

음향방출법을 이용한 탄소섬유/에폭시 복합재의 핀 체결부 파괴거동

김찬규* · 황영은* · 윤성호**†

Failure Behavior of Pin-jointed Carbon/Epoxy Composites using Acoustic Emission

Changyu Kim* · Youngeun Hwang* · Sungho Yoon**†

ABSTRACT

In this paper, the bearing strengths and fracture behaviors of the pin-jointed carbon fiber/epoxy composites were investigated through pin loading test. The composites were fabricated by a filament winding process, and two types of laminated patterns were considered. According to the results, type 1 pattern revealed a net-tension failure mode, whereas type 2 pattern exhibited a bearing failure mode. Also, acoustic emission energy of the type 2 pattern was higher than that of the type 1 pattern. Therefore, the type 2 pattern was found to be structurally safer than the type 1 pattern.

초 록

본 연구에서는 핀 로딩시험을 통해 탄소섬유/에폭시 복합재의 핀 체결부에 대한 베어링 강도와 파손 거동을 조사하였다. 이때 복합재는 필라멘트 와인딩 공법을 적용하여 제작하였으며 적층패턴은 두 가지 패턴을 고려하였다. 연구결과에 따르면 패턴 1은 net-tension 모드 파손이, 패턴 2는 bearing 모드 파손이 나타났으며 패턴 2의 음향방출 에너지는 패턴 1의 경우에 비해 높게 나타났다. 이로 미루어 보면 패턴 2가 패턴 1에 비해 구조적으로 안전함을 알 수 있었다.

Key Words: Acoustic Emission(음향방출법), Pin-joint(핀 체결부), Bearing Strength(베어링 강도)

1. 서 론

섬유강화 복합재는 비강성, 비강도가 우수하여

미사일 등의 비행체에 많이 적용되고 있다. 이러한 복합재는 다른 구조물이나 기계부품과 체결할 경우 핀 체결 방법이 적용되고 있다. 복합재 간의 체결이 핀 체결로 적용될 경우 구조적 안전성이 요구되기 때문에 이에 대한 평가가 필요하다. 일반적으로 복합재 핀 체결부의 파손모드는 net-tension, bearing, shear-out 등으로 나타

* 금오공과대학교 대학원

** 금오공과대학교 교수

† 교신저자, E-mail: shyoon@kumoh.ac.kr

나며 음향방출법을 통해 파손모드를 판단하려는 시도가 행해져 왔다[1-3].

본 연구에서는 두 가지 적층패턴을 고려한 원통형 복합재의 핀 체결부에 대해 음향방출장치를 적용한 핀 하중시험을 통해 파괴거동을 관찰하고 베어링 강도를 평가하였다.

2. 실험

2.1 시편 제작

시편은 탄소섬유와 에폭시로 구성된 복합재로 제작하였으며 두 가지 적층패턴을 고려하였다. Table 1에는 탄소섬유/에폭시 복합재의 적층각도가 나타나 있다. 여기에서 보면 90°와 ±10°는 필라멘트 와인딩 공법을 적용하였고 0°와 ±45°는 프리프레그 적층하였다. 또한 패턴 1의 경우 0°와 ±45°층은 스티칭된 직물로 적층하였고 패턴 2는 스티칭이 없는 직물로 적층하였다. Table 2에는 핀 체결부 시편의 제원이 나타나 있다.

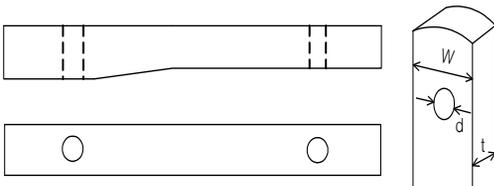
2.2 핀 하중 시험

Figure 1에는 핀 체결부 시험을 위한 하중시험장치와 음향방출신호를 얻기 위한 AE 센서가 나타나 있다. 하중은 1mm/min의 변위제어상태로 가하였고, AE 센서는 핀 체결부 아래에 부착하였다.

Table 1. Two patterns of the specimen

	stacking sequence
pattern 1	[(±10)/90/±45/90/±45/90/±45/90/(0) ₂ /90/(0) ₂ /90/(0) ₂ /90/(±10)/90]
pattern 2	[(±10)/90/(0) ₅ /90/(±45) ₂ /90/(±45) ₂ /90/(0) ₅ /90/(±45) ₂ /90/(0) ₅ /90/±10/90]

Table 2. Specimen dimension



	dimension(mm)		
	W	d	t
pattern 1	17.6	8	7.12
pattern 2	17.6	8	6.86

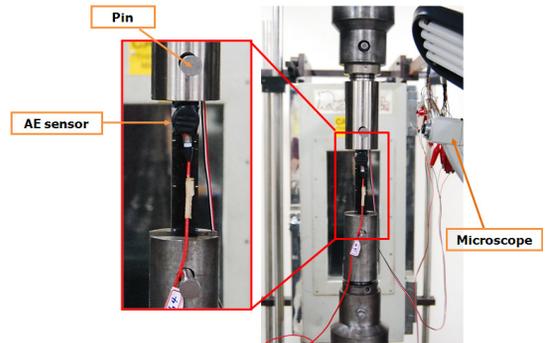


Fig. 1 Test set-up of pin-loading test for composites

3. 실험결과

Figure 2에는 핀 하중 시험을 통해 얻은 하중-시간 선도와 AE 파라미터 선도가 나타나 있다. 패턴 1의 경우 하중이 증가할수록 누적 hit의 수가 더 많아지며 하중 초기단계에는 층간 마찰에 의한 100 이하의 에너지가 방출되다가 모재균열에 의해 500 이상에 에너지가 발생하고 최종적으로 90°층에서 net-tension으로 인해 3000 이상의 에너지가 방출되었다. 패턴 1의 파손하중은 16098N이며 베어링 강도는 283MPa로 나타났다. 패턴 2의 경우 하중이 10000N부터 균열이 발생하기 시작하고 하중이 증가할수록 누적 hit수가 더 증가하였다. 또한 층간 마찰에 의해 1000 이하의 에너지가 방출되고 모재균열에 의해 2500 이상의 에너지가 방출되며 90°층에 net-tension 모드 파손이 일어났다. 하중이 16000N에 도달하면 하중감소가 나타나지만 다시 하중이 증가하여 18906N에 이르면 bearing 모드로 파손이 발생하였다. 이때 베어링 강도는 344.4MPa로 나타났다.

Figure 3에는 파손된 시편과 핀 체결부 측면 사진이 나타나 있다. 패턴 1의 경우 90°층에서

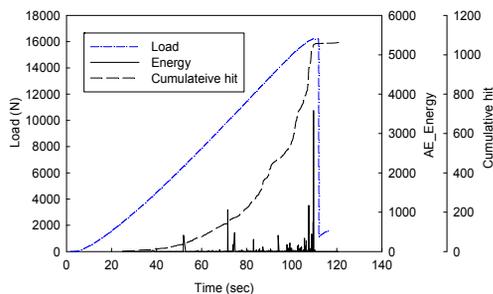
모재균열에 의해 net-tension 모드로 파손되면서 하중 16000N에 도달하면 스티치에 의해 90°층과 스티치 층의 접착력이 약하여 90°층이 밀리는 현상이 나타났다. 패턴 2의 경우 하중 16000N 부근에서 90°층의 모재균열에 의해 하중감소가 나타났고 다시 하중이 증가하다가 모재와 섬유가 분리되면서 bearing 모드로 파손되었다. 이로 미루어 볼 때 패턴 2는 0°층과 90°층이 효과적으로 접착되었다고 판단된다.

4. 결 론

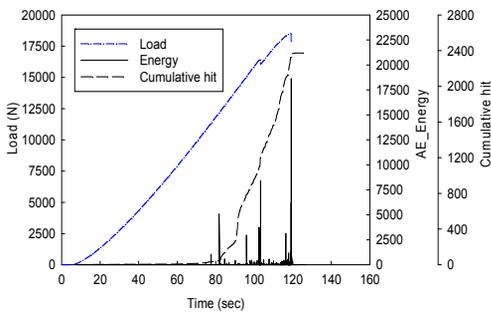
본 연구에서는 음향방출법을 적용하여 두 가지 적층패턴을 고려한 탄소섬유/에폭시 복합재의 핀 로딩 시험을 수행하였다. 패턴 1과 패턴 2는 스티치로 인한 층간접착의 차이로 인해 베어링 강도와 파손 양상이 다르게 나타났다. 파손 양상을 보면 패턴 1은 스티치층으로 인해 90°층이 밀리면서 net-tension으로 파손되었고 패턴 2는 bearing 모드로 파손되었다. 또한 패턴 2의 경우가 패턴 1에 비해 음향방출 에너지가 높게 나타났는데 이로 미루어 볼 때 패턴 2가 패턴 1에 비해 구조적으로 안전함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) L. Carlsson and B. Norrbom, "Acoustic emission from graphite/epoxy composite laminates with special reference to delamination," *Journal of materials science*, Vol. 18, No. 8, 1983, pp. 2503-2509.
- 2) 이경원, 김종현, 김재성, 이보영, "Carbon Fiber Reinforced Plastic(CFRP)복합재의 파괴 거동에 따른 Acoustic Emission(AE)신호 특성에 관한 연구," *한국항공운항학회*, Vol. 17, No. 4, 2009, pp. 42-47.
- 3) R. Gutkin, C. J. Green, S. Vangrattanachai, S. T. Pinho, P. Robinson and P. T. Curtis, "On acoustic emission for failure investigation in CFRP: Pattern recognition and peak frequency analyses," *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 25, 2011, pp. 1393-1407.

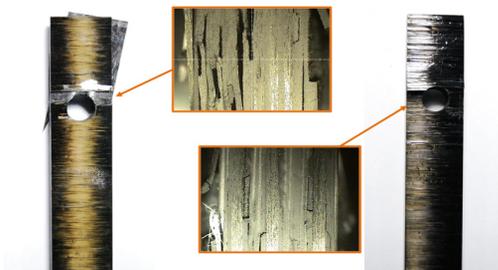


(a) Pattern 1



(b) Pattern 2

Fig. 2 Test results for acoustic emission



(a) Pattern 1

(b) Pattern 2

Fig. 3 Photos of failure modes of the specimens