기후환경 변화에 대한 태양광 추적 시스템의 효율최적화 제어

(Efficiency optimization control of photovoltaic tracking system with climate and environment variation)

최정식* · 고재섭 · 정철호 · 김도연 · 정병진 · 전영선 · 정동화

(Jung-Sik Choi* · Jae-Sub Ko · Chul-Ho Jung · Do-Yeon Kim · Byung-Jin Jung · Young-Sun Jun · Dong-Hwa Chung)

Abstract

In this paper proposes a novel tracking algorithm regarding the power loss when operating a tracking system for 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 nonel 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. 서 론

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][2] 태양광 발전의 추적시스템은 펴지를 기초로 한 프로그램 방식의 추적장치[3][4], 포토센서를 이용한 추적시스템과 일사량계를 이용한 추적시스템 등의 센서방식[5][6], 태양의 방위각과 고도각 위치계산 및 태양센서에 의해 추적하는 Hybrid 시스템이 개발되었다.[7][8] 이러한 종래의 태양광 발전에 사용되는 센서방식의 추적시스템은 기후환경에 의해 추적장치의 오동작의 문제점으로 태양의 정확한 추적이 불가능하고 기후 환경의 외부 요인에 대응하지 못함으로서 추적장치의 불필요한 동작으로 인한 에너지 소비가 발생된다. 따라서 본 논문에서는 환경변수를 고려한 태양광 발전의 새로운 추적시스템 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 발전의 추적시스템 구조

고정식인 경우에는 태양광 발전소의 PV 에레이 구성에서 가장 일반적인 형태이며 PV Array는 고정된 구조 위에 설치되며, 설치변수는 태양광 발전소 설치위치의 위도를 고려한 경사각 및 방위각이다. 계절에 따라 수동적으로 경사각을 수정 할 수 있는 구조를 갖는 경사 가변형 발전시스템의 경우 설치변수는 방위각과 태양광 발전소 설치위치의 위도를 고려한 계절별 또는 월별 경사각이다

추적장치의 종류에는 단축 추적장치, 방위각 추적장치, 양축 추적장치 등이 있다. 단축 추적장치는 어레이 면에 위치된 축이 회전함으로써 태양을 추적하며 그 축에 관한 설치 변수는 최대, 최소 경사각과 회전축의 설치 방위각 또는 고도각이다. 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.

그림 1은 단축 추적장치와 방위각 추적장치 및 양축 추적장치를 나타내고 있다.

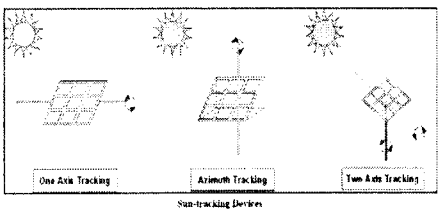

그림 1 PV 시스템의 추적장치의 종류.
Fig. 1 Type of tracking equipment of PV system.

3. 추적 시스템의 제어 알고리즘

추적장치 제어기의 제어방법은 위치 피드백의 프로그

램 추적시스템과 광센서 추적시스템 및 두 가지 방법을 혼용한 하이브리드 방법 등 3가지 방법이 사용된다.

3.1 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.

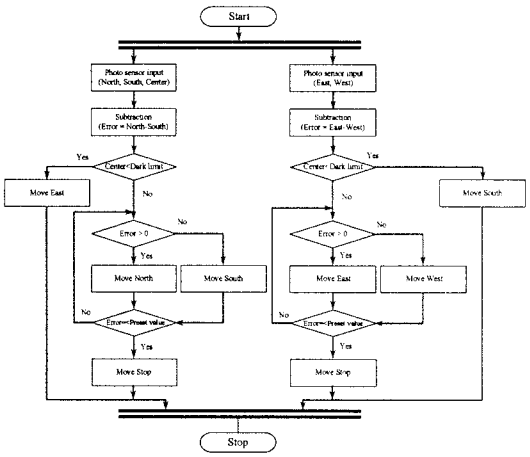

그림 2 광센서 추적방식 제어 알고리즘.
Fig. 2 Control algorithm of photo sensor tracking method.

3.2 프로그램 추적시스템(위치피드백 방식)

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.

3.2.1 태양 위치 계산

태양의 방위각 및 고도를 계산하기 위해서는 계산 대상 장소의 위도와 경도, 날짜, 시간이 필요하며 이로부터 적위, 균시차, 진 태양시, 태양의 시간각 등을 계산하여야한다.

적위는 지구의 중심 축과 태양의 중심 축으로부터 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, t은 일 각을 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 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 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 4는 연중 태양의 방위각 및 고도각 변화를 나타내고 있다.

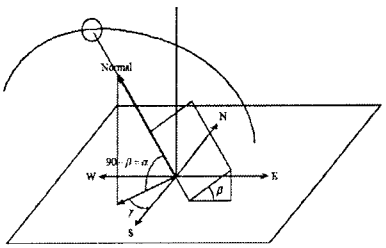

그림 3 태양의 방위각 및 고도.
Fig. 3 Azimuth and altitude of solar.

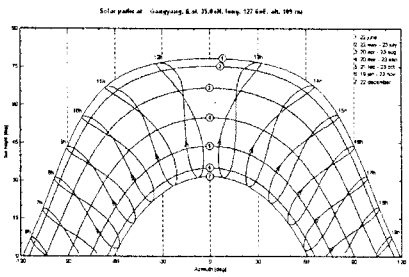

그림 7 태양의 방위각 및 고도 변화.
Fig. 7 Azimuth and altitude change of solar.

3.3 프로그램 및 광센서 추적시스템

센서에 의한 방법의 경우 일정 각도가 벗어난 경우 태양 추적이 되지 않는 점을 보완하기 위해 프로그램에 의해 시간에 따른 태양의 위치를 결정하고 센서로 정확한 위치를 추적하는 방법을 사용할 수 있다. 이 방법은 프로그램이 비교적 간단하면서도 정확한 태양의 위치 추적이 가능하고 오류도 적어지는 장점이 있다. 그러나 태양의 위치를 추적할 수 있는 프로그램이 필요하고 이 물질에 의한 문제를 완전히 해결하지 못하며 센서 추적에 비해 회로가 복잡한 단점이 있다.

4. 일사량 변화에 따른 제어 알고리즘

일사량 변화에 따른 새로운 제어 방법은 현재의 방위각 및 고도, 일사량의 변수를 이용하여 일사량이 추적장치의 제어 가능한 범위에서 태양의 방위각 및 고도각에 따라 설정된 일사량의 값보다 적은 경우에는 설정된 위치로 추적장치가 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 지연시간 후에 일사량을 샘플링하여 설정된 값 이상의 일사량이면 추적장치는 프로그램 방식에 의하여 태양의 방위각 및 고도각을 제어한다.

그림 5와 6은 일사량 및 레인센서 아날로그 입력 값의 변화에 따른 제어 순서도를 나타낸다.

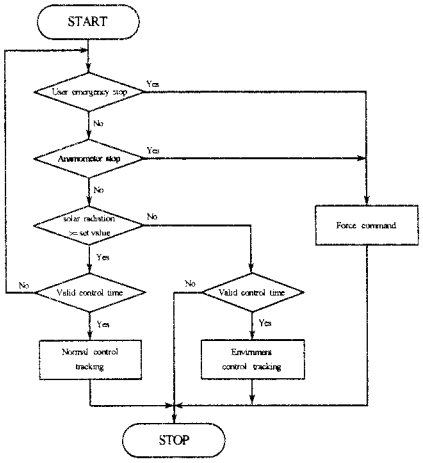

그림 5 일사량 변화에 따른 제어 순서도.
Fig. 5 Control flow-chart by radiation change.

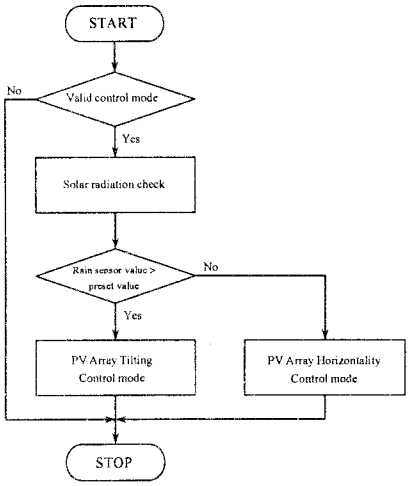

그림 6 레인센서 변화에 따른 제어 순서도.
Fig. 6 Control flow-chart by rain sensor change.

5. 실험 및 결과

그림 7은 본 논문에서 제시한 제어 방식의 추적장치의 제어방법에 따른 표면온도 및 교류전력 변화를 나타내고 있다.

그림 8은 본 논문에서 제시한 제어 방식과 종래의 제어방법에 따른 직류전압 및 직류전류 변화를 나타내고 있다. 제안한방법의 직류전압 및 전류의 값이 종래의 방법보다 크게 입력되고 있다.

그림 9는 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.

발전량은 종래의 프로그램방식이 60.57kWh, 제시한 알고리즘 방식이 64.06kWh, 단축 프로그램방식이 56.93kWh으로 나타내고 있으며 제시한 알고리즘의 센서방식이 종래의 프로그램방식에 비해 5.7%의 발전 효율이 증가하였다. 이로써 제시한 알고리즘을 적용한 추적방식이 일사량의 변화 또는 저 일사량일 경우에 종래의 프로그램 방식에 비해 성능이 우수하게 나타남을 알 수 있다.

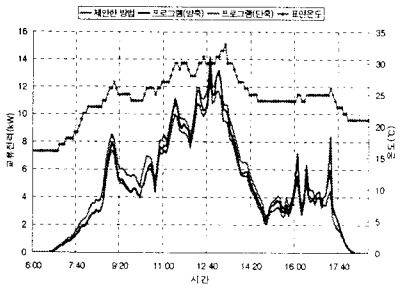

그림 7 기후환경에 따른 표면온도 및 교류전력 변화.(제안한 방법)

Fig. 7 Change of surface temperature and AC Power by climate environment. (with proposed method)

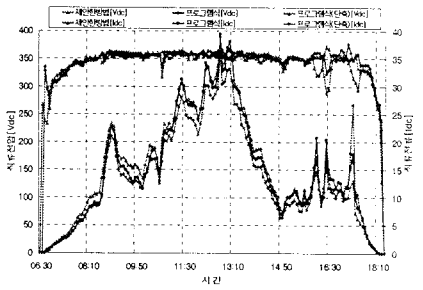

그림 8 기후환경에 따른 직류전압 및 전류 비교.(제안한 방법)

Fig. 8 Comparison with DC voltage and current by climate environment. (with proposed method)

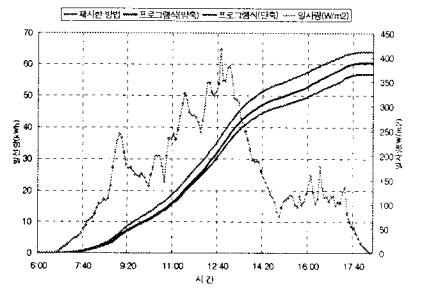

그림 9 제어방식에 따른 발전량 비교.(제안한 방법)

Fig. 9 Comparison with power by control method.(with proposed method)

6. 결 론

본 논문은 태양광 발전의 추적시스템에 관한 것으로 추장장치의 불필요한 전력소모를 줄일 수 있는 새로운 제어 알고리즘을 제시하였다. 종래의 추적식 태양광 발전에 사용되는 센서방식과 프로그램 방식은 기후 환경의 외부요인에 대응하지 못함으로서 추적장치의 불필요한 동작으로 인한 에너지 소비가 발생된다. 특히 센서방식은 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 적응하고 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 5.7%의 발전효율이 증가되었다. 따라서 본 논문에서 제시한 제어 알고리즘의 타당성을 입증 할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Dr. F Lasnier, Tony Gan Ang, "Solar Photovoltaic Handbook", Energy Technology Division Asian Institute of Technology, Vol.1 (1998), pp.10-50.

[2] Ruther R., Silva A., Montenegro A., Salamon I., Araujo R., " The petrobras 45.4 kwp, grid-connected PV system : a comparative study of six thin-film module types operating in brazil", Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Vol. 1 (2002),pp. 1440-1443.

[3] Hasan A. Yousef "Design and Implementation of a Fuzzy Logic Computer-Controlled Sun Tracking System"

[4] Daniel A. Pritchard "Sun Tracking by Peak Power Positioning for Photovoltaic Concentrator Arrays"

[5] P.Roth, A. Georgiev, H. Boudinov, "Design and construction of a system for sun-tracking", Renewable Energy, 29 2004. 393-402.

[6] P.Roth, A. Georgiev, H. Boudinov, "Cheap two axis sun follow device", Energy Conversion and Management 46 2005 1179-119.

[7] 박영칠, 강용혁, "집광식 태양열 집열기의 태양추적장치를 위한 태양위치 계산", 한국태양에너지, Vol. 18, no. 3, pp. 87-94, 1998.

[8] 박영칠, 강용혁, "Parabolic Dish형 태양열 집열기를 위한 2축 태양추적장치의 개발에 관한 연구", 한국태양에너지, Vol. 19, no. 4, pp. 81-99, 1999.