

# 양축 추적제어에 의한 고효율 태양열 발전시스템의 개발

논 문
60-9-13

## Development of High Efficiency Solar Power Generation with Two-axis Tracking Control

고 재 섭\* · 정 동 화†  
(Jae Sub Ko · Dong-Hwa Chung)

**Abstract** - Recently, interest in renewable energy is increased due to exhaustion of fossil fuel and environmental pollution all over the world, therefore the solar power generation using solar energy is many researched. The solar power generation is required solar tracking control and high concentration solar thermal collector because generation performance is depended on concentrator efficiency. This paper proposes high efficiency solar power generation with two-axis tracking control using dish-type solar thermal collector that has excellent thermal collector performance and tracking algorithm that can be accurately tracked solar position. This paper proves validity through analysis with accuracy of tracking algorithm and generating efficiency.

**Key Words** : Solar power generation, Tracking control algorithm, Solar thermal collector, Solar position

### 1. 서 론

화석에너지의 한정된 매장량의 고갈 문제와 화석에너지의 사용에 의한 지구온난화 및 대기오염 등의 지구 환경보호 문제는 21세기에 인류가 해결해야 할 가장 중요한 과제이다. 이러한 문제들을 근본적으로 해결하기 위하여 대체에너지원의 개발이 필요하다. 대체에너지로서는 자연에 무한정 존재하며 태양열, 풍력, 조력 및 지열 등의 청정에너지가 있으며 그 중에서도 태양열에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

태양열을 이용한 발전시스템은 화석연료를 이용한 종래의 발전시스템을 대체할 수 있는 신재생 에너지 분야로 많은 관심을 받고 있다[2]. 또한 국내의 경우 일사량이 기상상태가 양호할 경우 연평균 약 4,400[kcal/m<sup>2</sup>]로 태양열 발전을 적용하기에 가능한 일사량 조건을 가지고 있다[3]. 태양열 발전은 이용온도에 따라서 저온, 중온 및 고온용으로 분류할 수 있다. 그리고 중·고온 이용 분야에서 집광형 집열기는 그 형태에 따라서 진공관형, PTC(Parabolic Trough Concentrator), CPC(Compound Parabolic Concentrator)형, Dish형 및 Solar Tower 형으로 나누어진다[4]. 태양열을 이용한 발전을 위해서는 고집광을 통해 고온을 얻을 수 있는 Dish형 고온 태양열 시스템이 많이 이용되고 있다[5].

Dish형 고온 태양열 시스템은 Dish형 집열기에 부착된 반사판을 이용하여 태양 복사 에너지를 흡수기에 집열시켜 작동 유체를 가열시키는 열매체 방식이다. 이러한 Dish형 고온 태

양열 시스템 중에서 중요한 부분인 흡수기는 크게 수증기를 이용하는 방식과 공기를 이용하는 방식으로 분류된다. 중·고온 태양열 활용 시스템은 저밀도 에너지원인 태양열을 고밀도 화하기 위하여 집광식 집열기를 사용하며, 집광효율을 더욱더 향상시키기 위해서는 태양의 위치를 추적하는 태양위치추적시스템이 필요하다. 태양을 추적하는 방식에는 광센서 방식 및 프로그램 방식으로 분류된다. 광센서를 이용하여 태양을 추적하는 광센서 방식의 경우 날씨가 흐리거나 구름에 의해 태양이 가려졌을 경우와 광센서에 이물질이 있을 경우 정확한 태양의 위치를 추적하지 못한다는 단점을 가지고 있다. 그리고 이러한 점을 보완하기 위하여 천문학적 계산에 의해 태양의 위치를 추적하는 프로그램 방식을 사용하고 있다[6-8]. 프로그램 방식은 추적 신호의 생성방식에 따라서 설치장소의 위도, 경도와 시간정보에 의해 태양위치를 계산한다. 프로그램 방식은 날씨와 시간에 따른 태양의 방위각 및 고도각을 미리 기억시켜 놓거나 컴퓨터로 계산된 값에 의해 방위각 및 고도각을 조절하는 개루프 방식이다. 이는 구름이나 기상조건에 급격한 변화에도 오동작 없이 비교적 높은 추적 정확도를 나타낸다[9-11].

따라서 본 논문에서는 보다 정확한 태양의 위치추적을 위해 PSA(Position Solar Algorithm)를 양축 추적제어에 적용하고 집열성능이 우수한 Dish형 집열기로 태양열 발전시스템을 개발한다. 또한 제시한 알고리즘에 의해 태양열 발전시스템의 발전 효율과 제어된 고도각 및 방위각을 한국천문연구원의 데이터와 비교하여 추적오차를 분석하여 본 논문의 타당성을 입증한다.

### 2. 태양열 발전시스템 구성

태양열 발전에 활용되는 열기관으로는 일반적으로 스텔링, 브레이턴 및 랭킨사이클 등의 엔진이 있다. 그 중에서 최고 작

\* 정 회 원 : 순천대 공대 전기공학과 박사과정  
† 교신저자, 정회원 : 순천대 공대 전기공학과 정교수 · 공박  
E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr  
접수일자 : 2011년 2월 28일  
최종완료 : 2011년 8월 22일

동온도에 대한 각 사이클 엔진의 열효율을 비교하면 스텔링엔진이 가장 유리하며, 1[kW] 발전 당 시스템 비용도 브레이턴 사이클 엔진이나 랭킨 사이클 엔진에 비하여 저렴하다. 스텔링엔진은 이론상 열효율이 카르노 사이클의 열효율과 같아 열역학적으로는 최고 효율을 가지고 있다. 그리고 이용할 수 있는 열원의 온도도 광범위하며, 외연기관이기 때문에 화석연료는 물론 이론상으로는 어떠한 연료라도 이용이 가능하다. 특히, 산업 폐기물의 소각으로서 배출되는 열, 태양열, 지열 및 온천열 등과 같은 열의 이용도 가능하다. 스텔링엔진은 배기가 배출되지 않고 작동가스의 교체도 없을 뿐만 아니라 연소할 때 폭발행정이 없으므로 엔진의 진동, 소음이 적어 운전이 정숙하다. 스텔링엔진은 이러한 이점을 가지고 있기 때문에 화석연료의 무제한적인 소비증대에 의한 지구환경 오염문제로부터 벗어나기 위한 대체용으로서 주목을 받고 있다. 또한 근래에 와서는 관련기술, 특히 극한 상황에서도 견딜 수 있는 내열재료, 기밀기술 등의 발달로 인하여 그 움직임은 가속화 될 전망이다.

따라서 본 논문에서는 이러한 장점을 갖는 스텔링 엔진을 신재생 에너지 분야인 태양열 발전에 적용한 시스템을 제시하며, 그림 1은 제시한 시스템을 나타낸다.

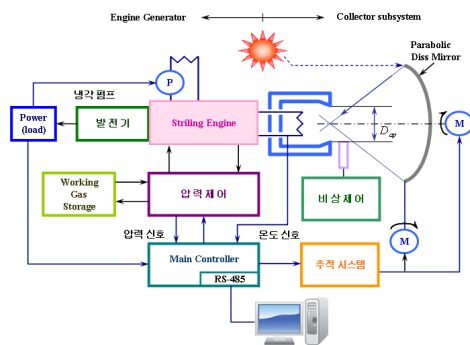


그림 1 제안한 태양열 발전시스템  
Fig. 1 Proposed solar power generation system

제시한 시스템은 태양광을 수집하여 열에너지로 변환시키는 집광·수열 시스템과 이 열을 이용하여 엔진·발전기를 회전시키고 발전하는 엔진·발전기 시스템, 태양추적(양축)과 태양으로부터 일사량에 대한 엔진 작동가스의 평균압력을 변화시키는 제어 시스템의 3부분으로 구성한다. 집광·수열 시스템은 접시형 거울면을 이용한 집광시스템과 이 빛을 받아 열에너지를 모아 공급하는 수열 시스템으로 구성한다. 엔진·발전기 시스템은 태양열을 이용하여 고온과 저온의 공기를 공급하여 온도의 차에 의해 엔진을 회전시키며 이 엔진에 따라 작동되는 발전기가 구동되도록 하여 발전을 일으키도록 구성한다. 제어 시스템은 PC 기반 제어를 통해 태양을 따라 집광하도록 하는 양축 추적장치와 수열기를 수열량에 따라 개폐하는 장치, 엔진의 작동을 제어하는 장치 등으로 구성되는 주 제어부에서 조정하도록 구성한다. 본 논문에서 제시한 스텔링 엔진을 이용한 태양열 발전은 태양의 위치 추적을 양축으로 하고 새로운 알고리즘을 통해 고정밀도로 제어하여 효율을 높일 수 있으며, 스텔링 엔진을 사용함으로써 무진동, 무소음의 친환경 대체에너지 지원 시스템을 실현할 수 있다.

### 3. 양축 추적제어

#### 3.1 태양의 위치 계산

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. 프로그램 방식에서 사용되는 기본 구성장치는 추적 장치의 위치를 확인 할 수 있는 센서류 및 마이크로프로세서가 내장된 제어기, 모터 및 감속기 등으로 구성한다. 프로그램 방식은 기상변화에 상관없이 제어하며 일몰 후에는 원하는 위치로 제어할 수 있다.

태양열 발전의 집열기 온도는 입사 광량에 비례하므로 같은 외부환경에서도 태양열 집열기가 태양광 법선 방향으로 위치할 때 집열기의 온도는 최대가 된다. 이처럼 집열기가 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, 진 태양시, 태양의 시간각 등을 계산하여야한다.

적위는 지구의 중심축과 태양의 중심축으로부터 일직선으로 생기는 광선과 지구의 적도면 사이에 형성된 각으로  $\delta$  로 표현한다.

$$\delta = 0.322003 - 22.9711 \cos(t) - 0.14398 \cos(3t) + 3.946380 \sin(t) + 0.019334 \sin(2t) + 0.059280 \sin(3t) \quad (1)$$

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.

그림 2는 북위 35°, 동경 126.7°에서 1년간 적위 변화곡선이다.

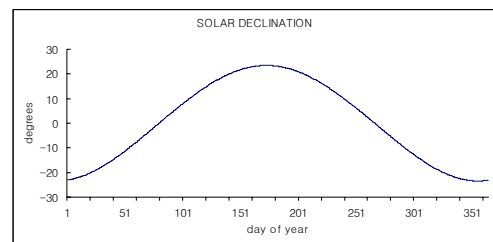


그림 2 태양의 년 적위 변화  
Fig. 2 Declination variation of solar during 1 year.

태양의 시간각은 관측자 측, 태양 전지판이 설치되어 있는 현지 자오선을 지난 후 시간권 사이의 각으로써 남점에서 서쪽방향으로 돌며 겐 크기를 시간각( $\omega$ )이라고 한다.

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

$T_{AS}$  : 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 평균태양시사이의 시간차를 나타낸다.

$$EOT = 0.258 * \cos(t) - 7.416 * \sin(t) - 3.648 * \cos(2t) - 9.228 * \sin(2t) \quad (3)$$

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( $\alpha_s$ )은 태양과 수평면이 이루는 각도를 말하고, 방위각( $\gamma_s$ )은 태양이 수평면에 투영된 위치가 정 남쪽과 이루는 각을 말한다. 그림 4는 연중 태양의 방위각 및 고도각 변화를 나타내고 있다.

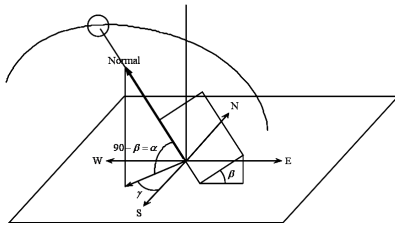


그림 3 태양의 방위각 및 고도  
 Fig. 3 Azimuth and altitude of solar

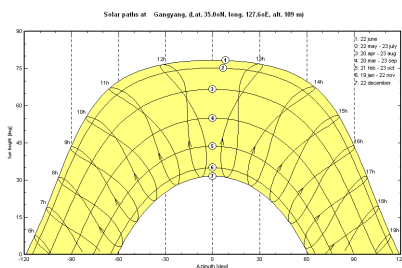


그림 4 태양의 방위각 및 고도각 변화  
 Fig. 4 Azimuth and altitude change of solar

### 3.2 PSA에 의한 태양위치 계산

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 주

어진다. 위도는 북반구에 대해 +로 고려하고, 경도는 동쪽에서 시작한다.

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

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

$m$  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 자리는 무시한다.

이러한 표현은 Fliegel과 Van Flandern(1968)이 제시한 것과는 마지막 2 항 동안은 차이가 난다. 이 항의 덧셈은 주어진 순간의 시간에 대하여 십진수의 율리안 날짜의 계산을 가능하게 한다. Fliegel과 Van Flandern의 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

주의해야 할 것은 천체가 지평선에 오름을 적절하게 계산하여야 한다. 식 (13)에서 0 과  $2\pi$  사이 값을 갖는다. 천체에서 수평 좌표까지의 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.

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

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

### 4. 실험결과 및 분석

#### 4.1 방위각과 고도각의 정확도 분석

그림 5는 추적장치 구동을 위한 제어기를 나타낸다.

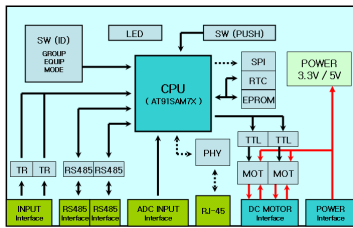


그림 5 추적 제어기의 블록도.  
Fig. 5 The Block diagram of tracking controller

표 1 방위각의 비교 데이터

Table 1 Comparison data of azimuth

시간 (시)	방위각(도) (한국천문연구원)	방위각(도) (제어값)	방위각(도) (오차값)	방위각(도) 정확도(%)
0	346.03	345.999	0.031	99.99%
1	10.17	10.135	0.035	99.69%
2	32.22	32.172	0.048	99.83%
3	49.57	49.614	-0.044	99.87%
4	62.8	62.823	-0.023	99.87%
5	73.38	73.415	-0.035	99.87%
6	82.53	82.492	0.038	99.88%
7	91.15	91.108	0.042	99.88%
8	100.05	100.008	0.042	99.87%
9	110.18	110.139	0.041	99.87%
10	122.88	122.837	0.043	99.87%
11	140.17	140.145	0.025	99.90%
12	163.92	163.883	0.037	99.97%
13	191.87	191.832	0.038	99.94%
14	216.63	216.605	0.025	99.89%
15	234.87	234.841	0.029	99.89%
16	248.17	248.121	0.049	99.89%
17	258.6	258.556	0.044	99.90%
18	267.65	267.691	-0.041	99.90%
19	276.28	276.245	0.035	99.90%
20	285.32	285.287	0.033	99.89%
21	295.63	295.599	0.031	99.89%
22	308.4	308.375	0.025	99.88%
23	325	324.979	0.021	99.90%
평균			0.035	99.88%

태양 자동 추적 제어기의 방위각 및 고도각 추적 정확도에 대한 신뢰성 분석 실험은 천문연구원 자료를 이용하여 수행하였다. 천문연구원에서 제공된 태양의 방위각 및 고도각과 논문에서 개발한 제어보드에 의해 실시간으로 추적된 태양의 방위각과 고도각을 비교 분석하였다. 표 1과 2는 2010년 4월 5일의 방위각 및 고도각의 천문연구원 데이터와 제어보드의 추적 데이터를 나타낸다.

그림 6과 7은 방위각 및 고도각 측정에 대한 비교 데이터를 도식화하여 나타내고 있으며 그림 8과 9는 천문연구원 데이터와 측정된 방위각 및 고도각 데이터의 오차를 나타내고 있다.

방위각의 평균오차 및 정확도는 0.035°, 99.88%이고 고도각의 평균오차 및 정확도는 0.036°, 99.3%로 매우 우수한 추종성을 나타내고 있다.

표 2 고도각의 비교 데이터

Table 2 Comparison data of altitude

시간 (시)	고도각(도) (한국천문연구원)	고도각(도) (제어값)	고도각(도) (오차값)	고도각(도) 정확도(%)
0	-51.22	-51.253	0.033	99.95%
1	-51.62	-51.578	-0.042	99.94%
2	-47.12	-47.095	-0.025	99.92%
3	-39.02	-39.051	0.031	99.86%
4	-28.78	-28.735	-0.045	99.77%
5	-17.37	-17.418	0.048	99.59%
6	-5.35	-5.309	-0.041	98.53%
7	6.9	6.95	-0.05	99.01%
8	19.13	19.173	-0.043	99.55%
9	31	30.979	0.021	99.64%
10	42.02	42.005	0.015	99.66%
11	51.25	51.211	0.039	99.68%
12	57.1	57.072	0.028	99.63%
13	57.57	57.553	0.017	99.63%
14	52.47	52.509	-0.039	99.64%
15	43.63	43.662	-0.032	99.65%
16	32.83	32.861	-0.031	99.60%
17	21.08	21.042	0.038	99.37%
18	8.9	8.946	-0.046	98.49%
19	-3.35	-3.392	0.042	95.58%
20	-15.4	-15.435	0.035	98.87%
21	-26.9	-26.866	-0.034	99.24%
22	-37.32	-37.368	0.048	99.33%
23	-45.75	-45.794	0.044	99.28%
평균			0.036	99.3%

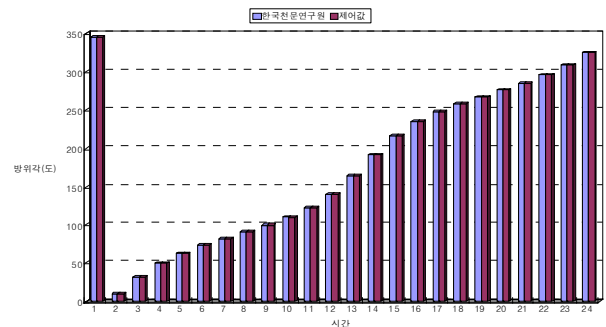


그림 6 방위각 제어의 비교  
Fig. 6 Comparison of azimuth control

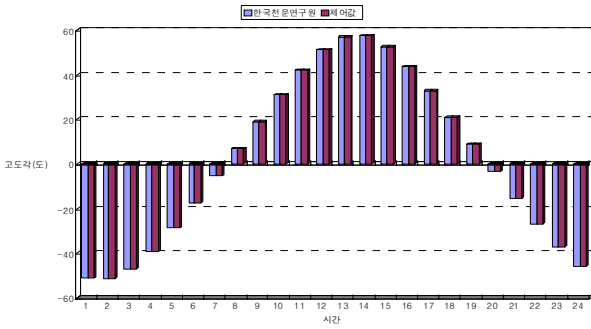


그림 7 고도각 제어의 비교  
Fig. 7 Comparison of altitude control

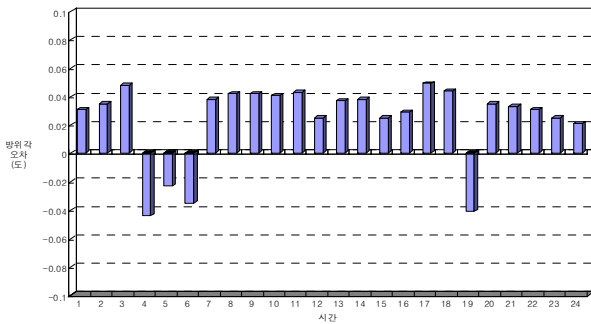


그림 8 방위각 제어의 오차  
Fig. 8 Error of azimuth control

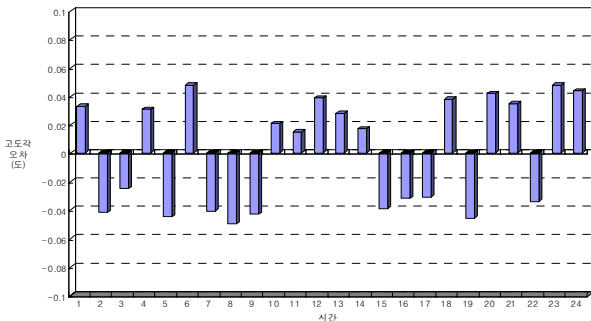


그림 9 고도각 제어의 오차  
Fig. 9 Error of altitude control

#### 4.2 태양열 발전시스템의 결과 분석

그림 10은 본 논문에서 개발한 태양열 발전시스템의 실험장치를 나타낸다. Dish형 집열기와 양축 태양광 시스템을 이용하여 발전기를 구동시켜 출력을 얻는 시스템이다.

그림 11은 일사량이 높은 경우의 태양열 발전시스템의 일사량에 따른 집열기의 온도를 나타낸다. 일사량이 높을 경우에 집열기의 온도가 900[°C] 정도로 매우 높은 온도를 나타내고 있다. 그림 12는 11과 같은 조건에서의 추적식과 고정식 발전시스템의 발전량 비교를 나타낸다. 추적식 발전시스템이 고정식에 비하여 누적발전량이 크게 발생하고 있다.

그림 13은 저일사량이 경우의 일사량에 따른 집열기의 온도

를 나타내고 있다. 낮은 일사량으로 인하여 집열기의 온도가 충분하게 상승하지 못하고 있다. 그림 14는 저 일사량일 경우의 추적식과 고정식의 발전량 비교를 나타낸다. 추적식 태양열 발전시스템은 고정식에 비하여 발전량이 향상됨을 나타낸다.



그림 10 양축 추적식 태양열 발전시스템  
Fig. 10 Solar power generation system of two-axis tracking type

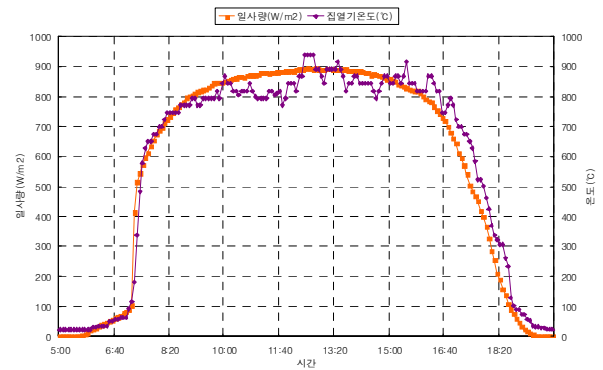


그림 11 일사량에 따른 집열기 온도(고일사량)  
Fig. 11 Thermal Collector temperature by radiation(High radiation)

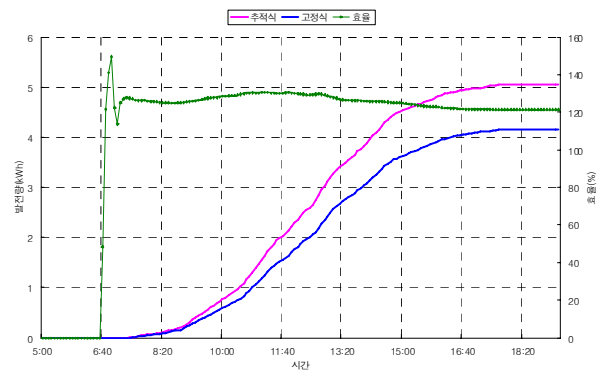


그림 12 일사량에 따른 누적 발전량 비교 (고일사량)  
Fig. 12 Comparison of accumulated generation volume(High radiation)

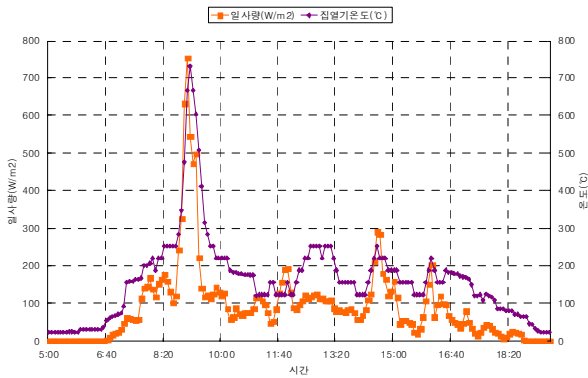


그림 13 일사량에 따른 집열기 온도(저일사량)  
 Fig. 13 Thermal Collector temperature by radiation(Low radiation)

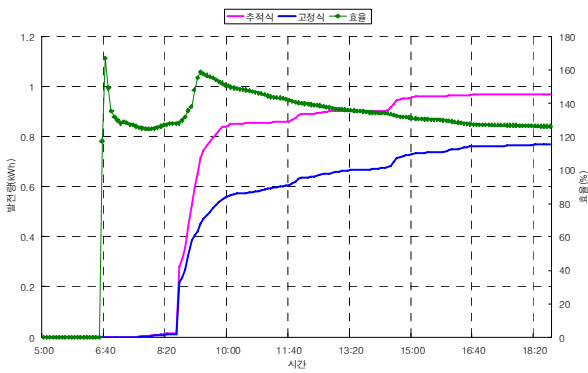


그림 14 일사량에 따른 누적 발전량 비교 (저일사량)  
 Fig. 14 Comparison of accumulated generation volume(Low radiation)

6. 결 론

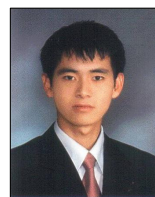
본 논문에서는 양축 추적제어에 의한 고효율 태양열 발전 시스템을 제시하였다. 양축 추적제어는 PSA에 의하여 제어하였고 천문연구원의 데이터와 고도각 방위각을 비교하였다. 방위각의 평균 오차는 0.035°, 정확도는 99.8%로 나타났으며 고도각의 평균 오차는 0.036°, 정확도는 99.3%로 나타났다. 따라서 PSA에 의한 방위각 및 고도각의 양호한 추적성을 확인할 수 있었다. 또한 양축 추적제어를 적용한 태양열 발전과 고정된 태양열 발전시스템의 집열기 온도 및 누적 발전량을 일사량에 따라 비교하였으며 양축추적 제어를 적용한 태양열 발전시스템이 고정식 태양열 발전시스템에 비하여 고일사량에서 약 21%, 저일사량에서는 26%의 발전효율이 향상되었다. 따라서 본 논문에서 제시한 양축 추적제어에 의한 고효율 태양열 발전시스템의 효용성을 입증할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Soteris, A. Kalogirou, "Solar energy engineering," Process and Systems; Elsevier Inc., 2009.  
 [2] Y. H. Kang, "Flux Distribution of the Dish Concentrator", Journal of the Korean Solar Energy

Society, 1999.  
 [3] 강용혁 외, "10kW급 Dish-Stirling 태양열 발전시스템 실증연구", Journal of the Korean Solar Energy Society, 2006.  
 [4] M. C. Kang, "Flux Density Distribution of the Dish Solar Concentrator", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 24, NO. 4, pp. 11-18, 20004.  
 [5] S. Y. Ryu, "An analysis of Heat Losses from a Receiver for a Dish-Type Solar Energy Collecting System", Inha University Incheon, Korea, 1999.  
 [6] P. Roth, A. Georgiev, H. Boudinov, "Design and construction of a system for sun-tracking", Renewable Energy, Vol. 29, pp. 393-402, 2004.  
 [7] P. Roth, A. Georgiev, H. Boudinov, "Cheap two axis sun following device", Energy Conversion and Management, Vol. 46, pp. 1179-1192, 2005.  
 [8] M. J. Jang, J. S. Ko, J. S. Choi, J. W. Baek, S. J. Kang, D. J. Chung, "Comparison study of PV tracking system with sensor and program method", EMECS, pp. 222-224, 2009.  
 [9] B. J. Wilkinson, 1983, "The effect of atmospheric refraction on the solar azimuth", Solar Energy 30, 295  
 [10] L. R. Muir, 1983, Comments on The effect of atmospheric refraction on the solar azimuth, Solar Energy 30, 295.  
 [11] H. D. Kambezidis, N. S. Papanikolaou, 1990, Solar position and atmospheric refraction, Solar Energy 44, 143.

저 자 소 개



고 재 섭 (高在涉)

2005년 순천대학교 공대 전기제어공학과 졸업 2007년 2월 순천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월 동 대학원 전기공학과 박사과정  
 Tel : 061-750-3543  
 Fax : 061-752-1103  
 E-mail : kokos22@scnu.ac.kr



정 동 화 (鄭東和)

1979년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년~1989년 현대중전기(주) 기술연구소 책임연구원. 1989년~현재 순천대학교 정보통신공학부 교수.  
 Tel : 061-750-3543  
 Fax : 061-752-1103  
 E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr