

농산물 포장상자의 압축강도설계 프로그램

박종민 · 김만수 * · 김태욱 **

밀양산업대학교 농업기계학과, *충남대학교 농업기계공학과,

**경북대학교 농업기계공학과

Compression Strength Design Program of Boxes for Agricultural Products Packaging

Jong-Min Park, Man-Soo Kim*, Tae-Wook Kim**

Dept. of Agricultural Machinery, Miryang National University,

**Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungnam National University,*

***Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Kyungpook National University*

Abstract

The compression strength of the corrugated fiberboard boxes is very important information to the manufacturers and the end users. The computer program being used to design the compression strength of the boxes was developed by using Korean Standards for the corrugated fiberboard box and some other data. The developed computer program could be applied to only the boxes produced according to the Korean Standards. Also this program needs to be revised continuously by the newly added and developed data.

Key words : packaging box, compression strength, basis weight, ring crush, agricultural products packaging

서 론

골판지상자에 포장되는 포장물의 대부분은 압축에 의해 파손되기 때문에 골판지상자의 파열강도 보다는 압축강도가 중요하다고 인식되어, 상자의 압축강도 보안을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 농산물의 경우는 농산물 자체가 하중을 지탱할 수 없는 비자립성이 대부분이므로 상자의 압축강도가 포장내용물의 손상에 미치는 영향은 절대적이라 하겠다[1,2].

골판지상자의 압축강도는 상자로 제작되기 전인 원지, 원단(골판지)들의 원자재의 보강은 물론 완성품인 상자도 동시에 보강되어야 하고, 그 강도도 일률적으로 규정하는 것이 바람직하겠으나 상자의 압축강도는 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 추

세이다.

골판지상자의 압축강도를 정확하게 추정하므로써 포장에 따른 물류경비를 절감하고 포장 내용물의 품질을 잘 보존할 수 있다. 특히 농산물의 경우는 포장된 상태로 적재하는 경우가 많으므로 저장고내의 면적효율의 제고 및 품질유지 측면에서도 상자의 압축강도는 매우 중요한 인자가 된다. 반면, 골판지상자 제조업체나 사용자 측면에서도 상자의 압축강도를 미리 추정해 낼수 있다면 상자의 설계, 품질관리 및 포장계획을 세우는 데 매우 효과적일 것이다.

본 연구는 외국에서 보고된 연구결과와 한국공업규격 및 농산물 출하규격[3]에서 규정되어 있는 자료와 한국공업규격 KS M7076과 KS M7502 [4]를 토대로 골판지용 라이너와 골심지의 각 등급별 평량에 따른 압축강도(RC)의 회귀식을 구하여, 농산물 포장용 골판지상자의 압축강도설계 프로그램(Compression Strength Design Program of Box, CS DP)을 개발하려는 것이다.

압축강도설계의 알고리즘

골판지상자의 압축강도를 구성하는 기본 요소로는 (1)원지의 압축강도(RC), (2)골의 종류, (3)골판지의 종류, (4)골판지의 함수율등이 있으며, 가변요소로는 (1)상자치수와 길이·폭의 비, (2)인쇄면적과 디자인, (3)상자 제조기술의 차이, (4)상자 제작기계의 차이, (5)품질관리의 차이등이 있다. 또한 상자의 유통중에는 이 두 요소외에 여러가지의 열화요인들이 관여하여 상자의 압축강도가 결정된다.

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

발표된 연구결과중 Kellicutt 식은 상자의 압축강도에 영향을 미치는 여러가지 인자를 포함하고 있어 가장 신뢰성있는 방법으로 인정되어 여러나라에서 사용되고 있다[5].

P = P₁[A₁²/(Z/4)]^{1/3}JZ (1)

여기서, P = 상자의 압축강도, kgf

P₁ = 골판지의 총링크러쉬, kgf/152.4mm

A₁ = 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, P_x는 골판지의 총링크러쉬로서 다음과 같이 계산된다.

P_x = ΣRC_i + ΣRC_f·t_x (2)

양면골판지(single wall, SW)의 경우,

P_x = RC_{l-o} + RC_f·t_x + RC_{l-i} (3)

2중 양면골판지(double wall, DW)의 경우,

P_x = RC_{l-o} + RC_{f-o}·t_x + RC_{l-m} + RC_{f-i}·t_x + RC_{l-i} (4)

여기서, RC_l = 라이너의 링크러쉬, kgf/152.4mm

RC_f = 골심지의 링크러쉬, kgf/152.4mm

t_x = 골조율(take-up factor)

o, i, m = 골판지의 바깥쪽, 안쪽 및 중간면을 표시

골판지의 라이너와 골심지의 링크러쉬 측정시 시험편의 크기는 가로×세로, 152.4mm×12.7mm이며, 이때 하중재하속도는 12.7±3mm/min이다[4,6,7].

또 다른 상자의 압축강도 계산식으로 널리 알려져 있는 것은 McKEE 식으로 다음과 같다.

P = 5.87P_m√hZ (5)

여기서, P_m = 골판지 시험편의 수직압축강도(ECS), kgf/m

h = 골판지의 두께, m

McKEE등[8]은 이 식의 적용범위를 상자의 주

변장이 762~3429mm 범위, 상자 주변장에 대한 높이의 비가 $D/Z > 1/7$ 인 경우로 한정하였다. 그리고 이 식에서 P_m 은 가로 50.8mm, 세로 31.8mm의 골판지시편의 상하부에 각각 6.4mm 정도로 왁스를 바른후 표준상태(23℃-rh 50%)에서 평형시킨 후 하중재하속도 12.7mm/min로 측정된 골판지시편의 수직압축강도이다.

그 후 Wolf[9]는 ECS와 골판지 원지의 링크러쉬와의 관계를 다음과 같이 발표한 바 있다.

$$P_m = 1.25[\sum RC_i + \sum RC_f \cdot t_x] \quad (6)$$

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

Kellicutt식과 McKEE식의 가장 큰 차이점으로 Kellicutt식에서는 골판지를 구성하는 원지(라이너, 골심지)의 링크러쉬로부터 McKEE식은 골판지 시편에 대한 수직압축강도로부터 상자의 압축강도를 결정하는 점이고, 또한 Kellicutt식은 McKEE식에 비하여 상자의 압축강도에 영향을 주는 제요소를 많이 고려한 점이다.

Wolf[9]는 McKEE식의 이러한 단점을 보완하고, 상자의 높이(D)와 길이/폭비($A=L/W$)를 고려한 식 (7)과 같은 상자의 압축강도 계산 식을 제시하였다.

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

여기서, $C = \frac{0.3228A - 0.1217A^2 + 1}{D^{0.041}}$, $A = \frac{L}{W}$

현재 골판지상자의 거래는 골판지의 파열강도와 면적당 가격으로 이루어지기 때문에 골판지 상자의 면적과 무게의 계산은 생산자와 사용자에게 매우 중요하다. 따라서 프로그램 작성시 골판지상자의 면적과 무게의 계산을 포함시켰다.

골판지상자의 소요 면적계산은 골판지포장조합 분과위원회 규정에 의거 다음과 같이 계산한다[5, 11].

(총장 2000mm 미만이고 1개소 접합의 경우)

$$SW \text{의 경우, } S = [2(L+W) + 35] \times (W+H + 6) \quad (8)$$

$$DW \text{의 경우, } S = [2(L+W) + 45] \times (W+H + 9) \quad (9)$$

(총장 2000mm 이상이고 2개소 접합의 경우)

$$SW \text{의 경우, } S = [2(L+W+35)] \times (W+H + 6) \quad (10)$$

$$DW \text{의 경우, } S = [2(L+W+45)] \times (W+H + 9) \quad (11)$$

원지의 평량으로부터 골판지의 평량 계산방법은 다음과 같다.

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

$$SW \text{의 경우, } CBW = BW_{i_o} + BW_f \cdot t_x + BW_{i_i} \quad (13)$$

$$DW \text{의 경우, } CBW = BW_{i_o} + BW_{f_o} \cdot t_x + BW_{i_m} + BW_{f_i} \cdot t_x + BW_{i_i} \quad (14)$$

따라서 골판지상자의 총무게는 다음과 같이 계산된다.

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

여기서,

TW =골판지상자의 총무게, kg

S =골판지상자의 총면적, m^2

CBW =골판지의 총평량, g/m^2

BW_i =라이너의 평량, g/m^2

BW_f =골심지의 평량, g/m^2

압축강도설계 프로그램

1. 입력자료

상자의 압축강도설계시 입력자료는 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

골판지상자의 압축강도설계 프로그램의 작성시

골판지에 관한 여러 자료가 필요한 데, 표 1은 골판지의 골의 종류와 그 제원을 나타낸 것이다[4, 10].

Table 1. 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	—	—

골판지용 라이너는 단위 평량당의 압축강도(RC) 즉, 비압축강도에 따라 AA, A, B, C의 4등급으로 나누며, 골심지도 비압축강도에 따라 A, B,

C의 3등급으로 나눈다. 골판지용 라이너와 골심지의 등급별, 평량별 압축강도(링크러쉬)는 표 2와 같다[4].

Table 2. Compression strength(RC) of the standard liner and medium paper

Liner

Type		CS ²⁾ , kg _r	SCS ³⁾ , (min), kg _r m ² /g	Type		CS ²⁾ , kg _r	SCS, (min), kg _r 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	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	15.0	C	170	18.7	11.0
	260	39.0			190	20.9	
	280	42.0			210	23.1	

Continued
Medium paper

Type			SCS ³⁾ , (min), kg, m ² /g	Type		
Grade	BW ¹⁾ , g/m ²	CS ²⁾ , kgf		Grade	BW, g/m ²	CS ²⁾ , kgf
A	115	16.7	14.5	B	160	20.8
	120	17.4			180	23.4
	125	18.1		C	115	12.7
	160	23.2			120	13.2
	180	26.1			125	13.8
B	115	15.0	13.0	160	17.6	
	120	15.6		180	19.8	
	125	16.3				

Note, 1) : BW=basis weight, 2) : CS=compression strength(RC), 3) : SCS=specific compression strength(=(CS/BW) × 100)

표 2의 골판지용 라이너와 골심지의 각 등급에서 임의의 평량에 대한 압축강도(RC)의 규정치를 손쉽게 구하기 위하여, 표 3과 같이 평량에 따른 압축

강도(RC)의 회귀식을 각각 구하여 프로그램시 사용하였다.

Table 3. 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

2. 출력자료

프로그램은 대화식으로 작성하였으며, 출력자료는 다음과 같다.

- (1) 상자의 치수 및 형식에 대한 정보
- (2) 상자의 압축강도(Kellicutt, McKEE, Wolf 식)
- (3) 골판지 소요량 계산(면적, 무게)

CSDP의 검증과 상자의 압축강도 분석

CSDP를 검증하기 위하여 표 4에서 보는 바와 같이 상자의 형식, 치수, 골판지의 원단구성 및 평량이 서로 다른 4종의 골판지상자에 대하여 본 압축강도설계 프로그램을 적용한 결과는 표 5와 같다.

공시한 골판지상자를 23℃-rh 50%의 표준상태에서 20시간 평형 시킨 후 하중재하속도 10mm/min으로 실제 측정된 압축강도[4]에 비하여 Kellicutt와 Wolf식에서는 100kg, 이상 큰 값으로

그림 1은 개발한 압축강도설계 프로그램의 흐름도이며, 그림 2에는 이 프로그램의 한 실행예를 나타내었다.

값으로 설계되었다. 이처럼 실측치와 설계치와의 사이에 차이가 있는 것은 골판지상자의 제작시 인쇄압에 의한 골의 붕괴와 상자의 결합과정에서 오는 기계적인 요인도 크게 작용하였을 것으로 판단된다. 특히 Box C와 Box D의 경우는 상자의 옆면

에 있는 통기공이 실측한 상자의 압축강도에 큰 영향을 준 것으로 판단된다. 그러나 상자의 무게의 경우는 실측치와 설계된 값 사이에 거의 일치하는 값으로 나타났다.

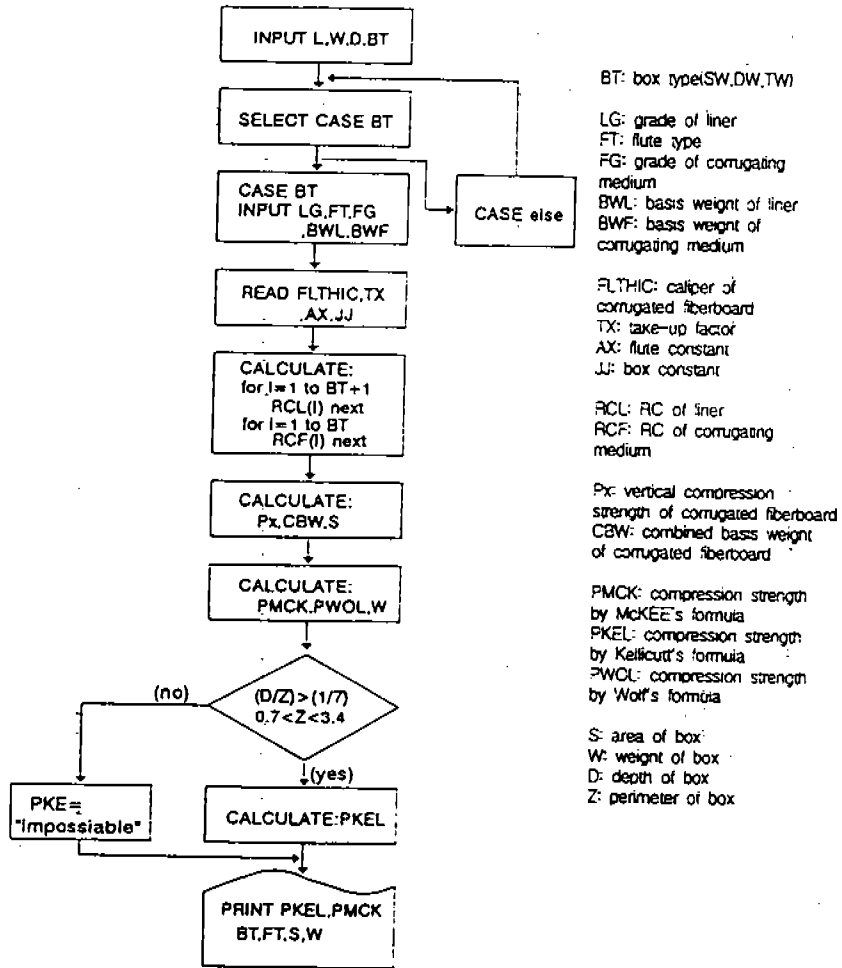


Fig. 1. Flow chart of the CSDP.

골판지의 골의 종류와 상자의 압축강도와와의 관계를 구명하기 위하여, 한 예로 양면골판지의 바깥쪽 및 안쪽 라이너를 모두 A등급의 평량 180, 그리고 골은 B등급의 평량 120인것을 사용하였을때 골의 형태별 설계된 압축강도의 변화를 표 6에 나타내었

다. 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.

```

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): <KELICUTT>: 391.0498 <McKEE>: 315.5765
                       <WOLF> : 389.4204
-----

Press any key to continue
    
```

Fig. 2. Example of the designed compression strength of the corrugated fiberboard box by the CSDP.

Table 4. 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	505×350×270	
	Box B	SC ²⁴⁰ +AS ²⁵⁰ +AS ¹⁸⁰ +AS ²⁵⁰ +KA ²⁴⁰	510×345×230	A+B
	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

Table 5. Comparison of the measured compression strength of boxes and Designed compression strength by CSDP

Kinds	Measured CS ¹⁾	Designed CS by CSDP			Area, m ²	Weight, kg.
		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=measured compression strength, () : measured weight

Table 6. Comparison of the measured compression strength of boxes and Designed compression strength by CSDP

Kinds		Flute type		
		A	B	C
Compression strength, kg _r	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, kg _r		0.6174	0.5906	0.6040

결 론

골판지상자의 설계, 품질관리 및 포장계획시 골판지상자의 압축강도에 대한 정보는 골판지상자 제조업체나 사용자 측면에서 매우 중요한 일이다.

이 연구에서는 외국에서 발표된 연구결과와 농산물 포장상자에 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 1500~2000kg_r 이상의 중량재 포장용기로 제작되는 3중양면골판지상자(TW)에 대해서는 압축강도설계상의 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 지속적인 보완의 필요성이 있다.

참 고 문 헌

1. 박종민, 권순홍, 권순구, 김만수(1994). 농산물 포장용 골판지상자의 충격내구성 분석과 향상에 관한 연구(I)-수분흡습특성과 압축강도

열화. 한국농업기계학회지, 19(4), 358-368.

2. 박종민, 김만수, 정성원(1995). 골판지의 정적 원충특성과 골판지상자의 크리이프 거동. 한국농업기계학회지, 20(4), 323-332.
3. 농립수산부 농협협동조합중앙회(1995). 농산물 표준출하규격집.
4. 한국공업규격 KS A1012, KS A1502, KS A1532, KS M7051, KS M7063, KS M7076, KS M7502.
5. 산업디자인 포장개발원(1993). 골판지 포장전문 교육교재.
6. ASTM D1164-60. Standard test method for ring crush of paperboard.
7. Tappi T818 om-87. Ring crush of paperboard.
8. McKee, R. C., J. W. Gander and J. R. Wachuta (1963). Compression strength formula for corrugated boxes. Paperboard Package(Aug.), 144-159.
9. Wolf, M.(1974). Here's a quick way to calculate box compression strength. Package Eng. Feb., 44-45.
10. Peleg, K.(1985). Produce handling, packaging and distribution. AVI Publishing. Westport, CT.
11. 한국골판지포장공업협동조합(1995). 골판지포장·물류지, 2(8), 158.