

국내 과실의 택배 유통환경 특성

정현모^{1,*} · 김수일²

¹경북과학대학교 디지털컨텐츠디자인과

²김수일포장개발연구소

Characteristics of Domestic Distribution Environment for Parcel Delivery Service of Fruits

Hyun Mo Jung^{1,*} and Su Il Kim²

¹Dept. of Digital Contents Design, Kyongbuk Science College, Chilgok 718-851, Korea

²Kim Su Il Packaging Development Institute, Choenan 331-961, Korea

Abstract Agricultural products packaged for transportation are put in the various dangerous environments owing to the damage factors like vibration, shock, compression, climate etc. under the distribution process. On fruits packaging for transportation, especially, the shock and vibration is considered as the most important damage factors. A major cause of shock damage to fruits is drops during manual handling. Especially, the damages of fruits during the parcel delivery service are very serious. The parcel delivery services of fruits are increasing and contribute to increasing of farm house earning. Also, the freight vehicle is mostly used to transport the fruits. Shock and impact generated by the freight vehicle may give serious damage to fruits. The optimum packaging design of parcel delivery service of fruits during transportation is required to reduce the fruits damages. In order to design the packaging system for parcel delivery service of fruits considering the transportation environment, the comprehension of characteristics for vibration and shock generated by manual handling and acting on transportation vehicles under various road conditions and loading methods is required. This research was performed to analyze the shock characteristics, acceleration level and power spectral density (PSD) during the parcel delivery service of fruits. The overall level of recommended PSD profile in a specific transportation of parcel delivery service for fruits was 0.63 G_{rms} .

Keywords Parcel delivery service, Vibration, Shock, PSD, Apple

서 론

과실류 및 청과물은 수확 후 소비자에게 전달되기 전까지 저장, 선별, 포장 및 수송의 과정 중에 유통환경의 변화에 따라 손상이 발생할 수 있다. 특히 수송과정 중 발생할 수 있는 다양한 진동 및 충격현상은 과실 및 과실 포장화물이 갖는 자체의 공진주파수 구간에서 가장 큰 손상을 유발하므로 수송과정에서 제품의 손상을 최소화시키는 방안이 강구

되어야 한다. 일반적으로 수확된 농산물의 유통과정 중에 발생하는 기계적인 손상으로 인한 손실률은 약 30~40%에 이르는 것으로 알려져 있으며 이중 상당부분을 차지하고 있는 수확 후 수송과정 중에 발생하는 기계적인 영향으로 인한 손상을 줄이는 것은 더욱 중요한 부분으로 인식되고 있다. 특히, 근래에 국내 과실의 택배 유통이 증가하면서 유통중 발생하는 충격 손상을 줄이는 것이 농가의 유통판매 활로의 개척과 농가소득의 증대에 큰 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 과실의 택배 수송방법으로는 화물차량을 이용하는 것이 가장 일반적이며, 수송중 화물차량에서 발생하는 진동 및 충격과 택배용 화물의 분류, 적재 및 하역 등의 작업에서 발생하는 충격 등은 과실의 손상과 직접적으로 연관되어 있다. 따라서 수송 중 적정 포장설계를 통한 과실의 손상을 줄이

*Corresponding Author : Hyun Mo Jung
Dept. of Digital Contents Design, Kyongbuk Science College,
Chilgok 718-851, Korea
Tel : +82-54-979-9558, Fax : +82-54-972-9733
E-mail : hmjung@kbkc.ac.kr

기 위해서는 작업환경, 주행도로, 도로 상태 등의 방법에 따라 차량에 작용하는 진동 및 충격 특성을 파악하고 자료화하는 것은 매우 중요하다. 외국의 경우 과실의 수송경로 및 수송방법에 따른 차량내의 진동 및 충격 계측실험이 다양하게 수행되고 있으며, 이러한 실험 자료는 과실의 수송 중 손상을 예상할 수 있도록 수학적인 모델이 개발되어 과실 및 농산물의 적정 수송방법을 제안하는 기술 수준에 와 있다. 이러한 기술들은 수송 시 발생하는 과실의 손상을 최소화하여 경제적인 손실을 줄이고 과실류 적정 포장설계의 개발에도 폭 넓게 활용되고 있다.

Hinsch 등³⁾은 스프링 현가장치로 되어 있는 대형화물차를 이용하여 체리, 복숭아, 배를 수송하는 과정 중에 발생하는 진동신호를 계측하여 PSD를 분석하였다. PSD(power spectral density)는 3.5 Hz구간에서 가장 크게 나타났으며 9 Hz, 18 Hz, 25 Hz구간에서도 높게 나타났다고 하였다. Chesson 등²⁾은 PSD는 대형화물차 바닥의 뒷부분에서 가장 크게 나타났고 수직방향의 가속도에 비해 수평방향의 가속도는 작게 나타났다고 보고하였다. Jarimopas 등⁴⁾ 및 Singh 등⁷⁾은 수송차량의 현가장치에 따른 PSD를 측정된 결과 실험 주행하였던 도로 전체 평균은 스프링 현가장치에서 0.89 G_{rms}, 공기식 현가장치에서 0.5 G_{rms}로 나타났으며 이를 근거로 하여 랜덤 진동실험방법을 제시하였다. 이상의 연구에서는 수송차량의 진동 및 충격수준을 계측하는 것이 대부분이다. 하지만, 택배의 유통환경은 일반 제품 및 농산물과는 상이한 부분이 많다. 특히, 택배화물의 분류작업시 사람의 작업에 의해서 낙하 등의 충격을 많이 받게 되는 유통환경을 가지고 있으며, 택배화물의 특성상 파렛트 적재에 의한 지게차의 사용이 되지 못하고 있어 수송차량에 적재 및 하역시 인력에 의존하게 되며 이에 따른 충격손상을 많이 받게 된다.

따라서, 본 연구에서는 국내의 대표 과실인 사과 포장 택배화물의 택배원 수거에서 최종 목적지까지의 진동 및 충격의 유통환경을 계측 및 분석하고, 택배 유통환경의 가속도 수준과 PSD(power spectral density)를 분석하고 유통중 발

생되는 충격의 사양을 분석하여 사과의 최적의 택배용 포장 완충시스템을 설계하기 위한 기준 데이터로 활용하고자 수행되었다.

재료 및 방법

본 실험에 사용된 과실 샘플은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 후지품종의 사과로 포장단위(무게)인 5 kg를 기준으로 한 택배용 포장샘플이었다. 골판지는 이중양면골판지(SK210/K180/K180/K180/K180)를 사용하였으며, 택배용으로 개발된 과실용 16개구 PP 재질의 난좌(tray cup)가 사용되었고 택배용 사과의 순수 진동 및 충격을 계측하기 위하여 완충재를 따로 적용하지 않았다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 실험용 택배 포장상자 내부 트레이컵에 유통환경을 계측하기 위하여 자체 전원으로 최대 90일까지 작동되는 유통 중 진동 및 충격 계측용 무선 3축 데이터 레코더(Saver 3X90, Lansmont, USA)를 설치하였다. 본 연구에서는 경남 김해에서 경기도 화성까지의 택배 유통환경을 계측하였으며, 국내의 농산물 택배에 주로 이용되고 있는 우체국 택배를 이용하여 택배 유통환경을 계측하였다.

결과 및 고찰

1. 택배 유통환경의 진동 및 충격특성

본 실험에서는 국내의 대표적인 과실인 사과의 택배포장 유통환경을 계측하였으며, 결과치를 충격을 받은 영역과 급격한 속도변화(velocity change)가 생긴 영역, 이를 제외한 순수 진동영역으로 나누어 분석하였다. Fig. 2는 경상남도 김해에서 경기도 화성까지의 택배 화물에 대한 진동 결과치를 보여주고 있다. 그림의 충격(shock)영역에서는 Kim 등⁵⁾이 제시하였던 사과의 손상기준이 되는 바이오 G-벡터의 최대치인 2.8 G를 넘는 횟수가 약 15회 정도 발생하였으며, 10 G 이상의 충격횟수도 약 5회 발생하였다.



Fig. 1. Apples and data recorder in packaging box for parcel delivery service.

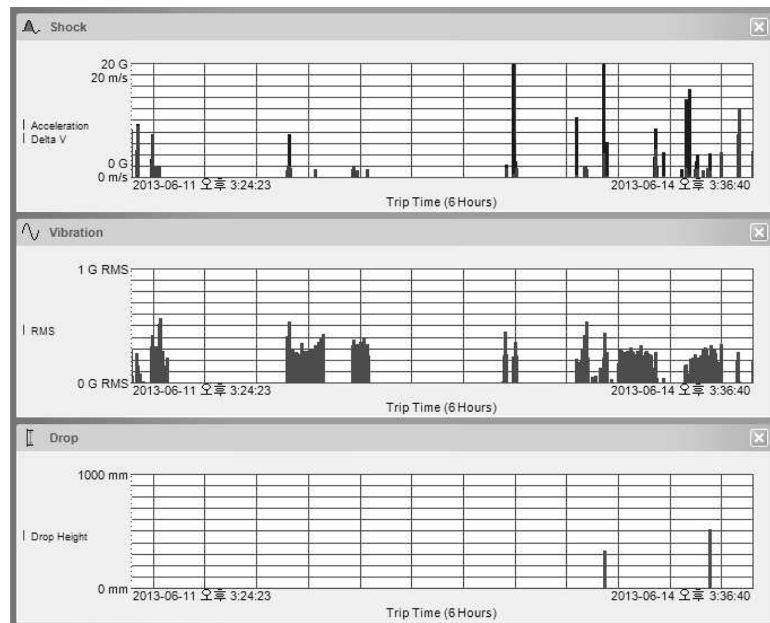


Fig. 2. Distribution environment analysis between Gimheha and Hwaseong.

또한, 충격 분석에서 급격한 속도변화(Delta V)는 과실의 손상에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 이러한 급격한 속도변화는 충격에 의한 낙하방향이 변경되는 것으로 낙하충격을 받게 되는 환경을 의미하게 된다. 본 실험 결과를 토대로 약 20회의 급격한 속도변화가 발생하는 것으로 분석되었으며, 약 300 및 500 mm에서 자유낙하의 충격도 발생되어 택배 유통환경의 열악함을 알 수 있었다.

또한, 순수 진동영역(vibration)에서도 Kim 등⁵⁾이 제시하였던 사과와 바이오 G-팩터의 최소값인 0.42 G_{rms} 이상의 진동이 약 10회 이상 발생되어 택배 유통을 위해 과실의 적절한 완충포장이 이루어지지 않는다면 과실의 손상이 발생하게 될 것으로 판단되었다. Fig. 3은 택배 유통중 진동 충격가속도의 계측치가 큰 경우를 그래프로 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 충격에 의한 사과와 손상기준이 되는 바이오 G-팩터에 비해 매우 높은 충격가속도(7.85G, 13.09G, 20.02G 및 20.07G)가 발생되었다. 이러한 경우는 인력에 의한 택배 포장화물의 취급 및 지역별 분류단계에서 발생하는 것으로 이동 시간상 추정해 볼 수 있었으며, 인력에 의한 분류작업, 수송차량의 적재 및 하역작업시에 택배화물이 받는 충격력이 다른 작업에 비해 크게 계측되었다.

또한, 택배용 포장화물의 진동 및 충격특성은 다른 유통환경과는 다르게 Fig. 3(a) 및 3(b)와 같이 수직(vertical) 충격 외에도 Fig. 3(c) 및 3(d)와 같이 측면(horizontal) 방향의 진동 충격가속도도 크게 계측되는 경우가 있어 이에 대한 완충포장의 적용이 필요할 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 이전 연구자들에 의해 계측되었던 수송트럭에 적재된 제품

의 진동특성과 차이가 있었다. 이처럼 인력에 의한 작업이 이루어지는 환경에서는 다양한 측면에서의 충격이 발생한다는 것을 알 수가 있었다.

2. 택배 유통환경의 PSD 특성

Fig. 4은 김해-화성 구간의 PSD(power spectral density) 프로파일을 보여주고 있으며, 그래프 상에서 상단부분에 위치하고 있는 PSD는 수직(vertical)방향에 해당되는 진동결과와 PSD를 보여주고 있으며, 하단부분에 위치하고 있는 PSD는 수평진동(진행방향, 진행방향 직각방향, horizontal)방향에 대한 진동 PSD를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 진행방향에 수직인 상단/하단 방향(vertical)의 진동이 제일 크게 계측되며, 과실의 손상에 수직에 의한 진동 및 충격에 의한 것이 제일 클 것으로 판단되었다.

또한, 모든 PSD가 크게 나타나는 주파수 대역은 1-20 Hz 대역이었고 주파수가 높아질수록 PSD는 감소하였다. 이러한 결과는 이전 연구자들에 의해 제시되었던 것과 유사한 결과를 나타내었다. 즉, 일반적인 과실의 수송환경에서 가장 문제가 되는 것은 낮은 주파수 대역에서의 진동 및 충격력이다. 그 이유는 낮은 주파수 대역에서는 같은 충격가속도 수준에서 진동 및 충격의 변위가 크기 때문에 포장된 과실이 손상될 수 있는 확률이 높아지기 때문이다. 따라서, 적정 완충포장은 과실의 공진주파수 대역을 변경하는 포장설계와 수송 중 받게되는 충격력을 감소하는 포장설계 기법이 동시에 적용되어야 한다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 김해-화성 구간의 택배 유통의

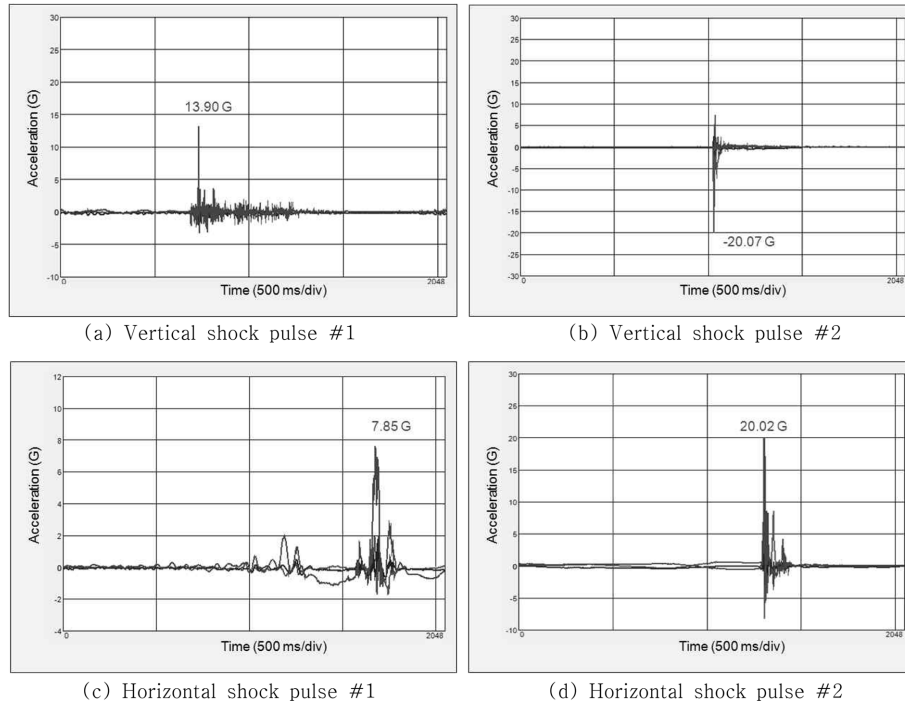


Fig. 3. Peak accelerations among distribution environment between Gimhae and Hwaseong.

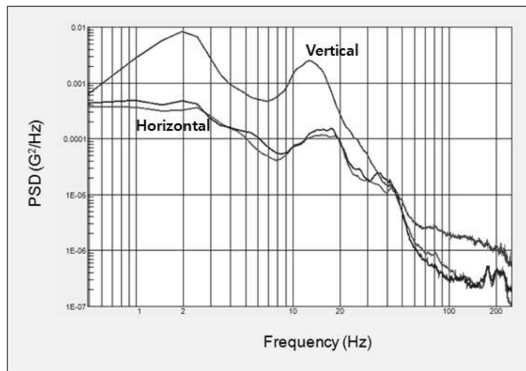


Fig. 4. PSD of distribution environment between Gimhae and Hwaseong.

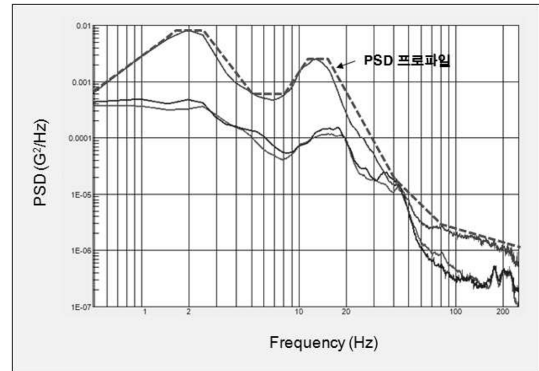


Fig. 5. Recommended PSD profile of distribution environment of Parcel delivery service.

PSD 프로파일(평균 $0.63 \text{ G}_{\text{rms}}$)을 도시하였다. 그림상의 점선으로 표시된 부분이 수직방향의 PSD를 평균화하여 도시된 PSD 프로파일이며, 전자기식 진동 시험기에 PSD 프로파일을 입력하여 택배 유통환경을 재현할 수 있어 실험실내에서 적정 완충포장 기법의 다양한 신뢰성을 구축할 수 있다. 또한, 택배 유통환경의 PSD 평균 충격가속도가 $0.63 \text{ G}_{\text{rms}}$ 으로써, KS에서 제시하고 있는 수송트럭의 일반적인 평균 PSD 가속도수준인 $0.5 \text{ G}_{\text{rms}}$ 에 비해서 크게 계측되었다. 또한, ASTM (American Society for Testing Materials) 및 ISO

(International Organization for Standardization)에서 제시하는 평균 PSD 가속도 수준인 $0.52 \text{ G}_{\text{rms}}$ 와 $0.59 \text{ G}_{\text{rms}}$ 에 비하여 크게 계측되었다. 즉, 택배환경은 수송트럭에 의해 운반되며 지게차 등의 장비를 사용하지 않고 인력에 의해 작업이 이루어지는 과정에서 큰 충격력을 받게되는 환경을 가지게 된다. 여기에서 제시하는 이 결과는 본 실험을 통해 제안하고자 하는 택배 유통환경에 대한 복합적인 PSD이며, 이 PSD프로파일을 이용하여 실험실 내에서 시뮬레이션이 가능하게 된다.

결 론

본 연구에서는 국내의 대표 과실인 사과 포장 택배화물의 택배원 수거에서 최종 목적지까지의 진동 및 충격의 유통환경을 계측 및 분석하고, 택배 유통과정중의 가속도 수준과 PSD(power spectral density)를 분석하고 유통중 발생하는 충격의 사양을 분석하여 사과의 최적의 택배용 포장 완충시스템을 설계하기 위한 기준 데이터로 활용하고자 수행되었다. 그 결과, 택배 유통환경중 진동 및 충격력이 제일 크게 계측된 부분은 인력에 의한 작업이 이루어지는 분류, 적재 및 하역 작업과정에서 발생된다는 것을 알 수가 있었으며, PSD 수준이 수직방향에서 제일 크게 계측되었으며, 측면방향의 PSD는 수직방향에 비해 작게 계측되었지만, 과실에 손상을 입힐 수 있는 측면방향의 충격력이 택배 유통환경중에 발생되고 있음을 알 수가 있었다. 또한, 일반 수송트럭에 비해 PSD프로파일 평균 수준이 높게 계측됨을 알 수가 있었고, PSD가 크게 계측되는 주파수 대역은 1-20 Hz이었다. 이러한 결과를 토대로 과실의 택배 포장시에 과실이 받는 충격력을 최소화 할 수 있는 적정 포장기법의 도입함으로써, 택배 유통중 과실의 손상을 최소화 할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업의 지원을 받

아 연구되었음(112107-3).

참고문헌

1. ASTM D4728-06. 2012. Standard test method for random vibration testing of shipping containers. American Society for Testing Materials.
2. Chesson, J. H. and O'Brien. M. 1971. Analysis of mechanical vibration of fruit during transportation. Trans. of the ASABE 14(2): 222~224.
3. Hinsch, R. T., Slaughter, D. C., Craig, W. L. and Thompson, J. F. 1993. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. Trans. of ASABE 36(4): 1039~1042.
4. 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: 179~188.
5. Kim, G. S., Jung, H. M., Kim, K. B. and Kim, M. S. 2007. Estimation of the allowable bio-shock fragility index of fruits for optimum packaging design. J. Biosyst. Eng. 32(6): 416~421.
6. Singh, S. P. and Marcondes, J. 1992. Vibration levels in commercial truck shipments as a function of suspension and payload. Journal of Testing and Evaluation 20(6): 466~469.
7. Singh, S. P., Antle, J. R., and Burgess, G. 1992. Comparison between lateral, longitudinal, and vertical vibration levels in commercial truck shipments. Packaging Technol. Sci. 5(2): 71~75.

투고: 2015.07.14 / 심사완료: 2015.07.23 / 게재확정: 2015.08.18