

工學碩士 學位論文

집광추적형 PV발전 시스템의
설계에 관한 연구

A Study on the Design of a Concentration and
Tracking Photovoltaic Power Generation
System

指導教授 劉 永 昊

2006年

韓國海洋大學校 海事産業大學院

電氣電子制御工學科

金 鳳 來

목 차

Abstract

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경	1
1.2 선행 연구	2
1.3 연구 목적 및 내용	4

제 2 장 집광추적 계통연계형 시스템 설계

2.1 집광 시스템	5
2.2 추종 시스템	7

제 3 장 모니터링 시스템 설계

3.1 UDP Protocol	13
3.2 Main System	22
3.3 모니터링 시스템	24

제 4 장 실험 및 결과

4.1 시스템 구성1	26
4.2 실험 결과 및 분석	28

제 5장 결 론

참고 문헌

A Study on the Design of a Concentration and Tracking Photovoltaic Power Generation System

Bong-Rae, Kim

*Department of Electric · Electronic · Control
Engineering*

*Graduate School of Maritime Industrial Studies
Korea Maritime University*

Abstract

Photovoltaic Power Generation system occupies an important position as an alternative energy source, converting directly sunlight into electricity using photovoltaic cells.

The overall objective of this study is to present and confirm the effectiveness of a concentrating and tracking photovoltaic power generation. For this, comparative experiments were carried out with two rating 75 watt solar modules in 25°C under different rate of a concentrating and tracking system and a normally fixed system as measuring generated voltages, current and temperature of back sheet of modules by a internet monitoring system to find out which is better in economic sense. The experiments show that the

output power of the concentrating and tracking photovoltaic power generation is over 180% more than that of the fixed system and concentrating ratio which the system can be operated without a cooling system.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

최근 국내외에서는 기존 에너지원의 보존에 대한 직·간접적인 문제 대두와 친환경적인 에너지원에 대한 요구 증가에 따라, 대체 에너지 개발을 위해 태양, 풍력, 폐기물 에너지 등의 신재생에너지원에 대한 관심이 높아지고 있다[1].

특히 2005년 1월 16일 발효된 교토 의정서에 따르면 선진 국가들은 구속력 있는 온실가스 배출의 감축목표(Quantified emission limitation & reduction objects: QELROs)를 설정하고, 5년 단위의 공약기간을 정해 1차 의무 감축 대상국의 경우 2008년-2012년까지 온실가스 전체 배출량을 1990년 대비 5.2%까지 감축할 것을 규정하고 있다. 우리나라는 2002년 11월 8일 교토의정서를 비준하였으며 아직 교토의정서에 따르는 법적 의무는 없으나 OECD 회원국으로서 온실가스 감축 압력을 받고 있으며 2차 의무 감축 대상국이 될 가능성이 높아 자발적인 감축노력이 절실하다. 우리나라는 경제규모에 비해 에너지 다소비형 산업구조로 되어 있어 CO₂ 배출 증가율이 선진국과 비교하여 매우 높은 수준이며, 2000년 기준 CO₂ 배출량은 세계 9위(433.5 백만톤)에 달하며, 1990년-1997년 온실가스 배출량은 1.7배 증가하고, 1인당 온실가스 배출량도 동일 기간 중 1.8배 증가하였다.

정부는 2006년 까지만 세대에 3KW급 주택용 태양광 발전시스템을 보급키로 하였으며, 향후에도 연료 전지, 풍력, PV발전과 같은 대체

에너지 개발에 많은 투자를 할 계획이다.

특히 PV 발전시스템은 무소음, 무한정, 무공해인 청정에너지를 발생하고 운전 유지관리 및 보수비용의 저가로 인하여 대체에너지원으로서 활발한 연구가 진행되고 있다. 하지만 에너지원이 태양광이어서 야간이나 우천 시에 사용이 불가능하고 일사량에만 의존하므로 자연 환경에 의한 변동이 많고, 에너지원이 저밀도라 대 전력을 얻기 위해서는 큰 면적이 필요하다는 단점이 있다. 그리고 현재 태양광 전지의 변환 효율이 상용제품의 경우 14%로 낮고 태양광 발전 시스템의 총 설비비 중 70%이상이 태양광 전지가 차지하고 있다. 따라서 기존의 전기 설비에 비해 발전단가가 높아 경제성을 갖추기 위해서는 태양광 전지 재료의 성능향상, 주변장치의 효율 증대 및 관련분야에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되어야 한다.

현재 태양광 발전은 단독으로 사용되는 독립형과 전원계통과 연계하여 보완적으로 사용되는 계통 연계형으로 구분된다. 선진국에서는 계통 연계형에 관한 연구가 활발히 진행되어 온 반면 아직 우리나라는 광고표지판이나 가로등에 이용하는 정도의 독립형에 머물러 있으므로 계통 연계형 발전 시스템에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되어야 할 것이다[1]. 더욱이 집광추적형에 관한 연구는 아직 초보적인 단계로서 발전단가를 낮추고 보다 실용적인 적용을 위하여서는 이 분야의 많은 연구가 필요하다.

1.2 선행 연구

조선대학교에서는 태양전지 어레이의 입사각에 따른 발전효율에 관

한 연구의 일환으로 2001년부터 2002년까지 2년 동안 3KW급 주택보급형 계통 연계형 태양광 발전시스템을 운전하였다. 1KW급 태양광 셀 20장으로 구성된 방위각이 정남향(180°)과 서남향(230°)의 각각 30° 경사각으로 정남향 50° 경사각으로 한 3개 그룹으로 나누어 태양광 입사각에 따른 발전량의 차이에 대하여 연구하였다. 표 1.1의 연구에 따르면 정남향 50°경사각의 경우는 정남 30°경사각의 76%, 서남향 30°경사각의 경우는 정남 경사각의 90%를 출력함으로서 방위각보다는 경사각이 태양광 발전에 중요한 요인으로 작용하는 것을 알 수 있었다[2].

표 1.1 선행연구의 결과

Table 1.1 Results of preceding research

월	발전량[WH]			총 발전량
	PV-1 (230°,30°)	PV-2 (180°,30°)	PV-3 (180°,50°)	
1	92,341	96,211	83,576	272,128
2	98,248	105,841	84,987	289,076
3	100,511	109,103	92,629	302,243
4	106,156	114,157	94,461	314,774
5	104,704	109,051	90,968	304,723
6	116,540	123,242	91,622	331,404
7	89,152	98,813	74,743	262,708
8	74,061	83,458	61,850	219,369
9	98,357	119,977	78,039	296,373
10	111,286	127,062	88,195	326,543
11	94,516	111,677	76,294	282,487
12	82,124	91,201	72,891	246,216
총 계	1,167,996	1,289,793	990,255	3,448,044

1.3 연구 목적

본 논문에서는 집광 추적형 PV발전이 설치비의 70%이상 차지하고 있는 태양광 전지 수를 감소시키는데 유효한 방법이 될 수 있는 지를 확인하기 위하여 다양한 집광비에 따른 PV발전 특성에 관하여 실험적 연구를 행한다. 그리고 인터넷 모니터링을 통하여 발생하는 전압과 전류 및 태양광모듈 뒤판의 온도를 1분마다 측정하여 데이터베이스와 파일로 저장하여 분석한다. 또한 일사량은 기상청에서 발표한 1시간 간격의 일사량 데이터를 사용하여 일사량대비 발전효율을 분석하며, 집광에 의한 태양광모듈 표면온도 상승이 PV발전에 미치는 영향 등을 분석하여 경제적인 PV발전 방법을 모색하기 위하여 다양한 실험적 연구를 행한다.

본 논문은 5장으로 구성되어 있다. 2 장에서는 본 논문에서 발전효율 증대를 위해 사용한 집광식, 추적식, 계통연계형 방법에 관한 내용을 서술하였다. 3 장에서는 구현된 모니터링 시스템의 하드웨어와 소프트웨어 구조에 대하여 설명한다. 4 장에서는 본 논문에서 제시한 집광추적식 계통연계형 태양광 모듈의 효율을 확인하기 위하여 다양한 집광비와 집광에 의한 태양광모듈 표면온도 상승이 PV발전에 미치는 영향을 확인하기 위하여 행한 실험 결과를 제시한다. 마지막으로 5 장은 결론을 맺고 향후 연구 과제를 알아본다.

제 2 장 집광 추적형 계통인버터형 시스템의 설계

2.1 집광시스템

집광시스템은 태양 복사에너지를 내부의 에너지로 변환하는 매개물로 태양 에너지 변환기중의 하나이며 집광 시스템은 태양광시스템의 중요한 부분을 담당하고 있다. 집광기(Concentrator)는 태양광 에너지를 집적하고 태양전지 반도체의 성질을 이용하여 태양 빛에너지를 우리가 사용할 수 있는 전기에너지의 형태로 변환시키는 장치이다[3].

태양광 시스템을 집광의 관점에서 집광을 하지 않는 시스템과 집광 추적하는 시스템으로 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 집광하지 않는 시스템은 태양광모듈의 표면적에 해당하는 태양빛을 전기적 에너지로 변환하는 반면 집광시스템은 여러 가지 방법으로 태양광을 태양광모듈에 모아줌으로서 태양광에너지를 집적시킨다. 집광시스템은 시스템이 태양을 추종하여 정확히 수직을 이루지 않으면 집광장치의 구조물에 의해 태양을 가리게 됨으로 태양을 추적하여야 한다.

태양집광시스템은 집광원리에 따라 반사형과 렌즈형으로 나눈다. 반사형은 태양광을 반사시켜 태양광모듈에 빛을 모아주며 렌즈형은 프레넬 렌즈(Fresnel lens)와 같이 빛이 투과되면서 각도를 변화시켜 태양광모듈에 빛을 모아 준다.

2.1.1 반사형 집광기

반사형 집광기는 태양광을 잘 반사하도록 유리 또는 얇은 강판에 수은이나 알루미늄을 진공증착 시켜 반사판으로 사용한다. 반사판을 포물선형으로 가공하여 포물선의 중심으로 태양광을 모으거나 평면 거울로 사용하여 태양광모듈로 태양광을 반사한다. 태양광모듈이 연속으로 연결되어 있는 경우에는 포물선형을 소여물통과 같은 모양을 하는 PTC(Parabolic Trough Concentrator)형이나 PTC의 포물선을 직선으로 하여 채널식이 있다. 본 실험에서는 집광율을 용이하게 조절할 수 있도록 그림 2.1과 같은 백합모양 집광기를 설계하여 유리거울을 부착하여 사용하였다.



a) 백합형



b) PTC형

그림 2.1 반사형 집광장치

Fig. 2.1 Reflect concentrator

2.1.2 렌즈형 집광기

렌즈형 집광기에는 위치에 따라 빛의 굴절율을 조정하여 가공된 프

레넬 렌즈를 사용한다. 필름은 아크릴이나 폴리탄산에스테르를 소재로 하여 제작하며, 무게가 가볍고 잘 구부러지는 특징이 있다.

그림 2.2는 프레넬 필름의 전체적인 형상 및 단면 형상을 보여주고 있다. 프레넬 필름에는 위치에 따라 굴절률이 달라지도록 렌즈가 형성되어 있어 태양 빛이 항상 일정한 위치에 도달하도록 한다. 따라서 집광장치에 수직으로 도달하는 태양 빛은 렌즈의 각을 조금씩 달리하여 빛이 태양광모듈에 도달하도록 한다[4].

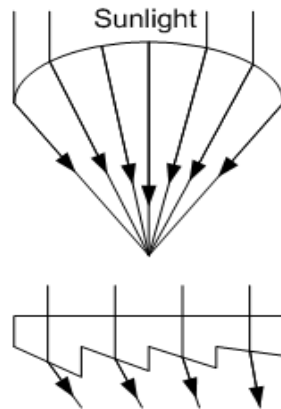


그림 2.2 프레넬 렌즈의 원리
Fig. 2.2 Principle of fresnel lens

2.2 태양 위치 추적 시스템

태양전지의 발전량은 입사 광량에 비례하므로 같은 외부환경에서도 태양전지가 태양과 법선방향으로 위치할 때 발전량이 최대가 된다. 따

라서 태양전지를 태양과 항상 법선 방향이 되도록 조정하면 태양전지의 누적 발전 효율을 증가시킬 수 있다.

집광시스템을 사용하는 경우에는 정확하게 태양을 추적하지 않으면 집광장치의 구조물에 의해 그늘이 지게 됨으로 태양을 추적해야 한다. 태양 추적시스템은 광센서를 이용하는 방법과 태양의 위치를 계산하여 추적하는 프로그램식, 센서와 프로그램을 병행하는 방법 등 크게 3가지 방법이 있다. 각 방법은 서로 장단점이 있어 사용하고자 하는 목적과 외부 환경 및 태양 추적 정확도를 고려하여 각 방법을 선택하여 적용하여야 한다[1].

2.2.1 센서에 의한 방법

그림 2.3과 같은 센서에 의한 방법은 4개의 광센서를 이용하여 입사되는 광량을 비교하여 태양의 위치를 추적하는 방식이다. 센서의 구조는 4개의 광센서와 덮개로 이루어지며, 센서와 태양이 법선각도에서 벗어난 경우 광센서들 위에 있는 덮개가 센서의 일부에 그늘을 만들어 4개의 광센서 출력이 달라지게 된다. 이때 4개의 광센서의 출력이 같아지도록 센서의 위치를 조정하면 센서는 다시 법선 방향에 위치하게 된다. 따라서 센서를 태양전지면상에 부착하고 센서가 법선 방향이 되도록 태양전지를 움직여 주면 태양전지를 태양과 법선 방향으로 유지할 수 있게 된다. 이 방법은 구성이 간단하고 특별한 연산이 필요 없어 사용이 용의하다.

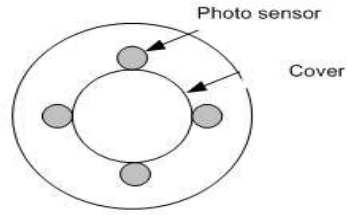


그림 2.3 태양 위치추적 센서
Fig. 2.3 Solar Position Sensor

센서를 실제 적용한 태양광 발전시스템의 결과들을 분석해보면 태양 추적성능은 양호하였으나 센서가 외부환경에 노출되어있어 외란에 의해 오동작하는 경우가 있다. 또한 구름 등으로 인하여 일정시간동안 태양이 나타나지 않아 각도가 벗어난 경우에 태양을 추적하지 못하는 경우가 발생하기도 한다.

2.2.2 프로그램 및 센서 조합방법

센서에 의한 방법의 경우 일정 각도가 벗어난 경우 태양 추적이 안 되는 점을 보완하기 위해 프로그램에 의해 시간에 따른 태양의 위치를 결정하고 센서에 의해 정확한 위치를 추적하는 방법을 사용할 수 있다. 프로그램에 의해 대강의 위치를 먼저 찾아가므로 장시간동안 태양이 나타나지 않은 경우도 태양추적이 가능하고 외란에 의한 오동작을 일정범위 내에서 제한할 수도 있다. 이 방법은 프로그램이 비교적 간단하면서도 정확한 태양의 위치 추적이 가능하고 오류도 적어지는 장점이 있다. 그러나 태양의 대강 위치를 추적할 수 있는 프로그램이 필요하고 외란에 의한 센서의 문제를 완전히 해결하지 못한다는 단점을 가지고 있다.

2.2.3 프로그램에 의한 방법

태양위치계산은 현재 태양전지가 설치되어 있는 지점을 중심으로 태양까지의 고도와 방위각을 어느 정도 시간 간격을 두고 계산해 내는 방법이다. 추적 시스템의 입력신호로 사용되는 태양의 위치는 천문학에서 정의된 지구의 운동 관계식을 사용하여 계산해 낼 수 있다. 그러나 태양 위치 계산을 위한 관계식은 소수점 7번째 자리까지 가는 복잡한 계산이므로 충분한 정확성을 검증해야할 필요성이 있다.

지구가 태양주위를 약 23.5° 기울어서 회전하므로, 일년 동안의 남중고도가 변화되고 계절이 생기며 태양위치 계산이 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, 지구 중심을 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 1회전하며, 또한 천구 스스로가 매일 1회전하는 가상의 천구의 적도면을 기준으로 하여 약 23.5° 의 경사각을 가지고 있으며 춘분점 및 추분점에서 천구적도와 서로 교차한다. 또한 천구의 북극점과 남극점을 연결하여 춘분점을 통과하는 선을 춘분시간권(Hour circle of vernal equinox)이라하고, 이를 천구상의 태양의 위치를 표시하는 기준선으로 사용한다.

천구에서 태양위치를 나타내는 방법은 춘분시간권과 태양시간권(Hour circle of sun)의 사이각으로 측정되는 적경(Right ascension)과

천구 적도와 태양과의 사이각인 적위로 표시하는 방법이 있다.

천문학에서 사용되는 적경 및 적위의 계산식은 율리우스적일(Julian date), 천구상 태양평균경도(Mean longitude), 평균근점이각(Mean anomaly), 황도상 태양경도(Ecliptic longitude) 및 황도경사각(Obliquity of ecliptic)을 사용하여 정의한다. 적위(δ)의 계산식은 식(2.1)와 같다.

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{-360(n+284)}{365} \right] \quad (2.1)$$

단, n은 1월 1일을 기준으로 한 계산 대상일의 일수
(예:1월1일 1, 12월 31일 365)

천구좌표계를 기준으로 하여 계산된 태양의 위치는, 다시 태양추적 시스템에서 요구되는 방위각 및 고도각으로 환산되며, 이때 영국 Greenwich 평균항성시간(Greenwich mean sidereal time), 집광기가 설치되어 있는 지점의 평균항성시간(local mean sidereal time) 및 시간각(hour angle)과 집광기 설치 지점의 위도(latitude)가 사용된다. 고도각(α)과 방위각(ϕ)의 계산식은 식(2.2), 식(2.3)과 같다[5].

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega) \quad (2.2)$$

단, ω 는 시각(예:1시간은 15, 24시간은 360)

$$\phi = \sin^{-1} \left(\frac{-\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \alpha} \right) \quad (2.3)$$

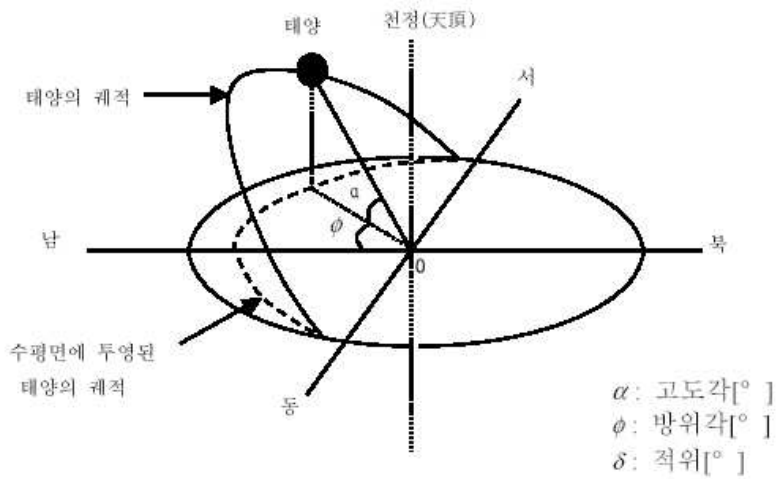


그림 2.4 태양의 고도각과 방위각
 Fig 2.4 Elevation and azimuth of Solar

제 3 장 모니터링 시스템 설계

3.1 시스템의 구성

본 장에서는 태양광 전지의 전압, 전류 및 온도 데이터를 수집하는 메인 모듈과 수집된 데이터를 모니터링하는 시스템에 대해서 기술한다. 그리고 메인모듈과 모니터링 시스템에 사용되는 프로토콜인 UDP/IP에 대해서 간단히 설명을 한다[6].

3.1.1 UDP(User Datagram Protocol)

UDP는 그림 3.1에서 나타나듯이 ISO/OSI 참조 모델의 7계층 중 제 4 계층(Transport layer)에서 동작하는 효율적인 전달 프로토콜이다. 그리고 UDP는 비연결형(Connection-less)서비스를 제공하는 프로토콜이기 때문에 TCP와 달리 응용 프로세스 간에 연결을 설정할 필요가 없으며, 오류제어와 흐름제어를 하지 않는다. 또한 UDP는 송신측 호스트의 특정 프로세스로부터 목적지 호스트의 특정 프로세스까지 Datagram을 전달하지만 신뢰성을 제공하지는 않는다. 이러한 단점 등을 보완하기 위해서는 상위계층인 제 7 계층(Application layer)에서 필요하면 이를 처리해줘야 한다. 표 3.1은 TCP와 UDP의 비교를 나타내고 있다.

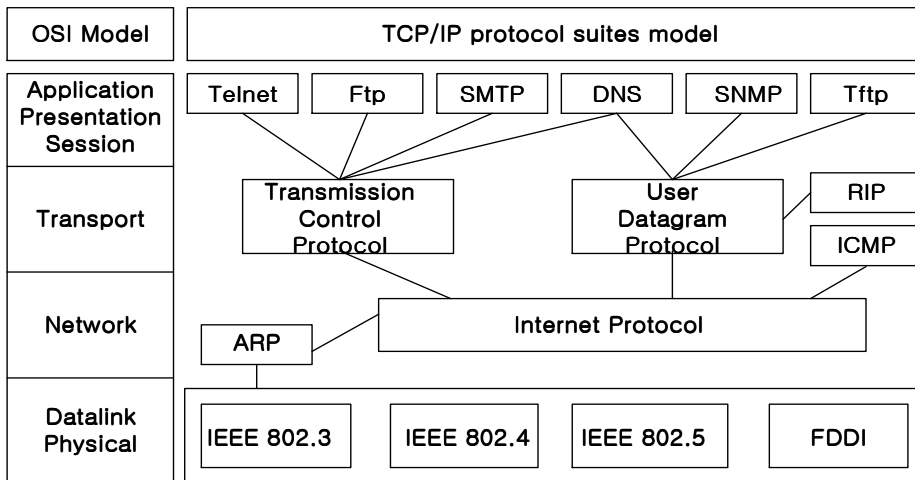


그림 3.1 OSI 기본 참조 모델

Fig. 3.1 OSI reference model

표 3.1 TCP와 UDP 비교

Table 3.1 Comparison of TCP and UDP

구분	TCP	UDP
데이터 전송형태	연결(connection)형	비연결형
신뢰성	송신중에는 데이터링크를 유지하기 때문에 신뢰성이 높다.	송신중의 데이터 부실이나 순서에러에 관여하지 않기 때문에 신뢰성이 낮다.
데이터 전송속도	데이터 흐름(data stream)제어나 순서제어를 하기 때문에 전송속도가 늦어진다.	데이터 흐름제어나 순서제어를 하지 않는 만큼 전송속도가 빠르다.
데이터 전송포맷	각종 제어를 위한 오버헤드(overhead)가 커진다.	오버헤드는 최소화된다.

3.1.1 UDP의 역할

UDP는 IP의 기능이 제 7계층인 응용계층에서 사용되도록 하는 프로토콜로써 애플리케이션에는 여러 종류가 있으므로 이를 구별하기 위해서 포트 번호를 사용한다. 따라서 각각의 패킷에 포트 번호를 부가하여 어느 패킷이 어느 애플리케이션인가를 구별하고 있다. 포트 번호를 사용할 때는 주의를 해야 하는데 지정된(well known) 포트로서 DNS는 53, DHCP는 67 등 0에서 511번까지는 예약되어 있으므로 이용자는 1000번 이상을 사용하도록 권하고 있다.

3.1.2 UDP 패킷의 구조

그림 3.2에 UDP 패킷의 구조를 나타내었다. 첫 번째로 Source Port Number는 패킷을 보내는 송신측 호스트의 응용 프로세서를 식별하기 위한 16bit 포트번호이다. 두 번째로 Destination Port Number는 패킷의 받는 목적지 호스트의 응용 프로세스를 식별하기 위한 16bit 포트번호이다. 세 번째로 UDP total length는 32bit 단위로 나타낸 헤더와 데이터의 전체길이를 나타낸다. 마지막으로 Checksum은 IP Checksum 헤더와 같은 방법으로 1의 보수로 합계를 계산한다. 한 가지 다른 점은 체크섬이 0 또는 0FFFFH가 되었을 때 UDP는 0FFFFH를 저장하며 IP는 그대로 0 또는 0FFFFH로 저장한다. 이렇게 하는 이유는 UDP에서는 체크섬이 옵션이므로 생략할 때는 0의 값이 들어가기 때문이며 생략하면 신뢰성은 떨어지게 된다. 데이터부는 실제로 전송하고자 하는 데이터로써 아스키 값으로 되어 있다.

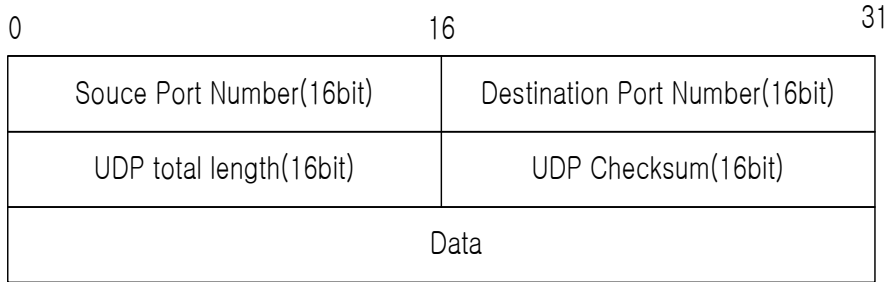


그림 3.2 UDP 패킷의 구조

Fig. 3.2 UDP packet format

3.1.3 UDP 수신 처리

체크섬을 계산하여 패킷이 파괴되지 않았다는 것을 확인하며 체크섬 필드가 0일 경우에는 생략되었으므로 고려하지 않는다. IP 어드레스와 포트 번호의 조를 소켓이라 하는데 UDP와 IP의 헤더에서 소켓을 구성하여 일치하는 애플리케이션이 있다면 그 애플리케이션을 호출하여 데이터를 처리한다.

3.1.5 UDP 송신 처리

애플리케이션에서 패스되는 소켓의 정보를 바탕으로 발신지와 수신지 포트 번호, 데이터 길이를 만들고 체크섬을 계산한 후 수신지 소켓의 IP 어드레스를 수신지 IP 어드레스로 지정하고 IP 출력 루틴을 호출한다.

3.1.6 UDP/IP 프로토콜을 이용한 패킷 송신

그림 3.3은 UDP/IP 프로토콜을 이용한 패킷의 송신 과정을 그림으로 나타내었다. 그림에서 보면 192.168.0.1의 IP를 가진 호스트가 172.21.0.2의 IP를 가진 호스트로 데이터를 전송하려고 한다. 그러나 MAC 어드레스를 모르므로 통신을 할 수가 없다. 또한 그림 상에서는 수신지가 동일 네트워크 상에 존재하지 않으므로 중계기 역할을 하는 라우터를 거치게 된다. 아래에 통신 순서를 나타내었다.

- ARP 요구를 브로드캐스트
- ARP 응답 패킷을 수신
- IP 패킷을 송신
- 경로배정(routing by router)
- ARP에 의해 목적지 MAC 어드레스를 알아냄
- 목적지로 패킷 전송

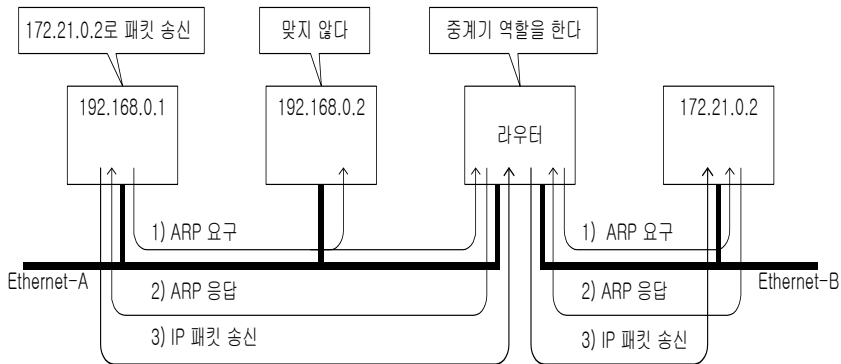


그림 3.3 UDP/IP의 개념도

Fig. 3.3 Packet transmission using UDP/IP

3.1.7 인터넷 통신의 S/W 설계

프로그램은 크게 두 부분으로 나누어진다. 첫 번째는 ARP, UDP/IP 프로토콜을 처리하는 부분이고 두 번째는 LCD에 데이터를 보여주는 부분이다. 모두 인터럽트에 의해서 각각의 루틴을 수행하며 하드웨어와 연구의 특성상 다음과 같은 제약을 가진다.

- 마이크로프로세서 시스템에서는 RAM이 32KB 이므로 애플리케이션이 이용하는 영역을 생각하면 충분한 버퍼 영역이 잡히지 않는다. 그래서 Ethernet의 1패킷(1518 바이트)을 저장할 수 있는 최소한의 영역만 이용한다.
- 자발적으로 패킷을 송신하지 않으며 마이크로프로세서 시스템에서 패킷을 수신했을 때만 패킷을 송신
- 실제 플랜트에 연결하지 않고 시뮬레이션 데이터를 만들어 전송

그림 3.6에 인터넷통신 프로토콜을 구현하기 위한 소프트웨어 구성도를 나타내었다.

프로그램이 시작하면 MAC 어드레스, IP 어드레스, RTL8019AS의 송수신 버퍼를 체크하여 초기화를 한다. 80C196KC 마이크로 컨트롤러에서는 RTL8019AS로부터 인터럽트 신호를 기다린다.

RTL8019AS은 자신의 IP에 해당하는 데이터패킷 수신을 완료하면 80C196KC 마이크로 컨트롤러 프로세서에 인터럽트 신호를 보내고, 프로세서는 수신한 데이터를 RAM에 저장한다. RAM에 저장된 데이터에서 Ethernet 패킷의 헤더를 검사하여 TCP 혹은 UDP프로토콜인

지를 확인한 후 해당 프로토콜의 루틴에서 작업을 수행한다. 그림 3.7에 ARP 프로토콜의 흐름도를 나타내었다. 통신을 개시할 때는 마이크로프로세서 시스템의 MAC 어드레스를 모르므로 호스트는 ARP 요구 패킷을 송신하게 된다. 수신측에서는 ARP 요구 패킷을 체크하여 자신의 IP 어드레스와 같은 경우에는 ARP 응답 패킷을 만들어서 전송하며 같지 않은 경우에는 패킷을 파기하고 다음 패킷 수신을 대기한다. ARP에 의하여 마이크로프로세서 시스템의 MAC 어드레스를 확인한 후에 호스트는 IP 패킷을 송신하게 된다.

그림 3.8에 IP프로토콜의 흐름도를 나타내었다. IP 패킷을 수신한 후 헤더를 검사하여 자신의 IP 패킷이 맞으면 상위 프로토콜 번호를 확인한 후 해당 루틴으로 가서 다음 작업을 수행하게 된다. 현재는 UDP를 사용하므로 상위 프로토콜 번호는 17이며 이것과 다른 프로토콜은 수행하지 않으므로 번호가 맞지 않으면 패킷을 파기한다.

그림 3.9에 UDP프로토콜의 흐름도를 나타내었다. UDP 헤더를 검사하여 데이터를 확인하게 된다. 이때 주의할 점은 헤더는 모두 이진수이지만 UDP의 데이터는 아스키코드 값이라는 것이다.

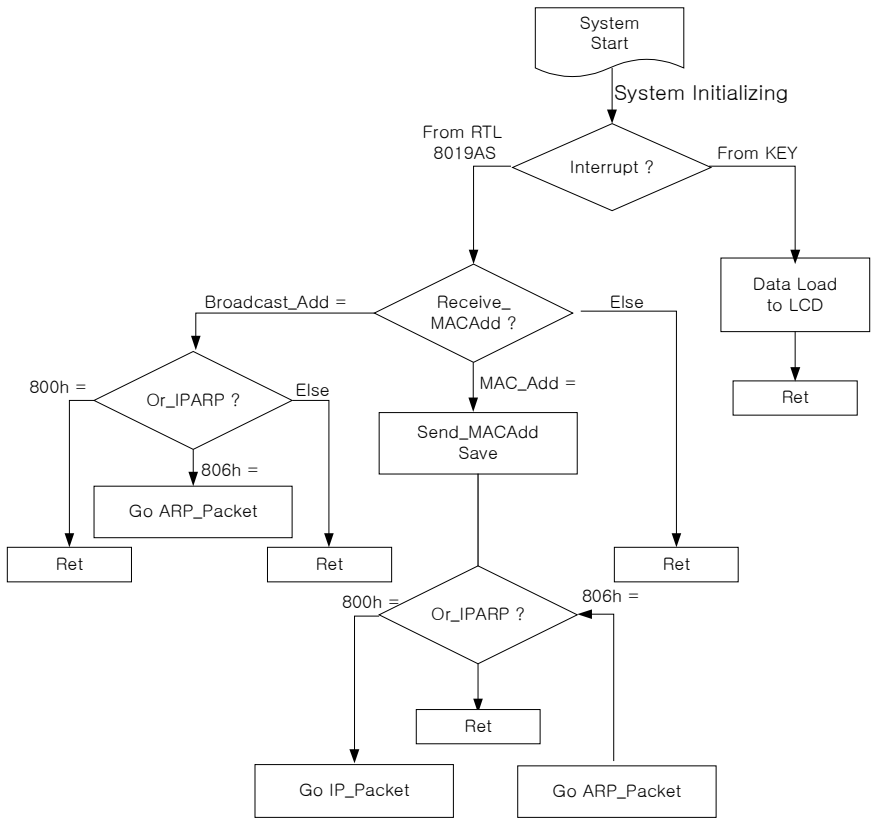


그림 3.4 소프트웨어 흐름도
 Fig. 3.4 Software flow chart

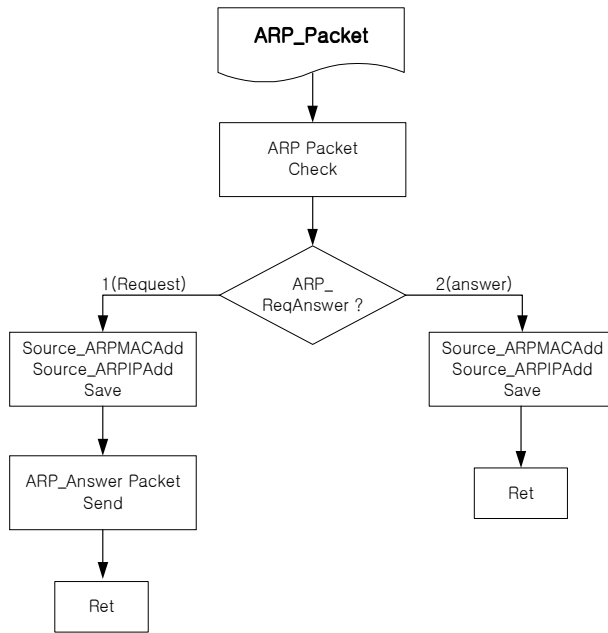
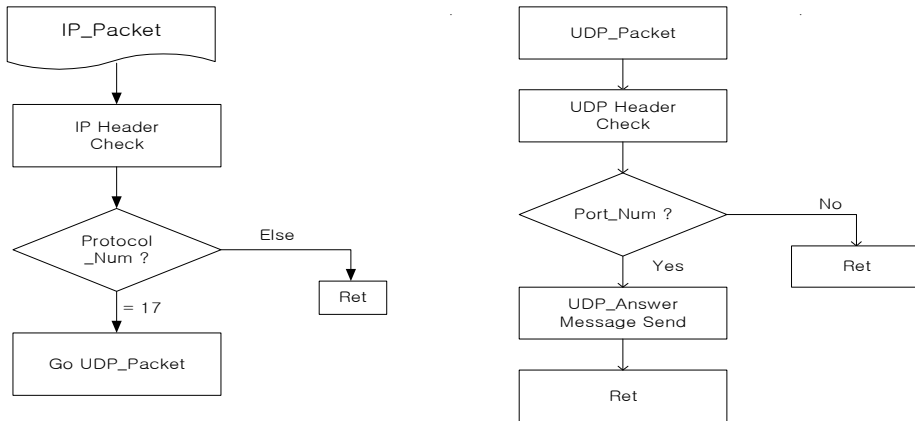


그림 3.5 ARP의 흐름도

Fig. 3.5 ARP flow chart



(a) IP flow chart

(b) UDP flow chart

그림 3.6 IP와 UDP의 흐름도

Fig. 3.6 IP and UDP flow chart

3.2 Main system

전체 시스템은 그림 3.2에서 보는 바와 같이 서버시스템의 하드웨어 구성은 마이크로프로세서 (80C196KC)와 *KEY*, *LCD*, *INTERNET* 통신 모듈, 전력선 통신 모듈로 구성되어 있다.

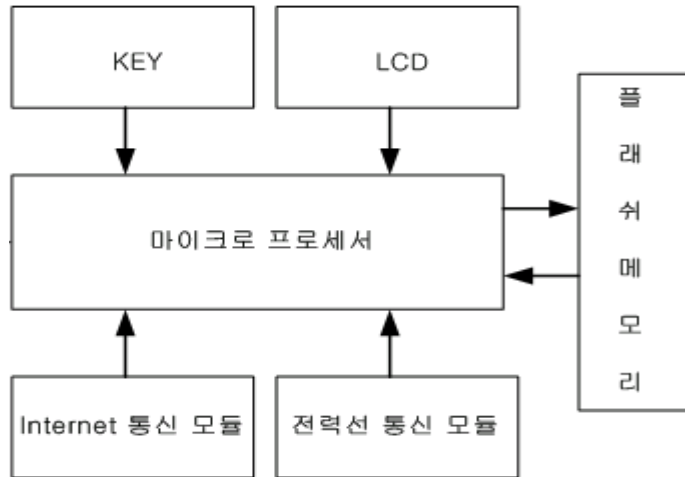


그림 3.7 서버시스템의 하드웨어 구성

Fig. 3.7 System diagram of hardware of a server system

프로세서는 *NIC*를 이용한 *ARP*, *UDP/IP* 인터넷 통신과 전력선 송·수신하는 *RX/TX*의 기능으로 구현되어 있다. 하드웨어 환경을 변경하기 위하여 *KEY*와 태양광 전지로부터 수집된 데이터를 출력하기 위하여 *LCD*를 사용하였다. 인터럽트는 2개를 사용하여 *NIC*가 데이터 수신하여 인터럽트가 발생되면 서버시스템의 주 프로세서인 80196KC의 외부 인터럽트를 발생시켜 마이크로프로세서가 인터넷 링 버퍼에서 데이터를 읽도록 하였다. 데이터의 자료 손실을 막기 위해 수시로

검침 데이터를 플래쉬 메모리에 저장 하도록 구현하였다.

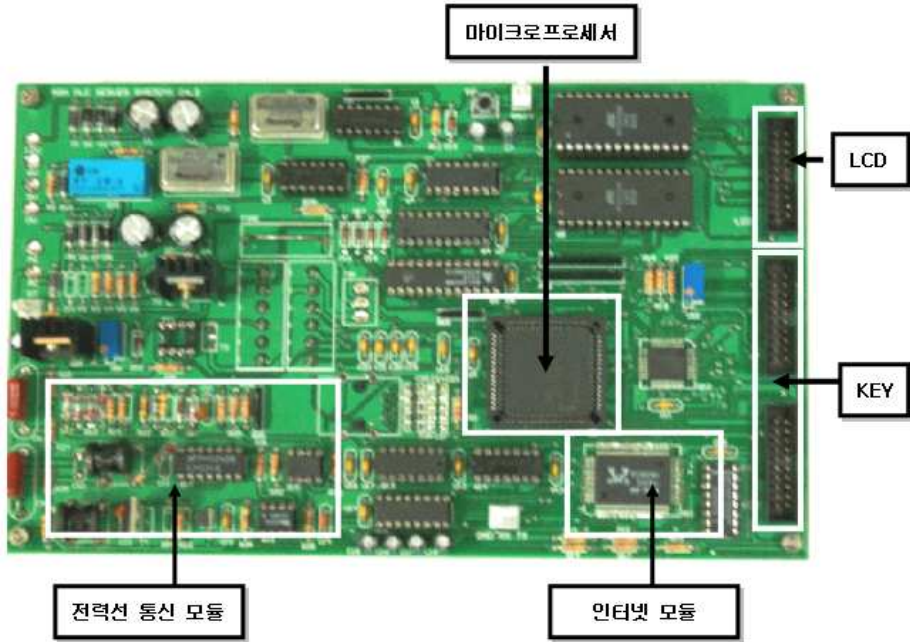


사진 3.1 개발된 서버시스템

Photo. 3.1 Developed a server system

사진 3.1은 개발된 서버시스템이다. 전력선 송·수신을 담당하는 전력선 모듈과, 인터넷 데이터의 NIC 링 버퍼, 각종 검침 데이터의 출력을 담당하는 LCD, KEY 와 연결되는 콘넥터 등으로 구성된다.

3.2.2 서버시스템의 소프트웨어 설계

서버 시스템의 소프트웨어는 인터넷 통신과 수집된 데이터를 관리 하는 두 가지의 프로그램으로 나누어진다. 상위 모니터링 시스템에서 인터넷으로 원격검침 요청 데이터를 수신하면 MAC 어드레스와 IP

어드레스를 검사한다. 그리고 ARP 패킷 검사를 하여 ARP일 경우 응답 패킷을 만들어 모니터링 시스템에 전송하고, UDP 패킷일 경우 그동안 저장되어 있던 데이터를 UDP 패킷으로 만들어 10[sec]의 시간 간격으로 모니터링 시스템에 전송한다[7].

3.3모니터링 프로그램

개발된 모니터링시스템을 원격으로 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 데이터베이스에 저장하기 위하여 Visual C++ 6.0에서 개발되었으며 데이터 관리를 위하여 My SQL 데이터베이스를 사용하였다.

그림 3.8은 개발된 모니터링 시스템을 나타내었다. 태양광 전지 모듈 뒤판에 부착된 센서를 통해서 전압, 전류 및 온도 3개의 데이터를 표시한다.

타이머에 의해서 일정시간 간격(10 sec)으로 메인 시스템과 데이터를 주고받는다. 만약 데이터 요청신호를 보낸 후 데이터가 수신되지 않으면 무응답카운트를 하고 다음 태양광 전지 모듈에게 응답요청 신호를 보낸다. 무응답카운트가 설정치를 넘으면 해당 태양광 전지 모듈의 UDP통신 오류를 경보한다.

2장의 태양광 전지로부터 수집된 데이터를 1분 간격으로 데이터베이스에 저장하고 모니터링 시스템의 아래 콤보박스에 카운터를 증가시킨다. 카운터가 증가가 안 될 경우 UDP오류를 경보한다.



그림 3.8 모니터링 시스템의 구조
 Fig 3.8 Structure of the monitoring system

제 4 장 실험 및 결과

4.1 시스템의 구성

본 논문에서 사용된 태양광 전지 모듈은 Symphony Energy사에서 만든 SE-M75로 75W의 출력을 내며 전지 모듈의 특성은 표 4.1과 같다.

표 4.1 태양광 전지 모듈 SE-M75의 특성

Table 4.1 Specification of solar module SE-M75

분류	기호	특성
평균 출력 전력	W_p	7.5W
최대 전력점 전압	V_{mpp}	17.6V
최대 전력점 전류	I_{mpp}	4.26A
개방 전압	V_{oc}	21.6V
단락 전류	I_{sc}	4.73A
태양광 셀 효율비	η_c	13.4%
모듈 효율비	η_m	11.7%
가로*세로*높이	$L*W*H$	1195mm*535mm*35mm
무게	M	9kg
운전중 셀 온도	$^{\circ}C$	-40~90 $^{\circ}C$

사용된 태양광 전지 모듈은 모두 2장으로 1장은 남쪽방향으로 고정되어 있으며, 나머지 1장은 태양을 집광하고 추종하며 태양광 전지 뒤판에 온도를 낮추기 위하여 냉각 시스템을 부착하였다.

집광장치는 거울을 사용하여 백합의 꽃 모양처럼 만들었으며 집광의 비율을 1~5배 변화시킬 수 있도록 장치를 구성하였다.

전체 시스템은 태양광 전지 모듈 2개, 전압과 전류 및 태양광모듈 뒤판의 온도를 1분마다 측정하기 위한 데이터 수집 시스템, 측정된 데이터를 데이터베이스에 저장하기 위한 인터넷 모니터링 시스템, Hub로 구성되어있다. 사진 4.1은 실험 장치를 나타냈으며 그림 4.1은 실험장치의 구성도이다.

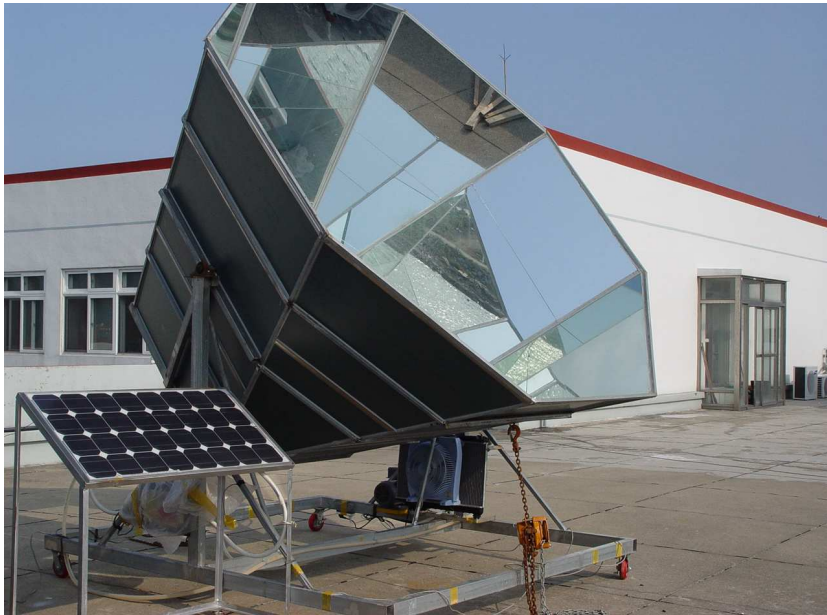


사진 4.1 고정식과 집광추적식 태양광 전지 모듈
Photo 4.1 Fixed Solar Module and Concentrating Solar Module

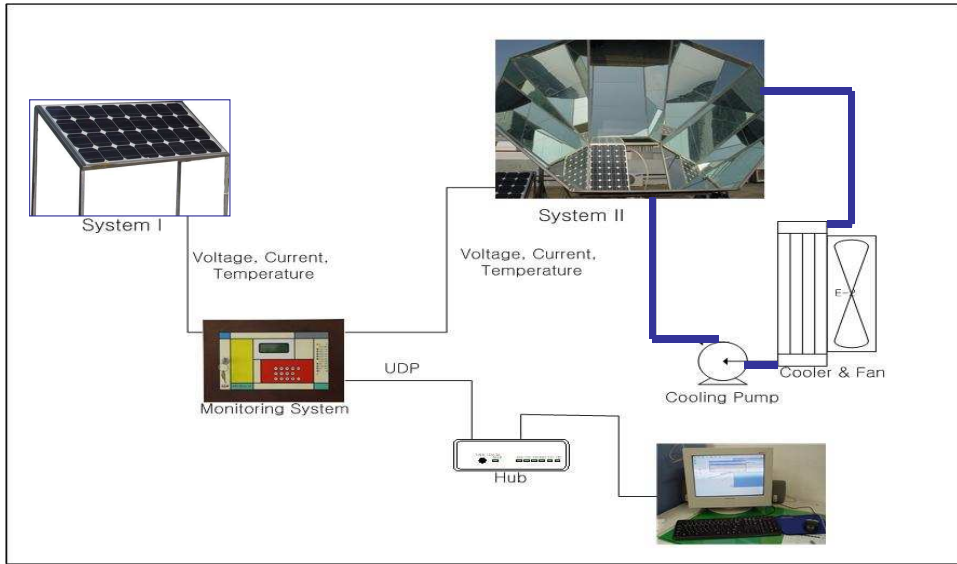


그림 4.1 시스템 구성도

Fig 4.1 Configuration of the System Diagram

4.2 실험 결과 및 분석

집광추종 시스템의 효율성과 냉각기의 효율성을 알기위해서 총 3가지 방법으로 실험을 행하였다.

4.2.1 실험 I

실험 I은 남중 35° 고정식인 시스템 I과 500% 집광추종식이며 태양광전지모듈 뒷 판에 수냉각 시스템을 부착한 시스템 II를 실험 비교하였다.

그림 4.2~4.4는 2005년도 8월 29일 실험한 데이터이며 오전에는 청명하였으며 오후에는 구름이 약간 있었다. 그림 4.2는 고정식과 집광추종식의 하루 동안의 출력전력을 비교한 파형으로 고정식의 경우 태

양빛의 변화에 따라 민감하게 출력전력이 변화한다는 것을 알 수 있다. 그러나 집광추종식의 경우 일출 후 출력전력이 안정되는 시간이 고정식에 비해 짧았으며 태양빛의 변화에 출력전력의 변화가 작았으며 구름이 끼었을 경우에도 변화율이 고정식에 비해 작았다. 그림 4.3은 태양광 전지모듈의 온도변화를 나타낸 그래프로서 고정식인 System I의 태양광전지 모듈과의 온도차가 크지 않음을 알 수 있다. 그 이유는 사용된 쿨링시스템은 확관핀형으로서 핀과 태양광모듈과의 접촉이 좋지 않아 냉각효율이 떨어지는 것에 기인하는 것으로 사료된다. 그림 4.4는 기상청에서 측정한 일사량과 비교한 그래프로서 일출 후 약 3시간동안 고정식에 비해 집광추종식이 30%정도 효율성이 컸으며 그 이후에는 두 시스템의 변화가 거의 비슷한 것으로 보아 집광된 빛 에너지는 태양광전지의 발전능력을 초과하여 발전량이 증가하는 것이 아니라 열로 변환되는 것을 알 수 있다. 그러나 일몰이 가까워지면 빛에너지가 작아져 집광에 의해 발전량을 증가시킬 수가 있음을 알 수 있다.

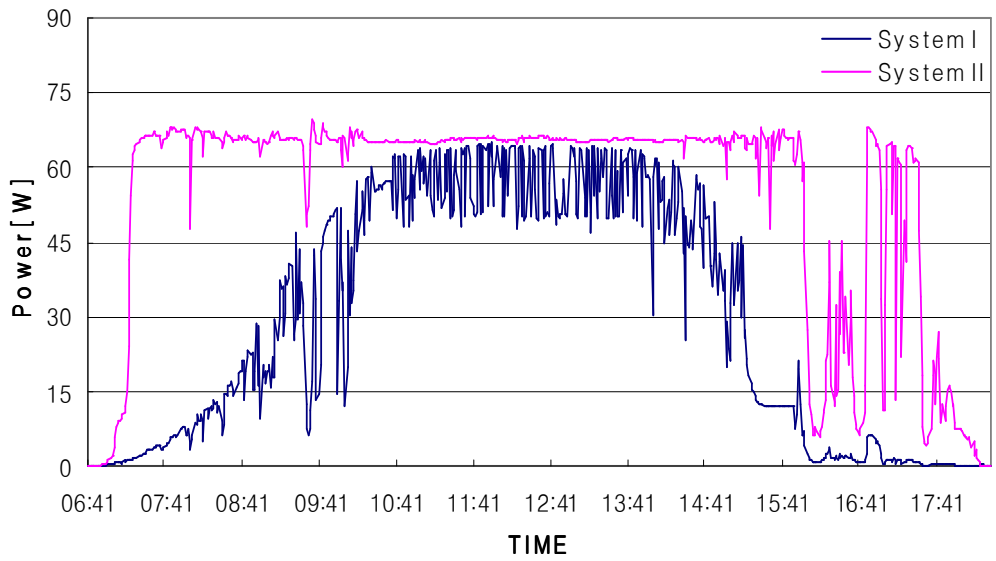


그림 4.2 시스템 I과 시스템 II의 발전량비교
 Fig 4.2 Power generation of System I and II during a day

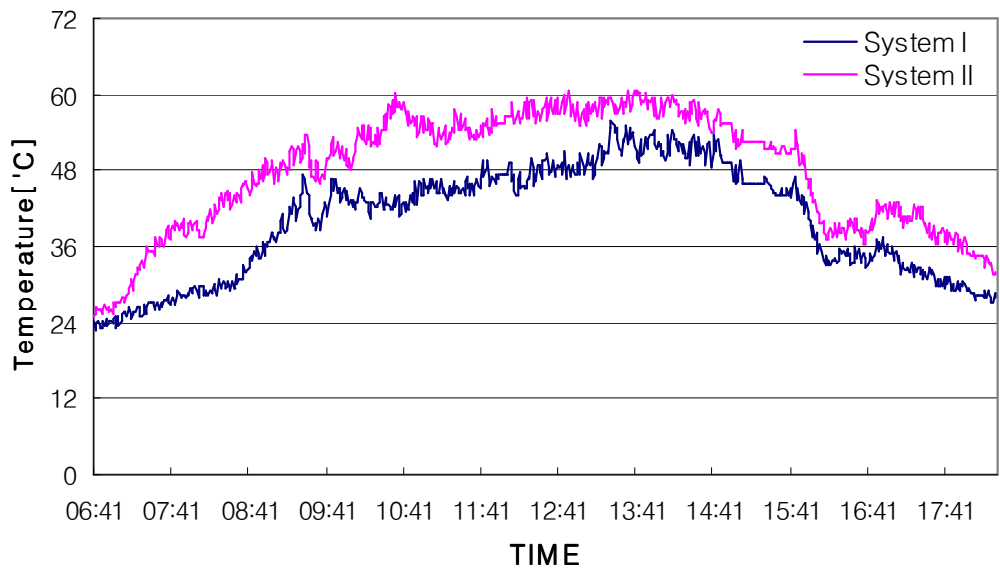


그림 4.3 고정식과 추종식의 온도 변화
 Fig. 4.3 Temperature trend of two systems during a day

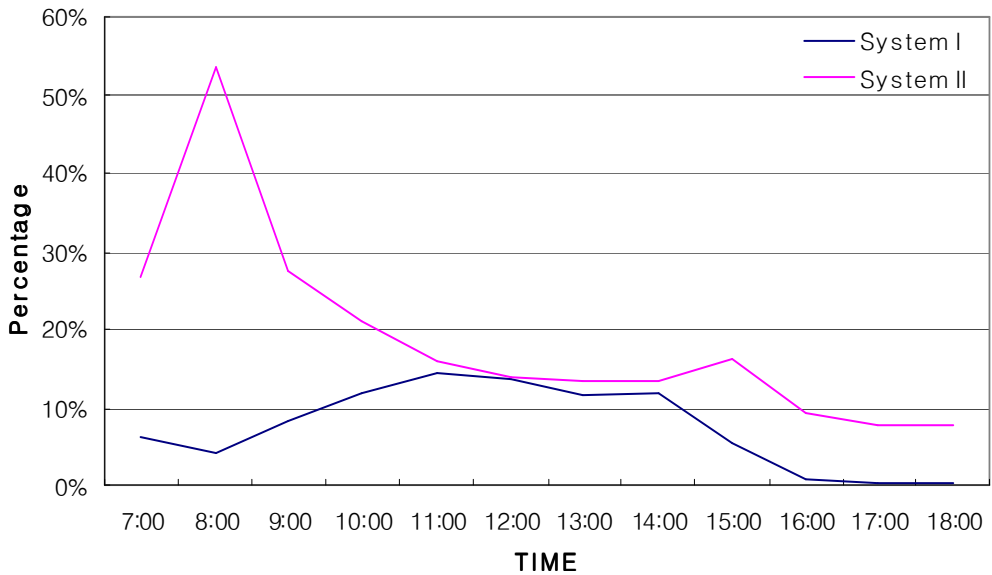


그림 4.4 일사량과 발전량의 비
 Fig.4.4 Comparison of practical usage of solar radiation

4.2.1 실험 II

실험 II는 실험 I의 결과를 토대로 수냉각시스템의 효율성이 미비하였기 때문에 수냉각 시스템의 효율성을 판단하기 위하여 시스템 I과 시스템 II를 300% 집광추종하고 시스템 II에만 수냉각시스템을 부착하였다.

그림 4.5에서 그림 4.7은 9월 28일자 실험 결과이다. 그림 4.5에서는 하루 동안의 출력전력 그래프로서 시스템 I과 II의 거동이 거의 비슷함을 알 수 있다. 마찬가지로 그림 4.6과 4.7의 그래프도 거의 비슷하다. 이 실험을 통하여 전지 모듈의 온도를 낮추기 위한 쿨링 시스템의 효율성이 미미함을 알 수 있다. 또한 300%집광하면 냉각장치를 설치하지 않아도 운전가능함을 알 수 있다. 또한 냉각 장치의 효율이 좋아

정격환경인 25도로 냉각한다고 하더라도 10%정도의 발전량 증가가 예측되며 냉각시스템구동을 위한 동력소모량을 감안하여 냉각장치 부착여부를 결정하여야 할 것으로 판단된다.

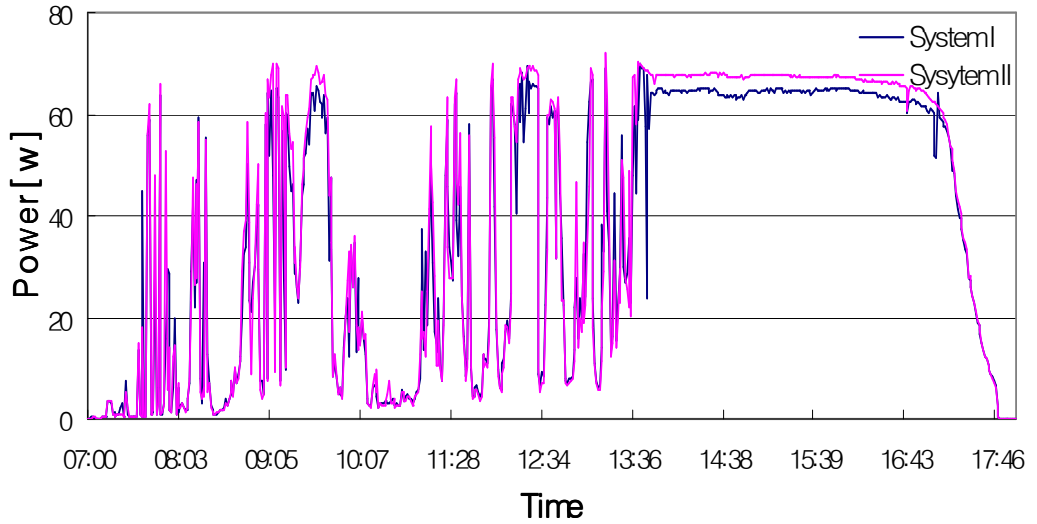


그림 4.5 냉각기 유무에 따른 시스템의 발전량변화
 Fig.4.5 Power generation of system with cooling and without cooling

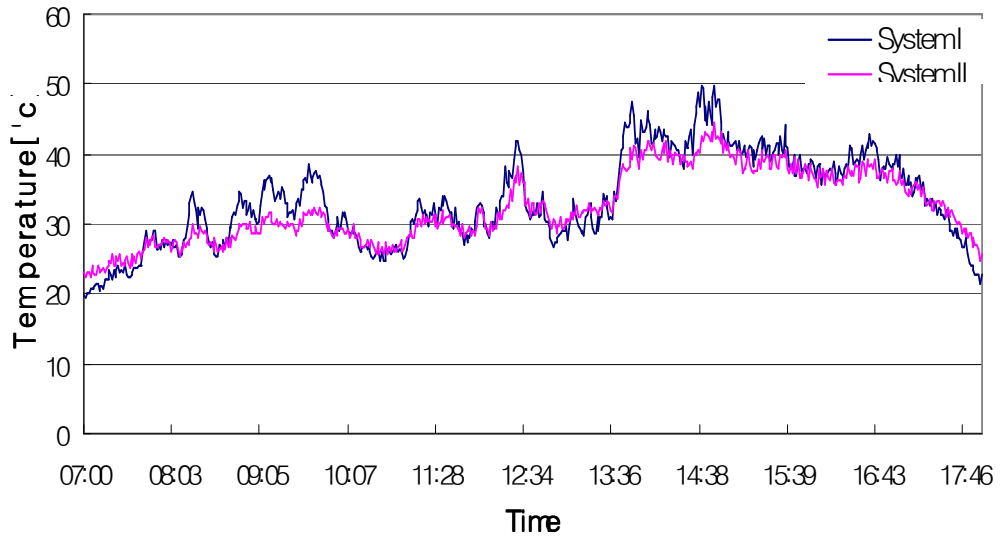


그림 4.6 두 시스템의 온도 변화
 Fig.4.6 Temperature trends of two systems during a day

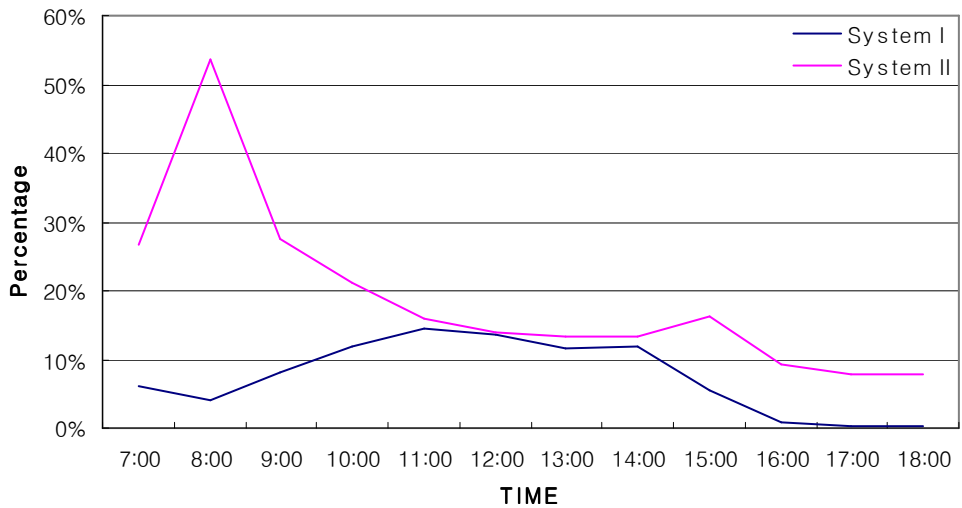


그림 4.7 일사량과 발전량의 비
 Fig.4.7 Comparison of practical usage of solar radiation

4.2.1 실험 III

실험I과 실험II의 결과를 토대로 300% 집광추종시에 수냉각시스템을 부착하지 않더라도 안전한 운전이 가능하며 이상적으로 생각하였을 때 약 10%정도의 발전량증가가 예측되었다.

실험III에서는 수냉각 시스템을 부착하지 않고 300%집광추종식인 시스템 II와 고정식인 시스템 I을 비교하였다. 실험 결과는 그림 4.8에서 그림 4.10과 같다. 출력전력의 변화와 온도의 변화 거동은 실험I과 같았으며 일사량 활용율에서 차이가 있었다. 일몰이 가까워지면 태양광 부족으로 고정식의 경우 보다 집광 추종식의 경우에는 30%정도 발전량이 증가하였다.

표 4.2는 세 가지의 시스템 구성에 따라 출력 특성을 나타낸 표이다.

표 4.2 시스템 구성에 따른 출력 특성

Table 4.2 Power generation by system configuration

범례: C/T; 집광추적, CW; 냉각장치부착

시스템구성		System I 평균전력	System II 평균전력	System II의 효과	실험일
실험I	Syst.I:고정 Syst.II:500% C/T, CW	31.35	57.92	1.85	2005.8.29
실험II	Syst.I:300% C/T Syst.II:300% C/T, CW	29.55	30.6	1.04	2005.9.28
실험III	Syst.I: 고정 Syst.II:300% C/T	26.38	47.5	1.8	2005.10.27

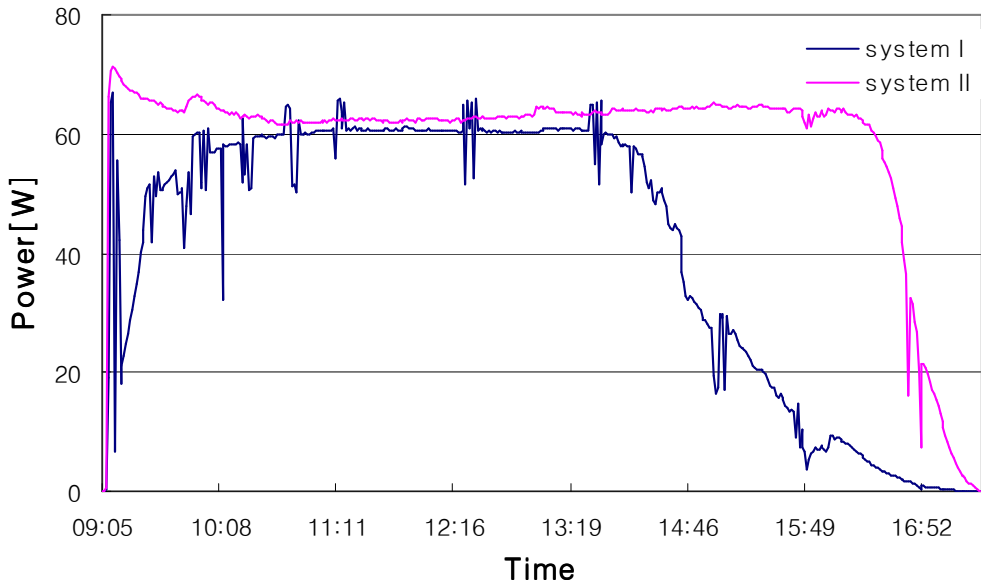


그림 4.8 시스템 I과 II의 발전량의 변화
 Fig 4.8 Generation Power of System I and II

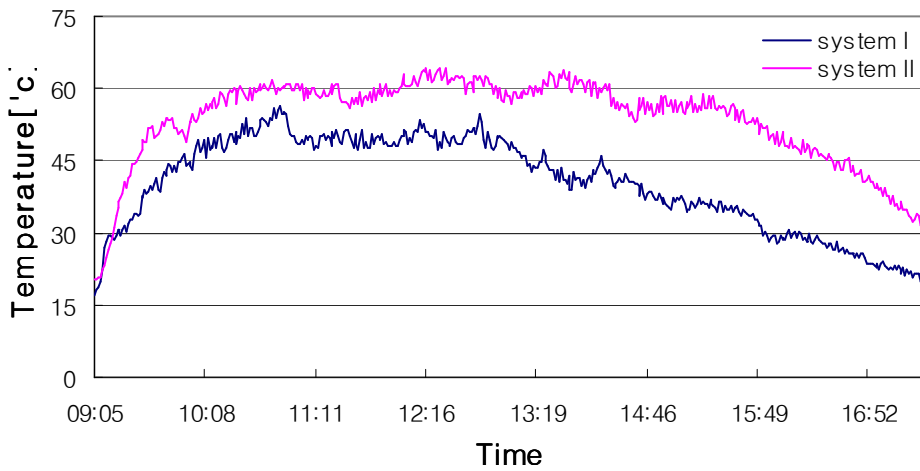


그림 4.9 시스템 I 과 II의 온도변화
 Fig.4.9 Temperature Changes of System I and II

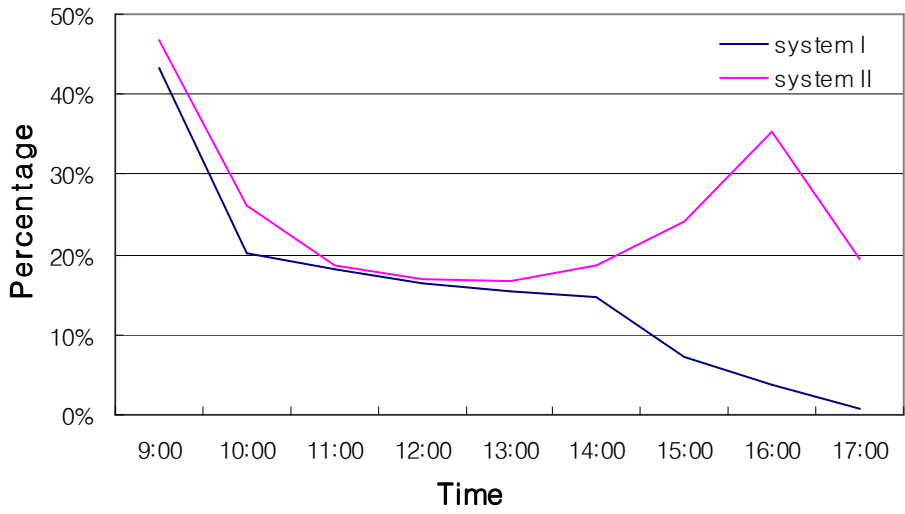


그림 4.10 일사량과 발전량의 비
 Fig.4.10 Comparison of practical usage of solar radiation

제 5 장 결 론

집광추적시스템은 정격 출력 한도 내에서 약간의 구름에 의해 출력 변화가 거의 없어 안정된 출력을 얻을 수는 있으나 온도에 의해 모듈의 소손을 방지하기 위하여 냉각이 필요하며 냉각 동력을 무시하지 못하므로 오히려 손실이 될 수 있다. 실제 온도에 의해 모듈의 효율저하를 관찰해 보면 약 10%정도임을 알 수 있다. 시스템의 크기에 따라서 냉각을 하지 않아도 소손되지 않을 정도의 집광을 하는 것이 유리하며 실험에서와 같이 300% 집광 시에 10℃ 이상의 온도가 높아 효율이 감소되더라도 냉각동력을 감안하여 설계하는 것이 유리하다.

그리고 집광시스템은 아침저녁으로 일사량 사용율이 높아 50%에 이르며 10시부터 오후 2시 사이에는 약 15-20%에 달한다. 집광추종식의 경우에는 일출에서 일몰까지 거의 높고 일정한 출력을 발생함으로 안정된 전원을 얻을 수 있다. 표1에 정리된바와 같이 300%이상 집광추종하는 경우에는 고정식에 비하여 약 1.8의 출력을 발생하며 집광율에 비해 출력은 별로 상승하지 않는다. 단기적인 실험이지만 집광추종을 하는 경우는 고정식에 비해 약 1.8 - 1.85배 이상의 출력상승효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

이 실험결과를 토대로 추종시스템을 설계하고, MPT제어 가능한 계통연계형 인버터와 연계하면 실용적인 태양광발전시스템을 구현할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 이양규, “태양위치추적기를 이용한 독립형 태양광 발전 시스템의 효율 개선”, 전남대학교 석사학위논문, 2003.
- [2] 김기범, “태양전지 어레이의 입사각에 따른 발전효율에 관한 연구”, 조선대학교 석사학위논문, 2003.
- [3] Soteris A. Kalogirou, "Solar thermal Collectors and applications", *Prograss in Energy and Combustion Science*, Vol.30, No.3, pp 231~295, 2004.
- [4] 정학근,한수빈,정봉만,이의준,임상훈, “프레넬 필름을 이용한 태양광 채광시스템 연구”, *Journal of Korea Solar Energy Society*, Vol.22, No.1, pp 81~86, 2002.
- [5] 최상원, “건물의 일조시간 산정을 위한 일조노출면적 계산 프로그램 개발”, 한양대학교 석사학위논문, 2003.
- [6] 서인호, “마이크로 프로세서를 이용한 인터넷원격감시제어 시스템에 관한 연구”, 한국해양대학교 석사학위논문, 2001.
- [7] 신일식, “전력선 통신을 이용한 가정용 원격 검침 시스템에 관한 연구”, 한국해양대학교 석사학위논문, 2004.
- [8] Byung-Ok Lim, Geum-Bae Cho et al., "Analysis of operating results for grid connected 3kW PV generation system", *New Technology of Energy and Resource*, Vol. 25, No. 1, pp. 247-257, 2003.
- [9] Young-Deok Son and Gang-Gyoo Jin, "Parameter Estimation of Solar Cell Using a Genetic Algorithm", *Proc. Autumn Conference*

- of *KIEE*, 2002.
- [10] J.F.H.Smeltink, A.W.Blakers and J.Coventry, "A 40kW Roof Mounted PV thermal Concentrator System", *Research report of ANU 2002-2003*.
- [11] J. S. Coventry, "Simulation of a Concentrating PV/Thermal Collector Using TRNSYS" , *Research report of ANU 2002-2003*.
- [12] J. S. Coventry, E. Franklin and A. Blakers, "Thermal and Electrical Performance of a Concentrating PV/thermal Collector: Results From the ANU CHAPS Collector", *Research report of ANU 2002-2003*.
- [13] 김춘성, "태양광 추적발전시스템의 최대전력점 추종시스템에 관한 연구", 조선대학교 석사학위논문, 2001.
- [14] 한찬영, "계통연계형 태양광 발전시스템의 태양전지 출력단 전압제어에 관한 연구", 건국대학교 석사학위논문, 2001.