

도시 지하매설물 모니터링 시스템

김현학 ETRI UGS융합시스템연구실 선임연구원
 박동환 ETRI UGS융합시스템연구실 책임연구원
 이재희 ETRI UGS융합시스템연구실 실장



1. 머리말

싱크홀(Sinkhole)은 주로 자연적으로 석회암 지역 지반에 발생하는 웅덩이나 구멍을 지칭하는 용어로, 도심지역 도로 주변에 자주 발생하는 땅꺼짐 현상은 석회암 지대가 녹아서 발생하는 땅꺼짐 현상이 아니기 때문에, 일반적인 지반침하(Ground Subsidence)라고 부르는 것이 학술적으로 더 정확하다[2].

실제로 도심지역에 발생하고 있는 땅꺼짐 현상은 자연적인 현상보다는, 각종 건설활동이나 상수도와 하수도의 누수 등으로 초래된 지하 공동 발생으로 인한 인재가 대부분으로, 갑작스런 도로유실 사고로 사회적인 경각심을 불러일으키고 있으며, 점차 그 관심이 고조 되고 있다. 지하 공동으로 인한 도로 함몰과 지반 침하 등 지하 공간 관련 재난 사고를 사전에 감지, 예측하고 적절한 대응을 하기 위한 도시의 지하에 매설된 구조물들에 대한 모니터링 시스템의 필요성이 요구되고 있다.

최신 사물인터넷 기술을 활용하여 도시 지하 공간 내 상하수도와 같은 지하매설물과 지하 공간 상황 데이터를 실시간 모니터링하고 데이터 분석을

통해 사고를 예측하고 신속히 대응하는 도시 지하매설물 모니터링 시스템들이 적용되고 관련 장치들이 개발되고 있어, 이러한 시스템에 대한 요구사항과 참조구조 및 인터페이스 표준에 대해 소개하고자 한다.

2. 도시 지하매설물 모니터링 시스템

2.1 표준의 목적 및 내용

본 표준은 다양한 센서를 가지는 사물인터넷 장치를 이용하여 도심지의 지하매설물과 지반의 상태를 모니터링하며 데이터를 수집하고, 이를 여러 조건에 따라 다각도의 데이터 처리와 분석을 수행하여 지하 공간의 위험에 선제적으로 대응하는 도시 지하매설물 모니터링 시스템의 요구사항, 참조 구조 및 인터페이스에 대해 정의하는 것을 목적으로 한다.

2.2 도시 지하매설물 모니터링 시스템 요구사항

도시 지하매설물 모니터링 시스템은 도시 지하매



[그림 1] 도시 지하매설물 모니터링 시스템 장치 및 기능 구성도

설물 모니터링 센서장치, 도시 지하매설물 모니터링 센서네트워크, 도시 지하매설물 모니터링 플랫폼, 지하매설물 관리·가시화·분석 클라이언트 서비스로 구성될 수 있다.

본 시스템에서 모니터링 하는 도시 지하매설물은 주로 상수관로와 지하수 관정 등을 포함하고 있으며, 도시철도 구조물은 도시철도 역사와 철도 구간내의 구조물을 포함한다.

상수관로의 누수를 감지하거나 지하수의 특성을 측정하는 센서장치들이 측정한 센싱 데이터는 도시 지하매설물 모니터링 센서네트워크를 통해 도시 지하매설물 모니터링 플랫폼으로 수집되고, 도시 지하매설물 모니터링 플랫폼에서는 지하매설물 관리자가 관리하는 상수관로 정보와 지질정보, 지하수 정보, 도시철도 구조물 정보 등과 수집한 지하매설물의 모니터링 센싱 데이터를 연계하여 분석하고, 분석된 결과와 모니터링 데이터를 클라이언트 서비스에 제공한다.

2.2.1 도시 지하매설물 모니터링 센서장치 요구사항

도시 지하매설물 모니터링 센서장치는 지하 공동의 위험을 초래하는 상수관로의 누수를 감지하는 센서장치와 지하수의 변화를 감지하기 위한 지하수 특성 측정 센서장치로 구성되며, 도시철도 구조물 주변 지반의 안전성 감시를 위한 도시철도 유입수 모니터링 센서 장치 등이 추가로 구성될 수 있다. 도시 지하매설물 모니터링 센서장치는 센서데이터 수집 노드 장치와 유선 인터페이스로 연결되어 센싱 데이터를 전달한다.

2.2.2 도시 지하매설물 모니터링 센서네트워크 요구사항

도시 지하매설물 모니터링 센서네트워크는 수많은 센서데이터 수집 노드 장치와 망 정합 및 데이터 전달 장치로 구성된다. 센서데이터 수집 노드 장치는 지하매설물 모니터링 센서장치가 측정한 데이터를 수집하여 무선으로 망 정합 및 데이터 전달 장치에 전달하거나 도시 지하매설물 모니터링 플랫폼으

로 직접 전달하는 기능을 수행하며, 망 정합 및 데이터 전달 장치는 코어 망과 센서네트워크 간의 트래픽 변환과 매핑을 통해 이기종 망 간 연결기능을 제공한다.

2.2.3 도시 지하매설물 모니터링 플랫폼 요구사항

도시 지하매설물 모니터링 플랫폼은 센서데이터 수집 미들웨어, 지하매설물 위험 분석부, 지하매설물 2D/3D 가시화부로 구성된다. 센서데이터 수집 미들웨어는 도시 지하매설물 모니터링 센서장치가 측정한 센싱 데이터를 도시 지하매설물 모니터링 센서네트워크를 통해 수집하고, 장치의 연결 및 동작 관리와 외부 클라이언트 서비스의 개발을 위한 API 및 정보 제공 기능을 수행한다. 지하매설물 위험 분석부는 센서데이터 수집 미들웨어가 수집한 데이터를 저장하고 센싱 데이터와 주변환경 정보, 지질 정보 등을 활용하여 상호 간의 위험도 연관성 정보를 추출하기 위한 데이터 분석 방법을 제공하며, 도출된 위험도를 기반으로 위험 및 재난 재해 상황을 추론한다. 지하매설물 2D/3D 가시화부는 지하공간의 가시화에 필요한 모델링 데이터를 생성, 저장, 관리하고 지하매설물 정보 가시화 클라이언트가 요청하는 가시화 데이터를 클라이언트에게 제공한다.

2.2.4 지하매설물 관리, 가시화, 분석 클라이언트 서비스 요구사항

지하매설물 관리, 가시화, 분석 클라이언트 서비스는 원격에서 도시 지하매설물 모니터링 플랫폼에 연결하여 지하매설물의 상태, 센싱 데이터 조회, 제어 등을 수행하는 관리 및 모니터링 클라이언트와 지하매설물의 정보와 상태 등을 2D 및 3D 지도상에 표출하여 사용자가 쉽게 조회할 수 있는 지하매설물 정보가시화 클라이언트, 상수관 누수와 지하수 특성을 분야별 전문가가 분석할 수 있는 개별 분석 전문가 클라이언트로 구성된다. 지하매설물 관리, 가

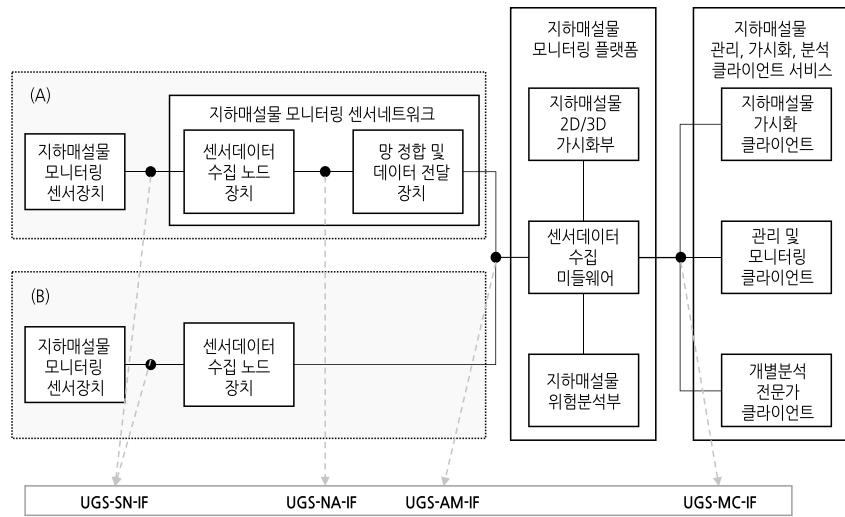
시화, 분석 클라이언트와 지하매설물 모니터링 플랫폼은 서버-클라이언트 모델 형태로 구성된다.

2.3 도시 지하매설물 모니터링 시스템 참조구조

도시 지하매설물 모니터링 시스템은 [그림 2]와 같이 구성된다. 지하매설물 모니터링 센서네트워크에서 센서데이터 수집 노드 장치는 센서네트워크를 구성하고 망 정합 및 데이터 전달 장치를 통해 지하매설물 모니터링 플랫폼으로 센싱 데이터를 전달한다([그림 2](A)). 만약 센서데이터 수집 노드 장치가 센서네트워크를 구성하지 않고 직접 지하매설물 모니터링 플랫폼에 연결 가능한 경우 망 정합 및 데이터 전달 장치를 구성하지 않을 수 있다([그림 2](B)).

지하매설물 모니터링 플랫폼에서 센서데이터는 센서데이터 수집 미들웨어를 통해 수집, 저장 및 관리된다. 센서데이터 수집 미들웨어는 지하매설물 모니터링 센서네트워크를 구성하는 장치들의 상태 모니터링을 수행하여 장치가 정상 동작 중인지를 확인한다. 또한, 장치들의 네트워크 연결관계와 개별 장치의 특성을 서비스가 고려하지 않고 추상화된 인터페이스로 서비스가 센싱 데이터에 대한 질의를 요청할 수 있도록 장치 추상화와 추상화된 질의 인터페이스를 제공한다. 센서데이터 수집 미들웨어가 수집한 데이터는 관리자나 사용자에 의해 지하매설물의 상태와 센싱 데이터를 확인해볼 수 있도록 지하매설물 2D/3D 가시화로 전달되고, 또한 주기적인 지하공간 위험 감지를 위해 지하매설물 위험분석으로 데이터를 전달한다.

지하매설물 관리, 가시화, 분석 클라이언트 서비스는 HTTP/IP를 이용하여 제공되는 지하매설물 모니터링 플랫폼 인터페이스를 사용하며, 지하매설물을 가시화 클라이언트는 지하매설물 2D/3D 가시화에서 제공하는 지하공간 3D 정보를 이용하여 사용자의 화면에 3차원으로 매설물의 위치, 형태, 최신 센싱정보 등을 표현한다.



[그림 2] 도시 지하매설물 모니터링 시스템 참조 구조

<표 1> 도시 지하매설물 모니터링 시스템 참조점

| 참조점 | 대상 | 설명 |
|-----------|---|---|
| UGS-SN-IF | 지하매설물 모니터링 센서장치 : 센서데이터 수집노드 장치 | <ul style="list-style-type: none"> 센서장치와 수집노드 장치 사이의 인터페이스로 주로 유선으로 구성 |
| UGS-NA-IF | 센서데이터 수집노드 장치 : 망 정합 및 데이터 전달 장치 | <ul style="list-style-type: none"> 수집노드 장치와 망 정합 및 데이터 전달 장치와의 인터페이스로 센서네트워크의 구성 특성에 따라 통신 프로토콜은 선택되어 지며, 주로 무선으로 구성 수집노드 장치가 센서네트워크를 구성하지 않을 경우 사용하지 않을 수 있음 |
| UGS-AM-IF | 망 정합 및 데이터 전달 장치 / 센서데이터 수집노드 장치 : 지하매설물 모니터링 플랫폼 | <ul style="list-style-type: none"> 망 정합 및 데이터 전달 장치 또는 수집노드 장치와 플랫폼 간의 인터페이스로 IP 기반 통신 프로토콜을 사용할 수 있음 ISO/IEC 30128 인터페이스 준용 |
| UGS-MC-IF | 지하매설물 모니터링 플랫폼 : 지하매설물 클라이언트 서비스 | <ul style="list-style-type: none"> 플랫폼과 클라이언트 서비스 간의 인터페이스로 서비스가 플랫폼에 연결하여 필요한 정보와 데이터를 주고받기 위한 인터페이스로 IP 기반 통신 프로토콜 가능 |

2.3.1 도시 지하매설물 모니터링 시스템 참조점(참조인터페이스)

도시 지하매설물 모니터링 시스템의 참조점은 [그림 2] 및 <표 1>에서와 같이 UGS-SN-IF, UGS-NA-IF, UGS-AM-IF, UGS-MC-IF의 4개로 나타나며 각 참조점의 대상과 설명은 <표 1>과 같다.

2.4 상수관로 누수탐지 장치와 수집장치 간 인터페이스

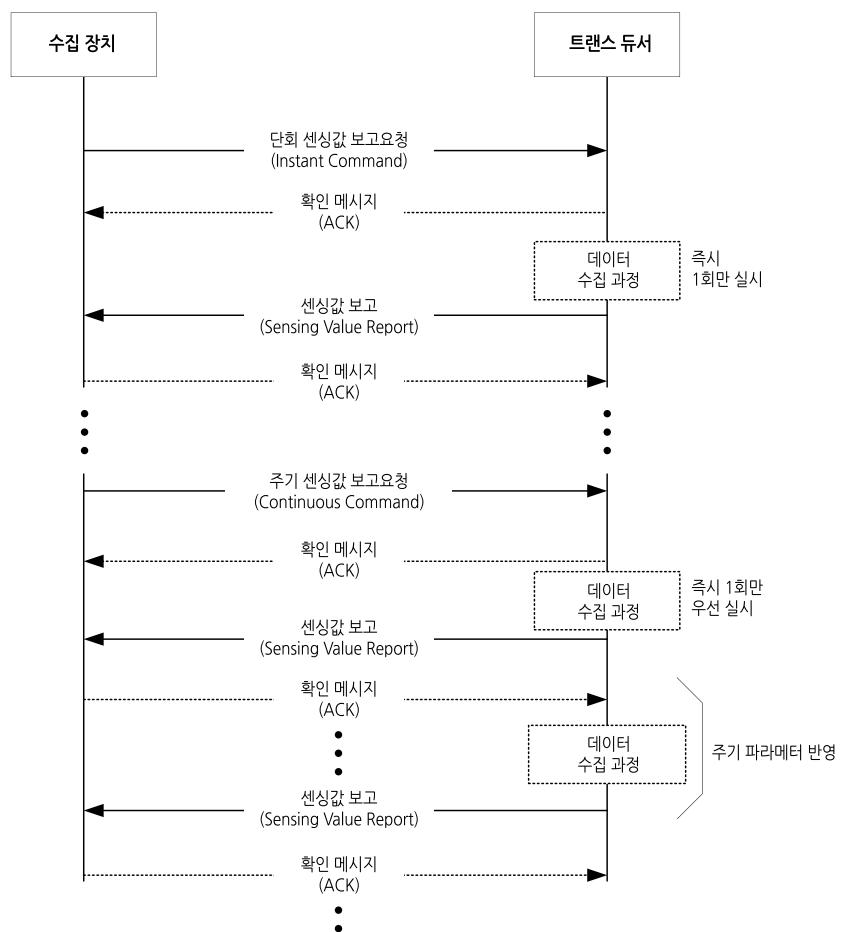
도시 지하매설물 모니터링 시스템의 상수관로 누

수탐지 장치와 수집장치 간 인터페이스는 [그림 2]에서 상수관로 누수탐지 측정 장치로부터 수집한 데이터를 지하매설물 모니터링 플랫폼으로 전송하는 데 필요한 인터페이스로 참조점 UGS-SN-IF에 해당한다.

기본적으로 바이너리 포맷을 사용하여, 계산량 및 리소스 소모를 최소화하며, 여러 센서보드를 고려하여 하나의 수집장치에 연결된 센서보드들을 구별할 수 있는 고유 ID를 가지도록 한다.

<표 2> 수집장치와 센서보드 간 주요 메시지 종류

| 메시지 ID | 방향 | 이름 |
|--------|--------|-------------|
| 0x07 | TR → C | 트랜스듀서 등록 |
| 0x08 | TR → C | 트랜스듀서 등록해제 |
| 0x09 | TR → C | 센싱값 보고 |
| 0x13 | TR ↔ C | 사용자경의 메시지 |
| 0x14 | TR → C | 저장된 명령요청 |
| 0x20 | TR ← C | 단회 센싱값 보고요청 |
| 0x21 | TR ← C | 주기 센싱값 보고요청 |
| 0xFF | TR ↔ C | 확인 메시지 |



[그림 3] 센싱값 보고 과정

<표 3> 센싱값 보고(Sensing Value Report)

| 이름 | 크기(Byte) | 형식/값 | 내용 |
|-----------|----------------|--------------|--|
| 메시지 ID | 2 | 9 | 메시지 고유 아이디 |
| 길이 | 2 | 22+ α | 바디 데이터 사이즈(센싱값의 길이 α 만큼 추가됨) |
| 명령 아이디 | 4 | 변수 | 수집장치에서 부여한 아이디 |
| 게이트노드 아이디 | 2 | 변수 | 게이트노드 아이디 |
| 팬 아이디 | 2 | 변수 | PAN 아이디 |
| 수집장치 아이디 | 2 | 변수 | 수집장치 아이디 |
| 전송 시간 | 4 | 변수 | 전송 시간(UTC) |
| 트랜스듀서 개수 | 1 | 변수 | 트랜스듀서 수 만큼 트랜스듀서 아이디, 센싱 시간, 데이터 길이, 센싱값 필드가 반복된다. |
| 트랜스듀서 아이디 | 2 | 변수 | 트랜스듀서 아이디 |
| 센싱 시간 | 4 | 변수 | 센싱 시간(UTC) |
| 데이터 길이 | 2 | 변수 | 센싱값의 길이 |
| 센싱값 | 가변(α) | 변수 | 센싱 데이터 |

UGS 수집장치와 센서보드 간 인터페이스는 크게 자원의 동적 등록 및 등록해지, 센싱값 질의/제어 및 보고, 보고제어, 사용자정의, 주기보고, 시간 정보, 모니터링, 메시지 오류처리 등의 기능을 제공하기 위한 메시지로 명세된다.

2.4.1 메시지 종류

메시지 종류와 메시지의 방향과 그 기능을 유추 할 수 있는 이름으로 구성되어 있다(<표 2> 참조).

2.4.2 센싱값 보고

단회 센싱값 보고요청이나 주기 센싱값 보고요청에 응답으로 센싱값을 보고한다. 다양한 센서를 고려하여 센싱값의 길이는 가변으로 한다. 센싱값 보고 과정은 [그림 3]과 같다.

3. 맷음말

땅꺼짐 사고가 일어날 수 있는 도시지역의 지하매설물을 사물인터넷 기술을 활용하여 모니터링하고 데이터 분석을 통해 사고를 미리 예측하고 대비하는, 도시 지하매설물 모니터링 시스템에 도입될

많은 장치가 이 표준을 통해 정확하면서도 빠르게 적용되어 도시 지하매설물의 안전이 확보되기를 기대한다. 

*본 연구는 미래창조과학부 및 국가과학기술연구회의 융합연구 사업의 일환으로 수행하였음[융합연구단-14-2-ETRI, 사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발].

[참고문헌]

- [1] TTA, '도시 지하매설물 모니터링 시스템(TTAK.KO-10.0965)', 2016. 12.
- [2] USGS, <https://www2.usgs.gov/faq/categories/11602/7902>
- [3] ISO/IEC JTC 1, 'ISO/IEC 30128:2014, Information technology-Sensor networks-Generic Sensor Network Application Interface,' 2014.

[주요 용어 풀이]

- 공동: 지반 내의 빈 공간으로 지반 함몰의 원인
- 트랜스듀서: TR, 센서노드에 탑재될 수 있는 센서 또는 구동기 (Actuator)
- AP: Access Point, 액세스 포인트
- UGS: UnderGround Safety, 지하 안전
- UTC: Coordinated Universal Time, 협정 세계시
- WPAN: Wireless Personal Area Network, 단거리 무선망