

밀랍도포한지의 탈랍을 위한 최적 유기용매 추출기법 탐색

최도침 · 최은연 · 조병묵 · 조병욱[†]

접수일(2012년 12월 7일), 수정일(2012년 12월 18일), 채택일(2012년 12월 20일)

Optimal Organic Solvent Extraction Method for Dewaxing of Beeswax-treated Hanji

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

Received December 7, 2012; Received in revised form December 18, 2012; Accepted December 20, 2012

ABSTRACT

In this study, the beeswax extraction methods using organic solvents were examined to develop a optimal dewaxing technology for beeswax-treated Hanji. Thermally-aged beeswax-treated Hanji was dewaxed using four types of extraction methods including dipping, Soxhlet extraction, ultrasonic washing and shaking methods. Then, the aging stability of the dewaxed Hanji was evaluated in terms of variations in paper strength and in the color of the printed area with muk. The experimental results suggested that the dewaxing methods allowing solvent to flow during extraction showed superior extraction efficiency. The dipping method in which the organic solvent does not flow showed the slowest extraction rate of beeswax compared to three other methods. In terms of variations in tensile strength and folding endurance, however, no obvious differences in the aging stability were observed amongst these four extraction methods. Regarding the aging stability in terms of the color of the printed area with muk, Soxhlet extraction method showed the best performance of dewaxing.

Keywords: *Beeswax-treated Hanji, Organic solvent extraction, dewaxing, aging stability, Soxhlet extraction*

1. 서론

현재 규장각내 보관중인 조선왕조실록 정족산본은

1187권 중 475권이 해충과 습기로부터 원본을 보호하기 위해 밀랍으로 도포한 밀랍본이다.^{1,2)} 밀랍본에 대한 조사결과에 의하면밀랍을 도포하지 않은 생지본의

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

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

경우 현재까지 보존상태가 양호하지만 밀랍본은 훼손 상태가 매우 심각하다고 보고되었다.¹⁻⁴⁾ 국립문화재 연구소에서 보고한 자료에 따르면, 조선왕조실록에 대한 1998에서 1999년에 걸쳐 보존상태를 조사한 결과, 밀랍 도포된 실록 중 일부가 밀랍의 열화현상에 의해 경화됨에 따라 변색, 갈라짐, 꺾임 등의 다양한 손상이 나타나고 부분적으로 곰팡이 피해가 발생하였다고 보고 하였다.¹⁻⁵⁾

밀랍본의 열화인자 및 기작을 이해하기 위해 실시된 최근 발표된 연구 결과들에 의하면 보존 특성을 향상시키기 위해 도포한 밀랍들이 오히려 종이의 노화를 촉진시키고 있는 것으로 판단된다.⁶⁻⁸⁾ Kim과 Eom^{6,7)}의 연구에 의하면 밀랍본의 열화 기작을 추적하기 위하여 다양한 온도에서 밀랍과 밀랍지의 인공열화 거동을 평가하는 연구를 수행한 결과, 105℃에서 10일 동안 열화 시 밀랍과 밀랍지의 산화가 급격히 진행되었으며 실록의 밀랍과 유사한 수치의 산가로 감소되는 것을 보고하였고, 열화 시간이 증가함에 따라 밀랍의 비교적 고분자들이 분해되어 저분자화가 증대 되었고 밀랍지의 강도 또한 급격히 감소하여 측정이 불가능할 정도 까지 이르렀다고 보고하였다. 또한 밀랍본의 열화 거동을 추적하고자 산 및 알칼리에 의한 강제 열화실험을 하여 산 열화 시, 열화 시간에 따라 밀랍보다는 밀랍지에서 중량감소가 크게 나타났고 산 및 알칼리 열화가 진행됨에 따라 산가와 oxidation index는 서서히 증가함을 보고하였다. Cho 등⁸⁾은 밀랍이 한지와 직접적으로 접촉하지 않아도 밀랍의 휘발성 성분들에 의해서 한지의 노화가 가속화 된다고 보고하였다.

따라서 조선왕조실록 밀랍본의 보존성을 향상시키기 위한 한 방법으로 밀랍본의 주요 열화인자로 밝혀진 밀랍을 제거하는 방법이 고려되어졌다. 탈랍처리를 위한 방법으로 밀랍이 65℃에서 용융되는 특성을 이용한 가온 가압 방법을 이용한 탈랍에 관한 연구가 주로

국민대학교 연구팀에 의하여 수행되어졌다.⁹⁻¹²⁾ 가온 가압에 의한 탈랍처리 연구에 의하면 밀랍을 100% 제거하기 어려운 것으로 사료된다. 또한 가열판이 달린 프레스를 사용하여 가온가압 기법에 의해 탈랍처리한 후 탈랍율이 종이의 노화안정성에 미치는 영향을 연구한 결과, 최대 탈랍율은 98%이었고, 탈랍 시 탈랍지의 강도 손실이 매우 큰 것이 밝혀졌다.¹³⁾ 따라서 가온가압 처리는 조선왕조실록 밀랍본에 적합한 탈랍처리가 아닌 것으로 판단된다.

그러므로 탈랍율 및 재질안정성을 향상시키기 위한 방법의 일환으로 유기용매추출법을 개발하고자 하였다. 노화밀랍지를 유기용매를 사용, 추출하여 탈랍 처리하는 기법에 관한 연구는 아직 보고 된 것이 없다. 따라서 본 연구에서는 용매추출기법 개발의 일환으로 유기용매를 적용하는 최적의 방법을 탐색하고자 하였다. 유기용매 추출기법으로 속식렛 추출법(S Soxhlet extraction method), 진탕법(shaking method), 초음파 세척법(ultrasonic washing method), 함침법(dipping method) 등을 탐색하였다. 강제열화 시킨 밀랍지를 세 가지 유기용매와 위에 언급된 탈랍처리 기법들을 적용하여 탈랍처리 하였다. 탈랍지를 강제 열화 시켜 탈랍지의 강도와 한지에 인쇄된 먹의 색상 변화를 측정하여 노화안정성을 평가하고, 이에 기초하여 최적의 탈랍처리 기법을 선정하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

“신현세 전통한지 공방”에서 제조된 전통 수록한지를 공시재료로 사용하였다. 한지의 평량은 65-66 g/m²이며, 제조 조건은 Table 1에 나타내었다. 밀랍은 “빈도림”에서 생산한 천연 밀랍을 구입하여 공시재료

Table 1. Sheet producing factors of tested Hanji

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 <i>Hibiscus manohot</i>)
Forming method	Heullimtteugi
Drying method	Wood board
Converting method	Dochim

로 사용하였다. 밀랍은 첨가물이 전혀 없고 정제과정에서도 화학물질을 전혀 사용하지 않았으며 필터링 및 침전방식으로만 생산되고 450 g으로 개별포장된 것을 사용하였다. 밀랍의 녹는점은 65℃로 조사되었다.

유기용매는 탈랍처리를 위한 최적 용매 탐색 연구¹²⁾에서 가장 탈랍율이 우수하다고 보고된 tetrahydrofuran (THF), dichloromethane(DCM), chloroform 3 종류를 선택하여 사용하였다. 각 약품들은 시약급을 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 밀랍지 및 열화밀랍지 제조

밀랍지는 hot plate가 설치된 auto bar coater(GIST Co., Korea)를 사용하여 제조하였다. 밀랍 도포 시 가열판이 없을 경우 밀랍이 급속히 경화되어 한지에 균일하게 도포할 수 없다. 따라서 가열판의 온도를 65℃로 유지하여 도포하였고 도포량은 rod bar No. 24를 이용하여 한지 평량의 97~98%로 조절하였다. 밀랍 도포 후 중앙부위에서 150×150 mm로 재단하여 밀랍지를 제조하였다. 재단한 밀랍지를 열풍건조기에 넣고 150℃에서 24 시간 강제 열화시켜 열화밀랍지를 제조하였다. 인쇄 한지는 OHP 필름에 원 모양으로 구멍을 낸 후 한지 위에 올린 후, 롤러를 이용해 한지에 먹을 인쇄하였다. 사용한 먹은 송연 먹물(吳竹精昇堂, 中濃墨, Japan)을 사용하였다. 열화밀랍지 제조와 마찬가지로 인쇄 한지 열화밀랍지를 제조하였다.

2.2.2 탈랍 처리 기법

(가) 속실렛 추출법(S Soxhlet extraction method)

150×150 mm로 재단된 열화밀랍지를 반으로 재단(75×150 mm 크기)하여 속실렛 장치(Soxhlet apparatus)에 추출용 원통 여과지(extraction thimble)를 사용하지 않고 직접 넣었다. 추출 플라스크(extraction flask)에 유기용매를 250 mL 넣고, 속실렛 가열기(Soxhlet heater)의 온도를 높여 유기용매를 가열하여 추출하였다. 유기용매가 비등하여 1회 사이펀 관을 통과하여 환류하는 시간을 측정하였다. 일정시간 동안 유기용매 추출 후, 시료를 추출기에서 제거하고 기건 시킨 후, 분석 실험을 실시하였다.

(나) 진탕법(Shaking method)

150×150 mm로 재단된 열화밀랍지를 반으로 재단하여 유리 용기에 넣고, 유리 용기를 진탕기의 스크린 와이어에 고정시켰다. 유기용매 1 L를 시료가 있는 유리 용기에 넣어 밀랍지가 유기용매에 잠기도록 한 후, 바로 진탕기(Vision Scientific Co., Ltd, Green Seriker II)를 작동시켰다. Orbital motion으로 일정시간 동안 진탕하여 용기용매 추출을 행한 후, 진탕기를 끄고, 시료를 유리용기에서 꺼내어 기건 시킨 후 분석실험을 수행하였다. 진탕기의 회전속도는 150 rpm으로 조정하였다.

(다) 초음파 세척법(Ultrasonic washing method)

150×150 mm로 재단된 열화밀랍지를 반으로 재단하여 유리 용기에 넣고, 유기용매 1 L를 시료가 있는 유리 용기에 밀랍지가 잠기도록 넣은 후, 바로 초음파 세척기에 넣어 유기용매 추출을 행하였다. 초음파 세척기 세척조의 온도는 25℃로 조절하였고, 초음파 출력은 400 W, 발진 주파수는 40 kHz로 고정하였다.

(라) 함침법(Dipping method)

살레에 유기용매(200 mL)를 넣고 열화밀랍지를 함침시킨 다음, 일정 시간 동안 교반 없이 방치시켜 용매 추출을 실시하였다.

2.2.3. 탈랍지 분석

(가) 탈랍율 측정

각 탈랍 방법에 따른 탈랍율은 평량에 의해서 계산하였다. 한지 원지의 평량과 열화밀랍지의 평량, 탈랍 처리 후 한지의 평량을 이용하였다. 탈랍율은 Eq. 1을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Dewaxing ratio}(\%) = \frac{W_{ABH} - W_{DH}}{W_{ABH} - W_{BP}} \times 100 \quad [1]$$

여기서 W_{ABH} 는 열화 밀랍지 평량(g/m^2) 그리고 W_{DH} 는 탈랍 후 평량(g/m^2), W_{BP} 는 원지평량(g/m^2)을 의미한다.

(나) 탈랍지 노화안정성 분석

탈랍 방법의 종류가 탈랍지의 노화안정성에 미치는 영향을 평가하기 위해 각 탈랍기법으로 처리한 샘플 중, 탈랍율이 100%에 가까운 탈랍지를 선정하여 150℃

에서 12, 24, 48, 72시간 동안 열풍 건조하여 강제열화 시켰다. 탈랍된 한지는 온도 $23 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $50 \pm 2\%$ 의 항온 항습실에 24 시간 이상 조습처리 후 강도적 특성 변화를 평가하였다. 강도적 특성으로는 인장 강도(KSM ISO 1924-2, Lorentzen-Wettre tensile tester)와 내절도(KSM ISO 5626, MIT folding tester, Tinius Olsen)를 측정하였다. 강도적 특성들은 한지의 발 방향에서 측정하였다.

먹으로 인쇄된 부분의 노화 안정성을 평가하기 위하여, 인쇄 열화밀랍지를 150°C 에서 12, 36, 48, 72 시간 열화 처리 하였고, 열화 시간별 인쇄된 먹의 색 농도 변화를 측정하였다. 색 농도 변화는 잉크 농도 측정기(GretagMacbeth, D196)를 이용하여 측정하였다. Black, cyan, magenta, yellow의 농도를 측정한 후 Eq. 2에 의하여 ΔColor 를 계산하였다. ΔColor 는 각 색 농도별 변화량의 합을 의미한다. 예로, ΔB 는 처음 한지에 먹을 인쇄한 후의 black 잉크 농도(B1)와 탈랍 처리 후 (또는 탈랍지의 노화 후) black 잉크농도(B2)의 차이 값이다($\Delta B=B1-B2$). C는 cyan, M은 magenta, Y는 yellow의 색 농도를 나타낸다.

$$\Delta\text{Color} = \sqrt{(\Delta B)^2 + (\Delta C)^2 + (\Delta M)^2 + (\Delta Y)^2} \quad [2]$$

3. 결과 및 고찰

3.1 탈랍 처리 방법이 탈랍율에 미치는 영향

각 용매별 용매 추출 기법의 종류와 추출 시간이 탈랍률에 미치는 영향은 Figs. 1-3에 나타났다. 함침법의 경우 탈랍 속도가 가장 느린 것을 확인 할 수 있었다. 함침법을 이용하여 100% 탈랍시키기 위해서는 THF의 경우 20분 이상, DCM의 경우 10분 이상, chloroform의 경우 3분 이상 유기용매에 함침 되어야 탈랍이 이루어졌다. 초음파와 세척법과 진탕법 이용 시 함침법보다는 탈랍이 빨리 진행되는 것으로 관찰되었다. DCM과 chloroform의 경우에 1분 정도만 추출해도 탈랍율이 100%에 도달하였다.

속실렛 추출법의 경우 유기용매가 비등하여 1회 사이펀 관을 통과하여 순환하는데 일정 시간이 걸려서, 추출시간을 제어하는데 어려움이 있었다. 유기용매 종류에 따라 다소 차이가 있으나 사이펀 관까지 용매가

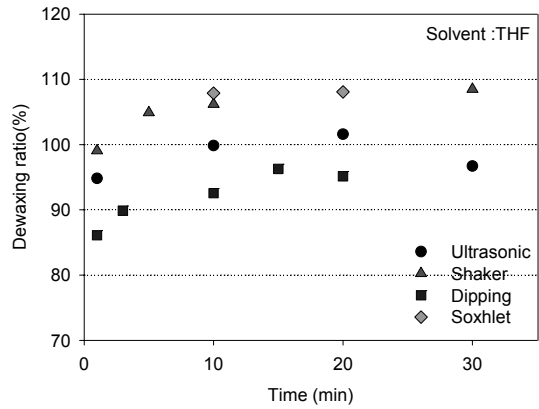


Fig. 1. Effect of type of solvent extraction methods on dewaxing ratio. Solvent used: THF.

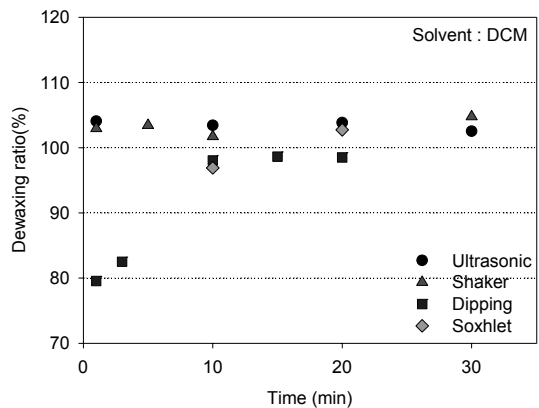


Fig. 2. Effect of type of solvent extraction methods on dewaxing ratio. Solvent used: DCM.

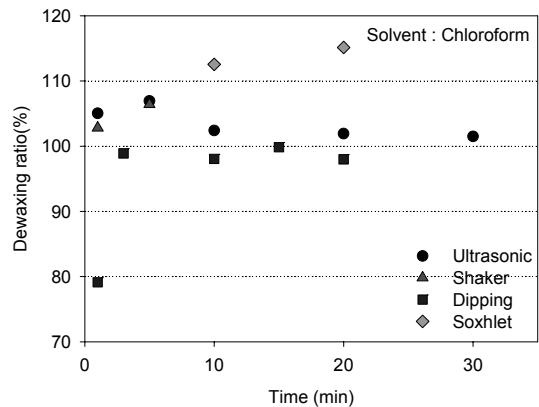


Fig. 3. Effect of type of solvent extraction methods on dewaxing ratio. Solvent used: Chloroform.

차는데 대략 10분 정도 시간이 소모되었다. 즉 조절 가능한 최소 추출 시간은 10분 정도였다. 유기용매 순환 시간이 밀랍을 100% 추출하는데 소모되는 시간보다 훨씬 길어서 밀랍이 추출되고 난 다음, 원지에 영향을 줄 가능성이 있다고 사료된다.

진탕법, 초음파 세척법과 함침법의 주된 차이점은 유기용매 추출 시 유기용매가 정치되어 있느냐, 강제 유동되느냐 하는 것이다. 유기용매에 의해 용출되어 나온 밀랍은 밀랍지 표면으로부터 유기용매 상으로 확산되어 나갈 것이다. 확산속도는 밀랍의 농도차가 클수록 빠르기 때문에, 밀랍지 표면 근처에서 밀랍 분자의 농도가 낮을수록 밀랍이 빨리 녹아 나오게 된다. 함침법의 경우에, 유기용매의 유동이 없어서 밀랍지에서 추출되어 나온 밀랍의 농도는 밀랍지에서 가까울수록 높고, 거리가 멀어질수록 낮아지게 된다. 또한 확산에 의해서만 밀랍의 농도가 평형상태에 다다르기 때문에 시간이 걸리게 되고, 밀랍이 용출되는 속도가 느려졌을 것으로 사료된다. 초음파와 세척법과 진탕법의 경우에 초음파와 흔들기에 의해서 유기용매가 유동되어 밀랍지 근처에 존재하는 용매가 밀랍지와 상대적으로 먼 거리에 있는 용매가 빠르게 혼합하게 되고, 상대적으로 밀랍지 근처 유기용매에서 밀랍의 농도는 낮게 유지될 것이다. 따라서 초음파 세척법과 진탕법을 이용하는 유기용매 추출 속도가 함침법보다 빨라지게 된 것으로 사료된다.

3.2 탈랍처리 기법이 열화 안정성에 미치는 영향

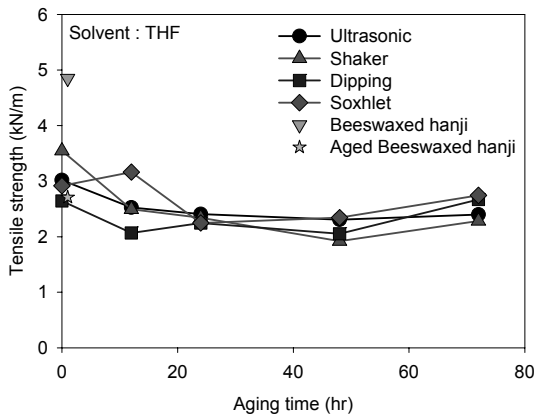


Fig. 4. Effect of type of solvent extraction methods on variation of tensile strength during thermal aging. Solvent used: THF.

각각의 유기용매를 이용한 추출 기법을 통해 탈랍 처리한 탈랍지를 150℃에서 12, 24, 48, 72 시간 동안 강제 열화시켜 탈랍지 강도적 성질의 열화안정성을 평가한 결과를 Figs. 4-9에 나타냈다. Figs. 4-6은 인장 강도의 변화를 비교한 결과이다. 밀랍지의 인장강도는 4.85 kN/m이었고, 이를 150℃에서 24 시간 열화시키면 2.71 kN/m로 44%정도 강도가 감소하였다. 유기용매 추출에 의해서 탈랍하였을 경우에 탈랍방법에 따라서 미세한 차이가 있었지만 모두 열화밀랍지와 유사한 수준의 강도를 나타내었다: THF를 사용하였을 경우 2.64 kN/m-3.54 kN/m, DCM을 사용한 경우에 2.42 kN/m-3.75 kN/m, chloroform을 사용한 경우에 2.54

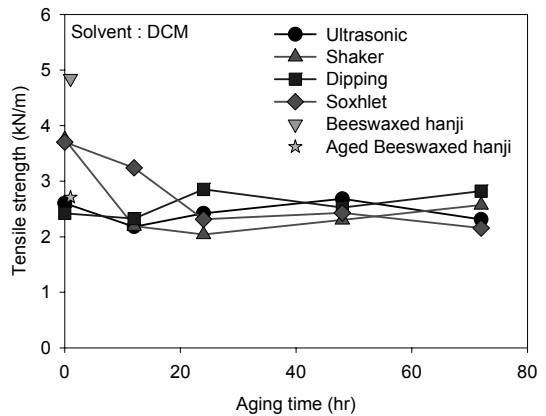


Fig. 5. Effect of type of solvent extraction methods on variation of tensile strength during thermal aging. Solvent used: DCM.

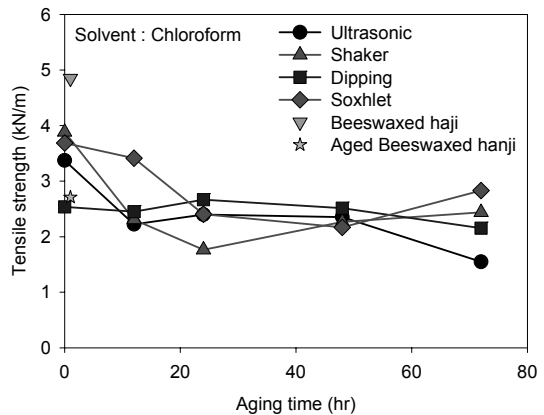


Fig. 6. Effect of type of solvent extraction methods on variation of tensile strength during thermal aging. Solvent used: Chloroform.

kN/m-3.88 kN/m의 범위를 나타내었다. 150℃에서 강제 열화시키면 노화 20 시간까지는 강도가 감소됨이 관찰되나 20 시간 이후에는 큰 변화가 없었다. 4 종류의 탈랍 기법 차이가 인장강도의 노화안정성에 미치는 뚜렷한 영향은 관찰되지 않았다. 3 종류의 용매에서 모두 유사한 결과가 관찰되었다.

Figs. 7-9에 내절도의 변화를 나타냈다. 열화 전 밀랍지의 내절도는 666회였고, 150℃에서 24 시간 열화 후 밀랍지(즉, 열화밀랍지)의 내절도가 1회로 급격하게 강도가 저하됨을 확인할 수 있었다. 유기용매 추출에 의한 탈랍지들의 내절도는 밀랍지에 비해 높게 나타났다. THF를 사용하면 추출 기법에 따라 15회-47회의

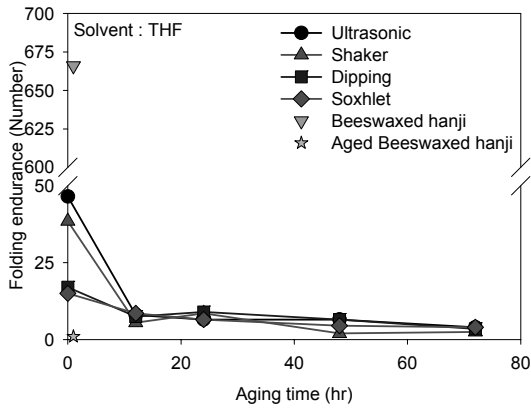


Fig. 7. Effect of type of solvent extraction methods on variation of folding endurance during thermal aging. Solvent used: THF.

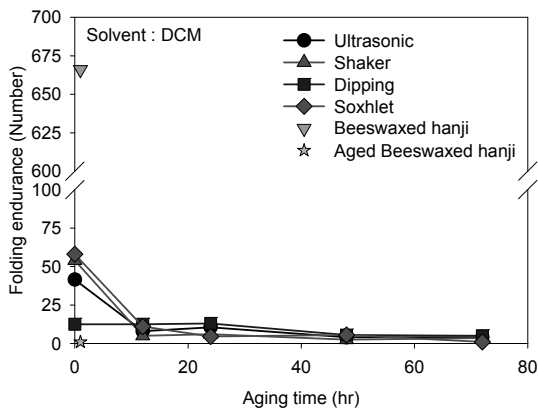


Fig. 8. Effect of type of solvent extraction methods on variation of folding endurance during thermal aging. Solvent used: DCM.

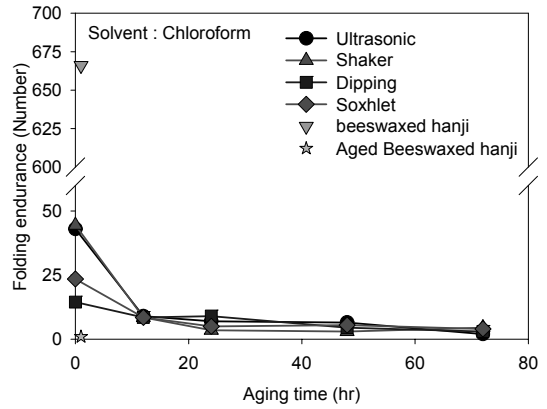


Fig. 9. Effect of type of solvent extraction methods on variation of folding endurance during thermal aging. Solvent used: Chloroform.

범위, DCM을 사용하면 13회-58회, chloroform을 사용하면 15회-45회의 범위로 탈랍지의 내절도가 열화 밀랍지보다 증가되었다. 이는 밀랍지 열화 시 노화된 밀랍의 경화에 의해서 내절도가 감소되었지만 탈랍처리를 통해서 밀랍이 제거되어 내절도가 향상된 것으로 사료된다. 150℃에서 강제 열화 진행 시 노화 12 시간까지 내절도는 급격히 저하되지만, 12 시간 이후 변화의 폭이 작으며 서서히 저하되었다. 초음파 세척법과 진탕법에 의한 경우가 노화 시간 0 시간에 상대적으로 다소 높은 내절도를 나타냈으나, 노화 12 시간 이후에는 추출 방법이 노화 안정성에 미치는 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다. 위의 결과들에 의하면 본 연구에 사용된 4 종류의 추출기법 별 내절강도에 미치는 영향 즉 강도적 성질의 노화안정성에 미치는 뚜렷한 영향은 없었고 판단된다.

Figs. 10-12에 광학적 성질의 열화안정성 평가 결과를 나타냈다. 탈랍 직후의 ΔColor를 보면 초기 인쇄된 먹의 색 농도와 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 열화가 진행됨에 따라 ΔColor의 값이 변화되었으며, 변화 특성은 용매의 종류 및 추출기법별 다른 양상을 나타냈다. 먼저 용매에 대한 변화를 살펴보면 THF(Fig. 10)와 DCM(Fig. 11)을 사용하였을 경우 12시간 열화 후 ΔColor가 급격히 증가되었으며 이후 서서히 감소되었다. Chloroform을 사용하였을 경우 다른 용매를 사용한 경우보다 ΔColor 변화의 폭이 작게 나타났다(Fig. 12). 추출기법별 변화는 속실팩 추출법을

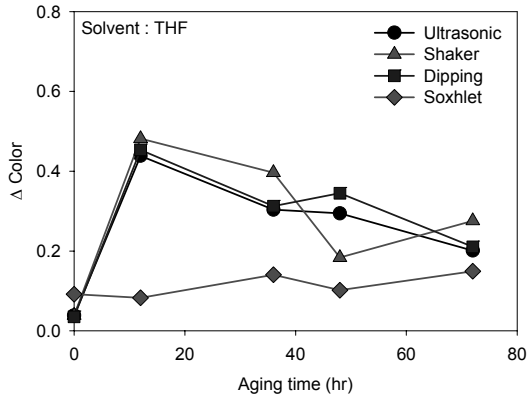


Fig. 10. Effect of type of solvent extraction methods on variation of Δ Color during thermal aging. Solvent used: THF.

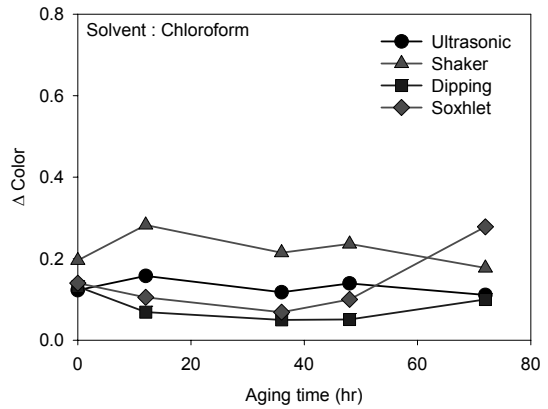


Fig. 12. Effect of type of solvent extraction methods on variation of Δ Color during thermal aging. Solvent used: Chloroform.

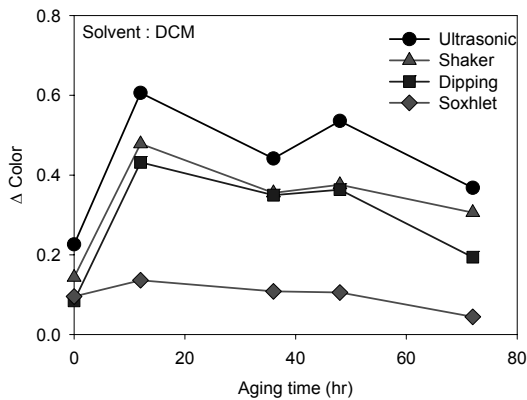


Fig. 11. Effect of type of solvent extraction methods on variation of Δ Color during thermal aging. Solvent used: DCM.

제외한 초음파법, 진탕법, 함침법을 사용하였을 경우 12시간 열화 후 Δ Color가 급격히 증가되었으며 이후 서서히 감소되었다. 속실렛 추출법을 사용하였을 경우에 강제 열화가 진행되어도 Δ Color는 거의 변화가 없음이 관찰되었다. 이러한 결과로 볼 때 인쇄된 먹의 노화안정성 측면에서는 속실렛 추출법을 사용하는 것이 유리하다고 판단된다. 속실렛 추출을 할 시 유기용매가 기화되어 사이펀 관으로 들어가서 밀랍을 추출하고, 유기용매가 일정 높이까지 수위가 오르면 환류되어 추출플라스크로 되돌아오게 된다. 그리고 추출된 밀랍은 추출플라스크에 남고 유기용매만 기화되어 사이펀 관으로 들어가서 추출을 하게 된다. 따라서 속실

렛 추출법은 다른 세 가지 방법들에 비해서 제거된 밀랍성분이나 불순물이 다시 한지에 접촉할 기회를 상대적으로 줄여주기 때문에 이러한 결과를 나타낸 것으로 사료된다.

4. 결론

유기용매 추출 시 용매가 정체되어 있지 않고 유동하는 추출 방법을 선택하는 것이 밀랍의 추출에 용이하다고 판단된다. 용매가 유동하는 3 종류의 추출방법(속실렛 추출법, 진탕법, 초음파 세척법) 사이에 뚜렷한 밀랍 추출 속도 차이는 관찰되지 않았으나, 용매가 움직이지 않는 함침법은 밀랍 추출 속도가 가장 느렸다. 용매 추출 기법의 차이는 강도적 성질의 노화안정성 측면에서 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 그러나, 먹으로 인쇄된 색상의 노화안정성 측면을 고려하면 속실렛 추출법이 가장 안정적이라고 판단된다. 이는 속실렛 추출법은 다른 3 종류의 방법들과 달리 밀랍지에서 추출된 성분들이 다시 탈랍지에 재흡착할 기회를 상대적으로 줄여주기 때문으로 사료된다.

사 사

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

인용문헌

1. 송기중, 신병주, 박지선, 이인성, 조선왕조실록보존을 위한 기초조사연구(1): 13, 서울대학교 출판부, 서울 (2005).
2. 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: 119-131 (2004).
3. 국립문화재연구소, 조선왕조실록 밀랍본 복원기술 연구 결과보고서 (2006).
4. 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, Journal of Korea TAPPI, 39(1): 56-63 (2007).
5. 조성은, 김용태, 정소영, 조병목, 이종규, 종이변색균류의 배양적 특성 및 화학적 방법에 의한 변색제거, 한국펄프·종이공학회 2009 춘계학술발표논문집, pp. 295-303 (2009).
6. Kim, K.-J. and Eom, T.-J., Ageing behavior of beeswax coated Hanji(I) - Thermal ageing test of beeswax coated Hanji, Journal of Korea TAPPI 42(2): 46-52 (2010).
7. Kim, K.-J., Lee, M.-H., and Eom, T.-J., Aging behavior of beeswax coated Hanji(II) - Acidic and alkaline aging of beeswax Hanji, Journal of Korea TAPPI, 42(3): 66-71 (2011).
8. 조병욱, 강규영, 최경화, 정혜영, 조병목, 밀랍의 휘발성 성분에 의한 한지의 열화속도 증가, 한국펄프·종이공학회 2010 추계학술발표논문집, pp. 113-118 (2010).
9. Kang, K.-H., Lee, G.-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).
10. 강광호, 김형진, 이태주, 이금자, 조병목, 밀랍지 제작 기법 탐색 및 탈랍처리에 따른 열화거동 분석, 한국펄프·종이공학회 2009 추계학술발표논문집, pp. 5-11 (2009).
11. 강광호, 김형진, 안치덕, 이규원, 조선왕조실록 밀랍본 복원을 위한 가온 가압 탈랍처리 기법 탐색, 한국펄프·종이공학회 2010 추계학술발표논문집, pp. 377-388 (2010).
12. 강광호, 안치덕, 김형진, 열 및 압력에 의한 밀랍지의 탈랍거동 분석, 한국펄프·종이공학회 2011 춘계학술발표논문집, pp. 207-215 (2011).
13. 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).
14. 조병욱, 조병목, 최도침, 최은연, 용매추출 탈랍처리를 위한 최적 용매 탐색, 한국펄프·종이공학회 2011 추계학술논문집, pp. 237-242 (2011).