

시각 운동정보 처리에 미치는 주의의 영향

김정훈·김정오

세종대학교·서울대학교

시각 운동정보 처리에 미치는 주의의 영향을 조사하였다. 주변에서 움직이는 코사인 패턴이 중심 영역에서 움직이는 코사인 패턴의 움직임 방향판단에 영향을 주었는데, 두 영역의 운동 방향이 90도 차이가 날 때 중심의 운동이 약 30도 정도 물리적 운동으로부터 이탈되어 지각되는 배척효과가 관찰되었다. 중심과 각각 +90도와 -90도 차이가 나는 주변의 두 운동을 동시에 제시했을 때는 이 배척효과가 관찰되지 않았다. 이는 두 방향의 주변운동이 그 영향을 서로 상쇄했기 때문으로 해석된다. 그러나, 비록 다른 두 방향의 운동이 주변에 동시에 존재할 때도 사전단서를 이용하여 선택적으로 한 방향으로 움직이는 주변 영역들에만 주의를 주도록 하면 약 12도 정도의 배척효과가 관찰되었다. 공간의 여러 곳에 위치한 운동의 방향판단에 미치는 이러한 주의의 영향을 설명하기 위하여 공간의 다른 영역에 반응하는 운동단위망간의 상호억제작용이 논의되었다.

시각체계의 운동정보 처리과정(motion information processing)을 다룬 많은 계산모형(computational model)들은 국지적 운동부호(local motion signal)를 추정하여 이 처리 과정을 모형화하고 있다(van Santen & Sperling, 1985; Adelson & Bergen, 1985; Wilson, Ferrera & Yo, 1992; Wilson & Kim, 1994a). 이 생각은 신경생리 연구에서 일찍이 밝혀진 것처럼 시각체계의 말초탐지기 수용장(visual receptive field)이 공간적으로 제약(constraint)되어 있다는 관찰과 일치하고 있다(Hubel & Wiesel, 1962, 1968; Maffei, Morrone, Pirchio & Sandini, 1979). 하지만 운동에 관한 이 계

산이론들은 한편으로 공간의 여러 곳에 있는 국지적 운동정보들의 통합(integration)을 강조하는데, 운동지각 이해의 출발점이 되다시피 한 현상, 틈 문제(aperture problem)를 살펴보면 그 이유가 자명해진다. 틈 문제는 그림 1에서 볼 수 있듯이, 제한된 틈 W에 보여지는 부분(component)물체의 운동방향(direction)은 전체(pattern)물체의 실제 운동방향(그림 1의 굵은 화살표 A와 B의 비교)과는 관계없이 항상 위치방향(orientation)에 수직인 쪽(가는 화살표)으로 정해지는 현상이다(Wallach, 1976). 따라서, 틈으로만 보이는 부분물체의 운동방향은 내재적으로 모호한데, 이를 극복하고 전체물체

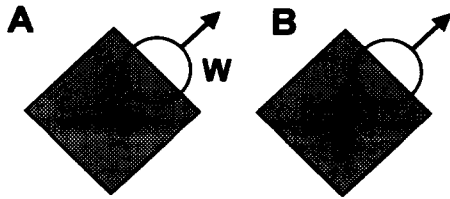


그림 1. 틈 문제 (aperture problem)

의 운동방향을 정확히 파악하려면 국지 운동 정보의 통합이 요구된다고 계산이론들은 제안하고 있다(예, Adelson & Movshon, 1982; Wilson & Kim, 1994b).

물체의 운동방향 결정에 관한 이런 통합과정을 설명할 때 중요한 가정은 특정한 운동방향에 민감히 반응하는 탐지기들(motion selective units)이 일정한 시공간을 공유한다는 것이다. 다시 말해, 일군의 운동방향 탐지기들은 한 운동풀 영역(motion pooling region)에 민감히 반응하고, 각 탐지기들의 반응결과가 통합되어 일정 시공간의 운동정보를 통괄하는 한 운동단위망(motion units network)의 행위가 결정된다는 것이다. 이러한 설명은 방향들은 다르나 공간적으로 중첩된 운동벡터(motion vector)들로 구성된 자극에는 물론, 운동벡터가 공간적으로는 분리되어 있으나 그 간격이 크지 않은 자극에도 적용된다(Mingolla, Todd & Norman, 1992; Kim & Wilson, 1993). 신경생리연구들도 뇌의 후기 운동정보처리 영역인 측두정엽(medial temporal area, MT)의 수용장 크기가 하위 운동정보처리 영역인 시뇌(V1)의 그것보다 약 열 배정도 크다는 것을 밝힘으로써 운동풀 개념의 타당성을 지지하였다(van Essen, 1985; van Essen, Anderson & Felleman, 1992).

이제 이 개념을 확장하면, 다음의 질문이 제기된다. 중첩되지 않은 시공간의 여러 위치에서 반응하는 운동단위망들간에 상호작용이 있는가? 먼 공간에 운동벡터들이 위치하고 있거나, 그 크기가 매우 커(실생활에서 자주 접하는)

한 운동풀을 벗어나는 자극들에 대한 운동방향 탐지기들의 반응과, 더 나아가 운동단위망들의 반응들을 시각체계는 어떻게 처리할 것인가? 직관적으로 이런 자극들에 대한 지각표상(perceptual representation)은 여러 공간에서 정의되는 독립된 운동들일 것이다. 하지만, 이미 몇 연구들은 공간의 다른 영역에 반응하는 운동방향 탐지기들의 상호작용을 보고한 바, 각 영역에서의 운동 지각표상은 물리적 운동(방향과 속도)과는 다르다는 것이다(Chang & Julesz, 1984; Nawrot & Sekuler, 1990; Kim & Wilson, 1997). Kim과 Wilson(1997)은 공간적으로 분리된 중심-주변(center-surround)운동 자극열을 사용하여 주변의 운동방향이 중심의 운동방향을 판단에 미치는 영향을 여러 조건에서 검토하였다. 이 실험에서 주변과 중심의 운동방향 차이가 45도 보다 작을 경우 중심의 운동방향이 실제 물리적 운동방향에서 이탈하여 지각된다는 사실이 드러났다. 예로, 주변의 여러 운동이 수직방향이고(그림 2에서 흰 화살표) 중심의 운동이 45도 우측위 방향이었을 때, 중심의 운동벡터는 거의 수평방향으로(검은 화살표) 움직이는 것으로 지각되었다. 이 현상은 한 중심위치와 다른 공간에 반응하는 운동단위망의 외측상호억제작용(lateral inhibitory interactions)으로 설명되었다. 외측상호작용이 한 운동풀 안에서 운동방향 탐지기들간에 일어난다는 이전의 연구결과들(Marshak & Sekuler, 1979; Mather & Moulden, 1980; Snowden, 1989; Kim & Wilson, 1996)을 확장하여, Kim과 Wilson(1997)의 실험결과는 여러 운동풀간에 존재하는 외측상호작용을 증거한 것이다.

운동탐지단위들(motion units)의 상호협동(cooperation)에 근거해 시각체계의 운동처리과정을 기술한 한 계산모형(한 운동풀에서 운동방향 탐지기들의 역동적 상호작용이 포함됨, Wilson & Kim, 1994a)을 확장시켰을 때 공간의 여러 위치에서 운동정보 통합을 시사하는

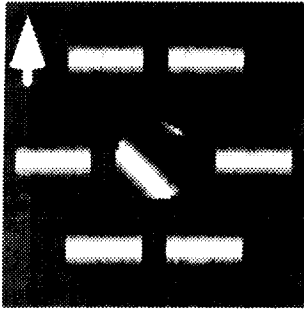


그림 2. 주변 운동의 방향에 따른 중심 운동 방향의 이탈

이 결과가 잘 설명된다(Kim & Wilson, 1997). 그림 3에 도식적으로 보였듯이, 이 계산모형은 공간의 각 위치에 반응하는 운동단위망(동일하며 쌍방향으로 상호작용, identical and mutually interacts with all neighboring networks)을 구성하는 운동방향 탐지기들이 자신의 최적반응 운동방향과 ± 60 도 내(동일 방향은 제외, 수직 운동방향을 0 도로 정의할 때)에 반응하는 다른 운동단위망의 운동방향 탐지기 반응을 억제하는 상호작용을 포함하고 있다. 이 모형은 주변의 운동방향이 모두 같은 상황에서 중심에 반응하는 운동단위망으로부터 받는 억제보다 상대적으로 강한 억제를 중심에 보냄으로써 중심에서 지각되는 운동방향이 주변의 운동방향 때문에 배척(repulsion)되리라고 예언한다. 이 예언은 관찰자들의 반응과 잘 일치한다.

공간의 여러 곳에 위치한 시각정보의 처리와 관련된 중요한 다른 변인은 주의(attention)이다. 시각 정보처리에 영향을 미치는 주의에 대한 고전적 관점은 주의가 주어진 공간에 위치한 정보의 처리는 촉진(facilitation)되나, 주의 밖의 정보는 사라지거나(decay) 혹은 억제(inhibition)된다는 것이다(Broadbent, 1982; Posner, Snyder & Davidson, 1980; Eriksen & St. James, 1986). 이 관점에서 주변의 운동이 중심의 운동에 미치는 영향을 살펴보면, Kim과 Wilson(1997)이 사용한 중심-주변 운동자

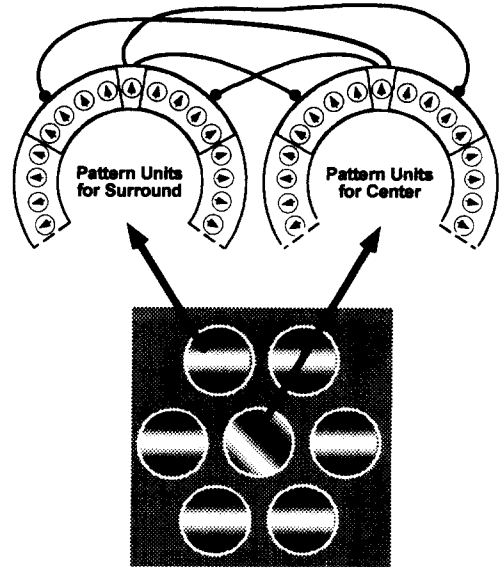


그림 3. 운동정보통합 계산모형의 도식

극에서 주변의 운동에 주의가 주어지도록 할 때 주변의 운동과 중심의 운동간에 강한 상호작용이 형성되어 중심의 운동이 주변의 운동 때문에 Kim과 Wilson의 실험에서 관찰된 것보다 크게 배척 당함을 예측할 수 있다. 주의가 운동정보처리에 미치는 영향과 관련하여 흥미로운 한 연구는, 주의가 때로 직접 운동을 유발시킨다는 보고이다(Cavanagh, 1992). Cavanagh는 한 연구에서 물리적으로 모호한 운동방향을 가지고 있는 자극을 사용하였는데, 마음속으로 왼쪽 혹은 오른쪽 방향으로 자극이 움직이도록 주의를 기울이면 이 자극은 주의가 주어진 방향으로 움직이는 것으로 지각된다고 보고하였다. 이 현상은 시각체계가 처리하는 운동정보가 Fourier 운동요소와 non-Fourier 운동요소로 나누어진다고 인정받아온 시각운동 처리과정의 이해(Chubb & Sperling, 1988, 1989; Wilson & Kim, 1994a)에 반하는 것인데, 이 두 운동요소 외에 주의에 근거한 운동요소가 시각운동 처리과정에 포함되어야 함을 시사하는 것이다. 그러나, 아직까지 이 운동요소의 특성에 관해 많은 연구가 이뤄지

지 않고 있다.

본 연구는 시각운동 정보처리와 관련하여 다음의 연구주제들을 다루었다. 먼저, 공간에 위치한 여러 운동간의 상호작용을 밝힌 Kim과 Wilson(1997)의 연구를 확장하였다. 선행 연구에서는 주변과 중심에 위치한 두 운동간의 상호작용을 다루었고, 공간의 다른 영역에 위치한 운동에 반응하는 운동단위망간의 외측 억제 상호작용을 포함한 계산모형을 개발하여 주변의 운동이 중심의 운동방향에 미치는 영향을 예측한 바 있다. 본 연구의 실험 1에서는, 이 계산모형이 공간의 여러 곳에 위치한 운동간의 상호작용을 위해 제안한 알고리즘이 실생활에서 접하는 운동 자극과 유사한 상황까지 일반화될 수 있는지를 검증하였다. 이를 위하여, 주변에 위치하며 상이한 여러 방향으로 움직이는 운동들이 중심의 공간에 위치한 운동의 방향지각에 어떤 영향을 미치는가를 실험 1에서 검토하였다. 이 실험은 한편으로 Kim과 Wilson(1997)의 계산모형에 주의를 어떻게 포함될 수 있는가를 살필 수 있게 하는 후속 실험의 바탕이 되는 것이었다. 실험 2에서는 상이한 방향으로 움직이는 운동벡터들이 주변에 존재할 때, 이 운동벡터들 중의 일부에 선택적으로 주의를 기울이게 하고 주의를 주어지지 않았을 때와 비교하여 중심의 운동 판단에 미치는 영향이 어떻게 변화하는지를 검토하였다.

실험 1: 주변공간에 위치한 상이한 운동들이 중심공간에 위치한 운동방향의 판단에 미치는 영향

Kim과 Wilson(1997)의 연구에 이어 첫째로 제기되는 문제는, 공간의 여러 곳에 위치한 운동의 방향이 상이할 때 관찰자가 각 물체의 운동방향을 Kim과 Wilson(1997)의 계산모형이

예언하는 바처럼 지각하는지를 검증하는 것이다. 다시 말해, 각 시공간에 반응하는 운동단위망들이 존재하는 운동의 상이한 방향 때문에 서로 주고받는 억제적 상호작용이 다를 때, 각 시공간 상의 운동방향들이 어떻게 결정되는가 하는 문제이다. 이 문제는 우리가 일상적으로 경험하는 운동지각 상황의 문제와 매우 유사하다. 환경에서 관찰자가 움직일 때, 그 환경에 있는 모든 물체들은 각기 다른 운동벡터를 시망막상에 배열시키는데(optic flow; Gibson, 1950), 이 운동 벡터들은 위치하는 깊이와 관찰자의 움직임방향에 따라 다른 운동 궤적을/가진다. 여러 연구들은 시각체계가 이 운동벡터들의 역 운동방향이 교차하는 곳(focus of expansion)을 계산해 내어 정확한 도달지점(heading direction)을 예측함을 밝히고 있다(Heeger, 1987; Perrone, 1990; Perrone & Stone, 1994). 그런데, 사람들이 이동하고 있을 때 움직이는 다른 물체가 시야에 나타나면(운전 중일 때 추월하는 옆 차가 시야에 들어오는 상황과 유사), 도달지점이 제대로 파악되지 못한다(Royden & Hildreth, 1996; Warren & Saunders, 1995). 이 상황은 바로 공간의 여러 곳에 위치한 운동 벡터들의 상호작용을 시사한다. 시공간 상의 여러 상이한 운동방향을 지닌 운동벡터들의 상호작용을 정신물리학적 방법으로 체계적으로 검토하는 작업은, 도달지점의 파악에 관한 계산모형들의 발전에 도움을 줄 것이다. 계산이론의 시각에서 볼 때, Kim과 Wilson(1997)의 이차원 운동처리모형이 제안한 바와 같이, 공간의 여러 위치에 반응하는 운동단위망간 외측상호억제작용이 도달지점에 관한 계산이론에 포함되어야 한다.

방법

실험 1에 사용된 자극은 Power Macintosh 7500에서 구성되었고, 자극패턴의 제시와 반응

기록은 Macintosh LC에 의해 통제되었으며, 256 gray level을 갖춘 Apple 12" high-resolution monochrome display가 자극제시에 사용되었다. 이 display의 휘도(luminance)는 실험에 사용된 소프트웨어에 의해 선형화(linearized)되었고, 자극패턴의 움직임은 color table animation기법에 의해 구성되었다(Kim & Wilson, 1993). 평균 휘도는 약 40 cd/m²이었다. 실험 공간은 약한 간접 조명으로 처리하여 피험자가 반응해야할 컴퓨터 자판기와 마우스를 볼 수 있게 하였다.

공간의 여러 곳에 위치한 상이한 방향의 운동요소들간의 상호작용을 조사하기 위해 사용된 자극은, 그림 4에 제시된 바와 같이, 3.4 m 거리에서 지름 0.8도의 크기를 가진 9개의 원형창 안에 움직이는 일차원 코사인 패턴(cosine grating)이었다. 원형창간의 간격은 0.2도이었고, 원형창 모두를 포함한 자극판의 크기는 시각으로 2.8도이었다. 코사인 패턴이 제시되는 원형창 이외의 영역은 평균 휘도인 gray로 채워졌다. 코사인 패턴의 각 휘도선은 원형창의 경계에 도달하면 사라지고, 다시 반대의 원형창 경계로부터 새로운 코사인 휘도선이 나타났다(wrap-arounding). 움직이는 코사인 패턴의 휘도대비(contrast)는 100%이었고 속도는 1.8도/초이었다. 주변의 여러 패턴 운동방향은 한 방향이거나(0도 혹은 90도), 상이한 두 방향(0도와 90도 운동방향이 다른 원형창에 제시됨)이었고 (그림 4의 예는 상이한 운동방향의

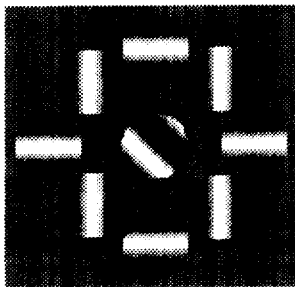


그림 4. 실험 1에 사용된 움직임 패턴의 예

경우) 중심의 운동방향은 항상 45도 우측위(위치방향은 -45도)가 되게 하여 관찰자의 판단을 요구하였다. 주변과 중심의 운동방향 차이가 종속변인이었다.

한 시행은 관찰자가 움직이는 패턴을 1초 동안 본 후, 사라진 패턴 뒤에 제시되는 스크린 상의 화살 막대기를 중심공간 상의 코사인 패턴이 움직이는 곳으로 판단된 방향으로 컴퓨터 마우스를 움직인 후 마우스 버튼을 누르는 것으로 구성되었다. 화살 막대기의 최초 위치방향은 무선적으로 통제되어 코사인 패턴의 지각된 움직임 판단을 하는데 편향이 없도록 하였다. 각 조건(주변공간의 운동방향)의 패턴은 다른 조건의 패턴들과 무선화 되어 20번 반복 제시되었다.

관찰자의 운동방향 판단은 조건별로 산술 평균화되어 분석의 자료가 되었다. 이 실험에는 모두 3명이 참가하였는데, 실험자와 본 실험의 목적을 사전에 인지하지 않은 관찰자들이었다.

결과 및 논의

주변의 원형창 안에서 움직이는 패턴의 운동방향이 중심에 위치한 패턴의 지각된 움직임 방향판단에 미치는 결과가 그림 5에 제시되어 있다.

그림 5에서 볼 수 있듯이, 주변 패턴의 운동방향이 모두 0도 혹은 90도로 중심 운동방향과 45도의 차이를 보일 때, 지각된 중심 패턴의 운동방향은 평균 30도 정도 물리적 운동방향으로부터 이탈되었다. 반면에 주변 패턴의 운동방향이 0도와 90도의 두 방향으로 혼합되어 구성되어진 경우, 중심 패턴의 지각된 움직임 방향은 물리적 운동방향인 45도에서 크게 벗어나지 않았다.

본 실험 1의 관심은 주변공간에 위치한 운동들이 중심공간에 위치한 운동의 지각된 방향판단에 미치는 영향이 다른 공간에 작용하

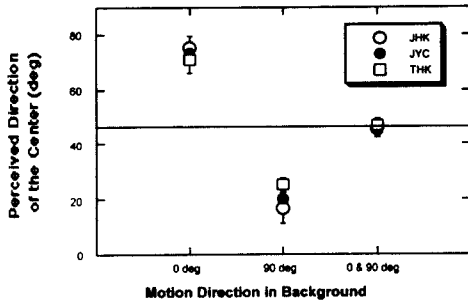


그림 5. 주변 운동의 방향에 따른 중심운동의 지각된 방향

는 운동단위망간의 외측상호억제과정이 포함된 Kim과 Wilson(1997)의 계산모형이 예측하는 반응결과와 일치하는가 하는 점이였다. 이들의 모형에 따르면, 중심과 주변공간에 위치한 운동의 지각된 방향은 식(1)의 비선형 미분 방정식으로 계산되어진다.

$$\begin{aligned} \tau \frac{dC_\theta}{dt} = & -C_\theta + S \left[E_{C,\theta} - \sum_{i=\theta-120}^{\theta+120} \alpha_i C_i - Nf(x) \right. \\ & \left. - \sum_{k=\theta-60}^{\theta+60} \phi_k A_k \right] \\ \tau \frac{dA_\theta}{dt} = & -A_\theta + S \left[E_{A,\theta} - \sum_{i=\theta-120}^{\theta+120} \alpha_i A_i - f(x) \right. \\ & \left. - \left(\sum_{k=\theta-60}^{\theta+60} \phi_k C_k + M \sum_{k=\theta-60}^{\theta+60} \phi_k A_k \right) \right] \\ & \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

이 식에서 C 와 A 는 각각 중심과 주변공간의 운동에 대해 최적 운동방향 θ 도를 가진 패턴운동탐지기의 반응을 나타내고, 상수들의 집합 ϕ_k 는 다른 운동단위망간의 억제조절세트(inhibitory weights set)를 나타낸다. 한편, M 과 N 은 각 운동단위망이 영향을 받는 주변 운동단위망의 개수를 나타내는데, 본 실험에 사용된 자극패턴의 경우 중심단위망 C 에 영향을 미치는 주변 단위망의 개수는 8이고, 각 주변 운동단위망 A 에 영향을 미치는 운동단위망은 C 이외에 2개가 추가된다. Kim과 Wilson

표 1. 최적 방향 차이각에 따른 운동단위망간의 억제가증치

방향 차이각 (도)	0	15	30	45	60
ϕ_k	0	-0.84	-0.82	-0.6	-0.18

(1997)의 연구에 따르면 단위망간의 억제는 각 단위망의 패턴운동탐지기의 최적 운동방향간의 차이에 따라 달라지는데, 그 구체적 수치는 표 1에 제시된 바와 같다.

이 운동단위망간의 억제가증치는 오직 한 운동방향을 지닌 주변공간과 상호관계에서 추출된 세트인데, 이 억제조절세트를 본 실험의 자극상황과 같이 주변공간에 위치한 상이한 방향의 운동들(0도와 90도)과 중심공간에 위치한 운동(45도)간의 상호작용에 그대로 적용시키면 Kim과 Wilson의 계산모형은 지각된 중심공간의 운동방향이 45도임을 예언한다. 본 실험의 결과는 이 계산모형이 예언하는 것과 일치하는 것으로, 공간의 여러 곳에 위치한 운동들간의 상호작용을 설명하는 Kim과 Wilson의 계산모형은 여러 운동 자극상황에 일반화될 수 있음을 보여준다.

실험 2: 선택적 주의가 운동정보처리에 미치는 영향

실험 1의 결과는 공간에 위치한 여러 운동간의 상호작용을 밝힌 Kim과 Wilson(1997)의 계산모형이 실생활에서 접하는 운동자극과 유사한 상황까지 일반화되어, 상이한 방향으로 움직이는 운동들의 지각된 방향을 설명할 수 있다는 것을 보여주었다. 특히 주목할 점은 중심과 다른 쪽으로 45도 차이가 나는 주변의 운동을 동시에 제시했을 때는 이 배척효과가 관찰되지 않았다는 것이다. 이는 두 방향의 주변운동이 중심운동에 대한 영향을 서로 상쇄했기 때문으로 해석된다. 실험 2에서는 상이한

방향으로 움직이는 운동벡터들이 주변에 존재할 때, 이 운동벡터들 중의 일부에 선택적으로 주의를 기울이게 하고 주의가 주어지지 않았을 때와 비교하여 중심의 운동 판단에 미치는 영향이 어떻게 변화하는지를 검토하였다.

방법

실험 2에서 사용된 자극은 실험 1에서 사용된 것과 같은 크기의 원형창 안에서 움직이는 코사인 패턴들이었다. 주변의 원형창에 제시되는 운동방향은 0도와 90도 두 방향 중의 하나 이었는데, 동일한 방향으로 움직이는 패턴들을 인접한 두 원형창에 제시하였고 다음의 두 원형창에는 다른 방향으로 움직이는 패턴을 제시하였다. 따라서 주변의 8개 원형창은 한 방향으로 움직이는 패턴들이 보이는 두 개의 원형창들이 번갈아 나타나도록 구성된 것으로, 각 방향의 움직임 패턴은 모두 4개씩의 원형창에 제시하였다. 이 위치의 순서를 변형하여 모두 4개의 다른 패턴을 구성하였다. 그림 6에 예시한 것이 사용된 자극의 한 예인데, 임의로 부여한 원형창의 숫자로 설명하면, 5번은 항상 45도 방향으로 움직이는 패턴이 제시되었고 1, 3, 7, 9에는 0도 방향, 2, 4, 6, 8에는 90도 방향으로 움직이는 패턴이 제시되었다. 다른 자극에서는 이 순서를 달리하여, 1, 3, 7, 9의 원형

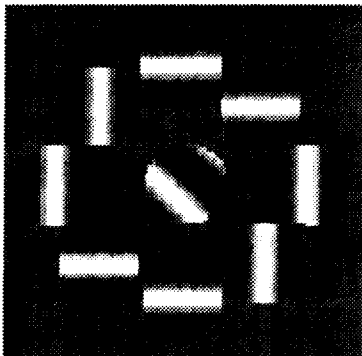


그림 6. 실험 2에 사용된 중심-주변 운동 자극 패턴의 예

창에 90도 방향, 2, 4, 6, 8의 원형창에 0도 방향으로 움직이는 패턴이 제시되도록 하였다. 다른 두 자극은 앞의 두 자극의 거울 상 배열로 구성되었다.

관찰자로 하여금 선택적으로 일군의 주변 원형창들(본 실험에서는 4개)에 주의를 주도록 하기 위하여, 움직임 패턴을 제시하기 전 원형창의 둘레만을 검게 만든 5개의 원들을 먼저 제시하였다. 이 원들의 위치는 시행마다 무선적으로 변하였는데, 그 위치는 이어서 제시될 움직임 자극패턴 중 4개의 주변원형창과 항상 같았다. 제시된 원들의 위치는 모두 네 종류로서, 그림 6의 숫자로 설명한다면, [1, 3, 7, 9], [3, 6, 4, 7], [6, 8, 2, 4], 그리고 [8, 9, 1, 2]이었다. 앞에 설명한 네 종류의 움직임 패턴들 중 어느 것이 선행된 원들에 이어 제시되는가에 따라 관찰자가 주의를 기울이도록 요구된 주변 운동의 방향은 모두 0도이거나, 모두 90도, 혹은 0도와 90도 모두가 되었다. 선택적 주의의 효과를 지속시키기 위하여 위치지정 원들은 움직임 패턴이 제시되는 동안에도 사라지지 않게 하였다. 관찰자는 둘레에 검은 테가 있는 원형창들(4개의 주변창과 1개의 중심창)만을 보고 중심 원형창에서 움직인 패턴의 지각된 방향을 표시하였다.

실험 2의 절차를 그림 7에 도식화하였다. 먼저 1.5초 동안의 위치를 지정하는 원들의 제시, 1초 동안의 움직임 자극패턴의 제시, 지각된 중심 운동방향을 표시할 화살 막대기의 출현, 컴퓨터 마우스를 이용한 방향표시 반응으로 한 시행이 구성되었다. 이때, 관찰자가 지정된 원 안의 패턴에만 주의를 기울이었는지를 확인하기 위하여, 중심패턴의 움직임 방향을 판단한 후, 주변의 위치지정원 안에서 움직인 패턴의 방향을 표시하도록 하였는데, 모두 0도이면 키보드의 1번 키, 모두 90도이면 2번 키, 두 방향이었으면 3번 키를 누르도록 하였다. 위치지정 원, 움직임 패턴들은 모두 무선화 되어 각 주변 운동방향(0도, 90도, 두 방향)

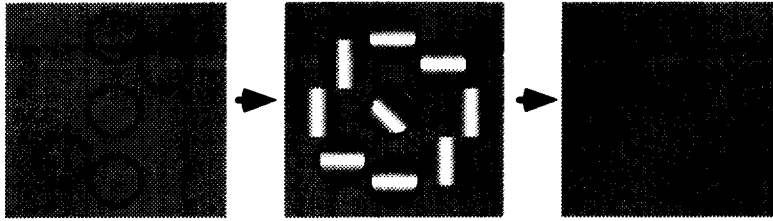


그림 7. 실험 2의 절차

에 대해 20 번 반복 제시되었다. 그 밖의 절차는 실험 1과 동일하였다. 실험에는 모두 7명이 참가하였는데, 실험자와 본 실험의 목적을 사전에 인지하지 않은 그 외의 관찰자들이었다.

결과 및 논의

선택적 주의를 주어진 주변 원형창에 위치한 운동의 방향에 따른 중심 원형창 운동의 지각된 방향판단이 그림 8에 정리되어 있다. 자료는 사용된 네 자극패턴에서 위치가 지정된 원의 위치에 따라 주의를 주어진 원형창 안의 운동방향이 모두 0도, 모두 90도, 그리고 두 방향 모두인 경우를 합한 결과이다. 이때 주의를 기울이도록 한 주변 원형창의 운동방향을 틀리게 보고한 경우는 자료에서 제외시켰다. 모든 관찰자의 주변 운동방향에 대한 정반응은 95%를 넘었다. 그림 8에서 작은 원들은 세 조건에서의 관찰자들의 평균 반응을 표시한 것이고 가는 수직실선은 평균에서의 표준편차를 나타낸 것이다.

사전의 위치단서에 의해 주의를 주어진 원형창 안의 주변 운동이 0도와 90도의 두 방향 모두를 포함하고 있는 조건에서는 중심 운동의 지각된 방향판단은 물리적 운동방향인 45도에서 크게 벗어나지 않았다. 이 결과는 실험 1에서 관찰된 결과와 일치한다. 그러나, 주의를 주어진 주변의 원형창 안의 운동이 모두 0도이거나 90도일 때 중심 운동의 지각된 방향은 물리적 운동방향에서 크게 이탈되었는데 그 정도는 각각의 조건에서 12도(지각된 평균

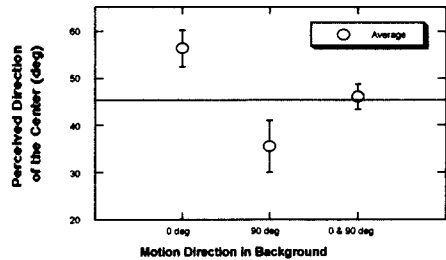


그림 8. 주의를 주어진 주변운동의 방향에 따른 지각된 중심공간의 운동방향

운동방향은 57도)와 10도(지각된 평균 운동방향은 35도)이었다. 이 이탈의 정도는 Kim과 Wilson(1997)이 주변의 원형창 수를 조절하여 주변의 운동 영역이 중심 운동에 미치는 영향을 조사한 실험에서 원형창의 수가 네 개인 경우 관찰된 이탈의 정도와 매우 유사한 결과이다. 한편, 이 이탈의 정도가 본 연구의 실험 1에서 8개의 원형창에 0도 혹은 90도 방향의 주변 운동이 존재할 때 관찰된 이탈의 정도(즉 30도)보다 작은 것은, Kim과 Wilson(1997)이 밝힌 것처럼, 주변 운동이 중심의 운동에 미치는 영향이 주변 운동영역 크기의 함수임을 나타내는 것으로 해석될 수 있다. 그림 3과 식 (1)에 기술한 운동통합 계산모형에 의거하면, 이는 영역의 크기에 따른 운동단위망간의 억제적 상호작용의 정도가 달라지기 때문이다 [식 (1)에서 M 과 N].

본 실험의 주요 관심은, 0도와 90도 방향의 두 운동이 주변에 모두 존재할 때 실험 1에서 관찰되고 또 Kim과 Wilson의 계산모형이 예

측하는 바와 같이 중심운동에의 지각된 운동 방향이 물리적 운동방향인 45도인 것과는 달리, 주변 원형창에 대한 선택적인 주의에 의해 항상 같은 주변 운동이 있음에도 불구하고 중심 운동의 지각된 방향이 물리적 운동방향에서 이탈되는가 하는 점이었다. 실험 2의 결과는 주변 운동에의 선택적 주의가, 주의가 주어지지 않았을 때와는 아주 다르게 중심 운동에 영향을 미침을 보여주고 있다. 이는 공간에 근거한 주의의 작용이 초기 운동정보의 처리에 영향을 미침을 시사한다.

종합 논의

본 연구에서 관찰한 바에 따르면, 먼저 공간의 여러 곳에 위치한 운동정보의 통합에 관한 Kim과 Wilson(1997)의 계산모형이 일상 생활과 유사한 자극 상황에도 적용될 수 있음이 검증되었다. 상이한 방향으로 움직이는 운동벡터들이 공존할 때, 특정한 영역에서 움직이는 운동의 지각된 방향은 공간의 다른 곳에 존재하는 운동들의 방향에 의해 영향을 받는데, 각 공간에 작용하는 운동단위망간의 상호억제가 지각된 방향을 결정하였다.

본 연구의 실험 2에서는 운동정보처리에 미치는 주의의 역할을 검토하였다. 실험의 결과, 주변 공간에서 상이한 방향으로 움직이는 운동벡터들 중 특정한 공간에 위치한 운동벡터들만에 선택적으로 주의가 주어지도록 하였을 때 중심 공간에 위치한 운동의 방향지각에 미치는 영향이 달랐다. 먼저 주목할 점은, 선택적 주의가 주어졌던 원형창에 상이한 운동이 존재할 때는 주변 원형창에 대한 주의를 조작하지 않았을 때처럼(실험 1) 중심의 지각된 운동 방향이 물리적 방향에서 이탈되지 않았다는 것이다. 이 결과는 주변의 상이한 두 운동과 중심의 운동에 반응하는 운동단위망간의 억제적 상호작용에 의해 야기된 이탈의 방향이 서

로 반대이므로 그 효과가 상쇄된 것으로 설명할 수 있다. 한편, 비록 다른 두 방향의 운동이 동시에 존재하여도 선택적 주의가 주어진 원형창에 동일한 방향의 운동이 존재할 때는 주변 원형창에 대한 주의를 조작하지 않았고 동일한 방향의 운동만이 존재할 경우에서처럼(실험 1) 중심의 지각된 운동방향이 물리적 방향에서 배척되는 효과가 관찰되었다. 그러나, 관찰된 배척효과는 실험 1에서 약 30도였던 반면, 실험 2에서는 약 10도 정도였다. 이처럼 감소된 배척효과는 주변 영역의 크기에 따라 달라지는 운동단위망간의 억제적 상호작용의 차이에서 비롯된 것으로 해석된다. 이 설명은 운동정보통합 계산모형의 시각에서 보면 주의가 공간의 여러 영역에 반응하는 운동단위망간의 상호작용에 조절적 함수로 작용함을 시사한다.

대상이 주의에 의해 자신의 물리적 정보와는 다르게 지각되는 현상과 관련하여 흥미로운 한 연구가 Suzuki와 Cavanagh(1997)에 의해 보고된 바 있다. 이들은 사전단서와 Vernier 시력검사자극을 결합한 상황에서 지각된 Vernier 막대기 위치의 배척효과를 관찰하였는데, 이 현상에 대한 설명으로 수용장 수축기제를 제안하였다. 수용장 수축설은 공간의 어떤 지점을 선택적으로 주의하면 그 초점 부위에서 공간적 조율(spatial tuning)이 발생하지만, 그 주변 부위에서는 반응이 감소하고, 이 때문에 배척효과가 관찰된다고 설명하는 것이다. 앞으로의 연구에서 이 배척효과가 주변운동과 중심운동으로 구성된 본 실험의 자극상황에서 관찰된 배척효과와 어떤 관계가 있는지를 살펴보는 것은 초기 시각정보처리에 미치는 주의의 영향에 관한 이해에 도움을 줄 것이다.

본 연구에서 관찰된 주의에 의해 선택된 공간에서의 운동정보처리 촉진과 관련하여 지적할 수 있는 한 의문은, 동일한 영역의 크기에 위치한 주변 공간의 운동이 그 공간에 주의를

기울이었을 때와 주의를 기울이지 않았을 때 중심공간의 운동에 미치는 영향의 정도에 차이가 있을까 하는 점이다. 이 물음에 대한 대답은 중심운동과 일치하는 주변운동에 사전에 선택주의를 하게 하거나, 방향이 일치하지 않는 주변운동에 사전에 선택주의를 하도록 실험조건을 만들어 비교할 때 가능하다. 다른 의문은, 중심공간의 운동에 주의를 주어진 공간이 미치는 영향과는 상이한 영향을 미칠 것으로 예언되지만 선택적 주의를 받지 못한 공간의 운동정보가 시각정보처리에서 어떻게 다루어지고 있을까 하는 점이다. 최근의 연구들이 주의를 주어지지 않아 억제된 시각정보가 시간이 흐른 다음의 시지각 활동에 큰 영향을 준다고 보고하고 있기 때문에(예, Allport, Tipper & Chmiel, 1985) 이 점은 더욱 흥미롭다. 또한, 최근의 많은 계산이론가들은 패턴인식과 관련하여 주위의 작용에 관한 계산모형들을 신경망(neural networking)등의 여러 도구를 사용하여 개발하고 있는데(예, Mozer & Sitton, 1998), 주위가 운동정보처리 계산모형에 어떻게 통합되어질지 그 귀추가 주목된다.

최근의 한 연구는 운동 그 자체가 우리의 주위에 의해 창출될 수 있다는 것을 보여주고 있다. Cavanagh(1992)는 바람개비판 형태의 코사인 패턴을 구성한 후 프레임(frame)간에만 사이클(cycle) 위치이동을 시켰다. 이 조작은 물리적으로 그 운동방향(이 경우 회전방향)을 애매하게 한 것인데, 놀랍게도 실험자의 지시에 따라 마음속으로 왼쪽(혹은 오른쪽) 회전을 생각하면 이 코사인 패턴은 그 방향으로 움직이는 것으로 관찰자는 지각하였다. 잇따른 일련의 관찰을 바탕으로 그와 동료들은, 지난 십 수년 간 여러 연구자들(예, Chubb & Sperling, 1988; Wilson *et al.*, 1992; Wilson & Kim, 1994a,b)에 의해 운동정보의 처리경로로 밝혀진 Fourier 운동요소와 non-Fourier 운동요소 처리과정에 덧붙여 주위에 근거한 운동요소의 처리과정을 주창하였다. 주위에 근거한

운동정보 처리 특성은 다른 두 운동요소의 처리과정에 관한 연구에서 그랬듯이 세심히 검토되어야 한다. 그와 관련하여, 첫째 의문점은 주위에 의해 유발되는 운동이 특정 자극에만 국한되는지의 여부이다. 만약 이 운동현상이 특정자극(바람개비 형태의 자극)에 국한된다면, 이 현상은 주위에 근거한 새로운 운동지각이 아니라 Fourier 운동방향탐지기의 아직 밝혀지지 않은 어떤 특성에서 수반되는 것이거나 non-Fourier 운동의 처리와 같이 Fourier 운동요소에서의 어떤 비선형적(non-linear)조작의 결과로 이해될 수 있을 것이다. 두번째 의문은, 주위에 근거한 운동 요소의 처리가 Fourier와 non-Fourier 운동요소의 처리과정에서 공히 보이는 특성들(예, 운동잔상, motion aftereffect)을 갖추고 있는가 하는 점이다(Turano, 1991; Nishida & Sato, 1993). 이 의문은 주위에 근거한 운동탐지기가 Fourier나 non-Fourier 운동탐지기처럼 뇌의 운동영역상에 과연 존재할 것인가라는 의문과 밀접한 관계를 맺고 있다(Rodman & Albright, 1989; Zhou & Baker, 1993). 이러한 의문들은 앞으로의 정신물리학, 생리학, 계산모형 등의 연구에서 명확히 규명될 것이다.

참 고 문 헌

- Adelson, E. H., & Bergen, J. R. (1985). Spatio-temporal energy models for the perception of motion. *Journal of the Optical Society of America A*, 2, 284-299.
- Adelson, E. H., & Movshon, J. A. (1982). Phenomenal coherence of moving visual patterns. *Nature*, 300, 523-525.
- Allport, D. A., Tipper, S. P., & Chmiel, N. (1985). Perceptual integration and post-categorical filtering. In M. I. Posner, & O. S. M. Marin (Eds.), *Attention and performance XI* (pp. 107-132). Hillsdale, NJ: LEA Inc.

- Broadbent, D. E. (1982). Task combination and the selective intake of information. *Acta Psychologica*, *50*, 253-290.
- Cavanagh, P. (1992). Attention-based motion perception. *Science*, *257*, 1563-1565.
- Chang, J. J., & Julesz, B. (1984). Cooperative phenomena in apparent movement perception of random-dot cinematograms. *Vision Research*, *24*, 1781-1788.
- Chubb, C., & Sperling, G. (1988). Drift-balanced random stimuli: A general basis for studying non-Fourier motion perception. *Journal of the Optical Society of America A*, *5*, 1986-2007.
- Chubb, C., & Sperling, G. (1989). Two motion perception mechanisms revealed through distance-driven reversal of apparent motion. *Proceedings of the National Academy of sciences of the U.S.A.*, *86*, 2985-2989.
- Eriksen, C. W., & St. James, J. D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, *40*, 225-240.
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*. MA: Riverside Press.
- Heeger, D. (1987). Model for the extraction of image flow. *Journal of the Optical Society of America A*, *4*, 1455-1471.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction, and functional architecture in the cat striate cortex. *Journal of Physiology*, *160*, 106-154.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *Journal of Physiology*, *195*, 215-243.
- Kim, J., & Wilson, H. R. (1993). Dependence of plaid motion coherence on component grating directions. *Vision Research*, *33*, 2479-2489.
- Kim, J., & Wilson, H. R. (1996). Direction repulsion between components in motion transparency. *Vision Research*, *36*, 1835-1842.
- Kim, J., & Wilson, H. R. (1997). Motion integration over space: interaction of the center and surround motion. *Vision Research*, *37*, 991-1005.
- Maffei, L., Morrone, C., Pirchio, M., & Sandini, G. (1979). Responses of visual cortical cells to periodic and non-periodic stimuli. *Journal of Physiology, London*, *296*, 27-47.
- Marshak, W., & Sekuler, R. (1979). Mutual repulsion between moving visual targets. *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.
- Mingolla, E., Todd, J. T., & Norman, J. F. (1992). The perception of globally coherent motion. *Vision Research*, *32*, 1015-1032.
- Mozer, M. C., & Sitton, M. (1998). Computational modeling of spatial attention. In H. Pashler (Ed), *Attention* (pp. 341-393), UK: Psychology Press.
- Nawrot, M., & Sekuler, R. (1990). Assimilation and contrast in motion perception: Explorations in cooperativity. *Vision Research*, *30*, 1439-1451.
- Nishida, S., & Sato, T. (1993). Two kinds of motion aftereffect reveal different types of motion processing. *Investigative Ophthalmology and Visual Science (suppl.)*, *34*, 1363.
- Perrone, J. A. (1990). Simple technique for optic flow estimation. *Journal of the Optical Society of America A*, *7*, 264-278.
- Perrone, J. A., & Stone, L. S. (1994). A model of self-motion estimation within primate extrastriate visual cortex. *Vision Research*, *34*, 2917-2938.
- Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of lights. *Journal of Experimental Psychology: General*, *109*, 160-174.
- Rodman, H. R., & Albright, T. D. (1989). Single-unit analysis of pattern-motion selective properties in the middle temporal visual area (MT). *Experimental Brain Research*, *75*, 53-64.

- Royden, C., & Hildreth, E. (1996). Human heading judgments in the presence of moving objects. *Perception and Psychophysics*, *58*, 836-856.
- Snowden, R. J. (1989). Motions in orthogonal directions are mutually suppressive. *Journal of the Optical Society of America A*, *6*, 1096-1101.
- Suzuki, S., & Cavanagh, P. (1997). Focused attention distorts visual space: An attentional repulsion effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *23*, 443-463.
- Turano, K. (1991). Evidence for a common motion mechanism of luminance and contrast modulated patterns: Selective adaptation. *Perception*, *20*, 455-466.
- van Essen, D. C. (1985). Functional organization of primate visual cortex. In A. Petres, & E. G. Jone (Eds.). *Cerebral Cortex* (Vol. 3, 259-329). New York: Plenum.
- van Essen, D. C., Anderson, C. H., & Felleman, D. J. (1992). Information processing in the primate visual system: An integrated systems perspective. *Science*, *255*, 419-423.
- van Santen, J. P. H., & Sperling, G. (1985). Elaborated Reichardt detectors. *Journal of the Optical Society of America A*, *2*, 300-321.
- Wallach, H. (1976). *On perception*. New York: Quadrangle.
- Warren, W. H., & Saunders, J. A. (1995). Perceiving heading in the presence of moving objects. *Perception*, *24*, 315-331.
- Wilson, H. R., Ferrera, V. P., & Yo, C. (1992). A psychophysically motivated model for two-dimensional motion perception. *Visual Neuroscience*, *9*, 79-97.
- Wilson, H. R., & Kim, J. (1994a). A model for motion coherence and transparency. *Visual Neuroscience*, *11*, 1205-1220.
- Wilson, H. R., & Kim, J. (1994b). Perceived motion in the vector sum direction. *Vision Research*, *34*, 1835-1842.
- Zhou, Y., & Baker, C. L. (1993). A processing stream in mammalian visual cortex neurons for non-Fourier responses. *Science*, *261*, 98-101.

Effects of spatial attention on visual motion information processing

Jeounghoon Kim¹ & Jung-Oh Kim²

¹Sejong University, ²Seoul National University

We examined the possibility that attention could modulate the early visual motion processing. We used multi-aperture patterns, in which a center aperture is surrounded by 8 apertures. The apertures contained 3 c/deg cosine gratings moving in different directions (center: 45 deg; surround: 0 or 90 deg). In Expt. 1, all 9 apertures including the center were presented and subjects indicated the perceived motion direction of the center grating by adjusting pointer. In Expt. 2, four circles at the surround and one at the center indicating locations subjects should attend to were shown for 1.5 sec and then 9 gratings moving in different apertures were presented. The four gratings shown in the cued locations have identical or different motion directions. To control subjects attention to the cued locations, we had them press an appropriate key showing the correct motion direction of the grating in the cued locations after they indicated the perceived direction of the center grating motion. In Expt. 1, when all the surrounding motion direction was different from that of the center in 90 deg, the perceived direction of the center motion deviates from its physical motion direction as large as 30 deg. In Expt. 2, selective attention to the gratings moving in the identical direction caused perceived motion repulsion of the center grating as large as 12 deg but attention to the gratings moving in two different directions did not. Present results show that selective attention to the motion at specific areas could affect the perceive direction of the motion in different area. To explain the attentional effect on motion integration over space, inhibitory interactions among motion networks responding to different areas were discussed.