

## 정현파 진동에 의한 골판지 포장상자 내 과실의 진동특성

### Vibration characteristics of the fruits in corrugated fiberboard box by the sinusoidal vibration

김만수*	김기복**	조병관*	정현모***	김기석*	박정길*	김동진*
정희원	정희원	정희원	정희원	정희원	정희원	정희원

M. S. Kim K. B. Kim B. K. Cho H. M. Jung G. S. Kim J. G. Park D. J. Kim

#### 1. 서론

골판지 포장상자에 포장되어 수송되는 농산물 및 과실류에서 발생할 수 있는 물리적인 손상은 주로 충격과 진동에 의한 것이다. 인력에 의한 적재 및 하역 작업 시의 충격손상은 포장화물의 낙하에 기인되는 것이 대부분이었으나 점차 팰리트를 이용한 적재, 하역작업이 증가됨에 따라 인력에 의한 작업은 줄어들어 충격에 의한 손상은 감소되고 진동에 의해서 발생하는 손상이 증가하게 되었다. 과실용 골판지 포장상자의 팰리트 설계시 포장상자는 수송, 보관 및 하역 시 발생하는 진동에 의한 손상 및 압축하중의 변화에 적응할 수 있도록 설계되지 않아 수송 시 적재된 상자들이 붕괴되어 과실류 및 농산물의 주요 손상 원인이 되고 있다. 또한 과실류 및 농산물 포장상자의 보관 시 발생하는 온습도 등 주위 환경의 변화와 저장기간, 적재방법 등의 물리적 변화에 따른 포장강도의 변화는 지금까지 많이 연구되어 왔지만 유통 중 발생하는 진동에 의한 국내 농산물 및 과실류의 손상연구는 전무한 실정이다.

외국에서는 1960년대부터 적재된 포장화물의 진동실험을 수행하여 상자의 적재단수와 적재된 포장상자 내 과실의 고유주파수는 적재단수의 높이에 반비례하고 고유주파수구간은 약 30~50Hz의 주파수대역에 존재하는 것을 확인하였으며 1990년대에 들어서는 농산물 및 과실류의 실제 수송 중 적재된 포장화물을 대상으로 팰리트 위치별, 적재위치별 진동을 계측하는 다양한 실험을 수행하였다. 이렇듯 다단으로 적재된 포장화물에서의 진동거동과 특성의 변화를 분석하는 것은 매우 중요한 부분으로 인식되고 있으나 국내에서는 이러한 분야에 대한 연구가 매우 빈약한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 골판지상자에 의한 과실 포장화물에 대해 다단적재된 상태로 진동이 가해지는 경우 포장상자 내 과실에 대한 진동거동을 실험적인 방법으로 분석하고자 하였다.

\* 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 생물산업기계전공

\*\* 한국표준과학연구원 삶의 질 표준부

\*\*\* 경북과학대학 패키징매니지먼트과


## 2. 재료 및 방법

본 실험에 사용된 과실은 배(신고)와 사과(후지)를 선택하였으며, 2005년 10월에 일반농가에서 수확된 후 시험에 사용되기 전까지 약 2개월 정도 저온저장( $0\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $85\pm 5\%$  rh) 되었다. 시료들의 기본적인 물성들은 표 1과 같으며, 시험에 사용되기 전 실험실의 환경조건( $15^{\circ}\text{C}$ , 75% rh)에서 약 4시간 동안 적응을 시킨 후 시험에 사용하였다. 또한 실험에 사용된 과실의 골판지 포장상자는 표 2에서 보는바와 같이 국내에서 유통되고 있는 농산물 포장용 골판지인 이중양면골판지(double wall corrugated fiberboard) 상자으로써, 상자의 규격은 가로 × 세로 × 높이가  $520 \times 350 \times 250\text{mm}$ 인  $15 \text{ kg}_f$ 의 RSC (regular slotted container)형이다. 또한 습기에 의한 상자의 강도저하를 방지하기 위하여 상자의 외부 전면에 코팅되었으며, 통기구멍(ventilating hole) 및 손잡이 구멍(hand hole)이 있는 상자이었다.

Table 1. Harvesting date and physical characteristics of the fruits used in tests.

	Date of harvest	Volume ( $10^{-4} \text{ m}^3$ )	Mass (kg)	True density ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
Pear (Niiitaka)	2005. 10	6.722	0.66	978.26
Apple(Fuji)	2005. 10	3.619	0.30	830.75

Table 2. Type and physical properties of the corrugated fiberboard box tested.

Type	Flute (inner/outer)	Paper composition	Dimension (L×W×D, mm)	Weight (kg)	CBW ( $\text{g}/\text{m}^2$ )	Remark
RSC	A/B	KA <sup>210</sup> /S <sup>120</sup> /S <sup>120</sup> /S <sup>120</sup> /KA <sup>210</sup>	520×350×250	15	900	

\* CBW denotes combined basic weight

골판지 포장상자안의 과실의 진동특성을 측정하기 위한 실험장치는 전자식 진동테이블, 입력된 스위프율(sweep rate)로 일정 범위의 주파수를 제어하기 위한 컨트롤러, 제어신호를 증폭시켜주는 증폭기, 진동 신호를 계측하기 위한 가속도 센서와 8채널 A/D보드가 내장된 컴퓨터로 구성되었으며 실험에 사용된 진동테이블은 진동신호를 피드백 제어를 이용하여 입력 가속도를 일정하게 유지한다.

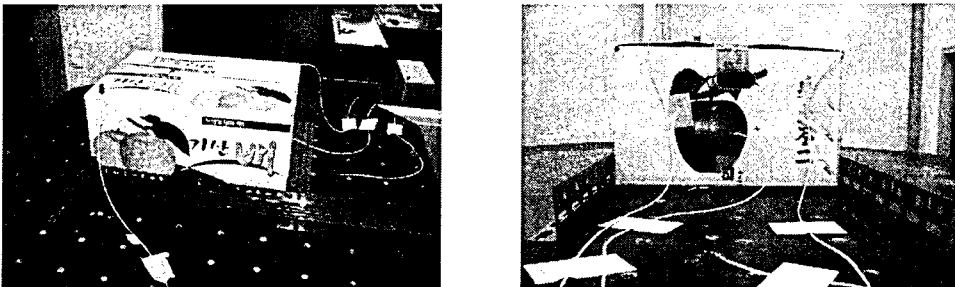


Fig. 1. General view of the accelerometer installation on the fruits in the corrugated fiberboard box.

포장상자안의 과실의 진동실험에 사용되는 가속도 센서는 아주 경량이고, 유연한 케이블을 가지고 있는 1축의 압전형 가속도 센서(1000 G)를 사용하였다. 그림 1에서와 같이 진동테이블위에는 설정 가속도를 유지하기 위한 피드백 제어용 가속도 센서를 부착하였으며, 또 다른 가속도 센서는 포장상자 내에서의 과실의 진동특성을 계측하기 위하여 포장상자내의 과실의 상단에 부착하여 진동조건에 따른 가속도를 계측하였다. 또한 과실상자는 1단부터 4단까지 적층하며 적층단수마다 동일한 시험조건으로 과실상자 내 과실의 진동응답특성을 계측하였다. 적층되는 각 층의 포장상자에는 2개씩의 가속도계를 부착하였으며 장치의 개략도는 그림 2와 같고 실제 실험장치는 그림 3과 같다.

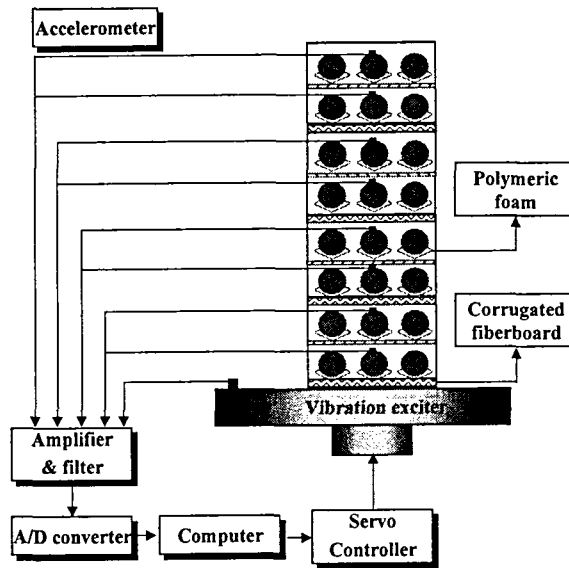


Fig. 2. Schematic diagram of the vibration test for fruits in corrugated fiberboard box.



Fig. 3. Vibration test for fruits in corrugated fiberboard box.

ASTM D999 “Standard Test Method for Vibration Testing of Shipping Containers”와 ASTM D3580 “Standard Test Method for Vibration (vertical linear motion) Test of Products”에서는 정현파(sinusoidal) 진동신호와 랜덤(random) 진동신호를 이용한 포장상자 및 제품에 대한 진동시험의 실험방법과 조건을 명시하고 있다. 본 연구에서는 정현파 진동 시험을 통하여 골판지 포장상자 내부 과실의 진동을 계측, 분석하기 위해 실험 주파수내에서의 공진주파수(Resonance frequency) 및 정점가속도(peak acceleration)를 계측하며 단층 및 다단적층 포장상자에 대해 각각 정현파 스위프 진동시험(swept sinusoidal vibration test)을 수행하였다. 단층 및 다단적층 과실상자의 진동 실험 중에는 과실상자가 진동테이블위에서 크게 움직이거나 이탈되는 것을 방지하기 위하여 수평이동 방지 가이드를 별도로 설치하여 과실상자의 수평이동 범위를 10mm로 제한하였다. 실험에 이용되는 스위프 정현파 진동신호의 주파수 범위는 3~100 Hz로 설정하였으며 스위프률은 분당 1 octave로 고정하였고 진동신호의 가속도 수준은 트럭과 같은 화물차량에서 발생하는 가속도수준인 0.25g ~ 1.0g를 적용하였다. 진동테이블은 진동테이블상에 부착한 가속도계로부터의 입력 전압값을 피드백하여 진동테이블의 변위를 제어하였으며 단층 및 다단적층 과실상자 내부 과실의 진동응답 특성을 계측하기 위하여 골판지 과실상자 내 하단 및 상단 가운데에 위치한 과실의 상부에 가속도계를 부착하였다. 표 3은 본 연구에 사용한 진동테이블의 제원을 나타내었다.

Table 3. Specification of vibration test system.

Items	Specification
Sine Force	40,000N
Frequency Range	5 ~ 2,500Hz
max. displacement	50.8mm
max. velocity	1.8m/s
max. acceleration	80g
Alternate Power	3상, 380V, 60Hz, 56KW
max. Rated Armature Current	4,000A
Shaker Dimension	H1775 x W1300 x D1127(mm)
Shaker Weight	4,500kg(9,910lb)
Amplifier Output	40KVA
Amplifier distortion	From 5Hz to 3000Hz less than 1%

### 3. 결과 및 고찰

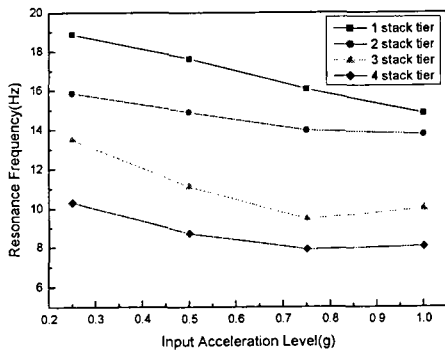
#### 3.1 포장상자의 적층 층별 과실의 공진주파수

표 4와 그림 4는 4단으로 적층한 과실 포장상자 내 배와 사과와의 공진주파수를 층수별로 측정한 결과이며 이때 진동테이블의 입력가속도는 0.25g, 0.5g, 0.75g, 1.0g의 네 가지 경우에 대해 실험을 수행하였다. 4단으로 적층된 각 층의 과실 포장상자 내부는 다시 상층과 하층의 2단으로 담겨져 있으며 그림 4에서 보는바와 같이 입력가속도가 증가할수록 과실 포장상자 내 배와 사과와의 공진주파수는 감소하는 경향으로 이는 과실 객체에 대한 진동실험 결과와도 유사하였다.

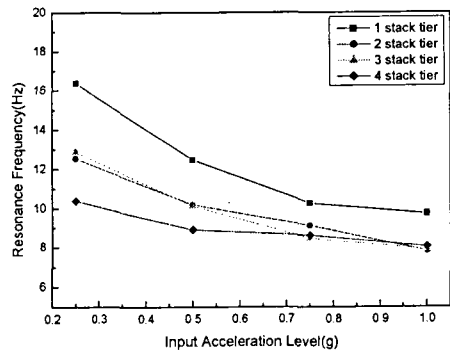
Table 4. Resonance frequency of the fruits in the vertically stacked corrugated fiberboard boxes.

Input Acce.	1 stack tier				2 stack tier				3 stack tier				4 stack tier			
	Pear		Apple		Pear		Apple		Pear		Apple		Pear		Apple	
	RF(Hz)		RF(Hz)		RF(Hz)		RF(Hz)		RF(Hz)		RF(Hz)		RF(Hz)		RF(Hz)	
	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper
0.25g	18.87	27.95	16.36	17.39	15.86	29.46	12.53	12.19	13.50	12.86	12.88	12.88	10.31	10.43	10.37	10.37
0.5g	17.62	25.35	12.46	14.45	14.89	25.35	10.18	10.18	11.11	12.34	10.13	10.13	8.71	8.74	8.90	9.54
0.75g	16.05	23.26	10.25	12.29	13.97	22.74	9.11	8.62	9.46	10.54	8.46	8.46	7.90	8.48	8.62	8.90
1.0g	14.83	21.02	9.74	9.02	13.76	20.23	7.82	7.82	10.00	8.48	7.90	7.90	8.05	8.17	8.04	8.04
Ave.	16.84	24.40	12.20	13.29	14.62	24.45	9.91	9.70	11.02	11.06	9.84	9.84	8.74	8.96	8.98	9.21

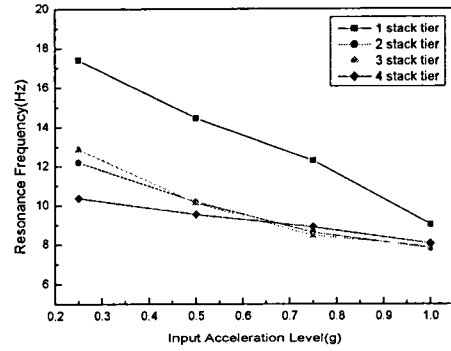
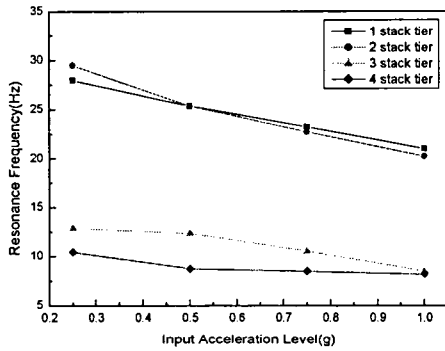
\*Note : RF = Resonance frequency (Hz)



(a) Resonance frequency of the pear on the lower part of box



(b) Resonance frequency of the apple on the lower part of box



(c) Resonance frequency of the pear on the upper part of box

(d) Resonance frequency of the apple on the upper part of box

Fig. 4. Resonance frequency of the fruits by the sinusoidal vibration signal excitation.

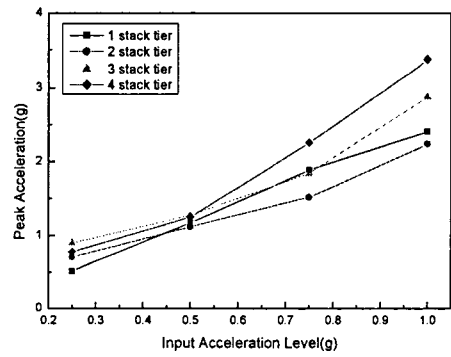
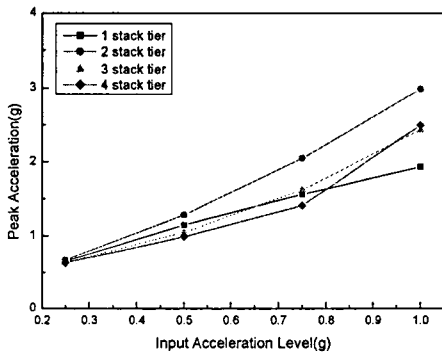
### 3.2 포장상자의 적층 층별 과실의 정점 가속도

표 5와 그림 5는 4단으로 적층한 과실 포장상자 내에서 배, 사과,의 정점가속도를 층수별로 계측한 결과이며 진동테이블의 입력가속도가 0.25g, 0.5g, 0.75g, 1.0g의 네 가지 경우에 대해 4단으로 적층된 각 층의 과실 포장상자 내부의 배, 사과에서 계측한 정점가속도는 입력가속도가 증가할수록 증가하는 경향이었으며 이는 과실 객체에 대한 정점가속도의 진동 특성과도 유사한 경향이다. 4단으로 적층된 과실 포장상자 내 과실의 손상을 유발할 수 있는 정점가속도는 입력가속도가 0.25g ~ 1.0g일 때 배 포장상자의 경우 2층 하단에서 가장 큰 정점가속도가 계측되었으며 사과의 경우 최상층인 4층 하단에서 가장 큰 정점가속도가 계측되었다. 이러한 현상은 포장상자 내 과실개체에 그물망이나 난자판등의 완충재를 사용하였기 때문에 적층단수에 따라 정점가속도가 일률적으로 나타나지 않았다. 따라서 적층 층별 발생하는 정점가속도는 추후의 실험을 통하여 구체적으로 분석할 필요가 있다.

Table 5. Peak acceleration of the fruits in the vertically stacked corrugated fiberboard boxes.

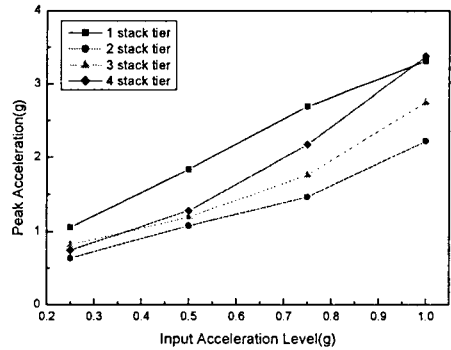
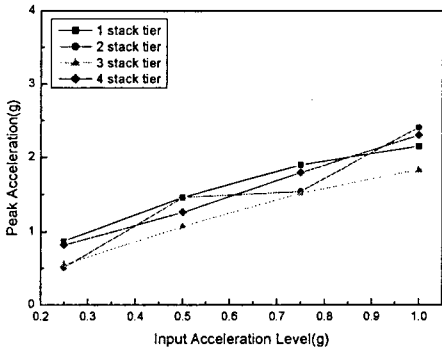
Acce. Amp.	1 stack tier		2 stack tier		3 stack tier		4 stack tier									
	pear		apple		pear		apple									
	PA(g_rms)	PA(g_rms)	PA(g_rms)	PA(g_rms)	PA(g_rms)	PA(g_rms)	PA(g_rms)	PA(g_rms)								
	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper								
0.25g	0.653	0.872	0.514	1.056	0.668	0.511	0.705	0.640	0.633	0.550	0.898	0.819	0.625	0.820	0.778	0.746
0.5g	1.145	1.461	1.174	1.838	1.285	1.461	1.121	1.081	1.048	1.072	1.276	1.197	0.989	1.262	1.249	1.281
0.75g	1.561	1.896	1.887	2.695	2.046	1.542	1.519	1.469	1.622	1.518	1.842	1.762	1.407	1.793	2.255	2.171
1.0g	1.930	2.150	2.405	3.313	2.983	2.404	2.238	2.221	2.430	1.831	2.878	2.750	2.492	2.300	3.379	3.379
Ave.	1.32	1.59	1.50	2.23	1.75	1.48	1.40	1.35	1.43	1.24	1.72	1.63	1.38	1.54	1.92	1.89

\*Note : PA = Peak Acceleration (G-rms)



(a) Peak acceleration of the pear on the lower part of box

(b) Peak acceleration of the apple on the lower part of box



(c) Peak acceleration of the pear on the upper part of box

(d) Peak acceleration of the apple on the upper part of box

Fig. 5. Peak acceleration of the apple by the sinusoidal vibration signal excitation.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 수송 중인 과실류에 대한 손상분석 및 과실류의 포장설계에 중요한 자료가 되는 다단 적층된 과실 포장상자 내 과실의 공진주파수와 정점가속도의 진동특성을 분석하기 위해 배 포장상자와 사과 포장상자를 4단으로 적층하여 진동실험을 수행하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 진동테이블에 입력되는 입력가속도가 0.25g, 0.5g, 0.75g, 1.0g의 네 가지 경우에 공시된 포장상자 내 배에서 계측된 공진 주파수는 8.17 ~ 29.46 Hz구간이며, 정점가속도는 0.511 ~ 2.983g 범위이었고 포장상자 내 사과의 공진주파수는 7.82 ~ 17.39 Hz구간이고 정점가속도는 0.514 ~ 3.379g 범위이다.

2. 4단으로 적재한 포장상자 내의 배에서 측정된 정점가속도의 최대값인 2.983g는 2단 하층에서 측정되었으며 또한 포장상자 내의 사과에서 측정된 정점가속도의 최대값 3.379g는 4단 하층에서 나타났으나 완충재의 영향을 배제한 층별 정점가속도에 대한 실험이 필요한 것으로 판단되었다.

## 5. 참고문헌

1. Abbott A. J., G. S. Bachman, R. F. Childers, J. V. Fitzgerald and F. J. Matusik. 1968. Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. *Food Technology* 22:635~646.
2. Abbott, J. A. and L. A. Liljedahl. 1994. Relationship of sonic resonant frequency to compression tests and Magness-Talyor firmness of apples during refrigerated storage. *Transaction of the ASAE* 37(4):1211~1215.
3. ASTM D3580. Standard Test methods for vibration (vertical linear motion) test of products.
4. ASTM D4728. Standard Test methods for Random vibration testing of Shipping Containers.
5. ASAE S368.3 DEC99. Compression test of food materials of convex shape.
6. Cooke, J. R. 1972. An interpretation of the resonant behavior of intact fruits and vegetables. *Transaction of the ASAE* 15(6):1075~1080.
7. Finney Jr., E. E. 1970. Mechanical resonance within Red Delicious apples and its relation to fruit texture. *Transaction of the ASAE* 23(1):177~180.
8. O'Brien, 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.
9. Peleg, K. and S. Hinga. 1986. Simulation of vibration damage in produce transportation. *Transactions of the ASAE* 29(2):633-641.
10. Yamamoto, H., M. Twamoto and S. Haginuma. 1980. Acoustic impulse response method for measuring natural frequency of intact fruits and preliminary applications to internal quality evaluation of apples and watermelons. *Journal of Texture Study* 11(2):117~136.
11. Yong, Y. C. and W. K. Bilanski. 1979. Modes of vibration of spheroids at the first and second resonant frequencies. *Transaction of the ASAE* 22(6):1463~1466.
12. 정현모. 1999. 청과물의 기계적 특성. 충남대학교 석사학위 논문.
13. 한국포장기술편람. 2003. 한국포장학회.