ISSN : 1226-7244 (Print)
ISSN : 2288-243X (Online)
논문번호 18-03-21

j.inst.Korean.electr.electron.eng.Vol.22,No.3,664~671,September 2018
http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2018.22.3.664
143

# IoT플랫폼이 결합된 광센서가 없는 태양광 추적 시스템

# Photo-sensorless dual-axis solar tracking system combined with IoT platform

정 덕 겸*, 전 종 운*, 박 성 민*, 정 교 범*★

Deok-Kyeom Jung*, Jong-Woon Jeon*, Sung-Min Park*, Gyo-Bum Chung*★

## Abstract

Generally, conventional solar tracking systems employ irradiance sensors to track a sun position, which enables the system to generate maximum solar energy. The usage of irradiance sensors increases system costs and deteriorates the performance of systems from sensor malfunctions. In this paper, a new solar tracking system without irradiance sensors has been proposed in which the controller capable of controlling and monitoring remotely is based on Artik platform. The proposed system tracks the sun position by comparing the amount of currents from several solar panels, resulting in removing irradiance sensors. In order to verify the performance of the proposed solar tracking method, the 12[V]-20[W] prototype system is built and implemented. Since the proposed system has remote monitoring functions through the employment of Artik as the IoT platform, more advantages in installation, maintenance and expanded functionality can be obtained compared to the conventional solar tracking system.

## 요 약

일반적으로 감지식 태양광 추적 시스템은 태양의 위치를 추적하기 위해 광센서를 사용하여, 최대 전력을 생산한다. 광센서 채택은 시스템 제작 가격을 상승시키고, 오동작에 의한 성능 저하를 초래할 수 있다. 본 논문에서는 IoT플랫폼 기반의 원격 무선 모니터링이 가능하고, 광센서가 없는 새로운 태양광 추적 시스템을 제안한다. 태양광 발전을 위해 사용되는 여러 개의 태양광 패널의 출력 전류량을 비교하여 태양 위치를 광센서 없이 추적한다. 추적 성능의 검증을 위해서 12[V] 20[W] 태양광 발전 시스템을 제작하여 실험을 수행하였다. 본 논문에서 제안한 시스템은 IoT 플랫폼을 사용하여 원격모니터링이 가능하기 때문에 기존 태양광 추적 시스템에 비해 설치, 유지 보수 및 기능 확장의 장점이 있다.

*Key words : Sensorless Photovoltaic tracker, IoT platform, Remote wireless monitoring, PV power system*

## Ⅰ. 서론

우리나라는 2010년 4월 “신에너지 및 재생에너지 개발・이용・보급 촉진법”을 제정하고 신재생에너지 관련 기술개발, 온실가스 배출 감소 및 에너지원 다양화를 위한 많은 노력을 하고 있다. 우리나라의 전력 발전량 중에서 신재생 에너지 발전량이 차지하는 비중은 2005년 1.05%에서 2010년 1.24%로 지속적으로 증가하는 추세이다. 태양광 발전의 경우 2005년 대비 2010년 54배 증가하였다. 태양광

* Dept. of Electronic & Electrical Engineering, Hongik University
★ Corresponding author
E-mail : gbchung@hongik.ac.kr, Tel : +82-44-860-2595
Manuscript received Sept. 5, 2018; revised Sep. 17, 2018; accepted Sept. 19, 2018
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.

발전설비를 설치할 경우 최대효율을 얻기 위해 최대 일조량을 필요로 한다. 이를 위해 설치장소의 위도, 방향, 경사각, 날씨 등에 따른 편차에 따라 지역 특성에 맞게 설치조건을 부합시켜야 한다.[1]

태양광 발전 설비의 증가는 세계적인 추세이며, 우리나라 정부 또한 태양광 발전에 많은 관심을 기울이고 있다. 태양광 발전량이 증가함에 따라 태양광 발전의 효율 개선에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 태양광 발전 시스템의 효율 증가를 위한 방법으로는 태양전지 셀의 효율 개선, 전력변환장치의 효율 개선, 최대 전력추종 알고리즘(Maximum Power Point Tracker : MPPT) 성능 개선 및 태양광 패널의 출력 개선을 위한 태양광 추적(트랙킹) 등의 방법이 제안되어져 왔다. 본 논문에서는 여러 개의 패널로 구성된 태양광 발전 시스템의 개별 패널의 출력을 측정/비교하여 최대 출력 운전을 도모하는 새로운 태양광 트래킹 방법을 제안하고자 한다.

태양광 트래킹 방법은 프로그램식, 감지식, 혼합식의 3가지로 분류될 수 있다. 프로그램식은 시간에 따른 태양 위치를 미리 저장한 데이터를 활용하여 시간별 설정된 각도로 태양광 패널을 동작시키는 것이다. 감지식 방법은 광센서를 활용하여 태양위치를 실시간으로 추적하는 방식이다. 혼합식은 프로그램식과 감지식 방식을 혼합한 방법이다. 이중에서 현재 가장 많이 사용되는 감지식 추적법이다. 이는 셀 단면이 태양과 직각이 되는 태양의 위치를 외부에 장착된 광센서(조도센서)를 이용하여 추적하는 방식이다.[2] 이러한 광센서는 시스템 외부에 부착되어 외부환경에 의한 오류와 파손 등에 따른 유지보수 등 다양한 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 광센서를 사용하지 않고, 개별 패널의 출력을 측정/비교하여 광센서 없이 태양광을 추적하는 새로운 방식을 제안한다.[3] 또한, IoT 플랫폼 기술을 접목하여 태양광 발전 상황을 스마트폰으로 무선 원격 모니터링하는 효율적 관리 방안을 제시한다. IoT 플랫폼을 활용한 태양광 발전 시스템은 다양한 IoT 기술과 기능을 추가할 수 있으며, 유지보수 측면에 있어서 노후, 고장 등의 영향을 예측하고, 적절한 정비를 통해 효율을 높이고, 수명연장을 기대할 수 있다.

## II. 본론

### 1. 기존 감지식 태양광 트래커

가. 기존 감지식 태양광 트래커의 발전량

그림 1은 태양광 발전 시스템에서 태양광 트래킹을 채택한 추적식 시스템과 채택하지 않은 고정식 시스템의 전력 발전량을 보여준다.

태양광 트래커의 전력소비를 고려하지 않을 경우 고정식 대비 약 60%를 추가로 발전할 수 있다. 그림 2는 태양광 트래킹을 채택한 경우 발전량의 절대적 증가와 상대적 증가를 보여주고 있다. 예를 들어, 추적식 시스템은 일출 또는 일몰 시기에 고정식 시스템과 비교하여 약 200%에 가까운 발전량이 증가하고, 정오 시기에는 발전량이 약 30% 정도 증가한다. 세부적으로 오전시간인 07:30~09:00에서는 고정식 대비 81%의 발전량이 증가할 수 있으며, 오후시간인 15:00~17:00에서는 105%의 발전량이 증가할 수 있다[4]. 이와 같은 데이터를 근거로 트랙커의 전력소비를 고려한다면 트래킹 방식의 발전량은 고정식에 비해 약 30% 이상의 증가를 기대할 수 있다.

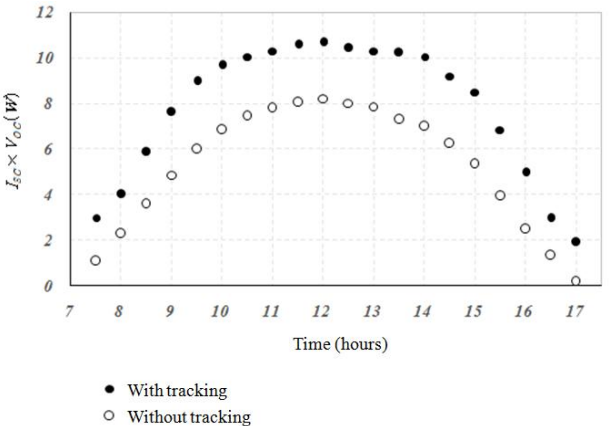



Fig 1. The power generation comparison of the fixed angle and tracking system.

그림 1. 고정식과 추적식의 발전량 비교

나. 기존 감지식 태양광 트래커의 문제점

기존 감지식 트래커의 경우 그림 3과 같이 광센서를 부착한다[5]. 광센서는 외부에 부착되어 있어 물리적인 충격에 취약하다. 뿐만 아니라 상단부에 먼지가 집중적으로 쌓이고, 이물질에 의해 오작동이 쉽게 발생한다[6]. 이로 인한 잦은 유지보수으로

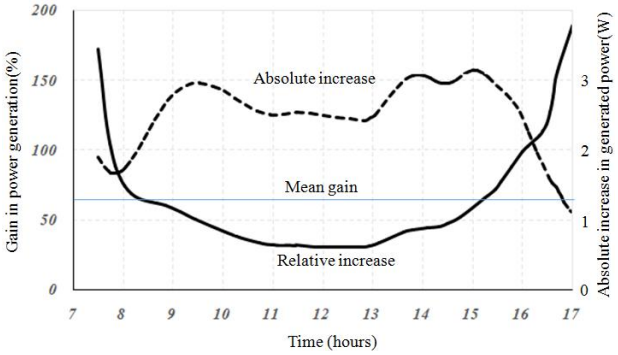



Fig 2. Power generation improvement obtained by using the tracking system.
그림 2. 추적 시스템을 이용하여 발전량

비용 및 시간을 소비하고, 파손시 고가의 교체비용을 필요로 한다. 또한 기존 추적 방식은 발전부와 센서부가 분리되어 존재한다. 이로 인해 패널 자체에 생긴 음영 또는 패널의 이물질에 의해 발전량이 바뀌지만 센서부에는 이러한 정보가 없다. 반대로 발전 패널에는 문제가 없지만 센서에 작은 이물질에 대해서는 쉽게 오작동을 일으킬 수 있다. 예를 들어 좌측센서에 배설물 등에 의한 음영이 발생한다면, 트래커는 지속적으로 우측으로 동작하며 정상적인 발전을 기대할 수 없다.

## 2. 제안하는 추적식 트래커의 구성

본 논문에서 제안하는 태양광 추적방식은 기존의 외부 광센서를 제거하고 4개의 패널로 구성된 축소 태양광 발전 시스템에서 각각 패널들의 발전량의 차이를 비교하고 발전량이 많은 패널의 위치를 이용하여 태양광을 추적하는 것이다.

### 가. 태양광 패널 구성

축소 태양광 발전 시스템에 사용된 4개의 태양광 패널은 그림 4와 같이 구성되어 있고 전기적으로는 병렬 연결되어 있다. 태양광 패널의 연결방법 및 갯수는 요구되는 전압/전력에 의해서 다양하게 구성될 수 있다. 그림 5에 그려진 패널의 V-I 특성 곡선에 따라서 병렬로 구성된 패널들은 일사량에 의해 다른 전류값을 가지게 된다. 예를 들어 MPPT 운전에 의해서 패널 a, b, c는 동일한 패널 출력전압($V_{PV}$)이지만 전류의 차이로 인해 출력 전력의 차이가 있다. 이와 같은 특성을 이용하여 태양광 트래킹 알고리즘을 다음과 같이 구성할 수 있다.

Fig 3. Main components of conventional solar tracking system with extra photo-sensor.
그림 3. 광센서가 부착된 기존 태양광 추적 시스템의 주요 구성요소

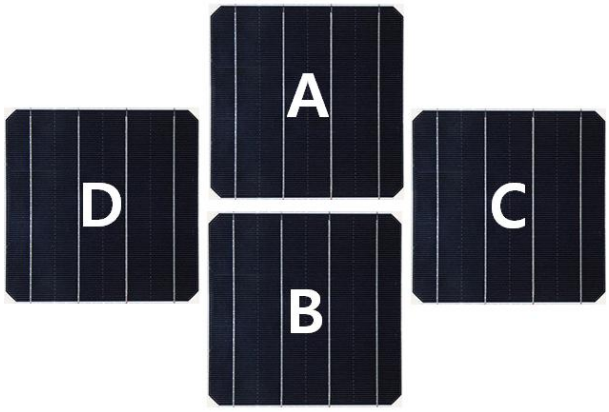



Fig 4. PV panel configuration.
그림 4. PV 패널 구성도

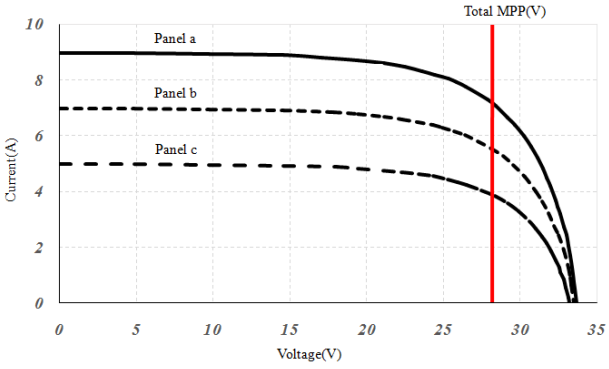



Fig 5. Total MPP & V-I curve.
그림 5. Total MPP와 V-I곡선

(1) $P_{up}$=$I_A$이며, $P_{DOWN}$=$I_B$을 통해 상하 전력량을 판단 할 수 있다.

(2) $P_{LEFT}$=$I_D$이며, $P_{RIGHT}$=$I_C$을 통해 좌우 전력량을 판단 할 수 있다.

이와 같은 기본 특성을 이용하여 전력량이 큰 방향으로 트래커를 동작시키도록 구성할 수 있다.

나. 제안하는 추적 알고리즘

그림 6은 제안된 추적 알고리즘의 흐름도를 나타낸다. 병렬로 구성된 패널을 4개로 구역을 나누어 상($I_U$), 하($I_D$), 좌($I_L$), 우($I_R$)를 측정한다. 개별 패널의 전류를 모두 더한 값을 모든 전류($I$)라 정의한다. 모든 전류($I$)는 패널의 발전 여부를 판단하는데 사용된다. 모든 전류($I$)가 일정 값($I^*$) 이하일 경우 발전하지 않는다고 판단하며 트래커를 지면과 수평하게 위치한다. 이는 바람의 영향을 최소화 할 수 있는 위치로 트래커의 안정도에도 기여한다. 모든 전류($I$)가 일정 값($I^*$) 이상일 경우 상($I_U$), 하($I_D$)의 전류차이와 좌($I_L$), 우($I_R$)의 전류차이를 통해 값이 큰 방향으로 태양광 추적 시스템이 동작 하도록 하며 이를 지속적으로 반복 수행한다. 또한 모든 전류($I$)는 MPPT 운전을 위해 사용한다.

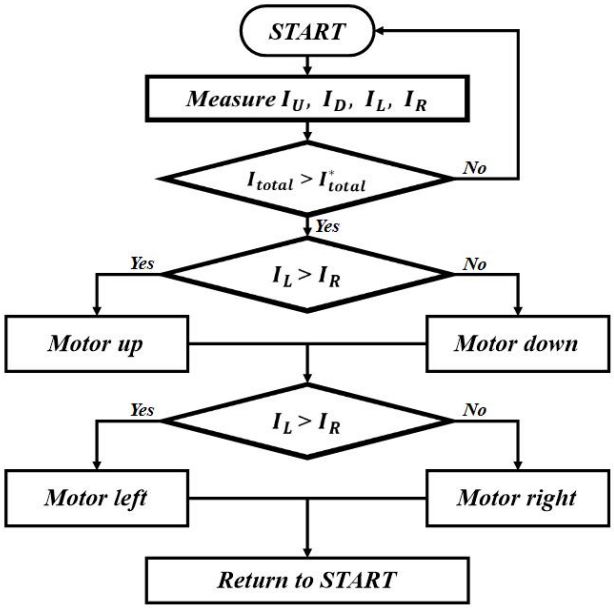



Fig 6. Proposed tracking algorithm without photo-sensors.
그림 6. 제안하는 광센서가 없는 방식의 트래킹 알고리즘

다. 시스템 구성

그림 7은 제안된 시스템의 구성도를 나타낸다. 4개의 패널이 병렬로 결선되어 있으며, 각 패널에는 전류 측정을 위한 CT(Current Transformer)가 부착되어있다. 병렬로 구성된 각 패널의 전력($P_{PV}$)은 전압($V_{PV}$)이 같으므로 전류의 차이가 곧 전력의 차이가 된다. 각 CT의 값은 마이크로컨트롤러(MCU)인 Artik 053이 비교분석하여 모터 드라이브로 동작 신호를 출력하고, 이를 통해 BLDC 모터를 동작한다. 또한 각 CT 값의 합은 MPPT의 동작을 위한 전류값으로 사용되며 컨버터로 입력된다. 마이크로컨트롤러는 부스트(Boost) 컨버터(Boost Converter)의 반도체 스위칭소자의 On/Off를 위한 PWM(Pulse Width Modulation)신호를 발생하며, 부스트 컨버터 출력단에는 DC 부하가 연결되었다. 마이크로컨트롤러에서 계산된 값은 와이파이(Wifi)를 통해 ARTIK 클라우드(CLOUD)로 전송되며, Artik 053은 MPPT 알고리즘, 트래킹 알고리즘 및 데이터의 클라우드 송신의 3가지 기능을 모두 동시에 수행한다. 클라우드의 값은 데이터 재처리 과정을 통해 관리자에게 전달된다.

라. 기구 구성

1차로 제작한 프로토타입은 주철성분으로 이루어져 있고, 서보모터를 직접 연결하여 패널위치를 조절하였다. 주성분이 철로 구성되면, 무겁고 녹발생의 단점이 있었다. 또한 서보모터는 제어가 간단한 장점이 있으나 정지토크를 유지하기 위해 많은 전력을 필요로 하였고, 이는 하드웨어적인 스트레스와 지속적으로 전력을 소비하는 문제점을 야기하였다. 따라서 최종 프로토타입은 경량이고, 부식에 강하며, 손상에 강한 아노다이징 알루미늄으로 제작하였고, 모터와 패널 사이에 웜기어를 삽입하였다. 실험실에서 작업의 용이성을 위해서 다소 작은 용량의 5W급 태양광 패널 4개를 사용하여 그림 4와 같이 구성하였다. 모터는 40W BLDC를 이용하였으며, 웜기어는 패널의 위치 고정을 위한 정지토크의 소비전력 문제를 해결하였다. 그림 8의 (a)와 같이 상하와 좌우 각각 BLDC모터 2개와 웜기어가 부착되었다. 그림 8의 (b)는 실제 구성모습이다.

기존 고정식과는 다르게 MPPT와 트래킹 동작을 하나의 모듈로 구성하여 구현하여 전체 크기를 최소화하였으며, 유지보수의 편리성을 위해 모듈화한 것이 특징이다. 프로토타입의 기구를 제작하기 위해서 CATIA 프로그램을 사용하였으며, PCB 제작을 위해서 Altium 프로그램이 사용되었다.

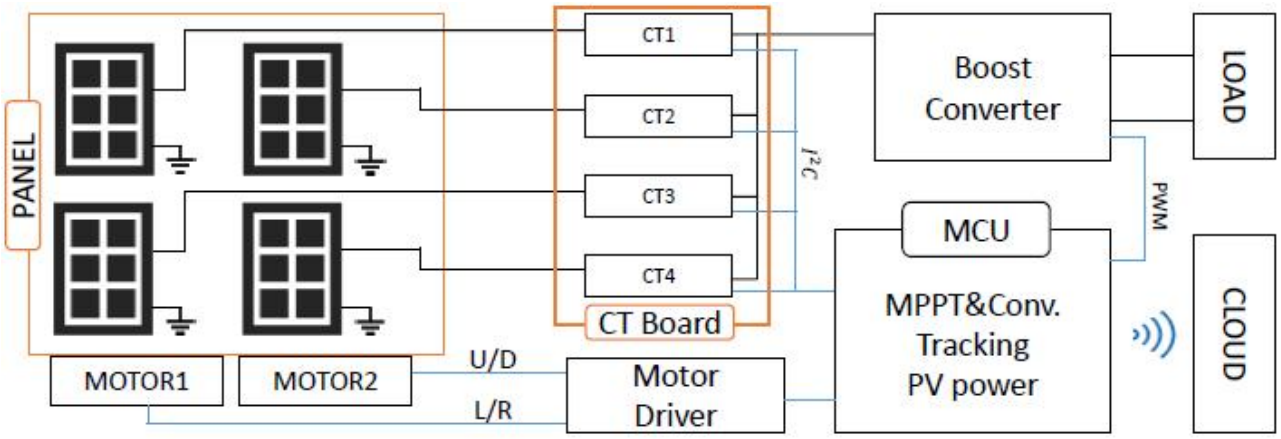
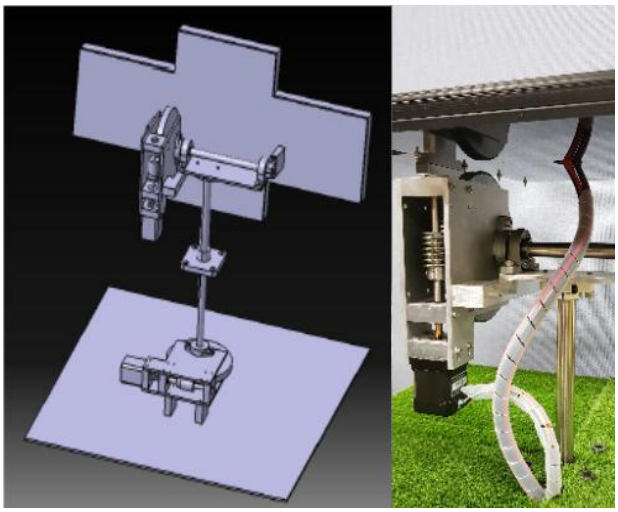



Fig 7. Proposed system design.
그림 7. 제안하는 시스템 디자인

마. IoT플랫폼의 활용

프로토타입의 IoT 플랫폼으로 기본적인 제어와 무선 통신이 가능한 제품이 필요하였으며, 그 중 소비전력과 제어보드의 크기를 고려하여 Artik 053을 사용하였다.



(a) (b)

Fig 8. Prototype configuration.
그림 8. 시제품 구성

기존 태양광 발전 시스템은 발전량을 인버터에서 확인할 수 있으며, 태양광 패널 각각에 대한 원격 모니터링 기능이 없다. 본 논문에서는 IoT 플랫폼을 활용하여, 부분별 패널 발전 상태에 대한 원격 모니터링 기능을 추가하였으며, 수신 데이터 처리 과정을 통해서 데이터 분석이 가능하다. 제안한 시스템의 경우 Wifi를 통해 ARTIK 클라우드로 데이터를 무선 송신하였고, 클라우드를 통해서 수신 받은 데이터를 그래픽 처리하여 실험 결과를 확인할 수 있었다.

## 2. 시제품 제작

가. 최대전력 추종 알고리즘

제안하는 방식은 병렬로 구성된 4개의 패널이 하나의 마이크로컨트롤러를 통해 MPPT와 트래커 제어, Wi-fi통신을 동시에 수행함을 목표로 하고 있다. 성능을 입증하기 위한 실험의 첫 단계로 태양광 모의 조명에 패널을 위치시키고 프로토타입의 MPPT 동작을 확인하기 위해 LabVIEW를 활용하여 데이터를 수집하였다. LabVIEW의 측정값을 이용하여 MPPT가 정상으로 동작하는지를 확인하였다.

나. 트래커의 정상동작 확인

트래커의 정상동작을 확인하기 위해 모의 태양광으로 연색성 300[W] 할로겐 램프를 사용하였다. 측정된 데이터는 클라우드(CLOUD)에 무선송신을 이용하여 저장하였고, 클라우드 및 스마트폰에서 실시간으로 그래프 처리하여 제안하는 방식의 정상 동작 여부를 확인하였다. 이후 대기질량정수 식을 이용하여 실험실 위치인 대한민국 세종시의 $\alpha$ 값, 약 37° 로 설정하여 실험하였다. 대기질량정수 식은 아래와 같다.

$$AM = \frac{1}{\sin(\alpha)} \quad (1)$$

약 5분에 걸쳐 실험실에서 고정식과 제안하는 방식의 발전량 차이를 비교하였다.

다. IoT플랫폼의 데이터 처리 가능

IoT플랫폼이 정상 동작 여부, CLOUD의 정상동작 여부 및 데이터 처리 기능 확인을 위해서 출력값을 스마트폰 앱프로그램인 텔레그램(Telegram)으로 출력하여 확인하였다.

## III. 실험결과

MPPT 동작을 확인하기 위해서 LabVIEW를 활용하여 태양광 패널의 출력을 측정하였다. 그림 9는 일사량에 따른 태양광 패널의 PV곡선을 보여주고 있다[7]. 태양광 패널의 개방전압에서 시작하여 MPPT를 시행한다면, 결과적으로 약 25V부근에서 발전을 시행할 것이다. 그림 10으로부터 제안된 시스템은 최대전력 동작점에서 운전되는 것을 확인할 수 있다. 특히 그림 10의 좌측 아래 PV그래프를 확인하여 그림 9의 PV곡선과 같은 형상을 가지고 있으며, 전압이 낮아지는 우측 부근은 동작하지 않음을 확인할 수 있으며, 이를 통해 MPPT가 정상 동작함을 확인할 수 있다.

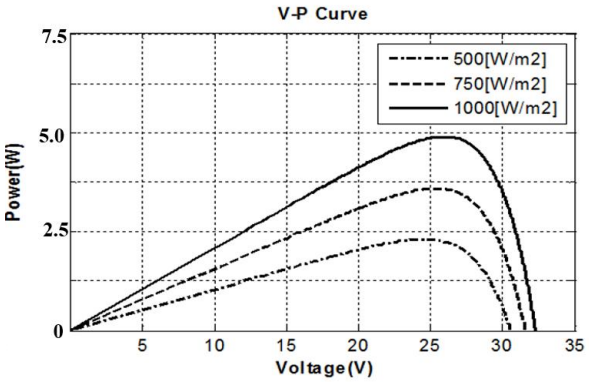



Fig. 9. Electrical characteristics of the PV module.
그림 9. PV모듈의 전기적인 특성

IoT플랫폼을 사용하는 것이 데이터를 확인하고, 데이터 처리 및 분석이 편리하기 때문에, MPPT 동작을 확인한 이후의 데이터 측정은 IoT플랫폼을 사용하였으며, 클라우드를 활용하여 데이터를 저장하였다. 그림 11은 클라우드에 데이터가 정상적으로 저장됨을 그래프로 표현하여 정상 동작을 확인하였다.

다음으로 기존 트래커와 제안하는 방식의 트래커 발전량을 비교하였다. 앞서 설명했듯이 기존 트래커의 발전 데이터에 따르면 소비전력을 고려하지 않을 경우 고정식 대비 약 60%의 추가 발전을 확인 할 수 있다. 그림 12는 제안하는 방식의 트래커가 고정식 대비 55.45%의 추가 발전을 확인 할 수 있었다. 이는 소비전력을 고려하지 않은 결과이며, 기존 방식의 트래커와 크게 차이가 없음을 확인 할 수 있었다.

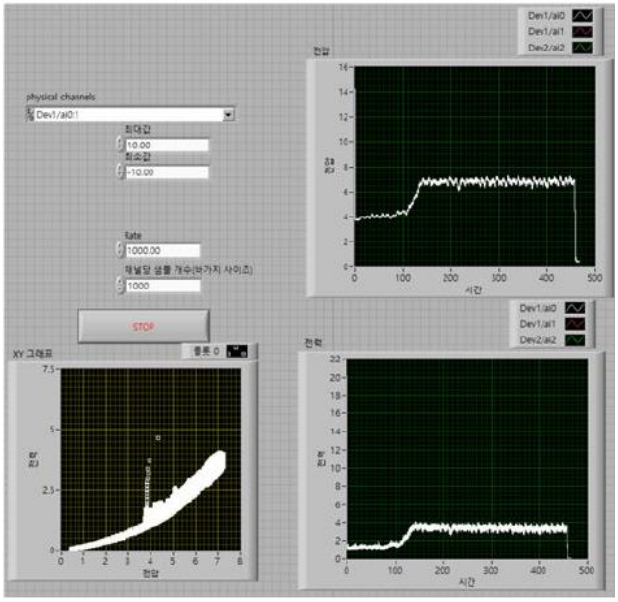


Fig. 10. Data acquisition.
그림 10. 데이터 수집

Fig 11. Cloud data charts.
그림 11. Cloud 데이터 차트

IoT플랫폼을 사용하여 클라우드에 저장된 데이터의 처리 기능을 확인하였다. 그림 13은 클라우드로 저장된 데이터를 텔레그램을 통해 추출한 것으로 IoT를 활용한 데이터 처리 가능 여부만을 판단하였다.

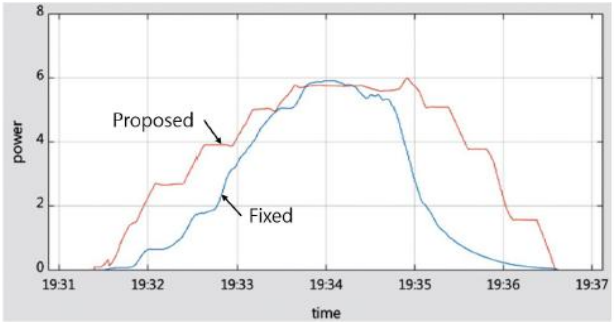



Fig. 12. Data graph.
그림 12. 데이터 그래프

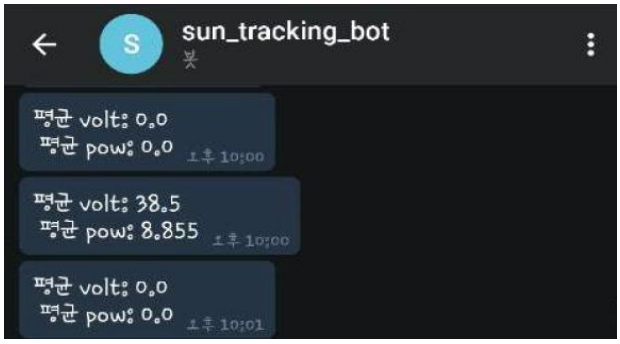



Fig. 13. Telegram monitoring.
그림 13. 텔레그램 모니터링

## Ⅳ. 결론

본 논문에서는 Artik 기반의 IoT플랫폼을 활용하여 광센서가 없는 태양광 추적방식을 제안하였고, 시제품을 제작과 실험결과를 통하여 개선된 성능을 입증하였다. 제안된 방식인 광센서가 없는 태양광 트래커는 기존 광센서가 있는 트래커 방식과 전력 발전량에서 차이가 없었다. 하지만 광센서로 인한 단점이 제거되었으며, IoT플랫폼을 활용하여 향상된 모니터링 기능을 얻을 수 있었다. 개선된 태양광 추적시스템의 장점은 아래와 같이 정리할 수 있다.

(1) 무선 Wi-fi통신으로 원격 데이터 송신이 가능하여 통신선 매설에 대한 초기투자 비용이 절감된다.

(2) 각 태양광 패널의 출력전력의 모니터링, 태양광 트래킹 동작의 구현 및 무선 원격 모니터링을 구현을 통하여 태양광시스템의 유지보수가 가능하게 되었다.

(3) IoT플랫폼을 접목하여 MPPT, 태양광 트랙킹, 무선 통신을 구현하여 유지보수가 효과적이며, 추가적인 기능 구현이 가능하다.

(4) 기존 시스템의 부분 음영에 대한 응답특성과 비교하여 제안한 방식은 패널 자체의 부분 음영에 대해 향상된 응답특성을 가지고 있다.

향후, 본 연구의 결과를 대용량 태양광 발전시스템에 적용하여 지능화 및 실용화에 필요한 해결책을 제시하고자 한다.

## References

[1] Oh. Sekyung, Ihm. Pyeongchan, Lee. Kyung-Hee, “Optimal electric generation for fixed-type photovoltaic system installed for residential building in korea,” *GRI review,* Vol.14, No.2, pp.271-288, August 2012.

[2] Heo Changsu, Jung Chunbyeong, Seo Yujin, Kang Taeeun, Design and Construction Technology of Photovoltaic System, *GS Intervision,* 2014.

[3] Jong-Woon Jeon, Yeong-Hyun Kim, Tae-Gyun Kim, Deok-Kyeom Jung, Sung-Min Park and Gyo-Bum Chung, “Photo-sensorless dual-axis PV tracking system,” *2017 Power Electronics Annual Conference*, November 2009, pp.87~88.

[4] Kianoosh Azizi, Ali Ghaffari, “Design and manufacturing of high-precision sun tracking system based on image processing,” *International journal of photoenergy,* Vol.2013, August 2013. DOI:10.1155/2013/754549

[5] PARU Inc. “Introducing Photovoltaic Tracker,” http://m.paru.co.kr/Sun/Structure/

[6] Mi-Geum Jang, Jae-Sub Ko, Jung-Sik Choi, Jung-Woo Back, Sung-Jun Kang, Dong-Hwa Chung, “Comparison study of PV tracking system with sensor and program method,” *2009 KIEE conference on Electrical Equipment and Energy Conversion Systems,* April 2009, pp.222-224.

[7] Hae-Min Jung, Bo-Ra Min, Chul-Hwan Kim, “Characteristic analysis on photovoltaic solar panels of the power engineering lab using characteristic curve of photovoltaic,” *2013 Summer conference of the korean institute of electrical engineers,* July 2013, pp.69-70.

## BIOGRAPHY

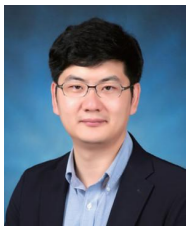
**Deok-Kyeom Jung** (Member)

2018 : BS degree in Department of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University.

**Jong-Woon Jeon** (Member)

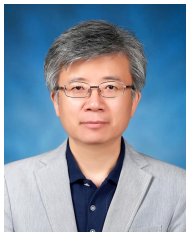
2018 : BS degree in Department of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University.
2017~Present : Research Engineer, Matrix Light Co., Ltd., Korea

**Sung-Min Park** (Member)



2001 : B.S. degrees in Electronic Engineering, Korea University.
2003 : M.S. degrees in Electrical Engineering, Korea University.
2015 : Ph.D. degree in Electrical Engineering, University of Connecticut, Storrs, CT, USA
2003~2008 : Senior Engineer, Digital Appliance Lab., LG Electronics
2014~2015 : Senior Engineer, United Technologies Research Center, East Hartford, CT, USA
2015~Present : Assistant Professor, Dept. of Electronic and Electrical Eng., Hongik University.

**Gyo-Bum Chung** (Member)



1983 : B.S. degrees in Electrical Engineering, Seoul National University.
1985 : M.S. degrees in Electrical Engineering, Seoul National University.
1992 : Ph.D. 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.