

# Lighting Cube: Development and Validation of a Physical Design Research Instrument for Lighting–Product Color Harmony

Heesoo Kim<sup>1</sup>, Byeongjin Kim<sup>2</sup>, Taesu Kim<sup>3\*</sup>, Hyeon-Jeong Suk<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Design, Master, KAIST, Daejeon, Korea

<sup>2</sup>Department of Industrial Design, Postdoctoral Researcher, KAIST, Daejeon, Korea

<sup>3</sup>Department of Game Design, Assistant Professor, Ansan University, Ansan, Korea

<sup>4</sup>Department of Industrial Design, Professor, KAIST, Daejeon, Korea

---

## Abstract

**Background** Lighting has become a core element in shaping the visual impression and aesthetic experience of home appliances, yet the aesthetic harmony between illumination color and product color remains largely dependent on designers' subjective intuition. While physical tools such as fabric swatches and CMF sample boards serve as tangible exploration interfaces for color judgment in design practice, no equivalent instrument exists for the systematic, repeatable exploration and comparison of lighting–color harmony.

**Methods** This study presents the design and development of the Lighting Cube, a physical research instrument for systematically exploring aesthetic harmony between illumination color and product color, with its validity demonstrated through two sequential validation studies. By replicating the CIE 10° standard observer condition through an 11.4° visual angle at 35 cm, the Lighting Cube serves as a low-fidelity prototype that accurately evaluates core lighting-color-material interactions with full-scale perceptual equivalence. Validation Study 1 (controlled condition) examined the direct perceptual interaction between illumination and product colors, while Validation Study 2 (contextual condition) introduced background and object load variables to analyze shifts in color harmony perception within a more complex visual context.

**Results** White product–illumination combinations maintained the most stable aesthetic ratings regardless of contextual variation (mean  $\geq 0.19$ ), while chromatic conditions exhibited statistically significant interaction effects with both illumination and background colors. Analogous color matching conditions maximized visual coherence, whereas conditions involving strong complementary contrast produced precipitous declines in aesthetic ratings ( $-1.72$  to  $-0.10$ ), indicating severe visual dissonance. These findings demonstrate the Lighting Cube's validity as an exploratory instrument capable of reliably discriminating between harmonious and disharmonious lighting–product color combinations.

**Conclusions** This study reframes the problem of lighting–product color coordination as a designerly research question amenable to systematic exploration and comparison. The Lighting Cube offers a practical prototyping tool for screening CMF combination tendencies in the early stages of product lighting design, and provides a methodological foundation for the development of evidence-based guidelines for future product illumination practice.

**Keywords** Lighting Design, Product Color, Aesthetic Harmony, Product Design, Lighting Cube

**Copyright** : This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted educational and non-commercial use, provided the original work is properly cited.

This paper is based on the author's Master's thesis (Kim, H., 2026, Investigation of aesthetic harmony between lighting color and product color using a light cube, KAIST).

\*Corresponding author: Taesu Kim (taesukim@ansan.ac.kr)

**Citation** : Kim, H., Kim, B., Kim, T., & Suk, H-J. (2026). Lighting Cube: Development and Validation of a Physical Design Research Instrument for Lighting–Product Color Harmony. *Archives of Design Research*, 39(3), 213–229.

<http://dx.doi.org/10.15187/adr.2026.08.39.3.213>

**Received** : Apr. 14. 2026 ; **Reviewed** : Jun. 25. 2026 ; **Accepted** : Jun. 25. 2026

**pISSN** 1226-8046 **eISSN** 2288-2987

---

## 1. 서론

최근 가전제품에 적용되는 조명은 정보 전달과 같은 기능을 넘어, 제품 고유의 CMF 요소와 결합하여 제품의 차별화된 시각적 인상을 형성하는 요소로 거듭나고 있다. 무드 조명이 내장된 공기청정기(If, 2024)나 도어 패널의 전면이 빛나는 냉장고처럼(LG, 2022), 조명은 이제 제품의 감성을 매개하는 핵심 디자인 요소로 자리잡게 되었다. 그러나 실제 디자인 과정에서 제품에 맞는 조명을 제안할 때 체계적인 가이드라인을 기반으로 디자인되기보다는 디자이너의 주관적 직관에 의존하는 경우가 빈번하다.

산업디자인 실무에서는 제품 개발 초기 단계에 소재 스와치나 컬러칩을 활용하여 CMF 요소를 신속하게 검토하고 예측한다. 그러나 가전제품에 내장되는 조명은 고정된 표면색이 아닌 주변 맥락과 동적으로 상호작용하는 광학적 특성을 지니므로, 기존의 정적인 스와치 방법론만으로는 조명색과 제품색의 심미적 조화를 판단하는 데 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 실물 크기 제품에서의 평가를 통해 조명 디자인을 위한 색상 가이드라인을 도출하는 시도가 있으나(Han & Suk, 2019; Kim & Suk, 2025b), 변수 통제와 반복 수행이 어렵고 대형 가전제품과 같이 물리적 스케일이 큰 경우 프로토타이핑 비용이 극심하다(Camburn et al., 2017). 대안으로 제시되는 이미지 기반 평가나 VR 실험은(Kim et al., 2026; Sun et al., 2014) 물리적 환경에서 일어나는 빛의 난반사나 재질 간 굴절 등 정밀한 광학적 상호작용을 재현하지 못해 시각적 왜곡을 야기한다.

제품 조명 디자인에서 조화 판단은 단일 해답을 도출하는 행위가 아니라, 조명색, 제품색, 배경 등 다중 변수를 조합하며 반복적으로 탐색하는 설계 행위다. CMF 실무에서 원단 스와치나 샘플보드가 판단 행위 자체를 가능하게 하는 물리적 인터페이스로 기능하듯, 조명-색채 영역에서도 이러한 탐색 도구가 필요하다. 그러나 현재 제품 조명 디자인 단계에서는 이 반복적 탐색 행위 자체를 지원하는 적절한 연구 도구가 존재하지 않는다. 이에 본 연구는 실제 가전제품의 광학 환경을 축소 재현할 수 있는 디자인 도구인 조명 큐브(Lighting Cube)를 제안한다. 조명 큐브는 대형 가전의 복잡한 물리적 조건을 제어 가능한 최소 단위로 응축하여, 조명색과 제품색 그리고 배경 조건의 조합을 반복적으로 분석할 수 있도록 설계된 도구다.

조명 큐브가 이러한 반복적 탐색 도구로서 실제로 기능하는지를 검증하기 위해, 본 연구는 두 단계의 검증 연구를 수행한다. 우선, 통제 조건 검증 연구에서는 배경과 부하물 등 맥락 변수를 배제한 상태에서 조명색과 제품색의 조합만을 변화시켜, 조명 큐브가 두 색의 조합에 따른 조화 차이를 안정적으로 변별해낼 수 있는지를 확인한다. 다음으로는, 맥락 조건 검증 연구로 배경과 내부 부하물을 추가하여, 조명 큐브가 단일 객체 수준을 넘어 장면 단위의 복합적 조화 판단까지 다룰 수 있는지를 확인한다.

이 두 검증을 통해 본 연구는 조명 큐브가 통제된 조건에서의 기초적 색채 변별로부터 맥락이 개입된 장면 수준의 조화 탐색까지를 포괄하는 물리적 디자인 연구 도구임을 보이고자 한다. 조명 큐브는 실물 프로토타이핑의 비용 부담과 가상 환경의 광학적 왜곡 사이의 공백을 메우는 탐색 도구로서, 향후 제품 조명 디자인 연구가 반복 가능한 실험적 탐색 과정으로 조직될 수 있는 방법론적 토대를 제공할 것으로 기대한다.

---

## 2. 조명 큐브(Lighting Cube)의 개발

본 연구의 목적은 조명색과 제품색의 상호작용을 가전제품 디자인 맥락에서 반복적으로 탐색할 수 있는 물리적 디자인 연구 도구를 개발하는 데 있다. 디자인 프로토타이핑 연구에서 프로토타입은 설계 공간 전체를 재현하는 시뮬레이션이 아니라, 탐색하고자 하는 특정 디자인 속성을 선택적으로 구현하여 반복적 판단을 가능하게 하는 필터로 이해된다(Lim et al., 2008). 이러한 관점에서 조명 큐브는 조명색, 제품색, 배경 및

부하물의 광학적 상호작용이라는 핵심 CMF 탐색 속성만을 남긴 저충실도 물리 프로토타입으로 정의되며, 고비용의 실물 제작 없이도 조명-색채 조화의 경향성을 스크리닝하는 데 그 목적이 있다(Snider et al., 2023).

## 2. 1. 도구 개발의 핵심 고려사항

### 2. 1. 1. 형태적 타당성

디자인 연구 도구는 다양한 제품 유형에 적용 가능한 범용적 구조를 갖추어야 한다(Ege et al., 2024). 냉장고, 정수기, 세탁기 등 내부 조명이 중요한 주요 생활 가전의 외형을 분석한 결과, 대다수가 직육면체 기반의 공간 구조를 공유하고 있음을 확인하였다. 이에 본 연구의 조명 큐브는 특정 제품의 외형을 모사하는 대신, 가전제품 내부 공간의 기하학적 본질을 응축한 정육면체 모듈 형태를 채택하여 연구의 범용성과 확장성을 확보하였다.

### 2. 1. 2. 광학적 재현성

가전제품에서 조명은 단순한 가시성 확보를 넘어, 심미적 효과 형성 및 인터페이스 표현 등 다양한 디자인적 역할을 수행한다(Kim & Suk, 2025a). 특히 실제 제품 조명은 내부 부하물의 인식과 질감 표현을 위해 균질한 배광 특성을 유지해야 하는 경우가 많다. 이에 따라 본 연구의 조명 큐브는 단일 조명 방식에 국한되지 않고, 공간 조명, 간접 조명, 패널 및 인터페이스 조명 등 제품 디자인에서 반복되는 핵심적인 광학 기능을 통합적으로 재현할 수 있도록 설계되었다.

### 2. 1. 3. 실험 편리성

조명색과 제품색의 조합 탐구는 다수의 조건을 반복 제시하고 비교해야 하므로, 필요에 따른 구조 변화와 재질 변화가 가능한 운용 편의성이 확보되어야 한다(Lee et al., 2017). 이에 조명 큐브는 다양한 표면 재질과 색상 조건을 신속하게 교체할 수 있는 구조를 갖추었으며, 조명의 색과 밝기 또한 반복 실험에 적합하도록 손쉽게 조정 가능하다. 더 나아가, 제한된 환경 내에서 복수의 대안을 병렬로 비교하거나 구조를 확장할 수 있는 유연성을 확보하여 보다 복합적인 디자인 맥락을 구성할 수 있도록 설계되었다.

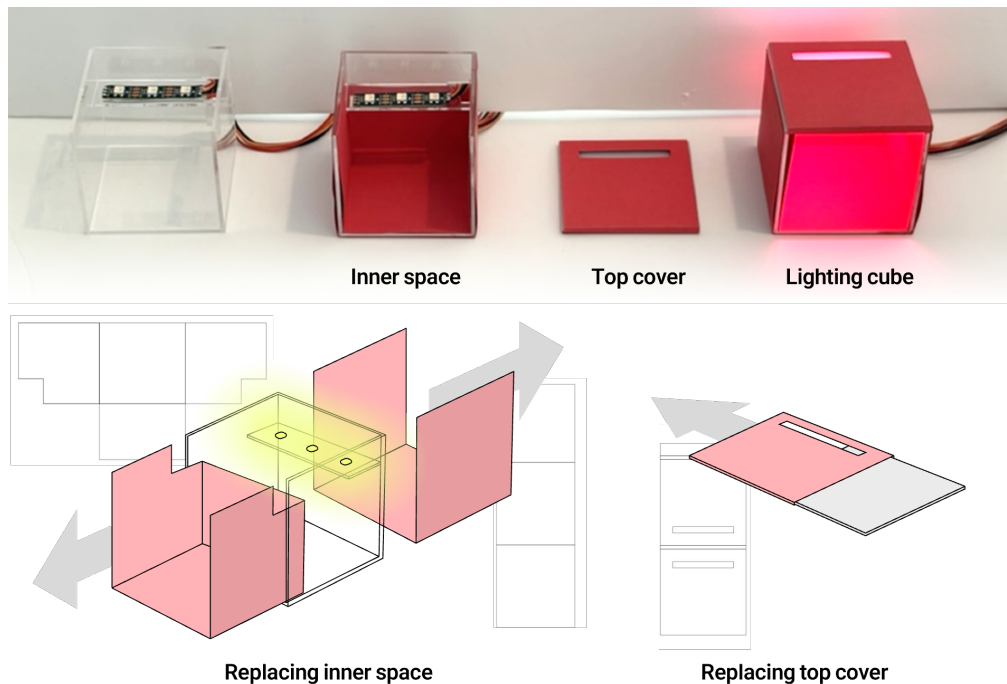
## 2. 2. 조명 큐브의 구조 및 구현

최종 개발된 조명 큐브는 한 변이 7cm인 정육면체 형태의 모듈형 유닛으로 설계되었다(Figure 1). 이는 한 손으로 들고 다니기 용이함은 물론, 실험실 내 조명 부스 환경에서 다수의 유닛을 병렬로 배치하거나 층층하여 비교하기에 최적화된 크기이다. 특히 7cm의 규격은 색채 평가의 과학적 정밀도를 고려하여 제작되었다. 통상적인 제품 관찰 거리인 약 35cm에서 7cm 크기의 유닛을 관찰할 경우, 시야 내에서 11.4°의 시각을 점유하게 된다. 이는 국제조명위원회(CIE)에서 표준으로 삼는 '10° 표준 관측자(Standard Observer)' 조건에 근사한 수치로, 디자이너가 제품의 색채와 조화성을 평가할 때 가장 안정적이고 정확한 색 인지를 수행할 수 있는 광학적 환경을 제공한다.

물론 소형 내부 공간에서는 상호반사 비율의 증가, 광원-피조면 크기 비율의 차이, 내벽 재료 반사 특성의 불일치 등 실물 환경과 구별되는 광학적 조건이 존재한다. 이러한 요인들은 정밀한 조도·광도 측정을 목표로 하는 광학 시뮬레이션 맥락에서는 유의미한 오차원이다. 그러나 본 도구가 수행하는 측정 과제는 정량적 측광값의 재현이 아니라, 관찰자의 색채 조화 지각 판단이다. 색채 판단은 절대 광도값보다 색 대비와 색조의 지각적 관계에 의해 결정되며, 이 관계는 앞서 제시한 시각각 조건에 의해 보장된다. Lau의 1972년 연구는 조명 품질 평가에서 축소 모형과 실물 환경에 대한 관찰자 반응이 유의미한 유사성을 보임을 실증하였으며, 따라서 본 도구가 갖는 광학적 제약은 도구의 목적 범위 안에서 수용 가능한 수준으로 사료된다.

큐브는 내부 공간과 상부 덮개로 구성된다. 큐브의 내부 공간은 투명 아크릴을 주재료로 제작되어, 외피와 내부면에 종이 부착, 도색, 금속 패널 삽입 등 다양한 다양한 CMF 조건을 신속하게 구현할 수 있도록 하였다. 또한, 부하물을 삽입할 수 있는 공간을 확보하여 실제 제품 사용 상황을 축소된 형태로 재현할 수 있도록 하였다. 상부 덮개는 확산 패널을 잘라서 제작해 패널 조명과 유사한 시각 효과를 구현할 수 있도록 하였다.

조명 시스템은 Arduino Nano와 HM-10 블루투스 모듈을 이용하여 RGBW 각 채널을 무선으로 독립 제어할 수 있도록 구축하였다. 상부와 하부에 3개의 LED를 설치하였다. 하부 LED는 내부 공간과 부하물의 가시성을 확보하고 상부 LED는 확산 패널을 통해 인터페이스 조명 효과를 재현한다. 이를 통해 실험자는 특정 표면색과 조응하거나 의도적으로 상반되는 조명 조건을 직관적으로 전환하며 탐색할 수 있다.



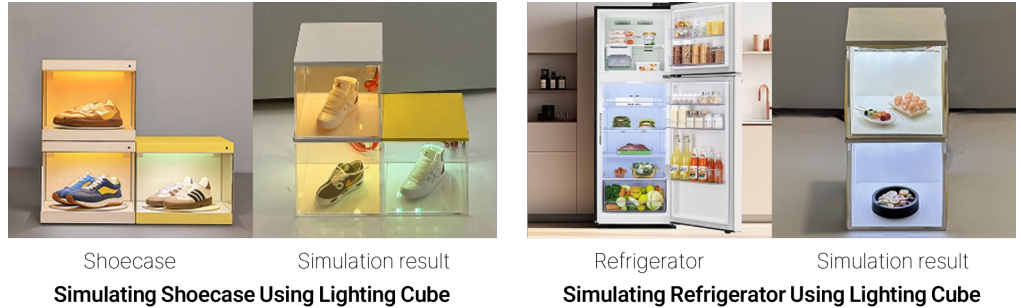
**Figure 1** Overall structure of the Lighting Cube. (a) Photographs of the module components and assembled cube. (b) Schematic illustration showing the inner space, top cover, diffuser panel, RGBW LED arrangement, and replaceable paper surfaces

이러한 저충실도 모형의 시각적 타당성은 조명 평가 분야에서 이미 반세기 전부터 검토되어 왔다. Lau(1972)는 조명 품질 평가에서 실물 환경과 축소 모형에 대한 관찰자 반응이 유의미한 유사성을 보임을 실험적으로 확인하였으며, 이후 비율을 유지한 채 크기를 축소된 스케일 모델은 주광 성능, 시각된 밝기, 공간 인상 등 다양한 조명 효과를 빠르고 직접적으로 비교하기 위한 탐색적 도구로 폭넓게 활용되어 왔다(Lirola et al., 2017). 대표적으로 Lee et al.(2015)이 제시한 Piclight는 건물의 스케일 목업에 다양한 색상의 조명을 구현함으로써 각 조명 조건의 시각적 효과를 직관적으로 비교할 수 있도록 하였다. 본 연구의 조명 큐브는 건축적 공간 평가가 아닌 가전제품의 CMF-조명 조화 탐색이라는 보다 구체적인 목적에 최적화된 형태로 발전된 도구이다.

### 2. 3. 조명 큐브를 활용한 조명 디자인 탐색

조명 큐브의 활용 범위는 단일한 조명색과 제품색 조합의 비교에 머물지 않는다. 이 도구는 제품을 어떠한 환경에서 관찰하는지, 내부에 어떤 부하물이 배치되는지, 그리고 패널 영역이 어떤 방식으로 함께 제시되는지에 따라 달라지는 복합적 상호작용을 축소된 형태로 다룰 수 있다. 특히 외피와 내부 조건의 교체, 부하물의 삽입, 관찰 맥락의 조정을 통해, 고립된 물체 수준의 평가를 넘어 장면 단위의 시각적 판단을 실험적으로 탐색할 수 있다. 이러한 점에서 조명 큐브는 조명색과 제품색의 관계뿐만 아니라, 실제 가전제품이 놓이는 맥락을 축소화하여 사용 경험을 재현할 수 있는 가능성까지 확장될 수 있다.

또한 조명 큐브는 복수 유닛의 배열과 적층을 통해 단일 구획을 넘어서는 제품 조명 상황으로 확장될 수 있다. 이는 여러 대안을 병렬적으로 비교하거나, 다중 조명 영역을 갖는 제품의 구성을 실험실 규모에서 축소 모사할 수 있음을 의미한다. Figure 2는 실제 가전제품의 형태를 여러 큐브를 배열 및 적층하여 모사한 예시를 보여준다.



**Figure 2** Stacking and Contextualizing the Lighting Cubes: (Top) Shoecases of LG Electronics and the simulation using Lighting Cubes. (Bottom) A Refrigerator of LG Electronics and the simulation using Lighting Cubes

### 3. 조명 큐브의 1차 검증: 통제 조건 검증 연구

#### 3. 1. 실험 목적

조명 큐브의 1차 검증은 이 도구가 통제된 조건에서 조명색-제품색 조합에 따른 기본적인 시각적 평가 차이를 안정적으로 드러낼 수 있는지를 확인하기 위해 수행되었다. 이를 위해 배경과 부하물과 같은 맥락 변수를 배제한 상태에서, 조명색과 제품색의 조합만을 체계적으로 제시하고 참가자의 심미적 조화 평가를 수집하였다.

#### 3. 2. 자극 및 실험 조건

1차 검증에서는 제품색과 조명색만을 독립적으로 조작하였다. 본 연구에서 정의한 제품색은 조명과 직접적인 광학적 상호작용이 일어나는 가전제품의 내부 구획 공간 내벽의 CMF를 의미한다. 이에 따라 조명 큐브에 제품 표면재를 밀착 삽입하여 제품색 자극물을 구성하였다. 이를 통해 피험자가 바라보는 큐브의 내부 5면 전체의 색상이 실제 가전제품 내장재의 제품색 역할을 수행하도록 하였다. 제품색은 흰색, 노랑, 빨강, 파랑, 초록의 다섯 가지로 구성하였으며, 이는 색채지각의 주요 축을 포괄하면서도 실제 제품에 적용 가능한 유채색 범위를 반영하기 위한 것이다. 또한 지나치게 고채도인 원색 대신, 상용 제품에서 관찰될 수 있는 채도와 표면 특성을 참고하여 자극 재료를 선정함으로써 실험 자극이 디자인 맥락과 지나치게 분리되지 않도록 하였다. 선정된 제품 색상의 표면은 D65 표준광원 조건에서 Minolta의 CM-2600d 분광색차계를 사용하여 측색하였으며, 실제 실험이 진행된 조명 부스 환경 내에서 측정된 색좌표 값은 Table 1에 제시되어 있다.

조명 조건 역시 흰색, 노랑, 빨강, 파랑, 초록의 다섯 가지로 설정하였으며, 각 조명은 Minolta의 CS2000 분광방사휘도계를 이용해 조명 큐브 표면에서 관찰되는 색도값이 대응하는 제품색의 표면 좌표에 근사하도록 RGBW 입력값을 조정하였다. 이러한 과정을 통해 제품색과 조명색을 임의의 상징적 색 이름 수준에서 대응시키는 것이 아니라, 실제 관찰 환경에서 유사한 색 외관을 형성하도록 조건을 정렬하여 자극물을 구성하였다. Figure 3은 실험에 활용된 큐브 중 흰색 큐브의 예시를 보여준다.

Table 1 Color Data of the Lighting Cubes for the Visual Assessment I: L\*, a\*, b\* are from the CIE1976L\*a\*b\* measured by spectrophotometer CM-2600d (Minolta). The Y, x, and y are obtained using a spectroradiometer CS2000 (Minolta), when the Lighting Cubes are displayed in the Light Booth lit with 5000 K and 200 lx.

| Product color | L*    | a*     | b*     | Y   | x     | y     |
|---------------|-------|--------|--------|-----|-------|-------|
| White         | 93.04 | 1.33   | -2.95  | 231 | 0.338 | 0.355 |
| Yellow        | 86.95 | -1.87  | 67.16  | 246 | 0.434 | 0.470 |
| Red           | 59.40 | 33.17  | 8.55   | 246 | 0.498 | 0.328 |
| Blue          | 69.09 | -17.43 | -19.68 | 240 | 0.232 | 0.314 |
| Green         | 70.30 | -20.44 | 24.13  | 255 | 0.330 | 0.464 |



**Figure 3** Five Lighting Cubes covered with white paper while illuminated with various chromatic lightings. The cubes are exhibited in the Light Booth lit with 5000 K and 200 lx

### 3. 3. 참여자

정상 색각을 가진 성인 30명(남성 15명, 여성 15명)이었으며, 평균 연령은 26.53세, 표준편차는 3.04세로 구성되었다.

### 3. 4. 실험 절차 및 평가 방법

실험은 조명 부스 내에 단일 조명 큐브를 제시한 상태에서 진행되었으며, 참가자는 각 제품색 조건에 대해서 서로 다른 조명색이 적용된 큐브를 순차적으로 관찰하였다. 평가의 기준점으로는 동일한 제품색에 백색 조명이 적용된 조건을 사용하였다. 백색 조명은 제품 조명 디자인의 표준 출발점이자 국제 색채 평가 표준(D50 근사, 5000K)에 해당하는 조건으로서, 유채색 조명의 심미적 효과를 상대적으로 평가하기 위한 기준점으로 설정하였다. 이는 백색 조명이 절대적 중립임을 전제하는 것이 아니라, 심리물리학 실험에서 일반적으로 적용되는 앵커 기반 상대 평가 방식을 채택한 방법론적 선택으로, 반복 평가에서 판단 일관성을 확보하기 위한 것이다(Woodworth & Schlosberg, 1954).

평가에는 5점 리커트 척도(-2 = 전혀 어울리지 않음, +2 = 매우 잘 어울림)를 활용하였다. 조건 제시 순서는 참가자별로 무작위화하여 순서 효과를 줄였으며, 모든 평가는 5000K의 색온도와 200lx의 조도로 구성된 조명 부스 내에서 수행되었다.

### 3. 5. 결과

평가 결과, 조명색과 제품색의 조합에 따른 심미적 조화 평가는 백색 조명을 기준으로 일관된 차이를 보였다. 실험 결과의 평균과 표준편차는 Table 2에 제시하였다.

Table 2 Means and Standard deviation scores (in parentheses) of the visual assessment I. The assessments are the relative evaluation when white lighting is set as zero

| Product color | Color of lighting |                 |                 |                 | Average         |
|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|               | Yellow            | Red             | Blue            | Green           |                 |
| White         | -0.43<br>(1.28)   | -0.03<br>(1.40) | 0.63<br>(1.13)  | 0.57<br>(1.10)  | 0.19<br>(1.23)  |
| Yellow        | 0.77<br>(1.17)    | -0.83<br>(1.26) | -1.03<br>(1.27) | -0.50<br>(0.97) | -0.40<br>(1.17) |
| Red           | -0.53<br>(1.36)   | 0.37<br>(1.52)  | -1.27<br>(1.08) | -1.20<br>(1.06) | -0.66<br>(1.26) |
| Blue          | -0.73<br>(1.14)   | -0.93<br>(1.28) | 0.70<br>(1.39)  | 0.37<br>(1.10)  | -0.15<br>(1.23) |
| Green         | 0.43<br>(1.33)    | -1.70<br>(0.65) | 0.13<br>(1.28)  | 0.77<br>(1.17)  | -0.09<br>(1.11) |
| Average       | -0.10<br>(1.26)   | -0.62<br>(1.22) | -0.17<br>(1.23) | 0.00<br>(1.08)  | -0.22<br>(1.20) |

반복측정 이원분산분석 결과, 주효과인 제품색[F(4,116)=9.85\*,  $p < .05$ ] 및 조명색[F(4,116)=6.63\*,  $p < .05$ ]에 의한 평가와, 제품색과 조명색 간 상호작용 효과[F(16,464)=18.31\*,  $p < .05$ ] 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 상호작용 효과의 F 값이 각각의 주효과보다 크게 나타나, 심미적 만족도가 조명 조건뿐 아니라 제품색과 조명색의 조합이 전달하는 심미적 효과에 대해 디자인 과정에서 더욱 주목해야 함을 확인하였다.

전반적으로, 백색 제품색은 조명 전반에 걸쳐 안정적인 조화를 이루는 것으로 평가되었다( $M_{\text{백색제품}} = 0.19$ ). 제품 색상에 따른 조명 심미성 평가는 적색( $SD_{\text{적색제품}}=1.26$ )과 청색 제품( $SD_{\text{청색제품}}=1.23$ )에서 조명별 평가 결과의 차이에 큰 편차가 있음이 관찰되었다. 조명 색상에 따른 제품 심미성 평가에서는 황색 조명( $SD_{\text{황색조명}}=1.26$ ), 청색 조명( $SD_{\text{청색조명}}=1.23$ ), 그리고 적색 조명( $SD_{\text{적색조명}}=1.22$ )에서 큰 편차를 보이는 것이 확인되었다. 특히, 제품색에 동일한 계열의 조명이 상대적으로 높은 평가를 받은 것이 관찰되었다( $M_{\text{노랑조명,노랑제품}} 0.77$ 점,  $M_{\text{빨강조명,빨강제품}} 0.37$ 점,  $M_{\text{파랑조명,파랑제품}} 0.70$ 점,  $M_{\text{초록조명,초록제품}} 0.77$ 점).

## 4. 조명 큐브의 2차 검증: 맥락 조건 검증 연구

### 4. 1. 실험 목적

조명 큐브의 2차 검증은 조명 큐브가 배경과 부하물이 함께 존재하는 복합적 맥락에서도 시각적 평가 차이를 드러낼 수 있는지를 확인하기 위해 수행되었다. 실제 제품 사용 환경에서 조명과 제품은 고립된 대상으로 지각되기보다, 주변 색채와 내부 구성 요소의 관계 속에서 해석된다. 이에 본 실험에서는 배경색과 부하물색을 추가하여 보다 맥락적인 조건을 구성하고, 조명 큐브가 장면 단위의 심미적 인상까지 탐색할 수 있는 연구 도구로 기능하는지를 2차적으로 검토하고자 하였다.

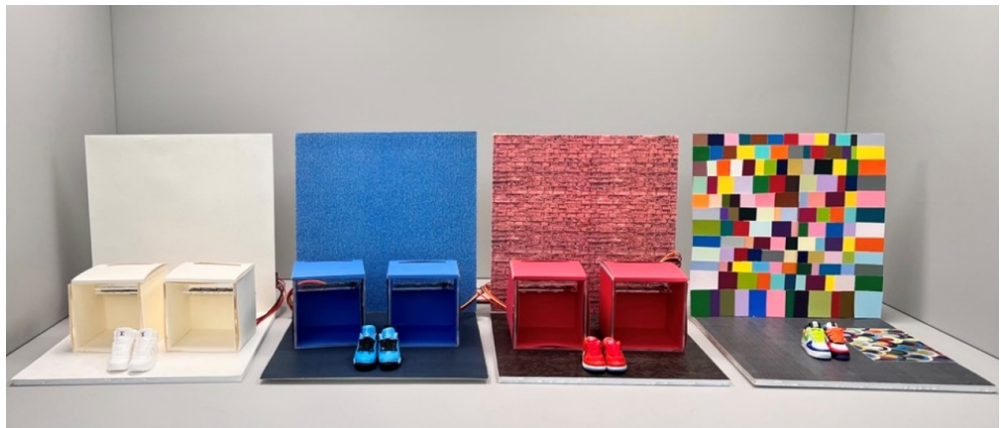
### 4. 2. 자극 및 실험 조건

2차 검증에서는 1차 검증에서 확인된 조명색과 제품색 간의 관계를 보다 복합적인 맥락으로 확장하기 위해, 기존 변수에 배경과 부하물 요인을 추가하여 자극을 구성하였다.

다만, 변수의 급격한 증가가 피험자의 인지적 부담을 가중시켜 평가의 일관성을 저해할 수 있다는 점을 고려하여 핵심 색상을 ‘흰색, 빨강, 파랑’ 세 가지로 제한하였다. 이러한 색상 선정은 1차 검증의 실증적 결과에 근거하였다. 실험 1 결과, 백색 제품은 조명 조건 전반에 걸쳐 평가의 편차가 적고 안정적인 조화를 이루는 것으로 나타나( $M_{\text{백색제품}}=0.19$ ) 본 실험의 통제적 성격을 지닌 기준 조건으로 설정하였다. 반면, 적색과 청색은

제품( $SD_{적색조명}=1.26$ ,  $SD_{청색조명}=1.23$ ) 및 조명 조건 모두에서 조합에 따라 평가 편차가 극심하게 나타나는 고민감도 조건임이 확인되었다. 특히 이들 유채색은 동일 계열 색상 매칭 시 호감도가 상승하는 등 주변 환경 요소에 매우 민감하게 반응하였으므로, 배경과 부하물이 추가된 확장된 맥락에서 색상의 심미적 상호작용 확인에 적합한 색상 자극으로 사료된다.

배경은 단색 조건뿐 아니라 다색 벽면을 연상시키는 복합 패턴을 포함하여 총 네 가지로 구성하였고, 내부 부하물 역시 서로 다른 색과 형태를 지닌 미니어처 오브젝트 네 종류를 사용하였다. 이는 실제 제품 사용 환경에서 조명과 제품이 고립된 채 지각되기보다, 주변 색채와 내부 구성 요소가 함께 제시되는 장면 속에서 평가된다는 점을 반영하기 위한 것이다. Figure 4는 실험에 활용된 조명 큐브, 부하물과 배경의 예시를 보여준다.



**Figure 4** Lighting Cubes with internal load and background. The background variations are considered to be aligned with the color of Lighting Cubes, while the mixed combinations are intended as well

### 4. 3. 참여자

정상 색각을 가진 성인 남녀를 대상으로 진행하였다. 참여자는 총 29 명으로, 남성 15명과 여성 14명으로 구성되었다. 참여자들의 평균 연령은 27.17세 였고 표준편차는 3.21세로 파악되었다.

### 4. 4. 실험 절차 및 평가 방법

2차 검증에서 피험자가 직면하는 구체적인 자극 조합과 평가 스케일의 명확성을 기하기 위해 전체 실험 매트릭스를 Table 3으로 구조화하였다. 2차 검증의 전체 자극 공간은 제품색 3종, 조명색 3종, 배경 4종, 부하물 4종의 결합으로 구성되나, 피험자의 인지 과부하를 방지하고자 설계된 분할 배치에 따라 1인당 노출되는 자극은 총 96개 조합으로 제한되었다. 집단 A(N=14)는 공통 기준인 백색 제품 조합 48개와 적색 제품 조합 48개를 연속 평가하였고, 집단 B(N=15)는 백색 제품 조합 48개와 청색 제품 조합 48개를 평가하였다. 각 자극은 조명 큐브 내부의 광학적 상태가 안정화된 상태에서 무작위 순서로 개별 제시되었으며, 피험자는 자극당 10초의 관찰 후 심미 지수를 평가하였다. 한 세션은 색상 하나를 기준으로 조명, 배경, 부하물의 조합 조건들을 평가하도록 구성되어 약 20분간 진행되었으며, 집중력 저하를 막기 위해 세션 사이에 10분의 휴식 시간을 제공, 총 50분간 실험을 진행하였다.

Table 3 Experimental Design Matrix for Phase 2 Verification

| Group                                 | Session 1<br>(Common condition)                                                               | Session 2<br>(Chromatic condition)                                                           |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Group A (Red-preference group, N=14)  | White cube (1 type) × Light (3 types) × Background (4 types) × Load (4 types)<br>= 48 stimuli | Red cube (1 type) × Light (3 types) × Background (4 types) × Load (4 types)<br>= 48 stimuli  |
| Group B (Blue-preference group, N=15) | White cube (1 type) × Light (3 types) × Background (4 types) × Load (4 types)<br>= 48 stimuli | Blue cube (1 type) × Light (3 types) × Background (4 types) × Load (4 types)<br>= 48 stimuli |

평가는 1차 검증과 동일한 조명 부스 환경(5000 K, 200 lx)에서, 약 35 cm의 관찰 거리에서 수행하였다. 참가자는 각 조건이 형성하는 전반적 시각 인상이 얼마나 조화롭게 느껴지는지를 5점 리커트 척도(-2 = 전혀 어울리지 않음, +2 = 매우 잘 어울림)로 평가하였다. 또한 각 세션마다 두 개의 조명 큐브를 함께 제시하여, 참가자가 필요에 따라 좌우 비교를 수행할 수 있도록 하였다. 정량 평가가 끝난 후에는 1:1 인터뷰를 실시하여 각 평가의 이유를 수집하였으며, 이를 통해 점수 경향과 함께 맥락적 판단의 근거를 해석하고자 하였다.

#### 4. 5. 데이터 분석

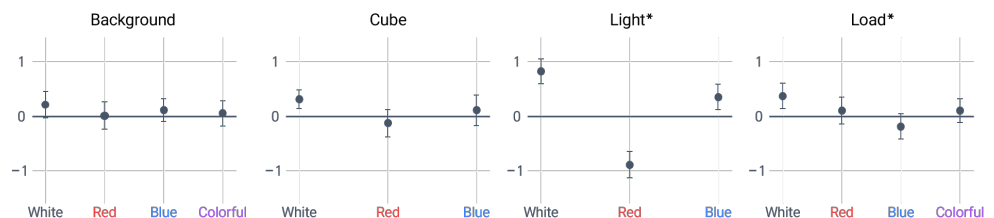
2차 검증의 데이터 분석은 정량 평가와 인터뷰 응답을 병행하여 수행하였다. 먼저 정량 자료는 각 자극 조건에 대한 5점 리커트 응답을 평균값 중심으로 정리하여, 선형 혼합 모형을 설계하여 제품색, 조명색, 배경, 부하물의 조합에 따라 전반적 시각 인상이 어떻게 달라지는지를 분석하였다.

정성 자료는 정량 평가 이후 수집한 1:1 인터뷰 음성을 전사한 뒤, 각 발화를 해당 자극 조건에 대응시켜 정리하였다. 자극에 대한 발화의 내용을 중심으로 부정적, 중립, 긍정적 세 카테고리 분류하여 유사한 표현이 반복적으로 밀집된 구간을 중심으로 핵심 주제를 도출하였다.

#### 4. 6. 결과

##### 4. 6. 1. 주효과 분석

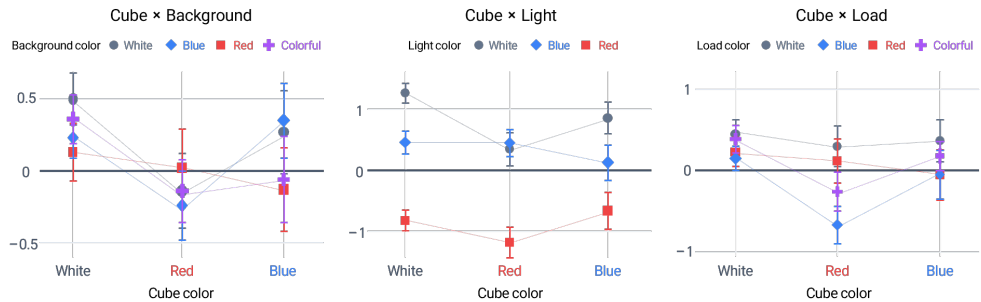
분석 결과(Figure 5), 조명색과 부하물(신발) 색상에 대한 주효과가 통계적으로 유의하게 나타났다(조명: Wald  $\chi^2(2) = 34.33, p < .001$ ; 부하물: Wald  $\chi^2(3) = 16.13, p = .001$ ). 특히 백색 조명과 흰색 부하물이 적용되었을 때 가장 안정적이고 높은 평가가 관찰되었다. 이러한 경향성은 심층 인터뷰 응답에서도 동일하게 확인되었다. 제품 색상을 비롯해 조명, 배경, 부하물이 모두 흰색으로 통일된 기준 조건에서는 “깔끔하다”, “정돈되어 보인다”, “물건이 잘 보인다”와 같은 긍정적 반응이 주를 이루었다. 반면, 같은 백색 제품 조건임에도 빨강이나 파랑 조명이 적용되면 “흰색 부하물이 배경에 묻힌다”, “색이 물든다”, “대비가 약해진다”와 같은 부정적 반응이 즉각적으로 보고되어, 조명색 변화에 따른 시각적 민감도를 확인할 수 있었다.



**Figure 5** Experimental results of visual assessment. The points indicate the mean scores, while the error bars represent the standard errors. An asterisk (\*) indicates a statistically significant difference ( $p < .05$ )

#### 4. 6. 2. 상호작용 분석

분석 결과 제품색(큐브)을 중심으로 배경(제품색 × 배경: Wald  $\chi^2(6) = 13.93, p = .030$ , Table 4), 조명(제품색 × 조명: Wald  $\chi^2(4) = 24.85, p < .001$ , Table 5), 부하물(제품색 × 부하물: Wald  $\chi^2(6) = 13.07, p = .042$ , Table 6)이 결합할 때 발생하는 세 가지의 2원 상호작용 효과만 통계적으로 유의하게 나타났다(Figure 6).



**Figure 6** Interaction effects of cube color with background, light, and load conditions on visual assessment scores. The points indicate the mean scores, while the error bars represent the standard errors

첫째, 제품색과 배경색의 상호작용 분석 결과(Table 4), 무채색인 흰색 큐브는 배경 색상에 크게 구애받지 않고 대부분의 조건에서 평균 점수 0 이상을 유지하며 높은 시각적 수용성을 보였다. 반면, 큐브가 빨강이나 파랑과 같은 유채색으로 변화할 경우, 배경과 동일한 색상으로 통일되었을 때 시각적 안정감을 유지하였다. 그러나, 큐브와 배경의 유채색이 서로 엇갈려 색채 복잡도가 높아지는 순간 평균 점수가 -1 이하로 급락하는 현상이 뚜렷하게 관찰되었다. 사용자들은 큐브와 배경의 색상이 불일치하는 유채색 조합에 대해 “산만하다”, “대비가 부족하다”, “제품이 묻힌다”며 강한 시각적 거부감을 보였다.

Table 4 Mean and Standard deviation scores (in parentheses) between product color and background color of the visual assessment II

|               | Background color |                 |                 |                 |
|---------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Product color | White            | Red             | Blue            | Colorful        |
| White         | 0.65<br>(1.20)   | 0.26<br>(1.28)  | -0.06<br>(1.35) | 0.30<br>(1.26)  |
| Red           | 0.30<br>(1.35)   | 0.23<br>(1.49)  | -0.35<br>(1.30) | -0.04<br>(1.32) |
| Blue          | 0.33<br>(1.33)   | -0.03<br>(1.31) | 0.13<br>(1.49)  | 0.17<br>(1.34)  |

다음으로, 제품색과 조명색의 상호작용 분석 결과(Table 5), 물리적 색상(제품)과 빛의 색상(조명) 간의 결합에 따른 상반된 시너지 현상이 관찰되었다. 백색 조명이 조건 전반에서 보편적인 선호도를 보인 것과 달리, 유채색 조명은 제품색에 따라 평가가 양극화되었다. 흥미롭게도 청색 큐브에 청색 조명을 적용한 조건은 백색 조건이 제공하는 일반적인 심미적 안정감을 상회하는 수준의 높은 평가를 기록하며 시각적 조화의 극대화를 보여주었다. 반면, 적색 큐브에 적색 조명을 조사한 조건은 전체 조합 중 최하위 수준으로 점수가 급락하였다. 심층 인터뷰 결과, 참가자들은 붉은빛이 동일 색상의 객체에 중첩될 때 명암과 형태가 묻개지는 현상에 대해 “탁하게 보인다”, “색이 죽는다”, “어둡게 보인다”고 묘사하며, 색채 본연의 특성이 훼손되는 것에 대한 강한 시각적 거부감이 보고되었다.

Table 5 Mean and Standard deviation scores (in parentheses) between product color and light color of the visual assessment II

| Product color | Light color        |              |                    |
|---------------|--------------------|--------------|--------------------|
|               | White              | Red          | Blue               |
| White         | <b>1.27 (0.88)</b> | -0.82 (1.08) | 0.46 (1.16)        |
| Red           | 0.35 (1.17)        | -1.18 (1.01) | <b>0.42 (0.97)</b> |
| Blue          | <b>0.86 (1.07)</b> | -0.66 (1.17) | 0.13 (1.23)        |

마지막으로, 제품색과 부하물색의 상호작용(Table 6)에서는 강한 보색 대비가 유발하는 치명적인 시각적 이질감이 확인되었다. 큐브와 부하물에 적색과 청색이 서로 엇갈려 적용된 교차 조합(예: 적색 큐브 내의 청색 부하물)에서는 평균 점수가 -1.72에서 -0.10 사이로 급락하며 부정적 반응이 극대화되었다. 인터뷰 응답에서도 참가자들은 부하물색이 전시 공간(큐브)과 강한 유채색 대비를 이루며 충돌하는 상황에 대해 “이질감이 든다”, “불편하다”, “너무 튀어 보인다”고 지적하며 심각한 시각적 피로감이 보고되었다.

Table 6 Mean and Standard deviation scores (in parentheses) between product color and load (shoe) color of the visual assessment II

| Product color | Load color         |                     |                     |              |
|---------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------|
|               | White              | Red                 | Blue                | Colorful     |
| White         | <b>0.45 (1.28)</b> | 0.23 (1.32)         | 0.16 (1.45)         | 0.39 (1.35)  |
| Red           | 0.32 (1.27)        | 0.15 (1.28)         | <b>-0.62 (1.12)</b> | -0.23 (1.23) |
| Blue          | 0.35 (1.35)        | <b>-0.06 (1.34)</b> | -0.03 (1.28)        | 0.18 (1.24)  |

## 5. 논의

### 5. 1. 조명 큐브의 개발과 연구 도구로서의 의의

본 연구의 핵심 기여는 조명색과 제품색의 관계를 단순한 직관적 배색의 영역에서 끌어내어, 반복적이고 체계적인 디자인 탐색이 가능한 물리적 연구 도구로서 ‘조명 큐브’를 제안하고 그 실증적 타당성을 입증한 데 있다. 기존의 제품 조명 연구는 개별 변수의 효과를 설명하거나 특정 조건의 선호 경향을 밝히는 데 기여해 왔으나(Kim & Suk, 2025a; Kim & Suk, 2025b), 실제 디자인 과정에서 조명색, 제품색, 배경, 부하물이 다중으로 얹히며 만들어내는 시각적 관계를 유연하게 탐색하기에는 한계가 있었다. 이러한 맥락에서 조명 큐브는 실제 제품 조명 환경의 핵심 요소를 축소된 단위 안에서 다룰 수 있도록 함으로써, 제품 디자인에서 조명과의 조화를 단순한 결과값이 아니라 실제 가능한 관계로 검토할 수 있게 한다는 점에서 의의가 있다.

### 5. 2. 본 연구의 시사점

#### 5. 2. 1. 조명색과 제품색 사이의 조화로움

본 연구의 결과는 조명색과 제품색 사이의 조화로움이 어느 한 요소의 고정된 속성이라기보다, 두 색이 함께 형성하는 시각적 관계 속에서 판단된다는 점을 명확히 보여준다. 1차 검증에서 도출된 제품색과 조명색의 주효과 및 유의미한 상호작용은, 심미적 조화가 특정 조명이나 제품색의 단독 효과만으로 설명될 수 없음을 시사한다. 고전적 관점에서 Moon & Spencer(1944)는 색채 조화를 색상·명도·채도 관계의 기하학적 규칙성으로 수학적으로 모형화하였으며, Itten(1961)은 보색·유사색 등의 관계를 통한 실천적 조화 원리를 체계화하였다. 현대 실험 미학의 관점에서 Schloss & Palmer(2011)는 색채 쌍에 대한 선호 및 조화 지각이 색상 유사성이 높을수록, 그리고 명도 대비가 클수록 높아진다는 것을 실증하였다. 본 연구의 맥락에서도 조명과 제품에 유사한 계열의 색이 적용되었을 때 상대적으로 긍정적인 평가를 보인 반면, 색상 차이가 큰

조합에서는 심미성이 하락하는 일관된 패턴이 확인되었다. 이는 색채 조화론에서 보편적으로 지지받는 ‘유사성 조화’의 원리와 부합하며, 조명과 제품색이라는 이질적 두 변수 사이에서도 동일한 지각 원리가 작동함을 실증한다. 인간의 시각은 객체와 광원 간의 시각적 복잡도를 낮추는 배색을 편안하게 지각하며, 이는 제품 설계 과정에서 조명을 독립적으로 다루기보다 제품색과 강하게 연관된 통합적 변수로 검토해야 함을 방증한다(Allred & Olkkonen, 2013; Han & Suk, 2019).

이러한 관계적 특성은 배경과 부하물이 추가된 2차 실험에서 더욱 뚜렷하게 관찰되었다. 흰색 제품에 백색 조명을 적용한 조건은 전반적으로 가장 안정적인 평가를 유지했는데, 이는 무채색 배경과 광대역 광원이 객체의 색채 항상성을 방어하여 시각적 피로도를 최소화했기 때문으로 해석할 수 있다(Brainard, 1998; Foster, 2011). 반면, 강한 보색 대비를 이루거나 적색 조명처럼 특정 파장의 빛이 강하게 개입하는 조합에서는 부정적 반응이 반복되었다.

이러한 비대칭 결과 광학적 측면에서, 적색 색소는 단파장 광을 흡수하고 장파장 광을 선택적으로 반사하는 분광 특성을 지닌다. 이는 단순히 색상 기호의 불일치를 넘어, 광원의 스펙트럼 에너지가 표면의 명도 대비를 잠식함으로써 고유색과 형태 지각이 저해되는 현상과 연결되는 것으로 해석된다(Cavanagh, 1991). 동일 파장대의 적색 조명이 이 표면에 중첩되면, 조명 반사광과 표면 산란광의 스펙트럼이 거의 일치함으로써 하이라이트와 그림자 사이의 명도 기울기, 즉 형태 및 질감 지각의 핵심 시각적 단서가 현저히 감소한다. Helson & Lansford(1970)는 5종의 광원 조건 아래 125종의 물체 색상을 대규모로 평가한 결과, 명도 대비가 색채 조합의 쾌적성을 결정하는 가장 핵심적인 단일 요인임을 실증하였으며, 광원의 스펙트럼 특성이 특정 물체-배경 색상 조합에서 이 명도 대비에 강하게 개입한다는 점을 확인하였다. 본 연구의 적색-적색 조건은 이 명도 대비 소실 메커니즘이 극단적으로 작동한 사례로 해석된다. 반면 청색 표면은 장파장을 흡수하고 단파장을 반사하는 분광 특성상, 청색 조명 하에서도 표면 내 명도 기울기가 상대적으로 유지되어 형태 지각과 심미적 평가가 저해되지 않은 것으로 볼 수 있다. 즉, 조명색과 제품색의 조화는 개별 색채의 미적 선호를 넘어, 특정 조명 조건 아래에서 제품의 물리적 표면과 시각적 정체성이 얼마나 명확하게 지각되는가를 묻는 생리적·관계적 평가도 함께 고려되어야 한다(Lucassen et al., 2011; Schloss et al., 2013).

동시에 본 연구는 조명색과 제품색의 조화가 맥락으로부터 분리된 절대적 기준을 갖기 어렵다는 점도 실증한다. 2차 검증에서 흰색 배경과 흰색 부하물은 그 자체로 긍정적 반응을 유도하는 안정적인 조화였으나, 여기에 적색 조명이 개입하는 순간 장면 전체의 인상이 극단적인 부정으로 전환되었다. 따라서 조화로움은 조명색과 제품색 사이에서만 결정되는 것이 아니라, 배경과 부하물이 함께 개입하여 빚어내는 장면 전체의 시각적 조직 속에서 형성되는 특성으로 보는 것이 타당하다. 이러한 관점은 제품 조명 디자인에서 조명 광원을 단독으로 최적화하는 직접적인 접근 이상의, 제품색과 주변 요소가 함께 구축하는 복합적 공간을 탐색하는 방향으로 진화해야 함을 시사한다. 다만, 본 연구의 결과는 제한된 색상군과 축소된 물리적 조건 안에서 관찰된 경향성이므로, 이를 즉각적인 보편적 설계 규칙으로 일반화하기보다 실제 조명 환경에서의 다차원적 색채 상호작용을 검토하기 위한 체계적인 실험적 출발점으로 삼는 것이 적절할 것이다.

## 5. 2. 2. 제품 조명 디자인 연구를 위한 방법론적 시사점

본 연구의 방법론적 의의는 제품 조명 디자인을 개별 조명 조건의 효과를 측정하는 문제가 아니라, 조명색과 제품색, 그리고 배경과 부하물이 함께 형성하는 시각적 관계를 반복적으로 탐색할 수 있는 연구 문제로 전환했다는 데 있다(Han & Suk, 2019). 기존의 제품 조명 연구는 실물 제품 평가, 이미지 기반 자극, 또는 제한된 변수 실험을 통해 개별 조건의 반응을 파악하는 데에는 유효했지만, 실제 디자인 과정에서 반복적으로 요구되는 조합의 비교와 맥락적 탐색을 수행하기에는 한계를 가질 수 있다(Hartmann et al., 2006). 이에 비해 본 연구에서 제안한 조명 큐브는 물리적 표면과 실제 광원을 활용하면서도 조건 교체와 비교를 용이하게 함으로써, 제품 조명 연구에서 통제성과 탐색성을 동시에 확보하려는 하나의 방법적 대안을 제시한다.

특히 조명 큐브는 조명과 제품색 관계를 정적인 평가 대상이 아니라, 설계 과정에서 반복적으로 조정되고 검토될 수 있는 요인으로 다루게 한다는 의미를 가진다. 1차 검증은 통제된 조건에서 조명색과 제품색의 기본적인 시각 차이를 분리해 보여줄 수 있음을, 2차 검증은 배경과 부하물이 포함된 조건에서도 경험에서 느껴지는 감성 차이를 다룰 수 있음을 보여주었다. 이는 제품 조명 디자인 연구가 단일 변수의 효과 검증에 머무르지 않고, 서로 다른 조건 조합을 단계적으로 비교하며 설계 가설을 형성하는 방식으로 확장될 수 있음을 시사한다.

또한 본 연구는 제품 조명 디자인 연구에서 물리적 실험 도구의 필요성을 강조한다는 점에서도 의의를 가진다. 가상환경이나 이미지 기반 자극은 높은 통제성과 효율성을 제공하지만, 실제 표면 재질과 광원의 상호작용에서 발생하는 시각적 인상을 충분히 반영하기 어렵다(Chu & Kao, 2020; Kim et al., 2026). 반대로 실험 제품을 활용한 실험은 현실성이 높지만, 초기 설계 단계에서 다양한 조건을 반복적으로 비교하기에는 비용과 시간의 부담이 크다(Snider et al., 2023). 조명 큐브는 이 두 방식 사이에서, 축소된 물리 환경 안에 실제 광학적 상호작용과 비교 가능한 모듈 구조를 결합함으로써, 제품 조명 디자인 연구를 보다 실험적이고 반복 가능한 탐색 과정으로 조직할 수 있는 가능성을 보여준다.

### 5. 2. 3. 제품 조명 설계를 위한 실무적 시사점

본 연구의 결과는 제품 조명 설계에서 조명 조건을 제품색과 분리된 독립 요소로 다루기보다, 두 요소의 관계를 함께 검토해야 함을 보여준다. 특히, 두 번의 검증에 걸쳐 제품색과 유사한 계열의 조명이 상대적으로 높은 평가를 보였다는 점은, 조명색이 제품의 고유색을 어떻게 드러내거나 약화시키는지를 초기 설계 단계부터 함께 고려할 필요가 있음을 확인시켜준다(Han & Suk, 2019).

뿐만 아니라, 본 연구는 배경과 내부 부하물이 조명과 제품색 관계의 인상을 의미미하게 변화시킬 수 있음을 보여주었다. 예를 들어, 흰색 배경과 흰색 부하물은 상대적으로 안정적인 평가를 보인 반면, 색채 복잡도가 높거나 강한 대비를 이루는 배경과 부하물을 가진 경우 정돈감이 약화되거나 시각적 충돌이 증가하는 경향이 나타났다. 이는 실제 제품 조명 설계에서 제품이 놓이는 환경과 내부에 함께 제시될 요소까지 포함한 검토가 필요하다는 점을 보여준다. 따라서 조명 설계는 제품 단독의 미관 조정이 아니라, 제품이 속한 맥락 전체의 시각적 조직을 다루는 설계 문제로 접근될 필요가 있다.

실무적으로는 이러한 결과가 특정 색 조합의 정답을 제시하기보다, 조명 설계를 위한 탐색의 우선순위를 제한한다는 점에서 의미가 있다. 예를 들어, 흰색 기반 조명은 비교적 안정적인 출발 조건으로 활용될 수 있으며, 강한 유채색 조명은 제품색 및 주변 요소와의 관계를 충분히 검토한 뒤 제한적으로 적용하는 것이 바람직할 수 있다. 또한 조명 조건은 최종 단계에서 부가적으로 결정되기보다, 제품 외장색, 내부 구성 요소, 인터페이스 표현과 함께 초기 단계부터 통합적으로 검토될 필요가 있다. 이러한 접근은 제품 조명 설계를 보다 직관적 스타일링의 문제가 아니라, 사용자에게 전달되는 시각적 인상과 제품 정체성을 조율하는 전략적 설계 과정으로 전환하는 데 기여할 수 있다.

### 5. 3. 한계 및 향후 과제

본 연구는 조명색과 제품색의 관계를 탐색할 수 있는 물리적 연구 도구로서 조명 큐브를 제안하고, 두 단계의 검증을 통해 그 활용 가능성을 확인하였다는 점에서 의의가 있다. 그러나 본 연구의 결과는 제한된 색상군과 축소된 물리적 조건 안에서 도출된 것이므로, 이를 제품 조명 설계 전반의 일반적 규칙으로 해석하는 데에는 신중할 필요가 있다. 특히 본 연구에 사용된 제품색과 조명색은 소수의 대표 조건으로 구성되었으며, 이를 일반화하기 위해서는 보다 넓은 색채 범위와 표면 특성을 반영한 연구를 추가적으로 진행할 필요가 있다.

이러한 물리적 자극 조건의 제한성과 더불어, 실험의 정밀도를 확보하기 위해 채택한 방법론적 절차 내에서도 해석상의 한계가 존재한다. 구체적으로, 2차 검증에서 채택된 선호도 기반 집단 배정 방식은 인지 부하 통제를

위한 설계 선택이었으나, 이로 인해 선호 집단 간 직접 비교가 제한되고 후광 효과에 의한 평가 편향 가능성을 완전히 배제하기 어렵다는 한계가 있다. 향후 연구에서는 무작위 집단 배정과 균형 잡힌 반복측정 설계를 통해 이 가능성을 통제할 교차 검증이 이루어질 필요가 있다.

또한 본 연구의 조명 큐브는 실제 제품 조명 환경의 핵심 요소를 축소된 형태로 다루기 위해 설계되었지만, 어디까지나 연구용 모델이라는 점에서 실제 사용 환경 전체를 재현하는 데에는 한계가 있다. 예를 들어 실제 제품은 재질의 깊이감, 복합 광원 구조, 사용자의 이동 시점, 장시간 노출에 따른 적응 등 보다 다양한 변수를 포함한다. 본 연구는 이러한 복잡성을 통제 가능한 수준으로 단순화함으로써 비교 가능한 실험 조건을 확보하고자 하였으나, 그 결과 실제 제품 경험에서 나타날 수 있는 보다 넓은 범주의 요인까지 모두 포착하지는 못한다는 한계를 가진다. 이러한 한계는 실제 제품 프로토타입, 가상환경 기반 평가, 혹은 실공간 적용과의 비교를 통해 교차 검증하여 실무적인 활용도를 높일 필요성이 제기된다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 조명색과 제품색의 관계를 직관적 판단의 대상이 아니라 실험적으로 비교 가능한 디자인 변수로 다루었다는 점에서 출발점으로서의 가치를 가진다. 따라서 향후 과제는 본 연구의 결과를 곧바로 일반화하는 데 있기보다, 조명 큐브를 기반으로 더 다양한 제품군, 맥락, 재질, 사용자 집단을 포함한 후속 연구를 축적함으로써 제품 조명 디자인 연구의 범위를 점진적으로 확장해 나가는 데 있다고 할 수 있다.

---

## 6. 결론

본 연구는 조명색과 제품색의 관계를 탐색할 수 있는 물리적 연구 도구로서 조명 큐브를 제안하고, 두 단계의 검증을 통해 그 가능성을 확인하였다. 1차 검증은 통제된 조건에서 조명색과 제품색 조합의 기본적인 시각적 차이를 드러낼 수 있음을, 2차 검증은 배경과 부하물이 포함된 조건에서도 실제 사용 맥락을 반영한 시각적 인상을 탐색할 수 있음을 보여주었다. 이는 조명 큐브가 제품 조명 디자인에서 조명색과 제품색의 관계를 실험적으로 다룰 수 있는 연구 도구로 기능할 수 있음을 시사한다. 또한 본 연구는 조명 및 제품색의 결정이 맥락 속에서 형성되는 특성임을 보여주었으며, 이를 통해 제품 조명 설계를 보다 체계적이고 실험적인 탐색 과정으로 다룰 필요성을 제기한다.

## References

1. Allred, S. R., & Olkkonen, M. (2013). The effect of background and illumination on color identification of real, 3D objects. *Frontiers in Psychology*, 4, 821. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00821>
2. Brainard, D. H. (1998). Color constancy in the nearly natural image. 2. Achromatic loci. *Journal of the Optical Society of America A*, 15(2), 307–325. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.15.000307>
3. Camburn, B., Viswanathan, V., Linsey, J., Anderson, D., Jensen, D., Crawford, R., ... & Wood, K. (2017). Design prototyping methods: state of the art in strategies, techniques, and guidelines. *Design Science*, 3, e13. <https://doi.org/10.1017/dsj.2017.10>
4. Cavanagh, P. (1991). Vision at equiluminance. *Vision and visual dysfunction*, 5, 234–250.
5. Chu, C. H., & Kao, E. T. (2020). A comparative study of design evaluation with virtual prototypes versus a physical product. *Applied Sciences*, 10(14), 4723. <https://doi.org/10.3390/app10144723>
6. Ege, D. N., Goudswaard, M., Gopsill, J., Steinert, M., & Hicks, B. (2024). What, how and when should I prototype? An empirical study of design team prototyping practices at the IDEA challenge hackathon. *Design Science*, 10, e22. <https://doi.org/10.1017/dsj.2024.16>
7. Foster, D. H. (2011). Color constancy. *Vision Research*, 51(7), 674–700. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.09.006>

8. Han, J., & Suk, H. J. (2019). Exploring user's preference on the color of cavity and lighting of an oven product. *Archives of Design Research*, 32(2), 19–29. <https://doi.org/10.15187/adr.2019.05.32.2.19>
9. Hartmann, B., Klemmer, S. R., Bernstein, M., Abdulla, L., Burr, B., Robinson-Mosher, A., & Gee, J. (2006, October). Reflective physical prototyping through integrated design, test, and analysis. In *Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology* (pp. 299–308). <https://doi.org/10.1145/1166253.1166300>
10. iF. (2024). *LG PuriCare AeroFurniture* [Web document]. Retrieved from <https://ifdesign.com/en/winner-ranking/project/lg-puricare-aerofurniture/566697>
11. Helson, H., & Lansford, T. (1970). The role of spectral energy of source and background color in the pleasantness of object colors. *Applied Optics*, 9(7), 1513–1562. <https://doi.org/10.1364/AO.9.001513>
12. Itten, J. (1961). *Kunst der Farbe*. Otto Maier Verlag.
13. Kim, B., & Suk, H. (2025a). User experience factors of home appliance lighting. *Archives of Design Research*, 38(2), 253–267. <https://doi.org/10.15187/adr.2025.05.38.2.253>
14. Kim, B., & Suk, H. J. (2025b). Affective judgment of viewing an illuminated in-product space in relation to the surrounding lighting. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 107, 103742. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2025.103742>
15. Kim, B., Kim, H., Rakhimzhanova, A., & Suk, H.-J. (2026). Immersive evaluation of in-product lighting design using virtual reality. *Virtual Reality*, 30(3). <https://doi.org/10.1007/s10055-026-01322-5>
16. Kim, H. (2026). 조명 큐브를 활용한 조명색과 제품색 간의 심미적 조화 연구 [Investigation of aesthetic harmony between lighting color and product color using a light cube]. (KAIST No. 325007)
17. Lau, J. C. (1972). Use of scale models for appraising lighting quality. *Lighting Research & Technology*, 4(4), 254–262. <https://doi.org/10.1177/096032717200400408>
18. Lee, S., Alzoubi, H. H., & Kim, S. (2017). The effect of interior design elements and lighting layouts on prospective occupants' perceptions of amenity and efficiency in living rooms. *Sustainability*, 9(7), 1119. <https://doi.org/10.3390/su9071119>
19. Lim, Y. K., Stolterman, E., & Tenenbergs, J. (2008). The anatomy of prototypes: Prototypes as filters, prototypes as manifestations of design ideas. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 15(2), 1–27. <https://doi.org/10.1145/1375761.1375762>
20. LG. (2022). *LG 디오스 오브제컬렉션 무드업* [Web document]. Retrieved from <https://www.lg.co.kr/media/release/25265>
21. Lucassen, M. P., Gevers, T., & Gijsenij, A. (2011). Texture affects color emotion. *Color Research & Application*, 36(6), 426–436. <https://doi.org/10.1002/col.20647>
22. Moon, P., & Spencer, D. E. (1944). Geometric formulation of classical color harmony. *Journal of the Optical Society of America*, 34(1), 46–59. <https://doi.org/10.1364/JOSA.34.000046>
23. Schloss, K. B., & Palmer, S. E. (2011). Aesthetic response to color combinations: preference, harmony, and similarity. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(2), 551–571. <https://doi.org/10.3758/s13414-010-0027-0>
24. Schloss, K. B., Strauss, E. D., & Palmer, S. E. (2013). Object color preferences. *Color Research & Application*, 38(6), 393–411. <https://doi.org/10.1167/12.9.66>
25. Snider, C., Goudswaard, M., Ranscombe, C., Hao, C., Gopsill, J., & Hicks, B. (2023). How should we prototype? Establishing the affordances of prototyping media and approaches. *Proceedings of the Design Society*, 3, 2125–2134. <https://doi.org/10.1017/pds.2023.213>
26. Sun, L., Fukuda, T., Tokuhara, T., & Yabuki, N. (2014). Differences in spatial understanding between physical and virtual models. *Frontiers of Architectural Research*, 3(1), 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2013.11.005>
27. Lirola, J. M., Castañeda, E., Lauret, B., & Khayet, M. (2017). A review on experimental research using scale models for buildings: Application and methodologies. *Energy and Buildings*, 142, 72–110. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.060>

28. Lee, J., Choi, K., & Suk, H. J. (2015). PicLight: User-centered lighting control interface for residential space. *CHI 2015 – Extended Abstracts Publication of the 33rd Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1705–1710. <https://doi.org/10.1145/2702613.2732891>
29. Woodworth, R. S., & Schlosberg, H. (1954). *Experimental psychology*. Holt.

# 조명 큐브를 활용한 조명색과 제품색 사이의 심미적 조화 탐구

김희수<sup>1</sup>, 김병진<sup>2</sup>, 김태수<sup>3\*</sup>, 석현정<sup>4</sup>

<sup>1</sup>KAIST 산업디자인학과, 석사, 대전, 대한민국

<sup>2</sup>KAIST 산업디자인학과, 박사후연구원, 대전, 대한민국

<sup>3</sup>안산대학교 게임디자인학과, 조교수, 안산, 대한민국

<sup>4</sup>KAIST 산업디자인학과, 교수, 대전, 대한민국

## 초록

**연구배경** 조명은 가전제품의 시각적 인상과 심미적 경험을 형성하는 핵심 요소로 그 활용이 확대되고 있으나, 조명색과 제품색 간의 심미적 조화는 여전히 디자이너의 주관적 직관에 의존하는 실정이다. 디자인 실무에서 원단 스와치나 샘플보드가 색채 판단을 위한 물리적 탐색 인터페이스로 기능하듯, 조명-색채 조화를 반복적으로 탐색하고 비교할 수 있는 전용 연구 도구의 부재를 해결하고자 한다.

**연구방법** 본 연구는 조명색과 제품색 간의 심미적 조화를 체계적으로 탐색하기 위한 물리적 연구 도구인 조명 큐브(Lighting Cube)를 설계·개발하고, 두 단계의 검증 연구를 통해 그 유효성을 검증하였다. 조명 큐브는 저충실도 물리 프로토타입으로서 조명색·제품색·배경의 광학적 상호작용이라는 핵심 CMF 탐색 속성을 선택적으로 구현하였으며, 표준 관찰 거리(35cm)에서 CIE 10° 표준 관측자 조건에 근사하는 시각각(11.4°)을 확보하여 색채 판단의 시각적 동등성을 보장하였다. 검증 연구 1(통제 조건)에서는 조명색과 제품색의 직접적 상호작용을 평가하였으며, 검증 연구 2(맥락 조건)에서는 배경 및 부하물을 포함한 맥락 요소를 추가하여 색채 조화 인식의 변화를 분석하였다.

**연구결과** 백색 제품-조명 조합은 맥락 변화에 무관하게 가장 안정적인 심미성(평균 0.19 이상)을 유지한 반면, 유채색 조건에서는 조명 및 배경색과의 강한 상호작용 효과가 통계적으로 유의하게 나타났다. 동일 계열 매칭 조건에서는 시각적 안정감이 극대화된 반면, 강한 보색 대비 혹은 동일 계열 유채색 조명의 중첩에 의한 명도 대비 상실 조건에서는 심미성 평가 점수가 급락(-1.72 ~ -0.10)하며 강한 시각적 이질감이 유발되었다. 이 결과들은 조명 큐브가 색채 조화와 부조화의 경향성을 유효하게 변별하는 탐색 도구로서 기능함을 실증한다.

**결론** 본 연구는 조명 큐브를 통해 직관적 판단 영역에 머물던 조명-제품색 배색 문제를 실험적으로 탐색·비교 가능한 디자인 연구 과제로 전환하였다. 조명 큐브는 조명 설계 초기 단계에서 CMF 조합의 경향성을 비교·스크리닝하는 실용적 프로토타이핑 도구로 활용 가능하며, 향후 제품 조명 디자인 지침 수립을 위한 방법론적 기반을 제공한다.

**주제어** 조명 디자인, 제품 색채, 심미적 조화, 제품 디자인, 조명 큐브

이 논문은 저자의 석사학위논문(“조명 큐브를 활용한 조명색과 제품색 간의 심미적 조화 연구”, 한국과학기술원, 2026)을 기초로 하여 작성되었음.

\*교신저자 : 김태수 (taesukim@ansan.ac.kr)