

실린더형 용기에서의 신호전파경로 비교를 이용한 음향방출 위치표정

윤 동 진* · 김 영 환* · 권 오 양*

AE Source Location by the Discrimination of Wave Propagation Paths in Cylindrical Vessels

D. J. Yoon, Y. H. Kim and O. Y. Kwon

Abstract By discriminating the wave propagation paths in cylindrical vessels, a technique for AE source location has been proposed. This method is based on the path difference between several propagating directions from a source to a sensor. One sensor can receive multiple waveforms sequentially including a direct arrival and several others propagated through the circumferential direction. AE wave front normally propagates in all directions and as many waveforms can reach the sensor until the signal faded out by attenuation. Only the first four arrivals suffice the condition for calculating the source location. The proposed method was examined for an actual cylindrical vessel by the source location experiment using simulated AE sources. The test showed very promising results and the method can be utilized for a simple AE source location without multi-channel instruments.

I. 서 론

최근 널리 알려지고 있는 비파괴시험법 중의 하나인 음향방출(AE) 시험기술은 여러 분야에서 적용되고 있으나 그중 대형 구조물의 운전중 감시 및 다른 시험법에 비해 단시간에 진단할 수 있는 장점을 가지고 있다고 볼 수가 있다. 즉 압력용기나 탱크 등에 제한해서 생각하더라도 여러개의 센서를 한번 부착 함으로써 전체 구조물을 진단할 수 있는 이점이 따르게 된다.

따라서 최근 금속 뿐만 아니라 복합재료등의 용기진단에 이 음향방출 시험이 활발히 적용되어지고 있으며 또한 AE 시험은 피사체에서의 결함의 유무 및 그 위치까지도 알 수 있는 장점이 있다.

일반적으로 용기 형태의 진단에서는 적절한 형태의 감지구역이 설정되도록 센서를 배열하게 되는데 용기 크기에 따라 10여개에서 수십개까지의 센서가 사용될 수도 있다. 주로 실린더형의 용기에서는 삼각형의 배열 형태를 사용하는데 적어도 10개이상의 센서가 필요하

* 한국표준연구소 비파괴시험연구실
접수 : 1990년 3월 5일

게 되는 것이 보통이다.

그리고 종래의 구역설정 에 의한 위치표정에서는 각 센서간에 도달한 시간차를 이용하여 구조물에서의 신호 전파속도 및 거리를 사용하여 위치를 계산하게 된다.

본 연구에서는 실제 실린더형의 용기에서 source로부터 발생 되는 파형이 여러 경로를 통해 감지센서에 도달하게 되는것을 이용하여 종래의 센서간의 도달시간차에 의한것이 아니라 전파경로에 따른 시간차를 계산하여 위치 결정할 수 있음을 제안하고자 한다. 즉 여기서는 실린더형의 용기에서 발생하는 경우로서 한개 source에서 발생되는 두 방향의 신호 전파 경로를 이용하여 한개의 센서에서 이들 두 신호를 각각 수신한 후 시간차에 의해 앞의 방법과 유사하게 계산하는 알고리즘을 이용하고자 한다.

2. 이 론

일반적으로 평면 위치표정에서는 3개이상의 센서가 있어야만 위치표정이 가능해지며 주로 삼각형 또는 사각형 형태의 배열을 사용하고 있다. 예를들어 삼각형 배열의 경우에는 Fig. 1에서와 같이 각각의 두 센서간에서 생기는 쌍곡선의 교차점을 이용하여 source의 위치를 결정하게 되며 이를 위해서는 각 센서간의 거리 및 도달시간을 이용하여 해를 구하게된다.”

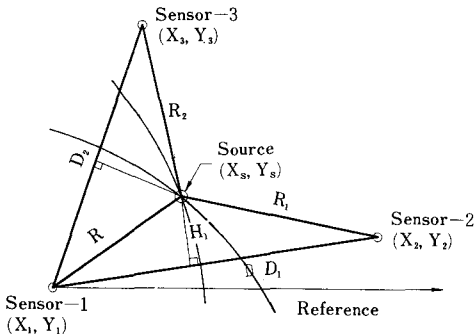


Fig. 1 Intersection of hyperbolae used for the source location in a three sensor array.

이와는 달리 본 연구에서는 실린더형용기에서 발생할 수 있는 신호 전파경로를 이용하여 고찰하고자 한다. 즉 Fig. 2와 같은 용기에서 source에서 발생되는 bulk wave는 사방으로 전파되어지며 이중 표면파가 감지센서에 여러 형태의 경로로서 도달함을 알수가 있다. 이것은 가장 빨리 도달할 수 있는 4가지 형태의 경로를 나타낸 것이며 이 경로를 펼친다면으로서 보면 Fig. 3과 같이 된다. 즉 source에서 발생된 신호는 가장 단거리인 직접 센서에 도달하는 경로외에도 반대 방향, 또는 한바퀴 회전한 후에 도달하는 경로 등의수없이 많은 경로를 가지고 진행하게 된다. 그러나 센서에 도달할 수 있는 전파 거리는 구조물 특성에 따른 감쇠 정도에 따라 달라질 수 있으며 여기서는 네번째 신호까지만 고려하기로 하였다. 그리고 source에서 센서까지의 각각의 거리는 1개의 실제 감지센서와 동일 센서이면서 가상적인 위치에 있는 3개의 센서까지의 거리라고 생각하면 된다. 또한 센서간의 거리는 원주 방향의 한바퀴 길이와 같아지며 진행경로는 각각 서로 다른 방향으로 직접 도달하는 두경우와 각각 한바퀴 더 회전한후에 도달하는 두경우로 나눌 수있다. 따라서 이 경우에는 S와 S' 센서에 의해 생기는 PSS'삼각형과 S와 S'''에 의해 생기는 PSS''' 삼각형과의 조합으로 해를 구할 수 있게 된다.

이들의 해를 위해 각 센서간의 거리 및 source와의 관계를 수식화하고자 Fig. 3에서의 PSS' 삼각형과 PSS''' 삼각형만을 생각해보면 다음과 같게된다. 즉 센서의 위치를 (x0, y0)라 하고 가상의 센서위치를 (x1, y1), (x2, y2)라 한다. 센서간의 거리는 용기의 원주길이와 같으며 각각 D, D'라고 한다. 그리고 source의 위치는 Xs, Ys라고 하며 구조물에서의 파의 진행속도와 두 센서에 도달하는 시간차를 각각 V와 Δt 라고 한다. (Fig. 4)

먼저 두 센서 S와 S'로 이루어진 삼각형 PSS'에서 생각하면 AE source로부터 전파되는 응력파가 모든 방향으로 일정한 속도를 가지고 진행한다고 가정할 때

$$\Delta t * V = R_1 - R_0 \dots\dots\dots (1)$$

그리고 $H = R_0 * \sin \theta$

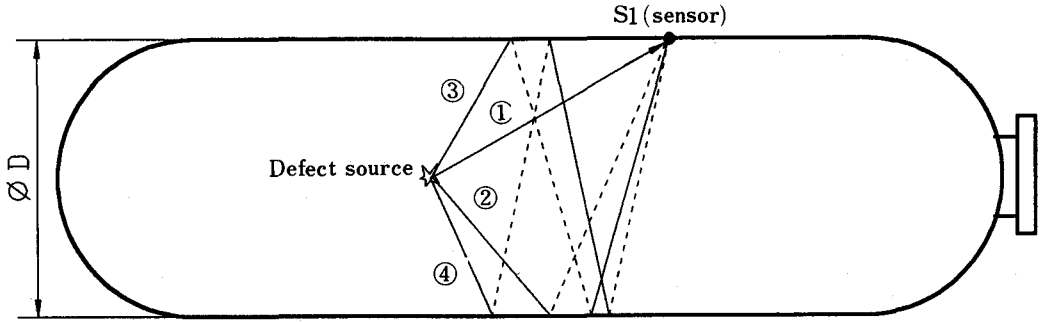


Fig. 2 Several propagation paths from the source to the sensor in the vessel(the fastest 4 arrivals).

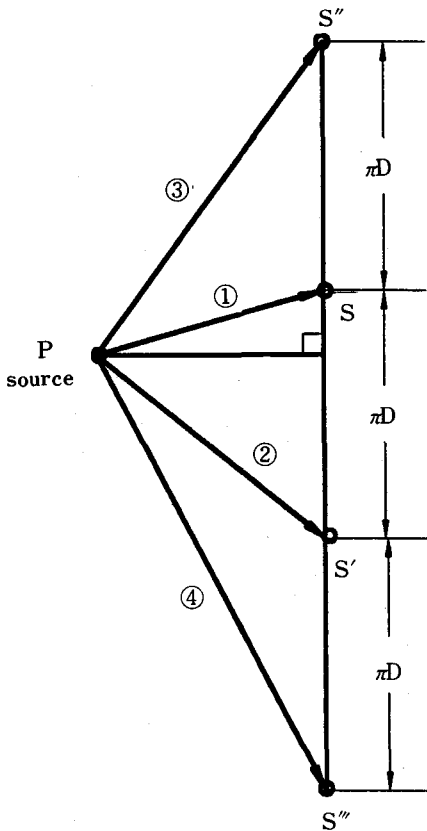


Fig. 3 Expanded view of propagation paths in the geometry.

$$H^2 = R_1^2 - (D - R_0 \cos \theta)^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{따라서 } R_0^2 \cos^2 \theta = R_1^2 - (D - R_0 \cos \theta)^2 \cdot (3)$$

$$R_0^2 = R_1^2 - D^2 + 2DR_0 \cos \theta \dots\dots\dots (4)$$

식(1)로 부터 $R_1 = \Delta t * V + R_0$ 를 (4)식에 대입 하면

$$R_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{D^2 - \Delta t^2 V^2}{\Delta t V + D \cos \theta} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 D, Δt, V는 모두 알 수 있는 값들이며

$$R_0 = f(\theta) \dots\dots\dots (6)$$

가 된다.

이와 같은 방법으로 두 센서 S와 S'''에 대해서도 마찬가지로 삼각형 PSS'''에 대해 똑같이 적용하면

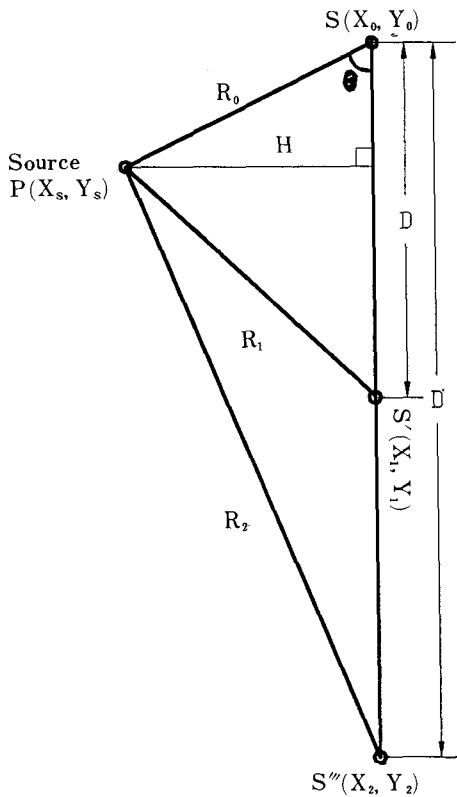
$$R_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{D'^2 - \Delta t'^2 V^2}{\Delta t' V + D' \cos \theta} \dots\dots\dots (7)$$

를 얻을 수 있다.($\Delta t' V = R_2 - R_0$, $D' = 2D$)

그러므로 식(5)와 (7)을 풀면 θ값을 구할 수가 있게 된다.

$$\cos \theta = \frac{V(D^2 \Delta t' - \Delta t'^2 V^2 \Delta t' - 4D^2 \Delta t + \Delta t \Delta t'^2 V^2)}{D(\Delta t'^2 V^2 + 2D^2 + 2\Delta t'^2 V^2)} \dots\dots\dots (8)$$

이상과 같은 결과에서 R₀와 θ값을 알게되면 source의



위치(X_s, Y_s)가 구해지게 된다. 여기서 물론 대칭성에 의해 위치가 2개 나올 수 있으나 이에 관해선 뒤에 언급하기로 한다.

3. 실험

앞에서 얻어진 결과를 실제 용기에서의 모의 source에 의한 실험으로 비교고찰하여 보았다. 사용된 용기는 Fig. 5에서 보는바와 같이 저장용기로 많이 사용되는 실린더형 압력용기를 선택하였으며 센서를 1곳에 설치한 후 일정한 부위에서 source 위치를 등간격으로 움직여 가며 시도해보았다. 모두 16개소에서 source를 주었으며 각각의 path에 대한 신호전파를 관찰하였다. 사용된 모의 source는 N. Hsu의 pencil lead break를 사용하였으며 센서는 150kHz 공진형을 사용하였다.²⁾

이들 신호는 센서에서 일정한 위치에 떨어진 곳을 중심으로 cross 방향으로 10cm 간격으로 16개소에서 각각 모의 source를 주었으며 Fig. 6에 자세히 나타내었다. 센서는 한개를 사용하여 감지하였고 센서에서 감지된 신호는 preamp. 를 거친후 digital oscilloscope를 통해 기록하였으며 각 위치에서 센서에 도달하는 파

Fig. 4 A triangular array for source location consists of an actual and the imaginary sensors.

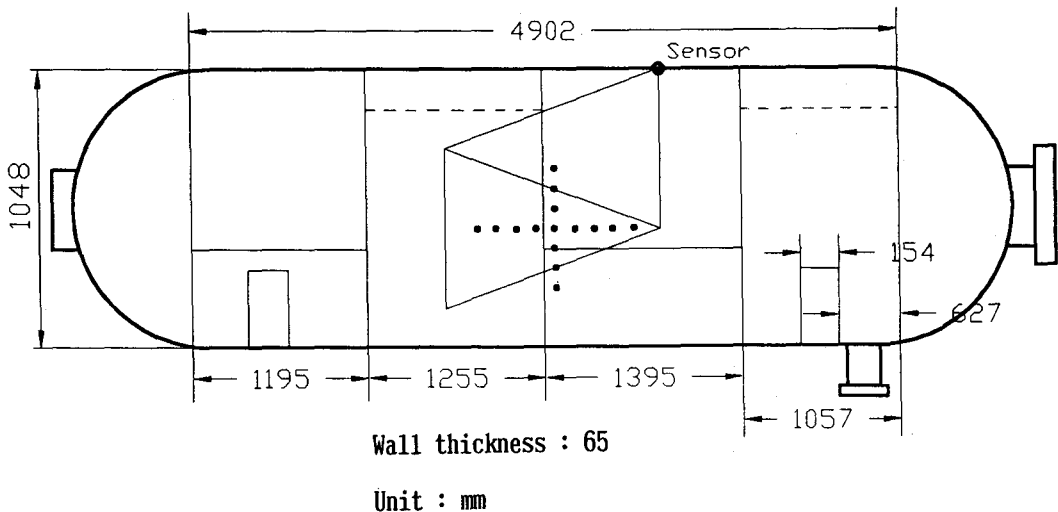


Fig. 5 The cylindrical pressure vessel used for the experiments.

형을 4번째 신호까지만 잡아서 memory 시킨후 차후 분석하였다.

리고 네번째 신호에 의한 도달시간 정보를 알 수 있으면 위치 표정이 가능하게 된다고 볼 수가 있다.

4. 결과 및 토의

먼저 oscilloscope에서 기록한 4 파형은 진행거리 및 도달시간을 계산함으로써 Fig. 2에서 설명한 각각 다른 전파경로를 가진 파형들임을 확인하였다. 또한 이들 신호는 진행거리에 따라 신호의 크기가 점점 감소하는 경향도 보였으며 이는 구조물의 특성에 따라 조금씩 변할 수도 있으며 이 감쇠 현상은 본 연구의 신호분석을 위해 매우 중요한 변수가 될 수 있다고 본다.

Fig. 7에서는 용기에서 발생된 모의 신호가 여러 경로를 거쳐 도달한 것 중 먼저 도달한 4파형을 scope에서 PC-computer로 전송한후 plotting 한 것으로서 짧은 간격으로 생각되는 10cm마다 이동할 때 이들 파형의 도달시간은 각각 뚜렷이 차이가 남을 알 수 있으며 이 시간차를 이용하여 계산이 가능함을 확인 할 수가 있었다. 즉 oscilloscope에서 관측된 실제 파형의 도달시간 차와 이론적인 계산과의 검토를 위해 간단한 program을 작성하여 각 source 위치에 대해 수식을 풀어 본 결과 Table 1과 같은 결과를 얻었다. 여기에 사용된 변수들은 실제 source에서 센서까지의 거리 및 본 용기에서의 파의 전파속도가 사용되었다. 일반적으로 steel에서의 표면파(surface wave)의 속도는 약 3000 m/s를 주로 사용하게 되나 가능한한 실제 구조물에서의 계측으로 하는 것이 바람직하므로 전파속도를 측정한 결과 거의 동일한 값을 얻어 3000 m/s로 사용하기로 하였다.³⁾

본 용기에서의 전파속도 측정은 기존 AE 장비를 사용하여 시험하고자 하는 sensor에 모의 source를 준 다음 도달하는 시간을 계산함으로써 그 값을 구하였다. 그리고 이 Table은 각 path에 대한 source에서 센서까지의 거리 및 도달시간 차를 나타내었으며 Fig. 7에서 계측된 시간차와 거의 일치함을 알 수가 있었다. 또한 앞에서 전개한 위치표정 이론식과의 비교를 위해 program을 작성하여 path에 따른 도달시간차를 input로 사용한 결과 매우 정확하게 위치를 표정해주는 결과를 얻었으며 본 실험의 경우 5cm 이내의 표정 오차를 유지하였다. 따라서 처음 도달한 신호와 둘째신호 그

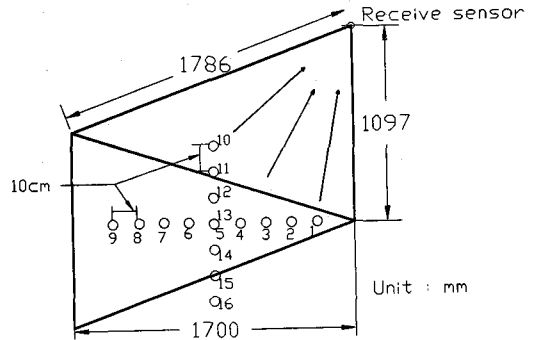


Fig. 6 Simulated AE source positions for the comparison of arrival paths.

Table 1. Distance and arrival time difference obtained from the simulated AE sources

Source	Source to Sensor(mm)				Arrival Time (μsec)			
	Path-1	Path-2	Path-3	Path-4	T-1	T-2	T-3	T-4
1	1186	2240	4411	5503	0	351	1075	1439
2	1227	2262	4422	5513	0	345	1065	1428
3	1275	2288	4436	5523	0	338	1054	1416
4	1329	2319	4452	5536	0	330	1041	1402
5	1388	2353	4470	5550	0	322	1027	1388
6	1451	2391	4490	5567	0	313	1013	1372
7	1519	2432	4512	5585	0	305	998	1355
8	1589	2477	4536	5604	0	296	982	1338
9	1663	2525	4563	5626	0	287	966	1321
10	1165	2635	4175	5847	0	490	1003	1561
11	1236	2540	4273	5748	0	435	1013	1504
12	1310	2446	4371	5649	0	379	1020	1446
13	1388	2353	4470	5550	0	322	1027	1388
14	1468	2260	4568	5452	0	264	1033	1328
15	1551	2168	4666	5353	0	206	1038	1267
16	1635	2076	4764	5254	0	147	1043	1206

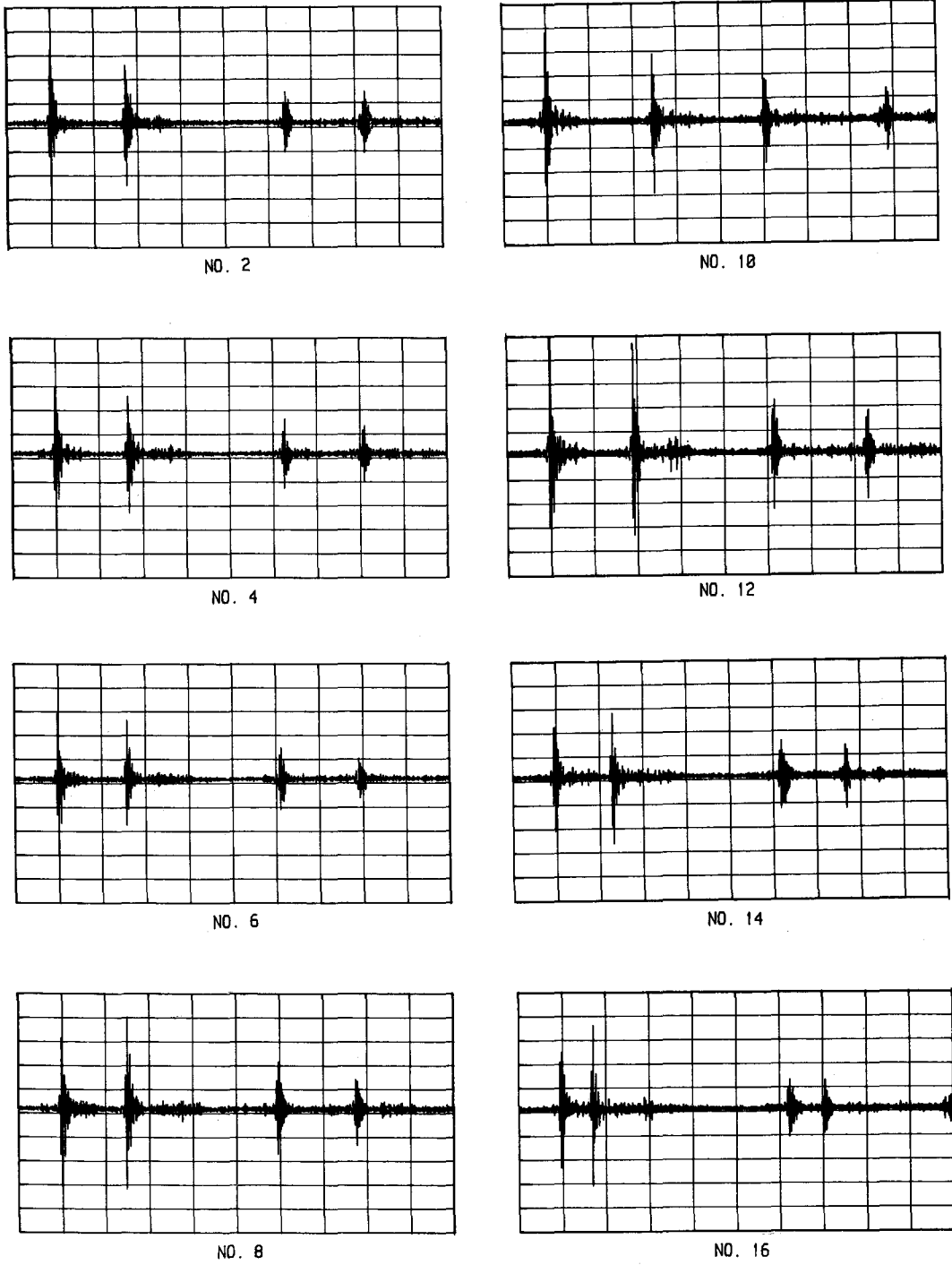


Fig. 7 Four arrival waveforms with each different propagation paths(Ver : 80mV/div, Hor : 0.2ms/ div).

물론 이 위치표정 방법에서는 대칭성에 의해 좌우 표정 위치가 2곳이 나올 수 있게 되며 이에 대한 조치는 방향을 결정할 수 있도록 guide 센서를 사용하여 해결할 수 있으리라 보며 계속 연구할 필요가 있다고 생각한다. 따라서 2~3개 만의 센서를 이용하여 source에서 발생하는 여러 경로의 도달 신호를 분석함으로써 위치표정 할 수 있는 잇점을 제시하고자하며 정확하고 완전한 표정을 위해서는 알고리즘의 보완과 기존 측정 장비와는 다른 측정 방법이 요구되어진다고 볼 수가 있다.

5. 결 론

실린더형의 용기에서 발생하는 신호 전파 경로를 이용하여 종래의 위치 표정방법과는 다른 새로운 기술을 제시하였으며 이는 하나의 센서를 사용하여 source에서 발생하는 동일 신호가 여러 경로를 통해 시간차를 가지며 도달하는 것을 이용한 위치표정 원리라고 할 수 있다.

이를 위해서는 가장 먼저 도달하는 4 파형에 대한 도달시간 정보가 필요하게되며 해당 구조물에 대한

신호 전파 속도도 알고 있어야 한다.

본 연구에서 제시한 수식화된 식을 사용하여 실제 구조물에서의 측정된 도달시간을 적용한 결과 매우 좋은 위치표정 결과를 얻었으며 전파경로를 사용한 방법의 타당성을 입증하였다.

단 이 방법은 실린더형 용기 형태에서만 적용할 수 있는것이 제한 되는 문제이며 전반적인 신호계측 및 계산 기술은 차후 연구의 필요성이 있다고 생각한다.

References

1. Paul McIntire, et.al "Nondestructive Testing Handbook : Acoustic Emission Testing" Vol. 5, ASNT, 1987.
2. N. N. Hsu, S. C. Hardy "Experiments in AE Waveform Analysis for Characterization of AE Sources, Sensors and Structures", ASME, 1978.
3. Aurian A. Pollock "Practical Guide To Acoustic Emission Testing", Technical Report : #TR-108-3-3/88, 1988.