FEM을 이용한 DCB 구조체의 피로 해석에 관한 연구

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

Study on Fatigue Analysis of DCB structure using FEM

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 접착제로 접합된 DCB 구조체의 피로 해석을 수행하였다. 두께가 25 및 40 mm인 두 모델들의 피로수명과 피로손상의 해석 결과를 비교해보면, 두께 25 mm인 모델이 두께 40 mm인 모델에 비하여 수명과 손상이 불리한 것으로 나타났으며 불규칙 피로하중에서는 'SAE transmission'에서 가장 불리한 값을 나타냈다. 또한 'SAE transmission'에서 가장 안정한 경향을 보이고 있고 상대적인 손상으로서 약 1.1 에서 1.8 % 정도로 가장 작은 것으로 나타났다. 본 연구에서 얻어진 해석 결과를 접착제로 접합된 실제 복합재 구조물에 적용시켜 피로거동을 분석하고 그 기계적인 특성을 파악할 수 있다.

1. 서론

복합재료는 초경량성, 흡음성, 에너지 흡수성, 친환경성 등 뛰어난 성능을 가지고 있어 자동차 산업이나 항공기, 선박, 건축 분야 등 그 활용이 날로 증가되고 있는 추세이다.

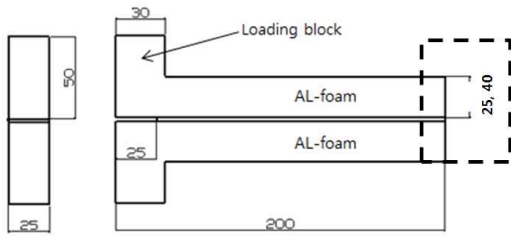
하지만 복합재료를 이용한 구조물의 결합 방법으로 종전의 용접이음이나, 볼트•너트에 의한 체결방식은 가공 과정이나 시간이 증가할 뿐만 아니라 무게가 증가한다. 또한 복합재료의 변형과 파손을 일으킬 수 있기 때문에 접착식 결합방식으로 대체되고 있다[1].

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. 따라서 복합재료를 이용한 접착 구조물의 충격피로와 접합면에 대한 파괴 인성을 연구하는 것이 중요하다[2].

본 연구에서는 DCB(이종복합재료) 형태의 접착 구조물을 3D 모델링하여 FEM을 이용한 피로해석을 수행하였다[3-4]. 3D 모델링과 해석에는 ANSYS 프로그램[5]이 사용되었으며 이러한 해석적 연구에서 얻어진 결과를 통하여 접착제로 접합된 알루미늄 폼 재질로 된 실제 복합재 구조물에 적용시켜 파괴거동을 분석하고 그 기계적인 특성을 파악할 수 있을 것으로 사료된다.

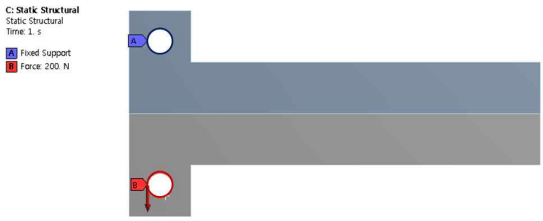
2. 해석 모델 및 경계조건

그림 1은 해석에 사용된 DCB 모델의 도면을 보여주는 그림으로서 치수의 단위는 mm이다. 모델의 종류는 (a) 와 (b)의 2가지로서 좌측과 같이 측면의 폭은 25 mm로 통일하였고, 우측과 같이 길이는 200 mm로 통일하며, 두께는 25 mm와 40 mm를 각각 모델링하였다. 또한 그림 1과 같이 하중 블록이 있는 부분의 끝으로 25 mm를 띄운 시점부터 모델의 반대쪽 끝까지를 접합된 것으로 설정하여 해석을 수행하였다. 또한 피로해석에 사용된 모델의 물성은 구조용 강으로 설정하였으며, 접착된 부분은 접합 조건을 사용하였다.



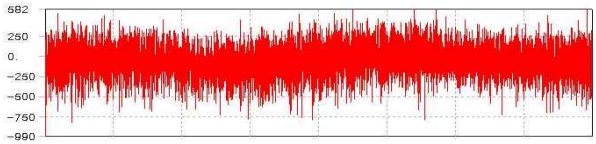
[그림 1] 모델링 도면

그림 2와 같이 하중 블록의 상부는 고정조건으로서 구속하였고, 하부의 하중 블록에는 200 N의 하중을 부여였다. 접촉면은 하중 블록이 있는 부분의 앞부분에서 25 mm 떨어뜨려 접착된 것으로 설정하였다.

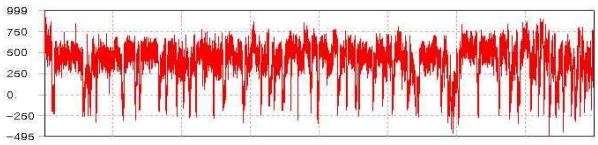


[그림 2] 경계조건

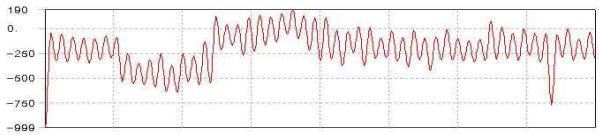
또한 불규칙 진폭 피로 하중 조건에 대하여 그림 3과 같이 'SAE bracket history', 'SAE transmission' 및 'Sample history' 으로써 그림에서는 경과 사이클들에 대한 응력 진폭과 일정한 평균 응력의 내역을 보이고 있다.



(a) SAE bracket history



(b) SAE transmission

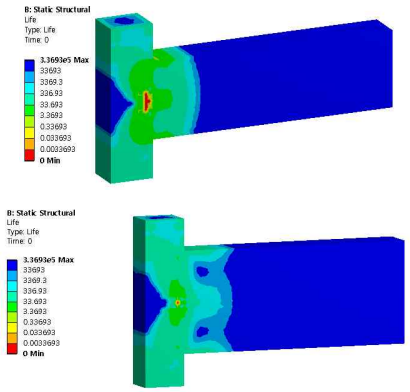


(c) Sample history

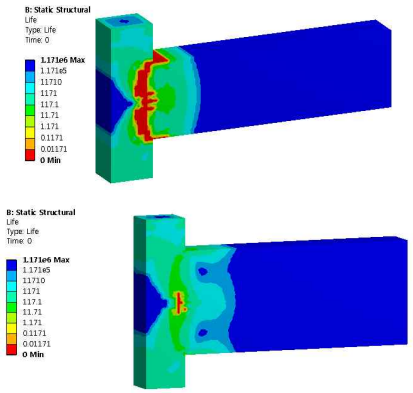
[그림 3] 전변형량 등고선

3. 해석 결과

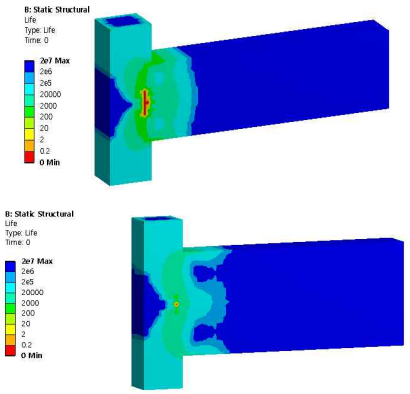
본 연구의 모델에 대하여 사용 가능 수명에 대한 등고선 그림들이 그림 4에 나타나 있다. 이 결과는 모델 전체에 걸쳐서 계산 될 수 있는데 불규칙 진폭 하중으로 본 모델에 작용됨으로써 이 결과의 등고선 그림들은 주어진 피로 분석에 대하여 사용 가능한 수명을 보여주고 있다. 또한 그림들에서 볼 수 있듯이 하중의 변화가 극심한 'SAE bracket history'가 그 최대 수명이 약 3.37×10^5 Cycle로 그 수명이 가장 작음을 알 수 있고 하중의 변화가 완만한 'Sample history'의 경우가 그 수명이 약 2×10^7 Cycle 정도로 가장 긴 것을 알 수 있었다. 두 모델 공히, 'Sample history'의 경우는 피로 수명은 'SAE bracket history'의 경우보다 약 60배 정도 수명이 길고 'SAE transmission'의 경우는 'SAE bracket history'의 경우보다 3.5배 정도 수명이 길어짐을 알 수 있었다.



(a) SAE bracket histories on thicknesses of 25 mm and 40 mm



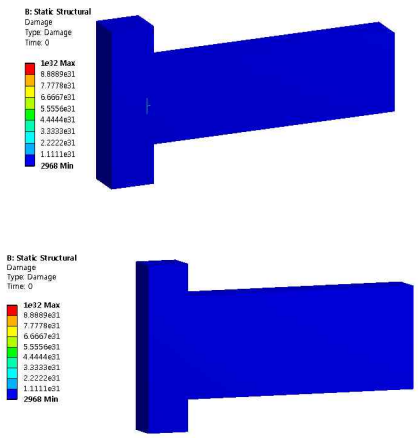
(b) SAE transmission on thicknesses of 25 mm and 40 mm



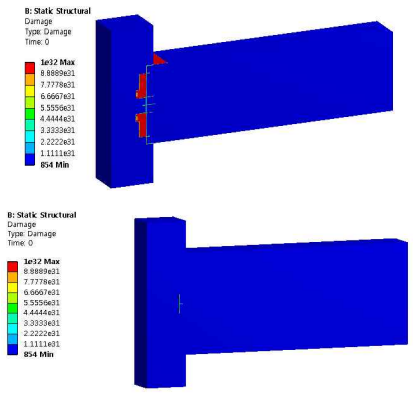
(c) Sample histories on thicknesses of 25 mm and 40 mm

[그림 4] 피로수명의 등고선 그림

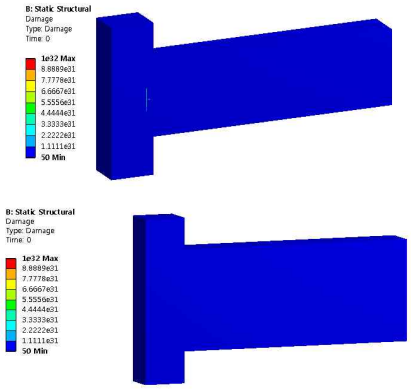
그림 5는 피로 손상에 대한 등고선을 비교한 그림들이다. 피로 손상은 설계 수명을 사용 가능 수명으로 나눈 것이다. 해석 결과 두 모델을 비교하면 두께 25 mm인 모델이 두께 40 mm인 모델에 비하여 전체적으로 손상을 더 많이 받은 것으로 나타났으며, 특히 'SAE transmission'에서 손상을 가장 많이 받는 것으로 나타났다. 그림에서 보면 두 모델 모두 하중의 변화가 극심한 'SAE bracket history'에서 손상의 최소값이 2968로 가장 많은 것을 볼 수가 있고 하중의 변화가 완만한 'Sample history'의 경우는 그 손상의 최소값이 50정도로 가장 적은 것을 알 수 있었다. 따라서 불규칙 피로 하중들 중에서는 하중의 변화가 극심한 'SAE bracket history'의 경우가 대체적으로 가장 불안정한 경향을 보이고 있고, 비교적 하중의 변화가 완만한 'Sample history'의 경우가 가장 안정함을 보이고 있다.



(a) SAE bracket histories on thicknesses of 25 mm and 40 mm



(b) SAE transmission on thicknesses of 25 mm and 40 mm



(c) Sample histories on thicknesses of 25 mm and 40 mm

[그림 5] 피로 손상의 등고선 그림

4. 결론

본 연구에서는 FEM을 이용한 DCB 구조체의 피로해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 두 모델의 피로수명의 해석 결과를 비교해보면 두께 25 mm인 모델이 두께 40 mm인 모델에 비하여 수명과 손상이 불리한 것으로 나타났으며, 두 모델 모두 예비 크랙의 끝 부분에서 취약한 것을 알 수 있었다. 또한 하중의 변화가 극심한 'SAE bracket history'가 그 최대 수명이 약 3.37×10^5 Cycle로 그 수명이 가장 작음을 알 수 있고 하중의 변화가 완만한 'Sample history'의 경우가 그 수명이 약 2×10^7 Cycle 정도로 가장 긴 것을 알 수 있었다.
2. 두 모델의 피로손상 해석 결과를 비교하여 두께 25 mm인 모델이 두께 40 mm인 모델에 비하여 전체적으로 손상을 더 많이 받은 것으로 나타났으며, 특히 'SAE transmission'에서 손상을 가장 많이 받는 것으로 나타났다.
3. 본 연구에서 얻어진 해석 결과를 통하여 접착제로 접합된 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] 박성완, 이장규, “접착이음의 강도평가에 대한 해석”, 한국공작기계학회, 한국공작기계학회 2004 추계학술대회 논문집, pp. 98-107, 10월, 2004.

[2] 이명한, 이명균, 박영배, 오수익, “접착제와 Self-piercing rivet을 이용한 이종재료의 결합강도 평가”, 한국자동차공학회, 한국자동차공학회 2003년도 추계학술대회논문집, pp. 819-823, 2004.

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

[4] 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.

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