

# 압전센서와 음향방출신호를 이용한 적층복합재 판재에 대한 저속 충격손상 모니터링

김형일\* · 김진원\* · 김인걸\*\*

## Low-velocity Impact Damage Monitoring for Laminate Composite panels Using PVDF Sensor Signals and Acoustics Emission Signals

Hyoung-il Kim\*, Jin-won Kim\* and In-gul Kim\*\*

### Abstract

This paper studied the PVDF(polyvinylidene fluoride) and Acoustic Emission sensors characteristics of the laminated composite panels under the low velocity impact. The various impact test by changing impact height is performed on the instrumented drop weight impact tester. The STFT(short time Fourier transform) and WT(wavelet transform) are used to decompose the each sensor signals. A ultrasonic C-scan and digital scope are used to define damaged area in each case. The test result indicated that the individual sensor signals involve the damage initiation and development.

**Key Words:** low velocity impact, PVDF, A.E., short time Fourier transform, wavelet transform

### 1. 서 론

스마트 복합재료는 피로 특성, 강도, 경량 특성 등 일반적인 기계적 특성은 우수하지만 외부 충격에 대한 낮은 손상 허용 특성을 가지고 있다. 충격 손상을 검출하기 위하여 많은 비파괴적인 방법들이 제시되고 있지만 다수의 연구 방법들은 시간, 공간, 비용 등의 제한을 받는다. 최근 구조 건전성 모니터링이란 기법이 제시되어 이러한 단점을 보완 할 수 있게 되었다. 특히 센서 기술의 발달로 인해 국내외적으로 많은 연구가 진행 되고 있다[1-5].

본 연구에서는 저속 충격 손상에 대한 구조 건전성 기법의 일환으로 Gr/Ep 복합재 평판에 PVDF

센서와 A.E.(Acoustic Emission) 센서를 부착하여 다양한 충격 시험을 통하여 손상 신호를 획득하였다. 얻어진 신호는 국소 푸리에 변환(Short Time Fourier Transform)과 웨이블렛 변환(Wavelet Transform)을 통하여 복합재 평판에 대한 초기 손상을 규명하였다. 또한 C-scan 과 육안 관찰을 통하여 손상영역을 정량적으로 파악하였다. PVDF 센서와 A.E. 센서 신호의 비교를 통하여 두 신호간 상관관계를 고찰하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 저속 충격 시험기

저속 충격 시험은 낙하식 충격실험기 (Drop Weight Impact Tester)를 이용하여 1140g을 충격 체 질량으로 다양한 높이의 실험을 반복 수행 하였다. 실험 장치도는 Fig.1과 같고, 충격실험기 Laser 센서, PVDF 센서, A.E. 센서 신호를 동시

\* 충남대학교 대학원 항공우주공학과  
\*\* 충남대학교 항공우주공학과

에 획득하여 분석하였다.

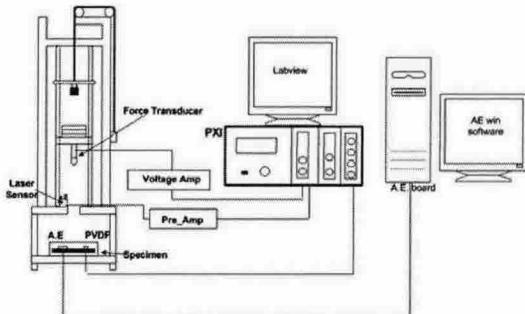


Fig. 1 Low-velocity Impact Test Setup

PVDF 센서와 Laser 센서 신호는 NI-PXI (National Instrument)와 LabVIEW를 이용하여 획득하였고 A.E. 신호는 PAC(Physical Acoustics Cooperation) DISP4를 이용하여 획득하였다.

## 2.2 저속 충격 시편

실험에 사용된 시편은 (주) 한국화이바의 Gr/Ep 프리프레그 (HFG HT145/Rs1222)를 사용하여 만든 직교 적층판 [0/90]4s이며 시편의 길이와 폭은 150mm, 75mm이며 두께는 2.0mm이다. 복합재료의 물성치는 Table 1과 같다. 시편의 형상과 센서의 위치는 Fig. 2와 같으며 경계 조건은 양변 고정지지이다.

Table 1 Material Properties of Gr/Ep Unidirectional Laminate

Property	Symbol	Unit	Value
Young's Modulus along the fiber direction	$E_{11}$	GPa	124.6
Young's Modulus along the transverse direction	$E_{22}$	GPa	8.7
Axial shear modulus	$G_{12}$	GPa	3.6
Axial Poisson's ratio	$\nu_{12}$		0.33
Thickness	$h$	mm	0.125
Density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1542

## 2.3 센서

### 2.3.1 고분자 압전센서

실험에 사용된 고분자 압전센서(LDT0-028K, Measurement Specialties)는 변형 시 전압을 발생하고 전기적 신호를 가하는 경우 변형이 일어난다. 내피로성과 내마모성이 강하고 유연하여

다양한 적용이 가능하다. 넓은 주파수 영역 ( $10^{-3}\text{Hz} \sim 10^9\text{Hz}$ )의 측정이 가능하여 고주파의 신호를 탐지할 수 있다.

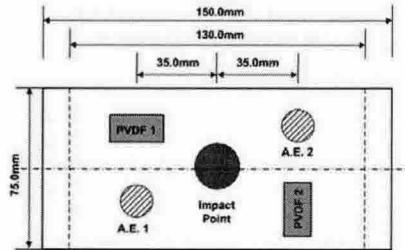


Fig. 2 Dimension of Specimen and the Position of sensors

### 2.3.2 A.E. 센서

A.E. 센서는 재료 내부의 결합 등의 구조적 변화에 의해 발생하는 탄성파의 변화를 감지하는 센서로서 비파괴적 탐상 방법과 달리 외부의 에너지 공급이 없어도 변화를 탐지 할 수 있다. 따라서 복합재의 내부 결함이 발생 발생하면 실시간적으로 결함의 정후를 파악 할 수 있다. 본 실험에서 사용한 A.E. 센서는 PAC 사의 응답 주파수 영역이 500KHz 이내인 R-15 센서와 800KHz 영역인 UT-1000 센서를 사용하였다. R-15 센서의 위치는 Fig. 2 의 A.E. 2이고 UT-1000 센서의 위치는 A.E. 1의 위치이다.

## 3. 결과 및 고찰

질량 1140g의 낙하체를 높이 300, 600, 900, 1100mm의 높이 변화를 주어 충격 실험을 수행하였다. 이 때 높이에 따른 속도, 에너지 결과는 Table 2에 정리 하였다.

Table 2 Impact Test Matrix

Impact mass(g)	Height (mm)	Velocity (m/s)	Energy (J)
1140	600	3.14	5.620
	900	3.77	8.101
	1100	4.14	9.770

높이에 따른 시편의 충격 손상을 Digital Microscope로 측정한 결과 충격 높이가 증가에 따라 적층판 표면의 손상영역의 넓이가 확장되고

약 8J의 에너지의 값에서 crack이 발생하고 길이가 확장 되는 것을 확인 할 수 있다. 그 결과는 Table 3과 Fig. 3에 정리하였다.

Table 3 Result of Impact

Height	Damage area	Crack
600mm	0.85mm <sup>2</sup> dent 발생	없음
900mm	1.76mm <sup>2</sup> dent 발생	0.5mm 이하 2개 발생
1100mm	3.56mm <sup>2</sup> dent 발생	1~1.5mm 2개 발생

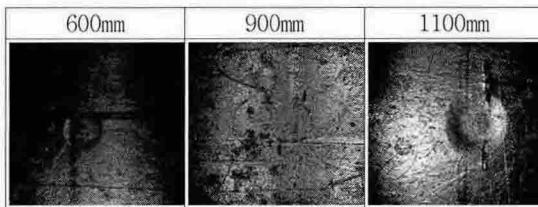
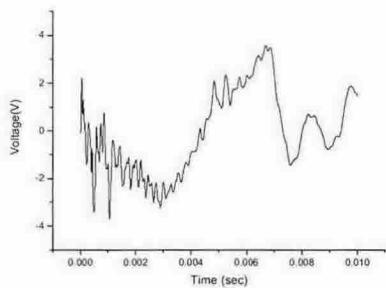
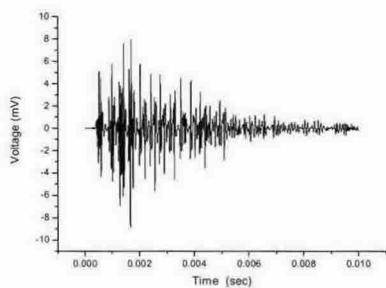


Fig. 3 Digital Microscope



(a) PVDF sensor signal

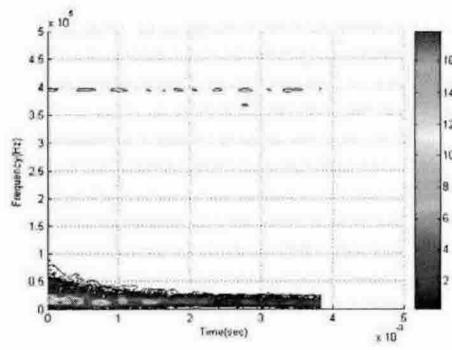


(b) A.E. sensor signal

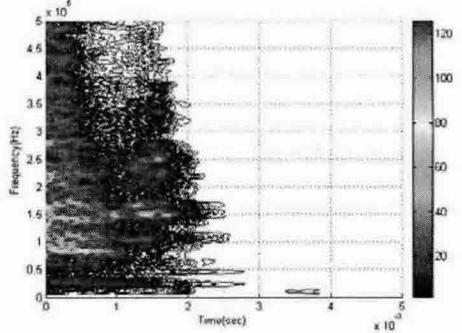
Fig. 4 Waveform of PVDF Sensor and A.E. Sensor Signal (impact height: 900mm)

높이 900mm 에서의 충격 실험시 발생하는 PVDF 센서 신호의 sampling은 1MHz로 받아들였고 A.E. 센서 신호는 2MHz로 받아들인 결과를 Fig. 4에

표시하였다. A.E. 센서와 PVDF 센서 신호를 동기화 시켜 PVDF 센서 신호의 시간에 맞추어 A.E. 센서 신호를 분석하였다. 충격실험 결과를 보면 충격 높이가 증가함에 따라 충격체와 시편간의 접촉 시간은 짧아지지만 A.E. 센서의 waveform은 접촉 시간과 상관없이 충격량에 비례함을 확인 할 수 있다. 그러나 처음 발생한 waveform은 접촉 시간 안에서 발생 하지만 진폭이 상대적으로 작은 waveform은 접촉이 끝난 후에 발생 하였다. 그 원인으로 충격을 받은 후 시편내의 반사파 및 진동으로 발생 하는 것으로 판단된다.



(a) PVDF sensor signal

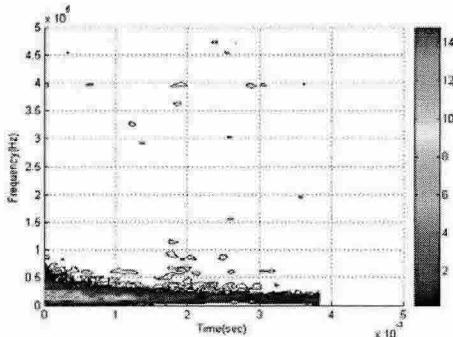


(b) A.E. sensor Signal

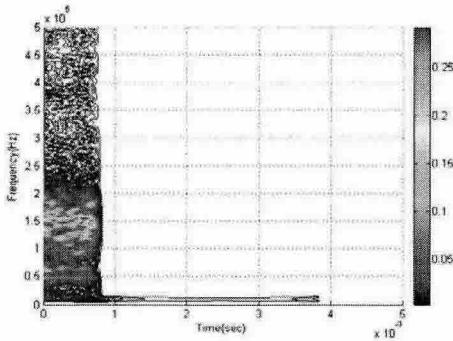
Fig. 5 STFT for PVDF Sensor and A.E. Sensor Signal (impact height: 600mm)

Fig. 5와 Fig. 6는 높이 600, 1100mm 에서의 PVDF 센서 신호와 A.E. 센서 신호를 STFT 신호 분석한 결과이다. 두 높이에서의 모두 PVDF 센서는 20~30 KHz 대역에서 높은 신호를 발생 하였고 A.E. 센서는 100~250 KHz 사이에서 발생하였다.

에너지가 증가해도 신호의 양상은 비슷함을 알 수 있다. 따라서 PVDF 센서와 A.E. 센서 신호 간에 상관관계가 있다고 판단된다.



(a) PVDF sensor signal



(b) A.E. sensor signal

Fig. 6 STFT for PVDF Sensor and A.E. Sensor Signal (impact height: 1100mm)

Fig. 5와 Fig. 6을 비교하면 Fig. 5는 여러 영역에서 고주파가 발생하였고 Fig. 6은 특정 지점에서만 고주파 성분이 발생한 것으로 보아 낮은 에너지 레벨에서는 다양한 손상 모드가 공존하는 것으로 판단되며 높은 에너지의 경우 하나의 손상 모드가 지배적이라고 할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 PVDF 센서와 A.E. 센서가 부착된 복합재 평판의 저속 충격시 발생하는 손상 신호에 대하여 고찰하였다. 충격에너지의 증가에 따른 실험을 실시하여 PVDF 센서와 A.E. 센서의 신호를 STFT 분석법을 통해 비교하였고 표면 검사를 통한 손상 영역을 파악하였다. 복합재 평판

의 손상 진전에 따라 PVDF 센서 신호와 A.E. 센서 신호의 변화를 확인 할 수 있었고 시간에 따른 신호의 분석을 통하여 손상모드를 파악 할 수 있는 가능성을 확인하였다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학 재단의 목적 기초연구 (R01-2003-000-10880-0)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문현

- (1) 김진원, 김인걸, “압전필름센서를 이용한 Gr/Ep 복합재 적층판의 고속 충격 손상 탐지”, 한국복합재료학회 춘계논문집, 2005, pp. 13-16.
- (2) 이홍영, 김진원, 최정민, 김인걸, “복합적층판의 저속 충격손상에 따른 PZT센서와 PVDF 센서의 신호 분석”, 한국복합재료학회지 추계논문집, 2003, pp.125-128.
- (3) 박재성, 김광수, 이호성, “복합재료 적층구조물의 음향 방출 특성 연구”, 한국복합재료학회지, 16권 6호, 2003, pp.16-22.
- (4) 이종오, “음향방출의 원리 및 응용”, 한국비파괴 검사학회 워크샵, 2003.
- (5) William H. Prosser, Michael R. Gorman and Donald H. Humes, "Acoustic Emission Signals in thin Plate Produced by Impact Damage", Journal of Acoustic Emission, Vol. 17(1-2), 1999, pp. 29-36.
- (6) Newland, D. E., *An Instruction to random Vibration and Spectral & Wavelet Analysis*, 1993,