

농산물 골판지포장상자의 수송 중 진동에 의한 압축강도 변화

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

조중연, 신준섭, 김종경¹⁾

용인송담대학 유통학부

Jung-Youn Jo, Jun-Sub Shin, Jongkyoung Kim

Faculty of Distribution, Yong-in Songdam College, Korea

Abstract

The aim of this study was to estimate adverse effect on compression strength of corrugated fiberboard containers due to vibration during distribution process. Distribution environment such as road conditions and compression strength of corrugated fiberboard containers for selected agricultural products were studied. We found that increasing humidity does not effect significantly on natural frequencies of boxes, but results in accelerative effect to decrease compression strength of boxes. Box structures and product types also effect on loss of compression strength greatly.

* Key words: Corrugated Fiberboard, Vibration, Compression Strength, Distribution

1. 서론

1) 1) Corresponding Author: Jongkyoung Kim, Faculty of Distribution, Yong-in Songdam College, 571-1, Marpeung, Yong-in, Gyunggi, 449-710, Korea

농산물 골판지포장상자의 강도를 저하시키는 요인은 포장제품의 수분함량, 상대습도, 적재패턴 등 여러 가지가 있으며 특히 유통과정상의 잦은 상, 하역으로 인한 충격 및 수송중의 진동, 다단적재 상태의 정, 동적하중에 의한 열화가 빈번하게 발생한다.

적정포장을 통한 제품보호와 경제성 확보를 위하여 골판지포장상자의 강도 예측에 대한 연구는 다양하게 있어 왔다. 김(1)은 습도변화에 따른 골판지상자의 압축강도 및 파열강도를 예측하여 설계할 수 있는 프로그램을 개발하였고 미국 Fiber Box Association은 상대습도 및 적재패턴 등 유통환경에 따른 압축강도 저하율을 산정하여 도움이 되도록 하였다.(2) Ievans 등(3)은 상자의 수분함량과 압축강도의 관계를 통하여 상자의 압축강도를 예측하기도 하였다.

이와 같이 상대습도나 수분함량이 골판지상자의 압축강도에 미치는 영향에 대한 연구는 많았으나 유통과정 상의 진동에 의한 압축강도 변화에 대하여 연구한 결과는 미미하였다. 일부에서는 자립이 가능한 내용물이거나 내용물이 포장 내부에서 이동이 미약한 경우 진동에 의한 강도열화는 거의 무시할 정도이나 농산물과 같이 비자립제품이며 수송 중 다단적재에 의한 진동이 반복되는 경우 움직이는 하중이 더해져 골판지상자의 강도열화가 커지게 되고 열화율은 10%를 초과하게 된다고 보고하였다(4). 그러나 이러한 열화율이 실제 제품적재시험을 통해 나온 것은 아니며 국내 유통현실과는 거리가 있어 그대로 적용하기에는 무리가 있다.

따라서 본 연구에서는 농산물골판지포장상자의 강도를 저하시키는 여러 요인 중 특히 진동에 의한 저하율을 실증연구를 통해 파악하고 이를 계량화하여 압축강도를 보다 정확하게 예측할 수 있도록 하기위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

진동에 의한 열화현상을 파악하기 위하여 제품적입 후 20℃에서 각각 50, 70, 90% R.H.에서 24시간 보관된 포장상자의 고유주파수 파악하고 제품이 적재된 상태에서 김천-서울 간의 경부고속도로 구간의 실제진동기록결과를 활용하였다. 공시재료는 감귤, 방울토마토, 오이를 사용하였으며 각 규격의 상자와 제품을 온도 23±1℃, 습도 50±2%, 24시간 전처리 후 사전 조정된 PSD plot에 의거 40분간 진동시험(ASTM D-4728 기

준)을 행하였다.

진동시험기는 ETS 4000(미국 Lansmonts사, Capacity: 4000kgf, 진동범위: 5~3000Hz)을 이용하였으며 진동시험기 시스템은 아래 Figure 1 과 같다.

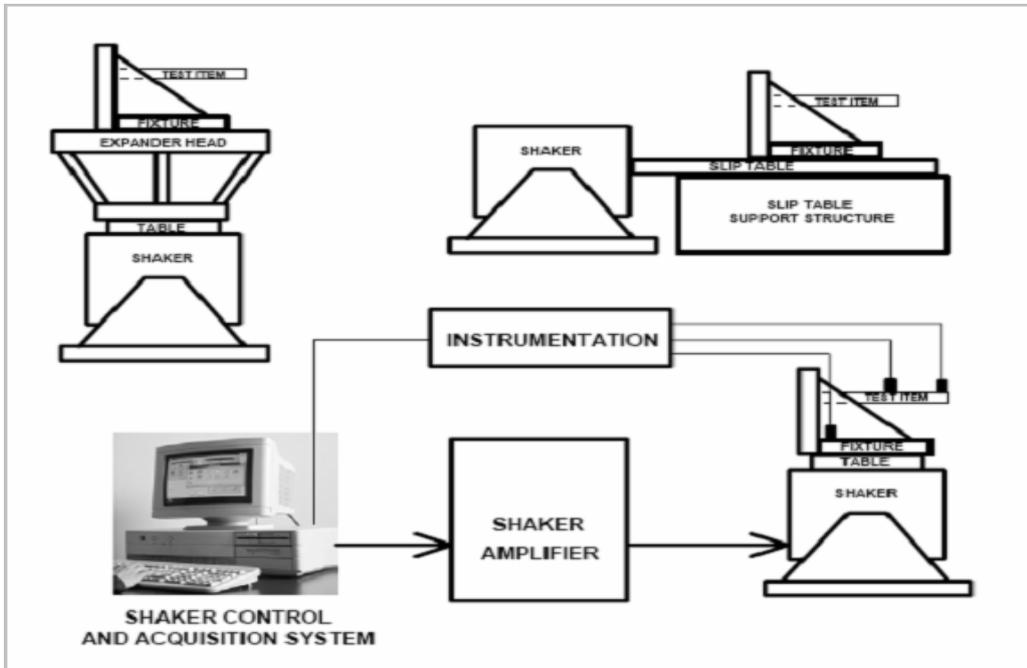


Figure 1. 진동시험기 시스템

가. 공진주파수 측정

유통환경에서 진동이 포장상자의 형태와 상대습도의 변화에 따라 포장상자 자체 공진 주파수에 어떤 영향을 주는지 파악하기 위하여 조건을 달리하여 각 포장상자의 공진주파수를 측정하였다. 공진 주파수란 단일제품에서 파손 발생 가능성이 가장 높은 주파수 대역을 의미하며 아래 Table 1의 조건으로 진동 시험방법(ASTM D-999, KS A 1017)과 같은 방법으로 행하였다(Figure 2).

Table 1. Vibration Test Method.

Test Method	Sine	
Duration Type	Sweep	
Sweep Mode	Log	
Sweep Rate	1 Oct/min	
Frequency	5Hz ~ 200Hz	
Acceleration	0.3G / 0.5G	
Sensor Number	4 EA	
Sensor Status	Ch1	Control
	Ch2	Weight-Top
	Ch3	Side-short-3 Axis (Y)
	Ch4	Side-long-3 Axis(Y)



Figure 2. Vibration Tester and Environmental Chamber.

시험결과 상자의 공진주파수는 상대습도의 변화나 상자의 형태와는 밀접한 관련이 없는 것으로 나타났다. 주파수 패턴도 상당히 유사하며 습도에 따른 공진주파수의 이동도 큰 차이점을 발견하지 못하였다(Figure 3 ~ 8).

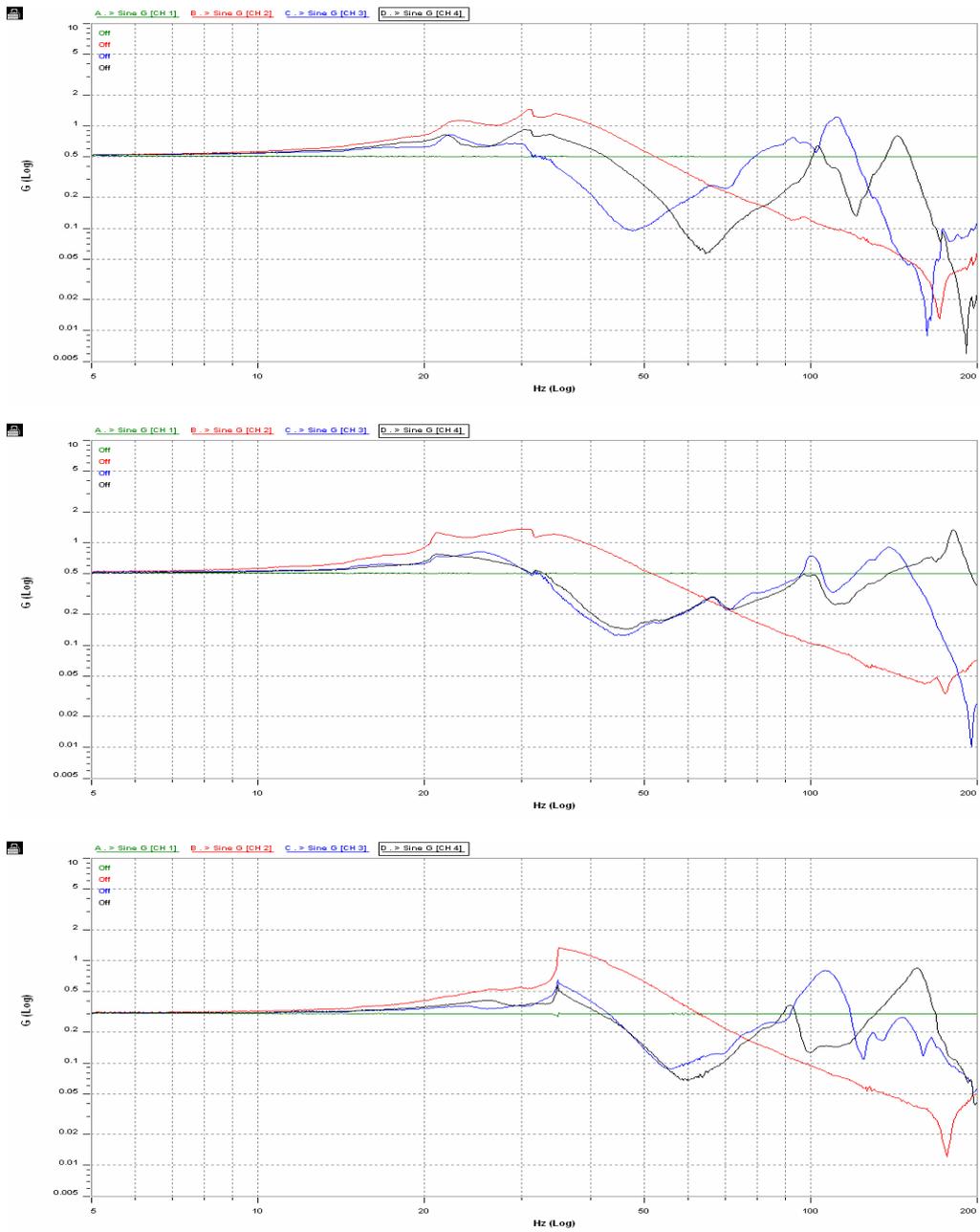


Figure 3. Vibration Test(0.5G) for RSC Box at each Relative Humidity.

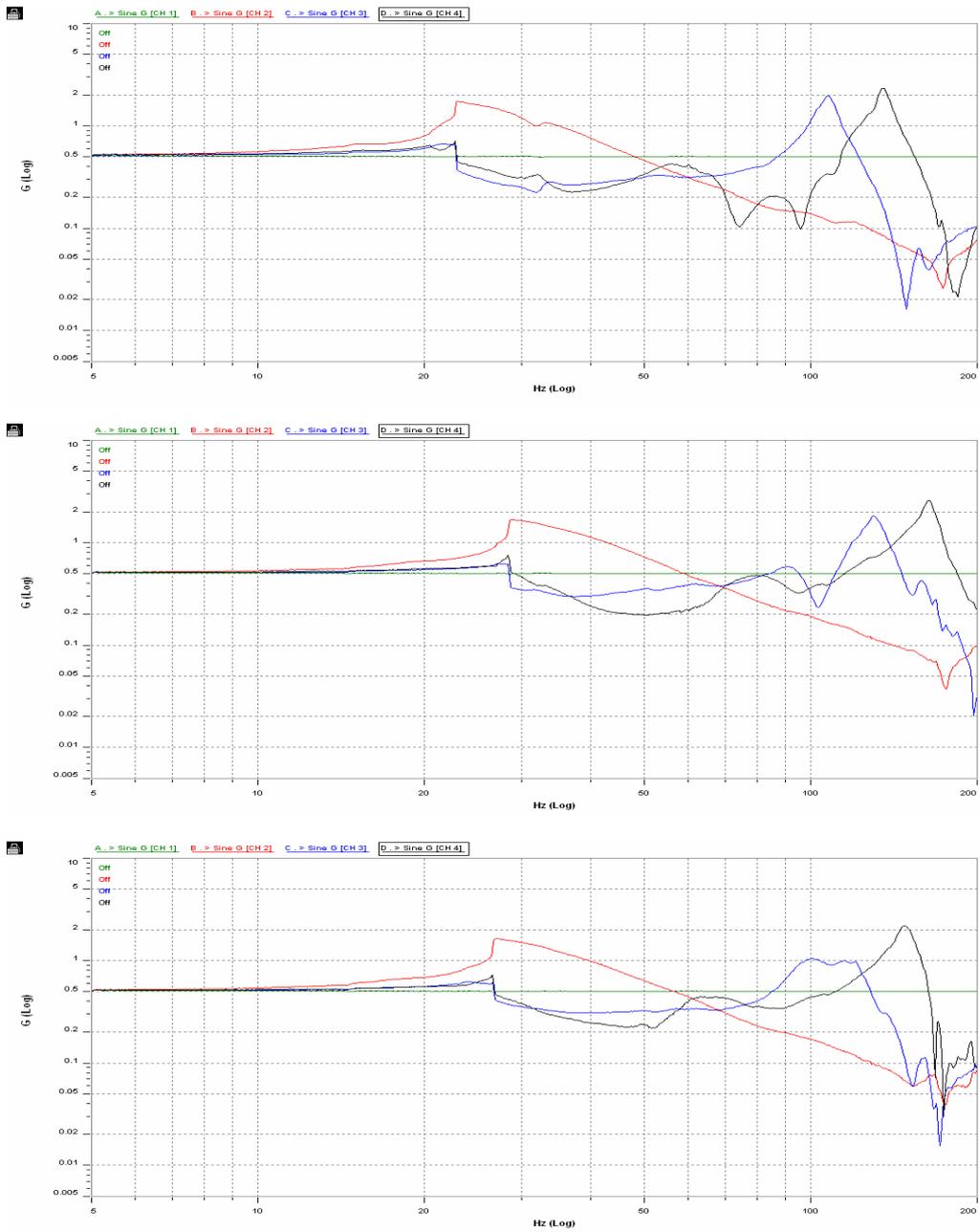


Figure 4. Vibration Test(0.5G) for Folder type Box at each Relative Humidity.

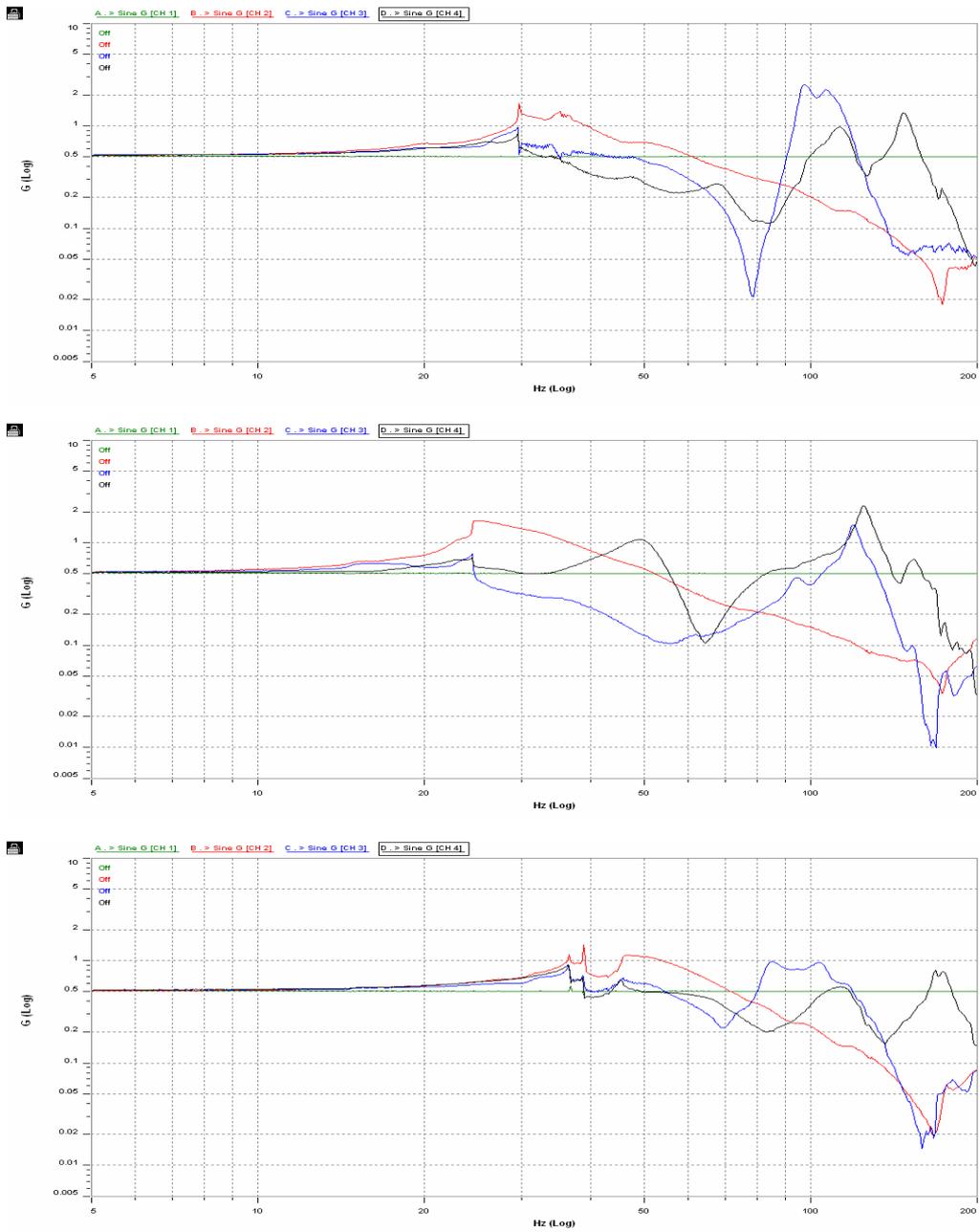


Figure 5. Vibration Test(0.5G) for Bliss type Box at each Relative Humidity.

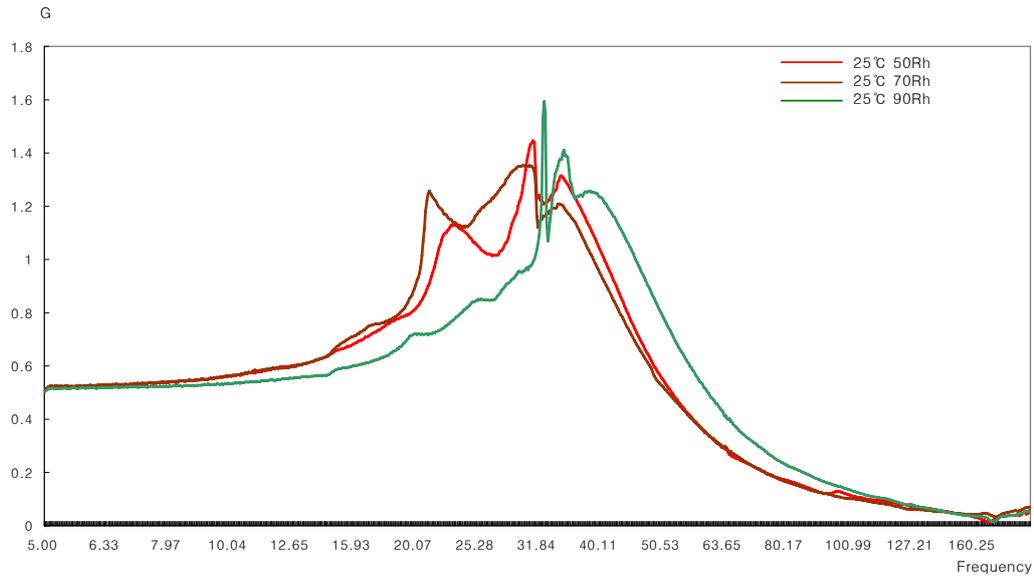


Figure 6. Natural Frequency of RSC Boxes at each Relative Humidity.

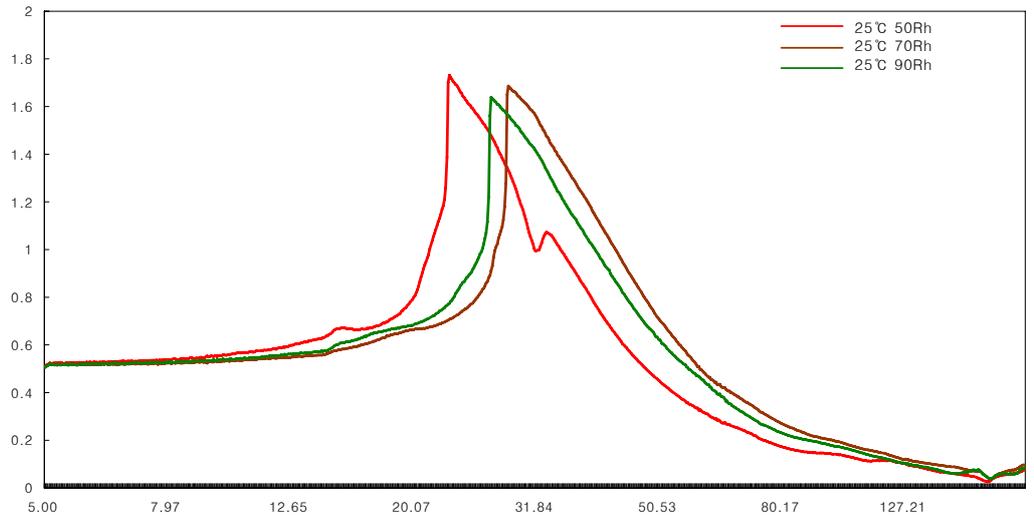


Figure 7. Natural Frequency of Folder type Boxes at each Relative Humidity.

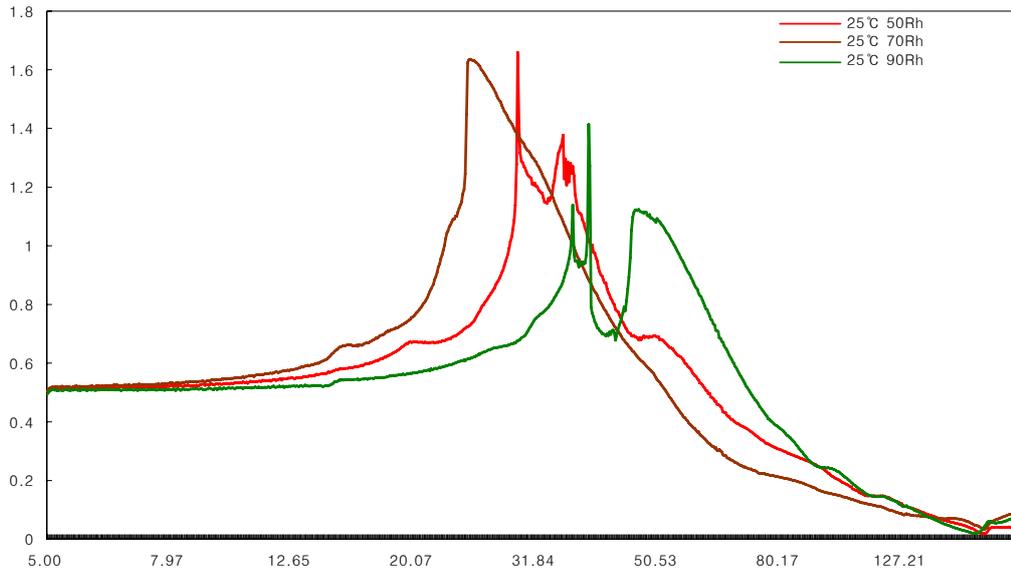


Figure 8. Natural Frequency of Bliss type Boxes at each Relative Humidity.

나. Random Vibration 시험

실제 유통 중에 제품과 포장에 가해지는 진동은 불규칙으로 농산물 상자 역시 여러 개의 정현파 진폭에 의해 다른 영향을 받을 것으로 판단되었다. 따라서 일반 공산품의 진동시험과 같이 불규칙 진동시험(Random Vibration Test) 적용시 상자의 압축강도에 어떻게 영향을 미치는지 관찰하였다. 이러한 불규칙진동시험은 전체 구간에 대한 충격 에너지를 산정하여 포장 규격을 설정하는 것으로 실제 유통 Test에서 실측된 유통과정을 PSD(Power Spectral Density)로 변화하여 진동시험을 행하게 되어 실제와 가장 유사한 결과를 얻게 된다.

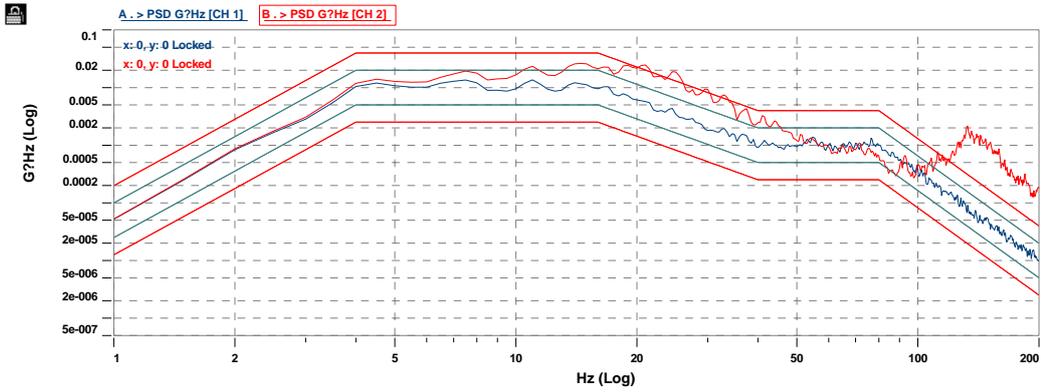
시험에 사용된 PSD plot은 경북과학대학(경북 왜관 소재)에서 제공된 김천-서울 간의 경부고속도로 구간의 실제진동기록결과를 활용하였으며 제품 Simulant로 쓰인 공시 재료는 감귤, 방울토마토, 오이를 사용하였다. 각 규격의 상자와 제품을 온도 $23\pm 1^{\circ}\text{C}$, 습도 $50\pm 2\%$, 24시간 전처리 후 40분간 사전 조정된 PSD plot에 의거 진동시험(ASTM

D-4728 기준)을 행하였으며 Figure 9 와 같이 수행되었다.

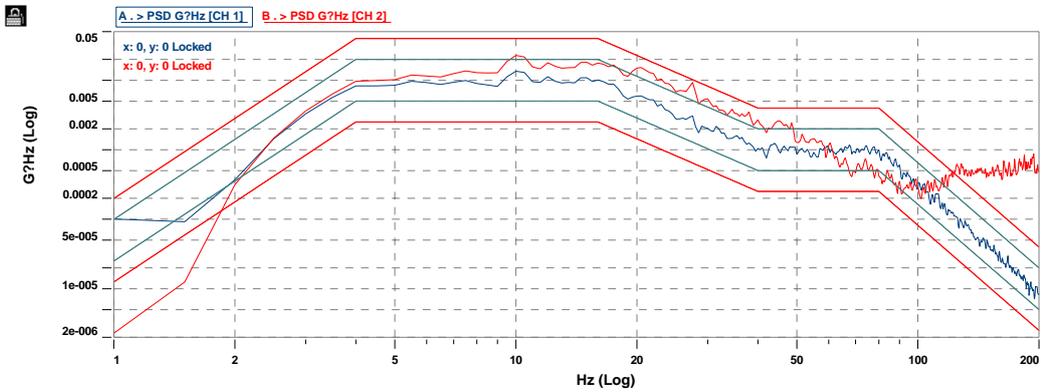


Figure 9. Setting for Random Vibration Test.

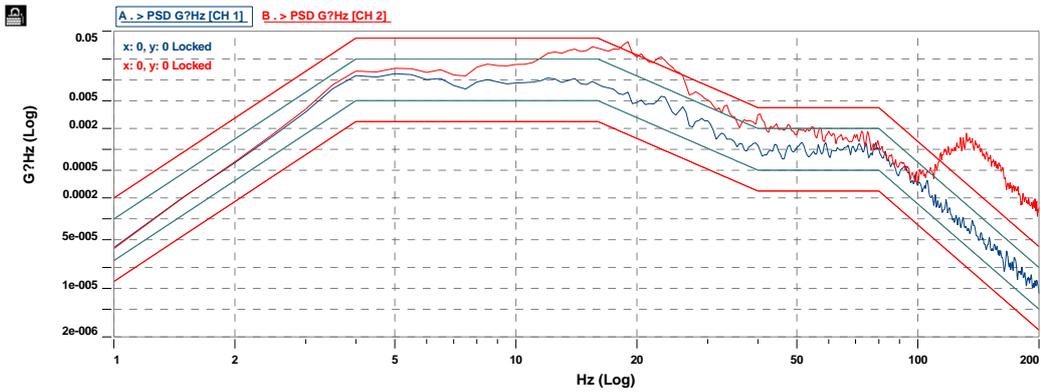
070123_F_4step_5kg



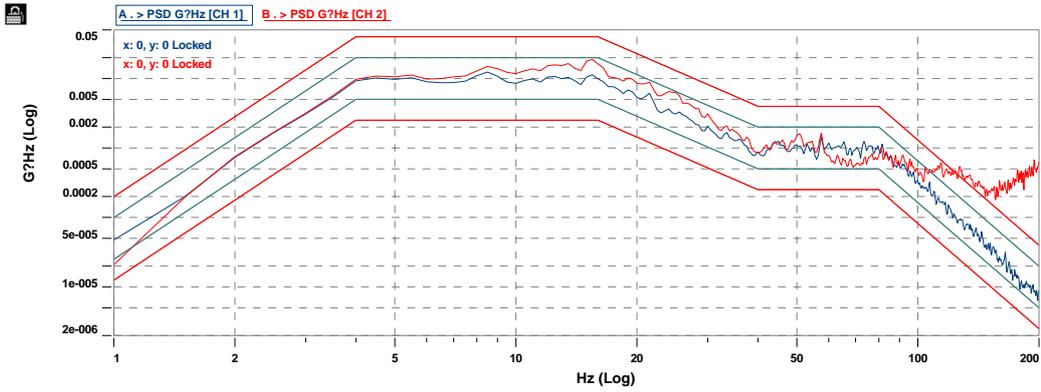
070123_G_4step_3kg



070123_G_4step_5kg



070123_R_4step_3kg



070123_R_4step_5kg

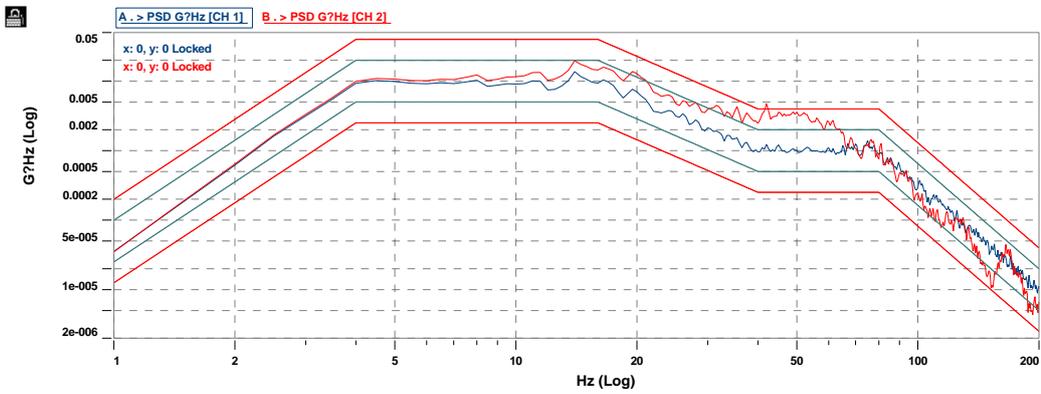


Figure 10. Comparison of Designed and Measured PSD(Power Spectral Density) plot.

3. 결과 및 고찰

진동시험이 끝난 상자는 제품을 꺼낸 후 압축강도 저하율과 수분함량을 각각 측정하였으며 그 결과는 Table 2와 같다.

상자의 압축강도는 모든 상자에서 상대적으로 DW의 저하율이 낮았으며 SW RSC 형 상자의 압축강도 저하는 무려 20.49%로 가장 높았다. 특히 Folder 형 상자의 경우 SW, DW 모두 낮은 압축강도 저하율을 보이고 있는 점이 특징이다.

Table 2. Loss of Box Compression Strength after PSD Vibration Test.

Flute type	Box Type	Compression Strength(kgf)		% loss
		Before	After	
SW (A flute)	RSC	351.9	279.8	20.49%
	Folder	810.0	809.0	0.12%
	Bliss	299.2	263.3	11.99%
DW (AB flute)	RSC	700.6	690.6	1.43%
	Folder	1,519.2	1,516.5	0.18%
	Bliss	571.6	560.8	1.90%

이러한 결과는 진동시험 이후 측정된 습도의 변화에서 확인할 수 있다. 같은 진동시험 이후 감귤과 오이상자의 내부 및 외부 라이너지의 함수율을 측정된 결과 외부 라이너의 함수율은 큰 변화가 없었으나 내부 라이너지의 함수율은 비교적 높아졌다. 특히 감귤의 경우 4.2에서 4.7% 정도의 함수율을 보인 반면 오이는 7.7에서 8.1정도로 높게 나타났으며 이는 제품자체의 수분함량 및 호흡경향과 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다.

상자의 형태에 따라서도 수분함량은 차이가 났는데 밀폐형인 RSC 형 상자가 개방형인 Folder나 Bliss type 보다 대체로 높았으며 이것이 습도에 따른 RSC형 상자의 압축강도가 떨어지는 이유가 된 것으로 판단된다(Table 3, Figure 11-12).

Table 3. Changes of Moisture Content of Outside/Inside Mandarin Orange Boxes after PSD Vibration Test.

Box type	Mandarin Orange Flute	Before		After		Difference (B-A)	
		Average (%) (A)	Std. Dev.	Average (%) (B)	Std. Dev.		
RSC	SW	inside	6.6	0.2	11.3	1.1	4.7
		Outside	6.4	0.2	7.7	1.4	1.4
	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	0.2

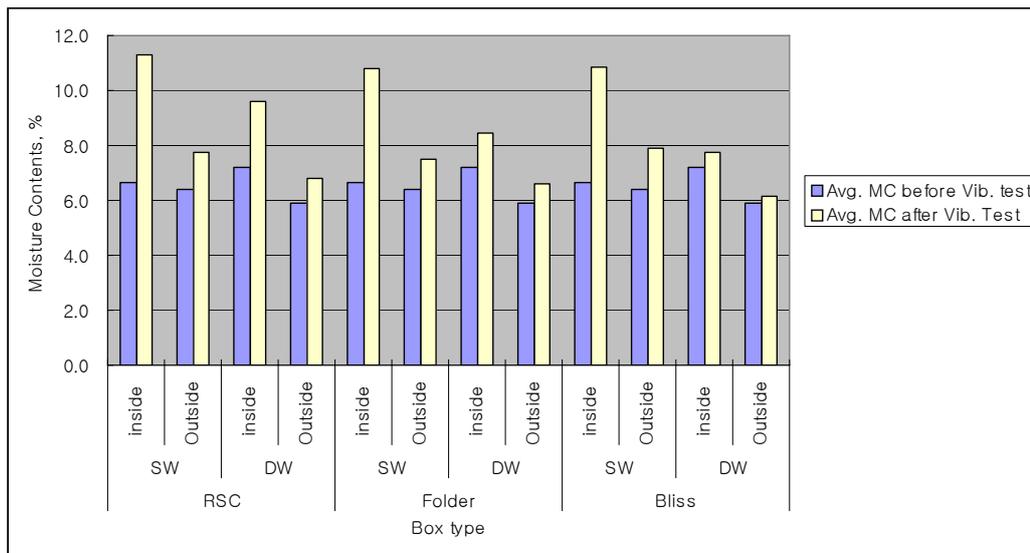


Figure 11. Changes in Moisture Content of Mandarin Orange Boxes after PSD Vibration Test

Table 4. Changes of Moisture Content of Cucumber Boxes after PSD Vibration Test

Box type	Cucumber Flute	Before		After		Difference (B-A)	
		Average (%) (A)	Std. Dev.	Average (%) (B)	Std. Dev.		
RSC	SW	inside	6.6	0.2	14.3	1.3	7.7
		Outside	6.4	0.2	7.5	1.1	1.2
	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	2.0
		Outside	5.9	0.4	6.7	0.5	0.7
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	2.0
		Outside	5.9	0.4	6.1	0.2	0.2

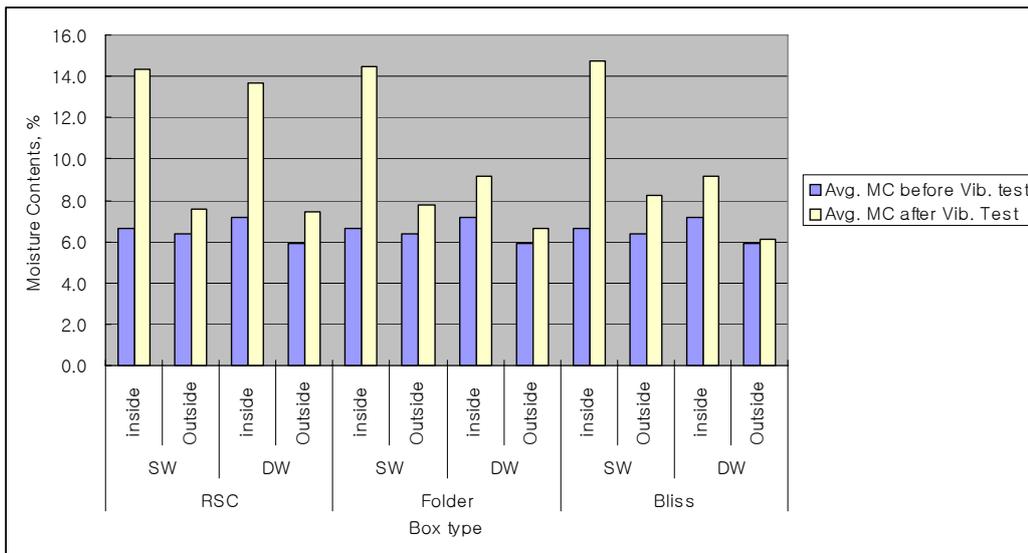


Figure 12. Changes of Moisture Content of Cucumber Boxes after PSD Vibration Test

4. 결 론

습도조건의 변화에 따른 진동패턴의 변화는 RSC에 비하여 folder type이나 Bliss type이 다소 안정된 패턴을 보이는 것 외에는 특별한 차이점이 없었다. 그러나 진동시험 이후 압축강도는 Folder 형을 제외하고 box type에 관계없이 10-20% 전후의 열화가 발생하였으며 아래와 같은 결론에 도달하였다.

가. 적재 시뮬레이션(불규칙진동)에 의한 수분함량 변화 : 진동 전보다 PSD 시뮬레이션 이후 상자 내부의 수분함량이 크게 증가하였으며 상자내부의 함량은 밀폐형인 RSC형이 개방형인 Folder나 Bliss 형보다 다소 높게 나타났다. 그러나 상자형태간의 수분함량 차이는 크지 않았으며 그보다는 제품특성에 따른 수분함량차이가 더 큰 것으로 사료된다.

나. 낙하충격에 의한 강도열화 : 낙하충격의 경우 매우 예외적이므로 본 연구대상에는 제외하였다. 그러나 내용물이 들어 있는 상자를 이용해 그 밑바닥의 각 혹은 모서리를 각 상자 1회씩의 낙하충격(높이 40cm: 전국 레벨로 수송실태 조사한 결과 98.8%가 40cm 이하의 낙하)을 더한 경우의 영향을 측정하면, 자립형의 경우 평균 8%의 열화, 비자립형인 경우 평균 13%의 상자압축강도의 열화가 발생한다.

다. 골판지 형태로는 이중양면골판지상자(DW)가 낙하나 수분함량 증가에 따른 피해가 적었다. 1각 3모서리 3면에 대한 낙하시험을 하면 SW는 45%의 강도저하를 나타내고, DW는 30%의 강도저하율을 나타낸다. 포장시험과는 별도로 실제의 물류에서는 최고낙하 높이로 낙하가 동일 상자에 집중하는 것이 없기 때문에 실제 설계에는 이를 고려하여야 한다.

결론적으로 진동에 의한 강도열화는 진동자체에 의한 열화보다는 제품유동 등에 의한 수분함량변화와 더 밀접하게 관련이 있다. 이를 종합하여 보면 최악의 상황에서 SW나 수출의 경우는 20%의 열화, DW나 국내수송의 경우 15%의 열화, 로 설정하는 것이 합리적으로 판단된다.

5. 요약

농산물 골판지포장상자는 잦은 상, 하역으로 인한 충격 및 수송중의 진동, 다단적재 상태의 정, 동적하중에 의한 열화가 빈번하게 발생한다. 진동에 의한 열화현상을 파악하기 위하여 제품적입 후 20℃에서 각각 50, 70, 90% R.H.에서 24시간 보관된 포장상자의 고유주파수 파악하고 제품이 적재된 상태에서 김천-서울 간의 경부고속도로 구간 의 실제진동기록결과를 활용하였다. 공시재료는 감귤, 방울토마토, 오이를 사용하였으며 각 규격의 상자와 제품을 온도 23±1℃, 습도 50±2%, 24시간 전처리 후 40분간 사전 조정된 PSD plot에 의거 진동시험(ASTM D-4728 기준)을 행하였다.

시험결과 상자의 압축강도는 모든 상자에서 상대적으로 DW의 저하율이 낮았으며 SW RSC 형 상자의 압축강도 저하는 무려 20.49%로 가장 높았다. 특히 Folder 형 상자의 경우 SW, DW 모두 낮은 압축강도 저하율을 보이고 있는 점이 특징이다.

수분함량은 상자의 형태나 제품에 따라 차이가 났는데 밀폐형인 RSC 형 상자가 개방형인 Folder나 Bliss type 보다 대체로 높았으며 이것이 습도에 따른 RSC형 상자의 압축강도가 떨어지는 이유가 된 것으로 판단된다. 제품별로는 오이를 포장한 상자의 압축강도 저하율이 특히 높았다.

사 사

본 연구는 농림부의 농림기술개발연구사업의 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. 김수일(2000), 농산물 포장용 골판지상자 설계에 관한 연구, 박사학위 논문, 대구대학교. 130-131
2. Fiber box handbook, 1999. Fiber Box Association, USA. 44-46

3. Maltenfort, G. 1989. Performance and Evaluation of Shipping Containers, Jelmar Publishing Co., Inc. 156-159
4. 골판지상자의 설계기법(2004). 월간 지함. 한국지함공업협동조합. No. 9-12