

스마트계량시스템을 활용한 수요관리자원에 대한 가치평가연구

(A Economic Evaluation for Demand-Side Resource using Smart Metering System)

임상국* · 신희상 · 조성민 · 이희태 · 윤용태 · 김재철**

(Sang-Kug Lim · Hee-Sang Shin · Sung-Min Cho · Hee-Tae Lee · Yong-Tae Yoon · Jae-Chul Kim)

요 약

에너지관련 자원가격의 급등으로 전력생산비용이 증가하여 세계 여러 나라의 전력회사들이 재정적인 어려움에 직면하고 있다. 이러한 전력 생산비용과 판매가격의 왜곡을 해결하기 위한 다양한 방법이 모색되고 있다. 본 논문에서는 제안된 스마트계량시스템은 전력 소비자의 전력사용 정보제공을 통한 소비패턴을 변화시켜 전력에너지절감을 유도하는 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 우리나라에서는 스마트계량시스템의 보급을 위해 2008년도 실효성 검증을 위한 실증연구 과제를 추진하였으며, 본 논문에서는 그 결과를 바탕으로 스마트계량시스템 보급에 따른 잠재적 이득과 캘리포니아 테스트를 통한 가치평가 결과를 제시하였다.

Abstract

Recently, the crude oil price per one barrel in 2005 cost 49.4 dollars. But the value of crude oil in 2007 had ascended 68.4 dollars which was skyrocketed 38.5[%] owing to the sudden rise of energy price. As it has been growing the necessity of energy efficiency, energy intensive companies actively try to implement energy management system. It has been studied to improve the energy saving for household sector using the smart metering system which can give the information of energy prices, pattern on real time to energy consumers and voluntarily lead the activities of energy saving. In this paper, we estimated potential benefits and value of smart metering system through california test.

Key Words : Demand Side Management, Smart Metering System, Economic Evaluation

1. 서 론

최근 세계 각국의 에너지 자원에 대한 주도권 확보와 기후변화협약이라는 환경보호에 관한 문제로 인해 에너지를 둘러싼 국제 환경이 빠르게 변하고 있다. 지난 2007~2008년 국제유가는 배럴당 150달러에 육박

* 주저자 : 숭실대학교 전기공학부 박사과정

* 교신저자 : 숭실대학교 전기공학부 교수

Tel : 02-817-7966, Fax : 02-817-0780

E-mail : jckim@ssu.ac.kr

접수일자 : 2009년 9월 30일

1차심사 : 2009년 10월 1일, 2차심사 : 2009년 11월 14일

3차심사 : 2009년 12월 10일

심사완료 : 2009년 12월 15일

하며 에너지 자원가격의 급등으로 인해 전력생산비용이 증가하여 세계 여러 전력 회사들의 연료비로 인한 손실이 컸으며 우리나라의 한국전력 또한 재정적인 어려움에 직면하고 있다. 2008년 하반기부터 전 세계적인 경제 위기와 경기 후퇴로 인해 유가를 포함한 에너지 자원가격이 안정세를 보이고 있지만 향후 경기가 다시 회복됨에 따라 오름세를 보일 것이라 예상된다[1]. 본 논문에서 다루는 스마트계량시스템은 이러한 환경변화에 대응하기 위한 방안으로서 제시되고 있으며, 세계 각국에서 이미 적용하였거나 검토되고 있는 시스템이다. 스마트계량시스템은 가정이나 소규모 전력 수용가에게 전력사용 정보제공을 통한 소비패턴을 변화시켜 전력에너지절감을 유도하는 효과가 있는 것으로 알려져 있다[2-3]. 스마트계량시스템은 단순히 전력사용량을 누적하는 기존의 전력량계와는 달리 시간별 전력사용량 추이를 기록함으로써 특히 최근에 주목받고 있는 스마트그리드에서 앞으로 도입될 것으로 기대되는 실시간 요금제를 지원할 수 있다. 또한 시간변동형 요금제와 함께 자세한 전력사용정보를 수용가에게 제공하여 수용가 스스로 에너지 사용의 통계적인 분석과 비교가 가능하게 함으로써 효율적인 전력사용을 유도한다. 에너지문제의 심각성이 커지면서 수요관리자원에 대한 중요도는 점점 증가하고 있다. 현재 지식경제부에서는 수요관리를 위해 효율향상측면에서 고효율조명기기, 고효율전동기, 고효율인버터, 고효율펌프 등의 보조금제도와 부하관리측면에서 휴가보수, 자율절전, 원격에어컨제어 등의 제도를 운영하고 있다[4]. 수요관리자원으로서 스마트계량시스템의 본격적인 보급 확대에 앞서 실효성을 파악하기 위해 에너지관리공단에서는 2008년 9월부터 5개월에 걸쳐 64가구를 대상으로 스마트계량시스템 실증연구를 실시하였다. 또한 2009년도 하반기에는 시범사업을 통해 스마트계량시스템을 시범 보급할 예정이다. 이에 본 논문에서는 스마트계량시스템이 새로운 전력시장 환경에서 수요관리자원으로서의 가능성과 그 가치를 제시해 보고자 한다. 이를 위해 수요관리자원으로서의 스마트계량시스템 잠재량을 추정하고, 캘리포니아테스트를 통해 가치를 평가하고자 한다.

2. 전력수요관리의 개념

전력수요관리는 경제적인 비용으로 전력사용자에게 전력사용 형태에 변화를 주어 전력수요를 바람직하게 유도하는 수단이며, 전력수요의 저감 또는 부하평준화를 통하여 전력공급 설비에 대한 투자를 합리적으로 조정하고, 기존 설비의 이용률 향상을 통한 원가절감과 전력수급안정을 도모하고 전력공급 비용을 절감하는 것이다[5]. 전력수요관리(DSM)의 유형은 그림 1과 같이 부하관리와 효율향상으로 구분할 수 있다. 부하관리는 최대부하와 최저부하간의 차이를 감소시켜 부하평준화를 도모하고, 전력공급설비의 이용효율을 향상시킬 목적으로 추진하고 있다. 부하관리는 직접부하관리와 간접부하관리방식으로 구분되며, 직접부하관리는 공급자 측에서 필요할 경우 부하를 직접 조정하는 방식으로 가변부하 조성 등의 기법을 활용하고, 간접부하관리는 소비자 스스로 부하를 조정하도록 유도하는 방식으로 최대수요 억제, 기저부하 증대, 최대수요 분산, 전략적 부하증대, 가변부하 조성 등의 기법을 활용한다. 효율향상은 전기의 이용효율 향상을 통해 전력수요를 감축하는 방식으로 사용량누진제, 절전우수건물 요금감액 등 가격정책을 이용한 방식과 고효율기기 보급 장려금 지원, 에너지절약 정보 제공 등 비가격 정책을 이용한 방식이 있다[4-5].

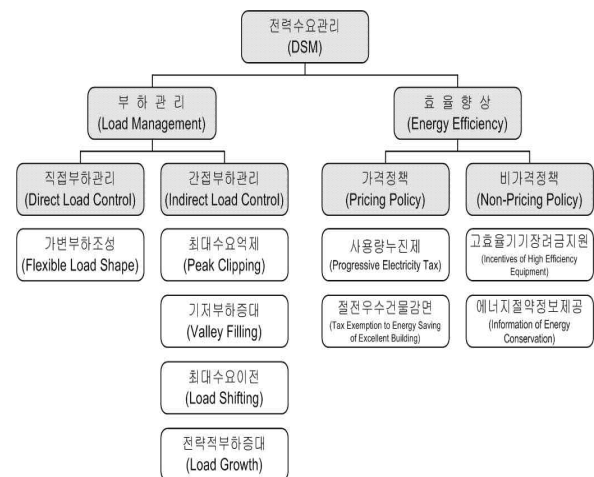


그림 1. 전력수요관리(DSM)의 분류 및 유형
Fig. 1. Type of Demand Side Management

3. 스마트계량시스템 개념 및 실증

3.1 스마트계량시스템의 개념

스마트 미터는 기존 전력량계 대비 진화된 전력량계로 보통 시간별 전력 사용량을 측정 저장하고 한 발 더 나아가서 다양한 요금제에 대응 가능한 계량기이다. 기존의 전력량계는 총 전력 사용 누적량만을 알 수 있었으나 스마트 미터는 내부에 메모리를 탑재하여 전력의 시간별 사용량을 일정기간 저장할 수 있다. 이러한 기능을 통해 사용자의 전력 사용 추이와 패턴 등을 알 수 있고 시간과 연동된 다양한 요금제(Time-of-Use Pricing, Real-Time Pricing, Critical-Peak Pricing) 구현이 가능하다. 이러한 스마트계량시스템을 기반으로 추후 AMI시스템을 구축하고자 하는 것이 현 실정이다[1]. 추후 스마트계량 시스템을 기반으로 AMI시스템이 구축 된다면 각 수용가 별로 직접적인 제어를 수행함으로써 전력 계통의 전반적인 효율성 증대가 가능할 것으로 예상하고 있다. 스마트계량시스템은 구축된 통신망을 이용하여 다양한 전력정보를 제공한다. 하지만 이러한 통신망에 대한 규격이 국내 및 국외 또한 정립되지 않은 실정이다. 외국사례를 예를 들면 Zigbee와 같은 RF 무선통신을 이용하기도 하고 PLC(Power Line Communication)와 혼용하여 사용하기도 한다. 추후 국내에 맞는 통신규격에 대한 사항과 스마트 미터가 적용된 전력계통에 사고 시 처리방안 역시 중요 연구사항이라 할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 이러한 문제들이 정립되었다는 가정 하에 스마트계량시스템의 잠재적 이득과 가치를 평가 하고자 하여 실증결과를 바탕으로 결과를 도출하였다.

3.2 스마트계량시스템의 구성

본 연구에서의 스마트계량시스템 구성과 통신방식은 그림 2와 같다. 스마트계량시스템은 에너지 정보 표시장치(IHD ; In Home Display), 스마트미터, 데이터 집중장치(DGU ; Data Gathering Unit), 서버로 구

성되어 있다. 에너지 정보 표시장치는 각 세대 내부에 설치하고, 스마트미터는 기존의 기계식계량기를 전자식 계량기로 교체하여 시공하였다. 또한 데이터 집중장치는 세대의 공용 공간에 설치하며, 서버는 인터넷망을 통하여 데이터 집중장치와 연결되도록 구성하였다. 서버는 관리실에 설치하였다[1].

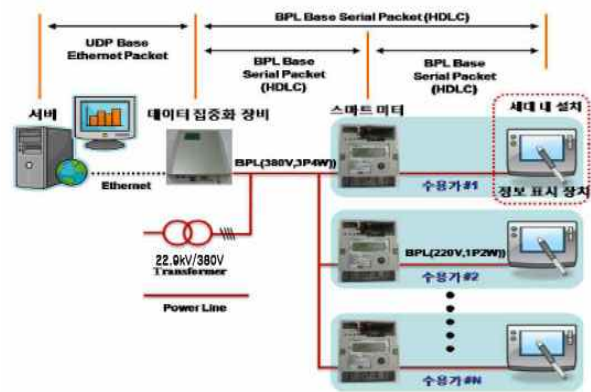


그림 2. 스마트계량시스템 구성 및 통신방식
Fig. 2. Organization and Telecommunication Method for Smart Metering System

국내 상황에 맞는 스마트계량시스템의 통신방식으로 전력선 통신(PLC)이 유리하다고 판단하여 국내 표준인 KS X 4600-1과 국제 표준인 ISO/IEC 12139-1을 따르는 BPLC(Broadband over Power-Line Carrier) 통신방식을 사용하였다. PLC 모뎀의 통신범위는 500[m]로서 각 구성요소 간에 거리가 멀어 전력선 통신이 어려울 경우에는 PLC 중계기(Repeater)를 별도로 설치하였다. 그림 3은 에너지 정보 표시장치의 사진이다. 에너지 정보 표시장치의 기본화면은 현재까지의 전력사용량과 요금, 금월에 예상되는 전력요금과 전월의 전력요금이 표시되며, 사용자의 전력 사용수준에 따르는 누진 전력요금제 단계를 표시하여 전력 사용수준을 비교할 수 있게 구성되었다. 또한 전력사용량의 시간대별, 일별, 월별 추이를 보여주고, 동일 집단의 평균 전력사용량과 요금을 제시함으로써 수용가 자신의 전력사용 수준과 상호 비교를 가능하게 하여 소비패턴을 변화시켜 에너지절약을 유도하였다.



그림 3. 에너지 정보 표시장치
Fig. 3. Energy Information Display

아울러 전력사용에 따른 온실가스인 이산화탄소(CO_2)의 배출량을 보여줌으로써 환경 친화적인 마인드를 제고하였고, 당일의 날씨 정보를 제공함으로써 수용가가 매일 에너지 정보 표시장치를 정기적으로 볼 수 있도록 유도하였다. 효율적인 가전기기 방법, 가정 내의 에너지절약 정보 같은 다양한 콘텐츠를 제공하여 전력 소비습관의 변화를 통해 자율적인 에너지절약을 유도하였다.

3.3 실증 내용 및 결과

실증연구는 청주지역의 17평형의 소형아파트 40가구와 서울지역의 40평형과 30평형의 중대형 아파트 24가구를 대상으로 실시하였다. 실증기간은 2008년 12월 중순부터 다음해 2월 중순까지 2개월 정도 동절기에 실시하였다. 실증결과는 그림 4와 같이 청주지역은 가구당 평균 일일 전력사용량이 7.92[kWh]에서 6.66[kWh]로 약 15.9[%] 절감되었고, 서울지역의 경우 9.77[kWh]에서 9.04[kWh]로 약 7.5[%]의 절감효과가 있는 것으로 나타났다.



그림 4. 가구당 평균 일일 전력사용량 변화(kWh/일)
Fig. 4. Average Electricity Consumption Change per household

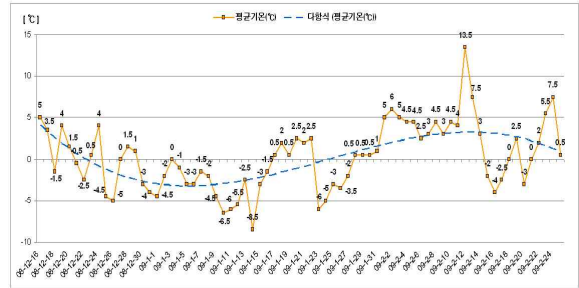


그림 5. 실증 기간 동안의 기온 변화
Fig. 5. Temperature Change of Test Period

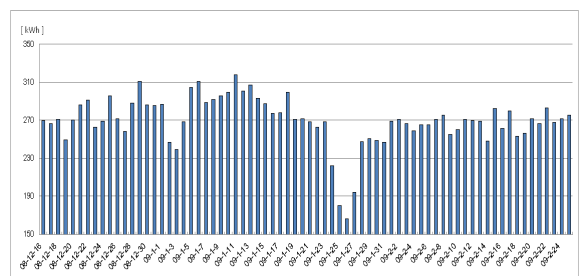


그림 6. 청주아파트 가구의 평균 일일사용량 변화추이
Fig. 6. Change of daily electricity consumption of chungju apartment

또한 평균 전력사용에 대한 절감량을 알아보기 위해서 2008년 12월 15일부터 2009년 2월 25일까지 한 달간 청주 소재의 아파트에 거주세대 중 40가구의 참가자를 모집하여 실시하였다. 40가구는 전부 한 단지 안에 있는 가구이며 자원을 통해 참가자를 모집하여 진행하였다. 자료 수집 기간은 2008년 12월 15일부터 2009년 2월 25일 까지 두 달 동안 이루어졌다. IHD의 효과를 알아보기 위해 IHD의 설치 없이 스마트 미터와 데이터 집중장치 및 서버만 설치하여 2008년 12월 16일부터 2009년 1월 6일까지 전력사용량 데이터를 수집하고, IHD를 설치한 후 데이터를 수집함으로써 IHD 설치 전 후의 에너지 사용량을 비교할 수 있도록 하였다. 실증 결과 IHD의 설치 전 대비하여 설치 후 각 가구의 평균 일일 전력사용량은 84.9[%]로 약 15.9[%] 정도 절감된 것으로 분석된다. 실증 기간인 2008년 12월 15일부터 2009년 2월 25일까지 두 달간 40가구 전체 평균전력 사용량은 269[kWh]였다. 평균 기온의 변화 추세선은 8[°C]에서 -7[°C]까지 15[°C]의 변화량을 보였다. 평균기온 대비 일일 사용량의 변화

추세선은 265[kWh]에서 285[kWh]까지 20[kWh]의 변화량을 보였다. 즉, 1[°C]의 기온 변화추이에 대해 전력 사용량은 1.3[kWh]의 변화량을 보인 것으로 추정된다. 기온이 낮아짐에 따라서 전력 사용량은 증가하는 추세이며, 특히 전체 전력 사용량이 200[kWh] 이하로 상대적으로 사용량이 적은 가구의 기온 민감도가 크다는 결과를 볼 수 있다. 기본적으로 전력 사용량이 많은 가구는 전열기구 사용 증가에 따른 효과가 상대적으로 미미하다는 것도 파악할 수 있었다. 기온에 관한 사항은 어디까지나 추세를 이용한 추정치인 만큼 기온이 미치는 영향에 대하여 앞으로 향후 추가적인 실증 실험을 통해 지속적으로 연구를 해야 할 것으로 생각된다.

3.4 스마트계량시스템의 잠재량 추정

다음은 우리나라 가정 부문의 주택용 전기를 사용하는 수용가를 대상으로 스마트계량시스템을 도입할 경우를 가정하여 스마트계량시스템 잠재량을 추정코자 한다. 스마트계량시스템 실증결과를 바탕으로 가정 부문에서 스마트계량시스템을 적용할 경우 약 7.5~15.9[%] 정도 전력 소비량이 줄어드는 것으로 분석되었다.

본 논문에서는 2008년도 가정/상업부문 국가에너지종합 분석보고서의 주택형태별 전력사용량에 스마트계량시스템 적용시 절감량을 10[%]로 가정하여 산출한 잠재량은 표 1과 같다[9].

표 1. 스마트계량시스템의 잠재량
Table 1. Potential Capacity Consumption of Smart Metering System

구분	총전력소비량 ([MWh])	잠재량 ([MWh])
아파트	19,990,926	1,999,092
단독주택	22,086,934	2,208,693
연립주택(빌라)	1,684,260	168,426
다세대주택	3,647,267	364,726
상가주택	1,570,089	157,008
합계	48,979,477	4,897,947

4. 스마트계량시스템의 가치평가

4.1 스마트계량시스템의 경제성 평가방법

수요관리 프로그램의 경제성분석 방법으로 가장 보편적으로 사용되는 것은 프로그램 시행에 소요되는 비용과 그로부터 얻게 되는 편익을 비교하는 것이다. 수요관리 프로그램의 편익은 크게 효율향상을 통한 에너지비용의 절감(회피에너지비용)과 전력공급설비의 증설을 일부 회피함으로써 얻게 되는 비용(회피설비비용)의 절감으로 구분된다[2].

수요관리 프로그램의 경제성 평가방법으로 현재 가장 널리 채택되고 있는 방법은 캘리포니아 표준 평가방법으로서 미국의 전력회사, 연구소 및 규제기관들이 공동으로 참여하여 연구한 결과가 집약되어 있는 방식이다. 이는 수요관리 프로그램에 대한 경제성 평가를 서로 다른 네 가지 방식으로 수요관리 프로그램을 평가하고 아래와 같이 표현할 수 있다[3].

표 2. 테스트별 편익 및 비용
Table 2. Benefit and Cost of Test

테스트(Test)	편익(Benefit)	비용(Cost)
참여자 테스트 (P Test)	I/LR	PH
전력회사비용 테스트 (UC Test)	AC	OC / I / UH
수용가영향도 테스트 (RIM Test)	AC	OC / I / UH / LR
총자원비용 테스트 (TRC Test)	AC	OC / UH / PH

참고사항
 AC : 회피비용(전력회사)
 I : 인센티브(수용가, 전력회사)
 LR : 요금감소(수용가) / 요금수입감소(전력회사)
 OC : 프로그램추진비용(전력회사)
 PH : 참여자 기기비용(수용가)
 UH : 전력회사 기기비용(전력회사)
 참여자(P)테스트 = I + LR - PH
 전력회사비용(UC)테스트 = AC - OC - I - UH
 수용가영향도(RIM)테스트 = AC - OC - I - UH - LR
 총자원비용(TRC)테스트 = AC - OC - (UH+PH)

4.2 스마트계량시스템의 평가

4.2.1 스마트계량시스템의 캘리포니아 테스트
스마트계량시스템의 캘리포니아 테스트 국가적 관점(TRC)에서는 217억원 정도의 이익이 발생하고, 참여자(P)관점 역시 308억원 정도의 편익이 발생하여 사회적 관점에서 경제성이 있음으로 분석되었다. 본 논문에서 다루는 스마트계량 시스템의 보급량에 따른 캘리포니아 테스트 결과를 아래 표 3으로 나타내었다.

표 3. 스마트계량시스템의 보급량에 따른 캘리포니아 테스트 결과
Table 3. California Test Result for Penetration Rate of Smart Metering System
(단위 : 백만 원/year)

Test (할인율)	Benefit	Cost	B/C	편익비용 편차
	7.5[%]	7.5[%]	7.5[%]	7.5[%]
P Test	I / LR 45,865	PH 15,000	3.06	30,865
UC Test	AC 9,564	OC / I / UH 10,000	0.96	-436
RIM Test	AC 36,741	OC / I / UH / LR 45,865	0.8	-9,124
TRC Test	AC 36,741	OC / UH / PH 15,000	2.45	21,741

4.2.2 경제성 평가 투입 자료

스마트계량시스템의 경제성 평가를 위한 세부항목들의 계산을 위해 채택한 기본 전제 자료는 다음과 같다. 스마트계량시스템 설치를 위한 기기비용은 150,000원으로 가정하였으며, 경제적수명은 10년, 할인율은 7.5%로 보았다. 그리고 사용자에게 주어지는 인센티브는 2009년도 스마트계량시스템 시범사업에서 1set 당 지원금으로 예정된 100,000원으로 가정하였다.

캘리포니아테스트에서 사회 전체적으로 수요관리자원이 얼마만큼의 편익을 제공하는가를 정확하게 계

산하는 것이 우선되어야 하며, 이는 수요관리자원의 회피비용의 정확한 계산을 의미한다. 일반적으로 회피비용은 회피설비비용(발전설비, 송변전설비, 배전설비), 회피발전에너지비용, 회피신뢰도비용, 회피송배전운전비용, 회피손실비용, 회피환경비용, 기타 외부비용 등으로 구성되지만, 본 논문에서는 주로 고려하는 회피설비비용만을 고려하기로 한다. 회피설비비용산정에 사용된 자료는 첨두 발전기(LNG복합하력)의 건설비 및 고정비용을 현가화한 제3차 전력수급계획 기본계획 실적치인 201,362[원/kW]를 적용하였다.

5. 결론

본 연구는 전력시장 환경에서 수요관리 자원으로 스마트계량시스템에 대해 실증연구결과를 바탕으로 잠재량을 평가하고, 캘리포니아 테스트를 이용하여 가치를 평가하였다. 그 결과 총자원 및 판매자 입장에서 스마트계량시스템의 가치평가는 양호하게 나타났다. 이는 국가적, 수용가의 입장에서 보조금정책 추진비용 및 시스템 구매비용절감 등에 경제성이 있는 것으로 나타났기에 본 논문에서 제시하는 스마트계량시스템 수요관리를 적극적으로 나설 수 있다고 생각된다. 또한 경제성이 허용하는 한도 내에서 인센티브의 지급이 활성화되면 기존 아파트를 소유한 주택공사 및 서울시 등의 지자체들의 스마트계량시스템 교체를 통한 지원 프로그램은 더욱 활성화될 것이다. 뿐만 아니라 국가의 새로운 수요관리자원으로서 스마트계량시스템은 유용하게 사용될 것이다. 본 연구는 우리나라 주택부문의 수용가만을 대상으로 하였으며, 향후 이 결과를 바탕으로 가정 내의 에너지사용정보를 제공하여 사용자의 소비패턴변화를 유도하는 홈에너지관리시스템(Home Energy Management System)을 이끄는 견인차 역할을 할 것으로 생각된다.

본 연구는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력 양성사업의 연구결과입니다.

References

- [1] 에너지관리공단, “스마트계량시스템 기술규격 개발 및 실증적용 연구”, pp 8-20, 2009.1.
- [2] Tsuyoshi Ueno, Fuminori Sano, Osamu Saeki, Kiichiro Tsuji, “Effectiveness of an energy-consumption information system on energy savings in residential houses based on monitored data”, Applied Energy vol. 83, pp. 166-183, 2006.
- [3] Rob van Gerwen, Saskia Jaarsma and Rob Wilhite, “Smart Metering”, KEMA, Netherlands, pp. 76-85, July. 2008.
- [4] 임상국, “산업용 전기로의 수요관리 잠재량 산정 및 보상제도에 관한 연구”, 숭실대학교대학원, 석사학위 논문, pp. 12-20, 2004.12.
- [5] 손학식, “전력수요관리를 위한 BESS의 적정용량 산정과 운전 전략에 관한 연구”, 숭실대학교대학원, 박사학위 논문, pp. 55-60, 2002.12.
- [6] Home Area Network (HAN) Functionality Guideline, Department of Primary Industries, Australia, pp. 31-38 Nov. 2008.
- [7] IEC 62056, “Electricity metering - Data exchange for meter reading, tariff and load control”, International Standard IEC, pp. 45-55, 2002.
- [8] 지식경제부, “2008년 국가에너지종합분석보고서(가정/상업부문)”, pp. 23-28, 2009.
- [9] 조현경, “전력수요관리를 위한 조명부문 에너지 절약기반의 효율향상제도 도입에 관한 연구”, 숭실대학교 대학원, 석사학위 논문, pp. 17-19, 2007.6.

◇ 저자소개 ◇

임상국(任相國)

1970년 11월 11일생. 1996년 전북대 전기공학과 졸업. 2004년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사수료. 현재 에너지관리공단 수요관리실 선임과장.

신희상(申熙尙)

1980년 9월 18일생. 2007년 숭실대 전기공학과 졸업. 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.

조성민(趙成旻)

1980년 10월 03일생. 2003년 숭실대 전기공학과 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.

이희태(李羲泰)

1976년 4월 2일생. 2002년 숭실대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사수료.

윤용태(尹容兌)

1971년 4월 20일생. 1995년 MIT 수학과 졸업. 1997년 MIT 대학원 전기 컴퓨터공학부 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기 컴퓨터 공학부 졸업(박사). 현재 서울대학교 전기 컴퓨터 공학부 교수.

김재철(金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대학교 전기공학부 교수.