



구조 해석 소프트웨어를 이용한 골판지 시뮬레이션

Simulation of using strural analysis software

中川 幸 臣 / 아이치현 산업기술연구소 공업기술부 응용기술실

1. 서론

골판지가 완충재나 고정재 등 내장재로써의 용도가 늘어나고 있는 상황에 있어서 적절한 포장 설계가 실행되기 위해서는 그 설계 기법에 관한 노하우도 확립되어야만 한다. 그러나 현재 상황의 골판지 포장 설계는 제품 형태에 맞춘 샘플을 시작(試作) 한 후, 실제로 낙하 시험을 시행해 완충성 등의 기능 평가를 실시한다고 하는 이른바 트라이아웃 에러에 기초하는 방법이 많다.

이 방법에서는 제품이 다르면 골판지의 구조도 달라지기 때문에 완충 설계의 일반화를 위해 필요한 기초 데이터의 축적이 매우 곤란하다고 하는 과제가 있다.

거기에서 가전품이나 기계부품 등의 설계에서는 상식으로 되어 있는 범용 구조 해석 소프트웨어를 골판지 포장 설계에도 적용시켜 시뮬레이션 해석에 의한 설계의 신속화·효율화를 도모하는 것에 대해서 고찰한다.

본 고에서는 골판지 간이 모델화와 골판지 완충재의 낙하충격 등에 대해 살펴본다.

1. 골판지 간이모델화

본 연구에서 사용한 범용 구조 해석 소프트웨어는 미국 LSTC 社 製(製)인 「LS-DYNA」이다. 이 소프트웨어는 양해법에 의해 비선형해석을 실행하는 것으로 소성가공 해석이나 완충 해석의 분야에서 실적이 있다.

이번 회의 목적은 최종적으로는 제품을 포함한 토탈 포장품 레벨에서의 시뮬레이션을 실행하는 것에 있다. 그 점에서부터도 실용성을 고려한 경우 골판지의 라이너와 중심에 의한 구조를 상세하게 모델화해서 해석하고 있던 것에서는 작업에 큰 노력이 들어 버려서 현실적인 수범이라고는 말하기 어렵다. 따라서 여기에서는 골판지 시트 전체를 단일소재로 간주해서 셀 요소에 의해 모델화를 실행하는 간이 모델 해석에 대해서 생각한다.

골판지에 대해서는 예를 들면 완충재로써 사용된 경우, 낙하 충격의 에너지를 흡수할 때에는 자신이 좌굴을 해서 그 기능을 다하는 것이 된다.

따라서 골판지가 좌굴한 후의 하중 동작에 대해서도 고려하기 위해 여기에서 LS-DYNA의 파



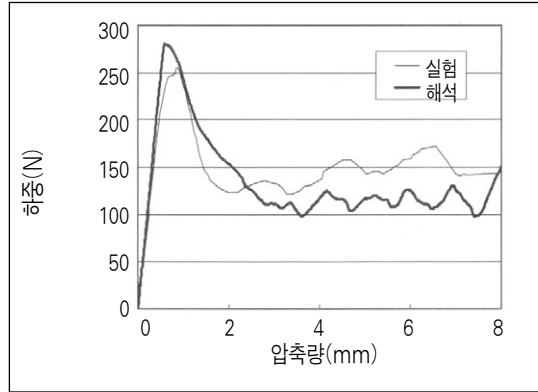
[표 1] 해석에 사용한 골판지의 물성치

parameter	수치
elastic modulus(CD direction)	656MPa
elastic modulus(MD direction)	374MPa
Poisson's ratio	0.1
compressive strength(CD direction)	1.05MPa
compressive strength(MD direction)	0.44MPa
shearing strength	0.30MPa

피 모델 해석의 계산측을 사용하는 것을 시험해 본다. 해석에 이용한 수치로써 압축 강도에 더해 서 전단 파괴 강도와 잔류 강도를 설정했다. 압축 강도는 재료의 최대 하중에 기여해 또한 전단 강도 · 잔류 강도는 피크 하중 후의 좌굴 거동에 영향을 준다고 생각된다. 여기에서 이번 해석에 사용한 재료 물성치에 대해서 [표 1]에 나타낸다. 표 중의 탄성률의 값은 초기의 매우 작은 변형 범위에 있어서 적용된다.

여기에서 이러한 것들의 수치를 사용한 파괴 모델의 해석에 대해서 골판지 시트의 압축 시험에서 검증했다. 실험에 사용한 골판지 시트의 원지 구성에 대해서는 겔 라이너 및 뒤 라이너 함께 평량 210g/m²의 K 라이너, 중심은 평량 120g/m²의 보통심으로 구성된 A플루트이다. 시험은 50×100mm의 시트를 CD방향 (시트의 단(段) 흐름에 직교하는 방향)에 압축 속도 10mm/min으로 하중을 건다고 하는 조건으로 실행했다. 또한, 해석에서는 시료상단부의 시험기와 접촉하는 부분의 판 두께 방향에 대해서 동일하게 랜덤으로 초기부정(不整)을 설정해 설정 폭은 시료 폭에 대해서 최대 1%의 범위 내로 했다. [그림 1]에 실험과 해석 결과의 비교를 나타내는데 그림 보다 변형이 진행해 하중이 좌굴 범위에 들어간 곳에서도 해석치가 실험치의 거동과 꽤 근사하다는

[그림 1] 시트 압축 시험의 실험과 해석의 비교

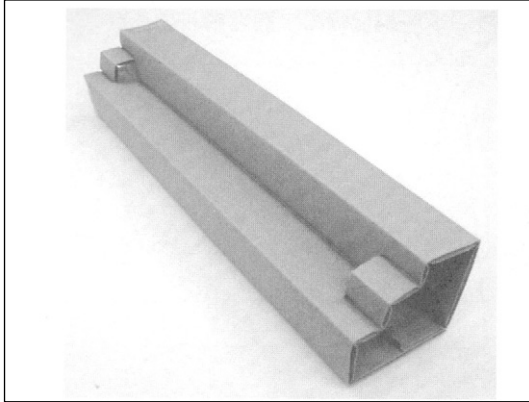


것을 알 수 있다. 또한 모델 해석의 결과에서도 실제의 국부 좌굴에 가까운 변형의 모습을 볼 수 있었다.

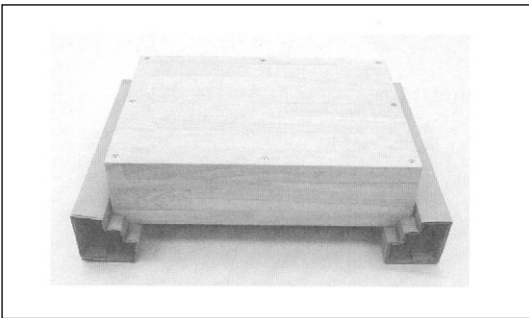
2. 골판지 완충재의 낙하 충격 해석

낙하 충격 시험의 해석은 dummy 나무 상자를 사이드패드 방식의 골판지 완충재로 지지하는 심플한 포장품 모델을 고안해서 실행하였다. 나무 상자는 상자 형태의 가전제품을 상정해 길이 400mm×폭300mm×높이100mm, 질량 5.3kg의 사양으로 했다. 또 이 나무 상자의 완충 포장 설계의 조건을 낙하 높이 60cm, 허용 가속도 50G로 했다. 완충재는 1장의 시트를 꺾어 구부러뜨려 구조체로 한 것으로, [사진 1]에 그 외관을, 또 [사진 2]에 dummy 나무 상자를 장치한 상태를 나타낸다. 실험 시의 포장 사양은 나무 상자의 양단의 상하부에 각각 2개씩의 사이드패드 완충재를 사용해 고정해, 골판지 상자에 넣는 것으로 한다. 이 때 외장의 골판지 상자의 저면 플랩부의 완충 효과의 영향을 피하기 위해, 사전에 밑 부분의 골판지에 대해서는 단을 변형한 상태

[사진 1] 골판지 완충재 모델



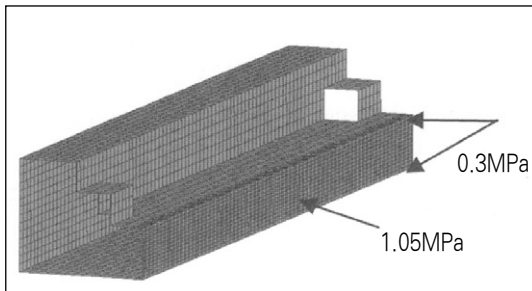
[사진 2] dummy 나무상자에 장치한 상태



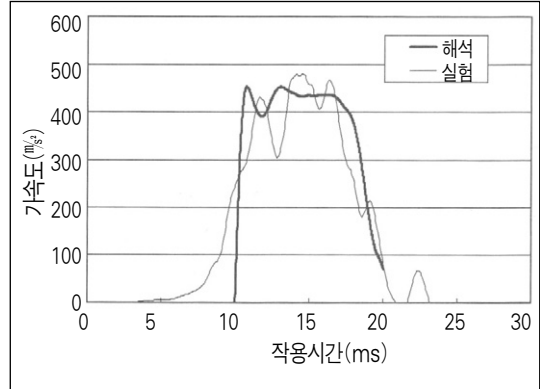
로 해서 낙하 시험을 실시했다.

낙하 조건은 낙하 높이 60cm의 저면 낙하로 해 나무상자 천면(天面)의 강성이 높은 가장자리

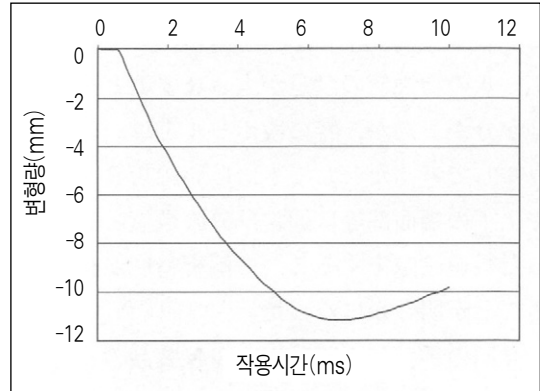
[그림 2] 골판지 완충재 모델의 물성치



[그림 3] 낙하충격시험의 실험과 해석의 비교



[그림 4] 완충재 변형량의 해석 결과



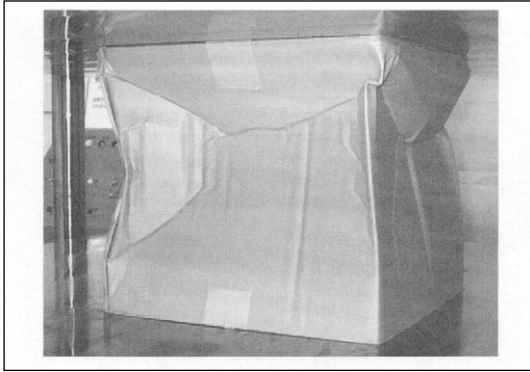
(길이 면의 중앙 상부)에 가속도 센서를 장치하여 측정했다. 또 센서의 로우패스 필터를 500Hz로 설정했다.

이 골판지 완충재의 시뮬레이션 해석에 있어서 통상의 골판지 시트와 꺾어 구부러뜨린 부분의 시트에는 강도에 차가 있기 때문에 그 영향을 고려한 모델화를 실시하였다.

이번에 골판지를 꺾어서 구부러뜨린 부분의 물성치를 [그림 2]에 나타난 것처럼 통상의 골판지 시트의 수치보다 강도를 적게 설정했다. [그림 3]에 실험과 해석 결과의 비교를 나타내는데 실



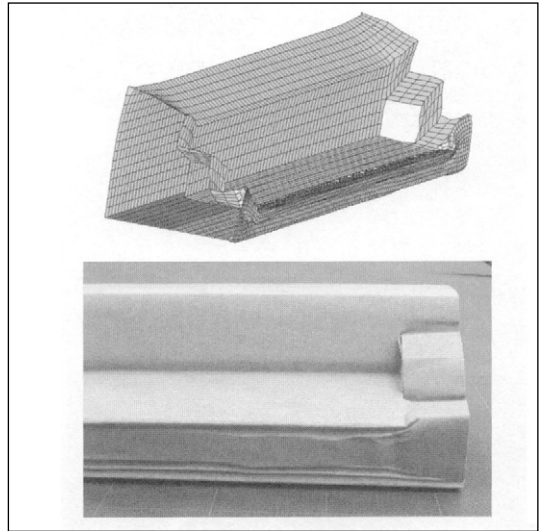
[사진 3] 골판지 상자 압축시험의 모습



험 결과와 비교해서 해석치의 충격시의 가속도 파형의 변화가 급하게 되어 있어 실험치와의 차이가 확인된다.

피크 가속도에 대해서는 실험치가 478m/m², 해석치가 452m/m²로 5% 정도의 오차로 제품에 가해지는 최대 가속도의 추정이라고 하는 점에서는 실용적인 레벨의 정확도를 얻을 수 있었다. 또 완충재의 변형량은 [그림 4]에 나타내듯이 최대

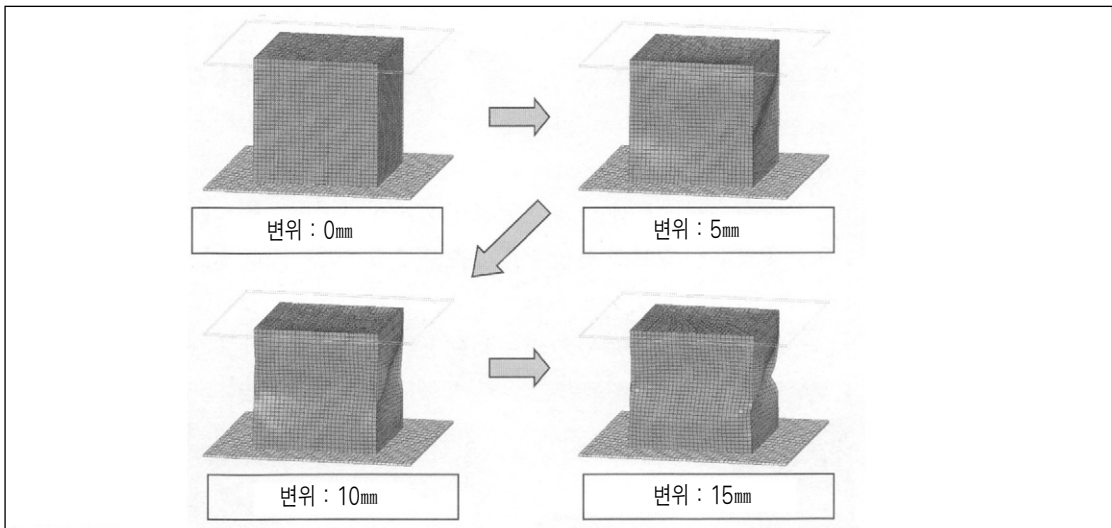
[그림 5] 시험 후의 완충재 외관의 비교



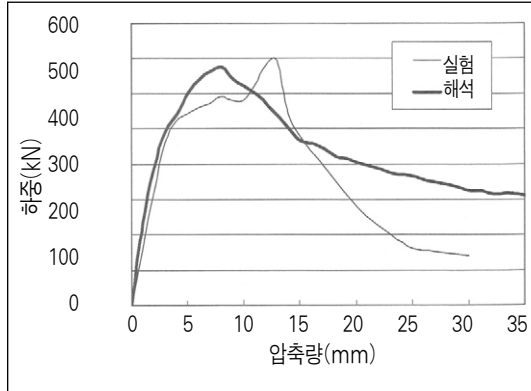
로 11.2mm가 되었지만 실험에 있어서의 낙하 후의 변형량은 5.6mm로 해석치보다 작은 값이었다.

이 변형량의 차이의 원인으로서서는 접어 구부린

[그림 6] 골판지 압축 시험의 해석 예



[그림 7] 압축 시험의 실험과 해석의 비교



구조가 있는 골판지의 경우, 실험 후의 시료의 상태로부터 판단하면 최대 변위까지 달한 후에 변위의 복원이 있다는 것을 생각할 수 있다. [그림 5]에 시뮬레이션 해석과 실험에 의한 완충재의 변형의 모습 비교를 나타내는데 함께 골판지의 가장자리에서 좌굴하고 있는 모습을 알 수 있다.

3. 골판지 상자 정적 압축 해석

다음으로 같은 재료 데이터, 계산축을 사용해서 골판지 상자의 정적 압축 시험의 해석을 시행하였다. 골판지 상자의 바깥 치수는 $300 \times 300 \times 300$ mm의 직방체(0201형)로, 압축 속도는 $10\text{mm}/\text{min}$ 으로 했다. 사진 3에 실험의 모습을 [그림 6]에 해석의 일례를 나타낸다. 그림은 골판지 상자의 압축량이 각각 5, 10, 15mm의 때의 모습을 나타내고 있는데 실제의 시험과 같게 상자의 중앙부 부근에서 좌굴하는 상황을 알 수 있다. 또한, 실험과 해석의 하중의 거동에 대해서 비교를 [그림 7]에 나타낸다. 각각의 하중이 피크에 도달하기까지의 압축량에 차이를 확인할

수 있는데 하중의 피크치나 시험의 시동 범위에 서의 하중의 거동에 대해서는 실험과 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 정적 압축 시험의 시뮬레이션 해석에서 가장 정확도를 잘 얻고 싶은 정보가 피크 하중치라면 이 결과는 양호한 것이었다고 말할 수 있다.

이번의 시뮬레이션 해석에 있어서 모델화 때에 재료물성치의 설정에 몇 가지인가의 연구가 필요하기는 하지만, 여기에서 사용한 재료 데이터가 정적 해석, 동적 해석의 어느 쪽에도 적용할 수 있다는 것을 알았다.

4. 마치며

본 연구에서는 골판지의 간이 모델화에 의한 시뮬레이션 해석을 실행하였다. 여기에서는 골판지의 기본 모델 뿐 아니라 나무 상자를 사용한 완충 포장 모델이나 골판지 상자라고 하는 구조체에 대해서도 해석을 실행하는 것이 가능했다.

또한, 이러한 것들의 해석 정확도를 올리기 위해서는 골판지의 물성치의 설정이 큰 요소가 된다는 것을 알았는데 특히 골판지를 단일 소재로 간주해서 생각했다고 해도 패션을 접어 구부린 부분이나 상하의 단면부등에 통상 부분의 수치와는 다른 수치 설정을 하는 것으로 해석 정확도가 좋아지는 것이 확실해졌다.

이번 수법에 의해 골판지 포장품의 시뮬레이션 해석의 일반화를 도모할 수 있다면 현재 상품 샘플을 되풀이 해 시작(試作)에 의한 설계가 상식이 되어 있는 현재 상태에 대해서 시작 횟수를 삭감하기 위한 설계 효율화의 실현에 기여할 수 있을 것이라고 생각된다. 