

모듈화 구조와 IoT 기반의 광센서리스 태양광 추적 시스템

Photo-Sensorless Solar Tracking System based on Modular Structure and IoT Technology

김 대 원*, 김 정 태*, 정 교 범*[★]

Dae-Won Kim*, Jeong-Tae Kim*, Gyo-Bum Chung*[★]

Abstract

This paper proposes a solar tracking system without photo-sensors. The system can be classified into four modules: Solar Tracking, MPPT, ESS, and Real-Time Monitoring. Nine solar panels, as a basic unit, are adopted with grid structures of different heights to reduce wind influence and to enable solar tracking without photo-sensors. The low-cost MCU implements MPPT method which generates PWM switching signal for boost converter. The unit of ESS consists of three-series and four-parallel lithium-ion batteries in order to enable monitoring for abnormalities in temperature and electrical characteristics of battery. Four MCUs used in the system consists of two AVR Atmega128, and two Raspberry PI, and they exchanges operation informations. Experimental results of the proposed system show the solar tracking performance, the possibility of on-site and remote monitoring and the convenience of maintenance based on IoT technology.

요 약

본 논문은 광센서 없는 태양광 추적 시스템을 제안한다. 태양광 추적, MPPT, ESS, 모니터링의 4가지 기능을 모듈화하여 시스템을 구현하였다. 9개의 태양광 패널을 기본단위로, 바람의 영향을 저감하고, 광센서 없이 태양광 추적이 가능하도록 상하좌우 패널의 높낮이를 다르게 한 격자형 구조를 채택하였다. 저가형 MCU를 이용한 부스트 컨버터 PWM 스위칭을 위해 기존 MPPT의 연산 방법을 개선하였다. ESS 모듈은 리튬 이온 배터리 12개(직렬 3셀과 병렬 4셀)를 기본 단위로 구성하여 온도 및 전기 특성의 이상 유무 감시가 가능하게 하였다. 각 모듈의 MCU는 Atmega128 또는 Raspberry PI로 구성하였으며 운전 정보를 상호 교환하고, IoT 기술을 응용하여 실시간 원격 모니터링과 클라우드에 데이터베이스를 구축하여 유지보수가 가능하게 하였다. 실험을 위해 제작된 태양광 발전 시스템의 운전 데이터는 각 모듈의 분산 및 원격 모니터링의 가능성, 유지보수의 편의성 및 광추적 성능을 증명한다.

Key words : Photo-Sensorless, Solar tracking, MPPT, ESS, Modular Structure, IoT, MCU

* Dept. of Electronic & Electrical Engineering, Hongik University

★ Corresponding author

E-mail : gbchung@hongik.ac.kr, Tel : +82-44-860-2595

※ Acknowledgment : This work was supported by 2019 Hongik University Research Fund.

Manuscript received Mar. 12, 2020; revised Jun. 18, 2020; accepted Jun. 23, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

환경 문제의 해결책으로, 화석연료를 대신하여 신재생 에너지의 보급이 정책적으로 지원을 받고 있다[1]. 신재생 에너지는 태양광 발전 중심으로 보급되고 있으며, 국내 태양광 시장의 동향은 2019년 1분기의 설치량이 615[MW]로 양호한 성장세를 보이고 있고 2[GW] 이상 지속적으로 설치될 것이 예상되고 있다[2].

태양광 발전량이 증가하면서 태양광 고유 속성인

날씨 변동성에 따른 전력계통의 불안정성을 극복하고 태양광 발전의 효율을 높이기 위한 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 태양광 발전 시스템의 효율 증진을 위한 연구는 태양광 패널의 하드웨어적 성능을 개선하는 방법과 발전 방식의 소프트웨어적 성능을 개선하는 2가지 방안으로 구분되어 진행되어져 왔다.

태양광 패널은 단결정 또는 다결정 폴리실리콘으로 제작된다. 가격적인 측면에서 다결정 폴리실리콘을 많이 이용하였으나, 최근에는 가격 경쟁력을 갖는 고품질 단결정 폴리실리콘의 생산이 늘어나 단결정 태양광 패널의 수요가 늘고 있다[3].

태양광 시스템은 발전 시간이 늘어날수록 고정식 시스템보다 추적식 시스템의 출력량이 20% 이상 증가하는 것으로 알려져 있다[4]. 광센서를 이용하여 추적하는 시스템, 마이크로프로세서를 이용하여 매 시간 고도와 위도각의 계산을 통해 태양광을 추적하는 방식, 두 가지 방식을 모두 사용하여 추적하는 하이브리드 방식이 대표적으로 사용되고 있다[5, 6].

태양광 패널의 비선형 출력특성을 이용하여 발전량을 증가시키기 위한 최대 전력점 추종제어(Maximum Power Point Tracking)와 관련하여 많은 연구가 진행되었다. 태양광 패널의 MPPT 제어를 위해 많이 적용되는 방법은 Perturbation and Observation (P&O)와 Incremental Conductance(IncCond)이다. P&O 방식은 최대 전력점(MPP)에 이르렀을 때 급변하는 환경조건에서 동작점의 진동이 유지되어 손실이 발생한다. 반면, IncCond 방식은 P&O 방식의 손실을 개선하였으나 많은 계산 때문에 고성능 MCU를 필요로 한다[7]-[9].

태양광 발전시스템은 시간대와 날씨에 따라 발전량이 일정하지 않은 단점이 있다. ESS(Energy Storage System)는 부하의 변화에 따른 전력수요에 적절히 대응하고, 태양광 발전의 이용률을 최대화하기 위한 필수 구성 요소이다. ESS 시스템은 남은 발전량의 사용 용도를 다양화하여 상대적인 수요를 감소시키는데 활용될 수 있다[10].

본 논문은 광센서 없는 태양광 추적 시스템을 제안한다. 태양광 추적, MPPT(Maximum Power Point Tracking), ESS(Energy Storage System), 모니터링 시스템 4가지 기능을 모듈화하여 구현하였다. 9개의 태양광 패널을 기본 단위로, 바람의 영향을

저감하고, 광센서 없이 태양 추적이 가능하도록 상하좌우 패널의 높낮이를 다르게 한 격자형 구조를 채택하였다. 저가형 MCU를 이용하며 원활한 부스트컨버터 PWM 스위칭을 위해 기존 MPPT의 연산 방법을 개선하여 연산량에 대한 부담을 최소화하였다. 리튬 이온 배터리 총 12개(직렬 3셀과 병렬 4셀)를 기본 단위로 구성하여 온도 및 전기 특성의 이상 유무 감시가 가능하게 하였다. 각 모듈의 MCU는 AVR Atmega128 또는 Raspberry PI를 채택하였으며, 전압, 전류, 온도 정보를 처리하며 스위칭 신호 및 운전 정보를 상호 교환한다. 실험을 위해 제작된 태양광 발전 시스템은 모듈화를 통해 각 파트별 MCU를 이용하여 운전점(전압, 전류, 전력, 충전량)을 분산 및 중앙 모니터링 할 수 있으며 이는 수리 및 관리의 편의성을 증명한다.

II. 본론

그림 1은 본 논문에서 제안한 광센서 없는 태양광 추적 발전 시스템이다. 태양광 추적, 최대전력발전, 에너지 저장, 모니터링의 기능을 4개의 모듈로 구성하였다. 각 모듈은 기능과 연산요구량에 따라 다른 MCU를 사용한다.

1. Solar Tracking Module

그림 1의 태양광 추적 모듈은 전력 발전을 위한 태양광 패널과 태양광 추적을 위해 패널의 상하좌우 각도 조절을 위한 구동용 모터로 구성된다.

1.1. 패널 구성

태양광 패널은 그림 2와 같이 3×3 구조의 9개 단위 패널을 병렬로 연결하였고 AB, BA, BC, CB 4개의 패널은 나머지 5개 패널보다 상대적으로 낮은 높이로 결합되어 있다.

태양광 패널이 태양광에 직교하지 않으면 그림 3과 같이 태양광축 방향과 패널의 수직축 방향이 불일치하게 된다. 이 경우에는 패널 4개 중 일부에 그림자가 생겨, 4개의 패널은 출력에 차이가 발생한다.

1.2. 태양광 추적 모듈

태양광 추적모듈은 2개의 BLDC 모터를 이용하여 패널 수직축의 상하좌우 각도를 조정할 수 있다.

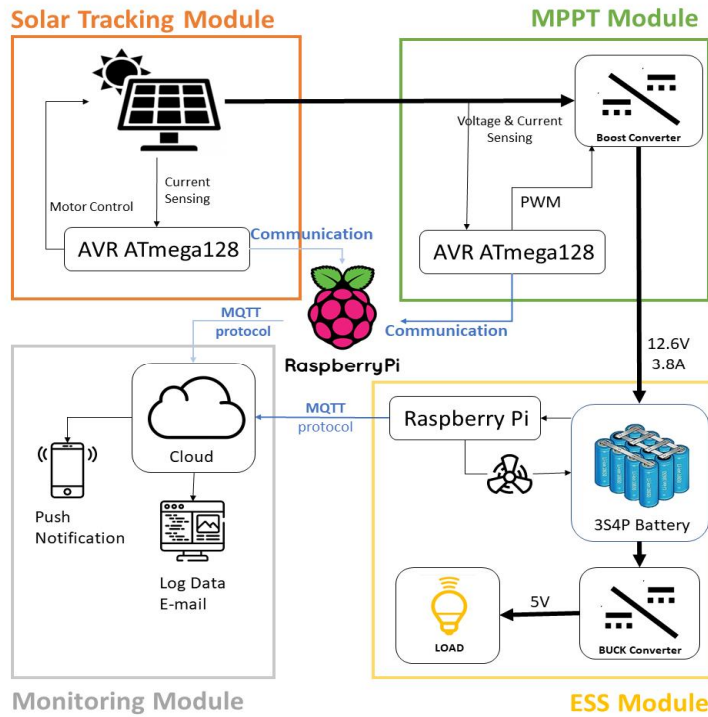


Fig. 1. System Configuration Diagram of Photo-Sensorless Solar Tracking Power System.
 그림 1. 모듈화 구조의 광센서리스 태양광 추적 시스템 구성도

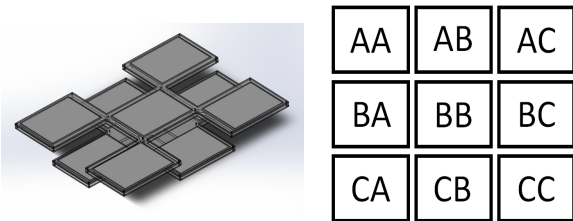


Fig. 2. Drawing of Basic 9 Solar Panels Assembly.
 그림 2. 9개 패널 기본 구성도

그림 3과 같이 태양 축과 패널 축의 각도에 따라 발생한 아래층 4개 패널의 출력차이를 전류/전압 센서(INA219)를 이용하여 측정하고, I2C 통신을 이용하여 MCU (Atmega128)로 데이터가 전달된다. MCU는 (1)~(4)의 논리식으로 연산 처리하여, BLDC 모터 드라이브의 동작 신호를 출력한다.

- if $v_{AB}(t) \cdot i_{AB}(t) \geq v_{CB}(t) \cdot i_{CB}(t)$, then turn upward (1)
- if $v_{AB}(t) \cdot i_{AB}(t) \leq v_{CB}(t) \cdot i_{CB}(t)$, then turn down (2)
- if $v_{BA}(t) \cdot i_{BA}(t) \geq v_{BC}(t) \cdot i_{BC}(t)$, then turn left (3)
- if $v_{BA}(t) \cdot i_{BA}(t) \leq v_{BC}(t) \cdot i_{BC}(t)$, then turn right (4)

상하좌우 조절에 의해 AB, BA, BC, CB 4개의 패널의 출력 값이 모두 동일해지도록 패널 수직축의 각도를 조정하는 트래킹 알고리즘의 플로우 차

트는 그림 4와 같다. 정지 운전조건으로 상하좌우 패널 출력 전류차이가 50% 이상이 될 경우, 패널 고장으로 인식하여 태양광 추적 기능을 정지하도록 설정하였다.

본 논문에서 제안한 태양광 트래킹 방식은 태양력에 따른 경도와 위도의 정보와 관련된 계산 또는 데이터베이스가 필요 없고, 실시간 운전조건에서 태양광을 추적하는 장점이 있다. 또한, 광센서의 설치 및 유지보수의 필요성이 없어 경제적이다. 태양광 패널의 출력과 태양광 추적여부는 모듈에 부착된 LCD(BC1604A)의 정보를 통해 설치장소에서 확인할 수 있다.

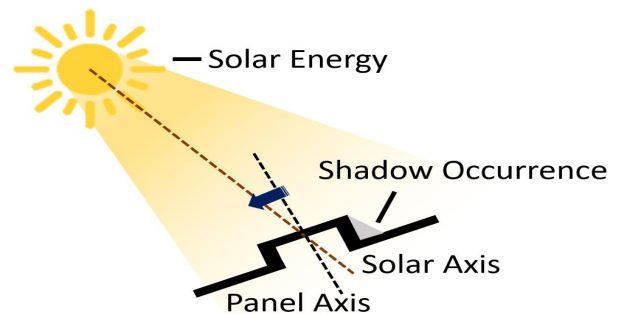


Fig. 3 Solar Axis and Panel Axis for Solar Tracking.
 그림 3. 태양 축과 패널 축 태양 추적 방식

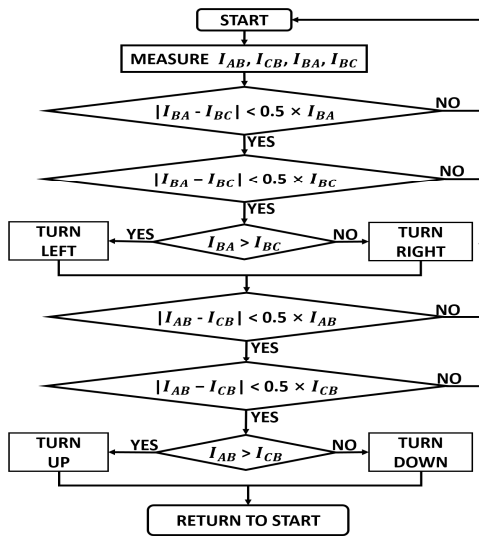


Fig. 4. Photo-Sensorless Photovoltaic Tracking Algorithm.
그림 4. 광센서리스 태양광 추적 알고리즘

2. MPPT Module

그림 1의 MPPT 모듈은 Boost 컨버터와 Atmega128로 구성된다. Boost 컨버터는 태양광 패널 출력전압을 입력단에 연결하고, 배터리 모듈을 출력단에 연결한다. Atmega128은 병렬 연결된 9개 태양광 패널의 출력전력 총합이 최대가 되도록 MPPT 알고리즘을 이용하여 부스트 컨버터의 PWM 스위칭 신호를 생성한다.

본 논문에서 제안한 태양광 발전 시스템은 그림 3에서 추적 방법을 보여준 것과 같이 그림자에 의한 단위 패널의 출력의 차이를 최소화하는 방식으

로 태양을 추적한다. 시간에 따른 태양 위치와 온도의 지속적인 변화로 인해 태양광 출력 특성이 변화하기 때문에 MPPT 구현방식은 안정적이고 빠른 응답특성을 필요로 한다.

태양광 패널의 출력을 제어하기 위한 대표적인 MPPT 알고리즘은 P&O 기법과 IncCond 기법이 있다. P&O 기법은 제어가 간단하여 빠른 응답을 가지는 장점이 있지만, 일사량의 변화가 심할 경우 정상적인 제어가 어려운 단점이 있다. IncCond 기법은 일사량의 변화와 상관없이 출력이 안정되는 장점이 있으나 복잡한 연산을 수행할 수 있는 MCU를 선택해야하는 단점이 있다[11].

본 연구에서는 IncCond 기법과 P&O 기법을 혼합하여, 태양광 패널의 운전 조건이 변경되면, 일사량 변화에 영향을 적게 받는 IncCond 방식을 적용하여 최대전력점을 추종하고, 최대전력점 이동 후에는 P&O 방식을 채택하여 연산량 부담을 경감하고자 한다. 그림 5는 모듈화 구조 기반의 센서리스 태양광 추적 시스템에서 사용한 알고리즘의 플로우 차트이다.

MPPT 알고리즘은 부스트컨버터의 PWM 스위칭 로직에 사용된다. 부스트컨버터의 듀티D, 입력전압 V_{pv} , 출력전압 V_{Bat} 의 관계는 식 (5)~(8)가 같다.

$$\frac{V_{Bat}}{V_{pv}} = \frac{1}{1-D} \tag{5}$$

$$(1-D-\Delta D)V_{Bat} = V_{pv} + \Delta V_{pv.ref} \tag{6}$$

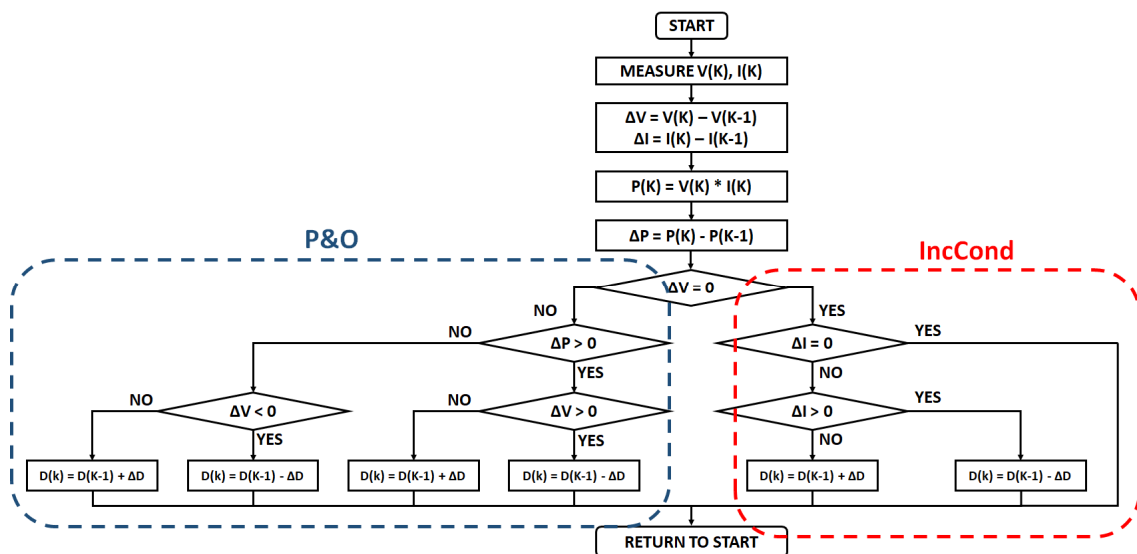


Fig. 5. Proposed Maximum Power Point Tracking Algorithm.
그림 5. 제안하는 최대 전력점 추종 제어 알고리즘

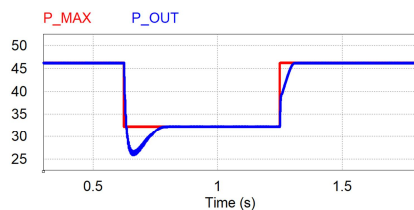
$$\Delta D = -\frac{\Delta V_{pv,ref}}{V_{Bat}} \quad (7)$$

$$D(k) = D(k-1) + \Delta D \quad (8)$$

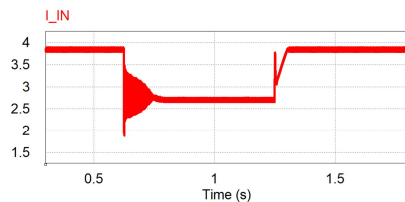
식 (6)의 $\Delta V_{pv,ref}$ 는 MPPT 알고리즘의 샘플링 주기마다 계산되며, 식 (8)은 부스트컨버터의 PWM 스위칭 듀티를 결정한다.

혼합형 기법의 MPPT 알고리즘을 PSIM 시뮬레이션을 이용하여 그림 6과 같은 결과 파형을 확인할 수 있었다. 시뮬레이션 조건은 $t=0.05[\text{sec}]$ 에서 일사량= $1000[\text{W}/\text{m}^2]$, $P_{mpp}=46.2[\text{W}]$, $V_{mpp}=12.0[\text{V}]$, $I_{mpp}=3.8[\text{A}]$, $t=0.62[\text{sec}]$ 에서 일사량= $700[\text{W}/\text{m}^2]$, $P_{mpp}=32.2[\text{W}]$, $V_{mpp}=12.0[\text{V}]$, $I_{mpp}=2.6[\text{A}]$, $t=1.25[\text{sec}]$ 에서 $1000[\text{W}/\text{m}^2]$, $P_{mpp}=46.2[\text{W}]$, $V_{mpp}=12.0[\text{V}]$, $I_{mpp}=3.8[\text{A}]$ 로 설정하였다. 혼합형 MPPT 알고리즘의 시뮬레이션 결과 파형은 일사량이 감소할 때는 응답속도 0.16[sec], 일사량이 증가할 때는 응답속도 0.06[sec] 이내에서 최대 출력 전력 지점을 찾고, 출력이 안정됨을 볼 수 있다.

MPPT 모듈의 입력/출력부의 전압/전류/전력 값은 모듈에 부착된 LCD(BC1604A) 정보를 통해 설치장소에서 확인할 수 있으며, 시리얼 통신으로 라즈베리파이(Raspberry PI 3 B+)에 정보를 전달하고, Web 상에서 원격 모니터링이 가능하다.



(a) MPPT Reference and Output Power of 9 Solar Panels



(b) Current of 9 Solar Panels

Fig. 6. PSIM Simulation Waveforms of Modified IncCond MPPT Algorithm, (a) MPPT Reference and Output Power of 9 Solar Panels (b) Current of 9 Solar Panels.

그림 6. PSIM 시뮬레이션을 이용한 IncCond MPPT 알고리즘 파형도, (a) 9개 패널 MPPT 지령치와 출력 전력 (b) 9개 패널 전류

3. ESS Module

그림 1의 ESS 모듈은 혼합형 기법의 MPPT 모듈 부스트 컨버터의 출력 단에 연결되어 있으며, 태양광 패널의 출력 에너지를 저장한다. 그림 7과 같이 직렬 3개, 병렬 4개 총 12개의 리튬이온 삼성 SDI Q26 (18650 배터리)로 구성하였고, 최대 10400 [mAh]까지 충전이 가능하며, 정격 전압은 12.6[V]이다.

ESS 모듈을 안전하게 사용하기 위해 보호 기능으로 ABLIC사의 S-8204, S-8209 소자를 탑재한 BMS 보드와 온습도 센서(DHT21), 냉각팬을 설치하였고, 충전량은 쿨롱카운터(LM3914N)를 이용한다. 배터리 모듈의 운전 정보 처리를 위해 CPU (Raspberry PI 3 B+)를 이용하고 있다. 배터리 모듈에 저장된 에너지는 Buck 컨버터와 USB A타입 커넥터를 이용하여 5[V] 전압을 부하에 공급하도록 설계하였다.

설치된 BMS는 12개 단위 배터리의 셀 밸런싱 및 과충전/과방전 방지 기능을 가지고 있다. 온도 센서는 배터리 표면온도 정보를 CPU에 전달하고, 30[°C]이상이 될 경우, 공랭식 냉각팬을 가동시키는 기능을 추가하여, 배터리 모듈 함의 내부 온도가 25[°C]에서 27[°C]가 유지되도록 설계하였다.

배터리 이상 유무를 점검하기 위해서 그림 8과 같이 단위 셀 병렬 4개를 하나의 단위배터리로 생각하고, 직렬 3 연결의 배터리의 전압을 측정하여 실시간으로 비교한다. 각각의 단위 전압 크기가 30% 이상 차이가 생기거나 모듈함 내부의 온도 값이 10[°C] 미만 혹은 31[°C] 이상이 될 경우에는 관리자께 이상이 있음을 알리도록 하였다.

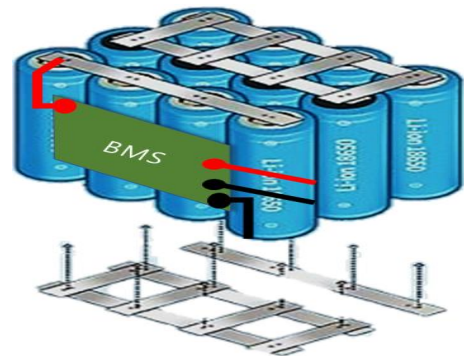


Fig. 7. Three-Series Four-Parallel Spot Arrangement of 18650 Battery.

그림 7. 18650 배터리를 이용한 3개 직렬 4개 병렬 구성도

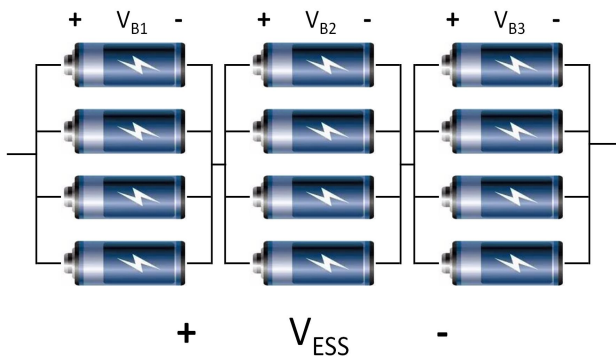


Fig. 8. Circuit Diagram of Three-Series Four-Parallel Batteries.

그림 8. 3개 직렬 4개 병렬 배터리 회로 구성도

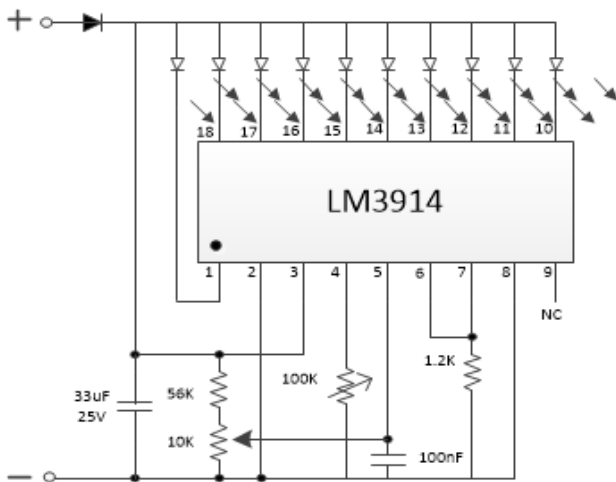


Fig. 9. Circuit diagram of LM3914N for Battery Voltage Bar Display from 9V to 12.6V.

그림 9. 배터리 전압 잔량 측정 도면 (LM3914N, 9[V]~12.6[V])

최저 전압 3.0[V], 최대 전압 4.2[V]인 배터리 셀을 채택하여 직렬 3단으로 구성된 배터리 모듈은 최저충전전압 9[V], 최고충전전압 12.6[V]이다. 그림 9는 배터리 충전전압을 측정하고 시각 정보화하기 위한 LM3914N의 회로도이다. 본 논문에서는 최고충전전압 V_{max} , 최저충전전압 V_{min} 및 배터리 전압 V_{bat} 을 이용하여 식 (9)와 같이 충전량(SOC)을 계산하고, 10개의 LED로 표시하였다.

$$\%SOC = \frac{V_{bat} - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \times 100 (\%) \quad (9)$$

ESS 모듈은 태양광추적/MPPT 모듈보다 유지/보수를 위해 많은 정보처리가 필요하다. 그리고 화

재와 같은 사고 예방 대책으로 온도, 습도 및 충전/방전 상태에 이상신호가 발생한 경우에 관리자가 영상으로 이상 유무를 확인할 수 있도록 Raspberry PI를 MCU로 채택하였다. 모듈에 부착된 1602 LCD (SZH-EK101)는 직렬연결 배터리 전압 값, 모듈 함 내부의 온도, 배터리 잔량 등의 정보를 표시한다.

4. Monitoring Module

그림 1의 모니터링 모듈은 Raspberry PI를 사용하여 인터넷 원격 접근 환경을 제공한다. 태양광 발전 시스템의 운전점(전압, 전류, 전력 등) 및 비상운전 상황을 관리자가 실시간으로 원격지에서 확인할 수 있도록 해준다. 또한 ESS 모듈의 온도, 에너지 잔량, 배터리 전압 상황 등을 확인할 수 있다.

태양광 추적 모듈과 MPPT 모듈의 동작 정보는 Serial 통신을 이용하여 모니터링 라즈베리파이에 9600[bps]의 속도로 전달된다. 라즈베리파이가 전달받은 데이터 값들은 MQTT Protocol(Message Queueing Telemetry Transport)을 이용하여 Google Cloud Platform의 데이터베이스에 유지/보수/관리를 위해 저장된다. Cloud DB데이터는 Web Application과 Mobile Application을 이용하여 관리자 핸드폰으로 확인할 수 있다.

ESS 모듈에 부착된 Raspberry PI도 중앙 모니터링에 해당되는 CPU와 같은 방식으로 관리자에게 데이터를 전달한다. 또한 LOG(장비의 on/off와 이상 유무 데이터 등)를 남겨 어느 시점에서 시스템에 이상이 생겼는지 알 수 있다.

모니터링 모듈은 관리자에게 비상상황을 알릴 수 있는 핸드폰 Push Notification, Web E-mailing의 알림 기능이 설정되어있다.

III. 실험 및 검증

논문에서 제안한 광센서리스 태양광 추적 알고리즘을 평가하기 위해서 그림 10의 모듈형 태양광 추적시스템을 제작하고 실험을 수행하였다.

각 모듈은 기능과 연산요구량에 따라 CPU 또는 MCU를 다르게 선택하였으며, 구성요소, 회로정수 및 정격사양은 표 1과 같다.

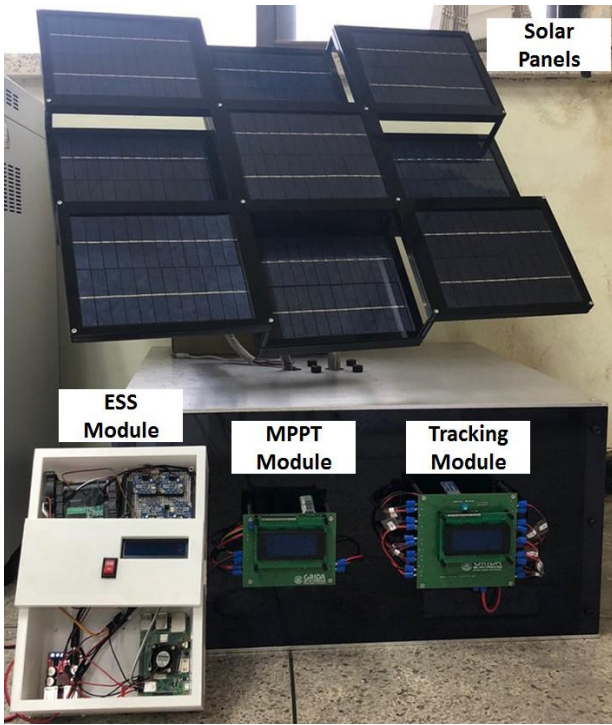


Fig. 10. Experimental System of Photo-Sensorless Solar Tracking Power System.

그림 10. 제작된 광센서리스 태양광 발전 시스템

Table 1. Specification Table of the Experimental System.

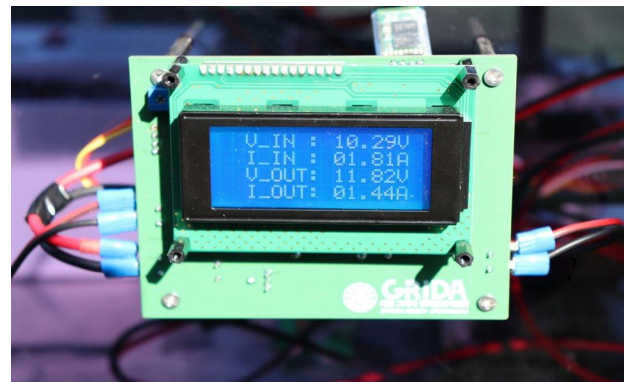
표 1. 실험시스템 정격 사양

| | | |
|------------------------------|--|--|
| Solar Tracking System Module | MCU | AVR Atmega128 - 16[MHz] |
| | Frequency | Data Sampling : 2[Hz] |
| | PV Panel (9EA) | Size (1EA): 165*210[mm] V_{oc} : DC 13.5[V] I_{sc} : 650[mA] Max. Output: 5.2[W](12[V]*430[ma]) |
| | Left & Right BLDC Motor (40W) | D&J WITH Co., Ltd : BL42S-24040N Rated Voltage: DC 24[V] Nominal Torque: 0.096[N.m] Rotations: 4,000[RPM] Rated Current: <2.5[A] |
| | Up & Down BLDC Motor (78W) | D&J WITH Co., Ltd : BL42S-24078N Rated Voltage: DC 24[V] Nominal Torque: 0.187[N.m] Rotations: 4,000[RPM] Rated Current: <5[A] |
| | Motor Drive (62.5 KHz) | D&J WITH Co., Ltd: FTBL-V1, Rated Voltage: DC 24[V] Motor Power: <150[W] Speed Range: >200[RPM] |
| MPPT Module | MCU | AVR Atmega128 - 16[MHz] |
| | Frequency | PWM Switching: 250[KHz] Data Sampling: 10[Hz] |
| | Capacitor | C_{IN} : 330[uF] C_{OUT} : 1000[uF] |
| | Inductance | 500[uH]*2 = 1[mH] |
| | Switching Device (IRL2505) | V_{ds} : 55[V] R_{ds} : 0.0085[Ω] I_d : 104[A] |
| | Gate Drive | TC426CPA |

| | | |
|-------------------|--------------------------------------|---|
| ESS Module | CPU | Raspberry PI 3B+ - 1.2[GHz] |
| | Battery | Samsung SDI Q26 (18650) 2600[mAh]*4 = 10400[mAh] 4.2[V]*3 = 12.6[V] |
| | Input & Output Voltage | V_{IN} : 12.6[V](Charge Voltage) V_{OUT} : 5[V] |
| | BMS | Limit Charge & Discharge Battery Belencing |
| | Temperature (DHT21) | 25[°C] to 27[°C] |
| Monitoring Module | CPU | Raspberry PI 3B+ - 1.2[GHz] |
| | Tracking Module Communication | UART Communication Data: 9-Panels Current |
| | MPPT Module Communication | UART Communication Data: Input (Voltage, Current, Power) Output (Voltage, Current, Power) |
| | Fault Diagnosis | Panel: Compare the 9-Panels(<30%) Compare the 3battery line Temp: below 10[°C] or over 31[°C] |



(a) The ESS Module LCD



(b) The MPPT Module LCD

Fig. 11. LCDs to display the Operating Points

(a) ESS Module LCD(SZH-EK101)

(b) MPPT Module LCD (BC1604A).

그림 11. LCD 동작 화면 (a) ESS 모듈 LCD (b) MPPT 모듈 LCD

그림 11은 ESS 모듈과 MPPT 모듈의 동작점을 보여주는 LCD의 동작 사진이다. 직렬 3단으로 연결된 배터리의 충전전압, 충전량 및 온도, MPPT

모듈의 입력단(태양광 패널)의 전압, 전류와 출력단(ESS 모듈)의 전압, 전류 정보를 확인할 수 있다.

표 2는 제안한 광센서리스 태양광 추적 시스템의 패널축, 광센서를 이용한 추적 시스템의 패널축 및 태양축의 데이터(고도각, 방위각)이다. 추적 성능을 비교하여 표 2에 제시하였다. 실험에 사용된 태양축 데이터는 KASI 천문우주 지식정보 사이트에서 시간과 주소(2019년 12월 6일 조치원)을 지정하여 확보하였다[12]. 그림 12는 추적성능을 시각적으로 평가하기 위해서, 표 2의 데이터를 그래프로 나타낸 것이다.

표 2와 그림 12로부터 본 논문에서 제안한 시스템의 태양광 추적 성능은 계산 값과 데이터의 오차가 측정시각에 따라 일정하지 않지만, 최대 3[Deg.] 정도이며, 오차의 범위가 크지 않다는 것을 확인되었고, 고도각의 오차는 오후 4시경에 크게 발생함을 알 수 있다.

그림 13은 각 모듈을 통해 측정된 데이터 값들을 저장하는 Google Cloud Platform의 데이터베이스이다. 날짜와 시간에 따라 전압, 전류, 전력, 충전량 등 측정값들이 저장된다.

Table 2. Azimuth & Elevation Comparison Measurement. 표 2. 고도각과 방위각 비교 분석

| Date : December 6, 2019 (10:00 ~ 16:00) Address : 2639, Sejong-ro, Jochiwon-eup, Sejong-si, Republic of Korea (Pn : 30016) | | | | | | |
|---|----------------------------------|---------|---|-----------|--|---------|
| Time | Solar Position Calculation (SPC) | | Photo-sensor Photovoltaic Tracking (PT) | | Photo-Sensorless Photovoltaic Tracking (SPT) | |
| | Elevation | Azimuth | Elevation | Azimuth | Elevation | Azimuth |
| 10' | 22 | 144 | 24 | 147 | 23 | 147 |
| 11' | 27 | 158 | 29 | 155 | 27 | 156 |
| 12' | 30 | 174 | 30 | 176 | 31 | 177 |
| 13' | 30 | 190 | 31 | 193 | 32 | 192 |
| 14' | 26 | 205 | 26 | 206 | 27 | 204 |
| 15' | 20 | 218 | 21 | 219 | 22 | 220 |
| 16' | 11 | 230 | 14 | 233 | 15 | 231 |
| Error Rate (%) @ Time | | | | | | |
| Elevation | | | Azimuth | | | |
| Maximum | minimum | | Maximum | minimum | | |
| Solar Position Calculation & Photo-sensor Photovoltaic T. | | | | | | |
| 27.3 @ 16' | 0 @ 12' | | 2.1 @ 10' | 0.5 @ 15' | | |
| Solar Position Calculation & Photo-sensorless Photovoltaic T. | | | | | | |
| 36.4 @ 16' | 0 @ 11' | | 2.1 @ 10' | 0.5 @ 14' | | |
| Photo-sensor Photovoltaic T. & Photo-sensorless Photovoltaic T. | | | | | | |
| 7.1 @ 16' | 3.2 @ 13' | | 0.9 @ 16' | 0 @ 10' | | |

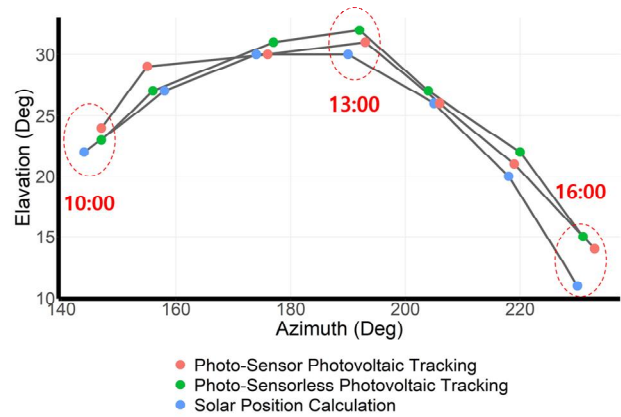


Fig. 12. Azimuth & Elevation Comparison Measurement Graph. 그림 12. 고도각과 방위각 비교 분석 그래프

그림 14는 Google Cloud DB에 저장된 측정데이터를 관리자가 쉽게 확인할 수 있도록 PC Web 프로그램을 활용한 그래프이다. 그래프는 DB 크기, 태양광 패널의 전압, 전류, 출력전력, ESS 모듈의 전압, 충전량, 온도 정보를 실시간으로 표시한다.

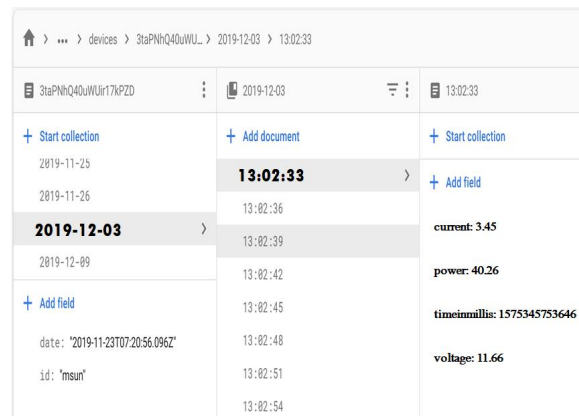


Fig. 13. Web Cloud Database. 그림 13. 웹 클라우드 데이터베이스

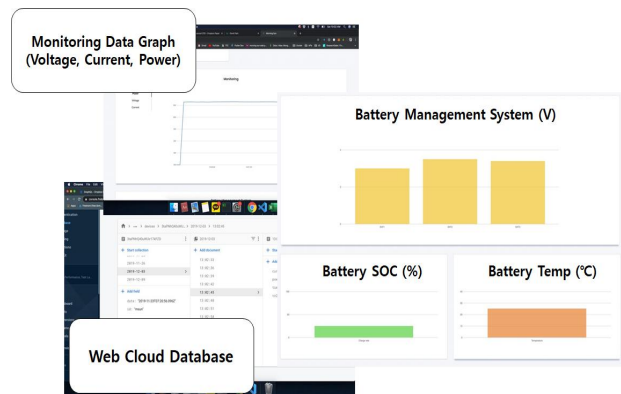
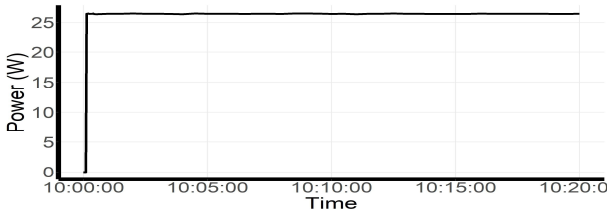


Fig. 14. Web Application Monitoring. 그림 14. 웹 모니터링

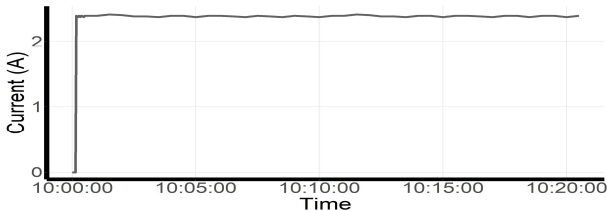
그림 15은 Google Cloud DB에 저장된 태양광 패널 정보 파일을 선택하여 EXCEL 프로그램을 이용하여 처리한 그래프이다. 전력 데이터의 측정시각, 측정값을 확인할 수 있으며, EXCEL 프로그램의 기능을 활용하여 특정 구간에서의 최대값, 최소값, 평균값 등의 필요한 정보를 얻을 수 있다. DB 구축을 위한 데이터의 샘플링은 2초마다 수행하여 데이터 저장 공간의 최소화하였다.

| | Time | Power | Voltage | Current |
|---|---------------------|-------|---------|---------|
| 1 | 2019-12-06 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 2019-12-06 10:00:02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 2019-12-06 10:00:04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 2019-12-06 10:00:06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 2019-12-06 10:00:08 | 26.42 | 11.09 | 2.38 |
| 6 | 2019-12-06 10:00:10 | 26.44 | 11.17 | 2.37 |

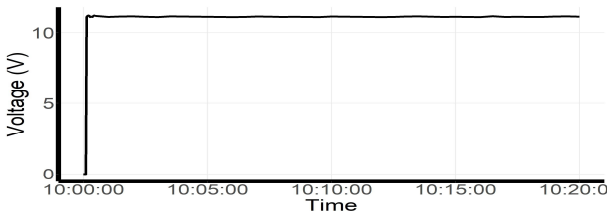
(a) Google Cloud DB in Excel Program



(b) Power Graph using Excel Program



(c) Current Graph using Excel Program



(d) Voltage Graph using Excel Program

Fig. 15. Solar Panels Data in Google Cloud DB using Excel Program, (a) Google Cloud DB in Excel Program (b) Power Graph using Excel Program (c) Current Graph using Excel Program (d) Voltage Graph using Excel Program.

그림 15. 엑셀을 이용한 클라우드 데이터 그래프, (a) 클라우드 데이터 베이스 (b) 전력 그래프 (c) 전류 그래프 (d) 전압 그래프

그림 16는 태양광 9개 패널 중에 하나의 패널에 음영을 발생시켜 출력 값이 오차범위를 벗어난 경우를 모의한 비상상황이 발생하였을 경우, 관리자의 핸드폰에 보내진 푸시 알림이다. 푸시 알림은 날짜, 시간, 전압/전류/전력의 이상(Ideal)값과 실제 값을 전달한다. 따라서, 본 논문의 시스템은 PC Web 프로그램을 이용하는 모니터링뿐만 아니라 Mobile Application 모니터링을 이용하여 원격지의 관리자가 해당 시스템의 비상상황 통제가 가능하다.

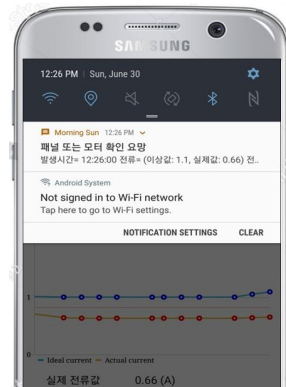


Fig. 16. Photo of Mobile phone showing Push Notification. 그림 16. 핸드폰 푸시 알림

IV. 결론

본 논문은 태양광 추적, MPPT, 에너지 저장, 모니터링의 기능을 4개의 모듈로 분할하여 광센서리스 태양광 추적 시스템을 제안하였다. 또한, 각 모듈별 기능과 구성에 대해서 설명하였다. 제안한 시스템을 축소모형으로 제작하여 실험을 통해 아래 기능과 성능을 입증하였다.

- 1) 광센서를 사용하지 않은 단위패널 9개의 격자형 구조는 태양의 고도와 방위에 오차가 거의 없이 추적하는 성능을 보였다.
- 2) P&O 및 IncCond 알고리즘의 장점을 혼합한 혼합형 MPPT 알고리즘은 최대전력 운전점을 안정적으로 추정하며, 연산량이 개선되었다.
- 3) 각 모듈별 MCU는 데이터 입출력 포트 및 연산량에 여유가 있어 향후 추가 기능 확장이 용이하다.
- 4) 태양광 패널 및 배터리 셀의 평균값과 단위 셀 값을 비교하는 이상 유무 진단 알고리즘을 제안하였고, 향후 대용량 시스템을 구역별로 분할하

는 방식으로 활용이 가능하다.

- 5) 각 모듈에 부착된 LCD에 표시되는 정보와 IoT 원격 모니터링은 시간 및 공간의 제약 없이 운전상태의 확인이 가능하여 시스템의 유지보수가 용이하다.
- 6) IoT를 활용하여 구축된 발전량 데이터는 향후 발전량 예측모델을 설계하는데 사용될 수 있다.

본 연구에서 제안된 모듈화 된 태양광 발전 시스템의 연구 결과를 향후 대용량 태양광 발전시스템의 유지 보수 및 성능 개선을 위한 연구에 활용할 계획이다.

References

- [1] J. Y. An, *Korea Energy Economic Review*, Korea Energy Economics Institute, 2017.
- [2] KEA Energy Issue briefing Vol.119 (Korea Energy Agency, 2019.
- [3] J. H. Gang, *2019-1 Photovoltaic Industry Report*, Seoul : The Export-Import Bank of Korea, 2019.
- [4] Z. G. PARK, J. H. Kim, D. G. Kim, J. Y. Seo, D. H. Kim, G. B. Cho and H. L. Baek, "The Operating Efficiency Analysis of PV System Using Tracking and Fixed Method," *The Korean Institute of Power Electronics*, pp.68-70, 2005.
- [5] Y. C. Park, "Comments on the Computation of Sun Position for Sun Tracking System," *The Korean Solar Energy Society*, vol.36, no.6, pp. 47-59, 2016. DOI: 10.7836/kses.2016.36.6.047
- [6] B. H. Jeong, G. B. Cho and K. Y. Lee, "Performance Evaluation of a Solar Tracking PV System with Photo Sensors," *The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers*, vol.27, no.5, pp.67-73, 2013. DOI: 10.5207/JIEIE.2013.27.5.067
- [7] J. S. Choi, J. S. Ko and D. H. Chung, "Development of Improved P&O Algorithm of PV System Considering Insolation Variation," *Journal of KIIEE*, vol.24, no.4, pp.166-176, 2010. DOI: 10.5207/JIEIE.2010.24.4.166
- [8] Y. S. Choi, E. G. Kim and J. W. Jeong, "MPPT

Control Technique for Photovoltaic System," *The Korean Institute of Power Electronics*, vol.18, no.1, pp.29-36, 2013.

- [9] A. K. Abdelsalam, A. M. Massoud, S. Ahmed and P. N. Enjeti, "High-Performance Adaptive Perturb and Observe MPPT Technique for Photovoltaic-Based Microgrids," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol.26, no.4, pp.1010-1021, 2011. DOI: 10.1109/TPEL.2011.2106221
- [10] S. K. Han and E. J. Kim, "A Study on the Impact Analysis of Power Demand for ESS and SmartGrid," *The Korean Institute of Electrical Engineers P*, vol.68P, no.2, pp.100-105, 2019.
- [11] S. B. Kim, Y. M. Jo, H. J. Kim, S. H. Song, J. Y. Choi, I. Choi and Y. K. Lee, "A Novel Hybrid MPPT Control for Photovoltaic System," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, vol.35, no.2, pp.43-52, 2015. DOI: 10.7836/kses.2015.35.2.043
- [12] Korean Astronomy and Space Science Institute, "Solar Altitude/Defense Angle Calculation," <https://astro.kasi.re.kr/life/pageView/10>

BIOGRAPHY

Dae-Won Kim (Member)



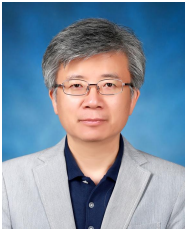
2020 : BS degree in Department of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University.
2020~Present : MS student in Department of Electrical Engineering, Hongik University.

Jeong-Tae Kim (Member)



2020 : BS degree in Department of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University.
2020~Present : MS student in Department of Electrical Engineering, Hongik University.

Gyo-Bum Chung (Member)



1983 : BS degree in Electrical Engineering, Seoul National University.

1985 : MS degree in Electrical Engineering, Seoul National University.

1992 : PhD degree in Electrical Engineering, University of Florida, Gainesville, FL, USA.

1993~1995 : Senior Researcher, Korea Electro-technology Research Institute.

1995~Present : Professor, Dept. of Electronic and Electrical Eng. Hongik University.