

포장완충재의 구성에 따른 배의 단일파형 충격반응

김기석 박종민 김만수

Functional Shock Responses of the Pear According to the Combination of the Packaging Cushioning Materials

G. S. Kim J. M. Park M. S. Kim

Abstract

Physical damages on fruits may be caused by shock and vibration inputs that transmitted from the transporting vehicle through the packaging and cushioning materials to the fruit. In this study, both half sine shock test and trapezoidal shock test were performed by MIL-STD-810F specification in order to investigate and represent the shock response properties such as peak acceleration and shock amplification factors of the pear according to packaging and cushioning materials for optimal packaging design during transportation. Shock excitation data that had been measured on the vehicle operating on the real road were used. Shock response properties measured by half sine shock test were smaller than those measured by trapezoidal shock test. Results represent that corrugation shapes and thickness can significantly affect the cushioning performance than the paper configurations of cushioning pad and showed that fruits may be damaged seriously while transported on the unpaved road without the properly cushioned packaging practices.

Keywords : Cushioning materials, Shock test, Peak acceleration, Shock amplification factors, Pear

1. 서론

국민의 소득수준이 향상됨에 따라 농산물의 품질과 안정성에 대한 요구가 높아지고 있으며, 한미 FTA협상의 타결과 다자간 자유무역협정이 추진됨에 따라 농산물 시장의 개방에 대비하기 위해서는 고품질 농산물의 생산이 절실히 요구되고 있다. 또한 최근 들어 농산물의 포장기술에 대한 관심과 중요성이 날로 높아지고 있는데 이러한 현상은 포장기술의 개발로 인해 농산물의 저장성과 신선도를 향상시킬 수 있으며 결국 농산물의 부가가치를 높여 농가의 소득을 증가시키는데 기여하기 때문이다.

그동안 국내외적으로 다양한 포장 재료 및 포장 방법들이 개발되었으며, 이 중에서도 플라스틱폼 완충재가 주류를 이루었으나, 최근에는 환경문제가 대두되면서 포장 재료 사용의

최소화 및 재활용을 지향하게 되어 지류 포장 완충재와 같은 환경 친화적 포장 재료로의 대체가 시도되고 있다. 이러한 환경적 측면뿐만 아니라 물류비 절감이나 자원 절약 등의 측면에서 볼 때 제품의 특성에 맞는 포장 완충재의 적절한 사용 및 효율성을 분석해 볼 필요가 있을 뿐만 아니라, 농산물과 과실의 유통 중에 발생하는 손상을 방지하기 위한 포장 완충방법의 설계, 분석 및 포장기술의 개발이 절실히 요구되고 있다.

Mohsenin과 Goehlich(1962)는 쿠션 위에 자유낙하 하는 물체에 대하여 에너지 방정식과 Hertz의 접촉이론을 적용시켜 이론적으로 최대전단응력 및 충격시간 등을 계산하였으며, 과실의 파괴요인이 최대전단응력에 있다고 가정하였을 때, 이에 미치는 인자들 중에서 과실의 무게, 낙하높이 보다는 강성계수와 과실의 직경이 더 큰 영향을 미친다고 하였다.

The article was submitted for publication on 2010-08-26, reviewed on 2010-09-16, and approved for publication by the editorial board of KSAM on 2010-10-01. The authors are Ghi Seok Kim, Researcher, KSAM member, Man Soo Kim, Professor, KSAM member, Division of Bioresources Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea, and Jong Min Park, Professor, KSAM member, Division of Bio-industrial Machinery Engineering, Pusan National University, Miryang, Korea. Corresponding author: M. S. Kim, Professor, Division of Bioresources Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea; Fax:+82-42-823-6246; E-mail: <mskim@cnu.ac.kr>.

또한 적정 완충 설계를 위해서는 먼저 해당 과실 및 쿠션재료의 물리적 특성이 먼저 구명되어야 한다고 보고하였다. Mohsenin(1970)은 과실의 충격에 의한 손상은 수확과정에서의 손상보다 운송과정에서 발생하는 충격에 의한 손상이 더 크다고 보고 하였으며 Zhang 등(1994)은 진동 및 낙하충격 실험과 과실의 물성을 비교한 결과 이들 특성은 과실의 경도와 밀접한 상관관계가 있다고 하였다. Delwiche 등(1996)은 과실에 충격을 가할 수 있는 장치를 제작하고 과실에 가속도 센서를 부착하여 충격 실험을 실시한 결과, 과실의 경도와 정점가속도 사이에 높은 상관관계가 있음을 보고하였다. Diener 등(1977)은 “Golden delicious”의 사과 품종과 “Sunhigh”의 복숭아 품종의 충격반응을 측정하였으며, 과실의 압축강도와 충격반응을 비교 분석하였다. 그 결과 멩 체적은 낙하높이와 밀접한 관계가 있었으며, 과실이 떨어지면서 발생하는 다중 충격은 멩 체적의 증가를 가져온다고 하였다. 그리고 덜 익은 사과보다 잘 익은 사과가 충격에 의한 멩 체적이 작았으며, 멩에 대한 저항성이 더 좋다고 보고하였다. 또한 반발계수는 멩의 비체적과는 곡선적인 관계가 있으며, 과실이 잘 익을수록 반발계수는 작아진다고 보고하였다.

Lichtensteiger 등(1988)은 낙하시험기를 이용하여 고무공과 플라스틱 공과 같은 점탄성체와 토마토의 충격특성을 분석하였다. 그 결과 잘 익은 토마토가 덜 익은 토마토보다 정점충격력이 더 작은 것으로 나타났으며, 충격지속시간도 잘 익은 토마토가 덜 익은 토마토의 약 반 정도로 나타났다고 보고하였다. 질량이 클수록 정점충격력과 충격지속시간은 증가하며, 낙하높이가 증가할수록 충격지속시간은 줄어들고 정점충격력은 낙하높이의 제곱근에 비례하여 증가한다고 보고하였다. 토마토의 반발계수는 익을수록 작아지며, 물체의 질량이 반발계수에 미치는 영향은 적은 것으로 보고하였다.

국내의 경우 Park (2001)은 신고 품종의 배에 대한 충격에 의한 손상 추정과 손상을 입지 않을 낙하높이를 구명하기 위하여 자유낙하 충격실험 장치를 제작하여 실험하였으며 배의 충격특성인자들과 기계적 특성들 간의 관계를 분석한 결과 배에 손상을 입히지 않는 낙하높이는 이론적 분석결과 약 1~4 cm이고 실제 측정한 결과 약 1~6 cm로 나타났으며 이는 배의 물성에 따라 차이가 크므로 낙하높이를 추정할 때는 물성을 충분히 고려하여야 한다고 보고하였다. 또한 충격에 의한 배 멩에 영향을 주는 인자들로 낙하높이, 질량, 속도변화, 정점충격력 등이 분석되었으며, 이들을 인자로 하여 배의 멩 직경 예측모델을 제시하였다.

Hong 등(2005)은 디지털오실로스코프와 가속도계로 구성된 충격특성 실험장치를 이용하여 사과, 배, 복숭아에 대해 낙하높이에 따른 내부 과육조직과 외피조직의 극한강도, 파괴에너지 및 극한변형도를 분석하여 각각의 과실들의 충격하중에 대한 손상메카니즘을 제시하였다. Lee 등(2008)은 충격

신호를 이용하여 멜론의 경도를 비파괴적으로 평가하기 위해서 impact pendulum과 압전센서를 이용한 충격신호 측정시스템을 개발하여 멜론에 대한 충격신호특성과 멜론 경도와와의 상관관계를 구명하였다.

이상의 연구에서 살펴본 바와 같이, 과실의 낙하실험을 통한 충격특성과 과실의 물리적 물성간의 상관관계를 이용한 기존의 연구는 국내외적으로 많이 이루어졌으나 과실의 실제 유통 중에 측정한 충격가속도를 이용하여 포장완충재의 구성에 따른 충격특성에 관한 연구는 찾아보기 힘들뿐만 아니라 과실 포장완충재의 적정 완충 설계에 꼭 필요한 것이며 수송 중 발생하는 충격에 의한 과실의 손상을 이해하는데 매우 중요한 것이다.

따라서 본 연구에서는 국내 배 포장시 완충방법을 적정화하기 위한 자료를 확보하고자, 국내 배의 수송경로에서 계속 분석된 충격가속도를 이용하여 단일파형 충격실험을 통한 완충재의 구성방법별 최대 충격가속도와 충격증폭계수를 분석하고자 한다.

2. 재료 및 방법

실험에 사용된 배(원황)는 2008년 9월에 일반농가에서 수확된 후 실험에 사용되기 전까지 약 2일 동안 저온저장(0±1℃, rh 85±5%) 되었다. 시료들의 기본적인 물성들은 표 1과 같으며, 각각의 배는 실험에 사용되기 전에 실험실의 환경조건(15℃, rh 75%)에서 약 5시간 동안 적응을 시켰다. 충격실험에 사용된 배의 개수는 모두 20 개이며 표 1에 명시된 배의 진밀도는 각 개체의 체적에 대한 질량의 비로서 각 개체의 체적은 물 치환법에 의해 측정되었다.

Table 1 Harvesting date and physical characteristics of the pear used in shock tests

Cultivar	Date of harvest	Volume (10 ⁻⁴ m ³) ¹⁾	Mass (kg)	True density (kg/m ³)
Wonwhang	2008. 9	5.44 (0.47)	0.55 (0.043)	1011.03 (94.56)

Note: () standard deviation
¹⁾ Water displacement method

배의 포장완충재 구성방법은 현행 배 포장시스템에 적용되는 다양한 포장재를 사용하여, 이들의 조합을 통해 여러 가지를 구현하였으며, 적용한 포장재는 겉포장재인 이중양면골판지(DW) 1종, 속포장재인 골판지 완충패드(SW) 1종, 발포폴리에틸렌 완충컵(cushion cup) 및 망패드(cushion net pad) 각 1종씩을 선택하였다. 적용된 골판지상자와 골판지 패드의 원지배합을 비롯한 주요 제원은 표 2와 같이, 현재 배 포장에

Table 2 Physical properties of the corrugated board used in shock tests

Items	Type	Flute	Composition	Total thickness (mm)
Corrugated board cushion pad	SW	A/F	SK180/S150/K180	3
Corrugated board box	DW	AB/F	SK180/S120/S120/K180/K190	8

Table 3 Physical properties of the intermediate packaging materials used in shock test

Items	Material	Thickness (mm)
Cushion cup	EPE	3
Cushion net pad	EPE	7

보편적으로 적용되는 수준이었다. 기타 속포장재에 대한 물리적 특성은 표 3에 나타내었으며, 충격시험에 사용되는 모든 포장재 시편의 크기는 발포폴리에틸렌 완충컵을 제외하고 모두 10×10 cm로 하였다.

배의 충격특성을 측정, 분석하기 위해 구성된 실험 장치는 전자식 가진기(ETS-150, ETS solution, USA), 충격신호를 측정하기 위한 가속도 센서(8774A50, KISTLER, USA), 전자식 가진기를 제어하고 가속도계로부터 측정된 신호를 수집, 저장하기 위한 데이터 수집장치(VR9500, VRC Inc., USA)로 구성되었다. 표 4와 5는 각각 실험에 사용한 가속도계와 데이터 수집장치의 제원을 보여주고 있으며, 특히 시료에 직접 부착되는 가속도계는 아주 경량(4 g)으로 유연한 케이블을 가진 1축의 압전형 가속도 센서였으며 제작사에서 캘리브레이션되어 제공되는 sensitivity값을 이용하여 충격가속도를 측정하였으며 실험을 수행하기 전에 추가적인 캘리브레이션은 수행하지 않았다. 그림 1은 충격실험을 위해 한 완충재 구성에 대해 배 시료를 장착한 모습을 나타낸 것으로서 가진장치의 충격가속도와 진동가속도를 제어하기 위한 기준 가속도계를 바닥면에 부착하여 입력가속도를 측정 및 제어하였다. 포장완충재와 과실은 강력접착제를 이용하여 고정하였으며 가속도계는 배의 볼 상단 중앙에 강력접착제와 알루미늄밴드로 단단히 고정하였다. 또한 충격실험시에 발생될 수 있는 배의 상대변위를 최소화하기 위해 일체가 된 완충재와 과실을 진동테이블 표면에 알루미늄밴드와 알루미늄 테이프를 이용하여 일체가 되도록 고정하였다.

전자식 가진기를 이용한 충격시험 방법은 가진기를 제어하는 신호 유형에 따라 단일파형을 이용하는 충격시험(Classical Shock Test)과 SRS(Shock Response Spectrum)를 이용하는 충격시험, Wavelet Modification을 이용한 충격시험법이 있으나, 본 연구에서는 단일파형을 이용한 충격시험을 적용하였다.

실험에 적용된 충격 프로파일은 Kim(2007)에 의해 측정된 국내 수송경로에서 발생하는 충격 가속도를 기준으로 MIL-STD-810F(2000)에 따라 생성하였으며 단일파형 시험방법은

Table 4 Specifications of the accelerometer

Item	Specifications
Shock range	5,000 G
Frequency range	1 ~ 10,000 Hz
Sensitivity	100 mV/G
Non-linearity	±0.5% FSO
Resolution	2.5 mg-rms
Mass	4 g

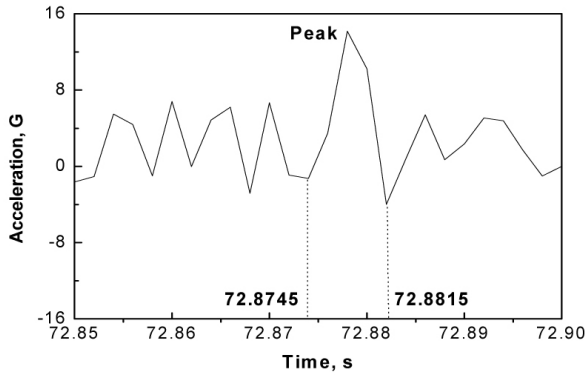
Table 5 Specifications of the vibration controller

Item	Specifications
Input	4 ch
Sample rate	~ 100 kHz
Frequency range	0.1 ~ 32 kHz
Dynamic range	> 100 dB

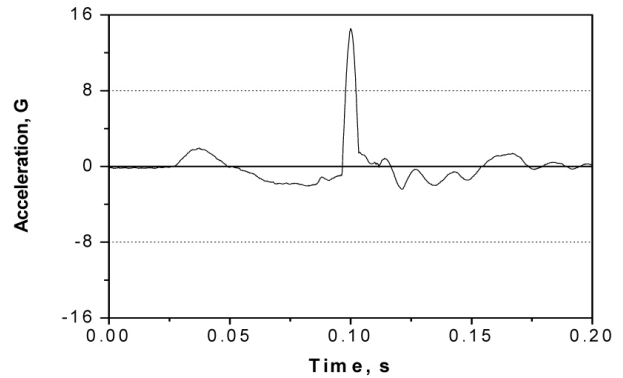


Fig. 1 Specimen configuration for the shock test.

주로 반사인파형(half-sine), 톱니파형(saw-tooth), 사각파형(rectangular) 또는 사다리꼴파형(trapezoidal) 등의 시간파형을 적용하는데, 입력펄스파형은 가진기 시스템의 최대전류와 최대전압, 행정에 의해 제한을 받으며, 주파형의 전후로 반대방향의 펄스를 가하여 가진기에 부과되는 충격량을 극대화시킬 수 있으며 이러한 전후 펄스파형은 최대 충격가속도의 10%를 넘지 않도록 하였다(Kim, 2007). 그림 2는 국내 비포장도로에서 실제로 측정된 진동충격가속도 신호로서, 최대가속도는 전 구간에 걸쳐 약 14 G이었으며 최대가속도가 측정된 신호의 충격 지속 시간은 약 7 ms로 나타났다.



(a) Peak shock acceleration



(b) Shock control profile

Fig. 2 Peak shock acceleration section measured on the unpaved road and its shock control profile.

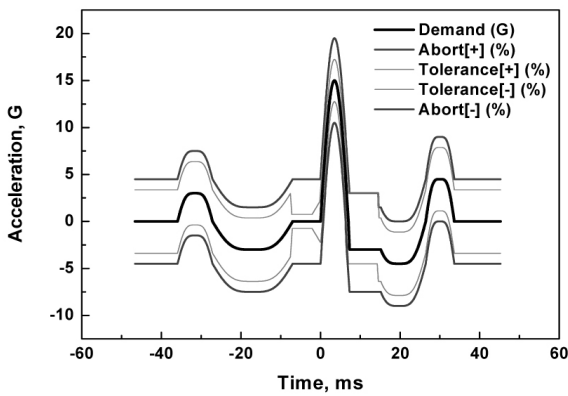


Fig. 3 Half sine shock profile used for the shock test.

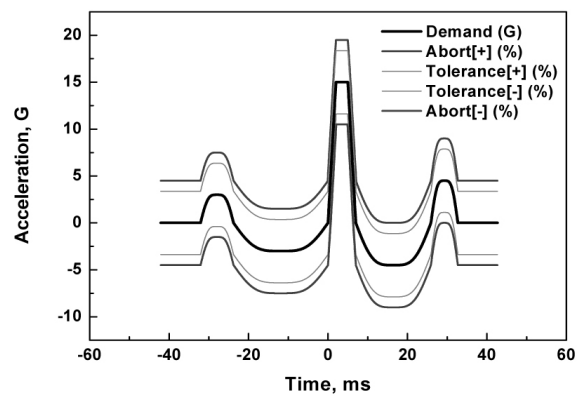


Fig. 4 Trapezoidal shock profile used for the shock test.

그림 3과 4는 최대 충격가속도를 14 G로 설정하였을 경우에 충격실험에 사용된 반사인파형과 사다리꼴파형의 파형 특성을 보여주는 것으로서 각각의 파형에 대한 최대변위는 반사인파형의 경우 2.8 mm, 사다리꼴파형의 경우는 3.16 mm이며 그림 3, 4에 명시된 demand는 설정가속도인 최대 충격가속도이고 tolerance는 설정가속도의 $\pm 3\%$, abort는 설정가속도의 $\pm 5\%$ 값으로서 충격시험기가 이 허용범위를 초과할 경우 즉, 충격 가속도가 설정가속도로 제어되지 않을 경우를 모니터링하기 위한 설정이다.

3. 결과 및 고찰

단일 배와 포장완충재의 구성방법에 따라서 시험편에 부착된 가속도계를 이용하여 측정한 배의 최대 충격가속도와 충격증폭계수는 표 6과 같다. 표 6에서와 같이 비포장도로의 수송경로에서 측정한 최대 충격가속도를 이용한 반사인파형의 충격실험에 의한 단일 배의 최대 가속도는 평균 24.27 G로 측정되었고 포장완충재가 적용된 경우는 적용하지 않은 경우에 비해 많이 작은 14.18~19.82 G의 범위인 것으로 나

타났다. 사다리꼴파형 충격실험의 경우, 단일 배에서 측정한 최대 가속도는 27.38 G이며, 포장완충재가 적용되었을 때는 18.63~26.45 G로써 반사인파형 충격실험치보다 31.38 ~ 33.45% 더 큰 것으로 나타났다. 반사인파형과 사다리꼴파형의 충격실험결과 모두에서 단일 배의 충격가속도는 입력가속도인 14.16 G에 비해 더 큰 값을 보였으며 이는 배가 산지에서 포장되지 않고 산물형태로 적재되어 수송될 경우, 과실은 차량에서 발생하는 충격의 약 1.7배 이상의 충격을 받을 수 있고 이는 결국 과실의 손상을 유발할 수 있다는 것을 의미한다. 또한 포장완충재가 적용된 경우의 충격가속도는 완충재를 적용하지 않은 경우에 비해 작은 값으로 측정되었는데, 이것은 완충재가 충격 중 변형으로 인해 충격에너지의 일부를 흡수함으로써 배에 전달되는 충격력을 감소시키는 역할을 한 것으로 판단된다.

반사인파형 충격실험에서 골판지 완충패드만을 사용한 경우와 골판지 완충패드에 발포폴리에틸렌 완충칩 또는 완충망 패드를 같이 사용한 경우를 비교해 볼 때, 골판지 완충패드와 완충칩을 같이 사용한 경우에는 골판지 완충패드만을 사용한 경우에 비해 충격가속도가 17.78% 더 작았으며, 골판지 완충

패드와 완충망 패드를 같이 사용한 경우에는 골판지 완충패드만을 사용한 경우에 비해 충격가속도가 19.06% 더 작았다. 또한 이중양면 골판지의 경우, 이중양면 골판지와 완충컵을 같이 사용한 경우에는 이중양면 골판지만을 사용한 경우에 비해 충격가속도가 25.13% 더 작았으며, 이중양면 골판지와 완충망 패드를 사용한 경우에는 이중양면 골판지만을 사용한 경우에 비해 충격가속도가 28.46% 더 작았다.

사다리꼴과형 충격실험에서도 골판지 완충패드와 완충컵 또는 완충망 패드를 같이 사용한 경우와 골판지 완충패드만을 사용한 경우를 비교해 보면, 골판지 완충패드만을 사용한 경우에 비해 골판지 완충패드와 완충컵을 같이 사용한 경우에 충격가속도가 24.16% 더 작았고, 골판지 완충패드와 완충망 패드를 같이 사용한 경우는 충격가속도가 28.02% 더 작았다. 반면, 이중양면 골판지만을 사용한 경우와 비교할 때는

이중양면 골판지와 완충컵을 같이 사용할 경우 충격가속도가 20.9% 작게 측정되었으며 이중양면 골판지와 완충망 패드를 같이 사용할 경우 충격가속도는 25.12% 더 작았다.

골판지 패드의 두께가 두꺼운 AB골이 두께가 얇은 A골을 사용한 경우보다 충격가속도가 작게 측정되었는데, 이는 두 골판지 간의 원지배합이 비슷한 수준인 것으로 보아 원지배합보다는 골 형태와 골판지 패드의 두께가 골판지의 완충성에 미치는 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

표 6에 포장 완충재의 구성방법에 따른 충격전달 가속도를 분석하기 위하여 입력가속도에 대한 충격가속도의 비인 충격 증폭계수(shock amplification factor)를 함께 나타내었으며 반사인과형 충격실험에서는 완충재 없이 배 자체의 육질을 통한 증폭계수인 1.714와 비교해 볼 때 이중양면 골판지에 완충컵이나 완충망 패드를 조합시킨 경우는 각각 1.048과

Table 6 Peak acceleration and shock amplification factors of the pear according to the packaging and cushioning materials by classical shock test

	half sine pulse shock							trapezoidal pulse shock						
	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G
average of peak acceleration (G)	24.27 (2.03)	18.84 (1.43)	15.49 (0.98)	15.25 (1.08)	19.82 (1.56)	14.84 (1.08)	14.18 (1.23)	27.38 (2.23)	26.45 (2.68)	20.06 (1.48)	19.04 (1.13)	24.88 (1.85)	19.68 (1.23)	18.63 (1.07)
average of shock amplification factors	1.714 (0.147)	1.330 (0.103)	1.094 (0.071)	1.077 (0.079)	1.400 (0.113)	1.048 (0.078)	1.001 (0.089)	1.934 (0.162)	1.868 (0.194)	1.417 (0.107)	1.345 (0.082)	1.757 (0.134)	1.390 (0.089)	1.316 (0.078)

Note : () Standard deviation
 A = Single pear, B = SW(A flute), C = SW + cushion cup, D = SW + cushion net
 E = DW(AB flute), F = DW + cushion cup, G = DW + cushion net

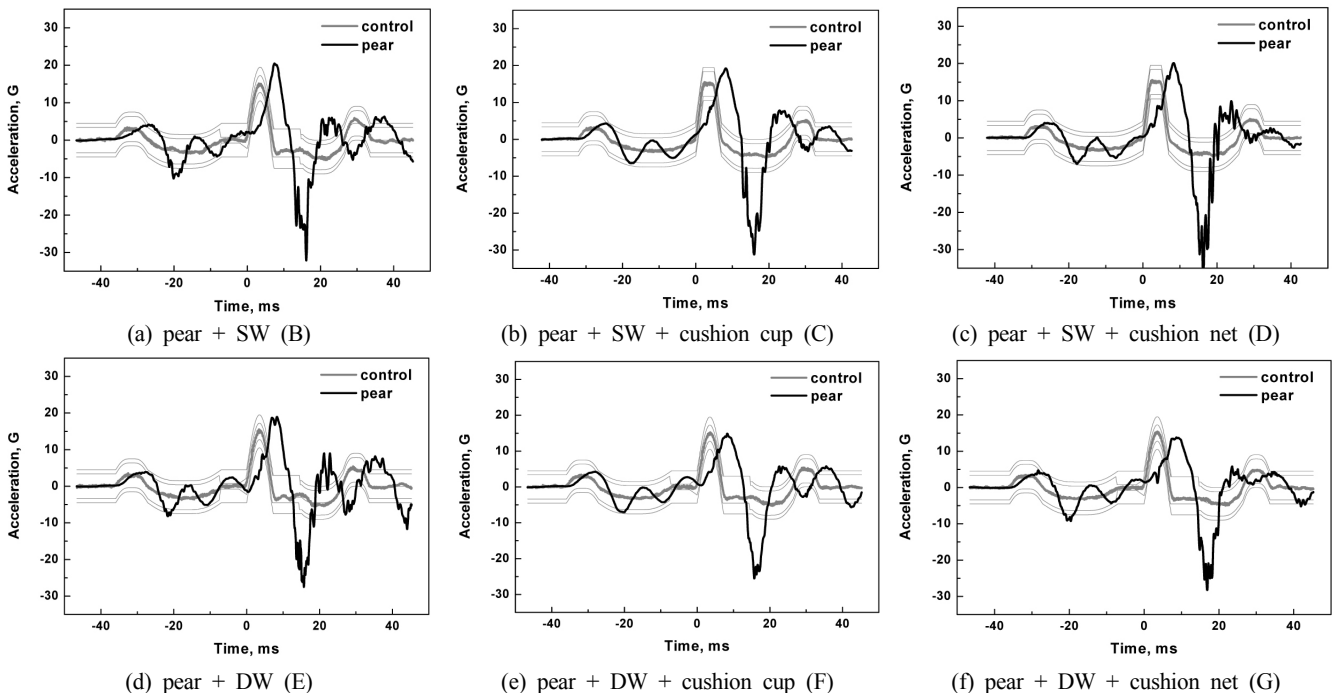


Fig. 5 Shock response curve of the pear according to the packaging and cushioning materials by the half sine pulse shock test.

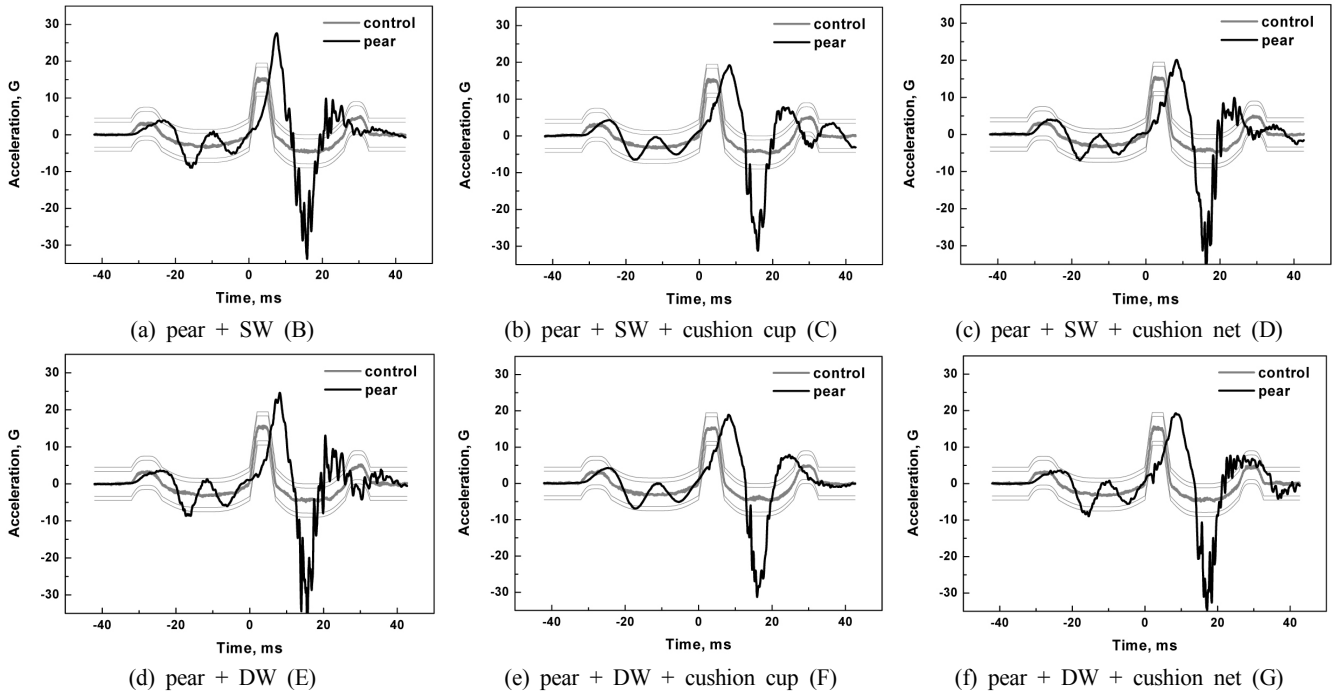


Fig. 6 Shock response curve of the pear according to the packaging and cushioning materials by the trapezoidal pulse shock test.

1.001로서 가장 작은 값을 보였으며, 포장완충재를 적용한 경우에는 이중양면 골판지만을 적용한 경우가 1.4로 가장 컸다. 또한 사다리꼴파형 충격시험에서는 이중양면 골판지에 완충망 패드를 조합시킨 경우가 1.316으로 가장 작았으며, 포장완충재를 적용한 경우에는 골판지 완충 패드만을 적용한 경우가 1.868로 가장 크게 나타났다.

그림 5와 6은 각각 반사인파형 충격시험과 사다리꼴파형 충격시험에 대한 단일 배와 포장완충재의 구성에 따른 배의 충격응답 가속도를 보여주고 있으며 그림 5와 6에 명시된 control신호는 가진장치가 시료에 가한 충격가속도이다. 그림 5의 6가지 조합에 대해 표 6에서 분석된 바와 같이 충격 응답 가속도는 단일 배의 경우에 가장 큰 값을 보여주고 있으며 이중양면 골판지와 완충망 패드를 같이 적용한 경우에 가장 작은 값을 보여주고 있다. 그림 6의 6가지 조합에서도 그림 5에서와 동일한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있으며 다만 그림 6의 사다리꼴파형의 충격시험에서는 입력되는 충격량이 반사인파형보다 크게 가해지므로 충격 응답 가속도가 그림 5에서보다 크게 계측되어지는 것을 확인할 수 있다. 그림 5와 6에서 보여지듯이 배에 부착된 가속도계에서 계측된 충격가속도는 충격시험기에서 제어되는 충격입력 가속도보다 5~8 ms의 지연이 발생하였으며 이는 단일 배와 포장완충재로 구성되어있는 시험편의 감쇠작용에 의한 것으로 판단된다.

그림 7은 반사인파형 충격과 사다리꼴파형 충격 시에 발생하는 최대가속도를 포장완충재의 구성별로 나타낸 것으로서

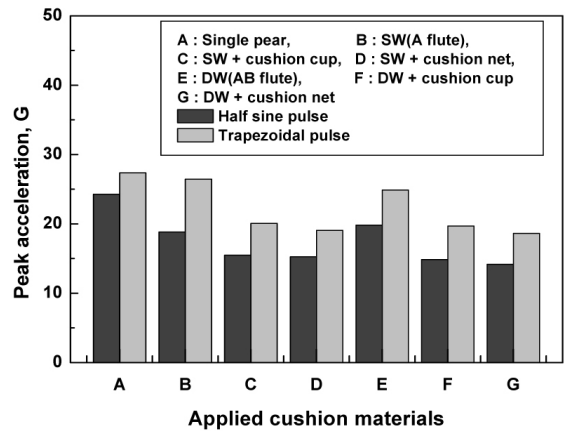


Fig. 7 Peak accelerations of the pear for the half sine pulse and the trapezoidal pulse with several packaging and cushioning materials.

모든 경우에 대해 사다리꼴파형 충격의 경우에 최대가속도는 크게 계측되었다. 이것은 사다리꼴 파형에 대한 임펄스량을 계산하면 반사인파형의 충격에서보다는 더 크게 계산되기 때문이며, 임펄스량이 클 경우에 충격 운동량도 증가하여 결국 최대 가속도도 크게 나타나는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 포장완충재의 종류와 구성에 따른 배의 단일파형 충격응답을 구명하기 위하여 배와 포장완충재를 실험 재료로 하여 수송경로에서 받을 수 있는 충격가속도를 적용

한 반사인파형, 사다리꼴파형 충격실험을 수행하였고 이를 통하여 여러 가지 포장완충재의 구성에 따른 배의 충격특성을 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 반사인파형 충격실험에서 단일 배의 최대 가속도는 22.12~28.84 G로써 입력된 14.16 G에 비해 충격력이 크게 증가하였으며 포장완충재가 적용된 경우에는 11.64~23.53 G로 계측되었다. 사다리꼴파형에 대한 충격실험 결과 단일배의 경우 24.43~32.61 G이었고, 포장 완충재가 적용되었을 때는 16.70~30.44 G로 계측되었다.
- (2) 입력가속도에 대한 충격가속도의 비로 표현되는 충격 증폭계수를 비교해 볼 때, 반사인파형 충격실험의 경우, 완충재나 완충컵 또는 완충망 패드를 적용하지 않은 배 자체만의 충격증폭계수는 1.714였으며 이중양면 골판지 패드에 완충컵이나 완충망 패드를 조합시킨 경우가 각각 1.048과 1.001로 가장 작았고 완충재를 적용한 경우에 있어서 이중양면 골판지 패드만을 적용한 경우는 1.4였다. 또한 사다리꼴파형 충격실험에서는 배 자체만의 충격증폭계수는 1.934였으며 이중양면 골판지에 망 패드를 조합시킨 경우가 1.316로써 가장 작았고 포장완충재를 적용한 경우에는 골판지 완충 패드만을 적용한 경우가 1.868로 가장 크게 나타났다.
- (3) 원지배합이 비슷한 AB골의 이중양면 골판지(DW)와 A골의 골판지 완충패드(SW)에 대한 충격가속도 실험 결과, 두께가 두꺼운 AB골이 A골보다 충격가속도가 작게 계측되었으며 따라서 충격을 흡수하는 성능은 원지배합보다는 골 형태에 따라 더 큰 영향을 받는 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. Delwiche, M. J., H. Arevalo and J. J. Mehlschau. 1996. Second generation impact force response fruit firmness sorter. Transactions of the ASAE, 39(3):1025-1033.
2. Diener, R. G., R. E. Adams, M. Ingle, K. C. Elliot, P. E. Nesselroad and S. H. Blizzard. 1977. Bruise Energy of Peaches and Apples. ASAE Paper No. 77-1029, ASAE, St. Joseph, Mich.
3. Hong, J. H., B. S. Myung, J. S. Choe, C. S. Kim, T. W. Kim, J. H. Chung and J. W. Park. 2005. Mechanical Behavior of Fruits under Impact Loading. Journal of Biosystems Engineering 30(5):274-279.
4. 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 Dissertation.
5. Lee, Y. H., D. S. Choi, S. R. Choi, M. S. Kim and G. S. Kim. 2008. Firmness Measurement of Melon by Characteristics of Impact Signal (I) - Characteristics of Impact Signal of Melon -. Journal of Biosystems Engineering 33(4):239-247.
6. Lichtensteiger, M. J., R. G. Holmes, M. Y. Hamdy and J. L. Blaisdell, 1988. Impact parameters of spherical viscoelastic objects and tomatoes, Transactions of the ASAE 31(2): 595-602.
7. MIL-STD-810F. 2000. Department of Defense Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, U.S.A
8. Mohsenin, N. N. 1970. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers
9. Mohsenin, N. N. and H. Goehlich. 1962. Techniques for determination of mechanical properties of fruits and vegetables as related to design and development of harvesting and processing machinery. J. Agric. Eng. Res., 7(4), 300-315.
10. Park, I. K. 2001. Impact characteristics of the pears. Chungnam National University Master Dissertation.
11. Zhang, X., M. L. Stone, D. Chen, N. O. Maness, and G. H. Brusewitz. 1994. Peach firmness determination by puncture resistance, drop impact, and sonic impulse. Transaction of the ASAE 37(2):495-500.

1. Delwiche, M. J., H. Arevalo and J. J. Mehlschau. 1996. Second generation impact force response fruit firmness sorter.