

AE를 이용한 Woven 구조 CFRP 적층 복합재의 손상특성 평가

윤유성 · 권오현*

부경대학교 대학원 안전공학과 · *부경대학교 안전공학과

1. 서 론

직물구조 복합재료는 일방향 섬유강화복합재료에 비해 변형능력이나 인장강도가 우수하므로, 항공우주, 첨단 산업 기기에 적용될 뿐만 아니라 다른 광범위한 분야에서 사용되고 있으나 복잡한 강화구조를 가지기 때문에 그 역학적 손상거동은 파악하기가 쉽지 않다. Uetsugi 등¹⁾은 직물구조 CFRP 복합재에 대하여 미세구조를 고려한 유한요소 모델을 제안하여 손상진전 해석하였고, 지금까지 많은 연구자에 의해 여러 가지 수법이 제안되어져 왔으나, 아직까지 명확한 파괴거동 해석수법이 확립되어 있지 않다.

AE에 의한 검사는 실시간으로 재료 및 구조물의 손상거동을 파악할 수 있는 유용한 수단으로 초기결합의 검출 및 파괴기구 규명에 이용되고 있다. 복합재료의 경우에는 기지균열, 섬유기지 계면분리, 섬유파단과 적층분리와 같은 다양한 AE원이 파괴기구에 관여하는 것으로 알려져 있다²⁾. Barre 등³⁾은 GFRP 재료에 대하여 음향방출신호 진폭이 각 대응되는 손상형태에 따라 변화하는 것을 보고 하였다. 또한 균열진전거동과 AE 특성과의 관계는 Jinen 등⁴⁾이 보고하였으나 GFRP 단층판의 경우에 한하였다. 이러한 배경에서 직물구조의 CFRP 복합재에 대한 파손기구와 AE특성과의 관계가 아직까지 명확하게 이루어지고 있지 않는 실정이다. 본 연구는 평직구조의 CFRP 적층복합재에 대하여 인장 및 파괴실험을 합과 동시에 AE 특성치를 측정하여 균열발생진전 및 손상 특성을 평가하였다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 시험편

재료는 국내 한국카본(주)에서 시판되는 직물구조 탄소섬유 프리프레그(Woven Carbon Prepreg)인 CF 3327 EPC(두께 : 0.27mm)를 이용하여 실험재료로 사용하였으며 최종 두께가 1mm로 되게 하였다. 적층판은 6ply로 Hot press에서 140°C, 60kg/cm²의 온도와 압력에서 60분간 성형, 제작되었다.

인장시험편은 ASTM D-3039-00⁵⁾에 참조하여 다이아몬드 휠 커터를 사용하여 절단 가공 하였으며, 시험편 끝단은 인장실험시 시험기의 그립으로부터 손상을 방지하기 위하여 에폭시 수지인 아랄다이트(araldite)로 알루미늄 탭(두께 : 2.0mm)을 부착하였다.

시험편은 탭 부위 접합강도의 강화와 슬립을 방지하기 위해 #100의 에머리-페이퍼로 거친 가공으로 연마하여 알루미늄 탭을 부착 후 K사의 HY-8000S 전기로에서 100℃로 30분간 열처리를 수행하였다. 파괴시험의 CT시험편은 ASTM-E647-93 추장법에 따라 Heiwa technica사의 만능자동정밀시험편절단기에 Fine wheel cutter를 부착하여 폭 5mm로 노치를 삽입하여 $a_0/W=0.55$ 가 되게 하였다. 여기서 a_0 는 초기균열길이이며 W 는 시험편 폭을 나타낸다. 시험편의 형상은 Fig. 1에 나타내었다.

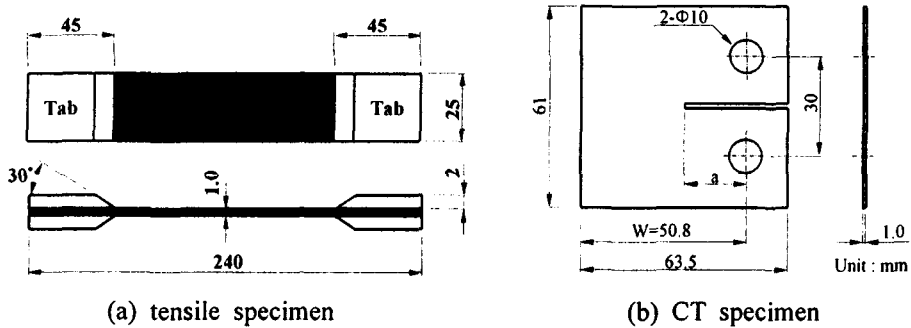


Fig. 1 Specimen configurations

2.2 실험방법

재료의 탄성계수, 인장강도 등의 기본 재료 물성치를 측정하기 위한 인장시험은 상온에서 만능동적시험기(H사, 5ton)를 사용하였으며 ASTM D3039-00⁵⁾에서 추천하고 있는 방법인 0.2mm/min 변위제어로 행하여 졌다. 또한 CT시험편의 파괴시험 동안 AE 측정시 잡음을 고려하여 알루미늄으로 좌굴방지용 지그를 자체 제작하여 부착함으로써 좌굴을 최소한으로 방지하였다.

AE측정은 PAC사의 AEDSP 32/16 보드를 장착한 PC시스템을 사용하였다. 센서는 R15센서를 사용하였으며 센서와 시험편 사이에 접착매질을 바른 후 천테이프로 압착하였고, 100kHz에서 300kHz의 밴드패스필터를 사용하였다. Threshold는 Fixed로 설정하였고 Threshold값은 인장시험에서 44dB 그리고 파괴시험에서 47dB로 하였다. AE데이터는 해석 프로그램인 MISTRAS-2001에 의해 AE신호를 해석 처리하여 기록하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 인장 및 파괴시험

시험편의 인장시험에 대한 결과로서 하중-하중선 변위 선도는 거의 파단시까지 안정적으로 선형적인 관계를 보여주었으며 얻어진 재료특성치는 Table 1에 나타낸다. 파괴저항평가는 CT시험편을 사용하였고, 진전균열길이 측정은 이동식 현미경에 의해 직접 관찰, 측정하였다.

Fig. 2는 CT시험편에 의한 인장파괴시험에 의하여 구하여진 하중-하중선 변위의 관

Table 1 Mechanical properties of tensile specimen

Tensile modulus, E	Ultimate strength, σ_u	Elongation	Poisson ratio, ν
12.4 GPa	1.34 MPa	0.3 %	0.14

계 및 균열성장길이와의 관계를 나타낸다. 하중증가 현상은 약 1.2kN까지 비교적 선형 변화를 하다가 이후 비선형적으로 증가하면서 균열발생이 관찰되었으며, 평균 최대인장 하중은 1.58kN까지 상승하였다. 균열은 약 1.6mm까지 단조 증가하다가 하중이 급격히 감소하는 위치에서 급속히 성장하고 있다.

3.2 음향방출에 의한 특성

Fig. 3은 파괴실험시 얻어진 하중과 누적 AE count의 관계로 하중의 증가와 함께 하중선 변위가 0.68mm인 201sec까지 하중은 0.9kN, 누적 AE count는 21.33×10^3 정도까지 선형적으로 증가하고 있다. 388.9sec에 변위가 1.34mm로 하중이 1.36kN, 누적 AE count는 27.33×10^3 까지 다소 안정적으로 증가하며, 파괴 종료시간인 583.3sec까지 비선형적으로 증가하여 최대누적 AE count는 39.67×10^3 이며 최대 하중선 변위는 1.97mm이다.

Fig. 4는 파괴실험 동안 획득된 균열진전길이에 대한 AE 진폭과의 관계를 나타낸다. 결함과 기공 등의 영향으로 파괴실험 초기 평균 AE 진폭은 46dB로 거의 일정하다가, 초기 균열발생은 321sec에 발생되었으며 초기 균열발생시 AE 진폭은 92dB이며 이 때 발생된 AE count는 49이다. AE 진폭은 436sec에서 최대로 발생되었으며 AE 진폭은 99dB이며 이 때 발생된 AE count는 44이다. 또한 최대 진폭일 때의 균열진전길이는 0.29mm를 나타내 평직 CFRP의 손상은 92dB이상의 고진폭을 발생시킴을 알 수 있다. 이와 같이 AE법은 재료손상과 크기 등을 알 수 있는 유효한 수단이 될 수 있다.

4. 결론

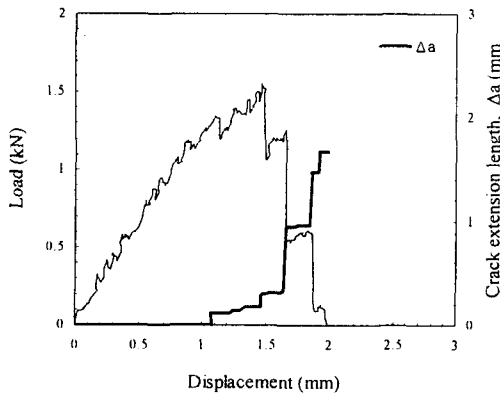


Fig. 2 Load-displacement relationships acquired from a fracture test for CFRP

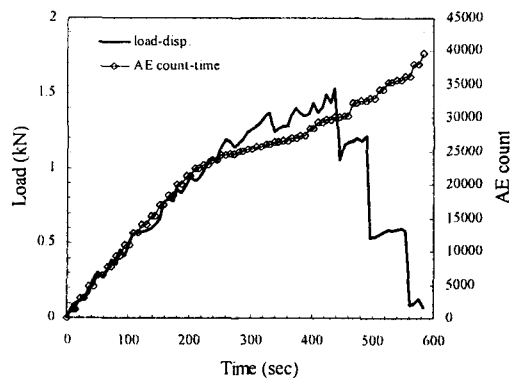


Fig. 3 Load-AE count relationships

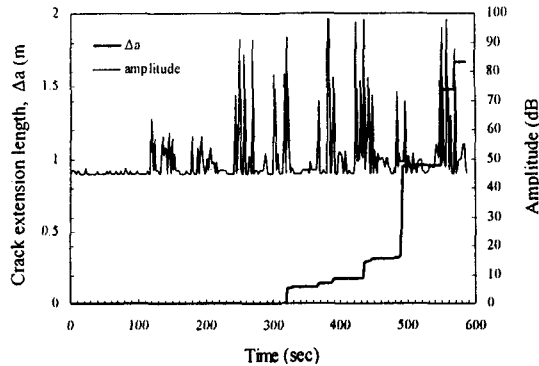


Fig. 4 The relationships crack extension length and AE amplitude

직물구조의 CFRP 복합재료에 대하여 전형적인 인장실험과 파괴실험을 수행함과 동시에 AE 특성치를 계측하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 인장시험을 통해 하중-변위 선도가 파단하중까지 거의 안정적으로 선형적인 관계를 보이다가 급작스러운 파괴가 발생하였다.

(2) CT시험편을 이용한 파괴시험에서 발생하는 누적 AE count수는 초기 선형적으로 증가하여 0.68mm에서 하중은 0.9kN, 누적 AE count 21.33×10^3 를 나타내었고, 최종 파괴실험 종료시간인 583.3sec(1.968mm)에서 최대누적 AE count가 39.67×10^3 로 측정되었다.

(3) 초기 균열이 발생하는 시간과 주파수 분석에서 초기 균열발생시 AE 진폭은 92dB이며 최대 AE 진폭은 99dB로 나타났다.

참고문헌

- (1) Uetsuji Y and Zako, M., "Numerical simulation of damage development considering micro structures for plain woven fabric composites", JSME(A), Vol. 68, No. 671, pp. 1032~1037, 2002.
- (2) Ely TM, Hill EK, "Longitudinal splitting and fiber freakge characterisation in graphite/epoxy using acoustic emission data", Material Eval, 288~294, 1995.
- (3) S. Barre, Benzeggagh M. L, "On the use of a acoustic emission to investigate damage mechanisms in glass-fiber-reinforced polypropylene", Composite Science and Technology, Vol. 52, pp. 369~376, 1994.
- (4) E. Jinen, Q. Q. Ni and H. W. Li, "The behave of crack propagation and acoustic emission in CFRP fabric mano-lamina composite made in Situ SEM", JSME(A), Vol. 62, No. 602, pp. 2207~2215, 1996.
- (5) Standard test method for "tensile properties of polymer matrix composite materials", ASTM D3039, 2000.