

가온 가압법에 의한 밀랍도포한지의 탈랍율이 탈랍지의 열화 거동에 미치는 영향

조병욱 · 최도침 · 조병묵[†]

접수일(2012년 5월 15일), 수정일(2012년 5월 30일), 채택일(2012년 6월 4일)

Effect of Dewaxing Ratio of Beeswax-treated Hanji by Heat and Pressure Method on Aging Behavior of Dewaxed Hanji

Byoung-Uk Cho, Do-Chim Choi and Byoung-Muk Jo[†]

Received May 15, 2012; Received in revised form May 30, 2012; Accepted June 4, 2012

ABSTRACT

The optimum dewaxing ratio in dewaxing treatment by the heat and pressure method was investigated by considering aging stability of dewaxed Hanji. Commercial Hanji was coated with beeswax and thermally aged at 150°C for 24 hours. Then it was dewaxed using the laboratory sheet press equipped with hot plates on both top and bottom sides. Dewaxing ratio was controlled by pressing temperature and time. Four type of dewaxed Hanji samples with different dewaxing ratio were prepared and thermally aged at 150°C. Then the aging stability of dewaxed Hanji samples was evaluated in terms of optical and strength properties. It was found that the aging stability of dewaxed Hanji was superior with higher dewaxing ratio. The result concluded that, in the aspect of aging stability, the coated beeswax in beeswax-treated Hanji shall be completely removed if the coated wax would be dewaxed.

Keywords: Hanji, beeswax-treated, dewaxing, aging stability

1. 서 론

조선왕조실록은 조선조 태조부터 철종까지 25대 472년간의 역사적 사실을 기술한 사료로, 국내에서는

1973년에 국보 제 151호로 지정되었고, 1997년에는 UNESCO 세계기록유산으로 등록되어 세계적인 문화 유산으로서의 가치를 인정받은 소중한 자료이다.¹⁾ 조선왕조실록 중 정족산사고본은 밀랍본과 생지본으로

• 강원대학교, 산림환경과학대학, 제지공학과 (Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, Gangwon-do, 200-701, Rep. Korea)

[†] 교신저자(Corresponding author): E-mail: bmjo@kangwon.ac.kr

구성되어 있다. 밀랍을 도포하지 않은 생지본은 현재까지도 그 보존성이 우수한 반면, 방습과 방충을 위해 밀랍을 도포한 밀랍본은 훼손이 심한상태이다.^{2,3)} 훼손된 밀랍본의 경우, 밀랍이 경화됨에 따라 변색, 갈라짐, 꺾임 등의 다양한 손상이 나타나고 있으며, 부분적으로 곰팡이 피해가 발생한 부분도 관찰되었다. 반면에 정족산사고본과 달리 태백산사고본은 거의가 온전한 상태로 남아 있고, 태백산 사고본의 훼손상태와 열화정도는 Cho 등⁴⁾에 의해서 연구, 보고되었다.

최근 발표된 결과들에 의하면 도포된 밀랍이 종이의 노화를 촉진시키는 것으로 판단된다. Jeong 등은 황랍과 백랍을 한지에 도포하고 인공열화시험을 수행하여, 황랍이 백랍에 비해 인공열화처리에 대한 안정성을 가지고 있음을 보였다.²⁾ Kim과 Eom은 손상이 심한 조선왕조실록 밀랍본의 열화기작을 추적하고자, 다양한 온도에서 밀랍 및 밀랍지의 인공열화 거동을 평가하는 연구를 수행하였다.⁵⁾ 105°C에서 열화 10일 이후 밀랍과 밀랍지의 산화가 급격히 진행되고, 밀랍지가 열처리되면서 한지의 강도가 급격하게 감소하였다고 보고하였다. 또한 손상이 심한 조선왕조실록 밀랍본의 열화 거동을 추적하고자 산 및 알칼리에 의한 강제 열화실험을 행하여, 산 열화 시, 밀랍보다는 밀랍지의 중량감소가 컸고, 산 및 알칼리 열화가 진행됨에 따라 산가와 oxidation index가 증가하였다고 보고하였다.⁶⁾ Kang 등은 조선왕조실록 밀랍본의 열화원인을 구명하기 위한 목적으로 수목한지를 이용하여 밀랍지 및 탈랍지를 제조하고, 가속열화시험을 실시하여 밀랍처리 및 탈랍처리가 열화에 미치는 영향을 연구하였다.⁷⁾ 가속열화하였을 경우, 한지에 비하여 밀랍지의 강도 저하 속도가 빨랐으며, 밀랍지를 탈랍시킨 밀랍지에서는 추가적인 강도 저하 현상은 발생되지 않았다고 보고하였다. 또한 한지에 비해 밀랍지의 oxidation index와 셀룰로오스 중합도 감소율이 더 높았고, 탈랍처리에 의해 화학적인 특성은 회복되지 않았다고 보고하였다. Cho 등은 밀랍이 한지와 접촉하지 않더라도, 밀랍의 휘발성 성분들(VOC)에 의해서도 한지의 노화가 가속될 수 있음을 보였다.⁸⁾

한지의 열화 안정성에 악영향을 미치는 밀랍을 제거하는 것도, 조선왕조실록 밀랍본의 보존성을 향상시키기 위한 방법 중 하나로 고려해 볼 수 있다. 여러 방법으로 밀랍을 제거하는 것이 가능하나, 밀랍이 65°C에서 녹는 특성을 이용하여 가온 가압하여 밀랍을 녹여내는

가온가압 탈랍법에 관한 연구는 국민대학교 연구팀에 의해서 주로 수행되어졌다.⁷⁻¹¹⁾ Kang 등은 평판형 가열판 건조기를 이용하여 밀랍지를 탈랍처리하여 40 kgf 압력하에서 80.1%의 밀랍을 제거할 수 있고, 밀랍지의 열화가 진행될수록 탈랍효율은 감소하고, 한지 및 밀랍지의 열화가 강도적 특성 및 광학적, 화학적 특성에 영향을 미친다고 보고하였다.⁷⁾ 또한 가열판과 진공챔버(vacuum chamber)를 이용하여 가온 가압 탈랍법과 가온 감압 탈랍법의 비교 실험을 행하였고, 가온가압 탈랍처리가 가온 감압 탈랍법보다 탈랍효율이 우수하다고 보고하였다. 탈랍률이 높을수록 내절도, 인장강도의 물리적 특성이 더 많이 회복되고, 가온 가압 탈랍처리로 인한 탈랍지의 열화수준은 미미하다고 보고하였다.

그러나 탈랍 시 얼마만큼의 밀랍을 제거해야 탈랍지의 보존성에 유리한지는 아직 명확히 구명되지 않았다. 본 연구에서는 밀랍지를 탈랍 시, 탈랍율을 어느 정도로 조절해야 탈랍지의 노화안정성에 유리한가를 조사하고, 최적탈랍율을 구명하고자 하였다. 열화밀랍지를 가열판이 부착된 자동 프레스를 사용하여 가온가압 방법에 의해서 탈랍처리하고, 탈랍율이 다른 여러 탈랍지를 제조하였다. 이 탈랍지의 잔존 밀랍량이 노화안정성에 미치는 영향을 평가하여 탈랍 시 최적탈랍율을 결정하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 실험의 공시재료는 신현세 한지공방에서 제조된 전통 수목 한지로서 평량은 65~66 g/m²이며, 제조 조건은 Table 1과 같다. 밀랍은 “빈도림”에서 생산한 천연

Table 1. Sheet producing factors of test Hanji⁷⁾

| Fiber | Paper mulberry (<i>Broussonetia</i> spp.) 100% |
|--------------------|---|
| Cooking agent | Sodium Carbonate, Na ₂ CO ₃ |
| Bleaching method | Sun bleach |
| Formation mucilage | Dakpul, natural formation aid from Hibiscus manohot |
| Forming method | Heullimtteugi |
| Drying method | Wood board |
| Converting method | Dochim |

밀랍을 구입하여 공시재료로 사용하였다. 밀랍은 450 g으로 개별 포장된 것을 사용하였으며, 첨가물이 전혀 없고, 정제과정에서도 화학물질을 전혀 사용하지 않고 필터링 및 침전방식으로만 생산된 것이다.

2.2 실험방법

2.2.1 열화밀랍지 제조

밀랍지는 가열판(hot plate)이 설치된 자동 바 코터(auto bar coater, GIST Co., Korea)를 이용하여 제조하였다. 밀랍을 도포 시 가열판이 없을 경우에는 밀랍이 급속하게 경화되어 한지에 균일한 도포를 할 수 없다. 따라서 자동 바 코터에 가열판을 설치하고, 가열판 표면 온도를 65°C로 조절한 다음, 복사 용지 2장위에 한지를 놓고 밀랍 도포를 실시하였다. 밀랍의 도포량은 rod bar No. 24를 사용하여 일정하게 유지하였고, 도포량은 64 g/m²로 조절하였다. 한지는 200 mm × 300 mm로 재단하여 밀랍 도포처리를 실시하였다. 밀랍 도포된 한지의 중앙 부위에서 150 mm × 150 mm 크기로 재단하고, 열풍건조기에 매달아 150°C에서 24시간 동안 강제 열화시켜 열화밀랍지를 제조하였다.

2.2.2 가온가압 탈랍

가열판이 설치된 자동 프레스(Auto sheet press, GIST Co., Korea)를 이용하여 가온가압 탈랍처리를 행하였다. 열화 밀랍지를 2장의 복사지 사이에 넣은 후, 프레스 사이에 넣고 압착하여 탈랍 처리하였다. 프레스의 압력은 3.5 kgf/cm²로 일정하게 고정하였고, 압착 온도와 시간을 조절하여 탈랍율을 조절하였다. 가열판의 온도는 목표 압착온도로 미리 설정되어 가열된 상태로 탈랍 처리하였다. 이 경우 밀랍지에서 녹은 밀랍이 복사지로 전이되어 탈랍이 이루어졌다. 탈랍 전과 탈랍 후의 전건무게를 측정하여 탈랍율을 계산하였다.

2.2.3 탈랍지 노화안정성 분석

탈랍율이 탈랍지의 노화안정성에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 탈랍율이 52%, 74%, 90%, 98%인 탈랍지를 선정하였다. 이 네 가지 시편들을 제조하기위한 가온 가압 탈랍 조건들을 Table 2에 나타내었다. 탈랍지의 노화안정성 평가를 위하여 150°C에서 12, 24, 48, 72시간 동안 열풍건조하여 강제열화시켰다. 탈랍된 한지는 온도 23±1°C, 상대 습도 50±2%의 항온-항습실에

Table 2. Pressing temperature and time to produce test samples

| Dewaxing ratio (%) | Pressing temperature (°C) | Pressing time (min.) |
|--------------------|---------------------------|----------------------|
| 52 | 60 | 1 |
| 74 | 60 | 5 |
| 90 | 70 | 30 |
| 98 | 80 | 40 |

서 24시간 이상 조습 처리한 후, 물리적 특성 변화를 분석하였다. 강도적 특성으로는 인장강도와 신장률(KS M ISO 1924-2, Lorentzen-Wettre tensile tester), zero-span 인장강도(KS M ISO 15361, PULMAC Z-span), 내절도(KS M ISO 5626, MIT folding tester, Tinius Olsen)를 측정하였다. 강도적 특성들은 한지의 발방향에서 측정하였다. 탈랍한 한지의 색 변화는 Elrepho 3300(Datacolor, International, USA)을 이용하여 색상(L*, a*, b* value) 및 백색도(brightness)를 측정하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압착온도와 시간이 탈랍율에 미치는 영향

열화밀랍지를 가열판이 설치된 자동 프레스를 사용하여 압착하여 가온가압 탈랍하였다. Fig. 1은 압착온도와 압착시간이 탈랍율에 미치는 영향을 보여준다. 50°C에서는 거의 탈랍이 되지 않는 것을 관찰할 수 있었다. 30분정도 압착하여도 탈랍율은 25% 정도로 매

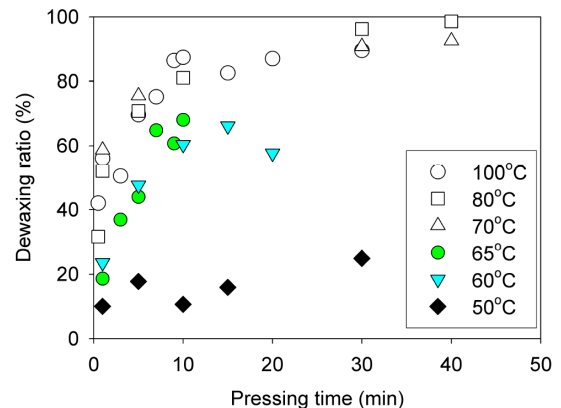


Fig. 1. Effect of pressing temperature and time on dewaxing ratio.

우 낮아, 이 온도에서는 압착시간을 증가시켜도 탈랍은 거의 이루어지지 않음을 알 수 있다. 밀랍의 녹는점은 대략 62-65°C 정도로 알려져 있다.¹²⁾ 밀랍의 녹는점보다 낮은 50°C에서는 밀랍이 녹지 않았기 때문에 탈랍율이 낮은 것으로 판단된다.

50°C에서 60°C로 온도를 높였을 때, 탈랍율이 급격히 증가하였다. 이는 압착온도가 밀랍의 녹는점 가까이 됨에 따라 밀랍이 녹아서 탈랍이 용이해졌기 때문으로 사료된다. 65°C에서는 60°C에서와 탈랍율이 유사하였다. 70°C 이상으로 온도를 증가시키면, 65°C에 비해서 탈랍율이 조금 증가되었다. 그러나 80°C, 100°C까지 온도를 높였을 때 탈랍율의 뚜렷한 증가는 관찰되지 않았다. 밀랍의 녹는점인 65°C 이상에서 밀랍이 녹은 다음에, 더 이상의 온도증가는 탈랍율에 큰 영향을 미치는 않는 것으로 판단된다.

60°C 이상에서는 압착시간이 증가함에 따라 압착시간 10분 정도까지는 탈랍율이 급격히 증가하나, 그 이후에는 증가율이 둔화되어 서서히 증가하는 것이 관찰되었다. 80°C에서 40분간 압착하여 98% 정도의 밀랍을 제거할 수 있었다. 압착온도와 시간을 더 증가시켜도, 밀랍을 100% 제거할 수 없었다. 이는 밀랍이 섬유 세포벽의 공극에 침투하여 고착되어 제거가 어렵기 때문으로 사료된다.

3.2 탈랍율이 광학적 특성의 열화안정성에 미치는 영향

탈랍량이 탈랍지의 노화안정성에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 밀랍지를 제조하고 150°C의 열풍건조기에서 24시간 강제 열화시킨 후, 가온가압 탈랍 처리하여 탈랍율이 52%, 74%, 90%, 98%인 시편들을 선정하였다. 이 네 가지 탈랍지 시편들을 150°C의 열풍건조기에서 0, 12, 24, 48, 72시간 동안 강제 열화시켰다. 즉, 한지가 노출된 전체 열화시간은 24, 36, 48, 72, 96시간이다.

Fig. 2는 강제 열화 시, 탈랍율이 탈랍지의 백색도 안정성에 미치는 영향을 보여준다. 밀랍지의 백색도는 28.9%이었고, 밀랍지를 150°C에서 24시간 노화시킨 후 23.8%로 감소하였다. 탈랍을 하면, 탈랍지의 백색도는 증가하였다. 52% 탈랍하면 백색도는 28.9%에서 32.3%로 8.5% 증가하였고, 98% 탈랍하는 경우 백색도는 38.9%로 15.1% 증가하였다. 이는 고온에서 변색

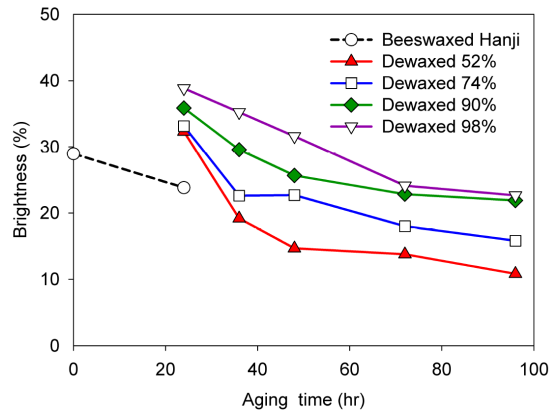


Fig. 2. Effect of dewaxing ratio on variation of brightness during thermal aging.

된 밀랍이 제거되면서, 상대적으로 백색도가 높은 한지가 노출되기 때문으로 사료된다. 탈랍지를 강제 열화시킴에 따라 한지의 백색도는 감소하였다. 강제 열화시킨 한지의 백색도는 탈랍율이 98%로 가장 높을 경우에 가장 높게 나타났고, 탈랍율이 52%인 경우에 가장 낮았다. 이 결과는 백색도의 노화안정성 측면에서는 탈랍시 밀랍을 완전히 제거하는 것이 유리하다는 것을 의미한다.

Fig. 3은 강제 열화 시, 탈랍율이 탈랍지의 명도 변화에 미치는 영향을 보여준다. 백색도와 같이 밀랍지의 L*값은 76.9에서 24시간 노화 후 73.5로 감소하여 색상이 어두워짐이 관찰되었다. 탈랍을 하면 한지의 L*값은 77이상으로 증가하였고, 탈랍율이 높을수록 L*값이 높게 나타났다. 98% 탈랍한 경우, 탈랍지의 명도는

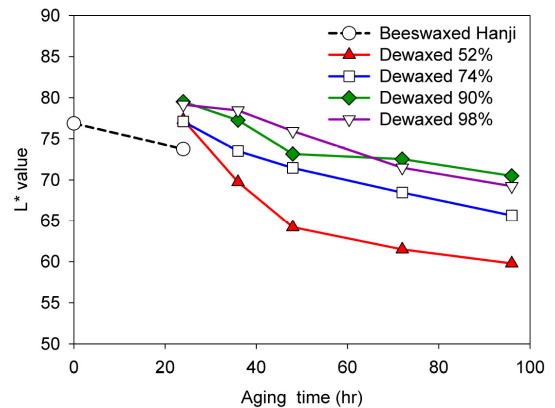


Fig. 3 Effect of dewaxing ratio on variation of L* value during thermal aging.

79.2로, 24시간 노화시킨 밀랍지(73.5)로부터 5.7 포인트 증가하였다. 또한 탈랍지를 강제 열화 시, 탈랍율이 52%로 가장 낮은 경우 L*값의 저하가 가장 심하였고, 탈랍율이 90, 98%로 높은 경우에 L*값은 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 백색도(Fig. 2)와 명도(Fig. 3)는 탈랍 후, 한지의 백색도가 증가되고 색도 밝아졌음을 나타낸다. 이는 강제열화 시 한지보다는 도포된 밀랍의 색상 변화가 컸다는 것을 의미한다.

a*값은 red와 green의 정도를 나타내는 좌표이다. 밀랍지의 a*값은 -0.43였고, 열화 밀랍지의 a*값은 2.86으로 증가하여, 붉은색이 강해졌음을 알 수 있다 (Fig. 4). 탈랍을 행하면, 한지의 a*값은 감소하였고, 탈랍지를 강제 열화시키면, a*값은 다시 서서히 증가하였다.

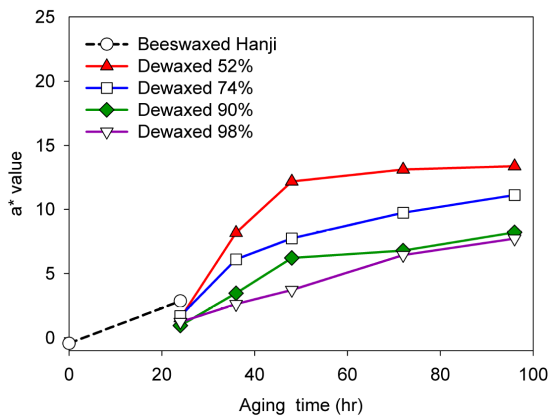


Fig. 4. Effect of dewaxing ratio on variation of a* value during thermal aging.

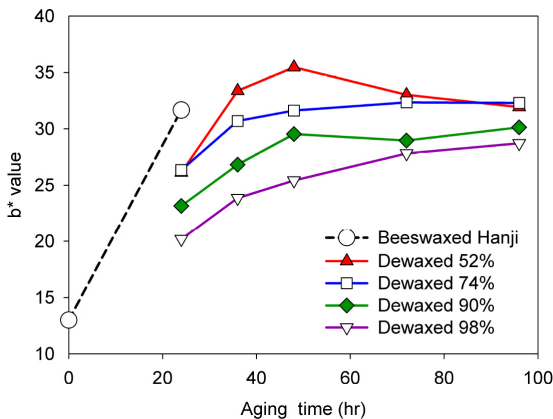


Fig. 5 Effect of dewaxing ratio on variation of b* value during thermal aging.

탈랍지에 잔존 밀랍량이 많을수록, a*값의 증가폭이 더 커짐을 알 수 있다. 탈랍율이 98%로 가장 높은 경우에 강제 열화 후 a*값이 가장 낮았다. b*값은 yellow와 blue의 정도를 나타내는 좌표이다. 밀랍지를 강제 열화시킨 경우에 b*값은 13에서 31.7로 크게 증가하였다 (Fig. 5). 이는 밀랍지를 강제 열화시키면, 밀랍지의 색이 황변화됨을 의미한다. 밀랍지를 탈랍한 경우에 b*값은 26.1 이하로 감소하였다. 탈랍율이 높을수록 b*값의 감소폭이 더 크게 나타나, 밀랍지의 황변화는 주로 도포된 밀랍에 의한 것임을 알 수 있다. 탈랍지를 강제 열화시키면 b*값은 증가하였다. 열화가 진행됨에 따라, 탈랍율이 52%로 가장 낮은 경우 가장 높은 b*값을 나타내었다. 탈랍율이 52%인 경우에 강제열화 48시간까지는 b*값이 증가되나 그 이후에는 저하되었다. 탈랍율이 74% 이상인 탈랍지는 열화가 진행됨에 따라 b*값이 서서히 증가하였다. 탈랍율이 높을수록 b*값의 안정성이 높음을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 탈랍율이 높은 탈랍지의 백색도 및 색상의 노화안정성이 우수한 것을 알 수 있다. 따라서, 탈랍지의 광학적 특성의 안정성을 고려하면 가능한 모든 밀랍을 제거해주어야 할 것으로 판단된다.

3.3 탈랍율이 강도적 특성의 열화안정성에 미치는 영향

탈랍율이 강제열화 시 탈랍지의 인장강도 변화에 미치는 영향을 Fig. 6에 나타내었다. 밀랍지의 인장강도는 4.85 kN/m이었고, 이를 150°C에서 강제 열화하면

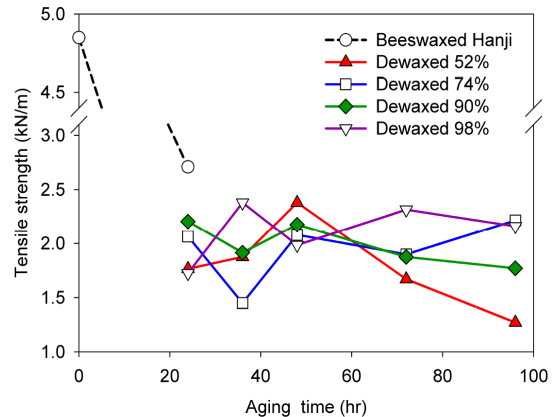


Fig. 6. Effect of dewaxing ratio on variation of tensile strength during thermal aging.

2.71 kN/m으로 감소하였다. 밀랍지를 탈랍한 경우에 탈랍지의 강도는 탈랍율에 따라서 1.73-2.21 kN/m로 감소하였다. 강제열화가 진행됨에 따라 뚜렷한 인장강도의 변화는 관찰되지 않았다. 탈랍지를 24시간 열화시킨 경우(전체 열화시간 48시간)에, 탈랍율이 노화된 탈랍지의 인장강도에 미치는 뚜렷한 경향은 관찰되지 않았다. 72시간과 96시간 강제열화 시켰을 경우 52% 탈랍시킨 탈랍지의 인장강도가 가장 낮았고, 98% 탈랍시킨 탈랍지의 인장강도가 가장 높게 나타났다. 밀랍지의 신장율은 0.79%이었고, 이를 150°C에서 강제 열화하면 0.74%로 다소 감소하였다(Fig. 7). 열화 밀랍지를 탈랍한 경우 신장율은 1.06%-1.36%로 증가하였다. 이 결과는 도포된 밀랍의 열화에 의해서 한지의 신장율이 저하됨을 보여준다. 탈랍율이 98%인 탈랍지를 강제 열화시킨 경우에 노화가 진행됨에 따라 신장율에 큰 변화는 없었다. 탈랍율이 낮은 나머지 3종의 탈랍지는 열화가 진행됨에 따라 신장율이 저하되었다. 탈랍율이 52%인 한지는 가장 급격한 신장율의 저하를 보였다. 150°C에서 96시간 노화 후, 52% 탈랍한 한지의 신장율이 가장 낮게 나타났고, 98% 탈랍한 한지의 신장율이 가장 높았다.

밀랍지의 내절도는 666회였고, 밀랍지를 150°C에서 24시간 열화시키면 내절도가 1회 정도로 급격히 감소하였다(Fig. 8). 열화 밀랍지를 탈랍처리하면 내절도가 12회-20회 정도로 증가된 것을 관찰할 수 있었다. 이는 밀랍지를 열화시키는 경우, 노화된 밀랍이 경화되어 밀랍지의 내절도를 감소시키는 것이 아닌가 사료된다.

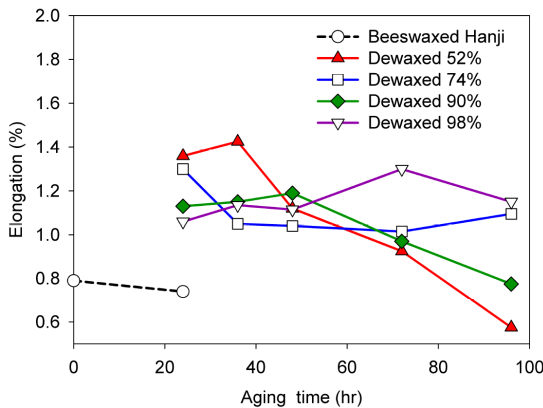


Fig. 7. Effect of dewaxing ratio on variation of elongation during thermal aging.

탈랍지를 강제열화하면 내절도는 감소하여 전체노화시간이 96시간인 경우 내절도는 거의 0에 접근하였다. 탈랍지를 24, 48시간 노화시킨 결과를 보면 탈랍율이 98%인 한지의 내절도가 가장 높았다. 탈랍지의 제로스팬 인장강도도 강제열화시간이 증가함에 따라 감소하였다(Fig. 9). 이는 열화시간이 증가함에 따라 셀룰로오스가 분해되어 섬유 자체 강도가 저하되었음을 의미한다. 열화시간 48시간 이후를 보면 탈랍율이 98%인 경우에 제로스팬 인장강도가 가장 높고, 90%인 경우가 그 다음이고, 탈랍율이 74%인 경우와 52%인 경우에 가장 낮은 것을 알 수 있다. 이는 탈랍지의 잔존 밀랍량이 클수록, 강제열화 시 섬유의 강도저하가 크다는 것을 의미한다.

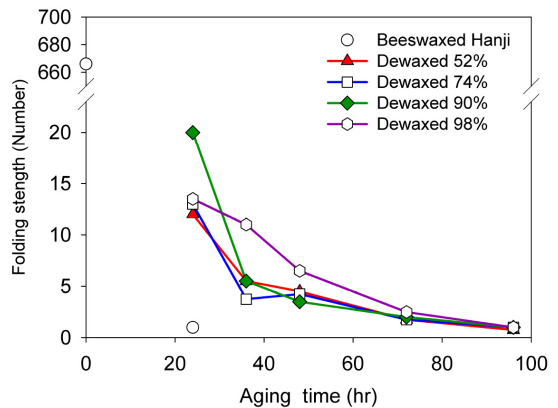


Fig. 8. Effect of dewaxing ratio on variation of folding endurance during thermal aging.

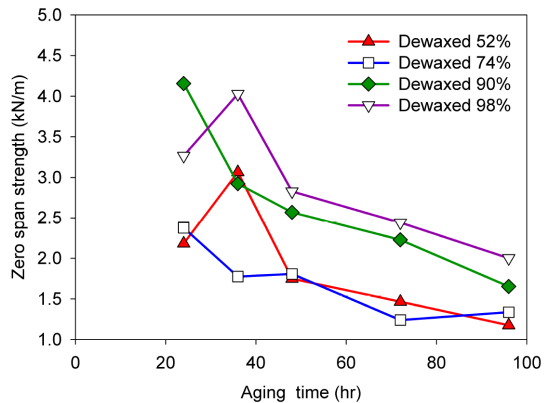


Fig. 9. Effect of dewaxing ratio on variation of zero-span tensile strength during thermal aging.

내절도와 제로스팬 인장강도의 결과에서 볼 때 탈랍율이 높을수록 강제 열화 시 섬유유 의 강도저하가 덜 발생하고 결과적으로 탈랍지의 강도저하도 낮았다. 또한 탈랍율이 높을수록 한지 신장율의 변화도 적었다. 이 결과들에 의하면, 탈랍 시 탈랍을 완전히 제거하는 것이 탈랍지의 강도적 특성들의 안정성 측면에서 유리하다고 사료된다.

4. 결론

가열판이 부착된 자동 시트 프레스를 사용하여 가온 가압 탈랍법에 의하여 밀랍지의 탈랍을 제거할 때, 3.5 kgf/cm² 압력과 80°C 온도에서 40분간 압착하여 98% 정도의 밀랍을 제거할 수 있었다. 탈랍율이 높을수록 탈랍지의 백색도와 색상의 열화안정성이 우수하고 또한 강제열화 시 강도저하가 적은 것이 관찰되었다. 이 결과는 탈랍지의 열화안정성 측면에서, 밀랍지를 탈랍 시, 가능한 모든 탈랍을 완전히 제거해야함을 의미한다. 이는 다른 탈랍법을 적용하여 탈랍하는 경우에도 적용되리라 사료된다.

사 사

본 논문은 국립문화재연구소에서 지원한 조선왕조실록 밀랍본 복원기술 연구(과제번호: NRICH-1107-B02F)의 일환으로 수행되었습니다.

인용문헌

1. 배현숙, 조선실록 연구서설, 태일사 (2002).
2. Jeong, S.-H., Jeong, S.-Y., Seo, J.-H., and Lee, H.-Y., The study of restoration technique of wax-treated volume for the Annals of the Joseon Dynasty(I) - Evaluation of degradation behavior of reproduced waxy paper, J. Korea TAPPI 39(1): 56-63 (2007).
3. 조성은, 김용태, 정소영, 조병목, 이종규, 종이변색균류의 배양적 특성 및 화학적 방법에 의한 변색제거, 한국펄프종이공학회 2009 춘계학술발표논문집, pp. 295-303.
4. Cho, J.-H., Kim, K.-J., and Eom, T.-J., Non-constructive analysis for the cover and inner paper in the Taebaeksan volume of Joseon Dynasty annals, J. Korea TAPPI, 42(3): 28-36 (2010).
5. Kim, K.-J. and Eom, T.-J., Ageing behavior of beeswax coated Hanji(I) - Thermal ageing test of beeswax coated Hanji, J. Korea TAPPI 42(2): 46-52 (2010).
6. Kim, K.-J., Lee, M.-H., and Eom, T.-J., Aging behavior of beeswax coated Hanji(II) - Acidic and alkaline aging of beeswaxed Hanji, J. Korea TAPPI 42(3): 66-71 (2011).
7. Kang, K.-H., Lee, G.-J. and Kim, H.-J., Evaluation of the beeswax applying and dewaxing technique of Hanji and their ageing behaviors, J. Korea TAPPI 42(3): 58-66 (2010).
8. 조병욱, 강규영, 최경화, 정혜영, 조병목, 밀랍의 휘발성 성분에 의한 한지의 열화속도 증가, 한국펄프종이공학회 2010 추계학술발표논문집, pp. 113-118.
9. 강광호, 김형진, 이태주, 이금자, 조병목, 밀랍지 제작 기법 탐색 및 탈랍처리에 따른 열화거동 분석, 한국펄프종이공학회 2009 추계학술발표논문집, pp. 5-11.
10. 강광호, 김형진, 안치덕, 이규원, 조선왕조실록 밀랍본 복원을 위한 가온 가압 탈랍처리 기법 탐색, 한국펄프종이공학회 2010 추계학술발표논문집, pp. 377-388.
11. 강광호, 안치덕, 김형진, 열 및 압력에 의한 밀랍지의 탈랍거동 분석, 한국펄프종이공학회 2011 춘계학술발표논문집, pp. 207-215.
12. Kuznesof, P.M. and Whitehouse, D.B. Beeswax : Chemical and technical assessment (CTA), 65th JECFA