

열화된 한지의 강도보강 처리 기법 탐색

강광호*, 김형진, 이태주, 고승태, 조병목¹⁾

국민대학교 임산공학과, 강원대학교 제지공학과¹⁾

1. 서론

UNESCO에 지정된 우리나라의 세계기록유산은 훈민정음, 조선왕조실록, 직지심체요절, 승정원일기, 조선왕조의 의궤, 해인사 고려대장경판과 제경판, 동의보감으로 총 7종이다. 이중 지류문화재는 조선왕조실록을 포함한 5종이며, 한지에 글을 쓰거나 인쇄된 형식의 종이 기록물로 구성되어 있다. 대부분의 지류문화재는 보존성이 우수한 한지의 특성으로 인해 수백년이 지난 현재에도 그 원형을 유지하고 있지만, 일부 지류문화재는 열화가 심각하게 진행되어 복원과 보존을 통하여 원형을 유지하기 위한 연구가 절실히 요구되고 있다.¹⁻²⁾ 선진국에서는 이미 오래전부터 문화재에 대한 가치를 높게 평가하여 이를 복원하고 보존시킬 수 있는 연구들이 활발하게 진행되고 있으며, 특히 최근에 cellulose ethers를 사용하여 지류문화재의 강도 보강처리 방안을 모색하고 있다.³⁻⁶⁾

본 연구에서는 지류문화재의 강도보강 처리 기법을 탐색하기 위하여 한지를 가혹한 조건으로 열화 시키고, 열화 되어 강도가 저하된 한지에 다양한 cellulose ethers를 적용하였다. 또한 cellulose ethers는 음전하적인 성질을 갖고 있기 때문에 제조한 cellulose ethers에 양이온성 전분과 chitosan을 투입하여 전하중화점을 탐색하였고, 이렇게 제조한 cellulose ethers를 열화된 한지에 bar coater로 코팅하여 강도보강 처리하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 실험에 사용한 한지는 국내 S사로부터 분양받아 사용하였으며 **Table 1**에 제조인자 및 특성을 나타냈다. Cellulose ethers은 Sigma Aldrich에서 분양받은 carboxy-

methyl cellulose (CMC)와 methyl cellulose (MC)를 사용하였으며 기본 특성은 Table 2와 같고, 모든 cellulose ether solutions는 80 °C의 water bath에서 5 %의 농도로 충분히 교반 시켜 제조하였다.

Table 1. Manufacturing factors and properties of Hanji

| Sample name | Materials | Digestion | Bleaching | Dispersal agent |
|-----------------|------------------------|---------------------------------|------------|-------------------------|
| Sunji | Dak 100 % | Na ₂ CO ₃ | sun bleach | <i>Hibiscus manohot</i> |
| Sheet formation | Basis weight | Thickness | Drying | Burnishing |
| Webal | 52.63 g/m ² | 0.14 mm | wood board | treatment |

Table 2. Properties of different cellulose ethers

| Cellulose ethers | Viscosity | Solution |
|------------------|---|------------------------------------|
| CMC sodium salt | 50–200 cP, 2 % in H ₂ O at 25 °C | 5 % in distilled water at 80 °C |
| MC 1 | 15 cP, 2 % in H ₂ O at 20 °C | |
| MC 2 | 25 cP, 2 % in H ₂ O at 20 °C | |
| MC 3 | 400 cP, 2 % in H ₂ O at 20 °C | |

또한 cellulose ether solutions의 전화중화를 위해서 사용한 양이온성 전분은 D사에서 제조한 pH 10, DS 0.08의 SUPERCAT 6080을 5 %로 호화시켜 사용하였고, chitosan은 Y사에서 제조한 탈아세틸화도가 86 %인 CH-002를 1 % 농도의 acetic acid에 0.3 %로 용해시켜 사용하였다.

2.2 실험방법

한지는 KS M ISO 5630-4에 의거하여 150 °C 조건의 oven dryer에서 24 시간 동안 가속 열화를 실시하고 열화된 한지는 온도 23±1 °C, 상대습도 50±2 %의 항온·항습실에서 24 시간 이상 조습 처리하여 물리적 특성 변화를 분석하였다.

Cellulose ethers의 코팅은 Fig. 1의 bar coater를 이용하였으며, rod bar는 No. 55

를 사용하였다. 열화된 한지 샘플의 크기는 150×150 mm로 재단하여 사용하였고, bar coater의 운전 조건 중 코팅 길이는 200 mm로 설정하여 cellulose ethers의 잔여물이 샘플에 잔류하는 것을 방지하였다. Rod bar의 속도와 clamp의 압력은 각각 40 mm/sec, 0.2 MPa로 설정하여 코팅을 실시하였다.



Fig. 1. Image of auto bar coater.

또한 cellulose ether solutions의 음전하적인 특성을 개선하기 위하여 cellulose ether solutions에 양이온성 전분과 chitosan을 점차적으로 첨가하여 전하점이 0 mV가 되는 투입 조건을 Mütec 사의 PCD를 이용하여 탐색하였다.

3. 결과 및 고찰

열화된 지류문화재를 강도보강 처리하기 위해서 지류문화재의 열화 수준 정도를 시뮬레이션 하여 150 °C의 온도 조건에서 24 시간 동안 한지를 열화 시켰다. 그 결과 내절도는 발직각 방향에서 29.6 %, 발평행 방향에서 26.3 %의 강도 값이 감소되었고, 인장강도는 발직각 방향에서 15.4 %, 발평행 방향에서 22.2 %의 강도 값의 감소를 보였다. 또한 열화가 진행됨에 따라 한지 섬유유의 경화가 진행되어 강도에 영향을 미치기 때문에 이러한 관계를 나타낼 수 있는 tensile energy absorption (TEA) 값을 측정된 결과 발직각 방향에서 40.7 %, 발평행 방향에서 40.0 %로 TEA 값의 저하가 높게 나타났다. 또한, 강도가 저하된 열화 한지의 강도 보강 처리를 위하여 CMC, MC의 cellulose ethers와 양이온성 전분 및 chitosan을 bar coater를 이용하여 코팅처리 하였

다. 코팅처리 시 rod bar No. 55를 이용하였으며 코팅량은 9.27 g/m^2 으로 나타났다.

Fig. 2는 CMC와 MC 1~3의 cellulose ethers를 사용하여 코팅한 열화 한지와 cellulose ethers에 양이온성 전분이나 chitosan을 혼합하여 코팅한 열화 한지의 내절도 결과이다. 열화 한지에 cellulose ethers를 이용하여 강도 보강 처리를 한 결과 열화 한지의 내절도 값보다 강도 보강 처리를 한 한지의 내절도 값이 오히려 낮아지는 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 cellulose ethers로 코팅 시 별도의 press나 calender 처리를 하지 않아 코팅 후 한지에 잔류하던 수분에 의해서 강도 값이 낮아진 것으로 사료된다.

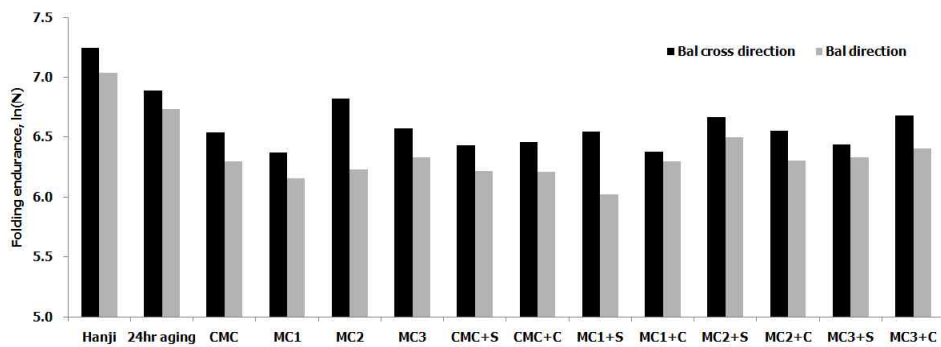


Fig. 2. Properties of folding endurance of Hanji samples treated by different cellulose ethers and C-starch or chitosan.

Fig. 3은 CMC와 MC 1~3의 cellulose ethers를 사용하여 코팅한 열화 한지와 cellulose ethers에 양이온성 전분이나 chitosan을 혼합하여 코팅한 열화 한지의 인장강도 결과이다. **Fig. 2**의 내절도 결과와는 달리 cellulose ethers를 이용하여 강도보강 처리를 하였을 때 모든 조건에서 우수한 강도 증대 효과를 나타냈으며, 특히 MC 1에 starch를 혼합하여 코팅 처리한 열화 한지는 열화 한지의 인장강도에 비해 약 133%의 강도 증가 효과를 보였고, 이 결과는 열화 전 한지의 인장강도 값보다 높게 측정되었다.

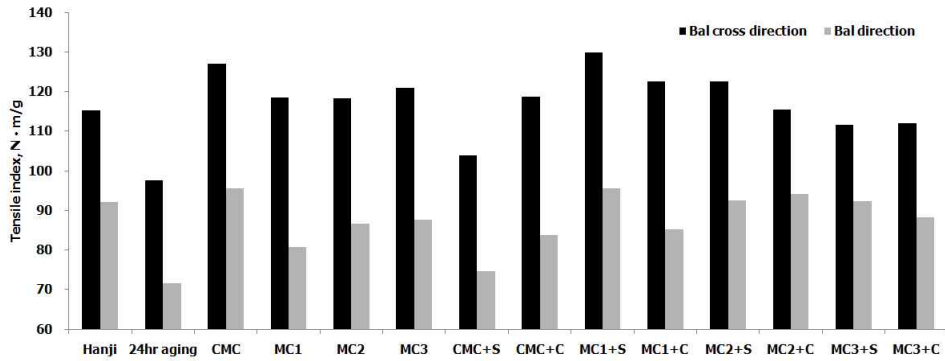


Fig. 3. Properties of tensile strength of Hanji samples treated by different cellulose ethers and C-starch or chitosan.

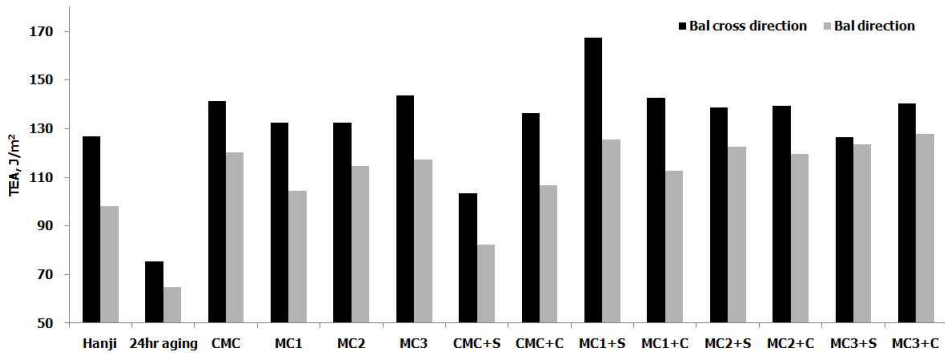


Fig. 4. Properties of tensile energy absorption of Hanji samples treated by different cellulose ethers and C-starch or chitosan.

Fig. 4은 CMC와 MC 1~3의 cellulose ethers를 사용하여 코팅한 열화 한지와 cellulose ethers에 양이온성 전분이나 chitosan을 혼합하여 코팅한 열화 한지의 TEA 결과이다. Fig. 3의 인장강도의 결과와 마찬가지로 cellulose ethers로 강도 보강 처리를 하였을 때 모든 조건에서 우수한 TEA 증대 효과를 나타냈으며, MC-1에 양이온성 전분을 혼합하여 코팅 처리한 열화 한지는 열화 한지의 TEA 값에 비해 발직각 방향에서 222.5 %, 발평행 방향에서 193.5 %의 높은 강도 보강 효과를 나타냈다.

4. 결 론

열화가 심각한 일부 지류문화재의 강도를 보강하기 위한 기법을 탐색하기 위해 150 ℃에서 24 시간 열화된 한지에 다양한 cellulose ethers와 양이온성 전분 및 chitosan을 이용하여 코팅처리 하였다. 그 결과 MC 1 (15 cP, 2 % in H₂O at 20 ℃)에 양이온성 전분을 혼합하여 처리하였을 때 강도 증대 효과가 가장 우수 하였으며, 이때 TEA의 값은 열화전 한지에 비해 발직각 방향에서 131.9 %, 발평행 방향에서 127.8 % 증가하여 열화전 한지 보다 더 높은 강도 값을 보이는 것으로 나타났다.

5. 사 사

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

6. 인용문헌

1. 조선왕조실록 밀랍본 복원기술 연구 결과보고서, 국립문화재연구소, 대전 (2006).
2. 조선왕조실록 밀랍본 복원기술 연구 결과보고서, 국립문화재연구소, 대전 (2007).
3. Ardelean, E., Asandei, D., Tanase, M., and Bobu, E., Study on some resizing and consolidation methods of old paper support, *European J. Science and Theology* 3(3):53-61 (2007).
4. Baker, C., Methylcellulose & sodium carboxymethylcellulose: Use in paper conservation, *The book and paper group annual*, Vol. 1, The american institute for conservation(1982).
5. Seki, M., Sonoda, N., Morita, T., and Okayama, T., A new technique for strengthening book papers using cellulose derivatives, *Restaurator*, 26:239-249 (2005).
6. Feller, R. L., Wilt, M., Evaluation of cellulose ethers for conservation, *The getty conservation institute* (1990).