

논문 2015-52-10-17

# 재실감지 센서와 스마트 플러그를 이용한 에너지 절약 시스템 (Energy Saving System using Occupancy Sensors and Smart Plugs)

정 경 권\*, 서 춘 원\*\*

(Kyung Kwon Jung and Choon Weon Seo<sup>©</sup>)

## 요 약

본 논문에서는 첨단 주택에서 가전기기 에너지 절약을 위한 재실 기반 에너지 절약 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 센싱 시스템과 홈 게이트웨이 시스템으로 구성된다. 센싱 시스템은 사람의 움직임을 감지하는 PIR 센서를 장착한 무선 센싱 노드와 CT센서를 이용하여 전류 사용량을 측정하고 무선으로 전달하는 스마트 플러그로 구성된다. 스마트 플러그를 이용하여 가전기기의 전류 소모량을 측정하고, 방과 문에 설치한 재실 감지 센서를 이용하여 거주자의 재실 유무를 확인하였다. 제안한 시스템은 부재 공간의 불필요한 전기 에너지 사용량을 스위치를 끄므로써 절약한다. 실험 결과 재실 기반으로 전기 에너지를 절약한다면 약 34%를 절약할 수 있음을 확인하였다.

## Abstract

This paper presented an occupancy-based energy saving system for appliance energy saving in smart house. The developed system is composed of a sensing system and a home gateway system. The sensing system is set of wireless sensor nodes which have pyroelectric infrared (PIR) sensor to detect a motion of human and set of smart plugs which measure the current using CT (current transformer) sensor and send the current to home gateway wirelessly. We measured current consumption of appliances in real time using smart plugs, and checked the occupation of residents using occupancy sensors installed on the door and room. The proposed system saves electric energy to switch off the supply power of unnecessary usages in the unoccupied spaces. Experiments conducted have shown that electric energy usage of appliances can be saved about 34% checked by using occupation.

**Keywords :** energy management system, smart plug, occupancy sensor, energy saving

## I. 서 론

현재 전 세계적으로 그린IT 시대를 맞이하여 에너지

효율 향상 및 탄소 배출 저감을 통한 저탄소 녹색성장을 위해 다양한 산업 분야에서 첨단 ICT(Information and Communication Technology)을 활용하고 있다. 그린IT는 지구온난화, 환경규제 강화, 에너지 고갈 및 환경오염 등의 제반 환경문제에 적극적으로 대응하면서 차세대 신성장 동력으로서 지속적으로 부가가치를 얻고자 하는 IT 부문의 친환경 및 성장 활동(Green of IT)과 IT를 활용한 친환경 및 성장 활동(Green by IT)으로 정의된다. 전력 산업의 경우는 현재 전 세계적으로 국가 차원의 성장 동력으로서 환경 친화적 지능형 미래 스마트그리드(Smart Grid) 실현을 위해 첨단 자동화, 통신, 제어 등의 정보통신기술을 분산발전, 에너지저장,

\* 정희원, 전자부품연구원  
(Korea Electronics Technology Institute)  
\*\* 정희원, 김포대학교 컴퓨터네트워크과  
(Department of Computer Network, Kimpo University)  
<sup>©</sup> Corresponding Author(E-mail: cwseo@kimpo.ac.kr)  
※ 본 논문은 2013년 산업통상자원부의 재원으로 산업 기술 연구기반구축사업의 지원 아래 수행된 연구임.  
(No. M0000014)

Received ; August 18, 2015    Revised ; September 10, 2015  
Accepted ; October 1, 2015

재생에너지, 전기 자동차(Plug-in Hybrid Electric Vehicle), 스마트 미터(Smart Meter), 수요반응(Demand Response) 등의 기술과 적극적으로 통합하고 있다<sup>[1]</sup>.

주택의 에너지 절감 운전 및 관리를 위해서는 온열환경과 공기환경 측면에서 온도, 습도, 미세먼지, 이산화탄소, 일산화탄소 등을 실내 물리적 변수와 개인적 변수 상호간 관계성이 적용된 에너지 수요 예측, 절약 운전 및 관리 알고리즘 개발하고, 개별설비를 통합하여 제어·모니터링 할 수 있으며, 지능형 홈 네트워크와 연계할 수 있는 스마트 홈 에너지 통합컨트롤 시스템 개발이 주목을 받고 있다<sup>[2~4]</sup>.

주택 내 증가하고 있는 에너지 소비를 최소화할 수 있는 기술이 개발되어야 하는데, 이중 가장 효과적인 해결책으로 낭비되고 있는 에너지의 소비를 절약하는 방안과 대기 전력 1W 이하를 달성하는 것이 대두되고 있다. 대기 전력 1W 이하의 달성은 가전사에서 제품 개발 연구를 진행하고 있으며, 대기 전력 차단 콘센트의 제품이 시장에 선보이고 있다<sup>[5~7]</sup>. 낭비되고 있는 에너지를 줄이는 방법으로는 거주자의 움직임 정보를 활용하는 방법이 제안되었다. 가전기기의 전기 사용량을 측정할 수 있는 콘센트에 PIR(Pyroelectric Infrared sensor) 센서를 부착한 형태이다<sup>[8]</sup>. PIR 센서는 단순한 움직임 유무를 판단하는 센서여서 거주자가 특정 공간을 점유하고 있는지 판단하는 부분이 추가로 필요하다.

본 논문에서는 주택에서 전기 에너지 사용량 분석을 위해 재실 센서와 스마트 플러그를 이용한 에너지 절약 시스템을 제안한다. 전류 센서를 이용하여 실시간 소모되는 전류를 측정하고, 측정된 데이터를 센서 네트워크를 이용하여 홈 게이트웨이에 저장한다. 방문에 재실감지 센서를 부착하여 거주자의 공간 사용을 확인하여 절약이 가능한 전기 에너지를 분석한다.

제안한 시스템을 설명하기 위해 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템의 구성 소개하고, III장에서는 실험을 통해 전기 에너지의 절약을 검토하고, IV장에서 결론을 맺는다.

### II. 시스템 구성

주택에서 사용할 수 있는 전기 에너지 사용량 모니터링 시스템의 전체 구조를 설명한다. 그림 1은 전체 시스템의 블록 다이어그램으로 제안한 시스템은 센싱 시



그림 1. 시스템 블록 다이어그램  
Fig. 1. System block diagram.

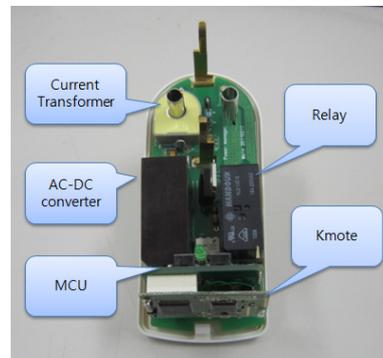
스텝과 홈 게이트웨이로 구성된다. 센싱 시스템은 무선 센서 모듈이 장착된 스마트 플러그와 재실 감지 센서로 구성 된다. 홈 게이트웨이 시스템은 데이터를 수집하고 일별, 월별 사용한 전기 사용량 정보를 제공한다.

#### 1. 스마트 플러그

본 논문에서 제안하는 스마트 플러그는 그림 2와 같다. 박스형태의 콘센트 내부에 전류 측정용 CT 센서(Current Transformer sensor), 릴레이, MCU



(a)



(b)

그림 2. 스마트 플러그. (a) 외형, (b) 내부 구성.  
Fig. 2. Smart plug. (a) appearance, (b) configuration.

(PIC18F14), 무선 센서 모듈, 전원공급용 SMPS로 구성된다. MCU에서는 전압, 전류, 전력을 측정하여 UART로 무선 센서 모듈에 전달한다.

무선 센서 모듈인 Knote는 TI사의 MSP430 기반으로 RF는 CC2420 Chip을 사용한다. CC2420은 IEEE 802.15.4를 지원하고 250Kbps의 데이터 통신 속도를 지원한다. TinyOS 기반으로 프로그램이 구성되며 스마트 플러그는 0.5초마다 측정된 값을 저장하여 5초마다 무선으로 전송한다<sup>[9~10]</sup>.

## 2. 재실감지 센서

재실 감지 모듈은 PIR 센서 기반으로 움직임을 감지한다. 그림 3은 재실 감지 센서의 사진이다.

저전력 구동을 위해서 PIR 센서 보드를 별도로 설계하였다. 그림 4는 개발한 PIR 센서 보드의 회로도이다. LHi878 PIR 센서를 사용하고, PIR 센서 70 $\mu$ A, OP-Amp 회로 80 $\mu$ A의 전류를 사용하는 회로이다<sup>[11]</sup>.

Knote는 sleep 상태에서 PIR 센서가 감지되면 wake-up을 하고, RF 기능을 켜다. RF 기능을 켜 후에 패킷을 전송하고 RF 기능을 끄고 sleep 상태로 돌아간다.

재실 유무를 판단하기 위해서 그림 5와 같이 방문 위



그림 3. 재실 감지 센서  
Fig. 3. Occupancy sensors.

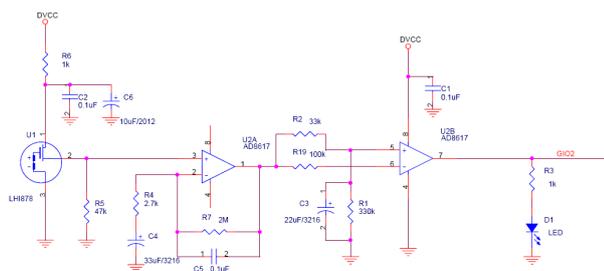


그림 4. PIR 센싱 보드 회로도  
Fig. 4. Schematic of PIR sensing board.

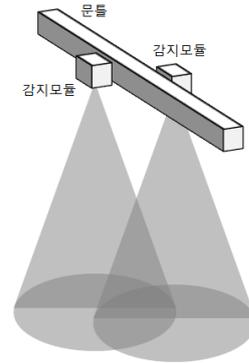


그림 5. 재실 감지 센서 설치  
Fig. 5. Installation of occupancy sensors.

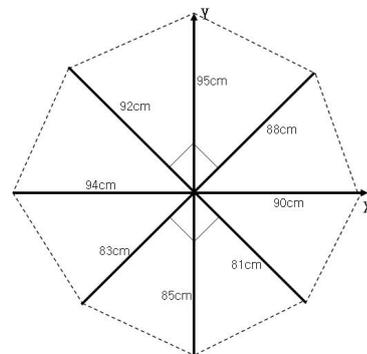


그림 6. 재실 감지 센서의 인식 범위  
Fig. 6. Detectable range of occupancy sensor.

쪽 틀에 두 개의 모듈을 부착하여 방에 들어오거나 나가는 동작에 따른 감지 순서를 바탕으로 재실여부를 판단한다.

재실 감지 센서를 천정에 설치하고, 각 방향에 대해서 움직임을 감지하는 경우를 실험한 결과 그림 6과 같이 각 방향에 대해서 약 2m의 감지 범위를 확인하였다. 이는 출입문 상단에 재실 감지 센서를 설치했을 경우 출입문을 통과하는 모두 사용자를 감지할 수 있는 영역이다.

## 3. 홈 게이트웨이

홈 게이트웨이의 역할은 베이스 모듈에 수신되는 센싱 데이터를 저장하고, 분석하는 기능을 담당한다. 홈 게이트웨이는 소형 팬리스(fanless) 컴퓨터 (인텔 Atom Z530 CPU 1.6MHz 프로세서, 1GB 메인 메모리, 160GB HDD)를 사용하였고, Windows XP 운영체제로 동작한다<sup>[12]</sup>.



그림 7. 홈 게이트웨이  
Fig. 7. Home gateway.

날짜	시간	노드ID	가전기기	소량량	사황스	상태
2014-08-30	14:23:04	0011	프린터	0.000000 [A]	0000	연결안됨
2014-08-30	14:23:04	0010	전기밥솥	0.000000 [A]	0000	연결안됨
2014-08-30	14:23:04	0009	전자레인지	0.000000 [A]	0000	연결안됨
2014-08-30	14:23:04	0007	모뎀/무선랜	0.000000 [A]	0000	연결안됨
2014-08-30	14:23:04	0006	TV	0.000000 [A]	0000	연결안됨
2014-08-30	14:23:04	0005	컴퓨터	0.000000 [A]	0000	연결안됨
2014-08-30	14:23:04	0004	공기청정기	0.000000 [A]	0000	연결안됨
2014-08-30	14:23:04	0003	선풍기	0.000000 [A]	0000	연결안됨
2014-08-30	14:23:04	0002	정수기	0.000000 [A]	0000	연결안됨
2014-08-30	14:23:04	0001	배터리	0.000000 [A]	0000	연결안됨

그림 8. 모니터링 프로그램  
Fig. 8. Monitoring program.

게이트웨이는 USB 포트에 연결된 베이스 모듈을 통해 입력되는 패킷을 읽어 해석하고 현재 시간 정보를 더해 저장한다. 그림 7은 게이트웨이의 사진이다.

그림 8은 홈 게이트웨이에서 동작하는 모니터링 프로그램으로 베이스 노드로부터 스마트 플러그의 전류 사용량과 재실 감지 센서의 정보를 수신하고, 저장한다.

### III. 실험

재실 기반 주택 내 가전기기의 전기 에너지 사용량 측정을 위해 그림 9와 같은 33평형 주택에 거주하는 3인 가구를 대상으로 10개의 가전기기에 대해 사용량을 측정하고, 총 11개의 재실 감지 센서를 통해 재실 여부를 확인하였다.

방별 설치된 가전기기와 재실 감지 센서의 개수는 표

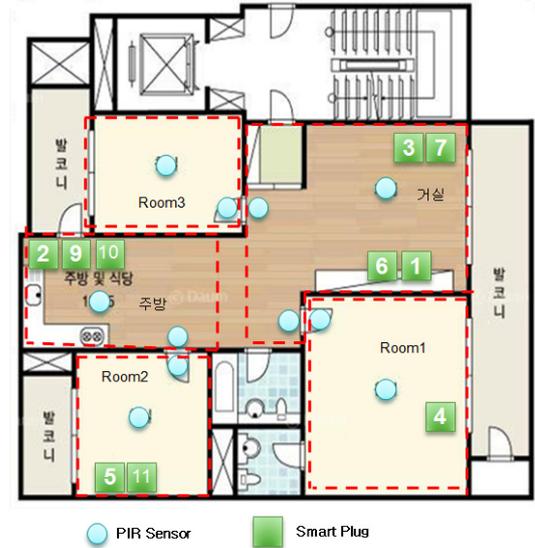


그림 9. 배치 도면  
Fig. 9. Floor plan.

표 1. 방별 가전 설치 종류

Table 1. Install list of appliance in each room.

방	가전(스마트 플러그ID)	재실 센서
방1	공기청정기(4)	1개
방2	컴퓨터(5), 프린터(11)	2개
방3	없음	2개
거실	에어컨(1), 선풍기(3), TV(6), 모뎀/무선랜(7)	3개
부엌	정수기(2), 전자레인지(9), 전기밥솥(10)	2개

1과 같다.

#### 1. 재실감지

재실 감지 센서는 단순한 움직임에 대한 정보만을 감지하기 때문에 거주자의 공간 점유에 대해서는 별도의 판단이 필요하다.

본 논문에서는 공간에 설치된 재실 감지 센서의 정보로부터 시간 범위에 따라 재실 상태를 지속시킨다. 시간 범위는 오전 6시~오후 24시의 활동 시간대와 오전 0시~오전 6시의 비활동 시간대로 나누고 활동 시간대에서는 재실 감지 센서가 동작하고 10분 동안 재실 상태를 유지한 후 다시 부재 상태로 변경한다. 비활동 시간대에서는 재실 감지 센서가 동작하고 60분 동안 재실 상태를 유지한 후 부재 상태로 변경시킨다. 그림 10은 하루 중의 방 1의 재실 판단 예이다. 방1은 재실 감지

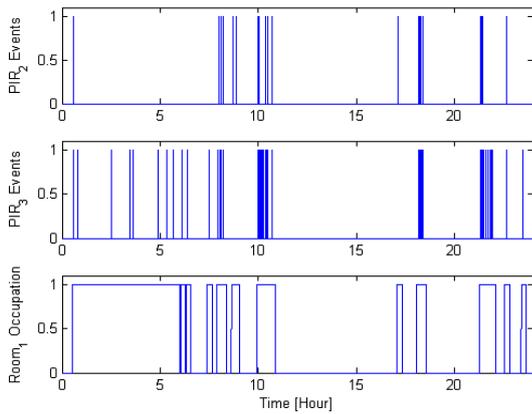


그림 10. 재실 판단  
Fig. 10. Occupancy decision.

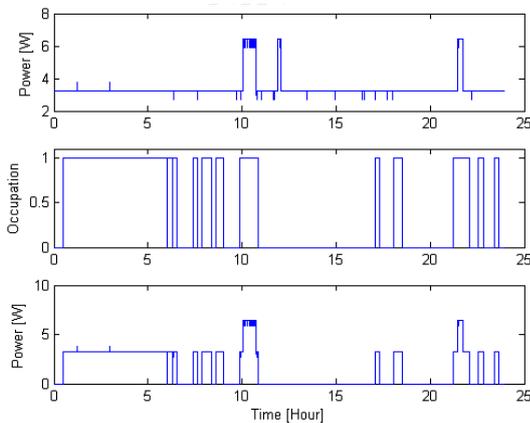


그림 11. 재실 기반 에너지 절약  
Fig. 11. Occupancy based energy saving.

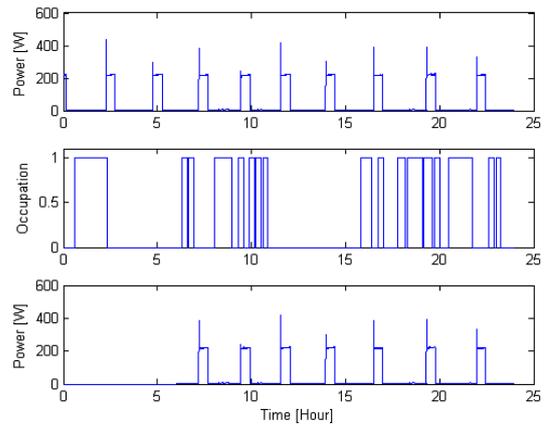
센서 2번과 3번으로 판단하게 된다.

이렇게 판단된 재실 상태를 바탕으로 해당 공간에서 측정하고 있는 가전기기의 전기 사용량을 분석하게 된다. 재실 상태에서는 가전기기를 동작시키고 부재 상태에서는 가전기기의 전원을 차단하면 낭비되는 전기 에너지를 줄일 수 있게 된다. 그림 11은 실제 사용되는 전기 에너지를 재실 상태를 이용하여 제어를 한다면 얻을 수 있는 결과이다.

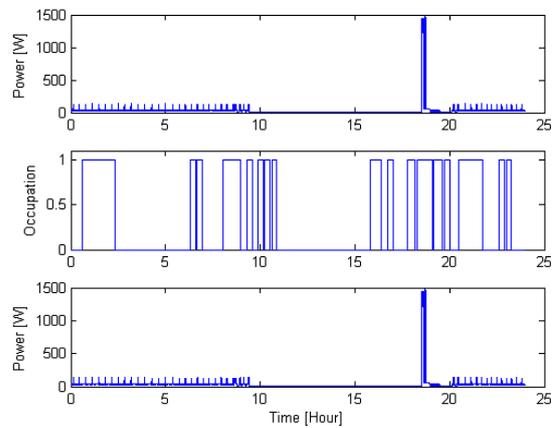
## 2. 가전기기별 제어 전략

재실 상태를 이용하여 가전기기를 제어할 경우 몇몇 가전기기는 동작 특성을 고려해야하는 경우가 발생하였다.

정수기는 냉온수를 유지하기 위해서 일정시간마다 동작을 하게 되는데, 이때에는 재실 상태를 이용하기 보다는 활동 시간대와 비활동 시간대로 나누어서 동작



(a)



(b)

그림 12. 특정 가전기기의 제어 전략.

(a) 정수기, (b) 전기밥솥

Fig. 12. Control strategy of specific appliances.  
(a) water purifier, (b) electric rice cooker.

시키는 것이 효과적이라고 판단하였다.

전기밥솥의 경우 취사 동작을 하고 주방을 나가거나 종일 보온 상태로 두는 경우가 있기 때문에 제어 대상에서 제외시키는 것이 좋다.

PC의 경우도 부재 시에 단순한 전원 차단을 하게 되면 데이터 손실의 문제가 있어서 제어 대상에서 제외시켰다.

그림 12는 특정 가전기기의 제어 전략을 나타낸다.

## 3. 분석 결과

하루 동안 스마트 플러그를 통해 측정된 가전기기별 결과와 재실 감지를 통해 절약한 결과는 그림 13과 같고 공간별 결과는 그림 14와 같다.  $P_{Normal}$ 은 측정값이고  $P_{Occupation}$ 은 재실 상태로 가전기기를 제어했

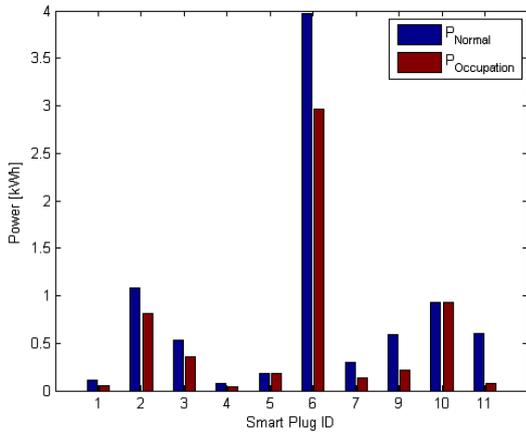


그림 13. 가전기기별 에너지 사용량  
Fig. 13. Energy consumption of appliances.

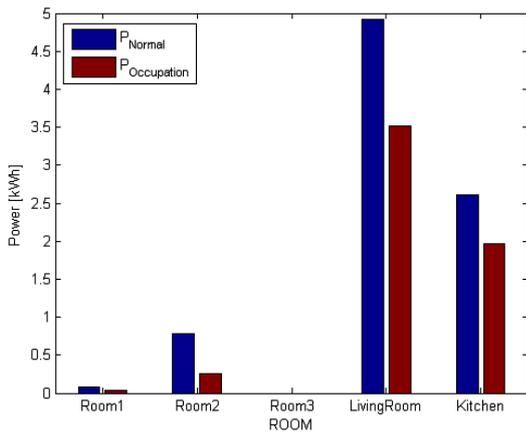


그림 14. 공간별 에너지 사용량  
Fig. 14. Energy consumption of spaces.

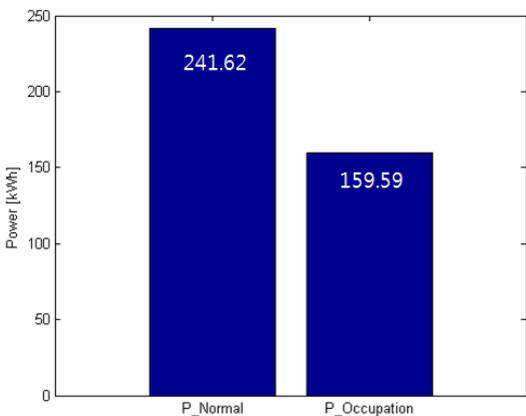


그림 15. 총 에너지 사용량 비교  
Fig. 15. Comparison of total energy consumption.

을 경우의 절약 사용량 예시이다.

논문에서는 2014년 9월 1일부터 2014년 9월 30일까지 전기 사용량을 측정하였고, 제안한 재실 상태에 따른 전기 절약 사용량을 분석한 결과는 그림 15와 같다.

재실 판단을 통해 가전 기기를 제어 한다고 가정하면 약 34%를 절약이 가능함을 확인할 수 있다.

재실 판단을 위한 보다 정밀한 알고리즘을 구현하고 가전기기별 특성을 세분화하여 보다 정확한 절약량이 얻어질 수 있을 것이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 주택 내 가전기기의 에너지 절약을 위해 재실 기반 스마트 플러그 시스템을 제안하였다. 가전기기별 실시간으로 소모되는 전류를 측정하고, 방문에 재실감지 센서를 부착하여 거주자의 공간 사용을 확인하여 절약이 가능한 전기 에너지를 분석하였다. 사용하지 않는 가전기기의 대기 전력을 차단할 수 있고, 사람이 없는 공간에서 불필요하게 동작되는 가전기기의 전원 공급을 차단하여 에너지를 절약할 수 있는 방식이다. 실험을 통해 가전기기의 전류 사용량을 측정하고, 다수개의 재실 감지 센서를 통해 재실 유무를 확인하였다. 재실 상태를 기반으로 분석한 결과 3인 가정에서 약 34%의 전기 에너지를 절약이 가능하다.

향후 가전기기별로 다양한 제어 전략을 수립하고, 재실 유무를 판단할 수 있는 알고리즘을 정비한다면 시스템이 자동으로 제어를 수행할 수 있을 것이다.

#### REFERENCES

- [1] Advanced information analysis technologies research group, Information Technology Road Map 2015, Jinhan M&B, 2009.
- [2] Y. J. Cho, "Trends and Perspectives of Ubiquitous Control Technologies for Smart Homes," ICROS, Vol. 9, No. 6, pp. 12-17, Nov. 2003.
- [3] Asiana IDT, "Ubiquitous Home Solutions," Ubiquitous Magazine, Vol. 45, pp. 74-79, May 2009.
- [4] E. M. Lee, S. O. Lim, "Regulation and Corresponding Status for Green IT Promotion," The Magazine of the IEEK, Vol. 35, No. 11, pp.

- 31-42, Nov. 2008.
- [5] <http://www.greenconcent.co.kr/>
- [6] <http://www.ez-enertec.com/>
- [7] M. G. Lee, Y. K. Park, K. K. Jung, J. J. Yoo, H. G. Sung, "electric Power Monitoring using Smart Plug in Smart House," Proceeding of IEEK Conference, pp. 1503-1504, June 2010.
- [8] Joshua Lifton, Mark Feldmeier, Yasuhiro Ono, Cameron Lewis, and Joseph A. Paradiso, "A Platform for Ubiquitous Sensor Deployment in Occupational and Domestic Environments," Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks, pp. 119-127, 2007.
- [9] <http://www.tinyosmall.co.kr/>
- [10] <http://www.tinyos.net/>
- [11] <http://www.perkinelmer.com/>
- [12] <http://www.fit-pc.com/>

---

저 자 소 개

---



정 경 원(정회원)  
1998년 동국대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
2000년 동국대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
2003년 동국대학교 전자공학과  
박사 졸업.

2009년~현재 전자부품연구원 연구원 재직  
<주관심분야 : 스포츠 지식서비스, 무선 센서 네  
트워크, 임베디드 시스템>



서 춘 원(평생회원)  
1988년 광운대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
1990년 광운대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
1997년 광운대학교 전자공학과  
박사 졸업.

1998년~2000년 강서기능대학 전자과 전임강사  
2000년 3월~현재 김포대학교 컴퓨터네트워크IT  
과 부교수  
<주관심분야 : 패턴인식, 신경망, 영상처리, 스테  
레오 비전 시스템>