



농산물 포장상자의 압축강도설계 프로그램

密陽産業大學校 農業機械學科 教授

工學博士 朴 鍾 民

1 서 론

골판지상자에 포장되는 포장물의 대부분은 압상에 의해 파손되기때문에 파열강도(破裂強度) 보다는 압축강도(壓縮強度)가 중요하다고 인식되며, 상자의 압축강도 보완을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 농산물의 경우는 농산물 자체가 하중을 지탱할 수 없는 비 자립성이 대부분이므로 상자의 압축강도가 절대적이라 하겠다.

골판지상자의 압축강도는 상자로 제작되기 전인 원지, 원단(골판지)들의 원자재의 보강은 물론 완성품인 상자도 동시에 보강되어야하고, 그 강도도 일률적으로 규정하는 것이 바람직하겠으나 상자의 압축강도는 상자의 길이, 폭 및 높이의 변화에 따라 변하기 때문에 압축강도를 일률적으로 규정하기가 어렵다. 따라서 상자의 원지인 경우는 링크러쉬(Ring Crush), 원단의 경우는 수직압축강도를 통하여 상자의 압축강도를 관리하는 것이 일반적인 추세이다.

골판지상자의 압축강도를 비교적 정확하게 추정하므로써 포장에 따른 유통비용을 절감하고 포장 내용물의 품질을 잘

보존할 수 있을 것이며, 특히 농산물의 경우는 주로 포장상태로 적재를 하고 있는 기간이 길기때문에 저장고내의 면적효율의 제고 및 품질유지 측면에서도 상자의 압축강도가 매우 중요한 인자라 하겠다.

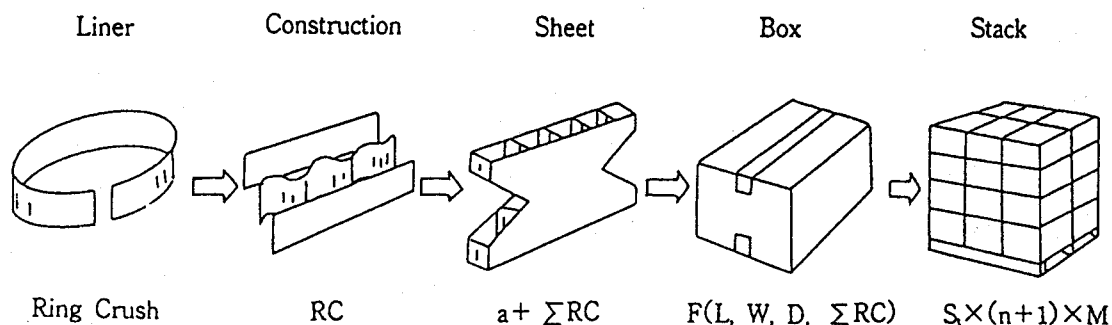
골판지상자 제조업체나 사용자 측면에서 상자의 압축강도를 미리 추정해 낼수 있다면 상자의 설계, 품질관리 및 포장계획을 세우는데 매우 효과적일 것이다.

본 연구는 외국에서 보고된 연구결과와 한국산업규격 및 농산물 출하규격에서 규정하는 자료들을 이용하여 농산물 포장용 골판지상자의 압축강도 설계 프로그램(Compression Strength Design Program of Box, CSDP)을 개발하려는 것이다.

2. 압축강도설계의 알고리즘

골판지상자의 압축강도를 구성하는 기본 요소로는 (1)원지의 압축강도, (2)골의 종류, (3)골판지의 종류, (4)골판지의 함수율등이 있으며, 가변요소로는 (1)상자치수와 길이·폭의 비, (2)인쇄면적과 디자인, (3)상자 제조기술의

[그림 1] 골판지상자의 압축강도 구성



차이, (4)상자 제작기계의 차이, (5)품질관리의 차이등이 있다. 또한 상자의 사용중에는 이 기본요소와 가변요소외에 여러가지의 열화(劣化)요인들이 작용하여 상자의 압축강도가 결정된다.

원지로부터 완제품인 상자까지의 압축강도를 구성하는 요소와 이들의 관계는 [그림 1]에서 보는 바와 같이 골판지상자의 압축강도를 골판지원지의 수직압축강도(Ring Crush, RC), 골판지의 수직압축강도(Edge Crush, ECS)와의 비례관계로부터 상자의 주변장에 따라 간편하게 이론적으로 구할 수 있는 방법들이 외국에서는 이용되어 왔다.

발표된 연구결과중 Kellicutt 식은 상자의 압축강도에 영향을 미치는 여러가지 인자를 포함하고있어 가장 신뢰성있는 방법으로 인정되어 여러나라에서 널리 사용되고 있다.

$$P = PX (A^2X / (Z/4))^{1/3} Z$$

여기서, P = 상자의 압축강도, kgf

PX = 골판지의 수직압축강도(총 링크러쉬), kgf/152.4mm

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

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

Z = 상자의 주변장((L+W)×2), m

여기서 PX는 골판지의 총링크러쉬로서 다음과 같이 계산된다.

$$PX = \Sigma RC I + \Sigma RC f \cdot tx$$

(SW의 경우)

$$PX = RC I - o + RC f \cdot tx + RC I - i$$

(DW의 경우)

$$PX = RC I - o + RC f - o \cdot tx + RC I - m + RC f - i \cdot tx + RC I - i$$

여기서, RC I = 라이너의 링크러쉬, kgf/152.4mm

RC f = 골심지의 링크러쉬, kgf/152.4mm

tx = 골조울(참조 [표 2])

골판지의 라이너와 골심지의 링크러쉬 측정시 시험편의

크기는 가로×세로, 152.4mm×12.7mm이며, 이때 하중재하속도(Loading Rate)는 12.7±3mm/min이다. (KS M7051, ASTM D 1164 - 60, Tappi T 472)

또다른 상자의 압축강도 계산식으로 널리 알려져있는 것이 McKEE의 식이다.

$$P = 5.87 P_m h Z$$

여기서, P = 상자의 압축강도, kgf

Pm = 골판지 시편의 압축강도(ECS), kgf/m

h = 골판지의 두께, m

Z = 상자의 주변장, ((L+W)×2), m

McKEE등은 이 식의 적용범위를 상자의 주변장이 762~3429mm 범위, D/Z > 1/7 인 경우로 한정하였다. 그리고 이 식에서 Pm은 가로 50.8mm, 세로 31.8mm의 골판지 시편의 상하부에 각각 6.4mm 정도로 왁스를 바른후 표준 상태(21℃ - rh 50%, 12hr, 하중재하속도 12.7mm/min)에서 평형시킨후 측정된 골판지시편의 수직압축강도이다.

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

$$P_m = 1.25(\Sigma RC I + \Sigma RC f \cdot tx)$$

여기서, 상수값 1.25는 ECS와 골판지의 총링크러쉬와의 차를 보정하는 값이다.

3 압축강도 설계 프로그램

1) 입력자료

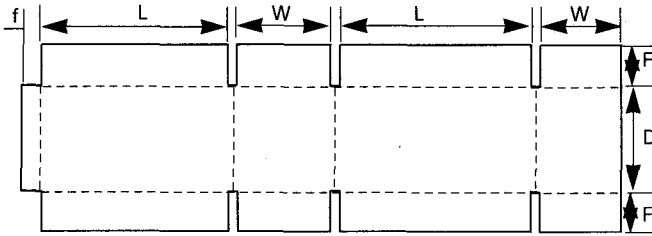
상자의 압축강도설계시 입력자료는 다음과 같다.

- (1)설계하려는 골판지상자의 크기(L, W, D)
- (2)상자의 종류(SW, DW, TW)
- (3)골의 형식(A, B, C, AB, AC, BC, AAA, AAB)

[표 1] 과실 포장상자의 규격

과실종류	포장단위 kg	치 수			골 판 지	압 축 강 도		습수율 %(d.b.)
		길이(L) mm	폭(W) mm	높이(D) mm		최소강도 kgf	최대변형량 mm	
사 과	15	440	303	303	KS A1502 (DW, RSC형)1)	350	20	10±2
	15	450	320	310		350	20	
배	15	440	303	303		350	20	
단 감	15	410	300	250		350	20	
오 랜 지	15	360	305	250		320	20	
포 도	15	440	320	225		420	20	
	10	440	320	225		360	20	

주) RSC형 골판지상자의 전개도



(4)라이너의 등급설정(AA, A, B, C)

(5)골심지의 등급설정(A, B, C)

(6)라이너와 골심지의 평량설정

우리나라에서 규정하고 있는 주요 과실류의 포장상자는 [표 1]에서 보는 바와같이 RSC형의 2중 양면골판지상자로 그 크기는 다음과 같다 (KS A 1532). 골판지의 골의 종류와 그 제원은 [표 2]와 같다. (KS A 1502, Peleg, 1985)

[표 2] 골의 종류와 주요사양

골의 종류		골 높이, mm	골판지 두께, mm	골의 수(30cm당)	골조율
SW	A 골	약 4.6	약5	34 ± 2	1.6
	B 골	2.6	3	50 ± 2	1.4
	C 골	3.6	4	40 ± 2	1.5
DW	AB 골	—	8	—	—
	AA 골	—	10	—	—
TW	AAA 골	—	15	—	—

골판지용 라이너는 단위 평량당의 수직압축강도 즉, 비압축강도에 따라 AA, A, B, C의 4등급으로 나누며, 골심지도 비압축강도에 따라 A, B, C의 3등급으로 나눈다. 골판지용 라이너와 골심지의 등급별, 평량별 수직압축강도(링크러쉬)는 [표 3]과 같다. (KS M 7502, KS M 7076)

골판지용 라이너와 골심지의 각 등급에서 임의의 평량에 대한 압축강도의 규정치를 손쉽게 구하기 위하여 [표 4]와

같이 평량에 따른 압축강도의 회귀식을 각각 구하여 프로그램시 사용하였다. 현재 골판지상자의 거래는 골판지의 파열강도와 면적당(평방미터) 가격으로 결정되기 때문에 골판지상자의 면적과 무게의 계산은 생산자와 사용자에게 매우 중요하다. 따라서 프로그램 작성시 골판지상자의 면적과 무게의 계산을 포함시켰다.

상자의 면적 및 무게의 계산방법은 다음과 같다.

<라 이 너>

[표 3] 골판지의 라이너와 골심지의 수직압축강도 (링크러쉬)

라이너의 종류		수직압축강도	비압축강도	라이너의 종류		수직입축강도	비압축강도
등 급	평량, g/m ²	kgf	kgf/m ² /g	등 급	평량, g/m ²	kgf	kgf/m ² /g
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	16.0	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	C	300	39.0	11.0
	180	23.4			320	41.6	
	200	26.0			340	44.2	
	220	28.6	170		18.7		
	260	39.0	190		20.9		
	280	42.0	210		23.1		

〈골 심 지〉

골심지의 종류		수직압축강도	비압축강도 kg' m ² /g	골심지의 종류		수직압축강도	비압축강도 kg' m ² /g	
등 급	평량, g/m ²	kg'		등 급	평량, g/m ²	kg'		
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						

[표 4] 라이너와 골심지의 각 등급별 평량과 수직압축강도와와의 관계

종류	등급	회귀식	결정계수 (r ²)
라 이 너	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	$CS = 0.1301(BW)$	0.999
	C	$CS = 0.1100(BW)$	0.999
골 심 지	A	$CS = 0.1450(BW)$	0.999
	B	$CS = 0.1301(BW)$	0.999
	C	$CS = 0.1101(BW)$	0.999

(상자의 전체 면적): $S = 2(L+W)(H+2F) + (H \times f)$

여기서, f = 이음부의 크기(참조 [표 1])

F = 날개의 길이(RSC형의 경우는 $W/2$)

(골판지의 총평량): $CBW = \sum BW1 + \sum BW f \cdot tx$

(SW의 경우): $CBW = BW1 - o + BW f \cdot tx + BW1 - i$

(DW의 경우): $CBW = BW1 - o + BW f - o \cdot tx + BW1 - m + BW f - i \cdot tx + BW1 - i$

따라서 골판지상자의 총무게는 다음과 같이 계산한다.

$TW = (CBW) \cdot S$

여기서, CBW = 골판지의 총평량, g/m², $BW1$
= 라이너의 평량, g/m²

$BW f$ = 골심지의 평량, g/m², tx = 골조율(참조 [표 2])

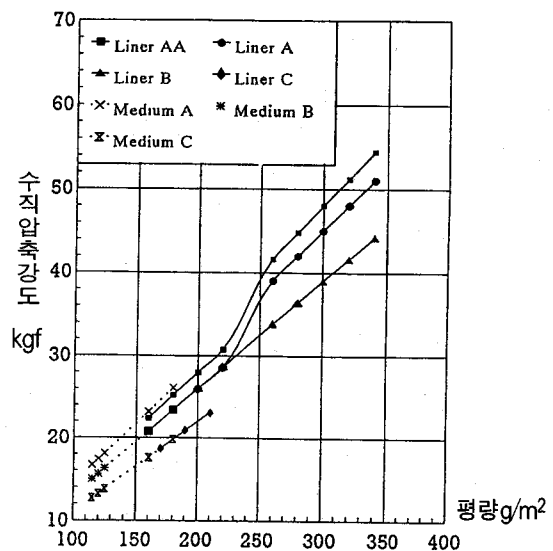
2) 출력자료

프로그램은 대화식으로 작성하였으며, 출력자료로는 다음과 같다.

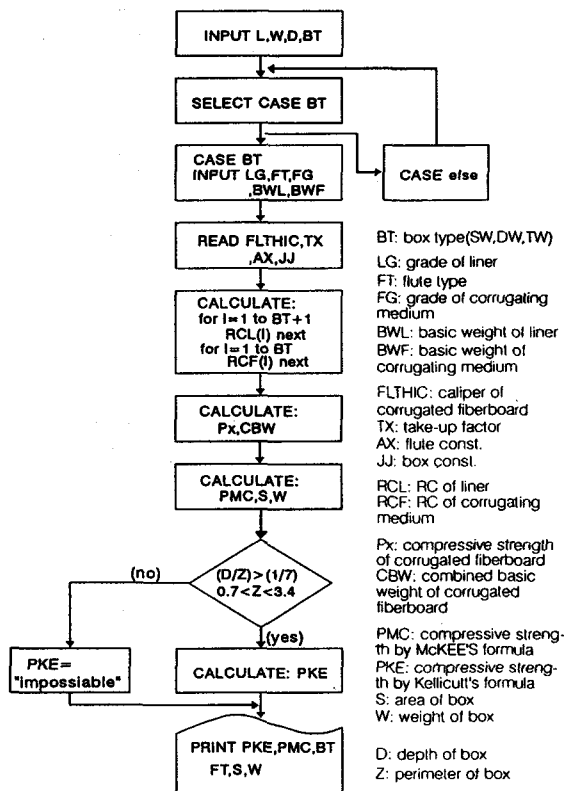
- (1)상자의 크기 및 형식에 대한 정보
- (2)상자의 압축강도(Kellicutt, McKEE)
- (3)상자의 면적
- (4)상자의 무게

[그림 3]은 개발한 압축강도설계 프로그램의 flow chart이며, [그림 4]에는 이 프로그램의 한 실행예를 나타내었다.

[그림 2] 라이너 및 골심지의 각 등급별 평량에 따른 수직압축강도



[그림 3] 압축강도설계 프로그램의 flow chart



CSDP에 의한 상자의 압축강도 분석

골의 형태가 AB골이며, 골판지의 골이 B 등급, 그리고 평량 180인 크기 440mm×303mm×303mm의 2중 양면 골판지상자에 대하여 본 연구에서 개발한 CSDP를 적용하여, 라이너의 등급별 및 평량별 설계된 압축강도를 [그림

5]에 나타내었다.

Kellicutt와 McKEE의 두 방법간에는 평량이 클수록 그 차이가 컸으며, 두 방법 모두에서 설계된 상자의 압축강도는 평량에 따라 선형적으로 증가하였으며, C에서 A등급으로 갈수록 평량의 증가에 따른 압축강도의 증가율은 크게 나타났다. 한편 동일한 크기의 상자에 대하여 바깥쪽 라이너, 중간 라이너 및 안쪽 라이너를 모두 A등급의 평량 200, 180 및 200을 각각 사용하였을때의 골의 등급별 및 평량별 설계된 압축강도의 변화를 [그림 6]에 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 골의 평량이 증가할수록 두 방법간의 차이는 컸으며, 대체로 Kellicutt 식에 의해 설계된 압축강도가 McKEE 식에 의한 값 보다 약 150kgf 정도 크게 설계되었다.

양면골판지의 바깥쪽 및 안쪽 라이너를 모두 AA등급의 평량 220, 그리고 골은 B등급의 평량 160인것을 사용하였을때, 골의 형태별 설계된 압축강도의 변화를 [표 5]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.

골판지상자의 설계, 품질관리 및 포장계획시 골판지상자의 압축강도에 대한 정보를 쉽게알 수 있는 방법은 골판지

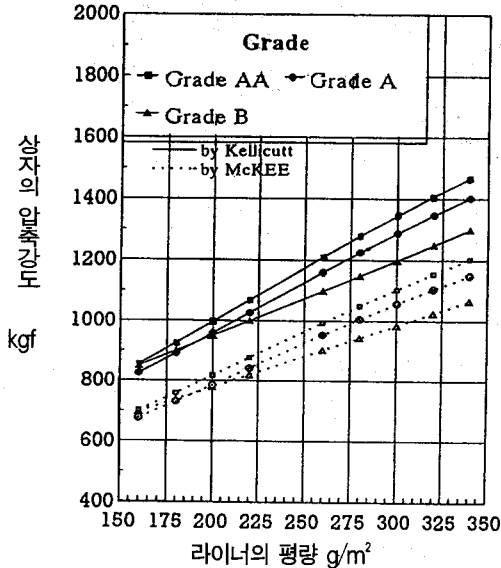
결론

상자 제조업체나 사용자 측면에서 매우중요한 일이다.

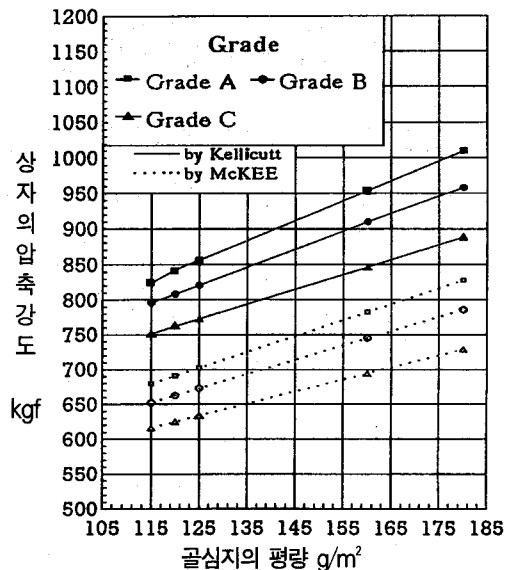
[그림 4] CSDP의 한 실행예

CSDP (Compression Strength Design Program of Box)	
Length of Box (mm) = 440	
Width of Box (mm) = 303, Height of Box (mm) = 303	
Select of Box Type... SW (1), DW(2), TW (3) = 2	
Select of Out, CEN, IN, liner grade AA(1), A(2), B(3), C(4) = 2, 2, 2	
Select of flute type..... A+B(1), A+A(2) = 1	
Select of Out, IN, Corrugating medium grade A(1), B(2), C(3) = 1, 1	
Basic weight of OUT liner (160 - 340 g/m ²) = 200	
Basic weight of CEN liner (160 - 340 g/m ²) = 180	
Basic weight of IN liner (160 - 340 g/m ²) = 200	
Basic weight of OUT Corrugating medium (115 - 180 g/m ²) = 125	
Basic weight of IN Corrugating medium (115 - 180 g/m ²) = 125	
** RESULT OF CSDP **	
Box type : DW Dimensions (mm): (L) 440 (W) 303 (D) 303	
Flute type: AB Area(m ²): 915666 Weight (kgf): 8927743	
Strength of Box (kgf): <KELICUTT> : 856.2787 <MCKEE>: 702.2092	
Press any key to continue	

[그림 5] 라이너의 등급별 및 평량별 설계된 상자의 압축강도



[그림 6] 골심지의 등급별 및 평량별 설계된 상자의 압축강도



[표 5] CSDP에 의한 골의 형태별 상자의 압축강도

종 류		골 의 형 태		
		A 골	B 골	C 골
압축강도, kgf	Kellicutt	490.93	384.54	448.82
	McKee	405.56	300.76	355.01
상자면적, m²		0.9157		
상자무게, kgf		0.6373	0.6080	0.6227

이 연구에서는 외국에서 발표된 연구결과와 농산물 포장 상자에 대한 국내의 규정 및 자료들을 이용하여 골판지상자의 압축강도설계 프로그램(CSDP)을 개발하였다.

이 프로그램은 한국공업규격의 자료를 근거로 작성되었기 때문에 골판지의 원지를 한국공업규격에 따라 생산된 원지의 골판지상자에 한하여 적용할 수 있다.

목상자의 대체용으로 1,500~2,000kgf 이상의 중량재 포장용기로 각광받는 3중양면골판지상자(TW)에 대해서는 압축강도 설계상의 자료부족으로 이 프로그램에 포함시키지 못하였으며, 펄프, 수입고지 및 국내고지 값에 대한 물가정보가 이 프로그램에 반영된다면 생산업체와 사용자의 경영상 매우 긴요하게 사용될 수 있을 것으로 판단되며, 앞으로 계속적인 보완의 필요성이 있다고 본다.

< 인 용 문 헌 >

1. ASTM D1164 - 60. Standard test method for Ring crush of paperboard.
2. 한국산업규격 외부포장용 골판지. KS A 1502.
3. 한국산업규격 과실류 포장용 골판지 상자. KS A 1532.

4. 한국산업규격 판지의 압축강도 시험방법(링 크라쉬법). KS M 7051.
5. 한국산업규격 골판지의 압축강도시험방법. KS M 7063.
6. 한국산업규격 골판지용 골심지. KS M 7076.
7. 한국산업규격 골판지용 라이너. KS M 7502.
8. McKee, R. C., J. W. Gander and J. R. Wachuta. 1963. Compression strength formula for corrugated boxes. Paperboard Package(Aug.) : 144 - 159.
9. 농산물 표준출하규격집. 1990. 농림수산부, 농업협동조합중앙회.
10. 박종민의 3. 1994. 농산물 포장용 골판지상자의 충격내구성의 분석과 향상에 관한 연구() - 수분흡습특성과 압축강도열화. 한국농업기계학회지 19 (4): 358-368.
11. 박종민의 2. 1995. 골판지의 정적완충특성과 골판지상자의 크라이프 거동. 한국농업기계학회지 20 (4).
12. Peleg, K. 1985. Produce handling packaging and distribution. Westport: AVI Publishing.
13. 산업디자인 포장개발원. 골판지 포장전문 교육교재. 1993.
14. Tappi T 818 om - 87. Ring crush of paperboard.
15. Wolf, M. 1974. Here's a quick way to calculate box compression strength. Package Eng. Feb.: 44 - 45.