



A Comparison of Brightness Perception in White's Illusion and Classical Brightness Assimilation

Jung, Jiyeon¹, Jung, Woo Hyun^{1*}

¹Department of Psychology, Chungbuk National University

White's illusion is unique in that it differs from classical brightness contrast and assimilation illusions. Although White's illusion and brightness assimilation may appear similar, they are caused by different visual properties. This study aimed to investigate whether the mechanisms underlying White's illusion and brightness assimilation are the same. Experiment 1 investigated whether the length of the test stimulus and the thickness of the stimuli could affect brightness induction. The test stimulus was presented in the center of the inducing stimuli arranged in a square waveform. Experiment 2 investigated whether the number of inducing stimuli could affect brightness induction. The results showed that the perceived brightness of the test stimulus was systematically influenced by the length and thickness of the stimulus. This trend was maintained even when the number of inducing stimuli was controlled for. These results suggest that brightness induction could be explained by the responses of the primary visual cortex. Non-adjacent inducing stimuli also affected brightness perception, but the effect weakened as the distance from the test stimulus increased. This trend was observed in both White's illusion and classical brightness assimilation stimuli, indicating that White's illusion and classical brightness induction may occur due to a similar mechanism.

Keywords: brightness induction, White's illusion, brightness assimilation, brightness perception

1차원고접수: 22.07.01; 수정본접수: 23.01.29; 최종게재결정: 23.02.25



Copyright: © 2023 The Korean Society for Cognitive and Biological Psychology. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided that the article is properly cited and the use is non-commercial.

물리적으로 동일한 자극의 밝기가 주변의 밝기에 의해 실제와 다르게 지각될 수 있다. 중심 자극의 지각된 밝기가 주변 자극에 의해 달라지는 것은 밝기 유도 현상(brightness induction 혹은 lightness induction)의 한 가지 예라고 할 수 있다(Heinemann, 1955; Heinemann & Chase, 1995; Leeuwenberg, 1982; Shapley & Reid, 1985).

밝기 유도 현상으로 나타나는 착시의 가장 대표적인 예가 밝기 대비 착시(brightness contrast illusion)이다. 밝기 대비 착시를 보여주는 고전적인 자극 예가 Figure 1에 제시되어 있다. Figure 1의 A와 B에서 중심 회색 자극의 물리적 밝기

(luminance)는 동일하다. 그러나 Figure 1A의 중심 자극이 Figure 1B의 중심 자극보다 더 어두워 보인다. 고전적 대비 자극에서는 주변 자극이 밝으면 중심 자극의 밝기가 주변 자극이 어두울 때보다 더 어두워 보인다(Heinemann, 1955; Shapley & Reid, 1985).

밝기 대비 착시는 주로 가쪽 억제 기제(lateral inhibition mechanism)로 설명된다. 가쪽 억제는 망막에 있는 신경세포들 간의 상호작용의 결과로 나타난다. 흥분 중심-억제 주변 수용장을 갖는 망막 신경절 세포의 경우, 수용장 전체 영역에 걸쳐 들어 오는 빛의 양이 많아지면 가쪽의 광수용기로부터

* 본 논문은 정지연의 석사 학위 논문을 바탕으로 작성되었음.

† 교신저자: 정우현, 충북대학교 심리학과, (28644) 충북 청주시 서원구 충대로 1, 사회과학대학 416호, E-mail: com4man@gmail.com

터의 억제 신호도 많아지게 된다(Kingdom, 1997; Valberg et al., 1985). 주변 자극의 빛을 받아들이는 광수용기들이 양극세포나 신경절 세포에 억제신호를 보내게 되면 주변부에서 억제 신호가 오지 않거나 약하게 오는 경우에 비해 신경절 세포의 발화율이 줄어들어 밝기 대비 착시와 같은 현상이 일어날 수 있다.

그러나 많은 지각적 현상들에 의한 증거들은 밝기 유도 현상이 가쪽 억제 기제만으로는 설명될 수 없다는 것을 보여준다. 대표적인 현상 중 하나가 White 착시(White's illusion)이다(White, 2010). White 착시 자극의 예가 Figure 2에 제시되어 있다. Figure 2에서 세로로 긴 두 회색 막대의 밝기는 동일하다. 이때 Figure 2의 A에 있는 회색 막대의 밝기가 Figure 2의 B에 있는 회색 막대의 밝기보다 더 밝아 보인다. 이처럼 전형적인 White 착시 자극에서는 밝은 유도 자극에 더 많이 둘러싸인 회색 막대의 밝기가 어두운 유도 자극에 더 많이 둘러싸인 회색 막대의 밝기보다 밝아 보인다.

White 착시를 신경생리학적으로 설명할 수 있는 기제는 아직까지 밝혀지지 않았다. 일부 연구자는 White 착시를 밝기 동화 착시(brightness assimilation illusion)의 일종으로 분류한다(Blakeslee & McCourt, 1999, 2004; Blakeslee et al., 2005; Otazu et al., 2008). Figure 3에 고전적 밝기 동화 착시의 예시가 제시되어 있다. 고전적 밝기 동화 착시 상황에서는 주변 자극이 밝으면 주변 자극이 어두울 때보다 중심 자극의 밝기가 더 밝아 보인다(Heinemann, 1955; Shapley & Reid, 1985). White 착시를 밝기 동화 착시와는 별도의 현상으로 분류하는 연구자들도 있다(Economou et al., 2015; Economou et al., 2007; Gilchrist et al., 1999). White 착시 현상이 고전적 밝기 동화 착시 현상과 동일한지에 대해서는 아직까지 논란 중이다.

망막 수용장의 가쪽 억제는 인접한 일부 영역에만 영향을



Figure 2. Examples of typical White's illusion. The central stimulus in (A) is more in contact with the light illusion-inducing stimuli, and the central stimulus in (B) is more in contact with the dark illusion-inducing stimuli. Unlike Figure 1, the brightness of the central stimulus in (A) appears lighter than the brightness of the central stimulus in (B).

끼칠 수 있다(Kingdom, 1997; Valberg et al., 1985). 그러나 밝기 지각은 인접한 영역뿐만 아니라 인접하지 않은 자극을 비롯하여 배경의 밝기와 조명에 의해서도 달라질 수 있다(Gilchrist et al., 1999; Hong & Shevell, 2004). White 착시와 고전적 밝기 동화 착시는 가쪽 억제 기제로는 설명되지 않는다. 다양한 형태로 나타나는 밝기 유도 현상을 설명하기 위해 여러 이론들이 제시되었다. 그중 대표적인 이론이 공간 필터링 모형(spatial filtering model)과 정박 이론(anchor theory)이다.

공간 필터링 모형에서는 밝기 유도 현상을 일차 시각 겹질(V1; primary visual cortex)에 있는 시각 세포에서 일어나는 흥분-억제 반응의 결과로 설명한다(Blakeslee & McCourt, 1999, 2004; Blakeslee et al., 2005; Otazu et al., 2008). 일차 시각 겹질의 시각 세포 수용장들은 다양한 크기로 구성되어 있다. 시각 세포 수용장의 크기는 공간 주파수(spatial frequency) 지각의 민감도와 밀접한 관련이 있다. 망막의 광수용기는 빛의 단순 입력에 따라 흥분 또는 억제 신호를 보낸다. 그러나 일차 시각 겹질 수준에는 특정 방



Figure 1. Examples of classical brightness contrast illusions. A light illusion-inducing stimulus surrounds the gray central stimulus in (A), and a dark illusion-inducing stimulus surrounds the central stimulus in (B). The brightness of the central stimulus in (A) and (B) is the same, but the central stimulus in (A) appears darker than that in (B).

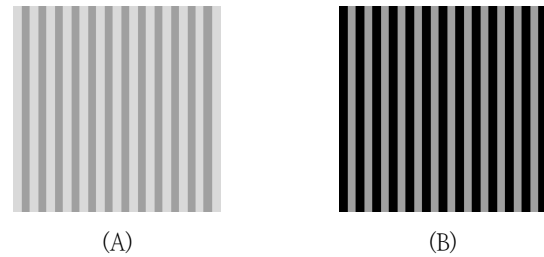


Figure 3. Examples of classical brightness assimilation illusions. Light illusion-inducing stimuli surround the gray central stimulus in (A), and dark illusion-inducing stimuli surround the central stimulus in (B). Unlike Figure 1, the brightness of the central stimulus in (A) appears lighter than the brightness of the central stimulus in (B).

위(orientation)와 특정 경계(edge)에 선별적인 세포들이 있다. 이로 인해 일차 시각 결절은 망막 수준에 비해 더 복잡한 시각 입력을 처리할 수 있다. 공간 필터링 모형은 공간 주파수, 방위, 그리고 경계 정보의 처리를 수행하는 일차 시각 결절의 수용장 반응과 유사한 결과를 산출하는 필터를 통해 밝기 유도 현상의 지각을 예측한다(Blakeslee & McCourt, 1999). 공간 필터링 모형을 통한 예측을 정신물리학적 반응 데이터와 비교한 연구들이 있다. 이 연구들에 따르면 공간 필터링 모형이 고전적 대비 현상과 White 착시 현상을 잘 예측할 수 있는 것으로 나타났다(Blakeslee & McCourt, 1999, 2004; Blakeslee et al., 2005; Otazu et al., 2008). 공간 필터링 모형의 수용장 필터를 적용하면 Figure 1A의 회색 사각형은 Figure 1B의 회색 사각형보다 더 어두워 보이게 예측된다. 반면 Figure 2A의 회색 사각형은 Figure 2B의 회색 사각형보다 더 밝아 보이게 예측된다.

공간 필터링 모형은 밝기 유도 현상의 지각을 일차 시각 결절 수용장 반응의 결과로써 수치화하여 설명했다는 점에서 의의가 있다. 그러나 고전적 밝기 동화 착시 상황에서도 공간 필터링 모형이 예측하는 결과와 유사하게 나타나는지 알려진 바가 없다. 현재까지는 White 착시 현상이 밝기 동화 착시 현상과 동일하다는 증거가 불충분하다. 그럼에도 공간 필터링 모형에서는 White 착시를 밝기 동화 착시 현상으로 간주한다(Blakeslee & McCourt, 1999, 2004; Blakeslee et al., 2005; Otazu et al., 2008).

White 착시는 고전적 밝기 동화 착시와 다른 현상이라고 주장하는 이론도 있다. 그중 가장 대표적인 이론은 정박 이론(anchor theory)이다. 정박 이론에 따르면 밝기 유도 현상은 주변 자극과의 집단화(grouping) 혹은 소속감(belongingness) 지각에 의해 발생한다(Economou et al., 2007, 2015; Gilchrist et al., 1999).

정박 이론은 일차 시각 결절보다 후의 시각처리 단계에서 설명을 시도한다(Economou et al., 2015). 정박 이론에 따르면 중심 자극이 어떤 주변 자극과 묶여 지각되는지가 밝기 지각에 영향을 줄 수 있다. 정박 이론의 관점에서는 White 착시 현상과 고전적 동화 현상을 동일한 현상으로 보지 않는다(Economou et al., 2015; Gilchrist et al., 1999). White 착시 자극과 고전적 동화 자극은 주변 자극과 집단화되는 방식이 다르기 때문이다.

고전적 밝기 동화 착시 자극에서는 밝기 유도 현상을 유도하는 주변 자극이 한 종류이다(Figure 3). 그러나 White 착시 자극에서는 밝기 유도 현상을 유도하는 주변 자극이 두 종류이다(Figure 2). 정박 이론에 따르면 White 착시 자극에

서 회색 검사자극과 동일선상에 있는(collinear) 유도자극(Figure 2에서 회색 자극 위아래에 있는 자극)의 효과가 회색 자극의 측면에 있는(flanking) 유도자극(Figure 2에서 회색 자극 양옆에 있는 자극)의 효과보다 더 크다(Gilchrist et al., 1999). 그 이유는 동일선상 유도자극 위에 회색 자극이 놓여 있다고 지각될 수 있기 때문이다. 이로 인해 회색 자극은 측면 유도자극이 아닌 동일선상 유도자극과 집단을 형성한다. 정박 이론에서는 동일선상 유도자극이 측면 유도자극에 비해 밝기 유도 현상에 더 많은 영향을 끼친다고 간주한다. 측면 유도자극과 인접한 영역이 더 넓을지라도 회색 자극과 동일선상 유도자극의 관계는 변하지 않는다. Figure 2의 White 착시 효과는 동일선상 유도자극을 기준으로 대비 효과로 볼 수 있다는 것이다. 그러나 고전적인 분류 기준에 따르면 White 착시 효과가 동화 효과처럼 해석될 수 있다.

Figure 3의 고전적 밝기 동화 착시 자극에는 회색 자극과 인접한 자극이 측면 유도자극밖에 없다. 회색 자극은 측면 유도자극들과 서로 같은 깊이에 있는 것으로 묶여 지각될 수 있다. 이에 따르면 고전적 밝기 동화 착시 자극에서는 White 착시 자극에서와 달리 측면 유도자극과의 관계 때문에 밝기 지각이 유도될 수 있다.

정박 이론은 공간 필터링 모형과 비교해 설명 범위가 더 넓다는 장점이 있다. 선행연구를 통해 White 착시 자극(Pessoa & Ross, 1995; Spehar et al., 1995), 고전적 대비와 고전적 동화 자극(Economou et al., 2015) 모두 집단화 요인에 의해 착시가 유도될 가능성이 발견되었다. 그러나 정박 이론의 설명은 인간의 수용장 반응을 포함한 시각 기제와 관련짓기 어렵다는 한계가 있다. 정박 이론에서도 밝기 지각에 대한 수치화된 예측을 시도하였으나, 이 시도는 매우 단순한 자극 상황에서만 이루어졌다(Gilchrist et al., 1999). 고전적 밝기 동화 착시 자극과 White 착시 자극에서 이루어지는 집단화에 대한 수치화된 예측이 아직 이루어지지 않았다. 자극에 대한 지각을 수치화하여 설명하는 공간 필터링 모형이 이론적 설명력 측면에서는 더 높을 수 있다.

White 착시와 고전적 밝기 동화 착시 현상이 어떤 기제에 의해 나타나는지 현재까지 밝혀지지 않았다. 수용장 반응만으로 설명될 수 있는지, 아니면 집단화 요인과 같은 후기 단계의 정보가 중요하게 작용하는지 확실하지 않다. 두 효과가 동일한 현상인지, 혹은 같은 기제에 의해 설명될 수 있는지도 논란이 있다. 논란이 현재까지도 지속되는 이유 중 하나는 White 착시 자극과 고전적 밝기 동화 착시 자극을 동등한 조건에서 비교한 연구가 거의 존재하지 않기 때문으로 보인다. 밝기 유도 현상의 기제 규명에 앞서 밝기 지각을 변화

시키는 시각적 속성들에 대해 알아보는 것이 필요하다.

자극을 구성하는 막대들의 두께는 밝기 유도 현상을 변화시키는 대표적인 시각적 속성이다. 선행연구들에 따르면 자극에 두께가 고전적 밝기 유도 현상을 변화시킬 수 있다. 막대 자극이 얇을수록 동화 효과가 나타날 가능성이 컸고, 두꺼울수록 대비 효과가 나타날 가능성이 컸다(Blakeslee & McCourt, 2004; Reid & Shapley, 1988; McCourt, 1982). 이는 밝기 유도 현상의 효과 방향이 자극 두께에 의해 변할 수 있음을 의미한다. 밝기 유도 현상은 두께 외에도 자극의 형태와 배경의 밝기 등에 의해 달라질 수 있다(Gilchrist et al., 1999; Hong & Shevell, 2004).

White 착시 자극에서도 막대의 두께에 따라 밝기 유도 현상이 달라질 수 있다. 선행연구에 의하면 검사·유도자극의 두께가 두꺼워질수록 밝기 유도량이 감소하였는데 이는 고전적 밝기 동화 착시와 유사했다. 그러나 White 착시 자극 상황에서는 막대가 충분히 두껍더라도 밝기 유도 현상의 효과 방향이 변하는 현상은 관찰되지 않았다(Anstis, 2006). 이는 고전적 동화 현상과 White 착시 현상이 동일하지 않을 가능성을 보여준다.

White 착시 자극과 고전적 밝기 동화 착시 자극을 구분하는 다른 특징으로 검사자극(Figure 2와 3의 회색 막대자극)의 길이가 될 수 있다. 전형적인 밝기 동화 착시 자극에서는 검사자극과 측면 유도자극의 길이가 동일하다. 이때 검사자극과 인접한 유도자극은 한 종류이다. 그러나 White 착시 자극에서는 검사자극의 길이가 측면 유도자극의 길이보다 항상 짧고, 검사자극에 인접한 유도자극의 종류가 두 가지이다. 이는 검사자극과 유도자극의 두께와 길이라는 단순한 시각 속성들만으로 White 착시 현상과 고전적 밝기 동화 착시 현상이 구분될 가능성을 보여준다. 예를 들어 검사자극의 길이가 증가하면 측면 유도자극이 검사자극과 인접한 영역이 넓어진다. 이는 Figure 4의 예시에서 확인할 수 있다. 망막이나 일차 시각 결절 단계에서의 처리만으로 밝기 지각을 설명할 수 있다면 검사자극의 길이가 증가할수록 밝기 유도량의 크기가 체계적으로 변화될 것이다.

수용장의 단순 반응보다는 특정 유도자극과의 집단화가 밝기 유도 현상에 결정적인 영향을 끼친다면 어떤 유도자극과 집단화되어 지각되는지가 밝기 유도 현상을 변화시킬 것이다(Economou et al., 2015; Gilchrist et al., 1999; Kim et al., 2017; Pessoa & Ross, 1995; Spehar et al., 1995). 예를 들어 Figure 4의 위쪽 자극 상황(검사자극 길이가 유도자극 길이보다 짧은 조건)에서는 검사자극이 동일선상 유도자극 위에 놓여 있다는 해석과 측면 유도자극과 나란히 놓여

있다는 해석이 모두 가능하다. 그러나 Figure 4의 아래쪽 자극 상황(검사자극 길이가 유도자극 길이와 동일한 조건)에서는 검사자극이 측면 유도자극과 나란히 놓여 있다는 해석만 가능하다.

본 연구의 주요 목적은 White 착시 자극과 고전적 동화 자극을 비롯한 밝기 유도 현상의 시지각적 기제를 살펴보는 것이다. White 착시와 고전적 동화 현상을 망막이나 일차 시각 결절의 수용장 반응과 같은 초기 시각 단계에서 설명할 수 있는지, 아니면 집단화 요인 같은 후기 시각 단계의 처리로 설명할 수 있는지 살펴보았다. 본 연구에서는 자극의 집단화 유형을 조작하기보다는 자극의 길이와 두께처럼 기초적인 시각 속성에 따른 변화에 초점을 두었다. 본 연구에서는 자극의 길이와 두께를 변화시켜 White 착시 현상과 고전적 동화 현상을 비교하였다.

전형적인 White 착시 자극은 검사자극과 더 넓은 영역을 공유하는 유도자극(측면 유도자극)을 기준으로 동화 효과가 나타난다고 해석될 가능성이 있다. 선행연구자들은 검사자극이 측면 유도자극과 더 많은 영역을 공유하는 제한적인 상황에서 White 착시 현상을 연구하였다. 본 연구에서는 검사자극이 동일선상 유도자극과 더 많은 영역을 공유할 때에도 밝기 유도 현상이 유사하게 나타나는지 살펴보았다.

White 착시와 고전적 밝기 유도의 차이는 실험자극 내의 차이뿐만 아니라 배경의 밝기 차이로부터 나타난 것일 수 있다(Gilchrist et al., 1999; Hong & Shevell, 2004). 그럼에도 기존 연구들에서는 연구마다 배경 밝기 수준에 차이가 있어 연구 결과 간 동등한 비교가 어렵다. 고전적 밝기 유도에 관한 이전 연구들에서는 배경의 밝기가 흰색에 가깝거나 검은색에 가까워 보이도록 설정되었다(Economou et al., 2007, 2015). White 착시에 관한 이전 연구들에서는 배경 없이 자극들만을 화면에 제시했거나(Spehar et al., 2002; Spehar, Gilchrist, & Arend, 1995), 배경이 회색으로 지각되도록 설정하였다(Betz et al., 2015; Blakeslee et al., 2005; Howe, 2005). 본 연구의 실험에서는 배경을 무선점(random-dot)들의 배열로 제시하였다. 모든 실험 조건에서 배경 무선점의 평균 밝기는 검사자극의 물리적 밝기와 동일하였다. 이를 통해 배경 밝기의 영향이 통제되었다.

본 연구에서는 총 두 개의 실험을 수행하였다. 실험 1에서는 검사자극의 길이와 검사·유도자극의 두께가 밝기 유도 현상을 변화시키는지 알아보았다. 검사자극이 측면 유도자극과 동일선상 유도자극 중 어떤 자극과 더 많은 영역에 인접하는지가 밝기 유도 현상에 영향을 끼치는지도 알아보았다. 실험 2에서는 유도자극의 개수, 검사·유도자극의 두께, 검

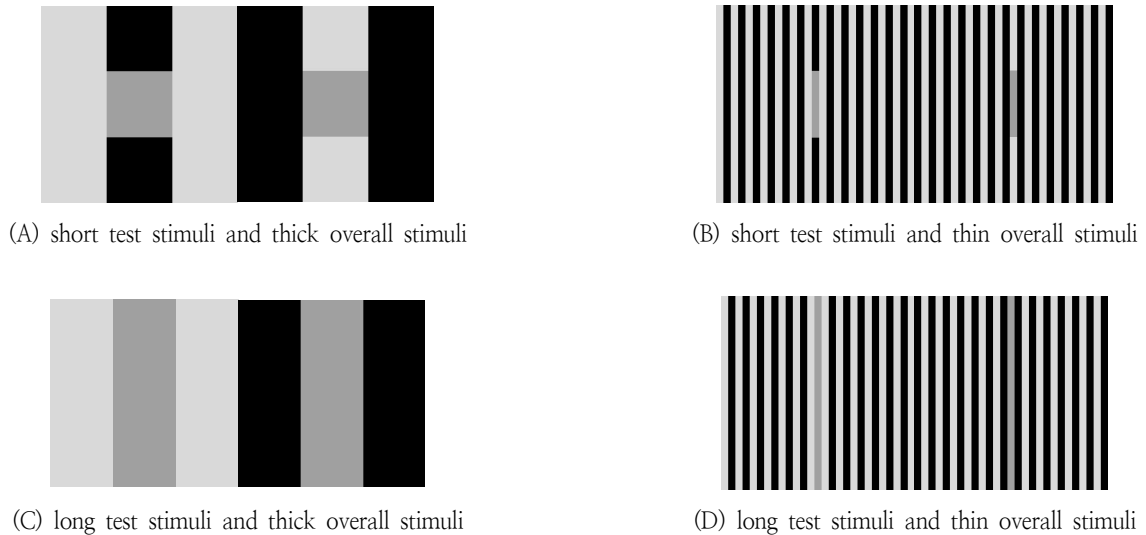


Figure 4. Examples of how brightness induction influences perception depending on the length and thickness of the stimuli. In (A) and (B), the length of the test stimuli is shorter than the length of inducing stimuli. In (C) and (D), the length of the test stimuli is the same as the length of inducing stimuli. In (A), (B), and (D), the left central stimulus appears lighter than the right central stimulus. However, as shown in (C), there is a possibility that the left central stimulus is perceived as darker than the right central stimulus.

사자극의 길이가 밝기 유도 현상을 변화시키는지 알아보았다. 이를 통해 실험 1의 결과가 유도자극 길이나 두께의 영향 때문인지, 유도자극의 개수나 인접하지 않은 유도자극의 영향 때문인 것은 아닌지 살펴보았다.

실험 1. 자극의 길이와 두께가 밝기 유도 현상에 미치는 영향

방 법

참가자

대학교에 재학 중인 학생 아홉 명이 실험에 참여하였다. 모든 참가자는 자극의 밝기를 조절하는 실험 과제를 무리 없이 수행하였다. 대학교의 생명윤리심의위원회(IRB)로부터 승인 받은 후 실험이 진행되었다.

자극

자극은 VIEWPixx 3D Lite 모니터 상에 제시되었다. 모니터의 해상도는 1920 × 1080였다. 참가자와 모니터 사이의 거리는 약 70 cm였다. 실험에 제시된 모든 자극의 물리적 밝기 값은 스펙트로미터(spectrometer)로 사전에 측정된 값으로 정의하였다. 스펙트로미터는 X-Rite 사의 i1 Pro를 사용하였다. 모니터가 제시하는 물리적 밝기에 대한 오차 범위는 -4 cd/m^2 에서 $+2 \text{ cd/m}^2$ 사이였다. 실험은 모니터 화면

에서 나오는 빛 외의 조명이 거의 지각되지 않는 환경에서 진행되었다. 참가자는 턱 받침대에 얼굴이 고정된 상태에서 실험을 수행하였다.

모든 실험자극은 유도자극과 검사자극으로 구분되었다. 유도자극은 어두운 막대와 밝은 막대가 번갈아 배열된 사각파(square wave) 형태로 이루어졌다. 어두운 유도자극의 물리적 밝기는 약 0.13 cd/m^2 였으며, 밝은 유도자극의 물리적 밝기는 약 70 cd/m^2 였다. 검사자극은 실험자극의 중앙 지점에 놓여졌다. 검사자극의 밝기는 두 유도자극의 물리적 중간 밝기인 약 35.07 cd/m^2 였다.

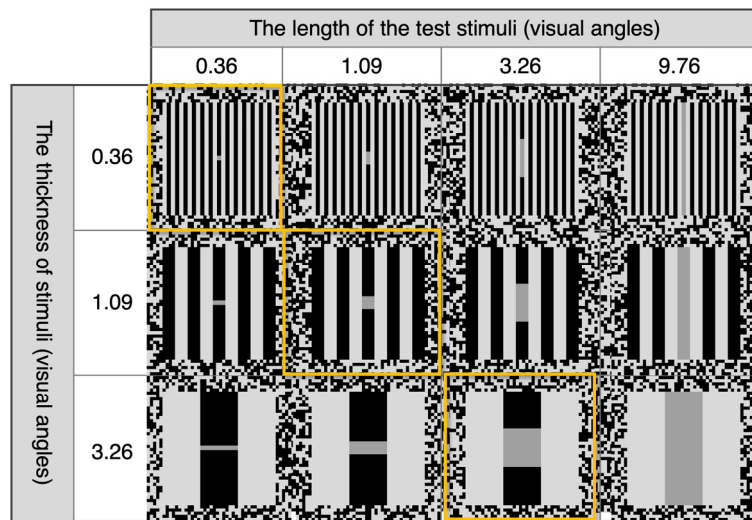
실험 1 자극의 예시는 Figure 5에 제시되어 있다. 실험 1에서는 검사자극의 길이, 검사·유도자극의 두께를 변화시켰다. 검사자극의 길이는 시각도로 0.36° , 1.09° , 3.26° , 9.76° 의 네 수준으로 구성되었다. 검사자극과 유도자극의 두께는 시각도 0.36° , 1.09° , 3.26° 의 세 수준으로 구성되었다. 실험자극의 전체 가로 × 세로 크기는 시각도 $9.76^\circ \times 9.76^\circ$ 으로 고정되었다. 실험자극은 밝은 점과 어두운 점으로 구성된 무선점 배경 위에 제시되었다. 무선점 하나의 크기는 시각도 $0.27^\circ \times 0.27^\circ$ 이었다. 배경을 구성하는 밝은 무선점과 어두운 무선점의 비율은 동일했다. 무선점 배경의 평균 밝기는 검사자극의 밝기와 동일한 35.07 cd/m^2 였다. 어두운 배경 무선점의 밝기와 어두운 유도자극의 밝기가 동일하였고, 밝은 배경 무선점의 밝기와 밝은 유도자극의 밝기가 동일하였다.

절차

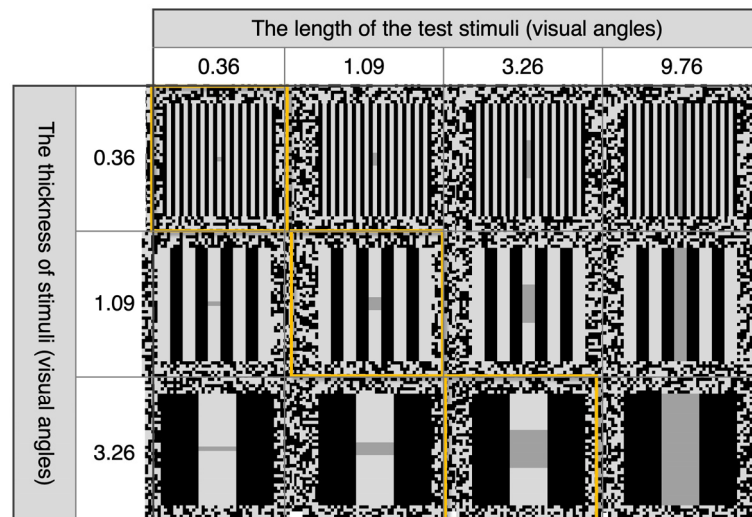
참가자가 경험하는 실험 상황의 예시는 Figure 6에 제시되어 있다. 매 시행 전 검은 빈 화면이 3초 동안 제시되었다. 이후 실험자극과 비교자극이 화면의 왼쪽과 오른쪽에 동시에 제시되었다. 실험자극은 유도자극과 검사자극으로 구성된 막대 격자 자극이었으며, 비교자극은 실험자극의 크기와 동일한 단일 밝기 자극이었다. 실험자극이 제시되는 위치는 왼쪽 또는 오른쪽이었다. 실험자극이 화면 왼쪽에 제시되면 비교자극은 화면 오른쪽에 제시되었다. 비교자극의 초기 밝기 값은 시행마다 5 cd/m^2 에서 65 cd/m^2 의 범위 안에서 무선화되었다.

실험자극과 비교자극이 제시되면 참가자는 밝기 맞춤 과제(brightness matching task)를 수행하였다. 밝기 맞춤 과제는 비교자극의 밝기가 검사자극의 밝기와 동일하다고 느껴질 때까지 비교자극의 밝기를 조절하는 과제이다. 키보드의 위쪽 방향 자판을 누르면 비교자극이 밝아졌으며, 아래쪽 방향 자판을 누르면 비교자극이 어두워졌다. 비교자극의 밝기가 검사자극의 밝기와 동일하다고 판단되면 스페이스바를 눌러 시행을 종료하였다. 스페이스바를 누르면 3초 동안 검은 화면이 나타난 후 다음 시행 자극이 제시되었다.

밝기 맞춤 과제를 통해 실험 조건별로 검사자극에 대한 지각된 밝기를 측정하였으며, 이 측정치를 통해 ‘유도된 밝



(A) Conditions where flanking stimuli are lighter than test stimuli



(B) Conditions where flanking stimuli are darker than test stimuli

Figure 5. Examples of stimuli from Experiment 1. (A) is an example of experimental stimuli when the flanking stimuli are light, and (B) is an example of experimental stimuli when the flanking stimuli are dark. The length of the test stimulus and the thickness of the stimuli were varied according to the conditions. The brightness of the test stimuli (gray) remained constant. The condition in which the aspect ratio of the test stimulus is 1:1 is indicated by a yellow frame.

기량을 계산하였다. 유도된 밝기량은 동일한 실험 조건에서 측면 유도자극이 없을 때 검사자극의 지각된 밝기에서 측면 유도자극이 어두울 때 검사자극의 지각된 밝기를 뺀 값으로 표현되었다. 유도된 밝기량의 단위는 cd/m^2 였다. 총 시행은 96 시행이었다(4 검사자극의 길이 \times 3 검사·유도자극의 두께 \times 2 실험자극의 제시 위치 \times 2 측면 유도자극의 밝기 \times 2 단순 반복).

결과 및 논의

실험 1에서는 검사자극의 길이와 검사·유도자극의 두께가 달라짐에 따라 밝기 유도 현상이 어떻게 변하는지 살펴보았다. 실험 1의 결과 그래프는 Figure 7에 제시되어 있다.

결과에 대한 통계검증을 위해 반복측정 변량분석을 실시하였다. 유의확률은 Greenhouse - Geisser의 엡실론으로 교정된 값이 사용되었다. 검사자극 길이, 자극 두께의 상호작용효과는 통계적으로 유의하지 않았다($F(6, 48) = 1.614, p = .207, MSE = 9.279, \eta^2 = .039$). 검사자극 길이의 주효과는 통계적으로 유의했다($F(3, 24) = 14.504, p = .003, MSE = 25.550, \eta^2 = .333$). 검사·유도자극의 두께의 주효과는 통계적으로 유의했다($F(2, 16) = 25.774, p < .001, MSE = 21.591, \eta^2 = .334$).

검사자극 길이의 효과를 비교하기 위해 검사·유도자극의 두께를 고정한 채 대응 t 검증(pairwise t-test)을 실시하였다. 유의확률은 Bonferroni 방식으로 교정한 값이 사용되었다. 자극의 두께가 0.36 인 조건에서는 검사자극 길이가 0.36 와 3.26 °간의 차이, 0.36 와 9.76 °간의 차이, 1.09 와 3.26 °간의 차이만이 통계적으로 유의했다(자극 두께 0.36 일 때

검사자극 길이 0.36 °-3.26 ° $p = .027$; 0.36 °-9.76 ° $p = .031$; 1.09 °-3.26 ° $p = .014$). 자극의 두께가 1.09 인 조건에서는 검사자극 길이가 0.36 와 3.26 °간의 차이, 0.36 와 9.76 °간의 차이, 1.09 와 3.26 °간의 차이, 1.09 와 9.76 °간의 차이만이 통계적으로 유의했다(자극 두께 1.09 일 때 검사자극 길이 0.36 °-3.26 ° $p = .006$; 0.36 °-9.76 ° $p = .031$; 1.09 °-3.26 ° $p = .048$; 1.09 °-9.76 ° $p = 0.049$). 자극의 두께가 3.26 인 조건에서는 모든 검사자극 길이 간 차이가 통계적으로 유의하지 않았다.

Figure 5의 자극 예시에서 볼 수 있듯이 검사자극의 길이와 두께의 수준에 따라 어떤 유도자극과 더 많은 영역을 공유하는지가 달라지는 자극이 사용되었다. 실험 결과에 따르면 검사자극이 측면 유도자극과 더 많이 인접해 있는지, 아니면 동일선상 유도자극과 많이 인접해 있는지와는 큰 관련이 없는 것으로 나타났다. 검사자극의 길이와 두께의 비율이 달라지더라도 검사자극의 밝기를 측면 유도자극의 밝기와 더 유사하게 지각하는 경향이 나타났기 때문이다. 검사자극의 길이가 길수록 검사·유도자극 두께에 의한 유도량 차이가 크게 나타났다. 검사·유도자극 두께가 얇을수록 밝기 유도량이 커지는 경향성을 보였다. 이는 밝기 유도 현상이 비율보다는 검사자극의 길이나 막대 두께의 단순 변화에 영향을 받음을 보여준다. White 착시와 고전적 밝기 동화 착시 현상 모두 일차 시각 궤질(primary visual cortex; V1) 수준의 시각정보처리 초기 단계에서 처리될 가능성을 시사한다.

실험 1에서는 실험자극의 전체 크기가 통제되었다. 그로 인해 유도자극의 개수가 자극의 두께에 따라 변화되었다. 이로 인해 실험 1의 자극은 측면 유도자극 외의 다른 유도자극이 없는 조건부터 유도자극이 수십 개인 조건까지 있다

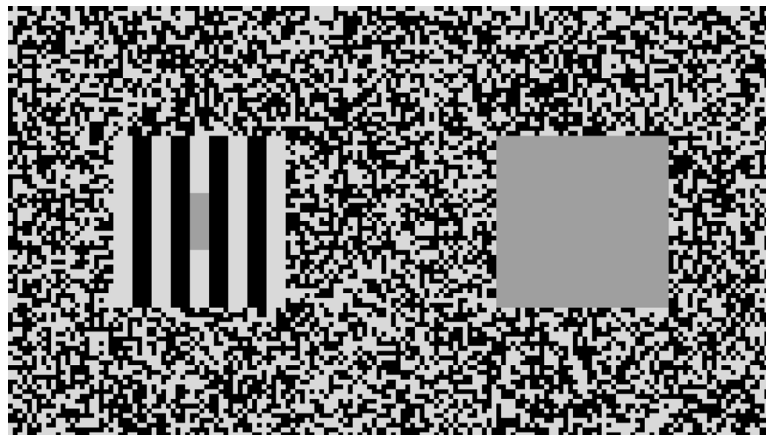


Figure 6. Example of an experimental screen. In the example, experimental stimuli are presented on the left side of the screen, and comparative stimuli are presented on the right side of the screen. The gray test stimulus is located in the middle of the screen. The participant's task is to adjust the brightness of the comparative stimulus so that it appears to be the same as the test stimulus.

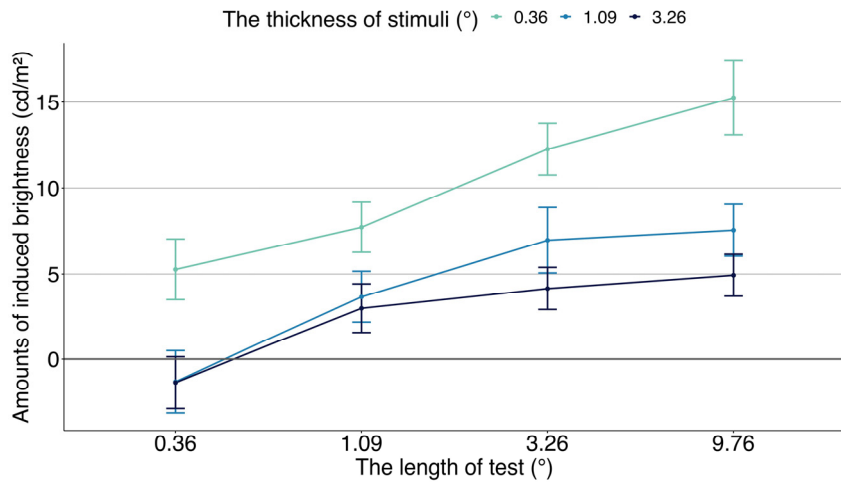


Figure 7. Results of Experiment 1. The length of the test stimulus, the thickness of the test/inducing stimulus, and the change in the amount of induced brightness are shown. The amount of induced brightness is calculated by subtracting the perceived brightness of the test stimuli when the flanking stimuli are light from the perceived brightness of the test stimuli when the flanking stimuli are dark.

(Figure 5 참고). 검사자극과 인접하지 않은 자극의 영향은 고려되지 않았다. 실험 2에서는 자극 두께의 효과를 통제하고 유도자극의 개수를 변화시켰다. 유도자극의 밝기 지각 변화가 검사자극에 대한 지각에도 영향을 주는지 살펴보았다. 이를 통해 실험 1에서의 결과를 더욱 명확히 해석할 수 있도록 하였다.

실험 2. 자극의 개수, 두께, 길이가 밝기 유도 현상에 미치는 영향

방 법

참가자

대학교에 재학 중인 학생 다섯 명이 실험에 참여하였다. 이들은 모두 실험 1과는 다른 참가자들이었다. 실험 2의 참가자들도 자극의 밝기를 조절하는 실험 과제를 무리 없이 수행하였다. 대학교의 생명윤리심의위원회(IRB)로부터 승인받은 후 실험이 진행되었다.

자극

실험 2 자극의 예시는 Figure 8에 제시되어 있다. 실험 2에서도 검사자극의 길이와 검사·유도자극의 두께를 변화시켰다. 그러나 실험자극의 전체 크기가 동일했던 실험 1과 달리 실험 2에서는 자극의 두께와 유도자극의 개수를 독립적으로 변화시켰다. 이에 따라 실험 2에 제시된 실험자극의 전체 가로 너비는 유도자극의 개수 및 두께에 따라 변화였다. 실험

자극의 세로 길이는 항상 동일하였다.

유도자극은 실험 1에서처럼 밝은 막대와 어두운 막대가 번갈아 배열된 사각과 막대 자극들로 구성되었다. 유도자극의 개수는 3, 5, 7, 9의 네 수준으로 구성되었다. 검사자극과 유도자극의 두께는 시각도 0.36°, 1.09°, 3.26°의 세 수준으로 구성되었다. 검사자극의 길이는 시각도로 3.26°, 9.76°의 두 수준을 사용하였다. 실험자극은 실험 1과 같은 무선점 배경 위에 제시되었다.

절차

실험 2에서도 실험 1과 동일한 절차로 실험이 진행되었다. 실험자극과 비교자극이 제시되면 참가자는 밝기 맞춤 과제를 수행하였다. 실험 1과 동일한 방식으로 밝기 유도량이 계산되었다. 총 시행은 192 시행이었다(4 유도자극의 개수 × 3 검사자극과 유도자극의 두께 × 2 검사자극의 길이 × 2 실험자극의 제시 위치 × 2 측면 유도자극의 밝기 × 2 단순 반복).

결과 및 논의

실험 1에서는 검사·유도자극의 두께에 따라 유도자극의 개수가 변화되었다. 실험 1에서의 결과가 자극의 길이 또는 두께에 의한 것인지, 아니면 유도자극의 개수 변화에 의한 것인지 알아볼 필요가 있다. 실험 2에서는 유도자극의 개수가 달라짐에 따라 검사자극 길이와 검사·유도자극 두께의 효과가 변화되는지 알아보았다. 검사자극의 길이가 짧으면 White

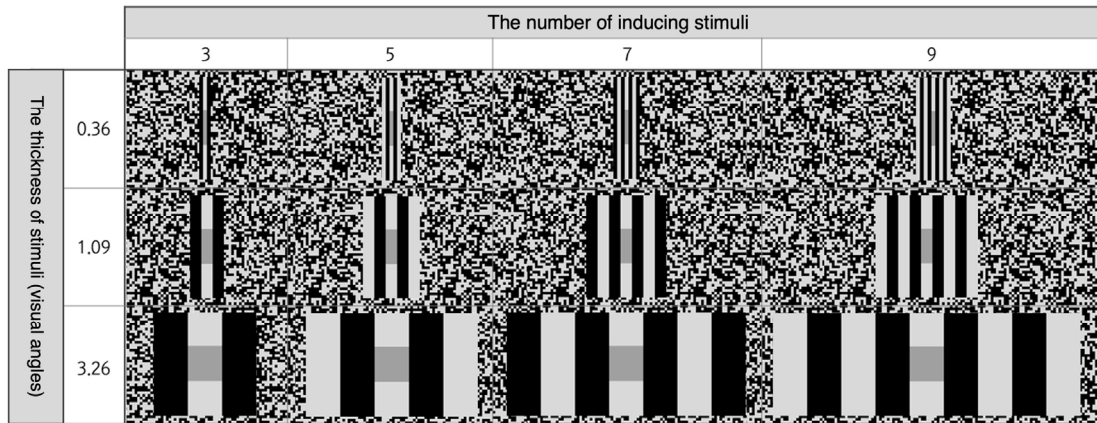
착시 자극과 유사하게, 검사자극의 길이가 유도자극과 동일하면 고전적 밝기 동화 착시 자극과 유사하게 지각할 것으로 기대하였다. 실험 2의 결과 그래프는 Figure 9에 제시되어 있다.

결과에 대한 통계검증을 위해 반복측정 변량분석을 실시하였다. 유의확률은 Greenhouse - Geisser의 엡실론으로 교정된 값이 사용되었다. 유도자극 개수, 검사자극 길이, 자극 두께의 삼원 상호작용효과는 통계적으로 유의하지 않았다 ($F(6, 24) = 1.032, p = .404, MSE = 7.589, \eta^2 = .019$). 유도자극 개수와 검사자극 길이의 이원 상호작용효과는 통계적으로 유의하지 않았다 ($F(3, 12) = 0.503, p = .404, MSE = 7.589, \eta^2 = .019$). 유도자극 개수와 자극 두께의 이원 상호작용효과는 통계적으로 유의하지 않았다 ($F(6, 24) = 0.245, p = .818, MSE = 10.018, \eta^2 = .006$). 검사자극 길이와 자극 두께의 이원 상호작용효과는 통계적으로 유의했다 ($F(2, 8) = 7.052, p = .040, MSE = 18.383, \eta^2 = .097$). 유도자극 개수의 주효과는 통계적으로 유의했다 ($F(3, 12) =$

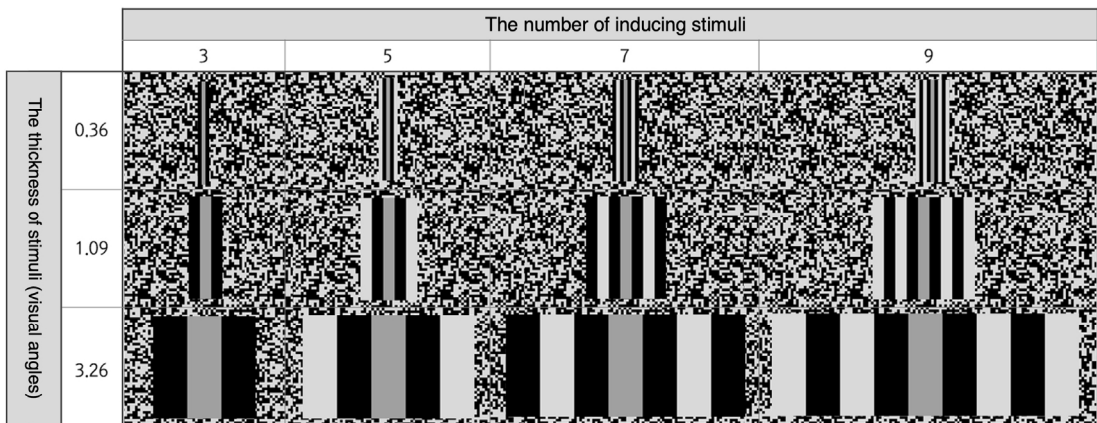
$4.586, p = .048, MSE = 15.297, \eta^2 = .080$). 검사자극 길이의 주효과는 통계적으로 유의하지 않았다 ($F(1, 4) = 0.138, p = .729, MSE = 132.448, \eta^2 = .008$). 자극 두께의 주효과는 통계적으로 유의했다 ($F(2, 8) = 23.407, p = .004, MSE = 53.277, \eta^2 = .509$).

유도자극 개수의 효과를 비교하기 위해 검사자극의 길이와 자극의 두께를 고정한 채 대응 t 검증(pairwise t-test)을 실시하였다. 유의확률은 Bonferroni 방식으로 교정한 값이 사용되었다. 검사자극 길이가 9.76 이고 자극의 두께가 3.26°인 조건에서 유도자극 개수가 5개와 9개 간의 차이만 통계적으로 유의했다 ($p = .025$; Figure 9). 이외의 대응 t 검증 결과는 모두 통계적으로 유의하지 않았다.

실험 2의 결과는 전체적으로 실험 1의 결과 경향성과 유사하게 나타났다. 유도자극의 단순 개수나 실험자극의 전체 너비 자체는 밝기 유도 현상에 큰 영향을 끼치지 않았다. 검사자극의 길이와 검사·유도자극의 두께는 유도자극의 개수와 관계없이 밝기 유도 현상에 영향을 미칠 수 있는 것으로



(A) The condition where the length of the test stimuli is 1/3 of the length of the inducing stimuli (3.26°)



(B) The condition where the length of the test stimuli is the same as the length of the inducing stimuli (9.76°)

Figure 8. Examples of stimuli in Experiment 2. (A) is an example of stimuli when the length of the test stimulus is 3.26°, and (B) is an example of stimuli when the length of the test stimulus is 9.76°. The brightness of the test stimuli (gray) is the same.

보인다.

검사자극 길이와 자극 두께의 이원 상호작용효과가 실험 1에서는 관찰되지 않은 반면 실험 2에서는 관찰되었다. 이러한 차이는 실험 1에서 사용된 검사자극 길이 0.36 와 1.09 ° 조건이 실험 2에서 제외되었기 때문으로 해석될 수 있다. 검사자극 길이가 0.36 와 1.09 인 경우 길이와 두께에 따른 밝기 유도량 차이가 비교적 일정하게 유지되었다. 그러나 검사자극 길이가 3.26 와 9.76 인 경우 자극 두께가 0.36 인 조건에서는 길이에 따라 유도량이 선형 증가한 반면 두께가 1.09 와 3.26 인 조건에서는 밝기 유도량 차이가 거의 없었다 (Figure 7). 검사자극 길이의 주효과가 실험 1에서 관찰되었지만 실험 2에서는 관찰되지 않은 것도 같은 맥락으로 볼 수 있다. 실험 2에서는 동일선상 유도자극과 측면 유도자극 모두 존재하는 White 착시와 유사한 자극 상황(검사자극 길이 3.26)과 측면 유도자극만 존재하는 고전적 밝기 유도와 유사한 자극 상황(검사자극 길이 9.76)만 비교되었다. 이 두 조건 간 검사자극 길이에 따른 단순 차이는 실험 1과 2 모두 관찰되지 않았다(Figure 7, 9). 실험 1과 실험 2의 참가자가 다름에도 충분히 일관적인 결과가 나타난 것으로 볼 수 있다.

한편 검사자극의 길이가 전체 자극 길이와 같으면서 유도자극의 두께가 시각도 3.26 이고 유도자극의 개수가 다섯 개인 상황에서만 밝기 유도 현상의 효과 방향이 변화되었다. 반면 유도자극의 개수가 세 개, 일곱 개, 아홉 개인 조건 간 밝기 유도 현상의 차이는 나타나지 않았다(Figure 8의 B). 검사자극의 길이, 검사·유도자극의 두께가 동일하면 유도자

극의 개수가 변하더라도 검사자극과 인접한 유도자극의 정보는 동일하다. 그럼에도 해당 조건에서 밝기 유도 현상의 경향성이 변화되었다. 이러한 결과가 나타난 이유는 검사자극과 인접한 유도자극뿐만 아니라 주위의 다른 유도자극에 의해서도 밝기 유도 현상이 달라질 수 있기 때문으로 보인다. 인접하지 않은 유도자극이더라도 안쪽 유도자극의 밝기 지각을 변화시킬 수 있고, 이 변화가 검사자극의 밝기 지각에 영향을 미칠 가능성이 있다. 인접하지 않은 자극에 의한 밝기 지각 변화는 인접한 유도자극에 비해 적을 것이며 검사자극과 일정 범위 이상으로 떨어진 유도자극은 검사자극의 밝기 지각에 거의 영향을 주지 않을 것이다. 실험 2에서 유도자극 개수가 다섯 개인 조건에서 유도량 변화가 관찰되었지만 유도자극 개수가 아홉 개인 조건에서는 관찰되지 않았다. 이는 유도자극과 검사자극의 거리가 멀어짐에 따라 유도자극의 밝기 유도 효과가 감소됨을 지지하는 결과로 볼 수 있다.

종합논의

본 연구의 목적은 White 착시와 고전적 밝기 동화 착시를 비롯한 밝기 유도 현상의 기제를 살펴보는 것이다. 실험 1에서는 검사자극의 길이와 검사·유도자극의 두께를 변화시킨 후 밝기 유도량을 측정하였다. 실험 2에서는 유도자극의 개수와 검사·유도자극의 두께, 검사자극의 길이를 변화시킨 후 밝기 유도량을 측정하였다.

밝기 유도 현상은 인접한 유도자극의 밝기를 기준으로 대비 효과와 동화 효과로 전통적으로 구분되었다(Heinemann,

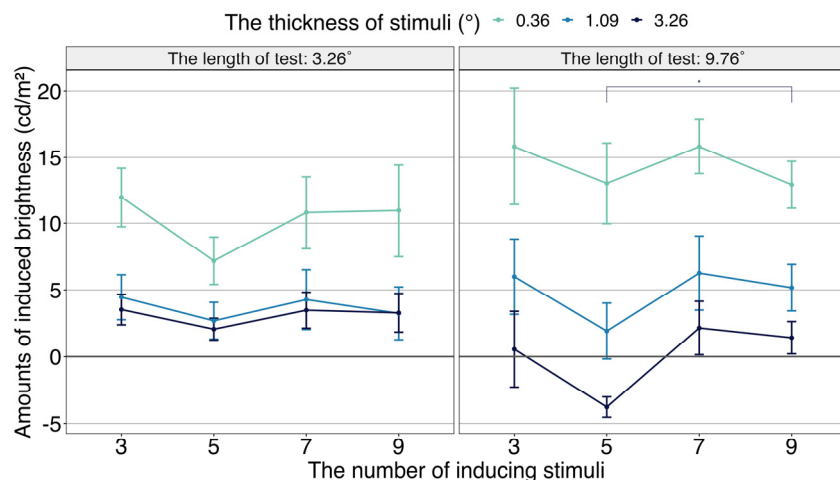


Figure 9. Results of Experiment 2. The change in the induced amount of brightness with the number of inducing stimuli, the length of the test stimuli, and the thickness of the test/inducing stimuli is shown. The induced amount of brightness is calculated by subtracting the brightness of the perceived test stimuli when the flanking stimuli are light from the perceived brightness of the test stimuli when the flanking stimuli are dark.

1955; Heinemann & Chase, 1995; Leeuwenberg, 1982; Shapley & Reid, 1985). 이러한 전통적인 기준을 White 착시 상황에도 적용하는 연구자들이 있다. 이들은 두 종류의 유도자극 중 검사자극과 더 많은 영역을 공유하는 유도자극을 밝기 유도 현상의 기준으로 삼았다. Figure 2의 White 착시 현상은 연구자에 따라 동화 효과로 간주되기도 한다 (Blakeslee & McCourt, 1999, 2004; Otazu et al., 2008).

망막 수준에서는 광수용기로 입력되는 빛의 양에 의해서 신경절 세포의 반응이 달라진다(Kingdom, 1997; Valberg et al., 1985). 망막 수준에서 밝기 유도 현상의 많은 부분을 설명할 수 있다면 특정 유도자극과 검사자극이 인접한 비율에 따라 밝기 유도 현상이 변화되어야 할 것이다. 그러나 실험 결과 검사자극과 유도자극의 인접한 비율이 밝기 유도에 결정적인 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 검사자극의 길이와 검사·유도자극의 두께가 밝기 유도량을 변화시키는 강력한 변인인 것으로 나타났다. 이는 공간주파수와 경계 정보의 처리를 수행하는 일차 시각 결질의 단순 세포(simple cell)나 끝-멈춤 세포(end-stopped cell)의 반응이 밝기 유도 현상을 유발한다는 공간 필터링 모형의 설명과 부합한다고 볼 수 있다(Blakeslee & McCourt, 1999). 이러한 결과는 White 착시 자극 상황(동일선상 유도자극과 측면 유도자극 모두 있는 자극; 검사자극 길이 3.26° 이하인 조건)과 고전적 밝기 유도 자극 상황(측면 유도자극만 있는 자극; 검사자극 길이 9.76° 인 조건) 모두에서 일관적으로 관찰되었다. White 착시와 고전적 밝기 동화 착시를 비롯한 밝기 유도 현상에 대한 처리가 망막 수준이나 집단화 요인보다는 일차 시각 결질 수준에서 많은 부분 이루어지는 것으로 보인다. 이와 관련하여 두 가지 시사점이 있다. 첫째, White 착시 현상과 고전적 밝기 유도 현상은 유사한 기제로 일어날 수 있다. 둘째, 밝기 유도 현상을 대비와 동화처럼 이분법적으로 분류하는 기존 방법은 현상의 이해에 방해 요소가 될 수 있다.

본 연구에서는 배경 밝기의 영향을 최소화하기 위해 평균 밝기가 검사자극과 동일한 무선점 배열을 배경으로 사용하였다. 한편 고전적 밝기 대비 착시 자극을 사용한 연구에서는 배경을 흰색 또는 검은색으로 제시하였다(Economou et al., 2007, 2015). 본 연구에서는 고전적 밝기 대비 착시보다는 고전적 밝기 동화 착시나 White 착시의 경향이 더 강하게 나타났다. 이는 무선점 배경의 제시가 고전적 밝기 유도 상황과 차이를 유발했기 때문일 수 있다. 고전적 밝기 대비 착시와 같은 현상은 검사자극과 유도자극(또는 배경) 간의 대비가 커야 효과적으로 나타날 가능성이 있다.

Economou 등(2015)의 연구에서는 검사자극과 나란히 놓여진 유도자극의 개수가 많을수록 고전적 밝기 동화 현상이 강력하게 나타났다. 해당 연구에서 자극들은 검은색 또는 흰색 배경 위에 제시되었다. Economou 등(2015)은 집단화 요인 중 하나인 접합(articulation)의 강도가 증가할수록 유도자극이 검사자극의 밝기 지각에 강한 영향을 미친다고 해석하였다. 그러나 해당 결과는 유도자극 개수 또는 집단화 요인이 동화 현상에 영향을 주었기 때문이라기보다는 유도자극들을 둘러싼 배경 정보가 영향을 주었기 때문으로도 해석될 수 있다. 배경 정보의 영향이 통제된 본 연구의 실험 2에서 유도자극의 단순 개수가 밝기 유도에 영향을 주지 않았다는 점이 이 해석을 뒷받침해 준다.

기존 밝기 유도 현상에 관한 연구들은 자극의 크기나 형태, 배경의 밝기 등 기본 시각 속성에 차이가 있어 상호 비교가 어려운 상황이었다. 본 연구에서는 White 착시와 고전적 밝기 동화 착시 상황의 비교를 위해 자극의 길이, 두께, 개수를 제외한 시각 속성을 최대한 통제하는 데 중점을 두었다. 이를 통해 선행연구의 한계를 보완하면서 추후 밝기 유도 현상에 관한 연구의 발판을 마련하였다. 특히 일차 시각 결질의 흥분-억제 수용장 반응이 밝기 유도 현상의 발생과 큰 연관성이 있다는 점이 강조되었다. 본 연구 결과는 밝기 유도 현상 기제와 관련하여 집단화와 같은 인지적 수준의 설명보다는 시각 결질 수용장 반응의 결과로 보는 지각적 수준의 설명을 더 지지한다.

본 연구에서는 고려하지 않았으나 밝기 지각에 영향을 끼칠 수 있는 다른 변인들이 있다. 유도자극과 검사자극의 밝기나 밝기 대비도 밝기 유도 현상에 영향을 끼칠 수 있다(Spehar et al., 1995; Yang, 2012; Yang & Purves, 2004). 유도자극과 검사자극의 밝기를 설정할 때 물리적 밝기(luminance)와 지각적 밝기(brightness)를 함께 고려할 필요성이 있다. 물리적 밝기와 지각적 밝기의 관계는 선형적이지 않다(Stevens, 1962). 또한 제시되는 자극의 물리적 밝기가 동일하더라도 개인의 시지각적 특성에 따라 지각되는 밝기가 다를 수 있다(Cavanagh, 1991).

본 연구에서는 실험 화면에 무채색만으로 이루어진 자극과 배경을 제시하였다. 주변 색에 의해 중심 자극의 색채 지각이 변화되는 색채 유도 현상(chromatic induction 혹은 color induction)에 대한 연구도 많이 이루어졌다(Cha et al., 2013; Kelly, 1973; Shevell & Monnier, 2005; Smith et al., 2001; Stockman & Brainard, 2010). 색채 유도 현상은 밝기 유도 현상과 흡사한 측면이 있다. 예를 들어 유도자극의 두께가 달라지면 밝기 유도 현상에서와 유사한 패턴으로

색채 유도 현상이 변화될 수 있다(Smith et al., 2001; Stockman & Brainard, 2010). 반면 색채 유도 현상과 밝기 유도 현상이 서로 같은 방식으로 작용하지 않을 가능성도 있다. Gordon과 Shapley(2006)에서 밝기 대비의 존재가 색채 유도 현상을 억제하는 효과가 발견되었다. 해당 연구에서 색채 유도 현상은 오히려 지각적 등광도 상황에서 가장 강하게 나타났다. 이는 밝기 유도 현상과 색채 유도 현상의 상호작용을 확인할 필요가 있음을 반영한다.

References

- Anstis, S. (2005). White's Effect in Lightness, Color, and Motion. In M. R. M. Jenkin & L. R. Harris (Eds.), *Seeing Spatial Form* (pp. 90-100). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195172881.003.0007>
- Betz, T., Shapley, R., Wichmann, F. A., & Maertens, M. (2015). Noise masking of White's illusion exposes the weakness of current spatial filtering models of lightness perception. *Journal of Vision, 15*(14), 1. <https://doi.org/10.1167/15.14.1>
- Blakeslee, B., & McCourt, M. E. (1999). A multiscale spatial filtering account of the White effect, simultaneous brightness contrast and grating induction. *Vision Research, 39*(26), 4361 - 4377. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00119-4](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00119-4)
- Blakeslee, B., & McCourt, M. E. (2004). A unified theory of brightness contrast and assimilation incorporating oriented multiscale spatial filtering and contrast normalization. *Vision Research, 44*(21), 2483-2503. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.05.015>
- Blakeslee, B., Pasiaka, W., & McCourt, M. E. (2005). Oriented multiscale spatial filtering and contrast normalization: A parsimonious model of brightness induction in a continuum of stimuli including White, Howe and simultaneous brightness contrast. *Vision Research, 45*(5), 607-615. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.09.027>
- Cavanagh, (1991). Vision at equiluminance. In *Vision and Visual Dysfunction Volume V: Limits of Vision* (pp. 234-250). CRC Press.
- Cha, H. N., Song, J., & Jung, W. H. (2013). The effects of color, spatial frequency and shape on chromatic induction. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology, 25*(4), 381-401. <http://doi.org/10.22172/cogbio.2013.25.4.001>
- Economou, E., Gilchrist, A., & Zdravković, S. (2015). Grouping Factors and the Reverse Contrast Illusion. *Perception, 44*.
- Economou, E., Zdravkovic, S., & Gilchrist, A. (2007). Anchoring versus spatial filtering accounts of simultaneous lightness contrast. *Journal of Vision, 7*(12), 2. <https://doi.org/10.1177/0301006615607118>
- Gilchrist, A., Kossyfidis, C., Bonato, F., Agostini, T., Cataliotti, J., Li, X., Spehar, B., Annan, V., & Economou, E. (1999). An anchoring theory of lightness perception. *Psychological Review, 106*(4), 795-834. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.106.4.795>
- Gordon, J., & Shapley, R. (2006). Brightness contrast inhibits color induction: Evidence for a new kind of color theory. *Spatial Vision, 19*(2-4), 133-146. <https://doi.org/10.1163/156856806776923498>
- Heinemann, E. G. (1955). Simultaneous brightness induction as a function of inducing- and test-field luminances. *Journal of Experimental Psychology, 50*(2), 89-96. <https://doi.org/10.1037/h0040919>
- Heinemann, E. G., & Chase, S. (1995). A quantitative model for simultaneous brightness induction. *Vision Research, 35*(14), 2007-2020. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)00281-P](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)00281-P)
- Hong, S. W., & Shevell, S. K. (2004). Brightness contrast and assimilation from patterned inducing backgrounds. *Vision Research, 44*(1), 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2003.07.010>
- Howe, P. D. L. (2005). White's Effect: Removing the Junctions but Preserving the Strength of the Illusion. *Perception, 34*(5), 557-564. <https://doi.org/10.1068/p5414>
- Kelly, D. H. (1973). Lateral inhibition in human colour mechanisms. *The Journal of Physiology, 228*(1), 55-72. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1973.sp010072>
- Kim, K., Kim, S., & Li, H. O. (2017). The effect of binocular disparity and T-junction on brightness perception in White illusion. *Korean Journal of Cognitive Science, 28*(2), 91-109. <http://dx.doi.org/10.19066/cogsci.2017.28.2.001>
- Kingdom, F. (1997). Simultaneous Contrast: The Legacies of Hering and Helmholtz. *Perception, 26*(6), 673-677. <https://doi.org/10.1068/p260673>
- Leeuwenberg, E. (1982). The perception of assimilation and brightness contrast as derived from code theory. *Perception & Psychophysics, 32*(4), 345-352. <https://doi.org/10.3758/BF03206240>
- McCourt, M. E. (1982). A spatial frequency dependent grating-induction effect. *Vision Research, 22*(1), 119-134.

- [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(82\)90173-0](https://doi.org/10.1016/0042-6989(82)90173-0)
- McCourt, M. E., & Foxe, J. J. (2004). Brightening prospects for early cortical coding of perceived luminance: a high-density electrical mapping study. *Neuroreport*, *15*(1), 49-56. https://journals.lww.com/neuroreport/fulltext/2004/01190/brightening_prospects_for_early_cortical_coding_of.11.aspx
- Otazu, X., Vanrell, M., & Alejandro Párraga, C. (2008). Multiresolution wavelet framework models brightness induction effects. *Vision Research*, *48*(5), 733-751. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.12.008>
- Pessoa, L., & Ross, W. D. (1995). *A Contrast/Filling-In Model of 3-D brightness Perception [Technical Report]*. Boston University Center for Adaptive Systems and Department of Cognitive and Neural Systems. <https://open.bu.edu/handle/2144/2200>
- Reid, R. C., & Shapley, R. (1988). Brightness induction by local contrast and the spatial dependence of assimilation. *Vision research*, *28*(1), 115-132. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(88\)80012-9](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(88)80012-9)
- Shapley, R., & Reid, R. C. (1985). Contrast and assimilation in the perception of brightness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *82*(17), 5983 - 5986. <https://doi.org/10.1073/pnas.82.17.5983>
- Shevell, S. K., & Monnier, P. (2005). Color shifts from S-cone patterned backgrounds: contrast sensitivity and spatial frequency selectivity. *Vision Research*, *45*(9), 1147-1154. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.11.013>
- Spehar, B., Clifford, C. W. G., & Agostini, T. (2002). Induction in variants of White's effect: common or separate mechanisms? *Perception*, *31*(2), 189-196. <https://doi.org/10.1068/p10sp>
- Smith, V. C., Jin, P. Q., & Pokorny, J. (2001). The role of spatial frequency in color induction. *Vision Research*, *41*(8), 1007-1021. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00031-1](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00031-1)
- Spehar, B., Gilchrist, A., & Arend, L. (1995). The critical role of relative luminance relations in White's effect and grating induction. *Vision Research*, *35*(18), 2603-2614. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(95\)00005-K](https://doi.org/10.1016/0042-6989(95)00005-K)
- Stevens, S. S. (1962). The surprising simplicity of sensory metrics. *American Psychologist*, *17*(1), 29-39. <https://doi.org/10.1037/h0045795>
- Stockman, A., & Brainard, D. H. (2010). Color vision mechanisms. In M. Bass, C. DeCusatis, J. Enoch, V. Lakshminarayanan, G. Li, C. Macdonald, V. Mahajan & E. van Stryland (Eds.), *The Optical Society of America Handbook of Optics, 3rd edition, Volume III: Vision and Vision Optics*. New York: McGraw Hill.
- Valberg, A., Lee, B. B., Tigwell, D. A., & Creutzfeldt, O. D. (1985). A simultaneous contrast effect of steady remote surrounds on responses of cells in macaque lateral geniculate nucleus. *Experimental Brain Research*, *58*(3), 604-608. <https://doi.org/10.1007/BF00235876>
- White, M. (2010). The Early History of White's Illusion. *Colour: Design and Creativity*. 7. 1-7.
- Yang, Z. (2012). Vision as a fundamentally statistical machine. In *Visual Cortex-Current Status and Perspectives*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/50165>
- Yang, Z., & Purves, D. (2004). The statistical structure of natural light patterns determines perceived light intensity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(23), 8745-8750. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402192101>
- Yazdanbakhsh, A., Arabzadeh, E., Babadi, B., & Fazl, A. (2002). Munker-White-Like Illusions without T-Junctions. *Perception*, *31*(6), 711-715. <https://doi.org/10.1068/p3348>

White 착시 현상과 고전적 밝기 동화 현상의 밝기 지각 비교

정지연¹, 정우현¹

¹충북대학교 심리학과

White 착시의 존재는 대비와 동화로 구분되는 고전적인 분류 기준에 맞지 않는다. White 착시와 밝기 동화 현상은 착시에 영향을 주는 시각 속성이 다를 수 있기 때문에 서로 비교할 필요가 있다. White 착시와 고전적 밝기 동화 현상의 시각 기제가 동일한지 알아보기 위해 두 개의 실험을 수행하였다. 유도자극은 사각파 형태로 배열되었고 검사자극은 유도자극들의 정중앙 지점에 제시되었다. 실험 1에서는 검사자극의 길이와 검사·유도자극의 두께에 따라 밝기 유도 현상이 달라지는지 알아보았다. 실험 2에서는 유도자극의 개수를 변화시켜 검사자극과 인접하지 않은 유도자극이 밝기 유도 현상을 변화시키는지 알아보았다. 실험 결과 검사자극에 대한 밝기 지각은 검사자극의 길이에 따라 체계적으로 변화되었으며 자극의 두께에 따라라도 체계적으로 변화되었다. 이 경향성은 유도자극의 개수가 다를 때에도 유지되었다. 이는 밝기 유도 현상의 상당 부분을 일차 시각 결절 수준에서 설명할 수 있음을 시사한다. 인접하지 않은 유도자극도 검사자극의 밝기 지각에 영향을 미쳤으며 그 영향은 검사자극과의 거리가 멀어짐에 따라 약해졌다. 이러한 경향성은 White 착시의 자극 상황과 고전적 밝기 동화의 자극 상황 모두에서 관찰되었다. 이는 White 착시 현상과 고전적 밝기 유도 현상은 유사한 기제로 인해 발생할 가능성을 시사한다.

주제어: 밝기 유도 현상, White 착시, 밝기 동화, 밝기 지각