

종이 및 판지의 접힘 터짐 예측을 위한 접힘 저항성 평가

Evaluation of folding resistance of paper and paperboard for predicting folding crack

윤혜정 · 권현승 · 진성민 · 류재호 · 조휘 · 이성린
서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부

1. 서 론

최근 물류 및 포장 산업이 빠르게 발전함에 따라 지류 포장에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이에 따라 판지의 품질이 높아지고 있다.¹⁾ 판지 상자는 가공 시 상당히 심한 접힘 과정을 거치는데 이 때 표면에 터짐이나 갈라짐 불량 발생하는 경우가 있다. 또한 책 표지 등도 사용 시 과도한 접힘에 의해 표면에 균열이 발생하기도 한다. 따라서 가공적성 및 사용 성능의 하나로서 접힘 시의 특성이 고려되어야 한다. 즉, 특성을 정확하게 예측한다면 터짐에 의한 불량 및 불만을 줄일 수 있을 것이다. 이러한 특성을 평가하는 방법으로 현재 내절도(folding endurance) 및 폴딩 모멘트(folding moment)가 있다.²⁾ 그 중에서 내절도는 종이의 접힘 특성을 파악하기 위해 빈번하게 사용되기도 하는데, 이는 오랜 기간 동안 발생하는 반복된 접힘에 대한 저항이나 내구성을 측정하는 평가법이다.³⁾ 폴딩 모멘트는 90°이상의 큰 각도로 과도하게 접을 때 종이의 저항성을⁴⁾ 측정하는 평가법이지만, 널리 사용되고 있지 않다. 접힘 저항성은 원지의 원료, 섬유 배향각도, 코팅과 함수율에 따라 영향을 받는 매우 복합적인 특성이다. 따라서 접힘 저항성을 정확히 이해하고 적절히 조절된 환경에서 적합한 측정법으로 평가하는 것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 가공 또는 사용 시 발생할 수 있는 터짐을 예측하기 위한 적절한 방법을 모색하고자 하였다. 이를 위해 라이너지, 백판지 및 아트지를 선정하여 내절도와 폴딩 모멘트를 비롯한 다양한 물성을 측정하고 터짐 양상과 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

다양한 지종의 평량에 따른 접힘 특성에 대한 영향을 비교 평가하기 위하여 국내 A사에서 제조한 225 gsm 및 300 gsm 라이너지, H사에서 제조한 75 gsm, 100 gsm, 200 gsm의 아트지와 H사에서 제조한 300 gsm 및 500 gsm 백판지를 공시 재료로 사용하였다. 준비된 공시 재료는 접힘특성 평가를 위해 5 cm ×10 cm 크기로 잘라 시험편을 준비하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 조습처리

준비된 시험편을 23±1℃, 50±2% RH에서 조습처리 후 물성을 평가하였다.

2.2.2 기본 물성 측정

각 공시 재료의 기본적인 물성으로서 두께, 밀도, 인장강도, 신장률, 휨강성을 측정하였다.

2.2.3 내절도 측정

내절도 측정기(MIT Type)를 이용하여 시험편의 내절도를 평가하였다 (Fig. 1 (a)). 내절도 측정기는 시험편이 물린 클램프에 무게추로 하중을 가하고 일정한 각도로 좌우 반복하면서 시험편이 끊어질 때까지의 반복 운동 횟수를 측정하는 설비다.^{5,6)} 1 kg의 하중을 가하고 MD와 CD방향을 달리하여 평가하였다.

2.2.4 접힘 모멘트 평가

접힘 평가 시 저항을 측정할 수 있는 Creasability tester (L&W Co.)를 이용하여 폴딩 모멘트를 평가하였다 (Fig. 1 (b)). Creasability tester는 시험편이 물린 클램프가 설정된 각도와 속도로 휘어진 뒤 다시 원래의 위치로 돌아올 때 시험편에 닿아 있던 로드셀에 의해 접힘 저항을 측정하는 설비다. MD와 CD방향을 달리하여 평가하였고 구부림 각도는 90°, 160°로 조절하였으며, 구부림 속도는 90°/sec 로 하였다.

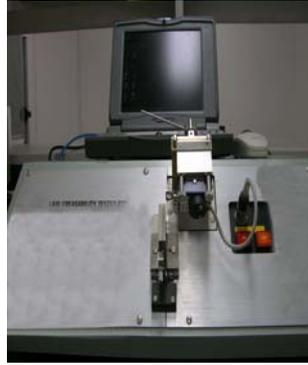
2.2.5 터짐 평가

각각의 물성과 실제 터짐과의 상관성을 구하기 위해 실험적으로 ‘접힘 터짐’(folding

crack)을 평가하였다. 본 실험에서 접힘 터짐은 과도한 각도로 종이를 접을 때 표면에 터짐 또는 균열이 발생하는 것을 의미한다. 105℃의 오븐에서 2시간 이상 건조시킨 후 꺼내어 Fig. 1 (c)의 실험용 패션강도 측정기로 구부렸다. 구부림 각도는 60°, 90°, 180°로 하였으며, 구부림 속도는 90°/sec 로 하였다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1. Picture of folding endurance tester (a), creasability tester (b) and laboratory folding moment tester (c).

3. 결과 및 고찰

3.1 기본물성

Table 1은 각 재료의 물성을 보여주고 있다. 본 논문에서는 라이너지를 LB, 백판지를 CB, 아트지를 A로 표기하였다.

Table 1. Physical properties of various paper

		LB 225	LB 300	CB 300	CB 500	A 75	A 100	A 250
Grammage, g/m ²	-	223	303	319	496	73	99	248
Apparent density, g/cm ³	-	0.80	0.72	0.80	0.73	0.96	0.74	0.6
Bending stiffness, mN	MD	391	1163	291	1392	65	70	123
	CD	138	428	107	569	24	26	72
Folding Endurance, double folds	MD	117	462	67	35	110	22	34
	CD	60	131	32	17	48	13	112
Tensile strength, kN/m	MD	17.2	26.0	18	24.2	4.5	5.2	11.49
	CD	6.8	9.6	7.0	10.6	1.7	2.53	7.53
Strain, %	MD	3.09	2.11	2.16	1.77	1.79	1.68	2.46
	CD	4.62	4.27	5.31	4.87	3.22	4.83	6.21

3.2 폴딩 모멘트

접힘 각도와 속도를 달리하여 판지를 구부렸을 때의 폴딩 모멘트를 측정하였다. Fig. 2 (a)는 각 시편의 최대 폴딩 모멘트를 나타낸 것이다. 지종의 차이는 있지만 평량이 클수록 폴딩 모멘트가 크게 나타났고 MD 방향의 폴딩 모멘트가 CD 방향에 비해 약 10-20%가량 높게 나타났다. Fig. 2 (b)는 구부림 각도 및 속도의 변화에 따라 최대 폴딩 모멘트를 나타낸 것이다. x축의 a_b에서 a는 구부림 각도이고 b는 구부림 속도를 의미한다. 90°의 일정한 각도로 구부렸을 때 구부림 속도가 빨라지면 최대 폴딩 모멘트가 증가하는 경향을 보였다. Fig. 3 (a), (b)는 시편의 인장강도 및 두께와 90°의 일정한 각도로 구부렸을 때 최대 폴딩 모멘트와의 관계를 보여주고 있다. 인장강도가 증가할수록 폴딩 모멘트는 대체로 증가하였지만, 그 상관성은 그리 크지 않았다. 지종과 상

관없이 두께의 증가에 대해 최대 폴딩 모멘트가 양의 선형적인 상관관계를 보였고 이를 통해 판지의 두께가 접힘 특성에 영향을 주는 주요 인자 중의 하나임을 알 수 있었다.

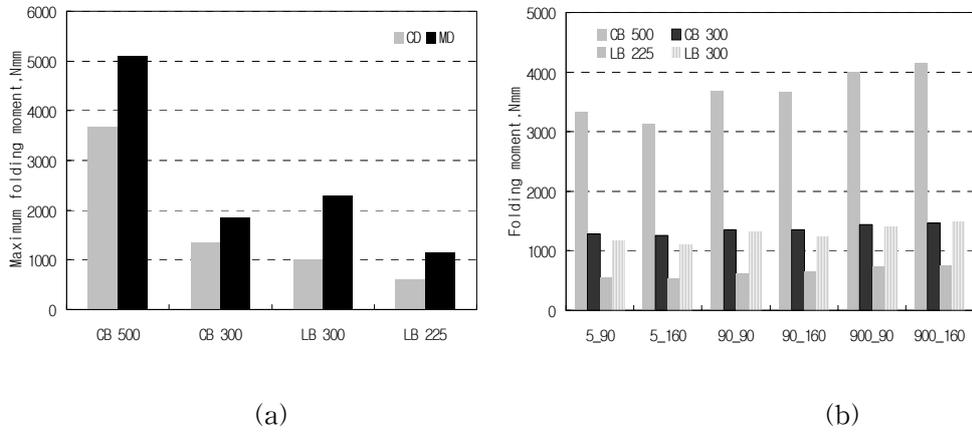


Fig. 2. Maximum folding moment of various paperboards.

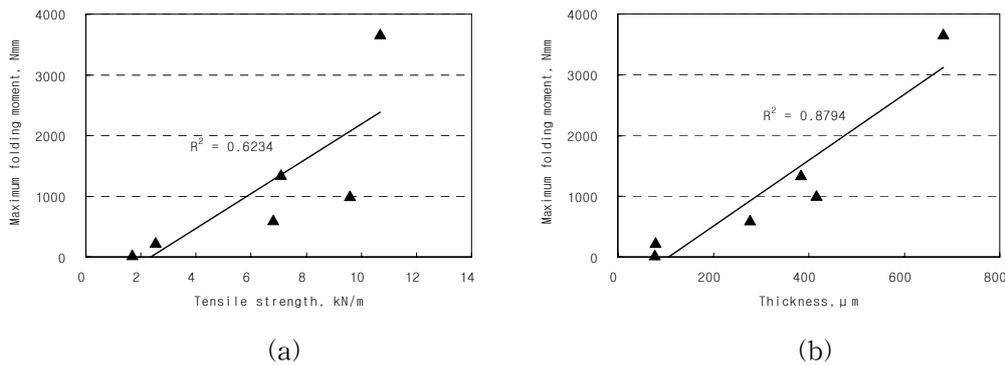


Fig. 3. Maximum folding moment with tensile strength (a) and thickness (b).

3.3 접힘 저항성과 터짐의 상관성

과도한 접힘에 대한 거동을 알아보기 위해 각도별로 시편을 구부려 표면에 발생된 터짐의 정도를 평가하였다 (Table 2). ◎는 터짐이 심함, O는 터짐, △는 미세하게 터짐, X는 터짐이 발생하지 않았음을 뜻한다. 60°의 경우 터짐 발생이 매우 적었고 180°의 경우 터짐이 심하게 발생하였기 때문에 접힘 저항성과 터짐의 상관성을 평가할 수 없

었다. 하지만 90°의 경우 터짐이 고르게 발생하였기 때문에 접힘 저항성과의 상관성을 찾아보기 적합하였다. 이는 각도가 커질수록 최외각층에 전달되는 인장력이 커지기 때문이다. 상관성 구명을 쉽게 하기 위해 Table 2의 터짐 양상을 3점법으로 등급을 매겼다. 즉, 터짐이 발생하지 않은 경우는 0점, 미세한 터짐은 1점, 터짐은 2점, 심한 터짐은 3점을 부여하였다. 이 때 터짐은 5°/sec의 속도로 90° 만큼 구부리는 조건에서 실험한 결과이다. 접힘 저항성을 평가할 수 있는 적합한 측정법을 찾기 위해 정량화된 터짐과 내절도 및 폴딩 모멘트간의 상관성을 평가하였다 (Figs. 4, 5). 내절도는 반복된 접힘에 대한 저항성을 측정하기 때문에 과도한 접힘에 의한 터짐과의 상관성은 적은 것으로 나타났다 (Fig. 4). 하지만 폴딩 모멘트와 터짐은 양의 관계를 보였고 0.9의 R² 값을 나타내었다 (Fig. 5). 즉 내절도보다는 폴딩 모멘트의 측정을 통해 터짐 발생을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 2. Surface crack of test piece after folding at the different angle

	Bending angle, °					
	60		90		180	
	MD	CD	MD	CD	MD	CD
LB 225	x	x	△	x	◎	○
LB 300	△	x	○	○	◎	◎
CB 300	x	x	○	x	◎	○
CB 500	○	x	◎	◎	◎	◎
A 75	x	x	x	x	△	△
A 100	x	x	x	x	○	○
A 250	x	x	△	x	◎	◎
A 300	x	x	△	x	◎	◎

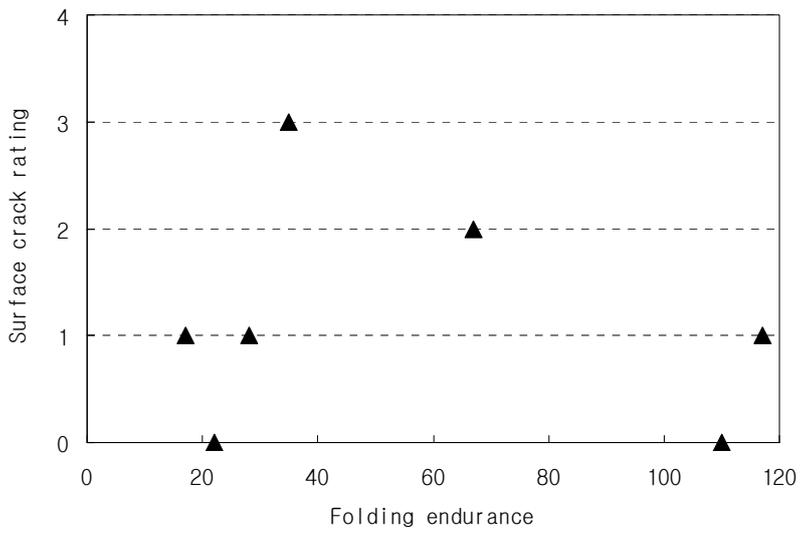


Fig. 4. Relationship between surface crack rating and folding endurance.

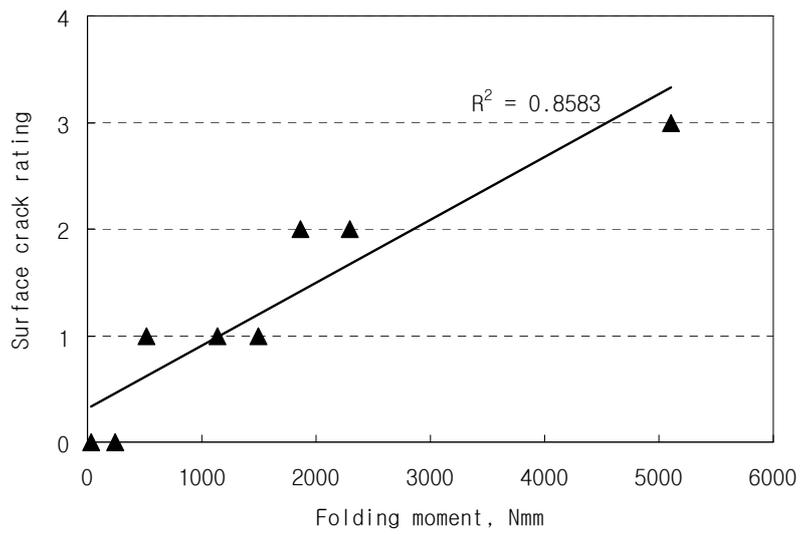


Fig. 5. Relationship between surface crack rating and folding resistance.

4. 결 론

과도한 각도로 접을 때 판지의 성능을 살펴보기 위하여 접힘 특성을 평가하였다. 골판지의 원료가 되는 라이너지와, 카톤보드로 널리 이용되는 백판지 및 아트지를 선정하여 폴딩 모멘트 및 내절도를 비롯한 다양한 물성을 평가하고, 과도한 각도로 구부린 종이에 발생한 터짐 양상과 비교하였다. 내절도는 터짐과의 상관성이 매우 낮았다. 하지만 저항이 클수록 최외각층에 응력 집중이 커져 터짐이 심해지기 때문에 폴딩 모멘트와 터짐은 양의 관계를 보였다. 즉 내절도보다는 폴딩 모멘트의 평가를 통하여 접힘 저항성의 예측이 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 산업자원부 표준화 기술개발사업 지원에 의해 수행되었으며, 일부 BK21의 지원을 받았음.

인용문헌

1. Youn, H.J., Jin, S.H., Ryu, J.H. and Kwon, H.S., Evaluation of folding properties of paperboard with folding angle and rate, Journal of Korea TAPPI, 39(3):30-35 (2007).
2. 이학래, 이복진, 신동소, 임기표, 서영범, 원종명, 손창만, 제지과학, 광일문화사, 서울, pp. 458-461(2000).
3. Levlin, J.E., Papermaking Science and Technology VOL. 17, Fapet Oy, Finland, pp. 147-148 (1998).
4. Calvin, S. I., The unique convertibility of paperboard, Packaging Technology and Science, 1:77-92 (1988).
5. TAPPI T511 om-96, Folding Endurance of Paper (MIT Tester).
6. ISO 5626, Paper - Determination of folding endurance.