

센서와 GPS를 이용한 TMC의 구현 및 성능 분석

고재홍^{1*}

¹한국폴리텍대학 광주캠퍼스 전기과

TMC (Tracker Motion Controller) Using Sensors and GPS Implementation and Performance Analysis

Jae-Hong Ko^{1*}

¹Dept. of Electricity, Gwangju Campus of Korea Polytechnics

요약 본 논문에서는 태양광 집광 효율 향상을 위한 많은 연구 방법 중 하나로서 태양광을 효율적으로 집광할 수 있는 TMC(Tracker Motion Controller) 시스템 구성하여 발전효율의 향상성을 갖춘 집광형 태양광 발전시스템(CPV)과 실리콘을 이용한 PV 시스템으로 실험하였다. 태양추적 발전시스템에 사용되는 마이크로프로세서는 실시간으로 태양 광의 고도와 위도 각을 계산한다. 또 한 센서로부터 값을 받아들이고, 태양의 현재 위치 값을 계산하여 모터를 제어 하며 중앙제어 시스템과의 통신을 하기 때문에 적용 가능성에 대한 부담이 커지고 있다. 따라서 집광형 태양광 발전 시스템에 적합한 프로그램 방식과 센서방식을 혼합한 하이브리드 방식의 알고리즘 통하여 ARM코어를 내장한 TMC에 구현하였으며, 구현된 TMC를 통하여 기존 PV시스템, CPV 시스템 대비하여 국내에서의 발전효율을 비교 분석하였다. 실험결과 기존의 센서방식을 이용한 집광형 태양광 발전 시스템에 GPS통신 값을 통해 프로그램 방식의 천문학 계산에 의하여 지평좌표계에서의 태양의 방위각과 고도각을 계산하는 하이브리드 태양위치추적 방식을 실험한 결과를 보면 맑고 일사량이 높은 날에는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 흐리고 맑은 날 등 일사량이 없어 센서가 태양의 위치를 추적하지 못하고 멈춘 상태에서 일정 시간이 지난 후 태양이 센서의 사각지대에서 나타나면 센서의 오류가 생길 수 있는 기후변화에서는 오히려 센서방식보다 더 우수함을 확인할 수 있었다. 태양전지의 발전효율이 높아지고 생산발전 단가가 줄이는 부분에 대한 지속적인 연구, 더불어 기후의 변화에 따른 최적의 발전 능력을 가진 TMC를 적용한 고효율 집광형 시스템에 대한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 기대된다.

Abstract In this paper, TMC (Tracker Motion Controller) as one of the many research methods for condensing efficiency improvements can be condensed into efficient solar system configuration to improve the power generation efficiency of the castle with Concentrated solar silicon and photovoltaic systems (CPV)experiments using PV systems. Microprocessor used on the solar system, tracing the development of solar altitude and latitude of each is calculated in real time. Also accept the value from the sensor, motor control and communication with the central control system by calculating the value of the current position of the sun, there is a growing burden on the applicability. Through the way the program is appropriate for solar power systems and sensors hybrid-type algorithm was implemented in the ARM core with built-in TMC, Concentrated CPV system compared to the existing PV systems, through the implementation of the TMC in the country's power generation efficiency compared and analyzed. Sensor method using existing experimental results Concentrated solar power systems to communicate the value of GPS location tracking method hybrid solar horizons in the coordinate system of the sun's azimuth and elevation angles calculated by the program in the calculations of astronomy through experimental resultslook clear day at high solar irradiation were shown to have a large difference. Stopped after a certain period of time, the sun appears in the blind spot of the sensor, the sensor error that can occur from climate change, however, do not have a cloudy and clear day solar radiation sensor does not keep track of the position of the sun, rather than the sensor of excellence could be found. It is expected that research is constantly needed for the system with ongoing research for development of solar cell efficiency increases to reduce the production cost of power generation, high efficiency condensing type according to the change of climate with the optimal development of the ability TMC.

Key Words : Photovoltaic, Tracking system

*Corresponding Author : Jae-Hong Ko (Gwangju Campus of Korea Polytechnics)

Tel: +82-10-9545-2937 email: kojh@kopo.ac.kr

Received October 19, 2012 Revised (1st November 19, 2012, 2nd December 10, 2012) Accepted February 6, 2013

1. 서 론

화석 자원의 고갈 및 지구환경 보존을 위한 새로운 에너지로 태양에너지를 직접적으로 이용하는 대표적인 방법인 태양광발전 시스템이 가장 빠르게 연구되어 성장하고 있다. 특히나 태양에너지는 환경오염에 대한 문제가 없고, 거의 무한한 에너지 공급이 이루어질 수 있어 고유가 시대에 화석에너지의 대체, 온실가스 절감효과, 에너지원의 고갈에 대한 우려가 해소되어 에너지 수급안정, 환경보존, 경제 성장의 순환 고리를 이어주는 역할을 할 수 있다.[1]

태양광발전시스템의 발전효율을 높이기 위한 방법으로 셀의 구조, 집광시스템, 추적방식 등으로 다양한 연구가 진행되고 있으며, 본 논문은 태양광을 효율적으로 추적하여 집광효율을 높일 수 있는 방법에 대해 센서와 GPS를 이용한 TMC(Tracker Motion Controller)를 구현하고 성능을 분석하였다.

본 논문에서 구현한 TMC(Tracker Motion Controller) 방식은 광센서를 이용하여 태양의 위치를 추적하지만, 일정시간 발전량이 나오지 않을 경우 GPS의 수신된 시간의 값을 받아 현재 지역에 대한 천문학 데이터를 통해 태양의 위치를 추적하는 방식으로 실리콘 태양전지를 이용한 PV(Photovoltaic) 및 집광형 태양광 발전 CPV(Concentrating Photovoltaic)시스템과의 성능을 분석하여 지리적, 환경적 조건에 따른 적용가능성에 대해 입증하고자 한다.

2. 본 론

2.1 태양의 위치 추적 방식의 종류

태양광발전시스템의 가장 큰 특징은 트래킹 시스템(tracking system)이 매우 중요하다는 것이다. 집광을 위한 광학계는 기본적으로 망원경과 같은 원리라고 볼 수 있고, 이 경우에 먼 물체의 아주 작은 부분만을 보게 되어 있다. 따라서 태양을 정확하게 향하지 않고 그 각도가 조금만 달라도 초점이 어긋나서 태양전지 셀에 집광할 수 없으므로, 항상 태양을 향하도록 이축(two-axis) 트래킹 시스템이 요구 되고, 집광도가 커질수록 더욱 정밀한 트래킹 시스템을 필요로 한다. 보통 트래킹 시스템은 광센서와 두 개의 모터를 사용하여 언제나 태양을 향하게 고안된 시스템으로 고집광의 경우는 직사광만을 사용하고, 산란광은 사용하지 않기 때문에 직사광이 강한 지역에 적용하는 것이 유리하다. 트래킹 시스템은 태양전지가 항상 태양을 수직으로 향하게 하여, 하루 종일 빛을 받아

들이는 양을 최대화하여 한 해 동안 생산되는 에너지를 높일 수 있으므로 집광하지 않는 실리콘 태양전지 판넬에도 많이 사용되고 있으며, 이 경우는 높은 정밀도를 요구하지는 않는다.[2-3]

태양 위치추적은 프로그램에 의한 방식과 센서를 이용한 방식이 있다. 프로그램 방식은 태양의 위치를 계산하는 프로그램 방식으로 천문학에서 정의된 지구의 운동 관계식을 이용하여 태양의 위치를 실시간으로 연산 또는 미리 정의 된 테이블에 의하여 추적 장치를 구성하여 제어하는 방법이다.[4] 프로그램 방식에서 사용되는 기본 구성장치는 추적 장치의 위치를 확인 할 수 있는 센서류 및 마이크로프로세서가 내장된 제어기, 모터 및 감속기 등으로 구성되어 기상변화에 상관없이 제어하며 일출 후에는 원하는 위치로 제어할 수 있다. 프로그램 방식의 장점은 갠 날이나 흐린 날에 관계없이 동작하며, 잠깐 동안 태양이 구름에 가린 때에도 추적이 계속되므로 태양이 나타날 때에 바로 추적이 가능하고, 대체로 오동작이 적으나, 추적 장치의 정확한 방위각 설정과 수평의 유지 및 입력 데이터 및 계산 등의 오차를 일정기간마다 보정하여 주어야 한다. 또한 일사량이 적은 경우에는 날씨와 무관하게 제어되므로 추적 장치의 구동으로 전력을 소비함으로써 시스템의 발전효율 향상에 도움이 되지 못하는 단점이 있다. 센서를 이용한 태양 추적방식은 태양위치 센서 혹은 모듈 출력값 등과 같은 피드백을 이용하여 트래커를 제어하는 방식으로, 환경적 요소 변화로부터 유액 밀도변화의 힘을 얻어 기계적으로 제어하는 방식으로서 센서 오차가 설정된 오차범위 보다 적거나 같을 때 추적 장치는 정지한다. 저 일사량일 경우에는 추적 장치가 설정된 위치로 강제로 이동하거나 오 동작하는 경우가 발생한다. 광센서 태양위치 추적 방식은 회로가 비교적 간단하면서도 높은 정확도가 유지되며, 다른 입력장치가 필요 없고, 설치할 때 정밀하지 않는 방향만 맞추어도 되므로 편리하다. 그러나 센서방식 추적 장치는 광센서의 미세한 오차로 인하여 데드밴드 폭을 적게 하여 제어 시에는 산란광 때문에 추적 장치의 오동작이 발생하여 불필요한 소비전력이 발생되고, 데드 밴드 폭을 크게 한 경우에는 추적 장치의 미 동작으로 소비전력을 줄일 수 있으나 태양의 방위 및 고도의 위치 오차가 크게 되어 발전량이 적어 발전효율을 감소시킨다.[5]

2.2 센서와 GPS를 이용한 하이브리드 방식의 알고리즘

안개 및 구름, 비로 인한 저 일사량 경우 태양빛의 산란효과(Refraction effect)는 태양광 발전에 많은 영향을

미친다. 태양 추적 장치가 실시간으로 태양의 방위각 및 고도각을 추정하는 경우에도 실제 태양광 발전량은 특정한 위치에 고정되어 있는 경우보다 발전량이 증가하지 못하며, 추적 장치의 운전으로 인하여 불필요한 소비전력이 발생한다. 또한, 센서방식 추적 장치인 경우에는 광센서의 미세한 오차로 인하여 데드밴드 폭을 줄여 제어 시에는 산란광 때문에 추적 장치의 오동작이 발생하고 불필요한 소비전력이 발생되나 전체 발전량에는 영향을 미치지 못한다. 그리고 데드 밴드 폭을 크게 한 경우에는 추적 장치의 미 동작으로 소비전력을 줄일 수 있지만 태양의 방위 및 고도의 위치 오차가 크게 되어 발전량이 적어 발전효율을 감소시킨다. 따라서 본 논문에서는 우선 순위는 태양의 일사량이 설정 값 이상일 경우에는 광센서 추적방식으로 동작하며, 설정 값보다 작을 경우, 즉 태양이 구름에 장시간 가려질 경우와 비온 뒤에 해가 뜰 경우에는 센서의 추적에 따른 오류가 발생할 확률이 높기 때문에 GPS를 통한 프로그램방식을 이용하여 동작하는 방식이다. 태양의 위치가 추적 가능한 위치일 때 광센서로터 출력되는 일사량의 엣지(EDGE) 값을 계산하여 기 입력되는 주기의 값이 설정된 값 이상의 일사량이면 프로그램 방식으로 태양의 위치와 어레이가 범선이 되도록 추적 장치를 제어하며 일사량이 설정된 값 이하가 되면 추적 장치는 프로그램 방식에 의해 입력되어 설정된 위치로 이동 후 정지한다.

일사량 변화에 따른 새로운 제어 방법은 현재의 방위각 및 고도, 일사량의 변수를 이용하여 일사량이 추적 장치의 제어 가능한 범위에서 태양의 방위각 및 고도각에 따라 설정된 일사량의 값보다 적은 경우에는 설정된 위치로 추적 장치가 강제로 이동 후 정지하게 된다. 또한 일사량은 구름에 의한 산란이나 낙엽 등에 의해서 줄어드는 경우, 추적 장치의 오동작의 염려가 있으므로 추적 장치의 제어기에서는 일정한 데드 밴드 폭을 설정하여 설정된 지연시간 후에 일사량을 샘플링하여 설정된 값 (200W/m²) 이상의 일사량에서는 추적 장치는 프로그램 방식에 의해 트래커의 태양에 대한 방위각 및 고도각을 제어한다. 일사량이 200W/m² 이하일 경우에는 태양광에 의한 발전량이 미비하기 때문에 추적 장치를 동작하지 않게 설정한다.

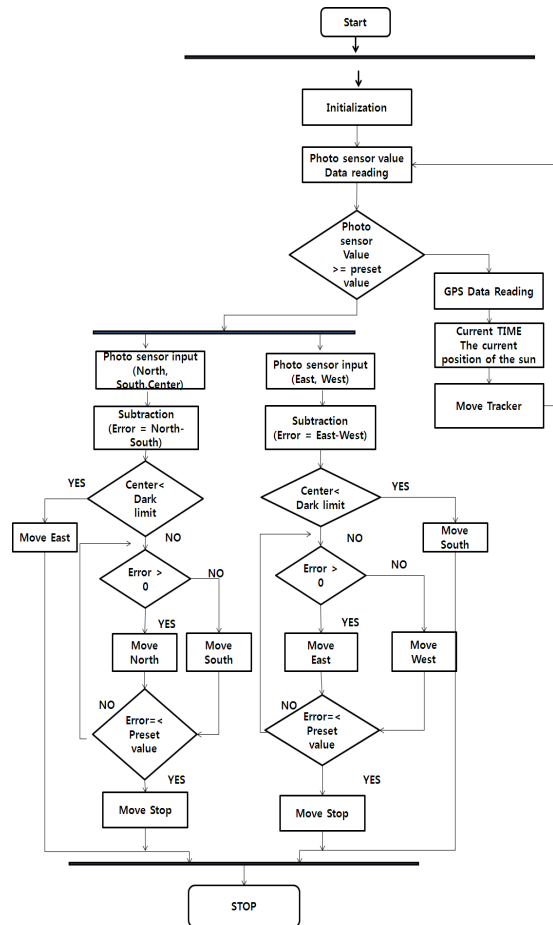
프로그램 방식에 있어서는 시간의 데이터의 정확성이 가장 중요하기 때문에 GPS수신기를 이용하여 현재 실시간의 시간을 위성으로부터 수신하여 구름 등에 의하여 3,000LUX 이하로 떨어져 센서에 의한 추적이 어려울 시 자칫 잘못하면 해가 다시 나온 후에 추적하지 못할 수 있기에 시간데이터에 의한 추적이 필요하다.

Fig. 1는 본 논문에서 제안한 하이브리드 방식의 알고

리즘으로서 태양의 고도각 h는 (식 1)에 의하여 산출할 수 있다.

$$\sinh = \cos \delta \cos \Phi \cos \omega + \sin \delta \sin \Phi \quad (\text{식 1})$$

여기서 Φ :지방의 위도, ω :시간각, δ :태양의 경사도이다.

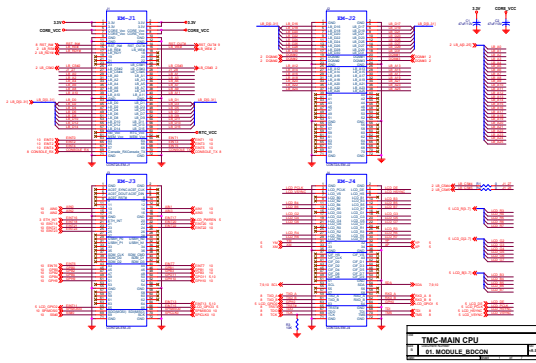


[Fig. 1] Algorithm of proposing hybrid method

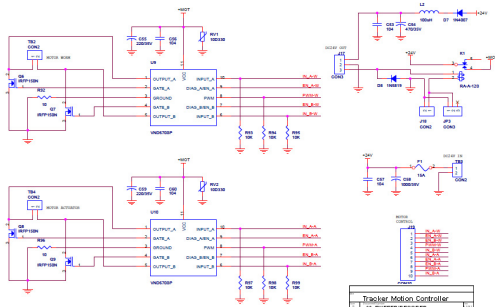
2.3 TMC(Tracker Motion Controller)시스템 구성

2.3.1 TMC 회로구성 및 구현

제안 하이브리드방식의 알고리즘을 구현을 위해 Orcad 9.2 버전을 이용하여 TMC 컨트롤러의 메인 회로 및 모터드라이브 회로를 Fig. 2~3과 같이 회로도 (Schematic)를 구성하였다.

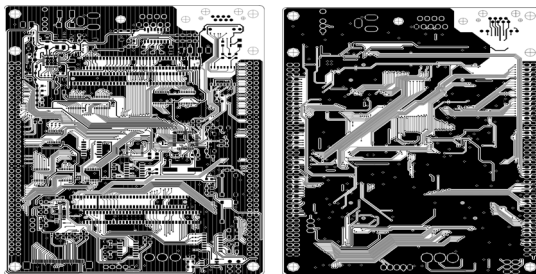


[Fig. 2] TMC Circuit Schematic of Main Controller



[Fig. 3] Circuit Schematic of Motor Drive TMC

PCB layout은 P-CAD를 이용하여 양면으로 제작하고, 총 2층의 구조로 설계하였으며, 회로도(Schematic)상에 반영된 기능 중, UART Interface, Ethernet Controller, UART 2 port, Display port 등을 PCB면에 배열하여 PCB의 LAYOUT을 Fig. 4와 같이 구성하였다.

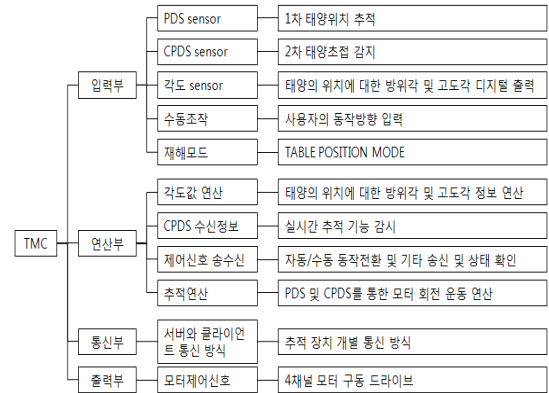


[Fig. 4] TOP LAYER and BOTTOM LAYER

2.3.2 TMC 전기적 특성

TMC의 전기적 특성으로 사용 전원은 24V / 220V 60Hz이고, 소비전력은 최대/ 최소(300W/10W)이다. DC Motor 소비전력은 DC 12V에서 90W, 통신 방식 RS-485 Broadcasting Communication사용하였고, 입력방식은

UART (RS-232) PWM이다. 또한 Fig. 5는 TMC의 하드웨어적인 특성을 나타내고 있으며 구성과 동작내용을 설명하였다.

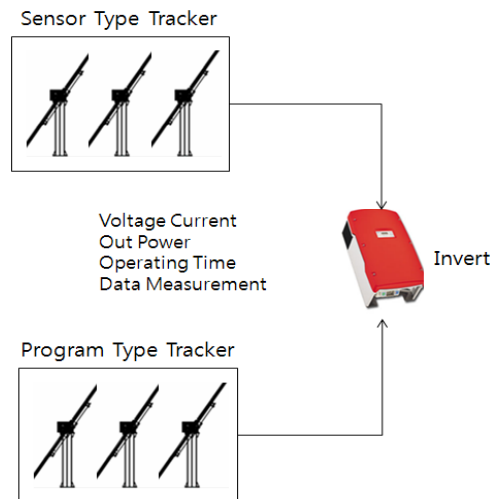


[Fig. 5] Action contents by TMC's item

2.4 TMC를 적용한 CPV 시스템의 실험결과 및 분석

2.4.1 시스템의 실험환경

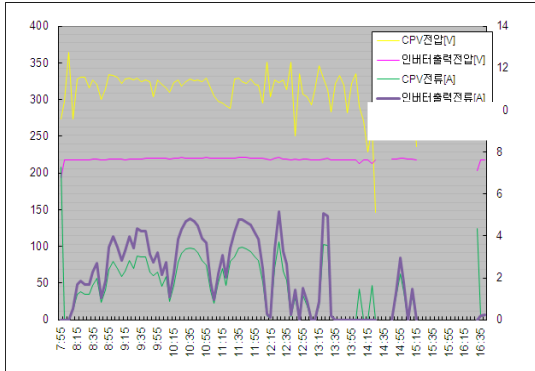
최적의 조건에서 발전량을 측정하기 위하여 Fig. 6과 같이 3kw 발전량을 가진 집광장치에 프로그램 방식과 센서방식을 적용한 위치추적방식을 적용하였다. 구름이 없는 날씨에는 센서를 이용한 방식으로 위치를 추적하여 발전하며 구름에 가려 센서가 구동되지 않을 시에는 프로그램방식이 구동되어 현재의 날짜와 시간을 계산하여 태양의 위치의 방향으로 구동되는 방식을 적용하였다.



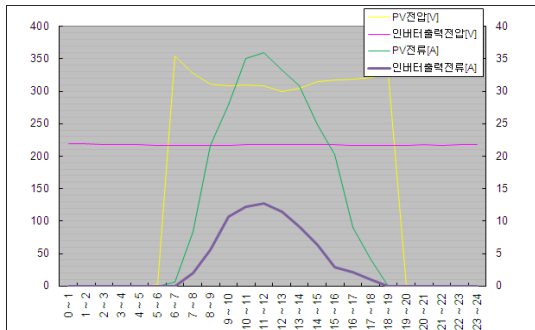
[Fig. 6] System Configuration

2.4.2 TMC를 적용 전 시스템의 태양광 발전량 성능 실험

본 논문에서는 TMC 적용한 시스템의 집광효율의 공정성을 위해 CPV 및 PV 시스템의 적용전의 발전량을 Fig. 7, Fig. 8과 같이 측정하였다.



[Fig. 7] Voltage & Current comparison between CPV module output and System output

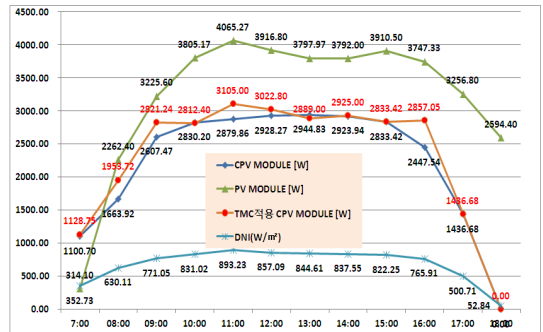


[Fig. 8] Voltage of PV module and inverter output stage, current price comparison

2.4.3 TMC를 적용한 시스템의 태양광 발전량 측정 및 성능 분석

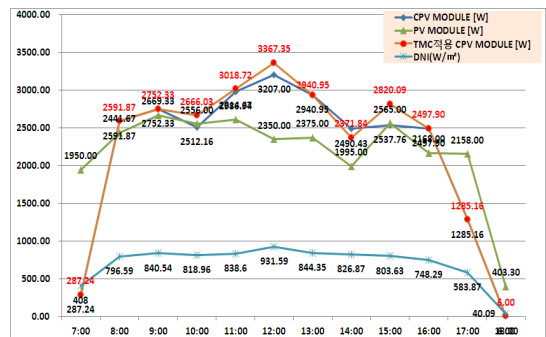
TMC를 적용하기 전 CPV 시스템과의 동일한 측정환경에서 TMC를 적용한 발전량을 측정하여 비교 분석하였다. 실험 결과를 토대로 기후 변화에 따라 얻어진 결과는 Fig. 9에는 청명한 날, Fig. 10는 청명하고 일사량이 높은 날, Fig. 11은 흐리고 맑은 날과 같이 각기 다른 환경 조건에서 측정한 분석결과이다.

Fig. 9와 같은 청명한 날은 직달 일사량에 비하여 산란광 등이 많은 경우의 발전량을 분석해 보면 모듈 출력 값이 PV가 CPV 방식들보다 더 우수하며 TMC를 제한한 방식은 기존의 CPV 방식에 비하여 1186W 정도 우수함을 확인하였으며 크게 차이가 나지 않았다.

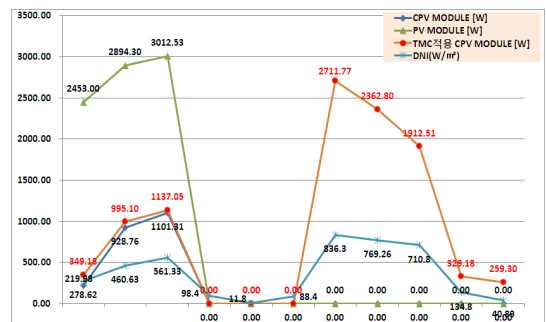


[Fig. 9] Module Power amount comparison(A fine day)

Fig. 10는 청명하고 일사량이 높은 날의 시스템들의 출력을 측정한 것으로 CPV 방식들이 PV방식에 비하여 발전량이 우수함을 확인할 수 있었고 TMC를 적용한 CPV 방식이 기존 CPV방식보다 약 400W 우수함을 확인할 수 있다.



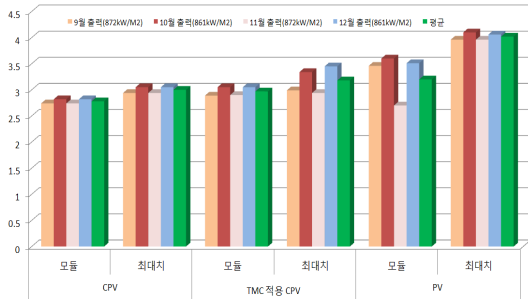
[Fig. 10] Module Power amount comparison(Is fine and a day that quantity of solar radiation is high)



[Fig. 11] Module Power amount comparison(A cloudy and clear day)

Fig. 11은 비오고 맑은 날의 발전량을 분석해 보면 센서 방식의 PV와 CPV는 비가 오고 3시간 이상 비가 오고 난 뒤 해가 뜨니 태양의 위치를 추적하지 못함을 확인할 수 있다.

할 수 있었다. 하지만 TMC는 GPS의 현재시간을 이용하여 태양의 위치를 추적한 결과 전력 발전량이 PV보다는 약 1465W, CPV 보다는 7,575W 더 우수함을 확인할 수 있다.



[Fig. 12] Power amount assay data of CPV and PV system that apply TMC

TMC를 적용한 CPV 시스템 및 PV 시스템의 태양광 발전량 측정량에 따른 분석 자료는 Fig. 12에 나타내어지고 있다. 측정 표준조건은 DNI > 850W/m2 이상에서의 데이터만 취함 분석하였으며, 또한 DNI > 850W/m2 이상에서의 분포 시간은 10~14시(8~9월) / 11~14시(10~11월)이다. 그리고 각 시스템의 정격 출력은 3.36[KW]이다.

3. 결 론

본 논문에서는 센서와 GPS를 이용한 TMC를 설계하고 집광형 발전시스템을 통하여 실리콘 방식의 태양광 발전시스템과 같은 조건에서 직달일사량의 차이에 따른 각각의 발전량을 분석할 수 가 있었다. 집광형 발전 시스템은 실험 데이터를 통하여 분석 결과 직달일사량의 강도에 의한 발전량의 차이를 보였으며, 기후 변화조건에 따라 센서 추적방식의 오류가 발생할 수도 있음을 확인하였으며, 집광형 발전 시스템을 구현하기 위한 기술적 조건을 갖추고 기후의 변화 조건에서도 최대 발전량을 생산해 낼 수 있도록 태양의 위치를 추적할 수 있는 최적화된 TMC(Tracker Motion Controller)를 연구하였다.

집광형 발전 시스템에서 기존의 광센서로부터 입력된 값을 비교하고 태양의 위치를 추적하는 센서방식에 의한 태양위치 추적방식은 흐리거나 비가 오는 날씨는 트래커의 이동이 정지 상태로 있게 되는데, 센서의 사각지대에서 태양이 떠오르게 될 경우 센서가 태양의 위치를 추적하지 못하여 발전을 할 수 없는 경우가 발생한다.

따라서 이를 보완하고자 광센서를 이용하여 태양의 위

치를 추적하지만 일정시간 발전량이 나오지 않을 경우 기후 조건에 변화 생겼음을 예측하고, GPS의 수신된 시간의 데이터 및 현재 지역에 대한 천문학 데이터를 통해 현재의 태양의 위치를 찾아서 태양의 위치를 추적하여 발전하는 방식의 알고리즘을 제안하고 TMC를 통해 집광형 시스템에 적용 후 결과를 분석하여 보았다. 본 논문은 3개월의 발전량을 비교한 결과 센서 방식의 집광형 태양광 발전 시스템이 평균 발전량은 2.78KW, 정격 대비 출력비율이 82.72%, 태양광 발전 시스템의 평균 발전량은 3.2KW, 정격 대비 출력비율은 95.24% 그리고 TMC가 적용된 집광형 태양광 발전 시스템의 발전량은 평균 발전량이 2.97KW, 정격대비 출력비율은 88.47%로 나타났다.

이 결과로 TMC가 적용된 시스템이 기존 CPV 시스템보다 평균 0.19 KW, 정격대비 출력 비율은 5.75% 더 효율이 높음을 확인하였고, 기후변화가 심하면 더 차이가 발생할 것이라 판단된다.

그러나 실측기간이 3개월의 데이터를 검증하였기에 향후 지속적인 실증적인 연구의 필요성이 요구되고, 태양전지의 발전효율이 높아지고 생산발전 단가가 줄이는 부분에 대한 지속적인 연구, 더불어 기후의 변화에 따른 최적의 발전 능력을 가진 TMC를 적용한 고효율 집광형 시스템에 대한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 판단되어지며, 국내·외에서도 본 논문에서 제안된 시스템을 더욱 향상시킬 수 있는 집광형 태양광 발전 시스템이 적용되고 연구되어 될 것으로 판단된다.

References

- [1] Kim Ji-Su, Lee Eung-Jik, Lee Chung-Sik “Best Practices Research Use of Solar Energy For Low Carbon Green City” The Korea Solar Energy Society Vol. 19. No1. pp. 37-42
- [2] Kotsopoulos A., Duarte J. L., Hendrix M. A. M., Heskes P. J. M., “Islanding behaviour of grid-connected PV inverters operating under different control schemes” Proceedings of the 2002 IEEE 33rd Annual IEEE Power electronics Specialists Conference, Vol.3, pp. 1506-1511. 2002
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/PSEC.2002.1022389>
- [3] P. L. Swart, J. D. Van Wyk, “Source tracking and power flow control of terrestrial photovoltaic panels for concentrated sunlight”, 12th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Vol. 1, pp. 700-705. 1998.
- [4] Ki-Tae Park, Jung-Sik Ckoi, Dong-Hwa Chung, "A Novel PV Tracking System Control Considering the

Power Loss with Change of Insolation" Kiice, Vol.22
No.6 pp.89-99. 2008

- [5] Jae-Min Lee, Young Kim, "Solar Power Generation System with Hybrid Sun Tracker" The Korean Society of Industrial Application, Vo.; 13 No. 2 pp.69-75. 2010
-

고 재 홍(Jae-Hong Ko)

[정회원]



- 2001년 8월 : 경상대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2010년 8월 : 순천대학교 대학원 전자공학과 박사수료
- 1991년 2월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 전기과 교수

<관심분야>

태양광 발전, 전기시스템제어