

## 촉진열화실험에 따른 목재 부재의 재색 특성 분석

김 광 철<sup>†,1</sup>, 박 천 영<sup>2</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 주거환경학과, <sup>2</sup>목재문화진흥회

### Analysis of Surface Color Characteristics of Wood in Accelerated Weathering Test

Gwang-Chul Kim<sup>†,1</sup>, Chun-Young Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Housing Environmental Design, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

<sup>2</sup>Korea Association of Wood Culture, Seoul 137-180, Korea

**Abstract:** This study was carried out to analyze the surface color change according to the weathering time. The surface color of material was one of evaluation indexes in exposure experiment. For the purpose, accelerated weathering test was performed with wood. The weathering time level was composed with 0, 500, 1000, 1500 and 2000 hours and color difference was estimated with the color difference meter. The surface color was changed to 500 hours that lightness and redness were decreased and yellowness was increased. However it did not changed after 500 hours. It means that the surface color could be the evaluation index of deterioration of the wood but it means very little after certain time.

*Keywords:* Accelerated weathering test, Color characteristics, Color difference

## 1. 서 론

외부에 노출된 목재는 햇빛과 비에 의해 자외선과 수분에 노출되어 표면으로부터의 열화가 발생한다. 우리나라의 경우 사계절이 뚜렷하고 일교차가 심하여 노출된 목재가 급속한 열화가 진행되는 조건을 가지고 있다. 특히 목조 문화재의 경우 기둥 등의 구조 부재가 외부에 노출됨으로 발생한 열화가 구조에 영향을 미칠 수 있으므로 보다 심각한 문제를 야기할 수 있다. 본 연구는 외기에 노출된 목재의 기상 열화를 평가하기 위해 촉진열화실험을 모의하여 재색 변화가 기상 열화의 지표가 될 수 있는지를 분석하였다.

2015년 6월 17일 접수; 2015년 7월 17일 수정; 2015년 7월 20일 게재확정

<sup>†</sup> 교신저자 : 김 광 철 (gckim@jbnu.ac.kr)

Kalnins 등(1993)은 일반적으로 외기에 노출된 목재는 자외선과 수분에 의해 열화가 진행되는데 이는 자외선에 의해 세포벽 내 리그닌이 분해되어 셀룰로오스 사이의 접착력을 떨어뜨려 물에 쉽게 씻겨나가도록 하기 때문이라고 보고하였다. 야외 폭로된 목재의 열화에 의한 재색 변화는 일정 시간이 경과되면 더 이상 전개되지 않는다(Yata 등 1995). 그러나, 외기 조건을 노출시켜 목재의 열화를 평가하기에는 오랜 시간과 노력이 필요하며, 이를 산업이나 문화재 보존 등의 지표로 사용하기에는 무리가 있다. 따라서 다양한 인공의 촉진 열화를 통하여 이를 평가하고 있다. 강 등(2002)은 유럽산 시트카스프루스(*Picea sitchensis*)에 대하여 10시간과 20시간 촉진 열화시켜 색상변화를 관찰하였으나 통계적으로 유의미하지는 않지만 명도가 감소하고 황색도가 증가하는 결과를 얻었다. 이



Fig. 1. Machine for Accelerated Weathering Test.

후에도 국내산 소나무(김광철 2012), 산벚나무(강 등 2003) 등 여러 수종에 대해 목재 열화가 흡습성이나 조직 변화, 구조 성능 등에 미치는 영향을 평가하기 위해 축진 열화 실험이 진행되어 왔으나, 실험 기기의 제한이나 열화 시간의 부족 등으로 열화의 평가 지표를 구축하는데 어려움이 있었다. KS, ISO, ASTM 등 주요 평가 규격에서 폭로된 시험편의 평가 지표로 색차나 광택도, 외관 변화 등 가시적인 수단을 주요 수단으로 사용하고 있다. 정 등(2002)은 이러한 평가 규격에 근거하여 옥외에 노출된 재료들에 대하여 일본과 국내 옥외 시험장에 동시에 폭로하여 기상 인자와 주변 환경에 따른 시험편의 변화를 상호 비교하고, 인공축진내후시험을 진행하여 옥외 시험간의 상관관계를 관찰하여 국내 6개 지역의 2년 동안 옥외 폭로한 시험편의 경우 800~2,000시간의 축진내후성과의 상관관계를 나타내었다고 보고하였다.

본 논문에서는 목조 문화재의 구조 부재의 재색과 열화의 상관관계를 규명하기 위해 고건축에서 많이 사용되는 느티나무의 축진 열화에 따른 재색 변화를 분석하였다. 이를 위해 기존 축진열화실험 장비를 재구성하고 선행 연구에서 제시한 2,000까지 목재의 축진 열화를 진행하여 재색 변화를 육안 조사와 색차 평가를 통해 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 재료

본 연구에서 사용한 목재의 수종은 목조 문화재의 건축부재로 주로 사용되는 수종 중에 하나인 느티나무(*Zelkova Serrata Makino*)이며, 치수는 30 mm × 30 mm × 500 mm이다. 축진 열화 시험을 위해 각 열화 단계별(0, 500, 1000, 1500, 2000시간)로 40개 총 200개의 시편을 사용하였다. 기본 물성을 확

인하기 위하여 임의로 20개 시편을 채취하였으며, 전건 비중은 0.63 (표준편차 0.07), 함수율은 12% (표준편차 3%)이다.

## 2.2. 실험 방법

### 2.2.1. 축진열화실험

목재의 축진 열화 시험은 일반적으로 마루판 등에 사용되는 판재의 내구성을 평가하기 위해 이루어진다. 그러나 본 실험에서는 동일 조건에서 4단계의 열화를 평가하기 위한 별도의 축진열화시험 장치를 구성하여 사용하였다(Fig. 1). 기존 문헌 자료를 기초로 일반적인 Xenon weather-O-meter 방식(Model : Model LCE-6101T, Labtech)을 기본 모델로 하여 동일한 조건을 조절할 수 있도록 구축하였다. 자외선 램프로는 BL lamp (Black Light lamp 조사량 : 340 nm 파장에서 0.35 w/m<sup>2</sup>)를 사용하였고, 챔버 내 온도 42도, 상대 습도 70%로 유지하도록 하였다. 120분간 자외선 조사(Light segment)와 18분간 인공 강우(Spray segment)를 1 cycle로 하는 축진 열화 시험을 실시하였다. 열화 시간은 정 등(2002)의 연구 결과를 바탕으로 하여 0, 500, 1000, 1500, 2000시간으로 설정하였다.

### 2.2.2. 육안적 변화 평가

축진 열화 실험을 통해 얻어진 모든 시편에 대하여 육안적인 방법으로 할렬, 웅이 이탈, 재색 변화 등을 평가하였다. 이는 현장에서 1차적으로 부재 상태를 파악하는 수단이며, 이후 색차계를 통하여 보다 객관적인 변화를 조사하였다.

### 2.2.3. 색도 변화 평가

색도는 육안적인 재색 관찰을 객관적이고 과학적인 수치로 평가할 수 있는 기법이다. 특히 목재의 축

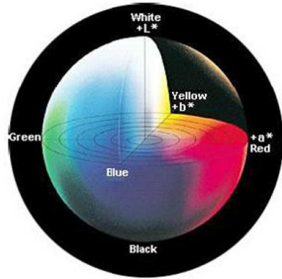


Fig. 2. Color Difference Meter (Minolta, JP/CM-2600d).

진 열화 정도를 판단하는 근거로 대부분의 연구에서 색차 변화를 사용하였으므로 본 연구에서도 육안 관찰에 의한 색도를 물리적 수치로 평가함으로써 객관적 판단의 근거를 마련하고자 하였다. 색도의 변화는 색차계 JP/CM-2600d를 사용하여 시편 당 세 지점의 백색도(L), 적색도(a), 황색도(b)를 측정하여 평균하였다. 여기서 L과 a, b는 Fig. 2와 같은 의미를 갖는다. 즉 L이 감소하면 어두워지고, a가 감소하면 청색에 가까워지며, b가 증가하면 노란색에 근접해진다 (Fig. 2).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 육안적 변화 평가

축진 열화의 주요 인자는 자외선과 수분이다. 자외선에 의해 리그닌이 분해되고, 인공 강우에 따른 수분에 의해 분해된 리그닌이 목재로부터 용출되어 셀룰로오스간 접착력이 감소되게 되는 것이다. 육안 관찰(Fig. 3)을 통해 추출물 등이 수분에 의해 외부로 흘러내린 흔적을 확인하고, 재색이 노란빛으로 변하는 것을 알 수 있었다. 그러나 초기 500시간 열화까지는 육안적 차이의 확인이 가능하였으나 이후에는 불가능하였다. 즉 초기 열화는 육안 확인이 가능하지만 일정 시간 이후에는 거의 변화를 관찰할 수 없었



0 hour



1,500 hour

Fig. 3. Visual Identification for Wood Specimen in Weathering time.

다. 또한 할렐이나 웅이 빠짐 등의 물리적 변화는 관찰되지 않았지만, 이는 시험편이 실대재가 아니며 주기적으로 인공 강우로 할렐을 발생하기 위한 건조 응력이 충분히 발생할 수 없기 때문인 것으로 판단된다.

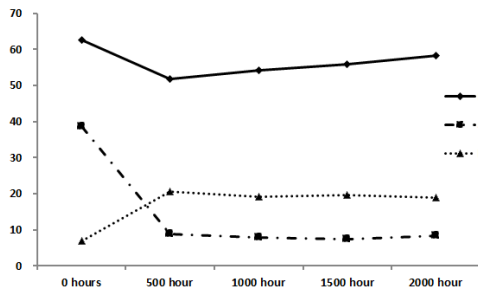
#### 3.2. 색도 변화 평가

색도 평가 결과는 Fig. 4와 같다. 500시간까지는 L과 a는 감소하고 b는 증가하며, 이후 L값의 경우 다소 회복되며, a와 b는 거의 변화하지 않는 것을 알 수 있다. 특히 a의 감소폭이 b의 증가폭에 비해 매우 크게 관찰되면 이는 육안 관찰과 비교하면 목재의 재색은 거의 노란색 계열로 고정되는 것으로 확인할 수 있다(황색도). 목조 문화재의 노출된 목재 부재는 시공 초기에 재색 변화가 이루어지며, 일정 시간이 경과되면 더 이상 변화되지 않는 것을 의미한다. 특히 과거 연구에서 목재 부재의 열화를 판단하는 기준으로 삼은 재색 변화의 경우 초기에는 의미가 있으나 일정 시간 이후에는 무의미함을 나타낸다. 목재의 열화는 구조적 성능에 큰 영향을 미치지만, 색도를 통해 열화를 평가하고 구조적 성능과 연계하기에는 무리가 있음을 알 수 있다. 따라서 목재의 열화, 특히 고 건축물의 목재 부재의 열화를 판단하는 지표에 있어서 재색 변화는 큰 의미가 없으며, 초음파 전달 속도 등 다른 인자에 대한 검토와 도입이 필요하다.

**Table 1.** Color Difference (L, a, b)

	0 hours	500 hours	1000 hours	1500 hours	2000 hours
L (lightness)	62.70 (5.05)*	51.71 (4.87)	54.26 (4.06)	55.79 (4.20)	58.36 (3.40)
a (Redness)	38.71 (4.24)	8.81 (2.19)	7.94 (0.87)	7.39 (1.12)	8.28 (1.25)
b (Yellowness)	6.98 (3.44)	20.59 (3.24)	19.12 (2.07)	19.58 (1.61)	18.98 (2.94)

\* : Standard deviation



**Fig. 4.** Color difference on Weathering times.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 촉진 열화 실험에 따라 목재가 자외선과 수분에 노출됨에 따른 재색 변화 특성을 분석하였다. 분석 결과 목재의 재색은 초기 급격이 변화되고 물리적 변화는 거의 발생하지 않음을 확인하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 촉진열화에 따른 목재의 재색 변화는 초기 500 시간 이내 이루어지며, 이후에는 거의 변화가 없으므로, 열화 평가 인자로 사용하기에는 무리가 있다.
- 2) 명도를 나타내는 L값은 시간이 경과되면 회복된다.
- 3) 촉진 열화에 따라 a값과 b값은 500시간 이후 일정하게 유지된다.

일반적으로 목재가 자외선에 노출되면 색이 바래는 것으로 알려져 있지만 이는 목재가 노출된 초기에 발생하는 것으로 장기적 관점에서 재색과 열화와의 관계는 크지 않음을 알 수 있다. 다만 초기 재색 변화가 급격하게 발생함을 통해 해당 부재의 일부 초기 재료 정보의 획득은 가능할 것으로 판단된다.

목재의 재색 특성은 부재를 1차적으로 판단할 수

있는 요소이고, 재료의 열화 평가기준으로 KS나 ISO, ASTM 등에 많이 사용된다. 그러나 본 연구 결과 목재의 경우 열화에 기인한 재색의 변화는 초기에 국한되므로, 목재의 열화에 따른 평가 기준을 정립하기 위한 추가적인 연구들이 진행되어야 한다.

#### 사 사

이 논문은 2012년도 전북대학교 교비 연구 교원 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

이 연구는 2012년도 문화재청 국립문화재연구소 문화유산 융복합연구(R&D)의 일환인 ‘목조 문화재의 개방과 관람객 출입에 따른 보존 영향 평가’연구 사업의 지원을 받아 이루어졌으며, 행정적 및 재정적 지원에 깊이 감사한다.

#### 참 고 문 헌

강호양, 박상진, 김영숙. 2002. 촉진 열화 목재의 흡습성과 초음파 전달 속도. 목재공학 30(1): 18-24.  
 강호양, 김수원, 박상진. 2003. 무수초산 및 포름알데하이드 기상처리 산뱃나무의 야외 폭로 및 촉진열화. 목재공학 31(5): 57-64.  
 김광철. 2012. 소나무재의 촉진열화실험에 따른 재색변화에 대한 연구. 한국가구학회지 23(2): 152-162.  
 김광철. 2012. 촉진열화실험에 의한 소나무의 물성 및 조직 변화에 대한 연구. 한국가구학회지 23(3): 324-331.  
 정호, 안병만, 이두면, 신필수, 박수연. 2002. 옥외 노출 소재의 신뢰성 평가 기술 및 표준화. 한국신뢰성학회 7월 01:147-1554월.  
 ASTM. 2008. Standard practice for collection of settled dust samples using wipe sampling methods for

- subsequent determination of metals. American Society of Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- Gwang-chul Kim and Matsumura. 2013. Study on the change of bending performance for wood member by accelerated weathering test. Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University. 58(2): 351-357.
- Kalnins, M. A. and Feist, W. C. 1993. Increase in wettability of wood with weathering. Forest Prod. J. 43(2): 55-57.
- Yata, Shigeki and Takeshi Tamura. 1995. Histological changes of softwood surfaces during outdoor weathering. Mokuzai Gakkaishi 41(11): 1035-1042.