

양면형 태양전지 기술 개발 동향 - 효율향상, 성능측정 및 응용기술



강준구
공주대학교
산학협력단
박사후연구원



김준태
공주대학교
건축학부
교수

요 약

본고에서는 실리콘 기판을 기반으로 하는 태양전지의 효율을 높이기 위해 태양전지 전면뿐만 아니라 후면에도 전극을 배치하여 광흡수를 극대화한 양면형 태양전지의 연구 개발, 성능 측정 및 응용 기술 등에 대한 동향을 소개하고자 한다.

서 론

현재 태양전지 시장은 결정질 실리콘 태양전지가 대부분을 차지하고 있다. 실리콘 태양전지는 결정성장 방식과 순도에 따라 단결정, 다결정 실리콘으로 구분된다. 태양전지 기술별 효율 추이는 그림 ^[1]과 같이 70년대 Mobil Solar에서 13%의 단결정 실리콘 태양전지를 시작으로 90년도 중반 호주의 UNSW (University of New South Wales)대학에서 PERL(Passivated Emitter, Rear Locally-diffused)구조로 24%의 변환효율을 달성하였다.^[2] 2015년 현재 SunPower사에서 최고 25% 변환효율의 태양전지를 선보였다. 이와 같이 다양한 연구단체에서 태양전지 유형별 효율향상을 위한 연구를 진행하고 있다. 그러나 PERL 구조의 고효율 태양전지는 고난도, 고가의 장비와 고비용 제조공정을 사용하고 있어 현재 연구실 수준에서 이루어질 뿐 산업계에 적용하기에는 현실적인 어려움이 있는 실정이다.

현재 일반적으로 보급되고 있는 결정질계 PV 모듈은 표준시험조건(Standard Test Conditions: Air

Best Research-Cell Efficiencies

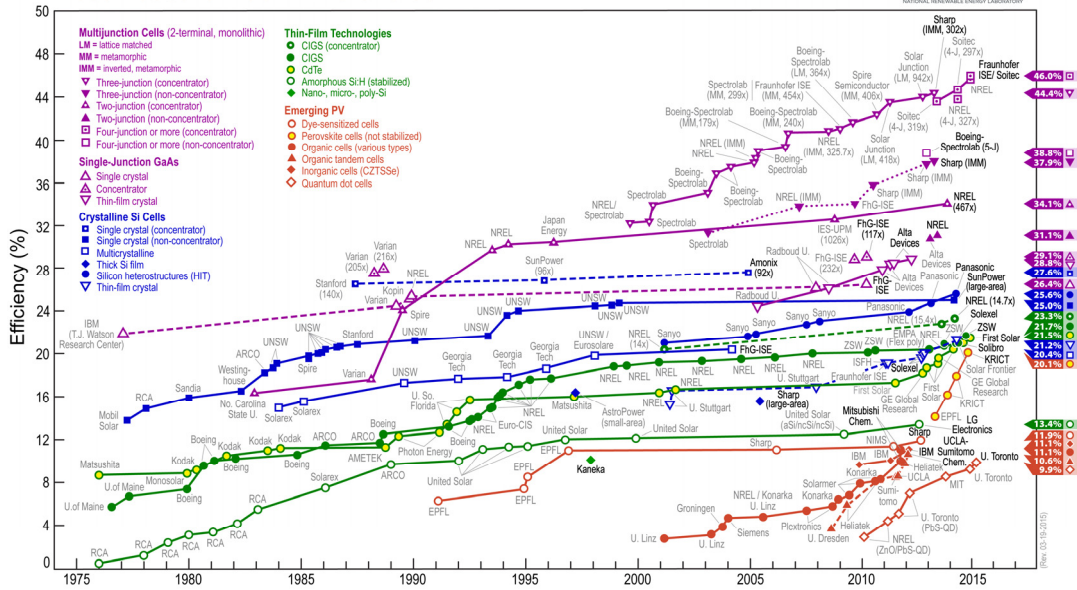


그림 1. 태양전지 기술별 효율 추이

mass 1.5, Irradiation intensity $1000\text{W}/\text{m}^2$, Cell temperature 25°C)하에서 최고 18~19%의 양산효율에 머무르고 있다. 이에 따라 태양전지의 경제성과 변환효율을 향상시키기 위해 다양한 공정 및 구조개선에 대한 연구가 시도되고 있다.

고효율 태양전지 연구는 몇몇의 태양광기업들을 중심으로 새로운 구조의 연구들이 이루어지고 있다. 대표적으로 Sanyo사의 HIT (Hetero-junction with Intrinsic Thin layer), SunPower사의 IBC (Interdigitated Back Contact) 태양전지가 대표적인 양산형 고효율 태양전지이다. 그러나 이러한 고효율 태양전지는 기존 결정질 실리콘 태양전지에 비해 가격이 약 40% 이상 비싸다.^[3] 따라서 고효율 태양전지 중에서도 Selective Emitter 태양전지, MWT (Metallization Wrap Trough) 태양전지 그리고 양면형 태양전지(Bifacial Solar cell) 등 중저가의 고효율 Si 태양전지에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 양면형 태양전지는 모듈 전면뿐만 아니라 후면 발전을 통해 고효율 달성이 가능하고 모듈 제작공정에 있어 기존 PV모듈 제조 장비를 그대로 사용하여 제작이 가능하다. 또한 Glass-Glass 구조를 갖기 때문에 기존 BIPV 모듈을 대체하는데 별도의 공정을 필요로 하지 않고 적용이 가능한 장점을 갖고 있다.

따라서 본고에서는 중저가의 고효율 태양전지 분야 중, 모듈 전면뿐만 아니라 후면에도 전극을 배치하여 광흡수를 극대화한 양면형 태양전지에 대한 연구 개발, 성능 측정 및 모듈 응용 연구개발에 대한 동향을 소개하고자 한다.

본론

양면형 태양전지의 연구 동향

태양광발전 산업에서 사용되는 주요 양면형 태양전지 제조 기술은 결정질 실리콘 웨이퍼를 기반으로 n-type과 p-type 웨이퍼를 모두 사용하며, 이중 접합기술도 포함한다. 이중접합 구조는 후면의 투명 전도성 산화물(TCO)에 격자 형상의 금속전극을 사용하는 구조로 후면전극 생성이 용이하여 양면형 태양전지 적용에 유리하다. 양면형 태양전지는 동질의 P-N 접합 기술을 기반으로 단면형 태양전지 설계에 몇 가지 공정을 추가하여 제작된다. 표 1^[4]은 p-type 단결정 실리콘 웨이퍼를 이용한 단면형 태양전지와 양면형 태양전지 제조 공정을 나타내고 있다.

표 1. 양면형 태양전지와 단면형 태양전지 제조과정 비교

Bifacial cell	Monofacial cell
Saw damage removal and wafer cleaning	Saw damage removal and wafer cleaning
BBr ₃ (boron tribromide) diffusion and in-situ oxidation	-
SiO ₂ / SiN _x stack on the rear side	-
Front side etch back / texturization	Texturization
POCl ₃ (phosphoryl trichloride) emitter diffusion	POCl ₃ emitter diffusion
PECVD (plasma-enhanced chemical vapour deposition) SiN _x ARC (antireflection coating) front side	PECVD SiN _x ARC front side
Screen printing front side electrode	Screen printing front side electrode
Screen printing rear contact	Screen printing rear contact
Co-firing	Co-firing

양면형 태양전지의 변환효율 향상에 관한 연구로는 Macdonald 등^[5]에 의해 인이 첨가된 실리콘을 이용한 n-type 웨이퍼를 사용한 효율향상 연구가 수행되었다. n-type 웨이퍼는 철과 같은 불순물에 강한 내성을 가지며, 태양전지의 광유도 열화(Light-Induced Degradation; 이하 LID)효과를 감소시켜 발전효율을 향상시키는 특징을 가지고 있다. 또한 Guo와 Cotter^[6] 그리고 Zhou 등^[7]에 의해 n-type 플로팅 존법(Fz)에 따른 웨이퍼를 이용한 후면 전극태양전지를 양면형 태양전지에 응용한 기술이 제안되었다. Guo와 Cotter에 의해 제안된 양면형 태양전지 효율은 전면효율 16.6% 후면효율 16.2%로 보고되었다. 또한 Zhou 등에 의해 제안된 양면형 태양전지의 효율은 전면과 후면에서 각각 21.9%, 13.9%의 효율을 달성했다.

Galbiati 등^[8]은 초크랄스키(Cz) 인상법에 의한 웨이퍼를 이용하여 Zebra 후면전극이 적용된 양면형 태양전지를 제안하였다. Zebra 후면전극 기술은 각지를 끼트 맞물려 있는 형태로 후면 전극을 형성하는 기술로 비용이 많이 드는 리소그래피(lithographic) 단계가 필요 없을 뿐만 아니라 후면 전극은 스크린프린팅을 통해 구현이 가능한 장점을 갖고 있다. 제안된 양면형 태양전지 효율 값은 제공되

지 않았지만, 남쪽 30° 경사조건으로 반사율 70%의 지면에 설치된 양면형 PV모듈의 일일 전력생산량이 단면형 PV 모듈과 비교하여 약 12% 발전성능이 향상되는 것으로 보고되었다.

Mishima 등^[9]은 HIT 태양전지 제작방법을 통해 23% 효율의 양면형 태양전지를 제안하였다. 제안된 HIT 양면형 태양전지의 발전량은 단면형 HIT 태양전지 발전량 보다 10.9% 더 생산하는 것으로 보고하였다. Bruk와 Simashkevich는^[10] p+n+n+ 구조의 양면형 태양전지를 제안하였다. 제안된 양면형 태양전지는 n형 웨이퍼를 사용하였으며 전면은 인듐 주석 산화물(ITO: indium tin oxide)막을 증착하고 후면 전계 영역은 인 확산을 통해 만들어졌다. 제안된 양면형 태양전지는 전면과 후면에서 각각 15.9%와 13.4%의 효율을 얻었다. 이와 같이 양면형 태양전지의 효율향상을 위한 연구는 p-type에 비해 높은 효율을 달성할 수 있는 n-type 실리콘 웨이퍼를 이용한 양면형 태양전지 대한 연구가 진행되었다. 또한 HIT 태양전지 구조와 같이 효율향상을 위한 구조개선 연구가 수행되었다.

양면형 태양전지 성능평가

PV 시스템의 성능평가는 태양전지 제조부터 모든 단계에 대한 방법이 요구된다. 표준시험조건(STC)에서 단면형 태양전지 및 모듈에 대한 측정방법은 잘 확립되어 있으며, 일반적으로 태양광 발전모듈의 성능을 측정하는데 사용된다. 그러나 태양광 산업에서 비교적 새로운 유형에 속하는 양면형 태양전지 및 모듈의 특성에 관해서는 아직 일반적으로 허용되는 표준방법이 없다. 양면형 PV모듈은 전면과 후면에서 동시에 발전을 하기 때문에 양면형 모듈의 이러한 특성을 포함한 시험방법이 있어야 한다. 따라서 양면형 모듈 제조업자들을 중심으로 양면형 태양전지 제품에 대한 표준화에 대한 요구가 증가하고 있다. 현재 양면형 PV 모듈의 표준화에 대한 기준이 없기 때문에 일부 제조업체에서는 전면 측 전류의 비율로 후면 전류를 가정하여 상용 전력으로 양면형 PV모듈의 성능을 제공하거나, STC 조건에서 전면과 후면의 효율을 각각 측정하여 제공하고 있다.

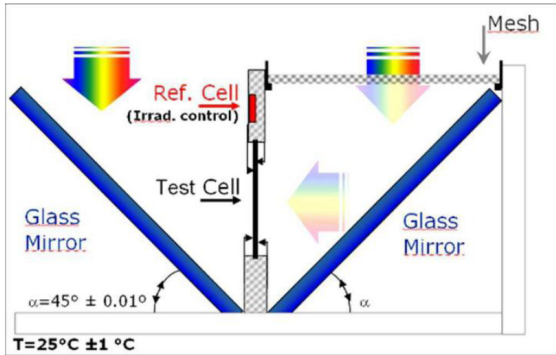


그림 2. 단일 광원을 이용한 양면형 태양전지 성능 측정 방식

이러한 방법은 모두 양면형 태양전지의 후면 일사조건을 고려하지 않고 있다. 일부 양면형 PV모듈 제조업체는 옥외조건에서 실운전 성능을 측정하여 후면에서 추가되는 발전량을 합산하여 양면형 PV모듈의 발전성능을 제시하고 있다. 이 경우는 시스템의 설치방법 및 설계 지침을 제안하고 후면발전을 고려한 설치를 권장하고 있다.

Ohtsuka^[11]와 Ezquer^[12]는 양면형 태양전지 또는 모듈을 측정하기 위해 특별히 설계된 측정 장비를 보고하였다. 이 장치는 하나의 광원을 기준으로 측정 PV모듈의 전면과 후면에 조명을 비추기 위해 그림 2와 같이 거울과 필터를 사용하였다. 이러한 구조의 측정 장비는 전면과 후면의 다양한 일사조건에 대한 양면형 태양전지 또는 모듈을 측정하고 실제 양면형 조명 성능을 제공할 수 있다. 그러나 이러한 태양광 시뮬레이터의 설계는 복잡하고 거울과 같은 추가 장치와 다수의 측정 센서 또는 기준모듈과 동기화 기능을 위해서는 두 개의 광원이 필요할 수 있다. 이와 같이 일부 연구를 통해 양면형 태양전지 평가방법에 대한 연구가 진행 중에 있으나 아직 미흡한 실정이다.

양면형 태양전지의 응용 기술

양면형 태양전지는 많은 장점을 가지며, 태양광 발전을 위해 다양한 응용 분야에 사용될 수 있다. 그러나 양면형 태양전지의 후면발전은 모듈의 후면 반사에 의한 일사획득에 의존한다. 이 추가 전력생산은 입사 및 방사의 특성, 후면모듈의 전류특성을 포함하여 다수의 인자에 의존한

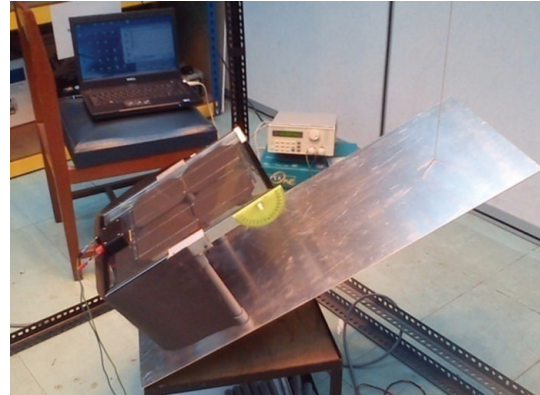


그림 3. 반사판 유형 및 경사각에 따른 양면형 PV모듈의 발전성능 실험모형

다.^[13] 셀 또는 모듈을 제조하는 동안 조절 될 수 있는 유일한 요소는 후면모듈 전류반응이다. 나머지 요소들은 위치 및 설치 조건에 따라 다르다. 따라서 양면형 태양전지 연구는 옥외조건에서 설치요소에 따른 양면형 PV모듈의 발전특성을 이해하기 위한 연구들이 수행되었다.

Chevalier와 Chambouleyron 등^[14]은 거울 또는 흰색 반사면을 이용하여 양면형 태양전지의 발전성능 향상에 대한 연구를 수행하였다. 또한 Krenzinger와 Lorenzo는^[15] 반사면의 다양한 구성에 따라 양면형 PV 모듈의 연간 발전성능을 분석하였다. 분석결과 반사면 구성에 따라 단면형 PV모듈 대비 10~20% 발전성능이 향상되는 것으로 나타났다. Ooshaksaraei 등^[16]은 설치조건에 따른 양면형 PV모듈의 발전성능을 분석하였다. 실험모델은 그림 3과 같이 5" 단결정 양면형 실리콘 태양전지 4개를 2x2 배열로 배치하여 투과면적 비율 31%가 되도록 제작하였다. 실험결과 양면형 태양전지와 반사면의 거리는 115 mm에서 최대발전량을 나타냈다. 또한 반사면 유형에 따른 전력생산량은 전면 발전량 기준 반 거울반사 유형이 20%, 산란 반사유형이 15% 증가하는 것으로 나타났다. 양면형 PV모듈 표면에 조사되는 태양일사 입사각의 경우 10°에서 최대 발전량을 나타냈다.

Edmonds^[17]는 원통형 반사판을 적용하여 양면형 모듈의 발전량을 27% 향상시키는 디자인을 제안하였다. Duran 등^[18]은 후면 반사면의 색상 및 반사율에 따른 발전량을 분

석하였다. 실험은 남향 30° 경사면에 설치된 양면형 태양 전지를 대상으로 하였다. 분석결과 잔디 위에 설치한 경우 7.5% 발전능력이 향상되었고, 90% 반사표면에서 21.4%의 발전능력이 향상되는 것을 확인하였다. 후면 색상에 따른 발전능력은 검정색의 경우 3.2%, 베이지색은 5.0% 그리고 흰색은 7.9% 전류량이 향상되는 것으로 보고되었다. Joge 등은^[19] 수직설치에 따른 양면형 PV 모듈의 방위별 발전특성을 옥외성능 실험을 통하여 분석하였다. 분석결과 그림 4와 같이 동서 방향으로 수직 설치된 양면형 PV 모듈은 오전과 오후에 각기 최대 발전을 이루는 쌍곡선 형태로 나타났다. 연간 발전량은 남측 수직으로 설치한 단면형 PV모듈에 비해 150% 향상된 것으로 나타났다. 또한 남북방향 수직으로 설치된 경우 연간 발전량은 남측 수직 설

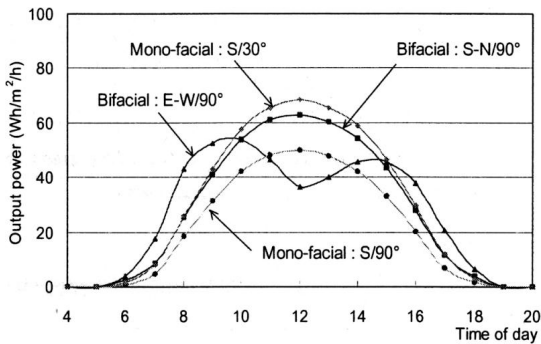


그림 4. 방위에 따른 단면형 모듈과 양면형 모듈의 발전능력 비교

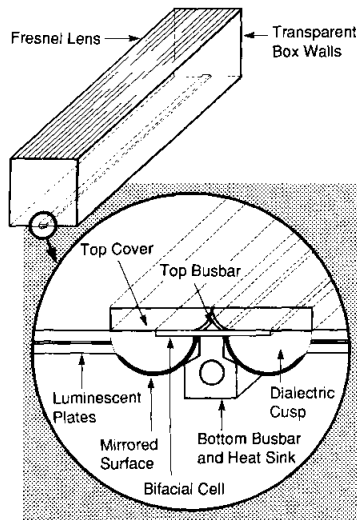


그림 5. Ortobasi 제안한 양면형 태양전지 적용 집광 시스템

치된 단면형 PV모듈의 발전량과 비교하여 130% 향상된 발전량을 나타냈다. 이와 같이 양면형 태양전지는 모듈 전면과 후면 양쪽에서 빛을 받아 발전을 하는 것이 중요하며, 동쪽과 서쪽을 향하도록 수직설치 하는 것이 가장 유리한 것으로 보고되었다.

양면형 태양전지는 집광형 시스템으로 응용이 가능하다. 집광형 시스템은 광학시스템에 따라 반사형과 굴절형으로 나뉜다. 반사형의 대표적인 유형은 포물면거울을 사용하는 경우이고, 굴절형의 경우 프레넬 렌즈를 사용하는 경우이다. 양면형 태양전지는 모든 유형에 적용이 가능하다. 1988년 Ortobasi는^[20] 20 배율의 양면형 중집광 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 그림 5와 같이 상부에 장착된 프레넬 렌즈를 사용하였으며, 양면형 태양전지 후면에서 빛을 반사하여 집광할 수 있도록 곡면형 반사판을 적용하였다. 그러나 이러한 구조는 양면형 모듈의 온도를 85°C 까지 상승시키는 문제점이 나타났다. 이후 1997년 온도상승 문제를 피하기 위해 상부에 장착된 프리넬 렌즈를 제거한 형태의 2 배율의 저집광 시스템을 제안하였다.

2007년 B.Robles-Ocampo^[21] 등은 양면형 태양전지를 태양광열 복합시스템에 적용하여 효율을 향상시키는 방법을 제안하였다. 이 시스템은 그림 6과 같이 3개의 반사판이 장착되어 있으며 모듈 전면과 후면에서 각각 1 배율의 태양광을 흡수 할 수 있다. 실험결과 전력생산량이 40% 향상되는 것으로 보고되었다.

2009년 Vladislav Poule 등은^[22] 그림 7과 같이 5 배율



그림 6. 양면형 PVT 태양광 컬렉터

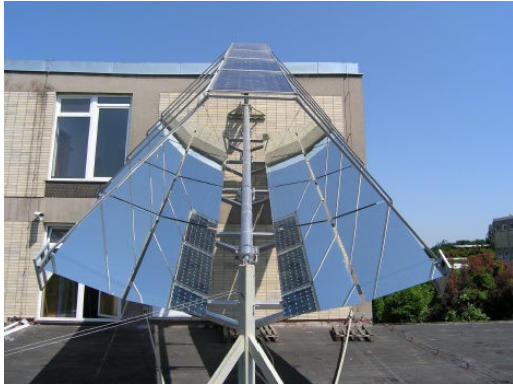


그림 7. 5 배율 양면형 저집광 PV 패널

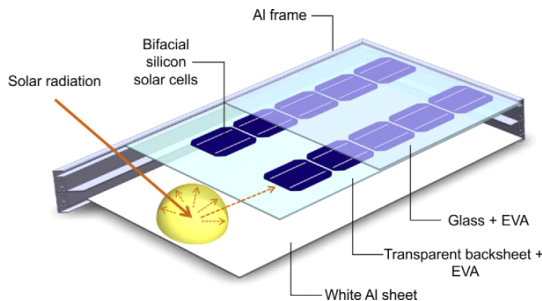


그림 8. 양면형 태양전지와 반사판이 결합된 양면형 태양전지 패널

의 저집광 양면형 PV패널을 제안하였다. 이 시스템은 패널 전면에서 1 배율의 태양에너지를 흡수하고 후면에서 4 배율의 태양에너지를 흡수하며, 단면형 PV모듈을 적용한 패널과 비교하여 에너지 획득이 3배 향상되는 것으로 보고되었다.

양면형 태양전지는 BIPV 시스템으로 응용이 가능하다. 그러나 양면형 태양전지를 BIPV로 적용하기 위해서는 후면모듈의 일사획득을 위해서 벽 또는 옥상바닥과 일정한 간격을 두고 반사면이 결합된 형태로 적용이 되어야 한다. Moehlecke 등은^[23] 그림 8과 같이 반사판이 결합된 건물 외피용 양면형 태양전지 패널을 제안하였다. 이 패널은 동일한 면적의 단면형 태양전지와 비교하여 전력생산량이 연간 35% 향상되는 것으로 보고되었다.

Hezel은^[24] 그림 9와 같이 건물 차양으로 적용이 가능한 양면형 PV 모듈을 제안하였다. 제안된 양면형 PV 모듈은 100mm × 100mm 크기의 셀을 4 × 10 배열하였으며, 셀 투과면적 비율은 50%였다. 실험결과 이 양면형 PV모

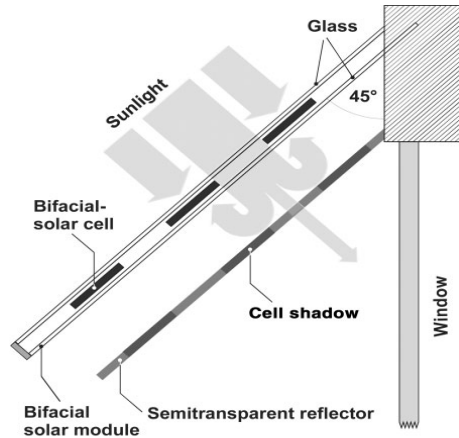


그림 9. 차양형 양면형 모듈 디자인

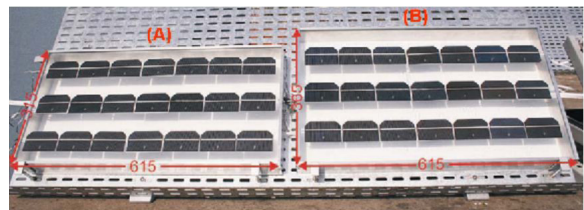


그림 10. 흰색 반사판이 적용된 양면형 태양전지 시제품

듈은 기존 단면형 PV모듈과 비교하여 37% 이상 발전성능이 향상되는 것으로 보고되었다.

Febras 등^[25]은 모듈후면의 일사량 분포 분석을 목표로 그림 10과 같이 흰색 반사판을 갖춘 2개의 시제품을 제작하였다. 실험체는 615mm × 315mm × 60mm 크기의 A type과 615mm × 365mm × 60mm 크기의 B type 시제품을 브라질의 Porto Alegre 지역(위도 30°)에 경사각 48°로 남향과 동서향 조건으로 설치하였다. 시제품 유형은 가장자리부 알루미늄 프레임과 셀의 간격을 다르게 제작하였으며, 이를 통해 셀 간격에 따른 후면 모듈의 일사 획득량을 분석하였다. 실험결과 A type의 경우 후면모듈 획득일사량은 전면 일사량 대비 27%, B type의 경우 32% 획득하는 것으로 보고되었다.

이와 같이 양면형 태양전지는 다양한 분야에서 응용을 위한 연구가 수행되었다. 그러나 상용화 측면에서의 연구 및 BIPV 응용분야의 연구는 미흡한 실정이다.



결론

본고에서는 양면형 태양전지 기술에 대하여 효율향상, 성능측정 그리고 응용분야에 대한 여러 이슈 등을 살펴본 있다. 현재 태양광 시장은 일시적인 정체기를 지나 태양광 산업에 우호적인 분위기가 이어지고 있다. 따라서 태양광 관련 연구단체 및 기업들은 경쟁력 강화를 위해 연구역량을 집중하고 있다. 그 중에서도 좁은 면적에서 높은 출력을 얻을 수 있는 고효율 태양전지 수요가 증가하는 추세에 있다. 특히 양면형 태양전지는 모듈 전면뿐만 아니라 후면 발전을 통해 고효율 달성이 가능하고 모듈 제작공정에 있어 기존 장비를 그대로 사용하여 제작이 가능한 장점을 가지고 있다. 또한 양면형 태양전지는 다양한 분야에서 응용이 가능하다. 특히 Glass to Glass 구조를 갖기 때문에 기존 BIPV 모듈을 대체하는데 별도의 공정을 필요로 하지 않고 적용이 가능할 것으로 기대된다.

이와 같이 다양한 장점을 갖고 있는 양면형 태양전지를 적극적으로 활용하기 위해서는 양면형 태양전지 제조 기술, 다양한 응용분야 연구, 양면형 태양전지 표준화 연구까지 장기간의 집중적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 이러한 노력을 바탕으로 태양광 시장 활성화 측면에서 큰 파급효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] NREL Research Cell Efficiency Records http://wefficiency_chart.jpg
- [2] J. Zhao, A. Wang, and M.A. Green, (1999), 24.5% Efficiency Silicon PERT Cells on MCZ Substrates and 24.7% Efficiency PERL Cells on FZ Substrates, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 7(6) pp.471-474.
- [3] SNE Research(2013), 최신 고효율 결정질 Si 태양전지 기술 및 시장전망2006~2015, p.28.
- [4] C. Duran, (2012), Bifacial Solar Cells: High Efficiency Design, Characterization, Modules and Applications, University Konstanz, Dissertation, p.27.
- [5] D. Macdonald and L.J. Geerligs, (2004), Recombination Activity of Interstitial Iron and Other Transition Metal Point Defects in P&N-Type Crystalline Silicon, Applied Physics Letters, 85(18), pp.4061-4063.
- [6] J.H. Guo and J.E. Cotter, (2004), Laser-Grooved Backside Contact Solar Cells with 680mV Open-Circuit Voltage, IEEE Transactions on Electron Devices, 51(12), pp.2186-2192.
- [7] J. Zhao, A. Wang, and M.A. Green, (1999), 24.5% Efficiency Silicon PERT Cells on MCZ Substrates and 24.7% Efficiency PERL Cells on FZ Substrates, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 7(6), pp.471-474.
- [8] G. Galbiati, D. Mihailetchi, R. Roescu, A. Halm, L.J. Koduvelikulathu, R. Kopecek, K. Peter and J. Libal, (2013), Large-Area Back-Contact Back-Junction Solar Cell with Efficiency Exceeding 21%, IEEE Journal of Photovoltaics, 3(1), pp.560-565.
- [9] T. Mishima, M. Taguchi, H. Sakata and E. Maruyama, (2011), Development Status of High-Efficiency HIT Solar Cells, Solar Energy Materials and Solar Cells, 95(1), pp.18-21.
- [10] L. Bruk, V. Fedorov, D. Sherban, A. Simashkevich, I. Usatii, E. Bobeico and P. Morvillo, (2009), Isotype Bifacial Silicon Solar Cells Obtained by ITO Spray Pyrolysis, Materials Science and Engineering, 160, pp.282-285.
- [11] H. Ohtsuka, M. Sakamoto, M.Koyama, K.Tsutsui, T.Uematsu, Y.Yazawa, (2001), Characteristics of bifacial solar cells under bifacial illumination with various intensity levels, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 9, pp. 1-13.
- [12] M. Ezquer Mayo, I. Petrina, J.M. Cuadra, A.R. Lagunas, (2009), Design of a Special Set-Up for the I-V Characterization of Bifacial Photovoltaic Solar Cells, 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, pp.1553-1556.
- [13] Lev Kreinin, Ninel Bordin, Asher Karsenty, Avishai Drori, Dov Grobgeld, Naftali Eisenberg, (2010), PV module power gain due to bifacial design. Preliminary

- experimental and simulation data, in Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 35th IEEE, pp.2172–2175.
- [14] I. Chambouleyron and Y. Chevalier, (1977), Silicon Double Solar Cell, European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 967–976
- [15] A. Krenzinger, E. Lorenzo, (1986), Estimation of Radiation Incident on Bifacial Albedo-Collecting Panels, *Solar Energy*, 4(5), pp.297–319.
- [16] P. Ooshaksaraei, K. Sopian, R. Zulkifli, M.A. Alghoul and S.H. Zaidi, (2013), Characterization of A Bifacial Photovoltaic Panel Integrated With External Diffuse and Semimirror Type Reflectors, *International Journal of Photoenergy*, Vol 2013, Article ID 465837, pp.7–15.
- [17] I.R. Edmonds, (1990), The Performance of Bifacial Solar Cells in Static Solar Concentrators, *Solar Energy Materials*, 121, pp.173–190.
- [18] C. Duran, T. Buck, R. Kopecek, J. Libal and F. Traverso, (2010), Bifacial Solar Cells with Boron Back Surface Field, 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition / 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, pp.2348–2352.
- [19] T. Joge, Y. Eguchi, Y. Imazu, I. Araki, T. Uematsu, and K. Matsukuma, (2002), Applications and Field Tests of Bifacial Solar Modules, In Photovoltaic Specialists Conference, 19, pp.1549–1552.
- [20] U. Ortabasi, K. Firor, M. Ilyin, (1988), Low Concentration Photovoltaic Module Design Using Bifacial Solar Cells, in Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Twentieth IEEE, pp.1324–1327.
- [21] B. Robles-Ocampo, E. Ruiz-Vasquez, H. Canseco-Sánchez, R.C. Cornejo-Meza, G. Trápaga -Martínez, F.J. García-Rodríguez, J. González-Hernández, Yu.V. Vorobiev, (2007), Photovoltaic/Thermal Solar Hybrid System with Bifacial PV Module and Transparent Plane Collector, *Solar Energy Materials and Solar cells*, 91(20), pp. 1966–1971.
- [22] M. L. Vladislav Poulek and I. Persic, (2009), Bifacial tracking concentrator TRAXLE 5X, in Proceedings of the 2nd International Workshop on Concentrating Photovoltaic Powerplant: Optical Design and Grid Connection, pp.634–639.
- [23] A. Moehlecke, F.S. Febras, I. Zanesco, (2013), Electrical Performance Analysis of PV Modules with Bifacial Silicon Solar Cells and White Diffuse Reflector, *Solar Energy*, Vol. 96, pp.253–262.
- [24] R. Hezel, (2003), Novel Applications of Bifacial Solar Cells, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Vol. 11, pp.549–556.
- [25] F.S. Febras, A. Moehlecke and I. Zanesco, (2009), Experimental Study of Static Concentrator Modules With Diffuse Reflector, European Photovoltaic Solar Energy Conference, 24, pp.807–810.