

패션터짐과 라이너지 물성간의 상관성 분석

진성민 · 윤혜정[†] · 이학래
(2008년 10월 2일 접수: 2009년 2월 25일 채택)

Correlation Analysis Between Physical Properties of Linerboard and Score Crack

Seong Min Chin, Hye Jung Youn[†], and Hak Lae Lee
(Received October 2, 2008; Accepted February 25, 2009)

ABSTRACT

Cracking of scored or creased lines on boards is a serious problem in converting process of corrugated fiberboard. It is important to reduce the possibility of score crack in advance by controlling the related quality factors of linerboard. To find out the key properties affecting score crack, we carried out the correlation analysis between score crack and physical properties of linerboards. Score crack was evaluated by visual rating on surface crack after folding a linerboard using laboratory folding resistance tester. Thickness of linerboard was the most important factor to score crack. The critical limits of thickness and strain can be determined by correlation analysis for reducing the possibility of score crack.

Keywords : score crack, linerboard, correlation analysis, thickness, strain

1. 서론

판지 및 골판지의 패션터짐은 최종단계의 품질불량으로 소비된 원료와 에너지 측면에서 손실이 막대한 문제이다. 더욱이 패션터짐은 골판지 제함 작업 중 대기 조건에 민감하게 영향받기 때문에 그 근본적인 원인을 분석하는 데 있어 판지 제조업체와 제함사간의 책임여부가 불분명한 경우도 발생하게 마련이다. 판지제조에서 제함공정까지 One-stop 공정이 가능

하다면 그 원인을 찾는 데 수월하겠지만 현재 국내의 판지, 골판지 업계의 상황은 그렇지 못하다. 따라서 제함사 및 판지 제조사 모두가 패션터짐 방지에 대한 노력을 지속해야 하며 상호간에 유기적인 피드백이 이루어져야 할 것으로 보인다.

일반적으로 패션터짐은 저급한 원지 물성, 수분 조건 등에도 영향을 받지만¹⁾, 제함 공정 시 패션 롤의 모양²⁾, 너비³⁻⁷⁾, 패션 깊이⁷⁻⁸⁾ 등 여러 가지 인자들이 패션터짐에 영향한다고 알려져 있다. 이 밖에 판지의 접합

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

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

특성에 관한 이전 연구⁹⁾에서 낮은 구부림 속도 및 넓은 패선 롤의 사용이 패선터짐 방지에 유리한 것으로 보고된 바 있다. 이와 같은 패선 공정 인자 조절뿐 아니라 판지의 제조 시에도 패선터짐 방지를 위한 노력이 계속되고 있다. 미면에 패선터짐 불량을 줄이기 위해 판지 제조사에서는 패선터짐에 직접적인 영향을 미치는 물성을 주요 품질인자로 정하여 관리하는 것이 바람직하다. 저습도 조건에서 패선터짐이 주로 발생하는 데 착안하여 저습도 조건에서 급격히 저하되는 물성을 탐색하는 연구를 통해 신장률의 중요성이 알려졌다.¹⁰⁾ Emslie 등⁶⁾은 판지의 접힘 특성에 관련하여 탄성계수가 지배적인 역할을 하며 패선터짐 방지를 위해 다층판지에서 표면과 이면의 인장강도가 우수해야 한다고 보고하였다. 즉, 패선터짐에 관련하여 판지의 여러 기계적 물성이 복합적으로 작용한다. 따라서 본 연구에서는 제조 조건이 유사한 라이너지를 수집하여 물성과 패선터짐을 평가하고 통계적 기법으로 그들 간의 상관성을 분석함으로써 패선터짐 방지에 효과적인 물성을 선정하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

국내 A사에서 각기 다른 일시(9회)에 생산한 300 gsm의 라이너지를 분양받아 사용하였다.

2.2 시편 준비

판지의 접힘 특성에 관한 이전 연구⁹⁾에서 접힘 저항은 재료의 두께에 직선적으로 비례하므로 골판지에 비해 두께가 현저히 낮은 라이너지는 실험적으로 평가할 때 가혹한 저습도 조건을 제외하고는 패선터짐이 발생하지 않는다. 따라서 라이너지의 패선터짐을 실험적으로 명확하게 파악할 수 있도록 라이너지 이면에 UKP 펄프시트를 접착제로 붙여 두께를 증가시켰다.

2.3 조습 처리 및 함수율 측정

상대습도 변화에 따른 라이너지 및 골판지의 이력현상¹⁰⁾을 배제하기 위하여 공시 재료를 105℃ 오븐에 넣고 2시간 이상 건조시킨 후 꺼내어 25% RH로 설정된

습도조절 챔버에 다시 넣고 1시간, 2시간, 4시간, 8시간 간격으로 조습처리 하였다. 각각의 시간이 지난 후 조습 처리된 공시 재료를 꺼내어 함수율을 측정하였다.

2.4 라이너지 물성 측정

라이너지의 물성과 패선터짐 간의 상관성을 파악할 수 있도록 라이너지의 두께, 인장강도, 신장률, 탄성계수, 압축강도, 휨강성을 TAPPI Test Method T410 om-97, T494 om-96, T822 om-93, T556 pm-95에 의거하여 측정하였다.

2.5 패선터짐 평가

시편의 함수율을 패선터짐이 발생할 수 있는 수준 즉, 5% 이하로 맞추기 위하여 105℃의 오븐에서 건조된 라이너지를 25% RH 습도조절 챔버에서 1, 2, 4, 8 시간동안 조습처리한 후, 실험용 접힘저항 측정기로 구부림 작업을 수행하였다. 패선터짐 평가 조건은 25°/sec, 90°의 구부림 각도로 유지하였다. 구부림 이후 접힘 부분의 최외각 라이너지 표면에 Lansco light를 조사하여 표면의 터짐(crack)을 관찰하고 디지털 카메라로 이미지를 저장하였다. 패선터짐 발생 정도를 정량적으로 평가하기 위해 3점법으로 등급을 매겼다. 패선터짐이 발생되지 않은 경우는 0점으로, 미세한 터짐은 1점, 터짐 발생은 2점, 심한 터짐은 3점을 부여했다.

2.6 패선터짐과 라이너지 물성간의 상관성 해석

라이너지의 물성을 통해 패선터짐을 예측할 수 있는 모델을 구축하기 위해 라이너지 물성과 패선터짐 간의 통계분석을 실시하였다. 패선터짐과 라이너지 물성간의 상관계수는 Pearson Product Moment 상관계수(R)¹¹⁻¹²⁾로서 구하였으며, 이 때 95% 신뢰도 수준에서 p값으로 유의성 검정을 실시하였다. R 값의 범위는 -1에서 +1까지이며 R이 1에 가깝다는 것은 두 변수간의 선형관계가 강하다는 것을 의미하며, R이 0에 가깝다는 것은 두 변수간의 1차함수관계의 밀접도가 아주 미약하다는 것을 의미한다. 일반적으로 R이 0.4 이상이면 상관관계가 있다고 판단하며 0.7 이상이면 상관성이 높은 것으로 간주한다.¹²⁾

3. 결과 및 고찰

3.1 라이너지의 패선타집 평가

상대습도 25% 조건의 습도조절 챔버에서 1시간, 2시간, 4시간, 8시간 조습처리한 후 라이너지의 함수율을 측정된 결과는 Table 1과 같다. 오븐에서 건조 후 25% RH에서 2시간 조습처리할 때까지 함수율은 4% 미만으로 매우 낮았으나 4시간을 지나면서 함수율은 4% 이상으로 상승하였다. 8시간 이상에서는 함수율에 큰 차이가 없었으며 8시간 조습처리 시 함수율은 약 4.7% 수준이었다.

실험용 접힘저항 측정기를 이용하여 라이너지의

Table 1. Moisture content of linerboards after conditioning at 25% RH

Conditioning time, hr	1	2	4	8
Moisture content, %	3.38	3.74	4.43	4.69

구부림 공정 후 패선타집 정도를 구분하여 Table 2에 제시하였다. 생산 일시가 다른 각기 다른 시편 9종을 구분하기 위하여 편의상 I-IX까지 번호를 부여하였다. ◎는 터짐이 심함, ○는 터짐, △ 터짐이 미약함, ×는 터짐 발생하지 않음을 의미한다.

구부림 이후의 라이너지 표면을 관찰한 결과 조습 시간이 2시간 이내인 경우 즉, 함수율이 4% 미만인 경

Table 2. Score crack of linerboards after conditioning at 25% RH

Sample	Conditioning time, hr			
	1	2	4	8
I	◎	◎	△	○
II	◎	◎	○	◎
III	◎	◎	△	△
IV	◎	◎	X	X
V	◎	○	△	△
VI	◎	○	△	△
VII	◎	◎	◎	◎
VIII	◎	○	△	△
IX	◎	○	X	△

Table 3. Score crack image of linerboards after conditioning at 25% RH

Conditioning time, hrs	The severest cracking (VII)	Mild cracking (III)	Mild cracking (IX)	No cracking (IV)
4				
8				

우 모든 라이너지에서 패션터짐이 심하게 발생하였다. Table 3은 구부림 이후 패션터짐 여부를 디지털 카메라로 저장한 시편의 표면 이미지 중 25% RH 조건에서 4 시간 이상 조습처리 이후 터짐여부가 가장 심한 것 (VII), 약하게 터진 것 (III, IX), 터짐 현상이 일어나지 않은 것 (IV)을 구분한 것이다. VII번 라이너지는 조습시간을 8 시간으로 길게 하여 함수율이 4.7% 까지 증가하여도 패션터짐이 심하게 발생되었으며, III, IX 번 라이너지는 4시간 이후 조습시간부터 패션터짐이 다소 약하게 발생되었다. 일정 시간 이상 조습처리를 받아 4.5% 이상의 함수율에선 패션터짐이 현저히 줄어들음을 알 수 있다. 특히 IV번 라이너지의 경우 4시간 이상의 조습처리 상태에서는 라이너지 표면에서 패션터짐 현상을 발견할 수 없었다.

3.2 패션터짐에 영향하는 라이너지 물성 비교

패션터짐 평가에 사용한 라이너지의 물성을 평가하여 Table 4에 제시하였다. 동일한 공장에서 생산한 동일지종이라도 물성이 상이하었는데, 이는 재활용 섬유를 원료로 다량 사용하기 때문에 원료 품질의 균일성이 확보되지 않음을 의미한다. 따라서 패션터짐과 관련되는 종이의 중요 물성을 찾아 관리하는 것이 패션터짐 불량을 줄이는 데 큰 기여를 할 것으로 판단된다.

패션터짐이 가장 심했던 VII번 라이너지의 물성을 살펴보면 두께가 두껍고 인장지수가 67 N·m/g 수준으로 다른 생산일자 라이너지들에 비해 현저히 떨어졌다. 뿐만 아니라 신장률과 탄성계수가 2.06%, 5.27

GPa로 매우 낮았다. 반면 4% 이상의 함수율에서 패션터짐이 발견되지 않았던 IV번 라이너지의 경우 두께가 381 μm 로 상대적으로 매우 작고 신장률 및 탄성계수가 2.26%, 5.58 GPa로 비교적 높게 나타났다. 비교적 패션터짐이 덜 발생했던 III번 라이너지는 신장률은 2.05%로 낮았으나 탄성계수가 5.76 GPa로 매우 높았다. IX번 라이너지는 두께도 작고 신장률이 2.47%로 다른 라이너지들에 비해 매우 높았으나 탄성계수는 5.40 GPa로 그다지 높지 않았다.

3.3 통계적 방법을 이용한 상관성 분석

패션터짐을 육안으로 평가하여 3점법으로 표시하였기에 물성과 상관성을 표현한다는 것이 다소 무리일 수 있으나, 패션터짐과 관계있는 주요 물성을 탐색하고 물성의 기준을 선정하는 데에는 상관성 분석이 큰 의의를 가진다. 따라서 패션터짐과 각각의 물성 인자간의 관계를 Figs. 1-6에 도시하였다. 패션터짐 (Y)과 각각의 물성 (X)을 공분산상의 두 변수로 간주하고 상관계수를 계산하였으며 95% 신뢰도에서 유의성 검정을 실시하였다. 신뢰도 수준이 95%이므로 p값이 0.050이하일 때 두 인자 간에 유의한 상관성이 있다고 보며, R 값이 (+)일 경우 양의 상관관계, (-)일 경우 음의 상관성이 있다.

Fig. 1로부터 패션터짐과 두께 간에는 상관계수가 0.838로서 매우 높은 양의 상관성이 존재하는 것으로 나타났다. p값 역시 0.005 수준으로 유의수준 0.05에 비해 매우 낮으므로 충분한 유의성이 있다고 판단된다. 1점은 패션터짐이 매우 미약하기 때문에 2점 이상

Table 4. Physical properties of linerboards

Sample	Thickness, μm	Apparent density, g/cm^3	Tensile index, $\text{N} \cdot \text{m}/\text{g}$	Strain, %	Elastic modulus, GPa	Bending stiffness, mN	RCT, kN/m
I	421	0.70	81	2.12	6.01	266	4.43
II	421	0.68	69	2.11	5.47	239	4.09
III	401	0.72	75	2.05	5.76	246	4.02
IV	381	0.74	74	2.26	5.58	217	4.27
V	404	0.74	80	2.29	5.75	249	4.07
VI	391	0.75	84	2.38	5.94	245	4.15
VII	411	0.71	67	2.06	5.27	241	4.14
VIII	398	0.71	71	2.21	5.38	230	3.92
IX	385	0.75	76	2.47	5.40	211	4.13

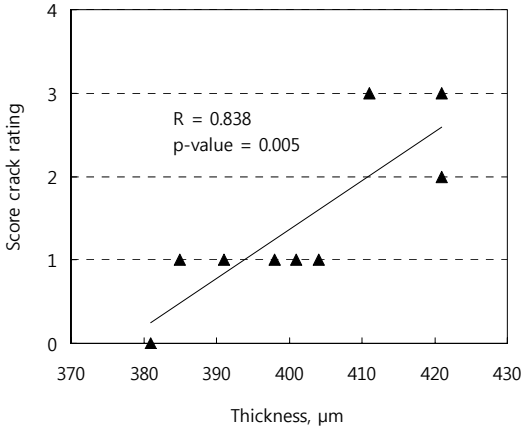


Fig. 1. Relationship between score crack rating and thickness.

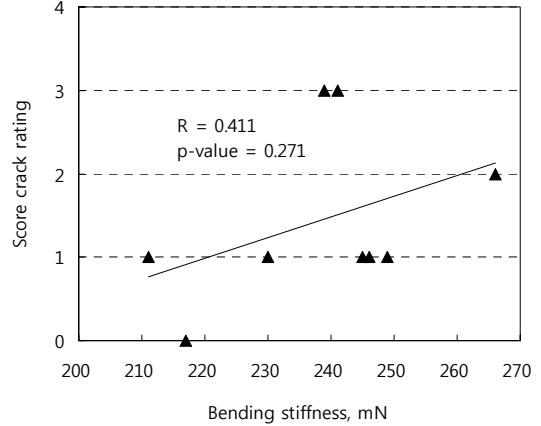


Fig. 2. Relationship between score crack rating and bending stiffness.

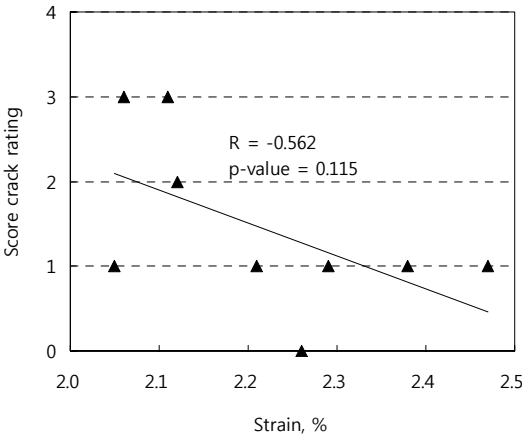


Fig. 3. Relationship between score crack rating and strain.

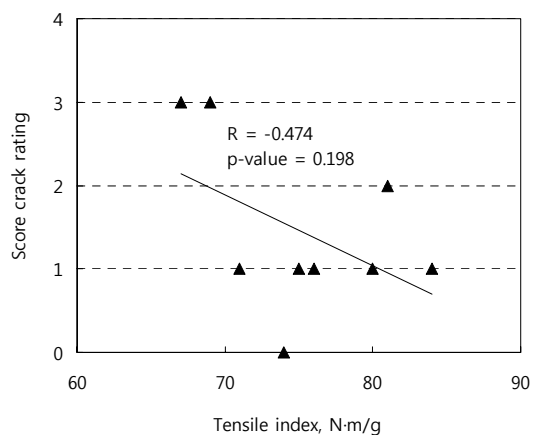


Fig. 4. Relationship between score crack rating and tensile index.

을 패선터짐이 발생하는 임계점이라고 간주하면, 410 μm 이상의 두께, 즉 0.73 g/cm³의 이하의 밀도에서 패선터짐 발생이 심하였다. 두께의 경우처럼 휨강성도 양의 상관관계를 보였다 (Fig. 2). 이는 두께와 휨강성이 크면 패선터짐 방지에 이롭지 못함을 의미한다. 그러나 휨강성은 상관계수가 0.411로서 상관관계는 있으나 그 정도는 미미하고 p값이 0.271로서 매우 높아서 유의성이 충분치 못하였다. 이는 휨강성이 두께만의 함수는 아니기 때문이라 생각된다.

두께, 휨강성과는 반대로 인장강도, 신장률은 패선터짐과 음의 상관관계를 나타내었다 (Figs. 3-4). 신장률 (Fig. 3)과 인장강도 (Fig. 4)는 상관계수가 0.4 이상

으로 나타나 어느 정도 패선터짐과 상관성이 있는 것으로 판단된다. p값이 각각 0.115, 0.198로서 유의성은 통계적으로 충분치 않으나 인장강도와 신장률의 개선이 패선터짐 방지에 기여할 수 있음을 알 수 있다. 특히 신장률의 경우 2.15% 이상에서 점수가 1점 이하로 감소하는 것으로 보아 패선터짐 방지를 위해 2.15% 이상의 신장률을 유지하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 이에 반해 탄성계수와 압축강도는 상관계수가 각각 -0.265, 0.058이고 (Figs. 5-6), p값은 0.271, 0.882로서 패선터짐에 크게 상관하지 않는 것으로 보였다. 이를 통해 두께가 작고, 신장률이 높은 라이너지에서 패선터짐이 덜 발생함을 알 수 있었다.

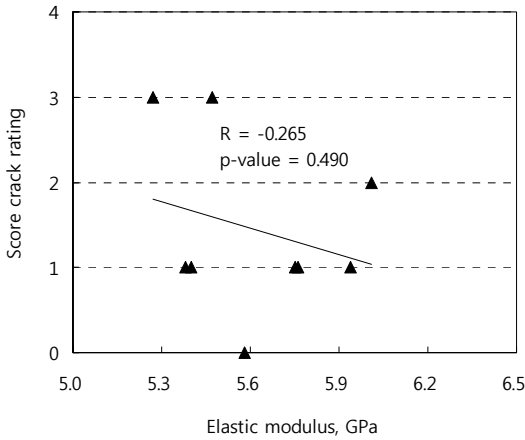


Fig. 5. Relationship between score crack rating and elastic modulus.

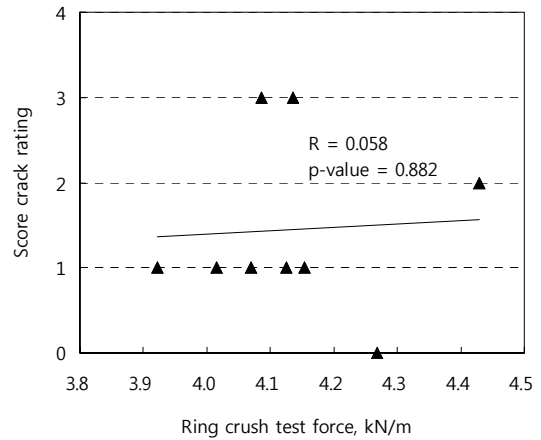


Fig. 6. Relationship between score crack rating and ring crush compressive resistance.

4. 결론

생산 일시가 다른 라이너지를 수거하여 25% RH의 저습조건에서 시험용 접합저항 측정기를 이용하여 패션터짐을 평가한 결과 라이너지의 물성에 따라 패션터짐 현상이 달리 나타났다. 3점법과 통계기법을 이용한 라이너지의 물성과 패션터짐간의 상관성을 분석한 결과 패션터짐은 여러 물성 중 두께와 가장 큰 상관관계를 보였으며 신장률, 인장강도, 휨강성 순으로 유의성을 갖는 것으로 판단되었다. 그러나 탄성계수와 압축강도는 매우 낮은 상관계수를 가지는 것으로 보아 이 물성들 자체로는 패션터짐에 크게 영향하지 않는 것으로 생각되었다. 패션터짐과 라이너지의 물성을 비교함으로써 패션터짐이 발생하기 쉬운 라이너지의 물성 기준치를 파악할 수 있었다. 본 시험에서 평가한 300 gsm의 라이너지의 경우 두께와 신장률의 경우 약 410 μm 이상의 두께에서, 약 2.15% 이하의 신장률에서 패션터짐 발생이 심하였다. 따라서 라이너지 생산 시 두께와 신장률을 기준치에서 벗어나지 않도록 관리하는 것이 중요하다.

사사

본 연구는 산업자원부 신기술실용화기술개발사업 지원에 의해 수행되었음. 라이너지를 공급해주신 아세아페이퍼텍(주)에 감사드립니다.

인용문헌

1. Carbone, J.T., Corrugating defect/demedy manual, 6th ed., pp.176-177, TAPPI Press (1999).
2. Cox, C., Corrugator major components, Maintenance and operating guidelines, 2nd ed., TAPPI Press, pp.63-83, (1997).
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. Young, J.R., The creasing properties of carton board, Converting Industry, Sep., pp.2-12 (1968).
5. Kunkel, K.T., Rotary diecutting, Dimensional accuracy control, TAPPI Press, p.23 (1992).
6. Emslie, A.G., and Brennman, R.S., A theoretical and experimental study of the scoring and bending of box-board, Tappi 50(6):289-297 (1967).
7. Calvin, S. I., The unique convertibility of paperboard, Packaging Technology and Science, 1:77-92 (1988).
8. Hine, D.J., The rigidity/flexibility balance in the creasing of paper based boards, Appita 40(4):375-378 (1987).
9. 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).
10. 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).
11. 이종원 · 최중원 공저, 제 11장. 회귀분석, SAS를 이용한 통계분석, 3rd ed., 박영사, pp.391-470 (1999).
 12. 최태성 · 김성호 공저, 제 12장. 회귀분석, 통계학, 다산출판사, pp.447-516 (2000).