



진동시험기에 의한 포장화물 튀어 오름 재현

Simulating Bounce of Packaging Using Vibration Testing Machine

飯田 恭 平/ 아이치산업과학기술종합센터 환경재료실

1. 서론

수송용 차량이 노면의 단차를 넘을 때에 포장 화물이 튀어 오르고, 그때 제품이 파손하는 경우가 있다. 지금까지 실제 차량을 이용해 포장화물의 튀어 오름을 재현하는 연구나 진동시험에서 공시품의 고정 유무의 영향을 조사하는 연구 등이 이뤄져 왔다. 그러나 실내 시험에서 수송 중에 발생하는 포장화물의 큰 튀어 오름을 재현하는 방법에 관해서는 지금까지 보고가 이뤄지지 않았다. 그래서 이번 연구에서는 수레를 이용한 튀어 오름의 발생 시험을 하고, 그때에 포장화물에 발생한 가속도 파형을 진동시험기로 재현하는 방법에 관해 검토했다.

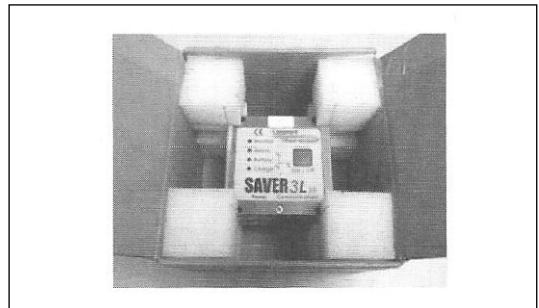
1. 실험방법

1-1. 실험용 곤포상자의 제작

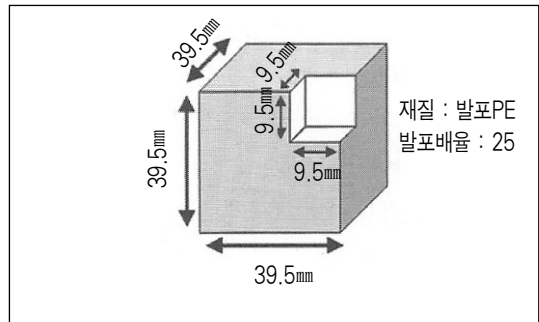
수송환경 레코더(Lansmont사의 SAVER 3L-30)를 완충재와 외장용 골판지상자를 이용해 곤포한 실험용 곤포상자를 제작했다. 실험용 곤포

상자의 외관은 [사진 1]에 나타났다. 완충재는 [그림 1]의 형상 및 재질로 했다. 외장용 골판지

[사진 2] 실험용 곤포상자의 외관

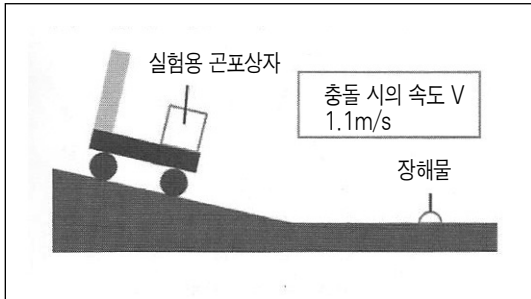


[그림 1] 완충재의 외관

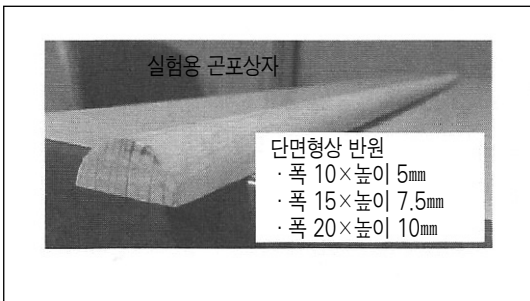




[그림 2] 수레를 이용한 튀어 오름 발생 시험



[그림 3] 장애물의 형상 및 크기



상자는 원지 구성이 LB170/MC120/LB170의 A골 양면골판지, 상자의 내측 치수는 140×138×105mm로 했다.

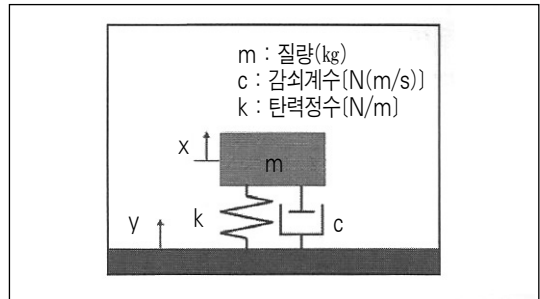
1-2. 수송환경 레코더의 측정조건

수송환경 레코더에 20m/s²을 초과하는 가속도가 발생했을 때 전후 128ms의 가속도 파형을 기록했다. 샘플링 수는 512, 샘플링 주기는 0.5ms로 했다.

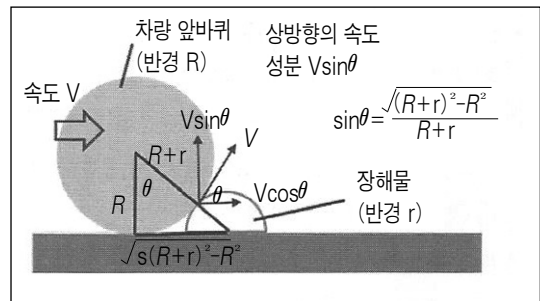
1-3. 수레를 이용한 튀어 오름 발생시험

튀어 오름 발생시험은 수레(질량 12.5kg, 수레 앞바퀴 반경 50mm, 앞바퀴와 뒷바퀴의 거리 500mm)를 이용해 시행했다. [그림 2]에 나타낸 것처럼

[그림 4] 1 자유도 감쇠 진동모델



[그림 5] 수레 앞바퀴의 충돌 시 속도성분



럼 실험용 곤포상자를 탑재한 수레를 경사면에서 힘을 가하지 않고 움직이고, 수레 앞바퀴를 경사면 아래의 장애물에 충돌시켜 실험용 곤포상자를 튀어 오르게 했다. 수레 앞바퀴가 장애물에 충돌할 때의 속도는 1.1m/s로 했다. 장애물의 형상 및 치수를 [그림 3]에 나타냈다. 실험용 곤포상자의 탑재 위치는 수레의 좌우 앞바퀴의 중앙으로 하고, 곤포상자는 수레에 고정하지 않았다. 장애물의 치수는 3종류로 하고, 각 5회 측정했다.

1-4. 튀어 오름 재현시험에서 이용한 가속도 파형

진동시험기를 이용해 튀어 오름을 재현하기 위해 진동대에 발생시킨 가속도 파형 $a(t)$ 를 피크 가속도 b , 충격작용시간 T 의 정현반파로 했다.

$$a(t) = b \sin \frac{\pi}{T} t \quad (0 \leq t \leq T) \dots \dots \dots \text{식①}$$

충격작용시간 T는 [그림 4]의 1 자유도 감쇠 진동모델을 고려해 모델에 충격이 발생했을 때의 진동주기 P의 절반으로 했다. t=0으로 역적(力積) I의 충격이 발생했을 때의 운동방정식은 다음과 같다.

$$y = I \delta(t) \quad \delta(t) = \begin{cases} \infty & (t=0) \\ 0 & (t \neq 0) \end{cases}$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = y$$

이 식을 x에 관해 풀어 충격작용시간 T를 구하면, 다음과 같다.

$$T = \frac{2\pi m}{4mk - c^2} \sqrt{4mk - c^2}$$

가 된다. 이어서 피크가속도 b를 구한다. [그림 5]에 수레 앞바퀴가 장애물에 충돌했을 때의 수레 상방향 속도성분을 나타냈다. 초기 속도가 0인 경우, 가속도를 적분하면 속도를 얻을 수 있기 때문에 피크가속도 b를 구했다.

b, T를 식①에 대입한 정현반파의 가속도 파형을 이용해 튀어 오름의 재현시험을 했다.

$$\int_0^T a(t) dt = V \sin \theta$$

$$b = \frac{\pi}{2T} V \sin \theta$$

1-5. 진동시험기에 의한 튀어 오름 재현시험

튀어 오름 재현시험은 진동시험기 A(IMV주식회사의 i230/SA 2M)를 이용해 시행했다. 시험은 실험용 곤포상자를 진동대에 고정시키지 않고 탑재해 진동대에 식①의 정현반파의 가속도 파형을 발생시켜 실험용 곤포상자를 튀어 오르게 했다. 그때에 발생한 가속도 파형을 측정했다. 시험은 5회 시행했다.

2. 실험결과 및 고찰

2-1. 수레의 탄력정수 및 감쇠계수의 측정

수레를 진동시험기 B(에미크주식회사의 F-22000BD/LA26AP)의 진동대에 고정시키지 않고 탑재해 정현파 균일 귀인진동시험을 했다. 진동시험의 조건은 진동수 범위 5~100Hz, 피크가속도 2m/s², 귀인속도 0.212Hz/s, 진동시간 7.5분, 진동방향은 수직으로 했다. 진동해석장치(고우소쿠전자주식회사의 KA-4108)를 이용해 진동대와 수레의 좌우 앞바퀴의 중앙부 가속도를 측정하고, 피크가속도의 가속도비를 구했다. [그림 6]에 진동수와 가속도비의 관계를 나타냈다.

[그림 6]에서부터 수레의 탄력정수와 감쇠계수를 구하기 위해 수레를 [그림 4]의 모델로 가정한다. 수레가 진동대로부터 강제진동을 받은 때의 운동방정식은

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\dot{y} + ky$$

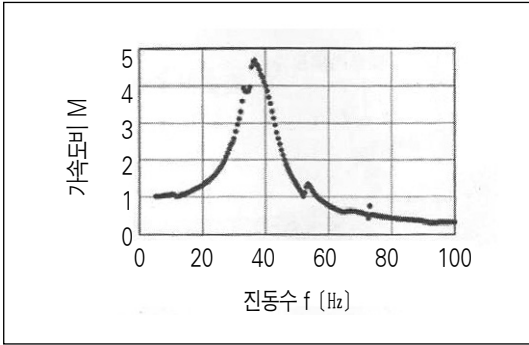
$$y = Y \sin 2\pi ft$$

Y : 피크가속도(m/s²)
f : 진동수(Hz)

가 되고, 이 식을 x, y의 피크가속도의 가속도비에 관해 풀면 다음과 같다.



[그림 6] 진동수-가속도비의 관계



$$M = \frac{\sqrt{1 + \left(2\pi \frac{c}{k} f\right)^2}}{\sqrt{\left\{1 - \left(2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} f\right)^2\right\}^2 + \left(2\pi \frac{c}{k} f\right)^2}}$$

최소 2승법을 이용해 위의 식으로 측정된 가속도비가 근사할 때의 탄력정수와 감쇠계수를 구하고, 탄력정수 $7.05 \times 10^5 \text{N/m}$, 감쇠계수 $6.53 \times 10^{-2} \text{N/(m/s)}$ 을 얻었다.

2-2. 튀어 오름 발생시험과 재현시험 비교

장해물 치수가 폭 20×높이 10mm일 때의 수레를 이용한 튀어 오름 발생시험에서 실험용 곤포상자에 발생한 가속도 파형을 [그림 7]에 나타냈다.

128ms 부근의 피크가속도에 주목하면, 수치가 불규칙해 보였다. 이것은 시험 관찰에서부터 튀어 오름 후에 실험용 곤포상자가 수레에 충돌할 때의 기울기에 차이가 있기 때문이라고 생각된다. 포장화물은 충돌 면에 대해 2° 기울어 낙하하면 발생하는 피크가속도가 10% 낮아지게 되는 것을 알고 있다.

즉, 포장화물에 대한 부하가 가장 크게 되는 것은 튀어 오름 후의 포장화물의 기울기가 작을 때라고 생각된다. 튀어 오름 재현시험에서는 피크가속도의 불규칙이 작고, 튀어 오름 후의 실험용 곤포상자의 기울기도 눈으로 확인할 수 없었다.

피크가속도가 가장 큰 실험5는 기울기가 작다고 생각해 튀어 오름 발생시험과 재현시험을 비교했다.

그 결과를 [그림 8]에 나타냈다. 튀어 오름 발생시험보다 식①을 이용한 재현시험 쪽은 피크가속도가 33% 낮은 값이 되고, 튀어 오름 재현이 불충분했다.

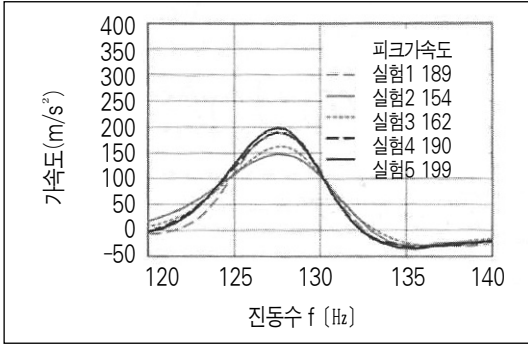
시험 관찰에서부터 실험용 곤포상자의 튀어 오름의 시작은 수레 앞바퀴가 장해물에 올라간 순간이고, 튀어 오름의 끝은 수레 앞바퀴가 장해물을 넘은 후라는 것을 알 수 있었다. 그래서 식①을 장해물이 가진 위치에너지를 더한 형으로 변형하면 다음과 같다.

식②를 이용한 재현시험의 결과도 [그림 8]에

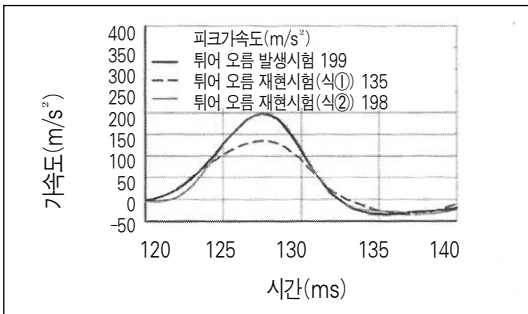
[표 1] 장해물의 치수별 측정결과

구분	피크가속도 (m/s ²)					
	폭 10×높이 5		폭 15×높이 7.5		폭 20×높이 10	
	최대값	평균값	최대값	평균값	최대값	평균값
튀어 오름 발생시험	128	120	168	155	199	179
튀어 오름 재현시험	139	138	167	166	198	194

[그림 7] 튀어 오름 발생시험의 가속도 파형



[그림 8] 발생시험과 재현시험의 가속도 파형



$$a(t) = b' \sin \frac{\pi}{T} t (0 \leq t \leq T) \dots \dots \dots \text{식} \textcircled{2}$$

$$b' = \frac{\pi}{2T} \sqrt{(V \sin \theta)^2 + 2gr}$$

$$T = \frac{2\pi m}{4mk - c^2} \sqrt{4mk - c^2}$$

같이 나타냈다. 실험용 곤포상자에 발생하는 피크가속도의 차이가 1% 이하가 되며, 튀어 오름을 재현하는 것이 가능했다.

[그림 3]에 기재한 3가지 크기의 장애물에서의 결과를 [표 1]에 나타냈다.

피크가속도의 최대값을 비교하면 차이가 10%

이하가 되고, 진동시험기로 포장화물의 튀어 오름을 재현할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

3. 마치며

수레의 물성, 장애물의 형상, 충돌 시의 속도를 상정해 제안한 진동시험기에 의한 튀어 오름 재현시험 방법이 수레를 이용한 튀어 오름 발생시험을 재현하는 것을 알 수 있었다. 진동시험기에 의해 수송용 차량이 큰 단차를 넘었을 때의 포장화물의 튀어 오름을 재현할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 앞으로는 실제 수송용 차량에서도 같은 결과를 얻을 수 있는지 어떤지의 검증이나 포장화물의 기울기의 영향도 고려해 보다 현실에 가까운 튀어 오름 재현에 관해 검토할 것이다. ☐

독자결럼모집

월간 포장계는 독자여러분들의 의견을 수용하기 위해 다양한 의견의 독자컬럼을 모집합니다.

어떠한 의견이라도 좋습니다.

포장인의 독설을 펼칠 지면을 할애하니 많은 참여 기다립니다.

필자는 밝히지 않겠습니다.

월간 포장계 편집실
TEL : (02)2026-8655~9
E-mail : kopac@chollian.net