포장강좌

완충포장의 기초이론(9)

이명훈/한국포장시스템연구소 소장 · 한국포장학회 총무이사

목 차

7. 유통과정에서의 충격 제품의 파손특성 및 완충설계
7.0 유통과정에서의 기계적 충격
7.1 파손 영역 곡선(The Damage Boundary Curue)

7. 유통과정에서의 충격, 제품의 파손특성 및 완충설계

7.0 유통과정에서의 기계적 충격

지난호에서 제품 파손과 관련된 두 인자를 다음과 같이 정의를 내린 바 있다.

$$Gm = \sqrt{\frac{2K_2h}{W_2}} \qquad (6.15)$$

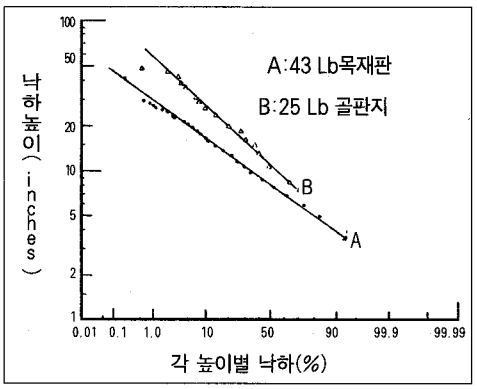
$$\tau = \sqrt{\frac{K_2 g}{W_2}} \qquad (6.24)$$

제품의 최대가속도 Gm은 낙하높이(h), 제품중량(W_2), 완충재와 포장용기 및 제품의 완충특성등과 밀접한 관계가 있다. 충격지속시간은 제품중량과 완충특성에 따라 변한다. 유통중 충격에 관한 제요소를 규명하기 위해서는 포장제품과 완충특성과 낙하높이등을 알아야 한다.

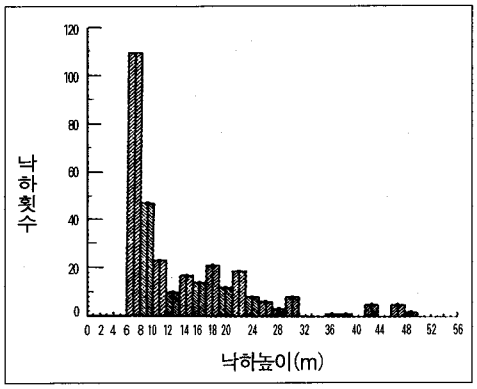
모든 제품의 유통과정은 제각기 다른 특성을 가지고 있는 만큼 정확한 낙하높이와 충격의 정도등을 알기가 쉽지 않다. 포장제품의 부피가 커지거나 무게가 무거워질수록 대개 낙하높이는 낮아진다 제품이 다루기가 까다로울수록 높이 올려 놓지 않기 때문에 낙하높이가 높지 않다. 그림 7.1, 7.2, 7.3 은 부분적으로 이러한 시험결과를 나타내었다.

25lb무게의 포장제품은 43lb무게의 포장제품보다 낙하높이가 5인치에서 90인치까지 높아졌다. 하지만 그림 7.3을 보면 경량의 포장제품이 비교적 낮은 낙하높이에서 여러번 낙하될 가능성이 많다고는 하지만 무거운 제품도 비교적 높은 낙하높이에서 낙하될수 있다는것을 보

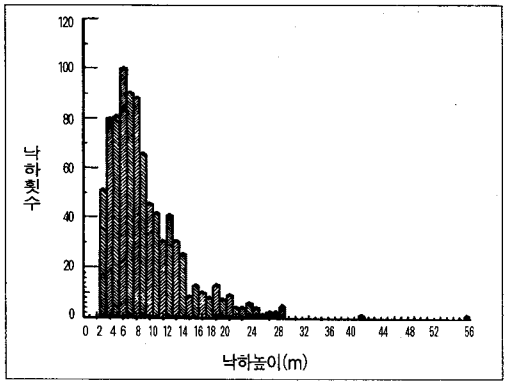
〔그림7.1〕 낙하높이 대 발생가능성



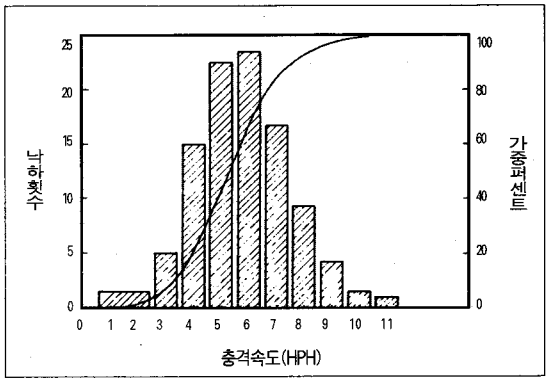
〔그림 7.2〕 25 1b포장제품의 낙하높이 대 낙하횟수



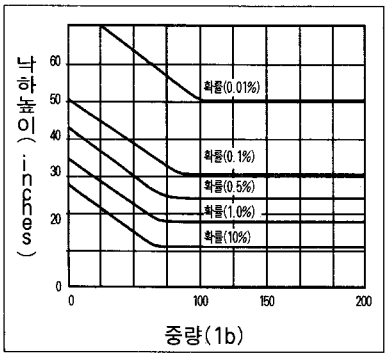
〔그림7.3〕 43 1b포장제품의 낙하높이 대 낙하횟수



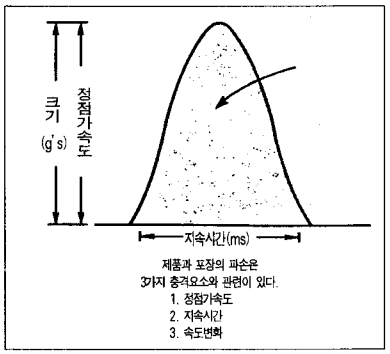
〔그림7.4〕 화차 연결시 충격속도 분포



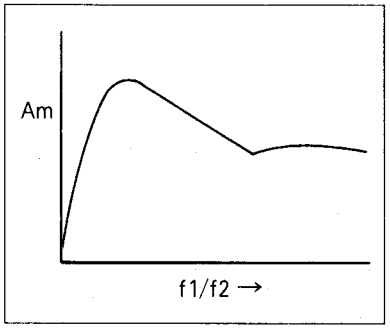
〔그림7.5〕 취급시의 충격가능곡선



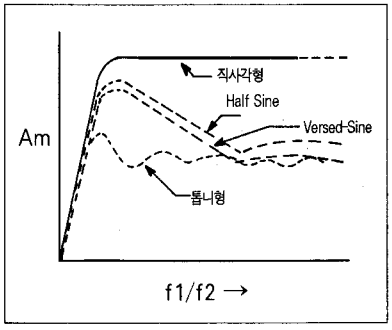
〔그림7.6〕 충격 Pulse



〔그림7.7〕 Half sine 충격펄스에 대한 증폭



〔그림7.8〕 여러가지 충격펄스 형태에 대한 증폭곡선



여준다.

그림7.4는 화차가 연결될때의 수평 충격에 관한 것을 나타내었다. 여기에서 수평 충격 속도는 적어도 2mile/hour 이상이어야만 화차연결시의 충격을 제대로 분석할 수 있을 것이다. 하지만 11mile/hour이상의 속도는 비정상적이다.

그림7.5는 포장제품의 중량과 높이에 따른 낙하가능성을 함수관계로 표현한 것이다.

하지만 특정한 유통시스템에서는 각기 경우가 다르므로 제한적인 효용성을 가지고 있다.

7.1 파손 영역 곡선(The Damage Boundary Curue)

표7.1은 일반적으로 알려진 제품의 파손 특성에 대한 것이다.

지난호에서 충격증폭(shock Amplification)에 대해서 논했던 것처럼 제품내의 민감요소에 전해지는 충격은 충격 pulse 지속시간과 민감요소의 자연주파수에 따라 달라진다. 따라서 제품 파손은 제품에 가해지는 최대충격과 충격지속시간에 가장 많은 영향을 받는다. 실제로 제품의 파손특성은 최대 충격진폭(Gm), pulse지속시간(τ),속도변화($\triangle$V)의 3가지 요소중 2가지에 의해 결정된다.

속도변화는 충격pulse 그래프를 지속시간과 가속도를 변수로 하여 그려볼때 생기는 면적과 같은 수치이다.

그림7.6의 half sine pulse그래프에서 속도 변화는 다음과 같이 정의된다.

$$\triangle V = \frac{2}{\pi} (\text{정점가속도, in/sec}^2) \quad (\text{지속시간, sec})$$

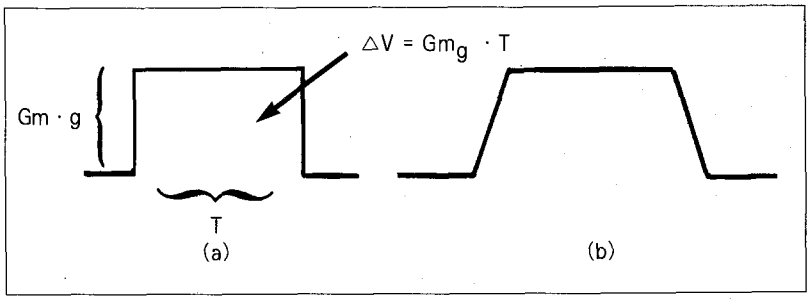
$$\triangle V = \frac{2}{\pi} Gm\ g,\ \tau \qquad (7.1)$$

여기에서 $\frac{2}{\pi}$ 는 half sine pulse의 면적에 대한 "형상인자(shape

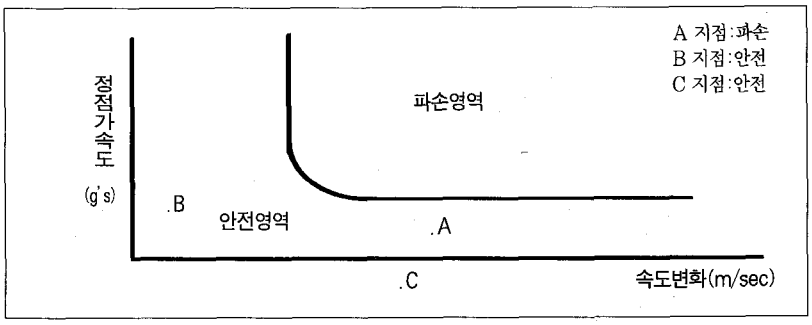
〈표1〉 전형적인 포장제품의 파손 특성

분 류	주 요 제 품	가속도 영역(g)
극히 파손되기 쉬움	미사일 유도 체계, 고정밀도 실험기기	15~25
매우 민감함	충격 방지가 필요한 기계, 전자제품	25~40
민 감 함	항공기 부품, 전기 타자기, 금전등록기, 각종 전기용품	40~60
비교적 민감함	TV 수상기, 항공기 부품	60~85
비교적 덜 민감함	세탁 장비, 냉장고, 기타 제품	85~115
관계가 별로 없음	기계류	115 이상

〔그림7.9〕 직사각형과 마름모꼴 충격펄스



〔그림7.10〕 파손영역곡선



factor)"이다.

만약 충격 pulse의 형상을 안다면 그다음은 3가지 요소(Gm, τ, △V) 중 2가지만 알면된다.

그림 7.7은 half sine shock pulse에 대해서 증폭계수 Am의 수치를 도식화한 것이므로 그림7.8은 증폭계수가 다른 pulse 곡선과 관련되어 있음을 보여준다. 이 그림을 분석하여 보면 직사각형 형태의 pulse가 가장 큰 충격 증폭계수를 보이고 있다.

만약에 직사각형 pulse가 일어날 가능성이 있다면 그림 7.9(a)에서와 같이 Gm, τ, △V 사이의 관계를 이용하여 "최악의 경우"에 대한 충격시험과정을 거치도록 하여야 한다. 하지만 기계적으로 이러한 충격 pulse를 만들어 내기는 어렵기 때문에 그림 7.9(b)와 같이 직사각형과 유사한 마름모 꼴의 pulse형태를 만들어 이용할 수 있다. 이 마름모 꼴 pulse의 유사성에 근거를 두고 공식 7.1의 상관관계를 이용하여 파손영역곡선(Damage Boundary Curve)을 작성할 수 있다.

이것을 작성하면 충격의 크기와 지속시간을 고려하여 2차원의 파손영역이 그려지는데, 그림7.10에 실예를 들수있다.

파손 영역 곡선은 y축을 정점 충격 가속도로 하고 x축을 속도변화총량으로 하여 도식한다.

A지점은 정점가속도와 속도변화량이 모두 파손을 일으키는 영역에 속해 있어 이 범주에들면 제품이 파손되는 결과를 가져온다. B지점은 비록 정점가속도는 상당히 크지만 속도 변화량이 상대적으로 적어 충격 펄스 지속시간이 매우 짧다. 따라서 이 범주에 들면 제품이 짧은 시간동안 반응하지 않으므로 파손되지 않는다. C지점은 충격지속시간은 길지만 가속도가 제품에 파손을 일으킬 만큼 크지 못하다.

어떤 제품에 대하여 파손 영역곡선을 도식해보면 여러형태의 충격시 이 제품이 손상을 입을지 여부를 미리 알아 볼 수 있을 것이다.