

배관 누설위치 추정 성능 개선을 위한 반사파 제거방법에 관한 연구

A Study on Method for Removing Reflected Wave to Enhance the Leak Detection Capability of a Buried Pipe

윤두병† · 박진호* · 신성환* · 손기성**

D.-B. Yoon, J.-H. Park, S.-H. Shin and K.-S. Son

1. 서 론

발전소의 장기간 운전에 따라, 지하에 매설된 배관에서 부식으로 인하여 누설이 발생하는 경우가 발생하고 있어, 매설배관 누설탐지에 대한 관심이 점차 커지고 있다.

매설배관의 누설탐지를 위한 대표적인 방법으로는 상호상관함수기법(Cross-correlation method)이 있으며, 이 방법은 상수도 배관의 누설탐지에 주로 활용되고 있다. 그러나 이러한 방법은 배관 내부에 반사파가 존재하는 경우, 누설탐지 성능이 저하되는 단점이 있는 것으로 알려져 있다.

본 논문의 목적은 발전소와 같이 매설배관이 복잡하게 연결되어, 배관 내부에 반사파가 존재하는 경우에 누설위치 추정 성능을 개선하기 위한 방법을 연구하는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 상호스펙트럼의 위상정보를 이용하여 누설위치를 추정하는 방법을 제안하였다. 또한 반사파가 존재하는 환경에서 배관 누설탐지 시뮬레이션을 수행함으로써, 제안된 방법의 타당성을 확인하였다.

2. 이론 및 시뮬레이션

2.1 상호상관함수를 이용한 누설위치 추정

매설배관의 누설을 탐지하기 위해서는 Fig. 1과 같이 누설이 추정되는 배관의 양단에 진동센서를 설치한 후, 누설지점으로부터 배관 양단으로 전파되는 신호를 계측하고, 이에 대한 상호상관함수를 구하여

누설위치를 추정하는 방법이 주로 활용된다. 누설이 발생하는 경우 상호상관함수(식 (1))를 구하면, τ_d 에 해당하는 시간지연(위치)에서 피크가 발생하므로 이 정보를 이용하여 누설위치를 추정할 수 있다. 이러한 상호상관함수를 이용한 누설탐지방법은 주변 기계소음이나, 배관 내부의 반사파가 있는 경우 누설위치 추정 성능이 저하되는 것으로 알려져 있다.

$$C_{12}(\tau) = E[x_1(t)x_2(t+\tau)] \quad (1)$$

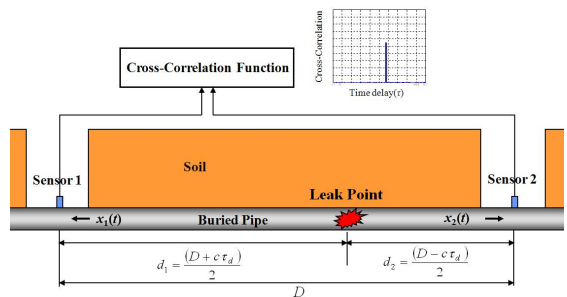


Fig. 1 Schematic of measurement setup for leak detection of a buried pipe

2.2 상호스펙트럼 위상정보를 이용한 시간 지연 추정방법

매설배관 양단에 설치된 센서로부터 계측된 신호 $(x_1(t), x_2(t))$ 에 대해 푸리에 변환을 수행하여, $X_1(f)$ 와 $X_2(f)$ 를 구한 후, 이들의 상호스펙트럼을 구하면 상호스펙트럼은 다음과 같이 표현된다.

$$S_{12}(f) = X_1(f)^* \cdot X_2(f) \quad (2)$$

상호스펙트럼은 크기와 위상(phase)의 곱으로 표현($S_{12}(f) = |S_{12}(f)| \cdot e^{j\phi_{12}(f)}$)되며, 이 때 배관 양단에 설치된 센서로부터 계측된 누설신호에 대한 상호스펙트럼의 위상은 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

† 교신저자; 한국원자력연구원
E-mail: yoondb@kaeri.re.kr
Tel: 042-868-8909, Fax: 042-868-8313
* 한국원자력연구원
** 세안기술(주)

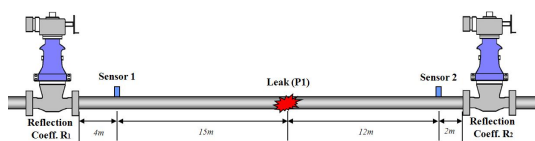
식 (3)의 첫 번째 항은 누설진동파가 양단의 센서로 전파하는 시간지연(τ_d)에 대한 정보를 가지고 있으며, 두 번째 항은 기계잡음 및 반사파 등 주변 환경에 의해 발생하는 위상($\phi_{12}(f)$)의 잡음성분을 나타낸다.

$$\phi_{12}(f) = 2\pi f\tau_d + n_\phi(f) \quad (3)$$

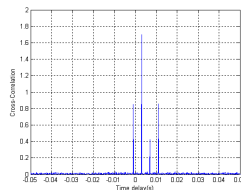
따라서 상호스펙트럼 위상($\phi_{12}(f)$)의 기울기($d\phi_{12}/df$)가 양단의 센서로 전파하는 누설진동파의 시간지연(τ_d)을 나타내므로, 상호스펙트럼의 위상데이터를 구한 후, 일차식으로 커브피팅(curve fitting)을 수행하여 위상 $\phi_{12}(f)$ 의 기울기를 구함으로써, 누설진동파가 양단의 센서로 전파하는 시간지연을 추정할 수 있다.

2.3 배관 누설 시뮬레이션 결과

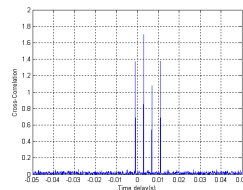
제안한 반사파 영향 제거방법의 타당성을 검증하기 위하여 Fig. 2 (a)와 같이 배관 상에 밸브에 의한 반사파가 존재하는 조건을 고려하여, 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 2 (b)와 (c)는 양단 밸브에서의 반사계수(R_1, R_2)가 각각 0.5 및 0.8인 경우, P1 위치에서의 누설에 의한 상호상관함수를 구한 결과를 나타내고 있다. Fig. 2 (b)와 (c)를 관찰해 보면 실제 누설에 의한 피크 이외에 반사파 성분에 의해 발생하는 다른 피크들로 인하여 누설 위치의 정확한 추정이 용이하지 않음을 알 수 있다. Fig. 2 (d)와 (e)는 양단 밸브에서의 반사계수가 각각 0.5 및 0.8인 경우 상호스펙트럼의 위상데이터를 나타내고 있으며, 기본적으로 위상데이터는 선형적인 형태를 나타내며, 주파수 변화에 따라 반사파에 의한 변동성분($n_\phi(f)$)이 포함된 형태임을 알 수 있다. Fig. 2 (f)와 (g)는 위상정보를 직선으로 커브피팅(녹색 점선)하여, 시간지연 정보($\hat{\tau}_d$)를 추출한 후, 이러한 기울기 정보를 위상데이터로 대체($e^{j2\pi f\hat{\tau}_d}$)하고, 이에 대한 역푸리에변환(Inverse FFT)을 수행하여 상호상관함수를 구한 결과를 나타내며, Fig. 2 (f)와 (g)를 Fig. 2 (b)와 (c)와 비교해 보면, 제안한 방법을 이용하여 상호상관함수 그래프에서 양단 센서에서의 누설진동파의 시간지연정보를 용이하게 파악할 수 있음을 알 수 있다.



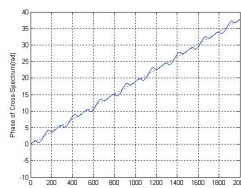
(a) Schematic of setup for leak point detection(simulation)



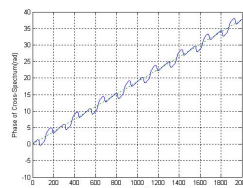
(b) cross-correlation($R_1=R_2=0.5$)



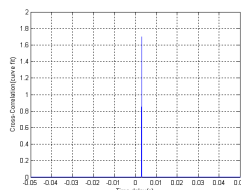
(c) cross-correlation($R_1=R_2=0.8$)



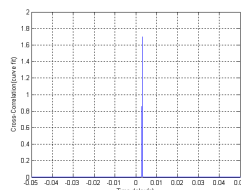
(d) phase of $S_{12}(f)$ ($R_1=R_2=0.5$)



(e) phase of $S_{12}(f)$ ($R_1=R_2=0.8$)



(f) IFFT of $e^{j2\pi f\hat{\tau}_d}$ ($R_1=R_2=0.5$)



(g) IFFT of $e^{j2\pi f\hat{\tau}_d}$ ($R_1=R_2=0.8$)

Fig. 2 Leak detection simulation for estimating the time delay of the leakage signal (leakage P1)

3. 결 론

매설배관이 복잡하게 연결되어, 배관 내부에 반사파가 존재하는 경우에 누설위치 추정 성능을 개선하기 위한 방법으로, 상호스펙트럼의 위상정보의 기울기를 이용하여 배관에서 발생하는 누설신호의 시간지연을 추정하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법의 타당성을 검증하기 위하여 반사파가 존재하는 상황에서 배관의 누설탐지 시뮬레이션을 수행하였으며, 반사파가 존재하는 경우에도 상호스펙트럼의 위상정보로부터 누설신호의 시간지연을 추정할 수 있음을 확인하였다. 향후 배관 내에 반사파가 존재하는 상황에서 누설 실험을 수행하여, 제안한 방법의 타당성을 실험적으로도 검증할 예정이다.