

압축하중을 받는 샌드위치 보의 원공에 따른 영향 평가

Evaluation for the effect of hole on Sandwich beam applied to compressive load

*이상진¹, 윤성호², 김민우¹, 박지연¹, 김명훈¹

*S.J. Lee¹(sjlee@kiflt.re.kr), S.H. Yoon², M.W. Kim¹, J.Y. Park¹, M.H. Kim¹

¹ 한국신발피혁연구소 신발연구부, ² 금오공과대학교 기계공학부

Key words : sandwich composite, compressive load, buckling load, Hole

1. 서론

샌드위치 복합재는 철도, 버스, 선박 등의 구조물로 다양하게 사용되고 있다. 샌드위치 복합재를 구조물에 적용을 위해 부재간의 체결이 필요하며 안전성을 확보하기 위해 적절한 체결방법을 선택해야 한다. 부재의 결합은 볼트나 리벳 등을 이용한 기계적 체결방법과 접착제 등을 이용한 접착 체결방법, 또는 이 두 방법을 혼합한 체결 등으로 구분된다. 기계적 체결의 장점인 체결 작업이 비교적 간단하고 부재의 교체가 용이하고 기계적 성능 신뢰도가 높다는 점 때문에 널리 적용되고 있다. 그러나 기계적 체결을 위해서는 각 부재에 볼트나 리벳 등의 장착 구멍들이 가공되어야 한다. 이를 경우 가공된 원공 부위에는 외부에서 가해진 하중으로 인해 응력집중이 유발되어 구조물의 성능을 감소시키는 요인이 된다.

본 연구에서는 관통된 원공이 있는 유리섬유직조/우레탄 심재 샌드위치 복합재의 좌굴 및 후좌굴 거동을 실험을 통한 방법에 의해 조사하였다. 시편은 얇은 유리섬유직조 면재들이 두꺼운 심재의 양면에 부착되어 있는 형태로 되어 있으며 원공은 시편의 두께방향을 따라 관통되어 있는 경우만을 고려하였다. 좌굴 및 후-좌굴 거동에 영향을 미치는 인자는 심재의 두께, 원공의 크기, 원공의 위치 등이 있다. 우선 심재의 두께에 대한 영향을 조사하기 위해 두께가 23 mm, 37 mm, 48 mm, 61 mm인 4가지 경우의 심재를 적용하였으며, 원공의 크기 영향은 시편중앙부에 직경이 25 mm인 경우와 38 mm인 경우를 검토 하였다. 원공 위치는 직경 25 mm인 경우를 중앙부에서 1/4 지점, 2/4 지점에 위치했을 때의 영향을 분석하였다.

2. 시험편 및 시험 방법

2.1 재료 설명

시험편은 성형된 판넬로부터 길이가 400 mm, 폭이 75 mm인 보 형태를 취하였다. 면재의 두께는 1.7 mm로 고정하였으며 심재의 두께는 23 mm, 37 mm, 48 mm, 61 mm 인 4 종류를 고려하였다. 각 심재 두께별로 원공이 없는 경우, 중앙부에 직경 25 mm 원공, 중앙부에 직경 38 mm 원공이 있는 경우를 고려하였다.

면재는 (주)국도화학에서 생산되고 있는 에폭시를 (주)한국화이바에서 직조된 마리모 직물에 함침시켜 직조형태로 적층하여 3-4 °C/min으로 121~125 °C까지 온도 상승시킨 후, 90분간 경화시키고 다시 4 °C/min으로 냉각시켜 시편을 제작하였다. 제작된 면재의 기계적 물성은 인장강성이 26.7 GPa, 인장강도는 371 MPa를 보였다.

심재는 (주)삼정기연의 화인폴100 우레탄 폼을 이용하였다. 심재의 밀도를 측정하기 위해 샌드위치 복합재에서 76 mm × 76 mm × 시편두께인 심재를 직접 채취하였으며 ASTM C271에 따라 측정하였다. 그 결과, 심재의 밀도는 약 45 kg/m³이었다. 심재의 압축특성은 50 mm × 50 mm × 25 mm인 심재를 샌드위치 복합재에서 직접 채취하고 ASTM D1621에 근거하여 평가하였으며 폼 심재의 압축특성은 발포상태에 따라 민감하게 변하기 때문에 시편의 길이 방향, 폭방향, 두께방향을 다른 시편들을 채취하였다. 심재의 압축강성은 7.1, 4.3, 4.5 MPa 로 각각 두께,

폭, 길이 방향의 결과값이며, 압축강도는 0.32, 0.22, 0.21 MPa인 결과를 보였다. 심재의 폭, 길이 방향의 물성은 발포 방향인 두께방향의 물성에 60 % 대에 수준인 것으로 확인되었다.

2.2 시험 방법

본 연구에서 압축하중을 가하여 좌굴 및 좌굴 후 거동을 알아보기 위해 Zwick/Z100 만능재료시험기와 30 kN 로드셀을 사용하였고, 특성의 평가에 필요한 하중과 변위/변형을 신호는 A/D변환기 (PCI-MIO-16E-1, National Instruments)와 LabVIEW를 사용하였다. Fig.1은 본 연구에 사용된 시험편 취부 및 장치 구성을 보여주고 있다. 상단 시험치구와 하단 시험치구는 각각 로드셀과 크로스헤드와 연결되어 있다. 상단 시험치구와 하단 시험치구는 같은 형태로 시편끝단을 양쪽에서 지지하는 부분과 면재와 심재에 힘이 가하는 스틸 패드 부분으로 구성된다. 면재와 심재에 고르게 힘이 작용되도록 고무패드를 넣었다. 스틸 패드는 가운데 부분에 노치(notch)를 내고 실린더형의 핀을 끼워 끝단부분이 자유롭게 회전하여 시편의 양단에서는 단순지지 조건이 적용되도록 설계하였다. 상단 시험치구와 하단 시험치구는 치수가 매겨진 고정부에 연결되어 정확하게 정렬할 수 있다. 압축하중을 받는 샌드위치 시험편의 좌굴 및 후좌굴 거동을 고찰하기 위해서는 작용하중에 따른 시편중앙부에서의 변형률이 필요하며 이를 위해 스트레인 게이지를 시편 중앙부의 양쪽 면에 길이방향을 따라 부착하여 측정하였다. 하중은 정적인 시험이 될 수 있도록 1 mm/min의 변위제어로 시편 길이방향으로 균일하게 작용시켰다. Fig. 2에는 압축하중을 받는 샌드위치 복합재 시험편의 전형적인 작용하중-변형률 선도가 나타나 있다. 양쪽 변형률이 선형적으로 증가하다가 변곡점이 나타난다. 이러한 변곡점에서의 작용하중을 좌굴하중으로 정의한다. 작용하중이 더욱 증가하면 시편중앙부의 양쪽 면에 형성된 변형률이 차이는 더욱 심해지고 시편에 형성된 응력 또는 변형률이 사용재료의 임계값에 도달하면 파괴가 발생한다.



Fig. 1 Fixture for buckling test

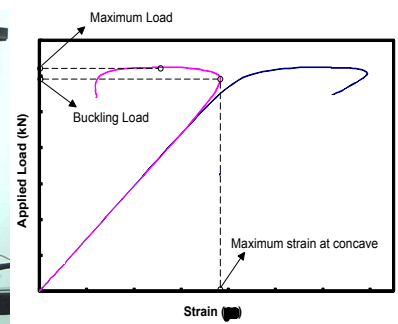


Fig. 2 Typical Curves of applied load vs. strain of Buckling Test

3. 결과 분석

3.1 원공 크기의 영향

심재 두께별 원공 크기의 영향은 Fig3 에 좌굴 하중을 비교하였

다. 먼저, 25mm 직경의 원공이 중앙부에 있는 경우, 심재 두께별 좌굴하중은 23, 37, 48, 61 mm에 따라 원공 없는 경우와 비교해서 16.1, 5.8, 4.1, 8.0 % 낮은 값을 보였다. 직경 38 mm 원공이 있는 경우는 34.3, 24.9, 34.0, 34.4 % 낮은 값을 보였다.

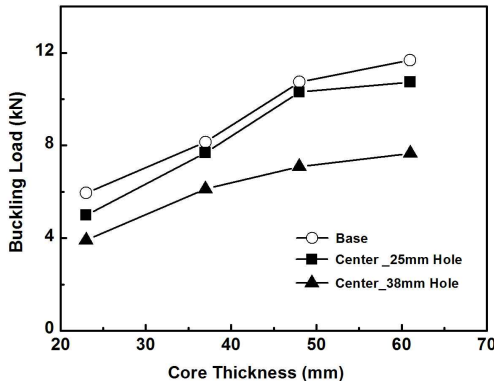


Fig. 3 Comparisons of buckling loads in according hole size

최대하중의 경우는 Fig. 4에 나타나 있다. 원공이 없는 경우를 기준으로 25 mm 원공의 경우는 심재 두께에 증가함에 따라 3.0, 7.1, 11.4, 12.5 % 낮은 값을 보였고, 38 mm 원공의 경우는 29.4, 27.4, 31.7, 33.2 % 낮은 값을 보였다.

좌굴하중과 최대하중 모두 원공 38 mm의 경우가 원공이 없는 경우와 비교해 30 % 대의 크게 저하된 성능을 보이는 것을 확인하였다.

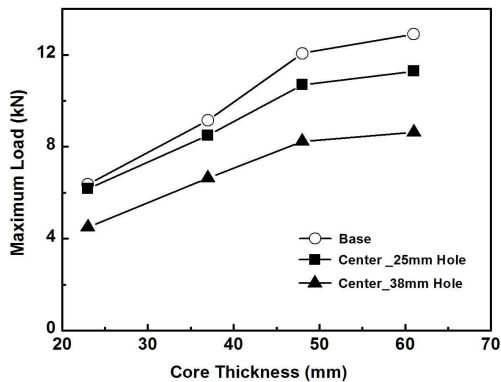


Fig. 4 Comparisons of maximum loads in according hole size

3.2 원공 위치에 따른 영향

심재 두께별 원공의 위치에 따른 좌굴하중과 최대하중을 비교하였다. 원공 직경 25 mm인 경우로 비교하였으며, 시험편 중앙부, 중앙부에서 끝단으로 1/4지점, 중앙부에서 끝단으로 2/4지점으로 그 위치를 구분하였다. 심재 두께별 좌굴 하중은 먼저, 중앙부에서는 4.99, 7.68, 10.3, 10.74 kN이며, 1/4 지점에 원공이 있는 경우는 5.66, 7.63, 10.0, 10.21 kN, 2/4 지점의 경우는 4.85, 7.97, 10.34, 11.33 kN 을 보였다. Fig. 5에서 보듯, 심재 두께 61 mm인 경우 10%의 오차를 보이지만 원공의 위치에 따라서는 좌굴하중에 큰 영향이 없음을 알 수 있다.

최대하중의 경우는 Fig. 6에서 보듯, 원공이 중앙부에 있는 경우 심재 두께별로 6.17, 8.5, 10.7, 11.3 kN이며, 1/4 지점인 경우는 6.1, 8.4, 10.55, 11.05 kN, 2/4 지점인 경우는 5.33, 8.06, 10.5, 11.4 kN 을 나타내고 있다. 심재 두께 23 mm의 경우 10%대의 오차를 보였으나 두께별 원공위치에 따른 좌굴하중, 최대하중에 큰 변화가 없음을 확인할 수 있다.

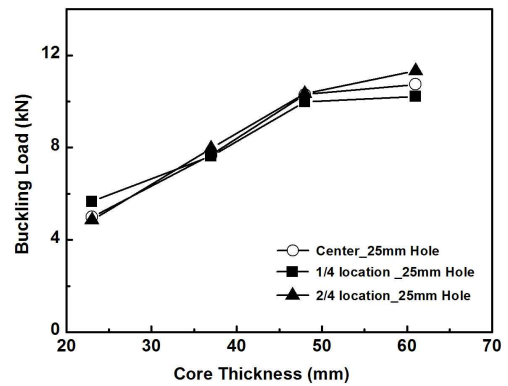


Fig. 5 Comparisons of buckling loads in according hole location

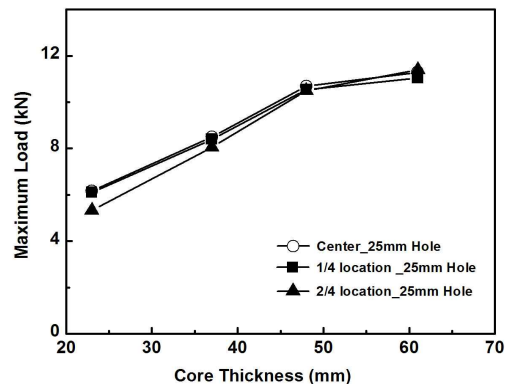


Fig. 6 Comparisons of maximum loads in according hole location

4. 결론

본 연구에서는 샌드위치 복합재의 체결방법 중, 관통 원공을 통한 기계적 체결에 따른 압축하중을 받는 부재의 특성을 조사하였다. 그 결과 부재 중앙부에 부재의 폭 치수에 1/3 크기의 원공을 가진 부재는 좌굴하중 및 최대하중에서 10 % 내외의 성능저하가 발생한 반면, 폭 치수의 1/2 크기의 원공을 가진 부재는 대략 30 %의 좌굴하중 및 최대하중의 성능저하가 발생하였다. 원공 위치에 따라서는 좌굴하중과 최대하중 모두 큰 변화가 없음을 확인하였다.

참고문헌

1. J.Y. Lee, K.B.Shin, S.J.Lee, "A study on Failure Evaluation of Korean Low Floor Bus Structures Made of Hybrid Sandwich Composite," Trans. of KSAE, Vol. 15, No. 6, pp.50-61, 2007.
2. Haibin Ning, Gregg M. Janowski, Uday K. Vaidya and George Husman, "Thermoplastic sandwich structure design and manufacturing for the body panel of mass transit vehicle," Composite Structures, Vol.80, Pages 82-91, 2007.
3. Haibin Ning, Uday Vaidya, Gregg M. Janowski and George Husman, "Design, manufacture and analysis of a thermoplastic composite frame structure for mass transit," Journal of Composite Structures, Vol.80, Pages 105-116, 2007.