

경부고속도로와 88고속도로에 대한 트럭수송시의 진동 특성 측정 및 분석 연구

박인식

경북과학대학 패키징매니지먼트과

Measurements and Analysis of Truck Transport Vibration Characteristics on the Gyungbu and 88 Highway

Insik Park

Dept. of Packaging Management, Kyungbuk College of Science

Abstract Measurements of accelerometer levels transmitted from the floor in commercial truck shipments were carried out transportation of 300 Kg-load from Gyungbu Highway(Waegouan-Seoul) to 88 Highway(Gwangju-Daegu). Different characteristics were observed the values measured the vibration levels with directions in the two Highway's as a function of road condition and truck speed. The results showed that the vibration levels of the Gyungbu Highway is much higher than those of the 88 Highway. A following analysis on the obtained values was used to get the acceleration spectral density (ASD) and power spectral density (PSD). For the entire transit route, the results showed that the level of vibration to vertical direction was significant effects for damaging the products carried compared to other directions such as longitudinal and transverse. This paper provides an updated history of measured characteristics of vibration levels for highways using mainly in domestic area.

Key words vibration, piezo-electric accelerometers, acceleration spectral density (ASD), power spectral density (PSD)

서 론

유통단계에서 발생하는 제품 파손 원인의 대부분은 하역 시 부주의에 의한 충격과 수송 시 유통환경에 따른 진동에 기인한다. 이러한 제품에 대한 파손을 최소화 하는 방법으로 포장재에 대한 완충과 진동에 대한 적정포장을 위하여 포장화물의 유통환경에 대한 정현파 진동시험을 실시하고 있으며, 최근에는 정현파 진동(sine vibration) 보다는 실제 수송환경시 발생할 수 있는 조건으로 도로의 Power Spectral Density(PSD) 프로파일을 구현시키는 불규칙진동 시험(random vibration test)을 진동 및 충격에 의한 제품 파손을 예측하여 적정 포장설계에 적용하고 있다.

The American Society for Testing and Materials(ASTM), the International Safe Transit Association(ISTA)등에 따르면 유통환경에 대한 새로운 시험방법으로 특정 수송수단 및 도로환경에 따른 포장화물에 대한 적정 수송포장시험법이 적용되고 있다. ASTM D 4728에서는 하역제품에 대한 불

규칙진동 시험방법으로 각 지역과 수송 수단에 따른 Power Spectral Density (PSD) 규격을 설정하여 포장 및 유통환경 시험의 기준으로 제시하였고 포장제품의 유통환경시험으로 적용하고 있다.

외국의 경우 유통환경에 따른 수송 시 진동에 의해 발생하는 제품의 손상에 대한 연구가 활발하게 진행되었으며 대부분의 수송도로와 수단에 대한 기준이 되는 PSD에 대한 연구가 활발하여 전자 제품 외 농수산물의 유통에도 이에 대한 연구결과가 많이 보고되었다. Singh (1991) 및 Bundit Jarimopas et al. (2005)등은 도로의 거칠기, 수송거리, 속도 및 수송수단이 유통 시 진동에 영향을 주는 요인에 대한 연구와 트럭 수송 시 발생하는 도로별 진동수준을 측정 분석하였다.

실제 유통환경 조건과 도로의 진동 특성인 PSD를 이용하여 연구실에서 진동 장비를 이용하여 농수산물의 수송 시 발생하는 진동에 대한 제품 열화 요인의 연구 분석도 보고되었다. Peleg & Hinga(1986), Barchi et al.(2002)등은 전자기 진동설비를 이용하여 수송환경을 예측한 불규칙 진동시험을 이용한 연구결과가 있으며, ASTM 시험방법을 응용하여 진동 시 발생하는 농수산물의 영향을 예측하고 이에 대한 적정포장 방법을 제시하였다.

[†]Corresponding Author : Insik Park

Department of Packaging, Management, Kyungbuk College of Science
San 159, Bongsan Ri, Kisan-Myun, Chilgok-Gun, Gyongbuk, 718-851
E-mail : <ispark1@dreamwiz.com>

국내에서는 포장화물의 평가 시험방법에 진동 시험에 대한 개괄적인 방법은 제시하고 있으나 불규칙 시험에 대한 수송수단에 대하여 수송수단에 대한 도로별 PSD에 대한 연구와 제품에 대한 진동 포장시험 기준은 설정되어 있지 않은 상태로, 일부 대기업에서 유통환경에 대한 자체 시험 분석을 통한 진동포장시험 규격을 제정하여 사용하고 있다.

농수산물의 경우 김만수등(2002)이 배 골판지 포장상자의 진동에 대한 특성을 유압 진동설비를 이용하여 과실에 전달되는 진동의 크기와 과실의 손상정도를 연구하였다. 김응주(1998)등은 수원-부산, 서울 시내등의 수송경로에 따른 진동수준을 측정 한 결과를 PSD로 변환하여 전자제품의 수송에 대한 불규칙 진동시험 규격에 대한 연구를 보고하였으며, 이수근(2002)은 인천에서 서울까지의 수송경로별 냉장고의 진동 충격에 대한 영향을 연구한 것 외에는 국내 도로별 진동 수준을 PSD로 이용한 적정 포장설계에 대한 진동 시험규격 설정에 대한 연구 결과는 미미한 편이다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 물류 및 유통의 주요 경로인 경부고속도로(서울-부산) 및 88 고속도로(대구-광주) 구간에 대한 트럭 수송 시 발생하는 진동 특성을 시간(sec)과 가속도(g's)로 측정하여 구간별 진동특성을 분석하였으며, 고속도로별 acceleration spectral density (ASD)와 power spectral density (PSD) 곡선을 Fast Fourier Transformation (FFT) 알고리즘으로 분석 계산하여 트럭 수송 시 국내 고속도로 진동 수준을 분석하였다.

재료 및 방법

1. 수송구간별 트럭 진동 수준 측정

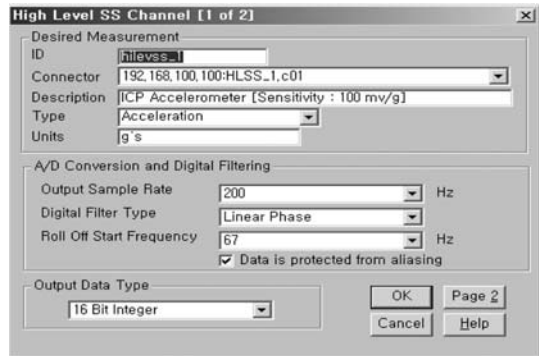
Table 1은 고속도로별 진동을 측정하기 위하여 설정한 운송경로에 대한 특성을 보여준다. 트럭 운송 시 고속도로의 진동 수준을 측정하기 실시간 가속도 수준을 기록할 수 있는 3축(3-axis)을 동시에 측정할 수 있는 piezo-electric accelerometers (8792A10 0, Kistler Instrument Corporation)를 트럭 화물칸 중앙에 고정시킨 후, 기록장치인 e-DAQ (Somat Coporation)와 10 m 연결선을 트럭 시가 잭(output voltage 12Volt)에 연결, 작동하도록 설정하였다. e-DAQ 장치의 크기(Fig. 1)는 가로, 세로 및 높이는 각각 276 mm, 232 mm, 154 mm 이며 무게는 약 3.4 Kg이다.

데이터 기록은 기록장치의 전용 운영 프로그램인 TCE eDAQ V3.8.2b를 이용하여 Fig. 2와 같이 데이터 기록을 초당 200, linear phase digital 필터, start frequency 레벨

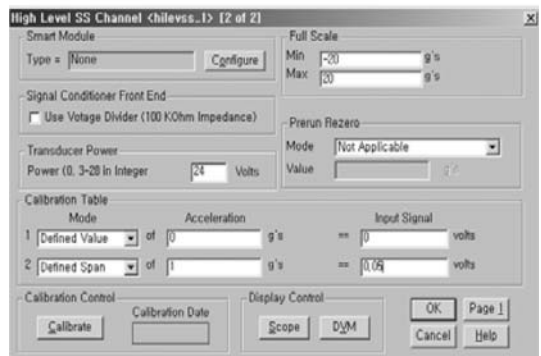
을 67 Hz, 최대 및 최소 가속도 수준은 $\pm 20g's$ 로 설정하였다. (Fig. 2)



Fig. 1. e-DAQ system and cables.



(a) Data acquisition level setting



(b) Accelerometers level setting

Fig. 2. Accelerometer setting program.

Table 1. Main Characteristics of the route during measuring vibration

Typr of road	Transit route	Duration, hour	Speed, km/hr		vehicles
			max.	avg.	
경부고속도로	왜 관-서울	3.5	110	95	Truck, 3.5ton
88고속도로	광주-왜 관	4	100	90	Truck, 3.5ton

Table 2. PSD level comparison between e-DAQ and electro-magnetic vibrator

Frequency [Hz]	PSD Profile [G_{rms}^2/Hz]	
	Measured	Controlled
2	0.0009	0.0007
3	0.0034	0.003
4	0.0103	0.01
20	0.0103	0.01
40	0.0014	0.001
80	0.0014	0.001
100	0.0008	0.0007

2. 가속도계 신뢰성 측정

사용한 가속도계의 input 전압을 Fig. 2(b)와 같이 1g를 0.05 Volt로 설정한 결과에 대한 신뢰성을 측정하기 위해 전자식 진동설비(electro-magnetic) vibrator에 임의의 PSD 프로파일을 설정하여 진동 결과 데이터를 측정하여 PSD를 분석한 결과(Table 2) 측정된 데이터에 대한 신뢰성은 99.5%를 나타내었다. 따라서 별도 보정 없이 측정 설정된 수치를 이용하여 도로에 대한 진동 수준을 측정하였다.

3. 고속도로별 진동 특성 분석

국내 주요 고속도로에 대한 도로의 특성과 진동수준(vibration level)에 대한 분석은 시간과 가속도 측정 기록에 대한 통계적 분석을 하였으며, 0~100 Hz 진동 특성에 대한 PSD 프로파일을 각 축별로 분석 하였다. PSD 프로파일은 기록된 가속도 수치에 대한 root mean square(rms)를 사용 하였다.

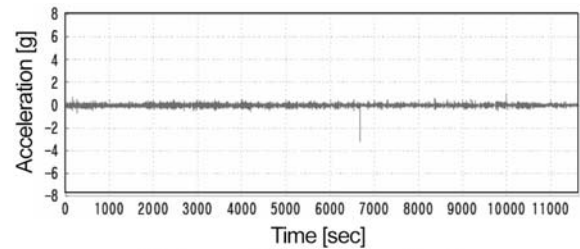
결과 및 고찰

1. 경부 고속도로에서의 트럭 진동 수준

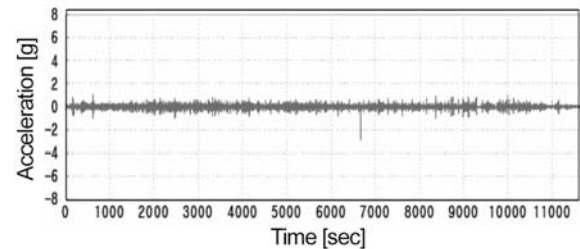
Fig. 3은 경부고속도로의 왜관에서 서울까지 3.5톤 트럭에 대한 진동 수준으로, 11,400초 동안 고속도로 주행동안 초당 200개의 진동수준을 기록하였다. x축은 트럭의 진행 방향(longitudinal direction), y축은 트럭의 너비방향(transverse direction)이며 z축은 트럭의 높이방향(vertical direction)을 나타낸다.

Table 3은 경부고속도로 주행구간에 대한 트럭의 진동특성으로 평균 95 Km/hr의 속도로 왜관에서 서울까지 운행 경로에 따른 도로의 진동 수준을 요약하였다. 경부고속도로의 진동 수준으로 최대 가속도는 수직방향은 6.13 g, 전후 방향 0.71g, 좌우방향으로 0.87g이며, 최소가속도는 각각 -4.66 g, -0.69 g, -1.05 g로서 수직방향에서 가장 큰 진동 특성을 나타내었다.

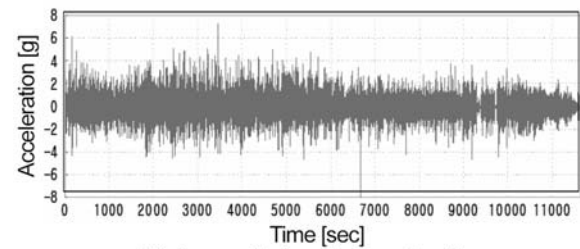
분포 특성곡선(distribution curve)의 대칭 특성을 나타내



(a) A record of x-axis acceleration



(b) A record of y-axis acceleration



(c) A record of z-axis acceleration

Fig. 3. Typical records of truck vibration level on the Gyeongbu Highway (x-axis, y-axis and z-axis represents longitudinal, transverse and vertical direction of truck).

Table 3. Vibration characteristics of truck transport on Gyeongbu Highway

Vibration characteristics of Gyeongbu Highway in truck transits			
	x-axis	y-axis	z-axis
max. G [g]	0.71	0.87	6.13
min. G [g]	-0.69	-1.05	-4.66
Std. Dev.	0.04	0.06	0.35
G_{RMS} [g]	0.04	0.06	0.35
Skewness	-0.09	-0.004	0.01

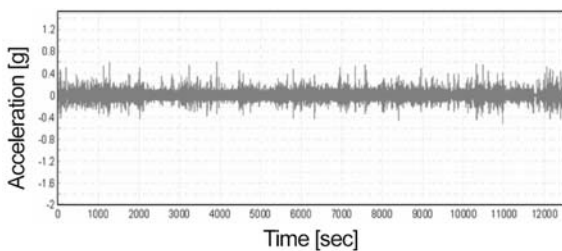
는 비대칭도(Skewness)는 각 방향에 따라서 0.01, -0.09, -0.004로 분석되었으며, 경부고속도로 운행 시 좌우 편차가 가장 적음을 나타내었다. 피크가속도와 충격의 크기를 나타내는 G_{RMS} 수치는 방향별로 각각 0.35g, 0.04g, 0.06g로 분석되었다.

2. 88-고속도로에서의 트럭 진동 수준

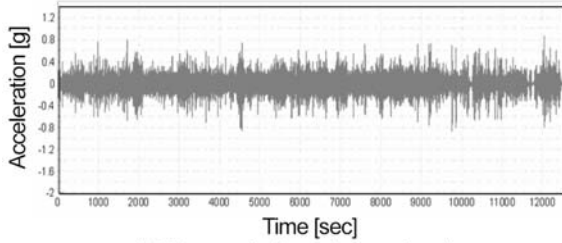
Fig. 4는 광주에서 대구까지의 88 고속도로를 주행한 3.5

톤 트럭에 대한 진동에 대한 시간-가속도 곡선(time-acceleration hysteresis curve)이다.

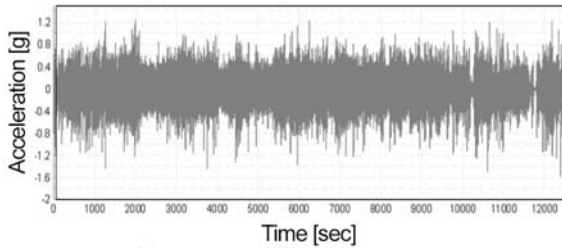
Table 4는 88고속도로 주행구간에 대한 트럭의 진동특성으로 평균 85 Km/hr의 속도로 광주에서 대구까지 운행을 하여 시간과 가속도에 대한 진동 수준을 측정된 결과이다. 88고속도로에서의 최대가속도 크기는 수직방향은 1.24 g, 전후방향 0.62 g, 좌우방향으로 0.82 g이고, 최소가속도 크기는 각각 -1.58 g, -0.5 g, -0.88 g로의 진동특성을 보였다. 피크 가속도와 충격의 크기를 나타내는 G_{RMS} 수치는 수직, 전후, 좌우 방향별로 각각 0.17 g, 0.04 g, 0.07 g로 분석되었다.



(a) A record of x-axis acceleration



(b) A record of y-axis acceleration



(c) A record of z-axis acceleration

Fig. 4. Typical records of truck vibration level on the 88-Highway (x-axis, y-axis and z-axis represents longitudinal, transverse and vertical direction of truck)

Table 4. Vibration characteristics of truck transport on 88 Highway

Vibration characteristics of Gyungbu Highway in truck transits			
	x-axis	y-axis	z-axis
max. G [g]	0.62	0.82	1.24
min. G [g]	-0.5	-0.88	-1.58
Std. Dev.	0.04	0.07	0.17
G_{RMS} [g]	0.04	0.07	0.17
Skewness	0.04	-0.02	-0.05

3. Power Spectral Density(PSD) 분석

측정된 시간-가속도 데이터는 경부고속도로와 88고속도로의 진동특성을 분석하기위해 주파수에 대한 함수로 분석하였다.

Fig. 5와 6은 경부고속도로(왜관-서울) 운송 시 측정 기록된 트럭의 진동 데이터를 사용하여 Acceleration Spectral Density(ASD,[g])와 Power Spectral Density (PSD, [g²/Hz])에 대한 주파수의 함수로 분석하였다.

ASD그래프는 경부고속도로 주행중 측정된 트럭의 진동 데이터를 주파수(frequency, [Hz])와 가속도의 크기(acceleration magnitude, [g])함수로 구현하였으며, 이를 토대로 주파수 밴드를 이용하여 PSD를 분석하였다.

Fig. 5와 6의 결과에서 경부고속도로의 경우 수직방향에서의 진동에 의한 특성은 1~5 Hz, 10~20 Hz, 50~85 Hz에서 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 전후 방향의 경우는 30~40 Hz 밴드 구역의 일부를 제외하고는 진동의 영향이 없으며, 좌우 방향의 경우 10~27 Hz 밴드 구역에서 진동의 영향을 받으나 다소 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

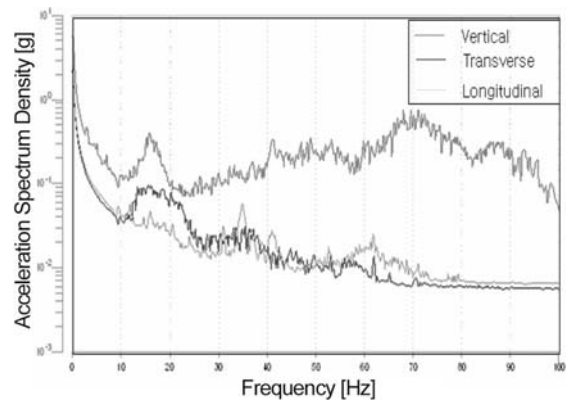


Fig. 5. ASD for truck transit on the Gungbu Highway at the axis of vertical, transverse and longitudinal direction

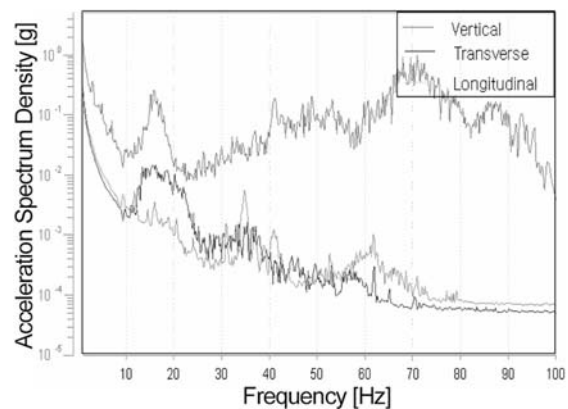


Fig. 6. PSD for truck transit on the Gungbu Highway at the axis of vertical, transverse and longitudinal direction

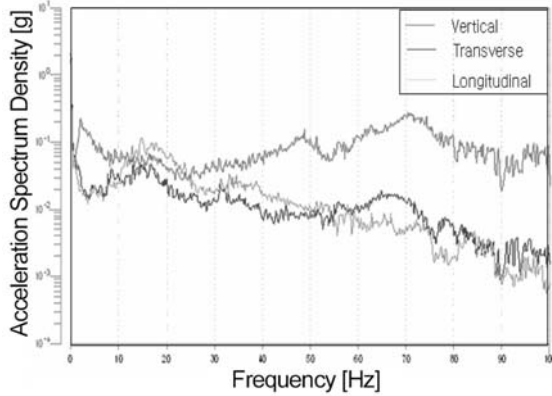


Fig. 7. ASD for truck transit on the 88 Highway at the axis of vertical, transverse and longitudinal direction

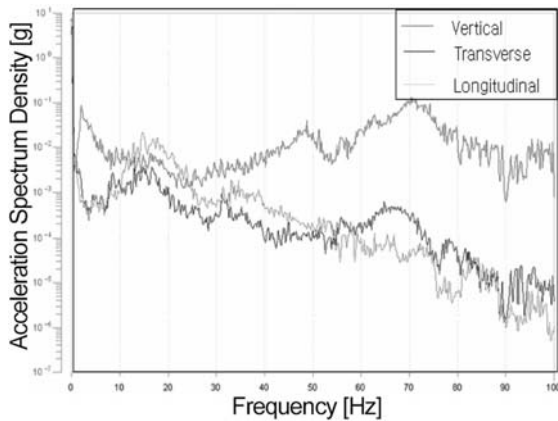


Fig. 8. PSD for truck transit on the 88 Highway at the axis of vertical, transverse and longitudinal direction

88고속도로(광주-대구)의 진동특성 및 수준을 분석하기 위해 가속도센서를 이용하여 측정된 트럭의 진동 데이터를 사용하여 Acceleration Spectral Density(ASD,[g])와 Power Spectral Density (PSD, [g²/Hz])를 구한 결과를 Fig. 7과 8의 그림으로 나타내었다.

88고속도로의 진동특성은 수직방향의 트럭 진동이 0~100 Hz 주파수에서 광범위하게 영향을 미치고 있음을 보여준다. 특히 ASD와 PSD 그래프에서 트럭의 전후, 좌우 진동 특성이 경부고속도로와는 달리 트럭 운송 시 영향을 전체적으로 받는 것을 알 수 있었다.

결론

국내 농수산물과 전자제품의 주요 수송 경로인 경부고속도로와 88고속도로에 대한 트럭수송시의 도로 진동 특성을 측정하고 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 경부고속도로의 트럭 수송 시 최대 가속도의 크기는 수직방향에서 6.13 g 이었으며, 전후방향과 좌우방향의 경우는 각각 0.71 g와 0.87 g 이었다. 시간-가속도 측정 데이터의 Grms (g) 분석결과는 수직방향, 전후방향, 좌우방향 각각 0.35 Grms, 0.04 Grms와 0.06 Grms 이었다.
2. ASD와 PSD 분석 결과 경북고속도로의 트럭수송에 대한 진동특성은 수직방향의 진동이 트럭 수송 시 진동에 가장 큰 영향을 주고 있었다.
3. 88고속도로에서는 최대 가속도의 크기는 수직방향에서 1.24 g 로 경부고속도로와는 큰 차이가 있으나, 전후방향과 좌우방향의 경우는 각각 0.62 g와 0.82 g 로 큰 차이가 나지 않았다. 시간-가속도 측정 데이터의 Grms (g) 분석결과 또한 수직방향에서는 0.35 Grms로 많은 차이가 있으나, 전후방향, 좌우방향은 0.04 Grms 와 0.07 Grms 이었다.
4. 88고속도로의 ASD와 PSD 분석결과 저 주파수에서는 수직방향과 전후, 좌우 방향의 진동 특성이 큰 차이가 나지 않았다.
5. 경부고속도로와 88고속도로는 농수산물 및 전자제품의 주요 유통경로로서 수송경로에 따른 진동 특성과 진동 수준을 측정, 분석한 결과 경부고속도로의 경우 수직방향의 진동에 대한 제품 손상의 기회가 상대적으로 높고, 88고속도로의 경우 전후, 좌우 방향에 대한 진동이 영향이 높은 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. ASTM (1979). Vibration Testing of Shipping Containers D-999. *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, PA. USA.
2. ASTM (1987). Standard Test Method for Random Vibration Testing of Shipping Containers D4728. *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, PA. USA.
3. Bundit Jarimopas (2005). Measure- ment and Analysis of Truck Transport Vibration Levels and Damage to Packaged Tangerins during Transit, *Packaging Tech-nology and Science*; 18, 179-188.
4. Singh S P (1991). Vibration levels in commercial truck shipments. *ASAE Paper No.* 91-6016.
5. Singh S P; Xu M (1993). Bruising in apples as a function of turck transportation. *Applied Engineering in Agriculture*, 6(6), 753-758.
6. 김만수, 정현모 (2002), 배 골판지 포장상자의 진동특성, *한 국농업기계학회지* 제 27권 제 5호, 391-398.
7. 김응주, 이수근 (1998), Field Data를 이용한 진동시험 규격 화 방안, *한국포장학회*, Vol 4, No.1, 39-44.
8. 이수근 (2002), 냉장고의 유통 중 진동 및 낙하충격에 관한 연구, *한국포장학회*, Vol 8, No.1, 23-26.