

유한요소법을 이용한 골판지 포장화물내 배의 진동해석

김만수 정현모 김기복

Vibration Analysis of Pears in Packaged Freight Using Finite Element Method

M. S. Kim H. M. Jung K. B. Kim

Abstract

Fruits are subjected to complex dynamic stresses in the transportation environment. During a long journey from the production area to markets, there is always some degree of vibration present. Vibration inputs are transmitted from the vehicle through the packaging to the fruit. Inside, these cause sustained bouncing of fruits against each other and container wall. These steady state vibration input may cause serious fruit injury, and this damage is particularly severe whenever the fruit inside the package is free to bounce, and is vibrated at its resonant frequency. The determination of the resonant frequencies of the fruit may help the packaging designer to determine the proper packaging system providing adequate protection for the fruit, and to understand the complex interaction between the components of fruit when they relate to expected transportation vibration inputs. The vibration characteristics of the pears in corrugated fiberboard container in transit were analyzed using FEM (finite element method) modeling, and the FEM modeling approach was first validated by comparing the results obtained from simulation and experiment for the pear in the frequency range 3 to 150 Hz and acceleration level of 0.25 G-rms and it was found that between simulated and measured frequencies of the pears have a relatively good agreement.

It was observed that the fruit and vegetables in corrugated fiberboard container could be analyzed by finite element method. As the elastic modulus of the cushion materials of corrugated fiberboard pad and tray cup decreased, the first frequencies of upper and lower pears increased and the peak acceleration decreased.

Keywords : Corrugated fiberboard container, Finite element method, Modeling, Vibration

1. 서론

일반적으로 과실의 경우, 포장화물(packaged freight)은 과실, 완충재 및 겉포장 상자로 구성되며, 속포장(내포장)하지 않는 것이 식품 포장이나 다른 포장과 구별된다. 그러나 과실 개체를 보호하기 위한 날포장(단위포장)은 중요시되며, 사용되는 완충재가 이 기능을 한다.

과실 포장에 사용되는 겉포장 상자는 제품 취급의 편리성을 도모할 뿐만 아니라, 물류 과정 중에 제품의 보호와 상품

에 대한 정보를 제공하는 포장 역할의 주체가 된다. 또한 완충재는 포장물에 전달되는 충격과 진동 등의 외력 완화와 응력 분산, 포장물의 표면보호, 상호간의 접촉방지 및 이동방지의 기능을 수행한다.

종전까지는 골판지 상자에 의한 포장화물 단위로 취급되는 경우가 대부분이었는데, 농산물의 물류 합리화와 물류비 절감 문제가 본격 대두되면서, 파렛트를 활용한 단위화물 적재 시스템(ULS) 즉, 파렛트 화물(palletized freight) 상태로 취급되는 경우가 점차 확대되고 있고, 정부에서도 이를 적극 지원

The article was submitted for publication in August 2004, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in September 2004. The authors are Man Soo Kim, KSAM member, Professor, Division of Bioresource Engineering, Chungnam National University, Hyun Mo Jung, KSAM member, Full Instructor, Dept. of Packaging, Kyongbuk College and Science, Ki Bok Kim, KSAM member, Senior Researcher, Human Life Measurement Group, Center for Environment and Safety Measurement, Korea Research Institute of Standards and Science. The Corresponding author is M. S. Kim, Professor, Division of Bioresource Engineering, Chungnam National University, 305-764, Korea; E-mail : <mskim@cnu.ac.kr>.

하고 있다.

Chen과 Baerdemaeker(1993)는 과실에 대하여 유한요소에 의한 진동해석 결과와 경도와의 관계를 분석한 결과 사과 및 파인애플에 대한 유한요소 모델을 이용하여 공진주파수(resonance frequency)을 잘 예측할 수 있었으며, 과실의 공진주파수(f)는 질량(m)과 매우 높은 상관관계를 나타냈으며, 강성계수 ($f^2m^{2/3}$)와 과실의 탄성계수 사이에 각각 매우 높은 상관관계를 나타내어, 과실의 경도 평가에 적용할 수 있다고 보고하였다. 또한 유한요소해석을 이용한 과실의 진동해석에 있어서 과실 물성을 정확하게 측정하는 것이 매우 중요하다고 보고하였다. Chen 등(1996)은 멜론의 경도를 비파괴적으로 측정하기 위하여 멜론의 유한요소 모델에 대하여 연구하였다. 멜론의 기본물성, 경도, 정적 및 동적 탄성계수를 측정하였고, 멜론의 4층 선형 탄성 유한요소 모델을 작성하였다. 멜론의 공진주파수와 질량을 이용한 강성계수 (f^2m 와 $f^2m^{2/3}$)는 멜론의 경도를 추정할 수 있으며, 멜론의 밀병(watercore)에 의한 공진주파수의 변화에 대하여 보고하였다.

Dewulf(1972)는 유한요소해석을 이용하여 배의 물성과 동적거동과의 상관관계를 분석하였는데, 유한요소해석에 의한 배의 공진주파수는 평판의 압축실험에서 얻어진 탄성계수와 높은 상관관계가 있음을 보고하였다.

이처럼 포장화물이 다단 적재된 상태로 진동, 압축 및 충격 등과 같은 물리적 환경과 온도 및 습도 등과 같은 환경에 노출되었을 때, 이들의 거동과 특성의 변화를 분석하는 것은 매우 중요한 일이며, 현재까지 이러한 연구는 국·외적으로 매우 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 배 포장화물용 골판지 상자를 분석하고 해석하기 위한 기초연구로 수행되었다. 이를 위하여 골판지 상자로 단위 포장된 상태의 배에 대하여 유한요소해석 기법을 적용하여 진동특성을 분석하였으며 트레이컵(tray cup)과 골판지의 완충재에 대한 성능을 분석하기 위하여 유한요소해석을 적용하였다.

2. 재료 및 방법

가. 배 포장화물에 대한 유한요소 모델링

일반적으로 유한요소해석을 위한 첫 번째 단계는 해석하고자 하는 물체의 기하학적 모델을 생성하는 것으로서 대부분의 청과물은 비선형(non-linear), 비동질성(non-homogeneous), 및 점탄성 특성(viscoelastic property)을 가지고 있기 때문에 기하학적 모델을 생성하는 것은 매우 복잡한 작업이다. 청과물

의 솔리드 모델(solid model) 생성과정은 청과물의 절단면을 고려했을 때 중심축에 대하여 모든 단면이 일정한 축대칭으로 가정하여 모델링하였다. 즉, 청과물의 1/4 단면을 2차원 상에 모델링하고 중심선을 기준으로 회전(revolution)하여 3차원의 솔리드 모델을 생성하였다.

유한요소해석을 위해서 먼저 해석하고자 하는 영역을 절점으로 연결되어 있는 수개의 요소(element)의 결합체로 이상화(idealized)시키고, 이러한 이상화 과정에 있어서 여러 종류의 유한요소(finite element)들이 있지만 청과물에 대한 해석시에는 8개의 절점만을 가지는 3차원 고체요소(8-node brick element)를 이용하였다. 이 요소의 특징은 3차원 공간상에 8개의 절점들이 하나의 요소(element)를 이루며, 또한 이 요소는 각 절점에서 X, Y, Z축 방향의 병진운동을 위한 3개의 자유도를 가지게 된다. 청과물의 요소(element) 생성 과정은 반으로 절단된 청과물의 반쪽면을 모는 종이(graph paper)에 올려놓고 물체의 테두리를 그린 후, 반쪽 테두리의 치수를 IntuitiveFEM(Ver. 2000)의 유한요소해석 패키지 프로그램에 기입하여 반쪽면에 대한 2차원 평면요소를 생성하고, 이를 다시 중심 축을 중심으로 회전시켜 3차원 유한요소 모델을 생성하였다. 분석에 이용되었던 청과물의 모델들을 Fig. 1에 나타내었다. 골판지 포장에 의한 배 포장화물의 유한요소 모델링은 그 현상을 간소화하여 극히 일부분만을 모델링하였다. Fig. 1과 같이 포장화물 내에서 배가 놓여 있는 현상 즉, 골판지 상자(또는 완충패드)→완충재→배 순서로 적층된 현상만을 유한요소 모델로 나타내었다.

Fig. 2에 나타낸 배에 대한 유한요소 모델링 방법은 단면을 특정축을 중심으로 회전시켰을 때 3차원 물체의 생성원리(generation volume mesh by revolution)를 이용하였다. 한편, 완충패드와 완충재의 유한요소 모델링에는 8개의 절점을 가지는 3차원 고체요소를 적용하였으며, 단면에 해당하는 2차원 요소(plane element)를 일정 높이까지 돌출시키는 방식(generation mesh by extrusion)을 적용하였다.

여기서, 배, 완충재(골판지패드, 트레이컵) 및 시료고정장치의 유한요소 모델의 데이터는 Table 1에서 보는 바와 같다.

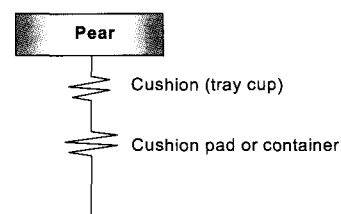


Fig. 1 Cushion model for the pear in the packaged freight.

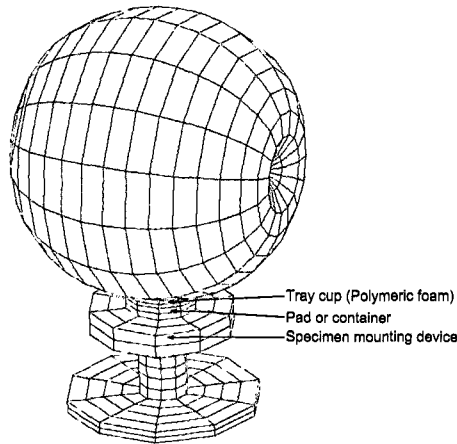


Fig. 2 Three dimensional solid modeling of the pear, cushion materials and pad system.

Table 1 Model data of finite element for the fruit and vegetables.

	No. of nodes	No. of elements
Fruit and vegetables	621	300
Cushion pad or container	36	16
Tray cup	36	16
Specimen-mounting device	197	96

나. 해석재료에 대한 물성과 해석방법

본 연구에서는 청과물을 축대칭(axisymmetric) 물체로 간주 하였으며, 청과물의 형태는 한 개의 변수 모델(one-parameter model)로 묘사하였다. 또한 유한요소해석시 과실을 등방성(isotropic) 탄성체로 가정하였다. 유한요소해석 결과의 신뢰성은 해석 재료의 물성값을 얼마나 실제의 값에 가깝게 입력 시키느냐에 따라 좌우된다. 일반적으로 유한요소를 이용한 구조해석의 문제에서는 재료의 물성값으로 탄성계수와 포와송비 등이 적용된다. 그러나 청과물과 같이 점탄성 성질이 강한 물체의 경우 탄성계수와 포와송비 자체가 비선형적 특성을 나타내므로 일정하게 고정된 값을 유한요소 모델에 적용할 경우 해석결과에 오차를 어느 정도 감수해야 할 것이다. 유한요소 해석시 필요한 물성은 해석대상 재료 각각에 대

한 탄성계수, 포와송비 및 밀도 등이다.본 연구에서 적용한 배의 물성값은 Table 2에서 보는 바와 같다. 여기서, 체적, 질량 및 밀도는 실측값이며 탄성계수도 실측된 값으로 ASAE Standards에서 제시하고 있는 평판 압축에 의하여 계측된 응력-변형을 곡선에서 구한 파괴점의 시컨트 모듈러스(secant modulus)이었다(Jung, 1999). 배의 포와송비는 Chappell과 Hamann(1968)에 의해 제시된 값이었다.

또한, 골판지와 트레이컵(polymeric foam)에 대한 물성 중 밀도의 계산에는 아래의 식 (1)이 사용되었다.

$$DC = \frac{W}{T \times 1000} \quad (1)$$

여기서, DC =밀도(g/m^3), W =평량(g/m^2), T =두께(mm)

골판지의 밀도 계산시 골판지의 두께와 평량은 Table 2의 원지구성에 대한 KS규격에서 제시하고 있는 식 (2) 및 (3)를 적용하였으며, 골판지의 밀도를 구하면 SW(single wall)가 $0.1251 g/cm^3$, DW(double wall)가 $0.1261 g/cm^3$ 이었다. 한편, 트레이컵(polymeric foam)의 밀도는 $0.0613 g/cm^3$ 이었다.

$$T = \sum_{n_1} t_l + \sum_{n_2} h_f \quad (2)$$

$$W = \sum_{n_1} BW_l + \sum_{n_2} (BW_f \cdot t_x) \quad (3)$$

여기서, t_l =라이너 원지의 두께(mm)

h_f =골 높이(A/F=5.161mm, B/F=2.911mm)(mm)

BW_l, BW_f =각각 라이너와 골심지의 평량(g/m^2)

t_x =골판지의 골조율(A/F=1.6, B/F=1.4)

골판지는 구성 원지들의 재료 주방향(principal material direction)과 같은 직교 이방성 재료(orthotropic material)이며, 또한 단면 형태도 복잡하다. 이러한 단면 구조로 되어 있는 재료의 탄성계수와 포와송비를 직접 측정하기란 매우 어렵다. 또한 골판지는 비선형적 특성의 압축곡선을 나타내기 때문에

Table 2 Physical properties of the fruit and vegetables for finite element method.

Fruit and vegetable	Volume ($10^{-4} m^3$)	Mass (kg)	True density (kg/m^3)	Apparent elastic modulus (kPa)	Poisson's ratio
Pear	5.1444	0.5073	990.16	1532.75	0.234

Table 3 Physical dimensions of the corrugated fiberboard for FEM.

Kinds	Flute type	Paper combination (OL→IL)	Thickness
Single Wall (SW)	A/F	SK210/K180/SK210	K180, 0.24mm; SK210, 0.25mm
Double Wall (DW)	AB/F	SK210/K180/K180/K180/K180	

* A/F : A-flute, AB/F : AB-flute, OL : Outer liner, IL : Inner liner

일반공업재료의 탄성계수 측정방식을 적용하기가 곤란하다.

따라서 본 연구에서는 골판지와 같이 비선형적인 압축특성을 보이는 과실의 탄성계수 측정방법(ASAE S368.3 DEC99)을 적용하였으며, Abbott 등(1994) 및 정(1999)은 과실과 같은 비선형적인 압축특성을 보이는 재료에 대하여 탄성계수를 측정할 때에는 파괴점(rupture point)의 50%에 해당하는 지점의 시컨트 모듈러스(secant modulus)로 정의되는 것이 바람직하다고 보고한바 있다. 따라서 본 연구에서도 골판지의 탄성계수로서 골판지에 대한 평면압축실험(KS M7063)을 통해 얻은 파괴점의 50%에 해당되는 지점의 시컨트 모듈러스로 정의하였다. 골판지의 평면압축실험시 시편의 크기는 가로 및 세로가 각각 80 mm이었고, 하중재하속도는 KS M7063을 참고하여 12.7 mm/min로 하였다.

골판지에 대한 평면압축실험(flat crush test)을 통해 얻어지는 응력-변형률 선도의 특징은, SW(single-wall)의 경우는 파괴점이 1개이었고, DW(double-wall)의 경우는 파괴점이 2개로 나타났다. 즉 A골의 파괴점이 먼저 나타나고, 이어 B골의 파괴점이 나타나는 경우가 많았으나, A골과 B골의 상호작용으로 분명하게 구분되지 못하는 경우가 종종 나타났다. 파괴점이 2개 나타나는 경우에는, 각 파괴점의 50%되는 지점에서 시컨트 모듈러스를 구해 평균값을 취하였다.

골판지는 수분을 흡수하는 특성이 있으므로, 탄성계수는 주위의 온도와 상대습도에 따라 변하게 된다. Table 4에는 Table 3의 골판지를 주위 온도 3, 13, 23℃의 3수준 각각에 대하여 상대습도가 30, 60, 90%로 변하는 조건에서 충분히 평형 시킨 후 측정된 탄성계수를 나타내었다.

실험결과에 의하면 골판지의 탄성계수는 상대습도에 따라서 매우 큰 영향을 받았으나, 온도의 영향은 적었다. 상대습도의 영향이 크게 나타나는 것은 수분 흡수에서 기인하는 바

가 크며, 과실의 저온유통 시스템의 조건 즉, 저온 다습한 조건에서 골판지의 탄성계수는 매우 중요한 의미를 갖는다.

본 실험에서는 식 (4) 및 (5)와 같이 양면골판지 및 이중양면골판지에 대한 탄성계수 추정 회귀식을 구하여 적용하였다.

$$E_{SW} = 153.6865 - 0.2485T + 0.0258T^2 + 0.1948rh - 6.7889 \times 10^{-3}rh^2, r^2 = 0.9745 \quad (4)$$

$$E_{DW} = 221.8132 + 0.4225T + 5.3666 \times 10^{-3}T^2 + 1.0118rh - 1.4354 \times 10^{-2}rh^2, r^2 = 0.9983 \quad (5)$$

여기서, E_{SW} = 양면골판지의 탄성계수(kPa)

E_{DW} = 이중양면골판지의 탄성계수(kPa)

T = 주위 공기의 온도(℃)

rh = 주위 공기의 상대습도(%)

골판지의 포와송비(Poisson's ratio)는 박 등(2002) 및 Pikey (1994)이 골판지의 포와송비로 적용하였던 0.12(cross-machine direction, CD)와 0.28(machine direction, MD)의 평균값을 취한 0.2를 적용하였다. 트레이컵의 포와송비도 0.2로 가정하였다.

트레이컵 재료(polymeric foam)의 탄성계수를 측정하기 위하여 가로×세로가 25×28 mm인 시편을 채취하여 하중재하 속도 2 mm/min로 압축실험 하였을 때 얻은 응력-변형률 선도로부터, 시편의 두께 2 mm의 50%인 1 mm가 압축된 지점에서의 시컨트 모듈러스를 적용하였다. 트레이컵 재료의 탄성계수는 5회의 실험에서 최대값과 최소값을 제외한 나머지의 평균값인 149.01 kPa를 적용하였다.

다. 경계 및 하중조건

본 연구에서는 초기조건으로 x 방향의 자유도를 모두 구속하였으며 청과물, 완충재 및 시료고정장치와의 접촉문제는 양물체간의 마찰계수를 1로 가정해 완전히 접촉하여 그 곳에서의 상대운동은 없는 것으로 하였다. 정현파 스위프(sweep) 진동 실험을 시뮬레이션하기 위해서는 일정한 가속도 수준을 유지하기 위한 각 주파수에 따른 입력 진폭(amplitude)이 계산되어야 한다. 유한요소해석에서 동적거동(dynamic behavior)에 대한 입력은 시간 간격에 따른 진폭의 크기로 나타낼 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 0.25 G-rms의 일정한 가속도 진동 수준을 유지하며, 시간 간격대 별로 입력 진폭의 크기를 계산하여 유한요소해석에 적용하였다. Fig. 3은 포장화물 내 배의 유한요소해석에서 0.25 G-rms 가속도 수준을 유지하기 위한 각 주파수 대역별 입력 진폭을 나타낸 것으로서 주파수 대역이 증가할수록 입력진폭은 낮은 값을 나타낸다.

Table 4 Elastic modulus of single wall (SW) and double wall (DW) corrugated fiberboards at various environmental conditions.

Temp. (℃)	Relative humidity (%)	Elastic modulus (kPa)	
		SW	DW
3	30	152.84	240.85
	60	141.09	231.56
	90	115.14	198.25
13	30	156.76	245.96
	60	143.99	238.34
	90	113.25	201.61
23	30	159.24	251.21
	60	146.30	242.92
	90	128.87	210.25

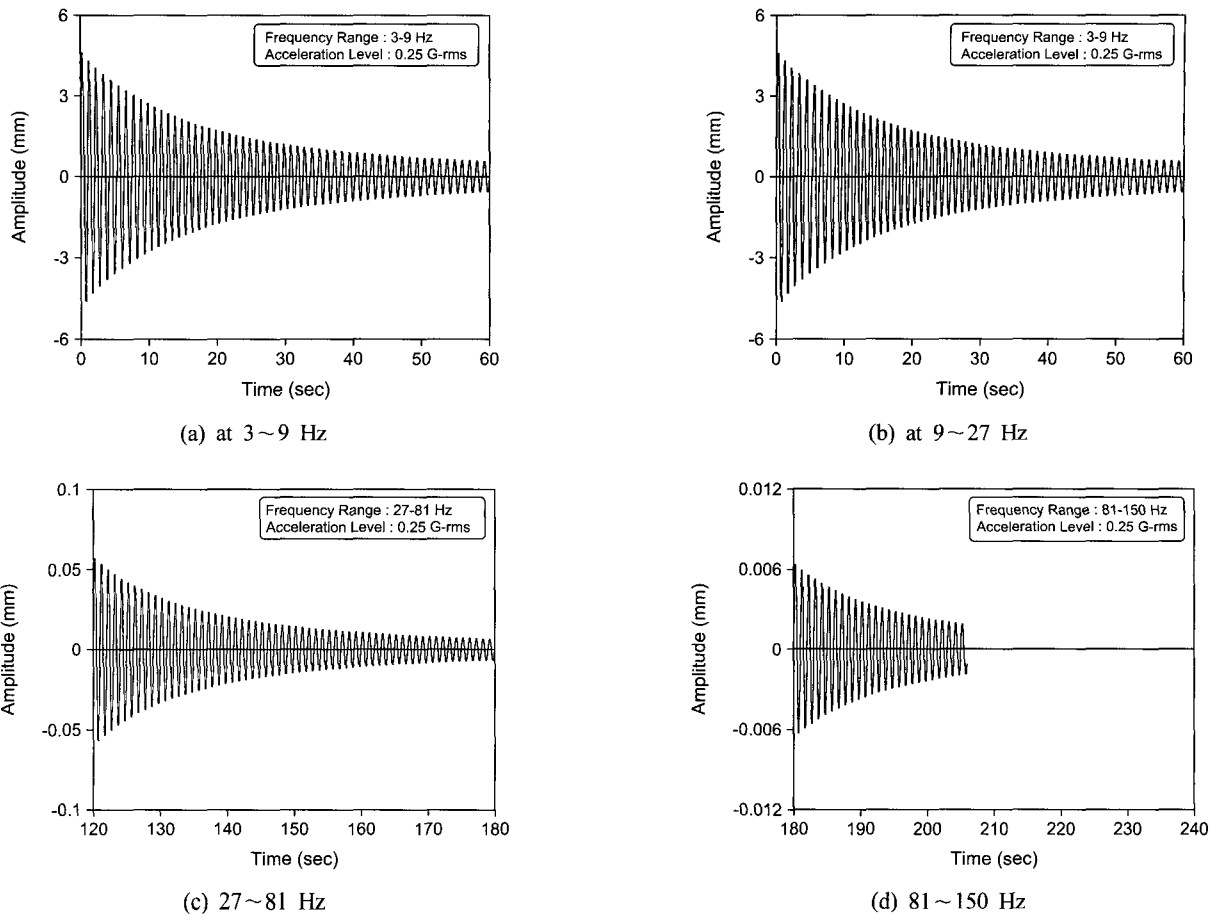


Fig. 3 Input amplitudes in the frequency range from 3 to 150 Hz for finite element analysis of the pear.

3. 결과 및 고찰

유한요소해석을 이용하여 골판지 포장화물 내 배의 진동특성을 분석하였다. 골판지 상자에 의한 포장화물내의 배의 진동은 골판지의 수분 흡습 정도에 따라 달라지므로 이러한 현상을 유한요소 해석을 통해 구명하기 위한 방법으로 온·습도에 민감한 골판지의 탄성계수를 변수로 주어 유한요소 해석한 결과를 Fig. 4에 도시하였다.

그림에서 알 수 있듯이 주파수 3~150 Hz 범위에서 2개의 공진점이 나타났는데, 이것은 김 등(2003)이 골판지 상자 내 배에 가속도계를 부착하여 정현파 스윙실험을 했던 결과치와 일치하였으며, 이 실험 값과 본 연구에서의 유한요소해석의 결과 값간에 고도의 유의성이 있음을 알 수 있었다.

제 1 및 2 공진 주파수 모두 골판지의 탄성계수가 커질수록, 즉, 상대습도가 작을수록 더욱 크게 나타났으며, 2개의 정점 가속도 모두 완충재의 탄성계수가 작아질수록 더욱 작은 것으로 나타났다. 이러한 현상으로부터 골판지의 탄성계수가 작아지면 일정 시간 동안의 완충성능은 좋아지지만 장기간

진동에 의해서 골판지의 완충성능은 현저히 저하되고, 상자 내의 배에 손상을 입힐 가능성이 커지게 됨을 나타내고 있다.

김 등(2003)의 배의 진동실험 및 유한요소해석에 의한 결과치와 고도의 상관관계가 있었으며, 완충재가 없는 배 자체에 대한 유한요소해석 결과에서는 주파수 범위 3~150 Hz에서 공진점은 한 개 나타났었으며, 공진 주파수는 64.5~72.2 Hz, 정점가속도는 1.78~2.21 G-rms 범위에 있었다. 그러나 이번과 같이 배와 시료컵 사이에 트레이 완충재와 골판지 패드가 직렬 적층 되어 있는 경우에는, 운전중의 트럭 본체에서 느끼는 진동수 대역인 50~100 Hz 범위와 비교해볼 때 정점가속도는 상대적으로 낮은 주파수 대역에서 나타나 완충재로서 타당한 성능을 나타내는 것으로 분석되었다. 이러한 결과들은 김 등(2003)에 의한 배의 진동실험의 결과와도 잘 일치하는 것으로 유한요소해석 방법을 적용하여 청과물의 운송시 발생하는 진동특성을 충분히 분석할 수 있을 것으로 판단되었다.

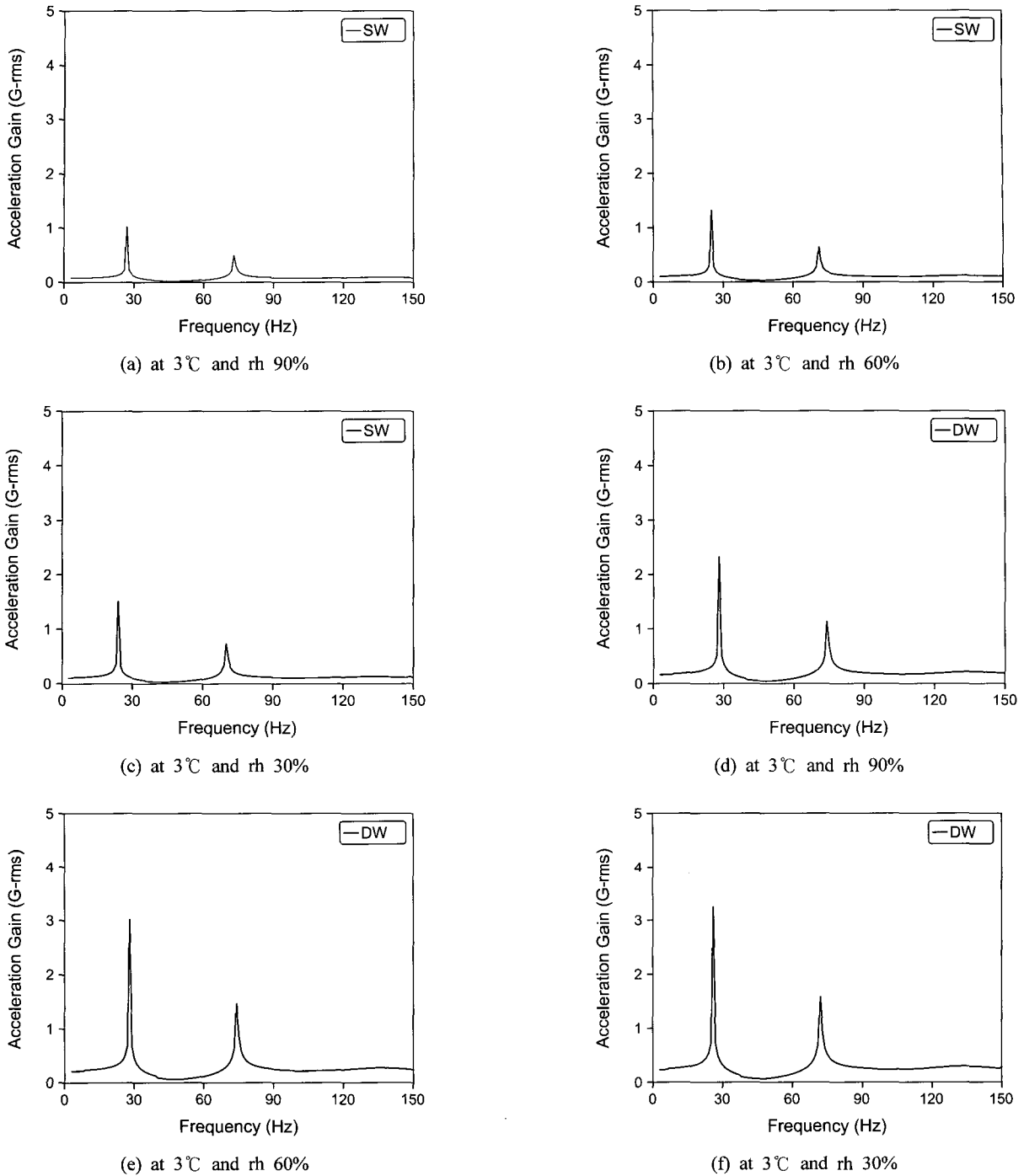


Fig. 4 Results of vibration analysis of the pear in single-layer packaged freight by FEM at various environmental conditions.

4. 결론

본 연구에서는 단일 포장된 배의 진동특성 및 완충재의 성능을 분석하기 위하여 유한요소해석 방법을 적용하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

(1) 유한요소법을 이용한 골판지 포장화물내 배의 공진주파

수는 2개이었으며, 기존의 실험결과에 나타난 배의 공진 주파수 대역과 잘 일치하였다.

(2) 유한요소해석에 의한 배의 진동특성은 골판지의 탄성계수가 작을수록 상단 및 하단의 배의 제 1 진동수는 더욱 크게 나타났으며, 정점 가속도는 완충재의 탄성계수가 작아 질수록 더욱 작게 나타났다. 이러한 결과는 기존의 실험결과와도 잘 일치하는 것으로 유한요소해석으로 청과물의

진동특성을 충분히 분석할 수 있을 것으로 판단되었다.

- (3) 트레이 완충재와 골판지 패드가 직렬로 적층 되어 있는 경우에는, 운전중의 트럭 본체에서 느끼는 진동수 대역인 50~100 Hz 범위에서의 정점가속도는 크게 작아져 완충 재료써의 성능을 평가할 수 있었다.



1. Abbott, J. A. and L. A. Liljedahl. 1994. Relationship of sonic resonant frequency to compression tests and Magness-Talyor firmness of apples during refrigerated storage. Transaction of the ASAE 37(4):1211-1215.
2. ASAE S368.3 DEC99. Compression test of food materials of convex shape.
3. Chappell, T. W. and D. D. Hamann. 1968. Poisson's ratio and Young's modulus for apple flesh under compressive loading. Transaction of the ASAE 11(3):608-610, 612.
4. Chen, H. and J. G. De Baerdemaeker. 1993. Modal analysis of the dynamic behavior of pineapples and its relation to fruit firmness. Transaction of the ASAE 36(5):1439-1444.
5. Chen, H., J. G. De Baerdemaeker and V. Bellon. 1996. Finite element study of the melon for nondestructive sensing of firmness. Transaction of the ASAE 39(3):1057-1065.
6. Dewulf, J. R. 1972. An interpretation of the resonant behavior of intact fruits and vegetables. Transaction of the ASAE 15(6):1075-1080
7. Jung, H. M. 1999. Mechanical properties of selected fruits and vegetables. M.S. thesis. Chungnam National University. (In Korean)
8. Kim, M. S., H. M. Jung and K. B. Kim, Vibration properties of the pears in corrugated fiberboard box for packaging. Proceedings of the KSAM 2003 Winter Conference. 8(1): 321-328. (In Korean)
9. Kim, M. S., H. M. Jung, G. S. Kim and C. G. Park. 2003. Vibration characteristics of the fruit and vegetables during transportation (I) -Vibration characteristics of the pear by experimental analysis-. Journal of the Agricultural Science. Chungnam National University 30(2):175-183. (In Korean)
10. Kim, M. S., H. M. Jung, G. S. Kim and C. G. Park. 2003. Vibration characteristics of the fruit and vegetables during transportation (II) -Vibration characteristics of the fruit and vegetables using FEM-. Journal of the Agricultural Science. Chungnam National University 30(2):184-190. (In Korean)
11. Pilkey, W. D. 1994. Stress, strain and structure matrices. John Wiley & Sons, Inc.
12. Park, J. M. and S. G. Kwon. Finite element analysis of a ventilating box structure. Journal of the KSAM 27(6): 557-564. (In Korean)
13. KS M7063. 2000. Testing methods of compressive strength for corrugated fiberboard.