

수송시험데이터와 시험규격

Transportation Test Data and Test Specifications.

長谷川 淳 英 / 株式會社 日立物流

1. 머리말

포장설계를 할 때 어느 정도의 포장을 하는 것이 적절한가가 최대의 포인트이다.

[그림 1]은 포장에 가해지는 외력의 수준과 제품의 강도 수준 및 포장의 보호능력 수준의 관계를 개념으로서 나타낸 것이다. 적절한 포장의 보호능력 수준은 수송 중에 화물취급 등에 의해 포장이 받는 외력의 크기 수준과, 제품의 강도 수준의 차보다도 아주 약간만 큰 것이 이상적이다.

이 아주 약간의 차가 안전 여유이다. 안전 여유가 적절한 포장을 적정포장이라 하며, 안전 여유가 너무 큰 포장을 과잉포장이라 한다.

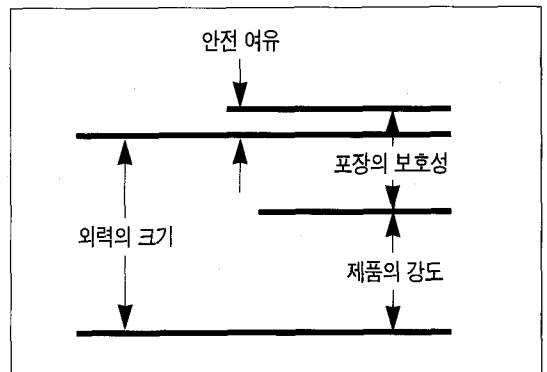
거꾸로 안전 여유가 마이너스인 포장은 결함 포장이다.

적절한 포장설계를 하기 위해서는, 이 외력의 크기와 제품의 강도를 정확하게 파악해 둘 필요가 있다. 포장이 물류과정에서 조우하는 외력의 종류를 대별하면, 화물 취급 중 낙하에 의한 충격과, 수송기관의 적재함 진동 및 보관중의 적재하중 등 3종류이다.

이들 외력의 크기를 파악하기 위해, 각사는 수송시험을 행하고, 화물 취급중의 낙하충격의 상황이나, 수송 중 적재함의 진동을 조사해, 시험규격의 수정을 행하고 있다.

이 방법을 취하면 자사가 이용하고 있는 수송기관, 수송루트의 실제 데이터를 파악하는 것이 가능하기 때문에, 실체를 정확히 반영한 시험규격으로 하는 것이 가능하지만, 많은 경비와 수고가 든다. 시험규격은 자사에서 측정하고 결정하는 방법이 유일한 방법은 아니며, JIS를 채용하는 것도 하나의 방법이다.

[그림 1] 제품강도와 보호성





2. 수송시험의 목적

수송시험(물류환경조사)을 하는 목적은, ①개 발된 포장의 수송환경에 적합인가 아닌가를 확인하려고 할 경우와 ②시험규격을 작성하기 위한 데이터수집을 하려고 하는 경우의 2가지가 있다.

①의 경우는 시험품을 실제로 수송해 포장의 수송환경에 견딜 수 있는 스펙인가 아닌가를 검증하면 작업은 완료되기 때문에 특별한 검토는 필요하지 않지만, ②의 시험규격 작성을 위한 데이터수집을 하는 경우, 시험루트의 선정, 시험품의 사양, 데이터의 채취법, 데이터의 해석 등 충분히 검토해 대처하지 않으면 안되는 항목이 많이 있다.

일반적으로 수송환경조사를 할 경우 조사대상이 되는 항목으로서는, 화물취급에 의한 낙하충격이나 포장품 끼리의 충돌 등 충격형 외력과 수송기관의 적재함 진동에 대표되는 진동형 외력, 보관중의 적재하중과 같은 정적 외력 및 환경의 온습도가 있다.

이 중 문제가 되는 것이 많은 것은, 화물취급 등에 의한 충격적 외력과 수송기관의 적재함 진동이다.

수송 중에 발생하는 제품 이상의 상당한 부분은 화물취급시의 낙하충격에 의해 발생하고 있으며, 화물취급에 의한 충격발생상황을 파악하는 것이, 수송시험의 최대 목적이 되는 경우가 많다.

또 수송기관의 적재함 진동은 모든 제품에 가지지기 때문에, 적절한 포장설계가 되지 않으면,

대상제품 전부에 이상이 발생할 수도 있다. 따라서 이 데이터 파악을 위한 수송시험도 자주 행해지고 있다.

이 2종류의 외력은 물리적 특성이 크게 다르기 때문에, 계측기기, 측정수법, 해석법, 규격화의 방법 등 모두가 다르며, 1회의 시험으로 양측을 동시에 계측하는 것은 불가능하다.

본고에서는 이 2종류의 외력에 관해서 시험방법, 계측장치, 해석방법 등에 관해 문제점을 어느 정도 정리하고 싶다고 생각한다.

3. 화물취급에 따른 충격계측을 위한 수송시험

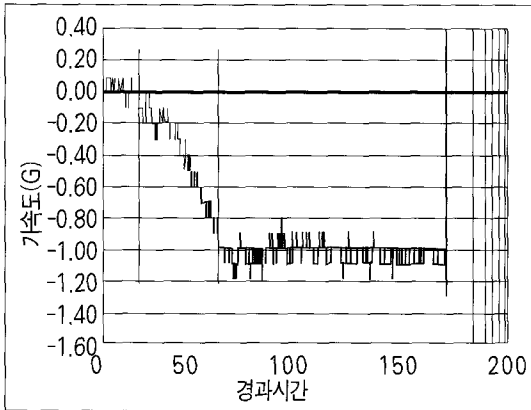
시험실에서 화물취급 중 충격을 재현할 때, 낙하시험을 실시하는 것이 보통이다. 최근에는 충격시험장치를 이용하는 방법이 JIS화되어, 일부 기업에서는 채용된 예도 있지만, 아직 실시 예는 적다.

따라서 수송중의 충격적 외력은 낙하 높이로써 파악할 필요가 있다. 그러나 화물취급 중 포장품에 가하는 충격적 외력을 가속도로써 잡는 것은 간단하지만, 직접 낙하 높이에서 파악하는 것은 상당히 곤란하다.

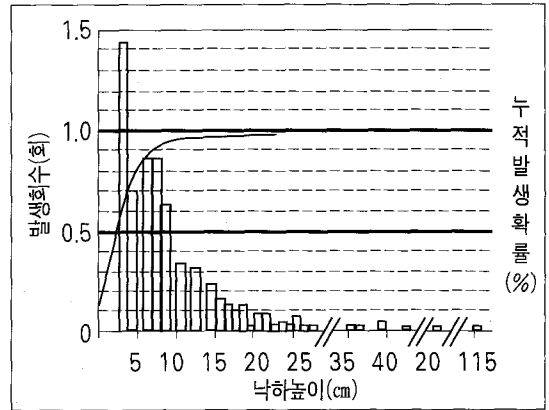
실제의 낙하 높이를 직접 계측하는 것은, 원리적으로는 어렵지 않다.

포장품이 낙하할 때, 손을 놓는 순간부터 접지할 때까지의 사이, 자유낙하상태에 두는 것이 되며, 그 사이의 합성가속도는 -1G가 된다. 따라서 충격가속도는 발생하기 직전의 가속도가 -1G인 시간 폭을 계측해, 이것을 낙하높이로 환

(그림 2) 낙하중의 가속도 변화



(그림 3) 포장품의 낙하높이와 누적발생확률



산하면, 낙하높이가 구해지게 된다.

실제로 이 원리를 응용한 「Drop Hight Recorder」라는 장치도 시판되었던 적이 있으며, 수송환경 측정기기의 일부에서는, 해석소프트웨어에 이 기능을 부가하고 있는 것도 있다.

그러나 실제로 포장화물의 낙하자세가 상하방향을 유지할 수 없는 것, 낙하중 회전 등의 영향으로 -1G의 데이터가 안정되지 않는 것, 가속도 센서와 앰프특성의 응답 특성 문제로, 시작 포인트의 검출이 어려운 것 등, 여러 가지 기술적인 문제가 있으며, 낙하높이를 직접 파악하는 것은 어렵다는 것이 실상이다.

(그림 2)는 필자가 실측해 낙하중의 가속도 변화를 나타낸 것이지만, 약 10cm 높이에서 낙하시켰을 경우, -1G가 되기까지 낙하계속시간의 약 1/4의 시간이 걸리고 있다.

이것은 안정화시간을 비교적 명확하게 얻을 수 있는 예이지만, 실제의 데이터에서는 스타트 점을 측정할 수 없는 경우가 많다.

실제의 수송시험에서는, 시험품에 충격계측장

치를 설치, 실제품의 수송루트를 실송해 데이터를 채취한다. 시험품은 실제의 제품이 아니고, 포장품으로서의 외관형상과 重心위치가 같게 되도록 구성된 전용 dummy를 이용해야 할 것이다.

실제품은 고유의 공진 특성을 가지고 있는 경우가 많고, 바른 데이터를 파악하는 것이 어렵기 때문이다. 충격기록계는 파형 데이터와 발생시각을 기록할 수 있는 것이 필요하다.

최근의 전자식 충격기록계는 대부분이 이 양쪽을 기록할 수 있기 때문에, 이것들을 이용하면 좋다. 얻은 데이터를 해석하고, 시험규격화를 하는 것이지만, 데이터해석의 방법에 의해서는 잘못된 규격을 작성하게 되는 경우가 있기 때문에 주의가 필요하다.

충격기록장치로 채취할 수 있는 데이터는 가속도이기 때문에, 가속도를 낙하 높이로 변환할 필요가 있다. 통상은 실험실에서 낙하 높이와 충격치의 관계를 조사하는 등 낙하시험을 하며, 이 데이터를 이용해 충격치를 낙하 높이로 환산하는 것이 행해지는 경우가 많다.



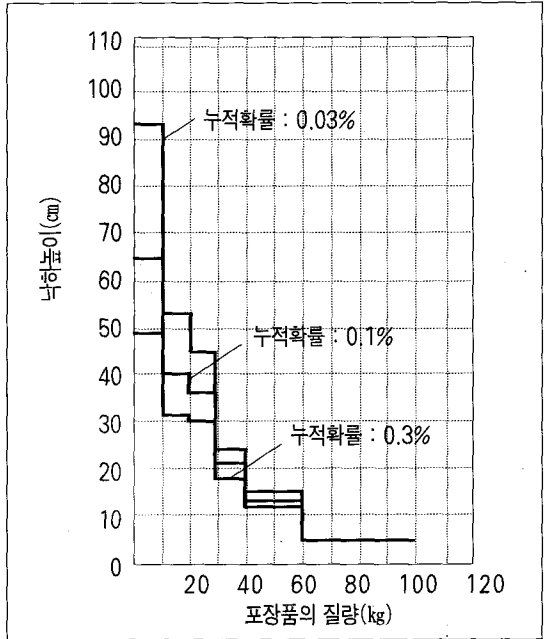
이 등가 낙하시험은 모서리의 각 방향에 관해서, 적절한 수 종류의 각도에 관해 실시해 두지 않으면, 낙하 높이와 낙하 방향의 정확한 파악이 불가능하다. 면낙하의 경우는 비교적 큰 충격치가 발생하여 낙하 방향과 낙하 높이를 용이하게 판정할 수 있지만, 모서리낙하나 각낙하의 경우는 충격시의 충격보다도 그 후 전도시 충격 쪽이 크게 되기 때문에 틀린 데이터 해석을 하는 경우가 많아 주의가 필요하다. 또 낙하 데이터의 해석을 할 때, 낙하 높이만이 아니고, 낙하 방향도 중요하다.

낙하 방향에 관해서는 3방향 가속도에서 합성 가속도의 벡터 방향을 낙하 방향으로 할 경우가 많지만, 시험품에 의해서는 벡터 방향과 낙하 방향이 틀린 방향을 나타내는 경우가 있다.

벡터 방향에서의 낙하 방향 추정은, 시험품에 전용 dummy를 이용했을 때 이외는 행하지 않는 편이 무난하다.

그러면 실제의 수송 중 화물취급수준은 어느 정도인가 하면, 전형적인 상황이 (그림 3)의 데이터로 나타낸 바와 같은 결과로, 대략 보면, 낙하 높이와 낙하의 발생 횟수와의 관계는 對數 정규분포에 가깝다. 특징적인 것은, 최대 낙하 높이는 시험마다 다른 값을 나타내고, 그 이상의 높이에서의 낙하는 발생하지 않는다는 한계는 존재하지 않는다는 것이다. 따라서, 포장품의 낙하시험규격을 정할 경우, 수송시험결과를 기초로 낙하 높이와 누적발생확률의 관계를 구해둠과 동시에, 미리 허용사고율(예를 들면 1,000대 중 1대라든가, 10,000대 중 3대 등의 수치)을 정한 후, 누적발생확률이 그 수치가 될 것이라고 생각

(그림 4) 포장중량과 낙하의 확률



되는 낙하 높이를 시험낙하 높이로 정하고 있다.

이를 위해서는 낙하시험결과와 누적발생 횟수의 관계를 그래프화해, 허용사고율시 낙하 높이를 시험낙하 높이로 하는 방법이 적절하다.

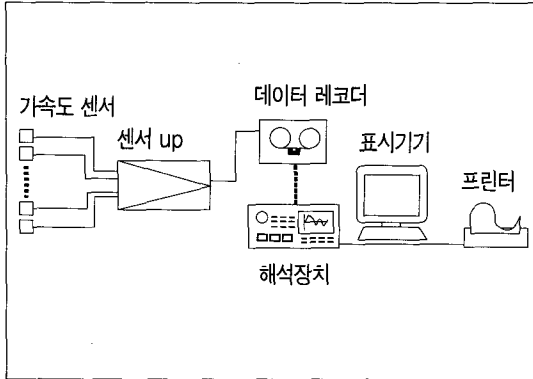
또 포장품의 중량에 의해 화물취급이 다르기 때문에, 중량별로 낙하 높이나 낙하 방향을 정하는 방법을 채택할 필요가 있다.

(그림 4)에 필자가 행한 수송시험으로 얻은 누적발생확률의 그래프를 나타냈다. 포장중량에 따라서 낙하 발생의 확률이 어떻게 변화하는가를 잘 알 수 있다.

4. 적재함 진동계측을 위한 수송시험

시험실에서 수송진동을 재현할 경우, 진동 파

〔그림 5〕 진동계측시스템



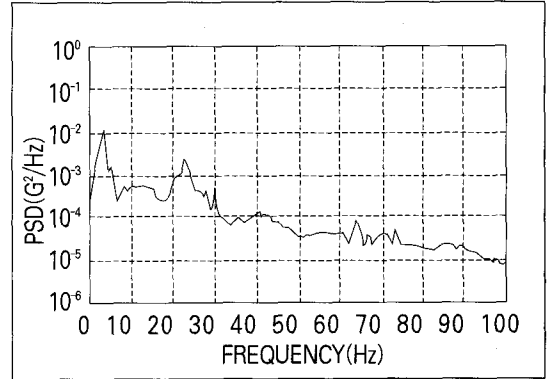
형 그것을 이용해 수송환경을 그대로의 수준으로 재현하는 것도 가능하지만, 실제로 시험시간 단축을 위해 진동데이터를 가공, 등가 조건으로 치환해 실시하는 것이 보통이다. 이때 필요한 항목은 加振방향마다의 진동 파형의 PSD 특성과 加振시간 뿐이다.

진동파형의 PSD 특성을 파악하기 위해서는 리얼타임PSD 해석장치를 이용하든지, 수송 중의 진동파형데이터를 기록해 두고, 가지고 와서 PSD 해석을 하든지 2가지의 방법을 생각할 수 있지만, 일반적으로는 진동파형을 기록해 두고 가지고 와서 해석을 하게 된다.

따라서, 진동계측시스템은 [그림 5]에 나타난 것처럼 구성을 하는 것이 일반적이다. 진동가속도의 측정에 이용되는 가속도센서로서는 변형계이지식 가속도센서, 압전식 가속도센서의 쌍방이 이용되고 있다.

종래는 압전식 가속도계가 이용되는 경우가 많았지만, 노이즈의 영향을 받기 쉽다는 점을 고려해 최근에는 변형계이지식 센서의 이용이 많아지고 있다. 기록장치로서는 종래는 아날로그

〔그림 6〕 트럭의 적재함 진동의 PSD



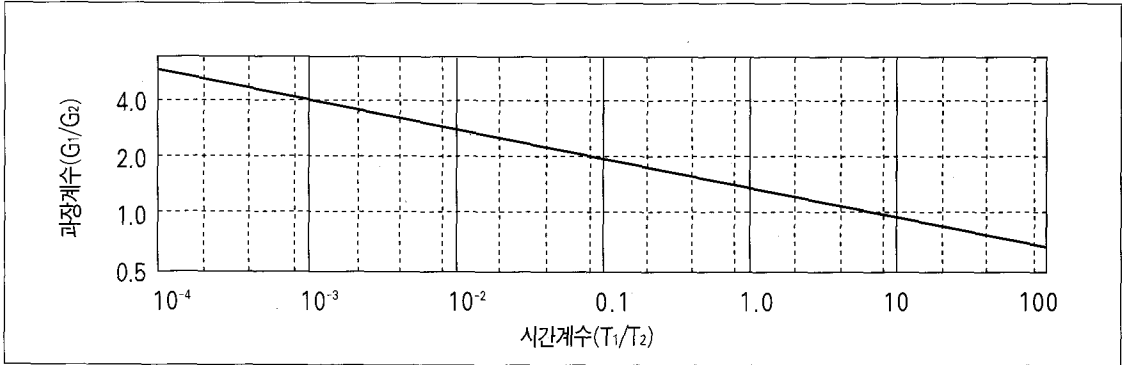
타입의 데이터레코더 밖에 없었지만, 최근 디지털식의 데이터레코더도 나타나고 있어, 컴퓨터를 이용해 처리되고 있다.

최근에는 해석장치도 전용해석장치가 아닌, 컴퓨터를 이용해 해석하는 경우가 증가하고 있다. 디지털식 충격기록계로 수송데이터를 해석하는 방법이 채용되는 경우가 있지만, 이 방법은 수송 중의 진동 최대 조건 파악에만 이용하는 것으로, 이 장치를 규격화하기 위한 진동데이터 측정에 이용하면 수송진동 중 레벨이 큰 것만을 베이스로 한 규격이 되어 버리기 때문에 과대레벨의 규격이 되며, 적절한 포장을 하는 것은 불가능하다. 진동데이터의 해석은, 동일하다고 간주할 수 있는 수송구간마다의 진동파형의 PSD 해석이 주이다. 이 외에 변위해석이나, 적재함의 진동모드 해석 등을 행하는 것이 있지만, 진동시험에는 이용되지 않는다.

[그림 6]은 필자가 실측한 수송 중 트럭적재함의 진동 파워 스펙트럼이지만, 포장설계를 위한 설계자가 필요로 하는 것은 수송환경을 대표하는 시험규격이다. 이 때문에 수송환경조사를



(그림 7) 시험과장곡선



해 얻은 데이터는, 시험규격의 형으로 고쳐져 실용화된다.

종래는 진동시험이라면 正弦波加振시험이 보통이었지만, 최근에는 랜덤가진시험이 일반화되고 있으며, JIS에서도 참고로서 랜덤가진시험의 스펙이 표시되고 있다. 측정된 진동파형을 PSD 특성으로 치환되기에는, 실수송 중에 생긴 각종 조건마다의 PSD를 중합시켜, 이들 전부의 包絡線을 구한 후, 적당한 수의 직선으로 대표시켜 이것을 잠정 PSD로 한다.

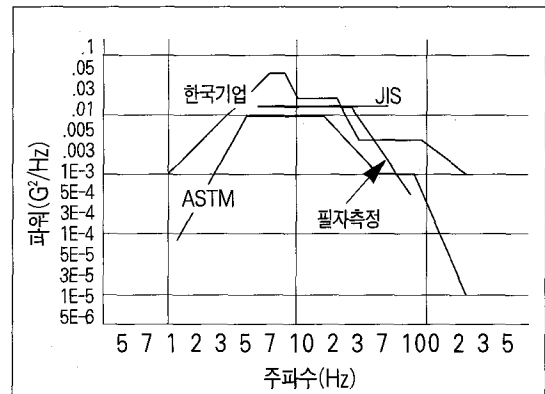
다음으로 이 잠정 PSD의 레벨을 변경해 실수송 중의 진동에 의한 포장품의 피로레벨과, 잠정 PSD에 의한 피로레벨이 일치하는 조건을 구한다. 이것에 안전 여유를 가한 것이 시험 PSD이다.

가진레벨과 시험시간의 관계는, (그림 7)에 나타낸 시험과장곡선에 의해 요구되는 것이 가능하다.

(그림 8)에 JIS, ASTM, 한국의 어느 기업 및 필자가 실측한 데이터에 기초해, 진동시험규격의 예를 나타내고 있었다.

규격에 의해 가진주파수범위, 가진레벨과도

(그림 8) 진동시험규격의 예



커다란 차가 있지만, 이것은 지역의 차나, 그 규격을 만든 기관이 대상으로 한 포장품 특성의 차, 규격 입안자의 생각의 차이 등이 반영된 것이 되기 때문이다.

진동시험 실시에 즈음해서는, 제품 1대로 실시할 것인가, 다단적재로 할 것인가, 상하수평 동시가진을 할 것인가 등 자사의 수송환경에 맞춰 검토를 행할 필요가 있으며, 시험규격제정을 위해서는 이들 조건을 더욱 더 상세하게 검토할 필요가 있다. ☐