

가현 운동 연구 패러다임의 움직임 지각 이해에 대한 기여*

오 성 주[†]

경남대학교 심리학과

인접한 두 점이 충분히 짧은 시간을 두고 차례대로 깜박일 때 한 점의 착시적 움직임이 관찰된다. 이 가현 운동 현상은 형태주의 심리학의 설립과 운동 지각 연구 발전에 결정적 기여를 하였다. 본 개관 논문에서는 100년이 넘는 가현 운동 연구사에서 일어난 다양한 논쟁들을 주요 실험들을 중심으로 살펴보았다. 특히, 가현 운동이 자극의 제시 방법과 자극의 형태에 따라 다양하게 지각 될 수 있음을 기술하였고, 따라서 가현 운동이 단일한 이론으로 설명될 수 없는 복잡한 현상임을 제안하였다. 끝으로 가현 운동 패러다임은 움직임 지각 이해에 고유한 기여를 한 것으로 평가하였고, 이를 이용해 연구 할 수 있는 주제들에 대해서 논의하였다.

주요어 : 가현 운동, 운동 지각, 형태주의, 움직임 제약

* 이 연구결과물은 2011학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원에 의한 것임. 이 연구는 서울대학교 김정오 선생님의 퇴임을 기념하려고 시작되었다. 지면 부족으로 원래 원고를 모두 실지 못하였다. 빠진 부분은 가현 운동의 연구법에 관한 것으로 출판 예정인 김정오 선생님 퇴임 기념 논문집에서 볼 수 있다.

[†] 교신저자 : 오성주, 경남대학교 문과대학 심리학과, (631-701) 경남 창원시 마산합포구 월영동 449
E-mail : songjoo@kyungnam.ac.kr

갈릴레오의 유명한 지동설과 천동설 논쟁이나 아인슈타인의 운동의 상대성 이론에서 볼 수 있듯이 움직임은 천문학과 물리학 역사에서 과학자들의 큰 호기심을 끌었다. 그런데 인간을 포함한 대부분의 생물체에게 움직임은 과학적 호기심의 대상을 넘어 생명과 직결되는 문제이다. 예컨대, 개구리는 파리가 옆에 쌓여 있어도 움직이지 않으면 파리를 볼 수 없기 때문에 굶어 죽을 수도 있다(Lettvin, Maturana, McCulloch, & Pitts, 1968). 뇌의 움직임 관련 영역이 손상을 입으면 다가오는 자동차의 움직임을 지각할 수 없어 길을 건널 수 없고, 커피를 따르기도 어렵다(Zihl, von Carmon, & Mai, 1983). 눈에서 탐지된 움직임은 시간상에서 물체 혹은 관찰자의 위치 변화와 사물의 3차원 구조를 지각하는데 필수 자료이다(Gibson, 1979). 더 나아가 인간 시각의 경우, 타인의 움직임을 보고서 성별, 건강, 의도와 감정 같은 사회적 의미를 지각한다(Blake & Shiffrar, 2006). 따라서 움직임 연구는 움직임 이동과 회전의 기본적 처리뿐만 아니라 사회적 의미 같은 응용적 처리까지 확장된다.

움직임 지각이 생물체에게 중요함에도 자연 과학의 오랜 역사에 비해 움직임 지각 연구는 비교적 최근에 시작되었다. 움직임 지각 연구를 주도해 온 것은 가현 운동(apparent motion) 현상 이었다. 가현 운동은 인접한 두 점이 차례대로 재빨리 깜박일 때 보이는 착시적 움직임이다. 본 개관 논문에서는 어떻게 이 간단한 가현 운동 현상이 움직임 지각 이해에 공헌을 했는지를 주요 연구들을 중심으로 살펴보고자 한다. 이 글의 넓은 목적은 가현 운동 패러다임을 이용한 움직임 지각 연구들을 들

추어봄으로써 움직임이 결코 지각 처리의 저수준(low-level)의 기체만으로 이해될 수 있는 성질이 아니라 복잡한 지각과 인지 기능이 포함된 고수준(high-level) 처리가 개입되는 대상이라는 것이다.

운동 지각에서 표집의 문제

뉴턴의 빛 이론에 따르면 색(color)은 단지 특정한 파장이기 때문에 색을 보는 것은 마음속에만 존재하는 심리 현상이다. 마찬가지로 움직임 역시 바깥 세계에서 물체가 시간에 따라 위치를 바꿀 때 망막 상에 남기는 빛 강도 변화에 대한 주관적 추론이다(Wandell, 1995). 따라서 지각적 움직임은 물리적 움직임과 언제나 대응하지 않을 수 있다. 비록 이 두 움직임이 치밀하게 대응하는 것처럼 느껴지기 때문에 움직임이 심리적 현상이라는 진술의 심각성은 몇 가지 움직임 착시를 숙고하기 전까지 잘 드러나지 않는다. 예컨대, 구름이 달을 향해 움직일 때 달이 움직이는 것으로 보이는 유도 운동(induced motion)이나, 떨어지는 폭포수를 한참 바라보다 그 옆을 보면 물리적으로 정지해 있는 절벽이 위로 움직이는 폭포 착시(waterfall illusion)가 그렇다. 그리고 이 글의 주제인 가현 운동 역시 단지 정지된 이미지를 연속으로 배치하여 움직임이 지각될 수 있다. 이렇게 착시에서 객관적으로 움직이지 않는 사물이 움직이는 것으로 보이기도 한다.

어떤 물체 혹은 관찰자의 움직임을 지각하기 위해서 필수적 자료는 눈에서 발생하는 움직임 신호이다. 물론 물체의 움직임이란 다른 물체 혹은 관찰자에 상대적이어서, 어떤 물체

가 움직였다고 판단하는 것은 차후에 일어나는 관찰자 자신의 판단에 따른다(Wallach, 1959). 그렇다면 과연 눈에서 움직임이 탐지되는 과정은 어떻게 이뤄질까? 우선 눈에서 움직임 신호가 탐지되기 까지 고려해야 할 것이 최소한 두 가지가 있다. 첫째, 움직임이 보이는 공간적 한계이다. 어떤 물체의 움직임은 관찰자와 거리에 따라 다르게 보일 수 있다. 예컨대, 달은 지구를 1초에 1.002km 속도로 실제로 돌고 있을지라도, 너무 멀리 떨어져 있어서 거의 정지한 것으로 보인다. 이렇게 사람이나 생물체가 지각하는 움직임은 관찰자가 사는 세상에 제한된다(Gibson, 1950). 둘째, 주어진 시간 동안 물체 위치의 표집(sampling)의 횟수이다. 어떤 물체가 이동했다는 사실을 시간을 달리해서 얻은 그 물체의 위치들을 다

른 물체들 혹은 관찰자의 위치를 비교해서 알 수 있다(Pylyshyn & Storm, 1988). 물체 위치의 표집은 실제로 눈앞에서 이동하는 자동차를 쉬지 않고 관찰할 때처럼 주어진 시간 동안 연속적으로 일어날 수도 있고, 지평선에 떠 있는 달을 한 번 보고 몇 시간 뒤에 천정에 떠 있는 달을 한 번 봐서 달의 움직임을 추론하는 불연속적으로 일어날 수도 있다.

흥미로운 점은 인간 시각의 경우 이동하는 물체의 위치 표집 수에 따라 다른 인상을 불러일으킨다는 점이다. 즉, 표집 횟수가 아주 많을수록 강한 ‘움직임 인상’을, 낮을수록 그 물체가 이동했다는 ‘추론적 인상’만 남길 것이다(Blaser & Sperling, 2008). 그런데 움직임이 불연속으로 표집됨에도 강한 움직임 인상을 주는 자극을 가현 운동이라고 한다.

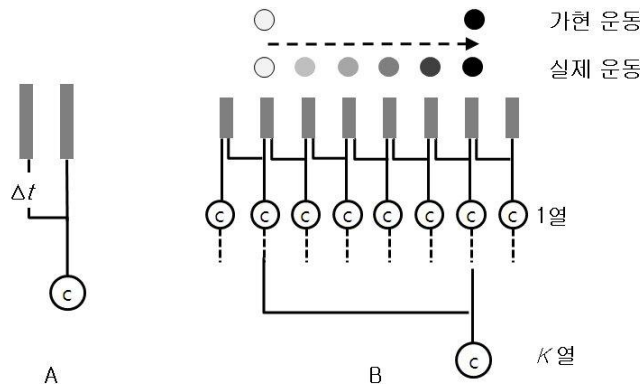


그림 1. A. 오른쪽으로 움직이는 물체를 탐지하는 전형적 라이하르트(Reichardt) 움직임 탐지기. 두 막대는 밝기 혹은 색을 탐지하는 단위를 나타내는데, 움직임 처리와 관련된 망막상의 세포 혹은 V1의 세포를 상징할 수 있다. 일정한 시차를 두고 두 신경을 왼쪽과 오른쪽을 자극하면 비교기는 움직임을 보낸다(Δt 는 시간 지연을, c는 비교기를 나타낸다). B. 움직임 제시의 두 가지 방법과 여러 단계에서 움직임 탐지. 왼쪽에서 오른쪽으로 움직이는 한 점의 실제 움직임은 망막상의 주어진 범위의 모든 시신경을 자극하여 연속 움직임이 1열에서 처리될 수 있다. 그러나 만일 가현 운동처럼 두 점이 빈 공간을 두고 오른쪽 방향으로 점멸할 때 이 자극은 좀 더 수용장이 넓은 신경의 K열에서 탐지될 것이다. 수용장이 클수록 움직임의 표집 범위도 넓어지는데, 영장류의 경우 V1에서 MT(V5)로 깊어질수록 수용장이 넓어져 처리되는 가현 운동 범위도 넓어진다.

가현 운동은 단지 일정한 거리에 떨어진 두 불빛을 차례대로 재빨리 점멸시켜 관찰할 수 있다. 그림 1은 실제 운동과 가현 운동이 탐지되는 과정을 가설적인 움직임 탐지기(motion detector)로 간략하게 묘사한 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 실제로 움직이는 물체는 주어진 범위에 놓인 모든 시신경을 자극하지만, 가현 운동으로 제시되는 물체는 단지 부분적으로만 자극할 것이다. 따라서 실제 운동이 움직임 처리의 초기 수준에서 탐지되어 이후에 연결된 신경에 신호를 보내지만, 가현 운동 자극은 좀 더 깊은 수준에서 탐지될 것이다.

1세기 전 형태주의(Gestalt) 심리학자들은 이 가현 운동 현상에서 ‘움직임이란 물리적 자료에서 전달된 일종의 에너지가 아닌 유기체의 뇌에서 창출된 새로운 성질’이라는 생각의 전환을 하게 된다. 이는 세상이 연속적으로 돌아가고 있다는 믿음에 비추어 상당히 반직관적이다. 다시 말해, 실세계에서 물체의 움직임은 필연적으로 연속적(continuous)이겠지만 지각 체계는 그와 무관하게 불연속적인 움직임 자료로 연속적 움직임을 복원한다는 점은 실세계와 지각 경험은 별개의 영역임을 시사한다 (VanRullen & Koch, 2003). 사실 망막의 시신경의 수는 유한하고, 각 신경이 연결된 다른 세포에게 정보를 전달하는 데 걸리는 시간도 유한하여 궁극적으로 시신경의 좁은 범위에서는 모든 움직임은 가현 운동일 수밖에 없다.

여기서 생기는 질문은, ‘그렇다면, 과연 가현 운동이 실제 운동을 대변할 만큼 타당한가’이다. 대답은 ‘그렇거나, 그렇지 않다’이다. 만일 영화처럼 가현 운동을 구성하는 자극의

제시의 시공간(spatiotemporal) 해상도가 충분히 높다면, 즉 매우 높은 빈도의 표집이 짧은 이동 경로에서 이뤄진다면 실제 운동과 같은 처리를 거친다(Burr, Ross & Morrone, 1986; Watson, Ahumada, & Farrell, 1986). 따라서 실제 운동과 가현 운동은 수학적으로 혹은 계산론적으로 구별되지 않는 공통 모델로 표현될 수 있고(Anstis, 1986; Krekelberg, 2008), 특정한 움직임 탐지세포들의 존재를 시사하는 움직임 잔효(motion aftereffect)가 가현 운동에서도 나타난다(Anstis, 1986). 이런 점 때문에 시공간 해상도가 높은 영화 같은 가현 운동을 연구 논문들에서 종종 부드러운(smooth) 혹은 연속(continuous) 운동이라 하여 실제(real) 운동과 동일시하곤 한다.

한편 흔히 말하는 전통적인 가현 운동은 주로 이미지의 시공간적 특징이 상당히 거친 수준에서 일어나는 것으로 베타(beta) 가현 운동이라 불린다. 예를 들어 빈 공간이 확연하게 떨어져 있는 두 점이 대략 0.1초 간격으로 깜박이면 관찰자는 움직임을 지각할지라도 실제 운동에 비해 덜 부드럽다는 것을 알아챌 것이다. 실제로, 두 점으로 이뤄진 전형적인 가현 운동을 연구하는 도중에 연구자들이 종종 당황스러워 하는 것은 일반적으로 알려진 가현 운동 자극을 일반인에게 보여 주면 순박한 관찰자들은 움직임을 봤다고 보고하는데 주저한다는 점이다. 가현 운동 연구의 초기의 연구자인 DeSilva(1926)에 따르면, 가현 운동이 무엇인지 실험 참여자에게 깨닫게 해주는 데 상당한 연습이 필요하다고 밝히고 있다. 또한 비경험자간의 개인차도 크고(Finlay, Manning, & Fenelon, 1987), 남-여 성차도 있다(Shechter,

Hillman, Hochstein, & Shapley, 1991).

그럼에도 거친 가현 운동 패러다임이 운동 지각 연구에 흔하게 쓰이는 이유는 이 방법이 움직임 처리 과정에서 지각 체계의 상위 수준에서 특징을 잘 드러낸다는 암묵적 믿음 때문이다(Kourtz, Krekberg, & van Wezel, 2008). 요약하면 부드러운 가현 운동은 지각 처리의 저수준(low-level)을, 거친 가현 운동을 고수준(high-level)을 강조하는 것으로 이해해야 한다.

영화와 가현 운동 연구의 역사

가현 운동에 관한 가장 오래된 기록은 기원전 56년으로, Lucretius는 두 이미지가 뒤 위치에서 나타났다 사라질 때 한 이미지가 위치를 재빨리 바꾸는 것처럼 보인다고 기록하였다(Wade, 1999). 사실 가현 운동을 실세계에서 찾기는 어렵지만은 않다. 예컨대, 여러 개의 빗방울들이 고인 물위에 떨어질 때 남기는 물 자국들이 이리저리 움직이는 것처럼 보이기도 하고, 하늘에서 짧은 시간차를 두고 나타나는 두 번개의 가느다란 불빛들은 이리저리 움직이는 것처럼 보이기도 한다. 오늘날의 영화가 만들어지게 된 계기도 이런 가현 운동 때문이다. 그런데 가현 운동 연구 역사는 오히려 영화 역사보다 50년 정도 늦다. 이 상식적이지 않은 차이는 가현 운동 연구가 가진 고유한 가치의 중대함을 내포한다.

영화의 역사 기원전부터 시작된 중국의 주마등(走馬燈)은 불빛만이 아니라 움직임도 보여주는 장치였다. 흰 종이로 둘러싸인 바깥 원통 안에 또 다른 작은 원통이 있었는데, 이

작은 원통은 등 중심에 놓인 촛불이 발생한 열이 위로 오르면서 위쪽에 설치된 팬이 돌 때 함께 회전하였다. 이 작은 원통 벽에는 말 같은 그림이 그려져 있어 바깥쪽 원통에 이 말의 움직임이 그림자로 나타났다. 이런 식의 광학 놀이기구에서 전 세계적으로 오래전부터 유행하였는데 이들 기구에서 보여주는 움직임은 고정된 형태의 단순한 실제적 이동에 불과하였다.

좀 더 그럴싸한 움직임을 표현하는 것은 비로소 19세기 초 가현 운동 장치의 발명으로 가능하게 되었다. 그것은 그림 2에 나타나 있는 것처럼 John Paris 혹은 Peter Roget가 1824년 발명했다고 알려진 ‘이상한 원판’이라는 그리스 어원을 가진 타우마트로프(Thaumatrope)의 발명이다. 이 장치에서 단순히 작은 둥근 종이의 앞과 뒷면에 두 물체를 그려 넣고, 이 종이의 양끝에 막대나 줄을 연결해 재빨리 펄럭거리면, 두 그림이 한꺼번에 중첩되어 보이게 된다. 따라서 이것은 어떤 한 이미지가 한동안 시각 신경에 남아 있는 잔상 혹은 지각적 지속성(persistence)을 이용한 것이어서 움직임이 나타나지는 않는다. 하지만, 만일 한 개의 막대나 점을 이 원반의 앞-뒷면에 위치를 조금 달리해서 그려 넣고, 같은 방법으로 적절한 속도로 돌리면 막대나 점이 위치를 이동하는 가현 운동을 볼 수 있다. 여기서 아이디어를 얻어 몇 년 후 벨기에의 Joseph Plateau (1830)는 눈 속임기라는 뜻의 페나키스티스코프(Phenakistoscope)를 발명하였는데, 간단한 애니메이션을 최초로 선보였다. 1832년 오스트리아의 Simon von Stampfer도 비슷한 원리로 원판 위에 애니메이션을 구현했는데, 그는 그 장치

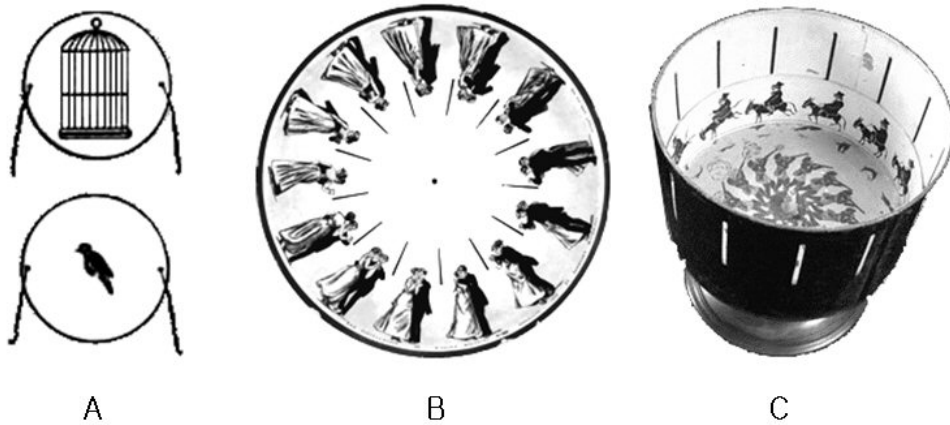


그림 2. A. 1800년대 초기에 유행했던 타우마트로프의 예. 앞-뒷면에 각각 새장과 새가 따로 그려진 원반을 양 쪽에 묶은 줄을 이용해 재빨리 돌리면 새가 새장에 갇힌 것으로 보인다. 이는 시각 잔상을 이용한 착시로 가현 운동은 아니다. B. 페나키스티스코프. 뒷면 가운데에 연필 같은 도구를 끼워 앞면을 거울을 향해서 적당한 속도로 돌리면서 빈틈으로 거울을 들여다보면 두 사람이 춤을 추는 모습이 나타난다. C. 조트로프. 원통을 돌리면서 작은 틈으로 보면 속에 그려진 정지 화면이 움직임을 만든다. 작은 틈은 각 그림이 고정된 위치에 일정 시간 동안만 노출되는 효과를 만들어낸다. 만일 틈이 없이 보면 그림이 뭉개져 보여 움직임을 보기 어렵다.

의 이름을 시각적 소용돌이라는 뜻을 지닌 스트로보스코프(Stroboscope)라고 이름을 지었고, 오늘날 정지 이미지를 연속으로 제시해서 만들어진 움직임을 지칭하는 명사가 되었다. William Horner는 1834년에 조트로프(Zoetrope)를 고안하였는데 그림 2의 사진이 그 예이다. 이 장치들은 좀 더 그럴싸한 움직임을 보여주었는데, 여러 그림들을 원반 위에 나열하고, 그 원반을 돌림으로써 그림들의 애니메이션이 작은 구멍을 통해서 나타나게 하는 장치로, 사람이 춤추는 모습이나 익살스럽게 웃는 얼굴 움직임 등을 표현하였다. 또한 이런 장치가 점점 정교화되어 1877년에는 프랑스인 Charles-Émile Reynaud가 조트로프의 안 쪽 빈 공간에 기둥을 세우고 절편의 거울을 달아 거울에 움직임이 나타나는 프락시노스코프

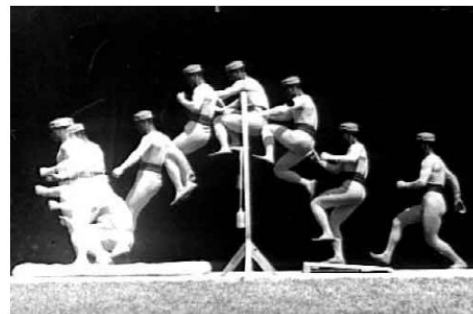


그림 3. Marey가 1882년 개발한 사진총과 결과물의 예. 총을 한 번 당기면 한 번에 12장의 연속 이미지를 짧은 롤필름에 남길 수 있었다. 1초에 60장을 찍을 수 있었다.

(Praxinoscope)를 발명했다. 특히 그는 이를 환등기와 연결해 짧지만 영상을 스크린에 투사해 많은 사람이 함께 볼 수 있도록 하였다. 초기에 만들어진 가현 운동은 대체로 손으로 일련의 동작을 그림으로 그려 연속으로 돌려주는 장치를 통해 구현되었다.

1826년의 카메라 발명은 영화 탄생에 중요한 기여를 하게 된다. 카메라가 발명된 이후 많은 사진사들이 실제 움직임을 연속 사진으로 남기려는 시도를 하였다. 이 가운데 프랑스의 Étienne-Jules Marey는 1882년 그림 3에 보이는 것처럼 움직임을 일련의 사진으로 찍는 사진총을 개발하였다. 이 보다 조금 앞서 영국의 Eadweard Muybridge는 1878년 여러 대의 카메라를 나란히 세워놓고 그가 개발한 특별한 셔터기를 이용해 움직임을 일련의 정지 이미지로 남겼는데 그림 4는 달리는 말을 찍은 유명한 예다.

Muybridge는 더 나아가 1882년에 그림 5와 같은 주프락시스코프(Zoopraxiscope)라는 최초의 움직임 투사기를 개발했다. 그는 투명한 유리 위에 물체의 연속 동작을 실루엣이나 라인 드로잉으로 그려 넣었고, 빛을 쬐여 반대편 스크린에 각 이미지가 투사되는데, 알맞은 속도로 이 원반을 돌리면 말 달리는 움직임이 나타난다. 이전에 있었던 다른 광학 놀이 기구에서 그림은 불투명 소재에 표현되었고, 사람들은 도구를 들고 혼자 눈으로 움직임을 관찰해야 했지만, 주프락시스코프에서는 빛을 투사시켜 스크린에 움직임을 구현해 많은 사람이 동시에 관찰 할 수 있었다. 이 도구의 중요 구성 요소는 램프, 초점을 맞추는 렌즈, 유리 원판, 이미지를 일정한 시간만 보여주는 셔터기였다. 즉 색과 밝기가 투사되는 빛에 실려 스크린에 투영되는 필름의 원리를 최초로 선보인 것이다.

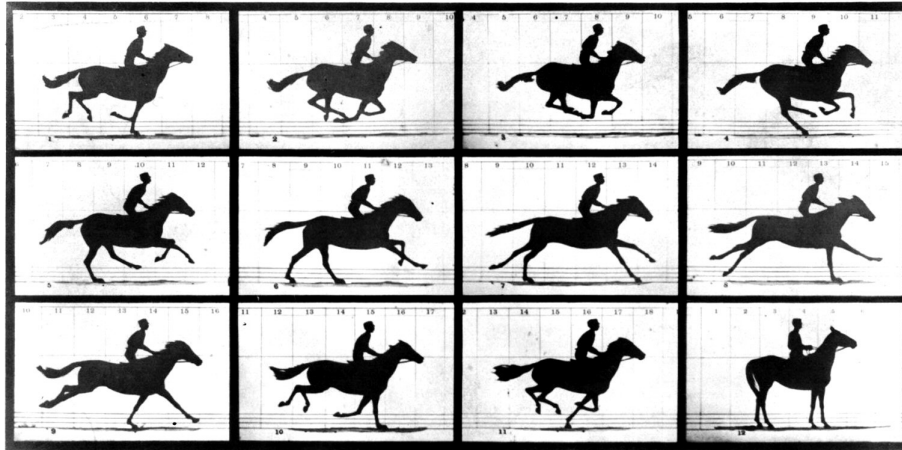


그림 4. Muybridge는 1878년 여러 대의 카메라를 나란히 세워놓고 말이 달리는 모습을 연속적인 정지 사진으로 담는데 성공했다. 말이 달릴 때 ‘발굽이 공중에 모두 떠 있는지, 착지는 어느 쪽부터 하는지’의 호기심으로 한 일이었다. 말이 너무 빨리 달리기 때문에 맨 눈으로 이것을 확인하기 어려웠다. 이 작업은 사진이 과학에 중요한 기여를 할 수 있는 예로 자주 인용되기도 하다.

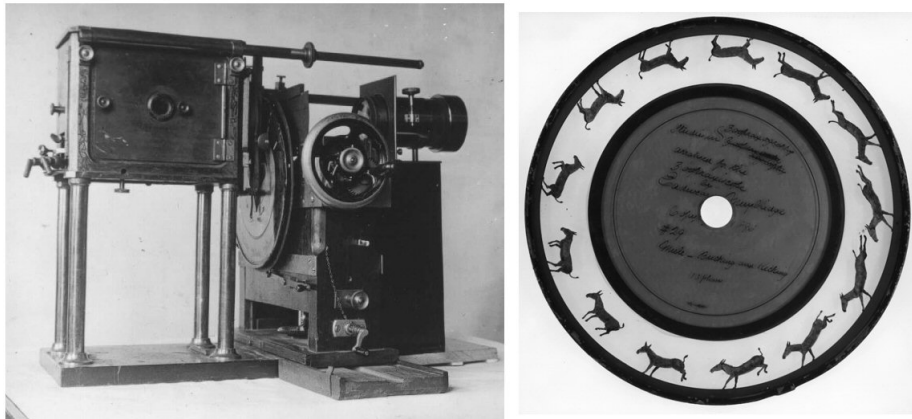


그림 5. (왼쪽) Muybridge(1882)가 만든 최초의 영상 투사기인 주프락시스코프. 왼쪽 상자에 빛을 내는 램프가 있고, 움직임을 구성하는 일련의 정지 그림이 그려진 유리판이 가운데 있고, 오른쪽에는 초점을 맞추는 렌즈가 있다. 램프를 켜면 스크린에 영상이 투사되어, 유리원판을 돌리면 스크린에 움직임이 나타난다. (오른쪽) 말이 뒷발질하는 모습을 여러 장의 정지그림으로 나타낸 유리판으로 빛에 비춰 스크린에 투사되는 오늘날의 영화필름의 효시이다.

이후에 남은 관심은 과연 실제 움직임이 담겨진 일련의 정지 이미지들을 이전에 개발된 페나키스티스코프 같은 도구로 돌렸을 때 움직임이 복원되느냐였고, Muybridge는 이 일을 실천하여 그가 남긴 초기의 많은 짧은 영상들은 오늘날 예술작품으로 남아있다.

그 다음 호기심은 상당히 긴 분량의 움직임을 스크린에 보여주는 것이었다. 이는 Thomas Edison이 1890년 즈음에 Marey의 사진총에 쓰인 롤필름에서 아이디어를 얻어 만든 셀룰로이드로 만든 상당히 긴 롤필름을 만들어 가능했다. 뿐만 아니라, 필름 가장자리에 작은 구멍을 넣어 영사기의 톱니바퀴에 물려 일정한 속도로 회전하도록 하였다. 에디슨은 세계 최초로 1893년 대장장이 풍경(Blacksmith Scene)이라는 34초짜리 필름 영화를 보여주기도 하였다. 뿐만 아니라 에디슨은 Dickson을 따라 움직이는 대상을 연속으로 찍는 사진기인 키네

토그래프(Kinetograph)를 개발하였고, Jenkins와 Armat(1895)가 발명한 영사기를 발전시켜 ‘움직임을 보다’는 뜻을 지닌 키네토스코프(Kinetoscope)라 불리는 영사기를 만들기도 하였다.

이후 영화 기술과 이론은 급속도로 발전하게 된다. 하지만 초기에만 해도 영화 장면을 깜박임이 많아 오늘날에도 영화를 ‘깜박이(flicker)’라고 부르는 전통이 남아있다. 영화인들은 깜박임이 없는 움직임을 구현하고자 많은 시행착오를 거쳐 지금의 영화 방식에 이르렀다. 그림 6은 오늘날 영화에서 표준적으로 쓰이는 영상 제시 방법이다. 필름에는 프레임(frame)이라 불리는 정지 이미지들이 담겨 있는데 강한 빛을 쬐이면 반대편 스크린에 영상이 나타난다. 움직임 영상은 동작이 담겨진 일련의 프레임을 연속으로 노출시켜 만든다. 이때 각 프레임은 일정 시간 동안 정지 상태로 노

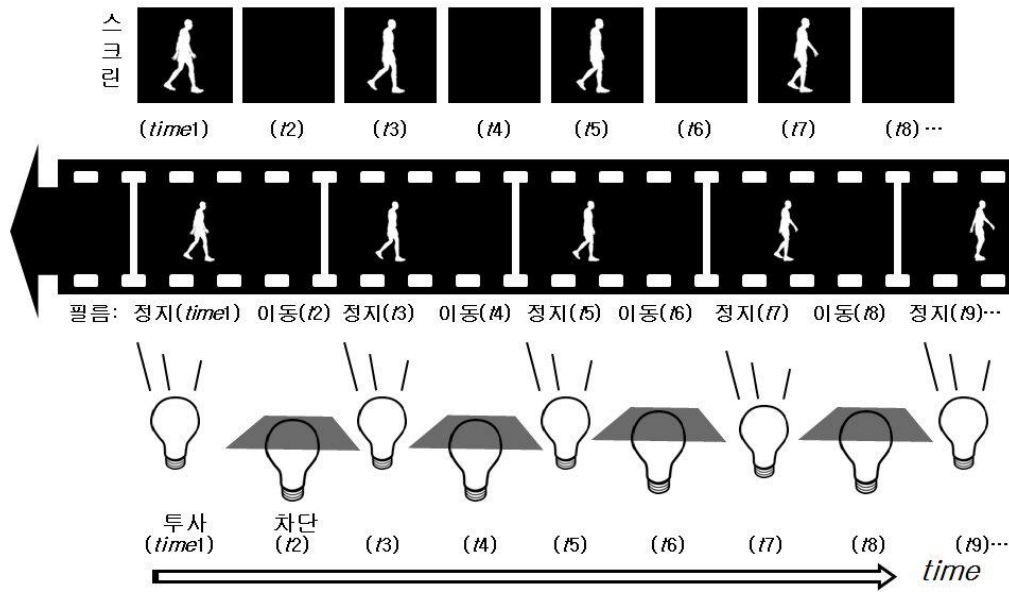


그림 6. 영화 영상은 일련의 정지 이미지(frame)를 연속으로 제시해서 만든다. 각 이미지가 담긴 프레임을 일정 시간 동안 정지한 상태에서 화면에 노출을 시키고, 다음 프레임으로 넘어가는데, 프레임 사이에는 조명을 셔터(shutter)를 이용해 순간적으로 가려 상이 보이지 않게 한다. 만일 프레임을 보여 줄 때와 이동할 때 그대로 돌리면 뿌옇게 흐린 상이 보인다.

출되고 다음 프레임으로 바뀌는데 이 사이에 조명 앞에 셔터(shutter)를 넣어 빛을 일시적으로 차단시켜야 한다. 그래야만 필름이 움직이는 사이에 훑 지나가는 흐린 이미지가 안 보이게 된다. 그런데 만일 조명이 차단된 시간이 길면 관객은 화면이 깜박거린다는 것을 알아차린다. 4000명 당 한 명꼴로 이런 깜박임에 신체적 발작 같은 심각한 반응을 보이는데, 이를 광민감 간질(photosensitive epilepsy)이라 불린다. 일반인들 역시 빛이 깜박임이 충분히 짧지 않으면 눈의 피로함을 느끼고 이는 텔레비전과 컴퓨터 모니터를 볼 때도 해당된다. 따라서 이런 깜박임을 최대한 줄여서 감춰야만 하는데 이를 깜박임 융합(flicker fusion)이라 한다. 오늘날의 영화는 초당 24 프레임의 연

속 이미지로 이뤄져 있어 각 프레임은 이론상 0.042초가량 스크린에 보이게 되어야 하겠지만 실제로 어둠이 발생하는 프레임까지 포함한 시간이다. 그런데 같은 프레임을 세 번 나누어 투사하고 그 사이에 두 번의 어둠을 넣을 때 깜박임이 없으면서도 움직임이 부드럽게 보인다는 사실을 경험적으로 알게 되었다. 즉 원래는 초당 24 개의 다른 이미지만 세 번씩 되풀이되어 나타나 초당 72개가 되고, 각 사이의 어둠도 72번이 된다(한 번의 꺼짐과 한 번의 꺼짐이 쌍을 이뤄 72Hz가 된다). 예컨대, 스크린에 보이는 각 프레임을 숫자로 셔터가 내려간 순간을 '0'으로 표현하면, "1/0/1/0/1/0/2/0/2/0/2/0/3/0/3/0/3/0/3/0/4/0/4/0/4/0/5/0/5/0/5/0/6/0/6/0/6/0/7/0/7/0/7..." 같은 식이다. 따라서 어

뚝까지 한 프레임으로 치면 실제로는 144 프레임인 셈이다. 결국 각 이미지는 0.0312초 동안 투사되고, 어둠은 0.0054초가량 투사된다. 이 계산에 따르면, 100분 동안 지속되는 영상 속에 40분 정도의 완전한 어둠이 들어 있는데, 놀라운 점은 누구도 이 어둠을 알아채지 못한다는 점이다(Bordwell & Thompson, 1993). 여기서 프레임 사이에 밝음이 아닌 어둠을 넣는 이유는 밝음에 대한 민감도가 어둠에 대한 민감도보다 훨씬 크기 때문이다. 즉, 아주 어두운 방에서 1/100 초 동안 밝게 비추는 것은 밝은 방에서 1/100 초 동안 어둡게 하는 것보다 눈에 떨 가능성이 크다. 만일 영화에서 각 프레임 사이에 만일 밝음을 넣어서 이것이 눈에 띄지 않게 하려면 훨씬 더 많은 프레임이 필요할 것이다.

시각의 지속성 망막에 투사된 이미지는 수십에서 수백 밀리 초의 짧은 순간 시각체계에 남는다. 이는 지속성(persistence)이라 불리는 현상이다. 오늘날 이 지속성이 시각세포가 관여하는지 아니면 조금 높은 수준의 작업기억이 관여하는지는 분명치 않는데 여러 단계에 걸쳐 일어날 가능성이 있다(Palmer, 1999). 영화 보기에서 이 지속성은 대단히 중요하다.

필름 투사는 이미지가 담긴 프레임이 보이는 시간과 셔터가 내려간 어두워진 시간의 반복이다. 이 때 이미지 투사가 충분해야만 셔터가 내려간 시간까지 깜박임이 없이 부드러운 이미지가 남게 되고, 지속성이 약화되기 전에 어둠은 그쳐야 된다. 이것이 임계명멸융합(critical flicker fusion)이라는 개념으로 이미지 제시시간과 셔터가 내려간 시간 양자가 관련

된다. 하지만 주의해야 할 점은 이것이 움직임 일으키는 것은 아니라는 점이다. 이런 연속된 정지 이미지에서 보는 움직임이란, 즉 가현 운동이란, 이미지들 사이에서 벌어지는 현상이지 이미지와 셔터가 내려간 어둠 사이에 벌어지는 일이 아니다. 즉, 입력된 두 이미지의 비교 과정을 통해 움직임이 지각될 수 있다. 이렇게 두 이미지가 비교되기 위해서 표상 수준에서 상의 지속 혹은 기억되어야 한다(Gregory, 1990).

그런데 영화 기술이 개발된 초기부터 현재까지 영화 관련 책자들과 텔레비전의 교육 프로그램에서 영화 전문가들이 움직임 영상을 보는 원리를 지각 처리의 낮은 수준의 지속성 혹은 잔상으로만 설명하곤 한다. 이들이 말하는 지속성 가설은 위치가 조금 다른 두 이미지가 빠르게 연속으로 제시될 때, 이전의 상이 잠시 눈에 잔상으로 남아 있다 다음 상이 들어오면 두 이미지가 합쳐져 움직임이 지각된다는 것이다. 하지만 이는 대단히 잘못된 신화에 불과하다(Anderson & Anderson, 1993; Galifret, 2006). 정말로 만일 시각적 지속성이 눈에서 일어나는 잔상이라면 연속된 이미지를 제시했을 때 그 결과물은 여러 겹의 이미지이지 움직임을 느끼지 못하게 될 것이다. 움직임을 느끼기 위해서는 이미지 비교과정인 추가적인 처리가 필요하다. 이 점이 바로 형태주의 심리학자 Max Wertheimer가 지적한 점이다.

Anderson과 Anderson(1993)은 그럼에도 왜 이 지속성 가설이 아직까지 영화인들 사이에서 가장 강력한 원인으로 남아 있는지를 크게 두 가지로 설명하고 있다. 첫째는 영화 관련인들과 연구자들의 움직임 지각에 대한 비전문성

이다. 이들은 주로 부드러운 움직임을 구현하는 실용적 목적 때문에 움직임 지각 과정 자체에 관심이 덜했을 수 있다. 또한 워낙 저명한 영화인들(감독, 이론가)이 지속성 가설을 지지했기 때문일 수 있다. 둘째는 가현 운동에 대한 초기 지각 심리학자들의 연구적 혼동 때문이다. 가현 운동은 19세기 후반부터 당대의 저명한 심리학자들, 예컨대 Jan Purkinje, Hermann von Helmholtz, Joseph Plateau, William James, Henry Bowditch, Stanley Hall, Ernst Mach 와 Wilhelm Wundt 같은 학자들 대부분 관심을 갖고 있었는데 통합된 이론이 없었다(King & Wertheimer, 2005).

가현 운동 연구 역사 가현 운동 연구가 활발하게 이뤄지기 시작한 때는 이미 상업용 영화가 한창 제작되던 20세기 초였다. 더군다나 부드러운 움직임을 추구하던 영화와 달리 가현 운동 연구에서는 종종 프레임의 수가 적은 거친 수준의 움직임 자극을 탐구하였다. 이들은 비록 이미지의 제시 방법이 원리상 같을 지라도 움직임 인상은 크게 다르다. 더군다나, 영화 등에서 쓰이는 이미지들은 친숙한 물체들이고, 가현 운동 연구에서 쓰이는 자극들은 무의미하거나 간단한 도형 같은 것들이었다. 이런 시대적, 내용적 차이들은 쉽게 이해되지 않는 일이다.

가현 운동 연구자들은 순수한 움직임 처리 과정 자체에 있었기 때문에 고등의 인지적 작용을 떼어 순수한 지각 과정을 살펴보고자 하였다. 사실 영화를 만드는 사람들과 가현 운동 연구자들의 관심이 달랐기 때문에 이들의 교류는 전무하였고, 가현 운동 연구가 영화의

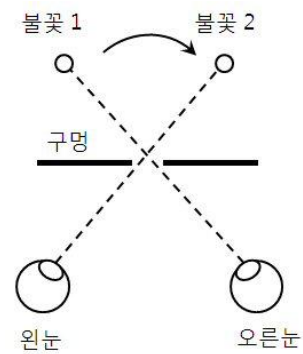


그림 7. Exner(1875)의 가현 운동 실험 디자인. 두 불꽃을 각 눈에 따로 제시하려고 불꽃과 관찰자 사이에 구멍이 뚫린 칸막이를 놓았다. 따라서 이때 나타나는 가현 운동은 망막 수준이 아닌 대뇌 수준에서 일어남을 시사한다.

발전에 대한 기여는 거의 없었다(Hochberg, 1986).

Wertheimer의 가현 운동 연구는 20세기 초 형태주의 심리학과 형성에 결정적 기여를 한 것으로 잘 알려져 있다. 그런데 가현 운동 실험을 최초로 한 사람은 Wertheimer가 아니라 Helmholtz의 학생이었던 오스트리아의 생리학자 Sigmund Exner(1870; 1875)였다. Exner는 전기 불꽃으로 가현 운동을 연구하였다. 그는 두 지점에 전기 불꽃을 일으키는 점화 장치로 두 불꽃이 보이는 시간차와 거리차를 바꿔가면서 가현 운동을 연구하였다. 그의 중요한 발견 가운데 하나는 두 불꽃을 아주 가까이 했을 때 움직임이 보이는 최소한의 시간차를 밝힌 것이다. 이 간격이 너무 짧으면 동시에 두 불꽃이 보였고, 너무 느리면 움직임이 아닌 두 위치에서 깜박임이 보였다. 이 실험에서 가장 부드럽게 관찰되는 시간 차이가 0.014-0.045초 사이임을 알아냈다(Galifret, 2006).

이 연구는 움직임이 탐지되는 최소한의 시간을 알아낸 것이기 때문에 대단히 중요한 의미를 지닌다. 이후에 많은 연구자들이 현재에 이르기까지 다양한 방법으로 이것을 검증하려는 노력이 이어지고 있다(예컨대, Bours, Stuur, & Lankheet, 2007). 이 관찰을 통해서 Exner는 가현 운동이 복잡한 종류의 지각이 아닌 단순한 감각 현상으로 규정하였다(King & Wertheimer, 2005). 오늘날의 관점으로 보면 Exner의 연구는 움직임 처리의 초기수준에서 일어나는 움직임을 연구한 것이다. Exner의 또 다른 중요한 발견은 가현 운동이 그림 7처럼 두 눈에 번갈아 제시되었을 때도 일어남을 밝혔는데, 이는 가현 운동이 눈이 아닌 대뇌 수준에서 일어나는 현상임을 시사한다.

Exner의 가현 운동 연구는 대단히 중요함에도, 많은 연구자들은 Wertheimer의 연구를 가현 운동 연구의 시작으로 본다. 그 주된 이유는 Wertheimer가 가현 운동에 대한 이론을 정립했기 때문으로, 그의 연구 가치는 실험적인 면보다 이론적인 면에 있다.

1910년 어느 날 서른 살의 Wertheimer는 비엔나에서 라인강 지역으로 가는 기차 여행 중이었다. 그는 프랑크푸르트 역에서 철도 신호등의 깜박거림에서 가현 운동을 우연히 관찰하고서 어떤 아이디어가 떠올라 기차에서 내렸다. 그가 거리에서 구입한 것은 가현 운동 장난감 조트로프(그림 2-C 참조)였다. 그는 그 길로 근처에 호텔을 잡아 이 놀이 기구를 통해 몇 가지 가현 운동에 관한 중요한 통찰을 하게 된다. 이 일화는 아주 유명하다. 그해 그는 우연한 기회에 프랑크푸르트에서 Wolfgang Köhler와 Kurt Koffka를 만나게 된다.

Wertheimer는 이 둘을 상대로 순간노출기(tachistoscope)로 다양한 종류의 가현 운동을 실험하고 이들과 많은 토론을 하였다. 이때를 계기로 이 세 사람은 형태주의(Gestalt) 이론을 만들게 된다. 따라서 형태주의 이론은 형태가 아닌 가현 운동에서 시작되었다. 가현 운동 연구에 대한 Wertheimer의 기여는 다음 몇 가지로 요약될 수 있다.

이론 확립 Wertheimer에 따르면 가현 운동은 시간차를 두고 일어나는 요소들간의 조직화로 발생한 지각 현상이다. 이 이론은 이후에 정지된 형태 지각 장면에도 적용된다. 예컨대, 종이 위에 세 점이 삼각형이라는 속성이 생길 수 있다. 그에게 가현 운동을 설명할 때 ‘부분들의 합 이상’이라는 말로 부족하여 ‘완전히 새로운 성질’로 표현하였다. 그는 가현 운동 연구를 통해서 형태주의 학파의 기틀을 잡게 된다.

연구법 확립 Exner는 실제 불꽃을 이용해 가현 운동을 연구했는데 연구 방법이 비교적 원시적이었다. 반면 Wertheimer는 당시 이미 폭넓게 쓰이고 있었던 스트로보스코프를 개조하여, 실제 형태(예컨대 점이나 직사각형)를 가현 운동 자극으로 사용하여 사실성을 높였고, 순간노출기로 가현 운동에 영향을 주는 시, 공간 조건을 좀 더 정교하게 관찰할 수 있었다. 그래서 그의 연구는 가현 운동이 과학적 연구 대상으로 인정받도록 하는 계기가 되었다. 특히 Wertheimer는 움직임 자극을 만드는데 천재적이었다. 그림 8은 좋은 예로 이것은 실제 운동과 가현 운동이 정말로 구분되지 않

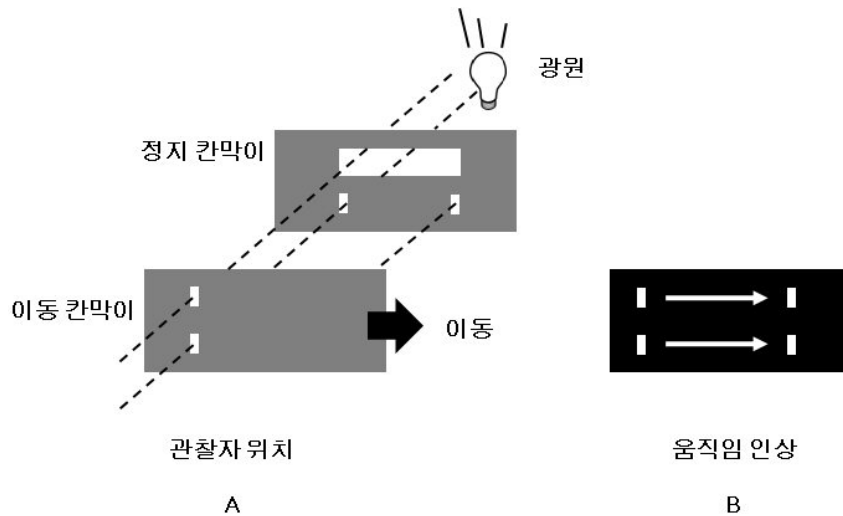


그림 8. Wertheimer(1912)가 고안한 실제 운동과 가현 운동 차이를 검사하기 위한 장치. A. 광원을 두 개의 칸막이 뒤에 두고 빛이 칸막이에 난 구멍을 통해서만 들어오게 한다. 실제 운동과 가현 운동은 구멍이 여러 개 뚫린 두 개의 칸막이를 교차하면서 만들 수 있다. Wertheimer는 칸막이의 이동 속도와 구멍간 거리를 바꿔가면서 어느 조건까지 관찰자들이 실제 운동과 가현 운동을 구별할 수 없는지를 조사하였다. B. 이동 칸막이를 통해서 본 작은 막대의 움직임 인상

는지를 알아보기 위한 것인데 지금 보아도 대단히 혁신적이다.

또 다른 예는 그 당시 가현 운동 설명을 주도한 Wundt의 안구 운동 가설을 실험으로 반박한 것이다. 예컨대, 첫 번째 프레임에 서 있는 막대가, 두 번째 프레임에 양 쪽에 두 개의 서있는 막대가 담긴 두 이미지를 연속으로 보여주면 가운데의 막대가 양쪽으로 갈라지는 혹은 두 막대가 가운데로 모이는 움직임이 관찰된다. 안구 운동은 동시에 두 방향으로 발생할 수 없기 때문에 이런 현상을 설명할 수 없다.

파이(phi) 운동 발견 가현 운동이라고 말할 때 대부분은 베타 가현 운동으로, 여기서는

움직이는 상이 보인다. 그런데 예컨대 만일 두 막대를 좀 더 빨리 깜박거리면 그 사이에 ‘거무스름’한 움직임의 흔적이 보인다. 즉 형체는 보이지 않는다. Wertheimer는 이 운동을 발견하고 순수하다는 뜻에서 ‘순수한 파이(pure phi)’ 현상이라 이름 지었다. 그런데 이 현상은 실제 데모를 보기 전에는 이해할 수 없기 때문에 다음 사이트에서 데모를 볼 것을 권한다(Steinman, Pizlo, & Pizlo, 2000).

<http://www1.psych.purdue.edu/Magniphi/>

이 현상이 중요한 이유는 당대의 많은 학자들이 가현 운동은 실제 운동과 다른 인지적으로 추론된 운동이라는 가설에 반대하기 때문이다. 즉, 파이 운동에서 두 점 사이에 형체가 없는 움직임 흔적은 색이나, 형태 같은 다른

감각질처럼 움직임도 대등한 하나의 독립적인 감각질임을 보여주는 현상으로 믿어졌다.

그런데 조심해야 할 점은 파이 가현 운동은 아직까지 잘 이해되지 않은 현상이라는 점이다. 간혹 교과서에서 영화에서 보는 움직임을 파이 운동이라고 소개하는 경우가 있는데 이는 엄밀히 말하면 틀린 것이다. 여기에는 Wertheimer 자신에게도 일부 책임이 있는데 그가 그의 논문에서 파이 운동과 베타 운동을 명확히 구분하지 않고, 대체로 모든 가현 운동을 파이 현상이라고 기술하였기 때문이다. 파이 가현 운동에 대해서는 몇 가지 가설이 있지만, 아직까지 명확히 규명되지 않았다 (Steinman, et al., 2000).

가현 운동 지각 절차

Wertheimer는 가현 운동이 크게 세 가지 단계에 걸쳐 일어난다고 제안하였다. 그것은 그림 9처럼, 각각 이미지 재인, 두 이미지의 대응, 대응된 이미지 사이가 채워져 움직임이 지각되는 채우기이다.

이미지 재인 가현 운동에서 나타나는 이미지는 재인(recognition)되어야 한다. Wertheimer는 이 과정을 단순한 수준에서 설명하고 있다. 하지만 오늘날 이 과정은 이미지의 정체가 확인되지 않는 망막상 등록에서부터 어떤 물체인지 확인되는 표상수준까지의 과정을 포괄한다. 전자를 이미지-기반(image-based) 운동이라고 하고 후자를 물체-기반(object-based) 운동이라고 한다(Koriat, 1994). 전자는 대체로 움직이는 물체의 확인 없이 대응되는 요소들의 밝기나 색

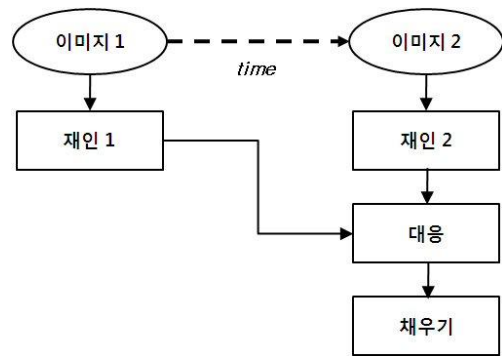


그림 9. 가현 운동 지각 절차. 이미지 1과 2는 위치를 달리해서 차례대로 나타난다.

같은 기초적인 지각 대상에 의존한 움직임을 말하고, 후자는 물체 확인이 움직임을 주도하는 경우를 뜻한다.

이미지 대응 대응(correspondence)이란 가현 운동에서 연속적으로 제시되는 프레임들 사이에서 같은 이미지 요소들끼리 짝짓는 것이다. 이때 발생하는 문제를 대응문제(correspondence problem)라 하는데, 형태주의에서는 ‘현상적 정체(phenomenal identity)’ 혹은 ‘선택적 융합(selective fusion)’이라고 불렀다. 각 프레임이 단 하나의 점으로 이뤄진 경우 대응 문제(correspondence problem)의 어려움은 드러나지 않는다. 그렇지만 여러 개의 요소로 이뤄진 경우 이 문제는 대단히 어려워진다. 예컨대, 두 이미지로 이뤄진 가현 운동에서 각 이미지가 10개씩의 점으로 이루어졌다고 했을 때, 대응될 수 있는 조합의 수는 자그마치 3,628,800(10!) 개이다. 그럼에도 시각체계는 이 문제를 아주 재빨리 풀어낸다. 많은 현상학적 실험들은 대응 문제 해결에 개입되는 다양한 규칙들을 발견하였고, 이를 바탕으로 계산론

적, 정신 물리학적, 생리적 모델들이 제안되었다.

대응문제 연구를 위해 두 가지 방법이 주로 사용되는데, 이 둘은 각기 다른 자극으로 가현 운동을 만든다. 첫째, 여러 점(multiple-dots) 가현 운동은 이미지를 점 하나가 아닌 여러 개로 구성하여 점들이 어떻게 대응되는지를 보는 것이다. 둘째, 그림 10처럼 경쟁 운동(competing motion) 기법은 두 번째 프레임의 요소들을 첫 번째 프레임의 요소들의 지각적 특징들(거리, 색, 크기, 방향)을 달리해서 이 요소들이 어떻게 대응되는지를 살펴보는 것이다.

이런 과제를 통해서 대응 문제가 근접성(proximity), 방향, 색, 모양, 크기의 유사성(similarity)같은 정지 이미지의 집단화 요인들로 알려진 요인들이 역시 움직임 상황에서도 결정적인 역할을 하는 것으로 밝혀졌다. 특히, 이들 요인 가운데 근접성이 가장 강력한 요인으로 색이나 형태를 압도한다(Kolers, 1972; Kolers & Green, 1984; Navon, 1976; Ullman, 1979).

하지만 이런 요인들 이외에 중요한 변수는 시간이다. 특히, 자극간 시간거리(ISI)에 따라 형태의 역할이 크게 달라진다. 일반적으로 형태 효과는 상당히 긴 자극간 거리에서 나타난

다. 몇 명의 연구자들이 현상학적으로 밝혀진 이런 요인들의 가중치를 계산하여 수학적 모델들을 세웠다(Dawson, 1991; Marr, 1982; Ullman, 1979). 그렇지만 이들 모델들은 지각의 하향처리가 고려되지 않아 지식이 개입된 가현 운동을 설명하지 못하는 근본적 한계를 가지고 있다. 또 다른 문제는 이들 모델들이 전체 형태보다는 요소들 간의 관계를 중시한다는 점이다. 그래서 가현 운동이 물체 중심보다는 요소 처리 수준에서 설명된다. 물체 기반 가현 운동에서는 대응 문제를 해결하는 규칙들이 ‘견고성(rigidity)’, ‘기하학적 제약(geometrical constraints)’같은 좀 더 추상적 개념으로 기술된다.

채우기 채우기(filling-in, impletion, completion)는 대응된 두 프레임 사이에 움직임을 넣는 과정이다. 이 과정은 이미지 채인과 대응 과정에 비해 덜 연구되었다. Wertheimer는 대뇌 피질에서 두 대응 대상에 활성화된 영역간의 신경 연결 혹은 융합(fusion)으로 이 과정을 설명하였는데, 정교한 가현 운동에 직접 적용하기에는 너무 단순한 설명이다.

현상학적 수준에서 채우기에는 두 가지 방식이 있는데, 내삽(interpolation)은 대응 문제가

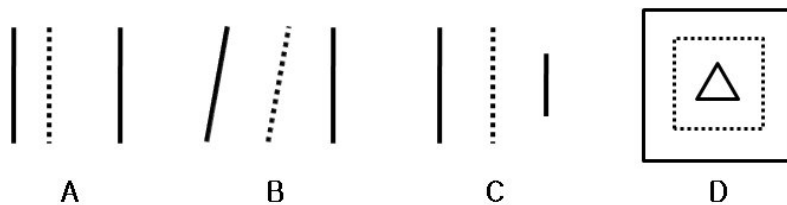


그림 10. 경쟁 가현 운동의 예들. 각 그림에서 점선은 프레임 1, 실선은 프레임 2를 뜻한다. 각각 짧은 거리(A), 비슷한 방향(B), 비슷한 크기(C), 비슷한 모양(D)을 기준으로 대응문제가 풀린다(Ullman, 1979).

끝난 다음에 두 이미지 사이를 채우는 과정이고, 외삽(extrapolation)은 앞으로 움직임이 진행될 위치를 미리 채우는 과정이다. 그러므로 논리상 내삽은 후행적(postdictive)이고, 외삽은 선행적(predictive)이다. 만일 단 두 개의 막대를 번갈아 제시해 만든 가현 운동인 경우, 맨 처음의 가현 운동은 후행적인 내삽 처리로 설명될 수밖에 없는데 두 번째 막대가 어디에 나타날지 모르기 때문이다. 그렇지만 만일 여러 차례 비슷한 패턴의 움직임이라면 외삽도 가능할 것이다. 그런데 원운동처럼 움직임이 아주 최근의 연구는 외삽과 내삽 두 가지 모두 가능함을 보여 준다(Hogendoorn, Carson, & Verstraten, 2007).

전통적으로 가현 운동의 이 두 측면에 대해서 많은 논쟁이 있었다. 정말로 두 요소가 대응되어 그들 사이에 움직임이 만들어 지는지 알아보고자 쓰는 방법은 두 요소 사이에 특정 탐지 물체를 넣어, 관찰자들에게 그것을 지각하는지를 검증하는 것이다. 최근 연구자들은 이를 좀 더 정교화하여, 가현 운동이 일어나는 경로에 날자를 넣어 그것의 정체확인을 하게 했을 때 가현 운동 경로에 나타난 날자가 다른 공간에 나타난 날자보다 더 늦게 탐지됨

을 밝혔다(Yantis & Nakama, 1998). 또한 이런 움직임 경로에 놓은 공간은 상응하는 인간의 운동 처리 영역(MT+)을 활성화하는 것으로 알려졌다(Liu, Slotnick, & Yantis, 2004).

가현 운동의 시공간 요인 Wertheimer는 전형적 가현 운동을 구성하는 두 점의 시-공간적 거리가 가현 운동 지각의 부드러움 사이에 일정한 규칙이 있다는 것을 발견하였고, 그의 제자 Korte(1915)는 이를 좀 더 객관적으로 검증하여 오늘날 이것을 Korte의 제 3의 법칙이라고 불린다(Palmer, 1999에서 재인용). 이 법칙에 따르면, 부드러운 가현 운동이 되려면, 두 점 사이의 거리가 멀어 질수록 두 점의 교번률(alternation)은 느려져야 한다. 즉, 실생활에서 같은 속도로 움직이는 물체라면 먼 거리일수록 더 오랜 시간이 걸리는데, 가현 운동 역시 이 규칙을 따르는 것처럼 보인다. 더구나 여기서 두 점의 거리는 망막상의 거리라기보다는 실제 거리이다. 예컨대, 두 점이 점멸하는 화면이 한 쪽으로 기울면 망막 거리는 짧아질 것이다. 그럼에도 시각체계는 실제 물리적 거리에 의존하는 것처럼 기울기 전과 후에 부드러운 가현 운동에 필요한 자극간 시간 차

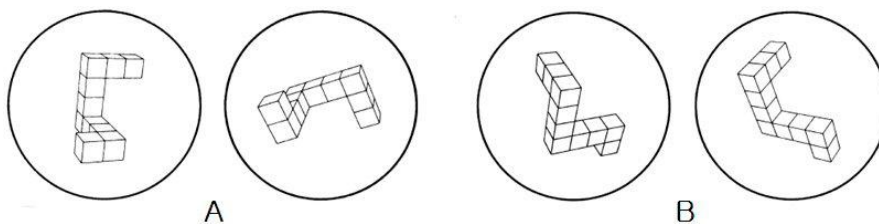


그림 11. 두 도형을 연속으로 제시하면 3차원의 가현 운동으로 지각된다. 이 때 제시되는 두 도형이 거리가 멀수록 자극간 시간간격도 느려져야 부드러운 가현 운동이 지각된다. A. 평면 위에서 회전 B. 깊이에서 회전 (Shepard & Judd, 1976)

이(ISI)는 거의 같다(Shepard & Cooper, 1982). 따라서 지각 체계에서 가현 운동 지각에 감안하는 거리는 실제 거리이지 망막상 거리가 아니라 현상학적 거리다(Rock & Brosgole, 1964).

또한 Korte의 제 3의 법칙은 회전하는 물체에도 적용된다. Shepard와 Judd(1976)는 그림 11처럼 다각형으로 물체를 연속으로 제시해 가현 운동을 만들었다. 그들의 실험 목적은 과연 관찰자들이 제시되는 견고한 움직임을 보는데 두 물체의 회전 각도의 증가는 좀 더 긴 자극 제시 시간과 정적으로 상관이 있는지를 보는 것이었다. 실험 결과는 이 가설을 지지하였다. 예컨대, 200, 600, 1000, 1400, 1800는 각각 100, 140, 180, 230, 270msec의 제시 시간과 대응될 때 견고하고 부드러운 움직임이 지각되었다. 따라서 이 결과는 가현 운동의 속도제약이 2차원의 이동 운동뿐만 아니라 3차원의 회전 공간에도 적용됨을 시사한다. 그런데 가현 운동에서 깊이 효과가 나타나려면 자극간 시간 차이가 충분히 길어야만 한다(Kolers & Pomerantz, 1971; Gerbino, 1984). 일반적으로 가현 운동 자극간 시간적 거리가 짧아질수록 형태효과는 크게 떨어지고, 대신에 색이나 밝기, 그리고 이미지 농도에 기반해서 운동이 결정되게 된다. 즉, 형태효과 적거나 없어지게 된다(Kolers & Pomerantz, 1971; Navon, 1976).

한편, 모든 연구자가 Korte의 제 3의 법칙을 지지하는 것은 아니다. Kolers(1964)에 따르면, 시각이 .75 도에서 5.25 도 사이에서 최적의 가현 운동을 지각하는 데 자극간 시간 차이 효과는 없다.

가현 운동 이론

그렇다면 왜 우리는 가현 운동을 경험하는 것일까? 우선, 지각 체계가 움직임을 처리하는데 갖는 생리적 한계를 들 수 있다. 망막상의 시신경이 빼곡하게 들어서 있을지라도 그 숫자는 유한하여 처리할 수 있는 범위가 한정되어있고, 신경의 신경 충동 방식의 정보 전달 속도에도 한계가 있다. 따라서 시각체계의 시공간 변화에 대한 역치를 뛰어넘어 제시되는 가현 운동은 실제 운동과 구분되지 못할 것이다. 이것은 영화나 텔레비전, 컴퓨터 모니터에서 보는 부드러운 가현 운동 지각을 설명하지만, 이미시간 시공간 틈이 분명한 가현 운동 지각을 설명하기는 어렵다. 따라서 많은 이론들이 이 후자 종류의 가현 운동을 설명하려고 시도되었다. 아래에 간추린 이론들은 그 자체로 완벽하게 가현 운동을 설명하지는 않지만, 가현 운동을 직관적 수준에서 이해하는데 넓은 틀을 제시한다.

형태주의적 관점 형태주의에서 가현 운동은 다른 위치에서 차례대로 점멸하는 부분들의 전체에서 완전히 다른 성질의 출현 속성(emergent property)으로 본다. 따라서 전체는 부분으로 분리 가능하다는 구성주의 같은 환원주의와 대비된다. Wertheimer는 예컨대 두 개의 점을 번갈아 제시했을 때 지각되는 가현 운동을 신경수준에서 설명한다. 그가 고안한 개념은 신경적 단거리 회로(neural short-circuit) 혹은 심리학적 단거리 회로(psychological short-circuit) 이다. 즉, 각각의 점 하나가 신경을 자극하면 이 신경은 이 흥분을 주변 신경으로

원형으로 전달한다. 적당한 시간 차이로 이 두 지점의 신경이 자극되면 두 신경 사이에 이뤄진 동심원끼리의 만남 혹은 융합이 바로 운동이라는 현상을 만든다. 따라서 넓게 보면 이것은 그림 1에 나타난 움직임 탐지기의 개념과 매우 닮았다. 그렇지만 그에 따르면 이 융합은 눈과 같은 말초수준이 아닌 대뇌피질에서 일어나는 중추적 융합인데, 그 이유는 가현 운동으로 제시되는 두 점 사이에 대응하는 망막 공간은 비어있기 때문이다.

Wertheimer가 이 생각을 제안했을 때는 신경 생리적 연구가 아주 초보적 단계였다. 1891년에 Waldeyer-Hartz의 세포는 독립적으로 기능한다는 뉴런 독트린이 나오고, 1900년 에야 Ramon y Cajal이 1900년 포유류의 망막 세포를 현미경으로 확인하였다. 이로부터 10여년이 지난 후 Wertheimer는 가현 운동에 대해서 신경 심리적 가설을 내놓았다. 그에 따르면 신경활동은 상응하는 심리작용을 일으킨다. 이 신경활동과 심리작용간의 동질성(isomorphism)은 형태주의에서 중대한 개념이다. 지금은 널리 받아들여지는 이 설명은 그 당시에는 대단히 혁신적이었다.

그렇지만 Wertheimer의 두 신경간 회로를 2차원의 망막상에 1:1로 대응하는 대뇌피질의 수용장으로 이해하기보다, 훨씬 추상적 수준으로 보아야 한다. 왜냐하면 그의 가설은 두 개의 점이 깜박일 때 일어나는 가현 운동을 설명할 수 있지만 깊이가 있는 구체적 물체의 회전 가현 운동처럼 가현 운동이 점대점이 아닌 물체 표상 수준의 가현 운동을 설명하는데 한계가 있기 때문이다.

인지주의적 관점 가현 운동은 Wertheimer에게 대뇌피질에서 일어나는 고수준 현상이지만, 여전히 인지주의자들에게는 저수준의 설명이다. 특히, 그는 가현 운동은 강력한 현상이어서 관찰자의 주관적 요인이 개입되기 어렵다고 기술하였다. 하지만, DeSilva(1926)는 이를 정면으로 비판하는데, 그는 다양한 실험을 통해서 가현 운동이 관찰자의 주의나 기대 같은 태도가 가현 운동 지각에 영향을 주는 증거를 발견하고, 가현 운동이 인지적 요인이 개입할 수 있다고 결론 내렸다.

이후에, Rock과 Ebenholtz(1962)은 두 점이 번갈아 깜박이는 전형적인 가현 운동 자극을 제시하면서, 관찰자들에게 눈으로 그것들을 따라가도록 요구하였다. 만일 가현 운동이 다른 두 지점에서 들어오는 빛에 대한 신경세포들의 연합적 활동으로 일어난다면, 이런 실험 조건에서는 가현 운동이 관찰되어서는 안 될 것이다. 왜냐하면, 두 점이 망막의 같은 위치에 맺힐 것이기 때문이다. 그런데 이 실험에서도 관찰자들은 가현 운동을 보고한다. 따라서 이들은 가현 운동은 신경 수준 이상의 현상학적 수준에서 설명되어야 한다고 믿었다. 그들이 제기한 것은 문제해결, 추론, 기억, 주의, 지능 같은 인지 기능들이다(Rock, 1983). 따라서 Rock과 동료들의 주요 관심은 주로 가현 운동 자극에 맥락을 넣어, 어떻게 맥락이 가현 운동에 영향을 주는지를 살펴보는 것이었다. 이들이 주로 사용한 맥락 효과는 중첩(occlusion)을 가현 운동 자극에 들여와 시연한 것이다.

Rock과 비슷한 생각을 가진 연구자는 Ramachandran과 Anstis(1983; 1986)였다. 그림 12

는 그들이 사용한 자극으로, 가현 운동이 가리개(occluder)에 따라 한 점으로 수렴하거나 가리개 뒤로 숨는 것처럼 지각된다. 그런데 이런 맥락 효과를 보려면, 자극 제시 시간과 자극간 거리인 SOA가 적어도 645msec 이상으로 길어야만 한다. 따라서 가현 운동에 인지 요인의 효과가 있는 것은 사실로 보이지만 시간 상에서 제한적이다. 더군다나 송사리와 사마귀(Rock, Tauber, & Heller, 1965), 그리고 바닷게(Sandeman & Erber, 1976)와 같은 인지 기능이 약할 것 같은 하등 동물 역시 가현 운동을 지각한다는 점을 감안하면 인지적 설명은 더욱 제한적일 것이다.

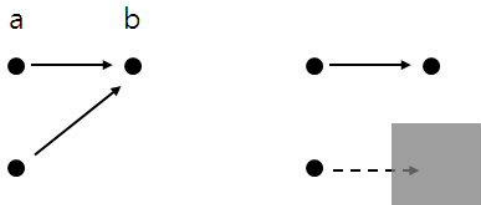


그림 12. (왼쪽)두 점으로 이뤄진 첫 번째 a 이미지와 한 점으로 이뤄진 두 번째 b 이미지를 연속으로 점멸하면 두 점이 한 점으로 수렴하여 이동하는 것으로 보인다. (오른쪽) 가리개를 모니터 앞에 붙이면, 아래편의 점이 가리개 안으로 숨는 것으로 보인다 (Ramachandran & Anstis, 1983; 1986).

생태주의적 관점 생태주의 심리학에 지대한 공헌을 한 Gibson에게 가현 운동은 그다지 놀라운 현상이 아니다. Gibson(1950)의 정보 포착(information pickup) 이론에 따르면 운동이란 눈에 맺힌 대상 자체라기보다 시공간 상관 분석에서 일어난다. 즉, 생물체가 움직임을 지각하는 것은 망막 상에서 벌어지는 직접적 움직임에 대한 복사에 의해서가 아니라 두 지점에서

시간적 연속을 두고 발생하는 자극에 대한 상관이다(1950, p.134).

Gibson이 말하기를, “연속적으로 흥분된 각 망막 요소들이 즉시 기억에 흔적을 남길 때만이 과거 흥분들이 함께 유지되어서 움직임의 인상을 생성한다. 우리가 내릴 결론은 움직임은 결코 지각되는 것이 아니라, 엄밀히 말하면 단지 기억된다는 점이다(1950, p.160)”, “더 단순한 가정은 움직임은 망막 자극의 어떤 변인에 대응할 것이라는 것이다. 이 변인은 흥분된 요소들의 인접 순서와 연속적 순서의 상관이다. 이 가정은 움직임의 인상이 기억, 추론, 혹은 안구 감각의 해석에 기반을 두는지에 관한 어떤 질문도 만들지 않는다. 우리는 Wertheimer가 스트로보스코프 운동과 파이 운동을 설명하려고 제안한 그런 예에서 뇌에서 어떤 짧은 합선(short-circuiting)을 가정할 필요가 없고, 운동이 감각인지 혹은 지각인지 같은, 시대에 뒤떨어진 용어로 정의할 필요도 없다. 우리는 단지 운동은 자극-상관을 가졌다고 가정할 뿐이다(1950, p.160-161)”.

Gibson의 이런 말을 종합하면, 가현 운동을 시공간적 자극 상관으로 충분히 이해할 수 있다는 주장이다. 이 설명은 그가 지각의 다른 영역들, 깊이, 거리 같은 개념을 설명하는 데에도 공통적이기 때문에 그리 놀라운 일은 아니다. 그렇지만 그는 그의 설명은 형태주의 설명과 크게 달라 보이지 않는다.

계산론적 접근 가현 운동에 대한 계산론적 접근은 주로 그림 1에 나타난 것처럼 지연과 비교망(delay-and-compare network)에 모여져 있다. 즉 망막이나 대뇌에서 한 지점과 잠시 후

다른 지점과 비교를 통해서 가현 운동을 설명한다. Reichard(1961) 그리고 Barlow와 Levick(1965)이 포유류의 눈에서 발견한 움직임 탐지 세포를 바탕으로 초기 아이디어를 제공했고, 최근에 Van Santen과 Sperling(1984)이 계산론적으로 좀 더 정교한 움직임 탐지 모형을 제안하였다.

신경과학적 관점 가현 운동을 신경 생리적 관점에서 이해하려는 큰 노력이 있었다. 널리 밝혀진 것은 가현 운동이 시각처리의 배측 경로(dorsal pathway)에서 주로 처리된다는 것이다. Newsome 등(Newsome, Mikami, & Wurtz, 1986)은 원숭이를 대상으로 단일 세포 기록법으로 가현 운동에 관여하는 뇌 영역을 연구하였다. 이들은 공간적 거리가 큰 가현 운동의 경우 원숭이의 MT 영역(middle temporal area)이 그 보다 하위 수준인 V1보다 상대적으로 더 중요한 역할을 함을 발견하였다. 최근의 연구들은 사람을 대상으로 한 fMRI 연구들이 주를 이루고 있는데, 이들의 연구에서 원숭이의 MT 영역에 상응하는 인간의 hMT+(V5) 역시 가현 운동에 V1보다 더 큰 활성화를 보인다(Geobel, Khorram-Sefat, Muckli, Hacker, & Singer, 1998; Muckli et al., 2002). 반면 최근에는 V1 역시 가현 운동 지각에 중요한 하위 네트워크를 구성한다고 보고되는 연구도 있다(Muckli, Kohler, Kriegeskorte, & Singer, 2005).

그런데 최근의 연구는 가현 운동이 배측 경로만이 아닌 V1에서 하측두엽(IT)을 이루는 복측 경로(dorsal pathway)에서도 관여됨을 밝혔다(Zhuo et al., 2003). 특히, 가현 운동을 구성하는 두 자극의 형태가 다를수록 이 결과는 두

드러졌다. 예컨대, 동일한 모양과 크기의 사각형이 위치를 달리해서 보이는 가현 운동보다 사각형과 원고리가 연달아 제시될 때 전방 측두엽(anterior temporal lobe)의 활성화가 더 커진다. 즉, 형태의 변화가 심한 경우 형태 처리를 담당하는 복측 경로의 역할이 커짐을 시사한다.

이들 신경 과학 연구들은, 가현 운동에 관한 이전의 행동 실험들에서 제안된 가현 운동의 상위수준의 처리를 지지한다.

진화론적 관점 몇몇 연구자들은 가현 운동을 진화론적 혹은 공리주의적 관점에서 가현 운동을 이해한다. 즉, 가현 운동을 보는 게 왜 삶에 이로운지를 지적한다. 크게 두 범주의 설명이 있다.

첫째, 실생활에서 어떤 물체가 한 위치에서 보였다 다른 위치에서 나타나는 경우들이 있는데, 그런 상황에서 발생하는 시공간적 공백을 메우려는 지각자의 적극적 노력 때문에 가현 운동을 본다(Anstis, 1989; Gregory, 1990). 예컨대, 눈을 깜박일 때 시각적 자극 입력이 짧은 시간동안 중지될 수 있다. 자세히 말해, 눈 깜박임은 100~150msec 정도의 시간이 걸리지만, 눈알 돌리기 같은 기능도 겸하면 600msec 정도의 긴 시간 동안 시각처리가 정지된다. 이런 정지 시간을 개연성 있는 내용으로 채우려는 지각체계의 노력으로 가현 운동이 보일지 모른다. 또는 눈을 뜨고 있는데, 움직이는 물체가 다른 물체에 잠시 가려졌다 나타나는 상황도 있을 수 있다. 예컨대, 달리던 사슴이 나무나 바위 뒤로 사라졌다 나타나는 경우가 그렇다. 이 경우에도 상황에 따라 수 백msec

정도의 시간 동안 움직이는 물체가 사라졌다 나타날 것이다. 만일 이런 상황에서 눈앞에 움직이는 물체가 한 지점에서 갑자기 사라졌다 다른 지점에 나타날 때, 두 가지 해석이 가능하다. 즉 ‘두 물체 중 하나는 사라지고 다른 하나는 갑자기 나타나는 것’과 ‘한 물체가 이동하는 것’인데, 후자가 개연성이 크고, 생 물체는 그런 상황에서 이런 인상을 갖도록 진 화했을 것이다.

둘째, Shepard(1984; 2001)에 따르면 지각 체 계는 실세계의 물리적 규칙에 공명하도록 오랜 진화를 통해 표상되어 있다. 물체는 갑자기 사라지거나 나타나지 않는 물체 보존(object conservation) 원리라는 실세계의 규칙에 따라, 두 위치에서 점멸하는 두 원이 하나의 움직이는 물체로 지각된다. 이 설명은 아래에 기술 된 형태주의 설명과 비슷하다. 다만 형태주의 에서 움직임을 보는 원리의 원천을 실세계가 아닌 대상 조직화(이를 반영하는 두뇌 기능의 최소(minimum) 원리 혹은 단순성(simplicity) 원 리에 두는 점이 다를 뿐이다.

다양한 움직임

Wertheimer 이후 많은 가현 운동 연구자들

은 좀 더 정교한 방식으로 가현 운동의 시공 간적 특징을 이해하기 위해 주로 컴퓨터와 모 니터를 실험에 이용하였다. 가현 운동 자극 역시 단순한 막대뿐만 아니라, 공간빈도 격 자(spatial frequency gratings), 가보 자극(Gabor packets), 무선점(random-dots) 같은 좀 더 특수 한 이미지로 구성되었다. 최근까지 연구 가운 데 가장 주목을 받은 실험들은 가현 운동이 적어도 두 가지 종류라는 것을 주장하는 실험 들로, 따라서 이 연구자들은 가현 운동에 개 입되는 지각 처리도 다른 성질이라고 제안한 다.

단폭 운동과 장폭 움직임 단폭 가현 운동 (short-range apparent motion)이란 영화, 텔레비 전, 컴퓨터 모니터에서 보이는 움직임처럼 이 미지가 아주 짧은 시공간 상에서 표현되는 부 드러운 움직임을 말한다. 반면, 장폭 가현 운 동(long-range apparent motion)이란 서로 상당히 먼 거리에 있는 두 점이 의식될 정도로 느리 게 점멸해서 만들어지는 전통적으로 알려진 가현 운동이다. 이 두 종류의 움직임을 구분 짓는 실험은 많았는데 대표적으로 Kolars와 Braddick의 연구들을 살펴보고자 한다.

먼저 Kolars(1972)는 가현 운동을 그림 13처

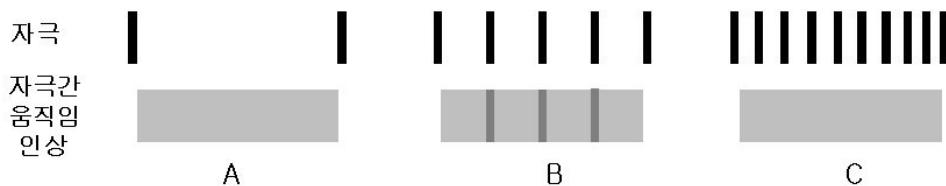


그림 13. Kolars(1972)의 가현 운동 실험 자극의 예시. 그는 일정한 거리를 막대의 빈도수를 달리해서 가현 운동을 만들었다. 각 막대는 왼쪽에서 오른쪽으로 혹은 그 반대로 연속적으로 점멸하였다. 그 결과 A와 C에서 부드러운 운동이 B에서는 덜 부드러운 운동이 관찰되었다.

림, 일정한 거리에 막대를 적게는 두 개에서 많게는 수십 개까지 넣어서 만들었다. 그의 목적은 과연 이들 막대를 연속으로 제시할 때, 이들의 가현 운동 인상이 어떻게 다른지를 알아보는 것이었다. 이 실험 결과, 처음과 끝에 두 개로 만들어진 가현 운동은 그 중간이 부드러운 움직임으로 채워지는 것으로 지각되었다. 이것은 전형적으로 최적의 시공간 특징을 지닌 가현 운동이다. 그런데 가운데에 4 개, 8 개, 16개의 막대를 넣었을 때는 부드러운 운동 보다는 중간 중간에 막대가 보이는 그런 움직임이 관찰되었다. 그러다 32개나 64개를 넣어 농도를 짙게 했을 때, 다시 부드러운 움직임이 관찰되었다. 막대 수와 움직임의 부드러운 정도를 그래프로 표현하면 ‘U’ 형태였다. 이로써 Kolers는 움직임 처리 기체가 막대의 빈도수에 따라 이질적인 특징을 보임을 알아냈다. 그는 특히 막대가 아주 많을 때 빛어지는 부드러운 운동은 바로 실제 운동을 처리하는 기체에 의해서 처리되지만, 두 개로 이뤄진 가현 운동은 뭔가 다른 기체에 의해 처리된다고 제안하였다.

Braddick(1974; 1980)은 가현 운동 자극을 막대가 아니라 수 천 개의 무선점으로 만들었다. 이런 자극으로 만들어진 움직임을 무선점 움직임 그림(random-dot kinematograms)이라 부르는데, 이 자극은 입체시 연구에서 Julesz(1975)의 무선점 입체도(random-dot stereogram)에서 나온 것이다. 무선점 입체도는 입체시 연구에서 특별히 중요한 기여를 했는데, 그 이유는 이런 자극에는 단안 시각으로 보았을 때 어떤 형태도 보이지 않아, 양안으로 보았을 때만 나타나는 입체를 형태에 대한 친숙성이 아닌

순수한 양안부등(binocular disparity) 효과임을 알 수 있기 때문이다. 따라서 이런 자극으로 가현 운동 자극을 만들면, 그 안에 형태가 어디에 있는지 알 수 없기 때문에 관찰자의 위치 추론 같은 인지 요인을 차단하여 순수한 움직임 처리 요인을 알 수 있을 것이다. 따라서 순수한 움직임 효과를 알기 위해서, 위치 추론에 의한 다른 효과를 배제할 필요가 있다. 이런 목적에서 무선점으로 만든 움직임 자극은 편리하다(Nakayama, 1985; Nakayama & Tyler, 1981).

그림 14는 Braddick이 고안한 자극을 단순화한 것이다. 이 자극은 무의미한 점들로 이뤄져 어떤 형태도 볼 수 없지만 만일 두 집단의 점들이 위치를 조금 달리해 가현 운동으로 제시되면 서로 상관된 점들이 움직임으로 지각

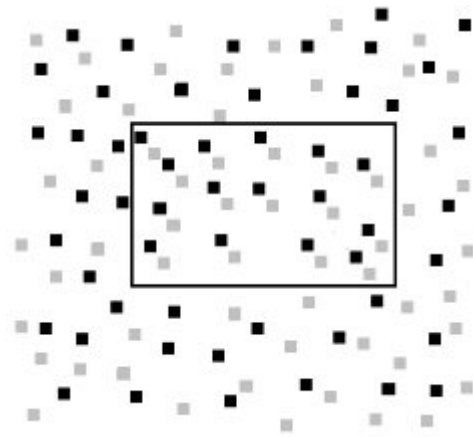


그림 14. Braddick(1974)의 연구에서 쓰인 가현 운동 자극의 예시. 검은 점들과 회색 점들은 단지 다른 시간대에 나타났다가 사라지는 집단을 의미하고, 실체는 모두 검정색이었다. 중앙의 사각형은 실제로 보이지 않았고, 가현 운동이 정확히 지각되는 점들의 범위를 뜻한다. 실제 자극은 수 천 개의 검정과 회색 점으로 구성되었다.

된다. 이 자극에서 가운데 사각 범위에 들어 있는 점들이 서로 상관되어 있는데 만일 정확하게 가현 운동이 지각되면 관찰자들은 옆으로 누운 직사각형 혹은 세워진 직사각형의 형태를 볼 수 있다. 이 때, 배경은 두 이미지에서 무작위로 나타나기 때문에 가현 운동이 아닌 점들의 무질서한 점멸로 보였을 뿐이었다. 관찰자들의 과제는 상관된 점들의 만들어내는 직사각형의 모양이 가로배열인지 세로배열인지를 맞추는 것이었다. 이 실험에서 관찰자들은 각 이미지에 속한 점들이 일정한 거리 이내에서(15min arc 이하) 그리고 점멸 시간이 충분히 짧게 제시되는 경우(120msec 이하)에만 정확히 사각형의 방향을 맞출 수 있었다. 즉, 이 범위내에서 관찰자들은 가현 운동을 정확히 지각하였다.

이 발견에 따라 Braddick은 이렇게 최대 공간적 거리(Dmax: Maximum Displacement)가 최대 자극간 시간 범위(Tmax: Maximum Time)에서 벌어지는 움직임을 단폭 움직임(short range motion)이라 명명하였다. 또한 이 현상은 양안 자극(dicoptic stimulation)으로는 관찰되지 않기 때문에 양안 정보가 통합되기 전의 저수준에서 처리된다고 결론 내렸다. 이를 바탕으로 그는 아마도 실제 운동을 지각할 때도 단폭 가현 운동을 처리하는 기제가 개입될 것이라고 제안하였다. 한편, Wertheimer등이 실험했던 고전적인 거친 수준의 가현 운동에서 점들의 시공간적 거리는 이 보다 훨씬 넘어도 가현 운동을 관찰할 수 있기 때문에, Braddick은 이들을 장폭 움직임이라 명명하였고, 지각체계의 고수준에서 처리된다고 제안하였다.

1차 움직임과 2차 움직임 Cavanagh와 Mather (1989)는 Braddick이 움직임의 이질적 분류를 정면으로 비판하였다. 주된 실험적 근거는 단폭 움직임의 특수성을 지지하는 연구들의 결과가 그 실험들에서 쓰인 자극 특성을 반영한 특수한 경우에 제한될 가능성이 크고, 다른 많은 연구들에서 단폭 가현 운동이 나타나는 공간적 해상도가 언제나 고정되지 않았기 때문이다. 예컨대 무선점의 크기에 따라 탐지되는 최대 공간 거리(Dmax)가 훨씬 더 클 수도 있음이 발견되었다(Chang, & Julesz, 1983; Morgan, 1992). 또한 최대 시간 거리(Tmax) 역시 수백 msec 이상으로 훨씬 더 길게 늘어날 수 있음이 발견되었다(Mather & Tunley, 1995). 따라서 그들은 움직이란 공간을 기준으로 단폭과 장폭 같은 고정된 것이 아닌 연속적인 것으로 보았다. 대신에 그들은 부드러운 가현 운동과 전통적으로 예시되는 거친 가현 운동의 지각 차이를 움직임이 시공간적 차이가 아닌 움직임 탐지기의 수용장의 크기 차이로 보았다.

이와 함께 그들은 움직임을 계열적 처리를 거치는 방식으로 기술할 것을 제안하는데, 이것이 1차(first order)와 2차(second order) 움직임이다. 자세히 말하면, 이들은 시공간상에서 밝기(luminance)나 색(color)의 위치 변화로 알 수 있는 움직임을 1차 움직임으로, 그 이외에 전경과 배경의 결(texture)의 차이나 입체의 차이 같은 특징의 변화로 알 수 있는 움직임을 2차 움직임으로 정의하고, 이 각각의 움직임은 시각 처리의 깊이에 상응할 것이라고 제안하였다. 그림 15는 표면결의 차이에 의해 움직임이 지각되는 예를 보여주고 있다. 이 그림들

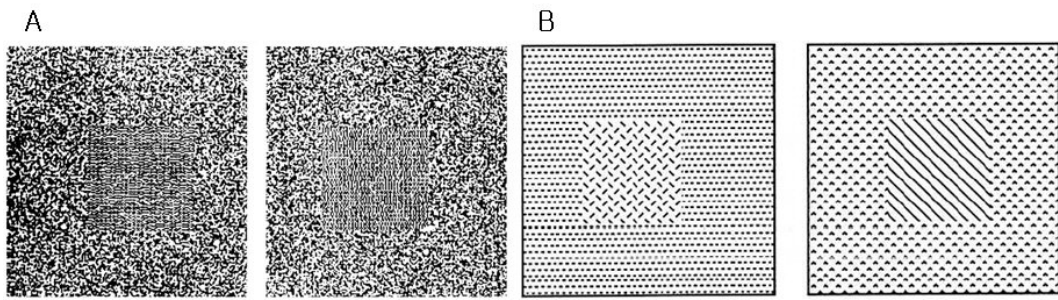


그림 15. 밝기가 아닌 전경과 배경의 결의 특징으로 일어나는 가현 운동. 각 A와 B의 두 그림을 연속으로 제시하면 가운데 사각형이 좌우로 움직이는 가현 운동을 일으킨다(Ramachandran & Anstis, 1986; Ramachandran, Rao, & Vidyasagar, 1973). 이렇게 시각적 특징이 다른 자극으로 만들어진 것을 이질(interattribute) 가현 운동이라 하여, 흔하게 접하는 같은 시각 특징을 가진 동질(intraattribute) 가현 운동과 구분한다. 특히 이질 가현 운동의 지각적 인상 강도는 동질 가현 운동의 80% 정도로 알려져 있다(Cavanagh, Arguin, & von Grünau, 1989).

을 연속으로 제시하면 가운데 사각형이 좌우로 움직이는 것으로 지각된다. 눈여겨 볼 점은 이 가현 운동이 전경과 배경의 시각적 질이 밝기 차이가 아닌 표면결의 차이에 의해 벌어진다는 점이다. 따라서 이런 가현 운동은 밝기에 기반한 운동 처리와 다른 처리를 거칠 것으로 추론된다. 2차 운동에 1차 운동의 속성인 밝기 자료가 반드시 필요한 것은 물론이다. 여러 연구들에 따르면, 2차 운동에서는 1차 운동에서 보이는 특징들이 얼마간 약화된다. 움직임 잔효가 훨씬 덜 일어나거나(Mather, 1991), 시각의 말초 부분에서도 덜 일어난다(Werkhoven, Sperling, & Chubb, 1993). 이런 차이에도 이들 두 1, 2차 움직임은 움직임 처리의 상위 수준에서 공동 기제의 관여를 받는 것으로 평가된다(Cavanagh, 1993).

한편, Chubb과 Sperling(1986)은 밝기 변화가 아닌 밝기 대비(contrast), 결(texture), 깜박임(flickering)의 변화로 움직임이 탐지될 수 있다는 것을 위치 단서가 제거된 그림 16과 같은

가현 그림으로 만들어 검증하였다. 특히, 이런 움직임은 이전에 연구되었던 움직임 탐지기에 걸리지 않음을 수학적으로 보였고, 따라서 이런 움직임을 Non-Fourier 움직임이라고도 부른다. 이 연구에 덧붙여 Lu와 Sperling(2001)은 특정 속성만을 선별적으로 추적할 때 일어나는 움직임을 3차 운동(third order motion)이라 불렀다. 이때 주의의 역할이 중요해지기 때문에 주의-기반 운동(attention-based motion)이라고 불리기도 한다(Cavanagh, 1992; Lu & Sperling, 1995). 이 효과는 주로 움직임 방향이 애매한 자극에서 잘 드러나는데, 이런 현상은 이미 오래 전에 보고되었던 주의 효과와 다른 것은 아니다(Pomerantz, 1970; Wertheimer, 1912).

이러한 서열에 의한 움직임 분류는 아직 완전한 것은 아니다. 예컨대, 이전에는 밝기 정보만 움직임 처리에 관여하고, 색을 처리하는 신경 경로는 움직임을 탐지하지 못한다고 하였지만(Ramachandran & Gregory, 1978), 최근에 색 경로 역시 움직임 처리에 관여한다는 강력

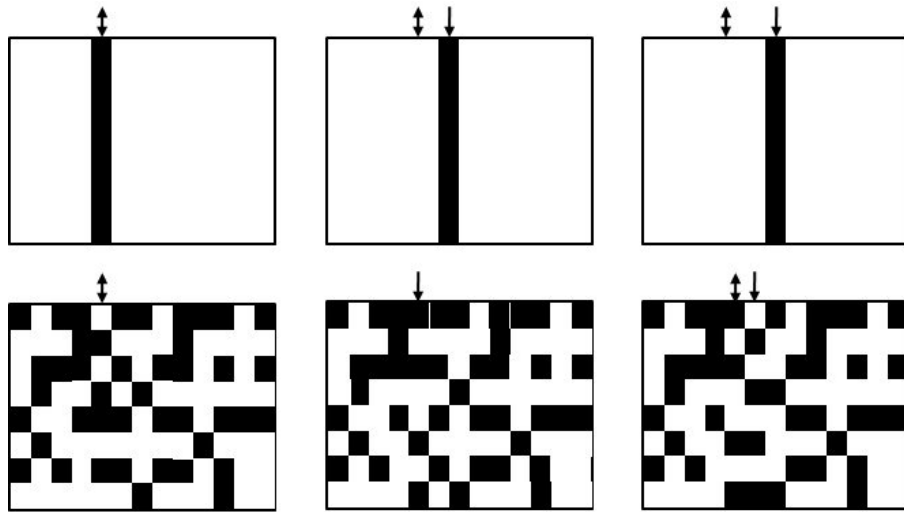


그림 16. (위) 1차 운동의 예시: 검정 막대가 왼쪽에서 오른쪽으로 이동할 때, 시공간 상의 밝기 변화가 움직임 탐지기에 포착되어 움직임이 지각된다. (아래) 2차 운동의 예시: 이미지가 바뀌면서 하나의 세로열(양 방향 화살표 아래)의 밝기가 검정색에서 흰색으로 혹은 흰색에서 검정색으로 바뀌는데, 이 변화가 오른쪽으로 이어진다. 이 때, 이 변화가 움직임을 불러일으킨다. 이런 움직임을 만들어 내는 방법은 꼭 이런 밝기대비만이 아닌 다른 특징들을, 예컨대 표면결, 바꾸는 방법으로도 가능하다. 이 때, 이런 움직임은 밝기 변화에 기반한 움직임 탐지기가 아닌 다른 양식의 탐지기를 가정해야만 한다(비교: Derrington 등 2000). (데모보기: http://www.lifesci.sussex.ac.uk/home/George_Mather/Motion/SECORD.HTML).

한 증거들이 나타나고 있다(Derrington, 2000; Gengenfurtner & Hawken, 1996). 또한, 2차 움직임도 1차 움직임 기체에 의해서 역시 검출될 수 있음을 계산론적으로 보여 주는 연구도 있다(Benton & Johnston, 2001). 또한 얼룩말 물고기 같은 대뇌가 없는 하등 동물도 2차 운동을 볼 수 있다는 연구도 있었다(Orger, Smear, Anstis, & Baier, 2000). 그런데 인간의 경우 1차와 2차 두 움직임은 다른 대뇌피질의 다른 영역에서 처리된다는 신경심리적 연구도 있었다(Ashida, Lingnau, Wall, & Smith, 2007). 따라서 1차와 2차 움직임 기체가 각각 단폭과 장폭 움직임 기체를 수용할 수 있는지는 아직은 의문스럽다(Bruce, Green, & Georgeson, 2003).

말초적 운동과 인지적 운동 Anstis(1980)와 Rock(1983)은 가현 운동을 말초적 운동(peripheral motion)과 인지적 운동(cognitive motion)으로 분류하였다. 특히 Anstis에 따르면, 전자는 움직임 처리의 초기 수준에서 특정한 움직임 탐지기에 의해 처리되어 강한 운동 잔효(aftereffect)를 일으키는 반면, 후자는 주로 넓은 시공간 조건에서도 탐지되는데 주로 인지적인 영향을 많이 받고 운동 잔효가 덜하거나 없다.

또 다른 차이는 가현 운동을 구체적인 형태를 가진 이미지로 제시했을 때 알 수 있다. 그림 17에서 볼 수 있는 것처럼, 이미지의 자극 제시 시간이 짧을수록 가현 운동의 대응문

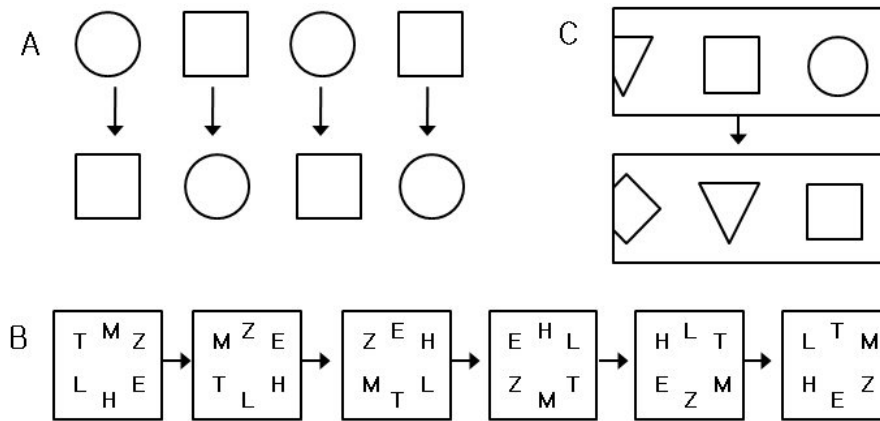


그림 17. 가현 운동 지각에서 형태 효과를 알아보려고 고안된 자극들. A. 윗열과 아래열을 연속으로 제시할 때, 모양이 그대로 유지되면서 서로 대각선 방향으로 움직임이 보이는 것이 아니라 위치는 그대로 유지하면서 모양의 변형이 일어난다. 형태보다 위치가 더 중요함을 시사한다(Kolers, 1972). B. 알파벳 낱자로 이뤄진 자극판을 그림같이 연속으로 제시했을 때, 형태 효과가 있다면 시계 반대방향으로 움직임을 볼 것으로 예상했지만, 움직임이 아닌 제 자리에서 모양의 변형만이 관찰된다. 하지만 이들 낱자 중 하나를 눈에 띄는 다이아몬드 같은 모양으로 대체하면(예컨대 'M'자리에) 이를 중심으로 반 시계방향으로 움직임이 관찰된다. 이것 역시 모양보다는 밝기나 패턴의 농도가 비슷한 위치 정보가 가현 운동에 결정적임을 보여 준다(Navon, 1976). C. 자극 제시 시간과 다음 자극 시간까지(SOA)가 2-3초로 늘렸을 때, 형태에 기반을 두어서 아래쪽 대각선 방향으로 가현 운동을 지각한다. 하지만 1초 이내로 짧아지면 위치에 기반을 두어서 물체가 변형을 거치면서 바로 아래쪽으로 움직이는 것으로 지각된다(Hochberg, 1981).

제가 형태와 무관하게 밝기나 색의 농도에 의해 풀리는 경향이 있고, 제시 시간이 길수록 형태에 따라 대응문제가 풀려 형태 효과가 커진다.

정리하면, 가현 운동 패러다임을 이용한 여러 실험적 결과들은 움직임의 시공간적 해상도에 따라 또는 이미지 자극의 특징에 따라 움직임 지각의 질이 달라짐을 살펴보았다. 이러한 움직임의 다양한 특성 때문에 모두가 만족할만한 통합된 움직임 분류는 아직 없다. 분명한 점은 가현 운동이 어느 한 가지 기제로 이해되지 않는 복잡한 현상이라는 점이다. 그런데 국내에 출판된 많은 심리학 관련 교과

서들에서 움직임의 이런 점은 제한된 지면 관계로 간과되곤 한다. 예컨대, 종종 영화나 텔레비전, 컴퓨터 모니터에서 보이는 부드러운 가현 운동 혹은 단폭 가현 운동을 가현 운동의 대표적 예라고 소개하곤 하는데 이들 움직임은 실제 움직임과 구분되지 않기 때문에 형식상 가현 운동이라고 할지라도 내용상 전통적으로 연구되던 가현 운동의 예로 보기는 어렵다. 실제로 오늘날 많은 전문 논문들에서 이런 매체에서 제시되는 운동을 실제 운동과 같은 시각 처리를 거친다는 것이 수렴적 의견이다.

따라서 학생의 입장에서는 매체에서 보이는

단쪽 가현 운동과 장쪽 가현 운동을 동일시할 가능성이 크다. 그러므로 심리학 개론서가 아닌 전문 지각 심리학 서적이려면 가현 운동의 여러 특징을 알 수 있도록 좀 더 자세한 기술이 필요할 것이다.

그 밖의 움직임들

위에서 논의한 움직임 분류는 주로 제시되는 이미지의 시공간 차이로 나타나는 움직임이다. 한편, 이 밖에도 분류하기 어려운 많은 움직임들도 전통적으로 발견되어왔다. 아래는 Boring(1942)이 저술한 실험심리학사에 소개된 주요 가현 운동 운동들이다(p.596-597). 이 가운데 어떤 것들은 오늘날 새로운 이름으로 연구되는데, 종종 아주 오래된 연구들 혹은 다른 나라에서 발견된 연구들이 재인용 없이 새로이 연구되는 경우가 있다.

베타 운동 Koffka의 지도로 Kenkel(1913)이 발견한 것으로, 흔히 말하는 가현 운동으로 두 점이 파이 운동 보다 더 느리게 시차를 두고 점멸할 때 부드러운 움직임이 보인다. 최적 움직임이라고도 불린다.

알파 운동 Kenkel(1913)이 보고한 것으로 크기가 다른 두 이미지를 번갈아 제시할 때 크기 변화가 보이는 움직임이다.

감마 운동 Kenkel(1913)이 보고한 것으로, 물체를 비추는 조명이 어두워졌다 밝아졌다 할 때 자극이 수축과 확장을 반복하는 것처럼 보이는 운동이다.

시그마 운동 Wertheimer의 제자인 Korte(1915)가 보고한 것으로, 역가현 운동이라고도 불리며, 처음에 제시되는 이미지는 어둡고 두 번째 제시되는 이미지는 밝으면 운동 방향이 역으로 보인다. 데모는 다음 사이트에서 볼 것을 권한다. <http://psy2.ucsd.edu/~sanstis/SARevMotion.html>

곡선(Bow) 운동 Benussi(1916)가 보고한 것으로, 물체 운동의 방향이 휘어져 보이는 운동으로, 흔히 움직임 경로에 다른 물체가 있을 때 관찰된다.

분리(Split) 운동 Desilva(1926)가 보고한 것으로, 예를 들어, 뒤집어진 ‘T’를 이루는 수직선과 수평선을 번갈아 제시했을 때, 두 가지로 운동이 해석될 수 있다. 첫째, 수직선이 시계방향이나 반시계방향으로 돕는 것처럼 보일 수도 있고, 수직선이 양 옆으로 쪼개져 부채꼴 모양으로 오른쪽과 왼쪽으로 각각 수평선으로 바뀌는 운동으로 보일 수도 있다. 분리 운동이란 후자의 경우를 뜻한다.

가현 운동의 형태 효과와 하향적 처리

지금까지 가현 운동에 영향을 끼치는 시공간적 요인과 이미지의 표면 같은 상향적 요인을 중심으로 살펴보았다. 그러나 가현 운동은 이 밖에도 다양한 자극의 형태적 요인들에 의해 영향을 받기도 한다. 일반적으로 형태 효과라고 하면 전역처리(global process) 혹은 하향 처리(top-down process)를 내포한다. 왜냐하면 주로 물체 재인 과정이 지각 처리의 고수준이

관여하기 때문이다. 아래에 가현 운동에 관련된 주요 형태효과와 하향적 처리가 좀 더 분명해 보이는 기대, 주의, 학습 효과에 대해서 살펴본다. 이를 통해 가현 운동 지각에 대단히 복잡한 지각처리 과정들이 개입된다는 것을 이해할 수 있다.

망막상에 맺힌 이미지는 대뇌에서 재인되기 전까지 적어도 몇 가지 복잡한 단계를 거친다. 망막상이 원초적 선분과 덩이(blob) 등으로 기술되는 이미지 기술(image description), 깊이, 움직임, 결, 그림자, 전경-배경 등으로 집단화 처리를 거치는 표면 기술(surface description), 3차원 특성이 기술 되는 구조 기술(structure description) 그리고 확인(identification) 이다(Marr, 1982; Palmer, 1999; Treisman, 1986).

여기서 이미지와 표면 기술은 구조와 확인 과정에 비해 학습의 영향을 덜 받는 기체에 의해 처리될 것이다. 따라서 무선점 같은 패턴으로 만들어진 가현 운동은 재인에 학습이 필요한 사람 얼굴 같은 물체로 만들어진 가현 운동과 지각 처리가 다를 수 있다. 예컨대, 그림 18에 보이는 두 그림을 연속으로 제시할 때, 얼굴을 재인하지 못하는 관찰자는 가현 운동이 아닌 검정 얼룩의 변형을 보지만, 얼굴을 재인하는 관찰자는 얼굴의 견고한 방향 회전을 본다. 앞에서 언급했듯이, 전자는 말초적 처리를, 후자는 인지적 처리에 가까울 것이다. 그러므로 어떤 가현 운동을 살펴볼 때, 그것을 구성하는 자극의 속성을 확인하는 필수적이다. 흥미로운 점은 이런 물체 재인이 중요한 가현 운동 지각에서 물체를 이루는 점들 사이에 1:1 대응이 없는 부분이 있음에도 (가령 깊이 회전이 일어나려면 없던 부분이



그림 18. 이 두 그림을 가현 운동 제시 방법으로 보여줄 때, 얼굴을 재인하지 못하는 관찰자에게는 무의미한 얼룩의 변화를 보지만, 얼굴을 재인한 관찰자에게는 혹은 얼굴을 학습한 관찰자에게는 회전하는 얼굴로 보인다(Ramachandran, Armel, Foster, & Stoddard, 1998).

나타나거나 있던 부분이 가려져야 한다) 아무런 문제없이 가현 운동이 지각된다는 점이다. 이는 앞서 언급했듯이 가현 운동이 단지 망막상의 이미지들 간의 대응이 아닌 표상차원의 대응임을 시사한다(Koriat, 1994).

집단화 효과 Ternus(1926/1955)는 여러 개의 점으로 이뤄진 다양한 모양의 가현 운동을 관찰자들에게 보여 줬다. 그림 19는 가장 흔하게 언급되는 자극이다. 이런 자극에서 지각 가능한 움직임은 두 가지로 모든 세 점이 집단으로 움직이는 집단 움직임(group motion)과 점의 일부분이 따로 따로 움직이는 요소 움직임(element motion)이다. Ternus가 발견한 점은, 관찰자들은 그 형태가 그대로 유지되면서 함께 움직인다는 집단 움직임을 더 잘 본다는 것이었다. 보통 실세계에서 움직이는 물체들은 그 부분들이 함께 공동으로 움직이기 때문에 이런 환경에서 집단화에 따른 움직임 처리는 유리할 것이다. 그런데 Ternus가 사용한 자극간 거리(ISI)는 상당히 긴 것으로 추정된다.

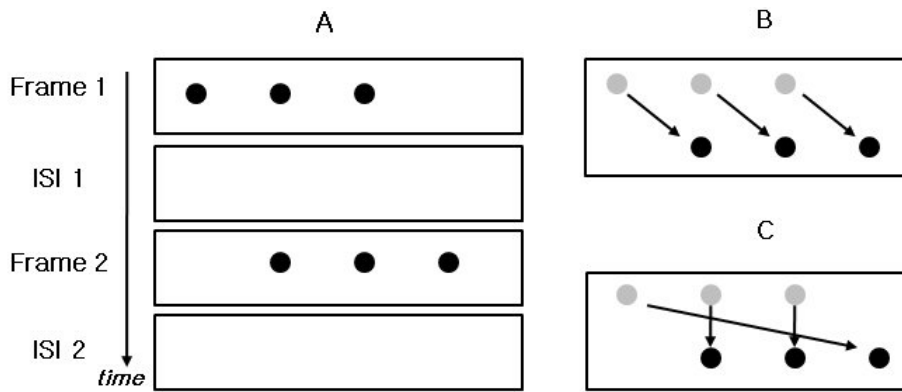


그림 19. A: 여러 점 가현 운동 제시의 예. B: 집단 운동(group motion). C: 요소 운동(element motion). 자극간 빈 시간이 짧으면 요소 운동이 지각되고, 충분히 길면 집단 운동(group motion)이 지각된다.

왜냐하면 이후의 연구들에서 자극간 거리가 짧으면 요소 움직임이 관찰되었기 때문이다 (Pantle & Picciano, 1976). 아마도 Ternus 역시 이 사실을 알고 있었을 텐데, 그가 요소 움직임을 언급하지 않은 이유는 아마도 그가 형태주의자로서 형태주의를 지지하는 증거를 보이 고자 했기 때문일지 모른다.

기하학적 형태의 움직임 제약 단 한 개의 점이 아닌 두 개 이상의 점이나 선분으로 된 구체적 형태를 이용했을 때 갖는 장점은 이들 물체가 가현 운동을 제시되었을 때 어떤 경로(path)로 움직이는지를 관찰할 수 있다는 점이다. 예컨대, 두 개의 점으로 이뤄진 가현 운동에서, 사람들은 한 점이 가장 짧은 경로를 따라 움직이는 것으로 지각한다. 이것은 최단거리 법칙(the shortest rule)이라고 불린다. 그런데 점이 아닌 세모나 네모처럼 좀 더 구체적인 형태를 지닌 자극의 움직임은 다를 수 있다. 그림 20에 제시된 예들은 이를 잘 보여 준다.

이들 그림에서 자극들은 모두 최단 경로를 따라 움직이지 않고, 기하학적으로 그럴듯한 방향을 따라 움직이는 것으로 지각된다. Shepard (1984; 2001)는 이것을 실세계의 기하학적 제약이 인간의 지각 체계에 내재된 증거라고 주장하였다.

생물체의 움직임 제약 Shepard의 제자인 Shiffrar와 Freyd(1990; 1993)는 생물체의 움직임도 무생물 움직임처럼 가현 운동의 경로 지각에 생물체 특유의 움직임 제약이 고려되는지를 살펴보았다. 그들은 사람들이 할 수 있는 다양한 움직임을 사진으로 찍어 가현 운동 제시 방법으로 특정 자세의 정지 이미지를 연속으로 제시하였다. 그림 21의 위는 그 중 한 가지 예를 보여 주고 있다. 이 그림에서 관찰자들은 사진 속 인물의 손의 움직임이 먼 경로임에도 사람 몸 쪽으로 빙 돌아서 가는 것으로 지각하였다. 이는 정상적인 사람의 손이라면 손이 바깥쪽으로 돌지 못하는 제약이 개

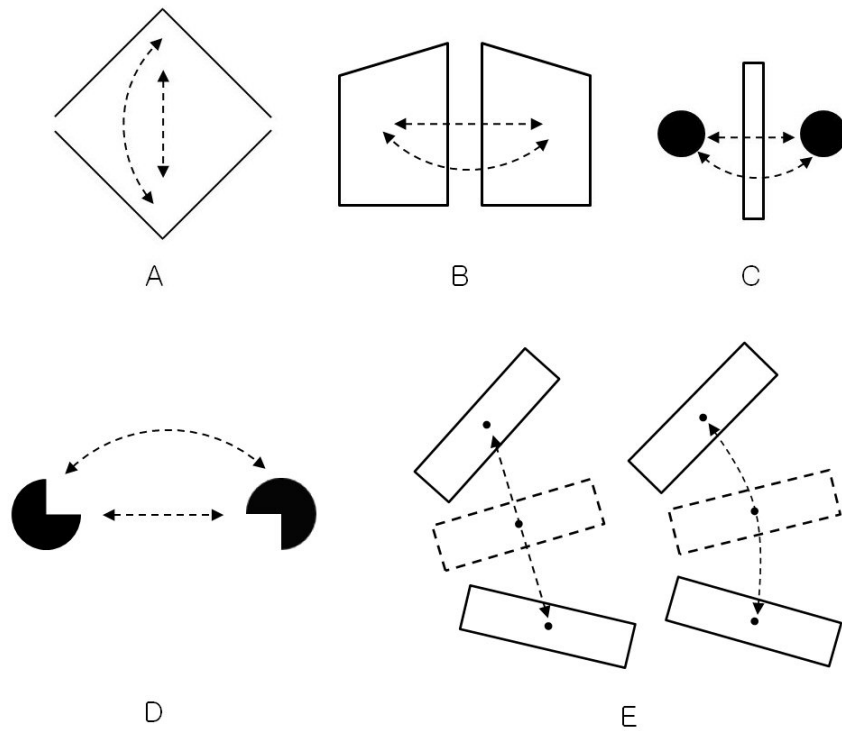


그림 20. 물체 운동의 기하학적 제약을 보여 주는 예들. A. 두 꺾쇠가 연속으로 제시될 때, 짧은 경로를 따라 선분이 가운데에서 일자로 퍼졌다 다시 오므라드는 움직임보다는 형태를 그대로 유지한 채 관찰자 쪽으로 필러이듯이 움직이는 것으로 보인다(Koffka, 1935, 301쪽). B. 두 사다리꼴 혹은 삼각형을 왼쪽과 오른쪽에 연달아 제시하면 만일 자극제시와 다음 자극까지 시간이 짧으면 사다리꼴이 가운데서 변형을 거쳐 짧은 경로로 이동하는 것으로 보이지만, 충분히 시간이 길면 형태를 유지한 채 앞 쪽이나 뒤 쪽으로 회전하는 것으로 지각된다(Gerbino, 1984). C. 경로에 막대 같은 방해물이 있는 경우, 짧은 경로가 아닌 먼 길을 돌아서 움직이는 것으로 지각된다(Kolers & Pomerantz, 1971). D. 한 쪽 귀가 없는 두 원이 방향을 180도 틀어 연속으로 제시될 때, 도형은 짧은 경로보다는 위쪽으로 빙 돌아서 회전하며 움직이는 것으로 지각된다(McBeath & Shepard, 1989). E. 기다란 사각형을 위 아래로 가현 운동으로 제시할 때, 관찰자들은 가운데 직사각형(실제는 가느다란 선분으로 표시)을 조절 스위치로 옮겨 가면서 자신들의 인상을 보고하게 했을 때, 사각형은 그림의 왼쪽처럼 최단거리로 이동하기보다 그림의 오른쪽처럼 약간 휘어서 이동하는 것으로 보인다고 보고하였다(Foster, 1975). 직사각형 안의 점은 실제 자극에서 보이지 않지만 이해를 도우려 추가되었다.

입된 것으로 풀이된다.

비슷한 생물체 운동의 제약이 얼굴의 가현 운동 지각에서도 볼 수 있다. 그림 21의 아래처럼 좌-우 눈으로 윙크하는 얼굴을 연속으로 제시하는 가현 운동을 보여 주고 있다(Oh,

2008). 이런 자극에서 관찰자들은 눈 좌-우로 움직이는 가현 운동을 경험하려 들지 않는다. 하지만 얼굴을 위-아래 돌려서 제시하면, 눈알이 왼쪽 눈 안에서 오른쪽 눈 안으로 움직이는 불가능한 움직임을 지각한다. 이는 얼굴이

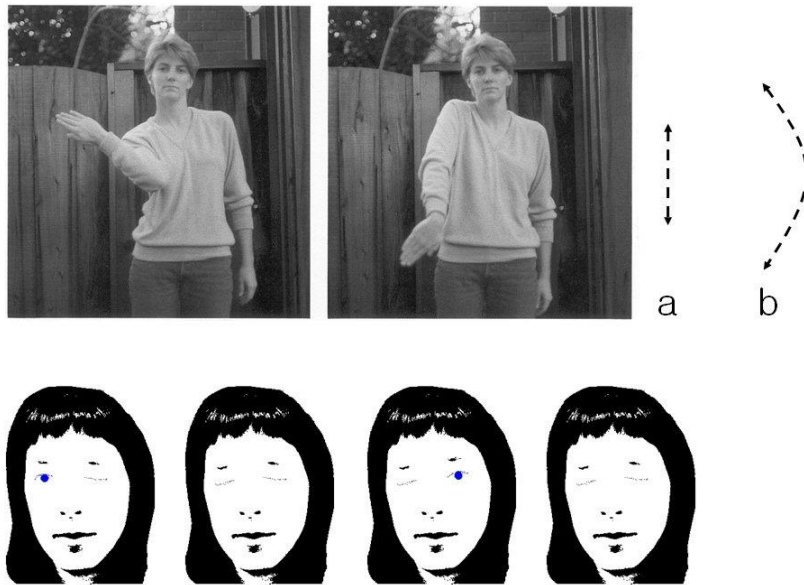


그림 21. (위) 신체 가현 운동. 위 두 장의 사진을 연속으로 제시하면(자극간 공백은 검정으로 처리됨), 손의 가현 운동을 볼 수 있다. 충분히 자극 제시 시간과 다음 자극 제시까지 시간(SOA)이 길면 손은 사람이 움직일 수 있는 방향인 화살표 b처럼 몸 쪽으로 휘어져 움직이게 보이고, 너무 짧으면 움직임이 불가능해 보이는 화살표 a처럼 곧장 위-아래로 이동하는 것으로 보인다(Shiffrar & Freyd, 1990; 1993). (아래) 눈동자 가현 운동. 위 이미지를 연속으로 제시하면 원크를 볼 수 있다. 하지만 얼굴을 위-아래로 돌려서 제시하면 눈동자가 좌-우로 움직이는 전형적인 핫 점 가현 운동이 보인다(Oh, 2008).

라는 형태가 얼굴의 부분인 눈알의 움직임을 제약하기 때문으로 해석된다. 이렇게 가현 운동 패러다임은 친숙한 생물체 움직임에 대해서 겉으로 잘 드러나지 않는 지각 처리의 편향을 잘 드러낸다. 특히, 이런 편향은 다른 무생물체 움직임을 관찰할 때는 잘 드러나지 않는다(Shiffrar & Freyd, 1993). 이것은 인간 관찰자는 인간 행동에 특별한 지각 처리를 함을 시사한다(Blake & Shiffrar, 2006). 그렇다면 왜 지각 체계는 생물체 움직임의 가능한 행동에 편향을 보일까?

가장 단순한 가설은 시각적 친숙성(familiarity)이다. 일상생활에서 가능한 움직임의 관찰이

절대적으로 많을 것이다. 따라서 이런 경험이 시각 자료의 질이 떨어지는 상황에서 해석을 결정지을 가능성이 크다.

최근에 시각 경험 가설에 대응하여 나타난 것은 관찰과 행동을 동일시하는 가설들이다. 가장 오래된 가설로 인지 심리학의 ‘공동 부호화(common coding)’ 따르면 특정한 관찰 행동과 그 행동을 행하는 것은 표상적 수준에서 서로 공통 표상을 가진다(Prinz, 1990). 다른 사람이 발차는 행동을 따라 하거나, 볼링공을 따라 몸을 기울이는 등의 예시행동(ideomotor action)은 행동 표상과 지각 표상이 연합되어 무의식적으로 활성화되기 때문이다. 신경 심

리학의 ‘직접 대응(direct matching)’ 가설은 포괄적으로 발견된 많은 거울 신경(mirror neurons) 연구들에 기반을 두고 있다. 이 가설은 관찰과 행동이 신경 수준에서 직접적으로 신경을 공유하고 있는 점을 주목하는데, 주로 이 신경들은 전두엽에 위치하는 것으로 알려져 있다(Cisek & Kalaska, 2004 Rizzolatti & Craighero, 2004). 시뮬레이션 가설은 행동과 관찰 사이에 직접 연결 보다는 겉으로 표현되는 행동(overt action)을 가능케 하는 전 단계의 과정은 드러나지 않는 행동(covert action)인 시뮬레이션을 가정하는데, 이 과정은 행동 떠올리기나 관찰하기에도 쉽게 활성화된다(Jeannerod, 2001). 이런 행동과 관찰의 공유는 행동을 관찰하거나, 마음속으로 그 행동을 되뇌거나(simulation, rehearsal), 그런 행동을 실제로 할 때 벌어진다. 이런 가설들에 따르면, 관찰자 자신이 할 수 있는 행동이 관찰에도 영향을 미칠 수 있다. 관찰과 행동의 공유가 완전하게 설명된 것은 아니지만, 관찰자와 행동자가 같은 생물체인 경우 이런 체계는 행동을 모방하고, 이해하고, 예측하고, 평가하는데 유용할 것이다.

기대효과 Wertheimer(1912)는 그림 22처럼 긴 선분과 짧은 선분을 연속으로 제시하여 가현

운동을 만들었다. 이 실험에서 그는 짧은 막대와 긴 막대 사이의 각도를 점차 늘려 갈 때, 짧은 선분의 가현 운동 방향이 어떻게 되는지를 살펴보았다. 움직임 방향이 왼쪽이나 오른쪽 모두 가능하지만, 흔히 짧은 쪽으로 움직임이 발생한다. 그런데 실험이 진행됨에 따라, 관찰자들은 짧은 막대와 긴 막대의 각도가 90도를 넘어선 경우에도 가끔씩 처음에 보았던 방향으로 짧은 막대가 움직이는 것으로 지각되었다. 이것은 학습으로 인한 관찰자의 기대 같은 인지 기능이 움직임 방향에 영향을 줄 수 있음을 시사한다.

이런 기대 효과는 자극이 특정한 방향성을 띠는 경우에 더욱 분명 해진다. 예컨대, 대부분의 생물체는 앞과 뒤의 방향성이 있고, 대체로 앞쪽으로 움직이는 강한 경향이 있다. 이런 경향성이 가현 운동에 영향을 미치는지를 살펴보고, McBeath 등(McBeath, Morikawa, & Kaiser, 1992)은 두 프레임의 계단식 가현 운동을 이용하였다. 이런 자극의 제시 방법은 그림 23의 A와 같다. 만일 동일 형태의 나열을 두 프레임으로 나누어 위치를 정확히 절반씩 겹쳐 제시하면, 어느 쪽으로도 치우치지 않는 일종의 애매한 가현 운동 자극이 된다. 이 방법을 이용해서 방향성이 있는 세모, 사람 형태, 쥐, 화살표 등을 제시했을 때, 이들 자극

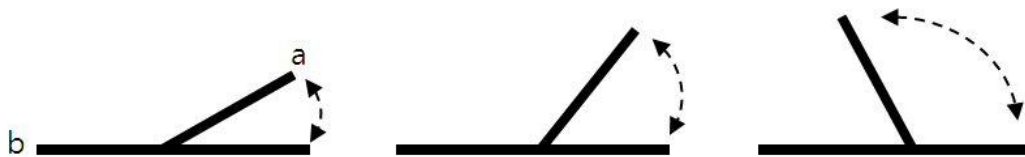


그림 22. 가현 운동의 기대효과. 긴 막대 b는 언제나 가만히 있고, 짧은 막대 a가 나타났다 사라지기를 반복한다. 이때 관찰자들은 짧은 막대 a가 위-아래로 움직이는 것으로 지각한다. 점차 두선분의 각도를 늘려감에 따라, 90도를 넘어설지라도 관찰자들은 보아 왔던 방향으로 막대가 움직이는 것으로 종종 본다.

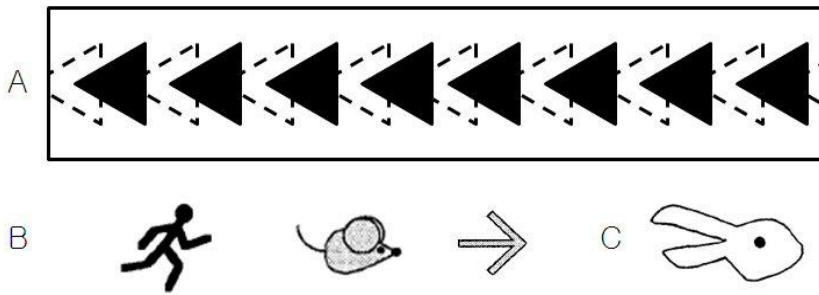


그림 23. 모니터에 그림 A처럼 여러 개의 동일 형태의 검정 삼각형 나열을 두 프레임으로 나누어서 위치를 조금 달리해서 연속으로 제시하면(검정 삼각형 위치와 점선 삼각형 위치), 세 가지 종류의 움직임 지각이 가능하다. 좌-우로 왔다 갔다 하는 움직임, 오른쪽으로 움직임, 그리고 왼쪽으로 움직임이다. 이 예의 경우 관찰자들은 삼각형이 왼쪽으로 움직이는 것으로 볼 가능성이 크다. B. 그 이외에 방향성이 분명한 자극들: 이들을 A와 같은 가현 운동 제시 방법으로 제시할 때 앞쪽으로 움직이는 것으로 보이는 경향이 있다. C. 애매한 방향성: 토끼로 해석하면 오른쪽으로, 오리로 해석하면 왼쪽으로 움직이는 것으로 지각하는 경향이 있다.

들이 전방 편향(forward-facing bias)이 관찰되었다. 이 효과는 사람들이 특정 형태와 특정 움직임 방향과 강하게 짝지으려는 기대 때문으로 풀이될 수 있다.

이 예는 형태가 움직임 방향을 결정짓고 있지만, 역으로 움직임 방향이 형태를 결정짓기도 한다. 예컨대, 그림 C처럼 양 방향으로 애매한 자극을 움직임과 함께 제시하면 움직임 방향에 따라 사람들은 형태를 해석하려는 경향이 있다. 즉, 한 장의 토끼-오리 애매한 그림을 가현 운동으로 오른쪽으로 움직여 주면 오리를, 왼쪽으로 움직이면 토끼를 보고하려는 경향이 있다(Bernstein & Cooper, 1997). 그러므로 이 예들은 움직임과 형태가 서로의 지각에 대해서 각각의 단서로서 영향을 끼침을 보여 준다. 최근의 신경과학적 연구에 따르면, 이러한 애매한 가현 운동에서 특정 방향의 움직임 기대가 움직임 영역의 상위 영역인 MST에서 관여된다(Williams, Elfar, Eskandar, Toth, &

Assad, 2003).

맥락 효과 가현 운동에서 맥락 효과는 여러 다양한 자극으로 검증되었다. 맥락이라 함은 유사성과 근접성 같은 집단화 수준의 맥락 그리고 물체의 기능 혹은 의미 처리 수준에서 맥락으로 나눌 수 있다. 집단화 맥락 효과는 앞서 설명한 Ternus(1926)가 보여 준 집단화 가현 운동이 좋은 예이다. 그림 24는 집단화 맥락 이외에 다른 몇 개의 맥락 효과를 보여 주고 있다. 이들 모두는 가현 운동 자극의 처리가 주변의 요인들에 의해 영향을 받는 지각 현상임을 보여준다.

주의효과 Cavanagh(1991; 1992; 1993)는 움직임을 주의의 개입 여부에 따라 자극-기반 운동과 주의-기반 운동으로 나누었다. 여기서 주의는 하향적 처리를 뜻한다. 주의는 기대와 얼마간 의미가 겹쳐 완전히 구별되는 것은 아

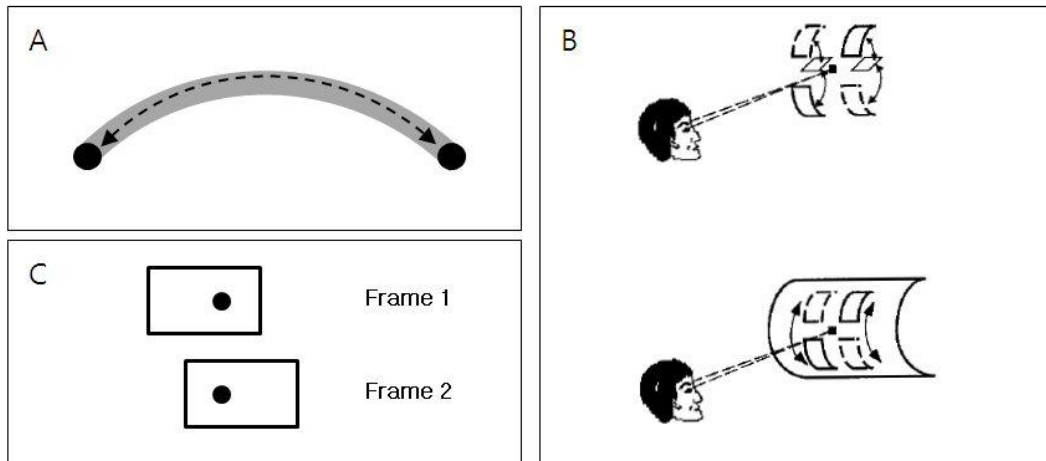


그림 24. A. 경로 유도 운동(path-guided motion)의 예. 두 점이 연속으로 점멸하는 사이에 회색 선분을 잠깐 제시하면, 점 하나가 이 선분을 타고 휘어져 움직이는 것으로 지각된다. 선분 없이는 직선으로 가장 빠른 경로를 타고 움직인다(Shepard & Zare, 1983). B. 표면 유도 운동(surface-guided motion)의 예. 양안 부등을 이용해 대각선 방향에 있는 두 사각형을 연속으로 제시하는데(실선의 사각형 위치와 점선의 사각형 위치), 만일 뒤의 그림처럼 뒷편의 바탕이 없는 경우 사각형이 관찰자 쪽으로 펠럭이며 움직이는 것처럼 보이지만, 아래 그림처럼 바탕이 있으면 그 표면을 따라 사각형이 움직이는 것으로 보인다(He & Nakayama, 1994). C. 유도 가현 운동(induced apparent motion)의 예. 점은 가만히 있는데, 완전히 어두운 방에서 사각형만 자리를 바꿔 점멸하면, 사각형이 아닌 점이 움직인 것으로 지각된다(Duncker, 1929/1937).

니다(Summerfield & Egner, 2009). 주의라 하면 시각 자극에서 특정 특징을 선택하는 과정이 좀 더 의식적이고 외현적이라는 의미가 강하다. 따라서 이 효과를 알기 위해서, 관찰자는 처음부터 주의해야 할 대상이 무엇인지 처음부터 인식하고, 관찰시에는 그 목적을 유지해야만 한다. 운동 지각에서 주의 효과에 대한 1차적 관심은 과연 주의가 운동의 저수준의 어디까지 영향을 주는가였다(Raymond, 2000). 초기의 연구들은 운동은 주의 효과가 미치지 않고 자동적으로 처리된다는 입장이 강했다. 이것은 자연스런 아이디어였는데, 왜냐하면 일반적으로 움직이는 물체는 관찰자의 주의를 무관하게 지각되기 때문이다.

Dick 등(Dick, Ullman, & Sagi, 1987)은 무선점을 이용한 가현 운동 자극을 만들었는데, 그 중 한 점이 위치를 바꿔 가현 운동으로 구성되었고(각 자극판 제시 시간: 42msec, 자극간 시간: 0msec) 나머지 점들은 정지해 있거나 목표 자극과 달리 반대 방향으로 가현 운동을 보여 방해 자극으로서 역할을 하였다. 관찰자들은 오로지 홀로 가현 운동을 보이는 점을 찾아, 오른쪽으로 혹은 왼쪽으로 움직였는지를 재빨리 보고하도록 지시 받았다. 단쪽 조건에서 목표 점의 위치 변화는 짧았고, 장쪽 조건에서는 멀었다. 실험 조건별로 5~64개의 다른 점들(방해자극)이 목표 점과 다른 방향으로 움직였는데, 단쪽 가현 움직임 조건에서

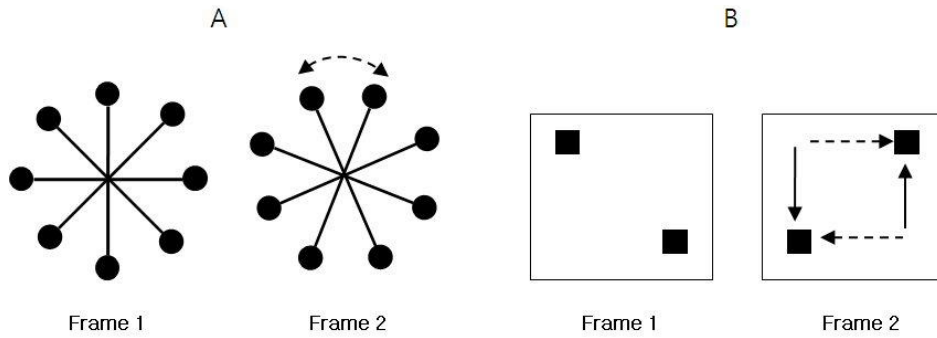


그림 25. 움직임 방향이 애매한 가현 운동의 예. 점들의 가현 운동 방향이 시계 방향 혹은 반시계 방향으로 애매하게 지각될 수 있다.

목표 점의 움직임 방향 탐지는 방해 자극 수와 관계없이 빨랐다. 따라서 이때는 움직임을 병렬처리(parallel process) 하는 것처럼 보였다. 반면 장폭 가현 움직임을 보인 점의 움직임 방향 탐지는 방해 자극의 수에 따라 급격히 느려 졌다. 즉, 이 경우 장폭 움직임 지각은 주의가 필요한 계열처리(serial process)를 거치는 것으로 보였다. 따라서 이 결과들은 실제 운동과 비슷한 단폭 가현 운동은 주의가 필요치 않는 전주의적 처리를, 반면 장폭 가현 운동은 주의 개입으로 연속으로 나타나는 자극의 특징들이 통합되어서 나타나는 것으로 이해되었다(Horowitz & Treisman, 1994; Treisman, 1986).

특히, 관찰자의 주의 효과는 애매한 가현 운동 자극에서 특히 잘 드러난다. 예컨대, 그림 25는 가현 운동 방향이 시계방향일 수도 있고, 반 시계방향일 수도 있다. 자극 자체가 애매하기 때문에, 이 때, 관찰자 요인 효과가 두드러진다. 만일 관찰자가 어느 한 쪽 방향으로 눈을 움직이면 그 쪽으로 가현 운동이 결정된다(Pomerantz, 1970). 안구 운동이 주의효

과를 보는 데 꼭 필수적인 것은 아니다. 무선 점으로 구성된 두 표면을 동일 공간에 반대 방향으로 움직이도록 겹치면, 일종의 투명 운동이 보일 수 있는데, 이때에 시선을 고정한 채 마음속으로 어느 한 쪽의 방향에 주의하도록 했을 때도 원하는 방향의 움직임을 선별적으로 볼 수 있을 뿐만 아니라, 그 방향에 대한 움직임 잔상도 나타난다(Chaudhuri, 1990). 이를 지지하는 최근의 신경 해부적 연구에 따르면, 애매한 움직임이 동시에 놓인 시각장에서 한 방향에 주의하는 것은 움직임 영역인 MT에서 그 쪽 방향에 민감한 신경들 활동을 더 부추긴다(Treue, Martínez, & Trujillo, 1999).

논의 및 결론

본 논문의 목적은 가현 운동 연구가 어떻게 움직임 지각 이해에 기여를 했는지를 알아보는 것이다. 움직임은 물체나 관찰자의 이동이라는 기본적인 정보와 물체의 물리적, 지각적, 심리적 속성 같은 응용적 정보를 명세한다. 이를 반영하듯, 가현 운동 역사는 초기에 움

직임의 기본 요소라 할 수 있는 시공간적 요인이 주로 연구 관심이었고, 근래에는 물체, 얼굴과 신체 같은 구체적 대상이 움직임과 결합되어 사건으로 나타났을 때의 지각을 이해하는 것이 관심을 끌었다. 여기서 더 나가, 앞으로 가현 운동 페러다임이 기여할 수 있는 문제들을 아래에 논의해 보고자 한다.

신경과학적 문제 Wertheimer가 제안한 가현 운동 지각에서 대뇌에서 신경들간의 회로 연결이라는 개념은 가설적이었지만, 단일 세포 측정법이나 기능성 자기공명이미지 뇌활동 영상화기법으로 신경해부적으로 지지된다. 신경과학 초기에는 단지 가현 운동이 뇌의 어느 영역에서 담당되는지가 주요 관심이었다. 하지만 현재와 앞으로 진행될 연구 관심은 가현 운동에 개입되는 뇌 영역들의 역할을 연결망 수준에서 가현 운동을 이해하는 것이다.

계산론적 문제 신경과학 연구와 함께 움직임의 계산론적 기술도 이뤄져야 한다. 특히, 앞서 밝혔듯이 움직임 분류를 둘러싼 문제는 계산론적으로 해결을 숙고해볼 가치가 있다.

다중감각 문제 가현 운동이 단지 시각 장면만이 아니라 청각과 촉각에서도 일어나고, 시각적 가현 운동이 보이는 특징들도 이들 감각의 가현 운동에도 비슷하게 일어난다는 사실은 널리 알려져 있다(Lakatos & Shepard, 1997). 더 나아가 최근 몇 년 동안 갑작스러운 유행을 타고 있는 것은 가현 운동이 청각과 촉각과 같은 다른 감각들과 함께 제시되었을 때 지각과정을 이해하는 연구들이다(Freeman &

Driver, 2008; Harrar, Winter, & Harris, 2008).

사건지각 문제 움직임은 사회적 맥락에 놓일 때 의미를 지니게 된다. 예를 들어, 단순한 공의 움직임은 그 자체로 이동에 불과하지만 누군가의 얼굴을 향해 움직인다면 그것은 공격 혹은 위협이라는 의미를 지니게 된다. 이 경우 필연적으로 사회적 의미 처리가 가현 운동 처리에 개입을 하게 된다. 최근의 연구 경향들은 이런 맥락이 움직임 지각에 영향을 미침을 보여주고 있다. 그럼에도 여전히 이에 관한 연구와 이해는 부족해 보인다.

연식 움직임 문제 움직이는 대상이 움직이면서 모양을 그대로 유지할 수도 있고, 걸음 운동처럼 모양이 바뀔 수도 있다. 이때 전자의 움직임을 경식(rigid) 움직임이라 하고 후자를 연식(non-rigid) 움직임이라 한다. 가현 운동 연구에서 대부분 경식 움직임을 자극으로 써왔다. 반면에 연식 움직임은 주로 생물학적 움직임(biological motion)이라는 주제로 논의되어 왔다. 그렇지만 여전히 이런 연식 움직임 연구는 상대적으로 부족해 보인다.

개인차 문제 가현 운동에서 보이는 개인차 요인은 오랫동안 연구자를 괴롭혀온 문제이다. 예를 들어, 태도, 성별과 가현 운동 학습 정도에 따라 가현 운동이 다르게 보일 수 있다. 이런 개인차를 보이는 심리적 요인들에 대해서 아직 잘 알려져 있지는 않다.

Exner가 가현 운동을 처음으로 실험한 지 140여년이 흘렀다. 그 동안 Wertheimer 같은 선구적 연구자 덕택에 인간의 움직임 지각 이

해에서 큰 진전이 있었다. Wertheimer가 자신의 실험을 바탕으로 제시한 이론은 많은 부분이 지금까지 타당한 것으로 남아있다. 이는 이후의 연구의 정체를 의미하기보다 오히려 가현 운동이라는 현상이 얼마나 강력한 연구 패러다임인지를 반증하는 것으로 보인다. 더욱이 형태주의자들이 주장했던 많은 개념들은 오늘날 신경과학 연구에서 대체로 지지되고 있는 점을 감안하면 가현 운동이라는 현상의 잠재적 가치는 놀랄만하다. 현상학이 신경과학을 선도하는 일은 지각심리학 전반에 걸쳐 흔하게 볼 수 있는 일이다. 예를 들어, 색 이론에서 색에 대한 주관적 관찰을 바탕으로 세워진 Young-Helmholtz-의 삼원색설이나 Hering의 대립과정 이론이 있다.

과학 역사에서 흔히 볼 수 있는 일은, 현상의 중요성은 그 현상 자체보다 그 현상의 중요성을 알아보는 관찰자의 눈이었다. 뉴턴의 만유인력은 그 좋은 예일 것이다. 뉴턴 이전에 모든 사람이 떨어지는 사과를 보았겠지만, 오직 뉴턴만이 그것의 중요성을 깨달은 것이다. 가현 운동 연구사에서 Wertheimer의 역할이 물리학에서 뉴턴의 역할에 비교할 만 할 것이다.

운동 지각 연구에서 가현 운동 패러다임은 다른 연구법을 대체될 수 없는 고유한 기여를 하였다. 가장 큰 이점은 아마도 움직임 지각에 대한 현상학적 실험과 설명의 경제성(parsimony)일 것이다. 비록 예전만큼 전통적 방식의 가현 운동 연구가 활발히 이루어지고 있지는 않지만 날카로운 눈을 가진 새로운 연구자에 의해 쓸모 있는 연구법이 될 가능성은 여전히 큰 것으로 보인다.

참고문헌

- Adelson, E. H., & Bergen, J. R. (1985). Spatiotemporal energy models for the perception of motion. *Journal of Optical Society of America*, 2(2), 284-299.
- Anderson, J., & Anderson, B. (1993). The myth of persistence of vision revisited. *Journal of Film and Video*, 45(1), 3-12.
- Anstis, S. (1986). Motion perception in the front plane. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of Perception and Human Performance* (Vol. 1, pp.16-11-16-27). New York: John Wiley and Sons.
- Anstis, S. M. (1980). The perception of apparent movement. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B*, 290, 153-168.
- Anstis, S. M. (1989). Spatial and temporal context affects correspondences in apparent motion. *Physica Scripta.*, 39, 122-127.
- Ashida, H., Lingnau, A., Wall, M. B., & Smith, A. T. (2007). fMRI adaptation reveals separate mechanisms for first-order and second-order motion. *Journal of Neurophysiology*, 97, 1319-1325.
- Barlow, H. B., & Levik, W. R. (1965). The mechanism of directionally selective units in rabbit's retina. *Journal of Physiology*, 178, 477-504.
- Benton, C. P., & Johnston, A. (2001). A new approach to analysing texture-defined motion. *Proceedings of Royal Society of London. B. Biological Sciences*, 268, 2435-2443.

- Bernstein, L. J., & Cooper, L. A. (1997). Direction of motion influences perceptual identification of ambiguous figures. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(3), 721-737.
- Blake, R., & Shiffrar, M. (2006). Perception of human motion. *Annual Review of Psychology*, 58, 1-27.
- Blaser, E., & Sperling, G. (2008). When is motion? *Perception*, 37(1), 624-627.
- Bordwell, D., & Thompson, K. (1993). *Film Art: An Introduction* (4 ed.): McGraw-Hill College.
- Boring, E. G. (1942). *Sensation and perception in the history of experimental Psychology*. New York: Irvington.
- Bours, R. J. E., Stuur, S., & Lankheet, M. J. M. (2007). Tuning for temporal interval in human apparent motion detection. *Journal of Vision*, 7, 1-12.
- Braddick, O. (1974). A short-range process in apparent motion. *Vision Research*, 14, 519-528.
- Braddick, O. (1980). Low-level and high-level processes in apparent motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B*, 290, 137-151.
- Bruce, V., Green, P. R., & Georgeson, M. A. (2003). *Visual Perception: Physiology, Psychology and Ecology*. (4 ed.). New York: Psychology Press.
- Burr, D., Ross, J., & Morrone, C. (1986). Smooth and sampled motion. *Vision Research*, 26(4), 643-652.
- Cavanagh, P. (1991). Short-range vs long-range motion: not a valid distinction. *Spatial Vision*, 5, 303-309.
- Cavanagh, P. (1992). Attention-based motion perception. *Science*, 257, 1563-1565.
- Cavanagh, P. (1993). The perception of form and motion. *Current Opinion in Neurobiology*, 3, 177-182.
- Cavanagh, P., Arguin, M., & von Grünau, M. (1989). Interattribute apparent motion. *Vision Research*, 29, 1197-1204.
- Cavanagh, P., & Mather, G. (1989). Motion: the long and short of it. *Spatial Vision*, 4, 103-129.
- Chang, J. J. & Julesz, B. (1983). Displacement limits, directional anisotropy, and direction versus form discrimination in random-dot cinematograms. *Vision Research*, 23, 639-646.
- Chaudhuri, A. (1990). Modulation of the motion aftereffect by selective attention. *Nature*, 344(1), 60-62.
- Chubb, C., & Sperling, G. (1986). Drift-balanced random stimuli: a general basis for studying non-Fourier motion perception. *Journal of Optical Society of America*, 5(11), 1986-2007.
- Cisek, P., & Kalaska, F. (2004). Neural correlates of mental rehearsal in dorsal premotor cortex. *Nature*, 431, 993-996.
- Dawson, M. R. (1991). The how and why of what went where in apparent motion: modeling solutions to the motion correspondence problem. *Psychological Review*, 98(4), 569-603.
- Derrington, A. M. (2000). Vision: can colour contribute to motion? *Current Biology*, 10(7),

- R268-270.
- DeSilva, H. R. (1926). An experimental investigation of the determinants of apparent visual movement. *American Journal of Psychology*, 37(469-501), 469.
- Dick, M., Ullman, S., & Sagi, D. (1987). Parallel and serial processes in motion detection. *Science*, 237, 400-402.
- Duncker, K. (1929/1937). Induced motion. In W. D. Ellis (Ed.), *A sourcebook of Gestalt psychology* (pp.161-172). London: Routledge & Kegan Paul.
- Finlay, D. C., Manning, M. L., & Fenelon, B. (1987). Individual differences in responses of untrained observers to stroboscopic apparent motion. *Perception*, 16(5), 573-581.
- Foster, D. H. (1975). Visual apparent motion and some preferred paths in the rotation group SO(3). *Biological Cybernetics*, 18, 81-89.
- Freeman, E., & Driver, J. (2008). Direction of visual apparent motion driven solely by timing of a static sound. *Current Biology*, 18, 1262-1266.
- Galifret, Y. (2006). Visual persistence and cinema? *Neurosciences*, 329, 369-385.
- Gengenfurtner, K. R., & Hawken, M. J. (1996). Interaction of motion and color in the visual pathways. *Trends in Neurosciences*, 19(9), 394-401.
- Geobel, R., Khorrarn-Sefat, D., Muckli, L., Hacker, H., & Singer, W. (1998). The constructive nature of vision: direct evidence from functional magnetic resonance imaging studies of apparent motion and motion imagery. *European Journal of Neuroscience*, 10, 1563-1573.
- Gerbino, W. (1984). Low-level and high-level processes in the perceptual organization of three-dimensional apparent motion. *Perception*, 13, 417-428.
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gregory, R. L. (1990). *Eye and brain: the psychology of seeing*. New York: McGraw-Hill.
- Harrar, V., Winter, R., & Harris, L. R. (2008). Visuotactile apparent motion. *Perception & Psychophysics*, 70(5), 807-817.
- He, Z. J., & Nakayama, K. (1994). Apparent motion determined by surface layout not by disparity or three-dimensional distance. *Nature*, 367, 173-175.
- Hochberg, J. (1981). Levels of perceptual organization. In M. Kubovy & J. R. Pomerantz (Eds.), *Perceptual Organization* (pp. 255-278). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hochberg, J. (1986). Representation of motion and space in video and cinematic displays. *Handbook of Perception and Human Performance* (pp.22-21-22-64). New York: Wiley.
- Hogendoorn, H., Carson, T. A., & Verstraten, F. A. J. (2007). Interpolation and extrapolation on the path of apparent motion. *Vision Research*, 48, 872-881.
- Horowitz, T., & Treisman, A. (1994). Attention and apparent motion. *Spatial Vision*, 8, 193-219.

- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 14, S103-S109.
- Julesz, B. (1975). Experiments in the visual perception of texture. *Scientific American*, 232, 34-43.
- King, B., & Wertheimer, M. (2005). *Max Wertheimer and Gestalt Psychology*, New Jersey: Transaction Publishers.
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt psychology*. New York: Harcourt, Brace & World.
- Kolers, P., & Pomerantz, J. (1971). Figural change in apparent motion. *Journal of Experimental Psychology*, 87(1), 99-108.
- Kolers, P. A. (1972). *Aspects of motion perception*. Oxford: Pergamon Press.
- Kolers, P. A., & Green, M. (1984). Color logic of apparent motion. *Perception*, 13(3), 249-254.
- Koriat, A. (1994). Object-based apparent motion. *Perception & Psychophysics*, 56(4), 392-404.
- Kourtzi, Z., Krekeler, B., & van Wezel, R. J. A. (2008). Linking form and motion in the primate brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(6), 230-236.
- Krekeler, B. (2008). Motion detection mechanisms. In A. I. Basbaum, A. Kaneko, G. M. Shepherd, G. Westheimer, T. D. Albright, R. H. Masland, P. Dallos, D. Oertel, S. Firestein, G. K. Beauchamp, M. C. Bushnell, J. H. Kaas & Gardner.E. (Eds.), *The Senses: A Comprehensive Reference*. (Vol. 2, pp. 133-155). Oxford: Elsevier Inc.
- Lakatos, S., & Shepard, R. N. (1997). Constraints common to apparent motion in visual, tactile, and auditory space. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 1050-1060.
- Lettvin, J. Y., Maturana, H. R., McCulloch, W. S., & Pitts, W. H. (1968). What the frog's eye tells the frog's brain. In W. C. Corning & M. Balaban (Eds.), *The Mind: Biological Approaches to its Functions* (pp.233-258). New York: John Wiley & Sons.
- Liu, T., Slotnick, S. D., & Yantis, S. (2004). Human MT+ mediates perceptual filling-in during apparent motion. *NeuroImage*, 21, 1772-1780.
- Lu, Z., & Sperling, G. (1995). Attention-generated apparent motion. *Nature*, 377, 237-239.
- Lu, Z., & Sperling, G. (2001). Three-systems theory of human visual motion perception: review and update. *Journal of Optical Society of America, A*, 18, 2331-2370.
- Marr, D. (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information* San Francisco: W. H. Freeman.
- Mather, G. (1991). First-order and second-order visual processes in the perception of motion and tilt. *Vision Research*, 31, 161-167.
- Mather, G., & Tunley, H. (1995). Temporal filtering enhances direction discrimination in random dot patterns. *Vision Research*, 35, 2105-2116.
- McBeath, M. K., Morikawa, K., & Kaiser, M. K. (1992). Perceptual bias for forward-facing

- motion. *Psychological Science*, 3(6), 362-367.
- McBeath, M. K., & Shepard, R. N. (1989). Apparent motion between shapes differing in location and orientation: a window technique for estimating path curvature. *Perception & Psychophysics*, 46(4), 333-337.
- Morgan, M. J. (1992). Spatial filtering precedes motion detection. *Nature*, 355, 344-346.
- Muckli, L., Kohler, A., Kriegeskorte, N., & Singer, W. (2005). Primary visual cortex activity along the apparent-motion trace reflects illusory perception. *PLoS Biology*, 3(8), 1501-1510.
- Muckli, L., Kriegeskorte, N., Lanfermann, H., Zanella, F. E., Singer, W., & Goebel, R. (2002). Apparent motion: Event-related functional magnetic resonance imaging of perceptual switches and states. *Journal of Neuroscience*, 22, 1-5.
- Nakayama, K. (1985). Biological image motion processing: a review. *Vision Research*, 25(5), 625-660.
- Nakayama, K., & Tyler, C. W. (1981). Psychophysical isolation of movement sensitivity by removal of familiar position cues. *Vision Research*, 21, 427-433.
- Navon, D. (1976). Irrelevance of figural identity for resolving ambiguities in apparent motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2, 130-138.
- Newsome, W. T., Mikami, A., & Wurtz, R. H. (1986). Motion selectivity in macaque visual cortex. III. Psychophysics and physiology of apparent motion. *Journal of Neurophysiology*, 55(6), 1340-1351.
- Oh, S. (2008). *The integration of visual form and motion during face perception*. Ph. D., Rutgers, Newark.
- Orger, M. B., Smear, M. C., Anstis, S. M., & Baier, H. (2000). Perception of Fourier and non-Fourier motion by larval zebrafish. *Nature Neuroscience*, 3(11), 1128-1133.
- Palmer, S. E. (1999). *Vision science*. Cambridge: MIT Press.
- Pantle, A. J., & Picciano, L. (1976). A multistable movement display: Evidence for two separate motion systems in human vision. *Science*, 193, 500-502.
- Pomerantz, J. (1970). Eye movements affect the perception of apparent (beta) movement. *Psychonomic Science*, 19(4), 193-194.
- Prinz, W. (1990). A common coding approach to perception and action. In O. Neumann & W. Prinz (Eds.), *Relationships between perception and action: Current approaches* (pp.167-201). Berlin: Springer-Verlag.
- Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets: evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*, 3(3), 179-197.
- Ramachandran, V. S., & Anstis, S. M. (1983). Perceptual organization in moving patterns. *Nature*, 304(11), 529-531.
- Ramachandran, V. S., & Anstis, S. M. (1986). The perception of apparent motion. *Scientific American*, 254, 80-87.

- Ramachandran, V. S., Armel, C., Foster, C., & Stoddard, R. (1998). Object recognition can drive motion perception. *Nature*, 395, 852-853.
- Ramachandran, V. S., & Gregory, R. L. (1978). Does colour provide an input to human motion perception? *Nature*, 275, 55-56.
- Ramachandran, V. S., Rao, V. M., & Vidyasagar, T. R. (1973). Apparent movement with subjective contours. *Vision Research*, 13, 1399-1401.
- Raymond, J. E. (2000). Attentional modulation of visual motion perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(2), 42-50.
- Reichard, W. (1957). Autocorrelation; A principle for the evaluation of sensory information by the central nervous system. In W. A. Rosenblith (Ed.), *Sensory communication*, New York: Wiley.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169-192.
- Rock, I. (1983). *The logic of perception*. Cambridge, MA: MIT.
- Rock, I., & Ebenholtz, S. (1962). Stroboscopic movement based on change of phenomenal rather than retinal location. *American Journal of Psychology*, 75, 193-207.
- Rock, I., Tauber, E. S., & Heller, D. P. (1965). Perception of stroboscopic movement: evidence for its innate basis. *Science*, 147(3661), 1050-1052.
- Sandeman, D. C., & Erber, J. (1976). The detection of real and apparent motion by the crab *Leptograpsus variegatus*. *Journal of Comparative Physiology*, 112, 181-188.
- Shechter, S., Hillman, P., Hochstein, S., & Shapley, R. M. (1991). Gender differences in apparent motion perception. *Perception*, 20(3), 307-314.
- Shepard, R. N. (1984). Ecological constraints on internal representation: Resonant kinematics of perceiving, imagining, thinking, and dreaming. *Psychological Review*, 91(4), 417-447.
- Shepard, R. N. (2001). Perceptual-cognitive universals as reflections of the world. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 581-601.
- Shepard, R. N., & Judd, S. A. (1976). Perceptual illusion of rotation of three-dimensional objects. *Science*, 191, 952-954.
- Shepard, R. N., & Zare, S. L. (1983). Path-guided apparent motion. *Science*, 220, 632-634.
- Shiffrar, M., & Freyd, J. (1990). Apparent motion of the human body. *Psychological Science*, 1, 257-264.
- Shiffrar, M., & Freyd, J. (1993). Timing and apparent motion path choice with human body photographs. *Psychological Science*, 4, 257-264.
- Steinman, R. M., Pizlo, Z., & Pizlo, F. J. (2000). Phi is not beta, and why Wertheimer's discovery launched the Gestalt revolution. *Vision Research*, 40, 2257-2264.
- Summerfield, C., & Egner, T. (2009). Expectation (and attention) in visual cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(9), 403-409.
- Ternus, J. (1926/1955). The problem of

- phenomenal identity. In W. D. Ellis (Ed.), *A sourcebook of Gestalt psychology* (pp.149-160). London: Routledge & Kegan Paul.
- Treisman, A. (1986). Properties, parts, and objects. In K. R. Boff, F. Kaufman & J. Thomas (Eds.), *Handbook of Perception and Human Performance* (Vol. 2, pp.(35)31-(35)70). New York: John Wiley and Sons.
- Treue, S., & Martínez Trujillo, J. C. (1999). Feature-based attention influences motion processing gain in macaque visual cortex. *Nature*, 399(10), 575-579.
- Tse, P., Cavanagh, P., & Nakayama, K. (1998). The role of parsing in high level motion processing. In T. Watanabe (Ed.), *High-level motion processing: computational, neurobiological, and psychophysical perspectives*. (pp.249-267). Cambridge:MA: MIT Press.
- Ullman, S. (1979). *The interpretation of visual motion*. Cambridge, MA: MIT Press.
- VanRullen, R., & Koch, C. (2003). Is perception discrete or continuous? *Trends in Cognitive Sciences*, 7(5), 207-213.
- Van Santen, J. P., & Sperling, G. (1984). Temporal covariance model of human motion perception. *Journal of the Optical Society of America A*, 1(5), 451-473.
- Wade, N., J. (1999). *A natural history of vision*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Wallach, H. (1959). The perception of motion. *Scientific American*, 201, 56-60.
- Wandell, B. A. (1995). *Foundations of vision*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- Watson, A. B., Ahumada, A. J., Farrell, J. E. (1986). Window of visibility: A psychophysical theory of fidelity in time-sampled visual motion displays. *Journal of the Optical Society of America A*, 3, 300-307.
- Werkhoven, P., Sperling, G., & Chubb, C. (1993). The dimensionality of texture-defined motion: a single channel theory *Vision Research*, 33(4), 463-485.
- Wertheimer, M. (1912). Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung. *Zeitschrift für Psychologie*, 61, 161-262.
- Williams, Z. M., Elfar, J. C., Eskandar, E. N., Toth, L. J., & Assad, J. A. (2003). Parietal activity and the perceived direction of ambiguous apparent motion. *Nature Neuroscience*, 6(6), 616-623.
- Yantis, S., & Nakama, T. (1998). Visual interactions in the path of apparent motion. *Nature Neuroscience*, 1, 508-512.
- Zhuo, Y., Zhou, T. G., Rao, H. Y., Wang, J. J., Meng, M., Chen, M., . . . Chen, L. (2003). Contributions of the visual ventral pathway to long-range apparent motion. *Science*, 299, 417-420.
- Zihl, J., von Carmon, D., & Mai, N. (1983). Selective disturbance of movement vision after bilateral brain damage. *Brain*, 106, 313-340.

1 차원고접수 : 2010. 11. 20

수정원고접수 : 2011. 1. 13

최종게재결정 : 2011. 1. 20

The Contribution of the Methodological Paradigm of Apparent Motion to the Understanding of Motion Perception

Songjoo Oh

Kyungnam University

When two adjacent dots alternate rapidly a dot appears moving back and forth instead of two dots' flashes stationary. This phenomenon, given apparent motion, has played a crucial role both in the establishment of the Gestalt Psychology and in the understanding of motion perception. In this review, major findings over the last 100 year regarding apparent motion is summarized, including the history of apparent motion study. It is emphasized that the percept of apparent motion highly varies according to spatiotemporal characteristics and figural forms of stimuli so that it is difficult to account for it in a single theoretical framework. It is discussed how apparent motion paradigm could be utilized for the future studies of motion perception.

Key words : *Apparent motion, Gestalt Psychology, Motion Constraints*