

박막태양전지 및 미래 태양에너지 발전 방향

미래의 태양광산업을 주도해 나아갈 차세대 박막전지 및 집광형 태양전지(CPV)에 관하여는 중국의 실리콘 태양전지의 성공 노하우를 배울 필요가 있다. 중국은 우리보다 글로벌 시장에 5~6년 먼저 뛰어들었고, 공격적인 마케팅과 정부의 육성 노력도 돋보인다. 이제라도 우리 기업인들은 미래 태양전지에 적극적인 투자를 통해 세계 시장 공략을 본격화해야 한다. 정부도 대표기업 육성과 해외진출 지원 등으로 산업전반의 실력향상을 이끌어야 한다. '태양에너지 강국'의 꿈을 현실로 만들기 위한 전략적 실천 노력이 시급하다.

최동배 한국전력기술, 책임연구원

e-mail : choidb@kopec.co.kr

대체에너지로서의 태양에너지

태양에너지 이용의 역사는 기원전 212년 전쟁의 역사로부터 시작되었다. 당시 아르키메데스가 공격해오는 로마함대의 항해를 반사면으로 태양광선을 집중시켜 불붙게 함으로써 막아내었고, 1774년 라브와지에는 태양광선을 집중시켜 1,000°C 이상의 온도를 얻을 수 있는 태양로를 처음으로 제작하였다. 태양전지는 1839년 프랑스 에드몬드 베켈이 태양전지를 처음으로 발견하였으며, 이어 미국에서는 태양에너지로 구동되는 증기기관과 물펌프를 고안했다.

는 증기기관과 물펌프를 고안했다.

오늘날 사용되는 원형 태양전지는 1953년 미국 벨연구소 G.L. 파이어슨에 의해 단결정태양전지가 발명되어 1958년 인공위성에 탑재되었고, 1973년 오일 쇼크 이후 대체에너지에 대한 관심고조와 함께 태양에너지에 대한 연구가 세계 각국에서 진행됨으로써, 1979년 아몰퍼스 실리콘 태양전지가 처음으로 발명되었다. 현재에는 국내·외 연구소에서 효율이 더 향상된 박막형 태양전지 및 집광형 태양전지(CPV: Concentrating Photo-Voltaic)가 실증과 함께 활발히 연구되고 있다.

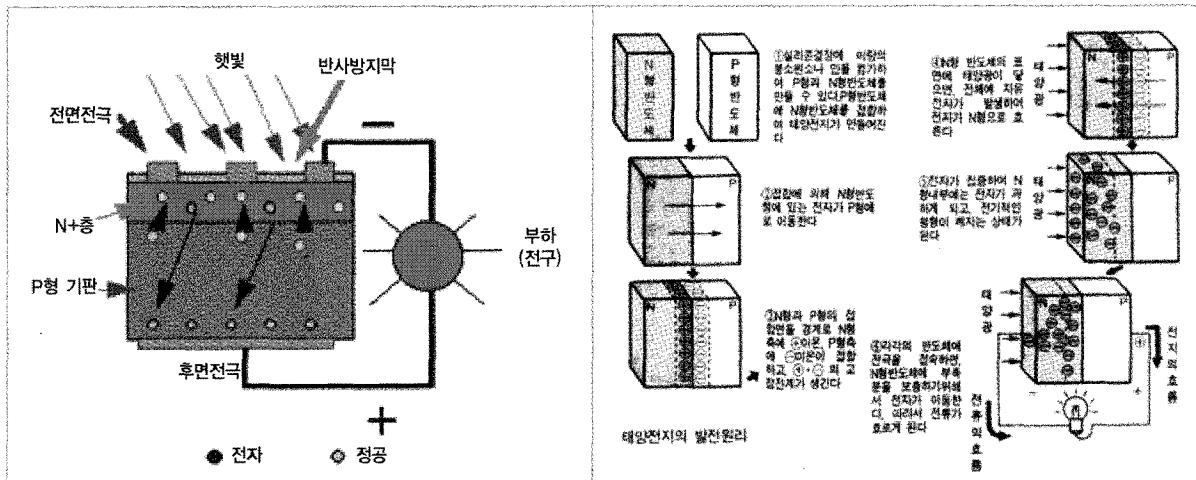


그림 1 태양전지 원리 및 광기전력효과(Photovoltaic)

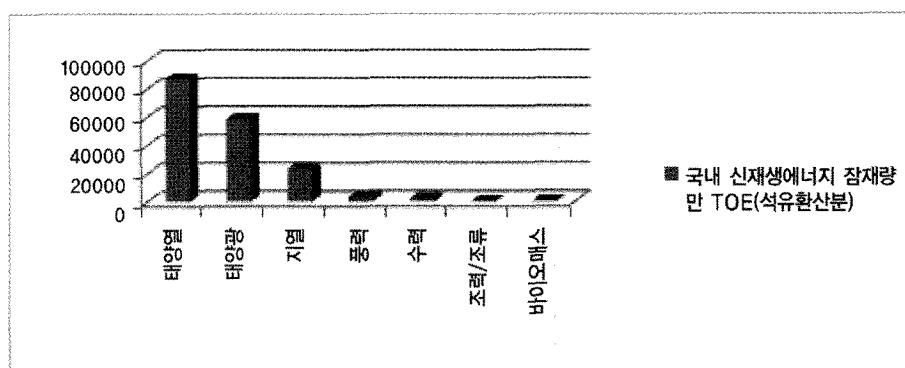


그림 2 국내 신재생에너지 자원 잠재량(자료출처: 에너지기술연구원)

표 1 태양전지의 종류와 변환효율

태양전지의 종류	장점	셀의 변환효율	모듈의 변환효율
실리콘 태양전지	결정계 (1세대)	단결정 Si 다결정 Si	15~24% 10~17%
	아몰퍼스계	아몰퍼스 Si, SiC, SiGe	8~13% 6~9%
화합물반도체 태양전지 (2세대)	이원계	GaAs, InP CdS, CdTe	18~30%(GaAs) 10~12%(기타)
	삼원계	CuInSe2	10~12%
유기반도체 태양전지 (3세대-염료감응형)		메로시아닌	1% 이하
집광형 태양전지(4세대)		GaAs	18~30%(GaAs)
			아몰퍼스(좌) 다결정질(중) 단결정질(우)

태양의 방출에너지는 초당 약 900억조 kcal이며, 지구가 받는 에너지는 초당 42조 kcal(1/22억)로 30%는 반사, 70%는 흡수(30조 kcal 흡수)된다. 방대한 태양에너지는 60분 만에 세계의 연간 에너지 소비량을 채울 수 있다. 태양에너지는 수력, 파력, 지열, 풍력 에너지 등을 만들어내며, 더 넓게 보면 화석에너지도 태양에너지가 축적된 것이다.

에너지의 대부분을 수입에 의존하는 우리나라 는 국가안보와 계속적인 경제성장을 유지하면서 환경 보전, 복지향상 등을 위하여 에너지 수입의존도를 최대한 감소시킬 수 있는 장기적인 에너지 수급정책의 수립과 근본적으로 지속가능한 청정 대체에너지의 개발이 절실히 요구되고 있다.

에너지기술연구원에 따르면 우리나라 전체에

존재하는 자연에너지의 총량 가운데 기기, 시스템, 효율 등 현재의 기술수준으로 확보 가능한 신재생에너지 잠재량은 연간 17 억 5,093만 TOE에 이르는 것으로 분석됐다. 석유, 석탄, 천연가스 등 국내 1 차 에너지 연간 공급량(2 억 4,075만 TOE, 2008년 기준)의 7배가 넘는 규모로 적어도 자연에너지 자원에 관한 한 한국도 자원부국인 것이다. 신재생에너지원별로는 태양광, 태양열 등 태양에너지 잠재량이 14억 5,629만 TOE로 가장 많았고 지열, 풍력, 수력 등의 순이었다. 특히 태양광·태양열에너지의 경우 지금까지 9만 TOE만 보급돼 잠재량의 0.01%에도 못 미치는 수준으로 태양에너지를 장소에 구애받지 않고 어느 곳에

서 얼마나 이용할 수 있는지 등에 대한 분석과 가격이 저렴하고, 발전량이 많은 태양광 전지의 개발·생산 등이 선행되어야 함을 알 수 있다.

태양전지용 실리콘 재료는 일찍이 반도체 IC의 단재 등을 이용하고 있었으며, 최근에는 태양전지의 생산량이 급격하게 확대되어 재료가 많이 사용되고 있다. 일반적으로 반도체 기판 재료용은 실리콘의 순도가 99.999999999%(Eleven Nine)가 필요하지만, 태양전지용은 99.99999%(Six Nine) 순도의 반도체 IC에서 사용할 수 없는 불량품의 대체용으로 개발되었다고 할 수 있다. 1세대 결정질 태양전지는 유럽, 일본 등 태양에너지가 열악한 지역에 적합한 실리콘 재료의 개발이 진행되어 낮은 가격의 태양전지 전용 실리콘 재료(SGS: Solar-Grade Silicon)가 개발되어 독일 Q-Cell, 중국

선텍 및 일본 샤프, 교우세라를 중심으로 양산되고 있다. 그러나 1,400°C 이상의 고온, 복잡한 생산공정으로 단가를 낮추는 데 한계가 있다. 기술적으로도 효율은 다소 박막전지보다 높지만, 대중 확장성, 온도 저감계수, 장소제약(설치각도 및 BIPV 적용성 등) 면에서도 한계가 있어, 단연히 2세대 전지는 아몰퍼스 실리콘, 화합물반도체(CIGS) 박막전지와 3세대 유기감응형 박막전지(DSSC)로 연구개발 및 생산 중심이 이동되고 있다.

박막 실리콘 태양전지

실리콘을 주성분으로 한 실란가스를 특수한 진공장치(플라즈마 CVD 장치, CVD-화학기상성장)에서 기판에 실리콘을 부착시키는 방법으로 만들어진 태양전지이다. 막을 붙이는 조건에 의해 아몰퍼스(비정질)가 되기도 하고 미결정이 되기도 한다. 또한 막을 붙이는 기판은 유리, 스테인리스, 플라스틱 등 여러 가지 종류를 선택할 수 있다. 단·다결정 실리콘은 원료를 녹여 재고화하기 때문에 1,400°C 이상으로 가열할 필요가 있으나 박막 실리콘은 200°C 정도로 성막이 생긴다는 점에서 에너지 절약타입이다. 차세대 저비용 태양전지의 하나로서 박막 실리콘 연구개발이 왕성하게 이루어지고 있다. 응용 예로서 구부릴 수 있는 플라스틱 기판에 성막된 실리콘 태양전지(일본 후지전기)와 박막이라는 점에서 반투명 태양전지를 만드는 것도 가능해 BIPV 제품으로 일부 상품화(중국 TRONY)되어 있다.

결정 실리콘과 아몰퍼스 실리콘의 온도 특성의 차이

여름철 태양전지 모듈의 표면은 70°C 정도로 뜨거워진다. 결정 실리콘의 온도저감계수는 $-0.45\%/\text{°C}$ 이기 때문에 정격(기준은

도 25°C)에 대하여 20% 정도 저하된다. 한편 아몰퍼스 실리콘의 온도저감계수는 $-0.2\sim-0.3\%/\text{°C}$ 이기 때문에 출력저하가 10% 정도되며, 여름철의 출력은 결정 실리콘보다 아몰퍼스가 10% 정도 커진다. 이는 후지전기의 실측에 의해 증명되었으며, 국내에서도 같은 용량의 태양광발전소인 경우 연평균 7~8% 발전량이 더 생산됨이 입증되었다.

아몰퍼스 실리콘 태양전지

결정 실리콘은 100μm인 반면, 아몰퍼스 실리콘은 0.5μm 이하의 두께로 빛을 흡수할 수 있기 때문에 결정 실리콘만큼 변환효율이 좋지 않지만(시제품에서 6~9%), 저렴한 태양전지로서 기대되고 있다. 앞서 기술한 온도 상승에 대한 출력저하가 적은 것이 특징이다. 한편 아몰퍼스 실리콘은 태양광을 쬐이면 초기 열화되는(광열화) 결점을 가지고 있지만, 현재는 10% 정도까지 억제할 수 있도록 개선되었다. 판매되고 있는 아몰퍼스 전지는 예측되는 열화분만 줄어든 정격출력을 표시하고 있기 때문에 구입자가 불이익을 입는 일은 없다.

턴데형 박막 실리콘 태양전지(다접합 태양전지)

아몰퍼스와 결정 실리콘은 빛의 파장에 대한 감도가 다르다. 그래서 단파장은 아몰퍼스 실리콘으로, 장파장은 미결정 실리콘으로 흡수하려는 복합소자구조

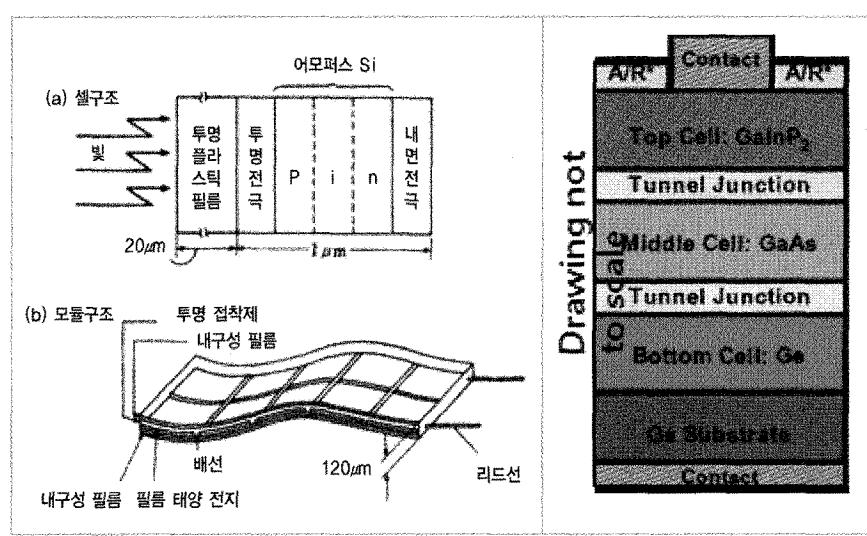


그림 3 아몰퍼스 실리콘 및 다접합 태양전지의 구조

가 텐덤형 태양전지이다.

아몰퍼스와 결정 실리콘의 장점만을 이용하여 효율을 높이려는 것이며, 최근에는 변환효율 15% 이상을 목표로 한 실용화 연구가 진행되고 있다.

이 형의 대표적인 업체인 일본 샤프는 태국의 Diamond Generating Asia, 홍콩의 CLP 그리고 태국의 NED(Natural Energy Development)가 공동 관리하는 73MW 태양광발전소 건설에 착수했다. 2011년 말에 가동 예정인 이 발전소를 위해 Osaka Green Front Sakai에 있는 태양광 셀 공장에서 박막 태양광 전지 모듈과 주변기기를 공급할 예정이다.

화합물 반도체 태양전지

갈륨비소계(GaAs) · 인듐인계(InP) 태양전지

갈륨비소계는 상당히 고가이기는 하지만 실리콘에 비하여 변환효율이 높다는 점, 내열성 · 내방사선 특성에 우수하다는 점에서 우주용으로 이용되고 있다. 우주용은 발사하는 데 많은 비용이 소요되므로 중량을 가볍게 하고 변환효율을 높이는 것에(적은 면적으로 많은 발전을 가능하게 하기 위해) 주력하고 있다. 효율을 높이는 방법으로는 다접합(Multi-Junction)형이 일반적이며, 우주용은 6접합 태양전지가 주로 사용되고 있다.

CIGS 태양전지

CIS 태양전지의 빛 흡수층(구리 · 인듐 · 셀렌화합물)은 수 μm 정도의 두께로 빛을 전기로 변환한다. 최근에는 한층 더 고효율로 하기 위해 갈륨을 더하여 CIGS 태양전지로 불리는 경우가 많아졌다. 변환효율이 높은 박막, 광열화가 없는 등의 장점으로 인해 차세대 태양전지로서 크게 기대되고 있다. 변환효율은 연구수준에서는 18.8%까지 도달했지만, 시판품 수준은 10~12% 정도이다.

카드뮴 텔루르(CdTe) 박막 태양전지

CdTe 태양전지는 카드뮴과 텔루라이드라는 물질을 혼합해 만들며, 일반적인 상황에서는 문제가 없지만 화재 등 높은 열을 가했을 때 독성물질인 카드뮴이 유출되는 것으로 알려져 있다. 그러나 박막에서는 대체

적으로 고효율을 기대할 수 있어 미국을 비롯해 남미, 중국 등 사막지역에 많이 팔리고 있다. 이에 힘입어 미국 퍼스트솔라는 지난해 전세계 태양광 시장에서 1위를 달리고 있다. 그동안 한국은 유해성을 이유로 이 제품의 수입을 금지하였으나, 에너지관리공단 신 · 재생에너지 센터는 지난 6월 21일 산업기술시험원과 CdTe 태양광 모듈에 대한 환경성 평가를 위한 업무협약을 체결하고, 실제 자연환경과 동일한 상태에서 혹한 · 혹서 테스트를 실시하는 등 엄격한 검증이 진행되고 있다. 이는 태양전지 주요국 가운데 유해성을 이유로 수입을 금지한 사례가 없어 사실상 인증추진으로 받아들여진다. CdTe 전지는 효율이 비교적 높으면서도 가격은 일반 태양전지의 절반에 불과하기 하나, 카드뮴이라는 독성물질을 함유하고 있어 화재 취약지역인 고층건물의 BIPV용으로도 부적합하다.

염료감응형 태양전지(DSSC)

염료감응형 태양전지는 색소가 붙은 산화티타늄 등의 나노입자를 한쪽의 전극에 칠하고 또 다른 쪽 전극과의 사이에 전해액을 끼워 넣은 구조로 되어 있다. 태양광을 흡수한 색소에서 전자가 발생하여 산화티타늄을 사이에 끼워 전류가 흐르게 한다. 색소에 의해 빛에너지를 이용한다는 점에서는 식물의 광합성과 비슷하다. 현재 상태에서는 변환효율이 낮은 것이 문제이고, 연구 수준에서는 10%를 넘지만, 실용수준에서는 5~6% 정도로 출시될 것으로 보인다.

한국은 시스템창호 전문기업 이건창호가 3년간 30억 원 이상의 정부지원금을 받아 지경부가 주관하는 '수요자 맞춤형 염료감응형 태양전지 태양광창호와 태양전지 고속공정을 개발하는 과제'를 수행하는 주관기관으로 지난 6월 말에 선정이 되었다. 염료감응형 태양전지(DSSC)는 흐린 날이나 직사광선이 약한 산란광에서도 전기를 생산할 수 있도록 고안된 차세대 태양전지로, 염료를 사용하기 때문에 다양한 색상 및 투과율을 조절할 수 있다.

유기 박막 태양전지(제3세대 태양전지)

지금까지 유기재료는 전기를 통하게 하지 않는 것으로 인식되었지만, 유기분자에 특수한 것을 사용하

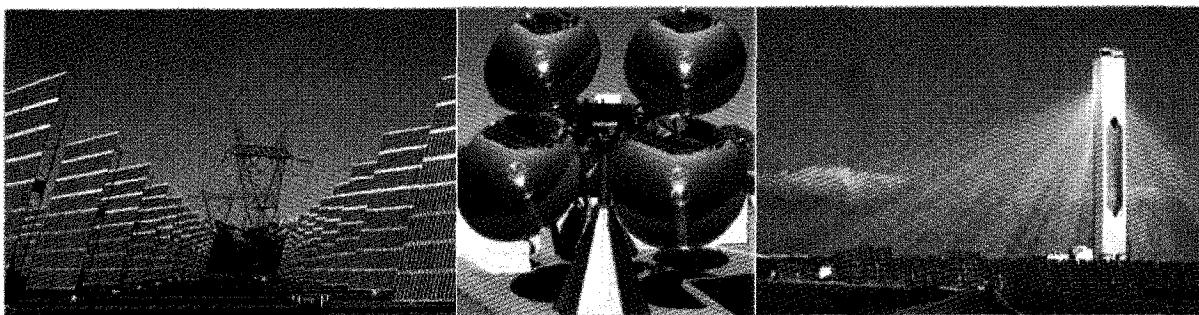


그림 4 집광형 태양전지(CPV) 및 Power Tower형 태양열발전

여 전기가 흐르는 도전성을 가질 수 있게 되었다. 휴대 전화 등의 표시에 사용되고 있는 유기 EL Display는 이와 같은 유기반도체를 응용한 제품이다. p형 반도체는 도전성 폴리머를, n형 반도체에는 축구공 형태의 구조를 가진 것으로 유명한 폴레린(특수한 구조를 한 탄소)을 사용하여 pn 접합을 형성하고 있다.

이와 같이 하여 완성된 유기 박막태양전지(독일 산업기술 종합연구소가 개발)는 재료가 저렴하다는 점, 염료감응형 태양전지처럼 액체를 사용하지 않는 점 등에서 변환효율을 높일 수만 있다면 매력있는 태양전지가 될 것 같다.

신형 태양전지(제4세대 태양전지)

논리적으로 60% 이상의 변환효율을 얻을 수 있는 가능성이 있고, 양자점이란 전자를 가둘 수 있는 용기와 같은 것으로 크기는 직경이 10nm이다. 양자점의 크기를 바꿈으로써 사이즈가 큰 양자점은 긴파장의 빛(적색)을, 사이즈가 작은 양자점은 짧은 파장의 빛(청색)을 흡수하는 성질을 이용한다.

상기 신형 태양전지 외에 제4세대 태양전지인 집광형 태양전지(CPV), 나아가 태양열발전에도 주목할 필요가 있다. 미국 캘리포니아주 벤처업체 아모닉스(Amonix)는 최근 자사가 새로 개발한 CPV를 공개하고 유력 벤처캐피털업체 클라이너 퍼킨스 커필드 앤 바이어스(KPCB)에서 1억 2,900만 달러를 투자 유치했다고 밝혔다. KPCB는 인터넷업체 구글·아마존을 성공 시킨 실리콘밸리의 대표적인 투자업체이다. 아모닉스가 개발한 CPV는 25% 변환효율로 기존 14~18% 수준을 훨씬 상회하며, 집광비는 500배로 집적된다.

사하라 사막에서 생산한 전기 유럽서 쓴다.

이르면 5년 안에 사하라 사막에서 생산한 전기를 유럽에서 사용할 수 있게 될 전망이다. 로이터 통신 보도에 따르면 “사하라 사막에서 전기를 끌어오는 몇몇 모델이 착착 진행되어 5년 안에 상용화될 전망이며, 이를 통해 수백MW급의 전기가 유럽으로 송전될 것이다.”라고 하였다. 이 모델들은 파일럿 프로젝트의 일환이며 데저텍(Desertec)과 같은 대규모 프로젝트가 가동되면 발전량은 수천MW에 이를 것으로 전망한다.

EU는 사하라 사막의 풍부한 태양에너지로 전력을 생산해 2020년까지 유럽 에너지 사용의 20%를 충당한다는 계획을 세워놓고 있다. 이 가운데 가장 큰 것은 ‘데저텍 프로젝트’로 4,000억 유로를 투입해 수천MW의 전력을 생산한 뒤 유럽으로 끌어온다는 대담한 계획이다. 이를 위해 EU는 북아프리카로부터 유럽으로 전력을 보낼 수 있는 지중해 해저케이블을 설치하고 있다.

한국 태양광산업의 발전 방향

태양광 국내 1위업체인 현대중공업이 KCC와 공동 설립한 KAM에서 연간 3,000톤 규모의 폴리실리콘 시제품을 생산하고 있으며 올해 100MW 규모의 잉곳·웨이프, 태양전지, 모듈, 발전시스템까지 일관생산 체제를 갖추며, 생산설비를 2배로 증설하고 있다. 이외에 웅진에너지, LG전자 및 신성홀딩스 등도 잇따라 증설하고 있어 실리콘전자는 독일, 스페인, 이탈리아 등 유럽 각국의 태양광 지원정책에 급증한 수요에만 대응하고 있는 모습이다. 이미 투자가 된 사항이라 다른 방향으로 틀기가 쉽지는 않지만, 향후 태양광산업은 신재

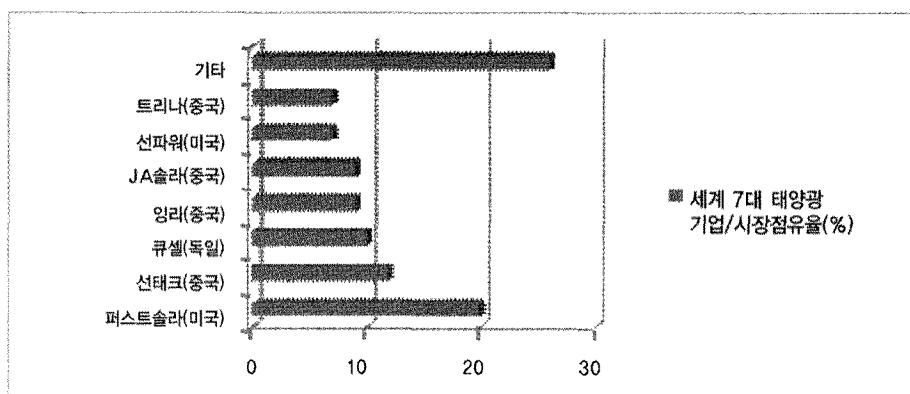


그림 5 세계 7대 태양광 기업/시장점유율(%) (자료출처: 삼성경제연구소)

생에너지 어느 분야보다 Grid Parity가 가까워지고 있으므로, 가격하락 및 적용성에 중점을 두고 있는 박막 태양전지에 주목할 필요가 있다. 2008년까지 세계 2위였던 미국 박막 태양전지업체인 퍼스트솔라는 시장 점유율이 2배 이상 뛰며 1위로 올라섰다. 최근 일본도 차세대 태양전지 기술을 확보하기 위해 광범위한 민·관 공동 연구개발(R&D) 프로젝트에 착수했다. 연구과제 가운데 도시바, 스미토모, 이데미츠, 교토대, 파나소닉, 와세다대 등은 차세대 유기 박막 태양전지를 공동 개발하고, 카네카, 샤프, 산요, 도쿄일렉트론 등은 박막 실리콘 태양전지 셀을 연구하는 데 집중하기로 했다.

시장조사기관인 EuPD는 박막형 태양전지 판매량이 2008년 843MW 규모를 기록했으나 오는 2012년 까지 3GW 규모로 연평균 28.5% 성장할 것으로 예상했다. 실리콘 사용을 줄일 수 있고, 두께가 얇은 박막형 태양전지는 제조비용이 낮고 성능을 유지하면서 벽이나 지붕, 창 등에 모두 설치할 수 있는 장점이 있어 향후 주택, 아파트, 빌딩 등의 BIPV용으로 적합하다. 태양광 제조업체들은 박막형 전지가 제조과정에서 에너지가 적게 소모되고 얇은 기간 내 투자비용을 회수할 것으로 보

고 있으며, 최근 가격 경쟁력이 강한 중국업체들은 관련 제품을 미국 시장에 선보이기 시작했다고 EuPD가 전했다.

한편, IEA 보고서에 따르면 스페인, 독일 등 태양광발전 선두주자들은 태양광발전소에 재래식 발전 단기와의 차액을 지원해주는 발전차액지원금을 지급

하고 있으나 PV를 이용한 발전은 2030년까지는 재래식 발전단기에 이르지 못할 것으로 전망되고, 집광형 태양열발전(CSP)은 2020년경에 헛볕이 풍부한 일부지역을 중심으로 재래식 발전단기에 근접할 것으로 예상된다. 2020년경에는 집광형 발전소가 중앙아시아, 인도, 중남미, 미국 등지에서 전력소비량의 5%를, 2030년에는 8.8%, 2050년에는 22%를 차지하게 될 것이라고 IEA 측은 예상했다. 이 두 가지 방식으로 2050년 무렵에는 세계 전력수요의 4분의 1 가량인 9,000테라와트(TWh)를 생산할 수 있고 이로써 탄소배출량을 60억 톤 감소시킬 수 있을 것으로 IEA 측은 추산했다.

현재 세계 태양전지 셀 시장에서는 결정질 실리콘 방식이 전체의 80%를 차지하고 있다. 한국에서도 그동안 실리콘 태양전지에 많은 투자를 하였으나, 우리보다 글로벌 시장에 5~6년 빨리 진출한 중국과는 달리 세계적인 태양전지 대표주자를 양성하지 못했다. 이제부터라도 차세대 박막 태양전지 및 태양열발전에 산학연 학동으로 기술개발과 투자를 집중하여, 미국 퍼스트솔라와 같이 박막전지로도 세계 생산량 1위를 할 수 있는 기업을 2개 이상 키워 나아가야 하겠다.