

# 전단파 분극현상을 갖는 초음파 탐촉자 민감도 기법에 관한 연구

나승우\*(조선대 대학원 기계설계공학과), 임광혁(우석대 반도체전자자동차공학부),  
송상기(순천제일대), 정동화(순천제일대), 양인영(조선대 기계공학부)

## A Study on method of Using Ultrasonic Transducers With shear wave Polarization Direction

S. W. Ra(Mech. Eng. Dept., CSU), K. H. Im(Mech. Eng. Dept., WSU), S. K. Song(Mech. Eng. Dept., SCFC), D. H. Jung(Mech. Eng. Dept., SCFC), I. Y. Yang(Mech. Eng. Dept., CSU)

### ABSTRACT

This paper shows shear wave behavior of CFRP composite laminates as a polar grid form to evaluate vibration pattern of ultrasonic transducers, which gives measured modelling fundamental contents of nondestructive evaluation. Polarized direction can be obtained by using a c-scanner and sensitivity of transducers is founded when using through-transmission method of two transducers. And modelling of vector decomposition is presented based on ply-to-ply method to apply practicable nondestructive evaluation of CFRP laminate lay up. This modelling decomposes the transmission of a linearly polarized wave into orthogonal components through each ply of a laminate. It is found that a high provable shows between the model and experimental developed in characterizing layup of CFRP composite laminates

**Key Words** : Ultrasonic wave(초음파), Shear wave(전단파), Polarization Direction(분극방향), Ultrasonic inspection(초음파탐사), CFRP(carbon fiber reinforced plastics)탄소섬유강화 복합재

### 1. 서론

탄소섬유 강화 복합재(Carbon Fiber Reinforced Plastics : CFRP)는 선진복합재 (Advanced Composite Materials : ACM)의 대표적인 재료로서 비강성, 비강도가 크며 금속 재료에 비해서 중량을 20~50% 정도 감소시킬수 있다는 장점<sup>1)</sup>이 있기 때문에 경량화가 요구되는 여러 분야 즉, 항공우주선 및 해양선박, 스포츠 용품 등을 비롯하여 여러 분야에서 응용이 시도되고 있다. 그러나 CFRP 복합적층판 은 적층두께 와 배향각도에 따라 제작하지만, 적층시 발생된 미끄럼이나 오차 등으로 인하여 기공이나 미세균열 등의 결함이 혼재될 수 있으며 섬유와 수지간의 열 수축량의 차이로 내부 잔여 응력이 생길 수 있다. 또한, 사용중의 충격으로 복합

재료는 층간 파괴나 섬유파단을 유발할 수 있어 치명적인 구조 강도저하나 수명저하의 요인이 될 수있다. 이들 내부결함의 탐상 및 기계적 성질과의 관련성은 초음파를 이용한 연구가 진행되고 있다.

연구동향을 살펴보면 일방향재 CFRP의 섬유방향을 결정하기 위해 Urabe와 Yomoda<sup>2)</sup>에 의해 연구되었다. Komsky<sup>3)</sup> Zgonc, 그리고 Daniel 등은 진동자 형태로 만들어진 전단파트랜스듀서를 이용하여 복합재료의 섬유배향에 따른 강도평가를 하였다. 그러나 초음파 트랜스듀서 분극방향에 따른 정량적인 강도 평가 및 민감도에 따른 CFRP 적층판에 적용한 연구 결과는 찾아보기힘들다.

따라서, 본 연구에서는 측정모델의 기초가 되는 초음파 트랜스듀서의 진동패턴 평가를 위해서 C스캔장비를 이용하여 초음파 트랜스듀서의 전단 극성방

향을 검증하고, 트랜스듀서의 민감도에 따른 진단과 가 시험편을 통과할 때 플라이 대 플라이 벡터분해 모델을 비 파괴시험에 실용적으로 적용하기 위한 간이 모델을 제안하고, 제시된 간이 모델의 타당성 검증 을 위하여 필도로 제작한 실험장치를 사용하여 극 좌표 형식으로 스캔을 하고 신뢰성 확보를 위해서 이론값 과 실험값 에 대한 검증실험을 실시하였다

## 2. 이론해석

### 2.1 발생원리

초음파 탐상시험은 비파괴 검사의 일종으로 음의 반사 원리를 이용하여 어떠한 구조를 혹은 재료내의 결함을 찾아내는 것으로, 현재 국내에서 많이 사용 되고 있는 비파괴 검사법이다

탐촉자 (transducers)의 구성요소는 진동자(active element), 충진재(backing material), 보호막(wear plate)로 이루어져 있으며, 현재 사용되는 탐촉자는 수직 탐촉자 와 사각 탐촉자가 대표적이다. 진동자 (active element)는 탐촉자로 부터 발생된 자력 펄스와 같은 전기 에너지를 초음파 에너지로 변환 시키고 초음파 에너지를 전기에너지로 변환 또는 역 변환 할 수 있다

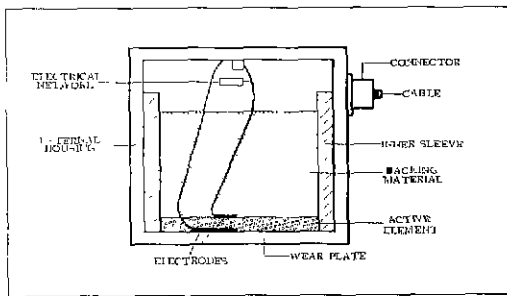


Fig 1 Cross section schematic of transducers

### 2.2 간이모델

일방향재 플라이로 구성된 CFRP 복합적층판의 적 층배향오차를 구하기 위하여 초음파 진단과를 이용하는 직층배향오차 탐사 모델링 해석을 실시하였다. 다층·다방향으로 구성된 CFRP 복합적층판을 벡터분해 모델링화 하기 위해서는 매우 길고 계산 이 복잡한 수식이 필요하다. 간이식을 이용한 벡터 분해 모델링은 이산된 성분의 수가 2<sup>n</sup>의 지수함수 적으로 증가한다. 따라서 복잡한 이론모델 해석을 위하여 몇가지 가정과 간소화된 수정모델을 제시하였 다. 예를 들어 손실이 적은 계면과 빔확산을 무

시하였다. 다음은 동일한 재료로 이루어져 있고 모 든 플라이가 구속 되어져 있어  $h_1$ ,  $a$ , 및  $\beta$ , 는 각 플라이에서 같다고 가정하면 다음과 같은 수식 을 얻을수 있다.

$$R_N = S_T e^{2r} e^{2r'} \cos(\Delta\theta_1) \cos(\Delta\theta_2) \cos(\Delta\theta_N) \\ + S_T e^{2r} e^{\beta'} e^{a'} \sin(\Delta\theta_1) \sin(\Delta\theta_2) \cos(\Delta\theta_N) \quad (1) \\ - S_T e^{2r} e^{a'} e^{\beta'} \cos(\Delta\theta_1) \sin(\Delta\theta_2) \sin(\Delta\theta_N) \\ + S_T e^{2\beta} e^{2a'} \sin(\Delta\theta_1) \cos(\Delta\theta_2) \sin(\Delta\theta_N)$$

여기에서  $h = h_1 \cdots h_N$ ,  $\alpha' = \alpha_1(h_1) \cdots \alpha_n(h_n)$ ,  $\beta' = \beta_1(h_1) \cdots \beta_n(h_n)$ ,  $S_\alpha = 1/v_\alpha$  및  $S_\beta = 1/v_\beta$ 이다.

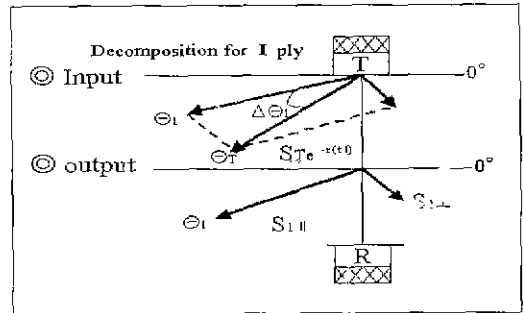


Fig 2 Polarized shear wave propagation using decomposed components projected onto receiver

### 2.3 모델링 실험검증

본 실험에서 플라이 대 플라이 벡터분해모델의 타 당성 검증을 위하여 CFRP 시험편 을 이용 하였으며 이 시험편에 전단파를 발생시켜 실험결과와 모델링 결과를 비교하였다. 여기에서 실선은 이론값을 나타 내고 있으며, 점선은 실험값을 나타내고 있다. Fig 3 에서 와 같이 이론과 실험 값은 잘 일치하였다.

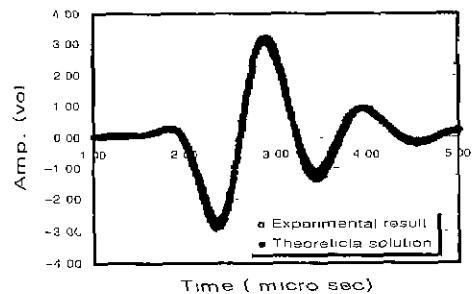


Fig. 3 Comparisons of experimental and theoretical solutions

### 3. 실험

#### 3.1 시험편

본 실험에서 사용한 재료는 일방향 Carbon fiber /epoxy 프리프레그 (한국화이버(주) CU 125AS)로써 오토클래브(Auto-clave)를 이용하여 일방향으로 적층하여 제작하였다. 시험편의 적층수는 33ply 였다. 제작된 시험편을 경화온도130℃까지 가열하였으며, 경화시간은 90분 으로 하였고, 온도 측정은 열전대에 의해 측정하였다.

#### 3.2 실험방법 및 장치구성

시험편 및 트랜스듀서를 지지하기 위해 2개의 200× 200× 6 35 (폭× 길이× 두께)mm의 Al판을 이용하여 고정구를 제작하였다. 초음파 시험을 하기 위한 감지는 파형을 디지털 화 하고 PC와 상호 호환이 되는 오실로스코프 (Lecroy 9310A)와 펄서/리시터 (Xactex XU-2240)를 이용하였다. Panametrics사에서 제작된 접촉매질을 이용해 CFRP적층재와 연결하여 전단파 트랜스듀서(V153)을 이용해 측정하였다. 또한, 본 실험에서 전단파감도 여부를 규명하기 위하여 Fig.4와 같이 실험을 행하였다

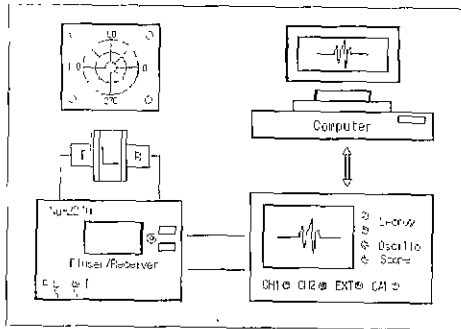


Fig.4 Schematic of experimente setup

본 실험에서 전단파 트랜스듀서의 진동패턴 및 극성방향 평가를 위한 방법으로 전단파 트랜스듀서가 송신 트랜스듀서의 역할을하고 트랜스듀서가 리시버의 역할을 하여 전단파를 검출할수 있도록 초음파 C-스캔 방법을 이용하였으며 시스템의 개략도는 Fig 5 와 같다

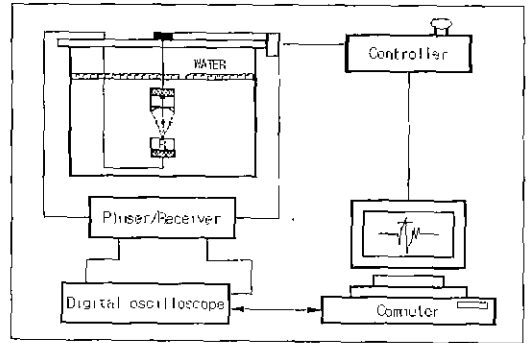
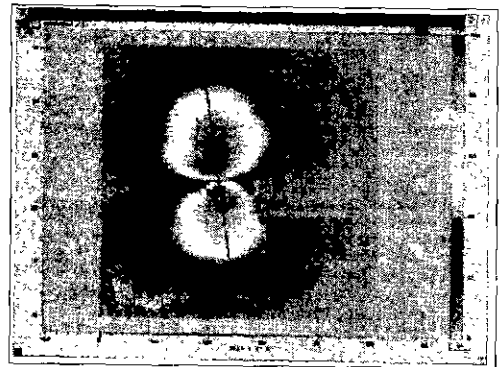


Fig. 5 C-scanner diagram

1인치 0.5MHZ 전단파 트랜스듀서를 수직조 상면에 위치시키고 하면 에는 종파 트랜스듀서 (1MHZ)를 배치하였으며, 두 개의 트랜스듀서는 광대역 펄스를 발사하고 주파수 스펙트럼의 좋은 신호를 충분히 받을수 있도록 전단파 트랜스듀서 의 표면이 종파 트랜스듀서 중앙에 위치하도록 고정하였다. C-스캔을 이용하여 얻은 결과는 Fig.6 과 같다



→ Polarization direction

Fig. 6 Image of polarization direction using C-scanner

이미지 결과는 높은 신호 진폭을 갖는 두 개의 초승달 모양으로 나타났고, 이 패턴은 초승달 중앙을 지나는 라인을 통해 두 개의 내칭 형태를 나타내고 있으며, 이것은 전단파 트랜스듀서의 전단 극성 방향과 일치하고 있으며 전기 컨벡터(BNC 케이블)가 제일 윗부분 (90°)에 위치하고 있으며 대략 10° 정도의 에러를 나타내고 있다. 전단파 진동의 분극 방향은 트랜스듀서의 중앙을 통과하는 BNC 케이블에 의해서 분극방향이 결정되고 있다는 사실을 알 수 있었다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

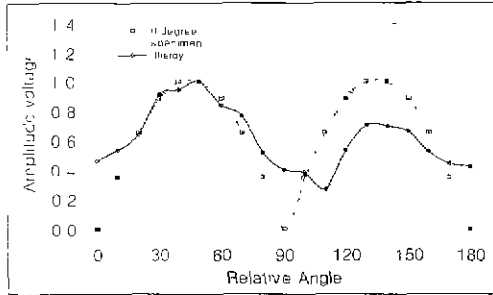


Fig. 7 CFRP composites with 0° misorientation

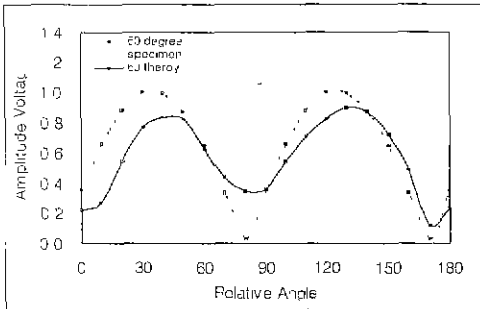


Fig. 8 CFRP composites with 60° misorientation

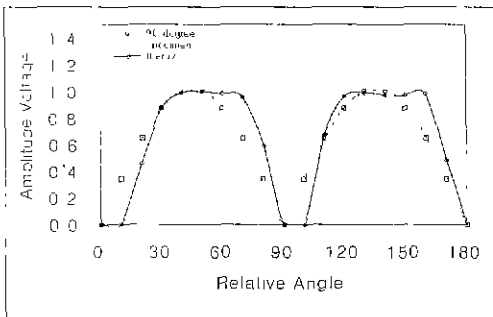


Fig. 9 CFRP composites with 90° misorientation

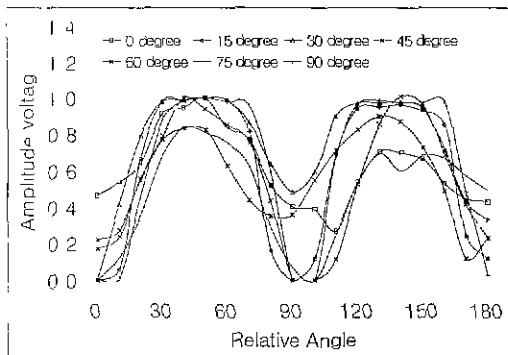


Fig. 10 Angular sensitivity of transmission amplitude of experimental-measured shear wave

본 연구에서는 종파 및 전단파 트랜스듀서를 이

용하여 민감도를 나타내는 분극 방향을 결정할 수  
가 있었고 트랜스듀서의 케이블 연결부의 접촉에러  
를 결정할 수 있었고 스캔 이미지는 전단요소의 경  
계조건과 크기의 제한성 때문에 면외에서 평가하였  
다. 이 방법은 상품화된 전단파 트랜스듀서의 분극  
특성 평가가 가능하였다.

#### 5. 결론

적층구성이 다른 CFRP 복합적층판의 두께방향으  
로 전단파거동을 송신·수신 트랜스듀서를 이용하여  
극좌표 형식으로 스캔을 하고 그리고 플라이 대 플  
라이 벡터분해기법을 이용해 모델링화 하였다. 이  
모델링의 신뢰성을 확보하기 위해서 실험값에 대하  
여 검증실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었  
다.

1. CFRP 복합 적층판의 품질평가의 일환으로 초  
음파를 이용한 결과, 초음파 발생을 위한 트랜스  
듀서의 탐촉각은 90° 인 경우가 가장 민감 하였다
2. 전단파 분극 방향은 트랜스듀서의 중향을 통과  
하는 BNC 케이블에 의해서 분극방향이 결정 되고,  
초음파 트랜스듀서는 10° 정도의 에러가 있다는 사  
실을 알 수 있었다.
3. CFRP적층판의 비파괴 평가를 위하여 초음파 전  
단파 사용한 결과 모델링과 실험결과와의 윤곽은 잘  
일치 하고 있지만 피크점 부근에서는 다소 차이가  
나타났다. 이 원인은 접촉매질의 상태, 송신·수신  
트랜스듀서의 커플링상태뿐만 아니라 시험편 에서의  
감쇄, 빔확산 및 반사굴절 등의 영향이 다소 미쳤  
다고 사료된다.

#### 참고문헌

- 1 장필성, 전홍재 "초음파를 이용한 복합재료 기계적  
특성값의 새로운 측정방법", 한국복합재료 학회  
지, 제 13권, 제2호, pp. 1~7, 2000
- 2 K. Urabe and S. Yomoda, 1982, "Non-Destructive  
Testing Method of Orientation and fiber Content in  
FRP Using Microwave", *Progress in Science and  
Engineering of Composite*, pp. 1543-1550
- 3 J. N. Komsky, I. M. Daniel and Y. -C. Lee, 1992,  
"Ultrasonic Determination of Layer Orientation in  
Multilayer Multidirectional Composite Laminates",  
*Review of Progress in QNDE*, Vol. 11, Plenum, pp.  
1615-1622