

과채류 포장용 골판지 상자의 안전계수 규격화 및 설계 프로그램 구축 (I)

- 상대습도에 따른 농산물 포장용 골판지 원지의 물리적 특성 변화 및 상자압축강도의 예측 -

Standardization and Computer Programing of Safety Factors of Corrugated Fiberboard Containers for Agricultural Products (I)

- Physical Properties of Corrugated Fiberboard and Estimation of Box Compressive Strength with changes of relative humidity -

조중연¹⁾, 신준섭¹⁾, 김종경¹⁾, 소규영¹⁾, 임현상¹⁾, 서영범²⁾, 손기주³⁾

용인송담대학 유통문화산업계열¹⁾, 충남대학교 임산공학과²⁾, 에스팩³⁾

1. 서론

농산물의 포장설계는 농산물 자체가 갖고 있는 특성, 유통환경 및 과정, 국내 포장재료 생산능력, 산지농민(작업자)실태 등을 감안하여 포장재료, 포장강도, 포장기법, 포장치수를 적정하게 적용해야 한다.

농산물 포장에서 수송용으로 가장 많이 적용되는 재료는 골판지상자로서, 가격이 싸고, 품질(완충성, 압축성, 파열성, 경량인 점 등)이 우수하고, 작업성이 편리하기 때문에 사용량이 매년 증가되고 있다.

골판지 상자는 2가지의 중요한 물리적인 강도를 갖고 있는데 파열강도와 압축강도임. 파열강도는 재료를 평면에서 파열시킬 때의 강도기준이며, 압축강도는 포장재료를 세운 후 눌러서 찌그러질 때의 강도기준이다.

포장을 해야만 하는 모든 내용물은 눌러도 파손되지 않는 자립 내용물과 눌러면 변형되거나 파손되어 상품성이 없어지는 비자립 내용물로 구분할 수 있으며 자립제품은 골판지 상자의 파열강도 위주로 포장재를 선정하며, 비자립 제품은 압축강도 위주로 재료를 선정한다. 농산물은 대부분이 눌러면 파손되는 비자립 제품이기 때문에 골판지 상자로 포장 후 압축 강도가 약해지면 수송이나 보관 중 적재상태에서 상자가 찌그러져 내용물이 압상당하기 쉬운 품목이다. 따라서 적정한 골판지상자의 압축강도 기준 설정

은 농산물포장설계의 가장 기본적인 요소라 하겠다.

골판지상자의 압축강도는 파열강도에 비해 기준설정이 어려운데, 이는 상자의 치수, 제조, 통기공 및 인쇄 등 가공 상의 문제점과 유통조건, 진동, 충격, 적재방법 등에서 발생하는 유통상의 문제점을 복합적으로 고려해야 하기 때문이다.

이러한 이유로 골판지상자의 압축강도에 대한 연구는 관련 연구자들의 오랜 관심사였다. 박(1) 등은 골판지 상자의 압축강도는 온도보다는 상대습도에 더 많은 영향을 받으며 상대습도의 증가에 따라 급격히 감소하는 경향을 보인다고 하였다.

김(2)은 습도변화에 따른 골판지상자의 압축강도 및 파열강도를 예측하기 위하여 골판지원지와 상자의 재질구성 등에 대하여 연구하여 골판지상자의 압축강도, 파열강도, 재료비, 무게 등을 설계할 수 있는 프로그램을 개발하였으며 상자의 압축강도값의 결과는 예측치의 80% 수준으로 나타났다.

한편 Fiber Box Association은 아래와 같이 유통환경에 따른 압축강도 저하율을 산정하여 도움이 되도록 하였다.(3)

Table 1. Variable Environmental Factors under load.

Factors	Compression Loss	Multipliers	
Storage time under load	10 days -37 percent loss	0.63	
	30 days - 40 percent loss	0.60	
	90 days - 45 percent loss	0.55	
	180 days - 50percent loss	0.5	
	50percent -0 percent loss	1.00	
Relative Humidity under load(cyclical RH variation further increases compressive loss)	60percent -10percent loss	0.90	
	70percent -20percent loss	0.80	
	80percent -32percent loss	0.68	
	90percent -52percent loss	0.48	
	100percent-85percent loss	0.15	
Pallet Patterns		Bast Case	Worst Case
Columnar, aligned	Negligible loss		
Columnar, misaligned	10 - 15percent loss	0.90	0.85
Interlocked	40 - 60 percent loss	0.60	0.40
Overhang	20 - 40 percent loss	0.80	0.60
Pallet deckboard gap	10 - 25 percent loss	0.90	0.75
Excessive handling	10 - 40 percent loss	0.90	0.60

RH와 상자의 수분함량의 관계에 대한 연구는 상자의 압축강도 연구의 필수적인 요소가 되어 왔다.(4) Ievans 등은 상자외 적재상태에서 적재된 상자에 습도측정센서를 부

착하여 다양한 조건 하에서 수분함량을 측정하고 또 이론적인 수분함량을 계산하여 상자의 압축강도 예측을 시도하였다.

골판지상자의 압축강도에 대한 예측은 다양한 방법으로 이루어져 왔는데 대표적인 것이 Mckee 식과 Kellicutt식이다.

Mckee는 RSC형 상자(0201형)의 압축강도는 상자의 주변장(둘레), 원단의 ECT, 원단의 내굽힘성, 상자의 길이와 나비의 비율 등을 통해 계산할 수 있는 식을 개발하였다.(3) Mckee 식은 단지 RSC형에만 적용이 가능하며 주변장과 상자의 높이의 비가 7:1 이상이면 적용이 불가능하다. Mckee 식을 보다 단순하게 풀어쓰면 아래 식 1와 같다.

$$BCT = 5.87 \times ECT \times \sqrt{\text{caliper of combined board} \times \text{box perimeter}} \quad \text{--- (1)}$$

그러나 국내에서 가장 많이 사용되는 식은 Kellicutt 식이다.(5) Kellicutt 식은 원지의 링크러쉬강도와 상자의 주변장을 기본적인 요소로 하고 있기 때문에 원지의 수분함량 변화를 통해 상자의 압축강도를 예측하기 용이하다. Kellicutt 에 의한 골판지상자 압축강도 계산식은 아래와 같다.

$$P = A \times \Sigma RC \times Z^{1/3} \quad \text{--- (2)}$$

여기서

P = 구하고자하는 상자의 압축강도(kg f)

ΣRC = 구성원지의 링크러쉬강도 합계(kg f)

Z = 상자의 주변장(mm) = (장 + 폭)×2

A = 골판지 골의 상수

먼저 상기 식에서 상수 A를 정리하면 다음과 같다.

SW A골: 0.347

SW B골: 0.248

DW AB골: 0.442

ΣRC 는 원지의 링크러쉬강도의 합이며 골심지의 경우 A골은 1.6, B골은 1.4의 팩터를 곱해야 한다.

본 연구는 농림기술개발연구과제인 '과채류 포장용 골판지 상자의 안전계수 규격화 및 설계 프로그램 구축'을 위하여 실시되었다. 특히 상자의 안전계수에 가장 큰 영향을 미치는 상대습도와 상자의 압축강도의 관계 규명을 통하여 최종 목표인 상자의 안전계수의 적정화를 위한 이론적 기초를 세우고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험을 위한 공시재료는 국내에서 포도 및 농산물포장 용도로 보편적으로 사용되고 있는 원지와 5kg들이 산물용 포도포장용 골판지상자로 원지는 아세아제지에서, 골판지상자는 경북 김천의 아그로팩에서 생산된 550*366*110(mm, 장*폭*고 기준) 규격의 상자를 각각 구입하였다. 사용된 원지의 평량과 두께는 Table 2와 같다.

Table 2. Basis Weight and Thickness Test Data.

Kinds		KA210	K200	B150	SC240	S120	SK180
Basis Weight (g/m ²)	Max.	214.70	203.84	154.92	258.52	122.34	181.00
	Min.	211.26	199.42	148.46	251.28	120.18	173.16
	Average	213.01	201.20	152.60	254.89	121.35	177.38
	Std. Dev.	1.08	1.65	1.98	2.27	0.81	2.47
Thickness (μ m)	Max.	293.50	291.40	271.17	296.57	216.80	262.90
	Min.	277.00	284.80	244.43	291.03	202.37	250.20
	Average	285.40	287.55	254.66	293.85	207.78	257.26
	Std. Dev.	28.85	5.21	61.65	3.38	16.09	13.81

2.2. 파열강도

골판지 원지의 파열강도 시험은 사전에 샘플링한 시료를 표준상태(20℃-RH 50%)하에 24시간 전처리 후 파열강도시험기(CO-608, 대양 Instruments)를 이용하여 저압파열강도시험방법(KS M 7017)에 따라 원지의 표면과 이면을 각각 10회 실시하였다.

2.3. 수분흡습

골판지 원지의 수분흡습특성을 시험하기 위하여 강제순환식 항온항습기(Donghak Machinery)를 사용하였다. 공시된 원지는 가로가 25cm, 세로가 20cm 형태로 시편을 만들어 표준상태(20℃-RH 50%)하에 24시간 전처리한 다음 계획한 습도조건에 따라 다시 24시간 평형시켜 함수율을 측정하였다. 원지의 함수율측정은 적외선 수분계(AD-4714A, A&D)를 이용하였다.

2.4. 압축강도

골판지 원지의 압축강도 시험은 원형 형태로 구조적인 안정화를 기한 다음, 가압하는 원형분괴시험기(ring crush tester)(13-02-00, TMI)로 측정하였고 이때, 시료의 크기는 6"(152.4mm)×1/2"(12.7mm)의 것을 사용하였다. 압축강도의 기준은 원지의 CD(Cross Direction)방향으로 하였으며 모든 시험 항목은 10개 시료에 대해 측정하여 평균값과 표준편차를 구하였다. 시험은 KS M7021(종이 및 판지의 두께와 밀도 시험 방법), KS M 7051-1997(판지의 압축강도 시험방법)에 따랐다.

2.5. 상자압축강도

아그로팩에서 구매한 원단으로 생산된 골판지상자의 압축강도는 상자압축강도시험기(DTT-900, 대경테크)를 이용하여 표준상태 및 90% RH의 고습 하에서 각각 10회 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 파열강도

파열강도는 KA와 SC 원지의 강도가 가장 높게 나타났으며 상대습도 50% 이상에서 다소 강도가 낮아지는 경향을 보였으나 급격한 강도하락은 일어나지 않았다. Table 3는 전체 실험치를, Figure 1은 표면의 파열강도 측정치를 나타낸 것이다.

Table 3. Effect of Relative Humidity on Bursting Strength of Corrugated Fiberboard.

Units: kg/cm²

RH, %	Bursting Strength											
	KA210		K200		B150		SC240		S120		SK180	
	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in	out	in
30	7.4	7.3	2.2	2.2	2.3	2.4	7.2	6.4	1.4	1.4	4.0	3.6
50	7.2	6.9	2.2	2.1	2.2	2.1	7.1	6.4	1.4	1.3	3.8	3.6
70	6.5	6.3	1.9	2.1	2.1	2.1	6.7	5.6	1.3	1.2	3.6	3.5
90	5.9	6.0	1.8	2.0	2.0	2.1	6.2	5.2	1.2	1.1	3.1	2.8

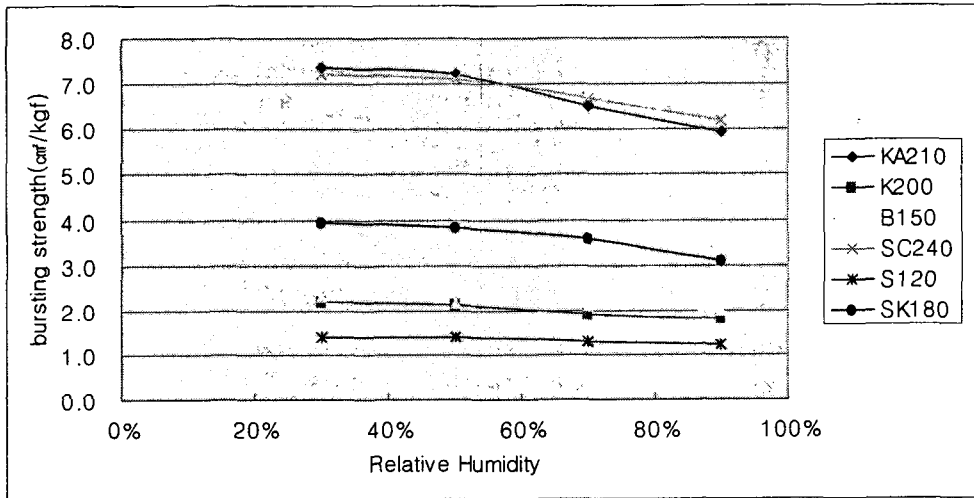


Figure 1. Effect of Relative Humidity on Bursting Strength of Corrugated Fiberboard.

3.2 압축강도

원지의 압축강도(Ring Crush)치는 대체적으로 평량과 비례하여 SC 원지가 가장 높고 KA, K 순이었으며 평량이 가장 낮은 S 원지의 강도가 가장 낮았다. 모든 원지의 압축강도가 상대습도 60%까지는 큰 변화가 없이 서서히 강도가 낮아지다가 70% 이상에서 급격한 강도하락을 보여주었다.(Table 4, Figure 2)

Table 4. Effect of Relative Humidity on Compression Strength of Corrugated Fiberboard.

Units: kgf

RH, %	Compression Strength of Corrugated Fiberboard											
	KA210		K200		B150		SC240		S120		SK180	
	CD	MD	CD	MD	CD	MD	CD	MD	CD	MD	CD	MD
30%	24.8	38.8	15.0	24.7	10.5	18.1	37.7	42.3	6.2	9.3	14.6	26.2
50%	24.2	34.6	13.8	21.2	10.1	15.1	34.8	38.1	6.0	8.8	13.0	21.9
70%	22.3	33.9	13.6	20.4	9.1	14.3	31.1	34.2	5.7	8.4	12.5	21.5
90%	13.8	21.1	7.3	11.5	5.7	9.0	15.1	19.8	3.4	5.8	8.0	12.4

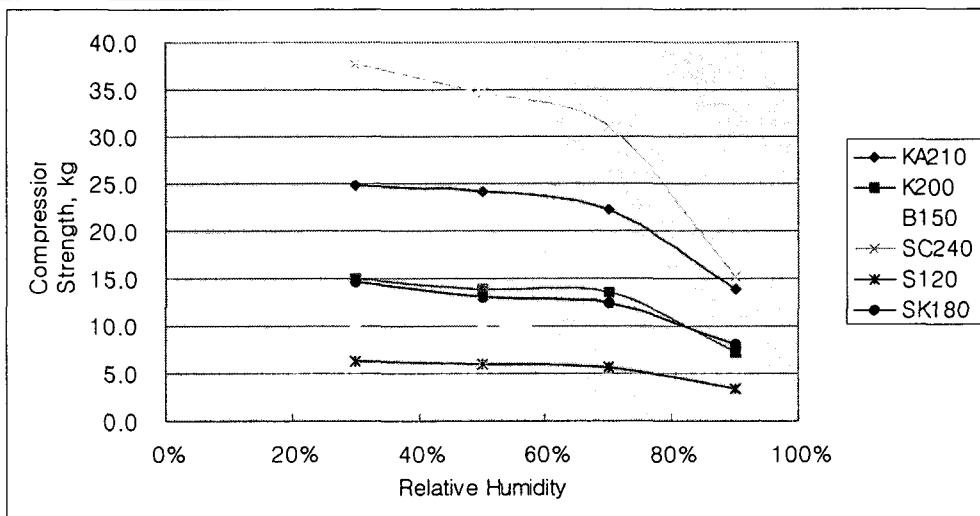


Figure 2. Effect of Relative Humidity on Compression Strength of Corrugated Fiberboard.

3.3 평형함수율

각 상대습도별 평형함수율에 도달한 원지의 수분함량을 측정한 결과 대체적으로 상대 습도 60% 이상에서 급격한 흡습특성을 보였으며 특히 B 원지의 수분함량이 높게 나타났다. 급격한 수분흡습특성은 원지에 포함된 재생고지의 함량 및 재질과 관련이 있는 것으로 판단된다(Table 5, Figure 3)

Table 5. Effect of Relative Humidity on EMC of Corrugated Fiberboard.

RH, %	EMC of Corrugated Fiberboard.					
	KA210	K200	B150	SC240	S120	SK180
30	7.8	7.1	7.2	6.2	6.9	7.5
50	8.2	7.6	7.4	6.6	7.1	8.0
70	8.5	8.2	8.0	8.0	8.1	8.7
90	14.5	14.3	16.7	13.1	12.2	14.3

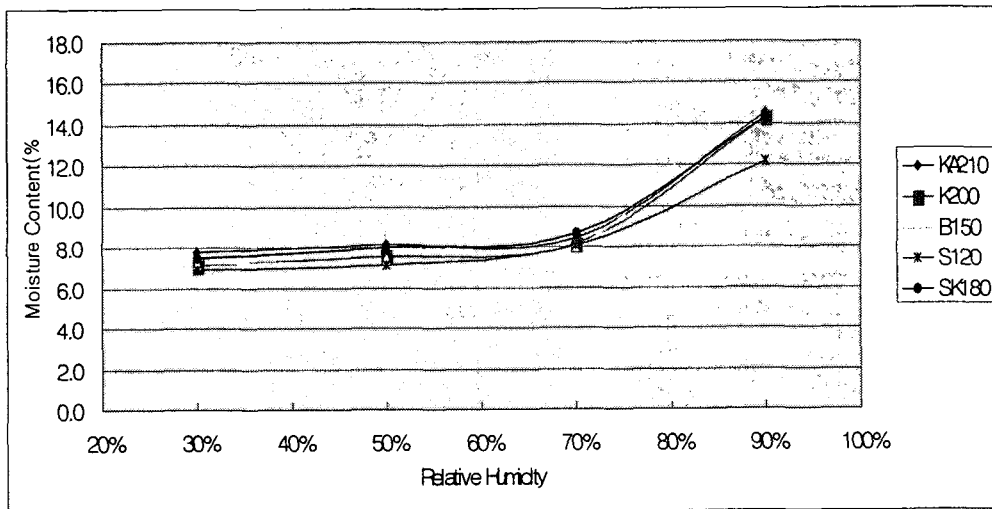


Figure 3. Effect of Relative Humidity on Equilibrium Moisture Content of the Corrugated Fiberboard.

3.4 평형함수율과 압축강도 비교

각 원지의 평형함수율과 원지의 압축강도와의 관계를 수식화하기 위하여 그래프로 나타내었다.(Figure 4)

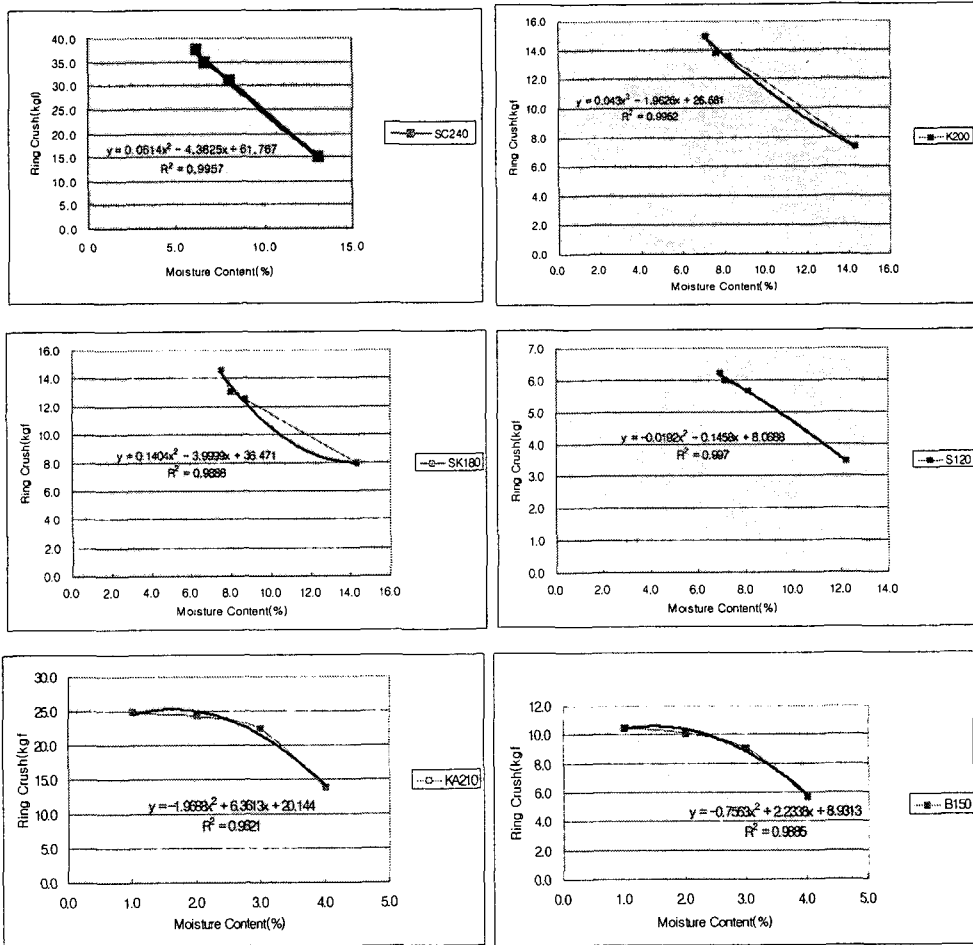


Figure 4. Relationship of Moisture Content and Compression Strength of the Corrugated Fiberboard.

상기 관계를 바탕으로 각 상대습도별, 수분함량별 원지의 압축강도를 계산할 수 있다.(Table 6) 또 이것을 표준습도상태인 50% RH에서의 원지의 강도를 1이라고 했을 때 상대습도에 따른 각 원지별 강도저하율을 유추할 수 있으며 이것은 상자의 압축강도 예측에 활용될 수 있다.

3.5 실험치와 예측치와의 비교

Table 7은 실제 상자를 습도에 따른 압축강도를 측정된 것이다. 상자의 원지구성은 SC240/S120/K200/S120/KA180의 조합이었으며 시험한 상자의 압축강도는 평균 479kgf 이었고 상대습도 90%에서는 초기강도 보다 48%가 떨어진 249kgf이었다. 함수율에 따른 원지의 압축강도와 Kellicutt 식을 활용한 예측치의 경우 초기강도가 520kgf이 나왔으며 상대습도 90%에서는 240kgf의 강도가 나오는 것으로 예측되었다. 초기강도가 실험치보다 높은 것은 제 골판지상자가 제작과정이나 유통 중 다른 요인에 의해 압축강도가 다소 영향을 받았다고 판단되었다.

Table 6. Compression Strength and Conversion Factor of Fiberboards as a function of Moisture Content at each Relative Humidity.

Kinds	Relative Humidity	Water Content(%)	Compression Strength (kgf)	Conversion Factor	Kinds	Relative Humidity	Water Content (%)	Compression Strength (kgf)	Conversion Factor
SC240	50%	6.19	37.10	1.00	K200	50%	6.79	15.24	1.00
	55%	6.53	35.91	0.97		55%	7.08	14.84	0.97
	60%	7.01	34.22	0.92		60%	7.55	14.22	0.93
	65%	7.63	32.05	0.86		65%	8.19	13.39	0.88
	70%	8.40	29.44	0.79		70%	9.01	12.39	0.81
	75%	9.32	26.43	0.71		75%	10.00	11.25	0.74
	80%	10.39	23.07	0.62		80%	11.17	10.02	0.66
	85%	11.60	19.41	0.52		85%	12.51	8.76	0.57
	90%	12.96	15.53	0.42		90%	14.03	7.51	0.49
	95%	14.47	11.49	0.31		95%	15.72	6.36	0.42
S120	50%	6.19	6.43	1.00	SK180	50%	7.29	14.76	1.00
	55%	6.53	6.30	0.98		55%	7.58	14.21	0.96
	60%	7.01	6.10	0.95		60%	8.03	13.40	0.91
	65%	7.63	5.84	0.91		65%	8.64	12.40	0.84
	70%	8.40	5.49	0.85		70%	9.40	11.27	0.76
	75%	9.32	5.04	0.78		75%	10.33	10.13	0.69
	80%	10.39	4.48	0.70		80%	11.42	9.11	0.62
	85%	11.60	3.79	0.59		85%	12.66	8.33	0.56
	90%	12.96	2.95	0.46		90%	14.06	7.99	0.54
	95%	14.47	1.94	0.30		95%	15.63	8.25	0.56

Table 7. Comparison of Measured with Estimated Box Compressive Strength.

	R. H.	Dimension			Perimeter of Box	Sum of Compression Strength(kgf)					'A' for DW	Comp. Str. (kgf)	Multipliers	
		L	W	D		Outer liner	Cor. Med. (B F.)	Center liner	Cor. Med. (A F.)	Inner liner				Total
Measured	50%											479	1.00	
	70%	550	366	110								447	0.07	
	90%											249	0.48	
Estimated	50%					37.10	9.00	15.24	10.29	14.76	96.16		520	1.00
	70%	550	366	110	1832	29.44	7.68	12.39	8.78	11.27	77.90	0.442	421	0.19
	90%					15.53	4.13	7.51	4.72	7.99	44.37		240	0.54

결론

본 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 각 원지의 파열강도는 상대습도의 증가에 따라 저하되었으나 그 변화율은 미미하였다.
2. 각 원지의 압축강도는 상대습도 60%를 지나면서 급격히 저하되었으며 이것은 원지의 함수율이 이 시점에서 급증하는 것과 관계가 깊은 것으로 보인다. 대체적으로 상대습도 50% 이하에서는 강도의 변화가 거의 나타나지 않았다.
3. 상대습도에 따른 평형함수율은 원지의 압축강도는 물론 상자의 압축강도를 측정할 수 있는 매우 중요한 data이다. 고습 조건하에서 SK 원지의 강도 저하율이 가장 낮았고 K, SC 순이었으며 S 원지의 강도저하가 가장 컸다.
4. 상대습도별 원지의 압축강도와 Kellicutt식을 이용한 예측치는 실험치를 비교한 결과 대체로 일치하였다. 또 강도저하율은 Fiber Box Association에서 제시한 data와 유사한 결과를 보였다. 이 연구결과는 향후 새로운 압축강도 예측모델 개발과 humidity cycling 등 복합적 요인에 의한 압축강도 저하율 예측을 위한 기초자료로 활용될 예정이다.

사 사

본 연구는 농림부의 농림기술개발연구사업의 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. 박종민의 3(1994), 농산물 포장용골판지상자의 층적내구성의 분석과 향상에 관한 연구(1), 한국농업기계학회지 19(4) 358-368.
2. 김수일(2000), 농산물 포장용 골판지상자 설계에 관한 연구, 박사학위 논문, 대구대학교, 130-131
3. Fiber box handbook, Fiber Box Association, USA, 44-46
4. Performance and Evaluation of Shipping Containers(1989), Maltenfort, G, Jelmar Publishing Co., Inc, 156-159
5. 이준호의 2(2002), 습도조건에 따른 골판지원지의 Ring Crush 강도예측 모델링, 산업식품공학, 6(3). 268-274