



# 충격에 의한 골판지 상자의 강도 열화

## Shock caused Strength Degradation of Corrugated Fiberboard Containers

高田利夫 / 오사카부립산업기술종합연구소 정보전자부 신뢰성·생활과학계

### 1. 서론

골판지 박스는 물류 활동을 원활하게 하기 위해서 없어서는 안 될 포장용기로, 공업제품이나 농수산물 등의 수송에 폭넓게 사용되고 있다. 그리고 골판지 상자의 강도는 23℃50%RH의 온습도 환경에서 10mm/min의 압축속도로 압축 시험을 실시한 경우의 최대 하중으로 나타나고 있는데 여러 가지 원인에 의해 강도 열화를 일으킨다는 것을 알았다. 그 주요한 원인으로써 보관 중의 습도 상승, 적재하중에 의한 크립 및 적재방법 등을 들 수 있어 그러한 영향들에 대해서 연구하고 있다.

그런데 현저한 습도 상승을 수반하지 않는 수송 환경에 있어서 수송 전에 이상이 없던 파렛트 적재 포장화물이 물류 과정이 지난 후에 골판지 상자에 좌굴을 일으켜 내용품에 데미지가 생기는 현상이 확인되었다.

그 원인의 하나로, 트럭이나 포크리프트 등 수송 수단의 짐칸에 생기는 충격이나 진동에 의해 골판지박스의 강도가 열화 하는 것을 생각할 수

있다.

본 연구에서는 트럭이나 포크리프트 등의 수송 수단이 턱이 있는 곳을 통과할 경우 등 짐받이에 생기는 충격에 의해 골판지박스가 받는 강도 열화에 대해서 검토한 것을 보고한다.

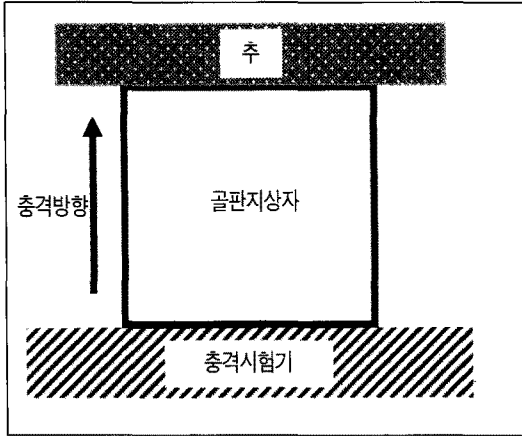
### 1. 실험방법

실험에 사용한 골판지 상자는 원지구성이 LB170/MC120/LB170, 단의 종류가 A단, 바깥 치수가 330×200×330mm(2l 페트병이 6병 들어 있는 정도), 형식이 JIS코드 번호 0201인 양면 골판지 상자로 23℃50%RH의 선조처를 24시간 이상 실행했다.

실험은 먼저 (그림 1)에 나타내는 대로, 충격 시험기(진연제진동시험기 G-5230NS형의 충격 파제어를 사용)의 위에 골판지상자를 놓아 그 위에 추(단면 : 400×250mm)를 올려서 그림의 방향에, 정현반파의 충격을 가했다.

또한, 적재한 추의 질량은 10~60kg이다. 또 설정한 충격파는 충격 가속도가 100~300m/s<sup>2</sup>

[그림 1] 충격시험의 개략



으로 작용 시간이 2~30ms의 정현반파이다.

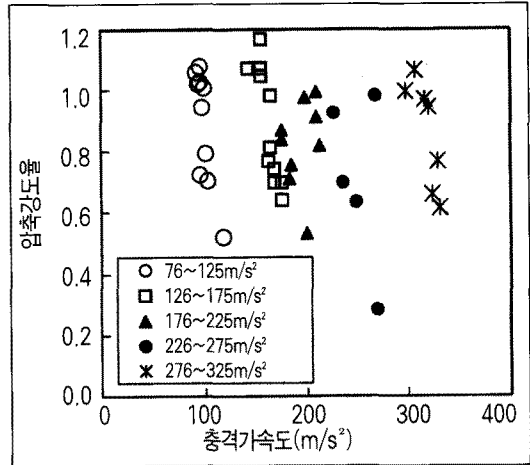
게다가 충격 시험 후에 바로 충격을 가한 골판지박스에 대해 압축시험기(시마즈 제작소제 오토그래프 AG-1 100kN)로 압축 강도를 측정했다.

단, 압축 시험은, 23℃50%RG의 온습도관리가 된 장소에서 실시되었는데 충격시험은 온습도관리가 되어있지 않은 장소에서 실시했기 때문에 충격의 유무에 의한 골판지상자의 강도 열화를 비교하기 위해서 충격시험기의 위에 골판지상자를 놓아 충격시험을 실시한 시간에 상당하는 시간(1분 15초 정도) 추를 올려놓은 골판지상자의 압축 강도도 측정해 비교 검토했다.

## 2. 결과와 고찰

충격을 가하지 않은 경우의 골판지상자의 압축 강도는 1.7~1.8kN으로 추가 무거울수록 압축 강도가 낮은 경향을 보였다. 충격에 의한 골판지상자의 강도 열화를 나타내는 것으로써, 압축 강

[그림 2] 충격가속도와 압축강도율과의 관계



도를 이하와 같이,

$$\text{압축강도율} = \frac{\text{충격을 가한 경우의 압축강도}}{\text{충격을 가하지 않았을 경우의 압축강도}}$$

라고 정의하면 압축강도율이 1.0보다 작은 값이 되면 골판지상자의 강도 열화가 일어난다고 생각되어 압축강도율이 작을수록 충격에 의한 데미지가 크다.

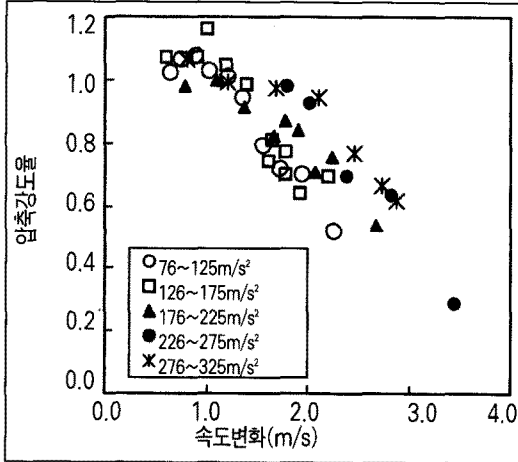
[그림 2]에 충격가속도와 압축강도율과의 관계를 나타낸다. 그림 중에서 압축강도율이 1.0을 넘는 것에 대해 오차가 아닌가 하고 생각할 수 있지만, 압축강도에 비교해서 경량의 적재 하중을 올려 1년 정도 실내에 방치한 시료의 압축강도를 측정하면 적재하중을 올리지 않았던 1년 전의 압축강도보다 높은 압축강도가 되는 경우가 있다.

이런 경우와 같이 골판지상자는 적량의 경화가 일어나면 압축강도가 증가할 가능성이 있기 때문에, 하중을 올려 작은 충격을 주는 경우 등에 대해서는 이후 검토해 갈 것이다.

[그림 2]의 범례에서는 예를 들면



[그림 3] 속도변화와 압축강도율(다른 충격가속도)



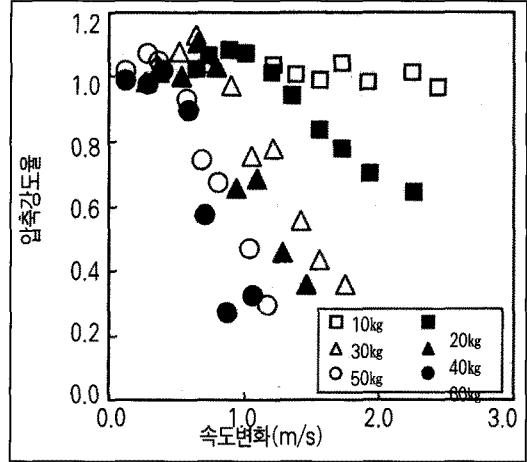
76~125m/s<sup>2</sup>과 같이 기술한 것에서는 설정한 충격가속도는 100m/s<sup>2</sup>의 것이 실제로는 76~125m/s<sup>2</sup>가 되어 있는 것을 나타낸다.

[그림 2]에 있어서 충격가속도가 76~125m/s<sup>2</sup>인 경우 압축가속도가 276~325m/s<sup>2</sup>(설정충격가속도 ; 300m/s<sup>2</sup>)인 경우도 압축강도율이 0.6~1.1 인 것과 같이 가속도 값이 작을 것이라도 충격의 데미지가 큰 것도 있고 가속도 값이 큰 것이라도 충격 데미지는 작은 것도 있으므로, 충격가속도 만으로는 충격 데미지를 평가할 수 없다는 것을 알았다.

거기에서 본 보고에서는 보다 충격력을 평가할 수 있는 물리량으로써 충격가속도와 작용 시간을 고려한 물리량인 속도변화(가속도를 작용시간으로 적분한 것)로 충격력을 평가한다.

[그림 3]에 추의 질량을 20kg으로 해 충격조건으로써 설정한 충격가속도가 100~300m/s<sup>2</sup>으로 작용시간이 4~28ms의 정현반파를 가한 충격시험을 실시해 그 후에 압축시험을 실시한 경우의 속도변화와 압축강도율과의 관계를 나타낸다.

[그림 4] 속도변화와 압축강도율(다른 추)



[그림 3]으로부터 속도변화와 압축강도율과의 사이에는 충격가속도와 압축강도율과의 관계보다는 관련성이 있다는 것을 알게 되었고 속도변화가 있는 값 이상이 되면 속도변화의 증가에 수반하는 압축강도율이 감소하고 있다. 또한, 충격가속도의 증가에 수반하는 압축강도율이 1.0미만이 되는 속도변화가 증가한다는 것을 알 수 있다. 한편, 속도변화가 동일한 경우에는, 충격가속도가 높아질수록 충격에 의한 데미지가 적다는 것을 알았다.

[그림 4]에 추의 질량을 10~60kg으로 해, 충격조건으로써 설정한 충격가속도가 100m/s<sup>2</sup>으로 작용시간이 2~30ms의 정현반파를 가한 충격시험을 실시해, 그 후에 압축시험을 실시한 경우의 속도변화와 압축강도율과의 관계를 나타낸다.

[그림 4]로부터 압축강도율이 1.0보다 작아져 시작하는 속도변화의 값(강도열화가 일어나기 시작하는 곳)은 질량이 10kg, 20kg, 30kg, 40kg, 50kg 및 60kg에서는 각각, 1.7m/s, 1.3m/s, 0.8m/s, 0.8m/s, 0.5m/s, 및 0.5m/s

와 같이 추의 질량이 무거울수록 작아지는 경향이 있다. 즉, 질량이 무거울수록 적은 속도변화에서 강도열화가 일어나기 시작한다.

여기에서 속도변화를 포장설계에 있어서 중요한 물리량인 낙하 높이로 치환해서 검토한다. 속도변화  $V(\text{m/s})$ 와 낙하 높이  $h(\text{cm})$ 의 관계<sup>1)</sup>는, 반발계수를  $e$  ( $0 \leq e \leq 1$ )로 하면,

$$h = 100 \times \left[ \frac{V}{1+e} \right]^2 / 2g \quad (1)$$

(단,  $g$ 는 중력가속도로,  $g=980\text{cm/s}^2$ )

으로 나타난다.

강도열화가 일어나기 시작하는 속도변화의 값은, 추의 질량이 10kg, 20kg, 30kg, 40kg, 50kg 및 60kg 에서는 각각, 1.7m/s, 1.3m/s, 0.8m/s, 0.8m/s, 0.5m/s, 및 0.5m/s이다. 반발계수  $e$ 는  $0 \leq e \leq 1$ 이므로, (1)식에  $V(\text{m/s})=1.7, 1.3, 0.8, 0.5$ mf 대입하면 각각  $h(\text{cm})=3.7 \sim 14.7, 2.2 \sim 8.6, 0.8 \sim 3.3, 0.3 \sim 1.3$  이 된다. 그런데현실적인 반발계수의 범위를  $0.25 \leq e \leq 0.75$ <sup>2)</sup>로 하면  $(V, h)=(1.7, 4.8 \sim 9.4), (1.3, 2.8 \sim 5.5), (0.8, 1.1 \sim 2.1), (0.5, 0.4 \sim 0.8)$  이 된다. 공시 골판지박스의 압축강도는 1.7~1.8kN이므로 30kg 및 60kg의 추는 압축강도의 1/6정도 및 1/3 정도의 하중이 적재되어 있는 것이 된다.

이상으로부터, 적재하중이 압축강도의 1/6정도 이상인 경우, 0.8m/s의 속도변화 즉 수cm의 낙하 높이에서 골판지박스의 강도열화가 일어나 압축강도가 1/3정도 이상인 경우, 0.5m/s의 속도변화 즉 1cm정도의 낙하 높이에서 골판지박스의 강도열화가 일어나기 시작한다. 수 cm의 낙하 높이에 상당하는 충격은 수송수단의 짐받이가 수송중의 턱 등을 통과할 경우에 생길 가능성이 있

는 충격으로 생각되므로 예를 들면 과일과 같은 내용물에 하중 부담이 기대되지 않는 골판지 상자에 대해서는 수송중의 충격에 대해서 고려할 필요가 있다.

더욱이 압축강도율이 1.0보다 작은 경우(충격에 의한 골판지상자의 강도열화가 시작되는 경우)에 대해서는 추가 20kg와 60kg의 경우를 비교해 보면 알 수 있듯이 추가 무거울수록 속도변화의 증가에 대한 압축강도율의 감소의 정도가 커진다는 것을 알았다. 이것으로부터 추의 질량이 무거울수록 작은 속도변화로 골판지상자의 강도열화가 현저하게 되어 열화의 정도도 커진다는 것을 알 수 있다.

## II. 결론

트럭이나 포크리프트 등의 수송수단의 짐받이에 있어서 충격에 의한 골판지상자의 압축강도가 어느 정도 열화 하는가에 대해서 검토한 결과 이하와 같은 것을 알 수 있었다.

① 압축강도가 1/3이상인 적재하중을 적재하면 0.5m/s의 속도변화 즉 1cm 정도의 낙하 높이에서 골판지상자의 강도열화가 일어나기 시작하고 압축강도가 1/6이상의 적재하중을 적재하면 0.8m/s의 속도변화 즉 수 cm의 낙하 높이에서 골판지상자의 강도열화가 일어나기 시작한다.

② 속도변화가 클수록 압축강도율이 저하하는 경향에 있는데 속도변화가 같을 경우에는 충격가 속도가 높을수록 충격에 의한 데미지가 적다.

③ 적재하중이 무거울수록 작은 속도변화로 골판지상자의 강도열화가 현저하게 되어 열화의 정도도 커진다.  $\square$