고효율 태양광 발전 시스템을 위한 능동형 추적 알고리즘 개발

(Development of Active Tracking Algorithm for High Efficiency PV system)

김순영* · 고재섭 · 최정식, 강성준, 백정우, 장미금, 정동화

(Soon-Young Kim*, Jae-Sun Ko, Jung-Sik Choi, Sung-Jun Kang, Jeong-Woo Baek, Mi-Geum Jang, Dong-Hwa Chung)

Abstract

This paper proposes active tracking algorithm to improve efficiency of PV system. Active tracking 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

태양광발전은 태양의 빛에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 시스템이다. 태양광발전은 무한하고 청정한 태양을 에너지원으로 사용하므로 연료가 필요 없고, 설비자체가 가동부분이나 열기관이 없어 수명이 길다. 또한, 다른 발전방식에 비하여 운전과 유지보수가 용이하다. 그러나 기존 발전방식에 비하여 발전 단가가 높고, 에너지 밀도가 희박하여 일정한 전력을 이용하기 위해서는 넓은 면적의 태양전지모듈 설치 장소가 필요하다. 그리고 기상조건 및 자연조건에 절대적인 영향을 받는다. 태양전지에서 발생되는 전력은 직류지만 대부분의 부하는 교류로 사용하기 때문에 태양광 발전의 출력을 교류로 변환시켜 사용하여야 한다[1]. 태양광 발전 추적 시스템은 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[2]-[4]. 이러한 종래의 태양광발전에 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 못함으로서 추적 장치의 불필요한 동작으로 인한 에너지 소비가 발생된다.

따라서, 종래의 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 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. 태양광 발전의 추적시스템 구조

태양광 발전시스템에서의 추적장치는 PV 어레이를 지지하는 구조물로서, 어레이 표면에 태양의 복사에너지의 입사각을 최소화하면 입사된 복사에너지는 최대가 되어 태양광 발전시스템에서 발전 효율을 높일 수 있다. 추적장치의 종류에는 단축 추적장치, 방위각 추적장치, 양축 추적장치 등이 있다. 그림 1은 단축 추적장치와 방위각 추적장치 및 양축 추적장치를 나타낸다.

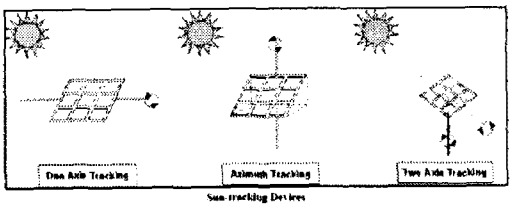

그림 1 PV 시스템의 추적장치의 종류.
Fig. 1 Type of tracking equipment of PV system.

단축 추적장치는 어레이면에 위치된 축이 회전함으로써 태양을 추적하며 그 축에 관한 설치 변수는 최대, 최소 경사각과 회전축의 설치 방위각 또는 고도각이다. 경사각의 크기와 설치 방위각에 따라 태양광 발전소의 부지 면적과 어레이의 그림자 영향으로 발전효율이 저하되므로 사전에 충분한 검토가 필요하다. 방위각 추적장치는 태양광 발전소 설치위치의 위도를 고려한 경사각으로

고정되고, 설치 변수는 설치 경사각 및 방위각, 회전각이며 회전축은 수직 축에 대해서 회전한다. 양축 추적장치는 항상 두 축이 회전함으로써 태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 제어한다.

2.1. 센서방식 추적 알고리즘

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

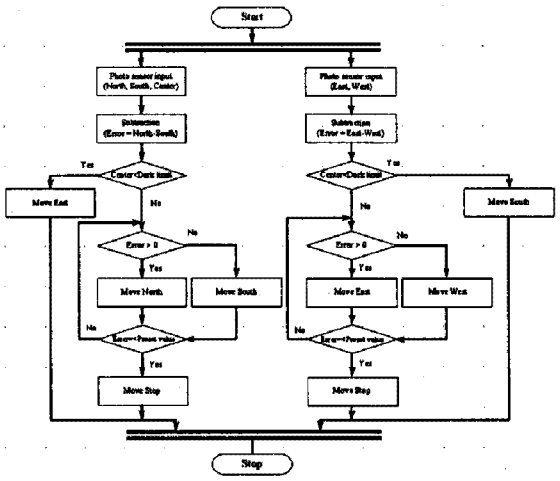

그림 2 광센서 추적방식 제어 알고리즘.
Fig. 2 Control algorithm of photo sensor tracking

2.2 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 δ로 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, t는 일각을 나타낸다. 적위는 지구의 자전축이 23.45° 기울어져 있어서 매일 변하며, 양극단 사이에서 ±23.45°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 잰 크기를 시간각(ω)이라고 하며 식 (2)과 같다.

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

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 고정함으로서 발생되는 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 이용하며, 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 3은 태양의 고도각과 방위각의 개념을 나타낸 것으로서 태양의 고도각(α_S)은 태양과 수평면이 이루는 각도를 말하고, 방위각(γ_s)은 태양이 수평면에 투영된 위치가 정 남쪽과 이루는 각을 말한다.

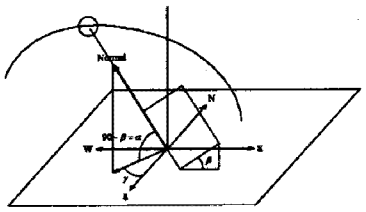

그림 3 태양의 방위각 및 고도.
Fig. 3 Azimuth and altitude of solar

3. 능동형 추적 알고리즘

일사량 변화에 따른 새로운 제어방법은 현재의 방위

각 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 추적장치의 오동작의 염려가 있으므로 추적장치의 제어 기에서는 일정한 데드 밴드 폭을 설정하여 설정된 지연 시간 후에 일사량을 샘플링하여 설정된 값 이상의 일사량이면 추적장치는 자동 추적방식에 의하여 태양의 위치를 추적한다.

그림 4는 광센서 추적방식과 프로그램 추적방식의 단점을 보완하고 발전효율 향상을 위해서 일사량에 따라서 광센서 추적 방식과 프로그램 추적 방식을 자동으로 변경하여 제어 할 수 있는 능동형 추적제어 알고리즘을 나타낸다.

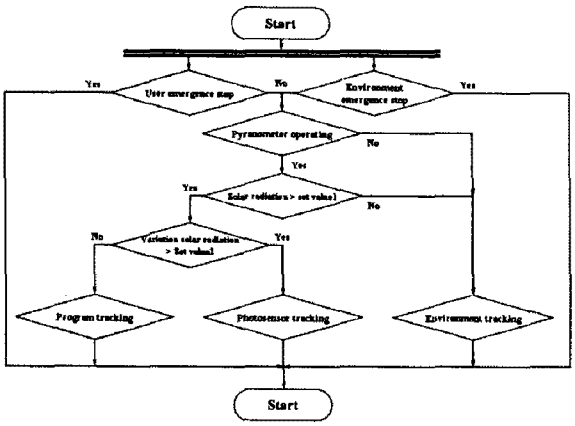

그림 4 능동형 추적 제어 알고리즘.
Fig. 4. Active tracking control algorithm

능동형 추적 제어 알고리즘은 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. 시스템 성능결과

추적 방식에 따른 발전량 및 교류전력, 직류전압, 전류를 비교 분석 하였다. 그림 5는 일사량이 적을 경우 추적 방식에 따른 발전량 변화를 나타낸다. 일사량이 적을 경우 센서 방식은 적을 일사량으로 인해 추적장치가 동작하지 않아 발전량이 낮게 나타나고 있으며, 프로그램 방식 및 제시한 방법은 일사량이 높게 나타나고 있다. 그림 6은 교류전력을 변화를 나타내고 있으며, 그림 7은 직류전압 및 전류의 변화를 나타내고 있다. 본 논문에서 제시한 방식이 프로그램 방식 및 센서 방식보다 발전량, 교류전력, 직류전압 및 전류에서 높게 나타나고 있다.

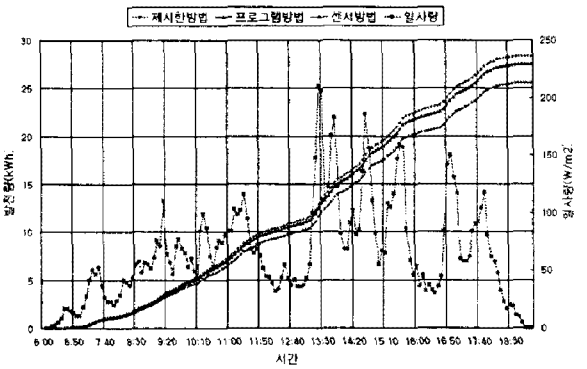

그림 5 추적방식에 따른 발전량 비교(저일사량)
Fig. 5 Comparison of generation volume with tracking methods(Low insolation)

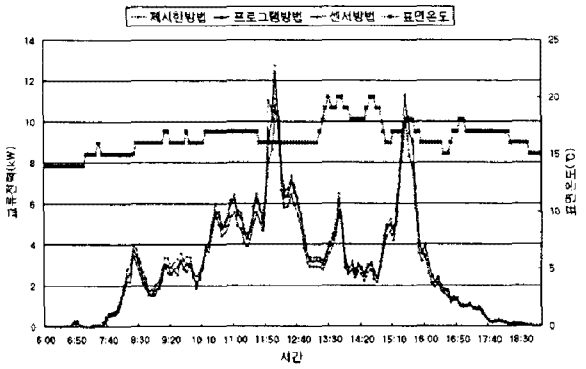

그림 6 추적방식에 따른 교류전력 및 표면온도 비교(저일사량)
Fig. 6 Comparison of AC Power and surface temperature with tracking methods(Low insolation)

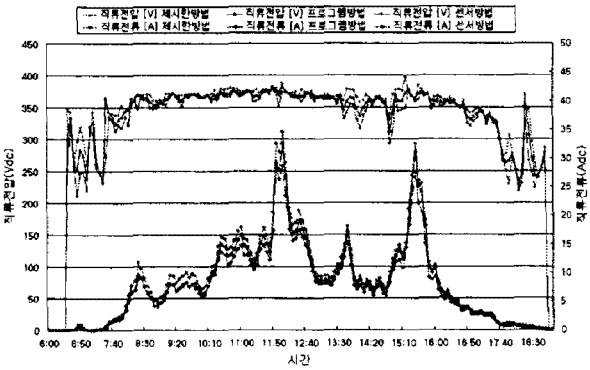

그림 7 추적방식에 따른 직류전압, 전류 비교(저일사량)
Fig. 7 Comparison of DC voltage, current with tracking methods(Low insolation)

그림 8은 일사량이 급변할 경우 발전량을 나타낸다. 본 논문에서 제시한 방식이 프로그램 방법 및 센서 방법에 비하여 발전량이 증가하였다. 그림 9는 일사량이

급변할 경우 직류 전압의 변화를 나타낸다.

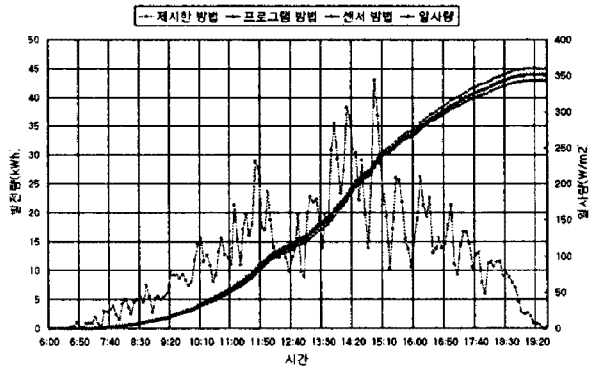

그림 8 추적방식에 따른 발전량 비교(일사량 급변)
Fig. 8 Comparison of generation volume with tracking methods(rapidly changing insolation)

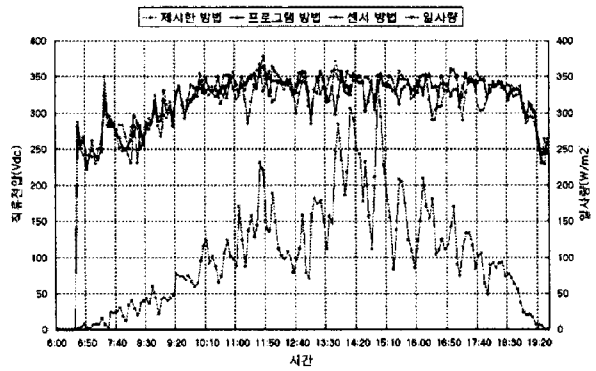

그림 9 추적 방식에 따른 직류전압 변화(일사량 급변)
Fig. 9 Comparison of DC voltage with tracking methods(rapidly changing insolation)

그림 10은 일사량이 좋을 경우에 추적방식에 따른 발전량 비교를 나타낸다. 본 논문에서 제시된 방식의 발전량이 프로그램 방법 및 센서 방법에 비하여 발전량이 증가하였다. 일사량이 좋을 경우 발전량 및 교류전력의 차이는 적었으나, 본 논문을 통해 제시된 방식이 프로그램 및 센서 방식에 비하여 발전량이 높게 나타났다.

그림 11은 추적 방식에 따른 교류전력의 변화를 나타낸다.

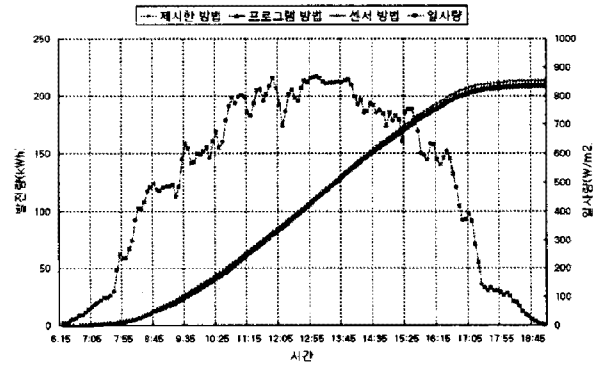

그림 10 추적 방법에 따른 발전량 비교(고 일사량)
Fig. 10 Comparison of generation volume with tracking methods(High insolation)

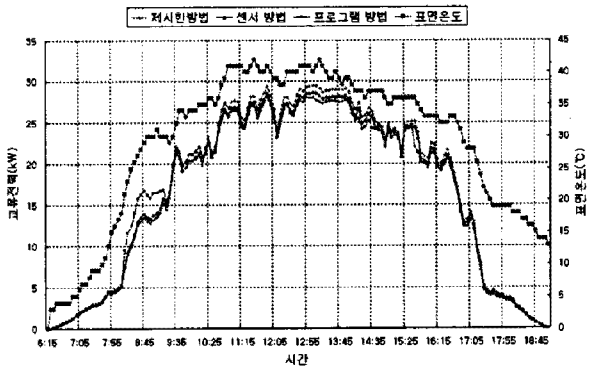

그림 11 추적 방법에 따른 교류전력 비교(고 일사량)
Fig. 11 Comparison of AC power with tracking methods(High insolation)

5. 결 론

본 논문에서는 태양광발전의 효율향상을 위하여 능동형 태양추적 알고리즘을 제시하였다. 능동형 추적 알고리즘은 일사량에 따라 프로그램 및 센서 방법으로 자동 변화하여 제어되며, 일사량이 설정 값 이하로 낮을 경우에는 추적을 하지 않는 환경모드로 동작하여 불필요한 추적에 의한 소모 전력을 줄여 발전효율을 향상 시킨다. 능동형 추적 알고리즘에 의한 태양광 발전의 발전량은 종래의 발전량에 비해 저 일사량, 일사량 급변, 고 일사량에 대하여 종래의 프로그램 및 센서 방식에 비하여 발전량이 높게 나타났다. 따라서 본 논문에서 제시한 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

참 고 문 헌

[1] Kazuyoshi Tsukamoto, "Photovotaic Power System Interconnected with Utility", Proceeding of the American Power conference, Vol. 1, pp.276-281, 1990.

[2] W. A. Lynch, M. Salameh, "Simple eletro-optically controlled dual axis sun tracker", Solar Energy, Vol. 45(1990), pp. 65-69.

[3] 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.

[4] B. P. Edwards, "Computer based sun following system", Solar Energy, Vol. 21(1998), PP. 491-496.