

도시 지하시설물 관리에 적합한 센서 네트워크 구성에 관한 연구

A study on sensor network structure for underground Facility management of city

김근배*, 서동섭, 백송훈
(Gun-Bae Kim, Dong-Seob Seo, Song-Hoon Baik)

Abstract : 도시의 많은 시설물을 좀더 지능화된 체계로 관리하기 위한 수단으로 RFID/USN을 이용한 솔루션이 다양하게 제안되고 있다. 최근에 상하수도, 전력, 가스, 통신 관로 등 지하시설물 관리분야도 기존의 도면 관리체계에서 센서를 이용한 실시간 운영관리시스템 형태로의 진화를 시도하고 있다. USN은 일반적으로 무선전송을 기반으로 발전시킨 기술로서 이를 지하 매설물 센서네트워크에 적용할 경우 여러 가지 제약사항이 따르게 된다. 전자기파의 물리적 특성상 지하에서는 통신이 어렵기 때문에 이를 보완할 수 있는 적용기술 및 시설물 분포에 맞는 네트워크 토폴로지 또 싱크 노드의 물리적 설치공간 확보 및 구동전력 공급 등 현장에서 부딪히는 여러 가지 네트워크 구축에 관련된 현안사항에 대하여 그 해결방법에 대하여 기술하였다.

Keywords: UIS, 지하시설물관리, 센서네트워크

I. 서론

유비쿼터스 도시 구성에 있어서 그 목적을 실현하기 위해서 ‘언제, 어디서나’를 가능하게 하는 도시적 대응이 중요하며, 특히 ‘어디서나’에 관한 물음에 실시간의 정확한 위치 정보를 제공해 줄 수 있는 GIS 기술과 이를 뒷받침할 센서네트워크 기술을 필수 요소로 적용하게 될 것이다. 이에 따라 지방자치단체를 중심으로 구축되는 UIS(Urban Information System) 사업을 활성화하고, 국토정보체계의 지능화를 실현할 수 있는 센서네트워킹 기술연구에 대한 필요성이 제기되고 있으며 특히 지하시설물의 경우 토양이라는 매질의 특성상 전자기파 전달의 한계 및 네트워크 구축의 어려움을 드러내기 때문에 지하시설물에 센서를 부착하여 관리를 하기 위한 USN 은 특별히 설계되지 않으면 그의 실현을 기대하기 어렵다.

II. 본론

1. 센서네트워크와 도시 시설물 관리

상하수도, 전기, 통신, 가스 배관 등 도시의 필수 인프라인 지하시설물의 관리를 위하여 시설준공도면을 수작업 관리하거나 또는 준공도면을 전자화하여 관리하는 방법 등을 이용하고 있다. 도시가 팽창하고 지하시설물이 다양화 복잡화됨에 따라 효과적인 시설물 관리가 필요하게 되었고 부분적으로 IT기술을 이용한 관리체계를 도입하여 활용하는 단계에 와 있으며 최근 U-City의 등장에 따라 각 유관기관에서 개별적으로 관리 하던 시설물 관련 데이터를 서로 연계하여 효율적인 도시관리를 수행할 수 있는 체계를 구축하기 위한 많은 시도가 이루어지고 있다. 이러한 시설물의 상태를 실시간으로 측정하여 관리자에게 전달하여 하나의 체계를 이루는 일

을 가능하게 하는 것이 바로 센서네트워크이다

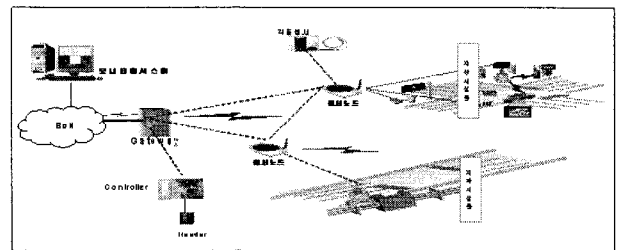


그림 1. 일반적인 센서망 구성도

2. 센서 네트워크 기술

센서 네트워크에 필요한 기술은 크게 살펴보면 칩, 안테나/RF/전송모뎀, 네트워킹, O/S, 제품, 서비스, 미들웨어, 정보보호, 통신망보안 등이 있으며 칩의 경우 센서 일체형 능동 태그칩으로 개발이 진행되고 있으며 본 고에서는 네트워킹 분야 특히 필드의 센서네트워크 인프라 구축에 관련된 내용을 중심으로 살펴보았다. 센서 네트워킹 기술은 로드맵상으로 보아 2003 년부터 Bluetooth, Zigbee, WLAN, 고속 UWB 기술 등이 저전력/다중대역/다중접속 기술의 개발과 함께 최근까지 ad-hoc 기반의 센서네트워킹 기술 개발로 진행되고 있으며 2011 을 목표로 유비쿼터스 센서네트워킹 기술이 개발되어 보급될 전망이다. 최근 센서 네트워크의 표준 통신 프로토콜로 부각되고 있는 Zigbee 와 IEEE 802.15.4 는 무선 근거리 통신을 위해 제정된 표준들이다. IEEE 802.15.4 는 기존의 1Mbps 의 블루투스 및 54Mbps 의 802.11g 등의 고속 MAC 계층 통신 표준들과 대비되는 20~250kbps 의 저속 MAC 표준 이다. 이 802.15.4 표준과 연동하는 지그비의 네트워크 및 응용 계층은 저전력, 저비용, 강인성 기반의 네트워크 설계로 인해 센서 노드의 데이터를 효율적으로 전달한다. 지금까지 시설물 관리에 주로 사용해왔던 센서네트워크 구성 방식을 살펴보면 센서와 센서노드(싱크노드) 구간은 유선을 사용하며 동기식 RS-232 또는 RS-485 통신규격을 사용하여 구성하였으며 각각의 센서노드는 시리얼 멀티포트 등을 사용하여 집선 후 게이트웨이를 통하여 서버로 전송하는 형태를 취하고 있다. 이러한 구조는 호환성이나 확장성 등에서 아래와 같은 몇

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 7.29, 채택확정 : 2008. 8. 1.

김근배, 서동섭, 백송훈 : KT 인프라연구소

(hisoho@paran.com, sds08@kt.com, baiksh@kt.com)

* 본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술 혁신사업의 연구비지원(06국토정보C01)에 의해 수행되었습니다.

가지 문제점을 가지고 있으며 이를 해결하기 위한 연구개발이 필요한 상황이다.

3. 센서 네트워크 구축에 필요한 인프라

센서네트워크의 구간을 크게 나누어 보면 일반적으로 센서와 센서노드, 센서노드와 게이트웨이, 게이트웨이와 서버 구간으로 이루어진다. 각각의 구간을 네트워크로 구성하기 위해서는 각 노드의 특성과 환경적인 요소가 서로 다르기 때문에 각 구간에 맞는 적절한 방식의 구축방법을 찾아야 한다. 필드에 센서네트워크를 구성하기 위해서는 기본적으로 신뢰성이 보장된 네트워크와 센서노드를 구성하는 장치를 설치하기 위한 물리적 공간이 필요하며 또한 노드를 구동하는 전원 및 네트워크 설비가 필요하기 때문에 이를 수용하기에 적절한 환경 및 크기를 갖추어야 한다. 네트워크의 경우 BcN 망을 기본으로 한 IP 네트워크 특히 IPv6 를 채택한 USN 기술이 한창 개발되어 상용화 단계에 이르렀다. 설비의 경우 최근 u-City 건설을 위해 제안된 방안으로는 도심의 필수 인프라인 가로등의 개념을 확장한 u-Pole 등이 개발되어 제안되고 있으며 이 설비에는 전원공급장치, 센서노드 또는 게이트웨이를 수용할 수 있는 네트워크 및 장치의 신뢰성을 보장하기 위한 항온항습장치 등 센서네트워크를 구축하기 위한 필수 요소를 포함한다.

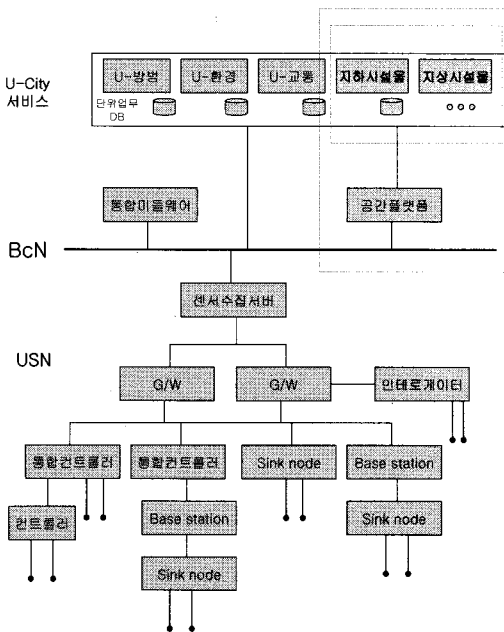


그림 2. 센서네트워크의 하드웨어 구성도

4. 센서 구축사례 분석

최근 U-City에 대한 관심이 커지면서 여러 지자체에서 구축한 U-서비스를 위한 USN 구축현황 수집하여 분석하였다. 모두 3곳의 사례를 수집하였고 각각의 상황에 대한 문제점과 이를 개선하기 위한 노력 및 시사점을 알아보았다. 여기서는 송도경제자유구역청(IFEZ) 지역에 설치하여 시범운영을 실시한 지하시설물관리를 위한 USN을 예로 들기로 한다. 송도의 USN을 이용한 지하시설물 관리 시범 서비스는 상수도 관의 압력, 하수관거의 수위, 유량, 유속, pH를 측정하여 네트워크를 통하여 상황실로 전달하는 구조를 가지고 있으며 검

출된 데이터는 가로등주에 설치된 센서노드를 거친 후 U-Pole에 설치되어 있는 Base station으로 전송되며 IP 네트워크 장비를 통하여 관제 시스템에 전달/저장 되는 구조를 가지고 있다. 여기서 센서노드의 전원은 재충전용 배터리를 사용하였으며 충전을 위하여 태양전지를 병행 사용하였다. 여기서 센서노드와 Base station 과의 거리가 먼곳은 일반 가로등주에 릴레이노드를 설치하여 이를 거친 후 U-Pole에 집선하도록 되어 있다. 또한 가로등과 U-Pole에 설치된 장치의 전원공급을 위한 상선을 얻기 위한 전원공사를 별도로 수행하였으며 데이터 전송을 위한 망은 VDSL 을 이용한 유선망과 CDMA 망을 병행하여 적용하였다.

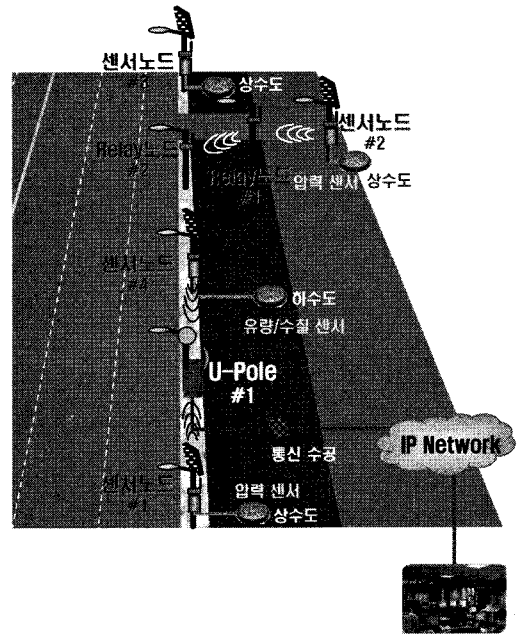


그림 3. 송도의 USN 서비스 구성도

다음 표는 USN 구축 사례를 분석하여 얻은 센서네트워크 구축시 현안 및 문제점을 보여주고 있다.

표 1. USN 구축시 현안 및 문제점

문제점 및 현안 사항	시사점
-이종센서망 수용 곤란	-표준통합프로토콜 필요
-센서노드 설치공간 확보 문제	-현장 인프라 개발 필요
-안정적 전력공급 방안 확보 곤란	-센서 신기술 개발
-전자기파 도달거리 한계(지하)	-유선 네트워크 및 옵티컬 센서 적용
-배터리 성능 한계(무선노드)	-상용망 및 관리솔루션 적용
-망구축 및 유지비용 비용 증가	

4. 구간별 센서네트워크의 물리적 구성방안 및 문제점

센서네트워크를 구성하는 방법은 데이터를 전송하는 매체로 구분하면 유선방식과 무선방식이 있으며 최근 통신기술의 발전으로 여러 분야에서 무선방식으로 바뀌고 있다. 그럼에도 불구하고 시설물 관리 분야 특히 지하시설물의

경우에는 현재의 기술로 보아 유선방식이 유리한 부분이 많은 것이 사실이다. 다음은 현장 구축사례에서 얻은 시사점으로 바라본 지하시설물 관리를 위한 센서네트워크 구축 시 유선네트워크와 무선네트워크 방식의 특징을 보여 주고 있다.

표 2 지하시설물 센서네트워크 구성 방식 및 특징

구분	적용기술/규격	특징 / 장단점
유선방식	RS-232/485, xDSL, FTTH.....	망 구축 비용 상승, 유지보수 비용 증가
무선방식	Zigbee, Bluetooth, CDMA, WiBro.....	전자기파의 도달거리의 한계에 따른 제약 센서 구동 전원(배터리) 성능 한계

필드에 센서네트워크를 구축하여 활용하기 위해서는 망의 물리적인 측면에서 보면 센서노드와 싱크노드 구간, 싱크노드와 게이트웨이 또는 싱크노드와 서버, 게이트웨이와 서버 구간의 네트워크 설비인 액세스망이 주요 관심사가 된다. 특히 이 구간은 유선과 무선 액세스망을 둘 다 사용할 수 있는 구간으로서 상황에 맞는 적절한 선택이 필요한 구간이다. 일반적으로 지금까지 시설물 관리에 사용해왔던 방식을 살펴보면 센서와 센서노드(싱크노드) 구간에 가장 많이 사용하는 인터페이스 규격은 동기방식 인 RS-232 이며 이는 동선을 이용한 유선방식이며 싱크노드에 데이터를 전달하며 전달거리가 길어지는 경우에는 RS-485 를 지원하는 제품을 사용하거나 RS-232 를 RS-485 로 변환해주는 컨버터를 사용하기도 한다. RS-232 의 경우 전송거리는 30 미터 내외이며 RS-485 의 전송거리는 약 1.2Km 에 달한다. 또한 전송거리가 아주 먼 곳이나 자체적으로 망을 구성하기 곤란한 경우에는 xDSL 이나 FTTH 등 상용망을 활용하기도 한다.

유선망의 경우 상용망을 사용하지 않고 자가망으로 네트워크를 구성하는 경우 망 구성을 위해 도로를 굴착해야 하는 과정을 거치기 때문에 여러 가지 인허가 등 여러 가지 제약사항과 초기 구축비용이 많이 드는 단점이 있으며 선로의 장애 시 유지보수가 어려운 점이 있다. 그러나 유선을 이용한 센서의 구동전력 공급이 용이하고 데이터 전송의 신뢰성이 무선에 비해 상대적으로 양호하다고 할 수 있다.

현장의 상황에 따라 유선네트워크를 구성하기에 적합하지 않은 지역은 무선망을 적용하여 구성할 수 있는데 이에 센서-싱크노드 구간의 경우에는 Zigbee 등을 이용한 무선 ad-hoc 망을 적용하거나 액세스망은 CDMA 나 WiBro, WiFi 망을 고려할 수 있다. 무선망의 경우 현 기술수준으로 보아 안정적인 전원공급의 문제가 아직은 해결되지 않은 상황이고 따라서 Energy harvest 를 적용하지 않는 경우 아직은 유선방식의 망구성이 유리 한 상황이다. 그러나 싱크노드나 게이트웨이 이후의 네트워크는 무선망을 적절하게 활용하는 방법을 취하는 것도 권고할 수 있다.

무선망의 경우 전자기파의 특성으로 인하여 지하에는 전파가 도달하지 않으므로 네트워크를 구성할 때 많은 제약사항이 따른다. 따라서 센서노드와 싱크노드 구간은 유선을 사용하여 구성하는 것 이외에는 현재로서는 특별한 방법이 없는 상황이다. 지하맨홀 주변에 돌출부위를 두고 전파를 전달하는 방법이 시도되기는 하였지만 주변의 장애물 등 환경에 따라 전송이 되지 않는 등 신뢰성에 문제가 발생하여 권장되는 방법은 아니며, 무선방식의 망에 적합한 구간은 지상에 노출된 싱크노드와 릴레이노드 또는

게이트웨이 구간이라고 할 수 있으며 유선망이 미비한 경우 게이트웨이와 서버간의 전송에 적용할 수 있다.

위와 같은 망의 선택과 더불어 센서네트워크 구축을 위해 우선적으로 고려해야 할 사항은 센서의 구동과워를 안정적으로 공급해야 하는 것으로서 이와 관련된 여러 가지 기술개발이 진행되고 있다. 그러나 이러한 개발의 결과물이 상용화가 예상되는 시점과 USN 을 이용한 지하시설물 관리시스템 등의 개발의 시기가 서로 적당하게 완성될 것이라는 전망은 그리 밝지 않다. 따라서 그 이전까지는 센서노드에 배터리와 상전을 동시에 병행하여 사용하는 방식이나 전원이 필요치 않는 옵티컬센서를 적용하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. 지하시설물의 관리를 위한 센서는 지하의 특성상 배터리 교환을 쉽게 할 수 없기 때문에 진동이나 유속에너지 등 에너지 하베스트 기술을 활용 한 파워 공급 등 다양한 방법 등이 계속하여 개발되고 있기는 하지만 그 기술이 아직은 초기단계이기 때문에 기술 성숙 시 까지는 유선을 이용한 전원공급이나 옵티컬센서를 이용하는 방법을 병행해야 할 것이다.

4. 지하시설물 관리에 적합한 센서네트워크 구조

다음은 지하시설물 관리를 위한 센서망 구조에 대하여 알아보기로 한다. 도시에서 관리하는 주요 지하매설물은 상수도, 하수도, 전력, 통신, 가스, 난방 배관 등이 있다. 이들의 분포는 트리 방식으로 도로를 따라 간선과 배선망이 분배되는 기존의 상용 유선통신망의 토폴로지와 유사한 특성을 가지고 있다. 따라서 센서를 이용한 지하매설물 관리 네트워크도 이와 같은 토폴로지를 적용하는 것이 망 설계 및 구축 측면에서 유리하다는 것을 알 수 있다.

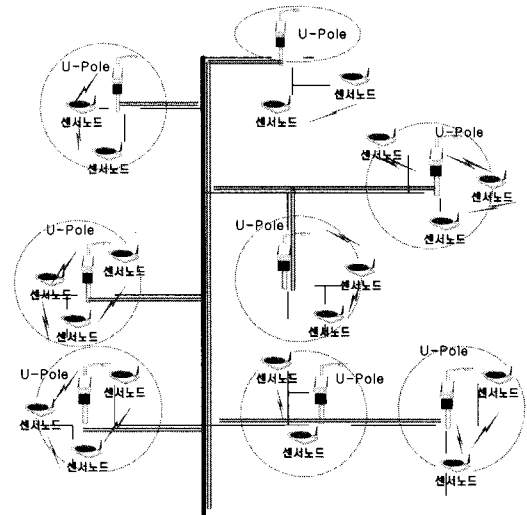


그림 4. 지하시설물(상하수도) 관리를 위한 USN 토폴로지

위 그림에서 센서노드와 싱크노드, 싱크노드와 게이트웨이 구간은 현장에 다양하게 분포된 센서 측정정보를 수집하기에 편리한 무선 ad-hoc을 적용한 망구성이 적합하고 게이트웨이 이후 구간은 기존의 상용 유선망이 유리할 것으로 판단되며 상황에 따라 WiBro, CDMA 등 백업을 위한 스타 형태의 무선망 구조를 갖는 것이 유리할 것으로 판단 된다.

표 3 지하시설물 관리 USN의 구간별 망 구조

구간	매체/토폴로지	비고
시설물 ~ 센서노드	유선	데이터, 전원라인
센서노드 ~ 싱크노드	무선매쉬(ad-hoc)	가로등주를 릴레이 노드(전원확보)
싱크노드 ~ 게이트웨이	무선매쉬(ad-hoc)	U-Pole을 G/W로 활용(전원,통신)
게이트웨이~ 서버	유선 : 트리구조 무선 : PTP 구조	관망의 형상과 유사

참고문헌

- [1] 유비쿼터스 센서네트워크 기술, 박승창 외 4인
- [2] 지능형지하시설물 관리기술개발 2차년도 연구개발보고서(한국건설교통기술평가원)

III. 결론

지금까지 지하시설물 관리를 위한 센서네트워크 구축방안에 대하여 살펴보았고 여기에 적합한 망구조는 부분적으로 여러가지 토폴로지가 결합되어 있기는 하지만 액세스망의 관점에서 보면 기본적으로 트리 구조임을 알 수 있으며 이를 위해서 이에 적합한 설계가 이루어져야 할 것이다. 더불어 USN 구축현장에서 가장 우선적으로 고려해야 할 사항이 센서 전원문제이며 이를 해결하기 위한 노력이 여러 곳에서 이루어지고 있으나 아직까지는 만족할 만한 결과가 이루어지지 않고 있다. 따라서 그 이전까지는 센서노드에 배터리와 상전을 동시에 병행하여 사용하는 방식이나 전원이 필요치 않는 옵티컬센서를 적용하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. 지하시설물의 환경 특성상 배터리 교환을 쉽게 할 수 없고 진동이나 유속에너지 등 에너지 하베스트 기술을 활용 한 파워 공급 등 다양한 방법 등이 계속하여 개발되고 있기는 하지만 그 기술이 아직은 초기단계이기 때문에 기술 성숙 시까지는 유선을 이용한 전원공급이나 옵티컬센서를 이용하는 방법을 병행하여 네트워크를 구축하여야 할 것이다.

※ 본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술 혁신사업의 연구비지원(06국토정보C01)에 의해 수행되었습니다.

김근배



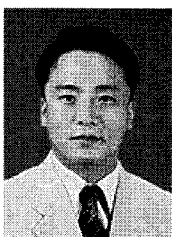
원광대학교 물리학과 졸업.
1989년~현재 KT 인프라연구소
FTTH & U-City 개발담당

서동섭



대전대학교 토목공학과 졸업.
충남대학교 토목공학과 석사과정
1997년~현재 KT 인프라연구소
FTTH & U-City 개발담당

백송훈



건국대학교 토목공학과 졸업
건국대학교 토목,토질역학 석사
1991년~현재 KT 인프라연구소
FTTH & U-City 개발담당