인지과학, 제28권 제2호
Korean Journal of Cognitive Science
2017, Vol. 28, No. 2, 91～109.
http://dx.doi.org/10.19066/cogsci.2017.28.2.001

양안 시차와 T-교차 정보가 White 착시 자극의 밝기 지각에 미치는 영향*

김 경 호　　김 신 우　　이 형 철†
광운대학교 산업심리학과

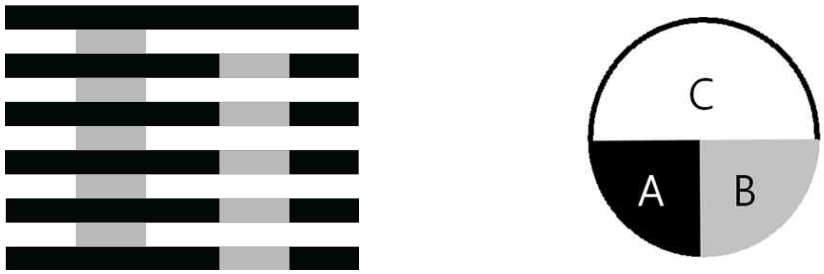
본 연구의 목적은 규칙적으로 반복되는 구조가 존재하는 자극 상황에서 양안시차와 T-교차가 White 착시 자극의 밝기 지각에 미치는 영향을 검증하는 것이다. 실험 1은 White 착시 자극을 변형한 Howe (2005)의 자극을 사용하여 양안시차와 단안정보인 T-교차 및 규칙적 구조 정보가 소속성에 대하여 불일치한 정보를 가질 때 대상의 밝기 지각이 주로 단안 정보에 의해 결정됨을 발견하였다. 실험 2는 규칙적 구조 정보와 양안시차만 포함하는 자극을 사용하여 T-교차가 존재하지 않을 때 두 정보 중 어느 하나가 주도적으로 밝기 지각을 결정하지 못함을 발견하였다. 본 연구의 실험 결과는 규칙적 구조와 양안시차가 대상의 소속성에 대하여 불일치한 정보를 제공할 때 T-교차가 대상의 소속성 결정에 중요한 정보로 이용되며 그에 따라 대상의 밝기 지각이 영향 받을 수 있음을 시사한다.

주제어 : 소속성, 밝기 지각, T-교차, 규칙적으로 반복되는 구조, 양안시차

---

* 이 논문은 2016년도 광운대학교 교내학술연구비 지원(이형철)에 의해 연구되었음.
† 교신저자: 이형철, 광운대학교 산업심리학과, E-mail : hyung@kw.ac.kr

물리적으로 동일한 휘도의 표면일지라도 그 표면을 둘러싼 표면의 휘도가 클 때 보다 상대적으로 낮은 휘도일 때 더 밝게 지각되는 경향이 있는데 이를 동시 명도 대비라 한다. 동시 명도 대비는 Wallach (1948)이 제안한 비율 원리(ratio principle)와 Hartline, Wagner와 Ratliff (1956)가 발견한 측면 억제로 잘 설명된다. 비율 원리에 의하면 대상 영역의 지각된 밝기는 그 주변 영역과 대상 영역의 휘도의 비율에 의하여 결정된다. Hartline 등이 제안한 측면 억제 이론은 비율 원리를 신경 수준에서 지지한다.



(그림 1) White 착시 자극 (좌), T-교차의 예시 (우).

측면 억제로 동시 명도 대비를 잘 설명할 수 있는데 반하여 White(1979)의 White 착시는 배경의 영향을 비율 원리나 측면 억제로 설명할 수 없는 대표적인 밝기 착시이다. 그림 1 좌측의 White 착시 자극에서 두 개의 회색 표면은 동일한 휘도이지만 오른 쪽 회색 사각형이 더 밝게 지각된다. 좌측 회색 사각형은 상하의 어두운 띠에 더 많이 접하고 우측 사각형은 상하의 밝은 띠에 더 많이 접하기 때문에 측면 억제 원리를 이용하여 회색 사각형의 지각되는 밝기를 예측하면 좌측 회색 사각형은 더 밝게, 우측 회색 사각형은 상대적으로 더 어둡게 지각되어야 하지만 실제 지각은 그 반대이다.

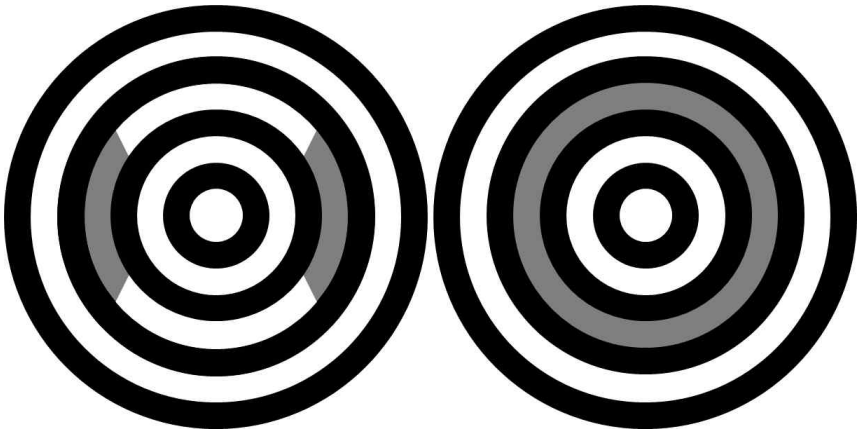
망막 수준에서의 측면 억제 원리가 White 착시를 잘 설명하지 못하는데 반하여 게슈탈트 심리학에서 제안하는 소속성(belongingness)이란 개념으로 시각 체계의 밝기 지각 과정을 보다 잘 설명할 수 있다(Agostini & Proffitt, 1993; Benary, 1924; Rock, 1983). Agostini와 Proffitt(1993)은 동일한 밝기의 회색 점이 어두운 점들과 동일한 방향으로 이동할 때 더 밝게 지각되고 밝은 점들과 동일한 방향으로 이동할 때 더 어둡게 지각되며 회색 점이 이동하지 않을 때 이러한 영향이 사라짐을 확인하였다. 이는 회색 점이 운동 단서 측면에서 다른 밝기의 점들과 공동 운명을 가질 때 좋은 형태를 이루므로 그렇지 않은 점들에 비해 소속성이 강화되어 같은 집단에 속하게 된 결과이다. 소속성을 이용하여 White 착시를 보다 명확히 설명하는 이론으로 Gilchrist, Kossyfidis, Bonato, Agostini, Cataliotti, Li와 Economou(1999)의 정박 이론(anchoring theory)과 Anderson(1997)의 분리 이론(scission theory)이 있다. 정박 이론에 따르면 시각 장(visual field)의 구성 요소들이 소속성에

따라 지역 틀(local framework)을 구성하고 대상의 밝기는 대상이 소속한 지역 틀에서의 가장 높은 휘도와 자극 전체인 전역 틀(global framework)에서의 가장 높은 휘도와의 비율을 고려하여 결정된다.

정박 이론에 따르면 시각 체계는 지역 틀을 구성하는 기준 중 하나로 T-교차(T-junction)정보를 이용한다. T-교차는 그림 1우측과 같이 세 휘도의 면이 T 형태로 만나는 경계로, 시각체계는 이때 T의 좌우 부분의 면들은 동일한 면에 소속되는 지역 틀로 해석하고 T의 윗부분은 다른 면에 위치하여 이 두 면을 가리는 것으로 해석한다. T-교차는 이와 같은 상황에서 세 면의 상대적 깊이에 대한 정보를 제공한다. 시각 체계에서 T-교차는 구성 요소들의 겹쳐진 구조를 분리해서 같은 평면에 소속되는 대상 간의 대비를 촉진하고 서로 다른 평면에 소속되는 대상 간의 대비는 억제하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Todorović, 1997). 그림 1의 White 착시를 정박 이론으로 설명하자면 다음과 같다. 먼저 T-교차 정보를 통해 좌측의 회색 사각형은 밝은 배경과 지역 틀을 구성하고 우측의 회색 사각형은 어두운 배경과 지역 틀을 구성한다. 좌측의 사각형은 소속한 지역 틀에서 가장 밝은 영역이 아닌 반면 우측의 사각형은 소속한 지역 틀에서 가장 밝은 영역이므로 좌측의 사각형보다 밝게 지각된다. 다만 우측의 사각형은 지역 틀에서 가장 밝은 영역이나 전역 틀에서 가장 밝은 영역은 아니기에 밝은 배경보다는 어둡게 지각된다.

시각 체계는 T-교차와 같은 단안 깊이 정보 뿐 아니라 양안 깊이 정보를 고려하여 대상의 소속성을 결정한다. Wolff(1933)는 동시 명도 대비 자극에서 배경과 중앙 사각형이 동일한 깊이에 위치할 때 배경의 영향이 강해지고 다른 깊이에 위치할 때 약해짐을 확인하였다. Coren(1969)은 Benary 십자가 착시 자극에서 두 회색 삼각형이 밝은 배경과 동일한 양안 시차를 가질 때 어둡게 지각되며 어두운 십자가와 동일한 양안 시차를 가질 때 상대적으로 밝게 지각됨을 확인하였다. Spehar, Gilchrist와 Arend(1992) 또한 White 착시 자극을 사용하여 Coren(1969)과 동일한 경향이 나타남을 확인하였다. Gilchrist(1980)는 동일한 휘도를 갖는 두 회색 사각형이 상이한 휘도를 갖는 직교하는 두 배경 표면에 연장하여 접한 자극을 구성하였다. 이와 같은 자극 구성은 양안으로 관찰할 때와 단안으로 관찰할 때 회색 사각형이 각기 상이한 휘도를 갖는 배경과 동일 평면에 위치하는 것으로 지각되는 것을 가능하게 하였다. 실험 결과 회색 사각형은 양안/단안조건에 따라 밝기 지각이 변화하였는데 왜냐하면 양안조건과 단안조건에서 회색 사각형의 배경으로 지각되는 표면이 변화하기 때문이다. 이와 같은 실험 결과는 양안 시차에 의한 표면의 소속성 분리가 밝기 지각에 영향을 미침을 시사하는 것으로 해석되었다. Radonjić, Todorović과 Gilchrist (2010)도 유사한 자극을 사용하여 동일한 결과를 재확인하였다.

Zaidi, Spehar와 Shy(1997)는 White 착시 자극을 입체도로 제시한 자극에서 3차원 구조 지각으로 인한 표면의 대비를 T-교차가 억제함을 확인하여 다른 단안 정보에 비해 T-교차가 밝기 지각에 미치는 영향이 큼을 확인하였다. 그러나 T-교차가 White 착시에 기여하는 주요 단안 정보가 아닐 수도 있음을 보여주는 연구결과가 있다(Howe, 2005; Todorović, 1997; Yazdanbakhsh, Arabzadeh,



(그림 2) Howe (2005)의 변형된 White 착시 자극의 예시. 좌측 자극은 T-교차가 존재하고 우측 자극은 그렇지 않으나 두 자극의 회색 부분은 같은 밝기로 지각된다.

Babadi, & Fazl, 2002). Todorović은 T-교차 정보가 존재함에도 불구하고 T-교차에 의한 표면 분할로는 설명할 수 없는 밝기 착시를 유발하는 자극을 제시하였다. Yazdanbakhsh는 White 착시 자극을 변형하여 T-교차 정보를 제거하였음에도 불구하고 전형적인 White 착시 자극에서 발견되는 것과 동일한 밝기 지각 경향이 나타남을 확인하였다.

Howe(2005)는 이와 같이 White 착시 자극에서 T-교차 정보를 제거한 후에도 동일한 밝기 지각 경향이 나타나는 원인을 White 착시 자극이 규칙적으로 반복되는 구조(regular repeating structure)를 가지기 때문이라고 보았다(그림 2). White 착시 자극의 배경은 교대로 제시되는 밝은 띠와 어두운 띠가 반복되도록 구성하고 밝기 판단의 대상이 되는 회색 면은 두 띠 중 하나가 제시되는 순서에 제시된다. 회색 면은 같은 순서에 제시된 띠와 좋은 형태를 이루므로 앞 순번과 뒤 순번에 제시된 띠보다 같은 순서에 제시된 밝기의 면에 더 강하게 소속되는 것으로 지각 된다. Howe는 규칙적으로 반복되는 구조만을 가지는 자극과 규칙적으로 반복되는 구조에 T-교차 정보를 더한 자극을 비교하여 회색 면이 두 조건에서 동일한 밝기로 지각됨을 확인하였다. 이 결과에 근거하여 Howe(2005)는 White 착시에서 T-교차가 중요한 고려 요인이 아닐 수 있다고 주장하였다. White 착시에서 T-교차가 중요한 고려 요인이 아니라는 Howe의 주장을 그대로 받아들이지 않을지라도 Howe(2005)의 연구결과는 규칙적으로 반복되는 구조가 White 착시를 구성하는 주요 요인일 수 있으며 이와 같은 자극 상황에서 T-교차가 추가적인 영향력을 행사하지 못함을 시사한다.

전형적인 White 착시 자극과 Howe의 변형된 White 착시 자극은 T-교차 정보와 규칙적으로 반복되는 구조 모두를 포함하는데, Howe이외의 연구들에서는 T-교차 정보와 규칙적으로 반복되는 구조의 영향을 분리하지 않았다. 마찬가지로 이전의 White 착시 자극에서 양안 시차의 영향을

다룬 연구들 또한 T-교차 및 규칙적으로 반복되는 구조와 같은 White 착시가 포함하는 단안 정보의 특정 요소를 분리하여 고려하지 않았다. 만일 Howe의 주장과 같이 T-교차 정보가 White 착시 유발을 구성하는 주된 요인이 아니라면 양안 시차를 포함한 White 착시 자극에서도 T-교차의 유무와 무관하게 동일한 밝기 지각 경향을 확인할 수 있을 것이다.

T-교차는 대상과 대상이 중첩된 상황에서 어느 대상이 앞에 있는지 또는 뒤에 있는지를 판단하는 중첩(occlusion)을 해석하는 중요한 정보이다. 깊이지각에 미치는 영향력은 일반적으로 단안정보가 양안 정보에 비해 우세하며 특히 중첩정보와 양안시차가 불일치 할 때 중첩정보에 근거하여 대상간의 깊이를 해석하는 것으로 알려져 있다(González, Allison, Ono, & innikov, 2010; Julesz, 1964)

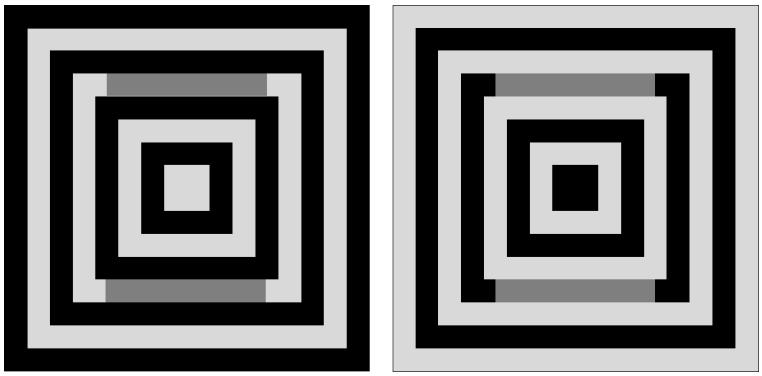
White 착시에 영향을 미치는 단안정보와 양안정보의 상대적인 영향력을 규명하려면 먼저 단안정보와 양안정보를 독립적으로 조작해야 하며 또한 두 가지 이상의 단안정보가 포함된 경우에 각 단안정보를 독립적으로 조작하는 것이 필요하다. 전형적인 White착시 자극은 단안정보와 양안시차를 독립적으로 조작하는 것이 가능하지만 White 자극에 포함되어 있는 T-교차와 규칙적 구조를 분리하여 조작할 수는 없다. Howe의 자극은 White 자극의 변형으로서 규칙적 구조만 존재하게 하고 T-교차를 제거하는 것을 가능하도록 하였다.

White자극 특성상 밝기 판단의 대상이 되는 회색 표면의 소속성에 대하여 T-교차와 규칙적 구조가 불일치한 정보를 갖도록 조작하는 것은 불가능하다. 한 가지 가능한 것은 T-교차 정보를 Howe의 자극처럼 고리 모양으로 구성하게 되면 규칙적 구조는 존재하지만 T-교차는 존재하지 않도록 구성하는 것이 가능하다. 본 연구의 목적은 규칙적으로 반복되는 구조와 T-교차가 공존할 때와 T-교차 정보가 제거되어 규칙적 구조만 존재할 때로 상황을 분리하여 각 각의 상황에서의 단안정보와 양안시차가 소속성에 미치는 상대적인 영향력을 검증하는 것이다. 이를 위해 Howe의 연구에 사용된 밝기 착시 자극에 양안 시차 정보를 추가하여 실험 자극을 구성하였다.

실험 1은 T-교차 정보가 존재하는 자극 상황에서 양안 시차 정보가 단안 정보와 일치 또는 불일치 할 때 양안 시차 정보가 소속성에 미치는 상대적 영향을 확인하였다. 실험 2는 T-교차 정보가 존재하지 않는 자극 상황에서 양안 시차 정보가 단안 정보와 일치할 때와 불일치할 때 양안 시차 정보가 소속성에 미치는 상대적 영향을 확인하였다.

실 험 1

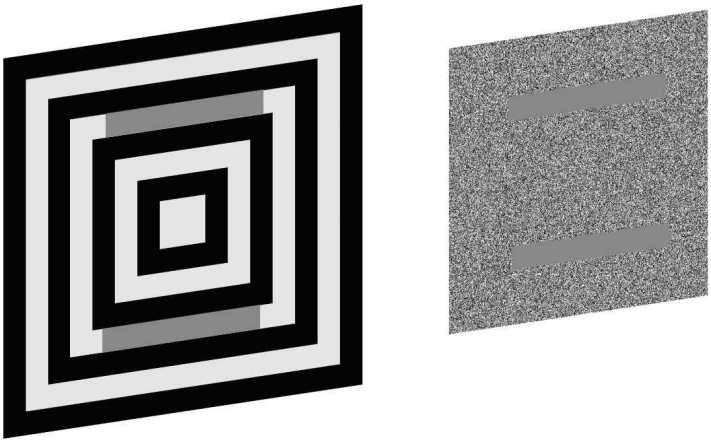
실험 1의 목적은 T-교차와 반복적인 구조가 존재하는 White 착시 자극에서 양안 시차가 소속성에 미치는 상대적인 영향력에 대하여 검증하는 것이다. 실험 1은 White 착시 자극을 변형한 Howe의 자극을 무선 점으로 구성하여 양안 시차를 적용하였다. 실험 자극은 두 밝기의 배경과



(그림 3) 실험 1 자극의 예시. 조건에 따라 짝수 번째 배경과 홀수 번째 배경의 밝기가 좌측 혹은 우측과 같이 다르다.

밝기 판단의 대상인 회색 사각형으로 구성된다. 두 밝기의 배경은 외곽으로부터 홀수 번째와 짝수 번째로 나뉘며 조건에 따라 각기 다른 밝기가 할당된다. 회색 사각형은 모든 조건에서 그림 3과 같이 외곽으로부터 4번째 고리 즉 짝수 번째 고리에 제시되도록 구성하였다. 양안 시차가 존재하지 않을 때 회색 사각형은 단안 정보인 규칙적으로 반복되는 구조와 T-교차에 의하여 짝수 번째 배경에 소속되는 것으로 지각된다. 단안 정보가 회색 사각형의 소속성에 대해 항상 일치하는 정보를 가지는데 반해 양안 시차 정보는 단안 정보와 일치하거나 반대되는 정보를 가지도록 조작하였다.

본 실험의 주된 관심은 회색 사각형이 소속하는 배경에 대하여 단안 정보와 양안 시차 정보가 불일치하는 조건에서 회색 사각형의 밝기 지각이 어떤 정보에 영향을 받는지 확인하는 것이



(그림 4) 검사자극(좌)과 응답자극(우)의 예시. 실제 자극은 검사 자극과 응답 자극, 밝기 판단의 대상이 되는 회색 사각형 모두 무선 점으로 구성되었다.

다. 만일 불일치 조건에서 회색 사각형의 소속성이 양안 시차에 더 영향을 받는다면 회색 사각형은 홀수 번째 배경에 소속하는 것으로 해석될 것이며 따라서 홀수 번째 배경이 어두울 때 더 밝게 지각될 것이다. 반면, 회색 사각형의 소속성이 단안 정보에 더 영향을 받는다면 짝수 번째 배경의 밝기가 어두울 때 더 밝게 지각될 것이다.

방 법

참가자

10인의 성인이 실험에 참여하였으며 참가자는 전원 정상시, 혹은 수정된 정상시를 보유하였다. 10인의 참가자 모두 교차 시차와 비교차 시차를 판별하는 과제로 구성된 사전 검사를 수행하였다. 사전 검사 결과 모든 참가자가 정답률 90%이상을 보였기에 본 실험의 과제를 수행하는데 충분한 입체 시력을 보유하였음을 확인하였다.

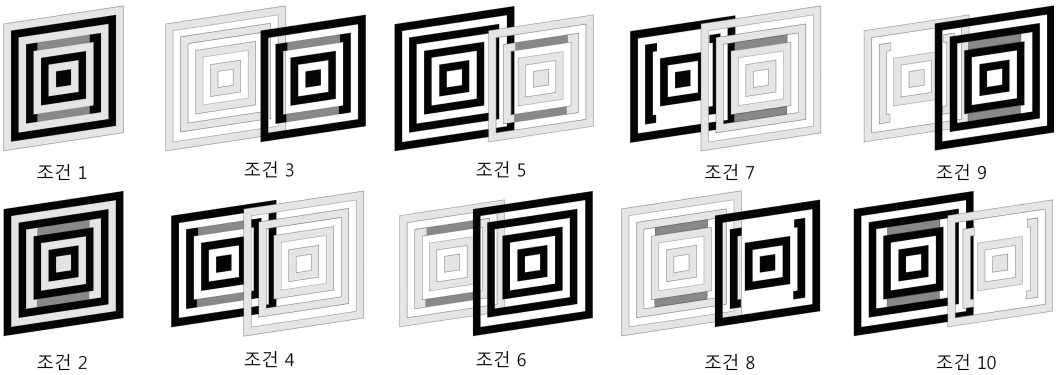
실험기구와 자극

실험은 모니터에 제시되는 자극을 제외하면 어떠한 광원도 없는 0lux의 암실에서 진행되었다. 23인치, 해상도 1920*1080인 LG전자 시네마3D DM2352D모니터를 통하여 입체 자극을 제시하였다. 관찰자는 100cm 거리에서 편광 안경을 착용하고 입체 자극을 관찰하였다. 본 실험에서 사용한 모든 자극은 원활한 입체 지각을 위해 모두 무선 점으로 구성되었다. 무선 점을 사용하지 않으면 밝은 면과 어두운 면 또는 회색 면이 경계선 이외의 부분에서 양안시차 정보를 갖지 못하며 이는 입체지각을 경험하는데 방해 요소로 작용한다. 검사 자극(9.71° × 9.71°)은 화면의 좌측에 제시하였고 응답 자극(7.43° × 7.43°)은 검사 자극으로부터 3.43° 떨어져 화면의 우측에 제시하였다(그림 4). 검사 자극은 어두운 점(4.5cd/m^2)으로 이루어진 배경과 밝은 점(116.9cd/m^2)으로 이루어진 배경, 그리고 회색 사각형으로 구성되었다. 회색 사각형에는 두 휘도(28.3cd/m^2, 38.1cd/m^2) 중 하나가 할당되었다. 양안 시차가 존재하는 조건에서 두 휘도의 배경 중 하나는 교차 시차(5 pixel, 6.7 arcmin)로, 나머지 하나는 비교차 시차(5 pixel, -6.7 arcmin)로 제시하였으며 회색 사각형은 교차 또는 비교차로 제시하여 두 배경 중 하나와 동일한 시차를 갖도록 구성하였다. 배경은 사각의 고리가 서로 중첩된 모양으로 두 휘도의 배경이 자극 외각으로부터 홀수 번 째 배경과 짝수 번 째 배경에 교대로 위치하도록 하였다. 총 8개의 배경 중 회색 사각형은 항상 자극 외각으로부터 4번 째 배경의 위쪽 중앙과 아래쪽 중앙에 위치하였다. 응답 자극의 배경은 검사 자극과 동일한 크기였으며 밝은 점과 어두운 점이 절반의 비율로 혼합된 무선 점 평면으로 구성되

었다. 이와 같은 높은 대비의 응답 자극 구성을 통해 관찰자가 응답 자극을 응시하는 도중 발생할 수 있는 잔상이 검사 자극에 영향을 미치는 것을 최소화 하였다.

자극 조건

실험에 사용된 자극은 양안시차를 포함하지 않는 자극과 양안시차를 포함하는 자극으로 구성되었다. 양안시차를 포함하는 자극은 회색 사각형의 소속성에 관하여 양안시차가 단안정보와 일치하도록 하거나 일치하지 않도록 구성하였다. 모든 자극에서 회색 사각형은 밖으로부터 4번째 고리에 위치하도록 하였으며 규칙적 구조 정보가 어두운 배경과 밝은 배경 어느 하나에 편향되지 않도록 홀수 번째 고리와 짝수 번째 고리에 어두운 배경과 밝은 배경이 균등하게 오도록 구성하였다. 그림 5에서 조건 1과 조건 2는 양안 시차를 포함하지 않은 자극으로 단안 정보만을 가지는 기초선 조건이다. 조건 3 ~ 6은 양안 시차 정보와 두 단안 정보 모두를 포함하며 모두 회색 사각형이 짝수 번째 배경에 속한다는 정보를 제공한다. 조건 3과 5는 회색 사각형이 교차 시차를 갖는 조건이며, 4와 6은 비교차를 갖는 조건이다. 조건 7 ~ 10은 단안 정보는 회색 사각형이 짝수 번째 배경에 속한다는 정보를 제공하는데 반하여 양안시차는 3차원 깊이 차원에서 회색 사각형이 홀수 번째 배경과 동일한 깊이에 존재 한다는 정보를 제공한다. 조건 7과 9는 회색 사각형이 교차 시차를 갖는 조건이며 8과 10은 비교차 시차를 갖는 조건이다. 10 가지 자극 조건 각 각에 대하여 회색 사각형의 밝기가 각 각 28.3cd/m² 또는 38.1cd/m² 가 되도록 하여 실험에 사용된 총 자극은 20개였다.



(그림 5) 실험 1의 자극 조건 예시

실험 절차

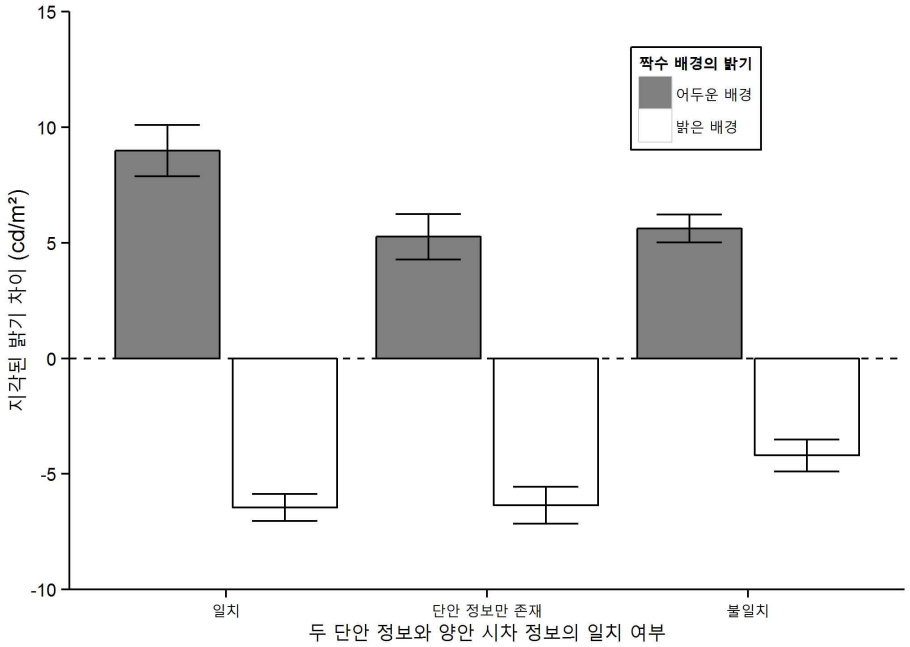
참가자는 실험이 진행되는 동안 수행해야 할 과제에 대하여 설명을 들은 뒤 모니터로부터 100cm 거리에 위치한 의자에 앉아 턱 받침대를 사용하지 않고 자극을 관찰하였다. 매 시행마다 참가자는 응답 자극 회색 사각형의 밝기를 조작하여 검사자극 회색 사각형의 밝기와 동일하게 함으로써 검사자극의 회색 사각형에서 지각된 밝기를 보고하였다. 응답 자극의 사각형은 검사 자극의 회색 사각형과 같은 크기이며 키보드의 위, 아래 키를 이용하여 휘도를 0cd/m²에서 최대 116.9cd/m² 까지 약2cd/m² 단위로, 키보드의 좌, 우 키를 통해 휘도를 약 10cd/m² 단위로 조작이 가능하였다. 응답 자극의 사각형은 매 시행마다 0cd/m²~ 116.9cd/m²사이에서 무작위로 할당된 초기 휘도로 제시되었다. 과제를 수행하는데 제한 시간은 없었으며 참가자가 스스로 검사자극과 응답 자극의 회색 사각형이 동일한 밝기로 지각되도록 응답 자극의 휘도 조절을 완료한 후에 스페이스 바를 누르면 다음 자극이 제시되었다. 각 블록은 20개의 자극 조건이 무선화된 순서로 1회씩 제시되도록 구성하였으며, 피험자는 이 블록을 3회 반복하여 수행하였다. 실험 1에서 전체 시행 수는 총 60회였다.

결과 및 논의

결과 분석에 사용한 종속 변인은 응답 자극 사각형의 밝기 값에서 자극으로 제시된 검사 자극 사각형의 밝기 값을 뺀 값이다. 응답한 값과 실제 값의 차이이므로 밝기 차이가 양의 값인 경우 참가자가 검사 자극의 회색 사각형을 실제보다 밝게 지각하였음을 의미한다. 검사 자극의 회색 사각형이 28.3cd/m²로 제시되었을 때와 38.1cd/m²로 제시되었을 때 지각된 밝기의 패턴이 유사하였으며 회색 사각형이 교차 시차를 가지는 조건과 비교차 시차를 가지는 조건의 결과 패턴이 유사하여 이러한 조건의 결과를 통합하여 반복측정 변량 분석(repeated measures analysis of variance)을 실시하였다. 모든 그래프에서 에러 막대는 표준오차를 의미한다.

실험 1에서 회색 사각형은 모든 조건에서 짝수 번째 고리에 제시되었으며 단안 정보에 의하면 회색 사각형은 짝수 번째 배경에 소속하는 것으로 해석된다. 그림 6은 짝수 번째 배경의 밝기에 따른 회색 사각형의 지각된 밝기를 보여준다. 그림 6에서 나타나듯 모든 조건에서 짝수 배경의 밝기가 밝을 때 회색 사각형을 실제보다 어둡게, 짝수 배경이 어두울 때 회색 사각형을 실제보다 밝게 지각하였다. 분석 결과 짝수 번째 배경 밝기의 주효과가 통계적으로 유의하였다 ($F(1,9) = 102.3$, $p < .001$). 이와 같은 실험 결과는 전체 조건에서 회색 사각형의 소속성이 주로 단안 정보에 의해 영향을 받은 것으로 해석할 수 있다. 불일치 조건에서도 양안 시차를 포함하지 않은 일반적인 White 착시와 동일한 경향이 나타남을 확인하였다.

단안 정보와 양안 정보의 일치성 주효과는 통계적으로 유의미하였으며($F(2,18) = 8.95$, $p <$



(그림 6) 실험 1의 결과. 왼쪽부터 조건3,4 조건5,6 조건1 조건2 조건7,8 조건 9,10에서 지각된 밝기 차이를 의미한다. 에러 막대는 표준오차를 의미한다.

.01) 상호작용 효과 또한 유의미하였다($F(2,18) = 23.92$, $p < .001$).

본 실험의 주 관심사는 밝기 지각에 미치는 단안 정보와 양안 시차간의 상대적 영향력을 알아보는 것이므로 두 정보가 불일치하는 조건과 단안 정보만 존재하는 조건을 비교하였다. 불일치 조건의 밝기 지각은 단안 정보만 존재하는 조건과 비교했을 때 역전되지 않았다. 다만 단안 정보가 회색 사각형이 밝은 배경에 속한다는 정보를 제공하는 조건 2(기초선 조건)에 비해 양안 시차 정보가 회색 사각형이 어두운 배경에 속한다는 정보를 제공하는 불일치 조건 (조건 9, 10)에서 회색 사각형을 더 밝게 지각하였다($p < .05$). 그러나 유사한 조건인 조건 1과 조건 7,8간은 차이를 발견할 수 없었다($p > .05$).

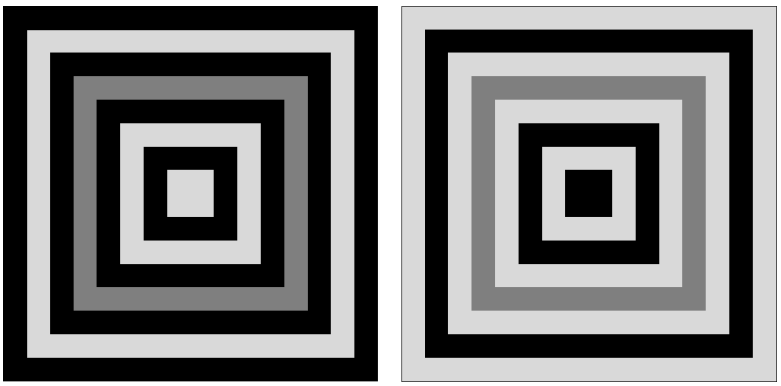
단안 정보가 어두운 배경에 속한다는 정보를 제공하는 조건 1(기초선 조건)에 비해 양안 시차가 회색 사각형이 어두운 배경에 속한다는 추가적인 정보를 제공하는 조건에서 (일치조건; 조건 3, 4) 회색 사각형을 더 밝게 지각하였다 ($p < .05$). 하지만 그에 대응하는 밝은 배경과 관련된 조건(일치조건인 조건 5, 6과 기초선 조건인 조건 2)에서는 유의미한 차이를 발견할 수 없었다. 이와 같은 실험결과는 양안 시차가 회색 사각형의 소속성에 영향을 미치나 그 영향력이 단안 정보보다 작음을 시사한다.

실험 1에서 비록 양안 시차의 영향이 단안 정보의 영향을 넘어서지 못하였으나 양안 시차가

White 착시의 밝기지각에 일정한 영향을 미침을 확인하였다. 그러나 실험 1은 단안 정보인 T-교차와 규칙적으로 반복되는 구조가 같은 소속성 정보를 가지기 때문에 이들 간의 영향은 비교할 수 없으므로 비교를 위해 T-교차 정보를 포함하지 않는 실험 2를 실시하였다.

실 험 2

실험 2의 목적은 T-교차 정보 없이 규칙적으로 반복되는 구조만 존재하는 자극상황에서 양안 시차 정보가 White 착시 자극에서 대상의 소속성에 미치는 영향을 검증하는 것이다. T-교차가 존재하지 않는 실험 2에서의 결과를 T-교차가 존재하는 실험 1에서의 결과와 비교하면 T-교차의 영향을 간접적으로 검증하는 것이 가능하다. 본 실험에서는 Howe(2005)에서 사용한 자극 중 T-교차 정보를 제거한 자극을 변형하여 사용하였다. 실험 1의 자극에서는 외곽으로부터 4번 째 고리에 회색 사각형이 위치하였던데 반하여 실험 2의 자극에서는 4번째 고리 전체를 회색 고리로 구성함으로써 각기 다른 휘도를 가진 세 면이 만나는 경계선인 T-교차를 제거하여 동심원(Bull's eye) 형태의 자극을 구성하였다(그림 7). Howe의 선행 연구에 따르면 T-교차의 존재 여부와 상관없이 자극의 회색 부분은 동일한 밝기로 지각되었다. Howe의 선행 연구와 같이 T-교차의 유무와 상관없는 밝기 지각이 나타난다면 실험 2에서도 실험 1의 결과가 반복하여 관찰될 것이다.



(그림 7) 실험 2의 자극 예시. 그림 3과 비교할 때 회색 사각형이 회색 고리로 대치되었다.

방 법

참가자

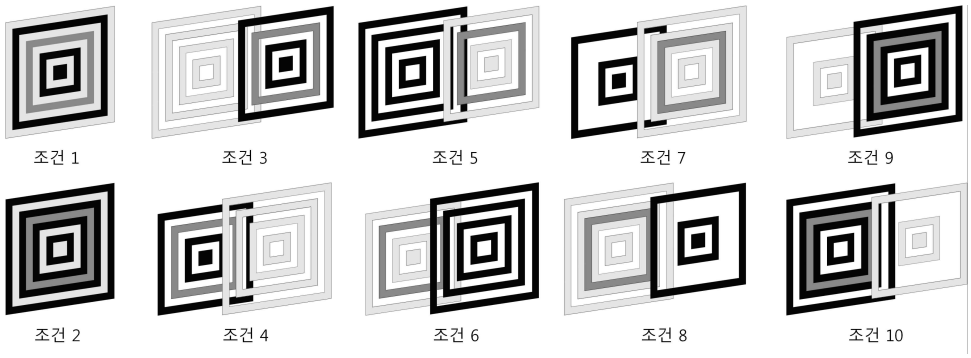
실험 1과 동일한 10인이 참여하여 실험을 진행하였다.

실험기구와 자극

실험 1과 동일한 실험 기구를 사용하였다. 실험 1과 마찬가지로 두 배경 중 검사 자극은 화면의 좌측에 제시하고 응답 자극은 화면의 우측에 제시하였다. 외곽으로부터 4번째 고리를 회색 고리로 대체한 점을 제외하고 실험 1과 동일하였다.

자극 조건

실험 1과 마찬가지로 모든 자극에서 밝기 판단의 대상이 되는 회색 고리를 외곽으로부터 4번째 고리에 위치하도록 하였다. 그림 8에서 조건 1과 조건 2는 양안 시차를 포함하지 않은 자극으로 규칙적 구조 정보를 가지는 기초선 조건이다. 조건 3 ~ 6은 규칙적 구조와 양안시차가 회색 고리의 소속성에 대하여 일관된 정보를 제공한다. 조건 3과 5는 회색 고리가 교차 시차를 갖는 조건이며, 4와 6은 비교차를 갖는 조건이다. 조건 7 ~ 10은 단안 정보는 회색 고리가 짝수 번째 배경에 속한다는 정보를 제공하는데 반하여 양안시차는 3차원 깊이 차원에서 회색 고리가 홀수 번째 배경과 동일한 깊이에 존재 한다는 정보를 제공한다. 조건 7과 9는 회색 고리가 교차 시차를 갖는 조건이며 8과 10은 비교차 시차를 갖는 조건이다. 10 가지 자극 조건 각 각에 대하여 회색 고리의 밝기가 각 각 28.3cd/m^2 또는 38.1cd/m^2 가 되도록 하여 실험에 사용된 총 자극은 20개였다.



(그림 8) 실험 2의 자극 조건 예시

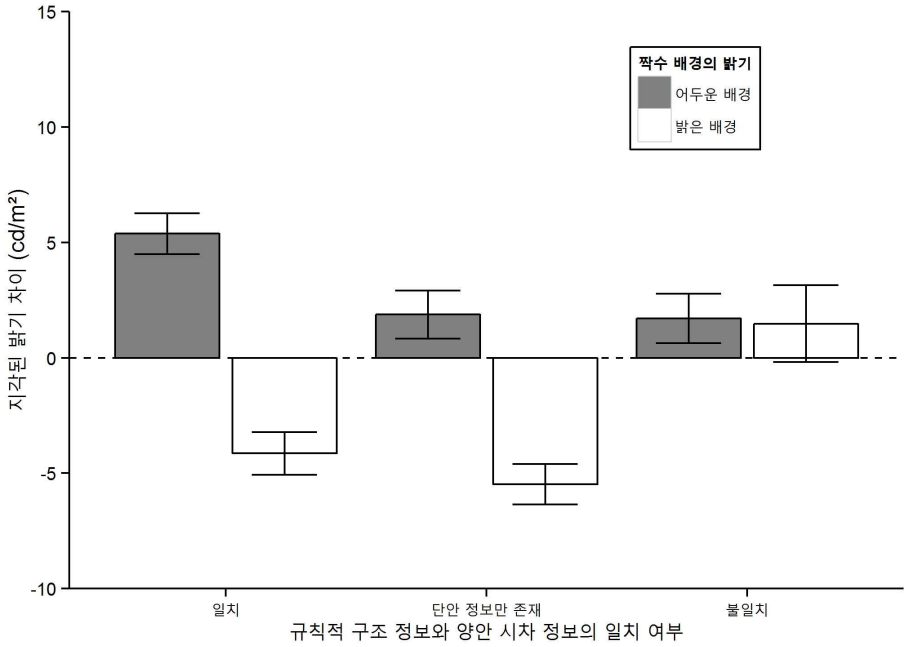
실험 절차

실험 1의 절차와 동일하였다.

결과 및 논의

실험 1과 동일하게 지각된 밝기 차이를 이용하여 결과를 분석하였다. 실험 2의 자극에서 규칙적 구조는 회색 고리가 짝수 배경에 속한다는 정보를 제공한다. 그림 9에서 나타나듯 회색 고리에 대한 전체적인 밝기 지각 경향은 조건 9, 10을 제외하고 짝수 배경의 밝기가 밝을 때 회색 고리를 실제보다 어둡게, 짝수 배경의 밝기가 어두울 때 실제보다 밝게 지각하는 경향을 보였으며 이와 같은 짝수 배경 밝기의 주효과는 통계적으로 유의하였다($F(1,9) = 12.23$, $p < .001$). 단안 정보와 양안 정보의 일치성 주효과는 유의미 하였으며($F(2,18) = 19.91$, $p < .001$) 상호작용 효과 또한 유의미하였다($F(2,18) = 10.77$, $p < .001$).

본 실험의 주요 관심인 단안 정보와 양안 시차 정보의 상대적인 영향을 확인할 수 있는 불일치 조건의 실험결과는 일관되지 않았다. 단안 정보에 의해서는 회색 고리가 어두운 배경에 소속



(그림 9) 실험 2의 결과. 왼쪽부터 조건3,4 조건5,6 조건1 조건2 조건7,8 조건 9,10에서 지각된 밝기 차이를 의미한다.

하는 것으로 해석되고 양안시차에 의해서는 회색 고리가 밝은 배경에 소속하는 것으로 해석되는 불일치 조건인 조건 7과 8에서는 회색 고리가 실제보다 밝게 지각되었다. 반면에 단안 정보에 의해서는 회색 고리가 밝은 배경에 소속하는 것으로 해석되고 양안시차에 의해서는 회색 고리가 어두운 배경에 소속하는 것으로 해석되는 불일치 조건인 조건 9와 10에서도 회색 고리가 실제보다 밝게 지각되었다. 이와 같은 실험 결과에 근거하여 T-교차를 포함하지 않는 White 착시 자극의 경우 회색 고리의 소속성이 단안 정보나 양안 시차 어느 하나에 의해 결정된다고 보기는 어렵다.

회색 고리의 소속성에 영향을 미치는 주된 요인이 단안 정보인지 아니면 양안시차인지 결정하기는 어렵지만 단안 정보와 양안시차가 회색 고리의 소속성에 모두 영향을 미칠 수 있음을 관찰하였다. 왜냐하면 정보 일치조건보다 정보 불일치 조건에서 짝수 번째 배경 밝기에 따른 회색 사각형의 지각된 밝기차이가 감소하는 경향을 보이기 때문이다. 이와 같은 경향성은 실험 1과 마찬가지로 일치조건과 기초선 조건(조건 1과 2)을 비교하고 불일치 조건과 기초선 조건을 비교할 때 부분적으로 관찰되었다. 단안 정보에 의해 회색 고리가 어두운 배경에 속하는 것으로 해석되는 조건 1에 비해 양안 시차가 회색 사각형이 어두운 배경에 속한다는 추가적인 정보를 제공하는 조건에서 (일치조건; 조건 3, 4) 회색 사각형을 더 밝게 지각하였다($p < .01$). 또한 단안 정보가 회색 사각형이 밝은 배경에 속한다는 정보를 제공하는 조건 2에 비해 단안정보와 달리 양안 시차 정보가 회색 사각형이 어두운 배경에 속한다는 정보를 제공하는 불일치 조건(조건 9, 10)에서 회색 사각형을 더 밝게 지각하였다($p < .05$). 이와 같은 실험 2의 결과는 T-교차가 존재하는 실험 1과 달리 T-교차가 존재하지 않는 상황에서 단안 정보와 양안 시차 모두 회색 고리의 소속성에 영향을 미침을 시사한다.

종합논의

본 연구는 Howe의 자극에 양안시차를 추가하여 White 착시 자극에서 단안 정보와 양안 시차가 밝기 지각에 미치는 상대적인 영향을 검증하였다. 실험 1은 T-교차를 포함한 단안 정보와 양안 시차가 밝기 판단의 대상이 속하는 배경에 대해 서로 불일치하는 정보를 제공할 때 양안 시차에 비해 단안 정보가 White 착시 자극의 밝기 지각에 상대적으로 큰 영향을 미침을 확인하였다. 하지만 대상의 밝기 지각에 미치는 양안 시차의 영향을 무시할 수 없는 결과가 관찰되었다. 단안 정보만 존재하는 조건에 비해 추가적인 양안 시차 정보가 단안 정보와 일치할 때 White 착시 효과가 일부 조건에서 증가하였다. 반면에 단안 정보만 존재하는 조건에 비해 양안시차가 단안 정보와 불일치 할 때 White 착시 효과가 일부 조건에서 감소하였다. 이와 같은 실험결과는 양안 시차가 단안 정보 보다는 약하지만 여전히 대상의 소속성 해석에 영향을 미침을 시사한다.

실험 2는 T-교차가 존재하지 않는 자극 상황에서 단안 정보와 양안 시차 정보가 회색 고리의 소속성에 미치는 영향을 검증하였다. 두 정보가 불일치할 때의 결과는 일관되지 않았지만 일치 조건에 비하여 불일치 조건에서 단안정보인 짝수 배경의 밝기 효과가 감소하였다. 이와 같은 실험 2의 결과는 단안 정보와 양안시차 모두 회색 고리의 소속성 해석에 영향을 미치지만 T-교차가 존재하지 않는 상황에서 어떤 정보가 대상의 소속성을 주도적으로 결정하는지 확정할 수 없음을 시사한다.

양안시차가 대상의 소속성 결정에 미치는 영향은 T-교차가 존재하는 실험 1의 자극 상황보다는 T-교차가 존재하지 않은 실험 2의 자극 상황에서 더 큰 것으로 해석된다. 실험 2의 불일치 조건 중 짝수 배경의 밝기가 밝은 자극 상황에서 단안 정보는 대상이 밝은 배경에 속한다는 정보를 제공하지만 양안시차는 대상이 어두운 배경에 속한다는 정보를 제공한다. 이때 대상의 밝기는 실제 밝기보다 더 밝은 것으로 지각되었는데 이와 같은 결과는 회색 고리가 밝은 배경보다는 양안시차에 의해 어두운 배경에 속하는 것으로 해석되었기 때문이다.

변형된 White 자극을 사용한 본 연구는 동시 명도대비 자극을 사용한 Wolff(1933)나 Benary 십자가 자극을 사용한 Coren(1969)의 연구와 비교할 때 소속성 결정에 미치는 양안 시차의 영향을 검증하였다는 점에서 공통점이 있다. 하지만 본 연구는 T-교차뿐만 아니라 규칙적 구조와 같은 단안 정보를 포함한 White 변형 자극에서 양안 시차의 영향을 검증했을 뿐만 아니라 양안시차와 이들 단안 정보와의 상대적인 영향을 비교하였다는 점에서 차이점이 있다.

본 연구와 달리 양안 시차와 소속성 개념과 관계없이 모델로써 밝기 지각 과정을 설명하는 연구가 있다(Bindman & Chubb, 2004; Blakeslee & cCourt,, 1999; Ghosh, Sarkar, & Bhaumik, 2006). 이들 연구는 White 착시 자극과 T-교차를 통해 설명할 수 없었던 밝기 지각 현상들을 잘 설명하나 양안 시차를 포함하지 않은 평면 자극에 대한 이론이라는 점에서 현실 세계의 밝기 지각을 설명하는데 한계가 있다.

실험 1은 T-교차를 포함하는 자극 상황에서 밝기 지각은 양안시차보다는 단안 정보에 의해 더욱 영향을 받는 것을 보여 준다. 이와 같은 실험 1의 결과는 양안시차의 영향이 단안정보의 영향 이상이라는 것을 보여준 Spehar, Gilchrist와 Arend(1992)의 연구결과와 일관되지 않다. 이와 같은 일관되지 않은 연구결과가 나타난 이유는 여러 가지가 있을 수 있는데 가장 큰 차이는 두 연구에서 사용한 자극의 차이 때문일 수 있다. Zaidi, Spehar와 Shy(1997)는 T-교차에 비해 3차원 구조 지각은 밝기 지각에 적은 영향을 미침을 주장하였으나 Gilchrist, Bonato, Annan과 Economou (1998)는 동일한 자극에서 밝기 범위를 확장시켰을 때 3차원 구조 지각의 영향이 T-교차 이상으로 나타남을 확인하였다. Spehar 등(1992)에서 사용된 자극과 본 연구에서 사용된 자극은 밝기 범위 뿐 아니라 자극 구성에서도 차이가 있다. Spehar(1992)의 입체 자극은 서로 다른 양안 시차를 가진 평면들로 구성되었으나 본 연구는 무선 점들로 구성되었다. 무선 점으로 White 착시 자극의 3가지 밝기를 나타내기 위해 밝은 배경을 구성하는 점, 어두운 배경을 구성하는 점, 회색 사

각형을 구성하는 점, 점들 사이의 빈 공간을 표현하기 위해 총 4가지 밝기를 사용하였다. 모니터가 표현할 수 있는 밝기 범위는 제한되어있는데 자극을 구성하는 요소들의 밝기는 서로 구분될 수 있을 만큼의 대비를 나타내야 하므로 무선 점 자극은 3가지 밝기를 사용하는 평면 자극에 비해 좁은 밝기 범위를 갖는다. 그러나 무선 점 자극은 많은 수의 점들이 각각 양안 시차 정보를 포함하기 때문에 평면 자극에 비해 더욱 명확한 양안 시차 지각이 가능하며 가상의 평면을 구성하기 때문에 실제 모서리가 존재하지 않으므로 평면 자극에 비해 T-교차가 덜 부각된다. 이러한 자극 특성으로 인해 양안 시차의 효과가 평면을 이용하여 구성한 자극보다 더욱 명확하게 드러날 것으로 예상하였으나 실제 실험 결과는 그렇지 않았다. 이는 자극 구성 요소들 간의 상호작용이 있음을 시사하며 두 연구 결과의 차이를 유발한 원인 규명은 추가적인 연구를 필요로 한다.

Howe의 연구에서 실험 자극은 양안시차를 포함하지 않고 단안 정보만으로 구성되었다. Howe는 규칙적으로 반복되는 구조에서 T-교차를 포함한 자극과 T-교차를 포함하지 않는 자극에서 대상의 지각된 밝기가 동일하다는 실험결과에 기초하여 T-교차 정보가 대상의 밝기 지각에 영향을 미치는 결정적 요인이 아니라고 해석하였다. 대상의 소속성 결정에 미치는 T-교차와 규칙적으로 반복되는 구조 간의 상대적 영향을 검증하기 위해서는 T-교차만을 포함하는 자극 상황과 두 정보 모두를 포함하는 자극 상황에서의 대상의 밝기 지각을 비교할 필요가 있다. 하지만 Howe의 연구에서 사용된 자극에서 T-교차만을 포함하는 자극 상황을 구성하는 것은 현실적으로 불가능하였다. Howe의 자극에 양안시차를 추가한 자극을 사용한 본 연구는 T-교차와 양안 시차의 영향을 직접적으로 비교하지 못하였다는 한계점을 갖는다. 하지만 T-교차가 포함된 실험 1의 자극과 T-교차가 없는 실험 2의 자극에서 양안시차와 단안정보의 일치성 여부가 White 착시에 미치는 영향을 검증하였다는 점에서 본 연구는 의미가 있다.

실험 1과 2에서 양안 시차의 영향은 단안 정보만 존재하는 기초선 조건보다 밝기 판단의 대상을 더 밝게 지각되도록 하는 방향으로만 나타나는 것으로 해석될 여지가 있다. 양안시차와 단안정보의 일치 여부와 관계없이 양안시차 정보가 회색 사각형이 어두운 배경에 소속된다는 정보를 제공하는 조건에서 기초선 조건보다 회색 사각형을 상대적으로 더 밝게 지각하는 것으로 나타났다. 예를 들어, 조건 1에 비해 조건 3, 4에서, 그리고 조건 2에 비해 조건 9, 10에서 회색 사각형을 더 밝게 지각하였다. 이에 관해 명확한 인과관계를 밝힐 수 없었으나 실험 1과 실험 2에서 일관된 편향을 보이므로 추후 연구를 통해 규명할 필요가 있다.

실험 1과 실험 2의 결과를 통합하여 비교하는 것으로 T-교차의 유무에 따른 효과를 검증할 수 있었다. 비록 동일한 통제 하에서 이루어진 하나의 실험은 아니나 참가자와 독립변인이 동일하였기에 분석이 가능하였다. T-교차 유무의 주효과는 유의하지 않았다($p > .05$). 이는 White 착시 자극의 밝기 지각에서 T-교차의 유무가 영향을 미치지 않는다는 Howe의 결과를 지지한다. 다만 단서 일치성의 주효과는 유의하였고($F(2,18) = 28.34$, $p < .001$) T-교차 유무와 단서 일치성

의 상호작용 효과 역시 유의하였다($F(2,18) = 4.55$, $p < .05$). 이는 양안 시차의 영향은 T-교차의 유무에 따라 다르게 나타났음을 의미한다.

본 연구는 White 착시 자극의 단안 정보와 양안 시차가 대상의 소속성에 대하여 불일치하는 정보를 제공하는 자극 상황에서 양안 시차의 영향은 단안 정보인 T-교차의 유무에 따라 다르게 나타남을 시사한다. 실험 1에서 양안시차의 영향은 규칙적으로 반복되는 구조 보다는 T-교차에 의해 억제되는 것으로 해석할 수 있다. 실험 2의 결과가 보여주듯이 규칙적으로 반복되는 구조와 양안시차가 불일치하는 상황에서 두 정보의 영향은 우위를 결정할 수 없는 것으로 해석되며, 실험 1과 2를 비교하여 볼 때 양안 시차의 영향은 T-교차의 유무에 따라 다르게 나타나기 때문이다. 하지만 이와 같은 해석은 규칙적으로 반복되는 구조 및 T-교차 그리고 양안시차가 상호작용하지 않는다는 것을 전제로 한다. 규칙적으로 반복되는 구조 및 T-교차 그리고 양안시차가 밝기 지각에서 대상의 소속성에 미치는 상대적 영향을 좀 더 명확하게 규명하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

Agostini, T., & Proffitt, D. R. (1993). Perceptual organization evokes simultaneous lightness contrast. *Perception, 22*, 263-272.

Anderson, B. L. (1997). A theory of illusory lightness and transparency in monocular and binocular images: The role of contour junctions. *Perception*, *26*, 419 – 453.

Benary, W. (1924). Beobachtungen zu einem Experiment über Helligkeitskontrast. *Psychological Research*, *5*, 131-142.

Bindman, D., & Chubb, C. (2004). Brightness assimilation in bullseye displays. *Vision Research*, *44*, 309-319.

Blakeslee, B., & McCourt, M. E. (1999). A multiscale spatial filtering account of the White effect, simultaneous brightness contrast and grating induction. *Vision Research*, *39*, 4361-4377.

Coren, S. (1969). Brightness contrast as a function of figure-ground relations. *Journal of Experimental Psychology*, *80*, 517.

Ghosh, K., Sarkar, S., & Bhaumik, K. (2006). A possible explanation of the low-level brightness – contrast illusions in the light of an extended classical receptive field model of retinal ganglion cells. *Biological Cybernetics*, *94*, 89-96.

Gilchrist, A. L. (1980). When does perceived lightness depend on perceived spatial arrangement?. *Perception & Psychophysics*, *28*, 527-538.

Gilchrist, A., Bonato, F., Annan, V., & Economou, E. (1998). Depth, lightness (and memory). *Investigative Ophthalmology and Visual Science (Supplement)*, *39*, S671.

Gilchrist, A., Kossyfidis, C., Bonato, F., Agostini, T., Cataliotti, J., Li, X., & Economou, E. (1999). An anchoring theory of lightness perception. *Psychological Review*, *106*, 795.

González, E. G., Allison, R. S., Ono, H., & Vinnikov, M. (2010). Cue conflict between disparity change and looming in the perception of motion in depth. *Vision Research*, *50*, 136-143.

Hartline, H. K., Wagner, H. G., & Ratliff, F. (1956). Inhibition in the eye of Limulus. *The Journal of General Physiology*, *39*, 651-673.

Howe, P. D. (2005). White's effect: Removing the junctions but preserving the strength of the illusion. *Perception-London*, *34*, 557-564.

Julesz B. (1964) Binocular depth perception without familiarity cues. *Science, 145*, 356-362.

Radonjić, A., Todorović, D., & Gilchrist, A. (2010). Adjacency and surroundedness in the depth effect on lightness. *Journal of Vision*, *10*, 12.

Rock, I. (1983). *The logic of perception*. Cambridge: MIT Press.

Spehar, B., Gilchrist, A. L., & Arend, L. A. (1992). White's illusion: The role of intensity and figural relationships. *Perception*, *21*.

Todorovic, D. (1997). Lightness and junctions. *Perception, 26,* 379-395.

Wagemans, J. (1995). Detection of visual symmetries. *Spatial Vision*, *9*, 9-32.

Wallach, H. (1948). Brightness constancy and the nature of achromatic colors. *Journal of Experimental Psychology*, *38*, 310-324.

White, M. (1979). A new effect of pattern on perceived lightness. *Perception*, *8*, 413-416.

Wolff, W. (1933). Concerning the contrast-causing effect of transformed colors. *Psychologische Forschung*, *18*, 90-97.

Yazdanbakhsh, A., Arabzadeh, E., Babadi, B., & Fazl, A. (2002). Munker–White-like illusions without T-junctions. *Perception*, *31*, 711-715.

Zaidi, Q., Spehar, B., & Shy, M. (1997). Induced effects of backgrounds and foregrounds in three-dimensional configurations: The role of T-junctions. *Perception*, *26*, 395-408.

1차 원고 접수: 2016.08.26
1차 심사 완료: 2016.09.27
2차 원고 접수: 2017.01.30
2차 심사 완료: 2017.02.17
3차 원고 접수: 2017.06.01
최종 게재 확정: 2017.06.20

(*Abstract*)

The effect of binocular disparity and T-junction on brightness perception in White illusion

KyungHo Kim, ShinWoo Kim, Hyung-Chul O. Li

Department of I/O Psychology, Kwangwoon University

The purpose of the research was to examine the relative effect of binocular disparity and T-junction on the determination of object's belongingness in brightness perception when regular repeating structure was present in the stimuli. Using Howe's stimuli, the variation of White illusion stimuli, Experiment 1 found that object's belongingness was mainly determined by monocular information (T-junction as well as regular repeating structure) rather than by binocular disparity when both informations on belongingness were inconsistent. Experiment 2, using the stimuli employing only regular repeating structure and binocular disparity, found that object's belongingness was not determined by any single information. These results imply that when the regular repeating structure and binocular disparity are inconsistent on object's belongingness, T-junction plays an important role in the determination of the object's belongingness and that the brightness perception is affected by it.

Key words : Belongingness, Brightness perception, T-junction, Regular repeating structure, Binocular disparity