농산물 포장용 골판지상자의 수송 중 진동에 의한 압축강도 변화

신준섭^{1*} · 김종경²

¹용인송담대학교 사회경영학부 ²한국건설생활환경시험연구원

Effect of Vibration during Distribution Process on Compression Strength of Corrugated Fiberboard Boxes for Agricultural Products Packaging

Joon Sub Shin^{1*} and Jongkyoung Kim²

¹Faculty of Social and Business, Yong-in Songdam University ²Korea Conformity Laboratories

Abstract Agricultural corrugated fiberboard packaging boxes frequently experience damage due to loading and unloading, vibration during transport, and shock by dynamic distribution condition change. This study was carried out to estimate effect of vibration during distribution process on compression strength of corrugated fiberboard boxes for agricultural products. In order to identify the degradation caused by vibration, after box packaging the agricultural products(tangerine or cucumber), the natural frequencies of the packaging boxes were measured by varying the relative humidity(50, 70 and 90%) at 25°C temperature. Various types of corrugated fiberboard boxes were packed with tangerines and cucumbers, and the PSD plot vibration tests were conducted by utilizing the actual vibration recording results of the Gyeongbu Expressway section between Seoul and Gimcheon. As a result of the experiment, the decrease in compression strength of the box was relatively low in DW-AB, and the decrease in compression strength of the SW-A 0201(RSC) type box was the highest at 20.49%. In particular, both SW-A and DW-AB showed low compression strength degradation rates for open folder type boxes. The moisture content varies depending on the type of the box or agricultural products, and the enclosed 0201(RSC) type box was generally higher than the open folder or bliss type box, which is believed to be the reason for the decrease in compression strength of RSC type box due to humidity. By the agricultural product, the percentage of decrease in compression strength of box packed with cucumbers was especially high.

Keywords Corrugated Fiberboard Box, Vibration, PSD Plot Vibration Test, Compression Strength, Relative Humidity

서 론

농산물 포장용 골판지상자의 강도적 성질을 저하시키는 일반적 요인으로 포장제품의 수분함량, 주위 환경의 온습도, 상자 적재패턴 등 여러 가지를 들 수 있으며, 최근에는 유 통과정중의 상하차에 의한 충격, 수송중의 진동, 파렛트 다 단적재 상태하에서의 정적 및 동적 하중에 의한 골판지상 자의 강도 열화에 대한 연구가 증가하고 있다. 전술한 요인에 의한 열화 현상을 대비하고자 적정포장을 통한 제품보호와 경제성을 확보하면서 이들 인자에 의한 골 판지포장 상자의 강도 변화 예측의 가능성 연구가 그동안 많은 연구자들에 의해 다양하게 접근되어 왔다. 그중에서도 김 1)은 온습도변화에 따른 골판지상자의 압축강도 및 파열 강도를 예측하여 상자를 설계할 수 있는 프로그램을 개발하였고, 미국 Fiber Box Association 2)은 상대습도 및 적재패턴 등 유통환경에 따른 상자의 압축강도 저하율을 산정하여 골판지상자 설계에 도움이 되도록 하였다. 또한, Ievans 등 3)은 상자의 수분함량과 압축강도의 변화 관계를 통하여 골판지상자의 압축강도를 예측하기도 하였다.

한편, 김 등⁴⁾은 배 포장용 골판지상자의 진동특성에 대해 유압가진기를 이용하여 진동의 영향을 계측, 분석할 수 있음을 제시하면서, 파렛트 다단 적재에 있어서 수송, 보관

*Corresponding Author: Joon Sub Shin

Dept. of Secretary & Business Administration, Faculty of Social & Business, Yongin Songdam University, 61 Dongbu-Ro, Cheoin-Gu, Yongin-Si, Kyunggi-Do, Rep. of Korea (17145)

Tel: +82-31-330-9243, Fax: +82-31-330-9249

E-mail: shinjs@ysc.ac.kr

및 하역시 발생하는 진동이 골판지상자의 압상 및 배의 품 질 저하에 영향을 줄 수 있음을 보고하였다.

또한, Timothy 등⁵⁾은 유통과정중 파렛트에 대한 진동의 영향을 파악하기 위해 3~50 Hz의 주파수 대역에서 정현파 스위프 진동 실험을 시행한 결과, 파렛트의 두께, 간격, 형 태 및 적재 하중에 따라 파렛트의 공진 주파수가 다르게 나타남을 보고하였다.

앞에서 살펴본 바와 같이, 유통 환경중 각종 진동 (Vibration)이 파렛트 자체는 물론, 파렛트 위의 적재된 골 판지상자와 상자 속 농산물의 품질에 직접 또는 간접적으로 영향을 주는 것으로 밝혀졌으나, 이들 연구의 대부분은 유통 환경을 모사한 시뮬레이션 접근이며, 실제 유통환경을 반영한 진동의 구체적 연구와 실제 유통과정 상의 진동을 적용한 골판지상자의 압축강도 변화에 대하여 연구한 결과는 아직 미미한 실정이다.

일부 연구에서는 자립이 가능한 제품이거나 제품이 포장 상자 내부에서의 이동이 거의 없는 경우, 진동에 의한 강도 열화는 무시할 정도이나 농산물과 같이 비자립형 제품이며 수송 중 다단적재에 의한 진동이 반복되는 경우, 움직이는 하중이 더해져 골판지상자의 강도 열화가 증가하게 되고, 강도의 열화율은 10%를 초과하게 된다고 하는 보고⁶도 있다. 그러나, 이러한 열화율이 실제 제품 적재시험을 통해 나온 것이 아니며 국내 유통 현실과는 거리가 있어 현장에서 그대로 적용하기에는 다소 무리가 있다고 생각된다.

이에, 본 연구에서는 농산물 골판지포장 상자의 강도를 저하시키는 여러 요인 중 특히 진동에 의한 압축강도 변화 를 실증적 데이타를 적용하여 파악하고, 진동에 의한 골판 지상자의 압축강도를 보다 정확하게 예측하기 위한 품질 설 계 기초자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구에서는 농산물 포장용 골판지상자로 3가지 형태

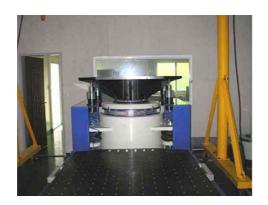


Table 1. Vibration test condition

Test Method	Sine			
Duration Type		Sweep		
Sweep Mode	Log			
Sweep Rate, Oct/min	1			
Frequency, Hz	5~200			
Acceleration, G	0.5			
Sensor Number, EA	4			
	Ch 1	Control		
Sensor Status	Ch 2	Weight-Top		
Sensor Status	Ch 3	Side-Short-3 Axis(Y)		
	Ch 4	Side-Long-3 Axis(Y)		

즉, 0201(RSC)형(SW-A 및 DW-AB), Open folder형 및 Bliss형의 골판지상자를 각각 제작하여 사용하였다.

3가지 형태 각각의 상자에 공시 농산물인 감귤과 오이를 시중의 마트에서 구입하여 골판지상자 포함 각각 약 5 kg 의 중량이 되도록 적입하였다.

2. 시험방법

유통환경에서 진동이 포장상자의 형태와 상대습도의 변화에 따라 포장상자 자체 공진주파수(Resonance frequency)



Fig. 2. Setting for random vibration test.



Fig. 1. Photographs of vibration tester and constant temperature & humidity chamber.

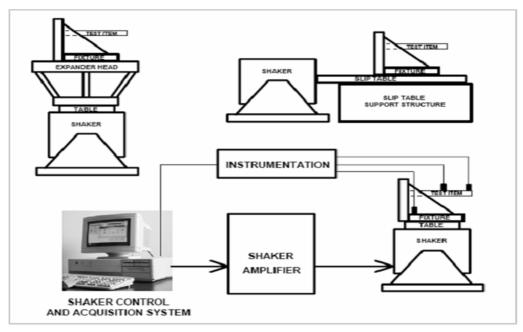


Fig. 3. Shaker control and data acquisition system of vibration tester.

가 어떻게 변화하는 지를 파악하기 위하여 온도 $23 \pm 1^{\circ}$ C 에서 상대습도 50, 70 및 $90 \pm 2\%$ 가 각각 유지되는 대형 항 온항습챔버에서 24시간 전처리한 포장상자의 공진주파수를 측정하였다(Table 1 및 Fig. 1 참조).

이후 감귤과 오이를 각각 적입한 각각의 골판지상자에 서울-김천 간의 경부고속도로 구간의 실제 진동 기록결과(경북과학대학 제공)를 활용하여 불규칙 진동시험(Random vibration test)을 행하였다(Fig. 2 참조).

진동시험기(Fig. 1의 좌측)는 미국 Lansmont사의 ETS-4000 Vibration Tester(Capacity : 4000 kgf, Range : 5~3000 Hz)를 이용하였으며, 진동시험기의 대략적인 시스템 구성은 Fig. 3과 같다.

진동처리 후 골판지상자를 구성하고 있는 내부 및 외부 의 라이너에 대하여 접촉식 함수율 측정계(HK-300)을 사용하여 각각의 함수율을 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 공진주파수와 상대습도, 상자형태의 관계

전술한 시험방법으로 골판지상자의 공진주파수를 측정한 결과, 상대습도의 변화나 골판지상자의 형태와는 밀접한 연관성이 없는 것으로 나타났다. 주파수 변화 패턴도 상당히 유사하며 습도에 따른 공진주파수의 변화도 유의성 있는 차이는 보이지 않았다(Fig. 4~9 참조).

2. 습도 변화와 불규칙 진동시험의 관계

실제 유통 중에 제품과 포장에 가해지는 진동은 불규칙

하며 농산물 상자 역시 여러 개의 진동 주파수와 진폭이 다른 정현파 진동을 받은 것으로 판단된다. 따라서 일반 공 산품의 진동시험과 같이 불규칙 진동시험 적용시 상자의 압 축강도에 어떻게 영향을 미치는지 관찰하였다.

이러한 불규칙 진동시험은 전체 구간에 대한 충격에너지를 산정하여 포장 규격을 설정하는 것으로 실제 유통 테스트에서 실측된 유통과정을 PSD(Power spectral density) 프로파일로 변화하여 진동실험을 행하여 실제 상황과 가장유사한 결과를 얻게 된다.

적재 시뮬레이션(불규칙진동)에 의한 수분함량 변화시험에 있어서 진동 전보다 PSD 시뮬레이션 이후 상자 내부의 함수율이 크게 증가하였으며 상자 내부의 함수율은 밀폐형인 RSC형이 개방형인 Folder나 Bliss 형보다 다소 높게나타났다. 그러나 상자 형태간의 함수율 차이는 크지 않았으며 그것보다는 제품특성에 따른 수분 함량 차이가 더 큰 것으로 추측된다.

진동시험이 끝난 상자는 제품을 꺼낸 후 압축강도 저하 율과 수분함량을 각각 측정하였으며 그 결과를 Table 2에

Table 2. Loss of box compression strength after PSD vibration test

r and a second second							
Flute type	Box type	Compression	Loss, %				
		Before	After	1.055, /0			
Single Wall A Flute	RSC	351.9	279.8	20.49			
	Folder	810.0	809.0	0.12			
71 11400	Bliss	299.2	263.3	11.99			
Double	RSC	700.6	690.6	1.43			
Wall AB Flute	Folder	1519.2	1516.5	0.18			
	Bliss	571.6	560.8	1.90			

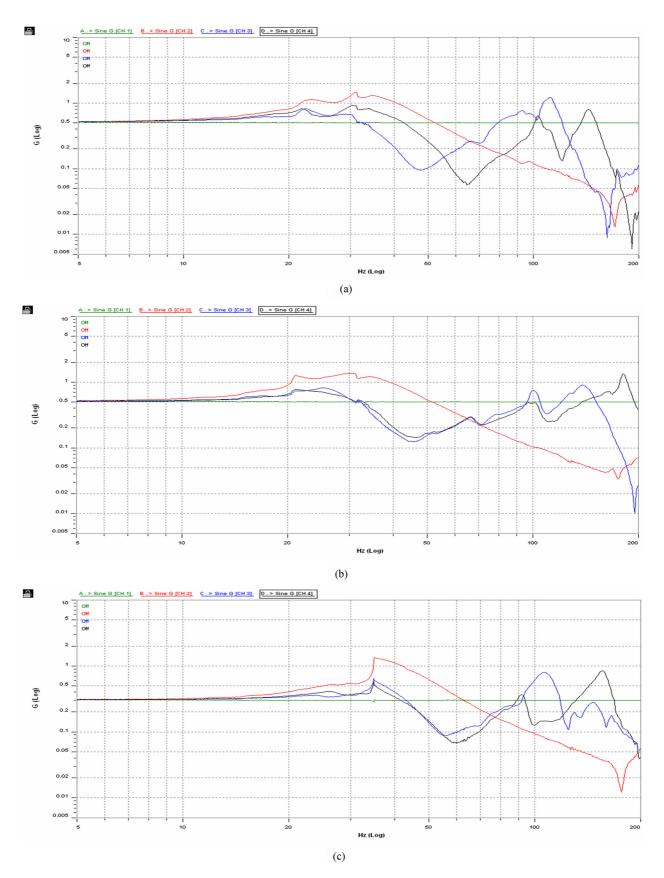


Fig. 4. Results of resonance vibration test(0.5G) for 0201(RSC) type boxes at each relative humidity(a: 50%, b: 70% and c: 90%).

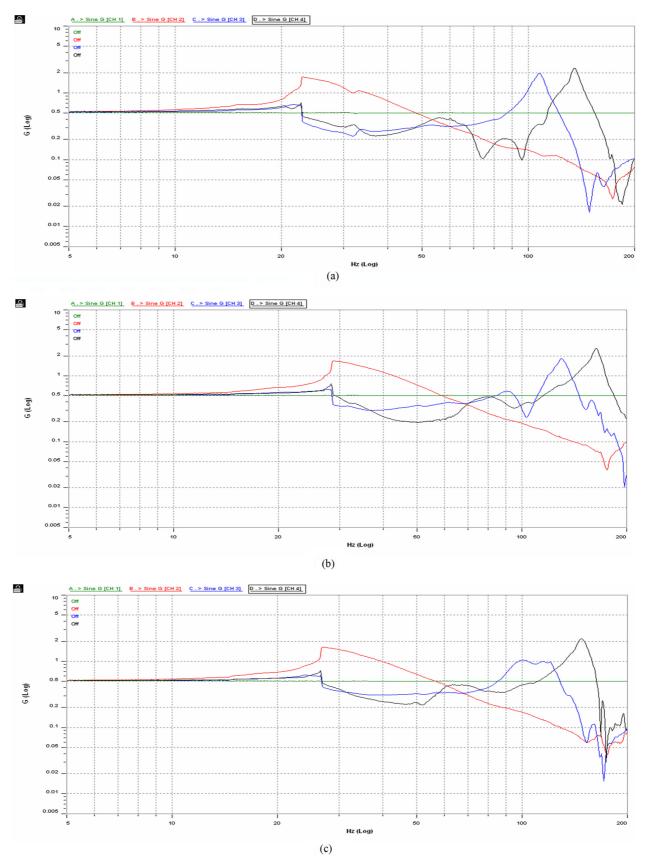


Fig. 5. Results of resonance vibration test(0.5G) for 0301(folder) type boxes at each relative humidity(a-50%, b-70% and c-90%).

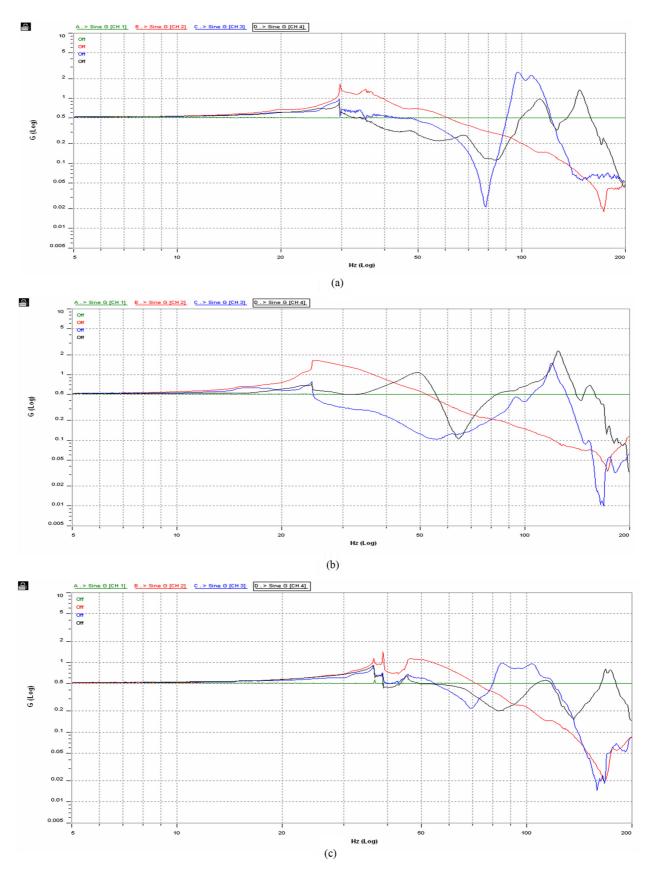


Fig. 6. Results of resonance vibration test(0.5G) for bliss type boxes at each relative humidity(a-50%, b-70% and c-90%).

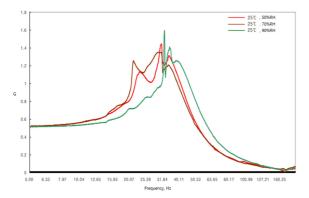


Fig. 7. Changes in resonance frequency of 0201(RSC) type boxes at each relative humidity.

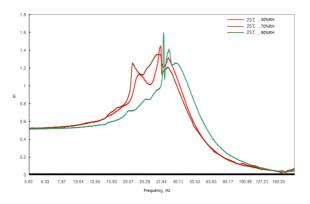


Fig. 8. Changes in resonance frequency of open folder type boxes at each relative humidity.

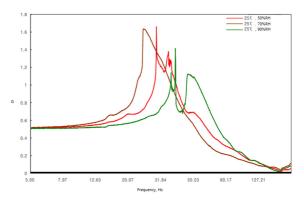


Fig. 9. Changes in resonance frequency of bliss type boxes at each relative humidity.

나타내었다.

상자의 압축강도는 모든 상자에서 상대적으로 DW의 저하율이 낮았으며 SW 0201(RSC)형 상자의 압축강도 저하는 무려 20.49%로 가장 높았다. 특히 Open Folder형 상자의 경우 SW, DW 모두 낮은 압축강도 저하율을 보였다. 이러한 결과는 진동시험 이후 측정한 습도의 변화에서 확인할 수 있다. 같은 진동시험 이후 감귤과 오이 상자의 내부 및 외부 라이너의 함수율을 측정한 결과 외부 라이너의 함수율은 큰 변화가 없었으나 내부 라이너의 함수율은 비교적 높아졌다. 특히, 감귤의 경우 4.2~4.7% 정도의 함수율을 보인 반면 오이는 7.7~8.1% 정도로 높게 나타났으며,

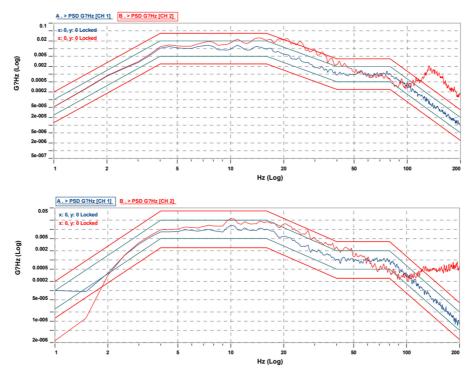


Fig. 10. Power spectral density profiles of corrugated fiberboard boxes with agricultural products.

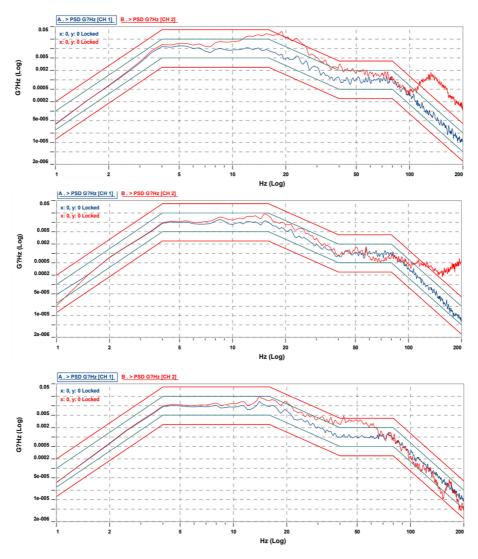


Fig. 10. Continued.

Table 3. Changes of moisture content of tangerine boxes after PSD vibration test

Tangerine	Flute		Before		After		Difference
box type			Average %(A)	Std. Dev.	Average %(B)	Std. Dev.	(B-A)
RSC	SW	Inside	6.6	0.2	11.3	1.1	4.7
		Outside	6.4	0.2	7.7	1.4	1.3
	DW	Inside	7.2	0.3	9.6	0.3	2.4
		Outside	5.9	0.4	6.8	0.5	0.9
Folder	SW	Inside	6.6	0.2	10.8	0.3	4.2
		Outside	6.4	0.2	7.5	0.4	1.1
	DW	Inside	7.2	0.3	8.5	0.1	1.3
		Outside	5.9	0.4	6.6	0.5	0.7
Bliss	SW	Inside	6.6	0.2	10.8	0.6	4.2
		Outside	6.4	0.2	7.9	1.7	1.5
	DW	Inside	7.2	0.3	7.8	0.5	0.6
		Outside	5.9	0.4	6.2	1.2	0.3

Cucumber Flut		uta	Before		After		Difference
box type	riute		Average %(A)	Std. Dev.	Average %(B)	Std. Dev.	(B-A)
RSC	SW	Inside	6.6	0.2	14.3	1.3	7.7
		Outside	6.4	0.2	7.5	1.1	1.1
	DW	Inside	7.2	0.3	13.7	2.1	6.5
		Outside	5.9	0.4	7.4	0.7	1.5
Folder	SW	Inside	6.6	0.2	14.5	0.5	7.9
		Outside	6.4	0.2	7.8	0.8	1.4
	DW	Inside	7.2	0.3	9.1	0.9	2.1
		Outside	5.9	0.4	6.7	0.5	0.8
Bliss	SW	Inside	6.6	0.2	14.7	2.3	8.1
		Outside	6.4	0.2	8.2	0.8	1.8
	DW	Inside	7.2	0.3	9.1	0.4	1.9
		Outside	5.9	0.4	6.1	0.3	0.2

Table 4. Changes of moisture content of cucumber boxes after PSD vibration test

이는 농산물 제품 자체에서 유래된 수분 및 진동 자극에 의한 호흡 경향과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다.

상자의 형태에 따라서도 함수율 차이가 발생했는데 밀폐형인 0201(RSC)형 상자가 개방형인 Folder나 Bliss type보다 대체로 높았으며, 이것은 내부에서 발생한 수분이 유출되는 경향이 비교적 적은 RSC형 상자에서 압축강도 저하율이 가장 크게 나타나는 원인으로 판단된다(Table 3, 4 및 Fig. 11~12 참조).

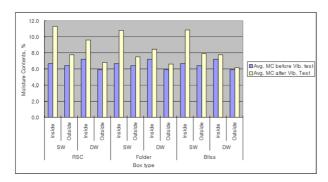


Fig. 11. Changes in moisture content of Tangerine packaging boxes after PSD Vibration Test.

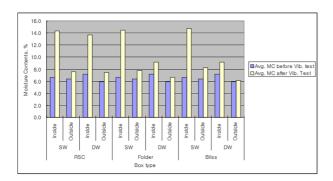


Fig. 12. Changes in moisture content of cucumber boxes after PSD Vibration Test.

결 론

랜덤진동에 의한 압축강도 변화를 실증적 데이타를 적용 하고 파악하여, 진동에 의한 골판지상자의 압축강도를 연구 하기 위해 실험한 결과는 다음과 같다.

습도조건의 변화에 따른 랜덤진동 패턴의 변화는 RSC type의 골판지상자에 비하여 folder type이나 Bliss type이다소 안정된 패턴을 보이는 것 외에는 특별한 차이점이 없었다. 그러나 진동시험 이후 압축강도는 folder형을 제외하고 box type에 관계없이 10~20% 전후의 열화가 발생하였으며 다음과 같은 결론에 도달하였다.

적재 시뮬레이션(불규칙진동)에 의한 수분함량 변화시험에 있어서 진동 전보다 PSD 시뮬레이션 이후 상자 내부의 함수율이 크게 증가하였으며, 상자 내부의 함수율은 밀폐형인 RSC형이 개방형인 Folder나 Bliss 형보다 다소 높게나타났다. 그러나 상자형태간의 함수율 차이는 크지 않았으며 그것보다는 제품특성에 따른 수분 함량 차이가 더 큰 것으로 추측된다.

결론적으로, 진동에 의한 골판지상자의 강도 열화는 진동 그 자체보다 진동에 의한 내용 제품의 충돌 등에 의한 상 자 내부의 온도와 함수율 변화가 더 큰 영향을 미치는 것 으로 판단된다.

참고문헌

- 1. 김수일. 2000. 농산물 포장용 골판지상자 설계에 관한 연구. 박사학위 논문. 대구대학교.
- Fiber Box Handbook. 1999. Fiber Box Association. USA. pp.44-46.
- 3. Maltenfort, G 1989. Performance and Evaluation of Shipping Containers. Jelmar Publishing Co., Inc. pp.156-159.
- 4. 김만수, 정현모. 2002. 배 골판지 포장상자의 진동특성. 한국

- 농업기계학회지 27(5) 391-398.
- 5. Timothy, G. W. and S. W. Marshall. 1999. The effect of pallet connection stiffness, deck stiffness and static load level on the resonant response of pallet decks to vibration frequencies occurring in the distribution environment. Packaging

Technology & Science 12(2): 47-55.

6. 골판지상자의 설계기법. 2004. 월간 지함. 한국지함공업협동 조합. No.9-12.

투고: 2021.08.06 / 심사완료: 2021.08.11 / 게재확정: 2021.08.18