

## 과채류 포장용 골판지 상자의 안전계수 규격화 및 설계 프로그램 구축 (2)

- 상대습도 및 상자구조에 따른 과실포장용 골판지상자의 압축강도 분석 -

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

- Effect of Relative humidity and Box Structure on Box Compression Strength -

조중연<sup>1)</sup>, 신준섭<sup>1)</sup>, 김중경<sup>1)</sup>, 서영범<sup>2)</sup>, 손겨주<sup>3)</sup>

1) 용인송담대학 유통문화산업계열, 2) 충남대학교 임산공학과, 3) 에스팩

## 1. 서론

농산물 수송용 외부포장에 가장 많이 사용되는 골판지상자에 있어서 적정 압축강도기준 설정은 농산물포장설계의 가장 기본적인 요소이다. 골판지상자의 압축강도는 파열강도에 비해 기준설정이 어려운데, 이는 유통 중 온습도, 상자의 치수, 제조, 통기공 및 인쇄 등 가공 상의 문제점과 유통조건, 진동, 충격, 적재방법 등에서 발생하는 유통상의 문제점을 복합적으로 고려해야 하기 때문이다.

국내의 농산물 포장상자는 장마철·여름철의 다습한 곳에 장기간 방치되게 되는데 일반적으로 골판지상자의 표준수분이 약 7.2%이라고 보았을 때 외부 평균온습도가 25℃, 85% R.H.로 올라가는 장마철의 경우 상자가 함유하는 수분은 10~14%의 범위로 크게 변화한다.(1) 이에 따라 바닥에 가까운 최하단의 상자의 압축강도는 거의 50% 수준으로 떨어져 고수분의 상자는 저수분의 상자보다 가벼운 하중에도 크리프가 발생하고 하중이 같은 경우에도 빠른 속도로 구부러지게 된다.

골판지상자의 다습 환경 하에서의 구부러짐은 고습도 하의 고수분이 지배적으로 강도를 저하시키는 것이 아니라 혹독한 사이클릭 변동 때문으로 알려져 있으며 제품이 적입되어 있느냐와 그렇지 않느냐에 따라서도 큰 차이가 난다.

또한 농산물 골판지포장상자는 잦은 상, 하역으로 인한 충격 및 수송중의 진동, 다만

적재 상태의 정, 동적하중에 의한 열화가 빈번하게 발생한다.

자립이 가능한 내용물이거나 내용물이 포장 내부에서 이동이 미약한 경우 진동에 의한 강도열화는 거의 무시할 정도이나 농산물과 같이 비자립제품이며 수송 중 다단적재에 의한 진동이 반복되는 경우 움직이는 하중이 더해져 골판지상자의 강도열화가 커지게 되고 열화율은 10%를 초과하게 된다. 대부분 진동과 낙하의 복합에 의한 강도열화는 국내수송의 경우 15%의 열화, 수출의 경우는 20%의 열화로 설정하는 것이 합리적으로 판단된다.

통상적으로 상자압축강도의 측정은 단일 상자로 하지만, 실제 수송에 있어서는 다단으로 파렛트에 쌓아, 사과와 같은 경우 10단, 굴상자의 경우 15단 정도의 층수로 쌓아 올리는 경우가 보통이다. 이때 쌓는 방법 및 over hang의 정도에 의해서도 상자 강도는 크게 변화한다. 그러나 유통 중 파렛트 적재형태에 따른 압축강도 저하에 대해 심각하게 고려하지 않는 경우가 많아 초기 상자 압축강도 설정시 적재패턴에 따른 압축강도 저하율을 고려할 필요가 있다.

미국 Fiber Box Association에서는 칼럼형태로 잘 적재된 경우는 거의 무시될 정도의 열화율을, 미스매치(misaligned)된 경우 10-15%의 열화율, 교대배열, 또는 핀휠식 적재(pin wheel)는 40-60%의 열화율을 보인다고 하였다.

골판지 상자의 제조기술 및 방법은 각 제조사마다 약간의 차이가 있으며 가공공정 상에서 인쇄(특히 후렉소 인쇄)상의 인압, 피드롤에 의한 압력 등으로 인한 골 손상은 불가피한 점이 있다. 특히 가공도가 높고 사용하는 기계수가 많으며 수작업 공정이 많다면 골의 종류 부위가 찌그러지는 것은 막기 어렵다.

한편, 포장화물을 창고에 장기간 쌓아 올려 보관하면, 하중에 견디는 힘과 기간의 관계에서 재료는 서서히 변형이 진행된다. 보다 정확히 Creep 열화를 측정하기 위해 내용물이 든 상자를 이용하는 것이 좋다. 상자의 수분량을 추정하는 것은 Creep 열화를 추정하기 위한 좋은 방법이다. 예를 들어 85% R.H.에서 골판지상자의 수분함량이 14.9%일 때 열화율을 측정하면 얼마동안 보관이 가능한지 유추할 수 있다.

특히 외부의 상대습도 변화의 경우 골판지상자의 압축강도 저하에 큰 영향을 미치기 때문에 이에 대한 연구는 많이 진행되어왔다. 박(2) 등은 골판지 상자의 압축강도는 온도보다는 상대습도에 더 많은 영향을 받으며 상대습도의 증가에 따라 급격히 감소하는 경향을 보인다고 하였다.

김(3)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 압축강도의 결과는 예측치의 80% 수준으로 나타났다.

미국 Fiber Box Association에서는 아래와 같이 유통환경에 따른 압축강도 저하율을 산정하여 실무자들에게 도움이 되도록 하였으며 일본 조농에서도 비슷한 자료를 개발하였다.(4) 또, Ievans 등은 상자의 적재상태에서 적재된 상자에 습도측정센서를 부착하여 다양한 조건 하에서 수분함량을 측정하고 또 이론적인 수분함량을 계산하여 상자의 압축강도 예측을 시도하였다.(5)

국내에서 포도, 사과 및 감귤포장 용도로 보편적으로 사용되고 있는 상자들은 대부분 KS 0201형 상자(regular slotted container), folder형 접음상자(die cut with roll end & self locking end tray type), bliss형의 접착상자(die cut with glued end tray type)로 이루어져 있으며 특히 10kg미만의 규격은 대부분 이 세 종류의 상자로 포장된다. 최근 소포장에 대한 소비자 선호 및 디스플레이성 중시 추세에 따라 소매점에서는 folding형과 bliss형이 주류를 이루고 있다.

기존의 연구는 대부분 American box라고 불리는 0201형 상자(RSC)에 대한 것이며 해외 문헌조사에서도 최근의 추세를 반영한 연구가 부족하였다. 본 연구는 최근의 소포장 선호 추세와 현실적인 측면을 고려하여 이 세 종류의 상자가 상대습도에 따라 보이는 압축강도 경향을 분석하고 안전계수를 적용하기 위한 인자로 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 재료

골판지 원지는 아세아제지에서, 골판지상자는 참여기업인 성지산업(경기 용인 소재)에서 생산된 상자를 각각 사용하였다. 상자의 규격은 농림부고시 표준규격을 기준으로 한 것으로 본 연구의 목표인 사과, 포도, 감귤상자규격 중 서로 중복되지 않고 유사하지 않은 대표규격이다. 사용된 원지 및 원단의 제원은 Table 1, 2와 같다.

Table 1. Basis weight and thickness of paper.

Kinds		SC240	K200	S120	SK180
Basis weight (g/m <sup>2</sup> )	Max.	258.52	203.84	122.34	181.00
	Min.	251.28	199.42	120.18	173.16
	Average	254.89	201.20	121.35	177.38
	Std. Dev.	2.27	1.65	0.81	2.47
Thickness ( $\mu$ m)	Max.	296.57	291.40	216.80	262.90
	Min.	291.03	284.80	202.37	250.20
	Average	293.85	287.55	207.78	257.26
	Std. Dev.	3.38	5.21	16.09	13.81

Table 2. Liner compositions and box size of corrugated fiberboard boxes

	10kg	5kg	3kg
Composition	SC240/S120/K200/S120/SK180 (DW, AB flute)	SC240/K200/SK180 (SW, A flute)	SC240/S120/SK180 (SW, B flute)
Box size	550×366×120	440×330×110	366×275×110

## 2.2 파열강도

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

## 2.3 함수율

골판지 원단의 수분흡습특성을 시험하기 위하여 강제순환식 항온항습기(Donghak Machinery)를 사용하였다. 공시된 원단은 가로가 25cm, 세로가 20cm 형태로 시편을

만들어 표준상태(20°C-RH 50%)하에 24시간 전처리한 다음 계획한 습도조건에 따라 다시 24시간 평형시켜 함수율을 측정하였다. 원단의 함수율측정은 적외선 수분계(AD-4714A, A&D)를 이용하였다.

## 2.4 상자압축강도

성지산업(경기도 용인 소재)에서 생산된 골판지상자의 압축강도는 상자압축강도시험기(DTT-900, 대경테크)를 이용하여 표준상태에서 전처리 후 주어진 습도조건 하에서 각각 10회 시험하여 평균을 구했다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 파열강도

파열강도는 SW 원단에 대하여 측정하였으며 각각의 원지시험 결과와 같이 상대습도 50% 이상에서도 급격한 강도하락은 일어나지 않았다. Table 3은 전체 실험치를, Figure 1은 표면의 파열강도 측정치를 나타낸 것이다.

Table 3. Effect of relative humidity on bursting strength of corrugated fiberboard.

Units: kg/cm<sup>2</sup>

Composition of corrugated boards	Bursting strength	RH., %		
		50	70	90
SC240/K200/SK180 (SW, A flute)	Max.	9.50	9.00	8.50
	Min.	8.00	8.00	8.00
	Average	8.60	8.40	8.10
	Std. Dev.	0.65	0.55	0.22

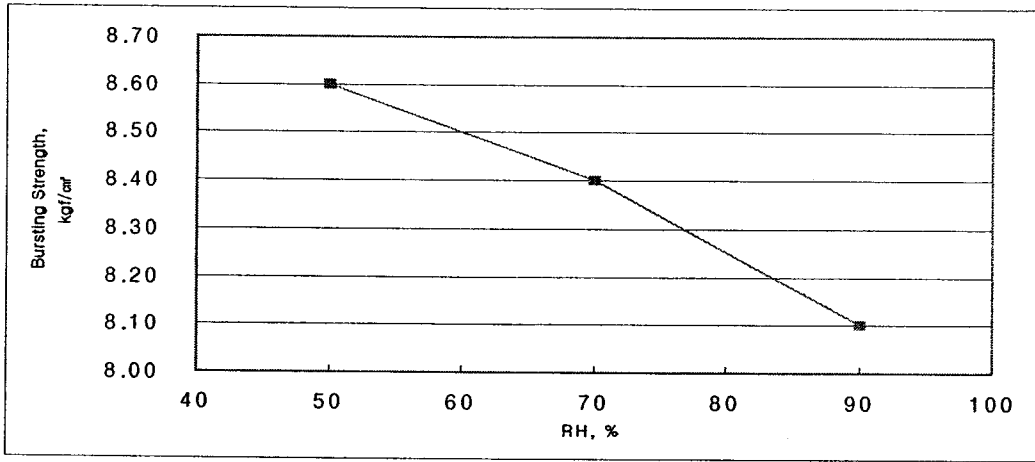


Figure 1. Effect of relative humidity on bursting strength of single-wall corrugated fiberboard.

### 3.2 평형함수율

각 상대습도별 평형함수율에 도달한 원단의 수분함량을 측정한 결과 원지와 같이 상대습도 60% 이상에서 급격한 흡습특성을 보였으며 이것은 재생고지의 함량 및 재질구성과 관련이 있는 것으로 판단된다(Figure 2)

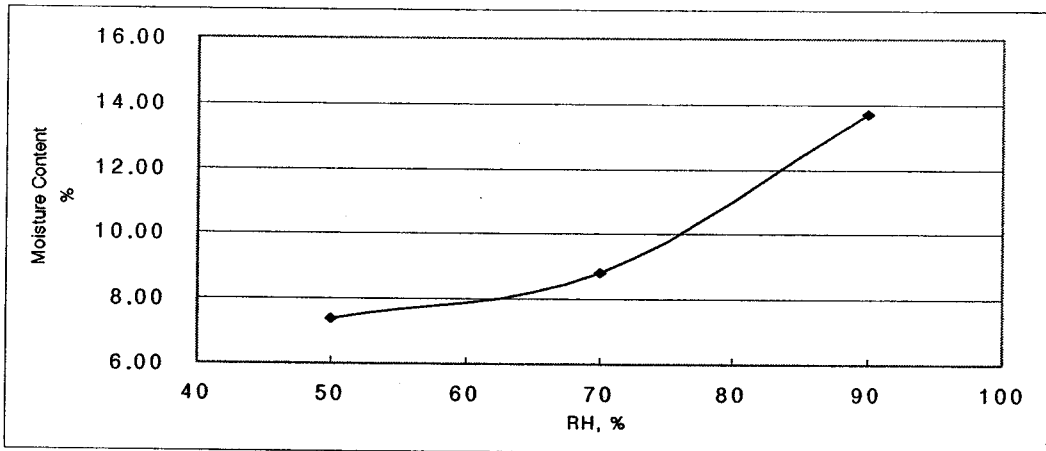


Figure 2. Effect of relative humidity on moisture content of the single-wall corrugated fiberboard.

### 3.3 압축강도

원단의 압축강도는 압축강도가 상대습도 70%까지는 큰 변화가 없이 서서히 강도가 낮아지다가 70% 이상에서 급격한 강도하락을 보여주었다.(Table 4, Figure 3)

Table 4. Effect of relative humidity on compression strength of corrugated fiberboard.

Units: kgf

Composition of corrugated boards	Comp. strength	RH., %		
		50	70	90
SC240/K200/SK180 (SW, A flute)	Max.	37.4	34.7	21.9
	Min.	34.1	33.1	20.9
	Average	35.8	34.1	21.3
	Std. Dev.	1.7	0.7	0.5
SC240/S120/K200/S120/SK180 (DW, AB flute)	Max.	42.0	40.5	26.5
	Min.	41.9	36.2	24.0
	Average	42.0	38.5	25.0
	Std. Dev.	0.1	2.2	1.1

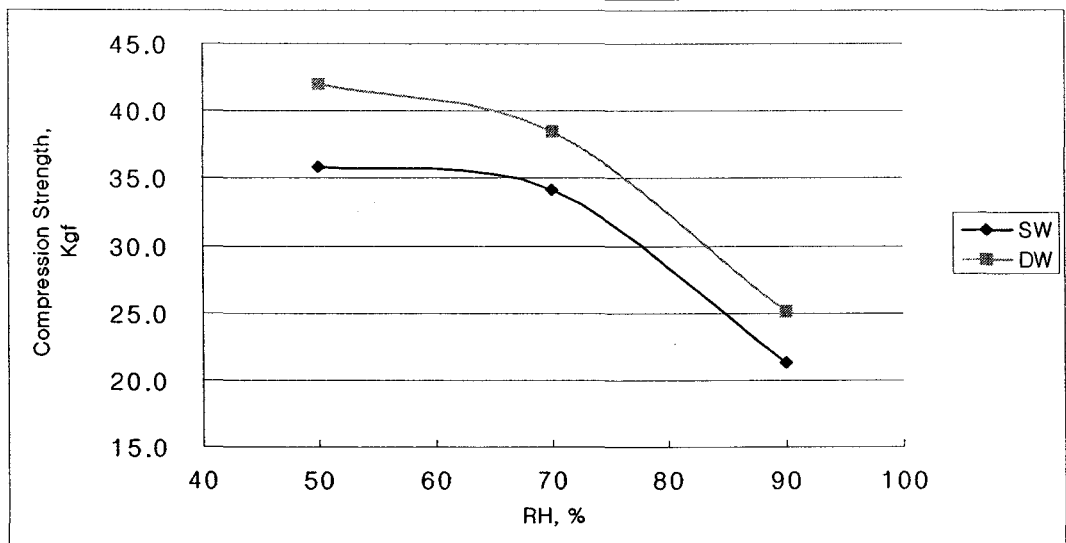


Figure 3. Effect of relative humidity on compression strength of corrugated fiberboard.

### 3.4 상대습도 변화에 따른 상자의 압축강도 비교

상대습도별 평형함수율에 도달한 상자의 압축강도를 측정한 결과 DW 상자가 SW 상자보다 높았으며 형태별로는 Folding형, RSC, Bliss형 순이었다. 습도 증가에 따라 모든 상자가 상대습도 70% 이상에서 급격한 강도저하를 나타내었다. (Table 5)

Table 5. Effect of relative humidity on compression strength of corrugated fiberboard boxes.

Box type		50	70	90		
SW	RSC type	Average	371.5	306.5	171.7	
		Std. Dev.	11.2	32.4	14.2	
	Folding type	Average	618.7	586.4	351.9	
		Std. Dev.	6.9	15.2	5.2	
	Bliss type	Average	253.1	237.9	121.7	
		Std. Dev.	7.9	17.7	5.2	
	DW	RSC type	Average	690.2	606.9	459.2
			Std. Dev.	13.6	7.7	72.8
Folding type		Average	1,533.7	1,345.4	913.0	
		Std. Dev.	28.6	32.9	50.8	
Bliss type		Average	465.1	425.0	278.3	
		Std. Dev.	7.5	56.4	21.5	

측정된 각 값은 표준습도상태인 50% RH에서의 압축강도를 1로 하였을 때 각 상대습도별 상자의 압축강도를 계산하여 각 상자의 압축강도 저하율을 구하였다.(Table 6)

### 3.5 제품 적입 후 상대습도 변화에 따른 상자의 압축강도 비교

제품을 직접 적입하게 되면 상자 내부의 상대습도가 상대적으로 높아짐에 따라 압축강도에 영향을 미치게 된다. Table 7과 8은 제품(후지사과)을 적입하여 24시간 경과한 후 상자의 압축강도 변화를 측정한 것이다.



Table 6. Compression strength and conversion factor of corrugated fiberboard boxes at each relative humidity.

Flute type	R.H. (%)	RSC		Folding type		Bliss type	
		Comp. str. (kgf)	multipliers	Comp. str. (kgf)	multipliers	Comp. str. (kgf)	multipliers
SW	50	371.46	1.00	618.64	1.00	253.13	1.00
	55	361.79	0.97	629.47	1.02	258.80	1.02
	60	347.74	0.94	627.67	1.01	258.15	1.02
	65	329.33	0.89	613.24	0.99	251.20	0.99
	70	306.54	0.83	586.18	0.95	237.93	0.94
	75	279.39	0.75	546.49	0.88	218.36	0.86
	80	247.86	0.67	494.17	0.80	192.47	0.76
	85	211.97	0.57	429.22	0.69	160.28	0.63
	90	171.70	0.46	351.64	0.57	121.77	0.48
	95	127.07	0.34	261.43	0.42	76.95	0.30
DW	50	690.27	1.00	1,533.75	1.00	464.99	1.00
	55	675.48	0.98	1,509.59	0.98	464.96	1.00
	60	656.67	0.95	1,470.17	0.96	458.26	0.99
	65	633.84	0.92	1,415.49	0.92	444.89	0.96
	70	607.00	0.88	1,345.55	0.88	424.85	0.91
	75	576.13	0.83	1,260.35	0.82	398.14	0.86
	80	541.24	0.78	1,159.89	0.76	364.76	0.78
	85	502.33	0.73	1,044.17	0.68	324.71	0.70
	90	459.41	0.67	913.19	0.60	277.99	0.60
	95	412.46	0.60	766.95	0.50	224.60	0.48

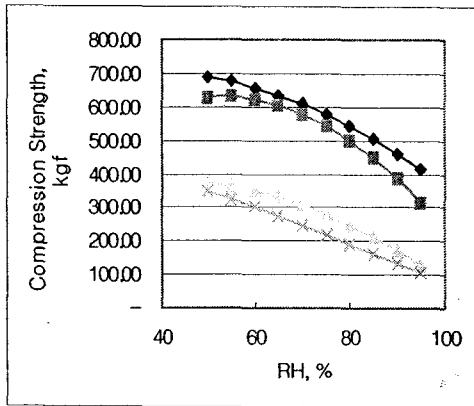
Table 7. Effect of relative humidity on compression strength of corrugated fiberboard boxes packaged with 'Fuji' apple.

Box type		50	70	90	
SW	RSC	Average	349.3	247.1	134.1
		Std. Dev.	0.1	23.0	6.5
	Folding type	Average	589.8	522.4	307.8
		Std. Dev.	5.0	9.3	26.3
	Bliss type	Average	242.0	196.6	99.7
		Std. Dev.	9.6	4.8	9.3
DW	RSC type	Average	628.8	578.6	384.4
		Std. Dev.	74.1	7.1	38.6
	Folding type	Average	1,345.5	1,150.5	773.9
		Std. Dev.	7.3	12.0	58.6
	Bliss type	Average	431.9	358.6	225.9
		Std. Dev.	11.2	0.7	8.3

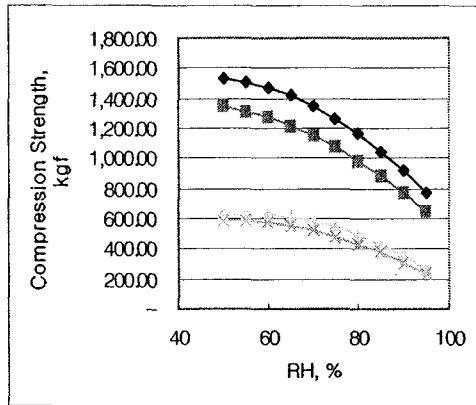
Table 8. Compression Strength and Conversion Factor of Corrugated Fiberboard Boxes at each Relative Humidity.

Flute type	R.H. (%)	RSC		Folding type		Bliss type	
		Comp. Str. (kgf)	multipliers	Comp. Str. (kgf)	multipliers	Comp. Str. (kgf)	multipliers
SW	50	349.22	1.00	589.72	1.00	241.94	1.00
	55	324.67	0.93	586.67	0.99	235.42	0.97
	60	299.45	0.86	574.42	0.97	225.67	0.93
	65	273.56	0.78	552.96	0.94	212.70	0.88
	70	246.99	0.71	522.30	0.89	196.51	0.81
	75	219.75	0.63	482.43	0.82	177.09	0.73
	80	191.83	0.55	433.36	0.73	154.45	0.64
	85	163.23	0.47	375.08	0.64	128.58	0.53
	90	133.96	0.38	307.60	0.52	99.48	0.41
	95	104.02	0.30	230.91	0.39	67.16	0.28
DW	50	628.84	1.00	1,345.35	1.00	431.95	1.00
	55	629.82	1.00	1,313.60	0.98	419.21	0.97
	60	621.80	0.99	1,270.50	0.94	402.75	0.93
	65	604.78	0.96	1,216.05	0.90	382.58	0.89
	70	578.76	0.92	1,150.25	0.85	358.69	0.83
	75	543.74	0.86	1,073.10	0.80	331.09	0.77
	80	499.72	0.79	984.60	0.73	299.78	0.69
	85	446.70	0.71	884.75	0.66	264.74	0.61
	90	384.68	0.61	773.55	0.57	226.00	0.52
	95	313.66	0.50	651.00	0.48	183.54	0.42

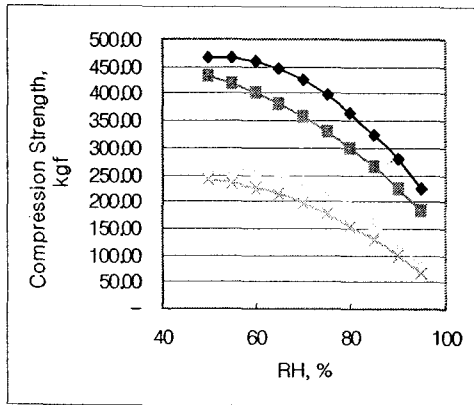
모든 상자에서 제품이 적입되지 않은 상자가 제품적입상자보다 압축강도가 높게 나타났으며 빈 상자와 적입상자 간 상대습도에 따른 연관성(correlation)도 RSC, folding, bliss형이 각각 0.989, 0.999, 0.991로 매우 높게 나타났다. 즉, 단기 유통에 있어서 안전 계수 산출시 제품적입상자를 기준으로 계산되어야 하며, 아래 Figure 4와 같이 압축강도 저하에 있어서 일정한 패턴을 가지고 있으므로 이를 계산에 반영할 수 있다.



RSC type



Folding type



Bliss type

Figure 4. Comparison of compression strength of corrugated fiberboard boxes between empty box and box filled with apple at each relative humidity. (□□: DW box, ■: DW box+apple, ○: SW box, △: SW box + apple)

#### 4. 결 론

본 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 원단의 파열강도는 상대습도 증가에 따라 완만하게 저하되었다.

2. 압축강도는 상대습도 70% 이상에서 급격한 저하를 보였으며 이것은 원지에 대한 시험결과와 같았다.
3. 상자형태별 압축강도시험에서 Folder, RSC, Bliss 순으로 강도가 떨어졌으며 Bliss형이 고습 하에서 Folder 형이나 RSC형보다 더 급격한 강도저하를 보였다.
4. 제품 적입 후 실시한 압축강도를 살펴보면 모든 상자가 제품적입시 압축강도저하율이 더욱 높게 나오는 것으로 나타났으며 이러한 관계는 상자의 적정 압축강도설계에 반드시 감안되어야 한다.

## 사 사

본 연구는 농림부의 농림기술개발연구사업의 지원에 의해 수행되었음.

## 참고문헌

1. 골판지상자의 설계기법(2004). 월간 지함. 한국지함공업협동조합. No. 9-12
2. 박종민의 3(1994), 농산물 포장용골판지상자의 층적내구성의 분석과 향상에 관한 연구(1), 한국농업기계학회지 19(4) 358-368.
3. 김수일(2000), 농산물 포장용 골판지상자 설계에 관한 연구, 박사학위 논문, 대구대학교.
4. Fiber box handbook, Fiber Box Association, USA, 44-46
5. Performance and Evaluation of Shipping Containers(1989), Maltenfort, G, Jelmar Publishing Co., Inc, 156-159