

# 음향법에 의한 배관계의 막힌 위치 진단

## Detection of Clogging Location in a Pipeline by Acoustic Method

양윤상\* · 이동훈\*

Yoon-Sang Yang, Dong-Hoon Lee

### 1. 서 론

파이프라인을 이용한 유체의 수송은 육상 또는 해상기관보다 매우 효율적이어서 오래전부터 사용되어 오고 있다. 그러나 배관내부의 불순물 퇴적으로 인해 배관이 막히거나 밸브 등의 오작동으로 배관 막힘 현상이 발생하였을 때 막힌 위치를 정확히 찾는 것이 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 음향법을 이용하여 배관내부의 막힌 위치를 정확히 진단하고자 한다. 이를 위하여 사단자정수를 활용하여 막힌 위치를 예측하고, 실험결과와 비교하고자 한다.

### 2. 관련이론

Fig. 1과 같이 음향센서가 상류측 끝단에 부착되어 있는 경우, 막힌 부분을 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 Fig. 1에서와 같이 상류단과 배관의 막힌 위치라 할 수 있는 하류단에서의 음압과 체적속도를 각각  $p_1(f)$ ,  $q_1(f)$  그리고  $p_2(f)$ ,  $q_2(f)$ 라 하면 상류단과 하류단의 음의 전파특성은 다음과 같이 전기음향 등가회로를 이용하여 전달행렬로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} p_r \\ q_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{r-1} \\ q_{r-1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

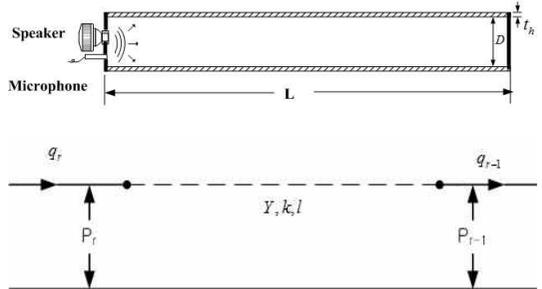


Fig. 1 The equivalent electroacoustic circuit for a pipeline

식 (1)에서 파이프 하류단이 막힌 것으로 가정하고, 상류단과 하류단에서의 상태변수인 음압에 대한 전달행렬 요소를 나타내면 다음과 같다.

$$p_r = \cos kL \cdot p_{r-1} \quad (2)$$

식 (2)에서 우변항을 파워스펙트럼으로 변환하여 푸리에 역변환하면 다음과 같다.

$$p_r(t)_{theory} = \mathcal{L}^{-1} \left[ \frac{1}{2} (1 + \cos 2kL) |p_{r-1}(f)|^2 \right] \quad (3)$$

식 (3)에서 알 수 있듯이 음압에 대한 양의 펄스 응답은  $2kL = 2\pi$  될 때의 시간  $t = 2L/c$  마다 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 마이크로폰으로 측정된 스펙트럼을 파워스펙트럼으로 변환하여 푸리에 역변환하면 다음과 같다.

$$p_r(t)_{experiment} = \mathcal{L}^{-1} [ |p_r(f)|^2 ] \quad (4)$$

따라서 양단이 막힌 파이프 한쪽 단면에서 측정된 음향신호의 주파수 분석결과를 식 (4)에 대입하여

† 교신저자; 서울과학기술대학교 산업대학원 기계공학과  
E-mail: ygys@naver.com

Tel: (02)979-7331, Fax: (02)979-7331

\* 서울과학기술대학교 기계공학과

푸리에 역변환하여 얻은 음압  $p_1(t)$ 에서 다음 양 (+)의 펄스 응답시간  $t$ 값으로부터 핀홀까지의 거리  $L$ 은 다음과 같이 구한다.

$$L = \frac{c \times t}{2} \quad (5)$$

### 3. 실험

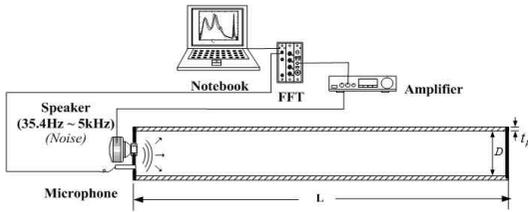


Fig. 2 Experimental apparatus for detecting the clogging location in a pipeline

Fig. 2는 파이프라인에서 막힌 위치를 진단하기 위한 시험관과 측정기기에 대한 개략도를 나타낸 것이다. 관의 상류단에 스피커가 부착되어 있으며, 스피커를 통해 주파수 분석기의 신호 발생기에서 발생한 광대역음이 관내로 공급된다. 발생된 음원은 파이프라인의 상류단에 설치한 1/4인치 마이크로폰으로 측정하였다.

### 4. 결과 및 고찰

Fig. 3은 막힌 위치를  $L=1m$ ,  $L=2m$ ,  $L=5m$  및  $L=10m$ 로 변화시키면서 시간에 따른 피크음압을 계산한 결과와 실험으로 얻어진 결과를 비교하였다. 계산결과와 실험결과의 피크음압이 (+)의 피크에 해당하는 시간은  $L=1m$ 인 경우가  $t=5.8984msec$ ,  $L=2m$ 의 경우는  $t=11.7969msec$ ,  $L=5m$ 인 경우  $t=29.4141msec$  그리고  $L=10m$ 인 경우,  $t=58.8281msec$  이었다. 양(+)의 피크에 해당하는 각각의 시간을  $L=ct/2$ 에 대입하여 상류측에서 막힌 위치를 구하면 해당 위치까지의 거리와 일

치하는 것을 알 수 있다. 이상의 연구결과에서 확인하였듯이 음향법을 이용하여 배관에서 막힌 위치를 정확히 진단할 수 있을 것으로 판단된다.

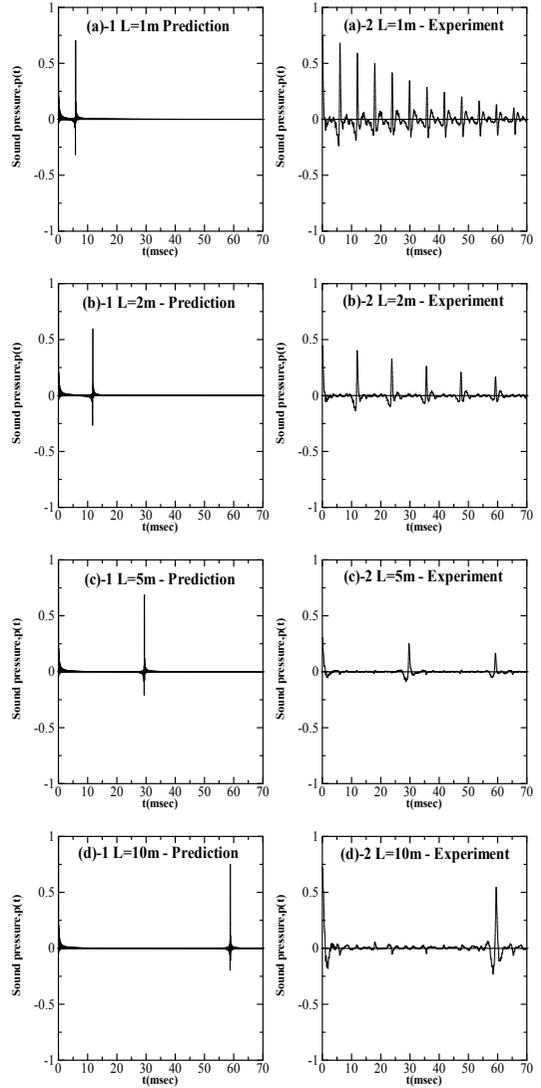


Fig. 3 Comparison of the predicted and measured results

### 5. 결론

본 연구에서는 배관계의 막힌 위치를 진단하기 위한 음향 예측법을 개발하였으며, 예측결과와 실험결과는 잘 일치하였다.