에너지 센서 네트워크를 위한 무선 스마트 플러그 설계

김 원 호* 종신회원

Design of Wireless Smart Plug for Energy Sensor Network

Won-Ho Kim* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 에너지 센서 네트워크 적용을 위한 AC 전력센싱 기능과 지능형 대기전력 차단제어 기능을 가진 무선 스마트 플러그 설계와 적응식 대기전력 차단제어 알고리즘을 제안하고 구현하였다. 적응식 대기전력 차단제어 알고리즘은 사무기기나 가전기기마다 상이한 대기전력 문턱치를 학습기능에 의해 자동 감지하고, 적응 설정되게 함으로서 사용자의 편이성과 신뢰성 높은 대기전력 차단제어 기능을 제공하여 에너지소비 절감 효과를 극대화 할 수 있도록 하였다. 구현된 시제품의 기능을 검증한 결과, 설계 요구기능을 모두 만족하였으며 대기전력 소비를 절감할 수 있는 지능형 전력센서로서 실용성이 있음을 확인하였다.

Key Words: Wireless Sensor Network, Smart Power Sensor, Smart Plug

ABSTRACT

In this paper, we describe the design and implementation of wireless smart plug having AC power sensor and intelligent standby power control algorithm for energy sensor network. The adaptive standby power control algorithm has function to apply different threshold of standby power by using learning algorithm depending on electric equipments. As using the proposed algorithm, user convenience will be more better and power consumption can be more reduced. The implemented prototypes of wireless smart plug and wireless access point were tested to verify the required functions and performance. As a result, we confirmed practicality of wireless smart power sensor and satisfaction of given design specifications.

I. 서 론

에너지 절감 및 소비 효율화를 위해 무선 센서 네트워크 기반의 에너지 측정 및 감시 시스템의 연구와 가정과 빌딩의 에너지 관리를 위한 에너지 관리 시스템의 도입이 활발히 논의되고 있다[1]-[7]. 특히, 사무기기 또는 가전기기의 전원플러그를 빼놓지 않는 관계로 소모되는 대기전력은 OECD 회원국의 평균전력소모량의 10~15%가 대기전력으로 소모되고 있으며, 국내 가정에서 소비하는 전력의 약 11%를 차지하고 있어 이를 절약할 경우 국내에서 연 5,000 억원 정도의 경제적 손실을 방지할 수 있다. 대기전력은 실제로 사용하지 않는 시간대에 소비되는 전력으로서 리모컨 신호대기, 타이머 또는 모니터 표시 등과 같이 가전기기 본래의 기능과 무관하게 소비되는 전력이다. 사무실에서 사용하는 복합기의 대기전력은 80W 정도이고 레이저 프린터의 대기전력은 20W의 전력을 소비하고 있다. 이러한 대기전력을 줄이는 방법은 사무기기 및 가전기기를 사용하지 않을 때에는 플러그를 뽑아 대기전력을 줄이는 것이 가장 좋지만, 실제로 번거롭고 불편한 점이 많다. 이를 위하여 전력센서와 대기전력 차단기능이 내장된 전기 콘센트 또는 전기 플러그 장치들이 연구되고 있다. 종전의 대기전력 감시 기능은 가전기기나 사무기기의 대기상태에서 소모되는 전력 또는 전류 값을 미리 계산하거나 측정하여 저장하고 이 값보다 큰지 작은지를 확인하여 대기전력을 차단 제어하는 단순한 방법들을 주로 사용 하였다[8],[9]. 이러한 기존 방식들은 사무기기나 가전기기마다 상이한 대기전력 값을 기기의 종류마다 또는 매번 사용할 때 마다 대기전력 값을

* 공주대학교 공과대학 전기전자제어공학부(whkim@kongju.ac.kr)
※ 본 연구는 2011년도 교과부 지역거점연구단육성사업(에너지자립형 그린빌리지핵심기술사업단)과 지경부 한국에너지기술평가원의 에너지인력양성사업 지원을 받아 수행되었습니다.
접수일자 : 2011년 11월 25일, 수정완료일자 : 2011년 12월 14일, 최종게재확정일자 : 2011년 12월 15일

수동으로 설정하거나 측정하여 적용함으로서 사용자 측면에서 비효율적이고 불편함이 많았다. 또한, 기 설정된 대기 전력과 연결된 기기의 대기 전력과 불일치하는 경우에는 대기 전력이 차단되지 않는 경우가 발생하여 전력절감 효과가 없는 경우도 발생된다. 이를 개선하기 위하여 본 논문에서는 학습기능을 이용한 적응식 대기전력 감시 기능을 가진 무선 스마트 플러그를 제안한다. 적응식 대기전력 감시 기능은 기기마다 상이한 대기전력을 자동 감지하여 적응 설정되게 함으로서 사용자 편의성이 증대되고, 적응적인 대기전력 설정에 의하여 신뢰성 높은 대기 전력차단 수단을 제공할 수 있어 에너지 센서 네트워크에 연계함으로서 에너지소비 효율화 및 절감 효과를 극대화 할 수 있다.

Ⅱ. 무선 스마트 플러그 기반의 센서 네트워크

무선 스마트 플러그(Wireless Smart Plug)를 이용한 가정 내 에너지 센서 네트워크 구성도는 그림 1과 같다. 에너지 센서 네트워크의 구성은 가전기기의 소비전력 측정기능과 대기전력 차단 제어기능을 갖는 무선 스마트 플러그, 사용자에게 그래픽 유저 인터페이스를(GUI) 제공하여 무선 스마트 플러그의 측정 데이터를 수집하고 모니터링 정보를 디스플레이하는 무선 액세스 포인트(Wireless Access Point)로 구성 된다.

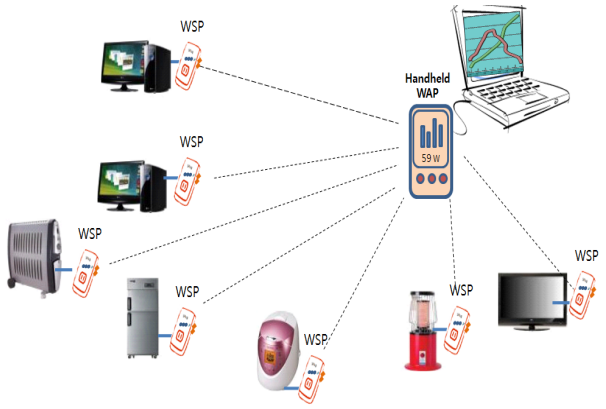

그림 1. 가정 내 에너지 센서 네트워크 구성도

가정 내 에너지 사용 감시를 위한 에너지 센서 네트워크를 구축하기 위한 무선 스마트 플러그와 무선 액세스 포인트의 주요 요구 기능과 성능은 다음과 같다. 무선 스마트 플러그의 기능은 소비전력 측정, 대기전력 측정 및 차단 제어, 과전류 감시, 근거리 무선 통신 기능이 요구되며, 무선 액세스 포인트의 기능은 근거리 무선통신 기능, RS-232 데이터 통신 기능, 모니터링 데이터 디스플레이 기능이 요구된다. 측정되는 AC 전압 규격은 단상, 100~240V, 50~60Hz이고 전류 측정 범위는 0~15A, 전력 측정 범위는 0~3,300W 이다.

Ⅲ. 무선 스마트 플러그 설계

3.1 하드웨어 설계

무선 스마트 플러그의 하드웨어 기능 구성도는 그림 2와 같다. 무선 스마트 플러그를 구성하는 기능 블록들의 기능 설명은 다음과 같다.

- AC/DC converter & Regulator: 220VAC로부터 5VDC, 3.3VDC 전압 변환 기능을 제공한다.

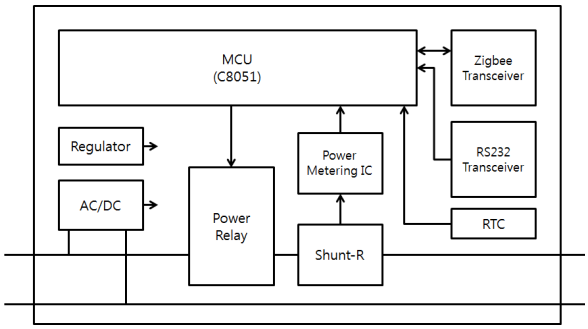

그림 2. 무선 스마트 플러그의 기능 구성도

- MCU : 8비트 마이크로 컨트롤러, 대기전력 감시 제어, 소비전력 감시, 과전류 감시, WSP-WAP간 통신 프로토콜 처리기능을 수행한다.
- AC 전류센서: 0.5mΩ shunt 저항을 적용하여 소비전류를 측정하는 기능을 수행한다.
- Power Metering IC: AC 전류센서로부터 측정된 소비전류와 AC전압을 측정하고, 식 (1)에 의해 단상 액티브 전력(active power)을 측정하는 기능을 수행한다.

$$P_{active} = \frac{1}{nT}\int_0^{nT} v(t)i(t)dt = Vrms \bullet Irms \qquad (1)$$

- AC Power Relay: MCU의 대기전력 감시 알고리즘에 의해 제어되는 AC 전력 스위치 기능을 제공한다.
- ZigBee 트랜시버: 무선 스마트 플러그와 무선 액세스 포인트간 데이터 송수신을 위한 근거리 무선 송수신 기능을 제공한다. 2.4G 주파수를 사용하며 데이터 속도는 최대 250kbps, 통신거리는 최대 100m, 지그비 2006-스택을 지원하며 IEEE 802.15.4 프로토콜과 호환기능을 가진다.
- Real Time Clock(RTC): MCU 기능에 필요한 클럭과 타이밍을 제공하는 리얼 타임 클럭 기능을 제공한다.

3.2 MCU 소프트웨어 설계

MCU 프로그램의 동작 흐름도는 그림 3과 같으며 주기적으로 이벤트 루틴을 순차적으로 처리한다. 초기화 루틴은 무선 스마트 플러그 디바이스 설정 및 초기화, 메모리 초기화, 변수 초기화 동작을 수행한다. 소비전력 감시 루틴은

PMIC에서 출력되는 원시 데이터를 소비전력 값으로 환산하는 동작을 수행한다. 과전류 감시 루틴은 설정된 과전류 문턱치를 초과하는지 비교하여 초과하는 경우에 전력을 차단 제어하는 기능을 수행한다. 대기전력 감시 루틴은 학습기능을 이용하여 가전기기마다 상이한 대기전력 문턱치를 적응 설정하고 소비전력을 감시하여 대기전력으로 판정되면 전력을 차단제어하는 기능을 수행한다. 지그비 송수신 기능은 설정된 주기마다 무선 액세스 포인트로 측정 데이터를 송신하는 기능을 수행한다.

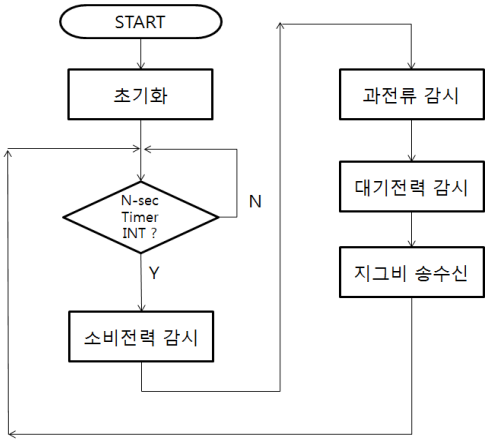

그림 3. MCU 프로그램 동작 흐름도

3.3 적응식 대기전력 감시 알고리즘 설계

상이한 가전기기의 대기전력을 적응적으로 설정하여 대기전력을 감시하기 위한 알고리즘의 상태 천이도는 그림 4와 같다. 적응식 3-state 상태 천이도의 동작은 매 N초마다 현재 소비전력을 계산(new_pow)하고 이전에 계산된 소비전력(pre_pow)을 비교하여 상태천이 동작을 제어한다.

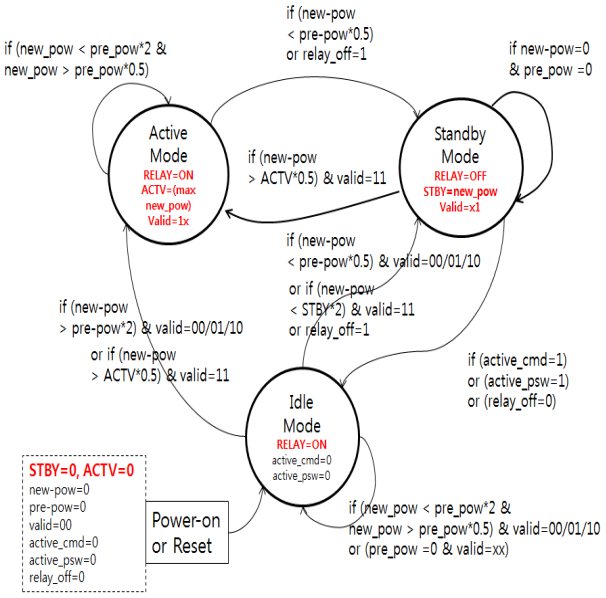

그림 4. 적응식 대기전력 차단제어 알고리즘의 상태 천이도

대기전력을 적응적으로 감시하기 위한 상태 천이도의 동작설명과 Pseudo code는 다음과 같다.

(1) 아이들 모드(Idle mode) 상태
- 파워 온 또는 리셋시 활성화 되는 상태이다. 모든 변수를 초기화하고 스마트플러그에 전력을 공급하기 위해 파워릴레이를 on한다.
- if pre_pow=0, then idle mode holding.
- 2-bit valid = 00/01/10 case,
  if (new_pow<pre_pow*2) & (new_pow > pre_pow*0.5), then idle mode holding.
  if new_pow>pre_pow*2, then active mode transition.
  if new_pow<pre_pow*0.5, then standby mode transition.
- 2-bit valid = 11 case,
  if new_pow>ACTV*0.5, then active mode transition.
  if new_pow<STBY*2, then standby mode transition.
- if relay_off=1, then standby mode transition.

(2) 액티브 모드(Active mode) 상태
- 연결된 사무기기 또는 가전기기가 정상동작되는 상태이다. 파워릴레이는 on 상태이고 매 N초 마다 계산되는 소비전력 값을 비교하여 최대값으로 ACTV 문턱치를 갱신한다.
- 2-bit valid=1x set.
- if (new_pow<pre_pow*2) & (new_pow>pre_pow*0.5), then active mode holding.
- if new_pow<pre_pow*0.5 or relay_off=1, then standby mode transition.
- if relay_off=1, then standby mode transition.

(3) 스탠바이 모드(Standby mode) 상태
- 연결된 사무기기 또는 가전기기가 대기전력을 소비하는 상태이다. 대기전력 소비를 차단하기 위해 파워릴레이를 off한다. 스탠바이 상태로 천이되고 N초가 지난 후, 계산되는 전력 값으로 STBY 문턱치를 갱신하고 5*N초 후에 파워릴레이를 off 한다.
- 2-bit valid=x1 set.
- if valid=11 & new_pow>ACTV*0.5, then active mode transition.
- if active_cmd = 1, then idle mode transition.
- if active_psw = 1, then idle mode transition.

active_cmd 신호는 무선 액세스 포인트의 수동 버튼신호이고 active_psw 신호는 무선 스마트 플러그 본체에 있는 푸시버트 스위치에 의해 생성되는 신호이다. 이 신호는 무선 스마트 플러그가 스탠바이 상태에서 전력공급을 활성화하기 위한 아이들 상태로 천이시키는 제어신호로 사용된다.

3.4 무선 액세스 포인트 설계

무선 액세스 포인트의 기능 구성도는 그림 5와 같다. 무선 스마트 플러그에서 측정되는 소비전력, 대기전력, 상태정

보를 지그비 무선통신을 통해 수신하고, 수동 버튼을 사용하여 스마트 플러그의 대기전력 차단제어를 수동식으로 제어하는 기능을 제공한다. 또한, 가정 내 범용 PC와 시리얼 통신을 통하여 PC-GUI에 전력감시 정보를 표시하는 기능을 제공한다. 무선 액세스 포인트를 구성하는 MCU 기능은 8비트 마이크로 컨트롤러 기능을 가지며, 무선 스마트 플러그-무선 액세스 포인트간 통신 프로토콜 처리, PC 시리얼 통신 처리 기능을 수행한다. 지그비 트랜시버는 지그비 2006-스택을 지원하며 IEEE 802.15.4 프로토콜 호환기능을 가진다. RS-232로 연결되는 PC-GUI는 무선 스마트 플러그의 소비전력, 대기전력, 소비전력 그래프, 상태천이 정보를 표시한다.

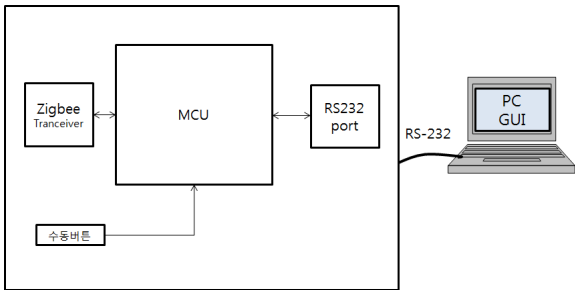

그림 5. 무선 액세스 포인트의 기능 구성도

Ⅳ. 구현 및 실험 결과

Ⅲ장에서 서술한 무선 스마트 플러그 설계에 기반하여 구현한 무선 스마트 플러그의 메인보드와 시제품은 그림 6과 같으며, 무선 액세스 포인트의 시제품과 PC-GUI (Graphic User Interface)는 그림 7과 같다.

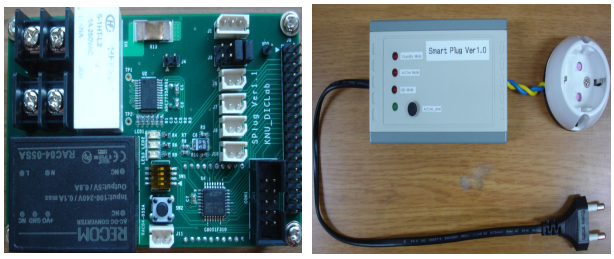

그림 6. 무선 스마트 플러그(WSP)의 메인보드와 시제품 사진

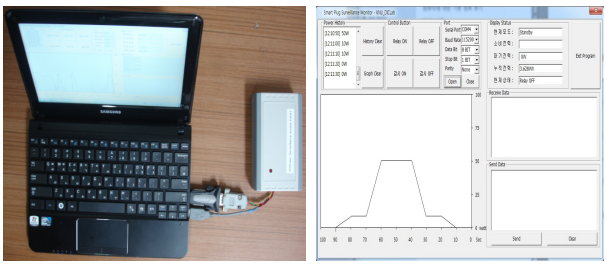

그림 7. 무선 액세스 포인트(WAP)와 PC-GUI 시제품 사진

제작된 무선 스마트 플러그와 무선 액세스 포인트 시제품의 기능 및 성능을 검증하기 위하여 전력부하 지그 보드를 제작하여 시험하였다. 전력부하 지그 보드는 가전기기의 20W 대기전력과 60W의 활성전력을 에뮬레이션 할 수 있도록 두 개의 백열전구와 전기 스위치로 제작하였다. 그림 8은 기능 검증을 위한 무선 스마트 플러그와 무선 액세스 포인트, 전력부하 지그 보드의 시스템 구성을 보여준다.

무선 스마트 플러그의 기능시험 결과를 디스플레이한 PC-GUI 사진은 그림 9와 같다. 그림 9는 대기전력을 학습기능에 의해 적응 설정하기 이전의 전력소비 그래프를 보여주고 있다. 무선 스마트 플러그의 동작을 검증하기 위하여 SPlug Power OFF → SPlug Power ON → 대기(20W 부하 ON) → 활성(40W 부하 ON) → 대기(40W 부하 OFF) → 차단 순으로 전력소비 지그 보드를 동작시켜 그림 4의 적응식 대기전력 차단제어 알고리즘에 의해 대기전력 문턱치를 적응설정하고 대기전력 소비시, 자동으로 전력을 차단하는 기능을 확인하였다.

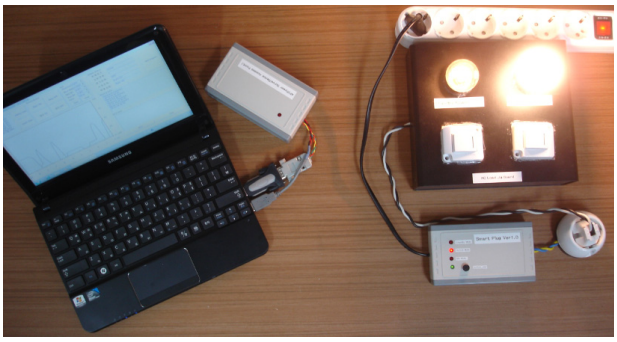

그림 8. 기능 검증을 위한 시스템 구성 사진

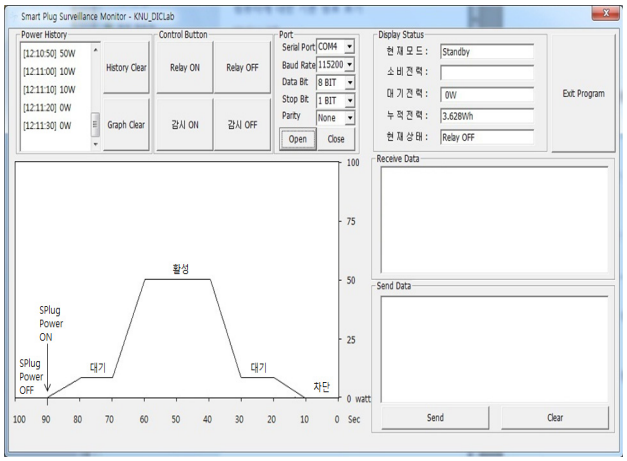

그림 9. 대기전력 적응설정 이전의 무선 스마트 플러그 동작과 전력소비 그래프

그림 10은 대기전력 적응설정 기능에 의해 대기전력 문턱치가 설정된 이후의 전력소비 그래프를 보여 주고 있다. 무선 스마트 플러그의 동작을 검증하기 위하여 차단 → 활성(20W+40W 부하 ON) → 대기(40W 부하 OFF) → 차단 순으로 전력부하 지그 보드를 동작시켜 대기전력 문턱치가 설정된 후, 가전기기가 활성화 되었다가 대기모드로 동작시,

그림 4의 적응식 대기전력 차단제어 알고리즘에 의해 대기전력이 차단되는 기능을 확인하였다. 무선 스마트 플러그와 무선 액세스 포인트 시제품의 기능을 검증한 결과, 설계 요구기능을 모두 만족하였으며 가전기기의 대기모드 동작시 소비되는 대기전력을 자동차단하여 전력소비를 절약할 수 있어 실용성이 있음을 확인하였다.

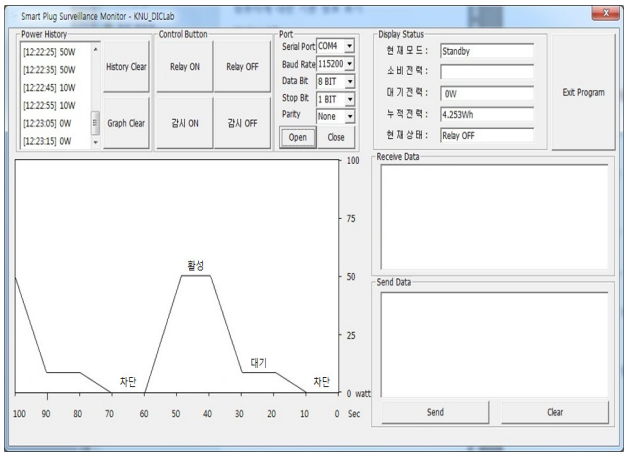

그림 10. 대기전력 적응설정 이후의 무선 스마트 플러그 동작과 전력소비 그래프

V. 결 론

본 논문에서는 에너지 센서 네트워크를 위한 무선 스마트 플러그를 설계하고 대기전력 감시를 위해 적응식 대기전력 차단제어 알고리즘을 제안하고 구현하였다. 사무기기나 가전기기마다 상이한 대기전력 값을 기기의 종류와 매번 사용할 때 마다 대기전력 문턱치를 수동 설정함으로서 비효율적이고 사용자의 불편함이 많았다. 또한, 기 설정된 대기전력 문턱치와 기기의 대기전력 측정치가 불일치하는 경우에는 대기전력이 차단되지 않는 경우가 발생하여 전력절감 효과가 없는 경우도 발생된다. 제안한 대기전력 적응설정 알고리즘은 기기마다 상이한 대기전력 문턱치를 자동 감지하여 대기전력을 차단하게 함으로서 사용자 편이성을 개선하고, 신뢰성 높은 대기전력 차단제어가 가능하여 에너지소비 절감 효과를 극대화할 수 있도록 한다. 구현된 시제품의 기능을 검증한 결과, 설계 요구기능을 모두 만족하였으며 대기전력 소비를 절감할 수 있는 지능형 전력센서로서 실용성이 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Liu Yanfei; Wang Cheng, Qiao Xiaojun, Zhang Yunhe, Yu chengbo, "An Improved Design of ZigBee Wireless Sensor Network", IEEE proceedings of ICCST, 2009.

[2] Yang Li, Ji Maorong, Gao Zhenru, Zhang Weiping, Guo Tao, "Design of Home Automation System Based on ZigBee Wireless Sensor Network", Proceedings of ICISE, 2009.

[3] Shah, P., Shaikh, T., Ghan, K., Shilaskar, S., "Power Management Using ZigBee Wireless Sensor Network", Proceedings of ICETET, 2008.

[4] H. Park, J. Burke, and M. B. Srivastava, "Design and Implementation ofa Wireless Sensor Network for Intelligent Light Control," International Conference on Information Processing in Sesnor Networks, 2007.

[5] M. Xu, L. Ma, F. Xia, T. Yuan, J. Qian, and M. Shao, "Design and Implementation of a Wireless Sensor Network for Smart Homes," ICSSE 2011 Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing, 2010

[6] 이민구,박용국,정경권,유준재,성하경, "스마트 플러그를 이용한 첨단주택의 전력 모니터링", 대한전자공학회 하계학술대회 논문집, 제33권, 제1호, 2010.

[7] 조영조, "스마트 홈의 유비쿼터스 컨트롤 기술", 제어·자동화·시스템공학회지, 제9권, 제6호, 2003.

[8] 정재덕, "대기 전력 자동 차단 기능을 가지는 멀티탭", 특허출원번호 10-2009-0093684, 2009.

[9] 석근수, "대기전력 감소 장치 및 방법",특허출원번호 10-2008-0039105, 2008.

저 자

김원호 (Won-Ho Kim) 종신회원

1985년 2월 : 경북대 전자공학 학사
1987년 2월 : 경북대 전자공학 석사
1999년 2월 : 충남대 전자공학 박사
1989년 2월~1999년 8월 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
1999년 8월~현재 : 공주대학교 전기전자제어공학부 교수

<관심분야> 위성멀티미디어통신, 영상 및 통신 신호처리, 영상감시 및 비젼센서