

논문 2013-50-11-22

## 경사각 종속형 2축식 태양광 추적기의 추적방식

( Tracking Method of Inclination-dependent 2-axis Solar Tracker )

홍정훈\*, 김은성\*\*

( Jung-Hoon Hong and Eun-Sung Kim<sup>©</sup> )

### 요약

태양광 발전에서, 태양전지가 받는 태양광량은 발전량에 영향을 주는 가장 중요한 요소이다. 태양전지를 최대한 태양과 마주보도록 회전시켜주는 다양한 형태의 추적식 태양광 발전기가 개발되었으며, 특히 태양의 위치를 2개의 회전축을 이용하여 추적하는 2축식 추적방식이 발전효율을 높이는 데 크게 기여하고 있다. 이러한 2축식 태양광 추적식 발전기 중에 경사각 종속형 방식은 초기 투자비용이 비교적 저렴하고 견고한 구조로 유지보수가 용이하기 때문에 실제 발전 현장에서 널리 이용하고 있지만, 회전 각도가 제한적일 수밖에 없는 구조적 특성 때문에 태양을 추적하는데 한계가 있어 발전효율이 상대적으로 낮다. 본 논문은 경사각 종속 2축식 태양광 발전기의 발전효율을 높일 수 있는 방법을 제안한다. 이를 위해 정확한 제어에 필요한 수식을 유도하고, 한 개의 축이 제한 각도에 도달했을 때에도 그 나머지 축으로 계속 추종해가도록 한다. 제안된 방법이 태양 전지에 입사되는 태양광량이 더 많아짐을 입증하기 위해 정확한 태양의 추종 및 제안방식으로서의 운용에 필요한 수식들을 유도하고, 이를 한국천문연구원의 각 분기별 데이터에 적용하여, 회전 제한각도에서 기존의 운용 방식과 비교한 결과로 최대 11.1% 이상의 태양광을 더 받을 수 있음을 확인한다.

### Abstract

The dinger in solar generation is the amount of sunlight which the solar cells absorb. Various types of solar trackers, which rotate themselves in order to make the solar cells face the sun as much as possible, have been developed, and especially the method of tracking with two axes has greatly contributed in increasing the generation amount at work sites. Among theses 2-axis solar trackers, the inclination-dependent 2-axis solar tracker are widely utilized for its advantages of requiring less initial investment and easy maintenance due to a solid structure. However, the drawback is that the generation efficiency is relatively low because of the structural restriction that limits the rotation angle, thus making it less efficient when tracking the sun. This paper proposes a method to increase the generation efficiency of the inclination-dependent 2-axis solar tracker. It also contains the derived equations needed for precise controlling along with a method to keep tracking with the other axis even when one has reached its angle limit. To confirm that the proposed method increases the amount of incidence onto the solar cells, formulas needed for operation on the proposed method and tracking the exact position of the sun are derived, and applying this to the quarterly data of Korea Astronomy and Space Science Institute it shows maximum over 11.1% more incidence compared to existing methods.

**Keywords :** Solar, tracker, inclination-dependent, altitude, angle

### I. 서론

청정에너지원으로 각광받는 태양광 발전은 설치비용

대비 낮은 발전효율로 그 보급이 기대에 크게 미치지 못하는 실정이다. 이 낮은 발전효율을 높이기 위한 연구가 지속되고 있으며<sup>1-3)</sup>, 이러한 연구 중에서 태양광 추적식 발전기는 발전기가 최대의 발전효율을 갖도록 태양광과 태양전지의 면을 법선으로 유지시켜주는 장치<sup>4)</sup>.

태양광 추적식 발전기는 그 축의 구성에 따라 1축식

\* 정회원, \*\* 평생회원, 순천향대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronic Eng. Soonchunhyang Univ.)

© Corresponding Author(E-mail: eskim@sch.ac.kr)  
접수일자 : 2013년9월2일, 수정완료일 : 2013년10월28일

[5]과 2축식<sup>[6-7]</sup>으로 나누어지고, 추적 방식에 따라 광센서나 홀센서를 이용하여 태양을 추적하는 센서방식<sup>[6-9]</sup>과 태양의 위치를 수치적으로 계산하여 해당 위치로 추종하는 수식에 의한 제어방식<sup>[10]</sup>, 그리고 두 방식을 혼용하는 하이브리드 방식으로 구분된다. 그 중에서 실제 태양전지를 회전시키는 회전축이 두 개로 이루어진 2축식 태양광 추적식 발전기는 태양의 위치를 정확하게 추종하는 것을 목적으로 하여, 높은 발전 효율 향상을 가져온다. 그러나, 태양광 발전기가 설치되는 실외의 환경은 비와 바람, 온도와 습도 등 다양한 자연적 영향으로 정밀한 제어장치 및 기구부의 잦은 오류와 고장을 야기한다. 특히 태양의 방위각(Azimuth)과 고도각(Elevation, Altitude)을 그대로 회전축에 일치시킨 방향각 종속형 2축식 추적 방식은 일출에서 일몰까지 태양을 완벽하게 추종할 수 있는 움직임이 가능하여 발전효율 측면에서 추적식 발전기의 형태 중에서 가장 이상적이지만, 방향축이 발전기의 거의 모든 하중을 받으며 회전해야하기 때문에 전력소모가 크고 고장이 잦으며, 설치 및 유지보수가 어려운 단점이 있다. 이에 비해 태양의 고도각과 방위각 기준이 회전축과 일치하지 않고, 방향각이 경사각에 종속되어 움직이는 경사각 종속형 2축식 추적 방식은 특성상 회전 각도가 제한적이기 때문에 태양을 추종하는데 한계가 있지만 비교적 저렴한 설치비용과 유지보수가 용이하다는 장점으로 많이 설치되고 있다. 이 경사각 종속형 2축식 태양광 발전기는 기본적으로 회전 제한각도 이내에서 방향각 종속형 2축식 태양광 발전기처럼 태양을 정확히 마주볼 수 있으며, 다양한 장점이 있기 때문에 추적식 발전기 중에서 가장 이상적인 추적 형태를 갖는 방향각 종속형 2축식 태양광 발전기에 근사한 발전효율을 가질 수 있다면 추적식 태양광 발전에서 크게 선호되는 방식이 될 것이다.

따라서, 본 논문에서는 방향각 종속형 2축식 태양광 발전기보다 다양한 장점이 있지만 상대적으로 발전효율이 낮은 경사각 종속 2축식 태양광 발전기의 발전효율을 높일 수 있는 방법을 제안한다. 그러기 위해 우선 기존 발전소에서처럼 긴 시간 간격을 두고 대략적인 각도로 회전하여 발전시키는 운용 방식이 아닌 태양의 방위각과 고도각을 변형하여 발전기의 회전 제한각도 이내에서 정확한 추종을 가능하도록 수식을 유도하고, 한 축이 제한각도에 도달하여 추종이 종료되었을 때 다른 축의 움직임으로 발전효율을 높일 수 있는 방법을

제안한다.

제안방법의 성능분석을 위해 천문학 자료를 토대로 본 논문에서 제안한 운용방식을 적용하여 그 결과를 살펴보고, 회전 제한각도에서 기존의 운용 방식과 성능을 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 태양광 추적식 발전기의 기본 형태와 동작 특성을 설명한다. III장에서는 본 논문에서 제안하는 추적방식을 위한 수식 유도과 운용방법에 대해 설명한다. IV장에서는 천문학 데이터를 이용하여 기존방식과 제안방식의 효율을 비교한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 태양광 추적식 발전기

### 1. 태양광 추적식 발전기의 기본 형태

태양광 추적식 발전기는 고정식과 달리 발전효율의 향상을 위해 태양 전지판을 최대한 태양광과 법선으로 마주하도록 태양의 위치에 맞춰 회전하게 되어있다.

추적 장치는 통상 회전축의 갯수에 따라 1축식과 2축식으로 구분하는데, 2축식은 축의 종속성에 따라 태양의 방위각과 고도각에 동일한 방향의 회전축을 갖는 방향각 종속형 2축식 태양광 발전기와 회전 방향이 태양의 방위 및 고도각과 상이한 축을 갖는 경사각 종속형 2축식 태양광 발전기로 나누어 볼 수 있다.

태양의 방위각과 고도각을 변형하지 않고 그대로 추종하는 방향각 종속형 2축식 태양광 발전기의 경우에는

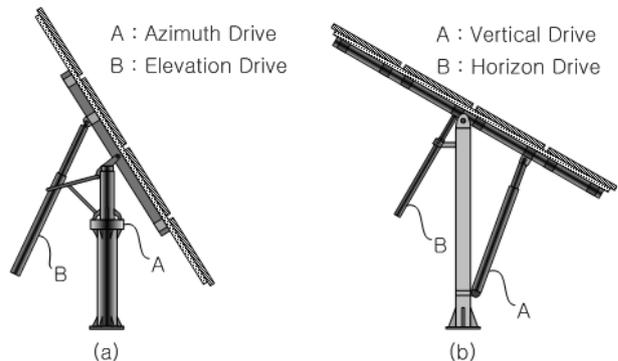


그림 1. 2축식 태양광 발전기의 회전축 구성에 따른 기본 형태, (a) 방향각 종속형 2축식, (b) 경사각 종속형 2축식

Fig. 1. Fundamental frames based on rotation axis structure of 2-axis solar generator, (a) azimuth-dependent 2-axis, (b) inclination-dependent 2-axis.

방향각 제어에 웜 드라이브(Worm Drive) 등을 이용하여 발전기 상단부 전체를 받쳐주며 돌려주어야 하는데 이에 따른 하중부담이 크고, 또한 넓게 펼쳐진 태양 전지에 바람의 영향까지 더해지면 발전기 전체를 지지하고 있는 드라이브에 가해지는 압력이 매우 커져 파손 및 고장의 주요 원인이 되어, 유지보수나 수정이 매우 어렵고 비용이 많이 드는 단점이 있다.

반면에, 경사각 종속형 태양광 발전기는 구동부가 전체의 하중을 견딜 필요가 없고 유지보수나 수정이 비교적 용이한 장점이 있으나 움직일 수 있는 각도가 제한적 이어서 상대적으로 발전 가능한 시간이 짧아진다.

그림 1은 웜 드라이브를 사용하는 방향각 종속형 2축식 태양광 발전기와 경사각 종속형 2축식 태양광 발전기의 기본적인 형태를 보여주고 있다. 여러 형태의 발전기가 개발되어 왔지만, 축의 구성에 따른 태양 추종 형식은 거의 동일하며, 실제 운용되는 기구부는 설치, 유지보수 및 비용 등의 이유로 구조가 가능한 간단해야 하기 때문에 실제 발전소에 설치된 2축식 발전기들은 그림 1에 보인 형태에서 크게 벗어나지 않고 있다.

그림 1 (b)에서 보는 바와 같이 발전기의 경사각 동작가능 각도는 태양전지의 면이 지면과 수평할 때를 90°라고 한다면, 구조상 90°에서 15° 내외의 동작 각도를 갖게 되어 그림 1 (a)의 고도각 동작 각도와 비슷하고, 그 경사 위에서 횡축으로 회전하는 각도는 좌/우 각각 최대 60° 내외가 되어 그림 1 (a)에서처럼 360° 회전이 가능한 구조물과 비교하면 회전 가능 각도가 매우 제한적이다.

2. 태양광 추적식 발전기의 기본 형태

그림 2에는 그림 1 (b)의 경사각 종속형 2축식 태양광 발전기의 동작 가능 각도와 그에 따른 태양 추적 가능 범위를 도시하였다.

이러한 구조적 제한 하에서의 움직임을 살펴보면, 횡축으로 동일한 각도를 유지하더라도 종축으로 각도가 변화하게 되면 태양전지가 향하게 되는 방위가 달라지므로, 태양의 방위각과 고도각을 발전기의 회전축에 맞춰 변형된 수식에 의해 움직여 주어야 한다. 또한, 태양이 횡축의 추적 각도를 벗어나면 태양 추종을 더 이상 하지 않고 동작을 멈추는 것이 일반적인 동작 방식이지만, 경사각은 아직 제한각도에 걸리지 않아 정확하지는 않아도 계속 태양을 추종할 수 있는 경우가 많다.

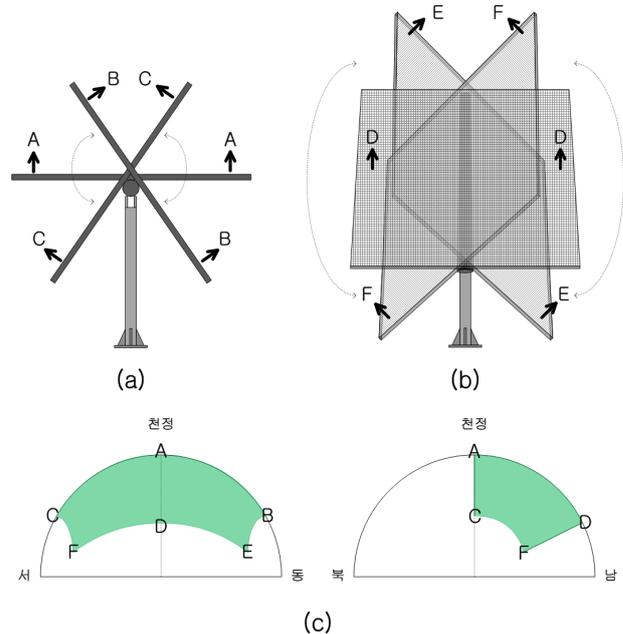


그림 2. 경사각 종속형 2축식 태양광 발전기의 회전에 따른 추적 가능 범위, (a) 경사각 최대일 때 태양전지의 최대 움직임, (b) 경사각 최저일 때 태양전지의 최대 움직임, (c) 천구에 표현한 추적 가능 범위

Fig. 2. Range possible for tracking on rotation of an azimuth-dependent 2-axis solar tracker, (a) maximal motion range of solar cells at maximum azimuth, (b) maximal motion range of solar cells at minimum azimuth, (c) range possible for tracking shown on the celestial sphere.

III. 제안한 방식

1. 경사각 종속형 2축식 발전기의 태양 추종 수식

경사각 종속형 2축식 태양광 발전기는 태양의 고도각과 방위각을 그대로 발전기의 경사각과 방향각에 적용할 수 없기 때문에 별도의 계산식이 필요하며, 태양의 위치 자체를 처음부터 기구부의 회전축에 맞춰 산출하는 것은 태양의 위치 유도 과정을 처음부터 다시 산출해야 하고 수학적으로도 복잡하고 난해하여 비효율적이기 때문에 천문학적 연구에 의해 산출된 태양의 방위각과 고도각을 그대로 이용하여 경사각 종속형 2축식 태양광 발전기의 각 축별 각도를 결정짓는 것이 더욱 이해가 쉽고 간결하며 발전기의 제어부에 적용이 쉽다.

수식 유도를 위해 경사각이 지면과 수평일 때를 90°라 하고, 지면과 수직이 될 때를 0°라 정하였다. 그리고,

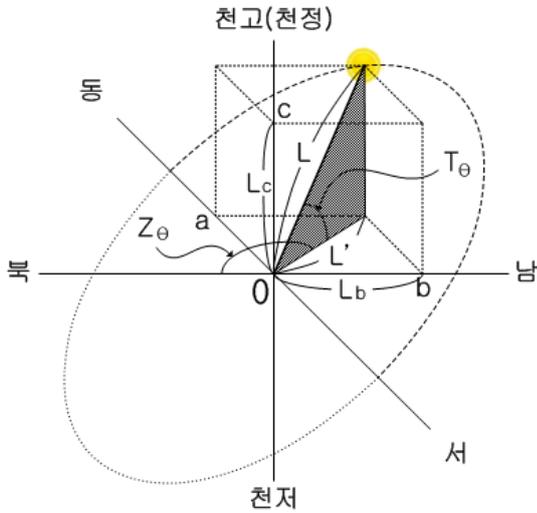


그림 3. 공간 직각 좌표계에서 태양의 방위각과 고도각을 이용한 태양의 위치 표시  
Fig. 3. Position of the sun using its azimuth and altitude in cartesian coordinate system.

횡축은 정중앙을 바라볼 때를 0°라 하고, 동쪽을 바라보며 회전할 때 음의 방향, 서쪽을 바라보며 회전할 때 양의 방향으로의 회전이라 기준을 정하였다.

또한, 태양의 방위각을  $Z_\theta$ , 태양의 고도각을  $T_\theta$  로 표시하였다.

그림 3에서 태양광 발전기의 위치를 원점으로 하고, 원점에서 태양까지의 거리를  $L$ , 원점에서 좌표  $(a, b, 0)$  까지의 거리를  $L'$ 이라 한다면,

$$L' = L \times \cos(T_\theta) \quad (1)$$

가 되고, 원점에서 좌표  $(0, b, 0)$  까지의 거리를  $L_b$ 이라 한다면,

$$L_b = L' \times \cos(\pi - Z_\theta) = -L' \times \cos(Z_\theta) \quad (2)$$

가 되며, 원점에서 좌표  $(0, 0, c)$  까지의 거리를  $L_c$ 이라 한다면,

$$L_c = L \times \sin(T_\theta) \quad (3)$$

이 된다. 이를 이용하면 그림 4의  $V_\theta$ 와  $H_\theta$ 가 다음과 같이 간단한 식으로 구해진다.

$$V_\theta = -\tan^{-1} \left\{ \frac{\tan(T_\theta)}{\cos(Z_\theta)} \right\} \quad (4)$$

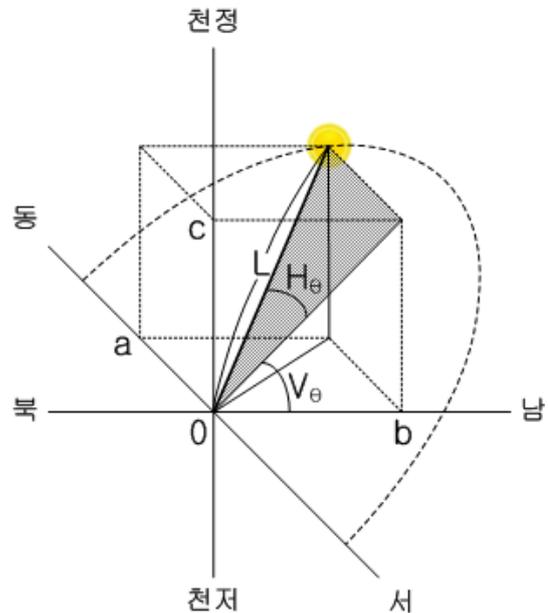


그림 4. 경사각 종속형 태양광 발전기를 위해 변형된 태양의 각도  
Fig. 4. Modified angle of the sun for the inclination-dependent solar tracker.

$$H_\theta = \sin^{-1} \{ \cos(T_\theta) \times \sin(Z_\theta) \} \quad (5)$$

여기서,  $V_\theta$ 는 발전기의 종축 각도이며,  $H_\theta$ 는 횡축 각도로서, 각각 변환된 각도만큼씩 움직이면 태양전지의 면이 정확히 태양을 향하게 된다.

## 2. 제한 각도에서의 태양 추종 방법

경사각 종속형 2축식 발전기에서 종축과 횡축의 회전각도 내에서의 태양 추종은 태양의 방위각과 고도각을 변환하여 사용하면 된다. 그러나 제한각도에 도달하게 되면 그 다음에는 더 이상 태양을 추종하지 않고 광량이 줄어들기를 기다리다 해가 지면 바람의 영향을 적게 받도록 태양전지가 천정을 바라보도록 위치로 회전 후 다음날 해가 뜰 때까지 대기하는 것이 일반적인 동작 방식이다.

그렇지만, 하나의 축이 제한각도에 도달한다 하더라도 다른 축의 각도를 적절하게 조절한다면 더 많은 태양광을 받을 수 있다.

그림 5는 방향각이 좌측 제한각일 경우에 고도각에 의해 그려지는 호  $r(V_\theta)$ 를 나타내고 있으며, 직각 좌표계로의 표현을 위해 각 방위를 x축, y축, z축으로 표현하였다.

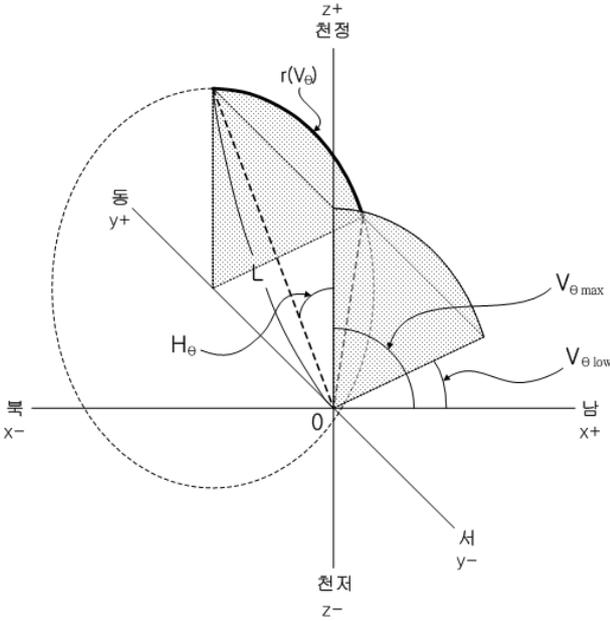


그림 5. 각 방위의 직각 좌표계로의 변형 및  $H_{\theta}$ 가 제한각에 도달했을 때  $V_{\theta}$ 에 의해 그려지는 호  $r(V_{\theta})$

Fig. 5. Transformation of each azimuth into cartesian coordinate system and Arc  $r(V_{\theta})$  drawn by  $V_{\theta}$  at angle limit of  $H_{\theta}$ .

극좌표계에서 태양의 방위각과 고도각은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\phi = \pi - Z_{\theta} \tag{6}$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} - T_{\theta} \tag{7}$$

이 때, 태양까지의 거리를  $L$ 이라 놓고, 태양의 좌표를 직각좌표계로 변형하면

$$(L \sin \theta \cos \phi, L \sin \theta \sin \phi, L \cos \theta) \tag{8}$$

이 되며, 그림 5의  $r(V_{\theta})$  위의 임의의 한 점의 좌표를 구하면

$$r(V_{\theta}') = (L \cos V_{\theta}' \cos H_{\theta}, L \sin H_{\theta}, L \sin V_{\theta}' \cos H_{\theta}) \tag{9}$$

단,  $V_{\theta min} \leq V_{\theta}' \leq V_{\theta max}$

가 되며, 원점에서 이 두 점 사이의 각도를 벡터의 내적 공식을 이용해 나타내고 식 (6)과 (7)을 대입하면

$$\text{사잇각} = \cos^{-1}(-\cos Z_{\theta} \cos T_{\theta} \cos V_{\theta}' \cos H_{\theta} + \cos T_{\theta} \sin Z_{\theta} \sin H_{\theta} + \sin T_{\theta} \sin V_{\theta}' \cos H_{\theta}) \tag{10}$$

식 (10)에서  $Z_{\theta}, T_{\theta}, H_{\theta}$  는 정해져 있기 때문에  $V_{\theta}$ 의 동작각도 내에서 사잇각이 가장 작게 나오는 각 즉, 식 (10)의 우변 괄호 안이 1에 가장 가까운 값을 갖도록 하는  $V_{\theta}'$  값으로 태양광 발전기의 경사각을 맞춰주면 최대의 발전 효율을 얻을 수 있다.

즉,  $V_{\theta}'$ 의 최대각과 최소각을 각각 식 (10)에 대입하여 나오는 두 개의 값과 식 (10)의 괄호 안에 있는 식을  $V_{\theta}'$ 에 대해 미분하였을 때  $V_{\theta}'$ 의 허용각도 안에서 극값이 존재한다면 그때의  $V_{\theta}'$ 의 각을 식 (10)에 대입한 값까지 총 세 개의 값을 비교하여 그 중 가장 큰 값을 갖게 되는  $V_{\theta}'$ 의 각도를 구하면 된다.

반대로,  $V_{\theta}$ 가 제한각에 도달하였을 경우에도 같은 방식으로 위 식 (10)의 우변 괄호 안이 1에 가장 가까운 값을 갖도록 하는  $H_{\theta}$ 의 값으로 태양광 발전기의 방향각을 맞춰주면 된다.

### IV. 모의실험 및 결과

#### 1. 유도한 수식을 이용한 각도 변형

위 수식들의 변환된 각도가 경사각 90°에서 15°, 방향

표 1. 2012년도 4 절기의 태양의 위치와 변환 수식에 의한 각도, (a) 춘분, (b) 하지, (c) 추분, (d) 동지

Table 1. The sun's position and its angle computed by conversion formula on quarterly of year 2012, (a) vernal equinox, (b) summer solstice, (c) autumnal equinox, (d) winter solstice.

시간(시)	Az(°)	Alt(°)	경사각(°)	방향각(°)
7	92.617	4.142	57.765	60.000
8	101.603	16.274	55.435	60.000
9	111.750	27.990	55.116	55.101
10	124.257	38.804	55.007	40.099
11	140.801	47.855	54.956	25.093
12	162.787	53.701	54.945	10.089
13	188.518	54.655	54.954	-4.916
14	212.276	50.359	54.990	-19.918
15	230.651	42.240	55.074	-34.924
16	244.371	31.926	55.231	-49.927
17	255.200	20.470	55.616	-60.000
18	264.493	8.454	57.149	-60.000

(b)

시간(시)	Az(°)	Alt(°)	경사각(°)	방향각(°)
6	65.908	6.669	90.000	60.000
7	73.705	18.136	90.000	60.000
8	81.240	30.056	90.000	58.808
9	89.222	42.224	90.000	47.770
10	98.924	54.406	83.664	35.099
11	113.685	66.143	79.926	21.740
12	145.109	75.786	78.262	8.075
13	205.823	76.858	78.131	-5.684
14	242.625	68.067	79.510	-19.372
15	259.021	56.502	82.816	-32.807
16	269.257	44.352	89.240	-45.643
17	277.420	32.158	90.000	-57.087
18	284.972	20.176	90.000	-60.000
19	292.684	8.619	90.000	-60.000

(c)

시간(시)	Az(°)	Alt(°)	경사각(°)	방향각(°)
7	95.101	6.922	53.783	60.000
8	104.318	18.954	54.244	60.000
9	114.954	30.455	54.340	51.403
10	128.309	40.867	54.379	36.399
11	146.070	49.192	54.382	21.395
12	169.119	53.887	54.380	6.388
13	194.575	53.470	54.362	-8.615
14	216.868	48.101	54.329	-23.621
15	233.835	39.355	54.262	-38.627
16	246.657	28.721	54.129	-53.628
17	256.989	17.101	53.804	-60.000
18	266.056	5.006	51.858	-60.000

(d)

시간(시)	Az(°)	Alt(°)	경사각(°)	방향각(°)
8	121.554	2.804	15.000	58.334
9	131.267	12.641	18.780	47.175
10	142.693	20.990	25.751	34.463
11	156.140	27.224	29.359	21.081
12	171.374	30.656	30.943	7.413
13	187.388	30.789	30.999	-6.342
14	202.726	27.602	29.547	-20.020
15	216.334	21.558	26.125	-33.439
16	227.917	13.353	19.503	-46.229
17	237.741	3.608	15.000	-57.561

각 좌/우 각각 60°를 갖는 발전기에서 춘분, 하지, 추분, 동지에 각각 어떻게 적용되는지 한국천문연구원의 “태양 고도/방향각 계산”을 2012년에 맞추어 일출에서 일몰까지 한 시간 단위로 하여 표 1에 나타내었다. 기준

지점은 대한민국에서 태양 일사량이 가장 높아 태양광 발전에 유리한 전라남도 고창지역으로 하였다.

제한 각도에 도달하였을 때엔 위 식(10)을 이용하여 역함수 내의 수식이 극값을 가질 때와 양쪽 제한각도일 때의 값 중에 그 값이 가장 크게 되는 각도를 구하여 적용하였다.

방향각은 정 남향을 기준으로 동쪽으로 회전시 양의 값을, 서쪽으로 회전시 음의 값을 갖는 것으로 태양의 방향각 기준과 다르며, 경사각은 지면과 수평시 90°, 지면과 수평시 0°로 태양의 고도각 기준과 같다.

표 1을 살펴보면 해가 뜨는 시점은 태양의 고도각이 0° 이상이 될 때이며 이때부터 고도각이 0° 이하가 되는 태양이 질 때까지 경사각은 크게 달라지지 않는 것을 알 수 있다. 그 차이가 가장 크게 나타나는 시점은 표 1의 (b) 하지이며, 실제 태양의 고도각을 그대로 추종하는 방향각 종속형의 경우 태양이 뜨기 전 수평이동 정지상태에서 태양이 뜨면 고도각의 최저 제한각도로 이동하고 그 후 태양이 가장 높이 뜨는 위치인 약 77°까지 이동하며 고도각의 최저 제한각도까지 태양을 따라 이동하였다가 태양이 지면 다시 수평이동하게 되어 고도각 축의 최저 제한각도가 15°일 경우 하루에 총 274°를 이동해야 하지만 경사각 종속형의 경우 하루에 총 26°정도만 이동하면 된다. 이것은 추적형 발전기 운용시 가장 전력을 많이 소모하는 모터의 구동 시간이 줄어드는 것을 의미하며, 모터의 구동시간과 소모전력은 비례하므로 경사/고도각 축의 모터 운용 전력이 약 90%이상 절약되어 경사각 종속형이 독립형에 비해 발전량은 조금 낮지만 전력 소모는 훨씬 작아진다는 것을 알 수 있다.

이 차이는 년중 발전량이 가장 높은 여름에 가장 크게 발생하며, 발전량이 가장 낮은 겨울에는 오히려 역전이 되긴 하지만 그 차이가 약 0.23% 정도로 매우 작다. 표 1의 (a) 및 (c)는 각각 춘분과 추분의 경우로서 태양이 뜰 때의 경사각이 태양이 질 때까지 약 2.82° 미만으로 움직이기 때문에 경사축 모터의 동작에 의한 전력은 거의 태양이 뜰 때와 질 때에만 소모된다.

## 2. 제한 각도에서 제안된 방식에 따른 효율 분석

제한 각도에서의 효율 분석을 위해 태양전지가 태양을 정확히 마주볼 때 받는 광량을 100 %라 놓았으며, 제한각도에 도달하여 태양과 지향각도가 서로 차이가

표 2. 2012년도 4 절기 때의 기존방식과 제안된 방식의 입사광 차이 비교

Table 2. Comparison of incidence between the proposed and existing methods on quaterly of year 2012, (a) vernal equinox, (b) summer solstice, (c) autumnal equinox, (d) winter solstice.

(a)

시간(시)	Az(°)	Alt(°)	기존방식(%)	제안방식(%)
7	92.617	4.142	90.55083	90.55528
8	101.603	16.274	98.44864	98.44885
17	255.200	20.470	99.63012	99.63038
18	264.493	8.454	94.01164	94.01602

(b)

시간(시)	Az(°)	Alt(°)	기존방식(%)	제안방식(%)
6	73.705	18.136	73.84997	84.91537
7	81.240	30.056	87.26136	94.56139
8	89.222	42.224	96.39142	99.11931
9	98.924	54.406	99.96000	99.99494
17	269.257	44.352	97.22762	99.39743
18	277.420	32.158	88.82868	95.76768
19	284.972	20.176	75.85823	86.87156

(c)

시간(시)	Az(°)	Alt(°)	기존방식(%)	제안방식(%)
7	95.101	6.922	93.08178	93.08211
8	104.318	18.954	99.30252	99.30253
17	256.989	17.101	98.78841	98.78861
18	266.056	5.006	91.60166	91.60579

(d)

시간(시)	Az(°)	Alt(°)	기존방식(%)	제안방식(%)
8	121.554	2.804	97.70262	99.50139
17	237.741	3.608	98.00315	99.57586

생길 때, 그 사이 각도를 식 (11)과 같이 삼각함수로 연산하여 받을 수 있는 광량을 계산하였다.

$$\text{광량}(\%) = 100(\%) \times \cos(\text{사잇각}) \tag{11}$$

어느 한 방향의 회전각이 제한각에 도달하면 더 이상의 추종을 하지 않고 멈추는 기존의 방식과 나머지 한 축으로 지속적으로 추종하는 제안된 방식으로 동작했을 때 태양전지가 받게 되는 광량을 백분율로 표 2에 나타내었다.

춘분과 추분 때에는 경사각의 움직임이 미미하여 제한각도에서 멈추었을 경우와 경사축을 이용해 계속 추종했을 경우를 비교하여 태양전지가 받게 되는 태양광량은 비슷하여 그 차이가 최대 약 0.004% 내외이며 동지

때에는 일출과 일몰시간의 간격이 짧고 제한각도에 걸리는 시간도 상대적으로 짧아 태양광량의 차이도 크지 않아 그 차이가 최대 약 1.8% 정도이다.

그러나, 경사각의 움직임이 커지는 하지에는 최대 약 11.1% 정도 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 2축식 태양광 추적 발전기중 경사각 종속형 2축식 태양광 발전기에 맞는 간단한 추종 각도 변형 수식을 유도하였고 실제 회전해야하는 각도를 한국천문연구원의 데이터를 기준으로 매 분기별 매 시각에 맞춰 유도된 수식으로 산출하고 그 결과를 분석하였다. 그리고 제한적인 회전각도상에서도 더 높은 발전효율을 얻을 수 있는 방법을 제안 및 수식으로 유도하여 한국천문연구원의 데이터를 기준으로 매 분기에 맞춰 적용 및 분석하였다.

본문에서 유도된 수식을 이용하여 태양을 추적하게 된다면 경사각 종속형 발전기의 경우에 제한각에 걸리기 전까지는 방향각 종속형 발전기와 동일하게 정밀한 추적이 가능하고 경사각 모터의 구동 전력은 최대 90% 이상 절약되어 방향각 종속형 발전기보다 소비전력대비 발전효율이 더욱 높다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 제한각도에 이르러서 동작을 멈추는 것보다 제한각도에 도달하지 않은 다른 축을 이용하여 지속적으로 태양을 추종한다면 태양광과 정확히 법선을 이루지는 못하더라도 최대 11.1% 이상 태양광을 더 많이 받을 수 있다.

따라서, 본 논문에서 제안된 방식과 유도된 수식에 따른 추적을 하게 된다면 설계 및 설치, 유지 보수가 비교적 용이한 경사각 종속형 태양광 발전기로도 비교적 높은 발전 효율을 얻을 수 있다.

본 논문에서 유도한 수식과 운용 방식을 이용하여 기존의 경사각 종속형 태양광 발전소에 적용한다면 설치에 따른 추가비용 없이 발전효율을 더 높일 수 있으며, 추적식 태양광 발전기를 개발하는 업체에게는 개발 기간 단축과 태양광 추적식 발전기 설계에 대한 선택의 폭을 넓혀 줄 수 있을 것이다.

## REFERENCES

[1] Ick Choy, Ju-Yeop Choi, "A Study on a Mobile

- Sun Tracking System,” Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 29, No. 1, pp. 38-43, 2009.
- [2] Y.C.Park, Y.H.Kang, “Computation of Sun Position for the Sun Tracking Control System of Solar Concentrator,” Solar Energy, Vol. 18, No. 4, pp. 87-94, 1998.
- [3] Myeong-hwan Seo, Yoon-sik Kim, Jin-woo Hong, Hee-joon Lee, Sang-Koo Park, Sun-hyung Kim, “Research of the PV Tracking System,” The Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 11, No. 8, pp. 2951-2957, 2010.
- [4] D.M. Noshier, R.E. Boese and R.J. Soukupt, “The advantage of sun tracking for planar silicon solar cells,” Solar Energy, Vol 19, pp. 91-97, 1977.
- [5] Y.C.Park, H.Y.Kwak, Y.H.Kang, “A Development of Sun Tracking Control System for Parabolic Trough Concentrator,” Solar Energy, pp. 25-30, 1998.
- [6] Tae-Jung Lho1, Seung-Hyeon Lee1, Min-Yong Park1, “Development of 2-Axis Solar Tracker with BLDC Motor-Cylinder Actuator and Hall Sensor Feedback,” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.11, No.7, pp. 2334-2340, 2010.
- [7] Akash Samanta, Arindam Dutta, Subhasis Neogi, “A simple and efficient sun tracking mechanism using programmable logic controller,” Applied solar energy, Vol.48, No.3, pp. 218-227, 2012.
- [8] Gun-min Kang, “Development of High Precision Solar Position Tracking Sensor for Concentrating Photovoltaic Generation,” Sunchon National University, Department of Electrical Engineering, The Graduate School, 2010.
- [9] Ji-Ho Jeon, Duck-Hwan Lee, Joon-Ho Park, Jong-Tae Park, Chong-Gun Yu, “Design of an Energy Management System for On-Chip Solar Energy Harvesting,” IEEK-SC, Vol.48, No.2, pp. 15-21, 2011.
- [10] Bill Lane, “Solar Tracker,” Cleveland state University, pp. 1-15, 2008.

저 자 소 개



홍 정 훈(정회원)  
1999년 순천향대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
2002년 순천향대학원 전자공학과  
석사 졸업.  
2006년 순천향대학원 전자공학과  
박사 수료.

2013년~현재 (주)SENKO 책임연구원  
<주관심분야 : Solar Tracking, Computer  
Architecture, Micro-controller, Embedded  
System>



김 은 성(평생회원)  
1989년 한양대학교 전자공학과 공  
학박사.  
2000년~2002년 미국 노스이스턴  
대학교 객원교수.  
2010년~2012년 미국 피츠버그대  
학교 객원교수.

1989년~현재 순천향대학교 전자공학과 교수  
<주관심분야 : 고성능 컴퓨터, 마이크로프로세서  
응용, 임베디드 시스템, 메모리 설계>