# 스마트에너지하우스 구현을 위한 에너지 수요관리 알고리즘의 개발

논 문
59-3-5

## Development of an Energy Management Algorithm for Smart Energy House

전 정 표* · 김 광 호†
(Jeong-Pyo Jeon · Kwang-Ho Kim)

**Abstract** - Recently, many actions are taking to accelerate progress toward social consensus and implementation of Smart Grid. Smart Grid refers to a evolution of the electricity supply infrastructure that monitors, protects, and intelligently optimize the operation of the interconnected elements including various type of generators, power grid, building/home automation system and end-use consumers. The most distinguished element will be Advanced Metering Infrastructure (AMI) that will be installed to every end-use consumer's home or building and optimize the energy consumption of the end-use consumer. The key function of AMI is energy management capability that coordinates and optimally controls the various loads according to the operating condition and environments. In this study, we figure out the basic function of AMI in Smart Energy House that can be defined as a model house implementing in Smart Grid. This paper proposes the energy management algorithm that will be implemented in AMI at Smart Energy House. The paper also show how energy saving in Smart Energy House can be achieved applying the proposed algorithm to an actual house model that has mainly lighting, air-conditioning, TV loads.

**Key Words** : Smart Energy House, AMI, Smart Grid, Energy Management, Demand Response

### 1. 서 론

현재 세계 각국에서는 증가하고 있는 건물의 에너지 사용량을 줄이고자 하는 다양한 시도가 진행되고 있다. 특히 주택의 경우, 건축설계단계에서 고성능 단열재와 창호를 적용하여 집안의 열을 차단함으로써 주택의 냉난방부하를 최소화 하고, 폐열회수 기술을 체계적으로 접목시켜 일반주택 대비 최대 80%의 난방비와 50%의 냉방 비용을 절감시킨 패시브 하우스(Passive House)와 신재생에너지시스템 등의 요소를 접목하여 전력까지 충당함으로써 궁극적으로 외부로부터 에너지 공급 없이 스스로 자립이 가능한 제로에너지하우스 (Zero Energy House)가 주목을 받고 있다. 이미 미국 일본 유럽의 선진국 국가에서는 이들에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으며, 우리나라 또한 한국에너지기술연구원의 ZeSH(Zero Energy Solar House)의 형태로 에너지사용을 최소화하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 기존 에너지 절감 주택에 있어서 대표적인 형태인 패시브하우스나 제로에너지하우스는 기본적으로 설계단계에서 에너지절약형의 재료나 설계방식을 적용하여 전력사용량을 줄이고, 이외의 부족한 전력은 태양광등 신재생에너지원으로 충당하는 것이 일반적인 형태였다. 따라서 보다 효과적이고 경제적으로 제로에너지에 도달하기 위해서는 전력수요자체에 대한 능동적인 관리가 필요하다고 하겠다.

본 연구에서는 기존 패시브하우스나 제로에너지하우스에서 더 나가 지능적이고 능동적인 전력수요관리 기능이 보강된 스마트에너지하우스 (Smart Energy House)를 정의하고, 스마트에너지하우스의 에너지사용을 최적화할 수 있는 에너지관리 알고리즘을 제안한다. 또한 가상의 주택모델을 대상으로 제안된 에너지관리 알고리즘을 적용하여 그에 따른 효과를 입증하였다. 그 결과를 통해 제안된 에너지수요관리 알고리즘은 스마트그리드하의 가장 중요한 요소의 하나인 AMI의 대표적인 기능요소의 역할을 할 것으로 기대된다.

### 2. 스마트에너지하우스의 정의 및 고려사항

#### 2.1 스마트에너지하우스의 정의

스마트에너지하우스는 서론에서 기술한 것처럼 기존 패시브하우스와 제로에너지하우스의 개념에 능동적이고 지능적인 전력에너지관리 기능을 보강한 스마트그리드하의 주택모델로서, 사용자에게 쾌적한 환경과 편리함을 제공하고 동시에 주택에서의 부하를 최적 제어하고 불필요하게 낭비되는 전력의 사용을 막음으로써 주택에서의 에너지사용을 효율적으로 관리하는 주택을 말한다. 또한 스마트에너지하우스는 현재 활발히 연구되는 스마트그리드와 연계되어 실시간 전력사용량에 따른 부하관리 및 제어를 통하여 사용자에게는 신재생시스템 용량절감과 설치비 절감 및 전력요금절감의 혜택을 주고, 국가적 측면에서는 효율적인 에너지사용과 피

* 준 회 원 : 강원대 IT대학 전기전자공학과 석사과정
† 교신저자, 정회원 : 강원대 IT대학 전기전자공학과 교수 · 공박
E-mail : khokim@kangwon.ac.kr
접수일자 : 2009년 12월 11일
최종완료 : 2010년 2월 12일

크전력 절감을 통해 효율적인 전력수급 관리가 가능하게 할 수 있는 모델이라고 하겠다.

본 연구에서는 스마트에너지하우스의 운용 제어 측면의 능동적인 제어 관리를 주제로 하였으나, 기본적으로 스마트에너지하우스는 설계단계에서도 기존 패시브하우스와 동일한 방식으로 에너지절감에 대한 고려가 필요하다. 스마트에너지하우스의 구현에 필요한 설계단계 및 운영단계의 고려요소를 간략히 기술하면 다음과 같다.

### 2.2 설계 단계 고려 사항

스마트에너지하우스는 설계시 기본적인 설비 구축과 냉난방 부하 등의 기본적인 부하절감을 위하여 건축, 전기설비, 통신측면에서 체계적인 접근이 필요하다.

#### 2.2.1 건축 설계 측면

주택에서의 냉난방 특히 난방부분에서 차지하는 에너지소비량은 전체소비량의 거의 50%이상을 차지하는 부분이다. 난방부분 절감을 위해서는 건축설계부분에서의 고려가 절대적이다. 주택의 방위, 구조, 단열설계, 지붕설계, 기반설계부분에서 체계적인 고려가 필요하며 세부사항은 다음과 같다.

(1) 방위, 구조

주택에서의 최적의 자연채광 효과와 태양광시스템 효율을 고려하였을 때 주택의 방위는 정남향으로 설계되어야 하며 동서로 긴 형태의 평면구조를 통하여 태양열획득과 자연채광의 효과를 최대화 하도록 한다. 또한 주변의 건물에 따른 음영 발생을 살펴볼 필요가 있다.

(2) 지붕설계

추후 PV시스템 적용을 위하여 태양광발전 효율이 최대가 되는 각도로 지붕을 설계하도록 하며 유지 및 보수가 용이하도록 태양전지 주위로 1~2m간격으로 공간을 두도록 한다. 또한 저온에서 발전효율이 최대가 되는 태양전지의 특성을 고려하여 열이 효과적으로 분산되도록 설계한다.

(3) 단열 설계

냉난방비 절감을 위해 설계시 고단열, 고기밀 시공이 반드시 필요하며 창호를 통한 열손실을 고려하여 적절한 수준에서 창호를 최소화 하도록 한다.

(4) 기반 설계

지열 시스템 도입과 환기시스템의 외기부하를 줄이기 위해 설계시 지반조사가 수반되어야 한다.

#### 2.2.2 전기 설비 측면

스마트에너지하우스의 전기설비로는 능동적인 에너지 관리 제어를 위한 각종센서와 함께 조명, 냉난방설비, 폐열회수환기시스템, 신재생시스템이 필요할 것으로 예상되며 세부사항은 다음과 같다.

(1) 조명설비

스마트에너지하우스의 조명설비는 자연채광이나 기타 기기에 따라 조도를 유기적으로 조절 가능한 디밍 회로의 설계가 필요하다. 필요시 전력절감을 위해 주요 지역에 저용량 국부조명을 하도록 설치하도록 한다. 또한 자동제어를 위한 포토센서, 인체감지 센서 디밍 회로가 추가적으로 시공되어야 한다.

(2) 냉난방 설비

주택에서의 에너지소비는 대부분 냉난방을 통한 소비가 거의 50%이상을 차지한다. 따라서 냉난방시스템 설계시 최적의 시스템선정과 용량 설계는 필수적이다. 현재 주택에서 적용 가능한 냉난방 시스템은 다음과 같다.

- 보일러, 에어컨시스템
- 태양열 시스템
- 지열히트펌프시스템
- 연료전지 시스템

(3) 폐열회수환기시스템

고기밀 시공으로 인해 환기의 중요성이 크며 또한 주택에서 환기를 통한 열손실을 막기 위하여 폐열회수기능이 적용되어야 한다. 패시브하우스 기준에 따르면 다음 조건을 만족하여야 한다.

- 열교환기 효율 -75%이상
- 환기율 - 0.25~0.4회/h
- 지중덕트 통한 외기부하감소

(4) 신재생에너지시스템

주택의 경우, 설치가 가장 용이하고 유지 보수에 큰 어려움이 없는 것이 태양광발전 시스템이라고 할 수 있다. 이외의 풍력은 에너지자원의 지역적인 편차가 심하고 연료전지는 아직 주택에 보급할 수 있는 단계까지는 오지 않았기 때문에 현재로서는 고려대상이 아니라고 볼 수 있다. 만일 스마트에너지하우스에 태양광설비를 도입한다고 할 경우, 다음과 같은 사항이 고려되어야 할 것이다.

- 건물통합형 태양광발전 시스템(BIPV) 도입

지붕 자재 대체를 통한 비용절감과 단열성 강화를 통한 난방비 절감을 통해 경제성부분에서 취약점을 극복하도록 한다. 또한 설계시 지붕의 각도를 태양광 발전의 최적각도로 설계되어야 하며 효과적인 열 분산 구조로 이루어져야 한다.

- 태양전지의 선택 및 용량 선정

일반 주택에서는 누진세를 적용받기 때문에 태양광모듈 설치를 통한  전력요금 절감액은 설치용량에 비례하지 않는다. 누진세의 특성상 100kWh 단위로 요금이 급증하는 특성이기 때문에 이점을 이용 월별 전력 사용량에서 100kWh 단위로 절감할 수 있는 태양광모듈 설치 용량을 선정하는 것이 경제적이다. 또한 현재 태양광모듈이 정부 보조금이 30% 넘는 경우 일반 전력단가로 구입하기 때문에 초과 전력생산을 하지 않도록 용량을 선정한다.

#### 2.2.3 통신 설비 측면

스마트에너지하우스에서의 전기기기와 전기설비의 효율적 제어와 자동제어 시스템의 구현을 위해 기기 및 센서의 유기전인 연결을 위한 통신설비가 설계시 적절히 고려되어야 한다. 고정기기의 경우 RS-485, PLC 방식의 유선제어를 채택하도록 하며, 이동이 빈번한 기기의 경우 이동성을 고려 ZigBee등의 무선제어를 채택하도록 한다.

### 2.3 운영 제어 측면

지금까지 설계를 통해 주택에서 냉난방 특히 난방부분에서 큰 에너지 절감이 가능해졌다. 하지만 스마트에너지하우스에서 효율적인 에너지관리와 낭비되는 에너지를 미연에 방지하기 위해서는 적절한 에너지관리시스템의 도입이 필요하다. 스마트에너지하우스의 에너지관리는 크게 AMI를 통한 실시간 전력사용량 감시를 통한 사용자의 능동적인 사용량 조절과 홈 통합시스템에 의한 조명, 가전기기, 냉난방장치, 발전시스템의 개별적 제어와 전력사용량 및 특정상황에 따른 기기의 연계 제어로 이루어진다. 아래 그림 1은 스마트에너지하우스에서 에너지관리체계의 대략적인 구조도와 구성요소를 보여준다.

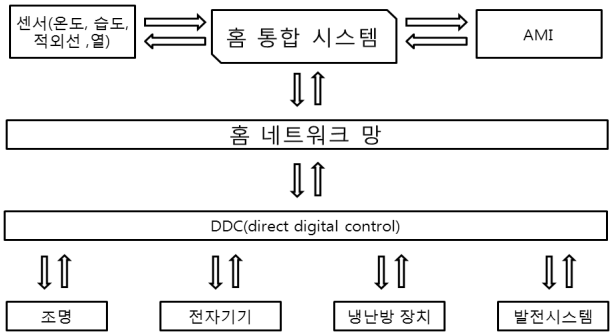



그림 1 스마트에너지하우스 에너지관리체계도

Fig. 1 Energy management scheme of the Smart Energy House

다음은 각 기기에서 이루어지는 주요 개별 에너지관리방식을 정리하였다. 홈 통합 시스템이 각종 센서를 통해 주변 상황을 인지하고 분석하여 기기별 적절한 동작을 지시하여 불필요한 전력소비를 막도록 한다.

(1) 조명제어
- 조도제어: 자연채광이나 타 기기의 빛을 감지하여 조도를 위치에 따라 적용하는 것으로 즉, 창가에 가까운 경우 조도를 낮추고 멀어질수록 조도를 높여서 적절한 조도를 적용하여 에너지 절감
- 인체감지제어: 출입 빈번한 화장실 혹은 각 방에 인체감지센서를 설치하여 자동으로 소등
- 키 관리시스템 연동: 키 관리시스템과 연계 외출시 모든 조명을 자동으로 소등

(2) 가전기기 제어
- 대기전력 차단제어: 상시 대기전력을 감시하고 상황에 따라 자동적으로 대기전력을 차단함으로써 전체 소비전력의 9~10%절감 가능
- 경부하 운행제어 및 운행제한: AMI와 연계 전력소비량을 체크 전력 소비량이 적은 시간에 가전기기 운행하거나 혹은 운행을 제한함
- 키 관리시스템 연동: 키 관리시스템과 연계 외출시 모든 가전기기 대기전력 차단 및 불필요한 기기운행 제한

(3) 냉난방시스템 제어
- 개별 온도제어: 각방의 사용자 재실여부, 생활 패턴 그리고 실내온도에 따라 최적의 온도를 설정하도록 제어
- 엔탈피제어: 냉방 운행시 외기 온도, 습도를 감지하고 필요에 따라 외기를 도입하여 냉방실시
- 스케줄제어: 외출, 취침등 특정 사용자 생활패턴에 따라 최적의 냉난방을 실시하도록 제어

위와 같이 개별 기기에 대해서 독립적으로 수행되는 관리제어 방식은 기기별로는 효율적인 운용과 에너지 절감이 가능할 수 있겠지만, 변화되는 전력사용조건에 대해 능동적으로 대처하면서 에너지사용량의 최적화에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 전술한 바와 같이 전력사용량과 주거자의 활동량 등 전력사용조건의 변화에 따라 기기의 운전을 제어하고 에너지수요를 관리하는 AMI의 기능으로서의 에너지관리 알고리즘을 제안하고 이에 대한 시뮬레이션을 수행한다.

## 3. 가상의 스마트에너지 하우스의 부하 모델

본 연구에서는 스마트에너지 하우스의 에너지관리 알고리즘을 적용하여 그 효과를 검증할 수 있도록 가상의 스마트에너지하우스 부하모델을 고안하였다. 이는 주택에서의 전력사용 패턴은 주거지역이나 소득수준 등에 따라 변이가 매우 크기 때문에 특정 주택을 대상으로 하는 알고리즘의 효과분석은 객관적이지 못할 것이라는 판단 때문이었다. 본 논문에서는 전력거래소의 “2006 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태조사”[4]를 참조하여 알고리즘의 효과분석을 위한 일반적인 단독주택에서의 평균적인 일일전력사용 패턴을 모델링 하였다. 표 1은 2006 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태조사를 참조하여 알고리즘 효과분석을 위해 선정된 가전기기와 연중 평균적인 소비전력 및 사용시간 및 월 사용일수를 보여준다.

표 1 가상 스마트에너지하우스의 부하 모델

Table 1 Load model of virtual smart energy house

| 가전기기 | 소비전력 (W) | 일일사용 시간(분) | 월 사용일수 (일) |
|---|---|---|---|
| TV-2대 | 270 | 414 | 28 |
| 냉장고 | 67 | 1440 | 30 |
| 김치냉장고 | 30 | 1440 | 30 |
| 세탁기 | 515 | 88 | 17.5 |
| 에어컨 | 1725 | 279 | 28 |
| 진공청소기 | 899.1 | 38 | 21.6 |
| 컴퓨터 | 168 | 252 | 24.4 |
| 전자레인지 | 1010.2 | 22 | 14.9 |
| 오디오 | 40 | 180 | 8.5 |

전력사용기기별 일일 대표부하곡선은 정확하고 광범위한 자료 수집을 통해 통계적인 방법으로 구하는 것이 올바른 방법이나, 기기별 대표부하곡선을 구하는 것이 본 연구의 주요한 목표가 아니었기 때문에, 본 논문에서는 2006 가전기기

보급률 및 가정용 전력 소비형태 조사결과에서 얻어진 500가구대상 시간당 각 기기의 사용수를 이용하여 기기별 각 시간당 사용시간을 추정하였다. 기기별 시간당 사용시간의 추정에 사용된 식은 다음과 같다.

$$T_i = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^{24} N_i} \times 1h \qquad (1)$$

여기서,

$T_i$ : 특정 시간 $i$에서의 기기의 사용시간(h)

$N_i$ : 특정 시간 $i$에서의 기기의 사용수

조명부하는 지식경제부의 조명기기보급·이용실태조사에서 나타난 주택에서의 평균적인 조명의 설치용량과 설치대수 그리고 주택에서의 전체 전력사용량 대비 조명전력사용량 비율을 참조하여 가상 스마트에너지하우스의 조명 부하군을 설정하고, 각 조명 부하군의 평균 소비전력을 산출하였다[5]. 이를 각 조명의 일일 평균 사용시간을 이용하여 일일 소비전력량을 산출하였으며 이를 정리하면 표 2와 같다.

표 2 가상 스마트에너지하우스의 조명 부하
Table 2 Lighting load of virtual smart energy house

| 형태 | | 소비전력 (W) | 사용 시간 | 일일 소비전력(Wh) |
|---|---|---|---|---|
| 직관 | 20W | 20.00 | 7.9 | 178.54 |
| | 32W | 32.09 | 7.9 | 136.88 |
| | 40W | 40.18 | 7.9 | 142.83 |
| 콤팩트형 | | 37.90 | 8.1 | 994.63 |
| 둥근형 | | 39.85 | 5.6 | 153.98 |
| 안정기 내장형 | | 25.86 | 7.9 | 547.52 |
| 백열등 | | 71.48 | 1.7 | 106.94 |
| 할로겐 | | 94.17 | 1.3 | 46.52 |
| 합계 | | 361.52 | 48.3 | 2307.84 |

대기전력 또한 주택 전력사용량의 약 10%의 비중을 차지하기 때문에 이에 대한 고려도 필요하다.

표 3 가상 스마트에너지하우스의 대기전력량
Table 3 Stand-by power of virtual smart energy house

| 가전기기 | 평균 대기전력 (W) | 일일 대기전력량 (Wh) |
|---|---|---|
| TV-2대 | 8.6 | 147.1 |
| 오디오 | 9.1 | 191.1 |
| DVD | 12.2 | 269.6 |
| 전자레인지 | 2.8 | 66.2 |
| 에어컨(8월) | 2.8 | 54.2 |
| 컴퓨터 | 3.2 | 63.4 |
| 모니터 | 2.6 | 51.5 |
| 합 | | 843.0 |

대기전력의 추정을 위하여 각 기기의 평균 대기전력은 에너지관리공단에서 제시한 대기전력절감 로드맵[6]을 참조하였으며, 표 3에서 가상 스마트에너지하우스의 주요 기기의 일일 대기전력량을 기술하였다.

지금까지 산출된 가상의 스마트에너지하우스의 기기 부하군과 조명 부하군의 소비전력과 시간당 사용시간 그리고 대기전력을 함께 고려하여 각 기기별, 조명의 일일부하곡선을 추정하였다. 아래의 그림 2는 조명, TV, 에어컨에 대한 일일부하 곡선을 예로 보여주고 있으며 그림 3은 가상 스마트에너지하우스의 일일 전체부하곡선을 보여주고 있다.

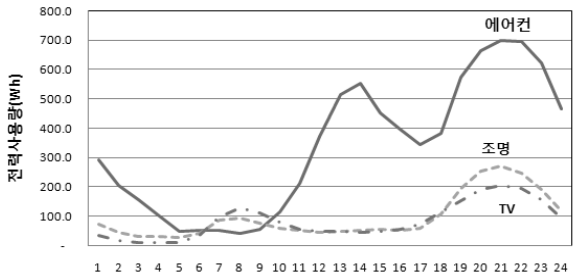



그림 2 조명, TV, 에어컨의 일일 부하 곡선
Fig. 2 Daily load curve of Lighting, TV, Air-conditioning

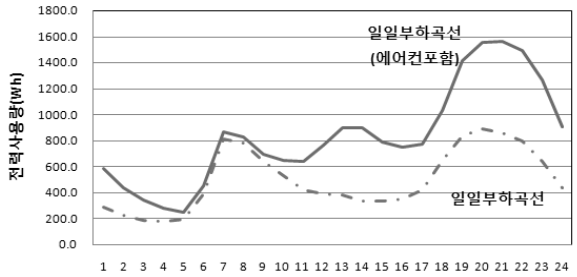



그림 3 가상 스마트에너지하우스의 일일 부하곡선
Fig. 3 Daily load curve of virtual smart energy house

## 4. 스마트에너지하우스의 에너지 관리 알고리즘

### 4.1 제안된 에너지관리 알고리즘

본 논문에서는 기기별 에너지관리와 함께 전력사용조건에 따른 통합적인 에너지관리방법을 제안하고자 한다. 기존의 건물이나 지능형빌딩에서 주로 이루어지던 에너지관리는 개별기기단위에 대한 단순 스케쥴링 제어나 사용자유무에 따른 독립적인 제어에 한정된 반면에 본 연구에서는 이보다 진전하여 전력사용량과 주거자의 활동량에 따라 에너지 제어 관리의 수준을 조절함으로써 사용자의 불쾌감을 최소화하고 동시에 에너지사용을 최소화하여 주택내에서 에너지 사용이 효율적으로 이루어지도록 하고자 하였다.

그림 4는 스마트에너지하우스의 전체적인 에너지 수요관리 알고리즘을 보여준다. 제안된 알고리즘은 실시간으로 전력사용량을 감시한다고 가정하고, 상시 개별 에너지관리를 통해 가전기기, 조명, 냉난방제어, 대기전력 차단이 이루어지도록 한다. 또한 일정수준의 전력사용량을 초과하였을 때는 주거자의 활동량에 따라 적절한 에너지관리 즉, 부하제어를 실시하도록 한다. 조명, TV 그리고 냉방부하에 대한 부하제

어를 실시한 후에도 계속적으로 전력사용량이 일정 기준을 초과하고 있을 경우에는 추가적인 부하제어도 실시한다. 종합적인 에너지관리 제어는 조명, 냉방장치, TV 모두를 대상으로 한다.

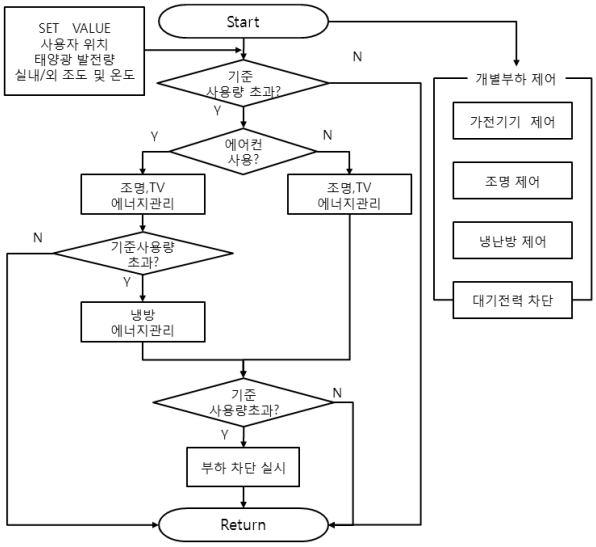



그림 4 에너지 수요 관리 알고리즘
Fig. 4 Overview of energy management algorithm

#### 4.1.1 조명 및 TV 부하 에너지 관리 알고리즘

주택에서의 조명과 TV를 통한 에너지 수요관리는 계절에 큰 영향이 없이 일괄적으로 적용이 가능하고 냉방 제어와 달리 리바운드효과가 없어서 최적의 에너지 수요관리 대상이라고 평가된다. 그림 5는 조명과 TV의 전력사용량에 따른 각 조명, TV의 부하 에너지 관리 알고리즘을 보여준다.

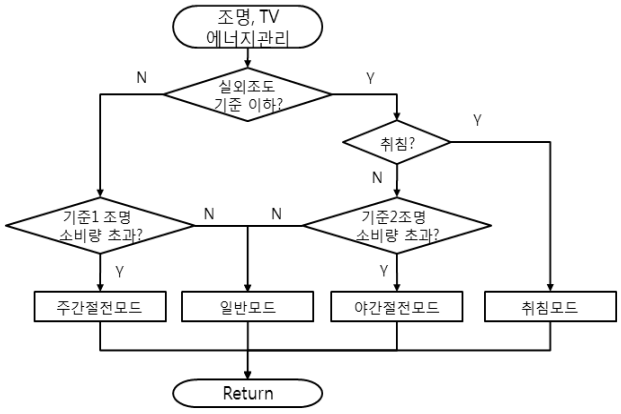



그림 5 조명 및 TV 에너지 관리 알고리즘
Fig. 5 energy management algorithms for Lighting and TV

조명, TV에서의 전력사용량 절감방식은 크게 고효율기기 교체와 디밍회로를 통한 조명의 조도조절방식이 있다. 조명의 조도 조절수준은 최소한의 조도유지를 위해 최대 30%의 밝기조절로 제한하며 사용하는 장소에 따라 최적의 조절을 위하여 다음과 같이 공간을 구분하여 조도를 적용하는 에너지관리를 제안한다.

- 주방
- 거실 및 방
- 기타(다용도실, 욕실, 현관등)

주방은 기본적인 작업성을 고려하여 조도 절감량을 최대 10%로 제한하며 기타(다용도실, 욕실, 현관등)구역은 상대적으로 주거시간 및 이용 빈도가 낮아서 절전모드시 최대 20%의 밝기를 줄이도록 한다. 거실 및 방의 경우 시간이나 주거자의 특성에 따라 생활양상이 달라지고 이에 적절한 조도가 변화하기 때문에 에너지관리 알고리즘을 통해 거실 및 방의 상황을 다음 3가지의 Case로 분류하여 조도를 조절하도록 한다.

- Case 1 : 주거자 이동 활발
- Case 2 : 주거자 이동 없음
- Case 3 : 주거자 이동 없음, TV, 컴퓨터 사용

다음은 조명 및 TV의 일반/절전모드에서의 세부적인 알고리즘을 나타낸다.

A. 일반모드/취침모드

다음 그림 6은 일반/취침모드에서의 조명, TV 에너지관리 알고리즘을 보여준다. 일반모드는 기준조명소비량을 초과하지 않을 때의 일반적인 조명을 실시하며 Case 3에 한하여 TV와 컴퓨터가 설치된 구역에 한하여 조명을 10%줄이는 절전모드를 실시하며 다른 구역의 밝기 조절은 없다. 취침모드의 경우 추가적으로 TV 디밍모드를 실시한다.

B. 주간절전모드/야간절전모드

조명 사용전력량이 기준1, 기준2 조명소비량을 초과하면 그림 7의 주간, 야간절전모드로 진입한다. 주방과 기타(다용도실, 욕실, 현관등)은 각각 작업수준과 주거시간, 이용 빈도를 고려하여 각각 고정된 조도를 실시하며 거실과 방은 상황에 따라 가변되는 조도를 적용한다.

표 4에서 각 조명모드에서의 디밍 수준을 정리하였다.

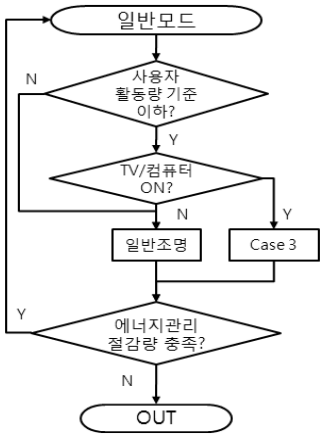



그림 6 일반조명모드
Fig. 6 Regular energy management for lighting

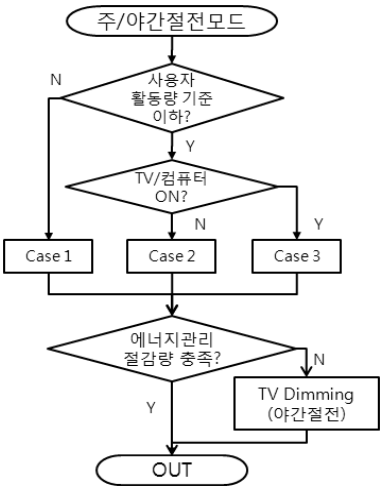



그림 7 주/야간 조명절전모드
Fig. 7 Algorithms of power saving mode at day and night

표 4 조명 및 TV 제어의 디밍 레벨
Table 4 Dimming level for lighting and TV control

| 구역 | | 에너지관리 모드 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 일반/취침 | 주간절전 | 야간절전 |
| 주방 | | 0% | 10% | 10% |
| 기타 | | 0% | 10% | 20% |
| 거실, 방 | Case 1 | 0% | 10% | 20% |
| | Case 2 | 0% | 10% | 10% |
| | Case 3 | 10% | 20% | 30% |

### 4.1.2 냉방부하 에너지 관리 알고리즘

주택에서의 냉방부분에서의 전력사용량을 절감하는 방식은 Passive 건축기법을 통해 외부의 열을 차단하는 건축적 기법과 냉방기의 설정온도조절을 통한 방식이 있다. 그림 8은 냉방전력사용량에 따라 일반, 절전운전의 냉방 모드로의 진입하는 과정을 보여주는 알고리즘이다.

그림 9는 냉방기의 기본적인 운전 알고리즘을 보여준다. 시간경과에 따라 설정온도를 1도씩 상승 최대 설정온도를 3도 상승시킨 다음 유지하는 취침모드를 제외한 모든 냉방운행모드는 기본적으로 설정온도모드와 송풍모드의 동일한 운행을 하며 다만 각 운행모드에 따라 설정온도 및 설정을 변화시켜 냉방 전력사용량을 최소화 하도록 한다.

설정온도모드와 송풍모드의 세부적인 운행방법은 아래와 같다.

A. 설정온도모드

주거자의 이동이 빈번하고 활동이 활발한 경우 기존에 설정된 온도를 유지하도록 기본적인 냉방운행을 실시한다.

B. 송풍모드

주거자의 활동량이 기준이하로 즉 이동이 없고 한 장소에 고정되어있을 경우 설정온도를 상승시켜 압축기의 가동률을 감소시키고, 대신 송풍팬의 파워를 향상하여 속도를 증가시킴으로써 선풍기로써의 기능을 강화해사용자에게 불편함을 주지 않으면서 냉방전력사용량을 절감하도록 한다.

냉방부하 에너지관리 알고리즘은 주거자의 활동량에 따라 송풍, 설정온도운행을 적용하며 기준 사용량이 초과될 경우 설정온도를 상향조정하여 냉방부분의 소비전력을 절감하고 추가적으로 송풍팬의 속도를 상향조정하여 불쾌감을 최소화 하도록 한다.

표 5에서 각 모드에서 설정온도 및 자세한 운행 동작을 기술하였다.

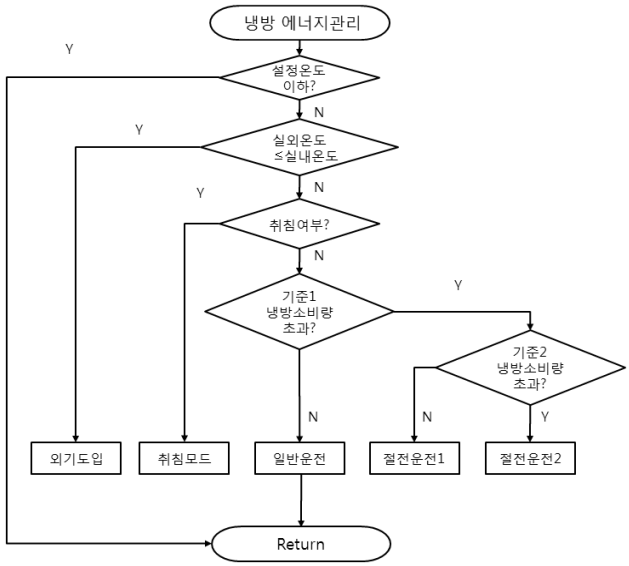



그림 8 냉방부하 에너지관리 알고리즘
Fig. 8 Energy management for air-conditioning

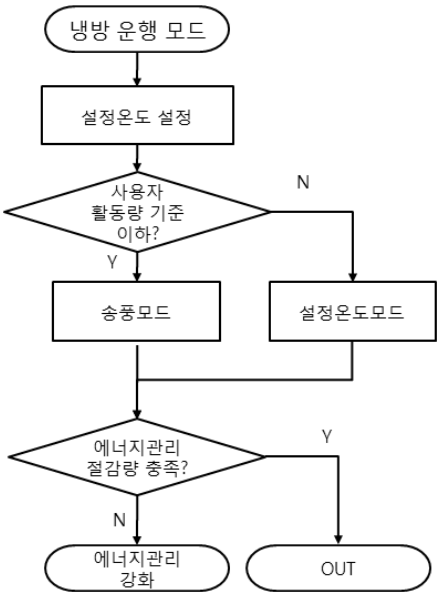



그림 9 냉방 운전 모드
Fig. 9 Air-conditioning mode

표 5 냉방 부하 에너지관리 알고리즘의 각 모드 동작
Table 5 operating modes for air-conditioning management

| 모드 | 동작 | |
|---|---|---|
| | 설정온도 모드 | 송풍모드 |
| 일반 | 기본설정온도 | 설정온도1도 UP<br>송풍팬 파워10% UP |
| 절전1 | 설정온도<br>1도 UP | 설정온도2도 상향<br>송풍팬 파워20% UP |
| 절전2 | 설정온도<br>2도 UP | 설정온도3도 상승<br>송풍팬 파워30% UP |
| 취침 | 시간당 설정온도를 1도씩 UP<br>최대 3도 UP 이후 유지 | |

### 4.2. 에너지 절감 건축 설계에 따른 효과 분석

본 연구에서 제안한 에너지 관리 알고리즘의 효과를 평가하기 전에 설계 단계에서 도입이 가능한 에너지 절감 설계 기술을 통해 얻을 수 있는 효과를 평가해보도록 한다.

A. 고효율 조명 교체

조명의 경우 안정기내장형과 같은 고효율조명기기의 보급이 이루어져 과거에 비해 조명부분에서 효율이 많이 향상되었지만 조명의 사용시간 증가와 설치대수의 증가로 주택에서의 조명의 전력사용량은 꾸준하게 증가해왔다. 이에 조명기기 보급· 이용실태조사[5]를 참조하여 LED 조명의 교체를 통한 추가적인 절감량을 추정해 보았다. 교체대상은 직관형 형광등 백열등, 할로겐이며 교체를 통한 일일 조명 절감량은 표 6과 같다.

B. 패시브 건축기술 적용

Passive 건축설계에 따른 절감효과는 냉방 부분의 경우 그동안 연구에 의하면 최대 50% 절감이 가능한 나타나지만 본 논문에서는 설치비 및 적용가능성을 고려하여 Passive 건축설계에 따른 절감효과는 20%로 적용하기로 한다.

설계에서 고려되는 고효율 조명기기 교체와 패시브 건축기법에 따른 일일 전력사용량 절감량은 하계의 경우 총 1.96kWh으로 나타났으며 일일 전력사용량의 11.7%에 해당하였다.

표 6 고효율 조명기기 사용에 따른 에너지 절감량
Table 6 Energy saving from high-efficiency lighting

| | 형태 | 일일소비전력(Wh) |
|---|---|---|
| 교체전 | 직관형형광등 | 458.25 |
| | 백열등 | 106.94 |
| | 할로겐 | 46.52 |
| 교체후 | LED | 251.22 |
| | | 14.96 |
| | | 4.94 |
| 총 절감량(Wh) | | 342.6 |

표 7 패시브 건축설계에 따른 에너지 절감량
Table 7 Energy saving from passive house design

| 일반<br>일일 냉방전력사용량 | Passive 건축설계 가정<br>일일 냉방전력사용량 |
|---|---|
| 8,075.4Wh | 6460.3Wh |
| 총 일일 절감량 : 1,615.1Wh | |

### 4.3. 제안된 에너지관리 알고리즘의 효과 분석

이번 절에서는 4.1절에서 제안한 에너지관리 알고리즘을 가상의 스마트에너지하우스 부하모델에 적용하여 조명, 냉방, TV 부하에서 얻어지는 에너지절감효과를 분석한다. 1차적으로 4.2 절에서 기술한 에너지 절감 건축설계에 따른 효과를 얻었다고 가정하고, 운용단계에서 본 연구에서 제안한 에너지 관리 알고리즘을 적용하여 그 효과를 분석, 평가하였다.

#### 4.3.1 조명 및 TV 부하 에너지 관리

조명부하 에너지 관리에 따른 에너지절감 효과를 분석하기 위해서조명의 조도조절에 따른 조명부분에서의 소비전력 변화량 및 주택에서의 시간에 따른 주거자의 활동량을 추정하였다. 조명조도 조절의 경우 조명기구의 종류나 설치여건에 따라 조도조절을 통한 조명의 소비전력 변화량이 일정하지 않다. 본 논문에서는 지능형 형광등 절전기의 실제운용 테스트 자료[7]를 참조하여 조도 변화에 따른 전력사용량 변화량을 표 8과 같이 일반화하였다.

표 8 조도 조절에 따른 전력사용 절감량
Table 8 Energy saving from illumination control

| | 조도 | 절감비율(%) |
|---|---|---|
| 최고 조도 | 100% | 0% |
| | 90% | 9% |
| | 80% | 22% |
| | 70% | 30% |
| 최소 조도 | 40% | 48% |
| | 30% | 48% |
| | 20% | 52% |
| | 10% | 57% |

시간에 따른 주거자의 활동량은 구역마다 설치된 센서에 의해 측정되며 일정시간동안 센서의 변이가 발생하지 않을 경우 주거자의 이동이 없다고 인지하도록 한다. 하지만 일반에서의 주거자의 시간에 따른 활동량의 변화는 일반화하는 것이 불가능하기 때문에 본 논문에서는 시뮬레이션을 위해 다음 표 9와 같이 주거자의 활동량을 가정하였다.

표 9 주거자의 활동량 가정치
Table 9 Human activity during a day

| | 활동량 | |
|---|---|---|
| 시간 | 많음 | 적음 |
| 07~18 | 70% | 30% |
| 18~20 | 60% | 40% |
| 20~24 | 30% | 70% |
| 24~07 | 5% | 95% |

낮 시간동안은 활동이 활발할 것으로 판단하여 70%의 활동량 많음을 일괄 적용하도록 하며 18~24시 사이는 시간의 경과함에 따라 활동량이 감소되도록 적용하였으며 24~6시는 취침시간으로 고려 활동량 많음을 5%로 최소화하여 적용하도록 한다. 절전모드의 진입을 위한 기준 조명소비량은 3절에서 산출된 주택에서 시간당 조명전력사용량의 평균소비량을 기준으로 다음과 같이 설정하였다.

- 기준1 조명 소비량: 60Wh(주간절전모드)
- 기준2 조명 소비량: 200Wh(야간절전모드)

조명부하 에너지관리 알고리즘의 적용을 통한 조명 일일 부하곡선의 변화는 그림 10과 같이 나타났으며 일일 기준 고효율 조명교체로 인한 342.6Wh의 전력사용량 절감과 함께 추가적으로 189.5Wh가 에너지 관리 알고리즘 적용으로 절감이 되었다. 조명 제어 알고리즘의 적용으로 일일 조명 사용량의 8.21%가 절감되는 것으로 나타났다.

TV부하 에너지 관리 알고리즘의 적용은 실내 기본조도를 고려하여 야간절전모드와 취침모드동안 적용되었으며 조도 절감수준은 조명의 절감수준보다 한 단계 낮게 적용하였다. 에너지관리 알고리즘 적용을 통해 구해진 일부하곡선은 그림 11과 같다. 하루 233.5Wh(대기전력차단 포함)의 전력소비가 감소하였고, 이는 하루 TV 전력사용량의 11.62%에 해당한다.

#### 4.3.2 냉방 부하 에너지 관리

냉방 부하에 대한 에너지관리 알고리즘 효과를 분석하기 위해 구동부위별 소비전력 비율을 일반적인 에어컨의 기본 사양을 참조하여 다음과 같이 설정하였다.

- 압축기 : 67%
- 응축기 : 17%
- 송풍팬 : 17%

에너지절감 관련 기존 연구결과에 의하면 에어컨의 설정온도 1도 상향 조정시 냉방 소비전력의 절감량은 7%수준인 것으로 알려져 있다. 1차적으로 Passive 건축효과를 적용한 후 표 9의 활동량에 따라 시간당 설정온도/송풍모드를 적용하였으며 그리고 24~6시까지는 취침 모드를 적용하도록 한다. 기준 냉방소비량은 가상 에너지하우스의 냉방전력사용량의 평균을 기준으로 다음과 같이 설정하였다.

- 기준1 냉방 소비량: 400Wh
- 기준2 냉방 소비량: 500Wh

그림 12은 냉방부하에 대한 에너지관리 알고리즘을 적용한 경우 냉방부하의 전력소비량의 변화를 보여준다. Passive 건축기법 적용에 따라 1.615Wh이 절감될 수 있으며, 추가적으로 에너지관리 알고리즘의 적용에 따라 냉방부하 일 전력사용량의 8.22%에 해당하는 663.7Wh(대기전력차단 포함)가 추가적으로 절감되었다.

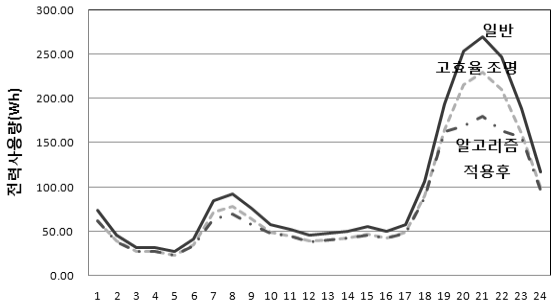



그림 10 조명 에너지관리에 따른 에너지 절감량 비교
Fig. 10 Energy saving result from lighting control

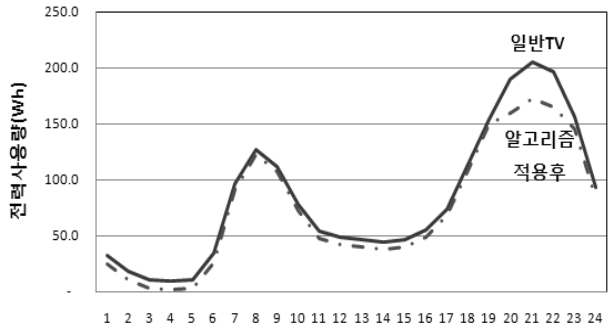



그림 11 TV 에너지관리에 따른 에너지 절감량 비교
Fig. 11 Energy saving result from TV control

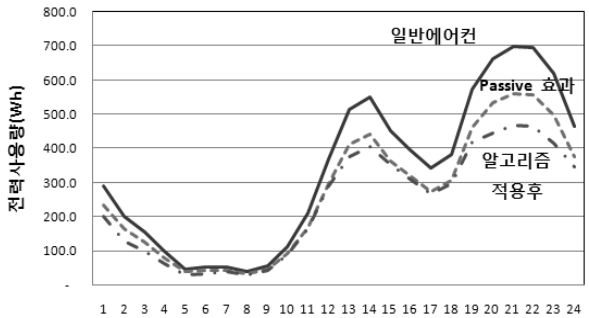



그림 12 냉방 에너지관리에 따른 에너지 절감량 비교
Fig. 12 Energy saving result from air conditioning control

### 4.4. 에너지관리 알고리즘 효과 분석

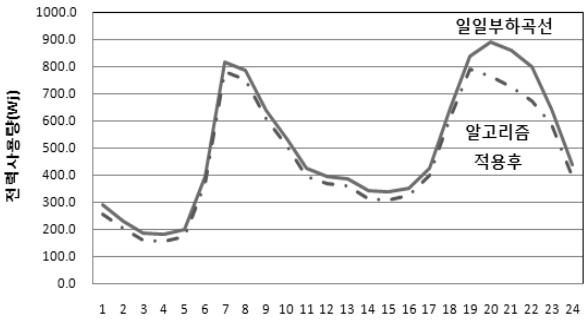
#### 4.4.1 부하 패턴 변화 및 일일 절감량

냉방, 조명, TV 부하에 제안된 알고리즘을 적용하였을 경우 얻어지는 에너지 절감량과 비율을 정리하면 표 10과 같다.

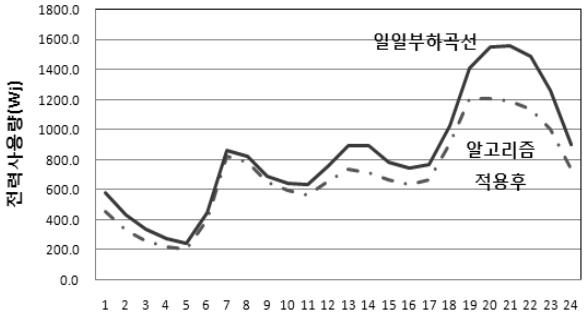
표 10 에너지 관리 알고리즘 적용시 일 전력 절감량
Table 10 Daily energy saving from energy management

| | 조명 | TV | 에어컨 |
|---|---|---|---|
| 일일 절감량(Wh) | 189.5 | 233.5 | 663.7 |
| 절감 비율(%) | 8.21 | 11.62 | 8.22 |

그림 13은 고효율 조명교체 및 Passive 건축 기술을 적용한 후 에너지관리 제어를 시행한 경우 얻어지는 일일 부하곡선의 변화를 보여준다.




(a) 냉방기 미사용




(b) 냉방기 사용

그림 13 일 부하곡선의 변화
Fig. 13 Change in daily load curve

기기별 연간 사용일수 및 조명교체와 Passive 건축기술을 함께 고려한 스마트에너지하우스의 1년간의 전력사용량을 표 11에 정리하였다. 표에서도 알 수 있듯이 주택에서의 고효율 조명교체 Passive 건축기술, 에너지관리 알고리즘의 적용으로 연간 전력사용량의 11.4%의 해당하는 전력량이 절감될 수 있음을 보였다.

표 11 연간 전력사용 절감량
Table 11 Annual energy saving

| 항목 | 연간 절감량(kWh) |
|---|---|
| TV | 81.7 |
| 조명(고효율교체포함) | 194.2 |
| 에어컨(Passive 효과 포함) | 125.3 |
| 대기전력차단(기타기기) | 78.0 |
| 합계 | 479.3 |
| 주택 형태 | 연간 전력사용량(kWh) |
| 일반 주택 | 4,212.0 |
| 스마트에너지하우스 | 3,732.7 |

## 5. 결 론

본 논문에서는 스마트에너지하우스 구현을 위해 설계 단계시 고려할 사항과 운영 단계시 고려할 사항을 살펴보고, 주택에서의 효율적인 에너지관리와 전력사용량에 따른 능동적인 대처를 위하여 냉방, 조명, TV 부하에 대한 에너지 관리 알고리즘을 제안하였다. 가상의 스마트에너지하우스 모델에 대해 제안된 에너지관리 알고리즘을 적용(고효율 조명, 패시브 건축기술 포함)하여 연간 전체 전력사용량의 11.4% 정도의 에너지 절감이 가능함을 보였다. 향후에는 스마트에너지하우스내의 보다 다양한 부하를 도입하고 이를 종합적으로 관리, 제어할 수 있는 에너지관리시스템 개발 연구를 진행할 예정이며, 구현된 에너지관리시스템은 향후 스마트그리드의 중요한 요소인 AMI에 있어서 큰 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

**감사의 글**

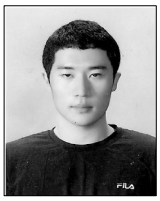
본 논문은 LG 연암문화재단의 해외연구교수지원사업으로 수행한 연구결과입니다.

## 참 고 문 헌

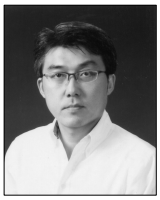
[1] 한국에너지기술연구원, “보급형 제로에너지하우스 개발”, 한국에너지기술연구원 보고서, KIER-A12205, 2002
[2] 조한, “건물 통합형 태양광 시스템의 건축 디자인 적용 방법 연구”, 대한 건축학회 논문집, pp.109~118, 2006
[3] Paul Torcellini 외 2명,“Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition”, ACEEE Summer Study Pacific Grove, NREL/CP-550-39833 IEEE, 2006
[4] 전력거래소, “2006 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사”, 전력거래소 보고서, pp.43~73, 2006
[5] 지식경제부, “조명기기보급·이용실태조사”,지식경제부 보고서, pp.3~4, 62~64, 72~73, 2008
[6] 에너지관리공단, “Standby korea 2010- 대기전력 1W 달성을 위한 국가로드맵”에너지관리공단 보고서, pp.4~5, 2005
[7] 청우전자, “지능형 형광등 절전기를 이용한 에너지효율

개선", pp.12
[8] Mary Ann Piette 외 3명, "Development and Evaluation of Fully Automated Demand Response In Large Facilities",California Energy Commission, pp.23~44, 2005

## 저 자 소 개



**전 정 표 (全 晶 杓)**
1983년 4월 12일생. 2009년 2월 강원대학교 IT대학 전기전자공학부 졸업. 2009년~현재 동 대학원 전기전자공학부 석사과정
Tel : 033) 254-0312
E-mail : ounicorno@nate.com



**김 광 호 (金 光 鎬)**
1966년 1월 17일생. 1988년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1994년 8월 서울대학교 전기공학과 공학박사. 1995년 3월 ~ 현재 강원대학교 IT대학 전기전자공학전공 교수
Tel : 033) 250-6298
E-mail : khokim@kangwon.ac.kr