

## 하중 분산형 새로운 태양광 추적 장치에 관한 연구

李相勳<sup>†</sup>, 鄭泰旭\*

The Study on A New PV Tracking System Including the Load Dispersion

Sang-Hun Lee and Tae-Uk Jung

### 요 약

본 논문에서는 태양광 발전 시스템 중 태양전지의 효과적인 사용을 위해 태양이 항상 범선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 하는 위치추적 시스템에 대한 새로운 방법을 제시하였다. 점 하중 방식인 해바라기 타입의 태양광 추적 장치의 단점을 극복하기 위해 선 하중 방식 태양광 발전 시스템으로 경제적인 태양광 추적 장치를 제안하였다. 제안된 방식에 대하여 여러 가지 검증된 태양 기하학 이론을 바탕으로 현재 사용 중인 프로그램 방식의 위치추적 시스템을 개선할 수 있는 제어방법 및 구조를 도출하고자 한다.

### ABSTRACT

In solar power system, the height and azimuth of the sun are important parameters which control generated power magnitude. The tracking method that controls the daily generation magnitude according to latitude and longitude using the two axles is often used in the existing sunlight tracking system today. In this two-axle PV track control system, the self-load is concentrated on one FRAME. It is influenced of the regular load, snow load and the wind load, etc. It is difficult to set up the system in the conventional building. This research is a development about the small-scale economy track device of independent load-dispersing solar generation system. The position tracking algorithm is through the new coordinates transformation calculating the height and azimuth of the sun.

**Key Words** : the parallel switching operations, current division

### 1. 서 론

태양광 발전 시스템에서 발전 효율을 높이기 위해서는 일반적으로 높은 변환효율을 갖는 태양전지를 사용하는 방법, 변환기의 변환효율을 높이는 방법 및 최대전력추종(Maximum Power Point Tracking:MPPT)을 하는 방법, 태양이 항상 범선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 하는 방법 등이 이용되고 있다. 셀 자

체의 변환효율을 높이는 방법은 발전단가를 높이는 주된 요인이 됨으로 현재에 있어서 효율성이 다소 떨어진다. 또한 변환기 효율을 수 [%] 높이기란 매우 어려운 실정이다. 그러므로 현재 태양이 항상 범선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 하는 시스템인 태양광 추적 장치에 대한 관심이 고조되고 있다<sup>[8-10]</sup>. 실제 태양광 활용시스템의 개발 및 상용화를 위해, 태양 추적 장치의 구조<sup>[1]</sup>, 추적방식에 따른 시스템 효율<sup>[2]</sup>, 태양 추적 장치의 유무에 따른 출력변화<sup>[3]</sup>, 태양광 추적 장치를 위한 태양 추적 센서 개발<sup>[4]</sup>, 마이크로프로세서를 이용하기 위한 추적 알고리즘 개발<sup>[5]</sup> 등과 같은 태양 추적 장치의 개발 및 실용화와 관련된 많은 연구가 진행되어 오고 있다.

<sup>†</sup>교신저자 : 정회원, 전남대 공학기술연구소 연구원

E-mail : purme417@empal.com

\*정회원, 생산기술연구원 선임연구원

접수일자 : 2006. 7. 22. 1차 심사 : 2006. 8. 22

1차 심사 : 2006. 9. 18. 심사완료 : 2006. 9. 27

추적 장치의 개발 및 실용화와 관련된 많은 연구가 진행되어 오고 있다.

본 논문에서는 태양광 발전 시스템 중 태양전지의 효과적인 사용을 위해 태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 하는 위치추적 시스템에 대한 새로운 방법을 제시하였다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 해바라기 타입의 태양광 추적시스템은 2축 제어 방식을 사용하고 있으며 그 중 1축은 방위각 제어를 위해 지평면과 수평인 평면에 대한 원 운동을 한다. 이는 태양 위치 추적 시 기기의 많은 구동변위를 요구하게 된다. 또한 해바라기 타입 위치 추적 시스템의 경우 구동부의 밀집도를 높이기 위해 태양전지 어레이를 설치 시 하중이 한 점에 집중되는 방식으로 일반 건축물 옥상에 설치하기 위해서는 부수적인 보안공사가 필수적이며, 설치 단가 또한 높은 단점이 있다. 본 연구는 점 하중 방식인 해바라기 타입의 태양광 추적 장치의 단점을 극복하기 위한 선 하중 방식의 태양광 발전 시스템으로 경제적인 태양광 추적 장치를 제안하였다. 본 연구에서 사용된 태양광 위치 추적 알고리즘은 프로그램방식에 의한 태양의 고도와 방위각을 계산하여 제안된 추적시스템의 구동에 맞게 새로운 좌표로 변환하였으며, 변환된 좌표를 이용하여 고도는 DC모터 시스템을 이용한 리프팅 방식을 적용하였다. 방위각은 Solar 모듈이 태양의 일 궤적 평면과 수평이 될 수 있도록 DC모터와 로커암을 이용하여 직선운동에 의해 스윙운동으로 전환이 가능하도록 하였다. 제안된 방식에 대하여 여러 가지 검증된 태양 기하학 이론을 바탕으로 현재 사용 중인 프로그램 방식의 위치추적 시스템을 개선할 수 있는 제어방법 및 구조를 도출하고자 한다.

## 2. 태양 위치 추적 장치에 관한 이론

### 2.1 경사면에 따른 태양광 발전량 비교

태양광 발전 시스템은 주로 태양으로부터 방출되는 태양에너지의 입사각도에 따라 시스템 효율의 성능이 크게 좌우되고 있다. 즉 태양광을 에너지원으로서 이용하고자 하는 경우에는 수광면의 최적 경사각을 구하는 것이 매우 중요하다. 이는 직접적으로 태양광 시스템 등의 성능에 미치는 효과가 설치각도와 방향에 따라서 크게 영향을 받기 때문이다.

한국에너지기술연구원은 현재 본원이 위치한 대전지방에서 1996년 8월부터 2002년 2월까지 5년 6개월간 매 시간마다 측정된 실측자료를 토대로 태양광시스템

설계를 위한 각 방위별 경사면 태양광에너지를 분석하였다. 방위별 경사면 태양광 에너지 측정을 위하여 측정지에 일사센서를 남향면에 수평면에 대한 경사각도 0°에서 90°사이에서 15°간격으로 변환하여 7개를 설치하였으며, 동향 및 서향 그리고 북향면의 경사각도 90°에 각각 1개씩 설치하여 총 10개를 설치하였다. 이와 같이 설치된 시스템에 의하여 측정되는 데이터를 원격 제어에 의해 데이터 분석 및 전산처리를 하였다.

그림 1에서 보는 바와 같이 남향에서 지표면에 대한 경사각도가 0°~ 90°사이의 집광면에서는 경사각도가 30°에서 최대의 일사량을 받는 것으로 나타났다. 계절별로는 그림 2에서 보는 바와 같이 난방기간인 겨울철

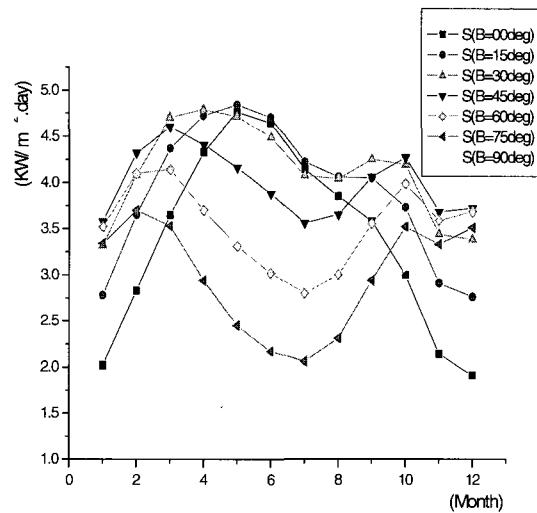


그림 1 월별에 따른 경사면 태양광 에너지  
Fig. 1 Solar Power Energy according to the month

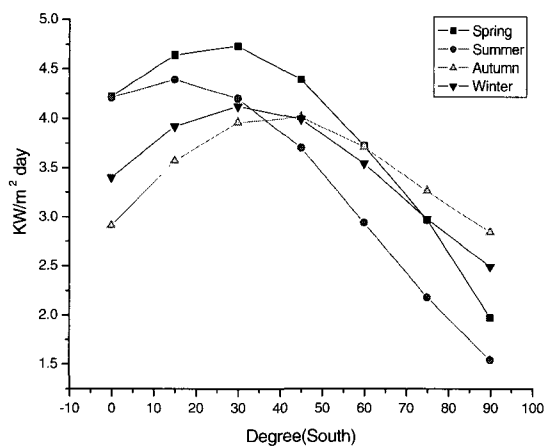


그림 2 계절별에 따른 경사면 태양광 에너지  
Fig. 2 Solar Power Energy according to the seasons

의 경우 전남향 수직면에서 받는 일사량은 동, 서향 수직면에 비해 약 2.6배정도 크고, 수평면에서 받는 전 태양광보다도 1.5배 많은 태양광을 받는 것으로 나타났으며, 북향 수직면에서 받는 태양광보다는 무려 9배나 큰 것으로 나타났다. 여름철의 경우는 북향을 제외한 동, 서향 수직면에서, 봄과 가을철에 전 남향 수직면에서 받는 일사량은 북향을 포함하여 동, 서향 수직면에 비해 높게 나타나는 경향을 보였다.

이와 같은 결과를 미루어 보아 남쪽을 향한 수직면은 겨울철에 최대의 수열을 받는 반면에, 여름철에는 매우 수열이 적다는 점에서 시스템 설계 시 시스템 배치를 가급적 남-북향보다는 동-서로 길게 하는 것이 에너지 흡수라는 측면에서 볼 때 보다 효과적임을 증명하고 있다. 또한, 남향면에서 경사각도별로 계절별 특성을 분석하여 보면 그림 2에서 보는 바와 같이 봄철에는 지표면에 대한 경사각도가 30°인 집광면에서, 여름철은 경사각도 15°에서, 가을철과 겨울철은 경사각도 45°에서 최대의 태양광에너지를 받는 것으로 나타났다. 앞에서 살펴본 바와 같이 태양광 발전 시스템의 효율은 실증된 자료를 통해 수평면에 따른 경사면에 따라 태양의 일사량의 차이가 있으므로 태양 추적 여부 및 성능에 따라 달라질 수 있다. 즉 태양광을 에너지원으로 이용하고자 하는 경우 태양으로부터 방출되는 태양에너지의 입사각도에 따라 전체 태양광 발전 시스템 효율의 성능이 크게 좌우된다. 이는 야간이나 우천과 같은 자연환경의 변화로 인해 에너지 자체가 저밀도인 태양광 에너지의 고집적화를 위해 생산단가가 낮고, 구동효율이 좋은 태양광 위치 추적시스템을 통한 태양과 발전효율 개선에 대한 연구가 계속 진행 중임을 알 수 있다.<sup>[6,7]</sup>

**2.2 태양 위치 계산**

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 다소 복잡한 수식이 사용된다. 방위각 및 고도를 계산하기 위해서는 태양 기하학에 따라 시간, 윤년, 적위, 균시차, 진태양시, 태양의 시간각 등을 계산하여야 한다. 우선 적위는 지구의 중심축과 태양의 중심축으

로부터 일직선으로 생기는 광선과 지구의 적도면 사이에 형성된 각으로  $\delta$  로 표현할 수 있다. 적위는 지구의 자전축이 23.45° 기울어져 있어서 요일별로 바뀌며, 양극단 사이에서  $\pm 23.45^\circ$ 로 바뀌고 1년 365일을 추적하기에 간단한 사인곡선으로 매년 조금씩 변하는 적위의 정확한 값은 매년 발표되는 미국의 천문력과 책력의 발표에서 알 수 있으며, 식 (1)로서 나타낼 수 있다.

$$\delta = 23.45 \sin \left[ -\frac{360}{365} (n + 284) \right] \quad (1)$$

단, n은 연일수

태양의 시간각 H는 관측자 즉, 태양 전지판이 설치되어 있는 현지 자오선을 지난 후 시간권 사이의 각으로써 남점에서 서쪽방향으로 돌며 켄 크기를 시간각이라고 한다 태양이 자오선을 지난 뒤에 서쪽 방향으로 켄 각도를 15°= 1시, 15′= 1분, 15″= 1초로 환산하여 각 각 시(h), 분(m), 초(s)로 나타내고 구하는 공식은 식(2)와 같다. 시간각은 태양이 남중후 뒤부터의 경과 시간을 나타내고 있다. 특히 태양의 경우 시간각은 그 관측지점에서의 오후 시각과 일치한다. 즉 태양의 시간각에 12시를 더하면 태양시가 되는 것이다.

$$\text{Hour angle } H = (T_{sol} - 12) \times 15^\circ \quad (2)$$

단,  $-180^\circ \leq H \leq 180^\circ$ , 오전(-), 오후(+)

$T_{sol}$  : 진태양시

식(2)에서 태양의 방위각을 구할 때 약간의 문제가 생긴다. 봄, 여름의 이른 아침 그리고 늦은 오후에 태양의 방위각 크기는 남쪽으로부터 항상 90° 이상이다. 또한  $\sin x = \sin(180 - x)$ 처럼 사인값이 변환되기 때문에, 남쪽으로부터 90°보다 크거나 혹은 작은 방위각을 결정짓기 위해서는 식(3)과 같은 조건이 필요하다.

$$\text{if } \cos H \geq \frac{\tan \delta}{\tan L}, \text{ 이 맞으면 } |\phi_s| \leq 90^\circ, \quad (3)$$

아니면  $|\phi_s| \geq 90^\circ$

태양의 시간각을 구하기 위해서는 진태양시를 구해야 하며 진태양시의 경우 식(4)에 의해서 구해진다.

$$T_{sol} = T_{std} + (L_{std} - L_{loc})/15 + E_f(hr) \quad (4)$$

단,  $T_{std}$  = 지방표준시,  $L_{std}$  = 대지의 경도,  
 $L_{loc}$  = 표준자오선의 경도

여기서 태양의 시간각을 구하기 위해서는 균시차를 구해야 한다. 균시차는 지구가 태양주위를 정원이 아닌 타원의 궤도로 고정함으로서 발생하는 진태양시와 평균태양시사이의 시간차를 나타내며 식 (5) 같다.

$$E_t = 0.0002865 \sin 2B + 0.00713576 \cos B - 0.12253414 \sin B - 0.0558293 \cos 2B - 0.1561998 \sin 2B$$

[minutes] (5)

단,  $B = \frac{360}{365}(n-1)$  [degrees],  $n$  : 연일수

위 식 (1), (2)에 의해 구해진 적위와 시간각을 이용하여, 지평좌표계상에서 태양의 고도각 및 방위각은 아래와 같이 주어진다.

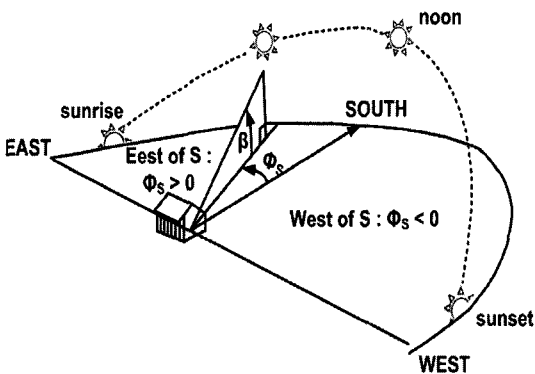


그림 3 태양의 방위각 및 고도  
 Fig. 3 Elevation and azimuth

$$\sin \beta = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta$$
 (6)

$$\sin \phi_s = \frac{\cos \delta \sin H}{\cos \beta}$$
 (7)

단  $L$  : 현지위도,  $\delta$  : 적위,  $H$  : 시간각

식 (6)의 방위각 계산결과 정(+)인 경우에는 오후, 부(-)인 경우에는 오전을 나타내고 있다.

### 2.3 제안된 위치 추적 시스템의 좌표

기존의 해바라기 타입의 태양 위치 추적시스템에서 고도각은 관측자가 지평면의 한 점에서 태양의 고도를 바라보게 된다. 또한 방위각을 제어하는 한축은 지평

면과 수평인 평면으로 운동하게 된다. 이는 지평면에 고도각 만큼 기울어진 태양의 일직적면을 추적 할 때, 매 시간 추적 지점을 운동 할 경우 고도각의 변화량을 증가 시키게 된다. 따라서 본 논문에서는 방위각을 제어하는 한축을 태양의 일 직적 면과 수평이 되도록 위치 추적시스템의 한 축을 제어할 수 있는 새로운 좌표를 제안 하였다. 그림 4는 현재 시간에 따른 태양의 고도와 방위각을 이용한 제안한 태양광 위치 추적 시스템의 새로운 좌표 계산을 나타낸다. 방위각 계산에 있어서는 기존의 태양 위치 추적 시스템은 지평면의 방위각이나 제안된 추적 시스템에서의 방위각은 지평면과 태양의 고도가 이루는 각 만큼 기울어진 방위각적면의 방위각으로 환산되어야 한다. 이와 같은 변환 고도와 변환 방위각을 기존의 고도각과 방위각의 함수로 나타내면 식(8), (9)과 같다.

$$\gamma_h = \tan^{-1}[\tan(\gamma_s)/\cos(\phi_s)]$$
 (8)

$$\phi_h = \sin^{-1}[\cos(\gamma_s)\cos(\phi_s)]$$
 (9)

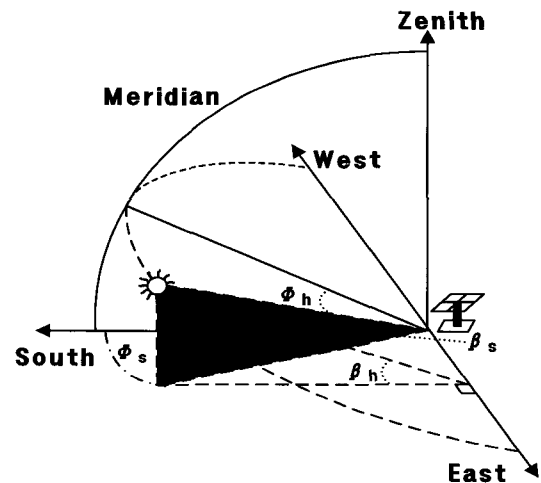
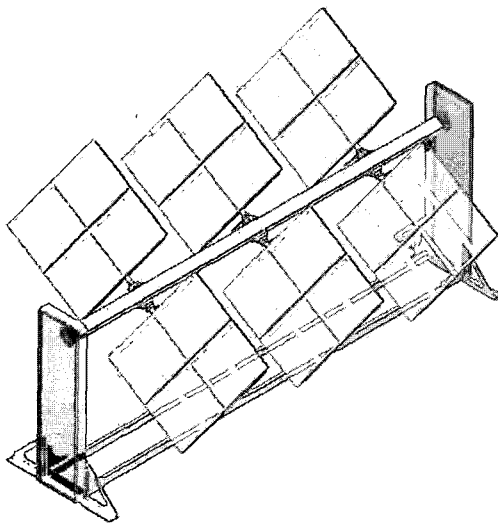


그림 4 제안된 태양광 추적장치의 직축 및 횡축 각  
 Fig. 4 Vertical and horizontal axis angle of proposed solar position tracker

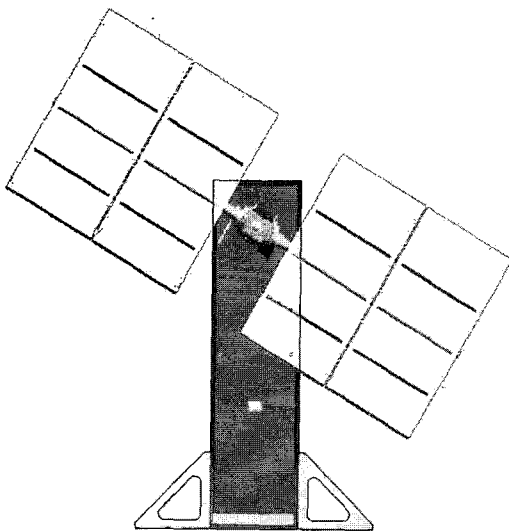
### 2.4 제안된 좌표를 이용한 위치 추적 시스템 설계

현재 일반적으로 사용되고 있는 해바라기 타입 태양 추적 장치의 단점을 보완하기 위한 새로운 직축, 횡축형 태양광 추적기는 그림 5와 같다. 고도각 제어는 상부에 태양전지판을 고정시키기 위한 지지대 프레임인 수평축을 회전시켜 제어하였으며, 방위각을 제어는 각 Solar 모듈이 원주 운동을 할 수 있도록 DC모터와 워

기어를 이용하여 직선운동을 시키며, 이 직선운동을 스윙운동으로 전환이 가능하도록 로커 암을 이용하였다. 본 추적 장치는 로커 암에 의해 각 솔라셀 모듈이 연동되는 구조로 풍력과 같은 외부 외란에 강한 구조를 가지나, 각 솔라셀이 간섭 없이 태양광을 추적하기 위해서는 솔라셀 간의 간격이 필요하다. 따라서 이 간격에 따라 추적시간이 결정된다.



(a)



(b)

그림 5 직축, 횡축형 태양광 추적기  
(a) 전체도 (b) 측면도

Fig. 5 Solar position tracker of vertical and horizontal axis type  
(a) A general view (b) A side view

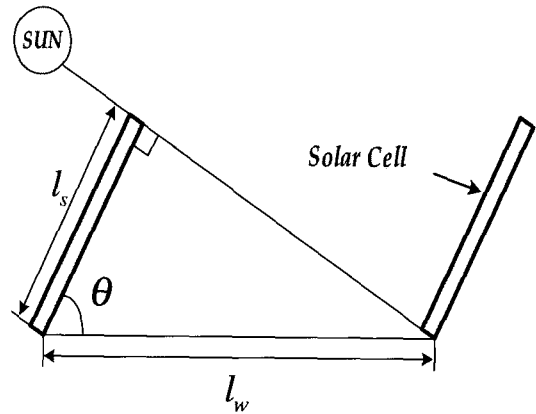


그림 6 솔라셀 간격에 따른 태양광 추적시간

Fig. 6 Solar position tracking time according to cell-width

추적시간을 짧게 하기 위해서는 솔라셀 간격이 커야 하나, 이는 넓은 설치공간이 필요한 단점이 있다. 따라서 솔라셀 간격 설계는 태양광 추적시간을 결정하는 요소가 된다. 그림 6은 솔라셀 간격에 따른 태양광 추적시간에 대한 개념을 나타낸 것이다. 태양의 방위각은 1간당 15°씩 변하게 되며 추적시간이 정해지면 제어 가능한 최대 방위각( $\theta$ )이 결정된다. 최대 방위각이 결정되면 솔라셀 간의 이격거리는 아래 식에 의해 결정된다.

$$l_w = l_s / \cos(\theta) \quad (10)$$

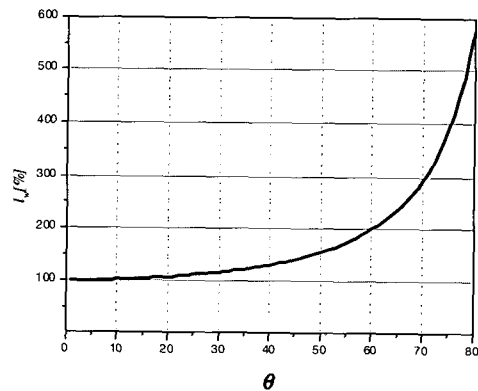


그림 7 최대 방위각에 따른 이격거리

Fig. 7 Length according to maximum elevation

그림 7은 추적각도에 따른 이격거리를 솔라셀의 폭에 대해 정규화 하여 도식화한 것이다. 본 연구에서

다양한 실험을 통하여 계측한 결과 태양광 추적시간을 8시간으로 설정하였으며, 이때의 솔라셀 이격거리는 솔라셀 판의 폭의 2배가 된다.

### 3. 제안된 추적 장치의 시뮬레이션

기존의 해바라기식 태양광 위치 추적 시스템과 제안된 분산형 방식의 태양광 위치추적 시스템의 효율을 비교하기 위해 태양 공전궤도의 4지점에서 태양의 일궤적에 대한 좌표 궤적을 위도 20°, 경도 127°인 관측지 지점을 기준으로 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 두 시스템의 이동 궤적을 알아보았다.

그림 8은 춘·추분 시 기존의 해바라기 시스템과 제안된 분산된 방식에서 추적 방위각 및 고도각의 일궤적을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 기존 방식의 고도각 변화는 시간이 경과함에 따라 0°에서 50°사이로 변하고 있음을 알 수 있으며, 제안된 방식은 고도각의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 춘·추분점 근처에서는 고도각 제어에 대한 전력소비가 기존 방식에 비해서 매우 적음을 알 수 있다. 또한 방위각은 기존 방식과 비교했을 때 시간에 관계없이 변화량이 일정함을 알 수 있다. 이로 인해 추적 장치의 총 변위량이 기존의 방식에 비해서 적어지므로 추적 장치 구동부의 전력소모가 적어지는 장점이 있다. 그림 9와 그림 10은 동지 및 하지 때의 방위각 및 고도각을 나타내고 있다. 그림 9의 동지 시 두 시스템의 방위각· 고도각은 기존의 방식과 제안된 방식이 거의 동일함을 알 수 있다. 그러나 하지점에서는 제안된 방식의 방위각 변화율이 기존의 방식보다 적게 되어 구동부가 일정한 힘에 의해 움직이게 되므로 방위각 추종 제어에 소비되는 구동부의 전력을 적게 할 수 있으며 정 토오크 운전이 가능하게 된다.

본 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 제안된 방식의 경우 일 일 방위각에 대한 추적 일 궤적의 변화량은 계절에 상관없이 일정하며, 고도각의 경우 춘 추분점을 기준으로 동지와 하지 시 그 변화량은 증가함을 알 수 있다. 그러나 기존의 해바라기식 태양광 위치 추적 시스템의 경우 제안된 위치추적 시스템과 고도각 변화 패턴이 동일하나, 제안된 위치 추적시스템의 변화에 비해 변화가 조금씩 크게 나타나고 있다. 방위각 변화에 있어서는 제안된 방식의 경우 계절의 변화 없이 일 궤적이 같은 패턴을 가지고 움직이고 있으나 기존의 해바라기식 태양광 위치 추적 시스템의 경우 계절마다 방위각 변화 편차가 크게 나타남을 알 수 있

다. 따라서 그림 10에서 알 수 있듯이 기존의 해바라기 방식의 태양광 위치추적 시스템과 거의 동등한 고도각 변화를 보이고 있다.

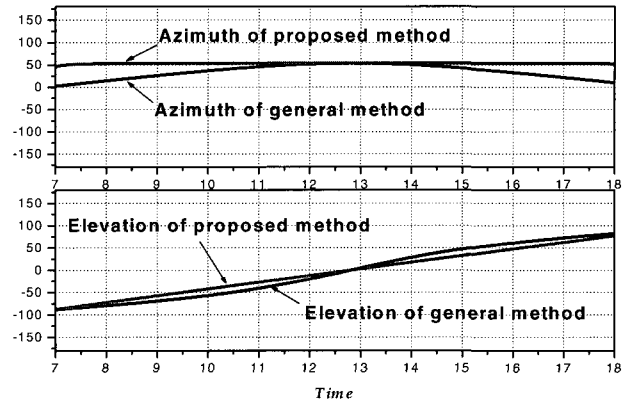


그림 8 춘분, 추분 시 고도각 및 방위각 비교  
Fig. 8 Compare of Elevation and azimuth on spring & autumnal equinox

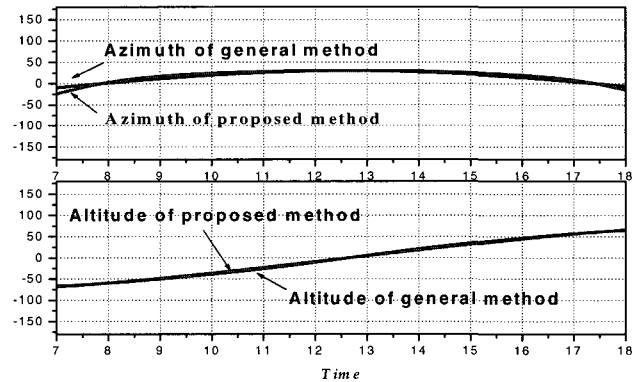


그림 9 동지 시 고도각 및 방위각 비교  
Fig. 9 Compare of Elevation and azimuth on winter solstice

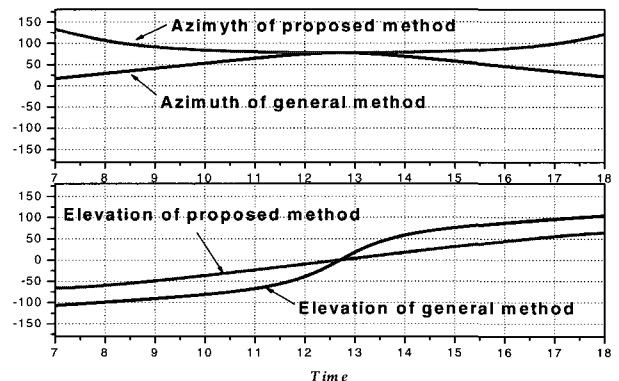


그림 10 하지 시 고도각 및 방위각 비교  
Fig. 10 Compare of Elevation and azimuth on summer solstice

위의 시뮬레이션 결과를 토대로 기존의 해바라기식 태양광 위치추적 시스템과 제안된 시스템의 구동 변위를 좀 더 쉽게 비교하기 위하여 두 시스템의 1년간 일 궤적 변화량을 적산하였다. 그림 11은 위도 36°경도 125°인 지점에 태양광 위치 추적시스템을 위치하고 태

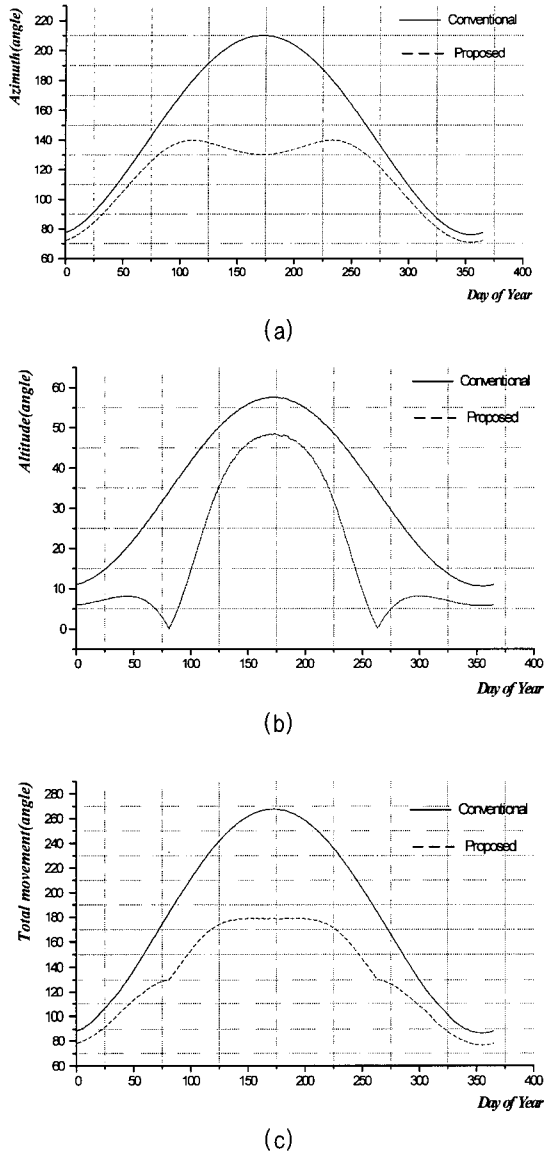


그림 11 추적시스템의 연 궤적 변화  
 (a) 연 방위각 변화량 비교  
 (b) 연 고도각 변화량 비교  
 (c) 연 총 변화량 비교

Fig. 11 Variaton of year's locus for each tracking system  
 (a) The comparison of year's azimuth  
 (b) The comparison of year's altitude  
 (c) The comparison of year's total variation

적 시스템과 제안된 시스템의 1년간의 구동부 추적 일 궤적의 총합을 Matlab 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 고도각의 경우 기존의 위치 추적 시스템의 경우 일 일 고도각의 변화 추이가 정현적으로 나타난다. 제안된 위치 추적 시스템의 경우 동지와 춘분점, 그리고 추분점과 동지 사이에는 일 일 고도각 변화량이 일정함을 알 수 있으며, 춘분점을 시작으로 하지점을 통과 할 때 가장 큰 변화량을 보이며 다시 추분점을 향할수록 변화량을 줄어드는 대칭 구조를 보인다. 방위각의 경우 기존의 위치 추적 시스템의 경우 고도각과 동일하게 정현적인 변화량을 보이며 제안된 위치 추적 시스템의 경우 춘 추분점을 기준으로 동지로 갈수록 일 변화율 변화가 있으며, 하지로 갈수록 일 변화율이 일정하며 변화량이 크게 나타남을 알 수 있다.

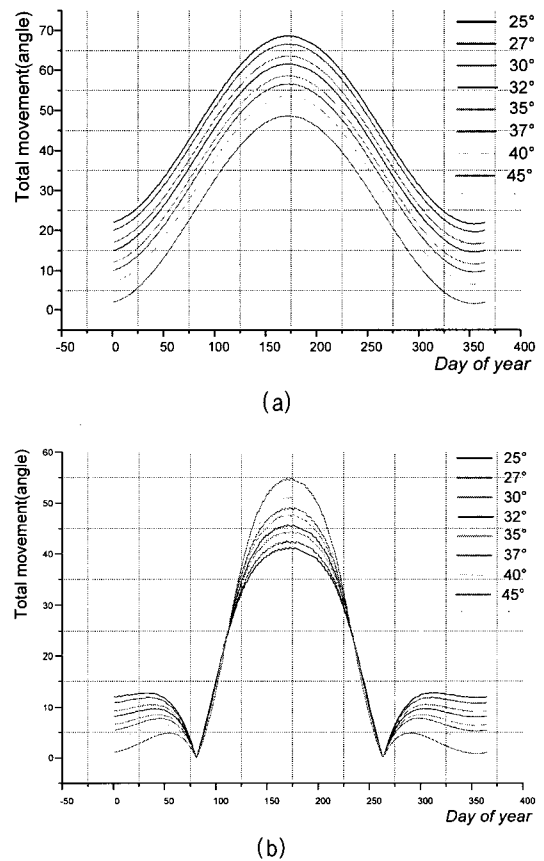
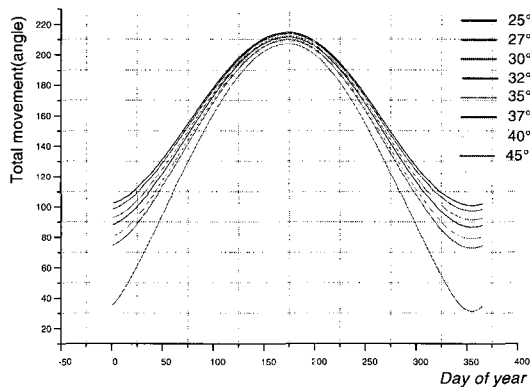


그림 12 설치 위도에 따른 추적시스템의 연 고도각 변화  
 (a) 기존의 시스템의 고도각  
 (b) 제안된 시스템의 고도각

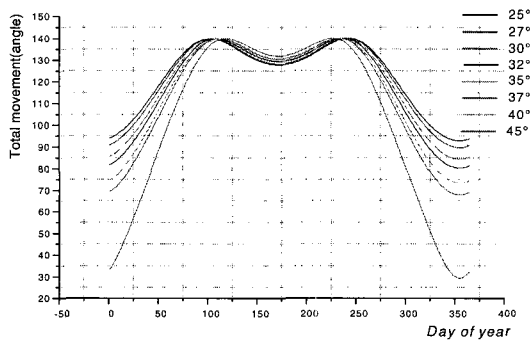
Fig. 12 Variaton of year's altitude for each tracking system according to the install latitude  
 (a) A altitude of conventional system  
 (b) A altitude of proposal system

이 둘 좌표값의 변화를 합산하여 적산할 경우 그림에서 알 수 있듯이 기존의 태양광 위치 추적 시스템에 비해 전체 변화량은 제한된 위치추적 시스템이 작음을 알 수 있으며, 변화율도 제한된 추적시스템이 낮음을 알 수 있다. 그림 11의 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 기존이 해바라기 타입의 위치 추적시스템에 비해 제안된 방식의 태양광 위치 추적 시스템의 추적 방식이 좀 더 효율적으로 추적함을 알 수 있으며, 이를 통해 구동부의 소모전력 절감시켜 태양광 발전의 전체 효율을 높일 수 있다.

그림 12는 태양광 추적 시스템의 설치 위도 변화에 따른 연 고도각 궤적을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 기존의 해바라기 타입의 태양광 위치추적 시스템과 제안된 태양광 위치추적시스템의 위도에 따른 연 고도각 변화량은 기존의 시스템의 경우 위도가 높을수록 구동 변위량이 작다.

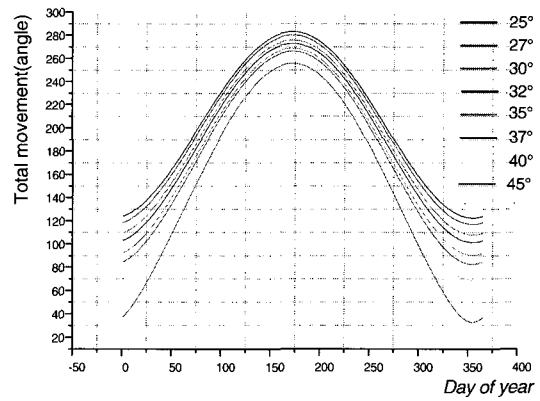


(a)

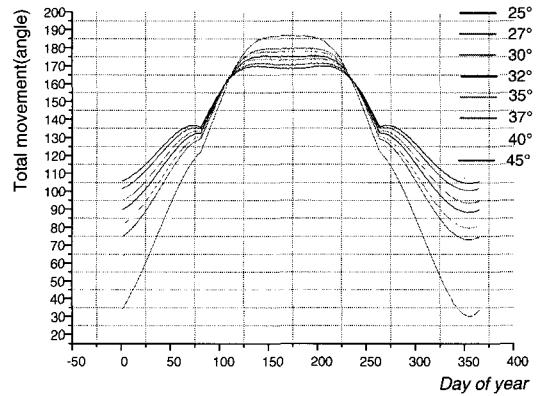


(b)

그림 13 설치 위도에 따른 추적시스템의 연 방위각 변화  
(a) 기존 시스템의 방위각  
(b) 제안된 시스템의 방위각  
Fig. 13 Variaton of year's azimuth for each tracking system according to the install latitude  
(a) A azimuth of conventional system  
(b) A azimuth of proposal system



(a)



(b)

그림 14 설치 위도에 따른 추적시스템의 연 궤적 변화  
(a) 기존 시스템의 연 구동변위  
(b) 제안된 시스템의 연 구동변위  
Fig. 14 Variaton of year's locus for each tracking system according to the install latitude  
(a) A displacement of conventional system  
(b) A displacement of proposal system

제안된 위치추적 시스템의 경우 하지에 가까울수록 위도가 높은 지방의 경우 구동 변위량이 증가하며 하지를 기점으로 춘 추분으로 향할수록 구동 변위량이 작아진다. 그림 13은 위도 변화에 따른 방위각 궤적 변화량을 나타낸다. 방위각의 경우 기존의 위치추적시스템과 제안된 위치 추적시스템 모두 위도가 높을수록 구동 변위량은 작아진다. 그림 14는 방위각 궤적과 고도각 궤적을 합산한 전체 연 구동궤적을 나타낸다. 연 구동 궤적은 위도에 상관없이 기존의 해바라기식 추적 시스템에 비해 제안된 태양광 위치 추적시스템이 작게 나타나며, 위도에 따른 연 구동궤적의 변화량은 기존의 위치추적시스템과 제안된 위치추적시스템 모두 위도가 낮을수록 전체 구동궤적이 커 구동량이 많다.



#### 4. 제안된 추적 장치의 특성분석

그림 15는 본 논문에서 사용된 120[W]급 태양광 추적 장치를 나타낸다. 태양 위치 추적 장치의 구조는 태양전지판을 고정시키고 지지하기 위한 H-프레임 형태의 지지대가 있고, 프레임 한쪽 축에는 태양전지를 구동하기 위해서 직축, 횡축을 담당하는 DC모터 2조가 설치되어 있으며, 프레임 안쪽 부분에는 태양광 추적 장치의 제어를 담당하는 부분인 제어보드를 설치하였다. 구동 장치에 사용되는 모터는 12V 차량의 윈도우에 사용되는 기어가 내장된 소형 DC모터를 사용하였고, 제어를 위한 마이크로프로세서는 DSP TMS320LF2406A를 사용하였으며, key를 통해 동작 상태를 결정하고, LCD를 통해 각종 정보를 표시하게 하였다. 제안된 태양광 위치 추적 시스템의 성능을 평가하기 위해 고정식, 기존의 해바라기식 타입, 그리고 제안된 위치 추적 시스템의 매 시간 발전량을 분석하고자 한다. 태양광 위치 추적 시스템의 발전 데이터를 매 시간 관측하기 위해서는 태양광 위치 추적 시스템과 PC를 이용한 모니터링 시스템 구축이 필요하다. 그림 16은 추적 시스템의 발전 데이터를 통해 시스템의 안정성과 성능을 보여주기 위한 LabView 모니터링 시스템 구성도이다. 고정식, 해바라기 타입, 그리고 제안된 위치추적시스템 각 각에서 발전된 전력은 4개의 독립된 벅-부스트 컨버터를 통해 저항 부하로 소모되게 된다. 이때 입력 전압 및 전류를 센서를 통해 검출하고 각 태양전지 모듈의 발생전력을 계산하게 된다.

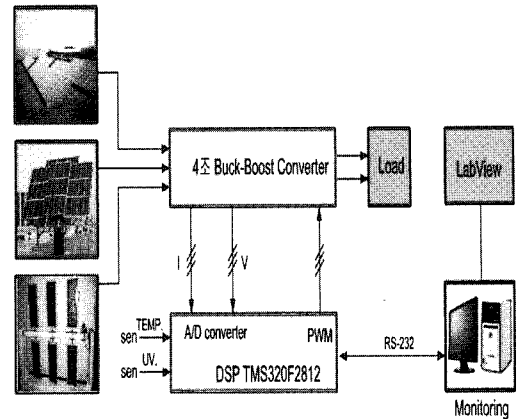


그림 16 모니터링 시스템 구성도  
Fig. 16 Monitoring system structure

그림 17은 태양전지에서 발전된 발전 전력을 검출하기 위한 벅-부스트 컨버터 전력 검침 회로를 나타낸다. 본 회로는 4개의 독립된 벅-부스트 컨버터를 구성하여 최대 4조의 태양전지 모듈의 출력 전력을 측정할 수 있도록 제작되었다. 태양 전지 입력측의 전력은 한국센서사의 전류센서와 LEM사의 LV-25P 전압센서를 이용하여 측정한다. 센서에 의해 측정된 값은 TMS320F2812 마이크로프로세서를 이용한 제어기에 의해 A/D 변환을 수행한다. 이 외에도 제어기는 4개의 독립된 벅-부스트 컨버터를 제어하게 되며, A/D 변환에 의해 변환된 전류, 전압값을 RS-232 통신을 통해 PC에 전송하는 역할을 하게 된다. 전력회로와 PC사이의 데이터 교환은 1초에 한번 씩 하게 된다.

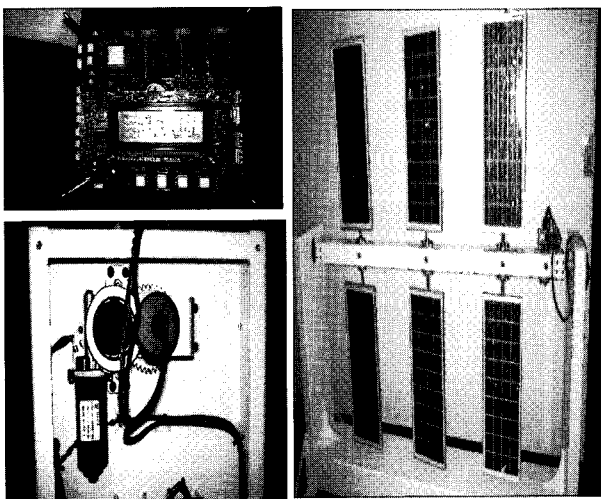


그림 15 제안된 위치 추적 시스템  
Fig. 15 Proposed solar tracking system

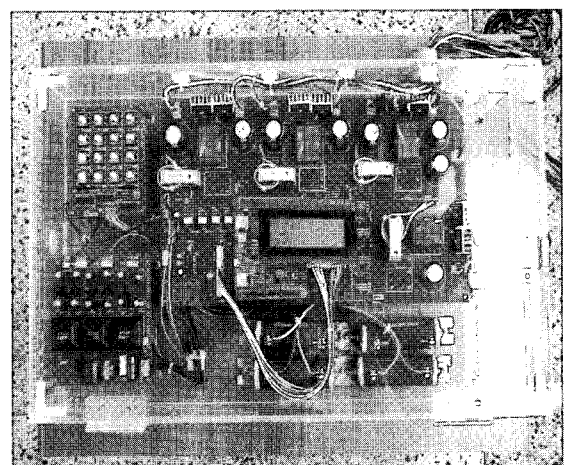
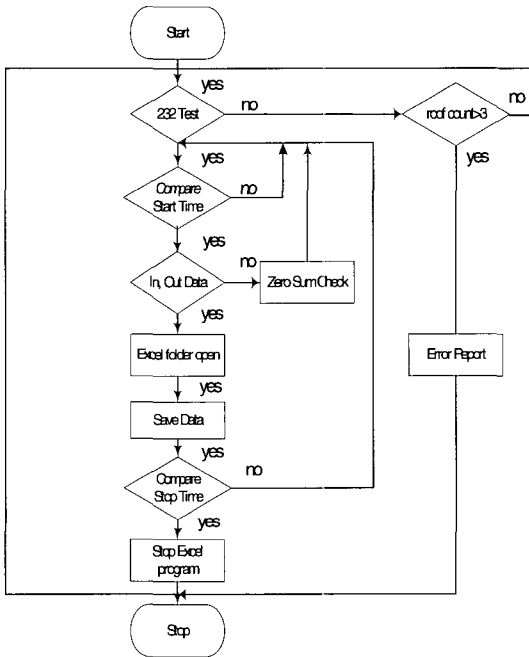
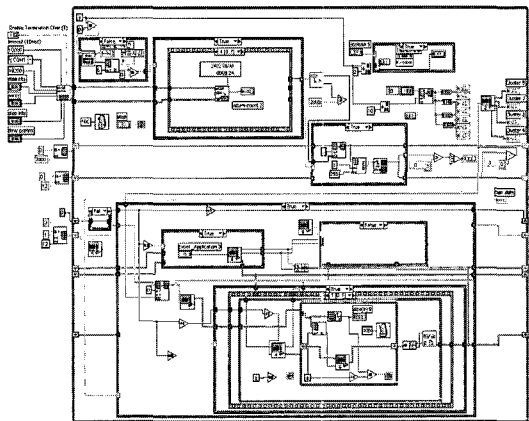


그림 17 데이터 취득용 벅-부스트 컨버터  
Fig. 17 Buck-boost converter for Data Acquisition Program

PC는 태양전지 출력 측정용 전력 검침 회로를 통해 받은 데이터를 LabView를 이용한 모니터링 프로그램에 의해 10초에 한번씩 데이터를 Excel 파일로 저장해 준다. 그림 18(a)는 데이터 취득 프로그램의 순서도를 나타낸다. 그림 18(b)는 LabView를 이용한 데이터 취득 프로그램의 블록도를 나타낸다.



(a)



(b)

그림 18 데이터 취득 프로그램  
(a) 데이터 취득 프로그램의 순서도  
(b) 데이터 취득 프로그램의 블록도

Fig. 18 Data Acquisition Program  
(a) The flow chart of data acquisition system  
(b) The block diagram of data acquisition system

그림 19는 무게구름이 조금 낀 맑은 날 제한된 방식의 추적 장치와 고정식의 전력 발생량을 비교 하였다.

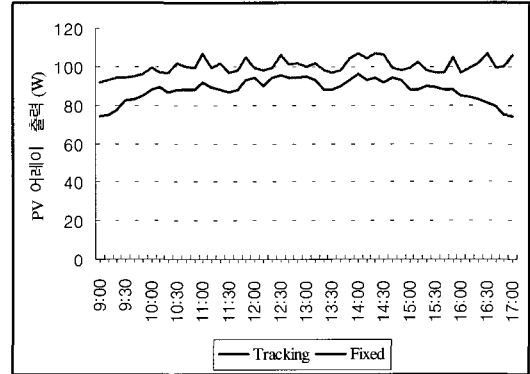


그림 19 고정식 과 추적식의 발전량 비교  
Fig. 19 The output comparison of tracking and fixing system

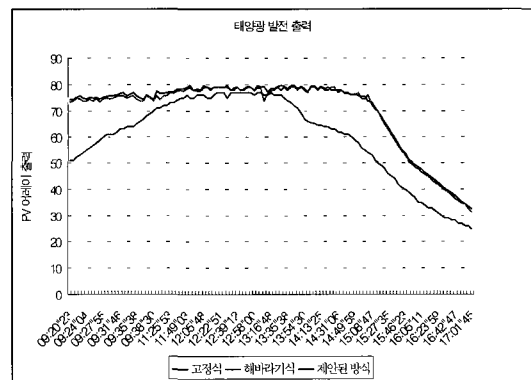


그림 20 고정식 과 추적식의 발전량 비교(맑은날)  
Fig. 20 The output comparison of tracking and fixing system.(Sunny day)

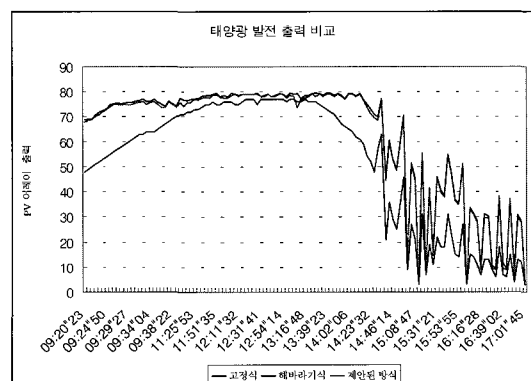


그림 21 고정식 과 추적식의 발전량 비교(흐린날)  
Fig. 21 The output comparison of tracking and fixing system.(Cloud day)

태양의 남중 시점인 12시에서 1시 사이를 제외한 전 시간대 부분에서 위치 추적 시스템 출력량이 더 높음을 알 수 있다. 그림 20은 구름이 거의 없는 맑은 날 제안된 추적 장치와 해바라기 타입의 추적 장치, 그리고 고정식 타입의 출력을 비교 한 데이터 것이다. 발전 시점인 오전 9시를 기점으로 해서 제안된 장치와 해바라기 타입의 장치는 고정식에 비해 훨씬 높은 출력을 내고 있다. 남중 시점을 전후 약 1시간 30분씩은 고정식과 추적식의 출력이 거의 비슷함을 알 수 있다. 해바라기 타입과 제안된 태양광 위치 추적 시스템의 출력량은 크게 차이가 없음을 알 수 있다. 위의 그림 21은 오전에는 구름이 거의 없다가 오후 2시를 넘어서 부터 먹구름이 많이 낀 날의 출력비교이다. 구름이 많이 낀 오후에는 구름의 움직임에 따라 많은 방해가 일어 발전량이 현저히 감소하며 발전량의 편차가 크게 나타났다.

### 5. 결론

본 논문에서는 태양전지의 발전 전력을 높이기 위해 제시되는 태양광 위치 추적 시스템 중 프로그램을 이용한 태양 일 궤적을 계산하여 태양을 추종하는 시스템의 구동부의 효율을 높일 수 있는 새로운 추종 좌표를 제안하였다. 기존의 해바라기 타입의 방식과의 비교 방법은 시뮬레이션으로 비교하였다. 시뮬레이션 결과 기존의 해바라기 타입에 비해 제안된 태양광 위치 추적시스템이 일 일 구동 변위량이 작게 나타나며, 일 일 구동 변위를 적산한 연 구동 변위량 비교에 있어서도 제안된 방식의 태양광 위치 추적 시스템이 더 적게 움직임을 알 수 있었다. 설치 위치에 따른 두 위치 추적 시스템의 구동 변위변화에 있어서는 설치 위치의 경도와 구동 변위의 변화량은 무관하며, 구동변위는 설치 위도에 따라 결과가 다르게 나타남을 알 수 있었다. 위도가 낮을 때 두 위치 추적 시스템의 고도각 변화량은 하지를 즈음하여 기존의 해바라기 타입의 위치 추적 시스템에 비해 제안된 위치 추적 시스템의 구동 변위량이 더 크게 나타난다. 그러나 전체 구동변위에 대해서는 제안된 위치 추적 시스템이 기존의 해바라기 타입의 위치 추적시스템에 비해 항상 구동변위가 낮게 나타난다. 이와 같은 시뮬레이션 결과를 토대로 제안된 방식의 태양광 추적 장치를 설계·제작하여, 고정 방식과 해바라기 타입의 추적 장치와의 출력 효율에 대하여 비교 연구 실험하였다. 고정식과의 출력에 대하여 실험한 결과 그 차이는 제안된 방식의 시스템이 고정식에 비해 태양의 남중 시점을 전후로 약 1시간씩을 제외한 전 구간에서 훨씬 높은 출력 효율을 가지고

있었다. 또한 점 하중 방식인 해바라기 타입과의 출력 비교에서도 낮은 구동 변위에 비해 동등한 출력으로 발전함을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] R. Zogbi and D. Laplaze, "Design and construction of a sun tracker", Solar Energy, Vol. 33, No. 3/4, pp. 369-372, 1984.
- [2] P. Baltas, M. Tortoreli and P.E. Russell, "Evaluation of power output for the fixed and step tracking photovoltaic arrays", Solar Energy, Vol. 37. No. 2, pp.147-163, 1986.
- [3] D. M. Mosher, R. E. Blese and R. J. Soukupt, " The advantage of suntracking for planar silicon solar cells", Solar Energy, Vol. 19, pp. 91-97, 1977.
- [4] A. Konar and A.K. Mandal, "Microprocessor based automatic sun tracker", IEE Proceedings-A, Vol. 138, No. 4, pp. 237-241, 1991.
- [5] W. A. Lynch and Z. M. Salameh, " Simple electro-optically controlled dual-axie sun tracker", Solar Energy Vol. 45. No. 2, pp. 65-69, 1990.
- [6] 조덕기, 강용혁, 이의준, 오정무, "국내 태양광발전시스템의 최적 설치에 관한 연구", Journal of the Korean Solar Energy Society Vol. 24, No. 3, 2004.
- [7] 조덕기, 강용혁, 오정무, "인공위성을 이용한 한반도에서의 태양에너지 이용가능성 분석에 관한 연구", Journal of the Korean Solar Energy Society Vol. 22, No. 3, 2002.
- [8] 김기범, 이강연, 박정민, 박진영, 백형래, 조금배, "건물 일체화 태양광발전시스템의 입사각에 따른 발전효율에 관한 연구", 전력전자학술대회논문집, pp. 42-44, 7, 2002.
- [9] 이양규, 강신영, 김광현, "소형 태양광 발전시스템 상용화를 위한 프로그램 방식의 태양위치추적기 개발", 전력전자학회논문지 제8권 제3호, pp. 260-265, 6, 2003.
- [10] 임희천, 안교상, "태양광 발전(Photovoltaic) 기술 동향", 전력전자학회지 제8권 제3호, pp. 27-34, 6, 2003.

### 저 자 소 개

#### 이상훈(李相勳)

1974년 8월 11일생. 2000년 경성대 전기 공학과 졸업. 2002년 경성대학교 전기전자공학과 졸업(석사). 2002년~2004년 9월 KT전기 기술연구소 주임연구원. 2006년 부산대학교 메카트로닉스협동과정 졸업(공학). 2006년 3월 ~현재 전남대학교 공



과학기술연구소 연구원



**정태욱(鄭泰旭)**

1970년 5월 16일생, 1993년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 1996 ~ 2005 LG전자(주) 책임연구원, 2006 ~ 현재 한국생산기술연구원 광주연구센터 선임연구원

술연구원 광주연구센터 선임연구원