



농산물 포장용 골판지상자의 강도 예측

Powerfulness of Corrugated carboard box used for farm products packaging

김수일 / 경북과학대학 포장학부 교수

1. 서론

골판지상자는 타 포장재료에 비해 강도가 우수하고 재활용이 가능하다.

또한 가격이 저렴하며, 가벼울 뿐만 아니라 인 쇄가 간편한 것 등 여러 가지 장점이 많아 외부 포장용기로 가장 널리 사용되고 있으나 습기에 약한 치명적인 단점을 가지고 있다.

골판지상자의 압축강도를 예측하는 식으로서는 Kellicutt식, Maltenfort식, McKee식, Wolf식 등 여러 가지 식이 있으나 국내에서는 Kellicutt식을 가장 많이 이용하고 있는 실정이다. 또한 장마철이 되면 대기중의 상대습도가 높아져서 흡습에 따른 골판지상자의 강도 저하 문제가 가장 골칫거리로 대두되고 있는 현실이다.

그동안 흡습에 따른 강도저하의 예측은 골판지를 구성하는 원지의 종류와 유통조건, 유통기간 등에 따라 변수가 많아 쉽게 예측하기가 어려웠다. 본 연구에서는 농산물 포장용 골판지상자 제조에 사용되는 주요 골판지원지에 대해 습도변화에 따른 골판지원지의 링크러쉬 강도 및 파열강도를 측정하고 습도와 시간변화에 따른 강도 예측 모델식 개발을 통한 습도변화에 따른 강도예측 방법에 대하여 설명하고자 한다.

2. 농산물 골판지상자의 품질현황

농산물 포장용 골판지상자의 품질현황을 조사하기 위하여 유통중인 사과와 참외 15kg 포장용 골판지상자의 재질구성(원지구성)과 이론압축강도 및 파열강도 등을 조사한 결과는 [표 1]

[표 1] 사과와 참외의 골판지상자 품질현황

구분	재질구성	이론압축강도(kgf)	이론파열강도(kgf/cm)	비고
사과	20	412~832	8.3~13.2	재질의 단순화를 통한 강도 표준화가 시급하였음
참외	41	730~1135	14.7~22.4	

과 같다. 겉으로 보기엔 백색과 황색골판지로만 구별되던 골판지상자들의 재질구성을 분석한 결과 사과와 경우 20종, 참외는 더욱 다양하여 41종으로 너무나 복잡하였다.

이론압축강도의 경우 재질구성에 따라 사과와 경우 412~832kgf, 참외의 경우에는 730~1135kgf 으로 강도차이가 심하게 나타났다.

또한 이론 파열강도는 사과와 경우 8.3~13.2 kgf/cm², 참외의 경우에는 14.7~22.4kgf/cm²으로 나타나 참외 포장용 골판지상자가 사과 포장용 골판지상자에 비해 이론압축강도 및 파열강도가 훨씬 더 높은 것을 알 수 있었다.

이러한 결과는 골판지제조업체의 과다수주경쟁에서 유래된 것으로 판단되며 재질의 단순화를 통한 강도 표준화가 시급하다.

[표 2]는 농산물 포장용 골판지상자의 제조에 많이 사용되고 있는 대표적인 골판지원지의 원료 조성, 링크러쉬강도 및 파열강도 등을 나타냈다.

골판지원지에는 라이너와 골심지가 있으며,

라이너의 경우 사용된 원료의 배합에 따라 kraft liner와 jute liner가 있다.

kraft liner 100% virgin pulp인 UKP (Unbleached kraft pulp) 또는 BKP (Bleached kraft pulp)를 사용한 것으로 수입원지(IK, IWK)가 이에 속한다.

jute liner의 경우 표면에 UKP 또는 BKP를 사용하고 이면에는 KOCC (Korean old corrugated container)나 recycled paper를 사용하여 제조한 것으로 대부분의 국내 골판지원지가 이에 속하며 KA원지에 비해 S원지의 경우 상대적으로 KOCC의 함량이 높아 강도면에서 품질이 떨어진 것을 알 수 있었다.

3. 골판지원지 흡습별 강도변화

3-1. 골판지원지의 흡습탈습특성 측정

[표 2]에 나타낸 골판지원지를 대상으로 11~93% RH 조건에서 흡습 및 탈습 특성을 측정한다

[표 2] 대표적인 골판지원지의 링크러쉬강도, 파열강도 및 원료(펄프)조성

원지종류	평량(g/m ²)	링크러쉬강도(kgf)	파열강도(kgf/cm ²)	원료(펄프)조성(%)
IK	175	22.9	7.1	UKP ¹⁾ (100)
SC	240	39.6	8.2	BKP ²⁾ / 마나라고지
KA	210	28.5	8.0	UKP(30)/AOCC ³⁾ (40) + KOCC(30)
SK	180	22.9	5.1	UKP(30)/KOCC ⁴⁾ (50) + AOCC(20)
K ₂	200	26.5	3.8	KOCC(50%) + AOCC(50)
A	180	21.0	2.8	크라프트고지(10) / KOCC(90)
S	120	11.2	2.1	KOCC(100)
AS	200	23.9	4.7	KOCC(95) + AOCC(5)

1) Unbleached kraft pulp

2) Bleached kraft pulp

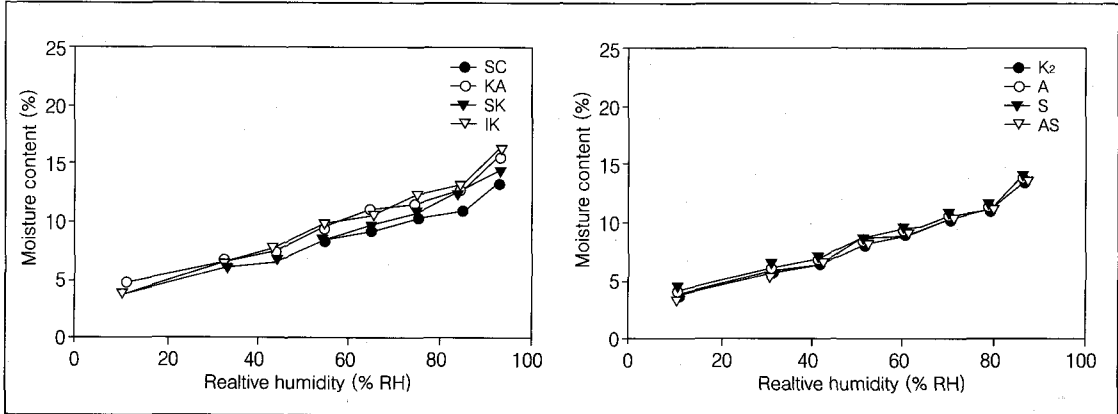
3) American old corrugated container

4) Korean old corrugated container



특 집

[그림 1] 골판지원지의 흡습·탈습 특성



결과는 [그림 1]과 같다.

초기의 골판지원지 수분함량은 8.1~9.3%이었으나 11% RH 조건에서는 탈습현상을 나타내어 수분함량이 3.5~4.8%로 감소되고 93% RH조건에서는 흡습하여 수분함량이 13.3~16.4%까지 증가하는 현상을 나타내었으며, 특히 SK원지가 흡습의 영향을 많이 받아 수분함량이 가장 높았다.

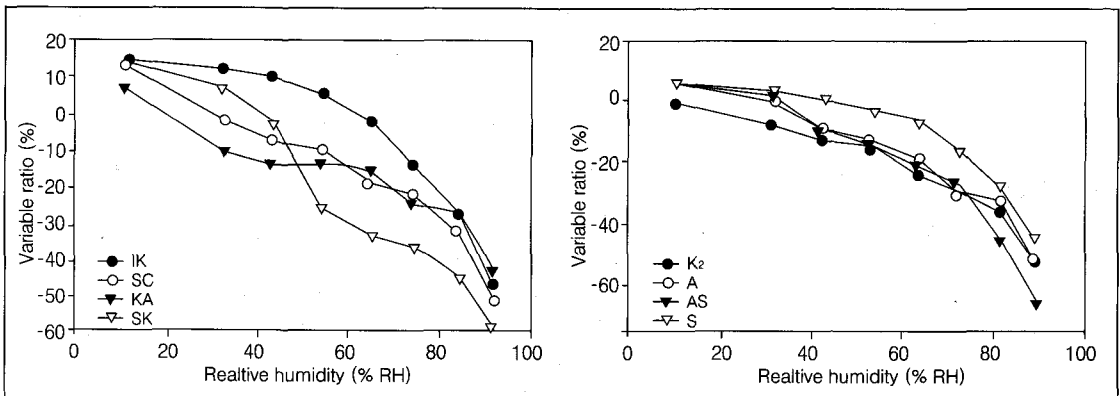
93% RH에서 수분평형에 도달하는 시간은

24시간 이내로 나타나 흡습속도가 빠른 것으로 나타났다.

3-2. 습도조건별 골판지원지 링크러쉬강도

골판지상자의 압축강도 저하에 관한 기본적인 영향인자로서는 원지의 링크러쉬강도, 골의 종류, 골판지의 종류 및 골판지의 함수를 등이며 국내 골판지원지의 경우 주트라이너(jute liner)로서 고지의 함량이 높고 섬유길이 짧아서 수

[그림 2] 습도조건에 따른 골판지원지의 링크러쉬강도 변화율



분을 빨리 흡수함으로 강도저하가 크라프트(kraft liner) 라이너에 비해 심한 것이 특징이다.

온도변화에 대한 원지의 링크러쉬강도 변화를 측정하기 위하여 원지를 PE필름에 포장한 후 5℃와 30℃조건에 1주일간 보관하면서 강도변화를 측정한 결과 온도는 강도변화에 아무런 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

[그림 2]는 습도조건에 따른 원지의 링크러쉬 강도 변화를 나타낸 것으로 11% RH조건에서는 초기 링크러쉬강도에 비해 3~15% 정도가 증가되었으나 원지의 종류에 따라서는 33% RH 조건에서부터 강도가 저하하기도 하였다.

66% RH 조건에서는 IK원지를 제외한 모든 원지에서 초기강도에 비해 13~32%의 강도저하가 나타났으며, 특히 SK원지의 강도저하가 심하였다. 93% RH 조건에서는 모든 원지에서 초기강도에 비해 40~58%의 강도저하가 나타났으며 역시 SK원지와 AS원지의 강도저하가 심하였다.

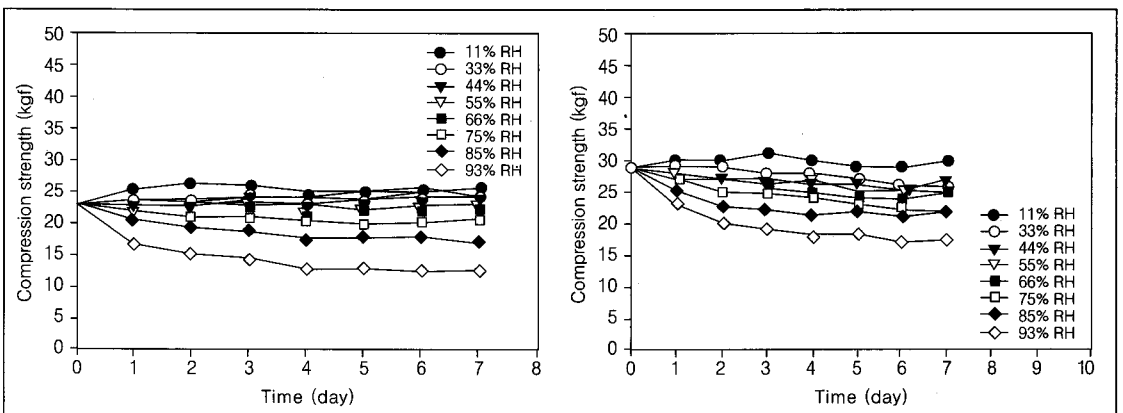
[그림 3]은 습도조건별로 일주일간 원지를 저

장하면서 링크러쉬강도 변화를 나타낸 것으로서 93% RH조건에서 각 원지의 강도변화를 살펴보면 대부분의 원지들이 저장 2일째까지 현저한 강도저하가 나타나다가 4~5일이 경과하면 거의 강도변화가 나타나지 않는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과는 흡습특성과도 밀접한 관계가 있으며 흡습에 의하여 평형수분에 도달한 원지는 내부 섬유들의 흡습과 팽윤이 저장 2일째까지 가장 왕성하게 일어나 강도저하에 치명적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

한편 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% RH를 기준으로 할 때 농산물 포장용 골판지상자의 설계시 초기강도저하에 따른 문제점을 충분히 검토하여야 할 것으로 판단된다.

[그림 3] 습도조건별 저장기간별 링크러쉬강도 변화(왼쪽 : IK원지, 오른쪽 : KA원지)





3-3. 습도조건별 골판지원지의 파열강도

습도 조건에 따른 골판지 원지의 파열강도 변화는 11% RH조건에서는 초기 파열강도에 비해 약 4~9%가 증가하였으나 44% RH 조건에서부터 강도저하가 나타나기 시작하여 77% RH 이상의 조건에서는 모든 원지에서 파열강도의 급격한 저하가 나타났다.

93% RH조건에서는 17~32%의 강도저하가 나타났으며 SK원지와 K2원지의 저하가 심하게 나타났다.

일반적으로 파열강도는 섬유 상호간의 결합력 섬유간 마찰강도, 섬유자체의 강도 등이 복합적으로 구성된 물리적 강도로서 전분 등과 같은 표면사이징 처리를 할 경우 파열강도가 향상된다는 보고와 같이 K2와 SK원지보다 고지함량이 높은 AS원지와 S원지의 경우 지력증강제로 사용된 전분의 작용으로 인하여 강도 저하율이 다소 낮은 것으로 판단되었다.

[그림 4]는 습도조건별로 일주일간 원지를 저장하면서 파열강도 변화를 나타낸 것으로 링크

러쉬강도에서와 마찬가지로 저장 1~2일째의 강도저하가 크게 나타났으며 저장 4~5일 이후에는 정도가 미미하였다.

4. 골판지상자 압축 · 파열강도 예측

4-1. 골판지원지의 링크러쉬강도 모델링

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

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

P_c : 골판지원지 링크러쉬 강도 (kgf)

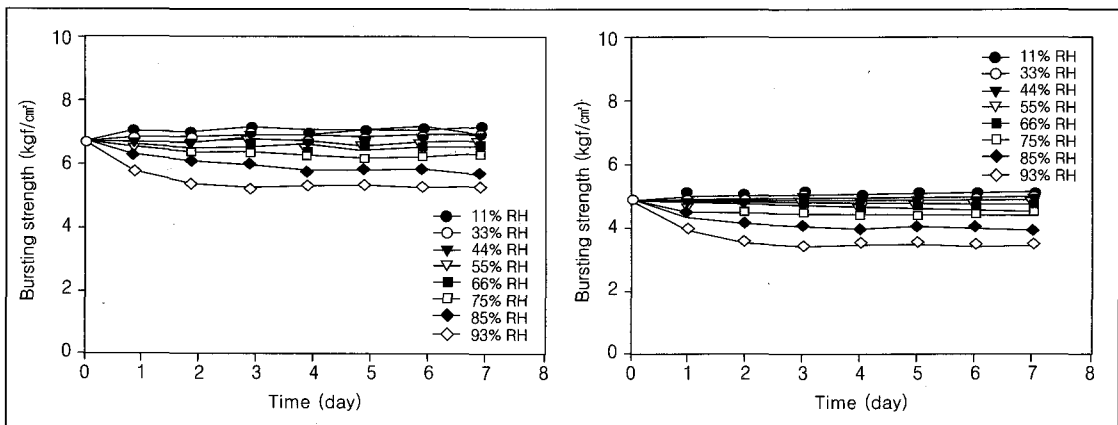
t : 저장기간 (일)

H : 상대습도 (% RH)

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

[표 3]은 85~93% RH 조건에서의 골판지원지의 링크러쉬강도 예측 모델식을 나타낸 것이다.

[그림 4] 습도조건별 저장기간별 파열강도 변화(왼쪽 : K원지, 오른쪽 : SK원지)



[표 3] 85~93% RH 조건에서의 골판지원지의 링크러쉬강도 예측 모델식

원지종류	링크러쉬강도예측모델식	R ²	F
IK	$P_c = 47.751042 + 2.470833t - 0.288542H + 0.245238t^2 - 0.057738Ht$	0.9370	40.878***
SC	$P_c = 49.604167 + 6.965774t - 0.125000H + 0.366071t^2 - 0.129464Ht$	0.9534	56.241***
KA	$P_c = 39.208333 + 2.785714t - 0.125000H + 0.345238t^2 - 0.071429Ht$	0.9566	60.682***
SK	$P_c = 24.937500 + 1.034226t - 0.041667H + 0.377976t^2 - 0.055060Ht$	0.8876	21.708***
K ₂	$P_c = 28.459375 + 2.680060t - 0.030208H + 0.248810t^2 - 0.064583Ht$	0.9643	74.342***
A	$P_c = 28.436458 + 3.465476t - 0.094792H + 0.248214t^2 - 0.068452Ht$	0.9297	36.367***
S	$P_c = 20.486458 + 0.700149t - 0.113542H + 0.111012t^2 - 0.020685Ht$	0.8184	12.390***
AS	$P_c = 38.797917 + 1.642113t - 0.187500H + 0.299107t^2 - 0.056696Ht$	0.8948	23.383***

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

P_c : 골판지원지 링크러쉬 강도 (kgf) t : 저장기간 (일) H : 상대습도 (% RH) β₁, β₂, β₃, β₄, β₅, β₆ : Parameters

4-2. 골판지원지의 파열강도 예측 모델링

파열강도의 경우에도 링크러쉬강도와 마찬가지로 예측 모델 선정은 습도 및 시간에 따른 이차식의 함수 형태를 갖는 Quadratic 모델로 가정하였다.

$P_b = \beta_7 + \beta_8 t + \beta_9 t^2 + \beta_{10} H + \beta_{11} H^2 + \beta_{12} tH$

P_b : 골판지원지의 파열강도 (kgf/cm²)

t : 저장기간 (일)

H : 상대습도 (% RH)

β₇, β₈, β₉, β₁₀, β₁₁, β₁₂ : Parameters

예측 모델에 사용된 통계처리 프로그램은 SAS STEPWISE PROC.을 이용하여 회귀분

석을 실시한 후 R²값과 F값을 구하였다.

[표 4]는 85~93% RH 조건에서의 골판지원지의 파열강도 예측 모델식을 나타낸 것이다.

4-3. 예측값과 실측값에 대한 모델접합도 검증

습도와 시간에 따른 골판지원지의 링크러쉬강도와 파열강도 변화를 예측 모델을 이용하여 계산한 후 습도조건별 시간 경과에 따른 압축강도 및 파열강도의 예측값과 실측값의 유의성을 검증하기 위하여 SC240 / K2180 / S120 / AS240 / K2180의 재질구성으로 505mm×350mm×280mm의 골판지상자를 제작하여 90% RH



(표 4) 85~93% RH 조건에서의 골판지원지의 파열강도 예측 모델식

원지종류	링크러쉬강도예측모델식	R ²	F
IK	$Pb = 10.744792 - 0.038542t - 0.042708H$ $+ 0.049702t^2 - 0.005208Ht$	0.9213	32.189***
SC	$Pb = 10.344792 + 0.868006t - 0.026042H$ $+ 0.047321t^2 - 0.015327Ht$	0.9419	44.587***
KA	$Pb = 9.880208 + 0.845833t - 0.021875H$ $+ 0.041071t^2 - 0.014286Ht$	0.9563	60.196***
SK	$Pb = 7.702083 + 0.477976t - 0.031250H$ $+ 0.048214t^2 - 0.010714Ht$	0.9230	32.951***
K ₂	$Pb = 6.077083 + 0.388988t - 0.027083H$ $+ 0.044048t^2 - 0.009226Ht$	0.9097	27.694***
A	$Pb = 3.207292 + 0.330208t - 0.005208H$ $+ 0.021131t^2 - 0.006101Ht$	0.9244	38.605***
S	$Pb = 3.329167 + 0.204613t - 0.014583H$ $+ 0.018750t^2 - 0.004315Ht$	0.9181	30.821***
AS	$Pb = 5.100000 - 0.016815t - 0.006250H$ $+ 0.044345t^2 - 0.004911Ht$	0.9303	36.702***

로 조절된 항온항습실에 보관하면서 시간경과에 따른 압축강도 및 파열강도를 측정하여 상관계수(R2)를 산출하였으며 예측값과 실측값에 대한 % 오차를 산출하여 모델적합도를 검증하였다.

(그림 5)는 90% RH조건에서 압축강도 및 파열강도 예측값과 실측값을 비교한 것으로서 압축강도의 경우 링크러쉬강도 예측 모델식으로부터 습도조건과 시간경과에 따라 구하여진 각 원지의 링크러쉬강도를 Kellcutt식에 대입하여 압축강도를 예측하였다. 그 결과 90% RH에서 예측값은 502kgf로 나타나 초기강도 850kgf에 비해 41%의 강도저하를 나타내었으며, 습도조건에 따라 약간씩 감소하는 경향을 나타

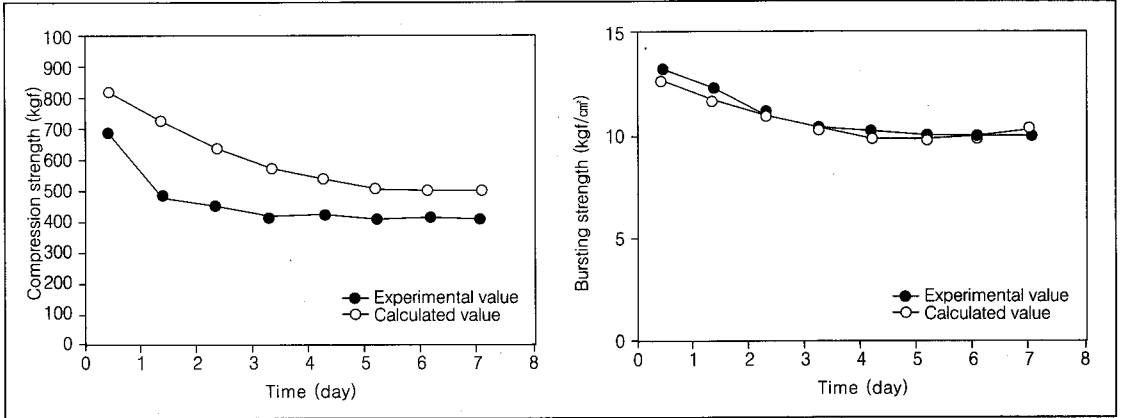
내었다.

90% RH 조건에서 압축강도를 시험한 실측값의 경우 410kgf로 나타나 초기강도 710kgf에 비한 강도저하율은 예측값과 비슷한 42%의 강도저하를 나타내었다.

실측값에 대한 상관계수(R2)를 분석한 결과 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 90% RH에서는 30.0으로 나타났다. 따라서 습도조건에 따른 상자의 압축강도 변화를 예측하는 계산식에

(그림 5) 90% RH 조건에서 압축강도 및 파열강도 예측값과 실측값의 비교(왼쪽 : 압축강도, 오른쪽 : 파열강도)



Kellicutt식을 이용하여도 전혀 문제가 없는 것으로 사료되었다.

상자 파열강도의 경우 파열강도 예측 모델식으로 습도조건과 시간경과에 따라 구하여진 각 원지의 파열강도를 파열강도 계산식에 대입하여 보관 7일 경과후의 파열강도를 예측한 결과 90% RH에서는 11.6kgf/cm²로 나타나 초기강도에 비해 22%의 강도저하를 나타내었으며, 습도조건에 따라 약간씩 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 90% RH 조건에서 7일 경과 후 측정된 실측값의 경우 11.5kgf/cm²로 예측값보다 높게 나타난 것은 농산물 포장의 특성상 골심지를 고품량의 강화골심지로 사용하고 있어서 파열강도 측정 시 영향을 미친 것으로 판단된다.

한편 초기강도에 대한 강도저하율은 예측값과 비슷한 24%의 강도저하를 나타내었다. 실측값에 대한 상관계수(R2)를 분석한 결과 90% RH는 0.99로 높게 나타나 습도조건에 따른 상자의 파열강도 계산식을 이용하여도 전혀 문제가 없는 것으로 나타났다.

5. 결론

이상의 결과에서 장마철 대기습도가 높은 경우 강도저하는 초기(습도영향이 없는 경우)에 비해 압축강도의 경우 약 40%, 파열강도의 경우 약 20%의 강도저하가 일어나는 것을 알 수 있었다.

한편 농산물에 비해 유통기한이 긴 공산품의 경우 실험을 통하여 예측이 정확하겠지만 경험상으로는 약 50%의 강도저하가 예상되어지고 있다.

골판지상자의 압축강도는 습도 외에도 인쇄방법 및 면적, 제조설비, 적재방법, 유통방법 등 여러 가지 변수들이 영향을 미칠 수 있으므로 각각 변수에 대한 충분한 검토가 필요하다.

또한 동일한 종류의 골판지원지라고 하더라도 제조회사별로 강도의 차이가 심할 수 있으므로 사용하고 있는 골판지원지의 정확한 강도를 확인한 후 강도예측 및 설계를 실시하여야 할 것이다. KO