

한국산 시판 한지의 열화 특성

박성철*¹ | 최미숙** | 임현아**

*전북대학교 농업과학기술연구소, **전북대학교 목재응용과학과

Aging Characteristics of Marketing Korean Paper(Hanji)

Seong-Cheol Park*¹ | Mi-Sook Choi** | Hyun-A Lim**

*Institute of Agricultural Science and Technology, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756, Korea

**Department of Wood Science & Technology, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756, Korea

¹Corresponding Author: jihu002@hanmail.net, +82-63-270-2625

초 록 본 연구에서는 한국산 시판 4종 한지의 강제적 열화 조건인 습·건열처리를 통하여 한지의 광학적·물리적 특성의 변화를 측정, 비교 검토하여 봄으로써, 현재 시판 한지의 안정성을 규명하고자 하였다. 인공 열화 전후의 비교에서 광학적·물리적 성질은 습열처리보다 건열처리의 경우에서 더욱 감소폭이 컸는데, 백색도, whiteness는 흑피로 제조된 순지에서 가장 크게 감소하였고 불투명도 역시 전체적으로 상승하는 경향 속에 흑피에서 가장 높게 상승하였다. 열단장은 백피의 경우가 최종적으로 가장 높은 강도를 나타냈으며, 인열강도는 흑피에서 급속히 감소하였다. 파열강도는 습열처리의 경우, 열화 후반부에서는 백피와 흑피의 값이 거의 비슷하였으나 내절도는 백피의 경우가 다른 펄프보다 월등히 높아 단순비교는 어려웠지만 열화처리에도 비교적 높은 내절도를 나타내었다. 따라서 흑피가 백피에 비해 열화에 약하다는 것을 알 수 있었다. 또한 이외 다른 펄프를 혼합한 경우는 강도면에서 크게 감소함을 알 수 있었다. 결론적으로 한지는 습도에 비해 온도에 더 민감한 것으로 나타났다. 그러나 가장 높은 관심을 가졌던 목즙에 대한 농도 및 색상의 열화는 특별한 경향을 발견하지 못하였다.

중심어: 한국산 시판 한지, 인공 열화, 백피, 흑피

ABSTRACT The objective of this study was to investigate stability of Korean Paper(Hanji) which is being sold in the Korean markets according to aging treatment. In order to know the aging characteristics, the optical and mechanical properties of before and after wet and dry-heat aging treatment were examined. The optical and mechanical properties were shown higher reduction in the dry-heat aging treatment compared to the wet-heat aging treatment. The Soonji (pure mulberry Hanji) made from black mulberry bast pulp was shown a great reduction of the brightness and whiteness, and increase of the opacity in the aging treatment. On the other hand, in case of mechanical properties, the breaking length of Soonji made from white mulberry bast pulp was significantly higher than that of the others, and the tensile strength was shown drastic reduction in according to Soonji made from black mulberry bast pulp in the aging treatment. The burst strength of Soonji made from black and white mulberry bast pulp was shown the similar value in the wet-heat aging treatment. The folding endurance of Soonji made from white mulberry bast pulp was significantly higher than that of others before and after aging treatment. Consequently, Hanji was affected sensitive in the temperature compared to the humidity. Meanwhile, the density and color of the chinese ink was no significant changes before and after wet and dry-heat aging treatment.

Key Words: Hanji, Aging characteristics, White mulberry bast pulp, Black mulberry bast pulp

1. 서 론

대표적 기록문화재인 한지는 재질의 자연미, 질긴 수명, 뛰어난 흡습성 등의 장점으로 고급 내장용지, 음향기기 재료, 특수필터지, 문화재보수지 등의 고부가가치의 한지를 제조할 수 있었는데도 불구하고 과학적 연구의 접근과 산업적 이용의 부족으로 인하여 소수의 몇몇 사람들에게 의해 그 명맥만이 유지되고 있는 실정이다. 그러나 최근 경제문화의 발달과 생활수준의 향상으로 삶의 질에 대한 고찰과 뿌리에 대한 깊은 성찰로 문화재 즉 “우리의 것”에 대한 깊은 관심이 증대되어 한지에 대한 인식도 변화되고 있다. 한지는 1000년 이상의 보존성에서 그 우수성을 찾을 수 있을 것이다.

한편 초지기의 발명과 더불어 대량의 종이 제조되면서 수많은 예술적·문화적 작품들이 일반인에게까지도 보급되어 문화적 향금기를 낳았으나 시간이 흐름에 따라 환경적 영향 및 종이 자체가 지니는 pH로 인하여 작품들이 열화·붕괴되어 심각한 문제를 야기하고 있다¹. 특히 pH가 낮은 종이의 열화는 더욱 빠르게 진행되고 있다는 것은 계속해서 증명되고 있다²⁻⁵. 종이의 열화는 자연 상태에서 온도, 빛, 습도 등의 지속적인 변화에 의해 수없이 많은 인자들로 인해 수십, 수백 년에 걸쳐 이루어지기 때문에 연구에 매우 큰 어려움이 있다. 이에 따라 자연 상태에서의 종이 변화와 유사하게 단시간에 열화시킬 수 있는 강제 열화방법들로 종이 열화에 대해 연구가 진행되어 왔다⁶.

가장 오랜 동안 이용되어 오고 있는 건조기에서 가열하는 방법은 자연열화시 종이가 가질 수 있는 유효수명 등을 평가분석하는 방법^{7,8}이기도 하지만 자연열화에서 필연적인 습기로 인하여 강제열화에서도 습기와 열을 동시에 부여하는 방법⁹도 계속해서 연구되어져 오고 있다. 한편 급속한 산업화와 도시화로 인한 대기오염 물질들에 의해 진행되는 종이 열화 연구는 북미를 중심으로 지속적으로 이루어지고 있지만 아직 명확한 열화기구에 대해 밝혀진 바는 없다¹⁰. 이밖에도 광원, 광원과 열 및 수분을 포함한 열화¹¹ 및 내구성에 대한 속도론적¹² 접근에 대해서도 꾸준히 연구가 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 강제적 열화조건인 습·건열처리를 서로 다른 펄프로 제조된 한지에 적용하였고, 이들 열화를 통하여 한지의 광학적·물리적 특성들의 변화를 측정하여 각각의 한지의 보존을 위한 기초 자료를 제공하기위해 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

공시재료로서 사용한 한지는 백피와 흑피를 차아염소산나트륨으로 표백한 후, 가뭄 뜨기(쌍발초지)로 제조된 S 한지(전주 소재)에서 구입하였고, 각각 2종의 순지와 화선지를 원료에 따라 다음과 같이 분류하였다.

- No. 1 : 순지 - 한국산 백피 95% + 한국산 삼지닥 백피 5%
- No. 2 : 순지 - 한국산 흑피 100%
- No. 3 : 화선지 - 한국산 흑피 35% + 고지 65%
- No. 4 : 화선지 - 한국산 흑피 20% + 대나무 크라프트 펄프 60% + 침엽수 크라프트펄프 20%

2.2. 실험방법

2.2.1. 인공적 습·건열처리

인공열화에 앞서 각각의 한지를 40×25 cm 크기로 재단하였고 한지의 일부에는 목즙 0.02 ml를 적하시킨 후 습열 및 건열처리 하였다. 건열처리는 송풍건조기를 이용하여 105±1℃에서, 습열처리는 항온항습기를 이용하여 온도와 습도를 각각 60℃, 65%에서 강제 열화시켰다. 또한 열화 처리기간은 두 조건 모두 5, 10, 15, 20, 25, 30일이었고, 균일한 열화를 위하여 주기적으로 시편의 위치 및 방향을 바꾸어 주었다.

2.2.2. 한지의 물성 측정

한지의 기본적인 화학적 특성으로 alcohol-benzen 추출물, holocellulose, Klason lignin, 회분함량을 정량하였고, pH는 일반 열침법으로 200 ml 삼각플라스크에 약 1 cm²의 크기로 절단한 한지를 1.0 g과 100 ml의 이온교환수에 넣고 2시간 열수 추출하여 방냉 후 pH를 측정하였다.

습·건열처리 전·후의 한지는 20℃, RH 65%의 조건에서 24시간 이상 조습시켜 다음과 같은 방법으로 기계방향(machine direction, MD)/폭방향(cross direction, CD)(쌍발초지로 MD는 세로방향, CD는 가로방향)의 방향성을 고려하면서 백색도와 열단장 등 광학적·물리적 특성을 측정하였고, 특히 파열지수는 한지의 특성을 고려하여 2매를 겹쳐 측정하였다. 한편 목즙을 적하시킨 한지는 열화 전·후의 농도 및 색

상의 변화를 Spectrophotometer(NF 333, NIPPON DENSHOKU IND. Co., LTD)를 이용하여 측정하였는데, L (100 흰색, 0 검은색), a (+값 빨강색, -값 초록색), b (+값 노란색, -값 파랑색)표색계에 의해서 그 차이를 측정하였다.

- 백색도 : Tappi Standard 452 om-83
- 불투명도 : Tappi Standard 425 om-91
- 열단장 : Tappi Standard 494 om-88
- 인열강도 : Tappi Standard 414 om-88
- 파열강도 : Tappi Standard 403 om-91
- 내절도 : Tappi Standard 511 om-88
- 색도 : Tappi Standard 524 om-86

3. 결과 및 고찰

3.1. 원지의 특성

펄프의 종류가 다른 각 한지들의 인공 열화 이전의 화학적·광학·물리적 특성을 측정한 결과는 Table 1과 같다.

3.2. 광학적 성질

다양한 펄프로 제조된 한지를 습건열처리로 열화를 진

행시키면서 백색도, whiteness, 불투명도의 변화를 측정한 결과는 Figure 1-3과 같다.

습건열에 관계없이 열화시간이 길어질수록 백색도는 감소하는 경향을 나타내었다. 습열처리 이전과 30일 후의 백색도의 차이가 2 포인트 이내로 매우 적었으나 건열의 경우 특히 흑피로만 제조된 순지의 백색도는 73.7%에서 55.6%까지 24.6%가 감소하여 건열에 매우 민감한 백색도의 변화를 나타내었다. Whiteness는 백색도와 달리 습열처리 시에서도 상당한 감소를 초래하였으며 건열처리 시의 감소폭이 더욱 큰 것으로 나타났다. 특히 백색도와 같은 경향으로 흑피로만 제조된 순지에서는 습건열처리로 각각 36.7, 80.2%의 감소를 나타내었다. 불투명도는 습열처리 보다는 건열처리에서 더 높은 상승을 가져왔는데, 흑피만을 원료로 하는 순지의 경우에서 가장 높은 불투명도의 상승률을 나타내었고 흑피와 고지를 혼합하여 제조한 화선지에서도 비교적 높은 불투명도를 나타내었다.

그러나 백피로만 제조된 순지 및 흑피, 대나무, 침엽수 펄프를 혼합하여 제조한 화선지는 약간 상승 또는 거의 변화하지 않았다. 이러한 습건열처리에 따른 백색도 및 whiteness의 변화 경향은 정 등⁹⁾의 결과와도 유사하였고 이들은 급격히 감소되는 원인으로 리그닌의 양과 관계가 깊을 것으로 추론하고 있다. 하지만 본 연구에서는 흑피로 제조된 순지의 리그닌 2.71%로서 높지 않아 급격히 감소하여 이와는 상관관계는 없는 것으로 사료된다. 이는 본 연

Table 1. Properties of Hanji.

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
Alcohol-benzene extractives(%)	1.18	3.13	1.19	1.62
Holocellulose(%)	97.89	98.25	95.51	95.13
Klason lignin(%)	0.24	2.71	4.33	4.01
Ash(%)	0.92	2.95	4.47	7.20
pH	8.5	9.2	9.7	9.8
Basis weight(g/m ²)	17.2	16.2	20.2	30.2
Density(g/cm ³)	0.31	0.30	0.35	0.36
Brightness(%, Hunter)	66.3	73.7	76.4	77.0
Whiteness(%)	39.1	59.2	62.7	65.1
Opacity(%)	46.3	39.6	63.8	67.6
Breaking length(km) MD/CD	7.49/5.04	7.29/4.04	3.01/-	2.03/1.79
Tear index(mN·m ² /g) MD/CD	90.7/104.1	70.9/93.3	12.6/14.1	14.9/16.6
Burst index(kPa·m ² /g)	9.13	4.84	-	-
Folding endurance(time) MD/CD	1542.0/99.5	233.0/0	5.5/1.0	11.8/7.3
Ink density(I.D)	1.395	1.400	2.232	1.276
L *	23.9	24.04	29.15	27.62
a *	0.02	0.08	-0.06	-0.04
b *	0.32	0.82	-0.15	-0.03

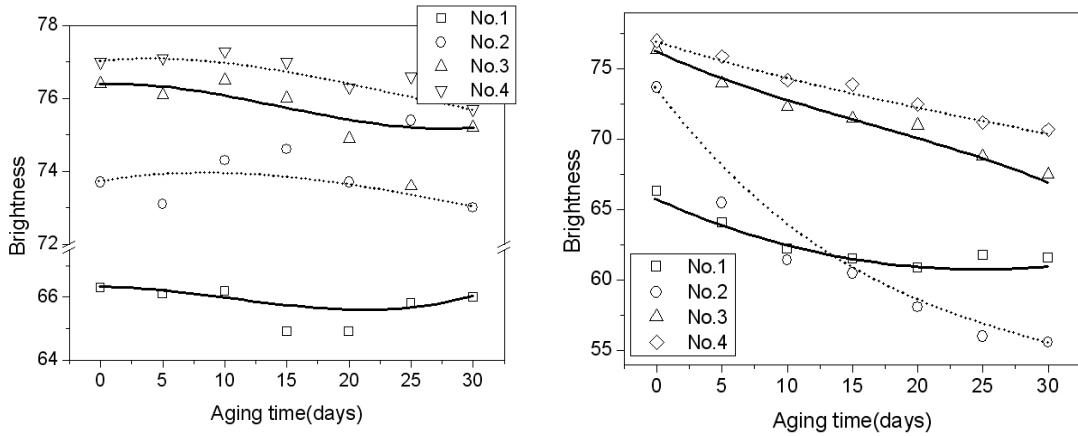


Figure 1. Brightness of Hanji after wet and dry-heat aging treatment.

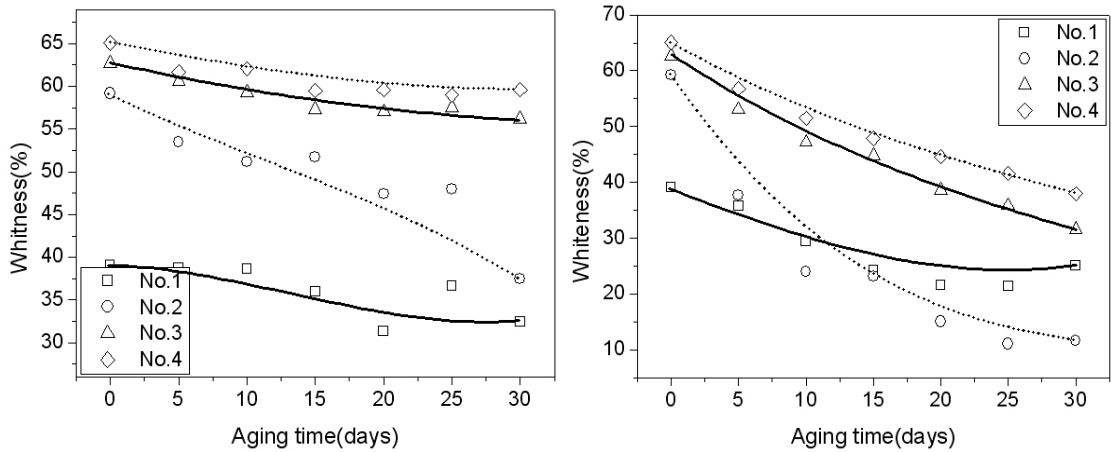


Figure 2. Whiteness of Hanji after wet and dry-heat aging treatment.

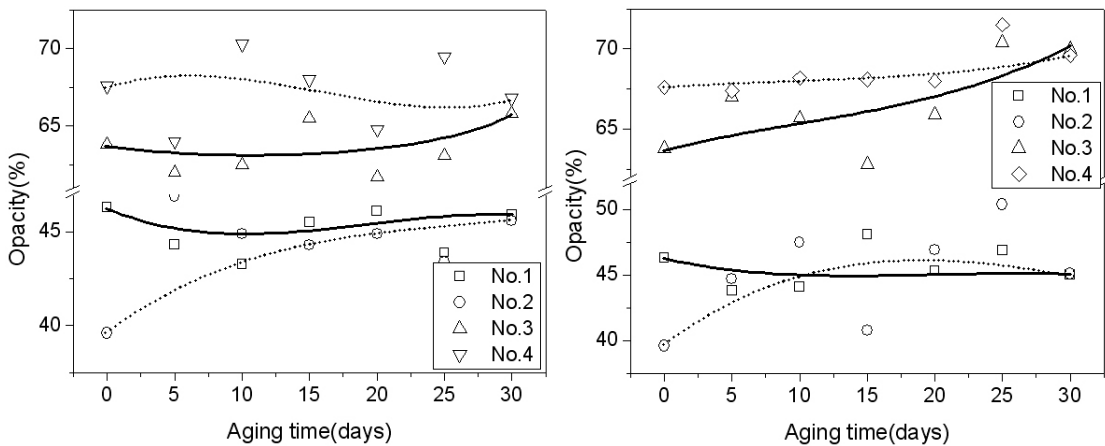


Figure 3. Opacity of Hanji after wet and dry-heat aging treatment.

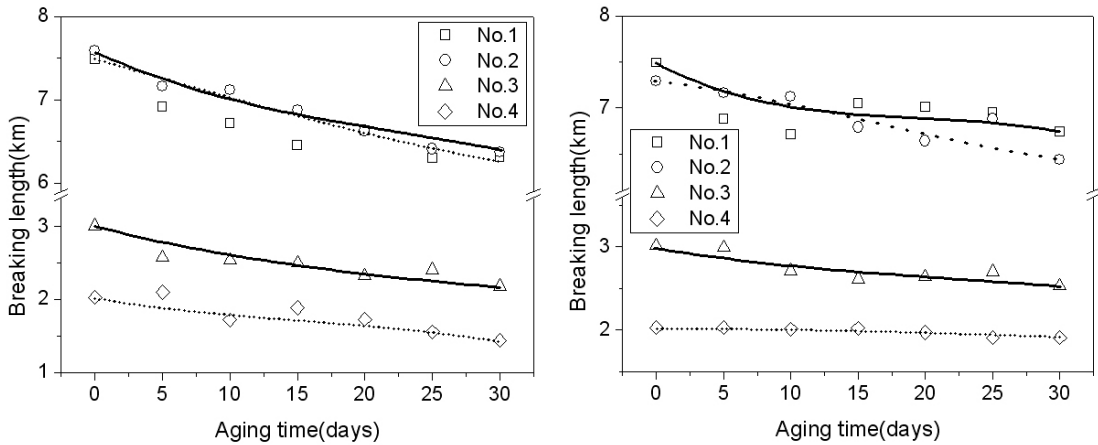


Figure 4. Breaking length of Hanji machine direction after wet and dry-heat aging treatment.

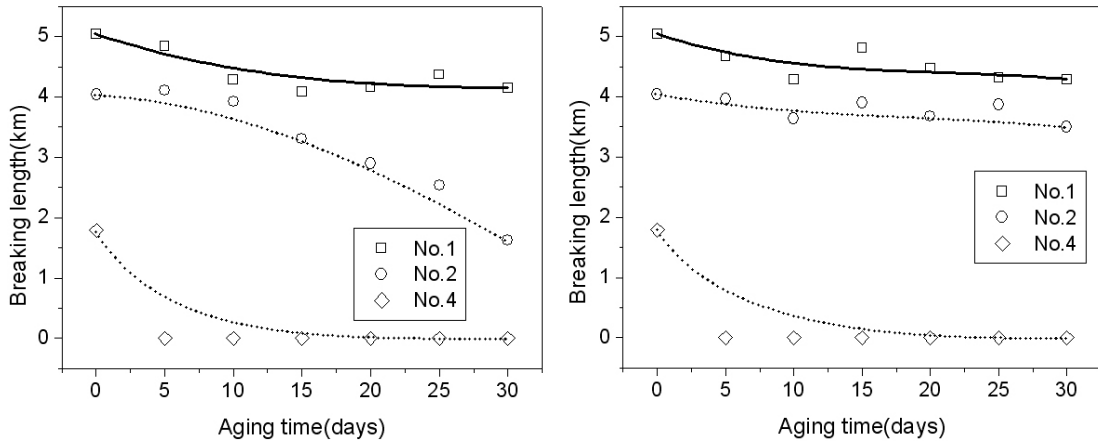


Figure 5. Opacity of Hanji after wet and dry-heat aging treatment.

구에 사용된 한지 원료는 차아염소산나트륨 표백을 실시하여 표백시 셀룰로오스에 도입되는 카르보닐기 및 카르복실기가 변색의 주된 요인으로 열에 대한 안정성이 매우 낮은 것으로 사료된다.

3.3. 열단장

종이 보존성에 있어서 지표 활용될 수 있는 중요한 자료로서 습건열처리에 따른 MD/CD의 열단장 변화를 측정한 결과는 Figure 4, 5와 같다.

초기 열단장은 예상했던 바와 같이 다펀만을 원료로 하는 순지에서 가장 우수한 성질을 나타내었고, 흑피에 고지펠프를 혼합한 화선지는 CD방향에서의 열단장은 측정되

지 않을 정도로 매우 약했다. 습건열처리에 의한 MD의 열단장은 열화시간이 길어짐에 따라 꾸준히 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 습열처리보다는 건열처리에서 그 감소폭이 약간 더 컸고 다펀프로만 제조된 순지는 습건열처리 30일 이후에도 상당히 높은 열단장으로 각각 6.74, 6.31 km와 6.88, 6.37 km이었다. 한편 습건열처리 후 CD의 열단장 변화는 MD보다 더욱더 뚜렷하게 나타났는데 특히 흑피로 제조된 순지는 건열처리에서 매우 높은 감소폭으로 초기 4.04 km에서 1.62 km로 열화시간이 늘어날수록 감소폭도 현저하게 증가하였다. 또한 흑피에 대나무와 침엽수펠프를 혼합한 화선지의 경우에는 CD에서 5일 처리 후 열단장을 완전히 상실하였다.

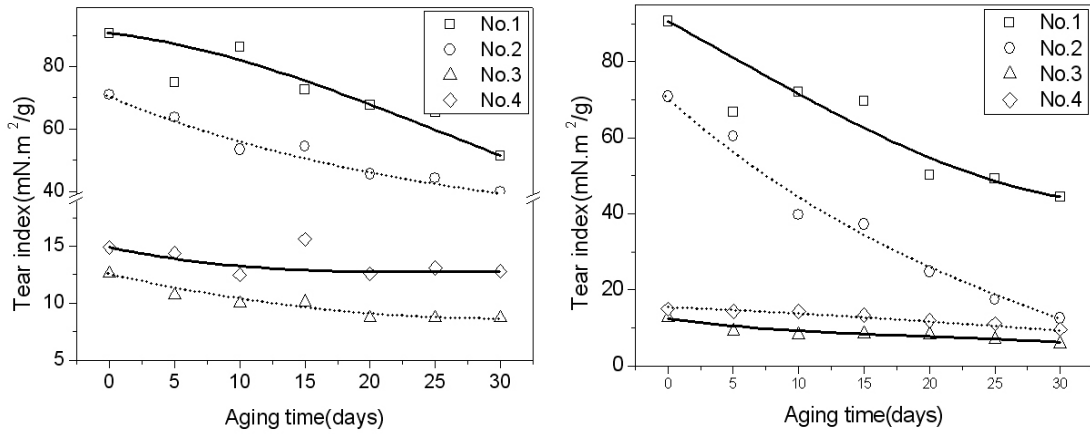


Figure 6. Tear index of Hanji machine direction after wet and dry-heat aging treatment.

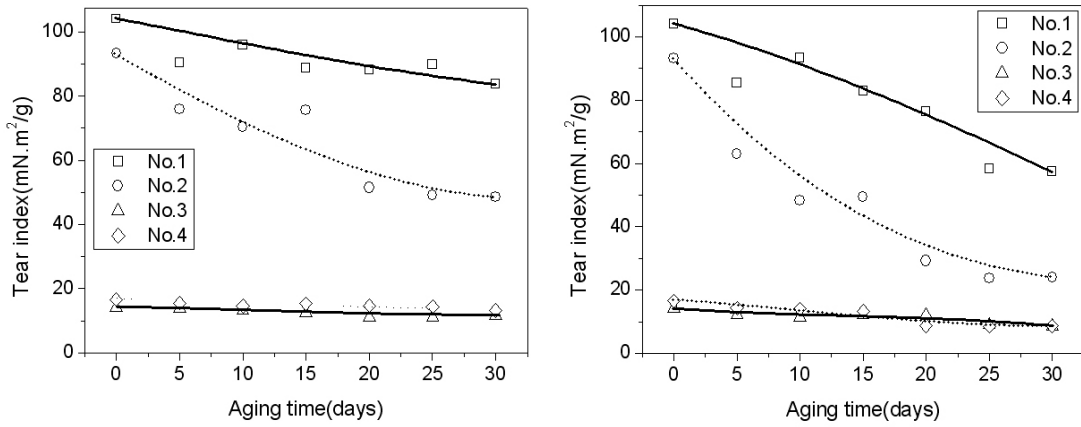


Figure 7. Tear index of Hanji cross direction after wet and dry-heat aging treatment.

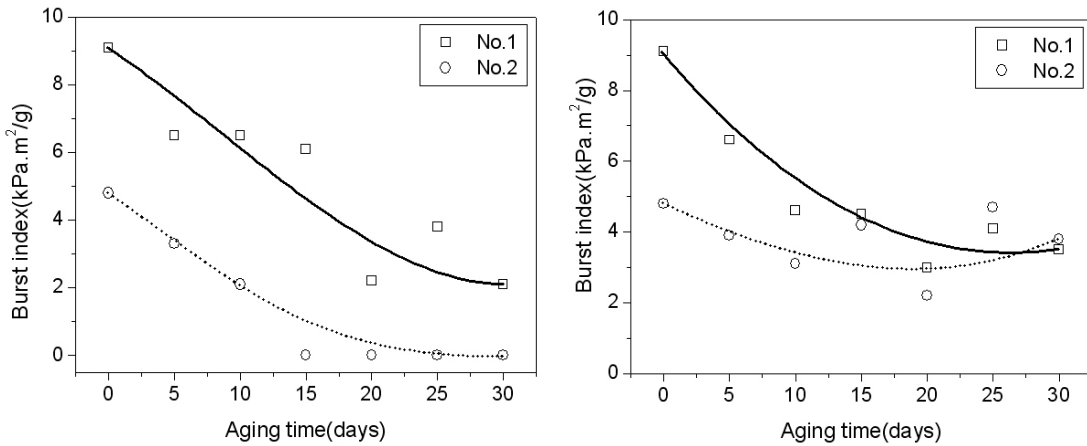


Figure 8. Burst index of Hanji after wet and dry-heat aging treatment.

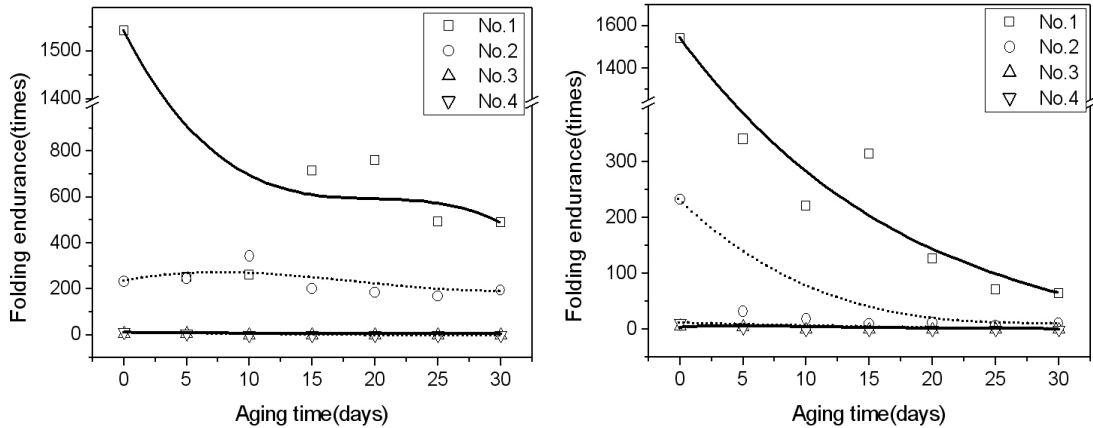


Figure 9. Folding endurance of Hanji machine direction after wet and dry-heat aging treatment.

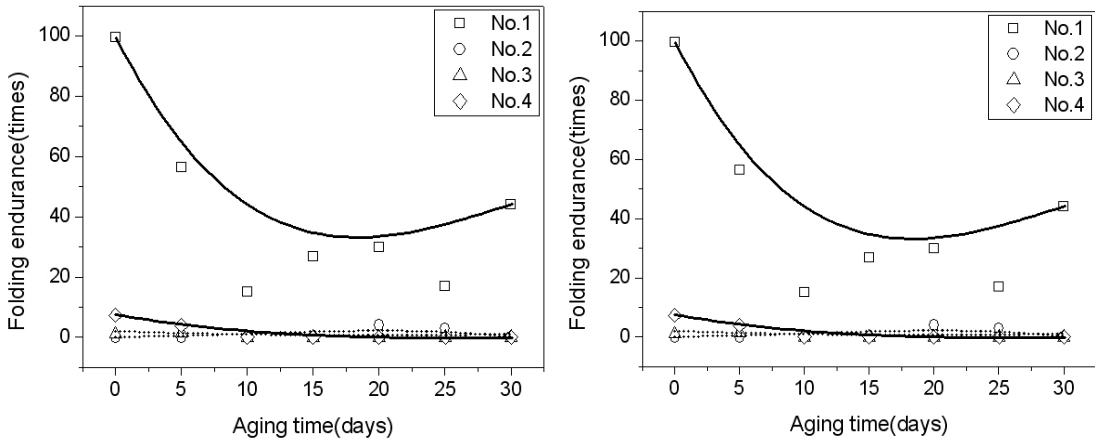


Figure 10. Folding endurance of Hanji cross direction after wet and dry-heat aging treatment.

3.4. 인열강도

다양한 펄프로 제조된 한지의 습건열처리에 따라 MD/CD의 인열지수의 변화를 측정된 결과는 Figure 6, 7과 같다.

습건열처리에 따른 MD의 인열강도의 변화를 살펴보면 습열처리보다는 건열처리의 경우에서 더욱더 높은 인열강도의 감소폭을 나타내었다. 특히 흑피로 제조된 순지의 경우에서 그 감소폭이 가장 높았으며, 흑피에 고지 및 대나무, 침엽수펄프를 혼합한 화선지는 초기의 인열강도가 매우 낮아 그 변화가 거의 없었다. CD의 경우 흑피로 제조된 순지에서 가장 급격한 인열강도의 감소를 나타내었고, 나머지 한지에서도 MD와 같은 경향이였다.

3.5. 파열강도

4종의 한지를 0-30일 동안 습건열처리하면서 파열강도를 측정된 결과는 Figure 8과 같다. 한지의 특징 중 하나인 지극히 낮은 파열강도로 인하여 2매를 겹쳐서 측정하였고, 습건열처리에 따른 파열강도는 상기 다른 강도적 성질과 유사한 경향으로 습열처리보다 건열처리가 더욱더 파열강도에 미치는 영향이 뚜렷하였다. 백피로 제조된 순지의 파열강도가 흑피보다 초기에는 2배에 가까운 높은 강도를 나타내었으나 습열처리의 시간이 계속되면서 거의 비슷한 강도를 가지게 되었고, 건열처리 시에 흑피의 경우에는 15일 열화로 파열강도를 완전히 상실하였다.

Table 2. Ink density of Hanji after wet and dry-heat aging treatment.

Aging time(days)	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4	
	wet-heat	dry-heat	wet-heat	dry-heat	wet-heat	dry-heat	wet-heat	dry-heat
0	1.398	1.398	1.381	1.381	1.239	1.239	1.281	1.281
5	1.388	1.394	1.412	1.372	1.216	1.230	1.266	1.272
10	1.395	1.392	1.406	1.378	1.225	1.242	1.287	1.285
15	1.391	1.401	1.411	1.382	1.221	1.232	1.286	1.275
20	1.388	1.391	1.466	1.384	1.224	1.255	1.286	1.277
25	1.389	1.393	1.413	1.373	1.230	1.229	1.276	1.278
30	1.382	1.387	1.433	1.370	1.119	1.234	1.266	1.278

Table 3. Color degree of Hanji after wet and dry-heat aging treatment.

Aging time(days)	No. 1(L*a*b*)		No. 2(L*a*b*)		No. 3(L*a*b*)		No. 4(L*a*b*)	
	wet-heat	dry-heat	wet-heat	dry-heat	wet-heat	dry-heat	wet-heat	dry-heat
0	23.95,	23.84,	23.47,	24.60,	29.37,	28.92,	27.75,	27.48,
	-0.06,	0.06,	0.08,	0.08,	0.02,	-0.10,	-0.04,	-0.06,
	0.23	0.40	0.83	0.81	0.11	-0.16	0.04	-0.10
5	24.15,	24.04,	23.83,	24.98,	29.61,	29.11,	28.01,	27.68,
	0.15,	0.10,	0.18,	0.21,	-0.02,	-0.01,	0.04,	0.00,
	0.37	0.53	1.14	1.03	0.03	0.03	0.26	0.04
10	24.23,	24.15,	23.84,	24.76,	29.33,	28.75,	27.36,	27.31,
	0.18,	0.17,	0.26,	0.17,	0.09,	0.06,	0.05,	0.10,
	0.51	0.97	1.04	0.97	0.11	0.08	0.32	0.12
15	24.13,	23.91,	23.89,	24.68,	29.47,	29.09,	27.37,	27.61,
	0.17,	0.22,	0.34,	0.10,	0.11,	0.05,	0.03,	0.00,
	0.50	0.66	1.23	1.03	0.07	0.09	0.30	0.08
20	24.23,	24.16,	23.73,	24.61,	29.34,	29.28,	27.32,	27.54,
	0.16,	0.15,	0.29,	0.29,	0.12,	0.09,	0.12,	0.00,
	0.43	0.56	1.07	0.98	0.11	-0.01	0.29	0.08
25	24.21,	24.07,	23.84,	24.92,	29.19,	29.14,	27.71,	27.46,
	0.12,	0.16,	0.28,	0.31,	0.22,	0.15,	0.15,	0.08,
	0.52	0.52	1.25	0.93	0.09	-0.01	0.26	-0.04
30	24.12,	24.25,	23.15,	25.00,	29.27,	28.96,	27.26,	27.49,
	0.07,	0.16,	0.22,	0.23,	0.21,	0.05,	0.14,	0.05,
	0.56	0.50	1.27	0.87	0.10	-0.06	0.29	0.02

3.6. 내절도

내절도는 종이의 열화가 지속됨에 따라 가장 급격하게 감소되는 강도적 성질로서 습건열처리에 따른 한지 MD/CD의 내절도 변화를 측정한 결과는 Figure 9, 10과 같다.

MD의 습건열처리에 따른 내절도의 변화를 살펴보면 백피로 제조된 순지에서 초기의 내절도가 월등히 우수하였으나 습건열처리 모두에서 크게 감소하였음을 알 수 있고, 흑피로 제조된 순지에서도 내절도의 상당부분이 감소하였는데 특히 건열처리에서 그 감소폭이 두드러졌다. 흑피에 고지 및 대나무, 침엽수펄프를 혼합한 화선지는 자체 내절도가 낮아 열화초기에 내절도는 완전히 사

라졌다. CD의 경우에는 MD보다 월등히 낮은 내절도를 가지고 있었으나 열화가 진행됨에 따라 MD와 비슷한 경향으로 감소하였으며 건열처리 시 백피로 제조된 순지의 경우에서도 처리기간 30일에서 내절도는 완전히 소멸되었다.

이상의 결과로 나타난 바와 같이 결론적으로 한지는 온도뿐만 아니라 습도에 의해서 공기중에서 열화되는데 습도에 비해 온도에 더 민감한 것으로 나타났다.

3.7. 목즙의 농도 및 색상

각각의 한지에 목즙을 적하시키고 습건열처리 전-후의

농도 및 색상의 변화를 측정된 결과는 Table 2, 3과 같다.

수많은 문화재가 실질적으로는 목즙이나 물감 등을 이용한 글, 그림으로 이루어져 있고, 천년이상을 전해지면서 그 흔적들이 매우 남루해지고 퇴색되는 것을 인공적인 강제열화로써 그 경향을 살펴보고자 하였다. 그러나 열화방법이나 열화기간에 따른 농도와 색상의 변화 경향을 확인할 수 없었다. 이에 따라 목즙의 농도와 색상은 온도와 습도에는 민감하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 한지의 원료에 따른 흡수도의 차이에 따라 그 농도는 큰 차이를 나타내어 순지가 화선지보다 더 높은 농도를 나타내었다.

목즙을 만드는 주요 재료는 그늘음, 아교, 향료 등이다. 즉 목즙을 만드는 주요 성분은 화학염료와는 달리 극히 작은 탄소 입자로 농도 및 색상의 변화에 따른 열화 현상은 나타나지 않은 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 지류문화재의 보존 방법과 장시간 보존 가능한 기록매체의 제조를 위하여 천년이상의 우수한 보존성이 있는 한지를 구성하는 원료의 중요성과 열화과정에 대한 기초자료로 제공하기 위해 이루어졌으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

광학적-물리적 성질은 습열처리보다 건열처리의 경우에서 더욱 감소폭이 컸는데, 백색도, whiteness는 흑피로 제조된 순지에서 가장 크게 감소하였고 불투명도 역시 전체적으로 상승하는 경향 속에 흑피에서 가장 높게 상승하였다. 열단장은 백피의 경우가 최종적으로 가장 높은 강도를 나타내고 있었고, 인열강도는 흑피에서 급속히 감소하였다. 파열강도는 습열처리에서 열화 후반부에서는 백피와 흑피의 값이 거의 비슷하였고 내절도는 백피의 경우가 다른 펄프보다 월등히 높아 단순비교는 어려웠지만 열화처리에도 비교적 높은 내절강도를 나타내었다. 그러나 가장 높은 관심을 가졌던 목즙에 대한 농도 및 색상의 열화는 특별한 경향을 발견하지 못하였다.

참고문헌

1. Zou X., N. Gurnagul, T. Uesaka and J. Bouchard,

- “Accelerated aging of papers of pure cellulose: mechanism of cellulose degradation and paper embrittlement”. *Polymer Degradation and Stability*, **43**(3), 393-402, (1994).
2. Waterhouse F. John and Barrett D. Timothy, “The aging characteristics of European handmade papers:1400-1800”. *J. TAPPI*, **74**(10), p207-212, (1991).
3. Ozeki Masayuki and Oye Raysabro, “Deterioration of paper”. *J. JTAPPI*, **39**(2), p37-46, (1985).
4. Lyne M. Bruce, “The effect of pH on the permanence of LWC paper and fine paper made recycled LWC”. *J. TAPPI*, **78**(12), p138-144, (1995).
5. Mohamed El-Sakhawy, “Effect of bleaching sequence on paper ageing”. *Polymer degradation Stability*, **87**(3), p419-423, (2005).
6. Takahashi Atsushi, “Some surveys on accelerated aging conditions deterioration test of paper and board”. *J. JTAPPI*, **41**(5), p10-17, (1987).
7. 이명기, 문성필, “섬유의 손상이 적은 한지 제조 (제3보) - K₂CO₃ 증자하여 제조한 한지의 열 열화특성”. *펄프·종이기술*, **31**(3), p90-95, (1999).
8. 문성필, 임금태, “섬유의 손상이 적은 한지제조 (제4보) - 닥나무 인피섬유의 펩틴 분해효소 처리 효과와 제조된 한지의 열 열화에 따른 내구성”. *펄프·종이기술*, **32**(4), p58-65, (2000).
9. 정선화, 조남석, “열처리 인공촉진열화가 종이의 광학적 및 기계적 특성에 미치는 영향”. *펄프·종이기술*, **27**(2), p7-15, (1995).
10. Arnold R. Bruce, “The Preservation of Paper: How Long Will The Page You Are Reading Last?”. *The Preservation Of Paper*, **23**(4), p15-23, (1997).
11. 정선화, 조남석, “자외선조사 인공촉진 열화처리가 종이의 광학적, 기계적 특성에 미치는 영향”. *펄프·종이기술*, **27**(3), p42-50, (1995).
12. Shin Jong-Sun and Yang Jun, “인공열화에 의한 종이 Permanence의 물리화학적 및 속도론적 연구 (제1보) - 물리적 성질 및 속도론적 고찰”. *펄프·종이기술*, **24**(4), p36-48, (1992).