

유통중 랜덤 진동에 의한 포장화물 및 포장된 사과와 사과 껍질의 진동특성

정현모 · 김기석* · 김만수* · 김대용**

경북과학기술대학교 패키징매니지먼트과, 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부*, 경북신기술포장연구센터**

Vibration Characteristics of Packaged Freight and Packaged Apples by Random Vibration Input During Distribution

Hyun Mo Jung, Ghi Seok Kim*, Man Soo Kim*, and Dae Yong Kim**

Dept. of Packaging Management, Kyoungbuk College of Science

**Division of Bioresources Engineering, College of Agriculture & Life Sciences, Chungnam National University*

***Gyeongbuk Packaging Research Center*

Abstract Shock and vibration inputs are transmitted from the transporting vehicle through the packaging to the fruit. 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, random vibration tests were carried out. In the random vibration test, the resonance frequency and PSD of the packaged freight of apples in the test were in the range of 82 to 97 Hz and 0.0013 to 0.0021 G^2/Hz respectively and the resonance frequency and PSD of the packaged apples in the test were in the range of 13 to 71 Hz and 0.0143 to 0.0923 G^2/Hz .

Key words Resonance frequency, PSD, Packaged freight, Apples

서 론

농산물과 과실에 대한 소비자의 구매 패턴은 갈수록 고
급화되고 있으며 품질이 우수하고 안전한 농산물 및 과실
을 구매하려는 소비자의 요구를 충족시키기 위해서는 합리
적이며 실질적인 수확 후 품질관리기술의 개발이 절실히 요
구되고 있다. 농산물 특히 청과물은 수송 중에 수확 시의
본래 품질과 생리적, 물리적 특성이 빠른 속도로 변하기 때
문에 일반 공산품에 비하여 품질의 관리에 많은 어려움이
있다.

뿐만 아니라 향후 농산물 시장의 개방으로 인해 외국 농
산물과 경쟁하여야 하고 외국산 농산물과 국내산 농산물을
구별하기 위해서는 무엇보다도 국내산 농산물에 대한 철저

한 품질관리가 이루어져야 할 것이며 따라서 농산물의 품
질을 판정할 수 있는 기술도 반드시 선진국 못지않은 기술
로 발전되어야 할 것이다.

과실의 경우 수확 후 선별, 포장, 저장 및 수송 등의 유통과정을 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 유통과정의 길어짐에 따라 곧바로 변질되고 부패하여 생산자에게 큰 경제적 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 기계적 특성 등이 철저히 구명되어야 할 것이다.

†Corresponding Author : Hyun Mo Jung

Dept. of Packaging Management, Kyoungbuk College of Science, 159, Bongsan-ri, Kisan-myeon, Chilgok-gun, Gyeongbuk, 718-851 Korea
E-mail : <hmjung@kbc.ac.kr>

이처럼 농산물은 유통 시에 매우 다양한 주파수의 랜덤 (random) 진동을 받게 되며 만약 이 주파수가 그 농산물의 공진 주파수 범위에 있다면 농산물과 포장 완충재의 상호 관계를 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 등(1993)은 스프링 현가장치로 되어있는 대형화물차를 이용하여 채리, 복숭아, 배를 수송하는 과정 중에 발생하는 진동신호를 계측하여 PSD를 분석하였다. PSD는 3.5 Hz구간에서 가장 크게 나타났으며 9 Hz, 18 Hz, 25 Hz 구간에서도 높은 값이 나타났다고 하였다. PSD는 대형화물차 바닥의 뒷부분에서 가장 크게 나타났고 수직방향의 가속도에 비해 수평방향의 가속도는 작게 계측되었다고 보고하였다.

Peleg와 Hinga(1986)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 Grms, 아스팔트로 잘 포장된 도로에서 0. Grms, 해상에서 0.2 Grms로 계측되었다고 보고하였다.

Singh 등(2006)은 수송차량의 현가장치에 따른 PSD를 측정하였던 결과 실험 수행하였던 도로 전체 평균은 스프링 현가장치에서 0.89 Grms, 에어 현가장치에서 0.5 Grms로 나타난 것으로 보고하였으며 이를 근거로 하여 랜덤 진동실험방법을 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 유통을 위한 과실의 적정 포장설계 시 중요한 자료가 되는 진동특성을 분석하기 위하여 실험적 방법으로 배와 사과를 공시하였으며, 시료에 대한 적정 완충포장을 위한 데이터를 구축하기 위하여 공시된 과실에 대해 랜덤 진동실험을 통한 진동특성을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

실험에 사용된 과실은 사과(후지)이었으며, 시료는 모두 2006년 10월경에 일반농가에서 수확된 후 시험에 사용되기

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)	2006. 10	3.619	0.30	830.75

전까지 약 10일 정도 저온저장(31°C, 85% rh)되었었다. 시료들의 기본적인 물성들은 Table 1과 같으며, 시험에 사용되기 전 실험실의 환경조건(15°C, 75% rh)에서 약 5시간 동안 적응을 시킨 후 시험에 사용하였다.

또한, 사과 포장용 골판지 상자는 Table 2에서 보는바와 같이 국내에서 보편적으로 사용되고 있는 이중양면 골판지 (double wall corrugated fiberboard) 상자로 포장중량이 5 kg 인 상자의 경우는 BE골로서 사용된 골심지는 S120 원지를 두 겹으로 합지한 강화 골심지이며, 포장중량이 15 kg인 상자의 경우는 AB골로 원지배합은 중하수준이었다. 상자의 형식은 KS A 1003에서 규정하고 있으며 포장중량 7.5 kg의 경우는 0435의 접는형(folder type)의 개방형 상자이었고, 포장중량 15 kg의 경우는 0201의 RSC형 상자이었다. 습기에 의한 상자의 강도저하를 방지하기 위하여 외부 전면에 방수 코팅이 되어있으며 포장중량 15 kg상자의 경우는 포장된 포장화물의 통기역할을 하는 손잡이 구멍이 있는 골판지 상자이었다. 내부완충재는 PE 트레이캡과 골판지 패드가 사용되었다.

2. 실험장치

본 연구에서 사과의 랜덤 진동 입력에 따른 특성을 계측하기 위해 구성된 실험 장치는 Fig. 1 및 2에서 보는 바와 같이 전자식 가진기(ETS-150, ETS-Solution, USA), 입력

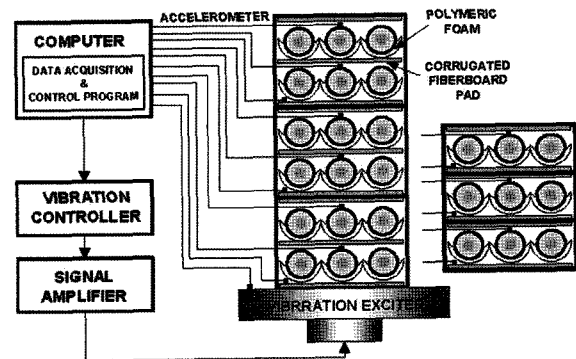


Fig. 1. Schematic diagram of the vibration test apparatus for fruit packaged freight and their fruits.

Table 2. Type and physical properties of the packaged freight tested

Fruits		Flute	Paper combination	Dimension (L × W × D, mm)	Packaging Weight (kg _f)
apple	Single-layer	BE/F	KA ²¹⁰ /(S ¹²⁰ +S ¹²⁰)/S ¹²⁰ /(S ¹²⁰ +S ¹²⁰)/KA ²¹⁰	520 × 350 × 130	5.0
	Double-layer	AB/F	KA ²¹⁰ /S ¹²⁰ /S ¹²⁰ /S ¹²⁰ /KA ²¹⁰	520 × 350 × 250	15

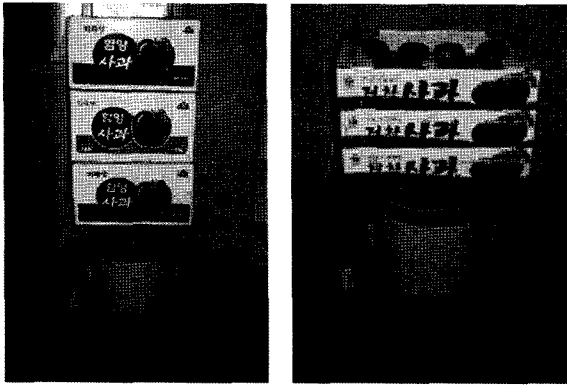


Fig. 2. Vibration test for apples in the packaged freight.

된 스위프율(sweep rate)로 일정 범위의 주파수를 제어하기 위한 콘트롤러, 포장화물 및 포장된 사과와 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 D4728과 KS A ISO

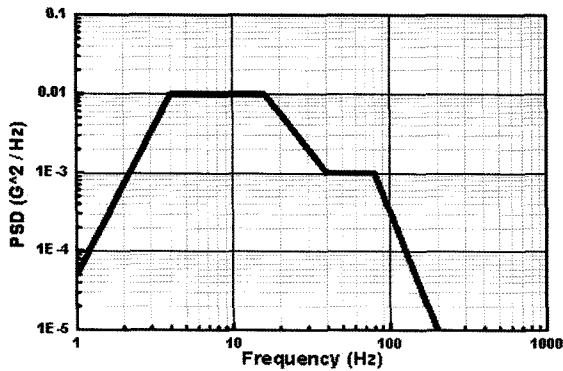


Fig. 3. PSD curve of the ASTM D4728.

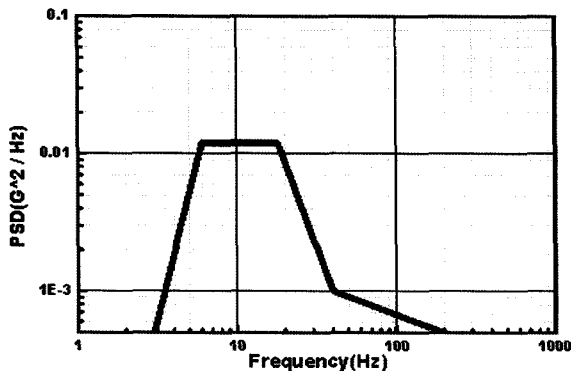


Fig. 4. PSD curve of the KS A ISO 13355.

13355를 참조하였으며 Fig. 3과 4는 ASTM D4728과 KS A ISO 13355에 명시되어있는 주파수별 PSD 파일을 도식화한 것이다. 랜덤 진동실험의 경우 초기 입력값은 전체 수준보다 최소 6 dB 낮은 값으로 시작하여 입력값이 한 단계씩 증가될 수 있도록 설정하였으며, 실험주파수범위는 3~100 Hz, 스펙트럼의 진폭값은 최소 0.25 Grms가 되도록 하였고, 실험 주파수구간에 대해 PSD값의 변화폭은 30 dB 이하를 유지하도록 하였다.

결과 및 고찰

1. 랜덤 진동에서 사과 포장화물의 적재단수별 진동거동

사과의 골판지 포장화물에 대한 랜덤 진동실험 결과를 Fig. 5의 (a), (b), (c) 및 Table 3에 나타내었다. 랜덤진동에 의한 사과 포장용 골판지 포장화물의 공진주파수는 김 (2007)이 제시하였던 가변주파수 진동실험에서와 마찬가지로 80~90 Hz대역에서 공진이 발생하였다. 이러한 현상은 과실을 트럭으로 수송할 때 발생하는 주파수대역이 200 Hz 이하의 낮은 주파수이기 때문에 일반 공산품의 넓은 주파수에서와는 달리 가변주파수 정현파 진동실험이나 랜덤 진동실험에서 큰 차이가 없는 것으로 판단되었다.

Fig. 5의 (d), (e), (f) 및 Table 4에서 보는바와 같이 단층이며, 오픈형의 포장화물 내 포장과실인 사과에 대한 랜덤 진동응답은 포장화물 1단에 적재된 포장사과는 주파수대역이 20~100 Hz로 넓게 분포되어 김 (2007)이 제시하였던 가변주파수 진동실험의 경우 20 Hz이하에서 공진주파수가 발생되었던 것과 아주 다른 양상이었으나 2단 및 3단에 적재된 사과는 낮은 주파수 대역에서 공진이 발생되어 가변 주파수 진동실험과 유사한 결과를 나타내었다. 그러나 포장화물 3단 적재 중 2단 및 3단의 경우 저주파대역에서 PSD값이 높게 나타났다. 이러한 현상은 사과상자가 개방형 상자이었기 때문인 것으로 판단되며 따라서 유통 중에 개방형 과실상자의 경우 진동충격을 더 받을 수 있으므로 이에 대한 완충방법이 강구되어야 할 것으로 사료되었다.

2. 랜덤 진동에서 단층 및 복층을 포장된 사과와 사과 적재단수별 진동거동

포장중량 5 kg인 사과 포장화물에 대해 단층으로 포장된 포장화물내의 사과에 대한 진동실험결과, 표 Table 4에서 보는 바와 같이 사과의 경우는 10~70 Hz의 넓은 주파수대역으로 분포되었다. 이는 낱개의 과실을 대상으로 랜덤 진동신호에 의한 공진주파수를 계측한 결과인 낱개의 사과 공진주파수 대역인 150 Hz부근과는 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 골판지 상자 자체와 포장상자 내의 완충재의 완충효과에 의한 것으로 판단되었다.

랜덤 진동실험에 의한 복층으로 포장된 포장화물 내 사

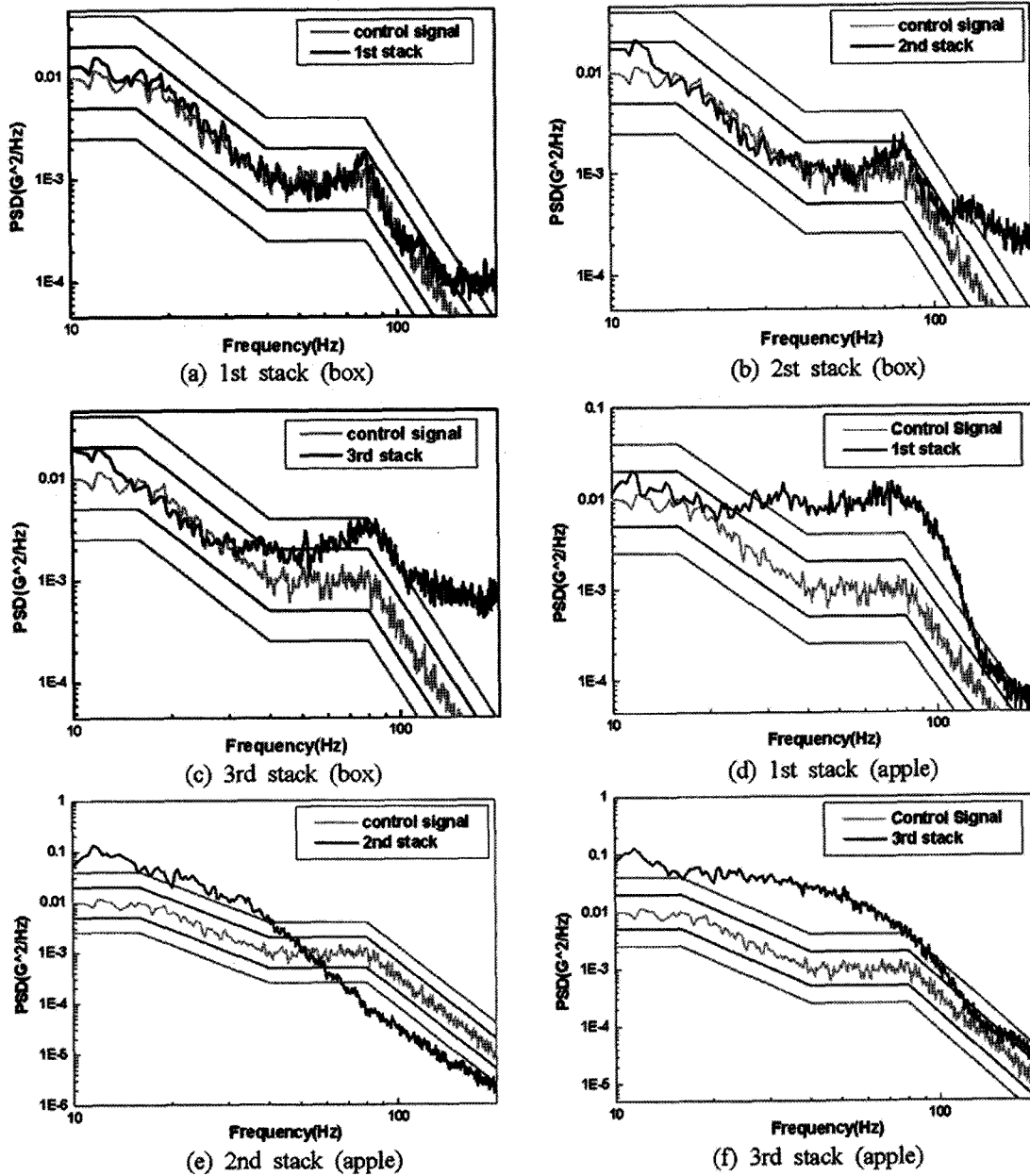


Fig. 5. PSD curve of the packaged freight and apples according to the number of stack by the random vibration test.

Table 3. Resonance frequency and PSD of the packaged freight for the apples by ASTM random vibration test.

Item	Resonance frequency (Hz)	Peak PSD (G ² /Hz)
1st stack	82.652	0.001251
2nd stack	81.857	0.001709
3rd stack	96.957	0.002134

과의 공진주파수 및 정점 PSD를 Table 5 및 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 랜덤 진동실험에 의한 사과 포장과실의 공진주파수 대역에서의 PSD는 복층으로 포장된 1단적재 포장화물 내 1층 사과에서 가장 크게 측정되

Table 4. Resonance frequency and PSD of apples in the vertically stacked packaged freight with packaging weight of 5 kg by ASTM random vibration test.

Item	Resonance frequency (Hz)	Peak PSD (G ² /Hz)
1st stack	71.1281	0.014288
2nd stack	12.7156	0.092263
3rd stack	38.9417	0.030327

었으며, 적재단수가 올라갈수록 공진주파수 대역에서의 PSD는 감소하는 경향이였다. 또한 개방형 상자를 사용하여 단층으로 포장한 사과의 경우에는 복층으로 포장된 포장화물

Table 5. Resonance frequency and PSD of the apples in the vertically stacked packaged freight with packaging weight of 15 kg by ASTM random vibration tests.

Item	Resonance frequency (Hz)		Peak PSD (G ² /Hz)	
	1st layer	2nd layer	1st layer	2nd layer
1st stack	101.25	46.00	0.008399	0.038608
2nd stack	67.75	40.25	0.018742	0.005186
3rd stack	45.75	40.75	0.018957	0.006644

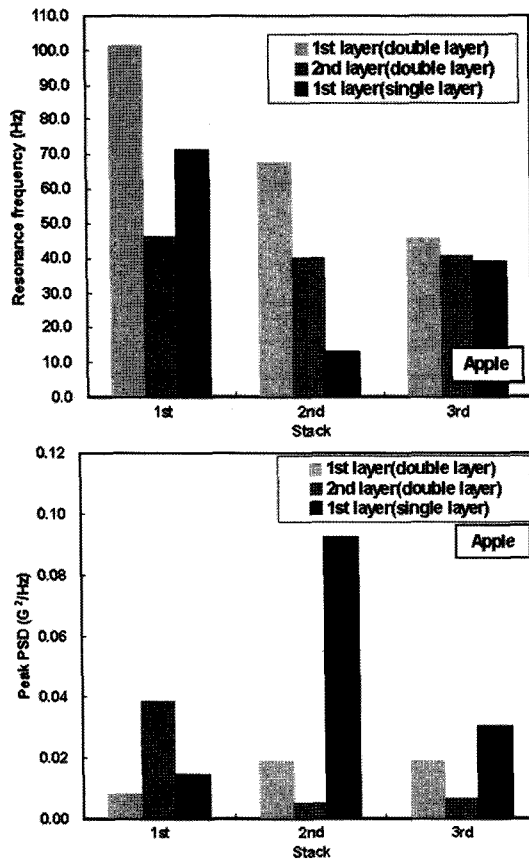


Fig. 6. Resonance frequency and peak PSD of the apples in the vertically stacked packaged freight.

내 사과에 비해 1단의 적재단수에서는 PSD에 큰 차이는 없었으나 적재단수가 올라갈수록 공진주파수 대역에서의 PSD가 급격히 증가하는 경향을 보였다.

결론

본 연구에서는 농산물의 포장설계 시 중요한 변수가 되는 랜덤 진동 입력에 의한 포장된 사과의 공진 주파수 및 PSD의 진동특성을 분석하기 위하여 랜덤 진동실험을 적용하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 랜덤 진동실험에 의한 사과 포장화물의 공진주파수는 82~97 Hz대역이었고 PSD는 0.0013~0.0021 G²/Hz 범위이었으며, 포장된 사과의 공진주파수는 13~71 Hz 대역이었고 PSD는 0.0143~0.0923 G²/Hz 범위이었다.
2. 랜덤 진동실험에 의한 사과 포장화물의 공진주파수 대역에서의 PSD는 복층으로 포장된 1단적재 포장화물 내 1층 사과에서 가장 크게 계측되었으며, 적재단수가 올라갈수록 공진주파수 대역에서의 PSD는 감소하는 경향이였다.
3. 개방형 상자를 사용하여 단층으로 포장한 사과의 경우에는 복층으로 포장된 포장화물 내 사과에 비해 1단의 적재단수에서는 PSD에 큰 차이는 없었으나 적재단수가 올라갈수록 공진주파수 대역에서의 PSD가 급격히 증가하는 경향을 보였다.

참고문헌

1. ASTM D4728. Standard Test Method for Random Vibration Testing of Shipping Containers.
2. Hirsch, R. T., D. C. Slaughter, W. L. Craig and J. F. Thompson. 1993. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. *Transactions of ASAE*, 36(4) : 1039~1042.
3. 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.
4. Peleg, K. and S. Hinga. 1986. Simulation of Vibration Damage in Produce Transportation. *Transactions of the ASAE*, 29(2): 633~641.
5. Singh, J., S. P.I Singh and E. Joneson. 2006. Measurement and Analysis of US Truck Vibration for LeafSpring and Air Ride Suspensions, and Development of Tests to Simulate these Conditions. *Packaging Technology and Science*(in press). DOI: 10.1002/pts.732.
6. 한국공업규격표준협회. 수송 포장 화물과 단위 화물의 수직 랜덤진동 시험 방법. KS A ISO 13355.