

工學碩士 學位論文

경사각을 고려한 고집광 태양광모듈
효율에 관한 연구



2013 年 2 月

釜慶大學校 産業大學院

電 氣 工 學 科

金 度 翰

공학석사 학위논문

경사각을 고려한 고집광 태양광모듈
효율에 관한 연구

지도교수 배 종 일

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



2013년 2월

부경대학교 산업대학원

전 기 공 학 과

김 도 한

金度翰의 工學碩士 學位論文을 認准함

2012 年 12 月



主審 工學博士 朴 瀚 錫 (印)

委員 工學博士 李 京 昌 (印)

委員 工學博士 裴 鍾 一 (印)

목 차

목차	i
표 목차	ii
그림 목차	iii
Abstract	iv
제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경	1
제 2 장 본 론	2
2.1 CPV	2
2.2 집광형 태양전지 특성 분석	5
2.3 고집광형 태양광 발전시스템 설계	10
2.4 최적설치 경사각에 관한 연구	17
제 4 장 결 론	27
참고 문헌	28

표 목차

표 1	PV와 CPV 비교	4
표 2	전국 일사량 측정지 명세	21
표 3	각도별 일사량 변동	22



그림 목차

그림 1 CPV SYSTEM	3
그림 1-1 Cells 별 에너지 변화효율	4
그림 2 다중접합 태양전지 구조	6
그림 3 집광형 태양전지 제조 공정	8
그림 4 AM1.5G, AM1.5D 스펙트럼 비교	9
그림 5 전류 정합된 GaInP/GaAs 이중접합 양자효율측정 결과	9
그림 6 집광형 태양광 발전 시스템	11
그림 7 고집광 태양전지에 사용되는 집광기	12
그림 8 고집광 태양전지 리시버	12
그림 9 시뮬레이터 측정 Pmax	15
그림 10 옥외에서 측정한 Pmax. 측정 비교	16
그림 11 대기권 밖 일사량 예측 시스템 산출흐름도	19
그림 12 방위별 경사면 일사량 예측시스템 산출 흐름도	20
그림 13 연평균 최적 경사각	23
그림 14 봄철 최적 경사각	24
그림 15 여름철 최적 경사각	25
그림 16 가을철 최적 경사각	25
그림 17 겨울철 최적 경사각	26

A Study of Effect for Concentrating Photovoltaic Equipment Considering the Radiation

Do-Han KIM

*Department of Electrical Engineering
Graduate School of Industry
Pukyong National University*

Abstract

Abstract - Continuing the more research oriented high efficiency photovoltaic power generation system, the technological advances being made in many sectors. Particularly Concentrator Photovoltaics system of the battery area and the cooling system of the division of research is underway in many areas, but the basic solar data and in domestic and inclination manneun standards established for the focus of the device is required. In this paper, we insist on considering the stubbornness of the optical system through the principle of inclination photovoltaic module efficiency was studied.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

기존의 태양전지는 주로 태양광이 태양전지 면적만큼 조사된 광량만으로 발전을 하였으나 태양광 시스템이 기술적 발전을 하면서 최근에는 렌즈를 이용하여 태양전지의 면적은 작게 하고 조사되는 광량은 수백 배로 하는 집광형 태양전지가 개발되고 있다. 실리콘 태양전지에 집광하는 경우는 5~30배 정도의 저집광을 하면 열에 취약한 실리콘 소자를 집광 열에 의한 열화로부터 보호할 수 있다. III-V 화합물반도체 소자의 경우는 열에 의한 열화가 상대적으로 적으므로 200~1,000배 정도의 고집광 태양전지에 유리하다. 또한 III-V 화합물반도체를 다양한 조성으로 적층하여 다중접합 태양전지를 만들면 태양광 스펙트럼의 넓은 영역을 흡수할 수 있어서 효율이 높아진다. 이를 집광형 발전 시스템이라 한다.

태양에너지는 에너지 밀도가 저밀도이며 출력특성이 일사량과 온도 등의 자연조건에 좌우되기 때문에 이를 위한 적절한 설계에 관한 연구가 반드시 필요하다. 본 논문에서는 일반 태양광 시스템에서 집광, 고집광 시스템으로 전환하는 추세에 맞춰 더욱 효율적인 태양광에너지를 얻기 위해 그에 맞는 경사각을 고려한 설계 시스템을 제시하였다.

제 2 장 본 론

2.1 CPV

CPV는 Concentrator Photovoltaics를 나타낸다. CPV(concentrating photovoltaic)는 전통적인 태양광 기술 방법과 같이 빛을 전기로 변환한다. 집광태양전지 CPV는 선진국에서 시작된 기술이므로 기술의 표준이나 기술 수준이 월등히 앞서 있다. 집광태양전지는 셀의 표면에 빛을 모으는 배율에 따라 크게 3가지로 나눌 수 있다. 학자들마다 배율의 기준은 조금씩 다를 수 있으나 통상적으로 100X 이상은 고집광 태양전지 (HCPV ; High Concentrator Photovoltaic)라 하고 10X-100X를 중집광 태양전지 (MCPV ; Middle Concentrator Photovoltaic), 10X 이하를 저집광 태양전지 (LCPV ; Low Concentrator Photovoltaic)라고 한다.

기존 시스템과의 기술의 차이로서 태양광선을 하나의 Cell을 향해 모아주는 광학 시스템이 추가되어 있다. 태양 Concentrators의 기본 기술이 되는 굴절 또는 반사 기술을 사용하는 것이다. 또 다른 주요 차이점은 기존 PV 시스템은 실리콘 태양전지를 대량 사용하지만, CPV 시스템은 고효율 태양전지 소재를 소량만을 활용한다.

CPV 시스템에 사용되는 전지는 Multijunction 또는 III-V전지를 사용한다. CPV 시스템은 태양광선을 모으는 초점이 중요시 되며, 태양을 따라 초점을 맞춰 주는 것이 효율에 큰 영향을 준다.

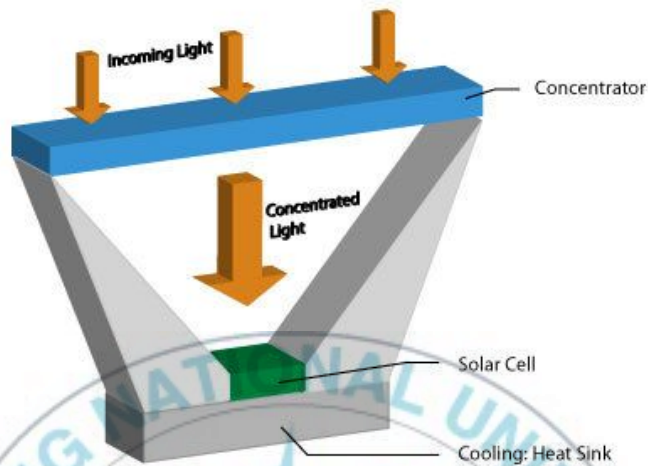


그림 1 CPV SYSTEM

높은 효율의 CPV는 낮은 비용으로 제공이 가능할 수 있다. 이 기술은 미래 혁신을 위해 Testroom 초기 단계에 있으며 그것은 매우 빠르게 기가 와트 단계로 진입할 수 있는 능력을 가지고 있다. 과거의 PV에 대한 효율성 문제는 많은 CPV 기술의 진보에 의해 극복이 가능하며 CPV 시스템은 직사광선은 물론 간접 또는 확산된 햇빛을 모두 사용할 수 있다. 일조량이 많은 지역일수록 기존 PV 시스템보다 더 많은 에너지를 생산한다. CPV 시스템은 또한 셀 온도에 따라 에너지 생성 능력이 달라지지 않아 더 효율적으로 볼 수 있다.

CPV 시스템에 사용되는 태양광 전지는 일반적으로 결정질 실리콘 전지와 다르다. 위에서 언급했듯이 “다중접합” 또는 III-V전지이다. 처음 이 전지는 우주공간을 위해 개발되었지만, 이제는 각 분야에 걸쳐 적용 및 활용되고 있다. CPV 패널은 현재 약 37% 효율성을 가

지고 있고 앞으로 45% 영역까지 개발이 이루어지고 있다.

CPV 시스템은 햇빛이 작은 PV cell을 향해 마치 망원경처럼 작동해야 한다. 이러한 이유 때문에 하루 종일 태양과 일직선으로 있어야 하며 다른 시스템은 다양한 햇빛의 수용 각도(태양의 경사각)가 다양하지만, CPV 시스템은 10X 집중을 위해서는 추적기를 적용 할 필요가 있다.

표 1 PV와 CPV 비교

	PV	CPV
기본전지	Si, CIGS	III-V 전지
효율	15~18%	25%~40%
유지	많은 공간 필요	적은 공간, 고 유지비

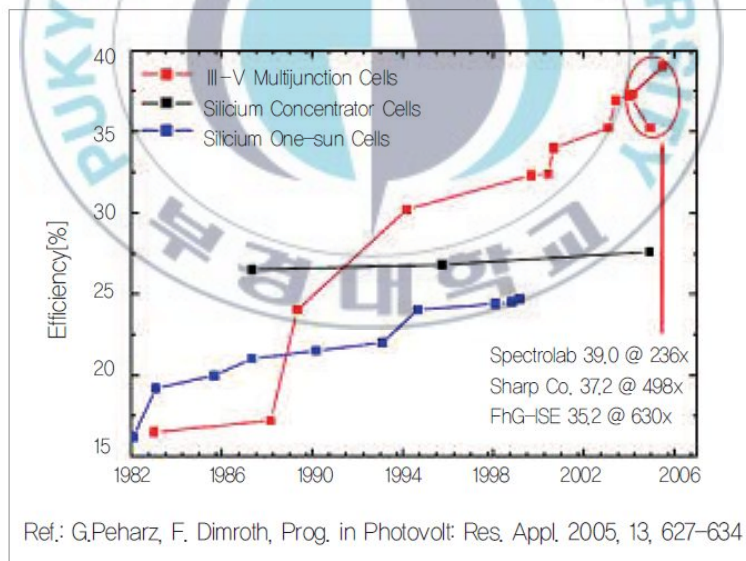


그림 1-1 Cells 별 에너지 변화효율

2.2 집광형 태양전지 특성 분석

III-V 화합물반도체 소자의 경우는 열에 의한 열화가 상대적으로 적으므로 200~1,000배 고집광 태양전지에 유리하다. 또한 III-V 화합물반도체를 다양한 조성으로 적층하여 다중접합 태양전지를 만들면 태양광 스펙트럼의 넓은 영역을 흡수할 수 있어서 효율이 높아진다.

집광 조건에서 태양전지를 동작시킬 경우 태양전지의 광전변환 효율이 상승하고 발전단가가 낮아진다는 장점이 있다[1, 2]. 이러한 장점은 단일접합 태양전지보다 다중접합 태양전지에서 특히 두드러지므로, 집광형 태양전지로는 주로 III-V 화합물반도체에 의한 다중접합 태양전지가 활용되고 있다. 화합물반도체 태양전지는 그림 2와 같이 다양한 흡수 대역을 가지는 다양한 조성의 화합물 반도체 층을 적층하고 그 사이를 터널접합으로 연결한 구조로 구성된다[3].

화합물반도체 다중접합 태양전지의 제조 공정 과정은 그림 3과 같다. 먼저 MOCVD나 MBE 등을 이용해 태양전지 구조를 성장한다 (그림 3 (a)). 이후 사진식각, 금속증착, 리프트 오프 등의 공정을 거쳐 웨이퍼의 앞면에 그리드 패턴의 금속을 형성한다 (그림 3 (b)). 그리고 웨이퍼의 뒷면에도 금속을 증착한다 (그림 3 (c)). 그리고 나서 그리드 패턴의 금속을 마스크로 하여 cap을 식각한다(그림 3 (d)). 이후 사진식각과 식각 공정을 거쳐 MESA를 식각한다 (그림 3 (e)). 그리고 사진식각, 무반사막 증착, 리프트 오프 등의 공정을 거쳐 무반사막을 형성한다(그림 3 (f)). 마지막으로 다이싱, 패키징, 본딩 등의 후공정을 진행하여 태양전지 제작을 마무리한다 (그림 3 (g)).

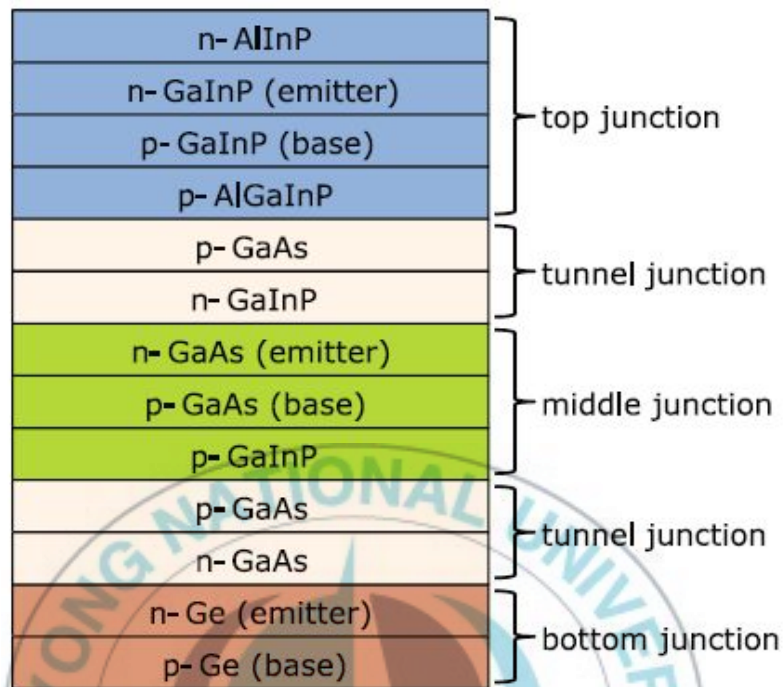


그림 2 다중접합 태양전지 구조

집광형 태양전지는 지표면에 입사하는 태양광의 스펙트럼의 넓은 영역을 효율적으로 사용하기 위하여 일반적으로 다중접합 태양전지를 사용하게 된다. 또한 입사된 태양광을 집광하기 위한 렌즈를 사용하기 때문에 집광형 태양전지의 광전 변환효율 및 양자효율 측정방법은 일반적인 단일접합 태양전지와 달라져야 한다. 일반적인 단일접합 태양전지의 경우 기준 태양광 AM1.5G (G는 global을 의미하며, 지표면에 도달하는 직사광 및 산란광을 포함)을 사용하는데 반하여, 집광형 태양전지의 경우 집광렌즈를 사용하기 때문에 산란광은 광전 변환효율에 영향을 미칠 수 없고 기준 태양광 AM1.5D (D는 direct를 의미하며 지표면에 도달하는 직사광만을 포함한다)를 사용하여야 한다.

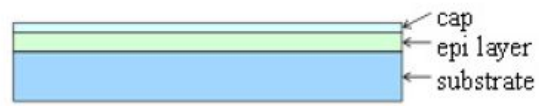
그림 3에서와 같이 AM1.5D 세기는 AM1.5G에 비하여 약 10%정도 약하고 대기 중에서 산란이 크게 일어나는 파장이 짧은 영역에서 그 차이가 크다.

다중접합 태양전지의 양자효율(파장에 따른 효율) 측정방법도 단일 접합 태양전지의 측정 방법과 다르다. 다중접합 태양전지의 경우 태양전지를 구성하는 셀들이 직렬로 연결되어 있는 구조이기 때문에 각 셀에 흐르는 전류를 정합(그림 5) 하지 않으면 각 셀들의 양자효율을 측정할 수 없다.

따라서 측정하고자 하는 셀에 조사하는 효율 측정용 프로빙빔 뿐 아니라 다른 셀에서 충분한 전류가 발생할 수 있도록 보조광을 조사하여야만 한다. 다중접합 태양전지의 경우 여러 개의 셀들을 적층하여 제작하기 때문에 제작 공정이 복잡하다(그림 2 참조).

III-V 화합물반도체 태양전지의 경우 MOCVD를 이용하여 각 셀 및 셀 간 터널접합을 제작하기 때문에 그 구조가 복잡하다.

III-V 화합물반도체 태양전지를 구성하는 Epi 층의 분석을 위해서는 고해상도의 (주사)투과 전자현미경 (TEM/STEM) 및 이차이온 질량 분석기 (SIMS)의 분석이 필수적이고, 태양전지 효율에 영향을 미치는 소수운반자의 수명을 측정하기 위한 시분해 광발광 (TR-PL) 측정, 단위 태양전지 효율의 공간균일도 및 결합들을 측정하기 위한 LBIC (Light Beam Induced Current) 측정 및 EBIC (Electron Beam Induced Current) 측정들이 필요하다.



(a) epi growth



(b) n-metal formation



(c) p-metal formation



(d) cap etch



(e) MESA etch



(f) AR coating



(g) backend process

그림 3 집광형 태양전지 제조 공정

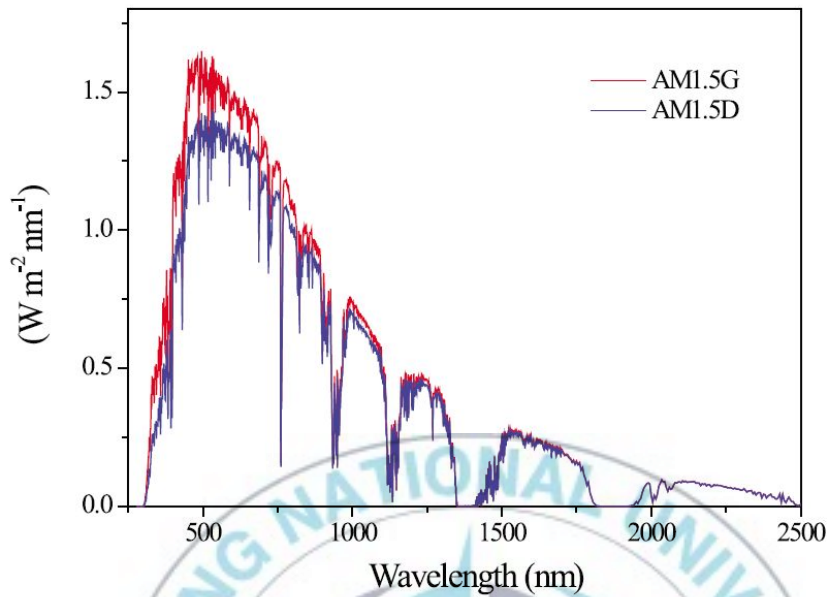


그림 4 AM1.5G, AM1.5D 스펙트럼 비교

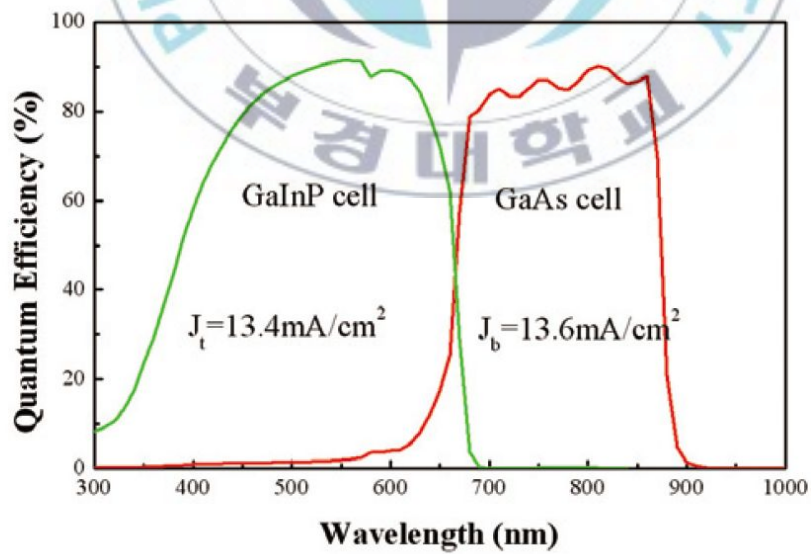


그림 5 전류 정합된 GaInP/GaAs 이중접합 양자효율측정 결과

*자료 : KANC(OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY Jan.2012

2.3 고집광형 태양광 발전시스템 설계

그림 6은 집광형 태양광 발전 시스템의 트래커와 모듈, 리시버, 렌즈, 셀 사진이다. 트래커는 정밀한 양축 트래커가 사용되어 직달 일사 태양광을 효과적으로 셀에 수광 시킬 수 있으며 태양 추적 오차는 작을수록 광학 손실이 감소하므로 광학계의 설계 제작 부담이 줄어든다. 그러나 정밀한 추적과 장기간의 내구성을 확보하기 위해서는 제작 단가가 높아지므로 태양 추적 오차와 광학계의 정밀도가 상호상쇄관계이다.

일반적으로 1, 2차 집광기를 구성함으로써 태양 추적 오차 허용범위를 증가시키는 방법을 많이 사용하고 있다. 집광형 태양광발전시스템은 셀에 인가되는 높은 에너지 밀도로 인해서 셀 온도가 국부적으로 상승하여 셀 효율이 낮아질 수 있다. 그러나 III-V 화합물반도체 태양전지 셀은 높은 온도에서도 신뢰성이 뛰어나고 효율을 유지하는 특성이 있다. 따라서 500배 내외의 집광비를 갖는 모듈의 경우 셀 크기가 25 mm^2 보다 작고 셀과 리시버 간 열저항이 작으면 알루미늄과 같은 금속판을 이용한 수동 방열 방식으로 충분하다.

고집광 태양전지 시스템은 수백 배 이상의 집광비를 갖는 반사 또는 굴절 현상을 이용한 집광기가 필수적인 구성요소이다. 그림 7은 고집광 태양전지에 사용되는 집광기의 종류에 따른 태양광의 궤적과 셀을 나타낸 것이다[4]. 반사형 집광기는 색수차가 없는데 반해 굴절형에 비해 직달광과의 정렬불량에 두 배 민감한 단점이 있으므로 정밀도를 높이기 위한 트래커 비용이 추가된다. 최근에 굴절과 내부 전반사 현상을 이용하여 모듈의 두께를 획기적으로 줄인 도파관 형태의 1차 렌즈가 개발되고 있다[4]. 이러한 집광기의 명백한 장점은 모듈의 부피를 획기적으로 줄이는 것으로 트래커의 부하를 감소시키는 부가적 장점이 있다.

그림 8은 고집광 태양전지 리시버의 사진이다. 2차 렌즈, 셀, 바이패스 다이오드, 방열판, 그 외 절연용 실링 등으로 구성되어 있다.

만화경형 2차 렌즈는 태양광 추적 오차 허용치를 완화하고 또한 집속된 태양광의 분포를 평준화하여 국부적 광 전력 집중을 완화하여 부분적인 셀 효율 저하를 방지해 준다. 세라믹 기판은 열전도와 절연 특성이 뛰어나 기판으로 적합하며 셀에서 발생하는 열을 골고루 퍼뜨리면서 방열판에 전달하는 역할을 한다. 수동형 방열 방식의 태양전지 셀 리시버는 방열판과 셀 간 열전도를 최대화 하기 위해서 반드시 접촉되어야 하며 접촉이 불량할 시 셀 온도가 100도를 넘길 수 있다[5]. 현재 리시버 제작은 많은 부분 수가공이 수행되고 있는데 가격 경쟁력을 증가시키기 위해 리시버 제작의 자동화가 요구되고 있다 [6].



그림 6 집광형 태양광 발전 시스템

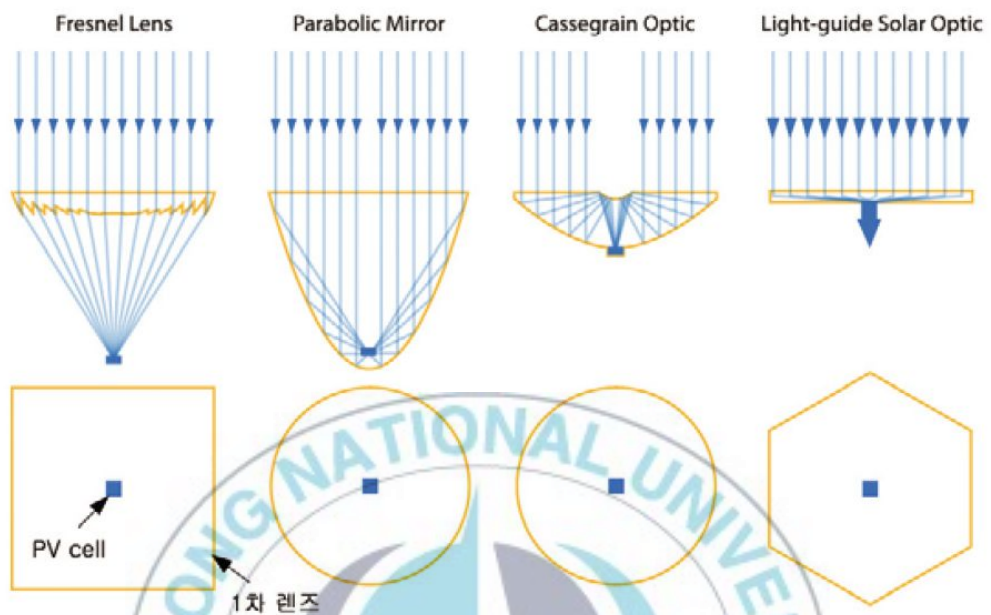


그림 7 고집광 태양전지에 사용되는 집광기

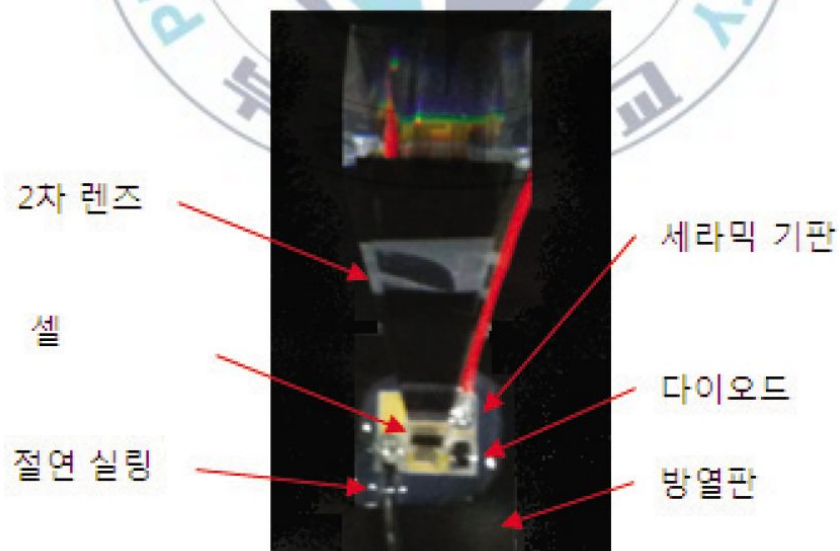


그림 8 고집광 태양전지 리시버

집광태양전지 기술은 셀의 표면에 빛을 최대한 많이 집광시키기 위해 집광 장치인 프레넬 렌즈(Fresnel lens)와 반사경의 모양을 최적의 조건으로 배치하여 최대전력(P_{max})을 높이는 기술이다. 이 기술에도 장단점이 있다. 장점은 그림 1-1에 나타난 바와 같이 모듈의 에너지 변환효율이 40%까지 도달해 그 어떤 기술보다 높다. 단점은 모듈에 열이 발생해 온도가 높아져 방열 대책이 반드시 필요하고, 태양 추적 장치인 2축 정밀 트래커가 있어야 하고, 모듈의 수명이 다른 기술에 비해 짧고, 모듈의 사용처가 국한되어 주위환경에 제약을 받는다. 그래서 이런 장단점들을 적절히 보완하기 위해 LCPV가 등장해 현재 많은 곳에 다양하게 적용되고 있다.

이 개발된 LCPV 모듈은 태양빛이 반사경을 통해 셀 표면에 도달하는 빛과 직접 셀 표면에 도달하는 태양 빛이 모여 셀에 집광효율을 높여준다. 에너지 변환효율이 18%까지 도달하고, 혁신적으로 설계된 디자인으로 일반 태양전지 모듈이 적용되고 있는 솔라 전력 플랜트, BIPV, 로컬 계통 연계형, 독립형, LCPV e-power Vehicle system 등의 영역에도 적용될 수 있고, 또한 무게와 크기도 일반 태양전지 모듈보다 7% 정도 크지만, 외관상 거의 비슷한 수준이다. 그리고 중요한 것은 트래커가 전혀 필요 없어 고장의 개소가 줄어들고 시스템 가격이 저렴하다는 장점이 있다.

LCPV는 집광 배율이 10X 이하인 태양전지 모듈이기 때문에 실리콘 셀에 반사경을 통한 입사한 빛과 태양에서 직접 입사된 빛을 효율적으로 모으기 위해 양 측면에 그림 2와 같이 반사판을 적절히 설치해서 태양전지의 P_{max} 와 효율을 높이는 것이다. 여기서 셀의 크기와 반사판의 크기는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

$$\varepsilon = \frac{L1}{L2} = \frac{-\cos(2\theta + \nu_M)}{\cos(\theta + \nu_M)} \quad (\text{식1})$$

ε : 셀 대비 반사경의 크기 비율
 $L1$: 셀의 크기
 $L2$: 반사경의 크기
 θ : 반사경의 각도
 ν_M : 빛의 입사각의 변화

위의 식은 기하학적 구조에서 빛의 입사각이 변화에 따라 반사경의 길이와 셀의 길이는 다르다는 것을 나타내고 있다. LCPV 모듈을 설계하는 과정에 셀의 크기, 반사경의 크기, 반사경의 각도의 비를 적절히 찾아가는 과정이 반드시 필요하다. 셀에 대한 반사경의 크기 비율이 최적의 조건이 되면 셀 표면에 3X의 빛이 조사되게 된다. 이때가 최적의 구조가 되지만 반사경의 비율이 지나치게 커지면 모듈의 크기가 커져 무게가 증가되어 다양한 용도로 사용할 수 없고 제조비용이 증가하는 요인이 될 수 있다. 디자인을 고려한 패널의 두께가 결정되어야 하고, 설계자들이 쉽게 간과하는 요소 중의 하나인 무게를 고려한 구조물의 재질 역시 신중하게 검토해야 한다.

위의 그림 4는 최대 전력을 비교하기 위해 셀의 재질과 셀의 양을 동일한 조건으로 최적화로 설계된 CPV 모듈과 일반 태양전지 모듈과 일렛을 제작해서 Pmax를 측정했다. 그림 9는 시뮬레이터로 측정한 그래프인데 CPV는 Pmax가 1.778W이고 일반 태양전지는 Pmax가 1.306W이다. 여기서 알 수 있듯이 CPV의 Pmax가 일반 태양전지보다 30% 높게 나타난 것을 알 수 있다.

그림 10은 겨울 옥외에서 오전부터 오후까지 측정한 결과 31% 이상 높게 나타났다. 즉, LCPV 모듈은 일반 태양전지 모듈보다 P_{max} 가 시뮬레이터에서 측정하나 옥외에서 측정을 해도 30% 이상 높다는 것이다.

태양전지 모듈의 셀에는 자체 발열과 복사 에너지의 열 등 복합적인 열이 발생해 P_{max} 를 낮추는 요인이 된다. 셀의 표면이 25~35℃ 일 때 전력이 최고점을 기록하고 50℃ 이상 되면 급격하게 전력 발생이 떨어졌다. 태양광 발전소의 경우 방열 대책의 일환으로 낮에는 패널의 셀 표면 온도를 낮추기 위해 물로 모듈을 식히는 작업을 정기적으로 한다. 이에 관한 냉각시스템의 연구가 활발히 진행 중이다.

그림 6과 같이 LCPV 모듈도 한낮에 온도가 57℃까지 올라가 P_{max} 를 낮추고 있다. 방열 대책으로 공기 자연대류 통로를 설치했는데 공기대류 통로가 있을 때와 없을 때의 P_{max} 는 40% 이상 차이를 보였다. 공기대류 통로를 만들므로 패널의 무게를 낮추고 표면 온도도 낮춰 P_{max} 를 높이는 효과를 얻을 수 있다.

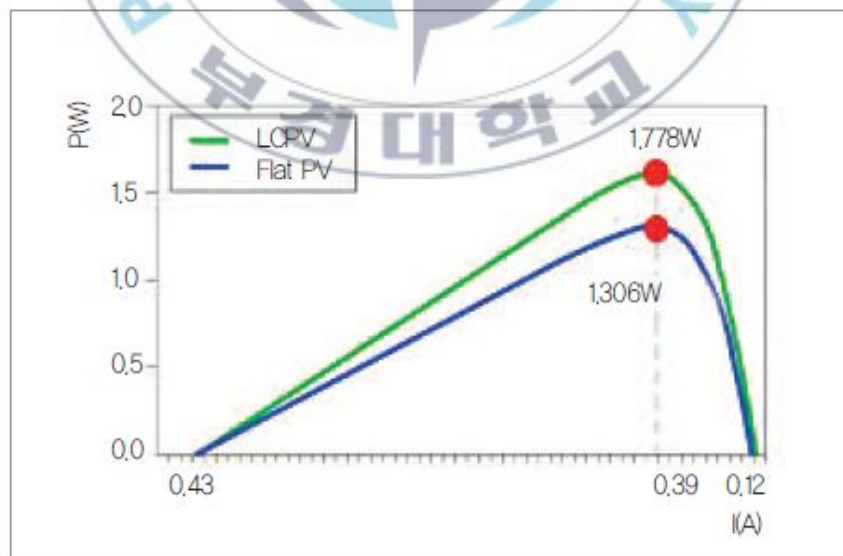


그림 9 시뮬레이터 측정 P_{max}

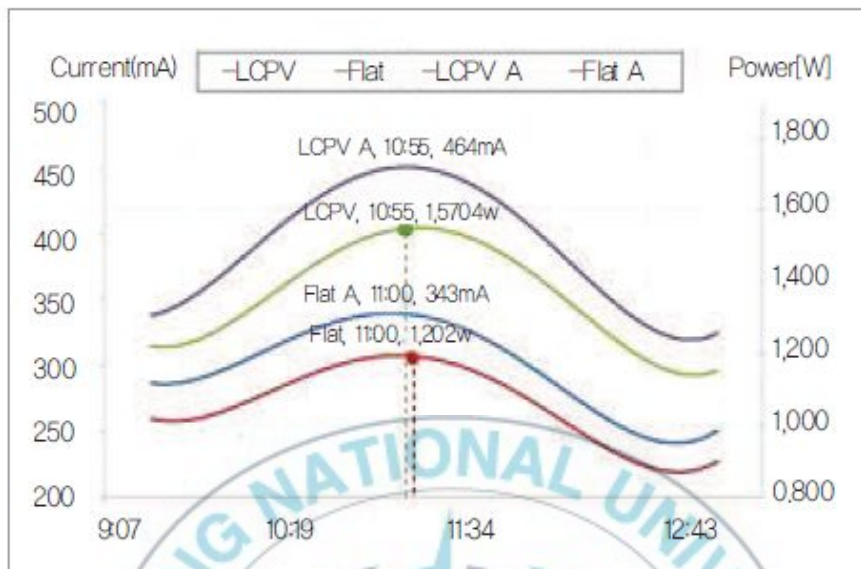


그림 10 옥외에서 측정한 Pmax. 측정 비교

2.4 최적설치 경사각에 관한 연구

‘전문가 시스템을 이용한 태양광 어레이의 최적설치 각도에 관한 연구’ 충남대학교 전자전파 정보통신공학과, 한국에너지 기술연구원의 자료를 인용하면 다음과 같은 최적설치에 관한 수식들을 도출하여 그에 맞는 시스템 설계가 가능하다.

태양광발전시스템을 설계할 때에는 필연적으로 수평면에 대한 경사면에서의 월별 1일 평균 일사량 값을 고려하여야 한다. 태양광 어레이의 설치 위치와 각도에 따라 성능이 크게 좌우되기 때문에 추가 비용 없이 가장 쉽게 성능 향상을 기대할 수 있기 때문이다. 이 값은 월별 1일 평균 직달 일사량과 산란 일사량, 그리고 지표면 반사 일사량으로부터 구할 수 있으며 다음 식과 같이 표현된다.

$$\overline{H_T} = \overline{H} \left(1 - \frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} \right) \overline{R_v} + \overline{H_d} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \overline{H_\rho} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \quad (\text{식2})$$

- Φ : 해당지방의 위도
- δ : 일적위
- β : 수평면에 대한 태양전지 어레이의 경사각
- γ : 표면방위각
- ω_s : 수평면 일몰 시간각
- ρ : 지면 반사율
- G_{sc} : 태양 상수 ($1,367 \text{ Wh/m}^2$)
- $\overline{H}$: 수평면에서의 월별 1일 평균 총일사량

$\overline{H_0}$	: 해당지방의 월평균 대기권밖 일사량
$\overline{H_T}$	: 월별 1일평균 경사면일사량
$\overline{H_d}$	: 월별 1일평균 산란일사량
$\overline{H_{bT}}$	: 월별 1일평균 경사면 직달일사량
$\overline{K_T}$	: 월별 1일평균 일사율
$\overline{R_b}$	: 수평면에서의 총일사량에 대한 경사면직달일사비율

여기에서, H_d/H 는 수평면에서의 월별 1일 평균 총 일사량에 대한 산란 일사량의 비율을 말하며, R_d 는 해당 달의 월평균 1일 값으로 수평면에서의 총 일사량에 대한 경사면 직달 일사 비율인 H_{dT}/H 를 의미한다. 이와 같이 다음 계수와 식을 이용하여 월평균 대기권 일사량, 북반구에서 적도를 향한 경사면, 즉 방위각이 정남을 향한 경우, 경사면 일몰 시간각을 적용하여 해당월 평균일의 대표적인 일 적위 값을 적용하여 북반구에 관한 경사각 식을 도출하고 있다. 방위각이 정남일 경우에는 Klein(1997)에 정의된 식을 사용, R_b 값을 구할 수 있다.

또한 서쪽방위, 동쪽방위를 향한 경우도 그 공식을 도출하여 서술하고 있다.

이는 최적의 경사각 예측을 통한 최대 일사량을 예측하기 위해 전문가 시스템으로 구축하였다.

다음 그림은 대기권 밖 일사량을 계산하기 위한 시스템 산출흐름도이며 계산하고자 하는 지역의 위도를 입력받아 시스템의 시뮬레이션을 통해 그 지역의 대기권 밖 일사량을 계산한다.



그림 11 대기권 밖 일사량 예측 시스템 산출흐름도

*출처: All Digital Right Reserved. Journal of Korea Sola Energy Society Vol.27, No.3. 2007 이하 동.

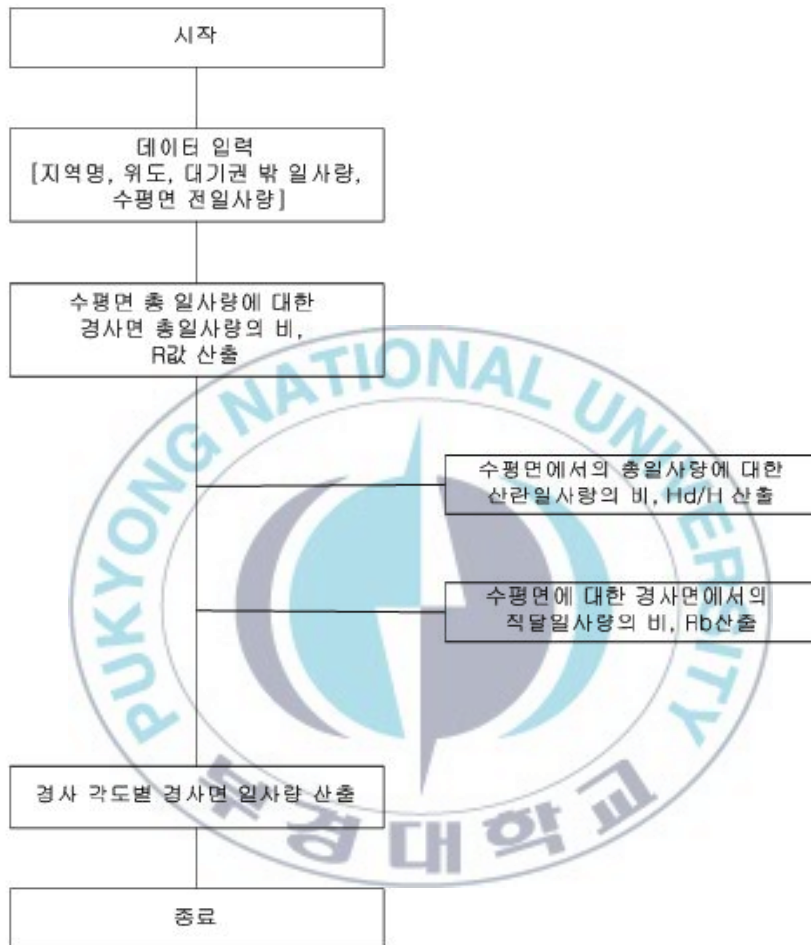


그림 12 방위별 경사면 일사량 예측시스템 산출 흐름도

전국의 측정네트워크에서 측정지 명세와 위도는 다음 표 와 같다.

표 2 전국 일사량 측정지 명세

지역명	지역번호	위도	경도	고도
춘천	101	37°54 '	127°44 '	74.0 m
강릉	105	37°45 '	128°54 '	26.0
서울	108	37°34 '	126°58 '	85.5
원주	114	37°20 '	127°57 '	149.8
서산	129	36°46 '	126°28 '	19.7
청주	131	36°38 '	127°26 '	59.0
대전	133	36°22 '	127°22 '	67.2
포항	138	36°02 '	129°24 '	2.5
대구	143	35°53 '	128°37 '	57.8
전주	146	35°49 '	127°09 '	51.2
광주	156	35°10 '	126°53 '	70.3
부산	159	35°06 '	129°02 '	69.2
목포	165	34°49 '	126°22 '	36.5
제주	184	33°31 '	126°32 '	22.0
진주	192	35°12 '	128°06 '	21.5
영주	272	36°52 '	128°31 '	209.5

한국에너지 기술연구원의 대전지방에서 8년간 시간 측정된 실측자료와 시스템의 예측결과의 비교를 다음 표와 같이 하고 있다.

표 3 각도별 일사량 변동

(kWh/m²/day)

경사각		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균
S(15)	실측	273	356	428	489	480	497	399	389	403	376	282	269	3.87
	예측	251	325	394	460	455	476	383	370	375	345	256	242	3.61
S(30)	실측	333	401	460	493	465	476	383	385	421	423	334	329	4.09
	예측	292	359	410	452	433	446	362	358	380	374	293	287	3.70
S(45)	실측	354	428	452	454	411	418	335	348	402	433	359	363	3.97
	예측	318	375	406	425	394	401	329	331	367	383	315	317	3.63
S(60)	실측	348	403	403	378	326	336	263	285	351	402	348	361	3.50
	예측	326	371	382	379	341	343	285	293	338	373	319	328	3.40
S(75)	실측	332	370	349	303	244	260	197	222	294	359	327	345	3.00
	예측	316	348	340	319	279	277	235	245	294	344	307	321	3.02
S(90)	실측	314	339	300	233	173	199	139	164	238	319	304	329	2.54
	예측	288	306	283	248	212	210	183	191	238	298	278	296	2.53

시스템을 이용하여 예측한 전국의 연평균 최적 경사각은 그림13에서 보는 바와 같이 전국의 최적 태양광 어레이 설치 경사각은 약 $24^{\circ} \sim 36^{\circ}$ 의 분포를 보이고 있다.

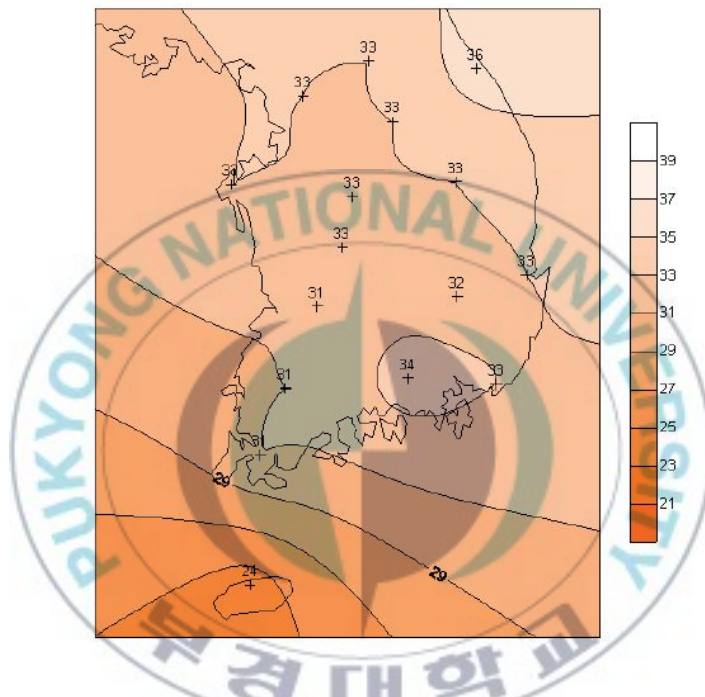
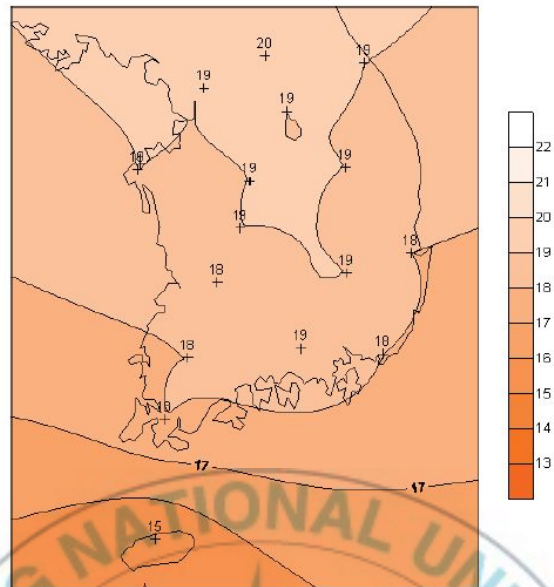


그림 13 연평균 최적 경사각

계절별 설치 경사각에 대해서는 다음과 같다
 봄철 최적 설치 경사각은 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 의 분포를 보이고 있으며, 대체적으로 고른 분포를 보이고 있고 북쪽 지방일수록 최적 경사각도가 높아진다.



Spring(Mar.- May)

그림 14 봄철 최적 경사각

여름철 최적 태양광 어레이 설치 경사각은 $1^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 사이의 분포를 보이고 있으며, 대체적으로 고른 분포를 보이고 있다. 북쪽 지방일수록 최적 경사각도가 높아지는 경향을 보이고 있고 여름철의 최적 설치 경사각이 0° 에 가까운 경향을 보인다.

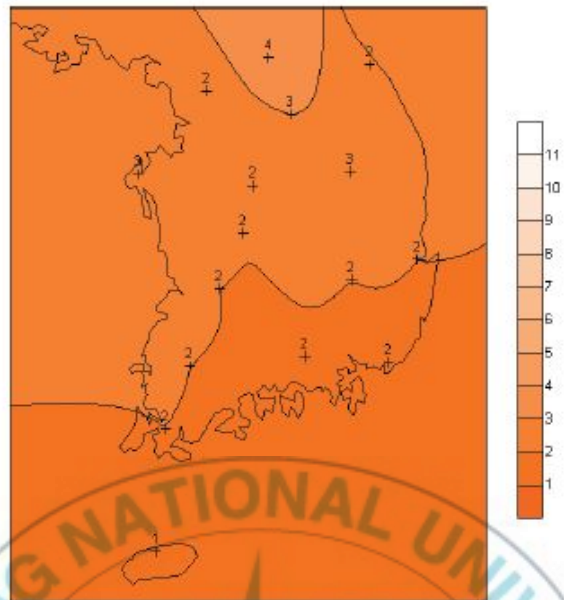


그림 15 여름철 최적 경사각

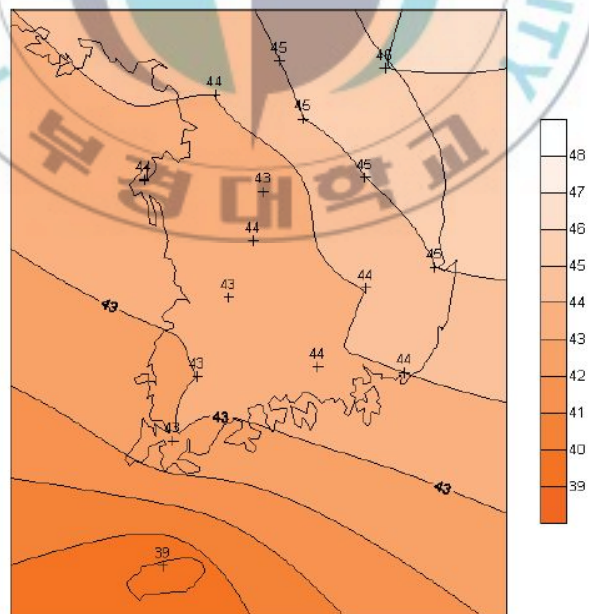


그림 16 가을철 최적 경사각

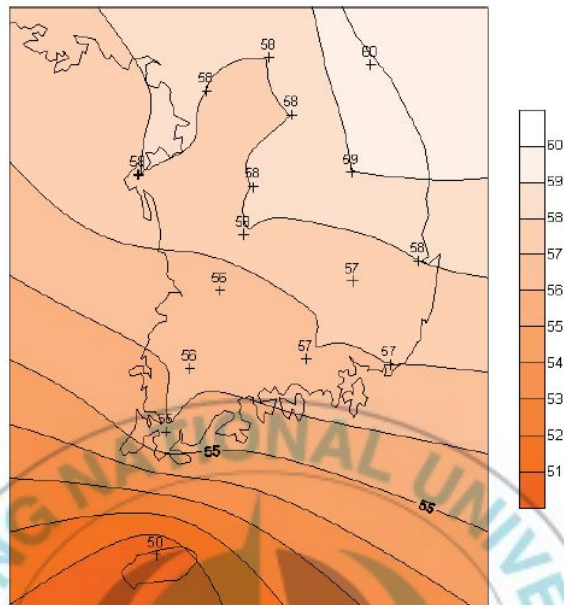


그림 17 겨울철 최적 경사각

가을철 최적 태양광 어레이설치 경사각은 $39^{\circ} \sim 46^{\circ}$ 사이의 분포, 겨울철은 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 사이의 분포를 보이는 것을 그림을 통해 확인 할 수 있다.

제 4 장 결 론

태양광 발전시스템은 더욱 고효율을 지향하는 연구가 지속되면서 많은 부분의 기술적 진보가 이루어지고 있다. 특히 고집광 시스템의 Battery 영역과 시스템의 냉각부분의 연구는 다양한 분야에서 진행되고 있다. 하지만 기본적인 태양집광 장치의 초점화를 위한 경사각에 대하여는 국내에 많은 연구 자료와 기준의 확립이 필요하다 생각한다.

이에 본 논문에서는 고집광 시스템의 원리를 통하여 경사각을 고려한 고집광 태양광모듈 효율에 관한 연구를 진행하였다. 경사각을 고려하기 위해 기존 연구되어져 왔던 자료를 기반으로 고집광 태양광 발전 시스템으로의 설계를 추구하여 향후 지속적인 효율적 증대를 기대해본다.



참고 문헌

- [1] Slade A, Garboushian V. 27.6% efficient silicon concentrator cell for mass production. Technical Digest, 15th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Shanghai, October 2005, 701.
- [2] Wojtczuk S, Chiu P, Zhang X, Derkacs D, Harris C, Pulver D, Timmons M. InGaP/GaAs/InGaAs concentrators using Bi-facial epigrowth. 35th IEEE PVSC, Honolulu, HI, June 2010.
- [3] King RR, Boca A, Hong W, Liu X-Q, Bhusari D, Larrabee D, Edmondson KM, Law DC, Fetzer CM, Mesropian S, Karam NH. Band-gap-engineered architectures for high-efficiency multijunction concentrator solar cells. Presented at the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 21-25 September 2009.
- [4] <http://www.morgansolar.com/product/how-it-works>
- [5] 박원규, 전동환, 박상혁, 다중접합 태양전지 측정기술, 한국광전자학회지 p. 59, Vol. 1, No. 1, 2011.
- [6] Andy Longford and Domenic Federici, "Smart packages for CPV cell devices", p.9, Vo. 3, No. 5, 2010.
- [7] 박원규 외, "고집광 태양광 발전 기술", OPTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2012. 7.
- [8] All Digital Right Reserved. Journal of Korea Solar Energy Society Vol.27, No.3. 2007.
- [9] 기상청, 기상년 월보

감사의 글

너무나도 부족한 저에게 오늘의 결실이 있기까지 지난 2년간 바른 자세로 학문을 익히고 올바른 가르침을 받을 수 있도록, 아낌없는 지도와 세심한 조언으로 열정을 다하여 지도 편달해 주신 배종일 지도 교수님께 진심으로 머리 숙여 감사의 마음을 담아 드립니다.

또한 매 학기마다 성의를 다하여 강의해 주시고 의욕을 북돋워 주신 전기공학과 모든 교수님께도 감사의 인사를 올립니다.

뒤늦게야 공부를 시작하는 못한 자식을 절대적인 사랑으로 노심초사 바라보시며 겸손한 마음으로 끝까지 학업을 완수할 수 있도록 헌신적인 기도와 격려를 보내주신 사랑하는 저의 어머니 김순자님께 글로는 다 못할 감사를 드립니다.

또한 업무와 학업에 힘들어 할 때마다 따듯한 위로와 격려로써 크나큰 용기와 의지를 북돋워 주었던 소중한 나의 아내 조차남과 아들 김명준에게 사랑을 전하며, 훗날 본 논문이 자랑스러운 아버지의 모습으로 자리매김 하였으면 하는 바람을 가져 봅니다.

끝으로 본 논문이 결실을 맺게 되기까지 많은 이해와 배려를 베풀어주신 주위의 모든 분들께 이 글로써 무한한 감사의 인사를 대신함을 사죄드리며, 본 논문의 완성으로 또 다른 새로운 시작과 도전의 밑거름으로 삼을 것을 약속드리며 이 모든 영광을 바치고자 합니다.
감사합니다.

2012년 12월
김도한 올림