

택배용 포장시스템이 적용된 과실의 랜덤 진동특성

정현모¹ · 김수일^{2,*}

¹경북과학대학교 디지털컨텐츠디자인과

²김수일포장개발연구소

Random Vibration Characteristics of Fruits in Packaging System for Parcel Delivery Service

Hyun Mo Jung¹ and Su Il Kim^{2,*}

¹Dept. of Digital Contents Design, Kyongbuk Science College, Chilgok 718-851, Korea

²Kim Su Il Packaging Development Institute, Choenan 331-961, Korea

Abstract Shock and vibration inputs are transmitted from the transporting vehicle through the packaging to the fruit during the parcel delivery service. The vibration causes sustained bouncing of fruits against each other and the container wall. The steady state vibration input may cause serious fruit injury, and the damage is particularly severe if the fruits are bounced at its resonance frequency. The determination of the resonance frequencies of the fruits and vegetables may help the packaging designer to determine the proper packaging system providing adequate protection for the fruits, and to understand the complex interaction between the components of the fruits when they relate to expected transportation vibration inputs. To analyze the vibration properties of the apples for optimum packaging design during transportation for parcel delivery service, random vibration tests were carried out. In the random vibration test, the resonance frequency and PSD of the apples in packaging system for parcel delivery service in the test were in the range of 13 to 99 Hz and 0.0143~0.0923 G^2/Hz .

Keywords Apples, PSD, Packaged freight, Resonance frequency, Parcel delivery service

서론

농산물과 과실에 대한 소비자의 구매 패턴은 갈수록 고급화되고 있으며 품질이 우수하고 안전한 농산물 및 과실을 구매하려는 소비자의 요구를 충족시키기 위해서는 합리적이며 실질적인 수확 후 품질관리기술의 개발이 절실히 요구되고 있다. 농산물 특히 청과물은 수송 중에 수확 시의 본래 품질과 생리적, 물리적 특성이 빠른 속도로 변하기 때문에 일반 공산품에 비하여 품질 관리에 많은 어려움이 있다.

뿐만 아니라 향후 농산물 시장의 개방으로 인해 외국 농산물과 경쟁하여야 하고 외국산 농산물과의 차별성을 위해

서는 무엇보다도 국내산 농산물에 대한 철저한 품질관리가 이루어져야 할 것이며 따라서 농산물의 품질을 판정할 수 있는 기술도 반드시 선진국 못지않은 기술로 발전되어야 할 것이다.

과실의 경우 수확 후 선별, 포장, 저장 및 수송 등의 유통 과정을 거치는 동안 진동 및 충격에 의한 외력을 받을 수 있는 경우가 다른 농산물에 비하여 상대적으로 많을 뿐만 아니라 과실의 조직도 매우 연약하여 손상을 입기가 쉽다. 이와 같이 과실이 받은 크고 작은 손상은 유통과정이 길어짐에 따라 곧바로 변질되고 부패하여 생산자에게 큰 경제적인 손실을 가져다 주게 된다. 유통과정 중에 과실이 받는 기계적 손상은 주로 진동과 충격에 의한 요인이나 최근에 와서 과실의 유통체계가 기계화됨에 따라 충격에 의한 손상은 점차 감소되고 주로 진동에 의한 손상이 대부분을 차지하고 있는 것으로 알려져 있다. 과실이 유통과정 중에 받는 진동에 의한 손상을 줄이기 위해서는 과실 자체의 진동특성과 기계

*Corresponding Author : Su Il Kim
Kim Su Il Packaging Development Institute, Choenan 331-961, Korea
Tel : +82-41-556-4688, Fax : +82-41-556-4689
E-mail : suilssi@naver.com

적 특성 등이 철저히 구명되어야 할 것이다. 이처럼 농산물은 유통 시에 매우 다양한 주파수의 랜덤(random) 진동을 받게 되며 만약 이 주파수가 그 농산물의 공진 주파수 범위에 있다면 농산물과 포장 완충재의 상호관계를 이용하여 공진점을 피하도록 적정 포장해야 할 것이다. 농산물 자체의 공진 주파수를 파악하는 것은 농산물의 포장설계와 유통과정 중에 발생될 수 있는 진동에 의한 과실의 손상 메카니즘을 이해하는데 매우 중요하다. 또한, 랜덤 진동을 진동실험기에 입력하기 위해서는 특정 랜덤 진동 주파수 대역의 순간 최대 가속도 진폭을 나타내는 PSD (power spectral density)을 이용하게 된다.

Hinsch 등²⁾은 스프링 현가장치로 되어있는 대형화물차를 이용하여 체리, 복숭아, 배를 수송하는 과정 중에 발생하는 진동신호를 계측하여 PSD를 분석하였다. PSD는 3.5 Hz구간에서 가장 크게 나타났으며 9 Hz, 18 Hz, 25 Hz구간에서도 높은 값이 나타났었다고 하였다. PSD는 대형화물차 바닥의 뒷부분에서 가장 크게 나타났고 수직방향의 가속도에 비해 수평방향의 가속도는 작게 계측되었다고 보고하였다.

Peleg와 Hinga⁶⁾는 수송 중 과실의 진동손상을 추정하기 위한 모의실험을 수행하였다. 이를 위하여 도로의 상태 및 해상수송의 경우 발생하는 정점가속도를 측정하였던 결과, 도로의 노면상태가 매우 불균일하였던 도로에서 2.2 G_{rms} , 아스팔트로 잘 포장된 도로에서 0.5 G_{rms} , 해상에서 0.2 G_{rms} 로 계측되었다고 보고하였다. Singh 등⁷⁾은 수송차량의 현가장치에 따른 PSD를 측정하였던 결과 실험 주행하였던 도로 전체 평균은 스프링 현가장치에서 0.89 G_{rms} , 에어 현가장치에서 0.5 G_{rms} 로 나타난 것으로 보고하였으며 이를 근거로 하여 랜덤 진동실험방법을 제시하였다. 하지만, ASTM과 KS에서 제시하는 유통중 랜덤 PSD 프로파일의 수준이 기존 연구자에 의해 제시된 것보다 크므로 본 연구에서는 기존 표준 PSD 프로파일을 적용하였다.

따라서 본 연구에서는 유통을 위한 과실의 적정 포장설계 시 중요한 자료가 되는 진동특성을 분석하기 위하여 실험적 방법으로 사과를 공시하였으며, 택배용 완충포장시스템이 적용된 공시된 사과에 대한 랜덤 진동실험을 통한 진동특성을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 과실은 후지 품종의 국내산 사과이었으며, 실험용 시료는 2013년 10월에 일반농가에서 수확된 후

시험에 사용되기 전까지 약 2개월 정도 CA저장 컨테이너에 저온저장($0\pm1^{\circ}\text{C}$, $85\pm5\%$ rh) 되었다. 시료들의 기본적인 물성들은 Table 1과 같으며, 시험에 사용되기 전 실험실의 환경조건(15°C , 75% rh)에서 약 4시간 동안 적응을 시킨 후 시험에 사용하였다. 또한, 포장시스템은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 포장단위(무게)인 5 kg를 기준으로 한 사과 택배용 포장샘플이었다. 골판지는 이중양면골판지(SK210/K180/ K180/K180/K180)를 사용하였으며, 택배용으로 개발된 과실용 16개구 PP 재질의 난좌(tray cup)가 사용되었고 택배용 배의 진동 및 충격을 계측하기 위하여 EPS재질의 망(net)구조 완충재를 바닥에 적용하였다.

2. 실험장치

본 연구에서 사과의 랜덤 진동 입력에 따른 특성을 계측하기 위해 구성된 실험 장치는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 전자식 가진기(ETS-150, ETS-Solution, USA), 입력된 PSD (power spectral density)로 일정 범위의 주파수를 제어하기 위한 콘트롤러, 포장화물 및 포장된 사과의 진동 신호를 계측하기 위한 가속도 센서(KISTLER, 100 g)와 고속 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.

3. 실험방법

본 랜덤 진동실험의 경우는 ASTM D4728¹⁾과 KS T ISO 13355⁹⁾를 참조하였으며 Figs. 3과 4는 각각의 규격에 명시되어있는 주파수별 PSD 파일을 도식화한 것이다. 랜덤 진동

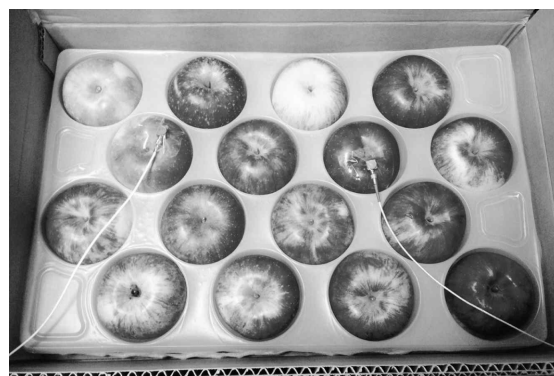


Fig. 1. Sample for parcel delivery service of apples used in random vibration tests.

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

Cultivar	Date of harvest	Volume (10^{-4} m^3)	Mass (kg)	True density (kg/m^3)
Apple (Fuji)	2013. 10	3.812	0.32	832.74



Fig. 2. Random vibration test apparatus for the pear.

실험의 경우 초기 입력값은 전체 수준보다 최소 6 dB 낮은 값으로 시작하여 입력값이 한 단계씩 증가될 수 있도록 설정하였으며, 실험주파수범위는 3~100 Hz, 스펙트럼의 진폭 값은 최소 0.5 G가 되도록 하였고, 실험 주파수구간에 대해 PSD값의 변화폭은 30 dB 이하를 유지하도록 하였다.

결과 및 고찰

사과의 택배용 포장시스템에 대한 랜덤 진동실험 결과를 Fig. 5(a)~5(c) 및 Table 1에 나타내었다. Fig. 5의 결과는 상자 내 가운데에 위치하고 있는 3개의 사과 샘플에 대한 결과치이다. 랜덤진동에 의한 택배용 포장시스템내 사과의 공진주파수는 Kim⁵⁾이 제시하였던 가변주파수 정현파 진동실험에서의 마찬가지로 80~90 Hz 대역에서 공진이 발생하였다. 이러한 현상은 과실을 트럭으로 수송할 때 발생하는 주파수대역이 200 Hz 이하의 낮은 주파수(Jung³⁾)이기 때문에 일반 공산품의 넓은 주파수에서와는 달리 가변주파수 정현파 진동실험이나 랜덤 진동실험에서 큰 차이가 없는 것으로 판단되었다.

Fig. 5(d)~5(f)에서 보는 바와 같이 택배용 포장시스템이 적용된 사과의 랜덤 진동응답은 주파수대역이 20~100 Hz로 넓게 분포되어 Kim⁵⁾이 제시하였던 가변주파수 정현파 진동실험의 공진주파수 결과치와 일부 다른 양상이었다. 이러한 현상은 난좌에 적입된 사과가 크기가 작아 진동중 고정효과를 발휘하지 못해 이러한 결과가 나타났다. 본 실험결과를 통해 택배를 위한 과실의 적정 포장방법은 난좌에 적입될 때 어느 정도의 고정이 되어야 한다는 것을 알 수가 있었다. Fig. 5(a)~5(c)는 사과는 주파수 대역에서 공진이 발생되어 가변주파수 정현파 진동실험과 유사한 결과를 나타내었다.

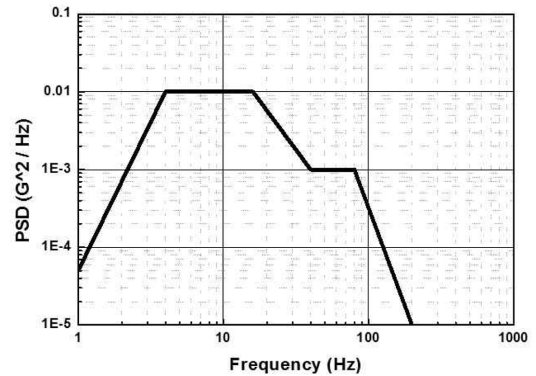


Fig. 3. PSD profile of the ASTM D4728.

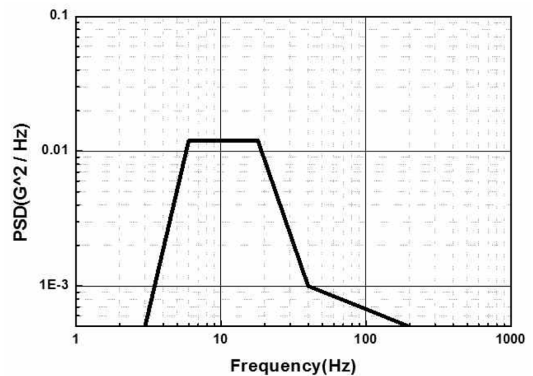


Fig. 4. PSD profile of the KS A ISO 13355.

가변주파수 정현파 진동실험(sweep test)과 랜덤실험을 통해 발생하는 공진주파수 대역은 대부분 일치한다는 것을 알 수가 있었다.

포장중량 5 kg인 택배용 포장화물에 적입된 사과에 대한 랜덤진동 실험결과를 Table 2에 나타내었다. 이 결과는 각 3개의 택배용 포장박스 샘플당 16개 사과샘플에 대한 평균치이며, 택배용 포장시스템 내 평균 공진주파수는 60~72 Hz이었으며, 평균 정점 PSD는 0.06~0.072 G²/Hz이었다. 전반적인 택배용 포장시스템내 사과의 공진주파수는 13~99 Hz의 넓은 주파수대역으로 분포되었으며, PSD는 0.0143~0.0923 G²/Hz 범위로 분포되었다. 이는 낱개의 과실을 대상으로 랜덤 진동신호에 의한 공진주파수를 측정한 결과인 낱개의 사과 공진주파수 대역인 120 Hz (Jung³⁾) 부근과는 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 골판지 상자 자체와 포장상자 내의 완충재의 완충효과에 의한 것으로 판단되었다. 이러한 결과를 토대로 과실의 택배용 포장을 위해서는 난좌에 적입된 상태에서 고정이 되지 않고 유통 중 진동을 받게 된다면 공진주파수 대역이 저주파수 대역에서 발생되어 수송 유통

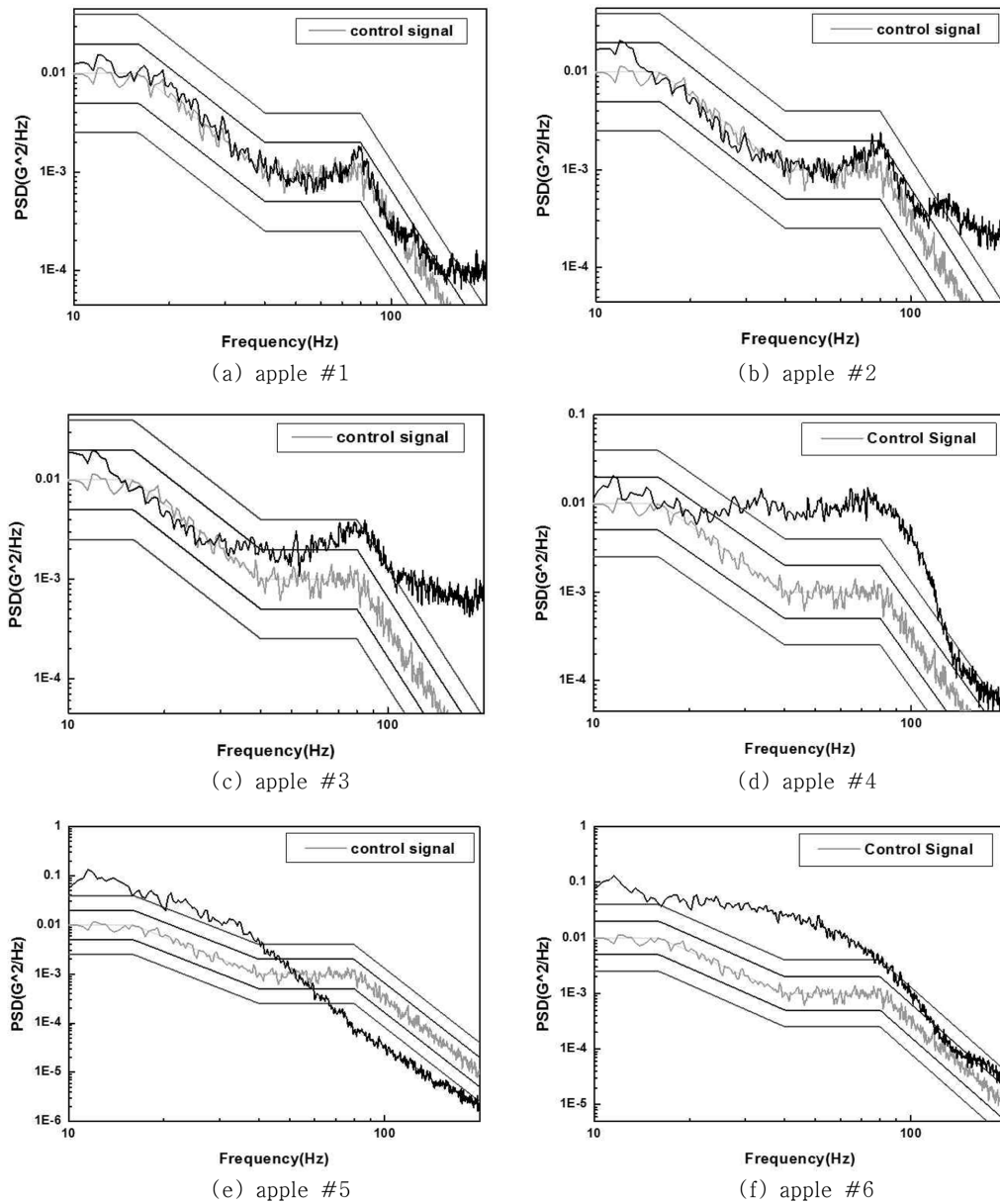


Fig. 5. PSD of the apples packaged for parcel delivery service by the random vibration test.

Table 2. Averaged resonance frequency and peak PSD of apples in Packaging System for Parcel Delivery Service by ASTM random vibration test

Item	Resonance frequency (Hz)	Peak PSD (G^2/Hz)
Sample Box #1	61.1273	0.064288
Sample Box #2	72.7124	0.072263
Sample Box #3	68.9443	0.060327

환경에서 과실의 손상과 관련이 깊은 저주파수 대역과 일치

하게 되어 진동에 의한 손상을 받을 수 있게 된다. 따라서, 과실의 택배용이나 일반포장용으로 적정포장을 위해서는 포장된 과실의 손상을 방지하기 위하여 진동에 의한 가변이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다.

Table 2의 평균 공진주파수의 범위는 수송 유통환경에서 제품의 손상과 관련있는 주파수 대역인 45 Hz 이하의 주파수 대역(Hinsch²)과 일치하지 않아 사과용 택배 포장시스템으로 충분한 가능성이 있을 것으로 판단되었다. 다만, 일부 작은 사과에 대한 저주파수 대역 공진이 발생되는 것을 방지하는 완충재 적용이 필요할 것으로 판단되었다.

결 론

본 연구에서는 농산물의 포장설계 시 중요한 변수가 되는 랜덤 진동 입력에 의한 택배용으로 포장된 사과와 공진 주파수 및 PSD의 진동특성을 분석하기 위하여 랜덤 진동실험을 적용하였다. 그 결과, 랜덤 진동실험에 의한 택배포장된 사과와 공진주파수는 13~99 Hz 대역이었고 PSD는 0.0143~0.0923 G^2/Hz 범위이었다. 또한, 랜덤 진동실험에 의한 사과 포장과실의 공진주파수 대역에서의 PSD는 난좌의 크기에 비해 작은 사과의 경우 낮은 주파수 대역에서 공진주파수가 발생되었다. 낮은 주파수 대역은 수송 유통환경에서 문제가 되는 저주파수 대역과 일치되는 것으로 택배용으로 포장시 사과의 고정이 반드시 필요하다는 것을 본 랜덤진동 실험을 통해 알 수가 있었으며, 본 사과용 택배용 포장시스템이 충분히 가능성이 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(112107-3).

참고문헌

1. ASTM D4728. 2012. Standard Test Method for Random Vibration Testing of Shipping Containers. American Society for Testing Materials.
2. Hinsch, R. T., Slaughter, D. C., Craig, W. L. and Thompson, J. F. 1993. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. Transactions of ASABE, 36(4): 1039~1042.
3. Jung, H. M. 2003. Vibration Behavior of the Fruits and Vegetables Packaged Freight and Durability of Corrugated Fiberboard Container. Chungnam National University Doctor Thesis.
4. Jarimopas, B., Singh, S. P. and Saengnil, W. 2005. Measurement and analysis of truck transport vibration levels and damage to packaged tangerines during transit. Packaging Technology and Science 18: 179~188.
5. Kim, G. S. 2007. Vibration Behavior of the Fruits and the Packaged Freight and their Quality Changes at Simulated Transportation Environment. Chungnam National University Doctor Thesis.
6. Peleg, K. and Hinga, S. 1986. Simulation of Vibration Damage in Produce Transportation. Transactions of the ASABE 29(2): 633~641.
7. Singh, J., Singh, S. P. and Joneson, E. 2006. Measurement and Analysis of US Truck Vibration for Leaf Spring and Air Ride Suspensions, and Development of Tests to Simulate these Conditions. Packaging Technology and Science (in press). DOI:10.1002/pts.732.
8. Singh, S. P. and Marcondes, J. 1992. Vibration levels in commercial truck shipments as a function of suspension and payload. Journal of Testing and Evaluation 20(6): 466~469.
9. 국가기술표준원. 2014. 수송 포장 화물과 단위 화물의 수직 랜덤진동 시험 방법. KS T ISO 13355.

투고: 2015.07.02 / 심사완료: 2015.07.15 / 게재확정: 2015.08.21