



골판지상자의 압축강도 분석과 설계프로그램

박종민 / 밀양산업대학교 교수

1. 서론

골판지상자에 포장되는 포장물의 대부분은 압축에 의해 파손되므로 골판지상자의 파열강도 보다는 압축강도가 중요하다고 인식되어, 상자의 압축강도 보안을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 농산물의 경우는 그 자체가 하중을 지탱할 수 없는 비자립성이 대부분이므로 상자의 압축강도가 포장내용물의 손상에 미치는 영향은 절대적이라 하겠다(박 등, 1994, 1995).

골판지상자의 압축강도는 상자로 제작되기 전인 원지, 원단(골판지)들의 원자재의 보강은 물론 완성품인 상자도 동시에 보강되어야 하고, 그 강도도 상자의 길이, 폭 및 높이에 따라 다르기 때문에 압축강도를 일률적으로 규정하기가 어렵다.

따라서 원지인 경우는 압축강도(ring crush, RC), 원단의 경우는 수직압축강도(edgewise compressive strength, ECS)의 측정을 통하여 상자의 압축강도를 관리하고 있는 것이 일반적인 추세이다.

골판지상자의 압축강도를 미리 정확하게 추정할 수 있다면 포장에 따른 물류경비의 절감뿐만 아니라 포장물의 품질유지에 매우 긴요할 것이며, 특히 농산물의 경우는 포장된 상태로 적재하는 경우가 많으므로 저장고내의 면적효율의 제고 및 품질유지 측면에서도 상자의 압축강도는 매우 중요한 인자가 된다. 반면 골판지상자 제조업체가 사용자 측면에서도 상자의 압축강도 추정은 상자의 설계, 품질관리 및 포장설계를 세우는 데 매우 중요하다.

농산물포장에 사용되는 골판

목차

1. 서론
2. 용어의 설명과 시험법
3. 골판지상자의 수분흡수에 따른 압축강도 열화분석
4. 골판지상자의 압축강도 설계프로그램
5. 종합 결론 및 제고

이 글은 제14회 한국포장학회 심포지엄에서 발표된 내용을 발췌한 것입니다.
- 편집자 주 -

지상자의 강도는 농산물의 유통과정 중 공산품에 비하여 많은 강도저하 요인이 있다. 첫째는 유통기간이 짧지만 포장과정과 저장, 수송, 하역 등이 거칠며, 둘째는 포장물인 채소류 또는 과일류가 생물이기 때문에 자체적으로 갖고 있는 수분이 많고 수확 후에도 수분공급은 단절되지만 증산작용으로 인한 포장 내부의 습기발생으로 강도저하를 가져온다. 셋째는 농산물은 어느 정도 이상의 압축력을 받으면 쉽게 손상되는 비자립성이고, 선도유지를 위한 유통조건이 저온다습하므로 흡수열화가 뚜렷하다.

더구나 국내의 경우 골판지 원지를 국내고지(waste paper)와 수입고지(AOCC, EOCC등)에 대부분 의존하고 있으므로 섬유상의 단섬유화로 수분을 빨리 흡습하므로 선진국의 골판지상자에 비하여 강도저하가 뚜렷하다.

골판지상자의 견고성 문제가 수출 확대의 저해요인으로 보고되고 있으며(이, 1992), 세계 각국의 농산물 시장의 개방에 따라 우리 나라 농산물도 점차 수출이 확대될 전망이고, 또한 포장용기로서 뿐만 아니라 완충재로서도 골판지의 이용이

날로 증가될 것이 분명하다.

따라서 골판지상자의 압축강도, 완충성, 충격내수성의 향상, 골판지상자의 치수, 품질규격화 및 대체재 개발에 대한 다각적인 연구가 매우 시급하다.

따라서 필자는 우리 나라의 주요 과일류의 포장상자에 대하여 이들 상자의 수분흡습에 따른 압축강도 열화를 분석하고, 골판지상자의 설계, 품질관리 및 포장계획의 효율을 기하기 위하여 상자의 압축강도 설계 프로그램(Compression Strength Design Program of Box, CSDP)에 대하여 언급하고자 한다.

2. 용어의 설명과 시험법

2-1. 평형함수율(EMC)

시료를 온도와 습도가 일정한 공기중에 장시간 놓아두면 일정한 함수율에 도달하여 이 공기와 평형상태를 이루는데 이때의 시료의 함수율.

2-2. 함수율(MC) - KS M7023, ASTM D644, Tappi T412

일정량의 시료를 온도 105±3℃로 조정된 건조기 속에 넣

어 1~2시간 가열한 후, 시료를 데시케이트로 옮겨 실온이 될 때까지 방냉시켜 시료의 무게를 측정하여 다음과 같이 계산한다.

습량기준 함수율,

$$MC_{wb} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100(\%)$$

건량기준 함수율,

$$MC_{db} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100(\%)$$

상호관계,

$$MC_{db} = \frac{100MC_{wb}}{100 - MC_{wb}}$$

여기서,

W₁=건조전의 시료의 무게, g

W₂=건조후의 시료의 무게, g

2-3. 원지(라이너, 골심지)의 압축강도(링크리쉬범, RC) - KS M7051, ASTM D164, Tappi T818

판지를 가로 152.4mm, 세로 12.7mm의 등근테 시험편으로 만들어 세로방향으로 분당 12.7±3.0mm의 속도로 압축력을 가할 때 측정되는 최대하중.

비압축강도

$$SCS = \frac{CS}{BW} \times 100, \text{ kgf} \cdot \text{m}^2/\text{g}$$

여기서, CS=원지의 압축강도, kgf

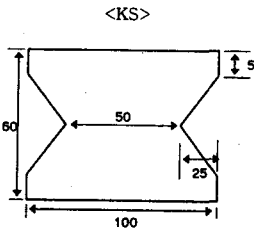
BW=원지의 평량, g/m²



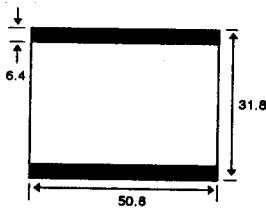
2-4. 원단(골판지)의 수직압축강도(Short Column Test, ECS) - KS M7063, ASTM D2808, Tappi T811

일정 크기의 골판지 시험편에 대하여 골을 세워서 분당 $12.7 \pm 3.0\text{mm}$ 의 속도로 압축력을 가할 때 시험편의 중앙부분이 완전히 꺾어졌을 때 측정되는 최대하중.

[시험편의 형태]



<ASTM, Tappi>



2-5. 상자의 압축강도 - KS A1012, ASTM D642, Tappi T804

상자를 두 평판 사이에 놓고 한쪽 평판을 분당 $10 \pm 3.0\text{mm}$ 의 속도로 압축력을 가할 때

측정되는 최대하중. 이때 상자의 압축량을 측정하는 기점은 양면 골판지상자의 경우는 20kgf, 2중양면 골판지상자의 경우는 40 kgf의 초기하중이 가한 점을 기준으로 한다.

3. 골판지상자의 수분흡습에 따른 압축강도열화 분석

3-1. 골판지의 수분흡습특성

이 시험에 사용된 골판지상자는 [표 1]에 나타난 바와 같이 현재 국내의 사과 및 배 포장상자로 가장 보편적으로 이용되고 RSC(regular slotted

container, A-1)형의 트레이(tray)용 2중 양면골판지상자로서, Box A의 라이너(KA)는 수 입고지가 약 40% 함유되어 있으나, Box B의 경우는 외부 라이너(SC)가 마닐라지(manila paper)이며, 상자의 원지들은 대부분 국내고지가 주원료였다.

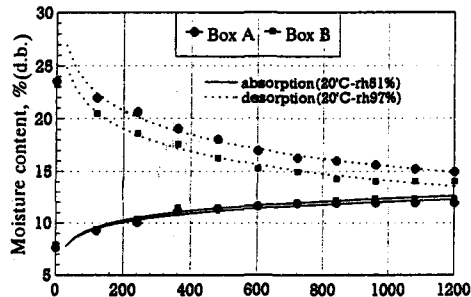
골판지의 수분흡습 및 탈습 특성을 분석하기 위하여 공시된 골판지상자로부터 각각 80개의 시험을 채취하여 20°C - RH 50%와 20°C - RH97%의 대기조건에서 20시간 전처리 한 다음, 이들 시험편들을 모두 20°C - RH 73% 조건의 항온항습기에 넣은 후, 2시간 간격으로

[표 1] Physical data of the corrugated fiberboard boxes used in the

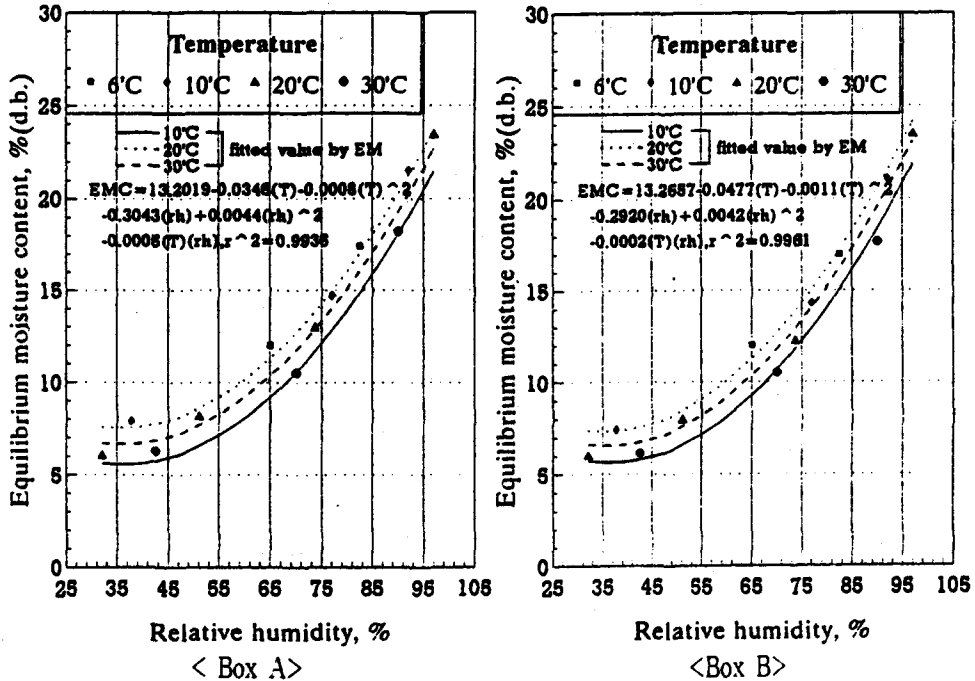
Kinds	Box type	Dimensions (L×W×T), mm	Board composition (outer-liner), g/m ²	CBW ¹⁾ , g/m ²	Flute type (inner/outer)
Box A	(A-1)	505×355×280	KA ²¹⁰ /AS ²¹⁰ /S ¹²⁵ /AS ²⁵⁰ /KA ²¹⁰	1239	A/B
Box B		505×355×240	SC ²⁴⁰ /AS ²⁵⁰ /AS ¹⁸⁰ /AS ²⁵⁰ /KA ²⁴⁰	1410	

Note 1): combined basis weight

[그림 1] Absorption and desorption curves of the corrugated fiberboards at 20°C-RH 73%



(그림 2) Effect of temperature and relative humidity on EMC of the corrugated fiberboard.



연속하여 함수율에 측정하였다.

(그림 1)에서 보는 바와 같이 흡습이나 탈수과정을 통한 평형함수율 도달까지는 약 20시간 정도가 소요되었으며, 상대적으로 수입고지가 더 많이 포함된 Box A가 Box B에 비하여 수분흡습 및 탈습이 느려 평형함수율 도달 시간이 길었다. 대체로 흡습에 의해 도달되는 평형함수율이 탈습에 의한 평형함수율보다 낮았다(peleg, 1985).

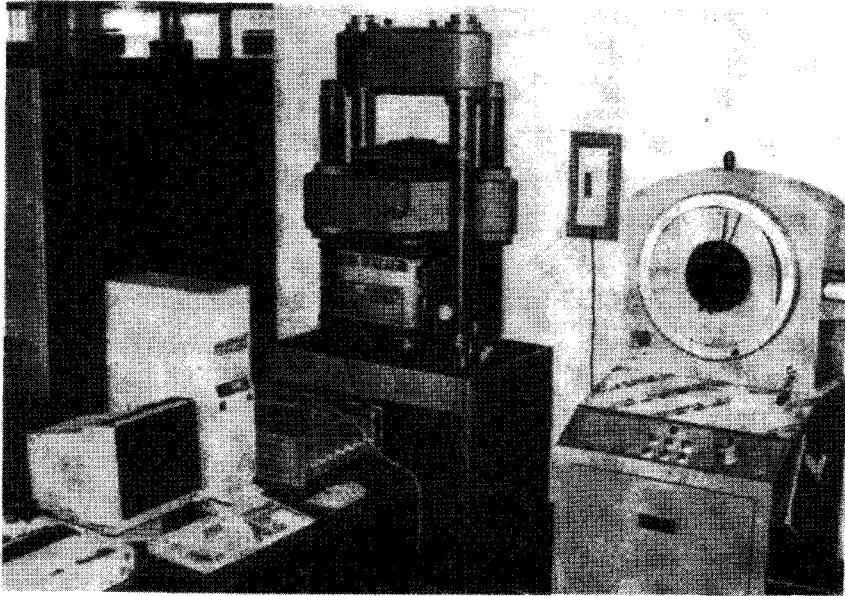
공시한 골판지 시편을 표준 상태(23°C - RH50%)에서 20시

간 전처리한 다음, 계획한 실험 조건으로 옮겨 다시 20시간 평형시킨 후 측정된 평형함수율을 (그림 2)에 나타내었다. 평형함수율은 상대습도 50% 이상에서 상대습도의 증가에 따라 급격히 증가하였으며, 같은 상대습도에서 온도가 높을수록 작게 측정되었다.

대체로 동일한 온·습도 조건에서 Box A가 Box B에 비하여 평형함수율이 약간 낮게 측정되었다. 온·습도에 따른 골판지의 평형함수율은 그림 속의 경험식으로 잘 표현되었다.

3-2 골판지상자의 압축강도

골판지상자에 대한 압축실험 장치는 (그림 3)에서 보는 바와 같으며, 두 평판 사이에 놓인 상자가 압축될 때 상자의 처짐량과 받는 하중은 구성된 계측시스템에 의해 연속적으로 계측 및 소집되며, 이때 하중재하속도는 10mm/min이다 (ASTM D642-76, Tappi T804, KS A1012), 골판지상자 처짐량 특성곡선은 (그림 4)의 형태로 나타났는데, 농산물의 생물체항복점(bioyield point)과



[사진] The expeimetal equipment for compression test of the corrugated fiberboard boxes.

비유될 수 있는 골판지상자의 임계 처짐점은 2개 혹은 그 이상으로 나타났는 바, 이 점들의 평균값은 최대압축 처짐량의 약 70%에 해당하는 값이었다 (Peleg, 1981, 1985).

온·습도에 따른 골판지상자의 최대압축강도(MCF)와 함수율에 따른 최대압축강도를 [그림 5]에 함께 도시하였다. 온도 6~30°C, 상대습도 32~92% 범위에서 Box A의 최대압축강도는 480~900kg_f, Box B에 비하면 400~850kg_f의 값을 나타내었다.

같은 실험조건에서 Box A의 최대압축강도는 Box B에 비하

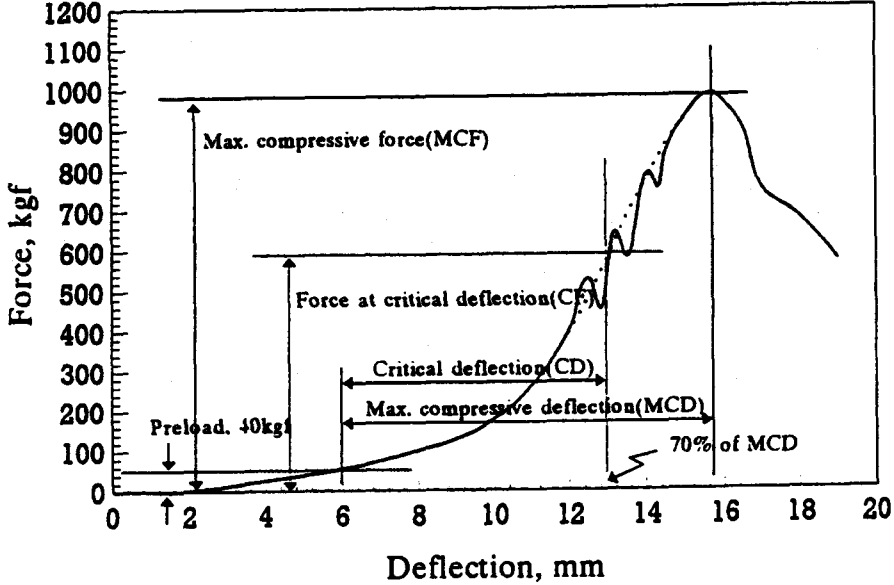
여 약 100kg_f 정도 컸으며, 두 상자 모두에서 상대습도의 증가에 따라 급격히 감소하는 경향이였다. 최대압축강도는 온도가 낮을수록 약간씩 감소하였으며, 대체로 온도보다는 상대습도에 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났다(Boonyasarn et al, 1992·Byrd, 1972·peleg, 1981·1985).

우리 나라의 사과와 배의 저장조건인 온도 약2°C, 상대습도 약 95%에서 상자의 최대압축강도는 표준상태(23°C -RH 50%)에서의 최대압축강도에 비하여 거의 50% 정도 감소되는 것으로 나타났다.

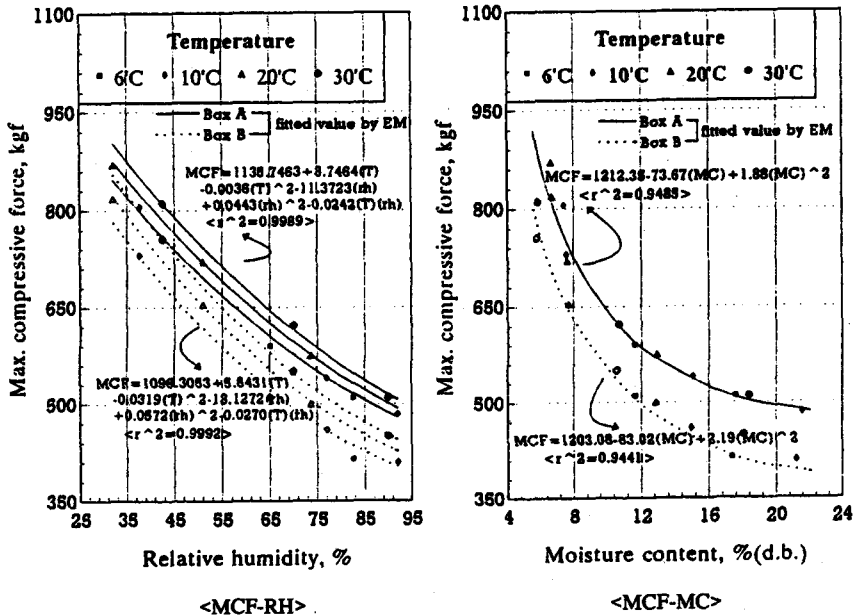
온·습도와 상자의 최대압축강도와는 [그림 5]에 나타난 경험식으로 잘 표현되었으며, 함수율과 최대압축강도와는 2차함수의 관계가 있었으며, 함수율이 증가함에 따라 그 감소율이 차츰 둔화되는 경향이였다.

골판지를 구성하는 원지의 총평량이 Box B가 Box A에 비하여 높음에도 불구하고 Box A의 압축강도가 Box B에 비하여 큰 것으로 보아 골판지의 평량과 상자의 압축강도와는 반드시 비례관계에 있는 것만은 아니며, 골판지상자의 원지의 영향이 더 큰 것으로 판단되었다.

(그림 3) Typical force-deflection characteristics curves of the corrugated fiberboard boxes.



(그림 4) Maximum compressive of the corrugated fiberboard boxes as a function of temperature, relative humidity, and MC.

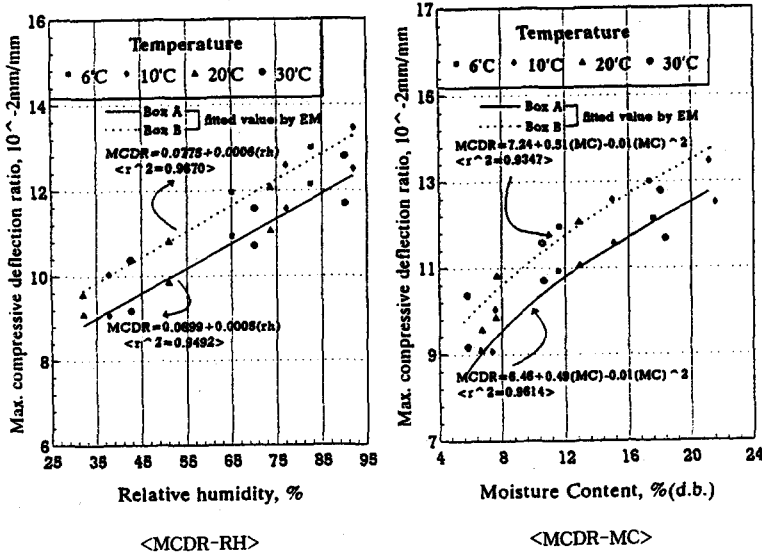


[표 2] Direction of panel failure in the corrugated boxes during compression according to the relative humidity at the temperature of 20°C (10 samples per each condition)

Relative humidity %	1)	2)	L×D panel base	
			Inward	Outward
40	8	2	4	4
60	8	2	5	3
80	9	1	8	1

Note: 1) vertical side panels deflected laterally inwards or outwards, 2) otherwise deflected, Figures(1, 2, 3, 4, 5, 8, 9) indicated the number of panel failure in the box.

[그림 5] Maximum compressive deflection of the corrugated fiberboard boxes as a function of temperature, relative, and MC.



3-3. 골판지상자의 처짐특성

[표 2]는 골판지상자의 파양 형태 나타낸 것으로 대부분 서로 마주보고 있는 면끼리 안쪽 혹은 바깥쪽의 같은 방향으로 만곡되면서 파괴가 시작되었으

며, 상대습도가 높을수록 길이 방향의 수직측면(L×D)이 안쪽을 향하여 만곡되었다. 이는 공시한 골판지상자는 안쪽이 단위길이당 골의 수가 적으면서 골높이가 큰 A골이며, 바깥쪽이 이보다는 단위길이당의

골의 수가 많고 골의 높이가 작은 B골로, 역학적으로 보더라도 A골 쪽, 즉 상자 안쪽의 수직압축강도가 크며, 또한 상자 골판지상자의 파괴방향을 결정하는 요인으로 작용한 것으로 판단된다.

상자의 높이가 서로 다른 상자들의 처짐특성을 직접 비교할 수는 없으므로 여기서는 상자의 높이로 처짐량을 나눈 상자의 단위높이당의 처짐량, 즉 처짐량을 나눈 상자의 단위높이당의 처짐량, 즉 처짐률로써 나타내었다.

온·습도에 따른 상자의 최대압축 처짐률(MCDR)과 함수율에 따른 최대압축처짐율의 관계를 [그림 6]에 함께 도시하였는바, 최대압축처짐률은 상대습도에 따라 거의 직선적으로 증가하였으나, 온도에 따라서는 일률적인 경향이 없었다.

상대습도 32~92% 범위에서 Box A가 약 0.0859-0.1159, Box B가 약 0.0967-0.1327로 Box B의 최대압축처짐률은 Box A에 비하여 컷는데, 이는 압축강도와는 서로 반대되는 경향이였다. 이로부터 Box A가 Box B에 비하여 모든 온·습도 조건에서 견고하며 또한 충정 내구성 역시 우수할 것으로 판단되었다.

골판지의 함수율에 따른 상자의 최대압축처짐율은 함수율의 증가에 따라 2차 함수적으로 증가하였으며, 함수율의 증가에 따라 최대처짐률의 증가율이 차츰 둔화되었다.

4. 골판지상자의 압축강도 설계 프로그램

4-1. 압축강도설계의 알고리즘

골판지상자의 압축강도를 구성하는 기본 요소로는 ①원지의 압축강도(RC), ②골의 종류, ③골판지의 종류, ④골판지의 함수율 등이 있으며, 가변요소로는 ①상자치수와 길이·폭의 비, ②인쇄면적과 디자인, ③상자 제조기술의 차이, ④상자 제작기계의 차이, ⑤품질관리의 차이 등이 있다. 또한 상자의 유통 중에는 이두 요소 외에 여러 가지의 열화요인들이 관여하여 상자의 압축강도가 결정된다.

골판지상자의 압축강도를 골판지원지의 압축강도(RC), 골판지의 수직압축강도(ECS)와의 비례관계로부터 상자의 주변장에 따라 간편하게 이론적으로 구할 수 있는 방법들이 외국에서는 이용되어 왔다.

발표된 연구결과 중 Kellicutt 식은 상자의 압축강도에 영향을 미치는 여러가지 인자를 포함하고 있어 가장 신뢰성 있는 방법으로 인정되어 여러 나라에서 사용되고 있다.

$$P = P_x [A^2 X / (Z/4)]^{1/3} JZ \quad (1)$$

여기서, P = 상자의 압축강도, kg

P_x = 골판지의 수직압축강도 (총링크러쉬), kg_f/152.4mm

A_x = 골상수 (A골=8.36, B골=5.00, C골=6.10, AB골=13.36)

J = 상자의상수 (A골=0.59, B골=0.68, C골=0.68, AB골=0.55)

Z = 상자의 주변장[(L+W) × 2], m

여기서, P_x 는 골판지를 구성하는 원지(라이너 및 골심지)의 총링크로쉬로서 다음과 같이 계산된다.

$$P_x = \Sigma RQ - o + \Sigma RC_f \cdot t_x \quad (2)$$

양면골판지(single wall, SW)의 경우,

$$P_x = RC \cdot i - o + RC_f \cdot t_x + RC \cdot i - i \quad (3)$$

2중양면골판지(double wall, DW)의 경우,

$$P_x = RQ - o + RC_f \cdot o \cdot t_x + RC \cdot i - m \quad (4)$$

+ $RC_f \cdot o \cdot t_x + RC \cdot i - i$
여기서, $RC \cdot i$ = 라이너의 링크러쉬, kg_f/152.4mm

RC_f = 골심지의 링크러쉬, kg_f/152.4mm

t_x = 골조율 ([표 4] 참조)

o, i, m = 골판지의 바깥쪽, 안



(표 3) Dimensions of fruit boxes

Fruits	GW ¹⁾ kg	Dimensions			Corrugated fiberboard	Compression strength		M.C.% (d.b.)
		L, mm	W, mm	H, mm		Min. strength, kg	Max. Deflection, mm	
Apple	15	440	303	303	KS A1502 (DW, RSC)	350	20	10±2d
	15	450	320	310		350	20	
Pear	15	440	303	303		350	20	
Persimmon	15	410	300	250		350	20	
Orange	15	360	305	250		320	20	
	15	440	320	225		420	20	
Grape	10	440	320	225		360	20	

Note: 1) GW = gross weight(packaging unit)

(표 4) Dimensional parameters(nominal) of the standard corrugated fiberboard

Type		Caliper of flute, mm	Total board thickness, mm	No. of flute per 30cm	take-up factor
SW	A	about 4.6	about 5	34±2	1.6
	B	2.6	3	50±2	1.4
	C	3.6	4	40±2	1.5
DW	AB	—	8	—	—
	AA	—	10	—	—
TW	AAA	—	15	—	—

쪽 및 중간면을 표시

골판지의 라이너와 골심지의 링크러쉬 측정시 시험편의 크기는 가로×세로, 1524mm×127mm이며, 이때는 하중재하속도 127±3mm/min이다(KS M7051, ASTM D164-60, Tappi T818).

또다른 상자의 압축강도 계산 방법으로 널리 알려져 있는 것은 McKEE 식으로 다음과 같다.

$$P = 587 P_m \sqrt{hZ} \quad (5)$$

여기서, P_m = 골판지 시편의 수

직압축강도(ECS), kg/m

h = 골판지의 두께, m

McKEE 등은 식(5)의 적용 범위를 상자의 주변길이가 762-3,429mm 범위, 상자의 주변 길이에 대한 높이의 비가 인 경우로 한정하였다(McKEE, 1963) 그리고 식 (5)에서 P_m 은 가로 50.8mm, 세로 31.8mm의 골판지시편에 상하부에 각각 6.4mm 정도로 왁스를 바른 후 표준상태(23°C - RH 50%, 12RH, 하중재하 속도 127mm/min)에서 평형시킨 후 측정된 골판지시

편의 수직압축강도이다.

그 후 Wolf(1974)는 ECS와 골판지 원지의 링크러쉬와의 관계를 다음과 같이 발표한 바 있다.

$$P_m = 1.25 (\sum RC_c + \sum RC_f \cdot t) \quad (6)$$

여기서, 상수값 1.25는 ECS와 골판지를 구성하는 원지의 총링크러쉬와의 차를 보정하는 값이다.

Kellicutt 식과 McKEE 식의 가장 큰 차이점으로는 Kellicutt 식에서는 골판지를 구성하는

[표 5] Cocompression strength of the standard liner and medium paper Liner

Type		CS ² , kg	SCS ³ , (min.), kg·m ² /g	Type		CS, kg	SCS, (min.), kg·m ² /g
Grade	BW ¹ , g/m ²			Grade	BW, g/m ²		
AA	160	22.4	14.0	A	300	45.0	15.0
	180	25.2			320	48.0	
	200	28.0			340	51.0	
	220	30.8		B	160	20.8	13.0
	260	41.6	180		23.4		
	280	44.8	200		26.0		
	300	48.0	220		28.6		
	320	51.2	260		33.8		
340	54.4	280	36.4				
A	160	20.8	13.0	300	39.0	11.0	
	180	23.4		320	41.6		
	200	26.0		340	44.2		
	220	28.6		C	170		18.7
	260	39.0	190		20.9		
	280	42.0	15.0	210	23.1		

Medium paper

Type		CS, kg	SCS, (min.), kg·m ² /g	Type		CS, kg	SCS, (min.), kg·m ² /g
Grade	BW, g/m ²			Grade	BW, g/m ²		
A	115	16.7	14.5	B	160	45.0	11.0
	120	17.4			180	48.0	
	125	18.1		C	115	51.0	
	160	23.2			120	20.8	
	180	26.1			125	23.4	
B	115	15.0	13.0	160	26.0		
	120	15.6		180	28.6		
	125	16.3					

원지(라이너, 골심지)의 링크 러쉬를, McKEE식은 골판지 시편에 대한 수직압축강도로부터 상자의 압축강도를 결정하는 점이고, 또한 Kellicutt식은 McKEE식에 비하여 상자 압축 강도에 영향을 주는 제요소를

많이 고려한 점이다.

Wolf(1974)는 McKEE식의 이러한 단점을 보완하고 상자의 높이(D)와 길이/폭비(A=L/W)를 고려한 다음과 같은 상자의 압축강도계산식을 제시하였다.

여기서,

$$P = 6.55P_m \sqrt{hZ} \cdot C \quad (7)$$

$$C = \frac{0.3228A - 0.1217A^2 +}{D^{0.04}}$$

$$A = \frac{L}{W}$$



[표 6] Regression equations of compression strength as a function of basis weight

Kinds	Grade	Regression equations	r ²
Liner	AA	$CS = 0.0619(BW) + 5.8210 \times 10^{-4}(BW)^2 - 9 \times 10^{-7}(BW)^3$	0.999
	A	$CS = 0.0519(BW) + 5.8210 \times 10^{-4}(BW)^2 - 9 \times 10^{-7}(BW)^3$	0.999
	B	$CS = 0.1310(BW)$	0.999
	C	$CS = 0.1100(BW)$	0.999
Medium paper	A	$CS = 0.1450(BW)$	0.999
	B	$CS = 0.1301(BW)$	0.999
	C	$CS = 0.1101(BW)$	0.999

4-2 압축강도설계 프로그램

(1) 입력자료

상자의 압축강도설계시 입력 자료는 다음과 같다.

① 설계하려는 골판지상자의 치수(L, W, D)

② 상자의 형식(SW, DW, TW)

③ 골의 형식(A, B, C, AB, AC, BC, AAA, AAB)

④ 라이너의 등급설정(AA, A, B, C)

⑤ 골심지의 등급설정(A, B, C)

⑥ 라이너와 골심지의 평량설정
우리 나라에서 규정하고 있는 주요 과실류의 포장상자는 [표 3]에서 보는 바와 같이 RSC형의 2중 양면골판지상자로 그 크기는 다음과 같다(KS A1532).

골판지의 골의 종류와 그 체 원을 [표 4]에 나타내었다(KS A1502, Peleg, 1985).

골판지용 라이너는 단위평량 당의 압축강도(RC), 즉 비압축 강도에 따라 A, A, B, C의 등급으로 나누며, 골심지도 비압축 강도에 따라 A, B, C의 3등급으로 나눈다. 골판지용 라이너와 골심지의 등급별, 평량별 압축강도(링크러쉬)는 [표 5]와 같다(KS M7502, KS M7076).

[표 5]의 골판지용 라이너와 골심지의 각등급에서 임의의 평량에 대한 압축강도(RC)의 규정치를 손쉽게 구하기 위하여 [표 6]과 같이 각 등급별 평량에 따른 압축강도(RC)의 회귀식을 구하여 프로그램시 사용하였다.

현재 골판지상자의 거래는 골판지의 파열강과 면적당 가격으로 이루어지기 때문에 골판지상자의 면적과 무게의 계산은 생산자와 사용자에게 매우 중요하다. 따라서 프로그램 작

성시 골판지상자의 면적과 무게의 계산을 포함시켰다.

골판지상자의 소요 면적은 다음과 같은 방법으로 계산한다 (골판지포장·물류, 1996; 골판지포장전문 교육교재, 1993).

(총장 200mm 미만이고 1개소 접합의 경우)

SW의 경우,

$$S = [2(L+W) + 35] \times (W + H) + 6 \quad (8)$$

DW의 경우,

$$S = [2(L+W) + 45] \times (W + H) + 9 \quad (9)$$

(총장 200mm, 이상이고 2개소 접합의 경우)

SW의 경우,

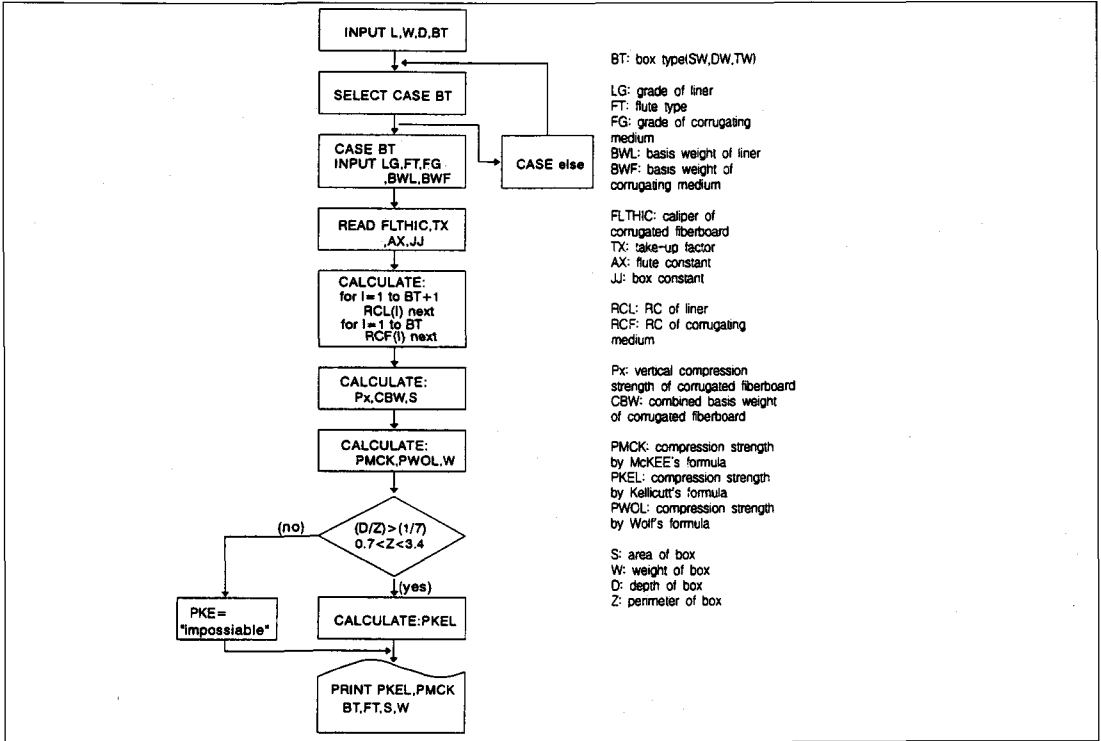
$$S = [2(L+W) + 35] \times (W + H) + 6 \quad (10)$$

DW의 경우,

$$S = [2(L+W) + 45] \times (W + H) + 9 \quad (11)$$

원지의 평량으로부터 골판지의 총평량 계산 방법은 다음과

[그림 6] Flow chart of the CSDP



같다.

$$CBW = \sum BW_l + \sum BW_f \cdot t_x \quad (12)$$

SW 경우,

$$CBW = BW_l - o + BW_f \cdot t_x + BW_l - i \quad (13)$$

DW의 경우

$$CBW = BW_l - o + BW_f - o \cdot t_x + BW_l - m + BW_f - i \cdot t_x + BW_l - i \quad (14)$$

따라서 골판지상자의 총무게는 다음과 같이 계산된다.

$$TM = \frac{(CBW) \cdot S}{1000} \quad (15)$$

여기서, TW = 골판지상자의 총무게, kg_f

S = 골판지상자의 총면적, m^2

CBW = 골판지의 총평균,

g/m^2

BW_l = 라이너의 평량, g/m^2

BW_f = 골심자의 평량, g/m^2

(2) 출력자료

프로그램은 대화식으로 작성하였으며, 출력자료는 다음과 같다.

①상자의 치수 및 형식에 대한 정보

②상자의 압축강도(Kellicutt, McKEE, Wolf식)

③골판지 소요량 계산(면적, 무게)

[그림 7]은 개발한 골판지상자의 압축강도계획 프로그램의 흐름도이며, [그림 8]에는 이 프로그램의 한 실행예를 나타내었다.

4.3. CSDP의 형식과 상자의 압축강도 분석

CSDP를 검증하기 위하여



(그림 7) Example of the designed compression strength of the corrugated fiber board box by the CSDP.

```

CSDP(Compression Strength Design Program of Box)

Length of box(mm) =500
Width of box(mm) =355
Height of box(mm) =280
Select of box type...SW(1),DW(2),TW(3) =1
Select of OUT,IN liner grade... AA(1),A(2),B(3),C(4) =2,2
Select of flute type.....A(1),B(2),C(3) =1
Select of corrugating medium grade...A(1),B(2),C(3) =2
Basis weight of OUT liner(160 - 340 g/m2) =180
Basis weight of IN liner(160 - 340 g/m2) =180
Basis weight of corrugating medium(115 - 180 g/m2) =120

** RESULT OF CSDP **
-----
Box type : SW      Dimensions(mm): (L) 500 (W) 355 (D) 280
-----
Flute type: A      Area(m2): 1.118545   Weight(kgf): .6174369
-----
Strength of box(kgf): <KELLICUTT>: 391.0498   <McKEE>: 315.5765
                   <WOLF> : 389.4204
-----

Press any key to continue
  
```

[표 7]에서 보는 바와 같이 상자의 형식, 치수, 골판지의 원단구성 및 평량이 서로 다른 4종의 골판지상자에 대하여 본 압축강도설계 프로그램을 적용한 결과는 [표 8]과 같다.

공시한 골판지상자를 23°C - RH 50%의 표준상태에서 20시간 평형시킨 후 하중재하속도 10mm/min로 실제 측정된 상자의 압축강도(KS A1012)에 비하여 Kellicutt와 Wolf식에서는 100kgf 이상 큰 값으로 설계되었으나, McKEE식에서는 비교적 일치하는 값으로 설계되었다. 이처럼 실측치와 설계치와의 사이에 차이가 있는 것은 골판지상자의 제작시 인쇄압에

의한 골의 붕괴와 상자의 결합 과정에서 오는 기계적인 요인이 크게 작용하였을 것으로 판단된다. 특히 Box B와 Box C의 경우는 상자의 옆면에 있는 통기공이 실측한 상자의 압축강도에 큰 영향이 준 것으로 판단된다. 그러나 상자의 무게의 경우는 실측치와 설계된 값 사이에 거의 일치하는 것으로 나타났다.

골판지의 골의 종류와 상자의 압축강도와의 관계를 규명하기 위하여, 한 예로 양면골판지의 바깥쪽 및 안쪽 라이너를 모두 A등급의 평량 180, 그리고 골은 B등급의 평량 120인 것을 사용하였을 때 골의 B등급의

평량 120인 것을 사용하였을 때 골의 형태별 CSDP에 의한 설계된 압축강도의 변화를 [표 9]에 나타내었다. 같은 조건에서 A골의 양면골판지상자의 압축강도가 가장 큰 것으로 나타났고 그 다음은 C골, B골 순이었다. 이 순서는 골 높이와 같은 순서로 이로 미루어 보아 골판지상자의 압축강도는 골의 높이와 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

5. 종합 결론 및 제언

농산물 포장문제는 수확후 농산물의 부가가치향상, 품질유지 및 마케팅 전략면에서 그

[표 7] Corrugated fiberboard boxes used in verification of CSDP

Box Type	Kinds	Board composition (outer → inner)	Dimensions (L×W×H), mm	Flute
DW	Box A	KA ²¹⁰ /AS ²¹⁰ /S ¹²⁵ /AS ²⁵⁰ /KA ²¹⁰	505×355×280	A + B
	Box B	SC ²⁴⁰ /AS ²⁵⁰ /AS ¹⁸⁰ /AS ²⁵⁰ /KA ²⁴⁰	505×350×240	
	Box C	KA ²⁴⁰ /AS ³⁰⁰ /A ¹⁸⁰ /AS ³⁰⁰ /KA ²⁴⁰	425×295×260	
SW	Box D	KA ²⁴⁰ /AS ³⁴⁰ /KA ²⁴⁰	370×280×223	A

[표 8] Comparison of the measured compression strength of boxes and designed compression strength by CSDP

Kinds	Measured CS ¹⁾ , kgf	Designed CS by CSDP, kgf			Area, m ²	Weight, kgf
		Kellicutt	McKEE	Wolf		
Box A	742	867	751	855	1.1039	1.3589(1.396)
Box B	674	769	682	755	1.0249	1.4451(1.494)
Box C	816	921	824	906	0.8375	1.3066(1.278)
Box D	305	398	320	378	0.6795	0.6958(0.690)

Note: 1) CS = compression strength, () : measured weight

[표 9] Compression strength variation of the fiberboard box(SW) according to flute type by CSDP

Kinds		Flute type		
		A	B	C
Compression strength, kgf	Kellicutt	391.05	305.84	357.25
	McKEE	315.58	233.68	276.04
	Wolf	389.42	288.36	340.64
Area, m ²		1.1185		
Weight, kgf		0.6174	0.5906	0.6040

중요성이 점차 인식되어 우리나라에서도 많은 관심을 가지고 있으나, 관심의 대상은 포장상자의 디자인 등 주로 외관상의 문제에만 치우쳐 있을 뿐, 유통기간 동안 포장내용물의 물질에 큰 영향을 미치는 포장재 및 상자의 물리적 성질에 관한 관심은 매우 미미한 실정이다.

농산물 포장재료로는 대부분 골판지상자가 이용되고 있으며 포장시 사용되던 각종 플라스틱원충재들이 환경오염과 관련

되어 그 사용이 규제됨으로써 각종 원충재료로써 골판지의 이용이 더욱 확대될 추세에 있다. 따라서 골판지상자와 골판지 자체에 관련된 제반연구, 즉 골판지의 품질관리, 골판지상자의 품질규격화 및 완충효과, 충격내구성 향상 등 다각적인 연구가 매우 시급하다.

따라서 필자는 우리나라의 주요 과실류의 포장상자에 대하여 이들 상자의 수분흡수에 따른 압축강도열화를 분석하고

골판지상자의 계획, 품질관리 및 포장계획의 효율을 기하기 위하여 상자의 압축강도설계 프로그램(Compression Strength Design Program of Box, CSDP)에 대하여 언급하였다.

이상의 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 공시한 골판지에 대하여 흡습 및 탈습실험을 실시했던 결과, 평형함수율에 도달까지는 약 20시간 정도 소요되었으며, 이 흡습에 의해 도달되는 평형함수율이 탈습에 의한 평형함수율보다 약간 낮았다. 상대습도 약 50% 이상에서 상대습도의 증가에 따라 평형함수율은 급격히 증가하였으며, 같은 상대습도에서 온도가 높을수록 평형함수율은 낮게 측정되었다.

2) 골판지상자의 최대압축강도는 골판지의 총평량보다는 원지의 종류에 더 많은 영향을 받았으며, 상대습도의 증가에 따라 급격히 감소하는 경향이였다. 대체로 온도보다는 상대습도가 압축강도에 미치는 영향이 뚜렷하였으며, 상자의 최대압축강도는 함수율의 증가에 따라 2차 함수적으로 감소하였다.

3) 하중이 어느 수준에 도달하였을때 상자의 파양형태는



포장강좌 1

대부분 서로 마주보고 있는 면끼리 안쪽 혹은 바깥쪽의 같은 방향으로 만곡되었으며, 상대 습도가 높을수록 길이 방향의 수직축면(L×D)이 안쪽을 향하여 만곡되어 이로부터 골판지상자의 파괴방향은 골판지의 역학적 구조와 상자 내·외부의 대기조건 및 인쇄압 등과 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다.

4) 온·습도에 따른 상자의 최대압축저짐률과 임계 처짐률 모두 상대습도에 따라 거의 직선적으로 증가하였으나, 온도에 따라서 2차 함수적으로 증가하였다.

5) 국·내외의 각종 규정과 자료를 이용하여 골판지상자의 압축강도설계 프로그램을 개발하였으며, 일부 자료의 부족으로 범용적으로 프로그램의 작성이 어려웠으므로 앞으로 계속적인 보완의 필요성이 있다.


이 연구의 결과의 연구수행 과정에서 도출된 골판지상자의 품질관리, 측정내구성의 향상과 설계 및 제작상의 개선점을 요약하면 다음과 같다.

1) 골판지상자의 측정내구성은 크리프저동과 매우 깊은 관계가 있음에도 불구하고, 현재 한국공업규격에는 골판지상자의 크리프 실험에 관한 규정이 없으므로 이에 대한 규정의 제정이 필요하다. 또한 골판지 및 포장과 관련된 한국공업규격의 용어에 대한 새로운 정립의 필요성이 요구된다.

2) 국내의 경우 골판지상자의 품질구분 및 거래시 등급을 골판지의 파열강도를 기준으로 삼고 있으나, 골판지상자의 측정내구성은 파열강도보다는 상자의 압축강도와 처짐량과 더욱 관련성이 있으므로 이에 대한 규정의 개정이나 또는 관련 업체에 대한 교육의 필요성이

있다.

3) 현재 골판지상자의 겉표면에 각종 인쇄는 골판지의 제작 이후에 인쇄하는 관계로 인쇄압에 의한 골의 찌그러짐으로 골판지상자의 압축강도를 저하시키는 원인이 되고 있다. 따라서 골판지를 제작하기 이전에 외부 라이너의 원지에 미리 인쇄하고 골판지를 제작하는 공정의 개선이 필요하다.

4) 한국공업규격과 농산물 표준출하 규격집상에 농산물에 대한 골판지상자의 규격이 제정되어 있음에도 불구하고 같은 농산물이라 하더라도 지역별로 그 치수가 다양하다. 골판지상자의 효율적인 품질관리와 취급 및 유통상의 능률을 기하기 위해 골판지상자의 규격화 내지 표준화가 절실히 요청된다. 

매체는 많습니다.
어떤 매체를 선택하느냐에 따라
여러분들의 광고효과 만족도가 나타납니다.
광고는 한번하고 버려지는 것이 아니라
여러분의 꿈과 노력을 실현 시키기 위해
머물고 있습니다.

월간 「포장계」는 포장업계의 경제적 효과를
고려해 중고기계 매매코너를 신설, 구매자들을
연결시켜 줍니다.
꼭 필요한 곳에 가장 적당한
가격으로 거래가 될 수 있도록
지속적인 홍보를 해드리겠습니다.
많은 참여 바랍니다.

(사)한국포장협회 월간 포장계 편집실
TEL : (02) 780-9782, FAX : (02) 786-0468