로를 기준으로 측정되었기 때문에 최근점과 최원점의 깊이는 서로 반대 방향의 깊이를 가졌지만, 부호를 고려하지 않고 각 조건의 평균치들의 절대값을 원자료로 하여 이 요인 반복 측정 방안으로 변량 분석하였다.

진자 경로의 비대칭성을 보여주는 기존의 Pulfrich 연구 결과들(Weale, 1954; Levick, Cleland & Coombs, 1972)과 유사하게 실제 경로로부터 원지점까지의 깊이가 근지점까지의 깊이보다 더 크게 나타나 측정 위치의 주효과는 통계적으로 유의하였고($F(1,4)=16.71, p < .05$), 배경의 밀도가 증가할수록 지각되는 깊이도 증가하는 것으로 나타나 밀도 변인의 주효과도 유의하였다($F(3,12)=21.37, p < .001$). 그러나 최근점의 깊이는 밀도에 영향을 크게 받지 않은데 반해 최원점의 깊이는 밀도에 영향을 받아 배경 밀도와 측정 지점 두 변인 사이의 상호작용도 유의한 것으로 나타났다($F(3,12)=20.06, p < .001$).

진자의 운동 경로의 배경에 패턴들이 주어지는 경우 지각된 진자의 경로의 폭이 깊이 방향으로 더 커지며, 그 정도는 배경 패턴의 밀도의 함수로 변화되었다. 패턴의 밀도가 변화된 각 조건에서도 진자의 물리적인 속도는 동일하였기 때문에 처리 시간차에 의해 동일 시간에 처리될 것이라고 예상되는 두 영상의 망막에서의 위치 차이는 각 밀도 조건에서 모두 동일하였다. 따라서 배경 패턴의 밀도 변화에 따라 진자의 지각된 깊이가 달라진 본 연구 결과는 Pulfrich 현상

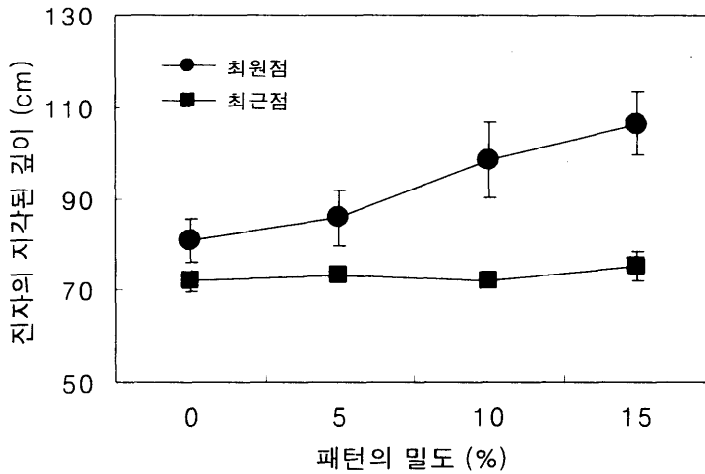


그림 3. 배경 패턴의 밀도 조건에 따라 진자의 최원점과 최근점의 지각된 깊이. 진자의 실제 경로를 기준으로 하여 측정되었기 때문에 최원점의 깊이는 실제 경로보다 더 먼 것을, 최근점의 깊이는 더 가까운 것을 나타낸다. 각 자료점의 오차 막대는 다섯 명의 관찰자로부터 얻어진 자료의 표준오차를 표시한다.

에서 발생하는 깊이가 망막의 물리적인 위치에 근거하여 계산되지 않음을 보여주며, 이러한 가정에 의해 Pulfrich 깊이를 설명하는 공간적 위치차 이론으로는 본 연구 결과를 설명하기 어렵다.

본 연구에서는 진자의 운동을 컴퓨터 모니터와 같은 인공적인 장면에서 모사한 것이 아니라 '실제 환경'에서 진자를 자유 낙하시켜 구현하였다. 이러한 실험 상황에서 진자의 운동 진폭을 동일하게 유지한 채 자유 낙하에 의한 진자의 물리적인 속도를 변화시키기 어려웠기 때문에, 각 조건에서 진자의 지각된 속도를 정신물리학적으로 측정하지는 않았다. 대신 실험을 모두 마친 후 구두 보고를 받은 결과 다섯 명의 피험자 중 세 명이 패턴이 있는 조건에 비해 패턴이 주어지지 않은 조건에서의 진자의 상대적인 속도는 더 떨어지는 것으로 보고했다. 이와 더불어 서론에서 기술한 바와 같이 배경 패턴이 주어지면 그 패턴 위로 운동하는 대상은 더 빠르게 운

동하는 것으로 지각된다는 정신물리학적 결과들 (Norman 등, 1996; Gogel 등, 1983)로부터 밀도가 증가함에 따라 진자의 지각된 속도도 증가했을 것을 추론할 수 있다.

진자의 지각된 속도 증가가 어떻게 진자의 지각된 깊이를 증가시켰을까? 한 가지 가능성은 지각된 속도 변화에 따라 진자의 위치 정보가 변화되고, 이 위치 정보에 의해 깊이가 계산되었을 수 있다. 진자의 물리적인 속도가 증가하면 그림 1의 (c)에서 t_0 와 $t-1$ 에 투사된 영상의 망막상의 위치 차이가 더 커지게 된다. 이와 유사하게, 진자의 지각된 속도가 증가하면 주어진 시간차를 가진 두 영상의 지각된 위치 차이는 더 커질 것이다. 이러한 위치 정보에 근거하여 깊이가 계산되어진다면 진자의 지각된 속도가 증가할 때 경로의 깊이 폭이 더 커질 것을 예상할 수 있다. 따라서 두 다른 시간에 투사된 영상들의 망막에서의 위치 차이에 근거한 공간적 위치차 이론은

지각된 속도 변화에 따라 진자의 깊이가 증가하는 본 연구의 결과를 설명하기 어렵지만, 공간적 위치차 이론이 지각된 속도에 근거하여 운동하는 대상의 위치를 결정하는 기제를 포함한다면 물리적인 속도 변화뿐만 아니라 지각된 속도 변화에 따라 진자의 깊이가 증가하는 현상을 잘 설명할 수 있을 것이다.

지각된 속도에 근거하여 대상의 위치를 추출할 수 있는 기제를 구성하는 것은 쉬운 문제는 아니다. 운동 정보가 형태소들의 공간적 위치 변화를 파악함으로써 추출된다면 운동 정보를 탐지하는 기제는 특정 시간에 주어진 장면들로부터 형태소들의 공간적 위치를 우선적으로 파악할 수 있다. 그 결과 운동 정보를 탐지하는 기제는 운동 정보 이외에 그 대상의 위치 정보도 추출할 수 있으므로 지각된 위치는 쉽게 파악될 수 있다. 그러나 이와 같은 논리적인 분석과는 달리 운동 정보는 매 시간 대상의 공간적 위치를 파악하고 이를 통합함으로써 발생하는 것이 아니며, 운동을 처리하는 기제와 위치를 처리하는 기제가 독립적으로 존재할 수 있음을 시사하는 여러 연구들이 보고되었다(Lu & Sperling, 1995; Zaidi & DeBonet, 2000). 그들은 형태소들의 이동 방향과 운동 에너지에 의한 운동 방향이 상충되는 자극을 제시하였을 때 운동 에너지가 예측하는 방향으로 자극이 운동하는 것으로 지각됨을 보고하였다. 이러한 연구들은 운동을 분석하는 기제가 형태소들의 위치 정보의 처리없이 운동 방향을 탐지할 수 있음을 보여주었지만, 최근 운동을 분석하는 신경 기제가 형태소들의 위치 표상을 변화시킬 수 있음을 보여주는 일련의 연구들이 보고되었다.

Nishida와 Johnston(1999)은 회전 운동 자극에 순응시킨 후 정지된 패턴을 제시한 결과 전통적인 운동 잔여 효과(motion aftereffect: MAE)뿐만 아

니라 정지된 격자(grating) 패턴의 방위가 순응 자극의 회전 방향과는 반대로 기울어져 지각됨을 발견하였다. McGraw 등(2002)은 정지된 원도우내에서 운동하는 격자무늬에 순응시킨 후 제시된 패턴의 위치가 순응 자극의 운동 방향과는 반대로 이동하는 것을 발견하였다. 특히, 전통적인 MAE와는 달리 순응 자극과 정지 패턴의 공간 주파수나 방위, 그리고 대비 차이와 무관하게 위치 변화가 발견되었다. 이러한 결과들은 운동을 분석하는 기제에 의해서 위치에 대한 표상이 변화될 수 있음을 시사한다. 따라서 지각된 속도 역시 위치에 대한 표상을 변화시킬 가능성이 있으며, 이 결과로 Pulfrich 현상에서 진자의 깊이가 변화되었을 가능성이 있다. 보다 직접적인 증거는 운동 자극의 경로 위에 패턴을 제시한 후 운동 자극의 지각된 속도와 지각된 위치가 어떻게 변화되는지를 측정함으로써 얻을 수 있을 것이다. 이러한 실험은 최근 논의되고 있는 운동 자극의 위치가 정지된 자극의 위치와 비교해 볼 때 상대적으로 운동 방향쪽으로 왜곡되는 명멸 지체 효과(flash lag effect) (개관을 위해 Kregelberg & Lappe, 2001을 볼 것)의 기제를 이해하는 데도 도움을 줄 수 있을 것이다.

최근 공간적 위치차 이론과 시간차 이론을 통합하여 Pulfrich의 깊이를 설명하려는 모형이 제안되었다(Qian & Andersen, 1997; Anzai, Ohzawa, & Freeman, 2001). 이 모형들에서는 공간적 위치차 모형의 가정과 같이 양안 부등에 조율된 신경 기제가 시간차 이론의 가정과 같이 망막의 동일 위치를 각기 다른 시간에 제시된 영상에 대해서도 반응함을 가정했는데, 고양이의 선조 피질에 있는 복합 세포들 중 양안 정보에 반응하는 대부분이 공간적 위치 차이뿐만 아니라 시간차에도 반응하는 것이 발견됨으로써(Anzai 등, 2001) 신경 생리학적으로 가능한 모형임이 확인되었다.

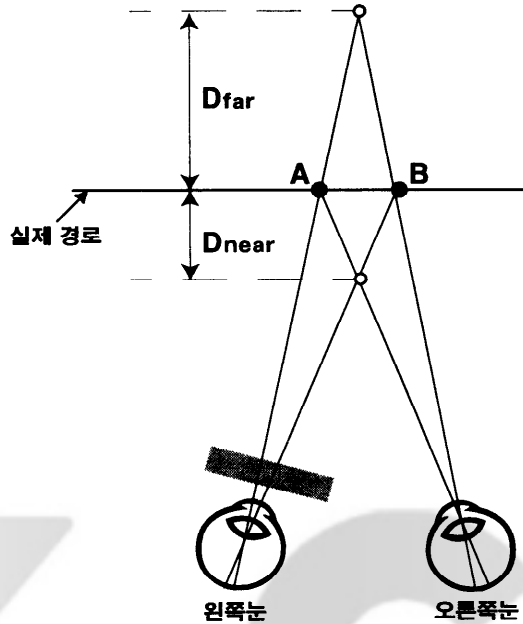


그림 4. 동일한 양안 부등이 주어질 때 예상될 수 있는 근점과 원점의 깊이.

처리 시간 차이에 의해 동시에 처리되는 영상의 위치가 A, B에 해당된다고 가정했을 때 실제 경로를 기준으로 원점의 깊이(D_{far})가 근점의 깊이(D_{near})보다 더 크게 나타나 있음을 볼 수 있다 (실제의 비율대로 그려져 있지 않음)

이들 모형은 운동에 의한 깊이(Kinetic depth)와 입체시 깊이가 동일 기제에 의해서 처리됨을 시사하는 많은 연구들(Poggio & Fischer, 1977; Maunsell, & Van Essen, 1983; Bradley, Qian, & Andersen, 1995; DeAngelis, Cumming, & Newsome, 1998)의 결과와 전통적인 Pulfrich 깊이를 설명할 수 있는 모형이지만, 본 연구의 결과를 설명하기에는 여전히 제한적이다. 이들 모형들에서 가정하는 신경세포들도 공간적 위치차 모형의 가정과 유사하게 망막상의 위치(그 세포의 수용장) 차이에 조율되어 있으므로 본 연구 결과를 설명하기는 곤란하다.

본 연구에 포함된 패턴의 밀도 조건들은 흰색 배경에 검정색 패턴을 추가한 것이기 때문에 패턴의 밀도가 증가할수록 패턴의 평균 밝기는 감소하였다. 따라서 본 연구에서 발견된 지각된 깊이 증가가 배경 밀도변화에 의한 지각된 속도 변화 때문에 발생한 것이 아니라 평균 밝기차에 의해서 발생한 것으로 해석될 가능성이 있다. 운동하는 물체의 밝기 대비는 지각된 속도에 영향을 미치지만 그 방향은 밝기 대비가 약해질수록 지각된 속도가 감소하는 쪽이다(Thompson, Stone & Swash, 1996; Johnston, Benton & Morgan, 1999). 만약 진자의 밝기 대비가 진자의 지각된

속도에 영향을 미쳐 그 결과로 진자의 지각된 깊이에 영향을 미쳤다면 그 효과는 본 연구의 결과와 반대 방향 즉, 높은 밀도 조건에서 깊이가 더 작게 나타나야 하므로 본 연구에서 발견된 패턴 밀도의 주효과가 진자의 밝기 대비의 변화에 의해 발생되었을 가능성은 배제될 수 있다.

밝기 대비에 의한 효과가 배제될 수 있다는 것이 반드시 진자의 깊이에 밝기 대비가 전혀 영향을 주지 않았다는 것은 아니다. 밀도가 증가함에 따라 밝기 대비의 변화가 진자의 깊이에 영향을 주었다면 지각된 깊이를 감소시켰을 것이므로, 밝기 대비에 의한 영향을 알아보기 위해서는 배경의 평균 밝기를 고정시킨 채 패턴을 변화시키는 실험을 구성할 수 있을 것이다. 예를 들어, 밝기 대비의 크기는 같고 부호가 반대인 검은점과 흰색 점으로 구성된 무선점 패턴을 사용하거나, 혹은 대비 변화에 의한(contrast modulated) 이차 자극(second-order stimulus)(예를 들어, Sutter, Sperling & Chubb, 1995; Lin & Wilson, 1996)으로 구성된 패턴을 사용할 수 있을 것이다. 만약 본 연구에서 밝기 대비의 효과가 발생되었다면 평균 밝기 대비를 통제된 실험에서는 배경의 밀도가 증가함에 따라 진자의 지각된 깊이 변화가 본 연구에서 발견된 것보다 더 커질 것을 예상할 수 있다.

흥미롭게도 밀도 변인과 측정 지점 변인 사이의 상호 작용이 발견되었다. 즉, 밀도가 증가함에 따라 최원점의 깊이는 체계적으로 증가된 것에 반해 최근점의 깊이는 크게 차이가 나지 않았다. 최원점과 최근점에 대한 밀도 효과의 비대칭성의 한 원인은 Pulfrich 현상에서 발견되는 가까운 경로와 먼 경로 깊이의 비대칭성과 관련이 있을 수 있다. 그림 3을 자세히 보면 패턴이 없는 통제 조건의 경우에도 최원점의 깊이가 최근

점의 깊이보다 더 크게 나타난 것을 알 수 있다. 즉, 진자의 실제 경로를 기준으로 진자의 운동 경로는 정확히 대칭인 타원이 아니다. 양안 부등에 의해서 지각되는 깊이는 응시 거리의 제곱과 비례하기 때문에(Ogle, 1962; Lit, 1968), 동일한 위치차(양안 부등)가 주어지더라도 실제 경로의 깊이에서 최원점까지의 깊이는 최근점까지의 깊이보다 더 크게 되는 비대칭성이 나타나는데 그림 4는 이를 기하학적으로 보여주고 있다. 경로에 따른 이와 같은 비대칭적인 효과는 지각된 깊이를 증가시키는 효과에 대해서도 비대칭적으로 발생할 것을 예상할 수 있다. 지각된 속도 증가에 의해 양안 부등의 크기가 증가했다고 가정할 때, 양안 부등 증가에 의한 효과는 먼 경로에서 더 크게 나타날 것이 예상되기 때문이다.

Pulfrich 효과의 깊이는 현상적인 흥미로움을 제공하지만, 본 연구 결과는 Pulfrich 현상이 운동하는 대상의 위치 정보를 추출하는 과정과 밀접하게 관련되어 있음을 시사한다. Pulfrich 현상에서 진자의 깊이가 처리되는 과정을 이해함으로써 운동하는 대상의 위치 정보가 자극의 물리적인 위치나 혹은 정지된 자극과의 상대적인 위치에서 왜곡되는 여러 현상들(DeValois, & DeValois, 1991; Nijhawan, 1994; Ramachandran & Anstis, 1990)에 관여하고 있는 기제를 이해하는 데도 도움을 줄 수 있을 것이다.

참고문헌

- 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.
- Blakemore, M. R., & Snowden, R. J. (2000). Textured

- backgrounds alter perceived speed. *Vision Research*, 40, 629-638.
- 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.
- Brown, J. F. (1931). The visual perception of velocity. *Psychologische Forschung*, 14, 199-232.
- Burr, D. C., & Ross, J. (1979). How does binocular delay give information about depth? *Vision Research*, 19, 523-532.
- DeValois, R. L., & DeValois, K. K. (1991). Vernier acuity with stationary moving Gabors. *Vision Research*, 31, 1619-1626.
- DeAngelis, G. C., Cumming, B. G., & Newsome, W. T. (1998). Cortical area MT and the perception of stereoscopic depth. *Nature*, 394, 677-680.
- Gogel, W. C., & McNulty, P. (1983). Perceived velocity as a function of reference mark density. *Scandinavian Journal of Psychology*, 24, 257-265.
- Johnston, A., Benton, C. P., & Morgan, M. J. (1999). Concurrent measurement of perceived speed and speed discrimination threshold using the method of single stimuli. *Vision Research*, 39, 3849-3854.
- Krekelberg, B., & Lappe, M. (2001). Neuronal latencies and the position of moving objects, *Trends in Neuroscience*, 24(6), 335-339.
- Legge, G. E., & Campbell, F. W. (1981). Displacement detection in human vision. *Vision Research*, 21, 205-214.
- Levick, W. R., Cleland, B. G., & Coombs, J. S. (1972). On the apparent orbit of the Pulfrich pendulum. *Vision Research*, 12, 1381-1388.
- Lin, L. M., & Wilson, H. R. (1996). Fourier and non-Fourier pattern discrimination compared. *Vision Research*, 36, 1907-1918.
- Lit, A. (1949). The magnitude of the Pulfrich stereophenomenon as a function of binocular differences of intensity at various levels of illumination. *American Journal of Psychology*, 62, 159-181.
- Lit, A. (1960). The magnitude of the pulfrich stereo-phenomenon as a function of target velocity. *Journal of Experimental Psychology*, 59(3), 165-175.
- Lit, A. (1968). Illumination effects on depth discrimination. *The Optometric Weekly*, 59, 42-55.
- Lu, Z. L., & Sperling, G. (1995). The functional architecture of human visual motion perception. *Vision Research*, 35, 2697-2722.
- McGraw, P. V., Whitaker, D., Skillen, J., & Chung, S. T. L. (2002). Motion adaptation distorts perceived visual position. *Current Biology*, 12, 2042-2047.
- Maunsell, J. H., & Van Essen, D. C. (1983). Functional properties of neurons in middle temporal visual area of the macaque monkey. II. Binocular interactions and sensitivity to binocular disparity. *Journal Neurophysiology*, 49, 1148-1167.
- Nijhawan, R. (1994). Motion extrapolation in catching. *Nature*, 370, 256-67
- Nishida, S., & Johnston, A. (1999). Influence of motion signals on the perceived position of spatial pattern, *Nature*, 396, 610-612.
- Norman, H. F., Norman, J. F., Todd, J. T., & Lindsey, D. T. (1996). Spatial interactions in

- perceived speed. *Perception*, 25, 815-830.
- Ogle, K. N. (1962). Special topics in binocular spatial localization. In H. Davson (Eds.), *The eye* (pp. 349-407). New York : Academic Press.
- Poggio, G. F., & Fischer, B. (1977). Binocular interaction and depth sensitivity in striate and prestriate cortex of behaving rhesus monkey. *Journal Neurophysiology*, 40, 1392-1405.
- Pulfrich, C. (1922). Die stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen photometrie. *Naturwissenschaften*, 10, 553-564.
- Qian, N., & Andersen, R. A. (1997). A physiological model for motion-stereo integration and a unified explanation of Pulfrich-like phenomena. *Vision Research*, 37, 1683-1698.
- Ramachandran, V. S., & Anstis, S. M. (1990). Illusory displacement of equiluminous kinetic edges. *Perception*, 19, 611-616
- Ross, J. (1974). Stereopsis by binocular delay. *Nature*, 278, 363-364.
- Sutter, A., Sperling, G., & Chubb, C. (1995). Measuring the spatial frequency selectivity of second-order texture mechanisms. *Vision Research*, 5, 915-924.
- Thompson, P., Stone, L. S., & Swash, S. (1996). Speed estimates from grating patches are not contrast normalized. *Vision Research*, 36, 667-674.
- Tyler, C. W., & Torres, J. (1972). Frequency response characteristics for sinusoidal movement in the fovea and periphery. *Perception and Psychophysics*, 12, 232-236.
- Weale, R. A. (1954). Theory of the Pulfrich effect. *Ophthalmologica*, 128, 380-388.
- Zaidi, Q., & DeBonetb, S. J. (2000). Motion energy versus position tracking: spatial, temporal and chromatic parameters. *Vision Research*, 40, 3613-3635.

〈OBSERVATION〉

The Effect of the density of textured backgrounds on the depth from Pulfrich phenomenon

Keetaek Kham

Center for Cognitive Science
Yonsei University

Sun Ah Kim

Department of Psychology
Yonsei University

When a swinging pendulum is viewed binocularly with a neutral density filter before one eye, the pendulum bob moving back and forth on the fronto-parallel plane appears to rotate in an elliptical path. The depth of the perceived path in this illusion, known as the Pulfrich phenomenon, is increased as the velocity of the pendulum increases. In the present study, we examined whether the perceived depth of the pendulum was increased with increases in the perceived speed, not in the physical speed, of the pendulum. The density of the background texture consisting of random dots was manipulated in order to vary the perceived speed with keeping the physical speed constant. Compared to the perceived depth in the control condition(white homogeneous background), the depth of the path is found to be increased with increases in the density of the background texture. These results cannot be explained by the traditional theories for the Pulfrich phenomenon, which calculate the positional offset based on the retinal position. And these results suggest that the Pulfrich depth might be produced after the position information of the moving object is extracted.

Keywords Pulfrich phenomenon, density of background texture, perceived velocity, perceived depth

1 차원고접수 : 2003. 3. 3.

2 차원고접수 : 2003. 5. 31.

최종게재결정 : 2003. 6. 1.