

AMI 적용 스마트 미터 기능향상을 위한 개별부하 상세 데이터 무선 취득장치 개발

논 문
60-10-1

Development of Wireless Data Acquisition Device for Individual Load to Improve Function of Smart Meter Applied to AMI

성 병 철** · 배 선 호* · 박 우 재* · 전 승 옥* · 박 정 옥†

(Byung Chul Sung · Sun-Ho Bae · Woo-Jae Park · Seung Wook Jeon · Jung-Wook Park)

Abstract - Advanced Metering Infrastructure (AMI) is one of the important components to form a smart-grid, which is an advanced power system by combining the power system with the communication systems. This AMI makes it possible to exchange information between operators and consumers for the efficient and reliable operation of the power system through a smart meter or a In-Home Display. However, according to the increase of the demanded information such as the power quality, the accurate load-profile, and the billing data to help customers manage their power consumption, it is necessary to gather more accurate analytical data from each house appliances and transfer it to the smart meter for synthesizing the information and controlling each loads.

In this paper, the development of the wireless data acquisition device for the individual load data metering, which is connected with the smart meter for advanced functions, is proposed. AVR, a kind of microcontroller, and Bluetooth are used and integrated into the proposed the wireless data acquisition device to transmit the detailed power data (voltage and current) to the smart meter. To verify the effectiveness of the proposed system, a hardware experiment is carried out including the confirmation of the possibility for providing the more various information by applying analysis algorithms to the obtained data. Also, the application structure of the wireless data acquisition device to gather the data from the various house appliances is presented.

Key Words : AMI, Smart meter, In-home display, Wireless data acquisition device, AVR, Bluetooth

1. 서 론

스마트 그리드 (Smart Grid)는 전력망과 통신망의 결합을 통해 전력 공급자 또는 계통 운영자와 소비자가 양방향으로 실시간 전력 사용 정보의 교환을 통해 에너지 효율을 최적화하고자 하는 차세대 전력망으로, 전력 계통과 다양한 서비스 및 어플리케이션과 통신망이 결합된 계층적 구조를 갖고 있다. 이러한 구조를 통해 스마트 그리드에서는 독립적인 운영이 이루어지며, 소비자의 요구에 실시간으로 반응할 수 있도록 지능화 및 기타 여러 기술에 기반을 둔 서비스의 제공을 통해 기존 전력 계통이 갖고 있는 비효율성을 극복할 수 있게 된다 [1]-[3].

이 가운데, Advanced Metering Infrastructure (AMI)는 지능형 전력망인 스마트 그리드의 운용을 위해 요구되는 핵심 시스템으로, 일반적으로 지능형 전력량계인 스마트 미터 (Smart Meter), 소비자 수요반응 기기를 비롯한 하드웨어 및 소프트웨어, 전력 정보 관리 시스템, 통신 기술 및 네트워크의 4가지 기술로 구성된다고 할 수 있다. 이 가운데 스

마트 미터는 AMI에 가장 핵심이 되는 기기로, 현재 개발된 스마트 미터의 경우 유효·무효 전력의 사용량과 역률 및 Peak 등을 시간대별로 측정하는 기능을 기본으로 여러 정보를 제공하고 있으며 In-Home Display (IHD)를 통해 정보를 표시하게 된다. 하지만 기존 전력 계통이 스마트 그리드로 진화하고 실시간 요금제 등과 같은 변동 요금제의 도입이 진행될 경우 현재 제공되는 정보에 비해 더 다양하고 정확한 정보에 대한 소비자의 요구가 증가하게 된다. 이는 추후 스마트 미터를 통해, 각 부하의 원격 제어나 부하 별 소비 패턴 및 수요 예측 등의 정보 제공은 물론 가정 내 부하의 구성 및 이용 정보에 대한 제공 등을 제공할 수 있어야함을 의미한다. 따라서 이러한 기능의 추가와 더욱 다양하고 정확한 정보의 제공을 위해서는 지금에 비해 가정 내 각 부하에 대해 상세한 전력 사용 데이터를 획득하여 스마트 미터로 전송할 수 있는 장치가 필요하며, 스마트 미터에서는 내장된 알고리즘을 통해 이렇게 전송된 데이터를 분석하여 정보를 얻을 수 있어야 한다 [4]-[10].

본 논문에서는, 각 부하에 대한 상세한 개별정보의 분석과 제공은 물론 이러한 분석 정보와 통신 기능을 활용하여 각 부하를 제어함으로써 가정 전체의 전력 사용에 대한 정보 제공을 넘어 스마트 미터의 성능 향상이 가능하도록, 가정 내 각 부하 별 상세 전력 사용 데이터의 취득과 스마트 미터로의 전송이 가능한 데이터 무선 취득장치를 개발하고 이를 일반 가정에 적용하기 위한 구조를 제시한다. 이를 위해 우선 데이터 무선 취득장치의 적용과 활용에 대해 설명

* 준 회 원 : 연세대 전기전자공학과 석·박사 통합과정

** 정 회 원 : 연세대 전기전자공학과 박사과정

† 교신저자, 정회원 : 연세대 전기전자공학과 교수

E-mail : jungpark@yonsei.ac.kr

접수일자 : 2011년 6월 14일

최종완료 : 2011년 9월 22일

하고, 필요한 데이터와 통신 속도를 고려한 데이터 무선 취득장치의 개념과 구조를 설명한다. 다음으로 이러한 데이터 무선 취득장치를 실제로 제작하기 위해 이용된 마이크로 컨트롤러인 AVR에 대한 설명을 제시하며, 이렇게 적용된 AVR의 특성에 기반을 두어 데이터 무선 취득장치를 제작하고 성능 검증을 위해 소규모 부하를 이용해 얻어진 전류 데이터를 오실로스코프를 통해 측정된 실제 전류 값과 비교해 정확도를 확인한다. 또한 일반 가정에 적용할 때 발생할 수 있는 문제점들과 이러한 문제점을 해결하고 최적으로 데이터를 획득할 수 있도록 각 데이터 무선 취득장치의 적용을 위한 시스템의 구조를 제시한다.

2. 스마트 미터와 개별부하 상세 데이터 무선 취득장치의 활용

2.1 AMI 도입과 스마트 미터 활용에 따른 효과

스마트 미터는 쌍방향 통신을 통해 전력 공급자와 소비자 사이에서 정보를 주고받음으로써 효율적인 전력 사용을 가능하게 해주는 장치로, 여러 가지 정보 제공을 통해 수요반응 (Demand Response, DR)이 효율적으로 이루어지도록 한다. 수요반응 (DR)은 전력시장에서 가격 결정과 시장 청산에 소비자의 참여를 높이기 위해 사용되는 도구 및 전략을 총칭하는 것으로, 전력 공급자에 의해 일방적으로 시행되고 있던 기존의 수요관리 (Demand Side Management, DSM)가 스마트 그리드의 구현에 맞추어 양방향 통신에 의한 소비자 중심으로 변화한 것이다. 수요반응 (DR)을 시행할 경우 그 목적은 소비자의 전력 사용을 공급 비용이 낮은 쪽으로 유도하여 전력 공급 비용의 절감을 통한 경제성 확보와 급격한 수요변화 및 공급부족에 따른 수급 불균형 현상이 발생을 방지할 통해 전력 수급의 안정성 확보함으로써 계통 운영의 신뢰도를 향상시키기 위한 것이다 [11], [12]. 이렇게 스마트 그리드로의 전력 계통 진화와 전력 거래 환경의 변화로 인해 현재 국내외에 걸쳐 다양한 스마트 미터가 개발되어 활용되고 있으며, 이를 기반으로 효과적으로 전력 사용과 효율성을 향상시키기 위한 에너지 관리 및 솔루션 개발과도 연계되고 있다.

하지만 이러한 기능을 위해 국내외에서 개발된 스마트 미터를 살펴보면, 기존의 스마트 미터는 가정 전체의 전력 소비에 대한 정보만을 취득 가능하며, 이로 인해 가정 내 개별부하에 대해 제공되는 분석 및 정보와 이를 위한 기능이 부족하다. 따라서 개별부하에 대해 더욱 정확한 전압 및 전류 데이터를 획득하여 스마트 미터 내의 분석 프로그램이나 알고리즘을 통해 획득된 데이터를 활용함으로써 그 기능을 향상시키고 전체 전력 소비는 물론 개별부하에 대한 정확도 높고 더욱 상세한 정보를 제공하기 위해서는, 각 부하의 정확한 전압 및 전류의 데이터를 획득하여 스마트 미터로 전송할 수 있는 장치가 필요하다.

이러한 장치의 도입을 통해 개별부하에 대한 전력 소비 데이터를 바탕으로 상세한 정보를 제공 받는다면 소비자는 자신이 사용하는 전력의 모니터링을 통해 가정 경제에 맞추어 전력 소비를 계획할 수 있으며 이를 바탕으로 효율적인 전기 이용이 가능하게 된다.

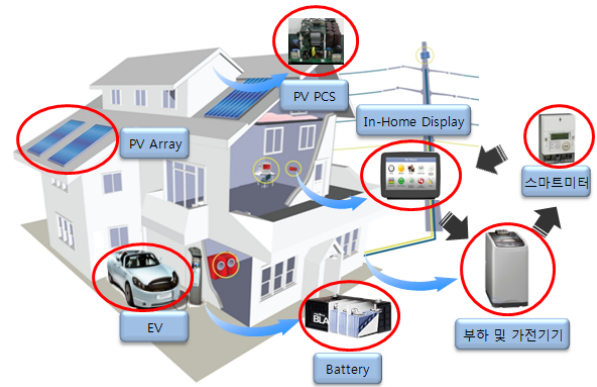


그림 1 스마트 미터 기능향상을 위한 데이터 무선 취득장치의 적용 기반 홈에너지 네트워크

Fig. 1 Home energy network based on the application of wireless data acquisition device to improve functions of smart meter

또한 추후 스마트 미터 내에 적용되는 알고리즘을 증가시킴으로써, 가정 내 부하 구성비 예측과 이를 통한 각 부하별 수요 패턴 분석, 이를 통한 각 부하별 수요 예측이 가능해지기 때문에 가정 내 전력 사용에 대한 더욱 상세한 정보 제공이 가능해진다. 나아가 데이터 무선 취득장치에 컨트롤러를 내장함으로써 스마트 미터를 통해 각 부하 및 가전기기의 제어가 가능해진다. 그림 1과 같이 데이터 무선 취득장치를 개발될 스마트 어플라이언스와 같은 가전기기 내에 적용함으로써 가정 내 모든 가전기기에 대한 제어가 가능해지는 것은 물론 앞으로 가정에 연계될 태양광 발전과 같은 신재생 에너지와 전기 자동차에 대한 데이터 취득과 스마트 미터로의 전달을 통해 홈에너지 네트워크의 구성이 가능해질 것으로 생각한다.

2.2 데이터 무선 취득장치의 개념과 구성

이렇게 가정 전체의 전력 소비가 아닌, 가정 내 각 부하에 대한 개별적인 상세 정보를 제공하기 위해서는 각 부하의 정확도 높은 전압 및 전류 데이터가 필요하게 되며, 이를 스마트 미터로 데이터의 손실 없이 전송해주어야 한다. 이렇게 각 부하의 전력 소비 정보를 종합 및 분석하여 소비자가 가정 전체의 소비 전력뿐만 아니라 각 부하의 소비 전력에 대한 상세한 정보를 얻기 위해서는 가정 내 부하 구성 정보와 이를 통한 수요 패턴 정보, 수요 예측 등의 정보에 대한 정보 제공이 필요하다. 이러한 상세정보를 얻기 위해서 각 부하에 대한 보다 정확한 데이터가 필요하기 때문에 기존의 스마트 미터 또는 다른 형태의 데이터 취득장치에 비해 샘플링 주파수를 높일 필요가 있다. 이를 위해 그림 2와 같은 형태의 데이터 무선 취득장치를 제시하였다. 제시된 데이터 무선 취득장치는 변류기 (Current Transformer, CT)와 AVR, 무선 통신을 위한 Bluetooth 모듈, 그리고 무선통신을 이용해 전송된 데이터를 저장하는 저장 장치로 구성되어 있다. 그림 2에서 보는 것처럼 데이터 무선 취득장치의 구성 회로는 매우 간단하고, 또한 데이터 무선 취득장치를 구성하는 각 AVR, CT, Bluetooth 모듈의 크기가 작기

때문에 기존 플러그와의 결합을 통해 플러그 형태의 디자인을 유지한 형태로 제작이 가능할 것으로 보이며, 이렇게 데이터 무선 취득장치와 각 부하 사이에 연결된 전선을 흐르는 전압과 전류를 데이터로 취득할 수 있도록 고안하였다. 이렇게 가전기기를 연결하는 플러그 형태이기 때문에 가정 내에 적용할 경우 기존의 플러그를 대체하는 것만으로 간단하게 연결과 적용이 가능하며, 추후 스마트 미터를 위한 부하 제어용 스위치를 내장함으로써 통신 기능의 활용을 통해 각 부하 별 전력소비 정보를 통해 부하를 제어할 수 있게 된다. 또한 이러한 형태의 데이터 무선 취득장치 자체를 가전기기 내부에 탑재함으로써 설비의 증가 없이 사용 가능하게 된다.

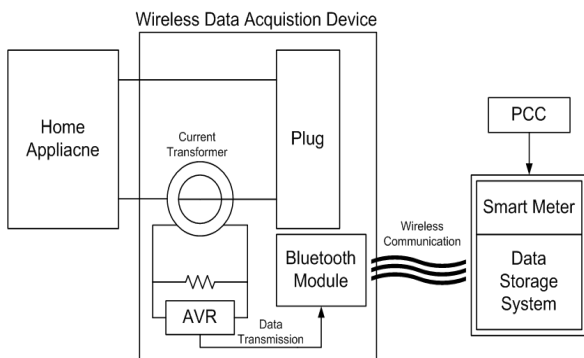


그림 2 제안된 데이터 무선 취득장치의 개념
Fig. 2 Concept of proposed wireless data acquisition device

AVR은 그림 2에서 제안된 데이터 무선 취득장치의 핵심이 되는 부품으로, 프로그램을 내장하기 위한 플래쉬 메모리가 포함되어 있는 하나의 칩 형태로 제작된 마이크로 컨트롤러를 말한다. 이러한 AVR은 제안된 데이터 무선 취득장치 내에서 아날로그 형태의 전압 및 전류 데이터를 취득하여 디지털 신호로 바꾸어 주는 일종의 A/D 컨버터의 역할을 수행하게 되며, 이를 통해 더욱 빠르고 정확하게 데이터를 전송하고 저장할 수 있게 하기 위해 활용되는 것이다. 이러한 AVR은 전압 값만을 입력 데이터로 받을 수 있는데, 전압 입력의 범위 및 형태에 따라 크게 single conversion 모드와 차동 (differential) 입력 모드의 두 가지 입력 모드를 갖고 있다 [13].

우선 single conversion 모드에서는 0~V_{ref} 사이의 전압 값만을 입력으로 받을 수 있는데, 식 (1)에 따라 디지털 값으로 변환된다. 이 경우 V_{ref}는 AVR의 전원으로 공급되는 전압을 의미하며 변환되는 전압의 범위가 된다. 또한 V_{ref}는 원하는 기준을 잡을 수 있도록 임의의 값으로 선택하도록 그에 따라 AVR에 전원을 공급하는 것이 가능하다. 일반적으로 V_{ref}는 5 V로, 0~5 V 사이의 전압 값을 입력할 수 있게 되지만 이 모드를 활용할 경우 실제 데이터의 음전류 값을 받을 수 없게 된다. 이로 인해 반과 형태의 데이터만 취득되고 이는 데이터 무선 취득장치가 적용된 가전기기의 실제 전압 및 전류 데이터와 다른 형태가 되며, 이를 기반으로 왜곡된 정보가 제공될 수 있으므로 normal mode는 활용할 수 없게 된다.

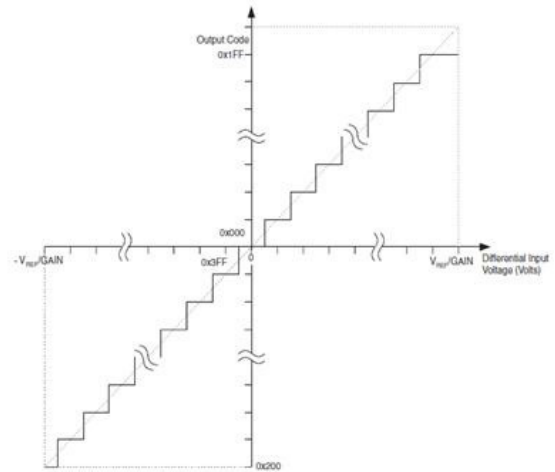


그림 3 차동 입력 모드 범위
Fig. 3 Differential measurement range

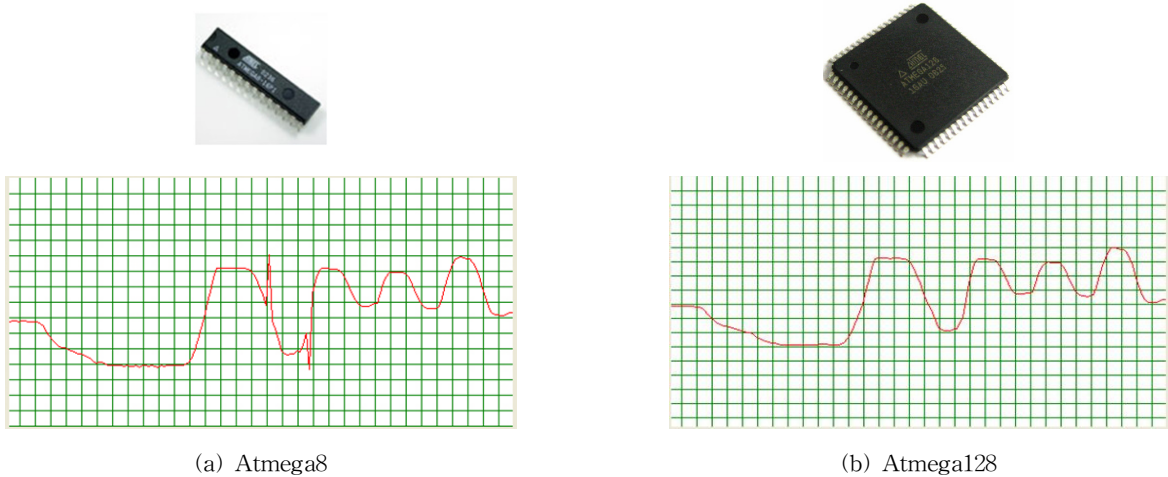
$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}} \quad (1)$$

또 다른 모드인 차동 입력 모드의 경우, 그림 3과 같이 전압 입력 범위로 -V_{ref}~V_{ref}를 갖게 된다. 차동 입력 모드를 활용할 경우 음전압 값을 입력으로 받을 수 있기 때문에 식 (2)와 같이 실제 아날로그 전압 파형을 디지털 형태의 데이터로 변환할 수 있게 된다.

$$ADC = \frac{(V_+ - V_-) \cdot 512 \cdot GAIN}{V_{REF}} \quad (2)$$

이렇게 전압 값만을 입력으로 받을 수 있는 AVR을 A/D 컨버터로 활용하기 위해서는 전압 데이터의 크기를 AVR의 입력 범위 내로 줄일 필요가 있고, 전류 데이터의 경우에는 입력 범위 내의 전압 데이터로 변환해 주어야 한다. 이를 위해 CT를 적용하여 전류의 크기를 줄이는 한편 데이터 무선 취득장치의 안전성을 확보할 수 있다. 가전기기의 동작으로 인해 실제로 흘러가는 전류가 CT를 통해 일정한 비율로 감소하게 되고, 이렇게 감소된 전류는 CT 양 끝단에 있는 저항에 의해 AVR의 입력 범위 내의 전압으로 변환된다. AVR은 이렇게 저항에 의해 발생한 전압 신호를 입력으로 하여 디지털 값으로 변환하도록 코드를 작성하였다. 디지털 값으로 변환된 전압 및 전류 데이터는 블루투스 모듈을 이용한 무선 통신을 통해 데이터 저장 장치로 전송된다. 블루투스의 사용은 Firmtech 사의 FB155BC로 블루투스 버전 2.1의 2.4Ghz의 주파수 대역을 사용하는 모델의 사양을 기반으로 작성하였다. 통신 사양으로는 각 기기마다 1:1의 연결로 전송속도 230,400bps, 한번에 8bit씩 전송하였으며 정지 비트는 1비트, 패리티 비트는 사용하지 않았다.

데이터가 저장될 때에는 날짜와 시간을 알 수 있도록 (YYMMDD-HHMM)의 파일명을 갖도록 하였고, 이러한 과정을 거쳐 텍스트 파일로 저장되어 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 또한 전압 값으로 저장된 데이터는 적용된 저항의



(a) Atmega8

(b) Atmega128

그림 4 Atmega8과 Atmega128의 비교

Fig. 4 Comparison between Atmega8 and Atmega128

크기와 CT 비를 통해 실제 전류 값으로 변환하여 저장할 수 있다.

이러한 데이터 무선 취득장치에는 여러 종류의 AVR 중에서 실제 데이터 무선 취득장치의 제작과 적용을 위해 각각의 가격과 성능을 기반으로 비교하였을 때 가장 효율적인 것을 선정하도록 하였다. 이를 위해 가장 보편적으로 활용되는 8 비트 마이크로 컨트롤러인 Atmega 시리즈를 선정하였으며, 이러한 Atmega 시리즈 중에서도 가장 많이 활용되는 칩인 Atmega8과 Atmega128에 대하여 성능 비교를 수행하였다. 성능 비교는 가변저항의 입력에 따라 0~5V 사이의 전압이 들어갈 수 있는 회로를 구성하여 Atmega8과 Atmega128로 ADC를 수행하였다.

이를 통해 그림 4와 같이 같은 전압 신호의 변화에 대하여 성능을 비교하였을 때, Atmega8은 디지털 변환 사이에 노이즈가 발생하여 데이터의 왜곡이 발생하는 것을 확인하였다. 이에 비해 Atmega128을 적용하였을 경우에는 전압 신호의 변화가 정상적으로 디지털 신호로 변환되는 것을 볼 수 있다. 가격은 Atmega128이 Atmega8에 비해 약 5 배이지만, 데이터의 취득 과정에서 Atmega8처럼 디지털 신호가 왜곡될 경우 소비자에 대한 정확한 전력 소비 정보 제공이 불가능하기 때문에 Atmega8 보다는 성능이 우수하고 노이즈가 적게 발생하는 Atmega128을 적용하였다. 여기서 Atmega8은 AVR 칩만을 그대로 사용하였고 Atmega128은 상용 모듈을 이용하여 적용하였다. 모듈화 되어있는 Atmega128에는 안정성을 위한 여러 가지 회로와 필터를 적용하여 ADC 중에 reference 전압이 흔들리지 않고 좀 더 안정적인 컨버팅이 가능하다.

Atmega128의 적용과 그림 2에 제시된 개념을 통해 그림 5와 같이 데이터 무선 취득장치를 제작하였다. 1000:1의 비율을 갖는 CT를 적용하였으며, CT의 2차 측에 연결된 저항은 약 644 Ω의 크기를 갖도록 하였다. CT의 경우 실제 비율은 2차 측 저항의 크기와 같은 요소에 영향을 받을 수 있기 때문에 적용하기에 앞서 정확한 CT 비의 확인이 필요하다. 이를 위해 실험에 앞서 CT 비를 얻기 위한 계산을 수행하였으며 약 964.28:1의 비율임을 확인하였다. 또한 AVR에 대한

전원으로 5.06 V의 전압을 주었다.

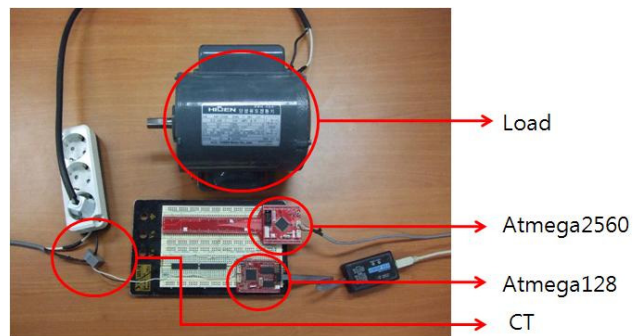


그림 5 데이터 무선 취득장치 제작 및 성능 검증

Fig. 5 Making of the wireless data acquisition device and the performance verification

취득된 데이터를 기반으로 부하 구성비 및 전력품질 알고리즘을 적용하기 위해 한 주기 당 최소 32개의 데이터를 얻는 것을 목표로 하여 데이터 측정 속도를 2,000Hz로 설정하였으며, 여러 부하와 무선 통신 속도를 고려하여 적용 구조와 코딩을 개선하였다. 기존의 상용화된 가정용 무선 데이터 취득장치의 경우 동시에 고속으로 많은 수의 부하 데이터를 받기 어려우며, 이러한 문제를 해결하기 위해 무선 통신의 속도를 고려하여 낮은 샘플링 속도를 갖는 것이 일반적이다. 기존의 장치에 비해 높은 샘플링 속도를 갖도록 데이터 무선 취득장치의 각 부품 및 프로그램의 적용을 통해 제작된 데이터 무선 취득장치는 그림 5에서와 같이 성능 검증을 위해 소규모 전동기에 대해 적용하였으며 이를 통해 테스트를 수행하였다. 성능 검증을 위해 적용된 0.2 kW 급 전동기는 동작전압 220 V에서 2.9 A의 전류가 흐르는 전동기로, 무부하 상태에서 동작 하도록 하였다. 이에 따라 측정된 데이터는 PC에서 저장하여 1분마다 텍스트 파일로 내보내게 된다. 이를 통한 정확한 성능 검증을 위하여 그림 8과

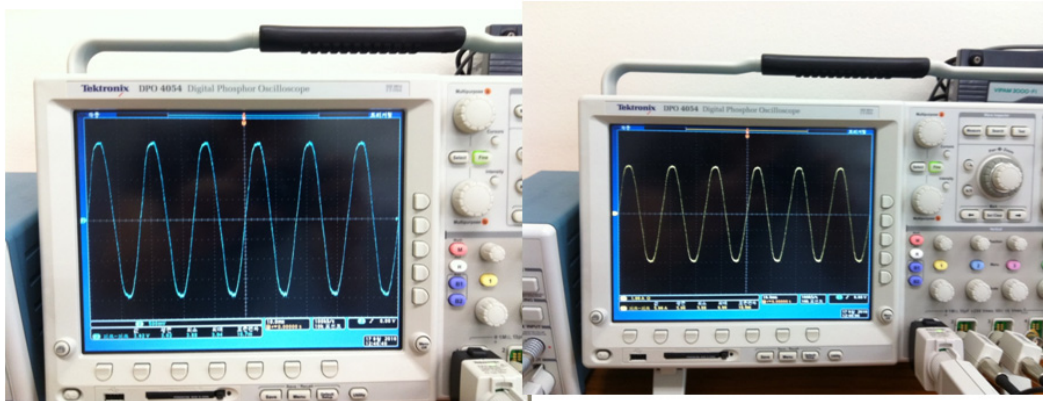


그림 6 CT 2차측 저항에서 측정된 전동기의 실제 전압 (좌) 및 전류 (우) 파형
 Fig. 6 Waveforms of voltage (left) and current (right) measured from the resistor at the secondary side of the CT

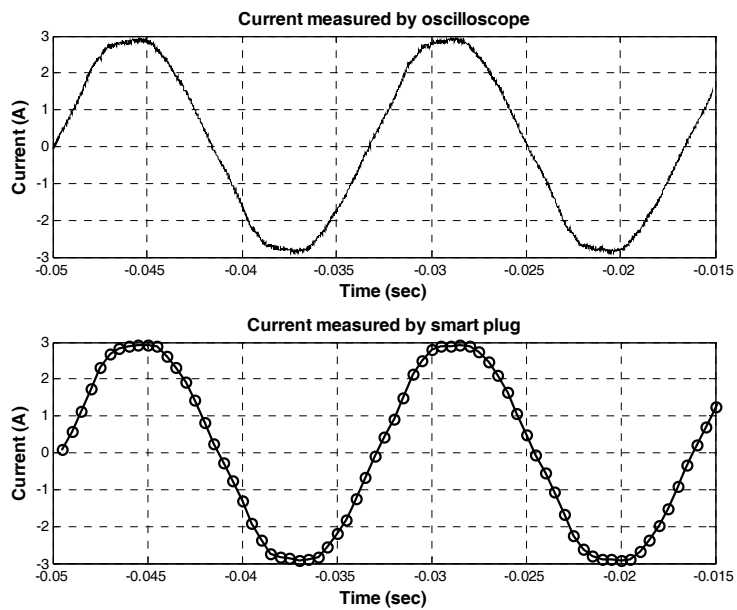
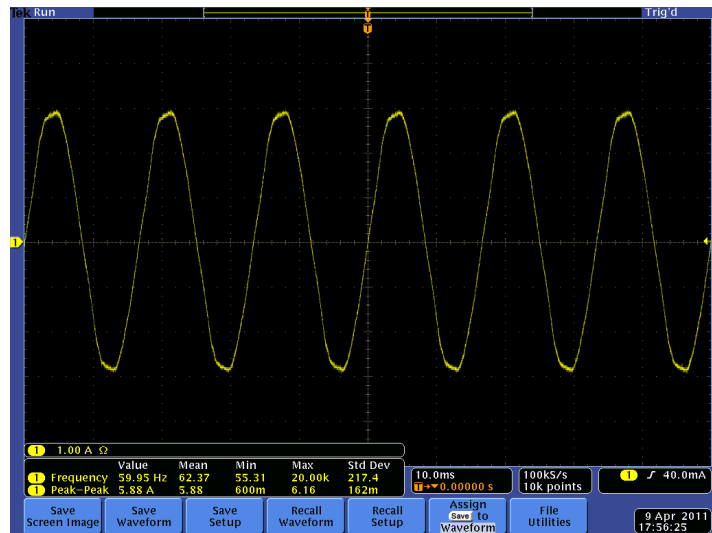


그림 7 오실로스코프를 통한 전류 측정 (위)와 오실로스코프와 데이터 무선 취득장치를 통해 취득한 데이터 비교 (아래)
 Fig. 7 Current measured by oscilloscope (top) and comparison with the data from the wireless data acquisition device (bottom)

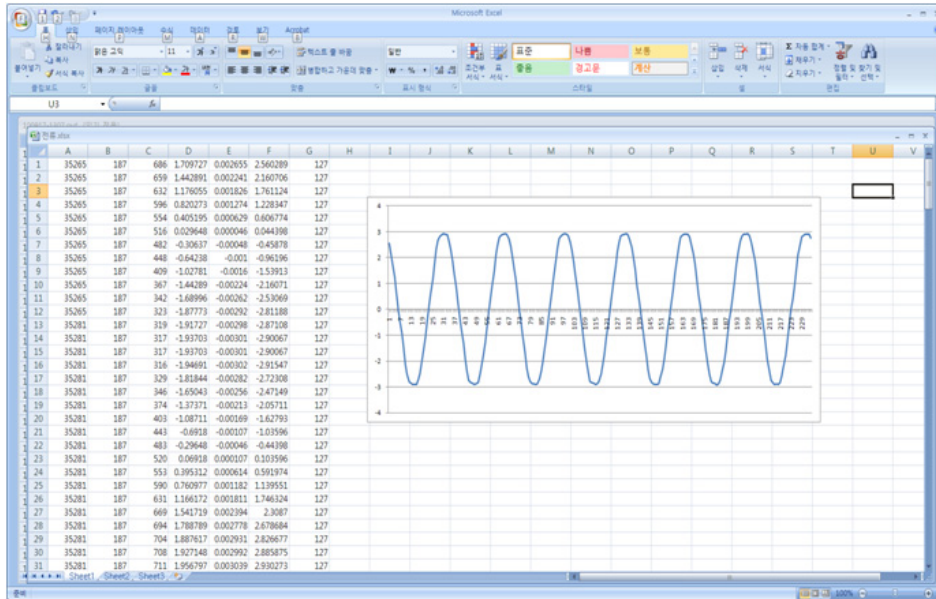


그림 8 데이터 무선 취득장치를 통해 저장된 데이터
 Fig. 8 Stored data by the wireless data acquisition device

같이 저장된 파일을 살펴보면, 먼저 데이터 취득과 통신 속도 면에서 1분 단위의 파일마다 최소 119,966에서 최대 119,986개까지의 데이터가 저장되어 데이터 전송률이 99.98%에 달하는 것을 확인 할 수 있다. 누락되는 데이터는 측정 AVR에서의 오류와 무선 전송 시의 손실로 보이지만, 데이터마다 측정시 시간을 1ms단위로 표시하고 있기 때문에 누락된 데이터로 인한 혼동은 없을 것으로 예상된다. 또한 이를 통한 정확 한 성능 검증을 위하여 그림 6과 같이 CT의 2차 측의 전압과 전류를 오실로스코프를 통해 측정하여 데이터 무선 취득장치를 통해 전압 값으로 저장된 전류 데이터 값과 각각의 첩두치를 비교하였다. 오실로스코프를 통해 측정하였을 때 첩두치는 평균적으로 3.86 V로 데이터 무선 취득장치를 통해 얻은 데이터의 평균 첩두치인 3.9 V와 거의 유사함을 확인할 수 있다. 또한 조금 더 확실한 비교를 위해 실제 그림 6을 통해 확인한 전류 파형과 데이터 무선 취득장치를 통해 획득한 데이터를 다시 전류로 환산한 값의 그래프를 그림 7과 같이 비교하였다. 이렇게 각각의 전류 파형을 비교하였을 때 매우 유사한 형태를 보이는 것을 확인할 수 있고, 그림 7의 데이터 무선 취득장치의 그래프를 통해 얻은 데이터와 그림 8을 통해 저장된 데이터가 정상적으로 저장되었음을 확인할 수 있다. 또한 그림 7의 그래프에서 볼 수 있듯이 데이터 무선 취득장치에 의해 취득된 데이터를 작은 원으로 표시하여 그 데이터의 수를 살펴보면 한 주기 당 33~34 개 정도의 데이터가 저장되어 약 2000 Hz의 샘플링 주파수를 갖는 A/D 컨버터 성능을 나타낼 수 있으며, 이를 통해 높은 샘플링 속도와 무선 통신의 활용을 통해 효율적으로 데이터를 취득할 수 있음을 확인하였다.

2.3 일반 가정 적용을 위한 전략 수립

이렇게 제작된 데이터 무선 취득장치는 일반 가정의 다양

한 가전기기에 적용되어 전압 및 전류의 순시 데이터를 받는데 이용될 수 있다. 하지만 이러한 가전기기는 가정 내에 넓은 장소에 분포되어 있고, 이로 인해 무선 통신의 거리나 장애물에 의해 제약을 받을 수 있다. 이러한 문제점을 해결하고, 무선 통신을 통해 여러 데이터를 정확하게 전달 받아 저장하기 위한 두 가지의 해결책을 통해 개별부하 상세 데이터 취득을 통해 스마트 미터로의 정보 제공을 위한 시스템을 제시하였다.

그 가운데 첫째는, 1:N 통신이 아닌 중계기를 이용한 1:1 통신을 이용하는 것이다. ZigBee나 Bluetooth 통신 모두 1:1 통신과 1:N 통신이 가능하다. 이 가운데 1:N 무선 통신을 이용할 경우, 여러 가전기기에 적용된 각 데이터 무선 취득 장치에 존재하는 무선 송신 모듈에 대하여 데이터 저장장치나 스마트 미터의 무선 수신 포트 하나만을 이용하기 때문에 ZigBee나 Bluetooth 통신 송·수신 모듈의 필요한 구입 개수가 적다는 장점이 있다. 하지만 이렇게 무선 수신 모듈의 이용 개수가 하나일 때, N개의 무선 송신 모듈이 순차적으로 일정한 시간간격을 두고 수신 모듈과 연결되어 데이터를 발송하기 때문에 연결된 모듈이 많을수록 데이터의 전송속도가 느려지며 데이터의 단절이 발생하게 되는 것이다. 이러한 문제의 해결을 위하여 1:N 통신을 대신할 수 있도록 중계기를 이용한 1:1 통신을 활용하였다. 1:1 통신은 송신 모듈 하나에 수신 모듈 하나가 일대일 대응이 되기 때문에 항상 송수신 모듈이 상호 연결되어 송신되는 모든 데이터를 연속해서 받을 수 있다. 무선 통신 모듈은 Zigbee와 Bluetooth 어느 것을 사용할 수도 있지만, 1:1의 통신에 있어서 Zigbee 보다 Bluetooth가 일반적으로 전송 속도가 빠르기 때문에 본 논문에서는 블루투스 모듈로 500kbps의 전송속도를 적용하였다. 하지만 이를 위해서는 적용하려는 데이터 무선 취득장치의 무선 송신 모듈의 개수만큼 수신 모듈의 개수가 필요하게 되므로, 구입비용이 증가하게 되는 것

은 물론 데이터 저장을 위한 PC에 수신 모듈을 충분히 설치할 포트를 필요로 하게 된다.

이렇게 송·수신 모듈의 개수에 따른 문제와 함께 가정 내에서 발생할 수 있는 통신 거리나 장애물에 의한 무선통신의 제약에 관한 문제를 해결하기 위해 또 다른 AVR인 Atmega2560을 그림 5와 10에서와 같이 중계기로써 활용하였다.

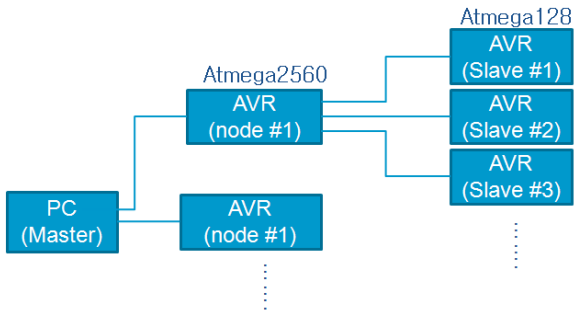


그림 9 일반 가정 적용을 위해 중계기 및 1:1 무선 통신을 활용한 통신 방식
Fig. 9 Communication method with repeater and 1:1 wireless communication for applying to a household

따라서 가정 내에서 데이터 무선 취득장치를 통해 스마트 미터로 각 부하의 전압 및 전류 데이터를 전송하는 시스템은 그림 9와 같은 구조를 갖게 된다. 중계기로 활용되는 Atmega2560은 총 4 개의 통신 포트를 갖고 있는데, 이 중 3 개의 통신 포트를 3개의 데이터 무선 취득장치에서 송신되는 데이터를 받는 수신 포트로 활용하고 나머지 1 개의 통신 포트는 중계기 하나에서 통합되어 3 개의 묶음으로 표현된 하나의 데이터를 스마트 미터로 전달하는 송신 포트의 역할을 수행하게 되는 것이다. 중계기의 적용을 통해 이러한 구조의 시스템을 구축할 경우 데이터 저장장치나 중계기의 역할을 수행하는 Atmega2560은 하나가 아닌 여러 개의 포트를 이용함으로써 동시에 여러 slave (가전기기)와 통신이 가능해 지게 되고, 이를 통해 데이터 저장장치에서 필요로 하는 수신 포트의 개수와 함께 Bluetooth 수신 모듈의 개수를 줄일 수 있게 된다. 또한 중계기로 송신되는 가전기기의 데이터를 3 개씩 묶음으로써 비슷한 위치에 있는 가전기기의 데이터를 하나의 중계기를 통해 통합적으로 관리할 수 있게 되기 때문에 데이터 무선 취득장치는 물론 중계기의 설치와 관리에 효율성을 증가시킬 수 있게 된다.

이렇게 중계기를 이용하는 시스템 구조 하에서는 샘플링된 데이터의 전달이 통신 속도에 의해 늦어지는 문제가 발생할 수 있는 가능성이 있다. 전송속도가 빠른 Bluetooth 통신의 적용과 Atmega2560을 중계기로 활용할 경우 2000 Hz의 통신 속도가 가능함을 확인하였으며, 이러한 중계기의 활용으로 Bluetooth 통신의 짧은 통신 거리의 보완과 장애물에 의한 통신 장애 문제의 해결이 가능함 역시 확인하였다. 이렇게 중계기를 활용하여 데이터를 전송할 경우, 각 중계기의 node 별로 개별적으로 데이터 파일을 만들어 저장하도록 설정하였으며, 각 node를 통해 전달되는 데이터는 그림 10과 같은 구조로 구성되도록 하였다. 이는 일정하게 증가하

는 숫자 배열 데이터를 이용하여 정상적으로 작동함을 확인하였다.

데이터 파일명 : 100830-1430 (YYMMDD-HHMM)

msec	Slave No.	Data	Slave No.	Data	Slave No.	Data
29234	1	108	2	134	3	76
29234	1	109	2	136	3	79
29234	1	110	2	138	3	82
29234	1	111	2	140	3	85
29234	1	112	2	142	3	88
29234	1	113	2	144	3	91
29234	1	114	2	146	3	94
29234	1	115	2	148	3	97
29484	1	116	2	150	3	100
29484	1	117	2	152	3	103
29484	1	118	2	154	3	106
29484	1	119	2	156	3	109

그림 10 중계기를 통해 전달되는 데이터 구조
Fig. 10 Data structure transferred through a repeater

앞서 설명했듯이, 하나의 node에는 총 3 개의 데이터가 송신되기 때문에 각 데이터가 어떤 데이터인지 쉽게 인지할 수 있도록 slave의 번호를 부여하였으며, 각 slave 번호에 따라 전송되는 데이터가 저장되도록 설정하였다. 또한 2000 Hz의 샘플링 주파수를 갖기 때문에 데이터가 취득된 시간을 세부적으로 알 수 있도록 ms 단위로 표시하도록 하여, 전체적으로 시간과 어떤 데이터 무선 취득장치에 연결된 데이터가 취득되었는지 쉽게 알 수 있도록 표현되도록 하였다. 이렇게 구성된 데이터 무선 취득장치와 데이터 저장 시스템을 적용해 본 결과, 목표로 했던 2000 Hz의 샘플링 주파수를 통한 데이터 취득과 Bluetooth 무선 통신을 통한 복수 데이터의 정확한 취득이 가능함을 확인했다.

3. 결 론

스마트 그리드를 위한 기술 중 가장 실현 가능성이 높은 AMI가 본연의 기능을 발휘하기 위해 꼭 필요한 것이 바로 스마트 미터이다. 이러한 스마트 미터를 통해 전력 공급자와 소비자 모두 다양한 효과와 이득을 볼 수 있게 된다. 이러한 스마트 미터의 기능향상과 스마트 미터를 통해 가정 전체의 소비 전력만이 아닌 각 부하의 전력 소비에 대해 더욱 정확하고 다양한 정보를 위해서 각 부하의 사용 전력에 대한 정확도 높은 데이터가 필요하게 된다. 기존에 활용되는 스마트 미터가 가정 내 부하에 대한 개별적인 상세 정보를 제공해 줄 수 없고, 높은 샘플링 주파수를 통해 얻어진 데이터를 기반으로 정보를 제공하고 있지 않기 때문에 이러한 단점을 보완할 수 있도록 각 부하의 소비전력에 대한 데이터 무선 취득장치가 필요한 것이다.

본 논문에서는 샘플링 주파수를 높이고 무선 통신을 통해 각 가전기기의 사용 전압 및 전류 순시 데이터를 취득하여 스마트 미터로 전송할 수 있는 데이터 무선 취득장치의 개발과 이에 대한 성능 검증을 제시하였다. 마이크로 컨트롤러인 AVR을 A/D 컨버터로 활용하였고, Bluetooth 무선 통신을 활용하여 데이터를 전송할 수 있도록 하였다. 이렇게

개발된 데이터 무선 취득장치를 소규모 부하에 적용하여 오실로스코프를 통해 측정된 실제 전류 파형과 데이터 무선 취득장치를 통해 획득한 전류 데이터를 비교하였고, 그 정확도를 확인할 수 있었다. 이를 통해 2000 Hz의 비교적 높은 샘플링 주파수를 통해 정확도 높은 데이터를 얻을 수 있으며, 이러한 데이터를 개별부하에 대한 정보 제공을 위한 알고리즘이 내장된 스마트 미터로 전송함으로써 각 부하 별 소비 전력에 대한 정보는 물론 더 나아가 소비 패턴이나 전력 품질, 가정 내 부하 구성비 등에 대한 정보를 제공할 수 있다.

또한 이렇게 개발된 데이터 무선 취득장치를 일반 가정에 적용하여 가정 내의 다양한 가전기기의 데이터를 취득할 경우 발생할 수 있는 문제점들을 해결하고 대량의 데이터를 정확히 전달 받기 위해 필요한 시스템 구조를 제시하였다. 이는 Bluetooth 무선 통신의 활용과 이를 위한 중계기의 이용을 통해 데이터의 단절 없이 취득할 수 있으며, 통신 거리와 장애물로 인한 문제를 해결할 수 있도록 하였다.

이러한 데이터 무선 취득장치를 포함한 데이터 취득 시스템에 대하여, 데이터 취득에 따른 데이터 용량과 기판과 도선, 그리고 A/D 컨버전 시에 발생하는 에러에 대한 고려와 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 중견연구자 지원 (도약-전략) 연구입니다.(No.2011-0028065)

참 고 문 헌

[1] Huibin Sui, Honghong Wang, Ming-Shun Lu and Wei-Jen Lee, "An AMI System for the Deregulated Electricity Markets", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 45, No. 6, pp. 2104-2108, November/December 2009.

[2] Shang-Wen Luad, Jen-Hao Teng, Shun-Yu Chan, Lain-Chyr Hwang, "Development of a Smart Power Meter for AMI Based on ZigBee Communication", International Conference on Power Electronics and Drive Systems, pp. 661-665, 2009.

[3] Dae-Man Han and Jae-Hyun Lim, "Smart Home Energy Management System using IEEE 802.15.4 and ZigBee", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 56, no. 3, pp. 1403-1410, August 2010.

[4] 김진백, "스마트그리드에서 수요반응을 위한 IHD 및 홈 에너지 관리 포털 디자인 프레임워크", Entru Journal of Information Technology, Vol. 10, No. 1, pp. 67-88, January 2011.

[5] G. N. Srinivasa Prasanna, Armita Lakshmi, Sumanth S., Vijaya Simha, Jyotsna Bapat, and George Koomullil, "Data Communication over the Smart Grid", IEEE International Symposium on Power Line

Communications and Its Applications, pp. 273-279, 2009.

[6] Mesut Baran, T. E. McDermott, "Distribution System State Estimation Using AMI Data", IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, pp. 1-3, 2009.

[7] R. W. Uluski, "Interactions Between AMI and Distribution Management System for Efficiency/Reliability Improvement at a Typical Utility", IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, pp. 1-4, 2008.

[8] R. W. Uluski, "Interactions Between AMI and Distribution Management System for Efficiency/Reliability Improvement at a Typical Utility", IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, pp. 1-4, 2008.

[9] Hahn Tram, "Technical and Operation Considerations in Using Smart Metering for Outage Management", IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, pp. 1-3, 2008.

[10] David G. Hart, "Using AMI to Realize the Smart Grid", IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, pp. 1-2, 2008.

[11] "AMI (Advanced Metering Infrastructure)", 지식경제부, March 2009.

[12] 채영진, "Smart Meter Introduction (개념, 해외사례, 기대효과)", 전력거래소 시장기획팀.

[13] "AVR-ATmega128 Microcontroller", 동아대학교 공과대학 전자공학과.

저 자 소 개



성 병 철 (成 秉 哲)

2006년 연세대 전기전자공학과 졸업.
 2009년 동대학원 전기전자공학과 졸업 (석사).
 2009년~현재 동대학원 전기전자공학과 박사 과정.
 Tel : 02-2123-7839
 E-mail : guardchul@yonsei.ac.kr



배 선 호 (裵 善 鎬)

2010년 한동대 기계제어공학부 졸업.
 2010년~현재 연세대 대학원 전기전자공학과 석·박사 통합 과정
 Tel : 02-2123-8290
 E-mail : bsunho@yonsei.ac.kr



박우재 (朴祐載)

2009년 연세대 전기전자공학과 졸업.
2009년~현재 연세대 대학원 전기전자공
학과 석·박사 통합 과정
Tel : 02-2123-7839
E-mail : qkrdnwo@yonsei.ac.kr



전승욱 (田勝旭)

2011년 연세대 전기전자공학과 졸업.
2011년~현재 연세대 대학원 전기전자공
학과 석·박사 통합 과정
Tel : 02-2123-7839
E-mail : iamdrings@yonsei.ac.kr



박정욱 (朴正旭)

1999년 연세대 전기공학과 졸업. 2003년
미국 Georgia Institute of Technology
전기컴퓨터 공학부 졸업 (박사). 2003년
~2004년 미국 University of Wisconsin-
Madison 박사후 전임연구원. 2004년~
2005년 LG전자 선임연구원. 2005년~
2010년 연세대 전기전자공학부 조교수.
2010년~현재 연세대 전기전자공학부 부
교수.
Tel : 02-2123-5867
Fax : 02-393-7842
E-mail : jungpark@yonsei.ac.kr