

## 태양광 발전의 효율 향상을 위한 이중모드 추적 시스템 제어

장미금, 고재섭, 최정식, 백정우, 강성준, 정동화  
순천대학교

### Two-mode tracking system control of PV generation for efficiency improvement

Mi-Geum Jang, Jae-Sub Ko, Jung-Sik Choi, Jung-Woo Baek, Sung-Joon Kang, Dong-Hwa Chung  
Sunchon National University

**Abstract** - This paper proposes two-mode tracking system control algorithm to improve efficiency of PV system. Two-mode control algorithm tracks sun position using sensor method and program method with insolation condition. Also, in this case that insolation is very low, tracking system is controlled by environment mode to reduce the power loss. Proposed algorithm is applied the PV system and analyzes the generation value. And this algorithm proves the validity of this paper through the experimental result.

#### 1. 서 론

최근, 기존 에너지원의 고갈과 공해물질의 배출로 인한 환경오염 등의 문제에 대한 대책으로 대체에너지 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 무공해이며 무한한 에너지자원인 태양에너지를 이용한 태양광 발전시스템이 각광받고 있다. 태양전지는 비, 눈 또는 구름에 의해 햇빛이 비치지 않는 날과 밤에는 전기가 발생하지 않을 뿐만 아니라 일사량의 강도에 따라 발전량이 변하게 된다. 따라서 일반적인 태양광 발전시스템은 사용자에게 항상 필요한 전력을 공급하기 위하여 모듈을 직·병렬로 연결한 태양전지 어레이와 전력 저장용 축전지, 전력 제어기 및 전력 변환장치 등의 주변장치로 구성된다.[1][2]

태양은 시간과 계절에 따라 위치가 항상 변하고 태양 에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 태양전지의 출력은 저밀도 에너지형인 관계로 태양광 위치 추적장치를 사용하여 지속적인 태양추적을 통해 종래의 고정된 방식에 비해 발전량 및 효율을 증가시킬 수 있다.[3]

태양광 발전 추적시스템은 지리적인 위치의 위도와 경도를 시간의 변수로 사용하여 태양의 궤적을 추적하는 프로그램 방식과 광센서를 이용하여 광량 차이를 추적하는 센서방식, 프로그램 방식과 센서 방식을 혼용한 방식 등으로 구성되어 있다. 이러한 태양 추적장치에 의한 발전 방식은 국외의 경우 1[MWp] 이상의 대규모 태양광 발전소의 발전효율을 높이기 위해 대형 추적식 태양전지 어레이를 사용하고 있다.[4]-[6] 이러한 종래의 태양광발전에서 사용되는 센서방식의 추적시스템은 광량이 적은 경우에 설정된 위치로 강제 이동하거나 현재 위치에서 정지하는 경우와 구름 및 안개 등 급변하는 기후환경에 의해 추적장치의 오동작의 문제점으로 태양의 정확한 추적이 불가능하다. 태양의 궤적을 천문학 알고리즘의 이용으로 실시간 추적하는 시스템인 프로그램 방식의 경우에는 기후 환경의 외부 요인에 대응하지 못함으로써 추적 장치의 불필요한 동작으로 인한 에너지 소비가 발생된다.

따라서, 종래의 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 이중 모드의 태양추적제어 알고리즘을 제시한다. 일사량의 조건에 따라 프로그램 방식과 센서방식으로 추적할 수 있는 자동 추적알고리즘을 제안하며, 일사량이 매우 안 좋은 경우와 비나 눈이 오는 경우에 대한 추적 알고리즘을 개발한다. 제시한 알고리즘을 태양광 발전시스템에 적용하여 발전량 및 효율을 분석하고, 실증실험을 통하여 본 논문의 타당성을 입증한다.

#### 2. 추적시스템의 제어 알고리즘

##### 2.1 프로그램 추적방식

태양전지의 발전량은 입사 광량에 비례하므로 같은 외부환경에서도 태양전지가 태양광 법선방향으로 위치할 때 발전량이 최대가 된다. 이처럼 태양전지가 태양광에 법선방향으로 위치하기 위해서는 현재 시간에 따른 태양의 위치에 대한 정보가 필요하다. 지구가 매일 1°씩 반시계 방향으로 태양을 공전하면서, 자전축은 23.45° 기울어져 서에서 동으로 자전한다. 이러한 현상으로 인해 태양의 방위각 및 고도를 계산하기 위해서는 계산 대상장소의 위도와 경도, 날짜, 시간이 필요하며 이로부터 적위, 균시차, 진 태양시, 태양의 시간각 등을 계산하여야 한다.

적위는 지구의 중심축과 태양의 중심축으로부터 일직선으로 생기는

광선과 지구의 적도면 사이에 형성된 각으로  $\delta$ 로 표현할 수 있으며, 식(1)과 같다.

$$\delta = 0.322003 - 22.9711\cos(t) - 0.14398\cos(3t) + 3.946380\sin(t) + 0.019334\sin(2t) + 0.059280\sin(3t) \quad (1)$$

여기서,  $t$ 는 일각을 나타낸다. 적위는 지구의 자전축이 23.45° 기울어져 있어서 매일 변하며, 양극단 사이에서  $\pm 23.45^\circ$ 로 바뀌고 북쪽일 때가 양의 값을 가진다. 태양의 시간각은 관측자 즉, 태양 전지판이 설치되어 있는 현지 자오선을 지난 후 시간권 사이의 각으로써 남점에서 서쪽방향으로 돌며 켄 크기를 시간각( $\omega$ )이라고 하며 식 (2)과 같다.

$$\omega = (T_{AS} - 12) \times 15^\circ = \left( T_{STD} + \frac{L_{ST} - L_{LOC}}{15} + EOT - 12 \right) \times 15^\circ \quad (2)$$

$T_{AS}$  : 진태양시,  $T_{STD}$  : 지방표준시,  $L_{ST}$  : 표준자오선의 경도,  $L_{LOC}$  : 대지의 경도,  $EOT$  : 균시차

균시차( $EOT$ )는 지구가 태양주위를 정원이 아닌 타원의 궤도로 고정함으로써 발생하는 진태양시와 평균태양시 사이의 시간차를 나타내며 식 (3)과 같다.

$$EOT = 0.258 * \cos(t) - 7.416 * \sin(t) - 3.648 * \cos(2t) - 9.228 * \sin(2t) \quad (3)$$

위 식 (1)~(3)에 의해 구해진 적위와 시간각을 이용하여, 고도각 및 방위각은 식 (4)과 식 (5)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\alpha_s = \sin^{-1}(\sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos \omega) \quad (4)$$

$$\gamma_s = \sin^{-1}\left(\frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha_s}\right) \quad (5)$$

$L$  : 대지의 위도

그림 1은 태양의 고도각과 방위각의 개념을 나타낸 것으로서 태양의 고도각( $\alpha_s$ )은 태양과 수평면이 이루는 각도를 말하고, 방위각( $\gamma_s$ )은 태양이 수평면에 투영된 위치가 정 남쪽과 이루는 각을 말한다.

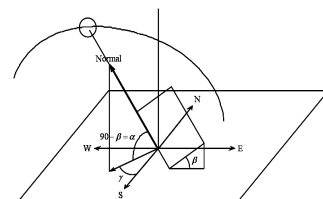


그림 1 태양의 방위각 및 고도.

## 2.2 광센서 추적방식

그림 2는 광센서 추적방식의 추적 알고리즘을 나타낸다. 광센서 추적방식은 센서오차에 의해 동작되며 센서오차가 설정된 오차범위 보다 적거나 같을 때 추적장치는 정지한다. 저 일사량일 경우에는 추적장치가 설정된 위치로 강제로 이동하거나 오동작하는 경우가 발생한다.

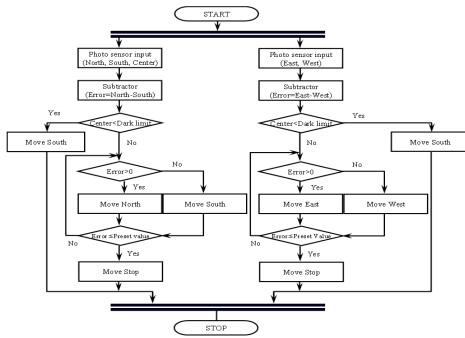


그림 2 광센서 추적방식의 추적 알고리즘.

## 3. 이중모드 추적 제어 알고리즘

일사량 변화에 따른 새로운 제어방법은 현재의 방위각 및 고도, 일사량의 변수를 이용하여 일사량이 추적장치의 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 추적장치의 오동작의 염려가 있으므로 추적장치의 제어기에서는 일정한 데드 밴드폭을 설정하여 설정된 지연시간 후에 일사량을 샘플링하여 설정된 값 이상의 일사량이면 추적장치는 자동 추적방식에 의하여 태양의 위치를 추적한다.

그림 3은 광센서 추적방식과 프로그램 추적방식의 단점을 보완하고 발전효율 향상을 위해서 일사량에 따라서 광센서 추적 방식과 프로그램 추적 방식을 자동으로 변경하여 제어 할 수 있는 이중모드 추적제어 알고리즘을 나타낸다.

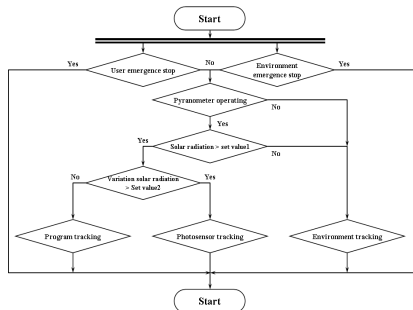


그림 3 이중모드 추적 제어 알고리즘.

이중모드 추적 제어알고리즘은 태양의 일사량이 설정 값 이상일 경우에는 광센서 추적방식 및 프로그램 방식으로 동작하며, 설정 값보다 작을 경우에는 환경모드로 동작하여 저 일사량에서 불필요한 전력소모를 줄이게 된다. 광센서 추적방식과 프로그램 추적방식의 자동 제어는 일사량의 변화량을 계산하여 일사량 변동값이 설정 값 이상일 경우에는 광센서 추적방식의 오동작을 줄이기 위해 프로그램 방식으로 동작하며, 설정 값보다 작을 경우에는 광센서 추적방식으로 동작하는 알고리즘이다.

## 4. 실험 결과

본 논문에서 사용된 태양전지 어레이는 210[Wp] 단결정 실리콘 태양전지 모듈로 태양전지 모듈 9장을 직렬로 연결하고 17병렬 시스템으로 설계하였다. 그림 4는 일사량이 적을 경우 추적 방식에 따른 발전량 변화를 나타낸다. 일사량이 적을 경우 센서 방식은 적은 일사량으로 인해 추적 장치가 동작하지 않아 발전량이 낮게 나타나고 있으며, 프로그램 방식 및 제시한 방법은 일사량이 높게 나타나고 있다.

그림 5는 일사량이 급변할 경우 발전량을 나타내며, 그림 6은 일사량이 좋은 경우의 발전량을 비교하여 나타낸다. 일사량이 급변할 경우나 일사량이 좋은 경우에도 마찬가지로 제시한 이중모드 추적 제어 알고리즘에 의한 발전량이 종래의 센서 및 프로그램 방식에 의한 발전량에 비해 높게 나타나고 있다.

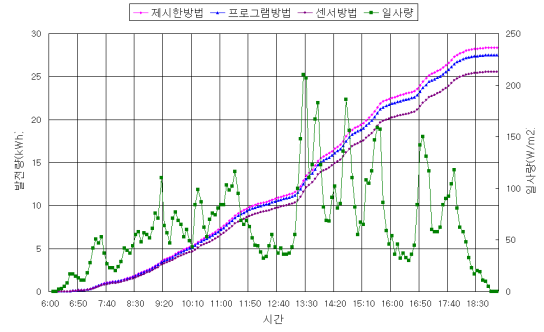


그림 4 추적방식에 따른 발전량 변화.(저 일사량)

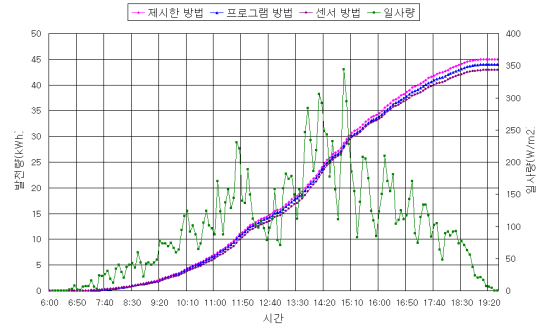


그림 5 추적방식에 따른 발전량 변화.(일사량 급변)

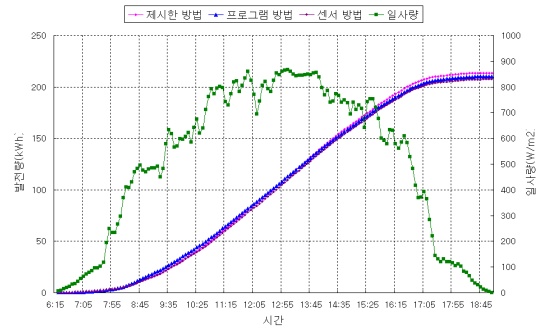


그림 6 추적 방법에 따른 발전량 변화.(고 일사량)

## 5. 결 론

본 논문에서는 태양광발전의 효율향상을 위하여 이중모드 방식의 태양추적 알고리즘을 제시하였다. 이중모드 추적 알고리즘에 의한 태양광발전의 발전량은 종래의 발전량에 비해 저 일사량일 경우 1.1[kW]와 일사량이 급변할 경우 1.2[kW] 및 일사량이 좋을 경우에는 1.9[kW] 정도 높게 나타났다. 이로서 제시한 알고리즘에 의한 태양광발전의 효율은 저 일사량일 경우 약 4.2[%]와 일사량이 급변할 경우 2.8[%] 및 일사량이 좋을 경우에는 1[%] 정도의 효율을 개선하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

## [참 고 문 헌]

- [1] L.H.Hwang, "A Study on Synchronized AC Power Source Voltage Regulator of Voltage Fed Inverter using a Photovoltaic effect" IEEK, Vol. 38, No. 8, 1998.
- [2] 정영석, 유권중, 정명용, 최재호, 최주엽, "변압기 없는 계통연계형 PV PCS 고찰" 전력전자학술대회 논문집 PP.551~554, 2002.
- [3] 이양규, 강신영, 오명복, 손경중, 김광현, "태양광 위치 추적을 이용한 태양광 가로등 연구" 전력전자학술대회 논문집 PP. 559~562, 2002.
- [4] W. A. Lynch, M. Salameh, "Simple eletro-optically controlled dual axis sun tracker", Solar Energy, Vol. 45(1990), pp. 65-69.
- [5] E. A. barber, H. A. Ingley, C. A. Morrison, " A solar powered tracking device for driving concentrating collectors", Alternative Energy Source, Vol. 1(1997), pp. 527-539.
- [6] B. P. Edwards, "Computer based sun following system", Solar Energy, Vol. 21(1998), PP. 491-496.