

배 골판지 포장상자의 진동특성

Vibration properties of corrugated fiberboard box for the pears

김만수* 정현모* 김수일** 박인식** 김종경**

정희원 정희원

M. S. Kim H. M. Jung S. I. Kim I. S. Park J. K. Kim

1. 서론

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 충격과 진동에 의한 것이 대부분을 차지하고 있다. 여기서 충격손상은 사람의 적재 및 하역 작업시 발생하는 낙하에 의한 것이며, 팰리트 적재에 의한 운송이 증가됨에 따라 인력에 의한 작업은 줄어들어 충격에 의한 손상이 감소하고, 진동에 의해서 발생하는 손상이 증가하게 된다. 수출용 배 골판지 포장상자의 팰리트 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 농산물의 손상연구는 전무한 실정이다.

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 손상여부를 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.

2.2 실험방법

본 실험에서는 ASTM에서 규정하고 있는 정현파 진동실험을 통하여 골판지 포장상자의 피크주파수 및 피크가속도를 계측하기 위하여, 단일 포장상자에 대한 정현파 진동실험과 적재된 골판지 포장상자의 진동실험을 하였다. 단일 포장상

* 충남대학교 농업생명과학대학 농업기계공학과

** 경북과학대학 패키징계열 포장개발전공

자의 진동실험시에는 상자가 움직이지 않도록 고정하였으며, 적재된 골판지 상자의 진동실험시에 10mm의 적재된 상자의 수평이동 허용범위를 제한하기 위하여 수평이동 방지 가이드를 설치하였다. 또한 실험은 3~100Hz의 스위프 주파수 (sweep frequency) 범위에서 실험하였으며, 기차와 트럭의 가속도 수준을 기준으로 0.25G 및 0.5G의 가속도 수준을 유지 하도록 입력주파수에 대한 입력전압을 조절하여 진동테이블의 변위를 제어 하였으며, 분당 1octave의 스위프율(sweep rate)로 실험을 하였다.

2.3 실험장치

본 실험에서는 그림(1) 및 (2)에서 보는 바와 같이 저주파수 운동 및 대용량의 가진력을 발생시킬 수 있는 유압가진기를 사용하였다. 함수발생기에서 발생하는 정현파의 입력주파수 및 입력전압을 컴퓨터와의 HP-IB통신을 이용하여 제어하였으며, 이 정현파를 유압가진기의 서보 컨트롤러에 입력하여 진동테이블을 제어하였다. 또한 가속도계의 진동응답신호를 로우패스 필터(low-pass filter)가 장착된 앰프를 통하여 오실로스코프에 출력하도록 하였다. 또한 오실로스코프와 컴퓨터와의 RS-232C통신을 이용하여 매초 진동응답신호의 진폭(zero-to-peak)을 측정하여 컴퓨터에 출력한 후에 그 데이터를 저장하도록 하였다.

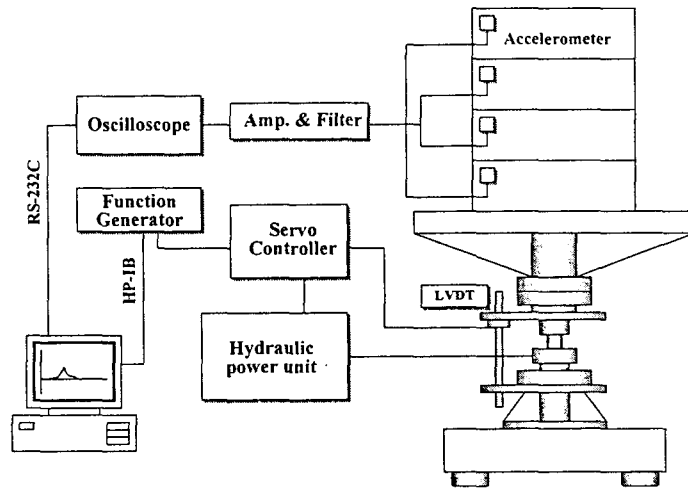
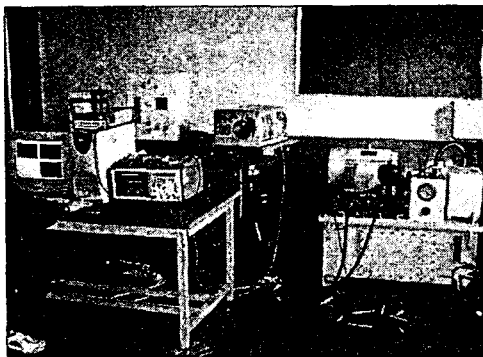
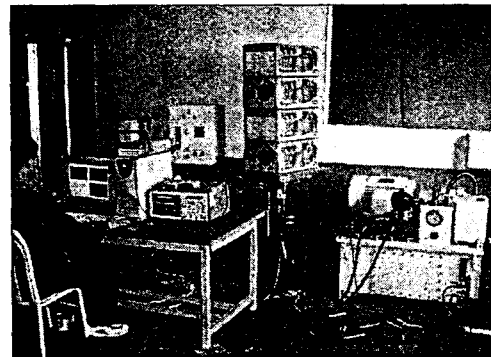


Fig. 1. Schematic diagram of the vibration test system.



(a) Single container resonance test



(b) Vertical stack resonance test

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

Table 1. Specification of vibration test and measuring system

Items	Specification	Remarks
Hydraulic 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

2.3.1 진동특성 계측 및 분석용 컴퓨터 프로그램

배 골판지 포장상자의 진동특성을 계측 및 분석할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 그림(3)은 프로그램의 메인 화면으로 진동방법, 스위프 모드(sweep mode), 스위프율(sweep rate), 가속도 수준(acceleration level) 및 스위프 주파수(sweep frequency)를 입력할 수 있도록 작성하였으며, RS-232C 통신의 설정, 함수발생기 및 오실로스코프의 인터페이스 설정을 할 수 있도록 작성하였다. 또한 계측된 가속도값을 출력하여 피크주파수 및 피크가속도를 계측할 수 있도록 작성하였다.

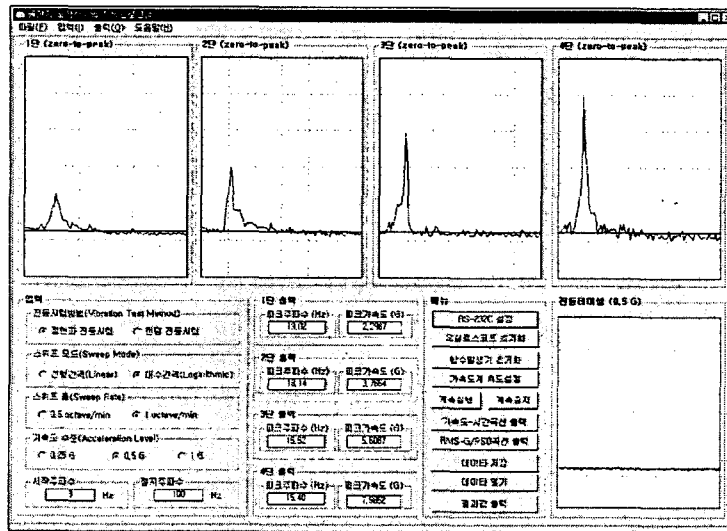


Fig. 3. Developed computer program for vibration test.

2.4 가속도계의 측도설정

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

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)				

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

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

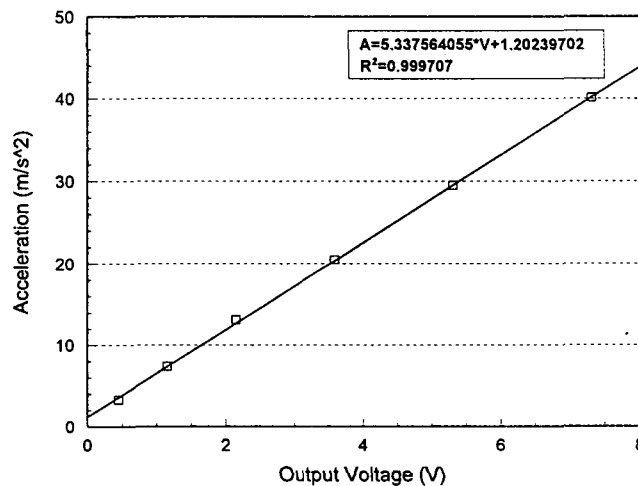


Fig. 4. Calibration of accelerometer for vibration resonance test.

표(2) 및 그림(4)는 0.08 V의 일정한 입력 전압하에서 입력되는 주파수를 변화하여 측정된 진동테이블의 변위를 식(1)에 대입하여 실제의 가속도를 측정하였으며, 가속도계로부터 출력되는 전압과 측정된 실제의 가속도에 대한 선형 회귀식 (R²=0.999707)을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 단일 배 골판지 포장상자의 진동특성

그림(5)는 고정된 단일 골판지 포장상자에 대하여 진동테이블의 0.25G의 가속도 수준과 분당 1octave의 스위프율로 진동했을 때의 3~100Hz의 스위프 주파수 범위내에서의 가속도의 변화를 나타낸 것으로, 단일 포장상자의 피크주파수는 22.02Hz이었으며, 피크가속도는 1.5421G이었다.

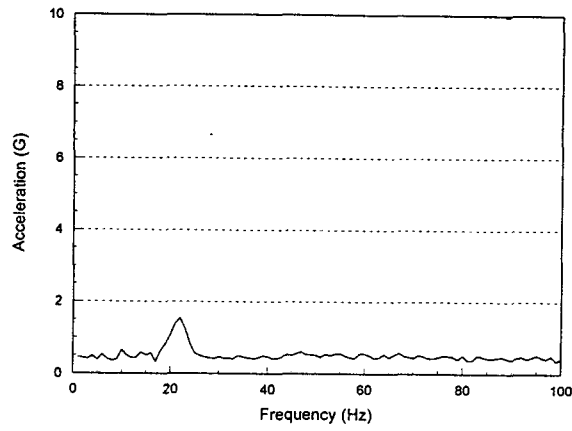
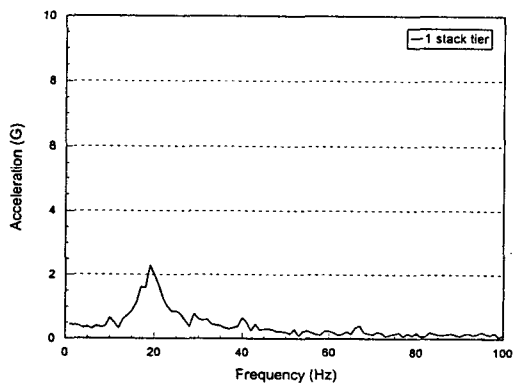
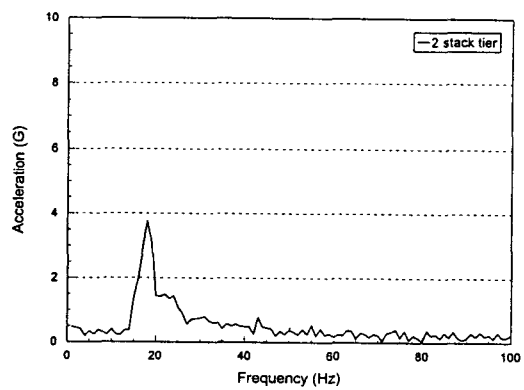


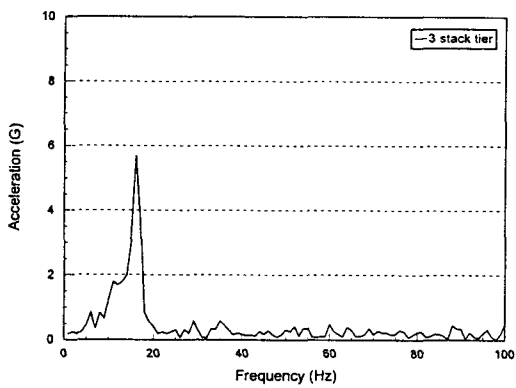
Fig. 5. Acceleration of the corrugated fiberboard box for pear using single container resonance test.



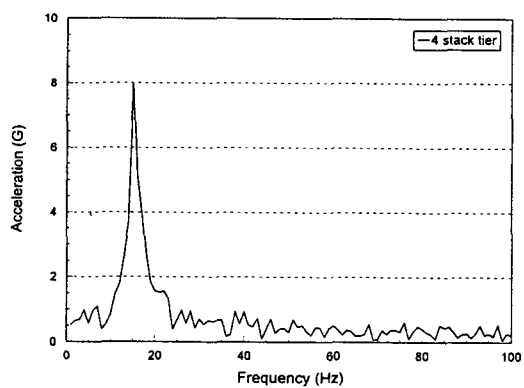
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 6. Acceleration of the corrugated fiberboard box for pear using vertical stack resonance test.

3.2 적재된 배 골판지 포장상자의 진동특성

그림(6)은 적재된 골판지 포장상자에 대하여 진동테이블의 0.5G의 가속도 수준과 분당 1octave의 스위프율로 진동했을 때의 3~100Hz의 스위프 주파수내에서의 가속도 변화를 나타낸 것으로, 적재 하단으로부터 피크 주파수는 19.02, 18.14, 16.62 및 15.40Hz로써 최하단의 피크 주파수가 제일 크게 측정되었다. 또한 피크가속도는 하단으로부터 2.2987, 3.7654, 5.6087 및 7.9852G로써 최상단에서 가장 큰 피크 가속도 값이 측정되었다. 이것은 진동시 최상단의 포장상자의 변위가 제일 크다는 것을 의미하며, 만약 운송 등의 유통시에 15~20Hz의 피크 주파수 대역의 진동에 노출되었을 경우에는 상단의 포장상자의 가속도가 증가하여 진동에 의한 변위가 커지게 됨으로써 상단의 배 상자는 변위의 증가에 의한 손상을 받게 되며, 하단의 포장상자는 진동과 상단의 상자로부터 압축하중을 받게 되어 상자내의 배는 멍(bruise) 손상을 입게 된다.

3.3. 진동에 의한 배의 손상여부

진동실험에 의한 배의 손상여부에 대하여 조사하였으며, 손상에 대한 평가 기준은 다음과 같다.

- ①건전 : 육안이나 손으로 과실표면을 만져 손상부위가 느껴지지 않은 경우
- ②약함 : 육안으로 손상정도가 관찰되지 않으나 손으로 만져 압상 부위가 느껴지는 경우(현재의 기준으로 판매가 가능 하지만 저장 또는 장기 수송할 때 장해 또는 부패될 우려가 있는 경우)
- ③중간 : 과피가 파열되지 않았으나 육안으로는 손상 받은 부위가 확인되는 경우
- ④심함 : 과피가 파열되었거나 육안으로 관찰되는 손상부위가 3cm 정도 이상일 경우

표(3)은 진동충격에 의한 상자내 배의 적재위치에 따른 손상정도 및 손상지수에 대하여 나타내었다.

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	

여기서, 손상지수는 평가한 과실에 일정지수(건전 1, 약함 2, 중간 3, 심함 4)를 곱하여 합을 계산하고 이것을 전체 과실수로 나눈 값을 표기하였다.

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

을 알 수가 있었다.

4. 결론

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

1. 유압가진기의 성능실험을 하여 배 골판지 포장상자의 진동실험에 적합한 것으로 나타났다.
2. 단일 배 골판지 포장상자의 피크 주파수는 27.02 Hz이었으며, 피크 가속도는 1.9 G이었다.
3. 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.
4. 배의 경우에는 운송시 과도한 진동에 노출되어 손상을 입게 되는데 만약 골판지 상자안의 배가 팰리트 적재로 운송시 15~20 Hz 주파수 대역의 진동을 하게 되면 포장상자의 최하단에서부터 최상단까지 가속도와 변위가 증가되어 배의 심각한 멍(bruise) 손상을 초라하게 된다.
5. 배 골판지 포장상자의 진동시 최하단의 상자의 경우에는 상단에 위치한 상자로부터 진동에 의한 압축력을 받아 배의 손상 원인이 되었다. 이것은 농산물이 유통중의 진동에 노출되었을 때 농산물의 손상은 최하단의 골판지 포장상자의 압상의 원인이 제일 크다는 것을 알 수가 있었다.

참고문헌

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. Peleg, K. and S. Hinga. 1986. Simulation of vibration damage in produce transportation. Trans. of the ASAE 29(2) : 633-641.
4. Rouillard, V. and M. A. Sek. 2000. Monitoring and simulating non-stationary vibrations for package optimization. Packag. Technol. Sci. 13 : 149-156.
5. Shmulevich, I., N. Galili, and D. Rosenfeld. 1996. Detection of fruit firmness by frequency analysis. Trans. of the ASAE 39(3) : 1047-1055.
6. 한국표준협회. KS A1017. 포장 화물의 진동 시험 방법
7. 한국표준협회. KS A1026. 포장 화물의 평가 시험 방법 통칙.