자외선 및 가시광선에 의한 염색시료의 변퇴색

Color Change of the Dyed Materials by Ultra-Violet and Visible Irradiation

김 훈*	강원대학교 전기공학과 부교수
김 홍 범	국립중앙박물관 건립사무국
한 종 섭	강원대학교 전기공학과 박사과정

Abstract

To evaluate the color change of the dyed materials by ultraviolet and visible rays in the museum, a system that accelerates dye fading was developed. Radiation energy from a Xenon lamp is irradiated on the samples through the filters of different cut-on wavelengths. As a result, the color change as a function of the wavelength and irradiation is calculated.

1. 서론

박물관에서의 유물 전시를 위한 조명은, 그 결과 얻은 '관람객이 전시된 자료를 가장 잘 보고 파악할 수 있는 빛 환경'과 '빛에 의한 전시자료에의 손상이 없이 전시할 수 있는 빛 환경'을 동시에 만족시킬 수 있는 수준으로 되어야 한다. '관람객이 잘 볼 수 있는 환경'을 달성하기 위해서는 전시자료에 가능한 한 밝은 조명이 제공되고, 전시자료와 그 부근 및 실내 전반에 걸쳐 적절한 밝기의 분포가 있어야 하며, 전시자료의 원래 색을 그대로 재현할 수 있는 적절한 분광에너지 분포의 빛이 제공되어야 한다.

'빛에 의한 전시자료의 손상이 없는 빛 환경'을 위해서는 아주 어둡거나 빛이 아예 없는 환경이 가장 유리하다. 전시자료의 상당부분을 차지하고 있는 유기물에 대하여 자외선 및 파장이 짧은 가시광선은 광화학 반응에 의하여 변퇴색 및 구조적인 손상을 일으키며 적외선은 건조에 의한 물리적 손상을 일으킨다. 따라서 손상의 방지를 위해서 유해한 방사에너지를 최대한 제거하고 밝기를 제한하여 가시광선에 수반하는 자외선과 적외선의 양을 줄임과 동시에, 전시물이 방사에너지에 노출되는 시간을 줄이는 노력이 필요하다.[1,2]

이와 같이 박물관 조명을 위한 요건은 서로 모순되는 조건을 가지고 있으므로 이를 잘 절충하여 전시물의 보존과 전시에 적절한 기준을 마련할 필요가 있다.

본 연구에서는 우리 나라 고유의 염색방법에 의한 시료를 마련하여 자외선에 의한 손상의 정도를 시험하였다. 이 시험의 결과를 바탕으로 박물관에서의 유물 조명 설계시에 이용할 수 있는 지침을 마련하고자 한다. 각국에서 자외선 손상의 정도를 시험한 내용과 결과를 비교하여, CIE의 보고에 의한 측정방법[4]을 채택하고, 이에 따라 시료의 자외선 손상정도를 시험, 측정할 수 있는 장치를 개발하였다.

2. 시험방법

시험의 목적은 자외선 및 단파장 가시광에 의한 유물의 손상정도를 측정하여 이를 바탕으로 손상을 일정 수준이하로 제한하는 적정 조명기준과 광원을 선정하고자 하는 것이다. 광화학적인 유물의 손상을 파악하기 위해서 다음과 같은 시험 및 분석방법을 사용하였다.

시험방법은 CIE의 퇴색시험법을 채택하였다. 이 방법은 유물에 대한 방사에너지의 작용효과를 파장별로 측정할 수 있을 뿐 아니라, 비교적 짧은 시간에 여러 시료에 대한 시험을 수행할 수 있다. 광원은 자외선 및 가시광선 영역에서 연속적인 분광에너지분포를 갖는 크세논 램프를 사용하며, 이는 시료에 입사되는 방사에너지를 정확하게 측정할 수 있으므로 유리하다. 메탈헬라이드 램프나 고압수은램프는 자외선 영역에서 연속스펙트럼을 내지 못하므로 이 시험에서는 배제하였다.

램프에서 나온 빛은 여러 종류의 차단 필터를 통과하여 시료에 입사된다. 필터의 차단 파장(cut-off wavelength)은 자외선과 가시광선 영역에서 여러 가지이며, 각각 차단파장보다 짧은 방사에너지는 흡수하고 긴 방사에너지만을 투과하는 특성을 가지고 있다. 예를 들어 차단파장 370nm와 400nm인 두 필터를 경유한 방사에너지에 의한 손상의 차이를 계산하면, 370~400nm 사이의 방사에너지에 의한 손상을 알 수 있다. 이러한 방식으로 여러 가지 차단필터를 사용하여 파장에 따른 손상정도를 알 수 있으며, 이는 특정파장부분만을 투과하는 밴드패스필터 (band-pass filter)를 사용하는 것보다 손상의 정도가 빨라지므로 유리한 시험법이다.

손상정도의 측정은 색채색차계를 이용하여 변화된 시료의 물체색을 측정하고 이를 원래의 색과 비교하는 방법으로 수행하며, 황변, 표백 등 색과 관련된 모든 종류의 손상을 그 원인과 무관하게 측정할 수 있다는 장점이 있다.

이 시험법을 이용하여 얻어지는 결과는 방사에너지에 의한 시료의 색변화로서 이는 색차 ΔE^*_{ab}값으로 얻어진다. 크세논 램프의 분광에너지 분포는 이미 알고 있으므로 색차는 각 파장에서의 적산방사조도 W_λ [W·h/m^2·nm]의 함수가 된다. 이 함수를 $s_\lambda(W_\lambda)$라 하고 이를 이용하여 특정광원에 대한 조명기준을 만드는 과정을 다음과 같이 생각할 수 있다.

특정광원을 이용하여 조명을 실시하려 할 때에는 "특정 유물에 대하여 몇 년(예를 들어 10년) 동안의 색변화 ΔE^*_{ab}가 일정 값(예를 들면 1, 3, 또는 5) 이내로 되도록, 조도를 얼마로(예를 들어 50lx) 제한한다"는 형태의 기준이 필요하다. 여기서 알고 있는 값은 유물의 손상함수 s_λ, 조명을 실시하는 시간 t(10년×300일×8시간=24,000시간), 최종적인 색변화 ΔE^*_{ab}, 광원의 상대적인 분광에너지분포 P_λ[1/m^2·nm]이다. 방사에너지는 광원에서의 거리에 따라 그 밀도가 달라지므로 이 단계에서 절대 분광에너지 분포는 소용이 없다. 알기를 원하는 값은 조도 E가 된다.

상대적인 분광에너지 분포를 특정상황에서의 절대치를 바꾸기 위한 계수를 a라 하면 이때의 조도 E는

$$E = 683 \cdot a \int_{380nm}^{780nm} P_\lambda \cdot V_\lambda \, d\lambda$$

V_λ: 비시감도

로 되고, t 시간 동안 조사할 때의 색변화 ΔE^*_{ab}는

$$\Delta E^*_{ab} = \int_{300nm}^{780nm} s_\lambda (a \cdot P_\lambda \cdot t) \, d\lambda$$

로 된다. a값을 바꾸어 가면서 아래 식에 대입하면 ΔE^*_{ab}가 특정 값으로 되는 a를 알 수 있고, 이를 위 식에 대입하여 그 때의 E를 알 수 있다. 실제로는 a와 ΔE^*_{ab}의 관계를 그래프로 그려서 여러 수준의 변퇴색에 대한 조도기준을 선정할 수 있도록 할 것이다. 또한 (5.2)식에서 알 수 있듯이 a와 t는 반비례하는 관계에 있어 t를 두 배로 하면 같은 손상을 주는 a값은 반으로 된다는 것을 알 수 있다.

3. 시험장치와 시료

구성된 시료장치의 사진을 그림 1에 보였다. 시험장치는 반경 50cm의 원통으로서 내면을 무반사 흑색 페인트로 도장하였으며, 시료를 25개까지 걸어서 시험할 수 있다. 장치의 중심에는 150W의 크세논 램프를 설치하여 점등하고 온도조절을 위하여 위쪽에 환풍기를 설치하였다. 크세논 램프의 분광 분포를 그림 2에 보인다. 이 램프의 분광에너지 분포는 300nm이하의 자외선에서부터 적외선까지 골고루 분포된 연속스펙트럼으로서 파장에 따른 작용효과를 분석하기에 적합하다.

시료부는 그림 3과 같이 구성되어 있다. 두께 3mm의 알루미늄판 (10cm×10cm)에 직경 1 inch의 구멍을 9개 뚫고 6개의 필터를 끼웠으며 나머지 구멍 중 한 개는 막혀 있고 두 개는 뚫려 있다. 알루미늄 판의 겉면은 무반사 흑색페인트로 도장하였다. 시료자체는 알루미늄 판과 같은 크기로서 아크릴 시료대에 부착하여 알루미늄 판과 결합한다. 이렇게 하여 한 시료의 아홉 군데 위치가 각각 다른 방사에너지를 받아 변퇴색하므로 동일조건에서 만들어진 시료를 동일한 주변 환경에서 손상시키고, 수시로 변퇴색을 측정한 뒤 다시 시험을 계속하여 수행할 수 있다.

여섯 가지 필터는 각각 그 차단 파장이 285, 309, 338, 366, 400, 455nm인 Oriel제 차단필터로서 자외선과 함께 455nm 까지의 가시광선의 영향까지도 시험할 수 있다. 각 필터의 투과율을 그림 2에 보였다. 변퇴색된 결과는 Minolta사의 CR-300 색채색차계로 약 48시간에 한번씩 측정하여 기록하였다.

이외에도 온도를 조절하기 위해 에어컨디셔너를 설치하고, 온 습도를 계속 측정하였으며, 방사에너지는 조도계로 측정하여 기록계를 이용하여 연속 기록한다. 시험기간중의 전압변동을 막기 위하여 교류정전압원으로 전체 장비의 전력을 공급한다.

시험에 사용하는 시료는 민속박물관(이관호, 최은수)과 단국대 석주선기념관(고부자)의 협조로 마련하였다. 즉, 민속박물관의 종이문화대전(1995.5~7)에서 오성남씨가 제래식 기법으로 제작한 닥종이를 종이시료로서 구하였다. 여기에 네 종류의 천을 더하여 그 원단과 함께 황백, 치자, 괴화, 소목의 네 종류 천연염료를 손으로 염색하여 총 20종의 시료를 마련하였다. 석주선기념관에서는 20세기 초반에 만들어진 여러 종류의 천과 갈옷감 등을 제공하였다.

이들의 시료와 함께 비교를 위하여 서양지로서 복사지와 갱지를 더하여, 우선 이중 24종의 시료에 대하여 시험을 행하였다.

4. 시험결과

시료에는 약 800lx의 조도가 제공되고 있으며, 자외선 양은 대략 0.9W/m^2 정도의 에너지 밀도로서 이는 11005μW/m^2·lx에 해당되어 여름 낮의 자연광에서의 자외선 밀도 720μW/m^2·lx의 1.5배 정도이다.

비교를 위해서 시험한 갱지의 변색 경향을 그림 4에 보였다. 초기에 급격하던 퇴색이 시간이 경과할 수록 차츰 줄어드는 것을 알 수 있다. 갱지의 퇴색정도는 매우 커서 수 시간만 조사하여도 변색을 눈으로 관찰할 수 있는 정도이다. 또한 400~450nm의 단파장 가시광은 거의 변퇴색에 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있고 340~400nm 부근의 자외선이 비교적 영향이 크다.

그림 5는 그림 4의 결과에서 s_λ를 계산하여, 인가된 파장 범위 전자파의 에너지에 대한 함수로 나타낸 것이다. 그림에서 긴파장의 자외선과 가시광에 의한 변색은 인가 에너지에 대하여 비례하지만, 단파장 자외선에 의한 변색은 포화한다는 것을 알 수 있다. 이러한 변화의 경향이 있을 때에는 인가된 전자파의 에너지와 변색의 관계를 선형적인 함수로 나타낼 수 없으며, 적어도 2차식 이상의 함수로 회귀하여야한다.

현재 변색의 예측에 일반적으로 사용되고 있는 Harrison의 손상계수[3]는 파장에 따른 에너지와 s_λ의 관계를 1차식으로만 회귀한 것으로서, 위에서 나타난 포화의 경향을 무시하고 있다. 1차식으로 회귀하는 경우에는 비교적 간단하게 임의의 광원에 의한 변색을

예측할 수 있으나, 그 예측의 정확도를 보장할 수 없다는 결론에 이르게된다. 따라서 s_1의 정확한 회귀법과 이를 이용한 변색의 예측에 대한 연구를 수행하고 있는 중이다.

그림 6, 7, 8은 각각 다종이에 괴화, 치자, 소목 등의 식물 염료로 염색한 경우의 변색을 보인 것이다. 역시 파장에 따라서는 포화의 경향을 나타내는 것을 알 수 있다. 이와 같은 시료의 퇴색시험에 있어서는 파장대별로 손상되는 시료 각 부분의 특성이 균일할 것이 요구되나 현실적으로 수제작한 시료에서 이를 기대하기는 어렵다. 따라서 시험의 초기에 균일성이 떨어지는 것을 보상하기 위한 방법의 강구가 필요하다.

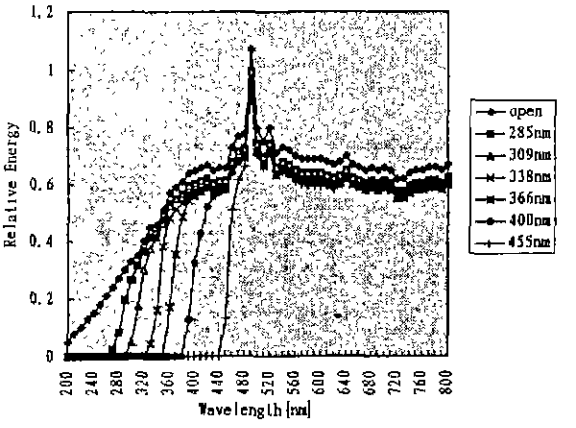

그림 2 크세논 램프와 필터를 통과한 빛의 분광분포

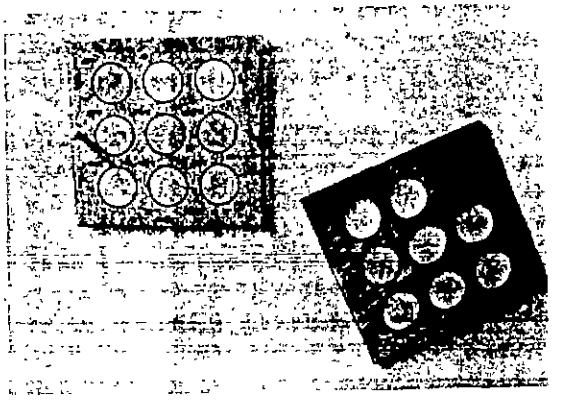

그림 3 시료부의 구성

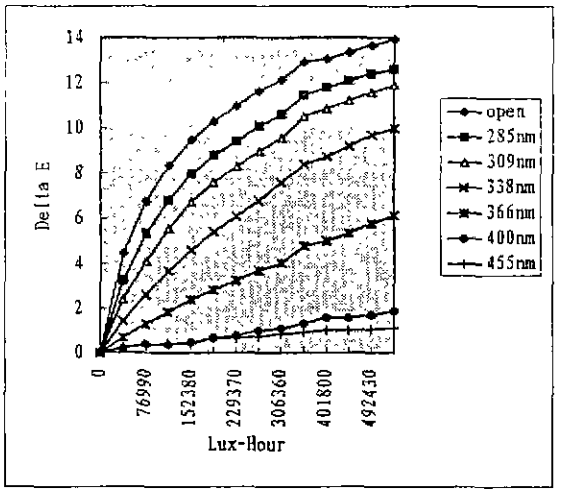

그림 4 갱지의 손상시험결과

5. 참고문헌

[1] 神庭信幸, "博物館展示照明が色材料に及ぼす作用效果", 照明學會誌, 1990, Vol. 74, No. 4, pp. 191~196

[2] IESNA, "Lighting Handbook, 8th ed.", 1993, IESNA, New York.

[3] Garry Thomson, "The Museum Environment, 2nd ed." 1986, Butterworth-Heinemann, Oxford

[4] CIE Technical Collection 1990/3, "On the Deterioration of Exhibited Museum Object by Optical Radiation", 1991, CIE Publication 89/3, Wein

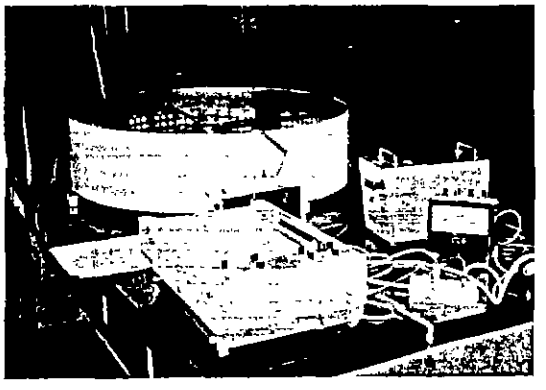

그림 1 자외선 손상 시험장치

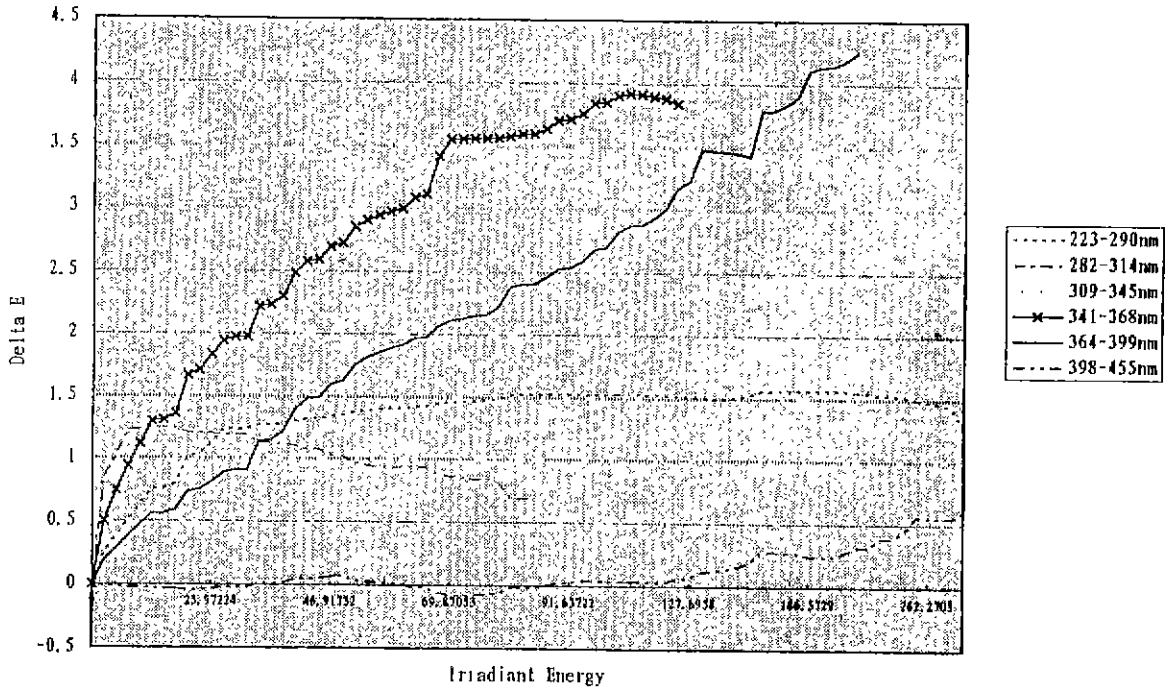

그림 5 갱지의 S_{λ}

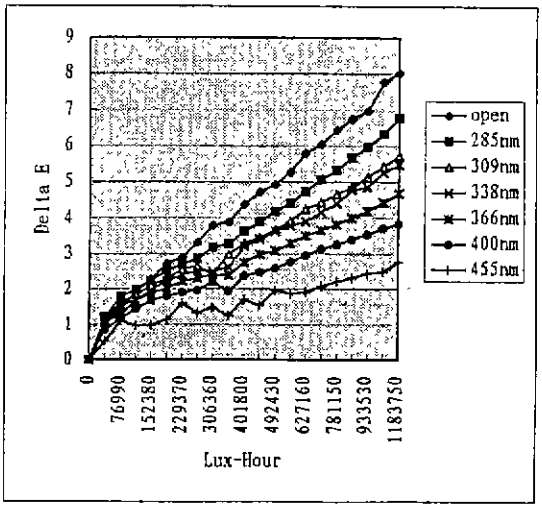

그림 6 괴화로 염색한 닥종이의 손상시험결과

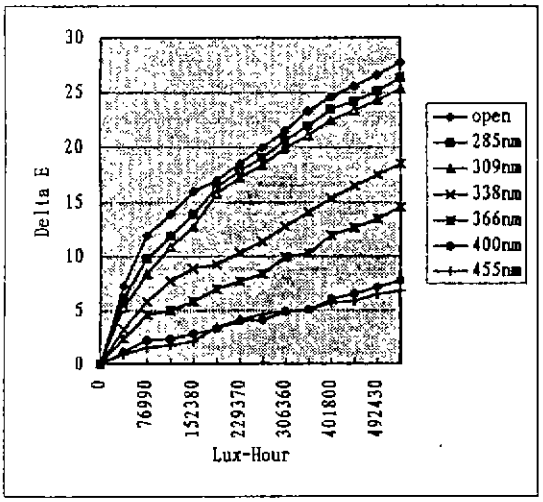

그림 7 치자로 염색한 닥종이의 손상시험결과

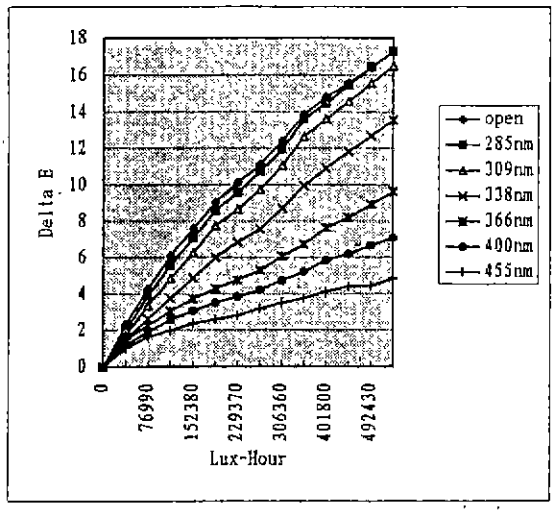

그림 8 소목으로 염색한 닥종이의 손상시험결과