

단서 상충 상황에서 국소 부등 정보에 의한 상대적 입체시 깊이의 효과

감 기 택

연세대학교 인지과학연구소

관찰자의 정면에서 좌우로 움직이고 있는 진자를 한쪽 눈에만 빛의 강도를 감소시키는 필터 (neutral density filter)를 낀 채 두 눈으로 진자를 바라보면 진자가 타원형 경로로 운동하는 것으로 지각된다. 이와 같은 전형적인 Pulfrich 상황에서 진자의 물리적인 경로 바로 뒤쪽에 불투명 표면을 제시하면 단서 상충 상황이 발생된다. Pulfrich 효과에 의한 진자의 깊이는 가림 단서에 의한 깊이 정보와 상충된다. 이 상황에서 대부분의 관찰자들은 타원형으로 지각되는 진자의 경로가 수축되어 표면 앞쪽으로 운동하는 것으로 지각했다 (Perception, 33, (2004), 1201-1213). 본 연구에서는 이 상황에서 가림 단서의 깊이 정보와 상반되는 상대적인 입체시 깊이를 추가적으로 제공한 후 이 정보에 의해 진자의 지각된 원경로가 변화되는 지를 살펴보았다. 표면 내부에 국소 부등 정보를 제공하기 위해 실험 예서는 표면 폭을 변화시켰고, 실험 예서는 표면에 무선점 패턴을 제시하여 그 결과로 표면과 진자의 상대적인 입체시 깊이가 추출될 수 있도록 표면 속성을 조작하였다. 실험결과 최원점의 지각된 깊이에서 큰 개인차가 발견되었다. 관찰자들 중 약 25-35%는 표면 폭이나 무선점 패턴의 제시 여부와 무관하게 가림 단서에 의해 제공되는 깊이 정보와 일치되는 방식으로 진자가 표면 앞쪽으로 운동하는 것으로 지각하였다. 그러나 나머지 대부분의 관찰자들은 표면 폭이 줄어들수록, 그리고 표면에 무선점 패턴의 밀도가 증가할수록 상대적인 입체시 정보에 의한 깊이 정보와 일치되는 방식으로 진자가 표면 뒤쪽으로 운동하는 것으로 지각하였다. 이러한 결과는 가림 단서와 상반되는 상대적인 입체시 깊이에 의해서 가림 단서의 효율성이 약화되었음을 시사하며, 상대적인 입체시 깊이정보는 양안 부등 정보의 보간 과정 이전에 추출됨을 시사한다.

주제어: 깊이 단서의 상충, 양안 부등, Pulfrich 현상, 상대적 입체시 깊이

본 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2004-005-H00004)에 의해서 연구되었다
교신저자: 감기택, (120-749) 서울시 서대문구 신촌동 연세대학교 인지과학 연구소
E-mail: kham@yonsei.ac.kr

인간의 시각기제는 여러 다양한 깊이 단서를 이용하여 해당 시각 장면의 삼차원의 공간을 표상한다(Kaufman, 1974; Howard & Rogers, 1995). 다중 깊이 단서의 깊이 정보로부터 삼차원 공간에 대한 단일한 깊이 지도를 형성하기 위해서는 각 단서들로부터 제공된 깊이들이 어떤 방식으로든 결합되거나 통합되어야 한다. 깊이 단서들의 통합 과정에 대한 정신 물리학적 연구들의 주요 주제들 중 하나는 각 깊이 정보들의 통합 과정에서 특정 깊이 단서가 상대적으로 얼마나 효율적인지를 결정하는 것이며, 이를 살펴보기 위한 대표적인 실험적 방법은 깊이 단서 상충 상황(cue-conflict situation)을 이용하는 것이다(예를 들어, Norman & Todd, 1995; Sato & Howard, 2001). 둘 이상의 단서들로부터 제공되는 깊이 정보들이 서로 상충되는 자극이 주어졌을 때, 실제 관찰자들이 지각한 깊이를 살펴봄으로써 어떤 단서가 상대적으로 더 효율적인지 혹은 특정 단서가 다른 단서의 깊이 정보를 완전히 억제하는지와 같은 다양한 단서 간 상호 작용 특성을 살펴볼 수 있다. 실험실 상황이 아닌 실제 장면에서

는 각 깊이 단서로부터 제공되는 깊이 정보들이 서로 상충되는 경우가 희박하므로 단서 상충상황은 주로 모니터와 같은 인공적인 디스플레이에 제시된 자극을 사용하여 연구되어왔다.

최근의 한 연구(Kham, 2004)는 입체 깊이 착시의 하나인 Pulfrich 현상을 이용하여 인공 장면이 아닌 자연 장면에서 단서 상충상황을 만들었다. 그림 1의 (a)에서 보는 것처럼 관찰자의 정면에서 좌우로 움직이고 있는 진자를 한쪽 눈에만 빛의 강도를 감소시키는 필터(neutral density filter)를 낀 채 두 눈으로 진자를 바라보면, 진자는 물리적인 경로가 아니라, 물리적 경로보다도 더 먼 타원형 경로(원경로)를 거쳐 더 가까운 타원형 경로(근경로)로 회전하는 것으로 지각된다(Pulfrich, 1922). 전형적인 Pulfrich 깊이를 발생시키는 상황에서 그림 1의 (b)에서와 같이 진자의 물리적인 경로 폭보다 더 넓은 표면을 진자의 물리적인 경로와 원경로 사이에 제시하는 경우 최소한 둘 이상의 깊이 단서는 서로 상충된다. 예를 들어, Pulfrich 효과에 의한 진자의 원경로의 깊이는

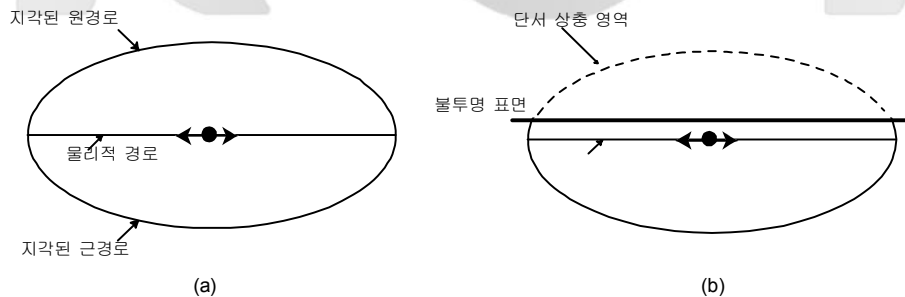


그림 1. 전형적인 Pulfrich 현상과 단서 상충 상황.

(a)진자가 관찰자의 정면에서 좌우로 움직이고 있을 때, 한쪽 눈에 필터를 낀 채 두 눈으로 진자를 관찰하면 타원형의 원경로와 근경로로 회전하는 것으로 지각된다. 이 상황에서 그림 (b)와 같이 불투명 표면을 진자의 물리적 경로 뒤에 제시하면 원경로의 대부분 영역은 최소한 Pulfrich 깊이와 가림 단서에 의한 깊이 정보들이 서로 상충된다.

표면보다 더 멀지만, 물리적으로는 진자가 항상 표면 앞에서 흔들리고 있기 때문에 중첩(interposition)이나 가림(occluding) 단서는 진자가 표면보다 앞쪽에 놓여 있다는 정보를 제공해주므로 단서 상충상황이 발생된다. 이 상황에서 대부분의 관찰자들은 진자의 근경로에서의 깊이 변화는 없지만 단서 상충이 발생된 원경로의 깊이는 수축되어 전형적인 타원형 경로가 마치 '반달'과 같은 경로로 변화됨을 보고하였다. 이러한 결과로부터 Kham은 원경로의 깊이 수축 현상이 가림 단서의 효과가 매우 우월하여 Pulfrich 효과에서 발생하는 깊이를 압도한 것으로 결론지었다.

입체시 기체에 의한 삼차원 공간의 표상 과정은 한 대상으로부터 각 눈에 투사된 영상들의 위치 차이인 절대 부등(absolute disparity)보다 각 대상들의 절대 부등의 차이인 상대 부등(relative disparity)에 더 의존하고 있다(Andrews, Glennerster & Parker, 2001; Westheimer, 1979; Erkelens & Collewijn, 1985; Regan, Erkelens & Collewijn, 1986). 특히 Pulfrich 효과에서 발생하는 입체시 깊이가 양안 부등을 처리하는 기체에 의해서 처리됨을 시사하는 신경생리학적(Anzai, Ohzawa & Freeman, 2001; Carney, Paradiso & Freeman, 1989; Qian & Andersen, 1997), 정신물리학적(Burr & Ross, 1979; Julesz & White, 1969; Rogers & Anstis, 1972) 연구 결과들을 고려해볼 때, 양안 부등에 의한 불투명 표면의 입체시 깊이와 Pulfrich 진자의 입체시 깊이 사이의 상대적인 깊이가 산출될 수 있으며 이 깊이 정보도 깊이 단서들 간의 상호작용에 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 두 대상의 상대적인 입체시 깊이가 깊이 단서들 간의 상호작용에 영향을 미칠 것인지, 그리고 그 결과로 진자의 지각된 깊이가 변화될 것인지

살펴보았다.

먼저 Kham(2004)의 실험 상황에서 Pulfrich 진자와 표면과의 상대적인 입체시 깊이정보가 추출될 수 있다면 이 정보가 깊이 단서들의 상호작용과정에서 어떤 방식으로 영향을 줄 수 있었는지를 고려해보자. 그의 연구에서 진자와 표면은 중첩되어 제시되었기 때문에 진자의 모든 운동 경로에서 두 대상의 입체시 깊이들은 비교되어 상대적인 입체시 깊이가 계산될 수 있었다. 불투명 표면은 Pulfrich 진자의 원경로보다 가까운 깊이에 제시되어 있었기 때문에, 표면의 양안 부등에 의한 입체시 깊이는 Pulfrich 효과에서 발생하는 원경로보다 항상 가깝다는 정보를 제공해 준다. 그러나 대부분의 관찰자들이 실제 지각한 것은 진자의 원경로가 불투명 표면보다 앞에 있는 것이었으며, 이러한 결과는 진자와 표면과의 상대적인 입체시 깊이 정보에서 제공되는 깊이 정보와는 상반된 것이었다.

상대적인 입체시 깊이정보의 관점에서 이러한 결과를 고려하면 최소한 다음과 같은 두 가지 설명이 가능하다. 먼저 표면과 진자와의 상대적인 입체시 깊이가 산출되었지만 가림 단서의 효과가 아주 우월하여 상대적인 입체시 깊이에 의해서 제공되는 깊이정보들이 억제된 것으로 해석할 수 있다. 대안적으로, 표면과 진자사이의 상대적인 입체시 깊이가 효과적으로 추출되지 않았을 가능성이 있다. Kham(2004)의 연구에서 사용된 균질한 흰색 표면의 경우 표면 내부에서는 국소적인 양안 부등정보가 산출될 수 없었기 때문에 상대적인 입체시 깊이가 효과적으로 산출되지 못했을 가능성이 있기 때문이다. 불투명 표면에서 국소적인 양안 부등이 쉽게 추출되어 표면과 진자의 상대적인 입체시 깊이가 보다 쉽게 산

출될 수 있도록 조작함으로써 이러한 두 가능성의 타당성을 살펴볼 수 있다. 가림 단서의 효과가 매우 강력하여 상대적인 입체시 깊이 정보를 억제한다면 표면의 국소 부등 정보가 주어질 상대적 입체시 깊이가 확실하게 산출될 수 있는 경우에도 가림 단서의 효과에 의해 진자가 항상 표면 앞에서 운동하는 것으로 지각될 것을 예측할 수 있다. 이와 달리, 표면 내부에 국소 부등 정보가 주어지지 않은 균질한 표면에서는 표면과 진자의 상대적인 입체시 깊이가 산출될 수 없었다면, 국소 부등 정보에 의해 상대적인 입체시 깊이가 쉽게 산출될 수 있도록 조작한다면 상대적인 입체시 깊이가 예견하는 바와 같이 진자가 표면보다 더 먼 깊이로 운동하는 것으로 지각될 수 있을 것을 예측할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 국소 부등 정보에 의해 추출될 수 있는 상대적인 입체시 깊이 정보가 깊이 단서들의 통합과정에서 중요한 역할을 하는지를 살펴보기 위해 Pulfrich 진자의 깊이를 측정하였다. 만일 국소 부등정보가 주어지는 경우에 두 대상의 상대적인 입체시 깊이 정보가 추출될 수 있고 그 정보가 효율적으로 사용될 수 있다면, 표면의 중앙 영역에 국소 부등 정보가 주어지는 조건에서는 진자가 표면보다 더 먼 깊이로 운동하는 것으로 지각될 것이다. 이와 달리 표면과 진자와 표면의 상대적인 입체시 깊이가 추출될 수 있는 경우에도 보다 우월한 가림 단서에 의해서 억제된다면 진자의 지각된 깊이는 가림 단서에서 제공되는 깊이정보와 일치하는 방향으로 진자가 항상 표면 앞쪽에서 운동하는 것으로 지각될 것이다. 표면의 중앙 영역에서 국소부등 정보가 쉽게 추출될 수 있도록 실험 예서는 표면의 폭을 줄였으며, 실험 예서는 표면

폭을 고정된 채 무선점들을 표면에 부착하였다.

실험 1. 표면 폭의 효과

상대적인 깊이 정보의 효과는 두 대상의 거리가 가까울수록 더 커진다(Kumar & Glaser, 1991, 1992). Kham(2004)의 연구에서 사용된 균질한 표면의 경우 국소 부등이 산출될 수 있는 유일한 표면 요소는 양 수직 변이었지만, 두 수직 변 사이의 거리는 시각으로 약 25도로 아주 멀었다. 따라서 표면의 중앙 영역에서는 국소 부등정보가 제공될 수 없었기 때문에 진자와 표면의 상대적인 입체시 깊이가 효과적으로 산출되기 어려웠을 가능성이 있다. 실험 1에서는 표면의 중앙 영역에서도 국소적인 양안 부등 정보를 제공해주기 위해서 표면의 폭을 변화시켰다. 표면의 폭이 좁아질수록 표면의 중앙과 수직 변의 거리는 줄어들므로 표면의 중앙 영역에서도 국소 부등에 의해 입체시 깊이가 산출될 가능성이 더 커지며, 이에 따라 표면의 중앙 영역에서도 진자와 표면의 상대적인 입체시 깊이가 추출될 가능성이 높아진다. 이 정보가 깊이 단서들의 상호 작용과정에 영향을 준다면 그 결과로 상대적인 입체시 깊이가 예견하는 것과 같이 진자가 표면보다 더 먼 경로로 회전하는 것으로 지각될 것을 예상할 수 있다.

방 법

관찰자 Pulfrich 효과에 의한 깊이를 지각하지 못하는 사람들을 배제하기 위해 실험에 앞서 각 관찰자는 전형적인 Pulfrich 장면에서 타원형 경로를 지각할 수 있는지를 확인받았다.

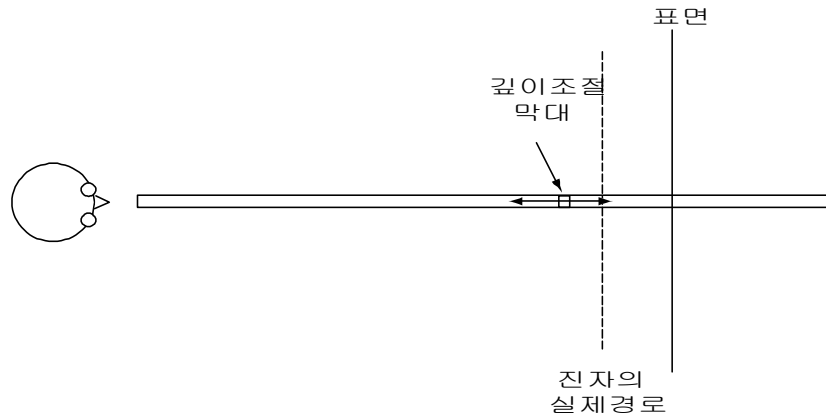


그림 2. 실험에 사용된 장비들의 구성 .

실험에 사용된 표면은 진자의 물리적인 깊이보다 항상 20cm 뒤쪽에 제시되었으며 관찰자는 진자의 지각된 깊이를 깊이 조절 막대의 깊이와 일치시키도록 지시받았다.

본 연구의 목적은 가림 단서에 의해서 줄어든 진자의 원경로가 이와 상반되는 상대적인 입체시 깊이에 의해 변화되는 지를 살펴보는 것이었다. 따라서 전형적인 Pulfrich 깊이를 지각할 수 있는 사람들 중 실험에 포함된 가장 큰 표면 폭 조건에서 진자의 원경로가 줄어들어 항상 표면 앞쪽으로 운동하는 것으로 지각한 관찰자들만 실험에 참가시켰다. 실험의 목적을 모르는 아홉 명의 학부생들 중 진자의 경로보다 큰 표면을 제시한 경우에도 진자가 표면보다 더 먼 경로로 움직이는 것으로 지각한 1)의 자료는 분석에서 제외되어 여덟 명의 자료만이 분석에 사용되었다.

자극 및 장치 회색의 작은 원통형 추(직경 1cm 높이 2cm)가 왕복 운동을 하는 진자로 사용되었다. 진자는 천장에 달려있는 철사로부

터 길이 100 cm의 실에 매달려 있었으며, 관찰자들의 눈높이보다 약 20cm 위에 제시되었다. 그림 2에는 실험 장치의 구성이 도식적으로 제시되어 있다. 진자의 깊이 추정은 움직일 수 있는 수직 막대(0.5 × 32.5cm)를 통해 이루어졌는데, 이 막대는 탁자 위의 관찰자의 중앙 시상면(mid-sagittal plane)상에 놓여져 있는 레일위에서 움직이도록 만들어져 있었다. 관찰자는 막대에 연결되어 있는 두 줄 중 하나를 잡아당김으로써 막대의 깊이를 조절할 수 있었으며, 깊이 측정 막대가 올려져있는 레일에는 센티미터 줄자가 붙어 있어 관찰자가 깊이 측정막대로 추정한 진자의 깊이를 실험자가 읽을 수 있도록 만들어져 있었다. 매 시행의 시작 전 실험자는 정해진 특정 높이(수직 위치로부터 30도)에서 진자를 자유 낙하시켰으며, 관찰자들은 왕복운동을 하는 진자를 한쪽 눈앞에 광도를 떨어뜨리는 필터(neutral density filter) (KODAK, OD 1.0)를 댄 채 2.5m 밖에서 양안으로 관찰하였다.

각 관찰자들이 Pulfrich 효과에 의한 입체시

1) Kham(2004)의 연구에서도 실험 관찰자의 약 10%는 불투명 표면이 제시된 조건에서도 진자가 불투명 표면보다 더 먼 경로로 운동하는 것으로 지각하였다.

깊이를 지각할 수 있는 지를 확인하기 위해 표면이 제시되지 않은 전형적인 Pulfrich 현상 하에서 진자의 지각된 깊이가 먼저 측정되었다. 패턴이 주어지지 않는 흰색의 균질한 표면이 사용되었으며, 그 폭은 20, 50, 80, 혹은 120 cm로 변화되었지만 높이는 90cm로 고정되어 있었다. 각 표면의 중앙은 항상 관찰자의 중앙 시상면에 위치되었다. 각 표면은 진자의 물리적인 경로보다 20cm 뒤쪽에 제시되었으며, 실험은 일반적인 방안 조명 하에서 실시되었다. 관찰자의 머리 운동을 통제하기 위해서 턱받이가 제공되었다.

절차 본 실험 전에 주어진 실험 장치 하에서 깊이 추정절차에 익숙해질 수 있도록 각 관찰자들은 연습시행을 실시하였다. 통제 조건과 네 수준의 실험 조건들은 각각 개별적으로 실시되었으며, 관찰자들이 전형적인 Pulfrich 입체시 깊이를 지각할 수 있는 지를 살펴보기 위해서 항상 표면이 제시되지 않은 통제 조건에서 진자의 깊이가 먼저 측정되었다. 나머지 네 표면 폭 조건들의 제시 순서는 관찰자마다 무선적이었다. 각 시행에서 실험자가 진자를 특정 높이에서 자유 낙하시키면, 관찰자들은 근경로 혹은 원경로와 중앙 시상면이 교차되는 지점에서의 진자의 깊이 즉, 최근점과 최원점의 지각된 깊이를 깊이 측정 막대의 깊이와 일치시키도록 요구받았다. 진자의 흔들림 폭이 감소되어 진자의 지각된 깊이가 줄어드는 현상(Lit, 1960)을 최소화하기 위해서, 진자가 세 번 왕복 운동하는 동안에 관찰자가 반응을 하지 못하면 실험자는 진자를 정해진 위치에서 다시 자유 낙하시켰다. 관찰자가 진자의 깊이를 깊이 측정 막대의 깊이와 일치시키면 실험자는 깊이 측정 막대의 깊이를 기록

하였다. 특정 표면 폭 조건에서 최원점과 최근점의 깊이는 교대로 세 번씩 반복 측정되었다. 눈운동에 대한 지시는 주어지지 않았다. 표면 폭 변인(5 조건)과 측정 위치 변인(최원점과 최근점)을 두 변인으로 하는 이요인 반복측정 방안으로 설계되었으며, 두 변인의 조합으로 만들어질 수 있는 10개의 실험 조건에서 진자의 깊이는 각각 세 번씩 측정되었으므로 실험은 모두 30번의 시행으로 구성되었다.

결과 및 논의

표면 폭의 변화에 따라 최원점과 최근점에 대한 지각된 깊이가 관찰자별로 그림 3에 제시되어 있다. 검은색과 흰색 자료점은 각각 최원점과 최근점의 추정된 깊이를 나타내며 세로축에 제시된 0은 진자의 물리적인 깊이, 20cm는 표면이 제시된 깊이를 각각 나타낸다. 따라서 최원점이 20cm보다 먼 것으로 추정된 자료는 진자가 표면 뒤쪽으로 운동하는 것으로 지각된 것을 나타낸다. 표면이 주어지지 않은 통제 조건에서 모든 관찰자들은 진자의 최원점과 최근점의 깊이를 물리적인 경로(0cm)보다 각각 더 멀거나 가깝게 지각했으며, 이는 모든 관찰자들이 전형적인 Pulfrich 입체시 깊이를 지각할 수 있었음을 보여준다.

그림 3에서 볼 수 있듯이 단서 상충이 발생되지 않는 영역에 있는 최근점의 지각된 깊이는 모든 관찰자의 자료에서 표면 폭에 따른 차이가 발생되지 않았으므로 추후 논의에서 제외하였다($F(3,21)=1.31$, $MSe=16.86$, $p = .30$). 이와 달리 단서 상충이 발생하는 영역에 있는 최원점의 지각된 깊이에서는 단서 상충 자극을 사용한 여러 연구들(예를 들어, Norman & Todd, 1995; Sato & Howard, 2001; Hibbard,

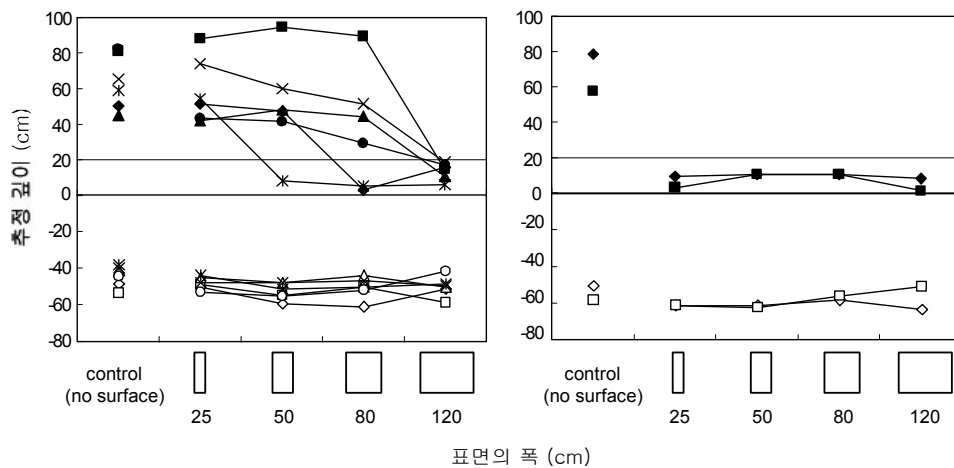


그림 3. 각 표면 폭 조건에서 지각된 최원점과 최근점의 깊이.

표면이 제시되지 않은 통제조건과 각 표면폭 조건에 따라 진자의 지각된 최원점 (검정색 점)과 최근점의 깊이(흰색 점)가 각 개인별로 제시되어 있다. 왼쪽 그림은 표면 폭에 따라 진자의 깊이가 변화된 여섯 명의 자료를 보여주고 있으며, 오른쪽 그림은 진자의 지각된 깊이에서 변화가 없는 두 명의 자료를 보여주고 있다. 수직축에 제시된 0은 진자의 물리적 깊이를 나타내며, 이 깊이를 기준으로 양수와 음수는 각각 더 멀거나 가까운 깊이를 나타낸다. 20cm에 제시된 수평선은 표면의 깊이를 나타내고 있으므로 이 수평선보다 위쪽에 제시된 자료 점은 진자가 표면 뒤쪽으로 움직인 것으로 지각한 것을 나타낸다.

Bradshaw, Langley & Rogers, 2002; van Ee, van Dam & Erkelens, 2002)에서 발견되는 것과 같이 큰 개인차가 발견되었다. 그림 3의 오른쪽에 제시된 두 명의 자료는 표면의 폭과 무관하게 항상 진자가 표면의 앞쪽으로 운동하는 것으로 지각되었음을 보여주고 있다. 이러한 결과는 표면 폭이 줄어들수록 진자와 표면의 상대적인 입체시 깊이가 보다 쉽게 추출될 수 있었음에도 불구하고 가림 단서에 의한 깊이 정보와 일치하는 방식으로 지각되었음을 보여주는 것으로, 가림 단서의 효과가 매우 강력하여 이와 상충되는 진자와 표면과의 상대적인 입체시 깊이가 가림 단서에 의해 억제되었음을 시사한다. 표면 폭에 따라 진자의 지각된 깊이에서 질적인 차이를 보여주지 않

은 이들 두 명의 관찰자들은 실험 후 매우 흥미로운 언어적 보고를 했다. 예를 들어 25cm 표면 폭 조건에서는 깊이 상충 영역이 크지 않았기 때문에 원경로의 대부분에서는 진자가 타원형 경로로 운동하였지만, 표면과 중첩되는 영역에서는 그 경로가 급격하게 바뀌어 표면 앞쪽으로 운동하는 매우 불규칙한 경로가 지각됨을 보고하였다.

이와 달리 그림 3의 왼쪽에 제시되어 있는 것과 같이 여덟 명 중 여섯 명의 자료는 표면의 폭에 따라 최원점의 지각된 깊이가 변화되는 것으로 나타났다($F(3,15)=8.83$, $MSe = 261.03$, $p = .001$). 표면이 진자의 물리적인 깊이보다 20cm 뒤쪽에 제시된 것을 고려할 때 이들 관찰자들의 결과는 표면 폭이 좁아질수록 진자

가 표면의 뒤쪽으로 운동하는 것처럼 지각되는 경향이 더 많아져 진자의 지각된 깊이에서 질적인 변화가 발생되었음을 보여준다. 즉 실험에 포함된 표면 폭들 중 최대인 120cm조건에서 모든 관찰자들은 진자가 표면보다 앞쪽으로 운동하는 것으로 지각하였지만, 표면 폭이 좁아질수록 표면 뒤쪽으로 운동하는 것으로 지각한 관찰자의 비율이 증가하였다. 네 명의 관찰자는 표면 폭이 80cm이하인 조건들에서 진자가 표면 뒤쪽으로 운동하는 것으로 지각하였으며 한 명의 관찰자는 50cm이하인 조건들에서 그리고 나머지 한 명은 단지 25cm 조건에서만 진자가 표면 뒤쪽으로 운동하는 것으로 지각하였다. 이와 같이 진자가 표면 뒤쪽으로 운동하는 것으로 지각한 표면 폭 수준은 관찰자마다 달랐지만 일반적으로 표면 폭이 좁아질수록 최원점의 깊이가 표면보다 멀리 있는 것으로 지각한 경향이 더욱 높아졌다.

표면의 폭이 좁아질수록 표면의 양 수직 변에서 제공되는 국소 부등은 최원점과 보다 가까운 곳에서 추출될 수 있다. 그 결과로 표면의 입체시 깊이와 Pulfrich 진자의 입체시 깊이는 직접 비교가 될 수 있는 가능성이 더 높아진다. 따라서 표면 폭에 따라 진자의 원경로에서 질적인 변화들(여섯 명의 자료)은 표면과 진자의 상대적인 입체시 깊이에 의해 영향 받은 것으로 해석할 수 있다. 두 대상의 상대적인 입체시 깊이는 진자의 원경로가 표면보다 더 멀다는 정보를 제공하며 이는 가림 단서에 의해서 제공되는 두 대상의 상대적인 깊이와는 상반된다. 깊이 단서들의 통합과정에서 각 단서들의 효율성은 다른 깊이 단서들에 의해서 제공되는 깊이정보와의 상관정도에 의해서 영향 받을 수 있기 때문에(Landy, Maloney,

Johnston & Young, 1995; Fine & Jacobs, 1999; Jacobs, 2002), 추가적으로 제시된 상대적인 입체시 깊이 정보에 의해 이와 상반되는 깊이 정보를 제공하는 가림 단서의 효율성이 약화된 결과로 해석할 수 있다.

여섯 관찰자들의 구두 보고에서 나타난 한 가지 흥미로운 현상에 대해서 언급할 필요가 있다. 진자가 불투명 표면의 뒤쪽으로 운동하는 것으로 지각될 때 관찰자들은 진자의 경로 주변에 있는 불투명 표면이 일시적으로 투명하게 지각됨을 보고하였다. 이러한 보고는 양안 부등 정보와 가림 정보가 상충된 입체 그림(stereogram)을 사용한 연구(Howard & Rogers 2002, page 486)에서 보고된 결과와 일치한다. 그들은 한 막대가 다른 막대를 가리고 있는 영상에서 가리고 있는 막대의 양안부등을 더 먼 것으로, 가려지는 막대의 양안 부등을 더 가까이 있는 것으로 조작하여 두 깊이 단서가 서로 상충되도록 입체 그림을 만들었다. 이 입체 그림을 융합(fusion)하면 각 막대는 양안 부등에 의한 깊이대로 지각되지만 두 막대가 교차하는 부분에서 가려진 막대의 속성이 투명하게 변화되는 것을 보고하였다. 단서 상충 상황에서 다른 단서에 의한 깊이 정보가 가림 단서에 반하는 방식으로 계산된 경우 즉 가려지는 대상보다 가리는 대상이 더 먼 것으로 계산되었을 때 가리는 대상이 더 멀리 있는 것으로 표상되는 것은 상상하기 힘들다. 인간의 시각기제는 이 경우 가까이 있는 대상의 표면 속성을 투명하게 표상함으로써 상충되는 가림 단서의 깊이정보를 해결하는 현명한 방식으로 깊이 단서들의 상충 점들을 해소하는 것을 보여준다. Howard와 Rogers는 이를 여러 종류의 단서 상호작용들 중 단서의 재해석(reinterpretation)이라고 불렀다.

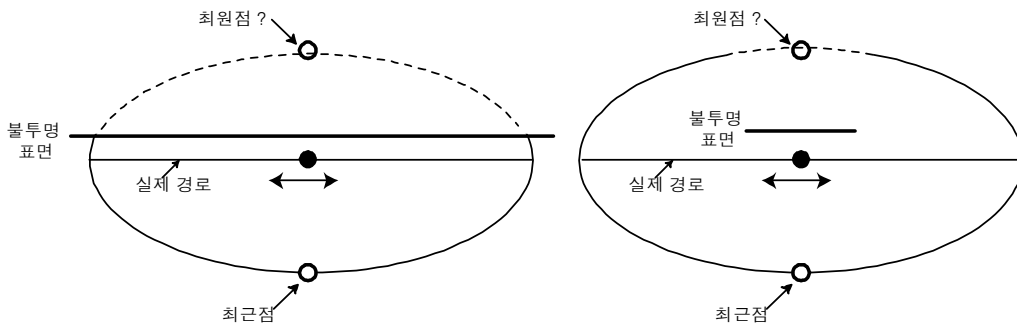


그림 4. 불투명 표면 폭에 따라 단서 상충이 발생하는 영역.

불투명 표면의 폭이 넓은 경우 대부분의 원경로는 깊이 단서들의 상충이 발생하지만 표면 폭이 좁은 경우 단서 상충 영역의 범위는 좁아지게 된다. 그림에서 점선은 진자의 가현 경로에서 단서 상충이 발생하는 영역을 표시하고 있다.

표면 폭이 좁아지면서 진자가 표면 뒤쪽으로 운동하는 것으로 지각된 실험 1의 결과는 표면의 국소 부등 정보에 의해 진자와 표면의 상대적인 입체시 깊이가 제공되었기 때문이라는 설명 외에 또 다른 요인에 의해서도 설명될 수 있다. 그림 4의 왼쪽에 제시된 그림에서 볼 수 있듯이 표면 폭이 120cm인 경우 원경로의 대부분 영역에서 깊이 단서들 간에 상충이 발생하지만, 오른쪽에 제시된 그림과 같이 표면 폭의 줄어듦에 따라 단서 상충 영역 또한 줄어들게 된다. 따라서 표면 폭이 좁은 조건은 120cm 표면 폭 조건과 비교해 볼 때 표면의 중앙 영역 가까운 곳에서 국소 부등 정보가 추출될 수 있다는 것 이외에도 다른 요인에서도 차이가 발생한다. 예를 들어, 운동하는 물체의 경로나 회전 방향이 애매하여 들이상의 다른 경로나 방향으로 지각될 수 있는 자극의 경우, 그 자극의 운동 방향이나 경로는 이전에 제시된 경로나 회전 방향이 확실한 자극의 운동 방향이나 경로가 유지되는 쪽으로 지각되는 운동 관성(motion inertia)이 발생된다. 이러한 현상은 2차원의 가현 운동 자극

의 지각된 운동 방향뿐만 아니라 (Anstis & Ramachandran, 1987; Pantle, Galloglyb & Piehler, 2000; Ramachandran & Anstis, 1983), 운동에 의한 구조파악(structure from motion)과 같은 3차원 대상의 회전 운동의 방향(Jiang, Pantle & Mark, 1998)에서도 발견된다. 표면 폭이 좁은 경우 깊이 단서들 간 상충이 발생되지 않는 영역에서 진자의 운동 경로는 Pulfrich 효과에 의해서만 결정될 수 있기 때문에 그 경로는 애매하지 않다. 이와 달리 표면이 주어진 영역에서는 단서간 상충이 발생하므로 각 단서의 관점에서 가능한 운동 경로는 다르므로 진자의 운동 경로는 애매해진다. 운동 관성에 의하면 애매하지 않은 영역에서의 타원형 운동 경로가 단서 상충이 발생하는 영역까지 영향을 주어 타원형 운동 경로로 결정될 수 있으므로 운동 관성의 관점에서도 실험 1의 결과는 설명될 수 있다. 이러한 오염 변인의 효과를 제거하는 한 가지 방법은 표면의 폭을 고정시켜 놓음으로써 단서 상충이 발생하는 영역을 동일하게 유지한 채 국소 부등 정보를 제공하는 것이다. 실험 2에서는 표면 폭을 고

정시켜 놓은 채 표면에 무선점 패턴을 추가함으로써 표면 내부에 국소 부등 정보를 제공했다.

실험 2. 표면의 무선 패턴에 의한 국소 부등 정보의 효과

각 조건간 단서 상충 영역을 동일하게 유지한 채 표면 내부에 국소 부등 정보를 제공하기 위해서 고정된 폭을 가진 표면에 검은 색 무선점 패턴을 부착시켰다. 표면 폭은 실험 1에서 가장 넓은 표면 조건인 120cm로 고정시켰다.

방 법

관찰자 실험 1에 참가한 학생들이 실험 2에도 참가하였다.

자극 및 장치 사용된 표면을 제외하고 실험 2에 사용된 기본적인 장치와 자극은 실험 1과 동일하였다. 표면의 폭은 120cm로 고정되어 있었으며 표면 내부에 국소 부등 정보를 제공하기 위하여 가로 세로 1cm 크기를 가진 정사각형으로 구성된 무선점 패턴이 제시되었다. 무선점 패턴의 밀도는 패턴이 제시되지 않은 0% 조건을 포함하여 5%, 10%, 20% 조건으로 결정되었다.

절차 실험 1에 참가한 사람들이 모두 실험 2에도 참가했기 때문에 연습시행 없이 바로 본 실험을 실시하였다. 각 시행의 실험 절차도 실험 1과 동일하게 실시되었다. 각 표면 패턴의 조건들은 개별적으로 실시되었으며, 각 조

건의 제시 순서는 관찰자마다 무선적으로 결정되었다. 표면 패턴의 밀도(4 수준)와 측정 위치 변인(최원점과 최근점)의 조합으로 만들어질 수 있는 8개의 실험 조건에서 진자의 깊이는 각각 세 번씩 측정되었으므로 실험은 모두 24번의 시행으로 구성되었다.

결과 및 논의

무선점 패턴의 밀도에 따라 최원점과 최근점의 지각된 깊이가 각 관찰자별로 그림 5에 제시되어 있다. 실험 1의 결과와 유사하게 단서 상충이 발생되지 않는 최근점의 지각된 깊이는 무선점의 밀도 조건에 따른 유의미한 차이가 없었다. 실험 2에 제시된 표면의 폭은 모든 조건에서 120cm로 고정되어 있었기 때문에 표면에 패턴이 제시되지 않은 0 조건은 실험 1의 표면 폭 120cm 조건과 정확히 동일하였다. 이 조건에서 여덟 명의 관찰자들 모두는 실험 1의 동일조건에서와 같이 진자가 모두 표면 앞쪽에 있는 것으로 지각하였다. 그러나 표면에 제시된 무선점의 효과는 실험 1에서와 같이 개인차가 발생하였으며, 이들 여덟 관찰자들의 자료는 두 집단으로 분류할 수 있었다: 표면에 제시된 패턴에 의해 지각된 진자의 원경로가 질적으로 변화되는 집단과 진자의 지각된 깊이에서 패턴의 효과가 거의 없는 것으로 나타난 집단. 그림 5의 왼쪽에 제시되어 있는 것과 같이 여덟 명의 관찰자 중 다섯 명의 자료는 무선점 패턴의 밀도가 증가함에 따라 최원점의 깊이가 질적으로 변화됨을 보여주고 있다($F(3,12)=17.33$, $MS_e=75.89$, $p=.001$). 또한 무선점 패턴의 각 조건간의 차이를 .05수준에서 최소 유의 차이를 기준으로 사후 검증한 결과 0%, 5%, 10% 조

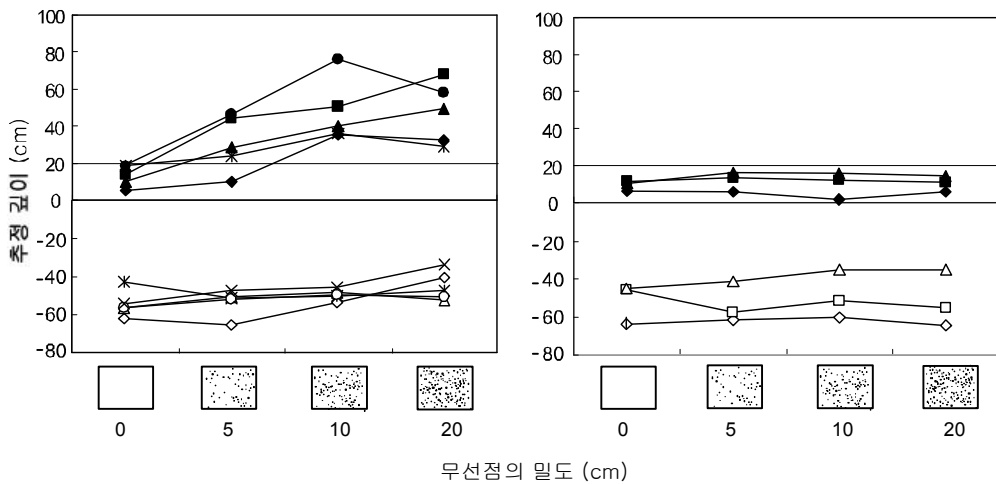


그림 5. 무선점 패턴의 밀도에 따라 지각된 최원점과 최근점의 깊이.

왼쪽 그림은 패턴의 밀도에 따라 진자의 깊이가 변화된 다섯 명의 자료를 보여주고 있으며, 오른쪽 그림은 진자의 지각된 깊이에서 변화가 없는 세 명의 자료를 보여주고 있다.

건에서 지각된 깊이들 간에는 유의미한 차이가 있지만 10% 조건과 20% 조건에서 지각된 깊이는 유의한 차이가 발견되지 않았다. 이와 달리 오른쪽에 제시된 나머지 세 관찰자들의 자료는 무선점 패턴이 제시되는 조건에서도 최원점의 깊이가 변화되지 않음을 보여준다 ($F(3,6)=.76, MS_e=4.05, p=.56$).

실험 1에서와 동일하게 모든 표면은 진자의 물리적인 경로보다 20cm 뒤에 제시되었기 때문에 무선점 패턴의 밀도에 따라 최원점의 경로가 변화되었음을 보고한 다섯 관찰자의 자료는 표면 깊이를 기준으로 질적으로 구분할 수 있다. 무선점 패턴이 제시되지 않은 0조건에서는 다섯 명 모두 원경로가 불투명 표면 앞쪽에 있는 것으로 지각하였지만 무선점 패턴의 밀도가 증가할수록 진자가 표면 뒤쪽에서 운동하는 것으로 지각한 관찰자 수는 증가하는 것으로 나타났다. 실험 1과는 달리 모든 조건에서 단서 상충 영역의 범위가 동일하였

음을 고려할 때, 표면에 무선점 패턴이 제시된 조건에서 진자가 표면보다 먼 경로로 운동하는 것으로 지각한 다섯 명의 결과는 표면과 진자의 상대적인 입체시 깊이의 효과로 고려할 수 있다. 즉 무선점 패턴에 의해 표면 내부에서 산출될 수 있는 국소 부등정보에 의한 표면의 입체시 깊이와 Pulfrich 진자의 입체시 깊이가 산출될 수 있을 때, 두 대상의 상대적인 입체시 깊이가 가림 단서의 영향력을 약화시켰음을 보여준다. 또한 무선점 패턴의 밀도가 10%에 이르기까지 진자의 원경로의 깊이는 증가한 후에 접근하는 것으로 나타났는데 이는 상대적인 깊이 정보가 많아질수록 진자의 깊이에 양적으로 영향을 미치고 있음을 보여준다.

실험 2에서도 가림 단서에서 제공되는 깊이 정보가 매우 우월한 관찰자들이 발견되었다. 실험 1에서 가림 단서의 효과가 매우 우월하여 진자가 항상 표면 앞쪽으로 운동하는 것으

로 지각한 두 명의 관찰자를 포함하여 모두 세 관찰자가 무선점 패턴이 제시되는 경우에도 진자가 항상 표면 앞쪽으로 운동하는 것으로 지각됨을 보고하였다. 실험 후 이들 관찰자들로부터 얻은 언어적인 보고는 무선점 패턴에 의해 상대적인 깊이 정보가 제공되었음을 보다 직접적으로 보여준다. 무선점 패턴이 있는 표면이 제시되었을 때 진자가 무선점 뒤쪽으로 운동하는 것으로 지각되지만, 결코 표면보다 더 먼 경로로 움직이는 것으로는 지각되지 않으며 마치 진자가 표면을 스치듯이 운동하는 것으로 지각됨을 관찰자들은 보고하였다. 이러한 결과는 표면의 무선점 패턴과 진자의 상대적인 입체시 깊이가 산출되어 진자가 패턴 뒤쪽으로 운동하는 것으로 지각하였지만, 가림 단서의 효과가 매우 우월하여 표면보다 더 가까운 경로로 회전하는 것으로는 지각되었음을 보여주는 것이다.

균질한 배경 위를 운동하는 것보다 텍스처가 있는 배경 위를 운동하는 대상의 지각된 속도는 증가한다(Blakemore & Snowden, 2000; Gogel & McNulty, 1983). 진자의 물리적인 속도가 증가할 때 전형적인 Pulfrich 진자의 지각된 깊이는 증가(Lit 1960; Nickalls 1996)하는 현상과 유사하게 진자가 텍스처가 있는 배경 위로 운동할 경우 Pulfrich 진자의 지각된 깊이는 증가한다(감기택과 김선아, 2003). 따라서 실험 2에서 무선점 패턴의 밀도가 증가할수록 진자의 Pulfrich 깊이가 증가하게 되고, 그 결과로 불투명 표면의 깊이보다 더 먼 경로로 진자가 운동하는 것으로 지각된 것으로 해석할 수도 있다. 그러나 단서 상충 상황에서 Pulfrich 진자의 입체시 깊이를 변화시키는 경우에도 진자 경로의 질적인 변화는 발견되지 않았다(Kham, 2004). 그는 응시 거리를 변화시킴으로

써 Pulfrich 진자의 지각된 깊이를 변화(Lit & Hyman, 1951)시켰지만 응시거리와 무관하게 항상 진자는 표면 앞쪽에서 운동하는 것으로 지각됨을 발견하였다. 이러한 결과는 Pulfrich 진자의 지각된 깊이가 증가하는 것이 깊이 상충 상황에서 진자의 경로를 질적으로 변화시키지 못함을 보여주는 것으로, 무선점 패턴이 제시된 조건에서 진자가 표면보다 더 먼 경로로 운동하는 것으로 지각한 관찰자들의 결과는 진자의 지각된 깊이의 단순한 증가 때문에 발생한 것이 아님을 시사한다.

종합 논의

실험 1과 2의 결과들에서 깊이 상충 상황에서 얻어진 기존의 연구 결과들(Norman & Todd, 1995; Hibbard 등, 2002; Van Ee 등, 2002)에서와 같이 큰 개인차들이 발견되었다. 예를 들어 텍스처의 조망(perspective)과 같은 단안 단서와 양안 부등이 제공하는 표면에 대한 깊이 정보가 상충적일 때 각 개인에 따라 효율적으로 처리되는 깊이 단서에서 큰 차이가 있다(예를 들어, Gillam, 1968; Allison & Howard, 2000; Sato & Howard, 2001; Van Ee 등 2002). 어떤 관찰자들은 단안 단서에 의해 제공되는 깊이와 일치되는 방식으로 표면의 깊이를 지각하는 반면, 다른 관찰자들은 양안 부등에 의해서 제공되는 깊이와 일치되는 방식대로 표면의 깊이를 지각한다. 본 연구에서도 소수의 관찰자들은 표면의 국소 부등 정보가 주어져 상대적인 입체시 깊이가 제공되는 조건에서도 여전히 가림 단서가 제공하는 깊이 정보와 일치하는 방식으로 진자가 항상 표면 앞쪽으로 운동하는 것으로 지각하였다. 특히, 실험 2에서 무선점 패턴에 따라 진자의 깊이 변화

가 없다고 판단한 관찰자의 경우에도 구두 보고시 진자가 무선점 패턴보다는 더 뒤쪽으로 운동하는 것으로 판단했다. 이는 표면과 진자의 상대적인 입체시 깊이가 산출되었음을 보다 직접적으로 보여주는 결과이다. 그럼에도 불구하고 이들 관찰자들은 진자가 표면보다 결코 더 먼 깊이로 운동하는 것으로는 지각되지 않음을 보고하였다. 이러한 결과를 보여주는 개인들의 자료는 가림이라는 단안 단서의 효율성이 매우 강력하여 상대적인 입체시 깊이 정보가 가림 단서에 의해 억제된 것으로 해석할 수 있다. 이와 달리 실험 1, 2에 참가한 다수의 관찰자의 경우 국소 부등 정보가 표면 내부 가까이에서 제공되는 조건에서는 상대적인 입체시 깊이가 예측하는 방식으로 진자가 표면보다 더 먼 깊이로 운동하는 것으로 지각되었다. 이들 관찰자들의 자료는 상대적인 입체시 깊이 정보가 추가적으로 제공됨으로써 이와 상충되는 가림 단서에 의한 깊이 정보의 효율성이 상대적으로 약화될 수 있음을 보여준다.

국소 양안 부등 정보는 윤곽이나 패턴과 같이 영상 형태소(image feature)나 표면 표식(surface marking)이 있는 영역에서만 산출될 수 있지만, 국소적인 양안 부등이 제공될 수 없는 영역에도 보간 과정을 통해 입체시 깊이가 할당된다는 것은 여러 계산 모형(Grimson, 1981; Marr, 1981)에서도 가정하고 있으며, 현상적(Julesz, 1971) 또는 정신물리학적 연구(Yang & Blake, 1995; Nishina, Okada & Kawato, 2003)에서도 지지받고 있다. 균질한 표면 내부도 보간 과정을 통해 입체시 깊이가 할당되지만 균질한 표면과 무선점 패턴이 있는 표면이 제시된 두 조건에서 진자의 지각된 깊이가 질적으로 달라짐을 보고한 다수 관찰자들의 결과는

상대적인 입체를 추출하는 데 국소 부등 정보가 중요한 요인임을 시사한다.

그렇다면 깊이 단서들의 상호작용 혹은 통합과정에서 본 연구 결과의 함의점(implication)은 무엇인가? 본 연구의 결과는 국소 양안 부등의 보간 과정과 상대적 입체시 깊이 정보가 산출되는 과정들의 상대적인 위계에 대한 시사점을 제공해 줄 수 있다. 만약 표면과 진자의 상대적 입체시 깊이가 표면의 깊이 보간 과정이 발생한 이후에 추출된다면 균질한 표면이나 무선점 패턴이 제시된 표면 모두에서 동등하게 상대적 입체시 깊이가 산출될 수 있었을 것이며 그 결과로 두 표면 조건 모두에서 진자의 지각된 깊이는 유사했을 것이다. 실험 결과는 이와 달리 무선점 패턴이 주어진 표면과 균질한 표면이 제시된 조건에서 진자의 지각된 깊이는 다르게 나타났다. 이러한 결과는 두 대상의 상대적인 입체시 깊이가 먼저 계산되고 이후에 깊이 보간 과정이 발생되었음을 시사한다. 왜냐하면 깊이 보간 과정 이전에는 표면 내부에 국소 부등 정보가 있는 경우에만 입체시 깊이가 계산될 수 있기 때문이다.

깊이 단서들의 통합과정에 대한 모형들(예를 들어, Landy 등, 1995; Jacobs, 2002)은 각 깊이 단서들로부터 단일한 깊이 지도를 형성하는 위계적인 과정에서 깊이 보간 과정이 발생하는 상대적인 위치를 명시적으로 제시하고 있지 않다. 최근의 한 연구(Turner, Braunstein & Andersen, 1997)에서는 여러 깊이 정보로부터 표면을 형성하는 과정에서 각 단서들의 상호작용 과정과 깊이 보간 과정의 상대적인 위계에 대한 두 대안적인 모형들이 언급되었다. 각 깊이 단서 단원들(modules) 내에서 계산된 깊이 지도들을 바탕으로 깊이 보간 과정이 발

생한 후에 이러한 정보들이 통합되어 표면이 형성되는 지, 혹은 각 깊이 정보들이 통합된 후에 깊이 보간이 발생하는 지에 따라 구별되는 두 대안적인 모형들이 제안되었다. Pulfrich 현상의 입체시 깊이가 양안 부등을 처리하는 기체에 의해서 산출될 수 있음을 고려할 때 표면의 양안 부등과 Pulfrich 깊이는 동일한 깊이 단원 즉 양안 부등을 처리하는 단원 내에서 처리될 수 있으므로 상대적인 입체시 정보 또한 동일한 단원 내에서 추출될 수 있다. 따라서 본 연구의 상대적인 입체시 깊이는 Turner 등이 제안한 두 대안적인 모형이 가정하는 보간 과정의 상대적인 위치보다 항상 앞쪽에서 추출될 수 있으므로 본 연구의 결과로는 이들 두 대안적인 모형을 지지하거나 반박할 수 없다. 단지 본 연구 결과는 상대적인 입체시 깊이는 양안 부등에 의한 깊이 보간이 발생되기 전에 추출될 수 있음을 시사한다.

마지막으로 언급할 필요가 있는 것은 두 실험에서 발견된 개인차의 원인이 van Ee 등 (2002)의 지적과 같이 양안 부등을 처리하는 과정에서의 개인차 때문일 가능성이 있다는 점이다. 일반인들 중 약 3% 정도는 양안 부등에 의한 입체시 깊이를 전혀 구분하지 못하는 입체시맹(stereoblind)으로 분류되지만 입체시맹이 아닌 사람들 중에서도 약 30%이상은 응시점보다 가까운 곳에 제시된 대상에서 발생하는 교차 부등(crossed disparity) 혹은 응시점보다 먼 곳에 제시된 대상에서 발생하는 비교차 부등(uncrossed disparity) 중 특정 양안 부등 정보에서만 입체시 깊이를 지각할 수 있는 입체시 이상자(stereo anomaly)로 분류된다(Richards, 1970, 1971). 특히 van Ee 등은 양안 부등의 부호(교차부등 혹은 비교차 부등)나 크기를 구별할 수 있는지(Van Ee & Richards, 2002)에 따라 실

험 참가자를 선별한 결과 깊이 단서의 상충 상황에서 개인차의 문제가 상당히 줄어들었음을 보고했다(van Ee 등, 2002). 본 연구에서는 실험에 참가한 사람들의 입체시 이상 여부를 직접 측정하지 않았지만, 실험 1, 2에서 각각 25%(여덟 명 중 두 명)에서 37%(여덟 명 중 세 명)의 관찰자가 상대적인 입체시 깊이정보가 예견하는 깊이가 아니라 가림 단서에 의해서 예견되는 방식으로 진자의 깊이를 지각했다. 이는 30% 정도의 입체시 이상자가 있다는 Richards의 결과와 일치하는 것으로 본 연구에서의 개인차도 양안 부등에 의한 입체시 깊이 처리과정에서의 개인차에 기인했을 가능성이 있음을 시사한다. 따라서 Van Ee와 Richards (2002)의 입체시 테스트를 사용하여 양안 부등의 부호나 크기를 정확히 구분할 수 있는 사람들을 선별하여 실험을 실시한다면 개인차의 문제는 줄어들 수 있으며, 상대적인 입체시 깊이의 효과가 보다 우월하게 나타날 것을 기대할 수 있다.

참고문헌

- 감기택, 김선아 (2003). 배경 패턴의 밀도에 의한 Pulfrich 효과에서의 깊이 변화. 한국심리학회지: 실험, 15, 275-287.
- Allison, R. S., & Howard, I. P. (2000). Temporal dependencies in resolving monocular and binocular cue conflict in slant perception. *Vision Research*, 40, 1869-1885.
- Andrews, A. T., Glennerster, A., & Parker, A. J. (2001). Stereoacuity thresholds in the presence of a reference surface. *Vision Research*, 41, 3051-3061.
- Anstis, S., & Ramachandran, V. (1987). Visual

- inertia in apparent motion. *Vision Research*, 27, 755-764.
- 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.
- Burr, D. C., & Ross, J. (1979). How does binocular delay give information about depth? *Vision Research*, 19, 523-532.
- Carney, T., Paradiso, M. A., & Freeman, R. D. (1989). A physiological correlate of the Pulfrich effect in cortical neurons of the cat. *Vision Research*, 29, 155-165.
- Erkelens, C. J., & Collewijn, H. (1985). Motion perception during dichoptic viewing of moving randomdot stereograms. *Vision Research*, 25, 583-588.
- Fine, I., & Jacobs, R. A. (1999) Modeling the combination of motion, stereo, and vergence angle cues to visual depth. *Neural Computation*, 11, 1297-1330.
- Gillam, B. (1968). Perception of slant when perspective and stereopsis conflict: experiments with aniseikonic lenses. *Journal of Experimental Psychology*, 78, 299-305.
- Gogel, W. C., & McNulty, P. (1983). Perceived velocity as a function of reference mark density. *Scandinavian Journal of Psychology*, 24, 257-265.
- Grimson, W. E. L. (1981). From Images to Surfaces: A Computational Study of the Human Early Visual System. MIT Press, Cambridge, MA.
- Hibbard, P. B., Bradshaw, M. F., Langley, K., & Rogers, B. J. (2002). The stereoscopic anisotropy - individual differences and underlying mechanisms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 469-476.
- Howard, I. P., & Rogers, B. J. (1995). *Binocular vision and stereopsis*. Oxford: Oxford University.
- Howard, I. P., & Rogers, B. J. (2002). *Seeing in depth*. vol 2. Porteous: Toronto, Canada.
- Jacobs, R. A. (2002). What determines visual cue reliability? *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 345-350.
- Jiang, Y., Pantle, A. J., & Mark, L. S. (1998). Visual inertia of rotating 3-D objects. *Perception and Psychophysics*, 60 (2), 275-286.
- Julesz, B. (1971). Foundations of cyclopean perception. Chicago: University of Chicago Press.
- Julesz, B., & White, B. (1969). Short term visual memory and the Pulfrich phenomenon. *Nature*, 222, 639-641.
- Kaufman L. (1974). Sight and Mind. New York: Oxford University Press.
- Kham, K. (2004). An opaque surface influences the depth from the Pulfrich phenomenon. *Perception*, 33, 1201-1213.
- Kumar, T., & Glaser, D. A. (1991). Influence of remote objects on local depth perception. *Vision Research*, 31, 1687-1699.
- Kumar, T., & Glaser, D. A. (1992). Depth discrimination of a line is improved by adding other nearby lines. *Vision Research*,

- 32, 1667-1676.
- Landy, M. S., Maloney, L. T., Johnston, E. B., & Young, M. (1995). Measurement and modeling of depth cue combination: in defense of weak fusion. *Vision Research*, 35, 389-412.
- 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., & Hyman, A. (1951). The magnitude of the Pulfrich stereophenomenon as a function of distance of observation. *American Journal of Optometry and Archives of the American Academy of Optometry*, 28, 564-580.
- Marr, D. (1982). *Vision*. Freeman: San Francisco.
- Nickalls, R. W. D. (1996). The Influence of target angular velocity on visual latency difference determined using the rotating Pulfrich effect. *Vision Research*, 36, 2865-2872.
- Nishina, S., Okada, M., & Kawato, M. (2003). Spatio-temporal dynamics of depth propagation on uniform region. *Vision Research*, 43, 2493-2503.
- Norman, J. F. & Todd, J. T. (1995). The perception of 3-D structure from contradictory optical patterns. *Perception and Psychophysics*, 57, 826-834.
- Pantle, A. J., Galloglyb, D. P., & Piehlera, O. C. (2000). Direction biasing by brief apparent motion stimuli, *Vision Research*, 40, 1979-1991.
- 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., & Anstis, S. (1983). Extrapolation of motion path in human visual perception. *Vision Research*, 23, 83 - 85.
- Regan, D., Erkelens, C. J., & Collewijn, H. (1986). Necessary conditions for the perception of motion in depth. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 27, 584-597.
- Richards, W. (1970). Stereopsis and stereoblindness. *Experimental Brain Research*, 10, 380-388.
- Richards, W. (1971). Anomalous stereoscopic depth perception. *Journal of the Optical Society of America*, 61, 410-414.
- Rogers, B. J., & Anstis, S. M. (1972). Intensity versus adaptation and the Pulfrich stereophenomenon. *Vision Research*, 12, 909-928.
- Sato, M., & Howard, I. P. (2001). Effects of disparity-perspective cue conflict on depth perception. *Vision Research*, 41, 415-426.
- Turner, J., Braunstein, M. L., & Andersen, G. J. (1997). Relationship between binocular disparity and motion parallax in surface detection. *Perception and Psychophysics*, 59 (3), 370-380.
- van Ee, R., & Richards, W. (2002). A planar and a volumetric test for stereoanomaly. *Perception*, 31, 51-64.
- van Ee, R., van Dam L. C. J., & Erkelens, C. J. (2002). Bi-stability in perceived slant when binocular disparity and monocular perspective specify different slants, *Journal of*

- Vision*, 2, 597-607.
- Westheimer, G. (1979). Cooperative neural processes involved in stereoscopic acuity. *Experimental Brain Research*, 36, 585-597.
- Yang, Y., & Blake, R. (1995). On the accuracy of surface reconstruction from disparity information, *Vision Research*, 39, 949-960.

1차원고 접수: 2005. 5. 2

2차원고 접수: 2005. 6. 9

최종게재결정: 2005. 6. 23

K C I

The Effect of Relative Stereo Depth Provided by Local Disparity in a Cue-Conflict Situation

Keetaek Kham

Center for Cognitive Science, Yonsei University

A cue-conflict situation can be created in the typical Pulfrich setting when an opaque surface is placed just behind the physical path of the pendulum: the depth of the pendulum from the Pulfrich effect is in conflict with that from occlusion. From this experimental setting, most observers reported that the far path seems to shrink and the pendulum was perceived to move in front of the surface (*Perception*, 33, (2004) 1201-1213). In the present study, it is examined whether the additional relative stereo depth by local disparity, which is contradicted with depth from occlusion, could change the perceived path of the Pulfrich pendulum. In order to provide the local disparity information in the inner region of the surface, thereby providing the relative stereodepth between the pendulum and the surface, the width of the surface and the density of the texture attached on the surface were varied in the experiment 1 and experiment 2, respectively. A large individual difference on the perceived depth of the farthest point of the path was found. About 25-35% of the observers reported that in all conditions, the pendulum was perceived to rotate in front of the surface, which was predicted by the depth information from the occlusion. However, most observers perceived that the pendulum was more likely to rotate behind the surface as the width was narrower and the density of the random texture was increased. These results suggest that the efficiency of occlusion might be weakened by the conflicting relative stereodepth, and the relative stereo depth might be extracted before depth interpolation process from the local disparity.

Keywords: depth cue conflict, binocular disparity, the Pulfrich phenomenon, relative stereodepth