

연구논문

# UFSN의 지하시설물관리 시스템 적용에 관한 연구

## A Study on the Development of Underground Facility Management System using UFSN

권혁종\* · 임형창\*\* · 송병훈\*\*\* · 김정훈\*\*\*\* · 한재일\*\*\*\*\*

Kwon, Hyuk Jong · Lim, Hyung Chang · Song, Byung Hoon · Kim, Jung Hoon · Han, Jae Il

### 要 旨

본 논문에서는 UFSN 센서를 이용하여 지하시설물관리시스템에서 유량, 유속, 압력, 진동 등 상수관로의 정보를 실시간으로 모니터링 하는 방안에 대한 연구를 하였다. UFSN 센싱 데이터 제너레이터, 게이트웨이와 미들웨어를 개발하였고, UFSN 센싱 데이터 포맷을 정의하여 센싱 데이터 전송을 검증하였다. 기존 지하시설물관리 시스템에 센싱데이터를 저장하여 GIS 도면 기반의 실시간 상수관로 모니터링을 수행하였다.

**핵심용어 :** USN, UFSN, UIS, GIS

### Abstract

In this paper, we carried out studying for real-time monitoring method about water distribution information of flow, flux, pressure and the vibrations, that facility management system checks it by using UFSN sensors. We developed UFSN sensing generator, gateway, and middleware, and defined UFSN sensing data format. Also we verified sending sensing data. We have monitored water distribution based on GIS drawing in real-time by storing sensing data in existing Underground Facility Management System.

**Keywords :** USN, UFSN, UIS, GIS

## 1. 서 론

지하시설물 관리는 단순히 어떤 지하시설물이 어디에 묻혀 있는지를 파악하기 위한 지도나 도면을 작성하기 위한 것이 아닌 해당 도시의 기반시설 관리(계획, 설치, 유지보수 및 이력관리 등) 지원을 목적으로 구축하여야 하며, 궁극적으로는 도시정보체계(UIS)의 하위체계로서 도시 행정과 관리에 필요한 주요 의사결정지원체계(DSS : Decision Supporting System)의 한 부분으로서 그 역할을 할 수 있어야 한다.[1] 하지만 현재 지하시설물 관리는 지하시설물의 조사와 GIS DB 구축을 통한 시설물의 위치와 정보현황을 파악하는 수준으로 관리되고 있다.

최근에는 지하시설물에 RFID 센서 태그를 부착하여

정기적으로 시설물의 정보를 읽어들이어 UIS 시스템에 반영하는 시스템 연구가 수행되어 현재 적용 중에 있다. 이러한 RFID 센서기반 시스템은 RFID 센서 리더기의 인식을 문제와 RFID 리더기의 고장, RFID 센서의 파손으로 인한 데이터 손실, 운용인력 및 운용비용, 그리고 RFID 센서가 부착된 시설물 위치로 리더기를 가지고 정보를 읽어 들여야 하는 불편함이 있다.

이러한 문제와 불편함을 해결하기 위해 RFID/USN (Ubiquitous Sensor Network) 기반의 디지털 계량기를 이용하여 센싱 데이터를 실시간으로 수집/저장하여 이를 기존 지자체에서 활용중인 범용프로그램과 연동하여 활용할 수 있는 방안을 연구하였다.

2008년 4월 7일 접수, 2008년 5월 13일 채택

\* 교신저자·정회원·(주)웨이버스 솔루션부문 과장 (hjkwon@wavus.co.kr)

\*\* (주)웨이버스 솔루션부문 부장 (hclim@wavus.co.kr)

\*\*\* 전자부품연구원 지능정보연구센터 선임연구원 (bhsong@kети.re.kr)

\*\*\*\* 국토연구원 국토정보연구센터 연구위원 (junghkim@krihs.re.kr)

\*\*\*\*\* 국토연구원 국토정보연구센터 연구위원 (jihhan@krihs.re.kr)



그림 1. 연구목표

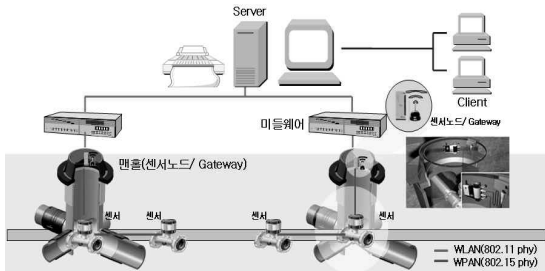


그림 2. UFSN 기반 지하시설물관리 시스템 구성도

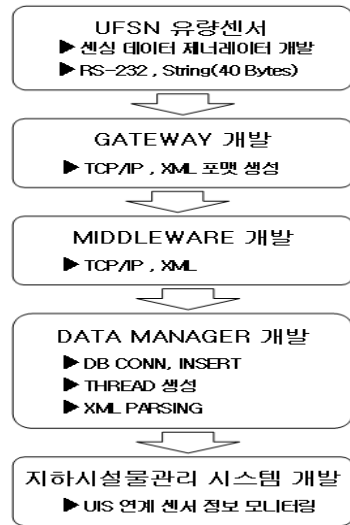


그림 3. 연구 흐름도

## 2. 연구내용

### 2.1 연구개요

전체 시스템 구성도는 그림 2와 같다. 맨홀 아래 상수관로 이음부에 UFSN 센서들을 네트워크로 구성하고 상단의 센서노드 및 게이트웨이와 미들웨어를 통해서 DB 서버에 실시간 센싱 데이터가 전송된다. 맨홀 아래 부분의 센서노드들은 무선망(WPAN)을 이용하여 센서간의 네트워크를 구성하고, 게이트웨이와 미들웨어와 DB 서버와는 유무선망(WLAN, LAN)을 이용하여 UFSN 센싱 데이터를 최종 서버까지 전송하게 된다. UFSN 센서는 맨홀 아래 상수관로 이음부에 설치하고, 게이트웨이는 맨홀 뚜껑 아래에 설치한다. 미들웨어는 현재 여러 곳에서 개발 중인 지능형가로등이나 교통신호 분배기 등의 지상 시설물을 이용하는 것으로 하였다. UFSN 센서들의 상단 센서 노드는 UFSN 센서들의 정보를 맨홀 뚜껑에 설치된 게이트웨이로 전송한다. 게이트웨이에 들어온 데이터를 표준포맷으로 변경하고, 변경된 데이터를 미들웨어와 DB 서버연결을 관리하는 데이터 매니저를 통해서 최종 전송한다.

본 연구에서는 UFSN 센싱 데이터 제너레이터, GATEWAY, MIDDLEWARE, DATA MANAGER, UFSN 지하시설물 시스템을 개발하였다. (그림 3)

### 2.2 UFSN

UFSN(Underground Facility Sensor Network)은 USN과 센서, 그리고 지하시설물 지능화를 총칭한다. 저전력으로 운용되는 센서의 자가진단, 자가구성을 근간으로 지하시설물의 고도 지능화를 목표로 하고 있다.

UFSN의 필요 핵심기술은 초절전 센싱 기술, 에너지 획득 기술, 산업용 무선표준, 강성 통신 기술 등이다.

초절전 센싱기술은 배관 구조물의 유량 특성에 적합한 저전력 센서 및 제어 기술을 확보하여 정확한 유체/기체의 특성을 획득한다. 에너지 획득 기술은 UFSN 플랫폼의 에너지 획득을 위한 태양열, 진동 등을 활용한 energy harvesting 기술을 확보하고, 3년 이상의 플랫폼 동작 시간을 보장한다. 산업용 무선표준은 산업용 계측 장비에 적용 가능한 ISA100, IP-USN과 같은 sensing용 무선 표준이다. 강성 통신 기술은 지하구조물에서는 기존의 통신기술의 적용이 어렵기 때문에 CSS, GFSK 기반의 새로운 저전력 강성 통신 기술을 확보한다.

UFSN은 이런 핵심 기술들의 구현 및 적용으로 지하시설물의 고도화, 지능화를 목표로 하고 있다.

### 2.3 상수 관로 부착 센서

본 연구를 위한 주요 장비는 지하시설물중 상수관로에 설치하는 UFSN 유량 센서이다. UFSN 유량 센서는 현재 KETI(전자부품연구원)에서 제작하고 있다. 이 UFSN 유량 센서는 상수관로의 이음부 사이에 부착하여 유량, 유

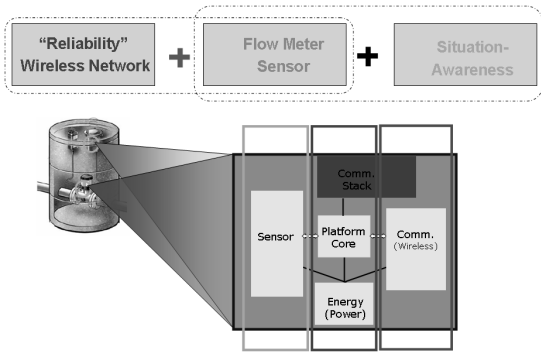
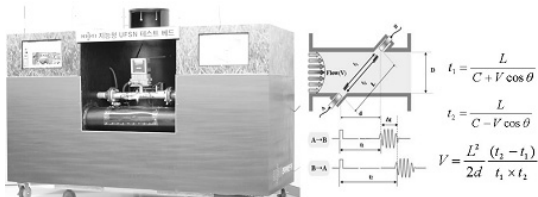


그림 4. UFSN architecture



(a) 상수관로 설치 구조 (b) 유속 측정 방식

그림 5. UFSN 유량 센서(KETI)

속, 압력 등 상수관로의 중요한 센싱 데이터를 실시간으로 센서 노드로 전송한다.

그림 5(b)는 UFSN 유량 센서가 유속을 측정하는 방식을 나타내고 있다. 이 센서의 유량 측정 방식은 센서 안쪽의 관로에 상하에서 초음파를 발생시켜 유속을 계산하여 유량 등의 센싱 정보를 산출하게 된다. 그림 5(a)는 UFSN 유량 센서를 테스트 베드에 설치한 모습이다. 센싱 데이터는 IEEE 802.15.4(Zigbee)를 이용하여 데이터를 전송한다.

센서가 보내주는 센싱 데이터 구조체의 크기는 총 40 byte 이다. 센서 자체의 상태나 기타 기능을 위한 데이터 12 byte를 제외한 유량 센서에서 수집되는 유량, 유속, 압력, 온도, 손상유무와 같은 유효한 센싱 데이터 28 byte의 구조체 포맷은 표 1과 같다.

표 1의 예시는 센서ID(Source ID)를 0x0A로 했을 때의 센싱 데이터 샘플이다.

2.4 유량 센싱 데이터 제너레이터

UFSN 유량 센서의 데이터를 획득하기 위해서는 전자 부품연구원에 설치되어있는 테스트 베드처럼 상수관로의 모형이나 실제 UFSN 센서의 상수관로 설치가 필요하기 때문에 이를 해결하고자 센싱 데이터 제너레이터를

표 1. 유량센서의 Sensing 데이터 전송 포맷

내 용		자료형	데이터
Source ID		unsigned short	0A 00
Flow Information	적산유량	unsigned long	11 11 11 11
	순간유량	unsigned short	22 22
	유속	unsigned short	44 33
	압력	unsigned short	44 44
	온도	unsigned short	55 55
	손상유무	unsigned short	66 66
Battery Monitor Information	Low Battery Warning	unsigned short	67 05
	Battery Voltage(unit: V)	unsigned short	00 00
	Battery Current(unit: mA)	unsigned short	00 00
	Timestamp(unit: sec)	unsigned long	00 00 00 00
	Residual Battery(unit: mAh)	unsigned char	00
	NULL	unsigned char	CC

예 시

0A 00 11 11 11 11 22 22 44 33 44 44 55 55 66 66 67 05 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 CC



Flow Info(16)	0A 00 11 11 11 11 22 22 44 33 44 44 55 55 66 66
Battery Info(12)	67 05 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 CC



(a) 유량 센서 제너레이터 (b) 진동 센서 제너레이터

그림 6. 센싱 데이터 제너레이터

사용하기로 하였다.

센싱 데이터 제너레이터는 UFSN 유량 센서에서 보내오는 데이터와 똑같은 데이터 구조체를 전송한다. UFSN 유량 센서와 같은 환경을 구축하기 위해서는 먼저 WPAN 영역에서의 통신이 가능해야 하기 때문에 HyBus社의 Hmote - ZigBee를 사용하여 UFSN 유량 센서와 동일한 환경을 구축하였다. Hmote-ZigBee는 ZigBee Standard (802.15.4)를 사용하고, USB 인터페이스를 통해 프로그래밍이 가능하고 확장 센서보드를 통해 다양한 센서들을 센싱 가능한 제품이다.

그림 6은 유량 센서 제너레이터와 수신기 사진이다. 센싱 데이터 제너레이터는 UFSN 유량 센서가 보내는 데이터와 같은 포맷과 크기의 데이터를 생성한다. 수신기는 센싱 데이터 제너레이터가 전송하는 센싱 데이터를 수신한다.

유량 센서 외에 상수도의 진동 등의 정보를 이용하여 상수관로의 균열이나 누수 등을 측정하는 진동 센싱 데이터 제너레이터도 사용하였다. 이 진동 센서도 현재 전자부품연구원에서 제작 중에 있기 때문에 UFSN 진동 센싱 데이터 제너레이터 프로그램을 만들어 사용하였다. 본 논문에서는 UFSN 유량 센서와 진동센서 두 개의 데이터를 이용하여 전체 시스템을 구현하였다.

### 2.5 센싱 데이터 수집

센싱 데이터를 DB 서버에 전송하기 위해 센서 데이터를 수집/변환하는 게이트웨이와 중계기 역할을 하는 중계 미들웨어, DB 서버 쪽의 부하와 트랜잭션, 모니터링 등을 관리하는 데이터 매니저를 개발하였고, 게이트웨이와 미들웨어, 데이터 매니저간의 데이터 전송은 XML 포맷을 정의하였고, 유량과 진동 센싱 데이터 제너레이터가 보내는 데이터 센싱 주기는 실제 센서와 같은 초당 1회 센싱하는 것으로 설정하여 연구를 수행하였다.

UFSN 센서 데이터 수신기에서 수신한 데이터는 USB 인터페이스를 통해 RS-232 통신을 이용하여 데이터를 전송한다. 시리얼 포트를 통해 들어온 데이터를 TCP/IP

스택(stack)으로 보낸 후, 비트 스트림(stream)으로 네트워크로 전송한다.(그림 7) 이 데이터들을 미들웨어와 서버간의 인터페이스에 맞는 XML로 생성한다.

그림 8(a)는 40byte의 센서 데이터를 수신하고 이 데이터를 미들웨어로 전송하는 게이트웨이이다. <센싱데이터>는 수신기에서 들어오는 데이터 log이고, <데이터 전송결과>는 데이터를 미들웨어에 전송한 결과 log를 나타내고 있다.

그림 8(b)는 유량 센서와 진동센서가 보내는 데이터를 수집하고 데이터 매니저로 전송하는 미들웨어이다.

미들웨어에서는 센싱 데이터를 수집과 동시에 데이터의 무결성 검사를 수행한다. 데이터에 문제가 있는 경우

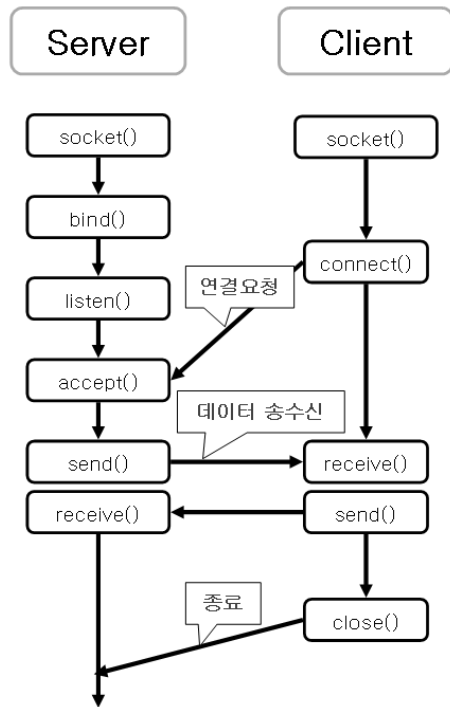
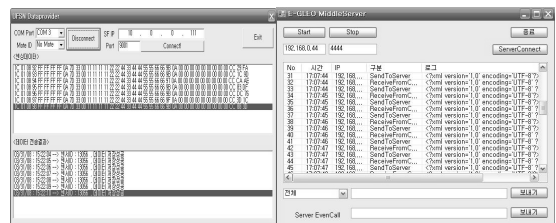


그림 7. TCP/IP Client/Server 통신[3]



(a) (b)

그림 8. UFSN 게이트웨이(a)와 미들웨어(b)

오류 데이터 표시를 한 뒤에 데이터 매니저로 전송한다. 센서 데이터의 수신과 송신 인터페이스를 정립하기 위한 XML 포맷을 정의 하였다.

그림 9는 유량 센서의 XML 전송 포맷을 정의한 것이다. 유량 센서에서 보내주는 40byte의 데이터를 각각 의미 있는 항목으로 분해하여 XML 포맷으로 변경한다. 진동센서 포맷은 자체 포맷을 만들었고 추후 센서가 완성 되면 테스트를 거쳐 포맷을 만들 예정이다.

여러 개의 미들웨어가 동시에 접속하여 전송하는 데이터를 각각 분류하여 DB 서버에 저장하는 데이터 매니저는 그림 10과 같다.

데이터 매니저는 DB 서버에 직접 접속하여 데이터를 저장한다. DB 서버는 지하시설물관리시스템의 DB 자원을 이용하기 때문에 1~5개 정도의 DB CONNECTION을 사용하여 기존 시스템의 사용에 큰 부하를 주지 않도록 하였다.

센서의 오작동이나 네트워크 등의 문제로 센서 데이터

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<센서>
  <센서정보>
    <IP>192.168.0.44</IP>
    <NODE>10001</NODE>
    <ID>11112</ID>
  </센서정보>
  <센서데이터>
    <적산유량>111</적산유량>
    <순간유량>123</순간유량>
    <유속>234</유속>
    <압력>123</압력>
    <온도>1321</온도>
    <순상유무>1234</순상유무>
  </센서데이터>
  <전원정보>
    <Warning>12</Warning>
    <Volt>34</Volt>
    <Current>56</Current>
    <Timestamp>78</Timestamp>
    <Residual>90</Residual>
  </전원정보>
</센서>
```

그림 9. 유량센서와 진동센서 XML 포맷

그림 10. 데이터 매니저

에 문제가 있는 경우를 해결하기 위해 유효값 안에 들어가는 데이터와 유효값 밖에 들어가는 데이터로 구분하여 저장하여야 한다.

유효값 체크를 위해 데이터 매니저 메모리에 센서들의 유효값을 테이블 형태로 가지고 있고 이 테이블을 이용하여 실시간으로 들어오는 데이터와 비교하여 센싱 데이터를 검증한다.

그림 12는 데이터 매니저가 가지는 센서의 정보를 DB 서버를 통해서 가져온 후 해쉬 테이블로 생성한 것이다.

2.6 센싱 데이터 전송 테스트

실시간 지하시설물 모니터링을 위해서는 여러 미들웨어에서 실시간으로 전송하는 센싱 데이터를 DB 서버에 저장하는 것이 가장 중요하다.



그림 11. 데이터 매니저 흐름도

DB Table

SensorType	Item	Max	Min
Flow	CUMFLOW	999999999	1
Flow	INSFLOW	100	5
Vibro	CUMVIBRO	1000	50

Hash Table

KEY	VALUE
FlowCUMFLOW	CriticalValue(999999999, 1)
FlowINSFLOW	CriticalValue(100, 5)
VibroCUMVIBRO	CriticalValue(1000, 50)

그림 12. DB 센서정보와 해쉬테이블 예시

표 2. 테스트 시스템 사양

UFSN 센서 제너레이터	CPU	TI MSP430
	OS	TinyOS
UFSN 미들웨어	CPU	Centrino Duo 1.73GHz
	MEM	2GB DDR2 667 SDRAM
데이터 매니저	OS	Windows XP Pro. sp3
	CPU	Quad Core 2.4GHz
	MEM	2GB DDR2 667 SDRAM
	OS	Windows XP Pro. sp2
DB 서버	Java	1.6.0.04
	CPU	Core2Duo 2.33GHz
	MEM	2GB DDR2 667 SDRAM
	OS	Windows XP Pro. sp2
	DBMS	MS-SQL 2005

표 3. 테스트 결과표 (단위 : ms)

최대	최소	평균	편차
109,776	109,422	109,591	124.3

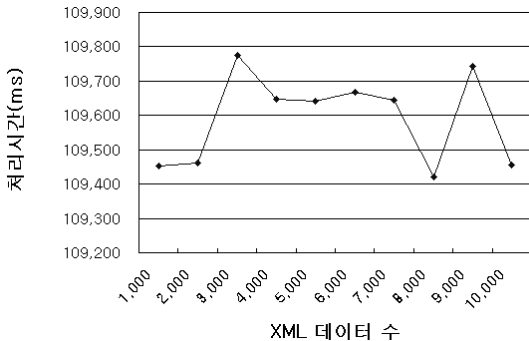


그림 13. 유효값 검증 테스트 수행시간

이를 검증하기 위해 센싱 데이터 제너레이터에서 366 byte의 XML 센싱 데이터를 초당 10~100개를 전송하여 100초간 1,000개에서 10,000개까지의 센싱 데이터를 저장하는데 걸린 시간을 표 2의 사양의 시스템으로 테스트 하였다.

테스트 결과 100초간 전송한 데이터를 처리하는데 걸린 평균 시간 9591ms는 Connection-oriented 프로토콜인 TCP/IP의 연결 절차로, 미들웨어와 데이터 매니저간의 가상회선을 확립하고, 신뢰성을 확보하기 위해 미들웨어에서 보내는 데이터에 대해 수신측의 응답을 확인하는 작업(ACK)에 걸리는 시간이다. 이 작업을 통해 어떤 장애로 수신응답이 도착하지 않을 경우 재전송하게 된다.

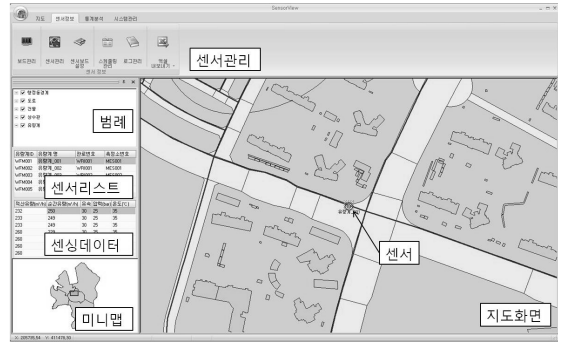


그림 14. 지하시설물관리 시스템

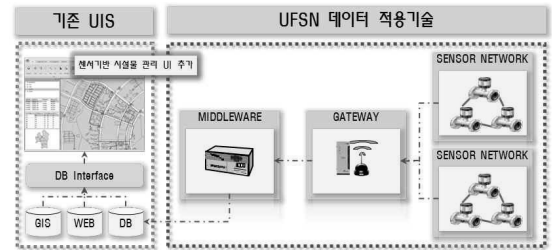


그림 15. 기존 지하시설물관리 시스템 적용

표 3의 편차 124.3ms는 데이터의 개수가 1초당 10개에서 100개 사이로 변경되더라도 전체 처리 속도는 차이가 없음을 나타낸다.

그림 13은 유효값 검증을 적용하여 실시간으로 센싱 데이터를 DB 서버에 저장한 시간을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보이는 최대 처리시간과 최소 처리시간과의 차이는 354.25ms 정도이고, 이 차이는 테스트 당시의 센서와 DB 서버와의 네트워크 상태에 따른 차이로 분석된다.

2.7 기존 지하시설물관리 시스템과의 연계

실시간으로 DB 서버에 들어온 데이터와 기존 지하시설물관리시스템의 지도데이터와 속성 데이터를 연계하여 센서정보를 실시간으로 모니터링 하기 위해서 기존 지하시설물관리시스템 DB 서버로 실시간 센싱 데이터를 저장하는 속성 TABLE을 생성하였고, 센서의 위치를 저장한 GIS 도형 데이터를 추가하여 지하시설물관리 시스템을 개발하였다.

그림 14는 기존 지하시설물관리 시스템의 데이터와 연계하여 GIS 도면에서 유량계를 선택한 후, 실시간으로 들어오는 정보를 모니터링 하는 모습을 나타내고 있다.

그림 15는 기존 지하시설물관리 시스템에 UFSN 센서 정보를 실시간 저장하는 모습을 설명하고 있다.

### 3. 결 론

지금까지 UFSN 기반의 지하시설물관리 시스템에 대한 연구와 UFSN과 기존 지하시설물관리시스템 연계로 유속, 유량, 압력, 손상유무 등의 실시간 센싱 데이터를 모니터링 하는 방안에 대해 연구하였다.

본 연구를 통해 시설물 담당자의 현장 확인, RFID 리더기를 통한 센싱 데이터의 획득에 들어가는 인력과 데이터 입력 시간 등의 비용을 절감하고, 실시간 센싱 데이터를 분석하여 상수관로의 침수/누수 등의 사고를 사전에 예방할 수 있는 지능형 시설물 관리가 가능하다.

향후 연구진행은 본 논문에서 정의한 포맷의 확장과 실시간 전송 데이터의 보안방안에 대한 연구를 수행할 것이다. 그리고 상수관로에 실제 UFSN 센서를 설치하고, 센서노드 게이트웨이, 지능형 가로등과 같은 u-City 관련 시설물에 미들웨어 설치를 한 이후 지하시설물관리시스템을 시험/검증 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신사업과제의 연구비지원(06국토정보C01)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 건설교통부 (1997), *지하시설물 관리체계 개발지침(案)*, pp. 14-15.
2. 이상진 (2005), *USN(Ubiquitous Sensor Network)기술에 대한 연구*, A Study on USN (Ubiquitous Sensor Network) Technology, 석사학위논문.
3. 김희식, Odgerel Ayurzana, 박용만, 권종원 (2006), 디지털 원격 검침용 데이터 USN 시스템 개발, *한국 인터넷 정보학회*, 제7권 제2호, pp. 67-71.
4. 강이구, 정현석, 이준환, 현득창, 황성일, 송봉섭, 이상훈, 김영진, 오상익, 주승호, 이세창 (2006), 지능형 무선 센서네트워크 구현을 위한 USN/RFID 모듈의 설계 및 제작에 관한 연구, Design and Fabrication of USN/RFID Module for Intelligent Wireless Sensor Network, *전기전자재료학회논문지*, 제19권 제3호, pp. 209-215.
5. 건설교통부, 한국건설교통기술평가원 (2006), 지능형국토정보 기술혁신사업세부기획연구, *'06지능형국토정보혁신사업 최종 보고서*.