

화학적 보강 방법에 따른 열화 종이의 보강 특성

이혜윤 · 이제곤 · 김민수 · 심규정 · 윤혜정[†]

접수일(2014년 10월 1일), 수정일(2014년 10월 10일), 채택일(2014년 10월 13일)

Strengthening Performance of Aged Papers with Chemical Strengthening Treatments

Hyeyoon Lee, Jegon Lee, Minsu Kim, Kyujeong Sim and Hye Jung Youn[†]

Received October 1, 2014; Received in revised form October 10, 2014; Accepted October 13, 2014

ABSTRACT

Many historical archives have been deteriorated by aging with time. Various kinds of defects such as worm-hole, yellowing, brittleness are observed and their severity was dependent on raw material type, storage condition, and so on. For a long-term use and storage, a proper preservation treatment is required. Many studies on preservation and conservation have been carried out on hanji which was made from mulberry fiber, but there are few concerns on foreign paper. Therefore, aging and chemical strengthening treatment was done on paper made of bamboo and wood fibers depending on aging condition, the type and pickup weight of chemicals and treatment method. When methyl cellulose was treated with impregnation or brushing, the aged paper was strengthened effectively. The strengthening effect by chemicals was dependent on the aged condition of the paper.

Keywords: Aging, strengthening, cellulose derivatives, preservation, bamboo fibers

1. 서론

종이 기록 문화유산은 단순한 종이로서의 존재가 아니라 만들어진 당시의 자연, 문화, 역사 등 현재를 살아가는 인류가 과거를 돌이켜볼 수 있는 역사적, 문화사적 가치를 지니고 있어 그 중요성이 매우 높다. 종이

기록물은 오랜 시간을 걸쳐 전해져 내려오면서 온전하고 양호한 상태로 존재하는 것 외에도 벌레에 의한 구멍, 황변, 불에 탄 흔적, 부스러짐 등 열악한 상태로 전해져 내려온 것 또한 많이 존재한다. 열악한 자료 중에는 역사적 가치가 매우 높은 것도 포함되어 있어 그 안타까움은 매우 크다. 시간에 경과에 따른 노화는 필연

• 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 (Dept. of Forest Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea)

† 교신저자 (Corresponding Author): E-mail: page94@snu.ac.kr

적인 것이지만, 원료, 초지방식, 보관환경, 사용 빈도 등 다양한 요인에 따라 기록물의 노화 상태는 천차만별이다. 기록물의 노화 상태를 정확히 진단하고 그에 맞는 적절한 보존 방안을 마련하지 않는다면 귀중한 종이 기록 문화유산이 소실되는 것은 자명한 일이다. 따라서 이를 방지하고 장기간 보존하기 위해 국내외적으로 노화를 일으키는 주요 원인과 기작을 구명하고 특성을 파악하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다.

종이의 노화를 야기하는 주요 기작은 산 촉진 가수분해(acid-catalyst hydrolysis)와 산화 반응(oxidation)으로 알려져 있다.¹⁻⁴⁾ 이 기작으로 인해 종이를 이루고 있는 주성분인 셀룰로오스가 분해됨으로써 중합도가 감소하고 점차적으로 종이의 상태가 열악해진다. 이와 같은 종이 노화를 방지하고 손상되어 약해진 상태를 보완하기 위해 알칼리 토금속을 이용한 탈산처리와 강도를 보강할 수 있는 다양한 방법들이 고안되었다. 강도 보강 방법에는 셀룰로오스 유도체를 이용한 표면 코팅, 라미네이팅, 라이닝, 배접, 리프캐스팅, parylene 코팅 등 다양한 방법이 있다. 셀룰로오스 유도체를 이용한 코팅 방법은 셀룰로오스를 에스테르화 또는 에테르화하여 셀룰로오스 유도체로 만든 것⁵⁾으로 이를 노화된 양지에 적용하여 강도를 개선할 수 있다는 결과가 보고된 바 있다.⁶⁻⁸⁾ 현재 여러 종이 기록물 보존 관련 기관에서는 강도 보강 효과와 노화 안정성 측면에서 우수한 성질을 보이는 메틸셀룰로오스를 주로 사용하고 있다. 최근 국내에서도 노화된 한지의 강도 보강을 위한 연구가 진행되었다. 유네스코 세계기록문화유산으로 등재되어 있는 조선왕조실록 밀랍본 보존 및 복원을 위한 연구에서도 조선왕조실록을 이루고 있는 한지에 다양한 합성 또는 천연 고분자물질을 적용하여 강도 개선

의 효과를 보고한 바 있다.⁹⁻¹¹⁾ 하지만 이러한 연구들은 국내 전통 기록물인 주로 한지에 한해 진행되었다는 한계를 지니고 있다.

서울대학교 내 규장각한국학연구원에서 소장하고 있는 종이 기록 유산 중에는 한지로 된 것 뿐 아니라 중국서 및 1910년 이전 외교 문서 등 다양한 귀중본이 있다. 대부분의 중국서는 닥섬유가 아닌 대나무 및 짚섬유로 추정되는 섬유로 제조된 종이를 구성되었다. 현재 일정한 온습도 조건에서 보관되고 있으나 자료마다 노화 상태가 다양하다. 동시대에 한지로 제작된 도서에 비해 부스러짐, 황변 등 노화 상태가 더 열악한 상태이기 때문에 적절한 보강방법을 찾아 보존성을 향상시키는 것이 매우 중요하다. 그러나 안타깝게도 기존 연구는 앞서 언급한 바와 같이 한지 위주로 진행되어 왔기 때문에 한지 외 다른 섬유로 구성된 지류 자료에 대한 연구는 부족한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 중국서의 보존성을 높이기 위한 기초로서 중국서를 이루는 대나무 섬유가 포함된 종이를 이용하여 노화 모델을 제작하고 적절한 강도 개선 방법을 화학약품 처리 측면에서 찾고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료

2.1.1 종이

우리나라가 보유 중인 중국 외서들의 섬유 원료와 유사한 섬유로 구성된 종이인 죽지를 구매하여 사용하였다. 죽지는 대나무 펄프와 목재펄프를 혼합하여 제조한 종이로서 본 실험에서 평량 32 g/m², 두께 93 μm의

Table 1. Specifications of strengthening agents

Chemical	Mark	Specifications	Supplier
Methyl cellulose	MC 15	15 cPs at 20 °C (2% in H ₂ O)(lit.)	Sigma-aldrich
	MC 25	25 cPs at 20 °C (2% in H ₂ O)(lit.)	Sigma-aldrich
Carboxymethyl cellulose	CMC	low viscosity, 50-200 cPs at 25 °C (4% in H ₂ O)(lit.)	Sigma-aldrich
Polyvinyl alcohol	PVOH	Mw 31,000 ~ 50,000 g/mol	Sigma-aldrich
Oxidized Starch	OS	5.2 cPs at 23±2 °C (2% in H ₂ O)(lit.)	Samyang Genex

이합 죽지를 사용하였다. 정확한 섬유 혼합비에 대한 정보를 얻을 수 없었으나, 현미경 관찰에 따르면 약 50:50의 개수 비율로 대나무 펄프와 목재 펄프가 혼합되어 있는 것으로 판단되었다. Fiberlab(Kajaani, Finland)으로 측정된 길이 평균 섬유장은 2.18 mm 이었다.

2.1.2 보강 약품

강도 보강을 위해 사용된 약품은 기존에 보고된 문헌을 참고하여 선정하였다. 중국서의 종이와 우리나라 한지 종이에 비해 섬유장이 더 짧고 중합도가 더 낮은 것을 고려하여 약품 중 저점도 특성을 갖는 약품을 선정하였다. 셀룰로오스 유도체인 메틸셀룰로오스(methyl cellulose, MC)와 카르복시메틸셀룰로오스(carboxymethyl cellulose, CMC), 폴리비닐알코올(polyvinyl alcohol, PVOH) 및 산화전분(oxidized starch, OS)을 사용하였다. 선정된 각 약품의 특성은 Table 1과 같다.

2.2 실험용 노화 모델 종이 제작

규장각한국학연구원이 소장하고 있는 손상된 중국서에 직접적으로 보강 실험을 수행할 수 없기 때문에 본 연구를 위해 중국 외서 노화 상태를 모사한 시료를 제작하였다. 중국서의 노화 상태를 육안상 임의로 양호, 불량, 매우 불량으로 분류하였고 이를 바탕으로 노화 모델 종이를 세 가지 노화 상태로 달리하여 준비하였다. 공시 재료인 죽지를 국제 표준 시험법 ISO 5630-1 건식 노화 방법과 ISO 5630-3 습식 노화 방법을 참고하여 인공 가속 노화를 진행하였다. 건식 노화는 (105±2)℃ 오븐에서 진행하였고 습식 노화는 일정한 온습도 조절이 가능한 항온 항습기를 이용하여 (80±0.5)℃, 상대습도 (65±2)% 조건에서 진행하였다.

노화 후, 노화 조건 및 시간에 따라 종이 시료의 인열지수 감소율을 기준으로 세 가지 노화 모델 시료를 제작하였다.

2.3 강도 보강 처리

강도 보강 처리는 노화 상태, 보강 약품 종류 및 처리 방법, 달리하여 실시하였다. 보강 처리에 사용된 약품 중 셀룰로오스 유도체는 수용액으로 준비하였다. 메틸셀룰로오스는 90℃의 탈이온수에 파우더를 조금씩 넣고 완전히 분산될 때까지 계속 교반하여 준비하였으며 카르복시메틸셀룰로오스는 온수 및 냉수 모두 용해가 잘 되기 때문에 상온의 탈이온수에 파우더를 조금씩 투입하며 용해시켰다. 폴리비닐알코올은 95℃ 온도에서 20분 동안 교반하면서 용해시켰고 산화전분은 95℃ 온도에서 30분간 호화하여 준비하였으며 모든 약품 용액은 농도를 달리해서 픽업량을 조절하였다.

보강 방법으로는 Fig. 1과 같이 약품에 종이를 일정 시간 담가 내부로 침투시키는 침지(impregnation) 방법, 지류 수리복원용 붓을 이용하여 표면에 일정량을 도포하는 도포(brushing) 방법, 압축식 스프레이를 이용하여 표면에 고르게 분사하는 스프레이(spraying) 방법을 적용하였다. 침지법은 보강 용액에 1분간 침지시킨 후 꺼내 고무 롤러와 죽지를 이용하여 종이 표면에 도포된 과량의 용액을 제거하고 (23±1)℃, RH (50±2)% 조건에서 자연건조 하였다.⁹⁾ 도포법은 붓을 이용하여 종이 양면에 도포한 후, 종이 표면의 과량 용액을 제거하고 침지법과 동일하게 자연 건조하였다. 스프레이법은 판 위에 종이를 두고 압축식 스프레이를 이용하여 좌우 5번, 상하 5번씩 양면 분사하였다.⁸⁾ 분사 후에는 과량 용액 제거하고 침지법 및 도포법과 동일하게 자연 건조하였다. 픽업량은 1 g/m² - 3 g/m² 범

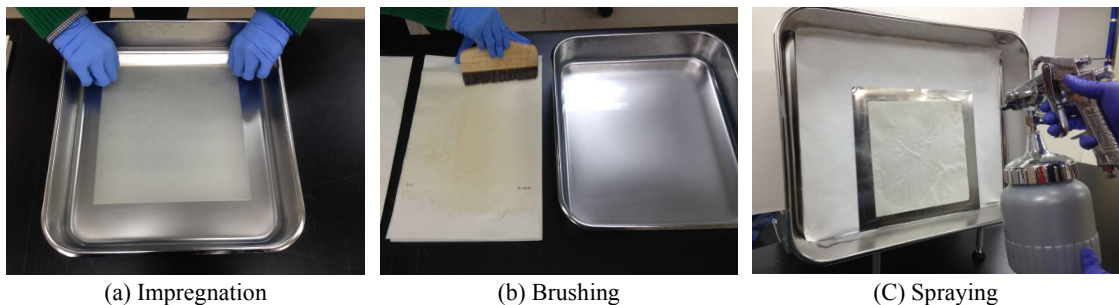


Fig. 1. Application of strengthening agents.

위 내에 있도록 하였다. 보강액의 픽업량은 보강처리 전 · 후의 무게를 측정하여 계산하였다.

2.4 강도 보강 효과 분석

보강 약품이 처리된 노화 모델 시료를 항온항습 조건 (23±1)℃, RH (50±2)%에서 조습처리한 후, 인장강도, 내절도를 각각 ISO 1924-2, ISO 5626에 의거하여 측정함으로써 종이의 보강 효과를 평가하였다. 내절도는 0.5 kg의 인장 조건에서 평가하였다. 또한 색도는 Elrepho를 이용하여 측정하여 보강 후 변색 정도를 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험용 노화 모델 시료 제작

종이의 인열강도는 내절도와 함께 종이의 내구성을 평가하는 주요 강도적 특징 중의 하나이다. 본 실험에서는 노화시간에 따른 인열지수 감소 결과를 통해 종이의 노화 정도를 파악하고 이를 바탕으로 실험용 노화 모델 시료를 마련하였다. Fig. 2는 인공 가속 노화 후, 노화 조건 및 시간에 따른 인열지수 감소 결과 그래프를 나타낸 것이다. 인공 가속 노화시간이 길어질수록 건식 및 습식 노화에 따른 인열지수는 점점 감소하는 경향을 보였다. 특히 노화 초기에 강도가 더 급격하게 감소하다가 후반에는 점차 완만하게 감소하였다. 이는 Feller 등¹²⁾과 Zervos¹³⁾가 보고한 바와 같이 노화 초기에 산 촉진 가수분해와 산화 반응으로 인해 결합이 약한 부분 또는 산에 취약한 결합 부분이 먼저 분해되고

비결정 영역이 분해되면서 빠르게 강도가 감소한 것으로 판단된다. 또한 건식 노화가 습식 노화보다 강도 감소율이 더 큰 결과를 보이는 것은 Zou 등¹⁴⁾과 Kato 등¹⁵⁾의 연구결과와 같이 건식 노화 조건의 온도가 습식 노화 조건의 온도보다 더 높아 분해가 더 가속화되고 중합도가 감소하여 인열지수 감소율이 더 큰 것으로 판단된다. 이러한 결과를 토대로 실험용 노화 모델은 건식 노화 인열지수 감소율을 기준으로 준비하였다. 양호 모델(good, 대조군)은 노화시키지 않은 죽지로 선정하였고 불량 모델(poor)은 40% 인열지수 감소율 값을 보인 건식 노화 6일, 매우 불량 모델(very poor)은 70% 인열지수 감소율 값을 보인 건식 노화 18일로 적용하여 준비하였다.

선정된 실험용 노화 모델인 양호, 불량, 매우 불량 모델은 표면 pH가 각각 5.97, 4.85, 4.52를 보여 노화가 더 진행된 모델일수록 더 낮은 값을 나타내었다. 색도 L* 값은 90.3, 89.2, 86.7, 색도 a* 값은 -0.55, 0.04, 0.98, 색도 b* 값은 10.31, 14.35, 17.85 값으로 노화 상태가 불량할수록 L* 값은 감소하였으며, a*, b* 값은 증가하였다.

3.2 노화 종이의 보강 효과 평가

3.2.1 약품에 따른 보강 효과

준비한 세 가지 노화 상태별 모델 종이에 보강 약품을 상이한 방법으로 적용한 후, 인장강도를 평가하였다. 침지법으로 약품 처리한 열화 종이의 인장강도의 결과를 Fig. 3에 제시하였다. 선정된 다섯 가지 보강 약품으로 처리했을 때 모두 인장강도가 상승하는 결과를 보였다. 즉, 노화 상태 및 보강 처리 방법에 상관없이 픽업량이 증가할수록 강도가 증가하였다. 다섯 가지 보강 약품 중 셀룰로오스 유도체인 메틸셀룰로오스와 카르복시메틸셀룰로오스가 폴리비닐알코올과 산화전분보다 더 높은 인장강도 값을 보여 보강 처리에 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Kim 등⁹⁾의 연구와 유사한 결과로서 셀룰로오스 유도체로 보강하였을 때 종이 구성 섬유에 관계없이 강도 개선에 더욱 효과가 있음을 보여준다.

내절도는 종이의 내구성을 평가하는 항목 중 하나로 본 연구에서 보강 효과를 판단하는 데 있어 중요한 항목이라고 할 수 있다. Fig. 4는 세 가지 노화모델에 침지법으로 보강약품을 적용한 후 측정된 내절도 결과이

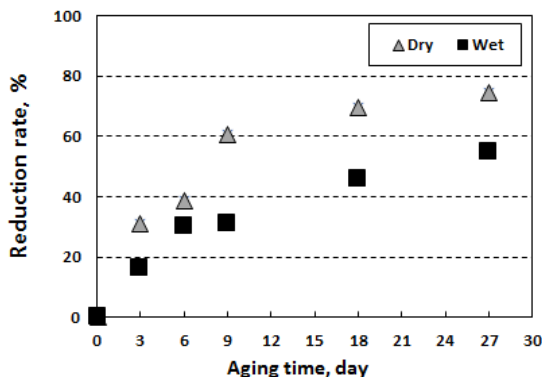


Fig. 2. Reduction in tear index with aging time.

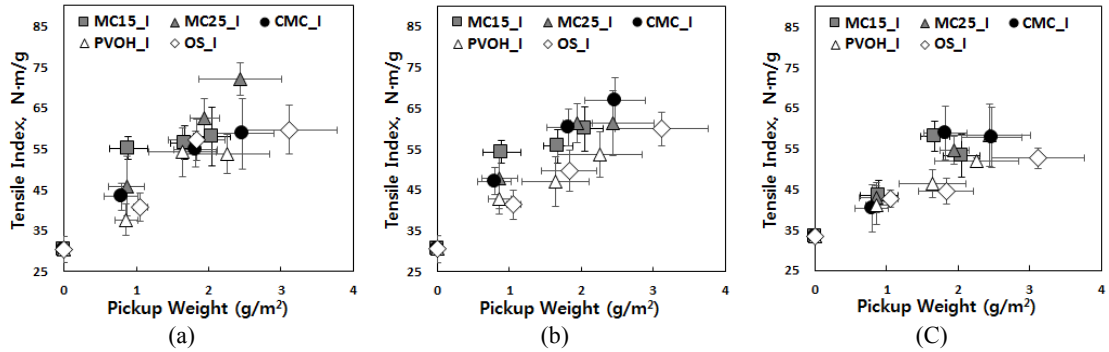


Fig. 3. Tensile index of the aged sheets by impregnation of chemicals: (a) Good (b) Poor (c) Very poor samples.

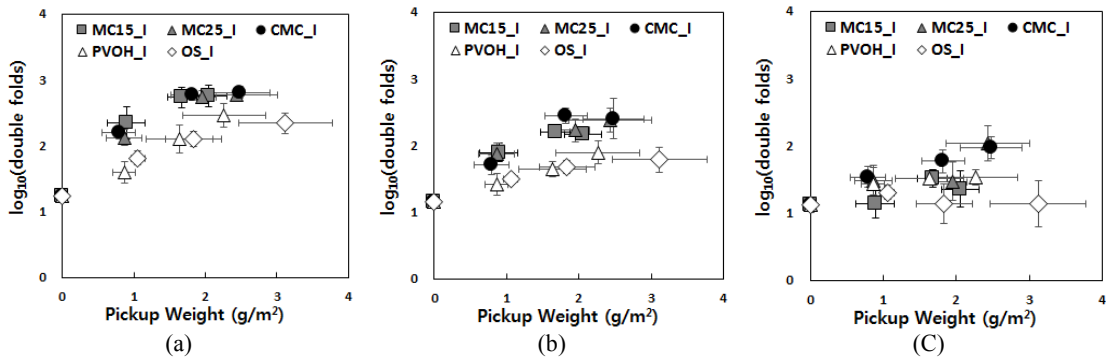


Fig. 4. Folding endurance of the aged sheets by impregnation of chemicals: (a) Good (b) Poor (c) Very poor samples.

다. 인장강도 결과와 유사하게 셀룰로오스 유도체가 적용된 종이 가 다른 적용 약품에 비해 더 높은 내절도를 가졌다. 셀룰로오스 유도체 중에서는 카르복시메틸 셀룰로오스가 메틸셀룰로오스보다 다소 더 높은 내절도 값을 보였다. 반면 매우 불량 노화 시료의 경우 산화

전분의 픽업량이 증가함에 따라 내절도가 다소 감소하는 결과를 보였다. 이는 전분에 의해 종이의 스티프니스가 증가하여 내절도가 오히려 감소하는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 보강 약품의 픽업량에 따른 색도 b^* 값 결과

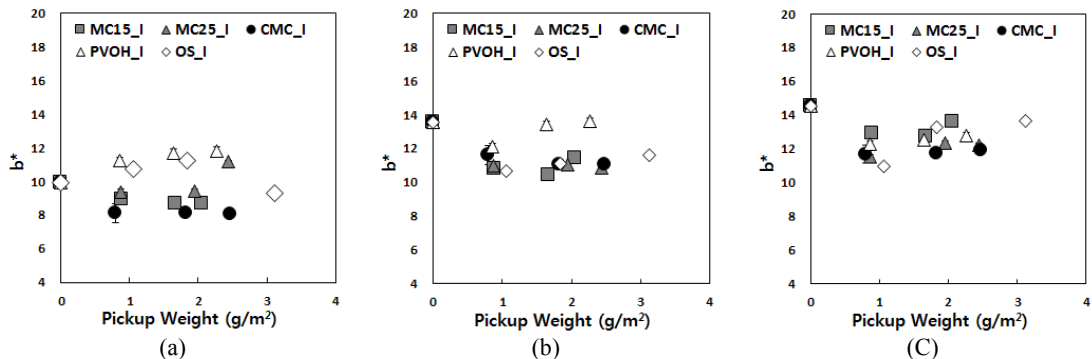


Fig. 5. Changes in b^* value depending on chemical impregnation: (a) Good (b) Poor (c) Very poor samples.

를 나타낸 것이다. 색도 b^* 값은 약품의 종류 및 보강 방법에 따라 종이 표면의 변색 정도를 파악하기 위해 측정되었다. CIELAB color system에서 색도 b^* 값은 주로 종이 노화에 따른 황변정도를 측정할 때 많이 사용되는 값으로 플러스 값일수록 황색을, 마이너스 값일수록 파란색을 나타낸다. 보강 처리 후, 전반적으로 픽업량에 관계없이 무처리 종이보다 유사하거나 다소 낮은 결과를 보였다. 이는 약품 적용 후 모델 종이의 황변 정도는 픽업량에 영향이 크지 않은 것으로 여겨진다. ‘양호’ 노화 모델의 경우 셀룰로오스 유도체로 처리한 것이 무처리에 비해 b^* 값이 더 낮은 결과 값을 보였다 (Fig. 5(a)). ‘불량’ 노화 모델과 ‘매우 불량’ 노화 모델에서도 약품을 처리하지 않은 종이보다 다소 낮은 결과를 보였다(Fig. 5(b), Fig. 5(c)). 특히 우수한 보강 효과를 보인 셀룰로오스 유도체가 처리된 종이는 무처리 시 편보다는 다소 낮은 값을 보였다.

3.2.2 보강방법에 따른 보강 효과

이전 보고된 문헌들은 하나의 방법으로 다양한 종류의 보강 약품을 적용하고 그에 따른 보강 효과를 평가한 내용이 주를 이루고 있다.⁶⁻¹¹⁾ 따라서 상이한 적용 방법으로 처리하였을 때 종이의 보강 효과가 어떻게 달라지는지를 평가하고자 하였다. 앞선 결과를 바탕으로 각 노화 모델에서 우수한 보강 효과를 보인 셀룰로오스 유도체 중 메틸셀룰로오스(MC 25)를 선정하여 평가하였다. 세 가지 보강 방법인 침지(I), 도포(B), 스프레이(S) 방법으로 메틸셀룰로오스를 처리한 후 측정하였다. 보강 약품의 점도 특성 등으로 인해 동일 픽업량으

로 맞추는 것이 어려웠기 때문에 Fig. 3에서 보는 바와 같이 $1 \text{ g/m}^2 - 3 \text{ g/m}^2$ 범위 내에서 픽업량을 달리하여 약품 처리를 실시한 후 실제 픽업량에 따른 강도의 선형회귀분석을 진행하였다. 이 회귀식을 바탕으로 픽업량 2 g/m^2 일 때의 인장지수와 내절도 증가율을 각각 Fig. 6과 Fig. 7에 제시하였다. 양호 모델의 인장강도 증가율은 침지법이 110%로, 각각 92.9%, 92.1%을 보인 도포법과 스프레이법에 비해 다소 높은 인장강도 증가율을 보였고 도포법과 스프레이법은 유사한 보강 효과를 보였다. 불량 모델의 인장강도 증가율은 침지와 도포법이 각각 94.0%, 93.9%로, 스프레이법인 80.7%보다 높은 보강 효과를 보였다. 반면 매우 불량 모델에서는 침지, 도포, 스프레이방법 모두 62.9%, 65.0%, 63.2%로 비슷한 결과를 나타내었다. 세 가지 노화 모델 사이에 보강 방법별 보강 효과를 비교해 보면 양호 모델은 매우불량 모델에 비해 약 1.5 배 정도 인장강도 증가율이 훨씬 더 높은 결과를 보인다. 같은 방법, 같은 픽업량, 같은 약품으로 적용하였음에도 노화상태의 차이에 따라 강도 향상에 차이를 보임을 알 수 있었다. 이는 노화 상태에 따라 보강 효과가 다를 수 있음을 의미한다. 특히 종이의 노화 상태가 열악할수록 보강 처리가 절실함에도 불구하고 강도 향상 정도가 낮았다.

내절도 결과도 인장강도와 유사한 경향을 보였다. Fig. 7은 메틸셀룰로오스(MC 25)를 세 가지 보강 방법에 따라 적용하고 측정된 내절도 증가율이다. 양호 모델에서는 침지, 도포, 스프레이 방법이 각각 115.9%, 112.3%, 96.2%를 보여 침지 또는 도포 방법에서 보강 효과가 우수하였다. 불량 모델의 경우 각각 93.1%,

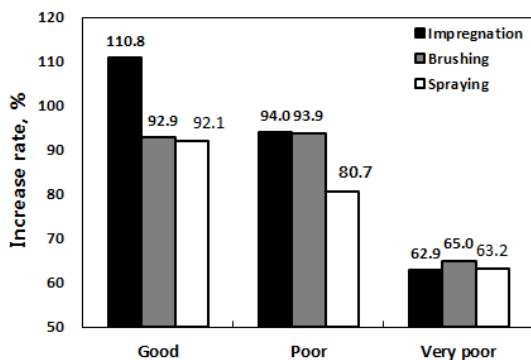


Fig. 6. Increase in tensile index depending on treatment method.

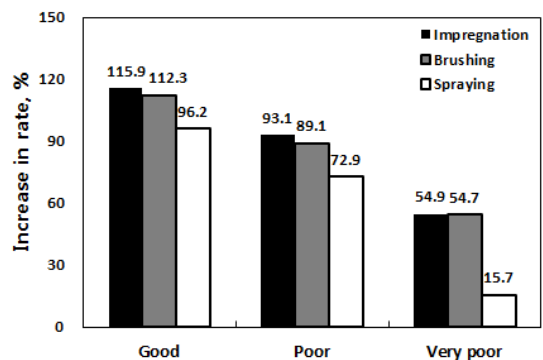


Fig. 7. Increase in folding endurance depending on treatment method.

89.1%, 72.9%, 매우 불량 모델의 경우 각각 54.9%, 54.7%, 15.7%로, 침지, 도포, 스프레이 방법 순으로 우수한 보강 효과를 보였다. 또한 내절도에서도 인장강도 결과와 동일하게 노화 상태에 따라 보강 효과 정도가 달랐다.

인장강도와 내절도 결과를 종합하여 보면 침지법, 도포법, 스프레이법 순서로 강도 증가율이 더 높았다. 이는 침지법이 상대적으로 종이 공극 내 약품 침투가 더 많이 이루어져 보강 효과가 더 좋은 것으로 판단된다. 또한 세 가지 보강 방법은 종이의 노화 상태에 따라 다른 보강 효과를 보였다. 양호 모델의 경우 인장강도는 110%, 내절도는 115% 정도 강도 향상 능력을 보였지만 매우 불량 모델의 경우 인장강도는 최대 60% 정도, 내절도는 55% 정도로 양호 모델의 약 1/2 수준의 강도 향상 능력을 보였다. 이는 매우 불량 모델과 같이 노화로 인해 종이의 결정영역 및 비결정영역의 분해가 더 진행된 종이에서는 강도 향상에 어느 정도 한계가 존재하며 이를 더 보완할 수 있는 추가적인 연구가 진행되어야 한다고 판단된다.

Fig. 8은 메틸셀룰로오스를 상이한 방법으로 처리한 종이의 b^* 값을 나타내었다. Fig. 8(a)는 양호 모델의 b^* 값, Fig. 8(b)는 불량 모델의 b^* 값, Fig. 8(c)는 매우 불량 모델의 b^* 값이다. 양호 모델에서는 픽업량 증가와 관계없이 세 가지 보강 방법에 따라 b^* 값이 약 10 정도로 유사한 결과를 보여 노화 상태가 양호한 경우 보강 방법에 따른 차이는 미미한 것으로 판단된다. 불량 모델에서는 무처리에 비해 세 가지 방법으로 처리한 모델 종이가 모두 2~4 정도 더 낮은 값을 보였으며 보강 방법에 따라서는 차이를 보였다. 침지법, 도포법에 비해

스프레이법이 다소 b^* 값이 높았다. 또한 픽업량이 증가할수록 b^* 값이 다소 증가하였다. 매우 불량 모델에서도 불량 모델의 결과와 유사하게 무처리에 비해 보강 처리한 모델 종이의 b^* 값이 다소 낮았고 특히 스프레이법이 침지법과 도포법에 비해 더 높은 b^* 값을 보였다. 양호 모델을 제외한 불량, 매우 불량 모델에서 침지법이나 도포법이 스프레이법에 비해 더 낮은 b^* 값을 갖는 것은 노화로 인해 변색된 종이 표면을 약품으로 가리기 때문으로 판단된다. 따라서 강도 성능과 색도 결과로 보았을 때 스프레이법보다는 침지법 및 도포법으로 보강 처리하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 닥 섬유 이외 다른 섬유로 제작된 지류 자료의 보존성 향상을 위해 적절한 보강 기술을 탐색하고자 수행하였다. 세 가지 노화 모델을 제작하고 보강 약품과 보강 방법, 픽업량을 달리 적용하여 종이의 강도 개선 효과를 평가하였다. 강도 보강 처리 약품 중에는 셀룰로오스 유도체인 메틸셀룰로오스와 카르복시메틸셀룰로오스가 인장강도 및 내절도에서 우수한 결과를 보였다. 세 가지 보강 방법 중 침지법과 도포법으로 처리한 경우 스프레이법에 비해 인장강도와 내절도가 상승하는 결과를 보였지만 방법간 차이가 확연하게 차이를 보이지는 않았다. 또한 노화 모델 상태가 매우 불량할수록 강도 향상에 있어 한계가 존재하는 것으로 나타나 이를 개선할 수 있는 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다. 또한 색도 b^* 값에서도 양호 모델은 보강 방법에 따라 유사한 결과값을 보였으나 불량 및 매

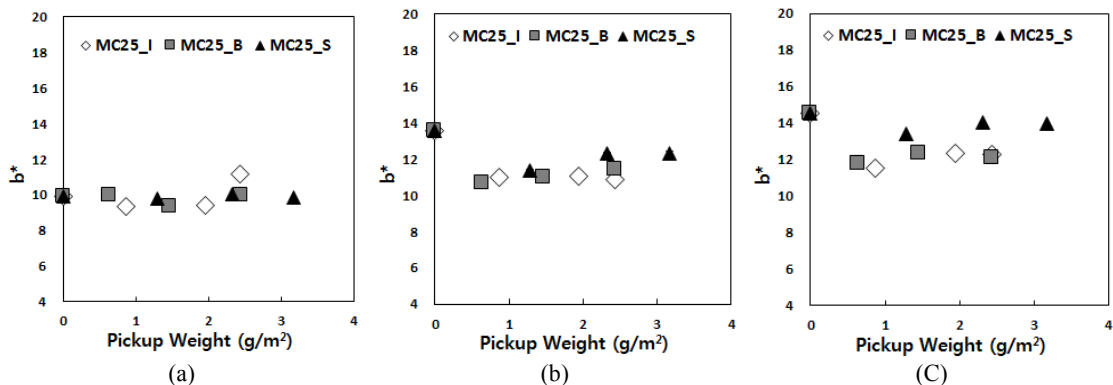


Fig. 8. Value of color b^* with treatment of MC 25: (a) Good (b) Poor (c) Very poor samples.

우 불량 모델은 스프레이법이 침지 및 도포법에 비해 다소 더 높은 값을 나타내었다. 그러나 무처리 대조군 값보다는 낮은 결과를 보여 보강 처리 시 개선 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 강도 보강 효과에 대해 평가를 진행하였지만 추후 재노화에 따른 안정성 및 강도 유지 능력과 보강약품의 가역성에 대한 연구 등이 추가적으로 연구되어야 한다.

사 사

본 연구는 서울대학교 규장각 한국학 연구원에서 지원하는 ‘보존성 향상을 위한 규장각 소장 지류 자료의 보강 기술 개발’ 연구 과제의 일환으로 수행되었음.

Literature Cited

- Hollinger, W. K. Jr., The Chemical Structure and Acid Deterioration of Paper, *Library Hi Tech* 1(4):51-57 (1984).
- Gurnagul, N., Howard, R. C., Zou, X., Uesaka, T., and Page, D. H., The mechanical permanence of paper: A literature review, *Journal of Pulp and Paper Science* 19(4):160-166 (1993).
- Daniels, V. D., The chemistry of paper conservation, *Chemical Society Reviews* 25(3):179-186 (1996).
- Area, M. C. and Cheradame, H., Paper aging and degradation: Recent findings and research methods, *BioResources* 6(4):5307-5337 (2011).
- Feller, R. L. and Wilt, M., Evaluation of Cellulose Ethers for Conservation: Research in Conservation, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, CA (1990).
- Strnadova, J. and Durovic, M., The cellulose ethers in paper conservation, *Restaurator* 15:220-241 (1994).
- Franciska, R. L. and Maria, T., Paper conservation using aqueous solutions of calcium hydroxide/methylcellulose 2. The influence of accelerated ageing temperature on properties of treated paper, *Restaurator* 24:178-188 (2003).
- Seki, M., Sonoda, N., Morita T., and Okayama, T., A new technique for strengthening book papers using cellulose derivatives, *Restaurator* 26:239-249 (2005).
- Kim, K. J., Lee, M. H., and Eom, T. J., Strengthening treatment of aged Hanji with water soluble polymers, *Journal of Korea TAPPI* 43(5):1-10 (2011).
- Kim, K. J., Lee, M. H. and Eom, T. J., Strengthening treatment of aged Hanji with solvent soluble polymers, *Journal of Korea TAPPI* 44(1):1-9 (2012).
- Kang, K. H. and Kim, H. J., Studies on the reinforcement treatment of aged Hanji using cellulose derivative solutions, *Journal of Korea TAPPI* 43(2):40-48 (2011).
- Feller, R. L., Lee, S. B., and Bogaard, J., In *Historic Textile and Paper Materials: Conservation and Characterization*, Needles, H.L. and Zeronian, S.H. (eds), *Advances in Chemistry Series 212*, American Chemical Society, Washington, DC, pp. 329-347 (1986).
- Zervos, S., Natural and accelerated ageing of cellulose and paper: A literature review, in *Cellulose: Structure and Properties, Derivatives and Industrial Uses*, Lejeune, A. and Deprez, T. (eds), Nova Science Publishers Inc, NY, pp. 1-42 (2010).
- Zou, X., Uesaka, T., and Gurnagul, N., Prediction of paper permanence by accelerated aging I. Kinetic analysis of the aging process, *Cellulose* 3:243-267 (1996).
- Kato, K. L. and Cameron, R. E., A review of the relationship between thermally-accelerated ageing of paper and hornification, *Cellulose* 6:23-40 (1999).