

## 모의 수송환경에서의 적재된 골판지 포장화물 내 배의 진동특성

정현모 · 박인식 · 김만수\*

경북과학대학 포장과, \*충남대학교 농업생명과학대학 생물산업기계전공

### Vibration Characteristics of the Pears in Corrugated Fiberboard Container for Packaging be stacked at Simulated Transportation Environment

Hyun-Mo Jung, In-Sig Park and Man-Soo Kim\*

Department of Packaging, Kyongbuk College of Science

\*Bio-industrial Machinery Engineering, College of Agriculture & Life sciences, Chungnam National University

#### ABSTRACT

Fruits are subjected to complex dynamic stresses in the transportation environment. During a long journey from the production area to markets, there is always some degree of vibration present. Vibration inputs are transmitted from the vehicle through the packaging to the fruit. Inside, these cause sustained bouncing of fruits against each other and container wall. These steady state vibration input may cause serious fruit injury, and this damage is particularly severe whenever the fruit inside the package is free to bounce, and is vibrated at its resonance frequency. The determination of the resonant frequencies of the fruit may help the packaging designer to determine the proper packaging system providing adequate protection for the fruit, and to understand the complex interaction between the components of fruit when they relate to expected transportation vibration inputs. The first frequency of the pear in packaged freight be stacked in resonance frequency band of the pear packaged freight was increased from the bottom to the top of the stack but the second frequency of that in resonance frequency band of the pear was decreased. This indicated that the high damage score of the pear in bottom tier in vibration test was due to higher acceleration level in resonance frequency band of the pear.

Keywords : Packaged freight, Resonance frequency, Transportation, Vibration

#### 서 론

포장이란 유통단계에서 제품이 파손되거나 손상되지 않도록 보호하는 수단이며 원가절감과 생산성 향상을 통한 상품성의 제고는 물론 부가가치 증대 및 매출신장에도 큰 영향을 미친다. 더

욱이 포장재료의 재활용, 환경친화성 신소재 개발 등에 따른 포장의 중요성에 대한 인식의 전환이 요구된다. 최근 환경보호 문제가 전 세계적으로 확대되면서 포장폐기물 처리의 중요성이 새로이 인식되어, 포장완충재의 주종을 이루던 플라스틱 재료의 사용이 환경오염과 관련하여 엄격히 규제됨에 따라 환경친화력이 우수한 지류완충재의 사용이 증가하고 있다.

골판지 포장상자에 포장되어 운송되는 농산물의 손상은 주로 충격과 진동에 의한 것이다. 충격손상은 인력에 의한 적재 및 하역 작업 시 포장물의 낙하에 기인되는 것이 대부분이었으나 점

\*Corresponding Author : Hyun-Mo Jung, Dept. of Packaging, Kyongbuk College of Science.  
San 159, Bongsan-Ri, Kisan-Myeon, Chilgok-Gun, Gyeongbuk, 718-851 Korea  
E-mail : <babong2@hanmir.com>

차 팰리트(pallet) 적재에 의한 운송이 증가됨에 따라 인력에 의한 작업은 줄어들어 충격에 의한 손상이 감소되고, 진동에 의해서 발생하는 손상이 증가하게 되었다. 수출용 배 골판지 포장상자의 팰리트 적재 시 포장상자는 수송, 보관 및 하역 시 발생하는 진동에 의한 손상 및 압축하중의 변화에 대응하도록 설계되지 않아 유통 시 적재된 상자들이 붕괴되어 배의 주요 손상 원인이 되고 있다. 농산물 골판지 상자의 보관 시 발생하는 온·습도 등 주위 환경의 변화와 저장기간, 적재방법 등의 물리적 변화에 따른 포장강도의 변화는 지금까지 많이 연구되어 왔지만 유통 중 발생하는 진동에 의한 우리나라 농산물의 손상연구는 전무한 실정이다.

O'Brien et al.(1965)은 시뮬레이션 된 가속도 수준은 직접적으로 상자의 적재단수에 관련이 있으며, 포장상자내의 배의 고유주파수는 적재단수의 높이에 반비례하며 약 30~50 Hz의 주파수 대역에서 발생하였다고 보고 하였다.

Hinsch et al.(1993)은 냉장 트레일러 안의 팰리트에 적재된 배 및 토마토 포장화물의 운송 중 발생하는 진동을 계측하기 위하여 팰리트의 위치별, 배 포장화물 적재위치별 진동량을 계측하였다. 그 결과, 가장 높은 PSD(power spectral density) 수준은 약 3.5 Hz에서 발생되며, 다음으로는 9, 18 및 25 Hz에서 발생되었고, 트레일러의 뒤쪽에 위치하고 있는 팰리트에서 가장 높은 PSD 수준이 계측되었으며, 팰리트에 적재된 골판지 상자의 경우에는 약 8.6 Hz에서 상단의 상자에서 가장 큰 PSD 값이 계측되었다고 하였다.

Peleg와 Hinga(1986)는 산물로 포장된 과실의 골판지 상자의 적재별 시뮬레이션 실험을 한 결과, 가장 큰 가속도 값은 적재 상자 중 하단의 상자에서 발생하였으며, 스펙트럼 끝의 낮은 주파수는 상단의 상자에서 매우 크게 증가하였다고 하였다. 따라서 포장화물이 다단 적재된 상태로 진동, 압축 및 충격 등의 물리적 환경과 온도 및 습도 등의 환경요인에 노출되었을 때, 이들의 거동과 특성의 변화를 분석하는 것은 매우 중요한 일이며, 현재까지 이러한 연구는 국내·외적으로 극히 빈약한 형편이었다.

본 연구에서는 골판지 상자에 의한 배 포장화물에 대하여, 이 포장화물이 다단 적재된 상태로 진동을 받을 경우, 이 포장화물 내 과실에 대한


진동거동을 실험적 방법으로 분석하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

배 포장화물의 구성에 사용된 골판지 상자는 Table 1에서 보는 바와 같이, RSC(regular slotted container)형 이중 양면 골판지(double wall corrugated fiberboard) 상자로서, 상자의 규격은 520×350×250 mm, 원지구성은 KA210/S120/S120/S120/KA210이었다. 상자의 겉면에는 방수 코팅되어 있으며, 손잡이 구멍(hand hole)도 가공되어 있는 것이었다.

Table 1. Type and physical properties of corrugated fiberboard container tested.

Type	RSC (0201)
Flute	AB/F
Packaging Weight (kg <sub>f</sub> )	15
Paper Combination	KA210/S120/S120/S120/KA210
Dimension (L×W×D, mm)	520×350×250
CBW <sub>f</sub> (g/m <sup>2</sup> )	900
Remark	

\* CBW denotes combined basic weight

Table 2. Harvesting date and physical characteristics of the pear used in sweep vibration tests.

	Pear (Niitaka)
Date of harvest	2004. 10
Volume (10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> )	5.1444 (1.0028)
Mass (kg)	0.5073 (0.0936)
True density (kg/m <sup>3</sup> )	990.16 (64.17)

\*( ) standard deviation

또한 골판지 포장화물에 포장된 배는 신고 품종의 국내산 배이었으며, 2004년 10월에 일반농가에서 수확된 후 시험에 사용되기 전까지 약 1개월 정도 저온저장(0±1℃, rh 85±5%) 되었다. 시료들의 기본적인 물성들은 Table 2와 같으며, 시험에 사용되기 전에 골판지 포장화물 내에서 실험실의 환경조건(15℃, rh 75%)으로 약 4시간 동안 적응을 시킨 후 시험에 사용하였다.

**2. 실험장치 및 방법**

본 실험에서는 저주파수대인 약 30 Hz 이하의 운동과 대용량의 가진력을 발생시킬 수 있는 유압식 가진기(hydraulic-type exciter)를 사용하였다.

함수발생기에서 발생하는 정현파의 입력주파수와 입력전압을 컴퓨터와의 HP-IB(Hewlett Packard Interface Bus) 통신을 이용하여 제어하였으며, 입력주파수와 입력전압에 해당되는 정현파를 유압식 가진기의 서보 콘트롤러에 입력하여 진동테이블을 제어하였다.

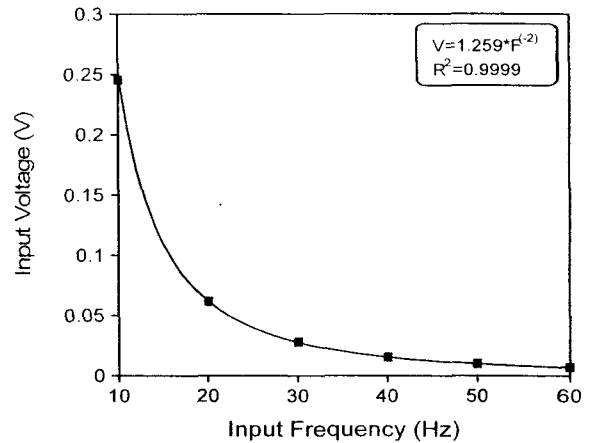
또한 가속도 센서의 진동응답신호를 60 dB의 증폭과 유압식 진동가진기의 자체 떨림에 대한 필터링을 위해 진동가진기 자체의 진동주파수(12 kHz)를 차단하기 위하여 1 kHz의 차단주파수가 적용된 로우패스 필터가 장착된 앰프(amplifier)를 통하여 4채널 입력시 500 MHz까지 샘플링이 가능한 디지털 오실로스코프에 출력하도록 하였다.

또한 오실로스코프와 컴퓨터와의 RS-232C통신을 이용하여 매초 진동응답신호의 진폭(ZPT)을 측정하여 컴퓨터 모니터에 출력한 후, 그 데이터를 저장 및 분석이 가능하도록 하였다.

유압식 가진기는 입력 주파수에 대하여 변위가 일정하여야 하는데 이를 보기 위하여 유압식 가진기에 부착되어 있는 LVDT(linear variable differential transformer)를 이용하여 0.1 V의 일정한 입력전압에서 입력 주파수에 따른 진동 테이블의 변위를 측정하였으며, 전 실험 주파수 영역에서 거의 일정하게 나타났다.

따라서, 일정한 가속도 수준을 유지하기 위한 정현파 스위프 진동실험을 하기 위해서는 입력 주파수에 따른 입력전압을 보정하여야 한다. 가속도 수준이 0.5 G-rms일 때, 각각의 가속도 수준을 유지하면서 입력 주파수에 따른 입력전압을

보정하기 위한 회귀식을 구한 결과를 Fig. 1에 나타내었다.



**Fig. 1. Regression equations of input voltage as a function of input frequency for controlling the constant acceleration level of 0.5 G-rms.**

본 실험에서는 골판지 상자에 의한 다단 적재된 포장화물에 대하여 정현파 스위프 진동실험(ASTM D999, ASTM D3580)을 통하여 진동화물 내 배의 진동반응을 분석하였다. 다단 포장화물에 대해 포장화물의 수평이동 허용범위를 10 mm로 제한하기 위해 수평이동 방지 가이드를 설치하였다(ASTM D3580).

진동실험 시 진동수의 범위는 3~100 Hz, 진동 가속도 수준은 운송중의 기차와 트럭의 본체에서 느끼는 가속도 수준을 고려해 다단 적재 포장화물의 경우는 0.5 G로 하여, 이 값을 유지하도록 입력 주파수에 대한 입력 전압을 조절해 진동테이블의 변위를 제어하였으며, 이때 스위프 속도(sweep rate)는 분당 1 octave 이었다.

가속도 센서의 부착 위치는 포장화물내의 포장된 배에 대한 진동반응 분석하기 위해 다단 적재된 포장화물의 경우 Fig. 2에서 보는 바와 같이, 각 포장화물의 2단 중간 부분에 위치한 포장된 배에 부착하였다. 또한 배에 부착한 모든 센서들의 위치는 배의 측면부위였다.

**결과 및 고찰**

**1. 적재단수별 배의 진동특성**

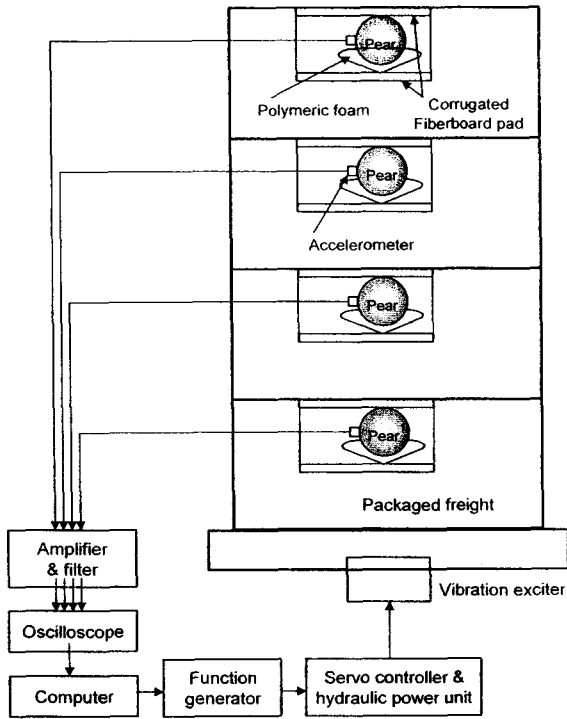


Fig. 2. Schematic of vibration test for the pear packaged in container in multi-layer packaged freight.

Table 3과 Fig. 3은 4단 적재된 각 포장화물의 상단 가운데에 위치한 배의 진동 반응에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이, 포장화물내 배의 공진점은 실험 주파수내에서 2개가 존재하였다. 제 1 공진 주파수 대역은 김만수 등(2002)이 제시하였던 적재된 골판지 포장화물의 공진 주파수 대역인 15~23 Hz와 거의 일치하고 있으며, 제 2 공진 주파수는 정현모(1999)이 제시하였던 배의 공진 주파수 대역인 53~79 Hz와 거의 일치하고 있다.

또한 낮은 주파수(25 Hz 이하) 대역에서의 정점 가속도는 제일 상층의 포장화물에서 가장 크게 나타났으며, 저층으로 갈수록 감소하는 경향을 나타내었다. 이 주파수 대역은 포장화물의 공진 주파수 대역과 일치하는 것으로, 포장화물의 진동에 의한 영향으로 판단되었다.

배의 공진 주파수 대역에서의 가속도는 낮은 주파수 대역에서의 현상과 반대의 경향을 나타내었다. 즉, 적재 위치가 낮을수록 제 2 공진 주파수 대역에서의 가속도는 더 큰 것으로 나타났다. 이것은 상층 포장화물의 경우 하층에 적재된 포

장화물의 완충효과에 기인된 것으로 판단되며, 최하층의 경우에는 진동 가진기의 진동력을 직접 받기 때문에 상자내의 배의 고유 주파수(natural frequency) 대역에 접근하게 되고, 이에 따른 공진 주파수의 발생이 생긴 것으로 판단되었다.

Table 3. Resonance frequencies and peak accelerations of the pear in the multi-layer packaged freight

Peak position		First	Second
1-stack tier	RF	22.4	69.2
	PA	2.4002	1.4021
2-stack tier	RF	21.6	67.2
	PA	3.4563	1.1468
3-stack tier	RF	18.8	66.0
	PA	4.2436	0.9874
4-stack tier	RF	17.4	63.8
	PA	5.1922	0.5306

\*Note : RF = Resonance Frequency,  
PA = Peak Acceleration

골판지 포장화물의 공진 주파수 대역인 제 1 공진 주파수 대역에서의 적재된 골판지 포장화물내 배의 정점 가속도는 포장화물의 정점 가속도보다 약 8~14% 정도 증가하는 경향을 보였는데, 이는 진동 변위와 배의 진동에 의한 변위가 합쳐지면서 더 크게 계측된 것으로 판단되었다.

또한 상층에 적재된 골판지 포장화물의 경우에는 완충재와 하층 골판지 포장화물의 완충작용에 의해서 배의 고유 주파수 대역에 접근하지 못하는 것으로 판단되었다.

즉, 유통 시 상층부의 포장화물의 진동 변위는 크지만, 포장화물 내 배의 공진 주파수 대역에서의 정점 가속도는 작게 나타남을 알 수 있었다.

즉, 골판지 포장화물이 진동을 받게 되면 안쪽에 위치한 배의 경우에는 진동 변위가 더 크게 발생하게 되므로 이에 따른 완충설계가 필요하다. 따라서 골판지 포장화물의 진동을 받게 되는 배의 완충설계 시에는 골판지 및 배의 공진 주파

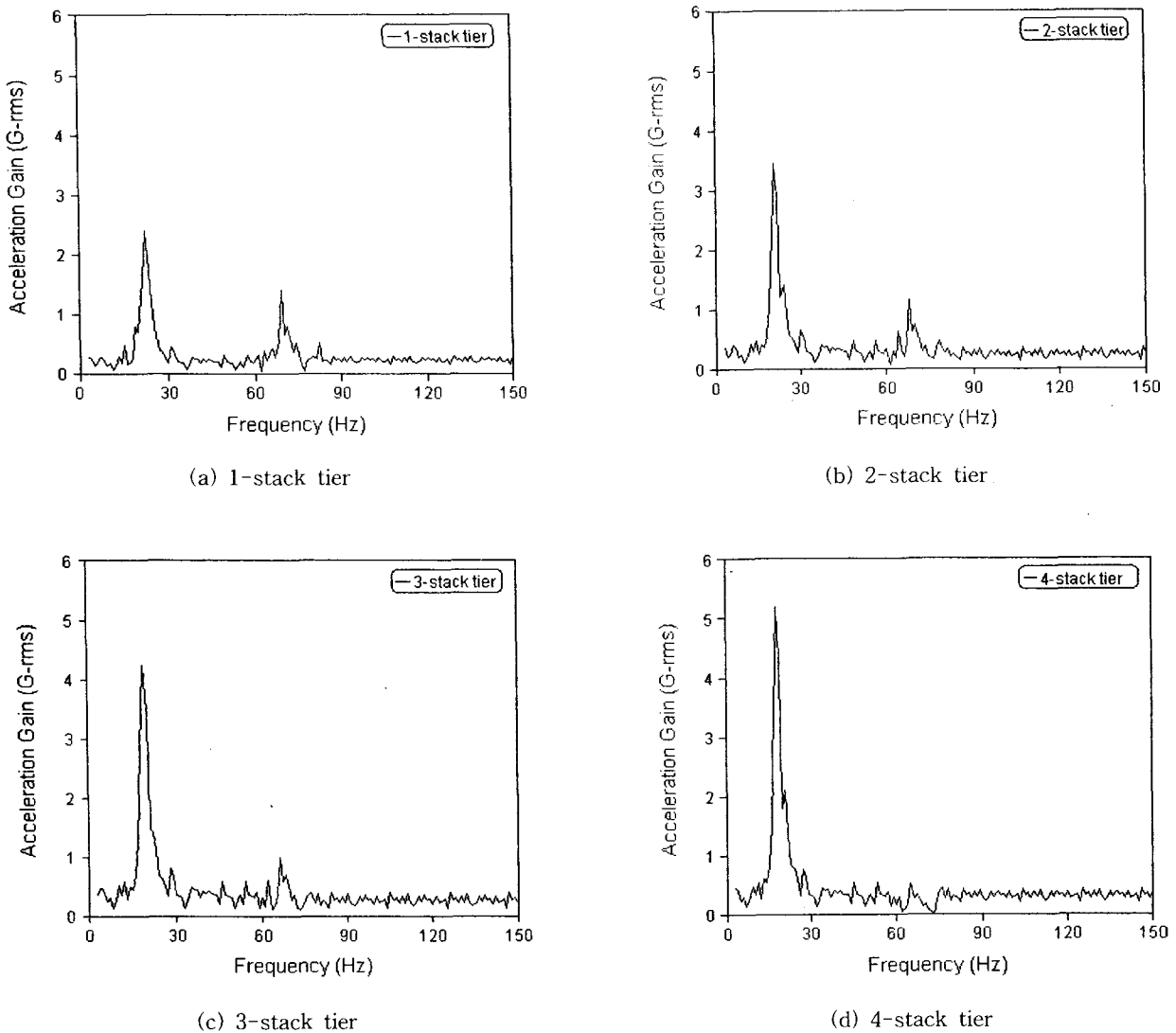


Fig. 3. Acceleration amplitudes of the pear in multi-layer packaged freight in the sweep vibration test.

수의 위치를 다른 곳으로 이동시킬 수 있고 공진 주파수 대역에서의 정점 가속도를 감소시킬 수 있는 완충재의 선정 및 적정 두께를 예측하여야 할 것이다.

## 결론

유통 중 운송 시에 발생할 수 있는 진동 가속도 수준 0.5 G-rms에 대한 4단으로 적재된 골판지 포장화물 내 배의 진동실험을 하였으며 그 결론은 다음과 같다.

1. 골판지 포장화물 내 배의 공진점은 실험 주파수내에서 2개가 존재하였다. 제 1 공진 주파수 대역은 골판지 포장화물의 공진 주파수 대역과 거의 일치하고 있으며, 제 2 공진 주파수는 배의 공진 주파수 대역과 거의 일치하였다.
2. 모의 수송환경의 낮은 주파수 대역에서의 정점 가속도는 제일 상층의 포장화물에서 가장 크게 나타났으며, 저층으로 갈수록 감소하는 경향을 나타내었다.

또한 배의 공진 주파수 대역에서의 가속도는 낮은 주파수 대역에서의 현상과 반대의 경향을 나타내었다. 즉, 적재 위치가 낮을수록 제 2 공

진 주파수 대역에서의 가속도는 더 크게 계측되었다.

3. 골판지 포장화물의 공진 주파수 대역인 제 1 공진 주파수 대역에서의 적재된 골판지 포장화물 내 배의 정점 가속도는 포장화물의 정점 가속도보다 약 8~14% 정도 증가하는 경향을 보였는데, 이는 진동 변위와 배의 진동에 의한 변위가 합쳐지면서 더 크게 계측된 것으로 판단되었다.

### 참 고 문 헌

1. ASTM standard D999. Standard methods for vibration testing of shipping containers.
2. ASTM standard D3580. Standard Test methods for vibration (vertical linear motion) test of products.
3. Hinsch, R. T., D. C. Slaughter, and W. L. Craig. 1993. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. *Trans. of the ASAE* 36(4) : 1039-1042.
4. Jung, H. M. 1999. Mechanical properties of selected fruits and vegetables. M.S. thesis. Chungnam National University. (In Korean)
5. Kim, M. S. and H. M. Jung. 2002. Vibration Characteristics of Corrugated Fiberboard Boxes for Packages of Pears. *Journal of the KSAM* 27(5): 391~398. (In Korean)
6. OBrien, M., J. P. Gentry, and R. C. Gibson. 1965. Vibrating characteristics of fruits as related to in-transit injury. *Transactions of the ASAE* 8(2): 241-243.
7. Peleg, K. and S. Hinga. 1986. Simulation of vibration damage in produce transportation. *Transactions of the ASAE* 29(2):633-641.