

# 배 골판지 포장상자의 충격특성

## Impact properties of corrugated fiberboard box for the pears

김만수\*      정현모\*      이영희\*\*      황용수\*\*\*  
정희원      정희원      정희원  
M. S. Kim    H. M. Jung    Y. H. Lee    Y. S. Hwang

### 1. 서론

포장 엔지니어들이 지향하는 목표중의 하나는 저렴한 방법으로 제품을 파손시키지 않고 최종 목적지까지 운송하는 것이다. 위험 물질로부터 인명과 재산이 안전하게 보호되어야 하듯이, 제품 운송중에 파손 위험성으로부터 벗어나야 한다. 따라서 포장과 제품을 열악한 유통환경(distribution environment)에도 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 상품을 제조하는 측면에서도 제품과 포장은 최종 소비자에게 도달하여 포장이 해체되고 이것이 다시 회수될 때까지 직면할 수 있는 모든 위험요소로부터 견딜 수 있어야 한다. 유통중의 위험요소는 매우 다양하므로, 포장제품이 직면하게 될 상황을 정확하게 예견 한다는 것은 거의 불가능하다.

유통중에 포장 화물을 떨어뜨리거나 던지는 등의 여러 가지 부적절한 취급을 할 수가 있다. 구체적으로는 컨베이어(conveyor)나 포크리프트(forklift)로부터 바닥으로의 낙하, 수송차량의 출발 및 정지, 도로상의 움푹 패인 곳이나 철길, 교차로를 지날 때 혹은 화차의 연결동작 등에서 포장 제품의 기계적인 충격(mechanical shock)이 발생한다. 이러한 경우 포장 화물은 바닥이나 트럭의 적재면, 팔리트(pallet) 혹은 다른 포장물들과 충돌하게 되며, 이 충격은 양쪽 제품에 기계적인 충격을 일으키게 된다.

따라서, 본 연구에서는 배 포장용 골판지 상자의 자유낙하 실험을 통하여 완충재로써의 골판지 상자에 대한 충격력을 분석하기 위한 시스템을 구성하고 계측 및 분석용 컴퓨터 프로그램을 작성하여 자유낙하에 의한 배 골판지 포장상자의 충격력을 분석하고자 하였다.

### 2. 실험재료 및 방법

#### 2.1 실험재료

본 실험에 사용된 배 골판지 포장상자는 농산물 포장용 골판지인 이중양면골판지(double wall corrugated fiberboard) 상자로서, 상자의 규격은 520×350×250(mm)이었으며, 15kg의 RSC(Regular Slotted Container)형 배 골판지 포장상자이었다. 또한 습기에 의한 상자의 강도저하를 방지하기 위하여 외부 전면에 인쇄 코팅을 하였으며, 양면에 두 개의 손잡이(handhole)가 있는 배 골판지 포장상자이었다.

---

\* 충남대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과  
\*\* 농촌진흥청 농업기계화연구소  
\*\*\* 충남대학교 농업생명과학대학 원예학과

## 2.2 실험방법

본 실험에서는 골판지 포장상자의 각 충격부위별 충격력을 분석하기 위하여 그림(1)에서 보는 바와 같이 낙하높이 30cm에서 각 부위별로 자유낙하실험을 실시하였다. 그 중에서 충격력이 제일 크게 측정된 부분에 대해서 KS규격에서 규정하고 있는 25, 35, 55 및 60cm의 각 낙하높이별로 자유낙하실험을 하였으며, 측정된 충격력-시간곡선을 이용하여 그림(2)의 충격특성치들을 측정하였다.

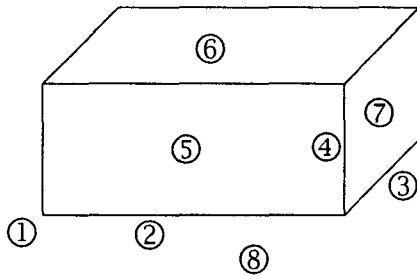


Fig. 1. Impact positions

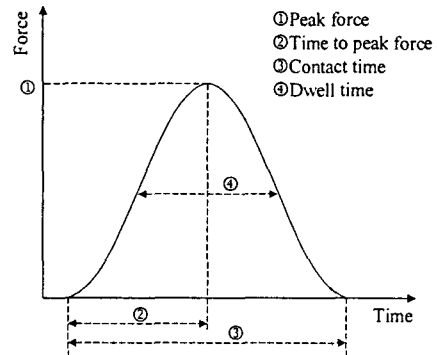


Fig. 2. Diagram of the impact force-time curve.

## 2.2 실험장치

본 실험에 사용된 자유낙하 실험장치는 그림(3)에서와 같이 시편 지지대를 낙하시험기 컨트롤러와 컴퓨터와의 RS-232C 인터페이스에 의해 일정한 높이까지 이송시킨 후 컴퓨터에서의 낙하명령에 의해 시편지지대가 제거됨으로써 시편이 자유낙하하고, 강판 밑의 각 모서리 부분에 설치된 4개의 하중변환기(load cell)에 의해 시편의 자유낙하 충격력을 측정할 수 있도록 설계된 실험장치이다.

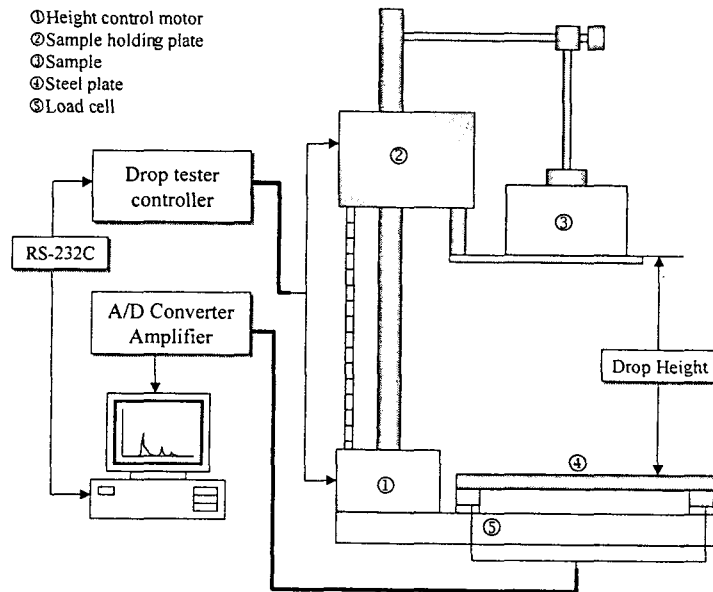


Fig. 3. Schematic diagram of free drop test apparatus.

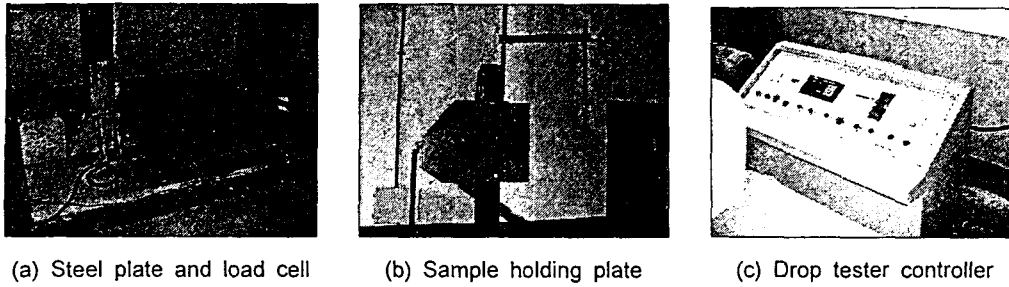


Fig. 4. Picture of free drop test of corrugated fiberboard box for pear.

### 2.2.1 하중변환기(load cell)의 측도설정

낙하실험에서의 충격력을 계측하기 위한 하중변환기(load cell)의 측도설정을 하기 위하여 하중변환기가 부착된 평판위에 일정한 무게를 부과하였을 때 출력되는 전압과 부과된 무게에 대한 선형회귀식을 구하여 본 실험에 적용하였다. 그림(5)에 부과된 무게와 출력되는 전압과의 관계에 대한 선형회귀식( $R^2=0.99999$ )을 도시하였다.

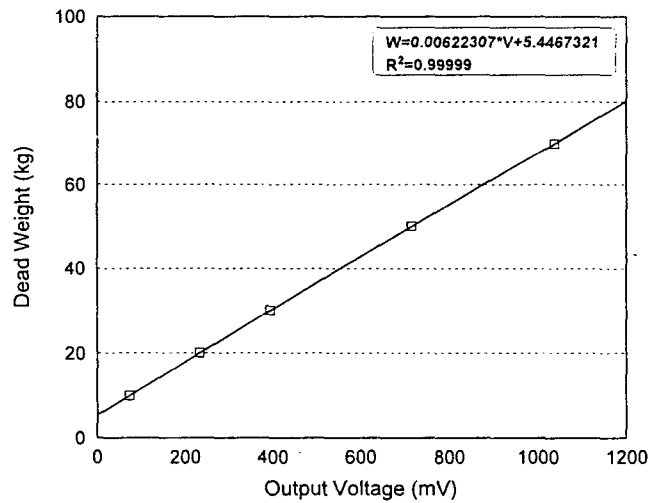


Fig. 5. Calibration of load cell for free drop test of corrugated fiberboard box.

### 2.2.2 충격력 계측 및 분석용 컴퓨터 프로그램

배 골판지 포장상자의 자유낙하에 의한 충격력을 계측 및 분석하기 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 데이터의 고속 샘플링을 하기 위하여 DMA방식을 이용하여, 약 0.4 ms의 샘플링시간(sampling time)을 갖도록 하였다. 그림(6)은 개발된 컴퓨터 프로그램의 메인 화면으로 일정한 높이에서의 자유낙하에 의한 골판지 포장상자의 충격력을 계측하여 최고충격력(peak force), 충격기간(duration of time) 또는 접촉시간(contact time), 최고충격력까지의 시간(time to peak force), 정지시간(dwell time) 및 역적(impulse) 등을 계산하도록 작성하

였으며, 속도-시간곡선, 변위-시간곡선, 힘-변위곡선 및 가속도-시간곡선을 출력하여 충격중 확산에너지(energy dissipated during impact), 충격후 잔존에너지(energy remaining in the pear after contact) 및 충격중 속도변화(velocity change)를 계측하여 그 결과값을 저장할 수 있도록 작성하였다.

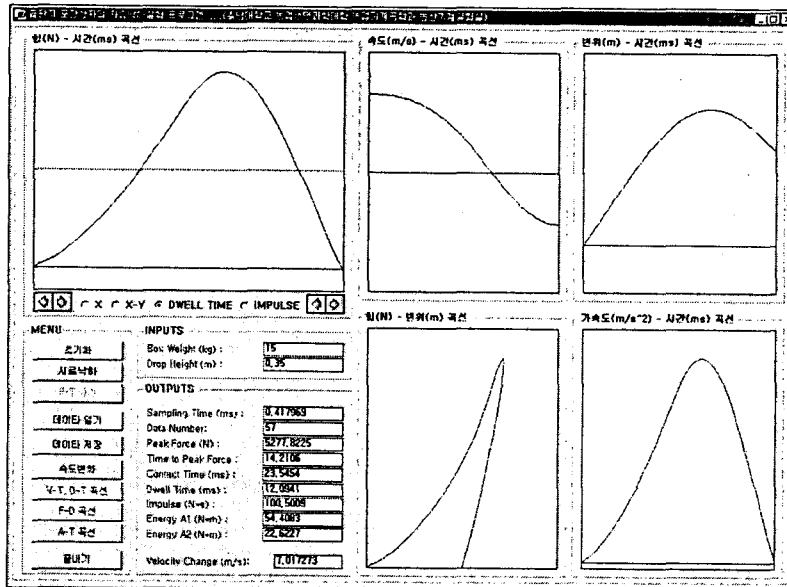


Fig. 6. Computer program for free drop test of the corrugated fiberboard box.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 배 골판지 포장상자의 충격부위별 충격력 분석

표(1)은 배 골판지 포장상자의 충격부위별 충격력을 나타내었다. 실험결과에서 알 수 있듯이 자유 낙하시 충격 접촉면적이 클수록 충격력이 크게 계측됨을 알 수가 있었으며, 표(1) 및 그림(7)에서 알 수 있듯이 ⑥번(윗면) 및 ⑧번(아랫면) 부위에서의 충격력이 크게 계측되었다. 따라서 본 실험에서는 각 높이별 배 골판지 포장상자의 자유낙하실험은 아랫면이 하중변환기 위에 위치한 평판(steel plate)과 접촉하도록 하였다.

Table 1. Impact properties of corrugated fiberboard box according to the impact position

| Items          | Impact position |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | ①               | ②       | ③       | ④       | ⑤       | ⑥       | ⑦       | ⑧       |
| Peak Force (N) | 1690.74         | 2221.54 | 2164.86 | 1918.58 | 3211.02 | 3925.17 | 3142.10 | 4057.76 |

### 3.2 배 골판지 포장상자의 각 낙하높이별 충격력 분석

그림(8)의 (a), (b), (c) 및 (d)는 각 낙하높이별 충격력-시간곡선을 나타내었다.

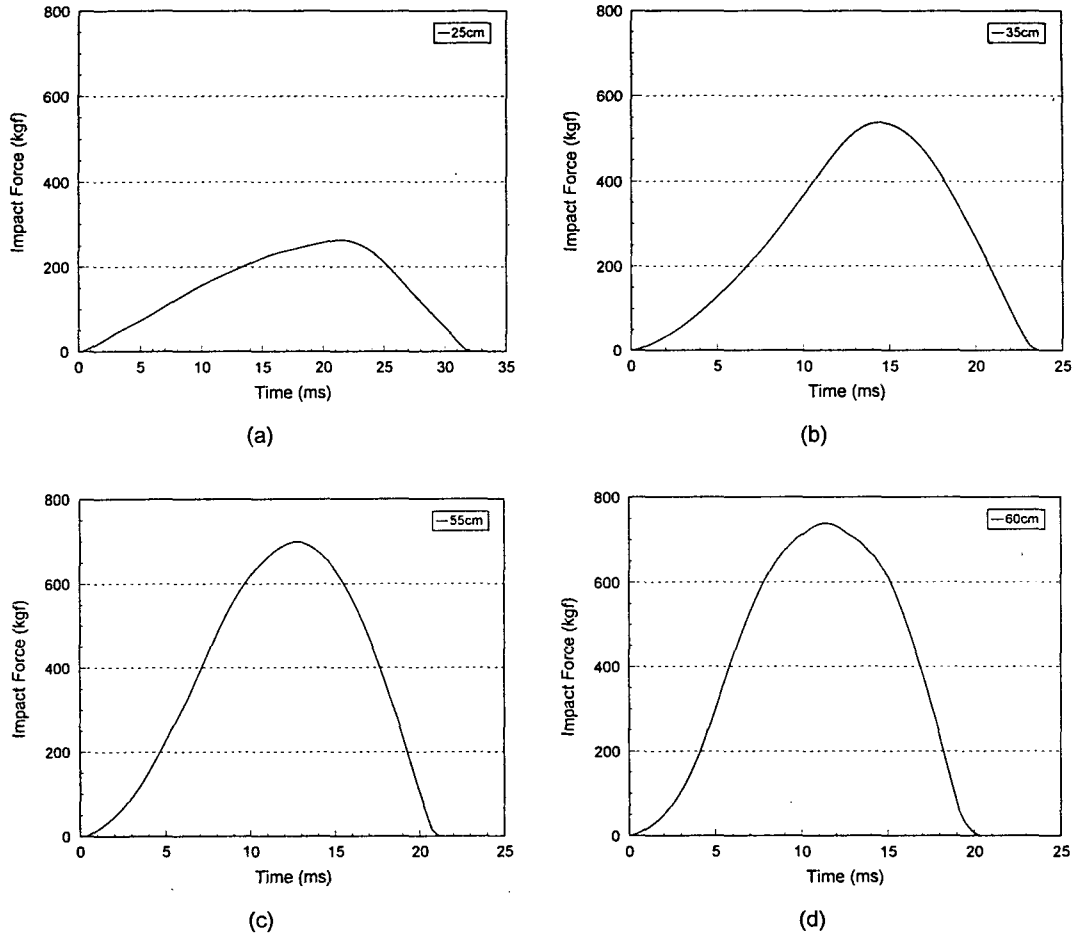


Fig. 8. Impact force - time curve of the corrugated fiberboard box for pear according to drop height.

Table 2. Impact properties of corrugated fiberboard box according to the impact position

| Items                | Drop height (cm) |          |          |          |
|----------------------|------------------|----------|----------|----------|
|                      | 25               | 35       | 55       | 60       |
| PF (N)               | 2580.80          | 5277.82  | 6857.62  | 7182.21  |
| TPF (ms)             | 21.31            | 14.21    | 12.31    | 10.69    |
| CT (ms)              | 31.45            | 23.54    | 21.03    | 20.10    |
| DT (ms)              | 19.17            | 12.09    | 11.90    | 10.14    |
| Impulse (N·s)        | 70.3173          | 100.5009 | 129.4548 | 141.0050 |
| E <sub>1</sub> (N·m) | 39.2766          | 54.4083  | 87.3594  | 98.0399  |
| E <sub>2</sub> (N·m) | 7.4556           | 19.4532  | 28.9184  | 29.6150  |
| VC (m/s)             | 5.8213           | 7.0172   | 11.7540  | 12.1094  |

Note : PF=Peak Force, TPF=Time to Peak Force, CT=Contact Time, DT=Dwell Time, VC=Velocity Change  
E<sub>1</sub>=Energy dissipated during impact, E<sub>2</sub>=Energy remaining in the pear after contact

또한, 배 골판지 포장상자의 충격 후 확산에너지, 잔존에너지 및 속도변화 모두 증가하는 경향을 보여 골판지상자의 낙하높이에 따른 손상이 매우 큰 것을 알 수가 있었으며, 25cm의 낮은 자유낙하높이에서도 골판지에 손상을 주어, 배의 명 손상을 입게 되는 결과를 초래하게 되었다.

### 3.3 충격력에 의한 배의 손상여부

배 골판지 포장상자의 자유낙하의 충격력에 의한 배의 손상여부에 대하여 조사하였으며, 손상에 대한 평가 기준은 진동실험에서와 같은 방법으로 적용하였다. 표(3)은 낙하높이에 의한 상자내 배의 위치에 따른 손상정도 및 손상지수에 대하여 나타내었다.

Table 3. Impact damage scores by drop height

| Drop Height (cm) | No. of pear | Damage degree (No. of pear) |       |        |        | Damage Score |
|------------------|-------------|-----------------------------|-------|--------|--------|--------------|
|                  |             | Sound                       | Small | Medium | Severe |              |
| 25               | upper       | 12                          | 6     | 5      | 0      | 1.54         |
|                  | lower       | 12                          | 4     | 7      | 1      |              |
|                  | sum         | 24                          | 10    | 12     | 1      |              |
| 35               | upper       | 10                          | 2     | 5      | 3      | 2.35         |
|                  | lower       | 10                          | 1     | 5      | 1      |              |
|                  | sum         | 20                          | 3     | 10     | 4      |              |
| 55               | upper       | 11                          | 2     | 3      | 2      | 2.45         |
|                  | lower       | 11                          | 3     | 5      | 1      |              |
|                  | sum         | 22                          | 5     | 8      | 3      |              |
| 60               | upper       | 13                          | 3     | 1      | 3      | 2.74         |
|                  | lower       | 14                          | 3     | 3      | 5      |              |
|                  | sum         | 27                          | 6     | 4      | 8      |              |

## 4. 결론

배 포장용 골판지 상자의 자유낙하 실험을 통하여 완충재로써의 골판지 상자에 대한 충격력을 분석하기 위한 시스템을 구성하고 계측 및 분석용 컴퓨터 프로그램을 작성하여 자유낙하에 의한 배 골판지 포장상자의 충격력을 분석하였으며, 배 골판지 포장상자의 낙하높이에 따른 배의 손상정도는 낙하높이가 높아짐에 따라 손상이 심하고 낙하높이가 낮은 25cm에서도 진동에 의한 손상지수보다는 훨씬 큼을 알 수가 있었다. 이것은 자유낙하에 의한 골판지의 충격력이 배에 전달되어 명이 발생하는 것으로, 진동에 의한 변위 증폭 및 압상에 의한 손상보다 낙하 충격력에 의한 손상이 더 큰 것을 알 수가 있었으며, 배 골판지 포장상자의 적재 및 하역 작업시에는 낮은 낙하높이에서도 포장상자를 떨어뜨리지 않도록 주의를 하여야 할 것이다.

## 참고문헌

1. ASTM standard D642. Standard test method for determining compressive resistance of shipping containers, components, and unit loads.
2. Leake, C. H. 1988. Measuring corrugated box performance. Tappi Journal Oct. : 71-75.
3. Chen, P. and R. Yazdani. 1991. Prediction of apple bruising due to impact on different surfaces. Trans of the ASAE 34(3) : 956-961.
4. 한국표준협회. KS A1011. 포장화물의 낙하시험 방법.
5. 한국표준협회. KS A1026. 포장화물의 평가시험방법 통칙.