

# GIS상에서 누수탐지를 위한 공간데이터베이스의 설계

오영훈, 홍인식  
순천향대학교 정보기술공학부

## Design of the Spatial Database for Water Leakage Detection on GIS

Young-Hoon Oh, In-Sik Hong  
Division of Information Technology Eng., Soonchunhyang University

### 요 약

한국의 수자원은 연간 강수량이 세계 평균보다 1.3배나 많음에도 불구하고 높은 인구밀도와 지형적 조건, 관수시설 및 물에 대한 인식 부족으로 물 부족 현상이 현실로 다가오고 있다. 또한 많은 양의 정수된 물이 송수과정에서 땅속에서 새어나가고 있다. 그러나 현재의 누수탐지 방법으로는 정확한 누수의 위치를 찾기 어렵고, 많은 비용을 투입하고 있지만 현실적인 제약사항이 많아 그 효과는 기대치에 이르지 못하고 있다. 본 논문은 TDR(Time Domain Reflectometer)을 이용한 누수탐지 기법으로 탐색한 누수위치 및 파이프 정보를 실시간으로 모니터링하여 빠른 복구를 가능하게 하고, 누수 비용을 줄일 수 있는 누수탐지 지리정보시스템(Geographic Information System)을 구축하였고, 누수탐지와 지리정보시스템의 모니터링 효율성을 높이기 위한 공간데이터베이스의 설계에 대하여 기술하였다. 또한 독립적인 형식으로 공간데이터베이스를 구축하여 서비스를 제공하는 기존 GIS들 사이에 다양한 종류의 지리정보를 효율적으로 활용하기 위해 OGC에서 제안한 GML(Geography Markup Language) 문서로의 변환에 관한 가능성을 검증하였다.

### 1. 서론

현대 산업에서 고도의 IT 기술과 정보통신의 발달로 눈부신 성장을 이루며 생활수준의 향상과 인구 증가로 인해 물의 수요량이 현저히 커지게 되었다. 그러나 물을 취수 및 송수하는 시설과 물에 대한 인식 부족으로 물 부족현상은 현실로 다가오고 있다. 설상가상으로, 한국은 연간 강수량이 세계 평균보다 많으나 좁은 국토면적에 비해 높은 인구밀도로 인해 유엔이 지정한 물 부족국가로 분류되고 있다. 또한 지하에 매설된 파이프의 노후화와 불규칙한 지각변동으로 인한 파손으로 많은 양의 누수가 발생하여 막대한 재정적 손실이 초래되고 있다. 누수란 관로시설 내 저류되어 있는 물이 시설의 파손으로 인해 시설물 밖으로 흐르는 모든 경우를 의미한다. 이러한 누수를 탐지하는 방법에는 음청식 탐지방법과 야간 최소유량측정법 등 다양한 방법이 있으나 정확한 누수위치를 찾기 힘들고 이에 대해 많은 인력과 재정이 필요하며 정확한 누수위치를 실시간으로 감지하기는 불가능하다. 본 논문에서는 누수감지 파이프에 TDR(Time Domain Reflectometer)을 연결하고 GIS(Geographical

Information System)에 누수 위치를 전송하여 실시간으로 모니터링할 수 있는 누수탐지 GIS를 설계 및 구현하였으며, 누수탐지와 모니터링의 효율성을 높이기 위한 공간데이터베이스를 설계하였다. 또한 기존의 상이한 지리정보시스템간의 상호 운용성을 위해 OGC(Open GIS Consortium)에서 제안한 GML(Geography Markup Language)을 본 연구에 적용하여 구축된 파이프 공간데이터베이스를 GML 문서로 변환하여 타 지리정보시스템간의 상호 운용성을 제공함으로써 웹 GIS 및 모바일 GIS를 위한 서비스에 이용될 수 있는 가능성에 대해 검증을 하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서는 누수감지 파이프와 TDR, GIS, Shape 파일, 지오데이터베이스에 대한 관련 연구에 대해서 기술하고, 3장에서는 누수탐지 GIS의 공간데이터 베이스의 설계 및 변환 방법을 제안한다. 그리고 4장에서는 제안한 공간데이터베이스에 대하여 누수탐지 GIS에 적용하여 그 유효성을 확인한다. 마지막으로 5장의 결론에서는 향후의 연구과제를 제시한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 누수감지 파이프

누수감지 파이프 내에는 두 개의 도선이 평행하게 나선형의 형태로 감겨 있으며, TDR의 단자와 연결되어 도선의 길이를 측정하게 된다. 누수감지 파이프가 파손되면 파이프 내 도선도 함께 끊어지므로 도선의 파손 유무를 TDR에서 측정가능하다. 미세한 파손으로 인해 누수가 되더라도 도선에 물이 접촉하면 TDR 펄스 파형의 변화로 누수의 위치를 알 수 있다.

### 2.2 TDR(Time Domain Reflectometer)

TDR은 레이더와 같은 원리로 동작하는 펄스형 반사측정기로서 케이블 임피던스의 불균등, 케이블의 단선, 단락 및 고장 및 고장지점의 거리등을 측정하는 장비이다. 도선에 펄스를 송출하고 고장지점으로부터 반사 펄스를 수신하여 그 시간으로 고장위치 측정한다. 또한 반사펄스의 파형에 따라 파이프의 파손원인 파악이 가능하다. 누수감지 파이프의 감지도선은 지하에 매설될 때 다음 파이프에 계속적으로 연결되어 네트워크를 형성한다. 이렇게 이루어진 상수도관망 네트워크의 일정지점(5~10Km)마다 TDR을 설치하고 일정 시간마다 검사용 펄스를 송출하여 상수도관망의 누수 및 파손 여부를 실시간에 탐지한다.

### 2.3 지리정보시스템(Geographic Information System)

GIS는 지리적으로 참조 가능한 모든 형태의 정보를 효과적으로 수집, 저장, 갱신, 조정, 분석, 표현할 수 있도록 설계된 컴퓨터의 하드웨어와 소프트웨어 및 지리적 자료 그리고 인적자원의 통합체를 말한다. 또한, 지표면에 위치한 장소를 설명하는 자료를 모으고, 이를 이용할 수 있게 하는 컴퓨터 시스템이다. GIS는 다양한 지구 표면정보의 참조를 위하여 공간적으로 위치를 표현하는 지형정보와 그 형태와 기능을 설명 및 보완하는 비도형 속성정보를 나눈다. 이러한 지형정보와 속성정보를 그래픽과 데이터베이스로 연동하여 정보를 저장, 추출, 관리, 분석하여 사용자가 원하는 정보로 가공하는데 목적이 있다. 현재 GIS의 활용 분야는 사회 전 분야에 걸쳐 매우 급속히 확산되어 가고 있는 추세이며 도시계획, 토이이용, 교통공학, 토목공학, 수자원공학, 환경공학, 천연자원의 관리, 산림연구, 지도제작, 군사작전 등 그 활용의 폭이 매우 다양해지고 있다.

### 2.4 Shape 파일

본 논문에서는 공간형상을 빠르게 디스플레이 할 수 있고 공간형상과 속성을 쉽게 추가, 삭제할 수 있는 Shape 파일을 이용하였다. ESRI Shape 파일은 지리현상에 대한 기하학적 위치와 속성 정보를 저장, 제공해 주는 비위상구조(Non-Topological)의 데이터 포맷이다. 이 파일에는 지리현상의 기하학정보, 기하학정보의 인덱스, 속성정보, 공간 인덱스를 저장하는 파일들이 포함되어 있다. 현재 국내 및 해외에서 공간데이터의 실질적인 대표 포맷으로서 Shape 파일은 그 사용이 매우 높다.

### 2.5 지오데이터베이스(Geodatabase)

지오데이터베이스는 ESRI사의 ArcInfo 8에서 도입한 객체지향적 데이터 모델로써 지오데이터베이스 모델은 표준으로 객체 및 feature를 지원한다. 지오데이터베이스의 장점은 단일 데이터베이스에 공간데이터를 저장하고 중앙집중식 관리를 할 수 있으며 feature 입력 및 편집 시 정확성을 보장하며, feature간의 관계성을 설정하고 지도학적인 표현이 용이하다. 또한 지도정보를 통한 즉각적인 분석작업이 용이하다. 따라서 본 논문에서는 Shape 화일에서의 속성정보 입력 및 편집의 어려움과 Shape 화일의 수정으로 인해 feature간의 관계성이 파괴되어 GML로의 변환이 불가해지는 단점을 보완하기 위해 쉽게 액세스가 가능하며 비교적 연동이 쉬운 퍼스널 지오데이터베이스를 이용하였다.

## 3. 누수탐지 GIS 공간데이터베이스 설계

종래의 누수탐지 기법은 실제 사용이 매우 불편하며, 객관적인 정보보다는 경험자의 판단에 좌우되어 정확한 누수지점을 찾기 어려웠다. 또한 현실적으로 넓은 지역을 검사해야 하기 때문에 많은 인력이 필요하며, 반복적인 순회조사로 많은 시간과 재정이 필요하다. 또한 소량의 누수에 대한 탐지는 거의 불가능하다는 단점이 있다. 본 논문에서는 기존의 방법보다 효과적으로 누수를 탐지하고, 현장에 나가지 않고도 온라인상에서 누수여부 및 위치를 감시할 수 있는 시스템을 개발하고, 이를 위한 효율적인 공간데이터베이스를 설계하는데 목적을 두었다.

### 3.1 누수탐지 GIS 설계

본 논문에서는 정확한 누수탐지를 위하여 개발된 누수감지 파이프와 TDR을 이용한 누수탐지 기법을 GIS에 적용하여 구현하였다. TDR의 거리 정보 및 파형 정보를 위해 항상 대기하고 있으며, TDR은 일정 시간마다 파이프에 펄스를 송출하여 검출한 거리정보와 파형정보를 누수탐지 GIS의 사용자 인터페이스에 전송한다. 기존에는 이러한 정보를 관리자가 직접 분석하여 비교적 정확하게 누수여부를 판단하였으나, 제안된 시스템은 누수탐지 GIS가 직접 수신된 정보가 유효한지 아닌지를 공간데이터베이스에 저장된 파이프 정보와 비교분석하여 판단한다. 만약 유효한 정보라면 파이프의 속성 데이터베이스와 GIS상에서 파이프의 위치좌표를 추출하고, TDR에서 얻은 손상위치와 파이프 정보를 실시간으로 화면상에 보여준다.

### 3.2 누수탐지 GIS 공간 데이터베이스 설계

본 논문에서는 누수탐지 GIS의 공간데이터베이스로써 ESRI의 Shape 파일을 사용하였다. CAD로 작성된 실지역 도면의 레이어 위에 파이프 레이어를 설계하고, 새로 만든 레이어를 추출하여 CAD 파일로 저장한다. ArcGIS의 ArcToolbox를 이용하여 지오데이터베이스로 변환 후 Microsoft Jet엔진을 통해 누수감지 파이프의 속성정보를 입력한다. 속성정보를 나타내는 PIPE\_Polyline 테이블에서 데이터베이스 액세스 속도 향상과 용량을 줄이기 위해 불필요한 필드를 삭제하고 누수감지 파이프의 속성정보 입력을 위한 필드를 추가하였다. Shape 파일의 개체는 특성상 순차적으로 인덱스 되어있으므로 이를 나타내는 Object ID와 OLE개체인 Shape, 개체를 식별하기 위한 Handle로 구성된다. 넓은 지역에 대량의 파이프 정보를 입력하면 일부구간의 ObjectID와 파이프 번호, Handle만 다를 뿐, 다른 파이프 속성정보는 동일한 구간이 발생한다. 따라서 속성정보를 입력할 때 참조하는 Handle 값의 범위를 정하여 자동적으로 파이프 번호를 증가시키고 파이프 속성정보를 입력함으로써, 데이터베이스 구축 시 발생하는 인력과 시간의 낭비를 줄여 효율을 극대화 할 수 있다. 이러한 과정으로 구축된 지오데이터베이스를 다시 ArcToolbox를 이용하여 Shape 파일로 변환한 뒤, 누수탐지 GIS에 연결하여 이용할 수 있다. 또한 GIS에서 분석된 누수정보를 저장하는 데이터베이스를 구축하여 공사이력과 책임소재 등을 파악하여 행정업무를 향상시키고 또한 인터넷이나 모바일을 통한 확인도 가능하다.

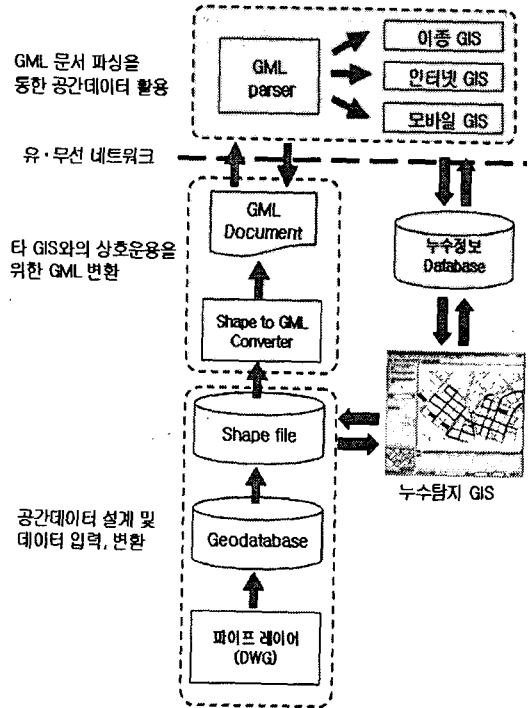


그림 1. 누수탐지 GIS 공간데이터 설계

## 4. 구현 및 평가

본 장에서는 기존에 구축된 누수탐지 GIS에 제안한 누수감지 파이프의 공간데이터베이스를 설계하고, 적용하여 기존의 방법과 비교하여 효율성을 증명하였다.

### 4.1 GIS상에서의 누수탐지 모니터링

누수탐지 실험을 하기 위하여 서울의 일부 지역에 파이프 공간데이터베이스를 만들고, 사용자가 모르는 임의의 지점을 파손하여 누수를 발생시키는 시뮬레이션을 실행하였다. 누수탐지 시스템은 전송받은 파이프 정보를 분석하고 누수위치를 계산하여 GIS상에 누수위치를 표시하고 파손된 파이프의 정보를 저장함으로써 복구 및 유지보수에 유용한 자료가 될 수 있다. 또한 실시간으로 누수를 탐지하기 때문에 기존의 누수탐지 방법보다 효율적임을 입증하였다.

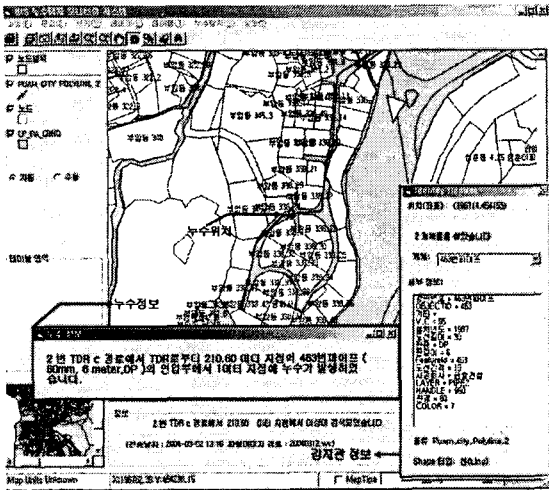


그림 2. 누수탐지 결과 예

#### 4.2 누수감지 파이프 정보 입력 시간

완성된 Shape 파일에서 직접 파이프의 속성정보를 입력하는 기존의 방법은 파이프의 수와 시간이 비례하여 한사람이 작업했을 경우, 10개를 입력할 때 약 1분의 시간이 소요된다고 가정하면 1000개의 파이프는 약 100분의 시간이 소요된다. 반면에, 제안한 속성정보 입력방법은 설계의 중간단계인 지오데이터베이스에서 반복되는 구간의 범위를 지정하여 속성을 자동으로 입력하여, 파이프의 수는 관계없이 반복되는 구간에 수에 비례한다. 따라서 1000개의 파이프 사이에 10개의 반복구간이 존재한다면 약 1분의 시간이 소요되므로, 기존의 방법보다 더 효율적이고 빠른 공간데이터베이스의 설계가 가능하다.

#### 4.3 공간데이터베이스의 GML 문서 사상

설계된 누수감지 파이프 공간데이터베이스를 Shape 파일의 GML 문서 변환기인 deegree-converter를 이용하여 서울 일부 지역에 매설되어 있는 누수감지 파이프의 번호, 길이, 설치년도, 관경, 시공회사, 도선간격, 종류 등의 지리정보를 담고 있는 규격화된 GML 문서로의 변환이 가능함을 확인하였다.

#### 5. 결론

정보기술의 발전 및 유·무선 인터넷의 폭발적인 보급과 더불어 경제의 급성장으로 새롭게 나타난 디지털 산업사회는 인간의 생활수준을 향상시킴으로써, 수자원의 이용이 급격하게 증가하게 되었다. 하지만 한정된 물 공급량에 비해, 해마다 엄청난 양의 누수가

발생되고 있어 국가 재정 낭비를 초래하고 있으며 이에 따른 효과적이고 정확한 누수탐지 방법이 필요하게 되었다. 본 논문에서는 TDR을 이용한 누수탐지 기법을 기반으로 하여 이를 GIS에 적용하여 정확한 누수위치를 실시간으로 찾아내는 누수탐지 GIS를 개발하였고, 이를 위한 파이프 공간데이터베이스의 효율적인 설계방안을 제시하여 누수탐지의 효율성을 증대하였다. 향후 과제로는 방대한 양의 GIS 데이터를 각 지역별로 분산 처리하여 높은 수행능력을 얻는 분산 공간데이터베이스의 구축과 다양한 종류의 공간데이터베이스를 사용하는 이종 GIS간 상호 운용성을 위한 GML 사상에 대한 연구가 필요하다.

#### 6. 사사

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

#### [참고문헌]

- [1] Bruce A. Ralston, Developing GIS Solutions with MapObjects and Visual Basic®, OnWord Press, Canada, pp.1~315(2002)
- [2] 김계현, GIS 개론, 2판, 대영사, 서울, pp.1~152(2000)
- [3] Riser-Bond, "Metallic Time Domain Reflectometer manual"
- [4] ESRI, "ESRI Shape file Technical Description" July(1998)
- [5] ESRI, "Getting Started with MapObjects"
- [6] ESRI, "MapObjects", Programmer's Reference
- [7] 에코프론티어 - GIS기반 상하수도 관망 관리시스템, <http://www.ecofrontier.co.kr> (2001)
- [8] 한국 수자원공사, <http://www.kowaco.or.kr>
- [9] 물포탈 사이트, <http://www.water.or.kr> (2003)
- [10] CADLAND, <http://www.esrikr.co.kr> (2002)
- [11] ESRI, <http://www.esri.com>
- [12] Sourceforge, <http://deegree.sourceforge.net>
- [13] 정원일 외, 이질적인 공간정보시스템의 상호 운용성을 위한 효과적인 지리데이터의 GML사상, 멀티미디어학회논문지 제 7권 제1호, 2004
- [14] 신흥섭 외, 모바일 GIS를 위한 XML 변환, 정보처리학회 춘계 학술발표논문집 제 9권 제1호, 2002
- [15] ESRI, shapefile 구조, 인하대학교 GIS 연구실, 2002