

청과물 골판지 상자의 층적단수 추정을 위한 컴퓨터 프로그램 개발

Development of the computer program for estimation of the corrugated fiberboard container staking tiers for the fruit and vegetables

김만수* 정현모* 박종민** 최동수*
정회원 정회원 정회원
M. S. Kim H. M. Jung J. M. Park D. S. Choi

1. 서론

농산물은 품종, 재배기술, 환경의 요인 등에 영향을 받아 품질, 형상, 선택, 병충해 정도, 상해 정도가 나타나고, 이것이 곧 농산물의 다양한 상품성을 결정 짓게 된다. 또한 수확, 저장, 포장, 수송, 상하차등 유통과정에서의 취급여하에 따라 물리적으로 손상을 받은은 물론 유통기간이 길어, 짐에 따라 호흡등 생리적 작용으로 부패 및 변질이 진행되어, 유통과정중 농산물의 품질저하가 상당한 수준에 이르고 있으나, 이에 대한 관심은 매우 빈약한 실정이다.

농산물이 가지고 있는 이러한 특성을 고려하여 유통과정중의 과실의 압상에 의한 손상을 줄이며, 가격형성의 능률화를 촉진하는 한편, 농산물의 상품화 정도를 향상시키기 위해서는 농산물의 표준출하규격에 의한 청과물상자의 적정 층적단수를 추정할 필요가 있을 것이다.

최근 농산물 포장에 많이 쓰여지고 있는 골판지 상자는 농산물의 선도유지를 위한 저온, 고습도 조건과 예냉 등을 위한 통기공의 필요성등 상자 내압강도에 영향을 줄 수 있는 열악한 상태에서 유통되고 있는 실정이다. 또한 골판지상자는 포장상자로서의 여러 가지 장점이 있는 반면, 고온 다습한 환경에서는 그 강도가 현저히 낮아지는 단점이 있기 때문에 청과물상자의 압상에 의한 손상을 줄이기 위한 적정 층적단수의 추정에는 이러한 요인뿐만 아니라 유통기간 및 환경변화 요인 등을 고려하여야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 유통중인 청과물상자의 압상에 의한 손상 감소를 위한 적정 층적단수를 추정하기 위하여 이 분야의 관련 문헌을 분석하고 농산물 표준규격에 따른 포장상자의 크기, 포장재(골판지)의 종류 및 포장 내용물의 중량과 유통과정중의 온도, 습도 및 유통기간 등을 고려한 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

2. 층적단수 추정에 영향을 미치는 요인들

골판지상자는 포장, 운송, 하역 및 저장 등의 유통과정중에 여러 요인들에 의한 압축강도가 현저히 저하된다. 특히 저장 또는 유통과정중의 상대습도 변화로 인한 흡습노화, 층적기간의 증대, 팔리트 패턴(palletting pattern)에 의한 강도저하가 뚜렷하다. 따라서 농산물의 골판지상자 단위의 저장시 상자의 압축강도 적용은 이와 같은 강도 저하요인들을 종합적으로 검토된 압축강도가 기준이 되어야 할 것이다.

* 충남대학교 농업기계공학과

** 밀양산업대학교 기계공학과

①온도(Temperature)와 상대습도(Relative Humidity)

저온저장 또는 유통조건에서의 높은 상대습도는 골판지에 대한 수분흡수를 증가시키게 되고, 상자의 크리이프(Creep)를 증가시키게 되므로, 최하층의 상자의 휨(Deflection)이 발생되고 손상을 일으키게 된다. 그후 충격기간이 길어짐에 따라 상자의 붕괴를 초래하게 된다.

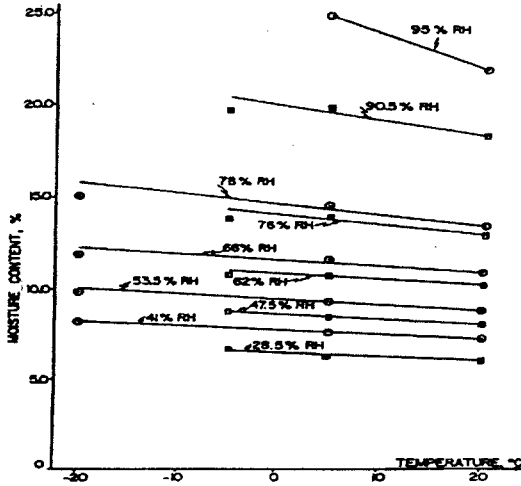


Fig. 1. Equilibrium moisture content for fiberboard.

위의 그래프에서 보는 바와 같이 골판지의 평형함수율은 온도가 낮아짐에 따라 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있으며, 상대습도가 높을수록 평형 함수율도 높아지고 그 증가율도 높아짐을 알 수 있다.

상대습도 28.5-66%에서는 온도가 20°C에서 0°C로 낮아짐에 따라 약0.6%의 EMC(Equilibrium Moisture Content)가 증가되고 상대습도 90-95%에서는 약 2-2.5%의 EMC가 증가된다. 따라서 장기간 저온 저장하는 경우(90%RH, 3°C) 골판지의 EMC는 약 18-20%가 된다.

즉, 온도(Temperature)와 상대습도(Relative Humidity)의 변화는 골판지 내의 함수율과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 골판지의 압축강도의 변화를 가져온다.

포장재로써 골판지상자는 수분을 흡수하여 습윤강도가 급격히 저하되는 단점을 가지고 있어, 여러 연구자들은 골판지상자의 함수율과 압축강도와의 관계를 규명하였다. 그 중의 하나로써 Kellicutt와 Landt(1951)는 골판지의 함수율에 대한 상자(Container)의 압축강도와 관계된 실험식을 다음과 같이 제시하였다.

$$\frac{P_2}{P_1} = 10^{(3.01 \times M_1)} / 10^{(3.01 \times M_2)}$$

여기서, M_1 = 함수율(8%)(decimal, d.b)

M_2 = 함수율(decimal, d.b)

P_1 = 상자(Container)의 최대압축강도(kgf)

P_2 = 주어진 온도와 상대습도에서의 입계하중(kgf)

또한, 국내에서 생산되고 있는 청과물 골판지 상자의 온도 및 상대습도의 변화에 따른 골판지의 평형함수율은 박동(1994)이 연구한 결과에 의하면 그림2와 같다. 평형함수율은 상대습도 50% 이

상에서 상대습도의 증가에 따라 급격히 증가하였으며, 같은 상대습도에서 온도가 높을수록 낮게 측정되었다.

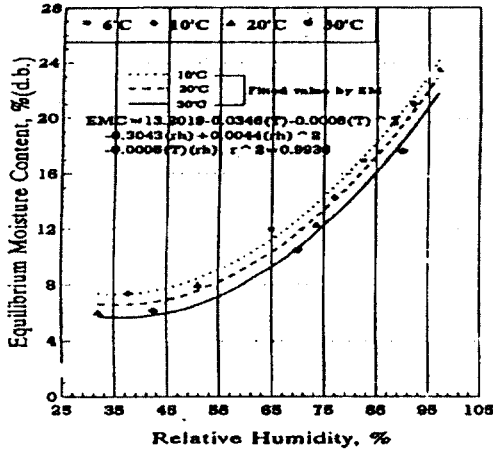


Fig. 2. Effect of temperature and relative humidity on the EMC of the fiberboard.

이들이 제시한 골판지상자의 평형함수율을 상대습도와 온도의 함수로 나타낸 식은 다음과 같다.

$$M = 13.2019 - 0.0346 \times T - 0.0008 \times T^2 - 0.3043 \times RH + 0.0044 \times RH^2 - 0.0005 \times T \times RH$$

여기서, M = 함수율(%)

T = 온도(°C)

RH = 상대습도(%)

②저장 및 유통기간

청과물 상자의 저장 및 유통기간에 의한 골판지 상자의 크리이프(Creep)특성에 대한 연구가 계속되어지고 있으며, 아래 그림3은 골판지 상자가 하중을 받는 시간에 대한 상자의 크리이프 특성을 나타낸 것이다.

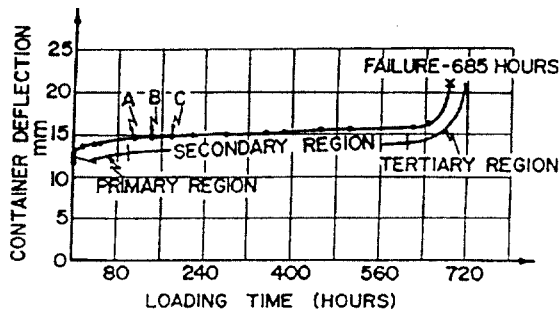


Fig. 3. Typical creep behavior of regular slotted containers.

그림에서 보는 바와 같이 3개의 특징적인 크리이프 범위로 생각할 수 있는데, 하중적용에 즉각적인 휨(Deflection)이 발생하는 첫 번째 크리이프 구간과 크리이프율이 거의 일정한 두 번째 크리이프 구간, 그리고 크리이프율이 급격하게 증가하다가 파괴되는 세 번째 구간으로 나누어지는

④포장재(골판지)의 종류 및 압축강도

골판지는 골심지에 파형으로 골을 성형한 후 양면에 라이너(Liner)원지를 접합하여 만든 포장재료이며, 골판지의 구조에 따라서 단면골판지, 양면골판지, 2중 양면골판지, 3중 양면골판지로 분류가 되는데, 국내의 경우 양면골판지와 2중 양면골판지가 쓰이고 있으며, 2중 양면골판지가 전체 사용량중 약65%를 차지하고 있다.

양면골판지는 일반적으로 많이 쓰이는 포장상자용재료로써 파형 상으로 가공한 골심지의 골끝 양쪽에 라이너(Liner)원지를 붙인 골판지이며, 2중 양면골판지는 중량 또는 내용물 손상이 쉬운 물품의 포장상자용재료로써 양면 골판지의 한쪽에 편면골판지의 골끝쪽을 붙인 골판지이다.

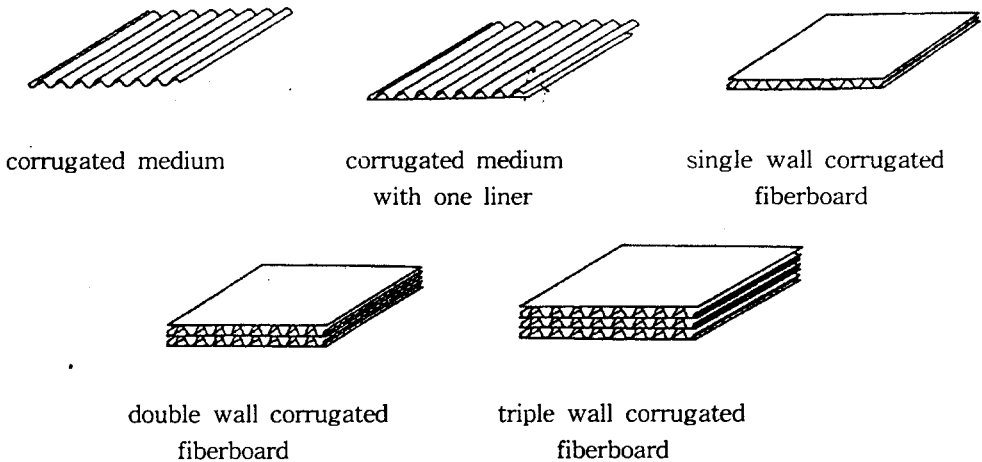


Fig. 5. Components of corrugated fiberboard and its types.

이들 골판지 각각은 파괴강도에 따라 1종에서 4종으로 구분하고 있고, 30cm당 골(flute)의 수로 A골, B골, C골 및 E골로 나눈다.

Table 2. Types of flute being used corrugated fiberboard

Type	Symbol	No. of flute per 30cm
A	AF	34±2
B	BF	50±2
C	CF	40±2
E	EF	94±6

또한 Mckee et al.(1963)은 골판지상자에 대한 여러 가지 실험을 통하여 다음과 같은 실험식을 제시하였다.

$$P \cong 5.87 \times P_m \times \sqrt{h \times Z}$$

여기서, P_m = 단위길이당 골판지의 수직압축강도(kgf/cm)

h = 골판지의 두께(cm)

Z = 파실상자의 둘레(cm)

P = 파실상자의 최대압축강도(kgf)

이 식에서는 청과물상자의 최대압축강도(P)는 단지 단위길이당 골판지의 수직압축강도(P_m)와

특징을 가지고 있다. 또한 주어진 상대습도에서 골판지 상자에 하중을 가하여 파괴될 때까지의 전체시간은 부가하는 하중에 크게 좌우된다.

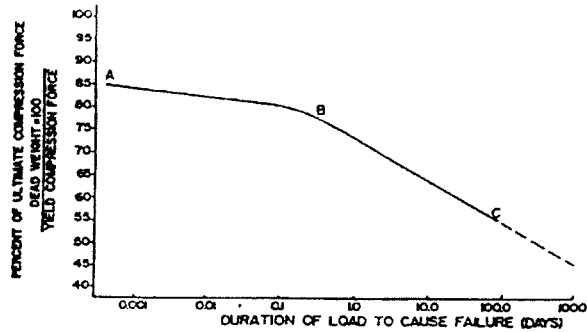


Fig. 4. Duration of load tests of corrugated fiberboard containers.

그림3에서는 골판지상자가 하중을 받는 시간에 있어서 최대압축강도에 대한 사하중을 그래프로 나타낸 것이다. 위에 나타난 곡선은 다양한 골판지 합수율과 재료, 상자의 크기를 가지고 실험을 한 결과에 의해 작성된 그래프이다. 저장기간(충적기간)에 따른 최대압축 하중을 구하기 위하여 곡선의 식을 구하면 다음과 같다.

$$Y = 0.6868467 \times X^{-0.03836042}$$

여기서, X = 저장기간(day)

Y = 최대압축하중에 대한 사하중

③청과물상자의 크기 및 중량

현재 시중에서 유통되고 있는 청과물 골판지 상자의 표준치수는 KS A 1002에 규정되어 있으며 몇몇 청과물상자의 치수는 표1에서 보는 바와 같다.

Table 1. Standard dimensions of corrugated fiberboard box

(mm)

		Length	Width	Height	Unit weight(kg _f)
Apple	Net type	460	330	325	15
	Tray type	550	366	280	15
Pear	One tier type	350	275	235	15
	Two tier type	550	366	240	15
Orange		440	330	230	15
Peach		471	314	290	15
Grape		495	385	320	15
Tomato		440	330	230	15
Melon		488	305	240	15
Watermelon		450	430	240	15
Potato		440	330	255	20

골판지의 두께(h), 청과물상자의 둘레(cm)에 의해서만 결정되는 것처럼 보인다. 그러나, 여러 가지 환경요인 등에 따라 청과물상자의 압축강도가 변화되는 경우가 대부분이다. 특히 온도와 습도 그리고, 저장 및 유통기간 등에 따라 그 강도는 크게 변하고 있다.

⑤ 동적 하중 및 상자 적재의 불균일성

저장 및 유통단계에 있어서 여러 가지 골판지상자의 압축강도를 변화시키는 요인들이 있다. 이들 요인들은 유통단계에서의 동적 하중(Dynamic Load)이 작용할 때의 변화와 청과물 상자는 사람이 직접 다루기 때문에 하중의 상자와 상층의 상자와의 Misalignment에 의한 변화를 들 수 있으며, 저장중의 상자간의 Misalignment를 들 수 있다.

이러한 이유로 Pieg등(1985)은 Dynamic Load 와 Misalignment에 여러 가지 Factor값을 제시하였는데 그 중에서 유통단계에서의 Dynamic Load factor를 1.5로 하고 Misalignment factor를 1.2로 하는 것이 가장 적합하다고 제시하였다.

3. 청과물상자의 층적단수 추정 프로그램

그림6은 청과물 골판지상자의 적정 층적단수를 추정하는 컴퓨터 프로그램의 흐름도이며 여기에서 사용된 언어는 Visual Basic 5.0이다. 처음단계에서는 청과물의 종류를 선택함으로써 상자의 길이, 너비, 높이가 결정되고, 다음에는 주어진 환경에서의 상대습도와 온도, 저장 및 유통기간, 상자의 중량을 입력하게 되고, 골판지의 종류에 대한 골(flute)의 종류를 선택함으로써 단위길이당 골판지의 수직압축강도 및 골판지의 두께가 결정되고, 그 다음에는 Mckee의 실험식에 의해 청과물상자의 최대압축강도를 구하게 된다.

그 다음 단계에서는 박등(1994)의 실험식에 의해 온도와 상대습도의 변화에 따른 골판지상자의 평형함수율을 구하게 되고, 다음에는 Kellicutt와 Landt의 실험식에 의해 주어진 온도와 상대습도에서의 임계하중을 구하게 된다.

그 다음에는 장기간 저장에 대한 교정하중을 구하게 되고, 유통단계에서의 Dynamic Load와 Misalignment에 대한 계수를 고려하여 최하층의 상자가 견딜 수 있는 하중을 구하게 되고, 최종적으로 상자의 적정단수를 구하게 된다.

여기서,

RH = 상대습도(%)

T = 온도(℃)

xday = 저장 및 유통기간(day)

We = 청과물상자의 중량(kgf)

P = 청과물상자의 최대압축강도(kgf)

Pm = 단위길이당 수직압축강도(kgf/cm)

h = 골판지의 두께(cm)

Z = 청과물상자의 둘레(cm)

M = 함수율(%)

Cr_Load = 임계하중(kgf)

L_S_Factor = 장기간 저장에 대한 안전계수

Co_Load = 장기간 저장에 대한 교정하중(kgf)

Safty_Load = 최하층의 상자가 견딜 수 있는 하중(kgf)

N = 상자단수

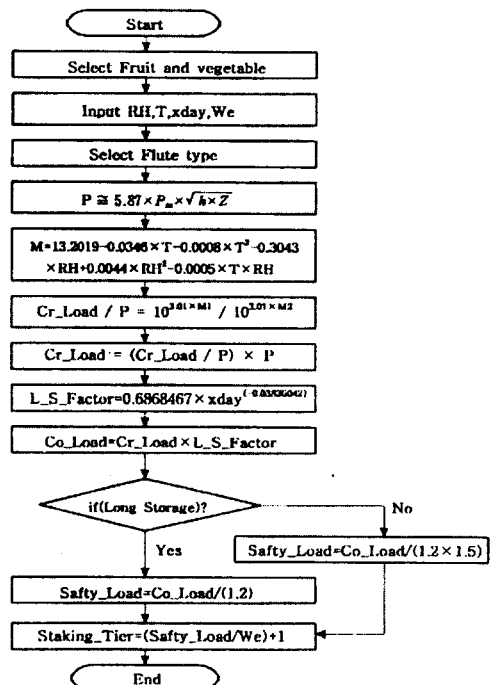


Fig. 6. Flow chart of estimating box-tier of fruits.

4. 결론

농산물의 표준규격에 의한 청과불상자의 충격단수를 추정하기 위해 여기에 영향을 미치는 여러 가지 환경변화의 분석을 통하여 적정 충격단수를 추정하는 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

개발된 프로그램에 상대습도 65%, 온도 15℃, 과실상자의 중량 15kgf, 저장 및 유통기간 26일의 입력하여 장기간 저장에 대한 사과와 적정 충격단수를 추정한 결과 5단으로 쌓을 수 있음을 알 수 있다.

프로그램에 의한 추정 결과 값을 분석해보면, 장기간 저장 중에 5단보다 더 높은 단수로 상자를 쌓았을 경우 최하층의 상자에 크리이프가 발생하여 골판지상자 및 과실에 손상을 입히는 결과를 초래하게 될 것이다.

이러한 결과에는 국내에서 유통되고 있는 골판지 상자에 대한 실험식과 문헌을 통한 이론식에 의하여 추정된 충격단수이긴 하지만 골판지 상자로 포장되어 유통되고 있는 청과물의 압상에 의한 손상을 감소시키기 위한 기초 자료로도 활용될 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

1. Pleg,K. 1985. Produce handling, packing and distribution. AVI.
2. Ryall,A.L. 1984. Handling, Transportation and storage of fruits and vegetables.
3. ASHRAE. 1994. ASHRAE Handbook(Refrigeration). ASHRAE.
4. Kellicutt,K.Q. and E.F.Landt. 1951. Safe stack life of corrugated boxes. Fiber Container (Sept) :1-5.
5. Mckee,R.C.,J.W.Gander and J.R.Wachuta. 1963. Compression strength formula for corrugated boxes. Paperboard Package(Aug.) :144-150.
6. ASTM Standard D642-76. Standard method of compression text for shipping containers.
7. Kellicutt,K.G. 1963. Effect of contents load bearing surface on compressive strength and stacking life of corrugated containers. Tappi46(1) : 151A-154A.
8. 한국식품개발연구원. 1993. 산지청과물 종합유통시설의 설치에 필요한 관련기술의 개발.
9. 농림수산부 · 농협중앙회. 1996. 농산물 표준출하 규격집.
10. 박종민,권순홍,권순구,김만수. 1994. 농산물 포장용 골판지 상자의 충격내구성의 분석과 향상에 관한 연구(수분흡습특성과 압축강도열화). 한국농업기계학회지 19(4) :358-368.
11. 한국공업규격표준협회. 1986. 골판지 용어. KS A1007.
12. 한국공업규격표준협회. 1988. 과실류 포장용 골판지 상자. KS A1532.
13. 한국공업규격표준협회. 외부포장용 골판지. KS A1502.
14. 한국공업규격표준협회. 1988. 골판지의 압축강도 시험법. KS M7063.