

## 유통중 온습도 변화에 따른 골판지 상자의 압축강도에 대한 연구

이명훈<sup>†</sup> · 김종경<sup>\*</sup>

(2003년 2월 4일 접수; 2003년 4월 25일 채택)

### Effect of Relative Humidity and Temperature on the Compression Strength of Corrugated Boxes on Distribution Channel

Myung-hoon Lee, and Jongkyoung Kim\*

(Received on February 4, 2003; Accepted on April 25, 2003)

#### ABSTRACT

In order to design the high strength corrugated fiberboard containers for agricultural products that can be used for the cold chain system, a large number of individual boxes were placed in various humidity environments at two different temperature of 5 and 20°C. The results indicated that temperature changes do not effect on physical strength of corrugated fiberboard containers as much as humidity changes did. The main conclusion from this study was that compression strength of corrugated fiberboard containers dropped significantly at high humidity condition, but the rates varied depending on the number of walls, temperature, and perimeter of containers.

The packaging designer must consider the corrugated fiberboard boxes are also greatly affected by dimensional variations such as the length versus width ratio. Based on this study, water-resistant board would not be necessary if the ambient relative humidity does not reach to a critical point, 85 percent in the cold chain system. However, the designer must count for the unexpected fluctuation of relative humidity resulting in severe loss of the compression strength of corrugated fiberboard container.

**Keywords :** *packaging, corrugated fiberboard, temperature, humidity, compression strength*

---

• 한국포장시스템연구소(Institute of Korea Packaging Systems Hankook B/D 301 4th Street Dongsun-Dong Sungbook-Gu Seoul 136-054, Korea) E-mail : ikps@chol.com

\* 경북과학대학 패키징과, \*Dept. of Packaging, Kyongbuk College of Science, Korea

† 주저자(Corresponding author) : E-mail : ikps@chol.com

## 1. 서론

농산물의 유통은 최근 들어 급격히 변화하고 있으며 이에 따라 포장에 대한 요구조건도 매우 다양해지고 있다. 특히 저온유통에 있어서 예냉처리기술이 개발되고 시설이 확대됨에 따라 포장의 중요성은 더욱 부각되고 있다. 즉, 포장은 예냉농산물의 보호 및 취급을 효율적으로 하면서도 경제적으로 가능하며 또 콜드체인(cold chain)이 단절되지 않도록 하는 매개역할을 담당하고 있다. 특히 대형 유통업체의 등장으로 가격 대비 질적 경쟁이 갈수록 치열해지고 있으며 소비자들의 구매패턴이 소량의 고품질 상품 선호로 변화함에 따라 저온유통시스템(Cold Chain System) 하에서의 포장의 변화는 당연한 귀결이 되고 있다. 이러한 급격한 변화에도 불구하고 이에 대응한 우리나라 저온포장설계 기법은 아직 초보적인 연구단계에 그치고 있어 기존 농산물 포장방법의 변경 및 개선이 요구되고 있다.<sup>1-5)</sup>

농산물의 포장용기로 가장 많이 사용되는 골판지포장상자에 있어 가장 중요한 것은 상자의 상하 압축강도라고 할 수 있다. 특히 저온유통에 있어서 온습도 변화에 따른 골판지상자의 압축강도 저하는 다단적재를 어렵게 하고 물류비용을 증가시키는 요인이 되고 있다.<sup>6)</sup>

또 예냉이나 저온저장 후 변온처리 없이 상온에 노출되는 경우 급격한 흡습으로 인하여 압축 및 파열강도가 급격히 하락하게 되는데 이는 상자 자체강도의 저하로 인한 화물붕괴는 물론 내용물의 압상과 결로 발생으로 인한 품질저하를 초래하게 된다. 이렇게 되면 농산물의 피로도를 증가시켜 호흡량을 상승시키는 것은 물론 상품의 경도저하가 발생하게 된다. 또 농산물의 호흡에 따른 증산작용 증가는 골판지상자의 수분 흡수를 촉진시켜 상자의 압축강도저하에 큰 영향을 미치고 있다.

따라서 본 연구는 주요 품목에 대해 온도 및 습도변화에 따른 상자의 압축강도 열화를 측정하여 향후 저온유통용 고강도골판지상자를 설계하기 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 재료

실험에 사용한 골판지상자는 생산수량과 유통량이 많은 사과, 배, 배추, 감자의 4종류를 염두에 두고 제

질선택을 하였다. 각 품목의 원지배합은 사과, 배, 배추는 이중양면골판지(Double Wall) 1종을, 감자는 양면골판지(Single Wall) 2종으로 하였다.

이때 예상되는 상자의 이론적 압축강도는 라이너, 골심지의 링크러쉬(Ring Crush)치의 합으로 산출되는 Kellicutt 식을 사용하였다.<sup>7)</sup> 이 식은 1953년 미국의 국립임산물연구소에 근무하는 K. Q. Kellicutt가 개발한 식으로서 국내에서는 현재 가장 많이 사용되고 있으며 Eq. [1]과 같다.

$$BCT = Px \left\{ \left( \frac{aX_2}{Z} \right)^2 \right\}^{1/3} \cdot Z \cdot J \quad [1]$$

여기에서 BCT : 상자의 압축강도(kg)

Px: 구성원지의 ring crush값의 합(kg)

aX<sub>2</sub>: 골상수 (A골 : 8.36, B골 : 5.00, C골 : 6.10)

Z: 상자의 주변장 (長, 幅 합의 2배, mm)

J: 상자의 상수 (A골 : 0.59, B골 : 0.68, C골 : 0.68)

구성원지의 링크러쉬값을 구할 때 유의할 사항은 골 짜임률이 A골은 1.532, B골은 1.361, C골은 1.477이므로 골심지의 링크러쉬값을 구할 때 각각 해당하는 수치를 곱해주어야 한다는 것이다.

위의 식에서 aX<sub>2</sub>와 J는 常數이므로 이를 풀어서 정리하면 A골, B골, AB골 골판지상자의 압축강도 산출식은 다음과 같이 단순화된다.

$$BCT=0.347 P_x \cdot Z^{1/3} \text{(양면골판지, A골 골판지상자)}$$

$$BCT=0.284 P_x \cdot Z^{1/3} \text{(양면골판지, B골 골판지상자)}$$

$$BCT=0.442 P_x \cdot Z^{1/3} \text{(이중양면골판지, AB골 골판지상자)}$$

한편, 예상파열강도는 구성 라이너 원지의 공인 파열강도의 합을 나타낸다. 구성원지 배합기준은 Table 1과 같다.

상자규격은 기존 농산물 표준출하규격<sup>8)</sup> 중 상기 품목에 가장 합당한 것으로 판단되는 규격을 Table 2와 같이 선택하였다.

### 2.2 환경 조건

경북과학대학 포장연구센터에서 미리 제작된 골판

**Table 1. Material compositions and physical characteristics of corrugatedboard boxes tested**

Produce	Code	Material Compositions	Predicted Compression Strength (kg)	Predicted Bursting Strength (kg/cm <sup>2</sup> )
Apple	DW1	SK180/S120/S120/S120/K <sub>2</sub> 200	390	9.4
Pear	DW1	SK180/S120/S120/S120/K <sub>2</sub> 200	375	9.4
Chinese Cabbage	DW1	SK180/S120/S120/S120/K <sub>2</sub> 200	391	9.4
Potato	SW <sub>2</sub> (A flute)	SK180/K2200/SK180	248	8.0

**Table 2. Specifications of corrugated board boxes tested**

Contents	Maximum Weight of Contents (kg)	Outer Dimensions (Length × Width × Height, mm)	Style of Box
Apple	10	510 × 360 × 190	0201 type (Regular Slotted Container)
Pear	10	440 × 330 × 240	
Chinese Cabbage	8~12	510 × 366 × 200	
Potato	5	275 × 220 × 170	

지상자는 대형 항온항습챔버에 넣고 표준조건인 20±1℃, 65±2%RH에서 전처리하였다. 온도조건은 일반적인 냉장 및 상온온도인 5±1℃와 20±1℃로 설정하였고, 습도는 각각 65%RH, 75%RH, 85%RH, 95%RH로 조정하면서 각 습도마다 24시간씩 저장하면서 실험하였다.

**2.3 원단 파열강도 및 수직압축강도**

사과, 배, 배추의 원단은 DW 1종으로 원지구성이 같고 감자만 SW 2종으로서 원지구성을 달리하였다. 따라서 원단에 대한 시험인 파열강도나 수직압축강도는 배추와 감자에 대해서만 시험을 하였다. 완전한 형태의 SW(감자)와 DW(배추) 시료 각각 10매씩을 채취하여 전처리 후 시험하였다. 온도는 5℃와 20℃를 기준으로 하고 습도를 65, 75, 85, 95%RH의 4개 조건을 설정하여 각각 24시간동안 전처리한 후 강도를 측정하였다. 파열강도는 물렌식 저압파열강도 시험기(대신정밀, 한국)로 측정하였으며 수직압축강도는 만능재료시험기(Adamel 32, France)이 사용되었다. 시험방법은 KS M 7017(종이 및 판지의 저압파열강도 시험방법)과 KS M 7063(골판지의 압축강도 시험방법)에 의하여 시행하였다.<sup>10,11)</sup>

**2.4 상자 압축강도**

구성원지의 재질이 같더라도 4개 품목의 상자 치수 규격이 각각 다른 만큼 상자의 압축강도는 각각 다르게 나타난다. 표준상태인 20℃와 5℃에서 상대습도를 각각 65%, 75%, 85%, 95%로 변경하면서 강도를 측정하였다. 압축판의 넓이가 1m<sup>2</sup>인 화물 압축강도시험기(대신정밀, 한국)가 사용되었으며 KS A 1012(포장 화물 및 용기의 압축시험방법)에 의거, 상하 날개를 접어 접합한 상자를 압축판의 중앙에 놓아 가압하였다.<sup>12)</sup>

**3. 결과**

**3.1 원단 파열강도의 측정**

Table 2에서 DW의 예상 파열강도는 표준온습도조건에서 9.4kg/cm<sup>2</sup>로 예측되었으나 실제측정치는 11kg/cm<sup>2</sup>을 상회하였고 SW의 감자상자 역시 예상강도보다 10% 가량 높은 것으로 나타났다. 습도의 증가에 따라 파열강도는 반비례하였으며 습도가 높아질수록 SW가 DW보다 강도저하가 더욱 크게 나타났다. 그러나 온도에 따른 뚜렷한 변화는 없었다(Fig. 1).

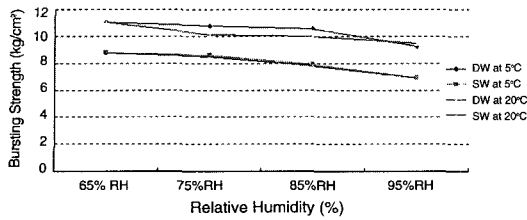


Fig. 1. Effect of relative humidity on bursting strength of corrugated fiberboards.

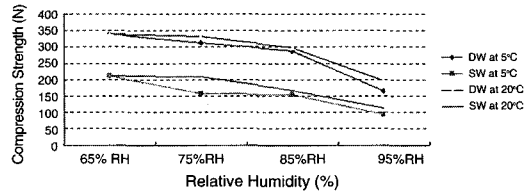


Fig. 2. Effect of relative humidity on vertical compression strength of corrugated fiberboards.

### 3.2 원단 수직압축강도의 측정

골판지 원단의 수직압축강도시험결과 Fig. 2와 같았다. 수직압축강도의 저하는 75%까지는 별로 일어나지 않지만 이후 급격한 저하율을 보였다. 이러한 경향은 SW가 DW보다 심한데, 파열 강도가 liner만 관계되는데 비해 수직압축강도는 구성원지 전체와 관계가 있기 때문에 이러한 경향은 정상적인 것으로 보여진다. 결론적으로 상대습도가 75%에 이를 때까지는 내수지의 필요성이 별로 제기되지 않으나 이후에는 압축강도의 급격한 저하를 막기 위해서 내수지가 필요하다고 볼 수 있다.

### 3.3 상자 압축강도의 측정

표준온도인 20°C에서 습도를 65%RH부터 95%RH까지 4단계로 변화시키면서 상자압축강도를 측정할 결과 압축강도 저하 패턴은 원단 수직압축강도의 경우와 유사한 결과를 보여주고 있다. 같은 재질 간에는 상자 크기가 클수록 강도저하율이 커졌다(Fig. 3).

저온하의 상자압축강도는 표준온도와는 다른 결과를 나타낸다는 것을 보여준다. 보통 상온에서는 75%RH를 기점으로 압축강도가 급격히 하락하는데 비해 저온

에서는 85%RH까지 압축강도 저하가 완만하게 이루어졌다. 이 범위를 넘어서면 강도저하가 급격하게 일어나게 되는데 상자의 크기에 관계없이 95%RH 정도의 고습도하에서는 저하율이 거의 비슷해지고 있다. 다만 SW가 DW보다 훨씬 커 51%의 저하율을 보였다(Fig. 4).

이상과 같은 시험결과 상자의 강도가 급격히 떨어지는 상대습도 75% 이상이 되는 시점부터 내수지의 적용이 필요한 것으로 판단된다. 또, 저온유통의 경우 85%RH 이전에는 내수지의 적용이 크게 필요치 않다고 판단된다. 그러나 저온에서 상온으로 제품의 보관환경이 바뀌거나 온도의 변화가 심한 경우 결로현상에 의한 골판지강도의 저하가 우려되므로 발수처리가 필요한 것으로 판단된다.

### 3.4 상자 압축강도 추정치와 실측치 비교

Fig. 3과 Fig. 4에서 나타난 바와 같이 상자압축강도의 열화는 온도보다는 수분에 따라 더 큰 영향을 받았다. 특이한 점은 65%RH에서 사과와 배추상자의 실제압축강도는 예측치보다 71~74kg정도 높게 나타난

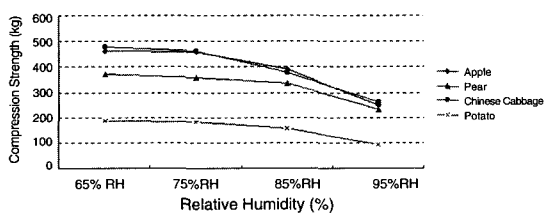


Fig. 3. Effect of relative humidity on top-to-bottom compression strength of regular slotted containers at 20°C.

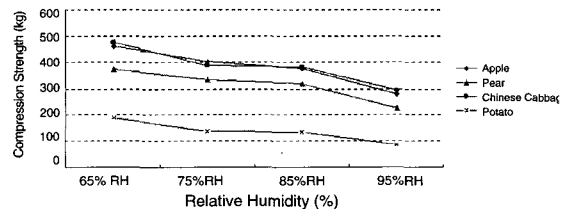


Fig. 4. Effect of relative humidity on top-to-bottom compression strength of regular slotted containers at 5°C.

**Table 3. Comparisons of the compression strength of corrugated fiberboard boxes affected by humidity and size factors at 5°C.**

Boxes	Expected	Relative Humidity (%)				Size factor(L*W)
		65	75	85	95	
Apple	390kgf	461kgf	402kgf	376kgf	279kgf	1.42:1
Pear	375kgf	371kgf	331kgf	320kgf	224kgf	1.33:1
Chinese Cabbage	391kgf	477kgf	389kgf	380kgf	293kgf	1.39:1
Potato	248kgf	189kgf	135kgf	120kgf	85kgf	1.25:1

반면 배 상자는 예측치과 거의 흡사하게 나타났으며 감자상자는 오히려 57kg 정도 낮은 결과를 나타내었다. 이것은 배의 경우 상대적으로 높이가 높고 상자의 압축강도 설정시 가장 이상적인 장:폭의 비율인 1.4:1 인데 반하여 1.33:1으로 다소 비이상적인 형태이기 때문으로 짐작된다.<sup>7)</sup> 배추의 경우 예상보다 훨씬 높은 압축강도를 기록하였는데 이것은 상대적으로 장:폭의 비율이 이상치와 근접하고 높이가 비교적 낮으며 표면적이 크기 때문에 나타난 결과로 보인다. DW 포장상자의 캘리컷트식에 의한 예측치 결과는 습도가 75%RH일 때 가장 비슷하였으며 95%RH에서 측정된 경우 상자에 구분없이 거의 40% 정도씩 강도가 저하되었다. SW 포장상자인 감자의 경우 장:폭 비율이 1.25:1로 가장 비이상적이고 상대적 높이도 높아 65%RH하에서도 낮은 압축강도를 보였으며 이후 상대 습도가 높아짐에 따라 압축강도가 더욱 급격히 저하되는 경향을 보였다. 이러한 경향은 온도에 관계없이 나타났다 (Table 3.).

이런 결과로 볼 때 저온유통용 상자의 설계시 원지의 구성 및 강도설계뿐만 아니라 상자의 장:폭비율, 높이 등과의 관계도 복합적으로 고려해야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

농산물 저온유통용 고강도골판지 상자의 설계를 위하여 주요 농산물의 포장용도로 가장 많이 쓰는 골판지 재질구성을 선택, 온습도에 따른 파열강도, 수직압축강도, 상자압축강도의 변화를 측정하였다. 파열강도는 습도가 높아짐에 따라 저하되지만 이론적 예측치보다는 높았으며 SW가 DW에 비해 파열강도 저하율이 높았다. 수직압축강도는 표준온도인 20°C에서는 75%RH에서 급격한 저하를 보여주고 있으나 냉장온도인 5°C에서는 완만하였다. 상자 압축강도는 수직압

축강도에서와 마찬가지로 75%RH에서 급격한 강도저하를 보여주었으며, SW가 DW보다 저하율이 크고 주변장이 클수록 저하율도 컸다. 저온(5°C)하에서는 85%RH까지 강도 저하가 완만하게 일어나고 있으며 이후 급격하게 하락하였다. 95%RH에서는 강도저하율이 거의 비슷하게 나타나는데 이는 상자로서의 보호기능이 심각할 정도로 약화된 상태이기 때문에 별다른 의미는 없다고 볼 수 있다. 또한 저온유통용 골판지포장상자 설계시 단순히 강도기준을 설정할 뿐만 아니라 상자의 규격에 따른 강도변화도 고려하여야 하며 이에 대한 연구가 계속 진행되어야 될 것으로 판단된다.

#### 인용문헌

1. 이명훈, 곁포장용 골판지상자의 압축강도 최적화에 관한 연구, 박사논문, 6, p. 10 (2000).
2. 박형우, 하영선, 이성동, 공재홍, 김수일, 몇 가지 조건하에서 골판지상자의 압축강도 변화, 한국식품과학회지, 21(2): 258~261 (1989).
3. 김수일, 김종경, 하영선, 사과 포장용 골판지상자의 재질구성에 관한 연구, 한국포장학회지, 4(1): 3~10, (1997).
4. 하영선, 김수일, 사과 포장용 고압축강도 골판지상자 개발, 농산물저장유통학회지, 4(3):245~249 (1997).
5. 하영선, 김수일, 사과포장용 골판지 라이너 원지의 품질에 관한 연구, 농산물저장유통학회지, 5(2): 150~153 (1998).
6. George G. Maltenfort, Performance and Evaluation of Shipping Containers, Jelmor Publishing Co., Inc, Plainview, NY, p. 106~159 (1989).
7. 김순철, 예진, 골판지 기술, p. 353~385 (1997).
8. 농협중앙회 유통종합지원부, 농산물 표준출하규격집, 9~18 (1998).

9. ASTM D4332, Selected ASTM Standards on Packaging, ASTM, Philadelphia, PA, p. 251 (1994).
10. 김수일, 농산물 포장용 골판지상자 설계에 관한 연구, 박사논문, 12, p. 130 (2000).
11. 공업진흥청, KS M 7063(골판지의 압축강도 시험 방법) (1992).
12. 공업진흥청, KS A 1012(포장화물 및 용기의 압축 시험방법) (1992).
13. 공업진흥청, KS M 7017(종이 및 판지의 저압파열 강도 시험방법) (1992).