한국심리학회지 : 실험
The Korean Journal of Experimental Psychology
2004, Vol. 16, No. 1, 1 - 21

가현운동 경로에서 발생되는 채움의 시공간적인 특성

류 경 주　　감 기 택　　정 찬 섭

연세대학교 심리학과　연세대학교 인지과학연구소　연세대학교 심리학과

두 불빛이 각기 다른 위치에서 적절한 시간 간격을 두고 명멸하면 하나의 불빛이 경로를 따라 움직이는 것으로 지각된다. 가현운동이라 불리는 이 현상에서 물리적으로 제시되지 않은 경로가 지각된다는 사실은 모종의 채움이 발생됨을 시사한다. 본 연구에서는 가현운동 경로에서 채움이 발생되는지를 확인하고, 그 과정의 시공간적 특성을 살펴보기 위해서 두 장면 가현운동(two-frame apparent motion) 자극의 경로 안과 밖에 제시된 표적자극의 정확변별율을 측정하였다. 실험 1에서는 채움의 시간적 추이를 살펴보기 위해 표적자극의 제시 시간을 변화시켰고, 실험 2에서는 채움의 공간적 범위를 살펴보기 위해 표적자극의 제시 위치를 변화시켰다. 운동 자극의 둘째 장면의 제시 시점을 기준으로 -40ms에서부터 40ms 사이에서 경로 안에 제시된 표적자극의 정확변별율은 경로 밖에 제시된 표적 자극의 정확변별율보다 더 떨어지는 것으로 나타났다. 표적자극의 정확변별율 감소는 운동자극의 윤곽들로부터 추정할 수 있는 가상의 경로보다 좁은 공간적 영역에서만 발생되었다. 이러한 결과들은 가현운동의 경로에서 발생되는 채움은 제한된 공간적 범위 내에서 매우 빠른 시간 내에 발생되었다가 소멸됨을 시사한다.

주제어: 가현운동, 운동 경로, 채움, 시공간적 특성

본 연구는 과학기술부의 뇌 신경정보학 사업의 지원에 의해서 연구되었음.
본 논문의 논지와 세세한 부분에 대해 지적해 주신 심사위원들께 감사드린다.
교신저자 : 감 기 택, (120-749) 서울시 서대문구 신촌동 134, 연세대학교 인지과학 연구소
E-mail : kham@yonsei.ac.kr

공간상의 한 위치에서 불빛이 명멸한 다음 적절한 시간 후에 가까운 다른 위치에서 불빛이 명멸하게 되면 하나의 불빛이 운동하는 것처럼 지각된다. 가현운동(apparent motion)이라 불리는 이 현상에서 명멸하는 불빛 사이의 공간적 간격이 좁은 경우에는 두 불빛 사이의 공간적 틈이 보간(interpolation)되어 지각되므로(Kolers & Von Grunau, 1976; Shepard & Zare, 1983), 대상이 실제 공간상에서 연속적으로 운동하는 것(실제운동: real motion)과 가현운동은 현상적으로 구별할 수 없다(Wertheimer, 1912; Fahle, Biester, & Morrone, 2001; Kolers, 1972; Shiori, Cavanagh, Miyamoto, & Yaguchi, 2000). 가현운동의 자극이 불연속적으로 제시됨에도 불구하고 그 자극들 사이의 시공간적 간격이 좁을 때에는 실제 운동과 같이 연속적인 운동으로 지각되는 현상은 선조 피질과 같이 시각 정보의 초기 처리 단계에서 발생되는 시공간적 필터링(filtering) 특성으로 설명될 수 있다(Burr, Ross & Morrone, 1986; Watson, Ahumada, & Farrell, 1986). 시공간적 창[1](spatio-temporal window)내에 제시된 자극은 주어진 시간 창(temporal window)동안 통합되므로, 운동자극 간의 시공간적 간격이 일정 범위 내에 있는 가현운동 자극과 시공간적 간격이 없는 실제운동 자극의 필터링된 결과는 동일하게 된다. 다른 말로 실제 운동과 유사하게 제한된 범위 내의 시공간적 간격을 갖고 있는 가현운동 자극은 운동 흐림(motion blur)(Burr, 1980)의 결과로 보간이 발생될 수 있다.

명멸하는 불빛 사이의 공간적 간격이 넓어지게 되면 가현운동과 실제운동은 구별될 수 있지만, 명멸하는 불빛의 제시 시간만 적절하게 조절되면 명멸하는 두 불빛은 여전히 하나의 불빛이 경로를 따라 움직이는 것으로 지각된다. 불빛이 물리적으로 제시되지 않은 영역에서도 불빛이 움직이는 것으로 지각되는 것은 가현운동의 경로를 따라 모종의 채움(filling-in)이 발생되고 있음을 시사한다(Shiori et al, 2000). 현상적으로 채움이 발생되는 영역에서 해당 대상의 표상이 존재하는지를 알아보기 위해 여러 연구들이 시도되었다. 이러한 연구들은 채움이 발생되는 가현 운동의 경로에서도 대상에 대한 표상이 형성된다면 경로 안에 제시된 다른 자극의 처리가 이들 표상에 의해 영향을 받을 것이라고 가정하고 있다.

채움 현상이 실재하는 지를 알아보기 위해 수행된 초기의 정신 물리학적 연구들의 대부분은 채움 현상을 추론할 수 있는 실험적 결과를 얻지 못했다. 예를 들어, Kolers(1963)는 약한 불빛을 두 장면으로 구성된 가현운동(two-frame apparent motion) 자극의 경로 안과 밖에 제시한 후 불빛의 탐지율을 측정하였지만 경로 안/밖 조건에 제시된 불빛의 탐지율에서 유의미한 차이를 발견하지 못했다. Attneave와 Block(1974)은 이중 안정적인(bistable) 가현운동 자극을 반복적으로 제시한 후 가현운동의 경로 안과 밖에 표적자극을 제시하였다. 그들은 가상적인 정사각형의 대각선 방향의 두 꼭지점에 작은 원들이 놓여있는 자극을 운동자극의 첫째 장면으로 사용하였고, 반대의 대각선 방향의 두 꼭지점에 원들이 놓여있는 자극을 운동자극의 둘째 장면으로 사용하여 이들 두 장면을 반복 제시하였다. 이와 같은 가현운동 자극은 대각선 꼭지점에 놓여있는 두 원들 중 각 장면의 위 아래의 원들이 대응되면 수직으로 움직이는 것으로, 좌우의 원들이 대응되면 수평으로 움직이는 것으로 지각될 수 있기 때문

1) 시각 정보가 처리되는 초기 단계에서는 일정한 공간적 범위 내에 있는 자극이나 일정한 시간적 범위 내에 제시된 자극들은 통합된다. 시각 정보가 통합되는 시, 공간적 범위를 시공간적 창이라고 개념화하고 있다.

에 이중 안정적인 자극으로 불리어진다. 이러한 자극이 제시되면 특정 시점에서는 두 가능한 운동 방향들 중 특정한 한 방향의 운동이 지각되며 시간이 감에 따라 다른 방향의 운동으로 지각된다. 그러나 특정한 방향으로 지각하려는 의식적인 노력을 기울이면 해당 방향의 운동이 지각된다. Attneave와 Block은 피험자들이 이중 안정적인 가현운동 자극으로부터 특정 방향의 운동을 지각하였을 때, 가현 운동을 발생시킨 두 원들 사이(경로 안)와 가현 운동이 발생되지 않은 두 원들 사이(경로 밖)에 각각 표적 자극을 제시한 후 각 자극의 탐지율을 비교하였으나 두 경로 조건 간에 유의미한 차이를 발견하지 못하였다.

이들 정신 물리학적 연구들이 채움 현상을 발견하지 못한 이유는 연구에 사용한 자극이 채움 현상을 발견하기에 적절하지 못했기 때문일 가능성이 있다. Attneave와 Block(1974)의 지적대로 가현운동에서 채움은 가현 운동이 완결된 이후에 발생될 수 있으므로, 가현 운동의 채움현상을 발견하지 못한 Kolers(1963)의 연구 결과는 운동 자극의 첫째 장면(motion frame)과 둘째 장면이 제시되는 시간 사이에 표적 자극을 제시했기 때문에 발생된 것일 가능성이 있다. 또한 Attneave와 Block의 연구에서는 가현 운동 자극의 두 장면 간 자극 출현 불일치(Stimulus Onset Asynchrony: SOA)를 600ms로 고정시켰는데, 이 값은 최적의 가현운동을 발생시키기에 너무 긴 SOA이었기 때문에 최적의 가현 운동이 발생되지 않아 최적의 채움이 발생되지 않았을 가능성이 있다(Yantis & Nakama, 1998). Yantis와 Nakama는 이러한 문제점을 해결하기 위해, SOA를 변화시켜 가면서 가현 운동으로 지각되는 정도 즉 가현 운동의 강도와 가현운동의 경로 안과 밖에 제시된 표적자극의 탐지 시간 모두를 측정하였다. 그들은 SOA가 약 350ms 부근에서 최적의 가현운동이 지각됨을 발견했으며, SOA가 길어짐에 따라 가현 운동의 지각된 강도가 줄어드는 것을 발견하였다. 경로 안과 밖에서 제시된 표적자극의 탐지 시간차이도 SOA에 따른 가현 운동의 지각된 강도의 변화와 유사하게 SOA가 350ms일 때 가장 크게 나타났으며, SOA가 길어짐에 따라 경로 안과 밖에 제시된 표적자극의 탐지시간 차이는 줄어드는 것으로 나타났다. 또한 경로 안에 제시된 표적 자극의 밝기 역치가 경로 밖에 제시된 표적자극의 밝기 역치보다 더 높은 것으로 나타났다.

Yantis와 Nakama(1998)의 연구는 가현운동이 발생되는 경로에서 채움이 발생되며 가현 운동의 지각된 강도가 강해질수록 채움 현상도 강하게 발생됨을 보여주었다. 그러나 가현운동을 발생시키는 두 장면 자극을 반복적으로 제시하면 가현 운동의 경로에서의 채움이 지속되기 때문에 채움의 시간적 추이 즉, 채움이 언제 발생되고 언제 소멸되는 지를 살펴볼 수 없다. 또한 그들은 채움이 발생되는 공간적인 범위도 측정하지 않았다. 본 연구는 Yantis와 Nakama의 연구에서 확인된 채움의 시공간적 특성을 체계적으로 살펴보기 위해서 실시되었다. 실험 1에서는 가현 운동의 채움의 시간적 변화를 살펴보기 위해서 표적자극의 제시 시간을 변화시켜가면서 표적자극의 정확변별율의 변화를 조사하였고, 실험 2에서는 채움이 발생되는 공간적 범위를 살펴보기 위해서 표적자극의 제시 위치를 경로 안쪽에서부터 경로 바깥쪽의 일정범위까지 점진적으로 변화시켜 가면서 표적자극의 정확변별율의 변화를 조사하였다.

실 험 1

실험 1에서는 두 장면으로 구성된 가현운동

자극을 한 번만 제시한 후 가현운동 경로에서 발생되는 채움의 시간적 추이를 살펴보았다. 서론에서 기술한 바와 같이 두 장면 가현운동 자극의 채움은 그 강도가 미약할 가능성과 운동자극의 두 장면들의 시간적 매개변수에 따라 가현운동의 강도가 달라질 가능성이 있다. 따라서 본 실험에 앞서 최적의 가현운동을 발생시킬 수 있는 시간적 매개변수를 발견하기 위한 예비실험을 실시하였으며, 예비실험에서 발견된 시간적 매개변수를 본 실험에 사용된 운동자극에 적용하였다. 채움의 시간적 추이를 알아보기 위해서 가현 운동 자극의 둘째 장면이 제시된 시간을 기준으로 표적자극의 제시시간을 다양하게 변화시켜 가면서 표적자극의 정확변별율을 측정하였다. Yantis와 Nakama(1998)의 연구에서는 경로 안과 밖에 제시된 표적자극의 탐지에 걸린 반응시간과 탐지할 수 있는 표적자극 밝기 수준(역치)을 측정하였지만, 본 연구에서는 표적 자극의 정확변별율을 종속 측정치로 사용하였다. 가현운동 경로에서 채움이 발생된다면 경로 안과 밖에 제시된 표적자극의 정확변별율은 차이가 날 것을 예상할 수 있으며, 채움의 강도가 시간에 따라 변화된다면 경로 안과 밖에 제시된 표적 자극의 정확 변별율은 표적 자극의 제시 시간에 따라 변화될 것을 예상할 수 있다.

방 법

피험자 실험에 참가한 피험자는 연세대학교 심리학과 소속 대학원생 3명이었다. 이들은 교정시력 0.8 이상의 정상 시력을 가지고 있었고, 저자(RJK)를 제외한 두 명의 피험자는 실험의 목적과 가설을 알지 못하였다.

자극 및 장치 실험 자극을 제시하고 피험자의 반응을 기록하는 일련의 절차들은 Microsoft Visual Studio.NET으로 제작된 MFC 프로그램(C++)으로 구성되었고 IBM 호환Pentium Ⅳ 개인용 컴퓨터에서 제어되었다. 자극은 22인치 크기의 완전평면 모니터(SAMSUMG SyncMaster 2200NF-UU)에 제시되었으며, 모니터의 화면해상도는 1024×768 이었고, 모니터의 재생빈도는 100 Hz였다. 피험자들은 모니터로부터 60cm떨어진 위치에서 턱받침대에 턱을 고정한 채로 자극을 관찰하고 자판을 통해 반응을 하였다.

각 시행이 시작되기 전 화면의 중앙에 십자모양으로 제시된 응시점(0.54°×0.54°)은 배경(15.03cd/m^2)보다 밝은 회색(23.63cd/m^2)으로 제시되었다가 운동 자극의 첫째 장면이 사라진 이후에는 배경의 밝기와 동일한 파란색(15.03cd/m^2)으로 바뀌었다. 그림 1 (a)에 제시되어 있는 것과 같이 가현운동을 발생시키는 자극은 수직으로 긴 형태의 흰색(100.9cd/m^2) 직사각형(0.77°×2°)이었다. 운동 자극의 첫째 장면에 제시된 직사각형은 화면의 중앙에, 운동 자극의 둘째 장면에 제시된 직사각형은 화면의 중앙에서 수평으로 좌, 우측 중 무선적으로 선정된 방향으로 5° 떨어진 곳에 제시되었다.

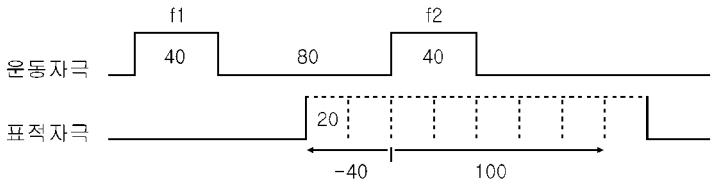
최적의 가현운동이 발생되는 시간적 매개변수를 발견하기 위한 예비실험에서는 표적자극이 제시되지 않은 채 운동자극만 제시되었다. 가현운동을 구성하는 두 자극의 공간적 위치는 본 실험과 동일하였지만, 시간적 매개변수를 찾기 위해 각 장면의 노출시간(exposure time: 이후 EXPO)은 30ms에서 80ms까지 10ms간격으로 여섯 단계로 변화되었으며, 두 장면 간 시간 간격(InterStimulus Interval: ISI)은 0ms에서 150ms까지 10ms간격으로 열 여섯 단계로 변화되었다.

본 실험에 사용된 가현운동 자극의 시간적 매개변수인 EXPO와 ISI는 각각 예비실험에서 최적

의 가현운동이 지각된 것으로 보고된 40ms과 80ms으로 고정되었다. 변별해야 하는 표적자극은 한 변의 길이가 0.38°인 정사각형(□)과 마름모(◇) 두 종류였으며, 0.08° 두께의 테두리로만 구성된 도형이었다. 배경과 동일한 밝기를 가지는 등광도(equiluminance) 자극은 가현 운동을 거의 발생시키지 않기 때문에(Cavanagh, Tyler, & Favreau, 1984; Ramachandran & Gregory, 1978), 가현 운동 자극에 의한 운동감이 표적 자극의 제시에 의해 영향받는 것을 최소화하기 위해서 표적자극은 배경색과 동일한 밝기(15.03cd/m^2)를 가지는 파란색으로 제시되었다.

경로 안 조건에서는 그림 1 (a)의 왼쪽에 제시되어 있는 것과 같이 표적자극이 가현운동이 지각되는 경로 안에 제시되었으며 운동 자극의 첫째 장면의 중심으로부터 2.5° 떨어진 곳에 표적자극의 중심이 위치되었다. 경로 밖 조건에서는 그림 1 (a)의 오른쪽에 제시되어 있는 것과 같이 표적자극은 가현운동이 지각되는 방향과는 반대방향에 제시되었으며 운동 자극의 첫째 장면의 중심으로부터 2.5° 떨어진 곳에 위치하였다. 그림 (a)에 제시된 그림은 가현 운동이 오른쪽 방향으로 발생되는 조건을 보여주고 있지만, 실제 실험에서는 왼쪽 방향으로 움직이는 조건도 포함되었으며 이들 조건의 자극들은 그림 1(a)에 제시된 자극들과는 정확히 응시점을 지나는 수직선에 대칭으로 제시되었다. 채움의 시간적 추이를 알아보기 위해 표적자극과 운동 자극의 둘째

a) 경로 안/밖 조건에 따른 운동자극과 표적자극의 공간적 위치



b) 운동자극과 표적자극 제시의 시간적 순서

그림 1. 실험1에 제시된 운동자극과 표적자극의 공간적 위치 및 제시 시간. f1은 운동자극의 첫째 장면을, f2는 운동자극의 둘째 장면을 각각 나타낸다. a) 왼쪽에 제시되어 있는 경로 안 조건에서는 사각형으로 표시되어 있는 표적자극이 가현운동이 발생되는 경로 안에 제시되었음을 보여주고 있으며, 오른쪽에 제시되어 있는 경로 밖 조건은 표적자극이 가현운동이 발생되는 경로 밖에 제시었음을 보여주고 있다. b) 가현운동의 EXPO와 ISI는 각각 예비실험에서 최적의 가현운동을 일으키는 것으로 나타난 40ms과 80ms으로 결정되었다. 표적자극은 운동자극의 둘째 장면이 제시되는 시점을 기준으로 -40ms에서 100ms까지 20ms간격으로 여덟 단계로 제시되었으며, 표적자극의 지속시간은 20ms으로 고정되었다.

장면의 자극 개시 시간 불일치(Stimulus Onset Asynchrony between motion and target: SOAMT)[2]를 -40ms에서 100ms까지 20ms간격으로 여덟 단계로 변화시켰다. SOAMT에서 음수와 양수는 각각 표적자극이 운동 자극의 둘째 장면이 제시되기 전이나 후에 제시된 것을 나타내며, 0은 표적자극과 둘째 장면이 동시에 제시된 것을 나타낸다.

절차 실험 1은 최적의 가현운동을 발생시키는 시간 변수 EXPO와 ISI를 찾기 위한 예비실험과 예비 실험을 통해 발견된 시간 변수로 구성된 가현운동으로부터 경로의 채움의 시간적 추이를 살펴보기 위한 본 실험으로 나뉘어 실시되었다. 예비실험에서는 EXPO를 30ms에서 80ms에 이르기까지 10ms단위로 변화시켰으며, ISI는 0에서 150ms에 이르기까지 10ms단위로 변화시켰다. 무선적으로 선정된 특정 EXPO 조건에서 피험자들은 ISI를 증가시키거나 감소시켜가면서 가현운동 자극을 관찰하였으며, 피험자들의 과제는 해당 EXPO 조건에서 가현 운동이 가장 강하게 지각되는 ISI 조건을 발견하는 것이었다. 최적의 가현운동을 결정할 때까지 각 피험자는 ISI를 0에서 150ms 사이에서 스스로 한 단계씩 변화시켜 가면서 가현 운동 자극을 관찰할 수 있었고, 최적의 가현 운동이 지각되는 조건에서 특정 키를 누르도록 지시를 받았다. 시간적 제약은 없었으며, 스스로 확신할 때까지 ISI를 증가시키거나 감소시킬 수 있었다. 각 6개의 EXPO 조건 당 10회의 반복 측정이 이루어져 각 피험자들은 모두 60회의 시행에 참가하였다. 5명의 피험자로부터 얻어진 자료를 통합하여 최적의 가현 운동이 지각된다고 반응한 빈도가 가장 높은 EXPO 조건 40msec과 ISI 조건 80msec을 실험 1과 2에서 사용된 가현 운동 자극의 시간적 변수로 사용하였다.

본 실험의 각 시행은 피험자들이 응시점에 초점을 맞춘 후 특정 키를 누르는 것으로 시작되었다. 키를 누른 후 1초 후에 그림 1의 b)에 나타나 있는 것과 같이 응시점 위에 운동 자극의 첫째 장면이 40ms동안 제시된 후 사라진 다음, 80ms후에 운동 자극의 둘째 장면이 40ms동안 제시되었다가 사라졌다. 경로 조건에 따라 표적자극은 경로 안이나 경로 밖에 제시되었으며, 여덟 단계의 SOAMT 조건 중 무선적으로 선정된 SOAMT에 따라 표적자극이 20ms동안 제시되었다가 사라졌다. 이때 피험자들이 수행해야 할 과제는 제시된 표적자극이 정사각형인지 마름모인지를 판단하여 정해진 두 키 중 하나의 키를 누르는 것이었다.

실험의 한 회기(session)에서는 경로 변인(2: 안, 밖), SOAMT 변인(8: -40, -20, 0, 20, 40, 60, 80, 100ms), 가현운동의 방향(2: 좌, 우), 표적자극의 종류(2: 정사각형, 마름모)의 조합으로 이루어진 64조건을 두 번 반복하여 128회의 시행을 수행하였고, 64회의 시행 후에는 강제로 휴식시간이 주어졌다. 각기 다른 날에 실시된 각 회기는 다섯 번 반복되어 각 피험자는 총 640회의 시행을 수행하였다.

결과 및 논의

분석에 앞서 가현운동의 방향(좌, 우)과 표적자극의 종류(정사각형, 마름모) 그리고 표적자극의

2) 일반적으로 가현운동 자극에서 SOA는 운동 자극의 두 장면 간 개시 시간 불일치 시간을 나타낸다. Yantis와 Nakama(1998)의 논문에서 사용된 SOA도 두 장면의 개시시간 불일치를 나타내고 있는 반면, 채움의 시간적 추이를 알아보기 위한 본 연구에서는 운동 자극의 둘째 장면과 표적자극의 개시 시간 차이를 독립변인으로 사용하였다. 본 연구의 독립변인을 기존 연구의 SOA와 구별하기 위해 SOAMT란 용어로 사용하였다.

제시위치(좌, 우)가 표적자극의 탐지에 영향을 주었는지를 살펴보기 위해 세 변인을 독립변인으로 하고 표적자극의 정확변별율을 종속변인으로 하여 반복 측정 방안 변량분석을 실시하였다[3]. 세 변인 모두 정확변별율에서 유의한 차이를 보여주지 않았기 때문에 이들 변인들은 이후 분석에서 제외되었다.

경로 변인(2: 안, 밖)과 SOAMT 변인(8: -40, -20, 0, 20, 40, 60, 80, 100ms)을 피험자 내 변인으로 하고 표적자극의 정확변별율을 종속변인으로 하여 반복 측정 방안 변량분석을 실시하였다. 그림 2의 전체 평균 그래프는 전반적으로 경로 안 조건에서 제시된 표적자극(74.3%)의 정확 변별율이 경로 밖 조건에서 제시된 표적자극(78.8%)의 정확변별율보다 떨어지는 것을 보여주고 있다($F(1, 2) = 105.796$, $p<.01$, $MSe=2.30$). SOAMT에 따른 정확변별율의 차이는 경로 조건에 따라 다르게 나타나 두 변인 사이의 상호 작용 효과는 유의하게 나타났다($F(7, 14) = 3.706$, $p<.05$, $MSe=18.87$). 이러한 상호작용이 구체적으로 어느 부분에서 일어나고 있는지 확인하기 위하여 표적자극이 제시되는 위치 조건에 따라 자료를 분리하여 사후 중다 비교 분석을 실시하였다. 표적자극이 경로 밖에 제시되는 조건에서는 표적자극의 SOAMT 조건 간에 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 그러나 표적자극이 경로 안에 제시되는 조건에서는 표적자극의 SOAMT가 -20, 0, 20msec인 조건들은 다른 SOAMT보다 정확변별율이 유의미하게 떨어지는 것으로 나타났다.

경로 안에 제시된 표적자극의 정확변별율이 경로 밖에 제시된 표적자극의 정확변별율보다 더 떨어진다는 결과는 가현운동의 경로에서 채움이 발생됨을 시사하는 Yantis와 Nakama(1998)의 연구 결과와 일치하는 것이다. 본 연구와 그들의 연구에서 사용된 종속 측정치는 달랐지만 두 연구 결과를 종합해 보면 경로 안에 제시된 표적자극은 경로 밖에 제시된 자극보다 탐지 시간은 더 늦어지고, 더 밝은 자극이 제시되어야 비슷한 비율로 탐지되며, 동일 밝기를 가진 자극이 제시되는 경우 정확변별율이 더 떨어짐을 보여준다. 경로 안에 제시된 표적자극에 대한 수행이 떨어지는 결과가 다양한 종속 측정치에서 일관되게 발견된다는 사실은 가현운동의 경로 안에 채움이 발생된다는 점을 강력하게 시사한다.

실험 1의 주된 목적은 SOAMT에 따라 표적자극의 정확변별율이 변화되는 지를 살펴보는 것이었다. 그림 2에 제시되어 있는 것과 같이 경로 안과 밖에 제시된 표적자극의 정확변별율은 -20ms에서 차이가 나타나기 시작하여 0ms에서 그 차이는 최대로 나타났으며, 40ms에 이르면 그 차이가 거의 사라지는 것으로 나타났다 경로 조건간 유의한 차이가 없었다. 이러한 결과는 본 연구의 자극 상황에서 채움이 SOAMT -40ms에서부터 발생되기 시작하여 40ms에서 사라져 채움 현상의 발생과 소멸 과정이 약 80ms 걸쳐 발생됨을 시사하는 것으로, 채움의 발생과 소멸에 걸리는 시간을 직접적으로 유추할 수 있다. 그러나

3) 표적 자극이 제시되지 않은 예비실험을 통해 가현운동의 강도를 측정하였지만, 표적 자극이 제시된 본 실험에서는 가현 운동의 강도를 측정하지 않았다. 두 심사위원은 본 실험에서 제시된 표적 자극에 의해 가현 운동이 방해 받을 수 있음을 지적하였다. 그러나, 표적 자극은 배경과 등광도의 자극으로 제시되어 가현운동에 미치는 효과는 없거나 미약했으며(Ramachandran & Gregory, 1978), 특히 표적 자극의 밝기(15.03cd/m^2)가 가현 운동을 발생시키는 자극의 밝기(100.9cd/m^2) 보다 매우 낮게 제시되었을 뿐만 아니라 그 크기나 색깔 등 자극 속성에 있어서도 가현 운동을 일으키는 자극 속성과는 달랐기 때문에, 표적 자극의 제시가 가현 운동을 일으키는 자극들 간의 대응에 크게 영향을 미치지 않았음을 추정할 수 있다.

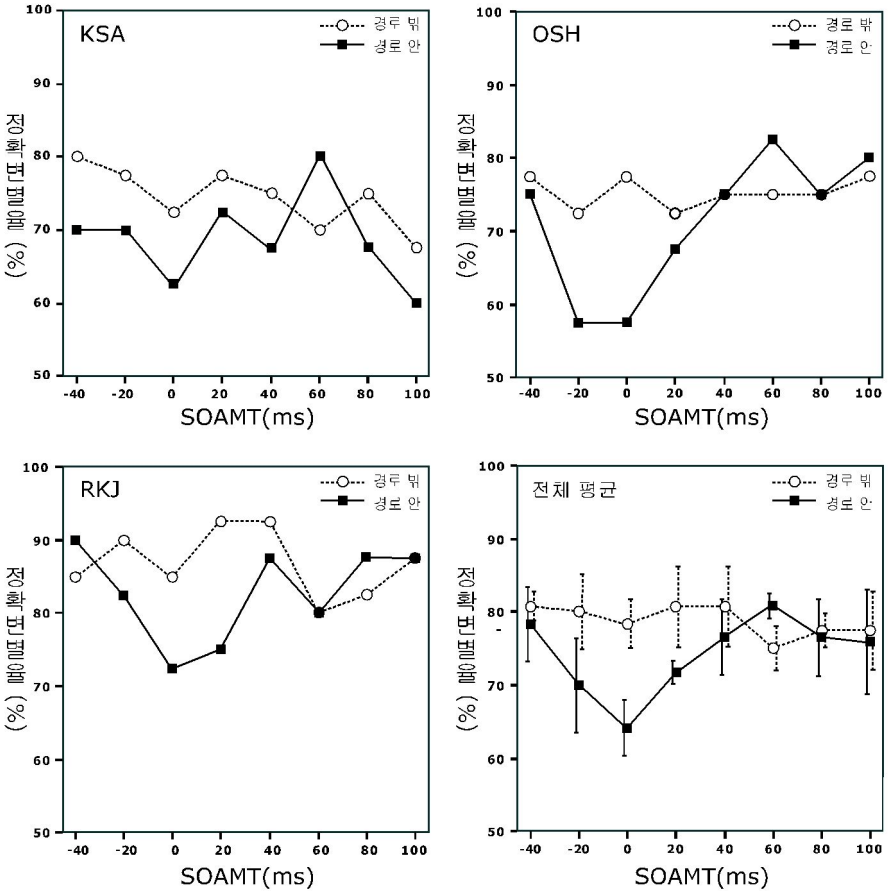


그림 2. 실험 1에서 얻어진 각 피험자의 개별 그래프와 전체 평균 그래프. 각 그래프에서 정확변별율은 각 경로 조건(안/밖)별로 SOAMT의 함수로 제시되어 있다. 하얀색 원과 검은색 사각형은 각각 경로 밖과 경로 안 조건을 나타낸다.

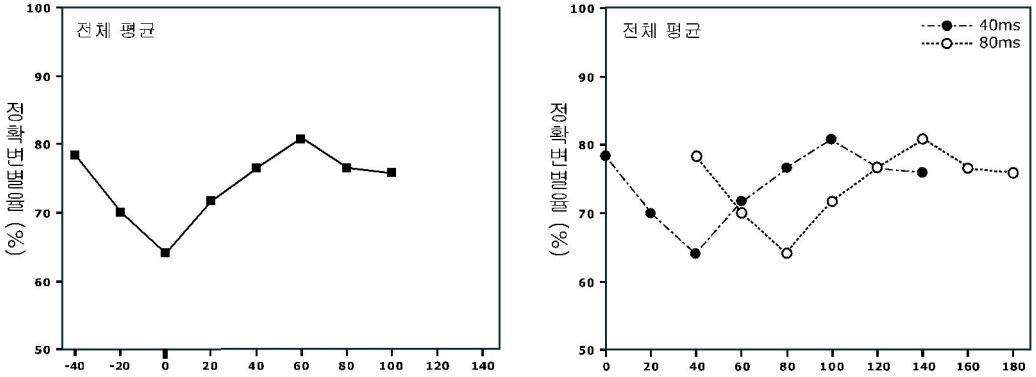
본 연구 결과로부터 채움이 발생되는 정확한 시점을 추정하는 데는 조심스러워야 한다. 두 경로 조건 간 정확변별율의 차이로부터 채움 현상이 발생되는 시점을 추정한다면 운동 자극의 둘째 장면이 제시되기 전에 채움 현상이 발생되는 것으로 해석될 수 있지만, 논리적으로 가현 운동이 완성되기 전에 채움 현상은 완성될 수 없기 때문에 이러한 해석은 타당하지 않다. 운동자극과 표적자극의 제시 시간차로부터 채움이 발생되는 시점을 파악하기 위해서는 두 자극의 처리 시간 차가 고려되어야 한다. 명멸하는 표적자극과 운동자극의 처리 시간이 동일하다면 경로 조건 간 정확변별율에서 차이가 나는 SOAMT를 채움이 발생되는 시점으로 직접 추정할 수 있지만, 두 자극의 처리 시간이 다르다면 처리 시간 차이만큼을 보정한 후에라야 채움의 정확한 시간을 추정할 수 있다.

명멸자극과 운동자극은 그 처리 시간(latency)에

서 차이가 발생될 수 있다는 정신 물리학적 및 신경 생리학적 보고들이 있다. 여러 불연속 점들로 이루어진 가현운동 자극의 위치와 명멸자극의 위치를 비교해보면 가현운동 자극의 위치가 운동 진행 방향으로 편파되어 지각된다. 즉 물리적으로 동일한 위치에 동시에 제시된 두 자극 중 명멸자극은 운동자극보다 뒤쳐져 있는 것으로 지각된다. 명멸 지체 효과(flash lag effect)라 불리는 이 현상에서 두 자극 간 지각된 위치 차이는 운동자극의 처리 시간이 명멸자극의 처리시간보다 빠르기 때문에 발생된 것으로 해석할 수 있다(Whitney & Murakami, 1998; Whitney, Murakami, & Cavanagh, 2000; Purushothaman, Patel, Bedell, & Ogmen, 1998). 즉 운동자극의 처리 속도가 빠르다면 명멸자극과 동일 시점에서 처리되는 운동자극은 명멸자극과 동일시점에 제시된 자극이 아니라 명멸자극이 제시된 이후에 제시된 것이며, 이 시점에서의 운동자극의 위치는 운동 진행 방향으로 이동된 지점이다. 명멸 지체 효과에서 운동자극과 명멸자극의 지각된 위치 차이를 이용하여 두 자극 간 처리 시간 차이를 계산하면 운동자극이 명멸자극보다 약 40ms에서 80ms정도 빨리 처리되는 것으로 계산된다(Nijhawan, 1994; Whitney & Murakami, 1998; Purushothaman 등, 1998). 정신 물리학적으로 추정된 두 대상의 처리 시간 차이는 신경 생리학적 연구에서도 확인되었다. 고양이의 LGN에 있는 신경 세포의 처리 시간 차이를 조사한 결과 운동자극의 처리 시간이 명멸자극의 처리 시간보다 빠른 것으로 나타났는데(Orban, Hoffmann, & Duysens, 1985), 이는 명멸 지체 효과가 두 자극의 처리 시간 차이에 의해 발생되었을 가능성을 뒷받침해 준다.

본 연구와 명멸 지체 효과를 살펴본 두 연구들은 모두 가현운동을 운동 자극으로 사용하였으며, 본 연구의 표적자극과 명멸 지체 효과를 살펴본 연구에서 사용된 명멸자극의 제시시간도 아주 짧은 시간(20ms)동안 제시되었다는 점에서 유사하다. 따라서 명멸 지체 효과에서 발견된 운동자극과 명멸자극의 처리 시간차(약 40ms~80ms)를 본 연구의 가현운동과 표적자극의 처리 시간차로 가정하고 적용해 볼 수 있다. 운동자극이 명멸자극보다 빠르게 처리된다면 운동자극의 처리 시점을 기준으로 명멸자극의 상대적인 처리 시점은 SOAMT로부터 두 자극의 처리 시간차(40ms~80ms)만큼 더해져야 한다. 예를 들어 운동자극보다 40ms 앞서 제시된 표적자극(SOAMT: -40ms)의 상대적인 처리 시점은 SOAMT(-40ms)에서 40ms 혹은 80ms 더해진 시점 사이에 있을 것으로 추정할 수 있다. 다시 말해 -40ms조건의 표적자극은 운동 정보가 처리되는 시점(0ms=-40ms+40ms)부터 운동 정보가 처리되고 난 후 약 40ms(40ms=-40ms+80ms)사이에서 처리될 것을 추정할 수 있다.

두 자극의 처리 시간 차이를 이용하면 두 자극의 제시 시간 차이를 두 자극의 처리 개시 시간의 차이로 변환시킬 수 있으며, 이를 기준으로 그래프를 다시 그릴 수 있다. 그림 2에 제시된 그래프의 모양은 그대로 유지되면서 두 자극의 처리 시간차이인 40ms내지 80ms으로 수평 이동한 것으로 변환될 수 있다. 그림 3의 a)에 제시된 그래프는 그림 2의 전체 평균 자료 중 경로 안 조건만을 표시한 것이며, b)에 제시된 그래프는 수평축을 두 자극의 처리 시간 차이로 변환하여 나타낸 것이다. b)에 제시된 두 그래프 중 왼쪽 그래프는 운동자극이 40ms 빨리 처리된다는 가정 하에 변환된 것이며 오른쪽 그래프는 운동자극이 80ms 빨리 처리된다는 가정 하에 변환된 것이다. 두 자극의 처리가 시작되는 시점으로 변환시켜 놓은 그림 3의 b)로부터 운동자극의 처리 시점을 기준으로 하여 채움이 발생되는 시간적



a) 표적자극의 상대적 제시시간(SOAMT)(ms)　　b) 표적자극의 상대적 처리시간(ms)

그림 3. 표적자극에 대한 정확변별율이 표적자극의 상대적 제시시간과 표적자극의 상대적 처리시간의 함수로 각각 나타나있다. a)는 그림 2의 전체 평균 중 경로 내 조건이 그래프만을 표시한 것이다. 운동자극의 제시 시점을 기준으로 표적자극이 제시된 상대적 시간을 수평축으로 나타나 있다. 명멸 지체 효과에서 발견된 명멸자극과 운동자극의 처리 시간차를 이용하여 수평축을 표적자극의 상대적인 처리 시간으로 변환하면 b)와 같이 나타낼 수 있다. b)의 검정색 원과 하얀색 원은 각각 운동자극이 표적자극보다 40ms혹은 80ms빨리 처리된다는 가정 하에 변환된 그래프이다.

시점을 쉽게 파악할 수 있다. 운동자극이 약 40ms 빨리 처리된다고 가정하면 경로의 채움은 운동자극이 처리되는 시점부터 시작하여 약 40ms에서 가장 강하게 발생됨을 추정할 수 있고, 운동자극이 약 80ms 빨리 처리된다고 가정하면 경로의 채움은 약 40ms에서 발생되기 시작하여 80ms에서 가장 강하게 발생된다고 추정할 수 있다. 결론적으로, 명멸 지체 효과에서 발견된 명멸자극과 가현 운동 자극의 처리 시간을 적용한다면 가현 운동에서의 채움 현상은 운동 자극의 둘째 장면이 제시된 직후부터 40ms 사이에서 발생되어 80ms 정도 지속되었다가 사라지는 것으로 추정할 수 있다.

경로 안에 제시된 표적자극의 정확변별율이 제시 시간에 따라 변화됨을 보여준 본 실험의 결과는 시각적 차폐(visual masking)로 설명이 가능할 수 있다. 운동 자극의 둘째 장면이 차폐자극으로 기능하여 이 자극이 제시되기 전후에 나타나는 표적자극의 탐지율을 떨어뜨린 것으로도 설명이 가능한 듯 보인다. 왜냐하면 시각적 차폐 현상은 목표자극이 차폐자극보다 시간적으로 뒤에 제시되는 조건뿐만 아니라 앞에 제시되는 경우에도 발생된다(Kolers, 1968). 또한 차폐현상은 표적자극과 차폐자극의 윤곽(contour)들이 동일 공간에서 중첩되는 경우(Kahneman, 1968; Turvey, 1973)는 물론 중첩되지 않고 인접한 경우(Breitmeyer, 1984; Growney, Weisstein, & Cox 1977; DiLollo, Enns, & Rensink, 2000)에도 발생되는 등 그 발생 조건은 다양하다. 그러나 두 자극 간의 공간적 간격이 멀어질수록 차폐의 효과는 급격히 감소(Alpern, 1953; Growney 등, 1977)하므로 표적자극과 운동자극이 2.5° 떨어져 제시된 본 연구에서는 차폐의 효과가 미약했을 것으로 추정된다. 특히, 운동 경로의 채움을 살펴보기 위한 고전적인 연구들은 운동 자극의 둘째 장면만 제시한 후(따라서 가현운동은 지각되지 않도

록 통제한 후)에 표적자극을 제시하여 시각적 차폐의 효과를 살펴보았다. 운동 자극의 둘째 장면과 표적자극의 공간적 간격이 1.5° 내에 있는 경우에는 차폐의 효과가 발생되었지만(Kolers, 1963), 본 연구의 실험 자극과 유사하게 2.5° 떨어진 곳에 제시된 표적자극은 운동 자극의 둘째 장면에 의한 차폐 효과는 없는 것으로 나타났다(Attneave & Block, 1974). 이러한 결과들을 종합해 볼 때 본 연구에서 발견된 정확변별율에 미치는 시각적 차폐의 효과는 미미한 것으로 결론지을 수 있다.

본 실험의 결과에 대한 또 다른 가능한 설명은 주의에 의한 회귀억제(Inhibition of return)이다. 주의가 특정 지점으로부터 다른 지점으로 옮겨간 후, 표적자극이 주의가 최초로 주어졌던 지점에 제시되면 그 자극에 대한 탐지율은 낮아지게 된다(Posner & Cohen, 1984). 더욱이 회귀억제의 효과는 특정 위치뿐만 아니라 주의가 이동하는 경로에서도 발견된다(O'Donnell & Pratt, 1996). 시각장에서 특정 자극이 출현하면 주의는 해당 자극으로 이동되므로(Mueller & Rabbitt, 1989), 본 연구의 자극 제시 상황에서 운동 자극의 둘째 장면이 제시되면 주의는 운동 자극의 첫째 장면에서 운동 자극의 둘째 장면으로 이동될 수 있다. 그림 1 (a)의 왼쪽에 제시된 것과 같이 경로 안 조건에서는 두 운동 장면들 사이에 표적자극이 제시되었다. 표적자극이 운동 자극의 둘째 장면 이후에 제시되는 경우에 이를 탐지하기 위해서는 운동 자극의 둘째 장면으로 이동했던 주의가 되돌아와야 하므로 회귀억제가 발생될 가능성이 있다. 그러나 일반적으로 특정 자극에 주의가 주어진 후 100-200ms(Raymond, 2000) 사이에서 발생되는 회귀억제의 시간적 특성을 고려할 때 본 연구에서 표적자극의 정확변별율이 감소되는 SOAMT와는 차이가 있다. 또한 표적자극이 경로 안에 제시되지만 운동 자극의 둘째 장면보다 선행하여 제시되는 경우에도 정확변별율이 감소되는 경향은 회귀억제로는 설명가능하지 않다. 왜냐하면 표적자극이 운동 자극의 둘째 장면보다 선행한다면 회귀억제가 발생될 가능성이 없기 때문이다.

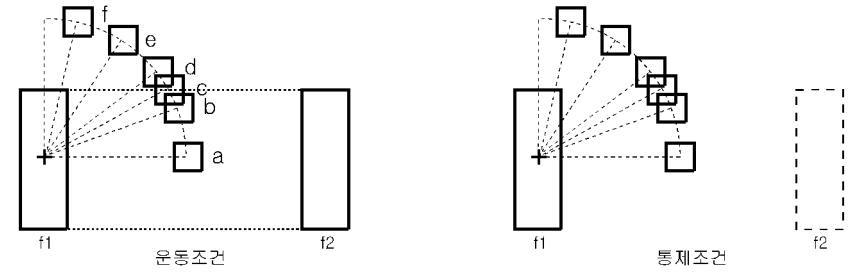
실 험 2

실험 2는 가현운동의 경로에서 발생되는 채움의 공간적 범위를 살펴보기 위해서 실시되었다. 움직이는 대상이 공간상에서 연속적인 운동을 하는 실제 운동과 가현 운동 경로의 채움 과정이 유사하게 발생된다면, 가현운동을 일으키는 자극들의 윤곽을 연결하는 가상선 내에서는 채움 현상이 동일하게 발생될 것이다. 이에 따라 가상선을 기준으로 안쪽과 바깥쪽에 제시된 표적자극의 정확변별율은 차이를 보일 것이다. 이와 달리 경로의 채움이 경로 중심을 기준으로 점진적으로 약해진다면 표적자극이 경로 중심으로부터 멀어질수록 정확변별율도 점진적으로 증가할 것을 예상할 수 있다.

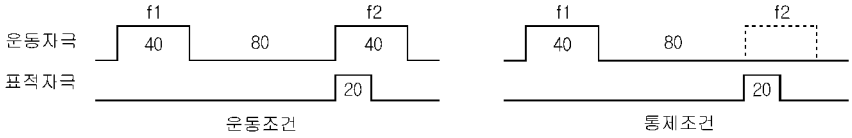
방 법

피험자 실험 1에 참가한 피험자와 동일한 피험자들이었다.

자극 및 장치 실험 2에서 사용한 장치와 가현운동 자극의 시공간적 변수는 실험 1과 동일하였다. 표적자극의 제시 시간은 실험 1에서 정확변별율의 감소가 최대로 나타난 SOAMT 0ms으로 결정되었으며, 제시 위치는 경로의 중심에서부터 바깥쪽에 이르기까지 모두 여섯 위치로 변화되



a) 운동자극과 표적자극의 공간적 위치



b) 운동자극과 표적자극의 제시 순서

그림 4. 실험 2에 제시된 운동자극과 표적자극의 공간적 위치 및 제시 시간. f1은 운동 자극의 첫째 장면, f2는 운동 자극의 둘째 장면의 공간적 위치를 나타낸다. a) 운동조건은 가현운동의 두 장면이 모두 제시되어 운동이 지각되는 조건을, 통제조건은 운동 자극의 첫째 장면만 제시되어 운동이 지각되지 않는 조건을 나타낸다. 표적자극은 응시점이 제시되는 화면 중앙으로부터 2.5° 의 이심율을 가진 동심원 상에 제시되었고, 가현운동의 경로 중심에서부터 다양한 위치에 제시되었다. a, b, c, d, e, f는 수평선으로부터 표적자극과 응시점이 이루는 각도가 각각 0, 20, 30, 40, 60, 80°인 조건을 나타낸다. 운동조건에 제시된 점선은 운동을 발생시키는 자극의 수평 윤곽들을 연결하는 가상선을 나타내며, 통제조건에서 점선으로 표시된 직사각형은 f2에 해당되는 자극이 물리적으로 제시되지 않았음을 표시한다. b) 운동조건과 통제조건에서 운동자극과 표적자극이 제시된 시간을 표시하고 있다. 통제조건에서 점선으로 표시된 것도 물리적으로 자극이 제시되지 않았음을 나타내고 있다.

었다. 표적자극의 이심율(eccentricity)에 따른 차이를 최소화하기 위해 그림 4에 제시되어 있는 것과 같이 표적자극은 응시점을 기준으로 시각으로 2.5°의 반지름을 가지는 원주 상에 제시되었다. 표적자극의 공간적 위치는 표적자극과 응시점을 연결하는 선과 수평선이 이루는 각도로 표시되어 있다. 그림 4의 운동조건에 제시되어 있는 것과 같이 0°와 20° 조건에서 제시된 표적자극은 가현운동 자극의 윤곽선을 연결하는 가상선 안쪽에, 30° 조건에서는 가상선 상에, 40, 60, 80° 조건에서는 가상선 바깥쪽에 제시되었다. 그림 4는 표적 자극이 응시점과 같은 높이에 제시된 조건(a)을 포함하여 위쪽 시야에 제시된 조건(b-f)을 보여주고 있지만, 실제 실험에서는 표적자극이 응시점을 통과하는 수평선을 기준으로 대칭적으로 제시되어 두 조건의 제시높이(위쪽 시야, 아래쪽 시야) 변인이 실험에 포함되었다.

동일한 이심율 상에 제시되더라도 제시된 각도에 따라 해당 자극에 대한 수행이 달라지며, 수평이나 수직선 방향에 제시된 자극이 사선 방향에 제시된 자극보다 탐지가 쉽다(Wolfe, O'Neill, & Bennett, 1998). 이에 따라 자극 제시 각도에

따른 효과를 제거하기 위해서 그림 4의 a)의 오른쪽과 같은 통제조건을 포함시켰다. 통제 조건은 운동 자극의 둘째 장면이 제시되지 않아 가현운동이 지각되지 않는다는 것을 제외하고는 운동조건과 동일하였다.

절차 각 시행의 절차는 실험 1과 동일하였다. 운동조건과 통제조건은 개별적인 회기동안 분리되어 실시되었다. 각 구획은 표적자극의 위치(6: 0, 20, 30, 40, 60, 80°), 가현운동 방향(2: 좌, 우), 표적자극의 종류(2: 정사각형, 마름모), 표적자극의 제시 높이 (2: 위쪽, 아래쪽 시야)의 조합으로 이루어진 48 조건으로 구성되었으며, 한 회기동안 각 구획은 3번 반복 측정되었으며 각 구획 간에는 휴식시간이 주어졌다. 각기 다른 날에 두 번의 회기를 반복하여 운동조건과 통제조건은 각각 288회의 시행으로 구성되어 피험자들은 총 576회의 시행을 수행하였다.

결과 및 논의

분석에 앞서 가현운동의 방향(좌, 우), 표적자극의 종류(정사각형, 마름모), 그리고 표적자극의 제시 높이(위쪽, 아래쪽 시야)가 표적자극의 탐지에 영향을 주었는지를 살펴보기 위해 세 변인을 독립변인으로 하고 표적자극의 정확변별율을 종속변인으로 하여 반복 측정 방안 변량분석을 실시하였다. 세 변인 모두 정확변별율에서 유의한 차이를 보여주지 않았기 때문에 이들 변인들은 이후 분석에서 제외되었다.

그림 5에 제시되어 있는 것과 같이 운동이 주어지지 않은 통제조건에서도 동일한 이심율 상에 제시된 표적자극의 정확변별율은 표적자극의 제시 위치에 따라 다르게 나타났다. 이는 가현운동의 경로와 무관하게 표적자극의 제시 위치가 영향을 미침을 나타낸다. 이러한 효과를 제거하기 위해서 각 개인별 자료에서 표적자극의 제시 위치별로 운동조건과 통제조건에서 발견된 정확변별율의 차(상대적 정확변별율)를 구하고 이를 변량분석의 원자료로 삼았다. 그림 6에는 운동조건과 통제조건에서 발견된 정확변별율의 차이가 표적자극의 제시 위치 별로 나타나 있다. 상대적 정확변별율에서 음수(-)는 운동조건의 정확변별율이 통제조건보다 떨어짐을 나타내며, 0은 운동조건과 통제조건에서 정확변별율이 차이가 없음을 나타낸다. 그림 6의 전체 자료를 보면 표적자극이 경로의 중앙에 제시된 0° 조건에서는 운동조건에서의 상대적 정확변별율이 약 20% 정도 감소했음을 알 수 있지만, 나머지 조건에서의 상대적 정확변별율은 0과 거의 유사하게 나타나 운동조건과 통제조건의 정확변별율이 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 표적자극의 제시 위치를 독립변인으로 하고 상대적 정확변변율의 차이를 종속변인으로 하여 반복 측정 방안 변량분석을 실시한 결과 표적자극의 제시 위치에 따른 주효과가 유의한 것으로 나타났다($F(5, 10) = 3.34$, $p<.05$, $MSe=59.89$). 가현운동의 경로 중심에 제시된 표적자극(0°)은 가현운동에 의해 상대적 정확변별율이 통계적으로 유의미하게 낮게 나타난 반면, 나머지 조건들의 상대적 정확변별율은 0과 유사하였다.

그림 6에서 점선으로 나타나 있는 수직선은 운동자극의 윤곽을 연결한 가상선의 공간적 위치를 나타내고 있다. 만약 채움이 운동자극의 윤곽을 연결하는 가상선 내부에서 발생된다면 표적자극이 0°와 20°에 제시된 두 조건 모두에서 정확변별율의 감소는 유사하게 나타나야 하고, 표적자극이 가상선상에 주어진 30° 조건에서는 감소 정도가 완화될 것을 예측할 수 있다. 그러나 그림에서 보는 바와 같이 표적자극이 경로의

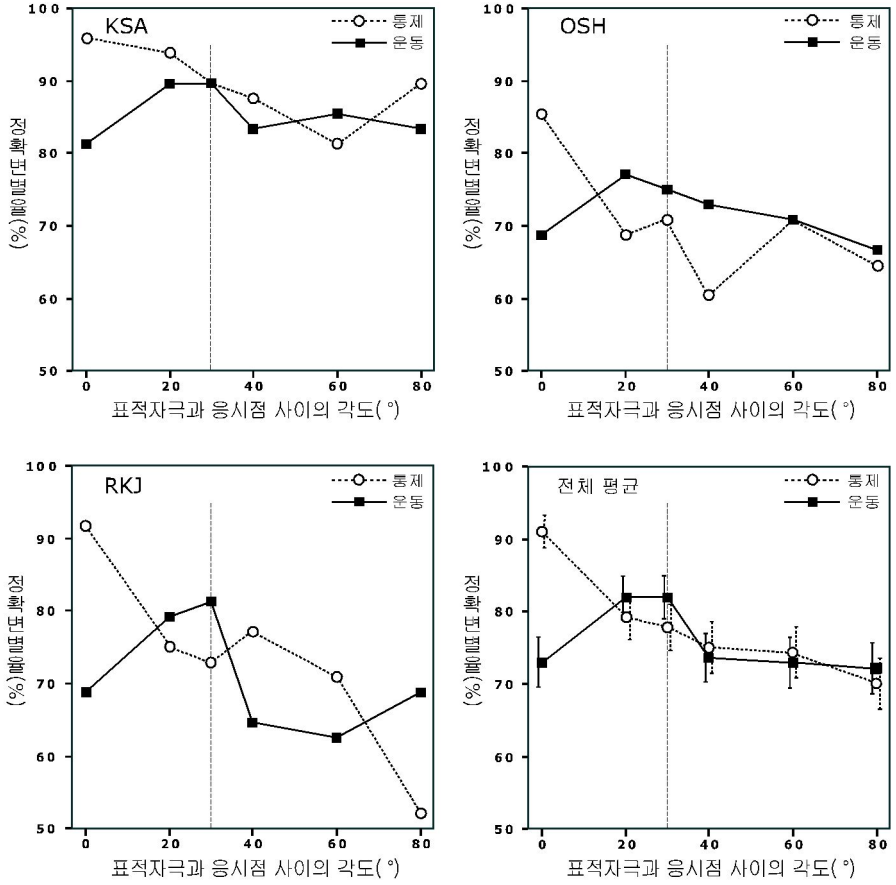


그림 5. 실험 2에서 얻어진 피험자의 개별 그래프와 전체 평균 그래프. 각 그래프에서 정확변별율은 각 운동조건(운동/통제)별로 표적자극의 제시 위치의 함수로 제시되어 있다. 하얀색 원과 검은색 사각형은 각각 통제와 운동조건을 나타낸다. 표적자극과 응시점 사이의 각도 20°와 40° 사이에 점선으로 제시된 수직선은 운동자극의 윤곽을 연결한 가상선의 위치를 나타낸다.

중앙에 제시된 0° 조건을 제외하고는 정확변별율의 감소가 발견되지 않았다. 경로 중심으로부터 표적자극의 공간적 위치를 보다 세분화하여 제시하지 않았기 때문에 채움의 공간적 범위를 정확히 제시할 수는 없다. 그러나 분명한 것은 가현운동 경로에서 발생되는 채움이 가현운동을 일으키는 운동자극의 윤곽을 연결하는 가상선보다 좁은 범위에서 발생된다는 점이다. 이러한 결과는 정지된 자극들이 제시되었을 때 윤곽의 밝기가 윤곽내부로 채워지는 채움 현상들(Ramachandran & Gregory, 1991; DeWeerd, Desimone, & Ungerleider, 1998)이 윤곽을 기준으로 발생되는 것과는 달리, 가현운동 경로의 채움에서는 윤곽을 연결하는 가상의 표면 전체에서 발생되는 것이 아님을 보여준다.

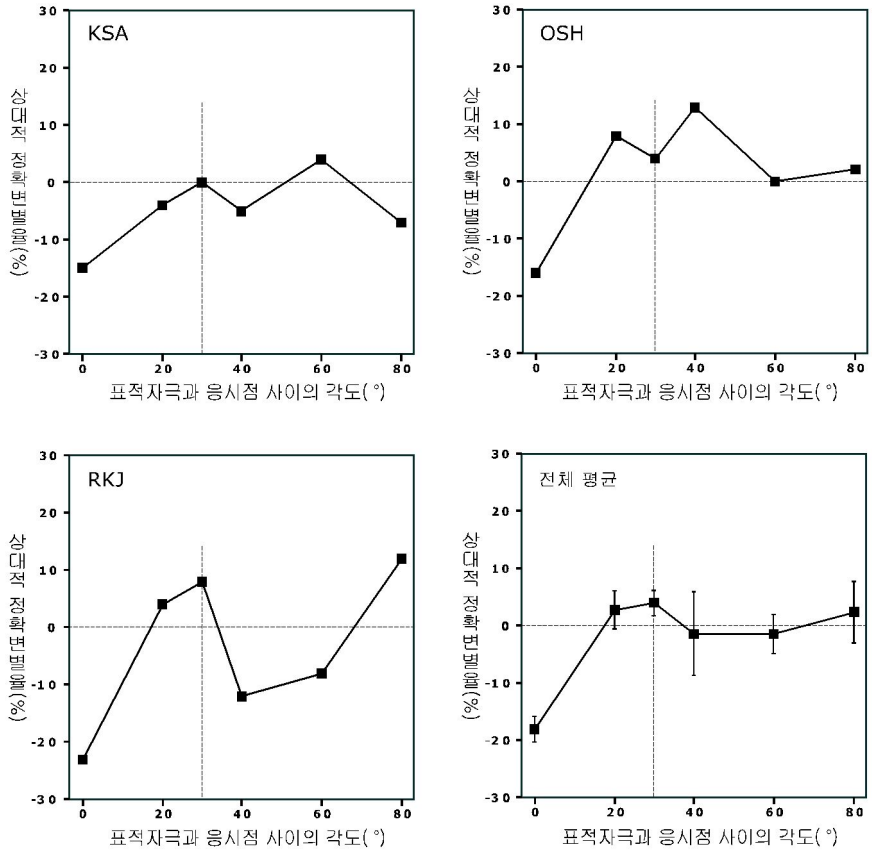


그림 6. 실험 2에서 얻어진 피험자 각각의 개별 그래프와 전체 평균 그래프. 상대적 정확변별율은 운동조건과 통제조건에서 얻어진 정확변별율의 차이값을 나타낸다. 각 그래프에서 상대적 정확변별율은 표적자극과 응시점을 연결하는 선과 수평선과의 각도의 함수로 제시되었다. 상대적 정확변별율 0은 운동조건과 통제조건간에 정확변별율의 차이가 없음을 나타내며, 음수(-)는 통제조건에 비해 운동조건의 정확변별율이 떨어짐을, 양수(+)는 정확변별율이 증가했음을 나타낸다. 표적자극과 응시점 사이의 각도 20°와 40° 사이에 점선으로 제시된 수직선은 운동자극의 윤곽을 연결한 가상선의 위치를 나타낸다.

종합 논의

본 연구에서는 가현 운동의 경로 안과 밖에 제시된 표적자극의 정확변별율을 비교함으로써 가현운동 경로 안에서 발생되는 채움의 시공간적 특성을 살펴보았다. 실험 1의 결과로부터 가현운동 경로에서의 채움이 어느 시점에 발생되는 지를 정확히 판단하기 어렵다. 그러나 명멸지체 효과에서 발견된 운동 자극과 명멸자극의 처리 시간차이(40ms ~ 80ms)가 본 연구의 가현운동과 표적자극이 처리되는 과정에서도 동일하게 나타난다고 가정한다면, 가현운동이 발생된 직후(0ms)혹은 약 40ms 지난 시점 사이에서 운동 경로에서의 채움이 발생되는 것으로 추정할 수 있

다. 또한 채움이 발생된 후 40ms혹은 80ms을 정점으로 하여 약 80ms 혹은 120ms이 지난 후에 소멸되는 것으로 추정할 수 있다. 채움의 공간적 범위를 살펴본 실험 2의 결과는 운동자극의 중심으로부터 멀어질수록 채움의 강도는 약해지며 가현 운동 자극의 각 장면에 제시된 자극의 윤곽으로부터 추정할 수 있는 범위보다 더 좁은 영역에서만 채움이 발생됨을 시사한다. 이러한 결과들은 Yantis와 Nakama(1998)의 연구에서 보고한 가현 운동의 경로에서의 채움 현상이 있음을 재확인해 주었으며 채움 현상이 시간적으로는 아주 빠르게 공간적으로도 제한된 범위 내에서만 발생됨을 보여준다.

Yantis와 Nakama(1998)나 본 연구의 결과와 같이 가현 운동의 경로에서 채움 현상을 발생됨을 시사하는 결과들은 Kolers(1963)나 Attneave와 Block(1974)의 연구에서 채움 현상을 발견하지 못했던 주된 이유가 그들이 사용한 가현운동 자극의 시간적 특성이나, 표적 자극의 제시 시간이 적절하지 못했기 때문임을 시사한다. 서론에서 제시한 바와 같이 Kolers의 연구에서는 표적자극이 운동 자극의 둘째 장면의 제시 시점보다 50ms 먼저 제시되었는데, 실험 1의 결과를 살펴보면 이 시점은 채움 현상이 발생되지 않은 시점이다. 따라서 Kolers 연구는 표적 자극의 제시 시간이 적절하지 못했기 때문에 채움 현상을 지지하는 결과를 얻지 못했을 가능성이 있다. 또한 Attneave와 Block의 연구에서는 가현 운동을 발생시키는 두 장면간 SOA가 600ms로 결정되었는데, 최적의 가현운동을 발생시키는 가현 운동 자극의 시간적 변수를 조사한 본 연구의 예비 실험이나 Yantis와 Nakama의 연구 결과를 고려해보면 이 시간은 최적의 가현 운동을 일으키기에는 너무 긴 시간이었다. 채움 현상의 강도가 가현 운동의 지각된 강도와 연관되어 있다는 그들의 연구를 고려해볼 때 Attneave 등의 연구에서 채움 현상을 발견하지 못한 것은 가현 운동 자극의 시간적 변수가 적절하지 못해 채움 현상이 발생되었더라도 아주 미약하게 나타났기 때문으로 추정할 수 있다.

밝기나 표면결(texture)과 같은 여러 다른 국소적인 형태소들의 번짐에 의한 시각적 완성(visual completion) 혹은 채움 현상들이 보고되었다. 이러한 채움 현상은 물리적으로는 자극이 제시되지 않은 영역에서도 대상이 있는 것처럼 지각된다는 점에서 본 연구에서 살펴본 가현 운동 경로에서의 채움 현상과 유사하지만, 밝기나 표면결 등의 채움 현상에서 발생되는 시공간적 특성은 가현 운동 경로에서의 채움 현상의 시공간적 특성과는 구별될 수 있다. 예를 들어, 윤곽의 밝기에 의해 표면 밝기가 결정되는 시간적 과정은 주변 영역의 밝기를 변화의 시간적 속도를 조절해가면서 윤곽 내부의 밝기 변화가 발생되는 지를 살펴봄으로써 연구된다. 주변의 밝기 변화가 느리면(2.5Hz 이하) 안쪽 표면의 밝기도 변화되지만, 주변 밝기의 변화가 아주 빠르게 발생되면 안쪽 표면의 밝기는 거의 영향을 받지 않았다(DeValois, Webster, DeValois, & Lingelbach, 1986; Davey, Maddess & Srinivasan, 1998). 표면결의 채움 과정도 밝기의 채움 과정과 유사하게 상대적으로 오랜 시간이 걸린다. 시각장의 넓은 범위에 걸쳐 패턴을 제시한 후 특정 영역에는 회색 사각형을 제시하면, 일정 시간 후에 회색 사각형이 주변의 패턴으로 채워져 지각된다(Ramachandran & Gregory, 1991; Ramachandran, Gregory, & Aiken, 1993; Spillmann & Kurtenbach, 1992). 이때 패턴의 채움은 수초에 걸쳐 완결되며 채워져야 할 공간이 커질수록 채움이 완결되는 시간은 증가한다(DeWeerd 등, 1998). 표면 밝기나 패턴, 깊이 등과 같이 국소 영역의 속성들이 확산되어 한

표면의 속성으로 채워지는 채움현상의 공간적 특성은 윤곽에서 발생된 속성 정보의 확산은 윤곽들이 둘러싸고 있는 영역에 한정된다는 점이다(Ramachandran & Gregory, 1991; DeWeerd 등, 1998).

표면 속성의 채움과 운동 경로의 채움의 시공간적 차이는 시각 정보 처리과정에서 구분되는 두 다른 처리 경로에 있는 신경 세포들의 시공간적 특성과 매우 유사하다. 우리의 시각 기제는 일반적으로 형태 정보를 처리하는 Parvo 경로(Parvo Channel)와 운동 정보를 처리하는 Magno 경로(Magno Channel)로 구분된다(예를 들어, Livingstone & Hubel, 1987). Parvo 경로에 포함될 수 있는 신경 세포들의 대부분은 높은 공간 해상도를 보이지만 신경 전달이 느리며 Magno 경로에 있는 신경세포들은 낮은 공간 해상도를 보이지만 신경 전달 속도는 아주 빠르다(Wiesel & Hubel, 1966; Derrington & Lennie, 1984; Kaplan & Shapley, 1986). 각 경로의 이러한 특성과 유사하게 운동 경로의 채움은 낮은 공간 해상도를 가지며 빠른 소멸시간을 가졌다는 점에서 밝기 등과 같은 표면 속성의 채움과는 구별된다. 이러한 차이들은 가현운동의 경로에서 발생되는 채움은 표면 속성의 채움에 관여하는 신경기제와는 다른 신경 기제에 의해서 생성됨을 시사한다.

만화와 같이 정지된 영상에서 대상의 움직임을 표현하기 위해서 대상의 운동 경로에 가는 선분, 즉 운동 선분(motion line)을 그려 넣는다. 최근의 한 흥미로운 연구(Kim & Francis, 1998)는 만화에 사용되는 운동 선분이 운동 지각과 밀접한 연관이 있음을 보여주는 정신물리학적 결과를 보고했으며, 신경망 모형을 통해 운동 자극을 처리하는 기제가 운동 자극의 경로를 따라 운동 선분과 유사한 표상을 산출할 수 있음을 보고하였다. 이는 운동 선분이 정지 영상의 운동을 표현하기 위한 기술적(descriptive)인 표현 방식이 아니라 시각 기제가 운동 정보를 처리할 때 발생되는 내적인 표상에 해당됨을 시사하는 것이다. 가현 운동의 채움이 경로의 중심부근의 제한적 범위 내에서만 발생됨을 시사하는 실험 2의 결과는 가현 운동의 채움 과정에 대한 내적 표상이 운동 선분에 해당되는 표상과 유사할 수 있음을 보여준다. 그러나 가현 운동의 채움 현상이나 운동 선분을 발생시키는 신경 기제에 대한 연구가 부족한 상황에서 이 두 현상을 담당하는 신경기제의 유사성에 대해서 논의하는 것은 성급하다.

가현 운동을 발생시키는 최소한의 자극은 시공간적으로 떨어져 있는 두 점이다. 그러나 가현 운동의 강도와 경로는 단순히 가현운동을 일으키는 두 점에 의해서만 결정되는 것이 아니라 두 점 사이에 제시된 자극들에 의해서도 결정된다. Shepard와 Zare(1983)는 공간적으로 다른 위치에 두 점을 순차적으로 제시하여 가현 운동이 발생되는 자극을 만들었다. 이들은 두 점들의 시공간적 사이에 곡률이 다른 선(물리적인 운동 경로)들을 제시한 결과 한 점이 마치 물리적으로 제시된 선분을 따라 움직이는 것으로 지각되며, 물리적인 경로가 제시되지 않은 조건보다도 가현 운동이 보다 강하게 지각됨을 발견했다. 이와는 역으로 가현 운동에 의해서 그 경로 안에 제시된 자극의 처리가 영향 받을 수도 있다. 가현 운동을 일으키는 두 점의 시공간적 사이에 직선이 짧은 시간동안 제시되면, 물리적으로는 단번에 제시된 것이지만 가현 운동 방향으로 선분이 순차적으로 그려지는 듯이 지각되며 이러한 현상이 가현 운동이 완성된 다음에 발생된다(Eagleman & Sejnowski, 2003). 그들의 연구 결과는 본 연구의 채움 현상과 유사하게 가현 운동이 처리된 이후에 그 경로에서도 추가적인 처리들

이 발생됨을 보여준다. 특히 흥미로운 점은 선분이 그려지는 듯하게 지각된다는 점으로, 이는 경로 안에서 발생되는 모종의 처리가 운동 방향에 따라 순차적으로 발생됨을 시사하는 것으로 본 연구에서 살펴본 채움 현상도 경로 안에서 순차적으로 발생될 가능성이 있다. 실험 1에서는 표적 자극의 공간적 위치는 고정시킨 채 시간적 간격만을 조절했기 때문에 경로위의 특정 위치에서 채움 현상의 시간적 변화만을 살펴볼 수 있었으며, 실험 2에서는 표적 자극의 공간적 위치를 경로의 중심에서부터 점점 멀어지는 방향으로 조작하였기 때문에 채움 현상이 발생되는 공간적 범위만을 살펴볼 수밖에 없었다. 만약, 가현 운동의 경로 중심선상의 각기 다른 위치에서 표적 자극을 제시하고 이들 표적 자극의 제시 시간을 변화시켜 나가면서 채움 현상의 시간적 추이를 살펴본다면 경로 위의 각기 다른 위치에서 채움 현상이 발생되는 상대적인 시점을 파악할 수 있을 것이며, 채움 현상이 경로를 따라 순차적으로 발생되는 지를 정확히 살펴볼 수 있을 것이다.

참고문헌

Alpern, M. (1953). Metacontrast. *Journal of the Optical Society of America, 43*, 648-657.

Attneave, F., & Block, G. (1974). Absence of masking in the path of apparent movement. *Percept.ion and Psychophysics, 16*, 205-207.

Breitmeyer, B. (1984). *Visual masking: An integrative approach.* New York: Oxford University Press.

Burr, D. C. (1980). Motion smear. *Nature, 284*, 164-165.

Burr, D. C., Ross, J., & Morrone, M. C. (1986). Smooth and sampled motion, *Vision Research, 26*, 643-652.

Cavanagh, P., Tyler, C. W., & Favreau, O. E. (1984). Perceived velocity of moving chromatic gratings. *Journal of the Optical Society of America A*. 1, 893-899.

Davey, M. P., Maddess, T., & Srinivasan, M. V. (1998). The spatiotemporal properties of the Craik-O'Brien-Cornsweet effect are consistent with 'fillin-in'. *Vision Research, 38,* 2037-2046.

Derrington, A. M., & Lennie, P. (1984). Spatial and temporal contrast sensitivies of neurons in lateral geniculate nucleus of macaque. *Journal of Neurophysiology, 251,* 167-195.

DeWeerd, P., Desimone, R., & Ungerleider, L. G. (1998). Perceptual filling-in: a parametric study. *Vision Research, 38,* 2721-2734.

DiLollo, V., Enns, J. T., & Rensink, R. (2000). Competition for consciousness among visual events: The psychophysics of reentrant visual processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, *129,* 481-507.

DeValois, R. L., Webster, M. A., DeValois, K. K., & Lingelbach, B. (1986). Temporal properties of brightness and color induction. *Vision Research, 26,* 887-897.

Eagleman, D. M., & Sejnowski, T. J. (2003). The line-motion illusion can be reversed by motion signals after the line disappears. *Perception*. *32,* 963-968.

Fahle, M., Biester, A., & Morrone, C. (2001). Spatiotemporal interpolation and quality of apparent motion. *Journal of the Optical Society of America A, 18*(11), 2668-2678.

Growney, R., Weisstein, N., & Cox, S. (1977). Metacontrast as a function of spatial separation with narrow line targets and masks. *Vision Research*, *17*, 1205-1201.

Kahneman, D. (1968). Method, findings, and theory in

studies of visual masking. *Psychological Bulletin, 70*, 404-425.

Kaplan, E., & Shapley, R. M. (1986). The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity. *Proceedings of the National Academy of Science USA, 83,* 2755-2757.

Kim, H., & Francis, G. (1998). A computational and perceptual account of motion lines. *Perception,* 27, 785-797.

Kolers, P. A. (1963). Some differences between real and apparent visual movement. *Vision Research, 3,* 191-206.

Kolers, P. A. (1968). Some psychological aspects of pattern recognition. In Kolers, P. A., & Eden, M.(Eds.), *Recognizing Patterns*.(pp.4-61). MIT Press.

Kolers, P. A. (1972). *Aspects of motion perception.* New York: Pergamon.

Kolers, P. A., & Von Grunau, M. (1976). Shape and colour in apparent motion. *Vision Research. 16*, 329-335.

Livingstone, M. S., & Hubel, D. H. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *The Journal of Neuroscience,* 7(11), 3416-3468.

Mueller, H. J., & Rabbitt, P. M. A. (1989). Reflexive and voluntary orienting of visual attention: Time course of activation and resistance to interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 15,* 315-330.

Nijhawan, R. (1994). Motion extrapolation in catching. *Nature, 370,* 256-257.

O'Donnell, C., & Pratt, J. (1996). Inhibition of return along the path of attention. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 50,* 386-392.

Orban, G. A., Hoffmann, K. P., & Duysens, J. (1985). Velocity selectivity in the cat visual system. I. Responses of LGN cells to moving bar stimuli: a comparison with cortical areas 17 and 18. *Journal of Neurophysiology, 54,* 1026-1049.

Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In H. Bouma & D.G. Bouwhuis(Eds.), *Attention and performance X: Control of Language Processes*. (pp. 531 – 556). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Purushothaman, G., Patel, S. S., Bedell, H. E., & Ogmen, H. (1998). Moving ahead through differential visual latency. *Nature, 396,* 424.

Ramachandran, V. S., & Gregory, R. L. (1978). Does color provide and input to human motion perception? *Nature*. 275, 55-56.

Ramachandran, V. S., & Gregory, R. L. (1991). Perceptual filling-in of artificially induced scotomas in human vision. *Nature*, *350,* 699-702.

Ramachandran, V. S., Gregory, R. L., & Aiken, W. (1993). Perceptual fading of visual texture borders. *Vision Research, 33,* 717-721.

Raymond, M. K. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences, 4*(4), 138-147.

Shepard, R. N., & Zare, S. L. (1983). Path-guided apparent motion. *Science, 220,* 632-634.

Spillmann, L., & Kurtenbach, A. (1992). Dynamic noise backgrounds facilitate target fading. *Vision Research, 32,* 1941-1946.

Shioiri, S., Cavanagh, P., Miyamoto, T.,& Yaguchi, H. (2000). Tracking the apparent location of targets in interpolated motion. *Vision Research, 40*(10-12), 1365-1376.

Turvey, M. T. (1973). On peripheral and central processes in vision: inferences from an information-processing analysis of masking with patterned stimuli. *Psychological Review, 81,* 1-52.

Watson, A. B., Ahumada, A. J. Jr., & Farrell, J. (1986). Window of visibility: psychophysical theory of fidelity in time-sampled visual motion display.

Journal of the Optical Society of America A, 3(3), 300-307.

Wertheimer, M. (1912). Experimetelle studien uber das sehen von bewegung. *Zeitschrift für Psychologie, 61,* 161-265.

Whitney, D., & Murakami, I. (1998). Latency difference, not spatial extrapolation. *Nat.ure Neuroscience. 1*, 656-657.

Whitney, D., Murakami, I., & Cavanagh, P. (2000). Illusory spatial offset of a flash relative to a moving stimulus is caused by differential latencies for moving and flashed stimuli. V*ision Research, 40,* 137-149.

Wiesel, T. N., & Hubel, D. H. (1966). Spatial and chromatic interactions in the lateral geniculate body of the rhesus monkey. *Journal of Neurophysiology, 29,* 1115-1156.

Wolfe, J. M., O'Neill, P., & Bennett, S. C. (1998). Why are there eccentricity effects in visual search? Visual and attentional hypotheses. *Perception and Psychophysics, 60*(1), 140-156.

Yantis, S., & Nakama, T. (1998). Visual interactions in the path of apparent motion. *Nature Neuroscience*, *1*(6), 508-512.

1 차원고접수 : 2003. 10. 18
2 차원고접수 : 2004. 1. 27
최종게재결정 : 2004. 3. 5

KCI

한국심리학회지 : 실험
The Korean Journal of Experimental Psychology
2004, Vol. 16, No. 1, 1 - 21

Spatiotemporal Properties of "Filling-in" process in Apparent Motion

Kyoung Ju Ryu
Department of Psychology
Yonsei University

Keetaek Kham
Center for Cognitive Science
Yonsei University

Chan-Sup Chung
Department of Psychology
Yonsei University

When the objects are presented successively in different locations, they evoke the perception of a single object moving between them, which is known as apparent motion(AM). Although the displacement of the object is discontinuous in AM, it is perceived as if the object moved along the smooth continuous path, suggesting that filling-in process might occur in the path of AM. To investigate the spatiotemporal properties of filling-in process in the path of AM, the correct discrimination rate was measured for the target stimulus presented either on- or off-the path of AM. In Experiment 1, SOA between target and the second motion frame was varied to examine the temporal characteristics of filling-in process. In Experiment 2, the spacial separation of the target was varied from the center of the path in order to examine the spacial characteristics of filling-in process. We found that the discrimination rate for the target on the center of the path was decreased when the target was presented at a temporal range of 40ms before or after the presence of the second stimulus in AM and that the decrease in discrimination rate was confined to a spatial region narrower than an imaginary path inferred from the contours of AM stimulus. The results suggest that filling-in process of apparent motion is formed very quickly within a restricted region along its central path.

Keywords: apparent motion, motion path, filling-in process, spatiotemporal properties