

알루미늄 폼 복합재료로 된 접합된 DCB 시험편의 구조 해석에 관한 연구

최해규¹, 김세환², 조재웅^{2*}

¹공주대학교 대학원 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

Study on Structural Analysis of DCB Specimen Bonded with Aluminum Foam Composite

Hae-Kyu Choi¹, Sei-Hwan Kim² and Jae-Ung Cho^{2*}

¹Division of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요 약 본 논문에서는 알루미늄 폼 복합재료로 된 DCB(이중외팔보) 시험편의 파괴 거동을 시뮬레이션 해석하였다. 시뮬레이션 해석에 사용된 모델은 영국 공업규격과 ISO국제규격에 의거한 3D 형태로 하였다. 모델의 두께가 두꺼울수록 발생한 크랙의 길이가 길게 나타났고, 높은 하중이 발생하였다. 본 연구에서 얻어진 해석 결과를 알루미늄 폼 재료로 접합된 실제 복합재 구조물에 적용시켜 파괴거동을 분석하고 그 기계적인 특성을 파악할 수 있다.

Abstract In this study, the fracture behaviour of DCB(double cantilever beam) specimen with aluminum foam composite materials is analyzed by simulation. The used model is 3D configuration on the basis of British industrial standard and ISO international standard. As the thickness of model is increased, the length of propagated crack is increased and the load becomes higher. The analysis result obtained by this study can be applied at the practical composite structure bonded with aluminum foam materials. The fracture behaviour is analyzed and the mechanical property can be understood.

Key Words : Aluminum foam composite, Double cantilever beam(DCB), Thickness of model, Fracture behaviour

1. 서론

우수한 기계적, 역적 특성 및 에너지 흡수 효과를 기대할 수 있는 폼 재료의 적용이 날로 증가하고 있는 추세이다. 이와 같은 폼 재료는 경량 구조용, 충격에너지 흡수용, 소음 및 진동 흡수용, 열전달 매개용, 대체에너지 소재용, 기타 생체재료 등 군수에서 민간 산업에 이르기까지 전 분야에서 폭넓은 활용이 가능하다[1]. 그 중에서 응용된 알루미늄에 발포제가 넣어져 내부에 기포가 형성된 알루미늄 폼은 자동차범퍼, 충격흡수재, 선박, 항공기의 내외장재 및 건축 분야에서 그 활용이 날로 증가되고 있

는 추세이다[2].

복합재료를 이용한 구조물에 기존의 용접이나 드릴로 구멍을 뚫어 볼트, 너트에 의한 체결 방식을 사용하게 되면 가공 과정이나 시간이 증가할 뿐만 아니라 무게도 증가한다. 또한 알루미늄 폼과 같은 경우에는 가공 과정이나 볼트, 너트에 의한 압력에 의하여 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 파손

본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 것임(2011-0006548)
본 연구는 한국연구재단 국제협력연구사업(D00004) 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jae-Ung Cho

Tel: +82-10-8807-8977 email: jucho@kongju.ac.kr

접수일 12년 01월 20일 수정일 12년 02월 20일

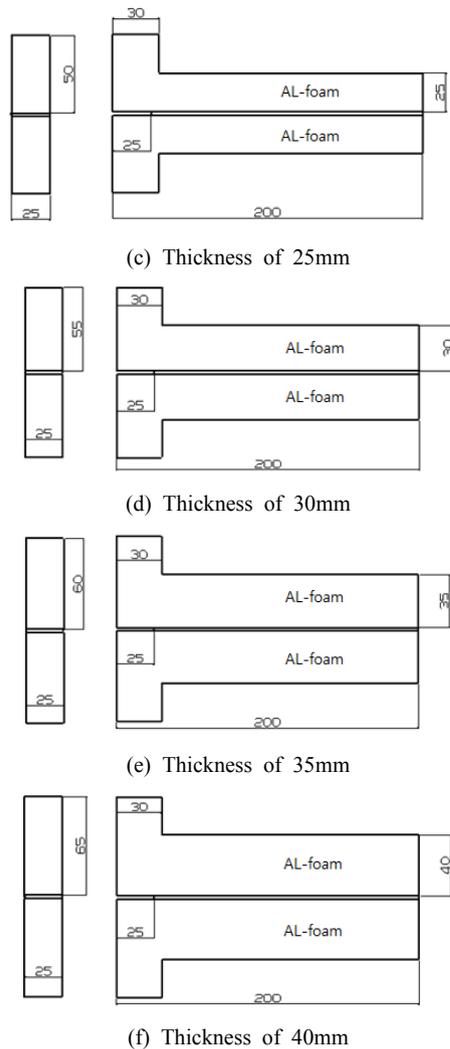
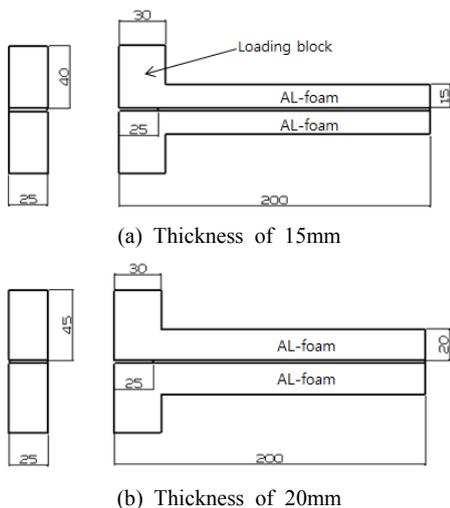
게재확정일 12년 04월 12일

되는 것을 최근 여러 가지 사고를 통해서도 알 수 있다. 이것은 복합재료 접합면의 파단이 접착 구조물에 존재하는 이물질 또는 결합에 의해 발생된 균열과 관련이 있다 [3,4]. 따라서 제조자들은 공학적인 성분과 구조물들의 접합에 있어서 종래의 접합 기술에 비하여 접착제의 이점에 대하여 고려하고 있으나, 접착제인 연결부의 접착력은 충격 하중의 조건하에서는 상당히 감소될 수 있다[5].

본 연구에서는 영국 공업 규격(British standard ; BS 7991)[6]과 ISO 국제규격(ISO 11343)[7]에 의거하여 알루미늄 폼 복합재료의 DCB 시험편을 3D 모델링하여 유한요소해석을 통하여 접착제인 연결부의 접착력은 접합력으로 가정하였고, 해석을 수행하였다. 3D 모델링과 해석에는 ANSYS 프로그램[8]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.

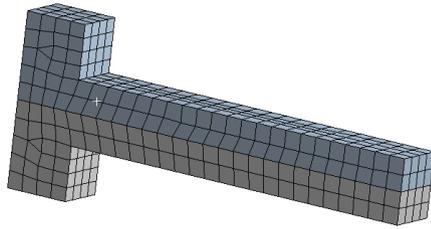
2. 해석 모델 및 경계조건

영국 공업 규격과 ISO 국제규격에 의거하여 알루미늄 폼 복합재료의 DCB 형태의 모델을 제작하였다. 그림 1은 해석에 사용된 모델의 도면을 보여주는 그림으로 모델 사이즈의 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 6가지로 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
[Fig. 1] Modelling drawing

본 해석에는 알루미늄 폼 코어의 경우 기공의 크기나 분포가 불균일하기 때문에 유효등가 모델을 적용하였다. 기공의 크기를 같고 균일하게 배열되어있는 폼 재료의 모델에 밀도만 다르게 하여 단순화시킨 유효등가 모델의 해석 결과가 유사하기 때문에 유효등가 모델을 사용하여 더 효율적으로 해석을 수행하였다. 알루미늄 폼 DCB 복합재료의 유한요소모델은 육면체 요소(Hexahedral Element)로 분할하였으며, 형상은 그림 2와 같다.



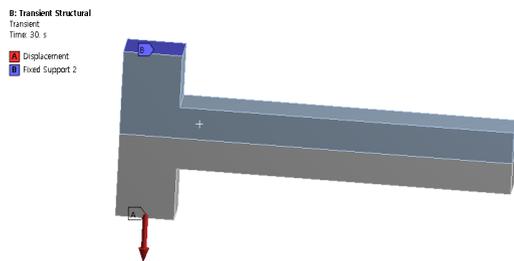
[그림 2] 유한요소 모델
[Fig. 2] Finite element model

모델의 재질은 알루미늄 폼으로 Al-SAF40을 사용하였으며, 접착된 부분은 Bonded 조건을 사용하였다. 접착력은 법선응력으로서 10MPa를 적용하였고, 끊어지기 직전까지의 위쪽과 아래쪽, 두 알루미늄 폼 사이의 간격을 2mm의 값으로 설정하였다. 해석에 사용된 Al-SAF40 재료의 물성치는 표 1과 같다.

[표 1] 재료의 물성치
[Table 1] Property of materials

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

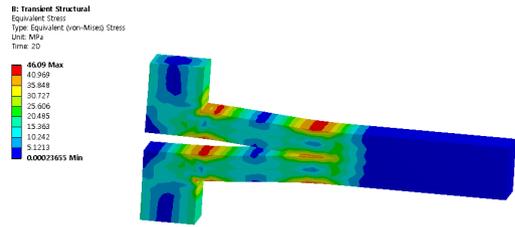
그림 3과 같이 하중 블록의 상부는 고정조건으로서 구속하였고, 하부의 하중 블록에는 30mm/min의 변위 속도로서 시간에 따른 변위를 가하였다. 또한 경과 시간은 20초로 설정하였다.



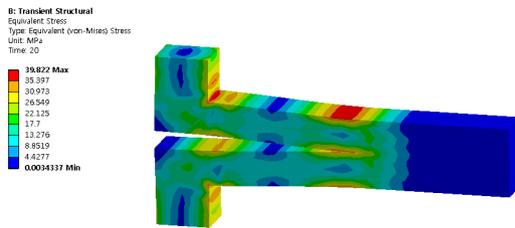
[그림 3] 경계조건
[Fig. 3] Boundary condition

3. 해석 결과

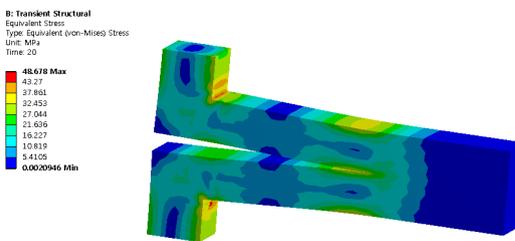
그림 4는 해석 결과로 각각의 모델별로 경과 시간 20초 후의 등가응력을 보여주는 그림들이다. 두께가 15mm인 모델 (a)로부터 40mm인 모델 (f)까지 순서대로 나타나었다.



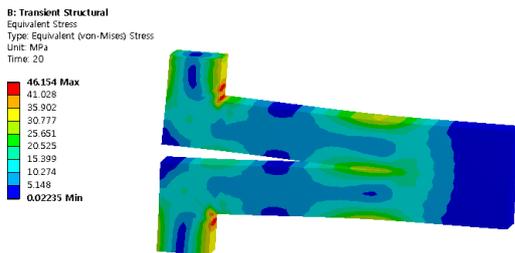
(a) Thickness of 15mm



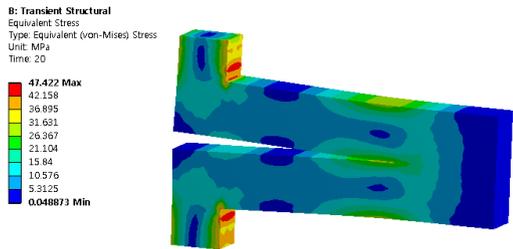
(b) Thickness of 20mm



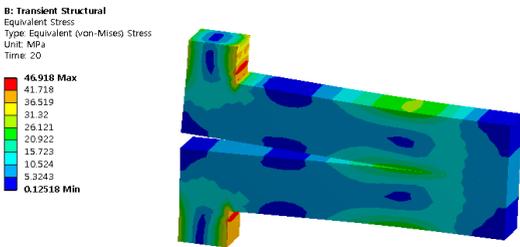
(c) Thickness of 25mm



(d) Thickness of 30mm



(e) Thickness of 35mm

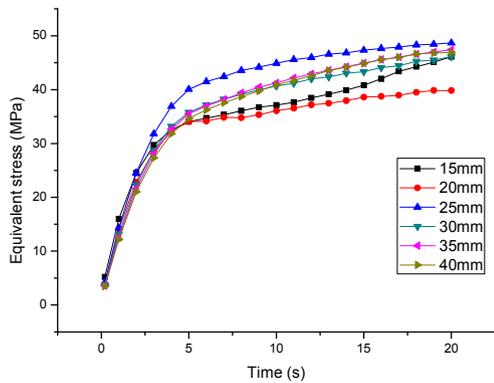


(f) Thickness of 40mm

[그림 4] 20초 후의 등가응력 등고선
[Fig. 4] Contour of equivalent stress at the elapsed time of 20 sec.

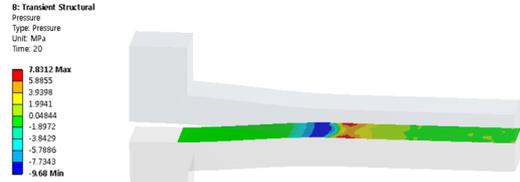
그림 4에서와 같이 최대 등가응력의 값은 차이가 잘 나지 않는 것으로 확인되며, 두께가 두꺼울수록 크랙의 길이가 긴 것을 확인 할 수 있었다.

그림 5는 각각의 모델별로 시간에 따른 최대 등가응력의 변화를 그래프를 나타낸 것이다. 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 나왔다.

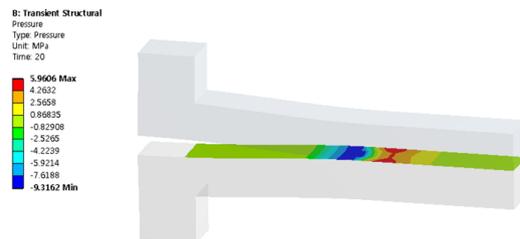


[그림 5] 시간에 따른 등가응력의 그래프
[Fig. 5] Graph of equivalent stress due to time

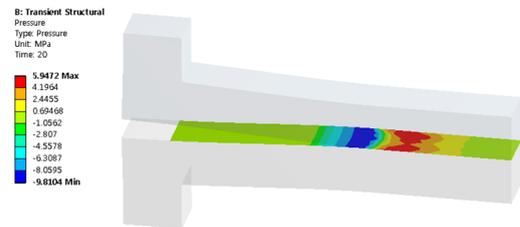
그림 6은 해석을 수행하여 20초 후의 접착된 부분의 압력을 나타낸 것으로 각각의 모델에 대한 결과를 모두 나타내었다.



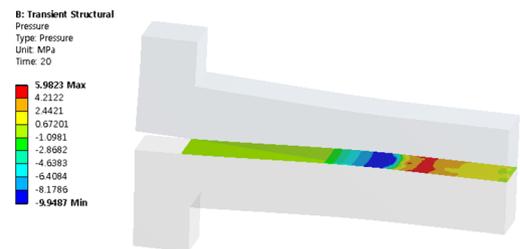
(a) Thickness of 15mm



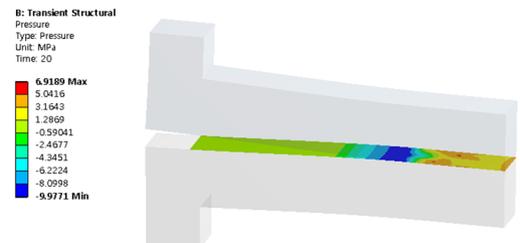
(b) Thickness of 20mm



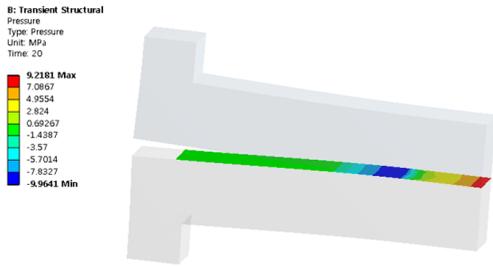
(c) Thickness of 25mm



(d) Thickness of 30mm



(e) Thickness of 35mm

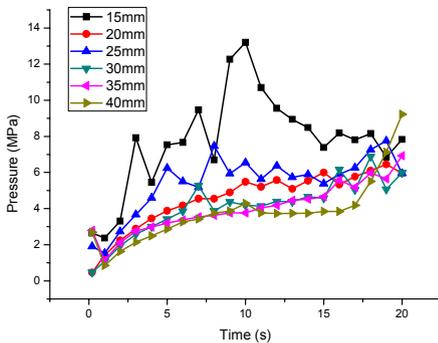


(f) Thickness of 40mm

[그림 6] 20초 후의 압력 등고선
[Fig. 6] Contour of pressure at the elapsed time of 20 sec.

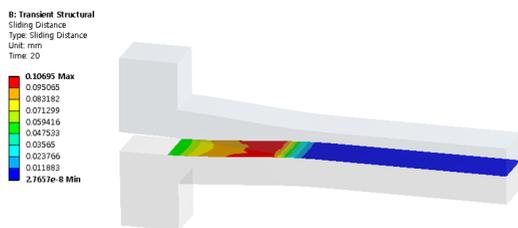
위 그림에서와 같이 접촉된 부분의 압력을 보면 접촉이 되어 있다가 바로 떨어지기 직전에 압력이 가장 낮은 것으로 나타났으며, 바로 그 후에 최대 압력이 발생하는 것을 알 수 있다.

그림 7은 각각의 타입별로 접촉부분의 시간에 따른 최대 압력의 변화를 그래프를 나타낸 것이다. 두께 15mm인 모델에서 가장 높은 압력을 보이다가, 20초 후에는 두께 40mm인 모델의 압력이 가장 높은 것으로 나타났다.

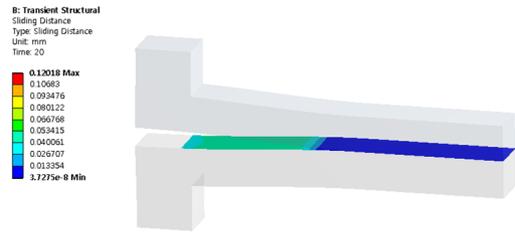


[그림 7] 시간에 따른 압력의 그래프
[Fig. 7] Graph of pressure due to time

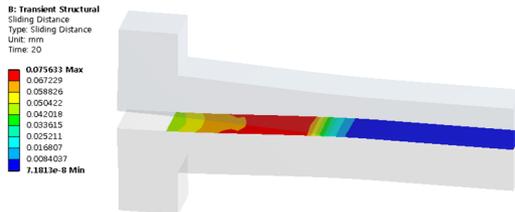
Fig. 8은 해석을 수행하여 20초 후의 접촉된 부분의 슬라이딩 거리를 나타낸 것으로 각각의 두께에 대한 결과를 모두 나타내었다.



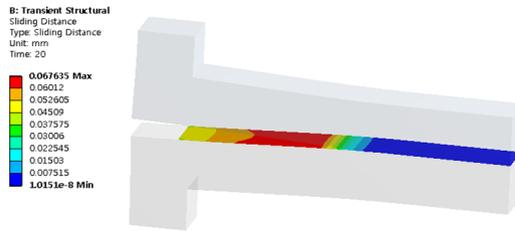
(a) Thickness of 15mm



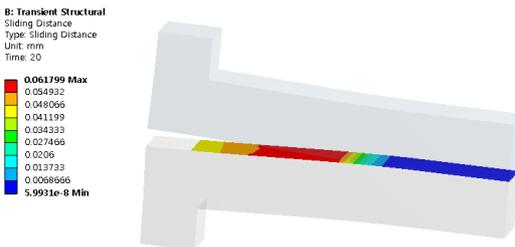
(b) Thickness of 20mm



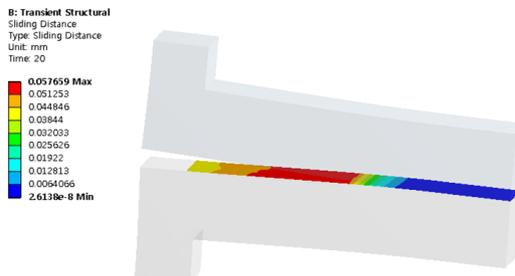
(c) Thickness of 25mm



(d) Thickness of 30mm



(e) Thickness of 35mm

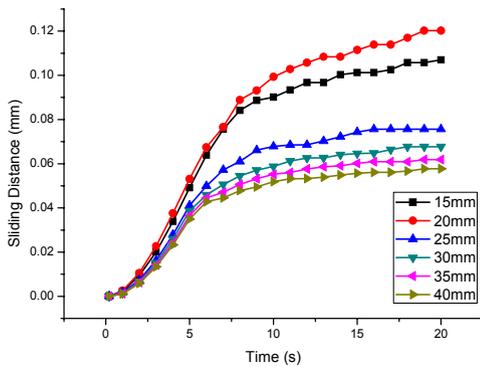


(f) Thickness of 40mm

[그림 8] 20초 후의 슬라이딩 거리 등고선
[Fig. 8] Contour of sliding distance at the elapsed time of 20 sec.

위 그림에서와 같이 접착된 부분의 슬라이딩 거리를 보면 6 가지의 모델 모두, 그 최대값은 접착이 되어 있다가 떨어지기 직전에 나타났으며, 아직 떨어지지 않은 부분은 최소값이 되었다.

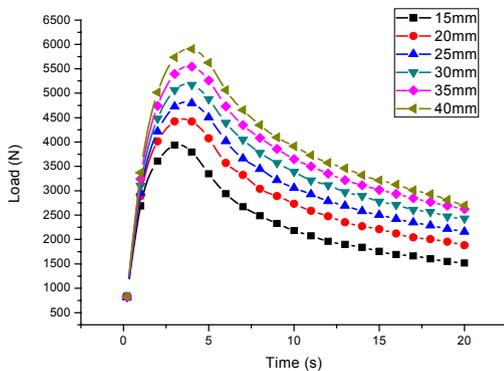
그림 9는 각각의 타입별로 접착부분의 시간에 따른 최대 슬라이딩 거리의 변화를 그래프를 나타낸 것이다. 두께 20mm인 모델이 0.12mm로 가장 높은 값을 보이며, 두께 15mm인 모델이 0.11mm로 두 번째로 높은 값을 나타냈고, 나머지는 두께 25mm, 30mm, 35mm, 40mm인 모델의 순서로 나타났다.



[그림 9] 시간에 따른 슬라이딩 거리 그래프
[Fig. 9] Graph of sliding distance due to time

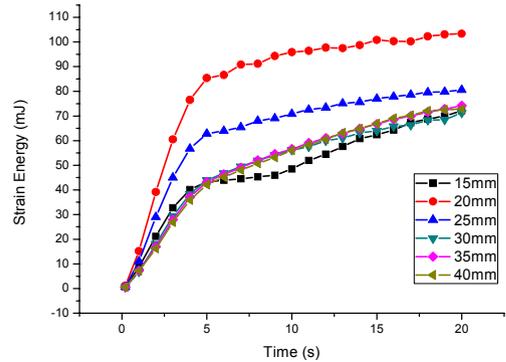
그림 10은 시간에 따른 하중의 변화를 각각의 타입에 대하여 나타내었다. 전체적으로 3초에서 5초 사이에 최대하중이 나타난 것을 확인할 수 있다.

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



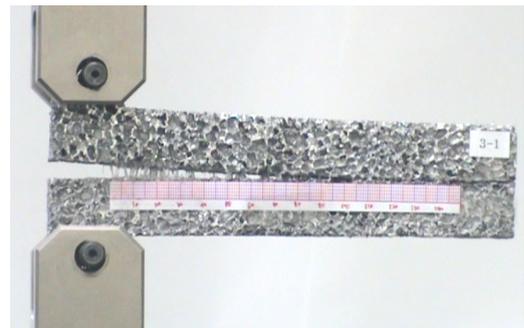
[그림 10] 시간에 따른 하중의 그래프
[Fig. 10] Graph of load due to time

그림 11은 시간에 따른 변형에너지의 변화를 각각의 타입에 대하여 나타내었다. 20초 후에 두께 20mm인 모델에서 변형에너지가 103mJ로 가장 높은 것으로 나타났으며, 다른 두께의 모델에서는 거의 비슷한 값을 가지는 것을 확인하였다.



[그림 11] 시간에 따른 변형에너지의 그래프
[Fig. 11] Graph of strain energy due to time

그림 12는 실제 DCB 복합재 구조물의 정적 실험 사진을 나타내었으며, 해석 내용과 유사한 모습으로 시험편이 분리되는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 12] DCB 시험편을 사용한 정적 실험 사진
[Fig. 12] Photograph of static test by using DCB specimen

4. 결론

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. 접착부위의 압력 해석 결과에서는 두께 15mm인 모델에서 가장 높은 압력을 보이다가, 20초 후에는 두께 40mm인 모델의 압력이 가장 높은 것으로 나타났다. 두께 15mm와 25mm인 모델을 제외하고 다른 모델들은 비슷한 양상을 나타냈다.
3. 접착부위의 슬라이딩 거리 해석 결과에서는 두께 20mm인 모델이 0.12mm로 가장 높은 값을 보이며, 두께 15mm인 모델이 0.11mm로 두 번째로 높은 값을 나타냈고, 나머지는 두께 25mm, 30mm, 35mm, 40mm의 모델 순서로 나타났다. 모델의 두께가 클수록 크랙이 더 많이 진행 한 것을 알 수 있다.
4. 시간에 따른 하중을 관찰한 결과 두께가 두꺼울수록 하중이 높게 나타났다. 그리고 시간에 따른 변형 에너지를 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.
5. 두께가 두꺼운 모델일수록 20초의 경과 시간 동안에 발생한 크랙의 길이가 길어졌으며, 잡아당기는 하중이 더 크게 작용되는 것을 알 수 있었다.
6. 본 연구에서 얻어진 해석 결과를 통하여 접착제로 접합된 알루미늄 폼 재질로 된 실제 복합재 구조물에 적용시켜 파괴거동을 분석하고 그 기계적인 특성을 파악할 수 있다.

References

- [1] T. W. Kim, B. J. Kim, y. Kim, H. I. Kim, "Density and Geometric characteristic of aluminum foam for shock absorption performance", Journal of the Korea Society Mechanical Engineers, pp. 11-14, October, 2007.
- [2] S. O. Boang, K. S. Kim, S. H. Kim, S. G. Song, J. U. Cho, "Study on Compression test of Aluminum foam and honeycomb sandwich composites", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation society, Vol. 12, No. 9, pp. 3802-3807, September, 2011.
- [3] Blackman, B.R.K., Dear, J.P., Kinloch, A.J.,

MacGillivray, H., Wang, Y., Williams, J.G. and Yayla, P.,S. R. Ahuja, et al., "The Failure of Fibre Composites and Adhesively Bonded Fibre Composites under High Rates of Test Part III Mixed-mode I/II and Mode II Loadings", Journal of Materials Science, Vol. 31, No. 17, pp. 4467-4477, 1996.

- [4] N. Y. Chung, S. G. Park, " Measurement of Interfacial crack length by ultrasonic attenuation coefficients on adhesively bonded components", Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 1, pp. 130-137, January, 2004.
- [5] D. C. Ko, B. M. Kim, A. C. Taylor, "Test method of reliability for structural adhesive", Journal of the Korea society for precision engineering, pp. 1581-1582, June, 2011.
- [6] 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.
- [7] International Standards Organization, ISO 11343, Geneva(Switzerland), 1993.
- [8] Swanson, J., Ansys 12.0, Ansys Inc, U.S.A, 2009.

최 해 규(Hea-Kyu Choi)

[준회원]



- 2011년 2월 : 공주대학교 자동차 공학과 (공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

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

김 세 환(Sei-Hwan Kim)

[종신회원]



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

<관심분야>

프레스 금형, 단조가공, 금형열처리

조 재 응(Jae-Ung Cho)

[종신회원]



- 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