

Bending 각도 및 속도에 따른 판지의 bending property 측정

Evaluation of bending property of paperboard with bending angle and speed

윤혜정 · 이학래 · 진성민 · 류재호 · 권현승
서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부

1. 서 론

최근 각종 환경규제 및 자원재활용 문제 등에 의해 포장산업에서 지류패키징에 대한 관심과 수요가 늘어나고 있다. 이에 따라 패키징 재료로서 요구되는 판지의 물성에 대한 연구가 필요하다.

판지는 내용물 보호 및 저장효율을 높이기 위해 일정 수준 이상의 bending stiffness가 요구된다.¹⁾ 또한 상자 제조 시 조업성을 위해 우수한 foldability가 필요하다.²⁾ 하지만 이들 물성은 서로 상반되는 특성을 갖기 때문에 용도에 따라 판지의 bending property를 정확히 이해하고 적절하게 조절할 필요가 있다. 겨울철과 같은 저습조건에서 빈번하게 발생하는 상자 패션터짐은 원지 물성 및 판지의 bending property에 부합하는 제함 공정을 적용시키지 못한 이유이기도 하다.³⁾ 이와 같이 판지의 bending property에 대한 평가와 적절한 적용은 상자의 강도 및 조업성 향상에 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

일반적으로 bending property를 평가하기 위하여 bending stiffness나 creasability를 측정하지만, 실제 상자 제조 공정과 비슷한 조건의 bending 각도 및 속도 조건을 적용하기 어렵고, 두께가 다양한 판지 즉, 백판지, 골판지 및 microflute 골판지 등의 bending property를 평가하는 데에 한계가 있었다. 뿐만 아니라 상자 제조 시 작업자의 기술과 습관에 따라 bending 각도 및 속도가 다르므로 같은 원료로 제조한 판지라 할지라도 bending performance가 달라질 수 있다.

따라서 본 연구에서는 판지 및 골판지의 bending property를 측정할 수 있는 방법을 제안하고 bending 각도 및 속도를 조절함으로써 판지의 bending property를 평가해보고자 한다. 또한 패션공정 조건에 의한 bending property 변화를 평가하여 패션유무 및 패션인자들이 bending property에 미치는 영향도 살펴보고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

판지의 bending property 평가를 위해 상업용 라이너지와 백판지 및 골판지를 공시 재료로 이용하였다 (Table 1).

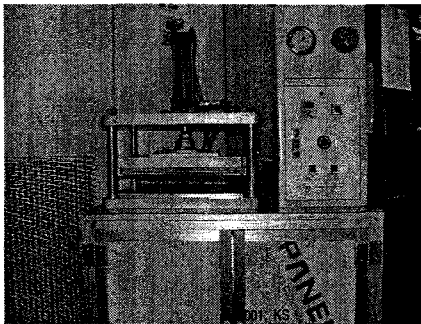
Table 1. Materials and their variables

Samples	Variables
Linerboard	Grammage ; 225 & 300 g/m ²
Carton board	Grammage ; 300 & 500 g/m ²
Corrugated board	A flute, B flute, G flute

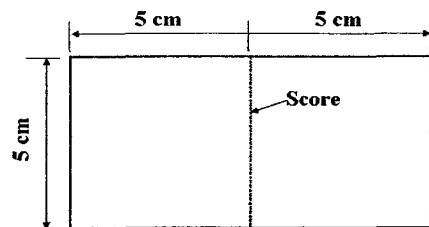
2.2 실험방법

2.2.1 시편준비 및 패선공정

공시재료를 MD, CD 방향을 구분하여 5 cm × 10 cm 크기로 준비하였으며, 패선인자에 따른 bending property를 비교할 수 있도록 공시재료에 패선작업을 실시하였다. 자체 제작한 실험용 패선기 (Fig. 1)를 이용하였으며 MD, CD 방향을 구분하여 패선을 넣었다.



(a)

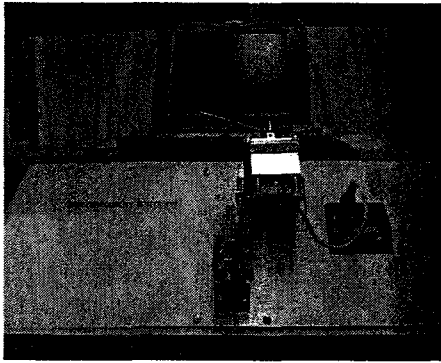


(b)

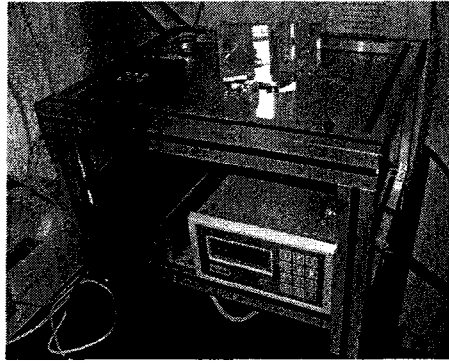
Fig. 1. Picture of laboratory scoring machine (a) and the scheme of sample specimen (b).

2.2.2 Bending moment 측정

Bending force를 측정할 수 있는 creasability tester (L&W Co.)를 이용하여 라이너지, 백판지, microflute 골판지의 bending force를 측정하였다 (Fig. 2-a). 그러나 A, B골 골판지의 경우 clamp 두께의 한계 및 다양한 bending 각도 및 속도 조건을 조절할 수 있도록 실험실적으로 제작한 bending moment tester를 이용하여 bending property를 평가하였다 (Fig. 2-b). Bending 각도 및 속도는 Table 2와 같이 조절하였다.



(a)



(b)

Fig. 2. Picture of creasability tester (a) and laboratory bending moment tester.

Table 2. Bending operation variables

Bending angle, degree	5, 15, 30, 60, 90, 120, 160
Bending speed, degree/sec	5, 90, 900

측정된 bending force는 Eq. 1⁴⁾에 의거하여 bending moment로 계산하였다.

$$M = Px \quad [\text{Eq. 1}]$$

where, M : Bending moment, Nm

P : Force, N

x : Unsupported length of the momentum arm, m

3. 결과 및 고찰

3.1 Bending 각도에 따른 bending moment 변화

Fig. 3은 bending 각도의 변화에 따라 300 g/m² 라이너지의 bending moment를 나타내고 있다. Bending 각도가 5°일 때는 선형적으로 bending force가 증가하였다가 가역적으로 감소하였다. 일정 각도 미만의 작은 bending angle 영역에서는 이와 같이 선형적인 bending force curve를 얻을 수 있었으며 시편 또한 가역적인 변형을 일으키는 것을 알 수 있었다. Bending angle이 90°, 160° 등으로 커질 경우 34° 근처에서 힘곡선의 극대점이 나타나고 55° 근처에서 힘의 극소값이 나타남을 알 수 있었다. 이는 34° 근처에서 굽힘에 의한 판지의 압축부분에서 파괴가 발생하고 55° 근처에서 다층의 판지 내부에 층분리가 발생함을 의미한다. 이와 같이 전체적인 bending 각도가 변하여도 압축 파괴나 층분리 현상은 거의 일정한 각도에서 일어남을 알 수 있다. 160°로 bending을 실시하였을 경우 100° 이상에서 bending force가 증가하는 것은 시편이 직각 이상으로 굽혀질 때 시편의 두께 때문에 고정 클램프에 의해 추가적인 압력이 가해지거나 시편 끼리의 접촉으로 인해 나타나는 비정상적인 힘곡선으로 판단된다.

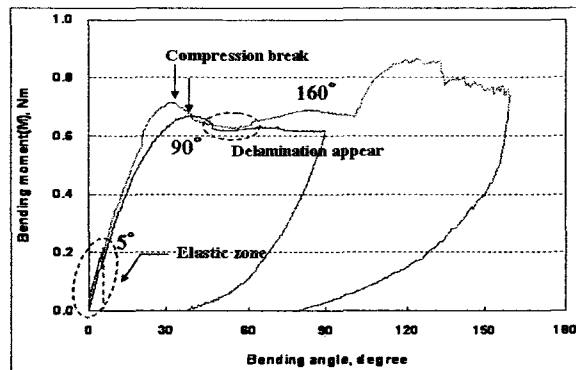


Fig. 3. Bending moment of linerboard with bending angle.

3.2 Bending 속도에 따른 bending moment 변화

Fig. 4는 bending 속도를 달리하였을 때 라이너지의 bending moment가 변화하는 모습을 보여주고 있다. Bending 속도가 빨라질수록 bending force가 증가하였으며, 힘곡선

의 noise가 증가함을 알 수 있었다. 이는 일정 각도를 굽히는 데 요구되는 bending 시간이 짧을수록 resistance 크게 발생하기 때문으로 판단된다. Bending 속도에 따라 압축파괴가 일어나는 각도 및 층분리가 발생하는 지점도 달라졌음을 발견할 수 있었다.

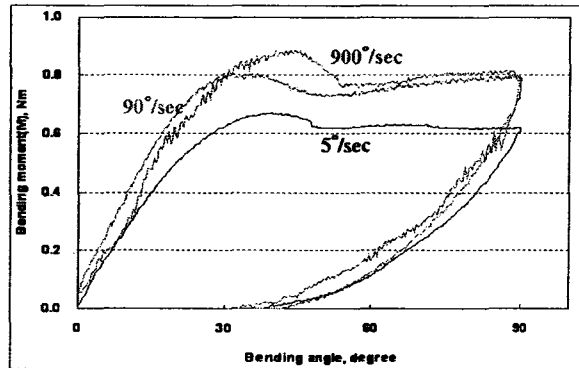


Fig. 4. Bending moment of linerboard with bending speed.

3.3 판지 지종의 영향

Fig. 5는 평량이 다른 라이너지와 백판지 및 G골 골판지의 bending force를 bending 각도에 따라 도시하고 있다. LB는 라이너지, CB는 백판지, MF는 micorflute 골판지를 의미한다. 평량이 높고 두꺼운 종이일수록 stiffness가 높기 때문에 CB500이나 LB300이 CB300과 LB225에 비해 상대적으로 높은 bending force를 나타냈다. 또한 지종에 따라 압축파괴 지점과 판지 내부의 층분리 지점이 달리 나타났다. MF의 경우 압축파괴가 발생하기까지 높은 bending force를 보였지만 24° 이후 급격하게 bending force가 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 bending 시 생기는 압축력에 의해 골이 무너짐에 따라 급격하게 bending resistance가 감소하기 때문으로 판단된다. 이에 반해 라이너지 및 백판지는 최대 압축파괴 이후 거의 비슷한 수준의 bending force를 유지함을 알 수 있었다. 다만 CB500의 경우 섬유 양이 상대적으로 많기 때문에 1차 압축파괴와 층분리가 다른 지종에 비해 작은 bending 각도에서 발생하고 이후 2차, 3차 압축파괴 및 층분리가 일어났다. 이에 반해 LB225의 경우 이런 지점이 한 번만 나타남을 알 수 있었으며 비교적 큰 bending 각도에서 발견되었다.

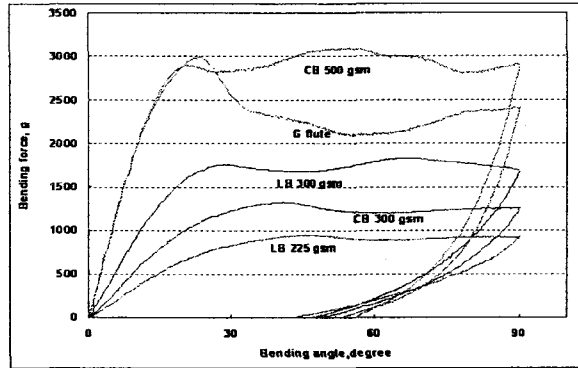


Fig. 5. Effect of paper grade on bending force of linerboard with bending angle.

3.4 패선의 영향

Fig. 6은 패선을 넣지 않은 라이너지(unscored)와 패선처리를 한 것(scored)의 bending force를 비교한 그래프이다. 패선처리에 의해 bending resistance가 감소하기 때문에 패선이 없는 시편에 비해 낮은 bending force를 나타냈으며, 이런 경향은 패선너비 및 깊이 등 패선인자들의 영향을 받을 것으로 예상된다.

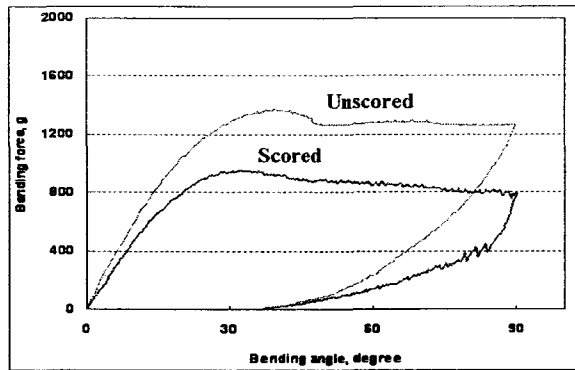


Fig. 6. Effect of scoring on bending force of linerboard with bending angle.

4. 결 론

Bending 각도 및 속도에 따라 다양한 판지의 bending property를 평가하였다. 지종과 두께에 따라 판지의 압축파괴가 일어나거나 내부 층분리가 발생하는 bending 각도가 달리 나타났다. 또한 bending 속도가 빠를수록 순간적인 bending resistance가 크기 때문에 bending moment가 크게 나타났다. 패션이 들어간 판지의 경우 패션이 없는 것에 비해 bending moment가 낮았으며, 패션너비 및 패션깊이 등에 의해 bending moment가 조절될 수 있으므로 터짐현상 없이 조업성을 향상시키기 위해 지종과 평량에 맞게 bending 각도 및 속도, 그리고 패션인자들을 적절하게 조절할 필요가 있다.

사 사

본 연구는 산업자원부 신기술실용화기술개발사업 지원에 의해 수행되었음. 일부 연구원은 BK 21 핵심 사업 지원을 받았음.

참고문헌

1. Paulapuro, H., Paper and Board Grades, Papermaking Science and Technology series, Vol.18, Fapet Oy, Finland, pp. 55-72 (2000).
2. Savolainen, A., Paper and Paperboard Converting, Papermaking Science and Technology series, Vol.12, Fapet Oy, Finland, pp. 228-235 (1998).
3. Corrugating Defect/Remedy Manual 6th ed., TAPPI Press, pp. 176-177 (1999).
4. Calvin, S. I., The unique convertibility of paperboard, Packaging Technology and Science, 1:77-92 (1988).