

碩士學位論文

태양광 발전효율 향상을 위한
태양 추적 제어에 관한 연구



濟州大學校 大學院

機械工學科

宋 都 成

2006年 6月

태양광 발전효율 향상을 위한 태양 추적 제어에 관한 연구

指導教授 林 鍾 桓

宋 都 成

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2006年 6月



宋都成의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2006年 6月

A Study on Solar Tracking Control for Improving the Efficiency of Photovoltaic Power Generation

Do-Sung Song

(Supervised by professor Jong-Hwan Lim)



A thesis submitted in partial fulfillment of the
requirement for the degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

June 2006

목 차

NOMENCLATURE	iii
SUMMARY	iv
I. 서론	1
II. 태양 위치 추적 이론	7
2.1 천구와 좌표계	7
2.1.1 지평 좌표계	9
2.1.2 적도 좌표계	10
2.1.3 좌표계 변환	11
2.2 태양의 위치 계산식	15
III. 태양 위치 추적 시스템 설계	17
3.1 본체 및 제어기 알고리즘 설계	17
3.1.1 외관 설계	17
3.1.2 구동모터, 기어 및 회전각 측정센서 설계	20
3.1.3 외부환경 수집 센서 설계	22
3.1.4 태양 위치 추적 시스템 제어기 설계	23
3.2 태양 위치 추적 시스템 구성	28
3.2.1 구동부	30

3.2.2 제어부	34
IV. 실험결과 및 고찰	38
4.1 태양 위치 추적 결과 및 고찰	42
4.2 발전 성능 평가 결과 및 고찰	47
V. 결론	57
VI. 참고문헌	58



NOMENCLATURE

δ : the solar declination angle(in radians)

A : the solar azimuth angle (in radians)

h : the solar altitude (in radians)

ϕ : latitude of installation place (in radians)

N : the fractional year (in radians)

d : the number of days of an year

H : the solar hour angle (in degrees)

T : the truth solar time (in hours)

S_n : solar noon (in hours)

L_d : difference of longitude (in degrees)

T_e : the equation of time (in minutes)

h_{cal} : the solar altitude by calculation (in degrees)

A_{cal} : the solar azimuth by calculation (in degrees)

A_{con} : azimuth of PV module by control (in degrees)

SUMMARY

The photovoltaic(PV) power generation system transforms unlimited and pollution-free solar energy directly into electronic energy by using solar cells of semi-conductor devices. The PV power is globally attractive renewable energy in relation to problem of environmental pollution, and will be an important future energy sources.

The power output of the solar cell depends largely on the amount of sunlight irradiated on the surface of a solar cell. That is, the incidence angle of the sunlight to the surface of the solar cell is great importance of the efficiency of the PV power generation. In order to maximize both the efficiency and the amount of power generation, the orientation of the solar cell should always be perpendicular to the sun ray. It is, therefore, necessary to trace the direction of sun ray by controlling the orientation of the solar cell.

There are two different approaches for solar tracking system; a sensor based approach and a program based approach. The sensor based approach utilizes a solar direction sensor that finds the altitude and azimuth angles of the sun. The system open fails to track the sun because the dust on the surface of the sensor hinders the sensor from detecting the direction of the sun ray, or after long cloudy duration it can no longer trace the sun again because the amount of error is too big.

In this study the solar tracking system have been developed that can trace the

direction of sun to keep the PV array perpendicular to the sun lay. The system is able to localize by itself using GPS, and it do not need a brake system. It uses very low power DC motors, so that it does not need external power. Furthermore, it has an ability to judge whether it is possible to generate or not depending on the light intensity. Also it can maintain the PV array horizontally to prevent from damage when the wind is strong.

A series of experiments have been conducted to valuate the designed solar tracking system. The results have shown that the efficiency of the solar tracking system can be improved about 123% and 64% than the fixed system with 57 degrees and 33 degrees respectively.



I. 서론

앞으로 전개될 국내의 에너지환경은 새로운 도전과 변화를 예고하고 있다. 전 세계적으로는 석유자원의 고갈 및 고유가, 기후변화협약 발효에 따른 국제적인 새로운 환경 및 무역질서의 도래, 그리고 중국·인도 등 거대 개도국의 에너지수요 폭발 등이 가져올 엄청난 도전에 부딪히고 있다.

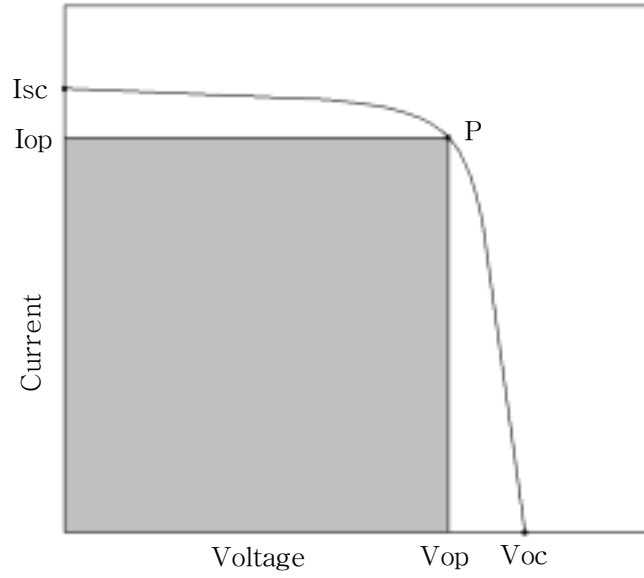
우리나라의 경우 현재 막대한 에너지 수입에 따른 무역 수지 악화의 해소와 함께 향후 지속적인 개발에 필요한 에너지원의 확보가 이미 오래전부터 국가적인 문제로 대두되어 있는 실정이다. 또한 기후변화협약 및 교토의정서 등 세계적으로 추진되고 있는 환경규제와 관련된 규약은 제품생산에 있어서 온실가스 배출량을 최소화하도록 유도하고 있어 에너지 다소비국인 우리나라로서는 국가경쟁력 향상을 위해 환경친화적인 새로운 에너지원의 독자적인 개발이 절실히 요구되고 있다[1].

태양광 발전은 화석연료를 사용하는 다른 발전방식과는 다르게 환경친화적으로서 대기오염이나 소음의 발생이 없고, 에너지원이 무한하여 고갈의 염려가 없다는 것이 가장 큰 장점이다. 기술적으로 규모(면적)에 의해 발전량은 변하지만 발전효율은 규모에 관계없이 일정하기 때문에 소규모에서 대규모 부하까지 대응할 수 있고, 특히 발전시간이 침투부하가 걸리는 시간(낮)과 일치하므로 하절기 침투부하를 줄여주는 부가효과가 있다. 또한 태양광이 닿는 곳이면 전기를 필요로 하는 어느 장소에서도 발전할 수가 있고, 소형으로 만들어 휴대할 수도 있으며, 연료의 공급 없이 20년 이상 사용 가능할 뿐만 아니라 운전, 유지관리 및 보수비용의 현저한 감소로 인해 대체 에너지원으로 활발한 연구가 진행되고 있다[1,2].

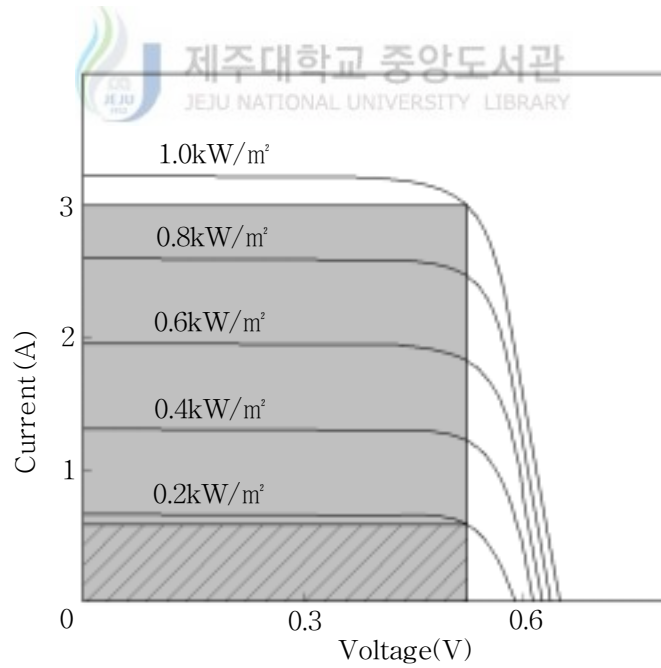
태양광 발전의 핵심인 태양전지는 필요에 따라 직·병렬로 연결하여 장기간 자연환경 및 외부 충격에 견딜 수 있는 구조로 만들어 사용하게 되는데, 그 최소 단위를 태양광 모듈이라 하고, 실제 사용부하에 맞추어 모듈을 어레이 형태로 구성하여 설치하게 된다[1].

일반적으로 태양전지의 출력 특성은 Fig. 1-1의 (a)와 같다. 개방전압(V_{oc})은 태양전지에 아무런 부하를 주지 않은 상태에서 태양전지 양단에 발생하는 전압으로 출력 전압의 최대이고 부하가 없으므로 전류의 흐름이 없어 이 때의 전류는 0A가 된다. 단락전류(I_{sc})는 태양전지 양단을 합선시켰을 때 흐르는 전류로 출력 전류의 최대이고 이 때의 전압은 0V가 된다. 태양전지로부터 출력을 내기 위해서는 동작전압(V_{op})과 동작전류(I_{op})를 설정해야하는데 태양전지의 출력은 동작전압, 동작전류, 원점 및 동작점(P)을 잇는 면적(Fig. 1-1 (a)의 회색 부분)으로 나타내어진다. 태양전지를 효율적으로 사용하기 위해서는 회색 부분의 면적이 최대가 되는 동작전류와 동작전압을 설정할 필요가 있다. 태양전지의 출력이 최고가 되는 동작점을 최적동작점이라고 하고 이때의 출력을 최대출력, 전압을 최적동작전압, 전류를 최적동작전류라 한다[3].

태양전지의 일사량에 따른 출력 특성은 태양 빛이 태양전지 표면에 조사될 때 태양광의 강도에 따라 태양전지의 출력전압과 출력전류가 변화하게 된다. 이때 태양전지 표면에 조사된 태양광의 강도를 일사강도 또는 일사량이라고 하며, 지표면에서는 적도부근에서 최대 $1\text{kW}/\text{m}^2$ 의 에너지가 조사되고, 위도가 높아질수록 일사강도는 적어진다. Fig. 1-1의 (b)는 표면온도가 25°C 이고, 크기가 $10\times 10\text{cm}^2$ 인 태양전지의 일사량에 따른 출력 전압-전류 특성곡선으로서 가장 위쪽에 있는 곡선이 일사량이 $1.0\text{kW}/\text{m}^2$ 일 때의 특성곡선이고, 가장 아래쪽이 $0.2\text{kW}/\text{m}^2$ 일 때의 특성곡선이다. $1.0\text{kW}/\text{m}^2$ 일 때 태양전지의 출력은 회색 부분이고, $0.2\text{kW}/\text{m}^2$ 일 때 최대 출력은 빗금 부분으로 일사량에 따라 태양전지의 출력이 차이가 많이 남을 알 수 있다[3].



(a) General characteristics



(b) Characteristics with amount of sun rays

Fig. 1-1 V-I characteristics of solar cell output

따라서 태양전지의 일사량에 따른 출력 변화 특성을 고려할 때 태양광발전시스템의 발전량을 증가시키기 위해서는 최대한 많은 일사량이 태양전지 표면에 조사되도록 해야 하고, 그러기 위해서는 태양전지 표면이 태양과 항상 수직을 유지하도록 태양광 어레이를 설치하여야 한다.

태양전지를 태양과 수직방향으로 항상 유지하기 위한 태양 추적 방법으로는 광센서를 이용하는 방법과 태양의 위치를 계산하여 추적하는 프로그램을 이용한 방법, 센서와 프로그램을 병행하는 방법 등 크게 3가지 방법이 있다. 각 방법은 서로 장단점이 있어 사용하고자하는 목적과 외부 환경 및 태양 추적 정확도 등을 고려하여 각 방법을 선택하여 적용하여야한다[2,3].

Fig. 1-2와 같은 센서에 의한 방법은 4개의 광센서를 이용하여 입사되는 광량을 각기 비교하여 태양의 위치를 추적하는 방식이다. 센서의 구조는 4개의 광센서와

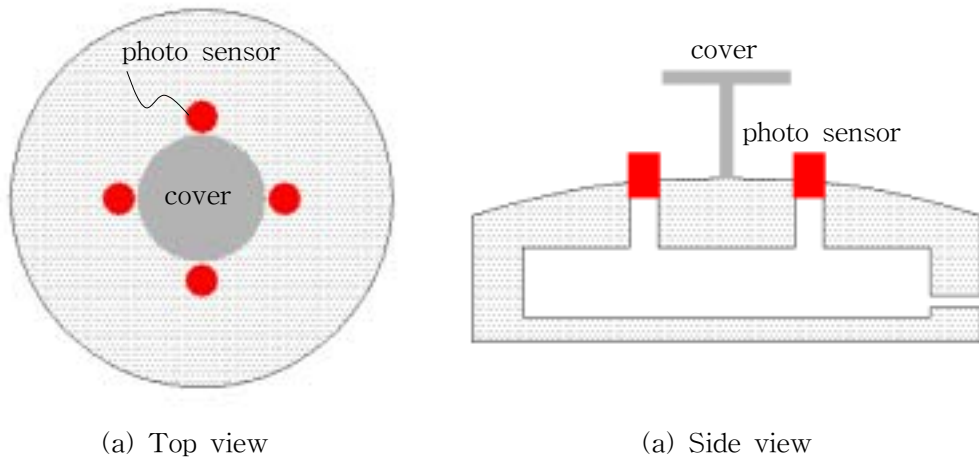


Fig. 1-2 Solar position sensor

덮개로 이루어지며, 센서와 태양이 법선각도에서 벗어난 경우 광센서들 위에 있는 덮개가 센서의 일부에 그늘을 만들어 4개의 광센서 출력이 달라진다. 이 때 4개의 광센서의 출력이 같아지도록 센서의 위치를 조정하여 주면 센서는 다시 법선 방향에 위치하게 된다. 따라서 센서를 태양전지표면상에 부착하고 센서가 법선 방향이 되도록 태양광 어레이를 움직여 주면 태양광 어레이를 태양과 법선 방향으로 유지할 수 있다. 이 방법은 구성이 간단하고 특별한 연산이 필요 없어 사용이 용의하나, 센서가 외부 환경의 변화에 노출되어 있고, 비, 눈 뿐 아니라 먼지 및 낙엽과 같은 이물질에 의해 정상적 동작을 하지 못하고 시스템의 고장 원인이 될 수 있다. 또한 일정시간동안 태양이 나타나지 않아 각도가 너무 많이 벗어난 경우에는 태양을 추적하지 못하는 경우가 발생하기도 한다[2].

센서와 프로그램을 병행하는 방법은 센서에 의한 방법의 경우 일정 각도가 벗어난 경우 태양 추적이 안 되는 점을 보완하기 위해 프로그램에 의해 시간에 따른 태양의 위치를 결정하고 센서로 정확한 위치를 추적하는 방식이다. 프로그램에 의해 태양의 위치를 먼저 찾아가므로 장시간 동안 태양이 나타나지 않은 경우도 태양추적이 가능하고 이물질에 의한 오동작을 일정 범위 내에서 제한 할 수 있다. 이 방법은 프로그램이 비교적 간단하면서도 정확한 태양의 위치 추적이 가능하고 오류도 적어지는 장점이 있다. 그러나 태양의 대각 위치를 추적할 수 있는 프로그램이 필요하고 이물질에 의한 문제를 완전히 해결할 수 있는 것은 아니다[2].

프로그램을 이용한 태양 위치 추적 방법은 마이크로프로세서 등을 이용하여 현재의 시각에 맞는 태양의 위치를 계산 해 내고, 그 계산된 값을 기본으로 태양전지의 방향을 제어하는 방식이다[2].

본 연구에서는 프로그램 방식을 적용한 태양 위치 추적 시스템을 제시하였고, 발

전량 및 효율의 개선을 실험적으로 연구하였다. 본 연구의 태양 추적 시스템의 구동은 저 전압 직류 기어드 모터와 워기어를 사용하여 저 전압으로 전체 시스템 작동이 가능하도록 되어있다. 따라서 외부 전원을 사용하여 시스템을 작동하는 기존 시스템과는 다르게 태양전지로부터 발전되는 전력만으로도 시스템 작동이 가능하며 전기가 공급되지 않는 외딴 섬 같은 곳에서도 설치 운영이 가능하다. 또한, 워기어를 사용함으로써 강풍 등 외력에 의한 구동 회전의 역전을 방지할 수 있어 브레이크 장치가 필요하지 않다. 아울러, 기존의 방식은 설치 지점의 위도와 경도를 확인하여 프로그램에 설정을 해 주어야하므로 설치 장소에 따라 프로그램 수정이 불가피한 반면 본 연구에서 제시된 시스템은 DGPS를 통해 자동 계산된 위도와 경도값을 이용하도록 설계 되어 있어 설치 위치에 상관없이 시스템 설치가 용이하다.

본 연구에서 제시된 태양 추적 시스템은 저가의 광센서를 이용하여 태양광의 세기를 측정하도록 하여 태양광의 세기가 태양광 발전에 필요한 태양광 세기 미만일 경우에는 태양 추적 제어를 정지하는 기능을 두어 불필요한 모터 구동으로 인한 전력 낭비를 방지 할 수 있다. 또한, 기준값 보다 바람이 강하게 불 경우에는 태양광 어레이를 수평으로 유지하여 시스템의 안전을 위해 바람의 영향이 최소화 되게 한다. 태양광 어레이의 회전각도 측정은 고가의 엔코더를 사용하는 기존 방식과는 다르게 저가형의 근접센서를 사용하여 0도에서 360도 까지 제어가 가능하도록 설계 하였다.

II. 태양 위치 추적 이론

태양의 위치 추적은 태양전지가 설치되어 있는 지점을 중심으로 태양까지의 고도와 방위각을 계산해 내는 것으로서, 지구 공전 및 자전 등을 고려하여 태양의 위치를 계산해 내기 위해서는 천문학적 지식이 필요하다. 지구는 태양 주위를 약 23.5도 기울어서 회전하므로, 일년 동안의 남중고도가 변화되고 계절이 생기며 태양의 위치 계산이 매우 복잡하다. 실제 지구는 고정된 태양을 중심으로 타원형의 궤도를 따라서 공전하며 동시에 약 23.5도의 경사각을 갖는 자전축을 중심으로 하여 회전 운동을 한다. 그러나 천문학에서는 태양의 위치 계산을 간단히 하기 위하여, 지구 중심을 원점으로 하고 반경이 무한대이며, 지구는 고정되어 있고 태양과 기타 천체들이 운동을 하는 천구를 정의한다[4,5].

2.1 천구와 좌표계

지상의 관측자에서 천체들까지의 거리는 매우 멀기 때문에, 가깝고 먼 것을 지상의 관측자의 입장에서는 판단 할 수 없다. 따라서 천체들은 매우 먼 거리에 존재하는 것으로 생각할 수 밖에 없고, 무한히 큰, 그러나 동일한 반경을 갖는 구(球)로 근사할 수 있다. 천구란 관측자를 중심으로 지구를 연장시켜 반지름이 무한대인 가상적인 구면을 말하며, 천체들의 위치는 이 천구에 투영하여 표시할 수 있다. 따라서 모든 천체들은 동일한 반경의 천구 면에 투영되므로 3차원 공간이지만 2개의 좌표로서 이들의 위치를 표시할 수 있으며, 천체의 위치를 표시하는 기준에 따라 지

평좌표계, 적도좌표계, 황도좌표계 및 은하좌표계 등으로 나누어진다[6,7].

천구의 각 부 명칭 Fig. 2-1과 같다. 천정(Zenith)은 관측자 바로 위의 천구와 만나는 점을 말하며, 천저(Nadir)는 그 반대 점을 말한다. 천구적도(Celestial equator)는 지구의 적도를 천구에 연장했을 때 천구 상에 형성되는 것을 말한다. 천구북극(North Celestial Pole, NCP)은 지구의 북극을 연장시켜 천구 상에 닿는 점을 말하며, 천구남극(South Celestial Pole, SCP)은 지구의 남극을 연장시켜 천구 상에 닿는 점을 말한다. 시간권(Hour circle)은 천구의 북극과 남극을 지나면서 천구적도와 수직을 이루는 대원을 말하며, 수직권(Vertical circle)은 천정과 천저를 지나면서 지평선과 수직인 대원을 말한다. 자오선(Meridian)은 천구의 북극과 천구의 남극 그리고 천정-천저를 동시에 지나는 대원으로서 지평선과 천구적도에 수직이다. 즉 자오선은 수직권인 동시에 시간권이다. 북점(N)은 관측자의 자오선과 지평선이 만나는 점 중 북극에 가까운 점을 말하며 그 반대는 남점(S)이다[6,7].

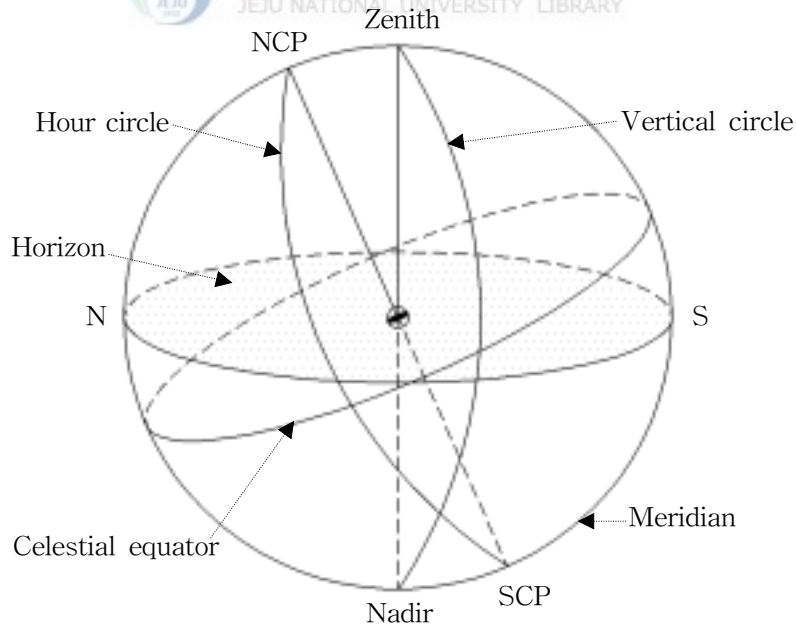


Fig. 2-1 Name of each part for celestial sphere

2.1.1 지평 좌표계

Fig. 2-2의 지평 좌표계는 가장 단순한 좌표계로, 지상의 관측자 입장에서 천체의 위치를 표시하는 좌표계이다. 이 좌표계의 기준이 되는 면은 관측자의 지평면이고, 사용되는 인자는 고도와 방위각이다. 고도는 지평면에서 그 천체까지 켜 각이며 0도에서 90도까지 나타낸다. 방위각은 북점(또는 남점)을 기준으로 하여 천체를 지나는 수직권과 자오선이 만나 이루는 각을 시계 방향으로 켜 각이며, 0도에서 360도까지 나타낸다. 지평 좌표계의 장점은 천체의 위치를 자연스럽게 나타낼 수 있다는 점이며, 단점은 시간이 흐름에 따라 천체의 고도와 방위각이 계속 변하기 때문에 활용하기가 불편하다는 점이다[6,7].

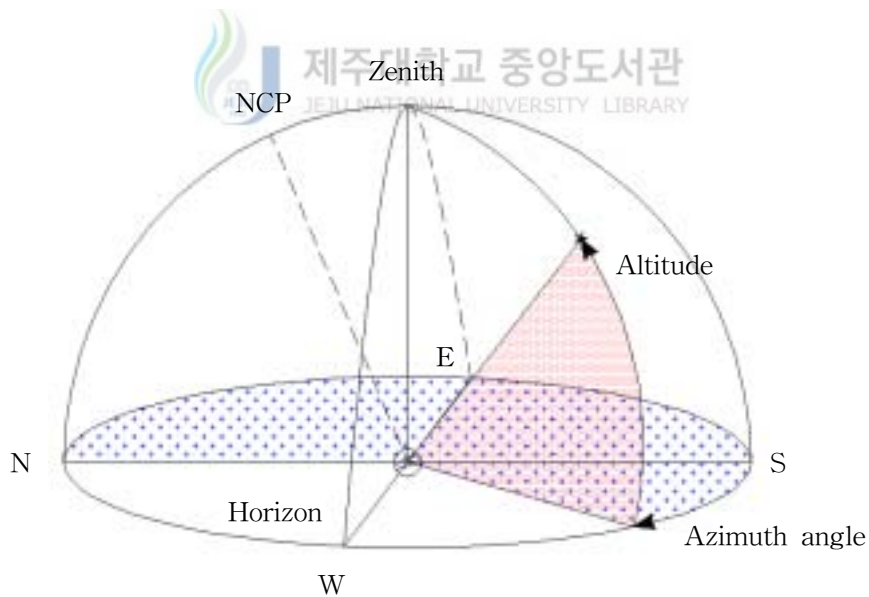


Fig. 2-2 Horizontal coordinate system

2.1.2 적도 좌표계

Fig. 2-3의 적도 좌표계는 천체의 위치를 적경(α)과 적위(δ)로 나타내는 좌표계로서 천체 관측 과정에서 가장 일반적으로 활용되는 좌표계이다. 여기서 적경의 기준은 춘분점(Vernal equinox)이며, 적위의 기준은 천구적도이다. 적경은 그 별을 지나는 시간권과 춘분점을 지나는 시간권 사이의 각이며, 0시에서 24시까지 반시계 방향으로 잴 각이다. 적위는 천구적도면에서 시간권을 따라 별까지 잴 각이며, 0도에서 ± 90 도까지의 값으로 나타낸다. 관측자의 위도(ϕ)는 천구적도면과 천정이 이루는 각이며, 시간각(H)은 자오선과 천체를 지나는 대원이 이루는 각이다[6,7].

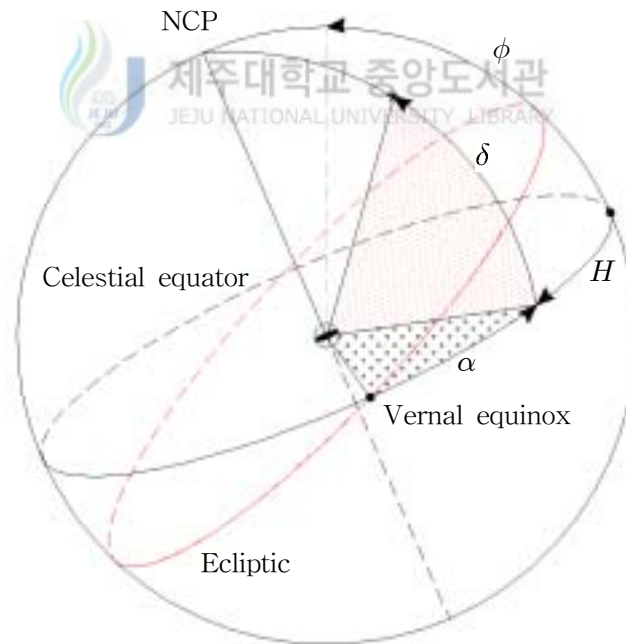


Fig. 2-3 Equatorial coordinate system

지구는 자전하면서 태양을 중심으로 공전한다. 그러나 지구를 기준으로 할 때, 태양이 천구 상을 1년에 1회전하는 것처럼 보인다. 이때 태양이 운행하는 천구상의 겉보기 궤도를 황도라고 하며, 황도는 천구적도에 대하여 23.5도 기울어져 있다.

따라서 황도와 적도는 두 개의 교점이 생긴다. 여기서 태양이 남에서 북으로 통과하면서 만나는 교점을 춘분점이라고 하고, 북에서 남으로 통과하면서 만나는 교점을 추분점이라고 한다. 춘분점은 지구의 자전축이 동쪽에서 서쪽 방향으로 비틀리면서 이동하는 현상인 세차운동 때문에 1년에 약 50초만큼씩 서쪽으로 이동된다. 이 때문에 적경과 적위는 그 좌표의 기준년도가 함께 제시된다[6,7].

2.1.3 좌표계 변환

현재 태양전지가 설치되어 있는 지점을 중심으로 태양의 위치를 계산해 내기 위해서는 지평좌표계와 적도좌표계를 함께 표시하고 지평 좌표계에서의 태양의 방위각과 고도를 적도좌표계의 시간각과 적위로 함께 나타내어 태양의 고도와 방위각을 계산할 수 있도록 좌표계를 변환 할 필요가 있다. 지평좌표계와 적도좌표계를 함께 표시하면 Fig. 2-4와 같다. 여기서, ϕ 는 태양 위치 추적 시스템 설치 지점의 위도이고, δ 는 태양의 적위이다. H 는 태양의 시간각이고, A 는 태양의 방위각을 말하며, h 는 태양의 고도를 말한다. Fig. 2-4에서는 천구북극과 천정 그리고 천체(태양)를 꼭지점으로하는 구면삼각형 PZS_{un} 이 형성되며, 꼭지점 P의 내각은 태양의 시간각이 되고, 꼭지점 Z의 내각은 360도에서 태양의 방위각을 뺀 값이 된다. 변 PZ는 90도에서 ϕ 를 뺀 값으로 대응 될 수 있고, 변 ZS_{un} 은 90도에서 태양의 고도를 뺀 값으로 대응 될 수 있으며, 변 PS_{un} 은 90도에서 태양의 적위를 뺀 값으로 대응 될 수 있다. 이를 구면삼각법에 적절히 적용하면 좌표계 변환이 가능하다[6,7].

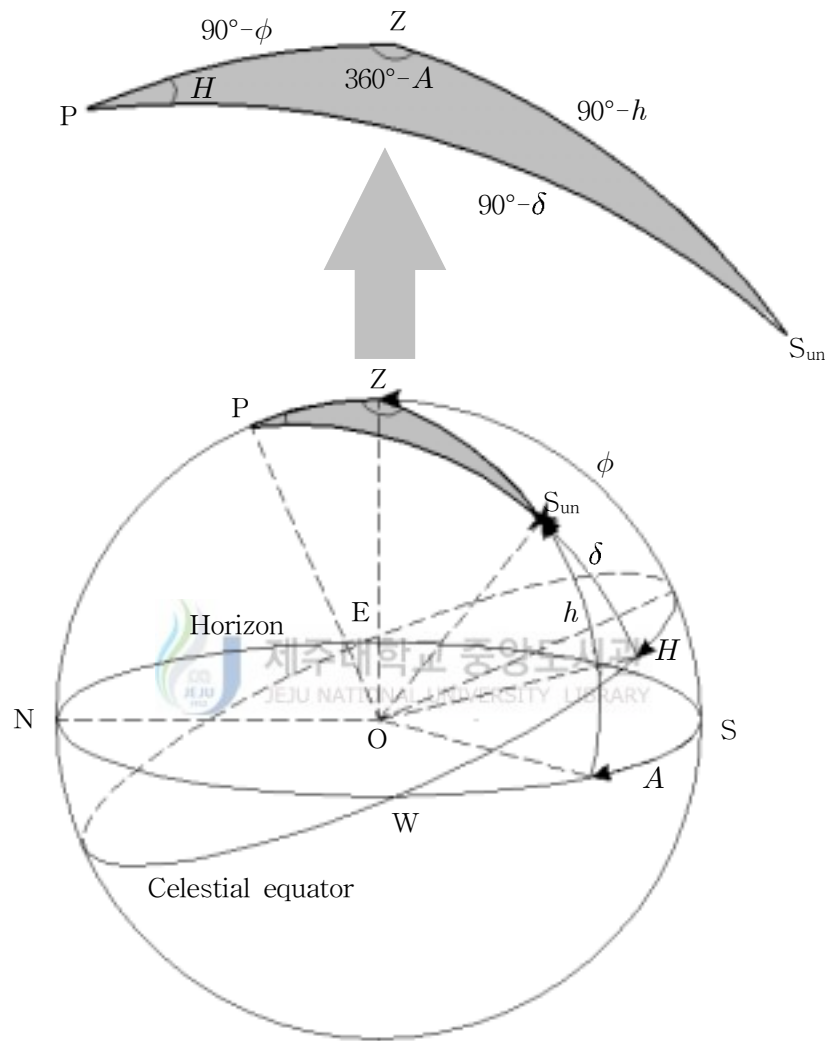


Fig. 2-4 Transform of coordinate system

구면삼각법은 구면삼각형의 변과 각과의 관계를 삼각함수를 써서 나타내는 것이다. 구의 중심이 O , 반지름이 r , 중심각이 θ 일 때 구면삼각형의 변의 길이는 $r\theta$ 로 나타낼 수 있고, 구의 반지름이 1인 경우에는 변의 길이를 중심각만으로 나타낼 수 있다. 따라서 Fig. 2-5와 같이 중심각 α, β, γ 에 대응하는 구면삼각형 ABC 의 변을 각각 a, b, c 라 하고, 구의 반지름이 1이라면, 각각의 변과 꼭지각 A, B, C 와의 사이에는 다음과 같은 코사인공식이 성립된다[8].

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A \quad (2-1)$$

$$\cos b = \cos c \cdot \cos a + \sin c \cdot \sin a \cdot \cos B \quad (2-2)$$

$$\cos c = \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C \quad (2-3)$$

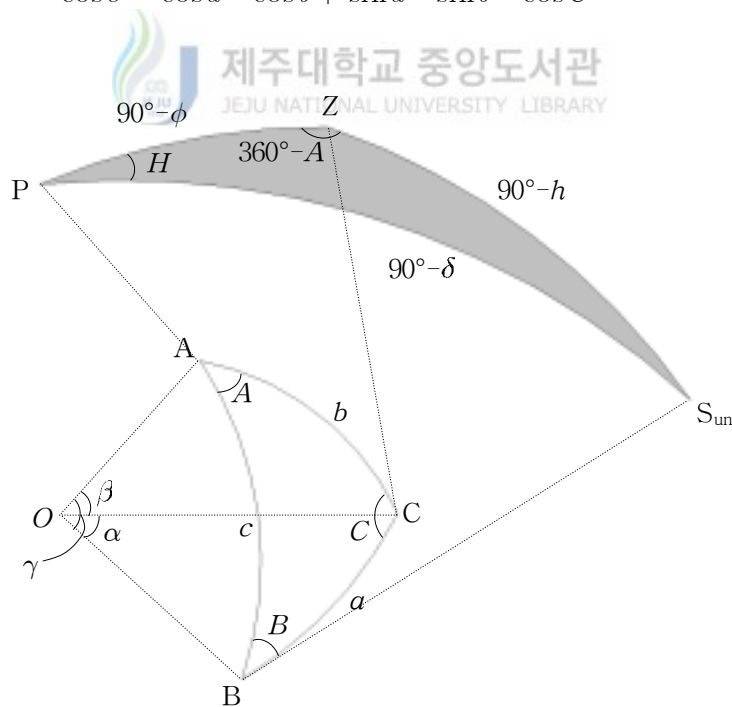


Fig. 2-5 Spherical triangle

Fig. 2-5는 코사인공식에 적용하기 위해 구면삼각형 ABC와 Fig. 2-4에 형성된 구면삼각형 PZS_{un}이 서로 대응되는 점을 나타낸 것으로 A는 H, C는 360°-A, a는 90°-h, b는 90°-φ, c는 90°-δ와 각각 대응 되고 있는 것을 알 수 있다. 코사인공식에 각각 대응 되는 값을 적용하여 변환하면 다음과 같다.

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A \text{ 이므로}$$

$$\begin{aligned} \cos(90^\circ - h) &= \cos(90^\circ - \phi) \cdot \cos(90^\circ - \delta) \\ &+ \sin(90^\circ - \phi) \cdot \sin(90^\circ - \delta) \cdot \cos H \end{aligned} \quad (2-4)$$

$$\sin h = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos H \quad (2-5)$$

따라서,

$$h = \sin^{-1}(\sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos H) \quad (2-6)$$

여기서, φ와 δ는 라디안 단위로 주어지고, H는 각도 단위로 주어진다.

마찬가지로

$$\cos c = \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C \text{ 이므로}$$

$$\begin{aligned} \cos(90^\circ - \delta) &= \cos(90^\circ - h) \cdot \cos(90^\circ - \phi) \\ &+ \sin(90^\circ - h) \cdot \sin(90^\circ - \phi) \cdot \cos(360^\circ - A) \end{aligned} \quad (2-7)$$

$$\sin \delta = \sin h \cdot \sin \phi - \cos h \cdot \cos \phi \cdot \cos A \quad (2-8)$$

(2-8)식을 cos A에 대해 정리하면,

$$\cos A = \frac{\sin h \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\cos h \cdot \cos \phi} \quad (2-9)$$

따라서,

$$A = \cos^{-1} \left(\frac{\sin h \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\cos h \cdot \cos \phi} \right) \quad (2-10)$$

이다[6-8].

2.2 태양의 위치 계산식

태양의 고도와 방위각은 앞 절에서 코사인공식으로부터 유도된 (2-6)식과 (2-10)식을 이용하여 계산이 가능하나, (2-6)식과 (2-10)식을 계산하기 위해서는 태양 추적 시스템의 설치 지점의 위도와 태양의 적위, 그리고 태양의 시간각을 알아야 한다. 설치 지점의 위도는 설치장소에 따라 달라지고, 태양의 적위와 시간각은 다음과 같이 계산된다.

태양의 적위 δ 는 다음 식으로부터 계산되어진다.

$$\begin{aligned} \delta = & 0.006918 - 0.399912 (\cos N) + 0.070257 (\sin N) - 0.006758 (\cos 2N) \\ & + 0.000907 (\sin 2N) - 0.002697 (\cos 3N) + 0.00148 (\sin 3N) \end{aligned} \quad (2-11)$$

여기서, N 은 일수의 라디안 값을 의미하며 (2-12)식으로 계산되어 진다.

$$N = \frac{2\pi}{365} \left(d - 1 + \frac{hour - 12}{24} \right) \quad (2-12)$$

여기서, d 는 1년 중 현재 날짜의 일수를 의미한다.

태양의 시간각은 (2-13)식으로부터 구할 수 있다.

$$H = 15 \times 24 \times \left(\frac{h_a}{24} - \left[\frac{h_a}{24} \right] \right) \quad (2-13)$$

여기서, h_a 는 (2-14)식과 같다.

$$h_a = 24 + (T - S_n) \quad (2-14)$$

여기서, T 는 현재시각을 말하며, S_n 은 태양의 남중고도시각을 말한다.

남중고도시각은 (2-15)식을 통해 계산할 수 있다.

$$S_n = 12 + \left(\frac{4 \times L_d - T_e}{60} \right) \quad (2-15)$$

여기서, L_d 는 GMT를 기준으로 나눈 지방표준시권(한국의 경우 GMT보다 9시간 빠른 동경 135도의 지방표준시를 사용한다.)과 태양 추적 장치가 설치된 지점의 경도와의 차이를 의미하고, T_e 는 균시차를 말하는데 이 균시차는 시대양시와 평균 태양시의 차이를 의미하며, (2-16)식으로 계산할 수 있다[9-14].

$$\begin{aligned} T_e = & 229.18 \times \{0.000075 + 0.001868 (\cos N) - 0.032077 (\sin N) \\ & - 0.006758 (\cos 2N) + 0.000907 (\sin 2N) - 0.002697 (\cos 3N) \\ & + 0.00148 (\sin 3N)\} \end{aligned} \quad (2-16)$$

III. 태양 위치 추적 시스템 설계

3.1 본체 및 제어기 알고리즘 설계

본 연구에서 설계된 태양 위치 추적 시스템은 전체적인 형상을 이루는 외관과 태양광 어레이의 태양 추적 수단이 되는 구동모터, 구동모터의 고속 회전을 감속하고 역전 방지를 위한 감속기어 및 워미어, 구동 모터에 의해 회전된 회전축의 회전 정도를 측정하기 위한 회전각 측정 센서, 바람의 세기를 측정하기 위한 풍속계, 태양광 모듈에 조사되는 태양광의 정도를 파악하기 위한 광센서, 태양 추적 장치가 설치될 지점의 위도와 경도를 알아내기 위한 DGPS 그리고, 태양 위치 추적 시스템의 각종 데이터 입력과 연산, 제어 신호를 송출하기 위한 제어기로 이루어진다.

3.1.1 외관 설계

태양 위치 추적 시스템의 외관은 Fig. 3-1에서 알 수 있듯이 태양광 모듈을 고정하는 고정판, 태양광 모듈의 방향제어에 있어 회전 중심이 되는 회전축, 회전축의 고정과 회전축의 원활한 동작을 위한 베어링, 기본 골격을 형성하는 프레임, 모터, 기어 및 회전각 측정 센서가 설치 가능한 기어박스, 태양 추적 장치를 지면이나 기타 바닥에 고정하는 프레임 고정부로 구성되도록 설계하였다.

태양광 모듈 고정판은 프레임 중심을 기준으로 양측으로 나누어져 있도록 하였고, 각 고정판에는 2개의 태양광 모듈이 부착할 수 있도록 하여, 총 4개의 태양광

모듈이 부착 가능하도록 하였다. Fig. 3-2에서 알 수 있듯이 고정판 뒷면의 중앙으로 회전축을 연결하여 축의 회전제어를 통해 모든 태양전지모듈이 똑같이 방향 제어가 가능하도록 하여 최소의 구동력으로 최대의 방향 제어 효과를 볼 수 있도록 설계하였다. 태양광 모듈 4개를 고정판에 고정된 모습을 Fig 3-3에 나타내었다.

방향 제어의 회전 중심이 되는 회전축은 태양광 어레이의 수직방향(태양의 고도와 대응되는 방향) 제어 용 축과, 수평방향(태양의 방위각과 대응되는 방향) 제어 용 축으로 나누어 태양광 어레이의 위치가 태양의 고도와 방위각에 따라 항상 태양과 수직 방향으로 제어가 가능하도록 설계하였다.

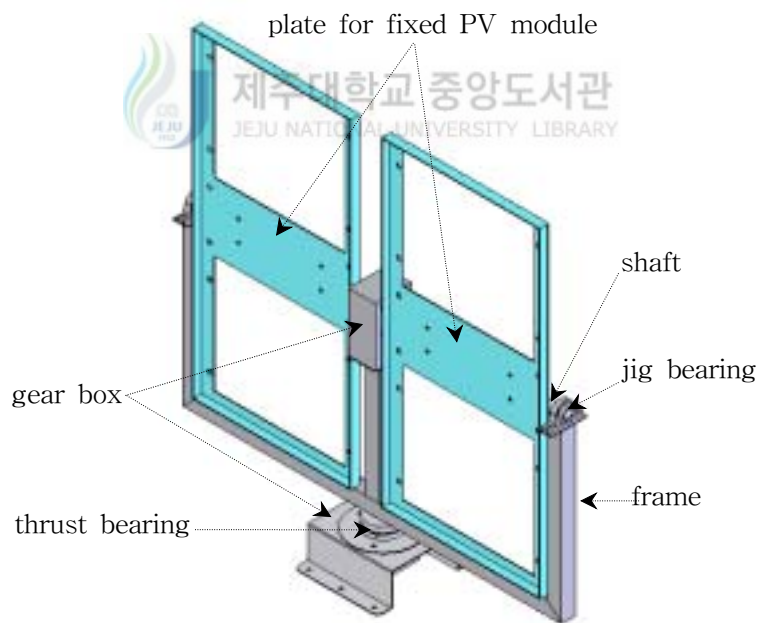


Fig. 3-1 3D view of solar position tracking system

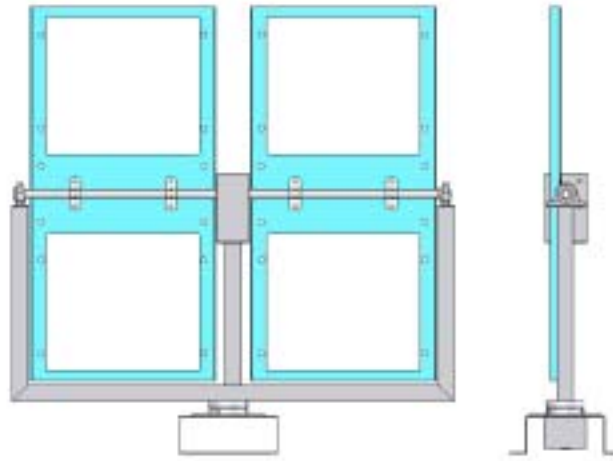


Fig. 3-2 Back and side view of the tracking system

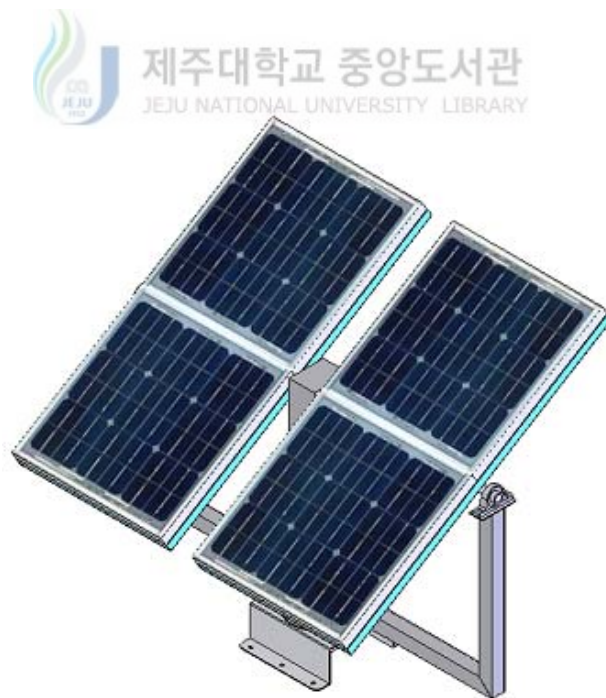


Fig. 3-3 3D view of solar position tracking system with photovoltaic module

베어링은 지그베어링과 스톱베어링이 있으며, 지그베어링은 프레임의 양단 상부에 부착하여 태양광 어레이의 수직 방향 제어 축을 고정하도록 하였고, 스톱베어링은 수평 방향 제어 축을 부착하여 하부의 기어에 가해지는 하중을 최소화할 수 있도록 하였다.

프레임은 양단과 중앙에 기둥을 두어 양단 상부에는 지그베어링을 고정할 수 있도록 하였으며, 중앙 상부에는 기어 박스를 설치할 수 있도록 하였다. 전체 시스템에서 프레임의 양단과 중앙 기둥 축과는 공간을 두어 태양광 어레이의 수직 방향 회전에 방해가 없도록 설계하였다. 기어박스는 상부와 하부에 각각 설치하였으며, 상부의 기어박스에는 태양광 어레이의 수직방향 회전제어가 가능하도록 직류모터와 감속기어 등을 설치하였고, 하부의 기어박스에는 직류모터와 감속기어 등을 설치하여 태양광 어레이의 수평 방향 회전 제어가 가능하도록 설계하였다. 태양 위치 추적 시스템 하부에는 강풍이나 기타 외력에 견딜 수 있도록 지면이나 기타 바닥에 고정할 수 있는 형태로 설계하였다.

3.1.2 구동모터, 기어 및 회전각 측정센서 설계

Fig. 3-4는 구동모터와 기어 그리고 회전각 측정센서의 구조를 나타낸 것으로서 구동모터는 작동 전원이 직류 12V이고, 회전속도가 5,000rpm이며 기어비가 741:1의 감속기어가 일체형으로 부착되어 있는 소형 기어드 모터로 설계하였다. 소형 기어드 모터는 가격이 저렴하고, 5000rpm의 회전속도를 감속하기 위한 감속기어가 부착되었으며, 소 전력으로 큰 힘을 낼 수 있고, 마이크로프로세서를 통해 제어하기가 용이하다.

기어는 구동모터에 장착된 감속기어 외에 웜기어를 사용하였고, 이 웜기어의 웜

휠은 구동모터의 회전축과 1:1로 직결되도록 설계하였다. 웜기어는 회전속도의 감속 및 강풍이나 외력에 의한 기어 회전의 역전을 방지할 수 있다. 웜기어는 웜과 웜휠의 기어비를 60:1로 설계 하였고, 60:1의 기어비는 웜이 1회전 시 웜휠은 6/360회전을 하게 된다.

회전각 측정 센서는 구동모터의 회전축과 1:1로 직결된 웜휠 회전축의 회전을 측정 하도록 하였는데, 회전각 측정 센서로는 근접센서로 설계하였다. 웜휠의 회전축에는 근접센서가 감지할 수 있는 감지구 여섯 개를 Fig. 3-4의 (b)에서처럼 회전축의 회전방향으로 6등분 되도록 부착하여 근접센서로 감지함으로써 1도의 회전각을 1펄스로 측정 할 수 있도록 하였다.

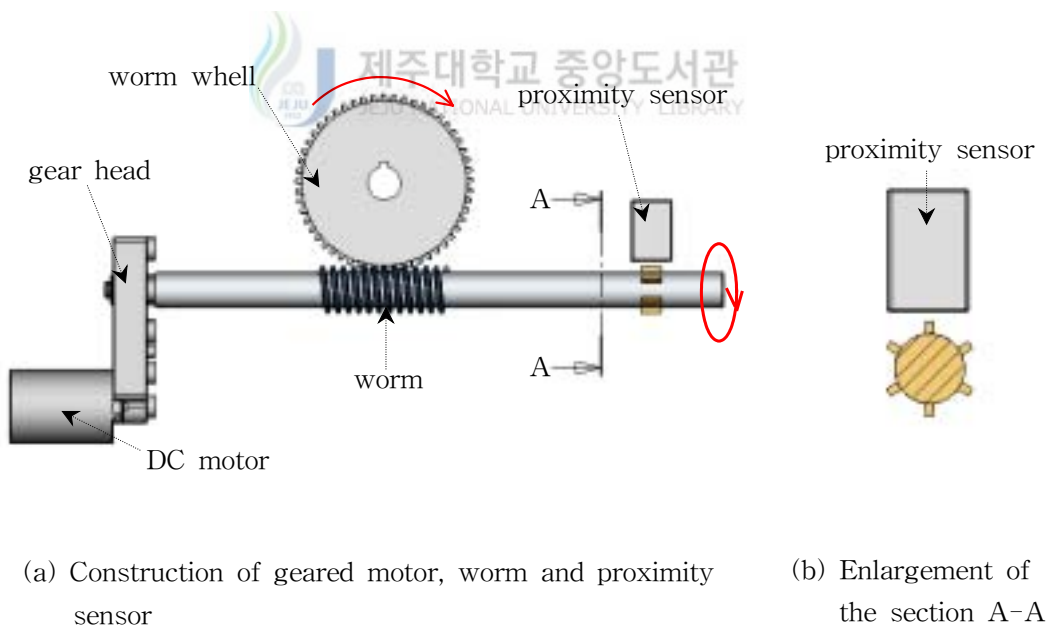


Fig. 3-4 Design of the actuating part

3.1.3 외부환경 수집 센서 설계

태양 위치 추적 시스템이 설치된 지점에서의 태양의 위치 계산을 위해서는 설치 지점의 위도와 경도를 알아야 한다. 위도와 경도를 프로그램 적으로 초기설정토록 하여 연산을 수행 할 수도 있으나, 본 연구에서는 데이터 정확도가 우수한 DGPS를 설치하도록 하여 DGPS에서 송출되는 위도와 경도 데이터를 사용하도록 하였다.

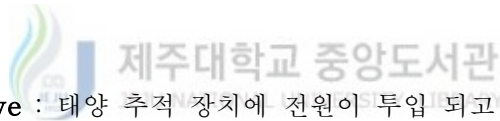
태양 위치 추적 시스템의 하부에는 지면 또는 기타 바닥과 고정 할 수 있도록 하여 외력에 의한 흔들림과 기타 장치의 파손을 줄일 수 있도록 하였는데, 만약의 경우 바람이 강하게 불 때 태양광 어레이의 방향각이 풍향과 수직방향으로 되어 있을 시는 바람의 영향을 최대로 받을 수 있어 강풍으로 인한 태양 위치 추적 장치의 파손 우려가 있다. 이를 방지하기 위하여 바람의 세기 정도를 측정할 수 있는 센서를 추가 설치토록 하여 바람 세기가 기기에 무리가 가는 일정값 이상이면 태양광 어레이의 방향각을 수평(고도 90도)으로 하여 바람의 영향을 최소로 받을 수 있도록 설계하였다.

태양 위치 추적 시스템은 태양에너지를 태양전지를 이용하여 전기에너지로 변환 하는데 있어 태양광 발전효율을 높이기 위한 시스템이다. 태양전지의 태양광발전은 서론에서도 언급한 바와 같이 태양전지에 조사되는 태양광량의 세기에 따라 그 발전효율이 달라지고, 또한 태양전지에서 발전 가능하기 위해서는 태양광의 세기가 기준값 이상이어야 하는데, 태양광의 세기는 날씨에 따라 달라진다. 날씨가 아주 흐린 날이나, 비 또는 눈이 오는 날에는 태양광의 세기가 태양광발전이 가능한 기준값 보다 작으므로 태양광발전이 이루어지지 않는다. 이러한 경우에는 태양 추적의 의미가 없어지게 된다. 오히려 불필요한 기기 작동으로 전력 낭비를 가져 올 수 있다. 본 연구에서는 태양광의 세기를 측정할 수 있는 광센서를 두어 태양광의 세기가 기준값 이하에서는 태양 추적을 하지 않도록 설계하였다.

3.1.4 태양 위치 추적 시스템 제어기 설계

태양 위치 추적 시스템의 제어기는 하드웨어와 프로그램으로 나누어지는데, 하드웨어는 위도와 경도, 바람의 세기, 태양광의 세기, 근접센서의 회전각 측정 데이터를 수신할 수 있는 수집부와 수신된 데이터를 처리하는 마이크로프로세서, 태양광 어레이의 방향 제어를 위한 모터제어부로 구성되도록 하였다.

프로그램은 태양 위치 추적 시스템의 방향 제어 수행을 위한 것으로, 위도와 경도 데이터와 현재시각을 이용하여 태양의 위치를 계산해 내고 외부환경에 따라 태양 위치 추적 장치의 방향 제어를 위한 모터 제어 명령 신호를 송출하도록 하였다. 프로그램 제어 알고리즘의 순서도를 Fig. 3-5에 나타내었고 순서도의 각 판단부 및 연산부의 기능은 다음과 같다.



[1] **Data receive** : 태양 추적 장치에 전원이 투입 되고 시스템이 시작이 되면 DGPS와, 풍속계, 광센서, 그리고 마이크로프로세서가 작동하게 되는데, 프로그램은 우선 DGPS에서 송신되는 데이터를 받도록 하였다. DGPS에서 송신되는 데이터는 여러 가지가 있으나 본 프로그램에서는 위도와 경도 그리고 데이터의 정확도 평가 데이터만을 수신하도록 하였다.

[2] **Data accuracy** : 본 연구에서 설계된 DGPS는 정확도가 높은 데이터가 송신되기 위해서는 전원이 인가된 이 후 설치 위치에 따라 2~3 분의 시간이 경과되어야 한다. 데이터의 정확도에 관련하여서는 0, 1, 2, 6의 숫자가 송신 되게 되는데, 0은 데이터 사용이 불가능하다는 뜻이고, 1은 GPS의 데이터가 송신되고 있다는 뜻으로 대략 반경 25m의 오차가 있을 수 있다. 6은 데이터 송신 중 어떤 이유로 위

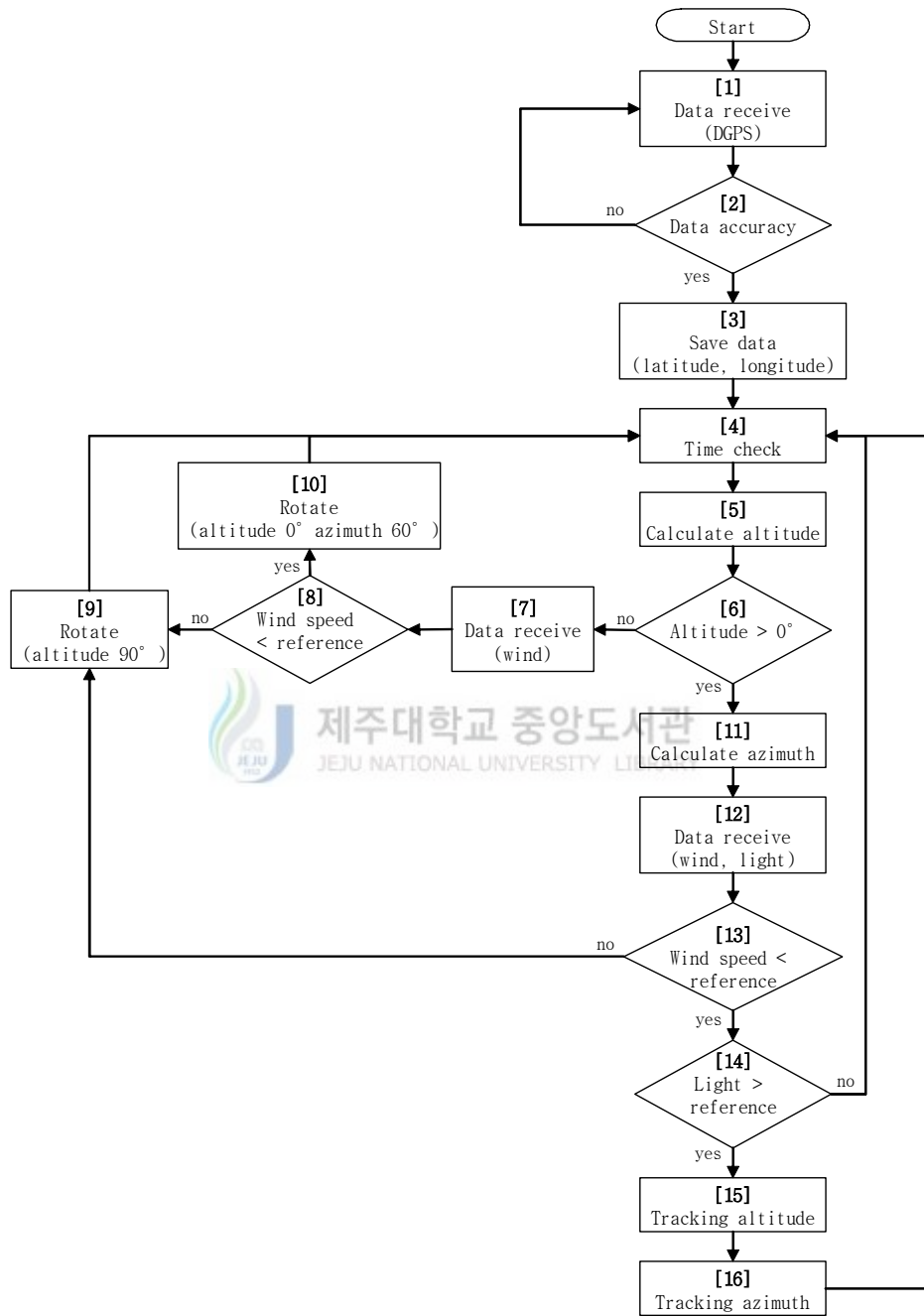


Fig. 3-5 Flowchart of control algorithm

치 계산이 안 되어 전에 보내 주던 데이터를 기초로 추정된 값을 송신하고 있다는 뜻이다. 2는 DGPS의 정확도가 높은 데이터가 송신되고 있다는 뜻이다. 이중 0,1,6이 수신될 때 받은 위도와 경도 데이터는 정확도가 낮으므로 태양의 위치 연산에 사용하기가 부적합하기 때문에 2가 수신될 때 까지 계속 DGPS의 데이터를 수신하도록 하였다. 이렇게 하여 태양 위치 추적 장치가 설치된 지점의 정확한 위치를 수신하게 된다.

[3] **Save data** : DGPS로부터 수신된 위도와 경도 데이터는 기억장치에 저장되어, 태양의 위치 계산을 위한 각종 연산에 언제든지 활용될 수 있도록 하였다.

[4] **Time check** : 무한루프의 초기 단계로 현재 시각을 체크하도록 하여 태양의 현재 위치 계산에 필요한 년, 월, 일, 시, 분, 초 데이터를 제공하도록 하였다.

[5] **Calculate altitude** : 전 단계에서 얻은 데이터와 태양의 고도 계산식을 이용하여 현재 시각에서의 태양의 고도를 계산해 낸다.

[6] **Altitude check** : 이 단계는 태양의 고도가 0도보다 “큰 가?”, “작은 가?”를 판단하는 단계로써, 태양의 고도가 0도 보다 클 경우에는 태양광 발전이 가능한 일출과 일몰 그 사이이고, 태양의 고도가 0도 보다 작을 경우에는 태양광 발전이 이루어지지 않는 일몰 후 나 일출 전이다. 따라서 0도 보다 작을 경우에는 태양을 추적할 필요가 없어 다음 단계로 [7] Data receive를 수행하게 되고, 클 경우에는 다음 단계로 [11] Calculate azimuth를 수행하게 된다.

[7] **Data receive** : 이 단계는 계산된 태양의 고도가 0도보다 작을 경우에 수행되는 단계로, 풍속의 세기를 측정하는 단계이다. 태양 추적이 이루어지지 않는 야간일 경우에도 강한 바람에 의한 시스템의 파손 우려가 있으므로 이 단계 수행을 통하여 풍속의 세기를 측정한다.

[8] **Wind speed check** : 이 단계에서는 측정된 풍속의 세기가 태양 추적 장치에 무리가 가는 세기인가를 판단하는 단계로써, 본 프로그램에서는 기준값을 15m/s로 설계하였다. 풍속의 세기가 기준값인 15m/s보다 클 경우에는 시스템의 안전을 위해 다음 단계로 [9] Rotate 단계를 수행하고, 그렇지 않을 경우에는 다음 단계로 [10] Rotate 단계를 수행한다.

[9] **Rotate** : 이 단계는 태양광 어레이를 수평으로 위치하게 하여 바람의 영향을 가장 적게 받도록 하는 명령을 수행하는 단계이다.

[10] **Rotate** : 이 단계는 태양광 어레이의 방향을 초기위치로 제어하는 명령을 수행하는 단계로, 초기 위치를 고도 0도, 방위각 60도로 두었는데, 이는 일출 시 태양의 고도와 방위각을 고려하여 정하였다. 본 연구의 실험이 실시 될 제주도를 기준으로 하였을 때 년 중 태양이 뜰 때의 태양 위치는 고도가 0도보다 크고, 방위각은 60도보다 크다. 초기 고도를 바람의 영향이 가장 적게 받는 90도로 하지 않고 0도로 한 또 다른 이유는, 고도를 90도로 하여 태양광 어레이를 수평으로 하였을 때는 야간에 풍속의 세기를 판단하는 단계를 수행하지 않아도 되나, 겨울에 눈이 올 경우 태양광 어레이 표면위에 눈이 쌓이게 되어 눈의 하중을 받게 되고, 눈이 녹을 때 까지는 태양광 발전이 힘들기 때문이다.

[11] **Calculate azimuth** : 태양의 고도가 0도 보다 크면 태양의 방위각을 계산해 내는 단계로써, [5] Calculate altitude에서 계산된 태양의 고도와 이 단계에서 계산된 방위각을 통해 현재의 태양위치를 정확히 파악 할 수 있게 된다.

[12] **Data receive** :외부 환경을 측정하는 단계로써, 풍속계를 통하여 측정된 바람의 세기를 수신하고, 광센서를 통하여 측정된 태양광의 세기 정도를 수신한다.

[13] **Wind speed check** : 이 단계에서는 풍속의 세기가 기준값인 15m/s보다 클 경우에는 시스템의 안전을 위해 다음 단계로 [9] Rotate를 수행하게 되고, 그렇지 않을 경우에는 다음 단계로 [14] Light > reference를 수행하게 된다.

[14] **Light check** : 이 단계는 태양광의 세기를 판단하는 단계로써, 태양광 발전이 가능한 최소의 태양광의 세기를 그 기준값으로 하고, 태양광의 세기가 기준값보다 클 경우에는 태양광 발전이 이루어지므로 다음 단계로 [15] Tracking altitude를 수행하게 되고, 작을 경우에는 태양광 발전이 이루어지지 않으므로 태양 추적을 할 필요가 없어, 무한 루프의 초기 단계인 [4] Time check를 다음 단계로 수행하게 된다.

[15] **Tracking altitude** : 이 단계는 계산된 태양의 고도에 태양광 어레이의 방향이 수직이 되도록 추적하는 단계로써, 근접센서에서 감지되는 회전각 펄스 카운트에 의해 회전각을 제어하게 되는데, 1 펄스는 1도의 회전을 의미한다.

[16] **Tracking azimuth** : 이 단계는 앞서 계산된 태양의 방위각과 태양광 어레이

이의 방향이 수직을 이루도록 태양광 어레이의 방위각 회전축을 구동하여 태양을 추적하는 단계이며, 이 단계 역시 근접센서의 펄스 카운트에 의해 방위각 회전축의 회전정도를 제어하게 되고, 1펄스는 1도의 회전을 나타낸다. 이 단계를 마지막으로 1 사이클의 태양 추적 수행 단계가 완료가 되며, 다시 [4] Time check로 돌아가 새로운 사이클이 시작된다.

3.2 태양 위치 추적 시스템 구성

Fig. 3-6은 태양 위치 추적 시스템의 구성을 나타낸 것으로서, DGPS를 사용하여 태양 위치 추적 시스템 설치 지점의 정확한 위도와 경도 값을 산출하도록 하였고, 풍속계를 사용하여 바람의 세기를 측정할 수 있도록 하여 바람이 강하게 불 경우에는 태양광 어레이의 방향을 수평으로 제어하여 강풍의 영향을 최소화 하도록 구성하였다. 풍속계는 정확도가 그다지 높지 않아도 되어 자체 제작하였는데, 저가의 소형 직류 모터 축에 컵 형태의 바람개비를 달아 바람이 불면 소형 직류 모터에서 전기가 발생되도록 하였고, 실험을 통해 풍속 비교 기준값인 15m/s로 바람이 불 때 소형 직류 모터에서 출력되는 전압을 한계 풍속에 해당하는 전압으로 설정하였다.

광센서 역시 태양전지에서 발전 가능한 태양광의 세기만을 측정할 수 있으면 되므로 저가의 CdS Cell(Cadmium Sulfide Cell)을 사용하여 자체 제작하였다. CdS 셀은 광량에 따라 저항 값이 변하는 센서로 직류 5V를 CdS 셀에 인가하여 출력되는 전압을 측정하여 광량의 세기를 판단할 수 있도록 하였고, 실험을 통하여 최초 태양광 발전 시 측정된 값을 태양광 세기 판단 기준값으로 하였다.

싱글 보드 컴퓨터인 픽베이직 모듈(PBM-R5)을 사용하여 태양의 위치 계산은 물론 각종 제어 명령을 수행하도록 구성하였고, 시스템 회전 구동모터는 저가의 소형

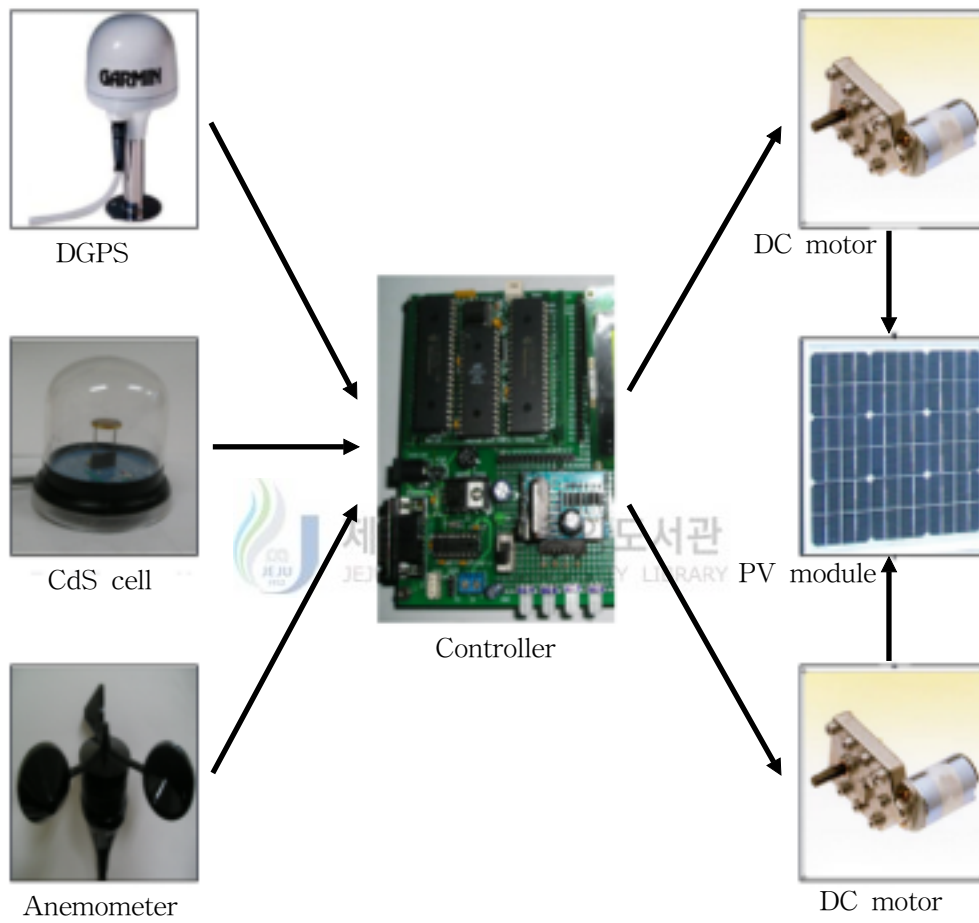


Fig. 3-6 System configuration

기어드 모터로 구성하였으며. 최대 출력 12W의 태양광 모듈을 고정판에 부착하여 태양광 발전을 할 수 있도록 구성하였다.

이러한 장비들을 프레임과 회전축, 베어링, 고정판 등에 고정하여 태양 위치 추적 시스템을 구성하였으며, 크게 구동부와 제어부로 나눌 수 있다.

3.2.1 구동부

태양 위치 추적 시스템의 구동부 모습은 Fig. 3-7과 같으며 구동부는 상부와 하부로 나누어지고, 상부에는 태양광 모듈, 풍속계, CdS 셀, 태양광 모듈 고정판, 수직방향 회전축, 회전축 고정용 지그베어링, 모터와 근접센서 그리고 워기어가 설치된 기어박스, 기어박스과 지그베어링이 고정되는 프레임으로 구성되며, 이렇게 설치된 태양광 어레이는 수직방향으로 360도 회전이 가능하도록 하였다. 구동부 하부는 상부의 하중을 견디고, 수평방향 회전을 용이토록 수평방향 회전축과 스톱베어링으로 일축 연결하였으며, 기어박스에는 모터와 근접센서, 워기어를 설치하였다.

Table 3-1은 태양 위치 추적 시스템에 사용된 재료의 사양을 나타낸 것으로써 무게를 줄이기 위해 상부의 태양광 모듈 고정판은 알루미늄 재질을 사용하였고, 수평축은 15mm 원형강을 사용하였다. 수직축은 35mm 원형강을 사용하였고, 프레임은 30mm 아연도금각관을 사용하였다. 기어는 기어비가 60:1인 워기어를 사용하였으며, 근접센서는 검출거리가 5mm인 NPN 타입으로 구성하였다.

Table 3-2는 태양광 모듈의 사양으로써 태양광 발전 최대 출력은 12.0W, 개방전압은 20.5V, 단락전류는 770mA, 동작전압은 17.0V, 동작전류는 720mA이다.

Table 3-3은 DGPS의 사양을 나타내고 있다. 작동 전원이 직류 8V에서 35V이고, RS-232 통신이 가능하며, 통신 속도는 9600bps인 DGPS를 사용하였다.



Fig. 3-7 Photograph of solar position tracking system

Table 3-1 Specifications of each part for solar position tracking system

	standard	material	remarks
Plate for fixed solar module	3T Flat sheet	Aluminium	Bending, Welding
Horizontal shaft	15 ϕ Round bar	Steel	Lathe processing
Vertical shaft	35 ϕ Round bar	Steel	Lathe processing
Jig bearing	Inside 15mm	Bearing steel	P204
Thrust bearing	Inside 35mm Outside 68mm	Bearing steel	51307
Frame	30 \times 30mm Square pipe	Steel	Zinc plating
Gear box	2T Flat sheet	Stainless steel	Bending, Welding
Gear	Worm gear	Aluminium	Gear ratio 60:1
Small geared motor	Power DC 12V RPM 5000rpm Current 0.16A	Steel	Gear ratio 741:1
Proximity sensor	Detecting distance 5mm	Plastic	NPN type

Table 3-2 Specifications of photovoltaic module

Maximum power (P_{max})	12.0W
Open-circuit voltage (V_{oc})	20.5V
Short-circuit current (I_{sc})	770mA
Operating voltage (V_{op})	17.0V
Operating current (I_{op})	720mA
Size	356×347×40mm
Frame material	Aluminium frame

Table 3-3 Specifications of DGPS



Power	Voltage	8-35 VDC
	Current Drain	95mA @ 12VDC
Frequency Range		283.5 - 325.0kHz @ 0.5kHz
Data Rates		200/100/50/25 BPS
Input		RS-232 or NMEA0183, 9600 bps
Input Sentences		Binary(Magnavox), \$PSLIB(Starlink)
Output		RS-232 9600 bps
Output Sentences		RTCM SC-104(6 of 8bit format) NMEA0183 version2.0

3.2.2 제어부

태양 위치 추적 시스템의 제어부는 싱글 보드 컴퓨터인 픽베이지 모듈(PBM-R5)을 사용하여 태양의 위치 계산은 물론 발전량 계산, 모터 제어, 풍속 계산, PC와의 RS-232C 데이터 통신 등 시스템의 모든 제어가 PBM-R5에서 이루어지도록 구성하였으며, 외부 환경 데이터 수신과 제어 명령 실행 등을 위한 전자 회로를 구성하였다.

제어부에는 태양 위치 추적 제어와는 별개로 발전되는 전력을 소비하고 발전량 측정을 위한 부하 회로를 Fig. 3-8과 같이 구성하였다. 저항은 5W 1ΩJ 1개와 병렬로 연결된 5W 10ΩJ 2개를 직렬로 연결하여 6Ω을 만들고, 이렇게 구성된 6Ω 4개를 직렬로 연결하여 24Ω을 만들었다. 이 24Ω 저항 회로 양 단에는 PV모듈에서 나오는 전원과 연결되도록 하였고 1개의 6Ω 양측의 전압을 측정하여 발전전압과 전류 그리고 발전량이 계산되도록 하였다. 여기서, V_1 는 R_1 으로 인한 전압강하량이고, V_2 는 R_2 로 인한 전압강하량이다. V_3 는 R_3 에 의한 전압강하량이고, V_4 는 R_4 에 의한 전압강하량이다.

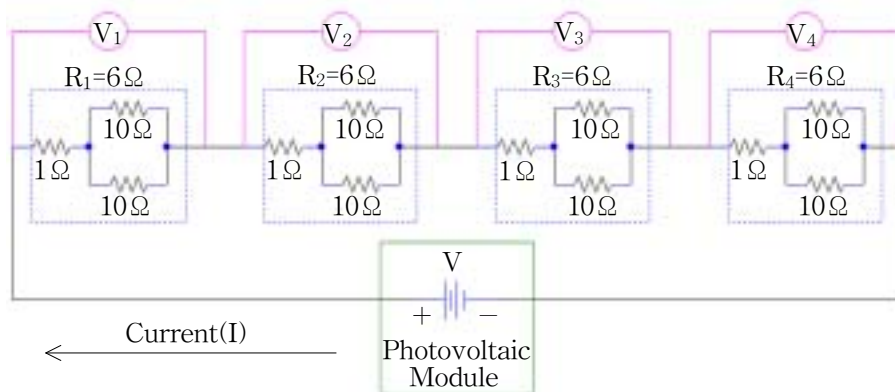


Fig. 3-8 Circuit diagram of load

발전전압은 각 저항에서의 전압강하량을 모두 더하여 구할 수 있는데 각 저항은 6Ω 으로 동일하므로 각각의 전압강하량은 다음과 같다.

R_1 에 의한 전압강하량 V_1 은,

$$V_1 = V \left\{ \frac{R_1}{(R_1 + R_2 + R_3 + F_4)} \right\} = \frac{V}{4} \quad (3-1)$$

R_2 에 의한 전압강하량 V_2 는,

$$V_2 = V \left\{ \frac{R_2}{(R_1 + R_2 + R_3 + F_4)} \right\} = \frac{V}{4} \quad (3-2)$$

R_3 에 의한 전압강하량 V_3 은,



$$V_3 = V \left\{ \frac{R_3}{(R_1 + R_2 + R_3 + F_4)} \right\} = \frac{V}{4} \quad (3-3)$$

R_4 에 의한 전압강하량 V_4 는,

$$V_4 = V \left\{ \frac{R_4}{(R_1 + R_2 + R_3 + F_4)} \right\} = \frac{V}{4} \quad (3-4)$$

이다. 전압강하량이 모두 $V/4$ 임을 알 수 있다. 따라서 R_1 에서의 전압강하량 V_1 만 측정하고도 전체 발전전압을 계산 할 수 있고 그 계산식은 (3-5)식과 같다.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 4V_1 \quad (3-5)$$

발전전류는 발전전압을 전체 저항으로 나누어 계산할 수 있는데 식으로 나타내

면 (3-6)식과 같다.

$$I = \frac{V}{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)} = \frac{V}{4R_1} = \frac{4V_1}{4R_1} = \frac{V_1}{R_1} \quad (3-6)$$

따라서 발전량은 전압과 전류를 곱한 값이므로 (3-7)식으로 나타낼 수 있다

$$W = V \cdot I = 4V_1 \cdot \frac{V_1}{R_1} = 4\frac{V_1^2}{R_1} \quad (3-7)$$

저항의 발열량은 흐르는 전류의 제곱에 저항을 곱한 값이다. 각 저항이 6Ω으로써 동일하므로 전체 저항의 발열량은 (3-8)식과 같다.

$$I^2 \cdot R = 4R_1 \cdot I^2 = 4R_1 \cdot \left(\frac{V_1}{R_1}\right)^2 = 4\frac{V_1^2}{R_1} \quad (3-8)$$

태양광 발전량 계산식 (3-7)식과 저항의 발열량 계산식 (3-8)식을 비교하면 서로 같다는 것을 알 수 있다. 이는 발전되는 전력이 저항의 발열로 모두 소비되는 것을 의미한다.

Fig. 3-9는 PBM-R5, 모터 드라이브, RS-232 커넥터, LCD 모듈, 데이터 수집 포트 및 각종 전자 부품 등으로 구성된 제어기 모습이며, Table 3-4는 PBM-R5의 사양이다.



Fig. 3-9 Controller of solar position tracking system

Table 3-4 Specifications of PBM-R5

Main Chip	PIC16F877
Oscillation Frequency	20MHz
Program Memory	64K byte
Data Memory	32K byte
EEPROM	32K byte
I/O Port	34
A/D Channel	8(10bit), 2(12bit)
PWM Port	2(10bit)

IV. 실험결과 및 고찰

본 연구의 실험은 태양의 위치 계산 알고리즘 평가와 시스템의 실제 태양 위치 추적 제어 성능 평가 그리고, 태양 위치 추적 태양광 발전 시스템의 발전 성능 평가를 위하여 실시되었다.

본 실험은 태양 위치 추적 시스템과 고정식 시스템을 같은 시간, 같은 장소에 설치하여 수행하였고, 설치 지점의 위치는 동경 126.5499도, 북위 33.4499도이다. 태양 위치 추적 시스템은 태양광 어레이의 방위각 0도 방향을 정북방향으로 맞추어 설치하였으며, 고정식 시스템은 정남방향으로 설치 지점을 기준으로 하였을 때 태양광의 동지 때의 입사각인 57도와 연평균 입사각인 33도로 설치하여 각각 6일씩 12일간 실시하였다.

Fig. 4-1은 건물 옥상 위 같은 장소에 설치된 태양 위치 추적 시스템과 고정식 시스템을 보여주고 있고, Fig. 4-2는 제어기 모습을 보여주고 있다. 제어기에는 LCD를 설치하여 현재시각과 현재 태양의 위치, 고정식과 추적식의 발전량을 현장에서 확인 할 수 있도록 되어 있다.

태양 위치 추적 시스템의 제어기 전원은 발전량 비교 시 같은 조건을 주기 위해 태양전지에서 발전되는 전력을 사용하지 않고, 외부 전원을 사용하였으며 고정식과 추적식 모두 발전되는 전력은 저항의 발열로 소비되도록 하였다. 고정식과 추적식 모두 같은 사양의 12W 태양광 모듈을 사용하였으며 태양광 모듈 1개에서 발전되는 발전량을 측정하였다. 실험 데이터는 제어기와 PC간 RS-232 통신을 통하여 1일 단위로 오전 6시부터 일몰 후까지 5초마다 수집하였다.



Fig. 4-1 Tracking system and fixed module system



Fig. 4-2 Controller

Fig. 4-3은 태양 위치 추적 시스템의 제어기와 PC 간 RS-232 통신을 통한 데이터 모니터링 화면을 보여주고 있고, 한 번 수신 될 때의 데이터 항목을 적색 부분으로 나타내었다. 데이터 수신 순서별 항목 및 그 의미는 Table 4-1과 같고, 태양 위치 추적 프로그램에서 계산된 고도는 (4-1)식과 같고, 방위각은 (4-2)식과 같다.

$$h_{cal} = aa + \frac{bb}{100} + \frac{cc}{10000} \quad (4-1)$$

$$A_{cal} = ff \times 255 + gg + \frac{ii}{100} + \frac{jj}{1000} \quad (4-2)$$

태양광 어레이가 실제로 제어된 고도는 ee 이고, 방위각은 (4-3)식과 같다.

$$A_{con} = kk \times 255 + nn \quad (4-3)$$

1	31	72	47	1	32	1	4029	0	15	2	57	2	18	16	0
15	4	39	15	1	31	84	63	1	32	0	4031	0	15	2	59
2	18	16	5	15	4	39	15	1	31	84	63	1	32	0	4031
0	15	2	59	2	18	16	10	15	4	39	15	1	31	84	63
1	32	2	4032	0	15	2	61	2	18	16	15	15	4	39	15
1	31	84	63	1	32	0	4030	0	15	2	63	2	18	16	20
15	4	39	15	1	31	84	63	1	32	1	4033	0	15	2	65
2	18	16	25	15	4	39	15	1	31	84	63	1	32	1	4028
0	15	2	66	2	18	16	30	15	4	39	15	1	31	84	63
1	32	2	4032	0	15	2	65	2	18	16	35	15	4	39	15
1	31	84	63	1	32	1	4032	0	15	2	65	2	18	16	40
15	4	39	15	1	31	84	63	1	32	0	4027	0	15	2	65
2	18	16	45	15	4	39	15	1	31	84	63	1	32	3	4031
0	15	2	62	2	18	16	50	15	4	39	15	1	31	84	63
1	32	2	4031	0	15	2	61	2	18	16	55	15	4	39	15
1	31	84	63	1	32	0	4029	0	15	2	58	2	18	17	0
14	84	44	15	1	31	96	80	1	32	2	4029	0	14	2	59
2	18	17	5	14	84	44	15	1	31	96	80	1	32	2	4032
0	14	2	58	2	18	17	10	14	84	44	15	1	31	96	80
1	32	1	4028	0	14	2	57	2	18	17	15	14	84	44	15
1	31	96	80	1	32	0	4026	0	14	2	56	2	18	17	20
14	84	44	15	1	31	96	80	1	32	0	4026	0	14	2	54
2	18	17	25	14	84	44	15	1	31	96	80	1	32	1	4025
0	14	2	53												

Fig. 4-3 Data monitoring Screen

Table 4-1 Data list from controller

Number	List	Meaning	Unit
1	<i>dd</i>	day	
2	<i>hh</i>	hour	
3	<i>mm</i>	minute	
4	<i>ss</i>	second	
5	<i>aa</i>	part of integer for altitude by calculation	1degree
6	<i>bb</i>	part of decimal for altitude by calculation	0.01degree
7	<i>cc</i>	part of decimal for altitude by calculation	0.0001degree
8	<i>ee</i>	pulse counting number of proximity sensor for altitude	1degree
9	<i>ff</i>	part of integer for azimuth by calculation	255degree
10	<i>gg</i>	part of integer for azimuth by calculation	1degree
11	<i>ii</i>	part of decimal for azimuth by calculation	0.01degree
12	<i>jj</i>	part of decimal for azimuth by calculation	0.0001degree
13	<i>kk</i>	pulse counting number of proximity sensor for azimuth	255degree
14	<i>nn</i>	pulse counting number of proximity sensor for azimuth	1degree
15	<i>pp</i>	wind speed	1m/s
16	<i>qqqq</i>	A/D transforming number of CdS cell	
17	<i>rr</i>	part of integer for power by fixed module system	1W
18	<i>tt</i>	part of decimal for power by fixed module system	0.01W
19	<i>uu</i>	part of integer for power by tracking system	1W
20	<i>vv</i>	part of decimal for power by tracking system	0.01W

4.1 태양 위치 추적 결과 및 고찰

태양 위치 계산 알고리즘과 시스템의 태양 추적 제어 평가를 위해 한국천문연구원(Korea Astronomy & Space Science Institute, KASSI)에서 제공되는 동경 126.5499도, 북위 33.4499도에서의 태양의 고도와 방위각 데이터를 기준데이터로 사용하였으며, 이 데이터의 오차는 1분 이내이다.

Fig. 4-4는 시간경과에 따른 태양의 고도 변화를 나타낸 그래프로, 파란색 그래프는 한국천문연구원에서 제공되는 데이터를 나타내고 있고, 빨간색 그래프는 제어기의 태양위치계산 프로그램에서 계산된 데이터를 나타내고 있다. 녹색 그래프는 실제 태양광 어레이의 제어 회전각을 나타내고, 분홍색 그래프는 위치 제어 평가 실험 당시 태양전지의 발전량 데이터를 나타낸 것이다. 빨간색 그래프는 파란색 그래프와 거의 일치 하고 있고, 녹색 그래프는 오전 6시부터 오전 7시 30분경까지와 저녁 6시 50분경부터 저녁 7시까지의 파란색 그래프와 큰 차이를 보이고 있는데, 분홍색 그래프를 보면 그 이유를 알 수 있다. 분홍색 그래프는 발전량 그래프로 녹색 그래프와 청색 그래프가 큰 차이가 나는 시간대에서는 발전량이 없음을 알 수 있다. 따라서 태양광의 세기가 발전 가능한 기준값 보다 작으면 태양 추적을 정지하는 기능이 작동한 것임을 알 수 있다.

파란색 그래프와 빨간색 그래프가 쉽게 구별될 수 있도록 Fig. 4-4를 부분 확대하여 Fig. 4-5와 Fig. 4-6에 나타내었다. Fig. 4-5는 Fig. 4-4의 그래프 구간 중 남중 시각이 포함된 12시에서 13시까지 구간을 확대한 것이고, Fig. 4-6은 18시 40분에서 19시 10분까지 구간을 확대한 것이다.

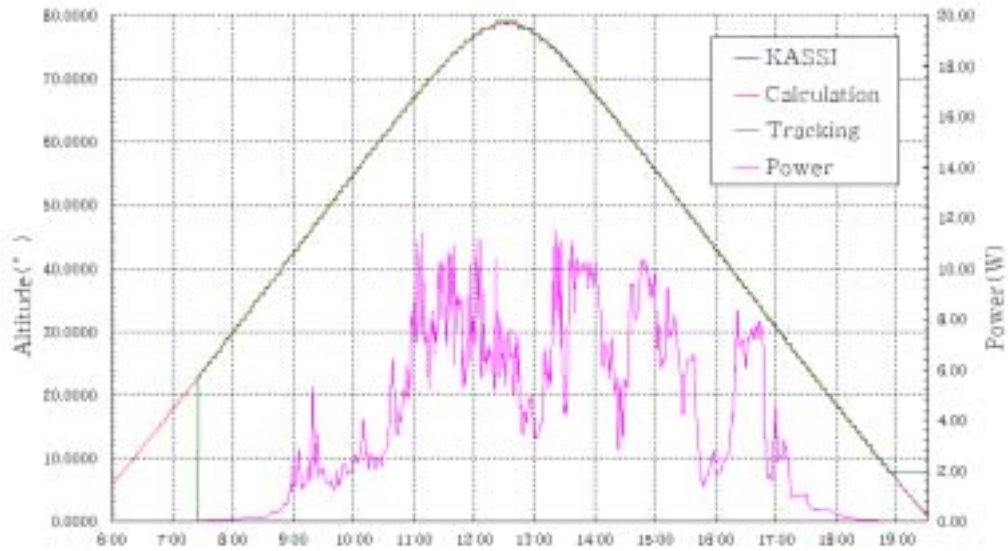


Fig. 4-4 Comparison of altitude for KASSI, calculation and tracking system

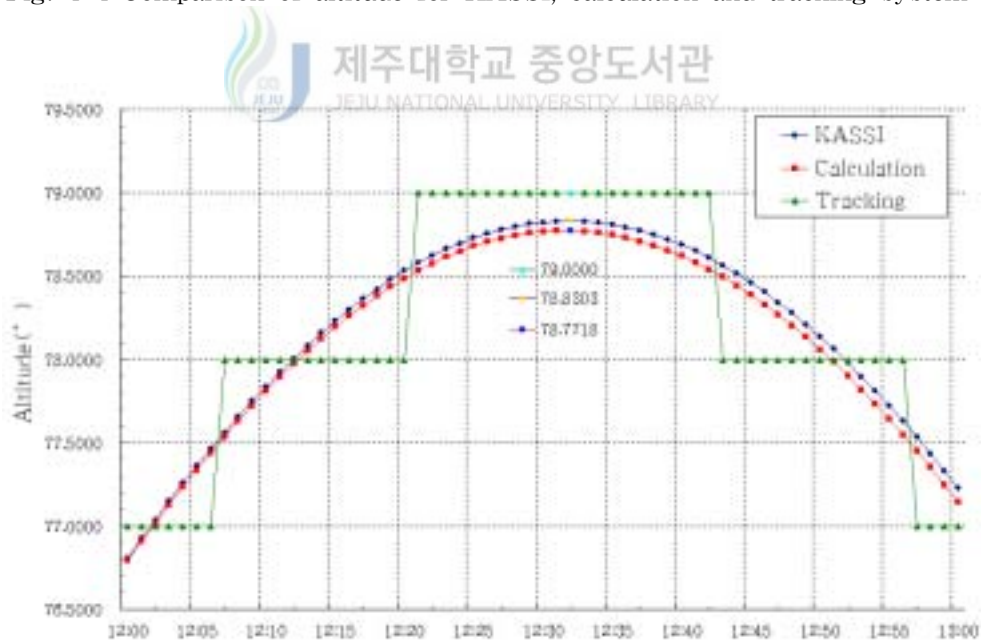


Fig. 4-5 Enlarged graph of Fig. 4-4 at 12:00~13:00

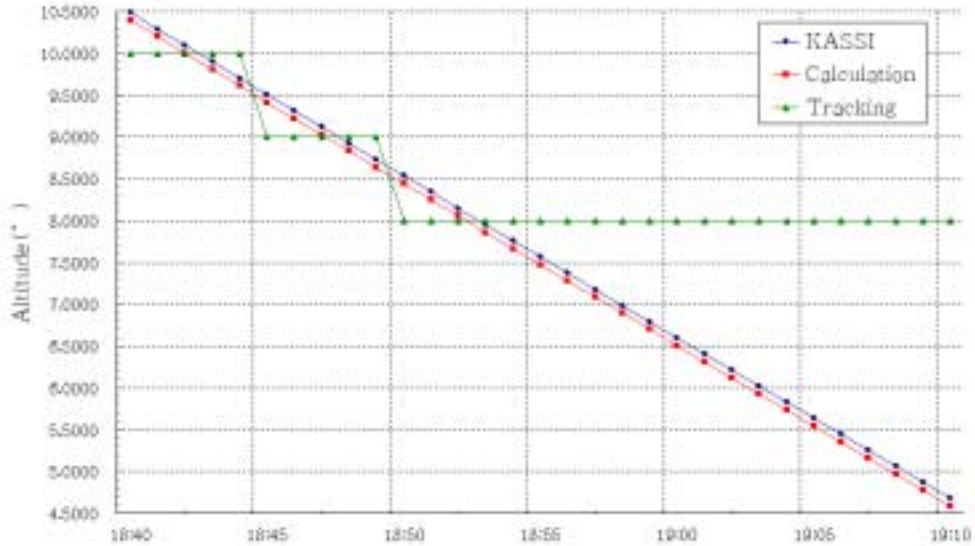


Fig. 4-6 Enlarged graph of Fig. 4-4 at 18:40~19:10

Fig. 4-5의 그래프 중 녹색 그래프는 그 값이 1도씩 변화고 있는데, 빨간색 그래프와 비교하면 빨간색 데이터 값의 소수부가 0.5에 가까울수록 그래프의 차이가 많이 남을 알 수 있다. 이것은 회전각 제어를 근접센서를 통해 1도씩 제어하도록 되어 있어서 프로그램에서 계산 된 값을 반올림하여 반올림된 값을 기준으로 회전각을 제어했기 때문이다. 남중고도는 각각 78.8303도, 78.7718도, 79.0000도로 남중고도의 오차는 ± 1 도 이내임을 알 수 있다. Fig. 4-6의 녹색 그래프는 18시 50분 이후부터는 값이 일정하게 유지되고 있는 것을 확인 할 수 있다. 이는 태양광의 세기가 기준값 보다 작아졌기 때문에 태양 추적을 하지 않아 지금 까지 추적된 위치에 그대로 있기 때문이다.

고도 데이터의 비교는 6시에서 19시 30분사이 분 단위로 비교하였으며, 실제 제어된 회전각 데이터는 태양광 발전이 시작되는 시각부터 발전이 종료되는 시각까

지의 데이터만을 비교하였다.

기준 고도와 태양의 위치 계산 프로그램에서 계산되어진 고도를 비교하면 최대 오차가 ± 0.09350 도이고, 프로그램에서 계산되어진 데이터를 기준으로 실제 제어된 회전각 데이터를 비교하면 최대오차가 ± 0.49980 도이다. 한국천문연구원의 기준 고도와 실제 제어된 고도 회전각과의 최대오차는 ± 0.58410 도이다.

Fig. 4-7은 시간경과에 따른 태양의 방위각 변화를 나타낸 그래프로, 파란색 그래프는 한국천문연구원에서 제공되는 데이터를 나타내고 있고, 빨간색 그래프는 제어기의 태양위치계산 프로그램에서 계산된 데이터를 나타내고 있다. 녹색 그래프는 실제 태양광 어레이가 제어된 회전각을 나타내고, 분홍색 그래프는 위치 제어 평가 실험 당시 태양전지의 발전량 데이터를 나타낸 것이다. 고도 그래프와 마찬가지로 방위각 그래프에서도 역시 태양광 발전이 이루어지지 않을 때는 태양 추적을 정지하고 있음을 확인 할 수 있다. 그래프가 좀더 쉽게 구별될 수 있도록 Fig. 4-7를 부분 확대하여 Fig. 4-8와 Fig. 4-9에 나타내었다. Fig. 4-8은 Fig. 4-7의 그래프 구간 중 남중 시각이 포함된 12시 30분에서 12시 40분까지 구간을 확대한 것이고, Fig. 4-9는 18시 35분에서 19시까지 구간을 확대한 것이다. 방위각 그래프 역시 고도 그래프와 같은 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

방위각 데이터 비교 역시 6시에서 19시 30분 사이 분 단위로 비교하였으며, 실제 제어된 회전각 데이터는 태양광 발전이 시작되는 시각부터 발전이 종료되는 시각까지의 데이터만을 비교하였다.

한국천문연구원의 기준 방위각과 태양의 위치 계산 프로그램에서 계산되어진 방위각을 비교하면 최대오차가 ± 0.39770 도이고, 프로그램에서 계산되어진 방위각을 기준으로 실제로 제어된 회전각을 비교하면 최대오차가 ± 0.49980 도이다. 한국천문연구원의 기준 방위각과 실제로 제어된 회전각과는 최대오차가 ± 0.86990 도이다.

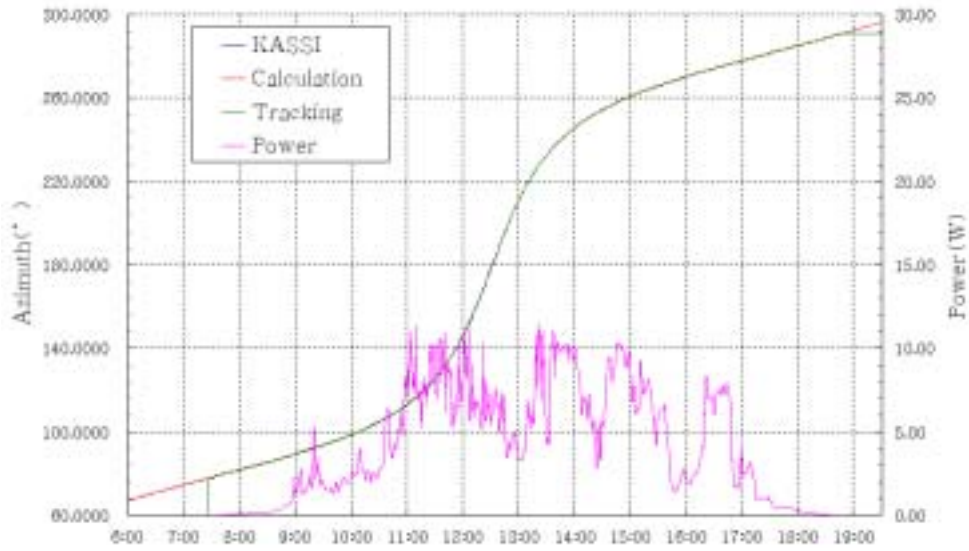


Fig. 4-7 Comparison of azimuth angles for KASSI, calculation and tracking system

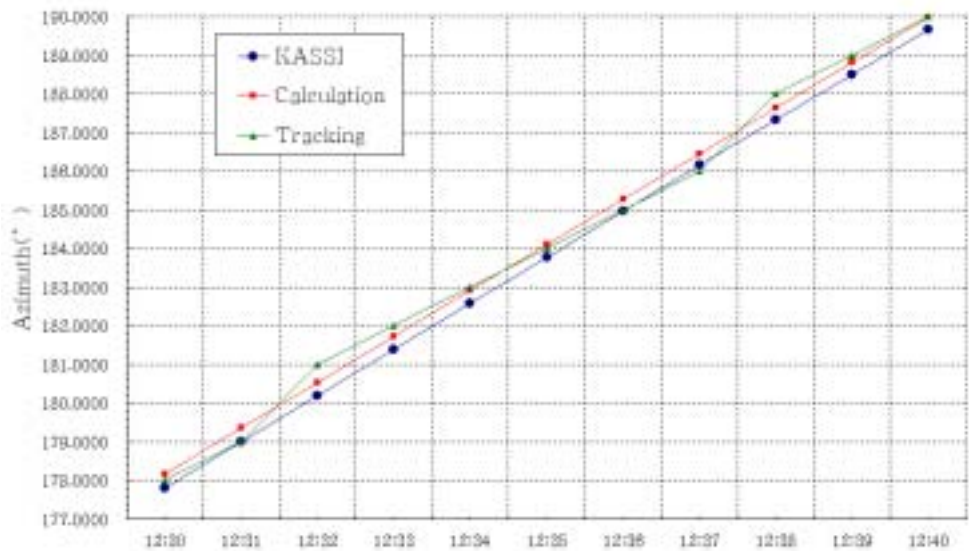
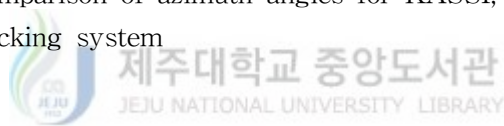


Fig. 4-8 Enlarged graph of azimuth angles in Fig. 4-7 at 12:30~12:40

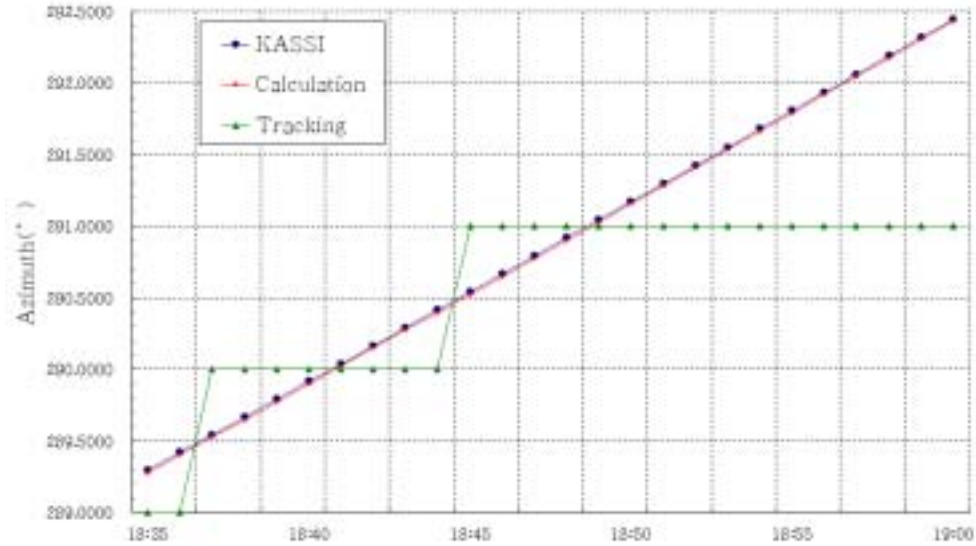


Fig. 4-9 Enlarged graph of azimuth angles in Fig. 4-7 at 18:35~19:00

4.2 발전 성능 평가 결과 및 고찰

12일간의 발전 성능 평가 실험 결과를 Fig. 4-10에서 Fig. 4-13에 나타내었다. 각 그래프는 6시부터 19시까지 순간 발전량을 5초 단위로 나타내었으며, 그래프의 두 곡선 중 위쪽의 곡선은 태양 위치 추적 시스템의 태양광 발전량을 나타내고, 아래쪽의 곡선은 고정식 시스템의 발전량을 나타낸 것이다. Fig. 4-10과 Fig. 4-11은 고정식 시스템의 설치 각을 57도로 하였을 때의 그래프이고, Fig. 4-12와 Fig. 4-13은 설치 각을 33도로 하였을 때의 그래프이다. Fig. 4-10은 맑은 날의 발전량 그래프이고, Fig. 4-11은 아침에는 흐렸다가 점차 날씨가 좋아진 날의 그래프이다. Fig. 4-12는 아침과 저녁에 구름이 조금 있었으나 대체로 맑은 날의 그래프이고, Fig. 4-13은 구름이 많이 낀 날의 그래프이다.

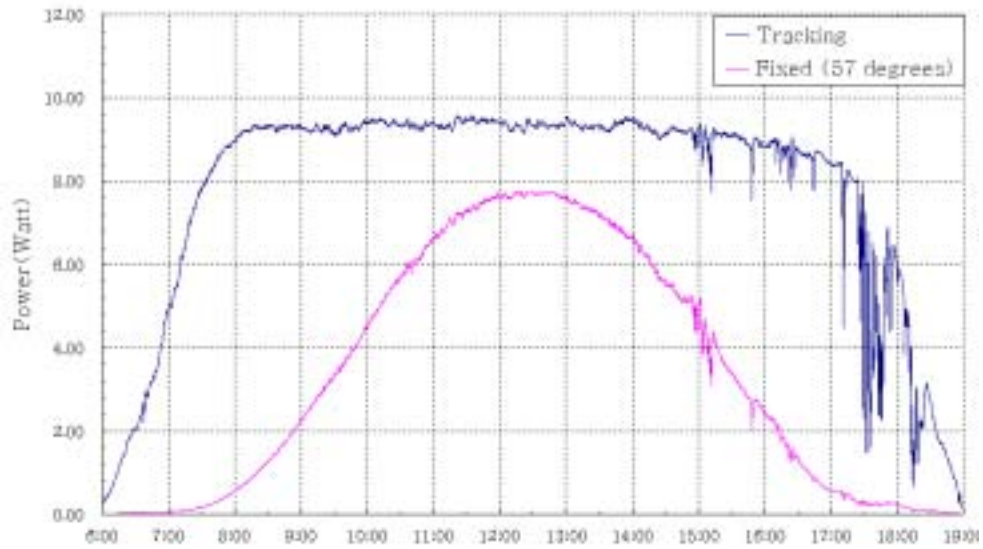


Fig. 4-10 Results of power generation for sunny day

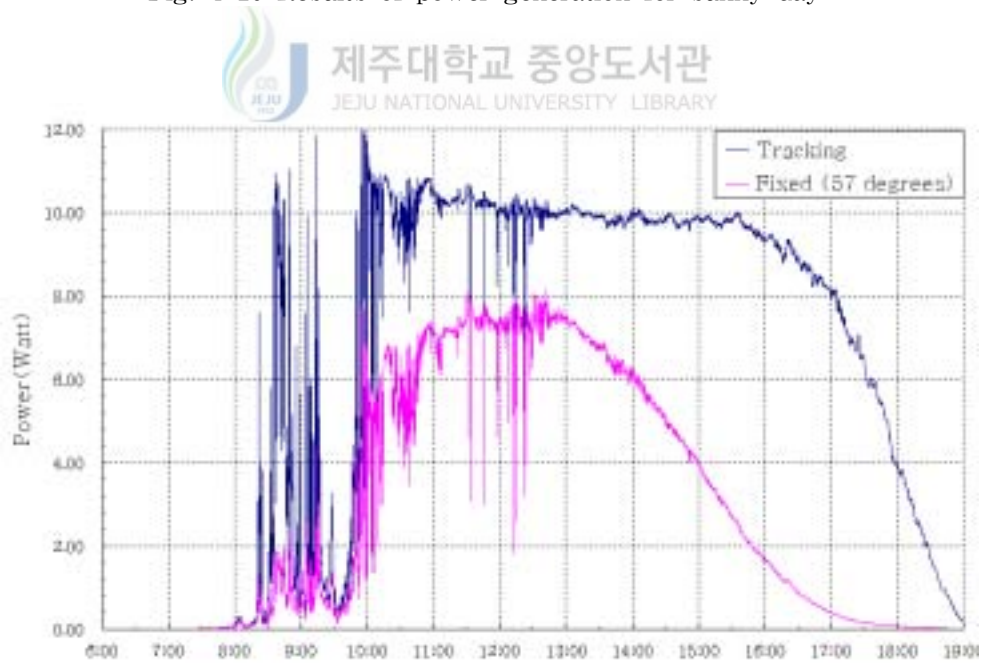


Fig. 4-11 Results of power generation for parting cloudy day

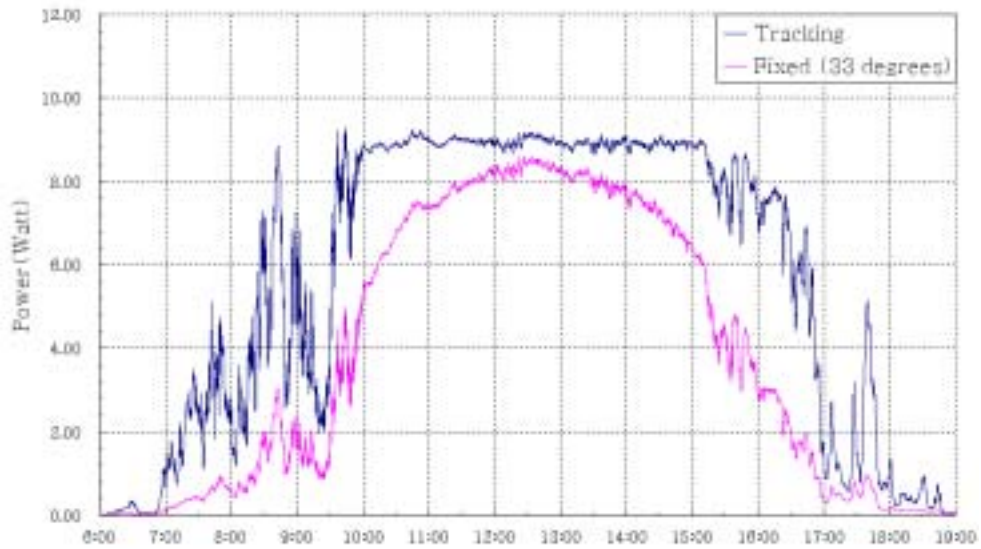


Fig. 4-12 Results of power generation for generally clear day

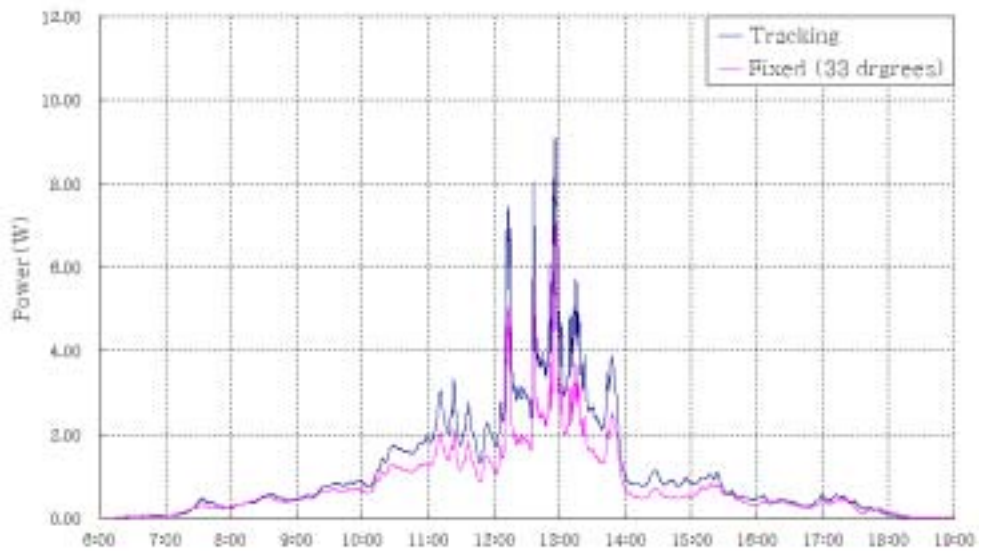


Fig. 4-13 Results of power generation for most cloudy day

Table 4-2와 Table 4-3은 12일간의 실험 데이터를 각각 고정식 설치 각을 57도로 하였을 때와 33도로 하였을 때로 나누어 각 실험일자별 추적식과 고정식의 누적 발전량과 평균발전량을 기록한 것이다.

Table 4-4는 고정식 설치 각을 57도로 하였을 때의 추적식과 고정식 발전량을 날짜에 상관없이 시간대별로 총 합산하여 추적식과 고정식의 시간대별 누적발전량과 그 차이를 나타낸 것으로써 오전에는 8시와 9시 사이가 22,958W로 발전량 차이가 제일 컸으며, 오후에는 4시와 5시 사이가 22,795W로 발전량 차이가 제일 컸다.

Table 4-5는 고정식 설치 각을 33도로 하였을 때의 추적식과 고정식 발전량을 날짜에 상관없이 시간대별로 총 합산하여 추적식과 고정식의 시간대별 누적발전량과 그 차이를 나타낸 것으로써 오전에는 8시와 9시 사이가 8,473W로 발전량 차이가 제일 컸으며, 오후에는 4시와 5시 사이가 17,299W로 발전량 차이가 제일 컸다.



Table 4-2 Summary of the experimental results (Installation angle for fixed system: 57°)

Date	Power generation quantity (units : W)				(Tracking/ fixed)×100 (%)
	Accumulation		Mean		
	Fixed	Tracking	Fixed	Tracking	
2006/5/20	26,119	63,704	2.79	6.81	244
2006/5/23	27,250	59,102	2.91	6.31	217
2006/5/24	28,044	64,231	3.00	6.86	229
2006/5/25	16,997	31,271	1.82	3.34	184
2006/5/30	31,314	72,914	3.35	7.79	233
2006/5/31	30,196	70,274	3.23	7.51	233
Mean					226

Table 4-3 Summary of the experimental results (Installation angle for fixed system : 33°)

Date	Power generation quantity (units : W)				(Tracking/ fixed)×100 (%)
	Accumulation		Mean		
	Fixed	Tracking	Fixed	Tracking	
2006/6/1	7,289	10,353	0.78	1.11	142
2006/6/3	17,779	34,575	1.90	3.70	194
2006/6/4	16,808	32,692	1.80	3.49	194
2006/6/5	37,712	64,089	4.03	6.85	170
2006/6/6	36,535	54,207	3.90	5.80	148
2006/6/7	35,681	53,016	3.81	5.66	149
Mean					164

Table. 4-4 Accumulative power generation quantity according to time when the installation angle of the fixed system is 57°

Time zone	Accumulative Power generation quantity (units : W)		
	Fixed	Tracking	Tracking - Fixed
06:00 ~ 07:00	136	6,065	5,929
07:00 ~ 08:00	866	18,634	17,768
08:00 ~ 09:00	4,442	27,400	22,958
09:00 ~ 10:00	11,863	33,784	21,921
10:00 ~ 11:00	22,300	39,558	17,258
11:00 ~ 12:00	28,474	40,410	11,936
12:00 ~ 13:00	30,010	40,477	10,467
13:00 ~ 14:00	27,875	39,729	11,854
14:00 ~ 15:00	18,749	34,803	16,055
15:00 ~ 16:00	10,369	32,814	22,445
16:00 ~ 17:00	3,815	26,610	22,795
17:00 ~ 18:00	849	16,479	15,630
18:00 ~ 19:00	172	4,733	4,561

Table 4-5 Accumulative power generation quantity according to time when the installation angle of the fixed system is 33°

Time zone	Accumulative Power generation quantity (units : W)		
	Fixed	Tracking	Tracking - Fixed
06:00 ~ 07:00	139	2,035	1,896
07:00 ~ 08:00	1,111	7,846	6,736
08:00 ~ 09:00	3,930	12,404	8,473
09:00 ~ 10:00	7,700	14,243	6,544
10:00 ~ 11:00	15,196	20,959	5,764
11:00 ~ 12:00	23,065	28,511	5,446
12:00 ~ 13:00	27,184	32,014	4,830
13:00 ~ 14:00	25,703	30,967	5,265
14:00 ~ 15:00	22,048	29,385	7,337
15:00 ~ 16:00	15,203	27,177	11,974
16:00 ~ 17:00	7,897	25,196	17,299
17:00 ~ 18:00	2,314	14,572	12,258
18:00 ~ 19:00	316	3,622	3,306

Fig. 4-14와 Fig. 4-15는 각각 Table 4-4와 Table 4-5의 추적식과 고정식의 누적 발전량 및 발전량 차이를 시간대 별 그래프로 나타낸 것이다.

결과 그래프와 각 Table에서 알 수 있듯이 고정식 태양광 발전 시스템의 경우 설치 각도에 따라 발전량 차이를 보여, 날씨에 따라 겨울철 입사각인 57도로 설치하였을 때 보다 연평균 입사각인 33도로 설치하였을 때가 더 높게 나타났고, 태양 위치 추적 시스템의 발전량은 고정식 시스템의 발전량 보다 현저히 높게 나오고 있음을 확인 할 수 있었다. 그 정도는 고정식 설치 각을 57도로 하였을 때는 고정식 시스템의 발전량에 비해 최소 154%, 최대 244%, 평균 223%로 나타났고, 고정식 설치 각을 33도로 하였을 때는 최소 142%, 최대 194%, 평균 164%로 나타났다. 따라서 태양광발전효율개선효과는 고정식 시스템의 설치 각에 따라 57도일 경우에는 평균 123%의 효율개선효과를 가져왔고, 33도일 경우에는 평균 64%의 효율개선효과를 보였다. 시간대 별 분석에서는 남중시각에서의 발전량의 차이가 제일 적었고, 오전은 8시에서 9시, 오후는 4시에서 5시 사이가 가장 많은 차이를 보였다.

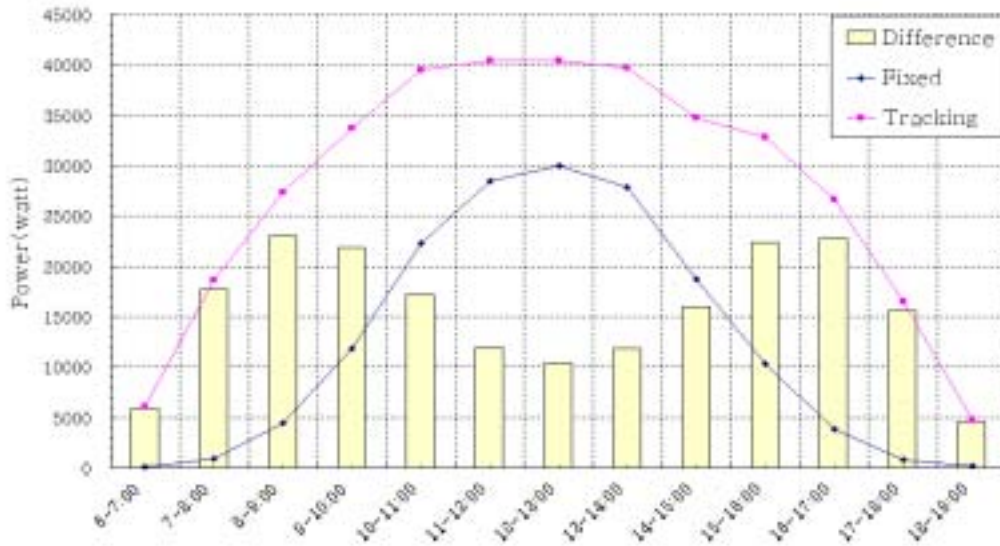


Fig. 4-14 Difference of power generation for tracking and fixed system (Installation angle for fixed system : 57°)

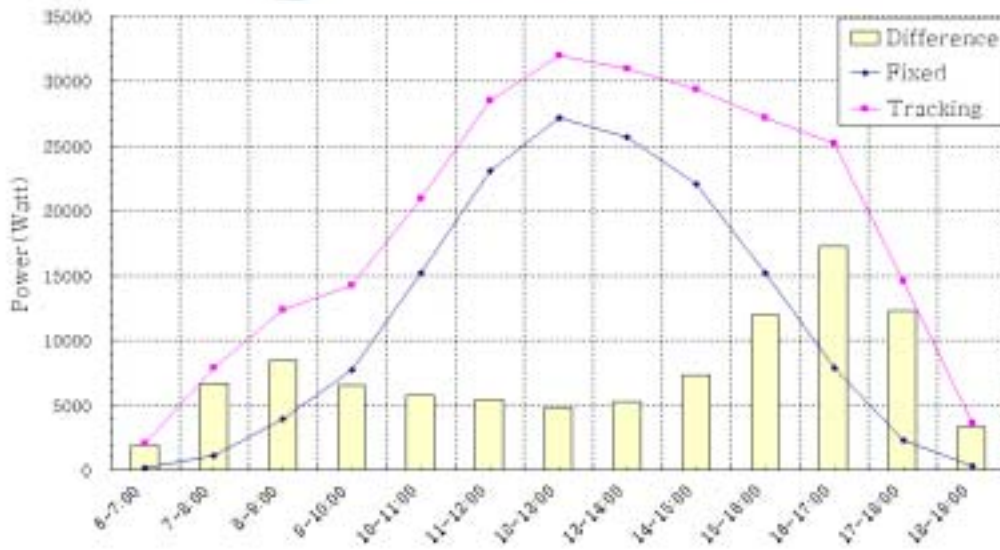


Fig. 4-15 Difference of power generation for tracking and fixed system (Installation angle for fixed system : 33°)

V. 결론

최근 에너지 수요 증대와 석유 자원의 고갈, 화석연료의 공해물질로 인한 환경의 직접적인 오염, 지구 온난화 및 기후변화협약과 교토의정서 등 환경규제에 관련한 국제 규약 등으로 석유를 대체할 수 있고, 환경친화적인 새로운 대체 에너지 개발이 절실히 요구되고 있다. 태양광 발전은 태양전지를 이용하여 무한정 무공해의 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 기술이다. 따라서 대기오염이나 소음이 없고, 에너지원의 고갈 염려가 없으며, 태양광이 닿는 곳이면 어디서든지 발전 가능하고, 연료 공급 없이 20년 이상 사용 가능하여 대체에너지로 각광받고 있다. 그러나 태양광 발전의 핵심인 태양전지의 가격이 고가여서 일반 보급이 어려운 실정이다. 따라서 태양광 발전의 일반 보급 활성화를 위하여 태양광 발전효율 개선 방안 연구가 필요하고, 그 일환으로 수행된 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 태양광 발전 시스템의 발전 효율을 높이기 위한 기술의 한 방안으로 연중 변화하는 태양의 위치를 추적하며 태양광 발전을 하는 저가형의 태양 위치 추적 시스템을 개발 하였다.
2. 저가의 광센서와 풍속계를 이용하여 발전가능시만 구동함으로써 불필요한 모터 구동을 최소화 할 수 있었고, 강풍이 불 때에 태양광 어레이를 수평 위치로 유지함으로써 시스템을 보호 할 수 있었으며, 부가적인 브레이크 시스템 사용 없이도 외란에 대해 충분히 강하였다.

3. 태양 위치 추적 시스템의 핵심인 태양 추적 제어는 평균오차 0.02950도, 표준편차 0.29465도의 오차로 태양의 고도를 추적하였으며, 평균오차 -0.08912도, 표준편차 0.31100도의 오차로 태양의 방위각을 추적하였음을 실험을 통하여 확인하였다.

4. 고정식 태양광 발전 시스템에 대한 태양 위치 추적 시스템의 태양광 발전은 겨울철 입사각을 기준으로는 최고 144%, 평균123%의 향상을 보였고, 연평균 입사각 기준으로는 최고 94%, 평균 64%의 향상을 보였다.

5. 본 연구에서 개발된 태양 위치 추적 시스템의 효과는 오전 8시에서 9시, 오후 4시에서 5시 사이에서 가장 큰 것으로 나타났고, 이후 실용화 연구를 통하여 태양광 발전 시스템 보급에 큰 역할을 할 것이라 기대된다.



VI. 참고문헌

- [1] 윤경훈, 2004, “태양광 기술 현황,” 한국에너지기술연구원 태양전지연구센터, 대전, pp. 2~14.
- [2] 이양규, 2003, “태양 위치 추적기를 이용한 독립형 태양광 발전시스템의 효율개선,” 전남대학교 석사학위논문, pp. 1~10.
- [3] 백남춘, 정명웅, 김은일, 김미선, 박완순, 2003, “자연에너지의 활용,” 한국에너지기술연구원, 대전, pp. 49~72.
- [4] Bretagnon, P. and Francou, G., 1988, “Planetary theories in rectangular and apherical variables - VSOP 87 solutions,” *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 202, No. 1-2, pp. 309~315.
- [5] Bretagnon, P., 1982, “Theory for the motion of all the planets - The VSOP 82 solution,” *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 114, No. 2, pp. 278~288.
- [6] Scott Birney, D., 1988, “관측천문학,” 미리내, 서울, pp. 11~21.
- [7] 김희수, 2004, “관측천문학,” (주)도서출판 북스힐, 서울, pp. 2~8.
- [8] 건설교통부 국립지원, 1991, “測地天文測量,” 건설교통부, 경기, pp. 5~7.
- [9] Soteris, A. K., 1996, “Design and Construction of a One-Axis Sun-Tracking System,” *Solar Energy*, Vol. 57, No. 6, pp. 465~469.
- [10] Veerachary, M. and Yadaiah, N., 2000, “ANN Based Peak Power Tracking for PV Supplied DC motors,” *Solar Energy*, Vol. 69, No. 4, pp. 343~350.
- [11] Meeus, J., 1998, “Astronomical Algorithms,” William-Bell, Richmond, pp. 20~130.

- [12] Michalsky, J. J., 1998, "The astronomical almanac's algorithm for approximate solar position(1950-2050)," *Solar Energy*, Vol. 40, No. 3, pp. 227~235.
- [13] Klucher, T. M., 1979, "Evaluation of Models to Predict Insolation on Tilted Surfaces," *Solar Energy*, Vol. 23, No. 2, pp. 111~114.
- [14] Walraven, R. 1978, "Calculating the position of the sun," *Solar Energy*, Vol. 20, No. 3, pp. 393~397.



감사의 글

굳은 각오와 결심을 안고 대학원 생활을 멋지게 보내고자 했지만, 초심을 잃고 바쁘다는 핑계로 최선을 다하지 못한 것 같아 무척 아쉽습니다. 이러한 저를 여기까지 올 수 있도록 많은 지도와 충고, 그리고 아낌없는 격려를 보내주신 주위 분들에게 감사의 마음을 전하고자 합니다.

누군가 저에게 이런 말을 하셨습니다. “세상에 태어나 자기 이름을 걸고 처음으로 내놓는 책이 바로 논문이다.”라고... 이러한 가르침으로 대학원 생활을 무난히 마칠 수 있도록 옆에서 지도해 주신 우리 임종환 교수님께 제일 먼저 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 보잘 것 없는 저를 여기까지 이끌어 주시느라 얼마나 힘들었겠습니까? 교수님 정말 감사합니다. 교수님의 가르침 오래도록 간직하겠습니다. 항상 묵묵히 많은 지도를 해주신 권기린 교수님, 저를 보면 항상 격려의 말씀을 한 마디씩 해주신 김귀식 교수님, 풍력에 대해서라면 시간 가는 줄 모르게 말씀하시는 허종철 교수님, 항상 온화한 미소로 저를 대해주시는 현명택 교수님, 언제나 웃음을 잃지 않으시는 정동원 교수님, 저의 논문을 심사하시느라 고생하신 박윤철 교수님 정말 감사합니다. 저의 연구에 많은 지도와 관심을 보여주신 조경호 교수님, 최경현 교수님, 선배이자 스승이신 강철웅 교수님, 그리고 김상재 교수님께도 깊은 감사의 마음을 전합니다. 또한 우리 지능로봇실험실의 대장로봇 승균이 형, 대장로봇의 빈틈을 노리고 있는 재철이 형, 지금은 사업가로 일에 열심인 민호 형과 상철이 형, 그리고 실험실 후배인 언제나 믿음직한 동훈, 랩을 잘 부르는 희철, 뺨질이 연승, 유학과 같지 않은 유학과 준철, 영어 공부에 열심인 병기와 동환, 우리 실험실의 거인 로봇 군집, 실험 데이터 분석할 때 옆에서 많은 도움을 준 우리 동건이에게도 고마움의 마음을 전합니다.

회사 생활을 하면서 대학원 생활을 하기가 그리 쉽지가 않았습니다. 여러 동료들의 지원과 격려 덕분에 이렇게 졸업하게 됐습니다. 대학원 과정을 시작하고 마칠 수 있도록 물심양면으로 도와주신 김성근 박사님, 회사 동료 상철이 형, 태승이, 희선이, 각자의 길에서 항상 열심인 명범이 형, 경부 형, 경조, 병찬이, 상율이에게도 고마움의

마음을 전합니다. 그리고 같이 졸업하는 영근이게는 축하의 마음을 전합니다.

이제 나의 가족에게 감사의 마음을 전하고자 합니다. 작은 아들이라 그런지 모든 일이 항상 걱정되시는 어머니, 살아계셨으면 무척 기뻐하셨을 아버지, 나의 정신적인 지주 우리 형 송이성, 누나 같은 형수 강민희, 너무나 귀여운 조카 현호와 윤호, 얼마 전 결혼을 한 누나 송애경과 매형 문대균, 자주 찾아뵙지 못해 항상 죄송스러운 장모님, 처제, 성준 아빠, 성준, 태어 난지 얼마 되지 않은 성준이 남동생 성민이, 처남에게도 고마움의 마음을 전합니다. 그리고 항상 가족처럼 나의 옆에서 여러모로 도움을 준, 둘도 없는 친구 이호성에게 고마움의 말을 전합니다.

마지막으로, 대학원 생활이 결정되면서 시작된 또 하나의 가족이 있습니다. 처음엔 둘이었는데 이제는 벌써 넷이 됐습니다. 부족한 남편이지만 두 아이를 키우며 항상 옆에서 힘이 되어준 사랑하는 아내 오화정, 아직은 어리지만 너무나 듬직한 나의 보물 1호인 큰아들 송은호, 너무나 얽기적인 행동을 자주해 엄마 아빠를 웃음지게 하는 보물 2호 나의 예쁜 딸 송서영에게 이 논문을 바칩니다.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2006년 6월 어느 날... 송도성