

Fiber metal laminates(FML)의 기계적 등가물성치 도출에 관한 연구 STUDY ON THE MECHANICAL EQUIVALENT METIERIAL PROPERTY OF FIBER METAL LAMINATES(FML)

*송승호¹, 송우진², 구태완³, 김 정³, #강범수⁴

*S. H. Song¹, W. J. Song², T. W. Ku³, J. Kim³, #B. S. Kang(bskang@pusan.ac.kr)⁴

¹ 부산대학교 NCRC, ² 부산대학교 ILIC, ³ 부산대학교 항공우주공학과, ⁴ 부산대학교 ERC/NSDM

Key words : Fiber metal laminates(FML), Carbon reinforced aluminum laminates(CARAL), Hybrid material, Numerical simulation, Stress strain relationship, Uni-axial tensile test

1. 서론

섬유 강화 복합재료와 알루미늄 판으로 이루어진 Fiber metal laminates(FML)는 기존의 알루미늄이나 복합재료에 비해 우수한 피로, 충격, 부식저항특성과 적은 수분흡수로 인하여 최근 개발된 Airbus 사의 A380 항공기 동체에 적용되었다[1]. 특히 Carbon reinforced aluminum laminates(CARAL)는 아직 상용화 되지는 않았지만, 높은 강성과 강도, 충격 특성으로 인해 우주 구조물에 훌륭하게 적용될 수 있다. 그리고, 헬리콥터의 착륙장치, 항공기의 좌석 등의 충격을 흡수하기 위해 적용될 수 있다[2]. 하지만 CARAL 을 구조물에 적용하기 위해서는 강화재의 이방성 뿐만 아니라 적층수, 각도, 순서 등을 고려하여 재료를 설계해야 한다. 그리고, 수치해석법(numerical simulation)을 통해 해석할 경우 해석시간이 길어지게 된다. 이러한 이유들로 인하여 수치해석의 효율성을 높이기 위해서는 재료의 등가물성치를 구하는 것이 중요하다. 또한, CARAL 은 표면처리된 알루미늄판과 탄소섬유 강화 복합재료(Carbon Fiber Reinforced Plastic, CFRP)층이 접착필름에 의하여 서로 접착되는데, 재료의 성능과 신뢰도 향상을 위하여 최대의 접착강도를 가지는 알루미늄의 표면 거칠기를 찾는 것이 중요하다. 본 연구에서는 최대의 접착강도를 가지는 알루미늄판의 표면 거칠기를 실험을 통해 구하였다. 그리고 수치해석적 접근을 통해 CARAL 의 등가물성치를 구하였고, 실험결과와 비교하여 등가물성치의 정확성을 검증하였다.

2. 접착강도 실험

표면 거칠기에 따른 접착강도 시험은 섬유 강화 복합재료와 금속의 전단접착체결 시험 규격인 ASTM D5868-01 에 따라 진행하였다[3]. 사포 mesh #220, 320, 400, 600, 800 로 표면처리한 알루미늄 1050 시편과 표면처리 하지 않은 시편을 각각 5 개씩 준비하였다. 각각의 표면 거칠기는 Fig. 1 과 같다. 그리고 SK 케미칼사의 USN-125(carbon fiber-epoxy prepreg)를 4 장 적층한 후, HEATCON 사의 BMS5-129 접착필름(cure temp. 120℃)으로 알루미늄과 접착하였다. 시편의

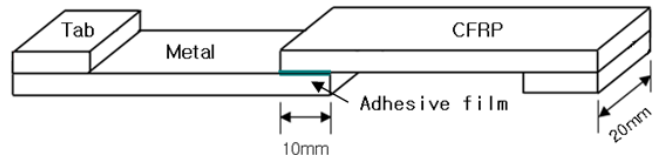


Fig. 2 Geometry of a composite bonded single lap joint

형상은 Fig. 2 와 같다. 시편은 Hot-press 기계에서 진공백(vacuum bag) 방식(120℃, 7bar)으로 2 시간 동안 동시 성형(Co-curing) 하였다. 인장시험은 Instron 8516 을 이용하였으며, 그 결과를 Fig. 4 에 나타내었다. 표면적이 넓을수록 즉, 표면거칠기 값이 높을수록 접착강도가 높을 것이라고 예상하였으나, 정반대로 표면거칠기 값이 낮을수록 강도는 높게 나타났다. 또한, 표면 거칠기 값이 높은 시편은 강도의 최대값과 최소값의 차이가 큰 불안정한 결과를 보였다. 이는 접착필름의 점도가 성형온도(120℃)에서 상대적으로 높아 사포에 의해 생긴 알루미늄 표면의 골 안쪽으로 거의 흐르지 않고, 표면근처에서만 접착이 되어 일어난 결과로 판단된다.

3. 수치적 방법

수치해석적 접근을 통해 CARAL 의 등가 물성치를 구하기 위해 상용프로그램인 ABAQUS V6.7 을 사용하였다. 알루미늄 1050 은 Solid 요소인 C3D8I, 복합재료는 Shell 요소인 SC8R 을 적용했다[4]. 해석에 사용된 알루미늄의 물성치는 자체 인장실험을 통하여 구하였고, 복합재료의 경우는 참고문헌에 나타난 자료를 사용하였다[5]. 사용된 복합재료의 이방성으로 인하여 길이방향(0°)과 수직방향(90°)으로 적층된 모델을 해석하였으며, 그 적층순서는 Fig. 4 와 같다

4. 실험적 방법

수치해석적 접근을 통해 구한 등가 물성치를 검증하기 위하여 인장 실험을 실시하였다. 앞의 접착강도 실험을 통해 알루미늄 표면에 아무런 처리를 하지 않았을 때 최대의

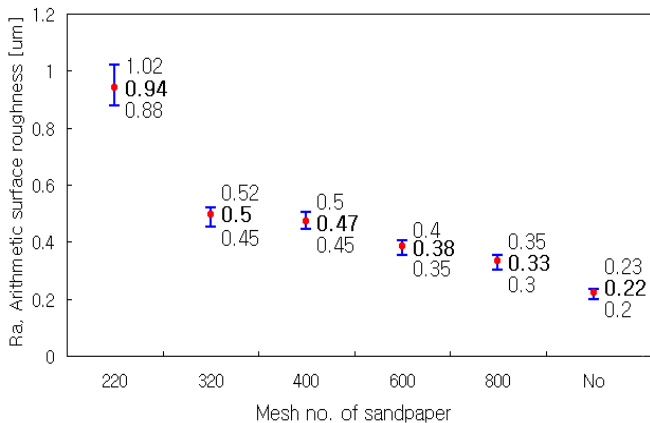


Fig. 1 Arithmetic surface roughness [µm] with respect to the mesh no. of sandpaper

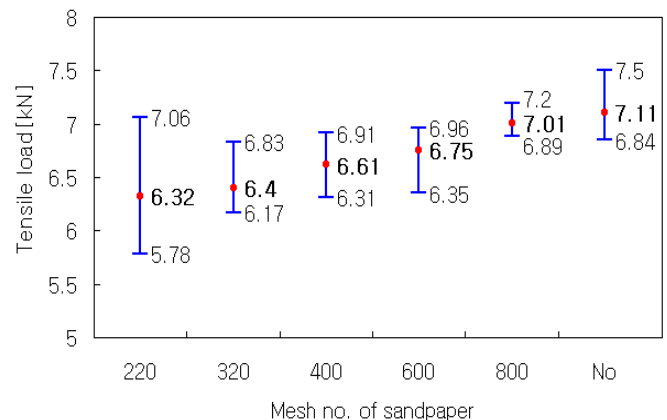


Fig. 3 Tensile load [kN] with respect to the mesh no. of sandpaper

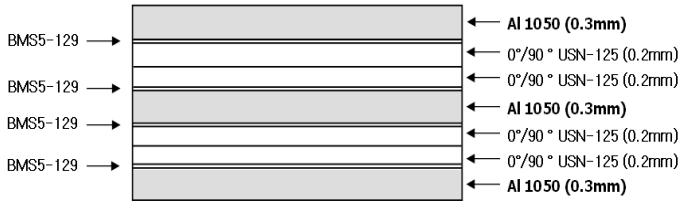


Fig. 4 In-plate view of specimen

접착 강도를 가짐을 알았다. 그러므로, 표면처리를 하지 않은 알루미늄 1050 판, 프리프레그, 접착 필름을 Fig. 4 와 같이 적층하고, 진공백 성형방식으로 CARAL 시편을 만들었다. 그리고, 시편의 인장시험은 섬유 강화 복합재료의 인장 시험 규격인 ASTM D3039/ D3039M-07 에 따라 진행하였다 [6].

5. 결과 비교

수치해석법과 인장시험에 의한 결과는 Fig. 5, 6 과 같다. 0°와 90° 적층모델의 수치해석 결과값은 실험값의 경향과 거의 일치함을 알 수 있다. 0° 적층모델의 경우 섬유 강화 복합재료에 의하여 인장특성이 거의 결정되어진다. 그리고, Stress-strain 곡선이 증가하다가 strain 0.2% 근처에서 곡선의 기울기가 감소하는데, 이는 알루미늄 1050 이 탄성영역을 지나고 소성변형을 시작하기 때문이다. 90° 적층모델은 섬유 강화 복합재료의 이방성으로 인하여, 알루미늄 1050 에 의하여 인장특성이 거의 결정되어진다.

수치해석법과 인장시험을 통하여 섬유 강화 복합재료가 0°와 90°로 적층된 CARAL 의 등가 탄성계수(young's modulus)를 구하였고, 이를 Rule of mixtures 식으로 구한 값과 비교하여 Table 1 에 나타내었다.

$$E = E_C V_C + E_A (1 - V_C) \quad (1)$$

여기서 E_C 는 복합재료의 탄성계수, E_A 는 알루미늄판의 탄성계수, V_C 는 복합재료의 체적비를 각각 의미한다. 0°도 와 90° 모델 각각의 오차가 5.86%와 1.18%로 작게 나타났으므로, 수치해석법을 통하여 CARAL 복합재의 등가 물성치를 비교적 정확하게 구할 수 있다. 등가 물성치를 구하는 가장 간단한 방법인 Rule of mixtures 식으로 구한 값은 실험 값과 각각 77.32%, 12.0%의 오차가 발생하므로 등가 물성치를 구하는 방법으로는 부적당하고 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 알루미늄 1050 판과 CFRP 가 최대의 접착강도를 갖도록 하는 알루미늄의 표면 거칠기를 실험을 통하여 알아보았다. 알루미늄 표면 거칠기 값이 낮을수록 높은 접착강도를 보였으므로, 알루미늄 1050 에 표면처리를

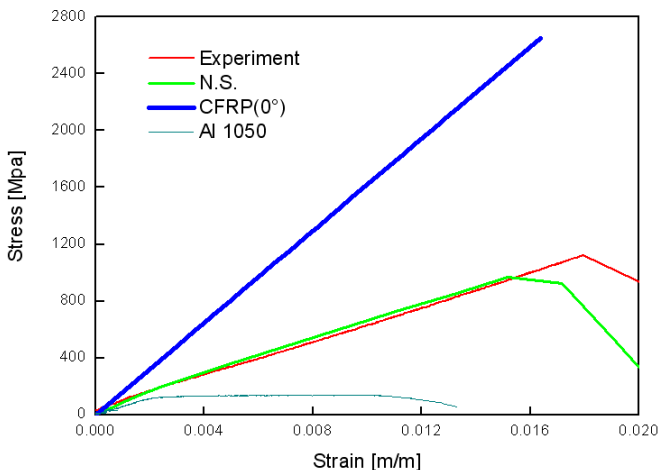


Fig. 5 Tensile stress-strain curve of CARAL(0°)

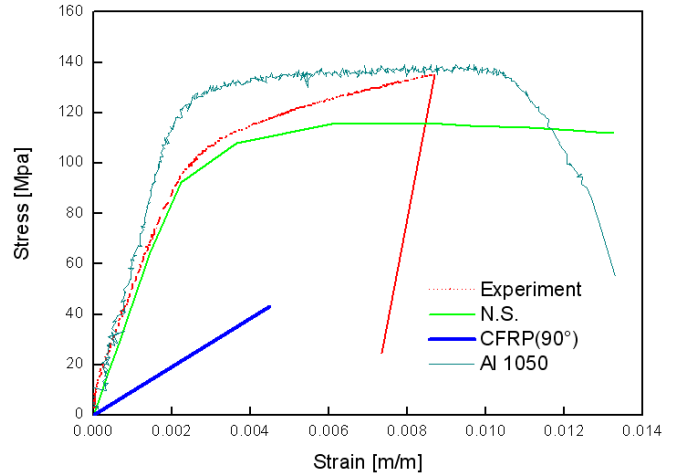


Fig. 6 Tensile stress-strain curve of CARAL(90°)

하지 않고 CARAL 시편을 제작 하였다. 그리고, 상용 수치 해석프로그램인 ABAQUS V6.7 을 이용하여 CARAL 의 등가 물성치를 구하였고, 이를 인장 실험결과와 비교하였다. 오차는 각각 5.36%와 1.18%로서 CARAL 의 등가물성치를 비교적 정확하게 구할 수 있었다.

복잡한 적층구조등을 가지는 FML 을 설계하고, 수치해석적 접근을 통하여 이를 해석할 경우, 본 연구에서와 같은 방법으로 등가물성치를 구하여 설계에 적용하면 발생 가능한 문제의 복잡성을 줄일 수 있고, 해석시간을 단축할 수 있다고 판단된다.

Table 1 Comparison of the equivalent properties

| | Experiment | Numerical simulation | Error | Rules of mixtures |
|--------|------------|----------------------|-------|-------------------|
| E(0°) | 60.67 Gpa | 63.92 Gpa | 5.36% | 107.58 Gpa |
| E(90°) | 40.74 Gpa | 41.22 Gpa | 1.18% | 35.86 Gpa |

후기

본 연구는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과이며, 아울러 2 단계 BK21 사업 및 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업 (R15-2006-022-02002-0)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Vogelesang LB, Vlot A. "Development of Fibre Metal Laminates for Advanced Aerospace Structures," Journal of Materials Processing Technology, **103**, 1-5, 2000.
2. Vlot A, Gunnink JW. "Fibre Metal Laminates," Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2001.
3. "Standard Test Method for Lap Shear Adhesion for Fiber Reinforced Plastic (FRP) Bonding," ASTM, D5868-1, 2008.
4. "ABAQUS Analysis User's Manual," Version 6.7, ABAQUS INC.
5. 손희진, 권진희, 최진호, 조종래, 조상래, "수입을 받는 복합재 원통의 좌굴 해석," 한국항공우주학회 추계학술발표회, 273, 2006.
6. "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials," ASTM, D3039/D3039M-07, 2007.