

## 지역난방배관의 누수감지 신뢰성 향상에 관한 연구

### A Study on the Improvement of Water-Leakage Detection Reliability in Local Heating System

신 춘 식\* · 안 영 주\* · 변 기 식\*

C.S. Shin · Y.J. An · G.S. Byun

(1998년 7월 27일 접수, 1999년 2월 19일 채택)

#### ABSTRACT

Local heating transportation pipe has sensor and return lines to detect water-leakage. There are impulse and resistance comparison measurement types for a water-leakage detection. The impulse type shows large detection error within a measurement range. Since the resistance comparison type can find a comparative accurate single water-leakage point in the measurement range of heating pipe, it has been used to detect water-leakages these days. However if the multi water-leakages are happened in the measurement range of transportation pipe, the resistance comparison type shows a detection error point by the parallel resistance between a detection sensor line and ground. But the detection error will be minimized by the divided transportation pipe loops.

In this research, it suggests the design of remote controlled detection system which can divide a large pipe loop and a possible single water-leakage measurement process in each divided loops.

#### 1. 서 론

지역난방이란 집중된 대규모 열생산시설(열병합 발전소, 열전용 보일러, 쓰레기 소각로 등)에서 경제적으로 생산된 열을 제한된 지역에 난

방 및 급탕열로 일괄 공급하는 방법으로 에너지 사용의 효율화, 산업 폐기물의 연료화 및 환경오염 방지를 위한 필수적인 도시기반 시설이다.

지역난방 시스템과 관련한 여러 연구분야 중, 이 시설에 필수적인 열배관의 보호에 대한 연구

\* 부경대학교 제어계측공학과

가 활발히 진행되고 있다. 열배관의 문제점은 균열된 배관으로부터 누설된 수증기가 배관 표면과 접하게 되어 표면 부식을 빠르게 진행시켜 평균수명을 크게 단축시키는 것이다<sup>1)</sup>. 선진국에서는 80년대 중반 이후부터 이 수증기에 의한 부식을 해결하기 위해 누수감지 장치의 개발에 많은 노력을 기울인 결과 수분침투 여부를 판단할 수 있는 감지장치가 개발되었다<sup>2,3)</sup>.

누수감지 방법으로는 크게 임펄스 신호를 이용한 방식과 저항 비교방식이 있는데 임펄스 방식은 누수지점의 측정 오차가 비교적 크다. 따라서 90년대부터는 감지선과 회귀선을 부착한 열배관을 설치하고 저항 비교 방식<sup>4)</sup>을 이용하여 단일누수에 대한 비교적 정확한 누수지점을 측정하여 왔다. 그러나 이 방식은 다중누수가 발생하였을 때 감지선과 열배관 사이의 절연저항에 병렬저항값에 의한 누수지점의 위치 오차가 생기는 문제점을 갖고 있다. 더군다나 열배관 시공시의 부주이나 타공사(전기공사, 통신공사, 토목 및 건축공사, 상수도공사, 하수도공사 등)로 인한 굴착 작업 시에 다중누수가 빈번히 발생<sup>5)</sup>하므로 저항비교방식에 의한 누수감지법의 개선이 요구된다.

본 논문에서는 저항 비교 방식의 단점인 다중누수에 의한 오차를 줄이기 위해 규모가 큰 루프를 소규모 루프로 분할하여 측정하는 방법을 제안한다. 이 방법은 기존의 열배관 설비에 별도의 회귀선 추가 및 각 수용가에 누수감지기를 설치하여 누수감지기의 내부 스위치를 원격 통신으로 제어함으로써 전체 열배관 루프를 분할하여 다중누수 지점들을 분할된 루프 안의 단일 누수가 되게 하여 기존의 저항 비교 방식에 의한 측정 오차를 줄이는 방법이다.

## 2. 지역난방 열배관의 누수지점 측정 원리

Fig. 1은 현재 지역난방에서 사용중인 열배관의 단면 구조로서 여기에는 센서선과 회귀선이 있다. 센서선은 니크롬(Ni-Cr)선으로 단위 길이당 5.7[Ω]의 저항값을 갖고 있으며, 센서선의 전체 저항은 열 배관의 전체 길이로 대응될 수

있다. 또한 이 센서선은 일정한 간격으로 절연 피복이 제거되어 있어 만약 누수가 발생할 때 절연 피복이 제거된 점을 통하여 누수의 위치를 검출할 수 있다. 회귀선은 동(Cu)선으로 단위 길이당 0.032[Ω]의 낮은 저항값을 가지며 배관 길이의 전체 저항에 비교하여 볼 때 매우 낮으므로 무시할 수 있다. 이러한 열배관을 이용하여 몇몇의 수용가에 난방용 물을 공급하는 열배관 시스템을 Fig. 2에 보여 주고 있다. 여기서 배관 시스템의 누수 감지를 위해 상대적으로 저항값이 작은 회귀선을 수용가들의 입구에서 센서선과 연결하는 방법으로 하나의 루프를 형성한다.

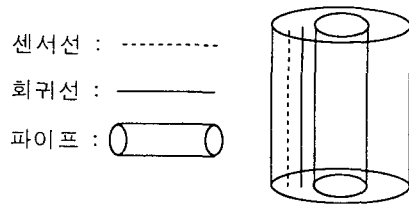


Fig. 1 Structure of heating transportation pipe

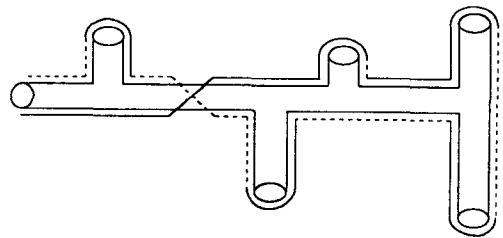


Fig. 2 Loop of sensor and return lines in heating pipes

이러한 열배관 루프내의 임의의 지점에서 누수가 발생하였다고 가정하고 이를 측정하기 위하여 Fig. 2를 Fig. 3과 같은 하나의 루프로 생각한다면, 누수 지점에서의 절연저항( $R_0$ )이 감소하여 그 지점에서는 센서선의 분압 전압이 나타난다<sup>6)</sup>. 절연저항( $R_0$ )은 보통 누수가 발생하지 않은 경우에는 수십MΩ이상의 저항을 갖지만 누수가 발생할 경우 수백KΩ~수MΩ 범위에 있다. 이때 이 지점을 측정하기 위해 센서선의 한끝과 회귀선의 한끝을 연결한 후 다른 쪽의

양끝사이에 기준전압  $V_{ref}$ 를 인가하고, 동시에 파이프와 센서선 간에 전압계  $V$ 를 연결하면 Fig. 4와 같은 등가회로가 형성된다. 이 회로에서 전압  $V$ 는

$$V = \frac{R_{S2}}{R_{S1} + R_{S2}} \times V_{ref} = \frac{R_{S2}}{R_S} \times V_{ref} \dots (1)$$

이 되며, 여기서  $R_S$ 는 센서선의 저항값으로  $R_{S1} + R_{S2}$ 이다.

측정된 전압  $V$ 와 기준전압  $V_{ref}$  및 배관 전체 길이로부터 누수지점  $L_f$ 를 계산할 수 있다.

$$L_f = \frac{V}{V_{ref}} \times L \dots (2)$$

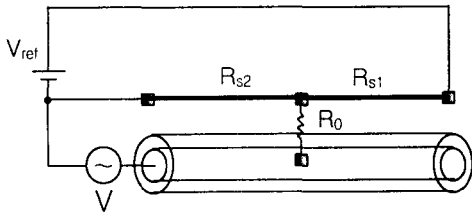


Fig. 3 Single water-leakage point measurement

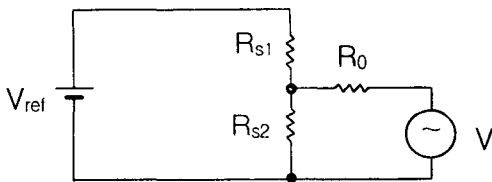


Fig. 4 Equivalent circuit of the water-leakage point measurement

그러나 Fig. 5와 같이 누수지점이 두 지점에서 동시에 발생할 때, 저항비교방식으로 이들 지점을 측정한다면 Fig. 6과 같은 등가회로가 되며, 이때 전압  $V$ 는

$$V = \frac{R_{S3}}{R_{S1} + R' + R_{S3}} \times V_{ref} \dots (3)$$

이다. 여기서

$$R' = \frac{R_{S2}(R_{O1} + R_{O2})}{R_{S2} + R_{O1} + R_{O2}} \dots (4)$$

이 전압을 이용하여 식(2)와 같은 방법으로 계산된 누수지점은 다중 누수에 의한 병렬회로가 구성되기 때문에 오차를 포함한다. 따라서

이 방식에 의한 누수지점 측정 방법을 개선할 필요가 있다.

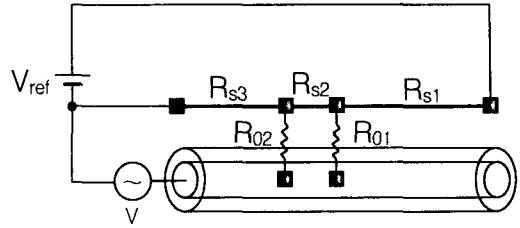


Fig. 5 Multi water-leakage point measurement

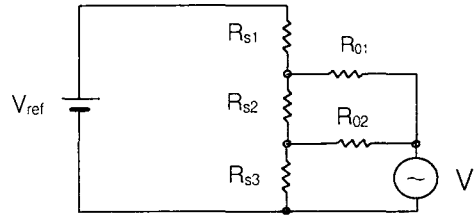


Fig. 6 Equivalent circuit of multi water-leakage point measurement

### 3. 다중 누수 시 저항비교방식의 누수 측정 개선

#### 3.1 수정된 열배관 시스템

열배관으로 공급되는 여러 수용가를 하나의 루프로 볼 때 대규모 루프 안에서는 다중누수가 발생할 확률이 매우 높다. 그러나 개개의 수용가 사이의 열배관에서는 다중누수가 발생할 확률은 그다지 높지 않다<sup>1)</sup>. 이러한 사실에 근거하여 여러 수용가를 측정의 관점에서 소규모 루프로 분할할 수 있다면, 각 수용가 사이의 단일 누수지점을 기존의 저항비교 방식에 의해 비교적 정확히 측정할 수 있다. 본 연구에서는 대규모 측정 루프를 원격으로 여러 개의 루프로 분할하기 위해 각 수용가에 누수감지기 설치 및 기존의 열배관에 매설된 센서선과 회귀선에 또 하나의 회귀선을 추가한 Fig. 7과 같은 열 배관 구조를 제안하고 Fig. 8과 같은 열배관 시스템을 구성한다. 추가된 회귀선은 수용가에 설치된 누수감지기 내부의 스위치 동작에 따라 중복되지 않는 소규모의 감시루프를 구성하고, 절연저항,

루프저항 및 누수지점 등을 같이 측정하는데 사용된다.

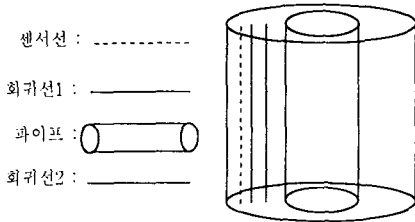


Fig. 7 Proposed sensor and return 1 and 2 lines in a heating pipe

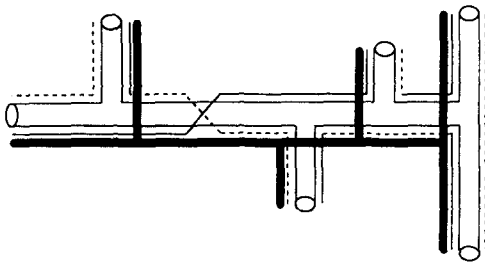


Fig. 8 Sensor, return 1 and 2 lines layout in the heating transportation pipes

### 3.2 분할루프 형성

본 연구에서는 원격제어에 의해 루프분할을

가능하게 하기 위하여 누수감지기를 수용가에 각각 설치하고 누수감지기의 스위치를 제어하는 방법을 사용한다. Fig. 9는 누수감지기의 내부 구성도이다. 누수감지기의 마이크로 컴퓨터(V25)에 의해 제어되는 스위치 SW<sub>1</sub>~SW<sub>11</sub>은 전체의 열배관 측정루프를 수용가 기준으로 분할, 분할된 루프의 루프저항, 절연저항 및 누수지점 등을 측정할 수 있도록 회로를 구성한다. 부궤환 증폭부는 루프저항과 절연저항을 측정하기 위한 전자회로로 제작되어 있고, 버퍼는 누수지점을 측정하기 위한 전압을 검출하여 적절한 크기로 변환한다. 여기서 출력된 전압은 A/D컨버터(VC500)로 데이터 변환되고 마이크로 컴퓨터에서 연산을 하여 측정값을 저장한다. 측정이 완료된 누수감지기는 통신대기 상태가 되고, 외부에서 데이터 요청 시에는 메모리에 저장된 데이터는 비동기 통신 방식에 의해 중앙으로 전송된다. 중앙 컴퓨터는 원격제어로 각 수용가에 설치된 누수감지기에 순차적으로 원하는 명령을 내리 센서선, 2개의 회귀선 및 절환 스위치를 제어한 후 각 수용가의 측정값을 전송 받아 열배관 시스템의 상태를 감시한다.

### 3.3 원격제어에 의한 분할루프형성의 예

Fig. 10과 같이 열배관 시스템의 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> 등

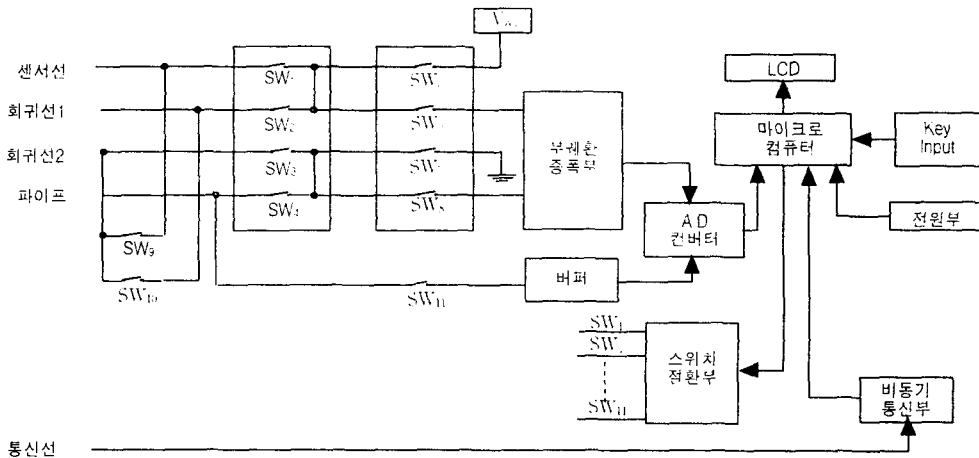


Fig. 9 Block diagram of the proposed water-leakage detector

P<sub>4</sub>에 누수지점이 발생하였다고 가정한다. 이들 누수지점을 측정하기 위하여 본 연구에서 제안한 누수감지기를 T.P.<sub>1</sub>(test point 1)에서 T.P.<sub>6</sub>(test point 6)까지의 6개 수용가에 설치한 후, 이를 원격 통신으로 제어하여 전체 열배관 루프를 분할하는 방법을 설명한다.

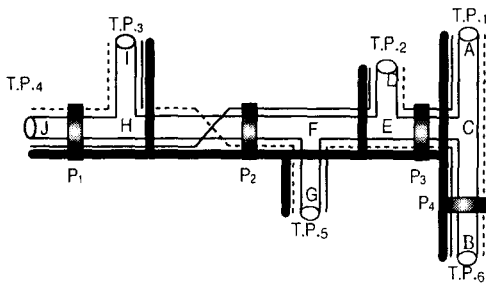


Fig. 10 Thermal transportation pipe loop with multi water-leakages

누수지점 P<sub>2</sub>를 측정하기 위한 루프분할의 예를 본다. 이 지점을 단일누수지점으로 측정하기 위해서는 Fig. 11과 같은 소루프로 분할해야 하므로 T.P.<sub>3</sub>에 설치된 누수감지기의 마이크로 컴퓨터에 의해 스위치 SW<sub>10</sub>을 닫아 회귀선 1과 회귀선 2를 연결하고, T.P.<sub>5</sub>에 설치된 누수감지기의 마이크로 컴퓨터에 의해 스위치 SW<sub>1</sub>, SW<sub>3</sub>, SW<sub>5</sub>, SW<sub>7</sub>를 닫아 센서선과 회귀선 2를 연결하여 소루프를 형성시킨다. 이밖에 다른 누수지점도 이와 같이 각지점에 설치된 누수감지기의 절환스위치들을 원격으로 제어하여 각각의 소규모 분할루프로 축소하여 측정한다. 이러한 루프의 분할은 통신선에 의해 원격으로 제어되는 각지점의 누수감지기와 센서선 및 회귀선 1과 2에 의해 이루어진다.

#### 4. 실험 및 고찰

센서선, 회귀선 1 및 2를 갖는 열배관 시스템의 4곳에 본 연구에서 제작한 누수감지기를 Fig. 12와 같이 설치한 후, 이들을 PC로 원격 제어하여 전체 루프를 분할할 수 있게 한다. 그리고 인위적으로 그림과 같이 4곳에 누수지점을 발생시켜 이들을 단일 루프 안에서 저항비교방식

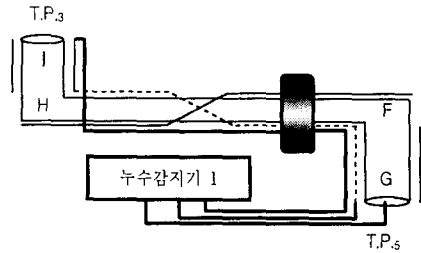


Fig. 11 Loop formation of the H-F-G section

으로 누수지점들을 찾는 실험과, PC에 의해 제어되는 누수감지기에 의한 분할루프 안에서 누수지점을 측정된 결과와 비교한다. Fig. 13은 열배관 시스템의 측정구간 분할 및 각 구간 안의 누수지점 측정 계산을 위한 프로그램의 순서도이며, Fig. 14는 PC 화면상의 실행결과이다. 먼저 Fig. 12에서 누수감지기가 있는 모든 지점에서 센서선과 회귀선 1을 연결하여 각 구간을 하나의 루프로 만들고, 각각 12.5%, 37.5%, 62.5%, 87.5% 지점인 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>에 임의로 단일누수 상태 혹은 동시에 다중누수 상태를 만들 경우 이를 전체의 측정루프 안에서 기존 저항비교 방식으로 누수지점을 측정된 결과를 Table 1에 나타내었다. 그리고 본 연구에서 제안한 분할루프 및 누수지점 측정 프로그램과 누수감지기를 이용하여 Fig. 12의 전체를 A, B, C, D구간의 분할루프로 만들고, 각 구간의 50% 지점에 동시에 다중누수 상태를 만들 경우에 이들 누수지점들을 측정된 결과를 Table 2에 나타내었다. 이들 표에서 구한 누수지점은 측정되는 루프길이의 비로 표시하였다. Table 1의 실험결과로부터 전체구간에서 발생하는 단일누수의 경우에는 측정된 누수지점들이 지역난방에서 인정하는 0.3% 측정오차 범위에 있음을 알 수 있다<sup>6)</sup>. 그러나 전체구간 내에 2곳 이상의 다중누수가 발생하는 경우에는 위치가 전혀 다르고, 또한 이 값들은 단일누수지점을 나타내고 있다. 그러나 본 연구에서 제안하는 원격제어에 의한 루프 분할 방식에 의해 전체 루프를 분할할 경우 다중누수들은 각 소루프 안의 단일누수 상태로 측정할 수 있으므로 저항비교방식을 이용하여 정확한 누수지점을 Table 2와 같이 찾을 수 있다.

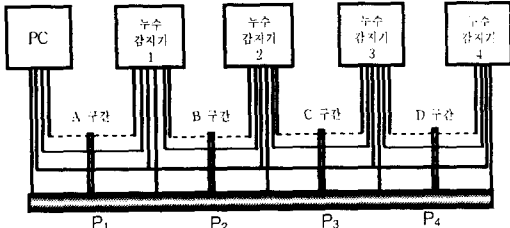


Fig. 12 Array of water-leakage detectors and control PC in heating transportation pipe

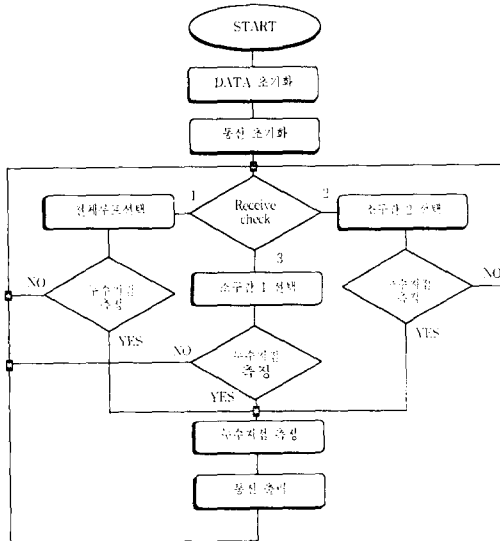


Fig. 13 Flow chart for the loop division and the water-leakage detection program

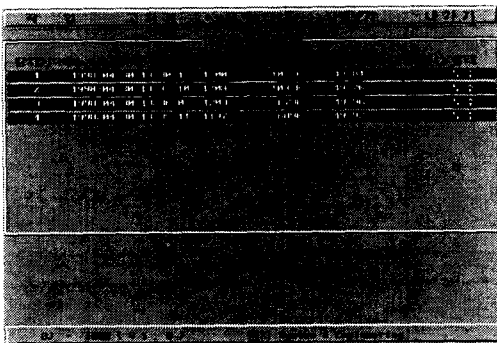


Fig. 14 PC monitor display for water-leakage detection results

Table 1 Results of water-leakage point detection for a single loop

상태	각 지점별 누수 상태(1:누수, 0:양호)				누수지점 추정결과 (%)
	P1 (12.5%)	P2 (37.5%)	P3 (62.5%)	P4 (87.5%)	
1. 단일누수	0	0	0	1	87.56
2. 단일누수	0	0	1	0	62.72
3. 단일누수	0	1	0	0	37.81
4. 단일누수	1	0	0	0	12.70
5. 다중누수	0	0	1	1	76.24
6. 다중누수	1	1	1	1	45.48

Table 2 Results of water-leakage detection point in each divided loops

측정구간	각 소루프의 누수지점 (%)	각 소루프의 측정 누수지점 (%)
A	P1(50%)	49.81
B	P2(50%)	49.76
C	P3(50%)	49.96
D	P4(50%)	49.92

### 5. 결 론

본 연구는 현재 지역난방의 열배관 시스템의 누수상태를 측정하는 방법인 저항 비교 방식의 문제점을 보완하기 위하여 기존 열배관 시스템의 센서선 및 회귀선에 또 하나의 회귀선을 추가하여 비동기 통신에 의한 원격제어로 대규모의 단일 루프를 소규모루프로 분할하는 방법을 제안하였다. 그리고 본 연구에서 제안된 하드웨어 및 소프트웨어에 의한 원격제어 시스템은 누수지점을 찾기 위해 각 수용점을 수시로 이동하면서 측정하는 것이 아니라 각 수용점에 누수감지기를 설치하고 임의의 장소에서 개인용 컴퓨터에 의해 각 분할 루프의 상태를 측정한다. 이렇게 분할된 루프에서 측정된 누수지점은 대규모 단일 루프에서 다중 누수 시에 발생하는 누수지점보다 측정오차를 많이 줄일 수 있다.

본 연구에서 제안한 열수송 배관에서의 다중 누수 시 누수지점 측정방법은 현재 운용되고 있는 난방 지역의 열배관 시스템의 정확한 누수지점 측정에 응용될 수 있으며 자원절감 및 작업

의 효율화 등을 통한 인건비 절감 등 경제적 이점을 갖고 있다.

#### 참 고 문 헌

- 1) “누수탐지 설비 검토 보고서”, 한국 지역난방공사, January, 1990.
  - 2) John Ljongqvist, Nyköping, “Joint in district heating network environmental impact on the quality”, Sweden, June, 1988.
  - 3) 東京芝浦電氣(株), “導管の漏洩 檢出裝置”, 特開昭 56-79229, Japan, June, 1956.
  - 4) BRANDES, “BRANDES Technical Documentation”, Germany, November, 1990.
  - 5) Joseph J. Carr, “Sensor and Circuit”, PTR Prentice Hall, pp. 24~47, 1993
  - 6) “누수감지설비 설계 및 시공기준”, 한국 지역난방공사, June, 1994.
-