

실시간 누수탐지 모니터링 시스템의 구현

정대권, 홍인식
순천향대학교 정보기술공학부

Building of Monitoring System for Real-time Leak Detection of Water Distribution

Dae-Kwon Jung, In-Sik Hong
Division of information Technology Eng, Soonchunhyang University

요약

한해 누수로 인하여 많은 양의 상수가 소실되고 있어 국가 재정낭비를 초래하고 있다. 이는 관의 노후화와 지반침하에 의한 파이프의 파손 등 여러 요인에 의해 발생하는 것으로 누수를 예측하여 탐지하는 것은 매우 어렵다. 현재 누수를 탐지하는 방법은 여러 가지가 있지만 현실적인 제약과 경험자의 주관적인 판단에 의존하기 때문에 정확한 누수 위치를 찾을 수가 없었다. 본 논문에서는 종래의 누수탐지 방법의 단점을 획기적으로 보완하여 지하에 매설된 상수도 관망을 실시간으로 모니터링 할 수 있는 누수탐지 모니터링 시스템을 제안하였다. 또한 제안된 시스템을 GIS상에서 실험함으로써 효율성과 정확성을 입증하였다.

1. 서론

급속한 산업화로 인해 생활수준이 향상됨에 따라 물의 사용은 급격하게 증가하였다. 하지만 물을 담아 관리하는 시설 및 물에 대한 인식 부족으로 인하여 물 부족은 현실로 다가오고 있다. 지하에 매설된 파이프의 노후화와 불규칙한 지반으로 인하여 다량의 상수관로가 파손되었고 이에 따른 많은 양의 누수가 발생되고 있어 막대한 국가 재정낭비를 초래하고 있다 [1]. 기존의 누수탐지 방법에는 여러 가지가 있으나 정확한 누수위치를 찾기 힘들고 많은 인력과 재정이 필요하며 현실적인 제약사항이 많다[2]. 이러한 상황에서 현실적인 제약이 적으면서 인력과 재정도 최소화 할 수 있는 누수탐지 연구가 활발히 진행 중이다 [3]. 본 논문에서는 세계 최초로 TDR(Time Domain Reflectometer)장비와 누수 감지관을 이용한 획기적인 누수탐지 기법을 제안하고 이를 지리정보시스템과 연동하여 지하에 매설된 상수관로의 손상여부를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 누수탐지 모니터링 시스템을 설계 및 구현하였다. 제안된 시스템은 빠르고 정확한 누수탐색이 가능하여 많은 양의 누수를 저감시킬 것으로 예상된다.

2. 관련 연구

2.1 GIS (Geographic Informaion System)

GIS는 지리적으로 참조 가능한 모든 형태의 정보를 효과적으로 수집, 저장, 갱신, 분석, 표현할 수 있도록 설계된 컴퓨터의 하드웨어와 소프트웨어 및 지리적 자료 그리고 인적자원의 통합체를 말한다[4]. 상수도 분야에서도 지하시설물과 통합적인 관망관리를 위하여 GIS를 이용함으로써 유지 및 보수에 효율성을 높이고 지하시설물과 관련된 사고 예방 및 사고 발생 시 신속한 대응체계 확보를 위하여 매우 중요한 요소이다[5][6]. 또한 공간관련 계획 수립과 정책 결정시 각종 지리정보를 신속하게 분석할 수 있어 업무의 효율성을 높일 수 있다. 현재 관로시설물 관리, 민원관리, 정수관리 등에 많이 사용되고 있으나 누수탐지를 위한 수단으로서는 그 사용이 빈약하다[7].

2.2 종래의 누수탐지 기법

현재 가장 많이 쓰이는 누수탐지 기법은 음향식탐지법, 상관식탐지법, 야간최소유량측정법 등 여러 방법이 있다. 음향식탐지법은 누수가 발생될 때 내는 배관의 파열음 등 누수음을 지표면에서 센서를 통해 누수위치를 산출한다. 상관식탐지법은 관로상에 센서를 부착시켜 누수 지점에서 전해지는 동일한 누수음이

본 연구는 한국과학기술연구원 핵심전문 연구과제(과제번호:981-0928-493-2) 연구비에 의해 연구되었음

쌍방의 감지기에 전해지는 시간차를 계산하여 누수지점을 산출하는 방식이다. 야간최소유량측정법은 야간에 물 사용이 적은 시간대에 블록 내로 유입되는 유량을 이용하여 측정하는 방법이다.

3. 누수탐지 시스템의 구축

종래의 누수탐지 기법은 음파는 탄성파를 이용하는 방법으로 실제 사용이 매우 불편하며, 객관적인 정보보다는 경험자의 판단에 좌우되어 정확한 누수지점을 찾기 어려웠다. 또한 현실적으로 넓은 지역을 검사해야 하기 때문에 많은 인력이 필요하며, 반복적인 순회 조사로 많은 시간과 재정이 필요하다. 본 논문은 기존의 방법보다 효과적으로 누수를 탐지하고, 오프라인이 아닌 온라인상에서도 누수여부를 항상 감시할 수 있는 시스템을 설계하는데 목적을 두었으며, 사용자의 편의를 위하여 쉬운 UI(User Interface)를 제공하였다.

누수는 주로 지반침하에 의한 파이프 파손 및 접합부의 이탈, 하중의 증가에 의한 관로파손, 취급 부주의에 의한 파손으로 발생한다. 누수가 발생시에 감지관내 삽입한 도선의 절단 및 침수에 의해 누수지점을 파악할 수 있다. TDR은 감지관에 삽입된 도선의 길이를 측정하는 장비로서, 감지관 내의 도선은 TDR과 연결되고 TDR은 일정시간 마다 펄스를 송출하여 거리를 산출한다[8]. 측정된 값은 누수탐지 모니터링 시스템으로 전송되고 적합 여부를 판단 후, 데이터베이스에서 필요한 정보를 수집하여 GIS 화면에 디스플레이 한다. 그림 1은 제안한 누수탐지 시스템의 전체 구성도를 나타낸다.

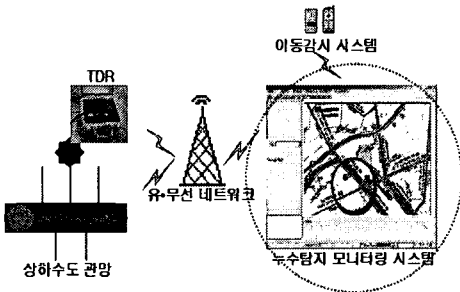


그림 1. 누수탐지 시스템의 전체 구성도

3.1 누수감지관의 구조

본 논문에서는 효율적인 누수탐지를 위해 누수 감지관을 제안하며 현재 시제품 제작을 완료한 상태이다. 누수감지관은 파이프 내에 두 개의 도선이 평행하

게 나선형의 형태로 감아져 만들어진 것으로서 누수가 발생시에 감지관 내부의 도선 상태를 파악하기 위하여 제안한 것이다.

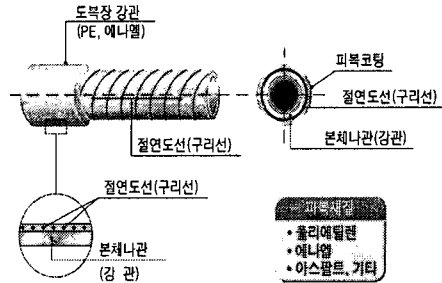


그림 2. 누수감지관의 구조

3.2 누수탐지 모니터링 시스템의 구현

모니터링 시스템은 그림 3과 같이 레이어 추출 모듈, 파손거리 계산모듈, 디스플레이 모듈, TDR 인터페이스 모듈, DB핸들 모듈, DBMS로 구성된다.

3.2.1 GIS상에서의 누수 감지관 레이어추출 모듈

GIS상에 지리정보는 그 특성에 따라서 레이어로 구분한다. 예를 들어 지형요소를 구분하는 도로의 경우에 목적에 따라서 도로와 관련된 모든 지리정보를 하나의 레이어에 표현할 수도 있고, 여러 레이어로 나누어서 구분할 수도 있다[9][10].

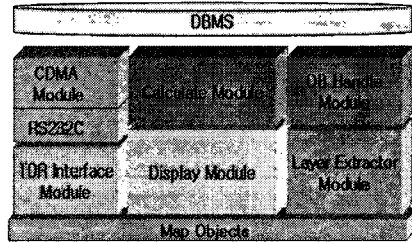


그림 3. 모니터링 시스템의 구성

GIS상에서 전체 레이어에 포함되어진 모든 개체에 대해서 조사 및 계산을 하는 것은 시스템의 성능을 저하시킨다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위하여, 활성 레이어의 개체만을 조사함으로써 효율성을 향상시켰다. 모니터링 시스템은 레이어를 추가할 때마다 카운터를 증가시킨다. 이때 가장 상위의 레이어가 활성 레이어가 된다. 레이어 추출 모듈은 활성 레이어의 개체들만 추출하여 레코드 셋에 저장한다.

3.2.2 파손거리 계산 모듈

파손거리 계산 모듈은 레이어 추출 모듈에서 저장

한 레코드 셋과 TDR에서 전송된 누수 정보를 바탕으로 누수위치를 산출해 낸다. 하지만 레이더 추출 모듈에서 저장한 모든 레코드 셋을 다 가져올 필요는 없다. 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 검색 대상이 되는 감지관의 레코드 셋만 가져오는 것이 더 효율적이다. 지하에 매설된 감지관의 관경은 모두 일률적이지 않기 때문에 누수의 위치를 계산하기 위해서는 다음과 같은 방법으로 계산할 수 있다. 최초 TDR에서 측정된 도선의 길이를 D라 하고 각 파이프의 도선 길이를 계산하여 D에서 차감하여 나간다. 만약 D가 감지관 내의 도선 길이보다 작다면 식(1)과 같이 해당 파이프의 누수 위치를 구할 수 있다.

$$\frac{\text{파이프길이} * D}{\text{해당감지관내의도선길이}} = \text{누수위치} \quad (1)$$

3.2.3 디스플레이 모듈

파손거리 계산 모듈에서 누수위치가 계산되면 디스플레이 모듈은 파손된 감지관의 속성정보를 추출하고 GIS상에 표시하게 된다. 이 모듈은 ESRI의 Map Objects를 이용하여 구현하였으며, 누수위치는 Flashshape(), Drawshape() 함수를 사용하여 표현하였다[11].

3.2.4 TDR 인터페이스 모듈

모니터링 시스템은 TDR과 항상 연결되어 있어야 한다. 본 논문에서는 TDR과 모니터링 시스템과의 접속을 위하여 그림 5와 같은 프로토콜을 정의하였다. Identify 필드는 TDR의 고유 식별자를 나타내며 Path 필드는 해당 TDR이 검색할 수 있는 경로를 나타낸다. 정확한 누수위치를 알기 위해서는 감지관 내의 도선 길이를 정확하게 측정해야 한다. 이것은 전파속도와 관련이 있다. 신호가 케이블을 전파하는 속도를 전파속도(VOP)라 하는데 케이블의 유전율의 변화에 따라 전파속도도 변하기 때문에 TDR에서는 측정된 값들에 대한 VOP값을 같이 전송한다. Pulse 필드는 TDR에서 도선의 길이를 측정할 때 출력하는 펄스폭을 나타낸다. 펄스폭은 측정된 값들의 유효성을 판단하는데 유용하다. Wave Data 필드는 TDR에서의 측정된 길이에 대한 파형으로서 이것은 수동 검사시 파형을 직접 확인함으로써 누수 여부를 확인할 수 있다.

TDR Protocol			
Identity	Path	VOP	Pulse
Wave Data			Reserved

그림 4. TDR 통신 프로토콜

3.3 데이터베이스의 설계

누수위치를 계산해 내기 위해서는 누수감지관의 스키마를 설계하는 것이 중요하다. 이것은 추후에 공사 이력과 책임소재 등을 파악할 수 있어 행정업무를 향상시킨다. 제안된 시스템에서는 누수 감지관, 경로, 관리자, 로그파일 테이블로 구성되었다. 로그파일 테이블은 누수가 발생했을 때, 누수에 대한 정보를 저장하기 위한 것이다.

<표 1> 데이터베이스 스키마

필드이름	데이터형식	기타	필드이름	데이터형식	기타
Path_1.a	Char (20)	각 경로에 해당하는 감지관 ID	Member_ID	Char(20)	관리자 ID
Path_1.b	Char (20)		Name	Char(30)	이름
Path_1.c	Char (20)		Address	Char(80)	주소
Path_1.d	Char (20)		소속	Char(30)	관리자 소속
Path_2.a	Char (20)		Tel	Char(20)	전화번호
...	Char (20)		detect	Char(20)	검사여부

필드이름	데이터형식	기타	필드이름	데이터형식	기타
감관번호	Char(20)	감지관 ID	감관번호_Log	Char(20)	Log File
관길이	Integer(8)	감지관의 길이	관길이_Log	Integer(8)	
설치년도	Date	시공일	설치년도_Log	Date	
관경	Integer(6)	감지관의 지름	관경_Log	Integer(6)	
시공회사	Char(30)	시공업체	시공회사_Log	Char(30)	
도선간격	Integer(6)	도선의 피치	도선간격_Log	Integer(6)	
관종	char(8)	관의 종류	관종_Log	char(8)	
V.C	Integer(5)	Cfactor			
매설길이	Integer(6)	매설 길이			

4. 동작실험 및 고찰

본 장에서는 제안된 누수탐지 시스템의 효율성과 실용성 및 현장에 대한 적응성을 증명하기 위하여 시나리오에 관한 동작실험을 실시하였다. 먼저 실제로 구축한 파이로트를 통하여 현장에 대한 적응성을 살펴보고 이를 GIS상에서 적용함으로써 실제 구축시의 효율성을 증명하였다. 실험에서 사용된 파이로트는 총 17개의 누수 감지관으로 구성되어 있으며, 각 파이프의 길이는 5~6m로서 감지관 코팅 층에는 27~30m의 도선이 들어있다. 작동은 감지관의 시작부에 삽입된 두 도선을 TDR에 연결함으로써 누수탐지가 시작된다. 파이로트의 임의의 부분을 파손시키면 TDR은 측정거리를 모니터링 시스템에 전송한다. 모니터링 시스템은 도선의 길이를 누수 위치로 환산하여 관리자에게 보여준다.

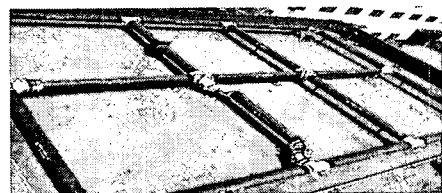


그림 5. 파이로트 구축

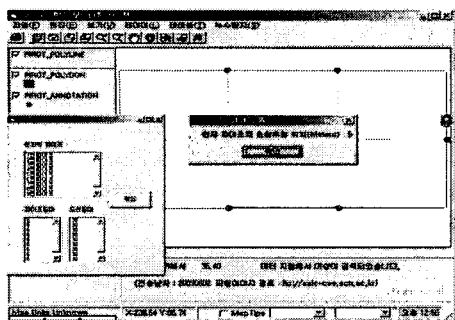


그림 6. 파이로트에서의 누수탐지 실험

파이로트에서의 실험을 확장시켜 GIS데이터에 제안된 시스템을 적용하여 유효성과 효율성을 입증한다. 모니터링 시스템은 자동 또는 수동으로 누수를 탐지한다.

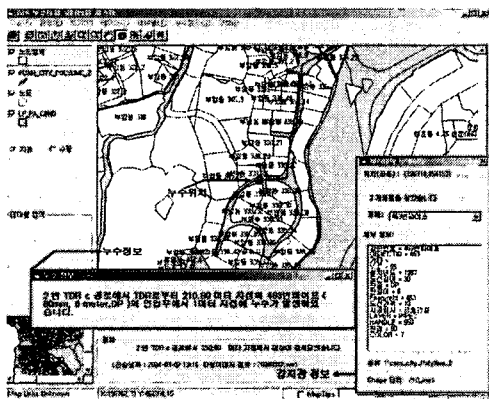


그림 7. 누수탐지 결과 예

GIS상에서 누수탐지 실험을 하기 위하여 임의의 도시에 누수 감지관 레이어를 만들고 사용자가 모르는 임의의 곳을 파손하여 누수를 발생시켰다. 그림 12에서와 같이 모니터링 시스템은 누수위치를 계산하여 GIS상에 누수위치를 표시하고 파손된 감지관의 정보를 제공함으로써 복구시에 유용한 자료가 된다. 또한 제안된 시스템은 실시간으로 누수를 탐지하기 때문에 기존의 누수탐지 방법보다 효율적임을 입증하였다.

5. 결론 및 향후과제

최근 삶이 풍요로워지고 생활수준이 향상됨으로서 물의 이용은 급격하게 증가하게 되었다. 하지만 해마다 엄청난 양의 누수가 발생되고 있어 국가 재정 낭비를 초래하고 있으며 이에 따른 효과적이고 정확한 누수탐지 방법이 대두되었다. 본 논문에서는 TDR을 이용한 누수탐지 기법을 기반으로 하여 이를 GIS에

적용하여 정확한 누수위치를 찾아내는 모니터링 시스템을 제안하였다. 시나리오의 동작실험으로 기존의 누수탐지 방법보다 효율적이고 정확하며 빠른 속도의 탐지능력을 보였으며, 많은 계산량과 데이터를 가지는 GIS파일들을 알고리즘 구조측면에서 활성레이어만 계산함으로써 계산량을 줄여 성능을 향상시켰다. 향후 과제로는 많은 양의 GIS 데이터를 각 지역별로 분산 처리하여 높은 수행능력을 얻는 시스템의 구축이 필요하며 TDR과 모니터링 시스템사이의 무선 네트워크를 이용한 솔루션 개발에 지속적인 연구가 필요하다.

[참고문헌]

- [1] Hunaidi Osama, Chu Wing, Wang Alex, Guan Wei, "Leak Detection Methods for Plastic Water Distribution Pipes", Amer Waterorks Assn
- [2] Smith Lawrence, Fields Keith, Chen, "Options for Leak and Break Detection and Repair of Drinking Water Systems", Battelle, 2000
- [3] ETRI, "GIS 기술 / 시장보고서 2001", 2001
- [4] Gye-Hyun Kim, "Geographic information system", 2th Edition, Daeyoungsa, pp.1~152(2000)
- [5] Bong-Mun Choi, "City Information and GIS" ,
- [6] Philippe Rigaux, Michel Scholl, Agnes Voisard, "Spatial Databases : With Application to GIS", Morgan Kaufmann, 2001
- [7] In-Sik Hong, "Development of Wireless Inspection Examination Automated Response System for Remote Control", 1999
- [8] Riser-Bond, "Metallic Time Domain Reflectometer manual"
- [9] Bruce A. Ralston, "Developing GIS Solutions with MapObjects and Visual Basic®", OnWord Press, Canada, pp.1~315(2002)
- [10] Mitchell Andy, "The ESRI Guide to GIS Analysis", Independent Pub Group, 1999
- [11] ESRI, "ESRI Shapefile Technical Description to GIS", 1998