

| 확대경 |

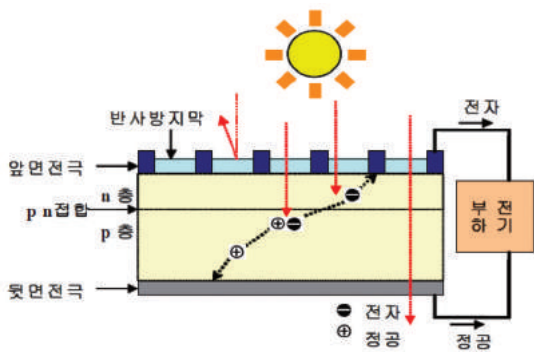
# 국내외 태양광 기술개발 및 시장 동향

정훈

## 태양광 기술 개요

태양전지는 태양의 빛에너지를 전기에너지로 전환하는 장치로, 태양광 발전 시스템의 핵심 부품이다. 태양전지는 P-N 접합으로 구성된 반도체 소자로 반도체의 밴드 갭보다 큰 에너지의 빛이 입사되면 반도체 내부에 전자-정공 쌍이 생성되고, 생성된 전자-정공 쌍이 P-N 접합부에 형성되어 있는 전기장에 의해 서로 반대 방향으로 이동하면서 외부에 연결된 도선에 전류가 흐르게 된다. 태양광 발전을 위해서는 태양전지 셀 여러 장을 직렬로 연결하여 패널 형태의 모듈로 제작하고, 이러한 모듈을 직병렬로 연결하여 설치하게 된다.

태양전지는 빛을 흡수하는 소재의 종류에 따라 Si계, 화합물반도체계, 유기계 등으로 분류될 수 있으며, 상용



[Fig. 1] 태양전지의 기본 구조 및 작동 원리(신재생에너지백서)

화 순서에 따라서는 1세대(결정질 실리콘), 2세대(실리콘박막, CIGS 및 CdTe 박막), 3세대(염료감응, 유기) 및 차세대(양자점, 플라즈몬 등)로 분류할 수 있다. 이

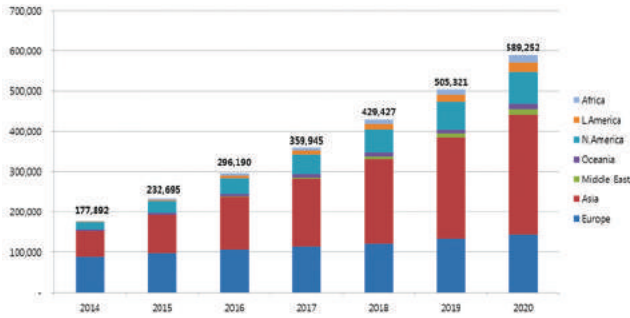
[Table.1] 태양전지 종류별 효율 및 특징(신재생에너지백서)

종류	특징	변화 효율	단계	
실리콘계	단결정	• 200 $\mu$ m 정도의 얇은 단결정 Si 기판 이용 • 장점 : 성능, 신뢰성 • 과제 : 저가격화	~20%	실용화
	다결정	• 작은 결정이 집합된 다결정 기판 이용 • 장점 : 단결정보다 저렴 • 과제 : 단결정보다 효율 낮음	~15%	실용화
	박막계	• a-Si이나 미세결정 박막을 기판 위에 형성 • 장점 : 대면적으로 양산 가능 • 과제 : 효율 낮음	~9% (비정질)	실용화
화합물계	CIGS계	• Cu, In, Se 등을 원료로 하는 박막형 • 장점 : 자원절약, 양산가능, 저가격 • 과제 : In의 자원량	~14%	실용화
	CdTe계	• Cd, Te를 원료로 하는 박막형 • 장점 : 자원절약, 양산가능, 저가격 • 과제 : Cd의 독성	~13%	실용화
	집광계	• III족과 V족 원소로 된 화합물 다결합, 집광기술 적용 • 장점 : 초고성능 • 과제 : 저가격화	셀 효율 ~38%	연구 단계
유기계	염료 감응	• TiO <sub>2</sub> 에 흡착된 염료가 광을 흡수하여 발전하는 새로운 타입 • 장점 : 저가격화 가능성 • 과제 : 고효율화, 내구성	셀 효율 ~14%	연구 단계
	유기 박막	• 유기반도체를 이용하는 박막형 • 장점 : 저가격화 가능성 • 과제 : 고효율화, 내구성	셀 효율 ~12%	연구 단계

### <저자 약력>



정훈 박사는 2009년 KAIST에서 물리학 박사학위를 받고, LG화학기술연구원을 거쳐 2012년 이후 한국에너지기술평가원에 재직 중이며, 태양광 분야 PM과 에너지기술정책 업무를 수행하였다. (jeonghun@ketep.re.kr)



[Fig. 2] 세계 태양광 누적설치 현황 및 전망(SNE리서치)

중 결정질 실리콘 태양전지가 가장 먼저 상용화되어 태양광 시장의 90% 이상을 차지하고 있고, 박막 태양전지(CdTe, CIGS 등)는 8% 수준의 시장 점유율을 보이고 있다. 염료감응 태양전지나 유기태양전지는 BIPV나 모바일 기기 등 다양한 적용이 가능하여 지속적으로 연구되고 있으며, 최근에는 페로브스카이트를 이용한 태양전지가 실리콘 태양전지를 대체할 태양전지로 각광을 받으며 연구되고 있다.

### 태양광 시장 동향

태양광 시장은 에너지·환경문제 해결과 신산업 창출을 위해 전 세계적인 집중을 받으며 2006년 이후 연평균 성장률이 85%에 이를 만큼 폭발적인 성장을 하였다. 그러나 2010년 이후 유럽발 경제위기와 중국 정부의 집중 투자로 인한 공급 과잉 현상(China risk)으로 실리콘 가격이 급락하고 모듈가격이 1/3 이하로 폭락하며 전 세계 태양광 시장은 구조조정과 함께 극심한 침체를 겪게 되었다. 세계 선두 기업이었던 SunPower, Q-cell이 Total사와 한화그룹에 각각 인수되고 국내외 많은 기업들이 줄줄이 도산하는 등 구조조정이 계속되어 오다, 최근 회복세를 보이고 있다. 이러한 긴 침체기 속에서 유럽 시장은 많이 축소되었지만 미국과 중국 시장이 크게 성장하며 세계 태양광 시장을 견인해 왔으며 지난 5년간 연평균 16.6%의 성장률로 지속적인 성장을 해왔다. 그 결과, 2015년 세계 태양광 발전 신규 설치량은 50GW, 총 누적 설치량은 230GW에 이르렀고 2016년에도 63GW 가량의 신규 설치가 예상되는 바, 앞으로도 성장 가능성이 유망한 분야라 할 수 있다. 또한 2015년 12월 파리에서 개최된 기후변화당사국회의(COP21)에 따른 신기후체제 출범으로 세계 각국의 투자 확대가 예상됨에

따라 태양광 시장은 재도약의 시점에 놓여 있다고 할 수 있다.

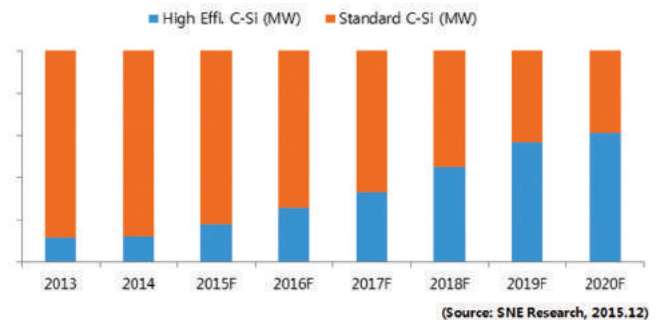
### 결정질 실리콘 태양전지 기술개발 현황

결정질 실리콘 태양전지는 단결정과 다결정으로 나뉘며, 단결정 실리콘 태양전지는 순도가 높고 결정결함밀도가 낮아 효율이 높지만 고가이다. 다결정 실리콘 태양전지는 상대적으로 품위가 낮아 효율은 떨어지지만 제조가 쉽고 저가로 생산할 수 있는 장점이 있어 실리콘 태양전지 수요의 80%를 차지하고 있다.

현재 상용화된 통상적인 결정질 실리콘 태양전지는 P-type의 실리콘 기판에 전극이 screen print된 형태로, 단결정 태양전지의 평균 효율은 18~19%, 다결정은 16~17%의 효율을 보이고 있다. 결정질 실리콘 태양전지 시장은 중국의 저가 공략으로 중국 기업이 시장의 대부분을 점유하고 있어, 대부분의 기업에서는 N-type, PERC(Passivated Emitter and Rear Contact), 후면전극, HIT(Heterojunction with Intrinsic Thin-layer) 등 고효율 태양전지 중심으로 개발하고 있다. LG 전자는 N-type 단결정 양면수광형 셀을 개발하여 22%의 효율을 달성하였으며, 일본의 Panasonic은 21~22% 수준의 N-type HIT 셀을, 미국의 Sunpower사는 22~23% 수준의 N-type IBC(Interdigitated Back Contact) 셀을 생산하고 있다.

### 박막 태양전지 기술개발 현황

박막 태양전지는 실리콘 기판 전체를 태양광 흡수에 쓰는 결정질 실리콘 태양전지와 달리 유리나 플렉서



[Fig. 3] 결정질 태양전지 시장에서의 고효율 태양전지 점유율 전망(SNE리서치 2015)

블 기판 위에 빛을 흡수하는 반도체 소재를 얇게 증착하는 방식으로 제작하는 태양전지로 실리콘 박막, CIGS, CdTe 등이 있다. 박막 태양전지는 저가의 기판을 사용할 수 있고 공정이 상대적으로 단순하여 단가 절감과 다양한 응용이 가능하여 많은 연구가 진행되고 있으나, 결정질 실리콘 태양전지 가격의 지속적인 하락으로 박막 태양전지를 비롯한 다른 종류의 태양전지 경쟁력이 크게 약화됨에 따라 시장 진입이 지연되고 있다. 특히 실리콘박막 태양전지는 결정질 실리콘 태양전지 제조 단가의 절대적 비중을 차지하는 실리콘의 양을 줄일 수 있어 실리콘 태양전지의 가격을 낮추기 위한 대안으로 많은 연구가 진행되었으나, 결정질 실리콘 태양전지 가격의 급락으로 시장이 크게 축소되었다. 이에 따라 삼중접합 구조를 활용한 실리콘 박막 태양전지로 13.4%의 세계 최고 효율을 달성한 LG전자 또한 실리콘 박막 태양전지 사업을 중단하였다.

CIGS 박막 태양전지는 구리(Cu), 인듐(In), 갈륨(Ga), 셀레늄(Se) 등으로 구성된 화합물 반도체를 사용하는 태양전지로, 결정질 실리콘에 비해 광흡수율이 높아 1~2 μm의 두께만으로도 고효율의 태양전지 제조가 가능하고 제조 공정이 결정질 실리콘 태양전지에 비해 단순하여 제조단가를 절감할 수 있는 등 많은 장점을 갖고 있어 삼성SDI, LG이노텍, Solibro, 등 반도체 및 디스플레이 제조기술을 보유한 기업에서 개발을 시도하였다. 그러나 태양광 시장 침체로 대부분의 기업들이 사업을 중단하였으며, 일본의 Solar Frontier만이 상용화에 성공하여 14% 수준의 제품을 생산하고 있다. 삼성SDI는 5G급 대면적 모듈에서 세계 최고 수준인 16% 효율을 달성하였으나 상용화에 이르지 못하고 사업을 중단하였으나, Solar Frontier는 최근 22.3%의 최고효율을 발표하고 1 GW급 양산설비 구축 계획을 발표하는 등 사업을 확장하고 있다.

### 염료감응 및 유기 태양전지 기술개발 현황

염료감응 태양전지(DSSC, Dye Sensitized Solar Cell)는 1991년 스위스의 Gratzel 교수가 식물의 광합성 원리를 모방하여 고안한 태양전지로, TiO<sub>2</sub> 표면에 흡착된 염료가 빛을 흡수하여 여기시킨 전자를 TiO<sub>2</sub>가 받아들여 외부로 전달하는 전기화학적 반응을 이용한 태양전지이다. 제조과정이 간단하고 구성 재료의 가격도 저렴하며, 사용하는 염료의 색상에 따라 색상변경이 가능하고 투명

하여 BIPV(Building Integrated PhotoVoltaic) 등 다양하게 활용될 수 있어 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 2011년 12.3%의 세계최고효율이 발표된 이후로도 10% 정도의 낮은 모듈 효율을 보이고 있으며, 액체 전해질의 누수와 용매 증발로 인한 낮은 내구성 개선을 위해 고체/준고체 전해질로 대체하기 위한 연구가 계속되고 있으나 상용화 단계에는 미치지 못하고 있다. 국내에서는 동진세미켐, 이진창호, 상보가, 해외에서는 호주의 Dyesol, 일본의 Fujikura 등에서 상용화 개발을 추진하고 있다.

유기박막 태양전지(OPV, Organic PhotoVoltaic)는 유기반도체 물질 기반의 P-N 접합구조를 이용하며, 흡수층의 재료 구성에 따라 고분자계와 유기단분자계로 나누어진다. 유기 태양전지는 재료가 저렴하고 인쇄나 잉크젯 등의 도포 공정으로 대면적 태양전지를 제조할 수 있어 제작 단가가 낮고, 플라스틱 필름 위에도 막을 형성할 수 있어 이동용 전자기기나 wearable 등 다양한 적용이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 2000년대에 들어 10%대의 효율을 보이고는 있으나 실용화 개발에 선두 역할을 했던 미국의 Konarka사의 도산과 태양광 시장 침체로 발전 속도가 다소 지연되고 있는 상태이다. 해외에서는 독일 Heliatek가 탠덤구조로 12%의 효율을 달성하였고, 일본 Mitsyubishi Chemical은 롤투롤 인쇄공정을 이용한 플렉서블 제품의 상용화를 진행하고 있으며, 국내는 코오롱인더스트리에서 롤투롤 연속 인쇄공정 기반으로 wearable, 아웃도어 용품에 적용하기 위한 제품을 개발하고 있다.

### 페로브스카이트(Perovskite) 태양전지 기술개발 현황

페로브스카이트는 ABX<sub>3</sub> 구조를 가지는 유기 하이브리드 적층 물질로, 최근 페로브스카이트를 염료로 사용한 태양전지에서 실리콘 태양전지보다 높은 효율을 보이며 전 세계의 주목을 받고 있다. 2009년 일본에서 염료감응 태양전지에 유기염료 대신 페로브스카이트를 코팅하여 3.8% 효율을 보고한 이후 5년 만에 20%대의 효율에 진입하는 빠른 속도의 효율 향상을 보이고 있으며, 높은 광흡수율과 단순한 제조공정, 낮은 원가, 유연성 등의 장점으로 결정질 실리콘 태양전지를 대체할 차세대 태양전지로서의 입지가 강화되고 있다. 우리나라에서도 활발하게 연구가 진행되어 2014년 한국화학연구원에서

18.4%의 세계최고수준의 효율을 발표한 이후 20.1%까지 향상시켰으며, 최근 스위스 EPFL(로잔연방공과대학교)에서 21%의 최고효율을 경신하였다. 향후 상용화 단계에 도달하기 위해서는 페로브스카이트의 중요 구성요소 중 하나인 납(Pb)을 대체할 수 있는 소재 개발과 수분 및 광조사에 대한 장기안정성 확보가 필요하며, 이를 위해 전 세계적으로 Pb-free, 장수명화, 플렉서블화 등의 연구가 경쟁적으로 진행되고 있다.

| References |

- [1] 2012 발전전략보고서, 한국에너지기술평가원
- [2] 2014 신·재생에너지 백서, 한국에너지공단

ASCT, Volume 25, Number 3 May 2016

| Research Papers |

- Vacuum technology  
Low Temperature Test of HWR Cryomodule / Heetae Kim, Youngkwon Kim, Min Ki Lee, Gunn-Tae Park, and Wookang Kim
- Plasma and display  
Surface treatment of a titanium implant using a low temperature atmospheric pressure plasma jet / Hyun-Young Lee, Jung-Woo Ok, Ho-Jun Lee, Gyo Cheon Kim, and Hae June Lee
- Semiconductors and thin films  
The Effects of thermal decomposition of TEMAHf precursors on HfO<sub>2</sub> Film growth using Atomic Layer Deposition / Nam Khen Oh, Jin-Tae Kim, Jong-Ki Ahn, Goru Kang, So Yeon Kim, and Ju-Young Yun
- Nano and biointerface  
A Portable Surface Plasmon Resonance Biosensor for Rapid Detection of Salmonella typhimurium / Hoang Hiep Nguyen, So Yeon Yi, Abdela Woubit, and Moonil Kim