



골판지 강도 해석 시뮬레이션

Strength Analysis Simulation for Corrugated Cardbord

丹羽一邦 / 아이치현 산업기술연구소

1. 서두

최근 골판지는 외장용 용기로만 사용되는 것이 아니라 제품을 보호하는 완충재나 고정재 등의 내장재로써 사용되는 사례가 많아지고 있다.

일반적으로 골판지의 내장재는 제품 형태에 맞춰서 절단을 하거나 접는 구조를 한 박판 형태 구조체인 경우가 많고 그 설계 기법에 대해서는 과거의 경험과 시행착오의 반복에 따른 것이라고 할 수 있다. 그래서 골판지 포장설계의 신속화 및 효율화를 도모하기 위해 범용구조 해석 소프트웨어를 이용한 설계 수단의 가능성에 대해 시뮬레이션을 시행했다.

1. 골판지 시뮬레이션

골판지는 양 라이너와 골심지를 붙인 구조체이고 각각의 원지가 강도에 이방성을 가지고 있다.

따라서 골판지를 시뮬레이션의 대상으로 할 경우에 해석이 쉬운 재료는 아니므로 재료 특성을 충분히 파악해서 해석용 데이터를 받아들여야 한다.

이번에는 우선 골판지의 강도 특성에 대해서 JIS 규격에 준한 시험을 실시해서 물성 특성을 검토하고 해석 소프트웨어의 재료 구성 법칙의 이용 방법과 골판지를 모델화하기 위한 요소 이용의 방법에 대해 조사했다. 그 결과를 기초로 해서 용기나 완충재 등으로 사용되는 골판지 구조체의 기본 형태의 강도 해석 시뮬레이션을 실시하고 그 유효성을 나타낸다.

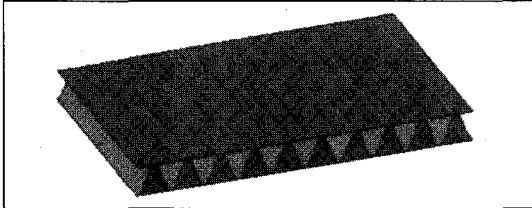
2. 해석 소프트웨어

이 연구에서 이용한 시뮬레이션 소프트웨어는 미국 LSTC사 제품인 LS-DYNA라고 하는 범용 구조 해석 소프트웨어로 이것은 소성 가공 해석이나 완충·낙하 해석의 분야에서 실적이 있기 때문에 이번 골판지 상자나 골판지 완충재의 대변형 해석에 적절하다.

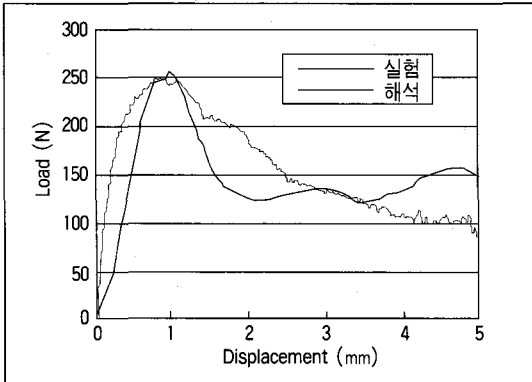
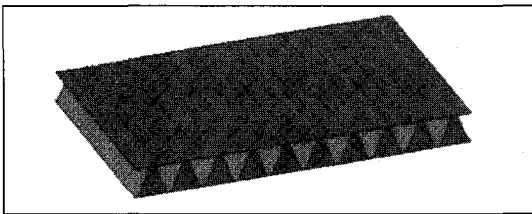
3. 골판지 모델화

시뮬레이션 해석을 할 때 골판지의 모델화에 대해서는 2가지 방법으로 검토했다. 우선 처음

(그림 1) 골판지 상세 해석 모델



(그림 2) 시트의 압축시험 결과



에는 골판지를 상세하게 모델화하는 것으로 라이너와 골심지를 셀 요소로 모델화하고 재료 모델에는 이방성 및 소성 특성을 가진 재료 구성 법칙(MAT SPECIAL ORTHOTROPEC)을 이용하거나 라이너와 골심지의 접착부가 벗겨지는 현상에 대해서 소프트의 구성 법칙(CONTACT TIE BREAK)의 기능을 이용했다. 이어서 실시한 모델화는 구조체인 골판지를 하나의 소재로 생각하고 골판지 시트 전체를 셀 요소 혹은 솔리드 요소에 의해 간이 모델화하는 것이다.

실제로 제품을 포함한 포장품의 시뮬레이션을 실시할 경우 현실적인 문제로써 골판지는 최대한 단순화한 모델로 하는 편이 바람직하고 또한 소프트 이용의 효과와 실용성도 높일 수 있다.

4. 골판지 강도 특성과 해석 결과

이번에 실험에 이용한 골판지 시트는 평량이 양면 라이너 모두 210g/m², 골심지가 보통 120g/m²의 A단이다.

여기에서는 골판지 상세 모델(그림 1)에 의한 해석 결과에 대해 서술한다.

(그림 2)는 50×100mm의 시트를 엔드 크래시의 방향으로 압축했을 때의 실험 데이터와 해석 결과를 비교한 것이다. 최고 하중을 초과한 후에는 거동에 차이를 볼 수 있지만 최고 하중의 값과 최고 하중에 도달할 때까지의 변위에 대해서는 실험과 거의 일치하고 있다. 또한 플랫 크래시 시험에 대해서도 마찬가지로의 결과가 나왔다. 다음으로 (그림 3)은 시트의 라이너와 골심지를 떼어낸 접착 강도 시험의 결과이다.

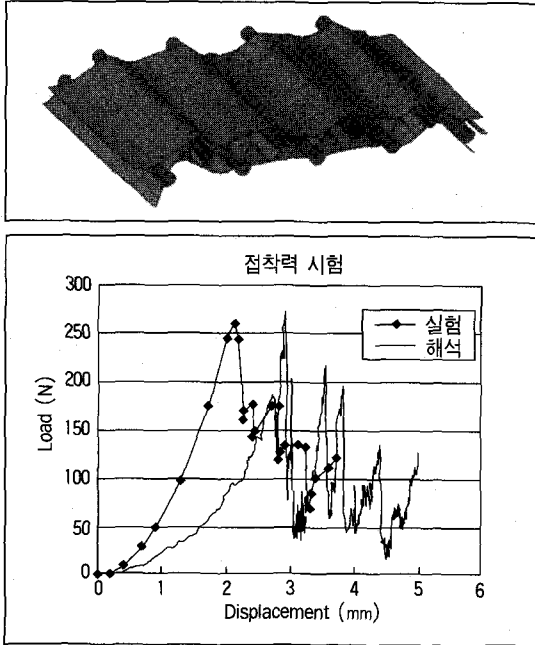
이 시험의 특징으로는 라이너와 골심지의 접착부가 약한 부분부터 순서대로 벗겨지는 것이며 그림의 선에서도 확실하게 알 수 있다.

해석 결과에서도 변위에 약한 차이를 볼 수 있지만 실험과 마찬가지로 라이너와 골심지의 벗겨지는 모양이 측정된다. 또한 하중의 최고값도 실험과 비교해서 거의 근사한 수치가 나왔다.

골판지의 상세 모델에 의한 시뮬레이션 해석 외에도 라이너와 골심지의 원지 단체도 마찬가지로 링 크래시 시험이나 인장 시험 등으로 해석을 해서 양호한 결과를 얻었다.



[그림 3] 시트의 접착력 시험결과



골판지와 같은 물성의 재료로도 시뮬레이션을 실시했는데 실용성을 높이기 위해 해석의 간이화를 도모했는지가 중요한 포인트가 된다.

5. 골판지의 간이 모델

앞에서 서술한 것과 같이 실제로 제품을 포함한 포장품의 시뮬레이션을 실시할 경우에는 구조체인 골판지 시트 자체만을 하나의 소재로 생각하고 간이 모델화를 도모하지 않으면 현실적인 해석이 어렵다. 이번에 골판지 상자의 해석에 대해서는 이방성의 재료 특성을 갖춘 셀 요소를 이용한 모델로 검토했다.

셀 요소의 특징은 면외값 응력 성분은 무시하지만 굴곡 부분에 대한 구조강도 특성은 충분하

게 평가가 가능하다. 또한 골판지 완충재에 대해서는 단순히 적층시킨 것 뿐만이 아니라 접거나 조립 구조로써 이용하는 경우가 많고 여기에서는 이방성의 재료 특성을 갖춘 솔리드 요소에 의한 모델로 검토했다.

5-1. 골판지 상자의 해석

본래 복합 구조인 골판지를 셀 요소만으로 모델화하는 것은 한계가 있지만 골판지 시트의 인장, 압축, 굴곡 등의 특성을 셀 요소의 재료 특성으로써 고려했다. 그 때문에 이방성의 면내 강성, 굴곡 강성 및 비선형 특성을 고려할 수 있는 재료 모델을 사용한다. [그림 4]에 골판지 상자의 정적 압축시험(압축속도 : 10mm/min)의 결과와 위의 특성들을 고려한 셀 요소에 의한 해석 결과와의 비교를 나타냈다.

그림으로 실험과 해석의 결과를 보면 최고 하중과 굴곡 모드는 비교적 거의 일치하고 있지만 변위-하중의 상관에 차이가 나타난다.

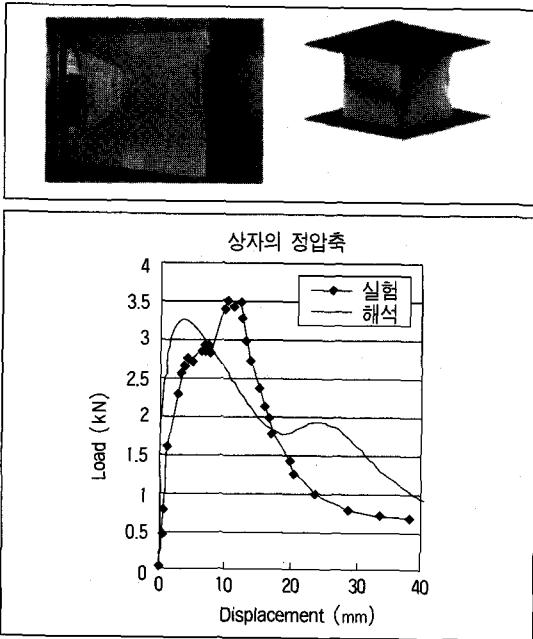
이것은 골판지 상자가 구부러지면 접어지는 부분이 발생하고, 상자의 변형이 접는 라인에 따라서 진행되는 경향이 생기는 것에 대해 유한요소 모델에서는 것처럼 접어지는 현상을 표현할 수 없는 것이 하나의 원인이다.

5-2. 골판지 완충재(물 형태 접는 구조체) 해석

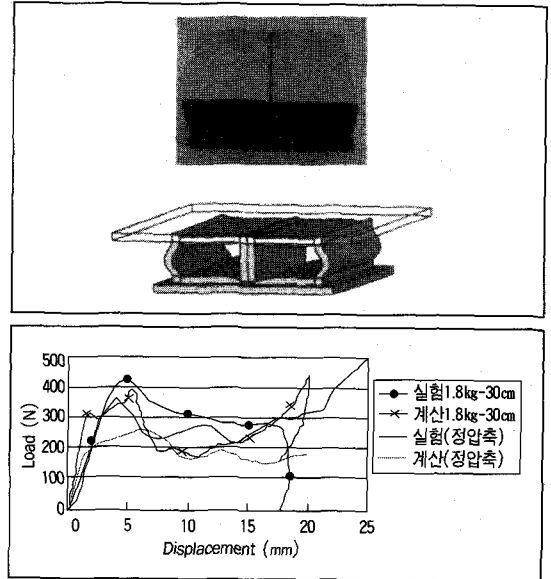
완충재 해석의 경우 골판지 판후 방향의 완충 특성을 고려하기 위해 솔리드 요소에 의한 모델화를 생각할 수 있다.

재료의 특성은 3축 독립된 이방성이고 비선형 특성을 고려할 수 있는 것으로 했다. 이와 같은 특성을 가진 유사한 재료로는 허니콤재가 있다.

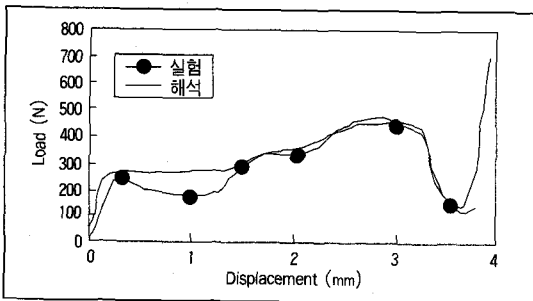
(그림 4) 골판지상자의 압축시험 해석 결과



(그림 6) 롤 형 구조체의 압축거동 해석



(그림 5) 평면 압축시험 해석 결과



(그림 5)는 골판지 시트의 평면압축시험의 실험과 해석 결과를 비교한 것인데 시트의 골심지의 굴곡 후의 움직임까지 거의 일치하고 있다.

(그림 6)은 그림과 같이 골판지를 롤 형태로 접은 구조체에 추를 낙하(추 질량 1.8kg, 낙하 높이 30cm)시켰을 때의 압축 움직임을 비교한 것이다. 그림으로 굴곡 변형 움직임이 해석 결과

와 일치한다는 것을 볼 수 있지만 굴곡 후의 하중의 변동에는 차이가 있다.

이것은 이번에 골판지 시트의 패션의 모델화가 고려되지 않은 것도 하나의 원인으로 생각할 수 있기 때문에 앞으로 검토해야 할 과제이다.

6. 결론과 앞으로의 과제

골판지의 시뮬레이션에 대해서 상세 모델, 간이 모델로 각각 해석을 실시했는데 강도를 추정하는 레벨의 유효성에 대해서 나타낼 수 있다.

하지만 실용성을 높이기 위해서는 제품을 포함한 포장품 레벨의 해석 수단이 중요하다. 그러기 위해서는 골판지의 간편한 유한 요소 모델의 해석의 정밀도를 한층 높여야 하고 앞으로도 실험·해석 데이터의 수집을 계속해야 한다. 