

박막형 태양전지 기술 및 산업 동향

Technological and Industrial Trends of Thin Film Solar Cells

IT-에너지 융합부품소재 특집

| | |
|------------------|------------------|
| 김제하 (J.H. Kim) | 박막태양광기술연구팀 팀장 |
| 주무정 (M.J. Chu) | 박막태양광기술연구팀 책임연구원 |
| 정용덕 (Y.D. Chung) | 박막태양광기술연구팀 선임연구원 |
| 박래만 (R.M. Park) | 박막태양광기술연구팀 선임연구원 |
| 성희경 (H.K. Sung) | 박막태양광기술연구팀 책임연구원 |

목 차

-
- I . 개요
 - II . CIGS 박막 태양전지 기술과
국내외 산업동향
 - III . 결론

태양전지는 태양광을 직접 전기로 변환하는 반도체 소자이다. 태양전지는 효율과 신뢰성이 높은 동시에 저렴한 비용으로 생산할 수 있어야 경제성을 확보할 수 있다. 박막형 태양전지는 제조과정에 에너지가 적게 소요되므로 짧은 기간 내에 투자한 비용과 에너지를 회수할 수 있을 뿐 아니라, 소재 비용도 대폭 줄일 수 있다. 국내에서는 아직 1세대 결정형 실리콘 태양전지 산업이 주류를 이루고 있으며 2세대 기술은 초기 단계에 있으나, 이와 유사한 공정을 사용하는 대면적 디스플레이 생산 설비 및 기술을 기반으로 협력 체제를 구축하여 연구개발을 촉진함으로써 빠른 시일 내에 차세대 태양광 발전 시장에서의 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

I. 개요

최근 들어 세계적인 고유가 행진과 화석연료 고가에 대응하기 위하여 대체 에너지원 발굴에 대한 필요성이 높아지고 있다. 아울러 지구 온난화를 방지하기 위한 기후 조약 발효에 이어 우리나라도 2013년부터 포스트 교토의정서 국제협약에 기준한 대기오염 해소 및 이산화탄소 가스 감축 등을 위한 정부차원의 대응방안 마련이 요구되고 있다.

태양광은 지구상에서 가장 풍부하고 공해가 전혀 발생하지 않는 청정한 에너지원으로서 지구상에 공급되는 총 태양광에너지는 초당 약 12만 테라와트(120×10^{15} W)에 달한다. 이는 지구상의 인류가 사용하는 총 에너지의 10,000배에 해당되는 분량이며, 이 태양광에너지를 활용하는 기술을 개발하는 것은 국가의 당면한 에너지 및 환경문제를 해결하는 유력한 방안이 될 것이다.

태양전지는 p-n 접합을 이루는 반도체 다이오드에 빛을 쬐이면 전자가 생성되는 광기전효과(photo-voltaic effect)를 이용하여 태양광을 직접 전기로 변환하는 반도체 소자이다. 맑은 날 1 cm^2 당 지표면에 떨어지는 태양에너지는 약 100 mW인데 (AM1.5 표준조건) 20%의 에너지 전환효율을 갖는 1 cm^2 면적의 태양전지가 있다면 20 mW의 전기에너지를 생성할 수 있다. 태양전지 산업화의 핵심과제는 높은 효율과 신뢰성(약 20년 이상의 수명)을 갖는 태양전지를 혁신적으로 저렴한 비용으로 만들 수 있는가 하는 것이다.

오늘날 태양전지는 전 세계적으로 다양한 산업분야에서 활용되고 있다. 시계나 계산기 등 포터블 IT 기기에 사용되는 휴대 전원으로 널리 사용되고 있으며, 주차장이나 건물 지붕에 설치된 소규모 분산 발전용으로부터 산업 발전용으로 넓은 개활지에 태양전지를 설치하여 수 MW에서 수백 MW까지 태양광을 이용한 발전소에 활용되고 있기도 하다. 특히 건축물에 부착 설치되는 형태의 태양전지는 단순한 패널 형태 외에도 건축물과 일체화된 외장재(창문, 외벽 또는 지붕용 기와 형태) 형태로 제작되는 경우도

있는데 이를 건물일체형 태양전지(BIPV)라 한다.

태양전지 기술의 발전은 대면적화, 저가화, 고효율화를 지향하고 있다. 현재 1세대인 결정형 Si(실리콘) 태양전지는 높은 효율과 안정된 성능을 바탕으로 태양광발전 시장의 90%를 점유하고 있다. 그러나 실리콘 소재의 공급부족 현상이 갈수록 심화되고 있으며 수급 불균형에 의한 고비용 요소도 당분간 해소되지 않을 전망이다. 또한, 우리나라는 결정형 Si 태양전지 기술 및 산업화 측면에서 독일, 일본, 중국에 비하여 이미 늦었기 때문에 대외 경쟁력 확보도 쉽지 않을 것으로 예상된다.

반면, 차세대 태양광발전 기술인 박막형 태양전지 분야는 전 세계적으로 아직 산업화 초기 단계이기 때문에, 후발 주자인 우리나라로서도 승산이 높은 분야라 할 수 있다. 이 태양전지는 결정형 실리콘 태양전지에 비해 에너지 회수기간이 절반 정도로 짧고, 소재 비용을 약 1/100로 줄일 수 있으며, 손쉽게 대면적화 할 수 있기 때문에 제조비용의 혁신적인 절감이 가능할 것으로 전망되고 있다. 또한, 박막형 태양전지의 제작방식은 디스플레이나 발광다이오드와 같은 통상의 반도체 IT 기술과 유사하다. 따라서 우리나라가 이미 보유한 세계 최고 수준의 반도체/디스플레이 기술을 활용하면 차세대 박막형 태양전지의 기술 및 시장 경쟁력을 조기에 확보할 수 있다.

태양전지는 전기에너지 생산에 특화된 대형 반도체이며, 따라서 반도체 관련 기술은 태양광 산업에도 적용이 가능하며, 최근 들어 반도체 기업들의 새로운 사업 영역으로 기존 기술의 활용이 가능한 박막형 태양전지 분야가 급부상하고 있다. 이미 미국의 실리콘 밸리는 솔라 밸리로 빠르게 변신하고 있는 중이다. 우리나라는 세계 최고의 반도체 및 디스플레이 IT 기반 기술을 보유하고 있는 만큼, 이 기술 인프라를 태양광발전으로 전환하여 활용한다면 단시일 내에 세계적인 기술 수준에 도달할 수 있으리라 기대된다.

본 고에서는 차세대 박막형 태양광발전 기술개발 동향과 산업화의 핵심이 될 것으로 알려진 CIGS 태양전지 기술 개발 이슈와 특허동향, 박막 태양전지

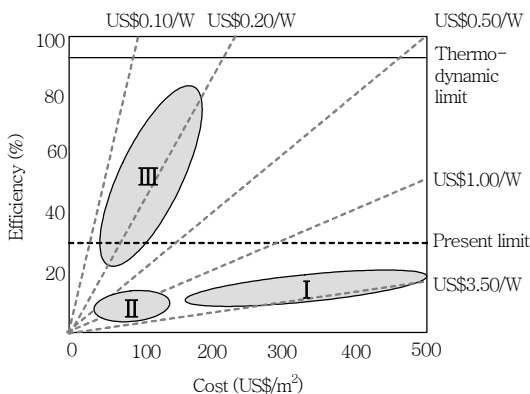
산업의 현황 및 동향을 소개하고, 이 기술의 국가 신 성장 동력화 가능성을 제시하였다.

II. CIGS 박막 태양전지 기술과 국내외 산업동향

1. 태양전지의 세대 분류 및 기술 현황

일반적으로 태양전지는 에너지 전환 효율과 제조 비용으로 (그림 1)에서처럼 3단계로 구별하고 있다. 결정형 Si(다결정 및 단결정) 태양전지를 I 세대, 화합물 반도체(III-V) 및 박막형 반도체(a-Si, CdTe, CIGS) 태양전지를 II 세대, 그리고 유기 및 나노 반도체 소재를 이용한 것을 III 세대로 분류한다.

(그림 1)에서와 같이, 태양광발전 시장의 주력인 I 세대 결정형 Si 태양전지 모듈은 약 10~18%의 모



(그림 1) 태양전지 세대 구분(Ref. M. Green, Univ. New South Wales)

듈 효율을 내고 있는 반면, 2세대 박막형 화합물 반도체 및 3세대 태양전지는 각각 7~13%와 5% 미만의 상대적으로 낮은 효율에 머물러 있다. 제조비용 면에서는 I 세대가 가장 비싸며, II 세대인 박막태양전지가 효율은 낮더라도 저가화 할 수 있는 가능성을 보이고 있다.

결정형 Si 태양전지는 효율이 높은 반면, 소재가 비싸고 공정비용이 많이 들 뿐만 아니라 향후 추가적인 비용절감을 기대하기 어렵다는 것이 큰 단점으로 지적되고 있다. 이러한 이유 때문에 기술개발에 의한 추가적인 저가격화가 가능할 것으로 예상되는 차세대 박막형 태양전지에 관심이 쏠리고 있다. III 세대인 유기물 태양전지도 상업화를 시도하고 있으나 아직은 효율이 5% 이하로 (그림 1)의 예상치보다 많이 낮고, 특히 제작된 모듈의 신뢰성이 부족한 상태이다.

<표 1>은 지금까지 개발된 기술의 분류와 시장 점유율, 모듈효율 및 특징을 나타낸 것이다. 현재 우리나라에서 산업화 노력을 기울이고 있는 기술은 I 세대 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지가 대부분이며, 박막형 태양전지는 아래에 설명한 바와 같이 이제 시작단계에 와 있다. <표 1>의 항목 중 시장 점유율은 세계시장을 기준으로 한 것이다.

현재 I 세대 결정형 실리콘 태양전지의 시장 점유율이 가장 높은 것은 높은 효율과 안정된 성능 때문이다. 그러나 실리콘 소재(Si wafer)의 공급 부족현상이 갈수록 심화되고 있으며, 이러한 수급 불균형에 의한 고비용 요소도 당분간 해소되지 않을 전망이다. 가장 취약한 점은, 이미 성숙된 기술이면서도

<표 1> 태양전지의 세대간 기술분류 및 특징

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

추가적인 비용 절감이 용이하지 않다는 점이다. 즉, 향후 모듈생산비용의 획기적 저가화를 통한 그리드-패리티(grid-parity) 달성이 매우 어렵다는 것이다. 또한, 우리나라로서는 결정형 Si 태양전지 기술 및 산업화 측면에서 선진국에 비하여 뒤떨어져 있기 때문에 자체 경쟁력 확보도 쉽지 않을 것으로 예상된다.

반면에, II 세대 박막형 태양전지 분야는 전 세계적으로 아직 산업화 초기 단계이기 때문에 대외경쟁력을 확보하기가 보다 용이하고, IT 기술을 기반으로 하기 때문에 우리나라의 세계적 반도체 및 디스플레이 기술을 활용할 수 있는 가능성이 크다는 장점이 있다. 또한, 실리콘 태양전지에 비하여 에너지 회수기간이 반으로 짧고, 초박막화 및 대면적화가 가능하기 때문에 추가적인 재료 절감과 롤투롤(roll-to-roll) 생산 기술의 개발 등으로 혁신적인 생산 비용 절감이 가능할 것으로 전망되고 있다. 그러나 CdTe의 경우 소재의 독성에 따른 철저한 안전관리 기술과 재활용 시스템 구축이 필요하며, CIGS의 경우 고가의 인듐 소재를 사용해야 하는 문제점을 안고 있다.

박막형 태양전지가 갖고 있는 가장 큰 약점은 대면적 태양전지의 에너지 전환 효율이 결정형 실리콘에 비하여 아직도 많이 낮다는 것이다. <표 2>는 지금까지 개발된 I, II 세대 태양전지 양산 모듈의 최고 효율과 최고의 실험실 셀 효율의 비교표이다. 특기할 점은 박막형 CIGS 태양전지의 실험실 효율

(19.9%)은 폴리실리콘 태양전지와 대등한 수준에 있다는 것이다. 그러나 양산되는 폴리실리콘 태양전지 모듈 효율은 셀 효율에 비하여 85% 수준인 반면, CIGS 태양전지의 경우는 60%에 불과하다는 점이다. 즉, 박막형 태양전지에서는 셀과 모듈 사이의 효율 격차가 크게 나타나고 있으며, 이를 극복하기 위한 추가적인 기술개발이 절실하다. 이러한 요소가 후발주자인 우리나라에게 기술 개발의 기회를 제공하고 있다고 하겠으나, 박막형 태양전지의 산업화에 있어서 아직까지도 신뢰성 있는 상용제품을 생산해본 경험이 없기 때문에 기술 상용화에 대한 위험 부담이 크다는 점이 가장 큰 문제점이다(CdTe 제외).

이와 같은 박막형 태양전지 중 구리(Cu)-인듐(In)-갈륨(Ga)-셀레늄(Se)의 4원소 화합물 반도체인 CIGS(CuInGaSe₂) 태양전지의 셀 효율은 2008년 현재 19.9%로서 다결정(폴리) 실리콘 태양전지의 20.3%와 대등한 고효율이 보고되었다[1]. 또한, 3,459 cm²와 7,230 cm² 크기의 대면적 모듈에서도 각각 13.4%(Showa Shell, 일본), 12%(Wureth, 독일)의 모듈 효율이 보고되었다. CIGS 태양전지는 박막형이기 때문에 제조에 소요되는 에너지가 작아서 결정형에 비하여 에너지 비용 회수시간(EPBT)도 반으로 짧을 뿐만 아니라, 소재 비용도 대폭 줄일 수 있어서 제조단가를 표준 결정형 실리콘 태양전지 대비 50%대로 획기적으로 낮출 수 있어 가장 경쟁력이 있는 차세대 재료로 꼽히고 있다[2]. 또한, CdTe 박막 태양전지에 비하여 독성 중금속을 원소로 이용하지 않으며, 아래 2절에서 설명하였듯이, 제조 방법에 있어서 다양한 기술이 이미 개발되어 상용화에 많이 근접해 있다는 점이 큰 장점이라 하겠다.

비정질(amorphous) 실리콘 박막 태양전지의 상용 모듈 효율은 7%대로 낮은 수준이지만 CVD(혹은 PECVD) 기술을 기반으로 이미 LCD 디스플레이에서 개발된 대면적 공정기술을 적극 활용할 수 있다는 점에서 큰 장점이 있다. 본 기고문에서는 차세대 박막형 CIGS 태양전지의 기술과 산업화 동향을 증점적으로 살펴보기로 한다.

<표 2> 양산 효율 및 셀 효율 비교표

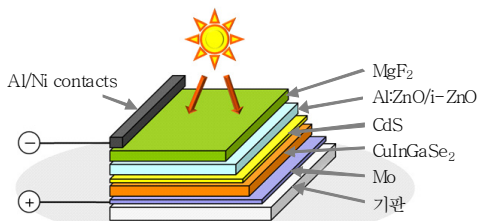
| 구분 | 셀 기술 | 최고 양산 효율(%) | 최고 실험실 효율(%) |
|-----|---------------|-------------|-------------------|
| 결정형 | 단결정 실리콘 | 20 | 25 |
| | 폴리 실리콘 | 17.5 | 20.3 |
| | 리본/Sheet Si | 20 | 22 |
| | 집광형 Si Cell | 24(Si) | 29(Si), 36(GaAsP) |
| 박막형 | 비정질 실리콘(a-Si) | 8.0 | 12~16 |
| | CIS/CIGS | 12 | 19.9 |
| | CdTe | 10 | 16 |

2. CIGS 박막 태양전지 기술 동향

(그림 2)는 4원소(quaternary) 화합물 반도체 CuInGaSe₂(CIGS) 태양전지의 구조도이다. 절연 소다라임 유리기판 위에 Mo 후면전극, 광흡수층(CIGS), CdS 버퍼층, ZnO 투명한층, 무반사층과 그리드 전극(Al/Ni)을 형성하여 제작하며, 통상적인 IT-반도체 소자와 달리 소자 패턴이 전혀 필요가 없는 단순한 구조이다. CIGS 혹은 CI(G)S 소재는 Cu-InSe₂(CIS)의 3원소(ternary) 반도체에 갈륨(Ga) 원소를 도핑하여 효율을 증가시킨 것이다. 지금까지 최고의 셀 효율은 미국 에너지연구소(NREL)에서 개발한 0.45 cm², 19.9%이다[1]. 이는 다결정(폴리)실리콘 태양전지의 20.3%와 대등한 아주 우수한 결과이다.

이 소재는 화합물이기 때문에 인위적인 밴드갭 조작을 통하여 에너지갭을 1.0~2.7 eV까지 광대역으로 변환할 수도 있다. 이로써 직접적으로 효율을 향상하거나, 광대역 밴드갭의 선택적 광 투과특성을 이용하여 다중 pn-접합구조인 탠덤(tandem) 태양전지의 상층부 셀을 구성함으로써 효율을 향상시킬 수도 있으며, 염료감응형 태양전지(DSSC)와 같은 서로 다른 소재의 태양전지와 결합하여 이종접합 탠덤 태양전지의 제작도 가능하다. 또한 이 소재는 환경 안정성과 방사선에 대한 저항력도 매우 강하다(이 소재의 초기 기술개발 동기는 우주 이용이었음).

4원소 화합물인 CIGS 흡수체의 제조 방법으로는 동시 증발법(co-evaporation)과 프리커서(precursor)의 증착 후 열처리에 의한 2단계공정(two-step process)법 두 가지가 대표적인 공정으로 알려져 있다.



(그림 2) CIGS 태양전지 구조도

동시 증발법은 단위 원소인 구리(Cu), 인듐(In), 갈륨(Ga) 및 셀레늄(Se)을 열 증발원(thermal evaporator 혹은 Knudsen cell)을 이용하여 동시에 증발시켜 고온 기판에 박막을 형성하는 방법이다. 이는 1982년 보잉사(미국)에서 개발된 방법으로, 각각의 증발원을 독립적으로 설치하여 사용하기 때문에 원소의 조성 제어가 용이하고, 특히 도핑 소재인 Ga의 최적 비율(Ga/(In+Ga)=0.3)을 제어하는 데 편리하다. 그러나 기본적으로 증발원이 점원(point source)이기 때문에 수천 제곱 센티미터의 대면적 기판에 박막을 형성하기에는 불리한 점이 많다. 따라서 대면적 박막 제작을 위해서는 선형 증발원(line source)의 개발이 시급한 실정이다. 대면적 박막의 대량 생산을 위해서는 기판이 선형 증발원 위에서 인라인(in-line)으로 수평 이동하면서 박막이 제작되어야 하는데, 이 경우 조성 제어가 정지상태에서 보다 매우 어려우며, 이는 효율 향상에 가장 큰 장애요인이 되고 있다.

기판의 온도(보통 550°C) 역시 중요한 변수이다. CIGS 결정(phase)을 최적화하기 위하여 박막이 증착되는 동안 기판의 온도를 3단계로 변화시켜 주며 이를 3단계 공정법(three-step process)이라 하는데, 이는 1996년 미국 에너지연구소(NREL)에서 개발되었다. 마찬가지로 대면적화를 위한 인라인 공정에서는 온도제어도 정지상태와 달라야 하며 역시 태양전지의 성능에 큰 변수로 작용한다.

기판의 종류로는 통상 소다라임 글래스(SLG)가 사용되고 있으며, 이외에 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 있어, 스테인레스 스틸 포일을 기판으로 사용한 CIGS 태양전지의 양산이 보고된 바 있다(미국 Global Solar Energy, Inc).

다음은 2단계 공정 방법이다. 대표적으로 알려진 것은 스퍼터링법에 의한 프리커서 증착과 화학조성을 완성하기 위하여 RTP를 이용하는 것이다. 첫 단계에서는 단위 원소인 구리(Cu), 인듐(In), 갈륨(Ga)

혹은 셀레늄(Se)이 스퍼터링 증착에 의하여 순차적으로 기판 위에 프리커서 박막으로 형성된다. 다음 단계로는 CIGS의 조성을 맞추기 위하여 고온전기로(furnace)에서 하이드라이드 가스(H_2Se , H_2S) 분위기에서 400~600°C로 열처리를 하게 된다. 사용 소재에 따라 셀렌화(selenization) 혹은 황화(sulfurization)라 불린다. 이 방법은 동시증발법에 비하여 박막의 균일성이 좋고 소재의 활용도도 높일 수 있기 때문에 제작공정의 저가화 가능성이 기대된다. 이 방식의 양산화 기술은 1980년대 ARCO Solar(미국)에서 개발되었으며, 일본에 기술이 도입되어 Showa Shell에서 대면적 CIGS 모듈 효율 13.4%를 얻은 바 있다. 그러나 동시증발법에 비하여 기술이 상대적으로 잘 알려져 있지 않기 때문에 초기 개발에 애로가 예상된다.

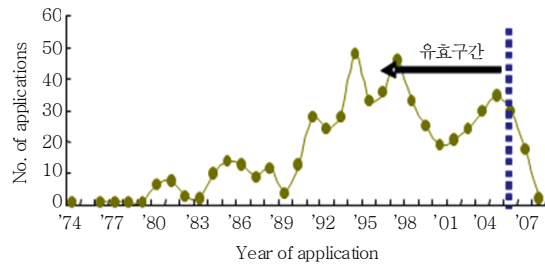
기타 프리커서를 만드는 방법으로 CIGS 나노입자를 이용한 잉크프린팅(ink-printing)법과 전기화학 증착법(electro-chemical deposition) 등이 이용되고 있다. 이 기술의 가장 큰 장점은 소재의 활용률이 높다는 것으로, 진공증착 방식에서의 소재 활용률은 30%대인 것에 비하여 90% 이상의 소재 활용이 가능하다.

3. CIGS 태양전지 특허 및 표준화 동향

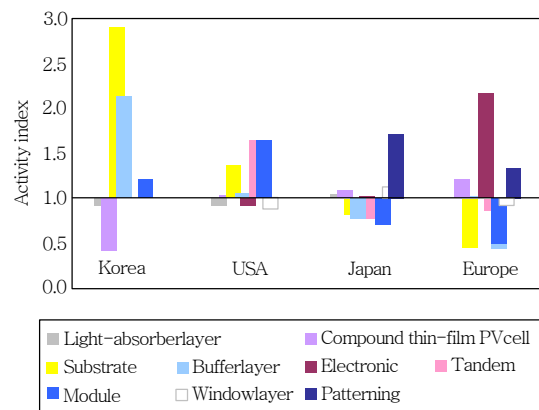
CIGS 태양전지 특허는 1974년 Bell Telephone에서 처음 출원하였다. 1986년부터 2006년까지의 특허 총 580건에 대해 분석한 결과로는, 1990년대 말까지 지속적인 증가 추세를 보이다가 2000년대 초반 잠시 침체기를 거친 후 2002년부터 다시 증가세를 보이고 있다(그림 3) 참조.

특허의 수로는 일본이 294건으로 전체의 50.7%를 차지하며, 뒤를 이어 미국(176건, 30.3%), 유럽(55건, 9.5%) 순이다. 우리나라는 1998년도에 첫 특허를 출원한 이래 20건에 3.4%를 차지하고 있다.

일본은 1986년부터 1995년까지의 연구 초기에 활발한 활동을 보였으나 이후 출원 건수는 감소하고 있다. 우리나라는 최근 들어 증가세를 보이고 있으나 출원 건수는 많지 않다.



(그림 3) 연도별 CIGS 특허 출원동향[3]



(그림 4) 출원자 국적별 특허 기술분야 분석[4]

일본의 경우 흡수체 기술 특허에 중점을 두는 것으로 보이며, 미국은 tandem cell 기술, 유럽은 전 분야에 걸쳐 비교적 고른 분포를 보이고 있는 반면, 우리나라의 경우 특허의 수 자체가 적어 통계적 의미는 그리 크지 않지만 다른 나라의 출원 동향에 비해 기판(substrate)과 버퍼(buffer)층에 집중되어 있는 것으로 보인다(그림 4) 참조.

태양광 발전용 부품과 시스템에 대한 국제규격의 심의, 제정 등 운영은 국제 전기 표준 회의(IEC) TC 82(Solar Photovoltaic Energy Systems)에서 담당하고 있으며, 그 아래에 분야별로 7개의 WG(Working Group)이 구성되어 있다. IEC TC 82는 1981년에 설립되어 회원국은 35개국으로 정회원 23개국, 준회원 12개국으로 구성되어 있으며 한국은 2002년 정회원으로 가입하였다[5].

태양광 분야는 IEC TC 82를 중심으로 <표 3>과 같이 모듈의 측정, 결정질 및 박막모듈의 전기, 환경, 기계적 시험을 통한 검사, 설계상의 안전성, 시

스텝 지침, 측정절차 등에 대한 규격개발을 하고 있으며 현재 36개 규격이 제정되었고 29개 규격이 제정중이다.

〈표 3〉 IEC TC 82 산하 Working Group 활동

| WG | 분야 | 의장국 |
|------------|------------------------------|-----|
| WG1 | Glossary | 일본 |
| WG2 | Modules, non-concentrating | 미국 |
| WG3 | Systems | 영국 |
| WG6 | Balance-of-system Components | 미국 |
| WG7 | Concentrator Modules | 미국 |
| Joint WG 1 | 분산형 지역전화사업에 대한 지침 | 프랑스 |

〈표 4〉 IEEE 1547 표준화 활동

| 표준(안) | 내용 |
|-----------------------|---|
| IEEE 1547 (2003 완료) | 분산발전 전원과 전력시스템의 인터커넥션에 대한 표준 |
| IEEE 1547.1 (2005 완료) | 분산발전 장치와 전력시스템을 연결하는 장치의 시험절차에 대한 표준 |
| IEEE 1547.3 (2007 완료) | 전력시스템과 연결된 분산 발전망의 모니터링, 정보교환 및 제어에 대한 지침 |
| IEEE P1547.2 | IEEE 1547 표준에 관한 지침 안 |
| IEEE P1547.4 | 분산발전 아일랜드 시스템과 전력시스템의 설계, 운용 및 integration에 관한 권고 안 |
| IEEE P1547.5 | 10MVA 이상의 전력원과 전력전송 grid의 interconnection에 관한 기술적인 지침 안 |
| IEEE P1547.6 | 분산전원과 전력시스템 2차 분배망의 interconnection에 관한 지침 안 |

〈표 5〉 기타 IEEE 태양전지 표준화 활동

| 표준 | 내용 |
|---------------------|---|
| IEEE 937 (2007 완료) | PV와 같이 사용되는 Lead-Acid 축전지의 사이즈에 관한 권고 |
| IEEE 1013 (2000 완료) | Lead-Acid 축전지의 설치 및 유지보수에 관한 권고 |
| IEEE 1361 (2003 완료) | Stand alone PV의 Lead-Acid 축전지의 선택, 충전, 시험 및 평가에 관한 지침 |
| IEEE 1526 (2003 완료) | Stand alone PV의 성능시험에 관한 권고 |
| IEEE 1561 (2007 완료) | Remote Hybrid Power System의 성능시험에 관한 지침 |
| IEEE 1562 (2007 완료) | Stand alone PV의 Battery sizing에 관한 지침 |
| IEEE 1661 (2007 완료) | PV Hybrid Power System의 Lead-Acid 축전지 시험, 평가에 관한 지침 |

IEEE에서는 SCC21(의장은 미국 NREL의 R. DeBlasio)에서 연료전지, PV, 분산발전, 에너지 스토리지 분야에 대한 표준안 개발을 관장하며 다른 IEEE Society 및 기구의 표준안의 적용원칙이 반영 되도록 조율하는 역할을 하고 있다.

SCC21의 활동으로는 IEEE 1547 표준 시리즈가 있는데, 이는 분산발전 리소스와 전력시스템의 interconnection에 대한 표준이다(〈표 4〉 참조).

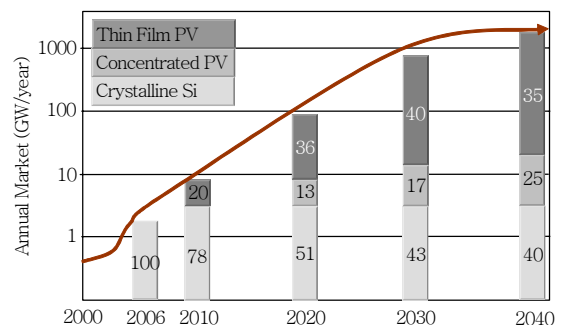
기타 PV 분야와 관련된 활동은 〈표 5〉에 정리하였다.

4. 산업 동향

가. 해외 동향

2000년 이후 태양광발전 산업의 성장률은 연평균 38.4%로, 타 신재생에너지 산업 대비 가장 급격한 상승세를 유지하고 있다. 2007년 말 현재, 전세계 태양전지 생산량은 3.4 GW였으며 [SolarBuzz™, March 2008], 2010년까지 그 생산규모가 10~15 GW에 도달할 것으로 예측하고 있다. 특히, 2010년을 기점으로 박막형 태양광발전 시장이 본격적으로 형성되기 시작하여 전체 시장에서 박막 태양전지 시장이 차지하는 비중이 2020년 36%에서 2030년 40%로 성장할 것으로 전망되고 있다(〈그림 5〉 참조).

2007년 말 현재 전세계 양산 태양전지 업체의 총 생산규모는 약 3 GW 수준이다. 〈표 6〉은 2007년도 전세계 태양전지 업체의 생산능력과 양산규모를 요약한 것이다. 표에서 보듯이 양산 1위 업체는 독



〈자료〉: Sharp

(그림 5) 태양전지의 시장 전망

〈표 6〉 주요 글로벌 태양전지 양산업체 비교

| 국가 | 회사명 | 생산 규모(MW) | Capacity(MW) | '06~'07 성장률(%) | 순위 |
|----|----------------|-----------|--------------|----------------|----|
| 독일 | Q-cells | 389 | 516 | 54 | 1 |
| | Sharp | 363 | 710 | -16 | 2 |
| 일본 | 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 | - |

일의 Q-cells로서 389 MW를 생산하였다. 특기할 점은 박막형 CdTe 태양전지를 생산하는 미국의 First Solar가 207 MW를 생산하여 4위를 차지하였다는 점이다. 한국의 경동 PV 에너지는 단지 30 MW 양산 능력에 19 MW를 2007년도에 생산한 정도이다. 2008년 현재 전세계의 톱 10 태양전지 업체들은 독일, 일본, 중국, 대만, 미국 등 5개국이며, 특히 중국업체의 약진이 두드러진다.

이중 유일한 박막 태양전지 양산 업체인 First Solar Inc.는 연속 컨베이어 공정(end-to-end conveyer)을 이용하여 유리기판에 모듈을 생산하고 있다. 모듈 생산에 소요되는 시간은 단지 2.5시간에 불과하다. 이들은 생산능력의 확충에 매진하여 2009년에는 1.0 GW 수준으로 확장할 계획을 밝히고 있다. 또한, 이 회사는 모듈 생산비용과 부대비용을 획기적으로 낮추어 2012년에 그리드-패리티를 달성하겠다고 공언하고 있다. 이로써 소비자의 발전단가 8~10 cents/kWh, 모듈가격 \$1.0~1.25/W를 달성할 수 있을 것이라고 주장하고 있다[6].

나. 국내 동향

2008년 4월 현재 국내에서 태양광발전 사업을 하고 있거나 선언한 업체(설치분야 제외)의 수는 총 47개사에 달하고 있다. 이들 업체 중 대부분(전체의

46%)은 1세대 결정형 실리콘(Si) 소재분야에 집중되어 있으며, 대표적인 업체는 소디프신소재(모노실란), 동양제철화학(폴리실리콘), 웅진에너지(잉곳), 스마트에이스(웨이퍼) 등이 있다. 한편, 태양전지 셀을 생산하는 업체는 11개 사에 불과하며, KPE, 현대중공업 등이 결정형 Si 태양전지를 생산하고 있다. 박막형 태양전지 생산을 목표로 하고 있는 업체는 5개 사이며, 그나마 차세대 소재로 인식되고 있는 CIGS 태양전지 생산을 고려하고 있는 업체는 단 두 회사뿐이다. 실리콘 소재와 더불어 기술 장벽이 상대적으로 낮은 모듈 분야에는 에스에너지 등 11개의 업체가 몰려 있다. 그밖에 공정 장비업체로서는 아바코, 주성엔지니어링 등 5개 업체가 있다(〈표 7〉 참조).

태양광 발전 산업의 급격한 확장에 따라 국내 산업체의 신규 참여 및 설비 투자도 확대되고 있다. LG 그룹에서는 그룹 내 태양광 발전 역할 분담 조정을 완료하였으며, 이중 LG Micron은 KIER와 CIGS 태양전지 기술 이전 협약을 체결하고, 현재 대면적 CIGS 상용화 사업을 기획중에 있다. 삼성 그룹에서도 그룹내 태양광 발전 역할 분담 조정을 완료한 바 있으며, 삼성전자(LCD 총괄)에서 CIGS 태양전지를 포함한 다양한 박막형 태양전지 연구를 수행중에 있다.

〈표 7〉 국내 태양광 산업 관련 주요 업체 현황

| 분야 | 주요 업체명 | 업체 수 | 비고 | |
|--------|---|---|---------------------|------------------------|
| 소재(Si) | 원재료 소디프신소재 | 1 | 모노실란 | |
| | 동양제철화학, KCC, 삼성석유화학 | 3 | 폴리실리콘 | |
| | 잉곳 렉서, LG실트론, 스마트에이스, 심포니에너지, 웅진에너지, 퓨처비전, 켈리플로나라테크, 솔믹스 | 9 | 다결정 (렉서, 심포니에너지) | |
| 웨이퍼 | 스마트에이스, LG실트론, 네오세미텍, 넥솔론, 켈리플로나라테크, 렉서, 대산이엔씨, MEMC코리아 | 8 | 다결정 (켈리플로나라테크) | |
| 셀 | 결정형 | KPE, 현대중공업, 신성엔지니어링, LG전자, STX솔라, 미리벳솔라 | 6 | |
| | 박막형 | 한국철강, LG디스플레이, LG화학(a-Si), LG마이크론 | 5 | CIGS: LG마이크론, 텔리오솔라 |
| 모듈 | 현대중공업, 에스에너지, 심포니에너지, (주)에타솔라, 경동솔라, 쏘라테크, LG산전, Unison, 이진창호, 미리벳솔라, 경남알미늄 | 11 | | |
| 장비 | 공정 | 아바코, IPS, 주성엔지니어링, 알파플러스 | 3 | Sputter, CVD, Etcher 등 |
| | 부품 | 티씨케이 | 1 | 성장장치용 흑연부품 및 SiC wafer |

(주)텔리오솔라 코리아는 미국의 IEC 연구소와 원천기술 이전 관련 장기 라이선스 계약을 체결하고, 2008년 4월 30일 파일럿 라인을 준공하여 2009년도 양산을 목표로 하고 있다.

III. 결론

본 기고에서는 태양광 발전 산업의 차세대 주자로 기대를 모으고 있는 박막형 태양전지 기술의 개요를 소개하고 차기 산업화의 핵심이 될 것으로 알

● 용어해설 ●

CIGS 박막 태양전지: 구리(Cu)-인듐(In)-갈륨(Ga)-셀레늄(Se)의 4가지 원소가 결합된 화합물 반도체인 CIGS(CuInGaSe₂)를 기판 위에 박막 형태로 증착하여 제작한 태양전지. 박막 두께가 1~2 μm에 불과하여 소재의 사용량이 적고 대량 생산이 용이하다는 장점을 가진 2세대 태양전지

Roll-to-Roll 생산 기술: 얇은 금속판 또는 플라스틱 등의 유연한 소재를 기판으로 사용하여 두루마리(roll) 형태로 소재를 공급함으로써 연속 공정으로 태양전지를 생산하는 기술. 고속 대량생산에 적합하여 차세대 태양전지 대량생산 기술로 주목 받고 있음

그리드 패리티(grid-parity): 태양광/풍력발전 등 신재생 에너지의 발전 단가가 상용전력망(power-grid)에서 공급하는 전력 단가와 동일해지는 균형점을 지칭하는 말

려진 CIGS 태양전지 기술 개발 이슈와 특히 동향, 박막 태양전지 산업 현황 및 동향을 알아봄으로써 국가 신성장 동력화의 가능성을 전망하였다.

CIGS 박막 태양전지는 성능 면에서는 그 가능성이 충분히 검증되었다고 볼 수 있으나, 본격적인 양산 및 효율 개선을 위해서는 아직 연구되어야 할 부분이 많이 남아있는 상태이며, 이러한 측면에서 태양광 산업의 후발 주자인 우리나라로서는 상대적으로 유리한 연구분야라 할 수 있다. 특히 활동이 상대적으로 낮은 것은 연구 출발점이 늦었기 때문으로 볼 수 있으나, CIGS 흡수체 및 소자 구조 등 핵심 분야 특히 활동이 다른 나라에 비해 부족한 점은 향후 연구개발에서 보완해야 할 것이다. 반도체 연구 인력과 기반 연구환경을 적극 활용하고, 산·학·연 협력 체계를 구축하여 국내 디스플레이 산업체가 보유한 양산 기술을 기반으로 구형 설비를 태양전지 생산으로 전환할 경우 빠른 시일 내에 시장 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

약어 정리

| | |
|------|------------------------------------|
| BIPV | Building Integrated Photo-Voltaics |
| CIGS | CuInGaSe ₂ |
| CVD | Chemical Vapor Deposition |
| DSSC | Dye Sensitized Solar Cell |

| | |
|-------|---|
| EPBT | Energy Pay-Back Time |
| IEC | Institute of Energy Conversion |
| IT | Information Technology |
| PECVD | Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition |
| PV | Photovoltaics |
| RTP | Rapid Thermal Process |
| SCC | Standard Coordinating Committee |

참 고 문 헌

- [1] Martin A. Green, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa, and Wilhelm Warta, "Solar Cell Efficiency Tables (Version 31)," *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 2008, Vol.16, pp.61-67.
- [2] Bolko von Roedern and Harin S. Ullal, "The Role of Polycrystalline Thin-Film PV Technologies in Competitive PV Module Markets," *33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conf.*, May 11-16, 2008.
- [3] CIS/CIGS Solar Cell's Key Patent Analysis, Displaybank, Apr. 2008, p.43.
- [4] CIS/CIGS Solar Cell's Key Patent Analysis, Displaybank, Apr. 2008, p.53.
- [5] "2006 기술표준현황 백서," 산업자원부, 2006, pp.740-741.
- [6] Dave Eaglesham, "Very Large Scale Manufacture of CdTe Photovoltaic Modules," *33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conf.*, May 11-16, 2008.