

PV 시스템의 효율 최적화를 위한 추적 시스템 개발

최정식, 고재섭, 김도연, 정병진, 정동화
순천대학교

Tracking System Development for Optimal Efficiency of PV System

Jung-Sik Choi, Jae-Sub Ko, Do-Yeon Kim, Byung-Jin Jung, Dong-Hwa Jung
Sunchon National University

Abstract - In this paper, it proposes a the high efficiency tracking system regarding power loss when operating a tracking system for environment variable such as a rapidly changing insolation to improve the power of PV tracking system. In case of tracking an azimuth and altitude of the sun in realtime, therefore, the actual PV power is less increasing than the power of tracking system fixed a specific position. To reduce the power loss, this paper proposes a novel control algorithm of the tracking system. The paper is analyzed efficiency about conventional PV tracking method, comparing proposed algorithm with high performance method. We show propriety of proposed algorithm by means of the demonstrable study.

1. 서론

전 세계적으로 석유자원의 고갈 및 고유가, 기후변화협약 발효에 따른 국제적인 새로운 환경 및 무역질서의 도래, 그리고 중국·인도 등 거대개도국의 에너지수요 폭발뿐만 아니라, 석유가격의 상승으로, 향후 국내 외 에너지환경은 새로운 도전과 변화의 국면에 처해 있다. IEA(국제에너지기구)의 2000년 보고서 "Experience Curves for Energy Technology Policy"에 의하면 집중적인 지원 및 기술개발로 전 세계 에너지 수요의 상당부분을 태양광발전으로 충당이 가능하여 21세기에너지 시장을 주도할 것으로 예측되고 있다.

이러한 태양광발전은 태양의 빛에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 시스템으로서 무한하고 청정한 태양을 에너지원으로 사용하므로 연료가 필요 없다. 그러나 기존 발전방식에 비하여 발전단가가 비교적 높고, 넓은 면적의 태양전지모듈 설치장소가 필요하며, 기상조건 특히 일사 조건에 절대적인 영향을 받는다.[1] 태양광 발전의 추적시스템은 퍼지룰 기초로 한 프로그램 방식의 추적장치[2], 포토센서를 이용한 추적시스템과 일사량계를 이용한 추적시스템 등의 센서방식[3], 태양의 방위각과 고도각 위치계산 및 태양센서에 의해 추적하는 Hybrid 시스템이 개발되었다.[4][5] 이러한 종래의 태양광 발전에 사용되는 센서방식의 추적시스템은 기후환경에 의해 추적장치의 오동작의 문제점으로 태양의 정확한 추적이 불가능하고 기후 환경의 외부 요인에 대응하지 못함으로써 추적장치의 불필요한 동작으로 인한 에너지 소비가 발생된다. 따라서 본 논문에서는 환경변수를 고려한 태양광 발전의 새로운 추적 시스템 개발은 일사량 센서, 풍속센서, 우적센서를 사용하여 기후환경의 변화에 따른 발전 출력특성을 분석하여 새로운 제어 방법을 도출하고 이에 따른 실험을 통하여 본 논문의 타당성을 입증한다.

2. 태양광 추적 시스템의 제어 알고리즘

추적장치 제어기의 제어방법은 위치 피드백의 프로그램 추적시스템과 광센서 추적시스템 및 두 가지 방법을 혼용한 하이브리드 방법 등 3가지 방법이 사용된다.

2.1 광센서 추적방식

광센서 추적방식은 센서오차에 의해 동작되며 센서오차가 설정된 오차범위 보다 적거나 같을 때 추적장치는 정지한다. 저 일사량일 경우에는 추적 장치가 설정된 위치로 강제로 이동하거나 오동작하는 경우가 발생한다.

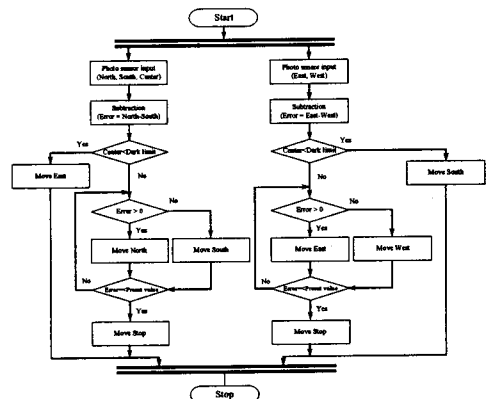


그림 1. 광센서 추적방식 제어 알고리즘.

Fig. 1. Control algorithm of photosensor tracking method

2.2 프로그램 추적시스템

태양의 위치를 계산하는 프로그램 방식은 천문학에서 정의된 지구의 운동 관계식을 이용하여 태양의 위치를 실시간으로 연산 또는 미리 정의된 테이블에 의하여 추적장치를 구동하여 PV 어레이의 위치를 제어하는 방법이다. 태양의 방위각 및 고도를 계산하기 위해서는 계산 대상 장소의 위도와 경도, 날짜, 시간이 필요하며 이로부터 적위, 균시차, 진 태양시, 태양의 시간각 등을 계산하여야 한다. 적위는 지구의 중심 축과 태양의 중심 축으로부터 일직선으로 생기는 광선과 지구의 적도면 사이에 형성된 각으로 δ 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 은 일 각을 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 남접에서 서쪽방향으로 돌며 켜 크기를 시간각(ω)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

3. 효율 최적화 제어 알고리즘

안개 및 구름, 비로 인한 저 일사량 경우 태양빛의 산란 효과(Refraction effect)는 태양광 발전에 많은 영향을 미친다. 태양 추적장치가 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 추적장치인 경우에는 광센서의 미세한 오차로 인하여 레드 밴드 폭을 적게 하여 제어 시에는 산란광 때문에 추적장치의 오동작이 발생하여 불필요한 소비전력이 발생되며 발전량에는 영향을 미치지 못한다. 그리고 레드 밴드 폭을 크게 한 경우에는 추적장치의 미동작으로 소비전력을 줄일 수 있지만 태양의 방위 및 고도의 위치 오차가 크게 되어 발전량이 적어 발전효율을 감소시킨다. 따라서 본 논문에서는 태양의 위치가 추적 가능한 위치일 때 일사량의 아날로그 0-5Vdc 값을 A/D 컨버터 입력을 받아 설정된 값 이상의 일사량이면 프로그램 방식으로 태양의 위치와 어레이가 범선이 되도록 추적장치를 제어하며 일사량이 설정된 값 이하가 되면 추적장치는 설정된 위치로 이동 후 정지한다. 외부 센서신호의 신호 보정을 위하여 1차 지연을 사용하여 추적장치의 아날로그 입력치리를 하였으며 1차 지연함수의 제어 블록도는 그림 2와 같다.

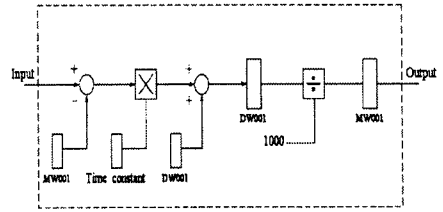


그림 2. 1차 지연함수.
Fig. 2 First-order lag function.

그림 3과 4는 일사량 및 레인센서 아날로그 입력 값의 변화에 따른 제어 순서도를 나타낸다. 사용자에 의한 비상 및 풍속 센서에서 설정 값 이상의 풍속 값이 입력될 때 추적장치는 제어기의 설정위치로 강제로 이동한다. 또한 설정된 일사량보다 적은 값의 일사량이 제어기에 입력 될 때에는 추적장치가 환경제어 트래킹 모드로 전환하고 비나 적설 값을 센싱하여 미리 설정된 경사각으로 태양광 어레이를 이동 후 정지한다. 비나 적설 값을 감지 못 할 경우는 태양의 방위각 및 고도각에 따라 추적장치는 정해진 수평위치로 이동 후 대기한다. 추적장치가 유효한 제어영역에서 일사량이 설정된 값 이상으로 입력되는 경우 현재의 태양의 방위각 및 고도각을 제어하는 모드로 전환된다.

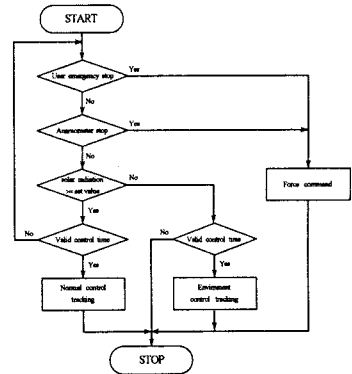


그림 3. 일사량 변화에 따른 제어 순서도.
Fig. 3 Control flow-chart by radiation change.

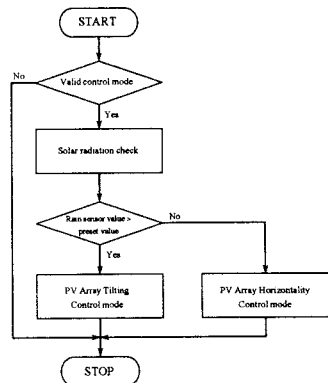


그림 4 레인센서 변화에 따른 제어 순서도.
Fig. 4 Control flow-chart by rain sensor change.

4. 실험 및 결과

본 논문에서 적용한 태양광 발전 시스템의 추적장치는 양축 2그룹, 단축 1그룹으로 구성되어 있다. 1그룹 당 모듈 용량은 32kW이다. 또한 제시한 알고리즘의 타당성 분석을 위해 먼저 일사량 급변에 대하여 종래의 추적 방식인 센서방식과 프로그램 방식의 효율을 비교하였다.

4.1 추적방식에 따른 결과분석

그림 5는 일사량 감지에 따라 추적장치의 제어방식에 따른 발전량 비교를 나타낸 것으로 센서방식 추적장치와 프로그램방식 추적장치를 비교해보면 프로그램방식 추적장치 그룹(양축, 42kWh)이 센서방식 추적 장치그룹인(양축, 40.32kWh)보다 발전량이 증가했음을 알 수다 이는 센서방식 추적장치가 저 일사량으로 인한 광센서 입력의 변화 폭이 적어 추적장치가 동작하지 않아 발생하였다.

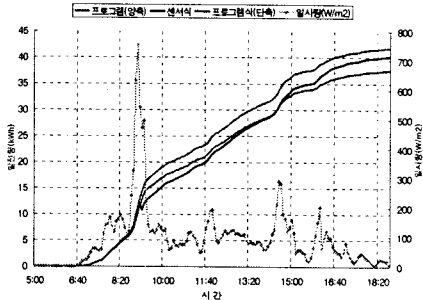


그림 5. 제어방식에 따른 발전량 비교.(저 일사량)
Fig. 5 Comparison with power by control method.(with low radiation)

그림 6은 일사량 감지에 대한 추적장치의 제어방법에 따른 발전량비교를 나타낸 것으로 센서방식 추적장치와 프로그램방식 추적장치를 비교해보면 프로그램방식 추적장치 그룹이(양축, 11.59kWh)과 프로그램방식 추적장치 그룹(단축, 10.38kWh)이 센서방식 추적장치 그룹(양축, 9.51kWh)보다 발전량이 증가했음을 알 수 있다. 따라서 일사량이 급변하는 경우 프로그램 방식이 광센서에 의한 방식보다 우수한 추적 방식임을 알 수 있다.

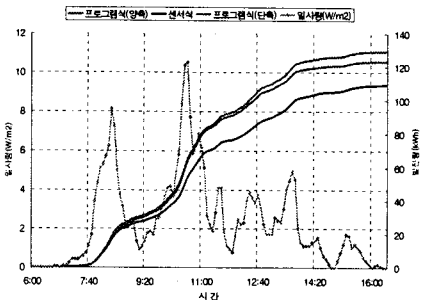


그림 6. 제어방식에 따른 발전량 비교.(폭우시)
Fig. 6 Comparison with power by control method.(with raining)

4.2 제시한 방식에 따른 결과분석

그림 7은 일사량 감지에 따라 본 논문에서 제시한 제어 방식과 종래의 프로그램방식에 따른 발전량을 비교하여 나타낸 것이다. 종래의 프로그램방식 추적장치 그룹(양축)과 본 논문에서 제안한 방법으로 일사량 변화에 따라 제어하는 추적장치 그룹(양축)으로

구성하여 실험하였다. 실험결과 저 일사량일 경우 추적장치가 실시간으로 추적하는 경우보다 현재의 태양의 방위각 및 고도각을 기준으로 추적장치를 강제로 특정 위치로 제어하는 방법이 발전량 증가함을 알 수 있다. 이로써 제시한 알고리즘을 적용한 추적방식이 일사량의 변화 또는 저 일사량일 경우에 종래의 프로그램 방식에 비해 성능이 우수하게 나타남을 알 수 있다.

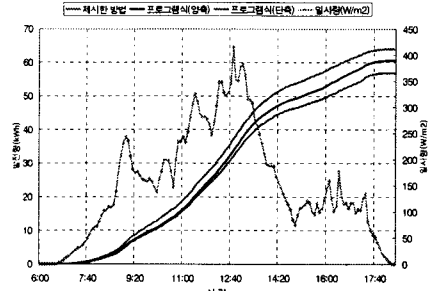


그림 7. 제어방식에 따른 발전량 비교.(제안한 방법)
Fig. 7 Comparison with power by control method.(with proposed method)

5. 결론

본 논문은 태양광 발전의 추적시스템에 관한 것으로 추적장치의 불필요한 전력소모를 줄일 수 있는 새로운 제어 알고리즘을 제시하였다. 종래의 추적식 태양광 발전에 사용되는 센서방식과 프로그램 방식은 기후 환경의 외부요인에 대응하지 못함으로써 추적장치의 불필요한 동작으로 인한 에너지 소비가 발생된다. 특히 센서 방식은 광량이 적은 경우에 설정된 위치로 강제 이동하거나 현재 위치에서 정지하는 경우와 구름 및 안개 등 급변하는 기후환경에 의해 추적장치의 오동작의 문제점으로 발전량이 현저하게 감소되었다. 본 논문에서는 일사량 센서, 풍속센서, 우적센서를 사용하여 기후환경 변화에 빠르게 적용하고 센싱값과 프로그램의 설정값을 비교하여 추적장치가 능동적으로 동작할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 이러한 제어 알고리즘을 적용한 추적시스템은 종래의 프로그램 방식과 직류전압, 교류전압 및 발전량을 비교하였다.

제시한 제어 알고리즘을 적용한 추적시스템은 일사량 급변 또는 저 일사량일 경우 종래의 프로그램방식의 시스템에 비해 약 6%의 발전효율이 증가되었다. 따라서 본 논문에서 제시한 제어 알고리즘의 타당성을 입증 할 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] Dr. F Lasnier, Tony Gan Ang, "Solar Photovoltaic Handbook", Energy Technology Division Asian Institute of Technology, Vol.1 (1998), pp.10-50.
- [2] Hasan A Yousef "Design and Implementation of a Fuzzy Logic Computer-Controlled Sun Tracking System"
- [3] P.Roth, A. Georgiev, H. Boudinov, "Design and construction of a system for sun-tracking", Renewable Energy, 29 2004. 393-402.
- [4] 박영철, 강용혁, "Parabolic Dish형 태양열 집열기를 위한 2축 태양추적장치의 개발에 관한 연구", 한국태양에너지, Vol. 19, no. 4, pp. 81-99, 1999.
- [5] 박영철, 강용혁, "집광식 태양열 집열기의 태양추적장치를 위한 태양위치 계산", 한국태양에너지, Vol. 18, no. 3, pp. 87-94, 1998..