

# 지하 폐쇄환경을 통한 무선 상황정보 전송에 관한 연구

오정석, 박장식, 권정락  
가스안전공사 가스안전연구원  
e-mail:jsoh90@gmail.com

## A Study on Wireless Context-Aware Transmission over underground closed environments

Jeong Seok Oh, Jang Sik Park, Jeong Rock Kwon  
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

### 요 약

지하 산업시설에 u-기반 지능형 서비스를 제공하기 위해 주요습득인자인 상황정보를 목적지에 전송할 수 있는 무선 인프라 구축이 요구되며, 이제까지 유비쿼터스 분야에서 공통기술 위주로 연구 및 개발되었기 때문에 시설별 특성을 고려한 인프라 구축 및 서비스는 부족한 상황이다. 본 논문은 도시가스 지하 폐쇄환경인 가스밸브박스과 전용통신 시설이 존재하는 정압기까지 상황정보 전송을 위해 환경특성을 추출하고, 적용 가능한 무선 방식을 시험하며 환경특성과 시험결과에 따라 적절한 무선 상황정보 전송방식의 토대를 제공한다.

### 1. 서론

산업시설에 u-기반 지능형 서비스를 제공하기 위해 주요습득인자(상황정보)를 원하는 목적지에 전송할 수 있는 인프라 구축이 요구된다[3]. 특히, 도로, 상하수도, 전력, 가스등과 같은 지하시설물에 유비쿼터스 기술이 접목되어 소요비용 및 유지보수 비용이 감소되고 이력관리 및 사고 예방 가능성이 높아지면서 무선통신을 이용한 상황정보 전송을 위한 연구 및 개발이 가속화되고 있다[1, 2]. 그러나 공통기술 위주의 연구로 진행되었기 때문에 시설별 특성을 고려한 무선환경 인프라 구축 및 서비스는 부족하다 [9, 10].

본 논문은 도시가스 지하시설 폐쇄환경인 가스밸브박스과 전용통신 시설이 존재하는 정압기까지 상황정보 전송을 위해 가스밸브 박스 환경 특성을 추출하고, 적용 가능한 무선방식을 시험하며, 환경특성과 시험결과에 따라서 적절한 무선 상황정보 전송방식 설계를 목적으로 한다.

### 2. 지하폐쇄환경 특성 및 시험환경 조성

도시가스 배관은 일반적으로 지하에 매설되어 있으며 배관의 연장공사, 분기작업, 긴급 시에 대비하여 도시가스 공급을 차단할 수 있도록 배관 사이 또는 분리되는 부분에 차단밸브를 설치한다. 밸브박스는 차단밸브를 보호하고 인력으로 차단할 수 있도록 철근/콘크리트 박스로 지하에

충분한 공간을 확보하여 구축되며 (그림 1)에서 보인다. 도시가스 밸브박스에서 이력 및 안전관리를 위해 상황인식 정보인자를 추출해보면 환경적 인자로 지진, 지반침하, 수위가 있으며 관리적 인자로 압력, 가스누출, 방식전류 등이 있다. 환경적 인자는 자연재해로 발생하며 특히 비가 스며들기 때문에 밸브박스에서 밸브 및 관련 기기들이 침수될 수 있어 수위조절이 중요하다. 관리적 인자는 배관 또는 밸브에서 결함 또는 취약부분에서 발생할 수 있는 인위적 문제로서 이력관리, 사고예방, 위험도 예측 등을 위해 필요하다. 밸브박스 환경은 평균적으로 심도가 1.6m 이상이며, 외곽철개 덮개, 체결형 철제 속 덮개, 상부 및 벽면 두께가 다양하게 구성되어 있다.

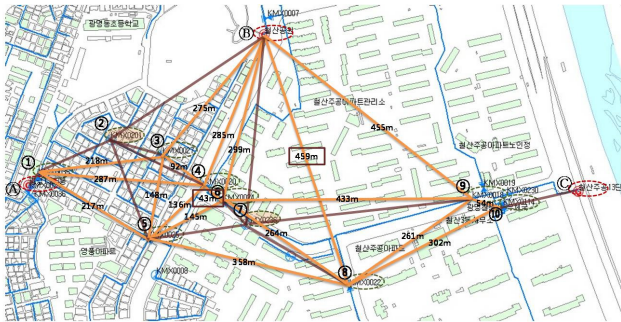


(그림 1) 도시가스 밸브박스 환경

도시가스 시설 현황조사에 의거하여 상황정보는 밸브 박스에서 지상에 있는 인근 전용통신 시설까지 무선으로 전송하는 것이 비용 등의 문제로 걱정하였다[9]. 도시가스

<sup>†</sup> 본 연구는 지식경제부의 에너지기술혁신 프로그램으로 지원되었으며 이 논문은 "차세대에너지안전연구단"의 연구결과입니다.(세부과제번호: 2007-M-CC23-P-03-01-000)

시설 중 전용통신 시설이 탑재되면서 밸브박스 인근에 위치하는 정압기실이 있으며 밸브박스에서 평균적으로 1km에서 2km 사이에 존재하였다. 이를 위해, 본 연구는 실제 도시가스가 제공되는 광명시 지역에 지하 밸브박스 10개와 지상 정압기실 3개로 구성된 시험환경을 조성하고 (그림 2)에서 보인다. 각 구간과의 거리는 최소 43m, 최대 495로 구성하였다. 설치환경은 밸브박스에서 상황정보를 수집하는 센싱노드가 장착되며, 정압기에서 싱크노드 역할을 수행하는 수집기가 설치된다. 또한, 통신감도에 따라 중계노드를 장착하도록 환경을 조성하였다.



(그림 2) 광명시 시험환경(TestBed)

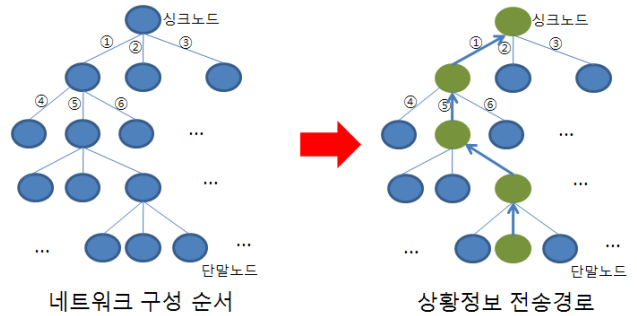
3. 폐쇄환경 상황정보 전송 방안

무선 통신시험은 IEEE 802.15기반의 Zigbee, 블루투스, 저주파대역(433MHz), CDMA, Wibro 방식에서 상황정보들을 전송하여 통신가능성과 최대 통신거리 측정시험이 수행되었으나 지상에서 자가구성(Self-organization) 등이 가능한 매쉬 네트워크를 구축하기 위해 2.4GHz 주파수를 사용하는 지그비가 선정되었다[4, 5, 6, 7, 8]. 지그비는 현 환경에서 근거리 통신 중 적은 최대출력 신호강도세기로 노드간의 최대거리가 1km이상 기록되었다.

MAC 프로토콜은 코드 사이즈를 최소화하기 위한 IEEE 802.15.4의 기본 MAC 프로토콜을 이용하였으며, 라우팅 프로토콜은 정압기실에서 싱크노드 역할을 수행하는 수집기가 최종 목적지로 고정되어 있기 때문에 tree 라우팅을 현 환경에 적절하게 수정하였다. 본 연구의 라우팅 기법은 등비수열 식( $a_n = r^{n-1}$ )이 적용되어 매쉬 네트워크 생성 시 신호강도표시(RSSI)와 지정된 n개의 자식노드 수에 따라 계층이 구성된다. 다시 말해, 트리의 구성은 820.15.4에 나와 있는 트리 구성 방식이 아닌 신호강도세기와 지정된 수에 따라 계층 간에 등비수열 식에 의해 하부단계의 자식노드들의 수를 할당한다. 예를 들어, 자식노드가 3개로 지정되었을 때, 2단계 계층(1 홉)은 3개의 노드들이 있으며, 3단계 계층(2 홉)은 수식에 따라 9개 노드들이 존재한다.

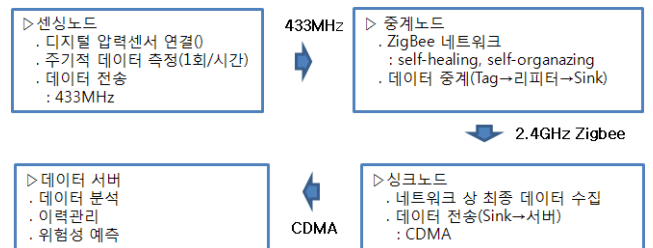
(그림 3)은 트리 구조 구축 및 전송경로 과정을 보인다. 특히, 트리 라우팅 구조가 완성된 후 센싱 노드에서 데이터는 구축된 트리를 통해 유니캐스트 형식으로 부모

노드에게 전달되고 최종적으로 싱크노드에게 상황정보를 전송한다. 각각의 노드는 부모노드와 자식노드들에 대한 정보만을 가지고 있으므로 멀티 홉 라우팅을 위해 복잡한 패스정보를 유지할 필요가 없다. 싱크노드인 수집기는 주기적으로 하부노드들을 체크하여 가동여부 및 신호강도표시 측정으로 매쉬 재구축 및 네트워크에서 이탈되는 중계노드들을 인지할 수 있다.



(그림 3) 경로 구성 및 전송과정

2.4GHz 지그비는 지상에서 정보를 전송할 때는 유용하지만 지하 폐쇄환경으로부터 지상으로 전송하기에는 부적합하였다. 도시가스 밸브박스 환경은 지하에 콘크리트 구조물로 일반적으로 이중 철제 덮개로 덮여져 있다. 이러한 폐쇄환경에서 2.4GHz 지그비는 국내통신법에서 허용하는 최대출력을 만족하는 조건에서 약 10m 이상으로 전파가 전송되지 않는다. 전국 도시가스사 밸브박스 환경은 일반적으로 도로상에 설치되어 있고, 반경 100m 정도에 중계노드를 설치할 수 있는 구조물이 존재하기 때문에 2.4GHz 대역의 지그비는 불가능하다. 반면에, 쉽게 시험할 수 있는 800MHz 대역인 CDMA 통신은 지하 폐쇄환경에서 통신이 가능하였으나 심도가 2m이상인 환경에서는 불가능한 경우도 있었고 통신비용 문제가 대두되었다. 이러한 문제를 분석하기 위해 본 연구는 개방용 주파수인 433MHz 대역에서 지하 폐쇄환경인 밸브박스과 지상간의 전송시험을 통해 통신 성공률이 100%인 최대전송거리가 약 100m로 측정되어 전국 도시가스 환경에 적용 가능하였다.



(그림 4) 지하폐쇄 환경 기반 근거리 통신 구성도

본 연구의 시험결과에 의거하여, 도시가스 폐쇄환경은 지상에서 2.4GHz 대역의 지그비 방식이 적정하였고, 지하

폐쇄 환경에는 800MHz 대역 이하에서 지상으로 전파가 도시가스 시설환경에서 적용 가능하였으므로 (그림 4)와 같은 도시가스 기반 지하 폐쇄환경에서 근거리 통신 시스템을 구축하였다.

센싱노드는 디지털 압력센서와 연결되어 주기 당 1회 측정하여 데이터를 433MHz 대역을 이용하여 전송하고 중계노드는 데이터를 전송받아 지그비 방식의 데이터로 변환하고 2.4GHz 대역으로 데이터를 전송한다. 센싱 노드와 중계노드는 1:1 또는 1:N 대응으로 단방향 통신하며, 중계노드부터는 싱크노드까지는 구성된 매쉬 네트워크에서 쌍방향 통신이 가능하다. 전용통신 시설이 존재하는 정압기까지 전송된 상황정보는 CDMA 방식에 의해 서버까지 전달된다.

#### 4. 결론 및 향후계획

본 논문은 도시가스 지하시설 폐쇄환경인 가스밸브박스 전용통신 시설이 존재하는 정압기실까지 상황정보 전송을 위해 가스밸브 박스 환경특성을 추출하고, 적용가능한 무선방식을 시험하며, 환경특성과 시험결과에 따라서 적절한 무선 상황정보 전송방식을 적용하였다.

도시가스 시설현황에 따라 적용 가능한 통신방식 시험은 지상에서 2.4GHz 주파수 대역에서 원활하게 상황정보 전송이 가능하였으며 자가구성 등이 가능한 Zigbee 방식이 선정되었다. 반면에, 지하폐쇄환경에서는 800MHz 대역 이하에서 지상까지 전송거리가 약 100m 이상 가능하였으며 본 환경에서는 개방 주파수인 433MHz 대역이 선정되었다. 시험결과를 바탕으로 센싱노드(433Mhz), 변환노드(433MHz->2.4GHz), 중계노드, 싱크노드 시제품을 제작하여 센싱노드와 수집노드는 1:1 또는 1:N 대응을 하며, 변환노드, 중계노드, 싱크노드는 트리 라우팅 방식에서 신호강도표시(RSSI)에 자식노드 개수제한을 적용하여 현 환경에 적합하도록 수정하였다.

향후계획으로는 센싱노드에서 변환노드간의 전송시간이 짧아 효율성이 감소되므로 900MHz 대역의 Zigbee 방식이 존재함에 따라 센싱노드와 변환노드를 수정하여 현 결과와 비교시험을 수행하면서 전체 시스템을 개선시킬 예정이다.

#### 참고문헌

- [1] C. Shen, "Sensor Information Networking Architecture and Applications", IEEE Personal Communications, Vol. 8, No. 4, pp 52-59, 2001.
- [2] D. E. Culler and W. Hong, "Wireless Sensor Networks", Communications of the ACM, Vol. 47, No. 6, pp 30-33, 2004.
- [3] F. Akyildiz, W. Su, and Y. Sankara, "A Survey on

Sensor Network", IEEE Communication Magazine, Vol. 40, No. 8, pp102-114, 2002.

[4] G. Held, "Data Over Wireless Networks Bluetooth, WAP, and Wireless LANs, McGraw-Hill, 2001.

[5] Y. Zhang, J. Luo, and H. Hu, "Wireless Mesh Networks: Architectures, protocols, and Standards", Auebach Publications, 2007.

[6] IEEE 802.15. Working Group for WPAN

<http://www.ieee802.org/15>

[7] IEEE 802.15.4 TM-2003, "MAC and PHY Specification for Low-Rate Wireless Personal Area Networks, IEEE computer Society, 2003.

[8] K. Sohrabi and J. Pottie, "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network", IEEE Personal Communications, 2000.

[9] 오정석, 최경석, 권정락, "도시가스시설에 유비쿼터스 기술적용을 위한 실험적 연구" 한국정보과학회 학술심포지움(유비쿼터스 컴퓨팅과 웹정보기술), 2권, 2호, pp281-284, 2008.

[10] 채동형, 한규호, 임경수, 안순신, "센서 네트워크의 개요 및 기술동향", 한국정보과학회 논문제, 22권 12호, 2004.