



고점도 지류 및 섬유 문화재의 점도 측정 개선 방법 연구

김영희*, 홍진영*, 조창욱*, 김수지*, 이정민*, 서민석*, 최경화**,¹

* 국립문화재연구소 보존과학연구실

** 강원대학교 제지공학과

¹Corresponding Author: bleaching@kangwon.ac.kr

국문초록

지류, 섬유, 목재와 같은 유기질 문화재는 주요 화학성분으로서 셀룰로오스로 구성되어 있다. 셀룰로오스는 글루코오스가 분자내 또는 분자간 수소결합으로 고분자 결정성 구조를 이루고 있다. 특히 셀룰로오스의 중합도는 종이나 섬유의 강도와 밀접한 관련이 있으며, 종이나 섬유에 있어서 열화의 진행정도나 보존성을 나타내는 지표로서 사용된다. 일반적으로 이러한 셀룰로오스의 분자량을 측정하는 방법으로 TAPPI 표준방법인 CED (cupriethylene diamine)용액을 이용한 점도측정법을 많이 사용하고 있다. 목재 섬유로 제조된 종이의 경우 TAPPI 표준 방법 T230법에 의거하여 셀룰로오스 점도를 측정한다. 그러나 우리나라 종이나 섬유의 주요 원료인 닥나무 인피섬유, 저마, 면 등은 목재 셀룰로오스 섬유에 비해 분자량이 크고 중합도가 높아 현재까지 주로 사용되던 T230법으로는 정확한 점도 측정이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 고점도 측정방법인 TAPPI 표준 방법 T254법에 의거하여 저농도 CED 용액으로 섬유 깊숙이 용액을 침투시켜 해리시킨 뒤 고농도의 CED 용액으로 완전히 용해시키는 방법을 이용하여 한지의 점도를 측정하였고, 열화시편에 적용하여 종이와 섬유의 열화에 의한 손상정도를 측정하였다.

주제어: 점도, 셀룰로오스, 전통한지, 섬유

1. 서론

문화재는 구성 재질에 따라 무기질 문화재와 유기질 문화재로 나눌 수 있다. 무기질 문화재는 석재, 금속, 도자기류 등이고, 유기질 문화재는 목재, 섬유, 지류, 가죽류 등이 해당된다. 문화재의 손상원인은 재질에 따라 다양하게 발생하며 그에 따른 손상형태, 손상정도 등에 따라 보존방안 역시 다양하고 복잡하다. 주재질이 유기질로 구성되어 있는 지류, 섬유류, 목재 문화재는 시간이 지남에 따라 자연적으로 유기적 구조가 변형되어 열화된다. 유기질 문화재는 환경조건, 유기물의 조직학적 구조, 문화재의 형태 등에 열화가 야기되며, 유기질 내부에서의 물리적, 화학적 손상의 형태로 나타난다 (정용재, 2011). 물리적·화학적 손상은 원재료의 특성뿐만 아니라 제조방법 및 보관방법에 의해서 발생한다. 분석방법으로는 함수율, pH, 구리가, 점도, 인장강도, 내절도, 인열강도, 색차, 백색도 등의 화학적, 물리적, 광학적 방법이 이용되고 있다. 광학적 시험법은 종이와 섬유의 열화특성 및 광학적 현상에 대한 정보를 간접적으로 제공하며, 물리적 시험법은 종이와 섬유의 조직구조나 섬유의 매트화 과정에서의 결합특성 등을 분석, 평가하는 방법으로 응용할 수 있다. 또한 화학적 시험법은 원재료에 대한 분자 수준에서의 다양한 정보를 알 수 있다. 이러한 분석법은 유물 또는 유물의 보존, 복원에 사용하는 한지 및 섬유의 특성, 가속노화에 의한 종이 및 섬유의 물리·화학적 특성 또는 노화거동 분석

등에 이용된다. 본 실험에서는 열화의 다양한 분석 기법 중에서 점도 특성을 이용하여 지류와 섬유류에 대한 열화 특성을 분석하고자 한다.

지류, 섬유, 목재와 같은 유기질 문화재는 셀룰로오스가 주성분이다 (Kroschwitz, 1990). 셀룰로오스는 고분자로서 수소결합으로 결정성 구조를 이루고 있다 (Gurnagul et al. 1992). 특히 셀룰로오스의 중합도는 종이나 섬유의 강도적 특성과 밀접한 관련이 있으며, 또한 열화진행 정도나 보존성을 나타내는 지표로써 이용되기도 한다 (Carvalho et al. 2000; Suckling et al. 2001; Zou et al, 1996). 셀룰로오스는 원료의 품질에서부터 제품의 특성에까지 영향을 미치게 된다. 셀룰로오스의 분자량을 측정하는 방법으로 GPC/MALS 등의 고성능 장비를 이용하여 측정할 수 있지만 시료의 전처리 시간이 길기 때문에 다수의 시료를 측정하기에는 어려움이 있다 (Evans and Wallis, 1989). 따라서 비교적 간단한 측정 방법인 점도 분석법을 이용하여 셀룰로오스 분자량을 측정한다. 현재까지 종이 셀룰로오스의 점도 분석은 TAPPI 표준 방법인 T230법에 의거하여 실행되었다. 그러나 우리나라 지류 유물의 주원료인 닥나무 인피섬유는 목재 섬유에 비해 셀룰로오스 중합도가 높고 분자량이 크기 때문에 T230법으로는 정확한 점도 측정이 어렵다. 그러므로 우리나라 지류 유물의 점도 분석을 위해서는 고점도 측정방법인 T254법을 적용하는 것이 적당하다. 따라서 본 연구에서는 고점도인 한지 및 섬유의 열화 평가 시 점도 측정을 위해 TAPPI standard method T254

법을 적용하였으며, 추후 유기질 문화재의 열화평가방법으로 이용하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 전통한지 시편

전통한지는 닥나무 인피섬유를 이용하여 초지한 중성지으로써, 한지 제조공방에 따라 첨가제의 종류 및 초지기법 등이 다르다. 현재 일반적으로 사용되는 국내 3곳의 공방에서 전통기법으로 제조된 평량 29 g/m²의 전통한지를 실험에 사용하였다. 전통한지는 문경전통한지, 장지방, 신현세전통한지 등의 공방에서 초지한 한지를 사용하였다. 이들 한지는 흘림뜨기 기법의 2합지이며, 자숙재로는 육재를 사용하여 제조된 동일 평량의 한지를 사용하였다. 실험 전 초기 물성을 측정하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Properties of hanji samples.

Name	Factories	Thickness(mm)	Basis weight(g/m ²)	Density(g/cm ³)
Mungyeong	A	0.1246	38.04	0.3052
Jangjibang	B	0.1186	33.08	0.2789
Sinhyeonse	C	0.0944	29.00	0.3073

*Natural ash used.

Table 2. The physical properties of fabric samples.

Fabric	Thickness (mm)	Fabric count (Thread/ 5cm)	
		Warp	Weft
Cotton	0.533	103.3	100.4
Ramie	0.316	109.3	116.1

2. 섬유 시편

섬유 시편은 식물계 섬유인 면, 저마를 대상으로 하였다. 면, 저마는 유기질 문화재인 종이 및 섬유류 중에서 동물계 섬유인 견을 제외하면 가장 많은 분량을 점하고 있다. 본 실험에서는 식물성 염료로 염색하지 않은 원단을 실험에 사용하였으며, 직물의 밀도와 두께 측정 결과를 Table 2에 나타내었다.

3. 열화시편

실험 시편의 인공열화는 온도와 시간을 달리하여 가속 열화시키는 방법과 종이와 섬유의 구성성분을 빠른 시간에 분해하는 미생물을 이용한 생물열화 방법 등 두가지 방법을 적용하였다. 온도를 기준으로 한 시편의 열화는 28℃에서 30일 동안 열화시킨 조건과 습도를 배제한 상태에서 120℃의 고온에서 7일 동안 가속열화시킨 조건으로 실험하였다.

이와 같은 건식열화는 지류와 섬유의 인공열화 방법 중 가장 대표적인 열화방법으로 섬유의 상대적인 안정성을 평가하기 위하여 사용된다. 표준방법에 따르면 105℃ 조건에서 72시간 실험할 경우 자연노화 25년에 해당된다고 보고되어 있다. 본 연구에서는 ISO standard 5630-1에 준하여 그 보다 높은 온도인 120℃에서 인공열화를 실시하였다. 미생물에 의한 열화는 유기질 문화재에서 주로 발견되고 셀룰로오스를 분해시키는 능력이 우수하여 종이와 섬유를 이용한 열화실험에서 빠른 시간 내에 결과를 확인하기에 유용한 부후균인 *Trametes versicolor*와 *Tyromyces palustris*를 이용하였다.

4. 점도 측정 방법

점도 측정은 TAPPI Standard method T254에 의거하여 진행하였으며, TAPPI Standard method T254에 제시된 점도값에 대한 셀룰로오스 농도표를 참조하였다 (Table 3). 한지의 점도값이 평균 10,000 이상이기 때문에 셀룰로

오스 농도 0.25%로 하였으며, T 230법에서와 달리 물이 아닌 저농도의 0.167M의 CED 용액으로 팽윤시킨 후 고농도의 CED 용액을 이용하여 완전히 녹인 후 점도를 측정하는 방법으로 한지와 섬유의 점도를 측정하였다.

자세한 실험방법은 다음과 같다. 삼각플라스크에 한지 0.0625g (0.25%)에 0.167M CED 용액 15ml과 유리구슬을 넣고 밀봉한 후 회전식 교반기로 20분간 용해시킨 다음, 1M CED 용액 10ml을 넣고 밀봉한 후 다시 20분간 완전히 용해시킨다. CED 용액은 산소와 반응하여 셀룰로오스의 분해를 유도하므로 밀봉하기 전의 모든 기작은 질소 하에 실시한다. 최종 20분 동안 용해시킨 후 꺼내어 유리 거르개로 필터링 하였을 때 미용해분이 없는 상태를 반응의 종점으로 보고 모세관 점도계를 이용하여 점도를 측정하였다. 완전히 용해가 끝난 셀룰로오스 용액을 25℃ 항온수조에서 오스월드 점도계를 사용하여 점도를 측정하였다. 용액의 유하시간을 이용하여 산출하는 CED 용액 점도식은 다음과 같다.

Table 3. Viscosity-cellulose concentration relationship.

Viscosity mPa · s	Cellulose concentration, %	Moisture-free sample, g	Cupriethylenediamine(CED)	
			0.167M mL	1.0M mL
18 to 25	2.50	0.6250	15	10
25 to 45	2.00	0.5000	15	10
45 to 90	1.50	0.3750	15	10
70 to 150	1.25	0.3125	15	10
120 to 400	1.00	0.2500	15	10
350 to 1600	0.75	0.1875	15	10
1000 or more	0.60	0.1500	15	10

$$\log V = \log K' + \log t + (T - 25^\circ\text{C})(0.01866)$$

V = viscosity of CED cellulose solution

at 25°C , $\text{mPa} \cdot \text{s}$

t = time of fall, s

T = temperature, $^\circ\text{C}$

K' = tube constant

단, 셀룰로오스 농도가 1%가 안 될 경우 보정하는 식은 다음과 같다.

$$\log V_l = \frac{\log V_p + (P - 1)K}{P}$$

V_l = the theoretical viscosity at 1% concentration at 25°C , $\text{mPa} \cdot \text{s}$

P = percent concentration used

V_p = measured viscosity at concentration P and $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$

K = a constant which is 0.73 for bleached pulps and 0.63 for unbleached pulps

섬유의 점도 측정 또한 동일한 과정으로 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 전통한지의 열화전후 점도 분석

전통한지는 장섬유인 닥나무 인피섬유로 제작되어 섬유장이 길고 결정화도가 높기 때문에 탄성이 풍부하고 수소결합력이 증가되어 양지와 비교해 볼 때 물리적 강도특성이 우수하다. 이러한 특성은 점도의 차이에도 나타나며 현재 전통적 기법으로 종이를 만드는 제조 공방에 따라서도 차이를 나타낸다. 이는 전통적 방법으로 초지되는 한지의 제조 과정이 여러 단계를 거치고 사용되는 재료와 방법에 있어 차이가 있기 때문이다. 본 실험에 사용된 한지의 점도를 측정한 결과 초기 한지의 점도 값에서 각 제조사 별로 많은 차이를 보였다. 점도는 A 공방의 한지가 가장 높았으며, 다음은 C 공방, B 공방 순으로 나타났다. 실험 결과를 Table 3에 나타냈다.

열화 온도에 따른 한지의 점도 변화를 측정 한 결과에서도 각 제조 공방 별로 차이를 보였다. B 공방의 한지는 28°C 정도의 상온에서 열화시켰을 경우 점도가 25.75% 증가하였으나, A와 C 공방의 한지는 27.24%, 17.72% 정도 점

Table 4. Viscosity values of hanji after artificial and biological aging.

	A	B	C
Base hanji	57630.66	14257.98	25255.11
28 $^\circ\text{C}$ 30 days	41933.41	17929.12	20780.49
120 $^\circ\text{C}$ 7 days	438.69	188.86	256.47
After sterilization	10812.22	7195.02	19273.64
Trametes versicolor	24.17	45.60	395.13
Tyromyces palustris	1.20	0.49	118.64

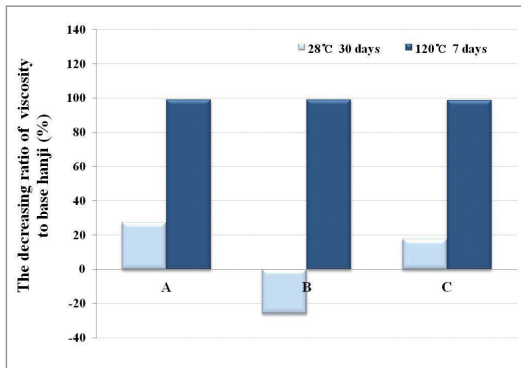


Fig. 1. The decreasing ratio of viscosity for hanjis after artificial aging.

도가 감소하였다. 그러나 120°C의 고온에서 열화시킨 경우는 모든 공방의 한지에서 큰 폭으로 점도가 저하되었다. 가온열화 방법은 자연열화 시 종이가 가질 수 있는 유효수명 등을 평가 분석하는 방법으로 종이의 장기보관 과정에서도 셀룰로오스의 분해가 일어나며, 이는 섬유의 강도 저하에도 영향을 주는 것을 알 수 있다. 온도에 따른 한지의 점도감소율을 Fig. 1에 나타내었다.

멸균시편은 120°C에서 15분 동안 가압하여 살균하게 되는 데 이 조건은 고온열화조건을 한번 거친 것과 유사한 결과를 나타낸다. 미생물 실험을 실시하기 전 멸균 시험편의 점도와 고온 가압조건에서 멸균한 시험편의 점도를 비교했을 때 멸균 시험편의 점도 감소율은 최대 81.24%, 최소 23.68% 정도로 나타났다. 초기 한지의 점도 값이 비교적 높았던 A 공방 한지의 점도 감소율이 높게 나타났으며, C 공방 한지의 점도 감소율이 가장 적었다. 미생물에 의한 점도 감소율 결과를 Fig. 2에 나타냈다.

멸균한 한지 시험편에 백색부후균과 갈색부

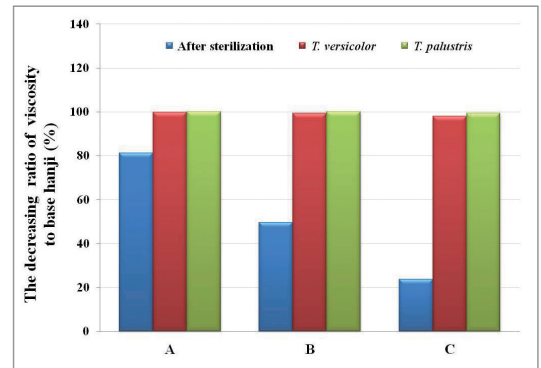


Fig. 2. The decreasing ratio of viscosity for hanjis after biological aging.

후균을 접종한 뒤 30일간 배양한 후 점도를 비교 분석하였으며, 모든 한지의 점도 감소율은 99.99% 정도로 높게 나타났다. 점도 분석 결과에서 특이한 점은 C 공방 한지의 경우 초기 점도 값은 타 공방의 한지에 비해 높은 편은 아니었으나, 온도에 따른 영향뿐만 아니라 미생물에 의한 영향에서도 점도 값이 높게 나타났다는 점이다. C 공방 한지는 다른 공방의 한지보다 두께는 얇았으나 밀도는 동일할 것으로 보아 한지 섬유의 셀룰로오스 함량과 관련이 깊을 것으로 사료된다.

본 실험에서 미생물에 대한 피해 정도를 짧은 기간 내에 영향을 미치도록 하기 위하여 지류에 가장 많은 영향을 미치는 부후균을 이용하였고, 온도와 습도 조건을 미생물의 생육에 적합한 조건하에 실험하였기 때문에 한지에 대한 미생물 피해가 일반적으로 지류 문화재에 영향을 미칠 수 있는 조건보다 심각한 경우이지만, 본 결과로써 미생물이 지류 문화재에 미치는 피해는 시각적으로 관찰할 수 있는 피해보다 심각할 수 있다는 것을 의미한다.

2. 섬유유 의 열화전후 점도 분석

식물계 섬유유 의 주요 구성성분은 셀룰로오스 로써 식물 의 세포벽 을 형성 하는 주 물질 이기 도 하다. 면 섬유 유 에서 의 셀룰로오스 순도 는 매우 높 으나, 나무, 잎, 줄기 등 에 서 는 헤미셀룰 로오스, 리그닌, 펙틴 등 의 물질 이 혼합 된 형태 로 존재 하기 때문 에 모시 와 삼베 등 의 섬유 유 는 셀룰로오스 순도 가 비교적 낮 다. 점도 는 각 각 의 셀룰로오스 섬유 유 에 대한 고유 값 으로서, 이들 식물 성 섬유 유 를 구성 하는 주 성분 인 셀룰 로오스 의 분자 량 정도 와 깊은 관련 성 을 지니 게 된다. 면, 저마, 삼베 의 경우 셀룰로오스 계 세포벽 의 물리 적 구조 및 화학 적 특성 의 차이 가 있으 므로 동종 의 식물 성 섬유 유 라 도 점도 값 의 차이 가 발생 하게 된다. 섬유 유 의 보존 환경 에 따라 셀룰로오스 의 분해 거동 이 적었다 면 점도 값 은 높 게 나타 날 것 이며, 반대로 셀룰로오스 의 분해 거동 이 높 게 영향 을 미쳤 다면 점도 값 은 낮 게 나타 날 것 이다. 본 연구 에 서 는 온도 와 미생 물 을 이용 하여 열화 시킨 섬유 유 의 점도 를 분석 하였 으며, 그 결과 를 Table 4 에 나타 냈 다. 면 과 저마 는 기본 적 으 로 점도 값 에 서 차이 를 나타 내 지 만, 온도 를 달리 하여 실험 한 열화

시험편 의 점도 감소 율 에 서 도 차이 를 보 였다.

면 섬유 유 는 저마 에 비해 점도 값 이 높 게 나타 났 으며, 온도 에 따른 열화 에 서 도 면 섬유 유 의 변화 율 이 크 게 나타 났 다. 28℃ 에 서 30 일 간 열화 시킨 시험편 의 점도 감소 율 은 24.52% 로 나타 났 으며, 120℃ 에 서 7 일 간 고온 가속 열화 시킨 시험편 에 서 84.67% 로 점도 감소 율 이 크 게 나타 났 다 (Fig. 3). 저마 의 경우 면 섬유 유 와 달리 세포벽 의 부산물 이 완전 히 제거 되 지 않았 고, 면 섬유 유 에 비해 셀룰로오스 의 순도 도 낮 아 점도 값 이 낮 게 나타 났 으나, 온도 에 따른 감소 율 은 면 섬유 유 에 비해 낮 았 다. 28℃ 저온 에 서 의 점도 감소 율 은 저마 의 경우 7.66% 로 나타 났 으며, 120℃ 고온 에 서 는 72.6% 의 점도 감소 율 을 보 였다. 낮은 온도 에 서 섬유 유 의 점도 감소 율 이 낮은 것 으 로 보 아, 낮은 온도 에 서 는 셀룰로오스 분해 가 적 게 일 어 나 며, 고온 에 서 는 섬유 유 강도 에 영향 을 미칠 정도 로 셀룰로오스 분해 가 많 이 일 어 나 는 것 을 알 수 있 었 다. 고온 열화 방 법 은 자연 열화 시 종이 가 가질 수 있는 유효 수명 등 을 평가 분석 하는 방 법 을 적용 한 실험 으 로 섬유 유 의 장기 보관 과 정 에 서 도 셀룰로오스 의 분해 가 일 어 나 며 이는 섬유 유 의 강도 저하 에 도 영향 을 미치 게 된 다 는 것 을 알 수 있 다.

Table 5. Viscosity values of fabric after artificial and biological aging.

	Cotton	Ramie
Control	2610.72	953.60
28℃ 30 days	1970.50	880.55
120℃ 7 days	400.26	261.26
After sterilization	2339.49	
Trametes versicolor	43.22	none
Tyromyces palustris	8.15	

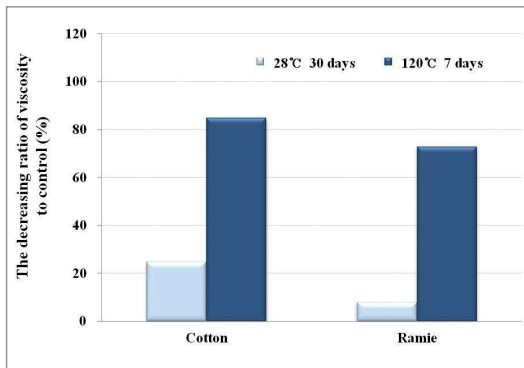


Fig. 3. The decreasing ratio of viscosity for fabrics after artificial aging.

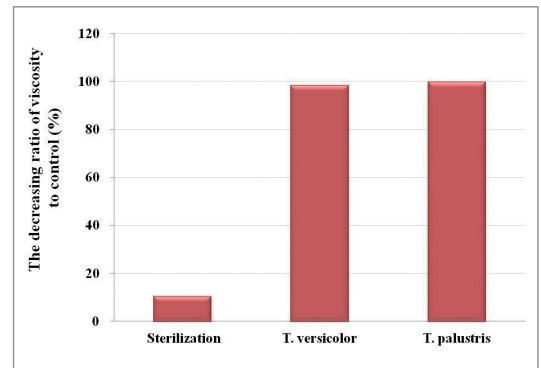


Fig. 4. The decreasing ratio of viscosity for cotton after biological aging.

미생물에 의한 열화 시편의 점도 값 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 백색부후균과 갈색부후균을 면섬유에 처리하여 30일간 배양한 후 점도를 측정하였다.

실험 전 120°C에서 멸균처리한 면섬유의 점도 감소율이 10.39%로 나타났으며, 멸균한 시편에 미생물을 처리한 후 측정된 결과, 점도 감소율이 백색부후균은 98.15%, 갈색부후균은 99.65%로 매우 높게 나타났다. 이는 미생물이 단지 표면에서만 생육하는 것이 아니라 세포벽의 내부까지 침투하여 열화를 야기하기 때문에 육안적으로 열화가 야기되지 않은 시편에서도 손상정도가 심하게 야기됨을 알 수 있었다.

IV. 결론

닥나무 인피섬유로 만들어진 한지는 장섬유로 섬유장이 길고 강도가 높다. 식물성 섬유인 면과 저마 또한 구성성분인 셀룰로오스의 분

자량이 크다. 이러한 섬유 및 지류의 점도를 분석하기에는 목재 섬유 셀룰로오스 점도 분석을 위해 일반적으로 사용된 T230법으로는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 낮은 농도의 CED 용액을 이용하여 섬유를 팽윤시킨 후 고농도의 CED 용액으로 완전히 용해시키는 T254법을 적용하여 점도를 측정하였다. 국내 한지 제조사에서 전통방법으로 제조된 한지의 점도를 측정된 결과 각 제조사별로 많은 차이를 보였으며, 섬유에 있어서도 면섬유가 저마에 비해 점도값이 높게 나타났다. 열화된 시편의 점도변화를 알아보기 위한 고온가속열화 및 생물열화 시편에 대한 점도를 측정된 결과 점도값이 아주 낮게 나타났다. 이것은 높은 온도와 미생물에 의해 섬유와 지류의 셀룰로오스 분해가 많이 일어나 점도가 낮아진 것으로 심각한 열화 원인이며 섬유와 지류의 강도 저하에 영향을 준다.

감사의 글

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소의 지원을 받아 문화유산융복합연구 (R&D)사업의 일환으로 이루어졌으며 이에 감사드린다.

Improvement method for viscosity measurement of high viscosity paper and fabric cultural heritages

Young-Hee Kim*, Jin-Young Hong*, Chang-Wook Jo*, Soo Ji Kim*,
Jeung-Min Lee*, Min Seok Seo*, Kyoung Hwa Choi**¹

* Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage

** Department of Paper Science and Engineering, Kangwon National University

¹Corresponding Author: bleaching@kangwon.ac.kr

Abstract

Paper, textile and wood materials are mainly consisted of cellulose. Cellulose is high molecule and make up the strong crystalline structure by hydrogen bonds. In particular, the polymerization degree of cellulose are closely related to the strength of fiber, and the permanence. the useful life of fiber, also depends on the degradation of this substance. The viscosity of cellulose is considered to be an important indicator of fiber damage in high molecule polymers. The viscosity measurements with CED solution is used to measure the molecular weight and the degree of polymerization of cellulose. Cellulose viscosity of wood fibers is measured with TAPPI standard method T230. However, TAPPI standard method T230 is difficult to completely dissolving the cellulose of high molecular weight and large degree of polymerization, such as Korea traditional papers and fabrics made with mulberry, ramie, cotton fibers. In this study, The high viscosity of hanji and fabric was measured with TAPPI standard method T254. T254 method is that the cellulose specimen with the proper amount of weaker (0.167M CED) solution, and completely dissolved with the stronger (1.0M CED) solution. It was found that cellulose with high degree of polymerization was dissolved more easily in general CED method.

Keyword: Viscosity, Cellulose, Traditional paper, fabric

참고문헌

- 정용재, 2011. 지류 식물문화재보존관리방법. 지류식물문화재보존, 314~315.
- Carvalho MG, Ferreira PJ, and Figueiredo MM, 2000. Cellulose depolymerization and paper properties in E. globulus kraft pulps. Cellulose 7, 359~368.
- Evans R, and Wallis AFA, 1989. Cellulose molecular weight—determined by viscometry. J. Appl. Polym. sci. 37(8), 2331~2340.
- Gurnagul N, Page DH, and Paice MG, 1992. The effect of cellulose degradation on the strength of wood pulp fibres. Nord. Pulp Pap. Res. J. 7(3), 152~154.
- Kroschwitz JI editor, 1990. In: Polymers, fibers and textiles, a compendium. Wiley-Interscience, New York, 237.
- Liu J, Guo D, Zhou Y, Wu Z, Li W, Zhao F, and Zheng X, 2011. Identification of ancient textiles from Yingpan, Xinjiang, by multiple analytical technique. J. Archaeological Sci. 1~8.
- Suckling ID, Allison RW, Campion SH, McGrouther KG, and McDonald AG, 2001. Monitoring cellulose degradation during conventional and modified kraft pulping. J. Pulp Paper Sci. 27, 336~341.
- Ucar G, and Balaban M, 2004. Accurate determination of the limiting viscosity number of pulps. Wood Sci. Technol. 38, 139~148.
- Zou X, Uesaka T, and Gurnagul N, 1996. Prediction of paper permanence by accelerated aging. Cellulose 3, 243~267.