

센서 및 객체 정보 기반의 도시 지하시설물 관리시스템 구축 방안

Development of a Underground Facility Management System based on Sensor and Object Data

강준목¹⁾ · 이재욱²⁾ · 서명우³⁾ · 백송훈⁴⁾

Kang, Joon Mook · Lee, Jae Wook · Seo, Myung Woo · Baik, Song Hoon

Abstract

With the promotion of the u-City project in recent years, the need for the systematic and efficient management of ground and underground facilities comprising the urban infrastructure has been increased. Considering that the diverse services provided in the u-City are closely related to the physical environment of the city itself, including its location and condition, the core of such management must be to continuously maintain these facilities in a normal state, based on accurate data collection from the facilities. This paper discusses a method of collecting the sensor and the object data that are needed to accurately understand the state of the underground facilities, and presents a plan to build an Underground Facility Management System on this basis. This plan is then verified using a scenario test performed by a prototype system.

Keywords : Facility Management, u-City, Underground Facility, Sensor Data, Object Data

초 록

최근 들어 u-City 사업의 활성화와 함께 도시의 핵심 인프라를 구성하는 각종 지상 및 지하시설물에 대한 체계적이며 효율적인 관리에 대한 필요성이 높아지고 있다. u-City에서 제공되는 다양한 서비스들이 도시의 물리적 환경, 즉 도시시설물의 위치 및 상태와 밀접하게 연관되어 있다는 점을 고려할 때 정확한 시설물 관련 정보의 수집과 이를 바탕으로 한 시설물의 정상상태 유지가 도시시설물 관리의 핵심이라 할 수 있다. 본 논문에서는 기존 지하시설물 관리시스템에 대한 분석을 바탕으로 지하시설물에 대한 정확한 상태 파악에 필요한 센서 및 객체 정보의 수집 방법을 살펴보고 이를 기반으로 한 지하시설물 관리시스템의 구축 방안을 제시하였다. 또한 프로토타입 시스템을 활용한 시나리오 테스트를 통하여 제시된 방안의 활용성을 검증하였다.

핵심어 : 시설물 관리, 유시티, 지하시설물, 센서 정보, 객체 정보

1. 서 론

첨단 정보기술과 물리적 환경의 결합을 통한 편리하고 안전한 미래 도시 건설을 표방하는 유비쿼터스 도시(Ubiquitous City, 이하 u-City) 사업은 현재 신도시, 행정

중심복합도시, 혁신도시, 기업도시 등 다양한 목적과 형태로 진행되고 있다. 더불어 도시의 핵심 인프라를 구성하는 각종 지상 및 지하 시설물에 대한 체계적이며 효율적인 관리에 대한 필요성이 높아짐에 따라 GIS, 센서, 네트워크 등 관련 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지

1) 정회원 · 충남대학교 공과대학 토목환경공학부 교수(E-Mail:jmkang@cnu.ac.kr)

2) KT 중앙연구소 책임연구원(E-Mail:jaelee@kt.com)

3) 정회원 · KT 중앙연구소 수석연구원, 충남대학교 토목공학과 박사과정(E-Mail:seomw@kt.com)

4) 교신저자 · 정회원 · KT 중앙연구소 수석연구원, 충남대학교 토목공학과 박사과정(E-Mail:baiksh@kt.com)

고 있다(김의명 등, 2006; 김재영, 2007; 한국정보사회진흥원, 2008). 이는 환경, 방법, 방재, 관광, 의료 등 u-City에서 제공되는 다양한 서비스들이 도시의 물리적 환경, 즉 도시시설물의 위치 및 상태와 밀접하게 연관되어 있기 때문이며 정확한 시설물 관련 정보의 수집과 이를 바탕으로 한 시설물의 정상상태 유지가 시설물 관리의 핵심이라 할 수 있다(Krishnamurthy 등, 2008).

도시를 구성하는 각종 시설물들을 공간적으로 분류하면 크게 지상과 지하시설물로 구분할 수 있으며 이들 시설물들은 공간적인 차이 외에도 기능적, 관리적 측면에서도 상당한 차이가 있다. 먼저 기능적인 측면에서는, 건물, 도로, 교량 등의 지상시설물들이 거주민의 주된 활동 공간으로서의 역할을 담당하는 반면 상수도, 하수도, 전기선, 통신선 등과 같은 지하시설물들은 지상시설물들의 정상적인 기능 수행에 필요한 필수적인 기반 시설로서 활용된다. 한편, 시설물 관리 측면에서는, 일반적으로 지상시설물에 대한 접근성이 용이한 반면 지하시설물의 경우 설치, 변경, 보수 등의 작업을 위한 접근성이 상대적으로 떨어지므로(강준목 등, 2003; 김명호 등, 2002) 실시간 상태 모니터링을 통한 안정적인 성능 유지와 신속한 보수 및 복구 작업이 우선적으로 요구된다.

이러한 지하시설물이 가지는 특성을 고려하여 본 연구는 상수도, 하수도, 전기선, 통신선, 송유관, 가스관, 난방관 등의 7대 지하시설물 중 상수도 시설물을 중심으로 실시간 상태 모니터링을 위한 단위 기술의 개발과 이를 결합한 관리시스템의 개발을 목표로 진행되었다.

대상 시설물에 대한 연구 범위는 i) 설문조사를 통한 관리 대상물과 관리 항목 선정, ii) 시설물에 대한 실시간 모니터링 항목 도출, iii) 적용 센서 선정과 특성 분석 등을 포함하며, 핵심 기술 범위로는 i) 지하시설물에 대한 센서 정보 및 객체 정보의 수집과 전달을 위한 네트워크

기술, ii) 전달된 정보를 변환·가공·처리하여 특정 목적에 활용하는 정보 처리 기술, iii) 처리된 정보를 지도상에 가시화하는 GIS 관련 기술 등을 포함한다.

본 논문에서는 먼저 기존 지하시설물 관리시스템의 운영 현황과 문제점을 분석한 후 이를 토대로 관리 대상 시설물, 관리 항목 등을 도출하고 목표 시스템의 요구 기능을 정의하였다. 그리고 정확한 지하시설물의 상태 파악에 필요한 센서 정보¹⁾ 및 객체 정보의 수집 방법을 살펴보고 이를 기반으로 한 지하시설물 관리시스템(Underground Facility Management System, 이하 UFMS)의 구축 방안을 제시하였으며 시나리오 테스트를 통하여 제시된 시스템의 기능과 활용성을 검증하였다. 그림 1은 연구 범위 및 과정을 도식화한 것이다.

2. 현황 분석 및 요구 기능 정의

지하시설물은 지하공간이라는 설치 환경이 가지는 물리적 특성상 다양한 형태의 사고들이 발생하며 이러한 사고들에 대한 예측, 확인, 보수, 교체 등의 작업이 쉽지 않다. 이 중 특히 상수도, 가스, 난방 관련 시설의 경우 제한된 지하 공간 내에 다수의 시설물이 매설되기 때문에 타 공사에 의한 사고발생 가능성이 높고 이러한 지하시설물 관련 사고는 대규모 인명 및 재산피해로 이어질 수 있으므로 사고 발생을 미연에 방지하는 것이 중요하다. 하지만 현실적으로 시설물의 종류에 따라 관리주체가 상이하거나 개별 관리주체 간 협업체계가 미비하여 사고 예방에 어려움이 따른다. 이와 같은 문제점을 근본적으로 해결하기 위해서는 시설물별 객체 정보에 대한 관리체계 표준화와 시설물 관리시스템 간 정보 연계가 요구된다(Yu 등, 2000).

본 연구를 통하여 개발하고자 하는 시스템은 표준화된 정보체계를 기반으로 하여 지하시설물 관리에 필요한 공통 정보의 수집과 연계를 보다 효율적으로 처리함과 동시에 실시간 센서 정보를 활용하여 보다 정확한 시설물 상태 파악과 신속한 상황 대응이 가능하도록 하여 위에서 언급한 기존 지하시설물 관리시스템이 가지는 문제점을 해결하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 지방자치단체가 운영하고 있는 기존 시설물 관리시스템을 분석하여 목표시스템이 관리해야 할 항목들을 선정하고

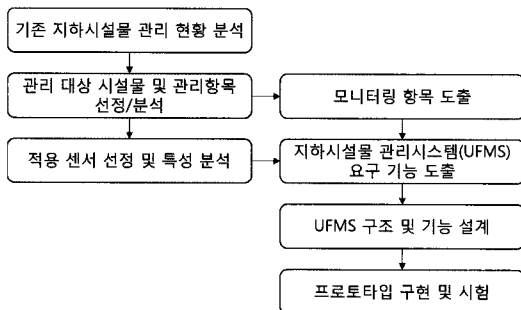


그림 1. 연구 범위 및 과정

1) 본 논문에서 '센서 정보'는 시설물에 설치된 센서 기기들의 측정값 정보를 의미하며 센서 종류, 제조사 등 센서 기기 자체에 대한 정보는 '센서 기기 정보'로 정의한다.

센서를 통하여 실시간으로 관리해야 할 모니터링 항목들을 도출하였다. 또한 이를 바탕으로 목표 시스템의 요구 기능을 정의하였다.

2.1 지하시설물 관리 현황 분석

본 연구에서는 현재 지방자치단체 및 공공기관을 중심으로 구축되어 운영되고 있는 다양한 지하시설물 관리시스템 중 국토해양부가 2001년도에 수행한 ‘지하시설물 관리 범용프로그램 개발지침 연구’를 기반으로 개발된 상하수도 범용프로그램을 중심으로 분석을 수행하였다. 분석 대상 시스템으로는 지역적 특성, 인구수, 정보화 수준 등을 고려하여 광주광역시, 익산시, 구리시, 과천시, 김해시 등 5개 지방자치단체가 관리하고 있는 시스템으로 한정하였다(지능형국토정보기술혁신사업단, 2009).

표 1. 지방자치단체 상하수도 시설물 관리항목 현황

시설물 종류	항목 구분	시설물	계측 항목
상수도	범용 기본 설계	상수관로, 급수관로, 상수맨홀, 스탠드파이프, 변류시설, 유량계, 수압계, 소방시설, 수원지, 취수장, 정수장, 가압장, 배수지, 급수전계량기, 저수조	압력, 유량, 유속, 온도, 수질, 이미지
	지방자치단체 추가	수압측정구, 상수관말, 지수전, 청소구, 원격제어함, 보조관로, RFID시설	
하수도	범용 기본 설계	하수관거, 하수연결관, 측구, 하수맨홀, 물받이, 우수토실, 역사이편, 토구, 환기구, 하수처리장, 하수펌프장, 우수지, 배수분구	
	지방자치단체 추가	계측기, 관정, 마을하수도	

표 1은 분석 대상 지방자치단체가 관리하고 있는 대상 시설물과 시설물별 관리항목들을 정리한 것으로 대상 시설물별로 센서를 통하여 수집하여야 할 모니터링 항목을 살펴보면, 먼저 상수도 시설물인 상수관로, 유량계, 가압펌프, 정수장, 급수전 계량기에 대하여 압력, 유량, 온도, 사용량 등에 대한 실시간 정보가 필요하다. 한편, 하수도 시설물인 하수관거, 물받이, 맨홀, 역사이편에 대하여 토사퇴적량, 침입수/유입수 유무, 누수/균열,

부유물 유무, 수위차, 유실/도난에 대한 모니터링이 필요한데 이러한 정보 또한 유량, 압력, 이미지 센서 등을 통하여 취득할 수 있다. 이와 같이 대상 시설물과 모니터링 항목을 바탕으로 목표시스템인 UFMS의 기능과 관리 정보를 정의하였다.

2.2 UFMS의 주요 기능 및 관리 정보

현재 지방자치단체가 활용하고 있는 상하수도 범용프로그램은 도면과 종이문서로 관리하던 시설물 관련 자료를 전산화하여 업무의 효율성을 높인 시스템이라 볼 수 있으며, 반면 본 연구의 목표시스템인 UFMS는 지하 시설물에 설치된 다양한 센서로부터 실시간 상태 정보를 수집하고 모니터링하여 시설물에 발생할 수 있는 이상 상황에 대한 신속한 대처를 지원하는 발전된 시스템이라 할 수 있다. 이를 위하여 UFMS는 센서 정보의 처리뿐만 아니라 기존의 전산화된 시설물 관련 시스템과의 연계를 통하여 얻어진 객체 정보(즉, 시설물 및 센서 기기 관련 공간 및 속성 정보)의 처리도 필요하다.

UFMS의 주요 기능을 살펴보면 표 2와 같이 지도 관리를 위한 GIS 기능, 시스템의 운영과 관리를 위한 기능, 실시간 센서 정보와 객체 정보 기반의 시설물 관리 기능 등을 포함한다.

표 2. UFMS의 주요 요구 기능

구분	주요 기능	설명
기본기능	로그인, 게시판 기능	시스템 사용을 위한 기본 기능
시스템 관리기능	사용자, 센서, 기본도, 레이어, 시설물도, 센서이력 관리 등	시스템 활용 및 관리를 위한 세부 기능
GIS 기능	기본기능, 부가기능, 주제도, 통계차트 등	화면상에서 지도의 조작을 위한 기본 기능
시설물정보 조회	기본정보, 사진정보, 영역별검색 등	시설물 기본정보 조회를 위한 기능
상수도시설관리	상수관거 및 상수도 시설 모니터링	시설물 모니터링 기능
하수도시설관리	하수관로 및 하수도 시설 모니터링	
기타기능	알람기능	이상상황 발생 시 알람 발생 기능

UFMS가 활용하는 주요 정보들로는 표 3에서 보는 바

와 같이 기본 정보, 시설물 정보, 센서 정보, 그리고 기타 업무 관련 정보 등이 있으며 이러한 정보들을 수집하고 처리함으로써 지하시설물에 대한 상태 파악과 관리가 가능해진다. 도출된 주요 기능과 활용 정보를 기반으로 하여 다음 장에서는 UFMS의 구현에 필요한 구조 및 기능 설계에 대한 내용을 다루고자 한다.

표 3. UFMS의 주요 관리 정보

구분	주요 정보	설명
기본 정보	색인도, 기준점, 표고점, 등고선, 행정구역경계, 행정읍/면/동, 법정읍/면/동, 건물, 기호건물, 지형지반 등	시설물관리에 기반이 되는 공통 정보
시설물 정보	상하수도 시설물 정보	시설물 관련 일반 정보
센서 정보	상수도 상수관로: 누수/균열, 부식정도 유량계: 유량, 파손/누수/부식 여부 급수전계량기: 사용량, 이상 유무, 온도, 상수, 급수, 저수조 수질 등	센서망을 통하여 실시간으로 들어오는 센서 측정 정보
	하수도 하수관거: 부식, 누수/균열, 유량, 토사퇴적량, 악취 맨홀: 균열, 마모/부식, 침하/함몰, 유실유무 불반이: 균열, 토사유무, 침하/함몰, 유실유무, 유입수/방류수 수질 등	
기타 정보	시스템 관리 및 기타 업무를 위한 데이터	

3. 지하시설물 관리시스템 개발 방안

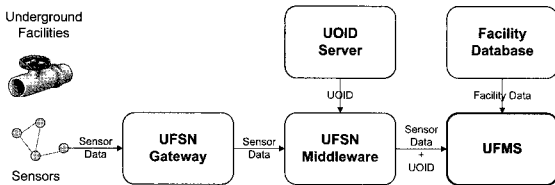


그림 2. UFMS 시스템 개념도

그림 2는 UFMS의 대략적인 시스템 개념을 도식화한

것이다. UFMS와 연계되는 시스템들을 살펴보면, 지하 시설물에 설치된 센서로부터 센서 정보를 수집하고 1차적으로 가공하여 데이터베이스에 저장하는 게이트웨이와 미들웨어, 시설물과 센서 기기에 ID를 부여하고 관리하는 도시객체식별자(Urban Object Identification, 이하 UOID) 서버, 개별 시설물 정보를 담고 있는 시설물 데이터베이스 등이 있다.

UFMS는 지하시설물에 설치된 센서들이 측정한 센서 정보를 게이트웨이와 미들웨어를 통하여 전송 받아 2차원 지도와 관리 화면에 표시하고 시설물에 이상이 발생할 경우 이를 감지하여 관리자에게 전달하는 역할을 수행한다. 여기에서 센서 정보와 시설물에 대한 객체 정보를 수집하는 것이 UFMS의 가장 기본적이며 핵심적인 요소라 할 수 있다.

3.1 센서 정보의 수집

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 물리적 환경에 설치된 다양한 종류의 센서에서 감지된 정보를 무선통신을 통하여 수집할 수 있도록 구성된 센서들의 연결망을 의미한다. 컴퓨터 하드웨어 기술의 발전과 함께 USN 관련 기술에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있으며 센서 및 전자태그와 결합하여 생태, 교통, 환경, 방재 등의 광범위한 영역에 활용되고 있다(김선진 등, 2007).

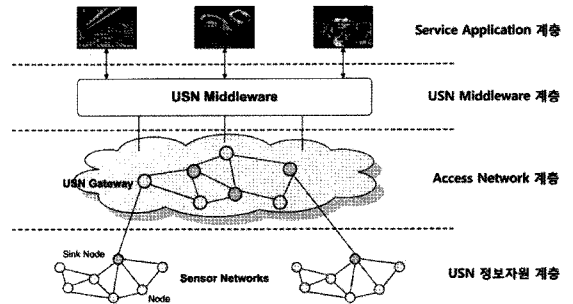


그림 3. USN의 구조

이러한 USN은 그림 3에서 보는 바와 같이 센서 노드로부터 센서 정보를 수집, 저장, 가공, 통합하여 사물의 상태 및 환경 관련 정보를 추출하고 이로부터 맞춤형 서비스 제공을 가능하게 하는 u-City에 필수적인 기반 인프라라 할 수 있다(박석지, 2006).

본 연구에서 USN은 지하라는 열악한 물리적 환경에서 경제적이며 효과적으로 실시간 센서 정보를 수집하여 UFMS로 전달하는 역할을 수행하며 이와 같이 지하

시설물에 특화되어 개발되는 USN을 UFSN(Underground Facility Sensor Network)이라 정의하였다. UFSN은 지하 시설물에 설치된 다수의 이기종 센서로부터 발생하는 대량의 센서 정보를 끊임없이 수집하고 전달해야 하므로 정확성과 신뢰성이 우선적으로 확보되어야 한다(이재용, 2004).

개념적으로 UFSN은 일반적인 USN과 동일한 구조를 가진다. 지하시설물에 부착된 센서들은 센서 노드 형태로 시설물에 부착되어 감지한 정보를 게이트웨이로 전송하며, 센서와 게이트웨이 간의 통신은 표준화된 무선 통신 방식을 사용한다. 다수의 게이트웨이에서 수집된 센서 정보는 유선통신망을 통하여 UFSN 미들웨어로 전달되며 미들웨어는 센서 정보에 대한 필터링과 분석을 통하여 의미 있는 정보를 추출, 저장, 관리, 검색하여 UFMS로 전달하는 역할을 수행한다.

3.1.1 UFSN 게이트웨이

일반적으로 센서로부터의 정보 수집을 담당하는 서버는 수용할 수 있는 용량에 한계가 있다. 따라서 현장에서 발생하는 모든 센서 정보를 가공 없이 저장하기는 쉽지 않다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 1차적으로 센서에서 수집되는 정보의 신뢰도와 중요도를 판정하여 선별적으로 전송하는 하드웨어 장치인 게이트웨이가 필요하다.

지하시설물 관리시스템에서 게이트웨이는 센서에서 발생하는 정보의 최하위 집합장소인 센서 노드와 연결되어 공통 프로토콜을 통한 상위 미들웨어로의 정보 전달을 담당한다. 또한 효율적인 정보 전달을 위하여 센서 정보를 변환하거나 전송되는 정보량을 조절하며 상위 시스템으로 전송 상태를 주기적으로 통보하는 역할도 수행한다.

이와 같이 게이트웨이는 다양한 구조의 정보를 통합하고 정제함은 물론 표준 형식에 맞게 변환하고 관리하여 신뢰성 있는 정보 전송을 보장하는 센서 기반 시설물 관리에 필수적인 장치라 할 수 있다.

3.1.2 UFSN 미들웨어

지하시설물 센서와 연결된 다수의 게이트웨이는 지속적으로 센서 정보를 처리하여 상위 응용 시스템인 UFMS로 전송한다. 하지만 UFMS가 대량의 연속적인 센서 정보를 직접 처리하게 되면 처리 속도, 자원 배분, 정보 보안, 시스템 성능 면에서 여러 가지 문제가 발생될

수 있다(김은정 등, 2007). 따라서 대량의 센서 정보를 가공하여 응용 프로그램인 UFMS로 전달해주는 UFSN 미들웨어가 필요하다. 표 4는 UFSN 미들웨어의 주요 기능을 정리한 것이다.

표 4. UFSN 미들웨어의 주요 기능

기능 구분	정의
센서 정보 관리 기능	- 응용 프로그램으로의 정보 전송량 조절 - 센서 정보의 저장 및 재사용
보안 기능	- 외부 침입/공격으로부터의 네트워크 보호 - 암호화를 통한 센서 정보 보안
전송 품질 관리 기능	- 원활한 전송을 위한 네트워크 자원 관리 - 정보 오류 및 통신 장애 감지 및 처리
네트워크 연동 기능	- 게이트웨이를 통한 외부 네트워크와의 정보 연동

3.2 객체 정보의 수집

효율적인 지하시설물 관리를 목표로 하는 UFMS는 다양한 지하시설물 관련 정보를 효과적으로 취득, 가공, 공유할 수 있어야 하며 이를 위해서는 지하시설물에 대한 체계적인 분류가 우선적으로 필요하다(이상효 등, 2007). 본 연구에서는 UFMS가 필요로 하는 지하시설물과 센서에 대한 객체 정보의 수집을 위하여 도시객체식별자인 UOID를 활용하였다. UOID는 개별 시설물뿐만 아니라 시설물을 구성하는 하부 구성 요소 그리고 시설물에 설치되는 센서들을 하나의 도시객체(Urban Object)로 정의하고 관리하는 포괄적인 개념의 시설물관리 체계를 제공한다. 이러한 UOID 정보는 UFSN 게이트웨이와 미들웨어를 통하여 수집된 센서 정보와 결합되어 UFMS로 전달된다.

3.2.1 UOID의 범위

도시시설물들을 효율적으로 관리하기 위해서는 도시에 존재하는 시설물들 외에도 이들에 대한 실시간 시설물 정보를 취득, 저장, 분석, 전송하는 하드웨어 등과 같은 부가적인 시설들이 필요하다. 이러한 기기 혹은 장비 또한 도시의 물리적 환경을 구성하는 객체로서 관리되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 도시시설물들을 세분화한 개별 객체 정보와 각종 센서 관련 정보들을 통합하여 객체코드로 구성하였다. 즉, 지하시설물과 지하시설물에 포함된 각종 하부 시설들을 1차적인 대상으로 하며, 해당 시설물 중 센싱 가능한 정보를 보유하고 있거

나, 해당 센서가 부착되어야 할 부위, 그리고 부착되는 센서 기기들을 2차적인 대상으로 한다²⁾. 이러한 객체 정보는 시설물 구성 수준에 따라 대분류인 시설물, 중분류인 부위, 소분류인 센서로 구분하여 표현되며, 객체 정보의 분류기준은 표 5와 같다. UFMS는 이들 대상 객체들의 UID로부터 수집한 객체 정보와 센서에서 발생하는 정보를 상호 연계함으로써 효율적인 지하시설물 관리 업무를 수행하게 된다.

표 5. UID의 분류 기준

구분	정의	구성 요소
대분류	집합체	도시 내 단일 시설물별 분류
중분류	구성원	단위시설물을 구성하는 해당 부위별 분류
소분류	부착원	해당 부위에 부착되는 해당 센서별 분류

3.2.2 UID의 구조 및 내용

일반적으로 효율적인 도시 관리 업무를 위해서는 개별 객체가 가지는 비시각적 정보에 대한 열람이 용의하여야 한다. 이를 위하여 UID는 객체의 지리 공간적 정보와 함께 각종 속성 정보들도 포함하여 객체코드로 표현한다.

표 6. UID의 구성 요소별 정보

구분	포함 정보	
Header	UID의 형식, 구조, 종류, 범위, 생애주기(Life-Cycle), UID 버전 등	
Info.	Domain	분류체계를 통한 UID의 도메인 정보
	Manager	해당 UID를 관리하는 관리자 정보
	Location	해당 UID의 위치정보 (점 형태로 절대좌표와 상대좌표로 구분)
	Service	UID가 특정한 업무에 의존할 경우 해당 UID의 목적을 명기
	Instance	특정 도메인, 위치, 서비스를 정의한 후, 해당 UID의 구현 순번을 표시

코드화가 필요한 세부 시설물정보로는 위치 정보, 기관 정보, 일자 정보, 객체 정보, 상태 정보, 결과 정보 등이 있으며 UID의 활용도를 높이기 위하여 사용 빈도가 높은 '위치 정보'와 '객체 정보'를 주요 속성 정보로 활용하고 나머지 정보들은 하위 속성 정보 항목으로 분류하여, 일정크기를 유지한 코드체계로 단순화하여 표현

하였다(장용구 등, 2008). UID는 크게 Header와 Information으로 구성되며, Information의 하부 구조는 Domain, Manager, Location, Service, Instance 등으로 구분된다. 각 구성 요소들이 포함하는 세부 정보를 정리하면 표 6과 같다.

4. 시스템 구현 및 테스트

4.1 시스템 구현

그림 4에서 보는 바와 같이 UFMS는 시스템 관리 모듈, 시설물 관리 모듈, 데이터베이스 관리 모듈, 시스템 연동 모듈로 구성되며 기본적으로 UFSN 게이트웨이로부터 전달된 센서 정보와 이와 결합된 UID의 객체 정보를 수집하고 분석하여 지하시설물에 대한 실시간 상태 모니터링과 통합 관리를 지원한다.

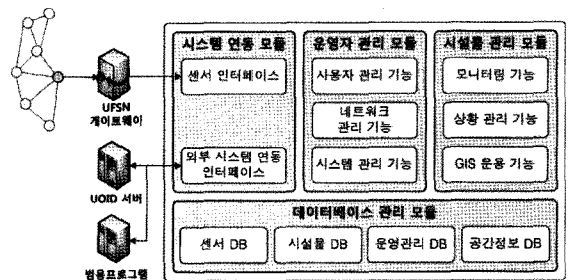


그림 4. UFMS 시스템 아키텍처

개별 기능 모듈들의 대략적인 역할을 살펴보면, 시설물 관리 모듈은 객체 정보와 센서 정보를 바탕으로 지하 시설물을 관리하는 UFMS의 가장 핵심적인 부분이라 할 수 있으며 시스템 연동 모듈은 UFSN 게이트웨이, 범용 프로그램 등 외부 시스템과의 연동 인터페이스를 제공한다. 시스템 관리 모듈은 사용자 관리, 네트워크 관리 등 UFMS의 운용을 위한 공통적인 기능을 제공하며 데이터베이스 관리 모듈은 시설물 관리 및 시스템 운용에 필요한 각종 정보의 저장소 기능과 저장된 정보에 대한 관리 기능을 제공한다.

2) UID는 지하시설물뿐만 아니라 지상시설물을 포함하는 포괄적인 도시시설물 분류체계를 기반으로 구성되어 있으나 본 연구에서는 지하시설물과 지하시설물에 설치되는 센서로 한정하여 UID를 활용하였다.

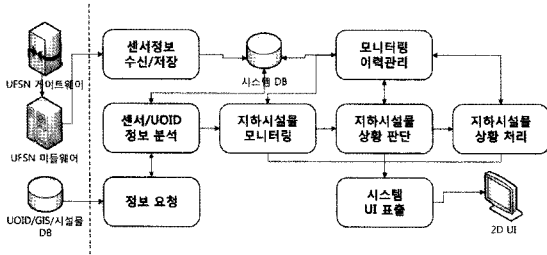


그림 5. UFMS 프로세스 흐름도

그림 5는 UFMS의 전체적인 프로세스와 정보 흐름을 나타낸 것으로 센서 정보를 전달받는 시점에서부터 시설물의 현재 상태를 판단하고 이를 2차원 지도상에 가시화하는 단계까지의 일련의 과정을 포함한다. 이러한 과정 안에서 각각의 기능 모듈들이 담당하는 세부 역할을 정리하면 아래와 같다.

4.1.1 시설물 관리 모듈

시설물 관리 모듈의 주요 기능으로는 표 7에서 보는 바와 같이 모니터링 기능, 상황 관리 기능, GIS 운용 기능 등이 있다. 이들 시설물 관리 기능들은 기본적으로 센서 정보와 객체 정보를 기반으로 수행되며 개별 기능들의 특징을 정리하면 다음과 같다.

• 모니터링 기능

모니터링을 통한 시설물의 상태 관리를 목적으로 하며 UFSN을 통하여 전달된 센서 정보를 바탕으로 시설물에 대한 실시간 상태 변화를 감지한다. 그리고 센서 정보와 함께 전달된 UOID를 분석하여 시설물 및 센서 관련 객체 정보를 취득한다. 얻어진 센서 정보와 객체 정보는 데이터베이스 관리 모듈의 센서 DB와 시설물 DB에 저장되어 관리된다.

• 상황 관리 기능

센서 종류에 따라 미리 임계값을 설정하고 설정된 임계값을 벗어난 센서 정보를 따로 분류, 분석하여 해당 지하시설물의 이상 유무를 판단한다. 시설물에 이상이 발생하면 이를 상황으로 정의하고 상황 정보를 사용자에게 제공하여 적절한 조치를 취하도록 한다. 상황 정보는 데이터베이스 관리 모듈의 센서 DB에 저장되며 필요에 따라 시스템 연동 모듈을 통하여 외부 기관 혹은 시스템으로 전달된다.

표 7. 시설물 관리 모듈의 세부 기능

기능명	세부 기능	기능 설명
모니터링 기능	센서 정보 관리 기능	센서데이터 및 센서 정보관리
	시설물 정보 관리 기능	지하시설물 정보 분석 및 관리
	UOID 정보 분석 기능	UOID 정보 해석
상황 관리 기능	센서 정보 분석 기능	센서 정보의 임계값 분석
	이벤트 관리 기능	이벤트 정보 및 처리 결과 관리
	이벤트 이력 관리 기능	이벤트 이력 관리, 센서별, 시설물별 관리
GIS 운용 기능	지도 제어 기능	지도 영역 설정(확대/축소/이동) 및 레이어 관리
	공간 분석 기능	공간 정보를 기반으로 한 공간 분석
	공간 정보 처리 기능	좌표 변환 등 GIS DB 처리

• GIS 운용 기능

GIS 운용 기능은 센서 정보와 객체 정보를 시각적으로 표현하는 역할을 수행한다. 센서 정보와 연동하여 시설물과 센서의 위치 및 상태를 사용자가 쉽게 인지할 수 있도록 2차원 지도상에 가시화하며 지도의 제어, 지도상의 공간분석, 공간정보 처리 등도 지원한다.

4.1.2 시스템 연동 모듈

시스템 연동 모듈은 센서 인터페이스 부문과 외부 시스템 연동 인터페이스 부문으로 구성된다. 센서 인터페이스 부문은 UFSN 게이트웨이와의 소켓 통신 및 데이터 포맷 일치화 기능을 제공하며 센서 측정값 정보와 센서 상태 정보 등을 수집한다. 또한 해당 센서의 UOID를 함께 가져오으로써 UOID 분석을 지원한다. 외부 시스템 연동 인터페이스 부문은 외부 시스템과의 통신을 담당하며 상황 정보를 송신하고 관련 정보를 수신하는 역할을 수행한다. 시스템 연동 모듈의 세부 기능을 정리하면 표 8과 같다.

표 8. 시스템 연동 모듈의 세부 기능

기능명	세부 기능	기능 설명
시스템 연동 기능	센서 인터페이스	UFSN 게이트웨이와의 소켓 통신 및 데이터 포맷 통일
	외부 시스템 연동 인터페이스	외부 시스템과의 상황정보 전송 및 상황 관련 정보 수신

• 센서 인터페이스

센서 인터페이스는 지하시설물에 부착된 센서에서 발생된 센서 정보를 UFSN 게이트웨이를 거쳐 UFMS의 데이터베이스까지 저장하는 과정을 담당하는 연동 모듈이다. 게이트웨이로부터 메시지 형태의 센서 정보를 수신하고 분석하여 데이터베이스에 저장한다. 이러한 센서 인터페이스는 일원화된 통신 프로토콜을 제공하여 추후 센서 혹은 컨트롤러의 확장이 용이하도록 한다. 또한 센서 인터페이스는 게이트웨이와 UFMS와의 통신 접속 및 상태(유지, 해지, 장애 등)를 관리한다.

• 외부 시스템 연동 인터페이스

외부 시스템 연동 인터페이스는 시스템 외부에 존재하는 타 기관 혹은 시스템과의 통신을 담당하여 센서 정보, 객체 정보, 상황 정보 등을 전송하거나 UFMS가 필요로 하는 정보를 수신하여 데이터베이스에 저장하는 역할을 수행한다. 시설물 관리 모듈에 의하여 분석된 센서 정보는 외부 연동 여부에 따라 소켓통신 혹은 웹서비스 방식을 이용하여 외부 시스템으로 전달되며 이를 통하여 빠른 데이터 전송과 함께 시스템 확장성을 높일 수 있도록 구성되었다.

4.1.3 운영 관리 모듈

운영관리 모듈은 사용자 관리 기능, 네트워크 관리 기능, 시스템 관리 기능 등으로 구성되며 전체 시스템의 유지 및 관리, 오류 감지 및 수정, 모듈 간 정보 흐름 및 시스템 프로세스 관리, 사용자 접속정보에 관련된 로그 관리 등을 담당한다. 표 9는 운영관리 모듈의 세부 기능을 정리한 것이다.

• 사용자 관리 기능

사용자 관리 기능은 사용자 또는 관리자 정보의 등록, 수정, 삭제 등을 포함하며, 사용자의 권한 등급을 설정하여 각 등급별 접근 및 제어 권한을 부여한다. 또한 사용자의 시스템 로그인에 대한 세션 정보를 관리하여 사

표 9. 운영 관리 모듈의 세부 기능

기능명	세부 기능	기능 설명
운영 관리 기능	사용자 관리 기능	사용자 · 관리자의 정보 및 권한, 로그인 관리 기능
	네트워크 관리 기능	시스템 내 · 외부 모듈 간 네트워크 관리 기능
	시스템 관리 기능	시스템 전체 프로세스 및 로그 관리 기능

용자별 시스템 로그인/로그아웃 시간 및 작업 내용을 저장한다.

• 네트워크 관리 기능

네트워크 관리 기능은 시스템 연동 모듈의 연동관리 기능을 일부 포함하며, 주로 내부 모듈 간 정보 흐름 및 프로세스를 관장한다. 즉, 게이트웨이와 UFMS와의 연동상태를 지속적으로 모니터링하여 지연이나 오류가 발생할 경우 그 이력을 관리하며 모듈 및 DB 서버 간 정보 요청 및 응답과 관련된 오류의 로그도 기록한다. 이와 같이 네트워크 관리 모듈은 시스템 내부 및 외부 정보 흐름에 대한 오류를 직관적으로 판단할 수 있는 자료를 제공함과 동시에 장기적인 네트워크 관리 및 로그 분석을 통한 시스템 고도화 및 최적화를 지원한다.

• 시스템 관리 기능

시스템 관리 기능은 UFMS의 성능 안정화와 최적화를 위하여 전체 시스템에 대한 감시와 제어를 수행한다. 특히, UFMS의 세부 모듈을 관리 항목으로 규정하여 운영 상태 및 네트워크 상태를 관리하며, 그 외에도 경보 알람 발생, DB 서버 연동 관리, 모듈 및 데이터 운용 상태 관리, 모듈별 장애 및 오류에 대한 로그 저장 등의 기능을 제공한다.

4.1.4 데이터베이스 관리 모듈

데이터베이스 관리 모듈은 데이터베이스의 조회 및 관리, 성능 유지 및 운영 그리고 시스템 간의 정보 일치화 및 동기화 기능을 수행한다. UFMS의 데이터베이스 종류로는 센서 DB, 시설물 DB, 운영관리 DB, 공간정보 DB가 있다. 또한 데이터베이스 관리 모듈은 UFMS에서 사용되는 데이터베이스의 접속과 질의문을 통한 정보의 선택, 저장, 갱신을 수행하여 다른 모듈들의 데이터베이스 관련 업무를 지원한다. 데이터베이스 관리 모듈의 기

능 상세 내역은 표 10과 같으며 표 11은 개별 DB 별 구성 정보를 정리한 것이다.

표 10. 데이터베이스 관리 모듈의 세부 기능

기능명	세부 기능	기능 설명
DB 관리 기능	DB 조회/관리 기능	DB 정보의 조회 및 관리 기능
	DB 운영 관리 기능	DB의 성능 유지 및 운영 기능
	DB 동기화 기능	시스템 간 DB 정보의 일치화 및 동기화 기능

표 11. 데이터베이스별 상세 구성정보

DB 종류	정보 구분	정보 항목
센서	센서 정보	센서ID, 센서 측정값, 측정 시간
	상황 정보	상황ID, 상황상태, 상황내용, 상황발생시간, 상황조치시간, 상황조치내용, 상황관리자
시설물 DB	UUID 정보	시설물ID, 센서ID, 상황ID, 임계치 정보ID, 센서 측정값ID
	시설물 정보	시설물ID, 시설물명, 위치정보, 관리기관, 관련서비스, 시설종류, 설치일시, 규격, 시설물상태, 설치업체, 부착센서종류
	센서 기기 정보	센서ID, 센서명, 위치정보, 관리기관, 관련서비스, 센서종류, 설치일시, 규격, 설치업체, 부착시설물 정보
운영 관리 DB	사용자 정보	사용자ID, 이름, 비밀번호, 소속, 연락처, 권한등급, 사용기간, 권한부여일시
	사용자 Log정보	사용자LogID, 접속시간, 접속종료시간
	상태관리 Log정보	상태관리LogID, 시스템관리, 네트워크 관리, 로그발생시간, 로그내용
공간 정보 DB	공간정보관리 정보	공간정보관리ID, 색상, 외곽색상, 심볼, 형태, 종류, 레이어표출여부, 레이어표출레벨
	객체공간정보	건물, 도로, 지형, 시설, 센서 관련 공간정보

4.2 프로토타입 테스트

앞에서 살펴본 UFMS의 구조 및 기능 설계를 바탕으로

로 프로토타입 시스템을 개발하였으며 이를 활용하여 기본적인 시스템 기능을 검증하고 향후 고도화 개발을 위한 개선 방안을 도출하였다. 프로토타입 시스템에 대한 테스트는 특정 지하시설물에 이상 상황이 발생한 경우를 가정하여 작성된 시나리오를 기반으로 하여 진행되었으며 이를 위하여 실제 시설물과 센서로 구성된 실험환경을 구축하였다. 그림 6은 한국건설기술연구원에 구축된 실험장(오윤석 등, 2008) 중 본 테스트에 활용된 상수도 시설물을 보여준다.



그림 6. 테스트 상수도관(한국건설기술연구원 실험장)

4.2.1 UFMS 프로토타입 시스템

본 테스트에 사용된 프로토타입 시스템은 UFMS의 핵심 기능 모듈을 중심으로 구현되었으며 크게 지하시설물에 부착된 센서로부터 발생된 센서 정보와 UUID 정보를 수집하는 단계, 수집된 정보를 저장, 가공, 분석하여 시설물의 상태를 판단하는 단계, 판단된 시설물 상태 정보를 2차원 지도상에 가시화하고 조치 정보를 발생하는 단계로 구분하여 테스트를 진행하였다.

테스트를 위하여 먼저 센서들로부터 발생된 센서 정보를 1차적으로 수집하는 UFMSN 게이트웨이와 수집된 정보의 저장, 가공, 분석에 필요한 하드웨어(서버, 모니

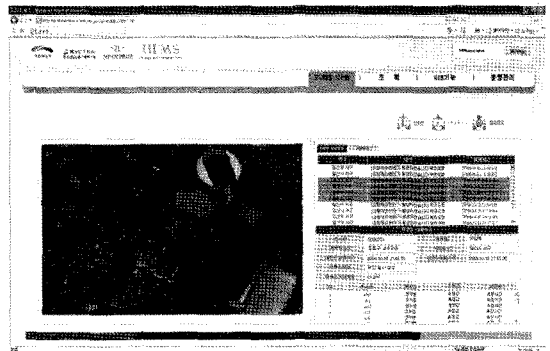


그림 7. UFMS 프로토타입

터 등)를 설치하였다. 그리고 프로토타입 시스템을 구성하는 소프트웨어 모듈들을 설치하고 프로토타입 시스템의 실행에 필요한 설정을 완료하였다.

그림 7은 UFMS 프로토타입의 기본적인 화면을 나타낸 것으로 실시간 센서 정보를 보여주는 프레임, 상황 발생 시 상황 관련 정보를 보여주는 프레임, 그리고 센서, 시설물, 상황 정보 등을 가시적으로 보여주는 2차원 지도로 구성되어있다.

4.2.2 시나리오 및 테스트 결과

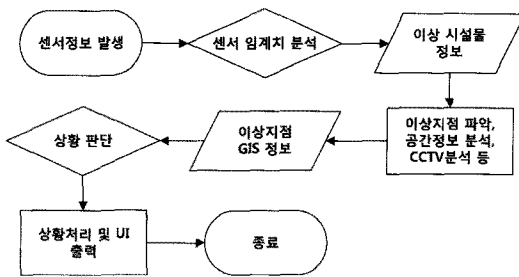


그림 8. 테스트 시나리오 흐름도

테스트를 위한 시나리오는 상수도관에 균열과 함께 누수가 발생한 경우를 가정하여 작성한 것으로 그림 8에서 보는 바와 같이 특정 상수도관에 설치된 유량센서로부터 발생된 센서 정보는 UFSN을 통하여 UFMS로 전달되고 센서의 측정값이 기 설정된 임계값을 초과하게 되면 자동적으로 상황을 발생하고 사용자에게 상황 관련 정보를 통보하는 과정으로 구성되어 있다. 이때, 센서 정보와 함께 전달된 UID를 분석하여 얻어진 객체 정보는 상황판단에 활용되며 상황 종류, 상황이 발생한 시설물 및 센서의 위치 등은 2차원 지도상에 표현된다.

프로토타입 시스템을 대상으로 한 시나리오 테스트 결과, UFSN과 UFMS의 통신을 통한 센서 정보 및 객체 정보의 수집 단계와 상황 정보, 시설물 정보의 표출 단계에서 요구 조건에 부합하는 수준의 기능을 확인할 수 있었다. 하지만 수집된 정보를 분석하여 상황을 판단하고 처리하는 단계는 아직까지 초보적인 수준으로 판단되었다. 즉, 단일 시설물과 센서로 구성된 시나리오를 기반으로 하였기 때문에 상황판단의 정확성과 신뢰도, 그리고 UFSN의 처리 성능을 평가하기에는 충분하지 않았으며 이를 보완하기 위해서는 다수의 시설물과 센서를 활용한 시나리오가 필요할 것으로 예상된다. 이러한

테스트 결과를 활용하여 UFMS의 세부 기능 구현과 함께 기능 보완을 진행할 예정이다.

5. 결 론

본 연구는 현재 개별 지방자치단체가 활용하고 있는 지하시설물 관리 범용프로그램의 문제점을 극복하고 나아가 u-City 운영에 적합한 지하시설물 관리시스템의 구축을 목표로 진행 중이다. 목표 시스템인 UFMS는 UFSN을 통하여 수집되는 실시간 정보를 바탕으로 지하시설물의 상태를 관리하고 시설물 이상에 대한 신속한 판단과 대응이 가능하도록 설계되었다. 시나리오를 기반으로 한 프로토타입 테스트를 통하여 다음과 같이 UFMS의 기본 기능과 활용 가능성을 확인할 수 있었다.

- i) UFSN 게이트웨이와 미들웨어를 통한 센서 정보의 수집, 분석, 전달
- ii) UID 서버와의 연계를 통한 센서 정보와 UID 정보의 결합 및 객체 정보의 수집, 전달
- iii) 수집된 센서 정보와 객체 정보의 분석을 통한 UFMS의 실시간 지하시설물 상태 파악 및 관련 정보의 가시화

이러한 검증 결과를 바탕으로 향후 UFMS를 실제 지하시설물 관리 업무에 적용할 경우, UFMS는 u-City의 지능적 도시 운영 및 관리를 위한 기반 시스템으로서의 역할을 수행할 수 있을 것으로 예상된다.

하지만 성공적인 적용을 위해서는 기능 고도화와 함께 지하시설물의 종류에 따른 세부 관리 기능의 구현이 필요하며 지상시설물 관리시스템과의 연계와 상황인식 기술의 적용을 통한 종합적인 상황판단과 판단 결과에 대한 정확도 향상이 요구된다. 또한 도시 규모의 적용을 위하여 테스트베드 대상의 센서 및 객체 정보의 수집과 지상 및 지하시설물이 연관된 복합 상황에 대한 실험도 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(06국토정보 C01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 강준목, 강영미, 이강원 (2003), 웹기반 GIS를 이용한 지하시설물 통합 시스템 구축, *추계학술발표회 논문집*, 한국측량학회, pp. 287-290.
- 김명호, 신동빈, 김감래 (2002), 도로와 지하시설물 정보의 효율적인 통합관리에 관한 연구, *추계학술발표회 논문집*, 한국측량학회, pp. 257-260.
- 김선진, 정우석, 박가람, 최연경, 김선중 (2007), USN 응용서비스 동향, 전자통신동향분석, 한국전자통신연구원, 제 22권, 제 3호, pp. 58-66.
- 김은정, 이정환 (2007), u-City 방법론 및 미들웨어, TTA 저널, 112호, pp. 55-59.
- 김의명, 강민수, 이진영, 김병현, 김호준, 김인현 (2006), 유비쿼터스 기술을 이용한 시설물 관리, *한국지리정보학회지*, 한국지리정보학회, 제 9권, 제 4호, pp. 105-118.
- 김재영 (2006), u-City 구축 활성화 정책방향, TTA 저널, 112호, pp. 33-37.
- 박석지 (2006), 미래 RFID/USN 기술 전망, ITFIND, 1238호.
- 오윤석, 남상관, 최현상, 류승기 (2006), u-City 기술개발을 위한 Test Lab의 필요성 연구, *추계학술대회 논문집*, 한국GIS학회, pp. 119-122.
- 이상효, 김희율, 김병수, 김주형, 이운선, 김재준 (2007), u-City 사업 모델에 객체 정보 기술 적용을 위한 개념 연구, *학술발표대회 논문집*, 대한건축학회, 제 27권, 제 1호, pp. 693-696.
- 이재용 (2004), 유비쿼터스 센서 네트워킹 기술, TTA 저널, 95호, pp. 78-83.
- 장용구, 이우식, 김형수 (2008), 기존 공간정보 관리코드 현황분석을 통한 도시공간정보 객체식별자 관리 방향, *한국GIS학회지*, 한국GIS학회, 제 16권, 제 1호, pp. 51-64.
- 지능형국토정보기술혁신사업단 (2009), 도시시설물 지능화 기술개발 1단계 연구보고서, 한국건설교통기술평가원.
- 한국정보사회진흥원 (2008), u-City IT 인프라 구축 가이드라인 V1.0.
- Krishnamurthy, S., Anson, O., Sapir, L., Glezer, C., Rois, M., Shub, H., and Schloder, K. (2008), Automation of Facility Management Processes using Machine-to-Machine Technologies. In: *The Internet of Things*. Volume 4952 of LNCS. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp.68-86.
- Yu, K., Froese, T., and Grobler, F. (2000), A Development framework for data models for computer-integrated facilities management, *Automation in Construction*, Vol. 9, No. 2, pp.145-167.

(접수일 2009. 9. 29, 심사일 2009. 10. 13, 심사완료일 2009. 10. 19)