

## 한지 내절 강도 시험의 측정조건 제안

# Proposal of the Measurement Conditions for Hanji-Determination Folding Endurance

김명남, 김지원, 손하늘, 정선화\*  
국립문화재연구소 복원기술연구소

Myoung Nam Kim, Ji Won Kim, Ha Nuel Son, Sun Wha Jeong\*

Restoration Technology Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon 34122, Korea

Received October 14, 2021

Revised October 27, 2021

Accepted November 8, 2021

\*Corresponding author

E-mail: jeongsh0707@korea.kr

Phone: +82-42-860-9344

Journal of Conservation Science  
2021;37(6):689-700

<https://doi.org/10.12654/JCS.2021.37.6.08>

pISSN: 1225-5459, eISSN: 2287-9781

© The Korean Society of  
Conservation Science for Cultural  
Heritage

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**초록** 본 연구는 수초지의 한지에 있어서도 다양한 평량에 맞는 기본적인 내절도 측정조건이 요구됨에 따라 내절도 범위 부합과 측정시간 단축을 목적으로 하였다. 연구대상으로 평량 17 g/m<sup>2</sup>, 30 g/m<sup>2</sup>, 45 g/m<sup>2</sup>에 해당하는 외발초지 6종과 쌍발초지 6종, 평량 75 g/m<sup>2</sup> 복사지 1종 등 총 13종을 선정하고 발촉방향(LD), 발끈방향(CD)으로 각 24매씩 준비하였다. 연구방법으로 종이-내절 강도 시험에 따라 4연식 MIT 내절도 측정기를 이용하여 하중별(14.72 N, 9.81 N, 4.91 N) 내절도 실험과 시편폭별(15 mm, 10 mm, 5 mm) 내절도 실험을 순차 수행하였다. 연구결과, 평량 17 g/m<sup>2</sup>~45 g/m<sup>2</sup> 범위의 한지에 대하여 하중 4.91 N 조건과 시편폭 15 mm, 10 mm 조건이 내절도 기준범위인 10~10000회에 부합하였으며, 특히 시편폭 10 mm에 하중 4.91 N 조건이 내절도의 범위 축소와 측정시간 단축이 가능하였다. 또한, 평균값 기준 하중별 내절도 추세선과 시편폭별 내절도 추세선의 감소기울기를 통해 하중 범위, 시편폭 범위 내의 내절도 예측이 가능해졌다. 하중 4.91 N, 시편폭 15 mm 조건에서도 비교군의 내절도가 35~17723회로 기준범위 10~10000회를 크게 상회하므로 내절도 기준범위 부합과 측정시간 단축을 고려하여 하중 4.91 N, 시편폭 10 mm의 내절도 측정조건을 제안한다.

**중심어** 한지, 내절도, 하중 조건, 시편폭 조건, 측정조건

**ABSTRACT** This study aims to optimize the measurement conditions of handmade Hanji paper to reduce the time required for measurement while meeting folding endurance standards, for various basis weights. Thirteen types were selected, including 12 types of Hanji with grammages of 17 g/m<sup>2</sup>, 30 g/m<sup>2</sup>, and 45 g/m<sup>2</sup>, and one type of 75 g/m<sup>2</sup> copy paper, and 24 sheets were prepared in the laid and chain directions. Subsequently, folding endurance experiments at different load (14.72 N, 9.81 N, 4.91 N) and specimen width conditions (15 mm, 10 mm, 5 mm) were performed, using a 4-MIT folding endurance tester. The results showed that, for specimen widths of 15 mm and 10 mm under a load of 4.91 N, the folding endurance falls within the reference range (10~10000 times). In particular, reduced folding endurance range and measurement time were observed at a width of 10 mm under a load of 4.91 N. Moreover, the endurance trend lines based on the average values of load and specimen width ranges enabled the prediction of the folding endurance within those ranges, according to the decreasing slope. Furthermore, for a specimen width of 15 mm under a load of 4.91 N, the folding endurance in the comparison group (35 to 17723 times) significantly exceeds the upper limit of the reference range (10~10000 times). Therefore, the measurement conditions of 4.91 N with a specimen width of 10 mm are proposed.

**Key Words** Hanji, Folding endurance, Load condition, Specimen width conditions, Measurement conditions

## 1. 서론

종이 관련 내절 강도 시험방법은 「KS M ISO 5626:1993 종이-내절 강도 시험」, 「KS M 7065 종이 및 판지의 MIT 시험기에 의한 내절 강도 시험방법」, 「KS M 7068 종이 및 판지의 내절 강도 시험 방법(쇼퍼법)」 등이며, 이 중 KS M 7065는 대체되고 KS M 7068은 폐지되었다. 그에 따라 한지대상 내절 강도 시험방법은 KS M ISO 5626을 기준하여 준용되어 왔다.

KS M ISO 5626 시험방법에서 시료 준비는 KS M ISO 187에 따라 조습처리를 완료하고 발촉방향(LD), 발끈방향(CD)별 최소 10매를 준비하며 시험편 폭은  $15 \pm 0.1$  mm를 제시하고 있다. 또한, 내절도가 10~10000회 범위에 해당하도록 하며 기본 장력(하중)을 9.81 N으로 하되 4.91 N~14.72 N 범위에서 조절할 것을 권장하고 있다. 내절 강도 시험에 사용하는 장비는 쇼퍼형 시험기, Lhomargy 시험기, Köhler Molin 시험기, MIT 시험기이며 주로 MIT 시험기가 사용되고 있다.

수초지의 한지는 목재 펄프지와 다르게 동일 평량의 한지 시편에서도 지함의 차이와 장섬유라는 특징으로 인해 내절도의 산포범위가 넓고 최댓값이 목재 펄프지보다 상당히 큰 경향이 나타난다. 때문에 측정과정에서 평량에 따라 내절도가 10회 미만인 경우나 10000회를 훨씬 상회하는 결과가 나타난다. 이러한 결과는 측정값의 정제나 비교, 해석에 어려움이 발생하고 측정시간이 장시간 소요된다. 따라서 수초지의 한지에 있어서도 종이-내절 강도 시험을 준용하면서 다양한 평량의 한지에 대한 기본적인 내절도 측정조건이 요구되고 있다.

한지 내절도 관련 연구사례를 살펴보면, 다른 종이에 비해 우수한 전통한지의 내절도는 원료와 첨가물 그리고 제지법의 차이에서 나온다(Jeon, 2011). 한지의 이러한 물성은 원료에 있어서 장섬유인 참 닥나무 인피섬유를 사용하기 때문이며(Jeon, 2011), 실험을 통해 한국산 백피, 한국산 흑피, 한국산 흑피 + 고지, 한국산 흑피 + 크라프트 펄프로 각각 제작된 순지와 화선지 중에서 한국산 백피의 초기 내절도가 가장 우수한 것으로 확인되기도 하였다(Park et al., 2009). 또한 첨가물에 있어서 중해액의 종류에 따라 한지의 내절도 차이가 있음을 밝히고 있으며, 제지법에 있어서 목판 건조, 열판 건조 중 목판 건조를 통한 한지의 내절도가 우수함을 보고하고 있다. 그 이유로 스테인리스판 건조 시 높은 온도로 인해 한지가 닿는 면에서 수분이 급속히 빠져나가면서 한지 내 공극이 많아져 밀도가 낮아진 원인을 제시하였다(Kim, 2021). 따라서 종이의 강도나 내절도가 밀도와 밀접한 관련이 있음을 알

수 있다(Jeong and Cho, 2013). 한지는 초지방법에 따른 섬유 배향성이 다르게 나타나기 때문에 물질 방향(LD)과 물질 수직 방향(CD)의 내절도 차이가 확연히 다르게 나타난다(Son et al., 2019). 내절도 측정방법과 결과 가공에 있어서 원지, 열화지, 산성열화지 등 시료의 상태에 따라 4.91 N, 9.81 N 하중을 달리 적용한 연구(Jeong et al., 2015; Shin, 2014)가 있었고 더 나아가 종이기록물의 내절강도를 측정하고 해당 시료에 대한 NIR 스펙트럼을 구하여 가장 최적의 검량곡선 작성과 이 검량곡선의 직선성을 검토하여 비파괴의 특성평가 모델을 도출하거나(Han et al., 2010), 내절 강도를 측정하여 강도 감소율을 비교 분석하는 연구로 이어졌다(Jeong and Cho, 2013). 그러나 내절도가 한지의 기본 물성 평가 항목이자 열화 판단의 주요 항목으로서 주목 받는 것에 비해 수초지 한지에 대한 기본적인 내절도 측정 방법 및 측정조건에 대한 연구와 정립은 미흡하였다.

본 연구에서는 내절도 10~10000회 범위에 부합하면서 측정시간을 단축하고자 하는 목적으로 하중별 내절도와 시편폭별 내절도 시험을 수행하였으며, 그 결과를 토대로 다양한 평량의 한지에 대한 기본적인 내절도 측정조건을 제안하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구대상

한지 시편은 국내산 닥나무와 황촉규근 사용을 원칙으로 하여 제조한 것으로 평량 17 g/m<sup>2</sup>, 30 g/m<sup>2</sup>, 45 g/m<sup>2</sup>에 해당하는 외발초지 한지 3종(A)과 쌍발초지 한지 3종(C), 평량 75 g/m<sup>2</sup> 복사지 1종(E) 등 총 7종을 선정하였다. 또한, 비교 확인을 위해 별도의 외발초지 한지 3종(B), 쌍발초지 한지 3종(D)을 준비하였다(Table 1). 한지 시편 중 A, C, E 그룹은 실험 조건용으로, B, D 그룹은 도출한 측정조건에 대한 대조 확인용으로 사용하였다.

### 2.2. 연구 방법

종이-내절 강도 시험(KS M ISO 5626:1993)에 따라 4연식 MIT 내절도 측정기(CK-570DFT-4M, CKtrade, KOR)를 이용하여 하중별(14.72 N, 9.81 N, 4.91 N) 내절도 실험과 시편폭별(15 mm, 10 mm, 5 mm) 내절도 실험을 순차 진행하였다(Table 2). 전체시편은 평량을 확인한 후 발촉방향(LD), 발끈방향(CD)으로 구분하여 각각 24매 선정하였고 이어 하중별 시편은 폭 15 mm, 길이 150 mm로, 시편폭별 시편은 폭 5 mm, 10 mm, 15 mm, 길이 150 mm로 재단하

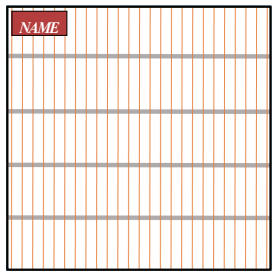
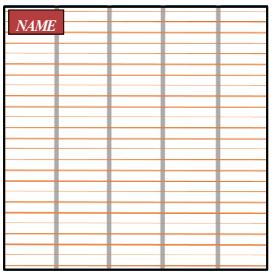
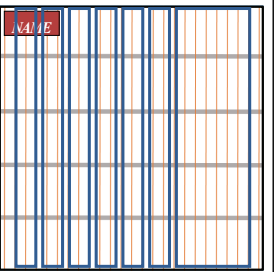
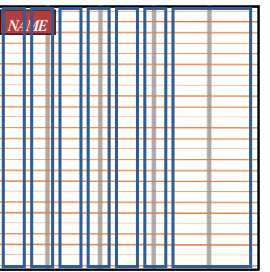
**Table 1.** Specimens list

Manufacture	Sample	Basis weight (g/m <sup>2</sup> )	Cooking agent	Mechanical treatment	Paper making method	Sheet layer	Drying method
A	A1	17	Natural ash	Impact	Owebal	Single	Stainless steel
	A2	30				Double	
	A4	45					
B	B1	17	Natural ash	Impact	Owebal	Single	Stainless steel
	B3	30				Double	
	B6	45					
C	C1	17	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Knife beater	Ssangbal	Single	Stainless steel
	C3	30					
	C5	45					
D	D1	17	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Knife beater	Ssangbal	Single	Stainless steel
	D2	30					
	D3	45					
E	E1	75	Copy paper (Miilk, Hankookpaper)				

**Table 2.** Experimental conditions

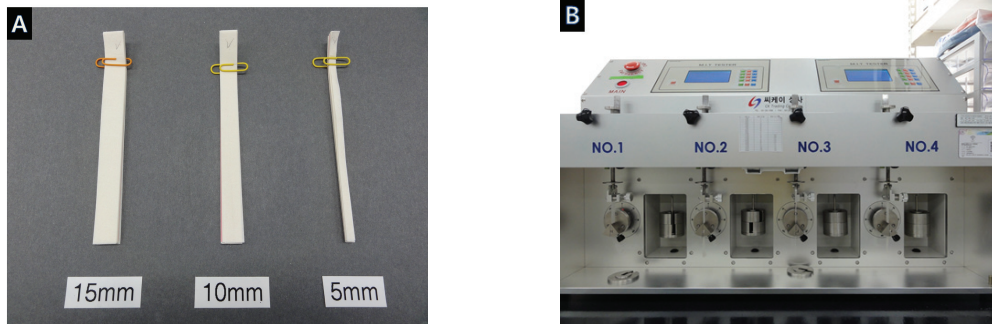
Items	Classification of experiments	Load (N)	Specimen width (mm)	Angle (°)	Speed (N/min)
Condition 1	Folding endurance by load	14.72	15	135	175
		9.81			
		4.91			
Condition 2	Folding endurance by specimen width	Derived load	5	135	175
			10		
			15		

**Table 3.** Direction and cutting of the specimens

Classification of specimens by direction		Cutting the specimen	
Laid direction (LD, ↓)	Chain direction (CD, ↓)	Laid direction (LD, ↓)	Chain direction (CD, ↓)
			

였다. 시편은 종이재단 전문업체를 통해 재단하였다 (Table 3, Figure 1A). 내절도 측정은 시편을 클램프에 고정 한 후 접음각도는 좌우 135°, 분당 175회 조건으로 진행하

였다 (Table 2, Figure 1B). 시편명칭은 Table 1의 시료명에 Table 3의 발촉방향 LD의 앞자 L 또는 발근방향 CD의 앞자 C를 붙여 명기하였다. Table 3에서 발촉방향 L은 주황



**Figure 1.** Specimens and equipment. (A) Specimen sample. (B) 4-MIT folding endurance tester.

색선 방향이고, 발끈방향 C는 발촉의 직각방향으로 굵은 회색선 방향이다. 결과값의 처리는 개별값, 평균값, 표준편차값과 함께 다섯숫자요약을 사용하였다. 다섯숫자요약은 수치형 자료를 요약할 때 사용하며 최솟값, 아래 사분위수, 중간값, 위 사분위수 최댓값을 말한다.

### 3. 결과

#### 3.1. 하중별 내절도

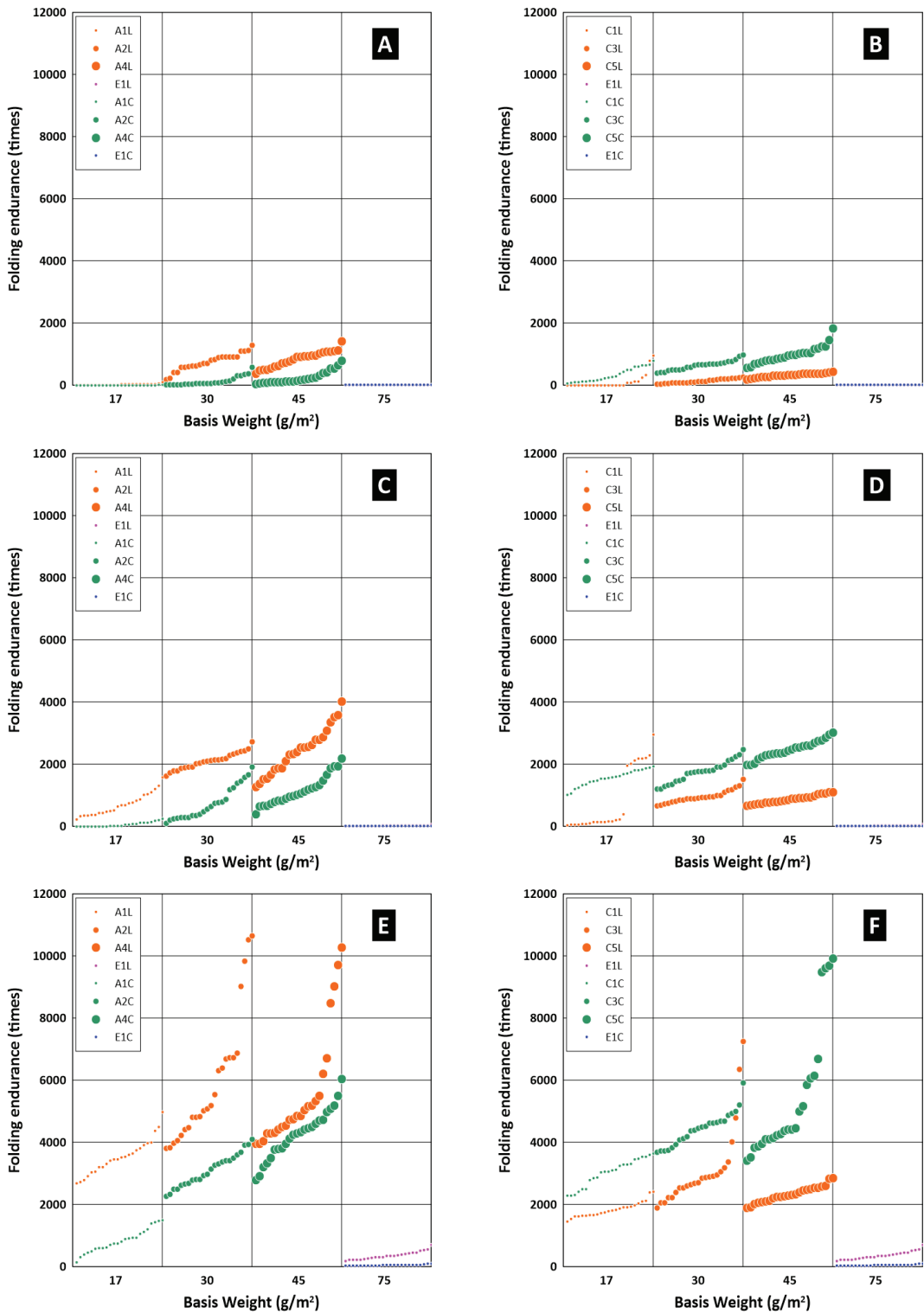
평균  $17 \text{ g/m}^2 \sim 45 \text{ g/m}^2$  범위의 한지에 대하여 하중 14.72 N 조건에서는 내절도 범위(최솟값~최댓값)가 A그룹 0~1404회, C그룹 0~1817회, E그룹 3~12회로 나타났으며 10회 미만의 결과가 평균  $17 \text{ g/m}^2$ 의 A그룹 1종, B그룹 1종과 복사지에서 확인되었다(Table 4, Figure 2A, 2B). 하중 9.81 N 조건에서는 내절도 범위가 A그룹 0~4021회, C그룹 40~3011회, E그룹 5~46회로 나타났으며 10회 미만의 결과가 평균  $17 \text{ g/m}^2$  A그룹 1종과 복사지에서 확인되었다(Table 5, Figure 2C, 2D). 하중 4.91 N 조건에서는 내절도 범위가 A그룹 141~10636회, C그룹 1450~9908회, E그룹 25~694회로 나타나 모든 시편에서 내절도 기준범위 10~10000회에 부합한 것으로 확인되었다(Table 6, Figure 2E, 2F). 특히, 하중 14.72 N 조건과 9.81 N 조건 결과에서 하중에 의한 내절도 0회의 발생 증가와 최솟값균~최댓값균으로 값이 양분된 사례로 평균  $17 \text{ g/m}^2$  시편의 표준편차가 평균보다 같거나 큰 경향이 나타났다(Table 4, Table 5). 전체적으로 평균  $17 \text{ g/m}^2 \sim 45 \text{ g/m}^2$  범위의 한지대상 내절도 범위(최솟값~최댓값)는 하중 14.72 N 조건에서 0~1817회, 하중 9.81 N 조건에서 0~4021회, 4.91 N 조건에서 25~10636회로 확인되었으며, 초지 시물질방향으로 섬유 배향이 반영되어 A그룹의 LD, C그룹의 CD가 각각 내절도가 높았다(Figure 3).

#### 3.2. 시편폭별 내절도

하중 4.91 N 고정조건하에서 수행한 시편폭별 내절도 실험결과, 평균  $17 \text{ g/m}^2 \sim 45 \text{ g/m}^2$  범위의 한지에 대하여 시편폭 5 mm 조건에서는 내절도 범위(최솟값~최댓값)가 A그룹 0~1253회, C그룹 0~1468회, E그룹 3~16회로 나타났으며, 10회 미만의 결과가 평균  $17 \text{ g/m}^2$ 의 A그룹 1종, C그룹 1종과 복사지에서 확인되었다(Table 7, Figure 4A, 4B). 시편폭 10 mm 조건에서는 내절도 범위가 A그룹 29~3999회, C그룹 87~4319회, E그룹 10~134회로 나타났으며(Table 8, Figure 4C, 4D), 시편폭 15 mm 조건에서는 내절도 범위가 A그룹 141~10636회, C그룹 1,450~9908회, E그룹 25~694회로 나타났다(Table 9, Figure 4E, 4F). 시편폭 15 mm, 10 mm 조건에서 내절도가 각각 25~10636회, 10~4319회 범위로 나타나 내절도 기준범위 10~10000회에 부합하였다(Figure 5).

#### 3.3. 도출 조건에 대한 내절도 및 측정시간 비교

앞서 하중별 내절도 실험결과에서 도출된 시편폭 15 mm, 하중 4.91 N 조건과 시편폭별 내절도 실험결과에서 도출된 시편폭 10 mm, 하중 4.91 N 조건을 상호 비교하였다. 두 조건 모두 내절도 기준 범위 10~10000회에 부합하고 있으므로 내절도의 범위 축소와 측정시간 단축이라는 측면에서 비교하고자 하였다. 상호 비교에 앞서 외발한지의 LD방향과 쌍발한지의 CD방향을 기준하였다. 내절도의 경우, 시편폭 10 mm 조건이 시편폭 15 mm 조건 대비 최댓값 감소율에서는 A1L, A2L, A4L(외발한지 3종 LD)이 각각 40%, 62%, 65%로 나타났고 C1C, C3C, C5C(쌍발한지 3종 CD)가 각각 21%, 50%, 56%로 확인되었다. 또한, 평균값 감소율에서는 A1L, A2L, A4L(외발한지 3종 LD)이 각각 43%, 51%, 55%로 나타났고 C1C, C3C, C5C(쌍발한지 3종 CD)가 각각 28%, 51%, 45%로 확인되었다(Table



**Figure 2.** Folding endurance of Hanji according to load conditions. (A) A group and E group at 14.72 N. (B) C group and E group at 14.72 N. (C) A group and E group at 9.81 N. (D) C group and E group at 9.81 N. (E) A group and E group at 4.91 N. (F) C group and E group at 4.91 N.

**Table 4.** Five number summary for the result of folding endurance at 14.72 N-15 mm condition

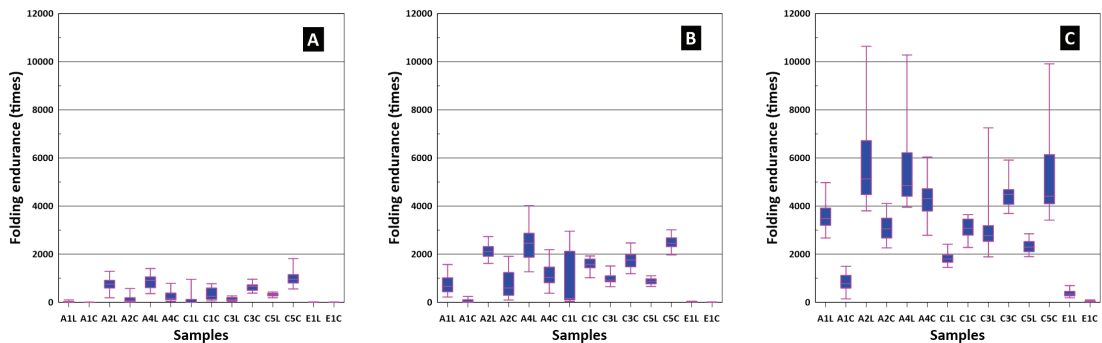
14.72 N-15 mm	A1L	A1C	A2L	A2C	A4L	A4C	C1L	C1C	C3L	C3C	C5L	C5C	E1L	E1C
Min.	3	0	190	12	362	40	0	57	35	381	190	555	5	3
Q1	17	0	592	35	605	99	0	125	71	496	271	797	6	3
Median	26	0	752	59	915	147	0	250	108	664	324	958	8	3
Q3	34	0	912	150	1021	331	84	523	194	711	373	1063	9	3
Max.	99	8	1289	573	1404	791	958	774	265	962	426	1817	12	4
Average	27	1	749	129	834	239	112	327	129	633	319	972	8	3
Stdev.	19	2	279	147	259	205	250	229	70	157	65	283	2	0

**Table 5.** Five number summary for the result of folding endurance at 9.81 N-15 mm condition

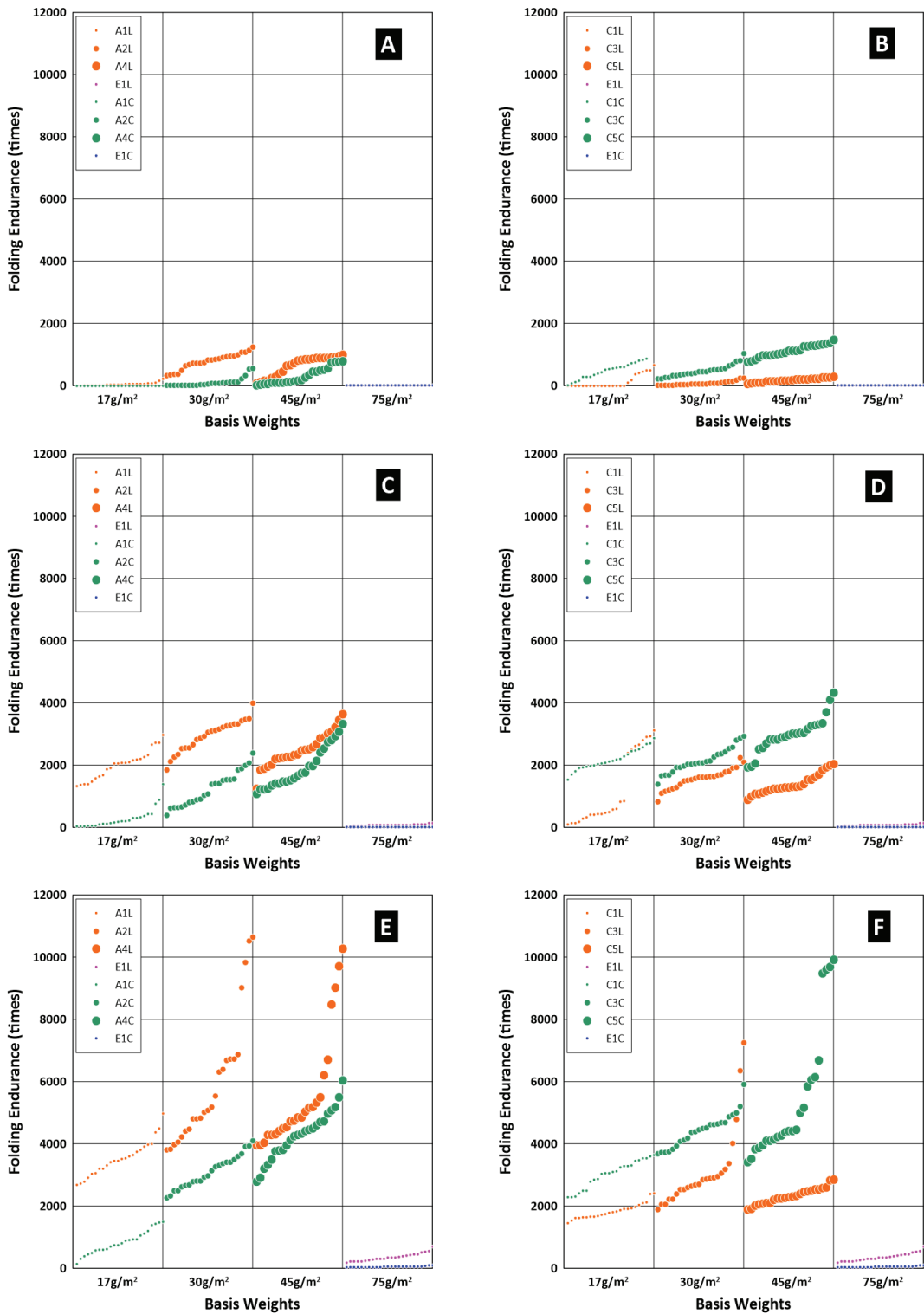
9.81 N-15 mm	A1L	A1C	A2L	A2C	A4L	A4C	C1L	C1C	C3L	C3C	C5L	C5C	E1L	E1C
Min.	218	0	1618	94	1265	379	40	1023	650	1191	660	1969	17	5
Q1	422	0	1909	288	1858	811	94	1411	838	1469	765	2306	21	6
Median	656	19	2110	597	2456	1032	157	1565	921	1758	870	2449	25	7
Q3	901	107	2287	1195	2807	1361	2045	1756	1016	1923	936	2623	31	7
Max.	1569	248	2731	1907	4021	2185	2954	1926	1508	2465	1103	3011	46	9
Average	696	59	2103	749	2428	1146	833	1548	956	1747	867	2461	27	7
Stdev.	355	75	269	538	741	476	1030	254	206	353	135	288	8	1

**Table 6.** Five number summary for the result of folding endurance at 4.91 N-15 mm condition

4.91 N-15 mm	A1L	A1C	A2L	A2C	A4L	A4C	C1L	C1C	C3L	C3C	C5L	C5C	E1L	E1C
Min.	2672	141	3801	2260	3951	2783	1450	2278	1887	3690	1898	3416	187	25
Q1	3164	589	4459	2673	4381	3788	1658	2719	2497	4036	2107	4096	262	43
Median	3481	777	5125	3053	4854	4312	1803	3077	2776	4481	2294	4409	345	48
Q3	3829	1070	6717	3431	5671	4700	1938	3339	3090	4676	2498	6082	431	54
Max.	4970	1496	10636	4109	10277	6034	2416	3641	7251	5908	2847	9908	694	103
Average	3530	831	5987	3102	5586	4256	1835	3022	3126	4432	2325	5441	358	51
Stdev.	570	378	2092	527	1871	799	247	445	1300	542	257	2106	129	17



**Figure 3.** Folding endurance of Hanji according to load conditions. (A) Total samples at 14.72 N. (B) Total samples at 9.81 N. (C) Total samples at 4.91 N.



**Figure 4.** Folding endurance of Hanji according to the specimen width conditions. (A) A group and E group at 5 mm. (B) C group and E group at 5 mm. (C) A group and E group at 10 mm. (D) C group and E group at 10 mm. (E) A group and E group at 15 mm. (F) C group and E group at 15 mm.

**Table 7.** Five number summary for the result of folding endurance at 4.91 N-5 mm condition

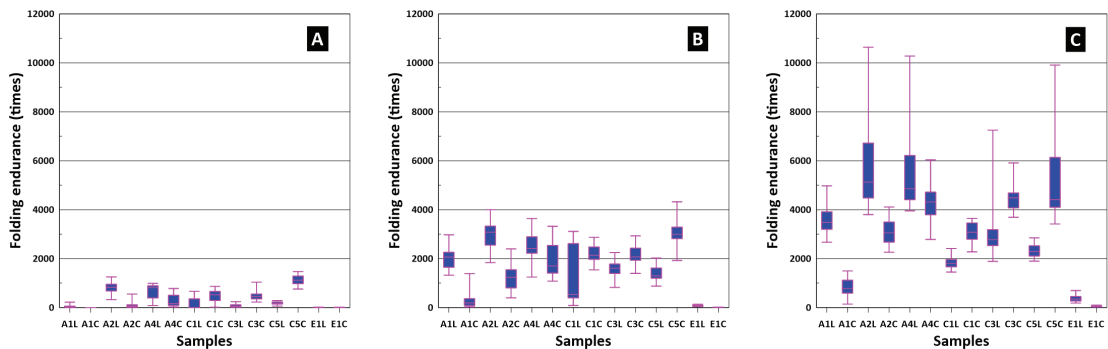
4.91 N-5 mm	A1L	A1C	A2L	A2C	A4L	A4C	C1L	C1C	C3L	C3C	C5L	C5C	E1L	E1C
Min.	0	0	322	6	82	23	0	15	13	225	60	757	6	3
Q1	20	0	667	16	366	92	0	290	26	350	139	975	8	3
Median	36	0	832	61	818	166	0	524	54	450	169	1119	9	3
Q3	55	0	945	109	886	494	224	642	100	543	217	1286	10	3
Max.	222	0	1253	551	988	780	666	864	239	1037	282	1468	16	5
Average	49	0	782	109	643	305	131	470	77	477	174	1112	9	3
Stdev.	51	0	262	152	313	266	214	251	65	198	63	196	2	0

**Table 8.** Five number summary for the result of folding endurance at 4.91 N-10 mm condition

4.91 N-10 mm	A1L	A1C	A2L	A2C	A4L	A4C	C1L	C1C	C3L	C3C	C5L	C5C	E1L	E1C
Min.	1322	29	1839	398	1245	1079	87	1541	822	1399	879	1926	36	10
Q1	1630	81	2551	784	2214	1410	378	1966	1363	1933	1193	2790	63	12
Median	2065	189	3079	1237	2416	1704	536	2134	1609	2071	1294	2990	73	13
Q3	2208	330	3301	1539	2878	2448	2520	2459	1715	2390	1563	3275	86	17
Max.	2971	1386	3999	2397	3636	3320	3113	2869	2246	2930	2026	4319	134	21
Average	2006	287	2948	1240	2488	1918	1190	2189	1565	2156	1390	2980	76	14
Stdev.	469	322	507	546	549	667	1141	333	325	399	320	577	24	3

**Table 9.** Five number summary for the result of folding endurance at 4.91 N-15 mm condition

4.91 N-15 mm	A1L	A1C	A2L	A2C	A4L	A4C	C1L	C1C	C3L	C3C	C5L	C5C	E1L	E1C
Min.	2672	141	3801	2260	3951	2783	1450	2278	1887	3690	1898	3416	187	25
Q1	3164	589	4459	2673	4381	3788	1658	2719	2497	4036	2107	4096	262	43
Median	3481	777	5125	3053	4854	4312	1803	3077	2776	4481	2294	4409	345	48
Q3	3829	1070	6717	3431	5671	4700	1938	3339	3090	4676	2498	6082	431	54
Max.	4970	1496	10636	4109	10277	6034	2416	3641	7251	5908	2847	9908	694	103
Average	3530	831	5987	3102	5586	4256	1835	3022	3126	4432	2325	5441	358	51
Stdev.	570	378	2092	527	1871	799	247	445	1300	542	257	2106	129	17



**Figure 5.** Folding endurance of Hanji according to the specimen width conditions. (A) Total samples at 5 mm. (B) Total samples at 10 mm. (C) Total samples at 15 mm.



**Table 10.** Comparison of folding endurance for derived conditions (folding endurance)

Items		A1L	A1C	A2L	A2C	A4L	A4C	C1L	C1C	C3L	C3C	C5L	C5C	Mean
15 mm	Max.	<b>4970</b>	1496	<b>10636</b>	4109	<b>10277</b>	6034	2416	<b>3641</b>	7251	<b>5908</b>	2847	<b>9908</b>	5791
	Mean	<b>3530</b>	831	<b>5987</b>	3102	<b>5586</b>	4256	1835	<b>3022</b>	3126	<b>4432</b>	2325	<b>5441</b>	3623
10 mm	Max.	<b>2971</b>	1386	<b>3999</b>	2397	<b>3636</b>	3320	3113	<b>2869</b>	2246	<b>2930</b>	2026	<b>4319</b>	2934
	Mean	<b>2006</b>	287	<b>2948</b>	1240	<b>2488</b>	1918	1190	<b>2189</b>	1565	<b>2156</b>	1390	<b>2980</b>	1863
Max. reduction rate (%)		<b>40</b>	7	<b>62</b>	42	<b>65</b>	45	-29	<b>21</b>	69	<b>50</b>	29	<b>56</b>	38
Mean reduction rate (%)		<b>43</b>	65	<b>51</b>	60	<b>55</b>	55	35	<b>28</b>	50	<b>51</b>	40	<b>45</b>	48

**Table 11.** Comparison of measurement time for derived conditions (folding endurance)

Items		A1L	A1C	A2L	A2C	A4L	A4C	C1L	C1C	C3L	C3C	C5L	C5C	Mean
15 mm	Max. Time (min)	<b>28</b>	9	<b>61</b>	23	<b>59</b>	34	14	<b>21</b>	41	<b>34</b>	16	<b>57</b>	29
10 mm	Max. Time (min)	<b>17</b>	8	<b>23</b>	14	<b>21</b>	19	18	<b>16</b>	13	<b>17</b>	12	<b>25</b>	14
Max. reduction rate (%)		<b>40</b>	7	<b>62</b>	42	<b>65</b>	45	-29	<b>21</b>	69	<b>50</b>	29	<b>56</b>	38

10). 측정시간의 경우, 시편폭 10 mm 조건이 시편폭 15 mm 조건 대비 A1L, A2L, A4L(외발한지 3종 LD)이 각각 40%, 62%, 65%로 나타났고 C1C, C3C, C5C(쌍발한지 3종 CD)가 각각 21%, 50%, 56%로 확인되었다. 외발한지 LD 기준으로 40%~65% 단축되었고, 쌍발한지 CD기준으로 21%~56% 단축되었다. 즉, 시편폭 15 mm로 측정시간 60분 소요에서 시편폭 10 mm로 약 25분 소요되었고, 시편폭 15 mm로 측정시간 30분에서 시편폭 10 mm로 약 17분 소요되었다(Table 11).

### 3.4. 내절도 감소 기울기

하중별 내절도 실험결과와 시편폭별 내절도 실험결과와 평균값을 기준하여 조건별 감소 추세를 작성하였으며 선형 추세선으로 비교하였다. 먼저, 하중별 내절도 추세선과 시편폭별 내절도 추세선의 감소 기울기가 유사한 것으로 나타났으며 하중별 내절도 추세선의 결정계수( $R^2$ )보다 시편폭별 내절도 추세선의 결정계수( $R^2$ )가 높아 시편폭별 내절도 추세선이 데이터에 거의 일치하는 것으로 확인되었다. 하중별 내절도 추세선 감소 기울기는 A1L -1751, A2L -2620, A4L -2376, C1C -1347, C3C -1900, C5C -2235, E1L -175로 나타났고 시편폭별 내절도 추세선 감소기울기는 A1L -1741, A2L -2603, A4L -2472, C1C -

1276, C3C -1978, C5C -2164, E1L -174로 확인되었다. 이러한 결과는 4.91 N~14.72 N 범위 내 평량 17 g/m<sup>2</sup>, 30 g/m<sup>2</sup>, 45 g/m<sup>2</sup> 한지의 내절도를 예측하거나 시편폭 15 mm~5 mm 범위 내 평량 17 g/m<sup>2</sup>, 30 g/m<sup>2</sup>, 45 g/m<sup>2</sup> 한지의 내절도 예측에 대한 기초자료로 활용될 수 있으며 A그룹의 CD방향, C그룹의 LD방향에서도 감소 기울기를 참고한 내절도 예측도 가능하다. 특히, 시편폭을 조정하는 측정조건이 하중을 조정하는 측정조건보다 내절도에 있어 조건별 예측도구로서 유리한 것으로 판단된다(Figure 6).

## 4. 고찰

### 4.1. 한지 내절도 측정조건

추가 측정된 외발초지 한지 3종, 쌍발초지 한지 3종에 대한 평량 17 g/m<sup>2</sup>, 30 g/m<sup>2</sup>, 45 g/m<sup>2</sup>에서의 내절도를 본 연구결과와 비교했을 때 하중 4.91 N 조건, 시편폭 15 mm 시편의 내절도가 35~17723회 범위로 나타나 내절도 기본범위 10~10000회를 크게 상회하며 시편 1개의 측정시간이 최대 100분이 소요되었다. 따라서, 하중 4.91 N, 시편폭 15 mm 조건을 기본 조건으로 선정하기 보다는 내절도 기본범위 10~10000회 부합과 측정시간의 단축을 고려하였을 때 하중 4.91 N, 시편폭 10 mm 조건의 내절도 측정



Figure 6. Trend line for folding endurance results of total Hanji. (A) Load conditions. (B) Specimen width conditions.

방법이 적합한 것으로 판단된다. 다만, 기존 시편폭 15 mm를 유지하면서 4.91 N 초과~9.81 N 미만 내에서 적정 하중을 찾는 방법도 가능할 것으로 본다(Figure 7).

본 연구에서는 열화시편에 대한 내절도를 검토하고 간단한 상태에서 원지 중심으로 내절도 연구를 수행하였으

나 내절도 측정방법에 있어 원지, 열화지, 산성열화지 등 시료의 상태에 따라 4.91 N, 9.81 N 하중을 달리 적용한 일부 연구(Jeong *et al.*, 2015; Shin, 2014) 사례를 고려할 때 모든 조건을 충족하였다고는 단정 지을 수 없다. 따라서 제한한 하중 조건과 시편폭 조건의 측정조건으로 원지

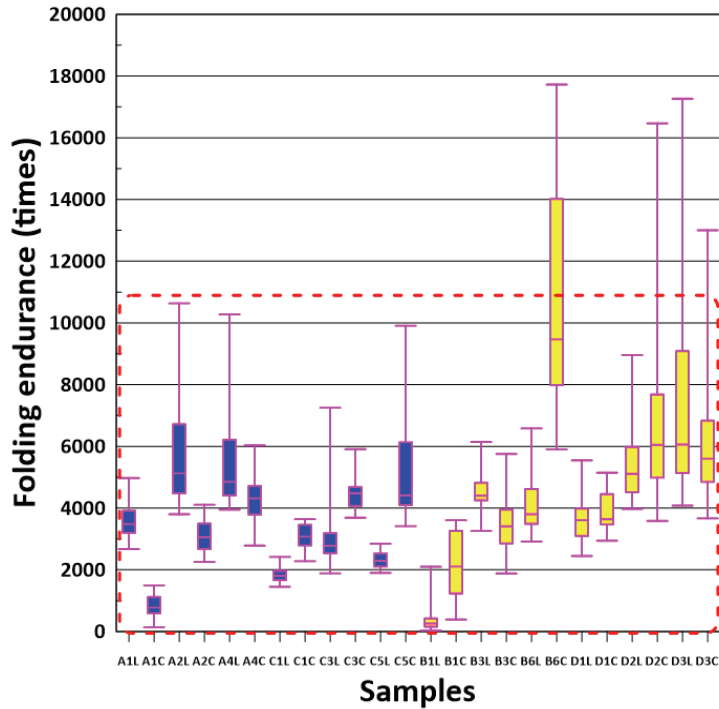


Figure 7. Folding endurance of Hanji at 4.91 N condition (total samples: A group, B group, C group, D group).

를 포함한 다양한 열화 방식과 열화 상태의 한지를 대상으로 내절도를 측정하고 수집된 결과가 기준 범위에 부합하며 물성 변화 변별이 가능한지 지속적인 연구가 필요하다. 그에 따라 측정조건 개선, 수정 또는 부가사항 신설 등으로 보완되리라 기대한다.

## 5. 결론

1. 평량  $17 \text{ g/m}^2 \sim 45 \text{ g/m}^2$  범위의 한지에 대하여 하중 4.91 N 조건에서는 내절도 범위가 A그룹 141~10636회, C그룹 1450~9908회, E그룹 25~694회로 나타나 모든 시편에서 내절도 기준범위 10~10000회에 부합한 것으로 확인되었다.

2. 평량  $17 \text{ g/m}^2 \sim 45 \text{ g/m}^2$  범위의 한지에 대하여 시편폭 15 mm, 10 mm 조건에서 내절도가 각각 25~10636회, 10~4319회 범위로 나타나 내절도 기준범위 10~10000회에 부합하였다.

3. 내절도 기준 범위 10~10000회에 부합하는 시편폭 15 mm, 하중 4.91 N 조건과 시편폭 10 mm, 하중 4.91 N 조건에 대한 내절도의 범위 축소와 측정시간 단축 비교에

서 시편폭 10 mm 조건이 시편폭 15 mm 조건 대비 내절도 최댓값 감소율과 측정시간 단축율이 외발한지 LD 기준 10%~65%로 쌍발한지 CD 기준 21%~56%로 확인되었다. 즉, 측정시간이 시편폭 15 mm로 60분 소요, 30분 소요에서 시편폭 10 mm로 25분 소요, 17분 소요로 각각 단축되었다.

4. 하중별 내절도 결과와 시편폭별 내절도 결과의 평균 값을 기준한 선형 추세선 비교에서 하중별 내절도 추세선과 시편폭별 내절도 추세선의 감소기울기가 유사한 것으로 나타났으며 하중별 내절도 추세선의 결정계수보다 시편폭별 내절도 추세선의 결정계수( $R^2$ )가 높아 시편폭별 내절도 추세선이 데이터에 거의 일치하는 것으로 확인되었다. 추세선을 통해 평량  $17 \text{ g/m}^2$ ,  $30 \text{ g/m}^2$ ,  $45 \text{ g/m}^2$  한지에 대하여 4.91 N~14.72 N 범위 또는 시편폭 15 mm~5 mm 범위 내의 내절도를 예측하는데 활용가능하다. 특히, 시편폭을 조정하는 측정조건이 하중을 조정하는 측정조건보다 내절도에 있어 조건별 예측도구로서 유리한 것으로 판단되었다.

5. 하중 4.91 N 조건, 시편폭 15 mm으로 측정된 비교군 시편의 내절도가 35~17723회 범위로 나타나 내절도 기

본범위 10~10000회를 크게 상회하며 시편 1개의 측정시간이 최대 100분이 소요되었다. 따라서, 하중 4.91 N, 시편 폭 15 mm 조건을 기본 조건으로 선정하기보다는 내절도 기본범위 10~10000회 부합과 측정시간의 단축을 고려하였을 때 하중 4.91 N, 시편폭 10 mm 조건의 내절도 측정 방법이 적합한 것으로 판단된다. 다만, 기존 시편폭 15 mm를 유지하면서 4.91 N 초과~9.81 N 미만 내에서 적정 하중을 찾는 방법도 가능할 것으로 본다.

## 사 사

이 연구는 2021년도 문화재청 국립문화재연구소 문화유산 조사연구(R&D) 사업의 지원을 받아 이루어졌으며 행정적 및 재정적 지원에 깊이 감사한다.

## REFERENCES

- Han, Y.H., Shin, Y.M., Park, S.B., Nam, S.U. and Kim, H.J., 2010, The study of nondestructive evaluation method of paper records materials by NIR spectroscopy. *Analytical Science & Technology*, 23(3), 304-311. (in Korean with English abstract)
- Jeon, Y.B., 2011, A study on the shroud design adapting korean paper Hanji. Ph.D. dissertation, Hong-ik University, Seoul, 45-53. (in Korean with English abstract)
- Jeong, S.H. and Cho, A.N., 2013, The change of physical properties of artificial aging paper in the cleaning process for the conservation treatment of historical Paper documents. *Journal of Cultural Heritage Studies*, 46(1), 228-237. (in Korean with English abstract)
- Jeong, S.Y., Jeon, S.Y., Baek, S.R., Jeong, H.S., Lee, J.H. and Kim, H.J., 2015, Studies on the accerated aging characteriatics of paper records by gaseous air pollutants. *Journal of Korea TAPPI*, 47(4), 151-159. (in Korean with English abstract)
- Kim, C.H., 2021, Effect of cooking liquors and drying methods on the characteristics of korean traditional paper (Hanji). Master's dissertation, Chung-buk National University, Cheongju, 17-65. (in Korean with English abstract)
- Korean Standards Certifications, 2006, KS M 7065 Testing method for folding endurance of paper and paperboard by MIT tester. <https://standard.go.kr/KSCI/portalindex.do> (September 7, 2021)
- Korean Standards Certifications, 2006, KS M 7068 Testing method for folding endurance of paper and paperboard by schopper tester. <https://standard.go.kr/KSCI/portalindex.do> (September 7, 2021)
- Korean Standards Certifications, 2021, KS M ISO 187 Paper, board and pulps-standard atmosphere for conditioning and testing and procedure for monitoring the atmosphere and conditioning of samples. <https://standard.go.kr/KSCI/portalindex.do> (September 7, 2021)
- Korean Standards Certifications, 2016, KS M ISO 5626: 1993 Paper-determanation of folding endurance. <https://standard.go.kr/KSCI/portalindex.do> (June 15, 2021)
- Park, S.C., Choi, M.S. and Lim, H.A., 2009, Aging characteristics of marketing korean paper (Hanji). *Journal of Conservation Science*, 25(2), 161-169. (in Korean with English abstract)
- Shin, H.Y., 2014, A study on the nitrogen dioxide effect of records in the preservation of archive. Master's dissertation, The University of Seoul, Seoul, 23-64. (in Korean with English abstract)
- Son, H.N., Jung, S.Y., Jang, K.J. and Jeong, S.H., 2019, Studies on the physical properties of Hanji for rehabilitation and restoration of cultural properties. *Journal of Korea TAPPI*, 51(6), 175-185. (in Korean with English abstract)