

## Apparent motion induced by illusory kinetic occlusion of an object blinking in place

Yejin Lee<sup>1</sup>, Sung-Ho Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Psychology, Ewha Womans University

The current study examined whether a single object repeatedly flashing on and off in place can give rise to a percept of apparent motion when it is presented adjacent to a large occluder behind which an amodal representation can be formed. In Experiment 1, we manipulated the possibility of kinetic occlusion by placing a blinking object behind or in front of a large occluder in a stereoscopic 3D display. The results of Experiment 1 revealed that apparent motion rating was higher when a blinking object was presented behind the occluder than when it was in front. In order to figure out whether apparent motion found in Experiment 1 was actually mediated by kinetic occlusion, an indirect index potentially related to apparent motion was measured using a new experimental task: Participants observed a display involving either a gradual or sudden change of an object in size and reported whether this change appeared gradual or sudden. The results of Experiment 2 revealed that the proportion of the gradual change response was higher when a blinking object was presented behind the occluder than when it was in front. This study suggests that even a single object flashing on and off in place can generate apparent motion when its coming into and going out of existence is perceived to come into and go out of sight while continuing to exist behind an occluder.

**Keywords:** apparent motion, correspondence problem, amodal completion, kinetic occlusion

1 차원고접수 18.08.29; 수정원고접수 18.10.28; 최종게재결정 18.10.29

한 위치에서 자극이 점멸하고 적절한 시간 후 인접한 위치의 자극이 점멸하면 마치 한 자극이 이 두 점 사이를 왕복하는 것처럼 지각되는데, 이는 가현운동이라 불린다(Oh, 2012; Ryu, Kham, & Chung, 2004; Wertheimer, 1912/1961). 움직임이란 시간에 따른 한 대상의 위치 변화이므로, 자극 프레임 간 대상의 지각적 대응(Dawson, 1991; Ullman, 1979)이 가현운동 지각의 필요조건임은 자명하다. 즉, 가현운동이란 서로 다른 시간에 다른 위치를 점유하는 두 대상에 동일한 정체성을 부여하기 위해, 자극 간 시공간적인 단절을 지각적으로 채워 넣는 과정이다(Green, 1986).

자극의 시공간적인 공백을 지각적으로 채워 넣는 다른 현상 중 하나는 터널 효과(tunnel effect)이다(Burke, 1952;

Michotte, Thinès, & Crabbé, 1964/1991; Wertheimer, 1912/1961). 움직이는 물체가 정지된 가림막 뒤로 사라지는 운동 중첩(kinetic occlusion)이 발생하고, 가림막의 반대쪽에서 또 다른 물체가 나타나 첫 물체와 같은 진행 방향으로 이동할 때, 두 물체 움직임 사이의 시공간적인 공백이 있음에도 불구하고 한 물체의 연속적인 움직임이 지각된다. 터널 효과는 가려진 물체의 무형 표상(amodal representation)이 시공간적으로 분리된 두 움직임 사건을 연결하여, 물체의 연속성과 움직임의 연속성에 기여함을 시사한다.

터널 효과나 운동 중첩에 대한 대부분의 선행 연구는 연속 움직임 자극을 다루어 왔으나, 가현운동 자극을 다룬 연구 역시 운동 중첩(kinetic occlusion)에 의해 유도된, 자극의

\* 교신저자: 김성호, 이화여자대학교 심리학과, (120-750) 서울시 서대문구 이화여대길 52  
E-mail: sunghokim@ewha.ac.kr

무형 표상이 움직임의 대응 관계 및 경로 지각에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다(Anstis & Ramachandran, 1985; Blake, Ahlström, & Alais, 1999; Kim, Feldman, & Singh, 2012; Shimojo & Nakayama, 1990; Wertheimer, 1912/1961). 특히, 몇몇 연구들은 프레임 간 대응 관계를 형성할 자극이 제시되지 않을 때조차도, 대상의 가려짐을 암시하는 큰 물체가 주어지면 무형완성된(amodally completed) 자극 표상을 통해 대응 문제가 해결될 수 있음을 보여준다. Anstis와 Ramachandran(1985)은 작은 사각형과 큰 삼각형을 가현운동 자극의 첫 프레임에 제시하고, 두 번째 프레임에서 삼각형을 작은 사각형 자리로 이동시켜 사각형을 대체하도록 하였다. 두 번째 프레임에는 첫 프레임의 사각형과 대응될 자극이 가시적으로 제시되지 않았지만, 사각형이 큰 삼각형 뒤에 가려져 있다고 지각되는 현상을 관찰하였다. Ramachandran, Inada와 Kiama(1986)는 여러 개의 자극들이 가현운동 시퀀스에서 함께 제시될 때 가림막의 효과를 살펴보았다. 여러 자극 중 한 자극은 오직 첫 프레임에서만 제시되었고, 다음 프레임에서는 이에 대응될만한 자극이 제시되지 않았다. 이 때, 이 자극의 가려짐을 시사하는 큰 물체가 함께 주어지면, 한 자극의 깜박임 대신 큰 가림막 물체 뒤로 사라졌다가 나타나는 가현운동이 지각되었다. 이상의 두 연구 결과는 불투명한 가림막 뒤에서 생성된 물체의 무형 표상(amodal representation)이 대응 문제를 해결하여, 자극의 미스테리한 “사라짐”이 가림막(큰 물체) 뒤로 이동하는 “숨겨짐”으로 지각될 수 있음을 시사한다. 한편, 이 연구들에서 단순히 가림막의 존재만으로는 가현운동 시퀀스에서 감춰진 물체의 무형 표상이 유도되지 않았으며, 가림막 물체(Anstis & Ramachandran, 1985)나 다른 배경 물체들(Ramachandran et al., 1986)의 “움직임” 맥락 단서가 요구되었다.

Kim, Seo와 Jung(2016)은 가현운동에서 무형 표상의 효과에 대한 앞선 연구들과 달리, 오직 하나의 물체만 반복적으로 점멸하는 매우 단순한 자극 조건에서도 무형 완성을 통한 가현운동이 유발될 수 있는지를 살펴보았다. 이들은 큰 사각형(가림막)에 접하도록 제자리 점멸 물체를 제시하였고, 다양한 모양의 물체를 사용하여 이미지 중첩 단서인 T-접합을 조작하였다. 즉, 가림막과 경계에서 T-접합이 형성되는 반월과 직사각형, 그리고 T-접합이 생성되지 않는 타원 자극을 사용하였다. 실험 결과, 가림막과 점멸 자극 간 중첩 단서(T-junction)가 주어지고, 자극 개시 간격(stimulus onset asynchrony; SOA)이 길 때, 지각적 연속성이 없는 제자리 깜박임 대신 가림막 뒤로 숨었다가 나타나는 상하 왕복 가현운동이 관찰되었다. 이는 가림막 뒤에 형성된 표적 자극

의 무형 표상이 제자리에서 점멸하는 표적 자극과 짝을 이루어 가현운동의 대응 문제가 해소되었음을 시사한다. 한편, 중첩 단서를 통해 무형 완성이 가장 크게 일어날 수 있는 “반월” 자극 조건에서 950ms SOA일 때 가현운동 지각 비율이 80%에 육박하였으나, T-접합 단서가 제시되는 다른 자극인 “사각형” 조건에서는 53%였다. 또한 가현운동은 깜박임에 비해 그 지각적 강도가 약한 편이었다. 저자들은 이러한 한계를 한 물체의 반복적 점멸이라는 애매한 자극 조건에 따른 자연스러운 지각적 귀결이라고 해석하였다.

Kim 등(2016)의 선행 연구에서 보고된, 한 물체의 제자리 깜박임에서 유도된 가현운동이 실제로 운동 중첩을 매개로 한다면, 추가적인 깊이 단서를 통해 운동 중첩의 지각이 용이해질 때 가현운동 경향성이 증가할 것이다. Kim, Feldman과 Singh(2012)은 U-자형 가림막 뒤로 이동하는 곡선 가현운동이 운동 중첩을 시사하는 양안 깊이 단서에 의해 촉진될 수 있음을 보고한 바 있다. 본 연구는 삼차원 입체시 자극 환경에서 물체 간 중첩에 대한 깊이 단서가 풍부히 제공될 때, 가림막에 인접하여 반복 점멸하는 물체에서 지각되는 가현운동의 경향성이 촉진되는지 알아보았다.

또한 Kim 등(2016)의 선행 연구는 다양한 모양의 표적 자극을 사용하여 운동 중첩 단서인 T-접합을 조작하였기 때문에, 운동 중첩 가능 조건과 불가능 조건 간 자극 모양을 통제하지 못한 한계가 있었다. 본 연구는 단안 단서를 통제하면서 개별 자극에 다른 깊이를 부여할 수 있는 입체시 환경의 이점을 이용하여, 동일한 모양의 표적 물체가 3차원 깊이 이상에서 가림막 뒤에 제시되어 운동 중첩이 가능한 조건과 가림막 앞에 놓여 운동 중첩이 불가능한 조건 간 가현운동 경향성의 차이를 살펴보았다(실험 1).

한편, 선행 연구(Kim et al., 2016)와 본 연구의 실험 1은 가현운동에 대한 참가자들의 주관적인 평정에 의존하기 때문에, 관찰된 효과가 엄밀한 지각적 효과인지, 혹은 인지적 판단이 개입된 결과인지 구별하기 어려웠다. 본 연구의 실험 2에서는 가현운동과 관련된 간접적인 측정치를 통해 실험 1의 가현운동 지각이 실제로 운동 중첩을 매개로 하는지 확인하고자 하였다. 이를 위하여 Chen과 Scholl(2016)의 실험 패러다임을 차용하여, 표적 자극의 점멸 시퀀스 중간에 크기가 약간 작은 표적 자극의 프레임을 삽입한 점진적 크기 변화 조건을 구성하였다. 이 자극과 실험 1의 점멸 가현운동 자극을 제시하고, 참가자들에게 자극 크기의 점진적 변화(gradual change)와 불연속적 변화(sudden change)를 변별하도록 하였다. 만일 운동 중첩 가능 조건에서 표적 물체의 점멸이 상하 움직임으로 지각된다면, 이 조건에서 운동 중첩

불가능 조건보다 “점진적 변화” 반응 비율이 높을 것이라고 예측하였다.

## 실험 1

실험 1은 표적 자극과 가림막 간 3차원 깊이 관계를 조작하여 두 자극 조건을 구성하였고, 이 두 조건에서 제자리 점멸 표적의 상하 가현운동 시각 양상을 비교하였다. 운동 중첩 가능 조건(occluder-in-front)에서는 표적 자극의 밑변과 가림막의 윗변이 형성하는 이미지 중첩 단서(T-접합)와 가림막이 표적 앞에 제시되는 양안 깊이 단서로 인해 “표적이 가림막 뒤로 이동했다”는 지각적 해석이 가능하였다. 반면, 운동 중첩 불가능 조건(target-in-front)에서는 이러한 해석이 불가능하도록 가림막이 깊이상에서 표적 뒤에 배치되었다. 또한, 표적 자극의 밑변과 가림막의 윗변이 접할 경우 두 물체 간 형성되는 T-접합 중첩 단서가 양안시차에 기반한 깊이 단서와 상충되어 깊이지각의 정확도가 감소할 가능성이 있기 때문에, 운동 중첩 불가능 조건(target-in-front)에서는 표적 자극을 약간 아래에 제시하여 가림막의 윗변을 가리도록 하였다.

Kim 등(2016)의 선행 연구에서 보고된, 표적의 제자리 깜박임 시퀀스에서 지각되는 상하 가현운동이 실제 무형 표상을 매개로 한다면, 운동 중첩 가능 조건에서 운동 중첩 불가능 조건보다 가현운동 보고 비율이 높으리라고 예상하였다. 한편, 이 상하 가현운동이 운동 중첩과 무관한, 예컨대 수직 방향으로 긴 가림막 모양에 의해 유발된 현상이라면(예, Shepard & Zare, 1983), 표적 자극이 좀 더 아래에 배치되어 아래 방향으로 이동이 더 용이할 수 있는 운동 중첩 불가능 조건에서 가현운동 보고 비율이 더 높으리라고 예상하였다.

## 방 법

### 참가자

이화여자대학교 인터넷 커뮤니티에서 모집한 학부생 18명이 실험에 참가하였다. 참가자들은 정상 시력 또는 교정 후 정상 시력을 가지고 있었으며, 실험 참가에 대한 대가로 소정의 사례금을 받았다. 본 연구는 이화여자대학교 연구윤리위원회의 승인을 받았으며 모든 참가자는 실험 전에 문서화된 동의서를 읽고 서명하였다.

### 기구

실험은 빛이 차단된 암실에서 IBM 호환 개인용 컴퓨터를 이용하여 진행되었다. 참여자들은 NVIDIA의 3D VISION 2 액정 셔터 안경(LCD shutter glasses; NVIDIA GeForce 3D Vision Kit)을 착용하고, 각 눈에 60Hz로 번갈아서 제시되는 두 개의 이미지를 통하여 3D 입체 자극을 보았다. 실험 절차와 자극 제시는 MATLAB(The Mathworks, Inc., Natick, MA, USA)에서 Psychophysics Toolbox(Brainard, 1997; Pelli, 1997)를 사용하여 제어되었다. 자극은 19인치 CRT 모니터(해상도 1,152 × 864 pixel, 수직 주사율 120Hz)를 통해 제시되었으며, 참가자와 모니터 간 거리는 턱 받침대를 사용하여 60cm로 통제하였다.

### 자극 및 설계

본 실험에 사용된 자극 예시는 Figure 1에 제시되었다. 이미지의 입체시 융합(stereoscopic fusion)을 돕기 위해, 배경에는 검정/흰색의 무작위 점패턴(pixelated random dot pattern)이 제시되었다(모니터의 각 픽셀마다 두 색이 할당될 확률은 동일하였다). 화면 중앙에 “+” 모양의 응시점( $0.42^\circ \times 0.42^\circ$ )이 제시되었고, 그 옆으로 분홍/흰색 무작위 점패턴으로 이뤄진 직사각형( $3.72^\circ \times 5.57^\circ$ ) 가림막이 제시되었다. 이 가림막은 윗변의 중앙이 응시점으로부터 좌 또는 우측으로 약  $3.81^\circ$  떨어진 곳에 위치되었다. 가현운동 표적 자극은 어두운 녹색/밝은 녹색 무작위 점패턴 직사각형( $0.6^\circ \times 0.48^\circ$ )이었다.

표적 자극과 응시점은 언제나 모니터 화면 깊이(양안 시차 0) 상에 제시되었고, 배경 표면은 3차원 깊이상에서 양안 시차 16 픽셀(시야각 28 arcmin)만큼 표적 자극과 응시점 뒤에 제시되었다. 가림막이 표적 자극의 앞 또는 뒤에 놓이는지에 따라 운동 중첩 가능 여부가 결정되었다. 운동 중첩 가능 조건(occluder-in-front)에서는 가림막이 3차원 깊이상에서 양안 시차 10 픽셀(18 arcmin)만큼 표적 자극 앞에 제시되었고, 운동 중첩 불가능 조건(target-in-front)에서는 가림막이 표적 자극보다 양안시차 10 픽셀만큼 뒤에 제시되었다. 운동 중첩 가능 조건에서는 표적 자극의 밑변과 가림막의 윗변이 이미지상에서 접하도록 제시되었고, 운동 중첩 불가능 조건에서는 가능 조건보다 표적 자극을 4 픽셀(7 arcmin)만큼 아래에 제시하여 가림막의 윗변을 약간 가리도록 하였다(Figure 1b 우측).

매 시행에서 표적 자극은 네 번 반복하여 나타났다가 사라졌으며, 표적 제시시간은 200, 350, 500ms, 자극 간 간격(inter-stimulus interval; ISI)은 150, 320, 490, 660ms이었

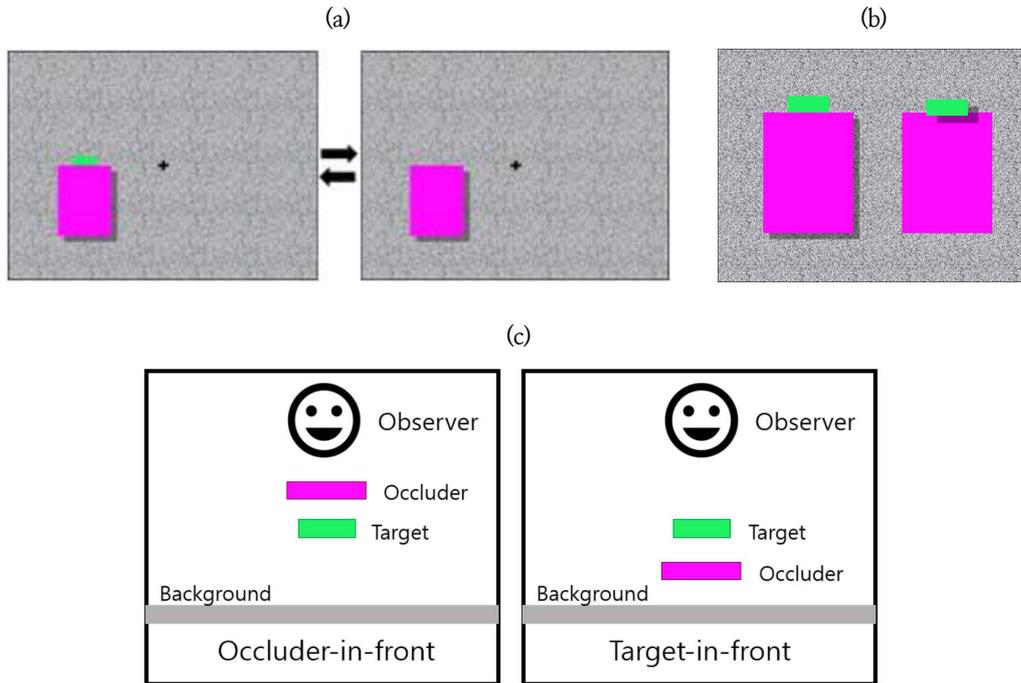


Figure 1. (a) Illustration of a stimulus sequence presented in Experiment 1, (b) Two stimulus depth conditions used in Experiment 1 (left: occluder-in-front, right: target-in-front). Shadows are presented for illustrating stereoscopic surface depths specified by binocular disparities and was not included in the actual stimuli (c) Overhead, bird-eye views of the two surface arrangements with different depth-order assignments, which correspond to the two stimulus depth conditions in Figure 1b.

다(SOA: 350-1160ms). 제자리 점멸 자극 시퀀스를 수직 왕복 가현운동으로 지각하려면, 한 자극이 사라진 ISI 동안 가림막 뒤에서 무형완성된 자극 표상이 생성되어 이전에 제시된 자극과 다음에 제시될 자극을 지각적으로 연결해야만 한다. 따라서 한 자극의 점멸에 “물리적”으로 소요되는 시간인 SOA가, “지각적”으로는 두 자극(가시적으로 제시된 자극과 가림막 뒤에서 무형완성된 자극)의 점멸(또는 한 자극의 1회 왕복 가현운동)에 대응되는 시간이 되도록, 일반적인 가현운동 연구보다 긴 SOA 값들을 사용하였다.

운동 중첩, 표적 제시시간, ISI의 조건들의 조합에 의해 구성된 24개의 자극 시퀀스가 2개의 블록에서 각각 6회(응시점 좌우 위치에 각각 3회)씩 반복 제시되어, 참가자들은 총 288시행(블록 당 144시행)을 수행하였다. 각 블록 내에서 시행 순서는 무선화하였고, 본 실험에 앞서 12회의 연습시행이 제시되었다.

**절차**

실험 전에 참가자들의 입체시 능력을 확인하기 위해 배경과 동일한 검정/흰색 무작위점으로 이뤄진 세 사각형의 깊이를 변별하는 간단한 테스트를 실시하였다. 본 실험에서 참가자는 각 시행의 자극에서 경험한 지각 양상이 “제자리 깜박임”

과 “상하 가현운동” 중 어떤 것에 더 유사한지 평정하였다. 이 평정의 기준을 제공하기 위하여 본 실험 전에, 가림막 없이 표적 자극이 제자리 깜박임을 하거나 상하 가현운동을 하는 예시(기준 자극)를 각각 4회씩 제시하였다. 제자리 깜박임 조건에서는 표적 자극이 반복적으로 한 자리에서만 점멸하였고 가현운동 조건에서는 제자리 깜박임 조건의 자극 위치와 이로부터 1.21°만큼 아래에 표적 자극이 번갈아 제시되었다. 예시 자극들에서의 표적 제시시간은 150ms, ISI는 150, 또는 300ms였고 응시점을 기준으로 왼쪽과 오른쪽 위치에 각각 한 번씩 제시되었다. 이 시간 값들은 선행 연구에서 최적의 가현운동이 지각된다고 알려진 범위 내의 값이었다(Ekroll, Faul, & Golz, 2008). 각 자극 제시 전에 “제자리 깜박임” 또는 “상하 왕복운동”이라는 문구가 화면에 제시되어 다음에 나타날 자극 유형을 미리 알려주었고, 각 자극 시퀀스는 참가자가 키보드의 스페이스 바를 누를 때까지 지속되었다.

본 실험의 절차는 다음과 같았다. 매 시행이 개시되면, 빈 배경 화면 중앙에 응시점이 100ms 동안 제시되었다. 다음으로 가림막 사각형이 추가된 화면이 각 시행에 할당된 ISI 동안 나타나고, 이어서 표적 자극이 가림막 윗변 중앙에 접하여 제자리에서 네 번 반복해서 점멸하는 시퀀스가 제시되었다. 참가자들은 기준 자극에서 경험한 지각 양상을 기준으로

하여 본 시행에서 제시되는 자극 시퀀스를 평가하도록 하였다. 구체적으로, “제자리 깜박임”과 “상하 가현운동” 기준 자극이 각각 숫자 값 0과 5에 대응한다고 할 때, 각 시행에서 경험한 지각 양상을 1(깜박임이 강하게 지각됨), 2(깜박임이 다소 느껴짐), 3(상하 운동이 다소 지각됨), 또는 4(상하 운동이 강하게 지각됨)의 값으로 평정하여, 각각에 대응되는 키보드 키(z, x, n, m)를 누르도록 하였다. 참가자들은 각 블록의 반이 경과한 후, 그리고 블록 종료 후 잠시 쉬는 시간을 가졌고, 모든 절차를 수행하는 데 약 25분이 소요되었다.

## 분석

상하 가현운동에 대한 기대나 요구특성의 영향을 가급적 피하기 위해, 움직임 여부에 대한 범주적 판단 대신 사전제시한 기준 자극과 유사성을 기반으로 지각 양상을 평정하도록 하였다. 그러나 종속 변인으로 이 평정값을 그대로 사용하기에는 다음의 두 문제점이 있었다. 우선 이 평정값에는 지각된 범주와 강도의 두 차원이 함께 반영되어 있으므로, 이 값이 어떤 의미를 지니는지에 대한 해석이 모호할 수 있었다. 또한 1과 2는 좌측 손으로 3과 4는 우측 손으로 반응하도록 하였기 때문에, 참여자들이 평정값들을 연속적인 값이 아닌, 1, 2(깜박임)와 3, 4(움직임)로 구분되는 불연속적인 두 범주로 나누어 반응했을 가능성이 있었다. 따라서 선행 연구(Kim 등, 2016)와 마찬가지로 1과 2의 평정 값은 “제자리 깜박임”, 3과 4는 “상하 가현운동”으로 코딩한 후, 상하 가현운동 반응의 비율을 종속 변인으로 하여 통계 분석을 실시하였다.

## 결과 및 논의

실험 1의 결과는 Figure 2에 제시되었다. 2(가림막 깊이 조건: target-in-front, occluder-in-front) × 4(ISI: 150, 320, 490, 660ms) × 3(표적 제시시간: 200, 350, 500ms)의 반복 측정 분산분석 결과, 가림막 깊이 조건의 주효과가 통계적으로 유의미하였다,  $F(1,17) = 13.306$ ,  $p = .002$ ,  $\eta_p^2 = .439$ . 즉, 참가자들은 운동 중첩 가능 조건( $M = .633$ ,  $SD = .340$ )에서 운동 중첩 불가능 조건( $M = .207$ ,  $SD = .259$ )보다 제자리에서 점멸하는 물체를 더욱 상하 가현운동으로 지각했다.

또한 ISI의 주효과도 유의미하여,  $F(3,51) = 12.724$ ,  $p < .0001$ ,  $\eta_p^2 = .428$ , ISI가 길어질수록 가현운동 지각 경향성이 증가하였다. Bonferroni 사후 검정 결과, ISI에서는 320ms과 490ms간의 차이 그리고 490ms과 660ms 간의 차이를 제외하고는 모든 비교가 통계적으로 유의미했다,  $p < .05$ . 그러나, 표적 제시시간의 주효과는 통계적으로 유의미하지 않았다,  $F(2,34) = 2.592$ ,  $p = .113$ ,  $\eta_p^2 = .132$ . ISI와 표적 제시시간 간의 이원 상호작용은 통계적으로 유의미하였다,  $F(6,102) = 4.591$ ,  $p < .0001$ ,  $\eta_p^2 = .213$ . 즉, 짧은 ISI 조건(150ms, 320ms)에서 표적 제시시간 조건이 가장 길 때(500ms) 다른 표적 제시시간 조건들보다 가현운동 반응이 우세했으나, ISI가 증가할수록 이러한 표적 제시시간의 효과가 감소하였다.

표적 제시시간과 ISI의 합인 SOA에 대한 일원 분산분석 결과 역시 유의미하여,  $F(11,187) = 7.979$ ,  $p < .0001$ ,  $\eta_p^2$

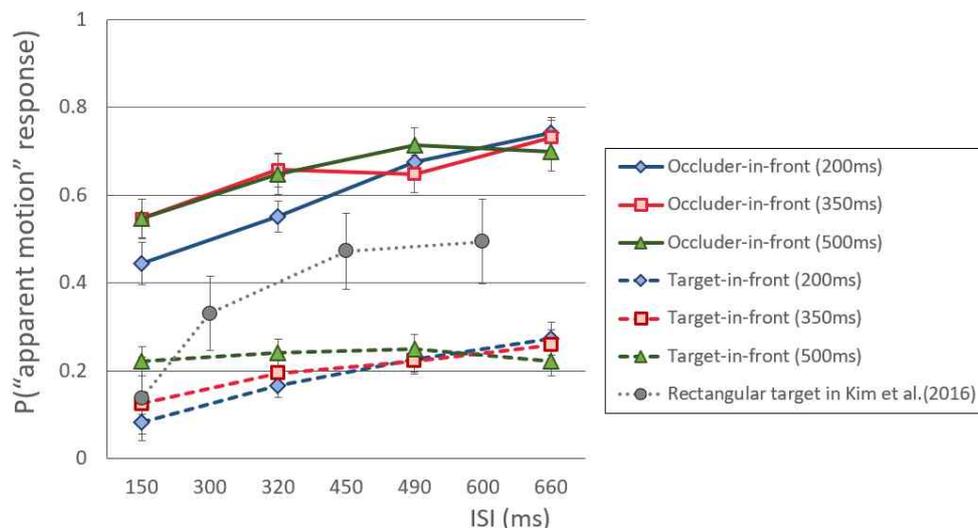


Figure 2. Results of Experiment 1. Proportion of apparent motion responses as a function of ISI, surface depth-order, target duration. The solid lines represent occluder-in-front conditions and the dotted lines represent target-in-front conditions. The blue lines indicate 200ms of target duration and the red lines and the green lines correspond to 350 and 500ms, respectively. The gray dotted line was from the rectangular target condition in Kim et al. (2016) study.

= .319, SOA가 길어질수록 가현운동 지각 비율이 높아졌다. 마지막으로, 가림막 깊이와 시간 관련 변인들 간의 이원 및 삼원 상호작용은 모두 유의미하지 않았다,  $p > .05$ .

실험 1의 결과, 운동 중첩 불가능 조건보다 운동 중첩 가능 조건에서 한 물체의 제자리 점멸이 가현운동으로 지각되는 경향성이 더 높았다. 이는 선행 연구(Kim et al., 2016)와 유사한 결과로, 운동 중첩 가능 조건에서 가림막 뒤에서 형성된 표적 자극의 무형 표상이 가현 운동을 매개하였음을 시사한다. 반면에 운동 중첩 불가능 조건에서는 표적 자극이 깊이상 가림막보다 앞에 위치하여, 가림막 뒤로 이동하였다는 지각적 해석이 불가능하였다. 또한 SOA가 길어질수록 증가한 가현운동 지각 경향성 역시 선행 연구와 일치하는 결과이며, 가림막 뒤에 존재하는 무형 표상의 형성과 이를 통한 가현운동 지각에는 상대적으로 긴 SOA가 필요함을 시사한다.

한편 삼차원 입체시 디스플레이를 사용한 본 연구에서는 선행 연구(Kim et al., 2016)보다 더 높은 가현운동 지각 경향성이 예상되었다. 두 연구 간의 가현운동 평정 비율 비교는 Figure 2에 제시되었다. 선행 연구의 사각형 조건과 본 연구의 운동 중첩 가능 조건 간 독립표본 t-test 결과, 선행 연구( $M = .36, SD = .24$ )와 본 연구( $M = .64, SD = .31$ )의 가현운동 평균 비율의 차이가 통계적으로 유의미했다,  $t(27) = 2.559, p = .016, d = 1.01$ . 두 연구간 가현운동 지각 경향성의 차이는 특히 가장 짧은 SOA(350ms)조건에서 두드러져서, 이 때 가현운동 반응 비율은 선행 연구( $M = 11%$ )보다 본 연구( $M = 44%$ )에서 33% 정도 높았다. 즉, 가림막과 표적 자극 간 중첩에 대한 신뢰로운 깊이 단서가 제공되면, 운동 중첩을 매개로 하는 가현운동이 짧은 SOA에서도 유도될 수 있음을 보여준다.

### 실험 2

실험 1의 결과는 참가자들의 직접적이고 주관적인 평정을 기반으로 하고 있기 때문에, 순수한 지각적 효과임을 보장할 수 없었다. 실험 2에서는 새로운 실험 과제를 사용하여, 가

현운동과 관련될 것으로 기대되는 지각적 반응을 간접적인 측정치(indirect measure)로 측정하였다.

이를 위해 Chen과 Scholl(2016)의 자극 패러다임을 차용하여, 표적 자극의 점멸 시퀀스 중간에 세로 길이가 약간 작은 표적 자극이 제시되는 점진적 변화 조건을 구성하였다. 이 조건에서는 자극이 출현한 후 높이가 증가하고, 다시 줄어든 후 사라지는 일종의 크기변형 가현운동(TAM; transformational apparent motion; Cavanagh & Nakayama, 1998)이 유발되었다. 이 자극과 실험 1의 가현운동 점멸 자극(flickering)을 제시하면서, 참여자들이 자극 크기의 점진적 변화(gradual change)와 불연속적 변화(sudden change)를 변별하도록 하였다. 만일 운동 중첩 가능 조건에서 표적 물체의 점멸이 실제 상하 움직임으로 지각된다면, 이 조건에서 운동 중첩 불가능 조건보다 “점진적 변화” 반응 비율이 높을 것이라고 예측하였다.

## 방 법

### 참가자

실험 1에 참가하지 않은 학부생 18명이 실험 1과 동일한 조건과 방식으로 모집되었다.

### 자극 및 설계

실험 1과 마찬가지로 가림막 사각형은 깊이상에서 표적 앞(운동 중첩 가능)이나 뒤(운동 중첩 불가능)에 제시되었으나, 본 실험에서는 운동 중첩 불가능 조건에서도 표적 자극의 밑변과 가림막의 윗변이 이미지상에서 접하도록 하였다. 각 시행에서 표적 자극이 두 번 반복하여 제시되었고, 표적 제시 시간은 600ms, ISI는 500ms로 고정하였다.

다음과 같이 두 유형의 자극이 사용되었다. 점멸 자극 조건에서는 실험 1과 동일하게 표적 자극이 제자리에서 점멸하였다. TAM 자극 조건에서는 표적 자극 제시시간의 첫 16ms와 마지막 16ms 동안 표적 자극보다 높이가 줄어든 ( $0.6^\circ \times 0.3^\circ$ ) 사각형이 제시되었다(Figure 3).

참가자들은 총 128 시행(2[TAM 자극/점멸 자극] × 2[운

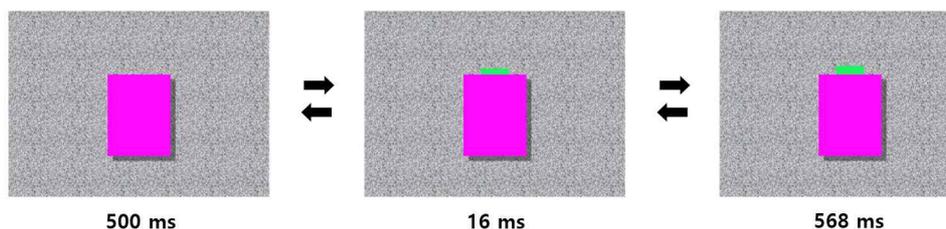


Figure 3. Example of the transformational apparent motion (TAM) display used in Experiment 2.

동 중첩 가능/불가능] × 32[반복])을 수행하였고, 시행 순서는 무선화하였다. 이 밖의 모든 사항들은 실험 1과 동일하였다.

### 절차

참가자들은 깊이지각 테스트 후, 파워포인트로 만든 자극 예시를 사용하여 불연속적 변화와 점진적 변화에 대한 설명을 제공받았다. 본 실험의 절차는 다음과 같았다. 매 시행은 빈 배경 화면 중앙에 응시점이 100ms 동안 제시되는 것으로 시작되었다. 다음으로 가림막 사각형이 추가된 화면이 500ms 동안 나타나고 이어서 표적 자극이 두 번 반복하여 나타났다가 사라졌다. 참가자들은 각 자극 시퀀스가 “불연속적 변화”로 지각되었는지, 혹은 “점진적 변화”로 지각되었는지를 판단하여 각각 키보드 z, 또는 m 키로 반응하였다. 8회의 연습 시행 후 128회의 본 시행이 진행되었고, 참가자들은 본 시행의 반응을 수행한 후 잠시 쉬는 시간을 가졌다. 참가자들이 모든 절차를 수행하는 데 약 15분이 소요되었다.

## 결과 및 논의

실험 2의 결과는 Figure 4에 제시되었다. “점진적 변화” 반응 비율을 종속변인으로 하여 2(가림막 깊이: target-in-front, occluder-in-front) × 2(변화 유형: 점멸 자극 vs. TAM 자극)의 반복측정 분산분석을 실시한 결과, 가림막 깊이의 주효과는 유의미하였다,  $F(1,17) = 10.037$ ,  $p = .006$ ,  $\eta_p^2 = .371$ . 즉, 참가자들은 운동 중첩 불가능 조건( $M = .344$ ,  $SD = .250$ )보다 운동 중첩 가능 조건에서( $M = .481$ ,  $SD = .238$ ) 표적 자극이 점진적으로 변화한다고 지각하는

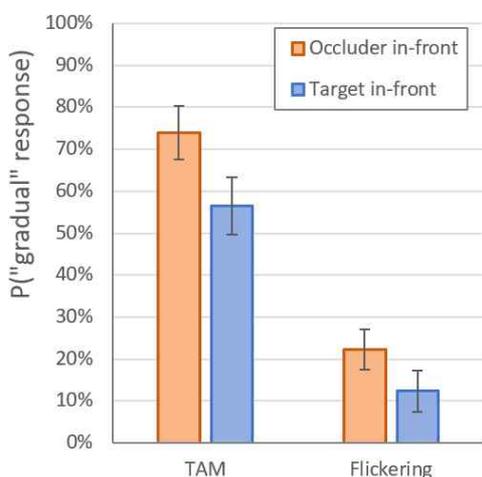


Figure 4. Results of Experiment 2, This graph shows the proportion of gradual change responses as a function of type of change(TAM vs. flickering in place) and surface depth order (occluder in-front vs. target in-front).

경향성이 더 높았다. 자극 변화 유형의 주효과 역시 유의미하였으며,  $F(1,17) = 37.123$ ,  $p < .0001$ ,  $\eta_p^2 = .686$ , TAM 자극에서( $M = .652$ ,  $SD = .281$ ) 점멸 자극보다( $M = .173$ ,  $SD = .207$ ) “점진적 변화” 반응 비율이 높았다. 마지막으로, 가림막 깊이와 변화 유형 간 이원 상호작용은 유의미하지 않았다,  $F(1,17) = 2.296$ ,  $p = .148$ ,  $\eta_p^2 = .119$ .

다음으로, 정확률을 종속변인으로 하는 2(가림막 깊이: target-in-front, occluder-in-front) × 2(변화 유형: 불연속적, 점진적)의 반복측정 분산분석 결과, 가림막 깊이의 주효과는 유의미하지 않았다,  $F(1,17) = 2.271$ ,  $p = .15$ ,  $\eta_p^2 = .118$ . 반면, 자극 변화 유형의 주효과는 유의미하여,  $F(1,17) = 6.229$ ,  $p < .023$ ,  $\eta_p^2 = .268$ , 점멸 자극에서( $M = .173$ ,  $SD = .207$ ) TAM 자극보다( $M = .652$ ,  $SD = .281$ ) 반응 정확률이 높았다. 마지막으로, 가림막 깊이와 변화 유형 간 유의미한 이원 상호작용이 확인되었다,  $F(1,17) = 9.936$ ,  $p = .006$ ,  $\eta_p^2 = .369$ . 즉, TAM 자극에서는 가림막이 표적 앞에 놓일 때 정확률이 높았으나, 점멸 자극에서는 표적이 가림막 앞에 놓일 때 정확률이 높았다.

실험 2 결과 운동 중첩 가능 조건에서 운동 중첩 불가능 조건보다 “점진적 변화” 응답 비율이 더욱 높았으며, 특히 이러한 경향성은 TAM 자극에서 더 두드러졌다. 이 결과는 제자리 점멸 물체에서 상하 가현운동을 보고한 실험 1의 결과가 운동 중첩을 매개로 하는 현상임을 간접적으로 시사한다.

## 종합논의

본 연구는 삼차원 입체시 디스플레이에서 한 위치에서 반복 점멸하는 자극이 정지된 큰 물체에 인접하여 제시될 때 가현운동이 지각될 수 있는지를 알아보았다. 제자리 점멸 물체에서 가현운동을 보고한 선행 연구(Kim et al., 2016)는 표적 자극의 모양을 조작하여 운동 중첩 가능 조건과 통제 조건을 구성하였기 때문에, 조건 간 자극 모양을 통제하지 못한 한계점이 있었다. 본 연구는 단안 단서를 통제하면서 개별 자극에 다른 깊이를 부여할 수 있는 입체시 환경의 이점을 이용하여, 동일 모양의 표적 물체가 3차원 깊이상에서 가림막 뒤에 제시되는 운동 중첩 가능 조건과 가림막 앞에 놓이는 운동 중첩 불가능 조건 간 가현운동 경향성의 차이를 살펴보았다. 실험 1 결과, 운동 중첩 불가능 조건보다 운동 중첩 가능 조건에서 자극의 제자리 점멸을 가현운동으로 지각하는 경향성이 우세하게 관찰되었으며, 이는 운동 중첩 지각을 매개하여 제자리 점멸이 상하 움직임으로 지각될 수 있음을 시

사한다. 또한 동일한 모양의 자극을 사용한 선행 연구의 사각형 조건과 실험 1을 비교한 결과, 본 연구의 가현운동 지각 비율이 유의미하게 높았다. 즉, 입체시 환경에서 제공되는 양안 깊이 단서로 인해 표적 자극이 가림막 뒤에서 무형 표상을 쉽게 형성할 수 있을 때, 제자리 점멸하는 물체에서 가현운동을 지각하는 경향성이 높아졌다.

실험 1은 또한 선행 연구와 마찬가지로 SOA 변인이 무형 표상에 기반한 가현운동을 지각하는데 중요한 요인임을 확인하였다. 이 결과는 긴 SOA 조건에서 상위 수준 변인에 기반한 가현운동을 관찰한 선행 연구(Kim et al., 2012; Mcbeath & Shepard, 1989; Ramachandran et al., 1986; Shiffrar & Freyd, 1990)의 연장선상에서, 가려진 물체 표상에 기반한 가현운동 지각에는 긴 SOA가 요구됨을 보여준다. 즉, 서로 다른 두 위치에 두 물체가 번갈아 제시되는 일반적인 가현운동 자극과 달리, 제자리 점멸 물체에서 가현운동을 지각하기 위해서는 가림막 뒤의 무형 표상과 대응되어야 하므로, 물체가 제시되었다가 사라지는 기간이 충분히 길 때 자극의 미스터리한 소멸(going out of existence) 대신 운동 중첩에 의한 가려짐(going out of appearance)이라는 해석이 지각적으로 더 선호될 수 있음을 시사한다.

실험 1의 가현운동 반응이 실제 운동 중첩을 매개로 하는 지각적 현상인지 확인하기 위해, 실험 2에서는 가현운동과 관련될 것으로 기대되는 간접적 지표를 측정하였다. 자극의 크기 변화가 수반되는 TAM 자극을 제자리 점멸 자극과 함께 사용하여 점진적 크기 변화와 불연속적 변화를 변별하도록 하였을 때, 참가자들은 운동 중첩 불가능 조건보다 가능 조건에서 “점진적 변화”로 지각하는 경향성이 높았다. 이는 점멸 조건과 TAM 조건 모두에서, 가림막 뒤에서 생성되는 무형 표상이 움직임 표상의 강도를 증폭시켰음을 시사한다. 실제로 선행 연구들(Kim et al, 2012; Scherzer & Ekroll, 2009)은 가림막의 존재가 가현운동 자극 시퀀스에서 움직임이 더 부드럽고 매끄럽게 지각되도록 기여함을 확인하였다. 본 실험 결과는 보이지 않는 무형 표상이 TAM 조건에서는 점진적인 크기 변화를 더 부드럽게 연속적인 움직임으로 지각하도록 기여하고, 한 물체의 제자리 점멸 자극에서도 상하 움직임을 유발할 수 있음을 보여준다. 한편, 점멸 조건과 TAM 조건 모두에서 가림막이 표적 자극 앞에 놓일 때 “점진적 변화” 반응이 높았던 결과는 단순히 가림막이 앞에 제시되면 연속적 변화로 반응하려는 반응 편중의 영향으로도 설명될 수 있으므로, 여전히 인지적 영향을 배제할 수 없다는 한계점이 있다. 본 연구의 결과가 실제 지각적 효과를 반영하는지 규명하기 위해서는 다른 간접 측정치를 사용한 후

속 연구가 추가적으로 요구된다.

마지막으로, 본 연구의 자극 설계상 가현운동에 미치는 단안 단서와 양안 단서의 효과를 분리하는 것은 불가능하므로, 본 연구의 결과를 Kim 등(2016)의 선행 연구에서 확인한 단안 자극 기반 결과와 차별화 짓기에는 제한점이 따른다. 그러나, 본 연구는 제자리 점멸 물체의 가현운동에 기여하는 양안 단서와 단안 단서의 상대적 효과를 확인하기 위한 기획이 아니었다. 본 연구는 3차원 입체 자극을 통해 물체 간 중첩에 대한 깊이 단서가 풍부히 제공될 때 선행연구에서 관찰된 가현운동의 경향성이 향상될 수 있음을 확인하였고, 간접적 측정치를 통해 운동 중첩 기반의 가현운동이 지각적 현상임을 시사하는 결과를 얻었다는 점에서 의의가 있다.

이상에서 본 연구는 한 물체가 제자리에서 반복 점멸하는 매우 단순한 자극 시퀀스에서도 가현운동이 지각될 수 있는지 알아보았다. 운동 중첩을 유발할 수 있는 가림막 물체가 표적 자극과 인접하여 제시되고, 양안 부등 단서 조작을 통해 가림막이 깊이상에서 표적 자극 앞에 배치될 때, 제자리 점멸하는 자극에서 가현운동이 지각될 수 있었다. 이 결과는 서로 다른 위치에 제시되는 둘 이상의 자극이 가현운동의 필요조건이 아닐 수 있음을 시사한다.

가현운동과 운동 중첩에 기반한 터널 효과는 모두 시공간 상적인 감각 정보의 공백을 지각적으로 보충하여 물체의 영속성과 움직임의 연속성을 경험하는 현상이다(Scholl & Flombaum, 2010). 본 연구는 무형 표상과의 대응관계를 기반으로 경험되는 가현운동을 다루어, 이 두 지각적 현상이 통합적으로 운동 표상의 형성에 기여할 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 자극 표면 간 깊이 관계나 자극 제시 시간과 같은 시공간적인 단서가 가림막 뒤로 가려진 대상의 존재를 시사할 때, 대상의 무형 표상이 가현운동의 대응 문제 해결에 기여하여 한 자극의 반복적 점멸 시퀀스가 드러남과 가려짐(coming into/going out of sight)의 연속적 물체 움직임으로 지각될 수 있음을 보여준다.

## References

- Anstis, S. M., & Ramachandran, V. S. (1985). Kinetic occlusion by apparent movement. *Perception, 14*, 145-149.
- Blake, R., Ahlström, U., & Alais, D. (1999). Perceptual priming to invisible motion. *Psychological Science, 10*, 145-150.
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision, 10*, 433-436.
- Burke, L. (1952). On the tunnel effect. *Quarterly Journal of*

- Experimental Psychology*, 4, 121-138.
- Chen, Y. C., & Scholl, B. J. (2016). The perception of history: Seeing causal history in static shapes induces illusory motion perception. *Psychological Science*, 27, 923-930.
- 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, 569-603.
- Ekroll, V., Faul, F., & Golz, J. (2008). Classification of apparent motion percepts based on temporal factors. *Journal of Vision*, 8, 31-31.
- Green, M. (1986). What determines correspondence strength in apparent motion?. *Vision Research*, 26, 599-607.
- Kim, S.-H., Feldman, J., & Singh, M. (2012). Curved apparent motion induced by amodal completion. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74, 350-364.
- Kim, S.-H., Seo, J., & Jung, Y.-E. (2016). Apparent motion induced by an object flashing on and off in place. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 28, 381-388.
- McIntire, J. P., Havig, P. R., & Geiselman, E. E. (2014). Stereoscopic 3D displays and human performance: A comprehensive review. *Displays*, 35, 18-26.
- Michotte, A., Thinès, G., & Crabbé, G. (1964/1991). Amodal completion of perceptual structures. In G. Thinès, A. Costall, & G. Butterworth (Eds.), *Michotte's experimental phenomenology of perception* (pp. 140-167). Hillsdale: Erlbaum. Original work published 1964.
- Oh, S. (2011). The Contribution of the Methodological Paradigm of Apparent Motion to the Understanding of Motion Perception. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 23, 1-44.
- Ono, F., & Kitazawa, S. (2009). The effect of marker size on the perception of an empty interval. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16, 182-189.
- Ono, F., & Kitazawa, S. (2010). The effect of perceived motion-in-depth on time perception. *Cognition*, 115, 140-146.
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10, 437-442.
- Ramachandran, V. S., Inada, V., & Kiama, G. (1986). Perception of illusory occlusion in apparent motion. *Vision Research*, 26, 1741-1749.
- Ryu, K. J., Kham, K., & Chung, C.-S. (2004). Spatiotemporal properties of "filling-in" process in apparent motion. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 16, 1-21.
- Scherzer, T. R., & Ekroll, V. (2009). Intermittent occlusion enhances the smoothness of sampled motion. *Journal of Vision*, 9, 1-18.
- Shepard, R. N., & Zare, S. L. (1983). Path-guided apparent motion. *Science*, 220, 632-634.
- Shimojo, S., & Nakayama, K. (1990). Amodal representation of occluded surfaces: role of invisible stimuli in apparent motion correspondence. *Perception*, 19, 285-299.
- 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. 249-266). Cambridge, MA: MIT Press.
- Wertheimer, M. (1912/1961). Experimental studies on the seeing of motion. In T. Shipley (Ed.), *Classics in Psychology* (pp. 1032-1088). New York: Philosophical Library (Original work published 1912).
- Yantis, S. (1995). Perceived continuity of occluded visual objects. *Psychological Science*, 6, 182-186.
- Yantis, S., & Nakama, T. (1998). Visual interactions in the path of apparent motion. *Nature Neuroscience*, 1, 508-512.

# 제자리 점멸하는 물체에서 지각된 가현운동: 입체시 자극 연구

이예진<sup>1</sup>, 김성호<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>이화여자대학교 심리학과

본 연구는 한 위치에서 반복 점멸하는 자극이 정지된 큰 물체에 인접하여 제시될 때, 운동 중첩을 매개로 가현운동이 지각될 수 있는지를 알아보았다. 실험 1에서는 운동 중첩의 지각 가능성을 조작하기 위해, 양안부등 단서를 변화시켜 점멸자극을 삼차원 깊이상에서 가림막 뒤(운동 중첩 가능 조건), 혹은 앞(운동 중첩 불가능 조건)에 제시하였다. 실험 1 결과, 점멸 자극이 가림막 앞에 제시될 때보다 뒤에 제시될 때 가현운동 지각 비율이 높았다. 실험 1에서 관찰한 가현운동 지각 경향성이 실제로 운동 중첩을 매개로 하는지를 확인하기 위해, 실험 2에서는 가현운동과 관련된 간접적 지표를 측정하였다. 점진적 크기 변화 자극과 불연속 점멸 자극을 제시하고, 참가자들에게 자극의 크기 변화가 “점진적”, 혹은 “불연속적”으로 지각되었는지 판단하도록 하였다. 실험 2 결과 자극이 가림막 뒤에 제시되는 운동 중첩 가능 조건에서 가림막 앞에 제시되는 조건보다 “점진적”이라고 응답한 비율이 높았다. 본 연구의 결과는 가림막 뒤에서 지각된 물체의 무형 표상이 가현운동의 대응 문제 해결에 이용되면, 한 물체의 제자리 점멸 시퀀스가 가현운동으로 지각될 수 있음을 시사한다.

**주제어:** 가현운동, 운동 중첩, 대응 문제, 무형 완성