

TDR을 사용한 누수감지 시스템의 시뮬레이션에 관한 연구

강병모*, 홍인식**

* **순천향대학교 정보기술 공학부
e-mail:asman@sch.ac.kr

A Study on Simulation of a Leakage Sensing System using TDR

Byung-Mo Kang*, In-Sik Hong**

* **Division of Information Technology Engineering,
SoonChunHyang University

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 중앙모니터링 센터에서 관리할 수 있는 시스템이 필요하다. 따라서 누수를 탐지할 수 있는 구체적인 알고리즘이 필요하고, 전체 감지 시스템을 어떻게 구성할 것인지에 대한 설계가 필요하다. 이것을 가능하게 하는 핵심 요인중에 하나는 TDR 기술을 사용한 누수감지 시스템이다. 본 논문에서는 TDR 기술을 이용하여 누수 감지 시스템을 제안하고 유효성을 입증하기 위해 파이로트 시스템을 구축하여 시뮬레이션 하였다.

1. 서론

계속적인 인구증가와 고도산업 사회화 발전으로 인구의 도시 집중화 현상에 따라 수도의 수요증가는 점점 가속화되고 있는 상태이다. 특히 물 부족현상 및 수질악화로 인한 수원확보도 어려워지고 있는 실정이다. 도심 시가지에 부설되어져 있는 수도관로의 주위 환경이 오염되어 누수로 인하여 관로내 수질 오염현상을 가중시키고, 누수로 인하여 막대한 경제적 손실을 초래하고 있는 상태이다. 우리나라 수도물의 누수율은 약 40%로서 선진국보다 상당히 높아 경제적인 손실뿐만 아니라 위생학적으로도 문제가 있는 것으로 지적되고 있다. 우리나라가 지금 당면한 한정된 수자원의 효율적 이용과 에너지 절감 효과를 얻기 위하여 실시간 누수탐지 경보시스템 구축으로 누수발생 구간에 대한 신속한 유지보수로서 경제성을 향상시킬 수 있으며, 정수생산비, 유지관리비 절감을 얻을 수 있다. 그리고 누수방지에서 얻어지

는 직접적 이익과 누수로 인한 제3자에 대한 손해방지를 통하여 장래 수원개발 사업계획을 조정할 수 있다. 현재 우리나라에서 사용하고 있는 누수 탐지 방법에는 누수 탐지에 한계가 있다. 누수가 발생하더라도 정확한 위치를 찾을 수 없을 뿐만 아니라 실시간으로 누수 탐지가 불가능하고 광범위한 지역을 실시간으로 탐지와 모니터링 할 수 없다. 그러므로 누수 탐지에 드는 인력과 시간이 너무나 큰 비중을 차지하고 있다. 본 논문에서 제시한 TDR을 이용한 누수 탐지 모니터링 시스템은 신속하게 누수 지점뿐만 아니라 소량의 누수 및 정확한 누수지점을 찾아내서 보수를 시행할 수 있으며 크케는 누수 이전에 누수 방지의 효과와 시공된 관들에 대한 정보 파악으로 유지 보수시기를 정확하게 알아낼 수 있다. 이런 모니터링 시스템의 개발을 위하여 지하 매설관 이상 유무 검출기법 (TDR을 이용한 새로운 방법)과 효율적인 지하매설관망의 유지보수를 위하여 정보통신망과의 유기적인 연계가 필요하며 인터넷을 통한 원격 모니터링 시스템의 구축 및 GIS DB와의 연동을 통

* 본 논문은 21세기 프론티어 사업단의 수자원의 지속적 확보 기술개발 사업에 의해 수행된것임.

한 디스플레이 기법의 개발 필요하다. 본 논문에서는 특수 감지관 및 누수 감지 기기의 연구를 통하여 기존의 외국제품과 기존의 검사 방식의 어려움과 유지보수의 곤란함을 해결하고 동시에 우리나라 실정에 맞는 최적의 시스템을 시뮬레이션 하였다 [1][2][3].

2. 누수

2.1. 누수의 의미

누수란 관로시설 내 저류되어 있는 물이 원하지 않는 시간과 장소에서 시설의 파손이나 균열 등의 이유로 물이 관로 시설물 밖으로 흐르는 모든 경우를 의미한다. 누수의 원인으로서는 일반적으로 복합적인 원인에 의해 발생하는데 대표적인 것으로는 관의 노후화로 인한 파손, 하중의 증가에 의한 관로 파손이 주된 원인이다. 관체의 특성과 주변 매질 환경 및 내부의 수리적 조건을 포함하는 복합적 요인으로도 누수가 발생한다.

2.2. 관로의 파손 형태

일반적으로 관로 파손 형태는 원주방향의 파손, 길이 방향의 파손, 구멍 (Hole), 접합부 이탈, 그리고 접합부 이탈로 인하여 발생하는 파손 등이 있다.

2.3. 국내의 관련 기술

현재 사용되고 있는 누수탐지 방법으로는 야간 최소유량 측정법, 음청식 탐지방법, 센서를 이용하는 상관법, 가스 주입법, 시간적 분석 누수발견기를 이용하는 방법, 기타 등등이 사용되고 있다. 일반적인 방법으로는 음파증폭장치를 이용하여 누수를 탐지하는 음향누수탐지 (Sonic Leak Detection)법이 있고, 그외 다른 방법으로는 물질수지분석 (Mass Balance Analysis)을 기초로 한 Water Audit가 있다. 새로운 누수탐지기술로 전자장비를 이용하기도 하고, 미량의 가스와 염료를 이용하는 방법은 드물지만 때때로 쓰인다. 널리 쓰이고 있는 누수 탐지 기술은 누수탐지 상관자 (Leak Correlators)로서 두 개의 Channel Microprocessor가 누수지점에서 발생하는 소리의 전달 시간차를 이용하여 누수 발생 지점을 계산하는 원리를 이용한다. 누수에 의한 소음을 이용하여 측정하는 방법으로서 관에 음파가 전달되면 소음이 송·배수관의 양쪽방향으로 전달되어 송신기를 통해 측정차량의 기기에 전달되어 기기 자

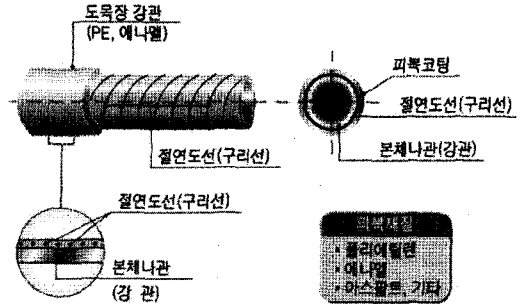
체가 계산을 하게 된다. 도달하는 속도는 송·배수관의 크기와 관계가 있다.

3. TDR을 이용한 누수탐지

본 논문에서 누수 탐지 모니터링 시스템의 개발은 대형 시스템을 기반으로 하며 이 기종간의 이식과 확장성을 고려하여 설계되어지고 구현된다. 구상도는 개발 환경의 소개와 세부 클래스 설계 그리고, 각 기능의 구성과 그 연결 관계를 보여줌을 목적으로 한다. 본 시스템은 특수 설계된 파이프에 펄스시험기 (TDR : Time Domain Reflectometer)로부터의 파장 전송을 통해 얻어지는 정보를 분석하여 파이프의 누수 탐지 위치 및 그 상태를 웹상에서 한눈에 모니터링 하여 그 결과를 관리자에게 알리는 것을 목적으로 한다.

3.1. 누수탐지를 위한 감지관의 개발

본 논문에서 상하수도용 액체관 (PE관, 강관, 주철관 등)에 도선 삽입 및 연결부위에서의 전용연결장치 설치를 통하여 상하수도 관망을 네트워크화 한다. 각각의 네트워크의 일정지점 (5 내지 10km)마다 TDR의 설치와 일정시간마다 모니터링 센터로 결과 데이터 송출하여 관망의 누수 및 파손을 탐지한다.

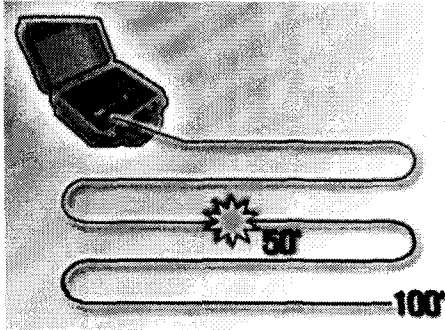


[그림 1] 누수탐지용 감지관

3.2. TDR 원리 및 적용

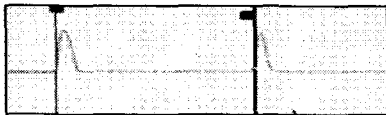
누수의 정확한 위치를 찾기 위해 낮은 주파수의 펄스시험기인 TDR을 사용한다. 기본 작동원리는 레이더와 같다고 보면 되는데, 장비에서 발생해 보내지는 에너지의 펄스는 보안검색을 위한 선로 시험 중에 케이블을 따라 전송된다. 반사측정기 장비로 펄스를 송출한 뒤 반사되어 수신되는 파형을 분석한 뒤 상하수도관망의 이상유무 판단할 수 있다. 상하

수도관의 누수발생에 대한 실시간 정보, 수도관의 노후화 진행에 의한 누수예측 정보, 수도관의 노후 교체 및 파손교체 시기, 지하에 매설된 수도관의 정확한 위치 탐지, 타공사에 의한 상하수도관의 파손을 실시간으로 탐지, 그리고 누수지점의 위치를 서로 다른 펄스시험기의 중복검사로 정확히 탐지할 수 있다. (오차 : 0.3m 내의)

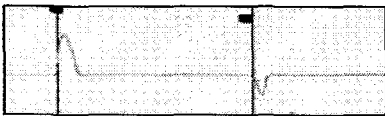


[그림 2] TDR 장비 운용

케이블이 단선되면 반사 파형은 발생파형과 동일한 극성을 갖게 된다. 만일 케이블이 단락상태라면 반사파형은 발생파형과 반대극성으로 나타날 것이다. 이 두가지 경우에 상당량의 에너지가 장비측으로 반사된다.



< 단선 (Open) >

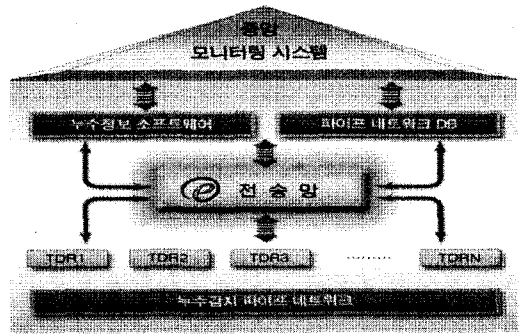


< 단락 (Short) >

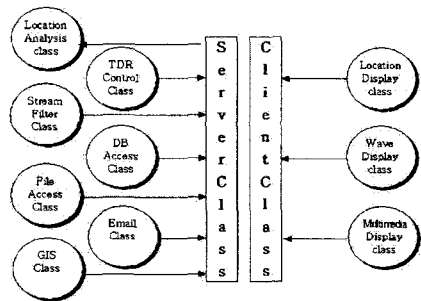
[그림 3] 전파 파형

3.4 누수 탐지 시스템의 개발 구성

누수 탐지 시스템은 대형시스템과 시스템의 변화에 따라 별도의 작업 없이 동작될 수 있도록 하기 위해 운영체제에 독립적인 언어로 구성하였다. 누수 상태를 탐지하여 네트워크 상에서 GUI 환경의 클라이언트로 정보를 전송하는 중앙 모니터링 시스템을 구현하였다.



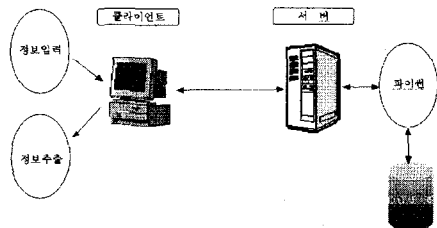
[그림 4] 중앙 모니터링 시스템 구성도



[그림 5] 클래스 세부 구성도

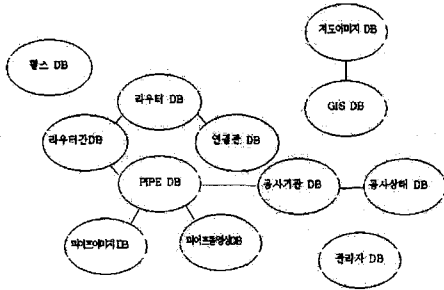
4. 데이터베이스 구성

정보 입력은 보안인증을 거친 관리자에 의해 DB 정보를 입력받아 TCP/IP망을 통해 서버에 연결된다. 가공된 정보가 DB에 저장이 되며, 정보 추출은 관 파손 및 누수지점을 유출하는데 관 정보, 구리선, 연결관과 라우터의 정보를 추출해 위치계산을 하게 되며 경우에 따라서는 동영상 정보를 보여주며, 시공자의 정보를 추출하여 SMS서비스를 이용해 누수 여부를 알려주는 시스템이다.



[그림 6] 데이터베이스 시스템 구성도

다음은 데이터베이스 연결도이다. 각 데이터베이스는 고유코드를 가지고 있으며 각 데이터베이스마다 유기적으로 연동되며 상호 보완적으로 구성하였다.

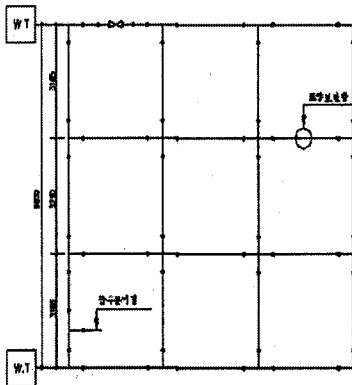


[그림 7] 데이터베이스 연결도

5. 시뮬레이션

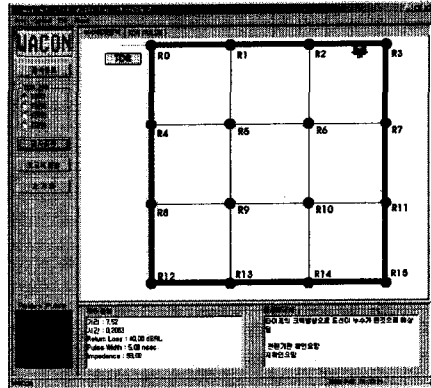
5.1. 파이로트 시스템 구축

시뮬레이션을 위해 파이로트 시스템을 이용하여 가상의 환경을 구축하였다. 구축된 시스템을 이용하여 TDR에 접속하여 각각의 파이프 길이와 실제 손상으로 인한 파형 데이터들을 수집하였다. 파이프 디자인을 바탕으로 하여 실험을 위한 임의의 라우팅 세팅을 하게 된다.



[그림 8] 파이로트 시스템 구성도

시뮬레이션의 실험은 파이로트 시스템에서 실제로 누수를 발생시켜 그 결과를 모니터링 프로그램을 통하여 TDR 파형 분석을 통한 누수 위치 결과를 확인한다[4][5].



[그림 9] 누수탐지 모니터링 결과 화면

6. 결 론

본 논문에서 TDR을 이용하여 누수감지 모니터링 시스템을 설계 하였다. TDR 누수 감지 모니터링 시스템의 위치 산출 S/W으로 누수의 위치를 계산하여 실시간으로 누수 발생시 정확한 위치를 찾아서 누수 탐색을 위해서 불필요한 시공을 할 필요가 없이 한번의 시공으로 누수의 위치를 정확하게 찾아낼 수 있을 것이다. 시공 횟수를 줄일 수 있고, 중앙 센터에서의 관리가 가능하므로 신속한 처리가 가능할 것이라 예상된다. 또한 신기술 개발을 통한 신공법 및 기술인력 배출 효과 및 국제적 경쟁력을 갖는 기술 확보가 가능하게 될 것이다. 향후 GIS 시스템 데이터베이스와의 연동과 통합 누수지역 종합 정보 관리 시스템 구축, 스마트카드 보안 시스템 구축, 무선인터넷 연동 시스템 (라우터 및 TDR 제어 및 전송)의 개발 그리고 누수감지 파이프의 시공방법 및 보수방법의 개발이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] 환경부, "상수도통계" 2000
- [2] Riserbond, "TDR Manual" 2001
- [3] 천인국, 윤영택, "영상 처리 기초편". 도서출판 기한재, 초판 1998
- [4] 최형일, 컴퓨터 비전 입문, 홍릉과학출판사, 1991
- [5] 노기홍, 서덕영, 조위덕, 최우영, "디지털 영상처리 기술 및 응용". 전자공학회지, 제 18권, 제 6호, pp.375-388, 1991년 6월.