

피라미드 트러스 코어 단위셀의 기계적 특성에 관한 해석적 및 수치적 연구

Analytical and Numerical Study on Mechanical Behavior of Unit Cell of Pyramidal Truss Core Structures

*#김상우¹, 이영선¹, 강범수²

*S. W. Kim(kimsw@kims.re.kr)¹, Y. S. Lee¹, B. S. Kang²
¹재료연구소 변형제어연구그룹, ²부산대학교 항공우주공학과

Key words : PCM, Truss, Sandwich panel, Pyramidal structure, FEM

1. 서론

개방형 트러스 구조를 중간재로 하는 샌드위치 판넬은 자동차, 항공기 등 수송기기류의 외판 및 건축용 자재 등 경량 구조용 재료로서의 활용뿐만 아니라 민/군용 충격 에너지 흡수체, 열 교환기용 열전달 매체 등 다양한 특성을 가진 기능성 소재로 광범위하게 활용될 수 있다[1-3]. 본 연구에서는 해석적 모델을 통해 피라미드 트러스 단위셀의 기계적 거동을 예측하고, 동일 모델에 대한 유한요소 해석을 수행하여 그 결과를 비교 분석함으로써 설계 가이드라인으로서의 적용 가능성을 검증하였다.

2. 이론적 해석

Fig. 1과 같이 상면에 압축 또는 전단 하중이 작용하는 피라미드 코어의 단위셀을 가정하면 단위셀의 기계적 특성은 상대밀도, 트러스요소의 각도(θ) 및 모재의 기계적 물성(K, n)의 함수로 표현될 수 있다[4]. 원소재 및 단위 면적당 코어의 체적이 동일한 조건하에 단위셀의 강도 및 강성이 최대가 될 수 있는 최적 트러스 요소를 결정하기 위하여 기준모델의 기하학적 조건으로부터 결정되는 상수 C 를 식(1)과 같이 정의하면, 트러스요소의 붕괴 조건, 항복(yielding), 탄성좌굴(eb), 비탄성좌굴(ib)에 따른 단위셀의 특성은 식(2)~(9)와 같이 트러스요소의 각도만으로 표현가능하다. 기준모델로 $E=203\text{GPa}$, $K=832\text{MPa}$, $n=0.158$ 인 SUS304 소재로 제조된 $L=21.21\text{mm}$, $t=2\text{mm}$, $\theta=45^\circ$, $V_c=339\text{mm}^3$ 인 피라미드 단위셀을 고려하고, 식(2)~(9)의 트러스요소의 각에 따른 기계적 특성을 분석한 결과를 Fig. 2에 도시하였다. 해석결과 최대지지가능 압축

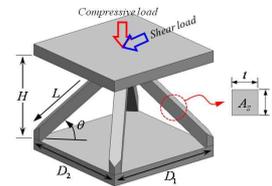


Fig. 1 Schematic illustration of a pyramidal unit cell

$$C = \frac{\sqrt{2}V_{C,Ref}}{2D_{1,Ref}^3} \quad (1)$$

$$\bar{\sigma}_{peak,yielding} = 2C\sigma_y \sin\theta \cos\theta \quad (2)$$

$$\bar{\tau}_{peak,yielding} = \sqrt{2}C\sigma_y \cos^2\theta \quad (3)$$

$$\bar{\sigma}_{peak,eb} = \frac{1}{6}(C\pi e)^2 E_s \sin\theta \cos^4\theta \quad (4)$$

$$\bar{\tau}_{peak,eb} = \frac{1}{12\sqrt{2}}(C\pi e)^2 E_s \cos^5\theta \quad (5)$$

$$\bar{\sigma}_{peak,ib} = 2KC^{n+1} \left(\frac{n\pi^2 e^2}{12} \right)^n \sin\theta \cos^{3n+1}\theta \quad (6)$$

$$\bar{\tau}_{peak,ib} = \sqrt{2}KC^{n+1} \left(\frac{n\pi^2 e^2}{12} \right)^n \cos^{3n+2}\theta \quad (7)$$

$$\bar{E} = 2C \cos\theta \sin^3\theta E_s \quad (8)$$

$$\bar{G} = C \cos^3\theta \sin\theta E_s \quad (9)$$

강도는 트러스 요소의 각이 증가함에 따라 증가하고, 최대점 이후 감소하는 경향을 보임으로써 최대 압축강도를 가질 수 있는 트러스 요소의 각도가 반드시 존재하며, 이는 모재의 기계적 특성에 의존적임을 알 수 있다. 또한, 트러스 요소의 각이 클수록 최대전단강도는 지속적으로 작아지는 경향을 보였으며, 등가압축 및 전단계수는 단위면적당 체적이 동일할 경우, 각각 60°, 30°에서 최대치를 가지며, 이는 모재의 특성과는 무관함을 보였다.

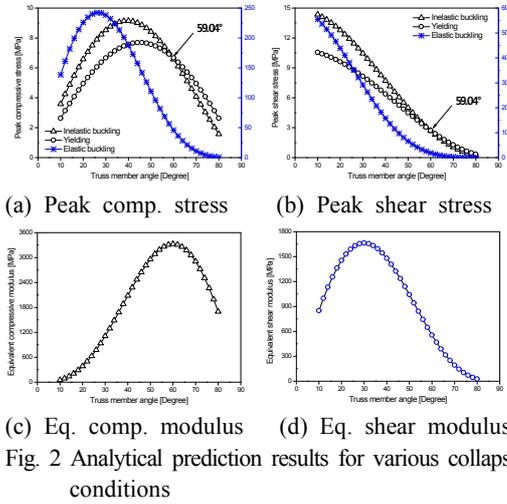


Fig. 2 Analytical prediction results for various collapse conditions

3. 수치적 해석

상기의 이론적 해석결과를 검증하기 위하여 상용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS 3D-implicit solver를 이용하여 동일한 모델에 대한 유한요소해석을 수행하였다. Fig.3은 $\theta=45^\circ$ 인 모델에 대한 변형 전후의 단위셀의 형상을 보여주고 있다. 압축의 경우 좌굴에 의해 ‘S’자 형상으로 변형되었으며, 전단의 경우 인장을 받는 트러스요소는 직선으로 늘어나는 반면, 압축을 받는 트러스요소는 ‘C’자 형상으로 변형되었다. Fig.4는 해석적 및 수치적 방법에 따른 예측결과를 나타내었다. 본 연구에서 고려했던 최대압축 및 전단응력을 예측하기 위한 세가지 조건중 비탄성 좌굴조건에 의한 예측결과가 유한요소해석결과와 가장 잘 일치하는 경향을 보였으며, 탄성좌굴조건은 과대하게 예측하는 경향을, 항복조건은 약간 작게 예측하는 경향을 보였다.

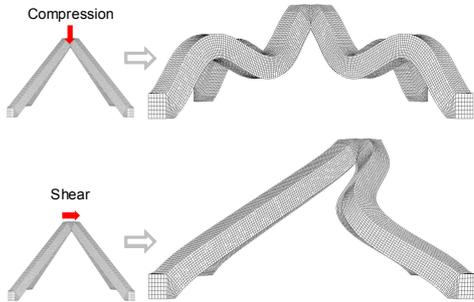


Fig. 3 Undeformed and deformed shape of unit cells

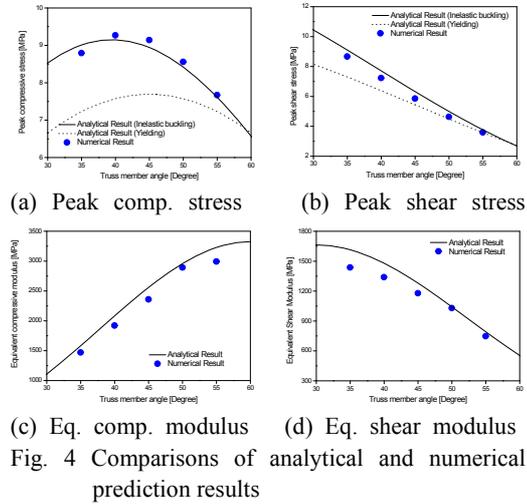


Fig. 4 Comparisons of analytical and numerical prediction results

4. 결론

본 연구에서는 피라미드 코어 단위셀의 압축 및 전단하중에서의 기계적 거동을 분석하기 위하여, 해석적 모델을 이용하여 트러스 요소의 각도에 따른 최대압축 및 전단응력, 압축 및 전단계수의 영향을 분석하였다. 또한, 유한요소해석을 통해 이를 검증한 결과, 비탄성좌굴조건에 의한 예측이 가장 유사한 결과를 보임으로써, 향후, 피라미드 샌드위치 구조물의 초기 설계 가이드라인으로 적용 가능성을 보였다.

후기

본 연구는 한국기계연구원 부설 재료연구소의 기본연구사업에 의해 수행되었음.

참고문헌

- Gibson, L. J. and Ashby, M. F., "Cellular solids: structure and properties, 2nd Ed.," Cambridge University Press, 1997.
- Evans, A. G., Hutchinson, J. W. and Ashby, M. F., "Multifunctionality of cellular metal systems," Progress in Materials Science, **43**, 171-221, 1999.
- Evans, A. G., Hutchinson, J. W., Fleck, N. A., Ashby, M. F. and Wadley, H. N. G., "The topological design of multifunctional cellular metals," Progress in Materials Science, **46**, 309-327, 2001.
- Despande, V. S. and Fleck, N. A., "Collapse of truss core sandwich beams in 3-point bending," Int. J. of Solids and Structures, **38**, 6275-6305, 2001.