

고효율 태양광 추적장치 개발

서명환*, 김윤식* 이희준*, 홍정훈*, 김선형*
*순천향대학교 정보통신공학과

A Development of the High Efficient PV Tracking System

Myeong-hwanSeo*,Hee-jun Lee**,Jeong-hun Hong***,Sun-hyung Kim****

*Division of Information Communication, Soonchunhyang University

요 약

현재 태양광 산업에서는 고정식 태양광 발전장치보다 발전 효율이 우수한 추적식 태양광 발전장치를 개발하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 추적식 태양광 발전장치는 고정식에 대비하여 단위면적당 일사량을 최대로 유지할 수 있을 뿐만 아니라, 일조시간을 최대로 하여 태양전지의 발전효율을 극대화할 수 있다. 따라서 정밀하면서도 저렴한 태양위치 추적장치는 태양광 발전사업의 경제성을 높이고, 성능 대비 투자비용을 낮춰 태양광 발전설비의 보급을 촉진시켜줄 수 있는 중요한 기술이다. 본 연구는 태양위치를 감지하는데 센서를 사용하지 않고 천문학과 수학을 이용하여 정밀도 1분(0.016°)이내의 태양위치를 계산하는 알고리즘에 관한 것이다. 본 연구에서 제안하는 알고리즘은 장치의 제작비용을 낮추어 줄 뿐 아니라, 발전효율도 높여준다. 구현된 알고리즘을 적용시킨 추적식 태양광 발전장치를 운용·실측한 결과, 최대 30초(0.0038°)의 오차를 보여 추적식 발전장치의 경제성을 높일 수 있고, 시간복잡도(Time Complexity)와 공간복잡도(Spatial Complexity)가 낮아 실시간 태양 추적장치에 최적임을 확인하였다.

1. 서론

태양광 발전의 핵심인 태양전지의 일사량에 따른 출력 특성은 태양광이 태양전지 표면에 조사될 때에 일사량이 많을수록 태양전지의 출력이 커지고, 작을수록 출력이 작아진다[3]. 이러한 태양전지의 일사량에 따른 출력 변화 특성을 고려할 때 발전량을 증가시키기 위해서는 최대로 많은 일사량이 태양전지 표면에 조사되도록 해야 하고, 그러기 위해서는 태양전지 표면이 태양과 항상 수직을 유지하도록 해야 한다.

태양전지를 태양과 수직방향으로 항상 유지시키기 위한 태양 추적 방법으로는 센서를 이용하는 방식과 태양의 위치를 계산하여 추적하는 프로그램을 이용한 방식, 센서와 프로그램을 병행하는 방식등 크게 3가지 방법이 있다[2][3]. 센서방식은 날씨 변화에 약하고 이물질에 의한 오동작이 자주 발생하는 등의 단점이 있어 최근에는 프로그램을 이용하는 방식으로 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다.

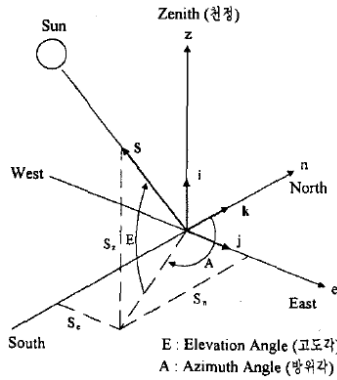
태양광 추적장치에 대한 기존의 연구를 살펴보면 태양을 추적하기 위해 용량이 크고 복잡한 알고리즘을 사용하고 그에 따라 요구되는 프로세서 또한 고

가의 고성능 프로세서를 필요로 하게 된다.

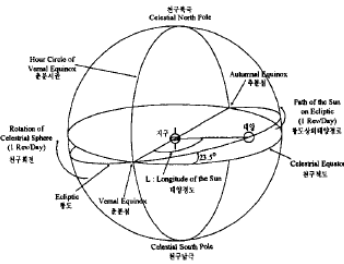
하지만 현재 0.1도 단위로 태양전지 구조물을 움직여줄 구동체가 없으므로 1분이내(0.016°)의 오차보다 더 정밀한 추적을 위해 노력을 기울이는 것은 의미가 없을 것으로 본다. 그러므로 본 연구에서는 알고리즘의 용량을 최소화 하고 시간 복잡도와 공간 복잡도를 최소화하여, 태양광 발전에 최적의 실시간 태양추적 알고리즘을 구현하여 저가의 프로세서를 사용하면서도 필요로 하는 성능을 유지하여 생산단가를 낮추면서도 신뢰성을 유지할 수 있도록 하는 것을 목표로 하였다.

2. 태양위치 계산 알고리즘

태양의 위치는 그림 2.1과 같이 태양의 고도각(elevation) 및 방위각(azimuth)을 사용하여 정의한다. 태양의 고도각은 태양과 태양전지가 설치되어있는 지점(좌표원점)을 연결하는 선분이 지구 표면과의 이루는 각으로 표시되는 값이다. 또한 태양의 방위각은 현재 태양의 위치를 지표면에 투영시켰을 때 태양과 좌표의 원점이 이루는 직선이 좌표상의 정북을 가리키는 직선과 이루는 각이다.



[그림 2.1] 태양의 고도각 및 방위각



[그림 2.2] 천구의 정의

태양위치계산에서 태양의 궤적을 표시하기 위한 기준 좌표의 설정은, 일반적으로 천구좌표계가 사용된다. 천구는 그림 2.2와 같이 지구를 무한대의 반경을 갖는 구의 중심으로 간주한 천체상 가상의 구이다. 실제의 경우 지구는 고정된 태양을 중심으로 타원형의 궤도를 따라서 공전하며, 동시에 23.5°의 경사각을 갖는 자전축을 기준으로 하여 회전하는 운동을 수행한다. 그러나 태양의 위치를 산출하기 위한 관계식을 유도하기 위해서는 천구의 정의에서와 같이, 지구를 고정된 기준으로 간주하고, 태양이 지구를 기준으로 하여 천구의 황도(ecliptic)를 따라서 년중 1회전하며, 또한 천구 스스로가 매일 1회전하는 가상 천구의 개념을 사용하는 것이 편리하다[4].

태양 위치를 계산하기 위하여 우선 태양의 위치 계산식에서 사용되는 시간(time)의 정의가 필요하다. 태양위치계산에서 사용되는 시간은, 특정 시간을 기준으로 하여 그로부터 경과된 경과시간을 일단위(day unit)를 사용하여 표시한다. 지금까지 제시된 연구 결과에서 많은 각기 다른 기준 시각이 사용되었으나, 여기서 사용되는 기준 시각은 2000년 1월 1일 0시 TDT(Terrestrial Dynamical Time)이다. 이것은 1999년 12월 31일 24시와 같으며 20세기의 마지막 날의 자정을 TDT라고 할 수 있다. 여기서는 TDT와 UT의 차이점은 무시된다.

일수를 d 라고 정의한다면 이것은 율리우스 일(JD:Julian Day Number)을 사용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$d = JD(\text{Julian Day Number}) - 2451543.5$$

항성시(Sidereal time)는 자오선(meridian)의 적경을 말한다. 항성시는 다음과 같이 계산된다.

$$\text{SIDTIME} = \text{GMST0} + \text{UT} + \text{LON}/15$$

GMST0는 영국의 그리니치 자오선상에서 자정에 항성시를 말한다. UT는 그리니치 시간이며 LON은 지구상에서 관측자의 경도를 나타낸다.

또한, 방위각과 고도를 구하기 위해서는 시간각(Hour Angle)을 알아야한다. 시간각은 자오선상에서 0이다. 즉 천체가 지평선에서 가장 높이 있는 순간이며 다음과 같이 계산된다.

$$\text{HA} = \text{SIDTIME} - \text{RA}$$

본 논문에서 사용한 태양위치 계산 알고리즘의 정확도는 1분이내(0.016°)이므로 이 정도의 정확도 위해 최대한으로 간단한 계산방식을 사용하며, 다음과 같은 오차요소들을 갖는다.

- 장동과 광행차, 행성간의 수차를 무시한다.
- 역표시와 자전시, 그리니치평균태양시를 무시한다.
- 세차를 황도좌표계의 경도에 더하는 것으로 계산한다.
- 행성궤도요소의 고계도항은 무시한다.
- 행성간의 섭동을 무시한다.

위의 모든 오차요소들을 포함하여 최종적으로 계산결과로 얻어지는 측정위치를 기준으로 한 태양의 고도, 방위각 값은 1분이내의 오차를 갖게 된다.

전체적인 태양위치계산 과정은 다음과 같다[5].

- ① 황도궤도 계산
- ② 적도좌표로 변환
- ③ 지평좌표로 변환
- ④ 직각좌표를 구면좌표로 변환

3. 구현 및 실험

시스템의 실제 태양위치계산 성능 평가를 위해 실험을 실시하였다. 실험은 본 논문에서 구현한 태양 위치계산 프로그램의 정확도를 테스트하기 위한 고도/방위각 계산결과 테스트와 실제 발전량의 차이를 확인하기 위한 실운영 테스트를 진행하였다.

3.1 고도/방위각 실험

고도/방위각 테스트는 한국천문연구원에서 제공하는 태양 고도/방위각 정보 기준으로 하였으며 같은 시간, 같은 장소에서의 태양위치 계산을 실행하여 비교하였다.

실험 조건은 경도 126.0000 위도 37.0000에서 2009년 5월 13일 14시 25분 42초의 태양의 위치를 계산하였다.

```
##### 처리 결과 #####
방위각 240° 57' 24.1"   고도 58° 59' 30.2"
방위각 240.95669556°   고도 58.99172592°
```

[그림 3.1] 제안된 태양위치계산 프로그램 실행 결과

[표 3.1] 한국천문연구원의 태양위치 정보

방위각(도 분 초)	고도(도 분 초)
240 57 05.10	058 59 06.2

[표 3.2] 제안된 알고리즘과 한국천문연구원 자료와의 비교

방위각(도 분 초)	고도(도 분 초)
0 0 19	0 0 24

그림 3.1은 구현한 알고리즘의 실행 결과이며 표 3.1이 한국천문연구원(KASI)에서 제공하는 태양 고도/방위각 데이터이다. 두 결과를 비교한 표3.2에서 볼 수 있듯이 방위각에서 19초(0.005278°), 고도에서 24초(0.006667°)의 오차를 보인다. 이것은 처음에 목표로 했던 1분 이내의 오차에 만족하는 결과임을 확인할 수 있었으며, 반복 수행하여 확인하였을 때, 모든 경우에서 1분 이내의 오차를 보였고 최악의 경우 30초(0.008°)의 오차를 보였다.

이는 향후 실제 추적식 태양광 발전기에 적용하기에 충분한 정확도이다.

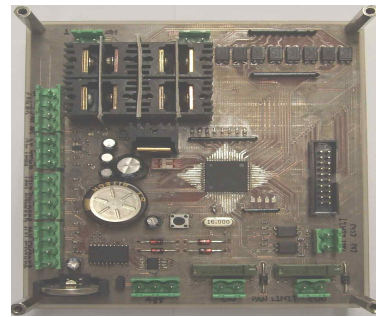
3.2 실운영 테스트

실제 본 논문에서 구현한 태양광 추적장치를 적용한 태양광 추적식 발전시스템을 구현하고 이를 모니터링 하였으며, KS C 8535 『태양광발전시스템 운전 특성의 측정법』에 의거하여 연속최단 측정기간인 1개월 동안 측정하였으며, 측정주기는 1분으로 하였다.

태양전지모듈과 트랙커, 생산된 전력을 바로 소모시키기 위한 200W메탈클레드 저항기로 구성된 태양광 추적식 발전 시스템과, 비교를 위한 기존의 고정식 시스템, NI cDAQ 9901, NI 9219, PC로 구성되는 모니터링 시스템을 구현하고 출력전력, 일사량, 모듈 온도를 측정 하였다.



[그림 3.2] 태양광 추적식 발전 시스템



[그림 3.3] 태양광 추적/모터제어 보드

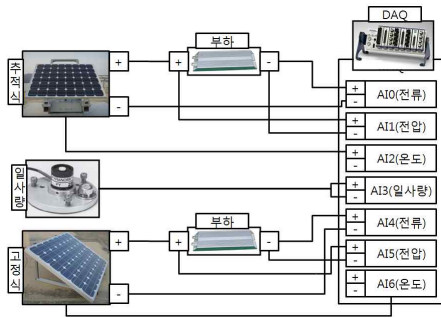
그림 3.2의 태양광을 추적하기 위한 트랙커는 방위각을 움직이기 위한 DC모터와 기어 조립체, 고각을 움직이기 위한 DC모터로 동작하는 리니어 액추에이터로, 철골 프레임으로 구성되며, 사용된 태양전지모듈의 자세한 제원은 표3.3에 나타내었다.

그림 3.3의 태양광 추적/제어보드는 태양의 위치를 계산하며, 고각/방위각을 움직이기 위한 모터를 제어한다. MCU로는 Atmega128을 사용하였으며, 이 보드상에는 여러 가지 analog값을 받아들이기 위한 외부 16-bit ADC와, RS485통신부, 모터제어를 위한 H-bridge회로등을 구현하였다.

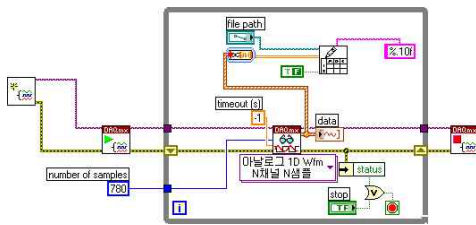
[표 3.3] 사용된 태양전지 모듈의 제원

Monocrystalline Solar Module 100W	
Typical Data at STC	
Dimension	1074*801*35(mm)
Peak Power	PmPP=100W
Open Circuit Voltage	Voc=29.02V
Short Circuit Voltage	Isc=4.65A
Rated Voltage	Imp=23.52V
Rated Current	Vmp=4.25A
Power Output Tolerance	±5%

실측을 위한 모니터링 구성도는 다음의 그림 3.4과 같다. 고정식과 추적식 각각에서 생산된 전력은 모두 대전력형 메탈클래드저항기 PRH200을 이용해 소모시켰으며, 저항에 걸리는 전압과 저항을 지나가는 전류, 그리고 모듈의 표면온도를 측정하였다. 일사량은 고정식과 추적식 모두에게 동일하게 일사되는 것으로 간주하고 하나의 일사량센서만을 사용하였고 데이터취득을 위해 NI사의 cDAQ-9172를 사용하였으며, 출력 전압, 전류, 모듈온도, 일사량을 측정하였다.



[그림 3.4] 모니터링 구성도

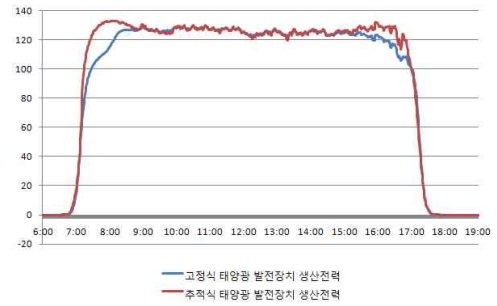


[그림 3.5] 데이터취득 프로그램

그림3.5의 프로그램은 DAQ의 7개 채널로 들어오는 Analog 신호를 1분마다 13시간(해가 떠있는 시간)동안 24bit의 분해능으로 받아들여 스프레드시트에 소수점10번째 자리까지 기록하도록 프로그래밍하였다.

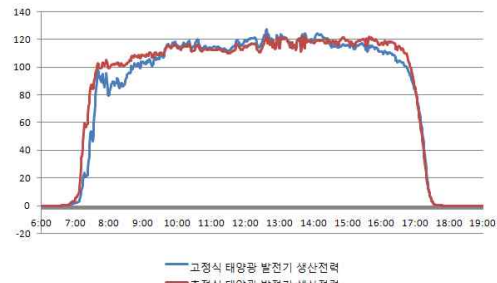
4. 결과 및 검토

3장에서 기술된바와 같이 구성된 실험장비로 1개월간 운용하여 대표적인 유형의 세 가지 날씨- 맑은 날, 흐린 날, 오전에 비가오고 오후에 흐린 날에 대해 측정하였다.



[그림 3.6] 맑은 날의 출력전력 그래프

그림 3.6에서 보이는 바와 같이 맑은 날 고정식과 추적식의 출력차이는 확연히 나타나며 남향의 방위각과 고정된 각도로 설치된 고정식의 출력은 일출과 일몰에 가까워질 수록에 출력이 줄어드는 반면 추적식의 출력은 일출 직후부터 일몰직전까지 거의 최대로 유지되는 것을 볼 수 있다.



[그림 3.7] 흐린 날의 출력전력 그래프

그림 3.7에서는 오전부터 오후까지 지속적으로 흐린날의 일사량과 출력전력의 그래프를 보이고 있다.



[그림 3.8] 비오고 흐린 날의 출력전력 그래프

그림 3.8에서는 오전에 비가 와서 거의 발전이 이루어 지지 않다가 비가그치고 흐렸던 오후의 변동이 심한 그래프를 보여주고 있다.

구름이 끼거나 비가오는 날씨에 구름의 그림자로

인하여 아주 잠시동안 고정식 발전기의 발전량이 태양광 추적식 발전기의 발전량을 넘어섰던 경우를 제외 하면 세 가지 날씨유형 모두에서 태양광 추적식 발전기의 발전량이 대체로 높게 나오는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

무한 청정 에너지원으로서의 태양열은 무한한 활용 가능성을 가진 에너지원이다. 본 연구는 태양전지를 이용한 태양광 발전장치의 태양추적시스템을 위한 태양위치계산에 관한 것이다.

태양위치계산을 위한 알고리즘은 마이크로프로세서에서의 연산이 가능하도록 충분히 간단하여야 하면서도 충분한 정확도를 가져야 한다.

본 연구에서 제시된 태양위치 계산 알고리즘은 저가의 마이크로프로세서를 사용하는 태양추적시스템에서의 활용이 가능할 정도로 간결하고 가벼우면서도, 한국천문연구원의 태양위치정보와 비교했을 때 1분(0.016°)이내의 오차를 보일만큼 정밀하므로 추적식 태양광 발전장치의 제어장치에 활용한다면 성능 대비 투자비용을 낮추어 태양광 발전 산업의 경제성을 높이고 추적식 태양광발전 장치의 보급을 촉진시켜 줄 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 윤정훈, 2004, 태양광 기술 현황, 한국에너지기술연구원 태양전지연구센터, 대전, pp.2~14.
- [2] 이양규, 2003, 태양 위치 추적기를 이용한 독립형 태양광 발전시스템의 효율개선, 전남대학교 석사학위논문.
- [3] 백남춘, 정명웅, 김은일, 김미선, 박완순, 2003, 자연에너지의 활용, 한국에너지기술연구원, 대전, pp.49~72.
- [4] 박영철, 김기용, 1998, 태양추적시스템을 위한 태양 위치 계산
- [5] Paul Schlyter, <http://www.stjarnhimlen.se/comp/ppcomp.html>
- [6] KS C 8535 태양광발전시스템 운전 특성의 측정법