

## 제로 에너지 건축물을 위한 자립형 저전력 IoT 센서 모듈 개발에 대한 연구

강자윤\*, 조영찬\*\*, 김희준\*\*\*

### A Study on Development of Independent Low Power IoT Sensor Module for Zero Energy Buildings

Ja-Yoon Kang\* ,Young-Chan Cho\*\*, Hee-Jun Kim\*\*\*

**요약** 국가 총에너지 소비량 중 건축물에서 소비하는 에너지는 전체의 10% 이상을 차지하고 있다. 이러한 이유로 우리나라는 2025년부터 제로에너지 건물 의무화 정책을 채택하였고, 결국 건축물 에너지 절감 기술에 대한 연구가 요구되고 있다. 건축물 중 빌딩의 에너지 소비 형태를 분석해보면 조명 및 냉난방 에너지가 전체 에너지 소비량의 60% 이상을 차지하고 있는데, 이는 태양광 취득률 및 창문의 개폐 운용과 직접적인 연관이 있다. 본 논문에서는 건축물에너지 관리시스템에 취득 정보를 전송하기 위한 창호용 저전력 IoT 센서 모듈을 개발하기 위해 연구를 진행하였다. 이 모듈은 외부 환경 및 창문 개폐 상태 정보를 실시간으로 빌딩 에너지 관리 시스템에 전송하여 능동적으로 에너지 절감 조치를 취할 수 있게 네트워크를 구성하였다. 모듈에 사용되는 전력은 하베스트 에너지 중 태양광 발전을 이용한 독립적인 전원으로 설계하였다. 전원은 Buck 컨버터를 적용하여 MPPT 제어를 통해 리튬이온 배터리에 4V로 충전하는 방식으로 효율은 약 85.87%이다. 통신은 WiFi 방식을 적용하여 실시간으로 전송할 수 있도록 구성하였다. 모듈의 소비전력 저감을 위해 하드웨어 및 소프트웨어 측면에서 분석하여 저전력 IoT 센서 모듈을 구현에 대한 연구를 진행하였다.

**Abstract** The energy consumed by buildings among the total national energy consumption is more than 10% of the total. For this reason, Korea has adopted the zero energy building policy since 2025, and research on the energy saving technology of buildings has been demanded. Analysis of buildings' energy consumption patterns shows that lighting, heating and cooling energy account for more than 60% of total energy consumption, which is directly related to solar power acquisition and window opening and closing operation. In this paper, we have developed a low - power IoT sensor module for window system to transfer acquired information to building energy management system. This module transmits the external environment and window opening / closing status information to the building energy management system in real time, and constructs the network to actively take energy saving measures. The power used in the module is designed as an independent power source using solar power among the harvest energy. The topology of the power supply is a Buck converter, which is charged at 4V to the lithium ion battery through MPPT control, and the efficiency is about 85.87%. Communication is configured to be able to transmit in real time by applying WiFi. In order to reduce the power consumption of the module, we analyzed the hardware and software aspects and implemented a low power IoT sensor module.

**Key Words** : IoT sensor module, PV, Building Energy Management System, Low-power module, Zero Energy Building

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20182020700270).

\*Department of Mechatronics Engineering, Hanyang University

\*\*Automotive Electronics Research Center, Korea Electronics Technology Institute

\*\*\*Corresponding Author :Department of Electronics Systems Engineering, Hanyang University (hjkim@hanyang.ac.kr)

Received April 17, 2019

Revised April 29, 2019

Accepted April 29, 2019

## 1. 서론

최근 에너지 절감을 위한 노력이 다양한 분야에서 이루어지고 있음에 따라 주거분야에서도 다양하게 연구 개발되어지고 있다. 그 중 에너지 소비가 적은 건물 설계에 대한 연구와 신재생에너지 사용이 적극적으로 요구되고 있다. 영국은 2016년부터 신규 건설 주택에 이산화탄소 배출 제로화를 하여 건물을 사고 팔 때 에너지 효율 인증서를 의무적으로 제시하게 하고, 일본은 에너지 자립 기술을 촉진하여 각종 보조금 및 정책을 통한 고효율 저에너지 건물 보급을 확대해 나가고 있다. 미국은 2025년까지 제로 에너지 빌딩 의무화하여 공공성을 지닌 민간기관 중심으로 인증 프로그램을 활성화 하고 있다.[1] 한국도 2025년부터 모든 신축 건축물에 제로에너지 인증제 도입을 의무화하기로 하였다. 이러한 정책은 단열성능을 극대화하여 건물 외피를 통해 외부로 유출되는 에너지양을 최소화하고 신재생 에너지를 활용하여 건물 기능에 필요한 에너지를 자체적으로 공급하는 등 '에너지 자립 건축물'에 대한 고도화 연구를 촉진하고 있다.

제로 에너지 건축물을 실현하는 방법에는 크게 passive 공법, active 공법, BEMS (Building Energy Management System) 를 활용하는 방법이 있다. Passive 공법은 주로 고성능 단열재와 같은 건축 자재를 이용한 공법이며, active 공법은 태양광, 태양열, 지열 등의 신재생 에너지를 활용하여 빌딩에 필요한 에너지를 자체 생산하는 공법이다. 또한, BEMS는 건물의 에너지 사용량을 실시간으로 모니터링하고 수집된 에너지의 사용 정도를 최적화하여 가장 효율적으로 관리하는 기술이다.[2]

본 논문에서는 건축물의 외부 환경과 창문의 개폐 상태를 실시간으로 BEMS에 전송하여 모니터링 할 수 있도록 IoT 센서 모듈을 구현하였다. IoT 센서 모듈은 산업 분야에서 유지보수 및 모니터링 등을 위하여 많이 사용 되고 있다.[3, 4] 특히 산업 분야 중에서도 사람의 접근성이 용이하지 않는 위험하거나 특수한 장소에 많이 설치되기 때문에 직접적인 IoT 센서 모듈의 유지보수 및 교환 횟수를 최소화하

는 방향으로 설계가 되어야 한다. 그래서 IoT 센서 모듈의 설계는 적용 분야에 맞는 통신 방식의 선정과 전원 설계가 중점이 되어야 한다. 기존 IoT 센서 모듈의 통신 방식에 있어서는 Zigbee가 많이 사용되고 있다. Zigbee는 Bluetooth와 Wifi 보다 전력 소비도 적고, 복잡성도 낮아 모니터링이나 센서 네트워크를 구성하는데 적합하기 때문이다.[5, 6] 그리고 모듈의 전원 관리를 위해 소비전력을 저감하는 방법으로 메모리 관리, 운영 관리, 통신 모드 등 다양한 방법이 제시되고 있다.[7, 8] IoT 센서 모듈의 전원 설계는 에너지 하베스팅 기술을 많이 사용하고 있다. 에너지 하베스팅 기술에는 대표적으로 압전효과, 열전효과, 광전효과 등으로 분류할 수 있다. 이는 장소에 따라 적합한 기술을 선정해야 한다.

본문에서는 기축건물과 신축건물에 적용이 용이하고 경제성과 사업화 측면을 고려하여 연구를 진행한 결과, Wifi기반의 무선 통신과 PV를 이용한 자립형 전원방식을 선정하였다. 또한, 소비전력을 최소화하기 위해 부품 선정 및 운영 방식을 고려하였으며, BEMS 인터페이스를 구현하여 IoT 센서 모듈의 동작을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장은 제로 에너지 건축물을 실현하는데 있어 IoT 센서 모듈의 필요성과 연구 동향에 대해 기술하였고, 2장은 연구한 시스템의 구현 방식에 대하여 기술하였다. 3장에서는 시험환경을 구축하여 모듈의 성능 검증을 하였으며, 4장에서는 본 논문의 연구 결과를 정리하였다.

## 2. IoT 센서 모듈의 설계

### 2.1 전체 시스템 구성

그림 1은 본 논문에서 구현한 IoT 센서 모듈의 전체 시스템 구성을 나타낸 것이다. 전원 모듈은 에너지 하베스팅 기술 중 광전효과를 사용하는 PV를 이용하여 IoT 센서 모듈의 전원 공급을 위한 자립형 전원으로 설계하였다. 전원 모듈의 구성은 PV에서 생성된 전력을 컨트롤러에서 MPPT 제어하여 DC-DC 컨버터를 통해 배터리에 충전하는 방식으로 구성되어 있다. 그리고 배터리에서 통신모듈로 전원

을 공급하게 된다. 통신 모듈의 구성은 건축물 외부의 조도, 온도, 개폐 상태를 측정할 수 있는 센서부와 BEMS로 데이터를 전송하기 위한 MCU로 구성되어 있다. 통신 방식은 1:N 무선 통신을 위하여 WiFi기반으로 구현하였으며, 취득된 데이터는 BEMS로 전송된다. 이렇게 전원 모듈, 통신 모듈, BEMS가 전체 시스템을 구성하는 요소이다. 각각의 상세한 설계 사항은 이후 챕터에서 설명하였다.

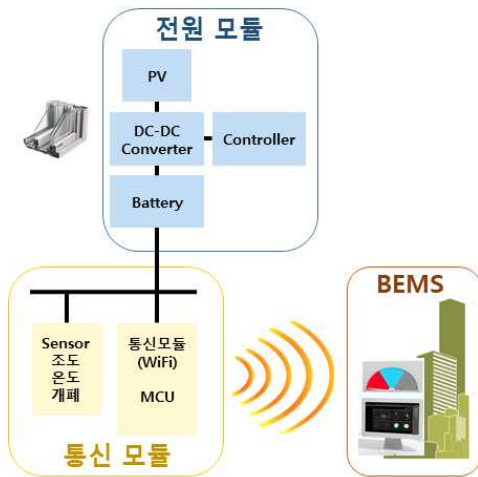


그림 1. IoT 센서 모듈의 전체 시스템 구성  
Fig. 1. Overall System Configuration of IoT Sensor Module

### 2.2 자립형 전원 설계

자립형 전원 설계는 충전 컨트롤러를 이용하여 PV에서 생성된 전력을 배터리에 충전되도록 설계하였다. PV는 특성상 출력이 항상 일정하지 않기 때문에 MPPT 제어의 필요성이 있으며, 배터리의 사양에 맞게 충전방전을 제어할 필요가 있다. 위 두가지 제어를 위해 태양광 충전 컨트롤러는 TI사의 bq24650을 적용하였다. 배터리는 리튬이온 배터리 LGAB41865를 선정하였으며, 3.7V에 용량은 2,600mAh 이다.

전원 설계 사양은 다음과 같다. PV의 출력 전압인 5.8~28V를 MPPT 제어를 통해 컨버터로 4V로 변환하여 배터리에 충전한다. 컨버터의 토폴로지는 buck 컨버터로 선정하였다. 그리고 배터리 충전 전

류는 0.5C 기준인 1250mA로 설정하였다. 그림 2는 전원 모듈을 설계한 회로도이다.

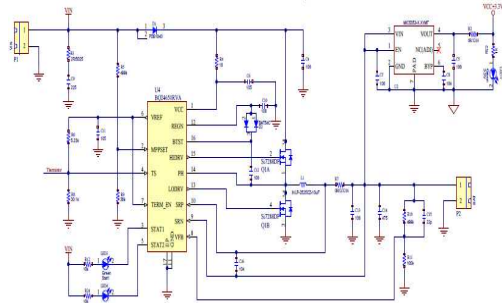


그림 2. 전원 모듈의 회로도  
Fig. 2. Schematic of Power Module

### 2.3 센서 및 통신 모듈 설계

센서는 정확한 계측을 위해 14bit 이상의 분해능과 정확한 정보전송을 위한 I2C 통신을 지원하며 저전력 설계를 위해 전력소모가 적은 부품으로 선정하였다. 표 1은 온습도, 조도 센서에 대한 사양을 정리한 것이다.

표 1. 센서 사양  
Table 1. Specification of Sensors

제품명	HDC1080 (TI)	BH1750FVI (ROHM)
기능	온습도	조도
분해능	14bit	16bit
소비전류	190uA	120uA
비고	I2C 통신지원	I2C 통신지원

통신 방식의 경우, 최근 LoRa와 같은 장거리 통신을 포함한 IoT에 사용되는 여러 통신 프로토콜을 검토 결과 WiFi가 적절한 것으로 판단하여 선택하였다. 표 2는 IoT 무선통신 프로토콜들의 사양을 간단히 정리한 것이다. 실제 신축건물이나 혹은 기축건물에 본 개발품이 적용되었을 때, Zigbee의 경우 별도의 게이트웨이를 포함한 서버를 구축해야 하므로 전송 속도, 소비전력 등 WiFi에 비해 유리한 점이 많지만 설치 및 구현하는데 있어 비용이 많이 소요된다. 그에 비해 WiFi는 기축 건물에 인터넷을 포함한 이더넷 기반 네트워크가 대부분 구축되어 있기 때문에 이를 이용하여 구현하는 것이 별도의 추가 통신

네트워크의 가설이 필요가 없어 상호형 IoT 제품이 실제 건물의 구현됨에 있어 경제적으로 설치 가능하다. 사업화 측면에서도 고려하여 선정하였다. 또한, 마이컴과 통합된 WiFi 모듈 제품군의 대량 출시로 비교적 고비용의 WiFi 모듈의 가격이 다소 하향되고 있다. 본 통신 모듈에 사용한 통합 모듈은 ESP8266 기반의 마이컴 통합형 제품이다. 그 기능도는 그림 3과 같다.

표 2. IoT 무선통신 프로토콜의 사양  
Table 2. Specification of IoT Wireless Communication Protocols

	Zigbee	Bluetooth	WiFi	NFC
전송 거리	~100m	~10m	~100m	~20cm
전송 속도	~250 kbps	~24 Mbps	11/54 Mbps	106~848 Kbps
소비 전력	Very Low	Medium	High	Low
복잡성	Low	Low	High	Low
비용	Low	Low	High	Low

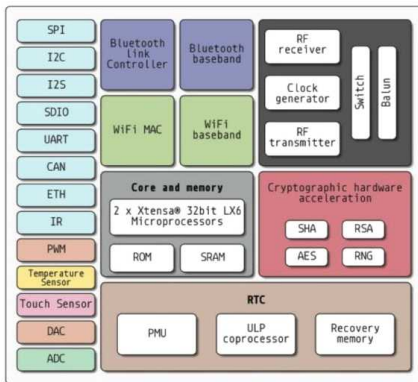


그림 3. ESP-WROOM-02의 기능도  
Fig. 3. Features of ESP-WROOM-02

동작 Firmware은 Ubuntu (32bit), Windows O/S에서 Oracle VM Virtual Box로 진행하였고, ESP8266 Non-OS SDK API 라이브러리 기반으로 프로그램을 개발하였다. 모듈에 대한 상태 모니터링 방식은 serial 통신으로 WiFi와 연결하였다. 습도, 조도 센서를 I2C 통신을 통해 데이터를 수신하였고,

개폐 센서는 GPIO 입력으로 데이터 수신하였다.

### 2.4 저전력 알고리즘 설계

그림 4는 IoT 센서 모듈에서 정보를 송신할 때의 전류 파형을 나타낸 것이다. 파형을 분석해 보면 300ms 동안 일정하게 정보를 송신할 수 있는 것을 확인 할 수 있다. 대기 시에는 전류가 15mA 소비되고 있으며, 송신 시에는 약 7.9ms 동안 67mA 만큼 소비 되었다. 이를 기준으로 실제 리튬이온 배터리 3.6V, 5200mAh를 완충하여 방전 실험을 진행한 결과 4.5일 동안 외부 충전 없이 사용할 수 있는 결과를 얻었다. 이 분석 결과로 일조량이 적은 겨울에 4시간만 충전할 수 있다고 가정하였을 때 1시간동안 1W 이상을 충전해야만 하루 이상을 사용할 수 있는 전력을 충전할 수 있다. 그러나 사용되는 PV는 상호에 설치되는 것을 목표로 1W 미만의 PV를 선정하였기 때문에 PV 발전을 저해하는 기후의 악조건일 경우에는 IoT 센서 모듈의 전력을 충당하지 못 할 수 가 있다. 그래서 송신에 필요한 전류와 대기 시의 전류를 저장하는 방법을 운영 관리 측면에서 보완하였다.

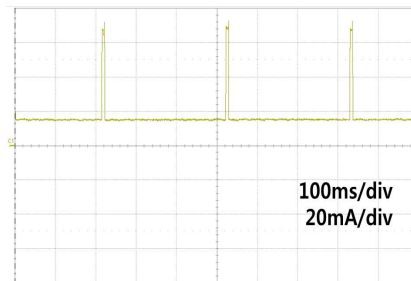


그림 4. IoT 센서 모듈의 소비 전류 파형  
Fig. 4. Current Consumption Waveform of IoT Sensor Module

첫 번째로 송신에 필요한 전류를 저장하는 방법으로 송신 주기를 조절하였다. 상호의 주변 환경이 수 초 내로 급격하게 변하지 않는 특성을 갖고 있기 때문에 송신 단위 시간을 분 단위로 설정해도 무방하다. 그 결과 분 단위로 송신을 할 경우 소비 전력이 충분히 저장되어 장마나 일조량이 적은 겨울 같은 악조건에서의 PV의 발전량으로도 24시간 동안 안정

적으로 IoT 센서 모듈에 전원을 공급할 수 있다. 두 번째로 대기 시의 전류를 저감하는 방법으로 sleep mode를 적용하였다. Sleep mode는 연속적으로 사용 시 전원 관리에 문제 발생을 방지하기 위한 기능이다. 그림 5는 sleep mode의 수행 방식과 단계에 따른 전류 크기를 설명한 것이다. 수행 방식은 모듈의 페어링 및 송수신 시간을 제외한 나머지 시간은 절전모드로 동작하게 함으로써 전력 소모를 최소화하였다. 절전 모드에서는  $\mu A$  이하로 절전이 가능하기 때문에 소비 전류를 더욱 저감할 수 있게 된다. 그림 6은 IoT 센서 모듈에 적용한 저전력 알고리즘을 나타낸 것이다.

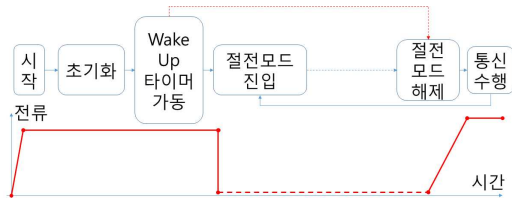


그림 5. Sleep Mode에 따른 전류 흐름  
Fig. 5. Current Flow according to Sleep Mode

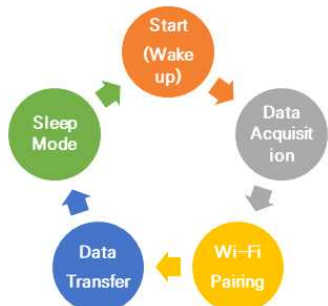


그림 6. 개발된 Firmware의 저전력 알고리즘  
Fig. 6. Low-Power Algorithm of Developed Firmware

### 3. IoT 센서 모듈의 구현

그림 7은 IoT 센서 모듈의 시제품 사진이다. 전원 모듈과 통신 모듈을 일체형으로 제작하여 빨간색 선을 기준으로 왼쪽은 전원 모듈이고, 오른쪽은 통신 모듈이다. 또한, 건축물의 외부환경을 센싱하는 위치와 PV 설치 및 연결을 고려하여 창호 구조에 맞게 구현하였다. 기능 구현용 시제품의 크기는 60mm \* 80mm 소형으로 구현하였고, 실제로는 창호에 매립될 수 있도록 커스터마이징 작업을 하였다. 그리고 BEMS는 IoT 센서 모듈의 정상 동작을 확인하기 위해 모의 BEMS 인터페이스를 구현하여 데이터베이스 및 모니터링을 할 수 있도록 개발하였다.

80mm 소형으로 구현하였고, 실제로는 창호에 매립될 수 있도록 커스터마이징 작업을 하였다. 그리고 BEMS는 IoT 센서 모듈의 정상 동작을 확인하기 위해 모의 BEMS 인터페이스를 구현하여 데이터베이스 및 모니터링을 할 수 있도록 개발하였다.



그림 7. IoT 센서 모듈의 시제품  
Fig. 7. Prototype of IoT Sensor Module

#### 3.1 자립형 전원의 구현

그림 8은 전원 모듈의 실험 환경을 나타낸 것이다. PV의 조도에 따른 전압변화를 외부의 SMPS로 조절하여 전원 모듈의 PV를 대체하였고, 배터리에 충전 상태를 Power Meter를 통해 정상 동작 및 효율을 확인하였다.

그림 9는 Power Meter로 실험 결과를 정리한 것이다. Udc1, Idc1, P1은 전원 모듈의 입력전압, 전류, 전력이다. Udc2, Idc2, P2는 배터리에 충전되는 전압, 전류, 전력이다. 전원 모듈의 입력 범위는 5.8~28V 이므로 12V와 20V 일 경우 전원 모듈의 동작을 확인해 보았다. 실험 결과 입력 전압의



그림 8. 전원 모듈의 실험 환경  
Fig. 8. Experimental Environment of Power Module

변동에도 충전전압 4V를 유지하는 것을 확인하였다. 또한 충전 효율은 약 85.87%를 확인하였다.

Udc1	12.030 V	Udc1	20.132 V
Idc1	0.6935 A	Idc1	0.4206 A
P1	8.342 W	P1	8.468 W
Udc2	4.092 V	Udc2	4.092 V
Idc2	1.7505 A	Idc2	1.7411 A
P2	7.163 W	P2	7.124 W
η1	85.868 %	η1	84.131 %

그림 9. 전원 모듈의 실험 결과  
Fig. 9. Experimental Result of Power Module

### 3.2 센서 및 통신 모듈의 구현

그림 10은 시제품에 실장된 센서를 나타낸 것으로 위의 왼쪽은 온습도 센서, 왼쪽은 조도 센서이며, 아래 그림은 개폐 센서를 실제 창호에 장착된 사진이다. 온습도 센서는 PCB에 실장하여 I2C 통신으로 마이컴에 센싱된 정보를 전달한다. 조도 센서는 별도의 소형 보드에 실장하여 외부에 노출이 가능하도록 설계하였으며 마찬가지로 I2C 통신으로 마이컴에 센싱 정보를 전달한다. 창문의 개폐 센서는 마그네틱 스위치를 사용하여 닫힐 시 High, 열림 시 Low 신호를 마이컴에 전달하여 개폐여부를 판단하게 하였다.

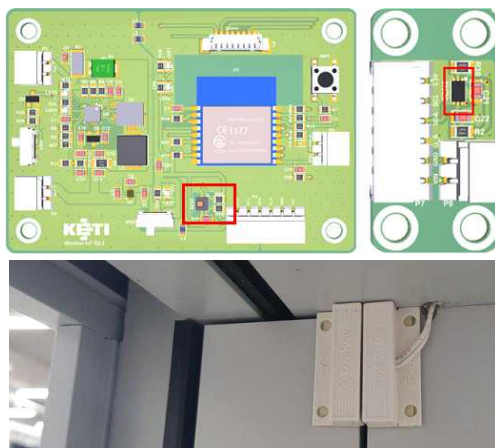


그림 10. 센서들의 위치  
Fig. 10. Location of Sensors

### 3.3 BEMS 인터페이스 구현

본 논문에서는 IoT 센서 모듈이 BEMS로 데이터 전송의 여부를 증명하기 위해 BEMS 인터페이스를 HMI 프로그램을 구현하였다. 데이터에 대한 흐름은 그림 11처럼 4가지의 layer로 나누어진다. 이 중 데이터베이스 부분을 담당하는 SQL Server 부분과 모듈로부터 데이터를 취득하는 모니터링 프로그램부분을 포함하여 HMI 프로그램 부분으로 볼 수 있다.

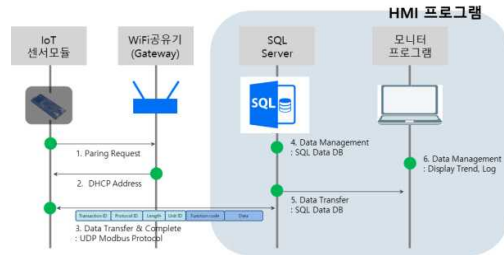


그림 11. 데이터의 흐름도  
Fig. 11. Flow Chart of Data

데이터베이스(SQL Server)는 마이크로소프트사에서 무료로 제공하는 MS-SQL Express 버전을 기반으로 환경 구축하였다. 개발된 모니터링 프로그램은 Window IoT Setting, Window IoT Server 및 Window IoT Client 으로 구성 되어있다. Window IoT Setting 프로그램은 모니터링을 수행하고자 하는 IoT 센서 모듈에 대한 정보를 설정하였고, Window IoT Server 프로그램은 IoT 센서 모듈과 통신을 수행하여 취득한 정보를 수신 받아서 데이터베이스에 저장하도록 설정하였다. 또한 Window IoT Client 프로그램은 취득한 모듈 정보를 그래프 및 테이블과 같은 다양한 형태의 디스플레이 형태로 사용자에게 표시하도록 설정하였다. 그림 12는 Window IoT Client를 실행한 화면이다. 창호에 있는 IoT 센서의 취득정보를 사용자에게 표시한 것으로 정상적으로 IoT 센서와 통신을 수행 중 이면 녹색의 WiFi 그림을 표시하여 사용자가 IoT 센서 통신 상태를 쉽게 알 수 있도록 하였다.



그림 12. 클라이언트 프로그램 실행 화면  
Fig. 12. Client Program Execution Screen

Data protocol은 기본적으로 Modbus Ethernet 프로토콜을 규격을 적용하였다. 일반적으로 Modbus Ethernet은 통신 시 서버와 접속을 유지하는 TCP 프로토콜을 이용하지만, 본 논문에서는 서버와 비 접속 방식인 UDP 프로토콜을 사용하여 서버와의 데이터 통신 시 소모되는 소비 전력 감축하였다. 서버에서는 Modbus Frame Format의 Unit Identifier를 사용하여 각각의 IoT 센서 모듈을 구분하였다.

#### 4. IoT 센서 모듈의 성능 분석

본 논문에서는 구현한 IoT 센서 모듈의 유효성을 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 성능 분석 항목으로 계측 정밀도, 수신기와 송신 모듈 간의 Access 시간, IoT 센서 모듈에서 BEMS로 데이터의 원활한 전송 여부를 확인하였다.

그림 13은 계측 정밀도를 측정하기 위한 구성을 나타낸 것이다. 실험 방법은 각 IoT 센서 모듈의 데이터를 WiFi 통신으로 송신하고, 수신기에서 수신된 데이터를 모니터링 프로그램으로 확인하였다. 그리고 각 5개의 IoT 센서 모듈에 대해서 계측된 조도와 온도 값과 검교정이 된 장비(온도계, 조도계)로 측정된 값을 비교하여 계측 정밀도를 산출하였다. 표 3은 결과 값을 정리 한 것이다. 계측은 모니터링 프로그램으로 받은 값이며, 측정 값은 검교정 된 장비로 측정된 데이터 값이다. 계측 정밀도는  $\{(계측값 - 측정값) / 측정값\} * 100$ 으로 산출하였다.

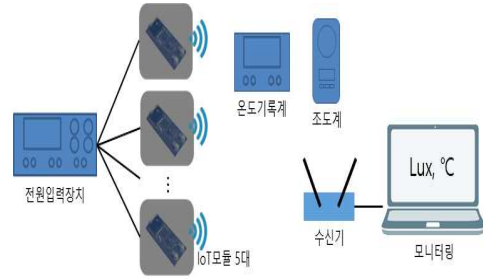


그림 13. 계측 정밀도 시험 구성  
Fig. 13. Configuration of Measurement Accuracy Test

표 3. 계측 정밀도 결과  
Table 3. Measurement Accuracy Result

시료	1	2	3	4	5	평균값
조도 계측 (Lux)	853.0	877.0	875.0	852.0	902.0	871.8
조도 측정 (Lux)	894.0					894
조도 계측 정밀도(%)	4.6	1.9	2.1	4.7	0.9	2.5
온도 계측 (°C)	19.3	19.7	19.1	19.8	18.8	19.3
온도 측정 (°C)	19.6					19.6
온도 계측 정밀도(%)	1.5	0.5	2.6	1.0	4.1	1.9

그림 14는 모듈 간 Access 시간을 측정하기 위해 구성한 시험 사진과 결과 파형이다. 수신기와 송신 모듈 간의 Access 시간을 측정하기 위해 모니터링 프로그램이 모듈에게 데이터 전송 명령을 내리고, 데이터가 수신 완료되는 시점을 트리거를 통해 오실로스코프로 측정하였다. 결과는 814.1ms의 시간이 측정되었다.

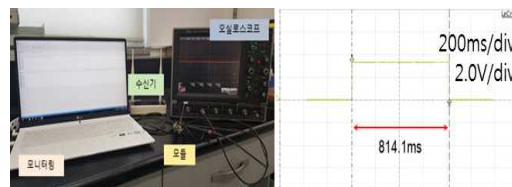


그림 14. 모듈 간 Access 시간 시험  
Fig. 14. Access Time Test between Modules

그림 15는 IoT 센서 모듈 시제품을 직접 창호에 매립한 것이다. 건축물 외부에 해당하는 창틀에는 PV 및 조도 센서를 설치하였다. 그리고 반대편인 창틀에는 사각 홀을 만들어 IoT 센서 모듈과 배터리를 매립하였다.

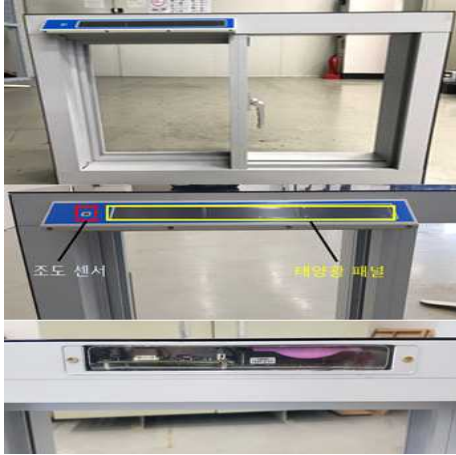


그림 15. 창호에 적용된 시제품  
Fig. 15. Prototype applied to Window

그림 16은 창호에 적용된 시제품에서 IoT 센서 모듈의 데이터가 BEMS에 잘 전달되었는지를 확인한 것이다. 모니터링 프로그램을 통해 HMI, TREND 그래프, TREND LOG, SYSTEM LOG가 저장된 데이터를 통해 잘 표시되는지를 확인할 수 있었다.

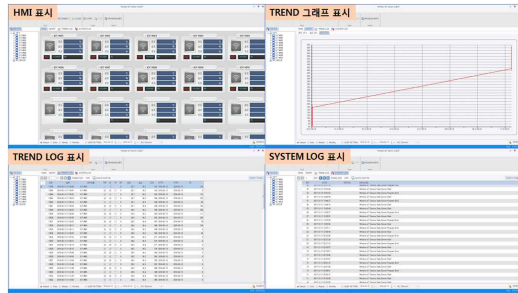


그림 16. BEMS 인터페이스 화면  
Fig. 16. BEMS Interface Screen

### 5. 결론

본 논문에서는 제로 에너지 건축물 의무화를 달성하기 위해 저전력 IoT 센서 모듈 개발에 대한 연구

를 하였다. IoT 센서 모듈의 목적은 건축물 외부 환경 데이터를 BEMS에 전달하여 창호의 개폐상태 관리를 통해 냉난방에 쓰이는 에너지를 절약하는 것이다. 구현된 IoT 센서 모듈은 저전력 운영 관리를 통해 소비전력을 저감하여 1W PV로도 날씨에 관계없이 1년 내내 안정적으로 전원이 자립적으로 공급되도록 구현하였다. 기존의 IoT 센서 모듈의 통신 방식은 Zigbee를 주로 사용하고 있으나, 기축건물과 신축건물에는 보통 WiFi가 구축되었기 때문에 추가 비용 없이 구현하기 용이한 WiFi 방식을 선택하여 개발하였다. 다수의 IoT 센서 모듈의 데이터 전송을 확인하기 위하여 모의 BEMS 인터페이스를 구현하였고, 계측정밀도, 모듈 간 Access 시간 등의 성능 분석과 모니터링 프로그램을 통해 전송된 데이터들이 데이터베이스에 원활히 저장되어 활용할 수 있는 것을 확인하였다. 향후에는 내·외부의 환경 정보를 분석하여 능동적인 제로 에너지 건축물 관리를 위한 효율적인 데이터 관리 및 알고리즘에 관하여 연구할 예정이다.

### REFERENCES

- [1] S. G. Kim and S. W. Kwon, "The study of optimum method about the design and operating through a zero-energy house built in the existing building", *New & Renewable Energy*, vol. 11, no. 1, pp. 49-59, 2015.
- [2] H. S. Son, "A study on the major constituent components & the effect of efficiency improvement", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 28, no. 1, pp. 105-113, 2014
- [3] H. J. Chang, B. R. Moon, S. G. Yoon, and T. S. Jin, "Development and performance evaluation of multiple sensor for groundwater quality monitoring and remote control system using IoT", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 10, pp. 1957-1963, 2017
- [4] J. J. Lee, K. H. Kim, S. V. Park, H. J. Byun, K. S. Shim, and B. K. An, "IoT based mobile smart monitoring system for solar power



generation", Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 54, no. 8, pp. 55-64, 2017

[5] P. S. Ji, J. P. Lee, D. J. Lee, S. J. Byeon, and J. Y. Lim, "Monitoring system for solar cell of photovoltaic power generation using zigbee technique", The KIEE Conf., 2011

[6] B. W. Park and S. J. Park, "The development of a integrated solar power plant monitoring system using the Zigbee communication", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 31, no. 7, pp. 56-62, 2017

[7] H. Y. Choi, Y. K. Koo, and S. S. Park, "Quantitative analysis of power consumption for low power embedded system by types of memory in program execution", Journal of Korea Multimedia Society, vol. 19, no. 7, pp. 1179-1187, 2016

[8] M. K. Kwon, "Implementation of automatic detection system of IoT based sensor device", Journal of the Korea Society of Computer and Information, vol. 23, no. 9, pp. 113-122, 2018

저자약력

**강 자 윤 (Ja-Yoon Kang) [정회원]**



- 2015년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (석사)
- 2015년 10월 ~ 현재 : 전자부품연구원 연구원
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 메카트로닉스 공학과 박사과정

〈관심분야〉 전력전자, 전기자동차, 신재생 에너지

**조 영 찬 (Young-Chan Cho) [정회원]**



- 2013년 한양대 전기 공학과 졸업.
- 2015년 한양대 전기 공학과 졸업(석사).
- 2017년 ~ 현재 전자부품연구원 자동차전장센터 연구원.

〈관심분야〉 전기자동차, 전력전자제어

**김 희 준 (Hee-Jun Kim) [정회원]**



- 1976년 한양대 전자 공학과 졸업.
- 1978년 동 대학원 전자 공학과 졸업 (석사).
- 1986년 일본 큐슈대 전자공학과 졸업 (공학박).
- 1987년 ~ 현재 한양대 전자 공학과 교수.
- 2015년 대한전기학회 회장. IEEE 수석 멤버.

〈관심분야〉 전자회로, 전력전자, 전력변환