

모의수송 중 진동피로에 의한 복숭아의 손상

최승렬 이영희 최동수 김만수

Damage at the Peach Due to Vibrational Stress During Transportation Simulation Test

S. R. Choi Y. H. Lee D. S. Choi M. S. Kim

Abstract

Post-Harvest processing engineering is a field that studies prevention of the quality change of agricultural products during sorting, packaging, storage, and distribution after harvested. In distribution steps, agricultural products could be damaged by physical force, it is the main reason of low quality and they lost value of commodities. This study was performed to find the vibration characteristics of the peach, and to find the extent of the damage on the peach by fatigue stress. The vibration data was obtained on expressway and the vibration characteristics of peach was used to find the damage on the peach.

To analyze the vibration characteristics of peach, the resonance frequency and vibration transmissibility were measured. The resonance frequency of the peach was 167.98 Hz and the transmissibility was 4.06 at resonance point. It was 150 ~ 250 Hz that the transmissibility was more than 1. And the transmissibility in simulated test was measured. When the transmissibility was more than 1, the range was 15 ~ 65 Hz, and when it was less than 1, the range was 65 ~ 175 Hz. When the transmissibility was about 1, the range was 5 ~ 15 Hz. The damage and the vibration cycle numbers of peaches were compared with input frequency and acceleration. More damage and less cycle number happened in 30 Hz than in 62.5 Hz. The reason was that the transmissibility of 30 Hz was higher and the vibration displacement in lower frequency was more. The more acceleration and cycle number increased, the more the bruising volume of peaches increased. The bruising volume ratio for vibration fatigue was measured according to input acceleration and cycle number. Using measured data, regression models for bruising volume ratio(BVR) was developed as a function of the acceleration(A) and cycle number(CN) as follows.

$$BVR = a * A^b * (CN)^c$$

Keywords : Peach, Fatigue damage, Vibration

1. 서론

선별, 포장, 수송, 하역과 같은 유통과정에서 농산물에 압축, 충격, 진동 등 여러 가지 복합적인 물리적인 외력이 작용할 수 있으며, 이로 인하여 농산물은 급격한 품질변화를 일으켜 상품가치를 크게 잃게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 외국에서는 낙하충격에 의한 손상이나 진동에 의한 손상에 관련된 연구가 오래전부

터 수행되어 왔고, 농산물의 물리적 손상을 줄일 수 있는 기술이 개발되어 부분적으로 실용화되어 있는 실정이다. 그러나 국내에서는 이 분야에 대한 연구는 초보적인 단계로 몇몇 과실에 대하여 낙하충격에 의한 손상에 관한 연구와 진동 특성에 관한 연구가 보고되어 있는 실정이며, 수송 중 진동피로에 의한 농산물의 손상에 대한 연구는 국내에서는 거의 수행된 바가 없다.

Lee 등(2005)은 감의 명을 색도계(chromameter)를 이용하

The article was submitted for publication on 2009-11-06, reviewed on 2010-04-30, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-05-17. The authors are Seung Ryul Choi, KSAM member, Researcher, Young Hee Lee, KSAM member, Researcher, Dong Soo Choi, KSAM member, Researcher, National Academy of Agricultural Science, RDA, and Man Soo Kim, KSAM member, Professor, Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University. Corresponding author: S. R. Choi, Agricultural Researcher, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 441-100, Korea; Tel: +82-31-290-0910; Fax: +82-31-290-1910; E-mail: <mobumman@korea.go.kr>.

여 판정하였으며, 색의 밝기를 나타내는 L값과 녹색과 적색의 정도를 나타내는 a 값을 이용하여 과피와 과육의 색변화를 나타내었으며, Lim 등(2005)은 배의 동해손상의 정도를 표현할 때 손상부위의 직경을 조사하여 나타내었다.

Lu와 Wang(2007)은 낙하 충격시험기를 이용한 사과와 멍의 분석에 있어서 사과와 멍의 체적과 전체체적과의 비를 이용하여 손상(멍)의 정도를 나타내었으며 멍의 체적과 낙하높이, 멍의 체적과 사과전체 체적의 비(BVR : Bruising Volume Ratio)에 대한 가속도와 속도변화의 관계로 손상경계곡선을 나타내었다.

Diener(1979)와 Brusewitz와 Bartsch(1989)은 충격에 대하여 사과와 멍의 체적(BV : Bruising Volume)을 곡률반경(r)과 멍의 폭(w)와 멍의 깊이(d)를 이용하여 나타낼 수 있는 식을 제시하였다.

Kawano(1987)는 과일과 채소의 수송 중 기계적 손상은 수송중에 작용하는 진동에 의한 충격가속도에 의하여 야기되는 피로누적으로 손상이 발생한다고 가정하고, 금속재료의 피로 해석에 적용하는 방법을 이용하여 손상의 정도를 평가하였다. 가변주파수 정현파 진동시험(sweep sine vibration test)을 통하여 손상의 정도를 1에서 5로 나눈 후 3이상의 손상을 상품성이 없다고 분류하였고 과일과 채소별로 모의 수송시험과 실제 수송시험을 실시하여 손상정도를 평가하였다.

Changfeng(2000)은 농산물에는 피로손상이론과 전자부품에는 와이불 분포이론(Weibull distribution theory)을 기초하여 파손에 이르는 시간(Mean time to failure-MTTF)을 결정하였다.

Kim 등(2005)은 실제 도로에서 측정한 진동데이터(진동가속도, 주파수대역)를 이용하여 과실폐장용 골판지상자를 대상으로 모의 수송시험 후 상자압축시험을 실시한 결과 고주파 대역보다는 저주파대역에서 상자의 압축강도 저하가 크게 나타났다고 보고하였다.

본 연구는 연약 청과물인 복숭아의 진동시험을 통하여 진동가속도 전달특성을 구명하고 주파수별, 가속도별로 복숭아의 진동피로에 의한 손상정도를 구명하는 것을 그 목적으로 한다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 시험에 사용된 공시재료는 충청북도 이천시 장호원에서 재배되어 2008년 10월 1일과 2일 양일간 수확된 황도 품종의 복숭아 420개로, 품질상태가 양호한 시료를 선정하여 사용하였으며, 저온저장고(5°C, RH 90%)에 약 10일간 저장 후 시험하였다. 공시 재료의 주요 물리적 특성은 표 1과 같다.

Table 1 Harvesting date and physical characteristics of the peach

Cultivar	Date of harvest	Mass (kg)	Density (10^3 kg/m^3)	Firmness (N)
Hwangdo	2008. 10.	0.351 (0.020)	0.978 (0.011)	23.4 (5.8)

* () : standard deviation

나. 공진 주파수

일반적으로 공진주파수의 측정은 가변주파수 정현파 진동 시험으로 진동 전달률과 진동 위상차를 분석하여 측정하지만, 본 시험에서는 가진기(V875-640 SP40K, LDS, Ltd, Royston, Herts, England) 계측프로그램의 Resonance Search, Track and Dwell 메뉴로 프로그램 자체에서 공진주파수를 찾아내었으며, 공진주파수 조사 시 문턱값은 진동전달률의 예리도(sharpness)를 나타내는 증폭계수(Q)값을 4로 하고, 진폭비를 2로하여 시험을 하였다.

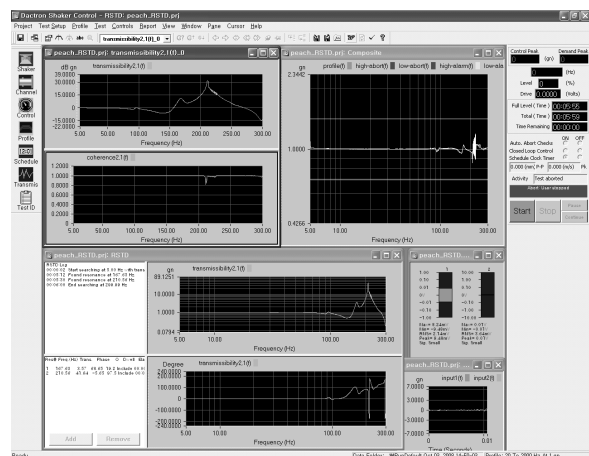


Fig. 1 The main window for the program to measure the resonance frequency.

또한, 복숭아의 공진주파수의 측정 시 시료 고정구의 탄성이 측정 공진주파수에 영향을 미치지 않도록 하기 위하여 공시 재료를 고정할 때 그림 2와 같이 지그를 제작하여 실험하였다.

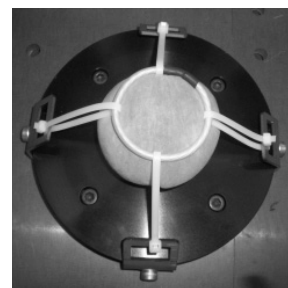


Fig. 2 The jig used for measuring the resonance frequency.

다. 모의 수송시험에 의한 가속도 전달률 측정

실제 복숭아의 유통과정에서 복숭아는 공진주파수의 측정 과정처럼 완전 고정상태로 유통되지 않고, 상자 안에 난좌와 완충재 위에 올려져 고정되지 않은 포장상태로 수송이 된다. 따라서 복숭아의 가속도 전달률을 측정에는 실제 유통과정과 동일한 비고정상태의 실험조건을 적용하기 위하여 그림 3과 같은 지그를 제작하여 진동시험에 사용하였다.

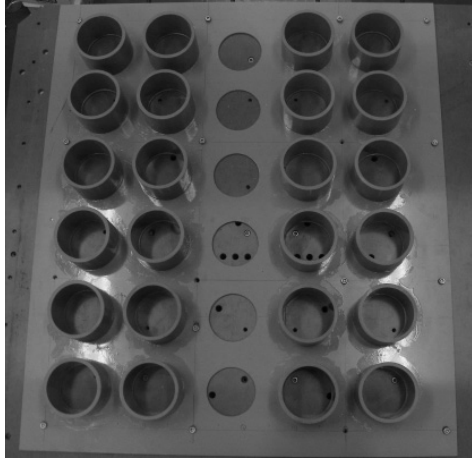


Fig. 3 The jig used for measuring measure the acceleration transmissibility.

또한, 복숭아 가진 시 복숭아의 회전을 방지하기 위하여 그림 4와 같이 테이프, 고무줄 및 골판지로 고정한 복숭아와 고정하지 않은 복숭아의 가속도 전달률을 예비실험을 통하여 비교한 결과, 고정방법에 따라 진동 전달특성에 유의한 차이가 나타나지 않았기 때문에 편의상 고무줄을 이용하여 복숭아를 고정한 후 진동시험을 실시하였다.

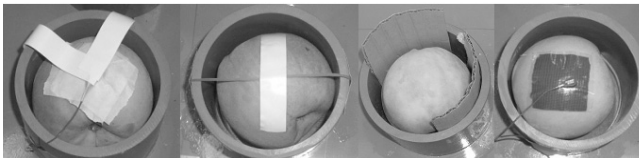


Fig. 4 The attaching method of the peach to the vibration exciter.

가진기의 입력주파수는 3 수준으로 모의수송시험 시 가속도 전달률이 높은 30 Hz와 도로 진동데이터의 PSD 값이 높은 62.5 Hz, 복숭아의 공진주파수 대역인 167.98 Hz이었으며, 입력가속도는 도로 진동가속도 데이터 중 충격을 제외한 가속도 수준인 약 1.0 G를 기준으로 0.5, 1.0, 1.5 및 2 G의 4 수준으로 시험하였다. 가진 사이클수는 10^3 , 10^4 , 5×10^4 , 10^5 , 3×10^5 , 6×10^5 및 10^6 으로 복숭아의 손상정도를 육안으로 확인하며 가진하였다.

손상의 조사는 멍을 기준으로 조사하였고, 가진 후 24시간 후에 가진부위를 절단하여 멍의 가로길이, 세로길이, 복숭아의 곡률반경, 전체지름을 측정하여 Diener(1979)가 제시하였던 식 (1)을 적용하여 멍의 체적을 조사하였다.

$$BV = \left(\frac{\pi}{24}d\right)(3w^2 + 4d^2) + \left(\frac{\pi}{24}t\right)(3w^2 + 4t^2) \quad (1)$$

$$t = r - \left[r^2 - \left(\frac{w^2}{4}\right)\right]^{0.5}$$

- where, BV : Bruising Volume (mm^3)
- r : radius of curvature (mm)
- w : width of Bruising Volume (mm)
- d : depth of Bruising Volume (mm)

3. 결과 및 고찰

가. 복숭아의 진동전달특성

공시된 복숭아의 공진주파수를 측정하기 위하여 5~300 Hz 까지 가변주파수 정현파 진동시험을 한 결과 복숭아의 공진주파수는 167.98 Hz 대역으로 계측되었고, 공진주파수에서의 진동전달률은 4.06이었으며, 그 때의 Q값(sharpness)은 18.62이었다. 또한, 그림 5에서 약 210 Hz 대역에서도 공진 현상이 나타났으나, coherence를 보면 상관성이 떨어지는 것으로 나타나 공진주파수를 167.98 Hz로 결정하였다.

그림 5 및 표 2에서 보는바와 같이 약 5~80 Hz 사이에서는 복숭아의 진동전달률이 1로 입력되는 진동가속도수준과 복숭아의 응답가속도수준이 거의 같게 나타났고, 약 80~150 Hz까지는 복숭아의 응답 진동가속도수준이 입력 진동가속도수준보다 작게 나타나 진동전달률이 1이하였으며, 약 150~250 Hz 사이에서는 진동전달률이 1이상으로 입력 진동가속도수준보다 응답가속도수준의 진폭값이 커지는 현상이 나타

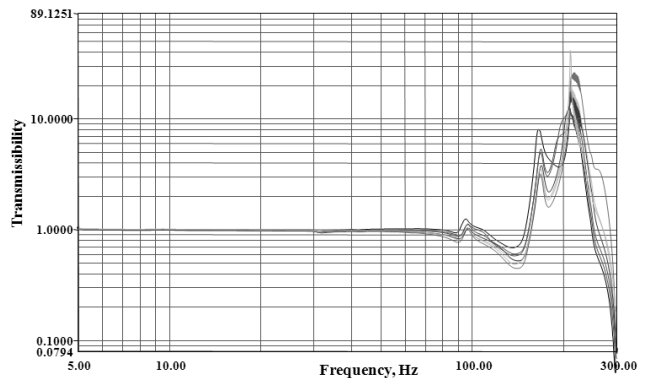


Fig. 5 The transmissibility of the resonance test in fixed state.

났다. 또한 약 250~300 Hz에서도 복숭아의 응답 진동가속도 수준이 입력 진동가속도수준보다 작게 나타나 진동전달률이 1이하로 나타났다.

따라서, 적정 완충포장 설계를 위해서는 진동가속도 신호의 주 주파수가 진동전달률이 1 이상으로 나타나는 150~250 Hz 대역을 피할 수 있도록 완충설계를 하는 것이 필요하다고 생각된다.

Table 2 Resonance property of peach

Item	Freq. (Hz)	Trans.	Phase	Q
average (std.)	167.98 (0.56)	4.06 (0.92)	65.53 (5.64)	18.62 (2.40)

* Freq. : Frequency, Trans. : Transmissibility

모의 수송상태에서 진동가속도의 전달시험은 수송경로에서 발생하는 주파수 범위가 5~175 Hz 대역에서 가변주파수 정현파 진동시험을 실시하였다. 그림 6에서 보는바와 같이 모의 수송상태에서의 진동전달률은 고정상태와는 크게 차이가 나는 것으로 나타났다. 약 5~15 Hz까지는 진동전달률이

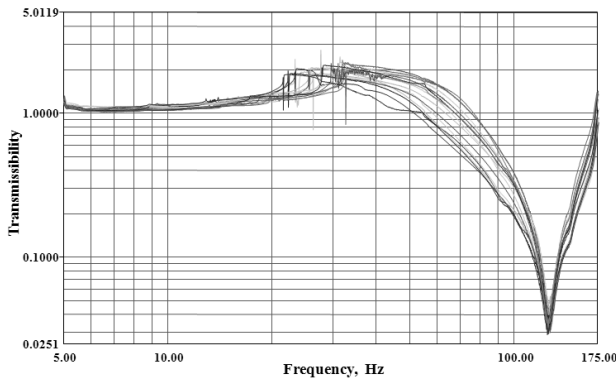


Fig. 6 The transmissibility of the simulation test for transport.

1정도로 나타나 입력 진동가속도수준과 복숭아의 응답 진동가속도수준이 차이가 나지 않는 것으로 나타났고, 약 15~65 Hz까지는 입력진동가속도수준보다 응답진동가속도수준이 크게 나타나 진동전달률이 1이상으로 나타났으며, 약 65~175 Hz까지는 입력 진동가속도수준이 응답 진동가속도수준보다 크게 나타나 진동전달률이 1이하로 나타났다. 약 125 Hz에서 진동전달률이 0.03으로 나타나 거의 진동이 전달되지 않았다.

공진주파수 측정 상태와 모의 수송시험 상태에서 가속도의 진동전달률의 차이는 복숭아의 고정상태에 기인한다고 판단되며, 저주파 대역에서는 가진판과 복숭아가 진동위상차가 작게 진동하면서 진동전달률이 1에 가깝도록 나타나지만, 주파수가 올라갈수록 복숭아가 가진판의 진동주파수에 맞추어 진동하지 못하기 때문에 진동위상차도 크게 나타나고 진동전달률 역시 작게 나타난 것으로 판단된다. 실제 운송 시에는 65 Hz이하 저주파 대역에서의 가속도가 복숭아의 진동에 의한 물리적 손상에 영향을 준다고 판단된다. 따라서 65 Hz 이하의 저주파수 대역에 대한 완충설계도 충분히 고려가 되어야 한다. 같은 입력가속도 수준에서 저주파수 대역에서는 진동변위가 커지므로 충격손상에 민감한 복숭아의 손상에 대한 직접적인 원인이 될 수 있으며, 수송중 발생하는 주파수 대역의 80%가 저주파수 대역이기 때문이기도 하다.

나. 공진주파수에서의 복숭아의 피로손상

복숭아의 공진주파수인 167.98 Hz에서 각 입력 가속도수준별 정현파 진동시험을 실시하였다. 표 4에서 보는바와 같이 공진주파수 대역에서는 진동전달률이 0.6으로 입력 가속도의 60%만 전달되기 때문에 공업분야에서 일반적으로 무한수명으로 사용하는 10⁶회를 가진하였으며, 표 3에서 보는 바와 같이 가진결과 복숭아의 손상(명)체적비는 0.08~0.2%로 손상이 전반적으로 낮게 나타났다.

Table 3 Bruising Volume Ratio in fatigue fracture test at 167.98 Hz

Freq. (Hz)	Acc. (G)	No. of cycles	BVR (%)		
			avg.	max	min
167.98	0.5	10 ⁶	0.0839	0.2009	0
	1		0.0594	0.2286	0
	1.5		0.053	0.2066	0
	2		0.2768	1.7719	0

* BVR = Bruising volume / total volume Acc. : Acceleration

Table 4 Vibration transmissibility in simulation test according to frequency

	30 Hz	62.5 Hz	167.98 Hz
Transmissibility	1.692 (0.192)	1.045 (0.241)	0.610 (0.137)

* () : standard deviation

다. 진동피로에 의한 복숭아의 피로손상

입력 주파수인 30 Hz와 62.5 Hz에서 각 주파수별, 입력 가속도별 복숭아의 손상을 알아보기 위하여 정현파 진동실험을 실시하였다. 각 주파수에서 가속도별, 가진횟수에 대한 복숭아의 손상(평균)체적비는 표 5와 표 6에 나타내었다. 입력 가속도가 크고 가진횟수가 많아질수록 손상(평균)체적비는 증가하였으며, 62.8 Hz에 비해 30 Hz에서 손상(평균)체적비가 큰 값을 나타내었다. 이것은 복숭아의 진동전달 특성에 의한 것으로 표 4에서 보는 바와 같이 30 Hz에서의 진동전달률(1.692)

이 62.5 Hz에서의 진동전달률(1.045)보다 크고, 저주파수 대역에서의 진동변위가 크기 때문인 것으로 판단되었다.

물리적 손상과 관련하여 복숭아의 상품성에 대한 구체적인 기준은 제시되어 있지 않기 때문에, 본 연구에서는 복숭아 평의 체적을 복숭아의 전체 체적으로 나눈 손상체적비의 수준별(0.25, 0.5, 1%)로 복숭아의 피로수명을 제시하였다.

복숭아 전체 체적의 0.25%를 손상으로 가정하였을 때 표 5에서 30 Hz를 살펴보면 0.5 G의 가속도에서는 손상이 나타나지 않았고 1 G에서는 10⁴회, 1.5 G에서는 10³회 가진을 하였을 때 0.25%이상의 손상이 나타나 1 G의 가속도에서 복숭

Table 5 Bruising Volume Ratio in fatigue fracture test at 30 Hz

Freq. (Hz)	Acc. (G)	No. of cycles	BVR (%)		
			avg.	max	min
30	0.5	10 ⁵	0.0053	0.051	0
		10 ⁶	0.052	0.147	0
	1	10 ³	0.042	0.221	0
		10 ⁴	0.318	0.775	0
		5×10 ⁴	0.476	1.073	0.141
		10 ⁵	0.537	1.245	0.086
	1.5	10 ³	0.252	0.843	0
		10 ⁴	0.424	1.134	0
		5×10 ⁴	1.036	2.619	0.127
		10 ⁵	1.95	3.974	0.2
	2	10 ³	0.737	1.418	0.15
		10 ⁴	1.632	3.063	0.107
10 ⁵		5.647	11.605	1.135	

Table 6 Bruising Volume Ratio in fatigue fracture test at 62.5 Hz

Freq. (Hz)	Acc. (G)	No. of cycles	BVR (%)		
			avg.	max	min
62.5	0.5	10 ⁵	0.041	0.109	0
		3×10 ⁵	0.079	0.232	0
		6×10 ⁵	0.112	0.318	0
	1	10 ⁴	0.025	0.096	0
		10 ⁵	0.044	0.101	0
		3×10 ⁵	0.036	0.189	0
		6×10 ⁵	0.127	0.476	0
	1.5	10 ⁴	0.059	0.166	0
		10 ⁵	0.175	1.08	0
		3×10 ⁵	0.287	0.537	0.145
		6×10 ⁵	0.322	0.876	0.034
	2	10 ³	0.035	0.107	0
		10 ⁴	0.099	0.381	0
		10 ⁵	0.427	0.741	0
		3×10 ⁵	1.02	3.356	0

아의 피로수명은 10^4 회, 1.5 G의 가속도에서 복숭아의 피로수명은 10^3 회라고 할 수 있다. 시험횟수와 가속도를 이용하여 피로손상을 나타내는 식인 $N \cdot G^\alpha = \beta$ 에 위의 결과를 적용하면 $N \cdot G^{5.6789} = 10^4$ 으로 나타낼 수 있다.

표 6에서 62.5 Hz를 살펴보면 0.5 G와 1 G의 가속도에서는 손상이 나타나지 않았고 1.5 G에서 3×10^5 회, 2 G에서 10^5 회 가진을 하였을 때 0.25% 이상의 손상이 나타나 1.5 G의 가속도에서 복숭아의 피로수명은 3×10^5 회, 2 G의 가속도에서 복숭아의 피로수명은 10^5 회라고 할 수 있다. 피로손상 식에 결과치를 적용하면 $N \cdot G^{3.8188} = 14.1115 \times 10^5$ 으로 나타낼 수 있다.

전체 체적의 0.5%를 손상으로 가정하였을 때 표 5와 표 6을 참조하여 피로수명과 피로손상식을 구하면 다음과 같다. 30 Hz에서 1 G의 가속도에서 피로수명은 10^5 회, 1.5 G의 가속도에서 5×10^4 회, 2 G의 가속도에서 10^3 회이며, $N \cdot G^{6.32} = 17.3031 \times 10^4$ ($R^2 = 0.7856$)으로 나타낼 수 있다. 62.5 Hz에서 피로수명은 2 G의 가속도에서 3×10^5 회이며, $3 \times 10^5 \cdot 2^\alpha = \beta$ 로 나타낼 수 있다.

전체 체적의 1%를 손상으로 가정하였을 때 표 5와 표 6을 참조하여 피로수명과 피로손상식을 구하면 다음과 같다. 30 Hz에서 1.5 G의 가속도에서 5×10^4 회, 2 G의 가속도에서 10^4 회이며, $N \cdot G^{5.5945} = 4.8318 \times 10^4$ 으로 나타낼 수 있다. 62.5 Hz에서 피로수명은 2 G의 가속도에서 3×10^5 회이며, $3 \times 10^5 \cdot 2^\alpha = \beta$ 로 나타낼 수 있다.

복숭아의 수송중 진동가속도와 가진횟수에 따른 손상(명) 체적을 추정하기 위한 모델을 개발하였다. 통계분석용 상용 프로그램 DataFit(ver. 8.2, Oakdale Engineering Co., USA)을 사용하였고, 여러 가지 모델 중 결정계수가 0.9280과 0.9570으로 비교적 높았던 모델로 결정하였고, 표 7에 통계결과를 나타내었으며, 그 반응표면은 그림 7, 8과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 복숭아의 손상(명)체적비는 가진횟수보다는 가속도의 크기에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

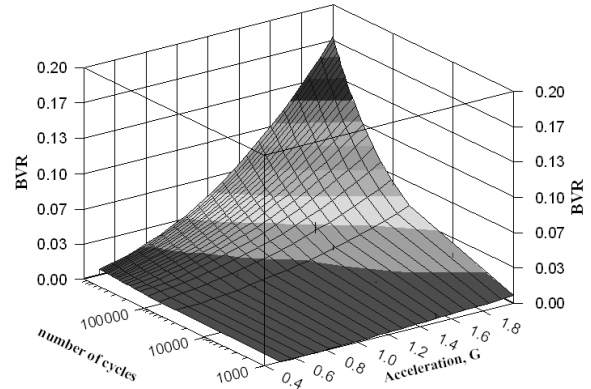


Fig. 7 Response surface of bruising volume ratio of the peach as a function of the vibration acceleration and cycle number in vibration fatigue test at 30 Hz.

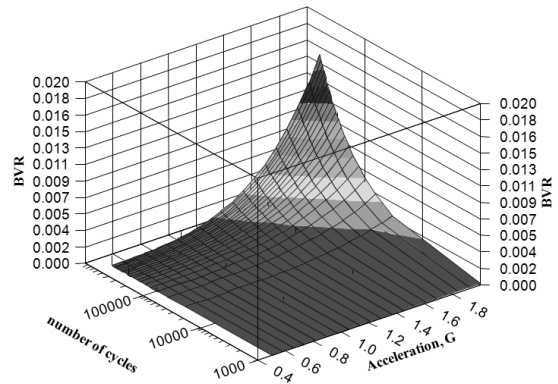


Fig. 8 Response surface of bruising volume ratio of the peach as a function of the vibration acceleration and cycle number in vibration fatigue test at 62.5 Hz.

4. 요약 및 결론

본 연구는 복숭아의 유통중 손상요인의 하나인 수송중의 진동에 의한 손상을 방지하기 위하여 복숭아의 진동특성을 구명하였고, 진동시험기를 이용하여 입력주파수, 가속도수준 및 가진횟수에 따른 복숭아 명의 체적을 측정하여 진동피로

Table 7 Coefficients of multiple regression model for bruising volume ratio

Freq. (Hz)	Variables	BVR = a*A ^b *(CN) ^c				Coefficient of multiple determination (R ²)
		Coefficients	Standard error	t-ratio	Prob. (t)	
30	a	5.857012	5.313606	1.102267	0.29617	0.9280
	b	2.408304	0.330629	7.284007	0.00003	
	c	0.456587	7.770971	5.875552	0.00016	
62.5	a	9.111036	1.145327	0.795496	0.44178	0.9570
	b	4.760941	0.463795	10.264978	0.0	
	c	0.657527	8.900144	7.387822	0.00001	

* Note : BVR = Bruising Volume Ratio, A = Acceleration(G), CN = Cycles Number, a, b, c : variables

에 의한 손상(명)정도를 구명하고자 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 복숭아의 진동전달 특성을 분석하기 위하여 공진주파수와 진동전달률을 측정하였다. 복숭아의 공진주파수는 167.98 Hz 대역이었으며, 공진주파수 대역에서의 진동전달률은 4.06이었으며, 진동전달률이 1이상인 대역은 150~250 Hz로 나타났다.
- (2) 복숭아의 진동전달 특성을 분석하기 위하여 시료 고정 지그를 제작하여 모의수송시험시 진동전달률을 측정하였다. 진동전달률이 1이상인 대역은 약 15~65 Hz였고, 약 65~175 Hz에서는 진동전달률이 1 이하로 나타났으며, 5~65 Hz까지는 진동전달률이 1로 나타났다.
- (3) 입력 주파수 및 가속도수준별 복숭아의 손상정도와 가진횟수를 비교하였다. 62.5 Hz 보다 30 Hz에서 가진 경우 더 작은 가진횟수에서 손상이 나타났으며, 작은 횟수로 가진 30 Hz에서 명의 체적이 크게 나타난 것은 30 Hz에서의 진동전달률이 62.5 Hz에서의 진동전달률보다 크고 저주파수 대역에서의 진동변위가 더 크기 때문인 것으로 판단되었다. 가속도와 가진횟수가 증가할수록 명의 체적이 증가하는 것으로 나타났다.
- (4) 167.98 Hz에서는 가진 후 복숭아의 손상체적비는 0.08%에서 0.2%로 손상이 전반적으로 낮게 나타났으며, 그 이유는 진동전달률이 0.6으로 입력 진동가속도의 60%만이 전달이 되기 때문이라고 판단된다.
- (5) 복숭아의 손상에 대한 명확한 기준이 없어 손상체적비를 가정하여 손상을 판단하였으며, 그때의 피로손상을 가진횟수 및 가속도를 이용하여 피로손상을 나타내는 식인 $N \cdot G^\alpha = \beta$ 와 피로수명으로 나타내었다.
- (6) 입력 가속도 및 가진횟수 별로 복숭아 손상(명)체적을 실측하였다. 실측된 자료를 이용하여 가속도(A)와 가

진횟수(CN)를 변수로 손상(명)체적비(BVR)를 추정할 수 있는 모델을 다음과 같은 회귀식으로 개발하였다.

$$BVR = a \cdot A^b \cdot (CN)^c$$

참 고 문 헌

1. Brusewitz, G. H. and J. A. Bartsch. 1989. Impact parameters related to post harvest bruising of apples. Transactions of the ASAE 32(3):953-957.
2. Changfeng, G. 2000. Model of accelerated vibration test. Packaging Technology and Science (13):7-11.
3. Diener, R. G.. 1979. Bruise energy of peaches and apples. Transactions of the ASAE 22(2):287-290.
4. Kawano, T. 1987. Transportation Simulation Development and Its Application on Food Transportation Technology Improvement. Kyuushuu University, Kyuushuu, Japan.
5. Kim, M. S., H. M. Jung and K. B. Kim. 2005. Durability of corrugated fiberboard container for fruit and vegetables by vibration fatigue at simulated transportation environment. Journal of Biosystems Engineering 30(2):89-94.
6. Lee, H. J. T. C. Kim, S. J. Kim and S. j. Park. 2005. Bruising injury of persimmon (Diospyroskaki cv. Fuyu) fruits. Horticulture Science 103:179-185.
7. Lim, B. S., D. S. Jung., H. K. Yun., Y. S. Hwang and J. P. Chun. 2005. Symptoms of freezing injury and mechanical injury-induced fruit rot in 'Naitaka' pear fruit (Pyrus pyrifolia Nakai) during low temperature storage. Korean Journal of Horticultural Science and Technology 23(3):282-286.
8. Lu, L. X. and Z. W. Wang. 2007. Dropping bruise fragility and bruise boundary of apple fruit. Transactions of the ASABE 50(4): 1323-1329.