

# 전파속도를 알 수 없는 재료에서의 AE 발생위치 온라인 측정

장경영\* · 이원흠\* · 김달중\*

(1997년 9월 10일 접수)

## AE Source On-line Localization on Material with Unknown Acoustic Wave Propagation Velocity

Kyung Young Jhang, Weon Heum Lee and Dal Jung Kim

**Key Words :** Acoustic Emission(AE : 음향방출), Source Localization(음원위치검출), Elastic Wave Propagation Velocity(탄성파 전파속도), Triangulation Method(삼각법)

### Abstract

The ability to locate the defects in materials is one of the major attractions of the acoustic emission(AE) technique. The most conventional method for planar AE source localization is to place three or more AE sensors on the plate and to determine the source position by measuring the differences in the arrival times of the AE wave at the sensors, which is called as triangulation method. But this method can not be applied in the material of which elastic wave propagation velocity is not known. In this paper, we propose two methods, vector method and error minimization method, for AE source location on the material with unknown AE wave velocity. In this method, it is not needed to know the propagation velocity previously, that is, we can apply this method to arbitrary material of which properties are not known exactly. Also, in this paper, the robustness to the error in the measurement of time differences are discussed for both methods. Finally, in order to evaluate the actual performances, experiments using a pencil lead break as the AE source were carried out on the aluminum plate.

### 1. 서 론

AE(acoustic emission : 음향방출)법에 의한 비파괴적 결함발생 검출기법은 구조물의 이상유무를 조기에 발견하고 주기적으로 감시할 목적의 모니터링 시스템에 적합하며, 그 효과가 공작기계 공구파손 검출, 또는 구조물의 이상감지 등 여러분야에 걸쳐 입증되고 있다.<sup>(1)</sup> 대형탱크의 결함에 따른 누설, 고압탱크의 결함 등 그 위치정보가 중요시되는 경우는 대부분 파손시 대형사고를 유발할 위험성이

있는 경우에 해당되며, 따라서 결함발생의 위치정보는 파괴과정의 해석과 분석뿐만 아니라 산업설비의 안전관리에 있어서 매우 중요한 과제가 된다.<sup>(2, 3)</sup>

이런 필요성에 따라 결함의 위치를 AE 신호를 이용해 찾고자 하는 노력이 시도되어 왔다. 그 중 대표적인 것에 여러 개의 AE 센서를 배치하여 두고, 각 센서에 도달하는 AE파의 도착시간차를 측정하여 AE 발생위치를 구하는 방법이 있다. 즉 음원과 기준센서 사이의 거리와 음원과 타 센서까지의 거리 차이를 기준센서와 해당센서간 AE파의 도착시간차와 전파속도의 곱으로 표현할 수 있으므로, 이와 같은 관계식이 m개의 센서군으로부터는 (m-1)개가 얻어지게 되어, 이를 연립하여 음원의

\*회원, 한양대학교 기계공학부

\*\*한양대학교 대학원

위치를 구할 수 있게 된다. 여기서, 관계식의 수  $(m-1)$ 은 구하고자 하는 위치좌표의 차원과 동일하며, 따라서 평판에서와 같이 2차원적인 위치검출을 위하여는 2개의 관계식이 필요하고, 결국 3개의 AE 센서를 배치하여 이용하면 되는 셈이다. 이 방법은 삼각법으로 알려져 있으며, AE 발생위치의 검출에 가장 효과적인 방법으로 인식되어져 있다.<sup>(4,5)</sup> 그러나 이 방법의 적용은 본질적으로 검사 대상물에서의 탄성파의 전파속도를 알고 있는 경우로 제한되어지므로, 재질이 명확한 경우가 아니면 전파속도를 측정하기 위한 별도의 실험이 동반되어야 하는 불편함이 있다.

본 논문에서는 이를 개선하여 전파속도를 알 수 없는 재료, 즉 검사대상 재료가 어떤 재료인지 알 수 없는 경우나 전파속도를 별도로 측정하기 곤란한 경우에도 적용할 수 있는 새로운 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 방법도 여러 개의 AE센서를 배치하여 두고, 각 센서에 도달하는 AE파의 도착 시간차를 측정하여 이용하는 것은 기존의 삼각법에서와 동일하다. 단, 음속을 미지수로 둬서 최종적으로 얻어지는 연립방정식이 비선형적으로 나타나게 되고, 따라서 이 문제는 비선형 연립방정식의 해를 구하는 문제로 귀착된다. 본 논문에서는 이를 해결하는 두 가지 접근을 시도한다.

첫번째 방법은 추가적인 센서를 이용하여 비선형항과 음속항을 소거하는 방법으로 벡터법으로 명명되었다. 이 때 추가되는 센서의 수는 2개이며, 따라서 2차원 음원결정을 위하여는 총 5개의 센서가 필요로 된다.

두번째 방법은 수치해석적 방법이다. 이 방법은 기존 삼각법에서 얻어지는 관계식들이 기하학적으로는 쌍곡선의 궤적을 나타내게 되고, 음원의 위치는 이들 쌍곡선의 교점에 해당된다는 특징을 이용한다. 즉, 2차원 음원검출을 위하여 3개의 센서로부터 얻어지는 2개의 방정식을 연립하여 푼다는 것은 기하학적으로는 각 방정식으로부터 얻어지는 두 쌍곡선 궤적의 교점을 찾는 것과 같다는 것이다. 그러나 전파속도를 모르는 경우에는 쌍곡선 궤적을 그릴 수 없다. 따라서 본 논문에서는 우선 1개 센서를 추가하여 3개 쌍곡선 궤적을 그리도록 하는데, 단 전파속도를 일정범위내에서 변화시켜 가면서 축차대입할 때 세 쌍곡선의 교점으로 만들어지는 삼각형의 면적이 최소가 되는 속도를 구하고 그때의 음원위치를 찾는 방법을 제안한다. 여기서 올

바른 전파속도가 주어진다면 세 쌍곡선은 한 점에서 만날 것이나, 그렇지 않으면 세 쌍곡선은 세 개의 다른 교점을 생성시키게 되고 이 들이 만드는 삼각형의 면적은 전파속도가 참값에 가까워질수록 작아질 것이다. 즉, 일종의 오차최소화법이다.

또한 본 논문에서는 통상 AE파가 센서에 도착하는 시간차를 측정하는데 있어 잡음과 기기의 분해능 등의 이유로 오차가 발생할 수 있기 때문에 이들 오차에 대한 강인성을 평가하였으며, 각각의 특징에 대해 시뮬레이션과 연필심 파괴를 AE 신호원으로 하는 알루미늄 평판에서의 2차원 AE 발생위치 검출에 대한 실험을 통하여 비교하였다. 첫번째 방법은 매우 정확한 해를 확정적으로 구할 수 있는 반면 오차강인성 면에서 다소 떨어지는 경향을 보였으며, 두번째 방법은 오차를 최소로 하는 해를 수치해석적으로 구하므로 수렴속도에 따라 약간의 시간이 필요하고 해의 정확성면에서 전자보다 떨어지지만 오차강인성은 매우 우수한 것으로 나타나, 측정환경이 양호한 경우에는 전자들, 잡음 등이 많아 전파시간차 측정의 불확도가 큰 경우에는 후자를 적용하는 것이 유리할 것으로 분석되었다.

## 2. 벡터법에 의한 음원위치 추정

### 2.1 계측원리

우선 탄성파의 전파속도를 알 수 없는 평판에서의 2차원 음원위치 검출을 위한 센서의 배치와 음원과의 위치관계를 Fig. 1에 나타낸다. 여기서, P는 음원, S는 센서의 위치이다. 그러면 음원위치 P에서 발생된 AE파가 각각의 수신센서(S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub>)에 전파된다고 할때, 기준센서 S<sub>1</sub>과 타

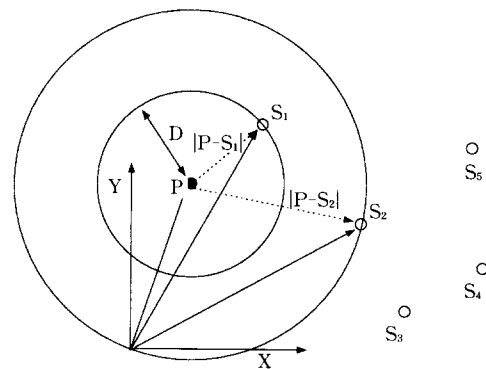


Fig. 1 Basic principle of 2D source location in plate with unknown AE wave velocity.

센서간의 거리  $\Delta S_i (i=2, 3, 4, 5)$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta S_i = (t_i - t_1) \cdot V = \Delta t_{1i} \cdot V \quad (i=2, 3, 4, 5) \quad (1)$$

여기서,

$t_1$ : 음파가 음원에서 센서  $S_1$ 에 도달하는 시간

$t_i$ : 음파가 음원에서 센서  $S_i$ 에 도달하는 시간

$\Delta t_{1i}$ : 1번 센서와  $i$ 번째 센서에 음파가 도달하는 시간차

$V$ : AE파의 전파속도(음속)

또한, 음원위치  $P$ 에서 각 센서까지의 거리는 다음 식으로 나타내어질 수 있다.

$$|\vec{S}_i - \vec{P}| = \Delta S_i + D \quad (i=2, 3, 4, 5) \quad (2)$$

여기서,  $\vec{S}_i$ ,  $\vec{P}$ 는 각각 센서의 위치벡터, 음원의 위치벡터를 나타내며,  $D$ 는 음원과 기준센서  $S_1$  사이의 거리이다.

이 식은  $i=2\sim 5$ 에 대한 4개의 식으로 이루어지는 연립방정식을 의미하는데, 기존의 삼각법에서와 같이 음속을 알고 있다고 하면 위식의 우변이 상수로 주어지게 되고, 따라서 선형 연립방정식으로 나타나게 된다. 이 경우 평면 내에서의 AE 발생위치를 검출하기 위해서는 두 개의 방정식으로 충분하며, 따라서 3개의 AE 센서가 사용된다.<sup>(4)</sup>

그러나 음속이 미지수일 경우 위식의 우변은 미지수로 남게 되며, 이 미지수를 적절히 소거하지 않으면 안된다. 본 논문에서는 추가적인 센서 2개를 이용하여 4개의 방정식을 얻어서 미지수를 소거하는 방법을 택하였다. 즉, 식 (2)를 양변을 제곱하여 정리하면 다음식을 얻을 수 있으며,

$$\begin{aligned} & |\vec{S}_i|^2 - 2\vec{P}^T \vec{S}_i + |\vec{P}|^2 \\ &= D^2 + 2D \cdot \Delta S_i + \Delta S_i^2 \\ &= D^2 + 2D \cdot \Delta t_{1i} \cdot V + (\Delta t_{1i} \cdot V)^2 \quad (i=2, 3, 4, 5) \end{aligned} \quad (3)$$

이들 식을 연립하여  $D$ 와  $V$ 를 소거하면 음원의 위치  $P$ 가 다음 식 (4)와 같이 구해진다.

$$\vec{P} = A^{-1} \cdot B \quad (4)$$

여기서,

$$A = \begin{bmatrix} D_4 \cdot G_3^T - D_3 \cdot G_4^T \\ D_5 \cdot G_3^T - D_3 \cdot G_5^T \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} D_3 \cdot F_4^T - D_4 \cdot F_3^T \\ D_3 \cdot F_5^T - D_5 \cdot F_3^T \end{bmatrix}$$

또한,

$$\begin{aligned} D_j &= \Delta t_{1j} \cdot \Delta t_{12}^2 - \Delta t_{12} \cdot \Delta t_{1j}^2 \\ F_j &= (\Delta t_{1j} \cdot |\vec{S}_2|^2 - \Delta t_{12} \cdot |\Delta t_{1j}|^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - (\Delta t_{1j} - \Delta t_{12}) \cdot |\vec{S}_1|^2 \\ G_j &= (\Delta t_{12} \cdot \vec{S}_j - \Delta t_{1j} \cdot \vec{S}_2) + (\Delta t_{1j} - \Delta t_{12}) \cdot \vec{S}_1 \\ & (j=3, 4, 5) \end{aligned}$$

따라서, 음원위치  $P$ 는 이미 알고 있는 센서의 위치벡터  $\vec{S}_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$ 와 측정된 전파 시간차  $\Delta t_{1i} (i=2, 3, 4, 5)$ 로서 결정될 수 있음을 알 수 있다. 센서간의 시간차는 시간영역에서 직접 읽을 수도 있고, 상관해석에 의하여 구할 수도 있다.

## 2.2 컴퓨터 시뮬레이션

식 (4)는 결국 음원의 위치  $P$ 가  $A\vec{P} - B = 0$ 을 만족하는 두 직선의 교점으로 구해진다는 것을 의미한다. 그 일례를 Fig. 2에 보인다. 이것은 음속을 5300 m/sec, 각 센서들의 위치를  $S_1 = (0, 0)$ ,  $S_2 = (250, 0)$ ,  $S_3 = (50, 250)$ ,  $S_4 = (300, 150)$ ,  $S_5 = (300, 300)$ , 음원위치  $P$ 가  $(150, 0)$ 인 경우가 각 센서의 시간차를 이론적으로 계산한 후 이를 식 (4)에 대입하여 얻은 두 직선의 교점으로부터 음원의 위치를 구하는 과정을 나타낸다. 당연하지만 원래의 음원위치가 정확하게 구해짐을 알 수 있다.

그러나 실제의 경우에는 센서간 시간차 측정에 있어서 AE신호의 잡음이나 샘플링 분해능의 제한에 따른 오차가 발생할 수 있으며, 이 오차는 음원의 위치추정에 오차를 유발한다. 따라서 여기서는 제한하는 알고리즘이 시간차 측정오차에 얼마나 강한지를 평가하기 위하여 다음과 같은 시뮬레이션을 수행하였다. 즉, 각각의 센서간 이론 시간차에 어느 일정 범위내의 오차를 불규칙적으로 발생시킨 후 이를 이용하여 음원위치를 추정하는 것이

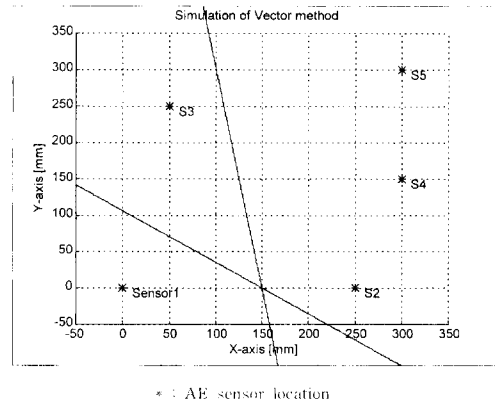


Fig. 2 Simulation result of vector method.

다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta t_{i,j} = \Delta t_{i,j,real} \pm \Delta t_{i,j,random} \quad (5)$$

여기서,  $\Delta t_{i,j,random}$ 은 컴퓨터에서 난수를 발생시켜 이용하였으며, 최대범위를 0.1~2  $\mu\text{sec}$  까지 0.1  $\mu\text{sec}$  간격으로 증가시켜 가면서 각각의 경우에 대해 음원위치추정을 실시하였다. Fig. 3은 그 결과를 보여주는 것으로 종축의 오차는 실제 음원위치와 추정 음원위치 사이의 거리를 나타낸다.

단, 그림의 결과는 위의 실험에서 사용한 15가지의 서로 다른 음원위치에 대해 각각의 경우에 있어 20회씩 불규칙오차를 발생시켜 구한 위치추정오차의 평균을 나타낸다. 이는 음원추정의 정확성이 음원의 위치에 따라 다르게 나타날 수 있음을 배려하기 위함이다. 따라서 Fig. 3의 결과는 시간차 측정 최대오차 범위를 0.1~2  $\mu\text{sec}$ 까지 0.1  $\mu\text{sec}$  간격으로 변화시켜 갈 때 각각에 있어서 15가지의 음원위치와 20가지의 불규칙오차로 된 총 300가지 경우에 대한 위치추정오차를 평균하여 나타낸 것이다. 오차범위가 커질수록 위치추정오차도 증가해 감을 알 수 있으며, 그 크기는 수십 mm로 비교적 큰 오차임을 알 수 있고, 간혹 수백 mm의 오차도 발생할 수 있음을 보여준다. 이는 제안하는 방법의 원리상 (4)식에서 만들어지는 두 직선의 기울기가 비슷한 값을 가질 경우, 특이점에 가까워지므로 이들 기울기에 약간의 변동이 있어도 교점의 위치가 크게 변할 수 있기 때문인 것으로 사료된다. 이로부터 벡터법은 시간차추정의 오차가 적은 경우에 적용이 효과적임을 알 수 있고, 측정시 오차가 내포될 염려가 큰 경우에는 오차에 강인한 또다른 접근 방식을 고안하는 것이 필요하다. 이에 대하여는 후술하는 3장에서 다루기로 한다.

### 2.3 실험장치 및 시험편

제안하는 방법의 유효성을 검증하기 위하여 다음과 같은 실험을 실시하였는데, Fig. 4는 이를 위하여 구성된 실험장치의 개략도를 보여준다. AE 음

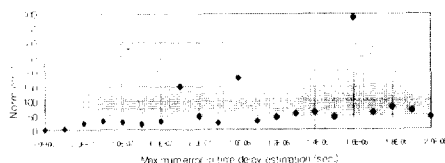


Fig. 3 Error of source location by vector method due to the estimation error of time delay

원은 400×400×1.5 mm 크기의 알루미늄판 위에서 연필심(0.3 mm) 파괴에 의해 발생시켰으며, 주파수 범위 1 KHz~1.5 MHz의 광대역 AE 센서로 수신하였고, 수신된 신호는 Digital Wave사의 AE 신호처리장치에 의해 처리되었다.

### 2.4 실험결과

Fig. 5에 수신신호 파형의 예를 나타내었다. 각 센서간의 상대적인 AE파 도달 시간차는 상관분석으로 추정하게 되는데, 이 때 각 센서의 수신신호 중에서 가장 먼저 도달한 Extensional Wave 성분만을 추출하여 사용하였다. (5~7)

Table 1은 측정된 시간차로부터 음원의 위치를 추정할 결과를 실제 음원위치와 함께 보여주고 있으며, Norm error란 실제좌표와 추정좌표 사이의 거리차를 오차로 나타낸 것이다. 2, 3 mm정도의 거리오차로 위치가 추정된 경우도 있으나 전반적으로 위치추정오차가 크며, 이것은 앞에서 설명한 바

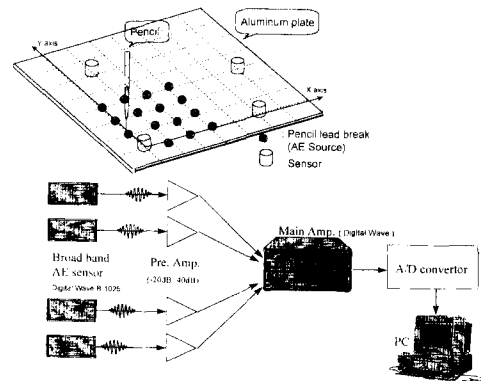


Fig. 4 Experimental system for AE source location

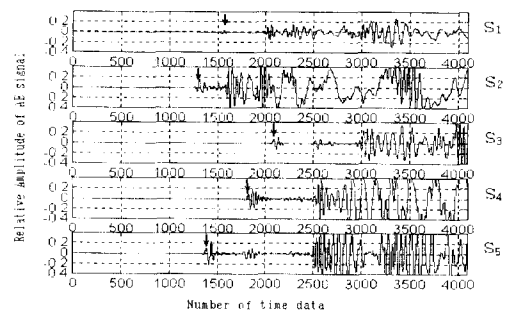
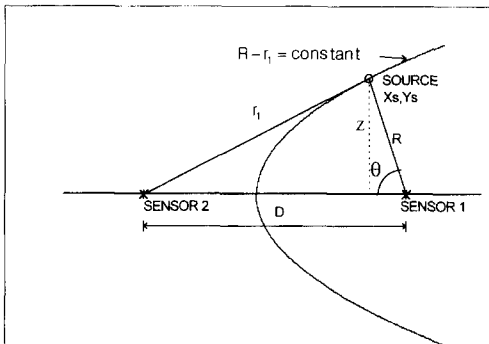


Fig. 5 AE signals sampled at each sensor from 1.2 mm thick plate of aluminum when a lead break was used as a AE source. (↓ : Extensional wave)

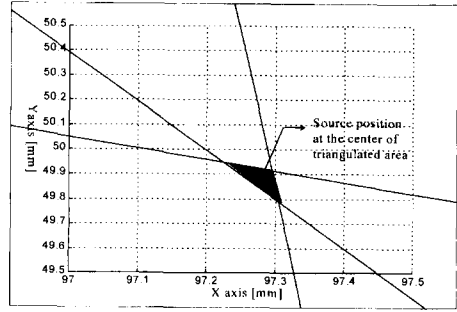
**Table 1** Experimental results of AE source location by vector method.

Given position		Estimated position		Vector method
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	Norm error [mm]
50	0	5.3	-49.1	66.40
100	0	188.0	234.4	250.40
150	0	149.0	3.7	3.74
0	50	2.1	47.8	3.04
50	50	39.2	44.4	12.16
100	50	92.1	41.6	11.53
150	50	150.4	43.4	6.61
0	100	48.4	108.7	49.17
50	100	57.3	103.2	7.97
100	100	178.7	118.5	80.84
150	100	163.4	95.9	14.01
0	150	-9.6	166.7	19.26
50	150	33.4	142.5	18.21
100	150	95.7	157.1	8.30
150	150	147.3	150.5	2.74
Average				36.96
Standard deviation				39.86

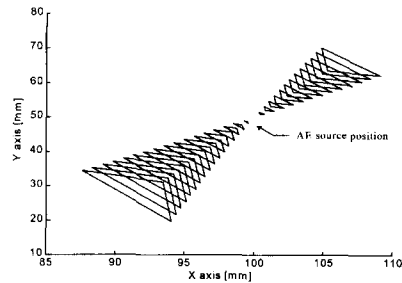


**Fig. 6** Trace of points where the difference of flight time from source to two sensors becomes to be constant.

와 같이 시간차추정오차가 예상보다 큰 것에 기인하는 것으로 사료된다.



**Fig. 7(a)** Simulation results of error minimization method.



**Fig. 7(b)** Variation of area and position of triangles due to the change of propagation velocity.

### 3. 오차최소화법에 의한 음원위치추정

#### 3.1 계측원리

Fig. 6과 같이 2개의 센서가 평판 위에 있을 때, 음향방출이 평판에서 일어나 일정한 속도로 전방향으로 퍼져 나간다고 가정하자. 이 때 음원의 위치와 센서간 거리의 관계식은 음원위치( $X_s, Y_s$ )를 통과하는 쌍곡선의 식으로 다음과 같이 유도된다.<sup>(5)</sup>

$$r_1 - R = \Delta t V \tag{6}$$

여기서,  $R$ 과  $r_1$ 은 각각 음원과 센서사이의 거리이며,  $V$ 는 전파속도,  $\Delta t$ 는 센서간 상대적인 전파 시간차이다. 이것은 센서 1과 2로부터의 거리차가 일정한 점들의 집합, 즉 쌍곡선을 형성하게 된다. 따라서 세 개의 센서를 이용하면 이러한 쌍곡선 두 개를 얻을 수 있고, 그 교점이 찾고자 하는 음원 위치가 된다.

그러나 전파속도를 모르는 경우에는 쌍곡선 궤적을 그릴 수 없다. 따라서 본 논문에서는 1개 센서를 추가하여 3개 쌍곡선 궤적을 그리도록 하는데, 단 전파속도를 일정 범위내에서 변화시켜 가면서

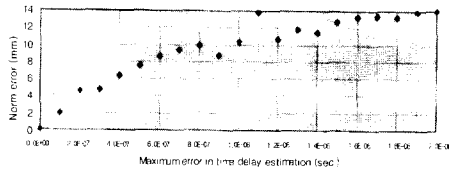


Fig. 8 Error of source location by error minimization method due to the estimation error of time delay.

축차대입할 때 세 쌍곡선의 교점으로 만들어지는 삼각형의 면적이 최소가 되는 속도를 구하고 그 때의 음원위치를 찾는 방법을 제안한다. 여기서 올바른 전파속도가 주어진다면 세 쌍곡선은 한 점에서 만날 것이나, 그렇지 않으면 세 쌍곡선은 세 개의 다른 교점을 생성시키게 되고, 이들이 만드는 삼각형의 면적은 전파속도가 참값에 가까워질수록 작아질 것이다. 본 논문에서는 이 방법을 오차최소화법이라고 하였다.

3.2 컴퓨터 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션은 두 가지 목적으로 수행되었다. 하나는 제안하는 방법의 원리를 예시하기 위한 것이며, 또 하나는 앞의 경우에서와 마찬가지로 오차강인성을 알아보기 위함이다. Fig. 7은 첫번째 목적을 위한 시뮬레이션 결과로, 음원위치 P의 좌표가 (100, 50), 4개 센서의 위치가 각각  $S_1=(0, 0)$ ,  $S_2=(250, 0)$ ,  $S_3=(50, 250)$ ,  $S_4=(300, 150)$ , 전파속도가 5300 m/sec인 경우에 대하여, 각 센서간 상대적인 탄성과의 도달시간차를 이론적으로 계산한 후, 전파속도를 4000 m/sec에서 7000 m/sec까지 100 m/sec 간격으로 증가시킬 때 교점이 이루는 삼각형의 면적변화를 평판위에 나타낸 것이다. (a)는 교점들이 이루는 삼각형을 예시한 것이며 (b)로부터 삼각형의 면적이 최소가 되어 한 점으로 나타나는 위치가 추정되는 AE 위치가 되는 것을 확인할 수 있다.

두번째 시뮬레이션은 오차강인성을 평가하기 위한 것으로, 벡터법에서와 같은 방식으로 수행하였다. 그 결과를 Fig. 8에 나타낸다.

센서간 상대시간차 추정의 최대오차범위가 증가함에 따라 서서히 음원위치 추정오차도 증가해 가는데 그 크기가 검색구간에서 평균 14 mm 이하로 작고, 오차증가율도 벡터법에서처럼 크지 않으며 전반적으로 안정되어 있는 것으로 나타났다. 이것은 시간차 오차가 Fig. 6의 쌍곡선 궤적을 수평적으

Table 2 Experimental results of AE source location by mrror minimization method.

Given position		Estimated position		Error Min. method
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	Norm error [mm]
50	0	56.90	14.62	16.17
100	0	103.24	16.74	17.05
150	0	153.27	2.31	4.01
0	50	15.35	54.42	15.99
50	50	54.48	55.37	7.00
100	50	97.38	50.12	2.62
150	50	146.74	52.62	4.18
0	100	-60.34	103.04	60.42
50	100	34.48	100.53	15.52
100	100	96.97	103.81	4.87
150	100	157.14	99.25	7.18
0	150	4.00	152.00	4.47
50	150	61.04	138.38	16.02
100	150	98.74	149.39	1.40
150	150	146.64	139.13	11.37
Average				12.55
Averaged deviation				14.41

로 이동시키는 효과가 있기 때문에 교점의 이동 또한 급격히 커지지는 않는다는 점을 반증하는 것이기도 하다. 이로 부터 오차최소화법은 벡터법에 비하여 오차에 강인한 것으로 평가할 수 있고, 따라서 측정환경이 열악한 경우에는 이 방법이 유효하다고 할 수 있다.

3.3 실험결과

앞의 실험에서 얻어진 시간차추정결과를 그대로 이용하여 오차최소화법을 적용하여 음원위치추정을 실시하였다. 그 결과를 Table 2에 나타낸다. 위치추정오차는 벡터법에서 보다 대폭 개선되었음을 알 수 있다. 단, 음원좌표가 (0, 100)인 경우에 대해서는 추정위치가 평판의 외곽에 있게 되는데, 이는 시간차추정에 비정상적으로 큰 오차가 내포되었기 때문인 것으로 사료되며, 따라서 이 결과를 무시하

면 위 결과의 평균오차는 8.5 mm, 표준편차는 6.1 mm로 되어 상당히 효과적인 위치검출이 가능함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

매질내의 전파속도를 알 수 없는 재료이거나 전파속도를 정확히 측정하기 곤란한 매질에서 AE 음원의 위치를 추정할 수 있는 계측 알고리즘을 개발하고자 수행한 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) AE파의 전파속도를 모르는 경우에도 AE 발생 위치를 검출할 수 있는 새로운 두 가지 방법 (백터법과 오차최소화법)을 제안하였으며, 2차원 평면에서의 AE 음원위치검출의 경우에 대해 구체적인 알고리즘을 제시하였다.

(2) 두 방식의 성능과 오차강인성을 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 평가하였으며 오차의 발생 메카니즘을 규명하였다. 그 결과 백터법은 오차요인이 적은 환경에서 매우 정확한 해를 구할 수 있는 반면 오차최소화법은 오차요인에 보다 강인한 것으로 나타났다. 따라서 적용환경에 따라 이 두 가지 방법을 적절히 선별하여 사용하는 것이 요망된다. 또는 두 방법을 모두 적용하여 위치 추정결과가 유사한 경우에는 오차요인이 적은 것이므로 백터법의 결과를 채택하고, 그렇지 않은 경우에는 오차최소화법의 결과를 채용하는 방식으로 이용할 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 '96년도 교육부 학술연구 조성비(ME96-H-

02)에 의하여 연구되었으며, 지원해 주신 관계기관 여러분께 감사드립니다. 또한 실험을 위하여 AE장비를 빌려주신 MKC Korea의 조명기 사장님께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) Song, J. H., Lim, J. K. and Takahashi, H., 1996, "Thermal Shock Fatigue Evaluation of FGM by AE Technique," *KSME International Journal*, Vol. 10, No. 2, pp. 435~442.
- (2) Tatro, C. A., Brown, A. E., Freeman, T. H. and Yanes, G., 1979, "On-Line Safety Monitoring of a Large High Pressure High Temperature Autoclave," *ASTM STP 697*.
- (3) *Nondestructive Testing Handbook*, 2nd ed., 1991, Acoustic Emission Testing, ASNT, Vol. 5, pp. 141~153.
- (4) Tobias, A., 1976, "Acoustic-Emission Source Location in Two Dimensions by an Array of Three sensors," *Non-Destructive Testing* 9, pp. 9~12.
- (5) Steven M. Ziola and Michael R. Gorman, 1991, "Source Location in Thin Plates Using Cross-correlation," *J. Acoust. Soc. Am.*, 90(5), pp. 2551~2556.
- (6) Newland, D. E., 1993, *An Introduction to Random Vibrations, Spectral and Wavelet Analysis*, 3rd ed., Longman Scientific & Technical
- (7) Alan V. Oppenheim and Schafer, R. W., 1989, *Discrete-time Signal Processing*, Prentice Hall.