

# 원격 상수도관망 누수감지 시스템에 관한 연구

강 병 모\* · 홍 인 식\*\*

## 요 약

인구증가와 발전으로 도시 집중화 현상에 따라 수도의 수요증가가 가속화되는 상태이다. 특히 물 부족현상 및 수질악화로 인한 수원확보도 어려워지고 있는 실정이다. 누수로 인한 막대한 손실을 줄이고자 컴퓨터와 인터넷을 이용하여 누수가 발생할 경우, 누수 여부를 판단하고 중앙 모니터링 센터에서 관리할 수 있는 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 누수감지관과 TDR을 이용한 원격 상수도관망 누수 감지 시스템을 제안하였다. 유효성을 입증하기 위해 300mm 3-레이어 강관으로 파이로트 시스템을 구축하여 시뮬레이션 하였다.

## A Study on a Remote Leakage Sensing System in Waterworks Network

Byung-Mo Kang\* · In-Sik Hong\*\*

### ABSTRACT

Demand of water is increased according to city centralism phenomenon in population and development. In this progress, guarantee of enough water is important factor for water supply policy. For the detection of exact water leakage point, an epochal sensing technique using computer and internet is required, so, the water pipe having sensing wire and sensing technology using TDR(Time Domain Reflectometer), is proposed in this paper. For the prove of effectiveness of this system, pilot system using 300mm 3-layer coated steel pipe is made and tested.

**키워드 :** 펄스형 반사 시험기(TDR : Time Domain Reflectometer), Wave-View, 누수감지관, 원격 누수감지(Remote Leakage Sensing)

### 1. 서 론

현재 세계는 계속적인 인구증가와 고도산업의 발전으로 인하여 수도의 수요증가는 점점 늘어나는 실정이다. 특히 물 부족현상 및 수질악화로 인한 수원확보도 어려워지고 있는 실정이다. 도심 시가지에 부설되어져 있는 수도관로의 누수로 인하여 막대한 경제적 손실을 초래하고 있는 상태이다. 상수도 관망은 수도시설의 중요한 구성요소로서 이런 관망이 지하에 매설되어 있기 때문에 관망의 노후화나 사고로 인한 관의 이상상태를 효과적으로 파악하기가 어려운 상태이다. 또한 우리나라는 누수로 인한 막대한 재정 손실과 약 40%의 누수율로 선진국보다 높은 수준이고 UN에서 지정한 물부족 국가이기도 하다[1, 2]. 그러므로 우리나라가 지금 당면한 한정된 수자원의 효율적 이용과 에너지 절감 효과를 얻기 위하여 누수감지 및 경보 시스템 구축과 관련한 기술 개발이 절대적으로 필요한 상태이다. 현재 국내외에서 사용하는 누수 탐지 방법으로는 상관법, 음청식 탐지법, 가

스 주입법, 야간 최소유량 측정법 등이 있고, 탐지 장비가 국산화가 되어 있긴 하지만 대부분 고가의 장비를 수입해서 사용하고 있는 실정이다[3, 4].

기존의 누수탐지 방법은 누수 발생시 누수의 정확한 위치를 찾을 수 없을 뿐만 아니라 실시간으로 누수 탐지가 불가능하며 좁은 탐지 지역, 비용의 문제, 정확한 누수 탐지의 어려움으로 효과를 얻지 못하고 있는 실정이다. 또한 지하 매설관(상하수도, 가스, 송유 등)망에 대한 정보화가 매우 미흡하고 시설물의 유지보수를 위한 데이터베이스 구축 및 모니터링 시스템의 개발은 거의 이루어지지 않고 있다. 이에 본 논문에서는 각 구간별 펄스시험기로부터 수집된 상수도 관망 운영실태와 누수정보를 모니터링을 하여 실시간으로 누수 지점뿐만 아니라 소량의 누수 및 정확한 누수지점을 찾아내서 보수를 시행할 수 있으며 누수 방지의 효과와 시공된 관들에 대한 정보파악으로 유지 보수시기를 알아낼 수 있는 누수감지 시스템을 제안한다. 누수감지 시스템의 연구를 통하여 기존의 외국제품과 기존의 검사 방식의 어려움과 유지보수의 곤란함을 해결하고, 동시에 우리나라 실정에 맞게 시스템을 시뮬레이션 하였다. 본 논문에서 누수감지 시

\* 준 회원 : 순천향대학교 대학원 전산학과

\*\* 정 회원 : 순천향대학교 정보기술학부 교수

논문접수 : 2003년 9월 2일, 심사완료 : 2004년 9월 10일

시스템에 관하여 2장에서는 관련연구에 대하여 살펴보고, 3장에서는 제안한 시스템에 대하여 기술하였다. 그리고 4장에서는 누수감지 시스템에 대한 시뮬레이션을 수행한다. 마지막 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 누수 탐지 현황

기존의 누수탐지 방법으로는 야간 최소유량 측정법, 음침식 탐지방법, 센서를 이용하는 상관법, 가스 주입법, 시간적 분석 누수발견기기를 이용하는 방법, 기타 등등이 사용되고 있다.

#### 2.1.1 청음식 누수 탐지

누수가 발생될 때 내는 배관의 파열음 등 누수음을 지표 면에서 센서를 통해 탐사자에게 헤드폰을 통해 들려주는 방식으로 전자식과 아날로그 방식으로 구성되어 있는데 현재 가장 많이 사용하고 있는 누수 방식이다. 간단한 누수음을 분석하는 기본적인 장비로서 옥내 누수에 적합하며 외부의 소음이나 환경에 반응함으로 외부에서 사용이 불가능하고, 내부에서도 깊이 매설된 배관에는 성능이 현격하게 저하되는 단점이 있다.

#### 2.1.2 상관식 누수 탐지방법

상관법의 기술을 응용한 것으로 관로상의 양쪽 제수변, 상수도배관, 소화전배관, 지하수배관, 송유관, 가스관, 난방수송관, 전화케이블, 소화전 계량기 등에 센서를 부착시켜 누수 지점에서 전해지는 동일한 누수음이 쌍방의 감지기에 전해지는 시간차를 계산해 정확한 누수 지점을 산출하는 방법이다.

#### 2.1.3 야간최소유량측정법

야간에 물 사용이 적은 시간대에 블록 내로 유입되는 유량을 누수로 측정하고 누수가 많은 블록은 누수탐지를 집중 실시하여 누수를 복구하고 재차 최소유량을 측정하여 허용량(Hr)이하가 될 때까지 반복 시행하여 누수를 줄이는 방법이다.

#### 2.1.4 가스 주입식

배관내부에 헬륨, 수소 등의 가스를 충전 시킨 후, 누출되어 나오는 가스를 찾아내는 방법이다. 배관에 물을 제거하고 특수 가스를 인위적으로 배관에 가해 누수 지점에서 분출되어지는 가스를 탐지기를 사용하여 탐사하는 방법으로 소음에 영향을 받지 않고 탐사 속도는 빠르나 주위환경에 영향을 받고 누수 지점이 정확하지 않을 수 있다.

#### 2.1.5 레이더 탐지(적외선 탐지)

물이 새는 지점은 그렇지 않은 곳에 비해 온도가 낮다는 점을 이용하여 누수를 찾아낸다. 이 방법은 청음식 등에 비

해 탐색 지역의 제한을 받지 않지만, 밤과 낮, 비 온 뒤 등 환경의 영향을 많이 받는 단점이 있다. 비가 온 뒤에는 물이 많이 고여 있을 가능성이 있기 때문에 그게 수돗물인지, 빗물인지 구분하기 힘들다.

#### 2.1.6 누수감지 케이블을 이용하는 방법

본 논문에서 제안한 방법과 비슷한 누수감지 케이블을 사용하는 방법으로 관과 감지선을 또 다른 관속(이중관)에 넣어서 사용하거나 관 밑에 매설하는 방법이다. 이 방식은 누수가 발생해서 감지선에 접촉 하였을 때만 누수를 감지할 수 있고 감지선이 하부에 설치되어 있어서 지표면으로 누수가 발생시에는 실시간으로 누수를 알아낼 수가 없다. 또한 정확한 누수의 위치를 알 수가 없고, 관망 하부에 설치시 관망에서 발생하는 누수인지 지하수에 의한 누수인지 확인이 불가능한 단점이 있다.

## 2.2 기존 방법의 문제점

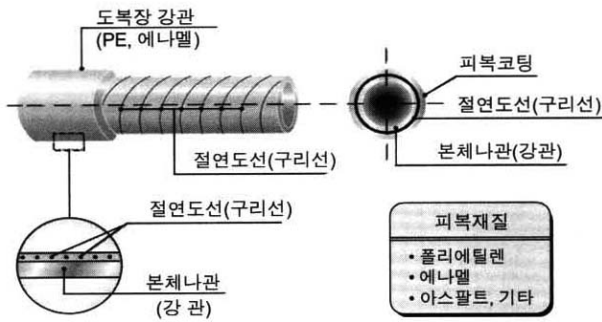
기존 누수 탐지 방법의 문제점으로는 누수확인을 위한 조사지역의 범위가 넓고, 반복적인 순회조사로 많은 시간, 인력 및 재정이 필요하며, 소량의 누수 및 정확한 누수지점의 탐지가 어렵다는 것이다. 그리고 원격으로 누수를 검사할 수 없고, 누수탐사의 방법과 절차가 복잡하고 비효율적이고 일정한 현상의 누수 밖에는 검사 불가능하다는 문제점이 있다. 또한 현재 사용되는 누수 탐지 기법들은 모두 하나의 블록단위로 누수탐지가 이루어지며 전체적인 모니터링은 어려운 실정이다.

본 논문에서 제안한 방법은 최초로 제안된 방식으로 현재 탐지 방법과 비교해보면 여타 기술에 비해서 현저히 저렴한 비용으로 구축이 가능하고, 광범위한 지역 탐지 및 실시간으로 누수를 탐지 할 수 있는 장점이 있다. 또한 누수 발생시 지표면으로 뚫고 나오기 전에 미리 누수를 감지할 수 있다는 장점이 있다.

## 2.3 누수감지관

### 2.3.1 누수감지관의 개발

본 논문에서 상수도용 감지관(강관)에 누수감지를 위한 도선 삽입 및 연결부위에 전용연결장치 설치를 통하여 상수도 관망을 네트워크화 한다. 누수감지관의 구성을 보면 누수 탐지를 위한 하나 이상의 도선을 감지관에 삽입하여 구성한다. 각 감지관끼리 연결시 삽입된 도선 역시 전용 접속장치 또는 용접방법을 사용하여 연결한다. 이렇게 연결한 연결부위는 파손에 약하기 때문에 파손을 방지할 수 있는 보호시트를 사용하여 보호한다. 삽입 도선은 매우 가는 (0.5mm) 도선을 사용하는데 감지관에 누수 발생시, 타관 통과 또는 오접에 의하여 도선이 끊어지거나 누수에 노출이 되도록 삽입하여 제작한다. (그림 1)은 누수감지관의 단면도이다.



(그림 1) 누수탐지용 감지관

도선을 나선형으로 삽입시 각 도선간의 간격은 여러 실험을 통하여 설정하는데 기본적으로 상수도관에서는 10cm~20cm의 피치 간격으로 제작하였다. 여기에 사용하는 도선의 재질은 감지관 재질에 따라 결정하며, 일반적으로는 구리선을 사용한다. 도선의 삽입위치는 감지관의 제작 형태에 따라 결정하며 감지선으로 인한 관의 파손 가능성, 외압으로 인한 관의 견고성, 파이프의 종류 등을 고려하여 적절한 위치로 결정한다. 각각의 관들을 연결하는 연결부는 상수관 네트워크(관망) 형성시의 연결구간(T자형, +자형) 발생에 대한 대응하도록 제작한다. 본 연구에서는 도복장 강관과 3-Layer 제품을 가지고 실험을 하였고 높은 감지효율을 얻기 위한 <표 1>과 같은 기본 스펙을 마련하였다.

<표 1> 감지관의 기본 스펙

관 구경	종 류	도선 종류	도선의 두께	피치 간격	피복 두께
200mm	3-Layer	구리선	0.5mm	6cm	Epoxy : 50~100microns PE(접착제포함) : 2~5mm
300mm	3-Layer	구리선	0.5mm	10cm	Epoxy : 50~100microns PE(접착제포함) : 2~5mm
300mm	도복장 강관	구리선	0.5mm	10cm	Epoxy : 300~400 $\mu$ m

감지관의 매설시 감지도선들을 연속적으로 연결하여 관망을 네트워크화하고 연결된 감지관의 삽입도선의 길이를 측정하며, 파손 발생시 TDR을 이용하여 감지도선의 거리를 측정하여 파손위치를 검출한다. 또한 미세한 금으로 인해 누수가 발생되더라도 감지도선에 물이 접촉하게 되면 파형의 변화로 누수의 위치를 알 수 있게 된다. 본 논문에서는 네트워크화한 관망에서 각각의 네트워크의 일정지점(5 내지 10km)마다 TDR의 설치와 누수감지 시스템을 통하여 관망의 누수 및 파손을 탐지한다.

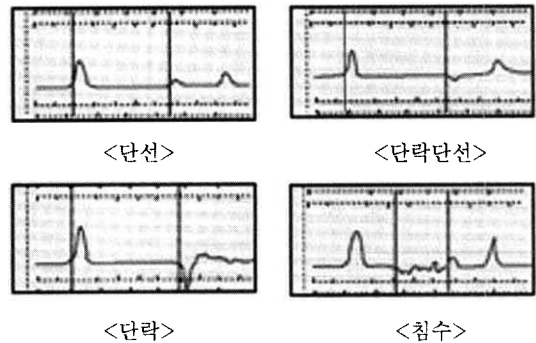
## 2.4 누수 탐지

### 2.4.1 TDR을 이용한 누수탐지

TDR(Time Domain Reflectometer)은 펄스형 반사측정기로서 케이블의 임피던스 불균등, 케이블의 단선, 단락 및 고

장, 케이블 고장점의 거리등을 측정하는 장비이다. 도선에 펄스를 송출하고 고장지점으로부터 반사 펄스를 수신하여 그 시간으로 고장위치를 측정한다. 또한 반사펄스의 파형에 따라 파이프의 파손여부 파악이 가능하다[5].

시공시 삽입된 감지선의 연결과 동시에 펄스 시험기를 사용하여 측정된 정보와 매설된 누수 감지관의 위치정보를 데이터베이스에 저장한다. 데이터베이스에 저장된 정보와 TDR 측정 정보를 바탕으로 누수정보, 타공사에 의한 관의 파손 등을 실시간으로 탐지할 수 있다. 또한 정확한 탐지를 위해서 누수지점의 위치를 서로 다른 TDR의 중복검사로 정확히 탐지할 수 있다(오차 : 0.3m 내외). (그림 2)와 같이 누수로 인하여 감지도선의 단락이나 단선시 TDR 파형을 분석하여 정확한 정보를 판단할 수 있다. 그리고 관의 노후화로 인한 관 연결부나 관 외부로의 소량의 누수발생시 감지도선의 침수로 인한 파형의 변화로 누수위치를 검색할 수 있다. 그러므로 관의 유지보수 시기를 정확하게 알 수 있다.



(그림 2) TDR 반사 파형 비교

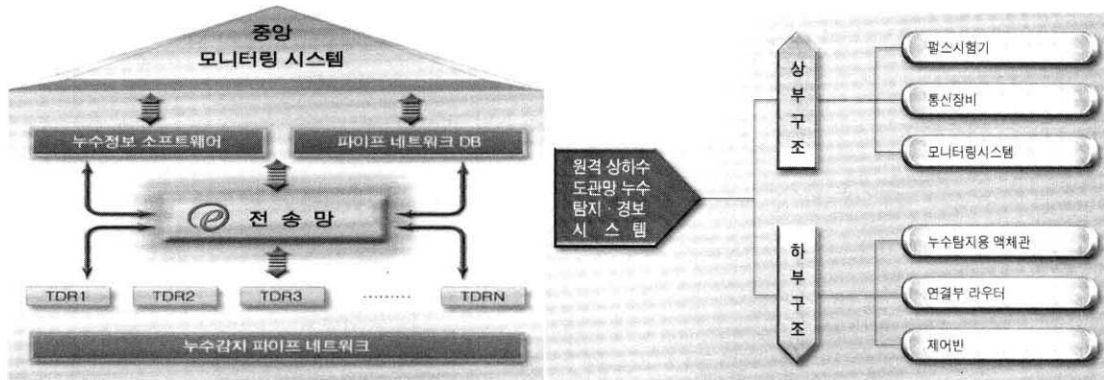
## 3. 제안한 시스템

### 3.1 시스템의 구축

제안한 시스템은 특수 설계된 누수 감지관에 펄스 시험기인 TDR로부터 펄스 신호의 전송을 통해 얻어지는 정보를 분석하여 감지관의 누수 탐지 위치 및 그 상태를 웹상에서 한눈에 모니터링 하여 그 결과를 관리자에게 알리는 것을 목적으로 한다. TDR 장비로부터 측정하여 얻는 거리정보는 TCP/IP나 CDMA망을 이용하여 모니터링 프로그램으로 전송된다. TDR의 파이프 탐지 경로 정보와 경로에 따라 시공된 파이프의 정보 및 시공때 측정된 TDR의 파형 정보 그리고 파이프와 파이프간의 연결관 정보, 라우터 정보, 라우터간 파이프 연결 상태 정보를 데이터베이스로부터 획득한 다음 TDR로부터 전송된 정보와 함께 위치 산출 알고리즘에 따라서 위치 정보를 계산한다. 여기서 계산한 정보는 모니터링 화면상에 파이프 네트워크와 누수상태 디스플레이를 통하여 확인 할 수 있다. 시스템은 대형시스템과 시스템의 변화에 따라 별도의 작업 없이 동작될 수 있도록 하기 위해

Python과 Java Applet으로 구축하였다[6-8].

누수감지 시스템은 인터넷을 통하여 수신된 TDR로부터의 전송데이터를 분석하며 모니터링 환경을 제공한다. (그림 3)



(그림 3) 중앙 모니터링 시스템 구성도와 구조도

### 3.2 데이터베이스 구축

#### 3.2.1 파이프 네트워크 데이터베이스 구축

파이프 네트워크 관망 데이터베이스를 보면 관의 종류나 크기, 매설 위치, 관리 대상, 도면 출력 등 일반적인 공사 관리를 위해 사용되고 있는 실정이다. 이러한 관망 데이터베이스를 사용할 때 누수 발생시 정확한 누수 위치를 검색하기 어렵다. 이를 해결하기 위해서 누수감지 파이프 매설시 함께 시공한 데이터베이스를 연동하여 시스템을 구축한다.

누수감지용 도선이 삽입되어 있는 감지관은 누수관 교체 작업이나 신도시 건설에 새로이 시공할 때 사용한다. TDR을 이용하여 파이프의 정보와 파이프에 삽입되어 있는 도선의 정보 그리고 실제로 시공시 사용되는 파이프의 길이와 측정되는 정보들을 데이터베이스화한다.

데이터베이스 데이터 입력은 파이프 시공시 인터넷 TCP/IP망을 통하거나 CDMA망을 통하여 모니터링 시스템에 전송된다. 기존의 데이터베이스가 구축되어있을 경우에는 기존 데이터베이스에 누수 감지 파이프용 데이터베이스를 연동시켜 사용한다. 만약 데이터베이스가 구축되어 있지 않을 때는 누수 감지 파이프를 매설시 함께 데이터베이스를 구축한다. 이렇게 구축함으로써 데이터베이스구축을 위해 중복으로 투자하는 것을 방지할 수 있다.

모니터링 시스템 데이터베이스에 저장된 정보는 시스템에 의해 데이터베이스 데이터 정보를 분석하여 관망의 파손 및 누수지점을 산출한다. 이때 기본적으로 저장되는 데이터베이스의 내용으로는 관망 데이터, 관의 정보, 감지선 정보, 연결관과 라우터의 정보 등을 저장한다. 저장된 데이터베이스를 이용하여 누수감지 시스템에서 누수의 위치계산을 하며 누수 정보를 디스플레이 한다.

은 중앙모니터링 시스템의 구성도와 구조도 이다. 중앙 모니터링 센터에서는 향후 관로 누수탐지 외에 정수장 관리, 각종 원격점검 등의 통합관리환경을 제공할 수 있다[9-12].

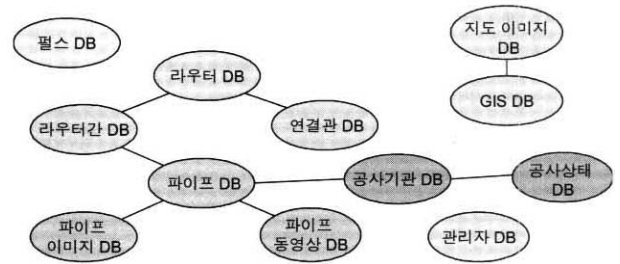
#### 3.2.2 시공시 파이프 데이터베이스 동시 구축

시공시에 TDR을 이용하여 실시간 측정 과정을 통하여 파이프 네트워크 데이터베이스를 구축한다. 데이터베이스 구축과 함께 유지보수가 용이한 지하 매설관망의 파이프 네트워크 데이터베이스 구축방법을 개발한다. 파이프 네트워크 데이터베이스는 다음과 같은 순서로 구축한다.

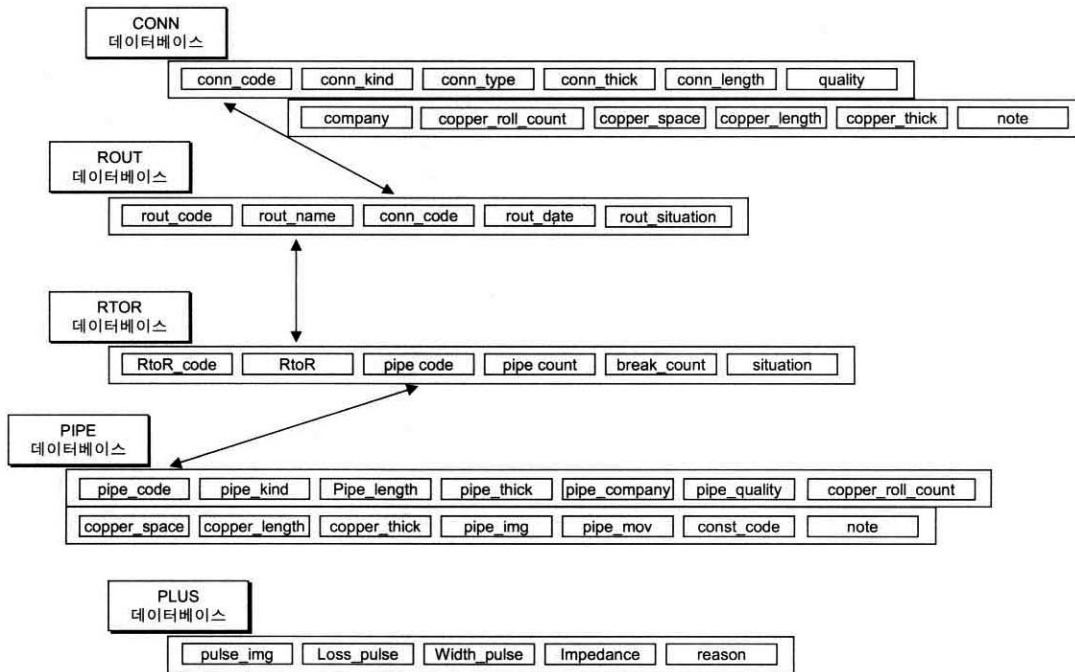
- ① 시공시 우선 TDR을 지방서에 맞게 알맞은 위치에 설치한 다음 매설할 파이프와 연결을 위하여 인입선을 연결한다.
- ② 누수탐지를 위해 누수 탐지 파이프와 인입선을 연결한다.
- ③ 연결한 다음 최초 TDR 측정을 수행한다. 이때 측정된 TDR 값과 처음 매설한 파이프의 정보가 데이터베이스로 구축한다.
- ④ 계속해서 파이프들을 매설하면서 각각의 파이프들을 연결시 TDR 측정을 통하여 파이프 데이터베이스 정보를 구축하여 중앙 모니터링 센터로 전송한다.
- ⑤ 전송한 정보를 이용하여 중앙 모니터링센터에서 누수 탐지를 수행한다.
- ⑥ 각각의 파이프의 경로에 따라서 TDR의 연결을 달리 하여 반경 2~5km 내에 있는 파이프 관망을 TDR 하나로 커버할 수 있도록 시공한다.
- ⑦ 맨홀 부위 시공시 누수 탐지용 감지선 보호하기 위하여 감지선 보호관을 사용하여 맨홀에 임시로 고정한다. 다음 감지선 보호관과 반대편 파이프의 감지선을 연결하고 수밀을 요하는 부분이므로 수밀시공을 수행 한다.
- ⑧ 수밀 시공후 TDR을 이용하여 맨홀부위의 정보를 측정하여 데이터베이스화한다.
- ⑨ 위의 과정을 반복하여 파이프 시공을 하며, 시공과 동시에 파이프 관망 정보화 정보를 동시에 구축한다.

각 데이터베이스는 고유코드를 가지고 있으며 각 데이터베이스마다 유기적으로 연동되며 상호 보완적으로 구성하였다. 데이터베이스 테이블의 구성은 기본적으로 4개의 테이블로 이루어져 있는데 파이프 정보, 연결관 정보, 구리선 정보, 연결 상태 정보로 구성되어 있다. 또한 추후에 GIS 데이터베이스와 연동이 가능하도록 설계하였다.

(그림 4)의 데이터베이스 연결도에 대한 기본적인 데이터베이스의 속성테이블의 내용은 (그림 5)와 같다.



(그림 4) 데이터베이스 연결도



(그림 5) 데이터베이스 속성 연결도

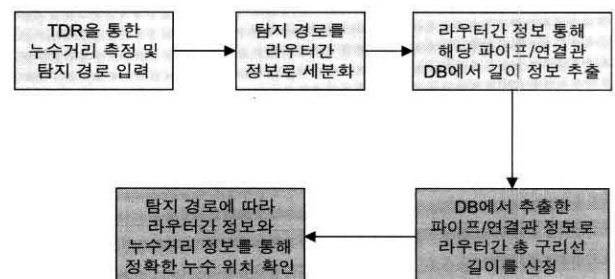
데이터베이스 테이블의 구성은 파이프 정보, 연결관 정보, 구리선 정보, 연결 상태 정보로 이루어진 4개의 테이블을 기본 요소로 한다. 각각의 정보를 독립적인 테이블로 나눠서 관리함으로써 정보의 변경에 용이하도록 하여 정확한 누수 탐지 알고리즘의 계산이 나오도록 한다. 또한 파이프에 관한 종합적인 관리와 정보 제공을 가능하도록 한다.

파이프 네트워크의 정보를 데이터베이스로 구축하기 위해서는 파이프의 환경 및 종류 등 각종 정보를 저장하는 파이프 정보, 개별 라우터들의 정보 및 실험용 라우터 세팅 상태 등 각종 정보를 저장하는 라우터 정보, 감지관에 삽입된 구리선의 두께 및 강도 등의 각종 정보를 저장하는 구리선 정보, 감지관의 연결시 T 자형이나 + 자형 등의 연결관 종류 및 부가 정보 등 각종 정보를 저장하는 연결관 정보 등이 있다.

### 3.2.3 데이터베이스를 이용한 이상 위치 산출 알고리즘

TDR을 이용하여 누수 위치를 찾기 위하여 TDR의 파이프 탐지 경로 정보와 경로에 따라 시공된 파이프의 정보 및

시공시 측정된 TDR의 파형 정보 그리고 파이프와 파이프간의 연결관 정보, 라우터 정보, 라우터간 파이프 연결 상태 정보를 데이터베이스로부터 획득한 다음 위치 산출 알고리즘에 따라서 위치 정보를 계산한다. 여기서 계산한 정보는 클라이언트 화면상에 파이프 네트워크와 누수상태 디스플레이를 통하여 확인 할 수 있다. (그림 6)과 같은 순서로서 이상위치를 검출한다.



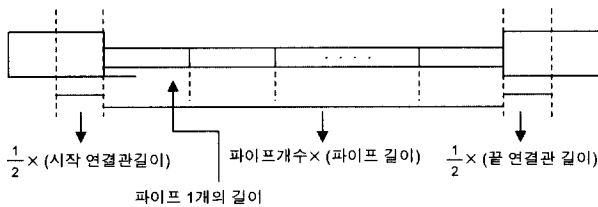
(그림 6) 이상위치 산출 알고리즘

3.2.4 파손거리 계산

누수로 인한 파손거리 계산은 TDR에서 전송된 누수 정보와 감지관 시공시 구축한 감지관 정보를 이용하여 누수위치를 계산한다. 누수위치를 계산하기 위해서는 먼저 감지관에 삽입된 감지도선과 연결부 감지도선의 길이를 구해야 한다. 감지관내의 도선 길이는 다음 식 (1)에서 구할 수 있다.

$$\text{도선 길이} = \text{감지관에 감지도선 감은 수} \times \text{관경} \times 3.14 \quad (1)$$

연결부 감지도선의 길이는 감지관 연결후 TDR을 이용하여 측정한 정보에서 감지관의 감지도선 길이를 빼주면 구할 수 있다. (그림 7)과 식 (2)처럼 각각의 길이 정보를 이용하여 감지도선의 총길이를 구할 수 있다.

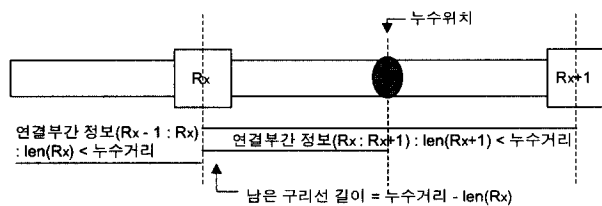


(그림 7) 구리선 길이 산정

$$\begin{aligned} \text{총 감지도선 길이} &= \frac{1}{2} \times \text{시작 연결관의 감지도선 길이} \\ &+ \text{파이프개수} \times \text{파이프의 감지도선 길이} \\ &+ \frac{1}{2} \times \text{끝 연결관의 감지도선 길이} \end{aligned} \quad (2)$$

3.2.5 누수탐지 순서

- ① TDR을 통해 서버는 누수거리(감지도선 길이정보)와 탐지경로(라우터 경로)를 입력받는다.
- ② 세분화된 각각의 라우터(Rx)간 정보를 통해 라우터 사이의 파이프 정보(파이프 개수, 파이프 길이, 감지도선 길이)와 연결선 정보(연결선 길이와 감지도선 길이)를 추출한다.
- ③ 라우터간 소요된 총 감지도선의 길이를 산정한다.
- ④ 탐지경로의 순서대로 라우터간 총 감지도선의 길이를 더해가며 TDR을 통해 입력받은 누수거리보다 커질 때 라우터간 정보와 남은 감지도선 길이로 (그림 8)과 같이 누수위치를 확인한다.



(그림 8) 누수위치 확인

3.3 연결 접속 라우터의 개발

연결 접속 라우터는 상수관 네트워크(관망) 형성시의 연결 구간(T자형, +자형) 발생에 대해 대응하기 위해서 개발한다. 복잡한 네트워크 내에서 TDR 적용을 위한 단일 구간 네트워크 설정의 필요로 라우터를 개발하였다. 사용하는 라우터는 TDR신호를 감쇄시키지 않는 전용칩으로 설계(ASIC)하여 연결구에 삽입하여 운용가능하며 자체 고정시에도 하나의 경로로 고정시켜 네트워크 시험을 계속 수행한다.

그러나, 실제 관망의 경우 1개의 TDR로 여러개의 네트워크를 검사할 수 있어 네트워크를 서로 독립적인 부분 네트워크로 분할 할 경우 라우터의 도움 없이 관망의 모니터링이 가능하다.

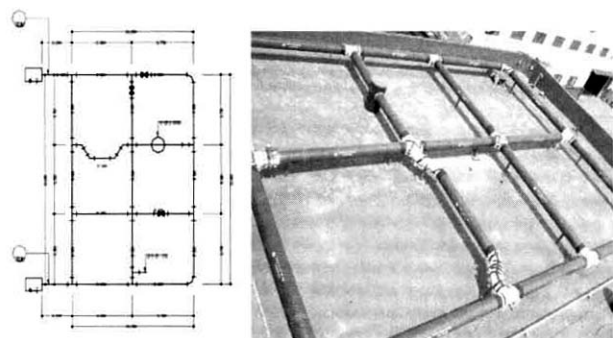
3.4 펄스 시험기의 효율적인 설치

관망에서 관로의 누수 탐지를 수행하기 위해서 TDR의 효율적인 설치가 필요하다. 관망도에서 펄스 시험기의 성능을 최대한도로 이용하기 위하여 설치반경을 2~5km로 설정하여 측정을 위한 펄스 시험기를 하나씩 설치한다.

4. 시뮬레이션

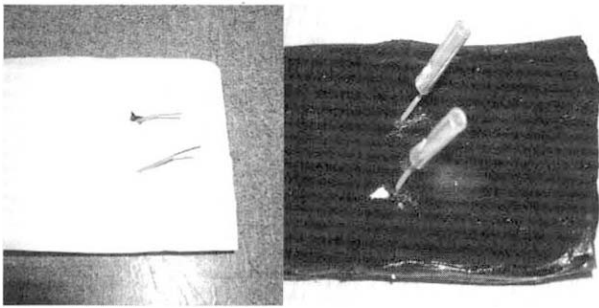
4.1 파이로트 구축

보다 정확한 검사를 위해 파이로트 시스템을 이용하여 가상의 환경을 구축하였다. 구축된 시스템에 TDR을 이용하여 각각의 파이프 길이와 실제 손상으로 인한 파형 데이터들을 수집하였다. 실제로 사용할 수 있는 누수 감지관(300mm PE 코팅 강관)을 사용하여 파이로트 시스템을 구축하고 실제 상황과 유사한 상태로 파손 실험을 수행하였다. 검사 경로는 감지관 디자인을 바탕으로 하여 실험을 위한 임의의 라우팅 세팅을 하게 된다. (그림 9)와 같이 파이로트 실험을 위해 제작한 설계도를 바탕으로 파이로트를 구축하였다.



(그림 9) 파이로트 시스템 설계도와 구축한 파이로트 시스템

파이로트 시스템 설치시 감지관을 연결한 다음 감지관에 삽입된 감지도선도 연결을 해야 한다. 외부로 연결선이 노출되어 있기 때문에 파손의 위험이 크기 때문에 연결된 도선을 보호하기 위하여 (그림 10)과 같은 전용 테이프를 사용하여 연결선을 보호한다.

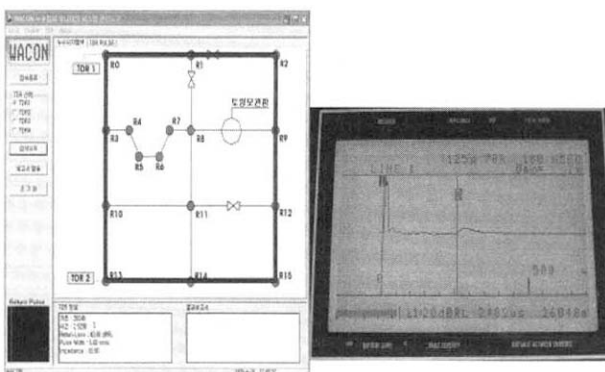


(그림 10) 감지도선 연결용 연결 PE 테이프

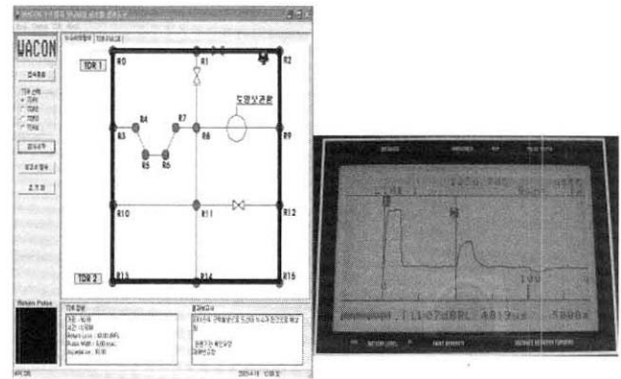
#### 4.2 시뮬레이션

TDR로부터 전송된 정보를 이용하여 누수탐지 모니터링 프로그램에서 실제 파손위치와 프로그램 상에서의 파손위치가 정확하게 일치하는지 테스트를 수행하였다. 실제 실험의 순서는 우선 실제 파이로트 시스템에서 임의의 파손을 수행하고, TDR을 통하여 얻은 정보와 누수탐지 모니터링 소프트웨어의 시뮬레이션을 통한 결과를 비교한다. 실험의 순서는 다음과 같다.

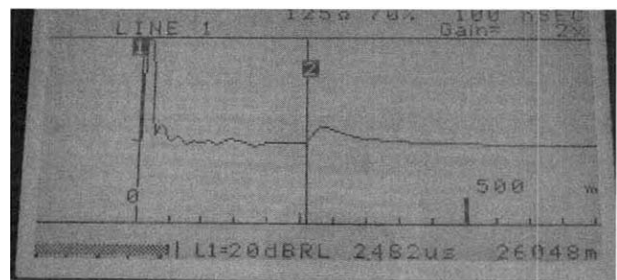
- ① 테스트전에 TDR로 검사하여 감지관 네트워크의 상태를 확인한다.
- ② 초기 파이로트 시스템에서 임의의 지점을 파손시킨다.
- ③ TDR 검사를 통한 거리 측정으로 누수 위치 정보를 얻는다.
- ④ 구축된 파이로트 시스템에서는 TDR을 가지고 실험을 수행하였다. TDR로부터 전송된 정보를 이용하여 파이프의 파손을 누수감지 모니터링 프로그램을 사용하여 실제 파손위치와 프로그램 상에서의 파손위치가 정확하게 일치하는지 테스트를 수행하였다.
- ⑤ 실제 TDR 정보와 누수 탐지 모니터링 시스템상의 정보를 비교한다. 실험이 정상적인 결과이면 감지관 복구 작업을 수행한다.
- ⑥ 감지관 복구 작업후 TDR 검사를 수행하여 수정된 정보를 데이터베이스에 저장한다.



(그림 11) 누수가 발생하지 않은 상태



(그림 12) 누수가 발생한 상태



(그림 13) TDR 검사 및 확인

시뮬레이션을 통하여 파이로트 시스템에서 실제로 누수가 발생시켜 결과를 누수감지 프로그램상에서 TDR 파형 분석을 통한 누수 위치 결과를 확인하였다. 임의의 부분 파손 및 복구 테스트의 실험 결과 파손 위치와 소프트웨어 상에서 검출된 위치가 오차범위 내에서 동일한 지점으로 나타난 것을 알 수 있다. 또한 이렇게 파손된 감지관의 복구를 수행한 뒤 검사를 재수행 하였다. 테스트 결과 복구 후에는 기존 파이프의 파손으로 인하여 파이프의 감지선의 길이가 줄어들었기 때문에 결과 값이 데이터베이스에 저장된 값보다 짧은 위치로 측정되었다. 복구시 변경된 데이터 값을 서버로 전송하여 새로운 결과 값으로 갱신한 다음 누수감지 프로그램을 수행하여 파손위치가 복구가 되었는지를 확인한다.

#### 4.3 비교 평가

테스트의 결과로 다음과 같은 내용을 얻을 수 있다.

- 파손전 길이 정보 : 259.88m
- 파손으로 인해 훼손된 길이정보 : 0.7m
- 감지선 연결용 PE 테이프 길이 : 1.3m
- 복구후 TDR 검사 결과 : 260.48m(259.88 - 0.7 + 1.3)

실험 결과 파이프에 누수위치는 삽입된 도선의 길이를 계산하여 누수의 위치를 산출하는데 TDR의 오차범위(0.15m에서 ±0.01%)내로 측정되었다. 하지만 파이로트 시스템이 지상에서 구축되었기 때문에 대기온도에 의해서 도선의 변

화가 발생하여 오차 범위를 벗어나 측정되는 경우도 발생하였다. 온도 변화에 따른 도선 길이의 변화로 오차범위가 생겼지만 실제 관망은 지하에 매설되므로 오차 범위가 줄어들 것이다. 또한 오차보정 프로그램을 통하여 누수 위치 측정시 정확도를 높일 수 있다.

본 논문에서 제안한 누수탐지기법과 비교대상으로는 레이더를 이용하는 방법과 누수감지 케이블을 이용하는 방법이 있다. 레이더를 이용하는 방법은 기존 방식인 청음식 방식에 비해 탐색 지역의 제한을 받지 않지만, 밤과 낮, 비 온 뒤 등 환경의 영향을 많이 받는 단점이 있다. 또한 본 논문과 비슷한 누수감지 케이블을 사용하는 방법은 누수가 발생해서 감지선에 접촉 하였을 때만 누수를 감지할 수 있고 지표면으로 누수가 발생시에는 실시간으로 누수를 알아낼 수가 없다. 결론적으로 두 가지 방법들은 정확한 누수의 위치를 알 수가 없고, 관망에서 발생하는 누수인지 지하수에 의한 누수인지 확인이 불가능한 단점이 있다.

### 5. 결 론

본 논문에서 기존 방식의 단점인 실제 탐사를 수행하여 누수를 탐사하는 방법에서 벗어나서 모니터링 시스템을 이용하여 원격으로 누수 탐지를 수행하는 시스템을 제안하고 시뮬레이션 하였다.

언제 어디서나 인터넷 접속을 통해 누수위치 산출 S/W를 이용하여 누수의 위치를 계산하여 정확한 위치를 찾아서 누수 탐색을 위해서 불필요한 시공 횟수를 줄이고 인건비 절감과, 누수량 감소로 원활한 물 공급을 통해 주민 생활에 편의를 도모할 수 있다. 또한 중앙 센터에서 관리할 수 있으므로 보수 공사시 신속한 처리가 가능하게 될 것이라 예상된다. 그리고 신기술 개발을 통한 신공법 및 기술인력 배출 효과 및 국제적 경쟁력을 갖는 기술 확보가 가능하게 될 것이다.

본 논문에서 제안한 원격 누수감지 시스템은 상수도뿐만 아니라 지하에 매설되어 있는 하수관에도 적용이 가능하고 송유관, 송전선 등 대부분의 관망 데이터베이스를 사용하는 시스템에 적용할 수 있다. 2004년 현재 누수감지관의 시제품, GIS 연동 모니터링 프로그램 그리고 오차 보정 및 누수감지관의 시공방법과 보수방법을 개발하였고, 국내 업체와의 협력을 통하여 누수감지 전용 TDR을 개발 중에 있으며 2004년 하반기(9월 현재) 대전 가오지구에 누수감지 모니터링 시스템을 시범 시공 중에 있다.

향후 통합 누수지역 종합 정보 관리 시스템 구축, 스마트 카드 보안 시스템 구축, 무선인터넷 연동 시스템 (TDR 제어 및 전송)의 개발이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 한국 수자원공사, <http://www.kowaco.or.kr>.
- [2] 물포탈 사이트, <http://www.water.or.kr>.
- [3] Hunaidi Osama, Chu Wing, Wang Alex, Guan Wei, "Leak Detection Methods for Plastic Water Distribution Pipes," Amer Water works Assn.
- [4] Smith Lawrence, Fields Keith, Chen, "Options for Leak and Break Detection and Repair of Drinking Water Systems," Battelle, 2000.
- [5] Riserbond, "Metallic Time Domain Reflectometer Manual," 2001.
- [6] 박용용, "Jump To Python," 정보게이트, 2001.
- [7] 천인국, 윤영택, "영상 처리 기초편", 도서출판 기한재, pp. 45-68, 1998.
- [8] Randy Crane, "영상처리 이론과 실제", 홍릉과학출판사, 1997.
- [9] 광주광역시, "상수도관망관리시스템", 광주광역시청, pp.20-285, Aug., 1995.
- [10] 황국웅, 이규석, "개인용 컴퓨터를 이용한 상수도 시설물 관리 정보체계개발", 한국측지학회지, 제12권 제12호, pp.187-197, 1995.
- [11] 황국웅, "지하매설물에 대한 정확한 위치파악과 체계적인 정보관리 시급히 요망", 한국지리정보, 제1권 제2호, pp.34-36, 1996.
- [12] 배시규, "TCP/IP Network and Programming," 2002.



#### 강 병 모

e-mail : asman@sch.ac.kr

1998년 순천향대학교 전산학과(학사)

2000년 순천향대학교 전산학과(석사)

2001년~현재 순천향대학교 전산학과

박사과정

관심분야 : GIS, Image Processing, USIM 등



#### 홍 인 식

e-mail : ishong@sch.ac.kr

1981년 한양대학교 전자공학과(학사)

1986년 한양대학교 전자공학과(석사)

1988년 한양대학교 전자공학과(박사)

1991년~1995년 순천향대학교 전산학과

전임강사

1995년~1999년 순천향대학교 컴퓨터학부 조교수

1999년~2003년 순천향대학교 정보기술학부 부교수

2004년~현재 순천향대학교 정보기술학부 교수

관심분야 : Embedded System, RFID, Smart Card, USIM, Mobile Communication 등