

# 전시물의 변색 예측을 이용한 박물관 조명기준의 작성

(Making Lighting Standard for a Museum  
using a Prediction of Exhibits' Color Change)

金弘範\* · 金 燾\*\* · 權世燻\*\*\*

(Hong-Bum Kim · Hoon Kim · Sae-Hyuk Kwon)

## 요 약

박물관에서는 조명에 의한 전시물의 손상을 최소화하고 관객의 인식의 편의성을 증진시키기 위하여 적절한 조명 기준이 요구된다. 기준의 작성을 위하여 각국의 박물관 조명기준을 분석하였다. 우리 나라 고유의 유물에 대한 변색 특성을 측정 한 결과를 이용하여, 각종 광원에 의해 눈에 띄이는 변색이 일어나는 적산조도를 계산하고 ISO 등급에 따른 분류를 수행하였다. 조명기준을 만드는 데에 필요한 여러 가지 고려 사항과 이 사항들에 대하여 결정을 내리는 과정을 서술하였다. 최종적으로 국내의 박물관에 적용할 수 있는 조명기준을 제시하였다.

## Abstract

An appropriate lighting standard for the museum is needed to minimize the deterioration of the exhibits by the light and to increase the ease of perception of visitors. To make the standard, museum lighting recommendations of several countries were analyzed. Using measured color change characteristics of Korean traditional artifacts, illuminance-hours for the artifacts with noticeable color change were calculated for various light sources, and the artifacts were classified into ISO levels. Considerations for making lighting standard and the proceedings to make a decision for the considerations were described. Finally, lighting standard which can be applicable to Korean museum was presented.

### 1. 서 론

박물관에서는 인간 환경의 물질적 증거에 관련된 모든 자료를 수집하여 보존, 전시하며, 이는

현재의 사람들에게 이 자료들을 공개함으로써 보고 연구할 수 있게 하고, 후세의 사람들에게 원래의 모습을 그대로 물려주기 위한 것이다. 따라서 이들 자료를 가장 양호한 상태를 유지하여 보

\*正會員 : 고려대학교 전기공학과 박사과정

\*\*正會員 : 강원대학교 전기공학과 부교수

\*\*\*正會員 : 고려대학교 전기공학과 교수

接受日字 : 1996年 7月 1日

관, 전시하여야 하며, 이를 위하여 자료의 보존에 많은 배려를 기울여야 한다.

관람객이 잘 볼 수 있는 빛 환경과 전시물의 손상이 없는 빛 환경은 서로 모순되는 조건을 가지고 있으므로 이를 잘 절충하여 전시물의 보존과 전시에 적절한 기준을 마련할 필요가 있다. 즉 조명에 의한 전시물의 손상을 최소화시킬 수 있도록 충분히 어두우면서도, 관람객이 전시물을 보는 데에는 지장이 없도록 충분히 밝은, 조명의 기준을 마련해야 하는 것이다.

본 논문에서는 국내에서 사용되던 여러 천연 염료를 염색한 시료에 대한 변퇴색 시험의 결과를 바탕으로, 각종 광원에 의한 변퇴색의 정도를 예측하고 국제 기준에 맞추어 분류하였다. 또한 이를 토대로 하여 국내 박물관에 적합한 조명지침을 만드는 과정에서 고려하여야 할 사항들을 제시하고, 각 사항들에 대하여 여러 가지 선택의 경우를 보였으며 이를 이용하여 최종적인 조명지침을 만들었다.

## 2. 각국의 박물관 조명지침

현재 각국에서는 자외선에 의한 광화학적 손상을 기초로 하여 전시물을 빛에 매우 민감한 것, 비교적 민감한 것, 민감하지 않은 것의 세 종류 정도로 구분하고, 이들에 대한 가시광선의 조도값을 규제하는 방식을 취하고 있다. 각국의 미술관, 박물관에 있어서 전시조명의 추천치는 표 1과 같다.

비교적 최근에 설정된 북미조명학회(IESNA)의 조명 기준<sup>2)</sup>, 영국 건축설비공학회(CIBSE)의 조명 기준<sup>3)</sup>과 몬트리올 박물관(MMFA)의 조명 기준<sup>4)</sup>은 단순한 조도보다는 적산조도를 기준으로 정하고 이에 따라 전시시간을 제한하는 방식을 취하고 있다.

북미조명학회에서는 빛에 가장 민감한 유물의 경우 연간 적산조도의 허용치를 54,000[lx·h]로 정하고 있다. 이는 1982년의 기준이 적산조도 120,000[lx·h]이었던 것에 비하여 반 이하로 줄어든 값이다. 빛에 비교적 민감한 유물의 경우에는 연간 전시시간을 2,400시간으로 하고 이 값으

로 적산조도의 허용치 500,000[lx·h]를 나누어 220[lx]의 조도기준을 구하였다. CIBSE의 조명기준은 북미조명학회의 기준과 유사하나, 매우 민감한 유물에 대해서는 전시시간을 연중 내내 허용하는 것으로 해서 연간 적산조도가 북미조명학회 기준의 세 배에 이르고 있다. 이러한 적산조도는 매우 민감한 종류에 속하는 대부분의 유물에 대해서 그 보존을 책임지기 어려운 수치인 것으로 판단된다.

MMFA의 경우에는 적산조도 허용치가 대단히 엄격하다. 빛에 가장 민감한 종류의 것에 대해서 사람의 눈에 관찰될 정도의 변색이 일어나는 적산조도를 1,200,000[lx·h]로 정하고 이러한 변색이 100년 후에 나타나는 것으로 상정하여 연간 12,000[lx·h]의 적산조도를 제공하도록 하고 있다. 이 종류의 전시물에 제공되는 조도가 다른 전시물에의 조도와 너무 차이나는 것을 방지하기 위하여 조도를 75[lx]로 정하고, 이 값으로 연간 적산조도를 나누면 연간 160시간의 전시를 할 수 있다. 주 당 전시시간을 약 42시간으로 하면 이는 연간 4주의 전시로 된다. 비교적 민감한 유물에 대해서는 변색이 일어나기까지의 총 적산조도를 10,000,000[lx·h], 변색까지의 기간 250년, 연간 적산조도 42,000[lx·h], 조도 100[lx], 연간 전시시간 10주로 하고 있으며, 민감하지 않은 유물은 변색이 일어나기까지의 총 적산조도를 300,000,000[lx·h], 변색까지의 기간 3500년, 연간 적산조도 84,000[lx·h], 조도 100[lx], 연간 전시시간 20주로 하고 있다.

우리 나라는 각 전시물에의 조도기준이 다른 기준에 비하여 지나치게 높을 뿐 아니라 자외선 제거용 필터나 변퇴색 방지용 형광램프가 일반화되어 있지 않다. 만약 일반용의 형광램프를 이용하여 전시물을 조명한다면, 이러한 기준치에서의 시도하는 자외선 양보다 수 배 높은 자외선 양이 전시물에 공급되는 결과가 나타내게 될 것이다. 따라서 전시물의 보존을 고려하여 조도기준을 바꿈과 동시에 적산조도의 한계를 설정하고 전시시간을 제한할 필요가 있다.

표 1. 각국의 박물관 조명기준

Table 1. Museum Lighting Recommendations of Various Countries

규격		ICOM[13] (1977)	IESNA (미국) (1993)	CIBSE (영국)	JIS(일본) [13] (1979)	MMFA (캐나다) (1991)	G. Thomson (1988) [3]	KS(한국) (1993)
대상	빛에 매우 민감한 것	50[lx] 될 수 있으면 낮은 쪽이 좋다. (색온도 약 2,900(K))	54[lx](5fc) 1일 8시간 년 125일로 연간 적산조도 54,000[lx·h]	50[lx] 주 60시간, 연 50주로 연간 적산조도 150,000[lx·h]	75~300[lx](박제품, 표본에 대해서는 75~150[lx])	75[lx]로 1년에 4주 전시 또는 연간 적산조도 12,000[lx·h](100년 후 변색 눈에보임)	50[lx]	150~300[lx]
	빛에 비교적 민감한 것	150 ~ 180[lx] (색온도 약 4,000(K))	220[lx](20fc) 1일 8시간 년 300일로 연간 적산조도 500,000[lx·h]	200[lx] 주 60시간, 연 50주로 연간 적산조도 600,000[lx·h]	300~750[lx]	100[lx]로 1년에 10주 전시 또는 연간 적산조도 42,000[lx·h] (250년 후 변색 눈에보임)	200[lx]	300~600[lx]
	빛에 민감하지 않은 것	제한 없음. 단, 300[lx]를 초과하는 조명을 실시할 필요는 없음. (색온도 4,000~6,000(K))	전시조건에 따름	순응과 온도 상승을 고려하여 결정함	750~1,500[lx]	100[lx]로 1년에 20주 전시 또는 연간 적산조도 84,000[lx·h] (3,500년 후 변색 눈에보임)		600 ~ 1,500 [lx]

IESNA : Illuminating Engineering Society of North America  
MMFA : Montreal Museum of Fine Art

CIBSE : Chartered Institution of Building Services Engineers  
KS : KS A 3011

### 3. 변퇴색 시험 결과의 분석

#### 3.1 변색의 예측 방법

여러 시료의 자외선 및 단파장 가시광에 의한 변퇴색 시험 결과를 분석하여 얻어진 파장별 누적방사에너지  $W_\lambda$ 의 함수로 표현된 변색치를  $s_\lambda(W_\lambda)$ 라 하면, 이를 이용하여 특정광원에 의한 변색을 예측할 수 있고, 이를 바탕으로 박물관에서의 조명에 적용할 수 있는 지침을 만들어 낼 수 있다.

상대적인 분광에너지분포  $P_\lambda(1/m^2 \cdot nm)$ 를 갖는 광원을 이용하여 변색 함수  $s_\lambda$ 인 유물에 조명을 실시하려 할 때, 어느 정도의 직산조도를 인가한 경우에 눈에 뜨일 만큼의 변색이 일어나는 지를 예상하는 과정은 다음과 같다. 변색함수  $s_\lambda$ 인 유물을 분광에너지분포  $P_\lambda$ 인 광원으로  $t$ 시간 동안 조사할 때의 색변화  $\Delta E^*_{ab}$ 는

$$\Delta E^*_{ab} = \int_{300nm}^{780nm} s_\lambda(W_\lambda) d\lambda \tag{1}$$

$$= \int_{300nm}^{780nm} s_\lambda(a \cdot W_\lambda \cdot t) d\lambda$$

로 된다<sup>6)</sup>. 여기에서  $a$ 값은 분광에너지분포의 상대적인 값인  $P_\lambda$ 를 특정상황에서의 절대치로 바꾸기 위한 계수이며, 적분구간은 일반적 환경에 존재하는 자외선에서 가시광까지의 영역으로, 필요에 따라 바뀌어질 수도 있다. 이 식에서  $a \cdot t$ 의 값을 바꾸어 가면서 적분에 대입하면  $\Delta E^*_{ab}$ 가 특정 값으로 되는  $a \cdot t$ 를 알 수 있다. 만약  $s_\lambda$ 를  $W_\lambda$ 의 1차 식으로 표현하여  $s_\lambda = C_\lambda W_\lambda$ 로 되면 위 식은

$$\Delta E^*_{ab} = \int_{300nm}^{780nm} C_\lambda(W_\lambda) d\lambda \tag{2}$$

$$= \int_{300nm}^{780nm} C_\lambda \cdot a \cdot P_\lambda \cdot t d\lambda$$

로 되고, a와 t는  $\lambda$ 에 무관하므로 적분 밖으로 빠져 나와

$$\Delta E_{ab}^* = a \cdot t \int_{300\text{nm}}^{780\text{nm}} C_{\lambda} \cdot P_{\lambda} d\lambda \quad (3)$$

로 된다. 따라서 a · t의 값은

$$a \cdot t = \frac{\Delta E_{ab}^*}{\int_{300\text{nm}}^{780\text{nm}} C_{\lambda} \cdot P_{\lambda} d\lambda} \quad (4)$$

로 쉽게 구해진다.

이와 같이 구하여진 a · t를 이용하여,  $\Delta E_{ab}^*$ 가 특정 값으로 될 때까지의 t시간 동안 조명하였을 때 시료에의 적산조도 H는

$$\begin{aligned} H &= E \cdot t \\ &= 683 \cdot a \cdot t \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} P_{\lambda} \cdot V_{\lambda} d\lambda \quad (5) \end{aligned}$$

$V_{\lambda}$ : 비시감도

로 되어, 그 때까지의 H를 알 수 있다. 적산조도 H를 알게되면 박물관 전체의 조도배분 및 다른 전시물과의 차이, 전시하려는 기간, 변색이 일어나는 시기 등을 고려하여 전시기간 t를 적절히 결정한다. 위 식에서 E와 t는 반비례하는 관계에 있어 t를 두 배로 하면 같은 변색이 되는 E 값은 반으로 된다는 것을 알 수 있다.

특정범위의 자외선 및 단파장 가시광선 방사에너지의 누적에 의한 시료의 색변화를 특정 파장 범위의 방사에너지에 대한 함수로 표현한 결과는 그 변화의 양상이 매우 복잡하지만, 이 연구에서는 색변화를 각 파장 범위의 방사에너지에 대하여  $\Delta E_{ab}^* = 1$ 로 되는 변색까지의 측정치들을 이용하여 직선으로 회귀하기로 하였다.  $\Delta E_{ab}^* = 1$ 까지의 측정치를 이용하는 것은, 이 정도의 변색이면 그 변색을 눈으로 관찰할 수 있고, 그 이후에 비직선적으로 변화하는 측정치의 영향을 배제할 수 있기 때문이다. 예를 들어 400(nm)이하의 자외선을 완전히 배제한 빛이 유물에 제공되는 경우에는 400~450(nm)의 단파장 가시광선 부분에 의한 변색이  $\Delta E_{ab}^* = 1$ 까지로 되는 적산조도를 계산하면 되고, 이를 위해서는 이 파장범위에 대한 변색함수를  $\Delta E_{ab}^* = 1$ 까지의 측정치를 이용하여 계산하여 이용하면 되는 것이다.

변색함수를 직선으로 회귀하는 것에는 여러 가지 이유가 있다. 우선 가장 큰 이유는 직선으로 회귀함으로써 물질의 변색을 예측하는 과정이 매우 단순해진다는 것이다. 눈으로 분간할 수 있을 정도의 변색(통상  $\Delta E_{ab}^* = 1$ 로 되는 정도의 변색)을 일으키는 적산조도를 특정 시료와 특정 광원에 대하여 구하려면, 식 (1)을 이용하여  $\Delta E_{ab}^*$ 가 1로 되는 (a×t)의 값을 구하고, 이 때의 적산조도 H를 계산하게 되는 것이다. 문제는 우리가 구하려는 값이 적분의 안에 있는 피적분 함수에 포함되어 있으므로 해석적 방법을 이용하여 (a×t)의 값을 구하기 어렵다는 것이다. 만약 색변화 변색함수  $s_{\lambda}$ 를 파장별 방사에너지  $W_{\lambda}$ 의 1차 식으로 표현한다면, 식 (1)의 적분 안에 포함되어있던 미지항 (a×t)는 식 (3)과 같이 적분의 밖으로 빠져 나올 수 있게 되며, 그 값은 식 (4)로 쉽게 계산된다.

이러한 직선적 회귀방식은 시간에 따른 변색의 정도를 예측하는 정확도 면에서는 떨어지지만, 실제로 빛에 민감한 유물에서  $\Delta E_{ab}^* = 1$ 정도의 눈으로 분간할 수 있을 정도의 변색이 일어나는 것은 시험의 초기 단계로서 이 때의 변색은 방사에너지에 대하여 거의 직선적으로 변화하므로 그다지 문제로 되지 않는다. 또한 이 실험의 목적은 박물관에서 빛에 민감하게 반응하여 변퇴색되는

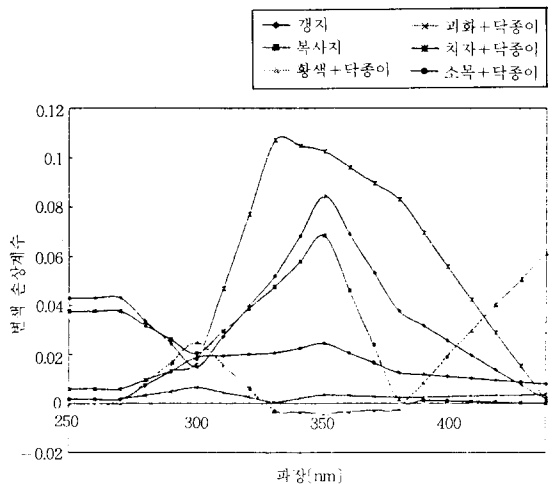


그림 1. 파장에 따른 변색계수  
Fig. 1. Wavelength Dependence of Color Change Coefficients

물질들에 대하여 적산조도의 한계치를 구하는 과정을, 비전문가도 간단하게 수행할 수 있도록 하는 것이며 변퇴색의 시간적 추이를 정밀하게 예측하는 것이 아니므로, 가능한 한 간단하게 계산 과정을 수립할 필요가 있다.

그림 1은 변색함수  $s_t$ 를  $s_t = C_i W_i$ 의 형태로 회귀하고, 그 결과로 계산된 변색계수  $C_i$ 의 값을 파장에 따라 그린 것이다. 이미 앞에서 언급한 바와 같이 이 값들은 Harrison의 변색계수<sup>1)</sup>와 같은 의미를 갖고 있다. 전반적으로 보아 치자로 염색한 다크종이가 가장 민감하여 큰 변색을 보이고, 갱지, 복사지의 순으로 민감한 것을 알 수 있다. 파화로 염색한 다크종이는 가장 변색이 덜하다.

### 3.2 각종 광원에 의한 변색의 예측결과

G. Thomson이 분광에너지분포를 제시한 11가지 광원들<sup>2)</sup>과 새로 개발된 퇴색 방지용 고연색 형광 램프 등 총 12가지 광원에 대하여 각종 시료들의 변색이  $\Delta E^*_{ab} = 1$ 로 될 때까지의 적산조도를 계산하고 그 결과를 표 2에 보였다. 표에 보인 시료들은 시험에 사용한 시료들 중에서 상대적으로 빛에 민감한 것들로서 갱지 및 복사지와 명주, 무명, 다크종이에 식물 염료로 염색한 시료들이다. 표의 가장 오른쪽 열에는 각 시료에 대한 적산조도의 평균치를, 표의 아래 쪽 행에는 각종 광원에 대한 적산조도의 평균치를 보였다. 괄호안의 백분율은 백열전구의 평균 적산조도에 대한 비율이다.

이 표에서 많은 새로운 사실을 확인할 수 있다. 가장 중요한 것은 동일 시료에 대해서도 광원에 따라 변색을 시키는 적산조도에 큰 차이가 있다는 것이다. 예를 들어 복사지의 경우 백열전구 빛 아래에서는 582,000[lx·h]만에 눈에 띄일 정도의 변색이 일어나지만, 할로겐 램프의 빛에 의해서는 단지 204,000[lx·h]만에 변색을 관찰할 수 있다. 이러한 차이는 모든 광원에서 다 있으며, 보통 백열전구가 가장 큰 적산조도에서, 크세논 램프와 메탈헬라이드 램프, 그리고 천공광이 가장 작은 적산조도에서 변색을 일으킨다.

이것은 백열전구가 가시광선에 비하여 400[nm]이하의 자외선을 단지 1.10[%]만 포함하고

있는데 비하여, 크세논 램프는 18.0[%], 메탈헬라이드 램프는 15.4[%], 천공광은 10.5[%]나 포함하고 있기 때문이다.(백열전구의 방사에너지는 대부분 적외선이다. 여기에서는 적외선 에너지를 포함시키지 않았으므로, 백열전구의 자외선 비중이 일반적으로 알려져 있는 비중보다 훨씬 크다.) 단지 예외로 볼 수 있는 것은 일반 형광램프로써 이 광원의 자외선 비중은 1.12[%] 밖에 되지 않아 백열전구와 거의 비슷한 수준이지만 적산조도의 평균치는 백열전구의 60[%] 밖에 되지 않는다. 이것은 이 광원이 404.7[nm]와 435.8[nm]의 수는 공진선에 의하여 400~450[nm] 범위의 단파장 가시광선을 많이 포함하고 있기 때문이다. 삼파장 형광램프는 자외선은 2.82[%], 단파장 가시광선은 백열전구의 3배나 포함하여, 적산조도는 백열전구의 43[%]이다. 단 이 결과는 비교를 위하여 자외선 범위에서의 분광에너지 분포가 알려져 있는 필립스 사의 제품에 대하여 계산한 것으로서 모든 형광 램프가 같은 결과를 보이는 것은 아니다.

새로이 개발된 퇴색방지용 고연색 형광램프는 백열전구보다도 큰 적산조도 값을 보이는 데 자외선과 단파장 가시광이 적어서 특히 복사지에 대한 퇴색이 거의 없기 때문이다. 복사지를 평균에서 제외한 경우의 적산조도 평균치는 551,000[lx·h]로서 이는 백열전구 적산조도 평균치의 84[%]에 달하며, 필립스 삼파장 형광등의 두 배 이상의 성능이다. 특히 국내에서 사용하고 있는 주광색 형광등의 적산조도 202,000[lx·h]에 비해서는 세 배에 가까운 퇴색 방지의 성능을 보인다.

유리는 320[nm] 보다 짧은 파장의 자외선을 잘 흡수하는 특성을 갖고 있다. 따라서 석영유리로 제조되어 320[nm]이하의 자외선을 방출하는 할로겐 전구의 빛을 차단하는 필터로서 사용하는 경우 적산조도를 약 20[%] 가까이 향상시키는 역할을 한다. 그러나 태양광이나 천공광의 경우에는 공기층이 320[nm] 이하의 짧은 자외선을 이미 흡수하여 거의 존재하지 않으므로 유리를 사용하는 것은 거의 효과가 없다. 즉, 박물관의 광원으로서 유리창을 통과한 주광을 사용하는 것

은 유물의 보존에 치명적인 위험을 초래할 수 있다는 것을 알 수 있다.

통상 외국의 박물관 조명기준은 400[nm] 이하의 자외선을 완전히 차단하는 것을 전제로 하고 있다<sup>26, 27)</sup>. 표 2의 마지막 행은 상기 광원들에서 400[nm]이하의 자외선을 완전히 제거하였다는 가정 하에서 눈에 뜨일 만큼의 변색을 일으키는 적산조도를 각 시료에 대하여 계산하고, 그 평균치를 제시한 것이다. 400[nm] 이하의 자외선을 제거할 경우 특히 복사지의 적산조도가 19배 가까이 커지는 양상을 보였다. 이것은 그림 1에서 알 수 있듯이, 복사지의 변색계수는 자외선 영역에서는 큰 값이지만, 단파장 가시광 영역에서는 거의 0에 가까운 값이어서, 가시광선에 의해서는 거의 변색이 되지 않기 때문이다. 이러한 복사지에 관한 계산치가 평균에 포함될 경우에는 그 결과가 왜곡되기 쉬우므로 이 평균치의 계산에는 복사지의 적산조도를 제외하였다.

계산의 결과를 보면, 400[nm] 이하의 자외선을 제거할 경우 여러 시료에 변색을 시키는 각종 광원의 평균 적산조도는 크게 늘어나는 것을 알 수 있다. 주광의 경우는 두배 이상, 형광등은 1.5배 정도, 할로겐 전구는 2.2배, 백열전구는 1.8배, 크세논 램프와 메탈헬라이드 램프는 3배 가량 적산조도가 늘어난다. 다만 퇴색 방지용 고연색 형광램프의 경우는 적산 조도가 줄어드는 데 이것은 이미 이 광원에서 자외선이 제거되어 있고, 평균치의 계산에서 복사지에 대한 적산조도가 빠졌기 때문이다.

이상에서 400[nm]이하의 자외선을 제거하는 것이 유물의 빛에 의한 변색을 방지하는 데 큰 효과를 갖는다는 것을 알 수 있다. 특히 자외선을 많이 포함하고 있는 천공광의 경우 이러한 자외선 제거 과정은 필수적이라 할 수 있다. 그러나 천공광에서 자외선을 제거하더라도, 그 적산조도는 형광램프의 70[%] 이하, 할로겐 전구의 40[%] 이하, 백열전구의 25[%] 이하로서 유물의 보존에는 적합하지 않다.

시험에 사용한 시료들이 어느 정도로 빛에 민감한 것인지를 구분하는 것은 미묘한 문제이다. 일반적인 기준으로 사용되고 있는 ISO 등급 분

류를 위한 Blue Wool 표준 카드에 대해서도 이의 변퇴색을 일으키는 적산조도의 양은 광원의 종류, 자외선의 비율, 습도 등의 영향을 받으므로 명확하지 않다. 여기서 해결책으로 생각할 수 있는 것은 변색이 일어나는 적산조도의 수치는 일반적으로 사용되는 Feller의 구분<sup>4)</sup>을 사용하되 광원으로는 현재 박물관에서 일반적으로 사용되고 있거나 앞으로 사용하려고 하는 주 광원을 선정하여 이를 기준으로 계산하는 것이다. Feller의 ISO 등급별 적산조도 허용치를 표 3에 보였다.

이에 따라 새로 개발된 퇴색방지용 형광등을 기준으로 한 경우 표 2에 제시된 대부분의 시료는 ISO 1등급, 또는 이보다도 더 민감한 종류에 속하며, 무명에 염색한 괴화와 소목은 ISO 2등급, 그리고 복사지만이 ISO 4등급 정도이다. 황백과 치자로 물들인 천과 닥종이 시료, 갱지 시료들은 모든 종류의 광원에 대하여 극히 민감하게 반응하여 변색된다. 이러한 시료들의 적산조도는 100,000[lx·h]정도의 수준으로서 이러한 시료들에 대해 50[lx]의 조도로서 하루 8시간씩 조명하면 1년 이내에 변색을 관찰할 수 있는 수준이 된다.

물론 이 표에 보이지 않은 다른 시료들은 이보다 훨씬 높은 내광성을 갖는 것이 많다. 단기간의 실험으로 명확히 예측하는 것은 어렵지만, 염색을 실시하지 않은 닥종이, 무명, 명주 등과 먹칠한 닥종이 등은 ISO 4등급 이상의 내광성을 가질 것으로 추측된다. 이 시료들에 대해서는 보다 장기적인 시험이 요구되며, 앞서 설명한 시험장치를 이용할 경우 1년 이상이 필요하다. 연구진은 시험 장치를 개선하여 광원과 시료 사이의 거리를 가깝게 하고, 보다 정밀한 물채색 측정장치를 사용하여 내광성이 큰 시료들에 대한 변퇴색 시험을 계속할 예정이다.

표 3. 노출 구분

Table 3. Exposure Categories

(단위 : Mlux-Hour)

ISO단계	1	2	3	4	5	6	7	8
변색시간	0.4	1.2	3.6	10	32	100	300	900
Feller의 분류	Fugitive(C)			Intermediate(B)			Excellent(A)	

표 2. 시료에 눈에 띄이는 변색이 일어나는 각종 광원들의 적산조도(Lux-Hour)

Table 2. Illuminance-hours for the artifacts with noticeable color change by various light sources (in Lux-Hour)

시료의 종류	백열 전구	할로젠 전구	유리물 통과한 할로젠 전구 빛	삼파장 형광램프	일반 형광램프	천공광	유리물 통과한 천공광	태양광 + 천공광	유리물 통과한 태양광+천공광	크세논 램프	메탈헬라이드 램프	퇴색 방지용 고연색 형광램프	평균
황백+명주	106,000	64,400	65,400	34,000	37,800	24,400	25,000	31,600	32,300	24,600	23,200	43,500	427,000
황백+무명	164,000	99,200	101,000	51,800	57,500	37,900	38,900	48,900	50,100	37,600	35,900	65,900	64,700
치자+명주	242,000	87,800	146,000	153,000	219,000	36,300	48,400	54,300	69,200	15,700	24,700	430,000	127,000
치자+무명	142,000	58,100	85,400	65,900	94,800	21,100	27,700	31,400	39,700	11,300	16,100	149,000	62,000
괴화+명주	167,000	88,900	91,900	134,000	146,000	31,000	32,300	43,600	45,000	26,000	25,800	289,000	93,400
괴화+무명	2,710,000	1,340,000	1,550,000	1,140,000	1,440,000	476,000	529,000	673,000	736,000	343,000	393,000	2,020,000	1,120,000
소목+명주	756,000	420,000	462,000	311,000	352,000	149,000	169,000	205,000	226,000	126,000	133,000	440,000	312,000
소목+무명	1,860,000	870,000	1,030,000	768,000	1,010,000	303,000	346,000	441,000	495,000	204,000	247,000	1,660,000	770,000
쟁지	203,000	90,900	116,000	122,000	195,000	28,700	36,600	43,400	53,700	19,400	23,300	485,000	118,000
복사지	582,000	204,000	354,000	283,000	778,000	60,600	96,800	97,900	151,000	33,600	47,300	9,980,000	1,060,000
황백+탁종이	153,000	90,700	95,400	47,000	52,500	35,400	36,700	45,700	47,100	32,700	32,900	59,700	60,800
괴화+탁종이	1,540,000	789,000	917,000	598,000	705,000	298,000	329,000	410,000	444,000	211,000	246,000	893,000	615,000
치자+탁종이	110,000	52,000	63,300	72,800	106,000	16,200	20,600	24,300	29,800	11,900	13,400	252,000	64,400
소목+탁종이	417,000	200,000	248,000	193,000	253,000	67,500	83,600	98,300	118,000	47,200	55,100	370,000	179,000
평균	654,000 (100%)	318,000 (49%)	380,000 (58%)	284,000 (43%)	389,000 (60%)	113,000 (17%)	130,000 (20%)	161,000 (25%)	181,000 (28%)	81,700 (13%)	94,100 (14%)	1,220,000 (187%)	362,000 (55%)
400[nm] 이하의 자외선을 제거한 경우의 평균	1,170,000 (179%)	714,000 (109%)	718,000 (110%)	414,000 (63%)	440,000 (67%)	261,000 (40%)	266,000 (41%)	338,000 (52%)	343,000 (52%)	277,000 (42%)	253,000 (39%)	551,000 (84%)	479,000 (73%)

주: 백열전구: CIE Source A. 색온도 2,854[K]

할로젠전구: 12[V] 100[W]. 색온도 3,360[K]

유리물 통과한 할로젠전구 빛: 두께 6[mm]의 판유리를 통과한 경우.

삼파장 형광램프: 필립스 84. 색온도 3,900[K]

일반 형광램프: 할로포스페이트 형광물질을 사용한 필립스 94. 색온도 3,800[K]

천공광: 색온도 6,500[K]의 천공광

유리물 통과한 천공광: 6[mm]의 판유리 통과

태양광+천공광: 색온도 5,500[K]

유리물 통과한 태양광+천공광: 6[mm]의 판유리 통과

크세논램프: 소형 250[W] 또는 500[W] 크세논램프로써 자외선 양이 매우 많으므로 크세논 플래쉬를 사용한 사진

촬영 회수를 제한하는 이유를 알 수 있다. 상관색온도 약 5,500[K]

메탈헬라이드램프: 오스램 HQI/L 250[W]. 색온도 5,200[K].

#### 4. 자외선에 의한 변색을 고려한 조명지침의 구성

위와 같은 시험 결과와 분석을 이용하여 국내의 박물관에서 적용할 수 있는 조명기준을 만들기 위해서는 다음과 같은 사항들을 결정하여야 한다.

— 유물을 몇 단계로 분류하고, 각 단계에는 어느 정도의 내광성이 있는 유물을 포함시킬 것인가?

— 각 단계에서 눈에 뜨일 정도의 변색이 일어나는 적산조도는 어떤 유물을 기준으로 할 것인가?

— 어느 정도의 기간 이후에 변색이 일어나는 것을 용납할 것인가?

— 연간 전시시간과 조도의 제한치는 어떻게 구성할 것인가?

— 특정 유물이 어떤 단계에 속하는지 어떻게 구분할 수 있도록 할 것인가?

위와 같은 사항들을 결정하기 위해서는 실험과 측정의 결과를 분석하고, 기존의 연구 결과를 참조하는 것과 더불어 다른 박물관의 정책과 비교하고, 국내 박물관의 현실을 반영하는 등의 많은 배려가 필요하다. 따라서 박물관에서의 조명정책 결정을 위해서는 보존 전문가, 조명 전문가와 학예관, 정책 결정자 등 관련자들이 연석 회의를 갖고 관련된 정책적, 과학적 사항들에 대한 충분한 토론과 이해를 가진 후에 결정하여야 할 것이다.

유물을 빛에 민감한 정도에 따라 분류하면 매우 여러 단계를 만들 수 있고, 국제 표준기구에서도 여덟 등급으로 분류하고 있다<sup>8)</sup>. 그러나 실제 조명을 실시하는 입장에서 각 유물에 적합한 조도 및 전시시간의 제한을 설정하려고 한다면 너무 많은 단계로의 구분은 적용하기 어렵다. 즉, 분류한 각각의 단계에 대하여 적산조도의 한계를 설정하고 이를 지키기 위한 조도 및 전시 제한 시간을 단계마다 개별적으로 결정하여야 하므로, 이러한 단계를 너무 많이 만드는 것은 조명 설계 및 시공상의 어려움을 초래할 뿐만 아니라, 관리도 거의 불가능하다. 따라서 ICOM 및 각국의 박

물관 조명기준은 예외 없이 빛에 매우 민감한 것, 빛에 비교적 민감한 것, 빛에 민감하지 않은 것의 세 단계 분류를 시행하고 있다.<sup>9)</sup>

이러한 세 단계의 분류를 받아들이면 각 단계에는 어느 정도의 내광성이 있는 유물을 포함시켜야 할 것인지를 결정해야 한다. 우선 유물의 내광성에 대한 분류로는 ISO의 등급을 이용하는 것이 바람직 한 것으로 생각된다. 이것은 표준화된 등급분류를 이용함으로써 조명 정책 및 변색에 대한 이론적 근거를 제시할 수 있음과 동시에, 여러 가지 물질들의 내광성에 대한 기존의 연구 성과들을 이용할 수 있기 때문이다.

ISO의 여덟 등급이 어느 정도의 적산조도에서 눈에 뜨일 만큼의 변색이 일어날 지는 표 3의 수치를 기준으로 한다. 이 여덟 등급을 세 단계로 분류하는 것은 대부분의 박물관 기준에서 Feller의 분류를 따르고 있다. 표 3에 의하면 ISO 3등급 이하는 매우 민감한 것으로, 4등급에서 6등급까지는 비교적 민감한 것으로, 7등급 이상은 민감하지 않은 것으로 분류되어 있다. 이것은 3등급과 4등급, 그리고 6등급과 7등급 사이의 적산조도 차이가 상당히 크기 때문에 비교적 자연스러운 분류라고 할 수 있다.

각 단계에 속하는 ISO의 등급들 중에서 어느 등급을 조명의 기준으로 삼을 것인지를 결정하여야 한다. 유물의 보존을 위해서는 각 등급 중에서 가장 빛에 민감한 것을 선정하는 것이 바람직하다. 비교적 민감한 등급과 민감하지 않은 등급에서는 각각 ISO 4등급 및 7등급이며 이를 기준으로 하고 있는 데 각국의 기준이 예외가 없다. 표 1에서 적산조도가 제시된 미국 IESNA의 기준, 영국 CIBSE의 기준, 캐나다 MMFA의 기준은 모두 이 등급들을 기준으로 한다.

비교적 민감한 단계에 대하여 IESNA 기준은 연간 적산조도  $500,000(\text{lx} \cdot \text{h})$ , CIBSE 기준은 연간 적산조도  $600,000(\text{lx} \cdot \text{h})$ 를 추천하고 있으며, 모두 20년 후의 변색을 기준으로 하고 있으므로 총 적산조도는 각각  $10(\text{Mlx} \cdot \text{h})$ ,  $12(\text{Mlx} \cdot \text{h})$ 로 되어 ISO 4등급과 일치한다. MMFA의 기준은 연  $42,000(\text{lx} \cdot \text{h})$ 로서 250년 후의 변색을 기준으로 하여 역시 ISO 4등급이 기준이다. 민감하지 않은



단계에 대해서는 IESNA와 CIBSE의 기준이 별도의 조도제한을 가지지 않고 주위의 조명여건, 순응, 온도 상승을 고려하여 결정하도록 하고 있는데 비하여, MMFA는 ISO 7등급을 기준으로 하여 연 84,000[lx·h], 3500년 후의 변색을 기준으로 하고 있다.

그러나 매우 민감한 단계에 대해서는 IESNA의 기준이 연 54,000[lx·h], 20년 후의 변색이며, MMFA의 기준은 연 12,000[lx·h], 100년 후의 변색으로서 총 적산조도 1.2[Mlx·h]인 ISO 2등급을 적산조도 선정의 기준으로 하고 있다. 이것은 ISO 1등급을 기준으로 할 경우에는 총 적산조도가 0.4[Mlx·h]에 불과하여 실질적인 조명과 전시가 거의 불가능하게 되기 때문이다. CIBSE의 기준은 연 150,000[lx·h]로서 연간 적산조도가 IESNA 기준의 3배나 되며, 20년 후의 변색을 기준으로 하면 총 3[Mlx·h]로 되므로 이는 ISO 3등급에 가까운 값이다.

여기에서 매우 민감한 단계에 대하여 ISO의 어떤 등급을 기준으로 할 것인지에 대하여 살펴볼 필요가 있다. 각 등급을 기준으로 택하는 경우의 적산조도, 연간 전시가능시간, 보존 년수 등을 표 4에 보였다. 조도는 50[lx]로 하고, 보존이 가능한 년수는 20년이상으로 하였으며, 연 2,400시간(8시간×300일)이 최대 전시시간이다. ISO 1등급은 50[lx]의 조도를 유지하고 20년 후의 변색을 예상한다면 연 400시간 이내의 전시만이 가능하다. 이는 2등급이나 3등급에 속하는 유물에 대해서는 지나친 제한으로서 유물의 전시에 부적합하다.

반대로 3등급을 기준으로 하면 3.6[Mlx·h]의 적산조도가 주어지므로, 50[lx]의 조도로서 연 2,400시간의 전시가 30년 동안 가능하지만 낮은 등급의 유물에 대한 보존은 보장할 수 없다. 2등급을 기준으로 하면 연간 전시시간은 1,200시간으로 제한되어 연 150일의 전시가 가능하다. 또한 적산조도가 3등급의 1/3 정도로서 매우 민감한 등급에 속하는 대부분의 유물에 대하여 보존의 문제가 없다. 다만 전시 가능한 유물이 제한되거나 전시에의 요구가 큰 유물의 경우에는 연 150일의 전시가 어려운 문제로 대두될 수 있다. 이

에 대해서는 관련 전문가들의 질총과 기술적 개발, 정책적인 배려가 필요하다.

2등급을 기준으로 할 경우 1등급이나 그보다 더 민감한 종류로 분류되는 유물에 대한 보존의 문제가 발생한다. 실제로 이 정도로 민감한 유물들은 박물관에 수장되기 이전에 상당한 변색이 일어나버린 경우가 많으며, 또한 어떠한 빛에의 노출이력을 겪어왔는지도 알 수 없는 경우가 많다. 이러한 유물에 대해서는 그 하나 하나에 대하여 개별적 기준을 마련하고 별도로 관리하는 것이 바람직하다. 이 과정은 매우 복잡하지만 다행히도 이 정도로 민감한 유물의 개수는 비교적 적다.<sup>4)</sup>

표 4. 매우 민감한 단계에 대한 조명기준의 선택  
Table 4. Possible Lighting Standards for Most Sensitive Categories

ISO 등급	변색이 관찰되는 적산조도	조도	연간 전시 시간	연간 적산 조도	변색이 일어나는 시간
1	0.4[Mlx·h]	50[lx]	400시간	20,000[lx·h]	20년 후
2	1.2[Mlx·h]	50[lx]	1,200시간	60,000[lx·h]	20년 후
3	3.6[Mlx·h]	50[lx]	2,400시간	120,000[lx·h]	30년 후

비교적 민감한 단계에 대해서는 ISO 4등급의 10[Mlx·h]를 기준으로 하되, 조도 및 전시시간의 선정 방법에 따라 여러 가지 형태로 만들어질 수 있다. 즉,

IESNA 기준—220[lx]—하루 8시간, 연 300일—연 500,000[lx·h]—20년—총 10[Mlx·h]

CIBSE 기준—200[lx]—주 60시간, 연 50주—연 600,000[lx·h]—20년—총 12[Mlx·h]

MMFA 기준—100[lx]—주 42시간, 연 10주—연 42,000[lx·h]—250년—총 10[Mlx·h]

와 같이 차이가 있다. 특히 MMFA의 기준은 조도를 대단히 낮추어서 낮은 단계와의 조도 차이를 줄이고, 연간 전시시간도 크게 제한하여 변색이 일어나기까지의 기간을 늘인 것이 특징이다.

IESNA와 CIBSE의 기준은 조도를 200[lx]로 하고 있어, 매우 민감한 유물에 제공하는 50[lx]의 조도와는 상당한 차이가 있다. 이러한 조도의 차이는 관람자가 유물을 보면서 이동하는 과정에서 순응의 어려움이 생기는 원인이 되며, 조명

설계 과정에서도 어려움이 있다. 50[lx]의 조도는 관람객의 편의를 위하여 결정된 것이 아니라, 보존의 차원에서 관객이 볼 수 있는 최소 조도로 결정된 것이므로 안락한 관람 환경과는 거리가 있다. 이 조도 값에 대해서는 최근 너무 낮다는 논란이 있으며, 특히 연장자의 관람에는 나쁘다는 불만이 제기되어 왔다. 이러한 상황을 고려하여 볼 때, 매우 민감한 유물과 비교적 민감한 유물이 함께 전시되는 장소에서는 유물들에 제공되는 조도의 차이를 줄이면서 전시시간을 줄이는 방향으로 하고, 두 단계의 유물이 분리되어 독립된 방, 또는 구획에 전시되는 경우에는 전시시간을 늘이고 조도의 차이를 주는 방향으로 설계할 수 있을 것이다.

따라서 이 단계의 유물에 제공하는 조도는 종래의 200[lx] 대신에 이 보다 낮은 값을 선정하여야 할 것이다. 일반적으로 조도의 변화는 크지 않을수록 좋으나, 통상적으로 3:1 정도의 변화는 용인되어있다. 따라서 이 단계에의 조도를 150[lx]로 하면 연 2,400시간의 전시시간에 대하여 28년간의 보존이 가능한 계산이 된다.

민감하지 않은 단계의 유물은 내광성이 크므로 별도의 조도제한은 거의 필요하지 않다. 즉 ISO 7등급은 300[Mlx·h]의 적산조도에서 변색되며, 20년 후의 변색이라면 연 2,400시간 동안 6,000[lx]이상의 조도도 가능하다. 따라서 이러한 종류의 유물에 대해서는 변퇴색에 대한 고려보다는 주변의 조명 상황, 다른 유물과의 조도 차이에 의한 순응관계, 조명에 의한 온도 상승의 문제 등을 고려하여야 한다.

위와 같은 유물의 분류에 대하여 실제 각 유물이 어느 단계에 속하는지에 대해서는 비교적 많은 연구가 수행되어있다. 캐나다 MMFA의 유물 분류가 참조로 될 것이다. 그러나 한국 고유의 유물에 대해서는 장기적 실험과 측정이 요구되며, 앞으로의 과제이다. 이러한 유물분류 목록은 박물관이 존재하는 한 계속 보완되어야 할 것이다.

이와 같은 과정을 거쳐 만들어진 국내 박물관에서의 조명지침을 표 5에 보였다. 이 지침은 박물관에 수장하고 있는 유물의 전시와 관련하여,

조명에 의한 유물의 변색을 방지함과 동시에, 관람객이 전시된 유물을 안락하게 관람할 수 있는 조명 환경을 만들 수 있도록 한 것이다. 이 지침에 의한 조명을 실시할 때에는 지침을 만드는 데 바탕이 되는 이론적 배경을 이해함으로써 여기에서 규제되고 있는 사항들의 타당성에 대한 확신을 가질 수 있으며, 반대로 지침을 준수함으로써 인하여 지나치게 억제되고 불편한 조명환경이 형성되는 것을 막을 수 있는 변경의 여유를 가질 수도 있다.

표 5. 제안된 우리나라 박물관의 조명기준  
Table 5. Proposed Lighting Standard for Korean Museum

등급	특 성	유물의 종류	변색이 일어나는 적산조도	변색이 일어나기까지의 시간	추천 조도	연간허용 적산조도	연간 전시허용 시간
1	빛에 매우 민감한 유물	ISO 1, 2, 3등급	1,200,000lx·h (ISO 2등급 기준)	20년	50[lx]	60,000 [lx·h]	1일 8시간 150일
2	빛에 비교적 민감한 유물	ISO 4, 5, 6등급	10,000,000lx·h (ISO 4등급 기준)	28년	150[lx]	360,000 [lx·h]	1일 8시간 300일
3	빛에 거의 민감하지 않은 유물	ISO 7, 8등급 그 이상	300,000,000lx·h (ISO 7등급 기준)	-	450[lx] 이하	-	-

## 5. 결 론

박물관에서는 조명에 의한 전시물의 손상을 최소화하고 관람객이 유물을 관찰하는데 불편을 느끼지 않도록 고려한 적절한 조명 기준이 요구된다. 이러한 기준은 단지 한 개 밖에 존재하지 않는 유물을 보존하면서, 유물의 공개와 전시를 통하여 사회를 교육하고 문화의 독자성을 알리는 박물관의 일면 상충되는 두 가지 목적을 동시에 달성하기 위해서는 필연적인 것이다.

이러한 기준을 작성하기 위해서 현재 각국에서 사용하고 있는 박물관 조명에서의 추천치를 분석하였다. 또한 우리나라 고유의 유물에 대한 변색 시험의 결과를 이용하여, 각종 광원에 의한 변색이 일어나는 적산조도를 계산하고 ISO 등급에 따른 분류를 수행하였다.

이러한 자료를 바탕으로 하여, 조명기준을 만드는 데에 필요한 여러 가지 고려사항들을 제시하였다. 이 고려사항들에는 유물의 변색을 고려한 기술적 사항 외에도, 박물관의 전시 정책이나 유물의 보존에 대한 사회적 요구 등이 포함되며, 이러한 사항들에 대하여 선택할 수 있는 여러 옵션들을 제시하고 이들의 장단점에 대한 논의를 통하여 적절한 결론을 내리는 과정을 서술하였다. 이러한 과정을 통하여 최종적으로 결정되어 국내의 박물관에 적용할 수 있는 조명기준을 제시하였다.

참 고 문 헌

- 1) 神庭信幸, "博物館展示照明が色材料に及ぼす作用効果", 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.
- 5) 登石健三, 外 3人, "文化財保存科學の原理", 1990.
- 6) 森田恒之, "博物館の展示照明と微氣象變化", 照明學會誌, 1990, Vol. 74, No. 4, pp. 220~202.
- 7) Department of Conservation, "Environmental Policy for the Preservation of the Collections in the British Museum", 1993, The British Museum.
- 8) A.J. Henderson, F.F. LaGusa, T.K. McGowan, "Dye Fading", Lighting Design and Applications, 1991, Vol. 21, No. 5, pp. 16~25.
- 9) 三浦定俊, 佐野千繪, "保存環境の考え方", 設備と管理, 1995, Feb., pp. 35~39.
- 10) 日本照明器具工業會 技術委員會, "集光形の照明器具の被照射面溫度に關する表示", 1985, 日本照明器具工業會, 東京.
- 11) 한국산업규격, "KS A 3011-1993, 조도기준", 1993, 한국표준협회, 서울.

- 12) K. M. Colby, "A Suggested Exhibition/Exposure Policy for Works of Art on Paper", <http://www.webcom.com/lightsr/policy>, Feb., 1996.
- 13) 김홍범, "광방사 에너지에 의한 선상을 고려한 박물관 전시조명 설계기준 설정에 관한 연구", 고려대학교 산업대학원 석사학위논문, 1993.
- 14) CIBSE, "LG8: Lighting for museums and art galleries", 1994, CIBSE, London.

◆ 著 者 紹 介 ◆



김 홍 범(金弘範)

1954년 5월 25일생. 1978년 서울대 공대공업교육과 전기전공 졸업. 1994년 고려대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 문화체육부 국립중앙박물관 전기사무관.



김 훈(金 燾)

1958년 8월 6일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 대학원 전기공학과(석사). 1988년 서울대 대학원 전기공학과(박사). 1993년 호주국립대학방문교수. 현재 강원대 공대 전기공학과 부교수, 당학회 편수이사.



권 세 혁(權世熾)

1949년 5월 4일생. 1974년 서울대 공대 공업교육과 전기전공 졸업. 1976년 서울대 교육대학원 공업교육과 졸업(교육학 석사). 1980년 미국 Iowa 주립대 전기공학과 졸업(석사). 1984년 미국 Iowa주립대 전기공학과 졸업(박사). '76~'78년 홍익공전 전임강사. 충남대 전기공학과 강사. 현재 고려대 공대 전기공학과 교수.