

# RFID/USN 기술을 이용한 전력설비관리 서비스 구현

김 영 일<sup>†</sup> · 신 진 호<sup>\*\*</sup> · 송 재 주<sup>\*\*\*</sup> · 이 봉 재<sup>\*\*\*\*</sup>

## 요 약

무선 통신 기술이 발달함에 따라 유비쿼터스 환경에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 초기 물류분야에서 활용되었던 RFID기술은 점차적으로 센싱 기능을 추가하면서 발전하고 있고, 추후에는 이 센서들 간의 네트워크가 구축되어 USN (Ubiquitous Sensor Network) 형태로 발전해 나갈 것이다. 본 연구에서는 전력설비에 대한 감시 감도를 위해 RFID를 이용하여 전력 설비에 대한 자산 관리나 감시 및 순시에 대한 정보를 기록, 관리하며, 다양한 센서를 이용하여 전력 설비에 대한 실시간 정보를 수집할 수 있도록 USN을 활용하는 전력설비관리 서비스 프레임워크를 구현하였다. 안정적인 전력 공급을 위해서는 전력 선로에 대한 안전성 확보가 중요한 요소이며, 이를 위해 실시간 감시는 매우 중요한 요소 중 하나이다. 현재는 중요 설비에 대하여 광케이블이나 PLC 등과 같은 유선 통신망을 설치하여 감시 정보를 수집하고 있다. 본 연구에서는 고가의 유선망을 설치하지 않고 무선 통신 기반의 저가형 센서를 이용하여 데이터를 수집하고 전송할 수 있도록 무선센서노드를 개발하였다. 또한 각 장비로부터 실시간으로 전송되는 데이터를 안정적으로 수집하고 필터링 및 요약을 통해 응용 프로그램에 정보를 제공할 수 있도록 서비스 프레임워크를 설계하였으며, 이를 바탕으로 전력설비관리 서비스를 개발하였다.

키워드 : 전력설비관리, 프레임워크, RFID, USN, 직선형 라우팅

## Implementing a Power Facility Management Services using RFID/USN Technology

Young-Il Kim<sup>†</sup> · Jin-Ho Shin<sup>\*\*</sup> · Jae-Ju Song<sup>\*\*\*</sup> · Bong-Jae Yi<sup>\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Research of ubiquitous computing becomes more popular topic along with the rapid development of wireless technologies. Firstly, research and development on RFID focuses on manufacturing and retail sectors, because it can improve supply chain efficiency. But, it changes to USN (Ubiquitous Sensor Network) by adding a sensor and wireless network technologies on it. In this research, we design and implement the electric facility management service framework to collect real time information of electric facility using RFID/USN. In electric power industry, it is important the supply of energy must be guaranteed. So many power utilities control and supervise the transmission line to avoid power failures. Utilities install many types of sensor to monitor important facilities by wired network such as optical cable and PLC. In this research, we develop the sensor node which is small, easy to install and using wired network. We design the service framework for electric facility management to collect data using RFID tag, reader and wireless sensor nodes and implement the electric facility management service.

Key Words : Electric Facility Management, Framework, RFID, USN, Linear Routing

## 1. 서 론

물류, 유통 분야에서 바코드를 대체하기 위하여 사용되던 초기의 RFID(Radio Frequency Identification) 기술은 공급망 관리 분야에서 물품이력 관리 및 실시간 위치 추적을 통한 공급망의 가시화를 높이기 위해 개발되었다. 이후 RFID 기

술에 대한 적용 분야가 확대되어 화물에 대한 자동 분류, 전자 보안 카드, 통행료 징수 등의 다양한 분야에서 활용이 되고 있다. 전력산업 분야에서도 RFID를 적용하여 재고관리, 순시점검 등의 업무에 활용하기 위한 연구를 진행하고 있다.

무선 통신을 활용하는 유비쿼터스 환경에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 기존의 센서 네트워크는 주로 유선을 기반으로 구현이 되고 있다. 건물 내부를 감시하는 카메라나 출입관리용 보안 장치, 건물의 전원을 제어하는 장치 등은 모두 중앙에서 연결된 통신망을 통해 데이터를 전송하게 된다. 인텔의 IrisNet은 유선망을 이용하여 센서 네트워크를

<sup>†</sup> 정 회 원 : 한국전력공사 전력연구원

<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 한국전력공사 전력연구원

<sup>\*\*\*</sup> 정 회 원 : 한국전력공사 전력연구원

<sup>\*\*\*\*</sup> 비 회 원 : 한국전력공사 전력연구원

논문접수: 2007년 7월 23일, 심사완료: 2007년 12월 3일

구성하고 이를 효과적으로 운영할 수 있는 기술을 연구하였다. 이들은 CCD 카메라와, 마이크로 폰, 적외선 감지기, RFID 태그, 가속도계 등의 저가형 센서 하드웨어를 이용하여 데이터를 수집하고 이를 서버로 전송하는 방식을 연구하였다[1]. 이러한 방식은 시스템을 구축하는데 있어서 선로를 설치하는 많은 비용을 요구하게 되며, 운영 중에 추가적인 설치 위치가 발생할 경우 장비에 대한 추가 공사 등이 발생하게 된다. 이에 반하여 무선 센서 네트워크는 다양한 무선 통신 프로토콜을 이용하여 설비에 대한 설치 비용이 저렴하며, 시스템을 운영 중에 추가적으로 설치를 할 경우에도 추가적인 공사 비용이 발생하지 않게 된다.

그러나 이러한 무선 네트워크도 다양한 문제점을 갖고 있다. 무선 통신을 사용하므로, 전파의 간섭이나 전파의 통달 거리 등의 제한이 있으며, 별도의 외부 전원을 사용하지 않고 내부에 부착된 배터리 만을 이용하게 되어 수명이 제한된다. 따라서 무선 네트워크 분야에서는 저전력, 저비용의 무선 장비에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 RFID와 USN 기술을 전력설비관리 업무에 활용할 수 있도록 정보에 대한 수집 및 전달, 가공, 저장 등의 역할을 수행하기 위한 프레임워크를 설계하였다. 이를 바탕으로 RFID를 이용한 전력 설비에 대한 이력 관리 및 순시 점검 등의 업무 자동화 기능을 구현하였다. 또한 무선 센서 네트워크 기술을 이용하여 송전 첩탑 주위의 환경정보 및 지하전력구내의 환경정보에 대한 실시간 감시 체계를 구축하였다. 본 연구에서는 각 유무선 장비들로부터 실시간으로 데이터를 수집하고, 이를 기존의 전력설비관리시스템에 전달하는 전력설비관리 서비스 프레임워크를 설계 및 개발하고, 이를 실험적인 운영을 통해 시스템의 현장 적용 가능성을 보고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장은 RFID와 USN에 대한 관련 연구를 설명하며, 3장은 기존의 전력설비관리시스템에서 제시하는 다양한 요구사항을 분석하며, 4장은 전력설비관리 서비스 프레임워크에 대한 설계 및 구현을 설명하고, 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 연구를 보여준다.

## 2. 관련연구

### 2.1 RFID 기술 동향

Auto-ID 센터로부터 시작된 EPCnetwork에 대한 연구는 EPCglobal을 통해 RFID 태그로부터 외부 응용 프로그램에 이르기까지의 계층구조와 인터페이스 부분에 대한 표준화가 이

루어지고 있다. (그림 1)은 EPCnetwork의 동작방식을 나타낸다.

우선 객체에 부착된 태그는 리더기를 통해 인식하게 된다. 태그에는 EPC (Electronic Product Code) 값이 부여되어 있으며, 이는 특정 물체를 유일하게 구별할 수 있는 식별자로 사용된다. 리더기는 EPC 값을 인식하여 이를 EPC 미들웨어에 전달하게 된다. 미들웨어는 전달 받은 데이터를 요약 및 필터링하여 외부 프로그램에 전달하게 된다. 데이터에 대한 요약 및 필터링 기능은 EPCnetwork에서 가장 중요한 요소가 되며, 불필요한 데이터를 최소화하여 EPCIS를 통해 응용 프로그램에 전달함으로써 응용 프로그램으로 전달되는 이벤트의 부하를 줄이는 역할을 하게 된다[2].

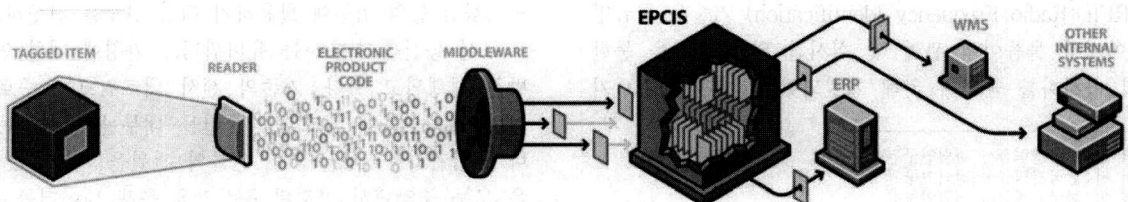
### 2.2 RFID와 USN의 접목

EPCglobal에서 제안한 RFID를 이용한 네트워크 기술은 환경에 대한 정보를 수집하는 센서를 부착한 RFID IC와 같은 기능이 추가되면서 유비쿼터스 센서 네트워킹 환경으로 변화하고 있다. 이러한 변화에 대한 연구는 기존의 EPCnetwork를 유비쿼터스 환경의 EPCnetwork로 변화시키고 있다. 현재 RFID 라벨의 메모리 영역에 센서를 통해 수집된 정보를 저장하는 방식에 대한 연구가 진행되고 있다[3, 4]. 그러나 이러한 방식은 수동형 RFID 태그의 경우 센서를 위한 자체 전원을 갖고 있지 않기 때문에 어려움 갖고 있다. 반면에 능동형 RFID 라벨의 경우에는 다양한 대체 전력을 제공하고 있어 구현이 가능하다. 현재 수동형 RFID 라벨을 위한 다양한 형태의 에너지 공급 방식이 연구되고 있어 머지않아 수동형 RFID 라벨을 이용하여 센싱 및 데이터 저장이 가능하게 될 것이다[5, 6].

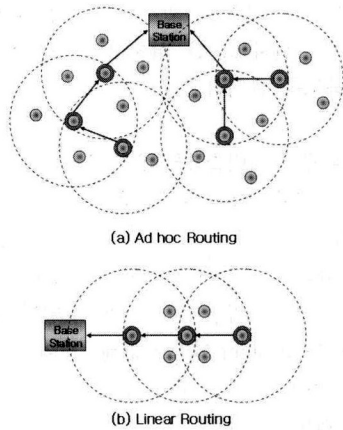
RFID와 USN 기술을 접목하여 사용자가 쉽게 휴대하고 서비스를 받을 수 있는 기술에 대한 연구로 WISSE 프레임워크가 있다. 이 연구는 소형화된 센서를 사용자가 착용하고 생활하도록 하고, 센서로부터 정보를 수집하여 다양한 서비스를 제공하는 것을 목적으로 한다. WISSE 프레임워크는 엔티티라고 불리는 센서 장비로 이루어진 센서 계층과 수집된 정보를 처리하여 서비스를 제공하는 서비스 계층, 그리고 수집과 전달을 제공하는 서비스 네트워크 계층으로 구성된다[7].

### 2.3 무선 네트워크

무선센서 네트워크는 센서 노드가 주위의 노드들과 무선 통신을 통해 네트워크를 구성하는 방식이다. 무선 네트워크에서는 제한된 배터리를 이용하여 최대의 수명을 얻기 위해



(그림 1) EPCnetwork의 동작방식



(그림 2) Ad hoc 라우팅과 직선형 라우팅

센서의 소모전력뿐만 아니라 통신을 위한 네트워크의 전력 소모를 최소화하는 에너지 효율적인 프로토콜의 개발이 중요하다. 일반적으로 지금까지의 무선 네트워크는 특정지역에 임의로 배치되는 센서노드들에 대한 효과적인 통신 프로토콜인 Ad hoc 방식을 주로 연구하고 있다. 싱크노드로부터의 거리를 기반으로 전체적으로 통신으로 인한 에너지 소모를 균등하게 하기 위한 집단화 방식에 대한 연구나, 계층적 집단화를 최적화하기 위한 라우팅 프로토콜 등에 대한 연구가 주도적으로 진행되고 있다[8, 9]. 그러나 송전철탐이나 지하전력구와 같은 전력설비는 직선형으로 이루어져 있다. 따라서 선로감시를 위한 무선 네트워크는 전력선을 따라 노드간에 전파가 안정적으로 도달할 수 있는 거리마다 노드를 설치하게 된다. 이러한 경우 하나의 노드에서 통신이 가능한 노드는 자신의 전후에 위치한 두 개의 노드 뿐이게 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.

### 3. 전력설비관리 서비스 요구사항 분석

본 연구에서는 RFID와 USN 기술을 기존에 전력회사에서 운영되고 있는 GIS (Geographical Information System) 와 연동하여 전력설비관리에 활용 가능한 응용 기술 모델을 개발하기 위해 전력현장의 기술자들과 협의를 통해 프로토타입 개발을 위한 서비스 모델을 분석하였다.

#### 3.1 능동형 RFID 태그를 이용한 선로온도감시

가공송전선의 허용전류는 기온, 풍속, 일사량 등과 같은 기상조건에 대한 데이터를 이용하여 전류에 의한 전선의 발열, 일사량에 의한 전선의 흡수열, 대류를 통한 방사열 등을 고려하여 다양한 계산식을 이용하여 전선이 최대허용 온도가 될 때의 전류크기로 결정된다[10]. 국내에서는 최악의 기상조건 데이터를 이용하여 허용전류를 산정하고 이를 일괄

<표 1> 능동형 RFID 온도센서의 사양

종 류	사 양
온도 센서	주 파 수: 315MHz (미약 무선) 송신속도: 19200bps(단방향통신) 측정간격: 2분 설치가능전압: 최고 500kV 동작온도: -30~125℃ 정밀도: ±2℃ 전 원: 3.5V 리튬전지 내장 (수명 약 3년(2분간격))
리더기	리더형태: PDA형, BOX형 동작온도: 0~40℃ 전 원: 12V Nicd충전지 통신거리: 80m(야기 안테나), 20m(휩 안테나)

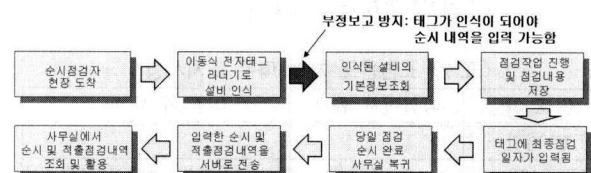
적으로 적용하고 있다. 그러나 향후 전력사용량은 지속적으로 증가할 추세이나 송전망의 증설은 환경적인 요인으로 인해 어려운 실정이다. 이에 따라 주요 송전선로의 표면온도를 직접 측정하고 이를 이용하여 전선의 표면 및 내부 온도를 계산할 경우 지형 및 날씨의 변화에 따라 허용전류를 가변적으로 적용하는 운영 방식이 고려되고 있다.

예를 들어 최대허용온도가 100℃인 전선의 허용전류가 1000A인 경우 현재는 1000A 이하의 전류만 송전을 하지만, 전선의 표면온도를 측정하여 운영할 경우에는 비나 눈, 강풍 등으로 인해 전선의 열방산량이 높을 경우 1000A의 전류를 송전하더라도 실제 측정된 전선의 온도가 100℃보다 낮게 되어 1000A 이상의 전류를 송전할 수 있게 된다. 이러한 운영방식은 기존의 운영방식의 경우 송전용량이 포화된 상태에서 태풍 등으로 인해 일부 구간에 고장이 발생한 경우 여분의 송전용량을 확보할 수 없어 일부 지역에 전력공급을 중단해야 하는 상황이 발생하지만, 전선의 온도를 실측한 경우에는 여분의 용량을 확보할 수 있어 전력공급을 중단하는 상황을 방지할 수 있게 된다.

전선의 표면온도를 측정하기 위해서 315MHz 주파수 대역의 능동형 RFID 온도센서를 도입하여 전선에 설치하고 주기적으로 온도를 수집할 수 있도록 설계하였다.

#### 3.2 수동형 RFID 태그를 이용한 PDA 순시

안정적인 전력공급을 위해 송전선로에 대한 주기적인 점검은 필수적이다. 그러나 일반적으로 산 능선을 따라 배치된 송전 철탐은 차량 이동이 어려워 현장 이동 없이 순시자가 허위로 순시 결과를 작성하기 쉽다. 따라서 철탐에 RFID 태그를 부착하고 순시자가 PDA에 부착된 이동식 리더기를 이용하여 태그를 인식해야만 점검 내용을 입력할 수 있도록 하여 부정정보를 방지할 필요가 있다. 또한 태그를 인식한 후 태그에 저장되어 있는 이전의 순시 이력을 조회할 수 있도록 하여 현장 업무를 효과적으로 처리할 수 있도록



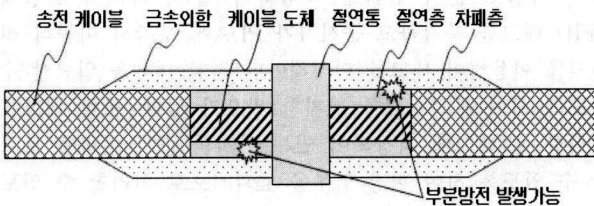
(그림 3) RFID 태그를 이용한 PDA 순시 과정

록 설계하였다. RFID 태그는 전력설비가 대부분 금속이나 콘크리트 재질로 되어 있어 일반적인 태그로는 전파가 잘 전달되지 않는 어려움이 있어 금속 부착식 수동형 RFID 태그를 선택하였다.

3.3 지하전력구 환경감시

도심지의 경우 미관 및 환경적인 영향을 최소화할 수 있도록 전주를 사용하는 방식 보다는 지하에 터널을 만들어 케이블을 설치하는 방식의 지하전력구를 많이 운영하게 된다. 지하전력구의 주된 고장 발생 지역은 케이블과 케이블을 연결한 부위인 케이블 접속함이다. 접속함은 현장에서 두 케이블의 절연층을 제거한 후 도체와 도체를 맞닿도록 연결하고, 외부에 절연층과 차폐층을 설치하게 된다. 이때 시공이 잘못될 경우 절연층에 공극이 발생할 가능성이 높게 된다. 활선상태의 케이블은 전력소모가 많을 시에 케이블의 온도가 상승하여 접속부위가 팽창하며, 소모량이 적어지면 케이블 온도가 하강하여 케이블이 수축하게 된다. 이러한 수축과 팽창이 반복되면서 접속함 내의 절연층에 공극이 발생하게 되며, 공극으로 인해 부분방전이 발생하게 되면 해당 부위에 온도가 주위보다 높아지게 되며, 케이블 파손 등의 위험요소가 된다. 현재는 순시점검자가 주기적으로 지하전력구를 따라 케이블 접속함의 표면온도를 열화상 카메라를 이용하여 이상온도의 발생여부를 확인하고 접속함 표면의 온도차가 5℃ 이상 나타나게 될 경우에는 문제가 발생한 것으로 판단하고 추적 진단하게 된다. 그러나 이러한 순시방식은 많은 인력이 소모되며 수동적인 검사방법으로 인해 잦은 점검 누락 등이 발생하여 지속적인 감시가 이루어지지 않는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하려면 접속함의 표면온도에 대한 지속적인 감시시스템을 필요로 하게 된다.

본 연구에서는 지하전력구의 케이블 접속함의 표면온도 및 전력구내의 대기온도, 황화수소, 일산화탄소 등의 유해가스 존재여부를 상시 감시할 수 있도록 비교적 구축 비용이 적고, 교환 및 고장 수리가 용이한 무선 센서 네트워크를 구성하여 감시하는 방식을 고려하였다. 지하전력구를 따라 무선통신이 가능하고 대기온도를 측정할 수 있는 중계노드를 설치하고, 300m마다 존재하는 접속함에 표면온도 측정용



(그림 4) 케이블 접속함의 기본 구조

<표 2> 표면온도 차에 따른 조치사항

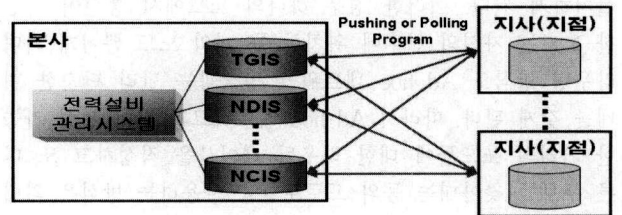
온도차	과열여부 판정	조치사항
5℃ 미만	정상	
5℃~10℃	요주의	재점검후 과열시 보수
10℃ 이상	이상	재점검후 이상시 즉시 보수

위한 센서노드를 설치하고, 일부 지역에는 다양한 가스량을 측정할 수 있는 센서노드를 설치하여 사무실에서 지속적인 감시가 가능하도록 설계하였다.

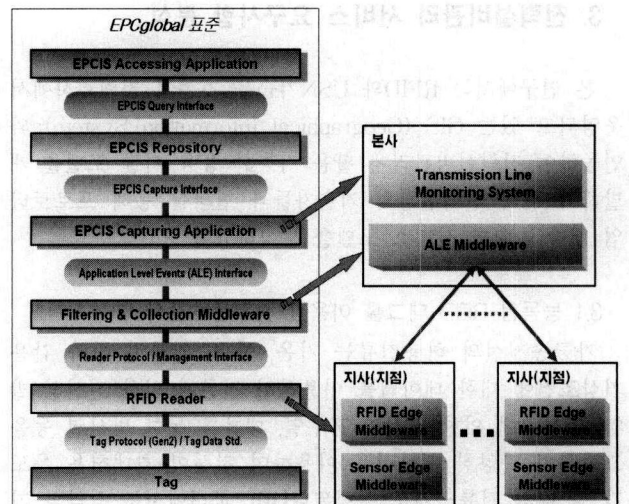
3.4 전력설비관리 서비스 프레임워크

한전은 약 200여 개의 지점에서 전력설비를 관리하고 있으며, 각 지점별로 데이터를 수집·관리하고 있다. 초기에 각 운영 목적에 따라 다양하게 구축된 전력설비 관리시스템들은 IT 기술의 발달로 다양한 비즈니스 모델이 요구될 때마다 필요한 데이터를 pushing이나 polling 방식으로 수집하는 프로그램을 개발해왔다. 그러나 점차적으로 요구사항이 증가하면서 지사의 서버에 부하증가로 인해 실시간 처리가 어려운 상황이 발생하고 있다. 이러한 방식을 해결하기 위해 EPCnetwork의 subscribe & publishing 방식을 고려하였다.

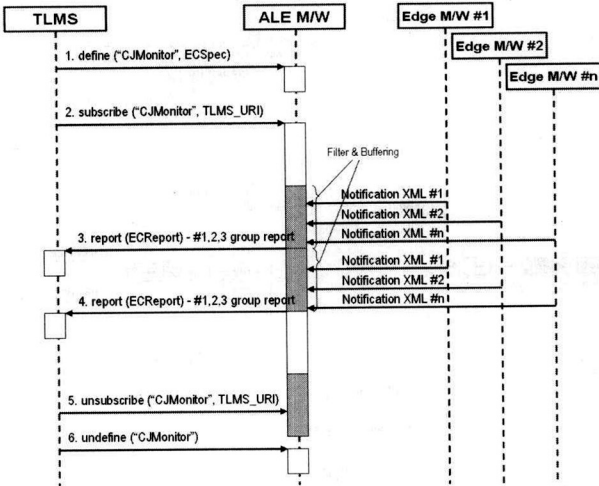
(그림 6)은 EPCglobal에서 RFID 기반의 데이터에 대한 효과적인 처리를 위해 제시한 EPCnetwork의 표준 인터페이스와 이를 응용한 전력설비관리 서비스 프레임워크의 적용 방안을 보여준다. Edge 미들웨어는 지사 또는 지점단위로 운영되면서 전력설비에 대한 정보를 수집하여 전달할 수 있도록 EPCnetwork에서 제시한 리더 프로토콜의 command와 notification을 확장하여 설계하였다. 이를 통해 지사의 서버는 다수의 응용 프로그램에 데이터를 전달하는 방식이 아니라 ALE 미들웨어에게만 데이터를 전송하도록 하여 부하를 줄일 수 있게 된다. ALE 미들웨어는 Edge 미들웨어로부터 수집된 데이터를 TLMS가 ECSpec에 정의한 Event Cycle에



(그림 5) 기존의 데이터 수집 방식



(그림 6) EPCnetwork를 응용한 프레임워크 적용 방안



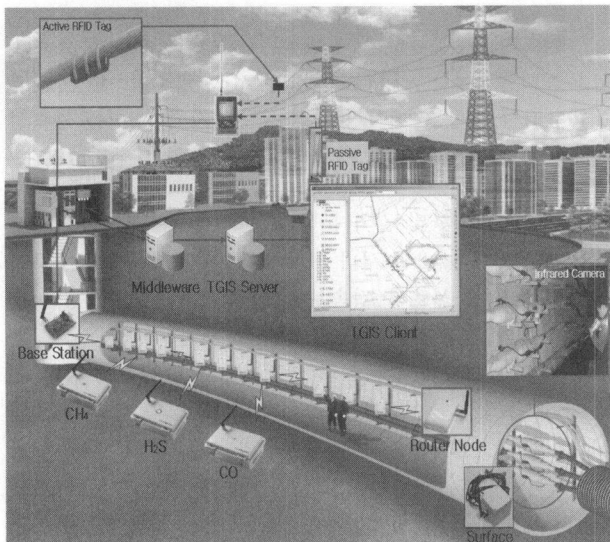
(그림 7) 미들웨어의 subscribe & publishing 방식

따라 일정주기 동안 데이터를 수집하고 요약하여 TLMS에 전달하는 방식으로 설계하였다. 이러한 방식은 200여 지점에서 운영하는 다양한 서비스의 데이터가 실시간으로 전송됨에 따른 TLMS의 부하를 낮추어 주고, 불필요한 데이터를 제거해 주는 역할을 제공하게 된다.

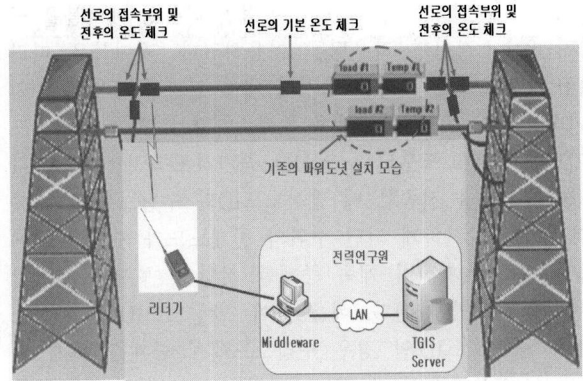
#### 4. 전력설비관리 서비스 설계 및 구현

##### 4.1 서비스 설계

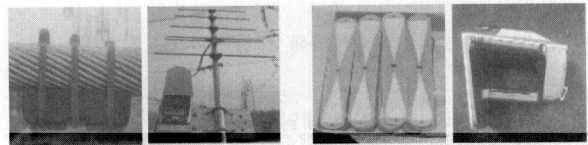
본 연구에서는 RFID와 USN 기술을 적용하여 세가지 형태의 전력설비관리 서비스 모델을 (그림 8)과 같이 설계하였다. 능동형 RFID 태그를 이용한 선로온도감시는 (그림 9)와 같이 한전에서 운영하고 있는 고장전력시험센터의 대전류 시험장에 송전선로의 표면온도를 측정할 수 있는 상용 능동형 RFID 센서태그인 JP-Thermo를 부착하고 선로에 일정 전압을 가압한 뒤 전류를 1000A까지 증가시키면서 JP-Thermo를 통해 선로의 온도를 2분 간격으로 측정하였



(그림 8) 전력설비관리 서비스 개념도



(그림 9) 대전류 시험장에 능동형RFID온도태그 설치



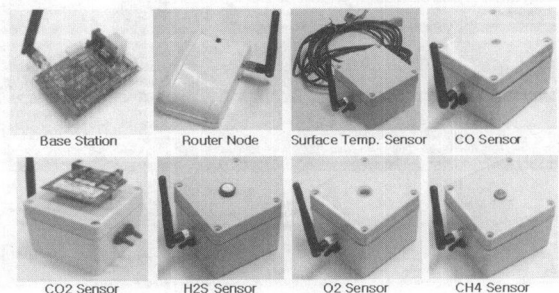
능동형 RFID 태그와 리더기      수동형 RFID 태그와 리더기

(그림 10) 능동형 및 수동형 RFID 장비

다. 측정된 데이터의 비교를 위해 기존에 설치된 파워도넛의 측정 온도와 비교 분석하였다. 리더기를 통해 수집된 데이터는 Edge 미들웨어를 통해 ALE 미들웨어로 전송되고, EPCnetwork의 ECReport 형식의 XML 문서로 작성되어 송전선로감시 시스템에 전달된다.

수동형 RFID 태그를 이용한 PDA순시는 상용 금속 부착형 태그를 활용하여 순찰자가 PDA 부착형 리더기를 통해 철탑에 부착된 태그를 인식한 후 순찰내역을 작성할 수 있도록 하였으며, 사무실로 복귀 후 크레들을 통해 순시내역을 미들웨어로 전송하도록 하였다.

지하전력구 환경감시는 표면온도 센서노드와 가스센서노드로부터 중계노드를 통해 전달된 데이터를 전력구 입구에 위치한 수집노드(base station)까지 IEEE 802.15.4 기반의 무선 통신으로 전달되며, 이후에는 유선 인터넷 망을 통해 미들웨어로 전달된다. (그림 11)은 본 연구를 통해 자체 개발된 센서노드들이며 기본적으로 128K 내부 메모리와 8비트 ATmega128(L) 마이크로 컨트롤러, CC2420 2.4GHz 무선장치로 구성된다. 이 노드에 용도에 따라 표면온도 센싱을 위해 LM61 온도센서, 일산화탄소 측정을 위해 MiCS-5131 센서 등과 같은 센서를 부착하였고 기본적으로 두 개의 AA 리튬-이온 배터리를 사용하였다.



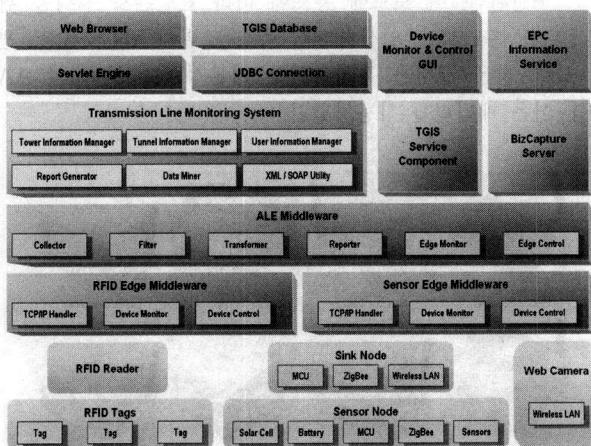
(그림 11) 지하전력구 감시를 위해 개발된 센서노드들

중계노드들 간의 통신은 따로 동적인 라우팅 테이블을 구성하지 않는 직선형 라우팅을 이용하였다. 케이블을 따라 설치된 중계노드는 전과도달 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.

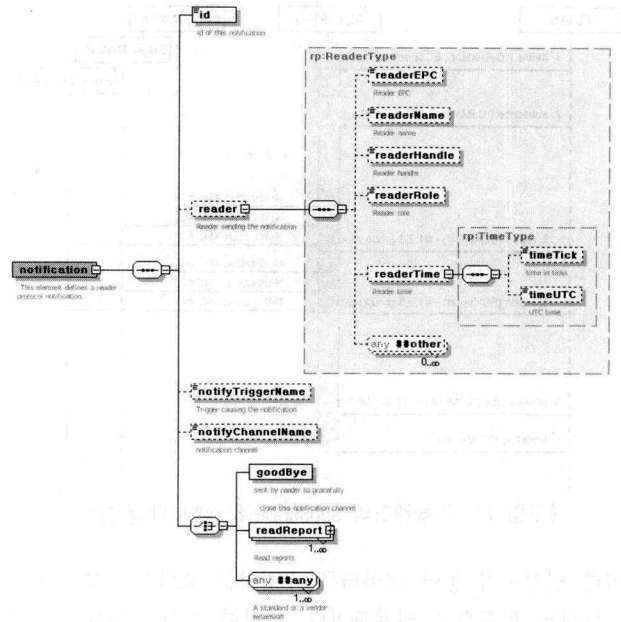
4.2 전력설비관리 서비스 프레임워크

위에서 언급한 전력설비관리 서비스를 개발하기 위해서는 다양한 장치들로부터 실시간으로 전송되는 데이터를 안정적으로 수집하고 필터링하여 불필요한 이벤트를 축소하고 응용 프로그램에 안정적인 통신을 통해 정보를 제공할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 이를 지원할 수 있도록 (그림 12)와 같이 다섯 가지 계층으로 이루어진 전력설비관리서비스 프레임워크를 설계하였다. Edge 미들웨어는 하위에 위치한 RFID 리더기와 무선센서 네트워크 기반의 수집 노드를 관리한다. 각 장치들은 TCP/IP나 RS232C 등의 통신 방식을 갖고 있으며, Edge 미들웨어는 각 장치에 맞는 통신 모듈을 제공하고 이를 통해 수집된 데이터를 EPCglobal에서 정의한 표준 리더 프로토콜 형태의 notification XML 문서로 변환하여 ALE 미들웨어에 전달하게 된다. ALE 미들웨어는 Edge 미들웨어를 통해 전달 받은 이벤트를 필터링과 그룹핑 등의 작업을 통해 상위 계층에 전달하는 역할을 한다. 리더기나 수집 노드를 통해 전달되는 이벤트는 설정에 따라 초당 수 개에서 수백 개까지 전달될 수 있다. 따라서 방대한 량의 데이터를 실시간으로 요약하여 응용 프로그램이 필요로 하



(그림 12) 전력설비관리서비스 프레임워크의 계층구조



(그림 13) notification 메시지의 XML 구조

```

<dip1:reports>
  <dip1:report dip1:reportName="Report1">
    <dip1:group>
      <dip1:member>
        <dip1:rawHex>urn:epc:raw:16.x0005</dip1:rawHex>
        <memberEx xmlns="urn:epcglobal:aleex:xsd:1">
          <name>SOURCE_TYPE</name>
          <value>0002</value>
        </memberEx>
        <memberEx xmlns="urn:epcglobal:aleex:xsd:1">
          <name>HUMIDITY</name>
          <value>0688</value>
        </memberEx>
        <memberEx xmlns="urn:epcglobal:aleex:xsd:1">
          <name>ROUTING_HOP_COUNT</name>
          <value>00</value>
        </memberEx>
        <memberEx xmlns="urn:epcglobal:aleex:xsd:1">
          <name>TEMPERATURE</name>
          <value>19E0</value>
        </memberEx>
        <memberEx xmlns="urn:epcglobal:aleex:xsd:1">
          <name>ILLUMINATION</name>
          <value>02FC</value>
        </memberEx>
        <memberEx xmlns="urn:epcglobal:aleex:xsd:1">
          <name>TagId</name>
          <value>0005</value>
        </memberEx>
        <readTime xmlns="urn:epcglobal:aleex:xsd:1">2006-08-25T11:59:20.4062500+09:00</readTime>
        <sourceName xmlns="urn:epcglobal:aleex:xsd:1">Source01</sourceName>
        <readerName xmlns="urn:epcglobal:aleex:xsd:1">Reader01</readerName>
      </dip1:member>
    </dip1:groupList>
    <dip1:groupCount>
      <dip1:count>1</dip1:count>
    </dip1:groupCount>
  </dip1:report>
</dip1:reports>
  
```

(그림 14) ALE의 센서 이벤트에 대한 ECRReport

는 데이터만을 분류하여 전달하는 기능이 매우 중요하다. ALE 미들웨어는 EPCnetwork에서 정의한 ECSpec과 ECRReport를 이용한 메시징 방식을 만족시키며, 이를 전력설비에 대한 이벤트 처리에 용이하도록 확장하여 구현하였다.

4.3 서비스 적용 및 결과 분석

본 연구에서 개발된 서비스는 고창전력시험센터에 적용하여 실험하였다. 선로의 접속부위 (클램프)의 경우에는 바닷가의 염분의 영향이나, 수분의 침투로 인한 동결 등으로 파손의 위험도가 있어 클램프의 압축지점과 비압축 지점의 온도 차를 측정하여 이상유무를 예측할 수 있다. (그림 15)의 (a)와 같이 실험을 통해 압축부위와 비압축 부위는 평균 2°C 차이를 나타내는 것으로 측정되었다. 송전선로의 온도 감시의 경우에는 (그림 15)의 (b)와 같이 능동형 RFID 온도 태그와 기존에 운영중인 고가의 타워도넛 장비를 이용하여

동일한 조건에 설치하여 전류변화에 따른 송전선로의 온도 변화 측정 성능을 비교하였다. 측정결과 (그림 16)과 같이 파워도넛과 1°C 정도의 오차가 발생하였으나 수십 배 이상의 가격차를 고려하면 비교적 쉽고 안정적으로 데이터 수집이 가능한 것으로 판단된다.

수동형 RFID 태그를 이용한 PDA 순시는 순찰자가 다수의 유사한 설비가 있을 경우 이를 육안으로 판단하여 입력하기 어려웠던 부분을 이동식 리더기로 인식하여 손쉽게 설비를 입력할 수 있도록 PDA 프로그램을 개선하였다.

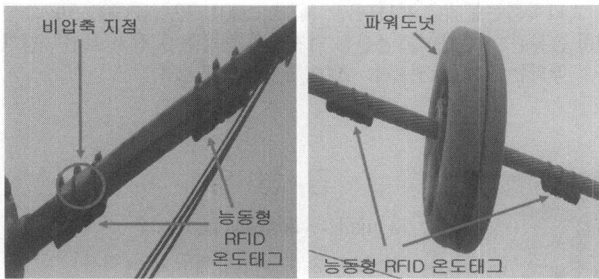
무선센서노드를 이용한 지하전력구 환경감시는 전력구를 따라 직선형으로 설치되어 네트워크를 구성하고 sleep & wake up 방식으로 동작하도록 개발했다. 센서노드는 최소한의 전원을 소비하며 대기하는 sleep 모드와 wake up하여

데이터를 측정하는 sensing 모드, 센싱된 데이터를 전송하는 transfer 모드를 갖게 된다.

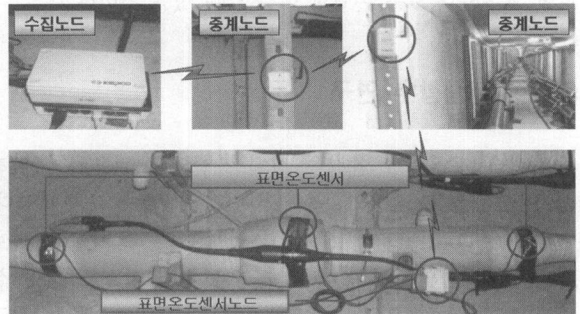
대기온도 센서노드(중계노드)와 표면온도 센서노드의 각 상태 별 전력소모량 측정 결과는 <표 3>과 같다. 대기온도 센서노드의 경우 15분 간격으로 센싱할 경우 15분 동안 소모하는 전력은 약 65.4μAh이며, 3000mAh 용량의 AA 건전지 2개를 사용할 경우 2년 이상 사용이 가능하게 된다.

본 연구에서는 (그림 18)과 같이 동대전 변전소에 위치한 지하전력구에 수집노드와 중계노드를 설치하여 대기온도 및

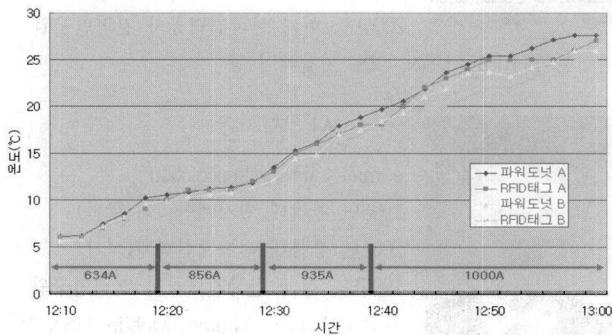
Sleep시 :	0.02mA × 1/4 hour	= 5μAh
Sensing시 :	5mA × 1/3600 hour	= 1.4μAh
Transfer시 :	26.5mA × 8/3600 hour	= 59μAh
15분 소모량 :	5μAh + 1.4μAh + 59μAh	= 65.4μAh



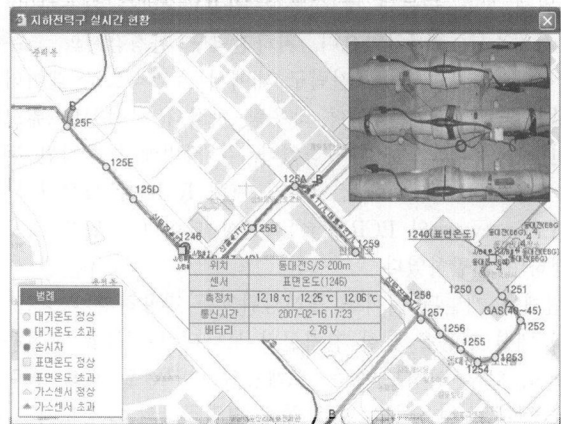
(a) 클램프 온도감시 (b) 송전선로 온도감시  
(그림 15) 능동형RFID온도태그의 설치 모습



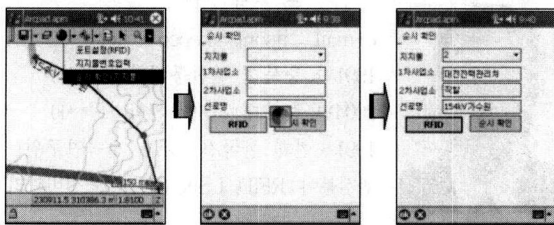
(그림 18) 전력구 및 접속함의 센서노드 설치 모습



(그림 16) 파워도넛과 능동형 RFID 센서태그의 비교



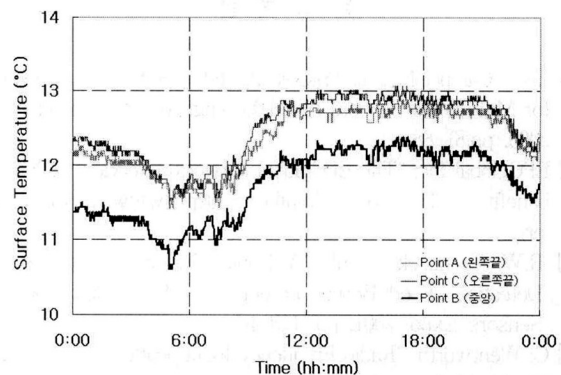
(그림 19) 지하전력구 모니터링 화면



(그림 17) 수동형 RFID를 이용한 PDA 순시 화면

<표 3> 센서노드의 전력소모량

구분	대기온도 센서노드	표면온도 센서노드
Sleep시 소모전류	0.02mA	0.3mA
Sensing시 소모전류	5.0mA	8.4mA
Transfer시 소모전류	26.5mA	28.5mA
15분 전력 소모량	65.4μAh	140.6μAh
일일 전력 소모량	6.28mAh	13.5mAh
총 배터리 량	6000mAh	12000mAh
센서노드의 배터리 수명	약 955일	약 890일



(그림 20) 접속함의 표면온도 변화그래프

접속함의 표면온도를 측정하였다. 케이블 접속함에 세 개의 표면온도센서를 부착하여 각 센서의 온도를 수집하고 무선센서 네트워크를 통해 전송하게 된다. 기존에는 순찰자가 정기적으로 순시하면서 열화상 카메라를 통해 5°C 이상의 온도 차가 발생하는 경우 정밀점검을 수행하였으나, 이 시스템을 통해 주기적으로 수집된 데이터를 웹 기반의 모니터링 화면을 이용하여 분석하며, 사무실에서 이상유무를 실시간으로 감시할 수 있게 되었다.

(그림 20)은 표면온도센서노드를 이용하여 동대전 변전소에 위치한 케이블 접속함의 표면온도 변화를 측정한 그래프이다. 측정에 사용된 T/L은 공단에 전력을 공급하기 때문에 22시까지 꾸준히 전력을 사용하게 되어 온도가 유지되고 있다. 이러한 온도 정보를 수집함으로써, 부하율에 따른 온도차를 관찰할 수 있으며 향후 지속적인 연구를 통해 온도차에 따른 각 선로별 과부하 정도를 손쉽게 예측할 수 있을 것이다.

### 5. 결론 및 향후 연구

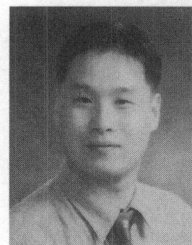
유비쿼터스 컴퓨팅 환경을 실제로 산업에 적용하기 위해서는 RFID/USN 기반의 응용 서비스 개발이 필수적이다. 본 연구에서는 RFID와 USN에 기반한 기술 동향을 살펴보고, 이를 전력산업에서 활용할 수 있도록 서비스 모델을 설계하고 이를 구축하기 위한 기반이 되는 서비스 프레임워크를 설계 및 구현하였다. 송전선로의 온도감시 및 순시 기능을 위해 상용 능동형 및 수동형 RFID 장비를 활용하여 감시 서비스를 구현하였으며, 지하전력구 환경감시의 경우에는 직선형으로 구성된 전력구 내에서 효과적으로 데이터를 전달할 수 있도록 직선형 라우팅 방식의 무선 네트워크를 지원하는 센서노드를 개발하였다. 각 장비에서 수집된 정보를 응용 프로그램으로 전달하기 위해 RFID에 특화되어 있던 EPCnetwork의 ECRreport를 센싱 데이터 전달에 맞도록 수정하여 개발하였다.

현재는 개발된 서비스 프레임워크를 활용하여 다양한 장비에 대한 연동을 통한 전력설비 모니터링 기능을 구현하고 있으며, 향후 완성도 있는 프레임워크 구현을 통해 전력산업에 실제로 적용하고 이를 통해 전력공급의 안정화에 기여하고자 한다.

### 참 고 문 헌

[1] Jason Campbell, et al, "IrisNet: An Internet-Scale Architecture for Multimedia Sensors", MM'05 Singapore, November 6-11, 2005, pp.81-88.  
 [2] EPCglobal Inc, "The EPCglobal network: overview of design, benefits, and security", Available: <http://www.epcglobalinc.org>  
 [3] R.W. Cernosek, et al, "A Rapid Biosensing System for Detection Food-Borne Pathogens", Proceeding of the Sensors Expo, 2001, pp. 113-16.  
 [4] C. Wentworth, "Radio Frequency Identification Sensors", 7th World Multi-conference on Systemics, Cybernetics and

Informatics, 2003.  
 [5] C. B. William and R. B. Yates, "Analysis of a micro-electric generator for Microsystems", Transducers'95/Euroensors IX, pp.369-372,  
 [6] P. Glynne-Jones, S. P. Beeby, and N. M. White, "Towards a piezoelectric vibration-powered microgenerator", IEEE Proceeding of Science, Measurement and Technology 2001, vol. 148, pp. 68-72.  
 [7] Tomas Sanchez Lopez, Daeyoung Kim, Taesoo Park, "A Service Framework for Mobile Ubiquitous Sensor Network and RFID", Wireless Pervasive Computing 2006, 16-18 Jan. 2006, pp.1-6.  
 [8] 이상학, 정태충, "무선 센서네트워크의 에너지 효율적 집산화에 관한 연구", 정보처리학회논문지 C 제11-C권 제7호, 2004. 12, pp.923-930.  
 [9] 양서민, 이혁준, "자율구성 계층구조 애드혹 네트워크를 위한 상호 연동방식의 토폴로지 탐색 및 라우팅 프로토콜", 정보처리학회논문지C 제11-C권 제7호, 2004. 12, pp. 905-916.  
 [10] 손홍관, 이은용, "가공선용 나전선의 허용전류 산정 보완", 전기학회논문지51A권 5호, 2002. 5, pp. 225-231.



#### 김 영 일

e-mail : yikim@kepco.co.kr  
 1998년 충남대 컴퓨터공학과(학사)  
 2000년 충남대 컴퓨터공학과(석사)  
 2000년~2002년 (주)케이포엠  
 2002년~2005년 한국전자통신연구원  
 2006년~현재 한국전력공사 전력연구원

관심분야: RFID, USN, GIS, 미들웨어 등



#### 신 진 호

e-mail : jinho@kepco.co.kr  
 1996년 한밭대 전자계산학과(학사)  
 2004년 충북대 전자계산학과(석사)  
 1996년~현재 한국전력공사 전력연구원  
 관심분야: GIS, Mining, Mobile, USN 등



#### 송 재 주

e-mail : jjsong@kepco.co.kr  
 1991년 충북대 전산통계학과(학사)  
 2004년 충북대 전자계산학과(석사)  
 1991~현재 한국전력공사 전력연구원  
 관심분야: RFID, USN, GIS, 전력설비관리 등



#### 이 봉 재

e-mail : leeboja@kepco.co.kr  
 1982년 성균관대 수학과(학사)  
 1985 - 현재 한국전력공사 전력연구원  
 관심분야: 도면자동인식, 시험평가, 전력 IT 등