

조선왕조실록 밀랍본 복원기술 연구 (제3보)  
-습열열화처리를 이용한 복원용 한지의 내구성 평가-

정선영 · 정소영 · 정신화 · 서진호  
국립문화재연구소 보존과학연구실

## 1. 서 론

조선왕조실록은 472년간의 역사를 편년체로 기록한 책으로서 1997년에 훈민정음과 함께 유네스코 세계기록유산으로 지정되었다. 제작 시 방충효과를 위해 밀랍을 사용한 시기가 있었으며, 이 때 제작된 밀랍이 현재 일부가 경화되어 꺾기거나 부스러지는 현상뿐만 아니라 변색 등으로 조선왕조실록 손상의 주원인이 되고 있다. 현재까지 조선왕조실록에 대한 연구는 밀랍본의 밀랍제거를 위한 기초적인 보존의 상태조사와 밀납본에 사용된 원재료의 성분분석과 손상원인 분석, 다양한 인공열화에 따른 특성 분석 등이 이루어지고 있다. 그 동안의 연구 결과를 살펴보면 열화 방법으로서 건열 처리, 자외선처리가 다양한 한지의 열화 특성에 미치는 영향을 규명하고 실록 밀랍본 복원연구의 기초자료를 얻고자 하였다. 전국 5개 지역 8개 수록한지업체 10종류의 다양한 한지에 대한 인공축진열화시험 후 광학적·물리적 특성과 형태학적 특성을 분석한 결과 전통 이합 전분 도침지가 열화에 가장 안정화함을 나타내었다.

따라서 본 연구에서는 선행연구시 열화에 대한 우수한 내구성을 나타낸 한지 3종류를 시료로 선정하였으며, 온·습도에 의한 열화 처리시 열화거동 평가 및 열화시간경과에 따른 복원용 한지의 내구성을 평가하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

분석용 한지시료는 현재 전통한지제조업에 종사하는 업체로부터 직접 주문제작하여

사용하였다. 학 한지시료 특징은 Table 1과 같다.

Table 1. The properties of Hanji to use experiment

	한지산지	닥나무산지	초지방식	젯물	닥풀	건조방식	도침여부	전분처리	겉지유무
D	경기도	가평	외발식	메밀대	황촉규	열판건조	○	○	○
F	경상도	자체 재배닥	외발식	메밀대	황촉규	열판건조	○	○	○
G	충청도	자체 재배닥	외발식	가성소다 콩대	황촉규	열판건조	○	○	○

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 인공촉진열화실험

습열처리 인공촉진열화는 KS M ISO 5630-3 규격에 의하여 온도80℃, 상대습도 65% 조건으로 강제적 열화를 실시하였다. 열화기간은 30일, 60일, 100일, 150일, 200일에 걸쳐 실험하였으며, 일정한 환경에 장시간 방치함으로 물리·화학적으로 그 열화거동을 파악하여 보존수명을 예측하는 수단으로 활용하고자 하였다.

### 2.2.2 물성측정

열화처리 전후의 물성 측정용 시료는 온도 23±1℃, 상대습도 50±2℃로 조절된 항온·항습실에서 24시간 이상 조습처리 하였다. 오스왈드 점도법을 이용하여 점도를 측정하였으며, 내절도, 색도 등을 측정하였다.

### 2.2.3 CLSM 측정

공초점 레이저 주사현미경(Confocal Laser Scanning Microscope)을 사용하여 시료의 형태학적 특성을 관찰하였으며, CLSM을 통하여 얻은 이미지를 image processing program인 TDI scope에 적용하여 섬유분포면적을 계산하였다. 각각의 시트로부터 주사한 층의 수를 섬유분포지수 계산에 사용하였으며, 그 계산식은 다음과 같다.

$$FDI = A_{FD} / N_{ML}$$

$A_{FD}$  = fiber distributed area

$N_{ML}$  = number of measured layer by scanning

$$A_{FD} = [ A_S / A_T ] \times 100$$

$A_S$  = sum of fiber measured area from all layers

$A_T$  = total area in calculation

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 습열처리 인공축진 열화실험에 따른 한지의 물성 변화

종이의 대부분을 차지하고 있는 셀룰로오스는 셀룰로오스의 분자량, 또는 중합도 및 그 분포 상태에 크게 의존한다. 고분자로서의 셀룰로오스가 열적, 기계적, 화학적인 처리를 받으면 분자쇄가 절단되며 중합도가 저하된다. 일반적으로 셀룰로오스의 중합도와 셀룰로오스 점도는 상호관계를 보이고 있다. 본 연구에서는 점도를 측정하였고 점도를 통해 중합도와와의 관계도 예측할 수 있다. 전체적으로 열화 전 전통한지의 점도는 약 100cp에 이르고 있는데 비하여 200일 열화 후 점도가 약 15cp에 불과한 것을 확인할 수 있었다 (Figure 1). 구체적으로 점도의 변화율은 셀룰로오스의 분자량과 강도적 성질에 대해 비례관계를 갖고 있으며, 위의 결과로 미루어 볼 때 강도적 성질도 매우 불량하게 나타날 것으로 예측되어진다. 변화율을 살펴보면 한지 D는 88.05%, F는 85.26%, G는 86.73%로 나타났고, 한지 F가 근소한 차이로 가장 적은 변화율을 보였다. 내절도는 각 시료별 열화시간에 따라 1kg 하중을 가하여 측정하였으며 그 변화를 Figure 2에 나타내었다. 한지 D, F, G 한지 모두 시간이 경과함에 따라 감소함을 확인할 수 있었고, 변화율을 살펴보면 한지 D는 61.9%, F는 52.8%, G는 65.2%로 나타났다. 한지 F의 경우 초기에 낮은 강도 값을 보였으나, 전체적인 변화율 면에 있어 가장 안정된 경향을 나타냈다. 한지의 색도, 백색도, 회기도, 불투명도 등 광학적 성질에 미치는 영향을 분석한 결과는 Table 2에 나타내었다. 한지의 색차는 원료 및 제조공정상의 차이에 따라 다소 상이한 결과들을 보였다. 열화시간경과에 따라 L\*값은 감소하고, a\*, b\*값은 증가함을 볼 수 있다. 또한 Brightness와 Whiteness가 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

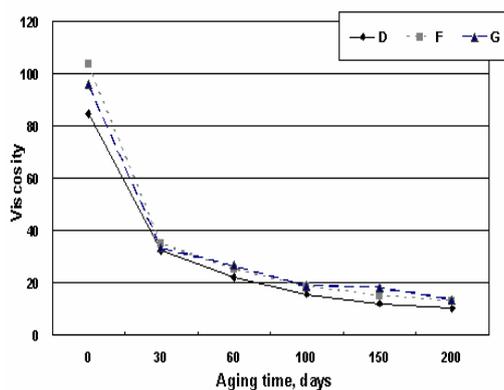


Figure 1. Effect of moist-heat accelerated aging treatment on viscosity

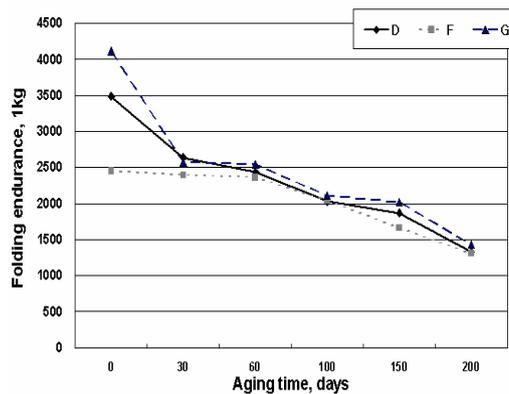


Figure 2. Effect of moist-heat accelerated aging treatment on folding endurance

Table 2. Optical properties on moist-heat accelerated ageing treatment Reduction

Item		L*	a*	b*	Brightness,%	Whiteness, %
Sample						
D	raw paper	82.82	0.11	11.21	52.86	2.80
	30days	79.48	0.59	14.13	47.49	-19.33
	60days	78.90	0.83	14.32	46.57	-21.90
	100days	81.82	1.43	17.57	43.05	-32.94
	150days	80.60	1.72	18.40	41.18	-39.03
	200days	79.96	2.01	18.48	40.10	-41.84
Reduction ratio, %		3.45	-1727.27	-64.85	24.14	1594.29
F	raw paper	73.82	0.51	12.27	41.98	-21.94
	30days	73.57	0.69	14.19	39.65	-35.88
	60days	73.74	0.86	14.35	39.43	-36.45
	100days	78.22	1.18	17.51	38.48	-41.58
	150days	77.74	1.44	18.19	37.28	-46.56
	200days	77.49	1.42	18.36	36.82	-48.16
Reduction ratio, %		-4.97	-178.43	-49.63	12.29	-119.51
G	raw paper	82.18	-0.94	10.45	55.92	10.23
	30days	81.24	-0.62	12.46	52.12	-4.21
	60days	80.87	0.03	13.30	50.59	-10.20
	100days	83.70	0.52	15.41	48.42	-15.83
	150days	82.85	0.86	16.06	46.47	-21.42
	200days	81.92	1.08	16.34	44.79	-25.37
Reduction ratio, %		0.32	214.89	-56.36	19.90	348.00

### 3.2 습열처리 인공촉진 열화실험에 따른 CLSM 변화

#### 3.2.1 CLSM image 분석

한지시료 원지로부터 얻어진 x, y 및 z면에서의 누적된 영상들을 200X로 살펴보았을 때 한지 D, F, G는 섬유 간 양호한 결합력을 보여 두께방향에서도 섬유들이 치밀하게 배열되어 있음을 알 수 있었다. 특히 z-방향으로의 섬유배열이 매우 양호함을 알 수 있었다. 이는 닥나무 인피섬유만의 결합으로 인한 섬유 간 공극들을 전분 및 도침처리로 보강시킴으로써 두께방향으로의 섬유 간 결합력을 강화시켰기 때문으로 생각된다. 400X로 관찰한 결과 닥나무 인피섬유에서만 확인할 수 있는 transparent membrane, dislocation, cross-marking 등이 자세히 관찰되었다. 장기 열화 처리된 시료와 비교하였을 때 열화의 심각한 영향을 입었음을 확인 할 수 있었다.

Table 3. FDI derived from CLSM image

		M <sub>NL</sub>	A <sub>S</sub>	Max layer	A <sub>T</sub> (pixel)	A <sub>FD</sub> (%)	FDI
D	raw paper	47	9050533	614564	28884494	31.3	0.67
	30days	48	4915990	426499	20570201	28.8	0.61
	60days	42	3501766	295679	12418501	28.2	0.67
	100days	92	23985921	1353622	124533224	19.3	0.21
	150days	69	3794847	402823	27732690	14.9	0.21
	200days	72	5631620	466731	33604652	16.8	0.23
F	raw paper	49	2196330	118795	5820955	37.7	0.77
	30days	50	4644660	334214	17905812	33.2	0.71
	60days	55	6410263	306863	16877458	38.0	0.69
	100days	90	13486898	506101	45549090	29.6	0.33
	150days	66	5205276	399316	26514872	20.3	0.33
	200days	63	5354113	683017	24535337	19.5	0.32
G	raw paper	60	10812513	445824	26749446	40.4	0.67
	30days	51	5406980	540291	27554836	33.2	0.65
	60days	56	12539771	678747	38009804	33.0	0.59
	100days	75	7150914	420249	31518700	22.7	0.3
	150days	71	6416564	561918	39494341	16.2	0.23
	200days	72	4585831	456618	34718406	14.6	0.21

### 3.2.2 섬유분포지수(Fiber distribution index, FDI)와 강도적 성질

열화처리에 대한 손상정도를 파악하기 위해 섬유분포지수(Fiber distribution index, FDI)를 도입하여 열화지에 대한 분석을 실시하였다. 그 결과를 Table 3에서 나타내었는데 3 종류의 한지 모두 열화거동 시간이 길어질수록 섬유분포지수는 감소하였다. 한지원지와 200일 열화 후 모두 한지 F가 FDI값이 높음을 볼 수 있었고, 감소율에 있어서 각 지종별(D, F, G)로 67.7%, 58.4%, 68.7%로 나타남으로써 한지 F가 다른 두 종류 한지보다 열화에 안정적임을 확인할 수 있었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 습열처리 인공축진열화실험을 통해 실록 복원용으로 제조된 한지의 손상정도와 보존수명을 예측할 수 있었다. 본 연구로부터 얻어진 자료를 토대로 보존성이 우수한 한지를 선별하고 복원연구에 중요한 자료로 활용하고자 한다.

선행연구에서 건열처리와 자외선 처리 시 가장 우수한 보존성을 나타낸 D, F, G 3종류를 선별하여 습열처리로 실험한 결과 점도의 변화율은 D > G > F 내절도의 변화율은 G > D > F로 백색도의 감소율 또한 D > G > F로 F가 가장 변화율이 적었다. 또한 CLSM image관찰한 결과 섬유 간 양호한 결합력을 보였으며 닥나무 인피섬유임을 확인하였다. 또한 각 시료 FDI 산출한 결과 한지 F가 가장 높은 값을 나타내었다.

전체적으로 진통 이합 전분 도침지인 한지 F가 열화에 가장 안정함을 보였다. 강도감소율과 점도 감소율, 색차에서도 우수한 결과를 나타냄으로 향후 실록 복원용지로써 사용이 적합함을 알 수 있었다.

## 사 사

본 연구는 국립문화재연구소에서 지원한 동산문화재 복원기술개발 중 조선왕조실록 밀랍본 복원기술 연구의 일환으로 진행되었습니다.

## 인용문헌

1. 조병목 외, 조선왕조실록 밀랍본의 열화특성 분석, 보존과학연구 제 28집, 국립문화

재연구소 (2007)

2. 정선화 외, CLSM을 이용한 어저귀 섬유 의 형태학적 특성과 물성연구, 펄프종이기  
술, 제 34집, 펄프종이공학회 (2002)
3. 정소영 외, 조선왕조실록 밀랍본 보존 상태조사, 보존과학연구 제 25집, 국립문화재  
연구소 (2002)