

골판지의 정적완충특성과 골판지상자의 크리이프 거동⁺

Static Cushioning Properties of Corrugated Fiberboard and Creep Behavior of Boxes

박종민*	김만수**	정성원*
정희원	정희원	정희원
J. M. Park	M. S. Kim	S. W. Joung

ABSTRACT

The horizontal compression test of some selected corrugated fiberboards was performed to determine the cushioning properties of them. Creep behavior of the corrugated fiberboard boxes, which have been widely used in rural area for packaging fruits and vegetables, was tested.

The flute crushing stress of the corrugated fiberboard depended upon mainly the basic weight of the corrugated medium, comparing with the combined basic weight of corrugated fiberboard. When moisture content of the corrugated fiberboards was increased about 8% (d.b.), the flute crushing stress of them was decreased at the rate of 44%~64%.

The cushion factor of the sample fiberboards showed much higher value at the lower moisture content of them. These trends appeared to be more obvious at the lower applied stress levels. Also, the cushion factors of the double wall corrugated fiberboards(DW) were observed to be little higher than those of the single wall corrugated fiberboards(SW).

The creep behavior of the sample boxes was found to be highly moisture and static load dependent. The creep behavior of the corrugated fiberboard boxes could be well analyzed by the asymptotic slope derived from the creep model.

주요용어(Key Words) : 골판지(corrugated fiberboard), 완충곡선(cushion curve), 완충계수(cushion factor), 골 붕괴응력(flute crushing stress), 포장(packaging), 크리이프(creep)

⁺ 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비(04-G-0036)에 의하여 연구되었음

* 밀양산업대학교 농업기계학과

** 충남대학교 농업기계공학과

1. 서론

각종 包裝용 緩衝材로서 사용되는 플라스틱 재료들(EPS, EPE, EPU등)이 환경오염과 관련하여 사용이 제한됨에 따라 환경친화력이 있고, 재활용성이 좋은 골판지의 사용이 더욱 증가될 것으로 예상된다.

특히 농산물은 外力에 민감하고, 선도유지를 위한 유통조건이 까다롭기 때문에 농산물 包裝용 골판지箱子는 層積耐久性이 우수해야함은 물론이거니와 운송 및 하역중의 진동과 충격을 골판지 자체가 흡수하여 包裝物인 농산물을 보호할 수 있는 緩衝能力이 있어야 한다.

일반적으로 緩衝材는 (1) 충격 및 진동등의 外力의 전달을 완화하여 包裝物の 변형 및 기능 손상이 없어야 하며, (2) 包裝物에 발생하는 응력을 분산하고, (3) 包裝物の 표면보호, (4) 包裝物 상호간의 접촉방지와 손상최소화 및 包裝物の 이동을 방지하는 기능이 있어야 한다.

앞으로 우리나라 농산물의 국제경쟁력을 향상시키기 위해서는 우리나라에서도 包裝 및 상표에 따라 판매를 전락화하고 농산물의 특성과 유통조건에 알맞은 包裝箱子를 개발하여 신선한 농산물이 외국의 소비자에게도 전달될 수 있도록 하여야 할 것이다. 따라서 농산물의 包裝問題에 많은 관심을 가져야 하며, 특히 농산물의 장기간 유통시 최종소비자가 판단하는 농산물의 품질은 包裝箱子의 견고성과 緩衝特性에 매우 밀접한 관계가 있다는 것을 인식하여야 할 것이다.

농산물의 경우도 包裝된 상자단위로 팰리트를 이용 유닛 로드(unit load)화 시켜 주로 취급되고 있으며, 이 경우에 농산물 包裝箱子의 層積耐久性은 전체 농산물의 품질에 큰 영향을 주게 된다. 골판지상자의 層積耐久性은 여러요인에 의해 영향을 받겠지만 層積期間의 연장에 따른 상자의 피로 즉, 크리이프에 의한 영향이 가장 클 것이다.

농산물의 包裝시 골판지는 包裝容器的 재료로서 뿐만아니라 包裝箱子 내의 包裝物の 층간분리(페드)와 cell 등의 緩衝材로서 널리 사용되고

있다.

과실을 담은 골板紙箱子를 지면위에 낙하시킬 때, 중력에 의한 위치에너지(potential energy)의 일부는 箱子和 箱子内の 내용물에 소산된다. 내용물에 소산되는 變形에너지(strain energy)는 내용물에 損傷을 주게된다. 골板紙箱子를 연속적으로 낙하시킬때는 매번 지면과의 衝擊으로 골판지의 골심지(corrugating medium)가 붕괴되어 箱子의 衝擊吸收特性 즉, 레질리언스(resilience)가 변하게 된다.

골板紙箱子의 衝擊傳達特性은 荷重履歷(load history)에도 영향을 받게 되는데, Crofts(1989)는 골板紙箱子의 모의낙하(simulated drop) 시험을 통하여 그 壓縮強度의 변화를 분석하였다. 이는 골板紙箱子의 壓縮強度는 낙하높이가 증가함에 따라 또한 包裝物の 무게가 증가할수록 감소한다고 하였다.

한편 Asvanit(1988), Marcondes(1992), Marcondes등(1990)은 골판지의 함수율 및 주위의 상대습도와 衝擊吸收特性과의 관계를 보고한 바 있다. Asvanit(1988)는 골판지의 함수율이 증가할수록 골판지의 衝擊吸收特性은 증가 혹은 감소하게 되는데, 작은 靜的應力하에서는 상대습도가 높을수록, 큰 靜的應力하에서는 상대습도가 낮을수록 큰 가속도(g) 값을 나타내었다고 하였다.

Marcondes(1992)는 골판지에 대한 衝擊吸收實驗에서 상대습도가 높을수록 衝擊吸收特性은 衝擊速度的의 제곱 혹은 낙하높이에 비례하는 衝擊에너지에 따라 증가 혹은 감소하게된다고 하였으며, 낮은 상대습도에서는 골판지의 垂直壓縮強度는 크지만 包裝物에 衝擊을 전달하는 특성은 크다고 하였다. 따라서 골판지箱子를 설계할때는 壓縮強度와 衝擊吸收의 양면에서 상대습도의 효과를 검토해야 한다고 하였다.

선진외국의 경우는 과실의 衝擊特性과 함께 과실의 衝擊을 吸收할 수 있는 緩衝材에 관한 연구도 이와 병행하여 수행되어 왔다.

Fridely등(1968)은 과실 및 채소류의 機械的取扱時 이들의 損傷을 감소시키기 위한 목적으로 여러재질의 緩衝材에 대하여 연구했던 결과,

緩衝材의 荷重-變形 特性에서 履歷現象이 큰 재질일수록 낙하하는 과실의 運動에너지를 잘 吸收할 수 있어 損傷을 감소시킬 수 있었다고 하였다.

Hammerle와 Mohsenin(1966), Nelson과 Mohsenin(1968) 그리고 Bittner등(1967)은 衝擊에 의한 緩衝材의 효과를 설명하는 데 에너지 방정식을 적용하였으며, 과실이 아무런 損傷을 받지 않고 건널 수 있는 許容衝擊에너지를 기준으로 완충재의 두께, 密度 및 形狀 등에 관하여 보고하였다.

Clark(1970)는 과실의 낙하시 最少衝擊力과 되튀김을 일으키는 緩衝材의 여러 形狀에 대하여 연구하였으며, Horsfield등(1972)은 과실이 衝擊荷重을 받을 때 과실내부에 발생하는 剪斷應力を 이론적으로 해석하기 위하여 두 개의 구가 충돌하는 경우에 대하여 Hertz의 接觸理論을 적용시켰으며, 과실의 충격으로 인한 損傷은 흡수된 에너지 보다는 큰 内部剪斷應力の 발생에 원인이 있다고 보고한 바 있다.

Mohsenin와 Cöehlich(1962), Sitkei(1986)는 緩衝材외로 자유낙하하는 물체에 대하여 에너지 방정식과 Hertz의 接觸理論을 적용시켜 이론적으로 最大剪斷應力 및 충격시간등을 계산하였으며, 과실의 破壞要因이 最大剪斷應력에 있다고 가정하였을 때, 이에 미치는 인자들중 과실의 무게, 낙하높이 보다는 緩衝材의 彈性係數와 과실의 직경이 더 큰 영향을 미친다고 하였다. 또한 Mohsenin과 Göehlich(1962)는 도식적인 방법으로 緩衝材의 設計問題에 접근을 시도했던 결과, 적당한 緩衝材를 設計하기 위해서는 먼저 해당 과실과 緩衝材의 物理的 特性이 구명되어야 한다고 하였다.

Burgess(1990)는 특정재료의 緩衝曲線(cushion curve)을 하나로 묶는 방법을 발포 폴리프로필렌(expanded polypropylene)에 적용하였으며, Asvanit(1988)는 衝擊荷重하에서 kraft honeycomb의 거동을 설명하기 위하여 도식적 방법(curve fitting approach)을 사용하였다.

Marcondes등(1990)은 발포 폴리에틸렌(expanded polyethylene)의 動的처짐을 보다 더

자세히 연구하기 위하여 고속사진촬영방식(high-speed filming technique)을 적용하여 가속도와 시간의 5차 다중회귀식으로 나타내었다.

한편 Miltz와 Gruenbaum(1981, 1983) 및 Shuttleworth등(1985)은 플라스틱 발포체의 緩衝特性을 평가하는데 에너지 흡수효율과 Ideality의 두 지수를 이용한 바 있다.

Moody와 Skidmore(1966), Koning과 Stern(1977), Leake등(1988)은 골판지상자의 크리이프와 충격기간과의 관계에 대하여 보고한 바 있으며, Byrd(1972)는 相對濕度에 따른 골판지의 壓縮크리이프 특성에 관한 연구에서 相對濕度가 90%에서 35%로 주기적으로 변화하는 조건하에서의 골판지의 평균 含水率보다 일정한 相對濕度 90%에서의 골판지의 含水率이 높음에도 불구하고 골판지의 크리이프 속도는 2~9배 작았다고 하였다. 그후 Byrd(1984)는 크리이프속도의 증가에 대한 원인을 구명하기 위하여 주기적으로 변하는 相對濕度 조건에서 골판지의 水分吸濕 및 脫濕을 조사하였으며, 크리이프 속도의 증가는 함수율 吸濕速度에 큰 영향을 받는다고 발표한 바 있다.

이상에서 살펴본 바와같이 외국에서는 농산물의 包裝箱子 즉, 골판지箱子에 대한 연구가 활발히 수행되어 왔으나 우리나라의 경우는 이 분야에 대한 기초연구 조차도 매우 빈약한 실정이다.

이 연구의 목적은 첫째, 농산물의 適正 및 緩衝包裝設計를 위한 기초연구로서 골판지의 靜的 緩衝 特性과 함수율의 영향을 분석하려는 것이며, 둘째, 골판지箱子의 層의耐久性を 분석 및 향상시키기 위한 연구로 환경변화에 따른 골판지箱子의 크리이프舉動을 분석하려는 것이다.

2. 실험재료 및 방법

가. 실험재료

본 연구에서 골판지의 緩衝特性 규명을 위해 공시한 골판지는 현재 국내에서 사과, 배, 단감 및 양파등의 골판지箱子 제작에 보편적으로 사용되고 있는 2중 양면 골판지(DW) 3종류와 양

Table 1. Physical data of the corrugated fiberboard used in the study

Type	Kinds	Board composition (outer→inner)	CBW ¹⁾ , g/m ²	Flute	Total caliper ²⁾ , mm
DW	Board A	KA ²¹⁰ + AS ²¹⁰ + S ¹²⁵ + AS ²⁵⁰ + KA ²¹⁰	1239	A + B	8.70
	Board B	SC ²¹⁰ + AS ²⁵⁰ + AS ¹⁸⁰ + AS ²⁵⁰ + KA ²⁴⁰	1410		8.28
	Board C	KA ²⁴⁰ + AS ³⁰⁰ + A ¹⁸⁰ + AS ³⁰⁰ + KA ²⁴⁰	1560		8.20
SW	Board D	KA ²⁴⁰ + AS ³⁴⁰ + KA ²⁴⁰	1020	A	5.68

Note, 1) : combined basic weght, 2) : measured value at 20°C-rh 65%

면골판지(SW) 1종으로, 골의 형식은 2중 양면 골판지는 A+B골이고, 양면골판지는 A골이었으며, 그밖의 골판지의 구성과 주요 물성값들은 표 1에서 보는 바와 같다.

한편 크리이프 실험에 사용된 골판지상자는 표 1의 골판지 A와 골판지 B로 제작된 RSC(A-1)형 상자로 Box A의 크기는 505×355×280mm (L×W×D)이며, Box B의 크기는 505×350×240mm이었다.

나. 실험장치 및 방법

골판지에 대한 平面壓縮實驗裝置는 그림 1에서 보는 바와같이 서보모타에 의해 구동되며, 최대용량 10ton의 UTM에 荷重과 變位量 측정 장치를 별도로 설치하여 PC와 인터페이스함으로써 구성하였다.

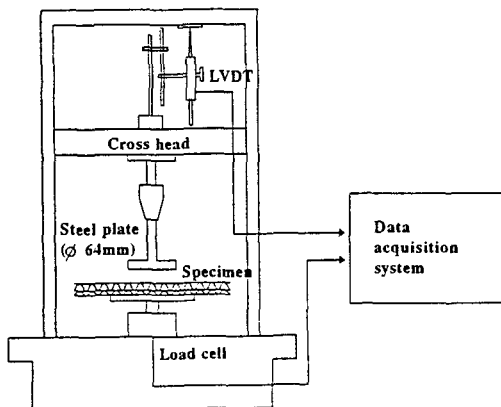


Fig. 1. Schematic diagram of the horizontal compression test for the corrugated fiberboard.

골판지의 平面壓縮시 라이너가 옆으로 미끄러지지 않도록 골판지 시편의 크기를 가로×세로를 30cm×30cm, 하중재하판은 직경 64mm의 원형 강판으로 하였다. 荷重載荷速度는 한국공업규격 KS M7063에 따라 12.7mm/min로 하였다.

시험전 채취한 골판지 시편을 계획한 온·습도 조건(10°C-rh 86%, 20°C-rh 65%)의 항온항습기 내에서 24hr 전처리한 다음 비닐백에 넣어 실험실 조건에서 안정을 취한후 실험을 수행하였다.

골판지箱子에 대한 크리이프 실험장치는 그림 2에서 보는 바와같이 골판지箱子에 일정 靜荷重을 순간적으로 가하고 이를 유지하기 위한 기계적인 장치부와 이로부터 골판지箱子가 받는 荷重과 처짐량을 연속측정하기 위한 자료수집장치부로 구성하였다.

골판지箱子에 대한 크리이프 실험은 ASTM standards D642-76의 실험법을 응용하여 靜荷重을 골판지箱子에 밀착시켜 작용시키기 위하여 먼저 60kgf의 preload를 가하고, 그후 일정 靜荷重을 순간적으로 작용시킨 뒤 이 순간부터 처짐량을 연속측정하였다.

골판지箱子에 가하여지는 靜荷重의 범위는 박등(1994)의 연구결과를 토대로 골판지箱子의 臨界荷重이하에서 100kgf, 150kgf, 및 200kgf의 3수준을 선정하였다.

靜荷重의 재하 후 상자의 크리이프 양을 72시간 연속 측정하기 위하여 초기에는 데이터의 수집간격을 짧게 하다가 시간이 지남에 따라 그 간격을 점차 크게하여 데이터가 수집되도록 프로그래밍하였으며, 컴퓨터의 하드디스크와 모니터 상으로 동시에 입·출력되도록 하였다. 이때 골

판지箱子の 壓縮方向은 저장이나 유통시에 箱子가 層積되는 높이 方向으로 위에서 아래쪽으로 荷重을 가하여 골판지의 골의 方向과 수직으로 荷重이 작용되도록 하였다.

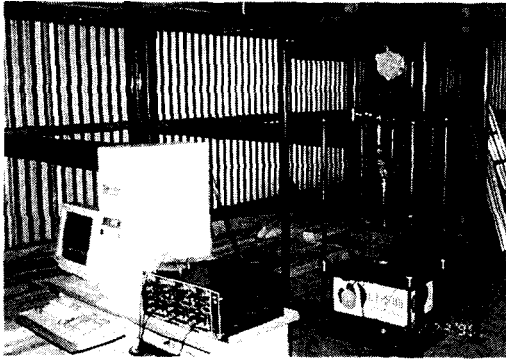


Fig. 2. Experimental equipment for the compressive creep test of the corrugated fiberboard boxes.

3. 결과 및 고찰

가. 골판지의 平面壓縮強度

우리나라의 경우 2중양면골판지의 골의 형태는 대부분 A+B골로, 箱子로 조립하였을때 안쪽이 단위 길이당 골의 수가 적고 골 높이가 큰 A골(34±2/30cm, 4.5~4.8mm)이며, 바깥쪽은 이보다 골의 수가 많으면서 골 높이가 낮은 B골(50±2/30cm, 2.5~2.8mm)이다.

일반적으로 동일한 조건에서 골의 垂直壓縮強

도는 골 높이와 깊은 관련이 있어, 골 높이가 가장 큰 A골이 가장 크며, 그 다음이 B골, C골 순이다. 반면, 平面壓縮強度는 단위 길이당의 골수와 관계가 깊으므로 골 수가 가장 많은 B골이 가장 크며, 그 다음이 C골, A골의 순이다.(포장기술, 1993 ; 산업디자인 포장개발원, 1993 ; Peleg, 1985)

본 연구에서는 2중 양면골판지에 대하여 A→B골 방향으로, 또한 B→A골 방향으로 平面壓縮荷重을 가할때 두 경우 모두에서 골의 수가 적고 골 높이가 큰 A골이 먼저 붕괴되었으며, 이들의 힘-변형곡선도 동일하게 나타났다.

그림 3은 A+B골 및 A골의 골판지시편을 20℃-rh 65%와 10℃-rh 86%에서 각각 24hr 평형시킨 후 平面壓縮實驗한 결과이다. A+B골의 2중 양면골판지의 應力-變形率의 곡선상에 먼저 나타난 변곡점이 A골의 붕괴점이며, 그 위에 나타난 변곡점이 B골의 붕괴점이다. 상대습도가 높은 경우에는 A골의 붕괴점은 뚜렷하였으나 B골의 붕괴점은 명확히 구별할 수가 없었다.

표 2에서 보는 바와같이 골붕괴 應力은 골판지를 구성하는 라이너와 골심지의 총평량 보다 는 골의 평량과 더욱 상관관계가 있었으며, 골판지의 골의 평량이 높을수록 골 붕괴應力이 크게 나타났다. 골판지 D는 공시한 골판지중 유일한 양면골판지(SW)로 골판지의 총평량은 가장 작지만 다른 2중 양면골판지에 비하여 골붕괴應力이 가장 크게 나타났는데, 이로부터도 골붕괴應力은 골의 평량과 직접적으로 관련된다는 사실을 알 수 있다.

Table 2. Effect of moisture content and basic weight on the flute crushing strength of the corrugated fiberboard

Type	Kinds	20℃-rh 65%			10℃-rh 86%		
		M.C., % (d.b.)	A-flute CS ¹⁾ , kPa	B-flute CS, kPa	M.C., % (d.b.)	A-flute CS, kPa	B-flute CS, kPa
DW	Board A	10.1	180	440	18.2	100(44%) ²⁾	—
	Board B	10.3	210	470	18.4	100(52%)	—
	Board C	9.9	380	560	18.0	160(58%)	280(50%)
SW	Board D	9.7	480	—	18.1	170(64%)	—

Note, 1) : crushing stress, kPa, 2) : decreasing rate comparing with the condition of 20℃-rh 65%

함수율이 약 8% (d.b.) 증가함에 따라 골 붕괴 응력은 대략 44%~64% 정도 감소하였으며, 골의 평량이 높을수록 그 감소율이 큰 것으로 나타났다.

나. 골판지의 靜的緩衝特性

包裝緩衝材로서 탄성성과 복원성도 중요하지만 이보다 더 중요한 것은緩衝性으로 이는 진동, 충격 등의 에너지를 흡수하여 包裝物이 전달수 있는 감쇠진동으로 변화시키는 성능이다.

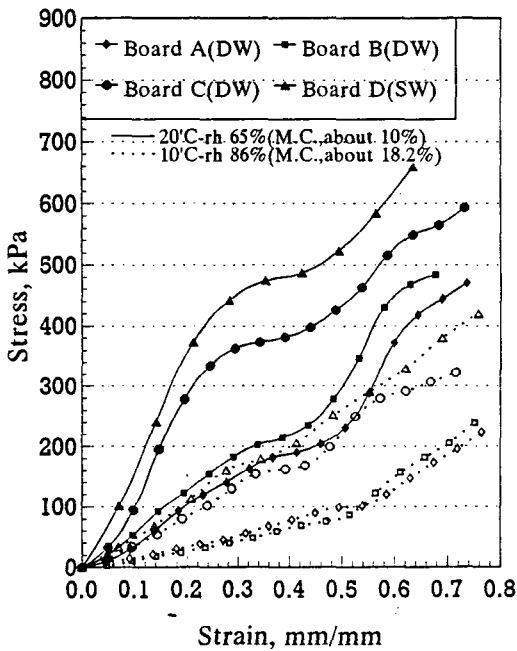


Fig. 3. Stress-strain curves of the corrugated fiberboard.

包裝緩衝材에 일정하중이 장시간 가해지면 탄성이 저하하여 하중을 제거하여도 완전히 원상으로 회복되지 않는다. 즉, 靜的荷重하에서의 변형과 이에대한 복원능력이緩衝材의 성능을 좌우한다. 이러한緩衝材의 중요한 특성들은緩衝曲線으로부터 분석될 수 있으며,緩衝曲線에는 靜的緩衝特性인 두께 변화에 따른 응력의 변화를 나타낸 靜的應力-變位線圖,緩衝係數-最大應力線圖 및緩衝係數-에너지선도등이 있고,

動的緩衝特性인 응력이 증가에 따른 최대 전달 가속도의 변화를 나타낸 最大加速度-靜的應力선도와緩衝係數-最大應力線圖등이 있다.

緩衝效率이란 재료의 단위 두께당 흡수에너지와 내용물에 전달되는 힘 즉,緩衝材에 가하는 하중과의 비로 정의된다.緩衝效率을 包裝設計에서 응용하기 위해서 연구된 계수가緩衝係數인데, 이 계수는緩衝材를 압축해서應力-變形率선도를 만들고, 그 곡선 밑의 면적인 단위 체적당의 흡수에너지에 따른 응력의 비율로 정의된다.

그림 4는 골판지의緩衝係數-應力線圖를 나타낸 것으로緩衝係數는 응력이 증가할수록 급격히 감소하다가 함수율이 낮은 경우에는 약 400 kPa, 함수율이 높은 경우에는 이보다 작은 응력 수준인 약 150kPa 부터 거의 일정하였다. 또한 골판지의 함수율이 낮을수록 완충계수는 컷는데 이는 낮은 응력범위에서 더 뚜렷한 경향을 나타내었고, 동일조건에서 2중 양면골판지(DW)가 양면골판지(SW)에 비하여 큰 것으로 나타났다. 이로부터 골판지는 함수율이 적을수록, 골판지의 두께가 클수록 또한 2중 양면 골판지가 양면

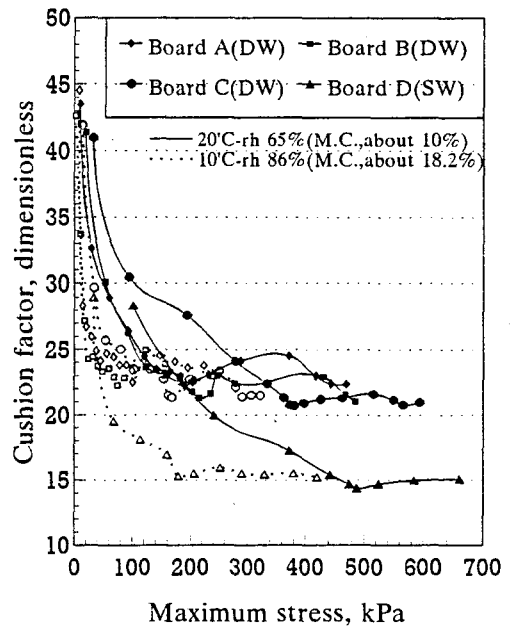


Fig. 4. Cushion factor-maximum stress curves of the corrugated fiberboard.

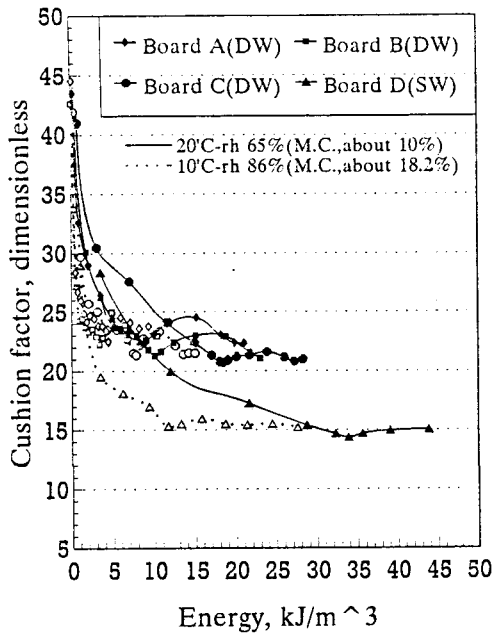


Fig. 5. Cushion factor-energy of the corrugated fiberboard.

골판지 보다 緩衝性能이 더 우수한 것으로 분석되었다. 이와같은 경향은 그림 5의 緩衝係數-에너지線圖를 통해서도 잘 나타났다.

골형태(A, B, C, AB, AC-flute등)에 따라 골판지의 두께가 달라지게 되며, 골판지의 두께가 작아지면 平面壓縮強度에는 큰 차이가 없으나 緩衝效率는 다소 감소하게 된다. 그러나 평활도나 휨강도에서는 성능차이가 크게 나타난다. 따라

서 包裝 골판지의 경우 壓縮強度와 緩衝性能을 잘 조화시켜 용도에 맞게 개발하는 것이 바람직할 것이다.

다. 골판지箱子の 크리이프 舉動

농산물을 包裝하고 있는 골판지箱子是 기간의 차이는 있으나 임시 또는 저장의 목적에 따라 일정기간 동안 저온저장고에 層의시켜 놓는것이 보통이다. 그 기간동안 저장고내의 온·습도의 변화에 따라 골판지箱子 뿐만아니라 包裝된 내용물에도 여러가지 변화가 생긴다.

앞에서 언급한 바와같이 펠리트 위에 層積된 골판지箱子の 層積耐久性는 層積期間에 따른 골판지箱子の 피로 즉, 크리이프 특성과 매우 깊은 관계가 있으며, 크리이프 변형은 箱子の 壓傷을 초래하여 包裝物을 損傷시키게 된다.

골판지箱子の 크리이프 舉動은 같은 靜荷重이라 하더라도 箱子の 치수에 따라 다르므로 여기서는 箱子에 따른 크리이프 특성을 정성적으로 비교하기 위하여 箱子 둘레의 단위 길이당 靜荷重으로 나타내었고, 처짐량을 箱子の 높이로 나누어 처짐률로써 나타내었다.

표 3에는 골판지箱子の 크리이프실험 결과를 박(1993)이 과실의 크리이프 舉動에 적용하였던 模型에 적용하여 비선형 회귀분석법으로 추정한 모형의 상수값들을 나타내었다.

그림 6과 7에는 Box A와 Box B의 대기조건에

Table 3. Coefficients of nonlinear viscoelastic model for creep of the corrugated fiberboard boxes according to the enviromental conditions

Boxes	Enviromental conditions	M.C. % (d.b.)	$D(S_L, t) = AS_L^B [C + Dt - \exp(-Et)]$					r^2
			A	B	C	D	E	
Box A	18°C-rh 45%	7.13	50.0701×10^{-6}	1.0577	4.5251	0.0170	3.3165	0.9633
	10°C-rh 65%	11.26	10.9891×10^{-5}	0.9539	4.1890	0.0170	3.3168	0.9633
	0°C-rh 85%	19.13	18.9303×10^{-5}	0.8830	4.0468	0.0183	3.4256	0.9633
Box B	18°C-rh 45%	7.25	49.6996×10^{-6}	1.1150	3.6204	0.0160	3.1091	0.9633
	10°C-rh 65%	11.31	12.0171×10^{-5}	0.9876	3.4853	0.0169	3.3124	0.9633
	0°C-rh 85%	18.79	21.8799×10^{-5}	0.9085	3.3897	0.0169	3.3181	0.9633

Note, $D(S_L, t)$ = deflection ratio of the box, mm/min, S_L = constant static load per perimeter of the box, kgf/m

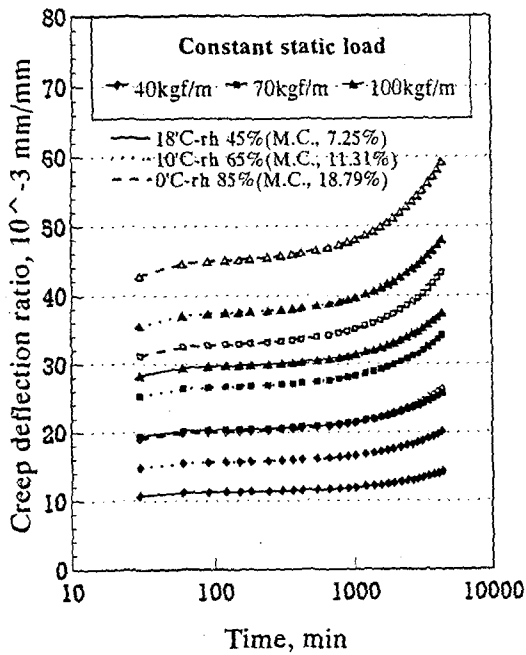


Fig. 6. Effects of the enviromental conditions and the constant static load on the creep behavior of the Box A.

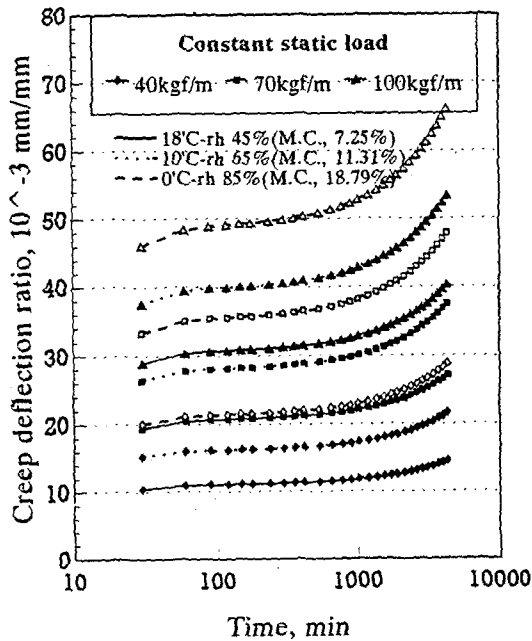


Fig. 7. Effects of the enviromental conditions and the constant static load on the creep behavior of the Box B.

따른 크리이프 특성을 각각 나타내었다. 그림에서 보는 바와같이 저온다습할수록 크리이프율과 정도가 크게 나타났으며, 靜荷重의 크기에 따른 크리이프의 차이도 현저하였다. 대체로 Box B의 크리이프율이 Box A에 비하여 컸는데 이러한 결과는 박등(1994)의 연구결과에서 Box A가 Box B에 비하여 같은 조건에서 많은 수분을 흡습하고 흡습속도가 빠른것과도 특성상 일치하였고, 또한 最大壓縮強度 및 臨界荷重과의 비교에서도 잘 일치하는 결과이었다.

이 실험의 결과는 저장실의 溫·濕度가 가능한한 유지된 상태에서의 측정결과이며, 만약 溫·濕度의 변화가 불규칙 또는 주기적일때에는 골판지箱子 자체가 흡습과 탈습과정을 격게 되므로 골판지箱子의 크리이프 變動은 위와는 다르게 나타날 것이다. 문헌에 따르면 일정한 溫·濕度보다는 주기적인 溫·濕度 조건하에서의 골 %의 크리이프율과 정도가 큰 것으로 알려져 있다(Byrd, 1972 ; 1984).

대기조건 및 靜荷重의 크기에 따른 골판지箱子의 크리이프율은 다음과 같이 크리이프 模型

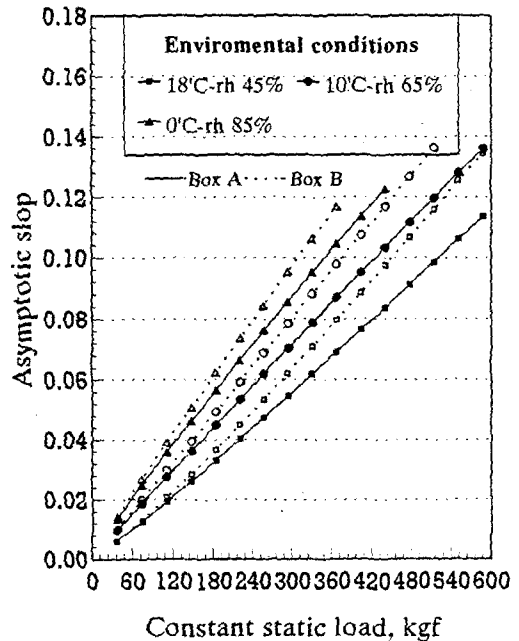


Fig. 8. The asymptotic slope of the creep behavior for the corrugated fiberboard boxes.

으로부터의 접근기울기(α)의 비교로부터도 잘 분석된다. 여기서 접근기울기 값은 많은 시간뒤의 골판지箱子の 크리이프율을 나타내는 값으로 그림 8에서 보는 바와같이 靜荷重이 증가할수록, 또는 대기조건이 저온다습할수록 그 값은 증가하였으며, Box A 보다는 Box B의 값이 컸다.

$$\alpha = \frac{\partial D(S_L, t)}{\partial t} \Big|_{t=\infty} = A \cdot D \cdot S_L^b \quad \dots (1)$$

4. 결론

국내에서 농산물 包裝容器的 제작에 사용되는 2중 양면골판지(DW) 3종류와 양면골판지(SW) 1종을 공시하여 平面壓縮實驗을 통한 골판지의 靜的緩衝特性和 함수율의 영향을 분석하였으며, 또한 2중양면 골판지상자 2종류에 대하여 대기 조건(온·습도) 및 정하중의 크기에 따른 골판지상자의 크리이프 실험을 수행하였다.

이 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 골붕괴 응력은 골판지의 평량보다는 골의 평량과 더욱 상관관계가 깊었으며, 골판지의 골의 평량이 높을수록 골 붕괴응력이 크게 나타났다. 골판지의 함수율이 약 8% (d.b.) 증가함에 따라 골 붕괴응력은 대략 44%~64% 정도 감소하였으며, 골의 평량이 높을수록 그 감소율은 크게 나타났다.

2) 함수율이 낮을수록 골판지의 緩衝係數는 컸는데, 이는 낮은 응력범위에서 더 뚜렷한 경향이었으며, 동일조건에서 2중 양면골판지(DW)가 양면골판지(SW)에 비하여 緩衝係數가 큰 것으로 나타나 골판지의 함수율이 적을수록, 골판지의 두께가 클수록 또한 2중양면 골판지가 양면골판지보다 緩衝性能이 더 우수한 것으로 분석되었다.

3) 골판지箱子が 層積되어 있는 주위의 대기 조건이 저온다습할수록 골판지箱子の 크리이프율과 정도는 크게 나타났으며, 또한 靜荷重의 크기에 따른 크리이프의 차이도 현저하였다. 대체로 Box B의 크리이프율과 정도가 Box A에 비하

여 큰 것으로 나타났다. 또한 주위의 공기조건과 靜荷重에 따른 골판지箱子の 크리이프율의 분석은 개발된 크리이프 모형으로부터의 접근기울기의 값을 통하여 이의 분석이 가능하였다.

참고문헌

1. 박종민. 1993. 과실의 점탄성 특성과 그 응용. 충남대 박사학위논문
2. _____ 외 3. 1994. 農産物 包裝용 골판지 상자의 層積耐久性的의 분석과 향상에 관한 연구(I) - 수분흡습특성과 압축강도열화. 한국농업기계학회지 19(4) : 358-368.
3. 포장기술편집부. 1993. 골판지箱子の 包裝強度設計 및 평가시험방법(3). 포장기술 64호 : 53-57
4. 산업디자인 포장개발원. 골판지 포장전문 교육교재. 1993.
5. 한국공업규격표준협회. 緩衝 包裝設計方法 通則. KS A1223.
6. _____. 골판지의 壓縮強度 試驗方法. KS M7063.
7. ASTM Standards D642-76. Standard method of compression test for shipping containers.
8. _____ D4577-86. Standard method for compression resistance of a container under constant load.
9. Asvanit, P. 1988. On the effect of moisture content on the shock transmissibility properties of honeycomb cushioning. M. S. thesis, School of Packaging, Michigan State Univ., East Lansing, MI.
10. Bittner, D. R., H. B. Manback, and N. N. Mohsenin. 1967. A method of evaluating cushioning materials used in mechanical harvesting and handling of fruits and vegetables. Trans. of the ASAE 10(6) : 711-714.
11. Burgess, G. 1990. Consolidation of cushion

- curves. *Packaging Technology and Science* 3 : 189-194.
12. Byrd, V. L. 1972. Effect of relative humidity changes on compressive creep response of paper. *Tappi* 55(11) : 1612-1613.
 13. _____. 1984. Edgewise compression creep of fiberboard components in a cyclic-relative-humidity environments. *Tappi J.* 67 (7) : 86-90.
 14. Clark, R. C. 1970. The development of low impact fruit catching surfaces. *Trans. of the ASAE* 21(3) : 777-781.
 15. Crofts, B. W. 1989. The effect of simulated handling on the compression performance of corrugated fiberboard containers. M.S. thesis, School of Packaging, Michigan State Univ., East Lansing, MI.
 16. Fridley, R. B., R. A. Bradley, J. W. Rumsey, and P. A. Adrian. 1968. Some aspects of elastic behavior of selected fruits. *Trans. of the ASAE* 11(1) : 46-49.
 17. Hammerle, J. R. and N. N. Mohsenin. 1966. Some dynamic aspects of fruit impacting hard and soft materials. *Trans. of the ASAE* 9(2) : 484-488.
 18. Horsfield, B. C., R. B. Fridley and L. L. Claypool, 1972. Application of theory of elasticity to the design of fruit harvesting and handling equipment for minimum bruising. *Trans. of the ASAE* 15(4) : 746-750, 753.
 19. Koning, J. W. and R. K. Stern. 1977. Long-term creep in corrugated fiberboard containers. *Tappi* 60(12) : 128-131.
 20. Leake, C. H. 1988. Measuring corrugated box performance. *Tappi Journal Oct.* : 71-75.
 21. Marcondes, J. A. 1992. Cushioning properties of corrugated fiberboard and the effects of moisture content. *Trans. of the ASAE* 35 (6) : 1949-1953.
 22. _____, J. Waldeck, G. Burgess and S. P. Singh. 1990. Application of high-speed motion analysis to measure shock in cushioned drops. *Packaging Technology and Science* 3 : 51-55.
 23. Miltz, J. and Gruenbaum. 1981. Cushioning properties of Urea-For-maldehyde foam. *J. of Cellular Plastics* : 213-218.
 24. Mohsenin, N. N. and H. G. Göehlich. 1962. Techniques for determination of mechanical properties of fruits and vegetables as related to design and development of harvesting and processing machinery. *J. of agricultural engineering Research* 7(4) : 300-315.
 25. Moody, R. C., K. E. Skidmor. 1966. How dead load downward creep influence corrugated box design. *Package Engineering*. Aug. 75-81.
 26. Nelson, C. W. and N. N. Mohsenin. 1968. Maximum allowable static and dynamic loads and effect of temperature for mechanical injury in apple. *J. of Agr. Eng. Research* 13(4) : 305-317.
 27. Peleg, K. 1985. Produce handling packaging and distribution. Westport : AVI Publishing.
 28. Shuttleworth, R. W., V. O. Shestopal, and P. C. Goss. 1985. Open-cell flexible polyurethane foams : compression of static and dynamic compression properties. *J. of Applied Polymer Science* 30 : 333-343.
 29. Sitkei, Gy. 1986. *Mechanics of agricultural materials*. Elsevier Science Publishers.
 30. Tappi test method T804om-89. Compression test of fiberboard shipping container.