

박물관 전시 공간 조명 환경 기준 연구(I) - 색온도를 중심으로

A Study on the Lighting Environment Standard for Museum Exhibition Halls, with a Focus on Color Temperature

이승은*, 노현숙

국립중앙박물관 보존과학부

Lee Sungeun*, Roh Hyunsook

Conservation Science Division,
National Museum of Korea

요약

기술의 발달과 친환경 에너지 필요성 증가로 인하여 박물관의 조명은 퇴색방지 형광등과 할로겐 등에서 LED 등으로 교체되고 있다. 본 논문에서는 LED 조명뿐 아니라 향후 박물관에 도입될 다양한 조명 검토 기준 설정에 관한 연구를 진행하였다. LED는 기존 알려진 것처럼 자외선은 거의 방출되지 않았으나 가시광선으로도 적산 조도에 따라 변색이 발생하는 것이 확인되었다. 또한 전구색이라는 색온도 2800K의 LED와 백색의 색온도 5500K LED의 변색을 비교 실험하였다. 분광분포 스펙트럼에서 확인 결과 LED는 색온도가 높을수록 블루스파이크가 증가하는데 이에 따라 변색도 더 많이 발생함이 확인되었다. 따라서 앞으로 박물관에서 조명 환경 기준에 대하여 기존 조도와 더불어 색온도 등을 분광분포 스펙트럼을 활용하여 같이 검토할 필요가 있다.

주제어 : LED, 박물관 조명, 색온도, 문화재 변색

Abstract

Following advances in technology and with the growing need for renewable energy, fluorescent and halogen lamps are being replaced by LED lighting in museum systems. This paper researched the setting of standards for the diverse lighting systems in addition to the LED lighting that are expected to be introduced in museums in the future. Contrary to previous belief, LEDs were shown to only barely emit in the ultraviolet region, but the visible rays were confirmed to produce discoloration depending on illuminance-hours. When the color change by LED lamps at the color temperature of 2800K, or warm white, was compared with 5500K, or white, the emission spectrum analysis confirmed that the blue spike increased at a higher color temperature and caused more discoloration. This suggests that in addition to illumination, color temperature should be considered by including the emission spectrum when museums set lighting environment standards.

Keywords : LED, Museum Lighting, Color Temperature, Cultural Heritage Discoloration

* Corresponding Author:
Lee Sungeun

Tel: 82-2-2077-9432
E-mail: sungeune@korea.kr

투고일: 2017. 8. 17. 심사(수정)일: 2017. 9. 4. 게재확정일: 2017. 9. 25.

1. 서론

일반적으로 빛은 밝다, 어둡다, 눈부시다, 환하다 등의 단어로 표현된다. 박물관의 관람객들도 비슷한 기준으로 박물관의 전시 조명을 평가한다. 박물관의 전시 공간은 문화재의 안전한 보존을 위하여 또는 관람의 효과를 위하여 일반적인 공간에 비해 어둡게 조명하고 있다. 문화재를 가장 안전하게 보존하는 것은 온·습도가 적당하고 조명이 없는 수장고에 보관하는 것이다. 그러나 문화재를 전시한다는 측면에서는 보다 밝은 빛으로 문화재를 잘 보이게 하는 것이 필요하다. 따라서 박물관에서 전시 조명은 항상 문화재의 안전성에 중점을 두는 한편 문화재를 잘 보여줄 수 있어야 한다는 양쪽의 기대를 만족시켜야 하는 어려움이 있다.

그동안 박물관 조명은 할로겐램프나 광섬유, 퇴색방지 형광등을 주로 사용해 왔다. 그러나 파리협정에 따른 이산화탄소 감축이나 수은에 관한 미나미타 협약으로 인한 형광등 규제 등으로 인해 LED 등 보다 더 친환경적인 에너지 절약형 조명 방법으로 교체하는 과정에 있다. 특히 리모델링이나 새로 신설되는 박물관의 대부분은 LED를 선택하고 있다. LED는 기존의 조명 기구와 제조 방법 자체가 다르며 많은 신규 업체가 다양한 조명을 생산해 내고 있다. 따라서 기존의 한정된 조명기구가 아닌 보다 더 다양한 색온도와 연색성 등을 가진 LED를 선택할 수 있게 되었다.

기존 박물관의 조명은 문화재 보존 측면에서 조도나 광도 등 빛의 양을 기준으로 설정되어 있다(표1). 그러나 그 기준들이 차세대 조명에 적합한 것인가는 좀 더 깊이 있게 연구되어야 한다. 물론 박물관의 조명 기준은 항상 문화재의 보존이 우선시되어야 하지만 효과적인 전시와 관람을 위해 연색성, 색온도, 조명의 분광분포 스펙트럼 등을 같이 고려하여 설정하는 것이 안전하면서도 효율적인 전시 조명을 구현하는데 크게 도움이 될 것이다.

표1. 국립중앙박물관 전시 조도 기준

재질 분류	권장 조도 lux(연간 허용 적산조도 lux·h)
금속, 도토기, 석재, 유리, 옥	450 이하
목기, 칠기, 골각기	220 이하(500,000 lux·h 이하)
서화, 전적, 직물	서화·직물류 80 이하 전적류 100 이하(54,000 lux·h 이하)

II. 새로운 박물관 조명

최근 박물관에 급속도로 도입되고 있는 LED는 전기 신호를 적외선이나 빛으로 변환시켜 신호를 보내고 받는데 사용되는 반도체의 일종이다. LED는 변환 효율이 높아 소비 전력이 전구의 1/8, 형광등의 1/2에 불과하며, 작은 광원이기 때문에 소형화·경량화를 할 수 있다는 장점이 있다. 현재 새로운 LED 원재료와 진보된 생산기술로 백색을 포함한 가시광선 영역의 모든 색깔의 고휘도 LED가 생산된다. 이런 고휘도, 고연색성, LED는 이미 선진국 및 국내에서 대형 전광판, 비상구등, 교통신호등, 각종 표시등에 응용되고 있다. 이 때문에 세계 각국은 에디슨이 백열전구를 발명한지 110년 만인 2007년부터 백열전구 사용 중단 계획을 내놓기 시작했다^{1, 2}. LED는 기술적으로 자외선과 적외선이 거의 방출되지 않으므로 안전한 조명으로 인식되고 있다. 기존 조명 대비 LED 조명의 장점은 환경친화적이라는 것 외에도 다양한 색온도 및 분광분포를 갖도록 디자인할 수 있다는 것이다. 최근 조명과 관련된 색채 연구가 활발히 진행되고 있는 가장 큰 이유도 LED 조명의 이러한 특성 때문이다^{3, 4}. 하지만 LED는 할로겐램프 등의 기존 조명과 다른 분광분포를 가지기 때문에 전시물의 손상성이나 연색성 또한 다를 수 있으므로 이 점에 대한 검증은 앞으로 지속적으로 이루어져야 할 부분이다.

앞으로 박물관에는 LED 조명뿐 아니라 새로운 많은 조명이 기술의 발달에 따라 도입될 것이다. 기존 박물관에서 사용하던 할로겐이나 형광등 등은 오랜 기술 개발을 통하여 안정하게 생산된 제품이다. 그러나 LED 조명의 경우 새로운 기술이 적극적으로 도입되어 매년 새로운 상품이 개발되고 있으며, 앞으로의 조명들도 기존 조명에 비해 빠른 발전 속도를 가질 것으로 기대된다.

III. 실험

현재 박물관 등의 전시환경에서 사용하는 조명의 기준은 조도 혹은 적산조도이다. 조도는 빛의 양을 측정하는 기준 단위 중 하나로 물체의 단위 면적에 들어오는 빛의 양을 말한다. 즉, 빛이 비추어진 단위 면적당 광속(Luminous Flux)을 가리키며 1lux(럭스)는 1lm(루멘)의 광속이 1m²의 면적에 입사할 때의 조도이다. 적산조도(lux·h)는 조도에 시간을 곱한 값으로 문화재가 받는 열화 정도를 나타낼 수 있는 값이다⁵. 본 논문에서는 적산조도와 색온도를 중점으로 조명이 문화재에 미치는 영향에 대하여 실험하고자 한다. 색온도는 빛의 색깔을 온도로 나타낸 것으로 표준물체(흑체)가 방출하는 광색

과 그 때의 절대 온도에 의한 빛의 색을 표현한 것으로 단위는 절대온도 K이다⁶⁾.

1. 실험 과정

1.1. 적산조도에 따른 변색

본 실험에서는 국립중앙박물관에서 적용하고 있는 적산조도를 기준으로 그 동안 실험에서 견뢰도가 약한 황벽 염색의 노란색과 소목 염색의 붉은색 그리고 비교적 견뢰도가 좋은 쪽으로 염색한 파란색 비단을 대상으로 LED(광원: L1000 BC X Metz)의 적산조도에 의한 변색 실험을 실시하였다. 실험을 위하여 시간 당 10,000lux 이상의 빛을 사용하여 조명하였으며 1회 실험 시 적산조도를 54,000lux·h(국립중앙박물관 서화 및 직물의 1년 적산조도 기준, 표1)로 10회 반복 실험하였다. LED 실험에 사용된 LED의 경우 평면 조명이며, LED 소자 60개가 한 면에 설치된 조명으로 보다 더 정확한 실험을 위해 조명과 시편이 평행이 되도록 설치하였다. 실험 공간의 온도는 24~26℃, 습도는 50~60%이며, 실험 전 시편의 표면 온도는 24~25℃, 실험 종료 직전의 표면 온도는 27~28℃를 유지하였다. 시편의 변색 정도의 측정은 색차계를 사용하였으며, 측정된 $L^* a^* b^*$ 값을 바탕으로 색차를 계산하였다.

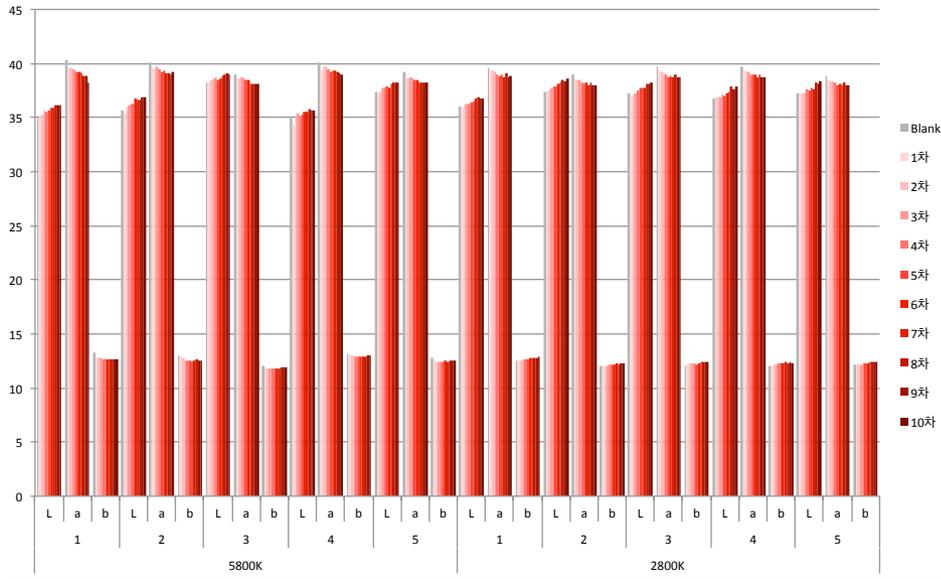
1.2. 색온도에 따른 변색

이번 실험에서는 LED 조명의 색온도를 시각적으로 따뜻한 빛(2800K)과 차가운 빛(5500K), 그리고 중간값(4100K) 세 종류로 나누어 회당 54,000lux·h 적산조도를 10회 반복하여 540,000lux·h 동안의 색온도에 따른 빛의 차이에 따라 변색이 진행되는 방향과 속도를 확인하였다. 또한 도자기와 서화문화재의 색온도에 따른 가시적 색상의 변화를 촬영하여 색온도가 색상에 미치는 효과를 확인하였다.

2. 실험 결과

2.1. 소목 염색한 견의 변색

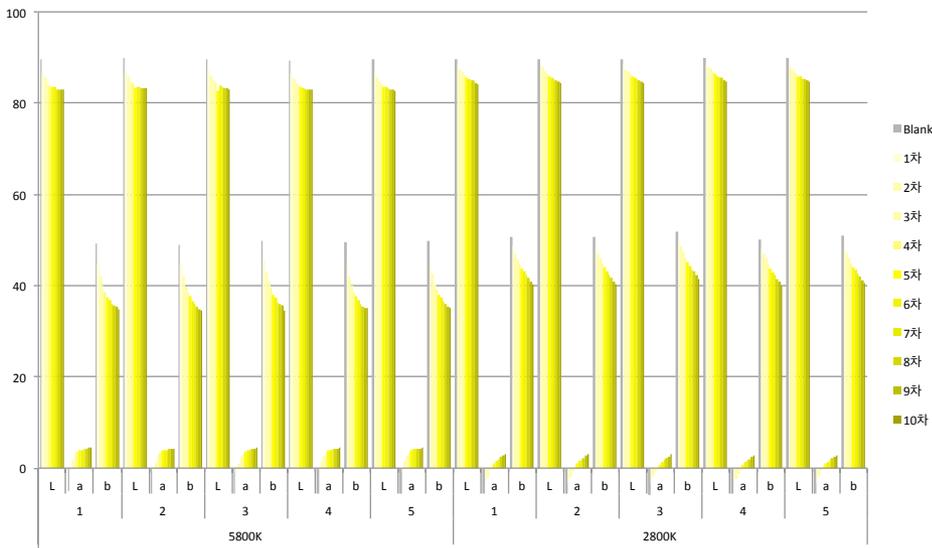
소목으로 염색한 비단의 경우 총 적산조도 540,000lux·h 동안 색온도 5500K의 조명에서 색차 ΔE 는 1.52의 변색을 보였으며 색온도 2800K의 조명에서 ΔE 는 1.42의 변색을 보였다(도1). L값의 증가로 보아 약간 밝아졌으며, a값은 감소한 것으로 보아 붉은색은 약간 감소된 것으로 보인다. 다만 b값은 다른 측정값에 비해 큰 변화가 관찰되지 않았다.



도1. 소목으로 염색한 건의 적산조도에 따른 변색 측정 결과 그래프

2.2. 황벽으로 염색한 건의 변색

황벽으로 염색한 비단의 경우 총 적산조도 540,000lux·h 동안 색온도 5500K의 조명에서 ΔE 는 18.85의 변색을 보였으며 색온도 2800K의 조명에서 ΔE 는 14.41의 변색을 보였다(도2).

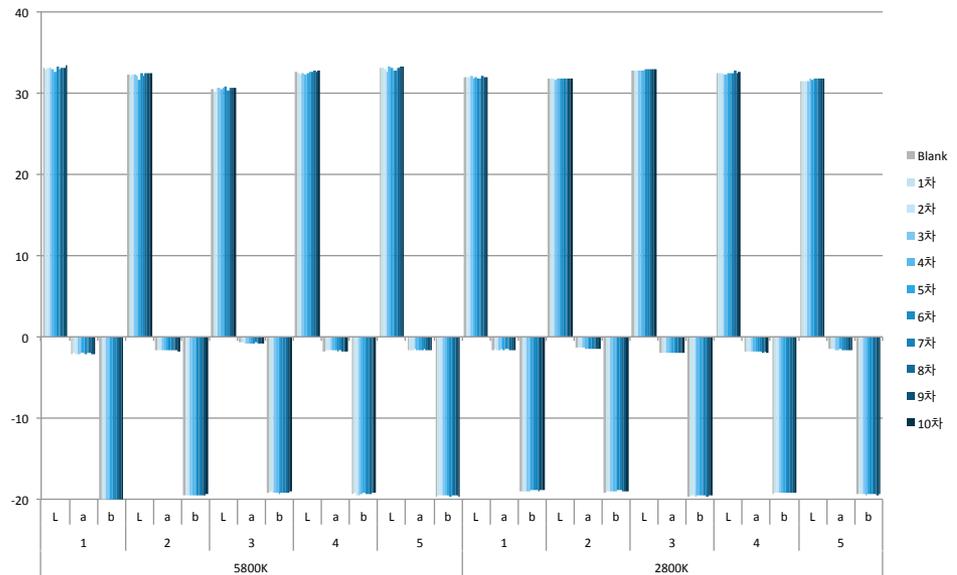


도2. 황벽으로 염색한 건의 적산조도에 따른 변색 측정 결과 그래프

L값이 감소한 것으로 보아 어두워진 것이 확인되며 a값은 증가한 것으로 보아 붉은색은 약간 증가된 것으로 보인다. b값의 감소로 보아 약간 녹색 부분으로 변색이 진행된 것이 확인된다. 황벽은 견뢰도가 매우 낮은 염료로 이번 실험에서는 LED 변색 속도를 확인하기 위해 선정하였다. 특히 1차 실험에서 매우 급격한 변화를 보였으며 그 후에도 꾸준히 변색이 진행되는 것을 확인하였다.

2.3. 쪽으로 염색한 견의 변색

쪽으로 염색한 비단의 경우 총 적산조도 540,000lux·h 동안 색온도 5500K의 조명에서 ΔE 는 0.24의 변색을 보였으며 색온도 2800K의 조명에서 ΔE 는 0.27의 변색을 보였다(도3). 이러한 수치는 거의 변색이 일어나지 않은 것으로 판단되며, 앞으로 LED에 대한 변색을 확인하기 위해서는 더 많은 적산조도가 필요할 것으로 보인다.



도3. 쪽으로 염색한 견의 조도에 따른 변색 측정 결과 그래프

표2. 광원의 색온도에 따른 문화재의 색상(광원: LED(L1000 BC X Metz), 연색성 94)

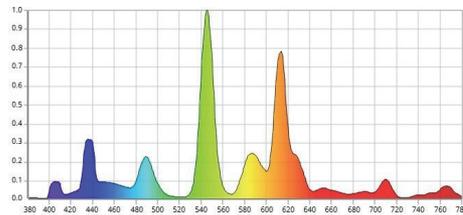
색온도(K)	참외모양병	영조 어진	색온도(K)	참외모양병	영조 어진
2900			4300		
3100			4500		
3300			4700		
3500			4900		
3700			5100		
3900			5300		
4100			5500		

표2는 국보 94호 참외모양병과 영조 어진을 같은 광원에 색온도만 조정하여 같은 조리개와 셔터 속도(F5.0 1/30, ISO 200, Canon EOS 5D Mark II)로 촬영한 것이다. 기존의 형광등이나 할로겐의 경우 주광색, 진구색 등 일정한 색온도로 생산되었으나 LED는 다양한 색온도로 조정 가능한 조명들이 생산되고 있다.

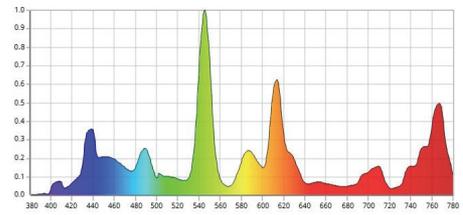
IV. 고찰 및 결과

백색을 내는 LED는 대부분 청색 LED와 황색 형광체의 합성으로 자외선이 나오는 분광분포는 크게 존재하지 않는다. 그러나 자외선이 없다고 해도 가시광선에서만 나오는 조도로도 변색이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이번 실험은 가속화 실험으로 일반적인 박물관 조명환경에서는 본 실험보다 적은 변색이 발생할 수 있으나 견뢰도가 낮은 염색 직물의 경우 LED 조명에서도 상당히 많은 변색이 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 2800K 보다는 5500K 색온도의 조명에서 변색이 더욱 심화되는 것이 확인되었다.

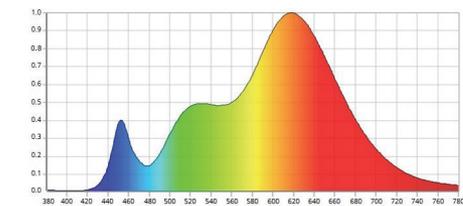
기존 박물관에서 사용하는 광원 중 형광등의 분광분포 스펙트럼(도4, 5)을 보면 색온도가 변함에 따라 분광분포의 변화가 크게 느껴지지 않는다.



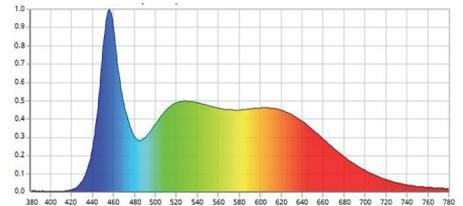
도4. 3800K 형광등의 분광분포 스펙트럼



도5. 5000K 형광등의 분광분포 스펙트럼

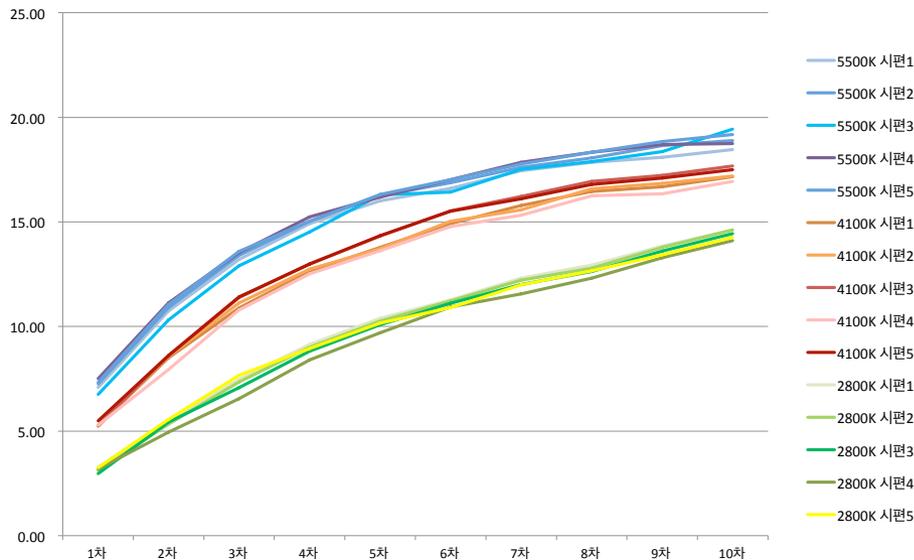


도6. 2800K LED 광원 분광분포 스펙트럼



도7. 5500K LED 광원 분광분포 스펙트럼

그러나 LED 광원의 경우 광원 특성상 백색LED가 청색LED를 기본으로 만들어졌으므로 도6과 도7에서 볼 수 있듯이 자외선과 가까운 청색의 블루스파이크(380nm~430nm)가 크게 존재한다. 특히 도7의 5500K 광원처럼 블루스파이크의 스펙트럼이 높다는 것은 그만큼 광원에 푸른색 부분이 많이 함유되어 있다는 것을 의미한다. 도6의 2800K 광원의 분광분포 스펙트럼에서 보면 파란색 부분의 블루스파이크 피크가 5500K 광원의 절반 이하로 확인되었다. 본 실험에서 사용한 LED 광원의 경우 색온도가 높아질수록 이 부분의 스펙트럼이 커지기 때문에 이와 비례하여 변색이 발생하는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 광원의 색온도가 변색에 또 다른 원인이 될 수 있음을 의미한다.



도8. 황벽으로 염색한 견의 색온도에 따른 변색 결과

도8은 가장 변색이 심했던 황벽으로 염색한 견의 색온도와 적산조도에 따른 변색을 그래프화하여 나타낸 것이다. 모든 시편은 1차 적산조도 54,000lux·h으로 조명했을 때 가장 급격하게 변색이 나타났다. 적산조도가 누적될수록 변색은 계속 진행되었으며, 변색의 강도는 약해지는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 같은 조명에서는 색온도가 높아질수록 변색이 더 많이 진행됨을 알 수 있었다. 노출 전·후 변색을 X축으로 하여 열화 진행 속도를 보면 조명이 전구색에서 주광색으로 갈수록 즉, 색온도가 높아질수록 열화 진행 속도에 큰 차이가 발생하였다. 도6과 7에서처럼 단파장 영역의 에너지가 강할수록 손상 지수가 커지는 경향을 보였다.

표2에서처럼 LED 조명은 색온도에 따라 다양한 느낌으로 문화재를 조명할 수 있다. 도자기나 금속문화재의 경우에는 그 문화재를 가장 잘 보여 줄 수 있는 색온도의 빛을 선정하는 것이 바람직하다. 그러나 도8에서 색온도 5500K와 2800K 변색을 비교하면 5500K가 2800K 보다 약 2배 빠른 변색을 보이고 있다. 따라서 빛에 의해 열화를 받을 수 있는 서화나 직물문화재의 경우 문화재의 안전이란 측면에서 색온도가 높은 조명 즉, 단과장 영역에서 에너지가 강한 조명은 지양해야 할 것이다.

초기 LED의 박물관에 대한 영향을 연구한 학자들에 의해 백색 LED의 천연 황색 염료의 노화 및 반 고흐의 크롬 황색 도료 변색 등에 대한 연구가 발표되었었다. 그러나 최근에는 초기 제품들에 비해 극적인 기술 향상이 이루어졌고 보다 더 안전한 백색 LED로 인해 박물관에서 다양하게 사용되고 있다⁷⁾.

기존의 형광등이나 할로겐의 경우 오랜 세월 동일한 기술로 생산되었으므로 일정한 분광분포를 보인다. 그러나 LED는 매년 새로운 기술이 계속 발전하고 있으며, 다양한 기술과 방법으로 백색의 LED를 만들고 있다. 이러한 경우 다른 형태의 분광분포 스펙트럼을 가지므로 이에 대한 다방면의 검토가 필요하다. 최근 LED 기술은 연색성을 높이고 블루스파이크를 줄이는 방향으로 발전하고 있다. 이러한 부분이 개선된다면 박물관에서 LED 조명을 지금보다 더 자유롭게 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

V. 결론

현대의 박물관은 에너지 절감과 미래의 지속성 부분에서 기존 사용하던 할로겐이나 퇴색방지 형광등을 LED로 교체하고 있는 중이다. LED의 광원 특성이 기존 사용하던 광원과 매우 다르므로 이에 대한 새로운 검토가 필요하다. 또한 LED의 수명은 기존 조명보다 월등하므로 한 번 선정되면 상당히 오랜 기간 사용할 수 있다. 따라서 박물관에서는 기존의 조명 기준인 조도에서 더 나아가 연색성, 색온도, 조명의 분광스펙트럼 등 더 많은 다양한 기준을 가지고 전시 조명을 설정해야 할 필요성이 있다. 문화재를 정확하게 보여 주기 위해서는 정오의 태양광에 가까운 표준광원을 사용하는 것이 가장 정확하게 관람하는 전시라고 생각할 수도 있으나, 현재의 LED 조명 기술에서는 태양광에 가까운 색온도일수록 변색에 영향을 줄 수 있는 블루스파이크가 많이 발생하는 광원이 될 확률이 매우 높다. 따라서 전시 조명시 조도뿐 아니라 색온도나 연색성 및 분광분포 스펙트럼도 같이 확인하여 같은 조도와 색온도라 하더라도 어떤 부분에서 에너지가 높은 광원인지를 미리 확인한다면 그만큼 조명으로 인한 문화재 변

색을 줄일 수 있을 것이다. 앞으로도 다양한 LED 광원에 대한 문화재 변색 연구가 축적된다면 LED에서 발생할 수 있는 변색의 조건과 원인을 명확하게 구명할 수 있을 것이다. 이를 토대로 앞으로 조도나 색온도와 더불어 다양한 전시 조명에 대한 새로운 기준이 마련될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 한국정보통신기술협회, *손에 잡히는 IT 시사용어*, (2008).
2. 조명학회(일본), *조명핸드북*, 성안당, 서울, (2010).
3. James R. Druzik and Stefan W. Michalski, *Guidelines for Selecting SolidAState Lighting for Museums*, p4-6, Canadian Conservation Institute, The Getty Conservation Institute, (2011).
4. 곽영신, *조명과 색*, 과학 포털 사이언스올, <http://www.scienceall.com>, (2017).
5. 최안섭, *빛과 조명*, p46-61, 문우당, (2015).
6. 센다이 가즈오, *알기 쉽게 해설한 LED 조명*, p14-20, 성안당, 서울, (2016).
7. TE Perrin, JR Druzik, NJ Miller, *SSL Adoption by Museums: Survey Results, Analysis, and Recommendations*, Pacific Northwest National Laboratory U.S. Department of Energy Getty Conservation Institute, (2014).