

온도 및 습도 변화에 따른 라이너원지의 압축강도 열화에 관한 연구

이준호 · 김수일* · 하영선

대구대학교 식품·생명·화학공학부, *경북과학대학 산업포장전공

Compressive Strength Reduction Characteristics of Linerboard as Influenced by Temperature and Humidity

Jun-Ho Lee, Su-Il Kim and Young-Sun Ha

Division of Food, Biological and Chemical Engineering, Taegu University

*Department of Packaging, Kyongbuk College of Science

Abstract

Compressive strength reduction characteristics of 4 different linerboards(SC, KA, SK and IK) as influenced by temperature and humidity were investigated by ring crush test. No significant effect of temperature on the reduction of compressive strength was found for samples prepared at 5°C and 30°C. At the relative humidity of 66 percents, IK linerboard showed the lowest reduction of the compressive strength. At the relative humidity of 93 percents, KA linerboard lost 40 percents of its initial compressive strength while SK linerboard lost its strength up to 56 percents. The result indicated that KA linerboard was the most cost effective and material with the highest compressive strength among tested linerboards.

Key words : linerboard, temperature, humidity, compressive strength

서론

골판지는 포장용기의 재료로 사용될 뿐만 아니라 포장완충재로의 이용도가 날로 증가추세에 있고 환경오염과 관련하여 플라스틱 포장재료에 비해 종이를 이용한 골판지가 보다 환경친화적이어서 많은 관심을 모으고 있다(1). 우리 나라의 경우 골판지상자의 본격적인 사용은 1972년 농협이 사과 포장재를 나무 상자에서 골판지상자로 대체하면서 이루어 졌으며 1995년에 농산물 포장의 전체 물동량의 약 95%가 골판지상자를 사용하고 있다(2).

현재까지 골판지와 관련된 연구들을 조사해 보면

주로 농산물 포장용 골판지 상자의 디자인 및 규격의 표준화에 관한 사항이며(3-6), 외부 조건에 따른 강도 변화에 대한 연구는 국내의 경우 서(7)의 골판지 강도 형성과 접착제와의 관계에 대하여 보고된 바 있으며, 박 등(8,9)의 수분흡습특성과 압축강도 및 상자압축강도 설계프로그램에 관한 보고가 있었으나 이들은 모두 골판지 원지에 대한 연구가 아니고 일부 특정 재질로 제작된 상자에 관한 연구로서 농산물 포장용 골판지 상자 설계 시 기초 자료로 이용할 수 없는 실정이다.

외국의 경우 Kellicutt와 Landt(10)는 골판지의 함수율과 압축강도의 관계를 보고하였고, Peleg(11)는 골판지 상자의 함수율과 상대 습도의 평형에 대하여 보고하였다. 그러나 시료로 사용된 골판지 원지의 구성 성분이 국내 고지(waste paper)를 많이 사용하고 있는 우리 나라의 제지산업 실정과 Kraft pulp와 OCC(old

Corresponding author : Jun-Ho Lee, Division of Food, Biological and Chemical Engineering, Taegu University, Kyoungsan, Kyoungpook 712-714, Korea

corrugated container)를 많이 사용하는 선진국의 제지 산업 실정을 고려해 볼 때 실험 결과를 바로 이용할 수 없는 실정이다(12). 따라서 청과물 포장용 골판지 상자 제조에 사용되고 있는 고지 사용 비율이 높은 골판지 원지에 대해 온도 및 습도변화에 따른 품질 변화를 측정하고 이를 토대로 하여 적정포장 설계 시스템의 개발을 위한 연구가 시급한 실정이다.

본 연구에서는 과일류 포장용 골판지상자 제조에 많이 사용되고 있는 라이너원지를 대상으로 온도 및 습도변화에 따른 압축강도 열화를 측정하여 향후 골판지상자의 압축강도를 예측을 통한 적정포장설계를 위한 중요한 기초자료로 제시하고자 한다.

재료 및 방법

재료

농산물 포장용 골판지상자의 제조에 가장 많이 사용되고 있는 라이너원지 (SC, KA, SK, IK)를 구입하여 사용하였다(Table 1).

Table 1. Characteristics of linerboards

Linerboard	Basis Weight (g/m ²)	Linerboard Price (₩/kg)	Maker
IK ¹⁾	175	470	Urocan
SC ²⁾	240	760	Hansolpanji
KA ³⁾	210	930	Asiajeji
SK ⁴⁾	180	600	Asiajeji

¹⁾ Unbleached Kraft pulp (100%).

²⁾ Bleached Kraft pulp (10%) + Manila waste paper (90%).

³⁾ Unbleached Kraft pulp (30%) + American old corrugated container (40%) + Korean old corrugated container (30%).

⁴⁾ Unbleached Kraft pulp (30%) + Korean old corrugated container (50%) + American old corrugated container (20%).

상대습도 환경설정

각종 포화 염 용액을 제조하여 데시케이터에 넣고 20℃에서 11~93% RH (LiCl → 11% RH, K₂CO₃, → 33% RH, MgCl₂ → 44% RH, MgNO₃, → 55% RH, NaNO₂, → 66% RH, NaCl, → 75% RH, KCl → 85% RH, KNO₃ → 93% RH)를 유지하도록 하여 사용하였다(8).

평량 측정

종이 및 판지의 평량 시험방법(KS M 7013)에 따라 시험편을 25cm×40cm 크기로 각 10매씩 채취하여 화학저울에서 무게를 측정된 값에 10을 곱하여 평량으로 나타내었다(13).

온도변화에 따른 압축강도 측정

시료를 LDPE(50μm) pouch에 넣고 밀봉한 후 5℃와 30℃의 조건에서 저장하면서 판지의 압축강도(ring crush) 시험방법(KS M 7051)에 따라 각 시료 당 10매씩 매일 압축강도 변화를 측정하였다(14).

습도변화에 따른 압축강도 측정

시료 절단기를 이용하여 골판지상자의 압축강도에 직접적으로 관계가 있는 라이너원지의 가로방향(cross direction)에 평행이 되도록 시험편을 15.4cm×1.27cm의 크기로 절단된 것을 서로 겹치지 않으면서도 습기가 잘 통과될 수 있도록 특수 제작한 장치에 시료를 끼워 넣은 다음 각종 염 용액이 들어있는 데시케이터에서 시료를 10일간 방치하면서 판지의 압축강도(ring crush) 시험방법(KS M 7051)에 따라 각 시료 당 10매씩 매일 압축강도 변화를 측정하였다(14).

비압축강도 계산

라이너원지의 단위무게 당 압축강도를 계산하여 상대적인 원지강도를 비교하기 위하여 비(比)압축강도가 많이 사용되고 있으며 계산식(15)은 아래와 같다.

$$\text{Compress Factor (kg}_t\text{/(g/m}^2\text{))} \\ = \frac{\text{Ring Crush (kg}_f\text{)}}{\text{Basic Weight (g/m}^2\text{)}} \times 100$$

원 단위 압축강도 계산

골판지상자의 적정 포장설계에 가장 중요한 요소로서 가격이 저렴하면서도 압축강도가 높은 라이너원지를 선별하기 위하여 원 단위 압축강도가 사용되고 있으며 계산식은 아래와 같다.

$$\text{Compressive Strength per Price (} \frac{\text{kg/(g/m}^2\text{)}}{\text{₩/kg}} \text{)} \\ = \frac{\text{Compress Factor (kg/(g/m}^2\text{))}}{\text{Linerboard Price (₩/kg)}}$$

결과 및 고찰

온도변화에 따른 압축강도

온도조건에 따른 압축강도를 측정한 결과 라이너원지의 압축강도차이가 발생하지 않아 온도변화가 압축강도 변화에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

습도변화에 따른 압축강도

일반적으로 농산물 포장용 골판지상자의 경우 산지에서 포장, 출하, 도매시장까지 유통에 필요한 시간은 내수용의 경우 2일, 수출용의 경우에는 5일 정도면 충분하며 유통 중 대기조건은 봄철의 경우 약 64% RH, 장마철의 경우에는 95% RH이다.

Fig. 1~4는 라이너원지의 습도변화에 따른 압축강도(링크러쉬) 변화를 나타낸 것으로 초기 압축강도는 SC 마니라 39.6kgf, KA원지 28.5kgf, IK원지 및 SK원지가 22.9kgf으로 SC 마니라가 가장 높게 나타났으나 66% RH에서 살펴보면 SC 마니라 32.5kgf, KA원지 24.9kgf, IK원지 23.3kgf 및 SK원지가 15.7kgf으로 IK원지의 강도저하가 다른 원지에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 93% RH에서 저장 2일째 압축강도는 SC 마니라 27.9kgf, IK원지 15.3kgf, KA원지 20.2kgf 및 SK원지 13.7kgf으로 초기 압축강도보다 약 30~40%의 강도 저하가 일어나 흡습이 골판지상자의 압축강도 저하에 치명적인 요소로 작용하고 있음을 확인할 수 있다.

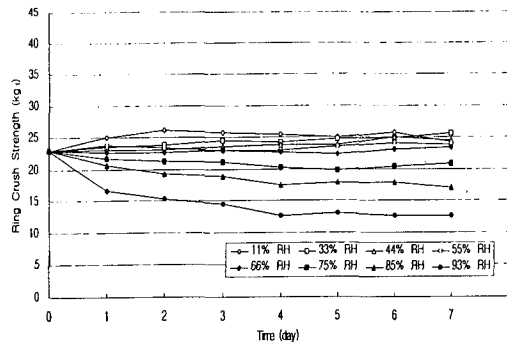


Fig. 1. Effects of relative humidity on the ring crush strength of "IK" linerboard.

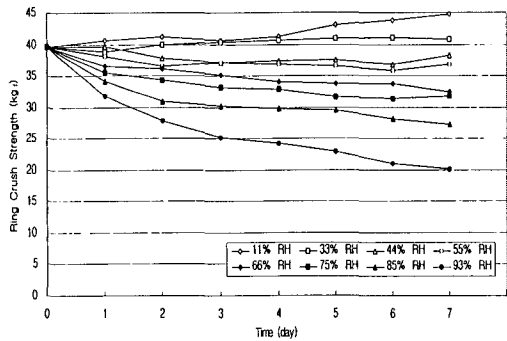


Fig. 2. Effects of relative humidity on the ring crush strength of "SC" linerboard.

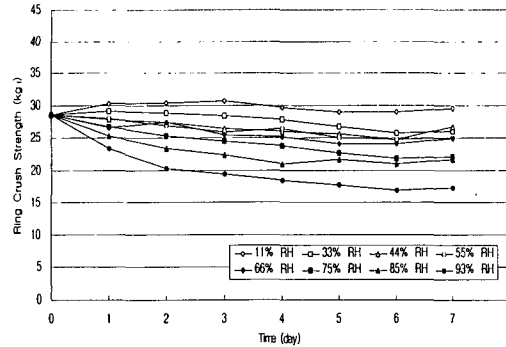


Fig. 3. Effects of relative humidity on the ring crush strength of "KA" linerboard.

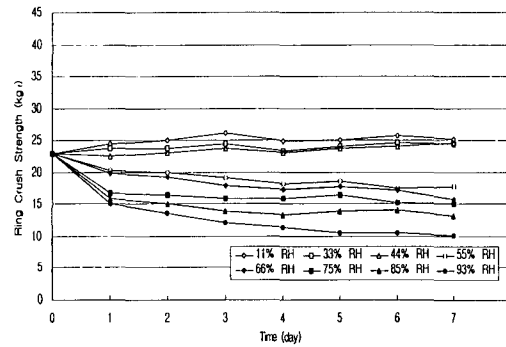


Fig. 4. Effects of relative humidity on the ring crush strength of "SK" linerboard.

따라서 장마철에 유통되는 골판지상자의 경우 흡수처리제 또는 지력증강제 등을 사용하여 흡습에 따른 압축강도저하를 억제하여야 한다. 습도변화에 따른 라이너원지의 압축강도 변화율은 Table 2에 나타난 바와 같다.

Table 2. Compressive strength(Ring Crush) changes (%) of linerboards at various relative humidity conditions

Linerboard	Relative Humidity (% RH)							
	11	33	44	55	66	75	85	93
IK	14.0±1.80	11.8±0.49	9.6±1.94	5.2±0.75	-2.2±0.59	-13.5±1.43	-25.8±1.60	-44.5±0.44
SC	12.9±1.18	-2.0±0.65	-7.1±0.83	-9.3±1.11	-17.9±1.20	-30.7±0.68	-31.1±0.60	-49.2±0.41
KA	7.4±0.74	-9.5±0.78	-13.3±0.46	-13.0±0.60	-15.4±0.80	-23.5±0.25	-26.3±0.28	-40.7±0.30
SK	14.4±1.79	7.4±1.17	-1.7±1.26	-24.0±0.65	-31.4±1.97	-34.5±0.17	-42.4±0.23	-55.9±0.20

IK원지의 경우 66% RH, SK원지는 44% RH까지는 강도저하가 거의 없었으나 SC 마니라 및 KA원지는 44% RH부터 강도저하가 나타나기 시작하였다. 66% RH에서의 압축강도저하를 살펴보면 Kraft liner

인 IK원지의 경우에는 초기 압축강도에 비하여 거의 저하현상이 나타나지 않았으나 Jute liner인 KA원지는 15%의 강도저하가 나타났으며, SK원지의 경우에는 KA원지의 2배인 31%의 강도저하현상이 나타났다. 93% RH에서는 KA원지 41%, IK원지 45%, SC 마나라 49% 및 SK원지 56%로 SK원지가 흡습에 따른 강도저하가 가장 심한 것으로 나타났다. 원지의 압축강도는 Virgin pulp 함량이 높을수록 종이의 탄력성이 높아 습도변화에 따른 강도저하 현상이 낮게 나타나는 것이 일반적이데 Virgin pulp 100%로 제조된 IK원지보다 Virgin pulp 50%에 KOCC와 AOCC를 혼합하여 제조한 KA원지의 강도가 높은 이유로는 원지의 품질저하를 방지하기 위하여 사용된 지력증강제 또는 발수처리제 등의 첨가제의 영향으로 판단되며 첨가제의 양이 많을수록 재활용 효율이 낮아지고 환경에 악 영향을 끼치기 때문에 첨가제의 사용을 자제하고 있는 실정이다.

습도조건에 따른 비압축강도의 비교

습도조건에 따른 라이너원지의 비(比)압축강도 비교는 Fig. 5에 나타난 바와 같다. 초기의 비압축강도는 SC 마나라 $16.5\text{kgf}/(\text{g}/\text{m}^2)$, KA원지 $13.6\text{kgf}/(\text{g}/\text{m}^2)$, IK원지 $13.1\text{kgf}/(\text{g}/\text{m}^2)$ 및 SK원지가 $12.7\text{kgf}/(\text{g}/\text{m}^2)$ 으로 SC 마나라가 다른 원지에 비해 강도가 약 20% 정도 높았으나 66% RH 조건에서는 IK원지와 SC 마나라의 비압축강도가 거의 같은 $13.3\text{kgf}/(\text{g}/\text{m}^2)$ 과 $13.5\text{kgf}/(\text{g}/\text{m}^2)$ 으로 IK원지가 상대적으로 높게 나타났으나 93% RH 조건에서는 오히려 KA원지가 IK원지보다 약간 높게 나타나 습도조건에 따라 원지를 선택하여야 한다.

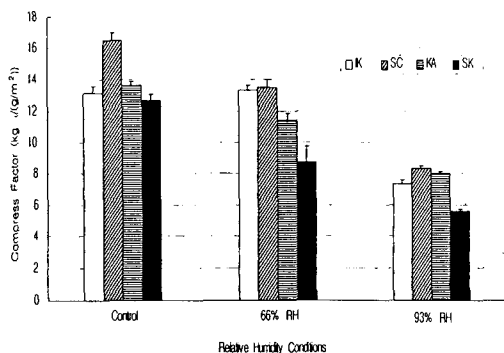


Fig. 5. Comparison of compress factor at 66% RH and 93% RH.

습도조건에 따른 원 단위 압축강도 비교

골판지상자의 품질요인 중 가장 중요한 것은 상자

의 압축강도이며 링크러쉬 강도는 상자의 압축강도와 직접적인 관계를 가지고 있다. 골판지상자의 적정 포장설계시 가장 중요한 사항은 상자의 원가부담을 줄이면서도 제품유통에 충분한 강도를 가질 수 있는 재질을 선택하여 사용하므로 원가절감과 원활한 물적유통이 가능하게 하는 것이다. 골판지원지의 종류와 평량은 제조회사별로 결정이 되어 있으므로 어떤 재질에 얼마의 평량을 사용할 것인지에 대한 선택의 폭은 그다지 넓지 못한 실정이다.

가장 경제적이며 강도가 우수한 골판지상자의 재질을 결정하는데 중요한 자료로 활용되고 있는 라이너원지의 원 단위별 압축강도는 Fig. 6에 나타난 바와 같다.

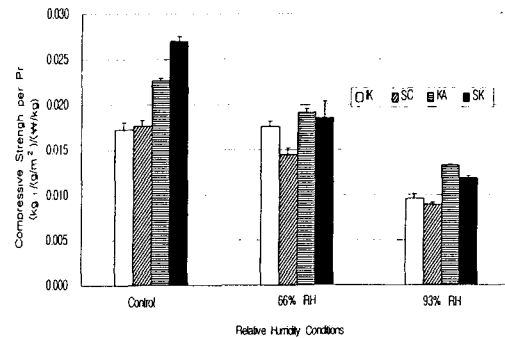


Fig. 6. Comparison of compress factor by price at 66% RH and 93% RH.

유통조건이 습도에 관계없는 제품의 골판지상자에 적용할 경우 SK원지와 KA원지가 다른 원지보다 우수하다고 할 수 있지만 66% RH의 조건하에서는 KA원지, SK원지 및 IK원지를 사용하는 것이 바람직하며 93% RH의 악조건에서는 KA원지가 다른 SC 마나라, IK원지, SK원지에 비해 높은 값을 나타내고 있으므로 이를 사용하는 것이 가장 바람직한 것으로 판단된다. 한편 이러한 결론은 골판지원지의 가격동향에 따라 다소간의 차이는 발생할 수 있으므로 국제 펄프가격 및 고지의 가격동향과 국내 골판지원지의 가격동향에 맞추어 원지를 선택하는 것이 가장 바람직한 것으로 판단된다.

요 약

온도 및 습도 변화에 따른 라이너원지의 압축강도 열화를 측정된 결과 압축강도는 온도변화에 영향이 없는 것으로 나타났다. 습도변화의 경우 66% RH에

서는 IK원지의 강도저하가 가장 낮은 것으로 나타났다. 93% RH에서는 KA원지의 강도저하가 40%로 가장 낮았으며 SK원지가 56%로 가장 높게 나타났다. 비압축강도의 경우 66% RH에서는 SC 마니라와 IK원지가, 93% RH에서는 IK원지와 KA원지가 가장 우수하였다. 원 단위 압축강도에서는 습도를 무시할 경우 SK원지가 우수하였으나 66% RH와 93% RH에서는 모두 KA원지가 다른 원지보다 우수한 것으로 나타났다. 따라서 농산물 포장용 라이너로 KA원지를 사용할 경우 경제적이면서도 압축강도가 높은 골판지상자를 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단에서 지원한 '98 핵심전문연구과제(981-0608-036-2)에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박종민, 김만수 (1998) 포장재료의 완충특성 분석 - 골판지를 중심으로. 한국산업식품공학회지, 2(2), 129-136
2. 경상북도 (1995) 농정시책연구보고 제4권 경북사과 품질등급화 방안. 9-13
3. 한국디자인포장센터 (1985) 농수산물 유통 및 포장실태조사 보고서
4. 한국디자인포장센터 (1987) 농산물포장개선연구용역 결과보고서
5. 한국디자인포장센터 (1988) 해외 농수산물 유통 및 포장실태조사 보고서
6. 김수일, 김종경, 하영선 (1997) 사과 포장용 골판지상자의 재질구성에 관한 연구. 한국포장학회지, 4(1), 3-10
7. 서영범 (1993) 골판지의 강도형성과 접착제와의 관계. 월간포장산업(7월호), 136-143
8. 박종민, 권순홍, 권순구, 김만수 (1994) 농산물 포장용 골판지상자의 층적내구성의 분석과 향상에 관한 연구(I)-수분흡습특성과 압축강도 열화. 한국농업기계학회지, 19(4), 358-368
9. 박종민 (1996) 농산물 골판지 상자의 압축강도 설계 프로그램. 골판지 포장물류(3월호), 88-93
10. Kellicutt, K.Q. and Landt, E.F. (1951) Safe stack life of corrugated boxes. Containers (Sept.), 1-5.
11. Peleg, K. (1981) Package product interaction in corrugated containers for flesh produce. Transaction of the ASAE, 24(4), 794-800
12. 공업진흥청(1990) 한국산업규격(종이 및 판지의 인장강도 시험방법 KS M 7014)
13. 공업진흥청 (1990) 한국산업규격(종이 및 판지의 평량 측정 방법 KS M 7013)
14. 공업진흥청 (1992) 한국산업규격(판지의 압축강도 시험 방법 KS M 7051)
15. 하영선, 김수일 (1998) 사과포장용 골판지 라이너원지의 품질에 관한 연구. 농산물저장유통학회지, 5(2), 150-153

(1999년 6월 5일 접수)