

날씨인식 결과를 이용한 GPS와 비전센서기반 하이브리드 방식의 태양추적 시스템 개발

A Hybrid Solar Tracking System using Weather Condition Estimates with a Vision Camera and GPS

유정재, 강연식*
(Jeongjae Yoo¹ and Yeonsik Kang^{1,*})

¹The Department of Automotive Engineering, Kookmin University

Abstract: It is well known that solar tracking systems can increase the efficiency of exiting solar panels significantly. In this paper, a hybrid solar tracking system has been developed by using both astronomical estimates from a GPS and the image processing results of a camera vision system. A decision making process is also proposed to distinguish current weather conditions using camera images. Based on the decision making results, the proposed hybrid tracking system switches two tracking control methods. The one control method is based on astronomical estimates of the current solar position. And the other control method is based on the solar image processing result. The developed hybrid solar tracking system is implemented on an experimental platform and the performance of the developed control methods are verified.

Keywords: alternative energy, solar panel, solar tracking, sensor fusion, vision based control

I. 서론

최근 화석연료의 사용에 따른 환경오염과 자원 고갈로 인해 지속가능한 에너지원에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데, 태양광이나 풍력, 수력 등을 이용한 신재생 에너지에 연구 역이 증가하고 있다. 그 중, 태양에너지는 사용의 편리함과 안전함이라는 장점 때문에 활발한 연구가 진행되고 있다.

태양광발전의 효율을 높이기 위해서는 고정식 패널보다는 태양의 위치에 따라 회전이 가능한 태양추적시스템 방식이 더욱 효과적인 것으로 알려져 있다. 특히 렌즈를 통해 태양광을 한곳으로 모아 집중된 태양광을 이용하여 발전하는 CPV (Concentrated Photovoltaic) 방식은 기존의 PV (Photovoltaic) 방식 보다 일반적으로 더욱 높은 에너지 효율을 갖는다. 하지만 집광판과 태양광이 항상 수직을 유지하여야 높은 효율을 유지할 수 있기 때문에 고정밀의 태양 추적 시스템의 개발이 필요하다.

광센서를 사용하는 기존의 태양 추적 알고리즘은 태양이 구름에 가려져 인식하지 못하거나 구름에 의해 산란 되는 빛을 태양으로 오인식 하는 등의 이유로 추정 정확성에서 부족함을 보인다.

비전 카메라 센서는 광센서와 같은 다른 센서에 비해, 날씨를 판단할 수 있는 더 많은 정보를 갖고 있다. 이에 본 연구에서는, 태양의 위치를 더욱 정확하게 추적하기 위하여 비전 카메라의 이미지 데이터를 사용하였다. 또한 비전 센서를 통해 얻은 기상상태를 인식하고 그 결과에 따라 추적방법을 스스로 결정하는 알고리즘을 제안한다.

II. 본론

1. 태양 추적 시스템 하드웨어

일반적으로 사용되는 태양광발전 시스템의 설치 방식에는 고정식, 1축형 그리고 2축형 방식이 있다. 본 연구에서는 두 개의 축을 이용하여 다른 방법에 비해 높은 발전량을 보이는 2축형 태양 추적 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 정확한 태양 추적을 위해 GPS와 비전센서를 사용하여 태양을 추적한다. 그 중 GPS를 이용한 추적 방식은 GPS로부터 얻어낸 태양광 추적기의 위도, 경도 그리고 현재 시간을 천체식에 대입하여 태양의 현재 방위각과 고도각을 계산하여 태양 추적기의 2축을 제어하는 방법이다.

비전 센서를 이용한 추적 방식은, 비전 센서로부터 얻은 이미지의 화소별 색깔 인식을 통해 태양의 위치를 더욱 정밀하게 추적할 수 있는 방법이다.

그림 1은 GPS와 비전센서를 기반으로 태양을 추적하는 시스템의 개념도이다. 그림 2와 3은 본 연구에서 개발한 태양 추적 시스템을 보여주고 있다.

2. GPS를 이용한 천문학적 추적 방법

태양의 방위각과 고도각은 천문학에서 정의된 운동방정식을 이용하여 계산할 수 있다. 본 논문에서는 실시간으로 사용할 수 있으며 1~2분 내의 오차를 갖는 행성위치 계산법을 사용하였다. 행성위치계산식의 입력은 태양 추적기의 위도, 경도 그리고 현재 시간이다. 여기서 시간은 영국 그리니치 시간을 사용한다.

일수를 d (day number)라고 정의하고 식 (1)과 같이 직접 계산할 수 있다.

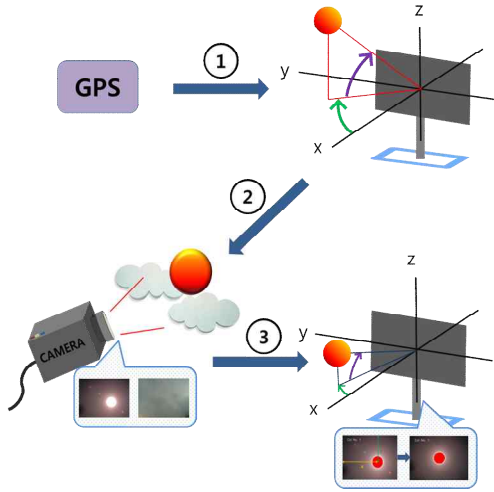
$$d = 367 \times year - (7 \times (year + ((month + 9)/12))) / 4 + (275 \times month) / 9 + day - 730530 \quad (1)$$

식 (1)의 year, month, day 는 각각 계산하는 시점의 년, 월,

* Corresponding Author

Manuscript received September 9, 2013 / revised November 7, 2013 / accepted February 24, 2014

유정재, 강연식: 국민대학교 자동차공학과
(yoojj012@naver.com/ykang@kookmin.ac.kr)



- ① Tracking the sun with GPS
- ② Judging weather condition by image data
- ③ Tracking the sun with Vision sensor

그림 1. 태양 추적 시스템의 개념도.

Fig. 1. The conceptual diagram of solar tracking system.



그림 2. 태양 추적 시스템 외관.

Fig. 2. Developed prototype solar tracking system.



그림 3. 센서모듈과 2축형 서보 모듈.

Fig. 3. Components of sensor module and 2 axis servo module.

일로써 GPS로부터 얻는다.

태양의 궤도 요소인 이심율 (e), 승교점에서 근일점까지의 각 (w), 평균 근점이각 (M), 평균황경 (L), 이심근점이각 (E), 황도의 기울기 (α)를 식 (1)에서 계산한 d 로부터 각각 식 (2)-(7)과 같이 계산할 수 있다.

$$e = 0.016709 - (1.151 \times 10^{-9} \times d) \quad (2)$$

$$w = 282.9404 + (4.70935 \times 10^{-5} \times d) \quad (3)$$

$$M = 356.0470 + (0.9856002585 \times d) \quad (4)$$

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

$$E = M + \left[\left(\frac{180}{\pi} \right) \times e \times \sin(M) \times (1 + e \times \cos(M)) \right] \quad (6)$$

$$\alpha = 23.4393 - (3.563 \times 10^{-7} \times d) \quad (7)$$

황도좌표평면에 대한 직각 좌표값 (x, y)는 각각 식 (8)과 (9)와 같이 계산된다. 진근점이각 (v)는 식 (10)과 같이 계산된다. 태양의 황경 (l)과 이를 계산하기 위해 필요한 거리 (r)은 식 (11)과 (12)를 이용하여 계산할 수 있다

$$x = \cos(E) - e \quad (8)$$

$$y = \sin(E) \times \sqrt{1 - e^2} \quad (9)$$

$$v = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (10)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (11)$$

$$l = v + w \quad (12)$$

황도 직각좌표계에서 적도 좌표계로 변환하는 과정은 식 (13)과 같다.

$$x_{equat} = r \times \cos(l) \quad (13)$$

$$y_{equat} = (r \times \cos(l)) \times \cos(\alpha) \quad (13)$$

$$z_{equat} = (r \times \cos(l)) \times \sin(\alpha)$$

태양의 적경(RA)과 적위(De)는 각각 식 (14)와 (15)를 이용해 계산할 수 있다.

$$RA = \tan^{-1} \left(\frac{y_{equat}}{x_{equat}} \right) \quad (14)$$

$$De = \tan^{-1} \left(\frac{z_{equat}}{\sqrt{x_{equat}^2 + y_{equat}^2}} \right) \quad (15)$$

그리니치 항성시(GMST)와 항성시(SIDTIME)은 각각 식 (16)과 (17)로 정의한다. 식 (17)의 LON과 UT는 각각 GPS로부터 획득한 태양 추적기의 경도(Longitude)와 그리니치 시간이다. 시간각(ha)는 식 (18)을 이용하여 계산한다.

$$GMST = L / 15 + 12 \quad (16)$$

$$SIDTIME = GMST + UT + LON / 15 \quad (17)$$

$$ha = SIDTIME - RA \quad (18)$$

식 (19)-(21)을 통해 z 축을 천정 방향으로 변환할 수 있다. 이 식들에서 lat 는 GPS로부터 획득한 태양 추적기의 위도이다.

$$x_{hor} = (\cos(ha) \times \cos(De) \times \sin(lat)) - (\sin(De) \times \cos(lat)) \quad (19)$$

$$y_{hor} = \sin(ha) \times \cos(De) \quad (20)$$

$$z_{hor} = (\cos(ha) \times \cos(De) \times \cos(lat)) - (\sin(De) \times \sin(lat)) \quad (21)$$

마지막으로 태양의 방위각 (azimuth)과 고도각 (altitude)은

각각 식 (22)과 (23)을 이용하여 얻어낼 수 있다.

$$azimuth = \left(\tan^{-1} \frac{y_{hor}}{x_{hor}} \right) - 180 \quad (22)$$

$$altitude = \sin^{-1}(z_{hor}) \quad (23)$$

3. 비전센서를 이용한 추적방법

기존의 광센서를 이용한 추적 방법은 날씨가 흐려 태양빛이 산란될 경우 태양의 위치를 잘못 인식할 수 있다는 점에서 추적의 정확성이 떨어진다. 이에 본 논문에서는 가장 밝은 부분을 태양으로 인식하기 보다는 이미지에서의 태양이라고 판단되는 픽셀이 가장 넓게 분포되어 있는 영역의 중심을 태양이라고 판단하는 방법을 제시한다. 본 연구에서는 41만 화소를 갖는 CCTV용 비전센서를 사용하였다. 그림 4는 비전 이미지 데이터를 이용한 태양 위치 판별 순서를 보여준다. 그림 4의 첫 번째 순서처럼 비전센서를 통해 태양의 이미지를 획득한다. 얻은 이미지를 가로 240, 세로 180개의 단위 픽셀로 나눈다. 각 단위 픽셀의 RGB (Red-Green-Blue) 정보가 실험적으로 미리 결정한 범위 안에 들어가면, 그 픽셀은 태양의 일부로 분류한다. 태양으로 결정된 픽셀들과 그렇지 않을 픽셀들의 이진화 과정을 거치면 그림 4의 두 번째 스텝의 오른쪽 그림과 같다. 그림 5의 세 번째처럼 이진화 과정을 거친 후 태양으로 분류된 픽셀들 중 가장 넓은 범위의 픽셀들을 최종 태양으로 결정한다. 마지막으로 그림 4의 마지막 스텝처럼, 최종 태양으로 결정된 픽셀들의 평균 위치를 태양의 위치로 결정한다.

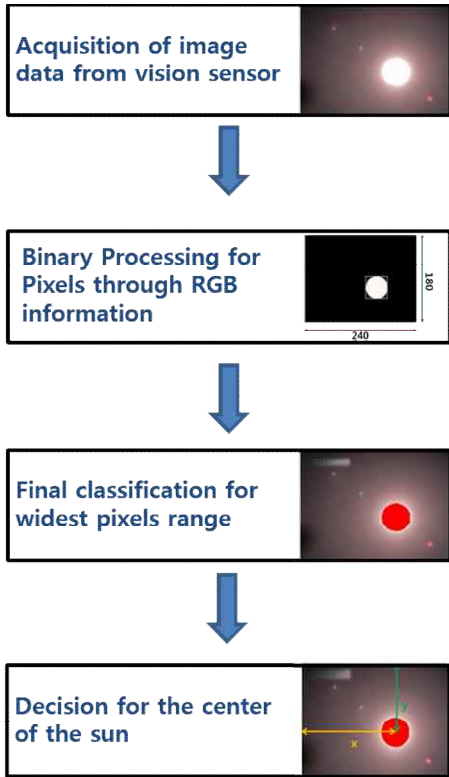


그림 4. 비전센서를 통한 태양 위치 판별 순서.

Fig. 4. Decision of the sun acquired by vision image data before 2nd tracking.

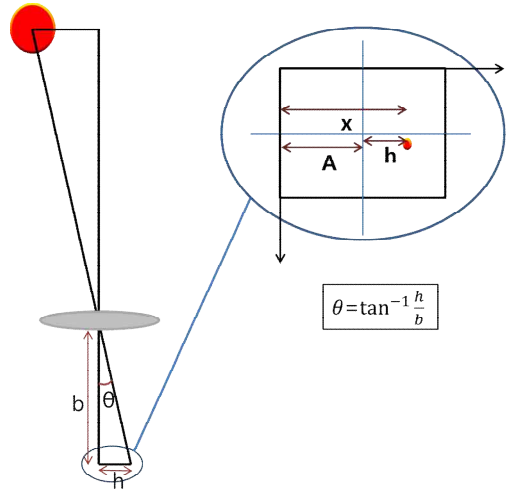


그림 5. 비전센서를 이용한 태양 추적.

Fig. 5. Tracking position of sun acquired by vision sensor.

GPS를 이용한 천문학적 추적방법을 사용할 경우, 태양 추적 시스템의 설치 시 정북측정 오차, 또는 수직오차 등 여러 가지 예상하지 못한 이유로 인해 태양 추적 시스템의 패널이 태양 방향과 직각을 이루지 못할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 비전센서를 이용한 더욱 정확한 태양 추적 방법을 제안한다.

그림 4의 4번에서 태양의 횡방향 거리를 x, 종방향 거리를 y라고 정의한다. 그림 5는 비전센서로 획득한 이미지 데이터를 통한 각도 보정 과정을 보여준다. 그림 5에서 A와 b는 각각 이미지 중앙까지의 거리와 비전센서의 초점거리이다. 횡방향으로의 보정 각도 θ 는 식 24와 같이 계산할 수 있다. 종방향 보정 각도 역시 같은 방법으로 구한다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{h}{b} \quad (24)$$

그림 6은 시간에 따른 태양 추적기의 추적오차 그래프이다. 그래프의 세로축은 비전센서로 얻은 이미지의 x방향 y방향

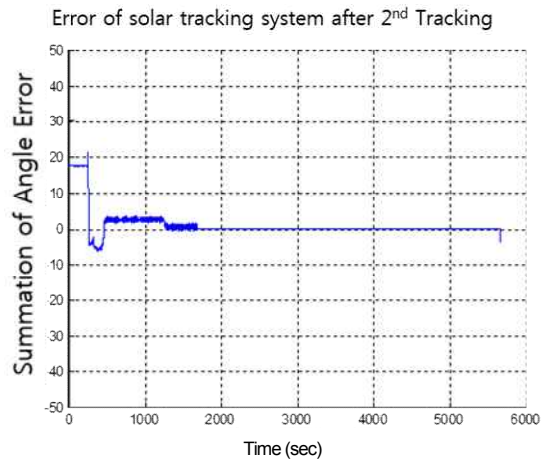


그림 6. 태양 추적 시스템의 종방향, 횡방향 각도 추정 오차의 합.

Fig. 6. Sum of horizontal and vertical angle error of the solar tracking.

추적오차의 합이다. T=1700 이전까지는 GPS만을 이용하여 얻은 추적오차 결과이다. 그래프에서 보이는 것과 같이 천체식을 이용해 태양 추적기를 제어했음에도 불구하고, 실제 태양과의 각도 오차가 있음을 확인할 수 있다. T=1700 이후에는 비전센서를 이용하여 각도 보정을 하고 난 후의 추적 오차이다. 비전센서를 사용하고 난 후 오차가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

4. 날씨정보를 이용한 추적방법의 결정

위에 소개한 것처럼 GPS를 이용한 천문학적 추적방법을 사용하고 난 후 비전센서를 이용하여 더욱 정밀하게 추적하면 태양광 발전시스템의 발전효율을 높일 수 있다.

하지만 이 두 가지 방법을 모두 사용하는 것이 늘 효율적이지는 않다. 그 이유는 날씨 때문인데, 날씨가 좋지 않아 하늘에 구름이 많이 있을 경우에는 비전센서가 태양을 올바르게 인식하지 못하게 된다. 그 결과, 태양광 패널이 잘못된 방향으로 향하게 되어 태양발전 시스템의 효율이 떨어지게 된다. 이 경우에는 오히려 약간의 오차를 감수하더라도 GPS를 이용한 추적방법만을 사용하는 것이 효율적일 수 있다.

따라서 GPS를 이용한 추적방법과 비전센서를 사용한 추적방법을 동시에 사용해야 하는지, GPS를 이용한 추적방법만을 사용해야 하는지에 대한 판단 기준이 필요하다. 기준에는 기상청을 통해 얻은 날씨 정보를 이용하여 태양 추적기가 운용 될 수도 있으나, 오보의 영향을 받을 수 있다는 점에서 신뢰성이 떨어진다. 이에 본 논문에서는 추적시스템 스스로 날씨를 판단할 수 있는 방법을 제안한다.

그림 7과 9는 비전센서로 획득한 시간에 따른 태양의 위치 변화를 보여준다. 그림 8과 10은 각각 날씨가 좋은 날과 좋지 않은 날에 얻은 시간에 따라 변하는 태양의 위치를 보여준다. 그림 7과 9의 세로축은 비전센서로 획득한 태양의 종방향 거리와 횡방향 거리의 합이다. 그림 7은 날씨가 좋은 날에 태양의 위치가 시간이 흐름에 따라 연속적으로 변하는 것을

보여준다. 반면에 그림 9를 보면 흐린 날에 태양의 위치가 시간에 따라 불연속적이고 예상하기 힘들게 변하는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 구름이 태양을 부분적으로 가려 나머지 부분의 중앙을 태양으로 잘못 인식하거나, 구름이 태양을 완전히 가려 태양을 인식하지 못하기 때문이다. 그 결과 이미지 데이터 처리 결과가 불안정하고 매끄럽지 못하여 태양 추적에 어려움이 생긴다.

본 연구에서 개발한 태양 추적기의 제어 주기는 1분이다. 1Hz의 센싱주기를 갖는 비전센서로 시간 k 일때 이미지상의 태양 위치, (x_k, y_k) 를 얻는다. 두 좌표값의 합 $(z_k = x_k + y_k)$ 의 분산을 1분마다 계산하여 본 연구에서 결정한 임계치 $\delta_{weather}$ 보다 크면 날씨를 흐리다고 판단하고, 작으면 날씨를 맑다고 판단한다. 따라서 k번째 제어주기에서 횡방향 태양 위치의 분산, σ_k^x 를 이용하여 날씨가 맑음을 판단하는 조건을 식 (25)와 같이 정의하였다.

$$\sigma_k^x = \frac{\sum_{i=1}^{60} (z_{k-i+1} - \bar{z})^2}{60} < \delta_{weather} \tag{25}$$

여기서 \bar{z} 는 1분동안 얻은 z_k 의 평균을 의미한다. 날씨판단을 통해 태양을 추적하는 알고리즘의 순서는 그림 11과 같다. GPS를 통해 태양의 위치를 추적하고 비전센서를 통해 날씨를 판단한다. 날씨가 맑으면 비전센서를 통해 더욱 정밀하게 태양을 추적하고, 날씨가 흐리면 비전센서를 통한 추적을 하지 않게 된다.

표 1은 같은 위치, 같은 시간에 맑은날과 흐린날의 한 시간 동안의 고정 된 비전센서로부터 얻은 태양의 잔차 제곱합(RSS: Residual Sum of Squares)을 보여준다. 본 연구에서는 1차 방정식의 선형 회기(Linear Regression)를 통해 잔차 제곱합을 구하였다. 잔차 제곱합은 식 (26)과 같이 정의된다. 식 26에서

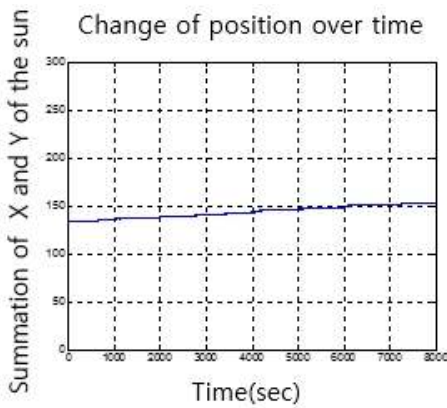


그림 7. 맑은 날의 시간에 따른 태양 위치 변화.
Fig. 7. Change of position of the sun over time on Sunday.

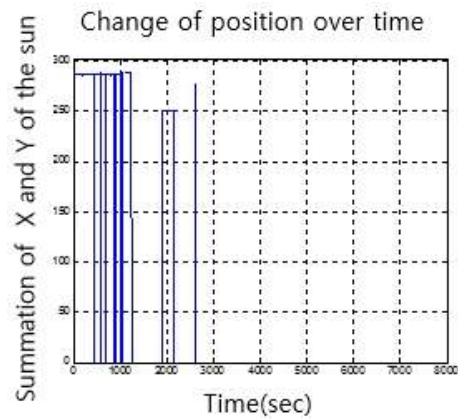


그림 9. 흐린 날의 시간에 따른 태양 위치 변화.
Fig. 9. Change of position of the sun over time on cloudy day.

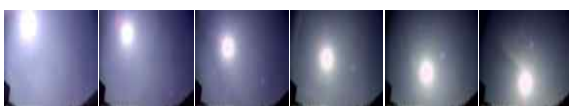


그림 8. 맑은 날 태양의 움직임.
Fig. 8. Solar movement during the experiment when it is sunny.



그림 10. 흐린 날 태양의 움직임.
Fig. 10. Image of the sky during the experiment when it is cloudy.

N 는 1시간 동안 획득한 데이터 개수이다. z_i 는 i 번째 시간에서 획득한 태양의 횡방향/종방향 위치의 합이다. \bar{z}_i 는 z_i 의 선형 회귀를 통해 계산한 i 번째 결과값이다.

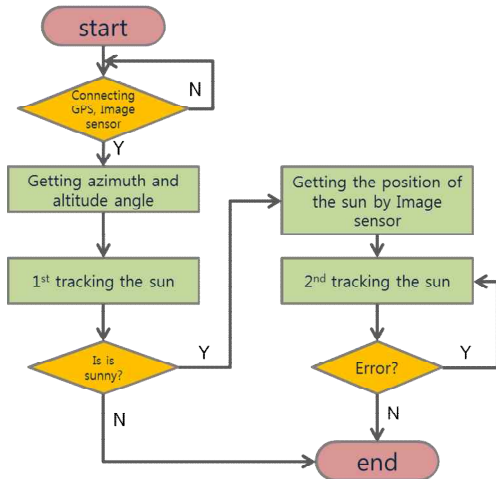


그림 11. 태양 추적 알고리즘의 순서도.
Fig. 11. Flowchart of solar tracking system.

표 1. 맑은날과 흐린날의 태양 좌표의 잔차 제곱합.
Table 1. RRS (Residual Sum of Squares) of position on sunny and cloudy day for one hour.

	Sunny day	Cloudy day
RRS for one hour	7511	17605000

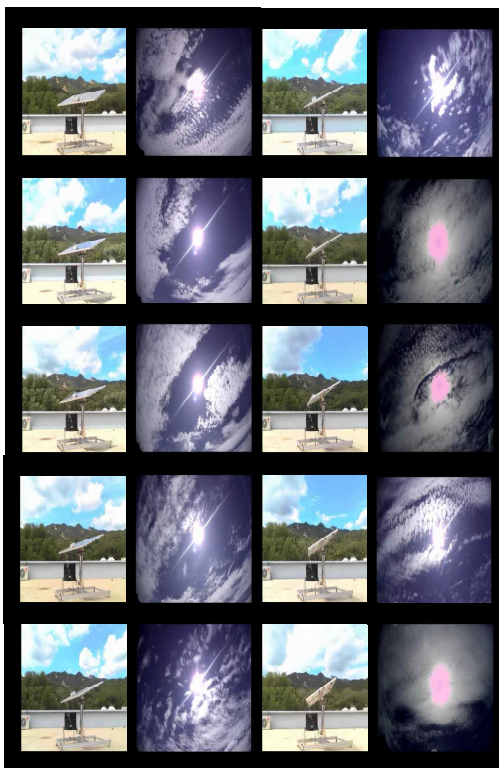


그림 12. 시간 별 태양 추적기의 모습과 태양의 모습.
Fig. 12. The appearances of the solar tracker tracking the sun and the solar image from the camera sensor fixed on the solar panel.

표 1에서 보이는 것과 같이, 맑은 날에 한 시간 동안 비전 센서를 이용하여 얻은 태양의 좌표 데이터들은 작은 오차 안에서 정밀하게 측정되고 있음을 확인할 수 있다. 반면에 흐린 날에 태양의 좌표 데이터들은 큰 오차를 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 비전센서를 이용한 날씨 판단의 정확성이 높음을 말해준다.

그림 12는 태양 추적 시스템과 태양광 패널 위에 장착한 카메라로 촬영한 태양의 모습을 시간에 흐름을 따라 보여준 것이다. 그림 12에서 보이는 것과 같이 시간이 지남에 따라 이동하는 태양을 잘 추적하여 카메라로 촬영한 태양이 늘 중앙에 위치하는 것을 확인할 수 있다.

$$RSS = \sum_{i=1}^N (z_i - \bar{z}_i)^2 \quad (26)$$

III. 결론

본 연구의 주된 목적은 태양 발전기의 효율을 높이기 위하여 하이브리드 방식의 태양 추적 알고리즘을 개발하는 것이다. 더욱 정밀한 태양의 추적을 위하여 GPS와 비전센서를 함께 사용하였다.

본 논문에서는 GPS를 이용한 태양 추적 알고리즘과 비전 센서를 이용한 태양 추적 알고리즘을 제안하였다. GPS를 이용하여 천체식으로 구한 태양의 방위각과 고도각에 따라 태양광 집열판을 태양의 방향과 가깝게 하였다. 그 후에 남아 있는 추적오차를 비전센서를 사용하여 줄일 수 있었다.

또한 비전센서를 이용한 자체적인 날씨 판단 알고리즘을 제안하였다. 비전센서로부터 얻은 이미지 데이터를 이용하여 날씨를 자체적으로 판단할 수 있음을 실험적으로 검증하였다.

본 연구에서 제안된 시스템은 비록 추가적인 센서 비용을 발생시킬 수 있으나 하나의 센서로도 다수의 태양광 패널을 군집으로 제어할 수 있기 때문에 전체적인 가격상승은 크지 않을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] M. Blanco-Muriel, D. C. Alarcon-Padilla, T. Lopez-Moratalla, and M. Lara-Coira, "Computing the solar vector," *Solar Energy*, vol. 70, no. 5, pp. 431-441, 2001.
- [2] M. Blanco-Murie, "Computing the solar vector," *Solar Energy*, vol. 70, no. 5, pp. 431-441, 2001.
- [3] D. M. Mosher, R. E. Boese, and R. J. Soukup, "The advantage of sun tracking for planar silicon solar cells," *Solar Energy*, vol. 19, pp. 91-97, 1977.
- [4] R. Zogbi and D. Laplaze, "Design and constuction of a sun tracker," *Solar Energy*, vol. 33, no. 3/4, pp. 369-372, 1984.
- [5] Keith Bumett, Position of the Sun, <http://www.stargazing.net/kepler/sun.htm>
- [6] E. Diaz-Dorado, A. Suarez-Garcia, C. J. Carrillo, and J. Cidras, "Optimal distribution for Photovoltaic solar tracker to minimize power losses caused by shadows," *Renewable Energy*, vol. 36, pp. 1826-1835, 2011.
- [7] V. Poulek and M. Lbra, "New solar tracker," *Solar Energy Materials ans Solar Cells*, vol. 51, pp. 113-120, 1998.
- [8] M. J. Clifford and D. Eastwood, "Design of a novel passive solar tracker," *Solar Energy*, vol. 77, pp. 269-280, 2004.
- [9] V. Poulke and M. Libra, "A very simple solar tracker for space

and terrestrial applications,” *Solar Energy Materials & Solar Cell*, vol. 60, pp. 99-103, 2000.

- [10] R. Grena, “An algorithm for the computation of the solar position,” *Solar Energy*, vol. 82, p. 462, 2008.
- [11] J. J. Michalsky, “Astronomical algorithm for approximate solar position,” *Solar Energy*, vol. 40, no. 3, pp. 227-235.
- [12] J. W. Spencer, “The astronomical almanac’s algorithm for approximate solar position,” *Solar Energy*, vol. 42, no. 4, p. 353.
- [13] Forseth, J. R. Ehleringer, “Solar tracking response to drought in a desert annual,” *Oecologia (Berl.)*, vol. 44, pp. 159-163, 1980.



유 정 재

2011년 국민대학교 기계자동차공학부 졸업.
2012년~현재 국민대학교 자동차 공학전문
대학원 석사과정 재학중. 관심분야는 상태
추정, 차량 추적, 태양광에너지.



강 연 식

1999년 서울대학교 조선해양 공학과 졸
업. 2001년 서울대학교 조선해양 공학과
(공학석사). 2006년 University of California,
Berkeley Mechanical Engineering Ph.D.
2007년~2010년 KIST 인지로봇센터 선임
연구원. 2010년~현재 국민대학교 자동차
공학과 조교수. 관심분야는 이동로봇 네비게이션, 모델 예측
제어, 장애물 회피.