

## 일방성 GFRP 복합재료에서 음향방출 신호의 위치표정

### AE Source Location of Unidirectional GFRP

이종오\*, 원순호\*, 윤운하\*, 이종규\*\*, 소철호\*\*\*

Jong-O Lee\*, Soon-Ho Won\*, Woon-Ha Yoon\*, Jong-Kyu Lee\*\* and Cheal-Ho So\*\*\*

**Abstract** General source location method that use an arrival time differences among sensors is restricted to the composite material and the complex-shaped material. In this study, a bundle-type acoustic sensor composed of 6 pinducers was utilized to determine wave propagation direction and then to estimate source location of the unidirectional GFRP. For the purpose of the study, slowness curve for the material was obtained and made an assumption that the incident waves on pinducers are propagated as a plane wave. According to the results, measured propagation directions of the wave were coincide with theoretical background, however, it was a hassle to determine the source location exactly. But, it is expected that bundle-type sensor gives more accurate results for zone location than generally used acoustic sensors.

## 1. 서 론

음향방출이란 매질내의 갑작스러운 탄성장의 변화에 의해 발생하는 탄성파로서 음향방출 시험의 목적은 발생원의 위치 및 발생원에서 무엇이 일어나고 있는 알고자 함이다. 음향 방출원의 위치 표정(source location)은 신호의 형태(돌출형신호, 연속형신호), 시험편의 형상(선형, 판상) 등에 따라 달라진다. 일반적인 등방성 매질에서 음향방출 신호에 대한 위치표정 방법은 3개이상의 탐촉자를 사용하여 탐촉자에 도달하는 시간차를 이용하여 발생원의 위치를 추정할 수 있지만 신호의 도달시간차를 이용한 삼각법에 의한 위치표정은 구조가 복잡하거나 전파속도의 이방성을 갖는 복합재료에서는 방향에 따라 속도가 달라지므로 이를 이용할 수 없기 때문에 이방성재료에서는 전파방향에 따른 신호특징을 분석하여 위치표정에 대한 연구가 수행된 바 있다[1]. 본 연구에서는 다발형 탐촉자를 사용하여 음향방출신호의 전파방향을 결정하고 두 개의 탐촉자로서 이방성 재료에서 음향 방출원의 위치를 추정

하는 방법에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 위치표정의 알고리즘

### 2.1. 가정

본 연구에서 위치표정은 6 channel pinducer를 일체화한 다발형 탐촉자를 이용하여 각 channel에의 도달시간을 이용하여 파의 진행방향을 결정하는 방법으로 다음과 같은 가정이 포함된다.

가정 1. 속도의 이방성을 갖는다.

가정 2. 탐촉자에 도달하는 신호의 wavefront는 원형 탐촉자의 접선과 일치하며 탐촉자 내에서 평행하게 진행한다.

가정 1의 경우 일방성 복합재료에서의 현상으로 정당하다고 할 수 있다. 한편 Fig. 1 (a), (b)에서 볼 수 있는 것처럼 일반적으로 등방성 매질의 발생원에서 전파되는 파의 wavefront는 구형이며 재료가 이방성일 경우 더욱 복잡해지므로 발생원과 탐촉자간 거리가 가까울 수밖에

없는 시험실 수준의 시편일 경우 가정 2는 정확하지 않다. 그러나 실 구조물에서처럼 발생원과 탐촉자와의 거리가 충분한 경우 등방성이나 이방성 재료 양자에서 가정 2는 정당하다고 할 수 있다.

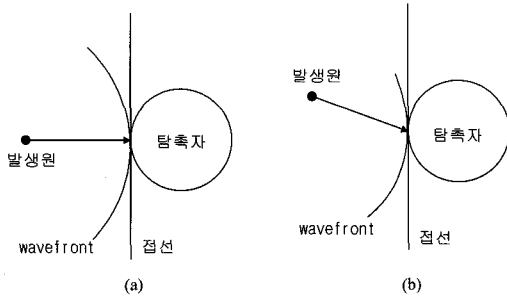


Fig. 1 Relationship between sensor and wavefront  
a) isotropic and b) anisotropic material

2.2. 전파 방향의 결정

실험에서 사용된 다발형 탐촉자에서 pinducer channel 및 전파방향이 Fig. 2와 같다면 가정 2에 의해 전파방향과 신호가 도달되는 각 channel의 순서는 Table 1과 같다.

90° ~ 360°까지는 0° ~ 90°까지와 같은 방법으로 도달되는 탐촉자의 순서가 결정된다.

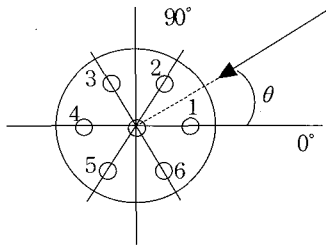


Fig. 2 Schematic diagram for the bundle-type sensor and direction of wave propagation

Table 1 전파방향과 도달 channel의 순서

전파방향	도달 channel 순서
0°	1→2→6→3→5→4
0° ~ 30°	1→2→6→3→5→4
30°	1→2→3→6→4→5
30° ~ 60°	2→1→3→6→4→5
60°	2→1→3→4→6→5
60° ~ 90°	2→3→1→4→6→5
90°	2→3→1→4→5→6

탐촉자에 신호 도달 순서로서는 이론적으로 최대 30°의 오차가 있다. 최대 도달시간차를 갖는 두 탐촉자와 각 방향에 따른 전파속도로서 전파방향이 결정될 수 있다.

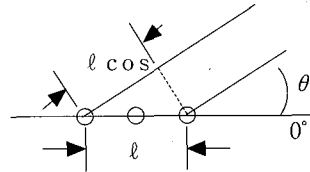


Fig. 3 Relationship between the direction of wave propagation and the separation of sensors

Fig. 3에서 보는 것처럼 탐촉자간 거리를 l이라 하면 가정 2에 의하여 전파방향이 theta인 신호가 첫 번째 탐촉자에 도달한 후 최후 탐촉자까지 이동 거리는 l cos theta이다. 따라서 최대도달시간차(delta t)와 전파속도(V theta)와는 식 1과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{l \cos \theta}{\delta t} = V_{\theta} \dots\dots\dots (1)$$

따라서, 도달 순서에 의해 어떤 범위내의 전파방향을 결정하고 전파속도와 도달 시간차로 식 (1)을 만족하는 전파방향 theta를 구할 수 있다.

2.3. 위치표정

두개 이상의 bundle에서 2.2 절에서 제시한 방법에 의해 전파 방향이 결정되면 위치표정은 다음과 같은 방법으로 결정할 수 있다.

결정된 전파방향을 theta1, theta2라 하고 센스의 위치를 (x1, y1), (x2,y2)라 하면, 두직선

$$y-y1=\tan \theta 1 \cdot (x-x1), y-y2=\tan \theta 2 \cdot (x-x2)(2)$$

의 교점이 음향방출원의 위치가 된다.

3. 실험

시험편으로 사용된 복합재료는 크기가 30×50×0.5cm인 평판형 일 방향성 유리섬유강화 복합재료(GFRP)이며, 모의 음향방출 신호로는 연필심 파괴를 이용하였다. 탐촉자

는 Fig. 2와 같이 중심간 거리가 13mm되게 60° 각도로  $\varnothing 3\text{mm}$ ,  $l$  50mm의 6개의 pinducer를 배열한 직경 1 in의 다발형 탐촉자였다. 각 방향에 따른 전파속도는 0°에서 90°까지 10° 간격으로 다발형 탐촉자의 마주보는 두 pinducer를 연장한 선이 각 방향을 향하게 하고 모의 음향방출 시험에 의한 두 pinducer의 도달 시간차를 이용하여 구하였다. Fig. 4는 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도를 보여주고 있다.

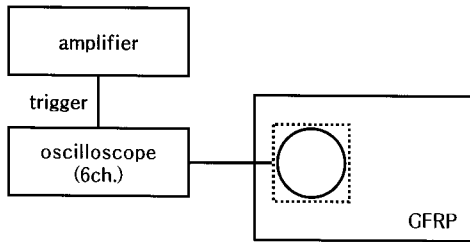


Fig. 4 Schematic diagram for experimental set-up

4. 결과 및 토의

4.1. 전파방향에 따른 신호의 전파속도

복합재료에서 초음파의 전파속도에 대한 이방성은 잘 알려져 있다[2]. 그러나 같은 재료에서도 연구자에 따라 다른 결과를 보이고 있다. 본 연구에서 0° ~ 90° 사이의 전파 방향에 대한 전파속도의 측정결과는 그림 5와 같고 그림에서 보는 것처럼 0°에서 가장 빠른 1294m/sec, 각이 증가할수록 전파 속도가 감소하여 90°에서 642m/sec로 전파 방향에 따른 이방성을 확인할 수 있다.

일반적으로 판상 재료에서 초음파는 Lamb wave (longitudinal + shear vertical)의 형태로 전파하는데 Fig.

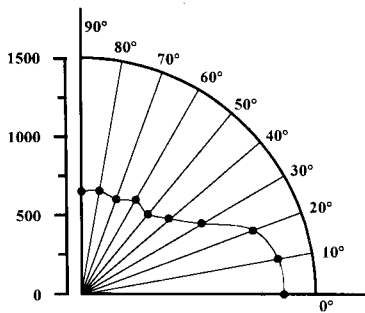


Fig. 5 Velocity variation with propagation direction

6은 연필심 파괴에 의한 모의 음향방출 신호를 pinducer로 측정된 것으로 처음 작은 진폭의 종파가 도달하고 뒤 이어 진폭이 상대적으로 큰  $A_0$  mode가 나타난 것으로 보인다. 작은 진폭의 종파는 측정 거리가 멀어지면 감쇠되어 소멸하고  $A_0$  mode만이 보이며 이 mode의 진폭은 점점 적어져 위상이 바뀌게 되며 위상변화는 거리에 따라 반복적으로 관찰되었다. 따라서 실제 속도 측정에서의 실험결과는 발생원과의 거리와 pinducer 간 간격에 따라서도 달라질 수 있을 것이다. 이러한 현상은 Lamb wave의 mode별로 속도와 감쇠가 다르므로 나타나는 현상으로 본 연구에서는 진폭이 상대적으로 큰  $A_0$  mode를 선택하여 속도를 측정하였다.

4.2. 전파방향의 결정

Fig. 7은 거리 15cm지점의 56°에서 전파해온 신호를 다발형 탐촉자의 각 channel로 받은 결과를 보여준다. 결과로부터 도달시간 순서는 2→1→3→6→4→5이고 최대도달 시간차는 11.02  $\mu\text{sec}$ 임을 알 수 있다. 따라서 전파방

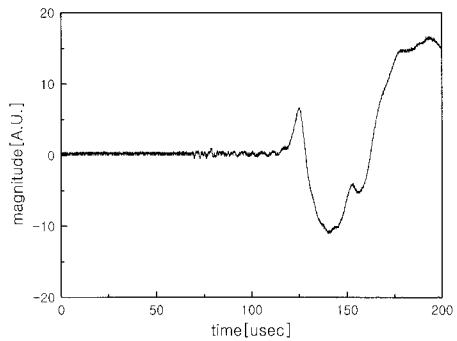


Fig. 6 Typical AE signal detected by pencil lead breakage

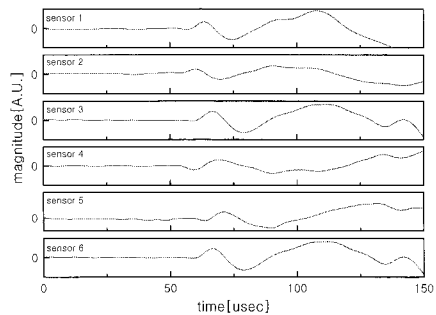


Fig. 7 Detected signal for each channel (distance: 15cm, direction: 56°)

향은  $30^\circ$  에서  $60^\circ$  사이의 방향이며, 이 사이에서 식 (1) 을 만족하는 전파각도는 약  $53^\circ$  이다. 이 결과는 실제 전 파 방향각  $56^\circ$  와 거의 일치한다고 볼 수 있다.

한편, Fig. 8은 거리 10cm지점의  $12^\circ$  에서 전파해 온 신호를 동일한 탐촉자의 각 channel로 받은 결과를 나타 내는데, 도달시간 순서는 1→2→6→3→5→4지만 최대도달 시간차이는  $30.8\mu\text{sec}$ 로 식 (1)을 만족하는 전파각도를 계산할 수 없었다. 이러한 결과는 본 연구에서 가정 2의 각 channel에 평행 입사조건이 발생원의 거리가 짧은 관 계로 생기는 도달시간차의 오차 및 각 channel의 감도가 일정하지 않아서 생기는 것으로 판단되며 발생원에서의 거리가 멀어지면 좀 더 정확하게 전파방향을 결정할 수 있을 것으로 본다.

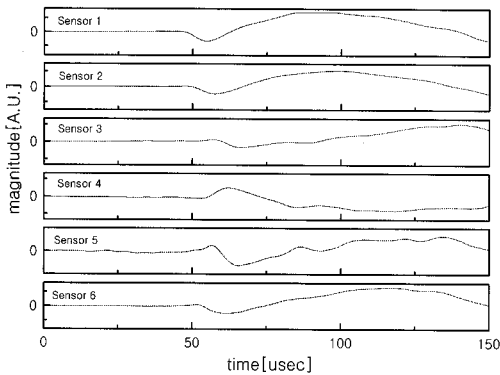


Fig. 8 Detected signal for each channel(distance:10cm, direction:  $12^\circ$  )

그러나, 각 channel에 도달한 신호의 시간차로부터 음향방출발생원이  $0^\circ$  에서  $30^\circ$  위치에 있다는 것은 개략적으로 알 수 있었고, 이는 발생원 위치의 개략적인 영역을 알 수 있는 지역표정(zone location)으로는 좋은 결과를 나타낼 수 있는 것으로 보인다.

지역표정의 방법은 센서 1에서  $\theta_{11}$ - $\theta_{12}$ 의 방향, 센서 2에서  $\theta_{21}$ - $\theta_{22}$ 의 방향이 대략적으로 결정되면, 위 식에서 각  $\theta$ 에 두개씩 4개의 직선 방정식이 나온다. 이들 4개의 직선의 방정식이 교차하는 교차점을 계산하면 4개의 교차점을 구할수 있다. Fig. 9는 대략적인 전파방향의 결정 및 교차점(A,B,C,D)에 의한 음향방출원의 zone location의 알고리즘을 보여준다.

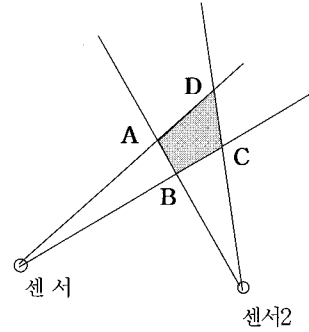


Fig. 9 Algorithm of zone location

## 5. 결 론

6개의 pinducer로 이루어진 다발형 탐촉자를 사용하여 이방성 재료에 대한 위치표정을 수행한 결과, 음향방출발생원의 위치를 비교적 좁은 범위내에서 측정할 수 있었다. 그러나, pinducer에 여러 모드가 혼합되어 측정되고, 본 논문에서 가정된 조건을 완전하게 만족시킬 수 없었기 때문에 음향방출발생원의 정확한 위치표정은 측정하기 어려웠지만 지역표정을 위한 방법으로는 좋은 측정법이 될 수 있다. 그리고 본 논문의 가정을 만족시킬 수 있는 크기의 실제 구조물에 대한 위치표정에 본 논문에서 제안된 다발형 탐촉자를 사용하면 일반적인 탐촉자를 사용하는 경우 보다 우수한 결과를 얻을 수 있을 것으로 본다.

## 참고문헌

- [1] 배태주, 양동운, 소철호, 이종오, “섬유강화 복합재료 평판에서 음향방출원의 위치 결정 방법”, 동신대학교 기초과학연구소 자연과학논문 제3집, pp. 1-11, (1998)
- [2] 이정기, “유리판과 탄소섬유 강화 복합재료판에서 점원에 의해 발생된 판파의 과도적인 신호”, 이학석사 학위논문, 한국과학기술원, (1993)