

GIS상에서 TDR을 사용한 누수감지관과 모니터링 시스템에 관한 연구

강병모[†], 홍인식^{**}

요 약

GIS 기술은 공간데이터 조작능력을 향상시켰으며, 다양한 분석을 통하여 지리정보 서비스를 제공하고 있다. 이런 상황에서 인구증가와 도시 집중화 현상에 따른 물의 사용량이 증가하였다. 그러나 물 부족현상, 누수 및 수질악화 문제로 물의 지속적인 확보가 어려워지고 있다. 누수로 인한 막대한 손실을 줄이고자 GIS를 이용하여 누수를 판단하고 누수위치를 검색할 수 있는 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 GIS상에서 TDR 기술을 이용하여 누수 감지 시스템을 제안하고 유효성을 입증하기 위해 GIS 데이터베이스와 파이롯트 시스템을 구축하여 시뮬레이션 하였다.

A Study on a Leakage Sensing Pipe and Monitoring System Using TDR in GIS

Byung-Mo Kang[†], In-Sik Hong^{**}

ABSTRACT

GIS technique enhanced a space data manipulation ability and we are offering a geographic information service through various analysis. The quantity used of the water was increased in such situation according to a population increase and a city concentration phenomenon. But, to secure clear water are difficult, owing to the water shortage phenomenon, seepage and the quality of water change for worse. We decide the seepage and the system to retrieve the seepage location using GIS in order to reduce vast loss from the seepage. In this paper we proposed Leakage Sensing System using TDR technology in GIS, constructed a GIS database and pilot system to prove the validity, and simulated it using TDR in GIS.

Key words: Time Domain Reflectometer(TDR), Geographic Information System(GIS), GIS Database (GIS 데이터베이스), Leakage Sensing(누수감지), Leakage Sensing Pipe(누수감지관), Pipe Database(파이프 데이터베이스)

1. 서 론

상수도 관망은 수도시설의 중요한 구성요소이다.

* 교신저자(Corresponding Author): 강병모, 주소: 충남 아산시 신창면 읍내리 646(336-745), 전화: 041)530-1321, FAX: 041)530-1321, E-mail: asman@sch.ac.kr

접수일: 2003년 5월 28일, 완료일: 2003년 10월 8일

[†] 준회원, 순천향대학교 대학원 전산학과 박사과정

^{**} 정회원, 순천향대학교 정보기술학부 교수

(E-mail: ishong@sch.ac.kr)

※ 본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 4-2-1)에 의해 수행되었습니다.

이러한 관망이 지하에 매설되어 있으므로 관망의 노후화나 사고로 인한 관의 이상상태를 효과적으로 파악하기가 어렵고 힘든 상태이다. 그러므로 현재나 미래를 위해서 관망의 관로 시스템의 효과적인 유지관리를 위해서 관망의 파손 특성을 파악하는 것은 무엇보다 중요한 일이다. 누수는 일반적으로 구조적 뿐만 아니라 부식으로 인한 구멍, 잘못된 접속으로 인한 물의 손실을 의미하며 누수가 될 경우 이물질이 침입하여 수도물이 오염되는 원인이 되기도 한다. 현재 우리나라는 누수로 인한 막대한 재정의 손실과 약 40%의 누수율로 선진국보다 높은 수준이고 UN에서

지정된 물부족 국가이기도 하다[1,2].

현재 우리나라에서 사용하고 있는 누수 탐지 방법에는 누수 탐지의 한계로 인하여 누수가 발생하더라도 정확한 위치를 찾을 수 없을 뿐만 아니라 실시간으로 누수 탐지가 불가능하고 광범위한 지역을 실시간으로 탐지와 모니터링을 할 수 없다. 그러므로 누수 탐지에 드는 인력과 시간이 너무나 큰 비중을 차지하고 있다. 기존 누수탐지 방법은 지하매설관에 대한 정보파악이 매우 어렵고 좁은 지역에 한정되어 있다. 게다가 지하매설관의 유지보수에 많은 시간과 인력 및 재정이 요구되고 지하매설관망에 대한 데이터베이스 구축 및 실시간 누수감지 시스템의 개발이 필요하다. 이런 누수감지 시스템의 개발을 위하여 지하매설관의 이상유무 검출기법과 효율적인 지하매설관망의 유지보수를 위하여 정보통신망과의 유기적인 연계가 필요하며, 인터넷을 통한 원격 시스템의 구축 및 GIS 데이터베이스와의 연동을 통한 디스플레이 기법의 개발 필요하다[3].

본 논문에서는 누수감지관과 GIS를 이용한 누수감지 시스템을 제안한다. GIS상에서 누수감지 시스템의 연구를 통하여 기존의 외국제품과 기존의 검사 방식의 어려움과 유지보수의 곤란함을 해결하고 동시에 우리나라 실정에 맞게 시스템을 시뮬레이션 하였다[4].

2. 관련 기술

2.1 누수와 파손

누수란 관로시설 내에 흐르는 물이 원하지 않는 시간과 장소에서 시설의 파손이나 균열 등의 이유로 물이 관로 시설밖으로 흐르는 모든 경우를 의미한다. 누수의 원인으로는 일반적으로 복합적인 원인에 의해 발생하는데 자연적인 파손과 인위적인 파손이 있는데 자연적인 파손에는 수압, 노후, 차량이나 지반 하중, 토양에 의한 부식, 자연재해 등이 있다. 이중 관 노후화에는 부식, 접합부 패킹 부식이 있다. 파손의 원인중 하나인 수압에 의한 관 파손과 접합부 이탈이 많은 비중을 차지하고 있다. 이와 다른 인위적 파손에는 관의 재질불량, 시공시 부주의로 인한 관 파손, 부설시공에 의한 사고 등에 의한 파손 등이 있다. 관체의 특성과 주변 매질 환경 및 내부의 수리적 조건을 포함하는 복합적 요인으로도 누수가 발생한

다. 일반적인 관로 파손 형태는 원주방향 파손, 길이 방향 파손, 구멍 그리고 접합부 이탈 등으로 인하여 발생하는 파손 등이 있다[5].

2.1.1 국내의 누수 탐지기술

현재 사용되고 있는 누수 탐지 방법으로는 야간 최소유량 측정법, 음청식 탐지방법, 센서를 이용하는 상관법, 가스 주입법, 시간적 분석 누수 발견기기를 이용하는 방법 등이 사용되고 있다. 일반적인 방법으로는 음파중폭장치를 이용하여 누수를 탐지하는 음향 누수탐지(Sonic Leak Detection)법이 있고, 그외 다른 방법으로는 물질수지분석(Mass Balance Analysis)을 기초로 한 Water Audit법이 있다. 새로운 기술로는 전자장비를 이용하거나, 미량의 가스와 염료를 이용하는 방법도 드물지만 사용하고 있다. 가장 널리 쓰이고 있는 방식으로는 누수지점에서 발생하는 소리의 전달 시간차를 이용하여 누수 발생 시점을 계산하는 원리를 이용한다. 기존의 방식은 거리가 잘못 입력되었거나, 관재질의 변경으로 오류가 생길 가능성이 있다. 이러한 방법으로 정확한 누수의 위치를 찾기 어렵고, 현실적인 제약사항이 많아 엄청난 비용을 들이고도 기대에 미치지 못하는 결과를 얻을 수 있다.

현재 국내에는 상하수도 관망에 대한 관리를 위한 체계적인 시스템이 부족한 상태이다. 외국의 상하수도 전문 기업의 경우는 관망 관리를 위해 전문 소프트웨어가 사용될 정도로 상하수도 관망관리에 대한 중요성이 널리 인식되고 있다. 관망관리 시스템으로는 Black & Veatch사와 미국 EPA가 공동으로 개발한 하수관망 통합관리 시스템인 SSMS(Sanitary Sewer Management System)이 있는데 이 시스템의 경우, 다양한 모듈을 통합하고 관망에 대한 목록 내장, 흐르는 물의 압력 해석 엔진, 유량 데이터 수집, I/I(Infiltration/Inflow) 검사 등의 기능을 할 수 있는 모듈들이 포함되어 있어, 관망에 대한 통합적인 유지관리를 위한 수단으로 사용되고 있다. RJN 그룹에 의해 개발된 CASS WORKS는 상하수도 시설물에 대한 유지관리, 관망 관리 등의 통합적인 솔루션을 제공하는 소프트웨어이다. CASS WORKS는 응용 분야별로 모듈로 구성되어 있고, 지자체의 상황에 따라 커스터마이징이 가능하도록 설계되고 GIS와 연동하여 응용될 수 있다. GBA Master Series는 상하수도의 시설에 대한 관리 대상에 따라 여러 가지 소프트웨어

로 구성되어 있다. 주요 기능은 CASS WORKS와 비슷하다. ArcFM Water는 ESRI에서 개발한 상하수도 관망 시설관련 해석/관리용 소프트웨어로 관망 해석 기능과 관망/도면/시설관리 등의 상하수도 시설 유지보수관리에 대한 기능을 제공하고 상하수도에 대한 컴포넌트 GIS를 이용하여 개발하였다.

2.2 GIS 기반 관망 시스템

우리가 살고 있는 세상에서 도로의 지하공간에는 상하수도나 가스관 등이 매설 되어 있다. 또한 폭이 넓은 도로 지하에는 매설물을 하나의 합거로 정리한 공동구나 케이블만으로 구성된 케이블 박스 등이 매설되어 있다. 그리고 지하철의 대부분 구간이 도로 아래에 위치한다. 최근 도시 지하 공간 이용 빈도가 높아지고 지하도로 지하 하천 지하주차장 지하 물류센터 등 많은 도시기반 시설을 지하 공간 특히 도로의 지하 공간을 이용하여 정비하는 경우가 많아지고 있다[6].

현재 지자체 GIS 정보화사업에서 개발된 지하 시설물 관리시스템은 GIS공간분석기능을 활용하여 다양한 분석을 하지 않고 단지 지하 시설물 자체의 운영 및 유지관리에 사용이 국한되어 있다. 또한 효율적인 상수도 공급을 위해서 여러 가지의 관망 해석 시스템을 구축하고 있지만 상수 공급지역에 따라 서로 다른 시스템을 사용하고 있고, 관망 해석이 이루어지지 않은 지역도 있다. 그래서 효율적인 상수 공급을 위해서 새로운 관망 해석 기능의 개발이 대두되었다. 그중에 하나로 GIS 데이터베이스를 이용한 관망 시스템은 기존 시스템이 가진 평면적인 위치정보의 쉬운 기록과 널리 사용할 수 있다는 장점뿐만 아니라 기존 시스템이 제공하지 못하는 점점 늘어나고 있는 지하 점유물을 관리하기 위한 깊이 정보를 가지는 3차원 공간에서의 위치 관계도 파악할 수 있다. 이 시스템을 사용하려면 상수도 관망에서 각각의 관로를 관리하는 경우 관로 경로별로 관리할 뿐만 아니라 하나의 경로를 세분화하여 각 구간마다 ID번호로 설정하고 관리하여야 한다. 또한 관로의 교차점 사이에서 구간을 분할하는 방법을 사용한다. 고속도로처럼 교차점 사이가 길고 교차점 사이를 하나의 데이터로 취급하기 어려운 경우나 도로의 짧은 구간마다 상세한 데이터를 축적하고 싶은 경우에는 거리 정도에 따라 관로를 구분한다. 관로가 가지는 속성 정보

로는 폭, 과거 몇 년 동안의 수리 이력, 구조물, 매설물, 표식 등과 유지 관리에 관한 데이터도 필요하다[7].

국내외에서 상하수도 관망 GIS 시스템의 개발이 진행중이며 일부는 이미 구축되어 있는 상태이다. 이러한 GIS 시스템들은 도면이나 속성정보에 관한 시설관리 기능, 관로의 정보나 관망해석정보, 이력정보, 도면정보 등에 관한 관망관리 기능, 각종 공사정보, 공사도면 정보, 공사 설계 정보 등에 관한 공사관리 등에 관한 내용으로 구축되어 졌다. 기존의 GIS 기반 관망시스템에서는 매설되어 있는 관의 종류, 크기, 매설 위치, 관리 대장 등 기본 정보만 제공하고 있다.

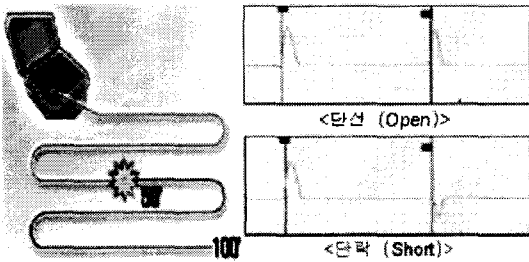
본 논문에서 제안한 시스템은 GIS를 이용하여 관망 매설지역의 GIS 데이터베이스와 관 매설 시공시 수집한 감지관 데이터베이스 등을 연동하여 구축한다. 이미 매설된 관 시설물 및 관의 파손보수 작업에 사용되며 파손 발생시 펄스 시험기중 하나인 TDR(Time Domain Reflectometer)을 사용하여 측정된 파손 분석 정보를 이용하여 관망 데이터베이스에서 파손지역을 추적하는데 사용한다. 이때 관 매설지역의 GIS 데이터베이스가 구축되어 있으면 별도의 조작 없이 기존 GIS 데이터베이스를 이용하여 관망 데이터베이스를 구축할 수 있는 장점이 있다. 또한 지반 이동이나 지형 변화 등의 변화로 실제 매설 관망 정보와 GIS 정보와의 작은 오차가 발생할 수 있기 때문에 프로그램 상에서 오차 정보를 이용한 오차 보정을 수행하며 유지보수를 수행한다. 본 논문에서는 이러한 기존의 GIS 정보에 누수감지관 데이터베이스와의 연동을 통한 GIS기반 누수감지 시스템을 제안하고 유효성을 입증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다[8-10].

2.3 펄스 시험기의 원리 및 적용

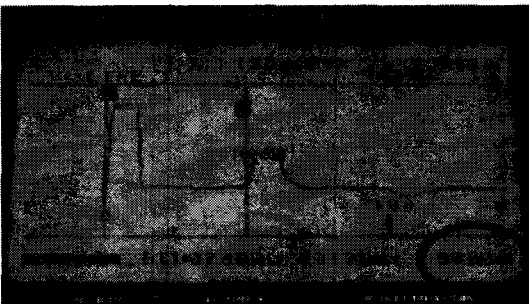
누수의 정확한 위치를 찾기 위해 낮은 주파수의 펄스시험기인 TDR을 사용한다. TDR은 펄스형 반사 측정기로서 케이블의 임피던스의 불균등, 케이블의 단선, 단락 및 고장, 케이블 고장점의 거리등을 측정하는 기구이다. 펄스시험기의 측정 원리는 고장 심선에 펄스 신호를 송출하고 고장점으로부터 반사되는 펄스 신호를 수신하여 그 시간으로 고장 위치를 측정한다. 기본적인 작동원리는 레이더와 같다고 보

면 되는데, TDR에서 보내는 에너지의 펄스는 네트워크화 되어있는 관망의 감지관에 삽입된 도선을 따라 전송된다. TDR로부터 송출한 펄스파가 반사되어 수신될 때 반사 펄스의 파형에 따라 케이블의 상태를 분석하여 이를 토대로 상하수도관망의 이상 유무를 판단한다[11].

상하수도관의 누수발생에 대한 실시간 정보, 수도관의 노후화 진행에 의한 누수예측 정보, 수도관의 노후교체 및 파손교체 시기, 지하에 매설된 수도관의 정확한 위치 탐지, 타공사에 의한 상하수도관의 파손을 실시간으로 탐지, 그리고 누수지점의 위치를 서로 다른 펄스시험기의 중복검사로 정확히 탐지(오차 : 0.3m 내외)할 수 있다. 그림 1은 TDR의 작동원리와 실제 측정 결과를 보여준다. 케이블이 단선되면 반사파형은 발생파형과 동일한 극성을 갖게 된다. 만일 케이블이 단락상태라면 반사파형은 발생파형과 반대극성으로 나타날 것이다. TDR의 파형을 분석하기 위해서는 감지관 시공시 정밀시공을 하여야 한다. 감지관의 시공시 삽입된 감지선의 연결과 동시에 펄스 시험기를 사용하여 측정된 정보를 GIS와 연동하여 매설된 감지관의 위치정보 데이터베이스에 저장한다.



a) TDR 동작 화면과 단락과 단선의 예



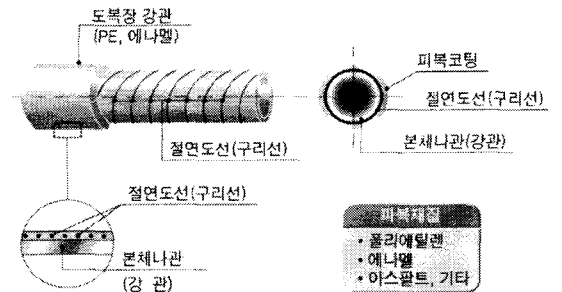
b) 실제 측정 결과

그림 1. TDR의 작동 원리

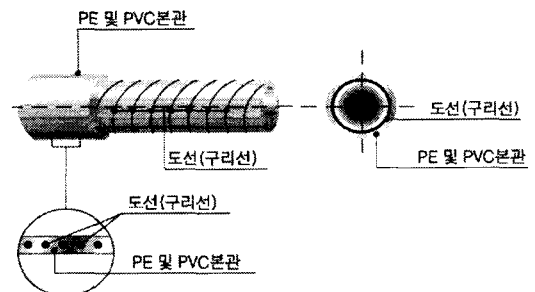
2.4 누수 감지관의 개발

누수감지를 위해 개발한 누수감지관은 기존관에 누수감지를 위한 감지도선을 삽입한 형태로 구성되어 있다. 이 누수감지관은 두 개의 도선이 평행하게 나선형의 형태로 감겨 있으며, 펄스 시험기의 외부 입력 단자와 연결할 수 있다. 감지관의 매설시 감지관에 삽입된 도선도 같이 연결이 된다. 이렇게 연결된 도선에 펄스 시험기를 사용하여 매설된 관망의 도선 길이를 측정한다. 만약 감지관이 누수나 파손으로 인하여 삽입 도선이 끊어지거나 미세한 금으로 인해 누수가 되더라도 펄스 시험기의 파형의 변화로 누수의 위치를 알 수 있게 된다. 그림 2는 상수도용과 하수도용으로 개발한 감지관들의 단면도이다. 도선의 삽입위치는 감지관의 제작 형태에 따라 결정하며 감지도선에 의한 관의 파손 가능성, 외압으로 인한 관의 견고성 등을 고려하여 외면 표피로부터 최소 1.5mm 이하에 삽입한다.

삽입 도선은 매우 가는 (0.5mm)도선으로 사용하는 데 감지관에 누수 발생시나 도선이 끊어지거나 감지도선이 침수가 되도록 도선을 삽입하여 제작한다. 여기에 사용하는 도선의 재질은 감지관 재질에 따라



(a) 상수도용 강관의 단면도



(b) 하수도용 PE관의 단면도

그림 2. 상하수도용 감지관의 단면도

표 1. 감지관의 기본 스펙 (상수도용)

관 구경	종류	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 장관	구리선	0.5mm	10cm	Epoxy : 300~400µm

결정하며, 일반적으로는 구리선을 사용하여 나선형으로 삽입한다. 각 도선간의 피치 간격은 도선간의 혼선 영향이 없고 감지관의 많은 영역을 커버할 수 있는 간격으로 설정한다. 각 도선간의 간격은 여러 실험을 통하여 설정하였는데, 기본적으로 상수도관에서는 10cm~20cm의 피치 간격으로 제작하였다. 표 1은 파이프 제조회사와 실험을 통해 제작한 시제품용 상수도관용 감지관의 기본 스펙이다. 하수도관에서는 누수보다는 외부로부터의 불법 오점을 방지하기 위해서 상수도관 보다는 적은 간격(1cm~5cm)으로 제작한다.

2.5 감지관 연결 접속 라우터

누수감지관의 연결 접속 라우터는 상수도관망 형성시 관들의 연결구간 (T자형, +자형)에 대응하기 위해 제작하였다. 복잡한 관망 내에서 펄스 시험기로 경로를 변경하여 측정하기 위하여 라우터는 필요에 따라 관망에서 경로를 변경이 가능하게 제작하였다. 그림 3은 T형 연결부에서 설치한 라우터의 그림이다. 사용하는 라우터는 TDR 신호를 감쇄시키지 않는 전용칩으로 설계하여 연결구에 삽입하여 운용가

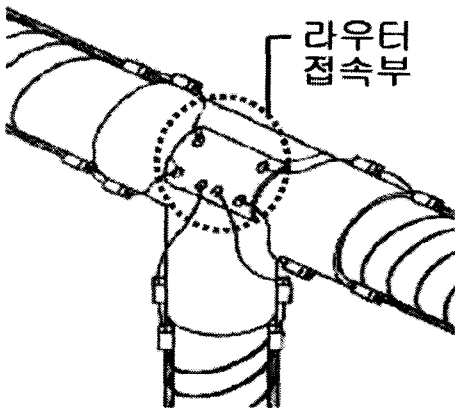


그림 3. T형 연결부 라우터 개발 모형

능하며 고장시에도 하나의 경로로 고정시켜 측정이 가능하다.

그러나, 실제 관망의 경우 1개의 TDR로 여러개의 관망을 검사할 수 있으므로 측정할 관망을 서로 독립적인 부분으로 분할 할 경우 라우터의 도움 없이 관망의 모니터링이 가능하다. 실제적인 라우터는 독립적으로 관망을 분할하지 못하는 지역에만 사용할 것이다.

3. 펄스시험기를 이용한 누수감지

본 누수감지 시스템은 특수 설계된 감지관에 펄스 시험기인 TDR로부터 파장 전송을 통해 얻어지는 정보를 분석하여 관의 누수 탐지 위치 및 그 상태를 웹상에서 한눈에 모니터링 하여 그 결과를 관리자에게 알리는 것을 목적으로 한다.

3.1 펄스 시험기의 효율적인 설치

관망에서 관로의 누수 탐지를 수행하기 위해서 TDR의 효율적인 설치가 필요하다. 관망도에서 펄스 시험기의 성능을 최대한도로 이용하기 위하여 설치 반경을 2~5km로 설정하여 측정을 위한 펄스 시험기를 하나씩 설치한다. 그림 4는 실제 관망에 적용한 예이다. 그림 4에서와 같이 TDR 2개를 사용하여 지

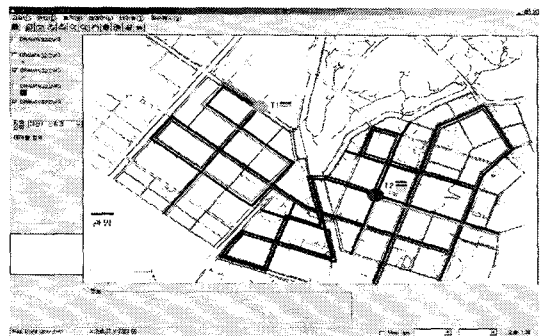


그림 4. 펄스 시험기 설치 모형도

역의 관망을 커버할 수 있다. 그림에서와 같이 초록색, 보라색, 빨강색, 회색, 황토색 그리고 진녹색의 경로가 검색 가능한 지역이다. 그림에서 주변에 위치한 비 검색 대상 네트워크를 보면 다른 지역의 인접 TDR을 이용하여 검색을 할 수 있다.

3.2 펄스시험기 통신 프로토콜

펄스시험기에서 측정한 데이터를 모니터링 시스템에서 분석하기 위해서 펄스시험기와 모니터링 시스템간의 통신이 필요하다. 이러한 통신을 위해서는 프로토콜이 필요한데 본 논문에서는 펄스 시험기와 모니터링 시스템간의 프로토콜을 정의하였다. 그리고 정의한 프로토콜을 이용하여 구축한 소프트웨어로 시뮬레이션을 수행하였다. 기본적인 프로토콜의 구조는 그림 5와 같고 각각의 프로토콜의 내용과 명령의 종류는 표 2와 표 3과 같다.

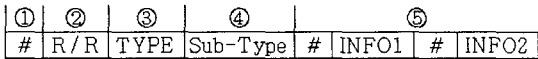


그림 5. 통신 프로토콜의 구조

3.3 누수 탐지 알고리즘

누수탐지는 그림 6과 같은 순서로 이루어진다. 모니터링 시스템의 서버는 펄스 시험기를 통해 누수거리(감지선 길이정보)와 탐지경로(라우터 경로)를 입력받는다. 탐지경로를 라우터간 정보로 세분화되고 세분화된 각각의 라우터간 정보를 통해 라우터 사이의 감지관 정보(감지관의 수, 감지관의 길이, 삽입 도선 길이)와 연결선 정보(연결선 길이와 삽입도선 길이)를 추출한다. 라우터간 소요된 총 삽입도선

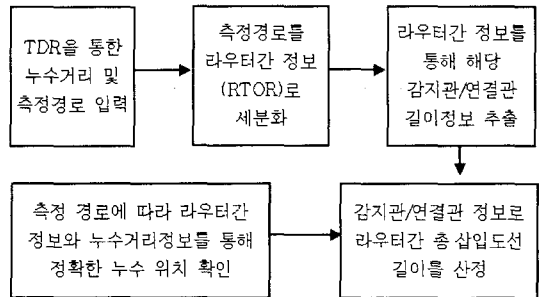


그림 6. 누수탐지 순서

표 2. 펄스시험기 프로토콜 내용

번호	값	내용	기능
①	#	메시지의 시작	
②	1	시스템과 하드웨어의 명령어 구분	클라이언트가 서버에 명령 전송 (Request)
	2		서버가 클라이언트로 보내는 응답(Respond)
③	0	명령 종류	기본 명령(탐지 시작, 종료, 초기화 등)
	1		TDR 정보
	2		라우터 정보
	3		보고서 정보
④		③명령들의 세부항목 구분	③ TYPE = 1의 경우 ④ Sub-Type = 01이면 TDR 01의 상세정보 의미
⑤		② R/R의 값이 2일 경우(서버가 클라이언트로 응답 메시지를 보낼 경우) 요청한 명령의 결과값들 (INFO1, INFO2, ...) 을 '#' 구분자로 하여 전송.	클라이언트는 메시지를 '#' 기준으로 토콘화하여 결과값을 화면에 보여줌

표 3. 펄스 시험기의 통신 명령의 종류

명령어	내용
Start	탐지시작 현 라우터의 설정 상태와 탐지 위치, 총 탐지 거리 출력
TDR 1 Information	TDR 1 상세정보 출력
TDR 2 Information	TDR 2 상세정보 출력
Report Access	결과 리포트를 관리자에게 메일 전송
Router Setting Information	현 라우터 설정 상태 출력

의 길이를 산정한다. 탐지경로의 순서대로 라우터간 총 삽입도선의 계산하여 TDR을 통해 입력받은 누수 거리 정보를 분석하여 누수위치를 확인한다.

4. GIS 데이터베이스 구성

4.1 GIS 데이터베이스

GIS에서 자료는 도형자료와 속성자료의 두가지 형태로 분류되고 공간자료의 관리를 위하여 DBMS의 도입이 시작되었다. GIS에서 데이터베이스를 적용함으로써 얻어지는 대표적인 장점으로서는 자료의 표현과 저장의 분리, 관련 자료간의 자동 갱신, 관계성의 정립, 자료의 중앙제어 등이 있다. 연속성, 근접성, 관망기능, 거리나 지역의 이동에 따른 누적된 속성값의 연속성 기능인 GIS 공간 분석기술의 적용과 시설물의 3차원 시각화를 통한 실세계와 동일한 3차원 공간 분석 기능인 3차원 시설물 관리 기술 그리고 이기종간의 공간 데이터의 상호 참조 기능인 개방형 GIS를 활용하여 시스템을 개발한다.

본 논문에서 GIS를 위한 데이터베이스의 네가지 접근 방식중에서 그림 7에서와 같이 별도 구축된 두개의 데이터베이스 운영하는 방식으로 하나는 도형

자료를 입력하고 또 다른 하나에는 속성자료만을 입력하는 방식을 사용한다. 이 방식은 미국 ESRI사의 Arc제품들에서 사용하고 있는데, ARC 제품들은 도형자료의 저장과 관리를 위한 기능을 제공하며, 속성자료는 별도의 DBMS에 의해 관리된다.

4.2 데이터 포맷

GIS 데이터베이스에 사용하는 공간데이터 포맷으로 Shape 파일을 사용하며 이 Shape 파일은 지리현상에 대한 기하학적 위치와 속성 정보를 제공해주는 비위상구조의 데이터 포맷이다. Shape 파일 포맷의 종류로는 지리 현상의 기하학적인 정보와 속성정보를 지리 현상의 기하학 정보를 저장하는 파일(.shp), 지리 현상의 기하학 정보의 인덱스를 저장하는 파일(.shx), 공간 인덱스를 저장하는 파일(.sbx), 속성 인덱스를 저장하는 파일(.ain)등의 파일들로 제공한다. 본 논문에서는 GIS 데이터베이스와 함께 인덱스 저장파일, 공간 인덱스 저장 파일, 기하학 정보 저장파일을 주로 사용한다[12].

4.3 데이터베이스 구성

기존의 GIS상에서 관망 데이터베이스를 보면 관의 종류나 크기, 매설 위치, 관리 대장, 도면 출력 등 일반적인 공사 관리를 위해 사용되고 있는 실정이다. 이러한 관망 데이터베이스를 사용할때 누수 발생시 정확한 누수 위치를 검색하기 어렵다. 본 논문에서는 이와 같은 누수위치 검색의 어려움을 해결하기 위해 누수감지관 매설시 함께 시공한 감지관 데이터베이스와 GIS 데이터베이스를 연동하는 모니터링 시스템을 제안한다. GIS 데이터베이스 데이터 입력은 감지관 시공시 인터넷 TCP/IP망을 통하거나 CDMA망(현재 개발중)을 통하여 중앙 센터 서버에 전송할 수 있다. 기존의 GIS 데이터베이스가 구축되어있을 경우에는 기존 데이터베이스에 누수감지관 데이터베이스를 연동시켜 사용한다. 만약 GIS 데이터베이스가 구축되어 있지 않으면 매설시 함께 GIS 데이터베이스를 구축한다. 이렇게 구축함으로써 데이터베이스구축을 위해 중복으로 투자하는 것을 방지할 수 있는 장점이 있다. 표 4와 그림 8은 기본적인 GIS 데이터베이스 레이어와 데이터베이스 시스템 구성도이다.

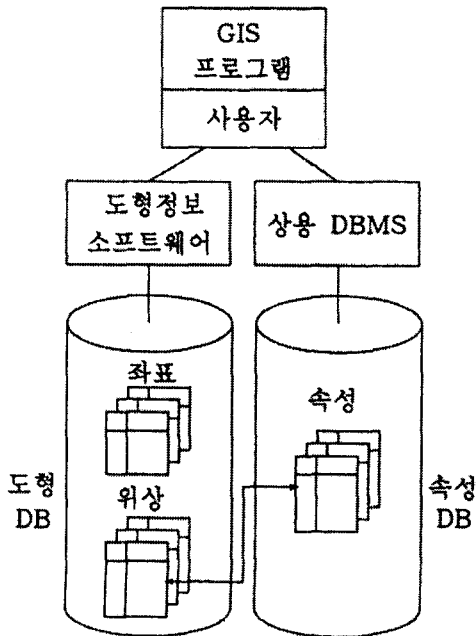


그림 7. 별도 두개의 데이터베이스 운영하는 방식

표 4. GIS 데이터베이스 레이어

공간 데이터	속성 데이터
취수관, 도수관, 송수관 배수관, 급수관, 인입관 취수장, 정수장, 가압장 배수지, 펌프장 유량계실, 수압계실 소화변, 제수면, 가압변, 공기변 급수전, 사용정보 구역계량 표고점 건물, 도로, TDR	위상 정보 : 시작포인트, 끝 포인트 관 정보 : 길이, 구경, 재질, 도선길이, 도선 피 치, 시공일 경로 정보 : 파이프 연결 경 로, TDR 위치 밸브 정보 : 형태, 구경, 상태 수위 정보 : 최고 수위, 최 저 수위, 저수 용량 펌프 정보 : 형태, 용량

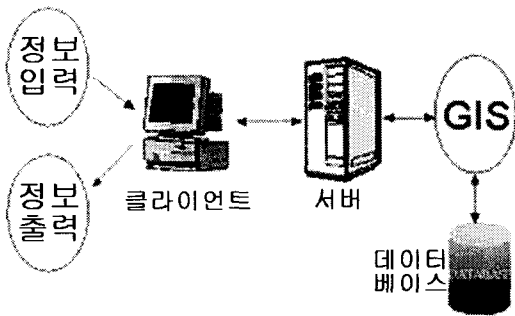


그림 8. 데이터베이스 시스템 구성도

4.4 감지관 관망 데이터베이스 구축

모니터링 시스템의 데이터베이스에 저장된 정보를 분석하여 관망의 파손 및 누수지점을 산출한다. 감지관 관망 데이터베이스를 구축하기 위해 다음과 같은 데이터가 필요하다.

- ① 감지관의 관경 및 종류 등 각종 정보를 저장하는 감지관 정보
- ② 개별 라우터들의 정보, 세팅 상태 등 각종 정보를 저장하는 라우터 정보
- ③ 삼입 도선의 두께 및 강도 등의 각종 정보를 저장하는 삼입도선 정보
- ④ 연결시 T 자형이나 + 자형 등의 연결 부가 정보 등의 연결관 정보
- ⑤ 각종 데이터베이스 정보를 입력/수정/삭제/검색 등의 작업을 수행하기 위하여 관리자만이 사용할 수 있는 독립적인 데이터베이스 관련 전용 프로그램 제작을 위해 사용하는 데이터베

이스 관리용 독립 어플리케이션 프로그램 정보
 ⑥ 클라이언트와 서버간에 주고받는 데이터와 TDR로부터의 정보를 분석한 정보 등을 모두 저장할 수 있는 TDR 및 클라이언트/서버 간의 통신 내용 저장 정보

그림 9는 감지관 관망 데이터베이스 구성도이다. 이때 저장되는 데이터베이스의 내용으로는 GIS 지도 데이터, GIS 관망 데이터, 관의 정보, 감지선 정보, 측정 경로 정보, 경로를 설정하는 라우터 정보 등을 저장한다. 저장된 데이터베이스를 이용하여 누수감지 시스템에서 누수의 위치계산을 하며 누수 정보를 디스플레이 한다. 각각의 정보를 독립적인 테이블로 나눠서 관리함으로써 정보의 변경에 용이하도록 하여 정확한 누수 탐지 알고리즘의 계산이 나오도록 한다. 또한 관망에 관한 종합적인 관리와 정보 제공을 가능하도록 한다. 데이터베이스의 구축시 GIS 데이터베이스와 거의 동일한 형태로 제작되므로 본 시스템 데이터베이스 설계시 GIS와 연동이 가능하다. 그리고 시공시 펄스 시험기를 이용하여 실시간 모니터링 과정을 통해 감지관 관망 데이터베이스와 시스템을 자동으로 구축한다. 구축한 데이터베이스 테이블의 내용은 그림 10과 같다. 관망 데이터베이스 구축시 유지보수가 용이한 지하매설관망의 감지관 관망 데이터베이스도 함께 구축한다. 누수감지관 테이블은 감지관 번호, 관종, 제조회사, 시공회사, 시공일, 관 두께, 감지도선 길이, 감지도선 피치 간격, 감지관 길이 등으로 구성되는데 이런 정보를 바탕으로 누수탐지시 TDR로부터 전송된 정보를 분석하여 누수위치 탐색 및 추후 보수공사에 많은 정보를 제공한다[13].

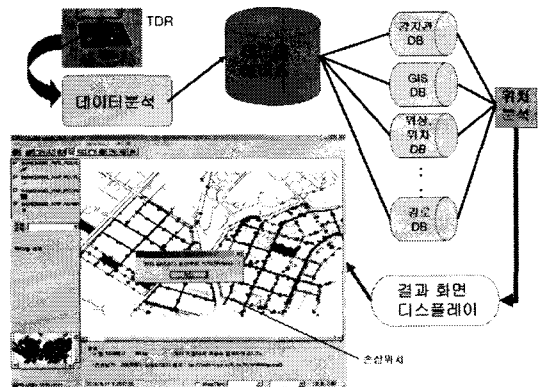


그림 9. 감지관 관망 데이터베이스 구성도

PipeR_code	PipeR1	pipe_code	pipe_count	break_count	situation
PipeR0001	R1-R1	PIPE0001	1	0	<NULL>
PipeR0002	R1-R2	PIPE0002	1	0	<NULL>
PipeR0003	R2-R3	PIPE0003	1	0	<NULL>
PipeR0004	R3-R4	PIPE0004	1	0	<NULL>
PipeR0005	R4-R5	PIPE0005	1	0	<NULL>
PipeR0006	R2-R6	PIPE0006	1	0	<NULL>
PipeR0007	R3-R7	PIPE0007	1	0	<NULL>
PipeR0008	R4-R8	PIPE0008	1	0	<NULL>
PipeR0009	R5-R9	PIPE0009	1	0	<NULL>
PipeR0010	R6-R7	PIPE0010	1	0	<NULL>
PipeR0011	R4-R8	PIPE0011	1	0	<NULL>
PipeR0012	R5-R9	PIPE0012	1	0	<NULL>
PipeR0013	R6-R10	PIPE0013	1	0	<NULL>
PipeR0014	R7-R11	PIPE0014	1	0	<NULL>
PipeR0015	R8-R12	PIPE0015	1	0	<NULL>
PipeR0016	R9-R13	PIPE0016	1	0	<NULL>
PipeR0017	R10-R14	PIPE0017	1	0	<NULL>
PipeR0018	R11-R15	PIPE0018	1	0	<NULL>
PipeR0019	R12-R16	PIPE0019	1	0	<NULL>
PipeR0020	R13-R17	PIPE0020	1	0	<NULL>
PipeR0021	R14-R18	PIPE0021	1	0	<NULL>
PipeR0022	R15-R19	PIPE0022	1	0	<NULL>
PipeR0023	R16-R20	PIPE0023	1	0	<NULL>
PipeR0024	R17-R21	PIPE0024	1	0	<NULL>

(a) TDR의 경로정보 테이블

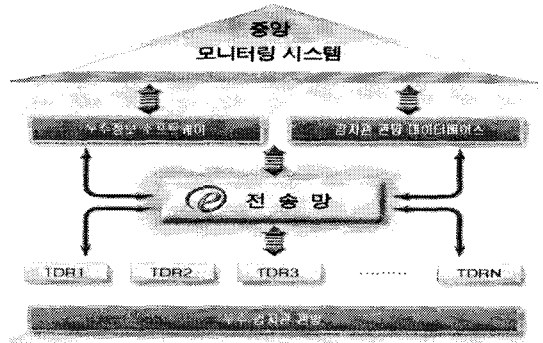


그림 11. 중앙 모니터링 시스템 구성도

관구명	구분	종류	지점명	위치	위치	위치	위치	위치	위치	위치	위치	위치	위치	위치	위치	위치	위치	위치	위치	위치
관구1	구분1	종류1	지점명1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1	위치1
관구2	구분2	종류2	지점명2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2	위치2
관구3	구분3	종류3	지점명3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3	위치3
관구4	구분4	종류4	지점명4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4	위치4
관구5	구분5	종류5	지점명5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5	위치5
관구6	구분6	종류6	지점명6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6	위치6
관구7	구분7	종류7	지점명7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7	위치7
관구8	구분8	종류8	지점명8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8	위치8
관구9	구분9	종류9	지점명9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9	위치9
관구10	구분10	종류10	지점명10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10	위치10
관구11	구분11	종류11	지점명11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11	위치11
관구12	구분12	종류12	지점명12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12	위치12
관구13	구분13	종류13	지점명13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13	위치13
관구14	구분14	종류14	지점명14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14	위치14
관구15	구분15	종류15	지점명15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15	위치15
관구16	구분16	종류16	지점명16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16	위치16
관구17	구분17	종류17	지점명17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17	위치17
관구18	구분18	종류18	지점명18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18	위치18
관구19	구분19	종류19	지점명19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19	위치19
관구20	구분20	종류20	지점명20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20	위치20
관구21	구분21	종류21	지점명21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21	위치21
관구22	구분22	종류22	지점명22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22	위치22
관구23	구분23	종류23	지점명23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23	위치23
관구24	구분24	종류24	지점명24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24	위치24

(b) 감지관 데이터베이스 테이블 구성

그림 10. 구축한 데이터베이스 테이블

5. 누수 감지 시스템의 시뮬레이션

5.1 누수감지 시스템 구축

본 누수 탐지 모니터링 시스템의 개발은 대형 시스템을 기반으로 하며 이 기간의 이식과 확장성을 고려하여 운영체제에 독립적인 언어로 구성한다. 본 시스템은 누수 상태를 탐지하기 위하여 관망에서 누수감지관과 펄스 시험기로부터 얻어지는 정보를 분석하여 감지관의 파손 위치 및 그 상태를 GIS와 연동하여 웹상에서 디스플레이 할 수 있다. 그림 11은 모니터링 시스템의 구성도이다. 모니터링 시스템의 구축으로 간편하게 인터넷 망 또는 CDMA망을 이용해 원격으로 모니터링 시스템에 접속하여 현재의 상태를 모니터링 할 수 있다.

본 시스템은 GIS 기반에서 누수감지 시스템의 시뮬레이션을 위하여 다음과 같은 프로그램을 통하여 가상 시뮬레이션을 수행하였다. 프로그램은 Visual Basic 6.0과 MapObject 2.0을 기반으로 개발하였으

며, ESRI사의 ArcView 프로그램의 ARC/Tool을 이용하여 데이터 포맷을 Shape 포맷으로 변환시켰다. 데이터베이스는 MS-SQL, FOX PRO 6.0, Oracle 그리고 Access 등을 사용할 수 있는데, 본 논문에서는 MS-SQL과 Access를 사용하였다. 또한 시뮬레이션에 이용할 GIS 데이터는 실제 안산시의 데이터를 사용하고, 안산시 DWG파일을 이용하여 CAD상에서 새로운 누수감지관 레이어를 구성하였다. 기본적인 개념도는 그림 12와 같다.

제작한 프로그램을 통한 시뮬레이션은 다음의 순서로 수행하여 파손위치를 검출한다. GIS에 사용된 지도 CAD파일을 Shape 포맷으로 변환하여 사용한다. 누수감지 시스템은 Shape 파일을 이용하여 관망 지도 및 지역지도 등 정보를 화면상에 디스플레이하고 전송되는 데이터를 분석하여 경로를 선택한다. 감지관 데이터베이스와 경로 데이터베이스 등을 검색하여 해당되는 감지관의 감지선 길이를 계산하고, 누수가 발생한 감지관의 위치를 지도상에 디스플레이 한다[14].

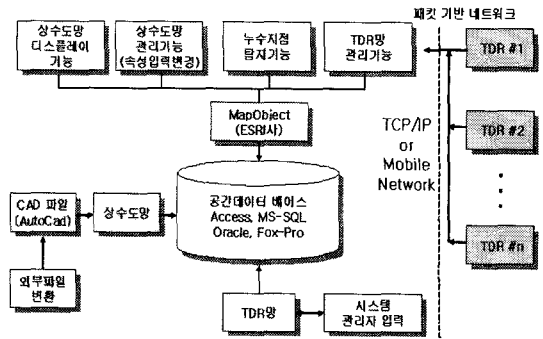


그림 12. GIS 상에서의 시스템 개념도

5.2 프로그램을 통한 가상 시뮬레이션

제작한 프로그램을 통한 시뮬레이션은 다음의 순서로 수행하여 누수위치를 검출한다[15,16].

- ① 모니터링 프로그램 상에서 검색을 원하는 지역의 GIS 데이터를 입력 받는다.
- ② 원격 컴퓨터 또는 로컬 컴퓨터를 통하여 그림 13과 같이 PC상에서 가상 TDR 접속 및 데이터 전송 프로그램을 실행한다. 여기서 TCP/IP를 이용하여 가상 TDR로부터 데이터가 전송된다고 가정한다[17].
- ③ 전송된 TDR의 감지관 정보를 이용하여 화면상에 디스플레이된 지역의 감지관 검색 경로로 검색한다. 이때 검색할 감지관이 지도에 디스플레이 되며 각 감지관 정보가 그림 14와 같이

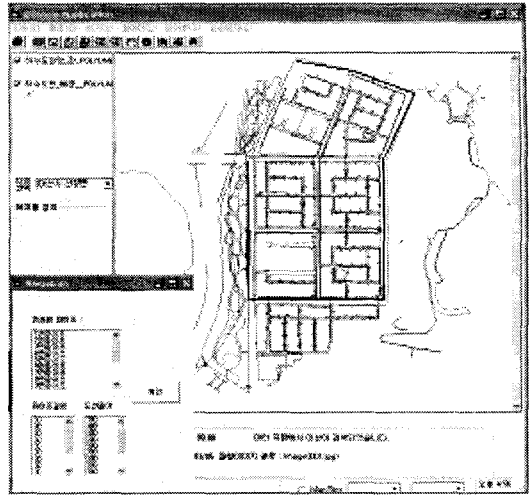
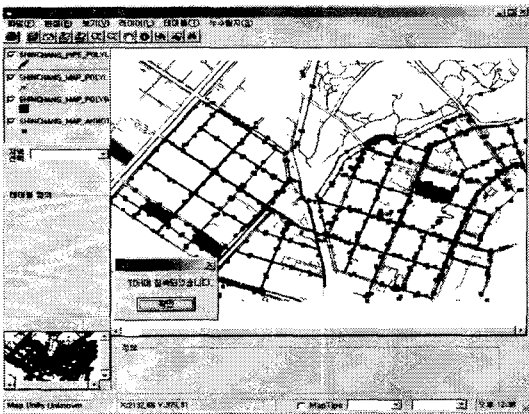


그림 14. 특정 지역 관망 및 관로 경로 디스플레이

디스플레이 된다.

- ④ 위치 탐색은 추출된 감지관의 길이를 계산하여 그림 15에서와 같이 파손된 위치를 지도에 디스플레이하며, 거리정보를 제공한다.



(a) 모니터링 프로그램

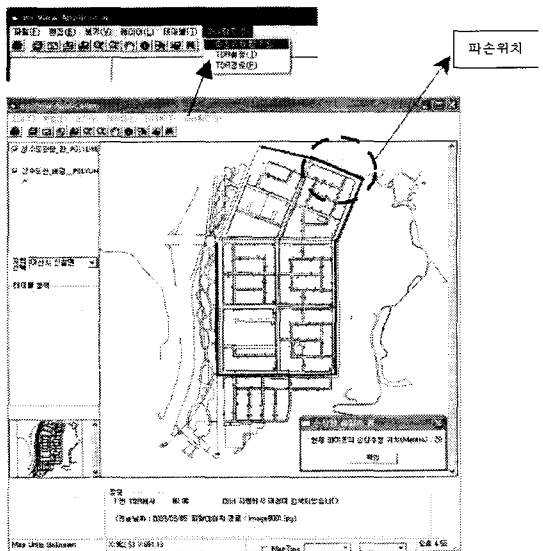
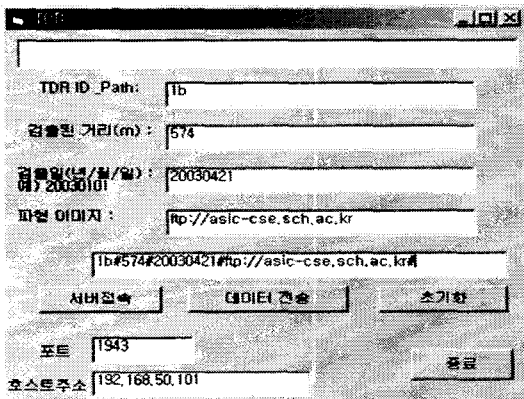


그림 15. 누수감지 시스템에서 파손 위치 검출화면



(b) TDR 접속 프로그램

그림 13. GIS 모니터링 프로그램과 TDR 접속 및 데이터 전송

5.3 파이로트 시스템 시뮬레이션

보다 정확한 검사를 위해 파이로트 시스템을 구축하였다. 구축된 시스템을 이용하여 각각의 감지관 길이와 실제 손상으로 인한 파형 데이터들을 수집하였다. 경로 설정을 위한 라우터 정보는 모니터링 시스템

템 서버의 라우터 설정 데이터베이스에 저장된다. 시제품으로 개발한 파손 감지관(300mm PE 강관)을 사용하여 실제 상황과 유사한 상태로 누수 및 파손 실험을 수행하였다. 그림 16은 파이로트 실험을 위해 제작한 파이로트 시스템과 설계도이다.

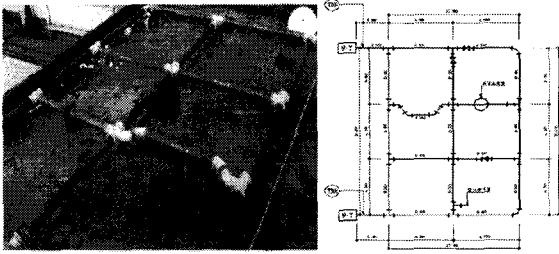


그림 16. 구축한 파이로트 시스템과 설계도

시뮬레이션의 실험은 파이로트 시스템에서 실제로 누수를 발생시켜 그 결과를 누수감지 프로그램 상에서 누수 위치를 확인하였다. 파이로트 시스템에서 실험은 다음과 같은 순서로 진행하였다.

- ① 파이로트 시스템에서 임의의 지점을 누수로 인한 파손과 같은 효과가 일어나게 감지관을 파손시킨다.
- ② 펄스 시험기를 이용하여 거리 측정하여 그림 17과 같은 누수 정보를 얻는다.
- ③ 펄스 시험기로부터 전송된 정보를 이용하여 감지관의 누수를 누수탐지 모니터링 프로그램을 사용하여 실제 누수위치와 프로그램 상에서의 누수위치가 정확하게 일치하는지 테스트를 수행하였다. 그림 18은 누수 탐지 모니터링 프로그램을 구동한 그림이다. 그림에서와 같이 실제 누수위치를 정확히 표시하고 있다.



그림 17. 펄스 시험기 측정

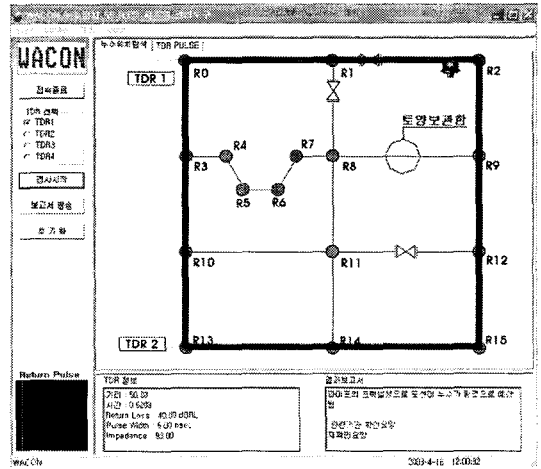


그림 18. 누수 탐지 모니터링 시스템

- ④ 실제 TDR 정보와 누수 탐지 모니터링 시스템 상의 정보를 비교한다. 실험이 정상적인 결과이면 감지관의 복구 작업을 수행하고 펄스 시험기를 사용하여 재검사를 수행하여 수정된 정보를 데이터베이스에 저장한다.

실험 결과 감지관에 누수위치는 삽입된 도선의 길이를 계산하여 누수의 위치를 산출하는데 표 5와 같이 TDR의 오차범위(0.15m에서 $\pm 0.01\%$)내로 측정되었다. 하지만 파이로트 시스템이 지상에서 구축되었기 때문에 대기온도에 의해서 도선의 변화가 발생하여 오차 범위를 벗어나 측정되는 경우도 발생하였

표 5. 누수위치 검사 결과

검사 경로	검사 횟수	데이터베이스에 저장된 기존 측정값	검사한 측정값	오차범위
A	1	297.43m	297.50m	+0.07m
	2		297.37m	-0.06m
	3		297.33m	-0.10m
	4		297.58m	+0.15m
B	1	512.43m	512.28m	-0.15m
	2		512.44m	+0.01m
	3		512.55m	+0.12m
	4		512.48m	+0.05m
C	1	940.57m	940.56m	-0.01m
	2		940.53m	-0.04m
	3		940.55m	-0.02m
	4		940.57m	0.00m

다. 온도 변화에 따른 도선 길이의 변화로 오차범위가 생겼지만 실제 관망은 지하에 매설되므로 오차범위가 줄어들 것이다. 또한 오차보정 프로그램을 통하여 누수 위치 측정시 정확도를 높일 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서 GIS상에서 TDR을 이용하여 누수감지 모니터링 시스템을 제안하고 시뮬레이션을 하였다. GIS와 기존 관망과의 연동을 통하여 지하에 매설된 관망의 누수나 파손으로 인한 손상여부를 실시간 모니터링 할 수 있도록 시스템을 제안하고 GIS와 연동을 위해 데이터베이스를 설계하였다. 빠르고 정확한 누수 위치 탐지로 보수시 불필요한 시공의 횟수를 줄이고 인건비 절감과, 실시간 탐지로 인한 누수량을 감소로 원활한 물 공급을 통해 주민 생활에 편의를 도모할 수 있다. 그리고 누수감지를 위한 시제품 감지관(상수관용 강관/하수관용 PE관)의 개발로 신기술 개발을 통한 신공법 및 기술인력 배출 효과 및 국제적 경쟁력을 갖는 기술 확보가 가능하게 될 것이다.

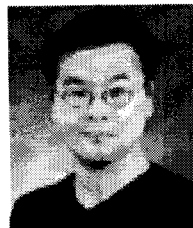
제안한 누수감지 시스템은 상수도뿐만 아니라 지하에 매설되어 있는 하수관에도 적용이 가능하고 송유관, 송전선 등 대부분의 관망 데이터베이스를 사용하는 시스템에 적용할 수 있다. 또한 GIS 데이터베이스를 이용하여 누수 분석 및 누수위치 검색뿐만 아니라 관망 분석 시스템과의 연동하여 관망 해석에도 적용이 가능하다. 그러나 아직 초기 단계이기 때문에 GIS 시스템 데이터베이스와의 연동을 위하여 데이터베이스 포맷의 표준화와 관망관리 및 노후관 관리 등의 통합 누수지역 종합 정보 관리 시스템 구축 방법이 개선되어야 할 것이다. 더 나아가서는 3D GIS를 사용한 3차원 모델링, 무선인터넷 연동 시스템, 효과적인 TDR 제어, 누수 오차 보정 그리고 누수감지관의 시공방법 및 보수방법의 개선과 개발이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] 환경부, 상수도통계, 2000.
 [2] 한국 수자원공사, <http://www.kowaco.or.kr>
 [3] 물포탈 사이트, <http://www.water.or.kr>
 [4] 김계현, "GIS 개론", 2판, 대영사, 서울, pp.1-152, 2000.
 [5] 에코프론티어, <http://www.ecofrontier.co.kr>,
 [6] 권동희, "지리정보론 GIS", 아카데미, pp.59-

168, 1999.

[7] 박기석, "GIS 지리정보 시스템", 동서, pp.55-220, 1997.
 [8] ESRI, <http://www.esri.com>
 [9] ESRI, "Getting Started with MapObjects"
 [10] CADLAND, <http://www.esrikr.co.kr>
 [11] Riserbond, "Metallic Time Domain Reflectometer Manual", 2001.
 [12] ESRI, "ESRI Shapefile Technical Description", 1998.
 [13] Bruce A. Ralston, "Developing GIS Solutions with MapObjects and Visual Basic", OnWord Press, Canada, pp.1-315, 2002.
 [14] 노기홍, 서덕영, 조위덕, 최우영, "디지털 영상처리 기술 및 응용", 전자공학회지, 제 18권, 제 6호, pp.375-388, 1991.
 [15] 인국, 윤영택, "영상 처리 기초편", 도서출판 기한재, pp.45-68, 1998.
 [16] Randy Crane, "영상처리 이론과 실제", 홍릉과학출판사, 1997.
 [17] 홍인식, "원격 제어를 위한 무선 검침 자동응답 시스템의 개발", 1999.



강 병 모

1998년 순천향대학교 전산학과 (학사)
 2000년 순천향대학교 전산학과 (석사)
 2001년~현재 순천향대학교 전산학과 박사과정

관심분야 : GIS, Image Processing, USIM



홍 인 식

1981년 한양대학교 전자공학과 (학사)
 1986년 한양대학교 전자공학과 (석사)
 1988년 한양대학교 전자공학과 (박사)
 1991년~1995년 순천향대학교 전

산학과 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