

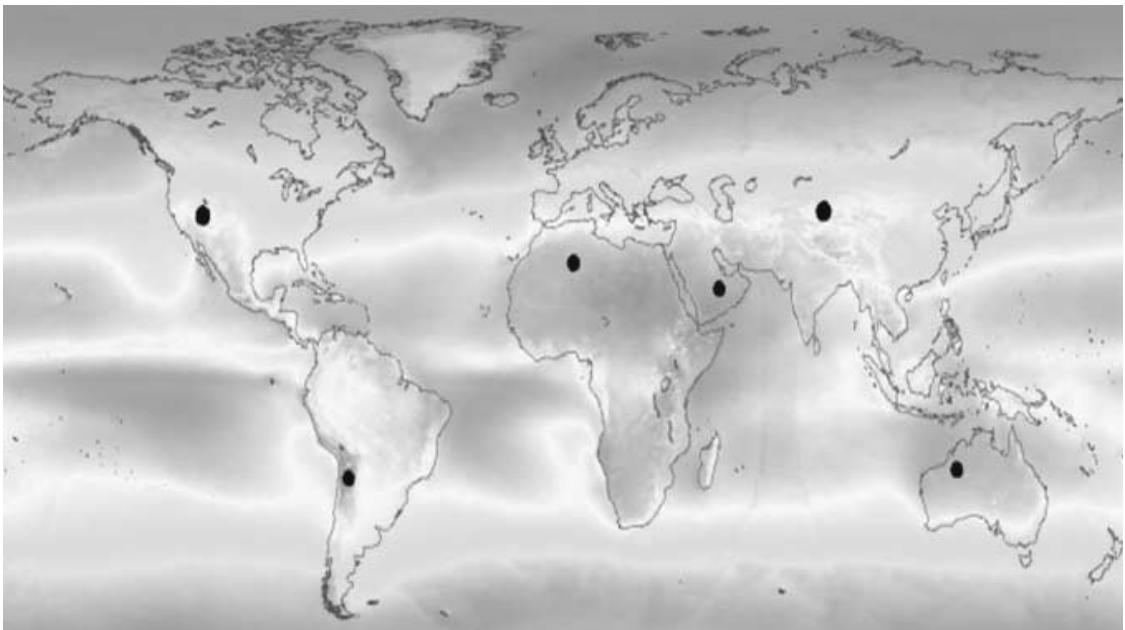
그린 Technology : 태양광 에너지

김 제 하(한국전자통신연구원 박막태양광기술연구팀)

1. 무한하고 청정한 태양광에너지

우리나라는 에너지 소비 세계 10대 국가로서 전체 사용량의 90% 이상을 수입에 의존하고 있다. 따라서 구조적으로 원유의 생산량 및 공급변화에 따라 산업전반과 일상생활이 직

접적인 영향을 받지 않을 수가 없다. 최근 원유가격 급등으로 경제 사회적으로 막대한 불편을 경험하고 있는 것도 그러한 이유이다. 이와 더불어 이런 화석 연료 및 우라늄을 연소 시킴으로써 발생하는 이산화탄소와 핵 폐기물 등은 새로운 환경문제를 야기 시키고 있다.



〈그림 1〉 전세계 태양에너지 일조량 분포 (출처 : Matthias Loster 2006)

포스트 교토의정서에 의한 탄소 배출권 이슈가 2013년부터는 우리 경제에도 직접적인 영향을 미치게 될 전망이다. 이와 같은 국내외적 에너지 및 환경 상황을 고려해 볼 때, 태양광, 풍력, 바이오연료 등에 의한 신재생에너지 개발의 중요성은 나날이 커지고 있다.

신재생에너지원 중 태양광은 지구에서 얻을 수 있는 가장 풍부하고 고갈될 염려가 없는 에너지원이다. 태양으로부터 순수 지표면에 공급되는 빛 에너지의 총량은 약 120,000테라와트(TW)이다. 이것은 인류가 사용하는 에너지 총량(12~14TW)의 약 10,000배에 해당한다. <그림 1>은 지구상의 일조량을 보여주는 데이터 이다(빨간색은 일조량이 많은 곳을 의미함)¹⁾. 그리고 지도상의 6군데의 점은 그 중 가장 일조량이 많은 사막지역을 표시하고 있는데 각 지역에 이상적 태양광 발전소를 설치할 경우 전부 18TW의 전력생산(한 장소당 3TW 전력생산)이 가능하다. 이는 지금 인류가 사용하고 있는 연간 총 에너지 12TW를 상회하는 막대한 양이다. 이와 같이 태양광 에너지는 신재생에너지 중 가장 풍부한 자원으로써 미래에 지배적으로 사용될 수 있는 에너지원이 될 수 있음을 예상하고 있다.

태양전지는 p-n 접합을 이루는 반도체 다이오드에 빛을 쬐이면 전자가 생성 되는 광기전효과(photovoltaic effect)를 이용하는 반도체 소자이다. 이와 같이 태양광을 직접 전기로 변환하기 때문에 전기에너지 전환하는 과정에서 전혀 공해가 발생하지 않는다. 즉, 태양광 발전은 미래의 기축 에너지원으로서의 중요성과 화석연료를 태우면서 만들어지는 이산화탄소가 없는 지구온난화에 대한 방안을

제공할 수 있기 때문에 지금 세계적으로 뜨거운 관심을 모으고 있다.

앞서 기술하였듯이 태양전지는 p-n 접합 다이오드 반도체 소자이다. 기존의 IT 반도체와 구별되는 것은 전기에너지를 소비가 아닌 생성을 주 목적으로 하며, 태양빛을 많이 흡수할수록 더 많은 전기를 생성할 수 있기 때문에 소자 면적이 클수록 유리한 것이 차이점이다. 이 때문에 태양전지를 대형 반도체로 인식하고 있으며, 반도체 기반의 IT 기업의 차세대 성장동력으로 간주되고 있다. 우리나라가 보유하고 있는 세계 최고 수준의 반도체 및 디스플레이 IT-기반 기술을 고려할 때, 반도체 태양광발전의 산업화는 우리에게 국가 신성장동력 창출의 기회를 주고 있는 것이다. IT-기술의 산실인 미국 실리콘 벨리는 이미 솔라 벨리로 빠르게 전환되고 있는 중이다.

본고에서는 청정 신재생에너지인 태양광발전의 기술, 응용 및 산업동향에 대하여 알아 보았다. 그리고 차세대 기술로서 박막형 반도체 태양전지의 기술동향과 IT 기술 활용에 대하여 알아보았다.

II. 태양전지 및 분류

빛을 흡수하여 전자(정공)를 생성하는 태양전지는 p-n 접합 다이오드 반도체 소자로서 광흡수체의 재료에 따라 기술이 구별된다. 먼저, 결정형과 박막형으로 구별된다. 결정형 태양전지는 단결정(mono-crystalline) 실리콘과 다결정(poly-crystalline) 실리콘과, GaAs기반의 III-V 화합물 반도체 태양전지가 있다. 박

막형으로는 비정질(amorphous) 실리콘(a-Si), 다결정(poly-crystalline) 화합물 반도체 태양 전지가 있다. 화합물 반도체의 재료는 구리-인듐-갈륨-셀레늄(CuInGaSe₂ 혹은 CIGS)와 카드뮴텔루라이드(CdTe)가 알려져 있다. 이와 더불어 유기 및 무기물 반도체 소재로서 전도성 염료(dye) 및 폴리머 등의 다양한 태양전지 기술이 개발되고 있다.

이러한 태양전지는 빛을 흡수하여 전기로 전환하는 기능 때문에 이 소자의 특성을 좌우하는 가장 중요한 변수는 에너지 변환효율이다. 지금까지 개발된 태양전지 셀의 최고효율은 빛을 집광을 하지 않은 경우 결정형과 박막형에 대하여 각각 25%와 19.9%에 달하고 있다. 여러 태양전지 셀의 효율을 <표 1>에 나타내었다. 이 표에서 알 수 있듯이 결정형 실리콘의 경우 최고의 실험실 셀 효율 대비 최고의 양산모듈효율은 약 80% 이상의 기술 성숙도를 보이고 있다. 반면에 박막의 경우는 아직도 60% 미만으로 기술 개발이 더 필요하다는 것을 보여주고 있다.

태양전지 모듈은 에너지 전환 효율과 제조 비용에 의하여 3단계로 구별하고 있다. 1세대는 결정형(다결정 및 단결정) 실리콘 및 III-V 화합물 결정형 태양전지이며, 실리콘 태양전지는 가장 성숙된 기술 분야이다. 2세대는 박막형 반도체(a-Si, CIGS, CdTe) 태양전지로서 에너지 전환효율은 다소 떨어지지만 모듈 제조 비용이 훨씬 저렴하다. 3세대는 유기물 등 신재료 및 신개념 태양전지로서 월등한 전환 효율(30% 이상)과 가장 저렴한 생산비용을 예상하는 미래의 기술로서 아직 실험실 수준에 머물러 있다. <표 2>는 세대별 태양전지와 그 특징을 요약해 나타내었다. 일반적으로 1세대 결정형 실리콘 태양전지 모듈은 약 10~18%의 효율을 내고 있는 반면, 2세대 박막형 화합물 반도체 및 3세대 태양전지는 각각 7~13%와 5% 미만의 상대적으로 낮은 효율에 머물러 있다. 제조비용 면에서는 1세대가 가장 비싸며, 2세대인 박막태양전지가 효율은 낮더라도 저가화할 수 있는 가능성을 보이고 있다. 현재 우리나라에서 산업화 노력을

<표 1> 셀 및 양산모듈의 최고효율 비교^[2]

구분	셀 기술	최고 셀 효율(%)	최고 양산 효율(%)
결정형	단결정실리콘	25	20
	다결정실리콘	20.3	17.5
	리본 / Sheet Si	22	20
	집광형	29(Si), 36(GaSaP)	24(Si)
박막형	비결정실리콘	12~16	8.0
	CIGS	19.9	12
	CdTe	16	10

기울이고 있는 기술은 1세대 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지가 대부분이며, 박막형 태양전지는 아래에 설명한 바와 같이 이제 시작 단계에 와 있다. <표 2>의 항목 중 시장 점유율은 세계시장을 기준으로 한 것이다.

<그림 2>은 태양전지 모듈생산과정에 있어서 결정형과 박막형 태양전지의 차이를 도식적으로 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 1세대 실리콘 태양전지 모듈을 만들기 위해서는

소재→잉곳→웨이퍼→셀→모듈 단계로 제작되는 과정이 필수적으로 필요하다. 여러 셀들을 이어 붙여 태양전지 모듈을 제작하게 된다. 각 단계별로 구분되어 사업화가 이루어지고 있으며, 태양전지 모듈을 만들기 위해서는 모든 단계가 서로 유기적인 관계가 이루어져야 되기 때문에 가치사슬의 수직계열화라고 한다. 이에 비교하여 박막형 태양전지 모듈은 보통 유리기판이나 금속 포일(foil) 위에 반도체

<표 2> 세대별 태양전지와 그 특징

세대구분	1세대			2세대				3세대	
구분	결정형			박막형					
	단결정 Si	다결정 Si	III-V	박막 Si	CdTe	CIGS	염료감응	유기	나노
시장점유율	42%	43%	< 0.1%	12%	2.7%	0.2%	< 0.1%	< 0.1%	
모듈효율	15%	12%	35%	8%	10%	12%	7%	5%	
특징	신뢰성 확보 안정된 생산공정		고효율	생산단가 저렴			생산단가 매우 저렴		
	고비용 공정, 소재 가격인하 한계		고비용소재	저효율/ 내구성	독성소재	고비용소재	내구성 미확보	저효율	신개념



<그림 2> 결정형과 박막형 태양전지의 차이점

체를 박막 증착함으로써 셀 및 모듈까지 단일 장소에서 일괄 공정으로 마칠 수 있으며, 이 점이 결정형 태양전지 기술과 모듈 생산의 가장 큰 차이점이다. 이 박막형 태양전지 모듈 제작 과정을 모노리식 집적화(monolithic integration)라고 한다.

단계별 모듈 공정과정을 거치는 결정형에 비하여 단일 집적화 공정을 이용하기 때문에 박막형 태양전지 모듈제작은 결정형 실리콘 태양전지에 비하여 공정 단계가 약 반수 정도로 짧고 단순하다는 점이 특징이다. 따라서 전과정의 제조 시간도 훨씬 짧아지게 된다. 결정 실리콘 태양전지는 웨이퍼 위에 만들어 지기 때문에 단위 셀의 크기는 웨이퍼의 크기에 좌우 될 수 밖에 없기 때문에 모듈을 크게 만드는데 드는 비용이 추가로 발생할 수 있다. 그러나 박막형은 증착 장비의 크기에 따라 최종 모듈의 크기를 변화시킬 수 있게 된다. 이미 비정질 실리콘 박막 태양전지의 경우 8.5세대(약 5m²) 면적의 모듈 제조기술이 개발되어 있다. 이것은 태양광을 받아낼 수 있는 면적을 크게 하는 면에서 박막형의 장점이 될 수 있다.

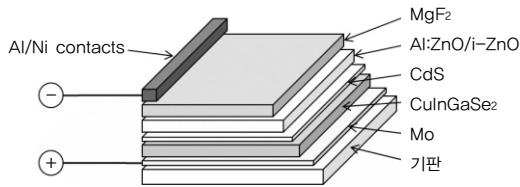
그러나 박막형 태양전지가 갖고 있는 약점은 대면적 태양전지 모듈의 에너지 전환 효율이 결정형 실리콘에 비하여 아직도 많이 낮다는 것이다. <표 1>에서 알 수 있듯이 박막형 CIGS 태양전지 셀의 실험실 효율(19.9%)은 다결정 실리콘 태양전지(20.3%)와 대등한 수준에 있으나 보고된 최고 양산효율에 있어서 CIGS 태양전지가 12%인 반면 다결정 실리콘 태양전지는 17.5% 로서 큰 차이를 보이고 있다. 이와 같은 셀과 모듈 사이의 효율 격차를

극복할 수 있는 추가적인 기술 혁신이 박막형 태양전지 모듈 양산화 과정에서 반드시 필요하다. 한편으로 CdTe의 경우 카드뮴(Cd) 소재의 독성에 따른 철저한 안전관리 기술과 재활용 시스템 구축이 필요하며, CIGS의 경우 고가의 인듐(In) 소재를 사용해야 하는 문제점을 안고 있다. 그리고 텔루륨(Te)과 인듐(In)의 희소성이 본격적인 산업화에 걸림돌이 될 소지가 있다.

박막형 태양전지 분야는 전 세계적으로 아직 산업화 초기 단계에 있으며, 결정형 실리콘에 비하여 큰 셀-모듈 효율격차와 소재 추가 개발의 여지가 많이 있다. 따라서 세계적 반도체 및 디스플레이의 IT-기술을 보유하고 있는 우리나라로서는 이와같은 박막기반의 태양전지 분야에서 신산업 창출의 좋은 기회가 주어지고 있다고 할 수 있다.

III. 박막태양전지 제작 기술

결정형 실리콘 태양전지의 대항마로서 역할이 기대되는 것은 구리(Cu)-인듐(In)-갈륨(Ga)-셀레늄(Se)의 4원소 화합물 반도체인 CIGS(CuInGaSe₂) 태양전지이다. 왜냐하면 CIGS 태양전지 셀의 2008년 현재 최고 효율은 19.9% 로서 박막형 태양전지 중 가장 높으며, 다결정(폴리) 실리콘 태양전지의 20.3% 와도 대등한 수준을 보이고 있기 때문이다. CdTe 태양전지는 생산의 단순성이 큰 장점이지만 카드뮴(Cd) 독극성과 에너지 전환 효율향상의 한계가 예상되면서 미래의 주력 기술 보다는 과도기적 기술로 간주되기도 한다. 비



(그림 3) CIGS 박막태양전지 구조도

정질(amorphous) 실리콘 태양전지의 상용 모듈 효율은 7% 대 수준이다. 그러나 효율을 향상하기 위하여 단일접합, 3중접합 및 비정질 실리콘(a-Si)과 마이크로 결정형 실리콘(μ -Si)을 접합하는 탠덤기술이 개발되고 있다. 특히 탠덤 태양전지에서는 10%대의 효율향상이 보고되어 있다.

본 기고문에서는 대표적 박막태양전지인 CIGS 태양전지의 기술을 중심으로 박막형 태양전지의 기술 개발과 산업화 동향을 살펴보기로 한다.

기본적으로 박막형 태양전지는 기판 위에 형성하는 전면전극(front electrode), 광흡수층, 후면 전극(back electrode) 등 세 부분으로 크게 구별할 수 있다. <그림 3>는 CIGS 태양전지의 구조도이다. 절연 소다라임 유리기판 위에 Mo 후면전극, 광흡수층(CIGS), CdS 버퍼층, ZnO 투명창층(전면전극), 무반사층과 그리드 전극(Al/Ni)을 형성하여 제작하며, 통상적인 IT-반도체 소자와 달리 사실상 소자 패턴이 필요가 없다.

<그림 3>의 CIGS 태양전지의 경우 CIGS 흡수층을 제조 기술은 ① 동시 증발법(co-

evaporation)과 ② 프리커서(precursor) 증착 이후 열처리를 하는 2단계공정(two-step process) 방법으로 크게 구별할 수 있다. 먼저 동시 증발법은 단위 원소인 구리(Cu), 인듐(In), 갈륨(Ga) 및 셀레늄(Se)을 열 증발원(thermal evaporator-혹은 Knudsen cell)을 이용한다. 기본적으로 증발원이 점원(point source)이기 때문에 대면적이 반드시 필요한 태양전지에는 적합한 기술이 아니다. 따라서 대면적 박막 제작을 위한 선형 증발원(line source)의 개발이 필수적이다. 대면적 박막의 양산을 위해서 기판을 증발원 위에서 수평 이동하면서 박막을 제작하는 인라인(in-line) 공정기술이 필요하게 된다.

다음은 프리커서 반응(pre-cursor reaction)으로 알려진 2단계 공정(two-step process) 방법이 있다. 먼저, 진공증착법으로는 구리(Cu), In(인듐), 갈륨(Ga)을 스퍼터링에 의하여 금속 박막을 만든(프리커서; precursor) 다음, 고온전기로(furnace)에 넣어 하이드라이드 가스(H_2Se , H_2S) 분위기에서 400-600 $^{\circ}C$ 로 열처리를 함으로써 CIGS의 조성을 맞추는 것이다. 사용 소재에 따라 셀렌화(selenization) 혹은 황화(sulfurization)라 불린다. 이 방법은 동시증발법에 비하여 박막의 균일성이 좋고 소재의 활용도도 높일 수 있기 때문에 셀 제작 비용의 저가화 가능성이 기대된다. 그리고 대면적을 만들기 위해서는 스퍼터링 장비를 크게하고 후열처리공정에서 균일하게 CIGS 화학 조성을 만들어 내는 공정 기술이 필요하다.

다음으로 비진공(non-vacuum)에서 프리커서를 만드는 방법으로 CIGS 나노입자를 이용한 잉크 프린팅(ink-printing)법과, 전기화학 증착법(electro-chemical deposition) 등이 이

용되고 있다. 이 기술의 가장 큰 장점은 소재의 활용률이 높다는 것으로, 진공증착 방식에서의 소재 활용률은 30% 정도인 것에 비하여 90% 이상의 소재 활용이 가능하기 때문에 소재 절감 측면에서 매우 유리하다.

비정질 실리콘 태양전지의 경우 흡수체인 비정질 실리콘(a-Si)를 증착하는 CVD (chemical vapor deposition)공정이 가장 핵심이 된다.

다음으로 중요한 것은 전극형성 공정이다. 후면전극인 몰리브데늄(Mo)은 보통 DC 스퍼터링 법에 의하여 형성하게 된다. 그리고 버퍼층으로 사용되는 CdS는 화학용액법(chemical bath deposition; CBD)으로 만들어 진다. 진성 ZnO와 알루미늄이 도핑된 ZnO는 RF 및 DC 스퍼터링 법으로 박막을 형성할 수 있다. 비정질 실리콘의 경우에는 전극재료로서 ITO(indium tin oxide)와 SnO₂를 사용하고 있으며 역시 진공증착을 이용하게 된다.

기판의 종류도 태양전지의 모듈 형상을 결정하는데 매우 중요한 역할을 한다. 통상적으로 유리기판을 사용하지만 스텐레스 금속 포일(metal foil), 플라스틱, 폴리머 등 유연기판도 다양하게 활용되고 있다. 특히, 유연 기판을 사용할 경우 롤투롤(roll-to-roll)공정에서 양산성이 대폭 증대된다는 장점이 있다. 현재 스텐레스 스틸 포일을 기판으로 사용한 CIGS 태양전지(Global Solar Energy, Inc.; 미국)와 a-Si 태양전지(Uni-Solar; 미국)가 양산 되고 있다.

IV. 태양광발전 산업화의 도전과제

오늘날 태양전지 산업활용은 크게 가정용

(residential), 상업용(commercial), 계통발전용(utility-tied) 등 3가지로 분류되고 있다. <그림 4>는 다양한 태양광발전 응용의 실례를 보이고 있다. 태양전지는 이미 오래 전부터 포터



(ㄱ) 염료감응 태양전지 창 유리판



(ㄴ) 지붕에 설치한 태양전지



(ㄷ) 태양광발전소

<그림 4> 태양광발전 응용

블 IT 기기 등에 사용되는 휴대 전원으로 널리 사용되고 있었다. 최근 들어 소규모 분산 발전용으로 별도의 패널 형태 또는 건축물과 일체화된 외장재(창문, 외벽 또는 지붕 등)로서 개발되어 활용되고 있는데 이를 건물일체형 태양전지(BIPV; Building Integrated Photo-Voltaics)라고 부른다. 우리나라에서는 태양광시범주택 등의 국가보급사업의 일환으로 일반가옥에 설치되고 있으며, 외국에서는 상업용으로 대형 사무실 및 공공건물에 응용되어 널리 보급되고 있다. 또한, 계통 발전용으로는 전세계적으로 수 MW에서 수 백 MW 까지 태양광을 이용한 발전소에 점차 광범위하게 활용될 전망이다.

아직까지 태양전지를 이용하여 전기에너지를 생산하는 것은 대단히 비싼 방법이다. 우리나라의 경우 태양광발전 전력생산단가가 600~700원/kWh로 알려져 있다. 이는 타 에너지(예, 원자력은 40원/kWh, 수력은 70원/kWh)에 비하여 최고 10배 이상의 차이를 보이고 있다. 그래서 우리나라를 비롯하여 태양광 선진국인 독일 등 유럽국가에서는 국가에서 보조금을 지급함으로써 태양광발전의 산업화에 노력하고 있다. 그러나 이 기술이 진정으로 산업화를 이루기 위해서는 태양광에 의한 전력생산단가가 화석연료에 의한 것과 대등해져야 하는데 이를 그리드-패리티라고 한다. 이것이 달성되어야 본격적으로 태양광 시장형성이 가속화 될 것으로 예상하고 있다.

미국의 태양광발전 프로그램인 Solar America Initiative는 2015년에 계통발전 시스템을 위하여 5-7cents/kWh를 달성하겠다는 목표를 제시하고 있다. 미국의 CdTe 태양전지 회사

인 First Solar Inc.는 2012년에 그리드-패리티를 달성하겠다는 야심찬 계획을 공언하고 있다^[3]. ETRI도 2015년 발전단가를 70원/kWh 달성을 위한 비전을 밝힌바 있다^[4].

2007년 현재 1세대 결정형 실리콘 태양전지가 태양광발전 시장의 90%를 점유하고 있는 것은 실리콘 태양전지의 높은 효율과 안정된 성능 때문이다. 그러나 실리콘 소재의 공급부족 현상이 갈수록 심화되고 있으며 수급 불균형에 의한 고비용 요소도 당분간 해소가 불투명하다. 또한, 우리나라는 이미 결정형 실리콘 태양전지 원천기술 확보 및 산업화 측면에서 독일, 일본, 중국에 비하여 늦었기 때문에 대외 기술 경쟁력 확보도 쉽지 않을 것으로 예상된다.

이와 비교하면, 차세대 태양광발전 기술인 박막형 태양전지 분야는 전 세계적으로 아직 산업화 초기 단계이고 실용화에 따른 원천기술 확보의 가능성도 높아서 국내기술에 의한 대외경쟁력을 확보하기가 보다 용이할 것으로 판단된다. 산업적인 면에서도 박막형 태양전지는 결정형 실리콘 태양전지에 비해 에너지 회수기간이 반으로 짧고, 소재 사용을 약 1/100로 줄일 수 있으며, 대면적화가 가능하기 때문에 혁신적인 생산 비용 절감을 실현할 수 있다. 또한, 우리나라가 이미 보유한 세계 최고 수준의 반도체/디스플레이 기술을 전환, 활용하게 된다면 박막형 태양전지의 실용화 원천기술 뿐만 아니라 시장 경쟁력을 조기에 확보할 수 있을 것이다.

V. 태양광발전 산업동향

1. 국외 동향

2000년 이후 태양광산업의 성장은 연평균 38.4%로 타 신재생에너지 산업 중 가장 급격한 상승세를 유지하고 있다. 그리고 2010년 이후는 연평균 20%로 꾸준한 성장이 전망되고 있다[Suppli 2008]. 2007년 말 현재, 전세계 태양전지 생산량은 3.4GW였으며 [SolarBuzz™, March 2008], 2010년까지 그 생산규모가 10~15GW에 도달할 것으로 예측하고 있다. 특히, 2010년을 기점으로 박막형 태양광발전 시장이 본격적으로 형성되기 시작하여, 전체 시장에서 박막형 시장이 차지하는 비중이 2012년 30%로 급격히 증가할 것으로 전망되고 있다[Prometheus Institute 2008].

<표 3>은 2007년 현재 10대 태양전지 업체의 생산규모와 순위를 나타내었다. 2007년 양산 1위 인 Q-cells(독일)이 389MW를 생산한

것을 비롯하여 대부분 1세대 결정형 실리콘 태양전지가 세계 10대 생산업체를 차지하고 있다. 박막형 태양전지 생산업체로는 유일하게 First Solar Inc(미국)이 207MW를 생산하여 4위를 차지하였다(CdTe). 국가별 태양전지 생산업체를 보면 중국과 대만의 신흥 선진국의 약진이 매우 두드러지고 있음을 알 수 있다. 우리나라의 경우 2007년과 2008년 동안 결정형 실리콘 태양전지 모듈 생산에 집중 투자가 이루어 졌기 때문에 향후 한국기업의 순위진입을 예상해 본다.

박막태양전지의 경우, CdTe태양전지를 생산하는 First Solar Inc.를 제외하고는 2008년의 Global Solar Energy(미국)가 상용 CIGS 박막 태양전지 모듈을 출시하였으며, 생산능력은 75MW에 달한다. 2009년부터는 더 많은 CIGS 태양전지 모듈 상용제품이 시장에 나타

<표 3> 세계 주요 태양전지 생산업체들 (2007)

국가	회사명	생산량(MW)	양산능력(MW)	06-07성장률(%)	순위
독일	Q-cells	389	516	54	1
일본	Sharp	363	710	-16	2
	Kyocera	207	240	15	4
	Sanyo	165	265	6	7
	Mitsubishi	127	150	9	12
중국	Suntech	327	540	108	3
	Baoding Yinghi	143	200	307	9
	JA Solar	113	175	113	13
대만	Motech	196	240	92	6
미국	First Solar ⁺	120(207)	135(308)	100	4
	Sun Power	150	214	139	8
한국	경동 PV 에너지	19	30	50	-

날 것으로 예상하고 있다. 일본의 Showa Shell, Honda Soltec, 독일의 Wurth 등이 CIGS태양전지 양산능력을 보유하고 있다고 하지만 아직 주시할 정도의 생산에는 미치지 못하고 있는 실정이다.

2. 국내 동향

2008년 4월 현재 국내에서 태양광발전 사업을 하고 있거나 선언한 업체(설치분야 제외)의 수는 총 47개사에 달하고 있다<표 4>. 이들 업체 중 대부분(전체의 46%)은 1세대 결정형 실리콘(Si) 소재분야에 집중되어 있으며, 대표적인 업체는 소든프신소재(모노실란), 동양제철화학(폴리 실리콘), 웅진에너지(잉곳), 스마트에이스(웨이퍼) 등이 있다. 한편, 태양전지 셀을 생산하는 업체는 11개 사에 불과하며, KPE, 현대중공업 등이 결정형 실리콘 태양전

지를 생산하고 있다. 박막형 태양전지 생산을 목표로 하고 있는 업체는 5개 사이며, 실리콘 소재와 더불어 기술 장벽이 상대적으로 낮은 모듈 분야에는 에스에너지 등 11개의 업체가 몰려 있다. CIGS 태양전지 생산을 하겠다고 선언한 업체는 LG 마이크론 과 텔리오솔라 단 두 회사뿐이다. 그밖에 공정 장비업체로서는 아바코, 주성엔지니어링 등 5개 업체가 있다.

2008년 중반을 지나면서 국내 기업들의 급격한 참여로 인하여 태양광발전 설비 투자가 결정형 및 박막형 태양전지 분야로 확대일로에 있다. LG 그룹에서는 그룹 내 태양광 발전 역량을 결정형 실리콘 태양전지로 집중하기로 하는 한편 LG 마이크론은 한국에너지기술연구원(KIER)와 CIGS 태양전지 기술 이전 협약을 체결하고, 현재 대면적 CIGS 상용화 사업을 기획 중에 있다. 삼성 그룹에서도 그룹 내 태양광 발전 역할 분담 조정을 완료한 바

<표 4> 국내 태양광 관련업체 현황 (2008년 4월 현재)

분야		주요업체명	업체수	비고
소재 (Si)	원재료	소든프신소재	1	모노실란
		동양제철화학, KCC, 삼성석유화학	3	폴리실리콘
	잉곳	렉서, LG실트론, 스마트에이스, 심포니에너지, 웅진에너지, 퓨처비전, 켈리폴로나라테크, 솔믹스	9	다결정(렉서, 심포니에너지)
	웨이퍼	스마트에이스, LG실트론, 네오세미텍, 넥솔론, 렉서, 대산이엔씨, MEMC코리아, 켈리폴로나라테크	8	다결정(켈리폴로나라테크)
셀	결정형	KPE, 현대중공업, STX솔라, 신성엔지니어링, LG전자, 머리넷솔라	6	
	박막형	한국철강, LG디스플레이, LG화학(a-Si), LG마이크론	4	CIGS : LG마이크론
모듈		현대중공업, 에스에너지, 심포니에너지, 애타솔라, 경동솔라, 쏠라테크, LG산전, Unison, 이건창호, 머리넷솔라, 경남알미늄	11	
장비	공정장비	아바코, IPS, 주성엔지니어링, 알파플러스	3	Sputter, CVD, Etcher 등
	부품	티씨케어	1	성장장치용 흑연 부품 및 SiC wafer

있으며, 삼성전자(LCD총괄)에서 a-Si 태양전지를 포함한 박막형 태양전지 연구를 수행 중에 있다. 벤처기업으로는 (주)텔리오솔라 코리아가 미국 텔라웨어대학교의 IEC(Institute of Energy Conversion)연구소와 원천기술 이전 관련 장기 라이선스 계약을 체결하고, 금년 4월 30일 파일럿 라인을 준공하고 2009년도 양산을 목표로 하고 있다.

V. 맺음말

신재생에너지 중 태양광발전은 미래 기축 에너지원으로서 그리고 찌꺼기와 이산화탄소 배출이 없는 청정에너지 핵심산업으로 성장할 것이 예상되기 때문에 세계적으로 뜨거운 관심을 모으고 있다. 아쉽게도 우리나라는 태양광발전과 관련된 원천기술 축적이 매우 미흡한 상태이며, 기술 개발을 위한 산·학·연의 협력기반도 체계적이지 못하다. 국내의 태양광 자원도 상대적으로 빈약하고 시장규모도 크지 않다. 따라서, 조직적인 연구체계를 구성하고 전략적 기술 분야에 대한 선택과 집중을 통한 연구개발과 적극적인 해외시장개척이 필요하다 하겠다. 그리고 원천기술 확보 및 산업화 측면에서 독일, 일본, 중국에 비하여 뒤떨어진 결정형 실리콘 태양전지보다 비교적 원천 및 응용기술개발의 기회가 많이 남아있는 차세대 박막형 태양전지에 대한 투자가 필요하다고 판단된다.

이와 같은 박막형 태양전지 기술의 산업화를 실현하기 위한 핵심 요소는 세 가지로 요약할 수 있다. 첫 째는 박막형 태양전지 모듈 효율의 향상이다. 즉, 아직도 약 10% 이하에

머물고 있는 a-Si와 CIGS 태양전지 양산모듈의 효율을 결정형 실리콘 태양전지와 같이 최고 셀의 80% 수준까지 향상시킬 필요가 있다. 즉, 셀의 높은 효율을 대면적의 모듈에서도 구현하는 셀-모듈 효율 격차를 극복하는 실용화 기술의 개발이 절실히 필요하다. 둘째는 양산(manufacturing) 효율의 향상이다. 이는 세계적으로 아직도 연구되고 있으며 상용화가 활발히 일어나고 있는 분야이다. 즉, 대량 생산을 위한 대면적 태양전지 소자 공정기술(scale-up), 스루풋(throughput) 향상, 고가 소재사용의 효율적 사용 및 혁신적 저감(특히, 인듐) 기술의 개발 등이 절실히 필요하다. 세 번째는 장비기술의 개발이다. 비정질 실리콘 태양전지를 제외하고는 CIGS 및 CdTe 등의 제조 장비 기술이 아직도 정립되어 있지 않다. 결정형 실리콘 태양전지와 같이 턴키 방식의 제조장비기술이 박막형에서도 개발될 필요가 있다. 이를 위해서 셀, 모듈 양산기술개발과 함께 장비 기술이 동시에 유기적인 발전을 이룩해야 할 필요가 있다.

거듭 강조하지만 우리나라로서는 태양전지 분야의 가장 중요한 핵심 기반 IT-기술을 이미 보유하고 있다. 이 세계 최고수준의 반도체 및 디스플레이 기술을 태양광발전에 효율적이고 효과적으로 활용한다면 단시일 내에 세계적인 기술 수준에 도달할 수 있을 것이며 태양광발전 신성장동력을 창출해 낼 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/index.html
- [2] Maycock P., "Photovoltaic Energy Conversion A critical analysis-A concise analysis that looks at now and the future," Proc. 33rd IEEE Photovoltaic Specialist Conference, San Diego, May 2008.
- [3] Eaglesham D., "Thin Film Technology: the pathway to Grid Parity," Proc. 33rd IEEE Photovoltaic Specialist Conference, San Diego, May 2008.
- [4] http://www.etnews.co.kr/newswire/press_view.html?id=0341132

저자소개



김 제 하

1982년 2월 서강대학교 졸업, 학사
 1985년 2월 서강대학원 졸업, 석사
 1993년 8월 U. Arizona 졸업, Ph.D.
 1984년 12월~1986년 7월 LS전선 연구소, 연구원
 1988년 1월~1993년 5월 Arizona Research Lab,
 Research Associate
 1993년 9월~2008년 현재 한국전자통신연구원,
 박막태양광기술연구팀
 팀장
 2006년 6월~2007년 5월 U. California, Irvine,
 Visiting Scientist

주관심 분야 : 화합물반도체 박막 태양전지