

# 배의 진동특성에 관한 연구

## Vibration properties of the pear

김만수\*      정현모\*      박일규\*      박종민\*\*  
정회원      정회원      정회원      정회원  
M. S. Kim   H. M. Jung   I. K. Park   J. M. Park

### 1. 서론

농산물은 품종, 재배기술, 환경의 요인에 영향을 받아 품질, 형상, 색택, 병충해정도, 상해정도가 나타나게 되고, 이것이 곧 농산물의 다양한 상품성으로 결정되게 된다. 또한 수확, 저장, 포장, 수송, 상하차등 유통과정에서의 취급의 여하에 따라 물리적으로 손상을 받은은 물론 유통기간이 길어짐에 따라 호흡 등 생리적 현상으로 부패 및 변질이 진행되어 농산물의 품질저하가 상당한 수준에 이르고 있으나, 이에 대한 관심은 매우 빈약한 실정이다.

청과물은 수확 후 각종처리공정을 거치고 유통기간이 길어질수록 외력에 의한 기계적손상을 많이 받게 될것이고 이중에서도 진동에 의한 손상이 대부분을 차지하게 된다.

이와 같이 청과물의 진동특성은 유통과정중의 손상감소를 위한 매우 중요한 기초자료이나 품종에 따라 차이가 있을 뿐만 아니라 같은 품종에서도 개체에 따라 그 형상 및 조직 등이 다르기 때문에 이들에 관한 자료는 매우 빈약하고 몇몇 문헌에 보고된 자료들도 같은 청과물에 대한 이들의 값이 매우 다르다. 청과물의 진동반응을 분석함으로써 유통과정 중에 발생하게 되는 진동에 의한 손상을 최소화하기 위한 포장재의 설계와 청과물의 수확, 선별 및 가공기계와 시설을 해당 청과물의 특성에 적합하게 설계, 개발 및 개량과 적정 작동조건 등을 설정할 수 있게 되어 진동에 의한 손상을 줄이는데 크게 기여할 것이다.

이러한 진동에 의한 손상은 청과물의 공진주파수(resonant frequency)에서 주로 발생되므로 청과물의 공진주파수의 결정은 청과물의 보호하기 위한 적절한 포장설계와 유통과정 중에 발생하게 되는 진동에 대한 복합적인 상호작용요소를 이해하는데 큰 도움을 줄 것이다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라의 대표적인 청과물인 배에 대한 진동특성을 계측하기 위한 계측시스템을 구성하고 시스템 및 계측용 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며, 배의 진동특성을 분석하고자 하였다.

### 2. 재료 및 방법

---

\*충남대학교 농과대학 농업기계공학과

\*\*밀양대학교 기계공학과

### 가. 실험재료

본 연구에서 사용된 배는 1998년 10월에 일반농가에서 수확된 후 약5개월 정도 저온저장 ( $0\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $85\pm 5\%$  rh)된 신고 배이었으며 시료를 실험실의 환경조건( $15^{\circ}\text{C}$ ,  $75\%$  rh)에서 약4 시간 동안 실험실 환경에 적응시킨 후 실험하였다.

### 나. 실험장치

본 연구에서 구성한 배의 진동특성 실험장치는 그림1에서 보는바와 같이 IMV사의 PET-05-05A(49N, 5kg $\tau$ )로 구성하였다. 본 시스템은 컴퓨터와 함수발생기(HP-33120A)간의 인터페이스를 통해 일정 소사율(sweep rate)로 일정범위의 주파수를 제어하기 위한 HP-IB card, 입력받은 주파수에 상응하는 주파수로 진동을 하기 위한 Oscillator · Amplifier와 Vibration Shaker의 조합과 Vibration Shaker상의 배의 가속도를 계측하기 위한 가속도계(accelerometer)로 구성되었다. 또한 이 시스템에서는 가속도계로부터 입력되는 신호는 A/D 컨버터와 amplifier가 내장된 8채널 스트레인지지 계측보드(ADAC-5508BG)를 통하여 컴퓨터로 입력, 저장되도록 되어있다. 본 실험장치의 제원은 표1에서 보는바와 같다.

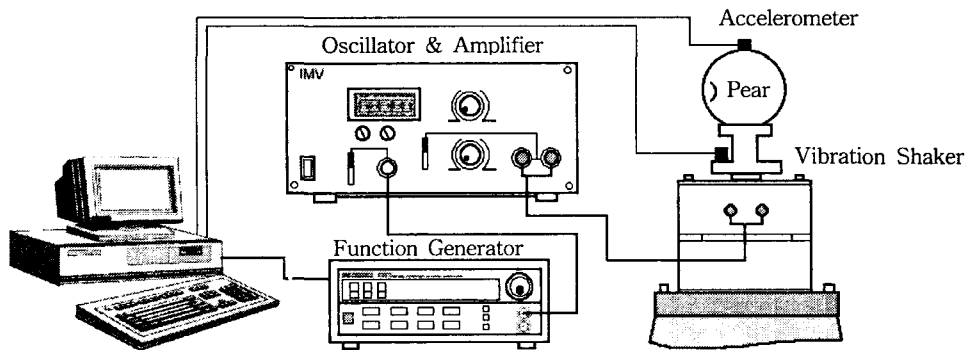


Fig. 1. Schematic diagram of the vibration test apparatus.

Table 1. Specification of vibration test apparatus and mesuring system

Items	Specification	Remarks
Vibration shaker	Sine force 49N(5kg $\tau$ )	IMV PET-05-05A
Oscillator · Amplifier	Oscillating Frequency range 2~20,000Hz	IMV PET-05-05A
Function generator	Frequency sweep 10mHz~15MHz	HP-33120A
Accelerometer	Frequency response 0~400Hz, 0~650Hz	KYOWA
strain gage measurement board	8 channels	ADAC-5508BG
HP-IB card	Max. I/O speed 355KB/s	HP

시료고정장치(specimen-mounting device)는 시료를 가진기(vibration shaker)의 테이블 위에 견고히 고정시키기 위해 충분한 강도와 강성이 있어야 하며, 테이블과 시료고정장치사이의 상대운동이 없어야 하고 가능한 한 그 무게가 가벼워야한다. 따라서 본 실험에서는 알루미늄으로 무게가 152g이 되도록 제작하였다.

또한 진동시험에 사용되는 가속도계(accelerometer)는 아주 경량이고, 유연한 케이블을 가지고 있는 1축의 가속도계를 사용하였으며, 가진기의 가진력(exciting force)이 5kgf이므로 가진기의 아마추어(moving element, 150g), 시료고정장치, 배, 가속도계의 총 무게가 이 범위를 벗어나지 않도록 하였다.

배의 진동특성 실험을 위한 진동시스템 제어 및 계측을 위한 컴퓨터 프로그램은 Visual Basic5.0으로 작성되었으며, 함수발생기(Function Generator)를 제어하는 프로그램과 가속도계에서 입력되는 G값을 계측 저장하는 프로그램으로 작성되었다.

#### 다. 실험방법

본 실험은 배를 운송할 때 진동에 의한 손상을 감소시키는 것이 목적이므로 주파수의 범위는 5~320Hz, 가속도의 범위 0.5G, 소사율은 0.2 octave/min, 소사방법은 대수적인 방법을 택하여 정현파 진동실험을 수행하였다. 적용주파수 5Hz에서 320Hz까지는 대수적인 방법으로 증가시켰기 때문에 총 7 octaves( $5 \times 2^0=5$ ,  $5 \times 2^1=10$ ,  $5 \times 2^2=20$ , ...  $5 \times 2^6=320$ )가 되며 소사율이 0.2 octave/min으로, 한 주파수 범위에서 5min 동안 진동시켜 배 시료 하나를 실험하는데 총 35min이 소요되었다.

본 연구에서 개발한 제어 및 계측용 컴퓨터 프로그램에 의하여 계측, 저장된 시간영역(time-domain) 데이터로부터 FFT를 통한 주파수영역(frequency-domain) 표현을 위하여 MatLab를 이용하여 그래프로 출력하여 공진주파수(resonant frequency) 및 가속도(G-rms)를 분석하였다. 또한 진동실험 직후에 배 시료마다 배의 기계적특성을 계측하기 위하여 UTM를 이용하여 배의 시편(직경17.6mm, 길이20mm)을 채취하여 배의 생물체항복점(bioyield point), 생물체항복변형량(bioyield deformation), 파괴점(rupture point), 극한변형량(rupture deformation) 및 탄성계수(apparent elastic modulus)등을 계측하여 진동특성과 비교 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 공진주파수 및 기계적특성의 분석

공진점은 진동실험에서 최대의 진폭(amplitude)이 일어나는 점이며 이때의 주파수를 공진주파수(resonant frequency)라 한다. 배의 공진주파수를 측정하기 위하여 먼저 가진기(vibration exciter)에 0.5G의 가속도를 적용하여 실험구간의 전 주파수에서 일정한 값을 유지하는지를 검정하였다. 가진기에 배 시료를 올려놓지 않고 시료고정장치와 가속도계만을

장착하여 실험 주파수대인 5~320Hz까지 대수적으로 소사 시키면서 G값을 측정한 결과, 실험범위의 주파수대를 차례로 소사되는 총시간 35분(2100초)동안 일정하게 0.5G로 유지됨을 알 수 있었다. 그림2은 질량 0.5499kg인 배 시료에 대하여 진동 실험한 결과를 도시한 것으로 FFT 처리된 주파수 영역에 대한 곡선이다. 매 시료마다 FFT 처리하여 공진주파수와 G(rms)값을 구하였다. 배의 시료는 질량 0.35kg에서 0.69kg으로 다양한 크기의 시료를 추출하였으나 전체적으로 시료크기의 변화폭이 넓지 못하였으며 당도 역시 8~9 °Brix로 전 시료에서 차이가 거의 없었다. 저장기간이 짧아 배조직의 연화가 상대적으로 작게 진전되었을 것으로 기대했던 시료들에서의 공진주파수, G(rms)값의 범위는 각각 53~102Hz, 1.08033~2.4752g로써 저장기간이 약간 길었던 시료들에서의 값들 53~79Hz, 1.6437~2.3113g보다 약간 큰 값이었으나 별 차이가 없었다.

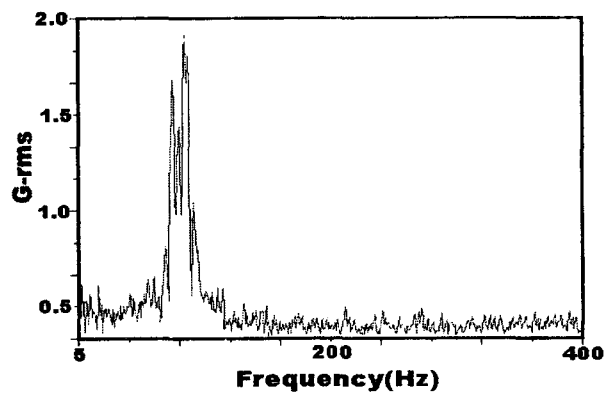


Fig. 2. Typical vibration response curves for the pear(0.5499kg).

또한 기계적특성들인 생물체항복변형량 및 극한변형량도 저장기간이 짧았던 시료들에서는 각각 1.920~5.545mm, 2.683~7.450mm이었으며 저장기간이 길었던 시료들에서는 각각 1.350~2.280mm, 1.870~4.290mm로써 전자에서의 값들이 더 크게 나타났다. 이러한 현상은 Finney, Abbott 등 여러 연구자들이 보고하였던 바와 같이 연한조직을 가진 과실에서의 공진주파수는 단단한 과실에서보다 공진주파수가 낮은 주파수대에서 발생한다는 결과와 대체로 일치하는 경향을 나타내었고 연한조직의 과실에서는 생물체항복변형량 및 극한변형량이 매우 작다는 사실과도 잘 일치되었으며, 생물체항복점 및 파괴점에서도 이들과 유사한 경향을 나타내었다.

#### 나. 진동특성 및 기계적 특성들간의 상관계수분석

배의 진동특성들 중 주요요인들인 공진주파수, G(rms)와 배의 질량, 체적 등의 기본물성과 압축실험에 의한 기계적특성들간의 관계를 살펴보기 위하여 이들에 대한 상관계수를 분석하였다. 배의 공진주파수는 변위진폭(displacement amplitude)과는 높은 상관관계(-0.8398)가 있었으며 G(rms)와도 높은 상관관계(0.6394)가 있음을 알 수 있다. 또한 공진주파수는

배의 질량, 체적, 생물체항복변형량 및 극한변형량이 상관계수가 각각 -0.6245, -0.6021, 0.4585, 0.5228로써 비교적 높은 상관관계를 나타내었다.

Table 2. Correlation coefficients of selected parameters for vibration test of the pear

	MA	VO	DE	SC	G-rms	RF	BP	BD	RP	RD	E	DA
MA	1.0000											
VO	0.9662	1.0000										
DE	0.9584	0.9978	1.0000									
SC	0.0035	-0.0050	0.0085	1.0000								
G-rms	-0.9442	-0.9238	-0.9158	0.0131	1.0000							
RF	-0.6245	-0.6021	-0.5722	0.0656	0.6394	1.0000						
BP	-0.2514	-0.3096	-0.3039	-0.3047	0.2480	0.1766	1.0000					
BD	-0.6667	-0.6676	-0.6598	-0.1401	0.6025	0.4585	0.6187	1.0000				
RP	-0.1791	-0.2535	-0.2485	0.0652	0.1520	0.1035	0.7283	0.4084	1.0000			
RD	-0.6748	-0.7021	-0.6934	0.0217	0.6927	0.5228	0.3243	0.7597	0.1789	1.0000		
E	0.1561	0.1256	0.1397	0.0427	0.0903	0.0674	0.1620	-0.3386	0.0784	-0.2620	1.0000	
DA	0.1534	0.1440	0.1107	-0.0449	-0.1360	-0.8398	-0.0568	-0.1711	-0.0275	-0.2055	0.0506	1.0000

G(rms)값은 배의 질량 및 체적과의 상관계수가 각각 -0.9442, -0.9238로써 G(rms)값은 시료의 질량과 체적에 크게 좌우됨을 알 수 있었다. G(rms)값도 공진주파수에서와 같이 생물체항복변형량 및 극한변형량과의 상관계수가 각각 0.6025, 0.6927로써 비교적 높은 상관관계를 나타내었다.

#### 다. 진동특성과 기계적특성들간의 상관관계 및 변위진폭 분석

배의 진동특성과 기본물성 및 기계적특성들간의 상관계수 분석에서 상관계수가 비교적 높았던 인자들간의 관계를 모형화 하였다. 그림3 및 그림4는 각각 배의 공진주파수와 배의 질량 및 체적의 관계를 도시한 것이다. 그림들에서 보는 바와 공진주파수는 배의 질량과 체적이 증가됨에 따라 곡선적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 즉 무거운 과실에서는 공진주파수가 저주파대에서 발생된다는 것을 의미한다.

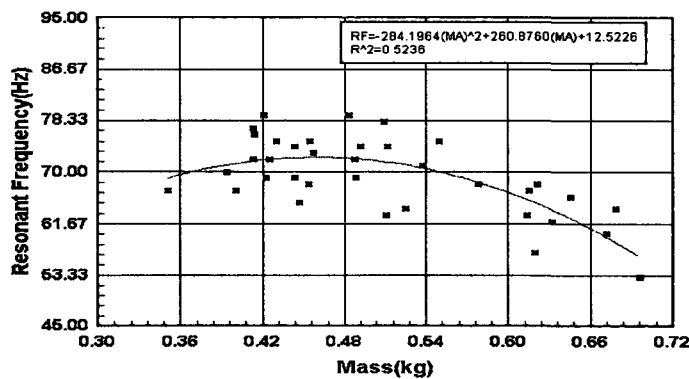


Fig. 3. Resonant frequency versus mass of the pear.

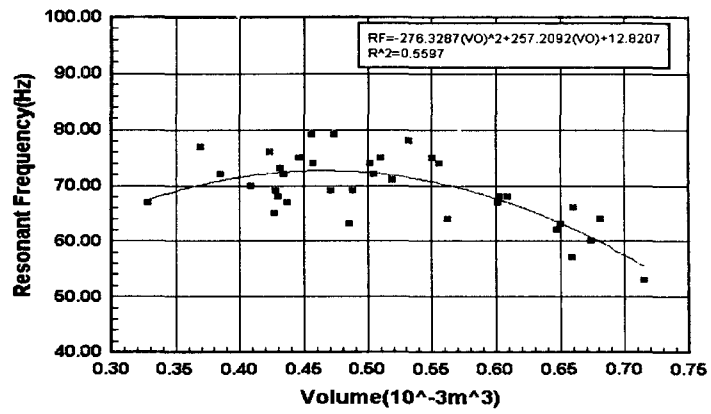


Fig. 4. Resonant frequency versus volume of the pear.

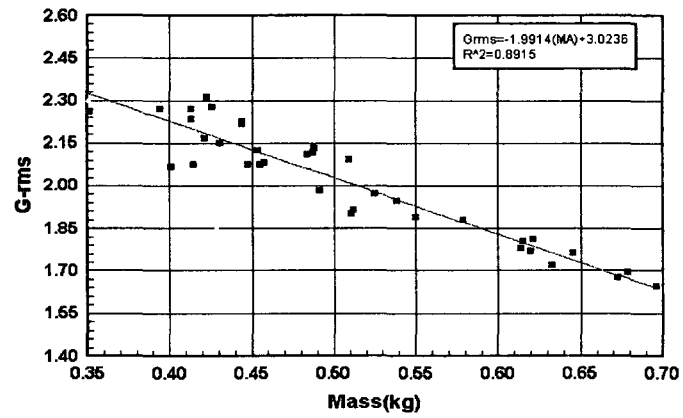


Fig. 5. G(rms) versus mass of the pear.

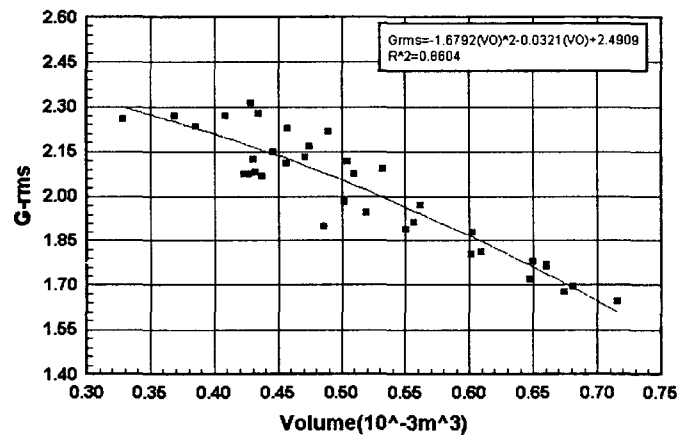


Fig. 6. G(rms) versus volume of the pear.

그림5 및 그림6에는 공진주파수에서의 G(rms)와 배의 질량과 체적의 관계를 도시한 것이다. 공진주파수와는 달리 G(rms)는 배의 질량과 체적이 증가됨에 따라 거의 직선적으로 감소됨을 알 수 있었고 이들간의 관계식에 대한 결정계수(R<sup>2</sup>)도 상당히 크게 나타났다.

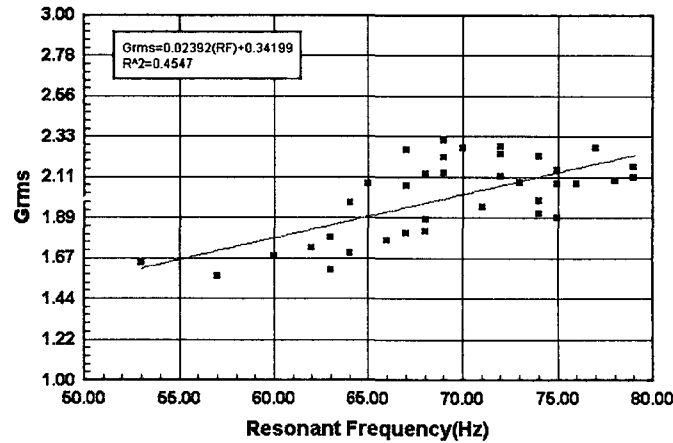


Fig. 7. Relationship between G(rms) and resonant frequency for vibration test of the pear.

그림7에는 정현파 진동실험에서 배의 공진주파수와 이 점에 해당하는 G(rms)와의 관계를 도시한 것이다. 대체로 공진주파수에 따라 G(rms)는 직선적으로 증가하는 경향이였다.

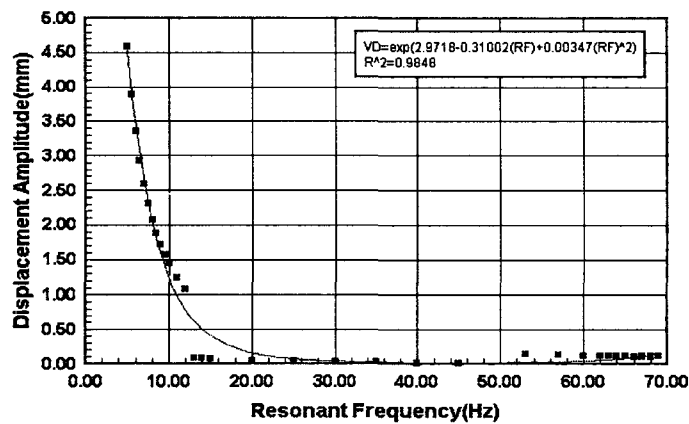


Fig. 8. Relationship between displacement amplitude and resonant frequency for vibration test of the pear.

일반적으로 과실의 차량 운송시 잘 포장된 도로에서는 발생될 수 있는 가속도는 0.5G(rms) 내외이고 주로 40Hz이하의 저주파 대역이 문제로 알려져 있다(Peleg, Sbughter 등). 따라서 운송시에 저주파 대역에서의 진동에서의 배가 받을 수 있는 변위진폭(displacement amplitude)을 추정해 보았다. 여기서 배는 정현파로 진동되고 주파수에 따른 G(rms)는 그림8에서 같이 공진주파수대역에서와 유사한 경향으로 저주파에서도 발생된다고