

CPU 없는 자가 동력 태양광 트래커 시스템

Self-Powered Solar Tracker System without CPU

이 재 진 *, 최 우 진 **, 김 석 민 **, 박 준 영 **, 이 교 범 **★

Jae Jin Lee*, Woo Jin Choi, Seok-Min Kim**, Joon Young Park**, and Kyo-Beum Lee**★

Abstract

This paper proposes the self-powered solar tracker system without CPU. Conventional solar tracker system occurs the problem of cost and durability because of using CPU. In addition, this system has effects from installation site and environment. The proposed solar tracker system without CPU is possible to achieve the high efficiency because it tracks the maximum of the light source. The validity of proposed solar tracking system is verified with experiment results.

요 약

본 논문에서는 CPU가 없는 자가동력 태양광 트래커 시스템을 제안한다. 기존의 태양광 트래커 시스템은 CPU를 사용하기 때문에 비용과 내구성의 문제가 발생한다. 또한, 기존의 태양광 트래커 시스템은 설치 장소 및 환경의 영향을 받기 때문에 높은 발전효율을 기대하기 힘들다. 제안하는 태양광 트래커 시스템은 광 추적센서와 모터의 연동 회로를 이용하여 최대의 태양광을 추적하기 때문에 고효율 운전이 가능하고 아날로그 소자들로만 구성되어 있기 때문에 수동소자만큼의 시스템 수명이 보장된다. 또한, CPU를 사용하지 않기 때문에 프로그램 오류로 인한 오작동이 없으며, 설치 이후 유지 및 보수가 간단하다. 제안하는 태양광 트래커 시스템의 타당성은 1년 동안의 실증 실험 결과를 통해 검증하였다.

Key words : Renewable energy, Self-powered solar tracker, Solar tracker without CPU, High efficiency, High reliability

1. 서론

* Dept. of Space Survey Information Technology, Ajou University

** Dept. of Electrical Engineering, Ajou University

★ Corresponding author

e-mail: kyl@ajou.ac.kr, tel:031-219-2376

※ Acknowledgment

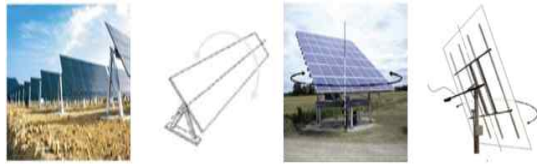
This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning(2016R1A2B4010636)

Manuscript received Jun. 30, 2017; revised Jul. 5, 2017 ; accepted Aug. 8, 2017

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.

신재생 에너지는 유가의 불안정과 기후변화 협약의 규제 대응 등으로 전 세계적으로 그 중요성과 관심이 커지고 있다. 그 중에서도 태양광 발전은 태양 에너지만 있으면 지역에 관계없이 발전이 가능하고, 평소 사용하지 않는 장소에 대한 공간 활용도를 극대화 할 수 있는 신재생 에너지이다[1]. 하지만 태양광 발전시스템은 다른 신재생 에너지원에 비해 다소 낮은 에너지 변환 효율을 나타낸다. 따라서 태양전지의 경제성과 변환효율의 향상을 위해, 기구적인 공정 및 구조의 개선 방법[2]과 함께 최대 전력점 추종 운전(maximum power point tracking, MPPT)에 대한 다양한 연구가 수행되고 있다[3]-[5].

태양광 발전에서 가장 중요한 요소는 일사량이므로 발전시스템의 설치된 트래커의 설치 방법과 방향에 따라 발전량이 달라진다[6]. 이를 개선하기



(a) Single-Axis Tracker



(b) Dual-Axis Tracker

Fig. 1. Types of solar tracker

그림 1. 태양광 트래커의 구조에 따른 분류

위해 지형에 따른 태양광 모듈의 설치방법에 대한 연구[7]와 태양광 발전을 위한 최적의 위치선정에 대한 연구[8]도 활발히 진행되고 있다.

최근에는 위치 및 지형의 효과를 최소화하고, 도시의 건물 내 옥상 등 협소하고 한정된 공간에서의 태양광 발전을 수행하기 위해 다양한 태양광 트래커가 사용된다. 태양광 트래커가 높은 발전 효율을 가지고 동작하기 위해 기구적인 설비와 함께 전자, S/W 등 다양한 분야에 걸친 기술의 융합과 개발이 필요하다. 본 논문에서는 자가동력이 가능하고 별도의 CPU가 없이 아날로그 회로만을 사용한 센서와 제어기를 사용하는 태양광 트래커 시스템을 제안한다. 제안한 트래커 시스템의 검증은 위해 5 kW 급 태양광 트래커를 제작하였다. 또한 기존의 고정형 트래커 시스템 대비 발전성능을 실험 결과로 제시하여 그 타당성을 검증하였다.

II. 태양광 트래커 기술의 현황

1. 기존의 태양광 트래커

기존의 고정형 태양광 트래커의 경우, 고정된 지지대로 인해 하루 중 태양에너지를 받을 수 있는 시간이 한정되어 있다. 또한 태양의 위치변화에 반응하지 못하기 때문에 태양광 트래커가 빛을 수직으로 받는 시간이 제한되어 비효율적이고, 계절의 변화에 따른 태양의 범선 변화에도 대처가 어렵다. 반면에 발전 효율을 증대시킬 수 있는 추적형 태양광 트래커는 CPU

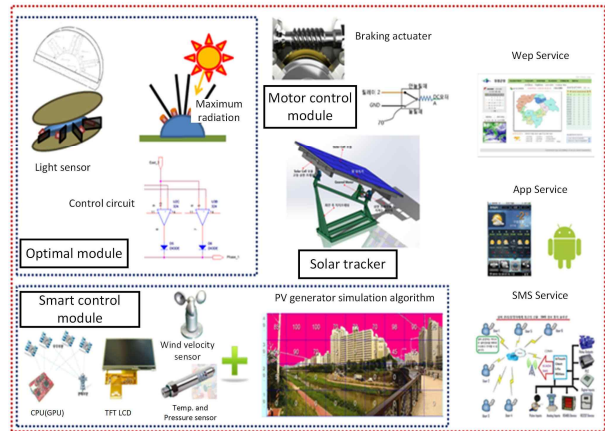


Fig. 2. Configuration diagram of solar tracker without CPU
그림 2. CPU 없는 태양광 트래커의 개요도

를 내장한 GPS 방식을 주로 사용한다. 기존의 추적형 태양광 트래커는 설치 위치에 따라 위도와 경도 값을 입력하고 한정된 범위에서 태양의 위치를 추적하는 방식을 사용한다. 따라서 한정된 공간에서 좀 더 높은 발전효율을 얻기 위해서는 고정형 태양광 트래커보다는 추적식 태양광 트래커를 사용하는 것이 유리하다.

그림 1은 태양광 트래커의 구조에 따른 분류이다. 크게 기구적인 구조에 따라 단축식과 양축식으로 분류한다[9]-[11]. 그림 1(a)와 같은 단축 추적식 트래커는 저비용으로 설치가 가능하지만 태양 고도각의 추적이 불가능하므로 효율이 좋지 않다는 단점이 있다. 그림 1(b)는 양축 추적식 태양광 트래커이다. 이와 같은 방식의 트래커는 단축 추적식 트래커에 비해 고도각의 추적 범위가 넓어 효율적이다. 하지만 방위각의 회전반경이 넓어 소용량의 여러 기를 밀집하여 설치하는 경우에는 각 기기간의 그림자를 회피하기 위한 전·후 및 좌·우의 이격 공간이 필요하다. 또한 CPU를 사용하여 주변 환경의 영향에 의한 전원문제와 트래커의 오동작이 발생하기 쉽기 때문에 외부 충격과 환경의 영향을 많이 받는다.

현재 국내 태양광 시장의 90% 정도가 이와 같은 문제점으로 인해 태양광 추적 방식의 사용이 높은 효율을 달성할 수 있는 것을 인지하고 있으나, 추적형 방식의 신뢰성 문제로 인해 고정형 방식을 채택하여 발전을 수행하고 있다. 따라서 추적형 태양광 트래커의 신뢰성 확보를 위한 기술개발이 요구된다.

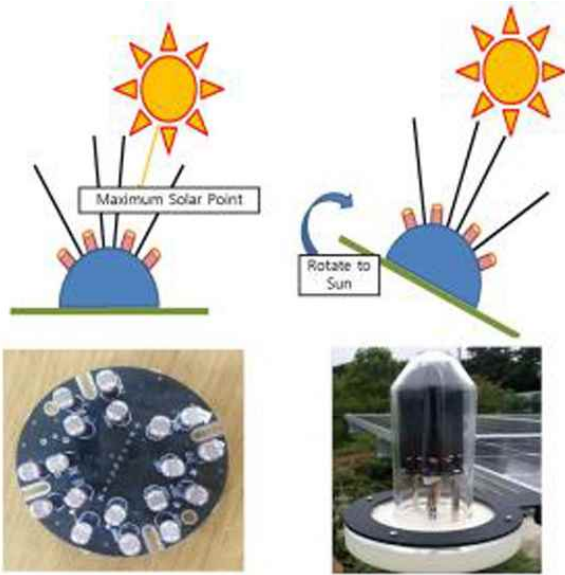


Fig. 3. Electrical circuit of solar tracking system
 그림 3. 태양광 추적 시스템의 원리 및 구성

2. 제안한 트래커 기술의 특징

CPU 없는 태양광 트래커의 개요도는 그림 2와 같다. 기존 태양광 추적형 트래커는 제어장치를 위한 AC 전력공급과 지역에 따른 위도와 경도의 재설정이 필요하다. 또한 CPU를 사용하므로 오동작과 고장의 발생 빈도수가 높다. 제안한 태양광 트래커는 기계, 전자, S/W, Wep/App, SMS (short message service) 등의 다양한 분야의 기술을 융합하고 적용하여 이와 같은 문제를 해결한다.

제안하는 태양광 트래커는 외부전력이 아닌 자체 전력으로 구동하며, 오작동으로 인한 파손을 기구적으로 차단한다. 소자의 고수명화를 위해 모듈을 아날로그 회로만으로 구현하고 광 추적센서를 적용하여 최대광원의 방향을 계속적으로 추종한다. 또한 CPU 없이도 태양광 발전이 가능하도록 기존 임베디드 시스템 기반으로 발전해온 스마트 운전 및 센서 네트워크 원격제어 시스템 기술을 사용한다.

III. 제안하는 태양광 트래커의 제어 모듈 및 기술

제안하는 태양광 트래커의 제어모듈은 별도의 CPU가 없이도 광 추적센서와 모터의 연동회로로 최대 광원을 추적한다. 회로는 광 센서 소자와 비교기 등의 아날로그 소자로만 구성하여, 광 센서

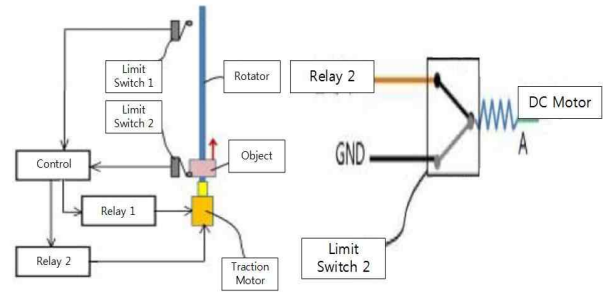


Fig. 4. Actuator in the solar tracking system
 그림 4. 태양광 트래커의 모터 구동 액추에이터

의 입사 광량을 측정하고 센서 모듈 내 각 부의 입력 값을 비교하여 모듈에 입력되는 태양광이 최대가 되는 위치를 파악할 수 있다. 이를 통해 항상 최대 광원을 추적하며 발전을 수행할 수 있다.

1. 태양광 추적 센서

그림 3은 광 센서를 이용한 태양광 추적의 원리와 추적 센서의 전자 회로부를 나타낸다. 원형 센서 모듈의 좌·우 또는 상·하에 위치한 센서에서 광량을 비교하고, 그 값이 큰 방향으로 광량이 동일하게 될 때까지 회전한다. 센서 모듈의 구동은 미소한 DC 전력을 사용하여 미소량의 복사광이나 반사광의 발전 전류로도 동작이 가능하다. 발전량이 없다면 정지동작을 유지하게 되므로 동작을 위한 전력의 소모는 없다.

2. 모터 구동 액추에이터

그림 2에 나타낸 OP-AMP 회로는 half-bridge 혹은 full-bridge 형태의 모터 드라이버를 위한 게이팅 신호를 발생한다. 그림 4는 태양광 트래커의 모터 구동 액추에이터를 나타낸다. 브레이크 기능을 가지는 액추에이터 회로는 리미트 스위치와 릴레이 회로를 내장하여 기구적인 고장을 방지한다.

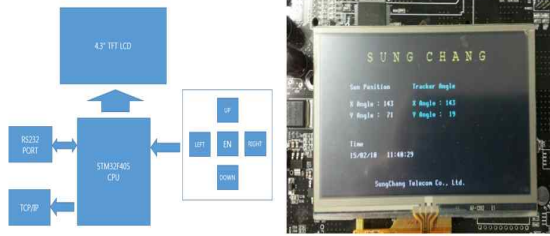


Fig. 5. Management and control program of solar tracker system

그림 5. 태양광 추적 시스템의 관리 및 제어 프로그램

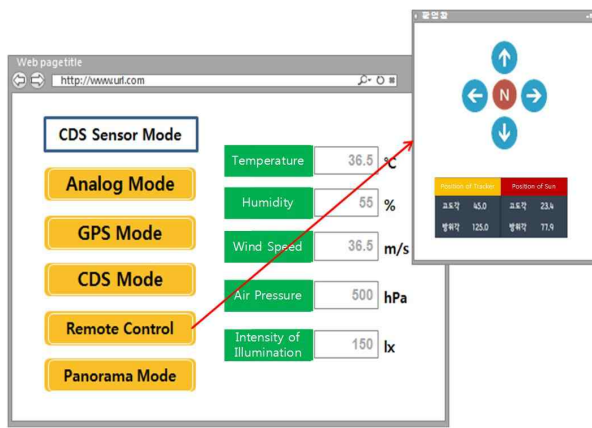


Fig. 6. Internet Web-based remote control system

그림 6. 인터넷 Web 기반의 원격제어 시스템

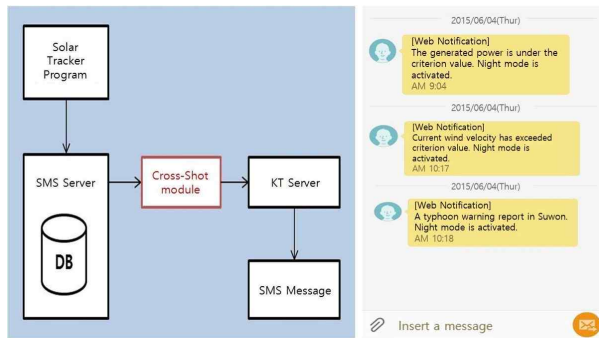


Fig. 7. Notification and remote control using SMS

그림 7. SMS에 의한 관제 서비스 및 원격제어 환경

DC모터로 구동되는 액추에이터는 동작 시에 별도의 피드백이 없어도 동작 한계범위에 도달하면 내부 회로의 리미트 스위치에서 자동으로 모터의 전원을 차단한다. 모터 구동 액추에이터 회로 또한 보호기능을 포함하면서도 고장의 빈도수를 낮출 수 있는 아날로그 방식의 회로이다.

3. 센서 구조물

태양전지의 경우, 온도의 변화에 따라 효율이 현저하게 차이가 있으므로 온도 및 기압센서를 통해 적절한 온도를 체크해 주어야 한다. 스마트 센서를 사용하여 광량 및 풍속, 온도 및 기압, 전압 및 전류를 동시에 측정하고 인식할 수 있다. 광 센서와 전압 및 전류 센서로부터 측정된 정보를 이용하여 태양광 모듈의 고장 여부 또한 확인이 가능하다. 따라서 스마트 센서는 주변적인 기후, 온도, 풍량 등의 영향으로부터 트랙커의 구조물이 고장 날 경우에 대비하는 기능을 포함하며 태양전지의 발전 효율을 최대로 유지시킨다.

4. 시스템 관리 및 제어 프로그램

태양광 트랙커의 시스템 관리 및 제어를 위한 프로그램은 그림 5와 같다. TFT-LCD에서 UI (User Interface)를 통해 사용자가 직접 컨트롤이 가능하도록 구성된다. 이와 함께 Web을 통한 원격접속으로 실시간 정보 확인과 제어를 할 수 있고, 트랙커의 모든 기능을 수동으로 조작할 수 있다. LCD 화면으로는 온도, 습도, 태양의 위치, 트랙커의 위치, 동작모드 등의 시스템의 상태와 설정을 확인할 수 있다.

5. 인터넷 Web 기반 원격제어 시스템

그림 6은 인터넷 Web 기반의 원격제어 시스템을 나타낸다. Ethernet Network 구축을 통해 Web으로 접속이 가능하며, 현재 트랙커의 상황을 실시간으로 파악하고 원격으로 감시한다. 또한, 외부에서 Web을 통해 제어도 가능하다.

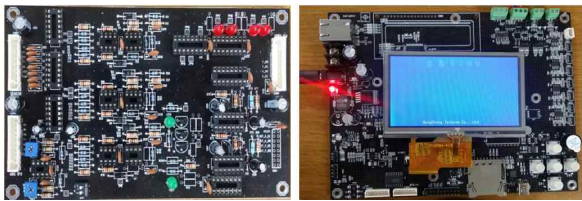
6. SMS를 이용한 통보 관제 및 원격제어

SMS에 의한 통보 관제 서비스 및 원격제어 환경은 그림 7과 같다. 현재의 발전 상태를 Normal/Minor/Major/Critical의 상황으로 분류하여 상태를 실시간 SMS로 확인이 가능하다. 통합 서버의 관제 프로그램이 1분 단위로 온도, 습도, 풍속, 일사량 등을 조회하고 테이블에 데이터가 저장되면 데이터를 크로샷 (대용량 메시지를 안정적으로 발송할 수 있는 서비스) 모듈로 관리자에게 문자 메시지를 전송한다.

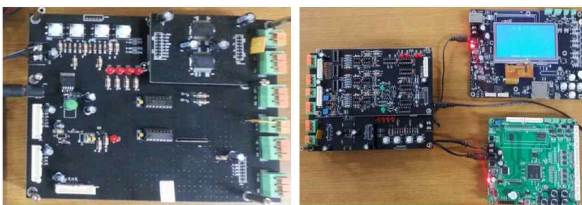


Fig. 8. Notification and remote control using a smart applications

그림 8. 개발된 스마트 앱에 의한 원격제어 환경



(a) CPU-less tracker (b) Smart control module



(c) Motor control module (d) Overall board interface

Fig. 9. Appearance and interface of developed controllers

그림 9. 개발된 컨트롤러의 외관과 인터페이스



Fig. 10. 5kW solar tracker system

그림 10. 5kW급 태양광 추적 시스템

Table 1. Main features of the proposed solar tracker

표 1. 제안하는 태양광 트래커의 주요 특징

	Proposed module	CPU based module	GPS control type
Operating voltage	Solar panel	AC grid (disable at blackout)	
Current Consumption	Minimum standby power	Power consumption by CPU and peripheral circuit	
Tracking type	Non CPU/Passive light sensor	Calculated regional data	Calculated regional data from satellite
Installation	Maximum light source tracking	GPS based tracking, scanning	
Illuminance variation	Decrease of sensitivity on cloudy day	Programmed position data	
Motor control	Block malfunction by mechanical and electrical structure	CPU and sensor control	
Workability	Easy to move	Difficult to move	

7. 스마트 앱에 의한 관제 및 원격제어

그림 8은 개발된 스마트 앱에 의한 관제 및 원격제어 환경을 나타낸다. 기상청 API (application programming interface)로부터 현재 기상정보를 제공하고, 트래커의 상태를 확인하여 통보한다. 스마트 기기를 이용한 날씨 및 주변 환경에 맞는 제어가 가능하다.

IV. 제작된 태양광 트래커 외형 및 성능

1. 태양광 트래커 제어부

제작된 제어 보드 각 부 모듈의 외형은 그림 9와 같다. 그림 9(a)는 CPU가 배제된 제어 모듈이다. 개발 모듈의 경우 디지털제어 회로가 아닌 아날로그 소자들만으로 구성되어 수동소자의 수명만큼의 동작이 보장된다. 또한 프로그램 오류 및 CPU 회로의 손상으로 인한 고장이 없으며 설치 후 유지 및 보수가 간단하다. 그림 9(b)와 (c)는 스마트 제어 모듈과 모터 제어 모듈로, 앞서 설명한 기능을 포함한다. 그림 9(d)는 전체 모듈의 인터페이스이다. 제작된 모듈은 AC 상용전원이 불필요하고, 외부 전원이 아닌 자체 발전 전력으로 구동이 가능하다. 따라서 전력의 공급이 어려운 곳에서도 독립적으로 설치가 가능하며, 내부 보호 회로를 구성하여 오작동에 의한 기구의 파손 가능성을 최소화 한다.

Table 2. Daily power generation improvement rate of the proposed solar tracker without CPU

표 2. 고정형 트래커 대비 제안한 트래커의 일별 발전량 증가율

May	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
5kw fixed type [kWh]	32.3	32.1	29.2	30.2	31.2	30.5	30.6	31.4	26.2	25.8	13.0	25.8
Proposed tracker [kWh]	39.3	45.5	37.3	39.4	44.5	42.4	41.4	44.1	32.8	32.2	17.4	28.6
Power generation improvement rate [%]	121.7	141.7	127.7	130.5	142.2	139.0	135.3	140.4	125.2	124.8	133.8	110.9
Weather	Cloud	Sun	Sun	Sun	Sun	Sun	Sun	Sun	Sun	Sun	Rain	Cloud

Table 3. Annual power generation improvement rate of the proposed solar tracker without CPU

표 3. 제안한 태양광 트래커 시스템의 연간 발전량 증가율

Y/M	'14 /6	7	8	9	10	11	12	'15 /1	2	3	4	5	AVG
Power generation improvement rate [%]	110	116	115	117	123	122	125	120	118	119	120	127	119.4
Power generation improvement rate [%] (Sunny day)	108	115	115	116	123	127	131	124	120	120	124	129	121

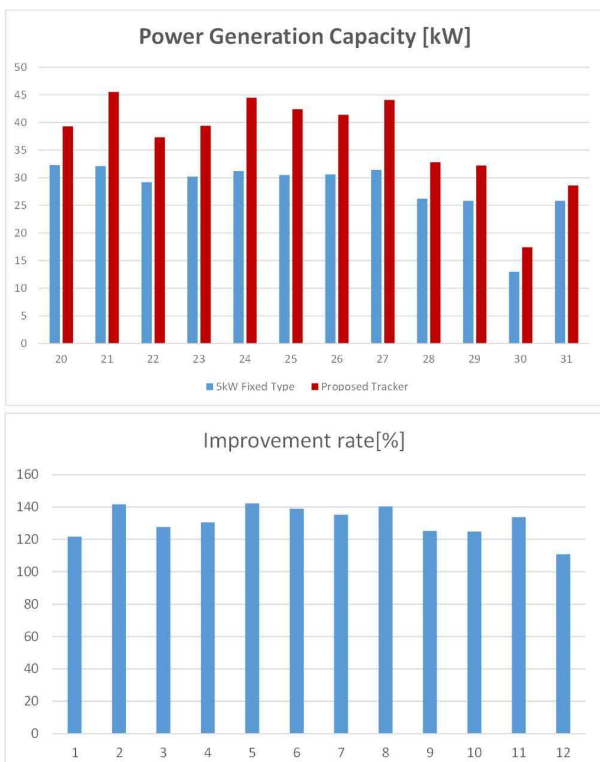


Fig. 11. Power generation capacity and improvement rate of the fixed tracker and proposed solar tracker

그림 11. 고정형 대비 제안한 트래커의 발전량 및 효율

2. 태양광 트래커 구조물

그림 10은 실증 실험을 위해 제작된 5 kW 급 태양광 트래커이다. 표 1에 제안한 트래커의 주요 특징을 나타내었다.

3. 발전 성능 분석

고정형 트래커 대비 제안한 트래커의 일별 발전량은 표 2에 나타내었다. 평균적으로 고정형 트래커와 비교하여 약 130 % 이상의 발전량 증가율을 보였다. 태양광 추적 방식을 사용하기 때문에 일출과 일몰 시간에 고정형보다 높은 발전량을 보이며, 구름이 많은 흐린 날(21일, 31일)의 경우에도 고정형에 비해 높은 발전량을 기록하였다. 30일과 같이 비가 오는 날에는 총 트래커 총 발전량에서는 큰 차이가 없지만 수치상 고정 대비 약 30 % 이상의 발전효율을 기록하였다.

그림 11은 고정형 대비 제안한 트래커의 발전량과 평균효율을 나타낸다. 모든 조건의 날씨에서 평균 30 % 정도 발전량의 증가로 고정형 대비 120 % 이상의 증가율을 보였다.

제안한 트랙커의 고정 대비 연간 총 발전량과 이에 따른 발전효율을 표 2와 그림 12에 나타내었다.

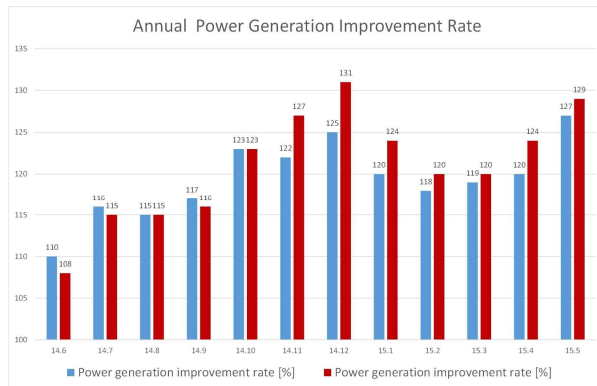


Fig. 12. Annual power generation record of the tracker
그림 12. 제안한 트랙커의 고정 대비 연간 총 발전량

맑은 날을 기준으로 평균 121% 정도의 발전량 증가율을 보였다. 2014년 6월부터 2015년 5월까지 1년 중 동지인 12월에 발전량이 가장 높았다. 제안한 태양광 트랙커 시스템의 연간 발전량은 표 3과 같이 월별로 날씨와 무관하게 고정형 트랙커 대비 평균 20% 정도 높은 발전량을 보였다.

V. 결론

본 논문에서는 센서 및 제어기의 개발을 통해 CPU 없이 자가동력이 가능한 태양광 트랙커 시스템을 제안하였다. 제안한 태양광 발전 시스템은 아날로그 회로로 구성되어 높은 신뢰성을 보장할 수 있다는 장점을 가진다. 검증용 위해 5kW급 태양광 발전시스템을 제작하고 약 1년 이상의 실증 실험을 진행하였다. 그 결과 기존의 고정형 태양광 트랙커 대비 연평균 약 20% 이상 발전효율이 향상되었음을 확인하였다.

References

- 1] Y. S. Choi, S. H. Lee, J. H. Kim, J. S. Choe and T. W. Kim, "A study on the efficient use of solar energy," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 35, No. 4, pp. 25-34, 2015.
DOI : 10.7836/kses.2015.35.4.025
- 2] J. W. Park, U. C. Shin, D. G. Kim and J. H. Yoon, "A Study on generation characteristics

of building integrated Photovoltaic system," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 33, No. 3, pp. 75-81, 2013.

DOI : 10.7836/kses.2013.33.3.075

- 3] J. S. Lee and K. B. Lee, "Variable DC-Link Voltage Algorithm with a Wide Range of MPPT for a Two-String PV System," *Energies*, Vol. 6, No. 1, pp. 58-78, 2013.

DOI : 10.3390/en6010058

- 4] G. S. Kim, K. B. Lee, D. C. Lee, and J. M. Kim, "Fault Diagnosis and Fault-Tolerant Control of DC-link Voltage Sensor for Two-stage Three-Phase Grid-Connected PV Inverters," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, Vol. 8, No. 4, pp. 752-759, 2013.

DOI : <https://doi.org/10.5370/JEET.2013.8.4.752>

- 5] J. H. Lee, J. S. Lee, and K. B. Lee, "Current Sensorless MPPT Control Method for Dual-Mode PV Module-Type Interleaved Flyback Inverters," *Journal of Power Electronics*, Vol. 15, No. 1, pp. 54-64, 2015.

- 6] Kang. J. G, Kim. Y. J and Kim. J. T, "Analysis of Temperature and Power Feneration Characteristics of Bifacial BIPV System Applied into Curtain Wall," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 35, No. 4, pp. 57-66, 2015.

DOI : 10.7836/kses.2015.35.4.057

- 7] J. B. Jee, I. S. Zo, K. T. Lee and W. H. Lee, "The Development of Photovoltaic Resources Map Concerning Topographical Effect on Gangwon Region," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 31, No. 2, pp. 37-46, 2011.

DOI : 10.7836/kses.2011.31.2.037

- 8] D. K. Jo, C. Y. Yun, K. D. Kim and Y. H. Kang, "A Detail Survey of Horizontal Global Radiation and Hours of Bright Sunshine for the Installation of Solar Photovoltaic Sysem in Korea," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 31, No. 3, pp. 48-56, 2011.

DOI : 10.7836/kses.2011.31.3.048

- [9] L. Barker, M. Neber, and H. Lee, "Design of a low-profile two-axis solar tracker," *Solar Energy*, Vol. 85, No. 11, pp. 569–576, 2013.
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.09.014>
- [10] F. J. Gomes Gil, M. S. Martin, J. P. Vara, and J. R. Calvo, "A review of solar tracker patents in Spain," in *Proc. 3rd WSEAS Int. conf. Renewable Energy Sources, Canary Islands, Spain*, 2009, pp. 292–297.
- [11] M. Neber, H. Lee, L. Barker, C. G. Olaes, D. Marumoto, and J. Valdez, "Two-axis solar tracker design for low cost deployment and profile for reduced loading moments," *U.S. Patent 20 130 276 846*, Oct. 24, 2013.

BIOGRAPHY

Jae Jin Lee(Member)

2006 : BS degree in
2014 : MS degree in Electrical and
Computer Engineering, Ajou
University.
2014~present : PhD student in
Space Survey Information
Technology, Ajou University

Woo Jin Choi (Member)

2012 : BS degree in Electronic
Engineering, Semyung University.
2014 : MS degree in Electrical and
Computer Engineering, Ajou
University.
2014~present : PhD student in
Electrical and Computer
Engineering, Ajou University.

Seok-Min Kim (Member)

2013 : BS degree in Electronic
Engineering, Sejong University.
2016 : MS degree in Space Survey
Information Technology, Ajou
University.
2016~present : PhD student in
Electrical and Computer
Engineering, Ajou University.

Joon Young Park(Member)

1998 : BS degree in
Manufacturing Engineering,
Kyungpook National
University.
2014 : MS degree in
Mechanical Manufacturing
Engineering, Korea
Polytechnic University.
2014~present : PhD student in Electrical and
Computer Engineering, Ajou University.

Kyo-Beum Lee (Member)

1997 : BS degree in Electrical
and Electronic Engineering,
Ajou University.
1999 : MS degree in
Electrical and Electronic
Engineering, Ajou University.
2003 : PhD degree in Electrical Engineering,
Korea University.
2003~2006 : Research Associate, Institute of
Energy Technology, Aalborg University.
2006~2007 : Assistant Professor, Chonbuk
National University.
2007~present : Professor, Dept. of Electrical
and Computer Engineering, Ajou University.