creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000237400

2009年 2月 碩士學位論文 One sensor방식에 의한 추적형 태양광발전시스템에 관한 연구 閔丙國

2009年 2月

碩士學位論文

One sensor방식에 의한 추적형 태양광발전시스템에 관한 연구

朝鮮大學校 大學院

電 氣 工 學 科

閔 丙 國

2009年　2月
碩士學位論文

One sensor방식에 의한 추적형 태양광발전시스템에 관한 연구

朝鮮大學校 大學院

電 氣 工 學 科

閔 丙 國

One sensor방식에 의한 추적형 태양광발전시스템에 관한 연구

A Study on the Tracking Photovoltaic System by One sensor Type

2009年 2月 日

朝鮮大學校 大學院

電 氣 工 學 科

閔 丙 國

One sensor방식에 의한 추적형 태양광발전시스템에 관한 연구

指導敎授　曺　錦　培

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2008年　10月　　日

朝鮮大學校 大學院

電 氣 工 學 科

閔　丙　國

閔丙國의 碩士學位 論文을 認准함.

委員長　朝鮮大學校 敎授 _____印

委　員　朝鮮大學校 敎授 _____印

委　員　朝鮮大學校 敎授 _____印

2008年　11月　　日

朝鮮大學校 大學院

목 차

ABSTRACT

Ⅰ. 서론 ····· 1

Ⅱ. 이론적 고찰 ····· 3

A. 태양전지의 이론 및 특성 ····· 3

B. 태양광발전시스템 ····· 6

C. 태양위치 추적 ····· 10

1. 센서방식 ····· 10

2. 프로그램방식 ····· 12

3. 하이브리드방식 ····· 16

Ⅲ. 시뮬레이션 ····· 17

A. 고정식 및 경사가변형 ····· 18

B. 추적식 ····· 20

C. 시뮬레이션 결과고찰 ····· 22

Ⅳ. 실험 및 결과고찰 ····· 25

A. 추적시스템 구성 ····· 25
1. 태양전지 모듈 ····· 27
2. 모터의 선정 ····· 29
3. 센서 ····· 32

B. 추적시스템 제어부 ····· 35
1. 제어 알고리즘 ····· 35
2. 제어 회로 ····· 37

C. 태양추적 성능특성 ····· 39

D. 태양추적 운전특성 ····· 42

Ⅴ. 결론 ····· 43

참고문헌

List of Tables

Table 2-1 Installation variable ····· 7

Table 2-2 Classification according to operating axis array in tracking type ····· 9

Table 2-3 Classification for tracking signature ····· 11

Table 2-4 Comparison of program and sensor type ····· 16

Table 3-1 Parameter of PV module ····· 17

Table 3-2 PV generation value at the tilt angle ····· 19

Table 3-3 PV generation value of one-axis and two-axis ····· 21

Table 3-4 PV generation value at PV installation shape ····· 24

Table 4-1 Photovoltaic module specification ····· 28

Table 4-2 Specification of motor ····· 29

Table 4-3 Specification of ATmega16 ····· 38

List of Figures

Fig. 2-1 The basic principle of solar cell ····· 4

Fig. 2-2 The photovoltaic effect in *P-N* junction ····· 5

Fig. 2-3 Fixed type and Slope variable type PV system ····· 8

Fig. 2-4 Type of tracking ····· 8

Fig. 2-5 Shape of Ecliptic ····· 15

Fig. 2-6 Method of azimuth and elevation ····· 15

Fig. 3-1 A monthly PV generation value at the tilt angle ····· 19

Fig. 3-2 A monthly PV generation value of
one-axis and two-axis ····· 21

Fig. 3-3 A monthly PV generation value at
PV installation shape ····· 23

Fig. 3-4 A yearly PV generation value at
PV installation shape ····· 23

Fig. 4-1 Block diagram of solar tracking system ····· 26

Fig. 4-2 Shape of solar tracking system ····· 26

Fig. 4-3 Photovoltaic module ····· 27

Fig. 4-4 Drawing of selected motors ····· 30

Fig. 4-5 Shape of selected motors ····· 30

Fig. 4-6 Shape of selected motor and warm gear ····· 31

Fig. 4-7 Diagram of solar tracking system sensor ····· 34

Fig. 4-8 Picture of photo sensor ····· 34

Fig. 4-9 Control algorithm of sensor tracking method ····· 36

Fig. 4-10 Picture of solar tracking controller ····· 37

Fig. 4-11 Block diagram of ATmega16 ····· 38

Fig. 4-12 Output voltage of each sensor
when they are in the B and D ····· 40

Fig. 4-13 Output voltage of each sensor
when they are in A and C ····· 40

Fig. 4-14 Output voltage of each sensor
when they are in the D ····· 41

Fig. 4-15 Output voltage of each sensor
when they are in the center ····· 41

Fig. 4-16 Compare with a fixed type and tracking type ····· 42

ABSTRACT

A Study on the Tracking Photovoltaic System by One sensor Type

Byoung-Guk Min
Advisor : Prof. Geum-Bae Cho, Ph.D.
Department of Electrical Engineering,
Graduate School of Chosun University

The latest fast industry development and continuous increase of demand for power by elevation of standard of living and fossil energy of run dry, interest about worldwide new recycled energy is elated by environmental pollution problem etc.

Chooses photovoltaics, wind energy, fuel cell by 3 periods emphasis business in our country and is helping in development and supply. Because photovoltatic power generation out of this is no air pollution or occurrence of noise, and source of energy is infinite, lively study is proceeded as alternate energy source.

The sun tracking device chases position of the sun that change according to time and solar cell module always heads the sun.

In this paper, the sun and solar cell module suggested

Two-axis tracking system of one sensor method that can control azimuth and elevation by 1 sensors in double sensor mode that used 2 sensors to Two-axis tracking system that control azimuth and elevation of the sun in existing so that form normal and manufactures proposed tracking system and executed actuality driving of system.

It is Two-axis tracking system that control azimuth and elevation to control to be reduced for solar cell module as proposed tracking system uses 1 sensors and the sun always forms normal.

Two-axis tracking system of one sensor method that propose in paper that could reduce electric power consumption and sees than fixed type preventing action and the most efficient driving and needless drive could confirm that generation efficiency of about 23 [%] increases.

To heighten efficiency of solar cell doing to receive more sunlights chasing the sun, done tracking device have proceeded a lot of studies in large size way. Therefore, is expected that will do big part in the sun tracking supply through utility study about persistent generation efficiency constructing monitoring system of the sun tracking of this paper.

Ⅰ. 서 론

최근 급속한 산업발달과 생활수준의 향상으로 인한 전력수요의 지속적인 증가와 화석에너지의 고갈, 환경오염 문제 등으로 전 세계적으로 신재생에너지에 대한 관심이 고조되고 있다.

우리나라의 경우 현재 막대한 에너지 수입에 따른 무역 수지 악화의 해소와 함께 향후 지속적인 개발에 필요한 에너지원의 확보가 이미 오래전부터 국가적인 문제로 대두되어 있는 실정이다. 또한 기후변화협약 및 교토의정서 등 세계적으로 추진되고 있는 환경규제와 관련된 규약은 제품생산에 있어서 온실가스 배출량을 최소화하도록 유도하고 있어 에너지 다소비국인 우리나라로서는 국가경쟁력 향상을 위해 환경 친화적인 신재생에너지의 개발이 절실히 요구되고 있다.

신재생에너지는 신에너지 3개 분야(연료전지, 석탄·액화·가스화, 수소에너지), 재생에너지 8개 분야(풍력, 태양열, 태양광, 바이오메스, 소수력, 지열, 해양에너지)로 구분되며 우리나라에서는 태양광, 풍력, 연료전지를 3대 중점사업으로 선정하여 개발 및 보급에 힘쓰고 있다. 이 중 태양광발전은 대기오염이나 소음의 발생이 없고, 에너지원이 무한하여 대체에너지원으로서 활발한 연구가 진행되고 있다.

태양광발전은 태양의 빛에너지를 전기에너지로 직접 변환하는 발전방식으로 다른 발전방식에 비해 운전과 유지보수가 용이하고 연료의 공급 없이 약 20년 이상 사용 가능 할 뿐만 아니라, 수요나 지형에 맞게 설계할 수 있으므로 송전시설이 필요하지 않아 송·배전 손실을 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 기존 발전방식에 비해 발전단가가 비교적 높고, 에너지 밀도가 희박하여 일정한 전력을 이용하기 위해서는 넓은 면적의 태양전지모듈을 설치할 장소가 필요하며, 기상조건 및 자연 조건에 절

대적인 영향을 받는다. 또한 태양전지에서 발생되는 전력은 직류이나 대부분의 부하는 교류로 사용하기 때문에 태양광발전의 출력을 교류로 변환하기 위한 전력변환기가 필요한 단점이 있다.[1,2]

현재 태양전지의 변환효율은 상용제품의 경우 14%로 낮고 태양광발전시스템의 총 설비비 중 70%이상을 태양전지가 차지하고 있다. 따라서 기존의 전기설비에 비해 발전단가가 높은 경제성을 갖추기 위해서는 태양전지 재료의 성능향상, 주변장치의 효율 증대 및 관련분야에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되어야 할 것이다.

태양광발전시스템의 발전효율을 높이기 위한 방법으로는 일반적으로 높은 변환효율을 갖는 태양전지를 사용하는 방법, 변환기의 변환효율을 높이는 방법 및 MPPT제어를 하여 높이는 방법, 태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 하는 방법 등이 있다.

하지만 셀 자체의 변환효율을 높이는 방법은 발전단가를 높이는 주된 요인이 됨으로 현재에 있어서 효용성이 떨어지며, 변환기의 변환효율을 높이는 방법은 국내외 변환기 효율이 90%이상으로 그 한계에 도달하여 수 [%]의 효율을 높이기란 매우 어려운 실정이다. 또한 태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 하는 방법은 태양광발전의 효율은 높일 수 있으나 시설단가가 높아지는 단점이 있다.[3,4,5]

본 논문에서는 태양과 태양전지 모듈이 법선을 이루도록 기존에 태양의 방위각 및 고도각을 제어하는 양축 추적시스템에 2개의 센서를 사용하였던 Double sensor방식에서 1개의 센서로 방위각 및 고도각을 제어할 수 있는 One sensor방식의 양축 추적시스템을 제안하였으며, 제안한 추적시스템을 제작하여 시스템의 실제 운전을 통한 추적시스템의 타당성을 입증하고자 하였다.

Ⅱ. 이론적 고찰

A. 태양전지의 원리 및 구조

태양전지는 광기전력효과를 이용하여 직접 전기에너지로 변환시키는 반도체 소자로써 태양전지의 구조는 단결정 실리콘 태양전지의 경우 *Si*에 5가 원소(*P*, *As*, *Sb*) 등을 침투시켜 만든 *N*형 반도체와 3가 원소(*B*, *K*) 등을 침투시켜 만든 *N*형 반도체로 이루어진 *P*-*N*접합 구조로 되어 있다.[6,7]

*P*형 반도체와 *N*형 반도체가 하나의 단결정으로 접합되면 불순물의 농도차에 의해서 *N*형 반도체가 *P*형 반도체로 확산해 가고 정공은 *P*형에서 *N*형으로 확산됨에 따라 *P*형 반도체의 전도대 내부에 있는 전자에너지는 *N*형 반도체보다 높아지고 *N*형 반도체의 가전자대 내부에 있는 정공이 갖는 에너지는 *P*형 반도체보다 높아지게 되어 내부에 전위차가 발생한다.

그림 2-1은 태양전지 기본구조를 나타낸 것으로 반도체에 태양광이 입사되면 가전자대의 전자는 광에너지를 흡수하여 전도대에 유기되어 자유전자로 되고 전자가 여기 된 후의 가전자대에는 정공이 생기게 된다. 전자는 *N*형 반도체로, 정공은 *P*형 반도체로 이동하여 *N*층과 *P*층을 각각 음극과 양극으로 대전시키는 광기전력효과(photovoltaic effect)에 의해 기전력을 발생하며, 이들 사이에 부하를 연결하면 전류가 흐르게 된다.

광기전력효과란 금지대폭이 E_g인 금속-반도체 혹은 *P*-*N*접합에 빛을 조사시킬 때 E_g보다 큰 에너지를 가진 입사광자에 의해서 Electron hole pair가 생성되어 접합 양단에 광기전력이 발생하는 현상이다.

그림 2-2(a)에서 외부회로를 단락하면 입사광량에 비례한 광전류가 외부회로에 흐르게 되는데 이때 흐르는 전류를 단락전류 (Short circuit current) I_{sc} 라 한다. 또한 그림 2-2(b)에서와 같이 P-N접합의 양단을 개방하면 전자와 정공이 각각 N, P층으로 유입됨으로서 N층의 페르미 레벨이 P층의 페르미 레벨에 비해 약간 올라가 양자의 페르미 준위에는 전압의 오차가 생긴다. 이 값은 외부로부터 관측될 수 있으며 이를 개방전압 (open circuit voltage) V_{oc} 라 한다.

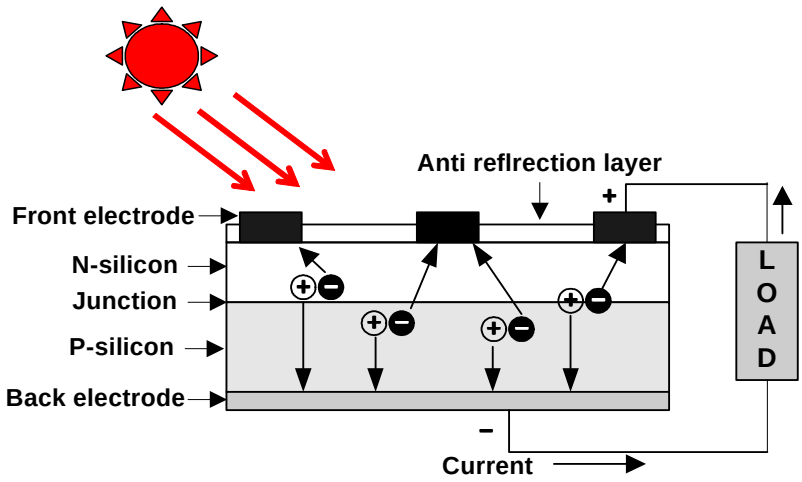
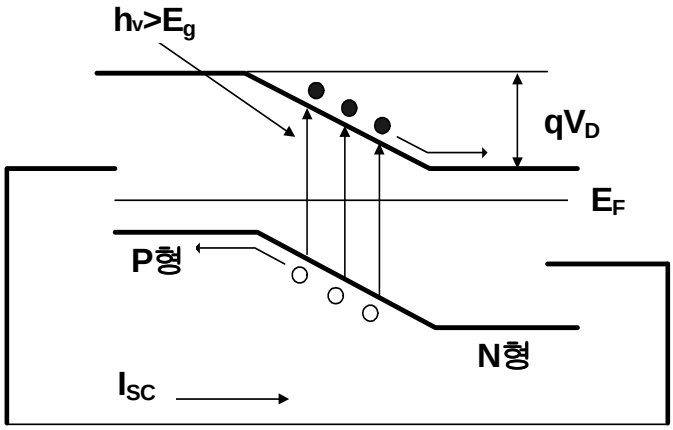
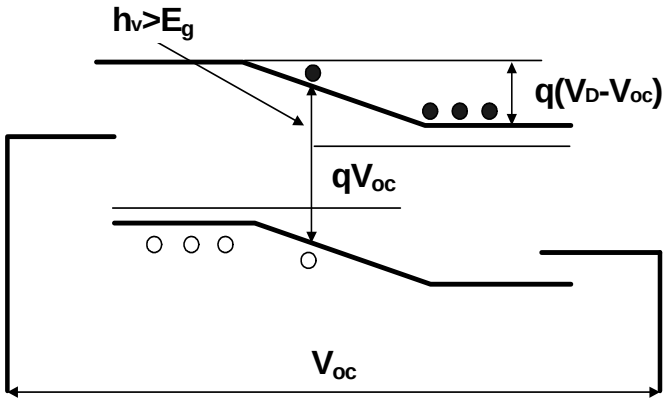


Fig. 2-1 The basic principle of solar cell



(a) short circuit



(b) open circuit

Fig. 2-2 The photovoltaic effect in *P-N* junction

B. 태양광발전시스템

PV 어레이를 설치 형태에 따라 분류하면 고정식 및 추적식 태양광발전시스템으로 분류할 수 있다.

고정식 태양광발전시스템은 PV 어레이구성에서 가장 일반적인 형태로 태양전지판을 연중 평균적으로 가장 잘 채광할 수 있도록 방위각과 양각을 산정한 후 PV 어레이를 고정된 구조 위에 설치하는 방식으로, 설치변수는 태양광발전시스템 설치위치의 위도를 고려한 경사각 및 방위각이다.

또한, 계절에 따른 태양고도의 변화에 따라 수동적으로 어레이의 경사각을 수정할 수 있는 구조를 갖는 경사가변형 태양광발전시스템의 경우 설치변수는 방위각과 태양광발전시스템 설치위치의 위도를 고려한 계절별 월별 경사각이다.

태양광발전시스템에서 추적장치는 태양전지의 법선방향과 입사되는 태양광선의 방향을 일치시키기 위한 자동제어장치를 의미한다. 즉, 추적장치는 계절과 시간에 따라 변화하는 태양의 위치에 따라 항상 태양전지 모듈이 태양을 향하도록 하여 태양전지 모듈이 태양광선과 수직으로 놓여있지 않음으로 인하여 발생하는 코사인손실을 최소화하여 태양에너지를 가능한 많이 이용할 수 있도록 하는 제어장치로서 추적장치의 종류에는 단축 추적장치, 양축 추적장치가 있다.

단축 추적장치는 태양의 하루 이동경로를 동서 또는 남북으로 쫓아가는 시스템으로 입지에 따라 고정형 태양광발전시스템보다 약 10～15%로 발전량이 증가하며, 고도각 추적장치와 방위각 추적장치로 분류할 수 있다.

고도각 추적장치는 어레이면에 위치된 축이 회전함으로써 태양을 추적하며 그 축에 관한 설치 변수는 최대·최소 경사각과 회전축의 설치 방위각 또는 고도각이다. 경사각의 크기와 설치 방위각에 따라 태양광발전시

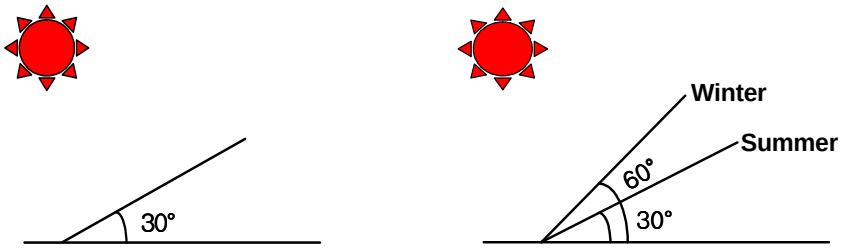
스템의 부지면적과 어레이의 그림자 영향으로 발전효율이 저하되므로 사전에 충분한 검토가 필요하다. 또한, 방위각 추적장치는 태양광발전시스템 설치위치의 위도를 고려한 경사각으로 고정되고 설치변수는 설치 경사각 및 방위각, 회전각이며 회전축은 수직축에 대해서 회전한다. 표 2-1은 PV 어레이 설치 형태에 따른 태양광발전시스템의 설치변수를 정리한 것이다.

양축 추적장치는 단축 추적장치 보다 정확한 추적을 위해 사용되며 양축 추적장치는 항상 방위각과 고도각이 회전함으로써 태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 제어한다. 그림 2-3은 고정식과 경사가변형 태양광발전시스템을 나타내고 있으며, 그림 2-4는 고도각 추적장치와 방위각 추적장치 및 양축 추적장치를 나타내고 있다.

양축 추적장치는 고정형 태양광발전시스템에 비해 발전량이 약 25~35%정도 증가하는 반면 초기 투자비가 많이 드는 단점이 있으며 구동축 배열 방식에 따라 Azimuth-elevation 추적방식과 Polar 추적방식으로 나눌 수 있다.

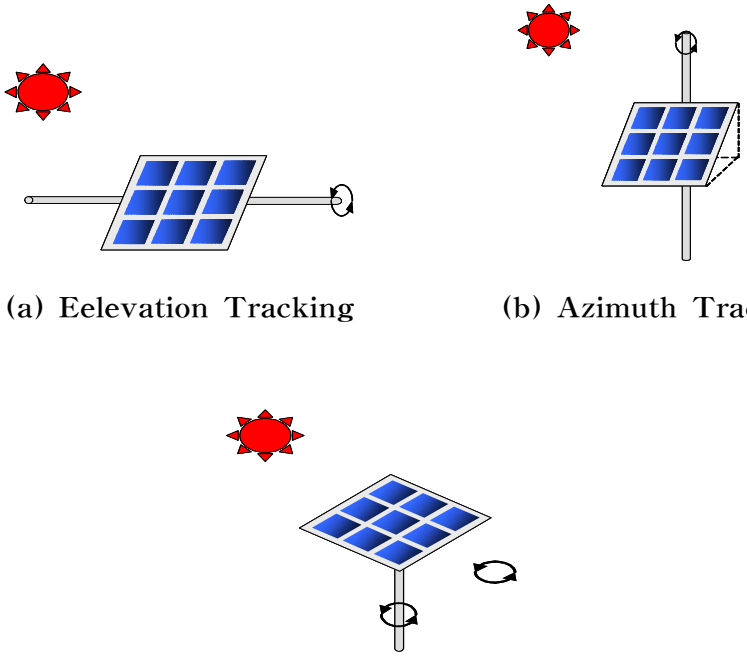
Table 2-1 Installation variable

Tracking Mode	Parameters required
No tracking	PV 어레이의 경사 및 방위각
Seasonal tilt adjustment	PV 어레이의 경사 및 방위각 또는 고도각
Elevation Tracking	추적축의 경사 및 방위각
Azimuth Tracking	추적축의 경사 및 방위각
2-axis Tracking	None



(a) Fixed type (b) Slope variable type

Fig. 2-3 Fixed type and slope variable type PV system



(a) Eelevation Tracking (b) Azimuth Tracking

(c) Two-axis Tracking

Fig. 2-4 Type of tracking

Azimuth-elevation 추적방식은 지표면과 수직인 Azimuth 축을 중심으로 회전하고 동시에 이에 수직하며 동서로 배열한 Elevation 축을 기준으로 회전하는 방식이다. 이에 반해, Polar 추적방식은 지구의 자전축과 Polar 축에 대하여 시간당 15°씩 회전하고 동시에 이와 수직한 적위축을 기준으로 년 ±23.5°(시간 당 최대 0.0016°이내)에서 회전하는 방식으로 현재 구미 각국에서 운용되고 있는 집광식 태양광 활용시스템에서 가장 보편적으로 사용되고 있다.

표 2-2는 Azimuth-elevation 추적방식과 Polar 추적방식의 장단점을 간략하게 정리하고 있다.

Table 2-2 Classification according to operating axis array in tracking type

추적방식	추적 구동축 배열	장 점	단 점
Azimuth -elevation 추적방식	• Azimuth 축 : 지표면과 수직 • Elevation축 : 지표면과 평행(동서방향으로 정렬)	• 설치 및 조정이 용이	• 구동 범위가 커서 동력손실이 큼 • 연중 또는 일중 추적 속도의 변화가 큼
Polar 추적방식	• Polar 축 : 지구 자전축과 평행 • Declination 축 : Polar 축과 수직	• 구동범위가 작음 • 추적속도가 균일	• 설치 및 조정이 복잡

C. 태양 위치 추적

태양광발전시스템의 핵심인 태양전지의 출력특성은 태양빛이 태양전지 표면에 조사될 때에 일사강도에 따라 태양전지의 출력전압과 출력전류는 변화하며 일사량이 많을수록 태양전지의 출력이 커지고, 작을수록 출력이 작아진다. 이러한 태양전지의 일사량에 따른 출력변화특성을 고려할 때 태양광발전시스템의 발전량을 증가시키기 위해서는 최대로 많은 일사량이 태양전지 표면에 조사되도록 해야 하고, 그러기 위해서는 태양전지 표면이 태양과 항상 수직을 유지하도록 PV 어레이를 설치하여야 한다.[10,11]

태양전지를 태양과 수직방향으로 항상 유지하기 위한 태양 추적방법으로는 태양 추적신호 발생방식에 따라 광센서를 이용하는 센서방식과 태양의 위치를 계산하여 추적하는 프로그램방식, 센서와 프로그램을 병행하여 이용하는 하이브리드방식 등 크게 3가지 방식이 있다. 각 방식은 서로 장단점이 있어 사용하고자 하는 목적과 외부 환경 및 태양 추적정확도 등을 고려하여 적용하여야 한다. 표 2-3은 태양 추적 신호 발생방식에 따른 분류와 각각의 장단점을 나타낸 것이다.

1. 센서방식

프로그램방식이 태양위치를 계산하여 태양광을 추적하는 개루프 방식인데 비해 센서방식은 궤환제어를 사용하는 폐루프 방식이다. 즉, 센서방식은 광센서를 이용하여 입사되는 광량을 비교하여 태양유무, 태양의 방위각 및 고도각 변화에 따른 태양의 위치를 판별 추적하는 방식이다.

주로 소형시스템 또는 원칩 마이크로프로세서를 사용하여 소단위로 시스템을 제어하는데 사용되며, 구성이 간단하고 특별한 연산이 필요 없어

사용이 용의하여 태양전지뿐 아니라 주광특성이 필요한 응용에 사용할 수 있다.

그러나 이 방식은 태양추적성능은 양호한 반면 센서가 외부환경의 변화에 노출되어 비, 눈, 구름뿐 아니라 먼지 및 낙엽과 같은 이 물질에 의해 오동작을 일으켜 시스템 고장의 우려가 있으며 일정시간동안 태양이 나타나지 않아 각도가 너무 많이 벗어난 경우에는 태양을 추적하지 못하기도 한다. 따라서 센서를 이용해 태양을 추적하는 경우 외부 환경에서 사용할 때 주의를 기울여야 할 필요가 있다.

센서방식에 사용되는 센서로는 열센서를 이용하기도 하나 응답시간이 늦어 제어동작이 지연되므로 대부분의 시스템에서는 광센서를 이용하고 있다.

Table 2-3 Classification for tracking signature

형 식	추 적 방 식	장 점	단 점
Sensor 방 식	• 태양위치판별센서를 사용 • 센서로부터 발생되는 제어 신호를 구동모터에 직접전달	• 구조가 간단	• 구름 및 기후환경에 의해 추적장치의 오동작 발생
Program 방 식	• 태양위치의 계산 • 계산된 위치로 집열기를 구동	• 정확한 추적가능 • 지속적인 추적가능	• 기후환경의 외부요인에 대응하지 못함으로서 추적장치의 불필요한 동작으로 인한 에너지손실 발생 • 구조 복잡 • 최초 설치시 정확성이 요구
하이브리드 방 식	• Sensor방식 + Program방식	• Sensor 및 Program 식의 단점보완 • 정확한 추적 가능	• 구조 복잡

2. 프로그램방식

프로그램방식은 날짜와 시간에 따른 연중 태양의 위치데이터를 사용하여 태양을 추적하는 방식으로서 미리 정해진 데이터를 이용하여 추적하는 개루프 제어방식에 속한다.

이 방식은 기상변화에 상관없이 지속적으로 동작할 수 있으며 대체로 오동작이 적고 설치가 간편하다. 그러나 설치 시에 정확한 방위와 수평유지가 요구되며 장시간 사용 시에는 오차가 누적되어 정확한 동작을 기대하기가 어려워 일정 기간마다 입력 데이터의 보정이 필요하다. 또한 일사량이 좋지 않은 흐린 날에도 추적장치가 구동하여 전력을 소비함으로써 태양광발전시스템의 발전효율 향상에 도움이 되지 못하는 단점이 있어 주로 효율이 조금 떨어져도 상관없는 대형시스템을 제어하는데 사용된다.

태양위치계산은 현재 태양전지가 설치되어 있는 지점을 중심으로 태양까지의 고도와 방위각을 어느 정도 시간을 두고 계산해내야 하므로 태양위치를 계산하는 프로그램은 많은 천문학 지식이 요구된다. 추적시스템의 입력신호로 사용되는 태양의 위치를 천문학에서 정의된 지구의 운동관계식을 사용하여 계산해 낸 것이다. 그러나 천문학에서 사용되는 태양위치계산을 위한 관계식은 소수점 7째 자리까지 가는 복잡한 계산이므로 충분한 정확성을 검증해야 할 필요가 있다.

그림 2-5에서와 같이 지구가 태양 주위를 약 23.5° 기울어서 회전하므로 일년 동안의 남중고도가 변화되고 계절이 생기며 태양위치 계산은 복잡하게 된다. 실제 지구는 고정된 태양을 중심으로 타원형의 궤도를 따라서 공전하며 동시에 23.5°의 경사각을 갖는 자전축을 기준으로 하여 회전하는 운동을 수행한다. 그러나 태양 위치 계산을 간단히 하기 위해 지구중심을 원점으로 하고 반경이 무한대이며 지구는 고정되어 있고 태양과

기타 항성들이 운동을 하는 천구(Celestial Sphere)를 정의한다.

태양이 지구를 기준으로 하여 천구의 황도(ecliptic)를 따라서 년중 1회 전하며, 또한 천구 스스로가 매일 1회전하는 가상의 천구의 개념을 사용하는 것이 편리하다. 천구상의 태양궤적을 표시하는 황도(ecliptic)는 천구의 적도면을 기준으로 하여 약 23.5°의 경사각을 가지고 있으며 춘분점 및 추분점에서 천구적도와 서로 교차한다. 또한 천구의 북극점과 천구의 남극점을 연결하며 춘분점을 통과하는 선을 춘분시권이라 하고 이를 천구상 태양의 위치를 표시하는 기준선으로 사용한다.

그림 2-6에서와 같이 천구에서 태양위치를 나타내는 방법은 춘분시간선과 태양 시간선의 사이 각으로 측정되는 적경(Right ascension)과 천구 적도와 태양과의 사이각인 적위로 표시하는 방법이 있으며, 관측자가 서있는 지평면에서 머리의 수직 상방인 천정을 중심으로, 태양의 고도각(Elevation, Altitude) E는 태양과 태양전지 모듈이 설치되어 있는 지점(좌표원점으로 정의)을 연결하는 선분이 지구 지표면과의 이루는 각으로 표시되는 값이다. 또한 북쪽을 0°, 동쪽을 90°, 남쪽을 180°, 서쪽을 270°으로 정의한 방위각(Azimuth) A는 현재 태양의 위치를 지표면에 투영시켰을 때 투영된 태양과 좌표의 원점이 이루는 직선이 좌표상의 정북을 지시하는 직선과 이루는 각으로 정의된다. 고도 E는 천정과 태양과의 거리 Z와 $E = 90 - Z$인 관계가 있다.

프로그램 방식은 태양추적의 정확도를 높이고 전체시스템을 효율적으로 관리하기 위해 마이크로프로세서를 사용한다. 이 방식은 프로세서를 이용하여 태양위치를 계산해 내고 계산된 값으로 태양을 추적하는 방식으로서 일출일몰 시각도 계산하여 태양을 추적하다가 일몰시간이 되면 자동적으로 정오지점으로 추적장치를 돌려놓고 전원을 차단하며, 다음날 일출시간이 되면 자동적으로 전체시스템을 작동시킨다.

태양위치를 계산하기 위해서는 우선 태양위치 계산식에서 사용되는 시간의 정의가 필요하다. 태양위치 계산에서 사용되는 시간은 특정 시간을 기준으로 하여, 그로부터 경과된 경과시간을 일 단위를 사용하여 표시한 값이다. 지금까지 제시된 연구 결과에서 많은 각기 다른 기준 시간이 사용되었으나, 일반적으로 많이 사용되고 있는 Micha 2000년 1월 1일 영국 Greenwich 평균 정오시간을 기준으로 하여 경과시간을 산정한 것을 사용한다. 이러한 천문학 지식에 근거하여 위도와 경도가 주어진 위치에서의 현재 날짜와 시각에 따른 태양의 위치를 정확히 계산해 내게 된다.

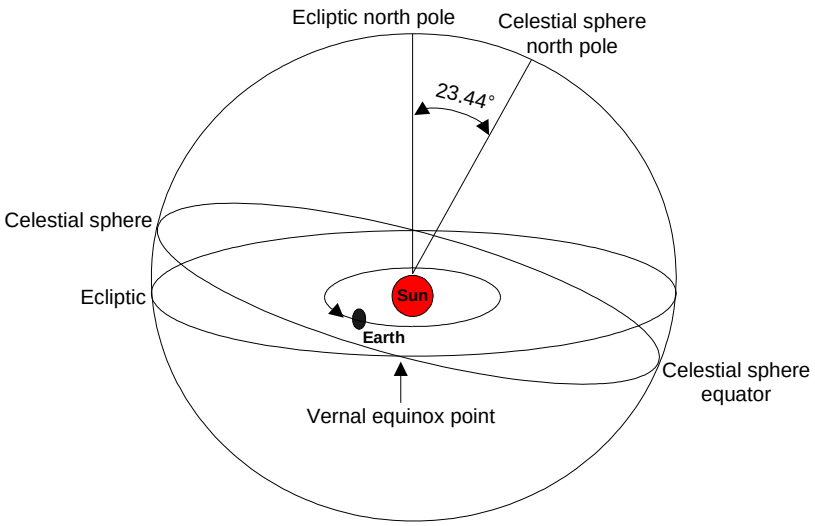


Fig. 2-5 Shape of ecliptic

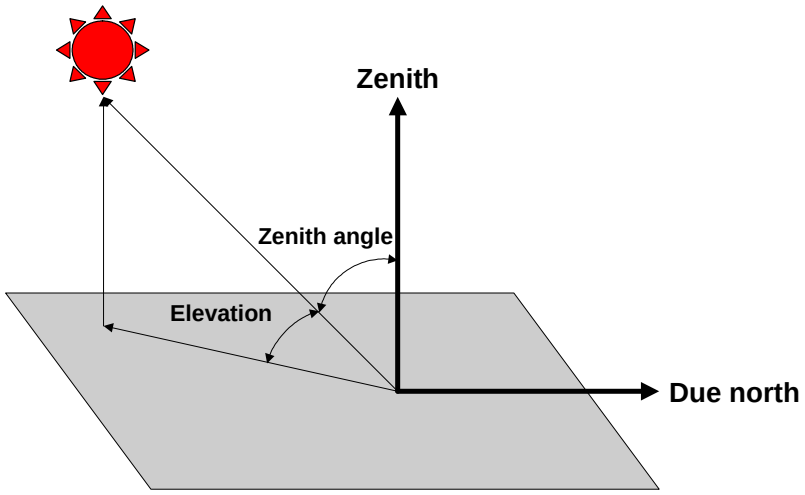


Fig. 2-6 Method of azimuth and elevation

3. 하이브리드방식

하이브리드방식은 센서방식과 프로그램방식을 병행하여 사용하는 방식으로서 각각의 장점을 살려 단점을 보완시킨 방식이다. 표 2-4는 프로그램방식과 센서방식을 비교한 것이다.

센서방식의 경우 일정 각도가 벗어난 경우 태양 추적이 되지 않는 점을 보완하기 위해 프로그램에 의해 시간에 따른 태양의 대강의 위치를 결정하고 센서로 정확한 위치를 추적하는 방법을 사용할 수 있다. 프로그램에 의해 대강의 위치를 먼저 찾아가므로 장시간동안 태양이 나타나지 않는 경우에도 태양추적이 가능하고 이물질에 의한 오동작을 일정범위 내에서 제한할 수 있다. 이 방식은 프로그램이 비교적 간단하면서도 정확한 태양의 위치 추적이 가능하고 오류도 적어지는 장점이 있다. 그러나 태양의 대강 위치를 추적할 수 있는 프로그램이 필요하고 이 물질에 의한 문제를 완전히 해결하지 못하고 센서 추적에 비해 회로가 복잡한 단점이 있다.

Table 2-4 Comparison of program and sensor type

구 분	프로그램방식	센서방식
정확성	비교적 정확	정 확
회로구성	복 잡	간 단
초기투자비	높 음	낮 음
구동방식	일반적으로 단축방식을 사용	단축방식과 양축방식 사용
오차보정	입력장치 필요	간단하게 보정
유지보수	일정기간마다 교정 필요	필요 없음
사용시스템	대규모시스템	소규모시스템

Ⅲ. 시뮬레이션

본 논문에서는 고정식 및 경사가변형, 추적식 등 PV 어레이의 설치 형태에 따른 발전량을 비교분석하기 위하여 Symphony사의 SE-S86 태양전지 모듈 1장을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 표 3-1은 태양전지 모듈의 파라미터를 나타내고 있다.

시뮬레이션 툴은 Solar pro V3.0을 이용하였으며, 시뮬레이션 파라미터 조건은 광주광역시의 경도 126.55°와 위도 35.8°로 하였다.

Table 3-1 Parameter of PV module

Parameter	Value
Cell Type	Multi-crystalline Si
Peak Power(P_{max})	86W
Peak Power Voltage(V_{max})	18.54V
Peak Power Current(I_{max})	4.67A
Open Circuit Voltage(V_{oc})	22.5V
Short Circuit Voltage(I_{sc})	5.10A
Module Effciency(η_m)	13.3%

A. 고정식 및 경사가변형

태양전지를 고정식 및 경사가변형으로 설계할 경우의 발전량을 비교분석하기 위하여 방위각은 정남향, 경사각은 0°에서 90°까지 10°씩 변환시키면서 시뮬레이션을 수행하였다.

표 3-2는 경사각 변화에 따른 발전량 데이터를 나타내고 있으며, 그림 3-1은 경사각 변화에 따른 월별 발전량 그래프를 나타내고 있다.

년간 발전량은 경사각이 30°일 때 104.89[kWh]로 가장 많았으며, 월별 발전량은 1월과 2월, 3월에는 경사각이 각각 60°, 50°, 30°에서 발전량이 높게 나타났으며 4월에는 20°, 5월과 6월, 7월, 8월에는 10°의 경사각에서 발전량이 높게 나타났다. 또한 9월, 10월에는 각각 30°, 40°의 경사각에서 발전량이 높게 나타났으며 10월, 11월에는 50°, 60°의 경사각에서 발전량이 높게 나타났다.

따라서, 고정식의 경우 30°의 경사각으로 설계하는 것이 발전량이 가장 높았으며, 경사가변형의 경우 1월~12월 각각 60°, 50°, 30°, 20°, 10°, 10°, 10°, 10°, 30°, 40°, 50°, 60°로 경사각만을 조절하여도 고정식에 비해 5.21[kWh]정도 발전량을 높일 수 있다.

Table 3-2 PV generation value at the tilt angle

	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Jan	6.08	6.95	7.63	8.11	8.38	8.42	8.24	7.83	7.22
Fed	6.75	7.39	7.84	8.09	8.14	7.98	7.62	7.06	6.33
Mar	8.59	8.96	9.13	9.08	8.82	8.35	7.69	6.85	5.86
Apr	10.06	10.12	9.95	9.57	8.99	8.21	7.27	6.18	5
May	11.63	11.42	10.96	10.3	9.44	8.39	7.19	5.92	4.61
Jun	9.85	9.58	9.1	8.44	7.64	6.68	5.63	4.55	3.48
Jul	8.94	8.73	8.33	7.76	7.05	6.19	5.24	4.24	3.24
Aug	10.17	10.13	9.86	9.39	8.73	7.89	6.89	5.77	4.59
Sep	8.65	8.9	8.94	8.77	8.41	7.86	7.13	6.25	5.24
Oct	9.44	9.06	9.46	9.63	9.56	9.27	8.75	8.02	7.1
Nov	5.7	6.43	6.99	7.37	7.55	7.53	7.31	6.9	6.31
Dec	5.19	6.02	6.7	7.19	7.49	7.58	7.46	7.13	6.61
SUM	100.04	103.67	104.89	103.71	100.18	94.34	86.39	76.7	65.59

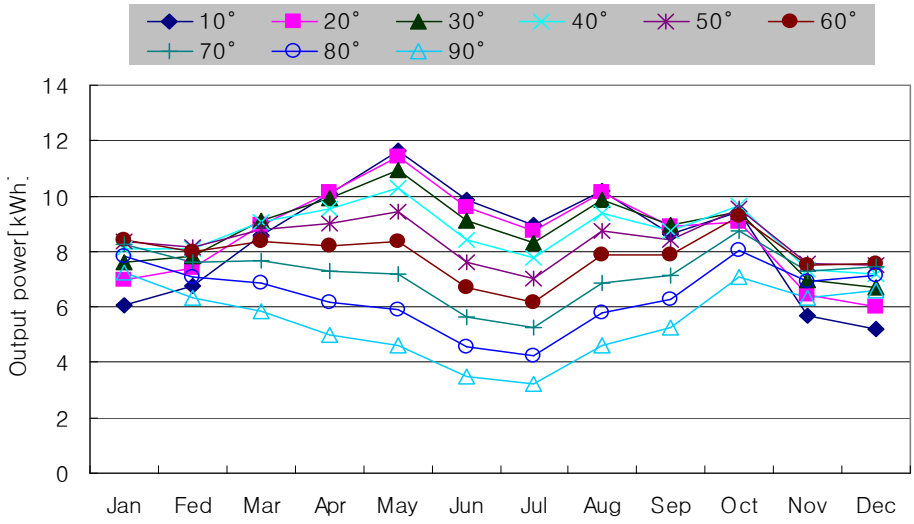


Fig. 3-1 A monthly PV generation value at the tilt angle

B. 추적식

태양전지의 법선방향과 입사되는 태양광선의 방향을 일치시키기 위한 추적방식에는 단축식과 양축식이 있다. 본 논문에서는 단축식과 양축식의 발전량을 비교분석하기 위해 방위각만을 추적하는 단축식과 방위각 및 고도각을 함께 추적하는 양축식을 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다.

표 3-3은 단축식과 양축식의 발전량 데이터를 나타내고 있으며, 그림 3-1은 단축식과 양축식의 월별 발전량 그래프를 나타내고 있다.

월별 발전량은 양축식이 단축식에 비해 1월과 2월, 3월에는 각각 1.38[kWh], 0.92[kWh], 0.57[kWh]정도 높게 나타났으며, 4월과 5월, 6월은 각각 0.42[kWh], 0.43[kWh], 0.38[kWh] 높게 나타났다. 또한 7월과 8월, 9월에도 각각 0.35[kWh], 0.4[kWh], 0.46[kWh]정도 높게 나타났으며 10월과 11월, 12월에는 각각 0.87[kWh], 1.13[kWh], 1.38[kWh] 정도 높게 나타났다.

따라서, 방위각과 고도각을 함께 추적하는 양축식으로 설계한다면 방위각만을 추적하는 단축식에 비해 년간 8.67[kWh]정도의 발전량을 높일 수 있다.

Table 3-3 PV generation value of one-axis and two-axis

단 축 식	Jan	Fed	Mar	Apr	May	Jun	Jul
	8.33	8.72	10.45	11.8	13.42	11.35	10.32
	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	SUM	
	11.85	10.34	10.62	7.68	7.28	122.17	
양 축 식	Jan	Fed	Mar	Apr	May	Jun	Jul
	9.71	9.64	11.02	12.22	13.85	11.73	10.67
	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	SUM	
	12.25	10.8	11.49	8.81	8.66	130.84	

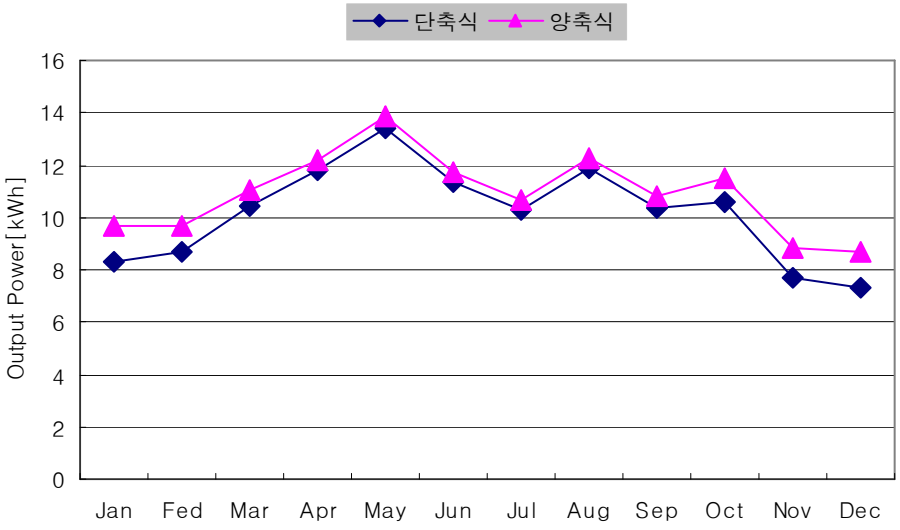


Fig. 3-2 A monthly PV generation value of one-axis and two-axis

C. 시뮬레이션 결과고찰

본 논문에서는 고정식, 경사가변형, 단축식, 양축식 등 PV 어레이 설치 형태에 따른 출력특성을 비교분석하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

표 3-4는 PV 어레이 설치 형태에 따른 발전량 데이터를 나타내고 있으며, 그림 3-3은 PV 어레이 설치 형태에 따른 월별 발전량 그래프를 나타내고 있으며, 그림 3-4는 PV 어레이 설치 형태에 따른 년간 발전량 그래프를 나타내고 있다.

시뮬레이션 결과 양축식이 고정식, 경사가변형, 단축식에 비해 각각 발전효율이 25[%], 19[%], 7[%]정도 높게 나타났으며, 단축식이 고정식 및 경사가변형에 비해 각각 16[%], 11[%]정도 높게 나타났다. 또한 경사가변형은 고정식에 비해 5[%]정도 발전효율이 높게 나타났다.

따라서, 경사각을 계절에 따라 최적의 상태로 조절한다면 경사각 변화에 따른 효율의 감소를 최소화 할 수 있을 것이며 방위각만을 추적하여도 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 발전효율을 최대로 하기 위해서는 방위각과 경사각 모두를 추적하는 양축식이 적절하다는 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다.

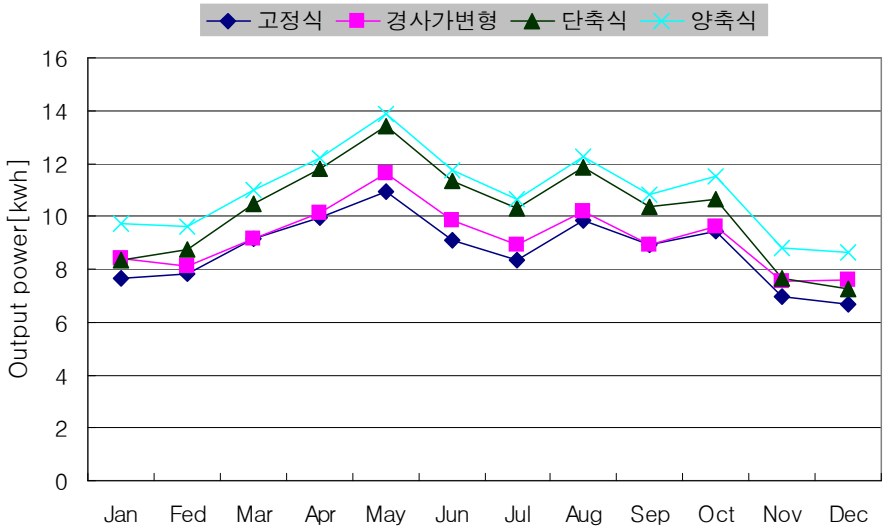


Fig. 3-3 A monthly PV generation value at PV installation shape

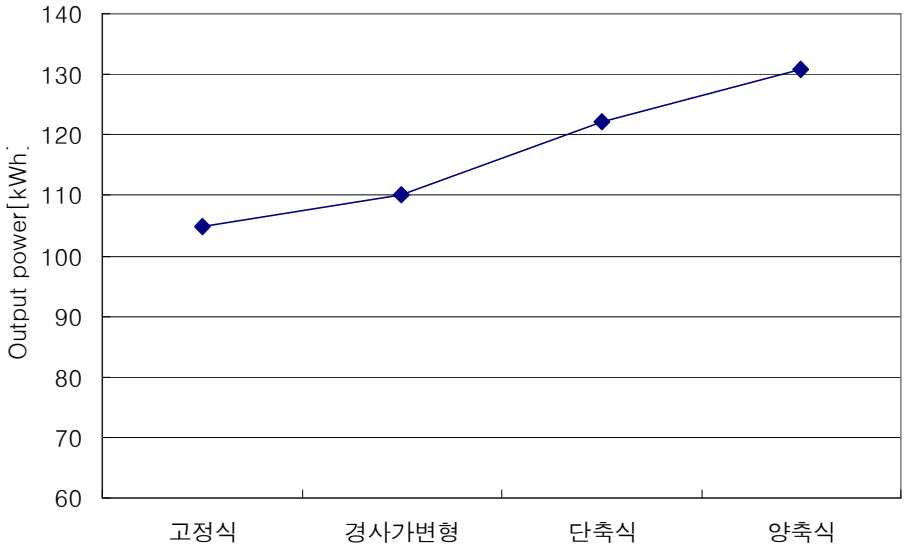


Fig. 3-4 A yearly PV generation value at PV installation shape

Table 3-4 PV generation value at PV installation shape

	고 정 식	경사가변형	단 축 식	양 축 식
Jan	7.63	8.42	8.33	9.71
Fed	7.84	8.14	8.72	9.64
Mar	9.13	9.13	10.45	11.02
Apr	9.95	10.12	11.8	12.22
May	10.96	11.63	13.42	13.85
Jun	9.1	9.85	11.35	11.73
Jul	8.33	8.94	10.32	10.67
Aug	9.86	10.17	11.85	12.25
Sep	8.94	8.94	10.34	10.8
Oct	9.46	9.63	10.62	11.49
Nov	6.99	7.55	7.68	8.81
Dec	6.7	7.58	7.28	8.66
SUM	104.89	110.1	122.17	130.84

Ⅳ. 실험 및 결과고찰

A. 추적시스템 구성

본 논문에서는 센서방식을 이용하여 방위각과 고도각을 제어하는 양축 제어방식을 채택하였다. 이것은 방위각을 제어하는데 모터 하나를 사용하며 경사각을 제어하는데 모터 하나를 사용함으로써 총 2개의 모터를 이용하여 태양전지 위쪽의 광센서에 의해 태양빛의 세기를 비교하여 태양을 추적할 수 있는 방식이다.

이 방식의 특징은 방위각은 물론 경사각을 조절할 수 있어 정확한 태양의 추적이 가능하며 이에 따라 보다 높은 태양전지의 효율이 증가될 수 있다. 하지만 방위각과 경사각을 제어하기 위해 모터가 2개 필요하며 방위각 제어 시에는 적당한 토크면 가능하지만 경사각 제어 시에는 모터의 강력한 토크가 요구된다. 또한 센서와 2개의 모터를 사용함으로써 전력소모가 클 것으로 생각된다.

따라서 시스템을 구성하는데 있어 센서 및 2개의 모터에 의한 전력소모, 모터의 토크 등을 고려해야 할 것이다. 시스템은 크게 태양전지 어레이, 센서 및 구동부, 시스템제어부로 구성되어 있다. 그림 4-1은 센서방식에 의한 태양추적시스템의 전체시스템 구성도를 나타내며, 그림 4-2는 제안한 태양추적시스템의 전체적인 구성을 보여주고 있다.

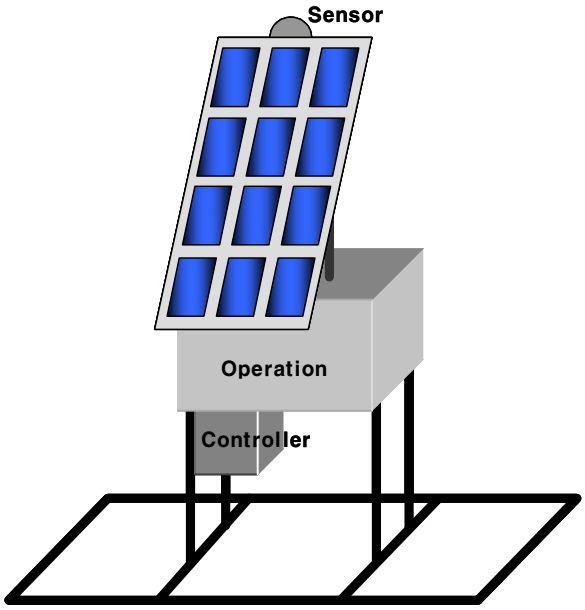


Fig. 4-1 Block diagram of solar tracking system

Fig. 4-2 Shape of solar tracking system

1. 태양전지 모듈

본 논문에서는 Symphony사의 SE-S86 태양전지 1장을 사용하여 태양광발전시스템을 구성하였다. 그림 4-3은 86[W]급 태양전지 모듈의 실제 외형과 치수를 나타내고 있으며, 표 4-1은 적용된 태양전지 모듈의 사양을 보여주고 있다.

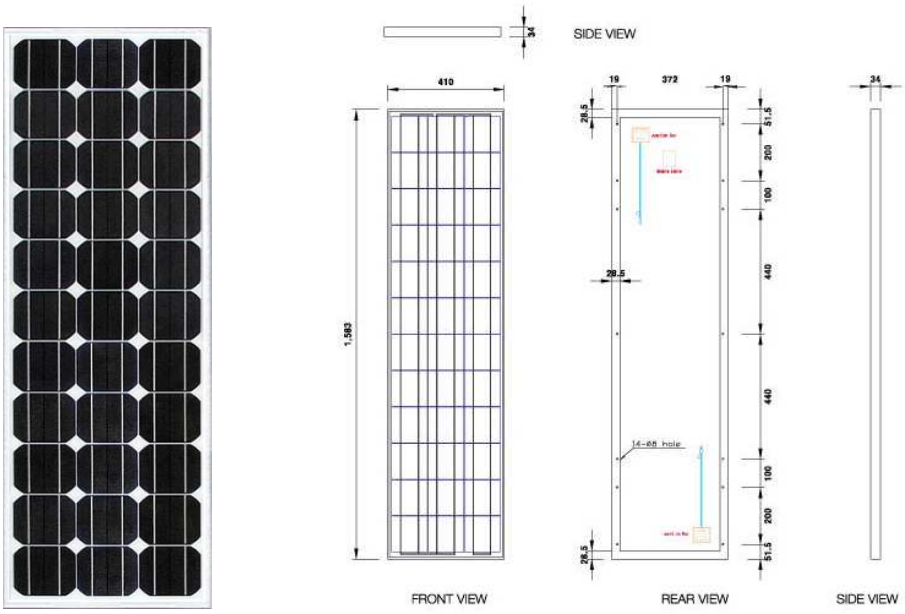


Fig. 4-3 Photovoltaic module

Table 4-1 Photovoltaic module specification

Cell Characteristics	
Type	Single
Size	125×125mm
Numbber of Cells	36
Eletrical Characteristics	
Peak Power(P_{max})	86W
Peak Power Voltage(V_{max})	18.54V
Peak Power Current(I_{max})	4.67A
Open Circuit Voltage(V_{oc})	22.5V
Short Circuit Current(I_{sc})	5.10A
Module Effciency(η_m)	13.3%
Physical Characteristics	
Length	1583mm
Width	410mm
Thickness	34mm
weight	8kg
Mounting Holes	14

2. 모터의 선정

추적장치를 제작하는데 있어 모터는 상당히 중요한 역할을 담당한다. 따라서 86[W]출력인 모듈 1장을 돌릴 수 있는 만큼의 적당한 토크를 가지는 최적의 모터를 선정하는 것이 상당히 중요하다. 태양의 회전속도를 계산해보면 분당 약 0.25°이다. 그러므로 추적장치는 아주 작은 각을 정밀 제어해야하는 Microstepping이 요구된다.

모터를 제작하는데는 많은 시간과 자금이 소요되므로 시중에 나와 있는 모터 중에서 최적의 모터를 선정하고자 한다. 따라서 본 논문에서는 위치 추적에 성능이 양호하고 감속비가 1: 130인 감속기어를 내장한 교류전원으로 동작되는 DKM사의 90[W] DC모터 두개를 사용하도록 하였으며 표 4-2는 선정된 모터의 사양을 나타내고 그림 4-4는 선정된 모터의 도면을 나타내고 있으며 그림 4-5는 선정된 모터의 외형을 나타내고 있다. 그림 4-6은 제작된 웜기어의 외형을 보여 주고 있다.

Table 4-2 Specification of motor

출 력		정격전압	기동전류	기 동 토 크		
HP	W	VDC	A	gfcm	mN.m	oz-in
1/8	90	24	40	25000	2500	355

무부하시		정격부하시				
전 류	회전속도	전 류	회전속도	토 크		
A	RPM	A	RPM	gfcm	mN.m	oz-in
0.9	3050	5.0	3000	2900	290	41.13

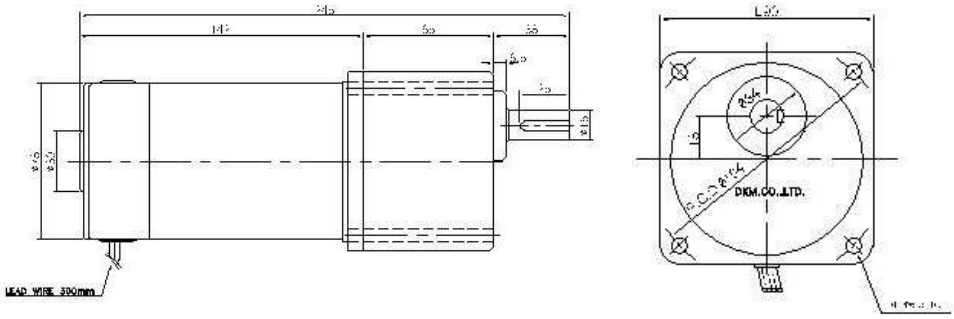


Fig. 4-4 Drawing of selected motors

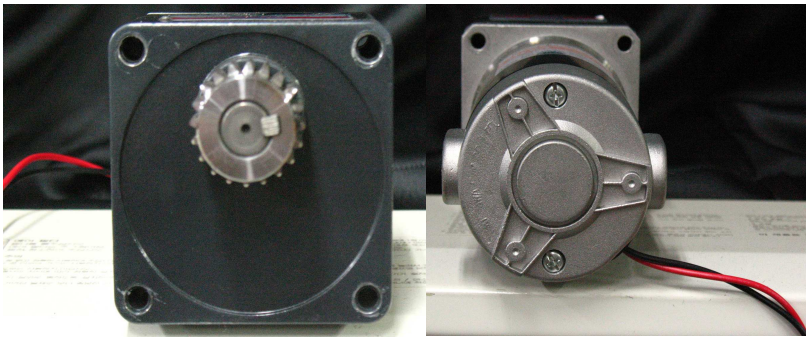


Fig. 4-5 Shape of selected motors

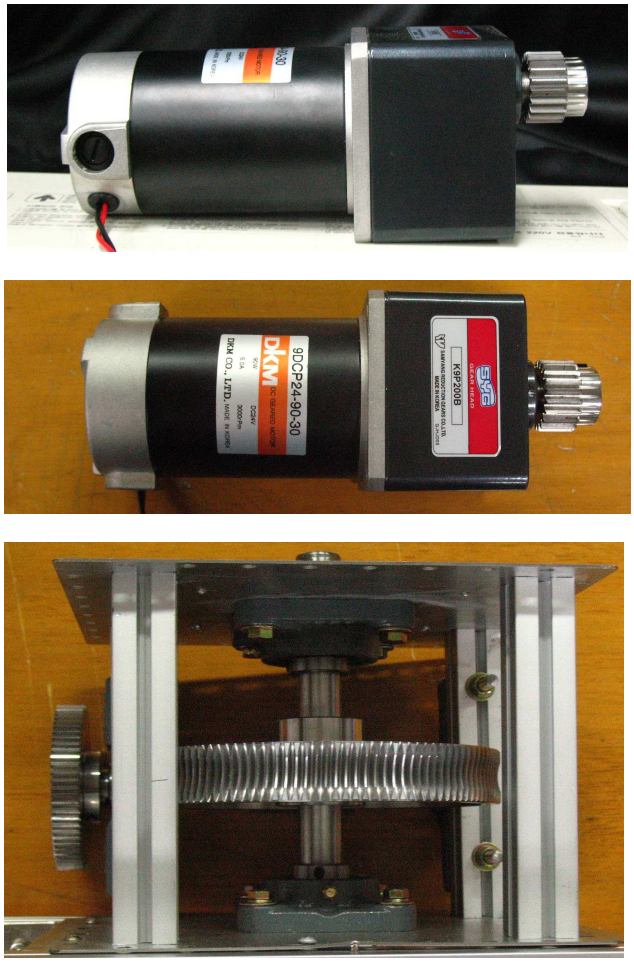


Fig. 4-6 Shape of selected motor and warm gear

3. 센 서

추적장치에서 센서는 상당히 중요한 부분을 차지한다. 센서에서 정확한 데이터를 얻지 못하면 정확한 추적이 불가능하기 때문이다. 그림 4-7는 본 논문에 사용된 센서의 도면을 보여주고 있으며 그림 4-8은 본 추적장치에서 사용된 태양센서의 구조를 도식적으로 나타내고 있다.

태양전지에 입사되는 태양빛의 세기는 Photo TR에 의하여 전압 또는 전류값으로 변환된다. 일반적으로 사용되는 태양전지는 Photo TR의 큰 전류량을 이용하기 위하여 발생되는 전류를 전류/전압 차동 증폭에 의하여 전압으로 변화시킨다. 태양 빛의 세기를 전압으로 변환시킨 후 필터를 통과하게 하여 아날로그-디지털변환을 시킨 후 비교에 의하여 태양의 위치를 분석하게 된다. 하지만 본 소형 태양추적시스템에서는 이러한 복잡한 방법을 사용할 수가 없다. 따라서 단순한 비교에 의하여 추적을 가능하게 하였다.

본 논문에서는 그림 4-7에서 알 수 있듯이 태양의 유무, 태양의 방위각 및 고도각 변화에 따른 태양의 위치를 판별하기 위해 A, B, C, D 총 4개의 Photo TR이 이용되었다. Photo TR A와 B는 방위각 변화에 따른 태양추적을 위한 것이며, Photo TR C와 D는 고도각 변화에 따른 태양추적을 수행하기 위한 것이다. Photo TR A와 B의 비교값을 (A, B)라고 표시할 때 본 논문에서는 Photo TR (A, B), (C, D) 각각의 비교값을 얻은 다음 단순비교를 통하여 태양의 위치를 추적하게 하였다.

Photo TR A, B, C, D에 입사되는 태양 빛의 세기가 추적조건에 적합할 경우 Photo TR (A, B) 및 (C, D) 각각의 값을 비교하여 추적을 수행하며, 태양이 일시적으로 구름에 가려 있는 경우와 같이 Photo TR A, B, C, D로부터 생성되는 신호가 추적조건을 충족시키지 못할 경우 시스

템을 추적대기 모드로 전환시켜 추적을 중지한다.

태양위치 센서가 태양을 향하고 있을 때 태양 빛은 태양위치 센서의 법선방향으로 입사되며 Photo TR A와 B로부터 발생되는 전압이 같게 되며 태양 추적장치는 방위각에서의 추적동작을 중지한다. 그러나 태양센서로 입사되는 태양 빛이 센서의 법선방향과 경사각을 가지고 있으면 Photo TR A와 B로부터 발생되는 전압 사이에 오차가 발생되며 Photo TR (A, B) 두 값을 비교하여 비교값에 의해 CPU가 연산작용을 실시하여 방위각을 추적할 수 있도록 제어모터에 신호를 주어 Photo TR A와 B사이에 발생되는 전압 오차가 0이 되도록 태양위치 추적을 수행한다.

또한, 태양의 고도각 변화에 따른 태양위치 추적은 Photo TR (C, D) 두 값을 비교하여 방위각 변화에 따른 태양위치 추적을 수행하는 것과 동일하게 고도각을 추적하게 된다.

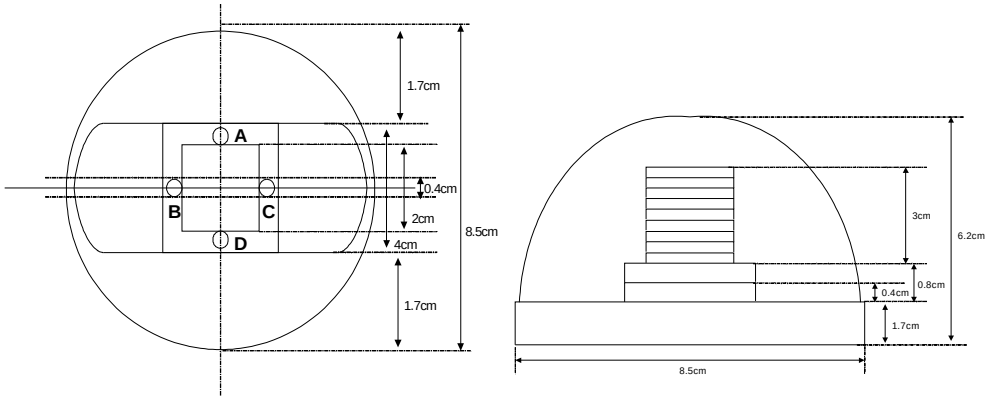


Fig. 4-7 Diagram of solar tracking system sensor

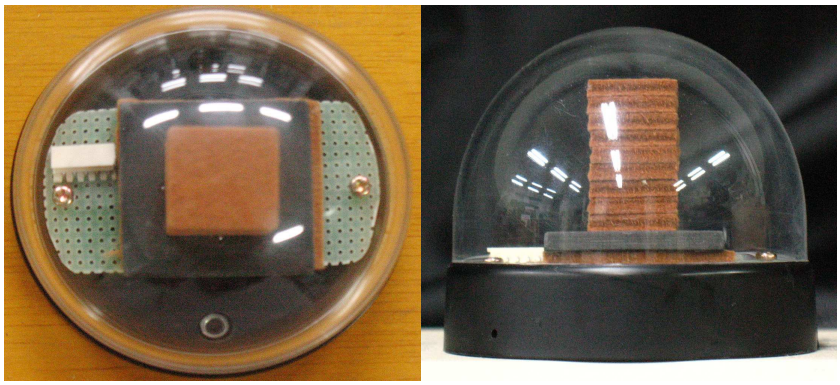


Fig. 4-8 Picture of Photo sensor

B. 추적시스템 제어부

본 논문에서는 추적시스템이 태양의 위치를 추적하지 않을 경우 수평안전모드로 프로그램을 설정하여 가장 효율적인 운전과 불필요한 구동부의 동작을 방지하여 전력소모를 감소하고, 날씨가 좋지 않은 악천후 시에도 별도의 기상장치 없이 수평모드로 동작하게 하여 풍압에 의한 지지력이 가장 좋은 수평안전모드로 전환하게 하였다. 태양 추적시스템은 크게 센서, 센서부, 제어부, 구동부로 이루어져 있다.

센서에서는 광도전소자(cds)의 특성을 이용하여 태양과 이루는 각에 따른 빛의 밝기를 인위적으로 입사하도록 하여 소자양단의 저항값의 변화를 검출하도록 구성하였다.

센서부에서는 검출된 저항값과 고정된 저항의 입력전압분배에 의해서 각각 동서남북 4방향에서의 검출전압을 비교부에 입력하여 태양의 위치를 판별하도록 신호값을 출력한다.

제어부는 ATmega16을 사용하여 센서부의 입력신호를 프로그램화하여 논리기능을 수행한 후 출력 신호를 발생시켜 태양의 방위각과 고도각 값에 따른 입력신호를 모터 드라이브부에 입력하여 태양전지 모듈이 태양의 법선방향에 위치하도록 한다.

구동부는 DC모터 2개로 구성되어 있으며 각각 방위각과 경사각을 구동하며 DC모터는 1: 130의 감속기어를 사용하였다.

1. 제어 알고리즘

그림 4-9는 센서 추적방식의 제어알고리즘을 보여주고 있다. 4개의 Photo TR이 값을 받아 값이 모두 일정 값보다 낮아 밤이라고 판별되면

초기상태 즉, 방위각은 동쪽을 향하도록 복귀하고 고도각은 수평상태로 복귀한다. 또한 4개의 Photo TR 값 중 1개 이상의 값이 일정 값보다 크면 낮으로 판별하여 태양의 위치를 추적하게 된다.

먼저 동과 서, 남과 북에 위치한 Photo TR에서 생성된 값을 센서부에서 비교하여 센서와 태양의 법선이 이루는 각도에 따른 신호가 검출된다. 이렇게 발생된 신호는 마이크로프로세서에 입력되어 입력된 신호 조건에 의해 마이크로프로세서에서 출력을 제어한다. 출력된 신호는 4개의 출력 포트를 한 쌍으로 모터드라이브에 입력되며 2개의 드라이브로 방위각과 고도각을 추적하게 된다.

또한 우천이나 흐린 날에는 센서의 오동작을 방지하기 위하여 4개의 Photo TR의 값이 모두 연속 5시간 이상 암흑 즉 일정 값보다 낮을 때 초기상태로 복귀되도록 하였다.

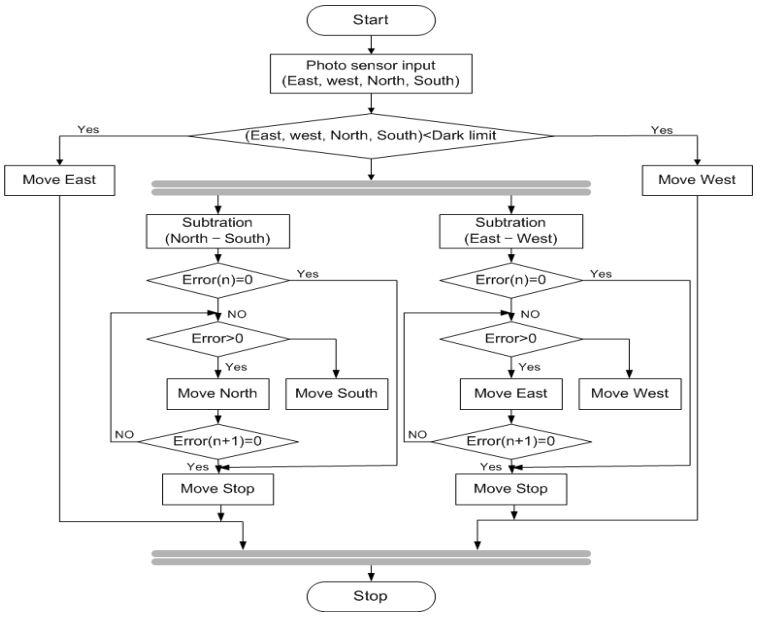


Fig. 4-9 Control algorithm of sensor tracking method

2. 제어 회로

마이크로프로세서는 산업 제어용으로 많이 사용되고 있는 8비트 RISC(Reduced Instruction Set Computer) CPU인 ATmel사의 ATmega16을 사용하였다. 그림 4-10은 추적시스템의 제어부 사진을 나타내고 있으며, 그림 4-11은 ATmega16의 구성도를 나타내고 있으며, 표 4-3은 ATmega16의 사양을 보여주고 있다.

방위각과 경사각을 동시에 제어하는 양축 태양광 추적시스템의 제어부는 전원입력단자, 센서입력단자, 방위각제어 모터출력단자, 경사각제어 모터출력단자와 마이크로프로세서회로 및 주변회로 등으로 구성되어 있으며 Relay가 마이크로프로세서를 제외한 나머지 회로의 메인 차단 스위칭소자로 사용되었다. 또한 볼륨식 리미트 스위치는 방위각 및 고도각의 추적 유효각을 제어하는데 사용되었다.

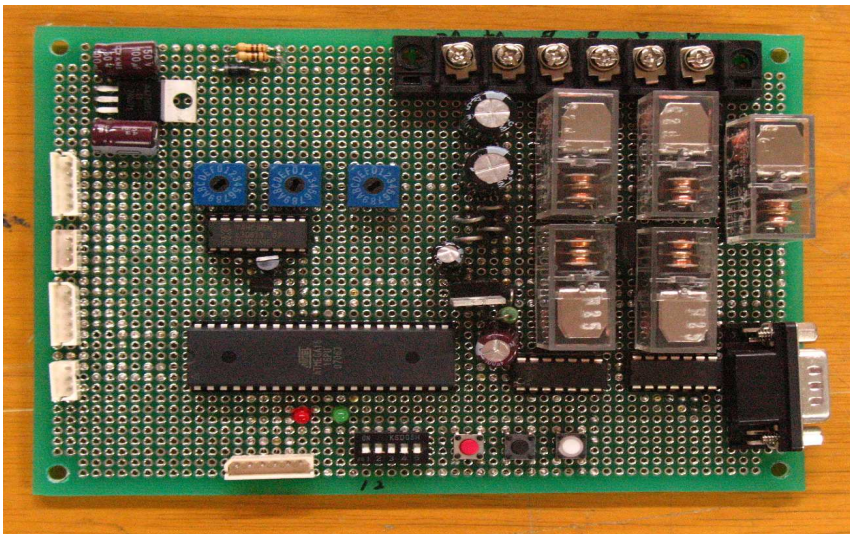


Fig. 4-10 Picture of solar tracking controller

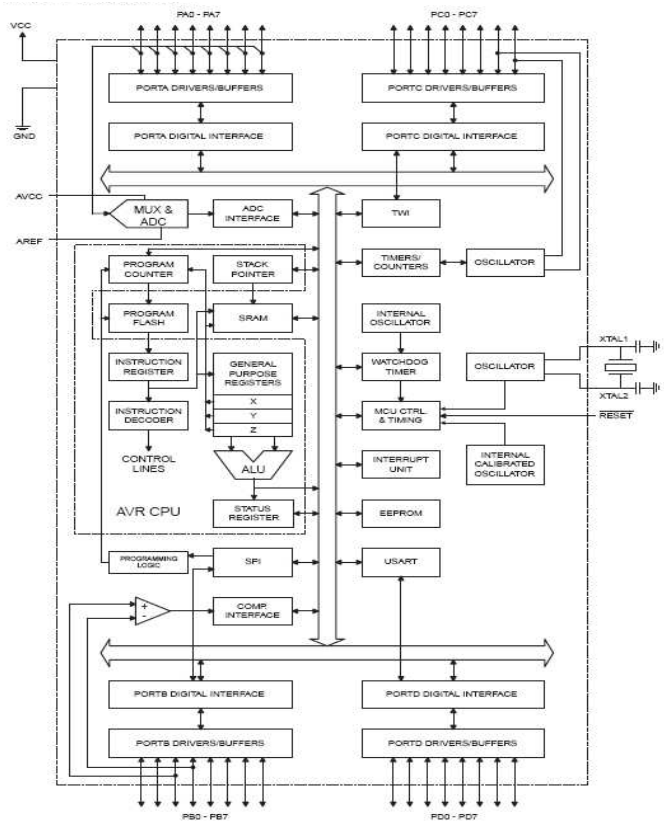


Fig. 4-11 Block diagram of ATmega16

Table 4-3 Specification of ATmega16

항 목	사 양	항 목	사 양
레지스터	32*8	ADC-Bit	10Bit
속 도	16MIPS	USART	1개
클 럭	16MHz	SPI	Yes
Flash-ROM	16KByte	TWI	Yes
EEP-ROM	512Byte	ISP	Yes
RAM	1KByte	Watchdog Timer	Yes
8bit Timer	2개(T_0, T_2)	아날로그 COMP	Yes
16bit Timer	1개(T)	JTAG	Yes
PWM-CH	4개	내부 OSC	Yes
ADC-CH	8CH	V_{cc}	6[V]

C. 태양추적성능 특성

본 논문에서는 태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 제어하기 위해 센서방식으로 태양추적 제어알고리즘을 적용하였고, 1개의 센서를 이용하여 방위각과 고도각을 모두 추적하였다.

그림 4-12와 그림 4-13, 그림 4-14, 그림 4-15는 센서에서 검출한 전압 파형을 나타낸 것이다. 그림 4-12에서와 같이 위에서부터 A(동), B(서), C(남), D(북)에서의 센서 출력값을 각각 비교하여 음영이 발생하지 않은 센서에서는 전압이 발생하게 된다. 이는 A와 C센서의 전압이 발생하지 않을 경우 음영이 발생했다는 의미가 되고 따라서 전압이 발생하지 않는 A와 C쪽으로 구동신호를 발생하게 된다.

그림 4-12의 경우 방위각과 고도각을 제어하는 각각의 센서에 음영이 발생한 경우 검출한 전압파형이다. A와 C센서의 전압은 약 1.8V이고 센서 B와 D는 0V를 출력하고 있다. 따라서 태양이 B와 D사이에 위치함을 판별하게 되고 그 방향을 향해서 모터의 구동신호를 발생하게 된다. 또한 그림 4-13은 그림 4-12와 마찬가지로 A와 C사이에 음영이 발생하여 방위각과 고도각을 모두 추적할 경우의 전압파형을 나타낸다.

그림 4-14의 경우 센서 D에만 음영이 발생하여 고도각만을 추적할 경우의 전압파형을 나타낸다.

또한 그림 4-15의 경우 태양전지가 태양의 중앙에 왔을 때 센서에서 검출한 전압파형을 나타낸다. 따라서 A, B, C, D는 일정한 전압값을 가지게 되고 더 이상 추적을 하지 않게 된다.

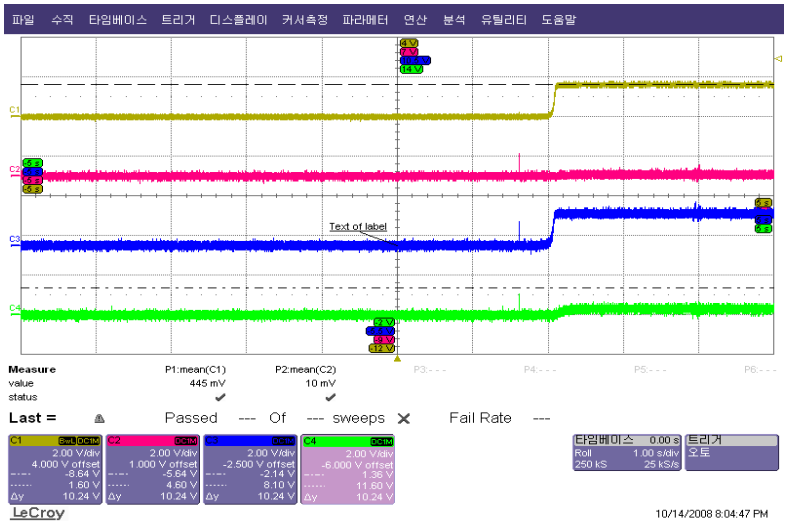


Fig. 4-12 Output voltage of each sensor when they are in the B and D

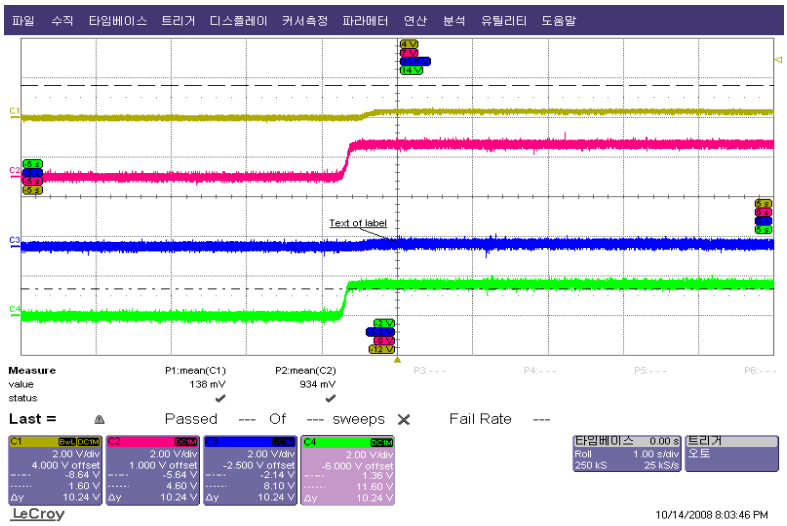


Fig. 4-13 Output voltage of each sensor when they are in A and C

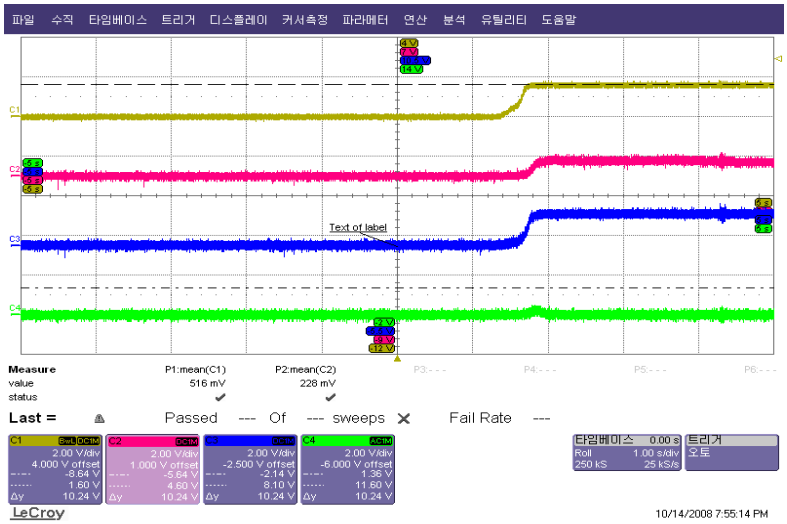


Fig. 4-14 Output voltage of each sensor when they are in the D

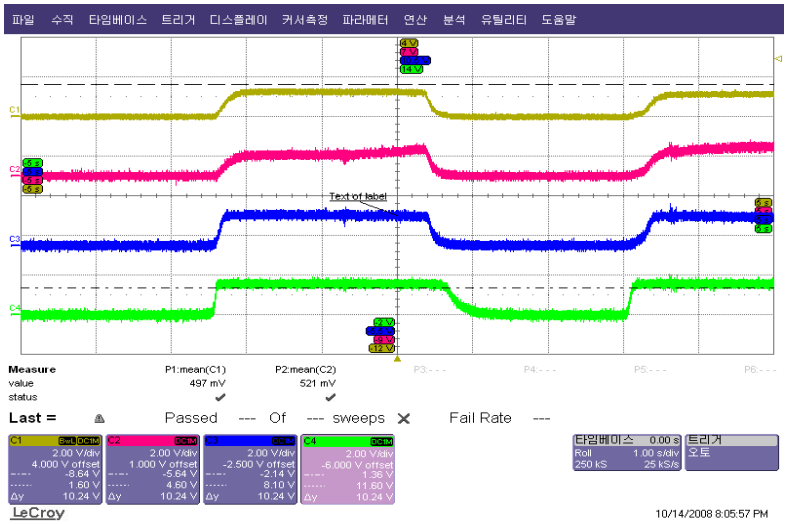


Fig. 4-15 Output voltage of each sensor when they are in the Center

D. 태양추적 운전특성

본 논문에서 제안한 추적장치를 햇빛이 있는 야외에서 가동하자 태양의 중심을 향해 추적이 실행되었다. 그림 4-18은 일사량이 좋은 날 동일 모듈을 이용하여 고정식과 추적식의 일일 누적발전량을 데이터화한 것이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 고정식에 비해 추적식의 일일 누적발전량이 약 143[W]정도 차이가 났으며, 태양전지 법선의 기울기가 크면 클수록 고정식보다 추적식의 발전출력이 현저히 높아진다는 것을 알 수 있었다.

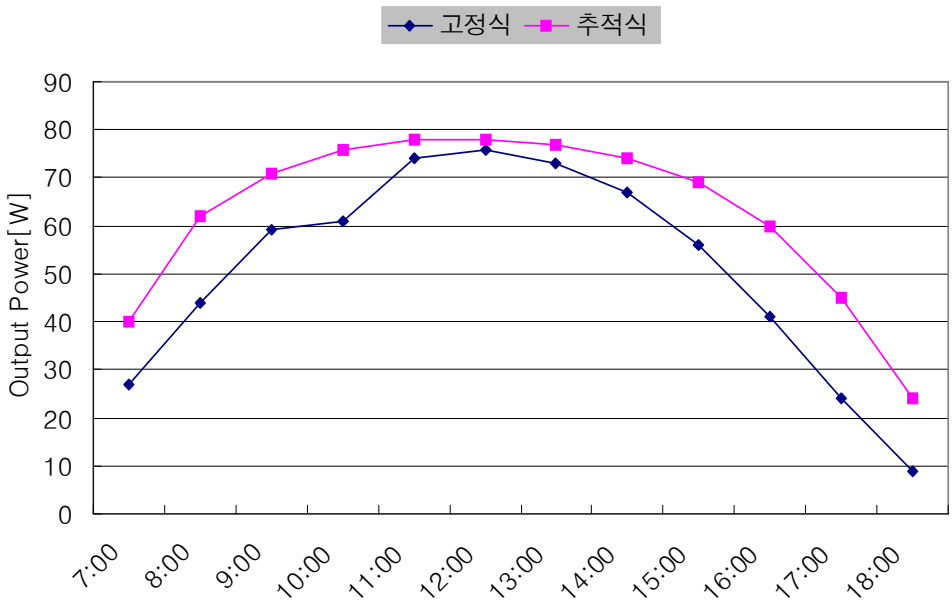


Fig. 4-16 Compare with a fixed type and tracking type

V. 결 론

태양 추적장치는 시간에 따라 변화하는 태양의 위치를 추적하여 항상 태양전지 모듈이 태양을 향하게 한다.

태양 추적장치는 태양의 경사각 또는 방위각만을 추적하는 단축 태양추적시스템을 사용하기도 하나, 보다 정확한 추적을 위해 일반적으로 태양의 방위각은 물론 경사각에 따른 태양의 변화를 추적하는 양축 태양추적시스템을 사용한다.

본 논문에서 제안한 추적시스템은 태양의 위치를 추적하지 않을 경우 수평안전모드로 프로그램을 설정하여 가장 효율적인 운전과 불필요한 구동부의 동작을 방지하여 전력소모를 감소하고, 날씨가 좋지 않은 악천후 시에도 별도의 기상장치 없이 수평모드로 동작하게 하여 풍압에 의한 지지력이 가장 좋은 수평안전모드로 전환하였으며, 1개의 센서를 이용하여 태양이 항상 법선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 제어하기 위해 방위각과 고도각을 제어하는 양축 추적시스템을 구성하여 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

시뮬레이션 결과 양축식이 고정식, 경사가변형, 단축식에 비해 각각 발전효율이 25[%], 19[%], 7[%]정도 높게 나타났다. 따라서, 발전효율을 최대로 하기 위해서는 방위각과 경사각 모두를 추적하는 양축식이 적절하다는 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다.

센서를 여러 각도에서 실험한 결과 태양의 위치에 따라 민감하게 반응하였지만 센서의 순간적 전압 오차에는 추적하지 않았으며 이는 별도의

기상장치 없이도 구름이나 센서부의 이물질 등에 의한 일시적인 전압 오차 신호에 대해 모터를 구동하지 않으므로 불필요한 전력소모를 줄일 수 있었다.

일사량이 좋은 날 동일모듈을 이용하여 고정식과 추적식의 일일 누적발전량을 비교한 결과, 고정식일 때 611[W], 추적식일 때 754[W]로 약 143[W]의 차이가 남을 확인할 수 있었으며 태양전지 모듈의 법선 기울기가 크면 클수록 고정식보다 추적식일 때 약 23[%]의 발전효율이 증가함을 확인 할 수 있었다.

태양을 추적하여 더 많은 햇빛을 받게 하여 태양전지의 효율을 높이기 위하여 행해진 추적장치는 대형 방식에 많은 연구가 진행되어 왔다. 따라서 본 논문의 태양위치추적의 모니터링 시스템을 구축하여 지속적인 발전효율에 대한 실용화 연구를 통해 태양광발전시스템 보급에 큰 역할을 할 것이라 기대된다.

참고문헌

[1] Dr. F. Lasnier, Tony Gan Ang, “Solar Photovoltaic Handbook”, Energy Technology Division Asian Institute of Technology, Vol. 1 (1998), pp. 10-50.

[2] Ruther R., Silva A., Montenegro A., Salamon I., Araujo R., “The petrobras 45.5 kwp, grid-connected PV system : a comparative study of six thin-film module types operating in brazil”, Proceedings of the 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Vol. 1 (2002), pp. 1440-1443.

[3] H. J. Noh, D. Y. Lee, D. S. Hyun, “An improved MPPT converter with current compensation method for small scaled PV-applications”, IEEE IES, Vol. 2 (2002), pp. 1113-1118.

[4] R. Andoubi, A. Mami, G. Dauphin, M. Annabi, “Bond graph modelling and dynamic study of a photovoltaic system using MPPT buck-boost converter”, IEEE ICS, Vol. 3 (2002), pp. 200-205.

[5] Mohan Undeland Robbins, “Power Electronics”, Willey, Second Edition, 1995.

[6] Tomas Markvart, “Solar Electricity”, Willey, Second Edition, 2000.

[7] Nagayoshi H., Orio S., Kono Y., Nakajima H., “Novel PV array/module I-V curve simulator circuit”, IEEE Photovoltaic Specialists Conference, vol. 1 (2002), pp. 1535-1538.

[8] B. P. Edwards, “Computer based sun following system”,

Solar Energy, Vol. 21 (1998), pp. 491-496.

[9] Nagayoshi H., Orio S., Kono Y., Nakajima H., "Novel PV array/module I-V curve simulator circuit", IEEE Photovoltaic Specialists Conference, vol. 1 (2002), pp. 1535-1538.

[10] Kotsopoulos A., Duarte J. L., Hendrix M. A. M., Heskes P. J. M., "Islanding behaviour of grid-connected PV inverters operating under different control schemes" Proceedings of the 2002 IEEE 33rd Annual IEEE Poser electronics Specialists Conference, Vol. 3 (2002), pp. 1506-1511.

[11] P. L. Swart, J. D. Van Wyk, "Source tracking and power flow control of terrestrial photovoltaic panels for concentrated sunlight", 12th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Vol. 1 (1998), pp. 700-705.

[12] Wilamowski B. M., Xiangli Li, "Fuzzy system based maximum power point tracking for pv system", Proceedings of the 2002 28th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Vol. 4 (2002), pp. 3280-3284.

[13] S. Y. R. Hui, I. Oppermann, F. Pasalic, "Microprocessor Based Random PWM Schemes for DC-DC Power Conversion", IEEE PECS, Vol. 1 (1995), pp. 307-312.

[14] Masato Hoshino, Gunji Kimula, Mitsuo Shioya, "DC-DC Converter and Inverter for Photovoltaic Modules", IECON. Vol. 1 (1998), pp. 569-574.

감사의 글

처음 더 높은 꿈을 이루고자 태양광발전실험실에 들어왔던 때가 생각납니다. 어떤 것부터 시작해야 할지 몰라 허둥대던 저에게 학위과정 동안 말없이 세심한 지도를 해주신 조금배 교수님께 진심으로 감사드립니다.

논문의 심사와 완성을 위해 아낌없는 조언과 격려를 주신 백형래 교수님, 이우선 교수님께 감사를 드립니다. 또한 항상 따뜻한 격려와 지도를 아끼지 않으신 조선대학교 전기공학과의 이상일 교수님, 정수복 교수님, 오금곤 교수님, 최효상 교수님, 김용재 교수님의 은혜에 감사드립니다.

힘들고 외로운 학위과정에 있어 늘 가까이에서 힘과 용기를 주신 태양광발전실험실의 최연옥, 이강연, 문은아, 임홍우, 정병호, 박정민, 박정국, 변문걸 선배님들에게 깊이 감사드리며, 실험실에서 같이 생활하며 도움이 되어준 김보현, 김대승, 신승호 후배님들에게도 진심으로 고맙다는 말을 전합니다.

힘들어 방황할 때 힘이 되어주고 도움을 준 친구 오영순, 박진수, 경용이형, 만재형, 지혁이형, 일호형, 한화석유화학의 서길모 과장님, 조선이공대학의 민완기 교수님, 동생 민윤기, 이상훈, 서현정 그리고 한없이 소중했던 사람 최정은에게 이 작은 결실을 고마움으로 대신하고자 합니다.

마지막으로 철없는 저를 믿고 진학을 허락해주신 아버지, 어머니의 격려에 고개 숙여 감사를 드리며, 언제나 철없는 동생에게 조언으로서 깨달음을 준 형에게도 고맙다는 말을 전합니다. 그리고 하늘에서 항상 손자를 지켜주시는 할머니께 감사드립니다.

앞으로 세상을 살아가는데 있어 학위과정동안의 가르침으로 인내하며 더욱 큰 사람으로 성장하는 사람이 되겠다고 다짐합니다.

2008년 11월..

민 병 국 올림

저작물 이용 허락서					
학 과	전기공학과	학 번	20077448	과 정	석 사
성 명	한글 : 민 병 국 한문 : 閔 丙 國 영문 : Byoung-Guk Min				
주 소	광주광역시 남구 월산5동 1028-49번지				
연락처	011-628-5748	E-MAIL	mbk21mbk@hanmail.net		
논문제목	한글 : One sensor방식에 의한 추적형 태양광발전시스템에 관한 연구				
	영어 : A Study on the Tracking Photovoltaic System by One sensor Type				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제,기억장치 에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집・형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포・전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송・출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 반대( )

2009 년 2 월 일

저작자: 민 병 국 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하