

# 일사량 변화에 따른 전력손실을 고려한 새로운 태양광 추적 시스템 제어

(A Novel PV Tracking System Control Considering the Power Loss with Change of Insolation)

박기태\* · 최정식 · 정동화

(Ki-Tae Park · Jung-Sik Choi · Dong-Hwa Chung)

## 요 약

본 논문은 태양광 발전 추적 시스템의 발전량을 증가시키기 위해 일사량 급변에 대한 추적 장치 기동 시 전력소모를 고려한 새로운 추적 알고리즘을 제시한다. 종래의 태양광 발전에 사용되는 센서방식의 추적시스템은 구름 및 안개 등 급변하는 기후환경에 의해 추적 장치의 오동작의 문제점으로 태양의 정확한 추적이 불가능하다. 또한 프로그램 방식의 경우에는 기후 환경의 외부 요인에 대응하지 못함으로써 추적 장치의 불필요한 동작으로 인한 에너지 소비가 발생된다. 이러한 이유로 태양 추적 장치가 실시간으로 태양의 방위각 및 고도 각을 추정하는 경우에도 실제 태양광 발전량은 특정한 위치에 고정되어 있는 경우보다 발전량이 증가하지 못한다. 본 논문에서는 이러한 전력소모를 줄이기 위한 추적시스템의 새로운 제어 알고리즘을 제시한다. 또한 종래의 태양광 추적 방식과 제시한 방법의 효율을 분석하고, 실증연구를 통하여 제시한 알고리즘의 타당성을 입증한다.

## 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. The tracking system of sensor method used in a conventional PV power station is unable to exactly track a sun position when lacking in the intensity of radiation and has the problem is malfunction of tracking system by a rapidly changing climatic. The tracking system of program method spends too much energy on the unnecessary operation of tracking system because that is unable to adapt itself to a outside factor of climatic environment. 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. Also, this paper is analyzed efficiency of traditional solar tracking method and proposed method, prove validity of proposed algorithm through demonstrable study.

Key Words : Photovoltaic, Insolation, Efficiency, Solar Position Tracking

\* 주저자 : (주)대양테크 차장

Tel : 061-793-5925, Fax : 061-794-5925, E-mail : bosom@korea.com

접수일자 : 2008년 3월 27일, 1차심사 : 2008년 4월 2일, 심사완료 : 2008년 4월 14일

## 1. 서 론

전 세계적으로 석유자원의 고갈 및 고유가, 기후 변화협약 발효에 따른 국제적인 새로운 환경 및 무역질서의 도래, 그리고 중국·인도 등 거대개도국의 에너지수요 폭발뿐만 아니라, 석유가격의 상승으로, 향후 국내외 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 21세기 에너지 시장을 주도할 것으로 예측되고 있다.

이러한 태양에너지 이용시스템은 에너지시스템의 다양화에 대응한 에너지 공급시스템의 하나로서 지구 환경문제 관점에서 유망한 공급 수단으로 인정되고 있다. 태양광발전은 태양의 빛에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 시스템으로서 무한하고 청정한 태양을 에너지원으로 사용하므로 연료가 필요 없다. 또한 다른 발전방식에 비하여 운전과 유지보수가 용이하고 설비자체가 태양에너지의 광기전력 효과를 이용하여 직접 직류전력으로 변환하는 태양전지로 구성되기 때문에 운전관리비를 최소화 할 수 있고 수명이 길며, 수요나 지형에 맞게 설계할 수 있으므로 송전시설이 필요하지 않아 송·배전 손실을 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다.

현재까지 가장 신뢰성이 있고 위험부담이 적은 태양광발전 기술은 결정질 규소모듈(단결정, 다결정, 리본-규소)이며 가장 많이 상용화된 태양전지 모듈로서 효율은 12~17[%]이고, 내구연한은 30년 정도이다. 그러나 기존 발전방식에 비하여 발전단가가 비교적 높고, 지표면에 떨어지는 태양에너지는 단위 면적당 출력이 적어 이를 활용하기 위해서는 넓은 면적이 소요되는 저밀도 에너지원으로서 전력용으로 사용하기 위해서는 넓은 면적의 태양전지모듈 설치장소가 필요하며, 기상조건 특히 일사 조건에 절대적인 영향을 받는다[1-2]. 따라서 기존의 전기 설비에 비해 발전단가가 높아 경제성을 갖추기 위해서는 태양전지에 대한 효율 증대, 모듈 생산 시 원가 절감, 전력변환 기술, 태양 추적 장치 등 관련 분야

기술에 대한 많은 연구가 필요하다.

태양광 발전의 추적시스템은 퍼지를 기초로 한 프로그램 방식의 추적 장치를 설계하여 태양을 효과적으로 추적하는 시스템 구현과 성능시험을 통해 발전 효율의 우수성을 입증하였다[3-4]. 또한 포토센서를 이용한 추적시스템과 일사량계를 이용한 추적시스템 등의 센서방식을 이용한 태양광을 추적하는 시스템이 제안되었다[5-6]. 태양 추적 시스템이 응용된 것으로 약 650~1200[°C]의 고온이 요구되는 태양열 집열기 시스템에 사용되는 Parabolic Dish형 추적 장치를 위한 태양의 방위각과 고도각 위치계산 및 태양센서에 의해 추적하는 Hybrid 시스템이 개발되었다[7-8].

이러한 종래의 태양광 발전에 사용되는 센서방식의 추적시스템은 광량이 적은 경우에 설정된 위치로 강제 이동하거나 현재 위치에서 정지하는 경우와 구름 및 안개 등 급변하는 기후환경에 의해 추적 장치의 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. 또한 센서 및 프로그램 방식인 경우는 태양광의 추적 정밀도 향상에 관한 연구가 많지만 기후 및 환경에 따른 불필요한 추적 장치의 에너지 손실에 관한 연구는 없는 실정이다.

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

PV 어레이 설치 형태에 따라 분류하면 고정식 및 추적식 태양광 발전 시스템으로 구성 할 수 있다. 그림 1은 고정식 태양광 발전 시스템을 나타내고 있고 그림 2는 경사가변형 태양광 발전 시스템을 나타내고 있다.

고정식인 경우에는 태양광 발전소의 PV 어레이 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

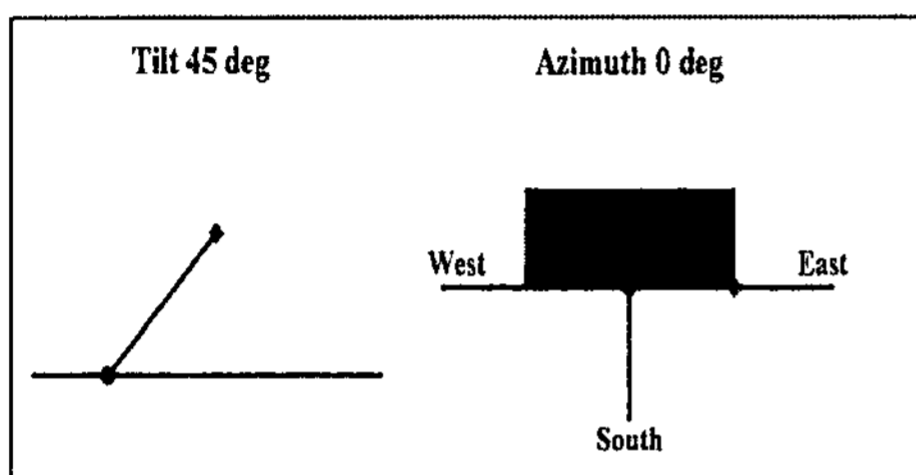


그림 1. PV 시스템의 고정식 발전 시스템  
Fig. 1. Fixed generation system of PV system

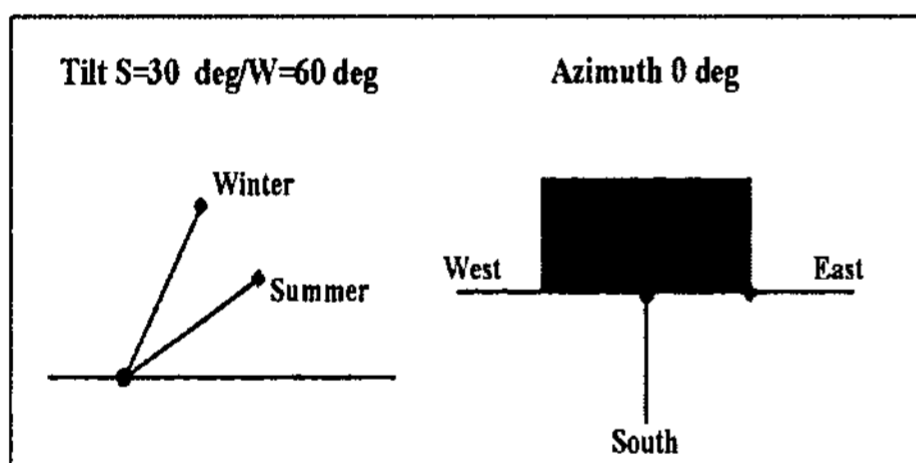


그림 2. PV 시스템의 경사 가변형 발전 시스템  
Fig. 2. Slope variable type generation system of PV system

태양광 발전시스템에서의 추적 장치는 PV 어레이를 지지하는 구조물로서, 어레이 표면에 태양의 복사에너지의 입사각을 최소화하면 입사된 복사에너지는 최대가 되어 태양광 발전시스템에서 발전 효율을 높일 수 있다[9-13].

추적 장치의 종류에는 단축 추적 장치, 방위각 추적 장치, 양축 추적 장치 등이 있다.

단축 추적 장치는 어레이 면에 위치한 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 발전효율의 저하되므로 사전에 충분한 검토가

필요하다. 방위각 추적 장치는 태양광 발전소 설치 위치의 위도를 고려한 경사각으로 고정되고, 설치 변수는 설치 경사각 및 방위각, 회전각이며 회전축은 수직 축에 대해서 회전한다. 양축 추적 장치는 항상 두 축이 회전함으로써 태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 제어한다.

그림 3은 단축 추적 장치와 방위각 추적 장치 및 양축 추적 장치를 나타내며, 표 1은 설치변수를 나타내고 있다.

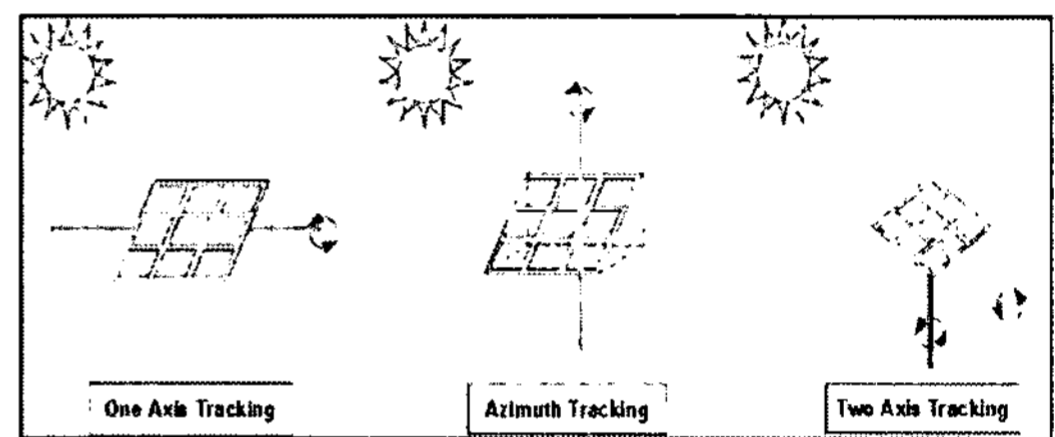


그림 3. PV 시스템의 추적 장치의 종류  
Fig. 3. Type of tracking equipment of PV system

표 1. 설치변수  
Table 1. Installation variable

Tracking Mode	Parameters required
No tracking	PV Array의 경사 및 방위각
Seasonal tilt adjustment	PV Array의 경사 및 방위각 또는 고도각
1-axis tracking	추적축의 경사 및 방위각
2-axis tracking	None
Azimuth tracking	추적축의 경사 및 방위각

### 3. 추적 시스템의 제어 알고리즘

추적 장치 제어기의 제어방법은 위치 피드백의 프로그램 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 추

## 일사량 변화에 따른 전력손실을 고려한 새로운 태양광 추적 시스템 제어

적 장치는 정지한다. 저 일사량일 경우에는 추적 장치가 설정된 위치로 강제로 이동하거나 오동작하는 경우가 발생한다.

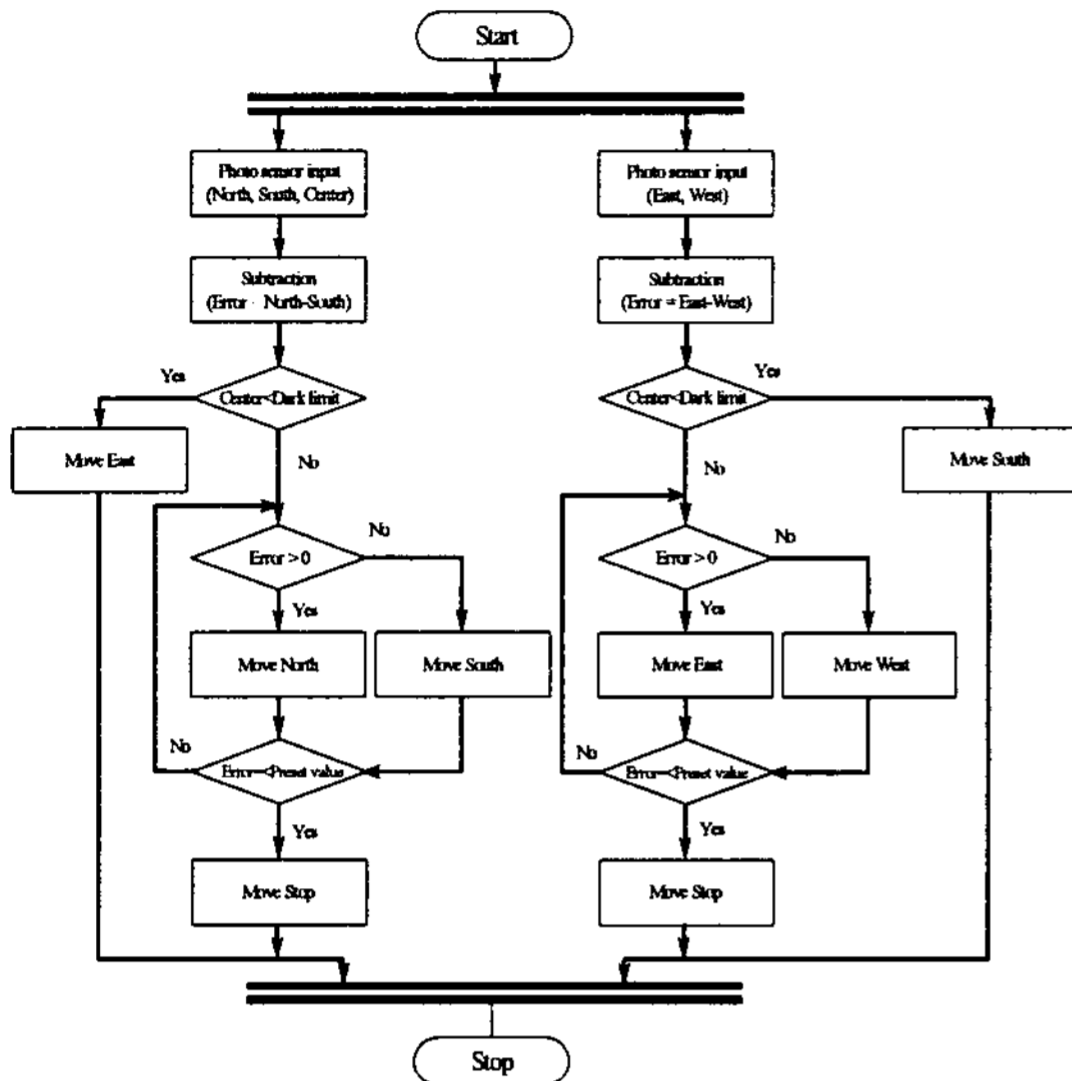


그림 4. 광센서 추적방식 제어 알고리즘  
Fig. 4. Control algorithm of photo sensor tracking method

### 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 추적 장치를 구동하여 PV 어레이의 위치를 제어하는 방법이다. 프로그램 방식에서 사용되는 기본 구성장치는 추적 장치의 위치를 확인 할 수 있는 센서류 및 마이크로프로세스가 내장된 제어기, 모터 및 감속기 등으로 구성된다. 프로그램 방식은 기상 변화에 상관없이 제어하며 일몰 후에는 원하는 위치로 제어할 수 있다. 하지만 프로그램 제어방법을 이용하는 경우에는 추적 장치의 정확한 방위각 설정 및 보정이 필요하다. 또한 일사량이 적은 경우에는 날씨에 무관하게 제어되므로 추적 장치의 구동으로 전력을 소비함으로써 PV시스템의 발전효율 향상에 도움이 되지 못하는 단점이 있다.

### 3.2.1 태양 위치 계산

태양전지의 발전량은 입사 광량에 비례하므로 같은 외부환경에서도 태양전지가 태양광 법선 방향으로 위치할 때 발전량이 최대가 된다. 이처럼 태양전지가 태양광에 법선 방향으로 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 대상 장소의 위도와 경도, 날짜, 시간이 필요하며 이로부터 적위, 균시차, 진태양시, 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  $t$ 은 일 각을 나타낸다. 적위는 지구의 자전축이 23.45[°] 기울어져 있어서 매일 변하며, 양극단 사이에서  $\pm 23.45[°]$ 로 바뀌고 북쪽일 때가 양의 값을 가진다.

그림 5는 북위 35[°], 동경 126.7[°]에서 1년간 적위 변화곡선이다.

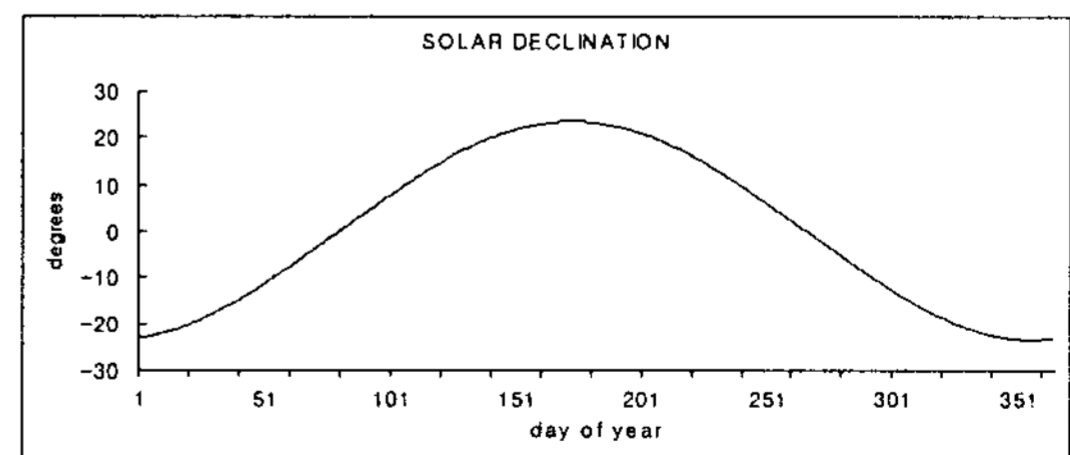


그림 5. 태양의 년 적위 변화  
Fig. 5. Declination variation of solar during 1 year

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)와 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 고정함으로서 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

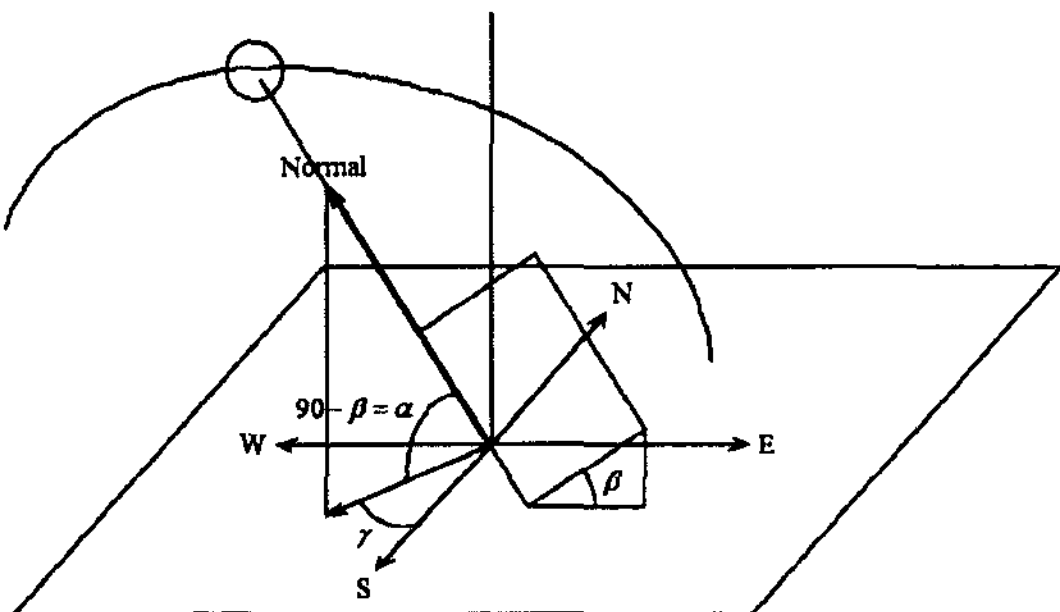


그림 6. 태양의 방위각 및 고도  
Fig. 6. Azimuth and altitude of solar

그림 6은 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 7은 연중 태양의 방위각 및 고도각 변화를 나타내고 있다.

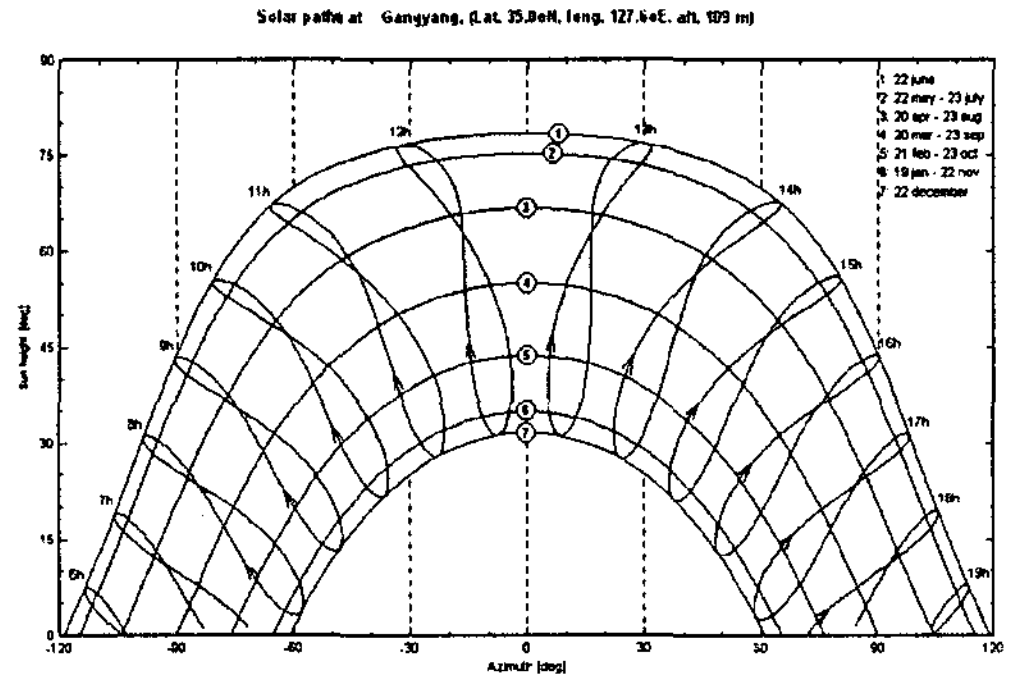


그림 7. 태양의 방위각 및 고도 변화  
Fig. 7. Azimuth and altitude change of solar

### 3.2.2 PSA 알고리즘

PSA 알고리즘[14]의 특징은 다음과 같다.

- ① 달력의 날짜와 우주의 시간을 합하여 율리안 날짜를 계산하는데 효과적인 방법으로 혼합하여 사용하기 쉽게 하였다.
- ② 변수들의 범위와 life span 을 제어하여 메모리 이용을 향상시켰다.
- ③ 태양의 남, 북 반구에 근거한 태양의 방위각 계산이 필요하지 않고 단순하며 강력한 표현으로 속도와 견고함을 향상시켰다.
- ④ 계수와 조건의 도입과 시차의 정정으로 Michalsky의 the Nautical Almanac의 간단한 함수를 수정하여 정확도를 향상시켰다.

PSA 알고리즘의 입력은 시간 위치이고, 고려할 항목 중 짧은 시간은 날짜(년, 달, 날짜)와 일반적인 시간(시간, 분, 초)으로 주어진다. 위치는 관측하는 위도와 경도의 각도 값으로 주어진다. 위도는 북반구에 대해 +로 고려하고, 경도는 동쪽에서 시작한다.

율리안 날짜는  $jd$  로 식 (6)에서 입력 데이터로 계산한다.

$m$  은 월,  $y$  는 년도,  $d$  는 월의 날짜,  $hour$  는 십진수의 일반적인 시간에서 날짜의 시간을 나타낸다. 즉 시간의 함수는 분과 초를 갖으며, 정수 이하의 자

일사량 변화에 따른 전력손실을 고려한 새로운 태양광 추적 시스템 제어

리는 무시한다.

$$jd = (1461 \times (y + 4800 + (m - 14) / 12)) / 4 + (367 \times (m - 2 - 12 \times ((m - 14) / 12))) / 12 - (3 \times ((y + 4900 + (m - 14) / 12) / 100)) / 4 + d - 32075 - 0.5 + hour / 24.0 \quad (6)$$

이러한 표현은 Fliegel과 Van Flinders(1968)이 제시한 것과는 마지막 2 term 동안은 차이가 난다. 이 term의 덧셈(addition)은 주어진 순간의 시간에 대하여 십진수의 율리안 날짜의 계산을 가능하게 한다. Fliegel과 Van Flinders의 원래의 표현에 따라, Gregorian 이나 proleptic Gregorian에서 B.C 4800년 3월 1일 이후의 날짜에서 대해서는 유효하다.

태양의 황도좌표 율리안 날짜로부터 식 (7)~식 (12)을 이용하여 계산된다(모든 라디안 각도에서).

$$n = jd - 2451545.0 \quad (7)$$

$$\Omega = 2.1429 - 0.0010394594 \times n \quad (8)$$

$$L(\text{mean longitude}) = 4.8950630 + 0.017202791698 \times n \quad (9)$$

$$g(\text{mean anomaly}) = 6.2400600 + 0.0172019699 \times n \quad (10)$$

$$l(\text{ecliptic longitude}) = L + 0.03341607 \times \sin(g) + 0.00034894 \times \sin(2g) - 0.0001134 - 0.0000203 \times \sin(\Omega) \quad (11)$$

$$ep(\text{obliquity of the ecliptic}) = 0.4090928 - 6.2140 \times 10^{-9} \times n + 0.0000396 \times \cos(\Omega) \quad (12)$$

황도에서 하늘 좌표까지의 변환은 표준 삼각법으로 가능하며 식 (13), 식 (14)로 나타낼 수 있다.

$$ra(\text{right ascension}) = \tan^{-1} \left[ \frac{\cos(ep) \times \sin(l)}{\cos(l)} \right] \quad (13)$$

$$\delta(\text{declination}) = \sin^{-1}[\sin(ep) \times \sin(l)] \quad (14)$$

조심해야 할 것은 천체가 지평선에 오름을 적절하게 계산하여야 한다. 식 (13)에서 0과  $2\pi$  사이 값을 갖는다. 천체에서 수평좌표까지의 변환은 식 (15)~식 (21)을 통해 얻을 수 있다.

$$gmst = 6.6974243242 + 0.0657098283 \times n + hour \quad (15)$$

$$lmst = (gmst \times 15 + Long) \times (\pi / 180) \quad (16)$$

$$\omega(\text{hour angle}) = lmst - ra \quad (17)$$

$$\theta_z = \cos^{-1}[\cos(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) + \sin(\delta) \sin(\Phi)] \quad (18)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left[ \frac{-\sin(\omega)}{\tan(\delta) \cos(\Phi) - \sin(\Phi) \cos(\omega)} \right] \quad (19)$$

$$Parallax = \frac{EarthMeanRadius}{AstronomicalUnit} \times \sin(\theta_z) \quad (20)$$

$$\theta_z = \theta_z + Parallax \quad (21)$$

지구의 일반적인 반지름과 태양과의 거리는 다음 식 (22)과 식 (23)으로 나타낼 수 있다.

$$EarthMeanRadius = 6371.01 \text{ km} \quad (22)$$

$$AstronomicalUnit = 149597890 \text{ km} \quad (23)$$

### 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 이물질에 의한 문제를 완전

히 해결하지 못하며 센서 추적에 비해 회로가 복잡한 단점이 있다.

태양 추적시스템의 추적 정확도는 시스템의 구성 및 운영에 따른 여러 가지 복합적인 인자에 의하여 영향을 받는다. 프로그램 센서 조합방식 태양 추적 시스템의 입력신호로 사용되는 태양위치 역시 태양 추적시스템의 추적 정밀도에 영향을 미치는 중요한 인자이며 따라서 보다 정확한 태양위치의 계산이 요구된다.

#### 4. 일사량 변화에 따른 제어 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 데드 밴드 폭을 적게 하여 제어 시에는 산란광 때문에 추적 장치의 오동작이 발생하여 불필요한 소비전력이 발생되며 발전량에는 영향을 미치지 못한다. 그리고 데드 밴드 폭을 크게 한 경우에는 추적 장치의 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 0~5[Vdc] 값을 A/D 컨버터 입력을 받아 설정된 값 이상의 일사량이면 프로그램 방식으로 태양의 위치와 어레이가 법선이 되도록 추적 장치를 제어하며 일사량이 설정된 값 이하가 되면 추적 장치는 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 추적 장치의 오동작의 염려

가 있으므로 추적 장치의 제어기에서는 일정한 데드 밴드 폭을 설정하여 설정된 지연시간 후에 일사량을 샘플링 하여 설정된 값 이상의 일사량이면 추적 장치는 프로그램 방식에 의하여 태양의 방위각 및 고도각을 제어한다.

외부 센서신호의 신호 보정을 위하여 1차 지연을 사용하여 추적 장치의 아날로그 입력처리를 하였으며 1차 지연함수의 제어 블록도는 그림 8과 같다.

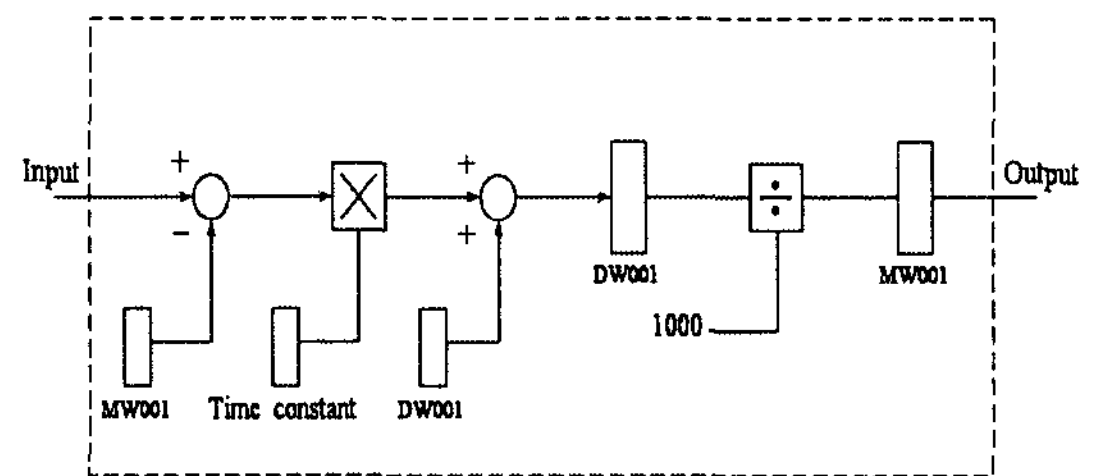


그림 8. 1차 지연함수  
Fig. 8. First-order lag function

그림 9와 10은 일사량 및 레인센서 아날로그 입력 값의 변화에 따른 제어 순서도를 나타낸다. 사용자에 의한 비상 및 풍속 센서에서 설정 값 이상의 풍속 값이 입력될 때 추적 장치는 제어기의 설정위치로 강제로 이동한다. 또한 설정된 일사량보다 적은 값의 일사량이 제어기에 입력 될 때에는 추적 장치가 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 추적 장치는 정해진 수평위치로 이동 후 대기한다. 추적 장치가 유효한 제어영역에서 일사량이 설정된 값 이상으로 입력되는 경우 현재의 태양의 방위각 및 고도각을 제어하는 모드로 전환된다.

#### 5. 실험 및 결과

일사량 변화에 따른 발전량을 분석하기 위하여 일사량 센서, 대기온도계와 모듈 표면온도계, 풍속계를 설치하였으며, 그룹별 PCS도 발전량, 직류 및 교류 전압, 전류 값을 실시간으로 데이터 저장장치에 5분 간격으로 저장하여 본 논문의 실험 데이터를 분석하

일사량 변화에 따른 전력손실을 고려한 새로운 태양광 추적 시스템 제어

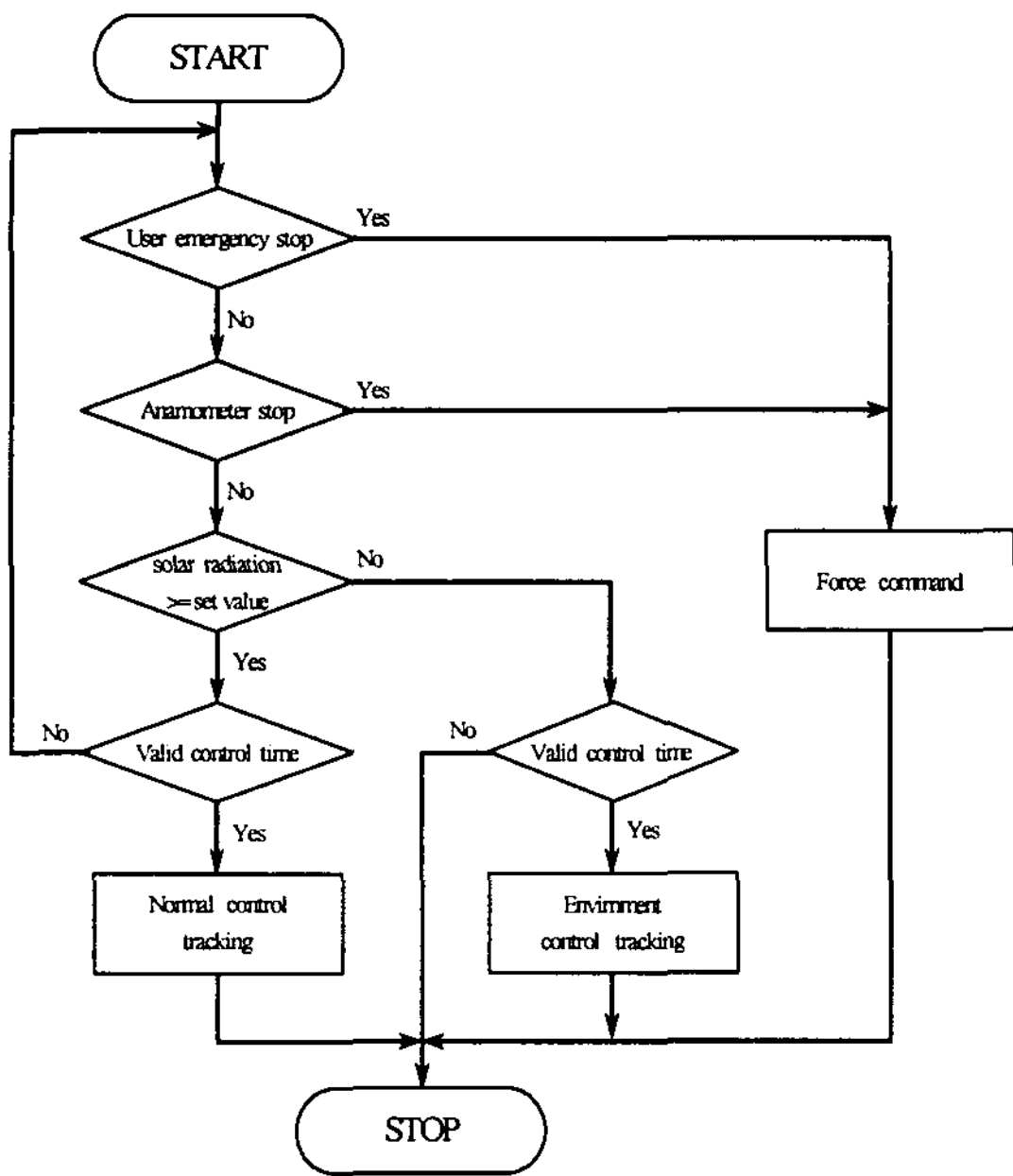


그림 9. 일사량 변화에 따른 제어 순서도  
Fig. 9. Control flow-chart by radiation change

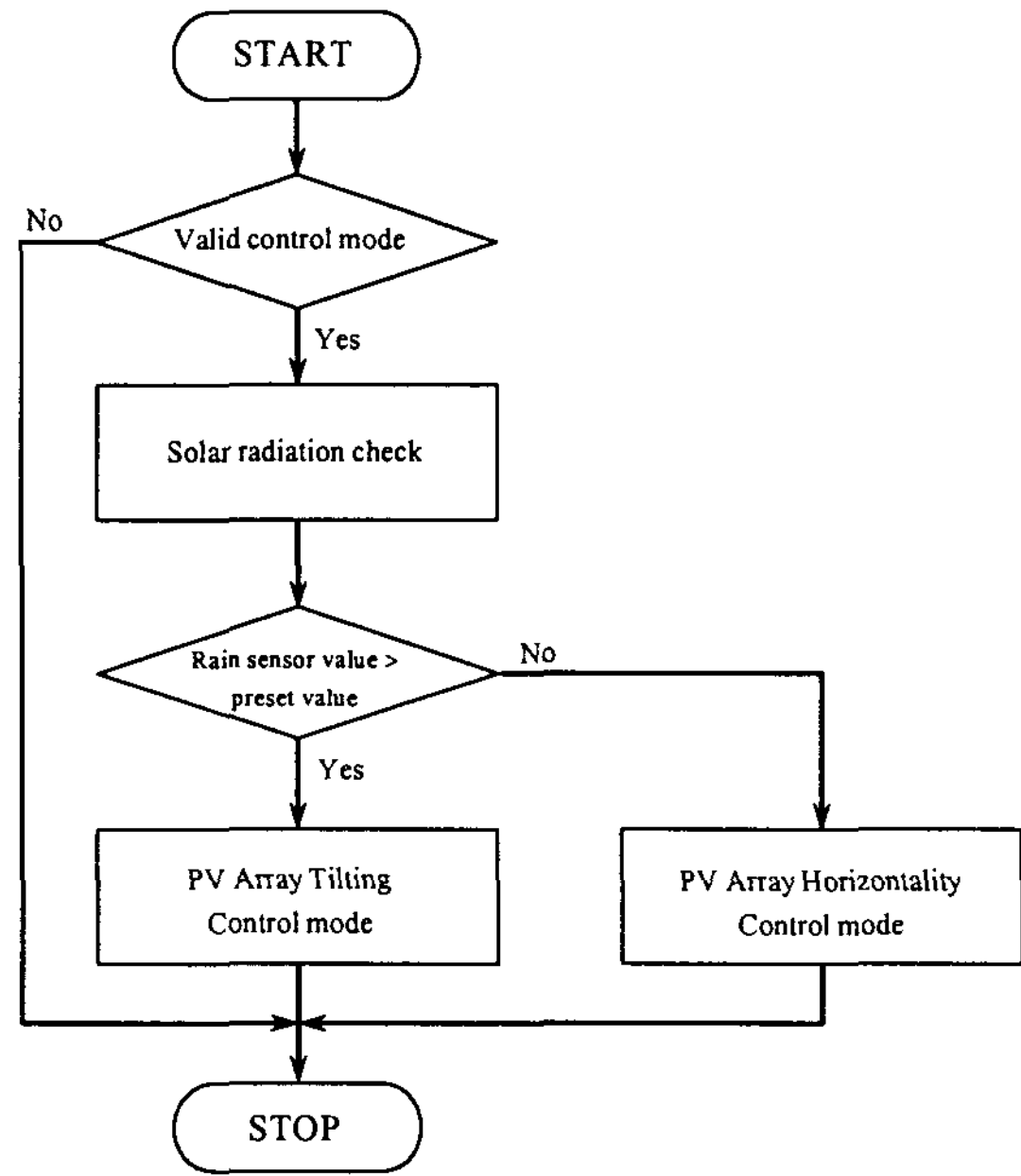


그림 10. 레인센서 변화에 따른 제어 순서도  
Fig. 10. Control flow-chart by rain sensor change

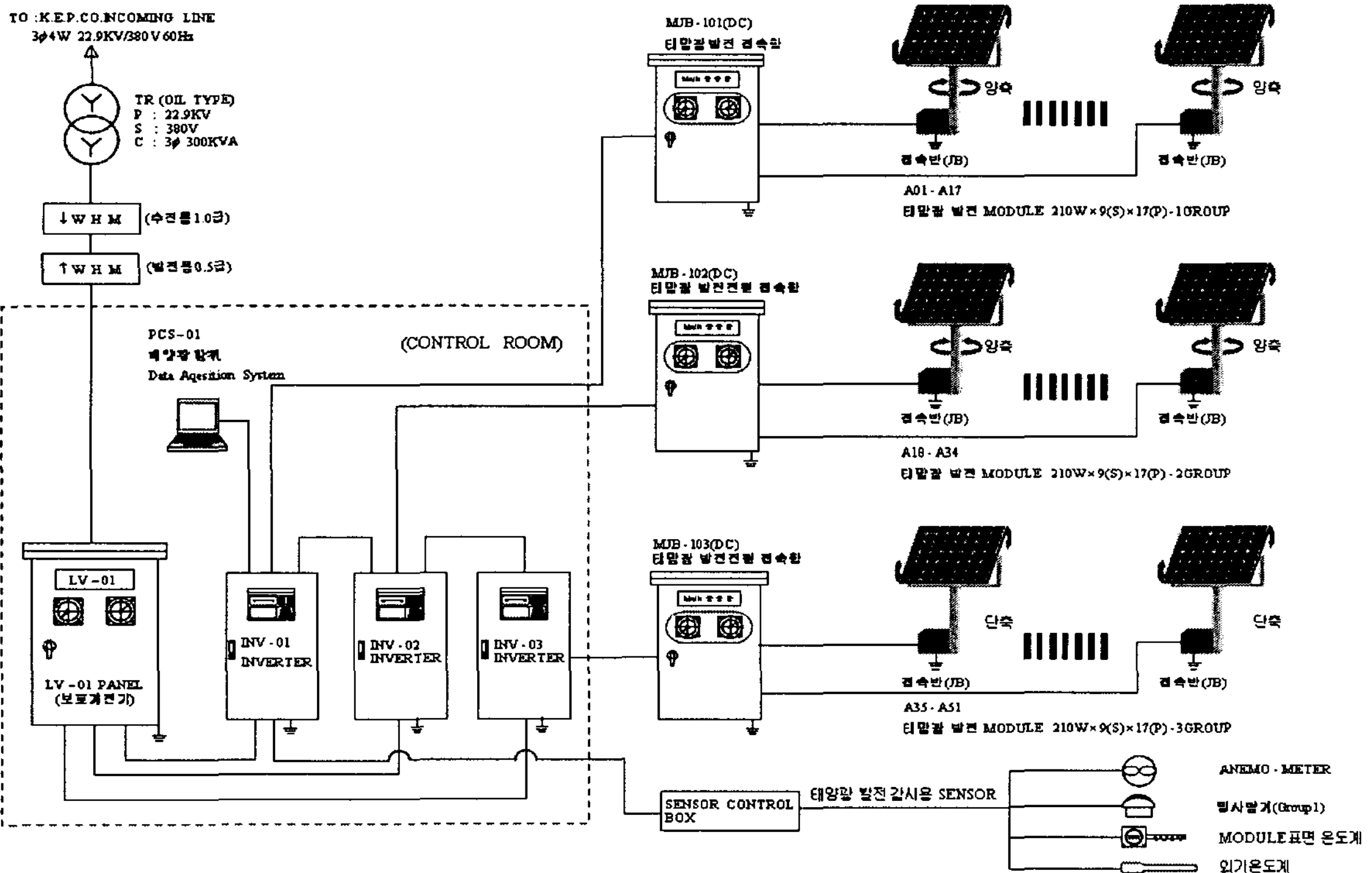


그림 11. 태양광 발전 시스템의 구성도  
Fig. 11. Configuration of PV generation system



는데 사용하였다.

그림 11은 본 논문에서 적용한 태양광 발전 시스템의 구성도를 나타내고 있으며, 추적 장치는 양축 2그룹, 단축 1그룹으로 구성되어 있다. 1그룹 당 모듈 용량은 32[kW]이다. 또한 제시한 알고리즘의 타당성 분석을 위해 먼저 일사량 급변에 대하여 종래의 추적 방식인 센서방식과 프로그램 방식의 효율을 비교하였다.

### 5.1 추적방식에 따른 결과분석

그림 12는 일사량 감지에 따라 추적 장치의 제어 방식에 따른 일사량 및 직류전압의 변화를 나타내고 있다. 실험당일 기상상태는 맑고, 흐리고, 비가 오는 등 기후 변화가 심한 상태임을 알 수 있다.

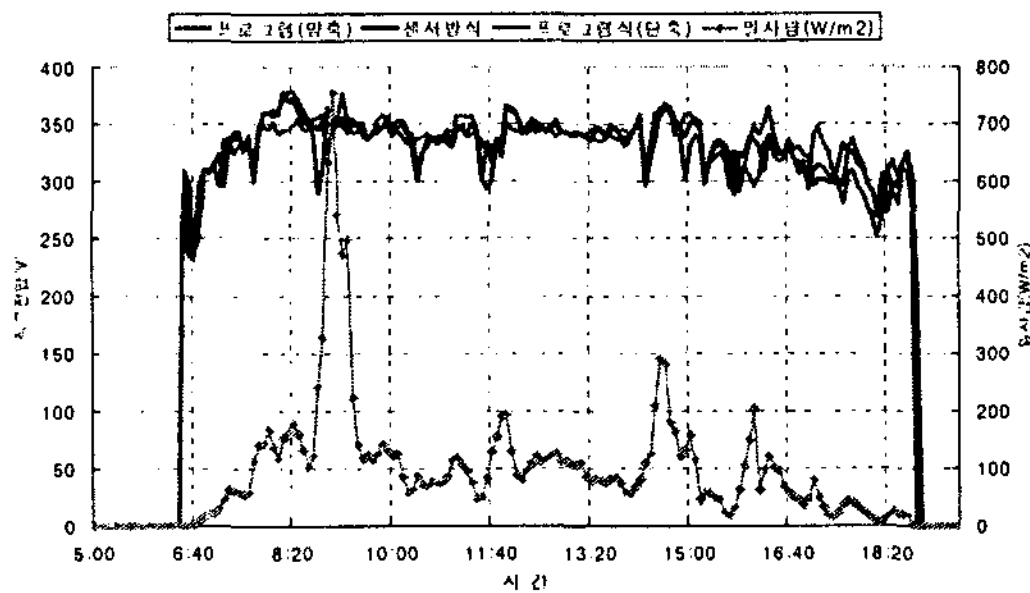


그림 12. 기후환경에 따른 일사량 및 직류전압 변화 (저 일사량)

Fig. 12. Change of DC voltage by climate environment (with low radiation)

그림 13은 일사량 감지에 따라 추적 장치의 제어 방식에 따른 발전량 비교를 나타낸 것으로 센서방식 추적 장치와 프로그램방식 추적 장치를 비교해보면 프로그램방식 추적 장치 그룹(양축, 41.7[kWh])이 센서방식 추적 장치 그룹인(양축, 40.15[kWh])보다 발전량이 증가했음을 알 수 있다.

이는 센서방식 추적 장치가 저 일사량으로 인한 광센서 입력의 변화 폭이 적어 추적 장치가 동작하지 않아 발생하였다. 프로그램방식(단축)의 발전량은 37.48[kWh]이다.

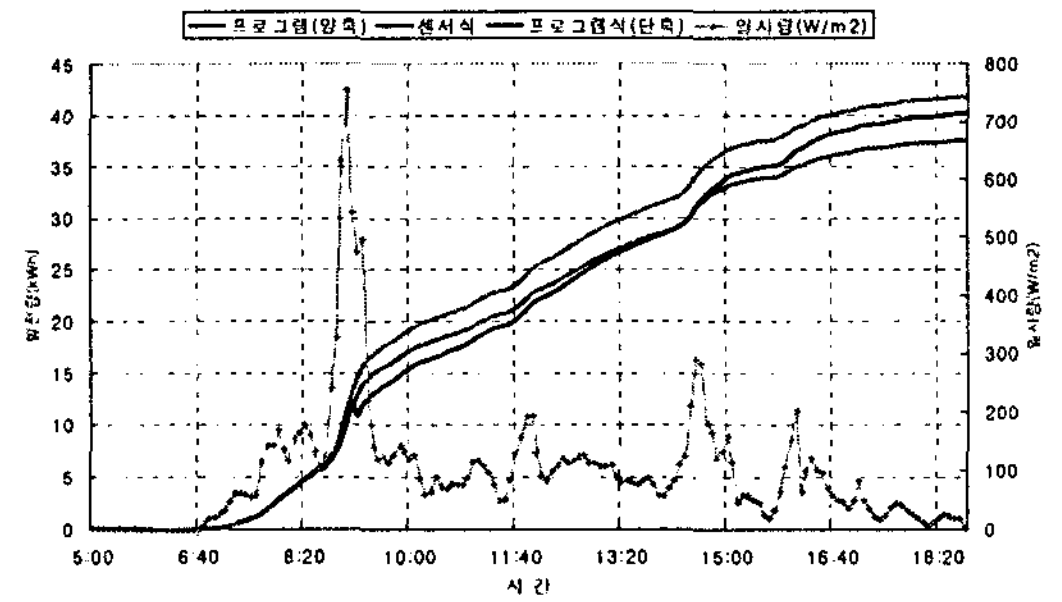


그림 13. 제어방식에 따른 발전량 비교(저 일사량)  
Fig. 13. Comparison with power by control method (with low radiation)

그림 14는 일사량 감지에 따라 추적 장치의 제어 방식에 따른 일사량 및 직류전압의 변화를 나타내고 있다. 일사량의 양을 분석해보면 실험당일 기상상태가 태풍으로 인한 폭우로 최대일사량이 120[W/m²]임을 확인할 수 있다.

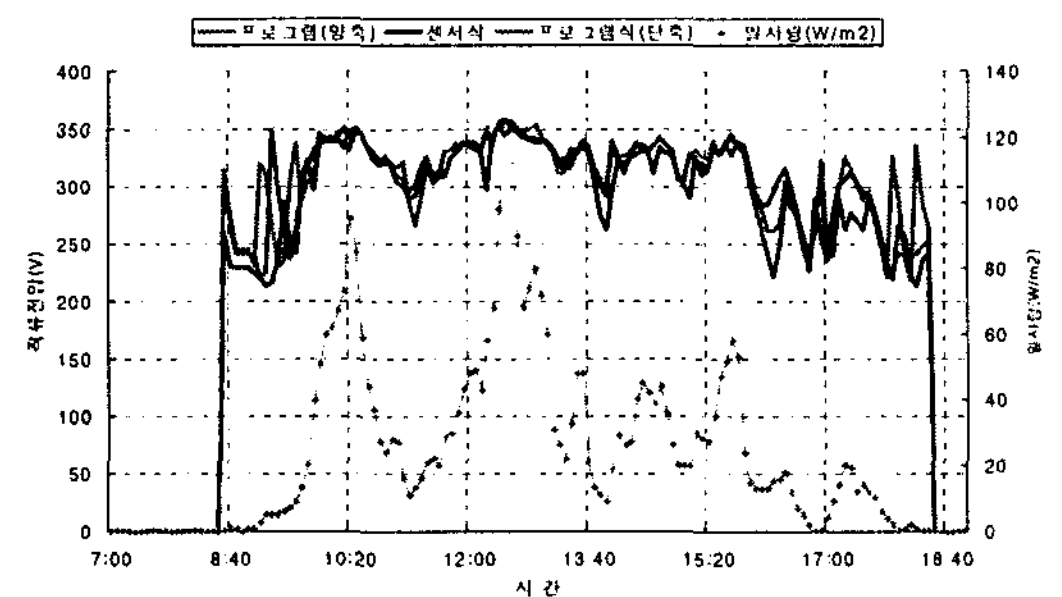


그림 14. 기후환경에 따른 일사량 및 직류전압 변화 (폭우시)

Fig. 14. Change of radiation and DC voltage by climate environment (with raining)

그림 15는 일사량 감지에 대한 추적 장치의 제어 방법에 따른 발전량비교를 나타낸 것으로 센서방식 추적 장치와 프로그램방식 추적 장치를 비교해보면 프로그램방식 추적 장치 그룹(양축, 11.08[kWh])과 프로그램방식 추적 장치 그룹(단축, 10.57[kWh])이 센서방식 추적 장치 그룹(양축, 9.36[kWh])보다 발전량이 증가했음을 알 수 있다. 이는 센서방식 추적 장치가 저 일사량으로 인한 광센서 입력의 변화폭이 적어 추적 장치가 동작하지 않아 발생하였다. 따라서 일사량이 급변하는 경우 프로그램 방식이 광센서에 의한 방식보다 우수한 추적 방식임을 알 수 있다.

일사량 변화에 따른 전력손실을 고려한 새로운 태양광 추적 시스템 제어

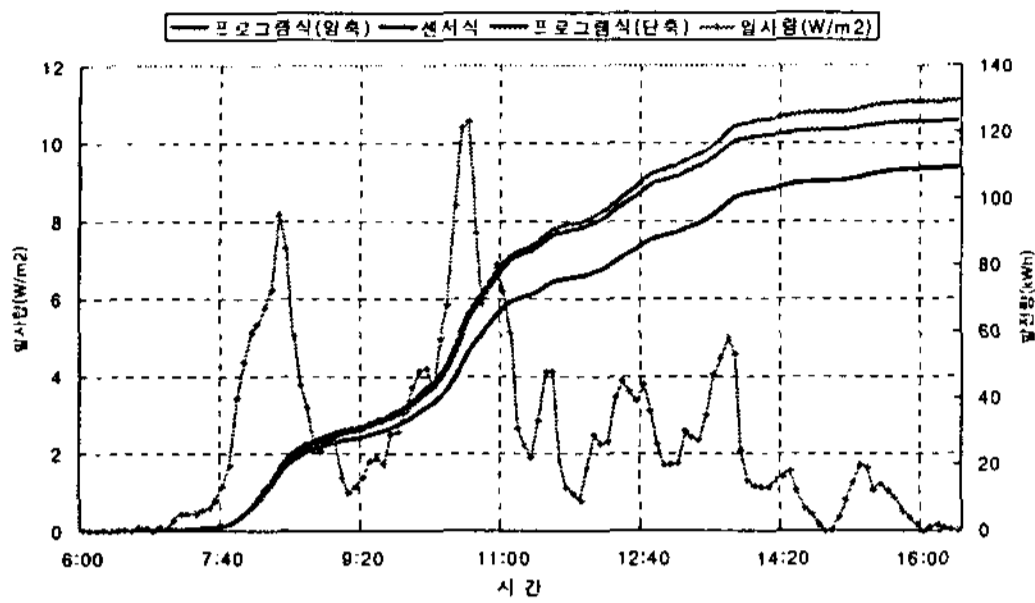


그림 15. 제어방식에 따른 발전량 비교(폭우시)  
Fig. 15. Comparison with power by control method (with raining)

### 5.2 제시한 방식에 따른 결과분석

그림 16은 본 논문에서 제시한 제어 방식의 추적 장치의 제어방법에 따른 표면온도 및 교류전력 변화를 나타내고 있다.

그림 17은 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 18은 일사량 감지에 따라 본 논문에서 제시한 제어 방식과 종래의 프로그램방식에 따른 발전량을 비교하여 나타낸 것이다. 종래의 프로그램방식 추적 장치 그룹(양축)과 본 논문에서 제안한 방법으로 일사량 변화에 따라 제어하는 추적 장치 그룹(양축)으로 구성하여 실험하였다. 실험결과 저 일사량일 경우 추적 장치가 실시간으로 추적하는 경우보다 현재의 태양의 방위각 및 고도각을 기준으로 추적 장치를 강제로 특정 위치로 제어하는 방법이 발전량 증가함을 알 수 있다.

발전량은 종래의 프로그램방식이 60.57[kWh], 제시한 알고리즘 방식이 64.06[kWh], 단축 프로그램방식이 56.93[kWh]으로 나타나고 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.

## 6. 결론

본 논문은 태양광 발전의 추적시스템에 관한 것으로 추적 장치의 불필요한 전력소모를 줄일 수 있는

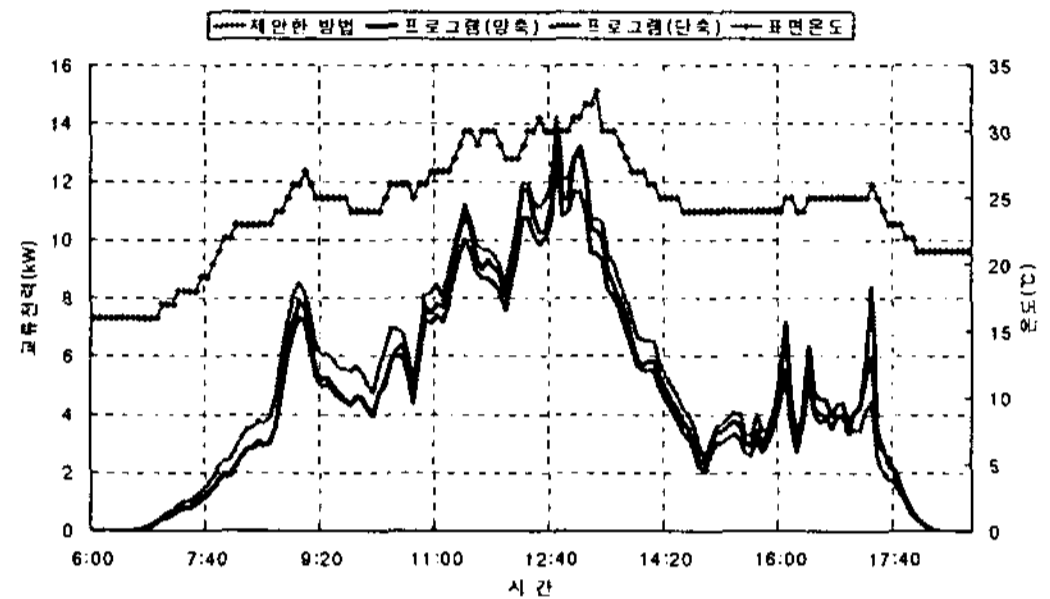


그림 16. 기후환경에 따른 표면온도 및 교류전력 변화(제안한 방법)  
Fig. 16. Change of surface temperature and AC Power by climate environment (with proposed method)

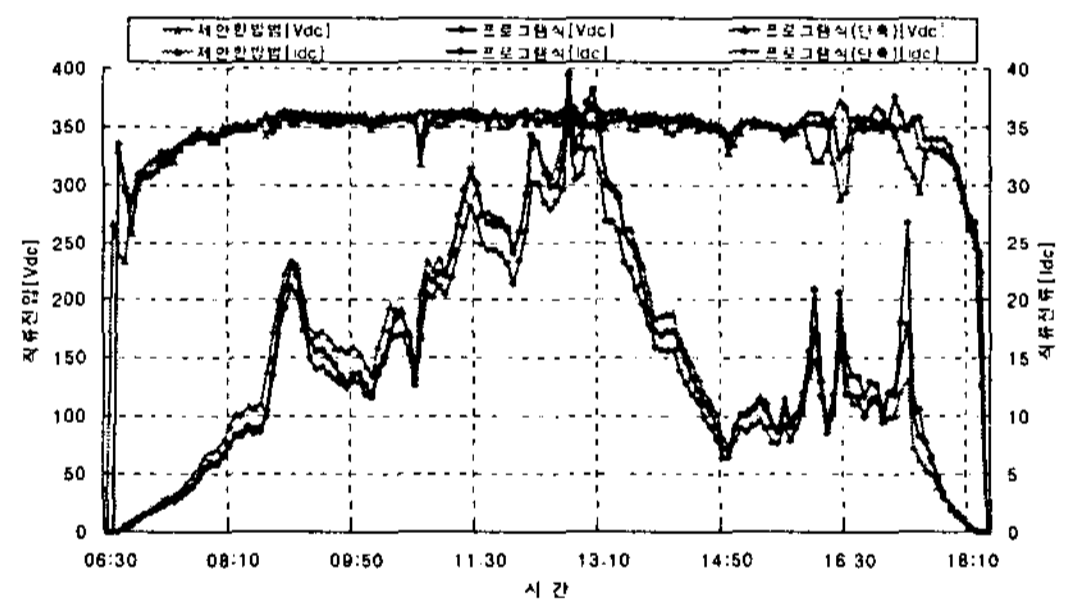


그림 17. 기후환경에 따른 직류전압 및 전류 비교 (제안한 방법)  
Fig. 17. Comparison with DC voltage and current by climate environment (with proposed method)

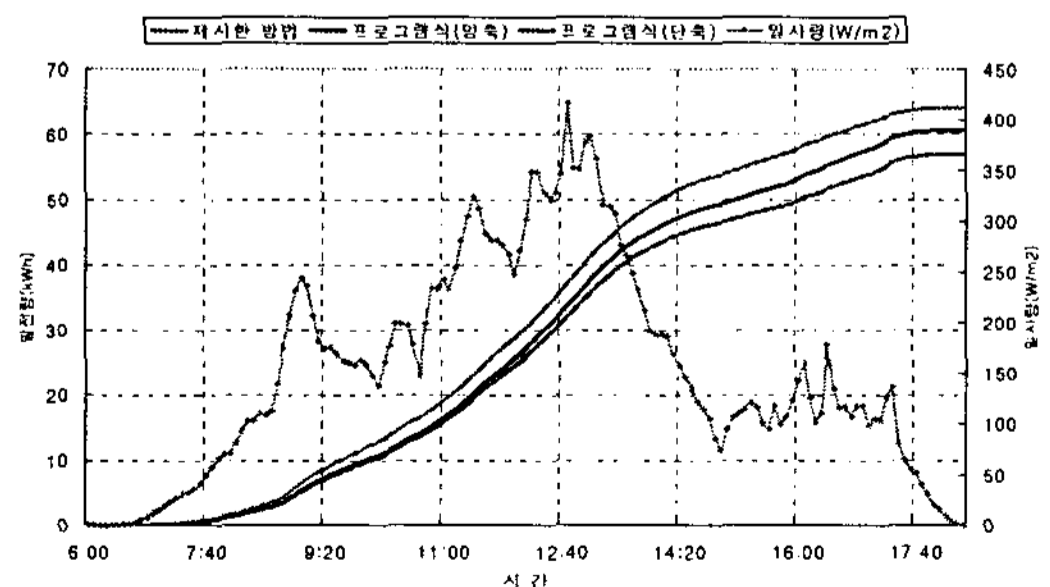


그림 18. 제어방식에 따른 발전량 비교(제안한 방법)  
Fig. 18. Comparison with power by control method (with proposed method)

새로운 제어 알고리즘을 제시하였다. 종래의 추적식 태양광 발전에 사용되는 센서방식과 프로그램 방식은 기후 환경의 외부요인에 대응하지 못함으로서 추적 장치의 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 추적 장치의 오동작의 문제점으로 발전량이 현저하게 감소되었다.

본 논문에서는 일사량 센서, 풍속센서, 우적센서를 사용하여 기후환경 변화에 빠르게 적응하고 센싱값과 프로그램의 설정 값을 비교하여 추적 장치가 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 프로그램 방식의 시스템에 비해 5.7%의 발전효율이 증가되었다. 따라서 본 논문에서 제시한 제어 알고리즘의 타당성을 입증 할 수 있었다.

**감사의 글**

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

**References**

[1] Dr. F Lasnier, Tony Gan Ang, "Solar Photovoltaic Handbook", Energy Technology Division Asian Institute of Technology, Vol.1, pp.10-50, 1998.  
 [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, pp. 1440-1443, 2002.  
 [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, Vol. 29, pp. 393-402, 2004.  
 [6] P.Roth, A. Georgiev, H. Boudinov, "Cheap two axis sun

follow device", Energy Conversion and Management, Vol. 46, pp. 1179-119, 2005.  
 [7] 박영철, 강용혁, "집광식 태양열 집열기의 태양추적장치를 위한 태양위치 계산", 한국태양에너지, Vol. 18, no. 3, pp. 87-94, 1998.  
 [8] 박영철, 강용혁, "Parabolic Dish형 태양열 집열기를 위한 2축 태양추적장치의 개발에 관한 연구", 한국태양에너지, Vol. 19, no. 4, pp. 81-99, 1999.  
 [9] W. A. Lynch, M. Salameh, "Simple eletro-optically controlled dual axis sun tracker", Solar Energy, Vol. 45, pp. 65-69, 1990.  
 [10] E. A. barber, H. A. Ingley, C. A. Morrison, "A solar powered tracking device for driving concentrating collectors", Alternative Energy Source, Vol. 1, pp. 527-539, 1997.  
 [11] B. P. Edwards, "Computer based sun following system", Solar Energy, Vol. 21, PP. 491-496, 1998.  
 [12] P. L. Swart, J. D. Van Wyk, "Source tracking and power flow control of terrestrial photovoltaic panels for concentrated sunlight", 12th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Vol. 1, pp. 700-795, 1998.  
 [13] P. O. Carden, "Steering A Field of Mirrors Using a Shared Computer-based Controller", Solar Energy, Vol. 20, pp. 351-356.

◇ 저자소개 ◇

**박기태 (朴基泰)**

1794년 2월 9일생. 1999년 순천대 공대 전기제어공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 2월 동 대학원 졸업(박사).  
 Tel : (061)793-5925  
 Fax : (061)794-5925  
 E-mail : bosom@korea.com

**최정식 (崔正植)**

1980년 2월 9일생. 2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업 2007년 2월 순천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월 동 대학원 박사과정.  
 Tel : (061)750-3540  
 Fax : (061)750-3540  
 E-mail : cjs1108@scnu.ac.kr

**정동화 (鄭東和)**

1955년 8월 15일생. 1979년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 현대중전기(주) 기술연구소 책임연구원. 1989년~현재 순천대학교 정보통신공학부 교수.  
 Tel : (061)750-3543  
 Fax : (061)752-9841  
 E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr  
 WebPage: http://pelab.sunchon.ac.kr/~hwa777