

저습도 사이클 조건에서의 라이너지와 골판지의 물성

윤혜정[†] · 이학래 · 진성민 · 최익선
(2007년 1월 6일 접수: 2007년 5월 22일 채택)

Physical Properties of Linerboard and Corrugated Fiberboard at the Cyclic Condition of Low Humidity

Hye Jung Youn[†], Hak Lae Lee, Seong Min Chin, and Ik Sun Choi

(Received January 6, 2007: Accepted May 22, 2007)

ABSTRACT

The hygroscopic property of paper is important for convertability and end use performance. When the board and corrugated fiberboard are exposed to low relative humidity, a trouble of score (or crease) cracking could occur. In this study, we evaluated the moisture content and mechanical properties of linerboard and corrugated board at the cyclic condition of low humidity to prevent a score crack trouble. As the relative humidity decreased from 50% to 38% and 25%, the moisture content of linerboard decreased about 7% to 6% and 4%. At low humidity, most of mechanical properties were improved except for strain. The linerboard exposed at 25% RH showed a remarkable reduction of strain by 11%. At the same relative humidity, linerboard and corrugated fiberboard showed the different property values depending on moisture hysteresis.

Keywords : *linerboard, corrugated fiberboard, low humidity, cycle, score crack, strain*

1. 서론

종이는 흡습성의(hygroscopic) 물질이기 때문에 주변 환경의 수분 조건에 민감하게 반응한다. 즉 높은 습도 조건에 노출될 경우 종이의 셀룰로오스 섬유는 대기의 수분을 흡착하며, 반대로 저습조건에서는 방출하는

특성을 보인다. 이에 따라 종이의 치수와 무게가 변할 뿐 아니라 인장강도, 파열강도 등 다양한 물리적 특성이 영향 받는다.¹⁻²⁾ 수분에 대한 종이의 반응은 지중에 관계없이 문제를 야기하는데, 인쇄용지는 켈 등의 치수 불안정성이 인쇄 시 조업성을 악화시키며, 골판지와 같은 포장재는 강도 변화로 인한 성능 저하의 문제를 겪게

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

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

된다. 골판지의 경우 제품 보호가 가장 주요한 요구 특성인데, 수분에 의해 변화되는 강도는 품질을 떨어뜨리게 된다. 친환경성이며 비강도가 높기 때문에 전체 포장재의 50%를 차지하는 골판지의 사용량은 최근 택배와 농산물 포장 등으로 인해 더욱 늘어날 전망이다. 따라서 골판지의 물성을 향상시키거나 또는 수분에 대한 골판지의 물성 변화를 최소화시키는 것이 사용 시 성능에 대한 만족도를 높일 수 있는 길이다. 수분과 관련된 골판지 연구는 주로 고습도에서의 압축강도 저하와 크리프 (creep) 특성 평가였으며, 최근에는 농산물 포장에 증가되면서 냉장 저장 시 강도 변화와 강도 개선을 위한 연구가 진행되어 왔다.³⁻⁵⁾ 종이 수분을 수축할 경우 강도가 저하되는 것을 우려하였기 때문에 대부분의 연구는 습도가 높은 조건에서 또는 고습도 사이클 조건에서 실시되었다. 그러나 골판지는 습도가 낮은 조건에 노출되었을 때도 결함을 갖게 되는데, 대표적인 것이 패션터짐 (score or crease cracking)이다. 기상청 자료에 의하면 국내의 경우 9월로 넘어가면서 상대습도는 40%이하를 나타내며 동절기의 경우 20% RH 안팎의 상대습도를 나타낸다. 이러한 동절기의 저습도 조건에서 골판지는 패션 넣은 부분이 접힘에 의해 터지는 현상을 종종 겪게 되는데 이를 패션터짐이라 한다.⁶⁻⁸⁾ 골판지로부터 상자를 제조하는 공정상에서 발생하는 패션터짐은 최종 단계의 품질 불만 사항이기 때문에 비용 손실이 매우 크다고 볼 수 있다. 제함 과정이 온습도가 조절되는 조건에서 이루어질 경우 패션터짐 문제를 상당히 줄일 수 있지만 국내 지함사는 대부분 이러한 시설을 갖추고 있지 않기 때문에 매년 겨울철마다 동일한 문제를 겪고 있다. 패션터짐 불만은 라이너지 생산업체에 책임이 지워지는 경우가 종종 있기 때문에 라이너지 생산업체도 동절기에는 패션터짐을 억제하거나 줄일 수 있는 품질을 갖춘 종이를 생산하고자 노력하고 있다. 그렇지만 저습도 조건에서의 라이너지 및 골판지의 품질에 대한 연구는 미비한 편이다. 일반적으로 종이 저습도 조건에 노출될 때 신장율과 인열강도를 제외한 대부분의 강도가 향상된다고는 알려져 있지만, 라이너지와 골판지에 있어서 저습도 조건 특히 순환적인 습도 조건 변화에 따른 함수율 및 강도 특성에 대해 평가한 경우는 찾기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 평량이 상이한 대표적 상용 라이너지와 골판지의 저습도 사이클 조건에서 수분 및 강도적 성질을 평가하여 저습도 조

건에서의 주 트러블인 패션터짐을 억제할 수 있는 주요 물성을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

저습도 조건에서의 물성 변화를 평가하기 위해 국내 A사에서 제조한 상용 크래프트라이너지를 이용하였다. 라이너지의 평량은 225 g/m^2 과 300 g/m^2 로 달리하였다. 또한 골판지의 특성을 평가하기 위해 국내 E 판지에서 분양받은 A골 골판지를 이용하였다. A골 골판지는 SK180/K180/K180으로 구성되었다.

2.2 실험방법

2.2.1 시편 준비

2.1항에 제시된 공시재료를 각 물성 측정에 적합한 크기로 절단하여 준비하였다.

2.2.2 조습처리

TAPPI method 402 sp-98에 의거하여 23°C , 50% RH 조건으로 24시간 이상 조습처리 하였다. 이어 저습도 사이클 조건에서의 물성 평가를 위해 준비된 시편은 Fig. 1에 보이는 습도 조절 챔버(humidity chamber)에서 일정 상대습도로 조습처리 되었다. 습도 조절 챔버는 하부에 습도조절포화용액을 담을 수 있는 수조가 있으며 상부에 시편을 달아 놓을 수 있는 장치로 구성되었으며, 균일한 습도를 유지하기 위해 공기순환 장치를 갖추고 있다. 내부에 휴대용 온습도계를 설치하

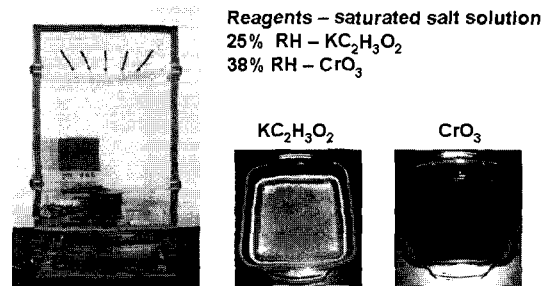


Fig. 1. Picture of humidity chamber and reagents to control the relative humidity.

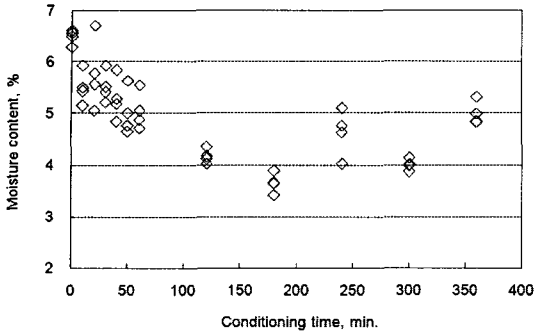


Fig. 2. Moisture content of a corrugated fiberboard with conditioning at 25% RH.

여 챔버 내 습도가 잘 조절되는지 확인할 수 있었다. 본 연구에서 상대습도 변화는 50% → 38% → 25% → 38% → 50%로 변화시켰으며 각 단계마다 6시간 이상 조습처리하여 평형함수율에 도달하게 한 후 물성을 측정하였다. Fig. 2는 25% 상대습도 조건에 노출시킨 골판지의 함수율 변화를 보여주고 있다. 대략 2시간 정도 지나면 평형함수율에 이르는 것으로 판단되었으나, 본 연구에서는 6시간을 조습처리 시간으로 설정하였다. 25% RH 조건은 $KC_2H_3O_2$, 38% RH 조건은 CrO_3 의 시약⁹⁾으로 만든 포화용액을 이용하였다.

2.2.3 함수율 및 강도특성 평가

각 상대습도 조건에서 충분히 조습된 시편의 함수율과 강도를 측정하였다. 함수율은 오븐 건조법을 이용하여 평가하였으며, 강도적 특성으로 평량, 두께, 인장강도, 신장율, 탄성계수, 압축강도, 파열강도를 TAPPI method T410 om-98, T410 om-97, T494 om-96, T822 om-93, T403 om-97에 의거하여 평가하였다. 골판지의 물성으로는 수직압축강도 (ECT)와 파열강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 상대습도 변화에 따른 함수율 변화

Fig. 3은 상대습도 변화에 따른 300 gsm의 라이너지 및 A골 골판지의 함수율 변화를 나타내고 있다. 50% RH 조건에서 라이너지는 약 7.2%, A골 골판지는 7.0%의 함수율을 나타내었다. 대기습도를 50%에서 38%,

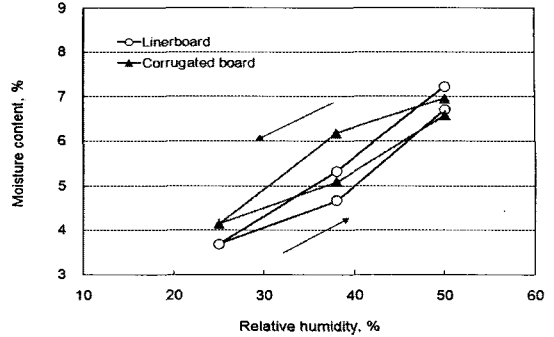


Fig. 3. Moisture content of linerboard and corrugated fiberboard with the cyclic change of relative humidity.

25%로 낮추게 되면 라이너지의 함수율은 5.3%, 3.7%로 감소하였고 다시 대기습도를 38%와 50%로 높일 경우 4.7%, 6.7%로 증가하였다. 골판지의 경우 7.0%의 함수율은 습도가 낮아짐에 따라 6.1%, 4.2%로 변화되었으며, 이후 증가된 상대습도에 노출되었을 때 5.1%, 6.6%의 함수율을 나타내었다. 이 지종은 전형적인 수분의 수착 및 탈착 특성을 보이고 있지만, 평량 및 구조적 특성의 차이로 인해 종이 가 갖는 함수율에는 차이가 있었다. 라이너지와 골심지로 구성된 골판지는 평량이 높고 완충될 수 있는 공간이 존재하며 골심지의 경우 재활용 횟수가 높아 각질화가 더 되었기 때문에 동일한 대기조건에 노출되었더라도 라이너지에 비해 대기습도에 대한 반응이 상대적으로 낮았다. 즉, 상대습도가 저하됨에 따라 함수율의 감소는 더 적게 발생되었으며, 25% 상대습도 노출 후 습도를 다시 올려 38%의 습도에 노출되었을 때 탈착 시에 비해 더 낮은 함수율을 나타내었다.

상대습도 50%와 38% 조건에서 수착 시와 탈착 시 시편의 함수율 차이를 탈착 시 함수율로 나누어 Fig. 4에 나타내었다. 동일한 상대습도이지만 어떤 조건을 거쳤느냐에 따라 시험편이 갖는 함수율은 달라지는데 이를 이력현상(hysteresis)이라고 한다. 본 연구에서는 동일 상대습도에서 함수율의 차이를 탈착시의 함수율에 대한 백분율로서 이력현상을 표현하였다. 그 결과 300 gsm 라이너지의 경우 38%, 50% RH 조건에서 함수율 이력현상은 각각 12%, 7% 가량 발생하였으며, A골 골판지는 약 18%, 6% 가량의 이력현상이 나타났다(Fig. 4). 이를 통해 저습조건에서 이력현상이 더욱 두드러짐

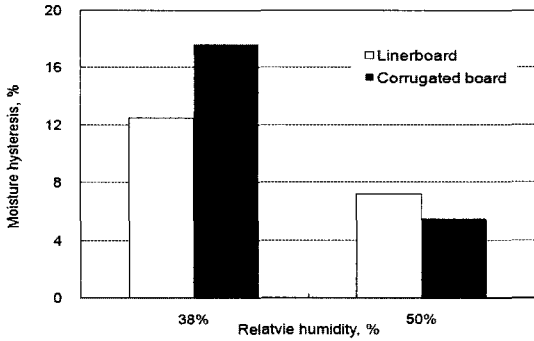


Fig. 4. Moisture hysteresis of linerboard and corrugated fiberboard.

을 알 수 있다. 즉, 동절기와 같은 저습조건에서 라이너지 및 골판지가 장시간 대기습도에 노출되면 함수율이 더욱 낮아지는 결과를 초래할 수 있음을 의미한다.

3.2 라이너지의 강도 특성

Fig. 5는 저습도조건에서 상대습도의 변화에 따른 인장강도 및 신장율의 변화를 보여주고 있다. 그래프에서 화살표는 함수율이 변화되는 방향을 보여주는 것으로 인장강도의 경우 아래 커브에서 위쪽 커브로 변화되는 경우이다. 즉 상대습도가 낮아질 때 인장강도는 점점 증가(아래쪽 커브)하다가 다시 상대습도를 높이면 강도가 감소(위쪽 커브)의 형태를 띠지만, 신장율은 반대의 경향을 보였다. 25% RH 조건에서의 신장율은 50% RH 조건에 비해 11% 정도로 급격하게 감소하였다. 인장강도의 경우 인장지수로 표현했음에도 불구하고 본 연구에서 평가한 300 gsm은 상대적으로 225 gsm 보다 원료 조건이 우수했던 것으로 보인다. 평량에 관계없이 인장강도와 신장율은 평균값은 다르지만 상대습도 사이클 변화에 따라 유사한 패턴으로 변화되고 있

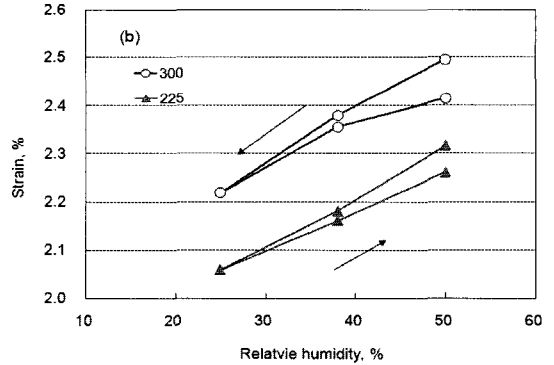
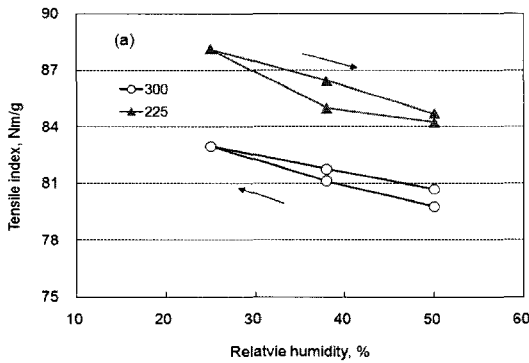


Fig. 5. Tensile index (a) and strain (b) of linerboard with the cyclic change of relative humidity.

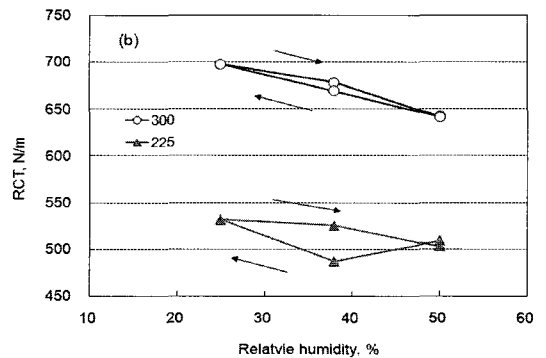
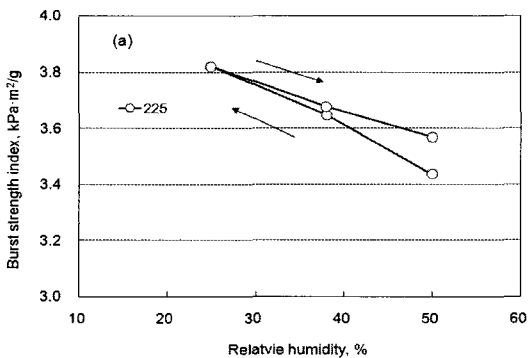


Fig. 6. Burst strength (a) and ring crush resistance (b) of linerboard with the cyclic change of relative humidity.

음을 알 수 있었다. 이력현상에 따른 차이는 인장강도의 경우 최대 2% 정도로 미비하지만 상대적으로 신장율은 50% 상대습도 조건에서 비교적 큰 차이를 보여주고 있다. 이로부터 골판지가 동절기의 저습도 조건에서 노출될 경우 조습이 되더라도 신장율의 회복이 충분치 않을 것임을 알 수 있었다. 파열강도(Fig. 6-a) 및 압축강도 (Fig. 6-b) 역시 상대습도가 50%에서 25% 조건으로 변화할 경우 약 9%, 11% 가량 증가하였다. 파열강도의 이력정도는 신장율과 유사하게 나타났는데, 이는 파열강도가 인장강도 뿐 아니라 신장율과도 밀접하게 관계있기 때문이다.

이상에서 상대습도의 변화에 따라 다양한 물성이 변화됨을 알 수 있었는데, 이 중 특히 저습도 조건에서 패션터짐의 문제를 유발하게 되는 주요 물성을 찾고자 하였다. 50% RH 조건에서 측정한 물성치를 기준으로 38% 및 25% RH 조건에서의 물성치를 상대적으로 계산하여 Fig. 7에 나타내었다. 상대습도가 감소하게 되면 일반적인 강도특성은 증가하는데 반해 신장율과 TEA(Tensile energy absorption)는 감소하는 것을 알 수 있었다. 25% RH 조건에서 TEA의 감소는 신장율의 급격한 감소 때문인 것으로 판단된다. 신장율과 TEA를 제외한 대부분 강도 특성의 증가 경향은 일반적으로 알려진 바와 같으나, Fig. 7에서 주목할 만한 것은 저습도에서 다른 물성에 비해 신장율이 급격하게 감소하였다는 것이다. 상대습도 50%에서 38%로 감소할 때보다 38%에서 25%로 감소할 때 인장강도의 증가는 그리 크지 않았지만 신장율은 38% 조건에 비해 더 큰 감소를 나타내었다. 25% 상대습도에서 측정할 경우 50%조건

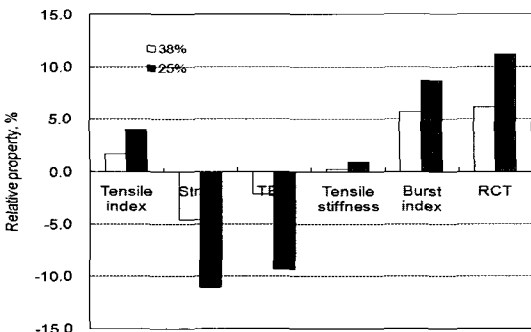


Fig. 7. Relative values of various mechanical properties compared to them at 50% RH.

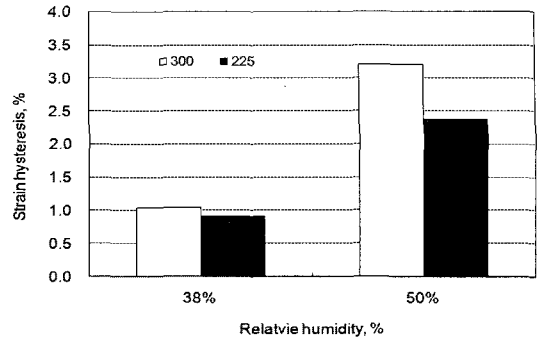


Fig. 8. Hysteresis of strain of linerboard.

에 비해 약 11%의 신장율 감소를 보였다. 이로부터 주로 상대습도가 30% 미만인 동절기에 인장강도가 다소 상승함에도 불구하고 잦은 패션터짐 현상이 발생하는 것은 신장율 감소의 영향이 크다고 판단되었다.

Fig. 8은 상대습도의 사이클 변화에 있어서 일정 상대습도에서 나타난 라이너지의 신장율 hysteresis를 나타내고 있다. 초기 38%, 50% RH에 대해 순환적으로 상대습도가 변화했을 때 38% RH 조건의 경우 처음 습도에서의 신장율에 비해 약 1% 가량 더 낮았고, 50% RH 조건에서는 약 2.5~3.5% 가량 더 낮게 나타났다. 이를 통해 대기의 습도는 순환적으로 변화하기 때문에 패션터짐이 빈번하게 발생하는 동절기에 라이너지 생산 시 함수율을 높게 관리한다 할지라도 장시간 대기 습도에 노출시키면 hysteresis에 의해 함수율이 낮아지고 이로 인해 신장율 또한 감소한다. 따라서 원지의 보관 장소 및 시간을 철저히 관리하는 것이 중요함을 알 수 있다.

3.3 골판지의 강도 특성

Figs. 9와 10은 상대습도 변화에 따른 A골 골판지의 수직압축강도 및 파열강도 변화를 나타내고 있다. 상대습도가 낮아질수록 수직압축강도 및 파열강도는 증가하는 경향을 보였다. 수직압축강도의 경우 50% RH에서 38% RH로 습도 조건이 변화하였을 때 큰 변화가 없었으나 25% RH의 상태에서 약 12% 가량 급격하게 증가하였다 (Fig. 9). 이에 반해 파열강도는 습도변화에 따라 그 변화가 크지 않았다 (Fig. 10).

그러나 상대습도가 다시 증가하면 강도가 감소하였으며 수직압축강도의 경우 약 3%, 파열강도의 경우 약 4% 가량의 양의 hysteresis 경향을 보였다. 이는 골판지

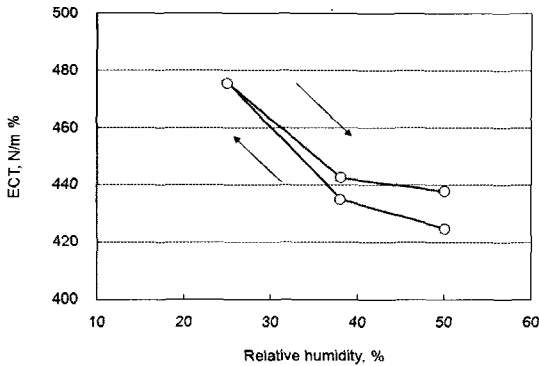


Fig. 9. Edgewise crush resistance of corrugated fiberboard with the cyclic change of relative humidity.

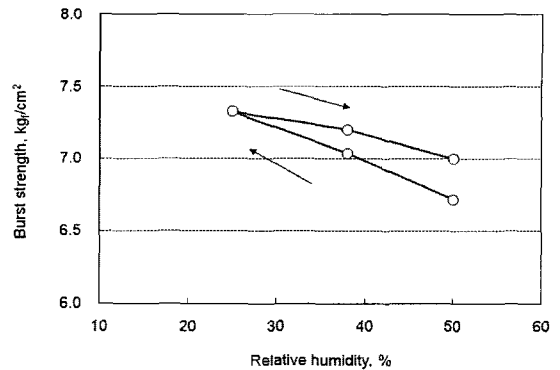


Fig. 10. Burst strength of corrugated fiberboard with the cyclic change of relative humidity.

생산 이후 converting 공정 전, 후 장시간 적재된다면, Fig. 3의 결과처럼 함수율 hysteresis 때문에 강도는 압축 및 파열강도 등은 상승하지만 신장율이 감소하고 brittle해지므로 패선공정 시 터짐현상을 유발할 수 있을 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 평량이 상이한 대표적 상용 라이너지와 골판지의 저습도 사이클 조건에서 수분 및 강도적 성질을 평가하여 저습도 조건에서의 발생하는 패선터짐을 억제할 수 있는 주요 물성을 파악하고자 하였다. 상대습도를 50%를 기준으로 38%, 25%로 변화시켰을 때 라이너지와 골판지의 함수율은 초기 7%대에서 6% 및 4% 대로 떨어졌다. 상대습도의 변화에 따라 종이의 물성 변화를 평가한 결과 25% RH 수준의 저습조건에서 50% RH 조건에 비해 인장강도 및 압축강도는 증가하지만 신장율이 11% 가량 크게 감소하였다. 이로부터 급격한 신장을 감소가 골판지 상자 제조 시 패선터짐의 원인이 될 수 있는 것으로 판단되었다. 또한 동일한 상대습도 조건에서도 탈착 후 흡수하는 경우는 초기에 비해 라이너지와 골판지의 신장율이 더 낮아졌다. 따라서 동절기 패선터짐 방지를 위해 라이너지 제조 시 신장율을 개선시키는 원료 처리 기술이 필요하며, 골판지 제조 전, 후 원지 및 골판지의 적재 방법 및 보관 시간 등을 철저히 관리할 필요가 있다.

사 사

본 연구는 산업자원부 신기술실용화기술개발사업 지원에 의해 수행되었음. 일부 BK 21 핵심 사업 지원을 받아 연구를 수행하였음.

인용문헌

- William E. Scott, Properties of Paper : An Introduction, pp. 111-119, TAPPI Press (1995).
- 함충현, 이학래, The change of the bending stiffness of handsheets during humidity cycle, 2004 한국펄프종이공학회 추계학술논문발표회, pp.60-67.
- 조중연, 민춘기, 신준섭, 농산물 저온유통용 내수 골판지 상자의 제조(제1보) - 섬유의 종류, 습윤지력증감제 및 방습제 첨가에 따른 골판지 원지의 물리적 특성 -, 펄프·종이기술 35(2):26-32 (2003).
- 김종경, 조중연, 신준섭, 소규영, 임현상, 서영범, 손기주, 과채류 포장용 골판지 상자의 안전계수 규격화 및 설계 프로그램 구축(I) - 상대습도에 따른 농산물 포장용 골판지 원지의 물리적 특성 변화 및 상자 압축강도의 예측 -, 2005 한국펄프종이공학회 추계학술논문발표회, pp.134-145.
- 이명훈, 조중연, 민춘기, 신준섭, 농산물 저온유통용 내수골판지 상자의 제조 (제4보)-대상농산물별 저온유통조건, 유통경로 및 포장규격 조사 분석, 펄프·종이기술 38(1):62-69 (2006).
- 김순철, 골판지 기술, pp.156-163, 예진출판사 (1998).

7. Antti Savolainen, *Paper and Paperboard Converting*, Papermaking Science and Technology Series, Vol.12, pp. 228-235, Fapet Oy Press (1998).
8. *Corrugating Defect/Remedy Manual*, 6th ed., pp.176-177, TAPPI Press (1999).
9. James P. Casey (Ed.), *Pulp and Paper ; Chemistry and chemical technology*, 3rd ed. Vol. 3, p.1767, Wiley Interscience (1981).