

스테인레스 표면재와 전단반구형 심재로 구성된 초경량 샌드위치 판재의 내충격 거동 해석

Analysis of impact behaviors of ultra weight sandwich plate consist of SUS 304 skin sheets and sheared dimple core

#안동규¹, *김세훈¹, 남경흠², 성대용³, 양동열³, 임지호⁴
#D. G. Ahn(smart@chosun.ac.kr)¹, *S. H. Kim¹, G. H. Nam², D. Y. Seong³, D. Y. Yang³, J. H. Lim⁴
¹ 조선대학교 기계공학과, ²신창전기, ³KAIST 기계공학과, ⁴POSCO

Key words : ISB Panel, SUS 304, Sheared Dimple, Plane Strain, Impact Characteristics

1. 서론

최근 자동차/항공기/선박 등 수송기기 분야에서는 환경 규제 강화를 비롯한 석유 에너지 수급 불균형과 높은 가격 구조의 지속 등 심각한 에너지 문제를 겪고 있다.¹

이에 대한 대응책으로 소재 경량화를 통한 에너지 효율을 높이는데 주력하고 있으며, 이를 통해 불거질 수 있는 안전성 문제를 보완하기 위해 초경량/고강도 구조재에 대한 연구가 증대되고 있다. 이러한 초경량/고강도 구조재에 대한 연구의 일환으로 강도와 강성이 높은 내부 구조체와 낮은 밀도를 갖는 심재가 결합되어 굽힘 강성 등 충격 특성이 우수한 초경량 샌드위치 판재에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.²

Karger 등은 FE analysis tool 인 CODAC을 이용하여 저속 충격 시 벌집형 내부 구조체를 갖는 샌드위치 판재의 충격 거동을 구현하여 실제 충격 실험과 비교를 통해 샌드위치 판재의 충격 및 변형 특성에 대한 연구를 수행하였고³, Ahn 등은 피라미드형 내부 구조체를 가진 정사각형 ISB 판재의 접합 형태에 따른 충격 특성 변화에 대하여 연구를 수행한 바 있다⁴.

본 연구에서는 전단 반구형 심재를 가진 ISB 판재에 대하여 평면 변형 조건에서 충격 하중 부가 시 충격 거동을 비선형 충격해석을 통하여 실제 실험과 비교를 통해 충격 특성에 대하여 비교/분석하였다. 충격 해석 변수로 높이에 따른 충격 입력에너지를 산출하여 비선형 충격 해석 시 적용하였으며, 3가지 충격 입력에너지별로 실제 실험에서 관찰할 수 없는 충격하중, 충격 흡수 에너지 및 최대 변위 등 충격 과정에서의 충격 특성 분포에 대하여 분석하였다.

2. 3차원 유한요소 모델링 및 해석 조건

ABAQUS V6.5 상용 프로그램을 통해 모델링 및 격자 생성 시간을 줄이기 위해 단위 셀 크기의 폭으로 모델링을 수행하였고, 충격 시 길이 방향의 변형이 폭 방향의 변형과 유사하게 발생하는 평면변형 경계 조건에서의 해석을 통해 ISB 판재의 내충격 특성 분포에 대하여 분석 하였다.

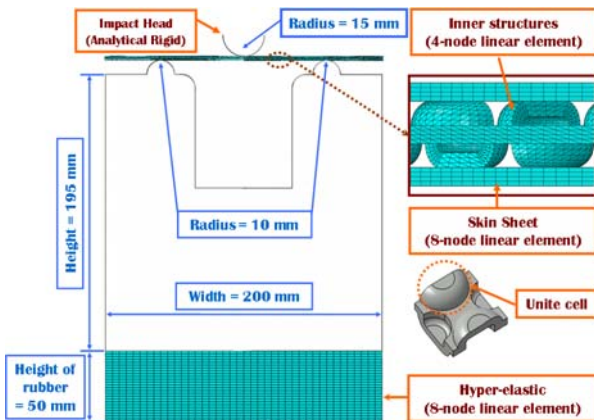


Fig. 1 FE model of the impact analysis for ISB panel

충격 시편의 모델링은 8 절점 육면체 솔리드 요소로 외판의 격자를 생성하였고, 4 절점 사면체 요소로 내부 구조체의 격자를 생성하였다.

시편과 충격헤드, 충격실험 치구의 접촉면 부분은 비 접촉면에 비해 각각 5 배, 3 배 정도의 격자수를 생성함으로써 충격 시 충격 응력 분포를 정확히 분석하고자 하였다.

충격 헤드는 분산형 강체 요소로 모델링을 수행하고 충격실험과 동일한 조건을 부여하였다. 다이의 모델링은 충격 헤드와 시편 간 충격 시 충격 응력과 등을 아래 배치된 고무까지 정확하게 전달시키기 위하여 4 절점 사각형 쉘 요소로 격자를 생성하였고, 다이 및 고무의 경우 8절점 육면체 요소의 축약형으로 모델링을 수행하였는데 이는 3차원 유한요소 해석 시 사용 메모리의 최소화를 통해 해석시간을 줄이기 위해서이다. 내충격 유한요소 해석에 사용되었던 유한요소 격자수는 Table 1 과 같다.

Table 1 Number of nodes and elements

	Sheet (EA)	Die (EA)	Rubber (EA)
Node	27843	2476	1092
Element	65587	1857	500

3차원 유한요소 해석에 적용한 경계 조건은 충격 실험과 동일한 운동 방향을 적용하기 위해 충격 헤드 및 다이는 충격 시 Z 방향으로만 움직이게 하였으며, 충격 시편은 단위 셀 하나의 폭으로만 모델링을 수행하였기 때문에 시편의 평면 방향으로 대칭 경계조건 (symmetry boundary condition) 을 부여함으로써 충격 시 실제 시편의 변형과 유사함을 보이도록 하였다. 그리고 고무의 경우 바닥 부분은 모든 방향으로 고정하였으며, 옆면의 경우는 Z 방향으로만 움직일 수 있게 하였다.

3차원 유한요소해석에 적용하기 위한 충격 속도는 실제 실험 시 충격 헤드의 높이를 고려한 값을 바탕으로 효율 경향을 고려하여 산출한 값을 적용한 속도를 적용함으로써 충격 헤드가 낙하하면서 발생하는 마찰력에 의해 감소된 속도를 감안하였다.

3. ISB 판재의 유한요소 해석 및 고찰

본 논문에서는 3차원 충격 유한요소해석을 이용하여 평면변형 경계조건에서의 내충격 해석을 통해 ISB 판재의 내충격 실험 결과와 해석결과를 비교/분석하여 검증하였다.

초기 유한요소해석 모델링은 Hyper-elastic 모델을 제외하고 실제 충격 실험과 동일하게 하였으나 1차 해석 결과 Fig. 2 와 같이 해석 초반 충격 헤드와 시편의 접촉 시 발생된 진동으로 인하여 충격 속도의 변화가 급격히 커지는 현상이 발생함으로 인해 충격헤드의 충격하중이 충분히 전달되지 못하였다. 이러한 현상을 감안하여 실제 실험과 유사하게 다이 바닥부분에 축약형 hyper-elastic 모델의 고무를 추가함으로써 실제 실험과 유사한 결과를 도출하였다.

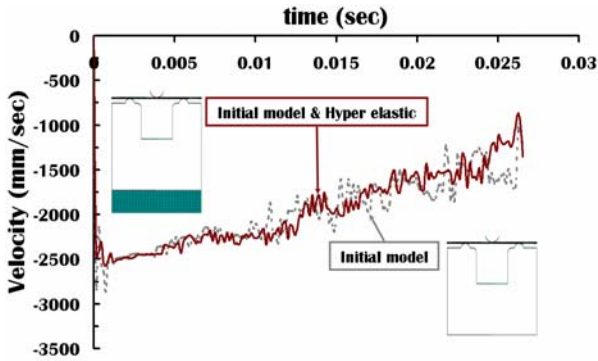


Fig. 2 Influence of analysis condition on the time history of node velocity in the center point ($E_{in}=43.9J$)

평면 경계조건에서 3차원 유한요소 해석 결과와 내충격 실험 결과는 다음 Table 2 와 Fig 3 을 통해 확인할 수 있다. Table 2 는 충격 입력 에너지, 단위 폭 당 충격 흡수 에너지, 단위 폭 당 최대하중, 최대변위 순으로 나타내었고, Fig 3 은 단위 폭 당 변위의 변화를 선도를 통해 도식화 하였다.

Table 2 Comparison of the results of experiments and those of finite element analysis

Results	E_{in} (J)	$E_{ab,w}$ (J/mm)	$P_{w,max}$ (N/mm)	δ_{max} (mm)
Experiment	32.9	0.776	21.805	46.722
Analysis				
Experiment	43.9	0.899	23.030	52.772
Analysis				
Experiment	54.9	1.079	25.970	66.542
Analysis				

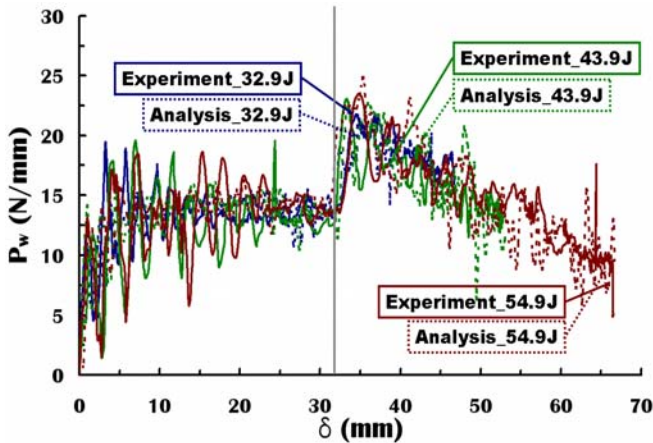


Fig. 3 Force per width - deflection curves

평면 경계조건에서 ISB 판재의 내충격 실험과 3차원 유한요소 해석을 비교한 결과, 다이 바닥 면에 Hyper-elastic 모델을 추가함으로써 단위 폭 당 하중은 평균 0.51 N/mm 정도 차이가 나고, 단위 폭 당 충격 흡수 에너지는 평균 9 % 정도 차이가 발생하는데, 이러한 오차는 충격 시 발생하는 소리, 충격 헤드와 시편간의 마찰, 그리고 내부 구조체와 외판의 용접된 부분의 파손으로 인해 발생했다고 사료된다. 최대 변위는 최적 모델의 적용을 통하여 입력에너지 43.9 J 의 경우 0.4 mm까지 오차범위를 줄일 수 있었다.

그리고 Fig 3 의 $P_w - \delta$ 선도에서 변위 31 mm 부근에서 하중이 급격히 증가하는 모습을 볼 수 있는데, 이러한 현상은 충격 헤드를 통한 시편으로의 충격 부가 시 시편이 충격 하중을 견디지 못하고 Z 방향으로 변형을 일으키다가 시편의 아래 면과 다이의 안쪽 모서리 부분과 접촉했기 때문이다.

또한 Fig.4 에서도 볼 수 있는 것처럼 충격 부가 후 0.025 s

부터 시편 중심으로부터 11 mm 떨어진 부분에서 내부 구조체와 외판에서 국부적인 과도 변형이 발생함을 알 수 있었다. 이러한 현상은 내부 구조체를 이루고 있는 단위 셀 사이의 빈 공간에서 외판 (SUS 304) 의 국부적 변형이 발생함으로써 인해 외판 및 내부 구조체의 과도 변형과 시편의 전체적인 휨 변형이 발생되면서 충격에너지 흡수가 이루어지기 때문으로 사료된다.

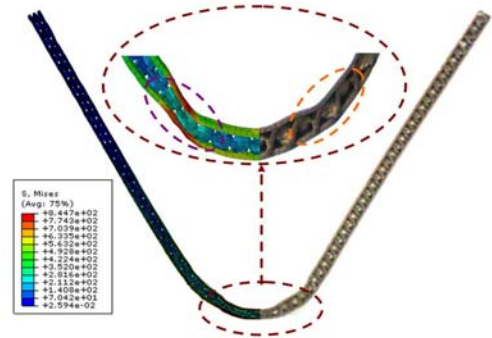


Fig. 4 Comparison of deformed shapes of impact tests and that of finite element analysis ($E_{in}=43.9J$)

4. 결론

본 논문에서는 ABAQUS V6.5 상용 프로그램을 이용한 3차원 유한요소해석을 통해 평면 경계조건에서 SUS 304 외판과 전단 반구형 내부 구조체를 가진 ISB 판재에 대한 내충격 특성에 대해 분석하였다. 비록 충격 시 발생하는 소리, 충격 헤드와 시편과의 마찰 및 내부 구조체 용접 부분의 파손 등을 고려하지 못해 실제 실험과의 오차를 보였지만, Hyper-elastic 모델의 추가 등 실제 실험과 유사한 최적의 모델링을 수행함으로써 단위 폭 당 하중 및 충격 흡수 에너지, 최대 변위 등 실제 실험 데이터와 90% 이상 유사하게 묘사할 수 있었다. 충격 부가 후 단위 셀 사이의 빈 공간에서 외판의 국부적 변형과 함께 시편의 전체적인 처짐을 재현에 넘으로써 내충격 분포 및 시편의 좌굴 후 변형거동 등 실험과정에서 확인이 불가능하였던 결과에 대해 심도 있게 접근할 수 있었다.

후기

본 논문은 “지식 경제부 차세대 신기술 개발 사업 3 차원 형상의 금속 구조체를 가진 초경량 금속 샌드위치 개발” 의 연구 결과의 일부이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Yungwirth, C.J., Wadley, H.N.G. and O'Connor, J.H. " Impact response of sandwich plates with a pyramid all attice core, "International Journal of Impact Engineering, Vol.35, pp. 920 - 936, 2008.
2. S. A. Atroshenko, N. S. Naumova and S. A. Novikov, "Influence of high-velocity impact on metals, "International Journal of Impact Engineering, 33(1-12), pp. 62-67, 2006.
3. Luise Karger, Jens Baaran, and Jan Tebmer., "Efficient simulation of low-velocity impacts on composite sandwich panels", Computersand Structures, Vol.86,pp.988-996,2008
4. Ahn, D. G., Moon, G. J., Jung, C. C. and Yang, D. Y., "Variation of impact Characteristics of ISB Panels with a Pyramidal Inner Structure According to Joining Technologies,"Journal of Korean Society for Precision Engineering, Vol.24(9), pp.110-118, 2007