

# Acoustic Emission(AE)을 이용한 복합재료 구조물의 비파괴 특성 연구

이창훈\*·최진호\*\*·권진회\*\*·변준형\*·유연호\*\*

## A study on the non-destructive characteristics of the composite structures using the Acoustic Emission

Chang-Hun Lee, Jin-Ho choi, Jin-Hwe Kweon, Jun-Hyung Byun and Yeun-Ho Yu

### Abstract

As fiber reinforced composite materials are widely used in aircraft, space structures and robot arms, the study on the non-destructive testing methods of the composite materials has become an important research area for improving their reliability and safety.

In this paper, the AE signal analyzer with the resonance circuit to extract the specified frequency of the acoustic emission signal were designed and fabricated. The noise levels of the fabricated AE signal analyzer by the disturbance such as impact or mechanical vibration had a very small value comparable to those of the conventional AE signal analyzer. Also, the crack detection capabilities of the fabricated AE signal analyzer under the static and dynamic tensile test were evaluated and compared with the conventional AE signal analyzer.

**Key Words:** Acoustic Emission(음향방출), Resonant Circuit(동조회로)

### 1. 서 론

복합재료는 기존의 등방성 재료에 비해 비강성 및 비강도가 높고 감쇠특성과 충격특성이 우수하기 때문에 그 사용이 증가하고 있으며 응용분야 또한 다변화되고 있다.[1] 그러나 복합재료는 구성섬유(직경 6-120 $\mu$ m)의 형태가 다양하고 섬유와 모재의 특성이 재료마다 다를 뿐만 아니라 재료 내부에 손상이 발생하면 그 기계적 성질이 크게 저하된다. 또한 복합재료의 제조과정 시 또는 사용 중에 가해지는 외부 하중이나 가혹한 외부환경에 의해 내부손상이 발생할 수 있으며, 이들 손상은 복합재료를 이용한 기계구조물의 신뢰성 및 안정성에 치명적 영향을 주게 된다. 이들 손상은 크기가 0.1 $\mu$ m - 수mm로 다양하며 복합재료의

강도와 강성, 파괴인성에 큰 영향을 주는데, 재료의 신뢰성과 건전성의 관점에서 공학적으로 어느 정도까지 정량화 가능하고 허용할 수 있는지 규정하는 것은 매우 중요하다.[2] 또한, 손상의 발생 및 성장과정, 누적손상과정 등을 고려한 복합재료의 미소역학적 해석을 통해 응력-변형률 관계를 규명하고, 각종 비파괴검사법을 활용하여 변형 및 손상의 변화과정을 실시간 검출하여 강도와 파괴인성, 잔여수명에 대한 영향을 평가할 수 있게 되면, 고성능 신소재로서의 복합재료 제조와 함께 사용 전 혹은 사용 중에 복합재료 구조물의 안정성과 신뢰성 평가에 매우 유의할 것이다. AE(Acoustic Emission)는 고체 내부에 축적된 스트레인 에너지가 급격히 방출될 때 발생하는 탄성파로 그 파원이 균열의 발생/성장, 소성변형, 섬유파단, 기지균열, 층간분리 등에 해당하므로 이를 측정 분석함으로써 결합부위를 평가할 수 있다.[3] 재료의 파손이 진행될 때 무수히 많은 AE 신호가 검출되므로 파형의 특징을 나타낼 수

\* 한국기계연구원 복합재료 그룹

\*\* 경상대학교 기계항공공학부 항공기부품기술연구센터

있는 변수들을 추출해서 시험데이터를 분석하는 것이 일반적이다. 파형의 특징을 나타낼 수 있는 변수들로는 최대진폭, AE 에너지, AE 오름시간, AE 지속시간, AE 상승률 등이 있다. 현재 상용화되어 있는 AE 분석장비는 넓은 주파수 영역에서 파손신호를 분석하여 그 특성을 평가 할 수 있는 장점이 있으나, 외부 진동이나 소음 등의 외란에 매우 민감하게 반응하므로 실제 구조물의 파손정도를 실시간으로 모니터링하기에는 부적절하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 복합소재에서 발생하는 AE 탄성과 중 특정 주파수 대역의 신호만을 추출하여 AE 신호특성을 분석할 수 있는 회로를 제작하였다. 제작된 AE 분석용 회로에 대하여 외부 진동 등에 대한 민감도를 측정하였으며, 복합재료의 정, 동적 파손 감지 능력을 상용 AE 분석장비와 비교 평가하였다.

## 2. 복합재료용 AE 획득 장치 구성

### 2.1 복합재료의 AE 신호 특성

복합재료의 AE 신호특성을 규명하기 위해 본 연구에서는 상용 AE 신호 획득 장비(DISP-80, Physical Acoustics사)를 이용하여 인장시험을 수행하였다. 시험에 사용한 AE 센서는 Wide-Band 세라믹 센서(100-1000kHz)로서 Differential Type이며, 1220C(20-1200kHz) 증폭기(Pre-Amp.)를 이용하여 60dB로 증폭하였다. Fig. 1.은 시험에 사용된 시험편 형상을 나타낸 그림이다. 섬유 파손과 수지재 파손의 AE 신호특성을 분석하기 위해  $[0]_4$  및  $[90]_8$ 의 적층순서로 인장시험편을 제작하였으며, AE 발생원을 고정시키기 위하여 시험편 중앙에 깊이 5mm의 V-Notch를 형성하였다.

시험편 제작에 사용된 재료는 (주)선경의 탄소 섬유 에폭시 프리프레그(USN125BX)이며, 최대 경화온도는 120°C이다. 인장시험에 사용한 장비는 INSTRON사의 Universal Machine 8516이다.

AE신호의 주파수 분석 결과, 100kHz, 230kHz, 300kHz, 400kHz 등의 주파수 성분으로 복합재료의 섬유 파손 및 수지재의 파손을 감지할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 신호의 진폭이 비교적 큰 값이고, 발생빈도, 신호처리의 효율

성을 고려하여 230KHz 대역의 신호에 대한 AE 특성을 살펴보았다.

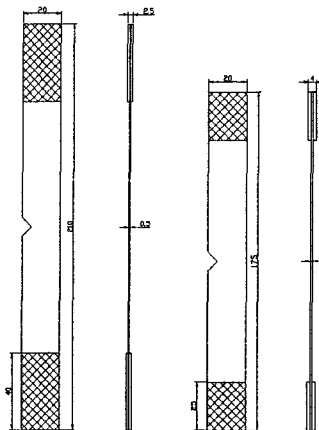


Fig. 1. Shape of the specimen for AE test

### 2.2 특정 주파수 신호의 선별

230kHz의 특정 대역만을 획득하기 위하여 본 연구에서는 L(Coil)-C(Capacitance) 동조기를 사용하였다. L과 C를 서로 병렬로 하여 두 소자 자체의 시상수로 특정 주파수만을 선별하게 된다.

이는 Band-Pass Filter보다 간단하고 측정 대역도 좁은 특징을 가지고 있다. 식(1)은 L-C 병렬 동조기의 Cut Off Frequency, 식(2)은 주파수에 따른 회로의 임피던스를 구하기 위한 식이다. 즉 시상수에 의해 L-C 회로의 임피던스가 변화하여 특정 주파수만을 통과시키게 된다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

$$Z = j \left\{ \frac{wL}{1 - w^2LC} \right\} \quad (2)$$

### 2.3 AE 신호 분석 장치

L-C 동조기를 통과한 신호는 최대진폭, AE 에너지, AE Event 수, AE 지속시간, AE 상승률 등으로 AE 신호특성을 분석할 수 있다. 본 논문에서는 특정 진폭이상의 신호 갯수를 측정하는 AE Event 수 및 방출에너지에 해당하는 AE 에너지를 측정할 수 있는 회로를 구성하여 AE 신호를 분석하였다.

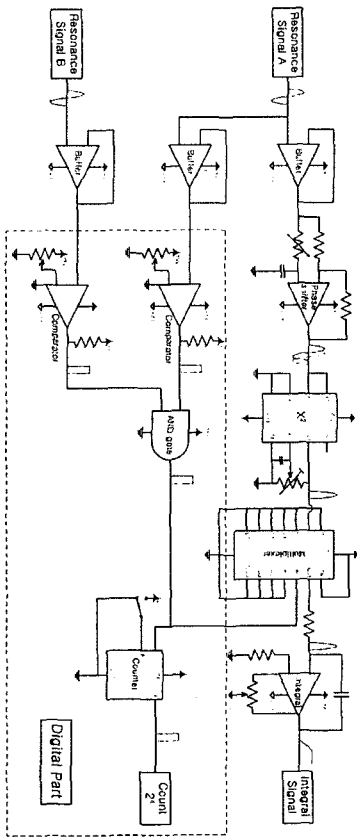


Fig. 2. Schematic diagram of the AE resonance system

Fig. 2는 AE신호를 분석하기 위한 회로도로서, AE Event 수를 측정하고 트리킹 신호를 발생시키기 위한 디지털 신호처리부와 AE 에너지를 적분하기 위한 아날로그 신호처리부로 나뉘어진다. 먼저 디지털 신호처리부를 살펴보면 다음과 같다. 우선 공진회로와 증폭회로를 거친 신호는 비교기(Comparator)를 이용하여 일정크기 이상의 신호만을 디지털 신호로 변환한다. 이는 상용 AE 획득 장비에서 증폭된 신호의 Threshold Voltage Level을 조절하는 기능과 같은 역할을 수행한다. 본 논문에서 제작한 AE 신호분석회로는 시편에 수직으로 가해지는 기계적 충격과 같은 외란(Disturbance)의 영향을 최소화하기 위해 Dual Channel 방식으로 설계하였다. Fig. 2의 디지털 신호처리부는 시편의 앞뒷면에 설치된 각각의 센서로부터 얻어진 디지털 신호를 AND 게이

트로 통과하게 함으로서 위상이 같은 신호만을 Counter소자로 보내어지도록 구성되어져 있다.

아날로그 신호처리부에서는 Dual Channel 중 한 Channel의 신호만을 처리하게 되는데, 우선 디지털 신호부와 아날로그 신호부 간의 시간지연 현상을 제거하기 위하여 위상변환기(Phase Shifter)를 설치하였다. AE 에너지는  $V^2$ 으로 근사화될 수 있으므로 곱셈기(Multiplier)를 설치하여 신호를 제공하였으며, 디지털 신호부에서 생성된 트리킹 신호를 Multiplexer에 인가하여 선택적으로 AE 신호를 내보내도록 설계하였다. Multiplexer를 통과한 신호는 AE에너지의 적분값을 측정하기 위해 적분회로를 구성하였으며, 적분된 신호는 A/D변환기를 통하여 컴퓨터로 입력되도록 구성되어져 있다.

### 3. 실험

#### 3.1 정하중 하에서의 AE 특성

정하중상태에서 소재의 파손감지능력을 평가하기 위하여 인장시험을 수행하여 AE 신호특성을 분석하였다. 시험에 사용된 시편의 소재와 형상은 Fig. 1.과 동일하며, [-15/15]s 으로 적층하여 인장시험을 수행하였다.

Fig. 3.은 인장시험시 발생되는 AE신호를 상용 AE분석장비로 AE Event 및 AE 에너지를 분석한 결과로서, 하중이 증가함에 따라 AE Event 및 AE 에너지가 증가함을 볼 수 있다.

Fig. 4.은 본 논문에서 제작한 AE 분석장치를 AE 신호를 분석한 결과로서, Fig. 3.의 상용 AE 분석장비와 유사한 결과를 나타냄을 볼 수 있다.

#### 3.2 피로하중 하에서의 AE 특성

피로 하중상태에서 소재의 파손감지능력을 평가하기 위하여 피로시험을 수행하여 AE 신호특성을 분석하였다. 피로하중의 최대값은 5.89kN이었고 최소값은 0.7kN이었으며, 이를 Goodman 선도로 평가해 보면 정적하중의 70%에 해당한다. 균열진전양상을 관찰하기 위하여 60배율의 현미경으로 900 cycle(15분)에 한번씩 균열길이를 측정하였다.

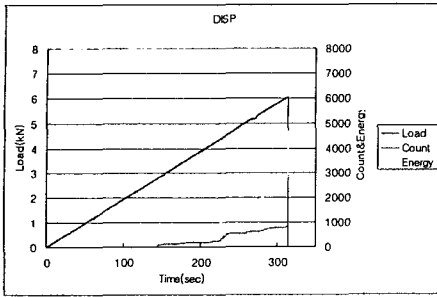


Fig. 3 Result of static test using the DISP-80

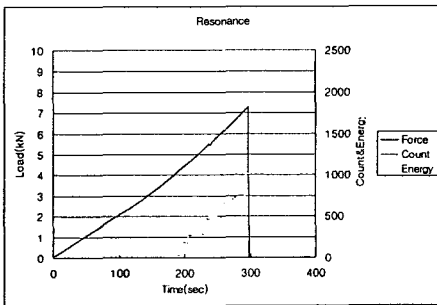


Fig. 4 Result of static test using the AE resonance acquisition system

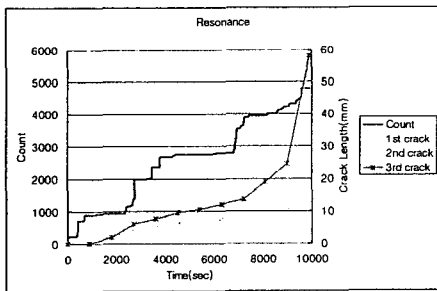


Fig. 5. Comparison AE count with growth of the crack length

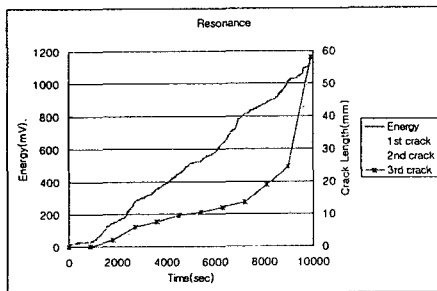


Fig. 6. Comparison AE energy with growth of the crack length

Fig. 5.는 본 논문에서 제작한 AE 분석장치로 분석한 AE Event와 세 지점의 균열진전길이를 비교한 그림으로, 균열진전길이에 비례하여 AE Event가 발생되므로 피로파손을 비교적 잘 감지할 수 있는 것으로 판단된다.

Fig. 6.는 본 논문에서 제작한 AE 분석장치로 분석한 AE 에너지와 세 지점의 균열진전길이를 비교한 그림으로, 균열진전길이에 비례하여 AE 에너지가 발생되므로 피로파손을 비교적 잘 감지할 수 있는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 복합소재에서 발생하는 AE 탄성파를 분석할 수 있는 AE 신호분석장치를 개발하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. 특정 주파수 대역의 신호만을 추출하여 AE 신호특성을 분석할 수 있는 회로를 설계, 제작하였다.
2. 제작된 AE 신호분석장치는 정, 동적하중 하에서 상용장비와 동일한 수준의 복합재료 파손감지 능력을 가지므로 균열진전과 파손검출 등에 충분히 적용할 수 있다고 판단된다.

#### 후 기

이 논문은 2003년도 두뇌한국 21사업과 과학기술부 · 한국과학재단 지정 항공기부품기술연구센터의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) J. J. Reinhart (Eds), "Composite," ASM International, Vol. 1, 1987, pp.479~495.
- (2) 최낙삼, 김영복, 이덕보, "열-음향방출기법을 이용한 복합재료의 미세손상 검출 및 평가," 한국복합재료학회지 제16권 제1호, 2003, pp.26~27.
- (3) 권오양, Y. A. Dzenis, "압전고분자 센서를 이용한 복합재 구조의 실시간 손상탐지," 복합재료학회 추계학술발표대회 논문집, 2002, p118.