



점묘화를 관람하기 위한 관람 거리에 대한 물리적,시지각적 고찰

「파동광학」과 「예술이란 무엇인가」강의페어링

물리학과, 김태현, 202021255, 하나영 교수님 지도

목적

점묘화 기법은 색의 병치에 의한 혼합 효과와 시각 인지 원리를 활용하며, 전통적 붓터치 대신 원색 점을 규칙적으로 배열하여 화면에 명료하고 밝은 인상을 준다. 일정한 간격으로 배치된 점들의 집합은 관람객으로 하여금 하나의 색으로 인식되도록 한다. 본 연구에서는 이러한 인식이 광학적 특성에 의해 발생하는지, 인간의 시지각 특성에 의해 발생하는지 밝혀내고자 한다. 이를 위하여 광학의 '레일리 분해 기준' 이론과 마흐 밴드 착시 이론을 바탕으로 점묘화를 분석하고자 한다. 그리고 이를 바탕으로 점묘화 감상의 최적 거리에 대하여 논의한다

이론적 배경

• 레일리 분해기준

레일리의 분해 기준을 일반화하면, N개의 점광원이 다음 조건을 만족할때 각 점광원의 위치를 구분할 수 있다고 판단할 수 있다.

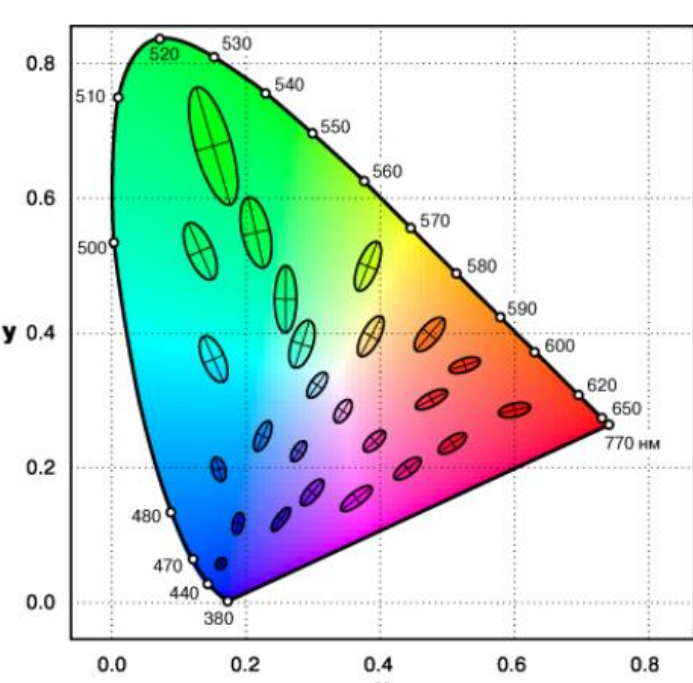
$$|\theta_i - \theta_{i+1}| \geq 1.22 \frac{\lambda}{D} \dots (1)$$

• CIE 색좌표계

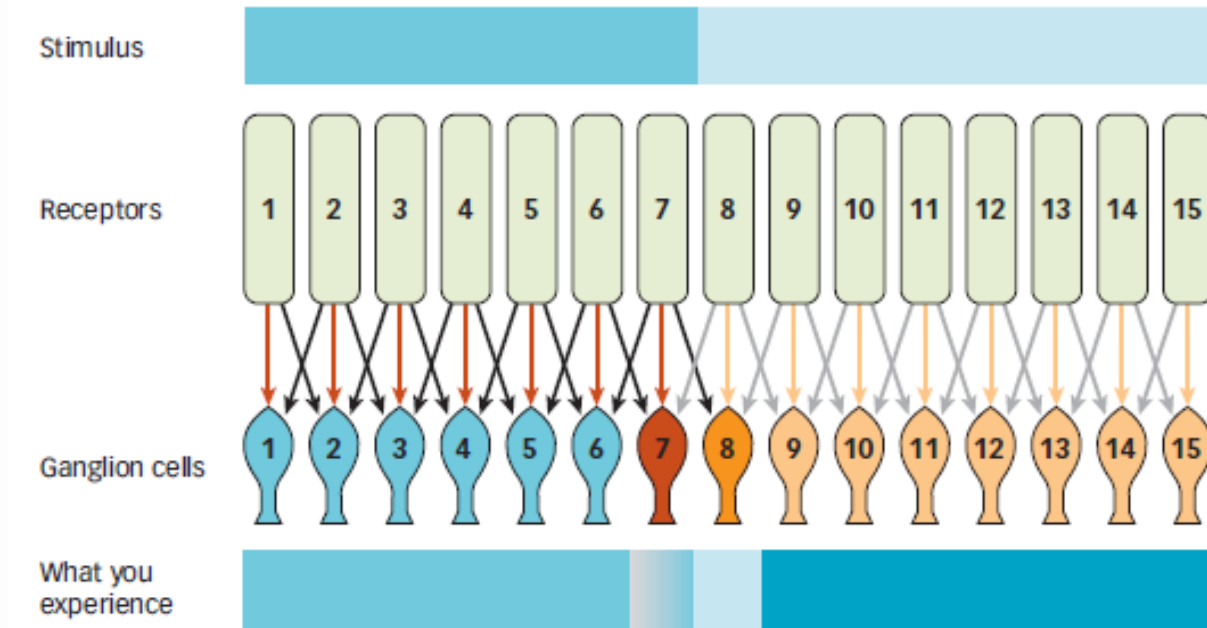
CIE 1931 XYZ 색좌표계에 따르면, 색의 색상과 채도는 정규화된 색좌표 (x, y)로 표현되며, 이는 다음과 같은 수식으로 정의된다:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

이미지 분석을 통하여 선형 RGB값을 XYZ로 환산하여 색좌표를 얻을 수 있다. 이 좌표를 CIE 색좌표상의 스펙트럼 경계 근처에 위치하는 파장으로 근사할 수 있다.



<그림 1. CIE 1931 색좌표>



<그림 2. 망막에서 그래데이션 인식이 발생하는 원리>

• 마흐 밴드 착시

눈의 망막은 명도와 채도의 변화를 인지한다. 시각 세포가 받아들인 빛은 쌍극세포에서 연산 과정을 거쳐 시신경으로 전달되며, 이 과정에서 색의 대비나 착시가 발생한다. 하나의 쌍극세포는 여러 시각 세포로부터 신호를 받아 이웃 쌍극세포에 억제 신호를 보내고(횡억제), 받은 신호를 더하거나 빼는 연산 후 최종값을 시신경에 전달한다. 색 경계에서는 대비 효과로 인해 밝은 곳은 더 밝고, 어두운 곳은 더 어둡게 느껴져 그래데이션처럼 보이기도 한다. 이를 마흐 밴드 착시라 한다.

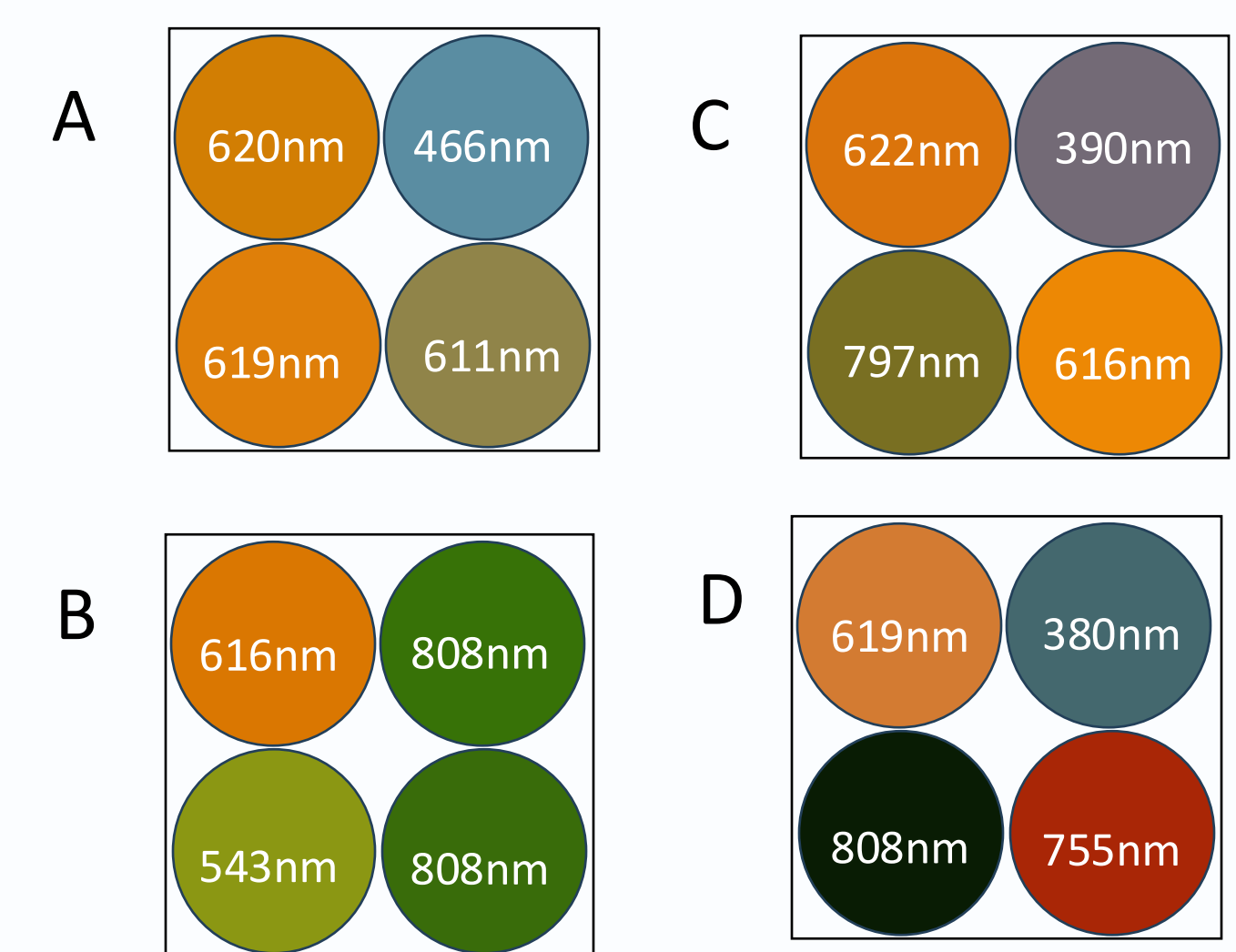
작품의 물리적 분석 및 고찰

• 작품 선정 및 분석

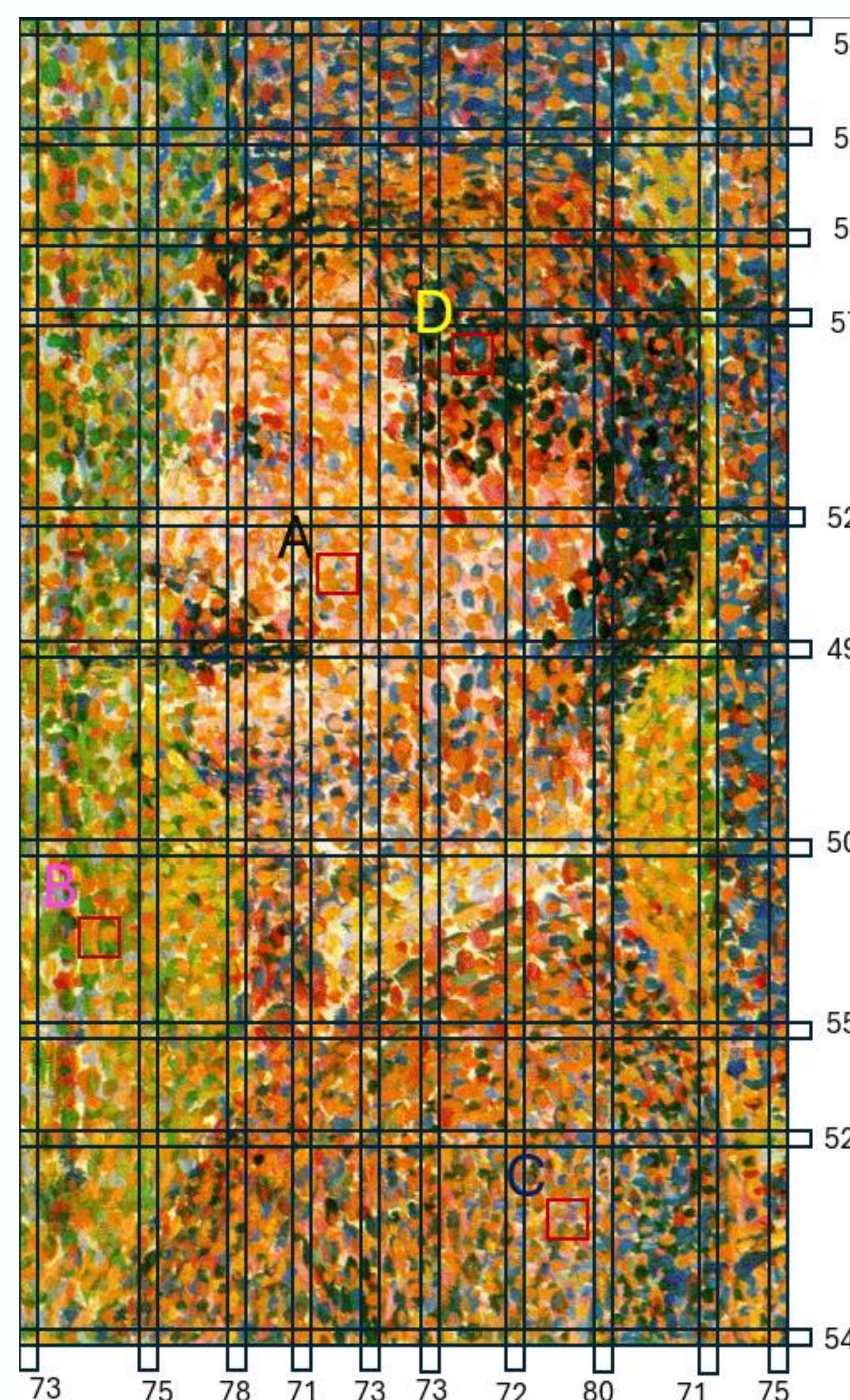
본 연구에서는 Georges Seurat – Seurat Parade de cirque라는 작품을 분석한다. 이 작품의 크기는 100*150cm 이다. 점묘화로 그려진 이 작품의 한 점의 크기를 추정하기 위해 가로와 세로의 점의 개수를 산 뒤 평균을 내어, 근사적으로 가로 50개, 세로 75개의 점이 있다고 가정하고, 각 점을 지름 2cm의 점광원으로 근사하였다.

• 물리적 분석 및 고찰

4개의 점이 포함되어있는 구역 A,B,C,D를 설정한 뒤, 색상 이미지에 대해 평균 sRGB 값을 산출한 뒤, 감마 보정을 제거하여 선형 RGB로 변환하였다.



<그림 4. 그림의 각 영역을 점광원으로 가정하고 그 점광원을 색좌표 파장으로 근사시킨 그림>



<그림 3. Georges Seurat – Seurat Parade de cirque 에서 점의 개수 및 점광원 집합을 추출한 그림>

구역	분리각(θ_r , rad)	분리거리(l , m)
A	3.781×10^{-5}	529
B	4.93×10^{-5}	406
C	4.86×10^{-5}	412
D	4.86×10^{-5}	406

<표 1. 그림의 각 영역의 색을 구분할 수 있는 분리각과 분리 거리>

색좌표계의 논의를 A,B,C,D 구역에 존재하는 모든 점에 적용하여 각 점광원의 파장의 근사적인 값을 추정하였다.

이렇게 구한 파장을 식(1)에 대입하여 각 구역에 대한 최소 분리각 θ_r 을 구할 수 있다. 그리고 각 구역에 대한 최소 분리각을 다음의 삼각함수 관계식에 대입하여 분해 한계 기준에 따른 거리 l 을 구할 수 있다.

$$l = \frac{D}{\tan(\frac{\theta_r}{2})}$$

이를 모든 구역에 대하여 반복하면 왼쪽의 표와 같다. 분석 결과에 의하면 점묘화 점집합들의 하나의 색으로 인식되는 과정은 광학적 원리가 아닌, 마흐 밴드 착시와 인간의 시지각 특성에 기인한다는 결론을 도출할 수 있다.

결론 및 고찰

- 점묘화에 구역을 나누고, 일정한 크기의 점광원으로 취급한 뒤, 레일리 분해 기준을 적용한 결과 약 400m 이상의 거리에서 색을 분해하여 인식할 수 없다는 결론이 도출되었다.
- 이는 개별 점들이 광학적으로는 구분 가능하더라도, 일정 거리 이상에서는 색면으로 통합되어 인식된다는 것을 의미한다. 이러한 지각적 통합은 마흐 밴드 착시와 같은 심리적, 생물학적 요인에 기인한다.
- 점묘화 감상 원리는 물리적 해상도 한계를 넘어 인간의 지각 메커니즘과 관련된다. 점묘화를 감상하기 위한 최적의 거리는 전체 그림을 조망하면서도 시각적 조화를 느낄 수 있는 거리이다. 이 거리는 개인의 인지 특성에 따라 달라질 수 있다.
- 점묘화는 단순한 기법이 아닌, 인간의 시각 시스템을 극대화한 예술적 표현으로 볼 수 있다. 미학적 이론과 큐레이터의 관점에서, 붓터치와 디테일이 중요한 작품은 비교적 가까운 거리에서 관람하고, 점묘화와 같은 작품은 비교적 멀리서 관람하는 것이 유리하다.

참고문헌

- Dahmen, T. (2015). *Tomographic reconstruction of combined tilt- and focal series in scanning transmission electron microscopy* (Doctoral dissertation). Universität des Saarlandes. <https://doi.org/10.22028/D291-26625>
- Zdravković, S. (2015). Mach bands. In R. Luo (Ed.), *Encyclopedia of color science and technology* (pp. 1–5). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8071-7_90
- Fairman, H. S., Brill, M. H., & Hemmendinger, H. (1997). How the CIE 1931 color-matching functions were derived from Wright-Guild data. *Color Research & Application*, 22(1), 11–23. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6378\(199702\)22:1<11::AID-COL4>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6378(199702)22:1<11::AID-COL4>3.0.CO;2-7)
- Lozhkin, L. D., & Kuzmenko, A. A. (2021). Investigation of CIE color spaces for differences in color differentiation thresholds in different regions of the color locus. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, 24(3), 107–110. <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2021.24.3.107-110>
- Foss, M. (2025, May). *Go the distance*. Leigh Yawkey Woodson Art Museum. <https://www.lywam.org/go-the-distance/>