

시편 형상에 따른 복합재료의 모재균열 신호특성

방형준* · 박상욱* · 김천곤* · 홍창선*

Characteristics of AE Signals of Matrix Cracks in Composites Due to the Different Specimen Shapes

H. J. Bang, S. W. Park, C. G. Kim and C. S. Hong

Key Words : Matrix crack(모재균열), Fracture detection(파손감지), Smart structure(지능구조).

ABSTRACT

As the concept of the smart structure, monitoring of acoustic emission (AE) can be applied to inspect the fracture of the entire structure in operating condition using built-in sensors. The objective of this study is to find the characteristics of matrix crack signals in composites due to the different specimen shapes. To detect matrix crack signals, we performed tensile tests by changing the thickness, width and length of the specimen. For the quantitative evaluation, time frequency analysis such as short-time Fourier transform (STFT) was used to characterize the matrix crack signals from PZT sensor. The experimental result shows the distinctive signal features in frequency domain due to the different specimen shapes.

1. 서론

복합재료는 일반적으로 구조재에 사용되는 금속재료에 비해서 비강도와 비강성이 우수하다는 장점이 있으므로 고강도에 경량화가 요구되는 항공우주구조물 등 여러 구조부재에 대한 사용이 늘어나고 있다. 하지만 복합적층판의 경우 뛰어난 면내 방향 물성치에 비하여 횡 방향 인장이나 층간 전단 강도는 매우 낮은 특성이 있으며 면 내부를 비롯한 구조 내부에 발생한 균열에 의한 파손은 쉽게 감지하기가 어렵다는 단점이 있다. 스마트 복합재 구조물에서 과도하중 및 충격에 의한 파손의 위험성을 감소시키기 위하여 모재균열 등과 같은 파손의 발생 여부를 감지하고 손상을 판

단할 수 있는 시스템 및 판단기준을 확립하는 것은 스마트 복합재 구조를 개발하는데 중요한 부분을 차지한다.

본 연구의 목적은 복합재 구조물의 신뢰성 및 안전성을 확보하기 위한 연구로서 시편의 형상에 따른 복합재료의 초기 파손형태에 해당하는 모재균열의 신호특성을 알아보는 것이다. 기존의 연구 문헌들을 통하여 볼 때 복합재 구조에 모재균열이나 층간분리 등의 파손이 발생한 경우에는 20 kHz 이상의 고주파에 해당하는 응력파가 발생한다 [1~2]. 이러한 파손신호는 시편의 형상 및 적층방법에 따라 주파수 영역에서의 신호특성이 약간씩 변화한다는 것을 발견할 수 있으며 정확한 손상여부의 판단을 위해서는 이러한 파손신호에 대한 정확한 이해가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 정량적인 파손신호특성의 비교를 위한 신호처리 방법으로 short time Fourier transform(STFT)의 시간-주파수 영역 분석방법을 적용하였으며, 응력파 감

* 한국과학기술원 항공우주공학전공

지센서로서 압전세라믹 센서를 사용하였다. 인장을 통한 파손실험에 사용된 시편은 각각 두께, 길이, 폭 등을 변화시키면서 모재균열이 발생한 파손신호를 서로 비교하였다.

2. 신호처리

일반적인 주파수 영역분석에 사용되는 Fourier 변환은 시간에 관계된 정보를 잃어버리므로 파손 신호와 같이 국소적인 변화나 일시적인 변형(transient process)과 같은 비정상(non-stationary) 신호에는 적합하지가 않다[3]. 외부입력신호 $f(t)$ 에 대한 STFT 는 다음과 같이 정의된다.

$$STFT(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t-\tau)e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

식(1)에서 볼 수 있듯이 STFT 의 결과는 시간 τ 주위에 윈도우 함수 $g(t)$ 에 의해 분할되어진 입력신호 $f(t)$ 를 Fourier 변환하는 것이다. 이때 계산된 국소 스펙트럼계수(local spectral coefficient)가 시간 t 에서의 주파수 성분을 나타내게 되는데 윈도우를 시간축에 따라 연속적으로 움직이면서 시간에 따른 주파수 특성의 변화를 계속 관찰할 수 있다. 하지만 이 방법의 경우 윈도우의 크기 T 에 대해 주파수 밴드폭은 $1/T$ 의 관계를 가지고 있기 때문에 시간영역과 주파수 영역에서 동시에 높은 해상도를 갖기 어렵다는 단점이 있다. 하지만 계산속도가 충분히 빠른 경우에는 윈도우를 중첩하는 overlap 방법을 통해 단점을 보완할 수 있다. 신호처리에 사용된 시간 윈도우는 해밍 윈도우(hamming window)를 사용하였으며, 밴드 폭은 64 포인트로 중첩 폭은 16 포인트로 설정하였다.

3. 모재균열 검출 및 신호특성

3.1 실험방법

시편의 형상변화에 따라 다르게 발생하는 복합재료의 모재균열에 신호의 특성을 관찰하기 위해 Fig. 1 과 같은 복합재 시편의 표면에 압전세라믹 센서를 부착한 후 인장실험을 실시 하여 모재균열 신호를 취득하였다. 그림과 같은 복합적층 시편은 Graphite/Epoxy 프리프레그를 적층하여 오토클레이브 성형을 하였으며 모재균열이 쉽게 발생 할 수 있도록 내부에 90°층을 가진 직교적층 시편을 제작하고 0°층의 시편표면에 압전세라믹 센서를 부착 하였다. 실험장치의 구성은 Fig. 2 와 같다.

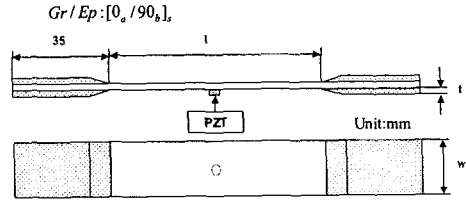


Fig. 1 Specimen for the tensile test.

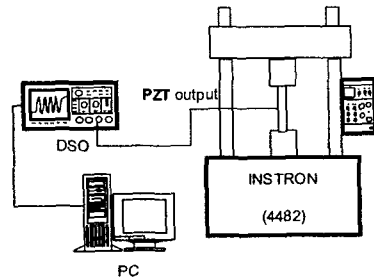


Fig. 2 Experimental setup.

시편형상을 변화시키는 변수로는 모재균열이 발생하는 90°층의 두께, 시편의 길이 그리고 시편 폭 등 세가지 이며 아래 테이블과 세 변수를 변화시키면서 모재균열의 신호특성 변화를 관찰하였다.

| | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|
| No. of 90° plies | t | 4 | 12 | 20 |
| Length (mm) | l | 100 | 150 | 200 |
| Specimen Width (mm) | w | 20 | 30 | 40 |

Table .1 Shape variables of the tensile test specimen.

3.2 신호특성 및 결과비교

Fig. 3 은 시편 두께 변화에 따른 결과의 하나로서, 시편의 길이 및 폭을 각각 100 mm, 20 mm 로 고정시킨 상태에서 90°층 적층의 수를 12 에서 20 층으로 변화시킨 경우 모재균열 신호를 STFT 를 통해 시간-주파수 분석한 결과이다. Peak 의 위치 변화를 보여주는 아래의 그림은 350 과 430 kHz 근방의 peak 이 시편두께 증가에 따라 각각 280 과 340 kHz 근처인 낮은 주파수 방향으로 이동한 모습을 보여준다.

Fig. 4 의 결과는 두께 변화에 대한 또 다른 예로, 시편의 길이와 폭을 200 과 20 mm 로 고정시킨 상태에서 90°층 적층의 수를 4 에서 20 층으로 변화

시킨 경우의 결과이다. 결과는 Fig.3 과 유사하게 300 과 430 kHz 근처의 peak 이 두께가 증가함에 따라 280 과 340 kHz 의 낮은 주파수로 이동함을 관찰 할 수 있었다. 이 외에도 두께 변화에 대한 다른 예에서도 위와 마찬가지로의 결과를 얻었으며 결론적으로 시편에서 모재균열이 발생하는 적층의 두께가 늘어나면 주파수 영역에서의 peak 의 위치가 아래로 이동한다는 것을 알 수 있다.

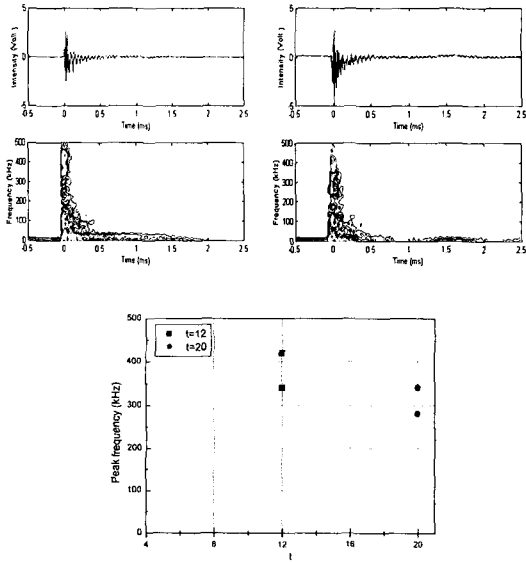


Fig. 3 STFT of the matrix crack :thickness change 1

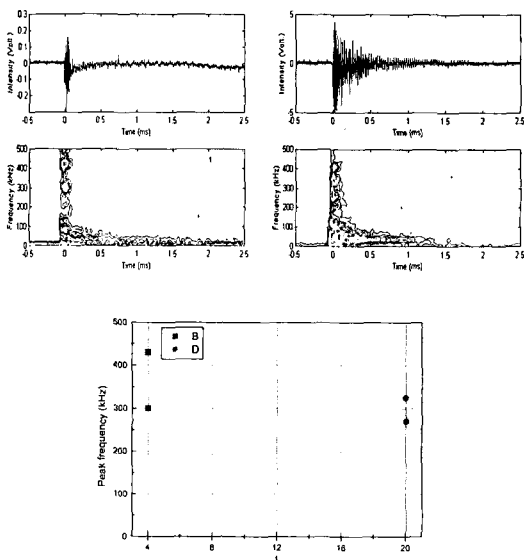


Fig. 4 STFT of the matrix crack :thickness change 2

Fig. 5 는 시편 폭의 변화에 따른 모재균열 신호의 특성을 나타내는 결과로, 90°층의 적층 수와 시편의 길이를 각각 20 장과 100 mm 로 고정한 상태에서 시편의 폭 w 를 20 에서 40 mm 로 증가시킨 경우의 STFT 결과이다. 시편의 폭이 증가함에 따라 280 과 340 kHz 근처의 주파수 peak 이 각각 300 과 360 kHz 의 높은 주파수로 이동하였음을 확인할 수 있다.

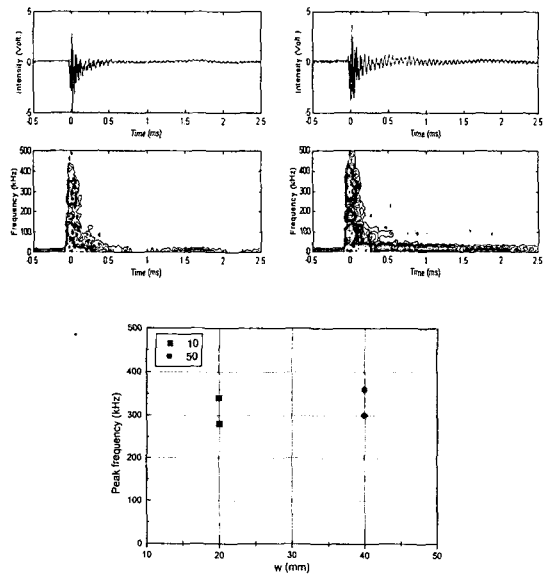


Fig. 5 STFT of the matrix crack : width change 1

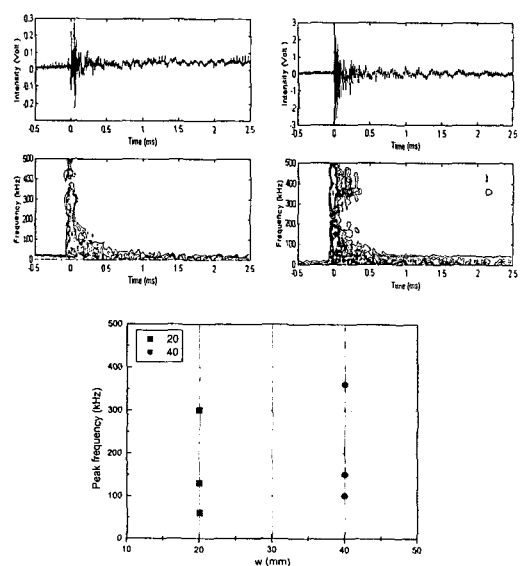


Fig. 6 STFT of the matrix crack : width change 2

시편 폭의 변화에 의한 또 다른 결과의 하나로 Fig.6 은 90°층의 적층 수와 시편의 길이를 각각 4 장과 200 mm 로 고정한 상태에서 시편의 폭 w 를 20 에서 40 mm 로 증가시킨 경우의 결과이다. 이 경우에도 Fig. 5 와 마찬가지로 시편의 폭이 증가함에 따라 peak 의 주파수 특성도 70, 140, 300 kHz 에서 각각 100, 160, 360 kHz 의 고주파로 이동하였음을 관찰할 수 있다.

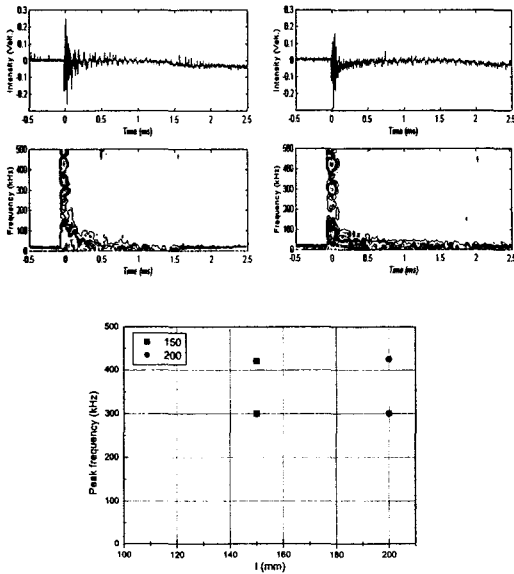


Fig. 7 STFT of the matrix crack :length change 1

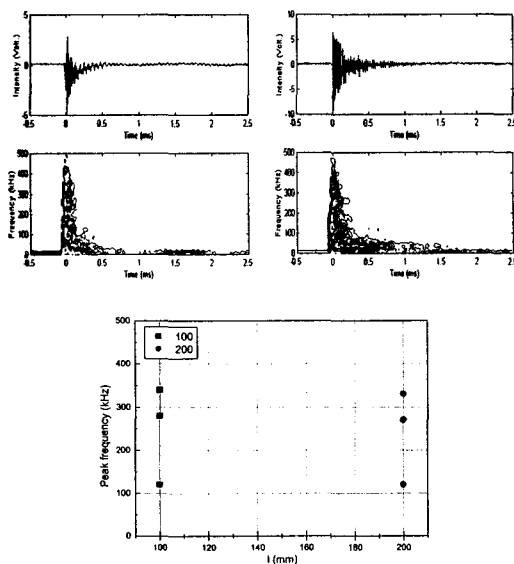


Fig. 8 STFT of the matrix crack :length change 2

Fig. 7 은 시편의 길이 변화에 따른 모재균열 신호변화의 결과로 90°층의 적층 수와 시편의 폭을 각각 4 장과 20 mm 로 고정한 상태에서 시편길이 l 을 150 에서 200 mm 로 증가시킨 경우의 결과이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 시편의 길이변화 이전의 300 과 420 kHz 근처의 peak 은 시편길이 가 늘어난 이후에도 아무런 변화가 없음을 확인할 수 있다. 또 다른 길이변화에 따른 결과로 Fig.8 은 90°층의 적층 수와 시편의 폭을 각각 20 장과 20 mm 로 고정한 상태에서 시편길이를 100 에서 200 mm 로 증가시킨 경우의 결과이다. 마찬가지로 120, 280, 340 kHz 근처의 peak 은 시편의 길이변화 이후에도 아무런 변화가 없음을 알 수 있다.

4. 결론

복합재 구조물의 신뢰성 및 안전성을 확보하기 위한 연구로서 시편의 형상에 따른 복합재료의 초기 파손형태에 해당하는 모재균열의 신호특성을 알아보았다. 인장 시편의 두께, 길이, 폭을 변화시키기에 따라 발생하는 모재균열 파손신호의 peak 의 위치는 시편의 형상에 따라 변화한다는 것을 알았다. 이를 요약하면

- 1) 모재균열 발생시 시편 두께가 증가할수록 주파수 영역에서의 peak 의 위치는 저주파 대역으로 이동한다.
- 2) 모재균열 발생시 시편 폭이 증가할수록 주파수 영역에서의 peak 의 위치는 고주파 대역으로 이동한다.
- 3) 시편의 길이 증가에 따른 고주파 peak 의 위치변화에 거의 영향을 미치지 못한다.

후 기

본 논문은 과학기술부가 지원하는 특정연구개발사업중 중점국가연구개발사업(기계설비소기술개발) 및 국가지정연구실 사업으로 지원되어 수행하였습니다

참고문헌

- (1) C. S. Hong, H. J. Bang, H. K. Kang, and C. G. Kim, " Real-time damage detection for smart composite materials using optical fiber sensors," *Proc. of the 13th International Conference on Composite Materials*, Beijing, China, ID. 1509, June 25-29, 2001.
- (2) D. U. Sung, J. H. Oh, C. G. Kim and C. S.

Hong, " Impact monitoring of smart composite laminates using neural networks and wavelet, " *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol.11, 2000, pp180-190.

(3) Julius S. Bendat and Allan G. Piersol, *Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis, 2nd ed.*, Wiley Interscience, 1993.