

## 웨이블릿 변환을 이용한 음향방출 신호의 처리기법 개선 및 위치표정

### Improvement of Acoustic Emission Signal Processing Method and Source Location using Wavelet Transform

김동현\* · 박일서\*\* · 정원용\* · 박영석\*

Dong-Hyun Kim\* · Il-Suh Bak\*\* · Won-Yong Chung\* · Yong-Suk Park\*

#### 요 약

본 논문은 설비진단에 있어 크랙 성장부터 누설에 이르기 까지 결함으로 발생하는 AE 신호를 통하여 위치를 표정하여 진단 시스템의 오차를 줄이는 것이다. wavelet을 이용한 잡음 제거로서 위치표정의 개선을 제안하였고, 실험을 위한 신호원으로 알루미늄 평판에 샤프심 파단음을, 공기압축기의 누설음을 사용하였다. 신호원에 대하여 웨이블릿 Shrinkage방법과 Soft Threshold을 이용한 신호의 잡음제거 및 시간 도달차 법과 물성치를 적용한 속도 값으로 시뮬레이션을 통하여 위치표정 결과를 확인하였다. 그 결과 웨이블릿 변환을 이용한 잡음제거는 크랙실험의 경우 평균거리 10.46mm이하로 30% 이상과 누설 실험의 경우 평균필터에 비해 2%의 개선된 위치표정을 확인하였다.

#### Abstract

The purpose of this thesis is to reduce of error for source location through acoustic emission(AE) signal, generated elastic wave from crack growth to leak for facility diagnosis. Especially, in order to overcome noise from original signal, this paper proposed enhancement of source location by using noise reduction based on wavelet transform. To evaluate actual performance in experiments, Pencil Lead Break is used crack signal source on the aluminum plate and drain valve of air compressor is used as substitute pressure vessel to generate leak signal. In signal processing, wavelet shrinkage and soft threshold are used to discriminate signal source and then source location techniques have been effectively used with group velocity using material property and time difference between sensor using cross correlation. Source location for crack and leak test have some difference, but the result show that improved 30% with a average length within 10.46mm in crack test and improved 2% compare with average filter in leak test when we applied wavelet transform.

**Keyword :** Acoustic Emission, Source Location, Wavelet Transform, Correlation, Leak, Crack

#### 1. 서 론

현대의 시스템은 정밀 시스템의 대형화로 인해 설비의 상태를 지속적으로 진단하고 감시하는 방법이 중요한 관리 항목으로 자리잡고 있다. 더불어 센서와 분석 기술이 발달은 단순한 결과의 확인이 아니라 누설을 발생시키는 크랙의 생성에서 발생까지의 과정에 대한 신호원을 규명할 수 있게 하였고 이러한 신호원의 규명은 생산성 향상 및 경제적 손실을 최소화 할 수 있는 현장의 가동 중인 복잡하고

대형 구조물에서 사전 결함의 성장 및 음향방출원의 정확한 위치표정(source location)을 요구하게 되었다.[1~3]

대형 시스템의 경우 누설과 같은 연속 신호는 백색잡음(white noise)과 유사한 특성은 실제신호와 구분이 어렵기 때문에 위치표정을 위한 알고리즘 개선 뿐 아니라 잡음 환경의 개선이 더욱 중요한 변수로 요구되나 일반적으로 대형 발전설비의 설비진단을 수행하기 위해 사용하는 방법인 음향 및 진동측정법은 소음 및 가속도 센서를 이용하여 수집된 회전체의 주파수 정보를 FFT를 이용한 시간-주파수 변환에 따른 결과로 진단을 수행하였다.[4~6] 본 연구에서는 산업설비 및 구조물의 미세 변형 또는 균열 시에 발생하는 표면탄성파(elastic wave)를 통한 해당

\* 경남대학교 정보통신공학부 \*\* (주)렉터슨 기술연구소

논문 번호 : 2007-3-9 접수일자 : 2007. 7. 20

심사 완료 : 2008. 1. 10

\* 본 연구는 2008학년도 경남대학교 "학술연구 장려금"지원으로 이루어졌음.

설비에 대한 결함 정도, 결함 발생시기, 결함의 위치 등을 분석하는 방법인 음향방출(AE, Acoustic Emission)기법을 이용하여 결함의 진진여부를 파악하고, 웨이블릿 변환 기반의 시간-스케일 변환으로 비정상신호(nonstationary signal) 신호처리 기법[7]을 적용하여 주변 잡음제거하고, 지역표정법 및 시간 도달차법을 적용하여 손상 및 결함이 예상되는 지점을 확인하였다. 이를 수행하기 위하여 크랙에 대한 실험으로 500×500×5t의 알루미늄 시편에서 샤프심 파단법(Pencil Lead Break)[8]으로, 누설에 대한 실험으로 직경 160, 길이 460mm인 공기압축기로서 각각 탄성파의 측정을 통한 위치표정을 수행하였다.

## II. 음향방출 신호의 특성

### 2.1 음향방출 신호의 정의

어떤 물체가 외력 혹은 내부의 힘에 의해 변형이나 파괴가 발생할 경우 축적된 내부 에너지 중 일부가 탄성파(elastic wave)를 방출하는 현상을 음향방출(AE, Acoustic Emission)[9]이라 하고 지속적으로 일정한 크기로 발생하는 연속(continuous)신호와 짧은 유지 시간동안 큰 에너지를 가지는 돌발(burst)신호로 구분된다. 연속신호의 경우 시간에 대한 RMS의 지속적인 증가를 통하여 확인 할 수 있고, 돌발신호의 경우 시간에 대한 에너지의 크기, AE 진폭과 상승시간의 상관관계를 통하여 분석이 가능하다.

### 2.2 음향방출 신호의 전파 특성

탄성파는 크게 4가지 종파, 횡파, 표면파, 판파로 구분되며, 파의 진행방향과 입자의 진동방향이 평행하게 움직이는 종파(Longitudinal wave, P파), 파의 진행방향이 입자의 진동방향에 수직으로 움직이는 횡파(Transverse wave, S 파), 파장이 판 두께에 비해 매우 짧은 탄성파의 경우 판의 표면 근처에만 탄성 에너지가 집중되어 진행되는 표면파(Rayleigh wave), 특히 판 내부에서 표면의 입사 및 반사파가 결합하여 판을 따라 전파하는 도파모드(guide mode)를 판파(Lamp wave)라 정의한다.[10,11] 압력용기와 같은 판 두께가 얇은 재료에서 음향방출로 발생하는 탄성파의 경우 표면파나 판파가 주로 발생하나, 표면파의 경우 분산형 이므로 전파속도가 P파나 S파 보다 일정하지 않고 주파수에 의존하므로 판파로서 물성치에 따른 속도를 정의한다.

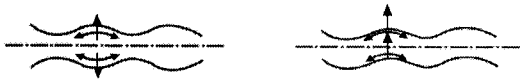


그림 1. Lamp wave의 대칭모드(좌)와 반대칭모드(우)

Fig. 1. Symmetric(left) and Antisymmetric(Right) mode 종파와 수직횡파가 결합된 도파 모드로 전파되는 판파의 형태는 그림 1과 같이 대칭(Symmetric)모드와 반대칭(Antisymmetric)모드로 분류되며, 파의 전파속도는 구조물

의 두께 및 전파 주파수에 관련한다. 파의 속도에는 위상속도(phase velocity), 군속도(group velocity), 에너지 전파속도가 있는데, 판을 따라 전파하는 램파의 위상속도는 일정한 파면이 진행하는 속도로 다음과 같이 정의한다.

$$C_p = w/k \tag{1}$$

여기서, k는 램파의 파수이고, w는 각 진동수 이다.

그러나 램파의 탄성 에너지는 식 (1)의 위상속도로 진행되는 것이 아니라 에너지 전파속도로 전파하는데, 매질의 감쇠가 없는 경우에 에너지 전파속도와 군속도는 같다. 따라서 램파 모드에서의 탄성 에너지는 다음과 같이 군속도로 정의한다.

$$C_g = dw/dK \tag{2}$$

그림 2은 알루미늄 평판의 군속도의 대칭모드 및 비대칭 모드의 분산곡선을 나타낸 것으로 주파수를 기준으로 램파의 대칭모드는  $S_0, S_1, S_2$  등으로, 반대칭 모드는  $A_0, A_1, A_2$  등으로 구분하여 표시한다.[12]

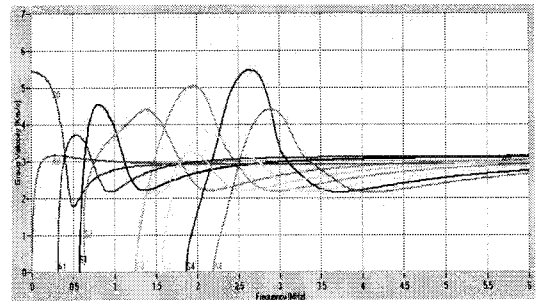


그림 2. 알루미늄판의 군속도 분산곡선

Fig. 2. Group velocity curve for aluminum plate

### 2.3 음향방출 신호의 분석 변수 구성

AE 신호의 특성을 나타내는 변수는 다음과 같이 구성된다.

- 1) Count : 한 개의 Hit 안에 구성하는 카운트의 개수를 의미하며 이때 카운트는 임계값을 넘었다가 떨어지는 신호를 한 개의 카운트로 정의한다.
- 2) Amplitude : 한 개의 AE Event 상에서 최고 큰 값으로 PDT의 설정에 통한 검색기간 동안에 검색되는 신호 구간의 가장 큰 값으로 나타내며 신호 발생의 확인과 센서간의 신호적 크기를 비교하는 수단으로 사용된다.
- 3) Duration : AE Event 구간의 전체 시간의 크기로 시간의 크기를 나타내며 잡음판단 근거로 적용될 수 있다.
- 4) Rise Time : AE Event에서 최대값까지 걸리는 시간을 나타내며 AE 신호의 감쇠 특성을 통하여 거리를 예측할 수 있는 수단이 되며 전체 시간과 비교하여 잡음의 판단 기준이 될 수 있다.
- 5) Threshold : AE 신호를 판별하는 경계 값으로 고정값과 이동값으로 조절한다.
- 6) Count to Peak : 신호의 주기적 특성을 분석하기 위한 경계 값으로 Peak까지의 count 횟수로 주기적 특성을 분석하는 수단이 된다.

7) Root Mean Square(RMS) : 입력된 신호의 단위 간격 당 DC 성분의 환산 값으로 신호의 입력 크기를 정량적으로 확인한다. 실제 입력된 임의의 신호에 대하여 측정되는 RMS, Amplitude, Rise Time, Duration, Ring down count(Count), Event, Energy, Peak Frequency변수는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

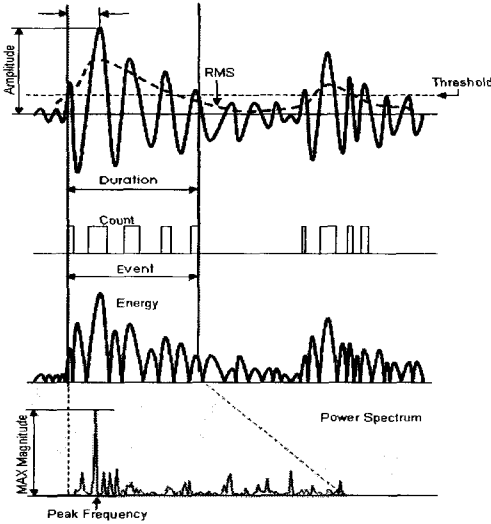


그림 3. AE 신호의 특징  
Fig. 3. AE signal feature

### III. 잡음제거 및 위치 표정 방법

#### 3.1 신호의 잡음제거

본 연구에 적용된 잡음제거방법은 Donoho와 Johnstone[13]이 제안한 웨이블릿 Shrinkage 알고리즘을 통하여 경계를 설정하고 Soft Threshold를 적용한 universal 추정을 이용하여 잡음제거를 수행하였다.[14] 일반적으로 Soft threshold을 이용한 잡음처리 방법이 Hard threshold보다 효과적인 잡음처리결과를 나타내지만, 임계값 적용방법에 따라 결과가 변화하며, 각 기법마다 장단점을 가지고 있다. Hard shrinkage는 연산자의 불연속성에 의해 신호의 변동의 값이 커지며 불안정한 결과를 보이나, Soft shrinkage 은 Hard shrinkage보다 함수의 연속성에 의한 안정된 결과를 나타내지만 상대적으로 큰 값들에 대한 임계값 적용으로 평균값의 편향오차(bias error)가 발생한다. 경계를 결정하기 위한 Shrinkage 알고리즘은 잡음에 의해 간섭된 신호를  $y(t) = f(t) + n(t)$  로 정의하고, 잡음을 표현하는 신호  $n(t)$  는 가우스 분포를 지니며 신호에 종속되지 않고 신호에 비해 적은 값을 지닌다고 가정하고, 신호  $f(t)$  의 평균자승오차(MSE : Mean Square Error)를 추정한다. MSE는 다음과 같이 정의 된다.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y(t_i) - f(t_i)]^2 \quad (3)$$

threshold는 실제 적용에서 통계적인 특성을 지닌 잡음에 대해

더욱 안정적인 결과를 나타내는 Soft threshold를 적용하였다. 적용된 Soft threshold는 Hard threshold와 달리 임계값 밖의 값들에도 임계값을 적용하여 전체적으로 상세계수의 값을 낮춘다. 적용된 Soft threshold 는 다음과 같이 정의한다.

$$\delta^S(t) = \begin{cases} d_{jk} - \delta & \text{if } d_{jk} > \delta \\ d_{jk} + \delta & \text{if } d_{jk} < -\delta \\ 0 & \text{if } |d_{jk}| \leq \delta \end{cases} \quad (4)$$

Threshold 방법이 결정되면 임계값  $\delta$ 을 결정해야 하는데 대표적인 임계값인 Universal 추정 방법을 적용하고 임계값은  $\delta$ 는 식 (5)로 정의된다.

$$\delta = \sqrt{2 \log(N)}, \quad N: \text{신호의 샘플수} \quad (5)$$

상기와 같은 임계값에 대한 적용방법 및 순서를 정리하면 그림 4와 같다.

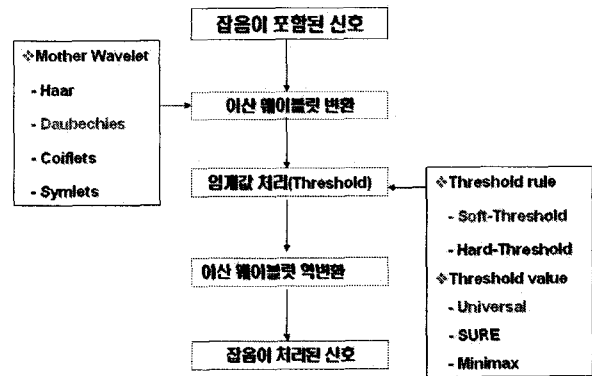


그림 20. 잡음 제거 알고리즘의 구성  
Fig. 4. Denoising algorithm flow

잡음제거를 위해 사용된 Daubechies-4의 경우 웨이블릿과 스케일링 함수는 각각 고역통과필터와 저역통과필터의 임펄스 응답으로 해석 될 수 있다. 즉, 낮은 스케일에서는 고주파수에 상응하며, 통과대역은 넓고 높은 중심주파수를 가진다. 따라서, 저주파수로 향해갈수록 주파수 해상도와 극부성이 향상됨을 알 수 있다.

#### 3.2 위치표정 알고리즘

본 연구에서는 시간차와 속도의 곱은 항상 일정한 값을 가지는 쌍곡선 상에 음향방출원이 있다는 원리를 이용하여 교차점으로 발생까지의 거리를 추정하여 위치를 표정하였다. 임의의 두 센서로부터 각 구성을 표 1과 같이 가정할 수 있다.

표 1. 좌표 구성  
Table 1. Generalized coordinate

D	센서간의 거리	$X_s, Y_s$	발생원의 직교좌표
R	센서 1과 발생원까지의 거리	$\theta$	센서1과 발생원간 각도
$r_1$	센서 2와 발생원까지의 거리	Z	좌표공간과 센서간 거리

시간차와 속도의 곱은 항상 일정하므로 차는 식 (3-4)과 같이 나타 낼 수 있고

$$\Delta tV = r_1 - R \quad (6)$$

센서의 수평 공간에서 거리는  $Z = R\sin\theta$  이고 피타고라스 정의에 의해  $Z^2 = r_1^2 - (D - R\cos\theta)^2$ 에 의하여 식 (7)로 전개되고

$$R^2 = r_1^2 - D^2 - 2DR\cos\theta \quad (7)$$

위 식에  $r_1$ 에 관하여 정리하면 센서 위치는 식 (8)과 같다.

$$R = \frac{1}{2} \frac{D^2 - \Delta t^2 V^2}{\Delta tV + D\cos\theta} \quad (8)$$

이식을 통하여 쌍곡선의 위치 좌표를 추정할 수 있으며 추정 결과는 그림 5와 같다

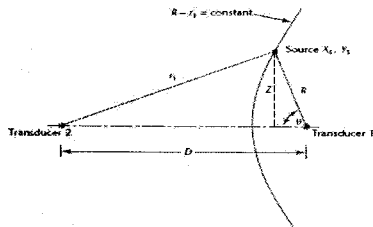


그림 5. 2개의 센서를 이용한 위치표정  
Fig 5. Source location using two sensors

이 결과를 3개의 센서의 상관관계로 확장하면 각 좌표는 식 (9), 식 (10)으로 표시되면 그림 6과 같이 위치를 표정하게 된다.

$$R = \frac{1}{2} \frac{D_1^2 - \Delta t_1^2 V^2}{\Delta t_1 V + D_1 \cos(\theta - \theta_1)} \quad (9)$$

$$R = \frac{1}{2} \frac{D_2^2 - \Delta t_2^2 V^2}{\Delta t_2 V + D_2 \cos(\theta_3 - \theta_1)} \quad (10)$$

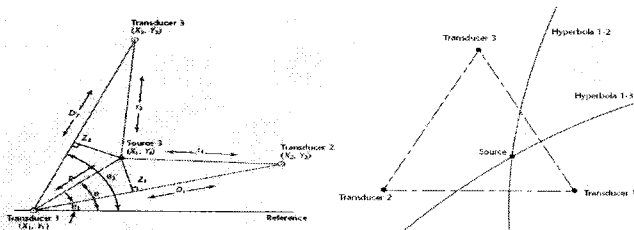


그림 6. 3개의 센서를 이용한 위치표정  
Fig. 6. Source location using three sensors

IV. 실험 및 분석

4.1 실험 환경 구성

돌발 및 연속형 음향방출 신호의 처리 및 위치표정을 위한 실험환경으로 500×500×5t의 알루미늄시편과, 지름 160, 길이 460mm 공기압축기로, 음향방출 측정 시스템인 PAC사의 광대역 센서WD와, 프리앰프인 (1222 2/4/6), 4채널 데이터 수집 및 신호처리장치인 μDiSP, 신호해석 전용프로그램인 AE Win으로 시험장치를 구성하였고 실제 시험환경은 다음과 같다.

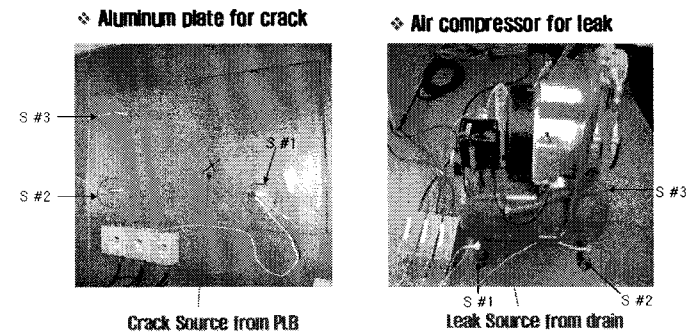


그림 7. 실험장치 실험  
Fig. 7. Real object of experimentation

실험에 사용된 센서위치와 실험원은 표 2, 3에서 정리하였다.

표 2. 크랙 시뮬레이션 환경

Table 2. Simulation environment for crack

신호종류	돌발형 신호	
실험평판	재질	AL5052
특성	크기	500mm×500mm×5mm
센서위치	Sensor 1	(300,0)
	Sensor 2	(0,0)
	Sensor 3	(0,300)
신호원	크랙위치	(200,100)
	크랙생성 방법	샤프심 파단법

표 3. 누설 시뮬레이션 환경

Table 3. Simulation environment for leak

신호종류	연속형 신호	
실험장치	제품명	UF1510-공기압축기
	제조사	United
	용량	10 l
	허용압력/출력	8 kg/cm <sup>2</sup> , 1.5HP
센서위치	크기	지름 160mm, 길이 460mm
	Sensor 1	(0,0)
	Sensor 2	(150,0)
신호원	Sensor 3	(0,350)
	누설위치	(30,275)
	누설 발생방법	압축공기 배출밸브의 개폐

4.2 신호검출 및 속도 추정

구성된 실험 환경을 통하여 수집된 크랙 신호는 그림 8과 같이 크랙으로 가정된 1회의 PLB 타격에 대하여 정확히 1Hit를, 그 외 Amplitude, Energy, RiseTime, Duration의 뚜렷한 증가로 돌발신호의 특성변수를 확인하였다

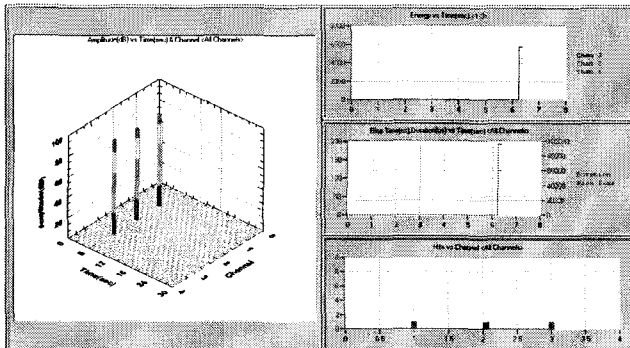


그림 8. 크랙신호의 AE 특성  
Fig. 8. AE characteristic of crack signal

누설신호의 경우 그림 9와 같이 300 Hit를 그리고 연속신호의 경우 RMS, Average/Peak Frequency의 뚜렷한 증가로 누설신호의 특성변수를 확인하였다

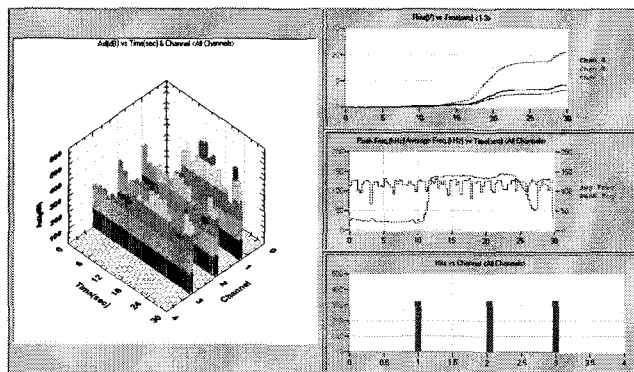


그림 9. 누설신호의 AE 특성  
Fig. 9. AE characteristic of leak signal

원 신호와 잡음이 포함된 신호 및 본 논문에서 수행된 잡음제거의 결과를 시간영역과 주파수 영역으로 나타낸 결과는 그림 10 ~ 13 과 같다.

그림 10 및 11의 균열신호의 경우 잡음이 포함된 신호를 구현하기 위하여 임의의 미세 진동 환경을 포함하였다. 측정된 잡음 신호는 신호 전반에서 진동을 확인할 수 있으며 주파수 특성에서 진폭의 변화가 큰 것을 확인할 수 있다. 이를 wavelet을 잡음제거를 수행한 결과 시간영역에서 타격이 발생한 시점의 진폭 및 상승 시간 특성이 보완되었음을 확인할 수 있고 주파수영역에서 150~200kHz 특성이 개선된 것을 확인할 수 있다. 더불어 3개의 결과 모두 중심 주파수 인 130kHz에서는 신호적인 특성 변화는 없었음이 확인 되었다.

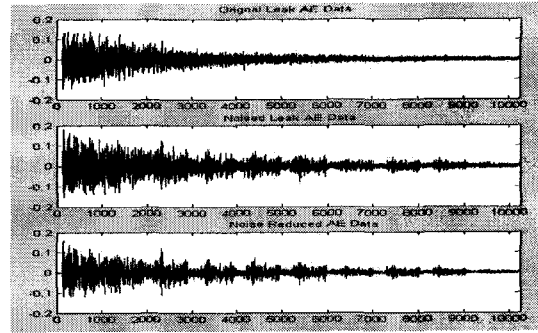


그림 10. 균열신호 시간영역 특성  
Fig. 10. Crack signal in time domain

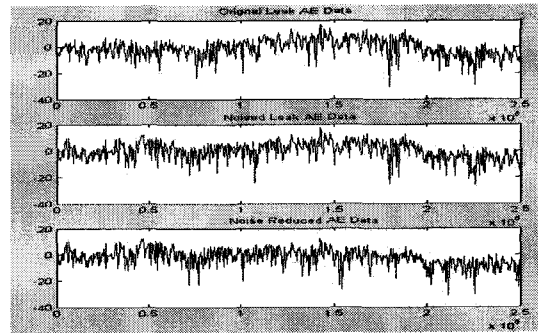


그림 11. 균열신호 주파수영역 특성  
Fig. 11. Crack signal in frequency domain

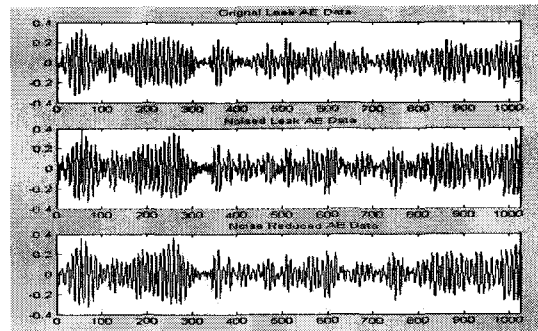


그림 12. 누설신호 시간영역 특성  
Fig. 12. Leak signal in time domain

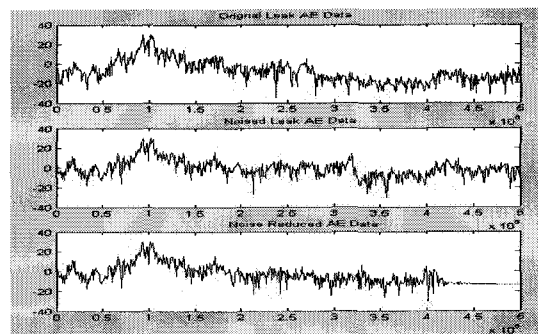


그림 13 누설신호 주파수영역 특성  
Fig. 13. Leak signal in frequency domain

그림 12와 13의 경우 잡음이 포함되지 않는 신호는 누설 지점에서 가능한 가까운 지점에서 데이터를 수집했을 때의 데이터를 이용하였고 잡음이 포함된 신호는 실험을 위해 설정한 센서에서 측정하였다. 측정된 신호는 전체적으로 에너지의 차이를 확인할 수 있으며 고주파 대역에서 잡음이 포함되지 않은 신호에 비하여 큰 진폭 특성을 확인할 수 있다. 이를 wavelet을 잡음제거를 수행한 결과 시간영역의 파형 변환 부분에서 잡음이 개선되었고 주파수영역에서 고주파 특성이 제거된 것을 확인할 수 있다. 더불어 3개의 결과 모두 중심 주파수 인 100kHz에서는 신호적인 특성 변화는 없었음이 확인 하였다.

음향방출신호는 수 마이크로볼트로 신호의 크기가 매우 작고 다양한 주파수에서 다른 크기의 진폭특성을 가지는 잡음성분을 포함하고 있기 때문에 잡음이 포함된 경우 상관도가 매우 낮게 발생됨을 확인하였다. 그래서 잡음제거를 우선 수행하고 correlation은 센서간의 음향방출파의 도달에 대한 지연시간을 측정하기위해 적용하였다.

각 그림의 3번째 하단의 결과는 검출된 들발 및 연속 신호에 대한 웨이블릿 shrinkage를 이용하여 잡음제거를 수행한 결과로서 Daubechies-4 모 웨이블릿을 기반으로 Soft threshold와 Universal 추정방법을 적용하여 Matlab에서 확인하였고 상단부, 중반부, 하단부는 각 입력된 신호, 잡음이 제거된 신호, 제거된 잡음의 크기를 의미한다.

잡음이 제거된 신호의 속도를 구하기 위하여 물성치 기반의 전파 특성을 이용하여 비대칭파의 군속도를 구하였다. 군속도를 결정하기 위한 주파수 특성은 크랙신호의 경우 130kHz 주변의 중심주파수 특성을, 누설신호의 경우 100kHz 주변의 중심주파수 특성을 확인할 수 있다. 이를 통하여 추정된 속도는 표 4, 5와 같다.

표 4. 알루미늄 시험의 물성치

Table 4. Property of aluminum test material

재질	포아송비	밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	영률 (GPa)	S파속도 (m/s)	A파속도 (m/s)
AL5052	0.33	2680	70.3	5426	3008

표 5. 공기압축기의 물성치

Table 5. Property of air compressor

재질	포아송비	밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	영률 (GPa)	S파속도 (m/s)	A파속도 (m/s)
SS400	0.34	7850	204	5421	1800

### 4.3 위치 표정 및 분석

위치 표정을 위한 시간차는 상관법을 적용하여 센서간의 샘플의 딜레이를 구하고 샘플링 주기(2μs(500kHz))를 곱하여 지연시간을 확인하였다. 센서 1과 2에 대한 크랙신호의 3 sample delay가 적용된 크랙의 위치 표정결과는 그림 14와 같고 잡음제거를 수행한 3번의 위치 표정 결과는 표 6과 같이 정리된다.

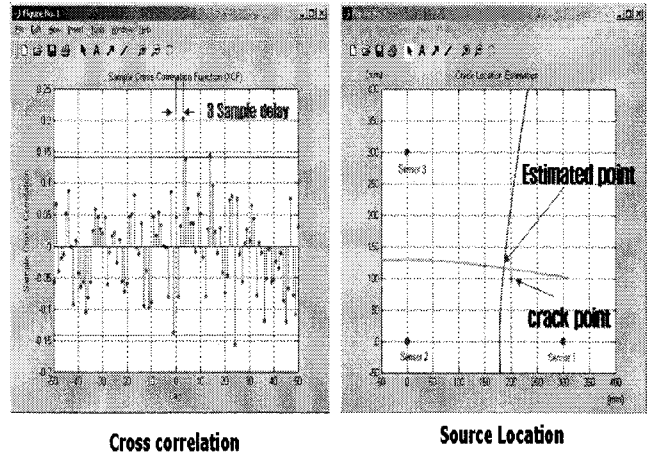


그림 14. 크랙실험 위치표정결과

Fig. 14. Source location result for crack test

표 6. 크랙실험결과

Table 6. Crack test result

구분	A파 측정		S파 측정		A파의 거리차 (실거리:223.6067)
	WT적용	WT 비적용	WT 비적용	WT 비적용	
거리 (mm)	1회	227.35	227.35	232.37	3.74
	2회	199.95	282.27	238.35	23.66
	3회	219.64	178.35	240.54	3.97
평균거리		215.65	229.48	237.09	10.46
오차율 (%)	1회	1.6756	1.6756	3.9196	
	2회	10.578	26.237	6.5932	
	3회	1.7729	20.026	7.5739	
평균오차		4.68	15.98	6.3	

센서 1과2의 누설시험에서 76 sample delay가 적용된 위치 표정결과는 그림 15와 같고 3회 잡음제거를 수행한 위치 표정 결과는 표 7과 같이 정리된다.

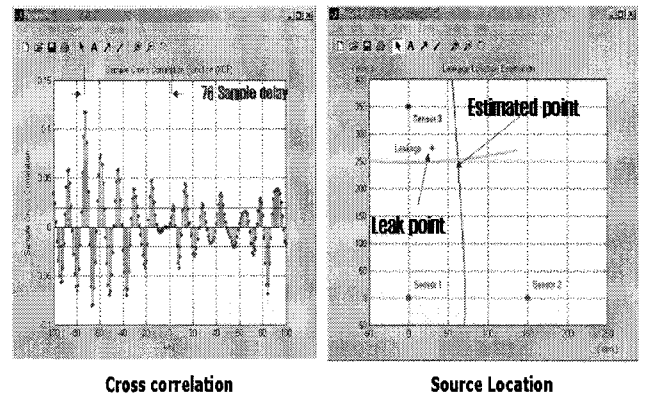


그림 15. 누설실험 위치표정결과

Fig. 15. Source location result for leak test

표 7. 누설 실험결과  
Table 7. Leak test result

구분	잡음제거방법		거리차 (실거리 : 276.631)
	WT적용	평균필터 적용	
거리(mm)	225.22	257.35	51.412
	216.26	166.31	60.732
	259.91	264.97	16.722
평균거리	233.80	229.54	42.83
오차율(%)	18.586	6.9693	
	21.822	39.857	
	6.0436	4.2152	
평균오차율	15.48	17.02	

실험에서 오차의 원인은 크랙의 경우 실험자의 샤프십 파단 위치 및 파단시에 가하는 하중 및 파단각도에 따른 거리오차와 센서와 알루미늄 집속면 사이의 간극의 발생이나 절연 상태로 판단되며 누설의 경우 누설 신호로 가정된 압축기의 노즐의 크기가 커서 노즐 전체에서 누설 신호가 발생하고, 압력이 변화함에 따라서 출력되는 신호의 크기도 변화하기 때문에 판단된다. 누설과 크랙의 각 3번의 실험을 통하여 웨이블릿 변환을 통한 잡음 제거한 신호의 결과는 크랙의 경우 적용한 신호의 평균오차율 4.68%이 비적용한 결과 15.68%에 비해 3배 이상의 향상된 결과를 확인할 수 있었으며, 누설의 경우 적용한 신호 평균오차율 15.48%이 평균필터를 적용한 오차율 17.02%보다 향상됨을 확인할 수 있었는데, 평균필터의 경우 최대오차와 최소오차의 크기가 큰 편이었고, 웨이블릿을 적용 경우 그 편차가 10 이내로 작은 편이었다. 그러므로, 신호특성에 무관하게 웨이블릿을 통하여 고른 잡음 제거특성을 이용한 향상된 위치표정을 확인하였다.

V. 결론

음향 방출법을 적용하면 크랙감지가 가능하므로 사전 주요 설비에 대한 결함파악으로 가동율을 향상 시킬 수 있고 웨이블릿을 이용한 잡음제거를 통하여 위치표정결과를 개선하는 연구를 수행하였다. 신호의 잡음제거 개선을 위해서 웨이블릿 Shrinkage방법을 적용하였으며, 시간 도달차법과 물성치를 적용한 속도값을 이용하여 위치표정에 대한 시뮬레이션을 수행하여 돌발형 신호에 대해서는 3배의 향상된 결과를 연속형 신호에서는 평균필터에 비교하였을 경우 2%의 개선된 위치표정을 확인하였다. 웨이블릿을 이용하여 진단 대상의 특성에 맞게 잡음을 제거하는 방법은 전체 신호 특성에 대하여 일반적으로 적용할 수 있으므로 상황에 따라 오차의 범위가 크게 변하지 않는 특성을 확인 할 수 있었다. 그러나, 입력의 에너지 값이 가변되거나 신호적 특성을 구분하기 어려울 경우 더 큰 오차를 발생함을 확인 할 수 있었다. 이러한 특성을 개선하기 위하여 재료의 특성에 대한 물성치(파의 진행방향, 속도, 굴절, 반사, 분산)에 대한 레퍼런스 데이터베이스를 구축하여 최적화된 결함발생에 대한 알고리즘의 보완 한다면 대형발전 설비 등의 3차원 이상의 위치표정에 대해서도 적용이 가능할 것이다. 이러한 연구를 기

반으로 대형 발전소의 주요 배관 시설의 결함 성장부터 누설 발생의 진단, 항공, 기계 등의 다양한 산업분야에 적용을 위한 연구가 필요할 것으로 본다.

참고 문헌

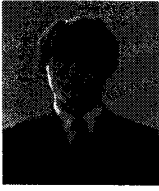
- [1] David S. Kupperman, Davide Prine, Application of Acoustic Leak Detection Technology for the detection and Location of Leaks in Light Water Reactors, Argonne National Laboratory, NUREG/CR-5134 ANL-88-21, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1998.
- [2] 김동현, 음향방출(AE)을 이용한 온라인 누설감시 시스템원리와 응용, 한국소음진동 공학회 제6회 설비진단 기술강습회, p421~436, 2007.
- [3] L.M.Rogers, Structural and Engineering Monitoring by Acoustic Emission Methods-Fundamentals and Applications, 2001.
- [4] None destructive Testing Handbook Volume 1, Leak Testing, 3rd Edition, Volume 1, American Society for None destructive Testing, 1998.
- [5] SKF, Vibration Diagnostic Guide, CM5003.
- [6] HYONG S. CHUN, Rotating Machinery Vibrations and Predictive Maintenance.
- [7] Clemens Valens, A Really Friendly Guide to Wavelet, 1998
- [8] ASTM E976, "Standard Guide for Determining the Reproducibility of Acoustic Emission Sensor Response", 2000.
- [9] Nondestructive Testing Handbook Volume 6, "Acoustic Emission Testing," 3rd Edition, American Society for Nondestructive Testing, 1991.
- [10] 윤석왕 외4명, 물리음향학 II, 대우학술총서, 2003.
- [11] JSNDI, Acoustic Emission Testing, 2006.
- [12] PAC, AE Win Software Users Manual.
- [13] D.L.Donoho, I.M. Johnstone, "Ideal Spatial Adaptation by Wavelet Shrinkage", Biometrika, Vol.81, pp.425-455. 1994.
- [14] "웨이블릿변환이론 및 적용" 이승훈, 윤동환, 보성각, 2004.

김 동 현 (Dong-Hyun Kim)



2002년 울산대학교 항공우주공학과(공학사)  
 2007년 경남대학교 정보통신공학과(공학석사)  
 2007년~ 부경대학교 음향진동공학과(박사과정)  
 2000년~ 현재 (주) 렉터슨 기술연구소 실장

관심분야 : Acoustic Emission, Tube Leak Monitoring System, Condition Monitoring System, Fault Prognosis System, Digital Signal Processing, Embedded System, Pattern Recognition.



**박 일 서 (Il-Suh Bak)**

2001년 창원대학교 제어계측공학과(공학사)  
2003년 창원대학교 제어계측공학과(공학석사)  
2005년~ 창원대학교 제어계측공학과(박사과정)  
2006년~ 현재 (주) 렉터슨 기술연구소 대리

관심분야 : Digital Signal Processing, Acoustic Emission.



**정 원 용 (Won-Yong Chong)**

1975년 부산대학교 전기공학과 (공학사)  
1977년 부산대학교 전기공학과 (공학석사)  
1983년 미국 FIT 전기공학과 (공학석사)  
1992년 영남대학교 전기공학과 (공학박사)

1997년 ~ 1998년 미국 Boston University 교환교수

1978년 ~ 현재 경남대학교 정보통신공학부 교수

관심분야 : Digital Signal Processing, DSP Processor, Image Processing, Speech Processing, Pattern Recognition.



**박 영 석 (Young-Seak Park)**

1979년 영남대학교 전자공학과 (공학사)  
1981년 한양대학교 전자공학과 (공학석사)  
1985년 한양대학교 전자공학과 (공학박사)  
1990년 ~ 1991년 일본 우정성 통신종합연구소(관서선단연구센터) 초빙 과학자

1990년 ~ 1991 일본 긴끼이동통신센터 객원연구원

2001년 ~ 2002년 미국 North Carolina 주립대학(NCSU) 교환교수

1985년 ~ 현재 경남대학교 정보통신공학부 교수

관심분야 : Software Engineering, Web-based Software Design & Development, Pattern Recognition, Image Processing, Computer Network & Network Computing, Embedded System Design.

---