

음향법을 이용한 배관계의 가스누설 검지 실험

An Experiment for Detecting Gas Leakage on a Piping System Using Acoustic Method

이동훈† · 서은성* · 이주원** · 고재필 ***

Dong-Hoon Lee, Eun-Seong Seo, Joo-Weon Lee and Jae-Pil Koh

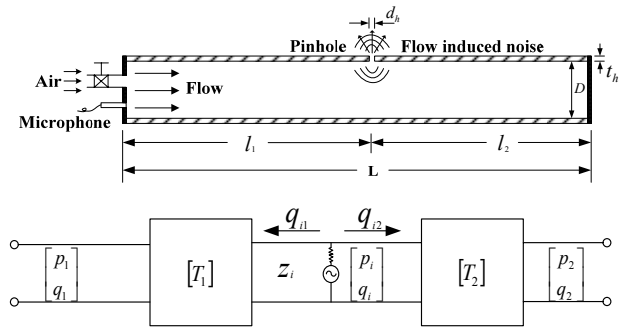
1. 서 론

본 연구에서는 음향법을 이용하여 배관계의 가스누설을 진단하고자 한다. 음향법은 음파를 파이프라인 내부로 직접 전파시킨 상태에서 음향센서를 이용하여 누출을 검지하는 음향학적 방법으로서 배관계의 상류측이나 하류측에 부착된 한 개 혹은 두 개의 음향센서로부터 auto spectrum⁽¹⁾이나 cross spectrum⁽²⁾을 구하여 누출위치를 찾아내는 방법이다.

본 연구에서는 Auto-spectrum 측정으로 핀홀 위치를 진단하기 위해 스피커 음원을 이용한 핀홀 위치 진단 실험장치를 제작하였다. Auto spectrum 측정값을 주파수 역변환한 결과로부터 가스 누설위치를 확인 한다.

2. 관련이론

그림 1과 같이 음향센서가 상류측 끝단에 부착되어 있는 경우, 핀홀을 갖는 파이프의 음향모델은 사단자 회로망으로 표현할 수 있다. 파이프내의 기체의 온도와 압력은 일정하다고 하면 이상기체로 간주할 수 있으므로 음속 c 는 일정한 값을 갖는다. 또 파이프 내의 음향현상은 1차원 파동방정식을 만족하는 평면파로 간주한다. 따라서 그림1에서와 같이 상류단과 하류단에서의 음압과 체적속도를 각각 $p_1(f)$, $q_1(f)$ 그리고 $p_2(f)$, $q_2(f)$ 라 하고, 핀홀에서 관의 내부로 입사하는 음압 $p_i(f)$, 상류측으로 전파하는 음의 체적속도 $q_{i1}(f)$ 그리고 하류측으로 전파하는 음의 체적속도를 $q_{i2}(f)$ 라 할 때, 핀홀 경계면으로부터 상류단과 하류단으로 전파하는 음의 전파특성은 다음과 같이 전기음향등가회로를 이용하여 전달행렬로 표현할 수 있다⁽¹⁾.



$$\begin{bmatrix} p_i(f) \\ q_{i1}(f) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos kx & -jY \sin kx \\ (-j/Y) \sin kx & \cos kx \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1(f) \\ q_1(f) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} p_i(f) \\ q_{i2}(f) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos kx & jY \sin kx \\ (j/Y) \sin kx & \cos kx \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_2(f) \\ q_2(f) \end{bmatrix} \quad (2)$$

그림 1 핀홀이 있는 파이프 라인에 대한 음향학적 모델

이상의 전달행렬관계로부터 핀홀을 검지하기 위한 실험식을 도출하면 다음과 같다.

$$p_1(t)_{\text{experiment}} = \mathcal{L}^{-1} \left[\frac{1}{2} (1 - \cos 2kL) |p_1(f)|^2 \right] \quad (3)$$

음압 $p_1(t)$ 에 대한 실험식 (3)에서는 $2kL = 2\pi$ 될 때마다 응답이 발생하며, 그 크기는 관내를 전파하는 음파의 음압에 의존함을 알 수 있다. 이상의 관계로부터 양단이 막힌 파이프 한쪽 단면에서 측정된 음향신호의 주파수 분석결과를 식 (3)에 대입하여 푸리에 역변환한 다음 양(+)의 펄스 응답시간 t_1 값으로부터 핀홀까지의 거리 l_1 은 다음과 같이 구한다.

$$l_1 = L - l_2 = L - \frac{ct_1}{2} \quad (4)$$

† 교신저자; 서울산업대학교 기계공학과
E-mail : ldh@snut.ac.kr
Tel : (02)970-6331, Fax : (02) 979-7331

* 서울산업대학교 에너지환경대학원

** 서울산업대학교 소음진동연구센터

*** 한국 가스공사, 연구개발원

3. 실험

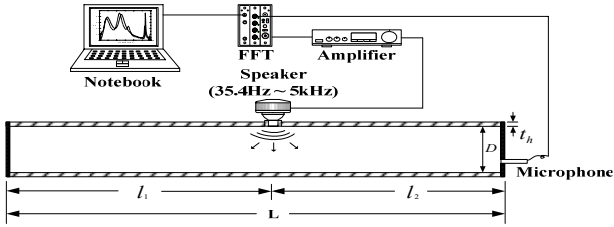


그림 2 Auto-spectrum을 이용한 핀홀확인 실험장치

그림 2는 Auto-spectrum을 측정하여 핀홀 위치를 구하기 위한 시험관과 측정기기에 대한 구성도를 나타낸 것이다. 시험관은 길이 $l = 2.24m$, 지름 $D = 0.067m$, 두께 $t_h = 0.005m$ 인 재원을 가지며, 스피커(음원에 해당) 위치를 $l_1 = 390mm$, $l_1 = 790mm$, $l_1 = 1190mm$ 및 $l_1 = 1590mm$ 로 변화시키면서 하류측에 설치한 1/4인치 마이크로폰으로 음향신호를 측정하였다. 음향 신호는 주파수 분석기의 신호발생기에서 발생되어 증폭기를 거쳐 증폭된 다음, 스피커를 통해 관내로 공급된다.

4. 결과 및 고찰

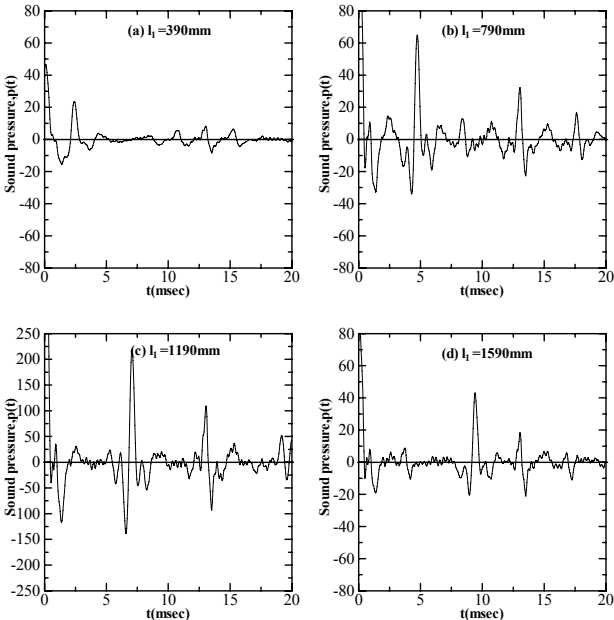


그림 3 Auto-spectrum측정에 의한 핀홀 위치별 피크음압 검지결과

그림 3은 핀홀 위치를 $l_1 = 390mm$, $l_1 = 790mm$, $l_1 = 1190mm$ 및 $l_1 = 1590mm$ 로 변화시키면서 하류측에 설치된 마이크로폰으로 auto spectrum을 측정하여 시간에 따른 피크음압을 검지한 결과이다. 검지결과로부터 피크음압이 양(+)의 피크에 해당하는 시간은 $l_1 = 390mm$ 인 경우가 $t_2 = 2.30ms$, $l_1 = 790mm$ 의 경우는 $t_2 = 4.65ms$, $l_1 = 1190mm$ 인 경우 $t_2 = 7.0ms$ 그리고 $l_1 = 1590mm$ 인 경우, $t_2 = 9.38ms$ 이었다. 검지결과를 양(+)의 피크에 해당하는 각각의 시간을 $l_1 = ct_2/2$ 에 대입하여 상류측에서 핀홀까지의 거리를 구하면 정확히 해당 위치까지의 거리와 일치하는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 핀홀이 있는 배관계로부터 가스누설을 검지하기 위해 스피커 음원을 이용한 실험을 하였고 핀홀 위치에 따른 피크음압의 시간변화를 확인하였다. 또 양의 피크에 해당하는 각각의 시간을 실험식에 대입한 결과 해당위치까지의 거리와 잘 일치하였다.

후 기

본 연구는 한국 가스공사 연구개발원의 연구비지원으로 수행되었다.

참고문헌

- (1) 이동훈, 이주원, 김현중, 서은성, 이혜선, "배관계의 가스 누설 검지용 음향이론 모델 개발", 한국소음진동공학회 2010년도 춘계학술대회 논문집, pp.764-765
- (2) Y. Gao, M.J. Brennan, P.F. Joseph, "A comparison of time delay estimators for the detection of leak noise signals in plastic water distribution pipes", Journal of Sound and Vibration 292(2006), pp. 552-570