

WSN을 이용한 지하 전력구 감시 테스트베드 시스템 구현

김영일[○] 이봉재 송재주 신진호 이정일
한국전력공사 전력연구원
{yikim[○], bjee, jjsong, jinho, lji3651}@kepri.re.kr

Implementing a Test Bed System of Underground Tunnel Monitoring using WSN

Young-Il Kim, Bong-Jae Yi, Jae-Ju Song, Jin-Ho Shin, Jung-Il Lee
Korea electric power research institute

요 약

전력산업에 있어서 송배전 선로에 대한 안정성 확보는 중요한 요소이다. 현재 한전에서는 안정적인 전력 서비스 공급을 위하여 많은 비용을 들여 송배전 선로에 대한 감시 시스템을 구축하여 운영하고 있다. 그러나 기존의 감시 시스템은 주로 광케이블이나, PLC 등과 같은 유선을 기반으로 운영되고 있다. 유선을 기반으로 하는 감시 시스템은 많은 초기 구축 비용과 유지 보수 및 점검을 위해 지속적으로 많은 비용이 발생하게 된다. 최근 들어 유비쿼터스 컴퓨팅에 대한 연구가 많이 이루어 지면서 무선 센서 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 무선 센서 네트워크의 경우 설치가 용이하며, 유지 보수가 간단한 장점이 있어 전력산업에서도 도입을 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서 제안하는 지하 전력구 감시 시스템은 무선 센서 네트워크를 이용하여 지하 전력구 내에 위치한 송전 선로에 대한 온도 정보와, 전력구 내의 다양한 가스 정보를 실시간으로 제공한다. 이러한 기능을 통해 송전 선로에 대한 이상 유무를 사전에 판단할 수 있는 정보를 제공하게 된다.

1. 서 론

전력산업에서는 고객에 대한 안정적인 전력 공급을 위해 송배전 선로에 대한 고장 및 정전을 방지하기 위한 감시 및 조작 시스템이 중요한 역할을 한다. 산업 전반의 안정화를 위해 전력의 안정적인 공급은 항상 보장되어야 하며, 이를 위해서는 다양한 감시 시스템이 갖추어져 있어야 한다. 현재 한국전력공사(이하 한전)에서는 다양한 송배전 선로 감시 시스템을 구축하여 운영 중에 있다. 현재 운영중인 시스템은 대부분 송전 선로의 경우 미리 가설되어 있는 광케이블을 이용하고, 배전 선로의 경우 PLC (Power Line Communication)를 이용하여 감시하고 있다. 그러나 이러한 방식은 감시를 위해 광케이블 통신이나 PLC 통신을 위한 고가의 장비들을 설비들을 설치하고, 유선을 관리하기 위한 많은 비용을 소요하게 된다 [1]. 따라서 앞서 설명한 방식의 감시 시스템은 송배전 선로에 폭넓게 적용되지 못하고, 안정적인 전력 공급을 위해 꼭 감시가 필요한 일부 지점에만 적용하여 활용되고 있다. 또한 산악지역이나 오지의 경우에는 유선 통신망을 구축하기가 어려워 이에 대한 감시 시스템 구축이 어렵다. 따라서 이러한 경우에는 위성 통신을 이용하여 감시 시스템을 구축해야 할 필요도 있다 [2].

최근에는 유비쿼터스 컴퓨팅에 대한 연구가 활발히 진행되면서 전력산업 분야에도 다양한 기술이 도입되고 있다.

RFID (Radio Frequency Identification)를 이용하여 전력 설비에 대한 이력 관리 및 순시점검 등의 업무 자동화를 위해 사용되고 있으며, 무선 센서 네트워크 (WSN: Wireless Sensor Network) 기술을 이용하여 선로에 대한 실시간 감시 체계를 구축하려는 연구도 진행되고 있다.

본 연구에서는 다양한 센서를 이용하여 지하 전력구에 대한 선로의 온도 감시와, 전력구내의 다양한 유해 가스에 대한 감시를 통해 작업자의 안전을 확보할 수 있는 지하 전력구 감시 테스트베드 시스템을 구현하였다. 본 연구에서는 지하 전력구에서 활용 가능한 무선 통신 방식을 연구하였고, 시험적 운영을 위한 시스템을 설계 및 제작하여 현장에서 적용, 실증 시험을 통해 시스템의 실제 운영 가능성을 보이고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장은 WSN과 관련된 관련 연구를 설명하며, 3장은 송배전 선로 감시와 관련하여 전력산업에서 요구하는 다양한 요구사항을 분석하며, 4장은 테스트베드 시스템에 대한 설계 및 구현을 설명하며, 5장은 결론과 향후 연구로 이루어진다.

2. 관련연구

무선 센서 네트워크(WSN)는 유비쿼터스 컴퓨팅에 대한 연구가 활발해지면서 RFID 기술과 함께 각광 받고 있는 기술이다. WSN의 경우에는 기존에 유선 통신으로 운영되고 있는 다양한 목적의 시스템을 무선 통신을 이용하

도록 수정함으로써 설비의 구축 비용과 유지 보수 비용을 대폭 절감하고, 손쉽게 현장에 적용할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

그러나 무선만으로 이루어져 배터리의 수명이 제한되어 있으며, 무선 통신을 사용하므로, 전파의 간섭이나, 전파 통달 거리 등의 제한이 있어 적용이 어려운 분야도 많은 단점이 있다. WSN은 적은 비용과 적은 전력 소모로 무선 형태의 다양한 조그마한 센서들을 운영하고, 그 데이터를 짧은 거리에서 통신을 통해 네트워크를 구성하게 된다. 이러한 기술은 현재 군사적 목적이나, 환경 감시, 보건 분야, 주거 자동화 등과 같은 분야에서 활용되고 있다 [3]. 이러한 연구는 스마트 더스트 프로젝트를 통해 시작되었다 [4]. 센서 노드는 무선 통신 능력을 갖고 있고, 이를 통해 전달 받은 데이터를 처리할 수 있는 능력을 갖게 된다. WSN을 구성하기 위해서는 꼭 풀어야 될 두 가지 사항이 있다. 하나는 전력 소모를 줄이는 것이며, 다른 하나는 응용 프로그램에 필요한 라우팅 알고리즘을 개발하는 것이다. 통신 전력 소모를 최소화 함으로써, 노드의 수명을 최대한 보장하는 것이 WSN을 이용한 시스템을 설계할 때 가장 중요한 요소가 된다 [5].

최근에 각광 받고 있는 WSN 기술은 Bluetooth와 ZigBee를 들 수 있다.

BlueTooth. Bluetooth는 1990년대 중반에 에릭슨에 의해 처음으로 연구가 진행됐다. 이 기술은 사용자에 친숙한 인터페이스를 제공하고, 신뢰도가 높고 보안성이 있는 무선 통신 방식을 제공하기 위해 설계되었다. Bluetooth는 IEEE 802.15.1에서 표준화가 진행되고 있다. 이 기술은 마스터/슬레이브 방식의 MAC 프로토콜을 이용하여, 저전력으로 전자 장치들 간에 짧은 거리의 무선 통신을 가능하게 한다. 이 기술은 주로 유선으로 연결된 전자 장치들을 대체하기 위해 사용된다. 마스터/슬레이브 방식으로 운영될 경우에는 1Mbit의 데이터 전송률을 제공하여 음성과 데이터 전송에 적합하며, 프로그램의 업로드 및 다운로드도 가능하다 [6]. 그러나 이 기술은 높은 복잡도와 센서의 파워를 해결하기 어려워 센서 네트워크에는 적합하지 않다.

ZigBee. ZigBee는 2004년 연구가 시작된 기술로 신뢰성 있고, 확장성이 좋으며, 설치가 용이하고, 전력 소모가 적어 오랜 수명을 보장하며, 보안성이 있으며, 운영 비용이 적은 무선센서 네트워크를 제공하기 위해 개발되었다. 이 기술은 IEEE 802.15.4에서 표준화가 진행되고 있으며, 산업에서의 설비 감시, 가전에서의 자동화 및 조작, 의료 정보 감시 등의 분야에서 활용하고자 한다. 이러한 응용 분야는 오랜 배터리 수명을 보장하고 쉽게 네트워크를 구성하고 변경 가능해야 하는 특성이 있다. ZigBee는 스타, 매쉬, 하이브리드 방식의 네트워크를 제공한다 [12]. Bluetooth와 달리 ZigBee는 슬립 모드를 제공하여 작업을 하지 않는 대부분의 시간 동안 전원을 보존할 수 있게 된다.

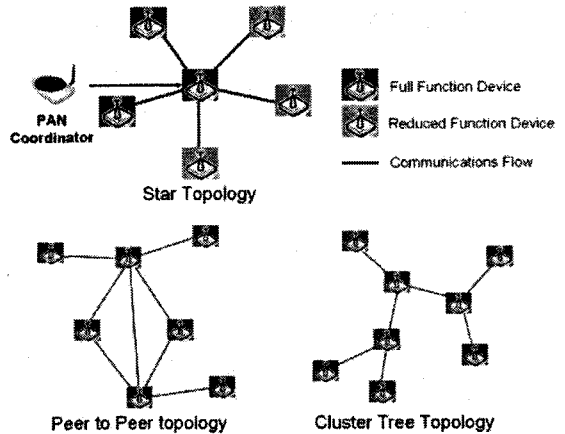


그림 1. ZigBee의 네트워크 방식

Bluetooth vs ZigBee. 두 기술은 서로 다른 응용 분야를 갖고 있다. 다음의 표는 Bluetooth와 ZigBee 기술에 대한 간단한 비교를 보여준다.

	Bluetooth	ZigBee
Protocol standard	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Application Focus	Monitoring & Control	Cable Replacement
System Resources	4KB~32KB	250KB+
Battery Life (days)	100~1,000+	1~7
Network Size	Unlimited	7
Bandwidth(KB/s)	20~250	720
Transmission Range(m)	1~100+	1~10+
Success Metrics	Reliability, Power, Cost	Cost, Convenience

표 1. Bluetooth와 ZigBee의 간단한 비교

3. 전력산업의 요구사항

전력산업에서는 RFID나 WSN과 같은 유비쿼터스 컴퓨팅 기술을 이용하여 전력 설비를 감시하고 조정하는 기술에 대한 요구가 증가하고 있다. 전력산업에서는 안정적인 전력 공급이 가장 중요한 요소이며, 이를 만족시키기 위해 RFID 태그나 리더, 센서 노드, 미들웨어 등을 활용하여 다양한 시스템을 개발하고 있다. 본 연구에서는 한전 내의 실무자들 및 시스템 운영자들과의 인터뷰를 통해 무선 센서 네트워크를 이용하여 지하 전력구에 대한 실시간 감시를 위한 요구사항을 도출하였다.

무더운 여름철에는 전력 수요가 급격하게 증가하여 송배전 선로에 부하가 급격하게 증가하게 된다. 이러한 과부하로 인해 변압기 및 지중 개폐기 등이 과열될 경우에는 정전이나 과열로 인한 폭발이 발생한다. 이로 인해 인명 피해는 물론 전력 공급의 중단으로 인한 연쇄적인 피해가 발생하게 된다.

이러한 과열개소 설비들은 전력사에서 순시 점검을 통해 노화 상태 및 부하에 따른 손상 상태 등을 점검하고 있지만, 보다 완벽한 사고 예방을 위해서는 실시간으로 설비에 대한 정보를 수집하여 관리자에게 제공하는 방식이 필요하다. 이러한 상황을 막기 위해 전력사들은 다양한 모니터링 시스템을 개발하여 운영하고 있다. 무인변전소, 지하전력구 감시제어 시스템 등 설비의 상태를 실시간으로 감시하기 위한 많은 시스템이 연구 개발되어 운영되고 있다. 이 시스템은 주요 지점의 송배전 선로의 변압기에 센서를 부착하여 열이나 전압, 전류 등을 측정하여 위험 지역을 미리 탐지하는 방식이다. 그러나 일정 지역 내에 위치한 설비와는 달리 전국적으로 방대하게 분산된 송배전 선로에 대해서는 이를 감시하기 위한 통신 네트워크를 별도로 구성하여 운영하는 데는 우리가 있어 현재까지는 비용적 측면에서 불가능한 실정이다. 따라서 유비쿼터스 컴퓨팅 기술을 활용하여 간단히 설치하여 감시할 수 있는 기술을 필요로 하게 된다. 최근에는 설치 및 운영 비용에 대한 부담이 적고, 운영이 용이한 무선 센서 네트워크 기술을 이용하여 전력 설비에 대한 감시 및 조절을 제공하는 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. 물론 기존의 무선 방식의 센서로 무선 방식의 센서 보다는 단거리에서 저렴할 수는 있다. 그러나 무선 방식은 설치에 대한 비용이 발생하지 않아 이를 대체할 수 있다.

본 연구에서는 무선 센서 네트워크 기술을 이용하여 지하 전력구에 송전 선로에 대한 온도 감시와 전력구 내의 가스를 탐지하는 시스템을 개발하였다. 지하 전력구는 도심 지역과 같이 지상으로 철탑을 건설하여 고압선을 설치할 수 없는 경우에 지하 터널을 이용하여 고압선을 연결하기 위해 만든 터널을 말한다. 이 경우에는 철탑에 사용되는 나선 형태의 철선과 달리, 피복이 입혀진 상태의 고압 케이블을 사용한다. 케이블은 일반적으로 운반 능력을 고려하여 300m 단위로 제작되며, 지하에 설치할 경우에는 300m 단위로 케이블을 접속하게 된다. 이 부분을 케이블의 접속부위라 하며, 접속부위는 전력 소모량이 많아 지거나 송전 선로의 이상이 발생할 경우 케이블에서 가장 먼저 열이 발생하는 지점으로 과부하나 기타 요인으로 인해 케이블의 이상 유무를 점검할 경우에 가장 먼저 점검해야 되는 지점이다. 또한 지하에 폐쇄되어 있는 전력구는 유독 가스로 인한 안전 사고가 발생할 수 있으므로 상시로 가스 수치를 점검할 필요가 있다. 본 연구에서는 실제 운영중인 지하 전력구 내에 온도 감지 센서와 다양한 가스 탐지 센서를 설치하고, 이들을 무선 네트워크로 구성하여 실시간으로 감시할 수 있는 지하전력구 감시 시스템을 개발하였다.

4. 시스템의 설계 및 구현

본 연구에서 개발된 지하전력구 감시시스템은 총 600m의 실험적인 구간 내에서 25~50m 간격으로 온도 감시 및 주 통신 라인을 담당하는 센서(라우터 노드)를 설치하고, 약 300m 간격으로 위치한 두 개의 접속개소에 표면 온도 센서 및 일산화탄소(CO), 산소(O2), 황화수소(H2S), 메탄가스(CH4), 탄산가스(CO2)를 측정하는 센서를 설치하였다.

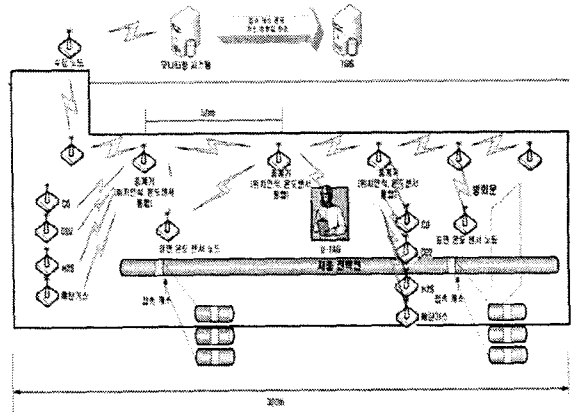


그림 2. 지하전력구 센서 네트워크 개념도

전력구를 따라 20~50m 간격으로 설치된 라우터 노드는 중계 노드로써의 역할과 전력구 내의 대기 온도를 측정하여 전송하는 기능을 담당한다. 지하 전력구의 운영 환경 특성상 터널을 따라 일렬로 센서를 배치하였다. 네트워크의 라우팅 방식은 각 노드 별로 16 bit로 이루어진 주소를 부여하고 미리 정해진 라우팅 테이블에 따라 정적으로 패킷을 전송하도록 하였다. 기존의 ZigBee 네트워크의 클러스터 트리 방식을 이용하여 자식 수가 1인 트리 방식으로 사용하는 것과 동일하다. 초기에는 센서 노드가 추가되고 변경됨에 유동적으로 적응할 수 있는 동적 라우팅을 고려하였으나, 라우팅의 정상 동작 유무, 새로운 라우팅 경로 설정을 위한 방대한 통신 패킷 발생, 동기화를 위한 wake up 시간 증가 등의 문제로 인하여 전력 소모가 심하여 정적 라우팅을 이용하였다.

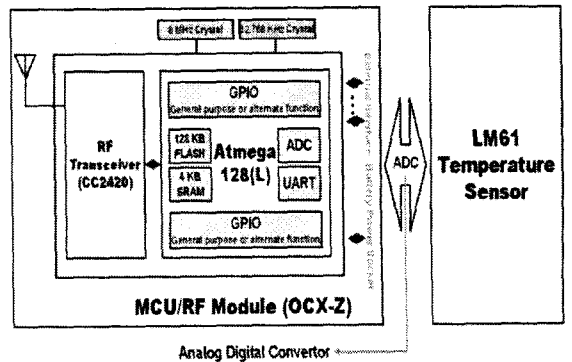


그림 3. 온도/위치인식 센서 노드의 구성도

접속부위의 온도를 측정하는 표면온도 센서 노드는 3개의 온도 센서를 갖고 접속 부위 중앙과 양쪽 단의 온도를 측정한다. 이 3개 지점의 온도 차이가 5도 이상 나타날 경우에는 접속부위의 과열을 의심하여 경고를 알리게 된다. 또한 접속부위 주위에는 5가지 가스 센서가 위치하게 된다.

가스 센서의 경우에는 현재 무선 센서 네트워크 용으로 특화되어 개발된 저전력 형태의 센서가 상용화되어 있지 않다. 따라서 일반적으로 산업용으로 사용되는 센서를 이용하여 개발하였다.

센서는 일정 시간 간격으로 sleep & wake up 방식으로 통신하도록 하였다. 항상 전원을 공급 받을 수 있는 수집 노드가 시간 간격에 맞도록 동기화 패킷을 전달하게 되며, 이를 이용하여 모든 센서 노드가 동기화 되어 동작하게 된다. 센서의 sleep 시간은 모니터링 화면을 통해 설정하여 수집 노드를 통해 control 신호로 모든 노드에 전달 된다. 일정 노드로 센서 노드는 깨어난 후 동기화 패킷을 전달 받고, 수집 노드의 명령을 전달 받는 단계가 지난 후에 측정된 값을 전달한다.

모든 센서 노드가 sleep & wake up 방식으로 동작하기 위해서는 동기를 정확하게 맞추는 것이 중요하다. 우리가 개발에 사용한 센서는 종류가 다양하여 그 값을 측정하기 위해 걸리는 시간이 서로 다르다. 온도 센서의 경우에는 수 백 ms 내에 측정이 가능하나, 가스 센서의 경우에는 수초가 걸리게 된다. 따라서 모든 센서 노드가 동일한 시점에 깨어나는 것이 아니라, 자신이 사용하는 센서의 특성에 따라 측정하는데 걸리는 시간만큼 먼저 깨어나서 측정을 하고, 동기화 패킷을 받게 된다.



그림 4. 메시지의 동기화 단계

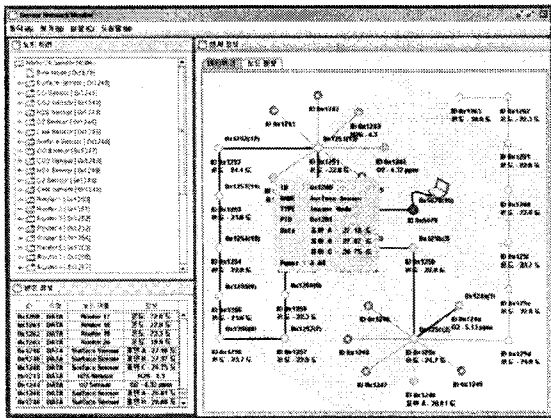


그림 5. 센서 네트워크 모니터링 화면

5. 결론 및 향후연구

무선 센서 네트워크 기술을 전력산업에 적용하기 위해서는 실무자와 함께 적용할 분야에 대한 조사를 통해 요구사항을 도출해야 하며, 이를 기반으로 실제 적용 가능한 테스트베드 시스템을 구현하여 실용성이 있는지에 대하여 판단하는 작업이 필수적이다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 기술을 이용하여 지하 전력구내의 송전선로에 대한 감시와 가스 탐지 기능을 갖춘 테스트베드 시스템을 개발하였다. 이러한 시스템을 통해 설비의 상태정보를 실시간으로 취득할 수 있게 되어 현장업무 처리능률을 획기적으로 향상시킬 수 있으며, 업무프로세스의 개선과 비용 절감 효과로 전력산업의 경쟁력을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 생각한다.

향후에는 송전선로 감시등과 같은 직선형의 센서 네트워크에 알맞은 저전력의 동적 라우팅 알고리즘을 개발하고, 실제 현장에서 안정적으로 운영할 수 있는 시스템으로 업그레이드 하는 것을 목적으로 하고 연구를 진행하고 있다.

참고문헌

- [1] 주성호, 박병석, 유동희, 이태영, 임용훈, " 전력선 통신을 이용한 지하공동구 종합감시제어 시스템 개발", 전력전자학술대회, 7월, 2004.
- [2] 김수배, 김명수, 김원태, 임용훈, 현덕화, " 전력산업 감시제어를 위한 위성통신 적용방안 연구", 대한전기학회 추계학술대회, 11월, 2004.
- [3] I.F. Akyildiz, " Wireless sensor networks: a survey", Computer Network Vol. 38, Issue 4, 15 March 2002, pp. 393-422.
- [4] J.M. Kahn, R.H. Katz, and K.S.J. Pister, " Emerging challenges: mobile networking for smart dust", Journal of Communications and Networks, Vol. 2, No. 3, 2000, pp. 271- 278.
- [5] Kenan Xu, Quanhong Wang, H. Hassanein, G. Takahara, " Optimal wireless sensor networks (WSNs) deployment: minimum cost with lifetime constraint", Wireless And Mobile Computing, Networking And Communications, 2005. (WiMob'2005), Vol. 3, 2005, pp.454 - 461.
- [6] " Specification of the Bluetooth system", November, 2003, Available: <http://www.bluetooth.org>.
- [7] Patrick Kinney, " ZigBee technology: wireless control that simply works", Available: <http://www.zigbee.org>.