무선센서를 이용한 지하전력구의 케이블 접속함 표면온도감시시스템 개발

論 文
56-11-2

A Development of Surface Temperature Monitoring System for Underground Tunnel Cable Joint using Wireless Sensor

金 榮 一† · 宋 在 周* · 辛 鎭 浩** · 李 俸 在*** · 趙 善 九§
(Young-Il Kim · Jae-Ju Song · Jin-Ho Shin · Bong-Jae Yi · Seon-Ku Cho)

Abstract - In the electric power industry, it is important that the supply of energy must be guaranteed. Many power utilities control and supervise the transmission line to avoid power failures. In case of underground tunnel, some troubles are reported in cable joint. To stabilize the power, it is needed to monitor the cable joint. Many researches of cable joint monitoring have been going on by partial discharge measurement and temperature measurement using optical cable. These methods need much cost to install and maintain, so it is only used in critical transmission line. In this research, we use wireless sensor technology, because of its low cost and easy installation. We develop the temperature monitoring system for cable joint. Temperature sensor is installed on the surface of cable joint and sends data to server through router node using wireless network. Generally Ad hoc routing is searched in wireless network. However, in this research, we design the static linear routing mechanism, which is suitable for electric power line monitoring and analyze the life time of the sensor node by measuring the amount of the battery consumption.

Key Words : Cable Joint, Surface Temperature, Wireless Network, Monitoring System

1. 서 론

최근 들어 친환경적인 요인으로 인하여 도심지역의 송전선로는 지하전력구, 맨홀 등을 이용하여 지중화 되고 있다. 현재 지하전력구를 통한 송전을 위해 XLPE(Cross linked polythylene) 케이블의 한 종류인 CV 케이블을 주로 사용하고 있다. 이러한 케이블은 제작 및 운반의 편의성을 위해 500m 이내의 길이로 생산되며, 이로 인해 케이블의 연결지점마다 접속함을 시공하게 된다. 케이블 접속함은 지하전력구에서의 사고발생 원인 중 하나로 분석되고 있으며 이를 방지하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다. 접속함 사고의 대부분은 시공 불량 등으로 포설 초기에 발생하는 경우가 많아, 접속함을 설치한 후 부분방전을 검출할 수 있도록, 접속함 내부에 금속 포일 센서를 설치하여 고주파 대역에서 부분방전을 측정하는 기술이 연구되고 있다[1][2].

전력설비가 설치된 후 안정적인 전력 공급을 위해서는 설비에 대한 지속적인 감시가 이루어져야 한다. 현재 이를 위해 광케이블을 이용하거나 PLC와 같은 유선 통신망을 이용한 다양한 감시 시스템이 연구되고 있다. 고장 감시의 목적 이외에도 송전선로를 최대한으로 활용할 수 있도록 광케이블을 이용하여 송전 케이블의 열적 상태에 따라 실시간으로 송전 최대 허용 전류를 산정할 수 있는 시스템에 대한 연구도 진행되고 있다. 그러나 이러한 방식은 통신을 위한 고가의 장비들이 필요하며 설치 및 유지보수를 위해 많은 비용을 필요로 하게 되어, 고장 위험이 높은 일부 지역에만 활용되고 있는 실정이다[3][4].

최근에는 IT기술 및 무선통신 기술의 발달로 인해 유비쿼터스 컴퓨팅에 대한 연구가 활발히 진행되면서 전력산업 분야에서도 다양한 기술이 도입되고 있다. 특히 무선 네트워크 기술은 손쉬운 설치와 저렴한 가격으로 인하여 많은 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 지하전력구 내에 위치한 접속함에 대한 표면온도 감시시스템을 개발하였다. 이 시스템은 접속함의 중앙과 양끝의 표면온도를 온도센서를 통해 취득하고 이를 무선 네트워크를 통해 수집기로 전달하며, 수집기에서 유선 인터넷 망을 이용하여 서버로 데이터를 전달하도록 개발되었다. 데이터 취득 및 중계를 위한 센서노드는 IEEE 802.15.4 기반의 무선 통신을 이용하여 지하전력구와 같은 직선형의 네트워크 구조에 맞도록 직선형 라우팅 방식을 이용한다. 또한 설치의 용이성을 위해 별도의 외부전원을 갖지 않고 배터리 만으로 매 15분마다 센싱하여 2년 이상 사용할 수 있도록 개발하였다.

2. 지하전력구의 특성을 고려한 통신방식 비교 검토

지금까지 설비에 대한 감시를 위해 가장 안정적인 통신망을 확보하는 방법은 유선망을 설치하는 방식이었다. 무선의 경우 주위 환경의 영향을 많이 받아 안정적인 통신망 확보

† 교신저자, 正會員 : 韓國電力公社 電力硏究院
E-mail : yikim@kepco.co.kr
* 正 會 員 : 韓國電力公社 電力硏究院
** 正 會 員 : 韓國電力公社 電力硏究院
*** 正 會 員 : 韓國電力公社 電力硏究院
§ 正 會 員 : 韓國電力公社 電力硏究院
接受日字 : 2007年 8月 23日
最終完了 : 2007年 9月 27日

가 어려우며, 장비를 운영하는데 있어 많은 불편함이 있었다. 그러나 최근 들어 무선 네트워크 기술이 급격히 발달하였으며, 유비쿼터스 컴퓨팅과 연관되어 저비용 및 소형화된 장비들이 많이 개발되었고, 이를 통해 많은 분야에서 활용되고 있다. 현재 무선 네트워크를 구성하기 위해 보편적으로 사용되는 기술은 WiFi와 Bluetooth, ZigBee 등을 들 수 있다. WiFi의 경우에는 IP 기반의 인터넷 접속을 목적으로 하는 경우에 주로 많이 사용되며 전력 소모가 많아 자체적으로 상용 전원을 갖고 있어야 동작이 가능하므로 무선 센서 네트워크로 사용하기에는 적합하지 않다. Bluetooth의 경우에는 근거리에서 유선으로 연결된 장치들을 무선으로 동작하기 위한 목적으로 많이 사용되고 있다. 이 기술은 마스터/슬레이브 방식의 MAC 프로토콜을 이용하여 저전력으로 전자 장치들 간의 짧은 거리의 무선 통신을 가능하게 한다. 그러나 이 기술 또한 WiFi에 비해 훨씬 적은 전력을 소모한다 하더라도 높은 복잡도와 비교적 높은 전력 소모로 인해 무선센서 네트워크를 구성하기에는 적합하지 않다[5]. 표 1은 앞에서 살펴본 세 가지 단거리 무선 통신 방식에 대한 비교 내용을 보여준다.

표 1 단거리 무선 통신 방식 비교

Table 1 Comparison of short range wireless communication

구분	WiFi	Bluetooth	ZigBee
표준	802.11a/b	802.15.1, 802.15.2	802.15.4
포럼	WiFialliance.com	Bluetooth.com	Zigbee.org
통신거리	300m	30m	10~75m
전송용량	54Mbps	1Mbps	250kbps
응용분야	SOHO, 인터넷	무선키보드, 해드셋	무선 센서

ZigBee는 비교적 최근인 2004년 연구가 시작된 기술로 저렴한 비용으로 저전력 센서와 제어장치간의 간단하고 효과적인 무선 네트워크 연결을 지원한다. ZigBee는 짧은 거리에서 활용되는 무선 프로토콜인 IEEE 802.15.4 표준의 강점을 이용하여 유연한 매쉬 네트워킹과 강력한 보안 툴, 잘 정의된 프로그램 프로파일, 완벽한 상호연동성 및 인증 프로그램을 제공하고 있다. ZigBee 네트워크 스택은 IEEE 기반의 RF/PHY/MAC의 상위에 위치하여 스타와 트리, 매쉬 네트워크 구조를 생성하고 관리할 수 있는 기능을 제공하며, 네트워크 환경에 대한 숙련된 기술자의 설치 작업 없이도 스스로 네트워크를 구성하여 운영할 수 있는 자가망구성(self-forming)과 자가치료(self-healing) 능력을 가지고 있다[6].

ZigBee와 같은 저비용 및 저전력의 안정화된 통신 장비들이 나타나면서 무선센서 네트워크는 기존에 유선 통신으로 운영되고 있는 시스템들을 무선 통신으로 대체하여 설비의 구축비용과 유지보수 비용을 대폭 절감하고, 손쉽게 현장에 적용할 수 있게 되었다. 이러한 무선센서 네트워크를 안정적으로 운영하기 위해서는 꼭 풀어야 할 두 가지 사항이 있다. 하나는 제한된 배터리를 이용하여 동작하게 되므로 응용 프로그램에 최적화된 라우팅 알고리즘 개발을 통한 통신 전력 소모를 최소화 하는 것이며, 다른 하나는 장비 자체의 전력 소모를 줄이는 것이다. 이러한 기술은 무선센서 네트워크를 이용한 시스템 설계 시에 가장 중요한 요소가 된다[7].

일반적으로 지금까지의 무선 네트워크는 그림 1과 같이 특정지역에 임의로 배치되는 센서노드들에 대한 효과적인 통신 프로토콜인 Ad hoc 방식을 주로 연구하고 있다. 그러나 송전철탑이나 지하전력구와 같은 전력설비는 직선형으로 이루어져 있어 송전선로를 따라 설치되는 센서노드들에 효과적인 통신 프로토콜에 대한 연구가 필요하다[8]. 송전선로 감시를 위한 무선 네트워크는 전력선을 따라 노드 간에 전파가 안정적으로 도달할 수 있는 거리마다 노드를 설치하게 된다. 이러한 경우 하나의 노드에서 통신이 가능한 노드는 자신의 전후에 위치한 두 개의 노드뿐이게 되며 라우팅 방식도 Ad hoc 네트워크 방식과는 달리 단순한 형태를 갖게 된다. 따라서 Ad hoc 네트워크와 같이 통신 가능한 거리의 노드들에 대한 라우팅 테이블을 작성하고 또 다른 후보를 찾아내는 등의 프로토콜을 사용하는 방식은 의미가 없게 된다.

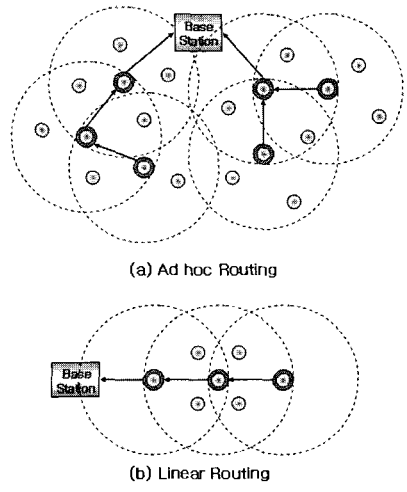

그림 1 Ad hoc 라우팅과 직선형 라우팅

Fig. 1 Ad hoc routing and linear routing

3. 접속함 온도감시시스템 설계

3.1 요구사항 분석

본 연구에서는 무선센서 네트워크를 이용하여 지하전력구내의 케이블 접속함의 표면온도를 감시하기 위해 현장 기술자들과 협의를 통해 요구사항을 분석하였다. 지하전력구의 경우 선로의 안정적인 운영을 위해 전력케이블의 온도 및 전력구내의 대기온도, 유해가스, 침수여부 등의 정보를 파악하는 것이 중요하다. 특히 케이블 접속함의 경우에는 케이블과 케이블을 연결한 부분으로, 현장에서 두 케이블의 절연층을 제거한 후 도체와 도체를 맞닿도록 연결하고, 외부에 절연층과 차폐층을 설치하게 된다. 이때 시공이 잘못 될 경우 절연층에 공극이 발생할 가능성이 높게 된다. 활선상태의 케이블은 부하가 높아짐에 따라 도체의 온도가 증가하여 도체가 팽창하게 되며, 반대로 부하가 낮아지면 도체가 수축하게 된다. 이러한 팽창과 수축이 반복되면 접속함 내의 절연층에 공극이 발생하게 되며, 공극으로 인해 부분방전이 발생하게 되고, 부분방전이 많은 지역의 접속함의 온도가 주위보다 높

아지게 된다. 현재 접속함 감시를 위해 부분방전 측정 장비를 통해 이상 유무를 점검하거나, 온라인 연속 측정을 통해 케이블의 노화 진행 정도를 파악하는 방식이 연구되고 있다[1][2]. 그러나 이러한 방식은 고가의 계측장치를 필요로 하고 있으며, 온라인 감시를 위한 통신망 구축비용이 문제가 되어 일부 과부하 지역에서만 제한적으로 운영되고 있는 실정이다. 접속함 감시를 위해 현장에서 일반적으로 사용하는 방식은 적외선 열화상 카메라를 이용한 점검방식이다. 순시점검자가 주기적으로 접속함의 표면온도를 열화상 카메라로 측정하여 접속함의 이상온도 발생여부를 확인하고 접속함의 온도차가 5℃ 이상 나타나게 될 경우에 문제가 발생한 것으로 판단하고 추적진단 하게 된다. 열화상 카메라를 이용한 순시방식은 활선상태에서 휴대형 장비를 이용하여 접속함의 열화정도를 손쉽게 파악할 수 있어 효과적이지만, 많은 인력이 소모되며, 수동적인 검점으로 인해 잦은 점검 누락 등이 발생하여 지속적인 감시가 이루어지지 않는 문제점이 있다. 최근 들어 환경적인 요인으로 인하여 지중화 선로들이 많아지고, 고장도 많이 발생되고 있어 실시간 감시를 위한 시스템에 대한 요구가 더욱 증가하고 있다.

3.2 시스템 설계

본 연구에서는 접속함에 대한 안정성 확보를 위해 순시점검자에 의한 수동적인 방식의 감시가 아니라, 사무실에서 접속함에 장착된 센서노드의 표면온도 측정 데이터를 무선 네트워크를 통해 상시 감시할 수 있는 표면온도 감시시스템을 설계하였다. 지하전력구는 외부와 전파적으로 차단되어 전파간섭 등이 적고, 대부분의 구간이 직선형 터널로 이루어져 있어 전파를 방해하는 장해물도 적어 무선을 적용하는데 있어 효과적인 환경을 제공한다. 표면온도 측정을 위한 센서는 ±0.33℃의 오차를 갖고 접속함의 3부위에 표면온도를 15분 간격으로 측정하도록 하였다. 무선 센서노드를 개발하는데 가장 중요한 설계 요인 중 하나는 전원의 수명이며, 제한된 배터리를 이용하여 노드를 개발하는 경우에 초절전 모드로 장비들이 동작한다고 가정하면 수명을 결정짓는 가장 중요한 요인이 측정주기 및 통신주기가 된다. 본 연구에서는 한 번의 설치로 최소 2년간 배터리의 교환 없이 사용할 수 있도록 측정주기를 결정하였다.

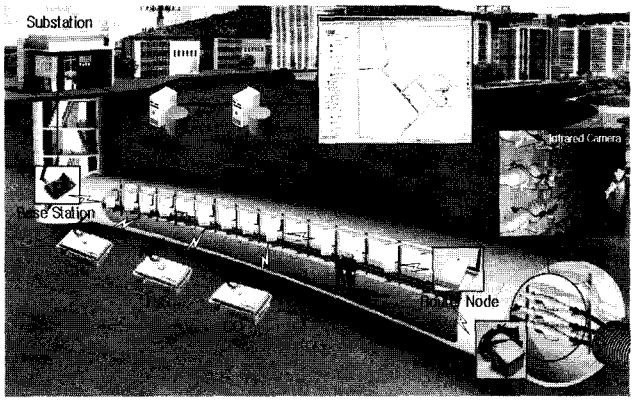

그림 2 접속함 온도감시시스템 개념도

Fig. 2 Conceptual diagram of temperature monitoring system

지하전력구에서는 접속함의 표면온도 외에도, 전력구내의 대기온도, 황화수소, 일산화탄소 등의 유해가스의 존재여부도 중요한 감시요인이 된다. 본 연구에서는 그림 2와 같이 다양한 센서노드를 통해 수집된 데이터를 지하전력구 입구에 설치된 수집노드(base station)로 전달하기 위해 중계노드(router node)를 설치하였다. 중계노드는 단순한 데이터의 전달 뿐 아니라 지하전력구 내의 대기온도를 측정할 수 있도록 하여 화재 발생으로 인한 대기온도의 변화를 감지하여 화재경보기의 역할도 수행할 수 있다. 또한 지하전력구의 특성상 특별한 통신 수단을 설치하지 않을 경우 외부와의 연락이 어려워 순찰자에게 이동이 불가능한 사고가 발생할 경우 긴급함을 알릴 수 있는 통신 수단이 부족하다. 이러한 경우 작업자에게 스위치가 부착된 태그를 발급하고 이를 동작시켜 위험을 알리고 도움을 요청하는데 사용할 수 있도록 하였다.

4. 접속함 온도감시시스템 개발

4.1 무선 센서노드의 개발

지하전력구내의 정보 수집 및 전달을 위해 그림 3과 같이 크게 3가지 형태의 노드를 개발하였다. 첫 번째는 다양한 센서를 부착하여 정보를 수집하는 센서노드로 접속함의 표면온도를 측정하는 표면온도 센서노드와 다양한 가스 센서노드들 이다. 두 번째는 센서노드들로부터 수집된 정보를 수집노드에게 전달하기 위한 중계노드로 데이터 전달 기능 이외에도 대기온도 측정 및 순찰자의 위치정보를 수집한다. 마지막은 수집노드로 무선을 통해 전달된 데이터를 유선 인터넷망을 이용하여 서버로 전송하는 역할을 수행한다.

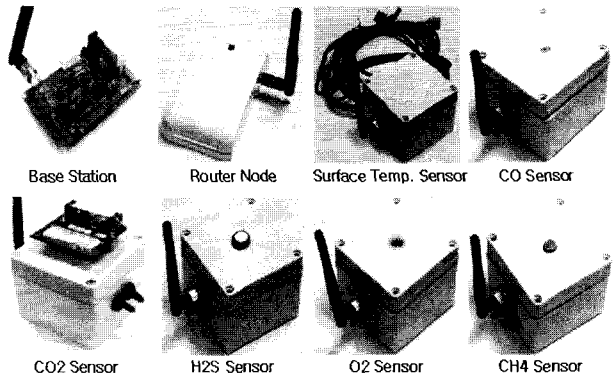

그림 3 무선 센서노드 사진

Fig. 3 Picture of wireless sensor nodes

본 연구에서 개발된 무선 센서노드는 저전력 통신을 위해 IEEE 802.15.4 기반의 무선 프로토콜을 사용한다. 메인보드는 128K 내부 메모리를 갖는 8비트 Atmega128(L) 마이크로 컨트롤러를 이용하였으며, 센서와는 TWI (two-wire serial interface)를 이용하여 연결된다. 표면온도 센서노드의 경우에는 정밀도를 높이기 위해 LM92 온도센서를 사용하였고, 대기온도 센서노드인 중계노드의 경우에는 이보다 정밀도가 낮은 LM61 온도센서를 사용하였다. 표면온도 센서노드의 하드웨어 구성도는 그림 4와 같다. 수집노드는 무선 네

트워크의 동기를 맞추기 위해 주기적으로 동기화 패킷을 발신하며, 무선으로 수집된 데이터를 인터넷을 통해 서버로 전송해야 되므로 외부에서 상용전원을 공급받게 된다. 중계노드의 경우에는 주기적인 sleep & wake up을 통해 저전력 모드로 동작하게 되므로 AA 건전지 2개를 부착하였고, 표면온도 센서노드 및 가스 센서노드의 경우에는 센서 수가 많고 소모 전력이 높으므로 AA 건전지 4개를 부착하였다.

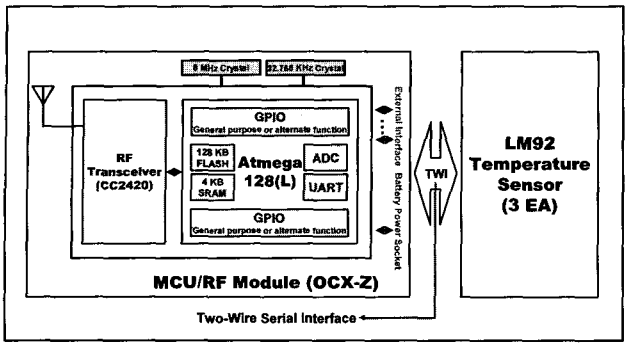

그림 4 표면온도 센서노드의 하드웨어 구성도

Fig. 4 Hardware architecture of surface temperature sensor node

4.2 무선 네트워크의 구성

저전력을 구현하기 위해 무선 센서노드는 그림 5와 같이 세 단계로 상태를 변화하면서 sleep & wake up 방식으로 동작하게 된다. sleep & wake up 방식은 수집노드가 일정 시간 간격으로 동기화 패킷을 전송하면, 중계노드 및 센서노드가 이 패킷을 수신하고 동기를 맞추어 저전력 모드로 대기하게 된다. 저전력 모드의 경우에는 노드를 구동하기 위한 최소의 전원만을 사용하고 무선장비 및 센서장비의 전원을 차단하는 방식으로 이 기간동안에는 외부에서 전송되는 무선데이터를 수신할 수 없게 된다. 따라서 모든 센서노드가 동기를 맞추어 같은 시간에 깨어나서 데이터를 전송하고 같이 통신을 끝내는 동기화가 중요하다. 동기를 맞추기 위해 센서노드가 설치되어 처음 전원을 켜게 되면, 주위에 존재하는 노드에게 네트워크에 조인(join)을 위한 메시지를 일정 시간 간격으로 전송하게 된다. 이 메시지는 이미 네트워크를 구성하고 있는 부모 노드들을 거쳐 수집노드에 도착하며, 수집노드는 조인에 대한 수락을 해당 노드에 전달하게 되며, 이후에는 수집노드에서 주기적으로 동기화 메시지를 발신하게 되어 해당 네트워크에 센서 노드들 간의 동기를 관리하게 된다.

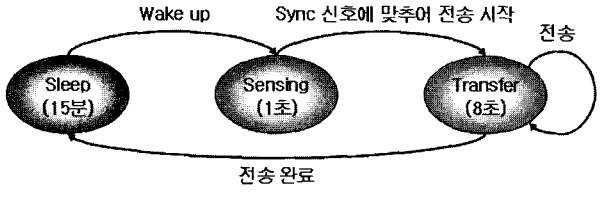

그림 5 센서노드의 상태변화

Fig. 5 Status diagram of sensor node

중계노드들 간의 통신은 따로 동적인 라우팅 테이블을 구성하지 않는 직선형 라우팅을 이용하였다. 케이블을 따라 설치된 중계노드는 전파도달 거리 내에 전방과 후방에 놓인 두 개의 중계노드만 존재하게 된다. 따라서 최종 수집노드에 가까운 중계노드부터 노드ID를 증가하도록 부여하고, 각 노드는 메시지를 전송할 때 발신노드ID와 수신노드ID, 전송할 데이터를 발신하게 되면 주위의 중계노드가 자신의 노드ID와 비교하여 자신이 계속 중계할 것인지, 무시할 것인지를 판단할 수 있게 된다. 예를 들어 '발신노드ID > 자신노드ID > 수신노드ID'인 경우 수집노드에게 중계를 하게 되며, '발신노드ID, 수신노드ID > 자신노드ID'인 경우에는 자신이 중계할 필요가 없으므로 무시하게 된다. 이러한 직선형 네트워크 방식은 라우팅 테이블을 사용할 필요가 없어 직선형으로 운영되는 전력설비에 대한 감시에 효과적이다.

표 2 직선형 라우팅 방식

Table 2 Condition and action of linear routing

노드ID 비교조건	행 동
발신노드ID > 자신노드ID > 수신노드ID	메시지 전송 (수집노드 방향)
발신노드ID < 자신노드ID < 수신노드ID	메시지 전송 (수집노드 반대방향)
자신노드ID = 수신노드ID	자신에게 도착한 메시지 처리
발신노드ID, 수신노드ID > 자신노드ID	메시지 전송 않음
발신노드ID, 수신노드ID < 자신노드ID	메시지 전송 않음

4.3 무선 센서노드의 현장 설치 및 운영

본 연구를 통해 개발된 무선 센서노드는 한전에서 운영중인 지하전력구에 그림 6과 같이 시험적으로 설치, 운영하였다.

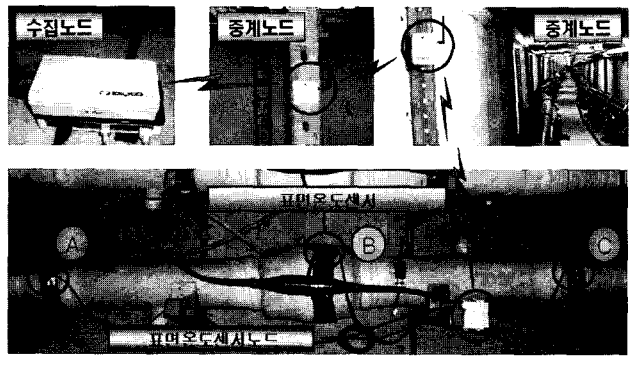

그림 6 무선 센서노드의 지하전력구 설치 모습

Fig. 6 Wireless sensor nodes installed in underground tunnel

수집노드를 통해 수집된 데이터는 인터넷을 이용하여 TMS (Temperature Monitoring System for Cable Joint)로 전송되고, 한전에서 운영중인 TGIS (Transmission and Substation Geographic Information System)로도 전송된다. 지하전력구의 운영자는 TMS가 제공하는 웹 화면을 통해 접속함의 이상온도 발생여부를 실시간으로 감시할 수 있게 된다. 웹 화면은 그림 7과 같이 지리정보기반의 도면위에 각

중계노드 및 센서노드들을 표시하고 이들의 정상동작 여부를 일정주기 간격으로 갱신하여 보여주게 된다. 또한 작업자 태그가 동작할 경우 작업자와 가장 가까운 센서노드를 표시해 줌으로써, 작업자의 위치 파악이 가능하게 된다. 또한 각 측정 데이터에 대해 사용자가 설정한 수치를 초과할 경우에는 사용자에게 알람 메시지를 발송하는 기능도 갖추고 있다.

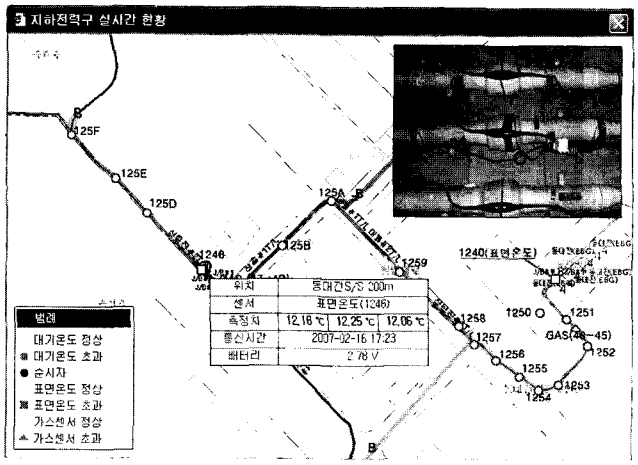

그림 7 웹을 이용한 지하전력구 감시 화면

Fig. 7 GUI of underground tunnel monitoring using web

4.3 데이터 분석 및 수명 예측

그림 8은 특정시간에 대기온도 센서노드를 통해 수집된 대기온도의 변화를 나타낸 그래프이다. 변전소 지하의 지하전력구 입구의 온도는 약 9℃이며, 많은 수의 T/L과 D/L이 밀집되어 운영되고 있는 구간에서는 밀집된 선로에서 발생하는 열로 인해 20℃가 넘는 높은 대기온도를 보이고 있으며, 이후 선로가 분기되어 5개의 T/L만 설치된 구간에서는 12℃ 정도의 대기온도를 보이고 있다. 실험적으로 설치된 구간에 금속형 방화문으로 닫혀 있는 부분에서도 약 10m 거리까지 전파가 방화문을 통과할 수 있어 벽에 의해 정보가 차단되지 않고 정상적으로 전달되었다.

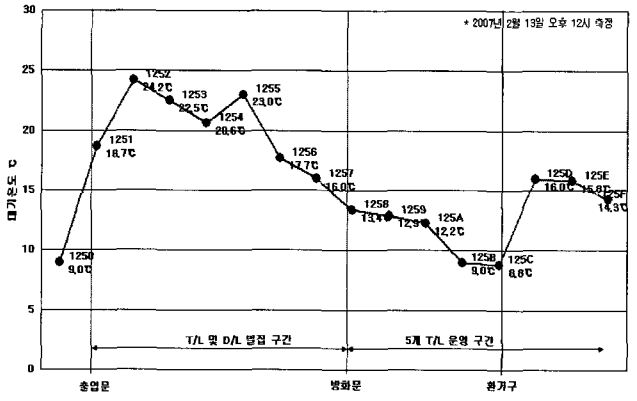

그림 8 설치위치별 대기온도 변화 그래프

Fig. 8 Air temperature graph measured by router node

그림 9는 케이블 접속함에 설치한 표면온도 센서노드를 통해 24시간 동안 표면온도의 변화를 측정한 그래프이다. 측정에 사용된 T/L은 공단에 전력을 공급하는 선로로서, 공장의 부하 사용량이 높은 오전 9시부터 오후 10시까지의 온도가 상대적으로 높게 나타나고 있다. 또한 접속함의 양쪽 끝 부분인 A와 C 지점의 온도가 접속함의 중앙 부분인 B지점에 비해 약 0.6~1.1℃정도 높게 측정되었다. 이는 접속함의 중앙부위가 양쪽 끝부분에 비해 훨씬 두꺼운 절연층을 갖고 있어 열전도율이 낮기 때문이다.

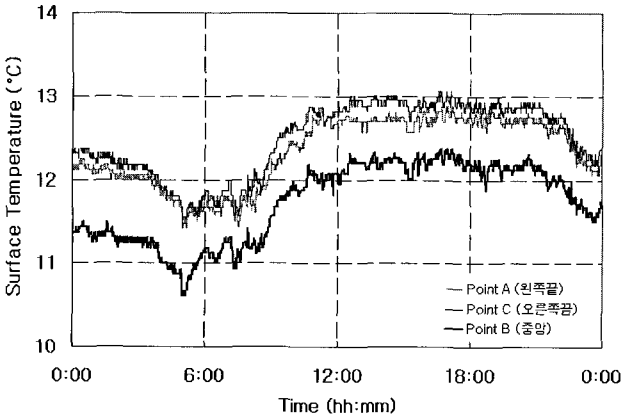

그림 9 케이블 접속함의 표면온도 변화 그래프

Fig. 9 Surface temperature graph for cable joint

대기온도 센서노드와 표면온도 센서노드의 수명 예측은 센서노드의 상태변화에 따른 전류를 측정하여 분석하였다. 센서노드는 15분 간격으로 sleep과 wake up을 반복하며 온도를 측정하고, 데이터를 전송하게 된다. 대기온도 센서노드의 경우에는 15분 동안 약 65.4μAh를 소모하게 되며, 24시간동안 6.28mAh를 소모하게 된다. 따라서 3000mAh 용량의 AA 배터리 2개를 사용할 경우에는 2년 이상 사용이 가능하게 된다.

Sleep시 : 0.02mA × 1/4 hour = 5μAh
Sensing시 : 5mA × 1/3600 hour = 1.4μAh
Transfer시 : 26.5mA × 8/3600 hour = 59μAh

표 3 센서노드의 전력소모량

Table 3 Power consumption of sensor node

구 분	대기온도센서노드	표면온도센서노드
Sleep시 소모전류	0.02mA	0.3mA
Sensing시 소모전류	5.0mA	8.4mA
Transfer시 소모전류	26.5mA	28.5mA
15분 소모량	65.4μAh	140.6μAh
일일 소모량	6.28mAh	13.5mAh
총 배터리량	6000mAh	12000mAh
배터리 수명	955일	889일

5. 결론 및 향후 연구

전력산업에서 안정적인 전력공급을 위해 선로에 대한 감시는 중요한 요인이 되고 있다. 본 연구에서는 지하전력구 내에 위치한 접속함에 대한 표면온도 감시를 저렴한 구축비용 및 유지보수 비용으로 운영할 수 있도록 무선센서 네트워크 기술을 이용하여 접속함 온도감시시스템을 개발하였다. 유선 통신망을 구축하는 비용을 줄일 수 있도록 무선 네트워크 기술을 이용하였으며, 별도의 외부 전력을 설치할 필요없이 자체 배터리만으로 2년 이상 온도를 측정할 수 있도록 저전력 센서노드를 개발하였다. 개발된 무선 센서노드를 이용하여 현장에 설치하여 데이터를 수집, 분석하였다. 관리자가 현장 방문 없이 지하전력구의 대기온도 및 접속함의 표면온도 변화를 확인할 수 있도록 웹 기반의 모니터링 화면도 개발하였다.

현재 온도센서 이외에 다양한 가스 센서를 부착하여 저전력으로 운영할 수 있는 방법에 대한 연구를 계속하고 있으며, 전력선로와 같은 직선형 네트워크 망에 효과적인 무선 라우팅 기법에 대한 연구를 진행하고 있다. 또한 단순한 데이터의 수집 뿐 아니라 지하전력구에 다양한 설비들에 대한 제어까지도 무선 네트워크를 통해 활용할 수 있도록 연구를 계속할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사에서 지원하는 연구과제를 통해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] 신두성, 이창영, 김충식, 전승익, 김동욱, 박완기, "고주파 부분방전 측정에 의한 초고압 접속함 신뢰성 평가 기술", 대한 전기학회 논문지, 3호, 제 49C권, pp. 186-195, 2000. 3.

[2] 이창영, 신두성, 김충식, 김동욱, 박완기, "차폐분리에 의한 전력케이블 및 접속함의 부분방전 위치 검출", 대한 전기학회 논문지, 3호, 제 49C권, pp. 196-201, 2000. 3.

[3] 주성호, 이태영, 박병석, 임용훈, 유동희, "전력선 통신을이용한 지하공동구 종합감시제어 시스템 개발", 전력전자학술대회 논문집(II), pp. 728-732, 2004. 7.

[4] 남석현, 이수길, 홍진영, 김정년, 정성환, "전력 케이블 실시간 허용전류산정 시스템에 관한 연구(I) - 실시간 도체 온도 추정 시스템", 대한 전기학회 논문지, 7호, 제52A권, pp. 414-420, 2003. 7.

[5] "Specification of the Bluetooth system", November, 2003, http://www.bluetooth.org.

[6] Patrick Kinney, "ZigBee Technology: Wireless Control That Simply Works", http://www.zigbee.org.

[7] 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 (WiMob'2005), Vol. 3, pp. 454-461, 2005.

[8] Jinran Chen, Shubhalaxmi Kher, Arun K. Somani, "Energy Efficient Model for Data Gathering in Structured Multiclustered Wireless Sensor Networks", Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC 2006), pp. 381-388, 2006.

저 자 소 개

김 영 일 (金 榮 一)

1972년 11월 27일생
1998년 충남대 컴퓨터공학과 졸업
2000년 충남대 컴퓨터공학과 졸업(석사)
현재 한국전력공사 전력연구원 근무
E-mail : yikim@kepco.co.kr

송 재 주 (宋 在 周)

1967년 5월 25일생
1991년 충북대 전산통계학과 졸업
2004년 충북대 전자계산학과 졸업(석사)
현재 한국전력공사 전력연구원 근무
E-mail : jjsong@kepco.co.kr

신 진 호 (辛 鎭 浩)

1970년 7월 26일생
1996년 한밭대 전자계산학과 졸업
2004년 충북대 전자계산학과 졸업(석사)
현재 한국전력공사 전력연구원 근무
E-mail : jinho@kepco.co.kr

이 봉 재 (李 俸 在)

1959년 1월 13일생
1982년 성균관대 수학과 졸업
1985년 한국전력공사 입사
현재 한국전력공사 전력연구원 근무
E-mail : leeboja@kepco.co.kr

조 선 구 (趙 善 九)

1951년 1월 18일생
1974년 숭실대 전자공학과 졸업
1997년 충남대 산업대학원 전자공학과 졸업(석사)
현재 한국전력공사 전력연구원 근무
E-mail : josg@kepco.co.kr