

# 지하매설 배관의 다중 누수지점의 탐지연구

## Detection of Multiple Leak Locations in Underground Water Supply Pipes

이영섭†  
Young-Sup Lee

### 1. 서 론

지하매설 상수도 배관은 일반적으로 한 지점에서 누수가 발생하지만 동시에 2 군데 이상에서도 발생할 수 있다. 이와 같은 경우 기존의 한 군데의 누수 지점만을 찾는 알고리즘으로는 어느 한 지점을 누수지점으로 결정할 지 혼돈이 유발될 가능성이 크다. 이에 대해 본 연구에서는 동시에 발생한 2 군데의 누수에 대해서도 그 지점을 찾을 수 있는 기법에 대해 기술한다.

### 2. 다중 누수지점 탐지이론

Fig. 1 과 같이 유체가 가득 찬 지하매설 플라스틱 배관의 두 지점에 누수가 발생할 때 두 개의 센서(예. 가속도계)를 거리  $D$ 의 간격으로 두 누수지점을 사이에 두고 배관 외면에 설치하고, 각 센서에 도달하는 누수신호 도달시간 차이의 계산이 가능하면, 아래의 식에 의해 두 누수위치를 탐지할 수 있다.

$$d_{i1} = (D - c \cdot \Delta t_i) / 2 \quad d_{i2} = D - d_{i1} \quad (1)$$

여기서,  $i$ 는  $i$ 번째 누수지점,  $c$ 는 배관과 관내 유체의 연성거동 (coupled behavior)에 의한 누수신호의 전파속도 (propagation speed)이고,  $\Delta t_i = t_{i2} - t_{i1}$ 는 도달시간차이다. 그리고, 두 센서 신호  $x$  및  $y$ 에 대한 상호상관함수 (cross-correlation function)를 계산하면 누수신호의 도달 시간차를 추정할 수 있다. 즉, 두 곳의 누수지점 위치  $d_{i1}$ 과  $d_{i2}$ 는  $c$ 와  $\Delta t_i$ 를 알 수 있으면 추정 가능하다는 의미이다.

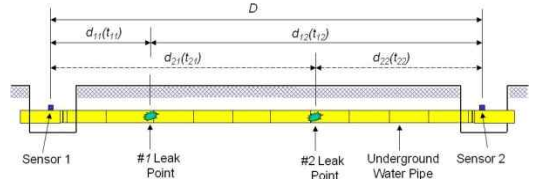


Fig. 1 Multiple leak location detection based on the cross-correlation function.

### 3. 다중 누수지점 탐지 실험결과

#### 3.1 단일지점 누수탐지 실험

Fig. 2 및 Fig. 3은 100A 치수를 가지며 지하 약 1.5 m에 설치된 상수도 공급용 주철관에 대한 각각 단일지점 누수탐지 실험 결과이다. 실험을 위해 배관의 두 지점에 천공을 하여 각각 25 mm 직경의 볼밸브를 설치하고 이 지점들을 누수위치로 지정하였다. 측정을 위해서 B&K 8313C 가속도계 2개가 사용되었고, 2048 Hz로 누수신호를 샘플링하여 분석하였다.

Fig. 2는 제 1 누수지점으로서  $D = 315.6$  m,  $d_{11} = 61.7$  m,  $d_{12} = 253.9$  m의 위치, Fig. 3는 제 2 누수지점으로서  $D = 315.6$  m,  $d_{21} = 61.7$  m,  $d_{22} = 253.9$  m의 위치로서 각각 그림의 위에서 부터 상호스펙트럼  $S_{xy}(f)$ , 주파수에 따른 위상응답  $\phi_{xy}(f)$ 이며, 마지막은 maximum likelihood (ML) window를 적용한 뒤 계산된 상호상관함수이다.

특히 Fig. 2 및 3의 위상응답에서 공통적으로 100 - 800Hz의 구간에서 선형위상 (linear phase)이라는 아래와 같이 정의되는 매우 중요한 특성을 확인할 수 있다.

$$\phi_{xy}(f) = -\alpha 2\pi f \quad (2)$$

이때  $\alpha$ 는 상수이다. 이 주파수 구간에서 위상응

† 이영섭; 정회원, 인천대학교  
E-mail : YSL@incheon.ac.kr  
Tel : 032-835-8656, Fax : 032-836-8760

답에 대하여 최소자승법으로 그 기울기 계산을 통해 누수신호 전파속도를 추정하였다. 즉,  $c = (d_{i2} - d_{i1}) / \Delta t_i \approx 1350 \text{ m/sec}$  이 된다. 그리고 식(1)에 이 결과를 대입하여 각각의 누수지점을 추정하여 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

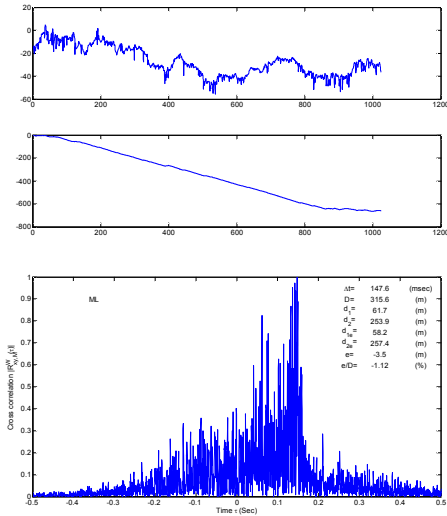


Fig. 2 Single leak detection results for no.1 leak.

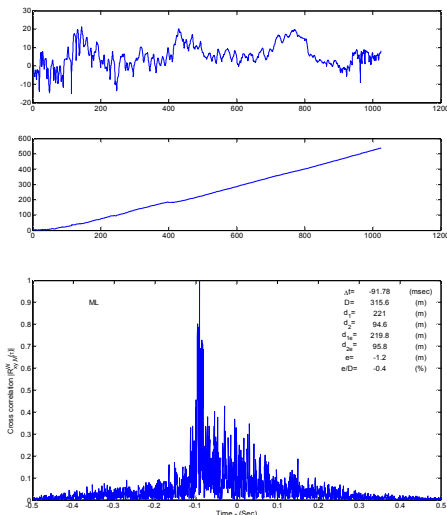


Fig. 3 Single leak detection results for no.2 leak.

### 3.2 다중지점 누수탐지 실험

배관의 누수시스템을 선형적이라 가정하고 2절에서의 개별 누수지점에 대한 실험을 통해 얻어진 실험데이터를 중첩시켜 새로운 센서 측정신호  $x$  및  $y$  를 만들었다.

이들 신호를 바탕으로 Fig. 4에서 보는 바와 같이 2 곳의 누수지점 ( $D = 315.6 \text{ m}$ ,  $d_{i1} = 61.7 \text{ m}$ ,  $d_{i2} = 253.9 \text{ m}$ ,  $d_{21} = 61.7 \text{ m}$ ,  $d_{22} = 253.9 \text{ m}$ )에 대한 상호스펙트럼, 위상응답 및 상호상관함수를 계산하였다. 2 곳의 누수지점 탐지를 위한 전파속도는 단일 지점 탐지에서와 동일한  $1350 \text{ m/sec}$  가 사용되었다.

단일지점 결과와 비교해서 특이한 점은 위상응답에서의 100 - 800 Hz까지 선형위상의 특성이 4개의 구간별 선형위상으로 변화했다는 것이다.

이와 같은 위상변화는 다중누수지점의 존재에 대한 확실한 증거가 되며, 이것은 상호상관함수 계산 결과에서도 보듯이 2 군데의 피크값이 동시에 나타남을 알 수 있다. 이 피크위치로부터 2 곳의 누수지점을 추정할 수 있음을 알 수 있다.

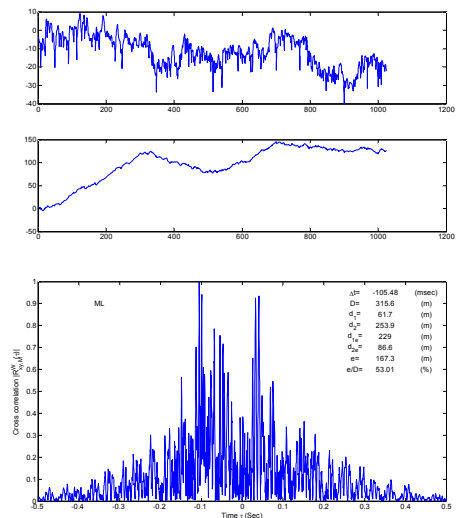


Fig. 4 Multiple leak detection results for both no.1 and no.2 leaks.

## 3. 결 론

본 연구는 다중의 누수지점을 가지는 지하배설 배관에서 그 누수지점을 탐지하기 위한 기법에 대한 것이다. 이 기법을 통해 다중누수의 특징을 도출하여 각각의 누수지점을 추정할 수 있음을 보였다.

## 후 기

이 논문은 2009년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0084728).