

불투명 수지재료의 복사에너지에 의한 변색 측정

Measurement of Color Change of Opaque Resin Materials by Radiation Energy

한 종 성* 영월공과대학 전기공학과 전임강사
 김 흥 범 국립중앙박물관 건립추진기획단 설비과장
 김 훈 강원대학교 전기공학과 교수

ABSTRACT

To evaluate the color change of the opaque resin materials, a measuring system including PAS(photodegradation acceleration system) was constructed.

Xenon lamp is used as a light source in the PAS, and the radiant energy from the lamp is irradiated to the samples through several high-pass filters with cut-off wavelength in UV and visible region.

The color difference of the samples were measured by using the measuring system with a spectrophotometer(CM-2002) and a computer.

The result showed that the opaque resin materials changed severely in their color in the wavelength of UV region and changed a little in the wavelength of visible region.

1. 서 론

전기 에너지 사용량의 20% 내외를 차지하고 있는 조명시스템은 광원, 점등장치, 조명기구로 구성되며, 이 중에서 조명의 효과를 발휘하는데 직접적인 영향을 주는 것은 조명기구이다. 상대적으로 종류가 제한되어 있는 광원이나 점등장치에 비하여 조명기구의 종류는 대단히 다양하며, 적절한 조명기구를 선정함으로써 내장된 광원의 성능을 최대한으로 이용하고 조명에너지 절감을 도모할 수 있는 것이다.

조명기구에 있어서 에너지 절감의 방향은 크게 세 가지가 있다. 즉 조명기구 자체의 기구효율을 증가시키거나, 배광을 조절하여 작업면으로의 빛

의 배분의 비율인 조명률을 증가시키는 방법과 함께 보수율을 증가시키는 방법이다. 보수율은 조명시스템을 설치한 뒤 시스템을 구성하는 제품들의 성능저하와 오염 등에 의해 밝기가, 저하하는 것을 감안한 것으로서, 설치 단계의 조명시스템은 보수율을 고려함으로써 필요한 조도보다 높은 수준을 갖는 과도 설비로 된다.

최근의 연구에 따르면, 보수율의 개선과 관련된 기술개발의 성과가 조명률이나 기구효율을 상승시키려는 노력에 비하여 에너지 절감의 효과가 보다 우수한 것으로 나타났다.

보수율에 포함되는 요인들에는 여러 가지가 있으나, 대개 램프의 광속 감소, 조명기구와 실내면의 오염, 조명기구 표면의 성능저하 등이 큰 원인으로 지적되고 있다. 이 중에서 램프의 광속감소나 오염 등은 광원의 교환과 청소로 해소할 수 있으나, 조명기구 표면의 성능저하는 조명기구 자체를 바꾸기 이전에는 회복하기가 불가능한 요소이다.

조명기구의 표면은 빛을 반사 또는 투과함으로써 광원에서 나오는 빛의 분포를 절절히 바꾸는 역할을 한다. 이러한 표면을 구성하는 반사재료나 투과재료의 성능저하는 주로 광원에서 나오는 복사에너지 중에서 에너지가 높은 자외선 및 단파장 가시광선에 의하여 이들 재료의 색이 변화하고 반사율 및 투과율이 저하하는 것에 기인한다. 특히 반사 및 투과재료로 가장 많이 사용되는 분체 소부도장 유백색 에나멜과 아크릴, 폴리스티렌, 폴리카보네이트의 황변은 보수율을 크게 저하시키는 것으로 평가되고 있다.

따라서 이러한 재료들이 자외선 등의 복사에너지 조사에 따라 어떻게 색과 반사율, 투과율이 변화하는지를 측정, 분석하고, 각종 광원의 분광에

너지 분포와 조사량에 따라 이를 예측하며, 이러한 열화가 보수율에 미치는 영향을 평가할 수 있는 방법을 개발하는 연구를 수행할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 이와 같은 연구의 일환으로서 조명기구 뿐만 아니라, 실생활에도 많이 이용되는 각종의 불투명 수지 재료들을 채택하여, 자외선 및 가시광선의 복사에너지에 의한 변색의 정도를 CIE의 퇴색시험법[1]을 바탕으로 측정하였다.

2. 시험방법

시험방법은 CIE의 퇴색시험법을 채택하였다. 이 방법은 일종의 가속시험법[2]으로서 시료에 대한 복사에너지의 작용효과를 파장별로 측정할 수 있을 뿐 아니라, 비교적 짧은 시간에 여러 시료에 대한 시험을 수행할 수 있고, 여러 가지 광화학적 손상을 그 원인에 상관없이 종합하여 측정할 수 있는 특징을 갖고 있다.

빛의 파장은 광원의 종류에 따라서 다르며, 광화학반응을 알아보는 가속시험에서는 광원의 선택이 매우 중요하다[2,3]. 이에 본 연구에서는 가속시험용 광원으로는 자외선 및 가시광선에서 연속적인 분광에너지분포를 갖는 크세논 램프를 사용하였으며, 이는 시료에 입사되는 복사에너지를 정확하게 측정할 수 있으므로 유리하다. 이에 비해 메탈헬라이드 램프나 고압수은램프는 자외선 영역에서 연속스펙트럼을 내지 못하고, 태양광은 시료에 입사하는 복사에너지가 일정하지 않기 때문에 실험용 광원으로는 적합하지 않다[5].

램프에서 나온 빛은 여러 종류의 하이패스 필터를 통과하여 시료에 입사된다. 필터의 차광파장(cut-off wavelength)은 자외선과 가시광선 영역에 걸쳐있으며, 이보다 파장이 짧은 복사에너지는 흡수하고 긴 파장의 복사에너지만을 투과하는 특성을 가지고 있다.

각각의 차광필터로 가려진 시료의 각 부분은 빛에 노출된 시간에 따른 변색의 정도에 차이가 나게된다. 이러한 변색을 측정하고, 인접한 두 개의 필터에 의한 변색 차이를 계산하여 특정 파장의 방사에 의한 변색을 예측할 수 있다. 예를 들

어 차광파장이 285[nm]와 309[nm]인 두 개의 필터를 통하여 조사된 시료의 변색 차이를 계산하면, 285~309[nm] 사이의 복사에너지에 의한 광열화(photodegradation)[2,3]를 알 수 있다. 이는 복사에너지 중에서 특정 범위의 파장만을 투과하는 밴드패스 필터에 비해 시료에 입사되는 복사에너지의 절대치가 크기 때문에 열화의 정도가 빠르게 진행됨으로 보다 효율적인 시험을 수행할 수 있다[4].

열화의 정도는 분광측색계를 이용하여 변화된 시료의 물체색을 측정하고 이를 원래의 색과 비교하는 방법으로 수행하며, 황변, 표백 등과 같은 색과 관련된 모든 종류의 열화를 그 원인과 무관하게 측정할 수 있는 장점이 있다.

측색은 CIELAB 색공간에서 물체의 L^* , a^* , b^* 값을 측정하고, 이 값들을 이용하여 색차(color difference)를 얻는다[5]. 시험에 들어가기 전에 각 시료의 초기치를 측정된 후, 복사에너지의 세기에 따라 변화하는 색상의 차이를 주기적으로 측정하여 산정하고, 이를 적산조도에 대해 표시하면 변색의 추이를 알 수 있다.

이 실험법에 의한 결과는 조사시간에 따른 각 필터에 의한 시료의 색변화로서, 이는 색차 ΔE_{ab}^* 값으로 얻어진다. 실험용 광원인 크세논 램프의 분광에너지 분포는 이미 알고 있으므로 색차는 각 파장에서의 누적복사에너지 W_λ [$W \cdot h/m^2 \cdot nm$]의 함수가 된다. 이 함수를 변색치 S_λ (W_λ)라 하고 이를 이용하여 특정 광원에 의한 변색의 정도, 즉 색차를 구할 수 있으며, 색차 ΔE_{ab}^* 는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\Delta E_{ab}^* = \int_{300nm}^{780nm} S_\lambda(W_\lambda) d\lambda \quad (1)$$

그리고 식 (1)에서 광원의 상대적인 분광에너지 분포 P_λ [$1/m^2 \cdot nm$]를 갖는 특정 광원으로 t 시간 동안 조사할 때의 색차는

$$\Delta E_{ab}^* = \int_{300nm}^{780nm} S_\lambda(a \cdot P_\lambda \cdot t) d\lambda \quad (2)$$

로 되고, 여기서 a 는 광원의 분광에너지 분포의 상대적인 값인 P_λ 를 특정상황에서의 복사에너지의 절대치로 전환하기 위한 계수이며, 적분구간은 일반적인 환경에 존재하는 자외선에서 가시광선까지의 영역으로, 필요에 따라서 다른 영역으로 할 수도 있다.

3. 측정 시스템과 시료

(1) 측정 시스템의 구성

본 실험에서 구성된 광열화 가속시험장치(photo-degradation acceleration system; PAS)는 반경 30[cm]의 원통형으로서 시료가 설치되는 내부면을 무반사 흑색 페인트로 도장하였으며, 10[cm]×10[cm] 크기의 시료판을 14개까지 걸어서 시험할 수 있다. 또한 장치의 중심에는 150[W]의 크세논 램프를 설치하여 점등하고, 광원의 온도상승을 방지하기 위하여 램프의 상부에 소형 환풍기를 설치하였다.

크세논 램프의 분광분포는 300[nm]이하의 자외선에서부터 적외선까지 골고루 분포된 연속스펙트럼으로서 파장에 따른 광화학작용의 효과를 분석하기에 적합하고, 이 광원과 여러 시료들 사이에는 일정한 등간격이 유지되고 있다.

크세논 램프의 복사에너지에 의해 변색된 불투명 수지 시료들은 컴퓨터와 연결된 Minolta사의 CM-2002 분광측색계(spectrophotometer)로 24시간마다 한번씩 측정하였다. 측정된 데이터는 즉시 컴퓨터에 전달되어 저장되고, 색차 계산 프로그램에 의하여 색차 ΔE^*_{ab} 가 계산된다.

이외에도 실험실 내부의 온도를 조절하기 위해 에어컨디셔너를 설치하고, 온·습도를 계속 측정하였으며, 복사에너지는 조도계로 시료 측정시마다 주기적으로 측정하였다.

(2) 시료부의 구성

본 실험에서는 자외선에서부터 780[nm]의 가시광선까지의 광열화 특성을 분석할 수 있도록 14종의 차광필터를 사용하였다. 이들 필터의 차광과장은 각각 285, 309, 338, 366, 400, 435, 455, 495, 530, 570, 610, 665, 725, 780[nm]이다.

시료의 장착을 위해 사용한 알루미늄 판은 두께 3[mm], 크기 10[cm]×10[cm]로 필터를 끼울 수 있도록 직경 1[inch]의 구멍이 9개씩 뚫려 있고, 이 알루미늄 판의 겉면은 무반사 흑색 페인트로 도장하였다. 이에 따라 14개의 필터를 장착하기 위해 시료당 2개의 알루미늄 판을 1조로 하여 필터를 끼웠으며, 나머지 구멍 중 한 개는 폐쇄시키고 한 개는 개방하였다. 시료자체는 알루미늄 판과 같은 크기로서 필터가 끼워진 알루미늄 판의 후면과 결합되어 광조사를 받는다.

시료판의 막혀 있는 구멍 뒤의 시료부분은 변색이 없이 원래의 색을 유지하며, 뚫려 있는 구멍 뒤의 시료부분은 크세논 램프에서 나오는 복사에너지를 여과없이 그대로 받아들이므로 변색이 가장 심하다. 그 외의 차광필터 뒤에 있는 시료부분은 차광필터의 특성에 따라 특정 파장보다 짧은 파장의 자외선부분을 없앤 복사에너지를 받게 되고 그에 따른 광열화가 일어난다.

본 실험에서 사용한 고분자 시료는 불투명한 유백색의 아크릴 및 폴리카보네이트 5종과 회색의 PVC 1종을 합하여 총 6종으로 전문제조업체의 도움을 받아 마련하였다.

4. 시험결과

그림 1부터 그림 3까지에 불투명 수지재료들의 변색을 그래프로 보였다. 이 그래프들은 적산조도에 따른 각 차광필터의 차광과장과 시료부분의 변색을 보인 것으로 이는 약 2,350[hx] 정도의 조도로 45일 가량의 시험을 수행한 결과이다.

그림 1은 유백색 아크릴 수지에 대한 시험 결과로서, 400[nm] 이하의 자외선 영역의 파장에서 상당히 심한 변색을 보이고 있으나 그 이상의 가시광선 영역에서는 눈으로 식별할 수 있는 정도의 변색은 아니지만 시간이 경과할수록 변색이 계속 진행되고 있음을 알 수 있다.

그림 2와 그림 3은 유백색 폴리카보네이트 수지의 변색 결과를 보인 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 이 수지들은 309[nm] 이하의 자외선 영역에서 변색이 심하고, 그 이상에서는 작은 변화를 보이고 있다. 그러나 그림 2의 경우에는 그림 3에

비해 309[nm] 이하의 자외선 영역에서 2배 이상의 변색을 보이고 있으며, 이 차이는 이들 수지의 제조공정시 첨가하는 UV 방지제나 색소에 따른 차이라고 생각된다.

5. 결 론

조명기구 뿐만 아니라 실생활에서도 많이 사용되고 있는 아크릴과 폴리카보네이트 수지 등의 광열화를 복사에너지의 파장에 따라 측정할 수 있는 측정 시스템을 구성하고, 이들 수지재료에 대한 시험을 수행하였다. 시험의 결과, 자외선 영역의 복사에너지에 의한 변색의 정도가 심하였으며, 가시광선에 의한 변색의 정도는 아직 눈으로 인식할 정도는 아니지만 계속 진행중에 있으므로 장기간의 시험을 수행하여야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] CIE Technical Collection 1990/3, "On the Deterioration of Exhibited Museum Objects by Optical Radiation", CIE Publication 89/3, Wein, 1991
- [2] 大澤善次郎, "高分子の劣化と安定化", 武蔵野クリエイト, 東京, 1992, pp. 129~134
- [3] W. Schnabel, "Polymer Degradation Principle and Practical Applications", Macmillan, 1981, pp. 95~97
- [4] 김훈, 김홍범, "조명에 의한 박물관 전시물의 변색 측정에 관한 연구", 한국조명·전기설비학회지, 제10권 제5호, pp. 43~51, 1996. 10.
- [5] IESNA, "Lighting Handbook, 8th ed.", IESNA, New York, 1993

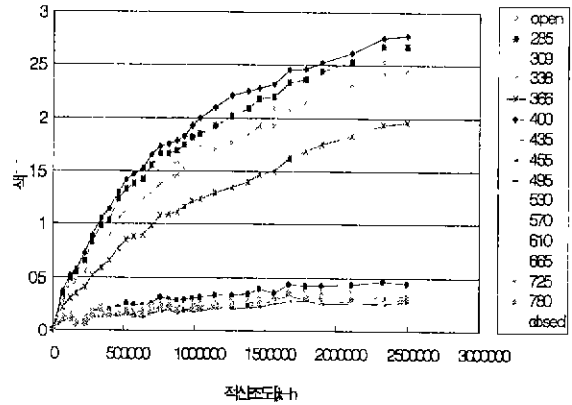


그림 1. 아크릴의 변색시험 결과

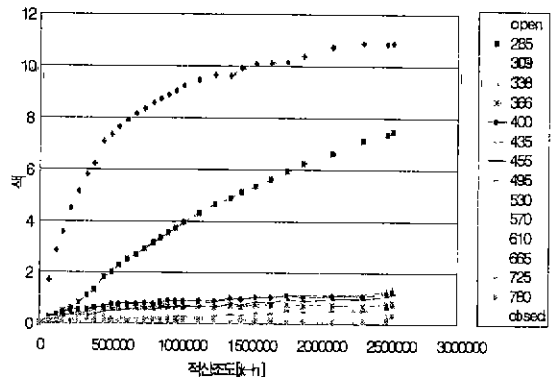


그림 2. 폴리카보네이트 A의 변색시험 결과

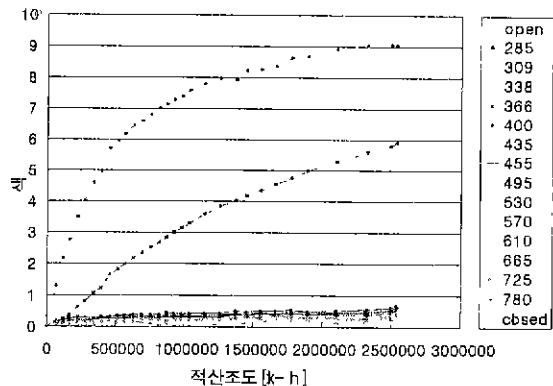


그림 3. 폴리카보네이트 B의 변색시험 결과