

## 배관계의 가스누설 검지용 음향이론 모델 개발

### A Development of Acoustical Model for Detecting Gas Leakage on a Piping System

이동훈† · 서은성\* · 이주원\*\* · 김현중\*\* · 이혜선\*\*

Dong-Hoon Lee, Eun-Seong Seo, Joo-Weon Lee, Hyun-Joong Kim, Hye-Sun Lee

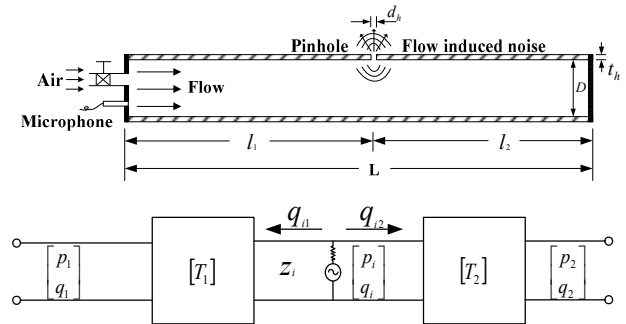
#### 1. 서 론

파이프라인을 이용한 유체의 수송은 육상 또는 해상 수송기관보다 매우 효율적이어서 오래전부터 사용되어 오고 있으나, 외부 충격이나 배관자체의 응력에 의한 크랙발생과 장기간 사용시 핀홀(pinhole) 등의 결함이 발생되어 유체가 누출되는 문제가 수반된다. 지금까지 발표된 파이프라인의 누출 검지법에 대한 연구결과 또는 실용화 기술은 실험적인 방법으로서 결함위치를 이론적으로 추정하는 연구결과와 발표는 매우 드물다. 따라서 본 연구에서는 음향이론을 이용하여 파이프라인에 생긴 핀홀과 같은 결함을 추정할 수 있는 음향 이론예측 모델을 수립하고, 수립된 모델의 타당성을 확인하고자 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.



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

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

그림 1 핀홀이 있는 파이프 라인에 대한 음향학적 모델

이상의 전달행렬관계로부터 핀홀을 검지하기 위한 이론식과 실험식을 도출하면 다음과 같다.

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

$$p_1(t)_{\text{theory}} = \mathcal{L}^{-1} \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{3d_h^2 L}{(6\pi t_h + 16d_h) D^2} \right)^2 (1 + \cos 2kl_2) |p_s(f)|^2 \right] \quad (4)$$

식 (4)에서 알 수 있듯이 음압에 대한 양의 펄스응답은  $2kl_2 = 2\pi$  될 때의 시간  $t_1 = 2l_2/c$  마다 발생하며, 그 크기는 핀홀에서 발생한 음원의 음압과 함께 핀홀의 지름과 두께 그리고 관의 길이와 지름에 의존함을 알 수 있다. 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

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

\* 서울산업대학교 에너지환경대학원  
\*\* 서울산업대학교 소음진동연구센터  
\*\* 서울산업대학교 소음진동연구센터  
\*\* 서울산업대학교 소음진동연구센터

응답시간  $t_1$  값으로부터 핀홀까지의 거리  $l_1$ 은 다음과 같이 구한다.

$$l_1 = L - l_2 = L - \frac{ct_1}{2} \quad (5)$$

### 3. 실험

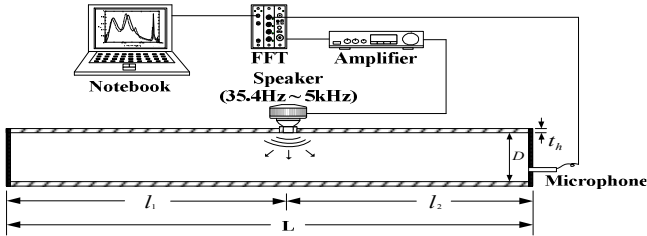


그림 2 Auto-spectrum을 이용한 핀홀위치 검지 실험장치

그림 2는 핀홀 위치를 검지하기 위한 관과 측정기기에 대한 개략도를 나타낸 것이다. 관의 길이  $l$ 은 2.24m, 지름  $D$ 는 0.067m, 두께  $t_h=0.005m$ 이다. 관의 중간에는 스피커가 부착되어 있으며, 스피커를 통해 주파수 분석기의 신호 발생기에서 발생한 광대역음이 관내로 공급된다. 발생한 음은 하류측에 설치한 1/4인치 마이크로폰으로 측정하였다.

### 4. 결과 및 고찰

그림 3은 핀홀 지름  $d_h = 3mm$  그리고 핀홀 두께  $t_h = 3mm$ 로 일정하게 한 상태에서 핀홀 위치를  $l_1 = 390mm$ ,  $l_1 = 790mm$ ,  $l_1 = 1190mm$  및  $l_1 = 1590mm$ 로 변화시키면서 시간에 따른 피크음압을 계산한 결과이다. 계산결과에서 피크음압이 양(+)의 피크에 해당하는 시간은  $l_1 = 390mm$ 인 경우가  $t_2 = 2.30469msec$ ,  $l_1 = 790mm$ 의 경우는  $t_2 = 4.64844msec$ ,  $l_1 = 1190mm$ 인 경우  $t_2 = 7.03125msec$  그리고  $l_1 = 1590mm$ 인 경우,  $t_2 = 9.3750msec$ 이었다. 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 있다. 이상의 연구결과에서 확인하였듯이 본 연구에서 수립한 음향학적 이론모델을 통하여 핀홀 위치를 정확히 진단할 수 있을 것으로 판단된다.

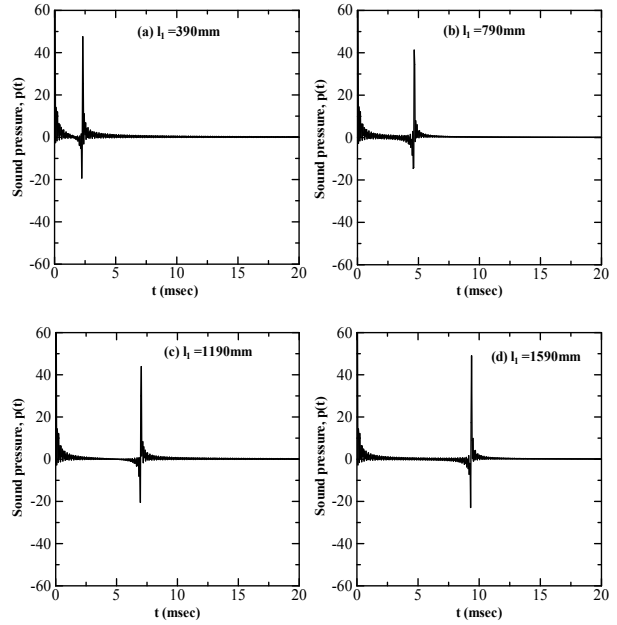


그림 3 핀홀위치에 따른 피크음압의 계산결과

### 5. 결 론

본 연구에서는 가스배관계의 핀홀 위치를 검지하기 위한 음향이론 모델을 개발하였으며, 모델의 타당성을 검증하였다.

### 후 기

본 연구는 한국 가스공사 연구개발원의 연구비지원으로 수행되었다.