

메틸셀룰로오스에 의한 탈랍지의 강도보강처리 - 메틸셀룰로오스 점도 및 도포율의 영향 -

최경화 · 정혜영¹ · 조병욱^{2†}

접수일(2015년 11월 20일), 수정일(2015년 12월 16일), 채택일(2015년 12월 18일)

Strengthening of De-waxed Paper by Methyl Cellulose (MC) and Its Preservability - Effect of Viscosity and Coating Ratio of MC -

Kyoung-Hwa Choi, Hye Young Jeong¹ and Byoung-Uk Cho^{2†}

Received November 20, 2015; Received in revised form December 16, 2015; Accepted December 18, 2015

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effect of the strengthening treatment of methyl cellulose (MC) on properties and aging characteristics of the dewaxed papers during humid heating aging. Beeswax-treated Hanji was dewaxed by the supercritical fluid extraction method, and subsequently the strengthening treatment was performed with MCs having three different viscosities. MC was first applied by dipping a dewaxed paper into a MC solution whose concentration was controlled from 0.5% to 1.5%. After the strengthened papers were artificially aged at 80°C and 65% RH, the changes in optical and mechanical properties of the samples were evaluated. The results show that viscosity and especially pick-up of MC influenced the strengthening efficiency and aging characteristics of de-waxed paper. Strength was increased with the MC coating weight; in addition, strengthening with MC improved preservability of the dewaxed paper. The optimum conditions for the strengthening with MC was found to be the coating ratio of 4% with 1500 cP MC.

Keywords: *Methyl cellulose, viscosity, coating weight, strengthening, dewaxed paper, aging characteristics*

-
- 강원대학교 창강제지기술연구소(Changgang Institute of Paper Science and Technology, Kangwon National University, Chunchon, Republic of Korea)
 - 1 국립문화재연구소 복원기술연구실(Research Division of Restoration Technology, National Research Institute of Cultural Heritage, 132 Munji-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea)
 - 2 강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과(Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chunchon, Republic of Korea)
- † 교신저자(Corresponding Author): E-mail: bucho@kangwon.ac.kr

1. 서론

유네스코 세계기록문화유산인 조선왕조실록(국보 151호)은 정치, 외교, 경제, 군사, 법률 등 조선왕조 472년간의 역사적 사실들을 편년체로 기술한 공식적인 국가기록물로서 한 왕조의 통치기록을 담은 유물 중 가장 오래된 기록물이다. 특히 서울대학교 규장각에 보관중인 정축산본 1187권 중 475권은 보존을 위해 방습성과 항균성을 가지고 있는 밀랍으로 처리된 밀랍본으로 세계적으로 그 유례가 드물다.¹⁾ 그러나 이전에 실시된 조선왕조실록 보존상태 조사결과에 의하면 기존의 의도와는 달리 밀랍본의 경우 생지본의 양호한 보존상태에 비해 경화, 접착, 균열, 변색, 곰팡이 오염 등 열화정도가 심각한 것으로 확인되었으며, 특히 이러한 열화는 밀랍의 도포량이 많을수록 보다 많이 발생된 것으로 나타났다.¹⁻³⁾ 이에 조선왕조실록 밀랍본의 손상상태의 과학적 분석과 더불어 열화 인자와 및 기작에 대한 연구가 진행되어졌다. 연구 결과, 세종실록 밀랍본 및 생지본 원지의 분자량 분석결과, 전통기법에 의거하여 제조된 현대의 전통 수록한지의 평균분자량에 대비하여 생지본 원지의 경우 약 40-50% 정도의 분자량이 감소되었으며, 밀랍본의 경우에는 70-90%의 분자량이 손실된 것으로 나타났다.⁴⁾ 또한 Choi 등의 연구에 따르면 밀랍본의 주요 손상원인은 밀랍으로 밀랍은 열화되어 다양한 산성 분해산물들을 생성시키고 이러한 산성 분해산물들에 의해 원지(한지)의 열화를 가속화한다고 보고하였다.⁵⁻¹⁰⁾

이와 같은 연구결과들을 바탕으로 밀랍본의 복원 및 보존처리기술 개발에 대한 다방면의 연구가 진행되었으며, 특히 밀랍본의 열화를 방지하기 위한 방안의 하나로 속실렛 추출법, 초임계유체추출법, 가온가압법 등 다양한 방법들을 이용하여 밀랍을 제거하는 탈랍처리에 대한 연구가 진행되어졌으며, 초임계유체추출법의 높은 적용가능성이 보고되었다.¹¹⁻¹⁴⁾ 그러나 탈랍지의 경우 탈랍처리 후 밀랍이 기여하고 있는 물성 손실에 기인하여 밀랍지에 비해 강도적 특성이 상당히 낮게 나타나 탈랍지의 보강처리기술 개발이 시급하다. 이에 탈랍지의 보강처리기술 개발을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.^{15,16)} Kang 등¹⁵⁾은 셀룰로오스 유도체인 메틸셀룰로오스(methyl cellulose, MC), 에틸셀룰로오스(ethyl cellulose, EC), 카르복시메틸셀룰로오스(carboxy methyl cellulose, CMC)등을 열화된 한지에 적용하여 보강처

리 및 열화안정성 평가를 실시하였는데, MC의 보강처리 효과가 가장 우수하다고 보고하였다. 또한 Kim 등¹⁶⁾은 키토산, 양이온성 전분, MC, CMC, EC 등의 수용성 천연 고분자와 폴리비닐알코올(polyvinyl alcohol, PVA), 폴리에틸렌글리콜(polyethylene glycol, PEG) 등의 수용성 합성 고분자를 이용하여 열화한지 및 탈랍지의 보강처리를 실시하여 MC의 보강처리 효과의 우수성에 대해 언급하였다. 그러나 MC 점도 및 처리농도 등에 따른 MC 적용연구는 아직까지 보고된 바 없다.

본 연구에서는 탈랍지의 보강처리기술 개발의 일환으로 세종실록 밀랍본과 유사한 특성을 가지는 열화 밀랍지를 제조하고, 초임계추출법에 의해 탈랍처리한 후 메틸셀룰로오스(methyl cellulose, MC)를 이용하여 탈랍지의 보강처리를 실시하여, 보강제로 사용된 메틸셀룰로오스의 점도 및 용액농도(도포율)가 보강처리 효과에 미치는 영향을 비교분석하고자 하였다. 또한 인공열화실험을 실시하여 보강처리 조건에 따른 열화특성 분석을 통해 메틸셀룰로오스를 이용한 보강처리의 안정성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 한지

한지는 조선왕조실록(밀랍본 포함)의 제조 원료 및 방법에 대한 조사결과³⁾에 의거하여 국내산 닥나무, 육재(메밀대재), 황축규 등의 원료를 사용하여 외발뜨기한 후 도침 처리한 전통제조 방식의 전통이합 도침지(평량 61.5 g/m²)를 국내에서 주문제작하여 사용하였다.

2.1.2 밀랍

밀랍은 조선왕조실록(밀랍본 포함)의 제조 원료 및 방법에 대한 조사결과³⁾에 의거하여 국내에서 생산된 천연 밀랍(한봉, 황랍)을 사용하였다.

2.1.3 보강처리제

보강처리제는 20℃에서 2% MC 수용액의 점도가 각각 400 cP, 1500 cP, 4000 cP인 세 가지 다른 점도를 가지는 메틸셀룰로오스(methyl cellulose, MC, Sigma)를 사용하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 밀랍지 및 열화 밀랍지 제조

밀랍지는 조선왕조실록의 제조 원료에 대한 조사결과³⁾를 바탕으로 가열자동도공장치(heating auto-coating machine)와 도공바(coating bar)를 이용하여 제조하였다. 밀랍제조 시 가열판의 온도는 70℃로 유지하였고 한지 양면에 밀랍을 도포한 후 도공바와 흡습지를 이용하여 밀랍 도포량을 조절하여 주었다. 제조된 밀랍지 시제품의 일반적인 특성은 Table 1와 같다.

조선왕조실록 밀랍본의 경우 열화가 상당히 진행된 상태이므로 복원기술연구 또한 실록의 밀랍본과 마찬가지로 열화 된 상태의 시료로 행할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 ISO 5630-1에 의거하여 105℃의 조건에서 7일 동안 건식 인공열화된 열화 밀랍지 시제품(열화전 시료 대비 33%의 내절도 감소)을 사용하였다.

2.2.2 초임계유체 탈랍처리

본 연구에서 사용된 탈랍지는 조선왕조실록 밀랍본의 탈랍처리기술개발에 대한 기 연구결과^{12,13,17)}에 의거하여 탈랍효과가 우수한 초임계유체 추출법에 의해 제조되었다. 초임계유체 탈랍처리는 열화된 밀랍지 시료를 대상으로 초임계유체추출장치(SCFE-GT010, 그린텍21/Gas booster, AGT-30·75, Haskel)를 이용하여 실시하였으며, 자세한 탈랍처리 조건은 다음 Table 2에 나타내었다. 탈랍처리 전 열화밀랍지 시료의 내절도 대비 탈랍처리 후 탈랍지의 내절도는 약 53% 감소하였다.

2.2.3 강도보강처리

2.2.3.1 MC 수용액 제조

각 점도별 MC를 60℃로 가열된 증류수에 교반하면서 조금씩 첨가하고, 완전히 호화될 때까지 교반, 중탕시켰다. MC 수용액의 농도는 각각 0.5%, 1%, 1.5%로 제조하였다.

2.2.3.2 MC 보강처리

본 연구에서는 MC 보강처리제 도포율을 조절하기 위해 MC 수용액의 농도를 조절하여 침적하였다. 초임계유체 추출법에 의해 탈랍된 탈랍지(150 mm × 150 mm)를 각 농도별 MC 수용액이 담긴 트레이에 넣고 약 일분 정도 침적시킨 후, 침적된 시료를 꺼내어 흡습지(기계한지) 사이에 넣고 고무재질로 코팅되어 있는 미술용 롤러로 밀어 과잉의 보강처리제를 제거하였다. 이후 보강된 처리 시료를 부직포 위에 놓은 후 약간의 수분이 남아 있을 때 하드보드지 사이에 넣고 일정 압력을 가해 flattening을 실시하여 주었으며, 상대습도 50±2%, 온도 23±1℃로 조절된 항온항습실에서 24시간 동안 건조시켰다.

2.2.4 인공열화

MC 점도 및 처리농도를 달리하여 보강처리된 각 보강처리지의 열화특성을 비교분석하기 위해 ISO 5630-3에 의거하여 80℃, 65% RH의 조건에서 10일간 습식 인공 열화를 실시하였다.

Table 1. Characteristics of beeswax-treated sheets in the Annal of King Sejong and duplicates

	Basis weights (g/m ²)	Density (g/cm ³)	Thickness (mm)	Beeswax contents		Coating method
				Weights (g/m ²)	Coating ratio (%)	
Sejong silok	114.7 (61.4)	0.77	0.150	≥ 53.4	46.5 (87.0)	Both side
Duplicates	115.6 (61.5) ¹⁾	0.77	0.155	54.1	46.8 (88.1) ²⁾	Both side

¹⁾ Basis weights of base paper (Hanji), ²⁾ The ratio of beeswax's weights to Hanji's basis weight.

Table 2. Dewaxing conditions by supercritical fluid extraction

Temperature	Pressure	Co-solvent	Fluid	Time
70℃	400 bar	20% Dichloromethane	CO ₂	2 hr

2.2.5 MC 도포율 분석

보강처리 전, 후의 각 종이 시료들의 무게를 측정하여 보강처리에 따른 각 보강처리지들의 MC 도포율(%)을 Eq. 1로 산출하였다.

$$Coating\ content\ (\%) = \frac{A - B}{B} * 100 \quad [1]$$

A: 보강처리 후 종이시료(보강처리지)의 무게(g)

B: 보강처리 전 종이시료(탈랍지)의 무게(g)

2.2.6 물성 분석

보강처리 및 인공열화에 따른 물성변화를 분석하기 위해 내절도(MIT-S, Toyoseiki, Japan)는 ISO 5626에 의거하여 측정하였으며, 색도(L*, a*, b*), 색차(ΔE), 백색도 등의 광학적 특성은 ISO 5631에 의거하여 측정하였다(Elrepho 070 model, Sweden). 물성 측정을 위한 각 시료들은 상대습도 50±2%, 온도 23±1℃로 조절된 항온항습실에서 24시간 이상 조습 처리하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 MC 도포율

MC 점도 및 수용액 농도에 따른 각 종이 시료의 MC 도포율을 Fig. 1에 나타내었다. MC 농도가 높을수록 메틸셀룰로오스 도포량이 증가되었다. MC 점도별 도포량은 4000 cP의 경우 가장 높게 나타났다. 400 cP 및 1500 cP MC의 경우에는 MC 수용액 농도가 1% 이하에서는 400 cP MC가 1500 cP의 경우보다 도포율이 높았으나, 1.5%에서는 유사한 도포율을 나타냈다. 즉 탈랍지 내 MC 도포율은 처리농도에는 비례하나 MC 점도에는 비례하지 않는 것으로 나타났다.

3.2 보강처리 효율

3.2.1 내절도

MC를 이용한 탈랍지의 보강처리 시 MC 점도 및 MC 도포율이 시료의 내절도 증감율에 미치는 영향을 Fig. 2에 나타내었다. MC 도포율이 0에서 2.7%까지 증가할 경우 세 점도의 MC를 적용한 경우 모두 내절도는 증가하였고, 4% 이상 처리한 경우에 내절도가 감소되는 경향을 보였다. 즉 과잉의 MC 도포는 탈랍지의 경화를 가져

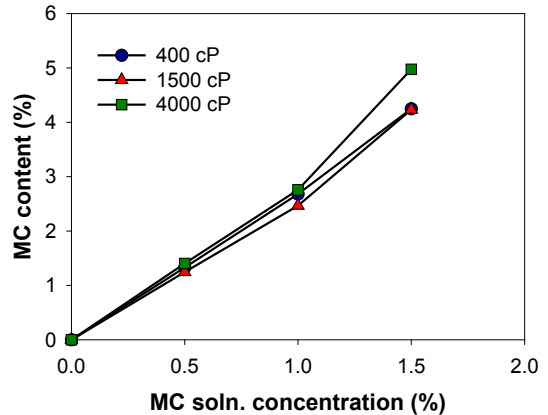


Fig. 1. MC content in paper as a function of MC concentration in the solution with different MC viscosity.

와 내절도의 저하를 발생시키는 것으로 판단된다.

또한, MC 점도별 도포율에 따른 내절도를 살펴보면 도포율 3%이하(또는 MC 용액 농도 1.0% 이하에서) 점도가 1500 cP인 MC로 보강처리한 탈랍지의 내절도가 가장 높았고, 가장 높은 점도인 4000 cP인 MC로 처리한 경우에 가장 낮은 내절도를 나타내었다. MC 용액 농도가 1.5%인 경우에, 분자량이 가장 낮을 것으로 판단되는 점도가 400 cP인 MC의 경우에는 가장 낮은 내절도를 보였는데, 오히려 강도보강처리하지 않은 시료보다 내절도가 낮게 나타났다.

탈랍지의 보강처리 용도로는 점도가 1500 cP인 MC가 최적인 것으로 판단된다. 또한, 도포율 3% 정도까지는 도포율을 증가시키에 따라 내절도가 증가될 것으로 기대된다. 그러나 MC 도포율을 4% 이상 증가시키면, 즉 과잉의 MC가 도포될 경우 오히려 탈랍지의 강도 저하가 발생할 가능성이 있는 것으로 보인다.

3.2.2 광학적 특성

MC 보강처리에 따른 각 탈랍지 시료의 백색도를 분석한 결과, Fig. 3에서 보는 바와 같이 백색도는 감소되었다. 즉 MC 보강처리에 의해 광학적 특성 저하가 발생되었으며, 특히 MC 도포율이 증가할수록 백색도 감소폭이 높았다. MC 점도별 백색도 감소폭은 1500 cP, 400 cP, 4000 cP 순으로, MC 점도별 가장 높은 강도 보강율을 보였던 1500 cP의 백색도 감소가 가장 높은 것으로 나타났다. MC 등의 셀룰로오스 유도체를 적용한 보강처리 연구들^{18,19)}에 의하면 보강처리 후 광학적 특성들이 소폭

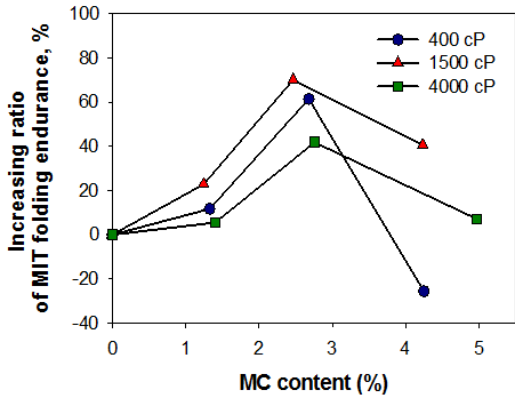


Fig. 2. Effect of MC content on folding endurance of strengthened samples at three MC viscosities.

저하되는 것으로 나타났다. 셀룰로오스 유도체 즉 MC에 의한 백색도 감소는 도포된 MC가 섬유 사이에 위치해서 섬유 간 결합을 향상시키고, 빛의 산란을 감소시켰기 때문으로 판단된다. 또한 MC가 하얗게 보이지만, 색을 띄고 있어서, 광흡수에 영향을 미친 것도 한 영향이라고 사료된다.

MC 점도 및 수용액 농도에 따른 보강처리된 탈랍지 시료의 색도 및 색차(ΔE)를 Table 4와 Fig. 4에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 보강처리 후 L^* 값은 감소되었고 a^* 와 b^* 값은 증가되어 보강처리 시 광학적 특성의 감소가 발생됨을 알 수 있었다. 색도 변화에 따른 MC 점도 및 수용액 농도에 따른 각 종이 시료의 색차(ΔE)는 백

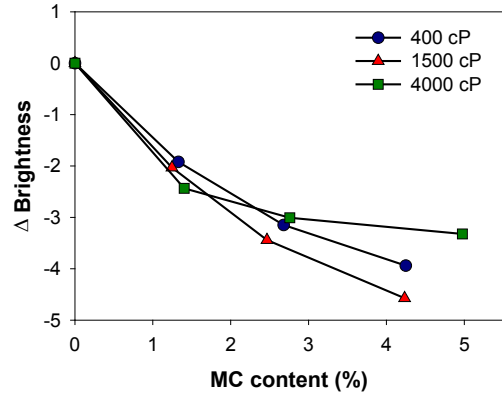


Fig. 3. Effect of MC content on brightness of strengthened samples at three MC viscosities.

색도와 마찬가지로 MC 도포율이 증가할수록 색차 값이 증가하였으며, 특히 보강처리 효율이 가장 좋았던 1500 cP 처리한 시료의 색차가 가장 높게 나타났다. 이 결과는 MC 자체가 색을 띄고 있으며, 이것이 MC의 첨가가 종이의 백색도를 저하시키는 한 원인이라고 판단된다.

3.3 습식 인공열화 특성

3.3.1 내절도

습식 인공열화에 따라 각 종이 시료의 내절도가 감소되었다. MC의 점도 및 도포율이 보강처리 후, 시편의 열화안정성(또는 보존특성)에 미치는 영향을 분석하고자, 열화 전 시료의 내절도 대비 열화 후 시료들의 내절도

Table 4. Changes in color (L^* , a^* , b^*) values of strengthened samples at various MC content and MC viscosities

	MC content (%)	400 cP	1500 cP	4000 cP
L^*	0	88.41	88.41	88.41
	1.33	87.46	87.76	88.86
	2.68	86.87	87.11	88.35
	4.25	87.54	86.98	86.53
a^*	0	-0.61	-0.61	-0.61
	1.25	-0.60	-0.34	-0.03
	2.47	-0.59	-0.39	-0.44
	4.23	-0.38	-0.42	-0.43
b^*	0	13.46	13.46	13.46
	1.40	13.67	13.72	14.44
	2.76	13.93	13.94	14.61
	4.98	14.36	14.09	14.06

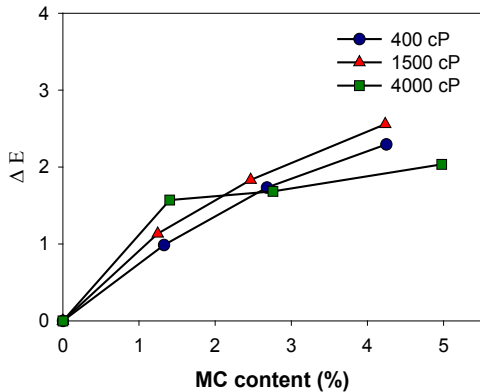


Fig. 4. Effect of MC content on color deviation (ΔE) of strengthened samples at three MC viscosities.

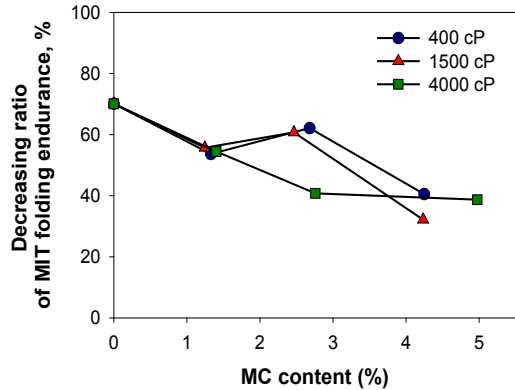


Fig. 5. Effect of MC content on decreasing ratio of folding endurance of strengthened samples after humid heating aging at three MC viscosities.

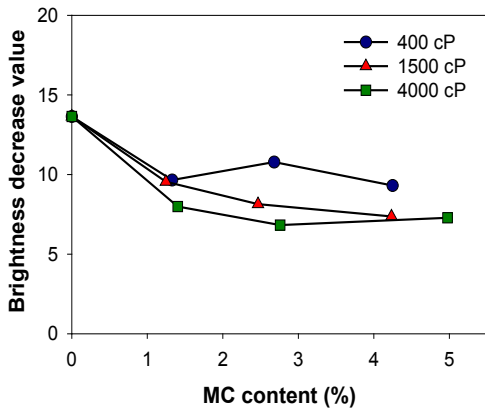


Fig. 6. Effect of MC content on brightness decrease of strengthened samples after humid heating aging at three MC viscosities.

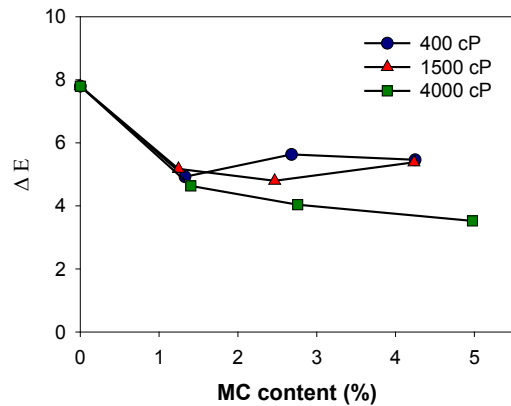


Fig. 7. Effect of MC content on color deviation (ΔE) of strengthened samples after humid heating aging at three MC viscosities.

감소율로 환산하여 Fig. 5에 나타내었다. 미처리한 종이 시료의 내절도 감소율에 비해 보강처리한 종이 시료들의 내절도 감소율이 낮게 나타나 MC 보강처리에 의해 보존 특성이 개선되는 것을 알 수 있었다. 또한 MC의 도포율이 증가할수록 내절도 감소율이 감소되는 경향을 나타냈다.

MC 점도에 따른 내절도 감소율의 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다. 그러나 1500 cP의 MC를 도포율 4% 정도로 처리한 종이 시료들의 내절도 감소율이 가장 낮게 나타난 것으로 보아, 점도가 1500 cP인 MC를 사용하여 보강처리하는 것이, 강도적 보존 특성 측면에서 가장 우수하다고 판단된다.

3.3.2 광학적 특성

MC의 점도 및 도포율이 종이의 보존특성에 미치는 영향을 평가하고자 열화 전 시료의 백색도 대비 열화 후 시료들의 백색도 감소폭을 Fig. 6에 나타내었다. 보강처리한 종이 시료들의 백색도 감소폭이 미처리 시료의 경우보다 낮게 나타났다. 즉 보강처리에 의해 열화에 의해 발생하는 종이 시료의 백색도 감소율이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 또한 내절도와 마찬가지로 MC의 도포율이 증가할수록 백색도 감소폭이 낮았다. MC 점도에 따른 백색도 변화폭은 400 cP, 1500 cP, 4000 cP 순으로 4000 cP의 MC를 적용한 경우의 백색도 안정성이 가장 우수한 것으로 나타났다.

Table 5. Changes in color (L^* , a^* , b^*) values after humid heating aging as MC content and viscosities

	MC content (%)	400 cP	1500 cP	4000 cP
L^* 1)	0	-6.95	-6.95	-6.95
	1.33	-3.65	-3.96	-3.91
	2.68	-4.14	-3.81	-3.50
	4.25	-4.39	-3.32	-2.81
a^* 2)	0	1.87	1.87	1.87
	1.25	1.73	1.41	0.68
	2.47	1.79	1.19	0.86
	4.23	1.19	1.09	0.89
b^* 2)	0	2.16	2.16	2.16
	1.40	3.74	3.09	1.39
	2.76	4.32	1.97	0.88
	4.98	2.04	2.16	0.87

1) L^* : decrease, 2) a^* and b^* : increase.

습식 인공열화에 따라 각 종이의 시료의 L^* 값은 감소되었고 a^* 와 b^* 값은 증가되었다. MC 점도 및 도포율에 따른 각 종이 시료의 색상 변화 및 색차(ΔE)는 Table 5와 Fig. 7에 나타내었다. Table 5에서 보는 바와 같이 MC 보강처리한 종이 시료들의 색상 변화폭보다 미처리한 시료들의 변화폭이 높게 나타났다. 특히 MC 도포율이 높을수록 변화폭의 감소가 두드러졌다.

MC 점도별 색상의 변화폭은 미처리, 400 cP, 1500 cP, 4000 cP 순으로 4000 cP를 처리한 종이 시료의 색도 변화폭이 가장 낮게 나타나 백 색도와 마찬가지로 4000 cP MC 처리한 종이 시료의 색도 안정성이 가장 우수한 것으로 나타났다. MC 점도 및 도포율에 따른 각 종이 시료의 색차(ΔE) 또한 색상과 마찬가지로 MC 수용액 농도가 증가할수록 색차 값이 감소하였으며, 특히 4000 cP 처리한 시료의 색차가 가장 낮게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 점도 4000 cP의 MC를 1.5% 농도로 (도포율 약 4%) 처리한 종이 시료의 광학적 보존 특성이 가장 높은 것으로 판단된다.

향을 미치는 것으로 판단된다. 특히 보강처리 시 도포율의 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한 보강처리에 의해 각 종이의 시료의 열화 특성이 감소되는 것으로 나타났다. 즉 탈랍지의 보강처리를 통해 보존성 개선이 가능하다고 판단된다. 이와 같은 보존특성에 MC의 점도 및 도포율이 영향을 미쳤다. 내절도 감소율을 고려할 때 본 연구에서 사용된 탈랍지(105℃에서 인공열화 후 초임계 추출법에 의해 탈랍된 한지시료)를 위한 최적의 보강처리 조건은 점도가 1500 cP인 MC를 도포율 4%로 적용하는 것으로 판단된다.

그러나 이러한 보강처리 최적 조건들은 보강처리하고자 하는 대상시료(탈랍지)의 특성 즉 실록 밀랍본의 보존상태에 따라 달라질 수 있기 때문에 실록 밀랍본의 보존 상태를 열화 등급별로 분류하고 각 등급별 시료들에 대한 보강처리 최적화 연구가 추가적으로 진행되어질 필요가 있다.

사 사

본 연구는 국립문화재연구소에서 지원한 보존복원기술 개발연구 중 「조선왕조실록 밀랍본 복원기술 연구」의 일환으로 진행되었습니다.

4. 결론

MC 점도 및 도포율에 따른 탈랍지 시료의 보강처리효율 및 보존특성을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

MC의 점도 및 도포율이 탈랍지의 보강처리 효율에 영

Literature Cited

1. Jeong, S. Y., Lee, H. Y., Chung, Y. J., Hong, J. K., and Eom, D. S., Investigation of conservation state on the waxed volumes of Annals of the Joseon Dynasty, *Conservation Studies* 25:119–132 (2004).
2. Song, K. J., Shin, B. J., Park, C. S., and Lee, I. S., Preliminary investigation to preserve th Annals of the Joseon Dynasty (1), Seoul National University Press, Seoul, pp. 195–235 (2005).
3. National Research Institute of Cultural Heritage (NRICH), Research reports on “The Study of Restoration Technique of Wax-Treated Volume for the Annals of the Joseon Dynasty”, Daejeon, Republic Korea (2006–2008).
4. National Research Institute of Cultural Heritage, Research on Restoration Technology for Beeswax-treated Annals of Joseon Dynasty, Vol. 1, pp. 76–77 (2013).
5. Choi, K. H., Park, J. H., Jeong, H. Y., and Seo, J. H., Effect of humid cycling accelerated aging on deterioration of duplicated beeswax-treated volume, *Journal of Korea TAPPI* 42(4):15–24 (2010).
6. Choi, K. H., Kang, Y. S., Cho, J. H., and Jeong, H. Y., Study of aging factors and mechanism of beeswax-treated volume for the Annals of the Joseon Dynasty, *Paper Technology* 25:39–47 (2011).
7. Yang, E. J., Choi, K. H., Kang, Y. S., Cho, J. H., and Jeong, H. Y., The effect of air quality and humidity on aged characteristics of beeswax-treated paper during artificial aging, *Conservation Studies* 33:45–55 (2012).
8. Choi, K. H., Cho, J. H., Kang, Y. S., Yang, E. J., and Jeong, H. Y., Studies on the aging characteristics in different parts of beeswax-treated duplicates during humidified artificial aging, *Journal of Korea TAPPI* 44(5):72–79 (2012).
9. Kang, Y. S., Choi, K. H., Cho, J. H., Yang, E. J., and Jeong, H. Y., Characteristics of VOCs emitted from Hanji and waxed volume according to artificial heat treatment, *The Korean Society of Conservation Science for Cultural Heritage*, Proceedings of the 36th Conference of the Korean Society of Conservation Science for Cultural Heritage, pp. 5–8 (2011).
10. Kang, Y. S., Choi, K. H., and Yang, E. J., Characteristics of beeswax-treated Hanji aged by closed and ventilated chamber, *Journal of Korea TAPPI* 44(6):9–14 (2012).
11. Kwang, K. H., Lee, K. J., and Kim, H. J., Evaluation of the beeswax applying and dewaxing technique of Hanji, and their ageing behaviors, *Journal of Korea TAPPI* 42(3):58–66 (2010).
12. Cho, B.-U., Choi, D. C., and Jo, B. M., Effect of Dewaxing ratio of beeswax-treated Hanji by heat and pressure method on aging behavior of dewaxed Hanji, *Journal of Korea TAPPI* 44(3):15–21 (2012).
13. Choi, D. C., Choi, E. Y., Jo, B. M., and Cho, B.-U., Optimal organic solvent extraction method for dewaxing of beeswax-treated Hanji, *Journal of Korea TAPPI* 44(6):50–57 (2012).
14. Jo, B. M., Dewaxing technique for restoration of beeswax treated volume, 2013 Reviving the Annals of Joseon Dynasty Symposium Proceedings, National Research Institute of Cultural Heritage, Seoul, pp. 97–124 (2013).
15. Kwang, K. H. and Kim, H. J., Studies on the reinforcement treatment of aged Hanji using cellulose derivative solutions, *Journal of Korea TAPPI* 42(2):40–48 (2011).
16. 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).
17. Jeong, H. Y., Kang, Y. S., Go, I. H., Yang, E. J., and Choi, K. H., Comparisons of effec-

- tiveness of the supercritical fluid extraction dewaxing on the beeswax-treated paper with different aging degrees, *Journal of Korea TAPPI* 46(6):56-62 (2014).
18. Seki, M., Sonoda, N., Hidaka, S. Morita, T., and Okayama, T., A new technique for strengthening book papers with cellulose derivatives. Part 2: Effect of cellulose derivatives on different types of paper, *Restaurator* 31(2):120-141 (2010).
19. Konuklar, M. and Saçak, M., A new method for paper conservation: Triple mixture of methyl celluloses, carboxymethyl cellulose and nano-micro calcium hydroxide particles, *Journal of Biological Chemistry* 39(4):403-411 (2011).