

# 주택보급형 태양전지 양산기술 및 계통연계 3kW 태양광 시스템 상용화 기술개발

## Commercial Technology Development of Solar Cell and Grid Connected 3kW PV System for PV House Supply

이박일<sup>1</sup>, 문상진<sup>2</sup>, 윤종호<sup>3</sup>, 김홍근<sup>4</sup>, 유권종<sup>5</sup>, 윤태영<sup>6</sup>, 김신섭<sup>7</sup>, 배상순<sup>8</sup>, 이준신<sup>1</sup>

<sup>1</sup>포톤반도체에너지, <sup>2</sup>한국화학연구원, <sup>3</sup>한밭대학교, <sup>4</sup>경북대학교,  
<sup>5</sup>한국에너지기술연구원, <sup>6</sup>LS산전, <sup>7</sup>헥스파워시스템, <sup>8</sup>네스코솔라

요 약

태양전지 100MW 양산기술 개발을 위한 (상용화)

태양전지는 요구전력의 필요에 따라 직·병렬로 연결하여 태양전지 모듈(solar cell module)로 제품화한다. 태양전지가 실제로 전자제품에 연결해서 사용하기 위해서는 주변장치(BOS, Balance of System)가 사용된다. 또한 일사량의 강도에 따라 불균일한 직류전기가 발생되므로, 태양광발전시스템은 모듈을 직·병렬로 연결한 태양전지 어레이(solar cell array)와 안정된 전기공급을 위한 전력조정기(power conditioning system, 이하 PCS)가 필요하다. 또한 직류가 아닌 교류를 필요로 하는 응용제품에는 직·교류변환장치 인버터(inverter)를 필요로 한다. 본 과제는 전시를 위한 연구개발 목적보다는 태양광 시스템 보급 양산기술에 중심을 두어 태양광 산업경제를 활성화 하고자한다. 따라서 본 과제는 기존에 연구개발과 특수목적 시장 중심인 초고효율 태양전지 개발보다 경제적인 기여도와 파급효과가 크다.

### 1. 서 론

기존에 고가의 실리콘 기판을 이용한 고효율 달성을 위한 연구중심의 태양전지 개발연구가 주축을 이루어왔다. 이는 개발에 성공하더라도 고가, 고난도, 복잡한 다단계 공정기술을 이용하는 단점 때문에 보급활성화를 촉진하기 위해서는 저가의 실리콘 기판을 이용한 중·상급 태양전지 상용화 기술개발로 전환해야 하고,

저가형 다결정 실리콘 기판을 이용하고 에너지 변환효율을 높이기 위한 공정기술로 실리콘 표면 플라즈마 처리기술, 실리콘 질화막 처리, 후면전계 형성 기술 국산화가 필요하다. 저가화를 위한 양산기술로 연속제조공정, 공정단순화, 수율향상과 효율 개선을 위한 새로운 태양전지 구조연구 개발이 시급하다.

Ribbon기술은 ingot을 거치지 않고 곧 바로 다결정 박판을 제조하는 기술로서 sawing이 필요 없어 저가화가 가능하나 기판의 물성과 효율이 나쁘며 제조공정이 복잡하여 일부만이 상업화되어 있다. 따라서 저가 고효율 다결정실리콘 태양전지용 기판 재료의 제조공정에 관한 기술로서, 태양전지급 실리콘 원료의 용융과 방향성 응고에 의해 결정성이 양호하고 불순물이 극소화된 다결정 실리콘 ingot을 제조하는 Casting 기술을 우선적으로 확보하여 선진국과의 기술격차를 최소화하고 cell 제조 경쟁력을 조속히 확보해야 한다.

태양전지는 요구전력의 필요에 따라 직·병렬로 연결하여 내구성과 신뢰성을 가진 재료와 외부 지지물 내에 밀봉함으로써 단위 용량의 태양전지 모듈(solar cell module)로 제품화한다. 이러한 태양전지가 실제로 전자제품에 연결해서 사용하기 위해서는 주변장치(BOS, Balance of System)가 사용된다. 태양전지는 일사량의 강도에 따라 불균일한 직류전기가 발생되므로, 태양광발전시스템은 모듈을 직·병렬로 연결한 태양전지 어레이(solar cell array)와 안정된 전기공급을 위한 전력조정기(power conditioning system, 이하 PCS)가 필요하다. 또한 직류가 아닌 교류를 필요로 하는 응용제품에는 직·교류변환장치 인버터(inverter)를 필요로 한다.

태양광발전 시스템용 인버터 기술의 개발 목표는 최대전력발생, 계통연계기술의 확보, 저가화, 고신뢰성 등이다. 현재 상용화되어 있는 인버터는 변압기를 사용하여 계통에 연계하는 방식인데 변압기를 사용하기 때문에 부피가 크고 무게도 무겁다. 따라서 부피와 무게를 고려하면 변압기를 사용하지 않고서 직접 계통에 연결하는 방식이 바람직하다.

건자재일체형 태양광발전시스템 또는 건물통합형 PV 시스템은 PV 모듈을 건축 자재화하여 건물 외피에 적용함으로써 경제성은 물론 각종 부가가치를 높여 보다 효율적으로 PV 시스템을 보급 활성화 시키려는 개념이다. 건물통합형 PV 시스템은 전기에너지 생산과 동시에 지붕, 파사드, 블라인드, 태양광 PV 모듈 등과 같이 건물 외피와 결합하여 또 다른 기능을 제공할 수 있는 가능성을 부여한다. 이러한 복합적인 기능을 통한 비용절감 효과는 최근에 건물에서 흔히 볼 수 있는 고가의 외장 마감재에 소요되는 비용과 PV 시스템의 비용이 비슷할 때 최대의 경제성을 확보할 수 있을 것이다. 부가적으로 PV 시스템을 위한 별도의 부지확보 비용과

상용화

30MVA

상용화

PV 시스템 지지를 위한 구조물 거립비용이 필요하지 않으며, 전기부하가 발생하는 그 지점에서 발전이 된다는 장점도 가지게 된다.

## 2. 본 론

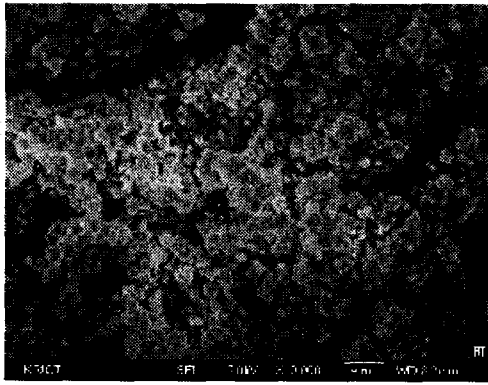
250µm water thickness  
Si wafer  
cell price: 82,000,-

### 가. 다결정 기판

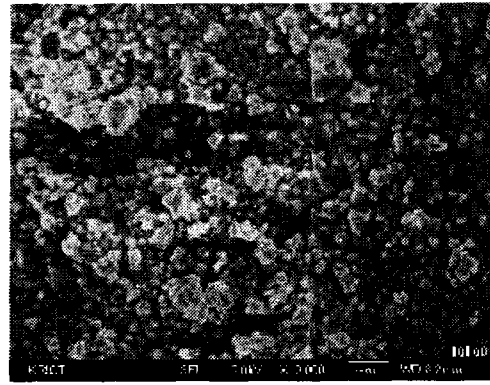
저가 고효율 다결정 실리콘 태양전지용 기판 재료의 제조공정에 관한 기술로서, 태양전지급 실리콘 원료의 용융과 방향성 응고에 의해 결정성이 양호하고 불순물이 극소화된 다결정 ingot을 제조하는 기술이다.

Casting법에 의한 다결정 실리콘 ingot 성장기술은 CZ, FZ등과 같은 단결정 인상법이나 Ribbon법 등에 비해 장치가 간단하고 공정 또한 단순하여 생산비가 그만큼 저렴하다는 장점을 지니고, 또한 제품의 품질도 상대적으로 우수하며 대면적화가 용이하고 기술 자체의 원리상 본 공정을 거치면서 재료의 순도가 자발적으로 올라가는 특징도 지니고, 고효율 저가 기판재료의 확보라는 경제성 측면에서 큰 효과를 가진다.

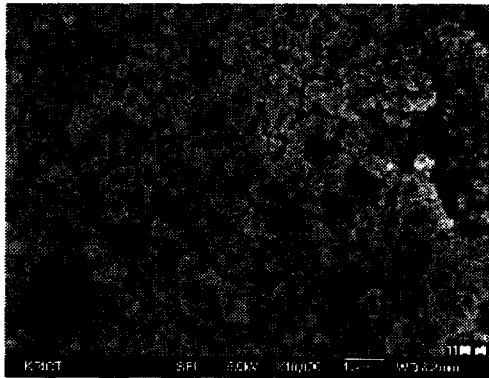
도가니는 고순도의 실리카를 sintering하여 제작된 것으로 20~30% 정도의 porosity를 갖는다. 따라서 thermal shock 등에 잘 견딜 수 있는 것으로 알려져 있다. 이때 실리콘 ingot과 도가니와의 분리를 위해 도가니 내부에 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> powder를 수백 마이크론 두께로 코팅해야 한다. 이를 위하여 초순수와 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> powder를 혼합한 slurry를 준비하여 도가니 내벽에 코팅하였다. 이때 코팅된 도가니를 그 상태로 사용하면 충전된 원료 실리콘의 용융 시에 벽면에 코팅된 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> powder의 이탈을 초래할 수 있기 때문에 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> powder의 기계적 물성이 요구된다. 고온에서의 열처리 방법은 입자 사이의 기계적 물성을 부여할 수 있는 유용한 방법이다. 본 실험에서는 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> slurry를 코팅한 도가니의 물성변화를 고찰하기 위하여 코팅 후 열처리를 수행하였고, 열처리 후의 표면 상태를 관찰하였다. [그림 1]은 열처리 후 표면 SEM 사진을 나타낸 것으로 그림에서 보듯이 1,300°C 정도의 고온에서 열처리한 경우 입자간의 sintering을 확인할 수 있었다.



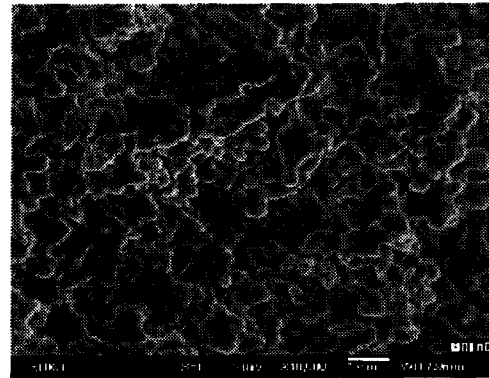
(a)



(b)



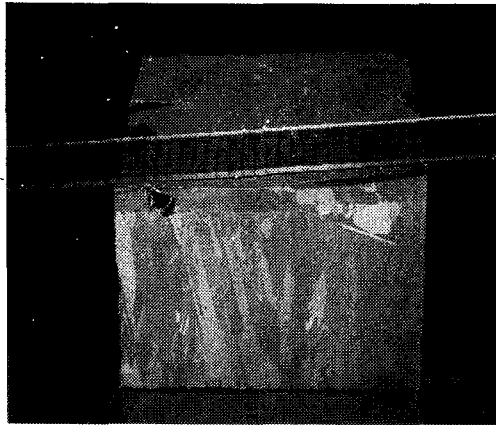
(c)



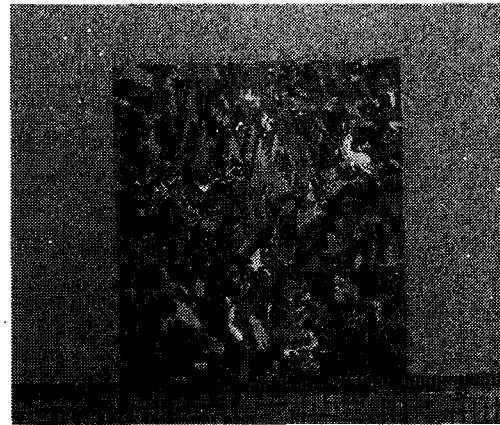
(d)

[그림 1 : SEM images of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  particles prepared with heat treatment at various temperatures of (a) RT, (b) 800, (c) 1,100, and (d) 1,300°C]

[그림 2]는 본 연구에서 얻어진 블록(a)와 wire saw로 절단하여 만든 wafer(b)를 나타낸 것이다. GT solar 사의 블록과 비교하여 바닥 면으로부터 최상부에 이르기까지 전 영역에 걸쳐 주상구조가 잘 발달하였음을 알 수 있었으며, 0.5°C/min의 냉각속도로 얻어진 ingot의 결정구조도 이와 유사하였다. 또한 그림에서 보듯이 일부 미세한 입자도 확인할 수 있으나 대부분은 비교적 큰 입자들로 이루어져 있어 고효율 태양전지 제조에 적합함을 알 수 있었다.



(a)



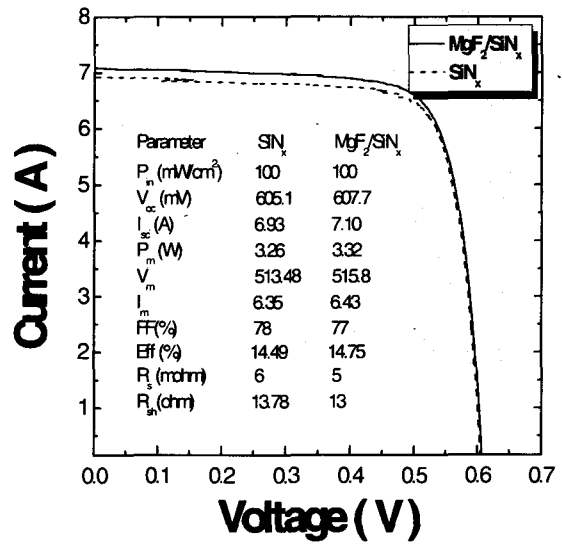
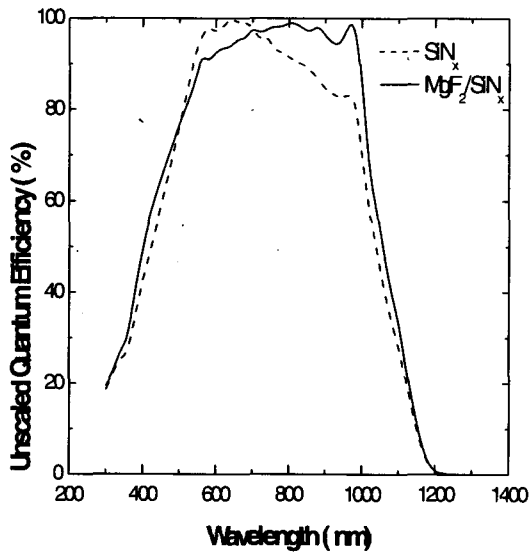
(b)

[그림 2 : 본 연구에서 얻어진 블록(a)과 wire saw로 절단하여 만든 wafer(b)]

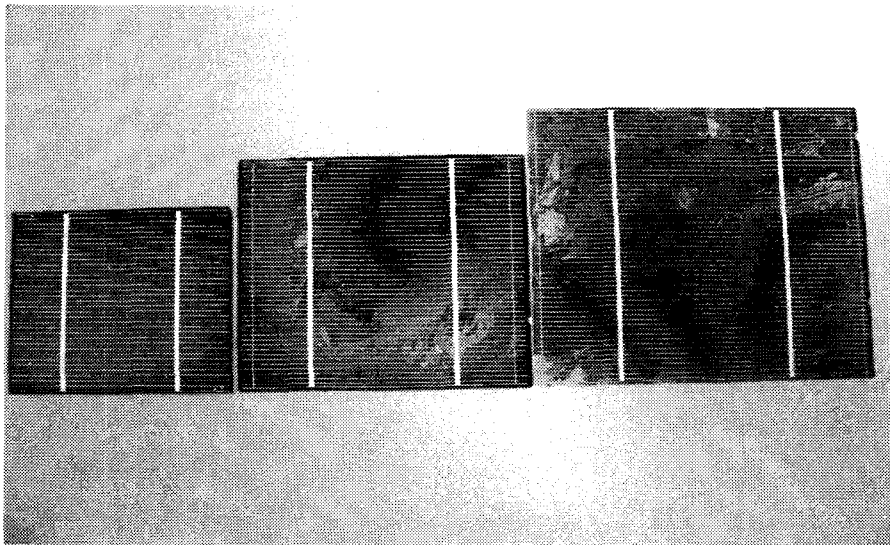
### 나. 다결정 태양전지

도핑된 웨이퍼는 edge-isolation을 거쳐 우선 50Å 두께의 Si-rich nitride 층 ( $n=2.3$ )을 증착과 10분간의 암모니아 플라즈마 표면 처리 후 2.0의 굴절율을 가진  $\text{SiN}_x\text{:H}$  반사방지막을 700Å 증착 시켰다. 또한 양산용 고성능 스크린 프린터를 이용한 전면전극(Ag), 후면전극(Al) 형성 후 RTP(Rapid thermal processing)에 의해 firing 되었다. 실리콘 질화막의 열처리 공정은 셀 전면전극(Ag)이 고온 공정 동안 도핑된 에미터층의 contact을 만들기 위해 질화막 층을 통해 열처리 되기 때문에, 이를 'firing-through' 공정이라 한다. firing 단계를 위한 온도 Profile은 에미터와 전면전극 사이에 우수한 contact을 획득하기 위해 선택되었다. [그림 3]은 본 연구에서 개발된 150mm×150mm 면적의 다결정 태양전지의 Internal Quantum Efficiency(IQE)와 제작된 태양전지의 Light illuminated current-voltage(LIV) 특성을 나타낸 것이다.  $\text{SiN}_x$  단일 반사방지막을 사용한 경우, UV 영역에서는 높은 값을 나타내지만 IR 영역으로 갈수록 점차 감소하고 있음을 알 수 있었고,  $\text{MgF}_2/\text{SiN}_x$  이중 반사방지막의 경우 전 파장대에 걸쳐 높은 IQE를 나타내어  $\text{MgF}_2$  박막을 증착시킴으로서 장파장대의 IQE가 개선됨을 알 수 있었고, DIV (dark current-voltage) 측정 결과 낮은 암전류에 의해 높은  $V_{oc}$ 를 이끄는 접합에서의 누설성분을 알 수 있었다.

또한 본 과제 수행중에 제작된  $\text{SiN}_x$  반사방지막을 이용한 다결정 실리콘 태양전지를 년차별(1차년도 : 100mm×100mm, 2차년도 : 125mm×125mm, 3차년도 : 150mm×150mm)로 [그림 4]에서 나타내었다.



[그림 3 : 150mm×150mm 면적의 다결정 태양전지의 Internal Quantum Efficiency(IQE) 와 Light illuminated current-voltage(LIV) 특성]

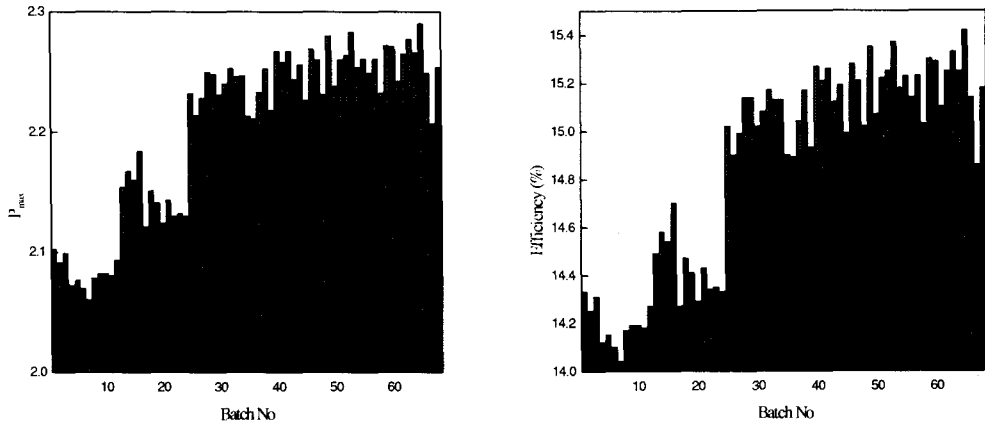


[그림 4 : 본 과제에서 제작된 SiNx 반사방지막을 이용한 다결정 실리콘 태양전지]

#### 다. 단결정 태양전지

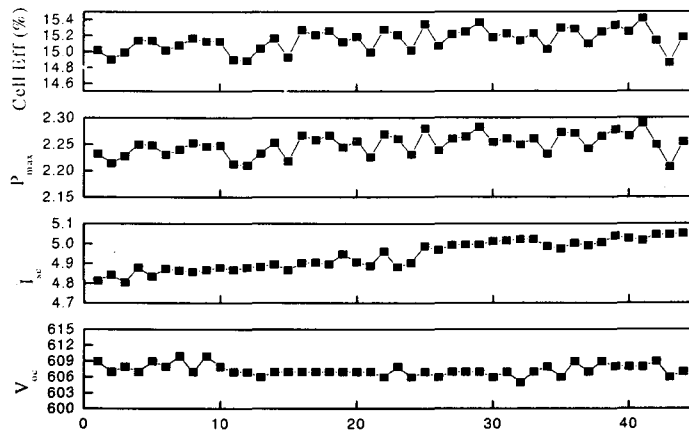
확산공정 변수 조정으로 방법으로 태양전지의 전류 밀도를 증가시키며 또 양산화에 적용할 수 있는 공정을 개발하는데 주안점을 두고 진행하였다. 이를 위해 확

산 농도 조정기술 개발을 하여 전류 밀도  $32\text{mA}/\text{cm}^2$  이상을 달성하였으며, 배기량 조절을 통해 tube내의 가스의 흐름 및 균일도를 향상시켜 양산화의 기초단계를 확립하였다. 마지막으로 boat의 설계를 변경하여 4.7mm 간격의 boat를 6개를 탑재하여 1 run에 150장의 생산능력을 확보하였다. 위의 기술을 125mm 양산 실험에 적용하여 단락전류 평균 4.9A이상 변환 효율 15%를 달성하였다.



[그림 5 : ]단위 배치당 평균 셀 출력 및 효율

또한 스크린 프린팅법에 의한 전극형성 방법으로 개선하여 현재 태양전지 전극 형성 공정을 개선하고자 하였다. 이를 위해 전면전극의 인쇄기술 향상 실험을 하였으며 전극 인쇄품질의 최적화 인쇄폭 평균  $140\sim 150\mu\text{m}$ 로써 1, 2차 년도 대비 인쇄 품질에서 변환효율 0.2%의 향상을 얻었으며 또한 고효율 태양전지 양산기술의 일부분으로 후면 전극성능향상 기술개발을 통하여 또한 Al-BSF 태양전지의 후면전극 열처리로써 개방전압 20mV의 상승효과를 가져왔으며 인쇄 후 기관의 휨 현상을 최소화하면서 고저항 웨이퍼의 사용가능성을 제시하였다.



[그림 6] 양산형 125mm 태양전지 생산결과

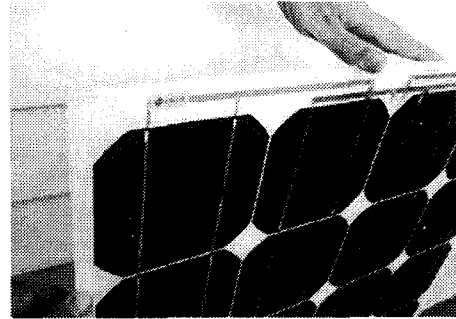
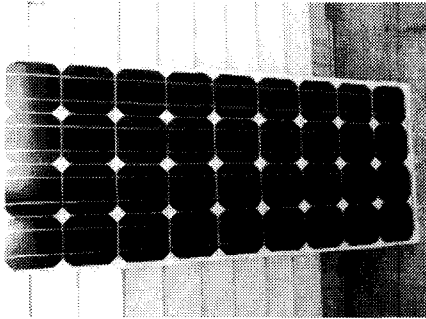
#### 라. 모듈 및 Array 설계

자재 절감을 통한 모듈비용 절감, 시공단순화를 통한 인건비 절감 및 설치 시공비 절감 방안을 모듈설계에 반영하였으며, 그 결과 프로파일형 프레임리스 모듈과 그 설치 구조, 일반적인 모듈과 그 설치 구조, 내부 인테리어를 고려한 투과형 G/G 구조등 총 3개 유형의 모듈안을 수립하였다. 또한 시제작된 모듈 시스템이 실제 시공성 평가를 위해 실물스케일의 Mock-up 모델을 설계 제작하였다. 지붕구조의 자유로운 철거 재설치를 위해 철골구조를 도입하였으며, 방수 및 배기, 온도 영향 등을 평가하기 위해 조립식 구조의 공간을 구성하였다.

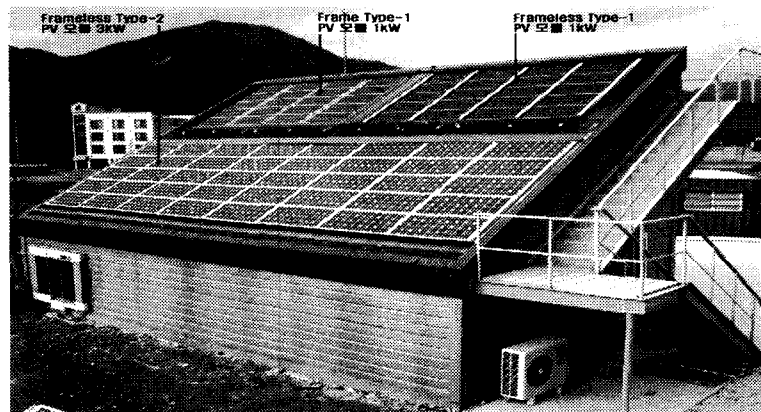
1차로 시제작된 2개 유형의 PV 모듈(Frame Type, Frameless Type)의 시공성을 평가한 결과 모듈 자체의 문제 및 설치방법의 문제, 지붕면 부착시에 발생된 문제 등 여러 문제점이 도출되었다. 예를 들어 설치틈간에 부분적 단차가 발생하여 의장적 측면에서 일체감이 부족한 점, 결선이 난해한 점, 모듈 하드웨어 자체에 의한 부분적 그림자 발생 문제, 설치된 모듈의 평활도 문제, 가로 및 세로 정렬의 문제, 후면 통풍구조 상세의 문제, 보다 손쉽고 빠른 시공법의 개발 문제 등 여러 개선사항이 도출될 수 있었다. 이러한 제반 문제점을 반영해 Frameless Type의 최종 시제품을 제작하였다. 1차 시제작품과는 달리 본 연구의 주관기관에서 연구 개발품으로 생산한 태양전지를 이용해 75W급 모듈 40매를 시제작하였다.



[그림 7]은 Frameless Type 모듈 최종 시제품 제작을 위한 PV 모듈판이고, [그림 8]은 최종 Frameless Type 시제품의 시공 완료 전경을 나타내었다.



[그림 7] Frameless Type 2 모듈 최종시제품 제작을 위한 PV 모듈판



[그림 8] 최종 Frameless Type 시제품의 시공 완료 전경

#### 마. PCS(Power Conditioning System)

가정용 태양광발전용 3kW급 무변압기형 PCS를 상용화하기 위하여 본 과제에서는 최종적으로 상용제품으로서 안정성, 고신뢰성, 저가화를 위하여 축적된 기술을 바탕으로 최적화된 상용화 설계를 실시하여 PCS 제품을 최적화 하도록 하였다. 그 설계 사양은 [표 1]과 같다.

태양광발전시스템 설계시 태양전지판 직병렬설계의 범위를 확대하기 위하여 태양전지 직렬개수를 15~20ea로 확대하였고, 시스템의 고효율화를 위하여 95%이상의 효율을 가질 수 있도록 설계 및 개발 하였으며, 소형경량화를 위하여 440×300×172 mm 부피와 15kg이하의 무게로 제작된 것이 가장 큰 특징이다.

태양광발전용 파워컨디셔너의 인증심사 세부 기준 시험항목의 절연저항 시험방

법에 의하여 절연저항을 측정하는 사진으로서, 측정 방법은 대지와 입력, 대지와 출력간의 절연저항값이 1MΩ을 초과하는 값을 가져야 판정 기준에 만족하게 된다. 사진에서는 100MΩ 이상의 값을 나타내는 사진으로, 절연저항값이 판정·기준에 부합하는 것으로 나타났다.

내압 시험의 기준은 최대 사용전압의 2배에 1000V를 더한 값을 기준으로 대지와 입력, 대지와 출력에 1분간 가하여 인버터에 아무런 이상이 없어야 하면, 시험 이후에 이상 없이 동작을 해야 한다. 최대 사용전압은 450Vdc이므로 내압시험 기준전압은 1900V이지만, 등급을 더 올려 교류 2000V에서 시험을 하였다. 사진에서 인버터에 2000V를 가하는 화면을 보여 주고 있으며, 1분간 시험 이후에 이상 없이 동작 하였다.

<표 1 : 전력제어기의 상용화 제품 설계 사양>

구분	항 목	내 용	비 고
시스템 구성	출력 상수	단상	
	태양광 입력 제어방식	MPPT	
	인버터 제어방식	PWM Inverter	
	스위칭 소자	IGBT	
입력 전압	태양전지 직렬개수	15~20ea	
	정격전압	370 V <sub>DC</sub>	
	전압변동범위	220~430 V <sub>DC</sub>	
출력 사양	정격 출력용량	3kW	
	정격 출력전압	계통선 전압 (220Vac)	
	계통전압변동율	±10% 이내	
	정격출력 주파수	계통선 주파수(60Hz)	
	정격출력 주파수 변동	계통선 주파수와 동기	
	계통 주파수 변동율	±1Hz 이내	
	출력단 전류파형 왜율	총합 왜율 5%이하 각차 왜율 3%이하	정격부하시
시스템 사양	효율	95%	정격부하시
	역률	98.8%이상	
	과부하량	110% /10분	
	냉각방식	자연공냉식	
	소음	50dB이하	전방 1m
외형	외형	440mm×300mm×172mm	W×D×H
	무게	15kg	
보호 기능	입력 저전압	215V	200~220V
	입력 과전압	451V	445~455V
	계통전압 저전압	198V	정격10%이하
	계통전압 과전압	244V	정격10%이상
	계통주파수 이상	동작 정지	3Hz 이상/이하
	계통주파수 동기 이상	동작 정지	2.86도 이하
	Islanding현상 보호	380ms	600ms 이내
	직류유입방지	0.2s	정격전류1%이내/0.5[s]
기동정지	연계 → 대기	380ms	600ms 이내

[그림 9]은 본 과제를 통하여 개발된 주택용 계통연계 태양광발전용 무변압기형 3kW급 PCS 상용화 제품(모델명 : Solarlink PV-103L)의 사진이다. 본 제품은 앞에서 언급한 일련의 테스트 과정을 통하여 상용화 한 제품으로, 전면에 사용자 화면이 LCD로 되어 있으며, 벽걸이 타입으로 무게는 약 15kg 이하인 제품이다.



[그림 9 : 주택용 계통연계 태양광발전용 3kW급 PCS 상용화 제품]

#### 바. PV 시스템

일반적으로 PV 시스템은 전일사량과 PV모듈의 온도변화 등의 환경조건의 변화에 따라서 발전성능이 결정된다. 따라서 본 실증운전에서는 PV 시스템의 평가분석을 적용하여 환경조건변화에 따른 PV 시스템 및 구성요소기기인 PV 어레이, PCS의 성능저하 및 손실요인 등의 문제점들을 분석 위해서 장기간의 실증운전에서 수집된 실측결과를 이용하여 종합적인 운전특성을 평가 분석하였다. PV 시스템 및 구성요소기기의 성능저하 혹은 손실요인을 분석하기 위해서는 PV 시스템에서 발생하는 손실요인에 대해서 파악되어야 한다. PV 시스템의 손실은 크게 설치환경에 의한 손실과 구성요소별 설계·제어에 의한 손실로 구분할 수 있다. 따라서, PV 시스템 및 구성요소기기의 운전특성을 분석 평가함으로써 발전성능을 예측하고 손실요인에 따른 성능저하 혹은 문제점들을 진단할 수 있으므로 PV 시스템의 변환효율의 개선을 통한 성능개선, 신뢰성 및 안정성 기술을 확립하고 PV 시스템 및 구성요소기기의 최적화 설계가 가능하다.

지붕일체형 태양전지 모듈을 주택용 3kW급 PV 시스템에 적용하여 장기간의

실증운전에 의한 PV 시스템 및 구성요소기기의 운전특성을 비교 분석하여 실증운전에 따른 PV 시스템의 손실요인 및 성능저하 등의 발생하는 문제점들을 평가 분석하였다. 그리고 장시간 운전을 통해서 발생하는 문제점들에 대한 대책방안을 검토함으로써 PV 시스템의 국내 이용보급을 확대할 수 있는 실용화 및 상용화기술들을 확립하여 향후 국가경쟁력을 확보하기 위한 목적으로 본 실증연구를 수행하였다. 설치된 대상 PV 시스템에 대한 분석기간동안(2004년 5월 1일~2004년 12월 31일) 수집된 운전데이터를 기반으로 운전특성의 분석결과를 최종 정리하면 [표 2]로 요약할 수 있다.

<표 2 : 분석기간동안 PV 시스템 운전특성 분석결과 >

구분	측정 및 분석항목	측정 및 분석결과			
		5월	8월	6월	8.60%
PV 시스템	발전효율	7월	8.42%	8월	8.48%
		9월	8.64%	10월	8.76%
		11월	8.79%	12월	8.92%
		평균	6.68%		
		시스템이용률	5월	14.2%	6월
	7월		11.1%	8월	12.8%
	9월		12.0%	10월	14.0%
	11월		8.5%	12월	9.2%
	평균		11.9%		
	PV 어레이 발전손실	5월	38.9 kWh	6월	37.0 kWh
		7월	30.5 kWh	8월	35.3 kWh
		9월	31.4 kWh	10월	36.3 kWh
		11월	31.8 kWh	12월	24.3 kWh
		합계	280.6 kWh (1.15 kWh/일)		
	PCS 발전손실	5월	38.4 kWh	6월	37.8 kWh
		7월	35.7 kWh	8월	36.5 kWh
		9월	32.6 kWh	10월	33.5 kWh
		11월	26.1 kWh	12월	27.3 kWh
		평균	267.9 kWh (1.09 kWh/일)		

### 3. 결 론

본 과제 연구 결과, 국내에서는 최초로 태양전지 재료, 태양전지 제조공정, 모듈화 기술, 전력제어 유니트, 태양광 시스템의 통합된 분야에서 주택 보급용 3kW 태양광 시스템 연구개발을 수행하여 국내에서도 최초로 태양전지 대량생산 기반을 마련하였으며, 이를 보급에 연계할 수 있는 기술과 산업적 토대를 구축하였다. 기술 개발 내용은 다음과 같다.

1.  $\text{NH}_3/\text{SiH}_4$  비율을 조절하여 2.1이상의 굴절율을 가지는 실리콘 질화막을 획득하였고, 면적 125mm×125mm 다결정 태양전지에서 15.1% 이상(DLAR 적용시 16.01%), 150mm×150mm 다결정 태양전지에서 14.5%(DLAR 적용시 14.75%)의 변환효율 및 우수한 전기적 특성을 얻을 수 있었다. 이를 바탕으로, 다결정 실리콘 30MW급 생산라인 확장을 진행중이고, 대면적(156 mm×156 mm) 고효율(15% 이상), 고수율(93% 이상)을 위해 모든 공정을 지속적으로 개선하고 있다.
2. 금속 실리콘의 고온(1420℃ 이상) 용융기술, 고온 도가니(crucible) 처리기술, 고온 heater 및 zone heating기술, 단열 및 정밀온도제어 기술들과 같은 요소기술 확보 및 현재 수준(10×10 cm<sup>2</sup>, 330μm 정도) 보다 대면적(15×15cm), 박판(250μm 이하)의 기판을 제공함으로써 신형 저가 고효율 cell 개발의 기반 제공이 가능하다.
3. 주택에 PV 모듈을 적용하는 것과 관련하여 지붕과 PV 모듈의 설치각도 및 지붕형태에 따른 그림자의 영향 등에 대해 다양한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 설계 기초자료를 정립 하였고, 신축건물의 PV 모듈 적용설계는 물론 기존 건물의 적용 시에도 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.
4. 최적시스템 설계 포인트 도출 및 저가형 최적시공기술 개발 및 주택용 3kW급 태양광발전 시스템의 안정성 기술 확립하였고, 대량 보급형 PV 시스템 구성요소 통합형 모델하우스 설계 및 시공설치 시운전을 성공적으로 수행하였다.
5. 저가, 소형화의 최적의 성능을 가진 가정용 태양광발전용 무변압기형 PCS를 개발 완료 하였다.

## 참 고 문 헌

1. Photovoltaic News, Vol. 20, No. 2, Feb., 2001.
2. Electricity from sunlight, IT Power, UK, 1997
3. B. McNelis, "The Photovoltaic Business : Manufacturers and Markets", Clean Electricity from Photovoltaics, Imperial College Press, 2001, pp. 713-739
4. H. Schock et al, " Thin-Film Solar cells : Past, Present and Future", Renewable Energy World, Vol. 4(2), March 2001, pp. 74-87.
5. PV Activities in Japan, Vol. 7(3), March 2001.
6. Photovoltaic Energy Program Overview Fiscal 2000, US DOE, Feb. 2001.

7. K. Zweibel, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 63, 2000, pp.375-386.
8. PV Power, IEA/PVPS, No. 15, Oct. 2001.
9. Progress in PV : Research & Applications, Vol. 9(1), Jan. 2001.
10. K. Zweibel, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 59(2), 1999.
11. B.v. Roedern, "Advances in Photovoltaics at NREL", NREL/CP-520-26686, Sep. 1999.
12. A. Goetzberger et al, Solar Cells : Past, Present, Future , Proc. PVSEC 12, Korea, June 2001, pp. 5-10.
13. DOE and EPRI, Renewable Energy Technology Characterization, TR-10949 6, 1997
14. Photovoltaic News, 2000년 3월호
15. 新エネルギー海外情報, 2000년 2월호
16. エネルギー総合推進委員会, 新エネルギーの将来コストと導入量の見通し, 1998年 3月
17. Status Report on Solar Thermal Power Plants, Pilkington, 1996
18. Photovoltaic Technology Price Market Forecast to 2010, Maycock, 1996
19. Photovoltaic News, 2001년 2월호
20. Maycock의 "Photovoltaic Technology, Performance, Cost and Market forecast;1975~ 2010",1996년
21. Maycock의 "Photovoltaic Technology, Performance, Cost and Market forecast ; 1975~ 2010",1998년 8월
22. 光産業技術振興協會 資料
23. Solar Collector Manufacturing Activity 1993,(DOE, 1994년 8월)