



2013년 2월 교육학석사(기술·가정교육)학위논문

포토센서를 이용한 태양광 추적시스템의 발전특성

조선대학교 교육대학원

기술 · 가정교육전공

전 성 환

포토센서를 이용한 태양광 추적시스템의 발전특성

Photovoltaics Characteristics for Solar Tracking System Using Photoelectric Sensors

2013年 2月 日

조선대학교 교육대학원

기술·가정교육전공

전 성 환

포토센서를 이용한

태양광 추적시스템의 발전특성

지도교수 조금배

이 논문을 교육학석사(기술·가정교육)학위 청구논문으로 제출함.

2012年 10月 日

조선대학교 교육대학원

기술 · 가정교육전공

전 성 환

전성환의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장	조선대학교 교수	박세승	<u>인</u>
심사위원	조선대학교 교수	최연옥	<u>인</u>
심사위원	조선대학교 교수	조금배	<u>인</u>

2012年 12月 日

조선대학교 교육대학원

ABS	TRA	LCT

I. 서	론1
II. 이론	적 고찰
A. 태역	양의 위치 추적
1.	태양계의 지구궤도
2.	지평좌표계와 적도 좌표계4
3.	일사강도
B. 태역	양전지
1.	태양전지의 원리 및 구조
2.	태양전지의 전기적 특성
3.	태양전지의 동작 특성
4.	태양전지의 직-병렬연결
III. 추적	식 시스템의 구성 및 실험 방법
A. 추정	적식 시스템의 구성
1.	시스템의 개요
2.	일사량 센서
3.	태양전지 모듈

- V. 결 론 ~~~~~ 38
- 참 고 문 헌

표 목 차

<표 1>	일사량센서의 물리적 특성
<표 2>	태양전지 모듈의 전기적 특성비교
<표 3>	광주지역의 기상데이터

그림 목차

[그림	1]	위도 Φ 인 지리적 위치에서 태양과 지구사이의 관계
[그림	2]	친구와 황도
[그림	3]	지평좌표계에 따른 태양의 위치
[그림	4]	방위각 α , 경사각 β 인 경사면에 대한 태양의 위치
[그림	5]	태양전지의 기본 원리 및 구조
[그림	6]	암 상태에서의 다이오드 전압 -전류 곡선
[그림	7]	태양전지의 등가회로
[그림	8]	태양전지의 I-V 특성 곡선
[그림	9]	내부 직렬저항과 병렬저항에 따른 태양전지의 I-V 특성 15
[그림	10]	일사량 가변에 따른 태양전지 특성곡선
[그림	11]	온도 가변에 따른 태양전지 특성곡선
[그림	12]	태양전지의 직렬 및 병렬 연결에 따른 I-V 특성곡선
[그림	13]	전체시스템의 개요도
[그림	14]	일사량 센서의 Cosine 응답특성
[그림	15]	센서 출력에 대한 보정
[그림	16]	일사량 센서의 스펙트럼 응답특성
[그림	17]	태양추적을 위한 포토 센서의 구조
[그림	18]	센서 모듈의 형상
[그림	19]	태양추적 제어기의 기본구조
[그림	20]	태양위치 포토센서제어기 및 모터 드라이브
[그림	21]	슬루드라이브와 브러쉬모터
[그림	22]	포토센서 방식의 태양광 추적식 시스템
[그림	23]	태양광 추적식 시스템
[그림	24]	실험회로

[그림 25]	데이터 변환과정
[그림 26]	태양전지 모듈의 I-V 특성곡선
[그림 27]	필드테스트
[그림 28]	고정식 시스템의 일사량과 태양전지 모듈의 I-V 특성34
[그림 29]	추적식 시스템의 일사량과 태양전지 모듈의 I-V 특성35
[그림 30]	고정식 및 추적식 시스템의 전력과 온도, 습도의 출력특성36
[그림 31]	고정식 및 추적식 시스템의 일사량에 따른 발전전력

ABSTRACT

Photovoltaics Characteristics for Solar Tracking System Using Photoelectric Sensors

By : Jeon Seong Hwan

Advisor : Prof. Geum-Bae Cho, Ph.D. Major in Technology and Home-Economics Education, Graduate School of Education, Chosun University

In the past few years, a great deal of interest has developed in the use of sun-tracking mountings for normal flat-plate PV systems. Such systems deliver more energy for the same nominal PV power, but the cost of tracking is also higher than that of normal fixed-rack mountings. Tracking systems that have two axes and follow the sun closely at all times during the day are currently the most popular. However, systems that move the PV modules around a single rotating axis are simpler than two-axis tracking systems and can therefore be manufactured at a lower cost.

This paper presents research conducted into the performance of Solar tracking system with photosensor. The results show that an optimized dual-axis tracking system with photosensor performance and analysis. From the obtained results, it is seen that the sun tracking system improves the energy and energy efficiency of the PV panel.

I. 서 론

화석연료의 사용에 따른 환경오염과 화석에너지 자원의 고갈, 지구 온 난화로 인한 온실가스 배출량 감축, 화석에너지 가격의 상승으로 인해 안 정적이고 청정한 미래의 에너지 확보를 위한 개발이 절실히 요구됨에 따 라 신재생에너지원 중 하나인 차세대 에너지원인 태양광 발전시스템의 개 발의 중요성이 증대되고 있으며 이에 대한 다양한 연구가 국내외적으로 이루어지고 있다.

태양에너지를 에너지원으로 사용하는 태양광 발전은 햇빛을 직접 전기 로 변환하여 이용할 수 있는 발전시스템으로 오염이나 소음 등의 공해가 없으며 발전설비에 대한 유지관리가 거의 필요 없고, 규모나 기술 등을 고려할 때 설치가 비교적 용이하며 무한한 에너지원으로 지구환경문제와 화석에너지 고갈 문제로 인하여 환경친화형 에너지원 및 미래에너지원이 라는 장점을 가지고 있다. 하지만 야간이나 우천시에 사용이 불가능하며 일사량과 온도에 따른 출력량의 변동이 많다는 단점이 있다. 따라서 태양 광 발전에 있어서 태양전지는 외부 조건인 일사량과 온도나 부하에 의해 크게 변동하기 때문에 이러한 외부조건에 관계없이 가능한 많은 에너지를 얻기 위해서는 환경변화에 따른 스스로 태양의 위치를 추적하는 태양 위 치 추적방식이 필요하다.

태양위치 추적방식에는 광학적 센서를 이용하는 방식과 천문학적 계산 에 의한 방식, 그리고 두 가지 방식을 혼용한 복합형 방식으로 분류된 다.^[1] 광학적 센서를 이용하는 방식의 태양위치추적 장치는 추적장치에 광센서, 또는 이와 유사한 형태의 센서를 이용하여 검출된 광량의 차이를 이용하여 태양위치 추적장치가 동작하도록 엑추에이터를 구성하는 방식이 다. 천문학적 계산에 의한 태양위치 추적방식은 추적기시스템 설치지역의 위도와 경도의 정보를 이용하여 시간에 따라 계산 또는 연산을 수행함으 로서 태양과 최적의 각, 법선방향을 항상 이루도록 하는 방식이다.^{[2][3]}

- 1 -

광학적 센서를 이용하는 방식의 태양위치 추적기는 센서의 응답특성에 의해 동작하므로 흐린 날이나 태양이 구름에 가려진 경우와 같이 산란이 많이 발생하는 환경에서 정확한 태양추적이 되지 않는 단점이 있다. 따라 서 이러한 단점을 보완하기 위해 천문학적 계산에 의해 정확한 위치를 추 적하는 방식인 천문학적 계산방식의 추적기를 사용할 수 있다. 천문학적 계산 방식에 의해 태양의 위치정보를 획득하므로 장시간 동안 태양이 나 타나지 않은 경우에도 태양추적이 가능하고 이물질에 의한 오동작을 일정 범위 내에서 제한할 수 있으며 프로그램이 비교적 간단하면서도 정확한 태양의 위치를 추적이 가능하고 오류도 비교적 적다는 장점이 있다. 그러 나 천문학적 계산에 의한 추적방식은 강한바람에 의하여 작동모터의 백래 쉬(backlash)가 발생할 수 있고 시스템 초기 위치가 정확해야 한다는 단 점이 있다.^{[4][5]}

최근 다양한 형태의 태양위치 추적기가 출시되고 있으며 이를 이용한 태 양광발전시스텎의 효율 극대화를 위한 노력이 널리 행해지고 있다.

본 논문에서는 두 가지 형태의 태양광발전시스템에 대한 성능시험을 수 행하였다. 성능시험에 따른 분석은 고정식 태양광발전시스템과 포토센서 에 의한 추적식 시스템에 대해 각각의 1일 발전량을 취득함에 있어 일사 량, 온도, 풍향 및 풍속에 따른 외부파라미터의 영향에 따른 발전량을 취 득함으로서 태양위치 추적기의 성능분석과 1일 발전데이터를 취득하여 두 가지 시스템의 성능을 비교 분석하고자 한다. 또한 분석된 데이터를 이용하여 향후 장기간의 발전성능분석과 이를 토대로 경제성 분석을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

II. 이론적 고찰

A. 태양의 위치 추적

1. 태양계의 지구궤도

지구는 태양을 중심으로 하루 약 1°씩 365.25일 마다 1회전씩 타원의 제도를 공전하고 있으며 공전궤도의 편차는 아주 적다. 타원 궤도가 어느 정도 일그러져 있는가를 나타내는 지구의 이심률은 0.1이하로서 매우 적 어 거의 원형에 가깝다. 지구가 태양과 가장 가까워지는 근일점은 1월 2 일이고 거리는 약 1.47 x 10⁸km이다. 또한 태양과 가장 멀어진 점인 원일 점은 7월 3일에 생기며, 지구는 태양으로부터 약 1.52 x 10⁸km정도 떨어 져 있게 된다. 일반적으로 태양으로부터 지구사이의 평균거리는 $r_0 = 1.496 \times 10^8$ [km]로 1AU라 한다. 이런 거리의 변화인 태양으로부터 지구사이의 거리 r = 4 (1) 에 의하여 구할 수 있으며 이 때 이심률은 0.017을 적용하였다.

$$r = r_0 + 0.017 \cdot \sin\left(\frac{360(d_n - 93)}{365}\right)[km]$$
(1)

여기서 d_n 은 당해 연도의 날짜수를 나타내며, 1월 1일부터 12월 31일까 지 365까지 표현 할 수 있다. 또한, 지구는 태양을 중심으로 공전함과 동시에 자전축을 중심으로 하루에 한 바퀴씩 자전하고 있다. 지구의 자전 축은 황도면에 대하여 23.45°의 각을 이루기 때문에 계절이 생기며 겨울 보다 여름에 태양의 고도가 높게되는 것과 같이 태양의 고도각은 항상 변 화되며 따라서 태양광의 입사각도 변화하게 된다. [그림 1]은 위도 ϕ 인 지리적 위치에서 태양과 지구사이의 관계를 나타낸다.

- 3 -



[그림 1] 위도 ₽ 인 지리적 위치에서 태양과 지구사이의 관계

[그립 1]에서 지구의 중심축과 태양의 중심축으로부터 일직선으로 생기 는 광선과 지구의 적도면 사이의 각 δ를 적위라 하며 적위는 지구의 자 전축이 23.45° 기울어져 있어 끊임없이 변화하며, 양극단 사이에서 ±23.45°로 바뀌고 1년 365일을 추측하기에 간단한 사인 곡선으로 매년 조금씩 변하는 적위의 정확한 값은 매년 발표되는 천문력과 책력의 발표 에서 알 수 있으며 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다. 식 (2)에서 태양의 적 위는 태양광 위치 추적식 시스템의 태양전지의 각도를 산출할 때 매우 중 요한 요소이다.

$$\delta = 23.45^{\circ} \cdot \sin\left[\frac{360(d_n + 284)}{365}\right]$$
(2)

2. 지평좌표계와 적도 좌표계

[그림 2]와 같이 지구를 중심으로 하는 천구에서 지구의 적도면과 교차 하는 대원을 천구의 적도라 하고 지축의 연장선과의 교차점을 천극이라 한다. 태양을 중심으로 운동하는 지구의 운동을 천구에서는 지구를 중심 으로 태양이 운동한다고 볼 수 있다. 태양은 천구의 적도와 23.45°의 각 을 이루면서 천구를 회전한다. 태양이 1년간에 천구를 한번 회전하는 동 안 천구는 지구를 하루에 한번씩 회전한다. 태양이 황도에 따라 천구를 회전하는 방향은 천구가 지구를 회전하는 방향과 정반대이다.

관측자의 입장에서 가장 자연스런 좌표계는 지평좌표계(Horizontal frame)이다. 이 좌표계의 기준면은 관측자를 지나가고 지구와 접선을 이 루는 평면이다. 즉 지평면은 지평선(Horizon)에서 천구와 교차하며 관측 자 바로 위에 있는 점을 천정(Zenith)이라 하며 관측자의 아래쪽에 반대 되는 극에 있는 점을 천저(Nadir)라 한다. 수직권 NZS(남점, 천정, 북점) 를 지나는 선을 자오선(Meridian)이라 한다. [그림 3]은 지평좌표계에 따 른 태양의 위치를 나타낸다.



[그림 2] 천구와 황도

- 5 -

지평좌표계에서 지구표면의 PV 시스템이 이용되는 특정된 위치에 대한 태양의 위치는 자오선과 이루는 방위각 ψ_S 과 수직선과 이루는 천정각 θ_{ZS} , 두 개의 각에 의하여 간단히 계산이 된다. 천정각의 여각을 태양의 고도각 γ_S 이라 한다.

어떠한 주어진 시각, 태양의 각좌표는 지리적 위도 *Φ*에 관하여 식 (3), (4)로부터 계산된다.

$$\cos\theta_{ZS} = \sin\delta\sin\Phi + \cos\delta\cos\Phi\cos\omega = \sin\gamma_S \tag{3}$$

$$\cos\psi_S = \frac{(\sin\gamma_S\sin\Phi - \sin\delta)}{\cos\gamma_S\cos\Phi} [sign(\Phi)] \tag{4}$$

여기서 ω는 진태양시를 나타내는데 진태양시는 하루 24시간동안 360° 회전시 선택된 특정시간을 나타내며 매일의 정오에 ω=0 이고 오전은 -로 오후는 +로 계산된다. *sign(Φ)*는 지리적 위도 Φ의 부호(북쪽 +, 남쪽 -)를 나타낸다.



[그림 3] 지평좌표계에 따른 태양의 위치

그러나, 대부분의 태양전지는 경사각을 갖는 경사면에 위치하므로 경사 면에 대한 태양의 위치에 관한 각좌표가 필요하다. [그림 4]는 방위각 α, 경사각 β 인 경사면에 대한 태양의 위치를 나타내며 이 때 태양의 천정 각은 식 (5)과 같다.

$$\cos\theta_{S} = \sin\delta\sin\Phi\cos\beta - [sign(\Phi)]\sin\delta\cos\Phi\sin\beta\cos\alpha \qquad (5) + \cos\delta\cos\Phi\cos\beta\cos\omega + [sign(\Phi)]\cos\delta\sin\Phi\sin\beta\cos\alpha\cos\omega + \cos\delta\sin\alpha\sin\omega\sin\beta$$

태양전지에서 최대 출력을 얻기 위하여 방위각을 정남향 $\alpha = 0 으로 설$ 계하는 것이 일반적이며 식 (5)은 식 (6)과 같이 단순화 된다.

$$\cos\theta_{S} = [sign(\Phi)]\sin\delta\sin(|\Phi| - \beta) + \cos\delta\cos(|\Phi| - \beta)\cos\omega$$
(6)



[그림 4] 방위각 α, 경사각 β인 경사면에 대한 태양의 위치

3. 일사강도

태양은 중심부에서 생기는 수소의 핵융합 반응에 의해 방대한 에너지를 우주 공간에 방사하고 있다. 태양에서 약 1억 5,000만[km] 떨어진 지구 까지 미치는 에너지는 지표면에서 80[km] 떨어진 지구대기 상단에서 단 위 면적에 조사되는 태양 에너지는 $G_0 = 1,367$ [W/m²] 이다.

대기를 통과하는 과정에서 기체나 미립자에 의한 흡수나 산란을 받아 지표면에 도달하는 것은 70% 정도이다. 이러한 감소는 주로 대기권을 통 과하는 빛의 경로의 공기의 질량에 의존된다. 지구와 태양 위치에 따른 빛의 세기를 나타내는 기준 중 하나가 ASTM(American Society for Testing and Materials)에서 제정한 공기 질량(Air Mass : AM) 이다. AM은 지구면의 수직선과 태양의 위치간의 각도인 태양의 천정각 θ_{ZS} 의 함수로서 식 (7)과 같다.

$$AM = \frac{1}{\cos\theta_{ZS}} \tag{7}$$

대기 외부에 대한 태양광 스펙트럼을 나타내는 조건을 AMO 조건이라 하며 5800[K] 흑체에 근사한 스펙트럼을 가진다. 태양이 천정에 있을 때 천정각 θ_{ZS}=0이며, 이 때 AM=1 로서 표준 대기라고 하며 AM1 이라 한다.

B. 태양전지

1. 태양전지의 원리 및 구조

태양전지는 광기전력 효과를 이용하여 빛 에너지를 직접 전기 에너지로 변환시키는 반도체 소자로써 단결정 실리콘 태양전지의 경우 4가 실리콘 에 5가 원소를 도핑한 n형 반도체와 3가 원소를 도핑한 p형 반도체로 이루어진 pn 접합 구조로 되어 있다.

[그림 5]와 같이 pn 접합 반도체에 태양광이 입사되면 가전자대의 전 자는 빛 에너지를 흡수하여 전도대에 유기되어 자유전자로 되고 전자가 여기 된 후의 가전자대에는 정공이 생긴다. 자유전자는 n형 반도체로 정 공은 p 형 반도체로 이동하여 n 층과 p 층을 각각 음극과 양극으로 대전시 켜 기전력을 발생한다.



[그림 5] 태양전지의 기본 원리 및 구조

태양전지는 넓은 면적의 다이오드로 볼 수 있으므로 전압-전류 특성은 암 상태에서의 다이오드 전압-전류 특성에 광전류를 중첩시키면 된다. 즉, [그림 6]과 같이 암 상태에서의 다이오드 전압-전류 곡선을 아래쪽으 로 광전류 I_{ph} 만큼 이동시키면 된다. 이때 다이오드에 인가되는 전류는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = I_{ph} - I_d \tag{8}$$

여기서 I_{vh} 는 광전류이고, I_d 는 다이오드 전류이다.



[그림 6] 암 상태에서의 다이오드 전압-전류 곡선

2. 태양전지의 전기적 특성

태양전지는 한 개의 이상적인 다이오드와 I_{ph} 의 크기를 갖는 정전류원 의 구성으로 모델링 할 수 있으나 이상적인 다이오드를 제작하는 것이 불 가능하므로 태양전지의 접촉저항 및 표면층의 시트(Sheet)저항을 고려해 야 한다. 태양전지 표면에 입사되는 빛의 일부분은 표면에서 반사되며, 표면을 투과한 빛은 태양전지 내에서 흡수되며 광자의 수는 지수 함수적 으로 감소한다.

[그림 7]은 빛이 조사될 때 광기전력효과에 의한 태양전지의 등가회로 를 나타내고 있다. 여기서 I_{ph} 는 입사된 빛에 의해 생성된 캐리어 (Carrier)가 외부로부터 방해를 받지 않을 때 폐회로를 통해 흐르는 광전 류이고, I_d 는 암전류로서 I_{ph} 와는 반대 방향이다. 직렬저항 R_s 와 병렬저 항 R_p 는 이상적인 다이오드 특성에서 벗어나 일정한 상수 저항으로 표시 되는 접촉저항이나 누설저항을 나타내며 R_L 은 외부에 연결되는 부하저항 을 나타낸다.



[그림 7] 태양전지의 등가회로

[그림 7]과 같은 태양전지의 등가회로에서 태양전지의 출력전류 *I*는 식 (9)와 같다.

$$I = I_{ph} - I_d - \frac{V_d}{R_p} = I_{ph} - I_0 (\exp \frac{q V_d}{n KT} - 1) - \frac{V_d}{R_p}$$
(9)

여기서 I_0 는 다이오드 역 포화전류, n은 다이오드 상수, K는 볼쯔만 상 수이고 q는 전자의 전하량이며 T는 절대온도이다. 또한 다이오드 전압 V_d 는 식 (10)와 같다.

$$V_d = V + IR_S \tag{10}$$

따라서 태양전지의 전류 I는 식 (9)로부터 식 (11)과 같이 된다.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \frac{q(V + IR_S)}{nKT} - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_P}$$
(11)

태양전지가 내부 직렬저항 $R_S = 0$, 병렬저항 $R_P = \infty$ 인 이상적인 pn 접합 다이오드라고 가정하면 태양전지의 출력전류는 식 (12)과 같다.

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\frac{qV}{nKT} - 1\right) \tag{12}$$

일정온도와 일정 일사조건에서 태양전지의 전압-전류 특성 곡선은 그 림 8과 같다.



[그림 8] 태양전지의 I-V 특성 곡선

단락상태에서 태양전지 출력전압 V=0이 되며 단락전류 I_{sc} 는 식 (13) 과 같이 되고 개방상태에서 태양전지 출력전류 I=0이 되며 개방전압 V_{oc} 는 식 (14)와 같이 된다.

$$I_{sc} = I_{ph} \tag{13}$$

$$V_{oc} = \frac{nKT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \tag{14}$$

태양전지에 연결된 부하저항의 크기를 조정함으로서 어떤 최적 동작점 에서 최대의 출력 P_{\max} 가 출력될 수 있다. 이 최적동작점을 최대전력점 (Maximum power point : MPP)라 하고 이때 출력전류를 최적동작전류 I_m , 출력전압을 최적동작전압 V_m 이라 하며 최대 출력 전력 P_{\max} 는 식 (15)과 같다.

$$P_{\max} = V_m \times I_m = FF \times V_{oc} \times I_{sc}$$
(15)

부하 저항에서 소비되는 전력을 Pout라 하면 식 (16)와 같다.

$$P_{out} = V \times I = V \times [I_{ph} - I_0 (\exp \frac{qV}{nKT} - 1)]$$
(16)

최대전력점에서 최적동작전류 I_m 및 최적동작전압 V_m 에서 P_{\max} 이 커지기 위해서는 I_m 과 V_m 이 I_{sc} 와 V_{oc} 에 가까워야 함을 알 수 있다.

태양전지의 특성을 평가함에 있어서 단락전류, 개방전압과 더불어 가장 중요한 요소 중 하나는 충진율(Fill factor : FF)이며 식 (17)과 같다.

$$FF = (V_m \times I_m) / (V_{oc} \times I_{sc}) \tag{17}$$

태양전지의 에너지 변환효율은 태양전지에서 얻을 수 있는 최대의 전기 에너지를 입사광에너지로 나눈 값으로 식 (18)과 같다.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} = \frac{V_m \times I_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \times FF$$
(18)

여기서 P_{in} 은 입사된 빛 에너지이다. 따라서 태양전지의 효율을 높이기 위해서는 단락전류 I_{sc} , 개방전압 V_{oc} , 충진율 FF를 높여야 한다.

태양전지의 특성을 고찰한 결과 태양전지의 전기적 특성을 결정하는 내 부적인 요소를 보면 내부적인 변수로서 내부 직렬저항 R_s , 병렬저항 R_p 그리고 다이오드 역포화전류 I_0 등이 있다.

- 14 -

태양전지의 내부 직렬저항은 태양전지에 광전류가 흐를 때 전류의 흐름 을 방해하는 저항값으로서 n층의 표면저항, p층의 기판저항, 전극 접촉 저항 및 전극자체의 고유저항 등이 포함된다. 병렬저항 즉 누설저항은 태 양전지 내부의 누설에 의한 것으로, pn 접합면의 재결합전류, 태양전지의 가장자리에서 발생하는 표면 누설전류 등이 있을 수 있다.

[그림 9]는 태양전지의 내부 직렬저항과 병렬저항이 태양전지의 특성에 미치는 영향을 나타내고 있다.



(가) 직렬저항 (나) 병렬저항 [그림 9] 내부 직렬저항과 병렬저항에 따른 태양전지의 I-V 특성

3. 태양전지의 동작 특성

태양전지의 광전류 I_{ph} 는 일사강도에 따라 선형적으로 변화된다. 하지 만 단락전류는 $I_{sc} = I_{ph}$ 이므로 식 (19)와 같이 된다.

$$I_{sc} = \frac{I_{sc}^*}{G^*} G_{eff} \tag{19}$$

여기서 G는 표준 시험조건(Standard Test Conditions : STC)에서 일 사강도이고 I^{*}_{se}는 STC 에서 태양전지 단락전류이며 G_{eff}는 실제 조사되 는 일사강도이다. STC는 일사강도 1000 [W/m2], AM1.5, 태양전지 온 도 25℃인 표준상태이다.

따라서 일사강도에 따른 태양전지의 출력특성은 [그림 10]과 같이 전압 의 변화는 미소하지만 단락전류는 크게 변화된다.

태양전지의 개방전압 V_{oc} 는 태양전지의 온도 T_C 의 증가에 따라 선형 적으로 감소하며 식 (20)과 같다.

$$V_{oc}(T_C) = V_{oc}^* + (T_C - T_C^*) \frac{dV_{oc}}{dT_C}$$
(20)

여기서 V_{oc}^{*} , T_{C}^{*} 는 STC 에서의 태양전지 개방전압 및 온도이고 실리콘 태양전지에서 일반적으로 $\frac{dV_{oc}}{dT_{C}}$ =-2.3 [mV/(\degree ·cell)] 이다.

따라서 태양전지 온도에 따른 태양전지의 출력특성은 [그림 11]과 같이 전류의 변화는 미소하지만 개방전압은 크게 변화된다.



(가) I-V 곡선



[그림 10] 일사량 가변에 따른 태양전지 특성곡선



[그림 11] 온도 가변에 따른 태양전지 특성곡선

결정계 태양전지의 경우 온도가 상승함에 따라 변환효율이 급격하게 감소되는 현상을 나타낸다. 따라서 한 여름철에 비해서 봄, 가을에 출력이 크게 나타나는 현상이 발생한다. 실리콘태양전지의 출력은 1℃온도 상승에 따라 출력이 0.4~0.5[%] 정도 감소하는 특성을 갖는다. 이러한 온도특성 이 반영된 태양전지의 모듈 일 매당 변환되는 전력량은 식 (21)과 같다.

- 17 -

$$P_{\text{module}} = I_{sc} \times G \times [V_{oc} - 0.0023 \times N_s \times (T + (\frac{T_{pv} - 20}{0.8 \times G_e}) - STC)] + FF \quad (21)$$

여기서, 0.0023은 시스템 손실율이고, I_{sc}는 단락전류, G는 일사량, V_{oc}는 개방전압, N_s직렬로 연결된 셀의 수, T는 주위온도, T_{pv}는 모듈의 온도, G_e는 유효일사량 STC는 표준시험조건으로 일사량 1000 W/m², 셀의 온도 25℃이 며 FF(Fill Factor)는 충진률이다. 태양전지모듈의 출력량을 토대로 일사량 을 산출해내기 위해서는 일사량을 기준으로 식 (22)을 정리하면 된다.

$$G = \frac{P_{\text{module}} - FF}{I_{sc} \times [V_{oc} - 0.0023 \times N_s \times (T + (\frac{T_{pv} - 20}{0.8 \times G_e}) - STC)]}$$
(22)

일사량의 산출을 위해 모듈의 발전량은 실제 발전량을 전압과 전류값 을 측정하여 얻은 값을 통해 실측값을 확보한다. 충진율(Fill factor)은 개 방전압과 단락전류를 얻는 식을 통해 산출하고 모듈의 온도와 주위온도는 온도센서를 이용하여 그 값을 산출한다. 표준시험조건의 값은 모듈의 생산 시에 제공되는 사양값을 토대로 입력함으로서 태양전지모듈의 발전량을 통 해 일사량을 산출할 수 있다. 온도조건은 표준조건 25℃에서 동작을 기준 으로 하고 유효일사량은 AM1.5를 기준으로 설정하면 일사량의 산출식은 식 (22)로부터 식 (23)를 얻는다.

$$G = \frac{P_{\text{module}} - 0.7311}{I_{out} \times (V_{out} - 27.375)}$$
(23)

태양전지모듈의 발전량은 식 (23)의 모듈 1매당 변환되는 전력량을 의미 하며 이를 위해서 온도기준값을 설정하여 온도의 변화값을 보상해야 한다.

4. 태양전지의 직-병렬연결

같은 전기적 특성을 갖는 두 태양전지에 조사되는 빛의 일사강도가 같 으면 두 태양전지의 출력특성은 같게 된다. 이때 두 태양전지를 직렬연결 하면 출력전압은 2배로 되고 출력전류는 하나의 태양전지 전류와 같으며 병렬연결하면 출력전압은 하나의 태양전지 전압과 같고 출력전류는 2배 로 된다. [그림 12]는 태양전지의 직-병렬연결 특성을 나타낸다.

그리고 여러개의 동일한 전기적 특성을 갖는 태양전지를 직-병렬연결 하면 출력전류 I_a 및 전압 V_a 은 식 (24), (25)와 같이 된다.

$$I_a = N_P \bullet I_c \tag{24}$$

$$V_a = N_S \cdot V_c \tag{25}$$

여기서 N_P , N_S 는 병렬연결 및 직렬연결 된 태양전지 수를 나타내고 I_c , V_c 는 하나의 태양전지 출력전류 및 전압을 나타낸다.



[그림 12] 태양전지의 직렬 및 병렬 연결에 따른 I-V 특성곡선

- 19 -

III. 추적식 시스템의 구성 및 실험 방법

본 장에서는 고정식과 포토센서에 의해 구동되는 추적식 태양광발전시 스템의 추적 시스템의 성능을 평가하기 위해 맑은 날의 발전량의 데이터 를 취득하여 발전특성을 고찰하기 위하여 본 논문에서 제작한 태양추적시 스템의 구성과 실험 방법에 관하여 기술하였다.

A. 추적식 시스템의 구성

1. 시스템의 개요

[그림 13]은 본 연구에서 제작한 추적식 태양광발전시스템의 성능을 평 가 하기 위하여 고정식 태양전지 모듈의 경우 경사각은 30°인 고정식 태 양전지 모듈과 추적식 태양전지 모듈 각각 1기를 기준으로 설정하고 실 힘을 위한 전체시스템의 개요도를 나타내었다. 검출된 일사량, 전압, 전류 는 데이터 로거를 통해 PC에 저장되어 데이터베이스를 이룬다. 외기환경 은 온도와 습도 그리고 풍속의 영향을 분석하도록 하였다.



[그림 13] 전체시스템의 개요도

- 20 -

일사량에 따른 추적식과 고정식 태양광발전 시스템의 출력특성을 비교 분석하기 위하여 각각 한 개씩의 일사량 센서를 설치하였다. 일사량 센서 는 Apogee사의 센서를 이용하였으며 샘플링 타임은 30[s]로 설정하였다. 샘플링 시간마다 검출된 데이터는 데이터로거를 통해서 PC에 저장하여 실제값과 보정하여 이용하였다. 일사량에 적용된 센서는 self cleaning 타입의 돔형으로 센서에 대한 기본사양은 <표 1>과 같다.

MODEL	MODEL SP-110		
COSINE 응답특성	 ± 4% at 75° Zenith Angle ± 1% at 45° Zenith Angle 		
정확도	±5%		
재현성	±1%		
출력특성	0.20 mV per Wm^2	Output linear to 320 mV (1,600 Wm^2)	
감 도	exactly 5.00 Wm ² per mV		
입력전원	None ,self-Powered		
동작환경	-40~55 ℃, 100%Rh		
재 료	Anodized aluminum with cast acrylic lens		
중 량	70 g (with 3m lead wire)		
크기	2.4 cm diameter, 2.75 cm high		
케이블	표준길이 5M		

<표 1> 일사량센서의 물리적 특성

측정면, 수광면의 일사량은 빛의 Cosine에 비례하기 때문에 일사량계 의 수광부는 경사입사광에 대한 응답이 Cosine에 비례해야만 한다. [그림 14]는 실험에 적용된 일사량 센서의 Cosine 응답특성을 나타내었다.

- 21 -



[그림 14] 일사량 센서의 Cosine 응답특성

센서의 보정값은 0.20mV per Wm²이므로 예를 들어 출력이 220mV인 경우에 보정값은 [그림 15]와 같이 산출된다.



[그림 15] 센서 출력에 대한 보정

[그림 16]은 시험에 적용된 일사량 센서의 스펙트럼 응답특성이다. 가시광 영역인 380~780nm의 영역에서는 매우 선형적으로 나타남을 알 수 있다.



Spectral Response of the Apogee Pyranometer

[그림 16] 일사량 센서의 스펙트럼 응답특성

3. 태양전지 모듈

실험에 적용된 태양전지모듈 사양은 <표 2>과 같으며 고정식과 추적식 의 규격을 동일하게 적용하였다. 두 모듈간의 상대 비율은 1%이내 이다.

	고정형 모듈	추적형 모듈	비교성능
Output peak power	60Wp	60Wp	-
Open circuit voltage	21.8V	21.6	1% 이내
Short circuit current	3.75A	3.74	1% 이내
Number of cells	36	36	-
Power allowance range	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	-
Max. power voltage	17.7V	17.6V	1% 이내
Max. Power current	3.41A	3.40A	1% 이내
Max. system voltage	1,000Vdc	1,000Vdc	_
Size of module(length*width*depth)	950mm×510m m*35mm	950mm×510m m*35mm	_

<표 2> 태양전지 모듈의 전기적 특성비교

4. 추적 시스템의 구성

a) 포토센서 모듈

본 논문에서 사용한 태양추적시스템의 기본구성은 다음과 같다. 태양의 유무, 태양의 방위각 및 고도각 변화에 따른 태양의 위치를 판별하기 위 한 포토센서, 태양광 모듈을 구동시키기 위한 모터, 및 태양추적장치 구 동부와 이를 제어하기 위한 태양추적 제어기로 구성되어 있다. 태양추적시스템에서 센서는 매우 중요한 부분으로 센서에서 정확한 데이 터를 얻지 못하면 정확한 추적이 불가능하다. 센서는 5개의 포토센서를 이용하여 태양이 떠 있는지 구름에 가렸는지 등을 식별하며, 태양의 방위 각 및 고도각의 변화에 따른 태양의 위치를 정확히 판별하게 된다.



[그림 17] 태양추적을 위한 포토 센서의 구조

본 추적시스템에 적용된 포토센서의 구조는 [그림 17]에서와 같이 A, B, C, D, E 총 5개의 포토센서가 이용되었으며 포토센서 A와 B의 비교 값을 (A,B)라고 표시할 때 본 논문에서 사용된 태양추적방식에서는 포토

- 25 -

센서(A,E), (C,E), (B,E), (D,E) 4개의 각각의 비교값을 얻은 다음 비교 를 통하여 태양의 위치를 추적하게 하였다. 포토센서 (A,E), (C,E)의 값 은 태양의 방위각을 추적하는데 사용되며 여러값과의 비교를 통해 해가 떠 있는지의 여부를 판단하게 된다. 구름에 가려 있을 경우 추적을 잠시 중지하고 대기모드로 전환되면 같은 방법으로 포토센서 (B,E), (D,E)의 값은 고도각을 추적하는데 사용되며 두값의 비교에 의해 정확한 고도각을 추적하게 된다. 이러한 비교값에 의해 연산작용을 통하여 방위각과 고도 각을 추적할 수 있도록 각각의 모터에 제어신호를 인가하게 된다.

태양의 위치를 측정하기 위한 수직축 센서모듈은 지표면에 수직인 방 위각을 추적하고 수평축 센서 모듈은 지표면에 수평하고 설치되는 지점의 동서를 연결하는 고도각 추적을 하도록 설계된 구동 메커니즘에 의하여 태양추적을 수행하도록 하였다. [그림 18]은 센서모듈의 형상을 나타내고 있다.



(가) 수평축 센서모듈(나) 수직축 센서모듈[그림 18] 센서모듈의 형상

b) 태양추적 제어기

태양추적 제어기는 포토센서로 입사되는 태양빛의 세기를 디지털값으로 변환하여 Motor 제어기로 전송시키기 위한 것이다. [그림 19]는 태양센 서 제어기의 기본구조를 나타낸 것으로 태양전지로 입사되는 일사량의 세 기는 포토센서에 의해 전압 또는 전류값으로 변환된다. 포토센서는 입사 되는 태양빛의 세기 변화에 따라 전압의 변화가 거의 발생하지 않으나 전 류량이 큰 차이로 변화하는 특성을 가지고 있다. 따라서 태양을 추적하기 위해서는 큰 변화량을 가진 전류를 이용하여 발생하는 전류를 전류/전압 차동증폭에 의하여 전압으로 변환시킨 후 저항값 조정하여 A/D에서 요 구되는 전압을 생성한다. 전압으로 변환된 태양 빛의 세기는 저역통과 필 터를 거쳐 A/D로 입력되고 A/D로 입력된 전압은 디지털 값으로 변환되 어 Motor 제어기로 전송되어 Motor가 구동되도록 하였다. [그림 20]은 브러쉬모터를 구동시키기 위한 제어기 모듈을 나타내고 있다. [그림 20] 에서와 같이 현재 태양의 위치를 검출한 방향과 시간을 표시하여 나타내 는 LCD를 통한 디스플레이 기능을 갖추고 있어 현재 시간의 태양위치 검출 상황을 실시간 관찰할 수 있도록 하였다. [그림 21]는 슬루드라이브 와 브러쉬모터 사진을 [그림 22]는 포토센서 방식 태양광 추적시스템의 구성도를 [그림 23]은 태양광 추적시스템의 사진을 나타내고 있다.





[그림 20] 태양위치 포토센서제어기 및 모터 드라이브



[그림 21] 슬루드라이브와 브러쉬모터



[그림 22] 포토센서 방식의 태양광 추적식 시스템



[그림 23] 태양광 추적식 시스템

태양전지의 변환효율 (Conversion efficiency)는 태양전지에 입사되는 빛에너지(W/m²)와 태양전지에서 발전되는 전기적인 출력에너지의 비율을 백분율로 표시한 수치로 %로 나타낸다. 본 연구에서 고정형 시스템에 적 용된 태양전지모듈의 경우에는 최대전류가 3.40A이고 최대전압이 17.6V 라고 한다면 출력은 60W이며 면적은 0.95m×0.51m=0.4845m² 이므로 1 m² 당 입사에너지(W/m²)은 486W가 된다. 따라서 태양전지변환효율은 식 (26)과 같다. [그림 24]는 실험에 적용된 회로이다. 실험회로를 통해 전압 과 전류를 검출하고 이를 보상한 후에 전력을 구할 수 있다. [그림 25]는 이러한 변환과정을 나타낸다. 포토센서의 경우는 제조사에서 제공해주는 값을 보정값으로 선정하였고 전압, 전류값은 계산에 의한 수치이다. 또한 전력값은 직류전력인 점을 감안하여 산출한 값이다. 성능분석 실험에 적 용된 태양전지모듈의 기본적인 I-V 특성곡선은 [그림 26]과 같다

$$Conversion \ Efficiency = \frac{PV \ Output \ Power}{Energy \ per \ 1m^2} \times 100\% = \frac{60}{486} \times 100 = 12.35\%$$
 (26)



[그림 24] 실험회로

- 30 -



Solar Module Analyzer



Solar Module Analyzer



Solar Module Analyzer



[그림 26] 태양전지 모듈의 I-V 특성곡선

IV. 실험 결과 및 고찰

발전성능실험을 위한 측정위치는 측정위치에 따른 정보는 북위 35°12'30.55, 동경 126°50'29.18이다. 동일한 위치에 고정식 시스템과 추 적식 시스템을 동시에 실시간 측정을 수행함으로서 1일, 24시간 동안의 발전량을 획득하여 이를 분석하였다. 광주지역의 기상데이터는 <표 3>과 같다. 측정일 기준으로 한 30년 평균값을 비교함으로서 측정일의 기상상 태를 확인할 수 있다.

기간	평 균 기 온(℃)	최 고 기 온(℃)	최 저 기 온(℃)	강수량 (mm)	평균 풍속 (m/s)	평균 습도 (%)	평균 증기압 (hPa)	일 조 합 (hr)	전 운 량 (할)	평균 일사량 (MJ/㎡)
실험 측정일	3.2	7.9	-0.7	0.9	2.1	68.0	5.4	4.8	5.4	-
1981- 2010년 평균	13.8	19.1	9.5	1391.0	2.1	69.5	13.0	2136.3	_	4864

<표 3> 광주지역의 기상데이터

실험측정이 진행되고 있는 현장 전경은 [그림 27]과 같다. [그림 27]에 서 우측은 추적기에 부착된 태양전지 모듈이 있고 좌측은 고정형 태양전 지모듈로 30° 각도로 이루어진 정남향을 향해 위치해 있다. 중앙에 데이 터 획득을 위한 데이터 로거와 PC가 위치해 있다.





[그림 27] 필드테스트

[그림 28]은 고정식 시스템의 일사량과 태양전지모듈의 전압, 전류의 출력특성을 나타낸다. 측정을 통해 획득된 데이터의 샘플링시간은 30초로 설정하였으며 획득된 데이터의 수는 각각의 파라미터마다 1,280개씩이며 8개의 파라미터에 대해서 검출하였으므로 전체 데이터수는 10,240개의 데이터를 취득하였다.



[그림 28] 고정식 시스템의 일사량과 태양전지 모듈의 I-V 특성

[그림 29]는 추적식 시스템의 일사량과 태양전지모듈의 전압, 전류의 출 력특성을 나타낸다. 실험일에 오전부터 정오까지는 청명한 날씨였으나 정 오부터 오후까지는 햇빛이 엷게 산란되는 형태를 관찰 할 수 있었다. 이 는 육안상으로는 청명한 날씨였으나 외기검출센서를 통해 산란광을 확인 할 수 있었다.



[그림 29] 추적식 시스템의 일사량과 태양전지 모듈의 I-V 특성

[그림 30]은 고정식 태양광발전시스템의 전력과 추적식 태양광발전시스 템의 전력, 그리고 외기조건인 온도와 습도에 따른 출력특성을 그래프로 나타내었다.



[그림 30] 고정식 및 추적식 시스템의 전력과 온도, 습도의 출력특성

[그림 31]은 일사량에 따른 고정식 및 추적시스템의 발전전력을 나타낸 다. 일일동안의 누적일사량은 추적식시스템의 경우가 8,216.95W/m²이고 고정식의 경우는 7,396,57W/m²이다. 추적식시스템의 경우가 고정식시스 템의 경우보다 11.1%이상 높은 누적 일사량을 획득하였으며 이는 누적전 력량의 경우도 동일하게 나타났다. 고정식 시스템의 일일 총생산전력량은 425W/h 이고 추적식 시스템의 일일 총생산전력량은 468.16W/h의 발전 량을 기록하였다. 이는 일사량과 발전량의 차이가 선형적인 변화를 가짐 을 확인할 수 있다.



[그림 31] 고정식 및 추적식 시스템의 일사량에 따른 발전전력

고효율의 태양광발전시스템을 구현하기 위해서는 태양전지의 효율 개 선, MPPT제어기법 및 태양빛이 태양전지에 항상 수직을 이루며 태양전 지 모듈에 입사시키는 방법 등이 있다. 따라서 본 논문에서는 태양빛이 항상 수직을 이루도록 태양광 추적식 시스템의 제작 개발에 목적을 두고 고정식 시스템과의 발전특성에 관하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 일일동안의 누적일사량은 추적식시스템의 경우가 8,216.95W/m²이고 고정식의 경우는 7,396,57W/m²이다. 추적식시스템의 경우가 고정식시 스템의 경우보다 11.1%이상 높은 누적 일사량을 나타내었다.
- 고정식 시스템의 일일 총생산전력량은 425W/h 이고 추적식 시스템의 일일 총생산전력량은 468.16W/h의 발전량의 데이터를 취득하였다.

이러한 실험 결과는 년간 발전량 데이터가 더 큰 신뢰성이 있으나 본 성능실험에서는 시간상의 한계로 인해 쾌청한 날을 선택해 데이터를 취득 한 결과이다. 하지만, 발전량은 일사량에 비례함에 따라 추적식 시스템이 고정식시스템과 비교시 11,1% 더 높은 발전량을 나타남을 알 수 있었다. 이상과 같은 발전특성은 고정식 시스템에 비해 추적식 시스템 발전량이 더욱 큰 발전량을 보이며 이러한 차이는 차액보장 손익분기 단기화를 위 한 발전량의 증대에 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구의 향후 연구방향으로는 태양광 추적식 시스템의 경우 고정식 시스템과 비교시 가격경쟁력을 위한 저가격화를 위한 구조물에 대한 최적 설계방안과 추적식시스템은 동적시스템으로 자연조건하에서 불규칙적인 외란에 견고하게 지지 할 수 있는 효과적인 방안과 더불어 단기간의 측정 데이터를 통한 비교 뿐만 아니라 장기간의 모니터링 시스템을 통한 보다 신뢰성 있는 성능분석에 관한 연구가 더 진행되어야 한다고 사료된다.

- 38 -

- [1] Solar Electric Power Association (SEPA). 2001. PV Performance Data Report: Results Determined from the Monitoring of Over 100 **TEAM-UP** PV Performance Installations. D.C.: Washington, Solar Electric Power Association.
- [2] 소정훈, 최주엽, 유권종, 정영석, 최재호, "3kW급 계통연계형 태양광 발전시스템의 성능특성 비교분석에 관한 연구", 한국태양에너지학회 논문집, v.24 n.2(2004-06) pp. 9-16
- [3] C. Yousif, J.M. Franco Esteban*, D. Salvador Lopez* and L. Santana Zurita*, "UPRIGHT, OPTIMALLY-INCLINED AND TRACKING GRID-CONNECTED PV SYSTEMS PERFORMANCE IN MALTA", 22nd EU PVSEC, Milan 3-7 Sep, 2007
- [4] 정병호, 박정민, 조금배, 백형래, 정수복, "50kW급 계통연계형 태양 광발전시스템의 시뮬레이터구현", 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 25, No. 4, 2005, pp. 21-27
- [5] NREL, "Soalr position algorithm for solar radiation application," 2008
- [6] 안승규·신기식·윤경훈, 태양전지 성능평가 기술(측정과 보정),
 Polymer Science and Technology Vol. 22, No. 6, December 2011
- [7] 한원석 (W.S. Han),김현수 (H.S. Kim), 최병석 (B.S. Choi), 오대곤 (D.K. Oh), 차세대 고효율 태양전지 기술 동향, 전자통신동향분석 제 22권 제 5호 2007년 10월

- [8] Martin A. Green, Keith Emery, David L. King, Yoshihiro Hishikawa, and Wilhelm Warta, "Solar Cell Efficiency Tables(version 29)," Prog. Photovolt. Res. Appl., Vol.15, 2007, pp.35-40.
- [9] Lawrence L. Kazmerski, "Solar Photovoltaics R&D at the Tipping Point: A2005 Technology Overview," J. Elec. Spectroscopy and Related Phenomena 2006, Vol.150, pp.105-135.
- [10] Grunow, P., Preiss, A., Koch, S. and S. Krauter. Koch: "Yield and Spectral Effects of a-Si Modules." Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg (Germany), September, 21 - 25 2009, pp. 2846-2849.
- [11] CIE 85-1989, Solar Spectrum Irradiance ISBN 3 900 734 22 4
- [12] Martí N, Ruiz J.M, "A new model for PV modules angular losses under field conditions", International Journal of Solar Energy 2002: 22(1); pp. 19–31.

감사의 글

어느덧 짧지 않은 교육대학원 생활을 마무리하며 지난 시간들을 돌이켜 보니 많은 아쉬움과 후회가 남습니다. 학업적 성취에 있어서의 아쉬움만 이 아닌, 고마운 많은 분들께 감사의 마음을 제대로 전하지 못했기에 더 욱 그러한 것 같습니다. 제가 이렇게 성장하기까지 오랜 시간이 걸렸지만 그 세월 속에서 직·간접적으로 힘이 되고 방향을 잡아주셨던 많은 분들 께 감사의 말씀을 전하고자 합니다.

먼저 본 논문이 완성되기까지 세심한 지도와 많은 격려로 이끌어 주신 조금배 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 논문심사 과정에서 아낌없 는 지도로 많은 가르침을 주신 박세승 교수님, 최연옥 교수님께도 감사드 리며 매 학기 마다 큰 열정으로 심도 있는 강의를 해 주신 모든 기술가정 교육과 교수님들께도 감사드립니다.

논문이 완성되기까지 많은 도움을 주신 조선대학교 전기공학과 전력전 자연구실 석사과정 이권님, 김기현님, 전법준님, 나현준님, 김청담님에게 감사의 말씀을 드립니다. 앞으로 하고자 하는 분야에서 최고가 될 수 있 도록 기원하겠습니다.

마지막으로 항상 사랑으로 키워주시고 부족한 자식을 믿어주신 부모님 께 감사의 말씀을 전합니다. 언제나 제 편이 되어 힘을 주시고 바르게 생 각하고 행동할 수 있도록 가르쳐주신 부모님께 누가 되지 않는 아들이 되 기 위해 더욱 성장하도록 노력하겠습니다.

그리고 미처 생각나지 않아 거론하지 못한 분들께도 죄송하다는 말씀과 함께 감사의 인사를 전합니다.

교육대학원 과정을 마치고 새로운 생활을 목전에 둔 상황에서 많은 걱 정과 불안이 앞서지만 지금까지 저에게 많은 도움과 가르침을 주신 분들 의 기대를 저버리지 않기 위해 새로운 각오를 다져봅니다.

이 짧은 글로 저에게 도움을 주신 모든 분들께 감사를 표시하기에는 부 족하지만 사회에 나가서 항상 성실한 모습으로 보답하겠습니다.

감사합니다.

2012.12 전성환