

# 피라미드 코어를 구비한 금속샌드위치 판재의 효율적 해석기법 검증 Verification of efficient FEM analysis method for metallic sandwich plates with pyramidal truss cores

\*성대용<sup>1</sup>, 정창균<sup>1</sup>, 양동열<sup>1</sup>

\*D. Y. Seong<sup>1</sup>, C. G. Jung<sup>1</sup>, D. Y. Yang(dyyang@kaist.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국과학기술원 기계공학과

Key words : Virtual equivalent projected model, Verification example, 3-point bending, metallic sandwich plates, pyramidal truss core

## 1. 서론

금속샌드위치 판재는 경량화를 목적으로 개발된 신소재로서 상대공간밀도가 낮은 코어의 상하 양면에 표면판재를 접합하여 구조강성을 높인 구조형 소재이다. 샌드위치판재는 무게대비 강성, 강도, 내충격성 등의 기계적 성능향상과 더불어 방음, 방열, 소음차폐, 전자파 차폐, 유로차널, 촉매 등 다양한 기능을 가지는 재료이다<sup>1</sup>. 금속 샌드위치 판재에 관하여 트러스, 허니콤, 주름구조 등 다양한 내부구조체의 제작공정에 대한 연구와 최소무게와 최대강도를 가지도록 이론적으로 최적설계한 연구가 진행되고 있다<sup>2-5</sup>. 금속 샌드위치 판재의 성형에 대한 연구가 진행되고 있으며 성형시 발생하는 성형결함을 분석하였다. 성형성 향상 또는 성형 가능한 금속샌드위치 판재 개발을 위한, 설계 및 공정 변수분석과 샌드위치판재만의 성형공정 개발에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

금속샌드위치판재의 성능설계와 성형성설계를 위해서는 다양한 설계 및 공정 변수범위에서 탄소성 유한요소해석이 필요하다. 그러나 샌드위치 판재의 반복되는 기본구조인 단위구조의 크기가 전체 샌드위치 판재의 크기에 비하여 작기 때문에 유한요소해석을 위해서는 불필요하게 긴 계산시간과 많은 메모리가 요구된다. 따라서 3 차원 구조체를 연속체로 가정한 균질화기법이 개발되어 해석효율 향상에 기여하였고 국부적 좌굴모사가 가능한 해석기법개발을 새로운 이슈로 제시하였다<sup>6-9</sup>.

## 2. 가상등가투영형상을 이용한 효율적 해석

트러스 코어는 허니콤 코어와 더불어 금속샌드위치 판재의 대표적인 3 차원 구조체이며 굽힘과 전단하중을 받을 때 무게 대비 항복강도가 가장 높은 것으로 알려져 있다. 트러스코어의 해석효율을 높이기 위해 3 차원 구조체와 동일한 탄소성 등가물성을 가지는 등가형상과 등가물성을 이용하는 해석기법, 즉 가상적으로 투영된 2 차원 형상을 이용하는 효율적 해석기법을 제안되었다<sup>10</sup>. 가상등가투영형상(Virtual Equivalent Projected Model, VEPM)은 투영형상에 가상물성을 부여하여 탄소성 3 차원 거동을 2 차원 해석으로 예측할 수 있는 해석기법이다. 투영형상은 샌드위치판재가 가지는 국부적 경계조건을 유지하여 국부적 좌굴과 같은 샌드위치판재의 굽힘성형결함을 묘사할 수 있다. 그리고, 가상물성은 투영형상이 3 차원구조체와 물리적으로 동일한 거동을 할 수 있도록 조정하는 역할을 한다. 가상등가투영형상의 치수와 물성을 결정하기 위해서는 다음과 같은 과정으로 이루어진다. 3 차원 트러스 코어를 균질한 연속체로 가정하고 탄소성 이방성 등가물성을 계산하는데, 등가물성은 단위구조의 이론적 해석으로 계산한 방법을 인용하였다<sup>9</sup>. 그리고 가공경화함수는 선형이라 가정하여 유도하였다. 가상등가투영형상도 방법으로 탄소성 이방성 등가물성을 계산한다. 트러스 코어와 가상등가투영형상의 탄소성 이방성 등가물성과 표면판재의 좌굴강도가 동일한 투영형상의 치수와 가상 물성을 계산한다.

## 3. 검증예제

가상등가투영형상을 이용한 효율적 해석기법을 검증하기 위해 유사 2 차원 경계조건 및 하중조건을 가지는 공정들에 대하여 3 차원 전체모델 해석과 비교 분석하였다. 유사 2 차원 경계 및 하중 조건을 가지는 공정들로는 3-Point Bending, Clamped Bending, U-Bending, L-Bending, draw bending 등이 있다. 이 중에서 3-Point Bending 공정에 대하여 소재와 형상에 따라 3 차원 전체모델해석결과와 비교하여 가상등가투영형상을 검증하였다. 3-Point bending 해석은 금속샌드위치판재의 단위구조가 굽힘 하중과 전단력을 동시에 지탱하는 상황에서의 결함모드분석과, 굽힘성능 및 기초성형성을 예측하기 위하여 선정된 해석공정이다. 검증해석은 샌드위치 판재의 소재를 Mild Steel, SUS304, DP590 세가지 소재에 대하여, 그리고 샌드위치판재의 형상을 내부구조의 상대공간밀도에 따라 4.42%, 10.8%, 26.4% 세가지 형상에 대하여 3 차원 전체모델 해석과 비교하였다.

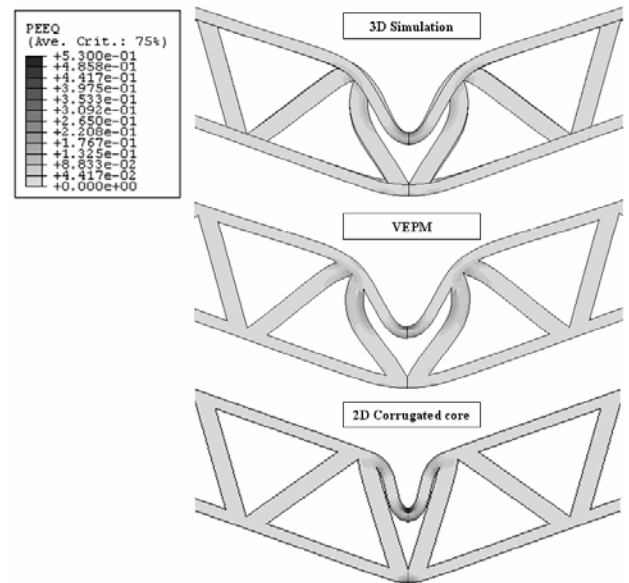


Fig. 1. Comparison of plastic strains and deformed shapes with full 3D simulation with VEPM and a 2D corrugated core under three-point bending ( $\delta = 20\text{mm}$ ).

해석결과 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3 과 같이, 변형형상과 하중-처짐선도가 3 차원 해석결과와 거의 유사한 것을 확인할 수 있다. 가상등가투영형상을 이용한 해석기법이 3 차원 구조체가 가지는 특성을 그대로 반영할 수 있고 적용할 수 있음을 확인할 수 있다. 그리고 내부구조의 상대공간밀도를 변화시키면서 해석한 결과 역시 내부구조의 요소두께와 각도, 표면판재의 두께가 변하여도 가상등가투영형상이 3 차원구조체를 대체할 수 있는 효율적인 2 차원 모델임을 증명하였다. 표면판재의 두께가 두꺼워 질수록 샌드위치 판

재의 굽힘 강성과 강도가 증가하였고 특히 내부구조의 상대공간밀도가 높을수록 표면판재 좌굴에 의해 붕괴하기까지 처짐량이 증가하였다. 상대공간밀도가 26.4% 일 경우 표면판재의 경우 샌드위치판재의 표면판재나 내부구조의 좌굴과 같은 굽힘 성형결함이 발생하지 않았으며 다른 경우보다 강도, 강성, 에너지 흡수량이 가장 많았다.

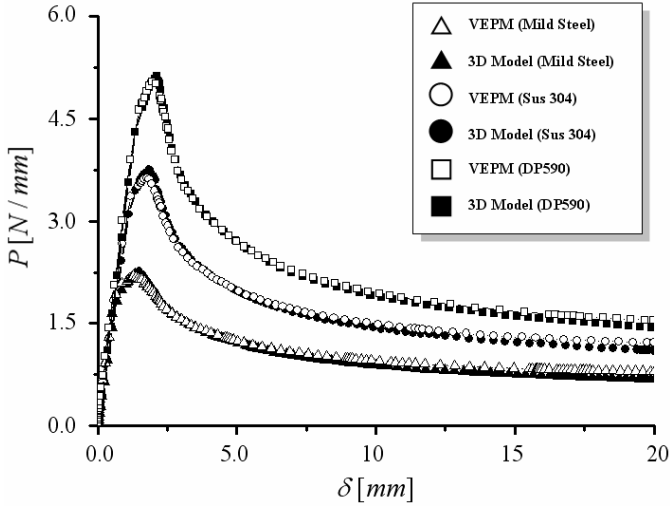


Fig. 2. Comparison of load-displacement curves of full 3D simulation with VEPM constructed with mild steel, SUS 304 and DP 590.

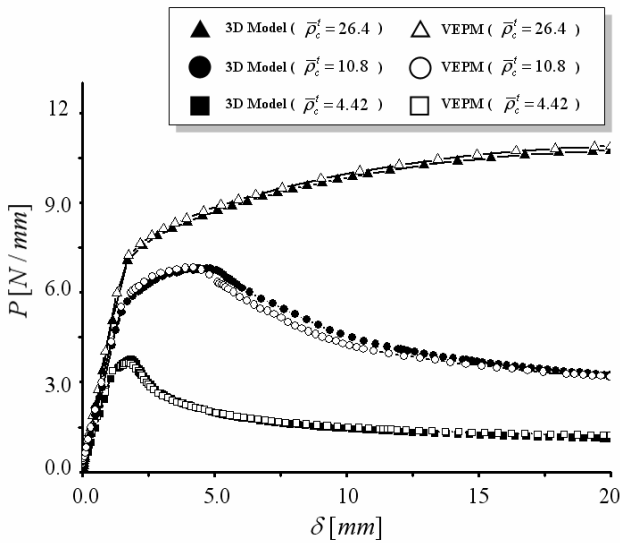


Fig. 3. Comparison of load-displacement curves of full 3D simulation with VEPM of relative core density 4.42%, 10.8% and 26.4%

#### 4. 결론

피라미드 트러스 코어를 내부구조로 가지는 금속샌드위치 판재의 성능과 특성 및 성형성을 예측하기 위하여, 가상등가투영형상을 이용한 효율적 해석기법을 해석적으로 검증하였다. 가상등가투영형상은 3 차원 전체 모델과 동등한 등가물성과 표면판재 좌굴 강도를 가진다. 샌드위치 판재의 소재를 Mild Steel, Sus304, DP590 에 대하여, 그리고 상대공간밀도 4.42, 10.8, 26.4% 에 대하여 각각 3 차원 유한요소 해석과 비교 분석하였다. 해석결과, 가상등가투영형상을 이용한 2 차원 해석이 3 차원해석의 변형모드, 하중-처짐 선도를 효율적으로 예측/계산할 수 있다는 것을 보임으로서

가상등가투영형상을 이용한 효율적 해석기법을 해석적으로 검증하였다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부의 차세대신기술개발사업인 3 차원 형상의 금속 구조체를 가진 초경량 금속 샌드위치 판재 개발 연구결과의 일부이며 이에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

1. Waldley, H. N. G., "Fabrication and structural performance of periodic cellular metal sandwich structures," *Compos. Sci. Technol.*, 63, 2331~ 2343, 2003.
2. Zok, F. W., Waltner, S. A., Wei, Z., Rathbun, H. J., McMeeking, R. M., Evans, A. G., "A protocol for characterizing the structural performance of metallic sandwich panels: application to pyramidal truss cores, *International Journal of Solids and Structures*,"40, 6249~6271, 2004.
3. Wicks, N., Hutchinson, J.W., "Optimal truss plates," *International Journal of Solids and Structures*, 38, 5165~5183, 2001.
4. Deshpande, V. S., Fleck, N.A., "Collapse of truss core sandwich beams in 3-point bending," *International Journal of Solids and Structures*, 38, 6275~6305, 2001.
5. Valdevit, L., Hutchinson, J. W., Evans, A.G., "Structurally optimized sandwich panels with prismatic cores, *International Journal of Solids and Structures*," 41, 5105~5124, 2004.
6. Hohe, J., Becker, W., "An energetic homogenization procedure for the elastic properties of general cellular sandwich cores," *Composites: Part B*, 32, 185~197, 2001.
7. Xu, X. F., Qiao, P., "Homogenized elastic properties of honeycomb sandwich with skin effect," *International Journal of Solids and Structures*, 39, 2153~2188, 2002.
8. Deshpande, V. S., Fleck, N. A., "Isotropic constitutive models for metallic foams, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*," 48, 1253~1283, 2000.
9. Xue, Z., Hutchinson, J. W., "Constitutive model for quasi-static deformation of metallic sandwich cores," *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 61, 2205~2238, 2004.
10. 성대용, 정창균, 심도식, 양동열, "가상등가투영형상을 이용하여 피라미드형 트러스 코어를 구비한 금속샌드위치 판재의 효율적 해석기법 제안," *한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집*, 262~265 2007.