

알루미늄 폼 및 허니컴 샌드위치 복합재료의 압축실험에 관한 연구

방승옥¹, 김기선², 김세환², 송수구³, 조재웅^{2*}
¹공주대학교 대학원 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부, ³(주) 동신

Study on Compression Tests of Aluminum Foam and Honeycomb Sandwich Composites

Seung-Ok Bang¹, Key-Sun Kim², Sei-Hwan Kim², Soo-Gu Song and Jae-Ung Cho^{2*}

¹Division of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

³Dongshin Co., LTD

요약 본 연구에서는 알루미늄 폼 및 허니컴 샌드위치 복합재료의 면내·외 압축실험을 수행하였다. 실험을 통하여 하중-변위의 관계를 분석하고 압축 특성을 비교한다. 시험편은 만능재료시험기를 사용하여 1 mm/min로 압축을 하였다. 실험과정은 카메라로 촬영하고, 로드셀에서 나오는 데이터는 컴퓨터로 저장하였다. 실험결과를 보면 하중이 증가함에 따라 알루미늄 폼 및 허니컴 심재에 좌굴이 발생하였다. 면내 압축실험에서 알루미늄 폼 및 허니컴 샌드위치 시험편의 압축 최대하중은 비슷하였다. 그러나 비중을 고려하면 허니컴이 폼보다 압축 특성이 더 우수하다. 면외 압축 실험에서도 알루미늄 허니컴 샌드위치 복합재료의 압축 최대하중이 알루미늄 폼 샌드위치 복합재료보다 높게 나왔다.

Abstract In this study, in-plane and out-plane compression tests of aluminum foam and honeycomb sandwich composites were carried out. Through these tests, the relationships of load-displacements were analyzed and the compression characteristics were compared with each other. The specimens were compressed with the speed of 1mm/min by using the universal testing machine. Experimental procedures were taken with photograph by the camera and load cell data were stored into computer. Test results showed that buckling was occurred at the aluminum foam core and honeycomb core according to the increase of load. In the in-plane compression test, the maximum load of aluminum foam specimen was similar with that of honeycomb sandwich. The property of honeycomb was better than that of the foam in consideration of specific gravity. In the out-plane compression test, compression maximum load of aluminum honeycomb sandwich composite was higher than that of aluminum foam sandwich composite.

Key Words : Composite, Aluminum Foam, Honeycomb, Compression Test, Load-Displacement Curve

1. 서론

복합재료는 기존의 철강재에 비해 가벼우면서도 내구성은 물론 에너지 절감과 안전성을 극대화 시킬 수 있는 소재로 각광받고 있으며, 다양한 분야에서 복합재료를 이용한 구조물이 사용되어지고 있다.

항공, 우주산업에서 항공기의 동체, 날개 및 헬리콥터의 로터 블레이드에는 탄소섬유/에폭시(Carbon fiber/epoxy) 등의 복합재료를 외피재(Skin)로 하고 노멕스(Nomex)나 알루미늄 허니컴(Honeycomb)을 심재(Core)로 하는 샌드위치 복합재료가 널리 쓰이고 있다. 이는 구조물의 무게를 감소시키면서 높은 굽힘 강도 및 강성을 얻을 수 있기

"이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2011-0006548)"

*교신저자 : 조재웅(jucho@kongju.ac.kr)

접수일 11년 08월 10일

수정일 11년 09월 07일

게재확정일 11년 09월 08일

때문이다.

최근에는 응용된 알루미늄에 발포제를 넣어 내부에 기포(Air cell)가 형성된 폼 형상의 샌드위치 판넬이 초경량성, 흡음성, 에너지 흡수성, 친환경성 등 뛰어난 기능적 특성을 가진 차세대 신소재로 급부상되고 있다.

알루미늄 폼은 다공성 구조체로 고체 알루미늄 금속에 비하여 비중이 1/10 정도로 작고, 충격에너지 흡수가 우수하여 자동차범퍼, 충격흡수재, 선박, 항공기의 내·외장재 및 건축 분야에서 그 활용이 날로 증가되고 있는 추세이다[1-3].

우리나라에서도 1986년 10월 복합재료를 사용하여 제작한 경항공기를 시운전한 바 있으며 (KAL 항공 연구소), 선박의 주요부품이나 고압용기의 고급소재로서 점점 더 주목을 받고 있으므로 이 부분에 대한 보다 응용력 있는 연구가 요청되고 있다[4,5].

복합재료의 기계적인 성질들을 체계적으로 규명하고 정확한 파괴강도 해석과 안전설계 및 새로운 고급재료의 개발에 필요한 자료를 제공할 수 있는 기초적인 연구의 중요성이 높아짐에 따라 여러 연구자들이 관심을 가지고 연구 활동을 하고 있으나, 소재 자체의 복잡성과 적절한 이론적인 전개가 아직 완전히 체계화되지 않았다[6].

알루미늄 폼 및 허니컴 샌드위치와 같은 구조물은 설계, 압연, 단조 등 많은 공정이 압축력을 받는 상태에서 수행되므로 압축력에 대한 물성 값의 측정이 필요하다. 구조물의 재료시험에서는 그림 1에 힘들기 때문에 압축시험을 사용하는데 연성이 있는 재료에서는 하중 축에 45°를 이루는 면에 인장의 경우와 마찬가지로 압축의 경우도 최대전단응력이 생기고 이로 인하여 미끄럼변형이 생긴다. 따라서 압축 항복응력은 동일재료의 인장항복응력과 강성계수가 거의 같으므로 압축강도, 항복점, 탄성계수 등을 구할 수 있다.

본 연구에서는 압축실험을 통하여 알루미늄 폼 샌드위치 복합재료와 알루미늄 허니컴 샌드위치 복합재료의 기계적 특성을 비교하였다. 면내의 압축실험으로 알루미늄 폼 및 허니컴 샌드위치 복합재료의 파괴 모습을 관찰하고, 하중-변위의 관계를 분석하였다.

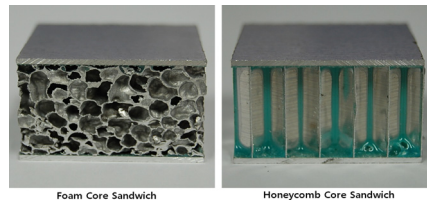
2. 본론

2.1 시험편 및 실험장치

2.1.1 복합재료 시험편

면내의 압축실험의 시험편은 그림 1과 같이 셀 크기가 6.35 mm, 벽 두께가 0.05 mm인 알루미늄 3003 호일을 사용한 허니컴 코어와 0.3 g/cm³ 정도의 밀도를 갖는

닫힌 셀(closed cell) 알루미늄 폼 코어를 사용하였다. 코어의 상·하부에는 두께 1 mm의 알루미늄 판을 에폭시 접착제로 접합시키고 가로 33 mm, 세로 33 mm, 높이 20 mm의 치수를 갖도록 가공하였다. 오차를 최소화하기 위하여 알루미늄 폼 샌드위치는 14 g, 알루미늄 허니컴 샌드위치는 8 g의 질량을 갖는 시험편으로 선정하여 실험하였다.



[그림 1] 압축실험의 시험편들
[Fig. 1] Specimens of compression test

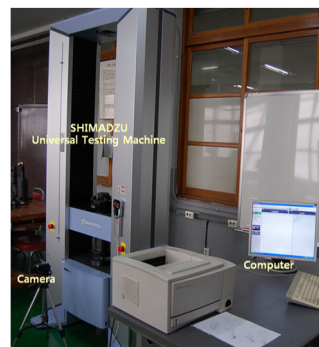
실험에 사용된 알루미늄 폼 샌드위치와 알루미늄 허니컴 샌드위치 시험편의 개수는 표 1에 나타나 있으며 총 12개를 가지고 실험을 하였다.

[표 1] 시험편 수량
[Table 1] Number of specimens

Test Type	Composite Material	EA
Out-plane	Al Foam	3
Compression Test	Al Honeycomb	3
In-plane	Al Foam	3
Compression Test	Al Honeycomb	3

2.1.2 실험장치

본 실험에서 사용한 장치는 만능재료시험기인 SHIMADZU AG-X로 최대 용량은 250 kN이며, 시험장치 구성은 그림 2와 같다.



[그림 2] 실험장치의 구성
[Fig. 2] Installation of test equipment

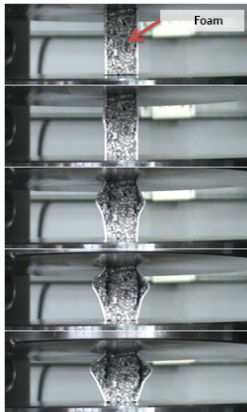
1 mm/min의 속도로 압축을 하였으며, 카메라로 실험 과정을 촬영하고 로드셀에서 나오는 데이터를 컴퓨터로 저장하였다.

2.2 실험결과 및 분석

2.2.1 면내 압축실험

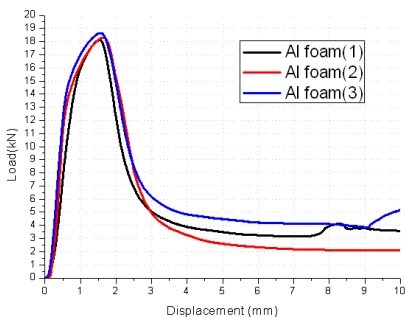
그림 3은 알루미늄 폼 샌드위치 복합재료 시험편의 면내 압축실험 과정에서 하중의 증가로 복합재료가 파괴되는 모습을 나타낸다.

알루미늄 폼 샌드위치 복합재료에서는 변위에 따른 하중의 증가로 좌굴이 발생하고 심재와 면재가 분리되는 양상을 보였다.



[그림 3] 면내 압축실험(Foam)
[Fig. 3] In-plane compression test(Foam)

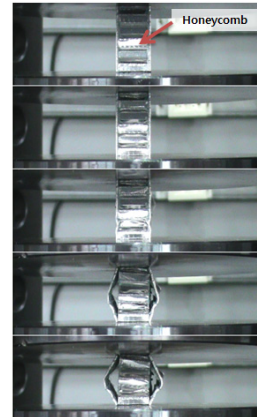
그림 4는 알루미늄 폼 샌드위치 복합재료의 변위가 10 mm 변하는 동안 면내 압축하중의 변화이다. 실험에서 압축 최대하중의 값은 각각 18.124 kN, 18.298 kN, 18.648 kN으로 나왔다.



[그림 4] 하중-변위 곡선(Foam)
[Fig. 4] Load-displacement curve(Foam)

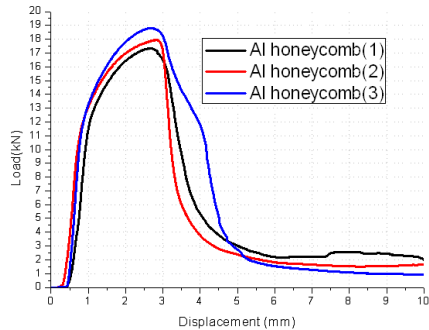
그림 5는 알루미늄 허니컴 샌드위치 시험편의 면내 압축실험 과정에서 하중의 증가로 복합재료가 파괴되는 모습을 나타낸다.

알루미늄 폼 샌드위치 복합재료와 동일하게 하중이 증가함에 따라 좌굴이 발생하고 심재와 면재가 분리되는 양상을 보였다.



[그림 5] 면내 압축실험(Honeycomb)
[Fig. 5] In-plane compression test(Honeycomb)

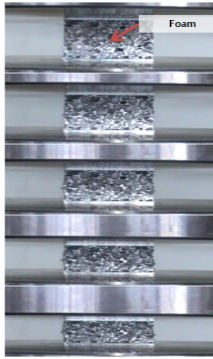
그림 6은 변위가 10 mm 변하는 동안 알루미늄 허니컴 샌드위치 복합재료의 면내 압축하중의 변화로 압축 최대하중의 값은 각각 17.335 kN, 17.941kN, 18.817kN으로 나왔다.



[그림 6] 하중-변위 곡선(Honeycomb)
[Fig. 6] Load-displacement curve(Honeycomb)

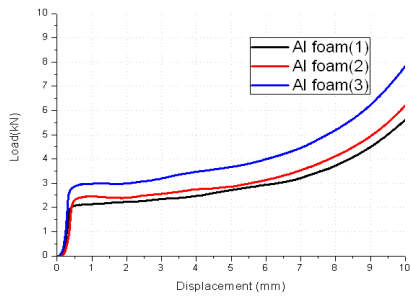
2.2.2 면외 압축실험

그림 7은 알루미늄 폼 샌드위치 시험편의 면외 압축실험 모습이다. 하중의 증가로 복합재료의 심재에 좌굴이 발생하면서 압축되는 모습을 보였다.



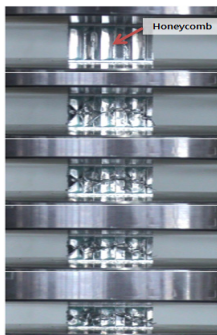
[그림 7] 면외 압축실험(Foam)
[Fig. 7] Out-plane compression test(Foam)

그림 8은 폼 코어 시험편의 면외 압축하중의 변화로 최초 응력이 가해지는 구간에서는 탄성영역이 보이지만 직선적이지 않고 기울기가 낮게 나왔다. 변위가 0.4mm를 지나면서 평탄응력이 계속되다가 기공 구조가 집적되면서 응력이 급격히 오르는 모습을 보였다.



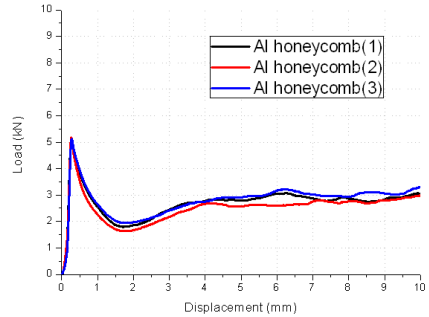
[그림 8] 하중-변위 곡선(Foam)
[Fig. 8] Load-displacement curve(Foam)

그림 9는 허니컴 샌드위치 시험편의 면외 압축실험 모습이다. 알루미늄 폼과 마찬가지로 심재에 좌굴이 발생하면서 압축되는 모습을 보였다.



[그림 9] 면외 압축실험(Honeycomb)
[Fig. 9] Out-plane compression test(Honeycomb)

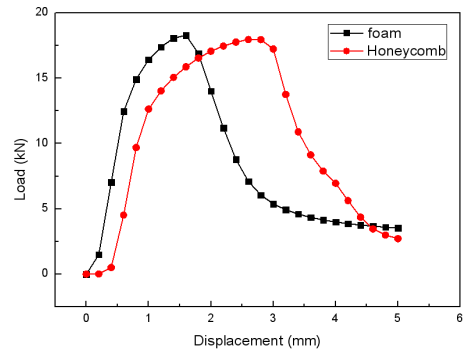
그림 10은 허니컴 코어 시험편의 면외 압축하중의 변화로 압축 최대하중에 도달한 후 감소와 증가를 반복하였다.



[그림 10] 하중-변위 곡선(Honeycomb)
[Fig. 10] Load-displacement curve(Honeycomb)

2.3 결과 분석

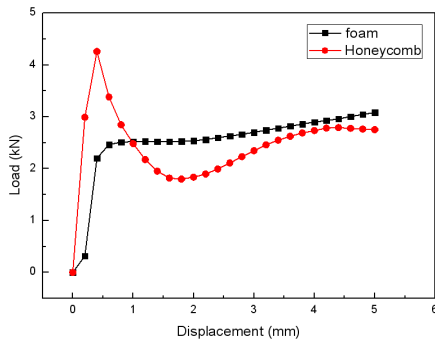
그림 11은 변위가 5 mm 변하는 동안 면내 압축하중의 변화로 알루미늄 폼 샌드위치 복합재료의 압축 최대하중은 18.36 kN, 알루미늄 허니컴 샌드위치 복합재료는 18.03 kN으로 나왔다. 압축 최대하중은 비슷하지만 알루미늄 허니컴이 알루미늄 폼보다 하중 지지구간이 더 길게 나왔다.



[그림 11] 폼과 허니컴의 하중-변위 비교(면내 압축)
[Fig. 11] Comparison with load-displacements of foam and honeycomb(In-plane compression)

그림 12는 변위가 5 mm 변하는 동안 면외 압축하중의 변화로 알루미늄 폼 샌드위치 복합재료는 0~0.5 mm 사이의 변위에서 압축 최대하중이 급격히 증가한 후 2.5 kN 정도의 하중으로 유지되다가 증가하는 결과를 보였다.

알루미늄 허니컴 샌드위치 복합재료의 경우에는 알루미늄 폼보다 높은 4.3 kN 정도의 압축 최대하중 값을 보였다.



[그림 12] 폼과 허니컴의 하중-변위 비교(면외 압축)
 [Fig. 12] Comparison with load-displacements of foam and honeycomb(Out-plane compression)

3. 결론

알루미늄 폼 및 허니컴 샌드위치 복합재료의 면내·외 압축실험을 통하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 면내·외 압축실험에서 시험편의 비하중 및 지지능력을 고려하면, 알루미늄 폼 샌드위치 복합재료보다 알루미늄 허니컴 샌드위치 복합재료의 압축 특성이 더 우수하였다.
2. 면내 압축실험에서 심재와 면재가 박리될 때, 폼 코어는 접합부보다 심재가 먼저 파손되어 허니컴 코어보다 짧은 변위에서 좌굴이 발생하였다.
3. 면외 압축실험에서 허니컴 코어는 폼 코어보다 더 높은 압축 최대하중에 도달 후 셀의 파괴가 이루어지는 양상을 보였다.

References

[1] J. Zhou and W. O. Soboyejo, "Compression - compression fatigue of open cell aluminum foams: macro-/micro-mechanisms and the effects of heat treatment", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 369, Issues. 1-2, pp. 23-35, March, 2004.

[2] S. S. Kim, "Study of Properties Foaming Glass from Waste Glass", 2007 Spring Conference Proceeding of KAIS, pp. 126-128, May, 2007.

[3] H. J. Chung, K. Y. Rhee, B. S. Han and Y. M. Yoo, "Tensile and Compression Behaviour of Al Foam FEM Using 3D Scan", 2006 Autumn Conference Proceeding of KSPE, pp. 255-256, October, 2006.

[4] S. Y. Park, H. I. Doh, M. S. Hwang, H. B. Eun and W.

J. Choi, "Basic Design of Composite Wing Box for Light Aircraft", *Transactions of KSAS*, Vol. 32, No. 3, pp. 74-81, April, 2004.

[5] S. M. Jun, M. K. Lee and J. H. Lee, "A Multidisciplinary Design Optimization Study for Aircraft Composite Wing with Tip Store", *Transactions of KSAS*, Vol. 32, No. 2, pp. 24-30, March, 2004.

[6] W. H. Lee, S. C. Han and W. T. Park, "Buckling Analysis of Laminated Composite Plates under the In-plane Compression and Shear Loadings", *Transactions of KAIS*, Vol. 11, No. 12, pp. 5199-5206, December, 2010.

방 승 옥(Seung-Ok Bang)

[준회원]



- 2010년 2월 : 공주대학교 자동차 공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석

김 기 선(Key-Sun Kim)

[종신회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학사)
- 1983년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학석사)
- 1994년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학박사)
- 1989년 7월 : 기계제작 기술사
- 1994년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

자동차 내장 및 시트 부품, 자동차 내외장부품 제조공정

김 세 환(Sei-Hwan Kim)

[중신회원]



- 1971년 2월 : 수도공과대학 기계공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학박사)
- 1979년 2월 : (주) 삼아 공장장
- 1982년 3월 : 천안공업대학 금형설계과 교수
- 2010년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

프레스 금형, 단조가공, 금형열처리

송 수 구(Soo-Gu Song)

[정회원]



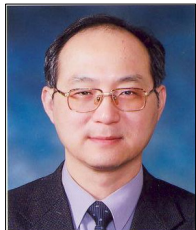
- 1989년 2월 : 경원대 건축공학과 (공학사)
- 1991년 1월 : 동신중공업 설계팀
- 2001년 2월 : 동신엔지니어링 설립
- 2003년 3월 ~ 현재 : (주)동신 대표

<관심분야>

철도차량자재, 건축자재, 건축 설계 및 가공

조 재 응(Jae-Ung Cho)

[중신회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석