

세대집중화장치를 포함하는 스마트 전력량계를 이용한 AMI 시스템

박재삼*

AMI System Using Smart Electricity Meter Embedded with Home Concentrate Unit

Jae-Sam Park*

요약

본 논문에서는 스마트 전력량계에 세대집중화장치를 내장하여 AMI에 필요한 가스, 수도, 온수, 난방 검침을 일괄검침하는 시스템과, 검침데이터를 에너지정보표시장치(IHD: In House Display)와 서버로 전송하는 방법을 구성하여 보다 경제적으로 AMI 시스템을 구축하는 방법을 제시한다. 개발된 시스템은 기존 시스템보다 네트워크 구성에 있어서 가격이 저렴하고 운영비용이 절감되며 설치가 용이하다. 개발된 시스템을 적용하면 전기, 수도, 가스, 온수 및 난방의 5종 계량기의 계량값을 원격검침 하고 이에 대한 AMI 적용을 보다 용이하게 구성 가능하다. 주요개발 내용은 스마트 전력량계 구성과 세대집중화장치 결합 및 이를 데이터를 IHD와 서버로 전송하는 방법이며, 이를 요소들을 연계하여 시스템을 구성하고 실제 검침 동작구성을 테스트하고 그 결과를 보여준다.

ABSTRACT

In this paper, a system that integrates a home concentrate unit(HCU) in a smart electricity meter to collects water, gas, hot water, and heating usage required for AMI has been proposed. The collected data could be transmitted to the in house display(IHD) and server to provide a more economical AMI system. The developed system is less expensive in the network configuration than the existing system, which could reduce the operating cost, and be easy to install. By applying the developed system, the usage of electricity, water, gas, hot water and heating could be measured and these make it easier to apply AMI system. The main contents of the development are the smart electricity meter and embedding of HCU into the smart electricity meter, and transferring these data to IHD and server to structure the AMI system. The each developed unit has been networked to structure the AMI system to perform the actual meter reading operation and show the result.

키워드

AMI(: Advanced Metering Infrastructure), AMR(: Automatic Meter Reading), Electricity Meter, HCU(: Home Concentrate Unit), IHU(: In House Display)
 침단 계량 인프라, 원격 검침, 전력량계, 세대 집중화 장치, 세대 정보 표시 장치

* 교신저자: 인천대학교 전자공학과 교수

• 접 수 일 : 2019. 05. 17

• 수정완료일 : 2019. 05. 31

• 게재확정일 : 2019. 06. 15

• Received : May. 17, 2019, Revised : May. 31, 2019, Accepted : Jun. 15, 2019

• Corresponding Author : Jae-Sam Park

Dept. of Electronics Engineering, Incheon National University

Email : jaepark@inu.ac.kr

I. 서 론

스마트그리드란 기존 전력망에 정보·통신 기술을 접목하여 공급자와 수요자간 양방향으로 실시간 전력 정보를 교환함으로써 지능형 수요관리, 신재생 에너지 연계, 전기차 충전 등을 가능하게 하는 차세대 전력인프라 시스템을 말한다. 스마트그리드에서는 소비자 참여가 가능하고, 분산전원(신재생에너지)의 확대와 저장기능을 강화할 수 있으며, 자산 최적화 및 운영 효율화, 고도화된 전력망 감시·보호 및 자기치유, 차세대 전기차 인프라 제공등이 가능해 진다. 스마트 그리드는 AMI(: Advanced Metering Infrastructure), EMS(: Energy Management System), ESS(: Energy Storage System), 전기차 및 충전소, 분산전원, 신재생 에너지, 양방향 정보통신기술, 지능형 송·배전시스템 등으로 구성된다[1-3].

스마트그리드의 주요 분야인 AMI는 최종 전력 소비자와 전력회사 사이의 전력서비스 인프라로 스마트그리드 실현에 필수적인 핵심 인프라 시스템이다. AMI는 표준화된 프로토콜을 통해 시스템 간 상호운용성을 확보하여 미터기를 통한 양방향 통신을 지원한다. 이를 통하여 전력의 공급자와 수요자 간의 상호정보제공 수단이 되며 TOU(: Time Of Use), CPP(: Critical Peak Pricing), RTP(: Real Time Pricing) 등 고도화된 Time-based 요금제 지원을 비롯한 다양한 유형의 부가서비스 제공이 가능므로, 이를 통해 수용가 측 DR을 통하여 능동적인 에너지 절감 참여 유도가 가능하고, 부하예상, 부하제어, 정전관리, 전력품질 모니터링 등 전력회사 측면에서의 효율적인 전력 수급을 위한 부가서비스 제공이 가능해 진다.

AMI 이전 단계로 원격검침(AMR: Automatic Meter Reading)이 많이 사용되어오고 있는데 AMR과 AMI는 표 1에서 보는 바와 같이 요금, 지능형 수요반응(DR: Demand Response), 소비자 연계, 에너지 절약, 운용, 통신방식, 통신주기, 사용 미터기 및 적용 대상 등에서 많은 차이가 있다.

AMI 시스템 구축을 위하여는 유무선 통신기술(PLC, ZigBee 등), 대수용가 기반의 원격검침 기술, 스마트미터 개발 기술 등이 필요하다. 현재 국내의 AMI 사용 환경은, 소비자 DR 관련 기술 및 인프라가 미흡하고, AMI를 수용할 요금제도가 없어 시장

형성이 약하고, 저가의 전력, 수도, 가스 요금 체계로 수요가 낮고 AMI 확장이 느리게 진행되고 있지만 다양한 기술이 연구되고 있다[4-7]. 선진국 중심으로 해외에서는 AMI 아키텍처 및 요소 기술 개발과 AMI의 기술의 상용화가 빠르게 이루어지고 있고 전력뿐만 아니라 수도, 가스 등 에너지 전반에 대한 AMI 시스템 구축으로 스마트 시티 활성화에 적극 적용하는 추세이다.

표 1. 원격검침과 첨단계량인프라 비교

Table 1. Comparison of AMR and AMI

Category	AMR	AMI
Billing	Total energy usage	Total energy usage Peak time, Real-time usage
Demand Response	None	Load control Demand predict
User support	Monthly billing Web display In House Display	Time base monthly billing Web display In House Display
Energy saving	Appliance manual on/of	Appliance scheduled, auto, load depend control
Failure Operation	Notify the user	Auto detect Remote operation
Communication direction	One way (measurement only)	Two way(measurement and control)
Communication cycle	hourly ~ daily	minutely ~ hourly
Meter type	digital	digital
Applies	Electricity, Water, Gas, Hot-water, Heat	Electricity, Water, Gas, Hot-water, Heat

국내에서 AMI 시스템 활성화를 위하여는 AMI를 견인할 스마트미터기 및 관련 네트워크, 시스템을 통합한 통합 패키지 형태 시스템 개발이 필요하다.

이러한 관점에서 AMI분야의 활성화를 위하여는 전기, 가스, 수도, 열 등 사용량 정보를 일괄 검침할 수 있는 에너지 통합검침시스템 개발 및 보급이 필요하다.

본 논문에서는 2장에서 전체 시스템의 주요 구성, 특징을 설명하고, 세대집중화장치를 내장하여 AMI에 필요한 가스, 수도, 온수, 난방을 일괄 검침하는 시스템과, 검침데이터를 세대정보표시장치(IHD: In House Display)와 서버로 전송하는 장치의 설계에 관하여 시스템의 하드웨어적 구성을 중심으로 다루고, 3장에

서 시스템의 소프트웨어 동작을 설명한 후 4장에서 전체 시스템 연결 테스트 방법 및 결과로서 스마트 전력량계에 개발된 시스템은 기존 시스템 보다 네트워크 구성에 있어서 가격이 저렴하고 운영비용이 절감되며 설치가 용이하며, AMI 적용을 보다 용이하게 구성 가능함을 보여주고, 5장에서 결론을 나타낸다.

II. 시스템 구성

2.1 주요 구성 요소

그림 1에 본 논문에서 개발하는 시스템의 구성을 보여주고 있다. 개발하는 전력량계에 포함된 세대 집중화 장치에서 DC-PLC 통신으로 수도, 온수, 열량, 가스 미터기가 연결되어 2선으로 각 미터기에 전력공급과 동시에 통신으로 사용량 정보를 일괄 검침하여 전력계산부로 전달한다. 전력계산부는 전기사용량을 포함한 검침데이터를 RS-485 통신을 통하여 IHD로 전송한다. IHD는 검침데이터를 디스플레이 하고 인터넷을 통하여 서버로 전달한다.

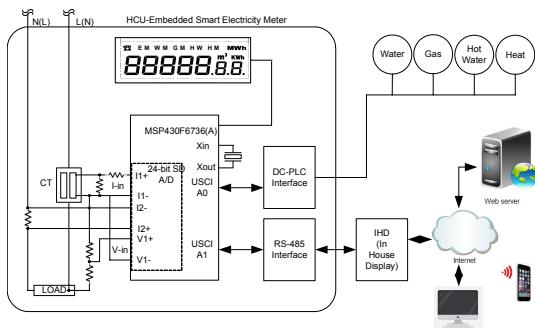


그림 1. 시스템 구성

Fig. 1 Structure of developed system

그림 1에서 스마트미터는 전기, 수도, 가스, 열 등의 에너지 사용 정보를 제공하여 DR을 통한 에너지 효율을 향상 시킬 수 있도록 하기 위하여 통신 기술의 적용과 함께 양방향 통신을 지원하여야 한다.

개발 시스템은 사용한 에너지량을 다양한 시간 구간 또는 간격으로 계량하고 이를 통신 기술과 연계하여 에너지 회사는 각 사용자들로 부터 지속적으로 사용 정보를 읽어 들여 데이터베이스화 할 수 있도록 한다.

2.2 시스템 특징

전력량계는 가정용 및 산업용에 사용하여 소비 전력량을 측정하는 계기로서 일반적으로 한국 산업 규격 명칭으로 보통전력량계(Watt Hour Meter)로 표기되어 있으며 약호로 WHM로 표기한다. 보통전력량계는 공급전압과 전류를 곱한 값에 시간이 가산됨으로 사용된 전력량을 표시하는 계기이다. 전력량을 구하는 공식은 $Wh(\text{전력량}) = E(\text{전압}) \times I(\text{전류}) \times \cos\phi(\text{역률}) \times t(\text{시간})$ 가 된다.

전력량계를 용도에 따라 여러 가지로 분류 할 수 있지만 크게 정밀도에 의한 분류, 적용회로에 따른 분류, 사용방식 및 설치 방식에 의하여 분류 된다. 전력량계의 정밀도에는 $\pm 2.0\%$, $\pm 1.0\%$, $\pm 0.5\%$ 로 표기되어 있는데 이는 전력량계가 측정한 전력량의 오차범위를 나타낸다. 500kW 미만의 수용가의 경우에는 $\pm 2.0\%$ 의 보통 전력량계를 사용하며 500~10,000kW 범위의 수용가에서는 $\pm 1.0\%$ 의 정밀전력량계를 사용하며 10,000kW 이상의 수용가에서는 정밀도 $\pm 0.5\%$ 이내의 특별 전력량계를 적용하고 있다. 한편 적용회로 간선 방식에 따라 단상 2선식, 단상 3선식, 3상 3선식 제품이 있다.

본 논문에서는 일반가정에서 가장 많이 사용되는 단상 2선식 스마트 미터기(전력량계) 기능과 미터기 내에 세대집중화장치(HCU)를 포함하도록 하여 하나의 미터기로 자체 전력사용량과 가정내 수도, 가스, 온수, 열량계의 계량값을 통합하여 검침하고 이를 IHD로 전송하여 IHD에서 현재 검침값을 보여주고 이를 검침데이터는 IHD를 통하여 서버로 전송되어 저장하도록 개발한다. 그림 2에 기존 시스템과 개발 시스템의 구성의 차이를 보여준다.

기존 시스템은 계량기 → HCU → DCU → CCU → 원격검침 서버로 검침데이터를 수집하는 구조이다 단지 서버는 AMR 서버로 검침데이터를 요구하여 데이터를 받아 IHD에 디스플레이 하고, 사용자는 이를 읽게 된다. 이와 같은 구조에서는 단지 서버와 AMR 서버 두 개의 다른 네트워크를 운용하여야 하므로 설치비와 운용비가 상승한다. 또한 실제 계량기 지시값과 사용자가 읽는 데이터 값과의 시간차가 많이 발생하여, 사용자가 현재 보고 있는 데이터와 계량기의 값을 현장에서 비교하여 보면 상이한 경우가 많이 발생하여 사용자의 불신을 초래하고 있다. 개발시스템은

검침데이터를 직접 IHD로 전송하여 보여주므로 계량기 지시량과 검침 표시량이 항상 일치하여 사용자 신뢰성이 향상된다.

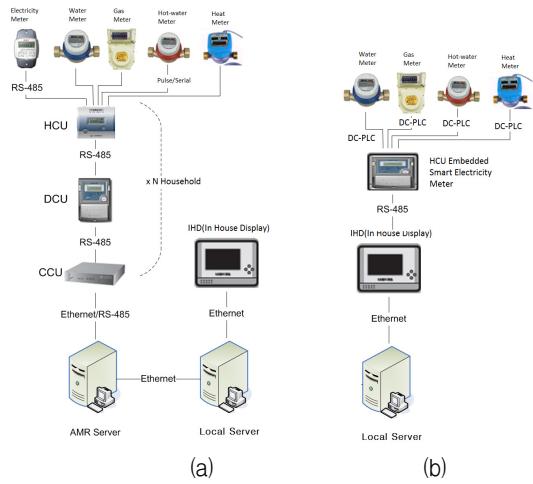


그림 2. (a) 기존 시스템과 (b) 개발 시스템의 네트워크 연결 비교

Fig. 2 Network comparison between (a) conventional system and (b) developed system

2.3 스마트 전력량계

그림 1에 나타낸 스마트 전력량계는 HCU기능과 IHU로의 통신기능을 포함함으로 인하여 개발제품을 이용하면 기존의 복잡한 AMR 또는 AMI 설치비를 줄일 수 있고 AMII 시스템의 가장 주요한 기능인 양방향 통신 기능을 부여함과 동시에, 가정 내 전기, 수도, 가스, 온수, 난방 등 모든 에너지의 총 소비량, 시간별 요금제(TOU), 피크 요금제(CPP), 실시간 요금제(RTP)가 가능하며, 추후 가정 내 가전기기와 연결하여 제어를 가능하게 할 수 있다.

스마트 전력량계 개발을 위하여 선택한 MCU는 TI사의 MSP430F6736(A)이다. MSP430F6736(A)는 아날로그 프런트 엔드 2차 시그마-델타 기반의 최대 3개의 24비트 $\Sigma\Delta$ 아날로그-디지털 컨버터(ADC)를 가지고 있어, 차동 입력을 지원하는 아키텍처. 시그마-델타 ADC($\Sigma\Delta$ 24)는 독립적으로 동작하여 출력 24비트로 전압과 전류를 동시에 샘플링하여 함께 그룹화 할 수 있으므로 본 개발 시스템이 적합하다. 변조감지를 위하여 메인에 대한 단상 2 선식 스타 연결을 한다. 전압은 간단한 전압분배 회로를 이용하여 해당전압을

측정하고, 전류 센서를 각 전류 채널에 연결하여 사용 전류를 측정한다. CT에는 부하저항을 연결하여 측정 장치를 보호한다[8-10].

단상 2선식 회로의 전력량을 계산하기 위하여 측정하여야 할 요소는 RMS 전류 및 전압, 활성 및 무효 전력, 활성 및 무효 에너지, 역률, 주파수 등이 있다. 그럼 3은 이들 요소들을 측정하기 위한 회로 구조를 보여준다. 대상 AC 전압 및 주파수는 230 V 또는 120 V 및 60 Hz 또는 50 Hz이다.

전압변환부는 전류신호와 승산하여 전력을 계산하기 위한 신호로서 ADC(: Analog Digital Converter)에서 처리할 수 있도록 220V의 전압을 이에 비례한 소정의 미소전압으로 변환하여 주는 회로로 구성한다. 전압신호는 부하의 크기에 상관없이 항상 거의 일정한 값을 가지는 신호이다. 계량기에서 사용하는 전압변환부는 그림 3에서 보는바와 같이 저항 분압 회로를 사용하는 방식으로 한다.

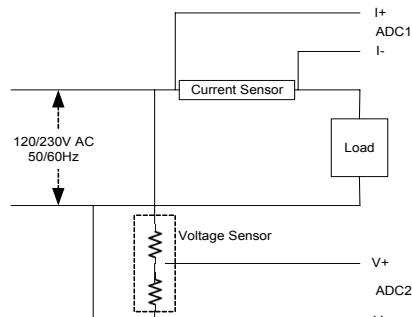


그림 3. 전류 및 전압측정 회로 구조
Fig. 3 Structure of current and voltage measurement circuit

전류 변환부는 전압신호와 승산하여 전력을 계산하기 위한 신호로서 ADC에서 처리할 수 있도록 부하전류에 비례한 소정의 미소전압으로 변환하여 주는 회로로 구성한다. 전류신호는 전압신호와는 다르게 부하의 크기에 따라서 값이 변하는 성분이다. 본 개발에서는 CT(: Current Transformer)를 이용하여 전류변환을 하도록 하며, 이는 일반적으로 많이 사용하는 전류센싱 방법 중의 하나이다. 계기의 오차 등급(class)를 좌우하는 부분이므로 계기의 정밀도(class 1.0)에 합당한 CT를 사용하도록 한다. CT는 비오차(ratio error)와 위상각 오차(phase angle error) 2종류의 오차발생

요인이 있으며 계기의 오차는 이 2가지 오차요소의 결합으로 나타난다.

2.3.1 메인보드 구성

그림 4에 메인보드 구성을 보여준다. LCD 드라이버는 MPU 자체내장으로 사용하고, LCD는 독자적으로 개발한 LCD를 사용하였다. 계기에는 날짜, 시간을 표시할 수 있는 기능을 구비하였다. 시계기능을 구현하기 위해서 전원 주파수(line frequency)를 이용하는 방법, RTC(real time clock)를 사용하는 방법 및 CPU에서 분주하여 시계 기능을 구현하는 방법이 있는데 본 개발에서는 CPU에서 분주하여 시간을 생성하는 방법을 사용하도록 설계 및 개발 하였다. 시계기능의 정확도를 좌우하는 가장 기본요인은 시계회로를 이루는 부품중의 하나인 크리스탈의 정밀도이다. 크리스탈은 온도 의존성과 전압변동 의존성이 높아 시계의 정밀도에 영향을 줄 수 있으므로 10PPM이내의 X-tal을 사용하였다. 본 연구 개발에서는 계기에 환경설정, 시간입력 등을 위한 별도의 자료 입력기가 필요 없이 동작하도록 하였다. 따라서 필요한 자료를 계기에 입력하기 위하여 조작 스위치를 구비도록 개발하였다. 조작 스위치는 시간대별 요금제 종류를 자유롭게 설정하는 한편 시간설정 및 수정과 자동검침일 설정 등이 가능하도록 하였다. 정전시 지금까지 동작하여 계량된 자료의 보존은 Flash RAM을 사용하므로 정전이 되더라도 문제가 있지만 시계기능 등의 유지를 위하여 정전보상 회로를 구비하여야 한다. 또한 일반 정전 보상회로의 차원을 넘어 100일 이상의 정전이 발생하여도 정전되기 이전의 자료를 보존할 수 있는 회로를 구성하였다. 정전 보상용 감시부는 전원복구시회복 기능을 제공한다.

2.3.2 전압공급

MCU에 공급한 전압은 DV3.6V이다. 이 전원은 110V/220V 및 50Hz/60Hz VRMS AC의 주 전압에서 직접 DC 3.3V의 전압을 공급 받도록 전원공급 장치를 설계하여 사용한다. 본 설계에서는 약 20mA 출력이 가능하도록 한다.

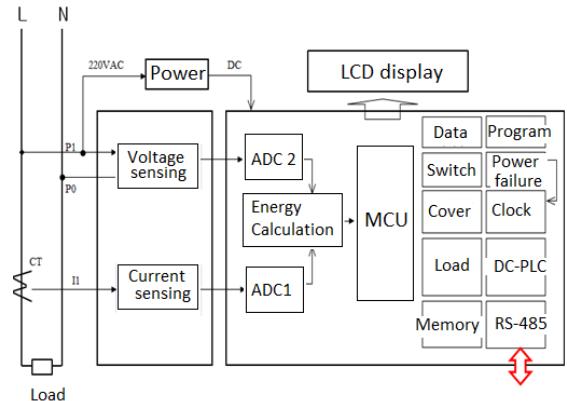


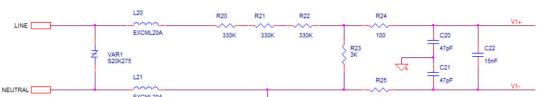
그림 4. 메인보드 구성

Fig. 4 Schematic of main board

2.3.3 전압 및 전류 측정

MCU의 $\Sigma\Delta$ ADC(시그마-델타 아날로그-디지털-변환기)의 아날로그 프런트 엔드는 차동이며 입력핀의 전압은 $\pm 920mV$ (이득 = 1) 이내 이어야 한다. 이 사양을 충족시키기 위하여 전류 및 전압 입력을 나누어야 한다. 또한 SD24는 최대 -1V의 마이너스 전압을 허용하므로 주 전원의 AC 신호를 레벨 쉬프터 없이 인터페이싱 할 수 있다.

전원측정을 위하여 주 전원의 전압(AC 230V/110V)를 1V 이내로 낮추어야 한다. 아날로그 프론트 엔드 전압은 스파이크 보호 바리스터와 간단한 전압 분배기 및 엔티 엘리어싱 필터처럼 작동하는 RC 로우 패스 필터를 이용하여 설계한다. 그림 5는 주 전압 230V의 전압 입력을 위한 아날로그 프론트 엔드를 보여준다. 전압은 약 700mV RMS로 낮추어 + 입력 최대를 990mV 가 되도록 한다.



로 할 때 입력 신호는 최대 $\pm 920\text{mV}$ 의 전압 스윙을 갖는 차동 입력이 된다.

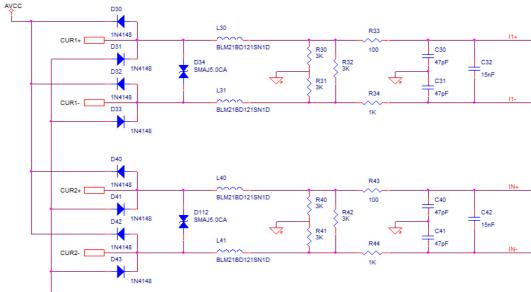


그림 6. 전류입력을 위한 아날로그 프론트 엔드
Fig. 6 Analog front end for current inputs

2.3.4 전압, 전류, 전력 및 에너지 계산

그림 5 및 그림 6의 회로를 이용하여 전압 및 전류 샘플을 3 개 독립형 $\Sigma\Delta$ 변환기로 부터 4096 Hz의 샘플링 속도로 동시에 얻어 전압과 전류의 RMS 값을 식 (1)을 이용하여 구한다.

$$V_S = K_v * \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{\text{Sample Count}} v^2(n)}{\text{Sample Count}}} \quad (1)$$

$$I_{RMS} = K_i * \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{\text{Sample Count}} i^2(n)}{\text{Sample Count}}}$$

여기서 $v(n) = n$ 샘플에서의 전압 측정값

$i(n) = n$ 샘플에서의 전류 측정값

$\text{Sample Count} = 1\text{초 동안의 샘플 수}$

$K_v = \text{전압 누적인수(scaling factor)}$

$K_i = \text{전류 누적인수(scaling factor)}$

이다.

전력 및 에너지는 프레임의 유효 및 무효 에너지 샘플에 의하여 계산된다. 이 샘플은 위상 정정되어 샘플 수와 함께 식 (2)를 사용하여 총 유효 및 무효 전력을 계산한다.

$$P_{ACT} = K_p * \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{\text{Sample Count}} v(n) \times i(n)}{\text{Sample Count}}} \quad (2)$$

$$P_{REACT} = K_p * \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{\text{Sample Count}} v_{90}(n) \times i(n)}{\text{Sample Count}}}$$

여기서 $v_{90}(n) = n$ 샘플에서 90° 위상변이 (shift) 된 전압 측정값

$K_p = \text{전력 누적인수(scaling factor)}$
이다.

소비된 에너지는 각 프레임에 대한 유효 전력 값을 기반으로 식 (3)과 같이 계산된다.

$$E_{ACT} = P_{ACT} \times \text{Sample Count} \quad (3)$$

무효 에너지를 구하는데는 90° 위상 변이 접근법을 사용하는데 이 방법은 작은 전류까지 무효 전력 측정이 가능하고, 국제 규격의 측정 방법에 적합하기 때문이다.

2.4 세대집중화 장치 (HCU)

본 연구에서 개발한 스마트 전력량계는 5종 에너지 미터 사용량을 IHD로 전달하고 이를 통합 서버로 데이터를 전달하기 위한 원격검침 기능을 포함하여 에너지 데이터의 효율적인 관리 및 관리 비용을 절감할 수 있는 첨단 계량 인프라 시스템이다. 연구에 따른 장치는 세대 스마트 전력량계에서 각 세대에 설치될 수도 계량기, 온수 계량기, 가스 계량기, 열량계 검침 데이터들을 수신한 데이터와, 자체내에서 계산된 전력 사용량 데이터들을 IHD로 전송하여 디스플레이하며, IHD에서 상기 검침 데이터들을 원격검침 서버로 송신한다.

원격검침 서버에 수집된 데이터들은 첨단 계량 인프라 처리를 위해 데이터베이스화하며, 상기 검침 데이터들에 기초하여 이벤트 발생을 감지하여, 사전에 설정된 이벤트가 발생한 것으로 판단되면 상기 발생된 것으로 판단되는 이벤트에 상응하는 제어를 수행함으로써, 각 세대의 세대원이 계량 데이터를 직접 확

인할 수 있고, 홈넷 기능과 원격검침 기능이 하나의 장치로 구현됨으로써 설치 및 관리 비용을 감소시킬 수 있고 원격검침뿐만 아니라 첨단 계량 인프라 기능도 구현 가능하도록 한 것이다.

첨단 계량 인프라(AMI) 시스템은 원격 검침 시스템을 기반으로 수집된 에너지(전기, 수도, 가스, 열량) 데이터 및 사용에 대한 분석을 자동으로 진행하고, 원격 검침 시스템을 제어하는 기술이다. 검침된 데이터를 바탕으로 에너지 회사들은 에너지 사용량에 맞춰 각 사용자에 에너지 요금을 부과한다. 또한, 검침된 정보들을 통해 사용자별 에너지 사용 패턴 등을 파악해 사용자에게 에너지 공급을 최적화하거나 제어하여 사용자가 에너지 요금을 절약할 수 있게 하고, 에너지 낭비를 예방할 수 있게 한다. 이에 따라, 검침원이 직접 돌아다니면서 검침함으로써 발생하는 비용을 감소시키고, 검침원의 검침에 따라 발생하는 오차 등에 의한 요금 차이에 대한 불신을 해소하고, 원격 검침을 통해 획득된 에너지 사용량에 대한 정확한 빅데이터(Big data)를 이용하여 효율적인 에너지 생산 및 관리가 이루어질 수 있다.

또한 기존의 각 세대에 설치된 각종 계량기들의 계량 데이터를 원격에서 읽는 작업(원격 검침) 기능 뿐만 아니라, 계량기를 제어하는 기능이 가능하므로, 첨단 계량 인프라의 에너지 사용량 조절을 위한 계량기조작이나 비상시 계량기 차단 등이 가능하다.

이를 위하여 두가지 기능이 필요한데 첫째는 미터기로부터 계량 데이터를 읽어 메모리에 저장하고, 이 값을 순차적으로 LCD에 디스플레이 하는 기능이고, 둘째는, 이를 계량값을 IHD와 서버로 데이터를 전송하는 기능이다. 이를 두 가지 기능을 처리하기 위하여 UART 포트중에서 1개는 12V DC-PLC 인터페이스로 4종류의 미터기와 연결하여 2선 연결로 통신과 DC 전압공급을 동시에 하도록 하여 미터기의 배터리 소모문제와 통신 문제를 해결하였다. 다른 1개의 UART 포트는 RS-485 인터페이스로 IHD와 연결한다. 그림 7에 DC-PLC 인터페이스 회로를 보여준다.

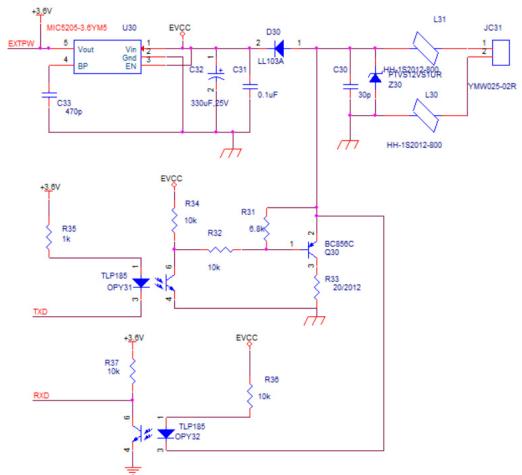


그림 7. HCU를 위한 DC-PLC 회로
Fig. 7 DC-PLC circuit for HCU

III. 소프트웨어 설계

세대정합장치를 포함한 스마트 전력량계 펌웨어는 IAR Embedded workbench를 사용해 C언어로 작성하였다. 기능은 전력 사용량 계량으로서 순방향 유효전력량 및 역방향 유효전력량을 계산하고, 계량값 표시는 5종(전기/수도/가스/온수/열량)의 검침값을 5초 주기로 LCD에 순환 표시하도록 하였다. 전체 동작은 포그라운드 프로세스와 백그라운드 프로세스의 두 가지 주요 프로세스로 동작된다.

3.1 포그라운드 프로세스(Foreground Process)

포그라운드 프로세스는 MSP430 하드웨어 및 소프트웨어의 초기 설정으로 시작하고, 주 전원이 꺼져 있으면 LPM0 모드로 들어간다. 백그라운드 프로세스는 데이터 프레임이 처리를 위한 데이터 준비가 되면 상태 플래그를 통해 포그라운드에 알려준다. 이 데이터 프레임은 1 초 동안 에너지 누적에 해당하며, 이는 50 또는 60 사이클의 들어오는 전압 신호에 동기화 된 샘플데이터 누적에 해당한다. 또한 샘플 카운터는 해당 샘플프레임 기간 동안 누적된 샘플수를 계산한다. 데이터 샘플은 처리 된 전류, 전압, 유효 및 무효에

너지를 포함하고 있다. 모든 값은 별도의 48 비트 레지스터에 누적되어 저장되어 RMS 및 평균값등의 계산에 사용된다. 이를 과정은 그림 8(a)에 요약하여 보여준다.

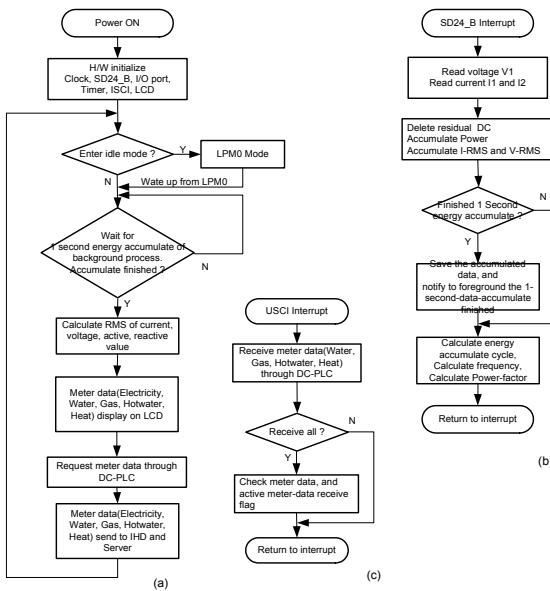


그림 8. (a) 포그라운드 프로세스, (b) 백그라운드프로세스, (c) HCU 프로세스

Fig. 8 (a) Foreground process, (b) Background process, (c) HCU process

3.2 백그라운드 프로세스(Background Process)

백그라운드 프로세스는 $\Sigma\Delta$ 인터럽트를 트리거로 사용하여 전압 및 전류 샘플 (총 3 개의 값)을 수집한다. 이 샘플은 전용 48 비트 레지스터에 추가 처리되고 누적된다. 1 초동안의 샘플이 누적되면 포그라운드로 데이터가 준비되었다고 통보하고, 포그라운드에서는 이를 받아 전압-RMS, 전류-RMS, 전력 및 에너지의 값을 계산한다. 이를 과정은 그림 8(b)에 요약하여 보여준다. 그림 8(c)는 DC-PLC 통신을 통하여 4 종 미터기의 검침값을 읽는 플로우를 보여준다.

3.3 서버 프로그램(Server Program)

서버프로그램은 PC에서 동작하는 기본 프로그램을 작성하였으며, 데이터베이스 기능 등을 생략하고 동작테스트 위주의 소프트웨어를 Visual C++로 작성하였다.

IV. 시스템 테스트

4.1 디지털 전력량계 상용화

개발한 시스템을 실제 현장에 적용하려면 전자적 합성시험으로 정전기방전시험, 무선주파 방사 내성 시험, 금과도 버스트 내성 시험, 전자파 장해 시험 등을 인증 받아야 하고, 기계적 성능 시험으로서 충격 시험, 진동 시험, 방진 및 방수 시험 등을 인증 받아야 하며, 계량 및 계측 시험으로서 오차 시험 및 역률 시험 등을 인증 받아야 한다. 본 연구개발에서는 추후 이러한 인증을 신청할 예정으로 있다.

4.2 시스템 연결

개발한 시스템의 테스트는 단위세대별 4종 계량기의 사용량 데이터를 HCU를 통하여 전력량계에서 읽어 계량값을 전력량계의 LCD창에 순차적으로 표시하고 IHD 및 PC로 전송하도록 시스템을 연결하였다. 그림 9에 조립된 전체 시스템 연결 테스트 장면을 보여준다.

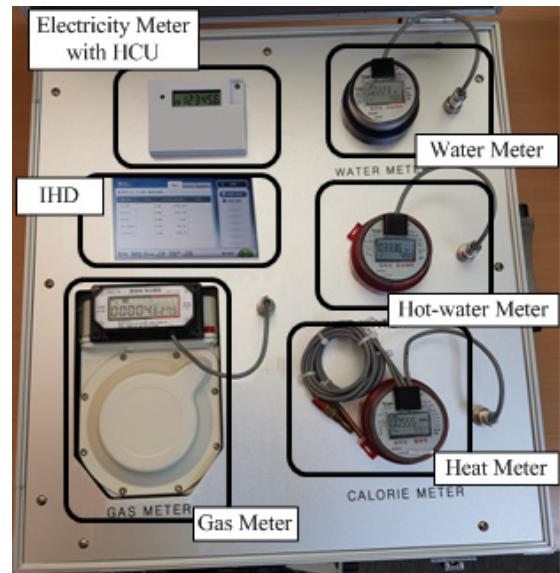


그림 9. 테스트 장면

Fig. 9 A view of system testing

테스트연결 동작 결과 개발 시스템은, HCU 역할을 전력량계에서 하고 수집된 데이터를 세대내의 IHD에 직접 디스플레이 하므로 원격 검침 기능 구현 시에 설치 및 관리 비용을 혁신적으로 감소하고, 세대 내

검침 데이터를 확인할 경우에 가정 내 계량기의 데이터와 홈넷 시스템에서 표출되는 데이터가 항상 일치하도록 하여 시스템의 신뢰성을 향상시킬 수 있음을 볼 수 있다. 또한 양방향 통신이 수월하여, 원격 검침 서버에 서 각 세대에 설치된 각종 계량기들에 대한 원격 검침과 원격 제어 기능 수행이 가능하고 원격 검침된 데이터들을 데이터 서버에서 통합 관리하여 생성된 빅데이터를 통해 효율적인 에너지 생산 및 관리가 이루어지는 첨단 계량 인프라 기능 수행이 가능한 것을 확인할 수 있다.

개발 시스템은 AMI 시스템 기능을 구현하는데 있어서 홈넷에서 사용하는 단지 서버에 원격 검침 서버의 기능을 수행하도록 함으로써, 원격 검침을 위한 서버 비용이 발생하지 않으므로 서버 구입비와 설치비 및 운영비가 상당히 절약되도록 가능함을 볼 수 있다.

또한, 개발 시스템은 각 세대의 계량 데이터를 수신하는 세대집중화장치를 따로 설치할 필요가 없고, 복수의 빌딩들 각각에 설치된 빌딩 집중화 장치들도 따로 설치할 필요가 없고, 복수의 단지를 각각에 설치된 단지 집중화 장치들도 설치할 필요가 없으므로 AMI 검침 시스템 구입 및 설치 비용이 획기적으로 감소할 수 있다.

전력량계에서 수도, 온수, 열량, 가스 계량기와 직류 전력선 통신(DC-PLC: Direct Current Power Line Communication) 방식으로 연결되어 통신 기능과 전원 공급 기능을 수행하여 AMI 시스템에서 빈번한 통신으로 인한 디지털 계량기의 배터리 소모 문제를 해결 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 스마트 전력량계에 세대집중화장치를 내장하여 AMI에 필요한 가스, 수도, 온수, 난방 검침을 일괄검침하는 시스템과, 검침데이터를 세대정보표시장치(IHD: In House Display)와 서버로 전송하는 방법을 구성하여 보다 경제적으로 AMI 시스템을 구축하는 방법을 제시하였다.

개발 시스템은 세대 내에 설치된 월패드를 IHD로 사용하여 검침 데이터를 받고, 이 데이터를 월패드에서 디스플레이하며, 월패드의 메인부에서 상기 계량

데이터들을 세대 인터넷으로 전송 가능하므로 각 세대에 설치된 각종 계량기들에 대한 원격검침 기능 뿐만 아니라 비상시 또는 요구에 의하여 계량기의 차단 기능 등 원격 제어 기능과, 상기 계량 데이터들에 기초하여 이벤트 발생을 감지하여 사전 설정된 이벤트가 발생한 것으로 판단되면 상기 발생된 것으로 판단되는 이벤트에 상응하는 제어를 수행할 수 있다. 개발된 시스템은 기존 시스템 보다 네트워크 구성에 있어서 가격이 저렴하고 운영비용이 절감되며 설치가 용이하다. 스마트 전력량계 구성과 세대집중화장치 결합 및 이들 데이터를 IHD와 서버로 전송하는 방법과, 이들 요소들을 연계하여 시스템을 구성하고 실제 검침 동작구성을 테스트하고 그 결과를 보면 개발된 시스템을 적용시 세대내 계량기의 계량값을 원격검침 하고 이에 대한 AMI 적용을 보다 용이하게 구성 가능할 것이다.

후기(Acknowledgement)

본 논문은 인천대학교 2017년도 자체연구비지원에 의하여 연구되었습니다.

References

- [1] KSGA, "Smart Grid AMI Technology Trend Report," Korea Smart Grid Association report, Sept. 2012.
- [2] H. Kang, J. Lee, and C. Kim, "A Study on the Technical trends of Energy New Industry and Business Model in Electric Power Market," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 8, Aug. 31 2016, pp. 773-782.
- [3] N. Jung, I. Yang, J. Song, and Y. Kim, "A Study on Deployment and Technology For Advanced Metering Infrastructure," *The Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 2009, no. 7, July 2009, pp. 1956-1957.
- [4] K. Park, "Implement of a Watt-Hour Meter Monitoring System using Powerline Communication," *J. of the Korea Institute of*

- Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 8,
Aug. 2013, pp. 1143-1148.
- [5] Y. Han, "Development of mA Level Active Leakage Current Detecting Module," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 1, Feb. 2017, pp. 109-114.
- [6] H. Kim, "A Study on The Real-Time Data Collection/Analysis/Processing Intelligent IoT," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 2, Apr. 2019, pp. 317-322.
- [7] K. Amruta and S. G. Hate, "Implementation of Automatic Meter Reading System Using Wireless Sensor Network," *International J. of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, vol. 2, issue 12, Dec. 2013, pp. 3030-3032.
- [8] Texas Instruments, "MSP430F6736A," *Data sheet*, Feb. 2015.
- [9] Texas Instruments, "MSP430x5xx and SP430x6xx Family," *User's Guide*, June 2008 - Revised Mar. 2018.
- [10] Texas Instruments, "MSP430F6736A," *Application Report*, May 2012 - Revised Aug. 2015.

저자 소개



박재삼(Jae-Sam Park)

1983년 충북대학교 전기공학과
졸업(공학사)

1986년 호주 뉴사우스웨일즈 대
학교 대학원 시스템 및 제어공
학과 졸업(공학석사)

1995년 호주 뉴사우스웨일즈 대학교 대학원 시스
템 및 제어공학과 졸업(공학박사)

1994~현재 인천대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 로보틱스, 비선형제어, AMR, AMII