한국가구학회지(Journal of the Korea Furniture Society)
Vol. 23, No. 2 April, 2012, 152-162

소나무재의 촉진열화실험에 따른 재색변화에 대한 연구

김 광 철†

전북대학교 주거환경학과

Study on the Color Changing of Pine by Accelerated Weathering Test

Gwang Chul Kim†

Department of Housing Environmental Design, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea.

Abstract: The color changing of the wood surface was tested by accelerated weathering test that can simulate the outdoor condition with short period. In early parts of accelerated weathering test, weight and volume of specimen all were increased due to the moisture evaporation by its high temperature and illumination level, but weight and volume of specimen all were decreased from middle parts to last. However, significancy showed between control group and accelerated weathering test group in terms of weight and volume. According to the results of color-difference meter, in the early parts of the accelerated weathering test lightness, redness and yellowness all showed a clear increasing or decreasing trend. However, after three weeks all values were almost never change. Until the early parts of the test, lightness was decreased and there was not a considerable change after three weeks in the test. Redness showed a some change in early parts of the test, but this also showed not great change after middle parts of the test as like lightness. Yellowness also showed same pattern. These results could be verified through the visual inspection. As like weight and volume, significancy showed between control group and accelerated weathering test group in terms of color-difference test. In all accelerated weathering test group, color-differences of after test was lower than that of before test. To correctly analyze this cause, more additional research will be need on each of temperature, humidity and illumination factors.

Keywords: *accelerated weathering test, color-difference, lightness, redness, yellowness, significancy*

1. 서 론

저탄소 녹색성장이라는 화두에 걸맞게 목구조물과 목조문화재에 대한 관심이 증대되고 있다. 특히 최근 문화재청의 궁궐문화재 개방을 통해 고건축물에 대한 일반인의 체험과 공유를 늘리려고 하는 시점에서, 목조 고건축물의 개방과 관람객 출입으로 인한 보존성에 대한 문제는 과학적으로 확인된 바가 없다.

고건축물이나 문화재의 주재료인 목재의 경우 친환경 건축재료를 표방하는 특성상 불투명도장보다는 투명도장이 선호되며, 기둥-보 공법의 한옥이나 목조문화재는 표면도장을 실시하지 않고 노출을 시키는 경향이 강하다. 따라서 적절한 시공이 안 되거나 외기 노출에 대한 보완이 되지 않을 경우 목재 표면이 열화 되어 재색이 변화되므로 미관성이나 보존성이 떨어질 수 있다. 본 연구에서는 짧은 기간에 가혹한 외기 조건을 반영할 수 있는 촉진

2012년 3월 9일 접수; 2012년 4월 2일 수정; 2012년 4월 4일 게재확정
† 교신저자 : 김 광 철 (gckim@jbnu.ac.kr)

Fig. 1. Specimens for the accelerated weathering test.

열화실험을 실시하여 목구조물의 주재료인 목재의 재색이 어떻게 변화하는지를 살펴보고자 하였다. 재색변화는 색차계를 사용하여 측정하고 분석하였다. 이러한 촉진열화실험을 실시한 시편의 색차계 실험결과를 활용하여 실험실기준의 실험결과와 야외실험 결과를 비교 분석하여 일정 기준을 만들 수 있다면 목조문화재나 고건축물의 열화기준을 판단하는데 과학적인 기준으로 사용 가능할 것으로 판단된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료의 무게 및 치수

공시수종은 국내의 목조건축물에 가장 많이 사용된 소나무재(박병수 외 2004; 박병수 외 2005; 정성호 외 2002)를 선정하였다. 색차계 실험과 촉진열화실험을 실시하기 이전에 재료의 기초적인 치수와 무게를 측정하여 기록하였다. 실험 재료는 소나무를 각각 30 mm × 30 mm × 500 mm의

Fig. 2. Accelerated weathering test apparatus.

치수로 500개씩 다음의 Fig. 1과 같이 준비하였고 세로 및 가로 그리고 길이를 3군데씩을 측정하여 평균값으로 최종 치수를 기록하였다.

2.2. 촉진 열화 시험

Fig. 2는 촉진열화실험기 내에 적재된 시편의 모습이다. 온도와 습도 및 조도의 영향을 최대로 하기 위하여 각 시편간에는 위와 아래에 작은 나무시편으로 공간을 두고 좌우로는 일정 간격을 두어 온도와 습도 및 빛이 미치지 않는 곳을 최소화하도록 하였다. 사용한 촉진열화시험기는 Labtech사의 Model LCE-6101T이었다.

본 연구에서 적용한 촉진열화실험의 온도 및 습도 그리고 조도의 조건은, 온도와 습도는 일정한 조건으로 고정하고 조도와 수분의 영향을 주로 반영한 기존의 연구(강호양 외 2002; 2003; 정호 외 2002; Kalnins and Feist 1993)와 달리 다음의 Table 1과 같이 구성하였다. 실제 한옥으로 대표되는 목조고건축물의 경우 처마라는 구성 성분으로 인해 직접적인 수분 노출이나 햇빛에 의한 열화보다는 우리 고유의 4계절에 다른 건물 내외부의 온도와 습도의 주기적인 변화가 열화에 더 크게 영향 할 것으로 예상되어 9주에 걸쳐 저온과 저습 그리고 고

Table 1. The step composition of accelerated weathering test

Step	Temperature (°C)	Humidity (%)	Illumination (Lux)*	Time (hr)
1	10	30	1,200 × 8 + 4,000 = 13,600	24
2	20	40	1,200 × 8 + 4,000 = 13,600	24
3	30	50	1,200 × 8 + 4,000 = 13,600	24
4	40	60	1,200 × 16 + 4,000 = 23,200	24
5	50	70	1,200 × 16 + 4,000 = 23,200	24
6	60	80	1,200 × 16 + 4,000 = 23,200	24
7	70	90	1,200 × 16 + 4,000 = 23,200	24

* Illumination = fluorescent light (1,200 lux/one) + metal halide (4,000 lux)

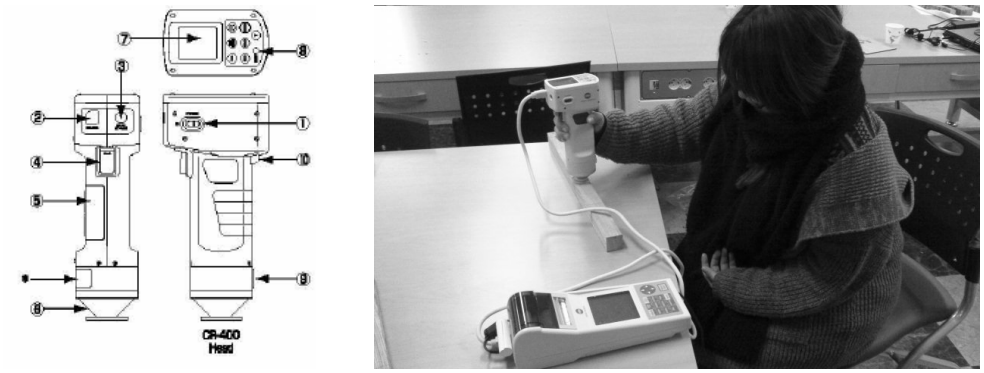

Fig. 3. Color-difference meter apparatus and test.

온과 고습을 오가며 조도는 2개의 단계로만 나누어 전체 싸이클을 구성하였다. 각 싸이클은 Table 1과 같이 7개의 스텝으로 구성되며 각 스텝의 지속 시간은 24시간이었다. 따라서 한 싸이클당 1주일의 실험시간이 소요되며 대조구를 제외하고 9주 동안에 걸쳐 촉진열화실험을 실시하였다.

2.3. 색차계 실험

색차계는 모델명 CR-400을 사용하였으며 기기의 형태와 측정 방법은 Fig. 3과 같다. 선행연구(Stamm 1964)를 참조하여 촉진열화실험을 실시하기 이전에 대조구 포함 500개 시편 모두에 대해 한 시편당 5곳을 색차계를 사용하여 측정하였다. 대조구 시편 50개를 제외한 총 450개의 시편을 촉진열화실험을 진행하여 매 싸이클이 끝나는 일주일 후마다 50개의 시편을 일련번호순으로 추출하여 하루 동안 항온항습기에서 안정화 시킨 다음 색차계 실험을 다시 실시하였다. 색차계를 사용한 실험은 촉진열화실험을 실시하기 전에 측정한 곳과 촉진열화실험이 끝난 후 다시 동일 부위를 측정하여 비교하였다. 동일한 부위를 측정하기 위하여 사전에 시편에 연필로 구간을 표시하였다.

이러한 색차계의 실험결과를 이용하여 실험실기준의 실험결과와 야외실험 결과를 비교 분석하여 일정 기준을 만들 수 있다면 목조문화재나 고건축물의 열화기준을 판단하는데 과학적인 기준으로 사용 가능할 것으로 판단된다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 재료의 기본 물성

대조구를 포함하여 500개의 시편에 대해 촉진열화실험을 실시하기 전과 후에 대해 시편의 치수와 무게를 측정하여 촉진열화실험의 효과를 확인코자 하였다. 시편의 가로와 세로 그리고 길이를 한 시편당 3곳을 측정하여 평균값을 구한 후 부피

Table 2. Comparison of the weight (g) between before accelerated weathering test (AWT) and after AWT

		Control	Cycle1	Cycle2	Cycle3	Cycle4	Cycle5	Cycle6	Cycle7	Cycle8	Cycle9
Before	Avg.	247.64	266.20	263.00	225.64	255.75	235.49	241.42	258.18	228.55	205.52
	St.dv.	28.61	36.98	50.40	19.72	45.89	32.78	42.22	33.32	21.23	28.49
After	Avg.	-	273.40	286.41	210.89	221.26	215.06	207.64	231.66	204.66	195.74
	St.dv.	-	36.03	52.67	16.64	26.53	22.13	22.36	27.52	16.49	27.44

Table 3. Comparison of the volume (cm^3) between before AWT and after AWT

		Control	Cycle1	Cycle2	Cycle3	Cycle4	Cycle5	Cycle6	Cycle7	Cycle8	Cycle9
Before	Avg.	473.06	471.12	471.28	474.56	471.67	472.57	469.61	469.24	463.49	478.69
	St.dv.	17.49	16.55	17.53	22.97	27.76	17.85	31.74	18.49	21.49	24.05
After	Avg.	-	477.02	477.28	457.08	450.41	457.93	455.07	452.74	452.28	474.37
	St.dv.	-	16.99	21.09	20.64	18.70	14.69	16.78	18.78	20.96	22.12

를 산정하였고 무게는 3회 반복하여 측정한 후 평균값을 계산하여 제시하였다.

3.1.1. 그룹핑 타당성 검증

시편 500개에 대해 대조구 1그룹과 촉진열화실험을 실시할 9그룹을 적절히 구분하였는지를 먼저 검증하였다. 부록 1은 비교대상 그룹의 부피와 무게를 나타낸 것이다.

배분된 그룹간의 통계적 유의성을 검증하기 위하여 부록 1에 제시한 두 가지 기본 물성 중 부피 자료를 활용하여 분산분석을 실시하였다. 사용 패키지는 MS사의 Excel을 사용하였으며 95% 신뢰구간을 적용하였다. 부록 2에 유의성 분석결과를 제시하였다. 부록 2의 결과에 따르면 부피의 경우 F값이 1.56로서 기각치 1.89보다 낮고 유의 확률값도 높기 때문에 그룹간의 유의한 차가 존재하지 않는다고 할 수 있다. 즉, 각 그룹의 부피간에 심한차가 존재하지 않으므로 대조구와 촉진열화실험을 실시하기 위한 그룹핑의 타당성이 인정된다.

3.1.2. 무게 및 치수

Tables 2와 3에 촉진열화실험을 실시하기 전의 각 시편들의 무게와 부피의 평균값과 대조구를 제외한 9그룹 시편의 촉진열화실험을 실시한 후의 무게와 부피의 평균값을 제시하였다.

무게의 경우 Table 2에서 나타나듯이 실험의 전반부(cycle 1과 cycle 2)의 경우에는 촉진열화처리를 겪은 시편에서 온도와 빛의 영향보다는 높은 단계의 습도에 노출된 시편의 수분 흡수로 인해 무게의 증가를 보여 주지만 실험의 중반부터는 촉진열화처리를 겪은 시편에서 무게의 감소가 나타났다. 이는 고온과 높은 조도에 오랜 시간 노출된 시편의 수분 증발 때문인 것으로 판단된다.

무게와 마찬가지로 부피의 경우에도 Table 3에서 보이듯이 실험의 전반부(cycle 1과 cycle 2)에서 촉진열화처리를 겪은 시편에서 부피의 증가를 보여주지만 실험의 중반부터는 촉진열화처리를 겪은 시편에서 부피의 감소가 나타났다. 이는 촉진열화처리된 시편의 부피가 열화되지 않은 시편에 비해 초기의 온도나 조도의 영향보다는 고습에 노출된 효과로 인해 증가하지만, 점차 중반부로 갈수록 높은 온도와 조도에 반복적으로 노출되어 시편의 수분이 증발되어 전체적으로 열화처리 되지 않은 상태에 비해 부피가 감소하는 것으로 판단된다.

3.1.3. 촉진열화실험을 거친 그룹간의 유의성 검증

Fig. 4의 좌측은 부피 기준으로 보았을 때 9주간에 걸쳐 촉진열화실험을 실시한 그룹들과 실험을 실시하지 않은 대조구 그룹간의 부피에 대한 50개씩의 시편의 평균값을 비교한 것이다. 초기의 2주 동안은 시편에 공급되는 다량의 습도로 인해 부피가 증가함을 알 수 있다. 하지만 3주의 시간이 흐른 후부터는 큰 변화가 없는 것으로 나타난다. 습도의 주기적인 공급이 있지만 동시에 빛과 온도가 상승하여 초기만큼의 수분의 영향은 없는 것으로 판단된다. 평균값과 표준편차만을 나타낸 그래

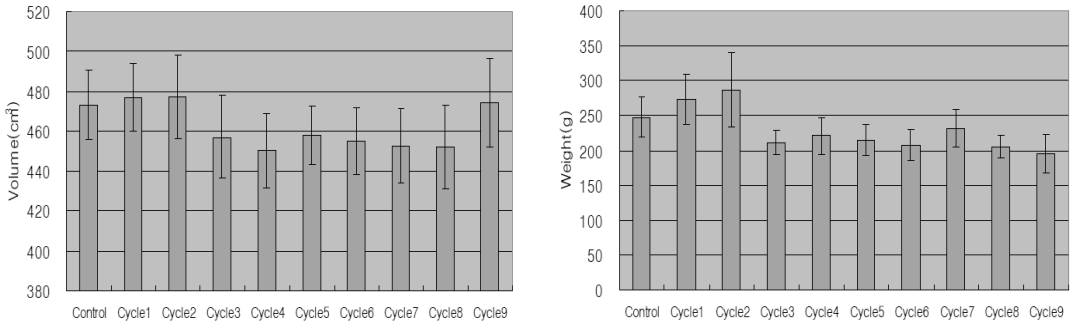

Fig. 4. Comparison of the voulme and weight between the accelerated weathering groups and control group.

프상의 차이는 미미하기 때문에 통계적인 유의성 검증을 실시하였다(부록 3 참조). 유의성 검증의 결과 F값이 17.5로서 기각치 1.89보다 매우 높고 유의 확률값이 매우 낮으므로 실험을 실시하지 않은 대조구와 촉진열화실험을 실시한 그룹들 간에는 유의성이 인정된다.

Fig. 4의 우측은 무게 기준으로 보았을 때 9주간에 걸쳐 촉진열화실험을 실시한 그룹들과 실험을 실시하지 않은 대조구 그룹간의 평균값을 비교한 것이다. 부피의 경우와 동일하게 초기의 2주 동안은 시편에 공급되는 다량의 습도로 인해 무게가 증가함을 알 수 있다. 하지만 3주의 시간이 흐른 후부터는 큰 변화가 없는 것으로 나타난다. 이 역시 부피의 경우와 동일하게 온도와 빛의 영향 증대로 수분 증발에 의한 무게의 감소가 나타난 것으로 판단된다. 무게 역시 평균값과 표준편차만을 나타낸 그래프상의 차이는 미미하기 때문에 통계적인 유의성 검증을 실시하였다(부록 4 참조).

부피와 동일하게 유의성 검증의 결과 F값이 53.7로서 기각치 1.89보다 매우 높고 유의 확률값이 매우 낮으므로 실험을 실시하지 않은 대조구와 촉진열화실험을 실시한 그룹들 간에는 유의성이 인정된다.

3.2. 색차계 실험 결과

최종 색차계 실험 결과는 다음과 같이 촉진열화실험 전과 후로 구분하여 Table 4와 같은 형식으로 정리하였다(샘플로 시편 10개에 대해서만 제시).

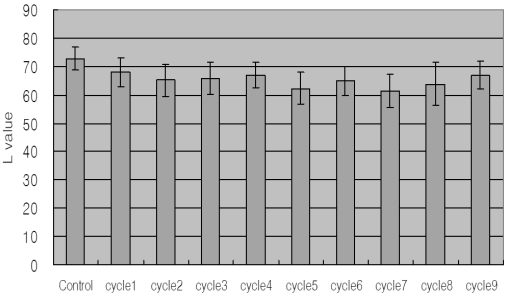

Fig. 5. Comparison of L value between the control group and AWT groups.

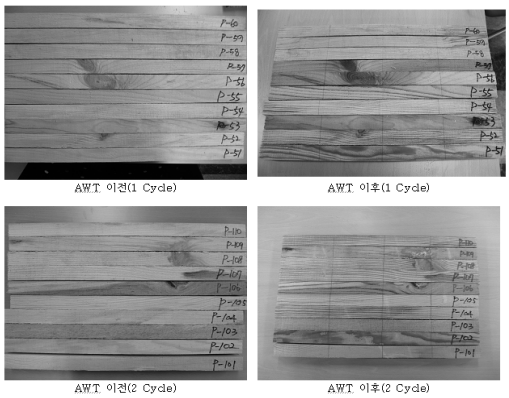

Fig. 6. Comparison of visual inspection between before AWT group and after AWT group.

3.2.1. 대조구와 촉진열화실험 그룹간의 비교

Figs. 5, 7~9는 대조구와 각각의 촉진열화실험 싸이클들을 거친 그룹들에 대한 색차계의 전체적인 실험 결과이다. 앞절의 부피와 무게처럼 초기 2주까지는 L값과 a값 그리고 b값의 감소나 증가가 나타나지만 즉 색상의 변화가 나타나지만 3주의

Table 4. Color-difference test results

		L	a	b	△L	△a	△b	△E
P-51	Before	71.42	38.72	1.27	-1.29	27.76	-25.89	38.91
	After	60.13	42.49	18.60	-12.58	31.59	-8.56	35.87
		L	a	b	△L	△a	△b	△E
P-52	Before	72.77	39.47	1.45	0.06	28.51	-25.71	38.90
	After	65.65	41.57	15.54	-7.06	30.61	-11.62	33.76
		L	a	b	△L	△a	△b	△E
P-53	Before	73.59	39.26	3.11	0.88	28.30	-24.05	37.60
	After	58.84	41.42	16.84	-13.87	30.46	-10.32	35.07
		L	a	b	△L	△a	△b	△E
P-54	Before	67.66	38.02	5.35	-5.05	27.06	-21.82	36.62
	After	68.49	41.39	11.26	-4.22	30.42	-15.90	34.66
		L	a	b	△L	△a	△b	△E
P-55	Before	75.26	39.33	-0.15	2.56	28.36	-27.31	40.00
	After	64.65	40.29	12.67	-8.06	29.32	-14.49	33.75
		L	a	b	△L	△a	△b	△E
P-56	Before	73.46	39.68	1.49	0.75	28.72	-25.68	38.56
	After	59.45	41.55	16.75	-13.26	30.58	-10.41	35.76
		L	a	b	△L	△a	△b	△E
P-57	Before	73.13	38.93	-0.39	0.42	27.97	-27.55	39.64
	After	57.84	42.04	19.98	-14.87	31.08	-7.19	35.29
		L	a	b	△L	△a	△b	△E
P-58	Before	72.75	39.35	-0.02	0.04	28.39	-27.18	40.09
	After	65.90	40.84	14.13	-6.81	29.88	-13.03	33.44
		L	a	b	△L	△a	△b	△E
P-59	Before	74.19	39.47	-0.24	1.48	28.50	-27.40	39.99
	After	64.09	42.73	18.10	-8.62	31.77	-9.06	34.16
		L	a	b	△L	△a	△b	△E
P-60	Before	73.54	41.75	5.37	0.83	30.79	-21.79	37.96
	After	65.34	42.34	18.46	-7.37	31.38	-8.70	33.57

실험기간이 지나고 부터는 뚜렷한 변화는 없는 것으로 보인다.

Fig 5는 대조구에 비해 촉진열화실험이 진행될수록 초기 2주까지의 경우 색차계 실험값에서 L값이 감소함을 보여 준다. 3주부터는 미세한 범위에서 상승과 감소를 반복함을 보여주고 있다. L은 값이 크게 나타날수록 색이 옅어진다는 의미이며 작아질수록 짙은 색을 의미하기 때문에 본 연구에서처럼 L값이 약간씩 감소하게 나타난 것은 목재의 색상이 짙어졌다고 해석되며 이는 Fig 6과 같이

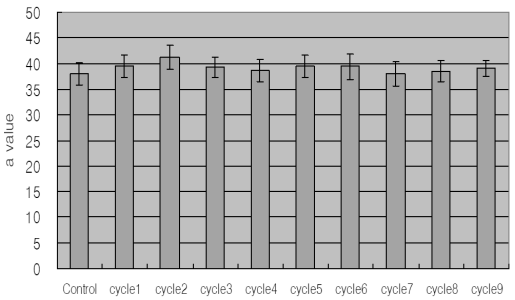

Fig. 7. Comparison of a value between the control group and AWT groups.

Table 5. Comparison of ΔE value between the before AWT groups and after AWT groups

		Control	Cycle1	Cycle2	Cycle3	Cycle4	Cycle5	Cycle6	Cycle7	Cycle8	Cycle9
Before	Avg.	40.59	40.16	43.54	40.33	43.53	40.56	42.95	40.45	43.17	42.67
	St.dv.	1.44	1.56	1.94	2.54	2.13	1.59	1.77	2.07	2.56	1.88
After	Avg.	-	36.16	37.21	36.65	35.49	35.98	35.53	35.54	35.87	35.10
	St.dv.	-	1.86	1.80	1.65	1.35	1.31	1.60	1.52	2.20	1.40

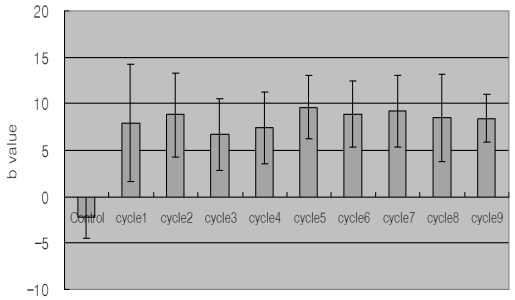

Fig. 8. Comparison of b value between the control group and AWT groups.

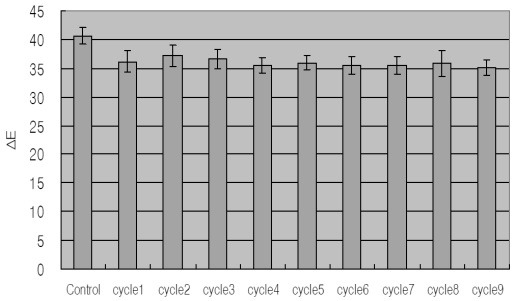

Fig. 9. Comparison of ΔE value between the control group and AWT groups.

실제의 육안을 통한 재색변화에서 관찰할 수 있었다.

Fig. 7은 색차계 실험의 a값을 보여 주는 것으로서 L값과 유사하게 2주까지는 미약하지만 a값의 경우 상승하고 있음을 보여주며 이후는 미세한 범위에서 상승과 감소를 반복하고 있다. a값의 경우 +값은 붉은색을, -값은 초록색을 의미하기 때문에 2주까지의 a값 증가는 부재가 점차 빨간색 계통을 보여준다는 의미이며 역시 위의 육안으로 관찰한 Fig. 6에서도 나타나고 있다.

b값의 경우 +값은 노란색을 -값은 푸른색을 의미하므로 Fig. 8에서 제시된 b값의 경우 역시 L값과 a값처럼 2주까지는 상승됨을 보여주고 이것은 목재가 점차적으로 노란색으로 열화됨을 의미한다. b값 역시 L값과 a값에서 제시된 육안관찰 Fig. 6을 참조하면 확인 할 수 있다.

L값과 a값 그리고 b 값을 활용하여 계산한 ΔE 값에 대한 Fig. 9를 참조해보면 촉진열화실험을 실시하지 않은 대조구와 실험을 실시한 그룹들 간의 차이가 존재함을 알 수 있다. 색차를 의미하는 ΔE 값은 $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$의 식으로 구할 수 있다.

평균값을 활용한 비교와 더불어 각 그룹간의 차이를 통계적 유의성 검증을 통해 알아보기 위해

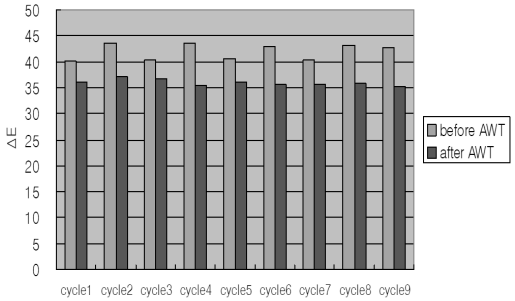

Fig. 10. Comparison of ΔE value between the before AWT groups and after AWT groups.

촉진열화실험을 거치지 않은 대조구와 각 싸이클을 거친 그룹들간의 색차계 관련 유의성 검증을 실시하였다. ΔE값을 대푯값으로 하여 촉진열화실험 전후에 대해 그룹간의 유의성을 검증하였다(부록 5 참조).

F값이 47.38로 기각치 1.89에 비해 상당히 높고 유의확률값이 매우 낮으므로 통계적 유의성이 인정되어 촉진열화실험을 거친 집단과 거치지 않은 집단간의 색차계 관련 실험의 차이는 존재한다고 판단된다.

3.2.2. 촉진열화실험 전과 후의 비교

각각의 실험을 거친 시편들에 대해 촉진열화를 거치기 전의 색차와 촉진열화를 겪은 후의 색차를 Table 5와 Fig. 10에 나타내었다. 모든 그룹에서 촉진열화실험을 거친 후의 색차가 촉진열화실험을 실시하지 않았던 시점의 색차보다 감소함을 알 수 있었다. 하지만 촉진열화실험의 전반부(cycle 2까지)를 지난 후의 색차는 거의 일정하게 나타났다. 이러한 원인을 분석하기 위해서는 온도와 습도 그리고 조도 각각에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다. 즉 다른 요인들을 고정시켜 놓고 한 요인만 변화시켜 가면서 세부적인 관찰을 할 필요성이 있다고 생각된다. 보통 색차의 경우 기준값과 2.0 이상의 차이가 나타날 경우 매우 큰 것으로 이해되는데, 본 촉진열화실험 시편에서 실험 전과 후의 값의 차이는 그 이상으로 나타나므로 상당한 차이가 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 짧은 기간에 외기 조건을 반영할 수 있는 촉진열화실험을 실시하여 목구조물의 주재료인 목재의 재색이 어떻게 변화하는지를 살펴보고자 하였다.

고온과 높은 조도에 오랜 시간 노출된 시편의 수분 증발로 인해 실험의 전반부에서는 촉진열화처리를 겪은 시편에서 무게와 부피의 증가를 보여주지만 실험의 중반부터는 촉진열화처리를 겪은 시편에서 무게와 부피의 감소가 나타났다. 부피와 무게 모두 대조구와 촉진열화실험을 거친 그룹간에 유의성이 인정되었다.

색차계 실험 결과 부피와 무게처럼 초기 2주까지는 L값과 a값 그리고 b값의 감소나 증가가 나타나지만 즉 색상의 변화가 나타나지만 3주의 실험기간이 지나고 부터는 뚜렷한 변화는 없었다. 촉진열화실험의 전반부 즉 2싸이클이 진행될 때까지는 L값이 감소하였고 3주부터는 미세한 범위에서 변화가 있었다. a값의 경우 L값처럼 초반부에는 변화가 있었지만 중반부로 진행될수록 큰 변화는 나타나지 않았다. b값의 경우에도 동일한 경향을 보였다. 색차계 실험결과는 육안 관찰로 증명 할 수 있었다. 무게와 부피에서처럼 대조구와 촉진열화실험을 거친 그룹간에 색차계 관련 실험값은 유의성을 보였다.

촉진열화실험을 거친 모든 그룹에서 실험 후의 색차가 실험 전의 색차보다 감소함을 알 수 있었다. 하지만 촉진열화실험의 전반부(cycle 2까지)를 지난 후의 색차는 거의 일정하게 나타났다. 이러한 원인을 정확히 분석하기 위해서는 온도와 습도 그리고 조도 각각에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

사 사

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소 국가연구개발사업(R&D)의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 감사드린다.

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 산벚나무의 야외 폭로 및 촉진열화. 목재공학 31(5): 57-64.

박병수, 박정환. 2005. 주요목재문화재의 수종구성, 국립산림과학원.

박병수, 정성호, 서정원. 2004. 진남관 기둥부재의 수종구성, 한국목재공학회 추계학술발표논문집.

정성호, 박병수, 정우진. 2002. 목재문화재의 수종. 임업정보 제139호.

정호, 안병만, 이두면, 신필수, 박수연. 2002. 옥외 노출 소재의 신뢰성 평가 기술 및 표준화. 한국신뢰성학회 (7월 01): 147-155.

ASTM D143-94. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.

Kalnins, M. A. and W. C. Feist. 1993. Increase in wettability of wood with weathering. Forest Products Journal 43(2): 55-57.

Stamm, Alfred J. 1964. Wood and cellulose science. The Ronald Press Company, New York.

Appendix

Appendix 1. Average volume and weight of before accelerated weathering test specimens for the significancy test

Volume (cm^3)									
Control	Cycle1	Cycle2	Cycle3	Cycle4	Cycle5	Cycle6	Cycle7	Cycle8	Cycle9
485.73	473.09	488.30	480.27	499.49	495.77	474.23	469.43	460.98	452.56
475.93	450.99	471.49	430.45	466.94	484.34	457.16	460.12	456.40	463.12
482.77	457.76	473.40	496.86	461.57	444.81	460.22	448.61	450.91	464.07
485.72	486.96	482.75	455.79	476.30	488.89	458.92	472.25	452.22	435.79
473.43	459.83	466.43	483.14	438.67	492.40	469.77	478.96	481.64	500.56
481.13	493.64	468.12	494.37	476.33	469.56	476.79	490.62	472.01	460.03
470.78	431.28	479.43	481.64	489.43	460.91	460.48	487.67	454.79	490.00
467.80	444.90	465.32	505.21	498.91	461.44	483.90	482.31	478.33	472.32
448.15	453.91	470.50	467.35	491.80	466.74	448.39	482.70	459.79	473.53
504.35	457.96	439.69	476.17	500.47	466.31	476.97	478.60	494.86	492.12
464.69	492.24	466.18	464.51	512.06	402.25	515.91	480.20	485.18	465.30
479.57	464.54	476.69	478.04	462.61	464.31	464.96	465.44	507.04	493.10
467.87	462.62	476.09	471.95	516.18	488.91	490.16	469.49	452.80	448.13
472.31	459.35	491.38	466.78	504.66	500.30	484.52	458.79	485.94	493.71
505.82	492.08	492.45	475.01	490.50	454.37	487.45	467.27	474.38	474.07
471.31	435.26	456.84	469.26	437.64	469.00	504.95	456.02	485.72	477.22
485.54	445.43	499.73	479.60	477.29	455.50	477.47	462.09	426.40	508.60
455.56	484.36	469.59	456.97	481.93	484.56	483.07	463.23	436.89	478.34
466.27	454.00	507.73	457.60	472.17	494.89	426.13	459.12	470.72	461.99
523.16	474.82	499.31	528.25	462.69	455.37	443.79	465.09	456.40	491.17
457.15	469.64	507.52	472.85	471.09	488.68	470.62	449.23	438.58	540.99
466.35	491.18	436.72	484.48	475.69	463.46	495.35	466.66	457.29	476.54
471.36	456.40	457.53	458.08	459.96	477.55	481.75	460.26	485.20	535.20
462.93	478.50	464.83	452.85	477.52	483.90	484.30	448.81	496.53	474.06
467.56	469.57	451.25	465.44	487.55	475.73	468.31	496.76	467.72	451.41
473.75	470.26	464.09	454.30	469.01	459.99	486.59	454.64	414.36	484.87
450.30	460.67	453.15	456.25	464.97	480.58	491.16	513.58	514.40	492.03
491.78	484.83	456.70	477.21	470.54	470.10	477.58	487.95	456.84	439.88
480.35	476.66	461.08	479.14	456.78	441.03	496.83	484.63	481.31	476.95
456.36	474.93	450.35	501.11	489.07	477.91	460.51	456.80	479.66	460.29
456.18	457.90	483.75	455.80	472.36	483.73	490.08	470.18	480.80	440.83
469.67	455.72	483.14	435.75	462.02	488.91	467.82	457.29	459.18	488.89
485.55	466.57	479.69	441.98	491.41	459.72	475.51	482.38	460.16	534.35
454.36	466.06	450.00	490.41	472.59	468.25	473.79	468.78	448.49	472.52
472.92	491.25	452.03	466.21	471.01	467.29	450.32	461.85	506.93	503.26
476.39	480.20	479.01	511.36	464.74	444.92	481.69	503.67	450.89	483.35
492.56	496.84	447.07	491.22	464.56	488.44	492.97	434.79	467.38	470.67
457.31	498.17	479.08	436.13	322.13	464.74	462.00	478.85	441.63	450.70
452.24	494.50	459.74	489.17	448.56	493.18	463.60	457.23	453.23	475.54
423.48	462.39	476.49	557.60	470.94	489.72	462.81	437.84	465.73	477.05
479.17	472.51	469.93	466.38	489.13	484.24	478.57	521.40	431.22	436.36
494.80	482.01	478.41	470.36	455.79	457.47	503.03	495.31	446.31	482.14
478.24	478.14	487.35	499.42	432.49	466.76	471.60	478.06	441.16	501.78
459.11	475.01	484.54	466.77	480.34	478.64	479.10	447.45	463.57	462.58
459.47	454.07	482.98	488.05	471.31	466.61	285.03	477.94	436.49	447.96
466.18	477.92	448.67	479.77	477.59	492.63	443.91	474.26	445.63	487.00
479.47	495.83	454.74	464.37	473.72	465.07	458.52	444.68	474.36	500.96
509.14	490.03	442.31	482.67	485.33	492.61	452.15	445.10	467.27	492.75
457.23	469.49	481.68	465.83	472.09	476.54	472.41	450.82	436.52	505.32
483.80	483.50	498.68	447.92	465.43	479.25	457.16	456.85	462.28	492.36

Weight (g)									
Control	Cycle1	Cycle2	Cycle3	Cycle4	Cycle5	Cycle6	Cycle7	Cycle8	Cycle9
230.54	275.15	199.11	238.56	253.98	240.73	264.89	261.23	251.93	232.01
291.16	287.28	275.48	192.03	235.63	241.16	292.50	259.38	253.83	217.80
282.45	263.82	218.51	230.07	268.41	208.88	241.02	251.85	245.60	212.86
231.91	299.70	270.24	232.47	306.48	230.53	209.09	223.34	186.40	193.87
231.44	225.02	263.79	217.56	200.36	258.47	284.20	229.85	231.03	232.43
235.72	274.94	254.18	216.49	279.91	218.65	227.00	277.59	218.47	208.98
254.05	218.47	232.48	209.21	253.91	240.23	218.29	285.67	225.69	210.69
255.65	260.87	237.56	212.06	282.24	243.88	236.66	284.35	233.12	206.40
237.11	267.05	259.42	217.98	257.48	217.12	211.14	230.34	212.40	200.00
248.77	265.83	201.06	208.27	260.80	222.38	330.02	291.74	218.11	186.49
218.09	214.98	290.84	249.57	456.20	196.75	427.85	280.34	219.27	163.06
281.44	228.50	243.45	230.68	231.57	226.56	236.76	209.13	207.71	223.20
269.38	294.08	296.65	248.31	217.66	230.89	282.86	257.29	227.61	178.72
264.47	209.81	287.82	185.12	389.24	223.17	237.14	264.67	226.85	195.06
293.39	264.99	396.83	227.54	246.70	240.29	229.86	295.08	207.73	180.10
253.77	280.89	252.93	239.73	221.43	231.59	270.88	268.39	246.49	178.04
296.80	243.11	311.26	216.63	250.76	196.14	243.51	263.01	208.59	249.93
257.39	314.32	308.28	216.52	249.92	237.67	326.91	262.70	214.20	165.73
269.60	243.59	355.86	208.32	225.85	243.04	204.65	257.05	217.72	154.94
276.66	307.45	459.08	247.10	229.02	208.19	208.25	272.33	220.78	219.68
206.31	195.23	343.72	279.36	230.41	243.02	236.42	217.56	206.19	258.87
249.18	262.44	277.25	229.69	246.78	200.33	239.88	267.39	240.91	219.44
307.78	273.51	246.11	260.34	228.85	227.58	228.64	244.17	222.84	242.95
258.23	314.66	223.54	228.73	301.90	229.72	219.56	268.21	244.99	168.80
203.75	319.03	237.17	226.88	318.35	225.26	204.27	243.74	250.60	159.92
293.14	324.36	224.20	215.87	224.19	192.39	214.02	299.94	216.55	234.00
231.29	304.27	246.26	209.60	225.54	208.81	215.81	252.25	253.02	221.08
258.76	262.51	214.58	217.30	320.50	223.44	222.09	222.64	212.24	214.52
237.03	288.20	239.98	278.70	238.98	185.27	209.64	205.00	269.18	175.15
230.73	286.10	212.57	253.43	250.41	266.68	198.83	238.31	274.84	184.92
220.40	245.28	245.74	241.22	274.80	245.51	221.70	234.61	236.99	171.50
227.32	293.51	260.01	228.16	235.80	222.23	211.37	270.40	221.97	215.64
254.77	203.46	291.95	213.21	254.72	216.26	209.10	353.37	234.77	246.59
211.76	227.54	220.08	230.55	291.85	216.37	194.65	243.90	222.07	217.31
228.87	251.61	288.30	238.43	219.80	229.18	182.43	229.31	262.22	239.86
226.37	262.34	233.87	247.27	269.87	206.27	197.91	227.43	218.89	196.53
229.00	302.33	240.62	214.13	216.15	275.52	238.66	207.25	227.69	183.46
238.64	272.39	239.14	192.63	309.56	252.00	212.82	248.22	215.10	168.80
217.76	330.79	225.10	235.72	215.67	203.84	216.03	246.86	219.35	225.42
219.57	202.22	341.83	225.40	230.21	251.27	225.91	210.86	296.25	222.60
303.81	274.86	299.86	251.52	268.66	332.02	233.22	319.76	206.87	209.36
223.98	275.01	267.10	216.32	217.20	197.61	262.46	273.11	219.90	239.24
231.25	274.44	234.28	220.16	203.41	263.66	278.59	237.19	211.88	187.75
214.23	230.47	282.30	211.26	221.66	334.64	264.22	263.95	266.57	168.13
205.88	235.71	264.51	204.39	272.70	286.95	290.35	337.01	211.35	164.15
207.57	273.68	210.79	206.96	251.08	209.62	261.00	326.55	208.63	212.84
266.32	364.49	231.42	210.77	245.50	282.85	241.18	221.64	224.24	229.10
234.83	245.62	209.16	211.46	237.10	316.41	231.31	289.43	231.31	228.91
291.06	262.95	259.22	215.18	233.65	243.26	259.09	226.99	201.29	266.98
272.56	211.30	224.55	223.50	214.57	230.07	266.49	256.60	225.54	192.06

Appendix 2.

Anova: (Volume)

Summary

Groups	Count	Sum	Mean	Variance
Column 1	50	23653.07	473.0614	306.0223
Column 2	50	23555.79	471.1157	273.7525
Column 3	50	23563.94	471.2789	307.4199
Column 4	50	23728.09	474.5619	527.4297
Column 5	50	23583.36	471.6672	770.7287
Column 6	50	23628.27	472.5654	318.7496
Column 7	50	23480.3	469.6061	1007.331
Column 8	50	23462.04	469.2408	342.0516
Column 9	50	23174.52	463.4903	462.009
Column 10	50	23934.34	478.6867	578.5168

Anova

Factor	SS	DF	MS	F	P-value	F-limit
Treatment	6882.975	9	764.775	1.562675	0.123588	1.898983
Error	239806.5	490	489.4011			
Total	246689.5	499				

Appendix 3.

Anova: (Volume)

Summary

Groups	Count	Sum	Mean	Variance
Column 1	50	23653.07	473.0614	306.0223
Column 2	50	23850.96	477.0192	288.6878
Column 3	50	23863.91	477.2782	444.8231
Column 4	50	22854	457.0799	425.9655
Column 5	50	22520.55	450.4109	349.5425
Column 6	50	22896.69	457.9339	215.6662
Column 7	50	22753.47	455.0693	281.6859
Column 8	50	22637.12	452.7423	352.5018
Column 9	50	22613.95	452.2791	439.5186
Column 10	50	23718.44	474.3688	489.4013

Anova

Factor	SS	DF	MS	F	P-value	F-limit
Treatment	56619.06	9	6291.006	17.50509	3.3E-25	1.898983
Error	176096.9	490	359.3815			
Total	232716	499				

Appendix 4.

Anova: (Weight)

Summary

Groups	Count	Sum	Mean	Variance
Column 1	50	12381.82	247.6363	818.5095
Column 2	50	13669.99	273.3998	1297.864
Column 3	50	14320.42	286.4083	2773.793
Column 4	50	10544.71	210.8941	276.7699
Column 5	50	11063.02	221.2603	703.7742
Column 6	50	10752.91	215.0582	489.6033
Column 7	50	10382.08	207.6415	499.7952
Column 8	50	11583.15	231.6629	757.4608
Column 9	50	10233.23	204.6646	272.0622
Column 10	50	9787.185	195.7437	752.8012

Anova

Factor	SS	DF	MS	F	P-value	F-limit
Treatment	417801.5	9	46422.39	53.71449	1.64E-67	1.898983
Error	423479.2	490	864.2433			
Total	841280.7	499				

Appendix 5.

Anova (ΔE)

Summary

Groups	Count	Sum	Mean	Variance
Column 1	50	2029.422	40.58844	2.078364
Column 2	50	1807.866	36.15732	3.445382
Column 3	50	1860.682	37.21363	3.257044
Column 4	50	1832.592	36.65184	2.715751
Column 5	50	1774.676	35.49352	1.835991
Column 6	50	1799.104	35.98208	1.713669
Column 7	50	1776.65	35.533	2.548569
Column 8	50	1776.858	35.53716	2.315608
Column 9	50	1793.332	35.86664	4.843137
Column 10	50	1755.196	35.10392	1.958144

Anova

Factor	SS	DF	MS	F	P-value	F-limit
Treatment	1139.128	9	126.5698	47.38372	3.43E-61	1.898983
Error	1308.871	490	2.671166			
Total	2447.999	499				