

트럭 운송시 맥주용 유리병의 진동 및 낙하 특성

박수일¹ · 박인식^{2,†}

¹연세대학교 패키징학과, ²경북과학대학 포장디자인계열

Vibration Characteristics and Drop Impacts of Beer Glass Bottles During Truck Transit

Su-il Park¹ and Insik Park^{2,†}

¹Department of Packaging, Yonsei University

²Department of Packaging Design, Kyungbuk College of Science

Abstract There has been an increasing demand on measurement of the vibration levels in commercial truck shipments, where all packaged products are exposed to some levels of random vibration and shock. In this study, beer glass bottles loaded at the front, middle, and rear positions of 11 tonne truck bed was shipped from Kwangju to Waegwan. Vertical direction vibration levels were analysed and matching laboratory random vibration test was performed using power spectral density (PSD) profiles derived from truck transit records. Also, the effects of drop height on glass bottles were evaluated. As expected, the maximum vibration levels were recorded at the rear of truck bed. No breakage of bottles were observed during truck transit and laboratory random vibration testing set at 0.52 G_{rms}. In drop test, glass bottles were not damaged by bottom side impact, while short side drop impact caused about twice higher bottle breakage rate than that of long side drop impact at 30 cm and 40 cm drop height.

Keywords Road test, Vibration test, Power spectrum density (PSD), Drop test

서 론

완충포장의 목적은 유통 중 발생하는 다양한 외력으로부터 포장된 제품을 안전하게 보호하는 것이다. 유통단계에서 발생하는 제품 파손 원인의 대부분은 수송시 유통환경에 따른 진동과 하역 시 부주의에 의한 낙하 충격에 의해 발생한다. 포장제품의 파손은 운송수단과 수송경로에 따른 진동 및 충격에 의해 발생하므로 운송수단과 도로에 대한 진동 및 충격에 대한 특성을 이해하는 것은 적정포장설계에 가장 중요한 수단이 될 수 있다. 즉 적정 포장설계를 위해서는 유통 경로의 운송 중에 발생하는 다양한 진동에 의해 발생하는 위험을 고려해야 하며, 유통과정에서 발생하는 진동의 종류와 수준(level)을 이해하는 것은 포장 설계시 과대 혹은 과소 포장을 피하여 적정 설계를 이루는데 필수적이다¹⁾.

ASTM D 4728에서는 유통환경에 대한 시험방법으로 특

정 수송수단 및 도로환경에 따른 포장화물에 대한 적정 수송포장을 위해 불규칙 진동 시험방법으로 각 지역과 수송수단에 따른 Power Spectral Density (PSD) 규격을 설정하여 포장제품의 유통환경시험법의 기준으로 제시하고 있다²⁾. 수송 중 진동 시험을 실시하는 가장 큰 이유는 진동 시험 규격을 설정하기 위함이다. 수송시험에서 얻은 진동과형을 해석하여 PSD의 데이터를 얻을 수 있으며, 시험 규격의 도출은 PSD 곡선을 기반으로 수송 환경과 같은 크기로 생각하는 시험 조건을 구하는 작업이라고 할 수 있다³⁾. 국내 규격의 경우 KS A 1017 포장 화물 및 용기의 진동 시험 방법이 폐지된 후, ISO 규격을 번역한 고정 주파수에서 정현파(sine) 진동을 포장 화물에 적용한 진동 시험 방법인 KS T ISO 2247⁴⁾, 정현파 가변 주파수 (Sweep) 진동 시험 방법인 KS T ISO 8318⁵⁾, 그리고 3세대 진동으로 불리는 불규칙(random) 진동을 수직방향으로 적용하는 시험 방법인 KS T ISO 13355⁶⁾가 수송 중의 진동 환경을 재현할 수 있는 방법으로 제시되어 있다. 하지만 국내의 경우 포장화물의 평가 시험방법으로 진동 시험에 대한 개괄적인 방법은 제시되어 있으나, 수송수단에 대한 도로별 연

[†]Corresponding Author : Insik Park

Department of Packaging Management, Kyungbuk College of Science
San 159, Bongsan Ri, Kisan-Myun, Chilgok-Gun, Gyungbuk, 718-851
E-mail : <ispark@kbc.ac.kr>

구와 제품에 대한 진동 포장시험 기준은 설정되어 있지 않은 상태로 일부 기업에서는 유통환경에 대한 자체 시험 분석을 통한 진동포장시험 규격을 제정하여 사용하고 있다⁷⁾. 포장에 대한 설계 및 품질평가의 기준 정립이 필수적인 국내 전기 전자 분야의 진동 시험에 대한 규격을 유통 경로에 따른 불규칙 진동 시험 규격을 제정하여 적용하고자 하는 노력은 90년대 중반부터 지속되고 왔다. 최근에는 농산물의 주요 열화 요인이 되는 수송 환경에 따른 진동을 분석하고 적정포장 설계에 이용하고자 하는 노력이 이루어지고 있으나 아직 초기 연구 상태이다^{8,9)}.

수송환경에서 유발되는 진동과 충격의 유리병에 대한 영향은 아직 보고된 바 없다. 본 연구에서는 맥주용 유리병의 실제 유통 경로를 통한 수송 중의 트럭 내부 적재함의 적재 위치에 따른 진동 특성을 분석하고 포장된 유리병의 진동에 의한 영향을 측정하였다. 또한 유통 중에 제품과 포장에 가해지는 불규칙한 진동력에 따른 유리병 제품의 파손 가능성을 실제 유통과정에서 분석된 진동특성을 이용하여 전후 및 좌우 진동 시뮬레이션 시험으로 예측하였으며, 유리병 박스의 각 면의 낙하 높이에 따른 파손 여부를 측정하여 맥주병의 유통 및 낙하 특성을 규명하였다.

재료 및 방법

1. 유통 경로에 따른 진동 수준 측정

맥주용 유리병의 실제 유통시 도로 및 차량에 의해 발생되는 진동 및 충격에 대한 유통환경을 광주에서 왜관까지의

구간별 진동과 충격특성을 계측하여 PSD 분석을 하였다 (Table 1). 수송 차량은 K사의 11톤 트럭에 실제 유통환경 적용을 위해 330 ml, 500 ml, 그리고 640 ml 맥주병을 각 8, 6, 5단씩 3개의 팔레트에 적재하고 팔레트 하부와 적재된 골판지 박스의 측면 및 상부에 가속도 센서를 부착하였다 (Table 2). 맥주병 유통구간별 트럭 진동 수준 측정은 박⁷⁾의 방법에 따라 실시간 가속도 수준을 기록할 수 있는 가속도 센서(Kistler Instrument Co.)와 기록장치인 e-DAQ(Somat Co.)를 연결하여 운영 프로그램인 TCE eDAQ를 이용하였으며 시간과 가속도 측정 기록에 대한 결과물인 도로의 특성과 진동수준 (vibration level)에 대한 분석은 WinEASE3.0 (Engineering Analysis Software Environment) 프로그램을 이용하여 실시하였다. 0~250 Hz 진동 특성에 대한 PSD 프로파일을 분석하였고, PSD 프로파일은 기록된 가속도 수치에 대한 제곱평균치의 평방근(root mean square rms)을 사용하였다.

2. 진동 시뮬레이션 시험

실제 유통 중에 제품과 포장에 가해지는 불규칙 진동력에 따른 제품 파손 가능성 예측 시험을 유리병 박스의 전후, 좌우 진동 시뮬레이션 시험 실시하였다. 3종의 맥주용 유리병이 진동시험에 이용되었다 (Table 3). ASTM A 4728-06의 시험 조건에 의거하여 진동 시뮬레이션 시험을 실시하였다. 진동주파수 범위는 1~200 Hz로 설정하였고 ASTM A 4728의 트럭 불규칙 진동 특성인 0.52 G_{rms}을 이용하였으며 진동 지속 시간은 60 min이었다. 시뮬레이션 프로파일 프로그램의 진동수와 PSD를 Table 4에 나타내었다.

Table 1. The Characteristics of the truck transit route for vibration tests

Type of Road	Route	Duration (sec)	Vehicle type
National Road	Kwangju regional area	0 ~ 1,200	Truck, 11 ton
88 Hwy	Kwangju-Taegu	1,200 ~ 10,000	Truck, 11 ton
Gyungbu Hwy	Taegu-Waegouan	10,000 ~ 13,000	Truck, 11 ton

Table 2. Locations and pictures of attached accelerometer on the truck

Channel	Label	Accelerometer location
#1	Truck-front	Truck front - first pallet
#2	Truck-middle	Truck middle - second pallet
#3	Truck-rear	Truck rear - third pallet
#4	1-pallet-side	First pallet - side
#5	2-pallet-side	Second pallet - side
#6	3-pallet-side	Third pallet - side
#8	1-pallet-top	First pallet - top
#9	2-pallet-top	Second pallet - top
#12	3-pallet-top	Third pallet - top



Table 3. Type and amount of light glass bottles used in vibration simulation test and drop test

Bottle type	Bottle 330 ml	Bottle 640 ml	Bottle 500 ml
Sample amount	330 ml × 24 EA	640 ml × 12 EA	500 ml × 12 EA
Box amount	6 box	6 box	6 box
Box dimension (mm) (LxDxH)	385 × 255 × 220	310 × 230 × 295	300×220×255
Average box weight (kg)	13.35	12.76	11.48
Empty Bottle weight (kg)	0.2(0.25)	0.4(0.45)	0.42

*() indicates weight of standard glass bottles.

Table 4. Typical PSD values in truck transit on different highways in Korea¹¹⁾

Highway	Route	Transit duration (Sec)	Grms, m/s ²		
			Vertical (up & down)	Transverse (left & right)	Longitudinal (back & forth)
Kyungbu	Waegouan-Seoul	12,000	0.158	0.068	0.05
Youngdong	Seoul-Hobeop	2,000	0.150	0.038	0.06
Jungbu	Hobeop-Kimchun	7,800	0.133	0.053	0.07
Namhae	Masan-Kwangju	12,500	0.164	0.049	0.08
88	Kwangju-Waegouan	12,500	0.169	0.047	0.072

3. 박스 낙하 시험

KS T 1304-2001 포장 화물의 낙하 시험 방법을 응용하여 박스의 각 면의 낙하 높이에 따른 평면 낙하 충격을 낙하충격 시험기를 이용하여 측정하였다¹⁰⁾. 박스의 바닥면 (bottom), 장측면 (long side), 단측면 (short side)을 30 mm 와 400 mm 높이에서 면낙하 시킨 후 박스에 작용한 힘 (kg_f)과 유리병의 파손율을 기록하였다. B골 골판지 상자와 간지(partition)에 각각 24개와 12개가 담겨진 경량화 유리병 330 ml와 640 ml를 6 박스 씩 시험하였으며 박스를 포함한 제품의 총 무게는 각각 13.35 kg 및 12.76 kg이었다 (Table 3).

결과 및 고찰

1. 유통 경로에 따른 진동 변화 측정

광주-왜관 유통경로의 실제 수송 시 진동특성을 계측하여 분석한 결과 상하 트럭 적재함 뒤쪽의 상하 진동이 트럭 전면이나 중간 부분 보다 크게 발생함을 알 수 있다 (Fig. 1). 트럭 적재함의 앞, 중간 및 뒷부분의 파렛트 위치별 PSD 프로파일을 Fig 2에 나타내었다. 유통경로에서의 수직방향의 진동에 의한 특성은 1~5 Hz, 10~20 Hz, 30~40 Hz 에서 큰 영향을 받고 있으며 또한 70~80 Hz과 170~190 Hz 에서도 영향을 받는 것으로 관측되었으며 이러한 결과는 박¹¹⁾의 연구 내용과 유사한 특성을 보여주고 있다. 트럭의 경우, 2~7 Hz, 12~20 Hz, 그리고 55~70 Hz의 주파수 영역이 대부분의 진동 충격에 의한 손상을 유발시킨다고 알려져 있다. 상하진동의 피크 가속도와 충격의 크기를 나타내는 G_{rms} 수치는 각각 앞쪽이 0.11 G²/Hz, 중간은 0.12 G²/Hz,

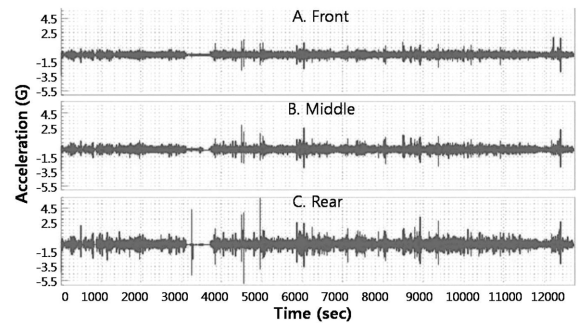


Fig. 1. Vertical direction records of truck vibration level at different measuring position during beer glass bottle transportation on the national road and highway, (A) truck bed front, (b) truck bed middle, (c) truck bed rear.

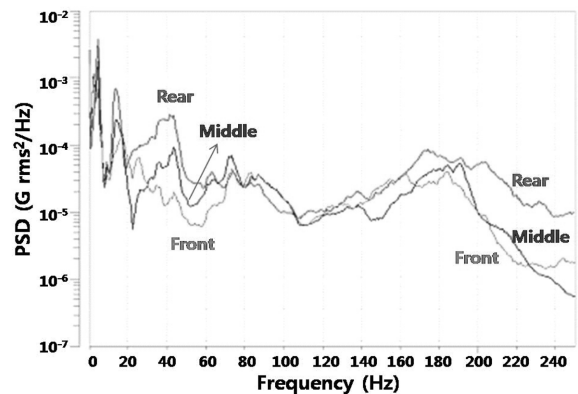


Fig. 2. PSD profiles at different measuring truck bed location during beer glass bottle transportation on the national road and highway.

그리고 뒤쪽이 0.17 G²/Hz 로 분석되었다 (Table 4). 트럭 운송 후 트럭의 진동에 의한 맥주병의 파손과 라벨 불량여부를 관측한 결과, 구간 유통 중 상차되어 있던 제품에서는 진동의 영향에 의한 불량 현상은 없었다.

Kim 등⁹⁾은 차량 적재함의 앞, 중간 및 뒷부분에 부착한 가속도계에서 계측된 가속도는 고속도로의 경우 부착위치에 관계없이 유사한 값을 보이거나 콘크리트 도로와 비포장도로의 경우에 뒷부분이 상대적으로 매우 큰 가속도 값을 나타내며, 따라서 PSD 프로파일은 차량 적재함의 뒷부분에서 계측된 가속도를 기준으로 하는 것이 타당하다고 보고하였다. 예상과 같이 본 유통 시험 결과 분석에 의하면 트럭의 뒷부분의 진동 특성으로부터 분석한 PSD 곡선을 기반으로 유리병 제품에 대한 실험실 진동시험 규격을 설정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

2. 진동 시뮬레이션 시험

수송중 발생하는 진동에 따라 맥주, 주스 등의 유리병 제품에 발생하는 불량으로는 진동 충격에 의한 제품의 일부 또는 전체의 파손, 표면 마찰에 의한 라벨의 인쇄불량 발생 등이 대표적이라 할 수 있다. Table 4는 국내 주요 고속도로의 실 주행 기록 상태를 나타낸 것으로, 국내 고속도로 주행 구간에 따른 차체의 상하 진동과 전후 진동은 약 2배 이상의 차이가 있음이 연구된바 있다¹¹⁾. 이는 유통 중 상하 진동이 좌우 진동의 약 2배의 진동레벨이며, 광주-왜관 구

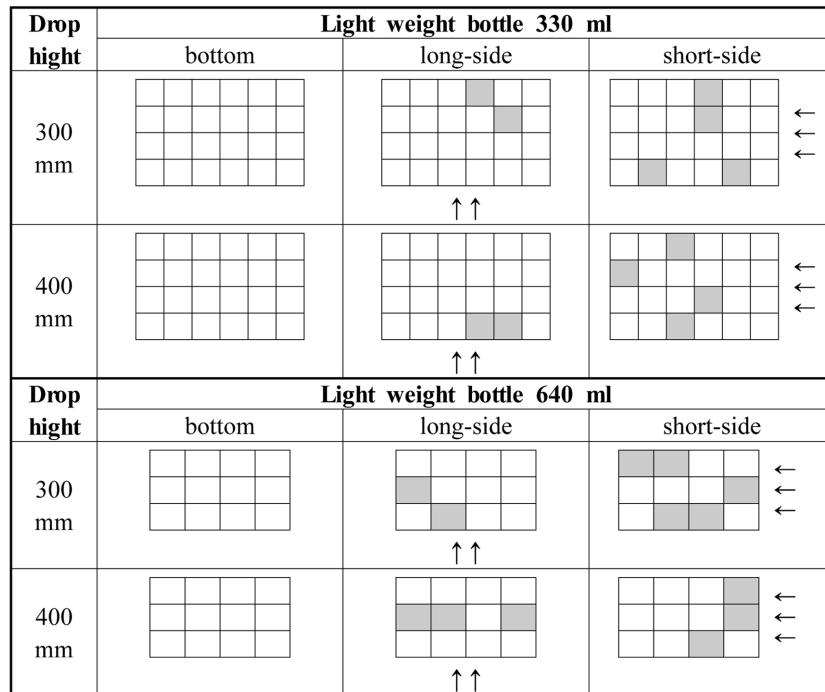
간별 상하 진동(0.17 G_{rms})과 ASTM 레벨 (0.52 G_{rms}) 간에 약 3배의 진동레벨 차이가 있음을 감안하면 좌우 진동은 6배 이상의 가속조건으로 실험이 진행되었다. 이러한 진동 시험 조건에서 하에서 유리병간의 진동 충격에 의한 파손은 없었다. 단지 상표 라벨의 인쇄 부위가 간지와의 마찰에 의한 일부 미세한 마모를 보였으며 병마개 위의 표면이 박스와의 마찰에 의해 일부 벗겨지는 손상이 관측되었으나 상품성에는 큰 영향이 없는 정도인 것으로 사료되었다.

3. 박스 낙하 시험

KS A 1011포장화물의 낙하 시험 방법에 따라 박스의 각면의 낙하 높이에 따른 파손여부 측정 결과를 Fig. 3에

Table 5. ASTM and PSD profile analysis on truck transit from Kwangju to Waegouan (Unit : Grms²/Hz)

Frequency (Hz)	ASTM PSD profile	Kwangju-Waegouan Transport PSD Analysis (Vertical vibration)		
		Front	Middle	Rear
1	0.00005	0.0002	0.00013	0.03
4	0.01	0.0005	0.0018	0.05
16	0.01	0.00012	0.00024	0.00025
40	0.001	0.00005	0.00009	0.0002
80	0.001	0.00012	0.0001	0.0001
200	0.00001	0.00006	0.00006	0.00004
Total Grms	0.52	0.11	0.12	0.17



* Arrow indicates the direction of drop impact.
* Breakage occurred at shadowed area.

Fig. 3. The effects of drop impact direction and height on the breakage of glass bottles.

나타내었다. 일반적으로 낙하에 의한 유리병 제품의 파손은 골판지 상자의 강도 및 구조 그리고 제품 간의 간격 등 다양한 요소에 의해 결정된다. 본 실험에 사용된 유리병은 기존 유리병 자체의 무게를 50 g 줄인 경량화된 유리병을 사용하였다. 시험에 이용된 낙하 높이와 제품 용량의 종류에 관계없이 바닥면으로 낙하된 유리병의 경우 파손은 관측되지 않았다. 단측면 낙하 시 가장 큰 유리병 파손율을 보였으며, 장측면에 비해 약 2배 높은 유리병 파손율을 나타내었다. 또한 640 ml 유리병의 낙하 충격 파손율이 320 ml 유리병에 비해 높았다. 낙하 높이에 따른 파손율의 차이는 없었으나 낙하 높이의 영향을 측정하기 위해서는 추가적인 실험이 필요할 것으로 사료된다.

요 약

음료와 맥주 제품의 경우 신선도를 유지하기 목적으로 다양한 종류의 유리병이 국내에서 생산되거나 수입되어 유통되고 있다. 실제 트럭으로 국내 운송되는 맥주 유리병 제품의 유통환경에서 진동 특성을 분석하고 이를 바탕으로 트럭 불규칙 진동 특성인 $0.52 G_{rms}$ 을 진동시험 규격으로 적용하여 예측실험을 실시하였으며, 결론적으로 유리병의 자체의 파손은 관측되지 않았다. 트럭의 적재함 위치별 상하 진동 수준에 있어서는 뒷부분에 위치한 가속도계에서 가장 큰 진동 특성($0.17 G_{rms}$)이 나타났으며, 앞 부분($0.11 G_{rms}$)과 중간 부분($0.12 G_{rms}$)은 큰 차이를 보이지 않았다. 낙하 높이와 제품 용량의 종류에 관계없이 바닥면으로 낙하된 유리병의 경우 파손은 관측되지 않았다. 단측면 낙하 시 가장 큰 유리병 파손율을 보였으며, 장측면에 비해 약 2배 높은 유리병 파손율을 나타내었다.

참고문헌

1. 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 Technology and Science*. 18: 179-188.
2. Korea Society of Packaging Science & Technology. 2003. *Encyclopedia of packaging technology*. pp. 1312.
3. ASTM D 4728-2006. Standard test method for random vibration testing of shipping containers.
4. KS T ISO 2247:2008. Packaging-complete, filled transport packages and unit loads-Vibration tests at fixed low frequency.
5. KS T ISO 8318:2008. Packaging-complete, filled transport packages and unit loads-Sinusoidal vibration tests using a variable frequency.
6. KS T ISO 13355:2004. Packaging-complete, filled transport packages and unit loads-Vertical random vibration test.
7. Park, I. 2006. Measurements and analysis of truck transport vibration characteristics on the Gyungbu and 88 Highway. *J. Krea Soc. Packag. Sci. & Tech.* 12(1): 21-25.
8. Kim, G.S., Jung, H.M., Kim, K.B. and Kim, M.S. 2008. Vibration measurement and analysis during fruits distribution for optimum packaging design. *J. of Biosystems Eng.* 33(1): 38-44.
9. Kim, M.S., Jung, H.M., Seo, R., Park, I.K. and Hwang, S.Y. 2001. Estimation of Allowable Drop Height for Oriental Pears By Impact Tests. *J. of Biosystems Eng.* 26(5): 461-468.
10. KS T 1304:2001. Method of drop test for packaged freights.
11. Park, I.S. 2006. Development of watermelon packaging container by analysis of impact characteristics during transport and handling. Ph.D. Dissertation, Daegu University, Korea.