

모의 수송 환경에서의 수박의 진동 특성

Vibration Characteristics of the Watermelon at Simulated Transportation Environment

정현모*	김만수**	김기복***	김기석**	박정길**
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원

H. M. Jung M. S. Kim K. B. Kim G. S. Kim C. G. Park

1. 서론

유통시장 및 농산물 시장의 개방으로 우리나라의 유통여건은 급변하고 있으며, 소비자의 구매패턴은 고급화, 다양화되어 농산물의 품질과 안전성에 대한 소비자의 요구가 높아지고 있다. 특히, 농산물은 불균일하고, 가변성이 있으며, 더구나 가격에 비하여 부피가 크고 유통과정중 본래의 특성이 지속적으로 변하는 것으로 공산품에 비하여 물류 측면에서 취급하기 어려운 점이 많다.

우리나라의 농산물 중 수박을 비롯해 몇몇 과채류는 중요한 수출 전략 품목으로써, 안정된 농가소득의 작목으로 자리잡기 위해서는 유통질서의 정비와 수확 후 각종 처리기술 등의 개발이 필요하겠지만, 그 중에서도 특히, 농산물의 포장 분야는 수확 후 과일류의 처리 기술 중 시급히 해결되어야 할 과제이다.

농산물은 유통시에 매우 다양한 주파수의 진동을 받을 수 있고 만약 이 주파수가 그 농산물의 공진 주파수 범위에 있다면 농산물과 완충재의 상호관계를 이용하여 공진점을 피하도록 해야 할 것이다. 농산물 자체의 공진 주파수를 파악하는 것은 농산물의 포장설계와 유통과정 중에 발생될 수 있는 진동에 의한 과실의 손상 메카니즘을 이해하는데 매우 중요하다.

과채류의 공진 주파수의 해석은 Abbott 등(1968)에 의해서 처음 발표가 되었다. 그들은 과실의 물리적인 접촉을 피하기 위해 픽업(pick-up) 로드를 이용하여 공진주파수를 계측하였으며, 과실의 탄성계수와 진동신호의 두 번째 공진 주파수간에 매우 높은 상관관계가 있다는 것을 보고하였다.

이러한 연구를 근거로 하여 강성계수(firmness index, stiffness coefficient)는 과실의 무게가 80g 또는 더 무거운 경우에 과실의 경도와 매우 밀접한 관련이 있다고 보고하였다. Finney (1970)는 사과를 수평방향으로 진동 가진기(actuator)에 올려놓고 정현파 신호를 진동 가진기에 입력하여 진동실험(Finney's method)을 하였으며, 그 결과 과실의 탄성계수는 Abbott의 강성계수(f_{2m}^2)와 매우 높은 상관관계가 있다고 보고하였다.

* 경북과학대학 포장계열 패키징전공

** 충남대학교 생명과학대학 생물자원공학부 생물산업기계공학전공

*** 한국표준과학연구원 환경안전계측센터

Cooke(1972)은 과실의 전단탄성계수(shear modulus)를 비파괴적으로 측정하기 위해 손상되지 않은 과실에 대한 공진 주파수를 연구하였으며, 그 결과 Abbott와 Finney의 방법에 의해 측정된 가장 낮은 공진 주파수는 회전타원체 형식의 진동이었고, 두 번째로 낮은 공진 주파수는 비틀림 형식의 진동이었다고 하였으며, 다시 정의된 강성계수($f_{2m}^{2/3}$)는 예전의 강성계수(f_{2m}^2)보다 더욱 정확하게 과실의 경도를 예측할 수 있었다고 보고하였다.

Yong과 Bilanski(1979)은 Finney의 방법을 이용하여 사과와 감의 공진 모드에 대하여 다시 연구하였다. 그들은 사과와 감의 적도방향에 부착된 가속도계를 이용하여 수평 및 수직방향의 진동에 대한 공진 주파수를 분석하였으며, 첫 번째 공진 주파수에서는 수평방향의 진동이 발생되지 않았으며, 두 번째 공진 주파수에서 발생하였다고 보고하였다.

Yamanoto 등(1980)은 음향 임펄스(acoustic impulse) 방법이 적용된 동질의 탄성구 모델을 이용하여 사과와 감의 공진 주파수를 연구하여 공진 주파수로부터 전단탄성계수(shear modulus)를 예측할 수 있는 모델식을 개발하였으며, Finney 방법을 이용하여 사과에 대한 탄성계수(Young's modulus)와 공진 주파수와 관계를 연구하였으며, 그 결과 탄성계수와 Cooke의 경도 지수와 높은 상관관계가 있다고 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 농산물 포장 설계 시 중요한 자료가 되는 농산물의 공진 주파수의 진동특성을 분석하기 위하여 실험적 방법으로 수박을 공시하였다. 수박을 공시한 이유는 고속도로에서 수박을 적재한 운송수단의 전복사고가 발생하는데 대한 이유를 규명하고 농산물에 대한 적정 완충포장을 위한 기초 데이터를 구축하기 위하여 공시된 수박에 대해 정현파 스윙 진동실험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 실험에 사용된 수박은 경북 성주 지방의 비닐하우스에서 재배된 금촌 품종의 국내산 수박이었으며, 2005년 5월에 일반농가에서 수확된 후 시험에 사용되기 전까지 저온저장($3\pm 1^\circ\text{C}$, $85\pm 5\%$ rh) 되었다. 시험에 사용되기 전 실험실의 환경조건(25°C , 60% rh)에서 약 4시간 동안 적응을 시킨 후 시험에 사용하였다.

나. 실험장치

본 연구에서 수박의 진동특성을 측정하기 위해 구성된 실험 장치는 그림 (1) 및 (2)에서 보는 바와 같이 미국의 ETS-solutions(ETS-100)사의 전자식 가진기(electro-magnetic exciter), 입력된 스윙율(sweep rate)로 일정 범위의 주파수를 제어하기 위한 콘트롤러, 수박의 진동 신호를 측정하기 위한 가속도 센서와 8채널 A/D보드가 내장된 컴퓨터로 구성되었다. 본 연구에 사용된 진동 실험기는 피드백을 통해 일정한 가속도 수준을 유지해주는 시스템으로 각 가속도 수준별 입력전압을 조절하여 진동 변위를 자동 제어하는 시스템이다.

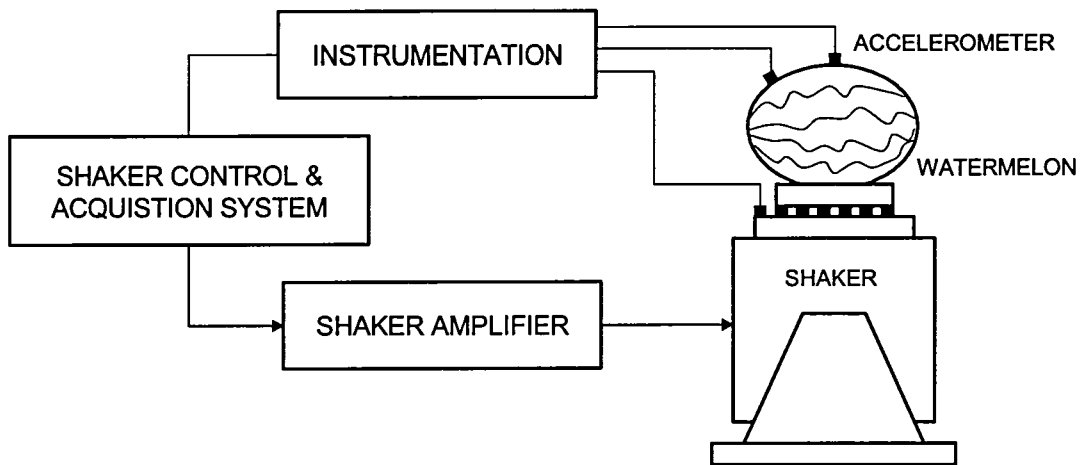


Fig. 1. Schematic diagram of the sweep vibration test apparatus for the Watermelon.

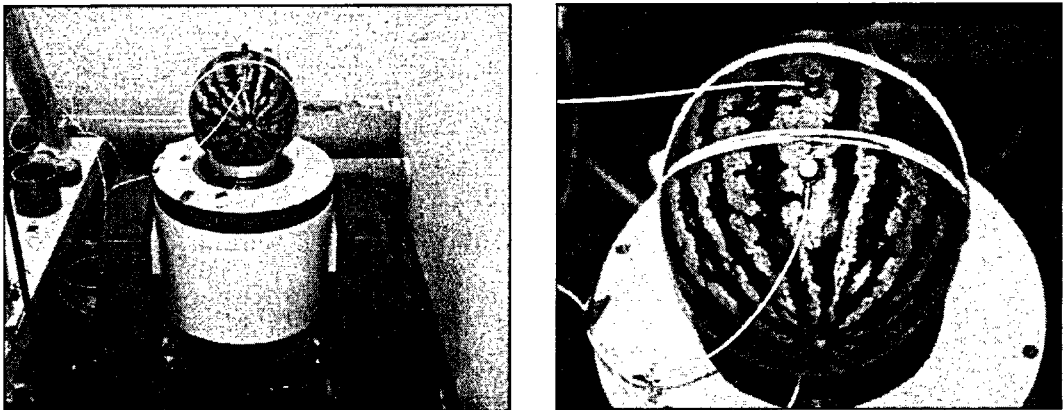


Fig. 2. General view of the sweep vibration test using the electro-magnetic vibration exciter.

또한 진동시험에 사용되는 가속도 센서는 아주 경량이고, 유연한 케이블을 가지고 있는 1축의 압전형 가속도 센서(1000 G)를 사용하였다. 그림 (2)에서 보는 바와 같이 하나의 가속도 센서는 피드백을 위해서 시료 고정장치에 부착하였으며, 수박의 부분별 진동특성을 계측하기 위하여 위쪽 중앙과 측면 부위에 부착하여 진동에 따른 가속도를 계측하였다.

시료 고정장치는 시료를 가진기의 테이블 위에 견고히 고정시키기 위해 충분한 강도와 강성이 있어야 하고, 테이블과 시료 고정장치 사이의 상대운동이 없어야 하며, 가능한 한 그 무게가 가벼워야한다. 따라서 본 실험에서는 그림 (3)에서 보는 바와 같이 알루미늄으로 무게가 800 g이 되도록 제작하여 본 실험에 적용하였다. 여기서, 가진기의 가진력이 100 kg이므로, 가진기의 아마추어, 시료고정장치, 수박 및 가속도 센서의 총 무게가 이 범위를 벗어나지 않도록 하였다.

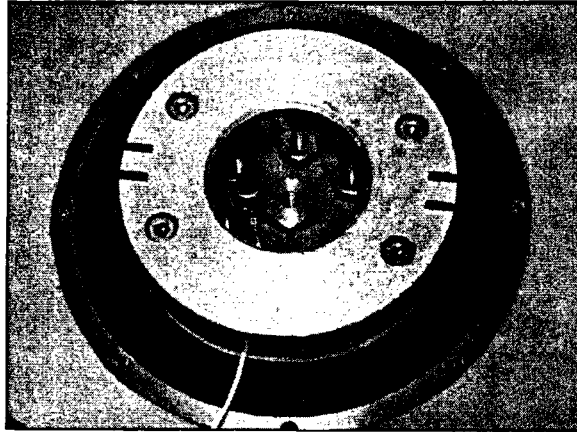


Fig. 3. Specimen-mounting device for vibration test of the watermelon.

다. 실험방법

수박에 대한 진동실험시 주파수 범위는 10~120 Hz, 가속도 수준은 유통경로에 따라 트럭 등의 운송수단에서 발생하는 0.25 G, 0.5 G 및 0.75 G(Peleg and Hinga, 1986; O'Brien et al., 1965), 스위프율은 1 octave/min로 대수적인 정현파 스위프 진동실험을 수행하여 공진 주파수를 분석하였다(ASTM D3580). 또한 수박에 대해 가속도 센서의 위치에 따른 공진 주파수의 영향을 분석하기 위하여 그림 (1) 및 (2)에서 보는 바와 같이 가속도 센서를 위쪽 가운데 및 측면 부위에 부착하여 진동실험을 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 수박의 공진 주파수

그림 (4), (5) 및 (6) 3번 파형들은 각 가속도 수준(0.25, 0.5, 0.75 G)에 따른 가진기의 정현파 스위프에 대한 진동신호이며, 실험 주파수 범위 내에서 매우 정확하다는 것을 알 수 있었다. 또한 각 가속도 수준별 수박의 공진 주파수(A)는 20~30 Hz 범위 내에서 발생하였으며, 수박의 계측 위치별 공진 주파수의 차이는 없는 것으로 판단되어 수박의 어느 곳에서도 공진 주파수는 같다는 것을 알 수 있었으며, 수박의 피크가속도에 약간의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

또한 각 입력가속도 수준별 공진 주파수는 입력 가속도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 각 그림의 3번 파형에서는 수박의 공진 주파수 대역에서 약간의 변화를 발생(B) 하였는데 이러한 현상은 수박이 공진 주파수 대역에서 진동을 받게 되면 갑작스러운 가속도의 변화로 인하여 시료와 가진기와의 충격이 발생되어 가진기에 충격력을 전달하게 되는 것으로 판단되었다. 표 (2)의 가진기(exciter)의 피크 가속도 수치는 수박의 공진 주파수 대역에

서의 가진기의 최대 및 최소 가속도의 변화값을 나타내었다.

Table 2. Resonance frequency and peak acceleration of the watermelon according to the positions

Acceleration Level (G)	Position	Resonance Frequency (Hz)	Peak Acceleration (G)
0.25	Center	29.88	1.7972
	Side	29.88	1.5138
	Exciter	-	0.0220
0.5	Center	26.81	2.4918
	Side	26.81	2.1138
	Exciter	-	0.1273
0.75	Center	23.49	2.9488
	Side	23.49	2.5366
	Exciter	-	0.2968

따라서 일반 고속도로에서 수박을 적재한 트럭이 전복되는 경우는 진동을 발생시키는 운송수단에 공진 주파수 대역에서 수박이 충격력을 전달하여 이러한 현상이 발생하는 것으로 판단되었다. 하나의 수박에서 전달되는 충격력이 표 (2)에서 보는 바와 같다면 다량의 수박을 적재할 경우에는 상당한 크기의 충격력이 전달될 수 있을 것으로 판단되었다.

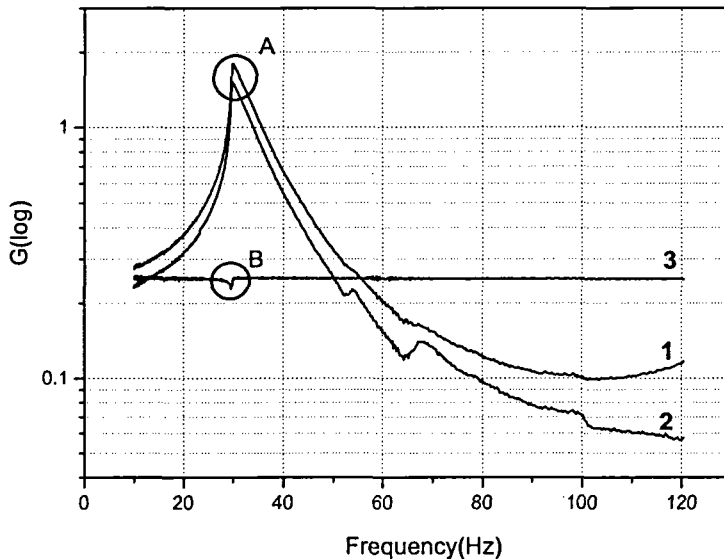


Fig. 4. Vibration response of watermelon at 0.25 G

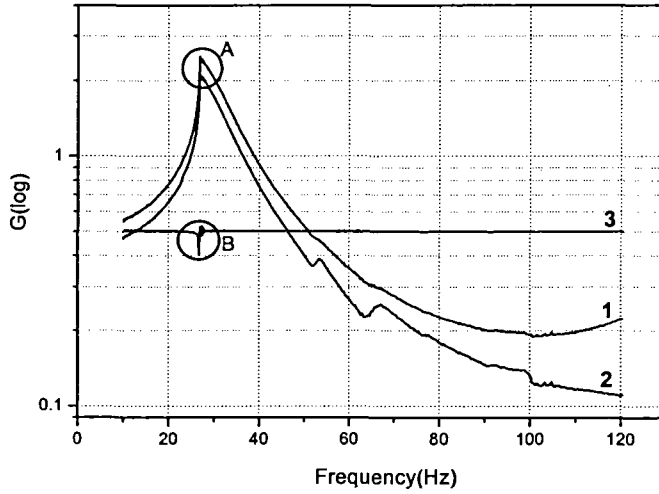


Fig. 5. Vibration response of watermelon at 0.5 G

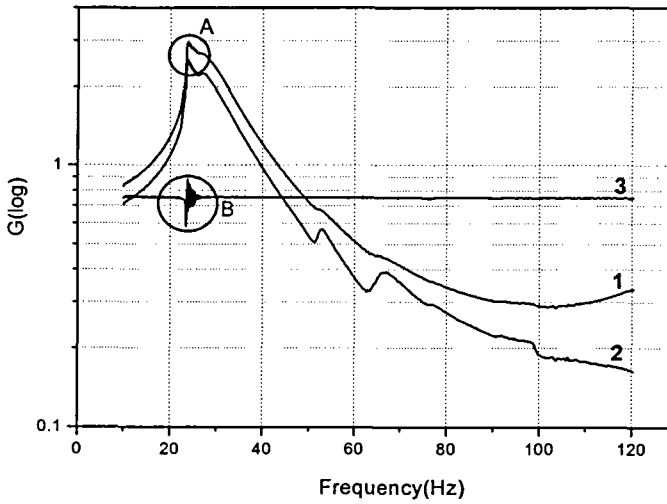


Fig. 5. Vibration response of watermelon at 0.75 G

본 실험을 통해 구명된 수박의 공진 주파수는 수박의 적정 포장설계를 위한 중요한 데이터이며, 운전중의 트럭과 화차 본체에서 감지되는 진동수가 각각 50~100 Hz 임(포장기술편람, 2003)을 고려할 때 수박의 공진 진동수는 이 진동수내에 있지 않지만 도로의 상태에 따라서 충분히 수박의 공진 주파수 대역에 접근할 수 있으므로 높은 공진 현상이 발생할 우려도 있다.

4. 결론

본 연구에서는 농산물의 포장설계시 중요한 변수가 되는 수박의 공진 주파수 및 피크 가속도 등의 진동특성을 분석하기 위하여 정현파 스위프의 실험적 방법을 적용하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공시된 수박의 공진 주파수는 약 20.0~30.0 Hz 범위이었으며, 정점가속도는 약 1.0~3.0 G 범위이었다.
2. 공시된 수박의 위치별 공진 주파수는 일정하여 수박의 공진 주파수를 측정 시 어느 부분에서도 일정하다는 것을 알 수가 있었으며, 입력 가속도 수준이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 정점가속도는 증가하는 경향을 보였다.
3. 수박의 공진 주파수 대역에서 가속도의 급격한 변화에 의해 수박이 가진기에 충격을 가하게 되므로 운송수단에 대한 적절한 완충이 필요한 것으로 판단되었다.
4. 본 실험의 목적은 수박의 공진 주파수를 구명하는 것으로 이 결과는 수박의 운송 시 차량의 입력주파수와 수박의 공진 주파수가 일치되어 공진으로 급격하게 가속도가 증가되는 것을 방지함으로써 충격에 의한 손상을 줄이는데 활용될 수 있을 것이다.

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-Taylor 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. 한국포장기술편람. 2003. 한국포장학회.