알루미늄 폼을 갖는 DCB 구조체의 구조해석에 관한 연구

최해규*, 김세환**, 조재웅**
*공주대학교 대학원 기계공학과
**공주대학교 기계자동차공학부
e-mail:jucho@kongju.ac.kr

Study on Structural Analysis of DCB Structure with Aluminum Foam

Hae-Kyu Choi*, Sei-Hwan Kim**, Jae-Ung Cho**
*Division of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University
**Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요 약

본 논문에서는 알루미늄 폼 복합재료로 된 DCB(이중외팔보) 구조체의 파괴 거동을 시뮬레이션 해석하였다. 시뮬레이션 해석에 사용된 모델은 영국 공업규격과 ISO국제규격에 의거하여 3D모델을 설계하였다. 해석 결과 모델의 두께가 두꺼울수록 발생한 크랙의 길이가 길게 나타났고, 높은 하중이 발생하였다. 이와 같은 연구에서 얻어진 해석 결과를 통하여 알루미늄 폼 재질로 접합된 실제 복합재 구조물에 적용시켜 파괴거동을 분석하고 그 기계적인 특성을 파악할 수 있다.

1. 서론

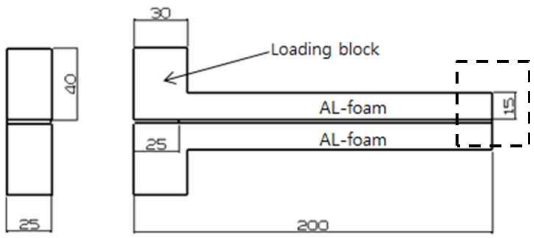
최근 경량 구조용, 충격에너지 흡수용, 소음 및 진동 흡수용 등으로 사용 가능한 알루미늄 폼 복합재료의 사용이 날로 증가하고 있는 추세이다. 복합재료를 이용한 구조물의 체결방식에는 용접이나 볼트, 너트에 의한 체결방식과 기존의 체결방식에는 복합재료의 파손 및 변형과 같은 문제점이 발생한다. 이러한 문제점들 때문에 최근에는 에폭시 접착제와 같은 특수 접착제를 이용하여 복합재료들을 접합하는 접착 구조물의 사용이 증가하고 있다.

그러나 충분한 강성과 강도를 가지고 설계되었음에도 불구하고 기계 또는 접착 구조물이 충격에 의해 파손되는 것을 최근 여러 가지 사고를 통해서도 알 수 있다. 이것은 복합재료 접합면의 파단이 접착 구조물에 존재하는 이물질 또는 결함에 의해 발생된 균열과 관련이 있다[1-2].

본 연구에서는 영국 공업 규격(British standard ; BS 7991)[3]과 ISO 국제규격(ISO 11343)[4]에 의거하여 알루미늄 폼 복합재료의 DCB 시험편을 3D 모델링하여 유한요소해석을 통하여 접착제인 연결부의 접착력은 접합력으로 가정하였고, 해석을 수행하였다. 3D 모델링과 해석에는 ANSYS 프로그램[5]이 사용되었다. 이러한 해석적 연구에서 얻어진 결과를 통하여 접착제로 접합된 알루미늄 폼 재질로 된 실제 복합재 구조물에 적용시켜 파괴거동을 분석하고 그 기계적인 특성을 파악할 수 있다.

2. 해석 모델 및 경계조건

그림 1은 해석에 사용된 모델의 도면을 보여주는 그림으로 모델 치수의 단위는 mm이다. 모델의 종류는 (a), (b), (c), (d), (e) 및 (f)의 6가지로서 좌측과 같이 측면의 폭은 25mm로 통일하였고, 우측과 같이 길이는 200mm로 통일하며, 두께는 15mm에서 40mm까지 5mm 간격으로 6가지를 모델링하였다. 또한 그림 1과 같이 하중 블록이 있는 부분의 끝으로 25mm를 띄운 시점부터 모델의 반대쪽 끝까지를 접합된 것으로 설정하여 해석을 수행하였다.



[그림 1] 모델링 도면

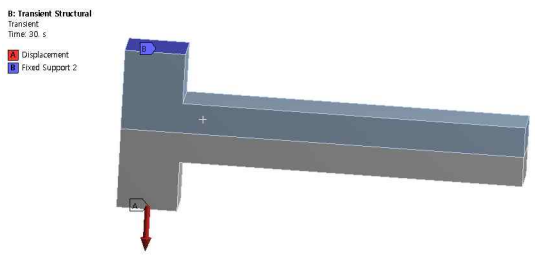
본 해석에는 알루미늄 폼 코어의 경우 기공의 크기나 분포가 불균일하기 때문에 유효등가 모델을 적용하였다. 기공의 크기를 같고 균일하게 배열되어있는 폼 재료의 모델과 유효등가 모델의 해석 결과가 유사하기 때문에 유효등가 모델을 사용하여 더 효율적으로 해석을 수행하였다.

또한 모델의 재질은 알루미늄 폼으로 Al-SAF40을 적용하였으며, 접착된 부분은 Bonded 조건에서 접착력을 조절하여 해석을 수행하였다. 접착력은 법선응력으로서 3MPa을 적용하였고, 해석에 사용된 재료의 물성치는 알루미늄 폼 코어 샌드위치 복합재료의 압축해석의 물성을 참고하였으며 물성치는 표 1과 같다[6].

[표 1] 재료의 물성치

Property	Al-SAF40
Density(kg/m^3)	400
Young's modulus(MPa)	2,374
Poisson's ratio	0.29
Yield strength(MPa)	1.8
Shear strength(MPa)	0.92

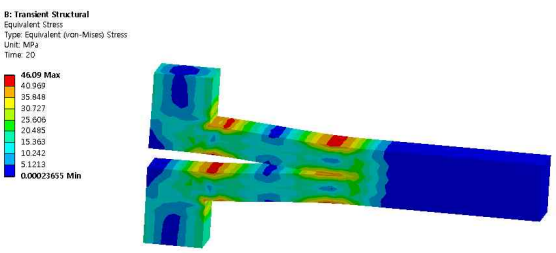
그림 2와 같이 하중 블록의 상부는 고정조건으로서 구속하였고, 하부의 하중 블록에는 30mm/min의 변위 속도로서 시간에 따른 변위를 가하였다. 또한 경과 시간은 30초로 설정하였다.



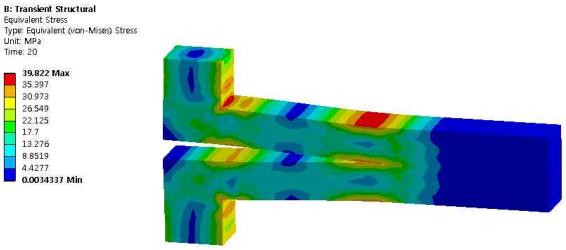
[그림 2] 경계조건 설정

3. 해석 결과

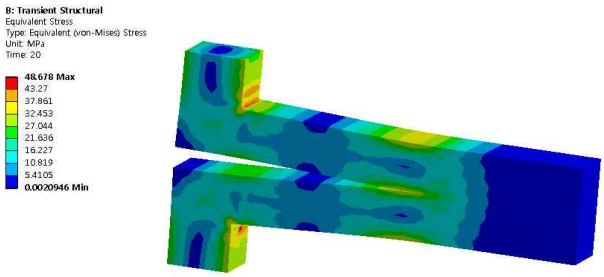
그림 3은 해석 결과로 각각의 모델별로 경과 시간 20초 후의 등가응력을 보여주는 그림들이다. 두께가 15mm인 모델 (a)로부터 40mm인 모델 (f)까지 순서대로 나타내었다. 그림 4에서와 같이 최대 등가응력의 값은 차이가 잘 나지 않는 것으로 확인되며, 두께가 두꺼울수록 크랙의 길이가 긴 것을 확인 할 수 있었다.



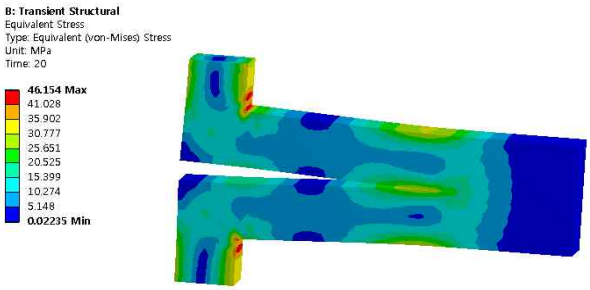
(a) Thickness of 15mm



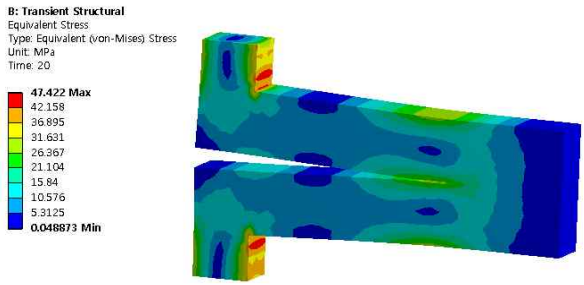
(b) Thickness of 20mm



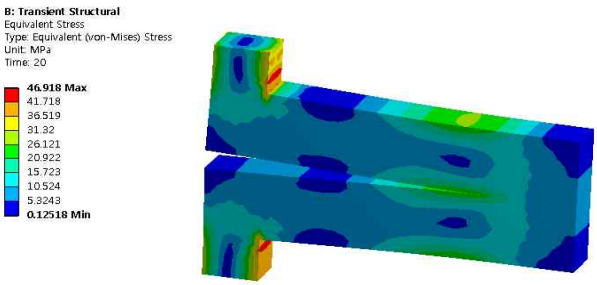
(c) Thickness of 25mm



(d) Thickness of 30mm



(e) Thickness of 35mm

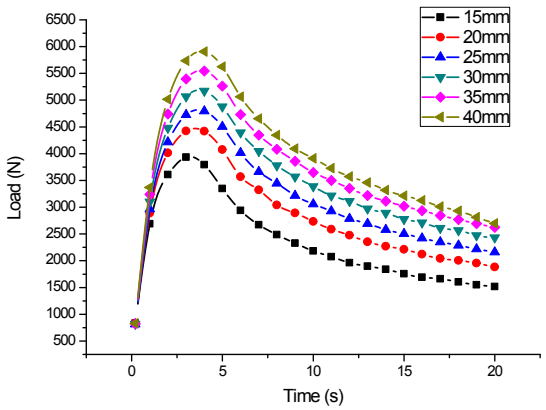


(f) Thickness of 40mm

[그림 3] 20초 후의 등가응력 등고선

그림 4는 시간에 따른 하중의 변화를 각각의 타입에 대하여 나타내었다. 전체적으로 3초에서 5초 사이에 최대하중이 나타난 것을 확인할 수 있다.

두께 40mm인 모델이 3.8초에 5912N으로 가장 높을 값을 나타내었으며, 두께가 얇을수록 최대하중이 낮아지는 것을 알 수 있었다.



[그림 4] 시간에 따른 등가응력의 그래프

본 연구에서는 접착제로 접합된 알루미늄 폼 DCB 시험편의 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 등가응력의 해석 결과에서는 전체적으로 탄성구간은 비슷한 양상을 보였으며, 항복점 이후로 두께가 25mm인 모델일 때, 최대 등가응력이 48.7MPa로 높게 나왔고, 두께가 20mm인 모델일 때, 최대 등가응력이 39.8MPa로 낮게 나타났다. 두께가 작은 모델의 경우에 하중 블록 부분에서 취약한 것을 알 수 있었다.
2. 시간에 따른 하중을 관찰한 결과 두께가 두꺼울수록 하중이 높게 나타났다. 그리고 시간에 따른 변형에너지를 관찰한 결과 두께 20mm인 모델의 경우 시험편이 탄성한계 내에서 받은 힘이 가장 크게 나타났다고 할 수 있으며, 두께 15mm인 모델의 경우에는 소성변형을 포함하였기 때문에 변형에너지의 값이 작은 값으로 나타난 것으로 생각된다.
3. 두께가 두꺼운 모델일수록 20초의 경과 시간 동안에 발생한 크랙의 길이가 길어졌으며, 잡아당기는 하중이 더 크게 작용되는 것을 알 수 있었다.
4. 본 연구에서 얻어진 해석 결과를 통하여 접착제로 접합된 알루미늄 폼 재질로 된 실제 복합재 구조물에 적용시켜 파괴거동을 분석하고 그 기계적인 특성을 파악할 수 있다.

후기

본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2011-0006548).

본 연구는 한국연구재단 국제협력연구사업 (D00004) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

[1] 김태원, 김병조, 김용, 김학인, “내충격 성능을 위한 알루미늄 폼재의 밀도와 기하학적 특성”, 대한기계학회 2007년도 추계학술대회 강명 및 논문 초록집, pp. 11-14, 10월, 2007.

[2] 방승옥, 김기선, 김세환, 송수구, 조재웅, “알루미늄 폼 및 허니컴 샌드위치 복합재료의 압축실험에 관한 연구”, 한국산학기술학회 논문지, 제12권, 제9호, pp. 3802-3807, 9월, 2011.

[3] British Standard, BS 7991, “Determination of the Mode I Adhesive Fracture Energy G_{IC} of Structure Adhesives Using the Double Cantilever Beam (DBC) and Tapered Double Cantilver Beam (TDCB) Specimens”, Imperial college of sience and technology(JISC), pp. 3-13, 2001.

[4] International Standards Organization, ISO 11343, Geneva(Switzerland), 1993.

[5] Swanson, J., Ansys 12.0, Ansys Inc, U.S.A, 2009.

[6] 방승옥, 국정한, 김세환, 조재웅, “샌드위치 복합재료의 압축 특성에 관한 시뮬레이션 해석”, 산학기술학회 논문지, 제13권, 제2호, pp. 478-484, 2월, 2012.