

# 골판지의 접힘저항 및 패선터짐의 실험적 평가

진성민 · 윤혜정<sup>†</sup> · 이학래  
(2008년 10월 2일 접수: 2009년 2월 25일 채택)

## Evaluation of Folding Resistance and Score Crack of Corrugated Fiberboard Using Laboratory Folding Resistance Tester

Seong Min Chin, Hye Jung Youn<sup>†</sup> and Hak Lae Lee  
(Received October 2, 2008; Accepted February 25, 2009)

### ABSTRACT

Proper test methods and instruments for evaluating score or creasing crack have not been provided, although score crack trouble occurs frequently in manufacturing corrugated containers. Because existing creasability tester has the limitation of the available thickness of test piece and folding rate, it cannot be used for corrugated fiberboards with high thickness. In this study, we developed the laboratory test instrument and the method to determine the score or creasing crack of corrugated fiberboard. This instrument can evaluate folding resistance of corrugated board without restriction on the folding rate and thickness of specimen. Corrugated fiberboard had the different folding behavior from linerboard when it was creased. By using this test machine, score crack can be objectively determined by folding test piece to the certain folding angle with constant folding rate.

**Keywords** : score crack, corrugated fiberboard, laboratory folding resistance tester, folding moment, score rule

### 1. 서론

동절기 낮은 대기습도는 종이의 함수율을 떨어뜨

리고 이는 제함공정 시 패선터짐의 원인이 된다. 골판지 패선터짐은 원지, 골판지, 패선기, 그리고 제함 환경에 의해 복합적으로 발생된다. 일반적으로 습도가

• 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 (Dept. of Forest Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, 151-921 Seoul, Korea)

<sup>†</sup> 교신저자 (Corresponding Author): E-mail: page94@snu.ac.kr

낮거나 골판지의 수분이 낮은 경우 터짐 현상이 더 자주 나타나며, 패신티짐의 상, 하부 요철기의 잘못된 배치 및 패신티짐 헤드 간격, 오염된 패신티헤드 등에 의해서도 패신티짐이 발생된다.<sup>1)</sup> 그러나 골판지 제조 및 지함 제조업체의 다양한 생산 환경을 일정하게 맞추어 관리하기란 매우 어렵고 또한 대부분 국내 지함업체의 영세성으로 인해 발생하는 클레임의 상당량은 원지 탓으로 돌리는 것이 다반사이다. 골판지 원지 또는 제조사에 접수되는 품질 불만 건수 중 패신티짐 및 이와 관련된 클레임이 약 30% 이상이 될 정도로 매우 큰 문제이다. 더욱이 패신티짐은 박스 완성 직전에 발생하는 클레임이기 때문에 발생할 경우 골판지 원지 제조부터 상자 제조까지의 원료 및 그 과정 중에 소요된 에너지 비용을 모두 보상해야 하는 심각성이 있다. 따라서 경제적 측면에서 매우 비용손실이 큰 품질문제라 할 수 있다. 이를 해결하기 위한 기존의 방법으로는 좋은 원료를 사용하여 강도를 개선시킴으로써 패신티짐 현상을 방지<sup>1)</sup>하는 정도였으나 이는 원가 상승을 동반하기 때문에 국내 골판지 원지 생산업체의 상황을 고려할 때 적절한 방법이 아니다. 제함 공정 시 온습도를 제어하여 패신티짐 문제를 상당히 줄일 수 있지만 국내 지함사는 대부분 이러한 시설을 갖추고 있지 않기 때문에 매년 겨울철마다 동일한 문제를 겪고 있다. 앞선 연구에서 패신티짐 방지를 위해 저습도 조건에서 라이너지 물성의 이력현상을 평가함으로써 원지의 신장률을 개선하고 골판지 제조 전후 원지 및 골판지의 적재 및 보관 시간 관리를 적절히 수행할 것을 보고한 바 있다.<sup>2)</sup> 그러나 원료 단계에서 패신티짐 방지 기술을 적용한 원지를 사용한 골판지 상자의 패신티짐 여부를 피드백하기 쉽지 않고 패신티짐 평가 방법 또한 마련되어 있지 않아 효과적인 관리가 어려운 실정이다. 현재로서는 패신티짐을 예측할 수 있는 간접적인 방법으로써 패신티부위의 인장강도<sup>3)</sup> 혹은 인열강도를 평가하거나<sup>4)</sup> 패신티를 넣은 종이를 오븐에 넣어 함수율을 조절한 다음 패신티부위의 파열강도를 측정

하는 방법<sup>5)</sup>이 제안된 정도이다. 패신티짐을 평가 혹은 예측할 수 있는 설비 역시 미비한 실정이다. 백판지의 패신티짐 평가와 관련하여 실험용 패신티기가 소개된 바 있고 시편의 한쪽을 클램프에 고정하고 회전시키며 시편의 반대쪽 끝에 걸리는 부하를 측정하여 접힘모멘트를 평가하는 설비가 보고된 바 있다.<sup>6)</sup> 이 설비와 비슷한 원리를 이용하여 creasability tester가 보편화되어 있으나 구부림 각도 및 구부림 속도가 제한적이고 일정 두께 이내의 재료만 시험가능한 한계가 있다. 결국 현실적으로 골판지의 패신티짐을 평가할 수 있는 방법이 거의 없다고 해도 과언이 아니다. 따라서 본 연구에서는 골판지의 패신티짐을 평가할 수 있는 적절한 방법을 고안하고자, 골판지의 접힘 저항을 평가하는 설비를 구축하고 실험적으로 골판지의 패신티짐을 평가하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

국내 E 판지회사에서 분양받은 A골, B골 양면골판지를 공시 재료로 사용하였다. Table 1은 골판지 구성지종을 나타내고 있다.

### 2.2 시편준비

공시 재료의 접힘저항과 패신티 전, 후의 패신티짐을 평가할 수 있도록 공시 재료를 10 cm × 5 cm (MD×CD) 의 크기로 재단하였다.

### 2.3 조습 처리 및 함수율 측정

상대습도 변화에 따른 골판지의 이력현상<sup>2)</sup>을 배제하기 위하여 수거한 공시 재료를 105℃ 오븐에 넣고 2시간 이상 건조시킨 후 꺼내어 38% RH, 25% RH로 설정된 습도조절 챔버에 6시간 동안 조습처리 한 후 함수율을 측정하였다.

**Table 1. Composition of corrugated fiberboard**

Type	Top liner	Corrugating medium	Back liner
A-flute	SK180	K180	K180
B-flute	SK180	K120	K180

### 2.4 패선공정

자체 제작한 실험용 패선기 (Fig. 1)를 이용하여 공시 재료에 패선작업을 실시하였다. 0.4, 0.7, 1.0, 1.4, 2.4 mm의 패선 rule로 패선너비를 조절하였고, 패선 압력은 5 ~ 40 kgf/cm<sup>2</sup>로 달리하였다. 패선시간은 1 ~ 10초로 변화를 주었다.

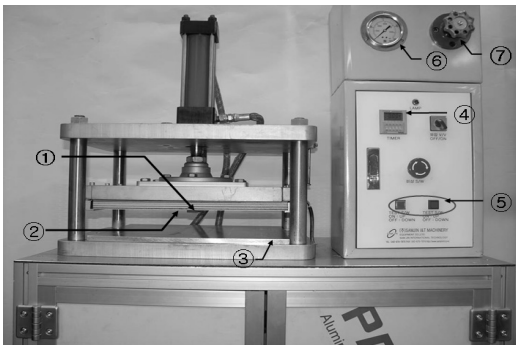


Fig. 1. Picture of laboratory score machine. ① score rule, ② score frame, ③ support plate, ④ timer, ⑤ operation button, ⑥ pressure gauge, ⑦ pressure controller.

### 2.5 접힘저항 측정기

Fig. 2는 자체 제작한 실험용 접힘저항 측정기의 모습이다. 이 설비는 크게 시편을 고정시킬 수 있는 클램프 (1), 시편을 구부리는 접기부 (folding machine, 2), 동력을 가하는 stepping 모터 (3), 접힘 저항을 측정하는 로드셀 (4), 측정된 저항을 힘단위로 변환시켜 표현하는 인디케이터 (5), 접힘 각도 및 속도를 제어하는 콘트롤러 (6), 회전 속도를 조절하는 모터 컨트롤러 (7)로 구성되어 있다.

기존의 creasability 측정기는 백판지와 라이너지에 적용할 수 있으나, 클램프 간격이 좁아 골판지 시편은 물릴 수 없다. 이를 극복하여 다양한 두께의 판지에 범용적으로 적용할 수 있도록 시편을 고정시키는 클램프의 간격을 자유롭게 조절할 필요가 있다. 따라서 본 설비에서는 이중양면 (double wall) 골판지까지 측정할 수 있는 범위인 최대 2 cm까지 클램프 유격을 조절할 수 있도록 하였다. 구부림 각도 및 속도는 stepping 모터로 조절하였다. 또한 클램프에 물린 시편을 구부릴 수 있도록 stepping 모터와 클램프를 지지대로 연결하여 동력을 전달할 수 있게 하였다. 클램프

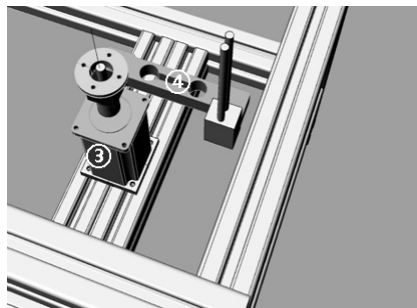
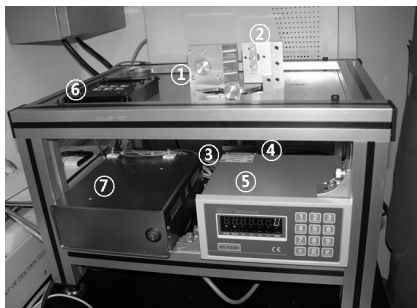


Fig. 2. Picture of laboratory folding resistance tester.

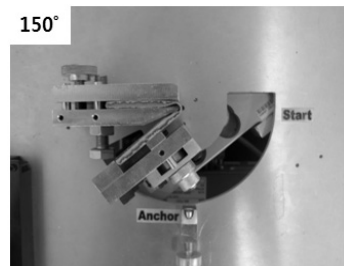
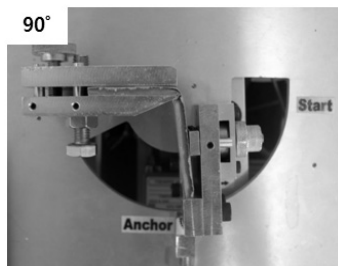
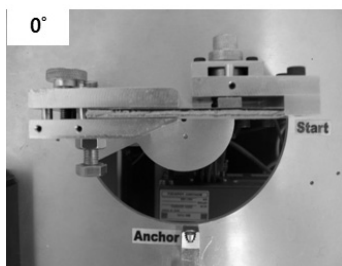


Fig. 3. Picture of folded corrugated fiberboards at the different angle by laboratory folding resistance tester.

프가 시편을 물고 stepping 모터에 의해 회전할 때 발생하는 접힘 저항을 로드셀로 측정하여 이를 접힘저항으로 나타내었다.

모터 컨트롤러는 구부림 각도를 0°에서 150°까지 1° 단위로 조절할 수 있도록 하였으며, 구부림 속도 역시 20단계 (5°/sec ~ 120°/sec)로 나누어 조절할 수 있도록 하였다. Fig. 3은 시편의 초기 위치 (0°) 및 시편을 90°와 150°로 구부린 모습이다.

### 2.6 접힘 저항 측정

실험용 접힘저항 측정기를 이용하여 구부림 각도를 15°에서 120°까지 조절하고 구부림 속도는 5°/sec로 유지하여 벤딩모멘트 구부림 공정을 실시하였다. 압축파괴가 발생하는 최대벤딩모멘트 지점을 정확하게 파악하기 위해서는 실시간으로 많은 양의 데이터를 수집하여야 했다. 이를 위해 구부림 공정 시 로드셀에 감지되는 아날로그 저항 데이터를 디지털 접힘모멘트로 변환할 수 있는 LabView 프로그램 (Ver. 8.2, National Instrument Co.)을 이용하여 초당 100~300개의 데이터를 수집하였다.

### 2.7 패션터짐 평가

실험용 패션강도 측정기를 이용하여 38% RH 및 25% RH의 저습도 조건으로 조습처리한 공시 재료를 클램프에 끼우고 구부림 각도와 속도를 조절하며 구부림 작업을 실시하였다. 구부림 각도는 90°로 하였고 구부림 속도는 25°/sec로 유지하였다. 구부림 이후 골판지 표면의 패션터짐 여부를 육안으로 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 골판지의 접힘 특성 평가

#### 3.1.1 구부림 각도 및 속도의 영향

Fig. 4는 A골 골판지를 실험용 접힘저항 측정기를 이용하여 5°/sec의 구부림 속도로, 구부림 각도를 15°에서 120°까지 조절하였을 때 접힘모멘트를 나타내고 있다. 이전 연구에서 밝힌 바 있는 판지의 접힘 특성 결과<sup>7)</sup>와 같이 구부림 각도에 따라 접힘모멘트 곡선이 동일한 곡선 상에 놓여있다. 즉, 구부림 각도를 달리하여도 골판지가 갖고 있는 최대 접힘모멘트는

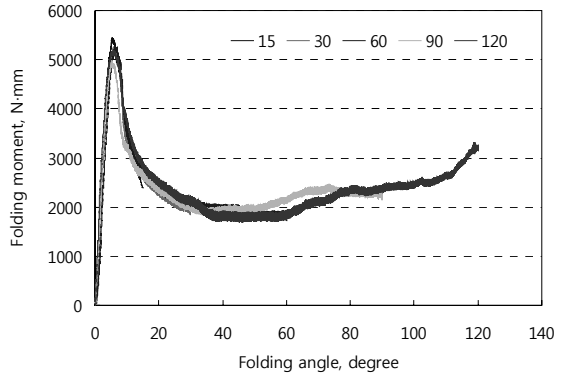


Fig. 4. Folding moment of A flute corrugated board with folding angle.

항상 일정함을 알 수 있다. 라이너지와 백판지는 약 30°~45°의 구부림 각도에서 압축파괴가 발생하는 최대 접힘모멘트 지점이 나타났으며, 이후 충분히 인하여 10% 미만의 모멘트 감소가 발생하였다.<sup>7)</sup> 그러나 Fig. 4의 A골 골판지는 약 5° 부근까지 접힘모멘트가 5 kN·mm 이상으로 선형적으로 증가하다가 최대 접힘모멘트 지점을 지나면 60%이상의 급격한 모멘트 감소가 나타나고 40°의 구부림 이후부터는 완만하게 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 즉, A골 골판지의 경우 매우 작은 구부림 각도에서 최대 접힘모멘트에 도달하고 이후 모멘트 감소폭도 컸다. 이는 골판지가 판지에 비해 매우 두꺼워 상대적으로 큰 접힘저항을 나타내다가 최대접힘모멘트 이상의 힘이 가해지면 골판지 내부의 골까지 무너지기 시작하면서 급격하게 저항이 감소하기 때문으로 판단된다.

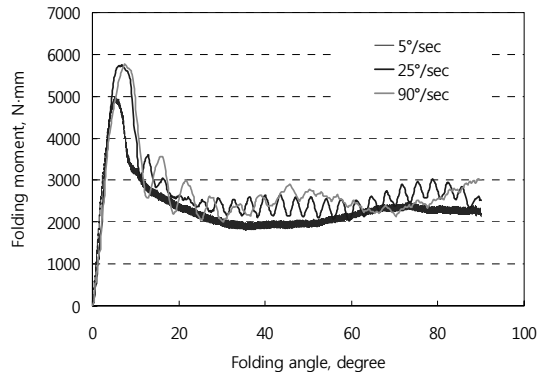


Fig. 5. Folding moment of A flute corrugated board with folding rate.

Fig. 5는 구부림 속도를 달리하였을 때 A골 골판지의 구부림 각도에 대한 접힘모멘트 변화를 나타내고 있다. 구부림 각도는 90°로 동일하게 하였다. 판지의 접힘 특성 결과처럼 구부림 속도가 빨라질수록 데이터 외란이 심하였으며 최대 접힘모멘트 지점을 지난 후 모멘트가 급격히 감소하였다. 판지의 구부림 특성 경향과 같이 최대 접힘모멘트는 구부림 속도가 빨라질수록 증가하였다. 하지만 900°/sec의 구부림 속도까지 접힘모멘트가 선형적으로 증가하던 판지의 접힘특성<sup>7)</sup>과는 달리 25°/sec 이상의 속도에서 최대 접힘모멘트는 5800 N·mm 정도로 거의 일정한 값을 유지하였다 (Fig. 6).

### 3.1.2 패선의 영향

Fig. 7은 0.7 mm의 패선 rule을 사용하여 3초간 5 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으로 패선공정을 실시한 A골 골판지의 접힘모멘트를 나타내고 있다. 패선이 없는 골판지에 비해 접힘모멘트는 거의 1/10 수준으로 감소하였다. 이는 일정 수준 이상의 너비를 갖는 rule에 의해 강제적으로 패선이 들어가 있기 때문에 접힘 시 최외각 라이너지에 전달되는 응력이 패선이 없는 경우에 비해 상대적으로 매우 낮아진 것이다. 그러나 판지의 접힘 특성과는 달리 접힘모멘트 피크가 여러 군데에서 발견되어 모멘트의 증감이 계속 반복됨을 알 수 있다. 패선 룰에 의해 눌린 부분의 두께가 현저히 감소하고 패선부위 주위 역시 패선공정 시 함몰되는 경향이 있으므로 접힘모멘트는 낮은 수준에서 1차 극대 접힘모

멘트에 도달했다가 그 지점을 지나 약간 감소하였다. 골판지의 전체 두께가 두껍고 패선에 의해 눌리지 않은 골들이 있기 때문에 접힘모멘트는 다시 증가하여 2차 극대 접힘모멘트에 이른 후 골 무너짐 현상에 의해 다시 모멘트가 감소하는 것으로 보인다. 라이너지 및 백판지의 경우 패선이 있는 시편의 경우 패선에 의해 이미 층분리가 진행되어 있어서 접힘모멘트 피크가 보이지 않고 압축파괴지점까지 직선적으로 증가하다가 유지되거나 다시 완만하게 증가하는 경향<sup>7)</sup>을 보였으나 골판지는 패선에 의해 무너진 골과 그렇지 않은 골들의 역학적인 관계로 여러 차례의 극대 접힘모멘트 지점이 발생하였다.

패선너비 및 패선압력을 조절하여도 유사한 접힘모멘트 곡선을 얻을 수 있었으며 최종적인 최대 접힘모멘트는 패선이 없는 골판지의 약 1/10 수준임을 알 수 있었다.

### 3.2. 골판지 패선터짐 평가

상대습도에 따른 종이의 함수율 변화는 패선터짐에 크게 영향하므로 시편마다 패선터짐 양상을 구분할 수 있는 적절한 수준의 함수율 수준을 탐색할 필요가 있다. 또한 함수율과 패선공정 변수 중 패선터짐에 영향하는 주요 인자를 판단하는 것이 중요하다. 따라서 공시 재료를 상대습도 38% 및 25%의 습도조절 챔버에서 6시간 이상 조습처리한 후 함수율을 측정하고 결과 Table 2와 같이 골판지의 종류와 처리 습도에 따라 4% - 6%의 함수율을 나타내었다.

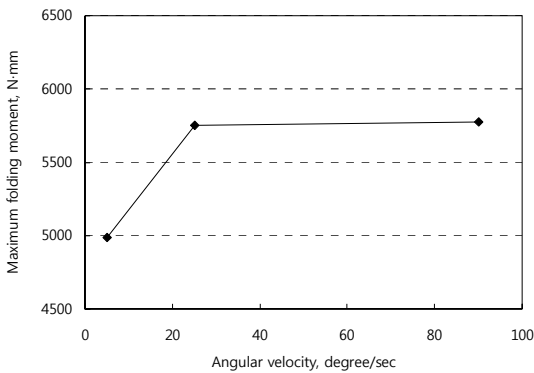


Fig. 6. Maximum folding moment of corrugated fiberboard with different folding rate (A-flute).



Fig. 7. Folding moment behavior of A flute corrugated fiberboard with score.

**Table 2. Moisture content of corrugated fiberboards**

	Moisture content, %	
	25% RH	38% RH
A flute	4.23	5.82
B flute	4.36	6.18

실험용 접힘저항 측정기를 이용하여 각각의 상대 습도에서 조습처리된 A, B 골 골판지의 패선터짐을 평가하였다. 기존 골판지의 패선터짐은 시험자에 의해 시편을 구부린 후 표면의 균열을 관찰하는 것이기 때문에 매우 주관적인 부분이 많다. 그러나 본 연구에서 개발한 설비는 골판지를 stepping motor에 의해 일정한 속도로 구부리기 때문에 객관적인 평가가 가능한 장점을 지니고 있다. 골판지를 25°/sec의 구부림 속도와 90°의 구부림 각도로 구부렸을 때 발생한 패선

터짐이 Tables 3-5에 정리되어 있다. ◎는 터짐현상이 심함, O는 터짐, △는 미세하게 터짐, X는 패선터짐이 발생하지 않았음을 뜻한다.

38% RH에서 A골 골판지는 어떤 패선공정 변수에서도 패선터짐이 발생하지 않았다 (Table 3). 그러나 25% RH에서는 패선공정 변수에 따라 패선터짐이 발생하였다 (Table 4). 즉 골판지의 함수율이 5%이하일 때 패선터짐 발생 확률이 증가하였다. 이는 6%이하의 낮은 습도에서 종이의 신장률이 급격히 저하되기 때문에 패선터짐이 발생할 가능성이 커진 것으로 판단된다.<sup>2)</sup> 1.0 mm의 rule 너비에서는 패선시간 및 패선압력과 큰 상관성 없이 대체로 터짐이 발생하였다. 동일한 패선압력에서는 0.7 mm 이하의 rule 너비에서만 패선터짐이 발견되었다. 즉, 패선너비가 좁으면 패선터짐 현상이 빈번하게 발생할 수 있음을 알 수 있다. 이로부터 패선 시 rule의 너비가 패선터짐에 크게 영

**Table 3. Score crack of A flute corrugated fiberboard after folding at 38% RH**

Rule width, mm	Scoring pressure, kgf/cm <sup>2</sup>	Scoring time, sec				
		1	2	3	5	10
0.4	5	-		x	-	
0.7	5			x		
1.0	5	x	x	x	x	x
	10	-		x	-	
	20			x		
	30			x		
40	x					
1.4	5	-		x	-	
2.4	5			x		

**Table 4. Score crack of A flute corrugated fiberboard after folding at 25% RH**

Rule width, mm	Scoring pressure, kgf/cm <sup>2</sup>	Scoring time, sec				
		1	2	3	5	10
0.4	5	-		△	-	
0.7	5			○		
1.0	5	x	△	x	△	△
	10	-		○	-	
	20			x		
	30			△		
40	△					
1.4	5	-		x	-	
2.4	5			x		

**Table 5. Score crack of B flute corrugated fiberboard after folding at 25% RH**

Rule width, mm	Scoring pressure, kgf/cm <sup>2</sup>	Scoring time, sec				
		1	2	3	5	10
0.4	5			x		
0.7	5			x		
1.0	5	x	x	x	x	x
	10			x		
	20			x		
	30			x		
1.4	5			x		
	5			x		
2.4	5			x		

향하며, 특히 저습도 조건에서 골판지의 낮은 함수율은 패선공정 변수보다 패선터짐에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

B골 골판지의 경우 25% RH 습도 조건에서 패선터짐이 전혀 발생하지 않았다 (Table 5). B골 골판지 역시 A골 골판지와 유사한 함수율을 나타내었으나, B골 골판지의 골높이가 A골의 골높이보다 낮아 접힘시 저항이 작기 때문으로 생각된다. 보통 B골은 2 mm - 3 mm의 골높이를 가지는 반면, A골은 4 mm - 5 mm의 골높이를 가진다. 이는 상대습도가 낮더라도 두께가 현저히 작으면 골판지의 패선터짐이 발생할 확률이 낮음을 의미한다. 즉, 재료의 두께와 상대습도를 패선터짐에 영향을 주는 주요인자로 관리해야 하며, 더불어 패선터짐을 줄이기 위해서는 적절한 패선공정 인자를 선정하여 작업해야 한다. 실험용 패선기와 접힘저항 측정기를 이용한 패선터짐 측정은 골판지 원지 특성, 함수율 및 패선공정 인자의 영향을 객관적으로 평가하는데 매우 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

### 4. 결론

자체 제작한 접힘저항 측정기를 이용하여 골판지의 접힘 특성을 평가한 결과 판지의 접힘 특성 결과처럼 특정 각도에서 최대 접힘모멘트가 나타나고 이후 급격하게 모멘트가 감소하는 경향을 보였다. 단, 최대 접힘모멘트가 발생하는 각도는 판지에 비해 작은 5° 근처였다. 구부림 속도를 달리한 경우 속도의 증가에

따라 접힘모멘트가 증가하였으며, 일정 속도 이상에서는 모멘트 값이 일정해짐을 알 수 있었다. 패선이 들어간 골판지의 경우 패선에 의한 골 무너짐 현상과 파괴되지 않은 골 사이의 구조적 역학관계에 의하여 구부림 각도에 대한 접힘모멘트 곡선에서 여러 차례의 극대피크가 발견되었다. 또한 최대 접힘모멘트는 패선이 없는 골판지에 대해 약 1/10정도의 수치를 나타냈다. 본 연구를 통해 제작된 실험용 접힘저항 측정기는 접힘 각도 및 속도를 자유롭게 조절할 수 있고 시편의 두께에 대한 한계를 확장시킴으로써 라이너지와 같은 다층판지 뿐만 아니라 다양한 골판지의 접힘저항 및 패선터짐 측정에 범용적으로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

뿐만 아니라 실제 골판지의 패선터짐여부를 평가한 결과 두께가 두꺼운 A골 골판지가 매우 낮은 상대습도에서 5% 미만의 함수율을 갖는 경우 패선터짐이 발생하였으며 패선공정 시 패선 물의 너비가 좁을수록 그 경향이 심화되었다. 실험용 패선기와 접힘저항 측정기를 이용한 패선터짐 측정은 골판지 원지 특성, 함수율 및 패선공정 인자의 영향을 객관적으로 평가하는데 매우 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

### 사사

본 연구는 산업자원부 신기술실용화기술개발사업 지원에 의해 수행되었음. 골판지 원단을 공급해주신 유진판지(주)에 감사드립니다.

## 인용문헌

1. Carbone, J.T., Corrugating defect/remedy manual, 6th ed., pp.176-177, TAPPI Press (1999).
2. Youn, H.J., Lee, H.L., Chin, S.M., Choi, I.S., Physical properties of linerboard and corrugated fiberboard at the cyclic condition of low humidity, J. Korea TAPPI 39(2):38-44 (2007).
3. Japan Pulp and Paper, Board crackings of creased lines: Survey of the causes and measures, Japan Pulp Paper 22(4):53-57, (1985).
4. Wilson, L., WOS Annual Meeting, Printing Industries of America, Sep. (1980).
5. Colley, J., The creasing cracking tendency of light-weight coated magazine papers, Part I : Development of test method, Appita 35(4):299-302 (1982).
6. Calvin, S. I., The unique convertibility of paperboard, Packaging Technology and Science 1(2):77-92 (1988).
7. Chin, S.M., Ryu, J.H., Kwon, H.S., Youn. H.J., Evaluation of folding properties of paperbaord with folding angle and rate, J. Korea TAPPI 39(3):30-35 (2007).