

국내 택배용 딸기의 적정 완충포장 시스템 개발

정현모^{1*} · 김수일² · 박종민³

¹경북과학대학교 물류패키징과

²김수일포장개발연구소

³부산대학교 바이오산업기계공학과

Development of Optimum Cushioning Packaging System of Strawberry for Domestic Parcel Delivery Service

Hyun Mo Jung^{1*}, Su Il Kim², and Jong Min Park³

¹Dept. of Logistic Packaging, Kyongbuk Science College

²Kim Su Il Packaging Development Institute

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

Abstract Due to the rapid increase in cyber shopping mall of agricultural products, the parcel delivery service industry also increased, making it necessary to design an optimum packaging for agricultural products. And Due to the recent increase in strawberry consumption, there is also a need for a packaging system for parcel delivery service. In order to establish the criteria for optimum cushioning packaging design of strawberries, the bioyield strength of strawberries by storage time was measured through the ASABE test standards, and the peak acceleration in the resonance frequency and resonance frequency bands of strawberries was measured through the vibration test regulated in the ASTM test specifications. Tray cup pad and corrugated fiberboard box of delivery strawberries were designed using FEM theoretical analysis of contact stress and resonant frequency. In addition, an optimum packaging system was developed with a cushioning and vibration design considering the impact characteristics when distributing agricultural products. Through the performance evaluation and on-site evaluation of the optimum packaging system of strawberries for parcel delivery service, the random PSD test results of the delivery showed a 74% reduction in the acceleration level, and the actual distribution test of the delivery showed that the damage rate of strawberries was not more than 6.7%, indicating that it was possible to use the optimum packaging of strawberries for delivery.

Keywords Optimum packaging design, strawberry, FEM, Parcel delivery service

서론

유통시장 및 농산물 시장의 개방으로 우리나라의 유통여건은 급변하고 있으며, 글로벌 소비자의 구매패턴은 고급화, 다양화되어 농산물의 품질과 안전성에 대한 소비자의 요구가 높아지고 있다. 특히, 농산물은 불균일하고, 가변성이 있으며, 더구나 가격에 비하여 부피가 크고 유통 과정에서 본래

의 특성이 지속적으로 변하는 것으로 공산품에 비하여 물류 측면에서 취급하기 어려운 점이 많다.¹⁾ 뿐만 아니라 향후 농산물 시장의 개방으로 인해 외국 농산물과 경쟁하여야 하고 외국산 농산물과의 차별성을 위해서는 무엇보다도 국내산 농산물에 대한 철저한 품질관리가 이루어져야 할 것이며 따라서 농산물의 품질을 판정할 수 있는 기술도 반드시 선진국 못지않은 기술로 발전되어야 할 것이다.

과실의 경우 수확 후 선별, 포장, 저장 및 수송 등의 유통과정을 거치는 동안 진동 및 충격에 의한 외력을 받을 수 있는 경우가 다른 농산물에 비하여 상대적으로 많을 뿐만 아니라 과실의 조직도 매우 연약하여 손상을 입기가 쉽다. 이와 같이 과실이 받은 크고 작은 손상은 유통과정이

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

길어짐에 따라 곧바로 변질되고 부패하여 생산자에게 큰 경제적인 손실을 가져다 주게 된다. 유통과정 중에 과실이 받는 기계적 손상은 주로 진동과 충격에 의한 요인이나 최근에 와서 과실의 유통체계가 기계화됨에 따라 충격에 의한 손상은 점차 감소되고 주로 진동에 의한 손상이 대부분을 차지하고 있는 것으로 알려져 있다.²⁾

최근 소비자들의 농산물 구매패턴의 변화로 택배 물류의 비중이 급격히 증가하게 되었고 사이버 쇼핑물에서 구입한 농산물의 배송방법은 92.1%가 택배를 이용한 배송이며 오프라인과의 제휴를 맺어 배송하는 것이 2.2%, 자체배송을 이용하는 것이 2.9%를 차지하고 있어 택배를 이용한 배송이 대부분이다.²⁾

택배유통은 집하, 분류, 배송의 복잡한 단계를 거치면서 클레임 발생사고가 많이 발생되고 있으며, 제품파손에 따른 클레임 발생이 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 농산물 택배유통을 가장 많이 하는 택배회사는 우체국으로 판매되는 농산물은 감귤, 한라봉, 배, 사과로 과일류에 국한되어 있으나 최근 택배유통의 보편화로 딸기, 포도, 수박도 택배판매가 시도되고 있다. 딸기는 11월부터 이듬해 5월까지 생산되며 2월~4월까지 전체 유통량의 70%가 집중 출하되고 있다. 주요 산지는 진주, 논산, 고령, 담양 등이며 판매형태는 대형할인점 43%, 소매상 50%, 대량수요처에서 7%가 소비되고 있으며, 극히 일부 농가에서 택배판매를 시도하고 있는 정도이다. 봄철 대표 과채류인 딸기는 가장 먼저 출하되는 품목으로 유기농의 친환경 딸기의 경우 비싼 값으로 판매가 되고 있지만 산지에서 직접 택배로 구입하려는 소비층이 형성되면서 딸기 택배판매가 농가의 소득향상에 많은 기여를 하고 있다³⁾.

그러나 과채류 중 과육이 가장 부드러운 딸기 특성을 감안한 완충 포장기술이 필요함에도 불구하고 포장재 제작업체의 기술수준이 부족하여 기존 포장재를 이용한 택배 판매를 실시한 결과 택배유통 중 압상에 의한 딸기의 폐기물이 많이 발생하고 있는 실정이다.

신선한 딸기를 택배로 구입하고자 하는 소비층이 급성장하고 있지만 택배유통 중 클레임 발생을 최소화 할 수 있는 택배포장재가 개발되어 있지 않아 딸기 품질특성을 감안한 완충포장 설계 기술의 개발이 시급한 실정이다. 국내 주요 제조·공급자는 PET 용기생산업체와 EPS 생산업체를 꼽을 수 있지만, 현재 농가에서 사용되는 택배포장재는 별도로 개발된 포장재가 아니고 일반 유통에서 사용중인 소포장 용기를 활용하고 있어 택배용 포장재로 따로 분류하기에는 다소 무리가 있어 보인다. 따라서 본 연구에서는 택배용 딸기의 유통환경 분석 및 물성계측과 택배용 포장완충재의 완충성능을 분석하여 국내 택배용 딸기의 적정 완충포장 시스템을 개발하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 실험에 사용된 딸기는 충남 논산 지역 농가에서 12월에 수확된 설향 품종의 국내산 딸기로 택배용 포장작업이 이루어지는 농가에서 품질손상 평가를 통해 선발되었다. 국내에서 재배되어 출하되는 딸기의 품종은 Fig. 1의 설향, 매향, 육보 및 장희 품종으로 구분되지만 각 품종별 형태를 보면 동그랗고 길쭉한 품종과 동그란 품종, 납작하면서 긴 품종으로 구분되어진다. 모든 품종에 적용시 포장완충 난좌 (Tray cup pad) 설계시 가장 문제가 되는 품종은 납작하면서 긴 품종인 설향이다. 따라서, 본 연구에서는 설향에 대한 품종의 적정 완충포장 시험이 진행되었다. 모든 샘플은 시험에 사용되기전 8시간 동안 저온저장($3 \pm 1^{\circ}\text{C}$, $85 \pm 5\%$ R.H.)으로 예냉과정을 거쳤으며, 시험에 사용되기 전 실험실의 환경조건(25°C , 60% R.H.)에서 약 2시간 동안 적응을 시킨 후 시험에 사용하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 택배용 딸기의 적정 포장설계를 위한 기준 설정을 위해서 택배 수송중 포장시스템이 받게 되는 충격 및 진동수준을²⁾ 제시하였던 택배유통 PSD 프로파일의 평균값인 0.63 Grms을 기준으로 하였으며, Fig. 2와 같이 ASABE S368.3 (ASABE, 2008⁴⁾) 실험규격에서 규정하고 있는 압축평판 및 실린더 지그를 제작하여 딸기에 대한 압축실험을 각 실험별 50개의 딸기 시료에 대하여 압축실험



Fig. 1. National cultivar of strawberry.

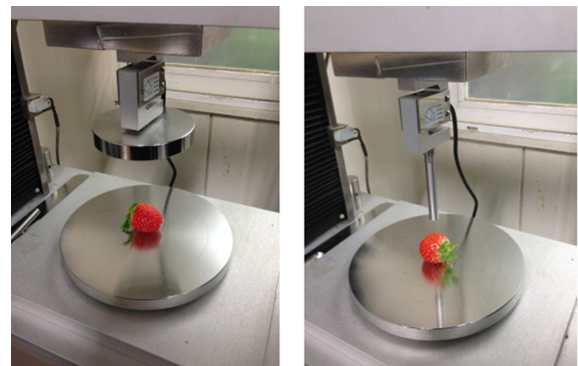


Fig. 2. Compression testing for measuring the bioyield strength of strawberry.

을 수행하여 딸기의 저장기간별 생물체항복강도(bioyield strength)를 계측하였다.

또한, 택배용 농산물에 대한 기존의 포장설계에는 농산물의 진동특성에 대한 고려가 전혀 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 딸기(설향품종) 자체의 공진특성을 계측하기는 불가능하여 포장된 상태의 딸기 유통 중 진동특성을 택배용 딸기 포장설계에 적용하기 위하여 ASTM⁵⁾에서 규정하고 있는 농산물 공진주파수(resonance frequency, RF) 대역 검출 실험방법을 적용하였다. 저주파수 대역의 정현파 스윕(sinusoidal sweep test) 실험을 Fig. 3에서 보는 바와 같이 6회 반복에 진동시험을 수행하였다. 딸기 위에 부착된 가속도 센서(IMV 10G)는 소형의 스트레인게이지 형식으로 각 단의 딸기 샘플 위에 투명테이프를 이용하여 고정하였다. 본 실험의 주파수 범위는 5~200 Hz, 스윕가속도는 0.5 G, 스윕율은 1 octave/min로 ASTM에서 농산물에 지정하고 있는 표준시험으로 전자식 가진기(ETS-150, Farm-Tech, Korea)

을 이용하였으며, 딸기용 박스는 진동시험중 이탈이 되지 않도록 투명 테이프를 이용하여 고정하였다.^{6,7)}

택배용 딸기의 포장완충재 설계를 위한 기본 설계안으로 15개 및 20개의 딸기가 적입될 수 있도록 난좌를 개발하는 것이다. 일반적으로 현재 딸기 유통에서 난좌를 사용하는 대부분의 단위는 30개이지만 이는 상자 하단의 접촉면적을 크게 하기 때문에 충격에 매우 민감하게 반응하여 택배용으로 적합하지 않다. 현재 유통되는 대부분의 딸기는 투명한 PET 플라스틱 케이스에 EPE 재질의 얇은 완충재로 하단과 상단이 분리된 상태로 포장되어 4개 단위로 오픈형 상자에 적입되는 형태로 유통되고 있다. 이는 딸기 택배용으로는 부적합하여 본 연구에서는 딸기용 난좌용 재료로 완충성 및 진동현상 감소효과를 가지고 있는 산업용 피복재료인 가교발포폴리에틸렌(가교EPE)과 무가교발포폴리에틸렌(무가교EPE)을 선정하여 난좌설계에 적용하였으며, FEM(Finite Element Method, Ansys Workbench18.1)을 이용한 딸기용 난좌의 접촉응력 및 모드 진동해석을 수행하였다.

결과 및 고찰

1. 딸기의 생물체항복강도 및 공진주파수 특성

택배용 딸기는 유통 및 저장기간에 따라 물성이 변하게 되며, 이러한 물성변화를 예측하지 못하거나 유통중 진동/충격을 방지하기 위한 완충재 적용형태별 완충특성을 고려하기 위해서는 딸기의 저장기간별 물성중 손상과 관련이 매우 깊은 생물체항복강도(bioyield strength, BS)를 계측하지 못한다면 불가능하기 때문에 반드시 이루어져야 할 설계요소이다. Table 1은 저장조건(2.2 ± 3.1°C, 65.1 ± 3.8%)에서 딸기의 저장기간별 생물체항복강도를 보여주고 있다.

Fig. 4 및 Table 2와 같이 기존 딸기의 공진주파수 대역



Fig. 3. Vibration testing for measuring the resonance frequency of strawberry.

Table 1. Bioyield strength of strawberry according to storage time.

	0 day	5 day	10 day	15 day	20 day
Bioyield Strength (kPa)	25.25 ± 3.1	23.19 ± 4.3	23.01 ± 2.2	19.93 ± 5.8	18.53 ± 3.6

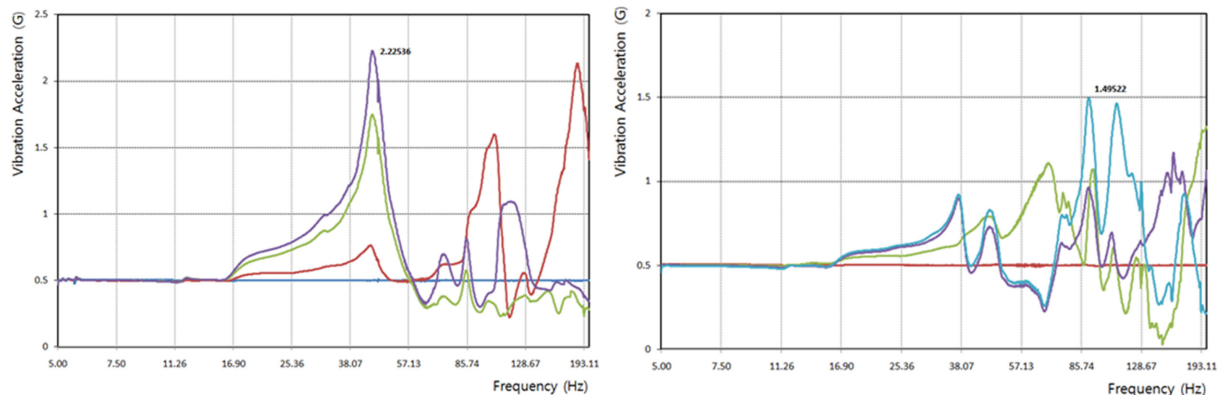


Fig. 4. Resonance frequency of strawberry by sweep vibration test.

Table 2. Resonance frequency of strawberry by sweep vibration test

	1	2	3	4	5	6
Resonance frequency (Hz)	42.3 ± 4.2	85.2 ± 5.9	42.1 ± 4.2	65.8 ± 3.7	85.4 ± 4.8	89.2 ± 2.3
Peak acceleration (G)	2.23 ± 0.71	5.77 ± 0.83	1.32 ± 0.23	4.50 ± 1.21	1.49 ± 0.19	4.34 ± 0.92

은 6차 시험 각단의 평균값으로 40~90 Hz이었다. 차수별 차이가 큰 것은 6단 적재상자내 딸기가 고정되지 않은 상태의 진동시험에 의해 차이가 큰 것으로 판단되었다. 국내 유통환경 주파수대역인 60 Hz 이하의 대역과 일치하는 범위가 발생되어 이에 따른 완충포장 기법 설계가 이루어져 할 것이며, 최적의 완충설계가 이루어지면 공진주파수 대역에서 발생하는 정점가속도 감소할 것이다.

위의 실험결과를 토대로 택배 유통용 딸기 포장상자의 적정포장 설계 기준은 우선 택배 유통중 발생하는 PSD 평균 0.63G를 초과하지 않도록 완충해야 하며, 택배 유통기간(최대 2~3일)을 고려하여 유통 중 충격에 의해 24 kPa의 생물체항복강도를 초과하지 않도록 완충포장 해야 하며, 완충포장에 의해 딸기의 공진주파수가 40 Hz 대역에서 발생되거나 고주파수에서 발생하도록 설계해야 한다.^{8,9)}

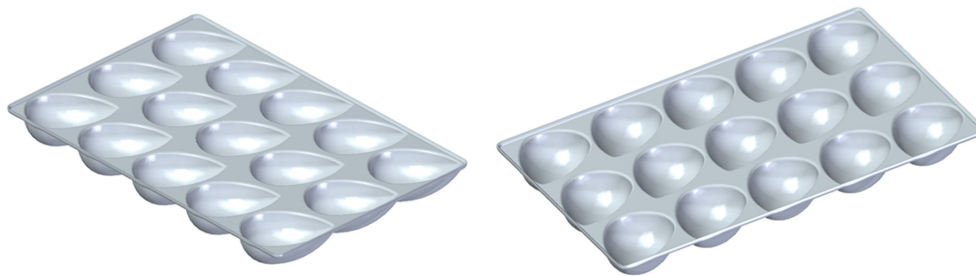
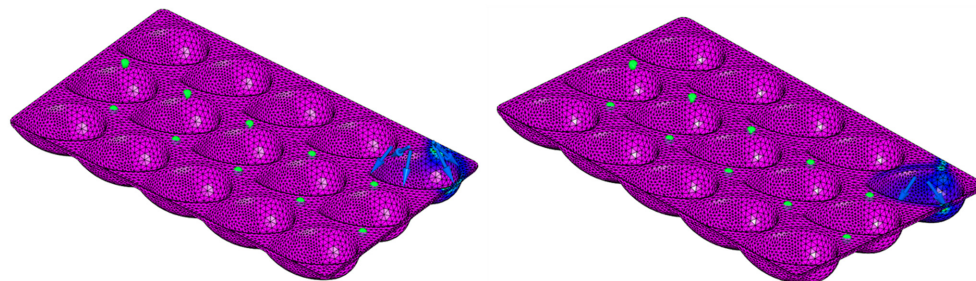
2. 택배용 딸기 포장 난좌 및 골판지 상자 설계

가교EPE의 경우 독립기포 구조(open cell type)로 완충성 등의 연성이 우수하지만 무게가 있는 사과, 배 등의 완충난좌에는 적용이 힘들며, 크기가 작은 과일에 적합하며, 다른 재질과의 접촉하게 되면 잘 미끄러지지 않는 특성을 가지고 있다. 따라서, 택배용 딸기 난좌에 필요한 특성인

완충성, 딸기 고정효과 및 성형성이 매우 우수한 가교EPE를 선정하여 1차 시제품(15개/20개 적입 난좌 2개)을 설계 및 제작하였다. 본 연구에서 Fig. 5와 같이 택배용 딸기 포장 난좌로 선정된 재료인 가교EPE를 적용하여 딸기와 난좌와의 접촉응력을 최소화 하기 위한 난좌 구조 설계를 적용하였다. 유통중 딸기와 접촉하게 되는 난좌와의 접촉응력이 크게 되면 유통중 진동 및 충격에 의해 전달되는 손상력이 크기 때문에 접촉응력이 작도록 설계하였다.

Fig. 6은 국내 생산 딸기 품종중 설향은 납작하면서 긴 형태를 가지고 있어 난좌에 적입시 모서리 부분에 접촉하게 되므로, 접촉응력을 최소화 할 수 있는 치수 결정 및 모서리 라운드 직경을 설정하는데 보정(최소 두께 : 1.5 mm) 적용하였으며, 국내 생산 딸기 품종중 설향의 다른 품종들은 둥글고 긴 형태나 둥근 형태를 가지고 있어 난좌에 적입시 대부분 내부 면 접촉이 발생되게 되므로, 접촉응력을 최소화 할 수 있는 치수를 설정하는데 보정(최소 두께 : 2.0 mm) 적용하여 택배중 딸기의 생물체항복강도 기준인 24 kPa를 초과하지 않도록 하였으며, 동적인 힘이 작용할 경우를 대비해 약 3의 안전계수를 적용하여 설계하였다.

국내 택배 유통경로에 대한 진동 주파수 대역은 이전 연구에서 조사 및 분석한 PSD(Power Spectral Density)결과

**Fig. 5.** Design of tray cup pad for strawberry.**Fig. 6.** Contact stress analysis of tray cup pad for strawberry by FEM.

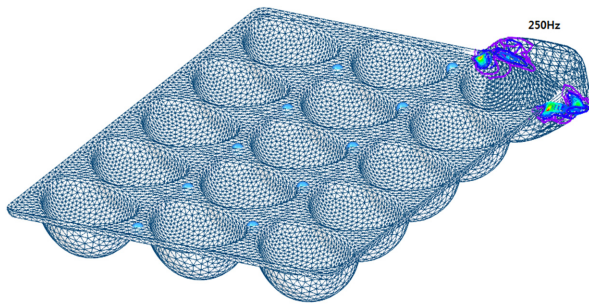


Fig. 7. Resonance frequency of tray cup pad for strawberry by modal analysis.

40 Hz이하 대역에서 존재하게 되므로 5~500 Hz의 진동해석 (Modal analysis)에 의해 가교EPE(가교발포폴리에틸렌) 재료 물성치에 대한 딸기 난좌의 공진주파수 대역이 해석에 의해 Fig. 7에서 보는 바와 같이 대략 250 Hz 대역에서 발생되어 택배용 딸기 포장 난좌로 사용이 충분히 가능한 것으로 판단되었다.

FEM 해석기법을 이용하여 최적의 택배 유통용 딸기 난좌를 설계하여 Fig. 8에서 보는 바와 같이 가교EPE를 재료로 한 딸기용 난좌(15개/20개 적입 난좌) 및 E골 골판지 상자를 개제하였다.

본 연구에서는 가교EPE 재료로 제작된 택배 유통용 딸기 난좌(240 mm × 160 mm × 24 mm)에 적합한 골판지 포

장상자를 개발하였다. 일반적으로 국내 유통용 딸기 상자는 B골 및 E골로 제작된다. 하지만 택배 유통용 딸기 상자는 높은 단수까지 적재되어 유통되는 경우가 거의 없으므로 가격적인 측면을 고려하여 E골을 위주로 제작하였다.

택배 유통중 딸기의 상태에 영향을 미치는 요인은 고정되지 않은 상태에서 흔들림에 의한 충격으로 손상을 받게 된다. 따라서, 본 연구에서는 딸기의 고정을 위해, 가교EPE 패드 담기는 딸기 상단에 에어캡 완충재를 적용하였으며, 택배를 위해 4단 적재 택배용 상자 전체를 한번 E골 골판지패드로 감싸도록 제작하였다.

3. 택배용 딸기 완충포장 시스템의 성능시험 및 현장시험

본 연구에서는 택배용 딸기 완충포장 시스템의 성능시험을 위해²⁾ 택배 유통과정중의 진동/충격 PSD(Power Spectral Density)을 전자식 가진기(ETS-150, Farm-Tech, Korea)에 입력하고, 진동시험기 위에 고정된 시제품에 대한 성능시험을 Fig. 9와 같이 수행하였으며, 15개 적입 난좌가 포함되어 있는 완충포장 시스템 내부에 무선 충격(shock) 데이터 로거(Watch logger, Japan)를 4단 적재중 3단 박스안에 양면접착제로 견고하게 부착한 후에 진동시험중 충격치를 측정하였다.

Fig. 10은 계측된 유통환경(PSD)에서 발생하는 입력 충격가속도에 대하여 택배용 딸기 완충포장시스템 내부에 장



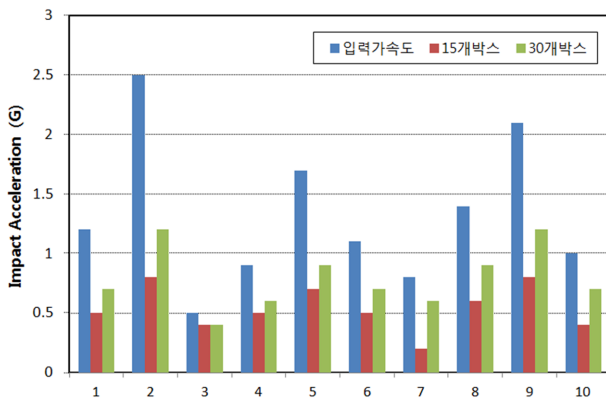
Fig. 8. Tray cup pad and corrugated fiberboard box for strawberry.



Fig. 9 Performance testing of cushioning packaging system of strawberry.

Table 5. Field test of packaging system for strawberry for parcel delivery service

Company	Origin	Destination	Time	No. of damage (Total 60)	damage rate (%)	비고
Post office Parcel service	Geochang	Daejeon	1.5 day	3	5.0	
	Nonsan	Daegu	1 day	2	3.3	
	Miryang	Daejeon	1 day	4	6.7	
	Hongsung	Daegu	1 day	2	3.3	

**Fig. 10.** Random vibration impact properties of packaging system of strawberry.

착된 무선 데이터로거에서 측정된 10회의 충격가속도 수준을 나타내었다.

성능시험 결과 4단의 15개 적입 완충포장시스템에 대한 유통 중 입력가속도 수준에 대하여 평균적으로 각각 74%의 감소효과를 보였다. 이는 충분히 택배 유통용으로 사용이 가능한 것으로 판단되며, 이전에 도출된 택배용 딸기 완충포장 설계 기준에 비교하였을 때 설계기준 범위내에 분포하게 되어 적합한 것으로 판단되었다. 또한, 딸기의 손상 정도를 파악한 결과 15개 적입 상자의 경우 2단 적재된 상자에서 바깥쪽에 위치한 딸기에서 스크래치 정도의 손상이 있었으나 상품성에는 큰 문제가 없을 것으로 판단되었으며, 1단 적재된 상자에서 2개의 딸기에 약간 눌린 현상이 발견되었으나, 품질에는 큰 영향이 없었다.

최종적으로 개발된 시제품에 대하여 택배 유통환경에 대한 현장 시험을 실시하였다. 본 연구에서 의뢰된 택배회사는 농가에서 대부분 많이 이용하고 있는 우체국택배를 이용하여, 딸기 산지인 거창에서 대전, 논산에서 대구, 밀양에서 대전, 홍성에서 대구의 택배배송에 대한 딸기의 손상 정도를 Table 3에 나타내었다. 각 지역별 손상율이 6.7% 이내로 기존 택배 손상을 30% 이상에 비교하여 택배용 딸기 완충포장용으로 충분한 가능성이 있음을 알 수가 있었다.

결 론

본 연구에서는 택배용 딸기의 적정 완충포장 설계의 기

초자료를 구축하기 위하여 ASABE의 시험규격을 통한 딸기의 저장기간별 생물체항복강도 및 ASTM의 시험규격에서 공시된 공진 진동시험을 통해 딸기의 공진주파수 및 공진주파수 대역에서의 최대가속도 측정하였으며, 접촉응력 및 공진주파수의 FEM 이론적 해석을 이용한 택배용 딸기의 난좌(tray cup pad) 및 골판지 상자를 설계 제작하였다. 또한, 농산물 택배유통시 충격특성을 고려한 완충 및 진동 설계를 적용한 적정 포장시스템을 제작하였다. 택배의 딸기의 적정 포장시스템의 성능평가 및 현장평가를 통해 택배의 랜덤 PSD 시험결과 가속도 수준의 74% 감소효과가 있었으며, 실제 택배 유통시험을 통해 딸기의 손상율이 6.7% 이내로 택배용 딸기 완충포장용으로 충분한 가능성이 있음을 알 수가 있었다.

참고문헌

1. 박종민, 최동수, 황성욱, 정현모, 2019, 적정 포장설계를 위한 수출용 배의 공진 특성. 한국포장학회지 25(3): 125-130.
2. 정현모, 김수일. 2015. 택배용 포장시스템이 적용된 과일의 랜덤 진동특성. 한국포장학회지 21(2): 67-71.
3. Jung, H. M. and J. G. Park. 2012. Effects of vibration stress on the quality of packaged apples during simulated transport. J. of Biosystems Eng. 37(1):1-5.
4. American Society for Agricultural and Biological Engineers. S368.3. 2008. *Compression Test of Food Materials of Convex Shape*. ASABE, St. Joseph: Michigan, USA.
5. American Society for Testing and Materials. D3580-95. 2004. *Standard Test Methods for Vibration (Vertical Linear Motion) Test of Products*. ASTM, West Conshohocken: Pennsylvania, USA.
6. 정현모, 박인식, 김만수. 2005. 모의 수송환경에서의 적재된 골판지 포장화물 내 배의 진동특성. 한국포장학회지 11(1): 11-16.
7. 정현모, 김수일. 2015. 택배용 포장시스템이 적용된 과일의 공진특성. 한국포장학회지 21(3): 91-96.
8. 김만수, 정현모. 2004. 유한요소법을 이용한 골판지 포장화물 내 배의 진동해석. 바이오시스템공학학회지 29(6): 501-507.
9. 정현모, 김기석, 김만수, 김대용. 2007. 유통중 랜덤 진동에 의한 포장화물 및 포장된 사과의 진동특성. 한국포장학회지 13(1): 19-23.

투고: 2020.04.16 / 심사완료: 2020.08.29 / 게재확정: 2020.08.30