

과채류 포장용 골판지 상자의 안전계수 규격화 및 설계 프로그램 구축 (3)

- 과실포장용 골판지상자의 안전계수 규격화에 대한 연구 -

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

- *Safety factors and Standards on Corrugated Fiberboard Containers for Fruits* -

조중연¹⁾, 신준섭¹⁾, 김중경¹⁾, 서영범²⁾, 손기주³⁾

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

1. 서론

최근 과일류의 구입 및 소비 형태는 유통과 문화 발전, 생활수준의 향상으로 많은 변화를 나타내고 있다. 이러한 변화는 양적인 부분은 물론 질적인 차별성으로 생산과 유통, 식생활 문화 및 소비 등 농산물 및 공산품 전반에 상당히 다양한 모습으로 나타나고 있다.

또한 핵가족화와 여성의 사회참여 등 사회구조의 변화, 대형유통업체 증가, 인터넷 사용 확대 등 유통환경이 바뀔에 따라 농산물의 구입처, 구입방법, 선택기준 등이 다양해지고 있으며 농산물 생산과 유통 및 소비환경이 급변하는 모습을 보이고 있다.

이러한 흐름은 농수산물유통공사의 농산물 소비패턴 조사에서도 잘 나타나는데 소비자들은 과일구입시 불만사항으로 신선도 동 상품성 저하(38.5%)를 꼽았다. 소비자가 선호하는 포장규격은 제품에 관계없이 대부분 3kg미만이었으며 유기농 재배과일에 대해서도 가격만 적당하다면 93.3%가 구매의사가 있는 것으로 나타났다(1).

농산물 포장용으로 골판지상자의 사용량은 절대적인데 이 골판지상자의 압축강도에 대한 연구는 관련 연구자들의 오랜 관심사였다. 박(2), 한국지합공업협동조합(3) 등의 연구결과는 골판지 상자의 압축강도는 온도보다는 상대습도에 더 많은 영향을 받으며 상대습도의 증가에 따라 급격히 감소하는 경향을 보이며 제품의 선도유지를 위해 적정

포장설계가 매우 중요한 것으로 보고하였다.

그러나 실제 유통상황에서 골판지상자의 압축강도에 영향을 미치는 인자는 다양하며 기존 포장의 재질규격은 이러한 여러 요인에 대한 종합적인 검토가 이루어지지 않은 상황에서 농산물에 따라 일률적으로 3-5의 안전계수를 적용하고 있어 한계가 있다.

안전계수(Safety Factor)의 디자인은

- 구조적인 파손은 반드시 피하고
- 가능한 파손양상(failure mode)을 확인하며
- 각 파손모드에 따른 파손기준(failure criteria)을 수립한 후
- 구조적 파손을 막기 위한 안전계수(S.F.)를 적용하고
- 안전계수에 따른 제품설계를 하는 것으로

정리할 수 있다.

농산물 포장에 있어서 SF, 즉 안전계수를 결정하는 결정인자들은

- 내적인자(제품의 특성(수분함량, 경도 등), 골판지 상자의 제조기술 및 방법(통기구 등), 상자의 규격(장폭고의 비율))
- 외적인자(유통(저장)기간, 대기조건(온, 습도), 포장/적재방법, 진동, 하역 및 충격 등 유통환경)

로 나눌 수 있다. 그러나 이 모든 인자들 중 압축강도에 영향을 주는 골판지 상자의 골판지상자의 안전계수(SF)는

$$SF = f(H, P, t, T, Sp, D, x)$$

여기서

$H = Humidity$

$P = Product$

$t = \text{temperature}$

$T = \text{storage time}$

$Sp = \text{stacking pattern}$

$D = \text{Severity during distribution process}$

$X = \text{any other factor(s)}$

로 정리할 수 있다.

안전계수는 일반적인 골판지상자의 압축강도계산식에서 다음과 같이 도출된다.

$$P_{min} = (n-1) \times Wp \times f$$

여기서

$P_{min} = \text{minimum compression strength of box (required for stacking)}$

$n = \text{number of boxes}$

$Wp = \text{weight of packaged product}$

$f = \text{correction factor(safety factor)}$

따라서 SF의 산출은

- 실험치에 의한 상자의 최소 압축강도(practical limit) 설정
- 각 인자별 원지 실험 실시(예, 습도를 변경하고 다른 factor는 고정)하여 database화
- 다양한 원지시험결과를 바탕으로 가설 설정
- 원단 실험 실시로 검증, 보완
- 상자실험 실시로 검증, 보완

의 단계를 거쳐야 가능하다. X(any other factor(s))는 온도나 제조공정, 인쇄 등의 요

소들로 Sc에 대한 영향이 미미하거나 제조업체의 기술이나 기계 등에 따라 차이가 나는 것으로 상황에 맞게 개별적 적용이 필요하다.

2. 안전계수(Safety Factor) 인자 분석

온습도의 영향

장마철·여름철의 다습한 곳에 장기간 방치된 농산물 포장용 골판지상자는 보관 및 수송 등 유통조건에 따라 상자가 함유하는 수분은 10~14%의 범위로 변화하게 되는데 바닥에 가까운 최하단의 상자의 압축강도는 거의 50% 수준으로 떨어진다고 볼 수 있다. 또한 골판지의 수분은 상자의 수명에도 관계가 깊어 고수분의 상자는 저수분의 상자보다 가벼운 하중에도 크리프가 발생하고 하중이 같은 경우에도 빠른 속도로 구부러진다(4).

제품이 적입되어 있느냐와 그렇지 않느냐에 따라서도 큰 차이가 나는데 반복실험을 통하여 얻어진 각 상자의 습도에 따른 압축강도 저하율을 2차원 방정식으로 간단히 표현하면 Table 1과 같다.

Table 1. Simple Equations of Compression Strength(y) as function of Relative Humidity(x)

Box Type		Equations
Empty	DW	0201 type $y = -0.0804x^2 + 5.4845x + 617.04$
		folder $y = -0.3052x^2 + 27.214x + 936.05$
		glued $y = -0.1334x^2 + 14.001x + 98.442$
	SW	0201 type $y = -0.0874x^2 + 7.242x + 227.86$
		folder $y = -0.2526x^2 + 28.689x - 184.31$
		glued $y = -0.1262x^2 + 14.384x - 150.57$
Filled	DW	0201 type $y = -0.18x^2 + 19.096x + 124.04$
		folder $y = -0.227x^2 + 17.485x + 1038.6$
		glued $y = -0.0743x^2 + 5.2532x + 355.04$
	SW	0201 type $y = -0.0135x^2 - 3.4913x + 557.53$
		folder $y = -0.1841x^2 + 18.721x + 113.92$
		glued $y = -0.0645x^2 + 5.4687x + 129.75$

이와 같은 계산은 순환습도에 대한 영향을 고려하지 않은 것으로 순환습도를 고려할 경우 10% 정도의 강도가 더욱 떨어질 것으로 예상된다.

수송 중의 진동 및 충격

농산물 골판지포장상자는 잦은 상, 하역으로 인한 충격 및 수송중의 진동, 다단계재 상태의 정, 동적하중에 의한 열화가 빈번하게 발생한다. 진동에 의한 열화현상을 파악하기 위하여 제품적입 후 20℃에서 각각 50, 70, 90% R.H.에서 24시간 보관된 포장상자의 진동패턴을 분석하였다.

습도조건의 변화에 따른 진동패턴의 변화는 RSC에 비하여 folder type이나 Bliss type 이 다소 안정된 패턴을 보이는 것 외에는 특별한 차이점이 없었다. 그러나 진동시험 이 후 압축강도는 box type에 관계없이 10% 전후의 열화가 발생하였으며 대부분 진동과 낙하의 복합에 의한 강도열화는, 국내수송의 경우 15%의 열화, 수출의 경우는 20%의 열화로 설정하는 것이 합리적인 것으로 판단하였다.

적재

통상적으로 상자압축강도의 측정은 단일 상자로 하지만, 실제 수송에 있어서는 다단으로 파렛트에 쌓아, 사과와 사과, 사과와 사과의 경우 10단, 골상자의 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.

실험결과 적재시 misaligned 된 상자의 경우 초기 강도에 비하여 5% misaligned 된 경우 12%의 열화율을, 20%의 경우는 무려 57%의 열화율을 보였다.

상자를 길이와 폭이 수직방향으로 엇갈리게 쌓는 경우(핀 휠 방식) 20%가 엇갈린 경우 무려 63%의 압축강도가 저하되는 것으로 나타났으며 overhang의 발생시 압축강도 저하율은 상자면적의 5%일 때 22%, 20%일 때는 33%까지 발생하는 것으로 나타났다.

골판지상자 가공공정 및 인쇄

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.

후렉소 인쇄에서 포스트 프린팅의 경우 무인쇄를 100%로 보았을 때 전면인쇄는 85%, 복잡한 경우 90%, 국소 인쇄 경우 95% 정도의 강도를 유지하였으며, 프리 프린팅의 경우도 인압에 의한 골무너짐은 해소할 수 있지만, 피드롤압 등의 영향은 남아 약 5%의 강도개선 효과를 기대할 수 있다. 이중양면골판지(DW)의 경우 인쇄의 가감에 관계없이 95%의 강도를 유지하였다.

Creep 열화

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.

3. 결과 및 고찰

조사대상 상자의 원지구성 분석과 모든 팩터에 대한 시험 data를 종합하여 재질 및 규격별 필요압축강도 및 안전계수를 산출할 수 있다. DW 10kg 상자의 경우 약 2.5의 안전계수가 필요하며 SW 5kg 상자는 4.3, SW 3kg 수출용의 경우 4.1의 안전계수가 각각 필요하다. 감골의 경우 해상운송이 추가되어 수출용으로 안전계수를 환산하였다.

Table 2에 예시된 안전계수는 본 연구의 결과에 따라 산출한 것이다. 유통조건은 적재높이는 1500mm, 유통기간은 국내의 경우 1일, 해외의 경우 10일, 적재패턴은 칼럼 및 편횡적재, 평균습도는 80%로 산정하였다. 습도(Avg. Relative Humidity) 및 적재패턴(Stacking arrangement)은 시험결과에 따랐다. 만약 파렛트 2단 적재를 하는 경우 안전계수는 2배가 된다.

Table 2. Box Strength Required and Safety Factors of each Box.

Box Size	550×366×120	440×330×110	366×275×110
Box type	(DW, AB flute)	(SW, A flute)	(SW, B flute)
Composition	SC240/S120/K200/S120/SK180	SC240/K200/SK180	SC240/S120/SK180
Net Wt., kg	10	5	3
Gross. Wt., kg	10.5	5.3	3.2
Number of Boxes	11	13	13
Actual Compression, kg	105	63.6	38.4
Storage time during Load	1	1	10
Stacking arrangement	column	pin wheel	column
Overhang	0	0	0
Avg. Relative Humidity during distribution process	80	80	80
Destination	Domestic	Domestic	Oversea
Printing	some	some	partly
Total factors combined	0.40	0.23	0.25
Box strength required	261.16	275.05	155.46
Safety factors	2.49	4.32	4.05

※ 상기 표는 예시이며 유통 조건이 달라짐에 따라 안전계수는 변할 수 있음.

※ Column 방식의 적재라 하더라도 5%의 misarrangement는 상시 일어날 수 있으므로 이에 의한 압축강도 저하율 적용.

※ 파렛트 2단 적재시 산출된 안전계수의 2배 적용.

※ 목적지 및 인쇄에 따른 압축강도 저하율은 *Fiberbox Association* 등 문헌에 따른 것임.

상기 규격에 따라 연구대상인 포도, 사과, 감귤상자에 대한 표준포장규격(안)은 Table 3과 같다.

Table 3. Standard Box Type and Strength Recommended for Fruit Boxes.

Product	Net Wt. (kg)	Box Size	Box Type & Composition	Stacking arrangement	Safety Factors
Grape(Cambell)	3	366×275×110	(SW, B flute)	column	4
	5	440×330×110	(SW, A flute)	pin wheel	4
	10	550×366×120	(DW, AB flute)	column	3
Apple(Fuji)	3	366×275×110	(SW, B flute)	column	4
	5	440×330×110	(SW, A flute)	pin wheel	3
	10	550×366×120	(DW, AB flute)	column	4
Mandarin Orange	3	366×275×110	(SW, B flute)	column	4
	5	440×330×110	(SW, A flute)	pin wheel	3
	10	440×330×110	(DW, AB flute)	pin wheel	3

※ 국내 유통을 감안한 것이며 인쇄는 부분인쇄임.

※ 파렛트 2단 적재시 산출된 안전계수의 2배 적용.

4. 결 론

본 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 과실포장용 골판지상자의 포장규격설정을 위하여 압축강도 저하요인을 분석하였다.
2. 상자규격 및 과실포장별 안전계수를 설정하여 표준포장규격(안)을 제시하였다.
3. 연구결과는 과실류포장의 과대포장 방지 및 포장비용 절감 뿐만 아니라 타 농림수산물, 농수산 가공품, 공산품, 수출품 등에 대해서도 적용할 수 있다.

사 사

본 연구는 농림부의 농림기술개발연구사업의 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. 주요 농산물 소비패턴 조사분석(2002) 농수산물유통공사
2. 박종민외 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. 골판지상자의 설계기법(2004). 월간 지함. 한국지함공업협동조합. No. 9-12