

## Efficiency Analysis Solar Cell of the Dynamic Boat's by SPA

한 중 호\* · 이 장 명†  
(Jong-Ho Han · Jang-Myung Lee)

**Abstract** - Recently, worldwide government policy is pursuing saving energy and preservation. add to this, the solar cells are getting the spotlight nonpolluting energy source, using a variety of products for solar cell. in this paper, we'll make solar tracking system for suitable of dynamic boat. we knew that general boats are using fixed solar cell, it's first time to use tracking system of solar cells for boats so it is hard to application. To solve this problem in this paper we use to a magnetic compass and GPS for suitable solar tracking system of dynamic movement and to analyze fixed and tracking solar system. frist. solar tracking device is designed two-axis control system. one-axis control system is taken a magnetic compass for making efficiency defence solar tracking sensor, two-axis control system apply GPS latitude and longitude data for SPA(Solar position algorithm) so we know the azimuth and altitude. it analyze data value of accuracy comparison from result. so the proposed algorithm confirm to have validity

**Key Words** : Solar sell, Boat, Tracking system, dynamic, SPA(solar position algorithm)

### 1. 서 론

최근에 급변하는 환경오염에 대응하여 지구 환경을 보호하기 위한 환경 운동이 점점 더 국가 차원에서 증가하고 있는 실정이다. 이러한 상황에 환경을 파괴하지 않고 에너지를 얻는 무공해 에너지원이 태양전지라고 할 수 있다. 최근 태양 전지 발전 시스템은 많은 연구와 실험을 통해서 보다 좋은 발전 효율을 얻고, 반도체 기본 원리를 이용하여 1세대, 2세대, 3세대를 이루는 태양전지를 만들고 있다. 지금 현재의 기술로 태양광 발전시스템의 광전 변환효율은 대략 15~30%정도이며, 태양전지 모듈의 수명은 10~20년 정도로 영구적으로 사용하지를 못하고 있다. 태양전지의 효율을 높이기 위해 많은 연구를 하고 있지만, 아직까지 재료적인 문제에서 효율을 높이는 것은 쉽지 않고, 발전 용량을 높게 할려면 많은 설치 면적이 필요하다는 특징을 가지고 있다. 또 태양광 발전 시스템은 설비가 고가이기 때문에 발전단가가 높은 단점을 가지고 있어 이런 태양전지의 효율을 높이기 위한 방법들이 연구되고 있다.

우선 태양전지의 효율을 높이기 위해서 일반적으로 태양 전지 셀 자체의 효율을 높이거나 태양전지 제어용 전력 변환 시스템의 변환 효율, MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어와 DC-DC 인버터를 사용하여 효율을 높이는 방법, 태양의 궤적을 이루면서 태양전지에 입사되게 태양의 궤적을 추적하는 방법을 이용하고 있다. 추적식 방법 중

에 광센서를 이용하여 광량차이에 의해 태양의 궤적을 추적하는 방법과 태양에 대한 궤적 알고리즘을 직접 프로그램으로 구현하여 태양의 궤적 방향에 따라서 움직이게 하는 방법들이 있다. 또한 위도와 경도를 이용하여 현재 위치를 계산하고, 시간을 이용하여 태양의 궤적을 추적하는 프로그램 방식과 이를 혼합한 방식 등으로 구성된다[1-5]. 본 논문에서는 움직이는 보트에 처음으로 양축 추적식 시스템을 접목하고, 태양을 추적하는 SPA(solar position algorithm)를 적용하면서 광센서 대신에 마그네틱 컴퍼스를 이용한 동적인 보트에 강인한 추적 시스템을 구성하고, GPS에서 위도와 경도의 데이터 값을 받아 SPA알고리즘에 적합한 하이브리드형 방식의 추적 시스템을 구현하였다, 이를 적용한 추적식과 고정식의 태양전지 발전 효율을 비교하고 적용된 알고리즘이 타당성이 있는지 입증한다.

먼저 2장에서는 태양전지 위치를 알기 위한 SPA와 컴퍼스의 원리에 대하여 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 시스템 구조에 대한 설명과 4장에서는 실제 실험을 통하여 적용된 알고리즘의 결과에 대한 분석과 마지막으로 5장에서는 결론을 제시함으로써 이 논문을 마무리 한다.

### 2. 태양전지 위치 계산 알고리즘

#### 2.1 Magnetic compass의 원리

본 논문에서는 광센서 대신에 방위를 검출하는 지자기 센서(magnetic compass)를 이용한다. 일반적으로 사용되고 있는 나침반은 바늘이 지구의 자기장에 의해 반응하여 방위를 검출한다. 하지만 지자기 센서는 자기 저항 센서를 이용하

\* 준 회원 : 부산대학교 전기전자공학과 석사과정

† 교신저자, 정회원 : 부산대학교 전기전자공학과 정교수

E-mail : jmlee@pusan.ac.kr

접수일자 : 2010년 10월 29일

최종완료 : 2011년 6월 22일

여 지구 자기장을 검출하는 소자이다. 이 소자는 미약한 지구 자기장을 측정하여 자북에 대한 지구 방위각을 구할 수 있는 방위각 센서이고, 그림 1에서 자기장 성분  $H_{ch}$ 는  $H_{ex}$ ,  $H_{ey}$  성분으로부터 측정되는 지구 자기장의 수평 성분을 나타낸다.  $\lambda$ ,  $\delta$ 는 자북과 진북 사이의 각과 자자기항 센서의 기울기 각을 나타낸다. 자북의 방위각은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \arctan \frac{H_{ey}}{H_{ex}} \quad (1)$$

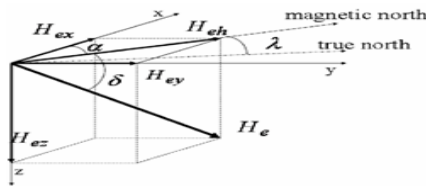


그림 1 지구 자기장 벡터.  
Fig. 1 Earth magnetism analysis.

본 연구에 사용된 센서는 Barber pole 형태의 2개의 소자가 90°로 직교된 것을 사용하여 x축과 y축을 동시에 측정하여 360°전 방위를 검출할 수 있다. 그림 2는 자기센서의 구조와 출력특성을 나타낸다. 그림 2(a)는 컴퍼스의 내부 구조를 나타내며, 컴퍼스를  $\alpha$ 방위로 360°회전 시키면 그림 2(b)와 같이 지구 자기장은 x축 센서와 y축 센서에서 미소 전압값으로 측정된다.

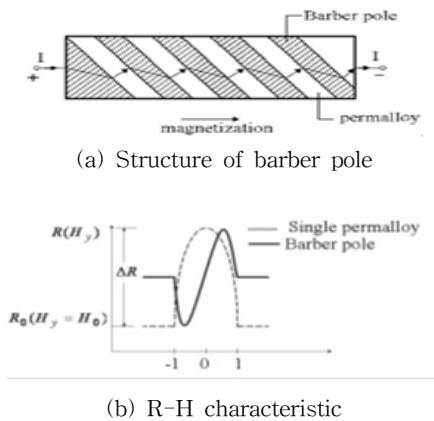


그림 2 Barber pole의 구조와 특성.  
Fig. 2 Structure and characteristics of barber pole.

측정된 방위각  $\alpha$ 는 자기저항 소자에서 측정되는 저항 값으로 식(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = R_0 + \Delta R \cos^2 \alpha \quad (2)$$

즉, 저항 값의 최대와 최소는 방위각  $\alpha$ 에 따라 결정된다.  $\Delta R$ 는 자기장 변화에 따른 저항의 변화를 나타낸다. 여기

서,  $H_{ey}$ 의 방향을 측정하기 위하여 그림 2와 같이 barber pole 형태로 구성된 자기저항 소자를 사용한다. 연구에 사용된 센서는 barber pole 형태의 소자가 90°로 직교된 것을 사용하여 x 축과 y 축을 동시에 측정하도록 하여 식(1)에 의해 360°의 전 방위를 검출할 수 있다.

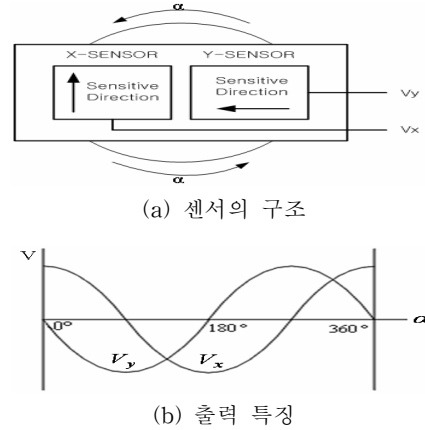


그림 3 (a) 센서의 구조 (b) 출력 특징.  
Fig. 3 (a) Structure of the sensor (b) Output characteristics.

그림 3은 자기센서의 구조(a)와 출력 특성(b)을 나타낸다[6-8].

## 2.2 태양 위치 추적 계산

본 연구에 사용하기 위하여 태양 위치를 추적하는 SPA(solar position algorithm)에 대하여 소개하고자 한다. 우리가 일반적으로 알고 있는 태양전지의 발전량은 태양의 일사량에 따라 큰 차이를 보인다는 것을 알 수 있다. 즉, 태양전지가 법선 방향으로 위치하게 된다면 그 발전량은 최대가 될 것이다. 하지만 온도에 대한 큰 약점을 가지고 있는 단점을 안고 있다. 여기에서는 육지가 아닌 해상에서 태양전지를 사용하기 때문에 온도에 대한 약점을 어느 정도 보완할 수 있다고 가정한다. 우선 태양전지의 법선 방향을 알기 위해서는 시간에 따른 태양의 방위각과 고도각을 알아야 하고, 대상이 되는 장소의 위도, 경도, 날짜, 시간이 필요하게 되며 이 정보를 얻기 위해 적위나 적경 등을 계산하여야 한다.

태양의 위치에 따른 시간과 날짜를 알기 위해서 일반적으로 사용되는 것이 율리우스 일(Julian day number)를 많이 사용한다. 계산식은 식(3) 같다. 여기서는 TDT와 UT와의 차이점을 무시한다.

$$D = 367 * y - \frac{7 * (y + (\frac{M+9}{12}))}{4} + \frac{(275 * m)}{9} + d - 730530 \quad (3)$$

여기서, D는 율리우스 일, y는 년도, m은 월별, d : 날짜

표 1 태양의 궤도 요소.

Table 1 Orbit element of sun.

태양의 궤도 요소
$N = 0.0$
$i = 0.0$
$w = 282.9404 + 4.70935e^{-5} * D$
$a = 1.000000$
$e = 0.016709 - 1.151e^{-9} * D$
$M = 356.0470 + 0.9856002585$

여기서, a는 평균거리 또는 장반경, e은 이심율, i는 기울기, M은 평균근점이각, N : 천체의 황도면을 기준으로 남반구에서 북반구로 지날 때 천체의 궤도와 만나는 점이며 w : 승교점으로부터 근일점까지의 천체의 궤도를 따라 켄 각을 의미한다.

우리는 일반적으로 태양 주위를 지구가 돌고 있다는 것을 알고 있을 것이다. 하지만 여기서는 반대를 가정하여 생각한다. 태양의 위치를 계산하는데 필요한 궤도요소도 있고, 황도 좌표계에서 적도 좌표계로 변환 시 황도의 기울기(the obliquity of the ecliptic)를 알아야 하는데 식(4)와 같이 구해진다.

$$oblecl = 23.4393 - 3.563e^{-7} * D \quad (4)$$

그리고 태양의 평균황경 L은

$$L = w + M \quad (5)$$

여기서 기울기 i는 0°이고 경도 N도 0°으로 표시.

M은 음수 값을 가지므로 양수 값을 가질 수 있는 값을 더해주어서 0°에서 360°까지 표시를 해준다. 다음은 이심근점이각 E는

$$E = M + \left(\frac{180^\circ}{\pi}\right) * e * \sin(M) * (1 + e * \cos(M)) \quad (6)$$

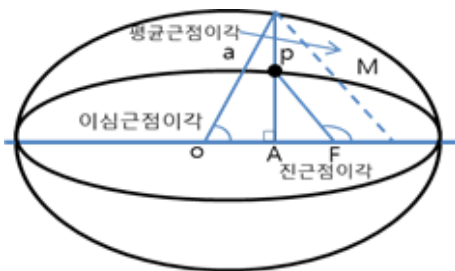


그림 4 근점이각.  
Fig. 4 Anomaly.

X축으로 한 직각 좌표 값을 계산하면

$$x = \cos(E) - e \quad (7a)$$

$$y = \sin(1 - e^2) \quad (7b)$$

위에 구한 값으로 거리 r과 진근점이각 v를 변환하면

$$r = \sqrt{(x^2 + y^2)} \quad (8a)$$

$$v = atan2(y, x) \quad (8b)$$

이것으로부터 태양의 황경을 구하면

$$lon = v + w \quad (9)$$

실제로 계산을 하게 되면 오차 값이 적다는 것을 알 수 있다. 이제는 직각 좌표 값을 적도 좌표 값으로 변경하여 적경과 적위의 값을 구하면

$$x = r * \cos(lon) \quad (10a)$$

$$y = r * \sin(lon) \quad (10b)$$

$$z = 0.0 \quad (10c)$$

위에 식에서 구해서 나온 황도 좌표를 적도 좌표로 변경하면,

$$xequat = x \quad (11a)$$

$$yequat = y * \cos(oblecl) + z * \sin(oblecl) \quad (11b)$$

$$zequat = y * \sin(oblecl) + z * \cos(oblecl) \quad (11c)$$

이것을 적경과 적위로 변환하면,

$$r = r \quad (12a)$$

$$RA = atan2(y, x) \quad (12b)$$

$$Decl = atan2(z, \sqrt{(x^2 + y^2)}) \quad (12c)$$

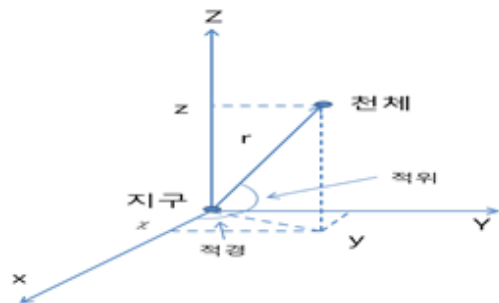


그림 5 적경과 정위.  
Fig. 5 Right ascention and declination.

항성시와 시간각을 이용하여 태양의 방위각과 고도에 대하여 알아보고 계산한다.



그림 6 그리니치 시간 이동.  
Fig. 6 Greenwich time movement.

항성시는 남쪽부분의 자오선의 적경을 말하며, 지방시를 이용하여 계산을 할 수가 있다.

$$SIDTIME = GMST0 + UT + \frac{LON}{15} \quad (13)$$

$$GMST0 = \frac{(L + 180^\circ)}{15} \quad (14)$$

여기서는 UT의 값을 0으로 기준을 두고 계산, 만약에 한국 시로 변경하기 위해서는 +9시간을 해주면 된다.

- SIDTIME : 항성시
- GMST0 : 영국의 그리니치 자오선
- UT : 그리니치 시간
- LON : 관측자의 경도
- HA : 시간각

하지만 방위각과 고도를 구하기 위해서는 시간각을 알 필요가 있으므로 시간각을 알아야한다. 계산식은 아래와 같다.

$$HA = SIDTIME - RA \quad (15)$$

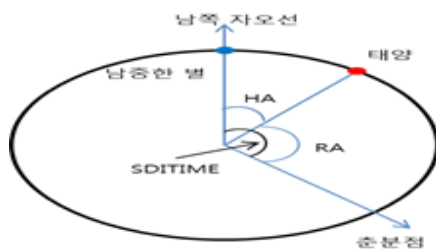


그림 7 항성시와 시간각.  
Fig. 7 Sidereal time and hour angle.

위에 구해진 결과 값을 이용하여 직각 좌표 값을 구하면,

$$x = \cos(HA) * \cos(Decl) \quad (16a)$$

$$y = \sin(HA) * \cos(Decl) \quad (16b)$$

$$z = \sin(Decl) \quad (16c)$$

여기서, 적도의 남쪽을 x축, 지평선의 서쪽을 y, 북극을 z

축으로 하는 직각 좌표 값이다. 식(15)에서 얻어진 y축을 기준으로 z축의 위치를 변경한다. 북극 말고 다른 위도(latitude)의 지방에서는 90°를 빼준다.

$$x_{hor} = x * \cos(90^\circ - lat) - z * \sin(90^\circ - lat) \quad (17a)$$

$$y_{hor} = y \quad (17b)$$

$$z_{hor} = x * \sin(90^\circ - lat) + z * \cos(90^\circ - lat) \quad (17c)$$

마지막으로 구면 좌표로 변경하게 되면 방위각(azimuth)과 고도각(altitude)을 얻을 수 있다[9-11].

$$azimuth = atan2(y_{hor}, x_{hor}) + 180^\circ \quad (18a)$$

$$altitude = asin(z_{hor}) = atan2(z_{hor}, \sqrt{(x_{hor}^2 + y_{hor}^2)}) \quad (18b)$$

### 3. 시스템 구조

#### 3.1 MPPT 설계

일반적으로 태양전지를 이용하기 위해서는 태양전지의 효율을 높이기 위해서 MPPT(Maximum Power Point Tracking)라는 회로를 구성하게 된다[1]. 본 연구에서는 효율을 높일 수 있는 MPPT를 설계하고 구성하여 실험을 하였다. 그림 8은 MPPT설계에 대한 구성도이며 그림 9는 하드웨어 구성 사진이다.

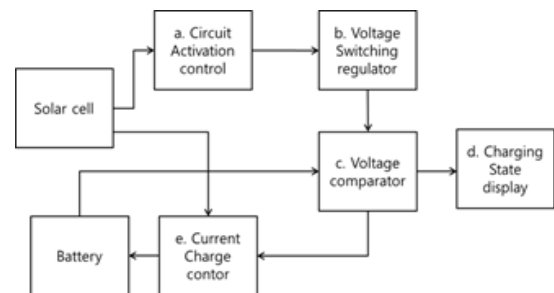


그림 8 MPPT의 회로 구성도.  
Fig. 8 Circuit structure plan of MPPT.

#### a. Circuit Activation Control

솔라셀은 낮과 밤, 흐린 날과 화창한 날 등 기후에 영향을 많이 받는 특징이 있다. 이에 대해 효율을 높이기 위해서 낮은 경우와 흐린 날의 경우에 다른 충전제어장치의 동작을 멈추게 하고, 특정볼트 이상이 나올 경우에만 회로가 동작 할 수 있도록 Sleep Mode기능을 한다.

#### b. Voltage Switching Regulator

스위칭 레귤레이터 방식(효율: 70%-95%)이 일반적으로 사용하는 리니어 레귤레이터 방식(효율: 30%-60%)에 비해 효율이 좋으므로 이 방식을 사용하였다. 또한, 실외에서 사용되므로 주변온도에 대해서도 고려하여 회로를 구성하였다.

#### c. Voltage Comparator

시중에서 쉽게 구할 수 부품인 Comparator를 사용하여 배터리의 전압과 스위칭 레귤레이터의 출력전압을 비교하여

배터리의 충전상태를 알 수 있도록 하였고, 온도센서를 이용하여 온도에 맞는 충전전압의 조절을 가능할 수 있도록 설계하였다. 또한, 배터리를 오랫동안 사용 할 수 있도록 일시적인 과 충전을 할 수 있도록 설계되었다.

d. Charging State Display

비교기에서 나온 출력을 가지고 충전상태를 알 수 있도록 Display해준다.

e. Current Charge Control

비교기에서 나오는 출력과 태양전지에서 나오는 출력을 가지고 전류를 제어하고 스위칭 할 수 있도록 구성하였으며, 효율을 높이고 회로가 망가지는 것을 대비하여 쇼트키 다이오드와 퓨즈를 사용 하여 회로를 구성하였다.

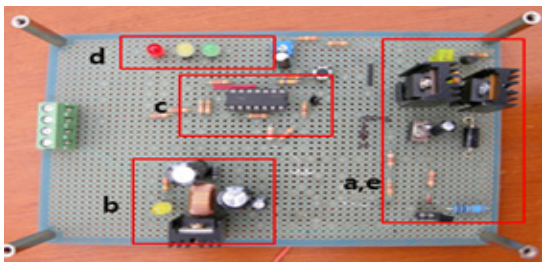
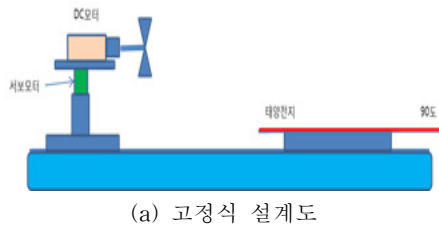


그림 9 MPPT의 하드웨어 사진.  
Fig. 9 Hardware picture of MPPT.

3.2 고정식 태양전지

우선 우리가 설계한 고정식 태양전지는 그림 10(a)와 같이 보트 위에 고정된 형태를 하고 있다. 본 논문에서는 고정식 태양전지의 경사각을 90°로 하여 설계하여 그림 10(b)와 같이 제작을 하였다.



(a) 고정식 설계도



(b) 고정식 사진

그림 10 (a) 고정식 설계도 (b) 고정식 사진.  
Fig. 10 (a) Drawing of fixing (b) Picture of fixing.

사실 고정식 태양전지를 90°로 하였을 때 태양전지의 효율이 30°, 45°에 비해서 효율이 떨어지는 것은 사실이다. 하

지만 태양의 위치가 정가운데 즉, 태양의 일사량이 증가하는 시간일 때는 큰 차이를 보이지 않는다. 추적식일 때에도 태양 일사량이 높기 때문에 차이를 보이지 않는다.

그림 11은 고정식 제어 알고리즘을 나타내며 낮과 밤을 구별하고 전지 상태를 점검하여 MCU와 보트의 동작 여부를 확인한다.

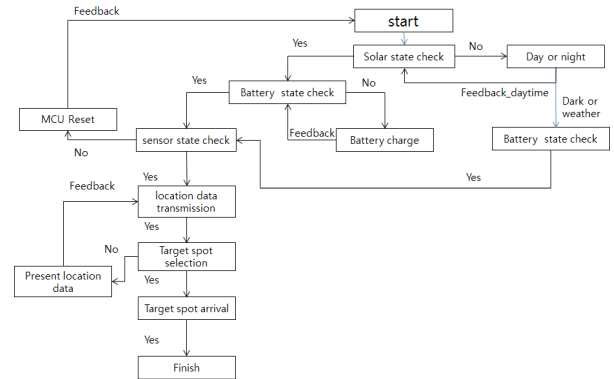


그림 11 고정식 제어 알고리즘.  
Fig. 11 Control algorithm of fixing.

3.3 양축 추적식 태양전지

본 논문에서는 양축 제어 시스템을 그림 13(a)와 같이 설계하고, 그림 13(b)와 같이 제어 시스템을 제작 하였다.

먼저 1축 제어 시스템에는 지자기 센서(Magnetic compass)를 사용하여 방위를 확인하고 보트가 움직일 때 변경된 방위에 따라 태양 전지판이 태양을 추적할 수 있도록 프로그램 하였다. 제어 원리는 아래 그림에서와 같은 방법으로 태양전지를 추적하게 한다. 보트의 진행 방향이 동·서·남·북 아무 방향으로 진행하게 되어도 태양 전지의 방향은 동쪽 방향으로 움직이게 되어있다.

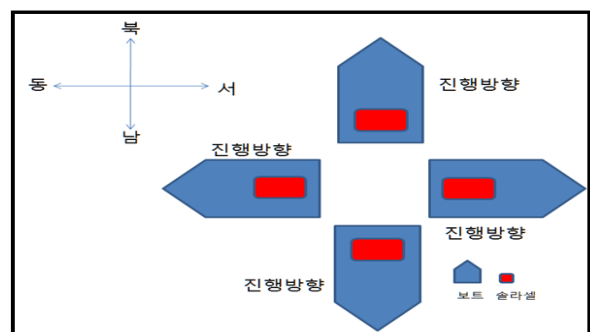
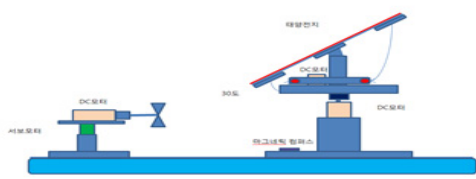


그림 12 지자기 센서의 제어 원리.  
Fig. 12 Control principle of Magnetic compass.

또한, 2축 제어 시스템에 SPA(Solar position Algorithm)를 적용시켜 GPS의 위도와 경도를 얻고, 얻은 결과 값을 이용하여 방위각(Azimuth)과 고도각(Altitude)을 계산하고, 태양 전지판이 시간에 따라 동쪽에서 서쪽으로 태양의 법선 방향에 맞게 제어 프로그램을 구현하여 추적식의 발전효율을 비교 분석을 하였다.



(a) 추적식 설계도



(b) 추적식 사진

그림 13 (a) 추적식 설계도 (b) 추적식 사진.  
Fig. 13 (a) Drawing of tracking (b) Picture of tracking.

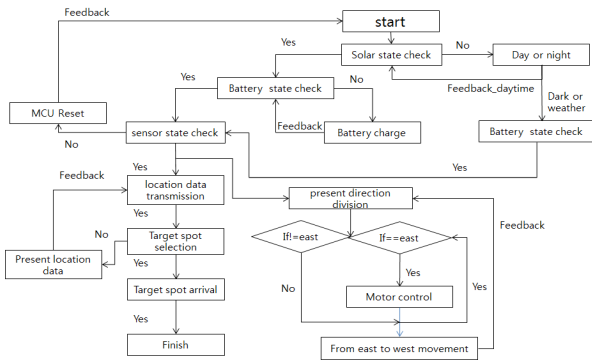


그림 14 추적식 제어 알고리즘.  
Fig. 14 Control algorithm of tracking.

#### 4. 실험 결과 및 분석

##### 4.1 실험 환경

효율적인 태양전지 충전을 위해 MPPT 설계와 2축 제어 방식의 양축 추적식을 설계하여 고정식과 추적식일 때 태양전지 변환 효율을 비교하는 실험이다. 우선 MCU로 ATmega128을 사용하였고, 마그네틱 컴퍼스는 Philips사의 KMZ51를 사용하여 동서남북의 방위를 알고, SPA(Solar position Algorithm)를 적용하기 위하여 (주) 유아이구즈의 UIGGUB02-RO01의 GPS를 이용하여 위도 및 경도의 값을 얻는다. 그리고 2축 제어를 위해서 DC모터(GM - 35BE, 12[V], 3.2W) 2개를 사용하여 실험환경을 구성하였다[5][12-13].

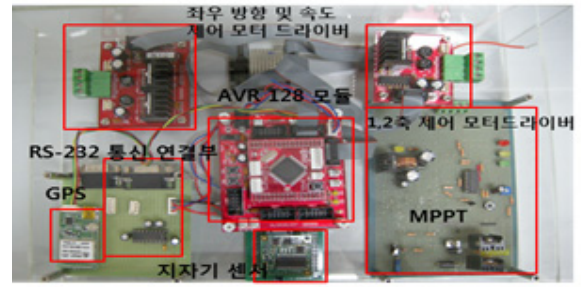


그림 15 실험 환경 구성.  
Fig. 15 Experiment environment composition.

##### 4.2 태양전지 발전 결과

그림 16은 전지 충전 전압을 측정하여 결과 값을 얻은 그림이다. 아침에는 전지의 충전된 상태가 12V로 완충되지 않았다는 것을 알 수가 있다. 시간에 따라서 태양전지의 전압이 높아지고 태양의 일사량이 증가하면서 전지의 전압도 함께 증가한다는 것을 알 수가 있다. 시간에 따라서 점점 더 높아지는 것을 나타낸다. 태양의 일사량에 따라 전지의 충전 전압을 조절하여 여러 개의 전지를 충전하여 일사량이 부족한 시간이나 날씨에도 보트를 구동할 수 있게 할 수 있다.

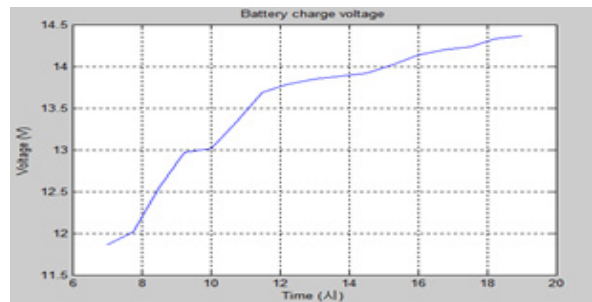


그림 16 전지 충전 전압.  
Fig. 16 Battery charge voltage.

그림 17은 고정식과 추적식의 전압을 측정하여 태양 전지의 효율을 비교한 그림이다. 그림 16은 보트가 움직이는 동안에 발생한 전압을 나타내며 추적식 태양전지가 고정식 태양전지보다 전압이 더 높다는 것을 나타낸다.

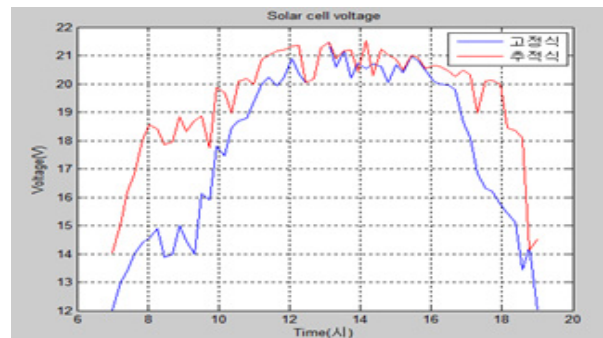


그림 17 고정식과 추적식의 전압 효율 비교.  
Fig. 17 Comparison efficiency voltage of fixing and tracking.

그림 18은 고정식과 추적식의 전력 효율을 나타낸 그림이다. 추적식 태양 전지가 고정식 태양전지보다 발전 효율이 30~40%정도 높다는 것을 나타낸다.

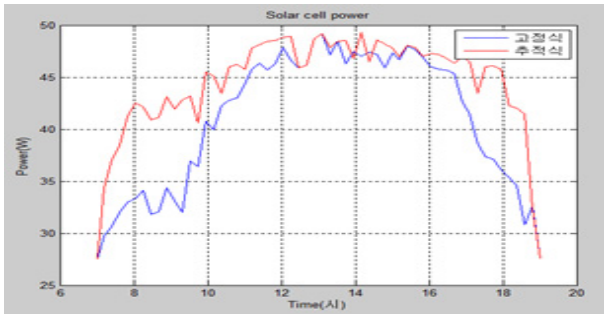


그림 18 고정식과 추적식의 전력 효율 비교.  
Fig. 18 Comparison efficiency power of fixing and tracking.

표 2은 2010년 8월 20일 부산 지역을 기준으로 한 한국 천문 연구원과 GPS에서 측정된 동경 및 북위의 값을 나타낸다.

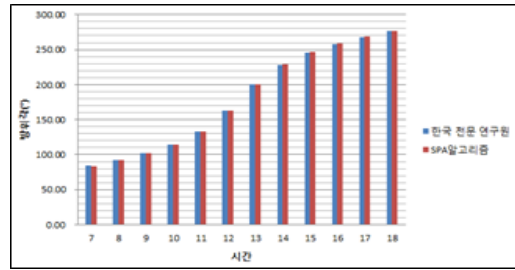
표 2 한국 천문 연구원과 GPS의 위도 및 경도  
Table 2 Latitude and longitude of GPS with korea astronomy Institute

출처	동경 및 북위
한국 천문 연구원	동경 129° 1분 58초 북위 35° 5분 5초
GPS	동경 129° 4분 94초 북위 35° 13분 99초

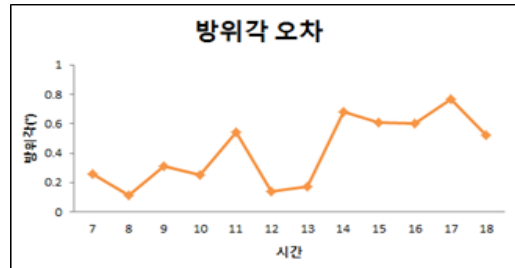
표 3는 한국 천문 연구원에서 제공한 데이터와 SPA알고리즘에서 측정된 방위각에 대한 비교 데이터를 나타낸다. 그림 19(a)은 방위각과 SPA알고리즘에 대한 비교 데이터를 나타내고, 그림 19(b)는 한국 천문 연구원과 SPA알고리즘의 방위각 데이터 오차를 나타낸다. 방위각의 평균 오차는 0.41°로 정확성이 높다는 것을 알 수 있다.

표 3 방위각의 비교 데이터.  
Table 3 Comparison data of azimuth.

시간	방위각(°)		
	한국 천문 연구원	측정값	오차
07:00	84.1	83.84	0.26
08:00	92.43	92.32	0.11
09:00	102.24	101.93	0.31
10:00	114.53	114.28	0.25
11:00	133.24	132.7	0.54
12:00	162.59	162.45	0.14
13:00	200.05	200.22	0.17
14:00	228.32	229	0.68
15:00	246.18	246.79	0.61
16:00	258.25	258.85	0.60
17:00	267.56	268.33	0.77
18:00	276.25	276.77	0.52



(a) 방위각의 비교



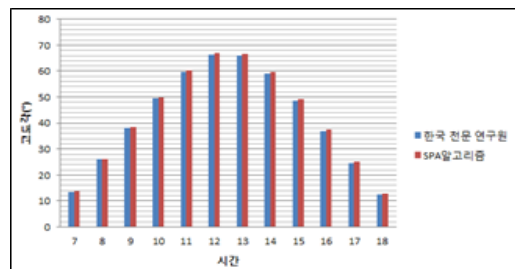
(b) 방위각의 오차

그림 19 (a) 방위각의 비교 (b) 방위각의 오차.  
Fig. 19 (a) Comparison of azimuth (b) Error of azimuth.

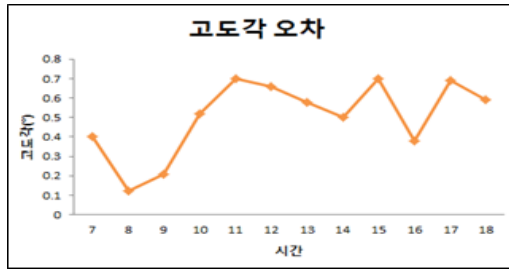
표 4은 한국 천문 연구원과 태양 추적 시스템에서 측정된 고도각에 대한 비교 데이터이다. 그림 20(a)은 고도각과 SPA알고리즘에 대한 비교 데이터를 나타내고, 그림 20(b)는 한국 천문 연구원과 SPA알고리즘의 고도각 데이터 오차를 나타낸다. 고도각의 평균 오차는 0.50°로 방위각과 같이 정확성이 높다는 것을 보여준다.

표 4 고도각의 비교 데이터.  
Table 4 Comparison data of altitude.

시간	고도각(°)		
	한국 천문 연구원	측정값	오차
07:00	13.47	13.87	0.4
08:00	26.02	26.14	0.12
09:00	38.11	38.32	0.21
10:00	49.48	50	0.52
11:00	59.59	60.29	0.7
12:00	66.34	67	0.66
13:00	66.12	66.7	0.58
14:00	59.1	59.6	0.5
15:00	48.46	49.16	0.7
16:00	37.04	37.42	0.38
17:00	24.53	25.22	0.69
18:00	12.37	12.96	0.59



(a) 고도각의 비교



(b) 고도각의 오차

그림 20 (a) 고도각의 비교 (b) 고도각의 오차.

Fig. 20 (a) Comparison of altitude (b) Error of altitude.

### 5. 결 론

최근 무공해 에너지원으로 태양 에너지가 큰 관심을 받고 있고 이 에너지원을 이용한 제품들이 많이 만들어지고 있으면 보트에 사용한 사례가 많다. 일반적으로 보트에 고정식으로 된 태양전지를 사용하고 태양의 위치를 추적한 시스템을 가지고 있지 않다. 그래서 본 논문에서는 움직이는 보트에 자지기 센서와 SPA(Solar position algorithm)을 적용하여 태양 위치를 추적하는 시스템을 설계하고 발전 효율을 분석하였다. SPA의 정확도는 한국 천문 연구원에서 제공되는 방위각과 고도각의 데이터로 비교 분석하여 평균 오차가 1°를 넘지 않는 정확성을 가진다는 결과를 확인하였다. 또한, 추적식 태양전지가 고정식에 비하여 약 30~40%정도 발전 효율성이 높다는 결과를 얻었다. 앞으로 추적 기구의 강풍에 대한 안정성과 방수 처리에 대한 미약한 부분, 자지기 센서 오차를 줄이는 연구를 더 진행할 것이다. 이런 문제점을 해결한다면 발전 효율이 더 좋은 추적식 태양전지 시스템이 개발될 것으로 기대된다.

### 감사의 글

※ 본 연구는 (부산대학교 특수환경Navigation/Localization 기술연구센터를 통한)지식경제부/정보통신산업진흥원 융복합형로봇전문인력양성사업의 지원으로 수행되었음

### 참 고 문 헌

[1] B. J. Wilkinson, "The effect of atmospheric refraction on the solar azimuth", Solar Energy 30, 295. 1983.  
 [2] R.M.Chao,S.H.Ko,F.S.Pai,I.H.Lin,C.C.Chang"Evaluation of a photovoltaic energy mechatronics system with a built-in quadratic maximum power point tracking algorithm", Solar Energy 83,2177-2185.2009.  
 [3] H. D. Kambezidis, N. S. Papanikolaou, "Solar position and atmospheric refraction", Solar Energy 44,143.1990.  
 [4] J. S. Choi, J. S. Ko, D. H. Chung "Efficiency Analysis of PV tracking system with PSA Algorithm," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol.

23, No.10,pp.36~44 Feb 2010.

[5] S. J. Yoo, S. S. Lee, W. S. Park "Application of Neural Network Control Algorithm and maximum Power Tracking of Sun Photocell using Sunlight Sensor" Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 24, No.2,pp.33~38 Feb 2010.  
 [6] S. S. Han, H. S. Jeong. and J. M. Lee. "Spreader Pose Control Using Dual-electric Compasses," Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, vol.13, No.9, sep 2007  
 [7] J.-P. Ko, W.-K. Kang, Y.-H. Kim, and J.-M. Lee, "obust electric compass to dynamic magnetic field interference,"Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, vol.11, no. 1, pp. 27-33, Jan, 2005.  
 [8] K.-M. Lee, Y.-H. Kim, J.-M. Yun, and J.-M. Lee, Magnetic-Interference-Free Dual-Electric Compass, Sensors and Actuators A120, pp. 441-450, Jan, 2005.  
 [9] PaulSchlyter, <http://www.stjarnhimlen.se/comp/ppcomp.html>  
 [10] 박영철, 김기용, 태양추적시스템을 위한 태양 위치 계산, 1998  
 [11] 이양규, 강신영, 김광현, "소형태양광발전시스템상용화를 위한 프로그램 방식의 태양위치 추적기개발", 전력전자학회 Vol. 8, No. 3, pp. 260-265, 2003.  
 [12] P.Roth, A. Georgiev, H. Boudinov, "Cheap two axis sun follow device", Energy Conversion and Management 46 2005 1179-119.  
 [13] 박영철, 강용혁 "Parabolic Dish형 태양열 집열기를 위한 2축 태양추적장치의 개발에 관한연구", 한국태양에너지 Vol. 19, no. 4, pp. 81-99, 1999.

### 저 자 소 개



#### 한 중 호 (韓 鐘 鎬)

2010년 진주산업대 전자공학과 졸업  
 2010년~현재 부산대학교 대학원 로봇협동과정 석사과정 재학 중. 관심분야는 지능제어시스템, 마이크로프로세서 응용, 태양광 발전



#### 이 장 명 (李 章 明)

1980년 서울 대학교 전자공학과 졸업  
 1982년 동대학원 석사.  
 1990년 USC 공학박사(미국 남가주 대학교). 1993년~현재 부산대학교 정교수. 관심 분야는 지능로봇 시스템 제어, 마이크로프로세서 응용, Navigation/Localization.