



제품충격강도평기에 의한 완충포장설계

Protective Packaging Design with Shock Fragility Test

川口和晃 / 신에이테스트머시너리(주) 사업개발부

1. 서론

적정한 완충포장설계란 필요최소한의 완충재료 사용량으로 물류과정에서 부적합이 없고, 제품을 안전하게 보호하는 설계로, 이것에는 실제 수송을 상정한 완충설계가 요구된다.

이것은 JIS Z 0200 부속서 JA에 기재되고, 이것에 의하면 적절한 보호성을 가진 완충설계는 물류에서 발생하는 외력의 크기와 유통하는 제품의 충격강도를 고려할 필요가 있다는 것을 알 수 있다.

구체적으로는 유통 중에 발생하는 진동·충격 사상을 계측하고, 포장실험조건(낙하실험, 진동 실험)을 확립해 나가면서 유통하는 각 제품의 충격한계값을 완충강도실험에서 확인한 다음에 포장시험조건과 제품충격한계값의 정보를 바탕으로 다수의 최대가속도-정적응력선도에서부터 적절한 완충재료의 두께와 수압면적을 산출하고, 완충재 형상 설계 후에 최종평가실험이 실시되고 있다(그림 1).

그래서 제품의 완충한계값의 파악은 중요하며,

불명확한 경우에는 적절한 완충포장설계의 실현은 어렵다.

여기에서는 이들 제품충격강도에 관한 시험방법의 해설과 함께 제품충격강도의 차이가 포장화물에 미치는 영향에 관해 소개한다.

1. 제품충격강도실험

여기에서의 충격강도시험방법은 JIS Z 0119 「포장 및 제품설계를 위한 제품충격강도시험방법」에 규정되고 있으며, 두 가지 시험이 필요하다.

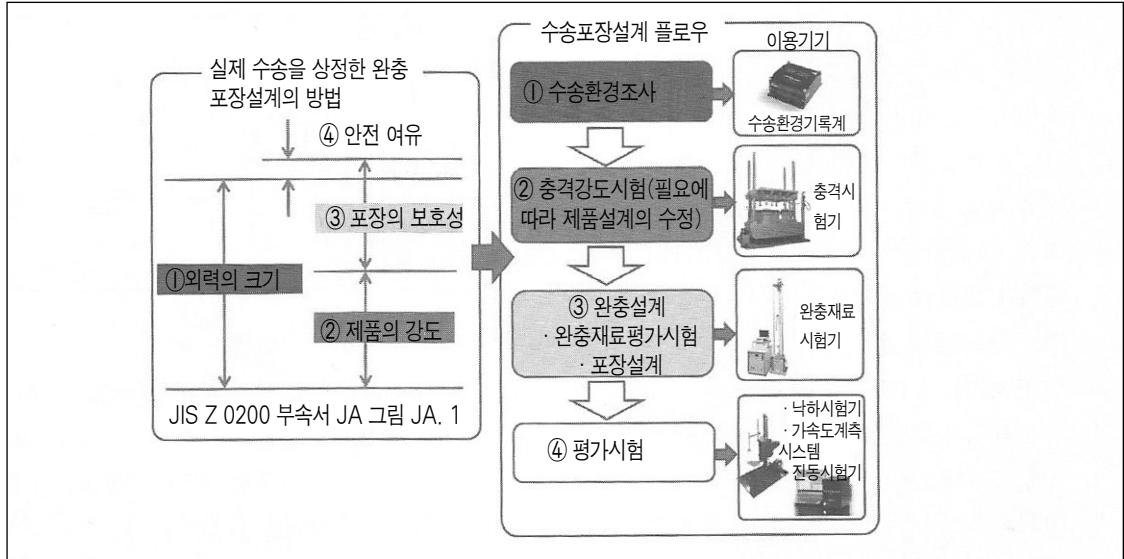
먼저 허용속도변화시험으로써 충격시험장치((사진 1))를 사용하고, 작용시간이 짧은 정현반파 펄스(일반적으로는 작용시간 3ms 이하)를 이용해 제품이 파손하기까지 단계적으로 충격펄스의 속도변화(충격펄스의 면적, 낙하높이에 비례)를 증가시킨다.

여기에서 파손 전의 속도변화를 허용속도변화라고 한다.

이어서 같은 시험장치를 이용해 허용속도변화



[그림 1] 완충포장설계의 흐름



의 약 1.6배 이상의 속도변화의 태형과 펄스를 발생시키고, 제품이 파손하기까지 단계적으로 피크가속도를 증가시킨다.

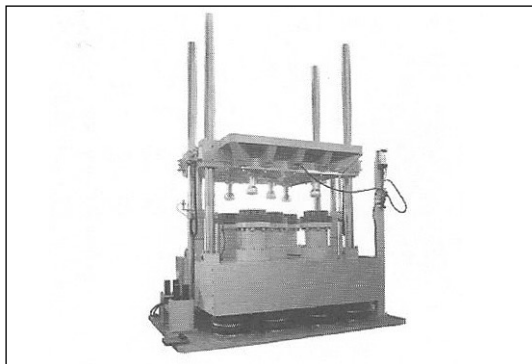
파손의 하나 전 태형과 펄스의 피크가속도가 허용가속도가 된다.

마지막으로 허용속도변화와 허용가속도를 직

선으로 연결해 제품손상한계곡선을 얻을 수 있다 ((그림 2)). 이것은 L자의 내측에 존재하는 것처럼 피크가속도와 속도변화 조합의 충격펄스가 제품에 발생한 경우, 제품이 손상하는 것을 나타내고 있다.

L자의 우측 안전영역은, 제품의 기계손상은 속도변화(=낙하높이)에 의존하는 것을 의미하고, 발생가속도의 피크값이 아무리 높아도 속도변화가 작은(=낙하높이가 낮다) 충격펄스에서는, 제품을 손상시키기에 충분한 가속도가 제품 내부에 전달하지 않기 때문이다. 따라서 허용속도변화부터는 제품이 자유낙하한 경우에 어느 높이까지 견딜 수 있는지가 다음 식으로 이해할 수 있다.

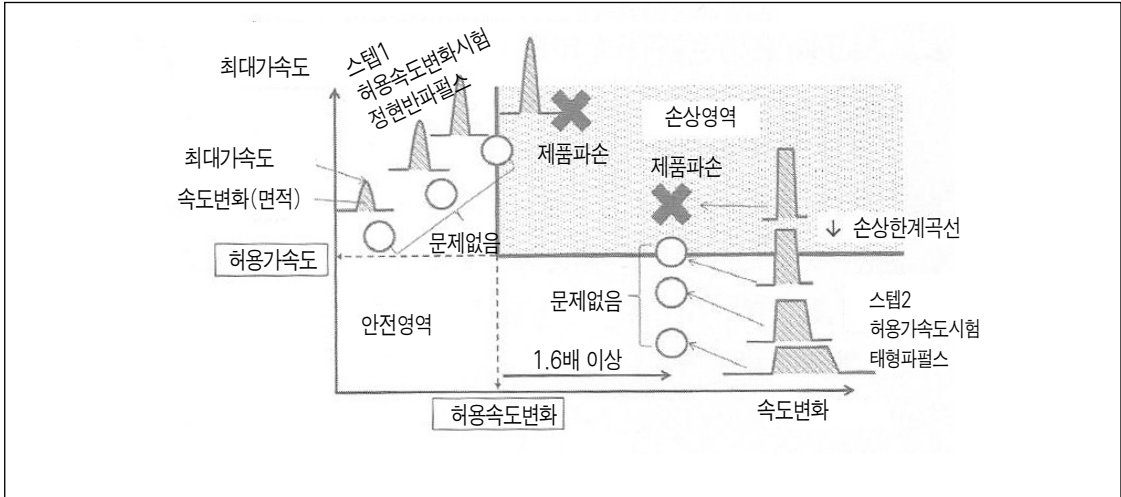
[사진 1] 바닥부 높이



$$H_{\Delta v} = \frac{1}{2g} \left(\frac{\Delta V}{1+e} \right)^2$$



[그림 2] JIS Z 0119에 근거한 시험과 손상한계곡선



[표 1] 완충설계조건

제품정보	질량	5kg
	사이즈	W40×D30×H20(cm), 돌기 없음
	허용가속도	40G
시험조건	포장화물시험의 시험높이	60cm
	설계조건	(σ_{max} , C) = (2, 3)
완충재료	포장재 비용	0.1엔/cm ³
	최종형상	코너패드형

$H_{\Delta V}$ 는 제품의 한계낙하높이, ΔV 는 허용속도 변화, g 는 중력가속도, e 는 반발계수이다.

이것에서부터 포장화물낙하시험의 시험낙하높이 H_{test} 와 $H_{\Delta V}$ 를 비교해 $H_{test} \geq H_{\Delta V}$ 일 때 만 완충재를 사용한 포장설계를 해봤다. 허용가

속도는 이 조건 하에서 완충설계를 하는 경우의 지표가 된다.

같은 내용은 JIS Z 0119의 부속서에도 게재되고 있다.

이들 완충강도시험에 관한 연구개발동향으로 호리구치팀에 의한 충격강도시험의 고도화 노력이나 기타자와팀에 의한 청과물을 위한 손상한계 시험이론이 제안되고 있다.

2. 제품충격강도평가와 완충포장설계

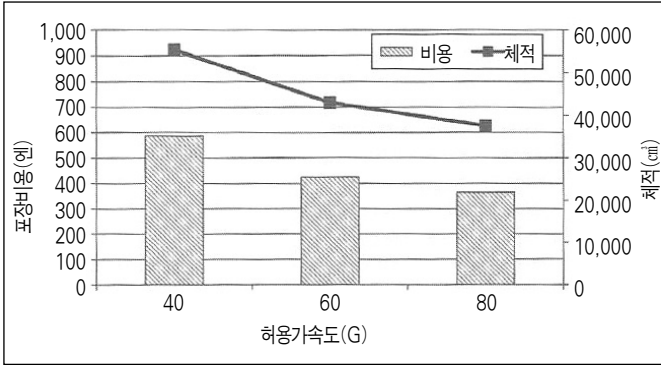
제품 완충강도의 차이가 포장재 비용과 포장화물 체적에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위해 여기에서는 완충포장설계에서 완충재 조건 도출방법 및 포장재료 비용과 화물 체적의 산출방법에 관해 설명한 다음 제품의 허용가속도 차이가 이것들에 미치는 영향을 정량화한다.

[표 2] 완충포장설계조건 및 비용/포장체적

완충재 두께	4.5cm
수압면적	100cm ²
포장재 비용	586엔
포장화물 체적	55,419cm ³



[그림 3] 허용가속도별 포장비용과 화물체적



2-1. 완충설계, 포장재 비용 및포장화물 체적계산

일반적인 완충설계에서는 설계조건(포장화물 낙하시험의 시험높이, 제품질량, 허용가속도, 완충재특성데이터(쿠션커브, 완충계수곡선))에서 부터 도출된 완충재의 두께와 면적의 조건을 요구하고, 그러한 것들을 바탕으로 다양한 완충재료의 형상 설계가 이루어진다.

이러한 가운데 설계조건을 [표 1]과 같이 한 경우의 완충재료 두께와 면적의 도출 및 포장재 비용과 포장화물 체적의 산출 예를 다음에 나타냈다. 또한 여기에서는 설계상의 안전율이나 전단의 영향은 고려하지 않는다.

제품이 완충재로 보호된 상태로, 어느 높이에서부터 자유낙하하는 것을 생각했다. 이때 제품에 발생하는 완충가속도 G, 완충재 두께 T, 낙하높이 H와 완충계수 C에는 다음의 관계가 성립한다. 이것에 의해 허용가속도 이하로 하기 위해 필요한 완충재의 두께 T가 얻어진다.

$$T = \frac{CH}{G}$$

이어서 필요수압면적 A는 위 식에서 이용된 완충계수 C지점의 최대응력($\sigma_{max} = WG/A$)에서부터 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$A = \frac{WGC}{\sigma_{max}}$$

여기에서 W는 제품중량(kgf), GC는 허용가속도(G), σ_{max} (kgf/cm²)는 완충계수 C지점의 최대응력이다.

상기로부터 완충재 두께 T와 면적 A를 결정한다.

최종형상은 코너패드형(전 방향에서 허용가속도가 같도록 가정. 제품과의 접촉면은 정사각형으로 한다), 완충재료의 비용을 0.1엔/cm²으로 가정하면, 1상자당 완충재료 총비용 Cp는 다음 식으로 얻을 수 있다.

X는 코너패드 접촉면의 1변이다.

$$C_p = \{(X+T^2)-X^2\} \times 8 \times 0.1$$

포장화물의 체적 V는 완충재의 필요두께 T와 제품사이즈(폭 W×깊이 D×높이 H)에서부터 다음과 같이 계산할 수 있다.

상기에 관해 [표 1]의 조건에 맞춘 계산결과를 [표 2]에 나타냈다.

$$V = (W+2T)(D+2T)(H+2T)$$

2-2. 충격강도별 포장재 비용 및 체적 시뮬레이션

여기에서는 제품의 허용가속도의 설정 차가 포장 비용과 포장화물체적에 미치는 영향을 생각해 본다.

구체적으로는 제품의 허용가속도를 40G(예컨대 충격강도시험을 하지 않고, 유사품의 수치를 유용한 값. 현상의 포장설계 기준으로 한다), 60G(예컨대 실제로 충격강도시험으로 확인된 수치), 80G(예컨대 충격강도시험을 실시한 다음에 제품 설계값으로 파손부위를 개량했을 때의 수치)의 3가지 조건에서 2.1과 같은 수순으로 포장비용과 체적을 구한 결과를 [그림 3]에 나타냈다.

이것으로부터 허용가속도를 40G에서 60G로 변경할 수 있으면, 현상의 설계에 비해 약 160엔/상자의 포장재 비용 절감과 포장화물 체적은 20% 다운사이징(down sizing)된다.

이는 현재 포장설계가 과잉포장이라는 것을 뜻한다.

더욱이 충격강도시험에서의 손상정보를 바탕으로 제품을 재설계(개량)해 허용가속도를 80G로 할 수 있으면 현상보다 약 220엔/상자의 비용 절감, 체적은 30% 늘려 소형화될 수 있다.

또한 여기에서는 유사품에서부터 유용한 허용가속도가 실제 허용가속도보다 작다고 가정했지만, 현실적으로는 유용값이 실제 허용가속도보다 큰 경우도 생각할 수 있다.

이 경우, 포장재 비용은 증가하는 경향이 되지만, 시장에서의 손상 클레임수가 감소될 수 있다.


이처럼 제품의 허용가속도 설정은 완충포장설계 결과에 크게 좌우받기 때문에 충격강도시험에

의한 허용가속도의 명확화와 제품설계에 대한 피드백은 포장설계에 있어서 매우 중요한 항목이라 할 수 있다.

3. 마치며

충격강도시험으로 제품 각각의 허용가속도를 실험적으로 확인하는 것은 적절한 포장설계를 실현한 다음에 중요한 반면, 일부 기업 외에서는 실시되지 않는 것으로 보인다.

그 이유로서는 동 실험의 인지도나 이해도가 다른 실험에 비해 낮고, 실시할 수 있는 시험장치가 보급되지 않았기 때문이다.

신에이테스트머시너리는 시험기 제조사로서 앞으로 조금이라도 많은 포장설계자가 이 시험을 이해하고, 쉽게 활용할 수 있는 환경을 만들기 위해 노력할 계획이다. 

기술원고를 모집합니다.

**포장과 관련된 신기술을
발표할 업체와 개인은
'월간 포장계' 편집실로
연락주시기 바랍니다.**

편집실 : (02)2026-8655~9

E-mail : kopac@chollian.net