

진동시험에 의한 참외의 진동특성

김만수¹ · 정현모² · 김기석¹ · 박정길¹

Vibration Characteristics of the Oriental Melon by Vibration Test

Man-Soo Kim¹ · Hyun-Mo Jung² · Ghi-Seok Kim¹ · Chung-Gil Park¹

ABSTRACT

During a long journey of agricultural products from the production area to markets, the quality of agricultural products was always affected by some degree of vibration. The vibration input during the transportation may cause serious agricultural product injury, and this damage is particularly severe whenever the vegetable inside package is free to bounce, and is vibrated at its resonant frequency. The objectives of this study were to determine the resonant frequency of the oriental melon and to investigate the relationships between resonant frequency and physical properties of the oriental melon such as mass, volume and major and minor axes. In this study vibration testing device was constructed to determine the vibration response of the oriental melon in frequency ranges of 5 to 150 Hz. The computer program for controlling the vibration shaker and the function generator and measuring the vibration characteristics of the oriental melon was developed. The ranges of resonant frequency and peak acceleration at resonance of the oriental melon were 51 to 73 Hz and 1.24 to 1.92 G-rms, respectively. The resonant frequency and the peak acceleration decreased with the increase of the sample mass, volume, major and minor axes

본 논문은 2003년도 충남대학교 자체연구비지원에 의해 연구되었음.

¹ 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부(Division of Bioresources Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

² 경북과학대학 포장과(Dept. of Packaging, Kyongbuk College of Science)

교신저자 : 김만수(E-mail : mskim@cnu.ac.kr, Tel : 042-821-6714)

of the oriental melon. Multiple regression models for resonant frequency and peak acceleration of the oriental melon as a function of mass, major axis and minor axis of the sample were developed and analyzed.

Keywords : Agricultural product, Oriental melon, Vibration, Resonant frequency, Regression model.

1. 서 론

농산물은 품종, 재배기술, 환경의 요인에 영향을 받아 품질, 형상, 색택, 병충해정도, 상해정도가 나타나게 되고, 이러한 요인들에 의해 다양한 상품성이 결정된다. 또한 수확, 저장, 포장, 수송, 상하차등 유통과정에서의 여러 가지 다양한 형태로 취급되기 때문에 물리적 손상이 많이 발생하게 되며 유통기간이 길어짐에 따라 호흡 등과 같은 생리적 현상으로 인하여 부패 및 변질이 진행되어 농산물의 품질저하를 초래하게 된다. 이러한 농산물의 수확 후 처리과정 중에 발생하는 품질저하는 상당한 수준에 이르고 있으나, 이에 대한 관심은 매우 빈약한 실정이다.

청과물은 수확 후 각종 처리공정을 거치고 유통기간이 길어질수록 외력에 의한 기계적 손상을 많이 받게 되며 이중에서도 특히 진동에 의한 손상이 대부분을 차지한다.

이와 같이 청과물의 진동특성은 유통과정 중의 손상감소를 위한 각종 처리기술에 있어서 매우 중요한 기초자료이나 품종에 따라 차이가 있을 뿐만 아니라 같은 품종이라도 개체에 따라 그 형상 및 조직 등이 다르기 때문에 이들 진동특성에 관한 자료는 매우 빈약하다. 또한 몇몇 문헌에 보고 된 연구 자료들도 동일한 품종의 청과물이라 하더라도 이들 진동특성 값들이 서로 다르다. 청과물의 진동반응을 분석함으로써 유통과정 중

에 발생하게 되는 진동에 의한 손상을 최소화시킬 수 있는 적절한 포장 및 운송시스템을 구축할 수 있다. 또한 청과물의 수확, 선별, 가공에 관련된 기계와 설비를 해당 청과물의 물리적 특성에 적합하게 설계하는데 도움이 된다. 또한 이들 기계 및 설비의 개선뿐만 아니라 적정 작동 조건을 설정하는데 도움이 되며 이에 따라 진동에 의한 농산물의 기계적 손상을 줄이는데 크게 기여할 것이다.

이러한 진동에 의한 손상은 청과물의 공진주파수(resonance frequency)에서 주로 발생되므로 청과물의 공진주파수를 구명하는 것은 청과물을 보호하기 위한 적절한 포장설계와 유통과정 중에 발생하게 되는 진동에 대한 복합적인 상호작용요소를 이해하는데 큰 도움을 줄 것이다.

이러한 청과물의 진동 특성을 구명하기 위한 연구는 사과, 배, 복숭아의 경우 본 연구진에 의해 수행된 바 있으나 소비량이 많은 참외의 경우 관련 연구가 거의 없으므로 본 연구에서는 참외를 대상으로 진동 특성을 구명하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 참외의 포장설계 시 중요한 자료가 되는 참외의 공진 주파수, 정점가속도 등의 진동특성을 분석하기 위하여 정현과 공진 진동실험을 수행하였으며, 실험을 통하여 얻어진 참외의 진동특성의 자료와 참외의 기본 물성인 질량, 체적 및 장·단축 등과의 관계를 구명하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 참외는 금보라 참외로서 2004년 8월 중순에 일반농가에서 수확된 후 시험에 사용되기 전까지 약 2일동안 저온저장($0\pm 1^{\circ}\text{C}$, rh $85\pm 5\%$) 되었다. 시료들의 기본적인 물성들은 Table 1과 같으며, 시험에 사용되기 전 실험실의 환경조건(15°C , rh 75%)에서 약 5시간 동안 적응을 시킨 후 시험에 사용하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 참외의 진동특성을 측정하기 위해

구성된 실험장치는 Fig. 1과 2에서 보는 바와 같이 전자식 가진기(vibration shaker, PET-05-05A, IMV Co.)와 컴퓨터, 함수발생기(HP-33120A, Hewlet Packad, US), 입력받은 주파수에 상응하는 진폭으로 진동을 가하기 위한 오실레이터와 앰프, 참외의 가속도와 진동 가진기의 가속도를 측정하기 위한 압전형 가속도 센서, 측정된 가속도 신호를 처리하기 위한 디지털 오실로스코프 구성되었으며 전체적인 제원은 Table 2에서 보는 바와 같다.

참외 시료에 진동을 가할 때 시료가 움직이게 되므로 시료고정 장치를 제작하였다. 시료 고정 장치(specimen-mounting device)의 재질은 알루미늄

Table 1. Harvesting date and physical characteristics of the oriental melon used in this study.

Cultivar	Date of harvest	Volume (10^{-4} m^3)	Mass (kg)	True density (kg/m^3)
Guembora	2004. 8	5.1444 (1.0028)*	0.5073 (0.0936)*	990.16 (64.17)*

()* standard deviation.

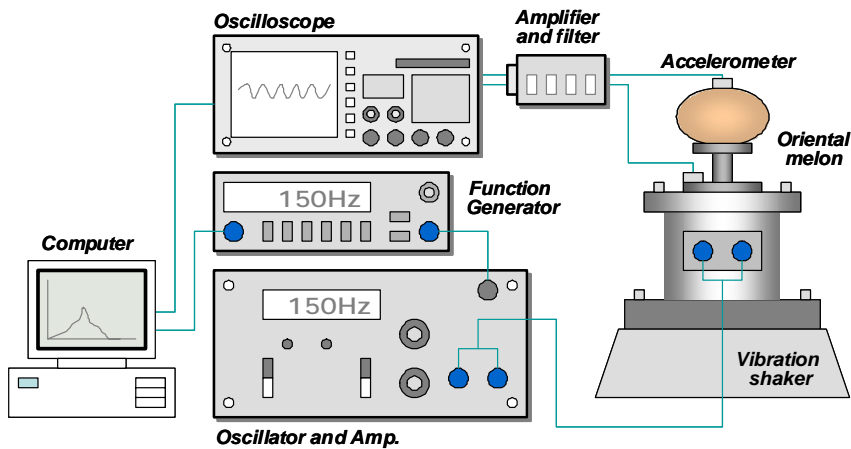


Fig. 1. Schematic diagram of the sweep vibration test apparatus for the oriental melon.



Fig. 2. General view of the sweep vibration apparatus for the oriental melon.



Fig. 3. Arrangement of vibration shaker, intact oriental melon and accelerometer.

Table 2. Specifications of the sweep vibration test apparatus for the oriental melon

Items	Specification	Remarks
Electrodynamic type vibration exciter	Sine force : 49 N (5 kg _f) Max. Acceleration : 326 m/s ² (33G) Max. displacement : 5 mmp-p Frequency range : 2~14000 Hz	IMV PET-05-05A
Piezoelectric accelerometer	Voltage sensitivity : 0,221 mV/ms ⁻² Frequency range : 0,5~400 Hz Measuring range : ±20 G	B & W Sensing Tech.
Function generator	Waveform length : 8~16000 points Sampling rate : 40 Msa/sec Sine char. : 100μHz~15 MHz Sweep type : Linear or Logarithmic	HP-33120A
Digital oscilloscope	No. of channels : 4 ch Sampling rate : 500 Msa/sec Vertical sensitivity range : 1 mV/div Waveform record length : 32768 pts	HP-54542A
Charge amplifier and low-pass filter	Charge gain ranges : 1~1000 mV/pc Voltage gain range : 0~60 dB Frequency range : 0,3~20000 Hz Low-pass bandwidth : 0,8~20 kHz	IVF M67-1F

미납으로서, 무게가 152g이 되도록 제작하였으며 가진기, 시료고정 장치, 가속도 센서가 부착된 진동 가진부 부분은 Fig. 3에서와 같다.

또한 진동시험에 사용되는 가속도 센서는 Fig. 3과 같이 무게가 가볍고, 유연한 케이블을 가지고 있는 1축 압전형 가속도 센서를 Fig. 4에서 보는 바와 같은 참외의 부위에 부착하였다.

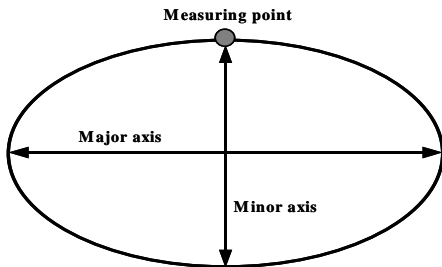


Fig. 4. Measuring point of the oriental melon for vibration behavior.

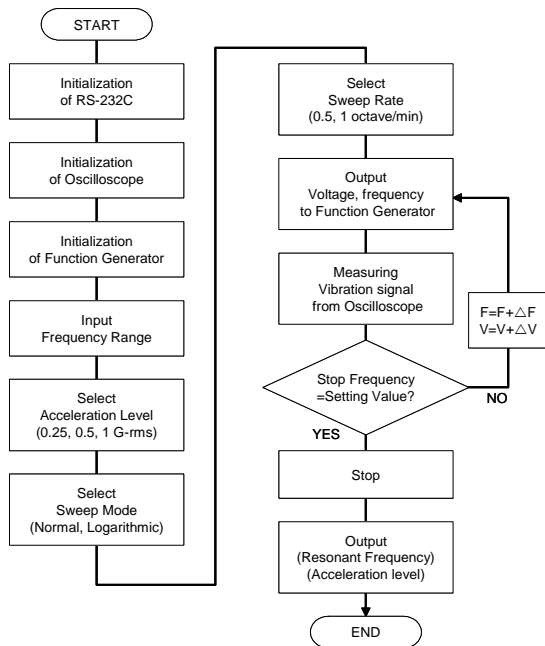


Fig. 5. Flow chart for the sweep vibration test of the oriental melon.

Fig. 5는 참외의 정현파 스위프 진동시험을 위한 컴퓨터 프로그램의 흐름도(flow chart)를 나타낸 것이다. RS-232C의 설정, 오실로스코프 및 함수발생기의 초기화, 입력주파수 범위, 스위프율(sweep rate), 스위프모드(sweep mode) 등을 입력할 수 있도록 하였고 실험수행 시 얻어지는 계측 데이터를 저장할 수 있는 제어 및 계측 프

그램을 작성하였다. 프로그램은 비주얼 베이직(Microsoft, ver 6.0)으로 작성하였으며 작성된 제어 및 계측 프로그램의 메인 윈도우는 Fig. 6에서 보는 바와 같다.

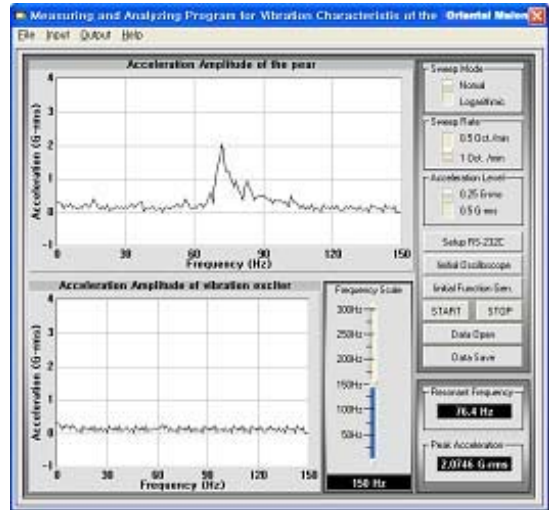


Fig. 6. Main window of the developed program for controlling and measuring.

1) 전자식 가진기의 성능검정

(1) 입력주파수에 대한 진동응답실험

전자식 가진기(shaker)가 입력주파수에 대하여 제대로 응답하는지를 검정하여 보았다. Fig. 7은 함수발생기에서 출력되는 10, 50, 90 및 130 Hz의 주파수를 가진기의 오실레이터 및 증폭기에 입력하여 진동 테이블에 부착된 가속도 센서로부터 출력되는 신호를 오실로스코프와 컴퓨터의 RS-232C 인터페이스를 통해 컴퓨터에 저장하고, 이를 다시 푸리에 변환(FFT)하여 나타낸 것이다. 그림들에서 보는 바와 같이 가진기는 입력주파수에 따라 매우 정확하게 응답되고 있음을 알 수 있었다.

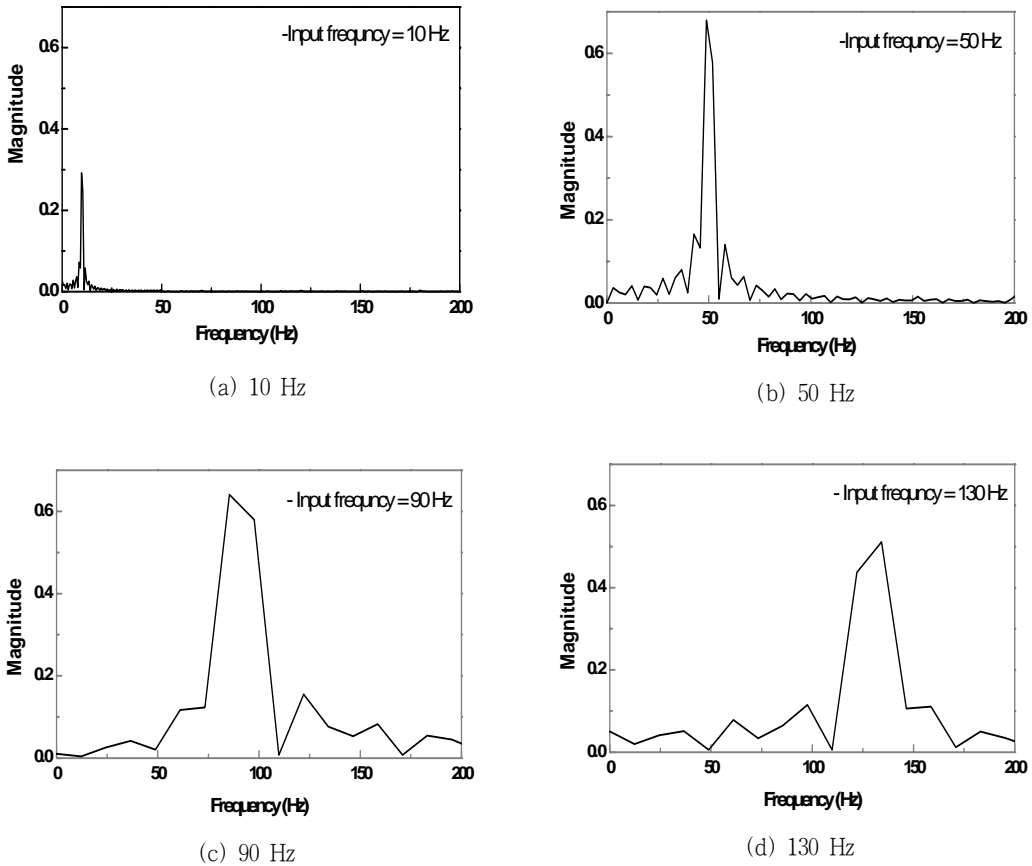


Fig. 7. FFTs for vibration responses by vibration exciter according to input frequencies.

(2) 입력주파수에 대한 입력전압의 보정
 가진기가 0.25 G-rms의 일정한 가속도 수준을 유지하면서 정현파 스위프 진동실험을 하기 위해서는 입력주파수에 따른 입력전압을 보정하여야 한다. 따라서 본 실험에서는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 입력 주파수에 대한 입력전압을 보정하기 위한 회귀식을 구하여 본 실험에 적용하였다.

2) 시스템의 안정성 검증

가진기에 0.25 G-rms의 진동 가속도를 적용하

였을 때 실험구간의 전 주파수 대역에서 이 값이 일정하게 유지되는가를 확인하였다. Fig. 9-a는 가진기에 참외 시료가 없는 상태에서 시료고정장치와 가속도 센서만을 장착하여, 주파수를 5 Hz에서 150 Hz까지 대수적으로 업-스윕(up-sweep) 시켰을 때, 입력주파수에 따른 가속도 값을 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 전 주파수 영역에서 0.25G-rms로 잘 유지되고 있음을 알 수 있었다.

또한, Fig. 9-b는 참외 시료에 가속도 센서를

부착하여 같은 조건으로 구동하였을 때 시료에 부착된 가속도 센서로부터 감지되는 가속도 변화를 나타낸 것으로, 공진점이 60Hz 부근에서 뚜렷이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 참외에 대한 진동실험시 주파수 범위 5~150 Hz, 가속도 수준 0.25 G(Peleg and Hinga,

1986; O'Brien et al., 1965), 문헌에 나타난 스위프 율은 1 octave/min로 설정하여 대수적인 정현파 스위프 진동실험을 수행하여 공진 주파수와 정점가속도(peak acceleration)를 측정하였다(ASTM D3580).

3) 실험방법

진동 실험장치로부터 측정된 참외의 진동특성과 일반적인 방법으로 측정된 참외의 기본적인 물성 값 즉 질량, 체적 및 장·단축과의 상호관계를 분석하였다. 또한 질량 및 장·단축을 변수로 하는 참외의 공진주파수 및 정점가속도에 대한 회귀모형을 DataFit Ver. 8.0 소프트웨어를 이용하여 개발하였다.

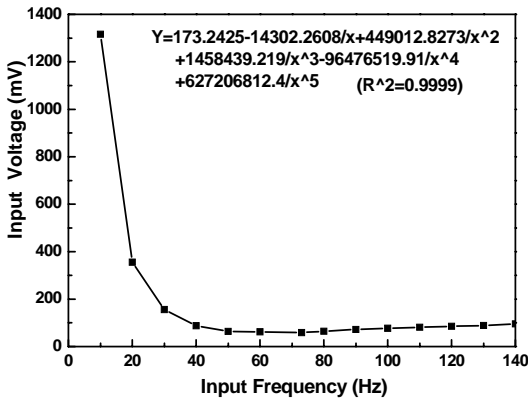
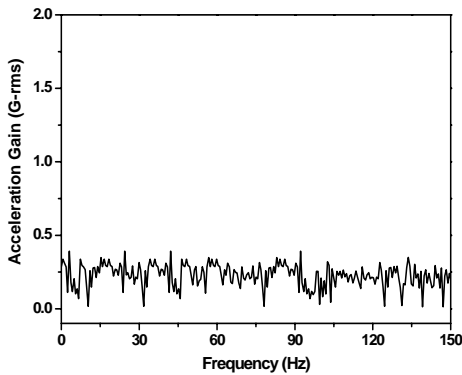
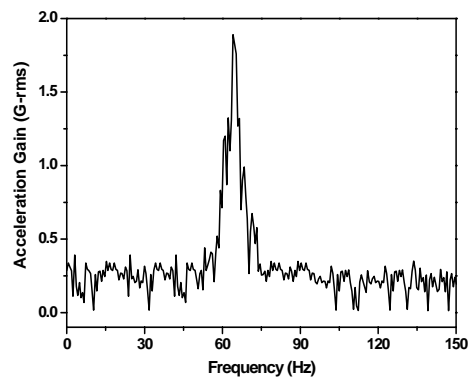


Fig. 8. Regression equation for input voltage as a function of input frequency to control the 0.25 G-rms of constant acceleration level.



(a) Acceleration gain of vibration shaker without sample



(b) Acceleration gain from the vibrating the oriental melon

Fig. 9. Acceleration gains for vibration shaker and the oriental melon.

III. 결과 및 고찰

1. 참외의 공진주파수 및 정점가속도

참외에 대한 정현파 스윙 진동실험을 통해 얻어진 결과를 Table 3에 나타내었다. 참외 시료 30개에 대한 공진 주파수, 정점 가속도(G-rms) 및 물성들에 대한 측정 결과를 나타내었다. 참외 시료는 질량 0.3063 kg에서 0.5126 kg까지 약간의 차이가 있도록 선택하였다. 또한 참외의 공진 주파수는 50.8~72.6 Hz의 범위로 나타났으며, 정점 가속도는 1.24~1.92 G-rms의 범위를 나타냈다. 이것은 정(2003)이 제시하였던 배의 공진 주파수 및 정점 가속도 보다 약간 작은 결과를 나타내었는데 이러한 현상은 참외의 경우 내부에 공동이 있기 때문인 것으로 판단되었다. Fig. 10에는 질량에 따른 공진주파수 및 정점가속도를 나타내기 위하여 최소 질량 및 최대 질량에 해당하는 결과를 도시한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 참외의 공진 주파수 및 정점 가속도는 질량이 증가할수록 모두 감소하는 경향을 나타내었다.

2. 참외의 질량 및 체적이 공진주파수 및 정점가속도에 미치는 영향

참외의 진동특성과 기본적인 물성 값들 간의 상호 관계를 분석하기 위하여 참외 시료 전체를 대상으로 참외의 질량과 체적에 따른 공진 주파수의 변화를 각각 Fig. 11 및 12에, 그리고 정점 가속도의 변화를 각각 그림 Fig. 13 및 14에 나타내었다.

그림들에서 보는 바와 같이, 실험 주파수 5~150 Hz 범위 내에서 참외의 질량과 체적에 따라 공진 주파수와 정점 가속도 모두 감소하였으며, 공진 주파수 및 정점 가속도와 질량사이의 결정계수 값들이 공진 주파수 및 정점 가속도와 체적사이의 결정계수 값들보다 크게 나타났다. 따라서 참외의 경우에는 질량을 계측하면 참외의 공진 주파수 및 정점 가속도를 어느 정도 추정할 수 있을 것으로 판단되었다. 이것은 정(2003)이 제시하였던 배의 진동거동에 대한 연구결과와 매우 유사하였으며, 이와 같이 질량에 따라 이 두 진동특성이 모두 감소하는 현상은 Finney(1970)

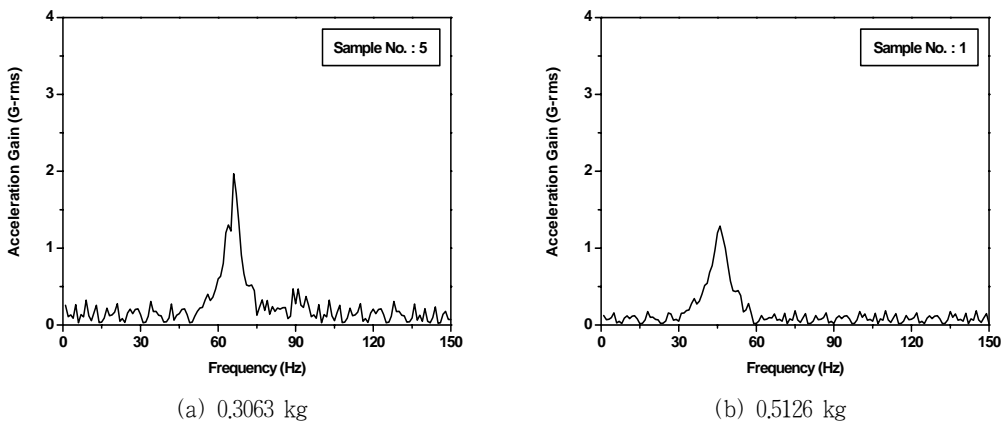


Fig. 10. Acceleration gains for the oriental melon according to its mass.

Table 3. Results of sweep vibration tests and mechanical properties for the oriental melon

Sample No.	Mass (10^{-3} kg)	Volume (10^{-4} m ³)	Major Axis (mm)	Minor Axis (mm)	Peak Acceleration (G-rms)	Resonant Frequency (Hz)
1	512.62	6.0923	138.42	82.03	1.26	54.2
2	388.42	4.5698	123.57	75.50	1.68	63.9
3	400.34	4.9405	131.00	77.54	1.58	63.6
4	392.67	4.5800	136.29	74.40	1.64	64.8
5	306.31	4.2311	123.75	73.80	1.92	70.4
6	483.70	5.7368	138.92	87.60	1.24	50.8
7	421.80	4.9483	119.31	81.27	1.52	60.2
8	494.18	6.0160	132.70	84.32	1.26	52.6
9	359.58	4.0807	117.45	78.62	1.86	68.5
10	442.17	5.3359	130.57	79.93	1.46	56.4
11	429.66	5.2266	131.05	81.70	1.54	63.9
12	386.57	4.4264	125.79	73.85	1.74	64.3
13	369.07	4.5063	125.95	77.33	1.88	68.8
14	383.43	4.7057	128.65	78.35	1.72	65.2
15	450.95	5.4860	133.46	81.13	1.50	55.4
16	357.29	4.3244	121.05	76.21	1.89	72.6
17	457.02	5.5843	140.84	79.48	1.39	56.6
18	397.95	4.8221	130.19	73.26	1.60	64.6
19	473.65	4.9398	130.95	84.33	1.42	53.6
20	403.96	4.4715	126.45	79.71	1.56	60.8
21	377.75	4.7603	129.36	78.47	1.82	65.4
22	389.35	4.3676	131.70	74.00	1.62	62.8
23	371.14	5.1771	129.88	79.43	1.84	65.8
24	378.29	4.7822	134.26	74.10	1.76	64.8
25	474.02	5.2416	145.64	81.00	1.28	55.7
26	395.29	4.1940	132.31	76.03	1.58	62.8
27	429.78	4.6510	131.92	79.76	1.42	58.2
28	363.18	4.2487	131.24	73.99	1.90	69.2
29	371.21	5.0671	132.11	74.39	1.80	64.6
30	364.66	4.7287	121.94	77.14	1.92	69.0
Average	407.53	4.8748	130.22	78.29	1.62	62.32
Standard deviation	48.01	0.5344	6.31	3.66	0.22	5.75

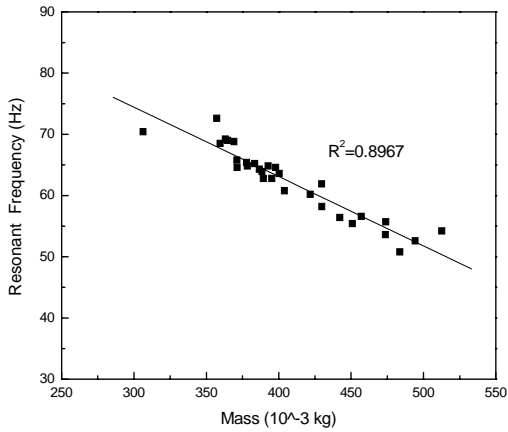


Fig. 11. Resonant frequency versus mass of the oriental melon.

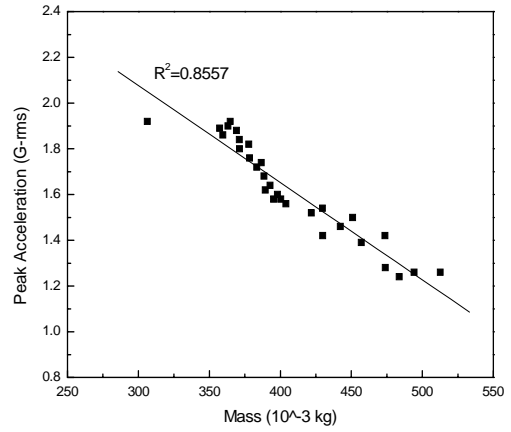


Fig. 13. Peak acceleration versus mass of the oriental melon.

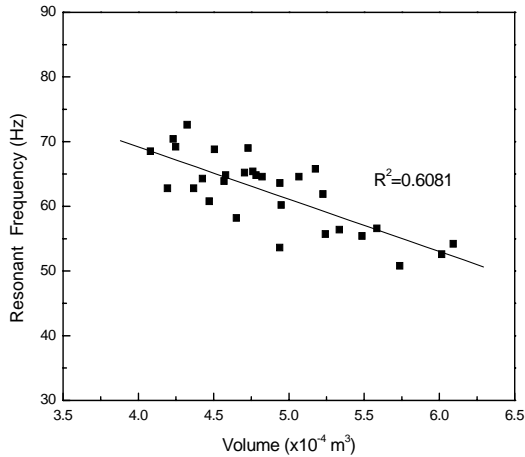


Fig. 12. Resonant frequency versus volume of the oriental melon.

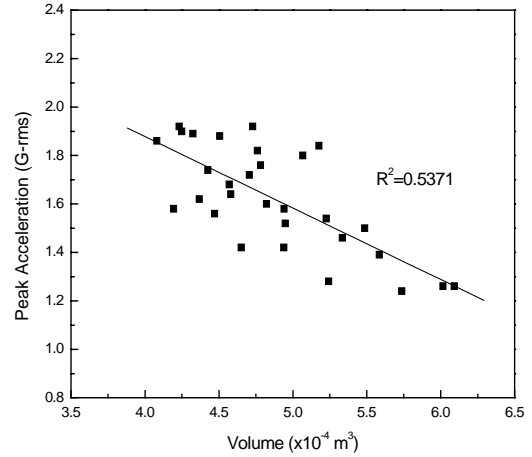


Fig. 14. Peak acceleration versus volume of the oriental melon.

에 의해 발표된 과실의 공진 주파수와 질량과의 상관관계가 높다는 연구 결과와도 잘 일치하였다.

3. 참외의 장 · 단축과 진동특성간의 관계

Fig. 15 및 16은 Fig. 4의 계측부위를 기준으로

수평방향의 길이(장축)에 대한 참외의 공진 주파수와 정점 가속도와의 관계를 도시하였다. 그림들에서 보는 바와 같이, 참외의 장축이 길어질수록 공진 주파수 및 정점 가속도는 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 참외의 길이가 길수록 진

동 가진기의 진동력이 참외자체의 특성으로 감쇠시키는 양이 많기 때문인 것으로 생각된다.

또한 Fig. 17 및 18은 계측부위를 기준으로 진동 가진기와의 수직거리(단축)에 대한 참외의 공진 주파수 및 정점 가속도와의 관계를 도시하였다. 그림들에서 보는 바와 같이 계측 범위 내에서 참외의 계측부위가 가진기와의 거리가 길어

질수록 공진 주파수 및 정점 가속도는 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 참외의 장·단축과 공진주파수 및 정점가속도사이의 결정계수들에서도 알 수 있는바와 같이 참외의 장·단축이 공진 주파수 및 정점 가속도와 같은 진동특성에 미치는 영향은 질량보다 상대적으로 낮음을 알 수 있었다.

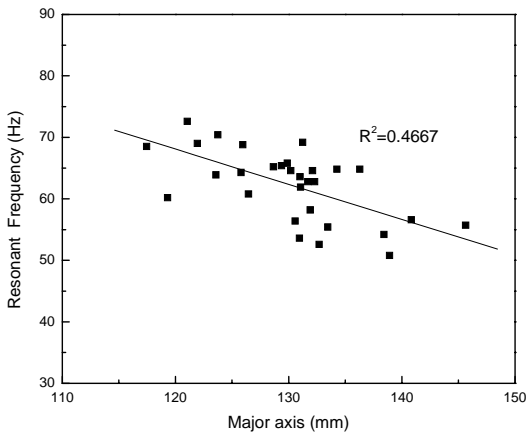


Fig. 15. Resonant frequency versus major axis of the oriental melon.

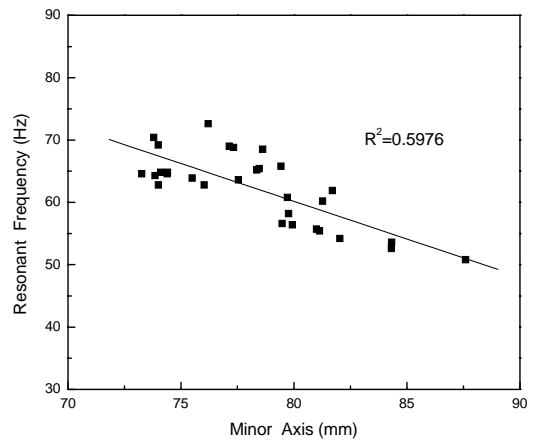


Fig. 17. Resonant frequency versus minor axis of the oriental melon.

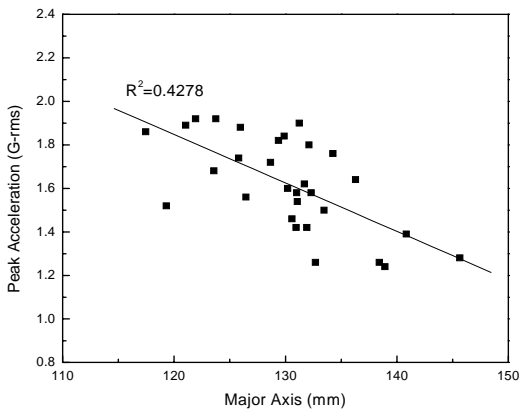


Fig. 16. Peak acceleration versus major axis of the oriental melon.

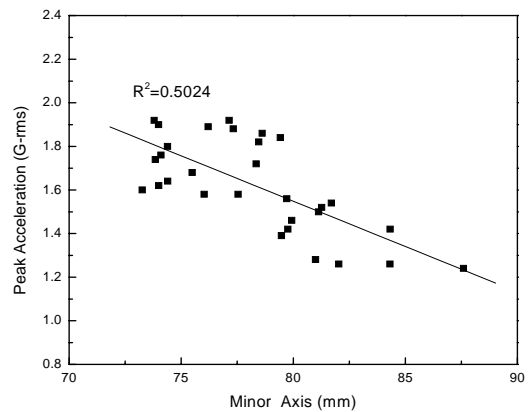


Fig. 18. Peak acceleration versus minor axis of the oriental melon.

4. 참외의 공진주파수 및 정점가속도의 반응표면

참외의 공진주파수 및 정점가속도를 비교적 측정하기가 쉬운 참외의 물성 즉, 질량, 장축 및 단축으로 추정할 수 있는 회귀모형을 각각 개발하였으며 각각의 회귀계수들은 Table 4 및 5에 나타내었다.

참외의 질량과 장축 및 단축을 변수로 하는 공진주파수의 반응표면을 Fig.19 및 20에 각각 도시하였다. 그림들에서 보는바와 같이 참외의 공진주파수는 참외의 질량이 증가함에 따라 비교적 큰 기울기로 감소하고 있으나 참외의 장·단축에 따라서는 완만하게 감소하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 현상은 정점가속도의 반응표면분석의

결과와 매우 유사한 경향을 나타내었다. 또한 Table 4 및 5에서 보는바와 같이 회귀모형의 결정계수가 공진주파수의 경우 0.8893, 정점가속도의 경우 0.9055인 것으로 볼 때 참외의 질량 및 장·단축을 측정함으로써 공진주파수나 정점가속도를 어느 정도 추정할 수 있을 것으로 판단되었다.

IV. 적 요

본 연구에서는 청과물 포장설계 시 중요한 자료가 되는 참외의 공진 주파수 및 정점가속도 등과 같은 진동특성을 분석하기 위하여 실험 장치를 구성하고 진동시험장치의 제어 및 계측을 위

Table 4. Coefficients of multiple regression model for resonant frequency as a function of mass, major, and minor axes of the oriental melon

Variable	RF = a1*M + b1*X1 + c1*X2 + d1			R ²
	Coefficients	Standard error	t-value	
a1	-95.6346	17.1535	-5.5752	0.8893
b1	-79.9555	84.9622	-0.9411	
c1	-173.0581	181.7277	-0.9523	
d1	125.2516	15.5554	8.0520	

Note : PA = Peak acceleration(G-rms) M = Mass(kg)
 X1 = Major axis(m) X2 = Minor axis(m)

Table 5. Coefficients of multiple regression model for peak acceleration(G-rms) as a function of mass, major, and minor axes of the oriental melon

Variable	PA = a2*M + b2*X1 + c2*X2 + d2			R ²
	Coefficients	Standard error	t-value	
a2	-4.2126	0.5925	-7.1086	0.9055
b2	-2.4325	2.9352	-0.8287	
c2	2.7768	6.2781	0.4423	
d2	3.4361	0.5374	6.3942	

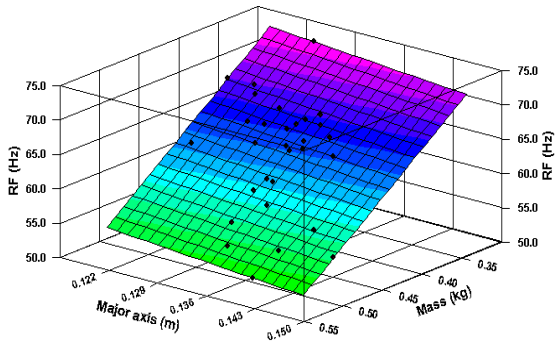


Fig. 19. Response surface of resonant frequency of the oriental melon as a function of mass and major axis at minor axis of 78.3 mm.

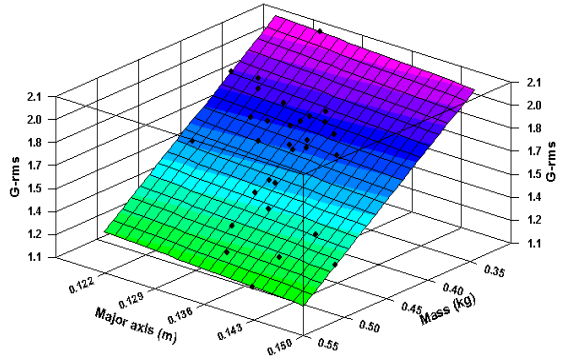


Fig. 21. Response surface of peak acceleration of the oriental melon as a function of mass and major axis at minor axis of 78.3 mm.

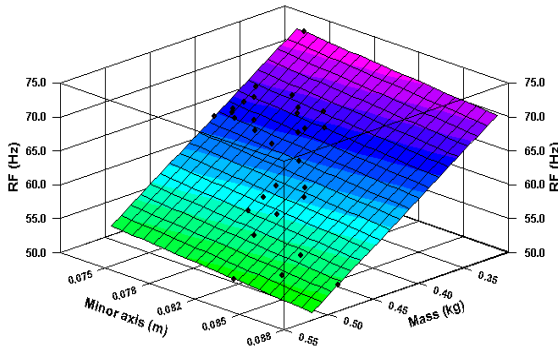


Fig. 20. Response surface of resonant frequency of the oriental melon as a function of mass and minor axis at major axis of 130.2 mm.

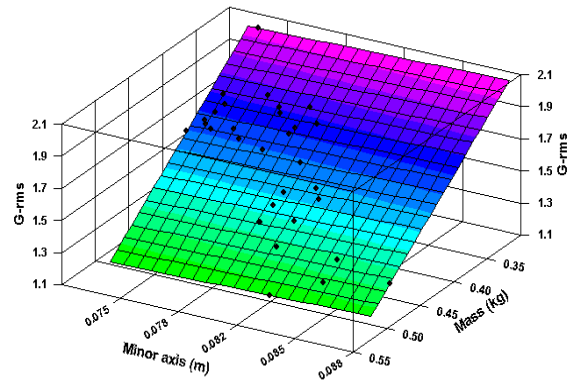


Fig. 22. Response surface of peak acceleration of the oriental melon as a function of mass and minor axis at major axis of 130.2 mm.

한 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 이를 이용하여 참외의 진동 특성을 측정하였으며 이들과 참외의 기본적인 물성 값인 질량, 체적 및 장·단축과의 관계를 구명하였던 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 참외의 진동특성을 분석할 수 있는 실험 장치를 구성하였으며, 장치의 제어와 계측을 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.
2. 공시 참외의 공진 진동수는 약 50.8~72.6 Hz 범위로 나타났으며, 정점 가속도는 약 1.24~1.92 G-rms 범위로 나타났다.
3. 참외의 공진 주파수 및 정점 가속도는 참외의 질량, 체적 및 장·단축이 증가함에 따라 감소하였으며 참외의 질량과 공진 주파수 및 정점 가속도와의 상관관계가 가장 높게 나타났다.
4. 참외의 공진주파수 및 정점가속도를 추정할 수 있는 회귀모형을 참외의 질량 및 장·단축을 독립변수로 하여 개발하였으며 회귀모형을 평가한 결과 참외의 질량과 장·단축을 측정하면 참외의 공진 주파수와 정점 가속도를 추정할 수 있을 것으로 판단되었다.

인용문헌

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. ASAE S368.3 DEC99. Compression test of food materials of convex shape.
5. Cooke, J. R. 1972. An interpretation of the resonant behavior of intact fruits and vegetables. *Transaction of the ASAE* 15(6):1075~1080.
6. 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.
7. 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.
8. Peleg, K. and S. Hinga. 1986. Simulation of vibration damage in produce transportation. *Transactions of the ASAE* 29(2):633-641.
9. 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.
10. 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.
11. 정현모. 1999. 청과물의 기계적 특성. 충남대학교 석사학위 논문.
12. 정현모. 2003. 청과물 포장화물의 진동거동과 골판지 상자의 내구성. 충남대학교 박사학위 논문.
13. 한국포장기술편람. 2003. 한국포장학회.