

밀랍본 시제품의 인공열화 특성 및 기작에 관한 연구

최경화, 강영석, 조정혜, 양은정, 정혜영
국립문화재연구소 복원기술연구실

1. 서론

조선왕조실록에 대한 보존상태 조사결과에 의하면, 밀랍본의 경우 생지본에 비해 상당히 심각하게 열화되었으며, 특히 밀랍 도포량이 많을수록 손상상태가 나쁜 것으로 나타났다. 일반적으로 동일한 종이 시료라 할지라도 낱장과 책 형태의 경우 그 열화 특성은 온습도 등 주위 대기 환경에 접하는 정도의 차이점에 기인하여 달라질 수 있다. 특히 밀랍지는 일반적인 한지와는 달리 통기성이 없으며 발수성을 가지고 있다. 그러므로 제본시료의 경우 보존환경과 접하는 외부와 접하지 않는 내부의 열화 인자 및 기작이 생지본에 비해 현저히 다를 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 건식, 습식 인공열화를 실시하고 제본 부위별 열화특성을 비교하였으며, 특히 지류를 열화시키는 주요 보존환경 인자인 공기(산소) 및 수분에 따른 밀랍지의 열화특성을 비교분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

밀랍지 원지는 이전의 연구결과를 바탕으로 조선왕조실록 원지의 제조방법에 준하여 국내에서 분양받은 전통이합 도침 한지를 사용하였으며, 가열 자동도공장치(heating auto-coating machine)와 코팅바를 이용하여 원지 양면에 국내산 밀랍을 도포하는 방법으로 밀랍지 시제품을 제조하여 사용하였다(Table 1 참조)

Table 1. Characteristics of a sheet constituting the beeswax-treated annal of King Sejong and duplicate copy.

	Grammage(g/m ²)	Density(g/cm ³)	Thickness(mm)	beeswax(g/m ²)
King Sejong	114.70	0.77	0.150	≥53.38
Duplicated sheet	120.00	-	0.155	56.31

밀랍본 시제품은 조선왕조실록 밀랍본 중 세종실록에 대한 기초조사 자료를 토대로 하여 전통 제본방법인 오침안정법으로 제조하였다(250×440mm 사이즈, 30 매).

2.2 실험방법

(가) 밀랍본 시제품의 인공열화 및 특성 분석

ISO 5630-1에 의거하여 105℃ 조건에서 밀랍본 시제품의 건식 인공열화를 15일, 30일, 60일, 90일 동안 실시하였으며, ISO 5630-3에 의거하여 80℃, 65% RH 조건에서 밀랍본 시제품의 습식 인공열화를 30일, 90일 동안 실시하였다.

인공열화된 각 제본 시료의 위치별 열화특성을 비교 분석하기 위해 Figure 1에서 보는 바와 같이 상부(Top), 중부(Middle), 하부(Bottom)로 페이지를 구분하고, 각 페이지 또한 내부(Inner), 중심부(Center), 외부(Outer)로 구별하여 물리적 특성(내절강도, 인장강도) 및 광학적 특성(백색도, 색도) 등을 분석하였다.

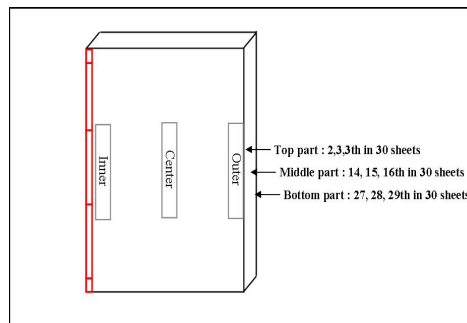


Figure 1. The measured parts of properties of the duplicated beeswax-treated volumes before/after accelerated aging.

(나) 공기질 및 습도에 따른 인공열화 및 특성 분석

주요 보존 환경인자인 공기질 및 습도 조건을 달리하여 밀랍지 시료를 인공열화 시킨 후 물리적 특성(내절강도, 인장강도) 및 광학적 특성(백색도, 색도) 등을 분석하였다.

Table 2. The condition of accelerated aging according to air quality.

	Gas	Moisture	Aging conditions	
			Temp. (°C)	period (days)
Conditions	N ₂ /O ₂	0/50% RH	105	1, 2, 3

3. 결과 및 고찰

3.1. 밀랍본 시제품의 인공열화 특성

(가) 물리적 특성

다양한 조건에서의 인공열화 시 물리적 특성의 변화는 다음 Figure 2에서 보는 바와 같다. 특히 건식인공열화 시료의 경우 내절강도 측정이 어려울 정도로 열화가 발생되었다. 각 조건들에 의한 밀랍본 시료의 제본 부위별 물리적인 특성 변화율을 비교 분석한 결과, 건식 인공열화 시료의 경우 하부, 상부, 중부 순으로 물리적 열화가 진행되었으며, 각 페이지별 열화율은 내부(Inner)가 가장 높았다. 습식 인공열화 시에는 상부, 중부, 하부 순으로 상부의 물리적 열화율이 높게 나타났으며, 각 페이지별 열화율은 건식 인공열화된 시료와 마찬가지로 내부(Inner)의 물리적 열화율이 가장 높았다.

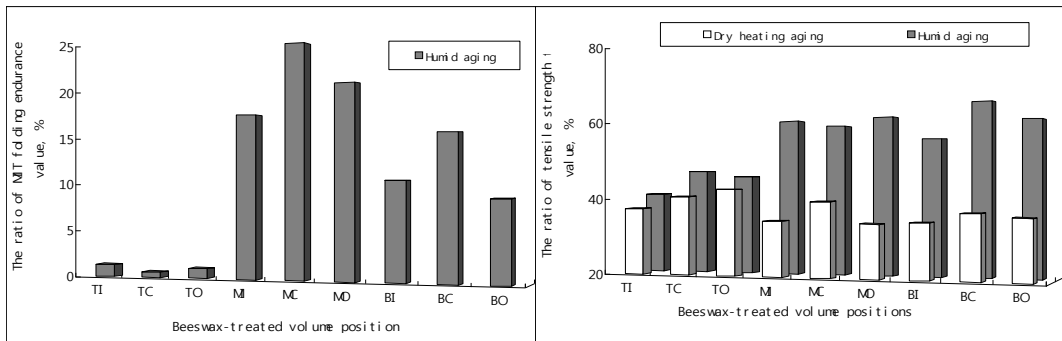


Figure 2. The ratio of MIT folding endurance(left) and tensile index(right) of beeswax-treated volume to initial value (100%) after various accelerated aging.

(나) 광학적 특성

인공열화 후 광학적 특성에 대한 비교분석 결과는 Figure 3에서 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 건식 및 습식 인공열화 시료 모두 L^* 값과 백색도는 감소하고 a^* 와 b^* 값이 증가되어 열화에 의해 착색물질이 생성되었음을 알 수 있다.

또한 각 밀랍본 시료의 제본위치별 광학적 특성을 비교 분석해 보면 모두 주위 환경과 접하는 상부 및 각 페이지의 가장자리 부분에서 가장 많이 변화되었는데, 이를 통해 외부 빛 및 공기와 접촉하는 부분의 광학적 특성 변화가 주로 발생됨을 알 수 있었다.

그러나 밀랍본 내부에서도 상당한 광학적 변화를 나타냈는데 외부와 내부의 열화인자 및 기작은 다를 것으로 생각되므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

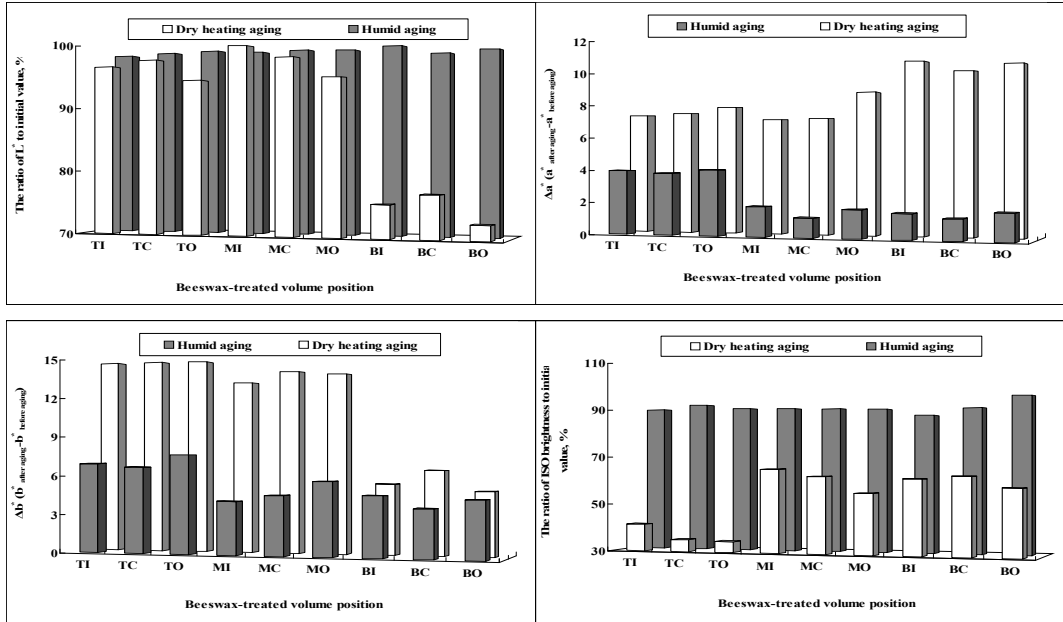


Figure 3. The change of optical properties according to each partitions during various accelerated aging of beeswax-treated volume. (L^* and ISO brightness: Ratio to initial value (100%), a^* and b^* : variable value)

3.2. 공기질 및 습도에 따른 인공열화특성 (가) 물리적 특성

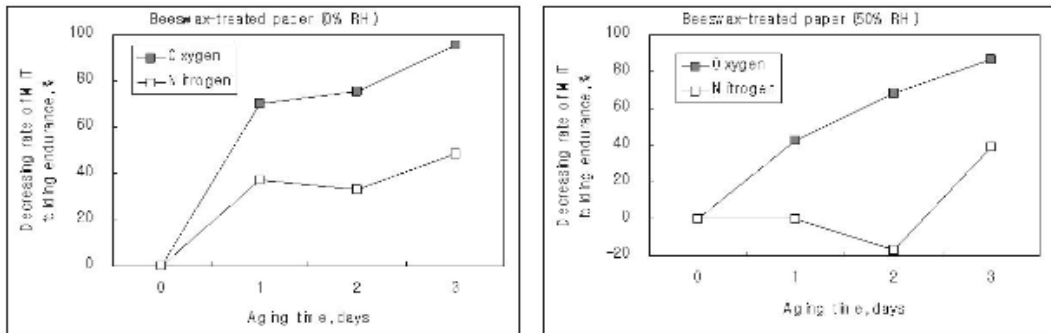


Figure 4. The decreasing rate of MIT folding endurance according to air quality and humidity during accelerated aging.

밀랍본 시제품의 인공열화 특성 및 기작에 관한 연구

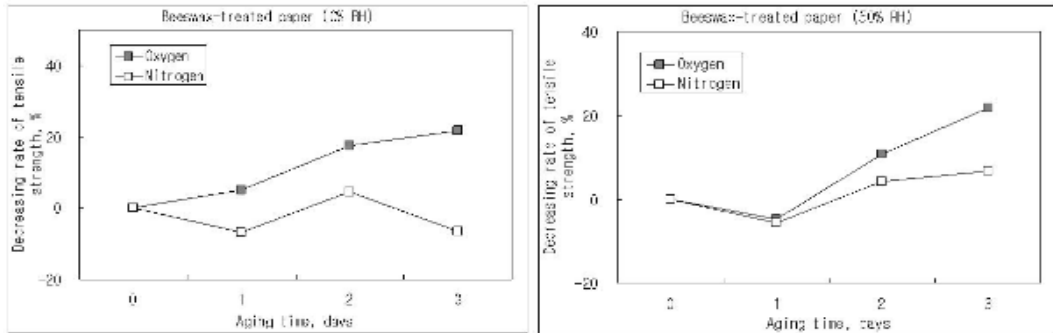


Figure 5. The decreasing rate of tensile strength according to air quality and humidity during accelerated aging.

인공열화 시 공기질과 습도에 따른 물리적 특성 변화율을 살펴보면 Figure 4와 5에서 볼 수 있듯이 산소가 밀랍지의 물리적 열화를 보다 가속화시킴을 알 수 있으며, 50 % RH에서의 물리적 특성 감소율이 0% RH에서보다 적음을 알 수 있었다.

(나) 광학적 특성

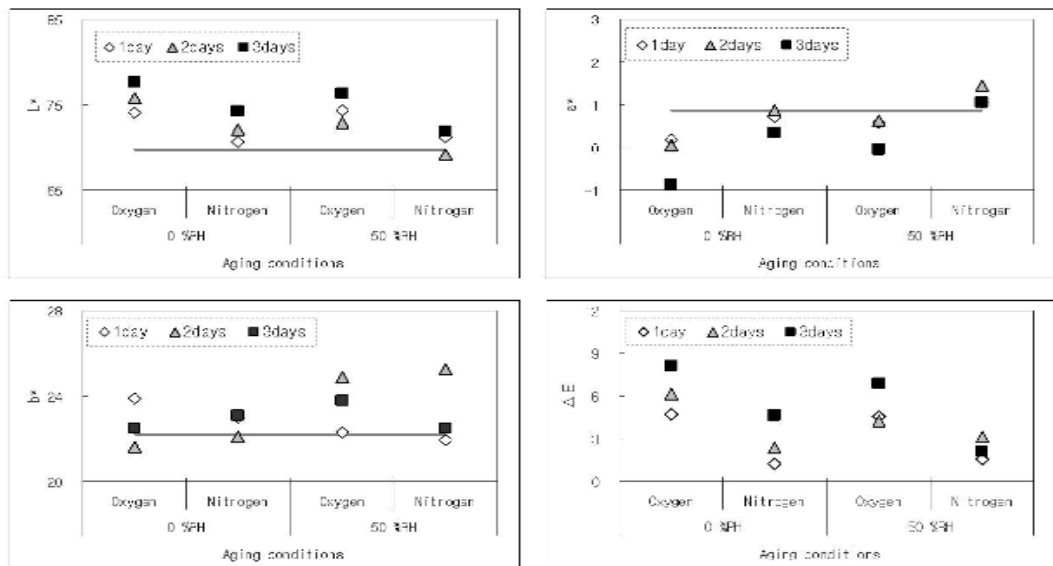


Figure 6. The change of optical properties according to air quality and humidity during accelerated aging.

인공열화 시 공기질과 습도에 따른 광학적 특성 변화율은 다음 Figure 6에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 열화된 밀랍지의 L^* 값과 백색도는 산소, 질소 조건 모두에서 증가하였으며 특히 수분이 없는 조건에서의 증가폭이 높게 나타났다. a^* 의 경우에는 질소, 50% RH의 경우를 제외하고 모두 감소되어 적색을 나타내는 착색물질이 분해 제거 되었음을 알 수 있었다. 반면에 b^* 값은 초기값에 비해 모두 증가되어 열화 시 황색을 나타내는 착색물질이 생성되었음을 알 수 있었으며, 또한 산소 조건하에서는 습도 50% RH, 질소 조건하에서는 0% RH에서의 증가값이 높아 습도에 따라 서로 상이한 결과를 나타냈다.

4. 결 론

조선왕조실록 밀랍본의 열화 인자 및 기작을 이해하기 위한 연구의 일환으로 밀랍본 시제품을 제조 한 후 다양한 인공열화 실험을 실시하고 제본 부위별 그 특성을 분석한 결과 주위 보존환경인자와 주로 접하는 제본시료 외부의 열화율이 가장 높게 나타났다. 밀랍의 경우 발수성을 가지고 있으며, 또한 공기를 투과시키지 못하는 특징을 가지고 있다. 그러므로 공기, 수분, 빛 등의 주위 환경인자들이 외부와 내부에 기여하는 정도는 크게 달라질 수 있다. 물론 생지본의 경우에도 그 정도가 달라지나, 그 차이점은 밀랍본의 경우 보다 크게 작용할 수 있다. 따라서 주요 열화 환경인자로 알려져 있는 공기 및 수분에 따른 인공열화를 실시하고 그 특성과 분해산물을 분석한 결과 산소가 밀랍지의 주요 열화 인자라는 것을 알 수 있었으며, 또한 수분이 없는 경우 보다 빠른 열화가 발생되어짐을 알 수 있었다.

그러나 주위 외부 인자와 접하지 않은 내부(Inner) 또한 상당한 열화율을 나타냈다. 실제로 조선왕조실록 밀랍본의 손상상태에 대한 이전의 연구결과에 의하면 내부의 열화가 외부보다 심각하게 발생되어 있다. 그러므로 공기 및 수분 등이 주요 인자로 작용하는 외부와 달리 내부에는 다른 열화인자 및 기작이 작용하는 것으로 보인다. 따라서 내부에서 발생하는 열화에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

인용문헌

1. 조선왕조실록 밀랍본 복원기술연구 결과보고서, 국립문화재연구소, 대전(2006-2010).
2. 서울대학교 규장각, 조선왕조실록 보존을 위한 조사연구(1,2차), 서울대학교 출판부, 서울 (2005).
3. William D. Major, The degradation of cellulose in oxygen and nitrogen at high temperature, Doctor's dissertation, Doctor's Dissertation in The Institute of Paper Chemistry: 16-18, Appleton, Wisconsin (1958).