

배 골판지 포장상자의 진동특성

Vibration Characteristics of Corrugated Fiberboard Boxes for Packages of Pears

김만수 정현모
정희원 정희원
M. S. Kim H. M. Jung

ABSTRACT

During handling unitized products, they are subjected to a variety of environmental hazards. Shock and vibration hazards are generally considered the most damaging of the environmental hazards on a product, and it may encounter while passing through the distribution environment. A major cause of shock damage to products is drops during manual handling. The increasing use of unitization of pallets has been resulted in a reduction of the shock hazards. This has caused an increasing interest in research focused on vibration caused damage.

Damage to the product by the vibration most often occurs when a product or a product component has a natural frequency that falls within the range of the forcing frequencies of the particular mode of transportation being used. Transportation vibration is also a major cause of fruit and vegetable quality loss due to mechanical damage.

This study was conducted to determine the vibration characteristics of the corrugated fiberboard boxes for packages of pears, and to investigate the degree of vibration injury of the pears in the boxes during the simulated transportation environment.

The vibration tests were performed on an electrohydraulic vibration exciter. The input acceleration to exciter was fixed at 0.25 G for a single container resonance test and 0.5 G for the vertical stacked container over the frequency range from 3 to 100 Hz. Function generator (HP-33120A) was connected by wire to the vibration exciter for controlling the input acceleration at a continuous logarithmic sweep rate of 1.0 octave per min.

The peak frequency and acceleration on the single box test were 22.02 Hz, 1.5425 G respectively, and these values on the vertical stacked boxes were observed from the bottom box 19.02, 18.14, 16.62 and 15.40 Hz and 2.2987, 3.7654, 5.6087, and 7.9582 G, respectively.

The pear in the bottom box had a slightly higher damage level than the fruit packed in the other stacked boxes. It is desirable that the package and transportation system has to be so designed that 15~20 Hz frequency will not occur during the transportation environment.

Keywords : Corrugated fiberboard box, Sine sweep vibration test, Pear.

This study was conducted by the research fund supported by Ministry of Agriculture and Forestry. The article was submitted for review in July 2002, and approved for publication by the editorial board of KSAM in August 2002. The authors are M. S. Kim, Professor, H. M. Jung, Research Assistant, Division of Agricultural Engineering, Chungnam National University. The corresponding author is M. S. Kim, Professor, Division of Agricultural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea. E-mail: <mskim@cnu.ac.kr>

1. 서 론

포장이란 유통단계에서 제품이 파손되거나 손상되지 않도록 보호하는 수단이며 원가절감과 생산성 향상을 통한 상품성의 제고는 물론 부가가치 증대 및 매출신장에도 큰 영향을 미친다. 더욱이 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 플라스틱계 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 작업시 포장물의 낙하에 기인되는 것이 대부분이었으나 점차 팔리트(pallet) 적재에 의한 운송이 증가됨에 따라 인력에 의한 작업은 줄어들어 충격에 의한 손상이 감소되고, 진동에 의해서 발생하는 손상이 증가하게 되었다. 수출용 배 골판지 포장상자의 팔리트 적재시 포장상자는 수송, 보관 및 하역시 발생하는 진동에 의한 손상 및 압축하중의 변화에 대응하도록 설계되지 않아 유통시 적재된 상자들이 붕괴되어 배의 주요 손상 원인이 되고 있다. 농산물 골판지 상자의 보관시 발생하는 온·습도 등 주위 환경의 변화와 저장기간, 적재방법 등의 물리적 변화에 따른 포장강도의 변화는 지금까지 많이 연구되어 왔지만 유통중 발생하는 진동에 의한 우리나라 농산물의 손상연구는 전무한 실정이다.

Hinsch(1993) 등은 냉장 트레일러 안의 팔리트에 적재된 배 및 토마토 골판지 포장상자의 운송 중 발생하는 진동을 계측하기 위하여 팔리트의 위치별, 배 골판지 포장상자의 적재위치별 진동 데이터를 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 팔리트에서 가장 높은 PSD 수준이 계측되었으며, 팔리트에 적재된 골판지 상자의 경우에는 약 8.6 Hz에서 상단의 상자에서 가장 큰 PSD 수준이 계측되었다고 보고하

였다.

Rouillard와 Sek(2000)은 골판지 포장상자의 공진 주파수(resonance frequency)를 계측하기 위하여 유압식 서보 가진기(hydraulic servo actuator)를 이용하여 정현파 스위프 진동실험을 하였으며, 그 결과 공진 주파수는 약 14.5 Hz에서 발생하였다고 보고하였으며, 공진 주파수에서 0.7 G의 가속도 수준의 진동실험(dwelling vibration test)을 하여 약 20분이 지난 후에 골판지 상자의 파손이 발생하였다고 보고하였다.

Timothy와 Marshall(1999)은 유통과정중에 발생하는 진동과 포장물의 팔리트 설계에 대한 기초자료를 얻기 위하여 3~50 Hz의 스위프 주파수 대역에서 팔리트의 정현파 스위프 주파수 진동실험을 하였으며, 그 결과, 팔리트 상판의 두께, 조인트의 간격, 형태 및 정적하중은 팔리트의 공진 주파수에 영향을 미친다고 보고하였다.

따라서, 본 연구에서는 배 골판지 포장상자의 정현파 진동실험을 위한 계측시스템 구성 및 제어·계측 컴퓨터 프로그램을 개발하여 단일상자 및 적재된 상자에 대한 배 골판지 포장상자의 진동특성을 계측하고 배의 손상정도를 분석하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

가. 실험재료

본 실험에 사용된 배 골판지 포장상자는 농산물 포장용 골판지인 이중양면골판지(double wall corrugated fiberboard) 상자로서, 상자의 규격은 520×350×250 (mm)이었으며, 15 kg의 RSC (regular slotted container)형이었다. 또한 습기에 의한 상자의 강도저하를 방지하기 위하여 외부 전면에 코팅된 것이며, 양면에 두 개의 손잡이 구멍(hole)이 있었다.

나. 실험방법

ASTM D999 및 D3580에서는 포장상자의 진동 실험은 정현파(sinusoidal) 진동실험과 랜덤(random) 진동실험을 규정하고 있다. 일반적으로 정현파 진동실험은 실험실내에서 수행되는 실험이며, 랜덤 진동실험은 운송중의 차량의 진동에 대한 실험을 하기 위하여 실시되고 있다. 본 실험에서는 정현

파 진동실험을 통하여 골판지 포장상자의 피크주파수(peak frequency) 및 피크가속도(peak acceleration)를 계측하기 위하여, 단일 포장상자에 대한 정현파 진동실험(single container resonance test)과 적재된 골판지 포장상자의 진동실험(vertical stack resonance test)을 하였다. 단일 포장상자의 진동 실험시에는 상자가 움직이지 않도록 고정하였으며, 적재된 골판지 상자의 진동 실험시에 10 mm의 적재된 상자의 수평이동 허용범위를 제한하기 위하여 수평이동 방지 가이드를 설치하였다. 또한 실험은 3~100 Hz의 스위프 주파수(sweep frequency) 범위에서 실험하였으며, 기차와 트럭의 가속도 수준을 기준으로 0.25 G(single container resonance test) 및 0.5 G(vertical stack resonance test)의 가속도 수준을 유지하도록 입력주파수에 대한 입력전압을 조절하여 진동테이블의 변위를 제어하였으며, 분당 1 octave의 스위프율(sweep rate)로 실험을 하였으며, 이때 가속도계는 적재된 배 골판지 포장상자의 왼쪽 측면 부위에 양면 접착테이프를 이용하여 고정하였다.

다. 실험장치

일반적으로 유압식 가진기의 경우에는 전자식 가진기에 비해 높은 주파수 운동을 할 수 없다는 단점이 있지만 전자식 가진기가 재현할 수 없는 저주파수 약 30 Hz 이하의 운동 및 대용량의 가진력을 발생시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 실험에서는 그림(1) 및 (2)에서 보는 바와 같은 유압식 가진기를 사용하였다. 함수발생기

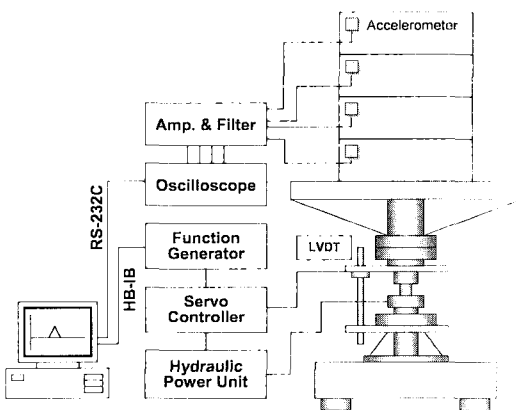
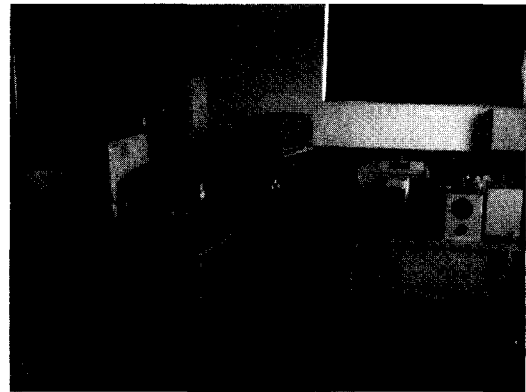


Fig. 1 Schematic diagram of the vibration test system.



(a) Single container resonance test



(b) Vertical stack resonance test

Fig. 2 Photograph of vibration test using the electrohydraulic vibration exciter.

(function generator)에서 발생하는 정현파의 입력주파수 및 입력전압을 컴퓨터와의 HP-IB(Hewlett Packard Interface Bus)통신을 이용하여 제어하였으며, 이 정현파를 유압식 가진기의 서보 콘트롤러(servo controller)에 입력하여 진동테이블을 제어하였다. 또한 가속도계의 진동응답신호를 로우패스 필터가 장착된 앰프(amplifier)를 통하여 500 MHz 까지 샘플링이 가능한 디지털 오실로스코프에 출력하도록 하였다. 또한 오실로스코프와 컴퓨터와의 RS-232C통신을 이용하여 매초 진동응답신호의 진폭(zero-to-peak)을 측정하여 컴퓨터 모니터에 출력한 후에 그 데이터를 저장하도록 하였다.

(1) 진동특성 계측 및 분석용 컴퓨터 프로그램
배 골판지 포장상자의 진동특성을 계측 및 분석

Table 1. Specification of vibration test and measuring system

Items	Specification	Remarks
Electrohydraulic vibration exciter	Frequency range : max. 300 Hz	Engineering-Korea HVT-2
	Weight range : max. 700 kgf	
	Stroke range : ±25 mm	
LVDT	Linear range : ±1.0 inchs	Trans-Tek 1000-0014
	Standardized ±5 VDC output	
Accelerometer	Piezo-type, 1000 G	B&W Sensing Tech.
Function Generator	15 MHz	HP-33120A
Oscilloscope	500 MHz, 4 channels	HP-54542A
Amp. and low-pass filter	20, 45, 60 dB, 0.8~20 kHz	M67-1F
Computer	RAM 32 MHz	Pentium-166

할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 그림(3)은 프로그램의 메인 화면으로 진동방법, 스위프 모드(sweep mode), 스위프율(sweep rate), 가속도 수준 및 스위프 주파수를 입력할 수 있도록 작성하였으며, RS-232C 통신의 설정, 함수발생기 및 오실로스코프의 인터페이스 초기설정을 할 수 있도록 작성하였다. 또한 계속되어 저장된 가속도 값을 출력하여 피크주파수 및 피크가속도를 계속할 수 있도록 작성하였다.

라. 입력주파수에 대한 입력전압의 보정

본 실험에서 사용하였던 유압식 진동테이블의 변위를 계측하기 위하여 유압식 가진기에 부착되어 있는 LVDT를 이용하여 입력주파수에 따른 진

동테이블의 변위를 계측하였으며, 그 결과 변위가 일정하게 나타남을 알 수가 있었다. 따라서, 일정한 가속도 수준(0.25 G, 0.5 G)을 유지하기 위한 정현파 실험을 위해서는 입력주파수에 따른 입력 전압을 보정하여야 한다. 따라서, 그림(4)에서 보는 바와 같이 진동테이블의 가속도 수준을 일정하게 유지하기 위하여 입력 주파수에 따른 입력 전압을 보정하기 위한 회귀식을 구하여 본 실험에 적용하였다.

마. 가속도계의 측도설정

가속도계의 경우에는 사용환경에 매우 민감한 센서로써, 사용환경에 대한 가속도계의 측도설정이 이루어지지 않는다면 신뢰성 있는 결과 값을 계측할 수 없다. 따라서 본 실험에서는 실험에 앞서 진동테이블의 입력주파수와 변위에 대한 가속도계 출력값에 대한 측도설정을 하였다.

$$A = \frac{(2\pi f)^2}{1000} \times D \dots\dots\dots (1)$$

여기서, A=acceleration (m/s²), f=frequency (Hz), D=displacement (mm, Zero-to-Peak)

표(2) 및 그림(5)는 0.08 V의 일정한 입력 전압 하에서 주파수를 10 Hz에서 35 Hz까지 증가시키면서 진동테이블의 변위를 식(1)에 대입하여 실제의 가속도를 계측하였으며, 가속도계로부터 출력되는 전압과 계측된 실제의 가속도에 대한 선형 회귀식(R²=0.999707)을 구하였다.

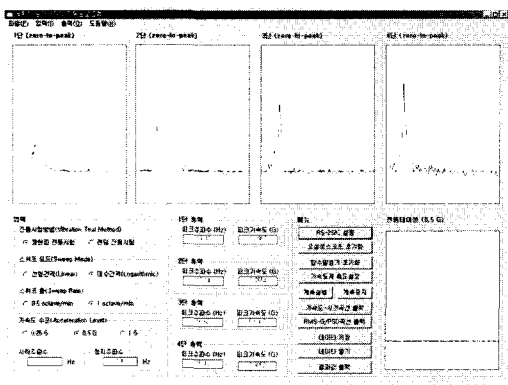


Fig. 3 Developed computer program for vibration test.

배 골판지 포장상자의 진동특성

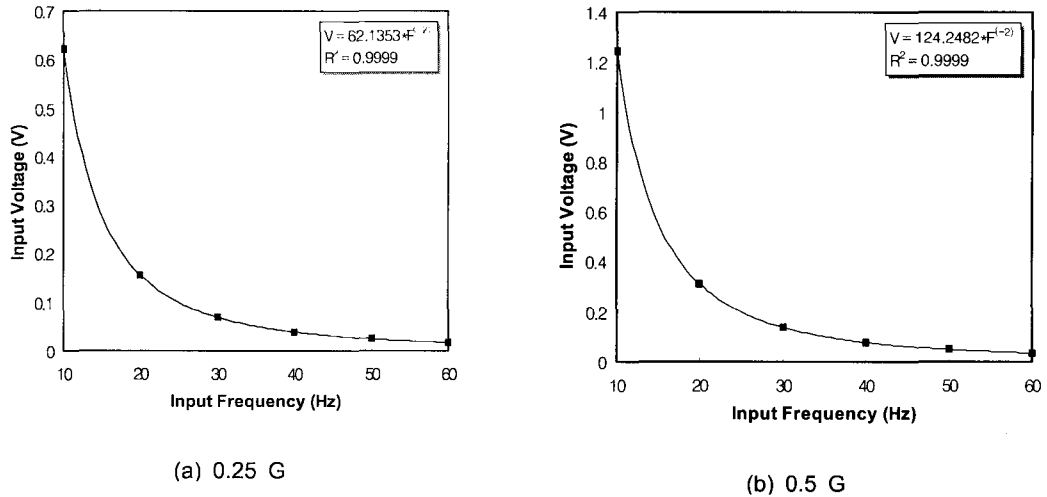


Fig. 4 Input voltage for constant cceleration level according to input frequency.

Table 2. Calibration of accelerometer according to input frequency and displacement

No.	Frequency (Hz)	Displacement(mm) (Zero-to-Peak)	Acceleration (m/s ²)	Output Voltage (V, 60dB)	Input Voltage (V)
1	10	0.83	3.276707	0.4500	0.08
2	15	0.83	7.372591	1.1562	
3	20	0.83	13.106829	2.1562	
4	25	0.82	20.479420	3.5937	
5	30	0.82	29.490365	5.3125	
6	35	0.81	40.139663	7.3125	
Regression Eq.			A=5.337564055×V+1.20239702 (R ² = 0.999707)		

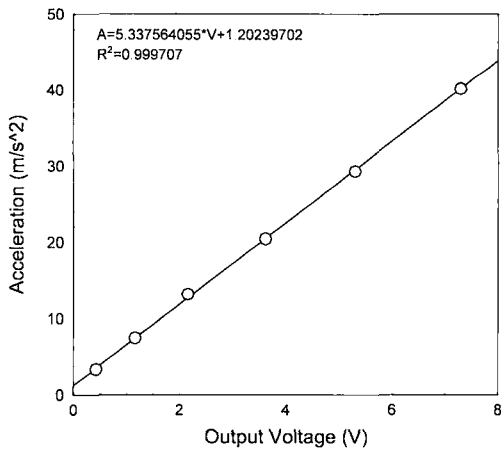


Fig. 5 Calibration of accelerometer for vibration resonance test.

3. 결과 및 고찰

가. 단일 배 골판지 포장상자의 진동특성

그림(6)은 고정된 단일 골판지 포장상자에 대하여 진동테이블을 0.25 G의 가속도와 분당 1 octave의 스위프율로 진동했을 때, 3~100 Hz의 스위프 주파수 범위내에서의 가속도 변화를 나타낸 것으로, 단일 포장상자의 피크주파수는 22.02 Hz 이었으며, 피크가속도는 1.5421 G이었다.

나. 적재된 배 골판지 포장상자의 진동특성

그림(7)은 진동테이블에 배 골판지 포장상자를 4단으로 적재하고 0.5 G의 가속도 수준과 분당 1 octave의 스위프율로 진동했을 때 3~100 Hz의 스

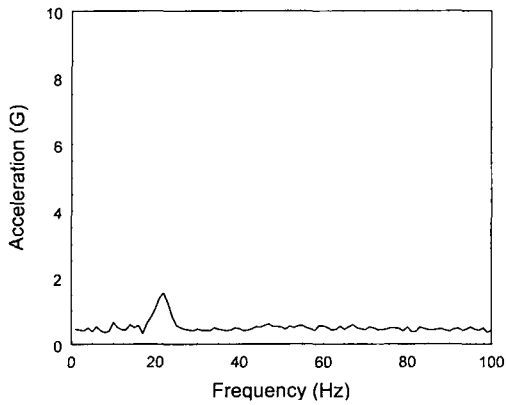


Fig. 6 Acceleration of the corrugated fiberboard box for pear using single container resonance test.

위프 주파수내에서의 가속도 변화를 나타낸 것으로, 적재 하단으로부터 피크 주파수는 19.02, 18.14, 16.62 및 15.40 Hz로써 최하단의 피크 주파수가 제일 크게 측정되었다. 또한 피크가속도는 하단으로부터 2.2987, 3.7654, 5.6087 및 7.9852 G로써 최상단에서 가장 큰 피크 가속도 값이 측정되었다. 이것은 진동시 최상단의 포장상자의 변위가 제일 크다는 것을 의미하며, 만약 운송 등의 유통 과정중에 15~20 Hz의 피크 주파수 대역의 진동에 노출되었을 경우에는 상단의 포장상자에는 가속도가 증가하여 진동에 의한 변위가 커지게 됨으로써 상단의 배 상자는 변위의 증가에 의해 손상을 받게 되며, 하단의 포장상자는 진동과 상단의 상자로부터 압축하중을 받게 되어 상자내의 배는 멍(bruise)이 생기게 될 것이다.

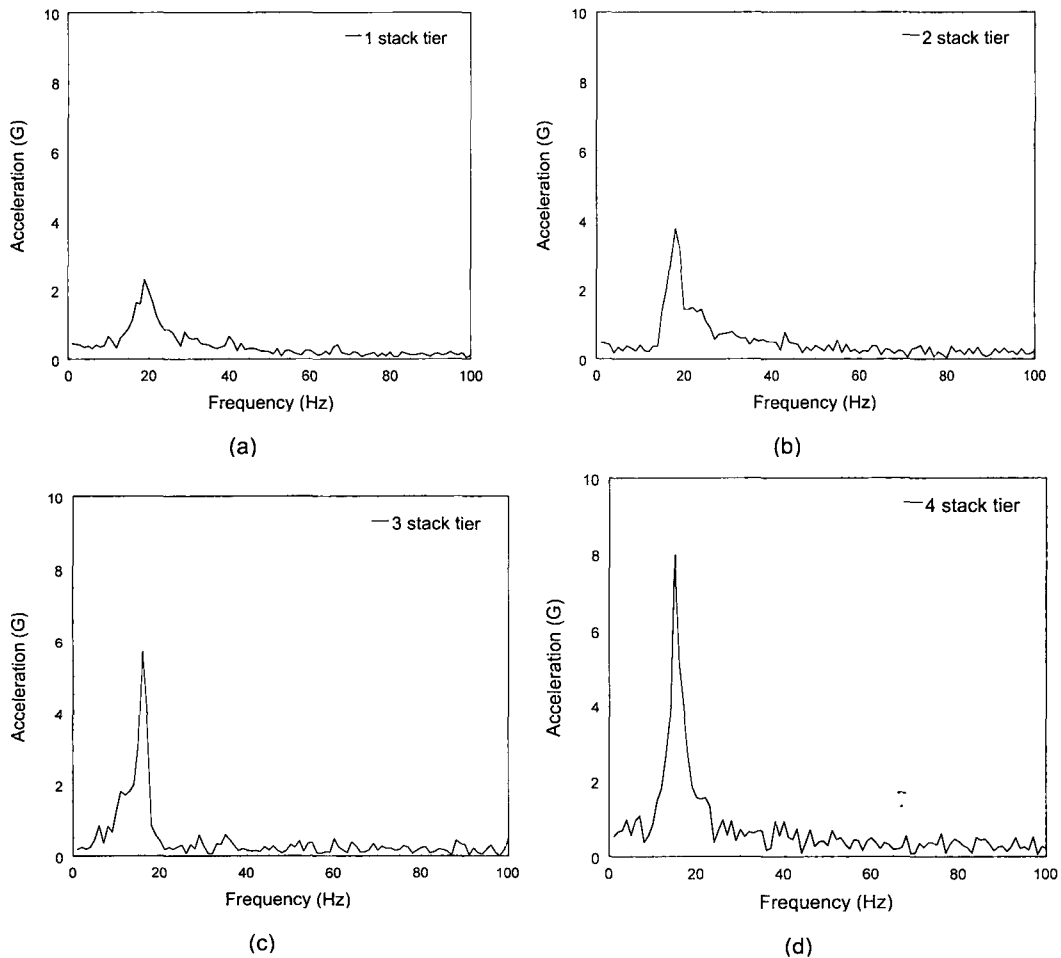


Fig. 7 Acceleration of the vertical stacked corrugated fiberboard boxes for pear.

다. 진동에 의한 배의 손상정도

진동실험에 의한 배의 손상정도를 조사하여 그 정도에 따라 손상지수로 나타내었다. 손상에 대한 평가 기준으로는 다음과 같다. 첫째로 건전(sound)의 손상정도는 육안이나 손으로 과실표면을 만져 손상부위가 느껴지지 않은 경우이며, 두 번째로 약함(small)의 손상정도는 육안으로 손상정도가 관찰되지 않으나 손으로 만져 압상 부위가 느껴지는 경우로, 현재의 기준으로 판매가 가능하지만 저장 또는 장기 수송할 때 장해 또는 부패될 우려가 있는 경우이며, 세 번째로 중간(medium)의 손상정도는 과피가 파열되지 않았으나 육안으로는 손상 받은 부위가 확인되는 경우이며, 네 번째로 심함(severe)의 손상정도는 과피가 파열되었거나 육안으로 관찰되는 손상부위가 3 cm 정도 이상일 경우로 하였다. 여기서 중간(medium) 및 심함(severe)의 손상정도일 경우에서 판매를 위한 상품으로써 가치가 없는 것으로 간주된다. 표(3)은 진동충격에 의한 상자내 배의 적재위치에 따른 손상정도 및 손상지수에 대하여 나타내었다.

여기서, 손상지수는 평가한 과실에 일정지수(건전 1, 약함 2, 중간 3, 심함 4)를 곱하여 합을 계산하고 이것을 전체 과실수로 나눈 값을 표기하였다. 여기에서 손상지수가 2 보다 클 경우에는 판매 상품으로써 가치가 없는 것으로 간주된다.

표(3)의 손상지수에서 알 수 있듯이 배 골판지 포장상자의 진동시 최하단의 상자에서 손상의 정도가 상대적으로 심한데 이것은 상단에 위치한 상자로부터 압축력과 진동을 동시에 받아 다른 층의 배에서 보다 손상이 상대적으로 심한 것으로 나타났다. 따라서 농산물이 유통중 진동에 노출되었을 때 농산물의 손상은 최하단의 골판지 포장상자에서 가장 크다는 것을 알 수가 있었다.

4. 결 론

배 골판지 포장상자의 진동특성을 계측, 분석하기 위하여 유압식 가진기를 이용하여 단일 포장상자의 진동실험 및 적재된 포장상자의 정현파 진동실험을 위한 시스템을 구성하고 진동특성 계측용 컴퓨터 프로그램을 개발하여 진동실험을 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) 단일 배 골판지 포장상자의 피크 주파수는 22.02 Hz이었으며, 피크 가속도는 1.5421 G이었고, 적재된 배 골판지 포장상자의 적재 단수별 피크 주파수는 19.02, 18.14, 16.62 및 15.40 Hz이었으며, 피크 가속도는 2.2987, 3.7654, 5.6087 및 7.9852 G이었다.

2) 배 포장상자의 운송시 피크주파수는 15~20 Hz 대역에서 발생되므로 진동에 의한 배의 손상 감소를 위하여는 이러한 주파수 대역의 진동을 받

Table 3. Vibration damage scores by stack position

Stack Position	No. of pear	Damage degree (No. of pear)				Damage Score
		Sound	Small	Medium	Severe	
1	upper	12	10	2	0	1.26
	lower	11	7	4	0	
	sum	23	17	6	0	
2	upper	12	11	1	0	1.04
	lower	11	9	1	1	
	sum	23	20	2	1	
3	upper	12	12	0	0	1.05
	lower	10	9	1	0	
	sum	22	21	1	0	
4	upper	12	11	1	0	1.04
	lower	11	11	0	0	
	sum	23	22	1	0	

지 않도록 포장 및 운송시스템이 설계되어야 할 것이다.

3) 적재된 배 골판지 상자들이 진동을 받을 경우 최하단에 있는 상자는 윗층에 놓여 있는 상자로부터 압축력과 자체의 진동 때문에 다른층의 배에서 보다 손상이 더 심한 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. Rouillard, V. and M. A. Sek. 2000. Monitoring and simulating non-stationary vibrations for package optimization. Packag. Technol. Sci. 13 : 149-156.
5. Timothy, G. W. and S. W. Marshall. 1999. The effect of pallet connection stiffness, deck stiffness and static load level on the resonant response of pallet decks to vibration frequencies occurring in the distribution environment. Packag. Technol. Sci. 12:47-55.