

PLA 트레이 포장 수출용 배의 수송 모의환경 진동 스트레스에 의한 품질변화

최동수¹ · 손재용¹ · 김진세¹ · 김용훈¹ · 박천완¹ · 황성욱² · 박종민³ · 정현모^{4*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원 수확후관리공학과

²계명대학교 화학공학과

³부산대학교 바이오산업기계공학과

⁴경북과학대학교 물류패키징과

Quality Change of Packaged Pears in PLA Tray for Export due to Vibration Stress by Simulated Transport Environment

Dong-Soo Choi¹, Jae-Yong Son¹, Jin-Se Kim¹, Yong-Hoon Kim¹, Chun-Wan Park¹, Sung-Wook Hwang², Jong-Min Park³, and Hyun-Mo Jung^{4*}

¹Postharvest Engineering Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration

²Dept. of Chemical Engineering, Keimyung University

³Dept. of Bio-industrial Machinery Engineering, Pusan National University

⁴Dept. of Logistics Packaging, Kyongbuk Science College

Abstract The characteristics of vibrational stress (shock and vibration) during transport and the possibility of damage to the packaged pears by functional PLA tray were investigated. And this study was conducted to analyze how environmental conditions by simulated transport environment affect quality factors such as weight loss (%) and soluble solid content (SSC, %), and firmness (bioyield strength, kPa) of packaged pears by PLA tray and Expanded PET foam pad (Group 1), EPE cushion cup pad and net (Group 2) for exporting. Pears with or without vibration stress were stored for 30 days at low temperatures ($5 \pm 0.8^\circ\text{C}$, $80 \pm 5\%$ relative humidity). There was the statistically significant difference ($p \leq 0.05$) between pears with and without vibration stress for weight loss, soluble solid content, and firmness (bioyield strength) after 30 days storage. Vibration stress accelerated pear quality deterioration during storage, resulting in increased weight loss, soluble solids content, and reduced hardness. The firmness (bioyield strength) and weight changes of pears with PLA trays were smaller than those of conventional packaging box systems. It was determined that the firmness of agricultural products was a quality factor closely related to the storage period and that PLA could be applied.

Keywords Shock and Vibration, Transportation, Quality change, Pear, PLA, Tray, Packaging

서 론

제품을 한 곳에서 다른 곳으로 수송할 때, 우리는 수송환경 내에 존재하는 다양한 위험으로부터 제품을 보호하기 위해 포장재료와 기술을 사용하며, 이러한 위험 중 일부는 환

경적 요인들(온도, 습도, 기압 등)이고 일부는 물리적 환경들(충격, 진동, 압축력 등)이다. 충격 및 진동 역학에는 포장된 제품에 물리적 및 외관적 손상을 초래할 수 있는 에너지를 포함하고 있으며, 특히 농산물은 유통과정 중에 쉽게 손상될 수 있기 때문에 특별한 완충 포장에 필요하다. 과실은 수확 후 저장 및 유통과정 중 품질이 저하되며 소비자에게 다가가기 위해서는 선별, 포장, 가공 등 수많은 단계를 거쳐한다. 수확 후 과실의 손상은 곰팡이와 박테리아, 쥐 및 기타 해충, 부적절한 온도 및 습도, 취급 불량, 과일 내 화학적 처리로 인해 발생할 수 있으며, 특히 수확

*Corresponding Author: Hyun Mo Jung
Dept. of Logistics Packaging, Kyongbuk Science College, 634 Jinsan-ro, Kisan-myeon, Chilgok-gun, Gyeongbuk 39913, South Korea
Tel: +82-54-979-9558
E-mail: hmjung@kbsc.ac.kr

후 생리적 숙성 과정은 과실의 연화, 저장 수명 감소로 이어진다¹⁷⁾. 환경조건은 수확 후 운송 중 과실의 품질변화를 초래할 수 있다. 유통 중 과실 품질변화의 피해를 방지하기 위해 환경조건에 따른 과실의 물성을 파악하는 것도 매우 중요하다. 우리나라 대표적인 여름 과일 중 하나인 배는 매년 1인당 소비량이 4.7% 증가하며, 사과, 복숭아 등 다른 과실에 비해 가격이 상대적으로 안정적이다. 그러나 배의 경도는 사과만큼 높지 않으며 생산지역에서 도매시장으로 운송하는 동안 충격과 진동과 같은 물리적 환경에 매우 민감하다⁸⁾.

기존에 발표된 연구논문 대부분은 과실의 온도와 습도를 변화시키는 요인에 대한 실험적 연구이며, 여름에 수확되는 과실은 온도 변화에 민감하며 보관 시 온도와 습도를 조절하여 품질변화 속도를 늦출 수 있다. 그러나 과실이 생산지역에서 도매시장에 납품되는 과정에서 포장된 과실이 받게 되는 물리적 환경은 과실의 호흡 특성에 변화를 가져오며, 과실의 호흡률이 증가함에 따라 품질이 더욱 빠르게 변화하게 된다. 과실의 수송 중 진동으로 인한 물리적, 생물학적 피해로 과실과 채소의 품질이 저하될 수 있으며, 수송 진동에 의한 농산물의 손상은 토마토^{25,32)}, 감자^{11,36)}, 복숭아^{8,37)}, 사과^{17,18,28,34,38)}, 배^{5,22,29)}, 포도¹⁹⁾에서도 입증되었다.

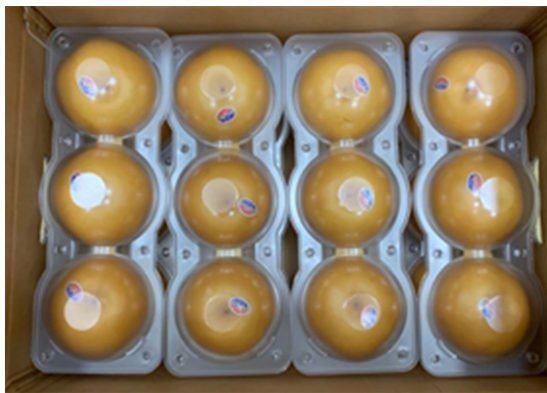
과실의 품질저하²⁰⁾를 최소화하기 위하여 과실을 저온으로 유지하기 위한 기술들이 적용되고 있으며, 포장기술은 과실의 신선도를 보존하는 데 매우 중요하며, 적절한 포장은 제품이 소비자에게 도달할 때까지 저온 또는 상온 온도에서 유통되는 동안 과일 신선도를 유지할 수 있다⁹⁾. 그러나 최적의 저장 조건은 각 제품의 대사 특성에 따라 달라진다²⁰⁾. 국내에서는 수확한 배 대부분이 트럭으로 수송 및 유통되고 있어 배의 품질과 시장성에 영향을 미치고 있다. 배 품질은 수송환경에 의한 충격과 진동 스트레스에 의해 큰 영향을 받게 되며, 이 문제를 시험적으로 평가하기 위해 국외 수송환경에서 골판지 단위 상자 내에 PLA 포장 트레

이 및 PET 완충 패드에 3개씩 적입된 수출용 배와 기존 수출용 상단 오픈형 골판지 상자 내 발포(EPE) 완충 트레이에 적입된 배에 대한 유닛로드 시스템(Unit Load System, ULS) 적용시 배의 내부 품질변화에 충격과 진동이 미치는 영향을 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험재료

본 시험에 사용된 배 품종은 신고(Niitaka)로 2020년 10월 나주에서 수확되었으며, 수확 후 현지 저장고에서 예냉 처리가 이루어진 후에 포장센터에서 선별 및 포장 작업이 이루어졌으며, 시험이 진행된 농촌진흥청 국립농업과학원 저온 저장시설에 3일간 $3 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $85 \pm 5\%$ 환경에서 보관한 뒤 시험을 진행하였다. 선택한 배는 무게(0.48 ± 0.021 kg)와 균집의 수가 비슷했으며 명이나 기타 흠집이 없는 배를 시료로 선정하였다. 본 시험에 사용된 골판지 상자는 Fig. 1의 (a)에서와 같이 KST 1006²³⁾에 명시된 홈판형 박스(코드번호 0201)로 7.5 kg 패키지 이상의 국내 농산물 포장으로 주로 사용되는 AB(A골 + B골) 이중양면 골판지 상자이었다. 상자의 크기는 $590 \times 460 \times 270$ mm이었으며, 골판지 상자 내 3개의 배 적입용 PLA 트레이(두께 1.5 mm)를 사용하였으며, 완충재로 두께 3 mm의 구형 PET 발포 패드를 사용하였으며, 한 상자 내에 배 3개 적입 트레이 12개가 사용되어 36개의 배가 적입되었다(Group 1). 비교 시험을 위해 사용된 기존 수출용 배 골판지 상자는 Fig. 1의 (b)와 같이 KST 1006²³⁾에 명시된 접는 형 박스(코드번호 0435)의 변형인 오픈톱 형식의 골판지 상자였으며, 한국에서 과실 소단위 포장에 흔히 사용되는 BE(B골 + E골) 이중양면 골판지로 제작되었으며, 골판지 상자 내 완충재는 발포 폴리에틸렌(EPE) 재질의 트레이 컵패드 및 발포망이었으며, 5 kg 패키지로 구성되었고 시험에서는 크기가 $470 \times$



(a)



(b)

Fig. 1. Packaging methods of pears for exporting.

315 × 110 mm인 골판지 상자 안에 9개의 배가 적입되었다 (Group 2).

2. 수송 모의시험

본 랜덤 진동 모의시험의 경우에는 KS T ISO 13355를 참조하였으며, Fig. 2는 규격에 명시되어 있는 주파수별 PSD(Power Spectral Density) 파일을 도식화 한 것이다. 랜덤 진동 모의시험의 경우 초기 입력값은 전체 수준보다 최소 6 dB 낮은 값으로 시작하여 입력값이 한 단계씩 증가될 수 있도록 설정하였으며, 실험 주파수 범위는 3~200 Hz, 스펙트럼 진폭 값은 0.5 G가 되도록 하였고, 실험 주파수 구간에 대해 PSD 값의 변화폭은 30 dB 이하를 유지하도록 하였으며, 국내 농산물 수송에 소요되는 최대 시간을 고려하여 180분의 진동 시험을 수행하였다. Fig. 3은 본 랜덤 진동 모의시험에 사용된 전자식 가진기(LDS V984, Brüel & Kjær, UK)이며, 파렛트 단위의 유닛로드 시스템(Unit-load System)이 적용된 수출용 배의 진동 시험을 보여주고 있으며, 진동 시험 후에는 온도 5°C와 80%의 상대습도로 조절되는 저장고에 적입하여 6일마다 당도, 무게 및 경도 변화를 측정하였다.

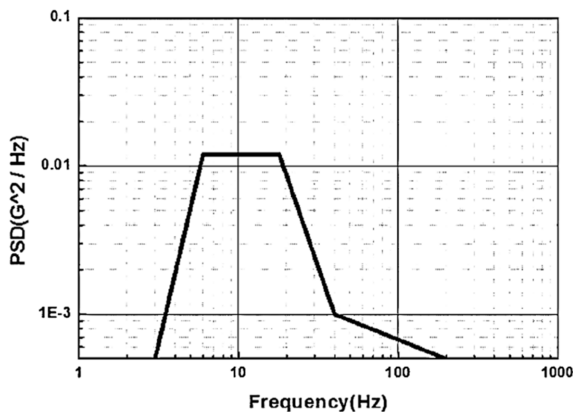


Fig. 2. PSD profile of the KS A ISO 13355.



Fig. 3. Vibration simulation test of unit load system for pears.

3. 품질평가

진동 모의시험 후에 당도 측정은 휴대용 디지털 굴절계(PAL-16S, ATAGO Co., Japan)를 사용하여 무작위로 선정된 5개의 샘플 배에 대해서 6일 간격으로 수행하였으며, 동시에 무게 변화를 측정하였다. 일반적으로 국내 대부분의 농산물 가격은 무게에 따라 결정되므로 유통 중 무게가 감소하면 농가의 경제적 손실과 밀접한 관계가 있다. 따라서 농산물의 저온 관리는 품질 저하 및 무게 감소를 방지하기 위한 것이다¹⁶⁾. 세 번 측정된 결과는 실험을 시작할 때 측정된 배 무게의 백분율로 표현하였다. 또한 배의 이론적 무게 감소율은 식(1)을 활용하여 추정하였다(ASHRAE Handbook – Fundamental, 2008³⁾).

$$\dot{m} = k_f(P_{ss} - P_{va}) \quad (1)$$

여기서 \dot{m} 은 과실의 무게 감소율(ng/kg·s), k_f 는 증산 계수(ng/kg·s·Pa), P_{ss} 는 포화 수증기압(Pa), P_{va} 은 수증기압(Pa)이다.

배의 경도(Bioyield strength, 생물체항복강도) 변화를 측정하기 위해 범용 압축시험기(SY-005, Sunyoung System Co., Korea)를 사용하여 원통 압축시험(ASABE S368.3²⁾ 규격 : 지름 10 mm)로 표준 압축시험(Loading rate : 5 mm/min²⁾)을 수행하였다. 과일 경도는 저장성과 밀접한 관련이 있는 인자로 매우 중요하며, 압축 경도 시험은 각 표본에 대해 서로 반대되는 두 표면에서 수행되었다¹⁶⁾. 진동 스트레스를 받은 2개의 그룹과 진동 스트레스를 받지 않은 1개의 그룹에 대한 저장 중 무게 변화를 6일 간격으로 측정하였다.

4. 통계분석

모든 실험 데이터는 Windows용 SPSS, Release 9.0.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 분석되었고, 분산 분석을 수행하여 진동 스트레스를 받은 홈판형(EPE 완충패드 + 완충망) 및 접는형(PLA 트레이+PET 발포 완충패드) 골판지 상자 내 수출용 배 2개 그룹과 진동 스트레스를 받지 않은 비교군의 1개 그룹의 품질변화를 비교하였다. Tukey의 검정은 평균을 비교하고 5% 유의 수준에서 유의성 검증을 위해 사용되었다.

결과 및 고찰

1. 진동 스트레스에 의한 배의 당도 변화

진동 스트레스에 의한 배의 당도는 PLA 트레이 적용 골판지 상자 내 배 그룹(Group 1), 기존 오픈탑 골판지 상자 내 배 그룹(Group 2) 및 진동 스트레스를 받지 않은 그룹(Group 3)에서 평균적으로 0.55%, 0.53% 및 0.56%씩 증

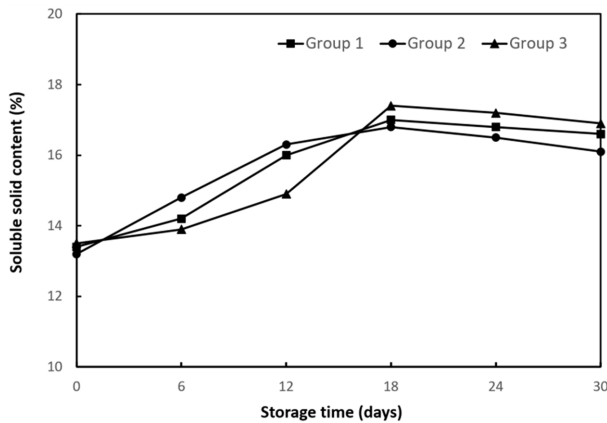


Fig. 4. Soluble solids content (%) in three group pears stored at 5°C and 80% RH. The values are mean of five determinations \pm standard deviation.

가하였으며, 모든 샘플 배의 저장 시간에 따라 크게 증가하였다(Fig. 4). 당도는 일반적으로 전분을 설탕으로 아밀라아제 매개 변환으로 인해 저장 중에 증가¹⁾하게 되며, 대비군(Group 2)인 오픈탑형 골판지 상자 내 배에서 당도가 더 빠르게 증가하게 되고 이것은 배의 숙성이 더 빠르다는 것을 의미한다. 일반적으로 고온의 환경은 당도의 급격한 변화를 유발하는데, 이는 아마도 효소 활성도가 더 높고 녹말이 당으로 더 빨리 전환되기 때문일 것이다. 당도의 변화가 느리면 저장 수명이 연장됨을 의미한다¹⁰⁾. 현재 국내에서는 과일 등급이 당도, 외관, 손상 여부, 무게 및 크기에 따라 결정되며 일반 소비자들이 과일을 구입할 때 가장 중요하게 고려하는 것은 당도 품질이다. 따라서, 농가에서는 당도의 품질 측정을 위한 장비를 구입하는 데 많은 비용을 지출하고 있다¹⁸⁾.

2. 진동 스트레스에 의한 배의 경도 변화

압축시험으로 측정된 배의 힘-변형 곡선상에서 도출되는 생물체항복점(N)을 원통형 압축 지그와의 접촉 면적으로 나누어 계산되는 생물체항복강도는 경도의 중요 인자로 표현된다. 본 실험을 통해 진동 스트레스를 받은 후 저장 기간 동안 2개의 그룹(Group 1, Group 2) 및 진동 스트레스를 받지 않은 1개의 그룹(Group 3)에서 배의 경도(생물체항복강도)는 유의하게 감소($p \leq 0.05$)했으며, 30일 후 평균 3.50 kPa/day(PLA 트레이 적용 골판지 상자 내 배), 3.63 kPa/day(기존 오픈탑형 골판지 상자 내 배) 및 3.16 kPa/day(진동 스트레스를 받지 않은 배) 경도 손실이 나타났다(Fig. 5). 일반적으로 과일과 채소의 부드러운 질감은 세포의 팽창 압력과 세포벽 성분과 다당류의 저하와 같은 많은 요인의 결과이다²⁴⁾. 식감 저하는 숙성과 밀접한 관련이 있다. 숙성하는 동안 급속한 효소 합성과 그에 따른

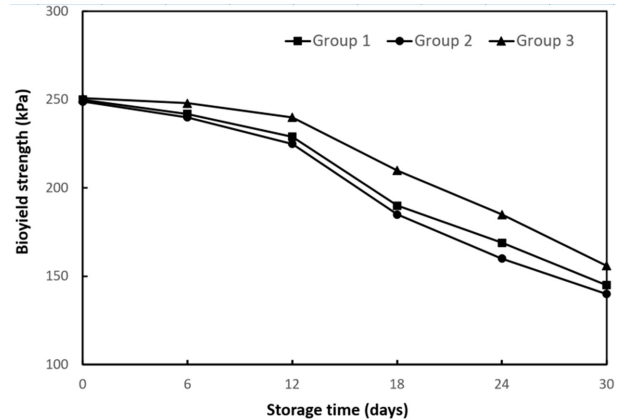


Fig. 5. Bioyield strength (kPa) in three group pears stored at 5°C and 80% RH. The values are mean of five determinations \pm standard deviation.

당도 방출이 있는데, 이는 숙성된 과일의 더 큰 연화를 설명할 수 있다. 경도는 선선편이 배의 서로 다른 숙성 조건에 따라 달라진다³¹⁾. 처음 6일 동안 보관한 후에는 3개의 배 그룹 간에 유의한 차이가 없었지만 12일 후에는 유의한 차이($p \leq 0.05$)가 발생했습니다. 이러한 결과는 어떠한 진동 스트레스도 숙성을 크게 지연시킬 수 없고, 체중 감소를 줄일 수 없으며, 보관 및 운송 중에 신선한 배의 견고함을 유지할 수 없기 때문에 효과적으로 보관 수명을 연장할 수 없음을 의미한다. 또한 배의 생물체항복강도(Firmness, Hardness)는 저장과 깊은 관련이 있다. 생물체항복강도가 클수록 저장 기간은 동일 저장 조건에서 더 길어지고 유통 중 충격과 진동으로 인한 물리적 손상도 줄어든다¹⁹⁾.

3. 진동 스트레스에 의한 배의 무게 변화

일반적으로 저장 및 유통과정 중 배의 무게 변화는 수확 후 호흡작용에 의한 것으로 예상된다. 5°C에서의 저온 보관으로 실온 보관에 비해 배 무게 감소를 줄일 수 있었다. 30일 동안의 체중 감소는 진동 스트레스를 받은 그룹 1의 PLA 트레이 적입 배들(5.50 g/day)과 그룹 2의 기존 오픈탑형 상자 적입 배들(5.33 g/day) 및 그룹 3의 진동 스트레스를 받지 않은 배들(4.50 g/day) 간에 유의한 차이($p \leq 0.05$)를 보였다(Fig. 6). 이러한 결과는 외부 진동에 의해 스트레스를 더 받는 배가 더 높은 호흡을 가질 수 있고, 따라서 보관 중에 더 많은 체중 감소를 경험할 수 있음을 의미한다. 또한 식 (1)에 따른 무게 감소율은 0.192 g/kg·hr이었다. 배의 증산 계수는 572 ng/kg·s·Pa (ASHRAE Handbook-Fundamental³⁾)이었으며, 5°C와 80% RH의 환경과 10,1325 kPa의 표준 대기압하에서 포화 수증기압은 1,705 kPa, 수증기압은 1,370 kPa이었다. 본 실험 결과를 분석해보면 수출용 배의 기존 방식의 포장방법에서 친환경 포장재인 PLA

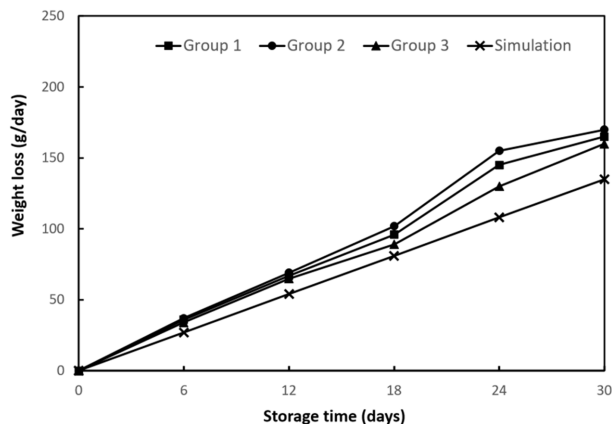


Fig. 6. Weight loss (g/day) in three group pears stored at 5°C and 80% RH and by simulation was calculated using equation (1). The values are mean of five determinations ± standard deviation.

트레이를 적용한 포장방법이 배의 유통과정 중 손상 방지 및 저장 기간에의 품질 저하 측면에서 유리한 것으로 판단되었다.

결 론

본 연구에서는 수출용 배의 서울 수송중 받게 되는 진동 스트레스가 배의 품질에 미치는 영향을 기존 수출용 배 포장 방식과 PLA 트레이를 적용한 포장 방식의 차이를 분석하고자 수행되었다. 본 실험을 통해 30일 보관 중의 배의 당도, 경도(생물체항복강도) 및 무게 변화에 대해 계측을 하였으며, 두 포장 방식에 의한 진동 스트레스에 의해 품질변화에 유의한 차이가 있음을 알게 되었다. 이것은 유통 중 진동 스트레스가 배의 품질 저하를 가속화하여 다 빠른 당도, 경도 및 무게 변화를 가져오며, 장기간 수송을 해야 하는 과실의 조건의 경우 진동 스트레스를 덜 받게 하는 고정 포장방법(트레이 적용)이 유용할 것으로 판단된다. 과실의 시장성은 신선도와 관련성이 높고 보관 중 과실의 품질변화를 늦출 수 있는 방법에 대한 연구가 많았으며, 이번 연구를 통해 수출용 배의 유통 중 손상 방지 및 수출국의 친환경 정책에 대비하기 위한 포장 개선 작업이 이루어져야 한다. 지금까지 과실의 완충 포장은 운송 중 포장된 과일의 충격력을 최소화하기 위한 것이었다. 이와 연계로 과실이 수송 중에 받는 진동 스트레스를 최소화할 필요가 있다. 또한 수송 중 진동 스트레스에 의한 과일 품질 저하를 최소화하기 위한 적절한 완충 포장방법을 개발하기 위한 추가 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2020년 농촌진흥청 농업기술개발사업의 공동

연구프로그램(프로젝트 번호 : PJ01352701)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- Arpaia, M.L., Mitchell, F.G., Kader, A.A. and Mayer, G. 1985. Effects of 2% O₂ and varying concentrations of CO₂ with or without C₂H₄ on the storage performance of kiwifruit. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 110(2): 200-203.
- American Society for Agricultural and Biological Engineers. S368.3. 2008. *Compression Test of Food Materials of Convex Shape*. ASABE, St. Joseph: Michigan, USA.
- American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers. 2008. *ASHRAE Handbook - Fundamentals*, ASHRAE International, Atlanta, GA.
- Barchi, G.L., Berardinelli, A., Guarnieri, A., Ragni, L. and Totaro-File, C. 2002. Damage to loquats by vibration-simulating intra-state transport. *Biosystems Engineering*, 82(3): 305-312.
- Berardinelli, A., Donati, V., Giunchi, A., Guarnieri, A. and Ragni, L. 2005. Damage to pears caused by simulated transport. *J. Food Eng.*, 66(2): 219-226.
- Chung, H.S. and Choi, J.U. 1999. Production of Ethylene and Carbon Dioxide in Apples during CA Storage. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.*, 6(2): 153-160. (In Korea)
- Choi, S.J. 2005. Comparison of the Change in Quality and Ethylene Production between Apple and Peach Fruits Treated with 1-Methylcyclopropene (1-MCP). *Korean J. Food Preservation*, 12(6): 511-515. (In Korea)
- Choi, S.R., Lee, Y.H., Choi, D.S. and Kim, M.S. 2010. Damage at the peach due to vibrational stress during transportation simulation test. *J. of Biosystems Eng.*, 35(3): 182-188. (In Korea)
- Fisk, C.L., Silver, A.M., Strik, B.C. and Zhao, Y. 2008. Postharvest quality of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* 'Ananasnaya') associated with packaging and storage conditions. *Postharvest Biol. Technol.*, 47(3): 338-345.
- Fuchs, Y., Pesis, E. and Zauberman, G. 1980. Change in amylase activity, starch and sugar content in mango fruit pulp. *Sci. Hortic.*, 13(2): 155-160.
- Grant, S.W., Turezyn, M.T., Ashby, B.H., Hallee, N.D., Kleinschmidt, G.D., Wheaton, F.W. and Dunton, W. L. 1986. Potato bruising during transport, *Transactions of the ASAE*, 8(2): 241-243.
- 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 the ASAE*, 36(4): 1039-1042.
- Hong, Y.P. and Lee, E.J. 2007. Effect of relative humidity under various packaging treatments on quality of grape fruits during cold storage, *Korean J. Horti. Sci. Technol.*, 25(1): 47-53. (In Korea)
- 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*

- Technol. Sci., 18(4): 179-188.
15. Jung, H.S. and Choi, J.U. 1999. Production of ethylene and carbon dioxide in apples during CA storage. *Korean J. Food Preservation*, 6(2): 153-160. (In Korea)
 16. Jung, H.M., Kim, M.S. and Auras, R. 2010. Effects of packaging materials processed with oak charcoal on the quality of oriental pears during storage and distribution. *J. of Biosystems Eng.*, 35(5): 316-322.
 17. Jung, H.M. and Park, J.G. 2012. Effects of vibration stress on the quality of packaged apples during simulated transport. *J. of Biosystems Eng.*, 37(1): 1-5.
 18. Jung, H.M. and You, Y.O. 2017. Ethylene production of packaged apples under vibration stress in simulated transportation environment. *Korean j. of Packaging Science and Technology*, 23(2): 97-101.
 19. Jung, H.M., Lee, S.D., Lee, W.H., Cho, B.K. and Lee, S.H. 2018. Effect of vibration stress on quality of packaged grapes during transportation. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 11(2): 79-83.
 20. Kader, A.A., Zagory, D. and Kerbell, E.L. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 28, 1-30.
 21. Kader, A.A. and Ben-Yehoshua, S. 2000. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.*, 20(1): 1-13.
 22. Kim, G.S., Park, J.M. and Kim, M. S. 2010. Functional shock responses of the pear according to the combination of the packaging cushioning materials. *J. of Biosystems Eng.*, 35(5): 323-329. (In Korea)
 23. Korean Industrial Standard. KS T 1006. 2010. Types of Corrugated Fiberboard Boxes. KS, Gwachon, Kyonggi, Republic of Korea.
 24. Lakshminarayana, S. Sapodilla and prickly pear. In: S. Nagy and P. E. Shaw (eds.). 1980. *Tropical and subtropical fruits*. AVI Pub, Westport CT., 415-441.
 25. Olorunda, A.O. and Tung, M.A. 1985. Simulated transit studies on tomatoes: effects of compressive loads, container, vibration and maturity on mechanical damages. *J. Food Technol.*, 20(6): 669-678.
 26. Park, J.M., Choi, S.I., Kim, J.S., Jung, H.M. and Park, J.H. 2020. Vibration measurement and analysis in carton clamp truck handling. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 1(1): 1-6.
 27. Rissi, G.O., Singh, S.P., Burgess, G. and Singh, J. 2008. Measurement and analysis of truck transport environment in Brazil, *Packaging Technol. Sci.*, 21(4): 231-246.
 28. Schulte, P., Timm, E.J., Brown, G.K., Marshal, D.E. and Burton, C.L. 1990. Apple damage assessment during intrastate transportation, *Transactions of the ASAE*, 6(6): 753-758.
 29. Slaughter, D.C., Hinsch, R.T. and Thompson, J.F. 1993. Assessment of vibration injury to Bartlett pears. *Transactions of the ASAE*, 36(14): 1043-1047.
 30. Seo, J.Y., Kim, E.J., Hong, S.I., Park, H.W. and Kim, D.M. 2005. Respiratory characteristics and quality of Fuji apple treated with mild hot water at critical conditions. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 37(3): 372-376. (In Korea)
 31. Soliva-Fortuny, R.C., Grigelmo-Miguel, N., Hernando, I., Lluch, M.A. and Martin-Belloso, O. 2002. Effect of minimal processing on the texture and structural properties of fresh-cut pears. *J. Sci. Food Agric.*, 82(14): 1682-1688.
 32. Singh, P. and Singh, Y. 1992. Effects of vibration during transportation on the quality of tomatoes, *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 23(2): 70-72.
 33. Singh, S.P., Sandhu, A.P.S. and Singh, J.; Joneson E. 2007. Measurement and analysis of truck and rail shipping environment in India, *Packaging Technol. Sci.*, 20(6): 381-392.
 34. Singh, S.P. and Xu, M. 1993. Bruising in apples as a function of truck vibration and packaging, *Applied Engineering in Agriculture*, 9(5): 455-460.
 35. Stow, J.R., Dover, C.J. and Genge, P.M. 2000. Control of ethylene biosynthesis and softening in 'Cox's orange pippin' apples during low-ethylene, low-oxygen storage. *Postharvest Biol. Technol.*, 18(3): 215-225.
 36. Turczyn, M.T., Grant, S.W., Ashby, B.H. and Wheaton, F.W. 1986. Potato shatter bruising during laboratory handling and transport simulation, *Transactions of the ASAE*, 29(4): 1171-1175.
 37. Vergano, P.J., Testin, R.F. and Newall, Jr.W.C. 1991. Peach bruising susceptibility to impact, vibration and compression abuse, *Transactions of the ASAE*, 34(5): 2110-2116.
 38. VURSAVUŞ K. and ÖZGÜVEN, F. 2004. Determining the effects of vibration parameters and packaging method on mechanical damage in golden delicious apples, *Turk. J. Agric. and Fore.*, 28(5): 311-320.
 39. Wszelaki, A.L. and Mitcham, E.J. 2000. Effects of super atmospheric oxygen on strawberry fruit quality and decay. *Postharvest Biol. Technol.*, 20(2): 125-133.

투고: 2021.08.15 / 심사완료: 2021.08.24 / 게재확정: 2021.08.25