

# 역동적인 무선점 및 실제영상 운동에서 관찰자의 진행 방향 지각

## Perception of heading direction in dynamic random-dot and real-image motions

오 창 영\*                      정 찬 섭\*\*                      김 정 훈\*\*\*  
(Chang-young Oh) (Chan-sup Chung) (Jeung-hoon Kim)

**요 약** 무선점과 실제 영상으로 관찰자와 물체의 움직임을 모사하여, 사람들이 광학적 흐름으로부터 자신의 운동 진행 방향을 지각할 수 있는지를 조사하였다. 무선 점 자극으로 물체가 확산점(FOE)을 가로질러 이동하도록 모사하였을 때에는 관찰자가 물체의 운동 방향으로 편향하여 확산점을 지각함으로써 확장운동과 수평운동 요소간에 방향 밀침이 발생한다는 가설을 지지하는 결과를 얻었다. 실제 영상 자극에서는 무선 점 자극과 달리 물체의 운동 방향이나 위치에 관계없이 관찰자가 자신의 진행 방향을 장면의 중앙으로 편향하여 지각하려는 경향이 발견되었으며, 배경의 깊이가 얕은 조건보다 깊은 조건에서 확산점 판단 오류가 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 연구 결과는 실제 환경에서 사람들은 자신의 진행 방향을 지각하거나 결정하는데 있어 광학적 흐름보다는 다른 단서들에 의존할 가능성이 크다는 것을 시사한다.

**주제어** 광학적 흐름, 진행 방향, 방향 밀침, 확산점

**Abstract** We investigated whether human could perceive the heading direction from the optic flow made from random dots and real images simulating the motion of the observer and objects. When an object moves across the focus of expansion(FOE) in random dot simulation, the observer perceived the focus of expansion biased toward the motion direction of the object, supporting the hypothesis that the direction repulsion is produced between the expansional and the horizontal planar motion components. With real image display, observers tended to perceive one's heading direction biased toward the center of the scene regardless of the direction and position of moving objects. And it was observed that the deeper the depth of the background was, the larger the judgment error was. These results suggest it is more likely that human depends on different cues than the optic flow when they perceive or judge one's heading direction in the real environment.

**Keywords** optic flow, heading direction, direction repulsion, focus of expansion

본 연구는 한국과학기술원에서 지원하는 뇌 과학 연구사업 BR-1-3의 일부로서 수행되었음.

\* 연세대학교 인지과학

Cognitive Science Yonsei

e-mail : purple@ccs.yonsei.ac.kr

\*\* 연세대학교 심리학과

Dept. of Psychology Yonsei

e-mail : cschung@bubble.yonsei.ac.kr

주소 : 서울 서대문구 신촌동 연세대학교 대학원 심리학과

(우) 120-749

전화 : (02) 361-4721

\*\*\* 세종대학교 교육학과

Dept. of Education Sejong Univ.

e-mail : jhkim@sejong.ac.kr

빠른 속도로 달리거나 걸어갈 때 우리는 환경 내에 있는 다른 대상들과 충돌하지 않고 이동 경로를 수정하며 진행할 수 있다. 자신이 원하는 방향으로 진행하기 위해서는 주위에 있는 다양한 대상들의 크기와 공간적인 위치를 지각하는 것도 중요하지만, 관찰자가 움직일 때 발생하는 망막상의 움직임도 고려해야 한다(Gibson, 1950). 관찰자가 움직일 때 발생하는 망막상의 움직임을 광학적 흐름(optic flow)이라고

한다. 광학적 흐름은 이차원 망막에 투사된 삼차원 환경 내에 있는 각 요소들의 운동 벡터들을 반영할 수 있다. Gibson은 사람들이 환경 내에 있는 요소들의 운동 벡터의 교차점이면서 속도가 0인 확산점(Focus Of Expansion : FOE)의 위치를 확인하여 자신의 진행 방향(heading direction)을 지각할 수 있다고 주장하였다. 사람들은 망막에 맺히는 영상의 움직임 정보와 함께 눈 운동 신호(oculomotor signal)나 귀의 전정 기관 신호(vestibular signal)를 이용하여 자신의 운동 방향을 지각하지만, 많은 연구자들은 광학적 흐름과 같은 망막상의 움직임만으로 사람들이 자신의 진행 방향을 판단할 수 있는지에 대해 관심을 갖는다.

무선점으로 광학적 흐름을 모사한 후, 관찰자 자신의 운동 방향을 판단하도록 한 정신물리학 실험 연구 결과, 사람들은 시각 1° - 2°의 정확성을 가지고 자신의 진행 방향을 판단할 수 있었다(Warren & Hannon, 1988). 신경생리학적 연구에서도 광학적 흐름 정보를 처리하는 것으로 추정되는 뉴런들이 원숭이 뇌에서 발견되었다(Komatsu & Wurtz, 1988; Duffy & Wurtz, 1995). 원숭이 뇌의 MSTd (dorsal division of medial superior temporal area) 영역에 있는 뉴런들의 반응 특성을 조사한 연구 결과, 운동 방향에 대해 선택적으로 반응하는 뉴런들은 수용장이 넓기 때문에 넓은 범위의 운동 패턴에 대해 선호하여 반응하였다(Komatsu & Wurtz, 1988). MSTd 영역의 세포들은 확장 및 수평 방향의 운동 패턴에 대해 선택적으로 반응하고, 움직이는 점들의 밀집도나 운동 속도에 대해서는 둔감하기 때문에 광학적 흐름과 같은 넓은 범위의 자극을 처리하는 기능을 담당하고 있는 것 같다(Duffy & Wurtz, 1995).

광학적 흐름과 관련된 최근의 주요 연구 문제는 흐름 내에 관찰자의 움직임과는 독립적으로 운동하는 물체가 있을 때, 관찰자 자신의 운동 방향 지각에 대한 것이다. 무선점으로 구성된 자극으로 관찰자의 움직임을 모사하고 동시에 수평으로 평행하게 움직이는 불투명한 물체를 컴퓨터 화면에 제시하여 광학적 흐름을 모사할 때, 관찰자들은 확산점을 수평 운동 방향으로 편향하여 지각하였다(Royden & Hildreth, 1996). Royden과 Hildreth는 이러한 확산점 지각 편향이 방향 밀침(direction repulsion) 때문에 발생한다고 주장하였다. 이차원 운동에서 관찰되는 이러한 방향 밀침 현상에 의하면, 공간적으로 인접하여

서로 다른 방향으로 운동하는 요소들간의 지각된 방향이 서로 밀치는 것처럼 보인다(Kim & Wilson, 1996). 두 운동 요소의 속도가 동일할 때 지각된 방향의 차이가 최대가 되는 것으로 보아, 방향 밀침은 속도에 조율되어 있고 일반적으로 알려진 유도 운동과는 다르며(Marshak & Sekuler, 1979), 방향 선택적인 탐지기들의 억제적 상호작용 때문에 발생하는 것으로 추정된다(Mather & Moulden, 1980). 확장 운동과 수평 운동 요소를 투명하게 겹쳐서 제시할 때에도 관찰자들은 수평 운동 방향으로 확산점을 편향하여 지각하였다(Duffy & Wurtz, 1995; Pack & Mingolla, 1998; Grigo & Lappe, 1998). Pack과 Mingolla는 인간의 시각 체계가 수평 방향의 운동을 눈 운동에 기인한 유도 운동 요소로 해석하기 때문에, 눈 운동을 하는 동안 시각적 안정성을 유지하기 위한 방법으로 확산점 지각 편향이 발생한다고 주장하였다.

선행 연구들에서 수행된 광학적 흐름 실험에서는 주로 무선점으로 구성된 자극을 사용하였다(Warren & Hannon, 1988; Warren & Saunders, 1995; Duffy & Wurtz, 1995; Royden & Hildreth, 1996; Pack & Mingolla, 1997; Grigo & Lappe, 1998). 무선점으로 구성된 광학적 흐름은 중첩과 같은 깊이 정보가 배제되기 때문에 관찰자들은 동일한 깊이에 위치하는 점들의 운동 벡터 정보만을 이용하여 자신의 진행 방향을 판단해야 한다. 그러나 실제 움직이는 영상(real image motion)에서는 환경 내에서 서로 다른 공간적 깊이에 대상들이 위치해 있으며, 각 대상들의 상대적인 운동 벡터 정보가 이용될 수 있다. 대상들의 깊이 차이에 따른 서로 다른 운동 정보가 관찰자의 진행 방향 지각에 미치는 효과를 검증하기 위해서는 실제 영상으로 광학적 흐름 자극을 구성할 필요가 있다.

관찰자들이 광학적 흐름에서 자신의 진행 방향을 정확히 지각할 수 있는지 알아보기 위하여 세 편의 실험을 실시하였다. 실험 1에서는 수평 방향의 운동 요소에 기인하는 관찰자 자신의 진행 방향 지각 편향이 확장 운동 요소와 수평 운동 요소간의 방향 밀침 때문에 발생하는 것인지, 아니면 눈 운동에 기인한 유도 운동 때문에 발생하는 것인지를 검증하기 위해 무선점으로 광학적 흐름을 모사하면서 수평 운동 요소의 위치와 방향을 변화시켜 관찰자의 진행 방향 지각을 관찰하였다. 실험 2에서는 관찰자들이 운동 벡터 정보에만 의존하여 자신의 진행 방향을 지각하는

지 또는 다른 대상들의 서로 다른 깊이가 영향을 주는지 알아보기 위하여 실제 영상으로 구성된 광학적 흐름에서 관찰자의 진행 속도와 배경의 깊이를 변화시켰다. 실험 3에서는 수평 방향으로 움직이는 물체가 관찰자의 진행 방향 지각에 미치는 영향이 실제 영상에서도 일어나는지를 알아보기 위하여 물체의 운동 방향과 위치를 변화시켰다.

**실험 1. 수평 방향 운동 요소의 위치와 방향에 따른 관찰자의 진행 방향 지각**

광학적 흐름에 관찰자의 움직임과는 독립적이며 수평으로 평행하게 운동하는 물체가 있을 때, 물체의 운동 위치와 방향이 관찰자의 진행 방향(heading direction) 지각에 어떤 영향을 주는지 알아보았다. 일련의 무선점들로 구성된 프레임을 연속적으로 제시하여, 관찰자와 물체의 운동을 모사하였다. 수평으로 평행하게 움직이는 물체의 위치가 확산점과 상대적으로 가까이 움직일 때와 멀리서 움직일 때, 그리고 물체의 운동 방향이 오른쪽으로 움직일 때와 왼쪽으로 움직일 때 관찰자 자신의 진행 방향을 판단하도록 하였다.

확산점 지각 편향이 이웃한 운동 요소들간의 방향 밀집 현상 때문에 발생한다면, 수평 방향의 운동 요소가 확산점과 공간상 멀리 떨어져 있을 때 보다 확산점을 가로질러 운동할 때 지각 편향이 더 클 것으로 예측하였다. 그러나 시각체계가 수평 방향의 움직임을 눈 운동 신호에 기인한 유도 운동 요소로 해석하기 때문에 확산점 지각 편향이 발생한다면 수평 방향 운동 요소의 위치는 확산점 지각 편향 정도에 영향을 주지 않을 것으로 예측되었다.

**피험자**

연세대학교 대학원 인지과학 협동과정에 재학중인 학생 여섯 명이 개별적으로 실험에 참가하였다. 모든 피험자의 시력 및 교정시력은 정상이었고, 광학적 흐름 실험에 처음 참가하였으며, 실험의 가설을 알지 못 하였다.

**자극 및 장치**

광학적 흐름을 컴퓨터 시뮬레이션하기 위하여, 검은 배경에 흰색의 무선점으로 구성된 24개 프레임을 만들었다. 관찰자로부터 100 m 앞에 있는 시각 30°×30° 크기의 수직 평면을 향하여 관찰자가 15 m/s의 속도로 진행하는 것처럼 200개의 무선점들을

체계적으로 변화시켜 각 프레임의 배경 흐름을 구성하였다. 배경 흐름을 구성하는 무선점들은 속도가 0인 확산점에서 시작하여 주변부로 방사형(radial pattern)으로 확장하여 이동하는 것처럼 모사하기 때문에, 각 점들은 화면(혹은 시야) 주변으로 갈수록 점차 속도가 증가하였으며 화면을 벗어나면 사라졌다. 관찰자의 움직임과는 독립적으로 움직이는 투명한 물체는 30 개의 점들로 구성하였다. 물체는 10°×10°의 크기를 가지고 7.8 %s의 속도로 수평 방향으로 평행하게 이동하는 것처럼 모사하였으며, 각 프레임에서 물체의 크기는 동일하였다. 그림 1은 무선점으로 모사한 광학적 흐름 자극을 나타낸 것이다. 자극은 640×480 해상도, 화면 재생률 60 Hz 인 LG-FLATRON 17" 평면 모니터에 제시되었다. 자극 제시 및 피험자 반응 기록 등의 제반 절차는 펜티엄 II-250 MHz 컴퓨터에 의해 통제되었다.

**절차**

직접 조명이 통제된 실험실에서 실험 과정에 필요한 주의 및 지시 사항을 숙지한 다음, 피험자는 화면으로부터 40 cm 떨어진 거리에서 턱을 받치고 자극을 관찰하였다. 자극이 제시되는 동안 피험자는 자유로운 눈 운동이 가능하였다. 각 시행은 컴퓨터 화면에 광학적 흐름 자극의 첫 번째 프레임이 제시되면서 시작되었다. 피험자가 글자판에서 하나의 글쇠를 누르면 나머지 프레임들이 800 ms 동안(33.3 ms/frame) 연속적으로 제시되었으며, 마지막 프레임은 화면에 남아있었다. 마지막 프레임이 제시되고 나서 500 ms 후에 마우스 포인터가 화면에 제시되었다. 피험자의 과제는 수평 방향의 운동 요소는 무시하면서 확장 운동 요소로부터 정확한 확산점의 위치를 찾는 것이었다. 피험자가 화면에서 확산점으로 지각된 한 점을 찾아 마우스의 왼쪽 버튼을 누르면 바로 다음 시행의 첫 프레임이 제시되었다.

확장운동 요소로서 피험자가 찾아야 할 확산점의 위치는 화면 중앙으로부터 수평으로 시각 0°, 좌우 2°, 4° 떨어진 위치에 무선적으로 제시되었다. 수평 운동 요소가 확산점을 지나는 조건에서는 수평운동 요소의 중심이 화면의 중앙을 가로질러 이동하는 것처럼 제시되었다. 수평운동 요소가 확산점을 지나지 않은 조건에서는 수평운동 요소의 중심이 화면 중앙으로부터 수직으로 7.5° 위에 떨어진 위치에서 수평 방향으로 이동하는 것처럼 제시되었다. 본 시행에서 모든 피험자들은 수평 운동 방향(오른쪽, 왼쪽 방향)

과 위치(확산점을 지날 때, 지나지 않을 때)가 조합된 4 조건에 대해 각 40 회씩 총 160 회 반복 측정되었다. 시행 횟수는 예비시행 20 회와 본 시행 160회를 합쳐 총 180 회이었으며, 피험자 당 실험에 소요된 시간은 평균 20 분이였다.

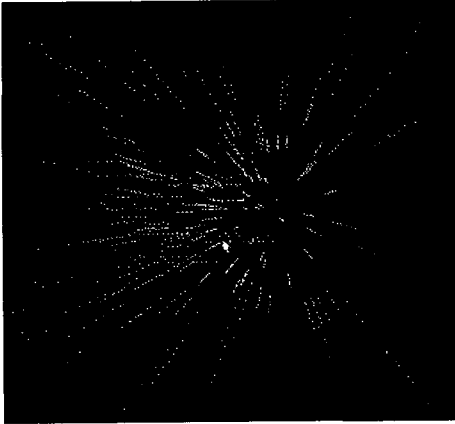


그림 1. 무선 점으로 모사한 광학적 흐름.  
확장 운동과 수평 운동 패턴을 나타내기 위하여 모든 프레임에 중첩시켜 각 점들의 궤적을 표시하였음

## 결과 및 논의

피험자들의 확산점 지각 편향 평균값은 그림 2와 같다. 이원 반복 측정 방안에 의한 변량 분석 결과, 물체의 수평운동 방향에 따른 주효과와 [  $F(1,5) = 9.125, p < .05$  ] 물체의 운동 방향과 위치에 따른 상호작용 효과 [  $F(1,5) = 9.724, p < .05$  ]가 유의미하게 나타났다. 그러나 물체의 운동 위치에 따른 주효과는 유의미하지 않았다 [  $F(1,5) = .32, p > .05$  ]. 이 결과로부터 확산점의 위치는 물체의 운동 방향에 따라 서로 다르게 지각됨을 알 수 있었다. 관심 있는 것은 물체가 확산점과 공간적으로 가까운 위치에서 이동할 때와 멀리 떨어져서 이동할 때, 진행 방향 지각에 미치는 영향이기 때문에 물체의 운동 위치를 동일하게 하고 운동 방향을 변화시킨 두 조건 간 편향의 평균치를 쌍별 비교하여 분석하였다. 물체가 확산점과 가까운 위치에서 이동할 때에는 운동 방향에 따라 유의미한 지각 편향의 차이가 있었지만 [  $t(5) = 3.13, p < .05$  ], 물체가 확산점과 멀리 떨어진 위치에서 이동할 때에는 운동 방향에 따른 지각 편향의 차이가 관찰되지 않았다 [  $t(5) = .23, p > .05$  ].

피험자들이 수평 운동 방향으로 확산점을 편향하여 지각한 결과는 이전의 다른 연구들과 일치하였으나, 주목할 만한 것은 물체의 운동 위치에 따른 지각 편향의 차이였다. 피험자들은 물체가 확산점을 가로질러 이동할 때에는 물체가 움직이는 방향으로 확산점을 편향하여 지각하였지만, 물체가 확산점과 멀리 떨어져서 움직일 때에는 운동 방향에 따른 지각 편향의 차이를 보이지 않았다. 물체의 운동 위치에 따라 지각 편향의 차이가 발생하는 이유는 Royden과 Hildreth (1996)의 주장처럼, 이웃하여 운동하는 요소들 간의 방향 밀집 현상 때문인 것으로 설명할 수 있다. 확장운동과 수평운동 요소가 인접해 있을 때, 수평운동 요소에 의해 확장운동 요소가 밀쳐진 것처럼 지각되기 때문에 확산점이 수평운동 방향으로 편향되어 지각된 것으로 추정된다. 반면, 수평운동 요소가 확산점과 멀리 떨어진 위치에서 이동할 때에는 방향 밀집이 일어나지 않기 때문에 확산점 지각 편향 정도가 상대적으로 작은 것으로 볼 수 있다. 수평운동 요소의 위치에 따라 확산점 지각 편향의 차이가 나타난 결과는 또한 Pack과 Mingolla (1998)의 주장과는 반대로, 시각체계가 수평운동 요소를 눈 운동 신호에 의한 유도 운동으로 해석하지는 않았음을 시사한다. 실제로 피험자들은 확산점을 가로질러 수평 방향으로 물체가 움직일 때, 확장 운동이 수평 운동 방향으로 밀리는 것처럼 지각된다고 보고하였다. 실험 1의 결과는 운동 방향을 지각할 때, 확산점 주위의 운동 벡터 정보가 중요함을 시사하였다. 시야에 나타나는 서로 다른 깊이에 위치하는 대상들의 상대적인 운동 정보가 관찰자의 진행 방향 지각에 영향을 주는지 알아보기 위해서는 실제 영상으로 광학적 흐름 자극을 구성하여 관찰자의 진행 방향 지각을 측정할 필요가 있었다.

## 실험 2. 실제 영상에서 관찰자의 진행 속도와 배경의 깊이가 운동 방향 지각에 미치는 영향

실제 영상으로 광학적 흐름을 모사하여 관찰자의 진행 속도와 장면내의 배경 깊이를 변화시킬 때, 관찰자가 자신의 진행 방향을 정확히 지각하는지 알아보았다. 관찰자가 자신의 진행 방향을 운동 벡터 정보에만 의존하여 지각한다면, 배경의 깊이 차이가 진행 방향 판단에 영향을 주지 않을 것으로 예측되었다. 그러나 서로 다른 깊이에 있는 대상들의 상대적인 운동 벡터 정보가 이용된다면, 배경의 깊이 차이가 관찰자의 진행 방향 판단에 영향을 줄 것으로 예

측하였다.

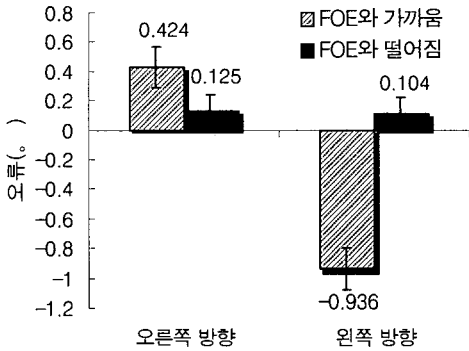


그림 2. 광학적 흐름(Optic flow)에 관찰자의 움직임과는 독립적이며 수평방향으로 평행하게 움직이는 물체가 있을 때, 관찰자의 진행 방향을 판단하도록 한 실험 1의 결과. 가로축에서 '오른쪽 방향'은 물체가 오른쪽으로 움직일 때, '왼쪽 방향'은 물체가 왼쪽으로 움직일 때를 나타냄. 흰 그래프는 물체가 FOE를 가로질러 이동할 때, 검정 그래프는 물체가 FOE와 떨어져서 이동할 때를 나타냄. 세로축은 관찰자의 진행방향 지각 오류 (visual angle, °)를 나타낸 값으로 '+' 부호는 실제보다 오른쪽으로 편향한 것이고 '-' 부호는 실제보다 왼쪽으로 편향한 것을 나타냄.

**피험자**

연세대학교 심리학과에 재학중인 대학원생 세 명이 개별적으로 실험에 참가하였고, 모든 피험자는 정상 시력을 가지고 있었으며, 실험의 가설을 알지 못하였다.

**자극 및 장치**

실제 영상 자극을 구성하기 위해서 연세대학교 교정과 일산공원 여덟 곳에서 SONY Digital Handycam DCR-VX1000으로 촬영하였다. 관찰자의 20 m 앞에 건물 등의 구조물이 위치한 네 곳을 선택하여 화면 전체를 구조물이 차지하도록 하였으며, 다른 네 곳은 관찰자의 전방 40 m까지는 커다란 구조물이 없어서 다양한 대상들이 보이도록 촬영하였다. 촬영 과정은 영상의 흔들림 없이 관찰자의 움직임을 모사하기 위해서 디지털 캠코더를 지상 1.5 m 높이의 삼각대에 고정시키고 정지된 장면의 한 점을 중심으로 2배속 줌(zoom)으로 확대시켰다. 저장된 하나의 영상은 30 ms와 150 ms 마다 캡처(capture)하여 각각 24개의 프레임을 만들었다. 만

들어진 각 프레임들의 좌우를 편집하여 관찰자가 화면 중앙으로부터 시각 0°, 오른쪽으로 5.7°, 왼쪽으로 5.7°로 진행하는 31°×31° 크기의 장면을 구성하였다.

자극은 640 × 480 해상도, 화면 재생률 60 Hz 인 LG-FLATRON 17" 평면 모니터에 제시되었으며, 자극 제시 및 피험자의 반응 기록 등은 펜티엄 III-450 MHz 컴퓨터에 의해 통제되었다.

**절차**

실험 1과 동일한 실험 환경에서 피험자는 화면으로부터 40 cm 떨어진 위치에서 턱을 받치고 자극을 관찰하였다. 자극이 제시되는 동안 피험자는 자유로운 눈 운동이 가능하였으며, 각 시행은 피험자가 화면 아래에 제시된 '시작' 단추를 마우스의 왼쪽 버튼으로 누르면 500 ms 후에 시작되었다. 관찰자가 진행하는 것처럼 모사하기 위하여 각 장면 24개의 프레임은 1.7초 동안 (70.8 ms/frame) 연속적으로 제시되었다. 피험자가 화면에 남아있는 마지막 프레임 위에 자신이 진행한다고 지각된 방향을 찾아 마우스의 왼쪽 버튼을 누르면 한 시행이 종료되었으며, 시작 버튼을 눌러 다음 시행을 시작하였다.

모든 피험자는 배경 깊이 두 수준(얇은 - 20m 촬영거리, 깊은 - 40m 촬영거리)과 관찰자의 진행 속도 (1.5 m/s와 7.5 m/s) 두 수준이 조합된 네 조건에 대해 각 6 회씩 총 24 회 반복 측정되었다. 전체 시행 횟수는 예비시행 6 회와 본 시행 24 회를 합쳐 총 30 회였다.

**결과 및 논의**

전체 피험자들의 진행 방향 지각 오류를 평균한 값이 그림 3에 제시되었다. 관찰자의 진행 속도가 느린 조건(1.5 m/s)과 빠른 조건(7.5 m/s), 그리고 배경의 깊이가 깊은 조건(관찰자의 40m 앞까지 구조물이 없는 조건)과 얇은(관찰자의 20m 앞까지 구조물이 없는 조건)조건에서의 평균값을 이원 반복측정 방안에 의한 변량 분석 결과, 배경의 깊이가 깊은 조건이 얇은 조건에 비해 오류 값이 높았으나[ F(1,2) = 20.64, p<.01 ], 관찰자 진행 속도의 주효과 및 진행 속도와 배경 깊이 간의 상호작용 효과는 통계적으로 유의미하지 않았다.

그림 3에서 볼 수 있듯이 배경의 깊이가 깊을 때 보다 배경의 깊이가 얇을 때 관찰자들은 자신의 진행 방향을 더 정확하게 지각하였다. 깊이에 따라 진행

방향 지각에 차이가 나타난 결과는 무선점 광학적 흐름 자극을 사용한 실험 1이나 선행 연구들의 결과가 실제 장면에서는 달라질 수 있음을 시사한다. 무선점으로 구성된 광학적 흐름 자극은 환경에 있는 대상들의 상대적인 깊이를 배제하여 동일한 깊이에 있는 것으로 통제하기 때문에 깊이가 진행 방향 지각에 미치는 효과를 관찰할 수 없었다. 그러나 실제 장면에서는 중첩과 같은 단안 깊이 단서와 함께 서로 다른 깊이에 있는 대상들의 상대적인 운동 정보가 제공되기 때문에, 관찰자들은 이러한 깊이 단서들을 운동 정보와 함께 이용하여 자신의 진행 방향을 지각하는 것으로 추정된다. 배경의 깊이가 깊을 때 보다 깊지 않을 때 진행 방향 판단 오류가 감소된 결과는 관찰자들이 자신의 현재 운동 방향을 판단하여 원하는 방향으로 진행하기 위해서 관찰자와 비교적 가까운 거리에 위치한 대상들의 운동 벡터 정보를 이용했을 가능성이 암시한다.

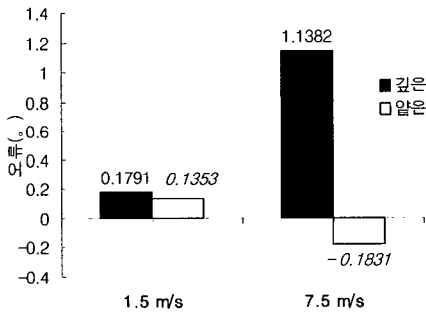


그림 3. 실험 2에서 관찰자의 진행 속도(1.5 m/s, 7.5 m/s)와 배경 깊이(깊은, 얕은)에 따른 관찰자의 진행 방향 지각 오류의 평균 값

관찰자의 진행 속도에 따른 차이가 나타나지 않은 결과로부터 속도는 관찰자의 진행 방향을 지각할 때 영향을 미치는 중요한 변인이 아님을 알 수 있었으며, 이는 광학적 흐름 정보를 처리한다고 알려진 MSTd 영역 뉴런들이 넓은 범위의 속도에 동일한 수준의 반응을 한다는 신경생리학적 연구 결과(Duffy & Wurtz, 1995)와도 일치하였다.

실험 2의 결과는 실제 장면에서도 관찰자들이 정지된 환경에서 자신의 운동 방향을 비교적 정확히 지각하며 대상들의 깊이가 중요한 변인임을 알 수 있었다. 그러나 실생활에서는 관찰자 이외에 다양한 움직

이는 대상들이 존재하기 때문에, 무선 점 흐름 자극을 이용한 실험 1의 결과와 같이 실제 영상으로 구성된 광학적 흐름 자극에서도 관찰자와는 독립적으로 움직이는 물체가 관찰자의 진행 방향 지각에 영향을 주는지 알아볼 필요가 있다.



그림 4. 실험 3에서 사용된 실제 영상 광학적 흐름 자극의 한 장면. 그림에서 움직이는 물체는 화면의 중앙에서 오른쪽 방향으로 이동하는 중이다.

### 실험 3. 실제 영상에서 물체의 운동과 관찰자의 진행 방향 지각

관찰자와는 독립적으로 움직이는 물체가 있을 때, 실제 영상에서도 움직이는 물체의 방향과 위치가 관찰자의 진행 방향 지각에 영향을 주는지 알아보았다. 무선점 광학적 흐름을 모사한 실험 1의 결과가 실제 영상에서도 적용된다면, 관찰자는 물체의 운동 방향과 동일한 방향으로 자신의 진행 방향을 편향하여 지각할 것이고, 장면 내에서 물체가 움직이는 위치에 따라 진행 방향 판단은 달라질 것으로 예측되었다.

#### 피험자

실험 2에 참가하였던 피험자 세 명이 개별적으로 실험에 참가하였다.

#### 자극 및 장치

수평 방향으로 평행하게 움직이는 물체를 모사하기 위하여 Digital Handycam의 10 m 앞에서 5.6 m/s의 속도로 움직이는 중형 자동차를 실사 촬영하였다. 그림 4와 같이 물체의 운동 방향을 통제하기 위하여

자동차를 오른쪽이나 왼쪽 방향으로 이동하도록 하였고, 물체의 위치를 통제하기 위하여 자동차가 화면의 중앙에서 이동하거나 화면의 아래 부분에서 이동하도록 하여 촬영하였다. 자동차가 움직이는 동안 관찰자의 진행을 모사하기 위하여 실험 2에서 사용하였던 방법과 동일하게 줌렌즈로 확대시켜 모두 12 장면을 촬영한 후, 저장된 영상들을 30 ms 마다 캡처하여 각각 24개의 프레임을 만들었다. 관찰자의 진행 방향은 화면 중앙으로부터 시각 0°, 좌우 각각 5.7°의 세 가지로 무선적으로 제시되었다. 기타 자극의 구성 및 실험 장치는 실험 2와 동일하였다.

**절차**

실험 3에서 사용된 자극에서 관찰자의 진행 속도는 1.5 m/s, 물체의 운동 속도는 평균 20.7 °/s가 되도록 하였으며, 기타 자극 제시 방법 및 실험 절차는 실험 2와 동일하였다. 모든 피험자는 물체의 운동 방향 2 수준(왼쪽 방향, 오른쪽 방향)과 물체의 운동 위치 2 수준(화면 중앙, 화면 아래)이 조합된 4 조건에 대해 각 9 회씩 총 36 회 반복 측정되었다. 전체 시행 횟수는 예비시행 6 회와 본 시행 36 회를 합쳐 총 45 회이었다.

**결과 및 논의**

전체 피험자들의 진행 방향 지각 오류를 평균하여 물체의 운동 방향이 오른쪽인 조건과 왼쪽인 조건, 물체의 운동 위치가 화면 중앙인 조건과 화면 아래인 조건을 이원 반복측정 방안에 의한 변량 분석하였다. 물체 운동 방향의 주효과, 물체 운동 위치의 주효과, 운동 방향과 위치의 상호작용 효과 모두 통계적으로 유의미하지 않았다. 관찰자의 진행 방향에 따른 효과를 알아보기 위하여 진행 방향이 오른쪽인 조건(5.7°)과 화면 중앙인 조건(0°), 그리고 왼쪽인 조건(-5.7°)에서의 평균 오류 값을 분석한 결과, 그림 5와 같이 통계적으로 유의미한 차이를 보였다( $F(2,4) = 17.1, p < .05$ ).

실험 3에서 주목할 만한 결과는 관찰자들이 자신의 진행 방향을 화면의 중앙으로 편향하여 지각한 것이다. 관찰자가 왼쪽이나 오른쪽 방향으로 진행하는 것처럼 모사하기 위해서 영상의 좌우를 잘라내어 자극을 구성하였지만, 그림 5에서 볼 수 있듯이 왼쪽 방향으로 진행하는 것처럼 모사할 때(-5.7°)에는 오른쪽 방향으로 편향하여 지각하였고, 오른쪽 방향으로 진행하는 것처럼 모사할 때(5.7°)에는 왼쪽 방향

으로 편향하여 지각하였다. 반면, 화면의 중앙으로 진행하는 것처럼 모사할 때(0°)에는 진행 방향의 지각 편향이 거의 일어나지 않았다. 확산점이 가려져 보이지 않을 때에 자신의 진행 방향을 화면 중앙으로 편향하여 지각한 이유는, 무선점 흐름과는 달리 실제 장면에서는 확산점이 지각적으로 불분명하기 때문에 관찰자들이 자신의 진행 방향을 정확히 지각할 수 없었으며 따라서 화면의 중앙을 확산점으로 지각하려는 경향 때문인 것으로 추정된다.

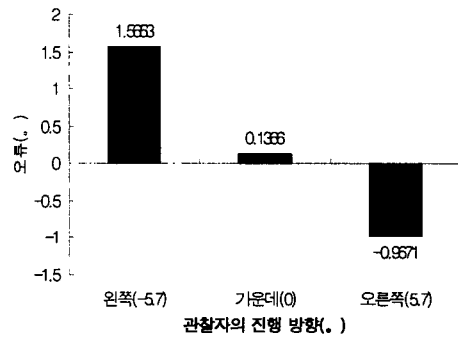


그림 5. 실험 3에서 모사된 관찰자 진행 방향(-5.7°, 0°, 5.7°)과 관찰자들이 실제로 지각한 진행 방향의 평균 오류 값

**종합 논의**

다양한 광학적 흐름(optic flow)을 모사하여 사람들이 망막상의 움직임 정보만으로 자신의 진행 방향을 정확히 지각할 수 있는지를 관찰한 세 편의 실험 연구 결과, 관찰자들은 시각 1.5° 내에서 비교적 정확하게 자신의 진행 방향을 지각할 수 있었다. 무선점으로 구성된 광학적 흐름에서 물체가 확산점을 가로질러 이동할 때, 관찰자가 확산점(FOE)을 물체의 운동 방향으로 편향하여 지각한 실험 1의 결과로부터 확산점과 인접한 운동 정보가 확산점과 공간적으로 떨어진 운동 정보 보다 더 중요하며, 확산점 지각 편향은 이웃하여 운동하는 요소들간의 방향 밀침(direction repulsion) 현상 때문에 발생한다는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 물체가 확산점을 가로질러 이동할 때 지각 편향이 증가한다는 발견은 확산점 근처의 운동 벡터들이 멀리 떨어져 있는 벡터들보다 더 많은 정보를 가지고 있다는 Crowell과 Banks(1993)의 주장과 일치한다.

실제 영상으로 광학적 흐름을 모사하여 관찰자의 진행 방향 지각을 관찰한 실험 3에서는 물체의 운동 방향이나 위치에 의한 밀집 현상이 나타나지 않았으며, 관찰자들은 자신의 진행 방향을 화면의 중앙으로 편향하여 지각하였다. 실험 1과 3의 결과를 비교해 볼 때, 무선점 자극과는 달리 실제 영상에서는 확산점이 지각적으로 불분명하기 때문에 화면 중앙과 모사된 진행 방향간에 시각(visual angle)의 차이가 있더라도 관찰자들은 진행 방향을 항상 화면의 중앙으로 지각하는 경향이 있음을 알 수 있었다. 무선점과 실제 영상 자극간의 지각적 차이는 실험 2의 결과에서도 나타났는데, 이는 무선 점 자극에서는 배제된 배경의 깊이 차이에 따라 관찰자의 진행 방향 지각이 영향을 받은 것이었다. 실제 영상에서는 환경내의 서로 다른 공간적 깊이에 위치하는 대상들의 상대적인 운동 벡터 정보가 이용될 수 있기 때문에 배경의 깊이 차이에 따라 관찰자의 진행 방향 지각이 달라지는 것으로 추정된다.

결론적으로 무선점과 실제 영상 자극으로 광학적 흐름을 모사한 상황은 실제로 사람들이 자신의 진행 방향을 지각하여 진행하는 것과는 차이가 있다고 볼 수 있다. 무선점과 실제 영상 자극으로 광학적 흐름을 모사한 상황은 확산점이 고정되어 있지만, 실제 상황에서 사람들은 직선 운동이나 탄도 운동과 같은 일정 형태의 운동을 하지 않기 때문에 움직이는 관찰자의 위치가 매 순간 변화하고 따라서 확산점의 위치도 고정되어 있지 않을 가능성이 크다. 확산점이 고정되지 않고 역동적으로 변함에 따라 사람들은 반복적으로 자신의 운동 방향을 조정하며 진행할 가능성이 있기 때문에, 실생활에서 광학적 흐름의 유용성은 줄어든다.

사람들을 대상으로 실제 영상 자극으로부터 자신의 진행 방향을 지각하도록 한 정신물리학 실험 연구는 아직까지 없었지만, 컴퓨터 시각 분야에서 Campani, Giachetti와 Torre(1995)는 운동 방향 탐지 알고리즘을 개관하여 자동차에 카메라를 부착하고 주행하며 실사 촬영한 영상으로 컴퓨터 시뮬레이션한 결과, 광학적 흐름으로 주행 시스템을 개발할 수 있는 가능성을 제시하였다. 그러나 Campani 등도 광학적 흐름으로 운동 진행 방향을 알기 위해서는 카메라의 움직임에 의한 영상의 흔들림을 보정하기 위한 추가적인 계산 알고리즘이 사용되어야만 한다는 것을 지적하고 있으며, 이는 실제 영상에서는 관찰자가 움직임에 따라 확산점이 이동하기 때문에 장면을 이루고 있는 운

동 요소가 선형적 확장 패턴이 아니며 따라서 확산점이 명확하지 않다는 문제와 맞물려 있다.

자신의 운동 방향을 정확히 지각하기 위해서는 광학적 흐름으로부터 추출되는 정보 이외에 물체의 중첩 단서(Van den Berg & Brenner, 1994)나 양안 부동에 의한 입체시 정보(Roy & Wurtz, 1990; Grigo & Lappe, 1998) 또는 눈 운동 신호(Newsome, Wurtz & Komatsu, 1988)와 평형 감각 기관으로부터 전달되는 정보가 함께 처리되어야 한다. 이러한 연구 결과들은 사람들이 자신의 진행 방향을 판단하기 위하여 광학적 흐름과 같은 망막상의 움직임 정보에만 의존하지는 않음을 의미한다. 다양한 운동 요소가 존재하는 삼차원 환경에서 관찰자가 자신의 진행 방향을 역동적으로 수정하며 진행하기 위해서는 광학적 흐름에서의 확산점 지각 이외에 다양한 다른 단서들이 함께 이용되어야 한다.

## 참고문헌

- Campani, M. & Giachetti, A., & Torre, V. (1995). Optic flow and autonomous navigation. *Perception*, 24, 253-267.
- Crowell, J. A. & Banks, M. S. (1993). Perceiving heading with different retinal regions and types of optic flow. *Perception and Psychophysics*, 53, 325-337.
- Duffy, C. J. & Wurtz, R. H. (1995). Response of monkey MST neurons to optic flow stimuli with shifted centered of motion. *Journal of Neuroscience*, 15, 5192-5208.
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*. Boston, Mass. : Houghton Mifflin.
- Grigo, A. & Lappe, M. (1998). Interaction of stereo vision and optic flow processing revealed by an illusory stimulus. *Vision Research*, 38, 281-290.
- Kim, J. & Wilson, H. R. (1996). Direction repulsion between components in motion transparency. *Vision Research*, 36, 1177-1187.
- Komatsu, H. & R. H. Wurtz. (1988). Relation of cortical areas MT and MST to pursuit eye movements : Localization and visual properties of neurons. *Journal of Neurophysiology*, 60, 580-603.



- Marshak, W. & Sekuler, R. (1979). Mutual repulsion between moving visual target. *Science*, 205, 1399-1401.
- Mather, G. & Moulden, B. (1980). A simultaneous shift in apparent direction: Further evidence for a distribution-shift model of direction coding. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 325-333.
- Newsome, W. T., Wurtz, R. H. & Komatsu, H. (1988). Relation of cortical areas MT and MST to pursuit eye movements. II. Differentiation of retinal from extraretinal inputs. *Journal of Neurophysiology*, 60, 604-620.
- Pack, C. & Mingolla, E. (1998). Global induced motion and visual stability in an optic flow illusion. *Vision Research*, 38, 3083-3093.
- Roy, J. P. & Wurtz, R. H. (1990). The role of disparity sensitive cortical neurons in signalling the direction of self motion. *Nature*, 348, 160-162.
- Royden, C. & Hildreth, E. (1996). Human heading judgments in the presence of moving objects. *Perception and Psychophysics*, 58, 836-856.
- Van den Berg, A. & Brenner, E. (1994). Humans combine the optic flow with static depth cues for robust perception of heading. *Vision Research*, 34, 2153-2167.
- Warren, W. H. & Hannon, D. J. (1988). Direction of selfmotion is perceived from optic flow. *Nature*, 336, 162-163.
- Warren, W. H. & Saunders, J. A. (1995). Perceiving heading in the presence of moving objects. *Perception*, 24, 315-331.