

*White-glazed White Porcelain Figurine on a Flat Bed* was also analyzed utilizing X-ray Computed Tomography (CT) to see the interior and reveal the production process. The analysis indicated that some parts of the figurine were restored poorly by distorting the original form during the previous restoration. By supplementing these faults, the figurine was restored it closer to the original state. Moreover, X-ray CT analysis revealed the production procedures of this figurine. First, to make the rectangular flat bed, two of four clay slabs were erected to form the front and back sides of the rectangle, and then the other two for the left and right sides were inserted. The four slabs were reinforced by adding clay onto the interior corners. Next, the figurine was modeled by completely filling the gap between the inner and outer molds with clay and attaching it to the bed. Before the figurine was affixed to the bed, a hole was pierced in the top side of the bed to allow air circulation inside the body of the figurine. The hands and arms were then separately attached. The vines on the back of the flat bed were created by cutting out the background of the vines from the clay slab with a bamboo knife. On the other hand, the vines were shaped with clay to form the armrests, which appear to be naturally connected to the vines on the back.

Finally, some previously restored vines that distorted the original were restored closer to their original form during the recent restoration process.

It is hoped that this study will assist with modern re-restoration through scientific research on previous commercial restoration and further facilitate scientific and systematic research on the production technology and processes of ancient figurative ceramics.

**Keywords**

CT Scanning, Manufacturing Technique, SEM-EDS analyses, Commercial restoration, Re-restoration

# 국립박물관 전시조명 환경조사

노지현 국립부여박물관 학예연구사

이승은 국립경주박물관 학예연구사

곽홍인 국립공주박물관 학예연구사

I. 머리말

II. 조사 방법

III. 조명 품질 평가를 위한 조건

IV. 조명 특징에 따른 문화재 색상 구현 차이

V. 국립박물관에서 사용 중인 LED의 특징

VI. 회사별 LED 조명의 특징

VII. 조명 구입시 고려해야 할 조건

VIII. 결론

# 국립박물관 전시조명 환경조사

노지현 · 이승은 · 곽흥인

## I. 머리말

조명은 과거에서부터 현재까지 우리 일상생활에 없어서는 안 될 중요한 생활 요소 중 하나이다. 오늘날 다양한 형태의 조명이 있기에 우리는 쾌적한 환경에서 생활을 하거나 늦은 밤까지 길을 걷고 책을 읽을 수 있다.

조명의 역사는 불의 발견에서 시작되는데, 이후 모닥불, 촛불, 등잔불, 가스등 등 다양한 조명이 개발되면서 인류 생활은 점차 편리해졌다. 특히, 1879년 에디슨이 백열전구를 발명한 이래, 전기를 이용한 조명의 대량생산이 가능하게 되었고 이후 과학기술의 발달로 형광등, LED 등 다양한 조명이 개발되어 여러 산업 분야에 사용되고 있다.

오늘날 우리는 목적과 성격에 따라 조명의 종류를 선택하여 사용하고 있다. 특히 소중한 문화유산을 전시하고 보존·관리하는 박물관이나 미술관에서는 조명의 선택이 더욱 까다롭다. 문화재 관람을 위해서는 조명의 활용이 필수적이고 관람객에게 쾌적한 관람 환경을 제공하기 위해서는 충분한 빛이 제공되어야 한다. 하지만, 문화재의 보존이라는 측면에서 볼 때 조명은 어두울수록 좋다. 이처럼 전시 관람과 문화재의 보존을 위한 조명 조건은 서로 모순되므로, 이를 모두 만족시키기 위해서는 조명에 대한 충분한 검토와 고려가 필요하다.<sup>1)</sup>

지금까지 박물관에서 주로 사용한 조명 기구는 할로겐, 광섬유, 퇴색방지형광등 등이 대표적이었다. 그러나 2013년 수은에 관한 미나미타 협약과 2015년 파리기후협정에 따라 기존에 사용했던 조명에 대한 규제가 이루어지게 되면서 LED와 같은 친환경적인 조명이 각광을 받게 되었다.<sup>2) 3)</sup> LED는 기존의 조명 기구에 비해 자외선이 발생하지 않으며, 수명이 길고 고에너지 효율성 등의 특징을 가지고 있다.

2010년 이후부터 박물관 및 미술관 등에서 LED를 사용하기 시작함에 따라 관련 연구도 본격적으로 이루어지고 있다. LED 조명의 색온도에 따른 연출 효과,<sup>4) 5)</sup> 조도·휘도 분포 특성,<sup>6)</sup> LED 광원에 의한 유물의 변색 영향<sup>7) 8) 9)</sup> 등 전시 효과나 문화재의 안정성에 대한 주제가 주를 이루고 있다. 그리고 이미 사용 중인 전시 조명에 대한 재평가와 더불어 개선 방법에 대한 고민을 다루는 연구도 진행된바 있다.<sup>10)</sup> 하지만 연구 대상이 일부 문화재 재질에 한정되어 있고 문화재에 직접적으로 실험을 할 수 없다는 점에서 한계가 있다.

본 조사는 국립중앙박물관 보존과학부와 ㈜웰라이트가 2017~2019년까지 총 3년에 걸쳐 진행한 국립박물관 전시조명 환경 조사 사업의 일환으로, LED가 문화재에 미치는 영향을 분석하여 소장품에 안전하면서도 효율적인 조명 환경 기준을 제시하기 위한 기초 자료 확보를 위해 시작되었다. 이를 위해 먼저 박물관에서 일부 사용하고 있는 LED 조명의 특성을 파악하고 전시 조명으로서 활용하기 위해 요구되는 조건을 제안하고자 하였다.

## II. 조사 방법

14개 국립박물관(서울, 경주, 광주, 전주, 대구, 부여, 공주, 진주, 청주, 김해, 제주, 춘천, 나주, 익산)에서 현재 사용 중인 LED에 대하여 색온도(CCT: Correlated Color Temperature), 연색지수(CRI: Color Rendering Index/Ra), 색 충실도(Color Fidelity/Rf), 색소 이동값(Chroma Shift by Hue/Hue bin), 색 영역(Color Gamut/Rg)을 측정하고 그 특징을 살펴보았다. 측정은 주변에서 영향을 미칠 수 있는 빛을 최대한 배제하고 LED 광원에서 30~50cm 떨어진 지점에서 분광조

2 이승은·제이슨 길, 「박물관 전시 조명 조사 연구」, 『박물관 보존과학』19(2018), pp.83-98.

3 외교부 기후변화환경외교국 녹색환경외교과, 『기후환경외교편람』(서울: 마스터상사, 2017).

4 박필제·이준호, 「2010 상해 엑스포 전시관 LED 조명의 조명 연출에 관한 연구」, 『기초조형학연구』12-1(2011), pp.277-284.

5 山下利之·木曾温子·유형숙, 「LED照明における調色とその心理的効果」, 『日本近代学術研究』37(2012), pp.463-480.

6 이진숙·김원도·김병수·한원탁, 「LED조명기구의 조도·휘도분포 특성 분석에 관한 연구」, 『한국조명·전기설비학회논문지』22-9(2008), pp.1-7.

7 김지원·이유정·김규린·이화수·강대일, 「LED광원에 의한 회화 전색제의 변색 영향 연구」, 『보존과학회지』34-2(2018), pp.77-85.

8 이승은·노현숙, 「박물관 전시 공간 조명 환경 기준 연구(Ⅰ)-색온도를 중심으로」, 『박물관 보존과학』18(2017), pp.65-76.

9 Gabriele Piccablotto·Chiara Aghemo·Anna Pellegrino·Paola Iacomussi·Michela Radis, 「Study on Conservation aspects using LED technology for museum lighting」, 『Energy Procedia』78(2015), pp.1347-1352.

10 이승은·제이슨 길, 앞의 논문(2018).

1 김홍남, 「박물관의 전시조명설계 계획」, 『한국조명·전기설비학회논문지』8-2(1994), pp.2-9.

도계(MK-350S)를 이용하여 실시하였다.

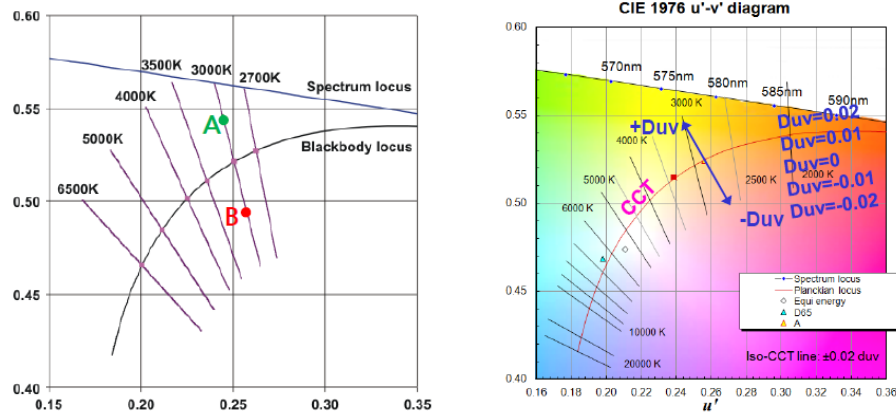
그리고 시중에서 판매되고 있는 다수의 LED 광원을 조사하여 박물관 및 미술관 등의 전시 조명으로 사용하기에 적합한지 여부를 살펴보았다.

### Ⅲ. 조명 품질 평가를 위한 조건

#### 1. 색온도(CCT: Correlated Color Temperature)

색온도는 광원의 색 보임에 대한 정량적 수치 표현으로, 광원에서 발생하는 색 차이를 나타낸다. 즉, 색온도는 특정 온도에서 표준물체(흑체)가 방출하는 광색과 광원의 광색이 동일할 때의 흑체 온도값으로 단위는 켈빈(K: Kelvin)이다.<sup>11)</sup> 색온도를 알면 빛의 색감을 예측할 수 있는데, 색온도의 수치가 낮을수록 붉은색을 띠고 따뜻한 느낌을 주며 색온도의 수치가 높을수록 빛은 푸른색을 띠고 차가운 느낌을 준다.

일반적으로 사용하는 조명은 색온도가 2,000~6,000K이지만, 동일한 색온도라 할지라도 조명에 사용하는 소자에 따라 색상의 차이가 발생한다. 이는 색차값(DUV: Delta u,v)의 차이에서 기인한 것으로, CIE 색좌표상에서 같은 색온도를 가진 조명이라도 흑체 궤적(Blackbody locus) 선 기준으로 어느 방향으로 얼마나 떨어져 있는지에 따라 빛의 색감이 조금씩 달라지게 된다.



도 1. 색차값의 차이에 따른 조명 색감의 차이

11 최안섭, 『빛과 조명』(서울: 문운당, 2015), pp.36-40.

도 1의 A와 B는 3,000K의 동일한 색온도를 가진 조명이지만 A는 녹색, B는 붉은색을 더 포함하고 있어 실제 구현되는 색감은 B가 더 붉게 표현된다.

#### 2. 연색성(Color Rendering) 및 연색 지수(CRI: Color Rendering Index, Ra)

연색성은 조명이 물체의 색감에 영향을 미치는 현상을 정의한 것으로 빛에 의해 조명된 물체의 색상이 어떻게 보이는지를 나타낸다. 연색 지수는 연색성을 수치화한 것으로 연색 지수가 80이라 함은 실험 조명이 표준 광원(태양광) 대비 80% 정도의 색 구현을 할 수 있다는 것을 의미한다.<sup>12)</sup>

연색 지수는 1965년 국제조명위원회(CIE: Commission International de l'Eclairage)가 개발한 연색성 평가 방법에 의해 측정되는데, 8가지 기준 색상을 연색 지표(Ra)로 사용하여 시험 광원이 표준 광원과 얼마나 다른지를 수치화하여 표시한다. 그러나 이 방법은 기준 색상의 수가 너무 적고 파스텔 컬러이기 때문에 실제 색을 평가하기에 한계가 있다는 단점이 있었다. 이를 보완하기 위해 1974년 14가지 기준 색상을 포함한 연색성 평가 방법이 개발되어 현재까지 광원의 색품질 평가에 사용되고 있다.<sup>13) 14)</sup>

#### 3. IES TM-30-15 방법을 이용한 연색 지수 평가

광원의 색품질을 평가할 때에는 연색 지수(CRI)가 높을수록 좋다는 것이 일반적이다. 그러나 LED와 같이 다양한 스펙트럼을 지닌 조명이 개발되면서, 14가지 색상으로 색품질을 평가하기에는 한계가 발생하였다. 이에 IES TM-30-15 평가 방법이 개발되었다. IES TM-30-15는 기존에 사용하던 방법의 단점을 보완하여 105,000개의 색상 샘플 중 시각적으로 구분되는 대표적인 99가지 색상 샘플을 토대로 광원의 색 충실도(Color Fidelity, Rf), 색 재현 영역(Color Gamut, Rg), 컬러 벡터 그래픽(Color Vector Graphic)을 측정하여 연색성 및 연색 지수를 평가하는 방법이다.

색 충실도(Rf)는 물체 색이 기준 광원 대비 시험 광원하에서 얼마나 유사하고 충실하게 재

12 이승은·제이슨 길, 앞의 논문(2018).

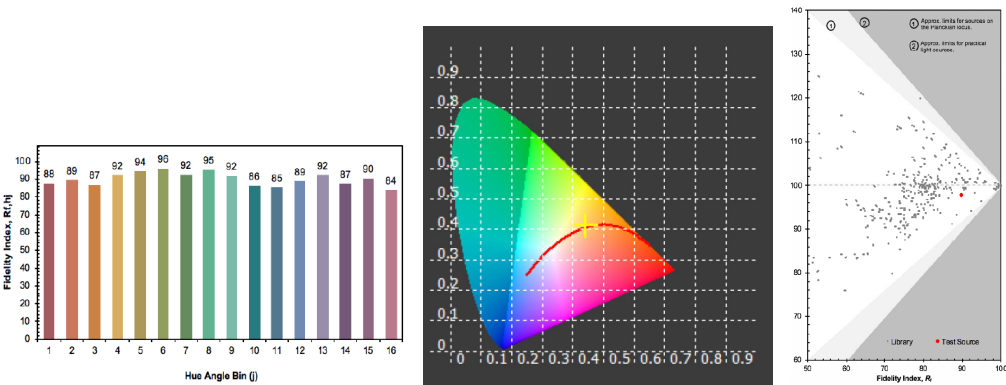
13 정희석·엄정덕, 「형광체 종류와 조성비에 따른 고연색 백색 LED의 색품질 평가」, 『전기전자재료학회논문지』30-7(2017), pp.463-468.

14 정희석, 「IES TM-30-15 평가방법 기반의 백색 가변 LED 조명 색품질 예측모델」(숭실대학교대학원 박사학위 논문, 2018), p.24.

현되는지를 평가하는 지수이며 CRI와 동일한 개념이다.<sup>15)</sup> 색 충실도는 99개의 색상 샘플을 기준으로 색도 좌표를 22.5도씩 나누어 16개의 Hue bin 영역으로 구분하고 이에 대입하여 나타낸다. 그리고 Rf값은 0에서 100까지의 수치로 표현하며, Rf100은 기준 광원과 완벽하게 일치함을 의미한다(도 2-a).

색 재현 영역(Rg)은 기준 광원 대비 시험 광원하에서 구현될 수 있는 색 재현 넓이를 평가하고 채도의 증감을 평균으로 수치화하여 나타낸다.<sup>16)</sup> 이는 색이 포화되거나 씻겨 나가는지의 척도가 되는데, 기준 광원선 위에 있으면 채도가 높음을 의미한다(도 2-b). 색 충실도(Rf)와 색 재현 영역(Rg)를 표시한 그래프에서 색 포화 정도를 쉽게 알 수 있다. 시험 광원 Rg값을 기준으로 값이 100보다 높으면 채도가 증가하는 경향이 있고, 값이 100보다 낮으면 채도가 감소하는 경향이 있음을 의미한다(도 2-c).

컬러 벡터 그래픽은 시험 광원의 색상과 채도를 기준 광원과 비교하여 나타낸 그래프이며, 시험 광원 하에서 색상이 왜곡되는 정도를 쉽게 알 수 있다. 즉, 시험 광원의 특정 색상이 기준



도 2. TM-30-15 방법을 사용한 색 충실도 값(a), 색 재현 영역(b)과 관계 그래프(c)

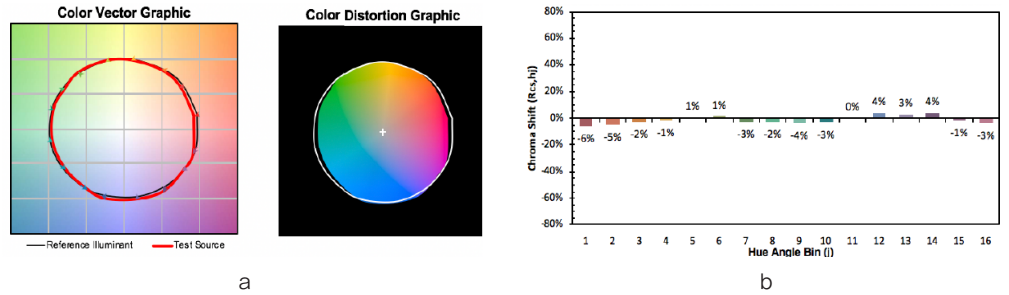
광원에 비해 과포화되어 있는지 아니면 부족한지, 어느 색상에서 색 이동이 일어났는지를 빠르게 파악할 수 있다.<sup>17)</sup> 컬러 벡터 그래픽에 표시되는 검은색 원은 기준 광원이며, 붉은색 원은 시험 광원이다. 특정 색상 영역에서 붉은색 원이 검은색 원 밖에 있으면 그 색상이 과포화되어 있음을 의미하고, 검은색 원 안에 있으면 그 색상이 부족하다는 것을 의미한다. 검은색 원과 붉

15 정희석 · 엄정덕, 앞의 논문(2017).

16 정희석, 앞의 논문(2018).

17 <http://www.energy.gov/eere/ssl/tm-30-measures-and-meaning-faqs>

은색 원이 일치하는 것은 시험 광원이 본래의 색상에 가깝게 표현한다는 것을 말한다(도 3-a). 그리고 16개 Hue bin 영역에 해당하는 색상이 어느 정도의 채도 값을 포함하고 있는지(색소 이동 값/Chroma Shift by Hue)도 알 수 있는데, 해당 색상의 채도가 높으면 +로 표시하고, 낮으면 -로 표시한다(도 3-b).



도 3. 컬러 벡터 그래픽(a)과 색소 이동값(b)

#### IV. 조명 특징에 따른 문화재 색상 구현 차이

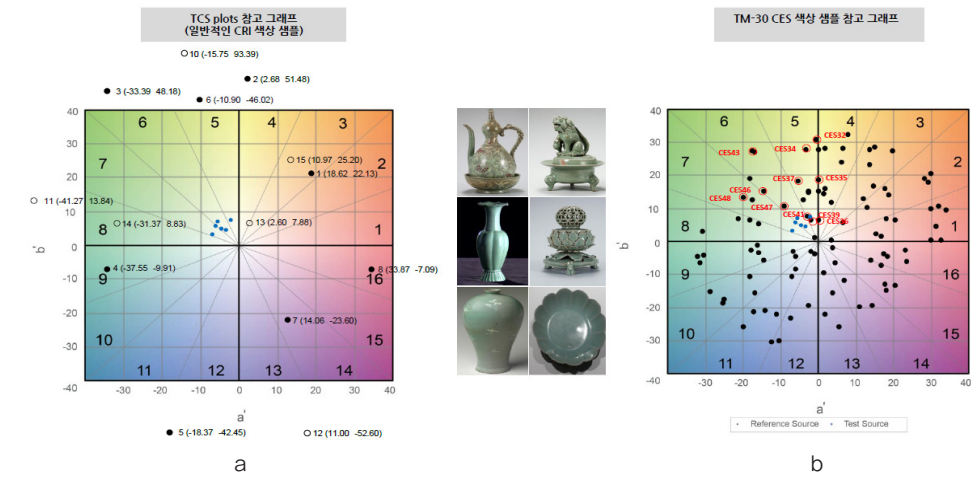
앞서 언급하였듯이 LED의 색품질 평가에는 기존의 CRI 방법이 아닌 IES TM-30-15 방법이 더 적합하다. 그렇다면 CRI 방법과 TM-30-15 방법으로 조명의 색품질을 평가했을 때 어떤 차이가 나타나는지를 청자 기준으로 살펴보았다.

	Collection 1	Collection 2	Collection 3	Collection 4	Collection 5	Collection 6	Collection 7	Collection 8
Image								
CIE Lab	44.36 -6.58 2.97	43.37 -5.91 6.00	46.70 -6.07 4.04	46.25 -6.07 4.04	46.14 -6.21 5.98	46.27 -5.09 5.41	44.48 -2.59 7.54	45.77 -3.77 4.98
CIE Color								
TCS Color (CRI 참고 색상)	TCS03 CIE Lab(69.78 33.39 48.18)	TCS04 CIE Lab(61.98 37.55 -9.91)	TCS05 CIE Lab(61.03 -18.37 -42.45)	TCS11 CIE Lab(50.23 -41.27 13.84)	TCS14 CIE Lab(35.47 -31.27 8.83)			

도 4. 청자의 색좌표 색상과 해당 CRI 색상 샘플



도 4와 같이 청자의 색도를 측정하고 이에 해당하는 색좌표의 색상(CIE Color)과 CRI 색상 샘플(TCS Color)을 정리해 보면 실제 청자 색과 조명 색품질을 평가하기 위해 사용하는 색상 샘플과는 큰 차이가 있는 것을 알 수 있다. 즉, CRI 방법으로 평가한 조명은 아무리 좋은 연색 지수가 나왔다고 하더라도 평가 기준이 되는 색상 색품의 색 차이가 너무 크기 때문에 문화재 본래 색상을 구현하기에는 근본적인 한계가 있다는 것을 확인할 수 있다(도 5-a).



도 5. CRI(a)와 TM-30-15(b) 색상 샘플과 청자의 색상 비교

반면, TM-30-15 방법에 사용하는 색상 샘플의 경우 청자 본래 색과 유사한 색이 존재한다. 청자의 색상은 색좌표를 16개로 나눈 영역(Hue bin) 중 Hue bin 5,6,7에 분포하는 경향을 보였는데(도 5-b), TM-30-15의 99개 색상 샘플 중 일부가 청자의 색과 유사함을 알 수 있다. 이는 문화재의 주된 색상에 따라 조명도 선택하여 사용할 수 있음을 의미한다.

8개 또는 14개 색상 샘플보다 99개 색상 샘플을 가지고 조명의 색품질을 평가하는 것이 문화재 본래 색상을 구현하기에 유리하다는 것은 당연할 것이다. 하지만 한 가지 더 고려해야 할 점은 선명도이다. 청자 색도값을 TM-30-15 색상 샘플에 대입하여 살펴본 결과, 청자는 녹색 계열의 색상 외에 적색 영역도 상당히 포함하고 있는 것을 알 수 있었다(도 5-b). 적색은 색상의 선명도와 관련이 있으며, 적색 영역의 포함 정도에 따라 색상 선명도에 차이가 나게 된다. 이는 우리에게 문화재를 더욱 선명하고 매력적으로 보이게 하는 요소 중 하나이며, 조도의 변화 없이 채도만 높여도 문화재를 밝고 선명하게 연출할 수 있다.<sup>18)</sup>

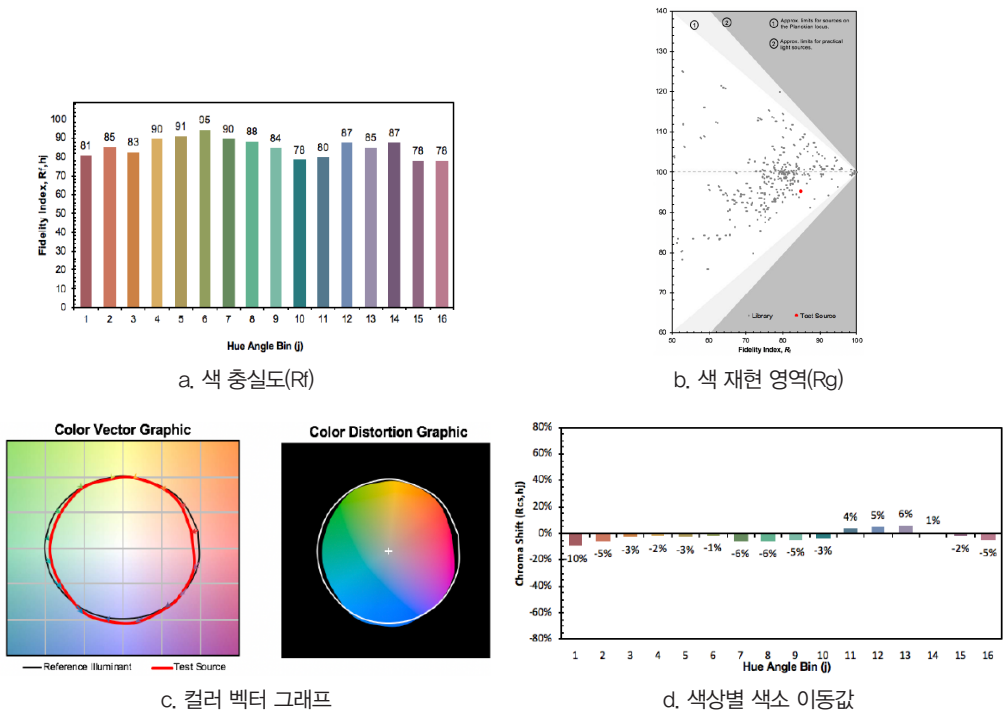
18 Andrew J.Elliot and Markus A. Maier, 「Color Psychology: Effects of Perceiving Color on Psychological Functioning in Humans」, 『Annual Review of Psychology』65(2014), pp.95-120.

## V. 국립박물관에서 사용 중인 LED의 특징

현재 14개 국립박물관에서 사용 중인 LED에 대하여 색온도, 연색성, 스펙트럼 파장, 색 충실도, 색 재현 영역, 컬러 벡터 그래픽 등을 확인하고 어떤 특징을 가지고 있는지를 조사하였다. 하지만 14개 국립박물관에서 유사한 특징이 확인되어, 본고에서는 국립부여박물관에서 사용 중인 LED 조명을 중심으로 정리하였다. 그리고 동일한 종류의 조명이라 할지라도 사용 시간 등에 따라 색온도, 연색성 등에서 차이가 있으므로, 색온도가 동일할 경우에는 수치가 좋지 않은 조명을 기준으로 설명하였다.

### 1. 내부 매입 패널 조명

진열장 내부 매입 패널 조명은 진열장 전반 조명으로 문화재 재질에 상관없이 대부분의 진열장에서 사용하고 있다. 색온도는 약 4,000K, 평균 색 충실도(Rf, 연색 지수)는 85이며, 색 재현 영역(Rg)은 평균 95로 기준 광원보다 채도가 약간 낮은 편이다(도 6-b). 16개 색상의 Hue bin

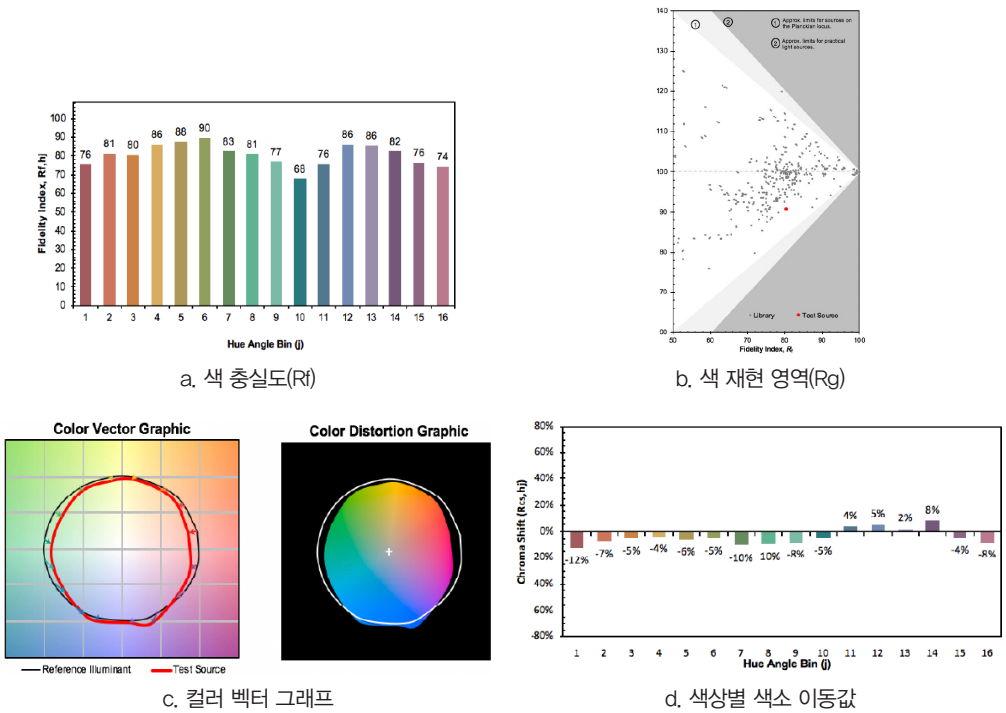


도 6. 내부 매입 패널 조명의 특징

값(각 색상의 색 충실도)은 색상별로 최대 17 정도 차이를 보였으며(도 6-a), 전체적으로 색상별 채도와 포화도가 낮고 부족하다(도 6-c, d). 특히 색의 선명도를 좌우하는 적색 영역(도 6-d, Hue Bin1: -10)이 많이 부족하다.

## 2. 내부 매입 각도 조절 스포트 조명

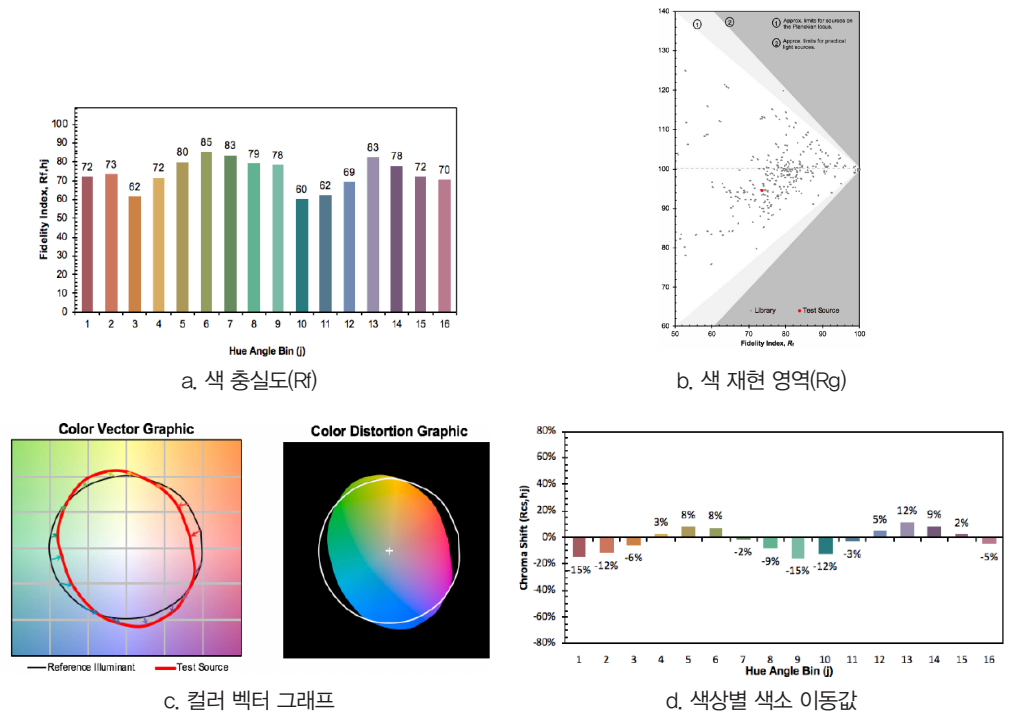
진열장 내부 매입 각도 조절 스포트 조명은 문화재 간접 조명으로 대부분의 진열장에서 사용하고 있다. 색온도는 약 4,000K이고 평균 색 충실도는 80으로 낮은 편이며, 색 재현 영역은 평균 91로 기준 광원보다 채도가 낮다(도 7-b). 색상별 색 충실도 값의 최대 차이는 22이며(도 7-a), 색 선명도와 관련 있는 적색 영역(도 7-d, Hue Bin1: -12)을 포함하여 전반적으로 색상별 채도와 포화도가 낮고 부족하다(도 7-c, d). 이러한 특징을 가진 조명은 문화재 본래 색상을 충분히 표현하기에는 부족함이 있다.



도 7. 내부 매입 각도 조절 스포트 조명의 특징

## 3. 내부 매입 선형 조명

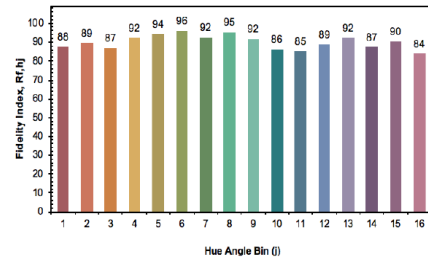
내부 매입 선형 조명은 일부 독립 진열장에서 사용 중이다. 색온도는 약 4,000K이고 평균 색 충실도는 73으로 매우 낮다. 색 재현 영역은 평균 95이다. 색상별 색 충실도 값은 최대 25 정도의 차이를 보였으며(도 8-a), 색 선명도를 좌우하는 적색 영역(도 8-d, Hue Bin1: -15)과 색상별 채도, 포화도는 매우 낮고 부족하다(도 8-c, d).



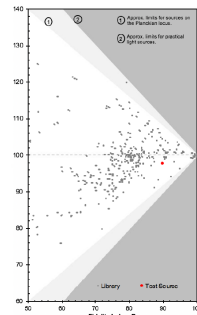
도 8. 내부 매입 선형 조명의 특징

## 4. 천장 각도 조절 조명

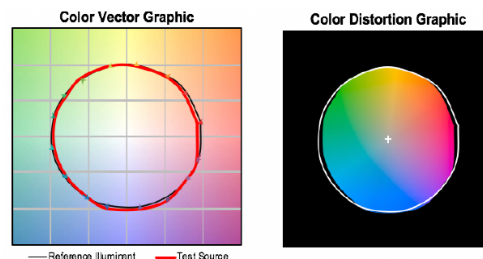
천장 각도 조절 조명은 색온도가 약 3,000K과 약 4,000K로 구분되었다. 색온도 약 3,000K 조명의 평균 색 충실도는 90이고, 색 재현 영역은 평균 98로 기준 광원보다 조금 낮다. 색상별 색 충실도 값은 최대 12 정도 차이를 보였으며(도 9-a), 색 선명도를 좌우하는 적색 영역(도 9-d, Hue Bin1: -6)과 색상별 채도, 포화도는 내부 매입 조명에 비해 좋은 편이다(도 9-c, d).



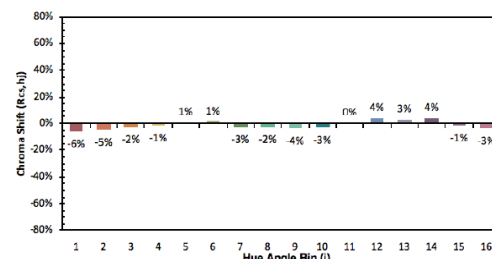
a. 색 충실도(Rf)



b. 색 재현 영역(Rg)

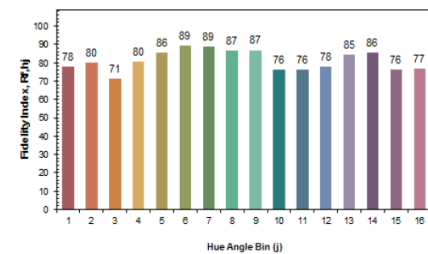


c. 컬러 벡터 그래프

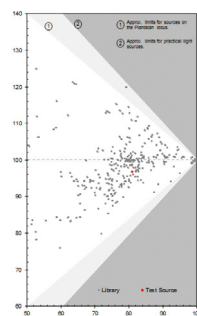


d. 색상별 색소 이동값

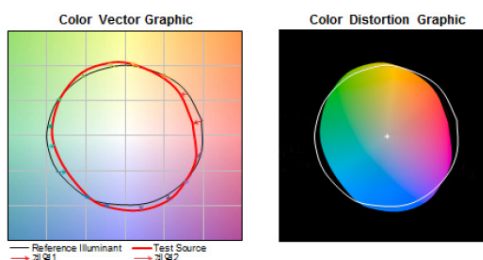
도 9. 천장 각도 조절 조명(색온도 3,000K)의 특징



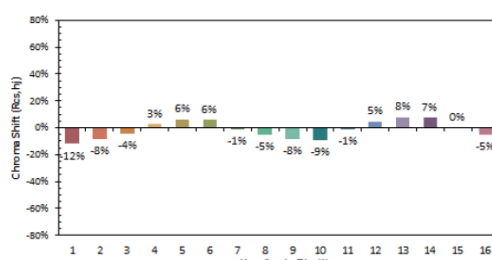
a. 색 충실도(Rf)



b. 색 재현 영역(Rg)

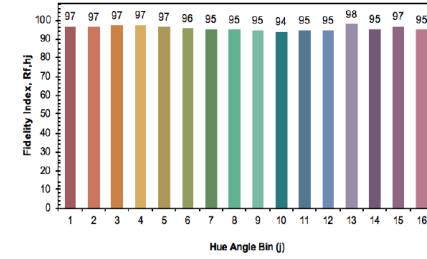


c. 컬러 벡터 그래프

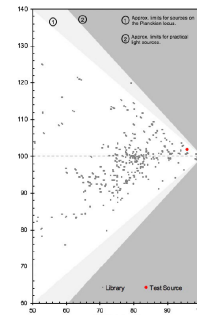


d. 색상별 색소 이동값

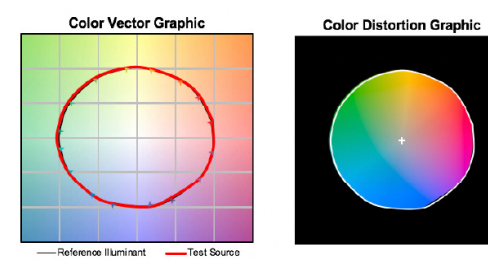
도 10. 천장 각도 조절 조명 (색온도 4,000K①)의 특징



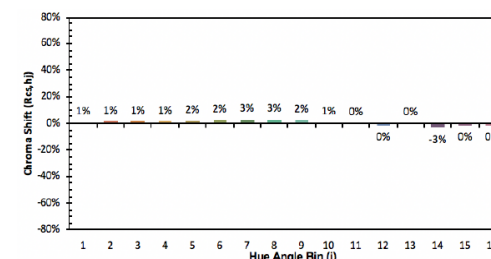
a. 색 충실도(Rf)



b. 색 재현 영역(Rg)



c. 컬러 벡터 그래프



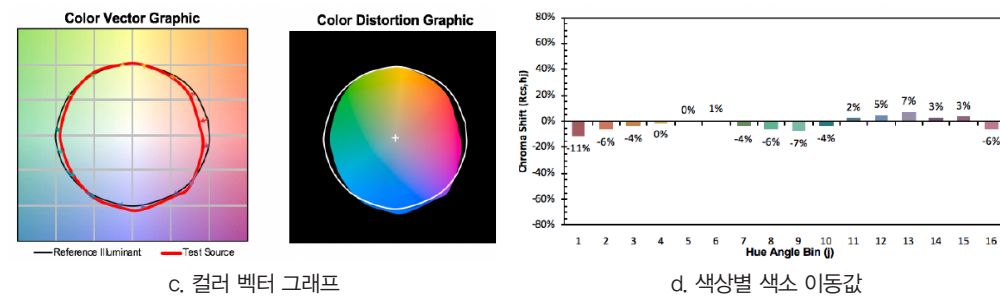
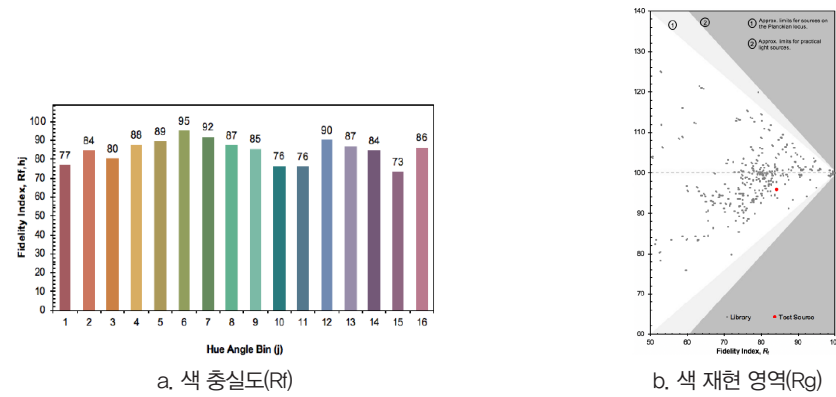
d. 색상별 색소 이동값

도 11. 천장 각도 조절 조명 (색온도 4,000K②)의 특징

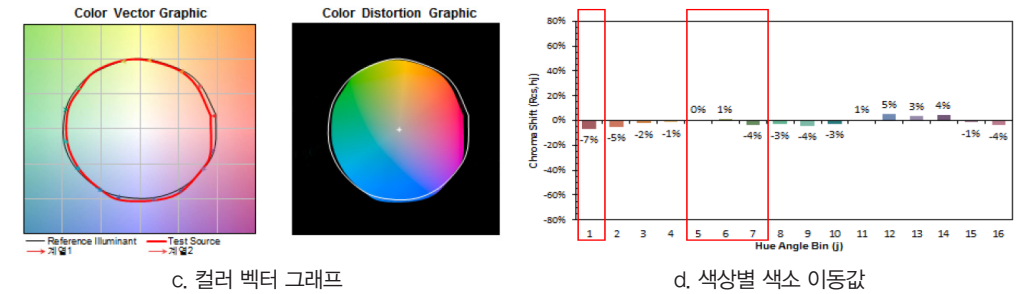
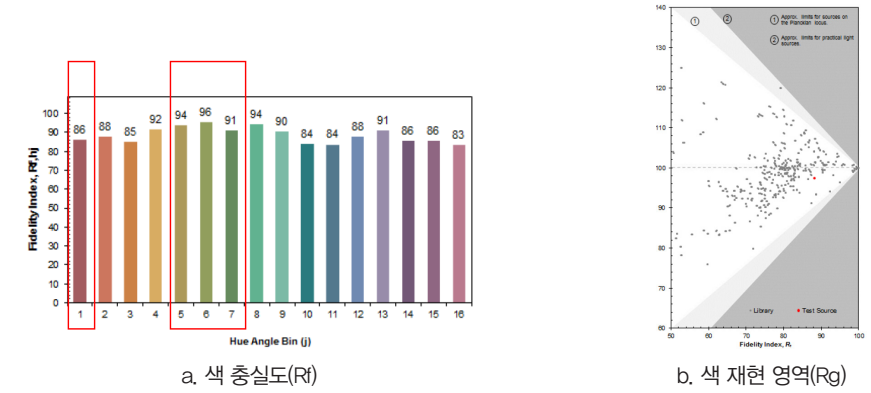
색온도 약 4,000K 조명은 두 종류로 조명 품질이 큰 차이가 있었다. 4,000K①은 평균 색 충실도 81, 색 재현 영역은 평균 97, 색상별 색 충실도 값은 최대 18 정도의 차이를 보였다(도 10-a). 색 선명도를 좌우하는 적색 영역(도 10-d, Hue Bin1 : -12)과 색상별 채도, 포화도는 매우 낮고 부족하다(도 10-c, d). 반면 4,000K②는 평균 색충실도 96, 색 재현 영역은 평균 102, 색상별 색 충실도 값의 최대 차이는 4로 매우 낮은 편이다(도 11-a). 색 선명도를 좌우하는 적색 영역(도 11-d, Hue Bin: +1)과 색상별 채도, 포화도는 매우 높은 편이다(도 11-c, d).

## 5. 천장 매입 전반 조명

천장 매입 전반 조명의 색온도는 약 5,500K이고 평균 색 충실도는 84, 색 재현 영역은 96이다. 색상별 색 충실도 값은 최대 22 정도 차이를 보였으며(도 12-a), 색 선명도를 좌우하는 적색 영역(도 12-d, Hue Bin1: -11)과 색상별 채도, 포화도는 전체적으로 부족한 경향을 보였다(도 12-c, d). 천장 매입 전반 조명은 주로 관람객 이동 동선 확보 등을 위해 사용되고 있어 문화재의 전시에 큰 영향이 없을 것으로 판단되지만, 일부 5면 독립 진열장 경우에는 천장 매입 조명의 영향을 받을 수 있기 때문에 설치 및 사용시 이에 대한 검토가 필요하다.



도 12. 천장 매입 전반 조명의 특징



도 13. A사 트랙 스폿형 LED

## VI. 회사별 LED 조명의 특징

현재 박물관에서 많이 사용하고 있는 LED와 최근 품질이 향상되어 전시, 광고 등에 활용되고 있는 LED 조명을 중심으로 어떤 특징이 있는지 살펴보았다. 실제 조사한 조명은 50개 이상이나 본고에서는 가장 많이 사용되고 있거나, 품질이 좋은 조명을 중심으로 설명하고자 한다.

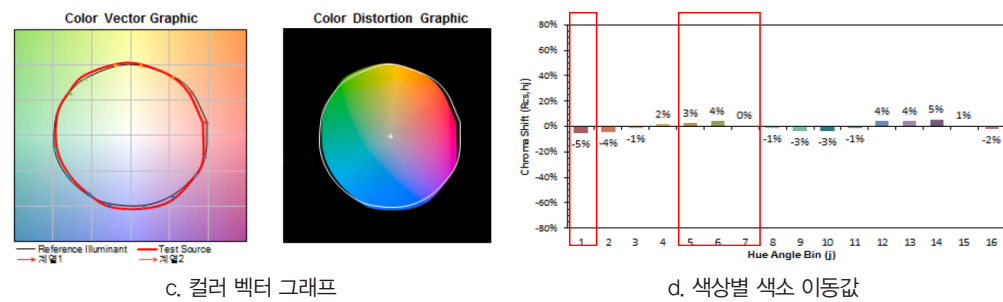
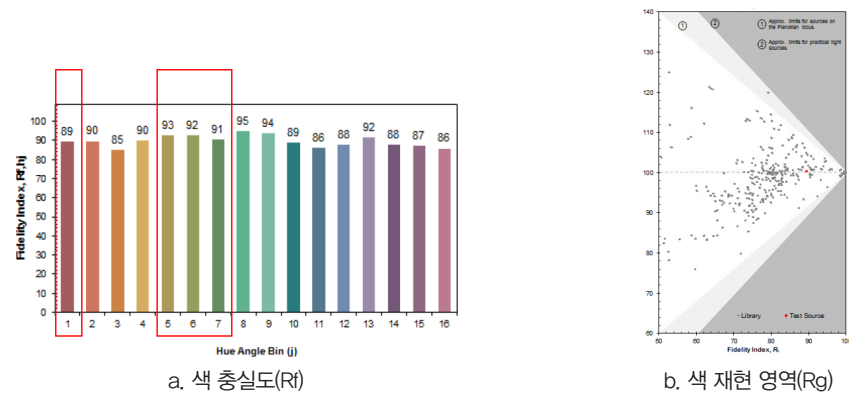
### 1. A사: 트랙 스폿형

박물관에서 사용 중인 트랙 스폿형 LED 조명으로 색온도 약 3,000K, 평균 색 충실도는 88, 색 재현 영역은 평균 97로 약간 낮다(도 13-b). 색상별 색 충실도 값은 최대 13 정도 차이를 보였으며(도 13-a), 색상별 채도와 포화도는 낮은 편이다(도 13-c, d). 문화재의 색을 선명하게 보이도록 하는 적색 영역도 부족한 편이다(도 13-d, Hue Bin1: -7). 이 조명으로 문화재를 조명하면 전체적으로 색이 부족하여 본래 색상보다 밋밋하거나 흐릿하게 표현될 가능성이 있다.

### 2. B사: 트랙 스폿형

A사와 마찬가지로 트랙 스폿형 조명으로 색온도 약 3,000K, 평균 색 충실도는 90, 색 재현 영역은 평균 100이다(도 14-b). 색상별 색 충실도 값은 최대 10 정도 차이를 보였으며(도 14-a), 색상별 채도와 포화도는 낮은 편이다(도 14-c, d). 문화재의 색을 선명하게 보이도록 하는 적색 영역도 부족한 편이다(도 14-d, Hue Bin1: -5). A사의 조명에 비해 색상별 색 충실도와 색 재현 영역 값은 높아졌지만, 적색 영역의 채도 및 포화도 등은 부족하다.





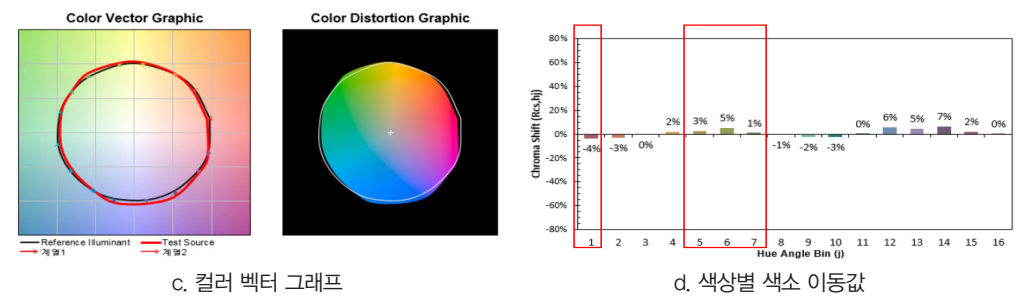
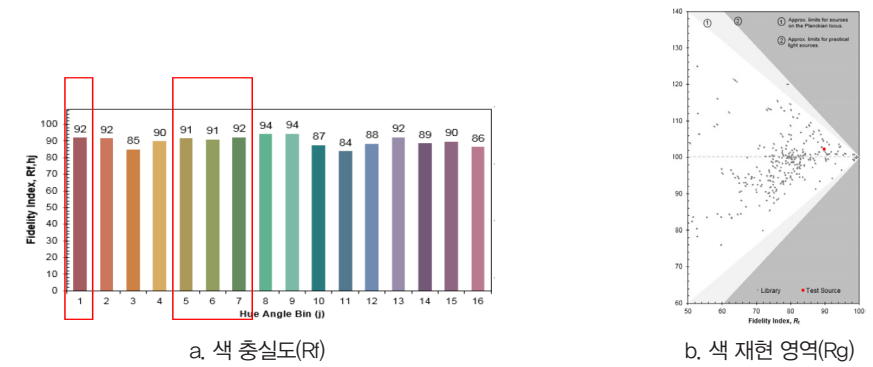
도 14. B사 트랙 스폿형 LED

### 3. C사: 선형 LED

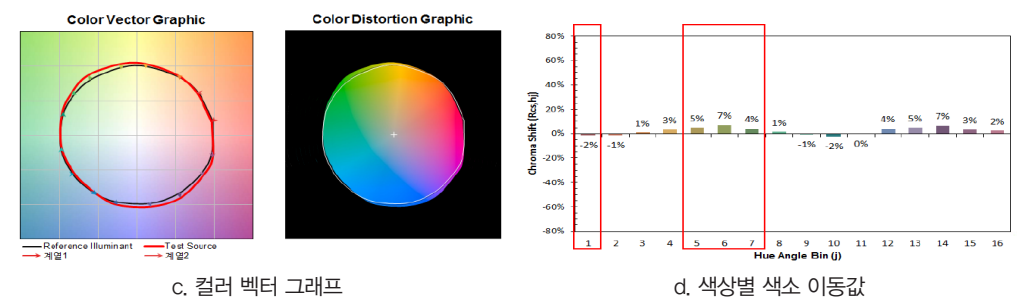
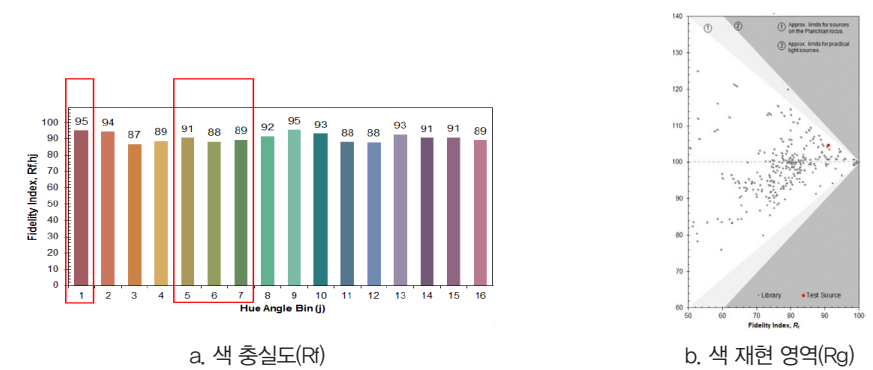
품질이 향상된 선형 LED로 색온도 약 3,000K, 평균 색 충실도 90, 색 재현 영역은 평균 102로 약간 높다(도 15-b). 색상별 색 충실도 값은 최대 10정도 차이를 보였으며(도 15-a), 색상별 채도와 포화도는 전체적으로 양호하나 적색 영역은 부족하다(도 15-d, Hue Bin1: -4). 이 조명의 경우, 녹색 계열의 문화재를 조명하면, A사 및 B사 조명보다는 문화재 본래 색상을 잘 표현할 수 있다.

### 4. D사: 스폿형 LED

품질이 향상된 스폿형 LED로 색온도 약 3,000K, 평균 색 충실도 91, 색 재현 영역은 평균 105로 좋다(도 16-b). 색상별 색 충실도 값은 최대 8 정도 차이를 보였으며(도 16-a), 색상별 채도와 포화도는 좋은 편이다. 특히 적색과 녹색 영역이 A사~C사 조명보다 색상별 색소 이동값이 높다(도 16-d, Hue Bin1: -1, Hue Bin6: 7). 이 조명은 전체적으로 채도가 높아 모든 재질의 문화재에 사용해도 본래 색상을 표현하기에 비교적 적합하다.



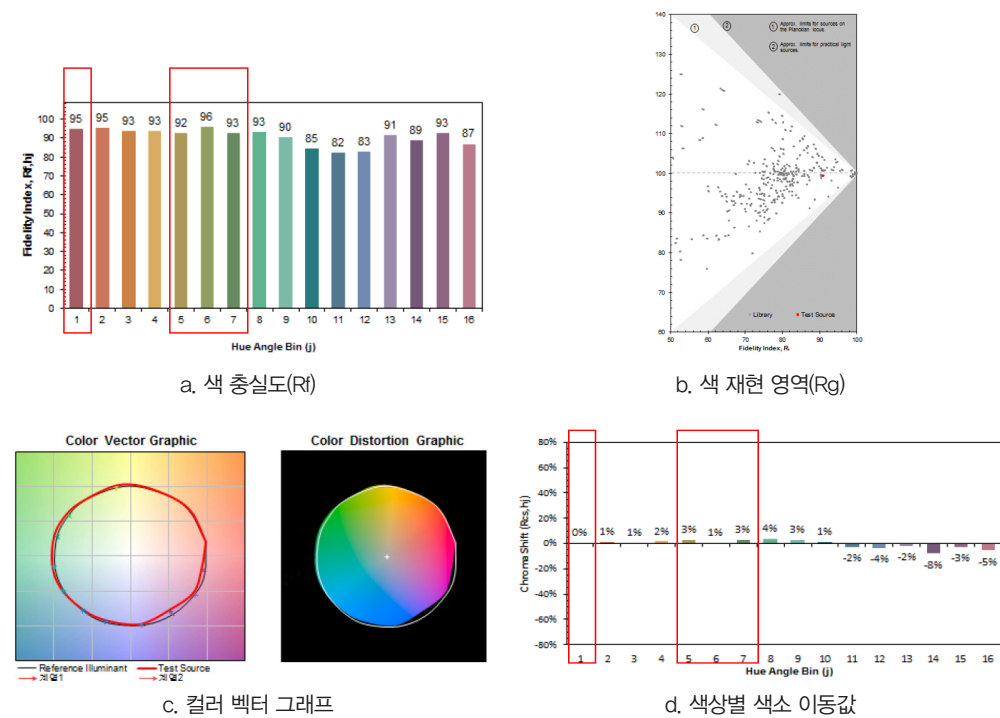
도 15. C사 선형 LED



도 16. D사 스폿형 LED

5. E사: 스폿형 LED

품질이 향상된 스폿형 LED로 색온도 약 3,000K, 평균 색 충실도는 91, 색 재현 영역은 평균 99이다(도 17-b). 색상별 색 충실도 값은 최대 14 정도 차이를 보였으며(도 17-a), 전체적인 색상별 채도와 포화도는 양호하다(도 17-c, d). 특히 다른 조명에 비해 색을 선명하게 보이도록 하는 적색 영역값이 높다(도 17-d, Hue Bin1: 0). 이 조명은 D사 조명보다 문화재 본래 색상을 잘 표현할 수 있는 특징을 가진 LED 중 하나이다.



도 17. E사 스폿형 LED

Ⅶ. 조명 구입시 고려해야 할 조건

지금까지 조명 품질을 평가하는 데 있어 고려했던 부분은 색온도와 연색 지수였다. 그러나 LED와 같이 다양한 스펙트럼을 지닌 조명이 개발되면서 색 충실도, 색 재현 정도, 색소 이동값

등도 함께 고려해야 조명 품질을 정확하게 평가할 수 있다.

박물관에서 문화재를 최대한 본래의 색상에 가깝게 전시하기 위해서는 조명의 선택이 가장 중요하다. 본래 색상을 어느 정도 재현할 수 있는지를 나타내는 척도인 색 충실도(연색 지수)는 모든 색상이 80이상 되는 것을 권장한다. 색이 포화되거나 씻겨 나가는지를 나타내는 척도인 색 재현 영역은 97 이상 115 이하가 좋다. 그러나 색 충실도와 색 재현 영역 값은 서로 영향을 받기 때문에 색 충실도가 충분히 좋으면 색 재현 영역값이 조금 낮아도 문제는 없다.

선명도를 좌우하는 적색 영역의 색 충실도는 95 이상으로 높은게 좋으며, 색 이동값 역시 높을수록 좋다. 적색의 색 충실도와 색 이동값도 서로 영향을 미치는데, 색 이동값이 +5%이상일 경우, 적색의 색 충실도가 조금 낮아도 문제는 없다. 하지만 색 이동값이 0%보다 낮을 경우, 색 충실도는 95 이상이 되는 것이 좋다.

향후 박물관에서 LED 조명을 구입할 때 [표1]에 정리한 조건을 충족한 조명을 선택한다면, 문화재 재질이나 색상에 상관없이 문화재 본래 색상을 충실히 표현하기에 문제가 없을 것으로 판단된다. 하지만, 문화재는 조명뿐만 아니라 전시 공간의 색상과, 전시 보조 받침대의 색상, 광막반사 등에도 영향을 받기 때문에 사용하고자 하는 LED 조명 선택 시 세심한 주의가 필요하다.

표1. LED 조명 구입시 참고 조건

항목	권장 수치	참고
색 충실도 (R <sub>f</sub> , Fidelity Index)	R <sub>f</sub> ≥80	R <sub>g</sub> 수치에 따라 권장 수치 변동
색 재현 영역 (R <sub>g</sub> , Relative Gamut Index)	97≤R <sub>g</sub> ≤115	기본적으로 수치가 높게 나올수록 좋으나 R <sub>f</sub> 수치에 따라 권장 수치 변동
색 충실도(적색 h1) (R <sub>f</sub> h <sub>1</sub> , Fidelity Index, Hue-Bin1)	R <sub>f</sub> h <sub>1</sub> ≥95	R <sub>f</sub> cs h1수치가 +5%이상일 경우, 낮은 수치도 괜찮음
색 이동값(적색 h1) (R <sub>f</sub> cs h <sub>1</sub> , Fidelity Index, Hue-Bin1)	-1%≤R <sub>f</sub> cs h <sub>1</sub> ≤+15%	수치가 높을수록 좋음

VIII. 결론

지금까지 조명 품질을 측정하기 위해 CRI 방법을 사용하여 연색성을 평가하였다. 연색 지수가 높으면 본래 색상을 보다 충실하게 구현할 수 있다는 이론적 근거를 바탕으로 박물관에서는 높은 연색 지수의 조명을 구입하여 사용해 왔다. 그러나 기존의 CRI 방법으로 측정한 연색 지수는 기준 색상의 수가 너무 적고 파스텔 색상이기 때문에 실제 색을 평가하기에 한계가 있다는 단점이 있었다.

이에 2015년 새로운 연색성 평가 방법(TM-30-15)이 개발되어 연색 지수뿐만 아니라 색 충실도(Color Fidelity, Rf), 색 재현 영역(Color Gamut, Rg), 컬러 벡터 그래픽(Color Vector Graphic)을 이용하여 조명의 품질을 정확하게 평가할 수 있게 되었다. 사용하고자 하는 LED 조명이 문화재 본래 색상을 충분하게 표현할 수 있는지, 특정 색이 충분히 포함되어 있는지 혹은 부족한지, 문화재를 선명하게 보이도록 전시할 수 있는지 등을 수치로 확인할 수 있다.

박물관에서는 다양한 재질과 색상의 문화재를 전시하고 있고, 상황에 따라 공간 색상과 전시 보조물 색상이 수시로 바뀌기도 한다. 기존에는 이러한 상황적 변화와는 상관없이 연색 지수만을 고려하여 조명을 사용해 왔다면, 이제는 전시 공간 전반에 대한 정보를 토대로 조명을 선택하여 사용할 수 있게 되었다.

향후 사용 대상 조명 특징을 바탕으로 실제 전시에 어떻게 적용할 것인지에 대한 포괄적인 실험을 통하여 박물관 전시에 맞는 전시 조명 기준을 설정할 필요가 있다.

또한 앞에서 언급했던 전시 조명 기준을 설정하더라도 조명기구의 색온도 차이, 적절하지 않은 각도와 위치로 인한 눈부심, 부적절한 측광 및 잘못된 초점 방향으로 인한 균일하지 않은 빛의 분포, 전시실 및 보조받침대 색상, 진열장 유리에 빛이나 다른 문화재가 반사되는 현상 등을 종합적으로 고려하여 조명을 설계해야 관람객에게 보다 나은 관람환경 제공과 문화재를 체계적으로 보존·관리할 수 있을 것이다.

Abstract

An Investigation into Exhibition Lighting Conditions  
at National Museums

Ro Jihyun\*

Lee Sungeun\*\*

Gwak Hongin\*\*\*

Conventional types of exhibition lighting at museums include halogen lighting, optical fiber lighting, and color fading preventive fluorescent lighting. Strict standards have been applied to the use of lighting at museums. However, the Minamata Convention on Mercury in 2013 and the Paris Climate Agreement in 2015 both impacted the use of these existing types of lighting at museums. Accordingly, more eco-friendly lighting such as light-emitting diodes (LED) has become popular.

The current regulations for exhibition lighting at museums apply to fluorescent lights. Thus, in order to use LED lights safely and efficiently, new exhibition conditions need to be specified by researching and analyzing the potential impacts of LEDs on cultural properties.

This investigation is part of a three-year survey project conducted from 2017 through 2019 by the National Museum of Korea's Conservation Science Division and Well Light, Inc. to examine exhibition lighting conditions at national museums. It aims to improve the understanding of the characteristics of LED lights and propose conditions for their use in exhibitions.

\* Associate Curator, Buyeo National Museum

\*\* Associate Curator, Gyeongju National Museum

\*\*\* Associate Curator, Gongju National Museum

To identify characteristics of LED lights in use at national museums, their correlated color temperature, color fidelity, color fidelity by color, spectral wavelength, chroma shift by hue, and color gamut were investigated. Moreover, a survey of LED lights being sold in the market reviewed whether or not they are suitable for use in museum exhibitions.

The kinds of LED lighting being used at national museums ranged from concealed panels and angle adjustable spotlights to ceiling concealed and angle adjustable lights. Most of them had color temperatures of about 3,000 to 4,000 K. LED lights being used at national museums showed wide discrepancies in average color fidelity with differences of 70 to 90 Rf and color fidelity by color with differences of 4 to 25 Rf. The color gamut of these lights ranged from 91 to 98 Rg, they showed a low chroma and desaturation, and most of them had a considerably low range of red (which determines the vividness of color). LED lights characterized by these features are insufficient to fully express the original colors of cultural properties.

A survey on LED lights in the market was conducted to examine the characteristics of respective products. According to the findings, the quality of some LED lights has been upgraded, and their levels of color fidelity, color gamut, chroma, and saturation are similar to recommended levels. These features allow them to fairly express the original colors of cultural properties containing different materials in exhibitions.

Previously, correlated color temperature and color rendering index have been taken into account to assess the quality of lighting. As LEDs with varying spectra develop, however, the precise evaluation of lighting quality is subject to other considerations, including color fidelity, color gamut, and chroma shift by hue. For future use of LED lighting for museum exhibitions, color fidelity, an index used to determine the degree to which an original color can be reproduced, is recommended to be above 80 for all colors. Moreover, the recommended color gamut, an index indicating whether color is saturated or washed out, should fall between 97 and 115. Color fidelity for red, which

determines vividness, should be above 95. Similarly, the higher the better for chroma shift by hue.

If museums select LED lights that satisfy the above-mentioned conditions, the original colors of cultural properties will be faithfully expressed regardless of their materials or colors. Displayed objects are influenced by lighting as well as by the surrounding environment, including the colors of exhibition spaces, display mounts and veiling reflection. Therefore, if LED lighting and the surrounding environment are properly applied, the best possible exhibition lighting allowing cultural properties to display their original colors can be provided.

#### **Keyword**

Exhibition Lighting, LED, Condition, Color Temperature, Color Fidelity, Color Gamut, Chroma Shift by Hue, Quality of Lighting, Selection Condition of Lighting