



낙하 충격 시뮬레이션 기술

Drop Shock Simulation Technology for Package Design

津田 高 治 / 후지제록(주) 제작기술센터

1. 서론

최근 제품개발 기간의 단축에 따라, 포장분야에 서도 설계기간의 단축이 요구되고 있다.

이를 위해 예전처럼 제품시험 제작기가 완성된 후에 낙하충격시험을 해왔던 것은 포장재료(포재)에 대한 완충성능 시험이 포장용기계작 과정에서 충분히 실시되는 것이 어려웠기 때문이다.

당사는 설계공정에서 가능한 한 빠른 시기에 포재의 완충성능 및 제품의 물류요건에 대한 강도를 검증하기 위해 시뮬레이션 기술을 도입하게 됐다.

당사는 완충재로 발포폴리스틸렌을 주로 사용하고 있다.

포장설계자는 이 발포폴리스틸렌을 사용한 완충설계에 있어 다음과 같은 사항들을 포함한 내용을 알고 싶어한다.

(1) 복잡한 제품형태가 되면 완충설계가 곤란, 이 경우에 발생하는 충격가속도치와 완충재의 변형량을 정확히 알고 싶다.

(2) 낙하시험에는 완충재에 부서진 조각이 발생하는데, 그 발생 상황을 사전에 파악하고 싶다.

(3) 제품의 시작품이 없으므로 정확한 제품강도가 불명하고, 섬세한 완충설계가 불가능하다.

이 요망에 대답하기에 발포폴리스틸렌으로 구성되어 있는 완충재의 낙하충격 시뮬레이션을 위한 요소법을 사용한 해석실을 실시했다. 이하의 내용은 그 사례에 대해 서술하고자 한다.

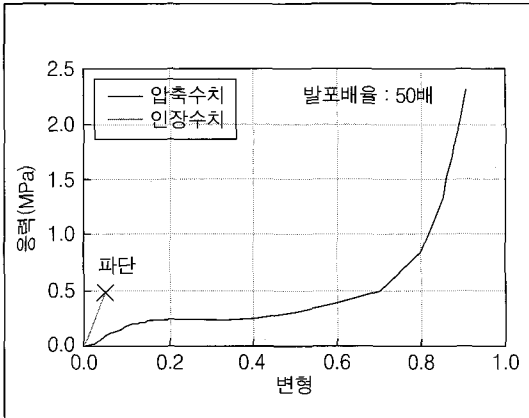
1. 발포폴리스틸렌 재료 특성

시뮬레이션에 실시에 있어 중요한 것의 하나로 사용하는 재료의 특성을 정확히 파악하는 것을 들 수 있다. 일반적인 발포폴리스틸렌의 공칭응력(公稱應力)-변형(비틀림)특성을 [그림 1]에 표시한다. 이 그림에서 알 수 있는 것처럼, 압축과 인장면에는 특성이 크게 다르다.

압축면의 특성은 비선형으로 90% 정도의 큰 변형(비틀림)까지 허용되고 있는 것에 비해 인장면에는 선형 특성을 표시하고 5% 정도의 변형(비틀



(그림 1) 발포폴리스틸렌 공칭 응력 변형곡선



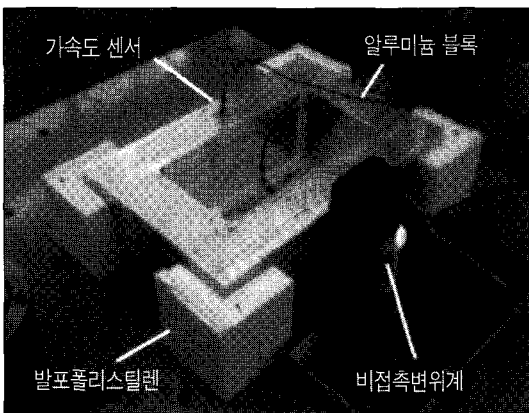
림)으로 파단(파괴)이 생긴다.

또 크게 압축하여도 압축직교방향의 면적은 증대하지 않으며 그리고 푸아송의 비가 거의 제로에 있다는 특성도 가지고 있다.

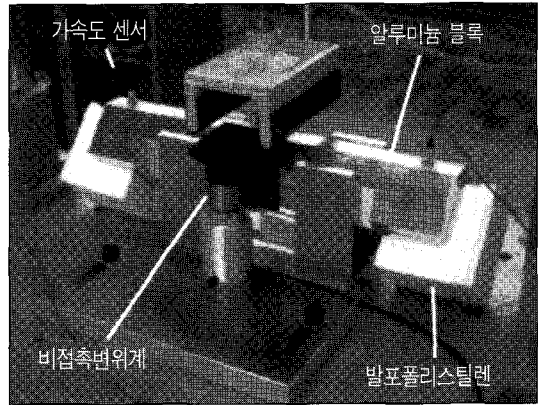
당사는 발포배율 20~80배의 발포폴리스틸렌을 사용하고 있어 이에 대해서 압축 및 인장의 재료 특성을 측정했다.

이 경우 압축 특성에 대해서는 변형(비틀림)속

(사진 1) 평면낙하용 테스트 피스



(사진 2) 모서리낙하용 테스트 피스



도에 의한 특성의 변화를 고려하고 낙하 충격시와 가까운 조건인 동특성(動特性) 측정을 했다.

2. 테스트 피스 현상 파악

실제 낙하충격시의 현상을 조사하기 위해 간단한 형태의 테스트피스를 사용한 낙하실험을 실시했다. 당사의 제품 낙하시험에는 평면낙하 및 각 모서리 방향의 낙하를 하기 위해 이것을 고려한 평면낙하용 테스트피스 [사진 1]와 모서리 낙하용 테스트피스 [사진 2] 등을 준비했다.

실험에는 등가 낙하시험기를 사용하고 가속도 센서를 이용해 알루미늄 블록에 발생하는 충격가속도를 비접촉 변위계를 사용, 발포폴리스틸렌의 변형에 따라 나타나는 알루미늄 블록의 상하 방향의 변위량을 각각 측정했다.

또 실험은 낙하높이에 의한 실험결과와 시뮬레이션 결과와의 상관관계를 조사하기 위해 낙하높이를 3수준으로 설정했다. 낙하높이 수치는 낙하충돌 속도차가 등간격이 되도록 [표 1]과 같이 설정했다.

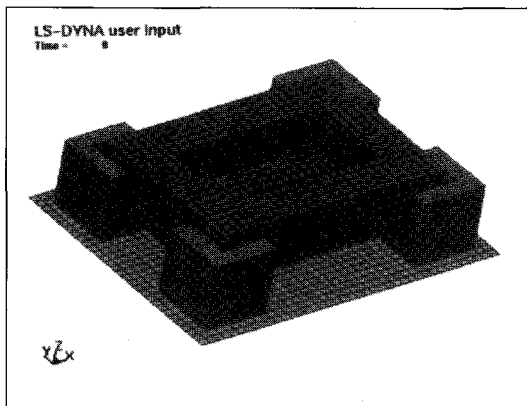
[표 1] 낙하높이(충격속도)

| 구 분 | 수준 1 | 수준 2 | 수준 3 |
|-------|------------------|------------------|------------------|
| 평면낙하 | 9cm (1.3m/s) | 36cm (2.6m/s) | 81cm (4.0m/s) |
| 모서리낙하 | 10cm (1.4m/s) | 19cm (1.9m/s) | 30cm (2.4m/s) |

[표 2] 메시 사이즈 영향

| 구 분 | 2mm | 5mm | 10mm |
|------|-------|------|------|
| 가속도치 | 1 | 1.15 | 1.40 |
| 계산시간 | 1,000 | 15 | 1 |

[그림 2] 메시 모델



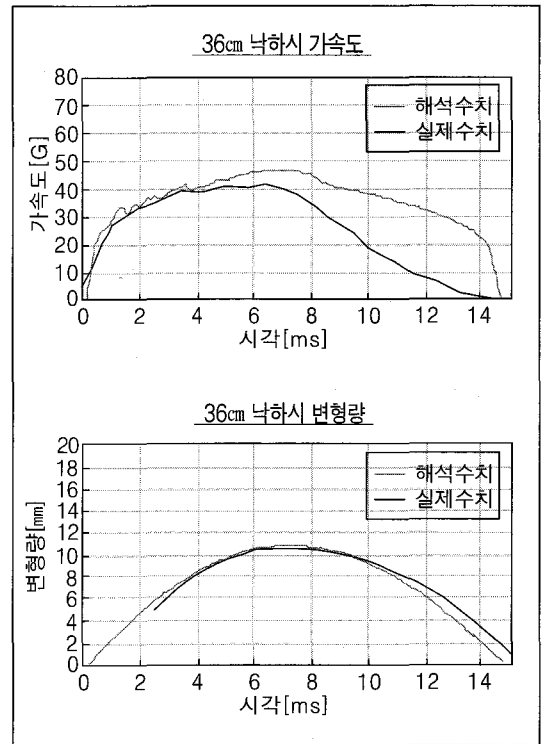
3. 시뮬레이션 실시

3-1. 시뮬레이션 모델 작성

다음으로 [그림 2]와 같은 메시(mesh)모델을 작성하고 구조해석 소프트웨어 'LS-DYNA'을 사용해 앞서 서술한 낙하실험 시뮬레이션을 실시했다.

모델화에 있어서는 전술한 바와 같이 발포폴리스틸렌 재료특성(재료밀도, 압축 축응력 비틀림 특성, 인장영률, 인장파단응력) 외에 마찰계수, 낙

[그림 3] 테스트 피스 평면 낙하 시각차 그래프



하충돌속도 등 시뮬레이션에 필요한 조건을 설정했다.

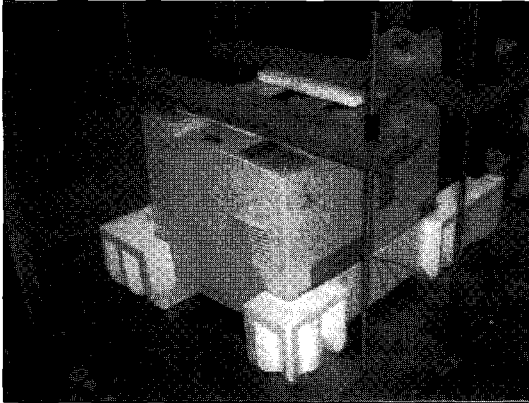
또 메시사이즈의 해석결과로의 영향을 검증하기 위해 메시사이즈를 3수준으로 바꿔서 해석했다. 결과는 [표 2]와 같다.

여기에서 해석결과인 가속도 최대치를 사용하고 메시사이즈 2mm 경우와의 차이를 조사했다. 또 가속도 수치는 메시사이즈 2mm의 것을 1, 계산시간은 메시사이즈 10mm의 것을 1로하고 그비를 기록했다.

이들 결과로부터 해석결과와 계산시간의 균형을 고려해, 메시사이즈는 5mm을 사용하는 것으로 했다.



[사진 3] 제품낙하 시험



3-2. 실험과 시뮬레이션 비교

이렇게 얻은 실험수치와 시뮬레이션 결과를 비교해 보았다. [그림 3]에 평면낙하시 낙하높이 36cm에서 가속도 및 변위량의 시각력 그래프를 나타

냈다.

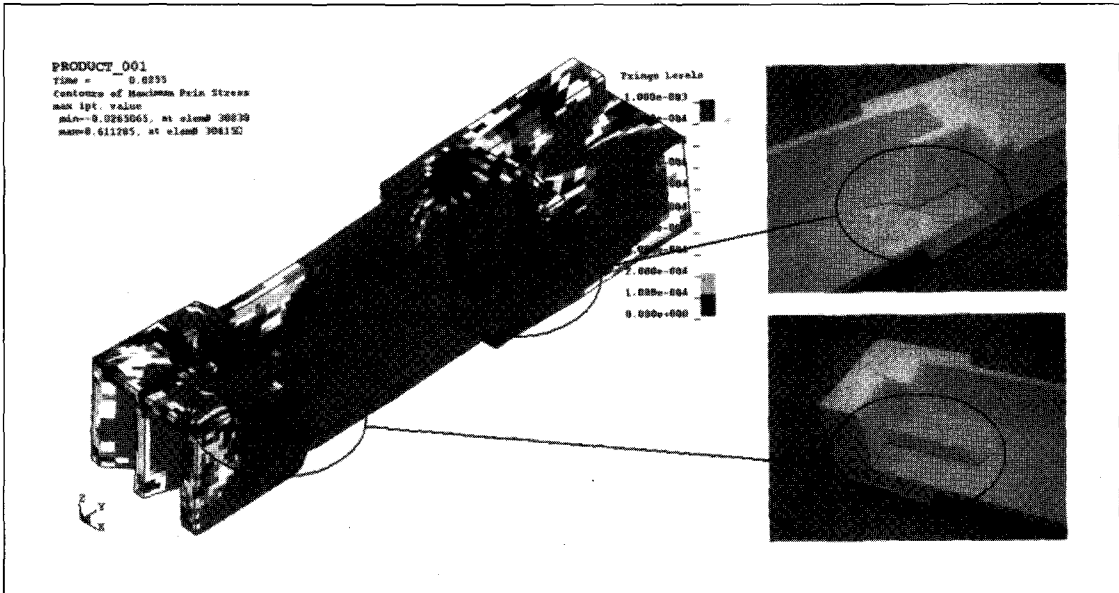
비교 결과 평면낙하 및 모서리 낙하 모두 3수준의 낙하높이에 있어 실제 측정 수치와 해석 수치의 차이는 가속도 수치에서 $\pm 20\%$ 이하, 변위량 $\pm 5\%$ 이하로, 포장설계에 충분히 활용할 수 있다는 해석 결론을 얻어냈다.

4. 발포폴리스틸렌 분해 검정

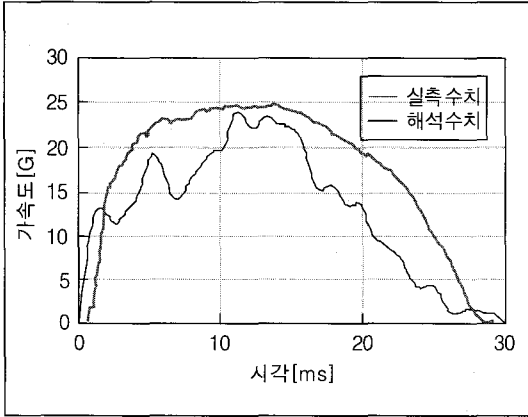
다음은 균열발생장소를 시뮬레이션에 의해 파악할 수 있는가를 연구하기 위해 실제의 제품에 이용되는 완충재를 사용한 낙하시험 및 시험과 동등한 시뮬레이션을 실시했다. 낙하시험 모습은 [사진 3]과 같다. 시험에는 테스트피스와 같은 등가 낙하시험기를 사용했다.

이 시험 및 시뮬레이션으로 얻은 발포폴리스틸

[그림 4] 발포폴리스틸렌 조각(파편)



[그림 5] 제품낙하 가속도 시각차 그래프



렌의 균열 발생상태는 [그림 4]와 같다.

이 그림에서 알 수 있듯이, 시뮬레이션 결과의 균열발생장소는 시험결과와 거의 같은 것으로 나왔으며 시뮬레이션을 통해 완충재의 균열 발생장소를 미리 예측 가능한 것이 확인됐다.

또 제품낙하시험에도 [그림 5]와 같이 낙하충격 가속도치가 실험과 시뮬레이션으로 거의 일치하는 것이 확인됐다.

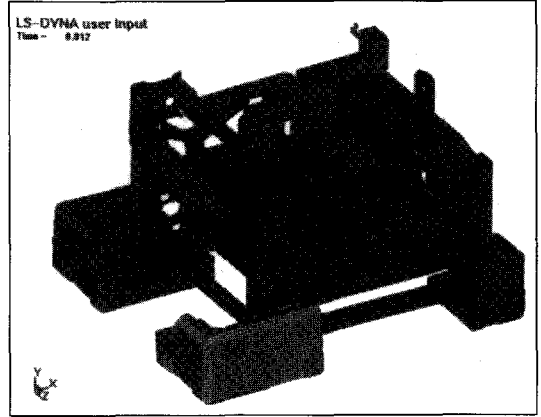
5. 시뮬레이션 기술 활용

당사에는 현재 이렇게 해서 확립한 시뮬레이션 기술을 실제의 포장설계에 활용하고 있다. 따라서 그 구체적인 사례에 대해서 서술하고자 한다.

당사 제품인 복사기 및 프린터는 강판프레임에 의해 그 광체를 지급하고 있다. 그리고 이 프레임에 착안해 “제품의 포장 낙하충격시험으로 프레임에 소성변형이 발생하지 않는가”를 검증한 모양이 [그림 6]이다.

이 사례는 이 결과를 토대로 완충재 형태를 개선

[그림 6] 제품 + 완충재 시뮬레이션



하고 프레임의 소성변형을 저하시키는 것이 가능해졌다.

이처럼 시뮬레이션 기술의 활용으로 고가인 제품시작을 낙하시험에 사용하는 회수를 적게하고 또 보다 빠른 시간에 포장의 제작이 가능해 졌다.

6. 향후 과제

이번에 발포폴리스틸렌 완충재의 낙하충격 시뮬레이션 사례에 대해 서술했지만 당사에서 사용하고 있는 포장재료로는 기타 골판지나 목재 파렛트 등이 있다.

앞으로 이들의 포장재료에 대해서도 시뮬레이션 기술을 확립해 갈 예정이다. ☐

신제품 및 업체 소개
월간 포장계 편집실
(02)835-9041
E-mail : kopac@chollian.net