

## 비정상 음향신호 필터링을 통한 플랜트 가스누출 위치 탐지기법

윤 영 삼\* · 김 철\*\*

\* 경북대학교 기계공학부

### Detection of Abnormal Leakage and Its Location by Filtering of Sonic Signals at Petrochemical Plant

Young-sam Yoon\* and Cheol Kim\*\*

\* Dept. of Mechanical Engineering, Kyungpook Nat'l Univ.

(Received June 9, 2011 ; Revised April 2, 2012 ; Accepted April 4, 2012)

**Key Words:** Leaking Sound(누출음), Petrochemical Plant(석유화학 공장), Sound Power(음향파워), Steam Trap(증기트랩)

**초록:** 심각한 사고를 초래하는 석유화학 플랜트의 가스 누출 여부와 위치를 실시간으로 탐지하기 위하여 주변의 여러 기계소음 등으로부터 비정상적 누출 음향을 분리할 수 있는 기법을 제시하였다. LMS 알고리즘을 이용하여 FIR구조의 적응필터와 누출 탐지용 상호상관함수를 이용하여, LABVIEW를 통하여 누출예측프로그램을 개발하였고 직접 제작한 장비를 이용하여 잔향실에서 실험을 수행하였다. 홀 사이즈, 압력, 거리, 주파수를 인자로 하여 비정상적 누출소음에 대한 실험에서 얻어진 데이터를 분석한 결과, 암소음은 1kHz 대역 이하에서 주로 발생하고 누출에 의한 소음신호는 고주파 대역, 특히 16kHz의 대역에서 가장 잘 발생한다는 것을 알게 되었다. 이런 음향기법의 가능성을 확인하기 위해서 실제로 정유공장에서 소음을 측정된 결과, 펌프와 압축기에서의 소음신호가 각각 2kHz, 4.5kHz로 측정됨으로써 주변 환경 소음과 누출음이 구별 가능하고 누출 위치(거리)의 탐지가 가능함을 밝혔다.

**Abstract:** Gas leakage in an oil refinery causes damage to the environment and unsafe conditions. Therefore, it is necessary to develop a technique that is able to detect the location of the leakage and to filter abnormal gas-leakage signals from normal background noise. In this study, the adaptation filter of the finite impulse response (FIR) least mean squares (LMS) algorithm and a cross-correlation function were used to develop a leakage-predicting program based on LABVIEW. Nitrogen gas at a high pressure of 120 kg/cm<sup>2</sup> and the assembled equipment were used to perform experiments in a reverberant chamber. Analysis of the data from the experiments performed with various hole sizes, pressures, distances, and frequencies indicated that the background noise occurred primarily at less than 1 kHz and that the leakage signal appeared in a high-frequency region of around 16 kHz. Measurement of the noise sources in an actual oil refinery revealed that the noise frequencies of pumps and compressors, which are two typical background noise sources in a petrochemical plant, were 2 kHz and 4.5 kHz, respectively. The fact that these two signals were separated clearly made it possible to distinguish leakage signals from background noises and, in addition, to detect the location of the leakage.

#### 1. 서 론

정유 공장의 정상 및 과도 상태시, 배관의 연결 부위 등에서 발생하는 미확인 가스 누출(leak)은 안전에 심각한 영향을 미친다. 예상하지 못한 이러한 가스의 누출을 조기에 효과적으로 탐지하여 대형의 누출사고를 미연에 방지하고, 유독가

스 누출로 인한 인명피해 및 환경문제를 예방하는 것은 정유시설 및 석유화학 플랜트의 안전성 증대 및 가동률 향상 면에서 대단히 중요한 과제이다. 현재의 누출 탐지방법은 누출량에 대한 민감도가 낮고, 누출을 인지하는데 필요한 감응시간이 길며 누출부위의 위치를 찾아내는데 문제가 있어 왔다.

본 연구에서는 이런 문제점을 보완하기 위한 방법으로 음향방출(acoustic emission)을 이용한 누출

† Corresponding Author, [kimchul@knu.ac.kr](mailto:kimchul@knu.ac.kr)

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

탐지방법을 제안하려고 한다. 음향방출은 재료에 소성변형, 전위이동, 응력부식균열(stress corrosion breaking)의 성장, 상 변태 및 파괴 등과 같은 과도 현상에 수반되는 에너지 방출의 한 형태이며 유체의 유동이 불안정할 경우 그에 따른 유체밀도의 변화에 의해서도 발생할 수 있다. 이러한 음향방출을 이용한 누출탐지 방법의 장점은 소량의 누출에도 민감하여 즉시 누출을 탐지할 수 있고 관측자가 누출부위에 접근하지 않아도 그 위치를 파악할 수 있다는 것이다.

최근에 음향방출에 관한 몇 가지 실험적 연구가 행해졌으나, 누출현상을 설명하는데 있어서 음향학 및 유체역학을 함께 고려한 이론적 접근이 결여되었고 단지 실험결과의 기록과 보고가 주종을 이룬다. 이는 해석적으로 설명이 곤란한 음향방출 자체의 특징 때문이기도 하지만 음향방출을 누출탐지에 이용하기 위해서는 누출현상에 대한 기본적인 고찰이 선행되어야 한다. 또한, 음향방출을 통한 누출 탐지에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구는 음향학적 인자들과 유체역학적 인자들 사이의 관계를 고려하여 해석적으로 유도하고 각 누출 상황에서 그 신호의 특징을 분석하여 음향방출 신호만으로 누출상태를 추정하고 그 위치를 알아낼 수 있는 방법의 개발을 목적으로 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 음속, 음향파워 및 옥타브 분석

파이프 측면에 뚫린 원형 구멍을 통해 포화증기나 압축공기가 누출되는 양상은 축소노즐(convergent nozzle)이나 오리피스를 통해 유체가 누출되는 것과 유사하므로<sup>(1)</sup> 임계 누출률은 식 (1)과 같이 된다.

$$Q = \rho_0 C_0 A \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma + 1)/2(\gamma - 1)} \quad (1)$$

여기서,  $\rho_0$ 는 파이프 내 기체밀도,  $A$ 는 원형 구멍의 단면적,  $C_0$ 는 출구에서의 음속이며,  $\gamma$ 은 증기일 때 1.3, 공기일 때 1.4이다.

다음으로 파이프 측면에 뚫린 사각형 틈새를 통한 임계 누출률은 사각형 구멍(세로  $a$ , 가로  $b$ )을 통한 유동특성을 원형 구멍을 통한 유동특성으로 환산하여 반영하는 층류등가지름(laminar equivalent diameter)

개념을 사용하여 다음의 식 (2, 3) 같이 표현할 수 있다.<sup>(2,3)</sup>

$$Q = \rho_0 C_0 A_e \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma + 1)/2(\gamma - 1)} \quad (2)$$

여기서 등가면적( $A_e$ ), 층류등가지름( $d_e$ ), 형상함수( $\Phi$ ), 수력지름( $d_h$ )에 관한 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A_e &= \frac{\pi}{4} d_e^2, \quad d_e = \Phi \left( \frac{a}{b} \right) d_h, \\ d_h &= \frac{4(\text{단면적})}{\text{wetted perimeter}}, \\ \Phi \left( \frac{a}{b} \right) &= \frac{2}{3} + \frac{11}{24} \frac{a}{b} \left( 2 - \frac{a}{b} \right) \Phi \left( \frac{a}{b} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

정유공장에서 누출로 인하여 방사된 음향신호는 신호 컨디셔닝과 주파수분석을 통하여 음향파워레벨(sound power level)과 음향세기레벨(sound intensity level)로 나타낸다. 음향 파워 레벨이란 음원으로부터 단위시간당 방출되는 음향에너지를 dB로 표현한 것이다. 이때 기준이 되는 음향 파워는  $10^{-12} \text{W}$ 이며, 식으로 표현하면 식 (4) 같다. 여기서  $W_0 = 10^{-12} \text{W}$ .

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad (4)$$

옥타브 분석은 각 대역의 최고 주파수가 최저 주파수의 2배가 되는 부분으로 대역을 나누는 것을 의미하며, 수식으로 표현하면 식 (5)와 같다.

$$f_{cn} = 2f_{c(n-1)} \quad (5)$$

이때 기준이 되는  $f_{cn}$ 는 1000 Hz이다. 모든 옥타브 대역의 중심 주파수는 1000의 2에 대한 배수이거나 1000의 2에 대한 약수이어야 한다.

### 2.2 적응필터를 이용한 주파수 분해

정유공장 등에서 흔히 뒤섞이는 누출소음, 회전기계 소음, 압축기 소음, 배관 소음, 압력용기 소음, 주변 소음(back ground noise: BGN) 등과 같은 신호들의 주파수 특성은 적응필터(adaptive filter)를 통하여 분해 가능하다. 잡음을 제거하기 위한 적응필터 알고리즘으로 최소자승 평균법(least mean square: LMS)이 사용한다.<sup>(4)</sup> LMS 알고리즘의 수렴 특성은 수렴 계수와 밀접한 관계가

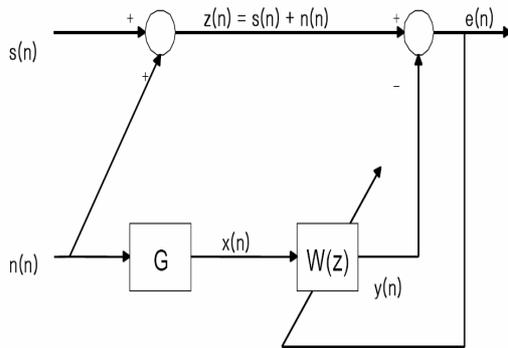


Fig. 1 The block diagram of the adaptive filter using a LMS algorithm

있는데 이의 적절한 선정이 매우 어렵다. 본 연구에서는 실시간으로 잡음을 제거하기 위해 계산 횟수가 적고 성능이 비교적 우수한 정규화 LMS(normalized LMS, NLMS) 알고리즘을 사용하였으며 적응필터로는 FIR구조를 사용하였다.

Fig. 1은 FIR구조의 LMS알고리즘을 이용한 적응 필터의 블록도이다. 가스 누설부위에서 측정된 신호는  $z(n)$ 이며, 주변에서 측정된 신호  $x(n)$ 은 기준 입력 신호이다. 적응 필터계수  $W(z)$ 는 필터 출력  $y(n)$ 이 외부 잡음  $n(n)$ 과 유사하게 되어  $e(n)$ 이 누설 진동 신호  $s(n)$ 과 같게 해주는 역할을 한다.

### 2.3 누출 탐지 방법

본 연구에서 사용하고자 하는 누출 탐지 방법에는 탄성과 위치표정기술의 원리를 이용한 도달 시간차 법(arrival time difference method)과 CCLSP(cross-correlation sonic leak pinpointer)기술이 있다.<sup>(5)</sup> 도달 시간차 법은 두 지점에서 측정된 시간의 차를 이용해 근원지를 알아내는 방법으로서 신뢰성 있는 전파속도와 시간차를 측정하게 된다면 정확한 누수 위치를 찾아낼 수 있다. 그리고 CCLSP기술은 어느 정도 떨어진 두 센서에서 누출에 의해 발생하는 같은 신호를 측정 후 두 신호의 시간차를 상관함수를 이용하여 계산하게 되는 원리이다.

상관함수(correlation function)는 신호간의 상관관계를 수학적으로 표현하며, 동일한 신호에 대해서는 자기상관함수(autocorrelation function), 서로 다른 두 신호에 대해서는 상호상관함수(cross correlation function)라고 한다.<sup>(6)</sup> 시간영역에서 신호의 상관관계를 나타내는 상관함수를 푸리에변환(Fourier transform)하여 주파수영역에서 해석하

면 스펙트럼 밀도함수(spectral density function)와 연관성을 갖게 된다. 즉, 상관함수는 시간영역에서는 신호의 상관관계를 나타내는 함수가 되고 주파수 영역에서는 그 신호가 포함하는 힘(power) 또는 에너지의 분포를 나타내는 함수가 된다. 이 관계를 Wiener-Khintchine 이론이라 한다.

누출에 의해서 발생된 음향신호들의 시간차를 계산하면 위치 탐색이 가능하게 하며 다음과 같이 신호의 파워함수를 정의할 수 있다.

$$R_{ab}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} a(t)b(t+\tau)dt \quad (6)$$

식 (6)에서  $b(t)$ 는 선형 고정계의 무작위 입력,  $a(t)$ 는 입력값에 대한 응답,  $R(t)$ 는 전달함수의 라플라스 역변환이다. 센서에서 감지된 신호는 신호처리를 거쳐 컴퓨터로 입력된다. 입력된 신호를 사용하여 우선 상호상관값을 계산하고 가장 큰 샘플링 포인트를 찾게 된다. 이 포인트에 샘플링 시간을 곱하면 두 신호간의 시간차를 구할 수 있게 된다. 이 시간차를 바탕으로 거리차를 구할 수 있는데, 여기서 실험당시의 실험실의 온도에 음속을 곱하여 가스가 누출되는 위치에서 두 센서까지의 거리차를 각각 얻을 수 있다. 그런데, 두 개의 센서에서 같은 거리차를 갖는 점은 센서를 초점으로 하는 쌍곡선이 된다. 이 쌍곡선의 궤적이 계산되어 저장되고 궤적들 간의 교점을 구하는데 사용된다.

## 3. 실험 및 결과

### 3.1 실험장치

본 실험에서는 ISO 3741에서 제시하는 잔향실 규격 및 시험조건에 따라 음향파위를 측정하였고 이 규격은 규정된 음향 특성을 갖는 잔향실을 이용하여 음원이 방사하는 음향파위를 주파수 대역마다 구하는 방법에 대해서 규정한다.

Fig. 2는 이 규격을 이용한 실험 장치를 나타낸다. 파이프의 내압(9.8MPa)을 고려하여 각각 T형 연결관, L형 연결관, 니들밸브와 가스 실린더 등을 선정하였고 일정한 압력을 유지시키는 압력 조절기와 2차 압력 확인을 위하여 추가로 압력계 이지를 설치하였다. 홀 사이즈에 따른 측정을 위하여 총 4개의 가스 실린더를 사용하였으며 각 홀 사이즈의 측정마다 사용하지 않는 실린더는

니들 밸브를 이용하여 제어가 가능하도록 하였다. 마이크는 삼각대를 이용하여 설치하였으며 측정의 오차를 줄이기 위하여 벽면과 지상과의 간격을 1.2m~1.5m로 유지하였다.

Fig. 3은 음향신호 포착 및 처리장치의 개념도이다. 음향측정용 마이크로폰은 측정 대역이 20Hz~25kHz인 MPA 201을 사용하였으며 3개의 마이크에서 입력된 모든 신호들은 NI Compact DAQ 보드 중 NI-9233, NI-9263으로 수집된다. 이 신호들은 신호컨디셔닝 작업을 거쳐서 LABVIEW를 통하여 출력된 함수를 사용하여 분석 및 저장한다.

### 3.2 단순누출에 대한 실험

#### 3.2.1 압소음(Background Noise) 측정

Fig. 4의 그래프는 2m, 6m, 9m 거리별로 압소음을 1/3옥타브 분석한 결과이며 10회 정도의 측정을 하였다. 그 결과, 1kHz 대역 이하에서 음향 파워 레벨이 변화한 반면, 1kHz 대역 이상에서는 음향 파워 레벨에 큰 변화가 없다. 이는 주위의 환경소음의 간섭이 1kHz 대역 이하에서 두드러지



Fig. 2 Gas cylinders for experiments

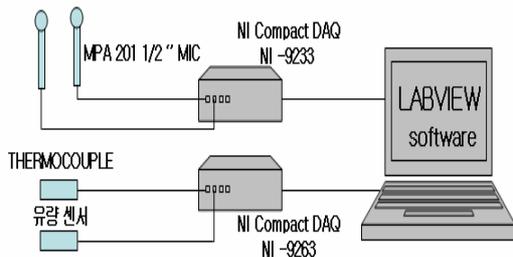


Fig. 3 The conceptual diagram of a signal detection system

게 나타남을 알 수 있었다.

#### 3.2.2 거리변화에 따른 누출 실험

4가지의 홀 사이즈(Ø0.5, Ø1.0, Ø2.0, Ø4.0)에서 각각 2MPa, 4MPa, 6MPa로 압력을 변화시키며 측정 거리에 따른 누출 실험을 수행하였다. Figs. 5(a)-5(c)는 그 중 Ø4.0의 홀 사이즈에서 2MPa, 4MPa, 6MPa로 압력을 변화시키며 2m, 6m, 9m의 측정거리에 따른 음향 파워 레벨을 나타낸 그래프이다. 다른 3가지 경우에도 비슷한 경향을 나타내며, 지면 관계상 생략하였다.

가스누출지점과 측정지점의 거리가 멀어질수록 1kHz 이하의 주파수 대역에서는 음향 파워 레벨이 약 20dB~40dB 감소하나 그 이상의 주파수 대역의 거리에 따른 변화는 약 4dB 이내인 것으로 보아 가스 누출에 의한 변화는 1kHz 이상의 주파수 대역에서 주로 발생함을 확인할 수 있었다. Fig. 5(a-c)로부터 알 수 있듯이, 300Hz 이하에서는 dB 레벨이 평균 4.6 dB/m로 감소하며, 500Hz 이상의 주파수 대역에서는 6m 이상의 거리에서는 dB의 변화가 거의 없고, 1kHz이상 대역에서는 2m 이상의 거리에서 dB의 변화가 거의 눈에 띄지 않는다.

#### 3.2.3 홀 사이즈의 변화에 따른 누출 실험결과

이 실험에서는 3가지의 서로 다른 압력(2MPa, 4MPa, 6MPa)에서 각각 2m, 6m, 9m로 측정거리를 변화시키며 홀 사이즈에 따른 누출 실험을 수행하였다. Figs. 6(a)~6(c)에는 그 중 2MPa의 압력에서 2m, 6m, 9m로 측정거리를 변화시키며 Ø0.5, Ø1.0, Ø2.0, Ø4.0의 홀 사이즈에 따른 음향 파워 레벨을 나타내었다. 여기서 홀 사이즈가 감소할수록 음향 파워 레벨이 감소함을 확인할 수 있다. 그리고 실험실의 BGN(background

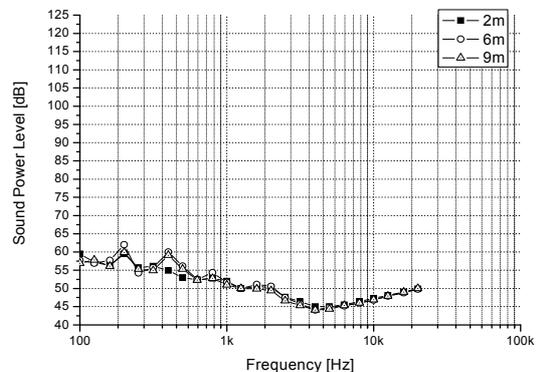


Fig. 4 Measurement of background noise

noise)과 비교하였을 때 가스누출 발생 시의 SPL(sound pressure level)이 현저하게 높아서 누출현상을 실시간으로 측정이 가능하다.

3.2.4 16kHz에서 압력의 변화와 음향 파워

거리변화에 따른 누출 실험에서 특히, 16kHz 대역에서 가장 좋은 결과 값을 얻을 수 있었다. 그래서

16kHz 대역에서 4가지의 홀 사이즈(Ø0.5, Ø1.0, Ø2.0, Ø4.0)에서 압력에 따른 누출 실험을 수행한 결과 홀 사이즈의 크기가 증가할수록 음향 파워 레벨이 전반적으로 증가한다는 것을 알 수 있었다. Fig. 7은 그 중 Ø1.0, Ø4.0의 홀 사이즈에서 2MPa, 4MPa, 6MPa의 압력의 변화에 따른 음향

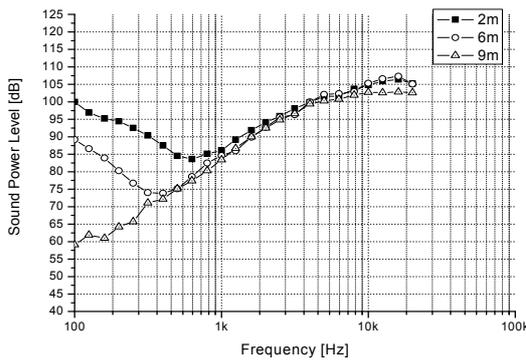


Fig. 5(a) The relationships between the sound power level and frequency (diameter 4mm, pressure 2MPa)

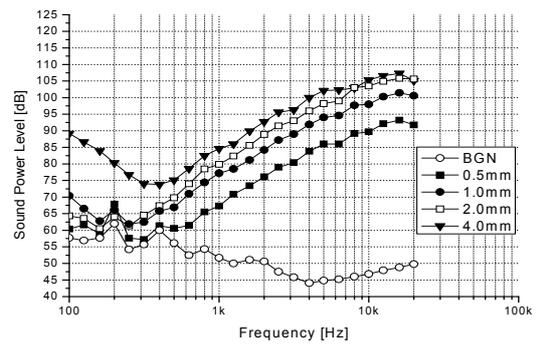


Fig. 6(a) The relationships among the sound power level, frequency, and background noise (distance 2m, pressure 2MPa)

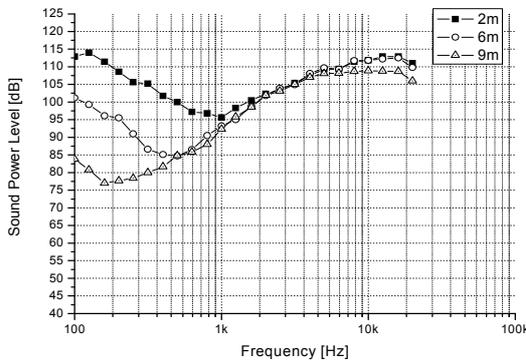


Fig. 5(b) The relationships between the sound power level and frequency (diameter 4mm, pressure 4MPa)

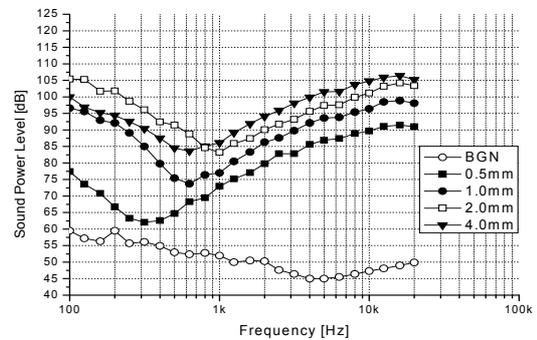


Fig. 6(b) The relationships among the sound power level, frequency, and background noise (distance 6m, pressure 2MPa)

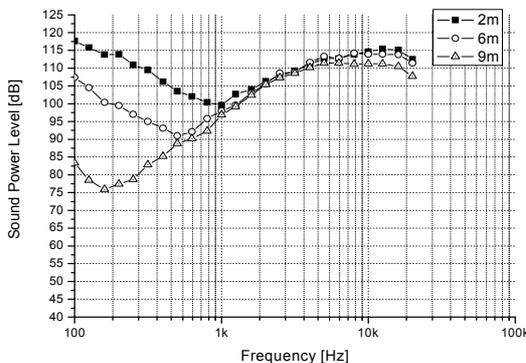


Fig. 5(c) The relationships between the sound power level and frequency (diameter 4mm, pressure 6MPa)

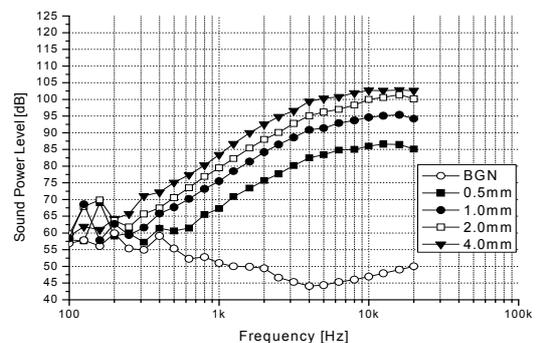


Fig. 6(c) The relationships among the sound power level, frequency, and background noise (distance 9m, pressure 2MPa)

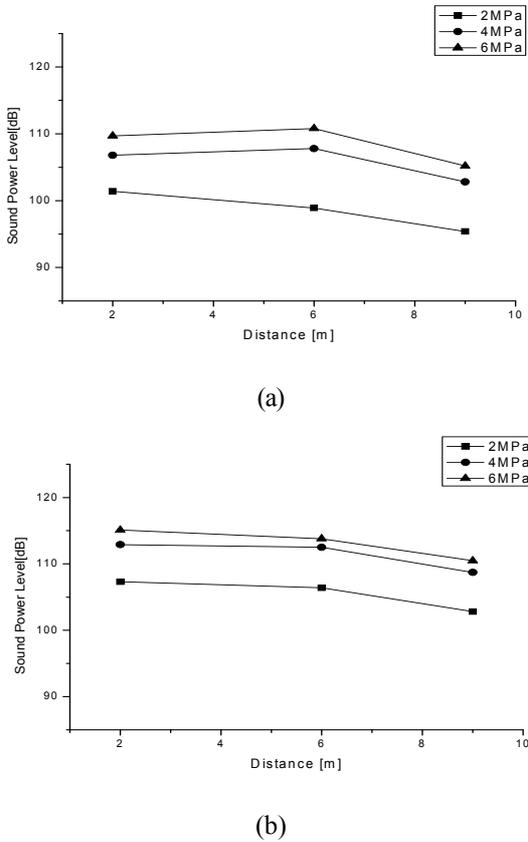


Fig. 7 The sound power level vs. distance in 16 kHz at diameters (a) 1mm and (b) 4mm

파워 레벨을 측정한 그래프이다. 압력의 증가에 따라 음향 파워 레벨도 같이 증가함을 알 수 있다.

### 3.3 정상 음파와 비정상 음파의 구분 기법

#### 3.3.1 누출과 스팀트랩 신호가 동시 발생

스팀트랩신호와 누출신호가 동시에 발생하는 것을 가정한 모의실험을 수행하였다. 누출신호로 가정한 Ø0.5홀의 밸브를 개방했을 때 신호, 스팀트랩으로 가정한 Ø4.0홀의 밸브를 간헐적으로 개방하였을 때의 신호를 수집하여 분석하였다.

Fig. 8은 1MPa일 때 Ø0.5홀에서의 신호와 Ø4.0홀에서의 신호 그리고 혼합된 음향신호를 시간에 대한 세기로 나타낸 그래프이다. Ø0.5홀에서의 신호의 크기보다 Ø4.0홀에서의 신호가 크음을 알 수 있으며, 또한 두 신호를 합친 크기는 Ø4.0홀에서의 신호보다 크다는 것을 확인 할 수 있다. 이는 누출신호와 스팀트랩 신호가 동시에 발생하더라도 각 신호의 크기로서 분석을 할 수 있음을 나타낸다. Fig. 9는 Fig. 8을 MATLAB을 이용하여 주파수에 대한 각 신호의 데시

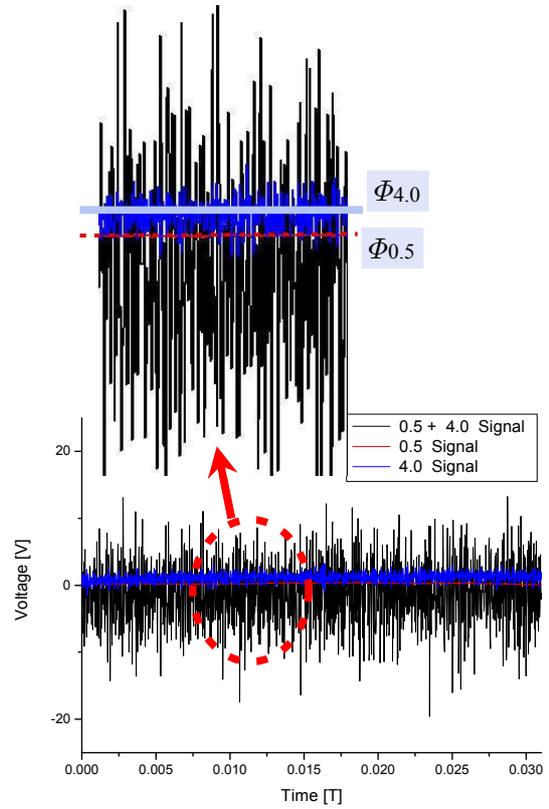


Fig. 8 The mixed steam trap signal and leakage signal in a time domain

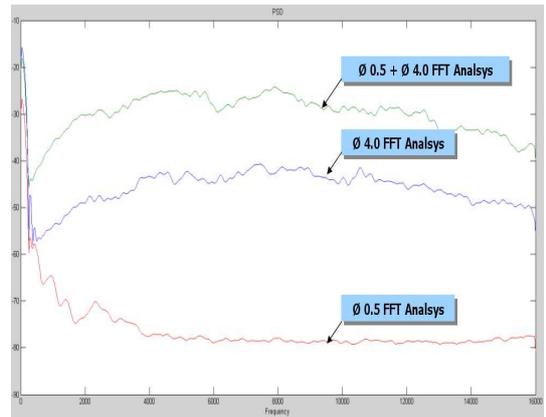


Fig. 9 Frequency analysis of the mixed steam trap and the leakage signals using MATLAB

벨(dB) 차이로 처리한 그래프다.

Fig. 10은 앞서 언급된 적응필터를 이용하여 잡음을 제거한 음파를 MATLAB을 이용하여 나타내었다. 여기서, 맨 위의 그래프는 가스누출이 발생하였을 때 측정된 신호이며 두 번째는 실험실의 암소음을 측정 한 것이며, 마지막 그림은 누출이 발생했을 때의 신호에서 암소음을 제거한 음파의 모습이다.

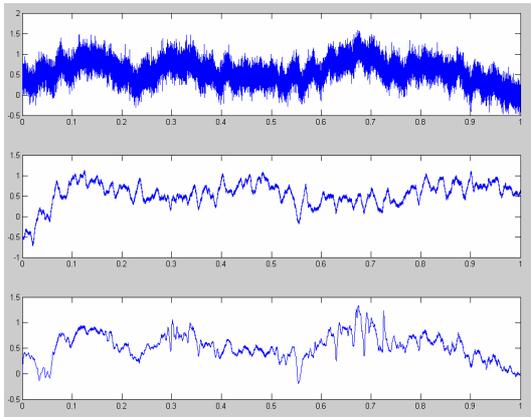
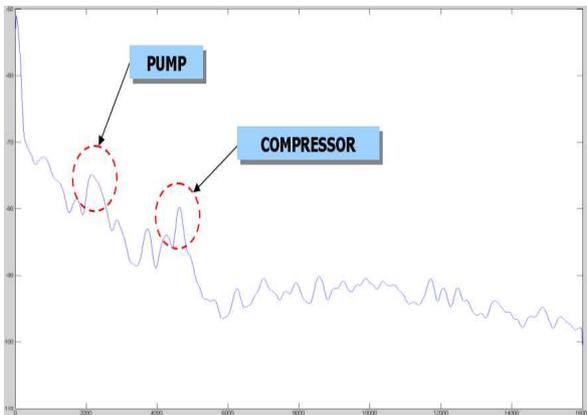
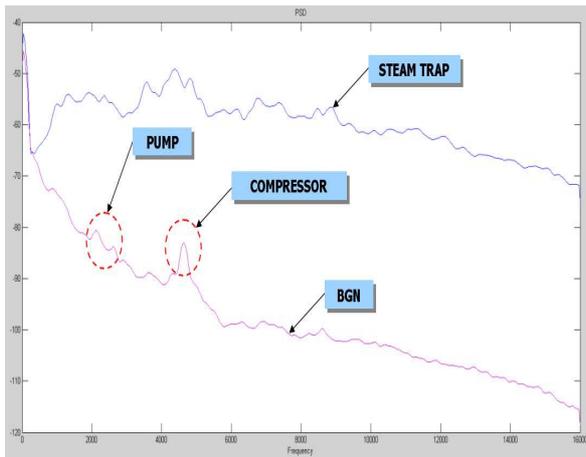


Fig. 10 Filtering illustration of mixed sonic signals using an adaptive filter



(a) Noise from a pump, a compressor and background



(b) Noise from steam traps and others

Fig. 11 Mixed actual steam trap and background noises measured from an oil refinery

### 3.3.2 누설 소음 실측 데이터

실제 정유공장에서는 사용되는 각종 기계들(압축기, 펌프, 각종 회전기계 등)의 소음, 주기적 증기배

출(steam trap) 소음, 배관 틈새의 가스누출 소음 등이 모두 뒤섞이게 된다. 이들 소음을 개별적으로 신호 분석하여 각각의 주파수를 구하여 사전에 설정하면 실제 정유공장에서의 비정상적인 누출신호를 구분할 수 있다.

Fig. 11은 실제 모 정유공장 내 2,200개의 스팀트랩 소음이 발생하는 장소 중에서 한 곳을 선정하고 같은 자리에서 스팀트랩 미작동시 암소음(기계소음 포함)과 스팀트랩 작동시 소음을 각각 콘텐서 마이크로폰으로 측정하여 스펙트럼 분석한 결과이다. 스펙트럼 분석으로부터 펌프와 압축기의 소음은 각각 2kHz와 4.5kHz 대역에서 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. 암소음의 그래프와 스팀트랩의 그래프는 40dB이상으로 그 신호의 크기가 뚜렷하게 구별되는 것을 알 수 있으며 이는 실험실에서의 측정과도 유사한 특징을 보임을 알 수 있다. 따라서, 다양한 암소음들을 미리 분석한 데이터 베이스가 있다면, 불시의 비정상적인 누출을 실시간 음파 분석으로 바로 알 수 있는 기법을 개발할 수 있다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 정유공장이나 플랜트 시설의 가스누출에 대하여 실험실 차원에서 모의 시스템을 제작하고 실제 정유공장 작업환경 하에서 혼합된 소음을 ISO의 음향파워 측정 규격에 따라 측정하여 분석하였다. 마이크를 통하여 얻어진 신호를 파워스펙트럼과 1/3옥타브 분석을 통하여 음향 파워레벨을 계산하고 압력과 거리 또한 홀 사이즈에 대한 소음특성도 살펴보았다. 실험을 통하여 가스누출이 발생하였을 때의 각 조건에 대한 신호를 획득하였으며 이러한 신호는 주어진 조건에 따라 비례적으로 변함을 알 수 있었다. 이들 결과 값을 바탕으로 실제 정유공장에서 가스의 누출이 발생하였을 때 누출발생을 탐지할 수 있는 기법이 개발되었다.

(1) 가스누출지점과 측정지점간의 거리가 멀수록 300Hz 이하에서는 음향 파워 레벨이 평균 4.6 dB/m로 감소하며, 500Hz 이상의 주파수 대역에서는 6m 이상의 거리에서는 dB의 변화가 거의 없고, 1kHz이상 대역에서는 2m 이상의 거리에서 dB의 변화가 거의 눈에 띄지 않으며 dB 세기가 증가하기 시작한다. 가스 누출에 의한 변화는 1kHz 이상의 주파수에서 발생함을 알 수 있으며, 특히 16kHz 대역에서 가장 좋은 결과를 얻었다.

(2) 홀 사이즈와 기체 압력이 커질수록 음향파워레

벨도 커졌다.

(3) 정상 및 비정상 누출은 시간에 대한 신호분석으로 구분 할 수 있으며, 두 신호가 동시에 발생했을 때에도 그 신호에 대한 크기가 정확하게 구분됨으로 누출을 확인할 수 있다.

(4) 실제 정유공장에서 주변 소음을 측정한 결과 펌프와 압축기의 소음이 각각 2kHz와 4.5kHz로 그 신호가 뚜렷하게 분리 되었고, 스팀트랩신호는 주변 신호와 그 크기로써 구별됨을 알 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 교육과학기술부와 대구테크노파크 대구과학연구단지육성사업 2011년 융합기술기초 R&D지원사업으로부터 지원 받아 수행된 연구임.

### 참고문헌

- (1) White, F. M., 1986, *Fluid Mechanics*, McGraw Hill, New York, pp. 511~582.
- (2) Demuren, A. O. and Rodi, W., 1984, "Calculation of Turbulence-Driven Secondary Motion in Non-Circular Ducts," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 140, pp. 180~222.
- (3) Jones, O. C. Jr., 1976, "An Improvement in the Calculation of Turbulent Friction in Rectangular Ducts," *Journal of Fluid Eng.*, Vol. 98, pp. 173~181.
- (4) Nam, H, D., 2002, "Adaptive IIR Filters for Active Noise Control," *Journal of KIIEE*, Vol. 16, No. 5, pp. 112~118.
- (5) Miller, R, K., Pollock, A, A., Watts, D, J., Carlyle, J, M., Tafuri, A, N. and Yezzi Jr, J, J., 1999, "A Reference Standard for the Development of Acoustic Emission Pipeline Leak Detection Techniques," *NDT & E International*, Vol. 32, pp. 1~8.
- (6) Randall, R, B., 1987, *Frequency Analysis*, Bruel & Kjaer.
- (7) Lee, K, I., Kim, H, T. and Yoon, S, W., 2000, "Sound Power Measurement Based on ISO 3741 and 3745," *Journal of ASK*, Vol. 19, pp. 13~21.