

## 습도조건에 따른 골판지원지의 링크러쉬강도 예측 모델링

김 수 일  
경북과학대학 패키징계열

### Prediction Modelings of Ring Crush Strength in Corrugated Base Paper by Humidity Variations

Su-Il Kim

Dept. of Packaging, Kyungbuk College of Science

#### Abstract

In order to optimize designing process of corrugated fiberboard boxes for agricultural products, first of all, compression strength of each liner were experimentally evaluated on the various conditions of relative humidity and analyzed by liner regression analysis.

At the 66 percents of relative humidity, IK(imported kraft liner) liner board lost little of its compression strength compared to others. At the relative humidity 93 percents, KA liner board lost its compression strength only 40 percents while SK liner board lost up to 56 percents.

From the result of prediction modeling of ring crush strength in various humidity conditions, R square values were ranged from 0.59 to 0.97. At 56 percents of RH or below, R square values were relatively low, but at 66 percents of RH or higher, the values were 0.85 or higher. The significance values were lower than 0.001 at every RH condition. Level of significance of experimented values was about 80 percents of predicted values and R square values were between 0.89 to 0.95.

Keywords : Ring crush strength, Relative humidity, Linear regression analysis, R square values

#### 서 론

농산물은 수분함량이 높고 품질열화가 심하여 공산품에 비해 유통조건이 짧고 까다로워 생산원가 구성비에서 물류비가 높은 특성을 가지고 있으며 포장재료 대부분이 골판지 상자를 사용하고 있으며 현재 서류와 과일류의 포장화율은 90%를 상회하고 있으나 엽근채류 중 배추 및 무의 포장화율은 9.6%와 4.3%로 극히 저조한 실정이며 124개

품목에 대해 표준 출하 규격(387개 module)이 제정되어 있지만 소비자 포장규격과 수출 포장규격이 불명확하고 생산자 단체들은 각기 자체규격을 만들어 혼용하고 있는 실정이다.

농산물 포장용으로 골판지상자가 가장 많이 사용되고 있는 것은 타 포장재료에 비해 재활용이 가능하고, 가격이 저렴하며, 인쇄가 간편한 것의 현대적 의미의 포장이 요구하는 조건에 잘 부합하고 있으나 흡습에 따른 강도 저하가 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다.

습도조건에 따른 골판지원지 및 상자의 강도 변화에 관한 연구로는 Kellicutt는 골판지의 함수율과 상자의 압축강도

는 깊은 관계가 있다고 보고하였으며, Hanlon은 골판지상자 압축강도 감소요인을 열거하면서 주위의 상대습도가 90%일 때 압축강도의 약 60%가 감소하였다고 보고하였으며, Peleg는 저온다습상태(3.3℃, 92% RH)에서의 골판지상자의 압축강도와 임계하중은 표준상태(22.8℃, 50% RH)에 비해 54%와 65%의 강도저하가 있었다고 보고하였으며, 골판지상자의 함수율과 주위의 상대습도 평행에 대하여 만약 평행상태에 있지 않다면 서로 다른 상대습도의 영향으로 골판지의 안팎은 함수율과 온도차이가 유발된다고 보고하였다. 또한 저장실내의 공기와 상자내의 공기조건이 서로 평행상태에서만 이와같은 분석이 가능하다고 하였다. 그러나 국내 농산물 포장용으로 사용된 골판지원지의 구성 성분이 국내 고지(recycled paper)를 많이 사용하고 있는 우리나라의 제지산업 실정과 Kraft pulp를 많이 사용하는 선진국의 제지산업 실정을 고려해 볼 때 실험 결과를 바로 이용할 수 없는 실정이다.

한편 국내의 경우 골판지에 관련된 연구가 시작단계로서 수분 흡습특성과 압축강도 및 상자압축강도 설계프로그램에 관한 보고와 크리이프에 의한 과실포장용 골판지상자의 층적 내구련한 분석이 있었으나 시험에 사용된 재료가 특정 재질구성으로 제작된 골판지상자에 관한 연구로서 골판지원지에 대한 강도변화 및 예측에 관한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 습도변화에 따른 골판지상자의 압축강도를 예측하기 위하여 습도와 시간 변화에 따른 골판지원지의 링크러쉬강도를 측정후 회귀분석을 실시하여 예측 모델링식을 제시하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 시험재료

골판지상자의 제조에 많이 사용되고 있는 대표적인 골판지원지를 Table 1과 같이 구입하여 실험에 사용하였다.

Table 1. Characteristics of tested linerboard.

| Linerboard  |     | Basis weight (g/m <sup>2</sup> ) | Price (₩/kg) | Maker      |
|-------------|-----|----------------------------------|--------------|------------|
| Liner board | IK* | 175                              | 750          | Urocan     |
|             | SC  | 240                              | 950          | Hansoljeji |
|             | KA  | 210                              | 600          | Asiajeji   |
|             | SK  | 180                              | 480          | Asiajeji   |

\* IK : Imported kraft liner

### 시험방법

#### 습도조건 설정

습도 변화에 따른 골판지원지의 강도변화를 측정하기 위하여 습도의 경우 11% 93% 까지의 8단계로 나누어 포화 염용액을 제조하여 데시케이터에 넣고 20℃에서 각 조건을 유지하도록 하여 사용하였다.

#### 흡습탈습특성 측정

골판지원지의 초기수분함량은 시험용지 채취방법(KS M 7011)에 따라 골판지원지가 감겨있는 두루마리의 바깥 층으로부터 1 cm 이상의 안쪽의 것을 채취하여 적외선 수분측정기(model MB-200, OHAUS, USA)에 약 5 g의 시료를 넣은 후 수분시험 방법(KS M 7023, 1990)에 따라 105℃에서 15분간 측정하였다. 골판지원지의 흡습 탈습 특성을 측정하기 위하여 습도조절이 된 데시케이터에 원지를 넣은 후 시간 경과에 따른 수분함량 변화를 측정하였다.

#### 링크러쉬강도 측정

골판지상자의 압축강도에 직접적으로 관계가 있는 골심지의 cross direction (CD, 가로방향)과 machine direction (MD, 세로방향)에 평행이 되도록 시험편을 154 mm×12.7 mm의 크기로 절단하여 판지의 압축강도 시험방법(KS M 7051, 1990)에 따라 Fig. 2와 같이 링크러쉬 측정장치에 시험편을 끼워 넣고 만능재료시험기(model DY-32, ADAMEL Co., France)를 이용하였으며, 시험기의 조작 조건(test type: comp., cross head speed: 12.7±3 mm, load cell: 500 kgf, rupture: 80%)으로 하여 골판지원지의 링크러쉬강도를 측정하였다. 시험에 사용된 장치는 받침틀과 원판으로 구성되어 있으며 받침틀의 경우 지름이 50.00±3.0 mm으로 시험편을 끼워 넣을 수 있도록 6.35 mm의 홈이 패여 있으며 원판은 홈의 나비를 변형시킬 수 있도록 되어 여러개의 원판(직경 49.0~49.8 mm)으로 되어 있으며, 시험편을 끼워 넣었을 때 홈과 시험편 사이에 여유공간은 시험편 두께의 125~200%가 되도록 원판을 선택하여 사용하였다.

#### 습도 조건에 따른 링크러쉬강도 예측 모델링

골판지원지의 링크러쉬강도는 공기중의 상대습도와 보관

시간에 따라 변화되기 때문에 골판지원지의 링크러쉬강도 예측 모델 선정은 습도(H) 및 시간(t)에 따른 각각의 요인에 대하여 이차식의 함수형태를 가지는 Quadratic 모델을 가정하였다.

골판지원지 링크러쉬강도 예측 모델 가정은 아래와 같다.

$$P_c = \beta_1 + \beta_2 t + \beta_3 t^2 + \beta_4 H + \beta_5 H^2 + \beta_6 tH$$

$P_c$  : Linerboard compression strength (kgf)

$t$  : Storage time (day)

$H$  : Relative humidity (% RH)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$  : Parameters

예측 모델의 상대습도, 즉 H는 7개 구간(11~33%, 33~44%, 44~55%, 55~66%, 66~75%, 75~85%, 85~93% RH)으로 설정하여 예측에 사용하였다. 예측 모델에 사용된 통계처리 프로그램은 SAS STEPWISE PROC.을 이용하여 회귀분석을 실시한 후  $R^2$ 값과 F값을 구하였다.

**예측값과 실측값에 대한 모델접합도 검증**

습도와 시간에 따른 골판지원지의 링크러쉬강도 변화를 예측 모델을 이용하여 계산한 후 습도조건별 시간 경과에 따른 압축강도 예측값과 실측값의 유의성을 검증하기 위하여 SC240/K2180/S120/AS240/K2180의 재질구성으로 505 mm×350 mm×280 mm의 골판지상자를 제작하여 60, 70, 80, 90% RH로 조절된 항온항습실에 보관하면서 시간 경과에 따른 압축강도를 측정하여 상관계수( $R^2$ )를 산출하였으며 예측값과 실측값에 대한 %오차를 산출하여 모델적합도를 검증하였다.

**결과 및 고찰**

**흡습탈습특성 측정**

농산물 포장용 골판지상자는 유통기간이 짧은 것이 특징인 반면에 저장, 수송, 하역이 거칠어 강도저하가 심하며 과채류의 경우 수분함량이 높고 유통 중에도 증산작용이 일어나 포장 내부에 작용하여 강도저하를 초래하고 있다.

골판지원지에 대한 흡습 및 탈습 특성을 측정된 결과는 Fig. 1과 같다. 각 원지별로 흡습은 93% RH조건에서 24

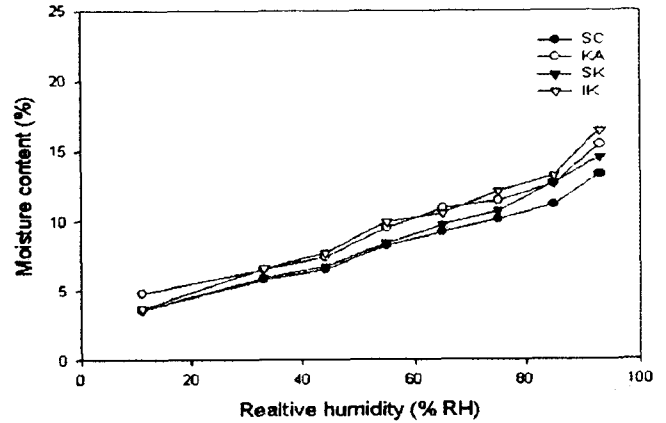


Fig. 1. Characteristics of absorption and desorption on liner board.

시간 이내에 모두 수분평형에 도달하였으며 11% RH 조건에서의 수분함량은 SC 및 SK원지가 3.6% IK원지는 3.7%로 낮게 나타났으나 KA원지는 4.8%로 높게 나타났다. 93% RH 조건에서의 수분함량은 원지별로 큰 차이가 있어서 SC만이라는 13.3%, SK원지는 14.5%, KA원지는 15.4%, IK원지는 16.4%로 높게 나타났다.

골판지원지의 흡습 속도는 93% RH 조건에 방치된지 1일 이내에 수분평형에 도달하는 것으로 나타나 실제 유통에 있어서 흡습에 따른 강도저하는 저장 초기에 대부분 일어나는 것으로 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 박 등이 골판지의 흡습 탈습 특성 시험에서 평형함수율에 도달하는데 소요되는 시간이 20시간이 걸렸다는 결과와 비슷한 것을 알 수 있었다.

**습도변화에 따른 링크러쉬강도 변화**

골판지상자의 압축강도 저하에 관한 기본적인 영향인자로서는 원지의 링크러쉬강도, 골의 종류, 골판지의 종류, 골판지의 함수율로 국내 골판지원지의 경우 쥬트라이너(jute liner)로서 고지의 함량이 높으며 섬유의 길이가 짧아서 수분을 빨리 흡수함으로 강도저하가 크라프트(kraft liner) 라이너에 비해 심한 것이 특징이다.

일반적으로 농산물 포장용 골판지상자의 경우 산지에서 포장, 출하하여 도매시장까지 유통에 필요한 시간은 내수용의 경우 2~3일, 수출용의 경우에는 5일 정도면 충분하며 유통 중 대기조건은 봄, 가을철의 경우 약 64% RH, 장마철의 경우에는 92% RH로 이다.

초기 링크러쉬강도의 경우 SC마니라가 가장 높게 나타났으나 66% RH에서는 SC마니라가 32.5 kgf, KA원지가 24.9 kgf, IK원지가 23.3 kgf 및 SK가 15.7 kgf으로 IK원지의 강도저하가 다른 원지에 비하여 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 93% RH에서 저장 2일째 링크러쉬강도는 SC마니라 27.9 kgf, IK원지 15.3 kgf, KA원지 20.2 kgf 및 SK원지 13.7 kgf으로 초기 링크러쉬강도보다 약 30~40%의 강도 저하가 일어나 흡습이 골판지상자의 압축강도 저하에 치명적인 요소로 작용 하고 있음을 확인할 수 있었다.

**링크러쉬강도 예측식 모델링**

습도조건과 시간경과에 따른 골판지원지의 링크러쉬강도를 예측하기 위하여 습도조건을 저습(11~55% RH)과 고습(66~93% RH)으로 나누어 회귀분석을 실시한 결과 상관계수(R<sup>2</sup>) 값이 낮게 나타나 습도를 7개 조건으로 세분하여 습도(H)와 시간(t)에 대한 parameter를 회귀분석한 결과는 Table 2에 나타난 것과 같다.

골판지원지의 R<sup>2</sup> 값은 IK원지의 경우 0.62~0.96으로 66% RH 이하에서는 다소 낮게 나타났으나 66% RH 이상에서는 0.94이상으로 높게 나타났으며 유의성의 경우에도 66% RH 이상에서 높게 나타났다. SC마니라의 경우 R<sup>2</sup>값은 모든 습도조건에서 높게 나타났으며 유의성도 높게 나타났다.

KA원지의 경우에도 SC마니라와 마찬가지로 모든 습도조건에서 R<sup>2</sup>와 유의성이 높게 나타났다. SK원지의 경우에

는 R<sup>2</sup>값이 다소 낮게 나타났으나 55% RH 이상의 조건에서는 유의성이 높게 나타났다.

**예측값과 실측값에 대한 모델 적합도 검증**

골판지상자를 제작하여 각 90%조건별로 항온항습실에 보관하면서 시간경과에 따른 압축강도를 측정하여 예측값과 비교 하였다.

링크러쉬강도 예측 모델식으로부터 습도조건과 시간경과에 따라 구하여진 각 원지의 링크러쉬강도를 Kellicutt식에 대입하여 압축강도를 예측한 결과 60% RH조건에서는 760 kgf, 70% RH는 700 kgf, 80% RH는 635 kgf, 90% RH에서는 502 kgf로 나타나 초기강도에 비해 41%의 강도저하를 나타내었으며, 습도조건에 따라 약간씩 감소하는 경향을 나타내었다. 각 습도조건별로 압축강도를 시험한 실측값의 경우 60% RH조건에서는 646 kgf, 70% RH는 542 kgf, 80% RH는 468 kgf, 90% RH에서는 410 kgf로 나타나 초기강도에 대한 강도저하율은 예측값과 비슷한 42%의 강도저하를 나타내었다. 실측값에 대한 상관계수(R<sup>2</sup>)를 분석한 결과 60% RH의 경우 0.93, 70% RH는 0.94, 80% RH는 0.95, 90% RH는 0.89로 대체로 높게 나타났으며, 90% RH에서 다른 조건보다 약간 낮게 나타난 것은 보관 초기에 강도저하가 심하게 나타나는 결과 때문인 것으로 판단되었다. 예측값과 실측값에 대한 모델 적합도를 검증하기 위해 % 오차를 산출한 결과 60% RH에서는 19.5, 70~90% RH에서는 각각 29.2, 31.3, 30.0으로 나타났다. 따라서 습도조건에 따른 상자의 압축강도 변

Table 2. Estimation of parameter for compression strength of liner board by humidity and time at 85~93% RH.

| Linerboard | Estimated parameter  | R <sup>2</sup> | F         |
|------------|--|----------------|-----------|
| IK*        | $P = 47.751042 + 2.470833t - 0.288542H + 0.245238t^2 - 0.057738Ht$ | 0.9370         | 40.878*** |
| SC         | $P = 49.604167 + 6.965774t - 0.125000H + 0.366071t^2 - 0.129464Ht$ | 0.9534         | 56.241*** |
| KA         | $P = 39.208333 + 2.785714t - 0.125000H + 0.345238t^2 - 0.071429Ht$ | 0.9566         | 60.682*** |
| SK         | $P = 24.937500 + 1.034226t - 0.041667H + 0.377976t^2 - 0.055060Ht$ | 0.8876         | 21.708*** |

\*\*\*) P < 0.0001

화를 예측하는 계산식에 Kellicutt식을 이용하여도 전혀 문제가 없는 것으로 사료되었다.

## 결론

습도변화에 따른 골판지상자의 압축강도를 예측하기 위하여 습도 변화에 따른 골판지원지의 링크러쉬 강도를 측정하여 습도와 시간 변화에 따른 링크러쉬강도 예측 모델링을 위한 회귀분석을 실시하였으며, 온 습도 조건에 따른 라이너원지의 링크러쉬강도 변화를 측정된 결과 온도변화에 따른 영향은 없었다. 습도변화에 따른 영향은 66% RH 조건에서는 IK원지의 강도저하가 가장 낮았으며, 93% RH조건에서는 KA원지의 강도저하가 40%로 가장 낮은 반면 SK원지가 56%로 가장 높게 나타났다.

습도변화에 따른 링크러쉬강도 예측 모델링에서 상관계수( $R^2$ )값은 0.59~0.97로 나타났다. 55% RH 이하에서는 대체로  $R^2$ 값이 낮게 나타났으나 66% RH 이상에서는 0.85 이상으로 높게 나타났으며, 유의성의 경우 33% RH 이상 조건에서  $p < 0.001$ 로 나타났다. 골판지상자의 강도 예측값과 실측값에 대한 유의성 검증에서 실측압축강도값은 예측압축강도값의 80% 수준이었으며,  $R^2$ 값은 0.89~0.95 이었다.

## 참고문헌

1. 김준현, 이재덕, 권열호, 200년대 골판지 포장산업의 발전전략, 산업연구원(1994)
2. 박무현, 이동선, 이광호, 식품포장학, 형설출판사(1998)
3. 산업디자인진흥원, 포장기술편람(1988)
4. 조병목, 고기능 판지 제조기술 개발, 공업기반기술개발사업 보고서, 통상산업부(1998)
5. Bronkhorst, C. A., Towards a more mechanistic understanding of corrugated container creep deformation behavior, JPPS23(4), p.174(1997)
6. Kellicutt, K. Q., Short-column crush test of corrugated board and its use in quality control, Packaging Engineering 4(9), pp.92-94(1959)
7. Kellicutt, K. Q. and Landt, E. F., Development of basic design data for corrugated fiberboard in shipping containers, Tappi 35(9), pp.398-402(1952)

8. Kim, S. I., J. K. and Ha, Y. S., Studies on linerboard compositions of corrugated fiberboard container for apples, J. Korea Soc. Packaging Sci. & Tech., 4(1), pp.3-10(1997)