

# 건물 용도별 무선계측 최적 전파강도 산정을 위한 실험적 연구

이 정 재<sup>†</sup>, 최 석 용\*, 조 수\*\*

동아대학교 건축학부, <sup>†</sup>(주) 크린테크, \*\*한국에너지기술연구원

## An Experimental Study for Optimal RF Output Power Estimation of Wireless Sensor Network

Jurng-Jae Yee<sup>†</sup>, Seok-Yong Choi\*, Soo Cho\*\*

Department of Architectural Engineering, Dong-A University, Busan, 604-714, Korea

<sup>†</sup>Clean tech Corporation, Busan, 604-714, Korea

\*\*Korea Institute of Energy Research, Daejeon, 305-343, Korea

(Received June 15, 2009; revision received July 23, 2009)

**ABSTRACT:** Researches and developments on BEMS are performed world-widely through sustainable management in various conditions. However, there are many obstacles to adapt the system in existing buildings because it needs highly expensive equipments, which are designed for newly built buildings, to install. Therefore, there are numerous limits exist when applying the BEMS in established buildings. The purpose of this study estimates the optimization of RF output power in WSN(Wireless Sensor Networks), which is the essential technology to develop PEMS. The results of this study is as follows ; 1) Applying WSN technique in buildings was possible. 2) As RF output power increases, the number of relay node reduced, therefore, the WSN showed more stability. 3) When estimating optimal RF output power in school, it should be considered between the number of relay node and RF output power. 4) Considering battery consumption and possibility of reception, the best suited RF output power is -20dbm in apartment house.

**Key words:** Portable environment monitoring system(포터블 환경모니터링 시스템), Wireless sensor network(무선 센서 네트워크), RF output power(전파강도)

### 1. 서 론

최근 무분별한 에너지 사용으로 인한 환경오염은 국제적인 최대의 관심사이며 대응해야 하는 현안 과제이다. 이러한 현실에 대응하여 유럽에서는 공동대응을 원칙으로 유럽의회 차원에서 공동정책을 구상하고 에너지2020 정책을 수립하여 6% 이산화탄소 감축계획을 수립하고 있으며, 일본의

경우 내각에 '지구온난화 대책 추진본부'를 설립하고 1998년에는 지구온난화 방지대책법을 제정하였으며, 2008~2012년에는 1990년 대비 온실가스 6% 감소를 목표로 정하고 이를 위해 청정연료 및 신·재생에너지 사용량을 증가시키고 원자력 발전소를 추가 건설함으로써 이산화탄소 배출 안정화를 추진하는 등 국가적 차원에서의 이산화탄소 저감대책을 강구하고 있다. 이러한 현실에 대응하여 우리나라도 건물 에너지 절감에 대한 필요성을 인식하고 국가적 차원에서 다양한 건물 저에너지 요소기술들을 연구 및 개발하고 있다.

건물에너지 저감기술은 크게 건축적 기술과 설

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-200-7609; fax: +82-51-294-2256

E-mail address: jjyee@dau.ac.kr

비적 기술 그리고 건물 유지관리 기술로 나눌 수 있다. 특히 건물 유지관리기술은 건물에 설치된 설비시스템의 운전 및 관리를 통해 낭비되는 에너지를 절약한다는 측면에서 중요성이 크다. 건물 유지관리를 통해 에너지를 절약하기 위해 현재 전 세계적으로 에너지사용 형태, 시스템 효율, 정상적인 작동 및 운전 스케줄 등에 대한 치밀하고 지속적인 관리를 통해 건물에서 소비되는 에너지를 절약하는 기술인 BEMS(Building Energy Management System)에 관한 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다.

기존 BEMS는 고가의 설치비용 및 적용대상 역시 대부분 신축 대형건물에 초점을 맞추고 있어 이미 건설이 완료된 기존건물 및 중소규모 건물에 적용하기에는 많은 제약조건이 따른다. 이러한 관점에서 본 연구는 포터블 환경 모니터링 시스템(PEMS, Portable Environment Monitoring System) 구축을 통한 실내환경 및 에너지정보의 모니터링에 초점을 맞춰 연구가 진행되고 있다.

PEMS의 목적은 기존 BEMS와는 달리 건물의 운영단계에서 낭비되는 에너지를 절약하기 위해 거주자에게 환경 및 에너지정보를 제공하여 스스로가 에너지절약을 실천하는 것으로 WSN기술을 이용하여 기존건물 및 신축건물 등 설치장소에 제약없이 보다 쉽게 적용 가능한 장점이 있다.

현재 WSN기술은 미국과 일본을 중심으로 급속도로 발전하고 있으며, 여러분야에 적용되고 있다. WSN에서 각각의 노드들은 무선통신을 위해 배터리를 이용하여 전력을 공급받는다. 하지만 현재의 배터리 기술은 충분히 오랫동안 전력을 공급할 만큼 발전하지 못했으며, 설치되어 있는 네트워크의 배터리를 일일이 교체해주는 작업은 현실적으로 무리가 있다. 따라서 네트워크 수명의 최대화를 위한 라우팅 알고리즘에 관한 연구<sup>(1)</sup> 및 무선 센서 네트워크의 수명연장을 위한 센서 재배치에 관한 연구<sup>(2)</sup> 등 현재 WSN의 저전력화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 WSN에서 전파강도가 증가하면 수신가능거리는 증가하는 반면 배터리수명은 감소한다. 따라서 저전력의 PEMS 구축을 위해서는 WSN의 건물 적용시 배터리 수명 최소화를 위해 최적의 전파강도를 산정할 필요가 있다.

본 연구에서는 PEMS 제안 및 개발방안에 관한 연구<sup>(3)</sup>와 시작품 구축 및 기초실험<sup>(4)</sup>을 통해

산출된 결과를 토대로 PEMS의 건물 용도별 최적 적용을 위한 무선계측 최적 전파강도 산정을 위한 실험을 진행하였으며, 향후 PEMS 모니터링 시스템 구축을 통해 PEMS 적용에 따른 에너지 절약가능성을 실험을 통해 검증하고자 한다.

## 2. PEMS 시작품 구축

### 2.1 PEMS의 정의

PEMS는 에너지관리시스템이 제공되지 않는 중소 규모건물 및 기존건물을 대상으로 낭비되는 에너지를 절감하기 위해 사용자 스스로가 주체가 되어 자발적으로 에너지절약에 참여하는 시스템이다.

본 연구에서는 요소기술 및 사용자 정책이 건물에너지 절감에 미치는 기여도 분석을 위한 연구<sup>(5)</sup>를 바탕으로 사용자의 자발적 참여를 높이기 위해 사용자에게 실시간으로 에너지정보를 제공하는 직접적 피드백방식을 이용하여 PEMS를 구축하고자 한다. 따라서 PEMS는 WSN기술을 기반으로 무선 센서모듈 및 웹 기반 데이터베이스 그리고 직접적 피드백 방식을 위한 실시간 에너지 모니터링시스템으로 구성된다.

WSN은 센서의 기능을 가진 노드들이 무선중계기(AP, Access Point) 없이 자율적으로 망을 구성하여 환경정보를 수집하며, 이러한 정보를 미들웨어를 통해 수집·전송하고, 서버컴퓨터를 통해 전달된 정보를 시각화 등의 처리를 통해 사용자가 보다 편리하고 안정적인 생활을 도모할 수 있도록 서비스를 제공하는 것에 목적이 있다. 전체적인 시스템은 사용자가 원하는 정보를 측정하는 센서 관련기술, 정보전달을 위한 네트워크기술, 전달된 정보를 사용자에게 서비스하기 위한 응용기술로 크게 3가지로 구성된다.

### 2.2 PEMS 시작품 구축

PEMS 시작품은 사용 환경과 상황을 인식하는 센서노드, 단순 정보전달 매개체 역할의 중계노드, PC와 센서노드 간 중계를 위한 싱크노드, 그리고 사용자에게 정보를 전달하는 모니터링시스템으로 구성된다. Fig. 1에 PEMS 시작품의 전체 시스템 구성을 나타낸다.

Table 1에 센서노드의 조합된 센서사양을, Table

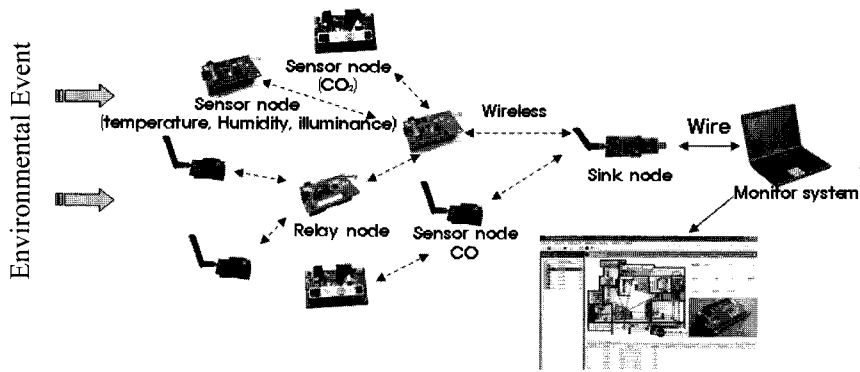


Fig. 1 Constitution of PEMS prototype.

2에 무선모듈 사양을 나타낸다.

센서구성은 온열환경 측면에서 온도 및 습도센서 이외에 공기질 측면에서 실내의 필요환기량을 결정하기 위한 주요 환경인자인 이산화탄소센서를, 건물의 전력에너지 소비량의 40% 차지하는 조명설비를 효과적으로 운영하기 위해 조도센서

를 추가로 선정하여 센서조합을 구성하였다. 중계노드의 경우 단순히 정보를 전달하는 역할만을 수행하도록 구성하였으며, 중계노드에 사용된 무선모듈부는 센서노드에 사용된 것과 동일하다. 싱크노드의 경우 USB 타입으로서 센서노드에서 감지된 데이터 및 이벤트성 데이터를 무선모듈부를 통해 전달받아 취합하거나 PC로 정보를 전달하는 역할을 한다. 모니터링시스템의 경우 센서노드의 위치 및 노드경로 설정현황, 취득한 데이터 등에 관한 정보를 사용자가 이해하기 쉽게 가공하여 제공한다.

Table 1 Sensor specification of prototype

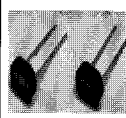

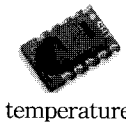
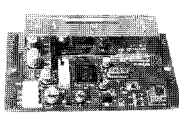
| Kinds  |  | specification   |
|--|--|---|
| <br>illuminance     | <br>relative humidity | Range : 560 nm peak<br>min : 320 nm,<br>max : 730 nm<br>Operating temperature<br>: -10~60 °C                      |
|  | <br>temperature       | Range : 0~100%RH.<br>Resolution : 0.03%RH.<br>Accuracy : ±3.0%RH.<br>Response time : 8s                           |
|  |  | Range : -40~123.8 °C<br>Resolution : 0.01 °C<br>Accuracy : ±0.4 °C<br>Response time<br>- min : 5s,<br>- max : 30s |
| <br>CO <sub>2</sub> |  | Range : 0~2000 ppm<br>Accuracy : ±3%<br>Operating temperature<br>: -5~50 °C<br>Operating humidity<br>: 0~90%      |

Table 2 Wireless module specification of prototype

| item         | specification                   | remarks                   |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|
| current draw | 1.8 mA                          | active mode               |
|              | 5.1 uA                          | sleep mode                |
| interface    | UART, SPI, I2C                  | serial interfaces         |
|              | USB                             | external system interface |
| freq. band   | 2.4 G~2.485 GHZ                 | IEEE 802.15.4 compliant   |
| sensitivity  | -95 dBm typ.                    | receive sensitivity       |
| RF power     | -25 dBm~0 dBm                   |                           |
| range        | 150 m(outdoor), 20~30 m(indoor) |                           |
| power supply | 2.1 V~3.6 V                     | CC2420 input power        |
| antenna      | ceramic                         | LCA24~804015 (Korea RF)   |

### 3. 실험방법

건물 용도별 WSN의 무선계측 최적화를 위한 최적 전파강도 산정 및 그에 따른 중계노드 적용과 네트워크 경로설정상태를 확인하기 위해 실험을 실시하였다.

실험을 위한 대상건물의 용도는 학교건물과 공동주택으로서 Fig. 2는 대상건물의 평면도를 나타낸다. Fig. 2의 (a)는 학교건물을 나타내고 (b)는 공동주택을 나타낸다.

Fig. 2(a)에 나타난 바와 같이 학교건물은 D대학으로 총 22개의 실로 구성되어 있으며 건물 중앙에 중정이 위치하고 있다. 공동주택은 부산시에 위치한 W아파트 건물로 단위세대의 바닥면적은 89.1 m<sup>2</sup>이며, 총 4개의 실로 구성되어 있다.

시작품 적용을 통한 WSN의 무선계측을 위한 최적 전파강도를 확인하기 위해 monitoring room에 모니터시스템을 설치하고 센서노드는 201번부터, 중계노드는 301번부터 노드번호를 부여하여 각 실에 하나의 센서노드를 설치한 후 수신여부를 확인한다. 수신이 불가능한 경우 중계노드를 설치하며, 중계노드 최소사용을 위해 중계노드수를 순차적으로 늘여가며 건물 내 모든 센서노드를 수신가능상태로 설정한다. 전파강도 범위는 건축 재료별 수신거리 실험에 의해 산출된 결과를 토대로 0~-25 dbm 중 건물에서 적용가능성이 높은 0~-15 dbm으로 선정하여 실험을 진행한다. 무선 센서 네트워크 데이터 수신간격은 3초로 설정하였으며 수신가능 여부는 10분간 데이터가 연속적으로 수신될 경우 수신가능으로 판단한다.

### 4. 실험결과 및 분석

건물 용도별 WSN의 무선계측 최적화를 위한 최적 전파강도 산정 및 그에 따른 중계노드 적용과 네트워크 경로설정 상태를 확인하기 위해 실험을 실시하였다.

Fig. 3은 전파강도에 따른 학교건물의 WSN 구축현황을 나타내며, 노드와 노드간의 수신상태를 화살표로 표시하였다. Fig. 3에 주목하면 각 실에 설치된 센서노드는 무선 네트워크 기술(hopping)을 이용하여 정보가 노드와 노드 간에 상호중계를 통해 모니터링시스템으로 전달되는 것을 확인할 수 있다.

전파강도별 중계노드의 위치를 조정함으로써 실내에 위치하는 모든 센서노드에서 획득한 데이터가 중계노드를 거쳐 모니터링시스템에 원활히 전달되는 것을 확인할 수 있어, PEMS의 핵심 요소기술인 WSN의 건물 내로의 적용이 가능한 것으로 판단된다.

(a)는 전파강도가 0 dbm인 경우 WSN 구축상태를 나타낸다. 단순히 각 실에 센서노드만을 설치한 경우 201, 202 노드를 제외한 나머지 센서노드의 수신은 불가능 하였다. 이를 극복하고 모든 실에 설치되어 있는 센서노드의 무선센서 네트워크가 가능하도록 중계노드를 배치하였다. 동시에 중계노드의 최소 사용을 위해 중계노드 설치위치를 수차례 이동시켜 최적의 위치에 배치한 결과 각 실에 배치되어 있는 모든 센서노드간의 무선 네트워크를 가능하게 하기 위해서는 Fig. 3(a)에 나타난 위치에 3개의 중계노드 설치가 필요하였다.

(b), (c)는 전파강도가 -5, -10 dbm인 경우로 (a)

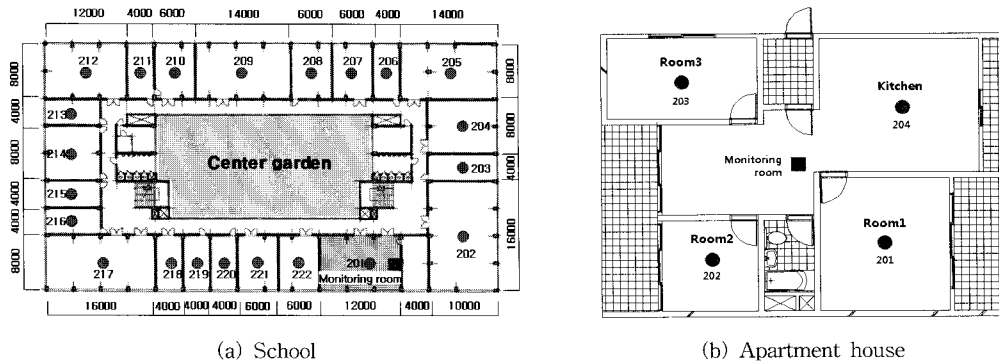


Fig. 2 Plane figure.

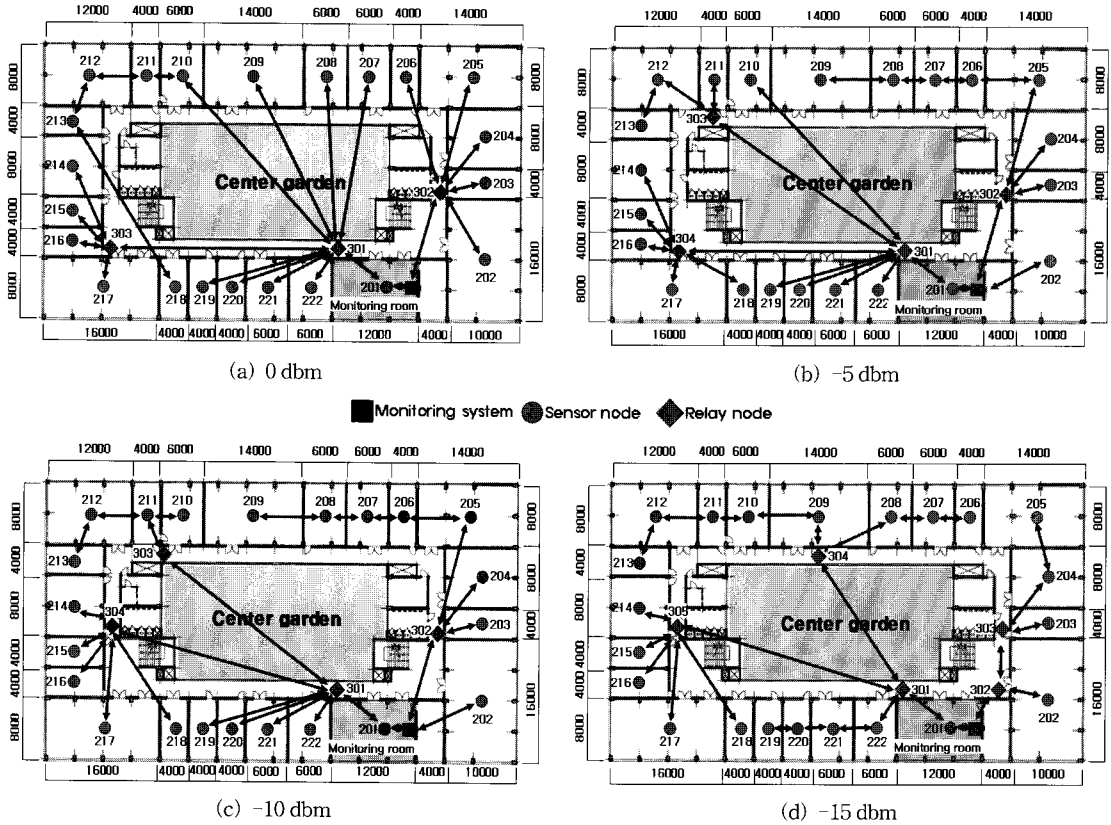


Fig. 3 WSN reception situation in school.

와 동일한 방법으로 실험한 결과 모든 실에 배치된 센서노드를 수신가능 상태로 만들기 위해서는 최소 4개의 중계노드 설치가 필요하였다. (d)는 -15 dbm의 경우로 모든 실에 배치된 센서노드를 수신가능 상태로 만들기 위해서는 최소 5개의 중계노드가 필요한 것을 알 수 있었다.

상기결과를 토대로 분석하면 전파강도가 증가할수록 중계노드의 수는 감소한다. 또한, 전파강도가 증가할수록 정보전달시 센서노드 간의 중계보다는 센서노드와 중계노드 간의 중계에 의존하는 것을 확인할 수 있다.

전파강도가 0 dbm인 경우 Fig. 4(a)에 나타난 바와 같이 센서노드의 수신현황은 대부분 센서노드와 중계노드 간의 데이터 송수신이 지배적이다. 하지만 -5~15 dbm의 경우 전파강도가 감소함에 따라 중계노드를 추가함에도 불구하고 센서노드 간의 데이터 송수신이 증가하는 것을 알 수 있다.

센서노드 간 데이터 송수신 증가는 전체 무선

센서 네트워크에서 단일 센서노드에 대한 의존도가 높아짐을 의미한다. 즉 의존도가 높은 센서노

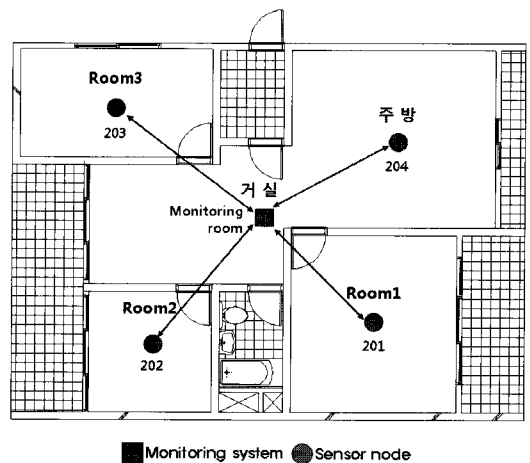


Fig. 4 WSN reception situation in apartment house(0~-20 dbm).

드가 주파수 충돌 등의 장애로 인해 수신이 되지 않은 경우 전체 센서 네트워크상의 다수의 지점에서 수신불능 현상이 발생할 우려가 있다. 따라서 전파강도가 클수록 무선센서 네트워크가 안정적인 것으로 판단된다.

Fig. 4는 공동주택에서 전파강도 범위가 0 dbm ~ -20 dbm일 때의 WSN의 수신현황을 나타낸다. Fig. 4에 주목하면 전파강도의 범위가 0 dbm ~ -20 dbm 일때 센서노드의 수신은 중계노드의 사용 없이도 가능한 것으로 나타났지만 -25 dbm의 경우에는 중계노드를 사용하여도 센서노드 수신은 불가능하였다. 따라서 배터리 소모량과 수신 가능성을 고려한 결과 공동주택의 경우 최적 전파강도는 -20 dbm으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 PEMS의 핵심 요소기술인 WSN의 기초실험 및 현장적용을 통해 PEMS 구축을 위한 무선 계측기술의 최적화에 관한 실험을 진행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 실내에 위치하는 모든 센서노드에서 획득한 데이터가 중계노드를 거쳐 모니터링시스템에 원활히 전달되는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 PEMS의 중요기술인 WSN은 건물 내 적용이 가능한 것으로 판단된다.
- 2) 전파강도가 증가할수록 중계노드의 수는 감소하며, 센서노드간 데이터 송수신 증가는 전체 무선센서 네트워크에서 단일 센서노드에 대한 의존도가 높아짐을 의미한다. 따라서 전파강도가 증가할수록 무선센서 네트워크가 안정적인 것으로 판단된다.
- 3) 학교건물의 최적 전파강도의 경우 중계노드 사용개수와 배터리 소모량의 관계를 고려하여 선정할 필요가 있다.
- 4) 공동주택의 경우 중계노드의 사용은 불필요하며, 배터리 소모량과 수신 가능성을 고려한 결과 최적 전파강도는 -20 dbm으로 나타났다.

## 후 기

이 논문은 2007년부터 정부(지식경제부)의 재원으로 에너지관리공단 ‘통합운영 저에너지 건물기술 개발’ 사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## 참고문헌

1. Leigh, S. B., 1993, A Case Study for Identifying Energy Savings Potential by Optimizing HVAC System Operation through EMCS, Architectural Institute of Korea, pp. 71-79.
2. Kwon, H. S., Mun, S. H. and Huh, J. H., 2006, Cooling load Prediction of Multipurpose Building Complex based on Analysis of The FMS and BAS Data, Proceeding of the SAREK 2006 Winter Annual Conference, pp. 261-266.
3. Yee, J. J., Kim, S. K. and Kim, D. H., 2008, Suggestion and Development Strategy of Portable Energy Management System, Proceeding of Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, pp. 210-213.
4. Yee J. J., Park, J. Y. and Kim, S. K., Cho, S., 2008, Prototype Manufacture and Fundamental Experiments of Portable Energy Management System, Proceeding Architectural Institute of Korea, Vol. 28, No. 1, pp. 575-578.
5. Pae, M. H., Lee, E. J., 2008, Literature review of technologies and energy feedback measures impacting on the reduction of building energy consumption, Proceeding of Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, pp. 125-130.
6. Lee, K. T., Han S. J. and Park, S. J., 2008, Lifetime Maximizing Routing Algorithm for Multi-hop Wireless Networks, Korea Institute of Information Scientists and engineers, Vol. 35, No. 4, pp. 292-300.
7. Yoo Y. H., 2009, Mobile Sensor Relocation to Prolong the Lifetime of Wireless Sensor Networks, Korea information and Communications Society, Vol. 34, No. 4, pp. 338-348.
8. Kolokotsa, D., Kolokotsa, K., 2005, Implementation of an integrated indoor environment and energy management system, energy and buildings Vol. 37, pp. 93-99.
9. Wang An-Ping, Hsu Pau-Lo, 2008, The network-based energy management system, Energy and Buildings Vol. 40, pp. 1437-1445.