

역 위상 깜박임 영역 순응에 의해 유도된 인접 영역의 3차원 운동잔여효과*

3D motion aftereffect in a static region after adaptation to an adjacent counterphase flickering region

김정훈** 남증호*** 정찬섭****
(Jeounghoon Kim) (Jong-Ho Nam) (Chan-Sup Chung)

요약 Murakami와 Cavanagh(1998a,b, 1999)가 보고한 무선 운동 영역 순응에 따른 정지된 인접 영역의 흔들림(jittering) 착시현상을 새로운 자극구성으로 검증하였다. 이 현상에 대한 설명으로 이 연구자들이 제안한 순응에 따른 안구운동 보상기계의 약화를 최소화하는 역 위상 깜박임(counterphase flickering)에의 순응과 코사인 패턴을 사용하였을 때에도 정지된 인접 영역에서의 착시현상이 경험되었다. 그러나, 이 자극 상황에서 관찰된 착시현상은 평면상의 흔들림이 아니라 정지된 인접 영역이 관찰자에서 멀어지는 것으로 지각되는 3차원상의 운동잔여효과(3D motion aftereffect)이었다. 본 연구에서 우리는 이 새로운 현상이 깜박임 영역의 휘도대비감소(contrast reduction)가 정지된 인접 영역과의 지각된 깊이 차이를 유발시키고 깜박임 영역이 정지하였을 때 원래의 깊이로 복원하는 과정에서 정지된 인접 영역이 상대적으로 멀어지며 움직이는 것으로 지각되는 것에 기인했을 가능성을 조사하였다. 깊이 단서를 제거하거나, 휘도대비감소를 최소화하는 고 공간주파수 코사인 패턴을 사용한 실험의 결과 관찰된 운동잔여효과의 소멸은 이 가능성을 강력히 지지하여 주었다.

주제어 운동, 운동잔여효과, 깊이, 무선 점, 코사인, 휘도대비, 휘도대비변조(CM) 패턴

Abstract Murakami and Cavanagh (1998a,b, 1999) reported a jitter aftereffect in a static random noise after a period of adaptation to a patch of dynamic random noise. To account for this phenomenon, they proposed the retinal slip caused by a small eye movements in the unadapted area, which is usually compensated by the visual system to stabilize images but is unsuppressed due to the adaptation. We tested this hypothesis with new experimental method and stimuli that were supposed to nullify or reduce the effect. However, the aftereffect was still observed even under these stimuli conditions. More importantly, the perceived aftereffect was rather different from Murakami and Cavanagh's. After adaptation to a counterphase flickering cosine grating, the adjacent unadapted region seems to move away from the observer during the test period instead of jittering in the frontoparallel plane. We proposed a possible explanation for this new phenomenon noting the severe contrast reduction of the adapted region during flickering period. The aftereffect might be due to the flicker-inducing contrast reduction during adaptation that produces different depth planes for the adapted and unadapted region and its restoration during the test period.

Keywords motion, motion aftereffect, depth, random dot, cosine grating, contrast, contrast-modulated pattern

* 이 연구는 과학기술부 뇌과학 연구비에 의해 수행되었다.

** 세종대학교

*** 가톨릭대학교

**** 연세대학교

1. 연구배경

Murakami와 Cavanagh(1998a,b, 1999)는 무선(random) 운동을 하는 잡영(noise)영역에 일정 시간 동안 시각 순응(visual adaptation)을 한 후, 이 무선 잡영을 정지시키면 원래 정지되어 움직이지 않던 인접 영역의 잡영 점들이 얼마동안 일관되게 무특정 방향으로 "jittering"(흔들림) 하는 것으로 지각됨을 보고하였다. 이 연구자들은 이 흔들림 착시현상을 안구 운동과 관련하여 설명하였다. 우리의 시각체계는 안구가 쉽 없는 떨림 운동을 갖게 하여 어느 한 대상을 오랫동안 응시하더라도 신경흥분을 유지시켜 순응현상이 일어나는 것을 방지하고 있다 (Yarbus, 1967). 시각체계는 이러한 기제와 더불어 일상적으로 안구 움직임에 의해 야기되는 망막 상의 영상위치 흔들림을 방지하는 기제를 가지고 있는데, 잡영 점들의 움직임에 순응하는 동안 이 기제의 흔들림 보상능력이 현저히 떨어진다는 것이다. 이의 결과로 인접한 영역의 잡영 점들이 비록 움직이지 않는데도 불구하고 시각체계가 안구운동에 따른 영상 흔들림을 보상하지 못해 마치 이 점들이 흔들리는 것으로 지각된다는 것이다 (retinal slip).

연구의 초기에 우리는 이 현상의 반복검증과 아울러, 이 현상의 설명으로 제안된 안구운동에 따른 영상 흔들림 보상의 실패라는 위 연구자들의 가설을 검증하고자 했다. 이의 일환으로, 안구운동에 따른 영상의 흔들림이 시각 자극패턴의 지각에 큰 영향을 미치지 않는 코사인 패턴(cosine grating pattern)을 사용하고, 또 잡영의 무선 운동 대신 역 위상 깜박임(counterphase flickering)을 사용하여 이 현상이 여전히 관찰되는지를 조사하였다. 우리의 기대는 이와 같은 자극의 조작으로 Murakami와 Cavanagh가 보고한 현상을 더 이상 관찰할 수 없으리라는 것이었다. 결과는 예상했던 것과는 달리 잔상효과가 여전히 경험되었는데, 보다 중요한 관찰은 그 현상이 앞선 연구자들이 보고한 것과는 사뭇 달랐다는 점이다. 순응 기간동안 깜박였던 영역의 자극이 정지하자, 인접한 정지된 영역의 자극들이 마치 중심에서 주변으로 파도처럼 관찰자로부터 멀어지는 3차원 운동착시를 생성하는 것이었다.

우리는 이 새로운 현상을 편의상 3차원 운동잔여효과로 규정하고 이의 원인을 체계적으로 규명하고자 했다. 한가지 가능한 가설로 제안되는 것은 깜박이는 자극의 휘도대비는 자극의 물리적 휘도대비에서 이탈

되어 지각된다는 MacLeod와 He(1993)의 실험관찰에 근거한 것이다. 이 연구자들은 이 변형 휘도대비 지각을 시각체계의 비선형적 처리과정의 한 결과로 설명하는데, 우리의 관심은 이 비선형적 처리과정 자체에 있지 않고 깜박임의 결과로 나타나는 자극 휘도대비의 지각적 감소에 있다. 즉, 깜박이는 자극에 순응하는 동안 이 영역의 휘도대비가 감소된다면, 결과적으로 주변의 인접한 영역과의 휘도대비 차이를 생성할 것이고(물리적으로는 동일한 휘도대비로 구성되어어도), 이는 두 영역에 있는 자극들이 서로 다른 깊이에 위치하고 있는 것처럼 보이게 할 것이다 (깊이지각에 있어 회화적 단서의 일종, Kaufman, 1979). 검사기간이 되면, 즉 깜박임이 멈추면, 휘도대비 감소로 인하여 멀리 있는 것으로 지각되던 순응 영역의 휘도대비가 원래의 값으로 회복되며 이 과정에서 상대적으로 가까이에 있는 것으로 지각되던 비순응 영역이 관찰자로부터 멀어져 가는 것으로 착시를 일으키는데 이로 인해 삼차원 운동잔여효과가 관찰되는 것이 아닐까?

본 연구는 역 위상 깜박임에 의해 유도된 정지된 인접영역의 운동잔여효과가 휘도대비 감소와 회복에 따른 깊이 지각의 착시 결과에 기인했을 가능성을 검증하고자 계획되었다.

2. 실험

실험 1 : 역 위상 깜박임 영역 순응에 의해 유도된 인접 영역의 3차원 운동잔여효과

본 실험에서는 다음의 세 종류자극, 즉 무선 점 패턴(random dot pattern), 코사인 패턴(cosine grating pattern), 휘도대비변조 패턴(contrast modulated grating pattern: CM)을 사용하여 선행 예비실험에서 관찰된 역 위상 깜박임 영역 순응의 결과 유도된 정지되어 있던 인접 영역에서의 3차원 운동잔여효과가 다양한 자극에 걸쳐 일관되게 관찰되는지를 조사하였다. 역 위상 깜박임 코사인 패턴과 CM 패턴은 다음의 식으로 기술될 수 있다. 식에서 C는 휘도대비, F는 깜박임 주파수에 따른 부호 변화를 나타낸다. CM패턴의 경우 ω_M 은 휘도대비변조 공간주파수, ω_C 는 carrier 공간주파수를 표시한다.

$$\text{COS} = L[1 + CF\cos(2\pi\omega x)] \quad (1)$$

$$\text{CM} = L\left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2}F\cos(2\pi\omega_M x)\right]\cos(2\pi\omega_C x) \quad (2)$$

코사인 패턴을 사용한 이유는 시각체계에서 다중 공간주파수채널의 존재를 밝힌 선행 연구들에 근거하여 (예, Wilson & Gelb, 1984), 운동잔여효과가 무선 점 패턴과는 달리 특정 공간주파수 정보만을 함유한 패턴에서도 관찰되는지를 알아보기 위함이었다. CM패턴은 특정 공간에서 시간에 따른 휘도의 변화는 없고 휘도대비만이 변조되는 패턴인데, 간단한 삼각함수 법칙을 사용해 식(2)를 전개한 다음의 기술에서 알 수 있듯이, 역 위상으로 감박거리 주파수 대역의 정보(ω_M)는 Fourier energy spectrum상에서 관찰되지 않는다 (Kim & Wilson, 1996).

$$L[\frac{1}{2} \cos(2\pi\omega_c x) + \frac{1}{4} F \cos(2\pi[\omega_c + \omega_M]x) + \frac{1}{4} F \cos(2\pi[\omega_c - \omega_M]x)] \quad (3)$$

이런 이유로 CM패턴을 non-Fourier패턴으로 간주하는데, 이 CM패턴에서의 운동잔여효과 여부가 관심 있는 까닭은 크게 두 가지이다. 먼저, 여러 선행 시각 연구들은 주변시(peripheral visual field)에 제시되는 non-Fourier운동에 대한 시각체계의 민감도가 떨어지기 때문에 거의 운동을 지각하지 못한다는 결과들을 보고하였는데 (Pantle & Turano, 1986; Chubb & Sperling, 1989; Pantle, 1992), non-Fourier 역 위상 감박임에도 같은 저민감도를 보이는지를 조사하기 위함이다. 만약 주변시의 non-Fourier 역 위상 감박임에도 시각체계의 민감도가 떨어진다면, 운동잔여효과는 관찰되지 않을 것이다. 또한, non-Fourier운동과 관련하여 시각 연구들은 이 운동에의 순응효과(adaptation effect)는 관찰되지만, 잔여효과(motion aftereffect)는 관찰되지 않음을 보고하고 있는데 (Turano, 1991), 본 실험에서는 non-Fourier 역 위상 감박임에의 순응이 인접 영역에의 잔여효과로 이어지는지를 조사할 수 있는 것이다.

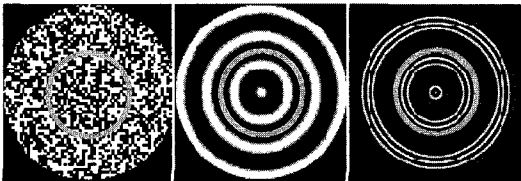


그림 1. 실험 1에 사용된 무선 점, 코사인, CM패턴 (자극의 설명은 본문에)

방법 : 정신물리학 실험의 경험이 있는 저자중의 한 명(JHN)과, 정신물리학 실험의 경험이 없는 다른 한 명(YSP)이 본 실험에 참여하였다. 실험은 암실에서 진행되었다. 실험의 전 과정은 MacIntosh LC를 사용하여 통제가 되었으며, 자극은 MacIntosh 12" Monochrome Display상에 제시되었다. 자극의 크기는 1m 응시거리에서 7.6도였고, 무선 점 패턴은 평방 2 pixel로 흑백이 무선적으로 변화였고, 코사인 패턴의 공간주파수는 1 c/deg, CM패턴은 9 c/deg carrier 공간주파수에 1 c/deg 휘도대비변조 공간주파수를 합성한 것이었다. 실험의 절차는 다음과 같았다. 실험 참가자는 경고음이 울리면 화면에 제시된 초점을 1m의 거리에서 응시하였다. 키보드의 키를 누르면, 그림 1에 예시된 바와 같은 세 패턴 중 한 자극이 제시되고, 자극의 중앙에 이해를 돕기 위하여 회색의 원으로 구분 지은 부위를 경계로 각기 다른 시행에서 중심 혹은 주변영역이 22 Hz로 감박임을 하였다 (실험에서 이 회색 원은 사용되지 않고 감박임 영역과 정지된 영역으로 구분될 뿐임). 30초간의 감박임 순응이 끝나면, 중심과 주변의 영역은 모두 정지된 채로 참가자의 반응이 있을 때까지 제시되었다. 참가자는 정지된 화면에서 경험되는 잔여효과(aftereffect)가 없어지게 되면 키를 누르도록 하여 잔여효과의 지속시간을 측정하였다. 참가자들은 본 실험에 앞선 약 2회 정도의 예비시행에서 감박임 순응 후 정지 패턴에서의 운동잔여효과를 파악한 바 있다. 각 참가자는 본 시행을 2번 혹은 3번 반복하였다. 설명된 방법은 다른 실험에도 공통적으로 적용된다.

결과 : 실험의 결과는 그림 2에 감박거리던 중심영역과 주변영역을 구분하여 각기 정지된 영역에서 관찰된 잔여효과 지속시간을 요약하여 제시하였다. 두 참가자 모두 감박거리던 중심영역일 때와 주변영역일 때에 관계 없이 무선 점 패턴과 코사인 패턴에서 4-8 초 정도의 잔여효과를 보였는데, 이는 Murakami와 Cavanagh(1998a)의 실험에서 관찰된 잔여효과 지속시간과 유사하다. 전 주파수대역의 정보를 함유한 무선 점 패턴 뿐 아니라, 특정 주파수정보만을 함유한 코사인 패턴에서도 잔여효과가 관찰된 것은 시각체계의 초기 정보처리가 독립적 다중 공간주파수 채널에 의해 이루어짐을 고려할 때 (De Valois, Albrecht & Thorell, 1982; Wilson & Gelb, 1984), 이 효과가 초기 시각정보처리의 결과에 기인한 것임을 시사한다. CM패턴에서의 잔여효과는 다른 두 패턴에서 관

찰된 것보다는 작았다 (약 2초의 잔여효과 지속시간). 그러나 이 관찰은 non-Fourier정보에의 순응효과가 주변시에서도 일어나고 (주변 깜박임 조건), 그 결과 인접영역에 영향을 미침을 시사하는 것이다.

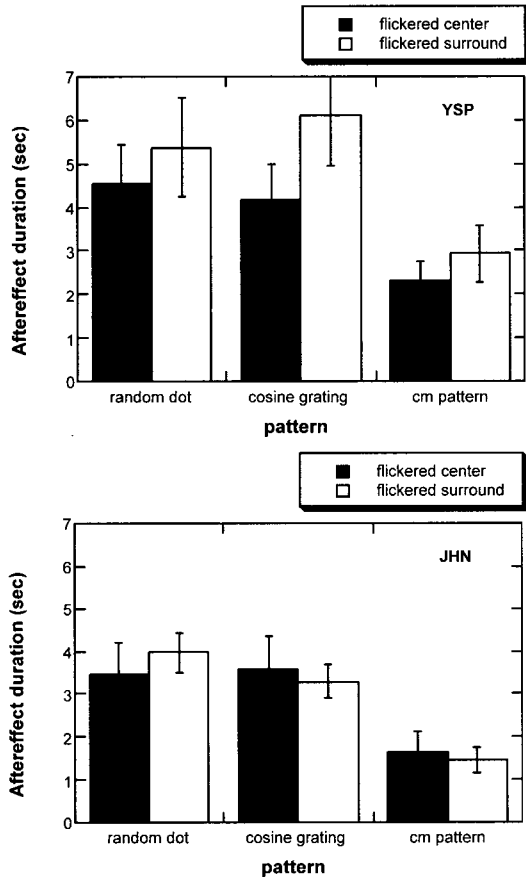


그림 2. 세 종류의 자극패턴에서 관찰된 운동잔여효과 지속시간

그런데, 본 실험에서 관찰된 잔여효과는 앞의 연구 배경 절에서 설명한 바와 같이 Murakami와 Cavanagh (1998a,b, 1999)가 보고한 것과는 사뭇 다른 양상을 보여주었다. 즉, 그들의 잔여효과는 정지된 영역의 평면적 흔들림(jittering in fronto-parallel plane)인데 반하여, 본 실험에서 관찰된 잔여효과는 정지되어 있던 비순응 영역의 3차원적 운동 착시(motion illusion in depth plane)였다. 깜박거리던 순응 영역이 정지하는 순간, 마치 파도가 퍼져 나가듯, 순응 영역과 인접해 있는 비순응 영역 부위부터 관찰자로부터 멀어져 가는 현상을 생성하였다.

본 연구자들은 이 현상이 Murakami와 Cavanagh (1998a,b, 1999)의 순응에 따른 안구운동 보상기제 약화의 결과이기보다는, 순응기간 동안 관찰되는 깜박거리 영역의 휘도대비 감소(McLeod & He, 1993; Boden & Giaschi, 1999)가 정지되어 있던 비순응 영역과의 지각된 깊이 차이를 유발하고 (깜박임 영역이 멀리 있는 것으로 보임), 깜박임 정지에 따른 순응 영역의 지각된 깊이 회복(먼 곳에서 가까운 곳으로)이 상대적으로 비순응 영역이 먼 곳으로 움직이는 것과 같은 착시를 유발하는 것으로 가정하였다. 역위상 깜박임 영역 순응에 의해 유도된 인접 영역의 3차원 운동잔여효과에 대한 위 가정을 검증하기 위하여 다음의 실험들이 수행되었다.

실험 2 : 깜박임 순응 후 깜박임 영역을 평균휘도 회색 영역으로 대체하였을 때의 운동잔여효과

본 실험은 실험 1에서 관찰된 3차원 운동잔여효과가 깜박임 영역과 정지된 영역간의 지각된 깊이 차이에 기인했을 가능성을 검증하기 위하여 고안되었다. 즉, 앞의 결과가 깜박임 영역의 휘도대비 감소(McLeod & He, 1993; Boden & Giaschi, 1999)가 제공한 깊이 단서 때문에 관찰된 것이라면, 만약 깜박임 순응 후 깜박임 영역을 평균휘도(mean luminance) 회색 영역으로 대체하여 비 순응 영역과의 지각된 상대적 깊이를 없앴을 때의 운동잔여효과가 어떻게 변화하는지를 조사할 필요가 있다.

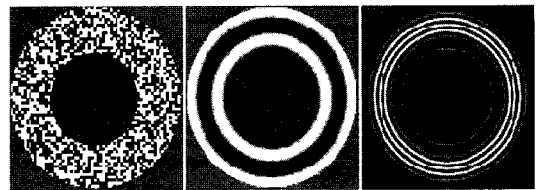


그림 3. 검사기간 동안 깜박임 영역이 평균 휘도대비 회색 영역으로 대체된 패턴의 예

방법 : 실험 1과 같지만, 이 실험에서는 역 위상 깜박임 했던 영역이 깜박임이 끝났을 때 평균 휘도를 가진 회색영역으로 대체되었다. 즉 그림 1에 예시된 자극들이 30초 순응 기간 동안 제시된 후 (중심 혹은 주변 영역이 깜박임), 그림 3에 예시된 정지된 자극이 제시되었다 (그림 3는 순응 기간 동안 중심 영역이 깜박이었을 때, 이 영역이 회색 영역으로 대체된 예임).

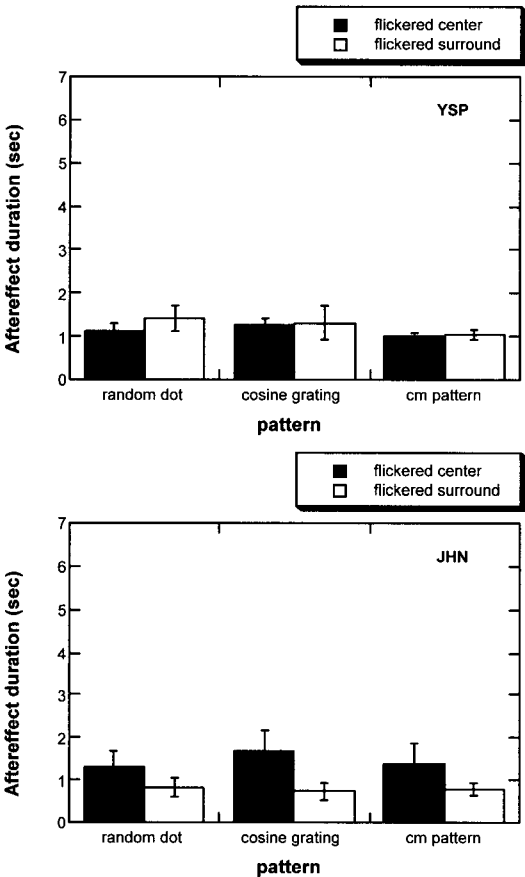


그림 4. 실험2에서 관찰된 운동잔여효과 지속시간

결과 : 실험의 결과는 그림 4에 요약 정리되어 있다. 두 참가자가 보인 3차원 운동잔여효과 지속시간은 세 자극 패턴 모두에서 1초 정도로, 무신 점과 코사인 패턴에서는 실험 1과 대조적으로 현저하게 감소되었다. 이 결과는 실험 1에서 관찰된 운동잔여효과가 깜박임 영역과 정지된 영역간의 지각된 깊이 차이의 결과로 유발되었을 가능성을 강력히 시사하는 것이다. 즉, 순응 기간 동안의 깜박임 영역이 검사 기간 동안 사라짐으로 해서 더 이상 정지되어 있던 비순응 영역과의 지각된 상대적 깊이 차이를 생성하지 않게 되어 비순응 영역에서의 3차원 운동잔여효과가 관찰되지 않는 것이다.

실험 3 : 공간 주파수에 따른 운동잔여효과의 변화

선행 시각 연구들은 깜박임에 따른 휘도대비 감소

가 패턴의 공간주파수의 함수로 변환을 보고하고 있다 (Boden & Giaschi, 1999). 즉, 깜박임에 따른 휘도대비 감소는 휘도대비 탐지 민감도에 영향을 미치는데, 그 영향은 저 공간주파수에서 특히 강하게 관찰된다는 것이다. 이 연구들의 결과를 본 실험의 운동잔여효과에 적용시키면, 운동잔여효과는 고 공간주파수 패턴을 사용하였을 때 그 효과가 감소할 것임을 예언해 준다. 본 실험은 실험 1과 2에서 사용한 패턴 중 공간주파수의 조절이 용이한 코사인 패턴을 사용하여 이 예언을 검증하였다.

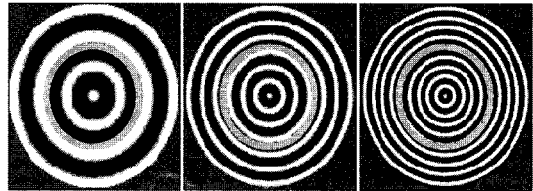


그림 5. 여러 공간주파수로 구성된 코사인 패턴

방법 : 실험 1에서 사용된 코사인 패턴을 1m 응시 거리에서 1, 3, 6, 9 c/deg의 공간주파수를 갖도록 조작하고 실험을 수행하였다. 자극의 일부 예는 그림 5에 제시되어 있다. 그 외의 절차는 실험 1과 같았다.

결과 : 실험 결과를 요약한 그림 6에서 보는 바와 같이, 3차원 운동잔여효과의 지속시간은 자극의 공간주파수가 저주파에서 고주파로 옮겨감에 따라 체계적으로 감소하였다. 이 결과는 깜박임 순응에 따른 비순응 인접 영역의 운동잔여효과가 깜박임 영역에서의 휘도대비 감소로 인한 깊이 단서 제공에 기인한 것임을 다시 증거 하여 주는 것이다.

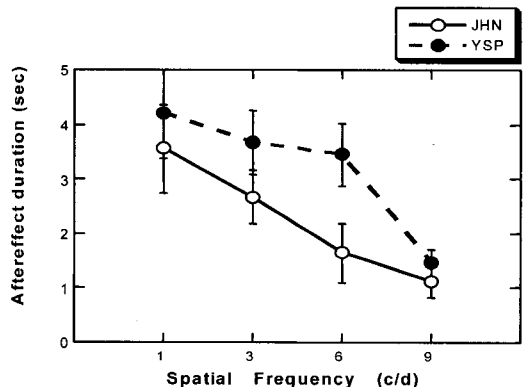


그림 6. 공간주파수의 함수로 나타난 운동잔여효과 지속시간

실험 4 : CM패턴의 공간 주파수에 따른 운동잔여 효과의 변화

실험 1에서 CM패턴의 경우 무선 점 패턴과 코사인 패턴의 경우에 비해 운동잔여효과가 미약하였는데, 이는 실험 3의 결과가 시사하듯이, CM패턴에 사용된 carrier 공간주파수가 워낙 고 공간주파수(9 c/deg)이었기 때문일 가능성이 있다. 이에 본 실험에서는 carrier 공간주파수를 3과 6 c/deg의 저 공간주파수로 변화시키며 운동잔여효과 정도의 관찰하였다.

방법 : 자극을 그림 7에 예시된 바와 같이 9 c/deg의 carrier와 1 c/deg의 휘도대비변조 공간주파수를 가진 코사인 패턴의 합성으로 만든 CM패턴 외에 6 c/deg, 3 c/deg의 carrier 공간주파수와 1 c/deg의 휘도대비변조 공간주파수를 가진 코사인 패턴의 합성으로 만든 두 CM패턴을 더 사용한 점만 다를 뿐, 그 밖의 실험 절차는 실험 3과 동일하였다.

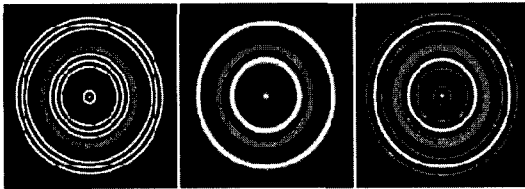


그림 7. 여러 Carrier 공간주파수로 구성된 CM패턴

결과 : 실험의 결과는 그림 8에 제시하였다. 실험 3의 결과에 근거하여 예상된 공간주파수에 따른 운동잔여효과 변화와는 달리, 실험 1에서 관찰된 정도의 미미한 운동잔여효과만이 모든 CM패턴에서 관찰되었다. 이는 non-Fourier 역 위상 깜박임 순응에 의해 유도된 운동잔여효과가 Fourier 깜박임 순응에 의한 효과와는 다른 기체에 의해 매개됨을 시사한다. 어쩌면 주변시에서의 non-Fourier 정보처리 는 기존의 연구들이 밝혀 놓았듯이 매우 약하여, 설사 순응 효과가 있었다 하더라도 (실험 1) 그 정도가 인접 영역에의 잔상효과로 이어질 정도로 강하지는 못할 가능성이 있다. 또한, 본 실험의 결과는 깜박임에 의한 휘도대비 감소가 무선 점이나 코사인 패턴 같은 Fourier패턴에서와는 달리 CM패턴에서의 운동잔상 효과의 원인이 아닐 가능성도 있다. 실험 참가자들이 현상적으로 CM패턴에서는 순응 시 깜박임 영역과 정지된 영역간의 지각된 깊이 차이가 Fourier패턴에서

만큼 크지 않았다고 보고하는 것이 이 생각을 뒷받침해 준다. 워낙 non-Fourier 운동잔상효과에 대하여서는 현재 많은 논란이 있는데 (Nishida & Sato, 1993; Nishida, Ashida & Sato, 1994), 이 문제를 보다 정확히 규명하기 위해서는 후속 연구를 기대해야 할 것 같다.

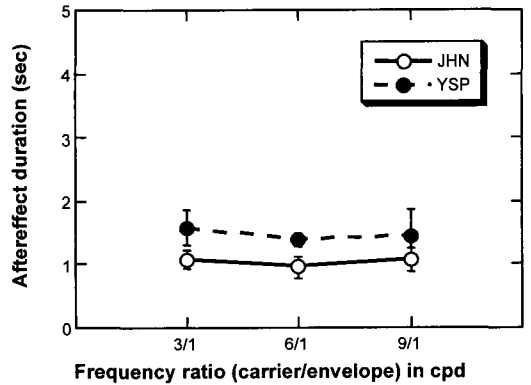


그림 8. carrier주파수 합수로 나타난 운동잔여효과 지속시간

실험 5 : 깜박임 영역의 휘도대비 감소 측정

실험 5는 본 연구가 역 위상 깜박임에 의해 유도된 정지된 인접 영역에서의 3차원 운동효과를 설명하기 위해 제한한 깜박임 영역의 휘도대비 감소를 직접 검증하기 위하여 고안되었다.

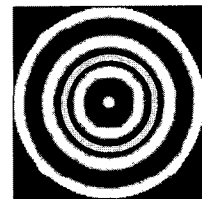


그림 9.
2반응강제선택과제에 사용된 코사인 패턴

방법 : 그림 9에 예시한 코사인 패턴의 중심 영역을 70% 휘도대비로 고정시킨 후 22 Hz로 깜박이며, 정지된 주변 영역의 휘도대비를 각 시행에서 변화시켰다. 선택된 주변 영역의 휘도대비는 모두 5개로, 가능하다면, 둘은 중심 영역보다는 높게, 둘은 중심 영역보다 낮게, 그리고 하나는 같게 하였다. 저자 중의 한

명만이 이 실험에 참가하였는데, 참가자가 할 일은 30초 동안 제시된 패턴을 보고, 중심 혹은 주변의 영역 중 높은 휘도대비를 가진 영역을 선택하는 2반응 선택과제(two alternative forced choice task: 2AFC)를 수행하는 것이었다. 사용된 코사인 패턴은 실험시행을 달리하여 1, 3, 6, 9 c/deg의 공간주파수로 변화되었다. 한 실험은 무선으로 제시되는 주변 영역의 각 휘도대비에 대하여 관찰자가 10번씩, 모두 50시행을 수행하는 것으로 구성되었고, 주변 영역의 각 휘도대비에 대하여 주변 영역이 중심 영역의 휘도대비보다 높다고 반응한 회수를 기록하였다. 이 실험은 각 공간주파수에 대하여 2번 혹은 3번 반복되었다.

결과 : 각 공간주파수의 코사인 패턴에서 참가자가 중심 영역의 휘도대비보다 주변 영역의 휘도대비가 높다고 판단한 회수를 사용된 휘도대비 별로 기록하고, 이를 우도검증(maximum likelihood)방법으로 Weibull 함수에 최적화(fitting)시켜 50%의 확률로 중심 영역의 휘도대비와 동일하다고 지각한 주변 영역의 휘도대비 값을 계산하였다(Weibull, 1951). 이 계산을 위하여 Wilson이 개발한 프로그램을 사용하였다. 이렇게 계산된 값을 바탕으로 각 공간주파수에서 지각된 중심 영역의 휘도대비가 물리적 휘도대비에서 감소된 정도를 그림 10에 요약 정리하였다. 그림에서 보듯이, 깜박임에 따른 휘도대비의 감소는 공간주파수의 함수로 적어지는 경향을 보였는데, 이는 실험 3에서 관찰된 공간주파수에 따른 3차원 운동잔여효과의 변화와 일치하는 결과이다(그림 6 참조).

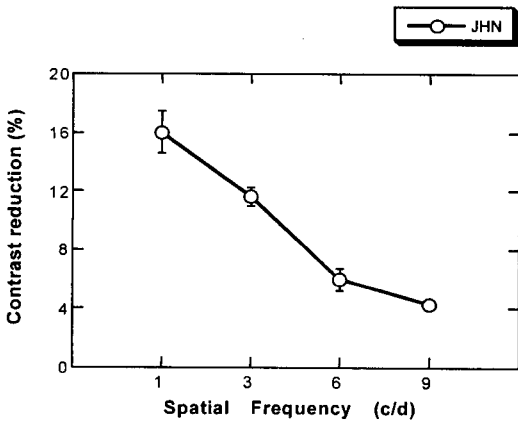


그림 10. 공간주파수 변화에 따른 휘도대비 감소

3. 전체논의

본 연구에서 우리는 역 위상 깜박임 순응에 의해 유도된 인접 영역에서의 3차원 운동잔여현상을 새롭게 발견하였다. 이의 설명으로 본 연구자들이 제안한 것은 깜박임 영역의 휘도대비감소가 인접 정지된 영역과의 깊이 차이를 유발하고 깜박임이 멈추는 검사 기간 동안 깜박임 영역이 원래의 휘도대비로 복원되며 이 과정에서 상대적으로 가까운 깊이 위치에 있던 것으로 지각되던 정지된 인접 영역이 관찰자로부터 멀어지는 착시를 유발시킨다는 것이다.

새로운 운동 착시 현상에 대한 이러한 설명을 검증하기 위해 일련의 실험들이 수행되었다. 깜박임 영역을 검사기간 동안 평균 휘도를 갖는 회색 영역으로 대체하여 깊이 단서를 없앴을 때, 3차원 운동잔여효과가 크게 감소 혹은 사라지는 실험 2의 결과는 위에 제안된 깊이 단서 설명을 지지하는 증거이다. 깜박임에의 순응이 휘도대비의 감소를 야기시키고, 운동 탐지력을 증가시킨다는 기존의 연구들(McLeod & He, 1993; Boden & Giaschi, 1999)은 한편 이 휘도대비의 감소가 공간주파수의 함수로 변환을 보고하고 있는데, 이 연구들의 결과를 우리가 제안한 운동잔여효과에 대한 설명에 적용시키면, 본 연구에서 관찰된 운동잔여효과도 공간주파수의 함수로 변해야 함을 예언한다. 이 점은 실험 3의 결과가 잘 보여주고 있다. 실제로, 깜박임 영역의 휘도대비감소를 직접 측정된 실험 5의 결과도 공간주파수 함수로 변하는 휘도대비 감소를 보여주고 있으며, 그 감소의 경향은 실험 3에서 관찰된 운동잔여효과의 강도 변화와 잘 일치하고 있다.

본 연구에서 발견한 3차원 운동잔여효과가 Murakami와 Cavanagh(1998a,b, 1999)가 발견한 평면상의 흔들림 현상과 다른 이유는 물론 그들의 자극 상황이 무선 운동에의 순응이었고 우리의 것은 역 위상 깜박임에의 순응이라는 점에서 찾을 수 있겠다. 또한 그들은 무선 점 패턴만을 사용하였는데 반해 본 연구에서는 무선 점, 코사인, 그리고 CM패턴 등을 사용하였다는 점이 다르다. 그러나, Murakami와 Cavanagh의 현상을 그들이 제안한 안구운동에 따른 영상 흔들림 보상기계의 약화이기보다는 본 연구에서 제안한 휘도대비 감소에 따른 깊이 차이 지각과 그 회복과정으로 설명할 수 없을까? 본 연구자들이 Murakami와 Cavanagh의 자극을 관찰할 때 뚜렷이 지각할 수 있었던 것은 그들이 사용한 잡영 영역도

점들이 무선 운동을 하는 동안 휘도대비 감소가 현저하다는 것이었다. 이는 무선 운동영역과 정지된 영역과의 깊이 분리를 야기 시키는데, 잡영 영역이 정지될 때 본 연구에서 발견한 순수한 3차원 운동잔여효과와는 달리 흔들림으로 나타나는 이유는 바로 잡영의 움직임에 따른 운동잔여효과의 개입 때문일 수 있다. 즉 순응되지 않은 정지된 인접 영역이 관찰자로 부터 멀어질 때, 평면상에서 움직이던 잡영의 운동에 의해 생성된 순응 영역에서의 평면적 운동잔여효과가 비순응 영역의 3차원 운동과 상호작용하여 흔들림으로 지각되는 것은 아닐까? 만일 이러한 설명이 타당하다면, Murakami와 Cavanagh가 발견한 현상은 본 연구에서 제안한 휘도대비 감소에 따른 상대적 깊이 지각의 결과로 나타나는 착시 현상의 한 특수한 경우라고 말할 수 있겠다. 이 부분에 대한 규명은 앞으로의 중요한 연구주제가 될 것으로 본다.

한편, 본 연구에서는 휘도대비의 변조로 깜박임을 유도한 CM패턴, 즉 non-Fourier 역 위상 깜박임에 의해서도 3차원 운동잔여효과가 관찰되는 지를 함께 조사하였는데, 실험의 결과, 그 효과는 없거나 있다 하더라도 그 정도는 매우 미약하였다. 이는 기존의 연구들이 보고하고 있듯이 정지된 검사패턴에서의 non-Fourier 운동잔여효과의 부재와 일치하는 듯이 보이지만 (예, Nishida & Sato, 1993), non-Fourier 순응효과를 보고한 연구들과는 다른 결과이다 (Turano, 1991). 시각체계에서의 독립적이고 병행적인 Fourier정보처리와 non-Fourier정보처리 경로의 존재를 밝히고 있는 많은 시각연구들(예, van Essen, Anderson & Felleman, 1992; Wilson & Kim, 1994)에 비추어 볼 때, non-Fourier 운동잔여효과 특성 규명은 후속 연구에서 계속 다루어질 것으로 믿는다.

참고문헌

- Boden, C. & Giaschi, D.(1999), Adaptation to uniform flicker elevates motion coherence thresholds, *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 40, s424.
- Chubb, C. & Sperling, G.(1989), Two motion perception mechanisms revealed through distance-driven reversal of apparent motion. *Proceedings of the National Academy of sciences of the U.S.A.*, 86, 2985-2989.
- De Valois, R. L., Albrecht, D. G. & Thorell, L. G.(1982), Spatial frequency selectivity of cells in macaque visual cortex. *Vision Research*, 22, 545-559.
- Kaufman, L.(1979), *Perception: The world transformed*. Oxford University Press: New York.
- Kim, J. & Wilson, H. R.(1996), Direction repulsion between components in motion transparency. *Vision Research*, 34, 1835-1842.
- MacLeod, D. I. A. & He, S.(1993), Visible flicker from invisible patterns, *Nature*, 361, 256-258.
- Murakami, I. & Cavanagh, P.(1998a), A jitter after-effect reveals motion-based stabilization of vision, *Nature*, 395, 798-801.
- Murakami, I. & Cavanagh, P.(1998b), a novel aftereffect: visual jitter in an unadapted static region after adaptation to dynamic random noise, *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 39, s1076.
- Murakami, I. & Cavanagh, P.(1999), A directionally selective monocular adaptation process and a distinctive bilateral compensation process for visual jitter, *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 40, s2.
- Nishida, S. Sato, T.(1993), Two kinds of motion aftereffect reveal different types of motion processing. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 34, 1363.
- Nishida, S., Ashida, H. & Sato, T.(1993), Complete interocular transfer of motion aftereffect with flickering test, *Vision Research*, 34, 2707-2716.
- Pantle, A. (1992), Immobility of some second-order stimuli in human peripheral vision. *Journal of the Optical Society of America, A*, 9, 863-867.
- Pantle, A. & Turano, K.(1986), Direct comparisons of apparent motions produced with luminance, contrast-modulated (CM), and texture gratings, *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 27, 141.

- Turano, K.(1991). Evidence for a common motion mechanism of luminance and contrast modulated patterns: selective adaptation. *Perception*, 20, 455-466.
- Wilson, H. R. & Gelb, D.(1984). Modified line-element theory for spatial-frequency and width discrimination, *Journal of the Optical Society of America*, 1, 124-131.
- Wilson, H. R. & Kim, J.(1994). A model for motion coherence and transparency. *Visual Neuroscience*, 11, 1205-1220.
- van Essen, D. C., Anderson, C. H. & Felleman, D. J.(1992). Information processing in the primate visual system: an integrated systems perspective. *Science*, 255, 419-423.
- Weibull, W.(1951). A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*, 18, 292-297.
- Yarbus, A. L.(1967). *Eye movements and Vision*. Plenum, New York.