

분전반 전력관리용 지능형 계측 제어 시스템 개발

(A Development of Intelligent Metering and Control System for Energy Management of Electric Cabinet Panel)

박병철* · 박재성 · 송성근 · 신중린**

(Byung-Chul Park · Jae-Sung Park · Sung-Kun Song · Joong-Rin Shin)

Abstract

In recent years, the many electric saving methods are studied because of difficulty of meeting the demand. The electric energy management such as monitoring of branch power consumption, demand control, metering, power quality monitoring, electric safety monitoring can make energy saving. The purpose of this paper is to develop a system which can provide the integrated management of various functions required for energy management by consumers. In this system all functions which were embodied into each devices are integrated into intelligent meter. The developed systems are tested and implemented by installing at consumer electric distribution panel.

Key Words : Intelligent Metering, Smart Meter, Smart Cabinet Panel, Energy Management

1. 서 론

전기 에너지의 관리는 공급자를 중심으로 시행되어 왔으나 최근 에너지 절약이 화두가 되면서 수용가가 직접 에너지를 관리하고 절약할 수 있는 방법이 확대

되고 있다[1].

일반 주택과 같은 소규모 수용가에서도 전력 사용량을 실시간으로 보여 줄때 에너지 소비가 약 5% 가까이 감소한다는 연구 결과가 있다. 이는 전력 정보가 사용자 의식을 자극하여 수요반응을 일으킨 원리이다[2].

빌딩이나 상가와 같은 대 수용가는 전체 전력 사용량은 파악할 수 있으나 분기 회로가 많아서 에너지 흐름이 어떻게 되고 어느 곳을 집중 관리해야하는지 파악하기 쉽지 않아 전력관리가 용이하지 않다. 전력 계측 제어에 관한 다양한 디바이스를 설치하여 파악할 수 있겠으나 설치 어려움과 높은 비용이 발생하므로 적극적 도입이 쉽지 않다[3].

이를 극복하기 위해 수용가 전력 설비 그대로 선로 분기가 집중되는 개소에 지능형 장치를 부착하여 에너지 관리가 가능한 방법이 요구되고 있다[4].

* 주저자 : 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 책임연구원

** 교신저자 : 건국대학교 전기공학과 교수

* Main author : Managerial Researcher, Digital Convergence Research Center, KETI, Korea

** Corresponding author : Professor, Dept. of Electrical Eng., Konkuk University, Korea

Tel : 062-975-7050, Fax : 062-975-7039

E-mail : bcpark@keti.re.kr

접수일자 : 2013년 6월 3일

1차심사 : 2013년 6월 12일, 2차심사 : 2013년 7월 6일

심사완료 : 2013년 7월 11일

본 논문에서는 수용가 분전반 전력 관리에 요구되는 다양한 기능을 지능형 미터와 보조 장치 중심으로 통합 구현하는 방법과 기존 분기 회로에 쉽게 적용할 수 있는 방법을 제시하고 시제품의 제작과 현장 설치 및 운용을 통해 타당성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 지능형 전력 계측 제어 시스템 개발 규격

그림 1은 대 수용가 분기 회로(분전반)에 설치되어 전력 관리가 가능하도록 하는 지능형 전력 계측 제어 시스템의 구성도 이다. 지능형 미터는 시스템의 관리와 통신 집중기 역할을 담당하고 다양한 보조 장치와 결합하여 시스템의 계측 및 제어를 실시하는데 본 연구에서 개발하고자하는 사양은 아래와 같다.

1) 지능형 미터

- 정격: 3상 4(3)선, 220/380V, 5/40/120A, 60Hz
- 계기등급/정수: 0.5급, 10,000(Pulse/kWh)
- 계측 요소: 전압, 전류, 전력, 에너지, 주파수, 고조파 등
- 전력량 측정: 양방향 계량
- 부하이력: 28672개(15분 기준: 10개월)
- 전력품질: 순간전압 강하/상승, 저/과전압, 정전
- 품질파형 기록: 256개(3상 전압/전류 파형, 0.5초)
- 표시장치: 그래픽 표시장치(128×256 픽셀)
- 수요 제어: 부하 최대 30분기
- 통신 방식: 광 통신, RS485(모드버스)

2) 분기회로 에너지 측정 유닛

- 정격: 3상 4(3)선, 220/380V, 5/40/120A
- 정밀도: 1.0급
- 계측 요소: 전압, 전류, 전력, 에너지
- 최대 측정 분기: 60회로 (단상 기준)

3) 수요 제어 유닛 (릴레이 제어 모듈)

- 최대 제어 회로: 30
- 지능형 미터의 수요 제어 명령에 따라 부하제어

4) 차단기 및 설비 상태 감시 유닛

- 차단기 감시: 60회로, 접점 입력: 20 점
 - 4-20mA 센서 입력: 20채널
- 5) 전기안전감시 유닛
- 누설전류 감시: 60회로 (15mA~500mA)
 - 과전류 감시: 5회로(3상)
 - 검출 동작시간: 30msec~2500ms
- 6) 설비미터 자동 검침 유닛
- 검침 미터: 디지털 가스, 온수, 수도, 열량 4종 미터
 - 검침 주기: 1분



그림 1. 분기회로 전력관리 지능형 계측 제어 시스템
Fig. 1. Intelligent metering and control system for energy management

2.2 지능형 미터 개발

지능형 미터는 본 개발 시스템의 핵심 장치로 종합적인 전력 정보를 측정, 수집, 가공하여 상위 관리 서버로 전달하는 기능을 갖는다. 분기별 전력(량), 원격 검침 값, 다양한 접점 정보, 관리에 필요한 센서 값을 통신으로 취득하고 다시 상위에 전달하는 집중기, 게이트웨이 역할을 수행한다. 지능형 미터는 수용가 전력망의 최상위에 설치되어 건물 전체의 전력량을 0.5급으로 정밀 계량하고 예측 에너지 사용이 기준을 초

과할 때 미리 설정된 부하를 차단하여 수요와 전력량을 관리할 수 있다. 또한 태양광 풍력과 같은 신재생 에너지가 건물 전력시스템에 연계될 때 조류가 양방향 이 되는데 지능형 미터는 양방향으로 계량하여 수전, 송전 전력량을 구분할 수 있도록 설계되었다. 그리고 전력 품질을 검출할 수 있어 품질 사고가 발생하였을 때 전압과 전류파형을 함께 기록하여 품질 문제의 원인을 파악 할 수 있다.

시스템 기능의 대부분을 지능형 미터에서 수행하므로 높은 연산 능력이 요구되나 전자식 전력량계 규격에 의하면 기기 자체 소모 전력이 2W 미만 이어야 하는 규정을 준수하는 범위 안에서 하드웨어와 연산속도를 설계해야한다[5-6]. 본 개발에서는 높은 계측 정밀도, 고속 품질 검출 및 기타 통신 기능을 고려하여 그림 2와 같은 구조로 설계하였으며 부품의 개수를 최소화하고 간단한 구조를 위하여 데이터 버스는 동기 직렬 방식을 채용하였다.

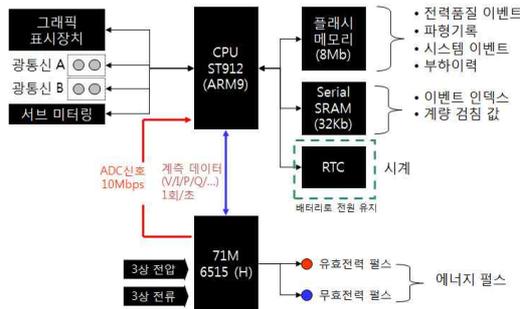


그림 2. 지능형 미터의 내부구조
Fig. 2. Structure of intelligent meter

계측전용 SoC(System on Chip)인 맥심사 71M6515를 이용하여 계량과 전력 정보를 측정하고, 단방향 송출되는 3상 전압, 전류 직렬 ADC(18bit)를 ARM코어 CPU에서 수신하여 벡터 연산과 전력품질 검출의 기본 데이터로 활용하였다. 샘플링 율은 60Hz기준 42샘플/주기로 취득된다. 샘플링 율이 낮은 편이나 ADC의 해상도가 높아서 이를 보완할 수 있다. 메인 CPU는 ST사의 STR912(96MHz) 코어를 사용하였다. 내부에 512kB 프로그램 메모리와 96kB의 SRAM이 있어 별도 메모리가 필요 없다. 사용자 편의성과 인식성을 높

이기 위해 128*256 픽셀의 그래픽 표시장치를 개발하여 사용하였다.

국내외 지능형 미터의 통신규약은 DLMS/COSEM을 채용하고 있으나, 시스템에서 요구하는 품질 이벤트, 과형 기록 등을 구현할 수 있는 객체가 충분하지 않는 관계로 산업용에 쉽게 적용되는 모드 버스를 채용하였다[7]. 벡터 연산, 전력품질 검출, 과형 기록, 상위 통신, 하위 보조 장치 통신, 계량 서버, 그래픽 표시장치 제어 등의 기능을 플로우 인터럽트(single task) 방식으로 구현이 어려워 실시간 운영 체제(이하 RTOS)를 적용하여 각 태스크 별로 기능을 구분하고 우선권을 부여하여 개발하였다. 그림 3은 RTOS의 태스크와 공유 자원을 위한 세마포를 표시하였다.



그림 3. 지능형 미터의 RTOS 태스크와 세마포
Fig. 3. RTOS Task & semaphore of intelligent meter

벡터 연산은 우선순위가 가장 높은 태스크인데 10ms 마다 동작하며 전력 품질 검출의 기준인 전압, 전류 실효치와 전력 관련 벡터 정보 연산을 위해 푸리에 변환을 적용하여 복소값을 연산한다. 복소 값 크기를 기준으로 품질이상 검출, 품질 계수 추정 등 다양한 전력 벡터 정보를 연산한다.

계량서버 태스크는 1초마다 실시되며 지능형 미터가 기존 전자식 전력량계의 특성인 전력량 검침, 수요 제어, 시간에 따른 효율처리, 부하 이력 등을 누적, 기록한다. 그 외에 통신 태스크, HMI(Human Machine Interface) 태스크는 통신과 표시장치의 기능을 담당하는데, 상대적으로 CPU를 점유할 수 있는 우선권이 낮도록 설계되었다. 모든 태스크들의 참조 데이터는

외부 저장 메모리에 있는데 이 메모리를 동시에 접근할 경우 입출력에 문제가 발생하므로 세마포를 두어 접근의 순서를 정하도록 설계되었다.

2.3 계측 제어 보조 장치(Sub Unit) 개발

본 개발 시스템은 5개의 보조 장치가 있어 지능형 미터와 결합하여 수용가의 전력 흐름을 파악하고 적절한 부하 제어를 실시하고 소내 전력망의 상태 정보를 수집하게 된다.

분기 회로(분전반) 에너지 측정 유닛은 주차단기 이후 분기회로에 흘러가는 전압, 전류, 전력을 측정하고 에너지를 누적한다. 이 데이터를 지능형 미터에 전달하고 최종적으로 상위 에너지 관리 시스템의 정보로 활용하게 된다. 최대 60채널(1모듈: 12채널)의 분기선로의 전력정보를 취득할 수 있어서 소규모 공장 및 빌딩의 대부분의 분기 회로의 에너지 흐름을 파악할 수 있다.

수요 제어 유닛은 지능형 미터의 제어 신호를 받아 직접 부하를 차단, 투입하는 역할을 한다. 예측 수요 제어 방법은 그림 5와 같이 현재 누적전력, 남은 수요 시한을 기초로 예측전력을 구하고 예측 값의 상태에 따라 부하 제어를 실시한다. 최대 30회로까지 제어할 수 있도록 개발되었다.

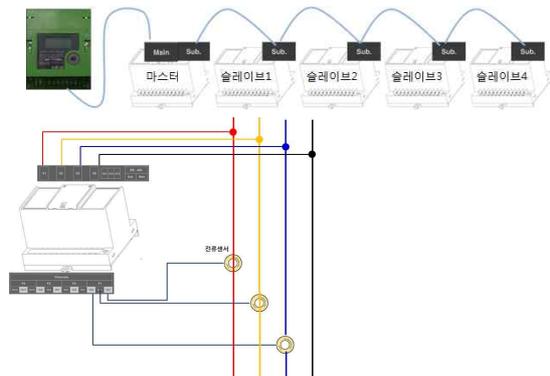


그림 4. 지능형 미터와 분기회로 에너지 측정 유닛 연결 및 유닛의 전기 결선
Fig. 4. Interface of intelligent meter with mult-channel measuring unit and wiring diagram

예측 수요 제어의 기준이 되는 예측, 기준, 조정전력의 정의를 아래와 같은 수식이며 그림 5에 나타내었다.

- * 예측전력=현재전력+전력 변화량(초)*남은수요시한
- * 기준전력=목표 전력/남은수요시한*경과시간(초)
- * 조정전력=(예측전력-목표전력)/남은시간*수요시한(초)

부하제어는 예측전력이 목표전력을 넘거나 현재 전력이 기준전력을 넘어서면 부하제어를 시작하는데 우선순위로 부하를 차단, 투입하거나 동일한 조건에서는 조정전력에 적합한 부하를 제어하여 동작회수를 최소화하도록 한다.

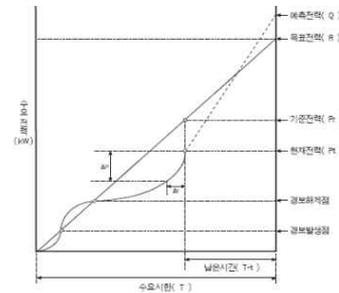


그림 5. 지능형 미터의 수요 제어 방법
Fig. 5. Scheme of demand control of intelligent meter

차단기 및 설비 상태 감시 유닛은 분기회로 별 차단기의 상태와 화재 감시 제어반의 상태 점접, 압력, 유량, 누수 관련 센서의 신호를 취득하여 지능형 미터를 통하여 상위 시스템으로 전달한다.

최대 60회로의 차단기 상태(투입, 차단, 트립)를 감시할 수 있고 추가로 20 채널의 일반 목적 점접과 20 채널의 4-20mA 센서 신호를 취득할 수 있다. 설비 및 차단기 상태 감시 유닛은 에너지 관리와는 직접적인 연관이 없으나 수용가에서 에너지 흐름과 함께 건물 상태 감시도 한 시스템으로 해결할 수 있어 BEMS (Building Energy Management System)을 쉽게 구축할 수 있도록 하였다.

전기안전감시 유닛은 분기선로의 화재로 연결될 수 있는 누전이 발생할 경우 이를 검출하고 이벤트로 기록하는 기능을 갖고 있다. 최대 60회로의 분기선로를 감시할 수 있으며 15mA의 누설전류를 30msec안에

분전반 전력관리용 지능형 계측 제어 시스템 개발

검출할 수 있는 감도를 갖고 있다. 또한 사고 전류, 과전류가 발생할 경우 이를 순시로 검출하여 이벤트로 기록하는 기능이 있어 차단기 상태 감시와 더불어 단락이나 과부하가 발생한 분기를 쉽게 추적하여 설비유지를 편리하게 할 수 있다. 물론, 수전 시스템의 누전과 과부하에 대한 전기 보호는 분전반에 설치된 저압 차단기가 수행한다.

마지막으로 설비미터 자동검침 모듈은 그림 6과 같이 구성되며 전기에너지 외에 빌딩에서 소요되는 자원(가스, 수도, 열량, 온수)을 취득하여 지능형 미터를 통하여 상위 에너지 관리 시스템으로 전달한다.



그림 6. 지능형 미터와 설비미터 자동검침 시스템 구성
Fig. 6. AMR system diagram of intelligent meter and equipment meter

지능형 미터는 한 달에 1회 정기검침을 수행하는데 이때 설비 미터도 검침데이터를 생성하도록 하였다.

2.4 시제품 제작 및 실험결과

그림 7은 분전반 전력관리를 위한 지능형 계측 제어 시스템의 시제품이다. 현재 구성은 시스템을 최대 확장했을 때를 가정하고 구성하였고, 수용가의 규모나 환경에 따라 축소하여 구성할 수 있다. 상위 운영 소프트웨어는 BMS나 BEMS가 있으나 본 개발에서는 간단한 시험용 소프트웨어로 구성하였다.

전압, 전류 정밀 발생기로 모든 장치의 계측 정밀도를 측정하고 이득 조정을 한 상태에서 시험용 실 부하를 구성하여 분기회로의 에너지 흐름을 측정하였고 그림 8과 같이 에너지가 측정됨을 확인할 수 있다.

수용가의 목표 전력 값을 실험 부하보다 낮게 설정하여 수요 제어가 의도적으로 발생할 수 있도록 실험하였고 그림 9와 같이 예측 전력이 기준 전력이 넘는 시점부터 부하차단이 발생함을 확인할 수 있다.



그림 7. 지능형 계측 제어 시스템 시제품
Fig. 7. Prototype of intelligent metering and control system

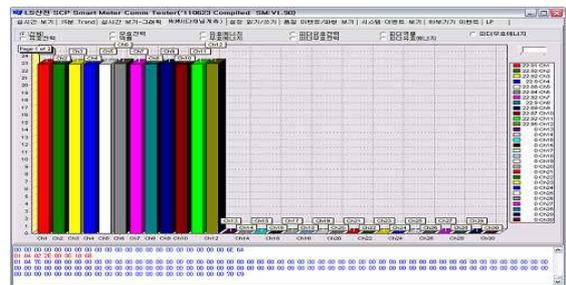


그림 8. 분기 회로별 에너지 측정
Fig. 8. Power monitoring of distribution panel

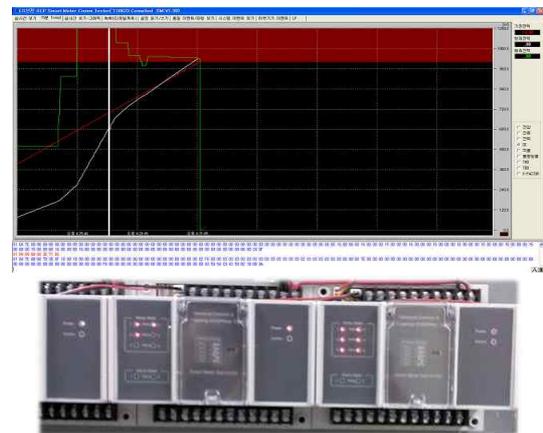


그림 9. 수요 제어에 의한 부하 차단 실험
Fig. 9. Test of load control by demand control

전압, 전류 정밀 발생기 의도적으로 순간전압 강하를 발생시켰을 때 그림 10과 같이 이벤트와 함께 전압 파형이 기록됨을 확인할 수 있다.

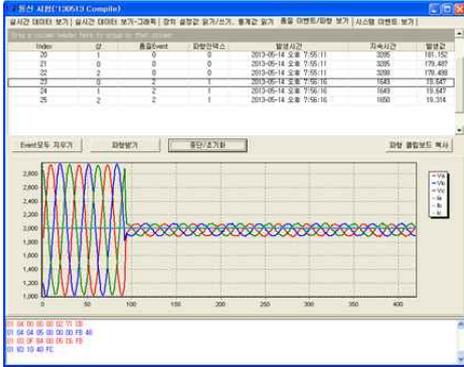


그림 10. 지능형 미터의 순간전압 강하 검출
Fig. 10. Sag detection of intelligent meter

차단기 및 설비감시 유닛을 차단기와 연계하여 현재 상태(투입, 차단, 트립)가 정상적으로 이벤트로 기록됨을 그림 11에서 확인할 수 있다.

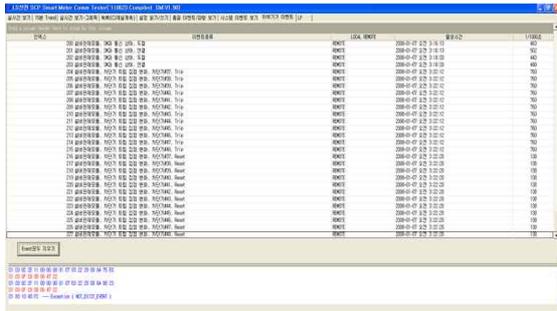


그림 11. 차단기 상태 및 트립 기록 이벤트
Fig. 11. Event record of CB status and Trip

전력량계는 많은 기능이 있지만 기본적으로 전력량계의 관련된 규격 조건을 만족할 경우 그 성능을 인증하는데 국내는 형식승인 절차가 있고 관련 시험은 대부분 IEC규정에 준하여 시험을 진행한다[5-6]. 본 개발은 형식 승인과 동일한 규격으로 인증기관(전기연구원)을 통해서 실시하였는데 그 성능과 결과는 표 1과 같다. 기본 측정 정밀도와 EMC, 환경적인 왜란까지 전자식 전력량계의 기준을 만족함을 확인할 수 있다.

표 1. 지능형 미터의 IEC규격 참고 시험
Table 1. Reference test result of intelligent meter

구분	기준	결과
정전기 방사 내성	기준, 접촉 8kV	이상 없음
무선주파 방사 내성	10V/m(수평수직) 오차한계 2%이하	이상 없음 (오차변동 0.13%)
급과도 버스트 내성	4kV, 5kHz 오차한계 4%이하	이상 없음 (오차변동 0.21%)
조합 서지 내성	4kV, 1.2*50uS	이상 없음
무선 주파 전도 내성	10V 오차한계 2%이하	이상 없음 (오차변동 0.19%)
전자파 장해	CISPR22 ClassB	20dB 이하 양호
고온, 습도 온습도 사이클	55℃72시간 45℃95% 144시간 오차변화 1%이하	이상 없음 (오차변동 0.01%)

2.5 개발 시스템의 현장 설치 및 실증 운전

본 개발 시스템은 그림 12와 13과 같이 GS생활관, 김포공항에 설치되어 운전 중에 있다. GS생활관은 신재생에너지 요소들이 설치되어 있어서 양방향 계량과 설비미터의 자동검침 중심으로 설계되었고, 김포공항의 경우 분기회로별 에너지 측정에 관심이 높아서 지능형 미터와 분기회로 에너지 측정 유닛이 설치되어 운전되고 있다. 실증 시스템의 전기적 사양은 표 2와 같으며 GS생활관은 신재생 발전원과 부하가 동시에 있어 양방향 미터링이 요구되고 김포공항의 경우 분기회로가 200개나 되어 분전반마다 분기 회로 에너지 측정 유닛이 설치되었다.

본 논문에서 데이터 취득 상태를 표시하는 윈도우 기반 소프트웨어는 시험용으로 제작되었으며 수용가의 BEMS나 별도의 서버 소프트웨어가 현재 지능형 계측 제어 시스템을 위해 개발 중 이다. 제어를 위한 통합 설정과 모니터링이 병행되면 설치 수용가의 에너지 흐름을 파악하고 다양한 에너지 절감 콘텐츠와 수요 제어가 될 것으로 예상된다.

표 2. 실증시스템의 전기적 사양
Table 2. Electrical specification of field test system

부하/발전원 구분	분전반	사양	비고
소형 풍력	1면	3kW, 단상(220V)	GS 생활관
태양광 발전	1면	10kW, 3상(380V)	
연료전지	1면	5kW, 단상	
배터리 에너지 저장	2면	4kW, 단상(3기)	
일반 저압 수전	3면	100kW이하, 3상	
일반 저압 수전	6면	분기회로 200회로 (각용량 25kW미만)	김포 공항

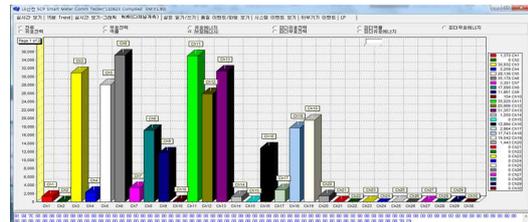
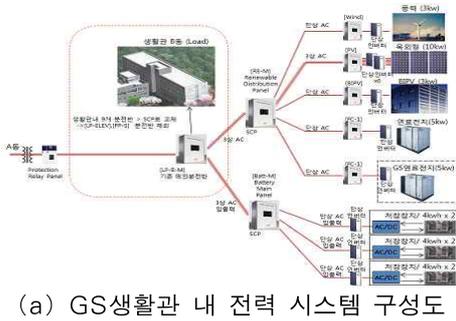


그림 13. 김포공항의 분기 회로별 전력 사용량 측정
Fig. 13. Monitoring of branch circuit power consumption of Kimpo airport

3. 결 론

본 논문에서는 대 수용가의 적극적인 전력관리에 요구되는 전력 분기별 에너지 모니터링, 수요 제어, 차단기 설비의 감시, 전기안전, 설비 미터 자동 검침 등을 한 시스템으로 통합 관리할 수 있는 지능형 계측 제어 시스템 개발하고 성능 확인과 현장 실증을 실시하였다. 개발 시스템을 통하여 수용가의 각 분기 회로별 에너지를 감시하여 에너지 절감 계획을 세울 수 있으며 수요 제어를 통하여 직접적인 전력 관리가 가능함을 실험 검증하였다. 향후 본 지능형 시스템을 기존 빌딩관리 시스템(BMS)과 빌딩에너지 관리시스템(BEMS)와 연동하여 다양한 에너지 절감 프로그램을 실시 예정이며 상가와 공장에 설치되어 수용가에서 요구하는 에너지 절감 서비스를 실시 할 수 있을 것으로 기대된다.



(a) GS생활관 내 전력 시스템 구성도



(b) 지능형 계측 제어 시스템이 설치된 분전반



(c) 설치 시스템의 원격 양방향 미터값 읽기

그림 12. GS생활관 설치 지능형 계측 제어 시스템
Fig. 12. Intelligent metering and control system installed in GS training institute

References

- [1] Smart grid policy promotion status & current affairs of major advanced country, Dong-Su Ko, KIET, Mar. 2011.
- [2] DOE, "Benefits of Demand Response and Recommendations", Feb. 2006.
- [3] Integrated resources management system for building & high demand consumer, Final report, MKE, Oct. 2010.
- [4] MKE, "National smart grid road map", Jan. 2010.
- [5] IEC 62052-11: Electricity metering equipment (AC) General requirements, tests and test conditions., 2003.
- [6] IEC 62053-22: Static meters for active energy, 2003.
- [7] IEC 62056-52: Electricity metering-Data Exchange for meter reading, tariff and load control Part 52: Communication protocols management distribution line message specification(DLMS) server, 2002.

◇ 저자소개 ◇



박병철 (朴丙哲)

1973년 6월 15일생. 1996년 건국대 전기공학전공 졸업. 1998년 동대학원 전기공학전공 졸업(석사). 2003~2012년 LS산전 전력연구소 책임연구원. 2012년~현재 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 책임연구원.

E-mail : bcpark@keti.re.kr



박재성 (朴宰成)

1970년 3월 4일생. 1992년 충남대학교 컴퓨터 졸업. 1992년 동대학원 컴퓨터공학 졸업(석사). 2012년 충북대학교 박사수료. 1994년~현재 LS산전 전력기기제품연구소 수석연구원.

E-mail : jsparkj@lisis.biz



송성근 (宋成根)

1975년 9월 16일생. 1998년 전남대 전기공학전공 졸업. 2007년 동대학원 전기공학전공 졸업(박사). 2008년~현재 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 센터장.

E-mail : sgsong@keti.re.kr



신중린 (愼重麟)

1949년 9월 22일생. 1977년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 건국대학교 전기공학과 교수.

E-mail : jrshin@konkuk.ac.kr