

# 집광형 태양광 발전 동향

홍규장 ((주)지상 시스템 대표)

## 1 서론

지난 세기의 기후 변화는 인류가 사용한 화석 에너지에 의해서 급격한 증가를 가져온 온실가스가 주요 원인임을 IPCC 보고서를 통해 구체적으로 근거가 제시된 바 있다[1].

그리하여 이산화탄소(이하 CO<sub>2</sub>) 등을 다른 나라에 비해 월등히 많이 배출한 EU를 비롯한 일본, 캐나다 등 선진국(38개국)의 온실 가스 배출량 강제 감축을 규정한 교토의정서가 2005년 2월에 발효되었으며, 우리나라도 온실 가스 배출량이 538백만 CO<sub>2</sub> 환산톤으로 세계 9위로 예상되고 있으며, 연평균 배출량 증가율이 4.3[%]로 2013년 이후 포스트-교토 체제에서 온실가스 감축의무를 부과 받게 될 것으로 예상하고 있다[2].

현재 다소간에 석유를 포함한 화석 연료의 가격이 다소 안정화되는 추이가 있으나 지구온난화 억제와 전 세계적인 불경기에 따른 경제 활성화 대책으로 신재생에너지에 대한 투자를 늘리려는 정책과 재원 확보 등에 애를 쓰고 있다.

비록 경기 침체로 인한 화석연료의 가격이 하락하는 것은 수요 감소에 의한 원인으로 분석되지만 풍부한 유통성이 경기 회복과 연계된다면 화석 연료의 가격은 급등할 수 있는 상황도 발생할 수 있기 때문에 대체 에너지 관련법 제정 등을 통한 대체 에너지 사업

을 적극 지원되어 하고 있으며, 이러한 측면에서 본다면 대체 에너지 확보는 지속적, 집중적으로 조명을 받을 수밖에 없다.

대체 에너지 확보를 위한 신재생 에너지에도 다양한 분야가 있지만 본 고에서는 태양 에너지를 직접적으로 이용하는 직접적으로 이용하는 대표적인 방법인 태양열과 태양광을 혼합(Hybrid)하는 집광형(Concentrated Solar) 시스템을 소개 제안하고자 한다.

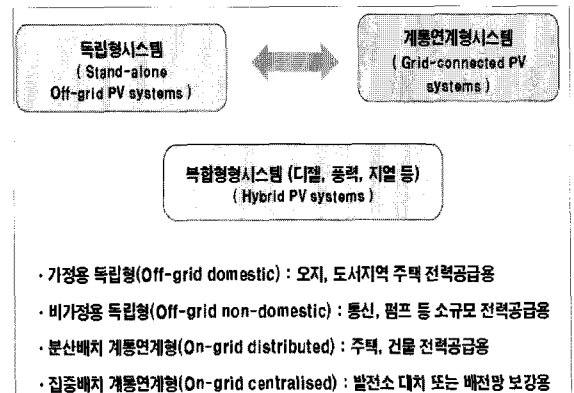


그림 1. 태양광발전 시스템 분류

집광형 태양광 시스템은 고효율, 낮은 재료 의존성 및 낮은 전력 생산단가의 장점이 있으나, 현재까지는 태양전지의 효율과 집광 비율이 낮은 상태로 장기적인 성능 검증이 이루어지지 않는 상태이다. 그러나

최근에는 40[%] 이상의 고효율의 태양전지 개발과 집광 효율의 상승 등으로 시장 점유율이 높아질 것으로 예상된다(그림 2).

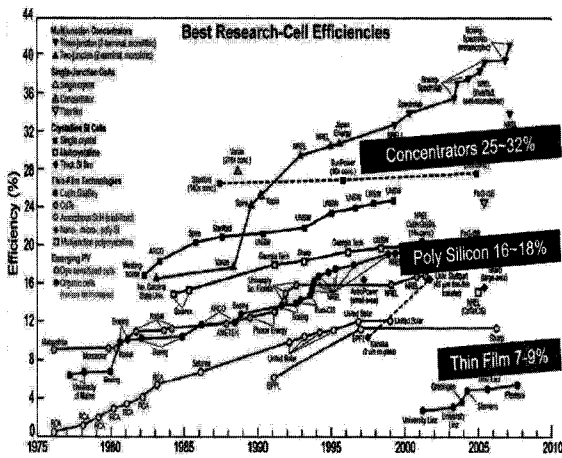


그림 2. 태양광 전지 셀의 효율

따라서 본 고에서는 미래 태양광 시장의 큰 비중을 차지할 것으로 판단되는 집광형 태양광 시스템에 대한 기술 동향을 제공하고 정보를 공유하고자 한다.

## 2. 집광형 태양광 시스템

### 2.1 태양광 집광(Concentrated Solar, CS) 기술

집광형 태양광 시스템은 일반적으로 태양전지에 프리넬 렌즈(Fresnel Lens)를 통해서 빛을 수백에서 수백 배로 집광하여 발전 및 열원을 생산하는 것으로 태양광을 추적하는 기능을 탑재하고 있는 것을 그림 3에서 보여주고 있다.

집광형 기술은 태양 에너지를 전기에너지로 바꾸는 기본원리에 있어서 기존의 태양 전지와 동일하나 광학 시스템을 사용하여 태양광을 셀에 집중하는 장치를 부가적으로 사용하는 것이 차이점이라는 것을 그림 4에서 보여주고 있다.

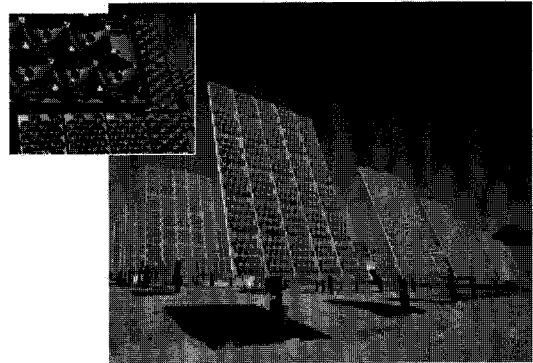


그림 3. 집광판 구조와 시스템

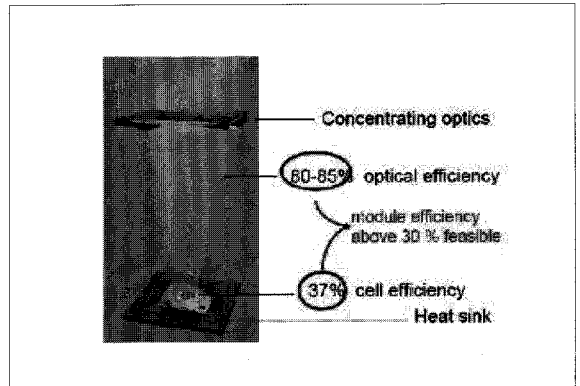


그림 4. 집광형 구조 및 에너지 효율

집광형 기술에서 집광률(Concentration ratio)은 중요한 이슈로 집광률에 따라 저 집광(x 10배 이하), 중 집광(x 10배 ~ x 100배), 고 집광(x 100배 ~ x 1000배)으로 나눌 수 있는데 저 집광의 경우는 현재의 실리콘 결정질 태양전지를 그대로 사용하는 것이 가능하다. 고 집광으로 진행이 될수록 화합물 반도체를 이용하게 되는데 2006년 Spectrolab에서 개발된 GaInP/GaAs/Ge 구조의 태양전지를 사용하는 효율이 40.7[%]로 기록되고 있으며, 2010년까지 43[%]를 목표로 개발 중에 있다(3). 태양 전지별 집광 능력에 변화 추이는 정리하면 그림 5와 같다.

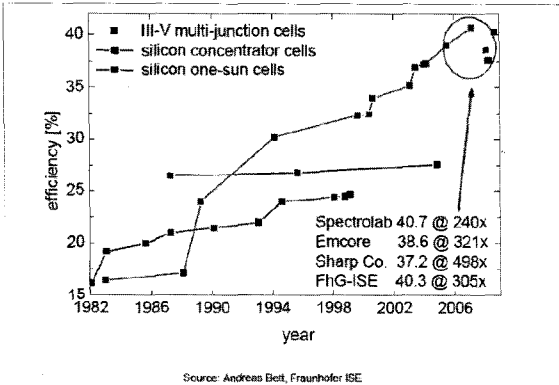


그림 5. 태양 전지별 집광 능력 변화 추이

또한 집광하는 광학 시스템에 따라 반사형(Reflective)과 굴절형(Refractive)으로 구분하는데 반사형의 대표적인 형상은 포물면 거울(Parabolic mirror)을 사용하며 굴절형은 프로넬(Fresnel) 렌즈를 사용하는 경우로 그림 6과 같은 형상을 보인다.

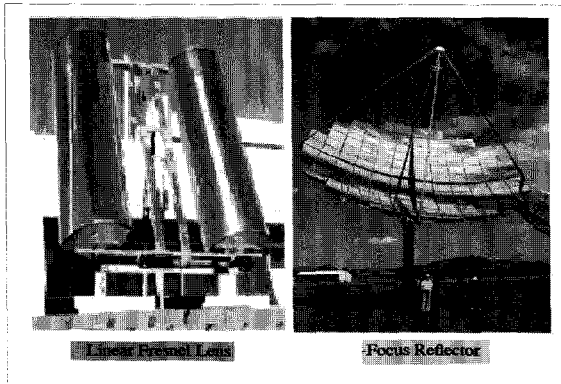


그림 6. 집광형 태양광 시스템

이와 같은 방식 모두는 광학 시스템을 이용하여 셀에 집광하는 방식으로 전력 생산에 필요한 태양전지 셀의 양을 최소화하고자 값싼 메탈로 된 반사형 거울이나 플라스틱으로 된 프로넬(Fresnel) 렌즈를 사용하여 전력 생산 단가를 낮추는 것이 목표로 하고 있다 [4-5].

## 2.2 추적 시스템 분류(Tracking System)

### 2.2.1 추적형 시스템(Tracking System)

태양광발전시스템의 발전효율을 극대화하기 위한 방식으로 태양의 직사광선이 항상 태양전지판의 전면 에 수직으로 입사할 수 있도록 동력 또는 기기조작을 통하여 태양의 위치를 추적해 가는 방식을 말하며 그림 7에 개략적인 모습을 나타내었다.

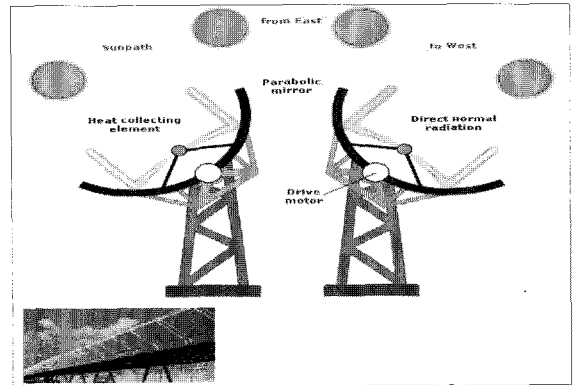


그림 7. 추적 시스템 개요

추적형 태양전지는 추적시스템의 종류에 따라 태양 자오선 정보에 의한 위치정보 프로그래밍 시스템과 광센서 자동추적 시스템으로 구분되어 상업화되고 있다. 태양자오선 정보에 의한 위치정보 프로그래밍 시스템은 시스템이 간단하고 고장요인이 없는 장점이 있는 반면 최대 태양광 발전효율보다는 조금 낮은 효율을 보인다는 단점이 있다. 일반적으로 광센서 자동추적 시스템은 두 개 이상의 광센서를 부착한 후 두 개의 광센서로 들어오는 빛의 양이 동일한 지점을 추적하는 방식으로 항상 최대에너지 효율을 보장할 수 있다는 장점이 있는 있으나 태양광의 굴절이 되는 경우는 펄핑 현상을 유발한다는 단점이 있다. 특히 고 집광의 경우는 태양의 직사광만을 사용하고 산란광(구름이나 먼지 등으로 굴절된 광)은 사용하지 않기 때문에 직사광이 강한 지역에 사용하는 것이 유리하다. 우리나라

는 충남 태안지역, 전남 여수 지역을 포함한 경남 해안 지역 등이 타당한 것으로 검토될 수 있다. 추적시스템의 대표적 사례를 정리하여 보면 그림 8과 같다.

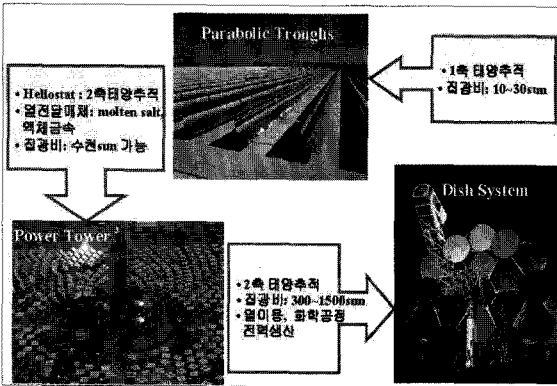


그림 8. 추적 시스템 분류 및 특성

### 2.2.2 반고정형 시스템

#### (Semi-Tracking Array)

태양전지 어레이 경사각을 계절 또는 월별에 따라서 상하로 위치를 변화시켜주는 방식으로 일반적으로 사계절에 한번씩 어레이 경사각을 변화시키는 방식을 반고정형 시스템이라고 한다. 반고정형 어레이의 발전량은 고정형과 추적형의 중간 정도로서 고정식에 비교하여 보통 20[%] 가량의 발전량 증가를 가져온다.

### 2.2.3 고정형 시스템(Fixed Array)

가장 값싸고 안정된 구조로써 비교적 설치면적에 제약이 없는 곳에 많이 이용되고 있는 방식으로 도서 지역 등 풍속이 강한 곳에 설치하는 것이 보통이다.

추적형, 반고정형에 비하여 발전효율은 낮은 반면에 초기 설치비가 적게 들고 보수 관리에 따른 위험이 없어서 상대적으로 많이 이용되는 어레이 지지방법이다. 국내의 도서용 태양광시스템에서는 이 방식을 표준으로 하고 있다.

## 3. 화합물 반도체 태양전지 개발 동향

태양전지 종류는 크게 재료에 따라 실리콘 태양전지, 화합물 반도체 태양전지 등으로 구분되며 실리콘 태양 전지는 실리콘 웨이퍼는 결정(Crystalline)형과 박막형으로 나누어진다. 최근에는 실리콘 재료의 원가부담이 증가하여, 박막 태양전지에 대한 개발이 이루어지고 있다.

화합물 반도체 태양전지는 사용물질에 따라 III-V, II-III-VI, II-VI 태양전지로 구분할 수 있으며 II-III-VI 태양전지는 CIGS[Cu(In,Ga)Se]가 대표적인 물질이고, II-VI 태양전지는 CdTe가 대표적이다.

GaAs, InGaP를 기반으로 하는 III-V 화합물 반도체 태양전지의 특징은 직접 천이형 밴드 갭을 가지고 있어 기존 실리콘 태양전지에 비해 광흡수율이 높으며 공유결합을 하고 있기 때문에 우수한 물성을 가지고 있다.

III-V 화합물 반도체 태양전지가 높은 효율을 가질 수 있는 이유는 다중 접합(Multi-Junction)탠덤 셀 구조를 갖고 있기 때문인데, 이러한 구조가 높은 변환 효율을 갖는 이유는 다음과 같다.

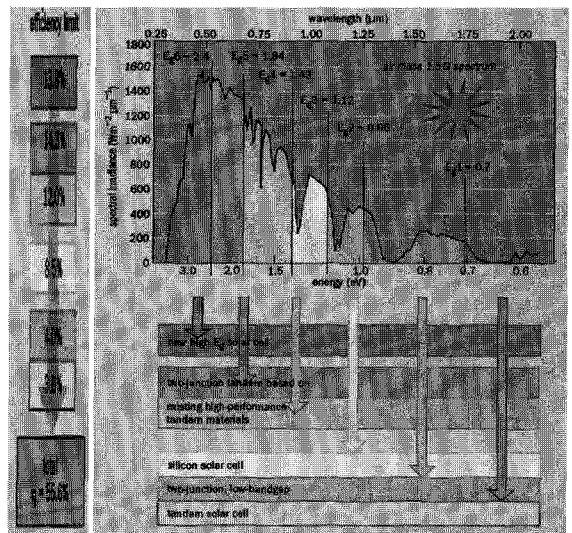


그림 9. 탠덤 구조와 스펙트럼

그림 9는 다층 구조로 적층할 경우의 스펙트럼 흡수 효율과 에너지(단위 eV)를 도식한 예이다. 다층으로 적층할 경우에 가장 밴드 갭이 큰 물질이 맨 위에 위치시키고 가장 밴드 갭이 낮은 물질을 맨 아래에 위치하도록 한다.

그림 10은 세 개의 밴드 갭을 적층한 사례로 가장 밴드 갭이 큰 물질을 상위에 배치하며 중간 밴드는 중간에 배치하며, 밴드 갭이 작은 물질이 맨 아래에 위치하도록 한다. 이 경우 맨 위의 셀에서 태양광의 짧은 파장부분(밴드 갭 에너지보다 큰 부분)의 스펙트럼을 흡수하고 나서, 그 다음에 중간 밴드 갭을 갖는 물질이 중간파장 부분의 스펙트럼을 흡수하고, 마지막으로 가장 짧은 밴드 갭 물질이 세 번째 스펙트럼 부분을 흡수하여, 태양광의 전체 스펙트럼을 여러 부분으로 나누어 사용한다. 이로 인하여 다중 접합 탠덤 구조의 셀이 단일 접합의 셀보다 훨씬 높은 변환 효율을 얻을 수 있다(6).

으며, 집광률이 약 x200~500배 사이에서 약 36~37(%)의 최대 효율을 보이다가 집광률이 더 높아지면 효율이 감소한다. 따라서 다중 접합 탠덤 구조의 태양전지를 만들 때 높은 효율을 달성하기 위하여 각 층의 밴드 갭의 배합(Combination)을 최적화하는 설계가 중요하며 향후 더 많은 접합을 갖는 태양전지 탠덤 구조 제작은 크게 어렵지 않을 것으로 생각된다.

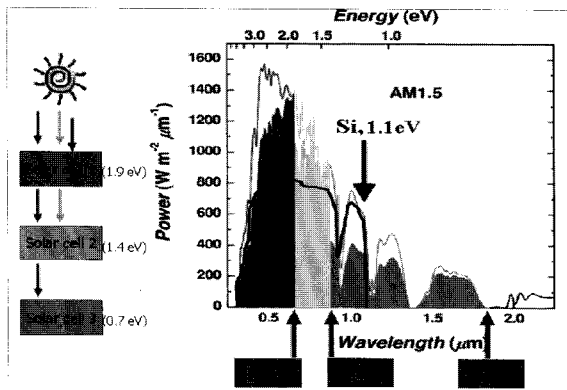


그림 10. 3개층 탠덤 구조와 스펙트럼 사용

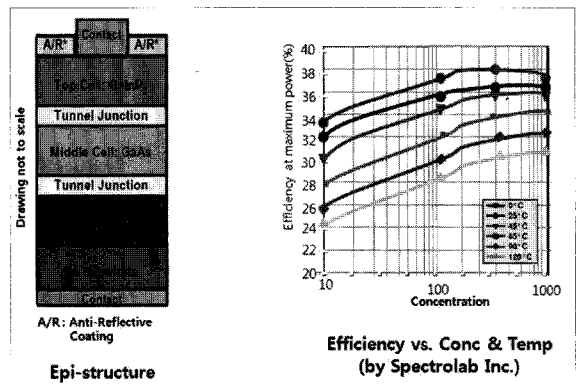


그림 11. 3개층 탠덤 구조와 스펙트럼 사용

현재 선진국에서 시도되고 있는 4-6 접합의 다중 접합 탠덤 구조를 사용하여, III-V 화합물 반도체 태양전지가 조만간 45(%) 이상의 효율에 도달하고, 향후에는 50(%) 효율도 가능할 것으로 예상된다.

#### 4. 결론

태양광 활용 기술이 환경 오염물질이나 온실가스를 배출하지 않으므로 토지 사용 외에는 거의 환경 영향이 없는 것이 장점이기도 하지만 많은 나라에서 산업 부문의 경쟁력을 강화하고 고용 증대 및 경제 성장을 주도하면서 에너지 공급의 안정성에 확보하기 위한 노력을 기울이고 있는 분야이기도 한다.

그러나 태양광은 분산하기 때문에 상대적으로 빛의 집적도가 낮아 태양광 및 태양열을 수집하기가 어렵

그림 11은 삼중 접합(InGaP/GaAs/Ge Triple Junction)으로 이루어진 미국 Spectrolab Inc.의 제품으로 태양전지의 탠덤구조, 변환 효율의 온도 및 집광특성이다.

탠덤 구조의 각 층은 터널 접합으로 연결되어 있고, 온도 증가에 따라서 효율이 저하되는 특성을 알 수 있

지만 태양열은 복사 때문에 난방시스템에는 적합한 면이 있으나 태양광을 활용한 전력 생산에는 집광 기술이 활용되어야 하는데 이를 위해서는 집광형 태양 전지의 효율 향상이 해결해야 할 난제로 남아 있다. 현재 우리나라가 당장 오염물질 배출 감축 의무를 지지는 않고 있으나 이미 이산화탄소 배출량은 세계 9위에 육박하고 있으며, 우리나라도 2013년 이후에는 감축의무를 지게 될 것이라고 예측하고 있다. 이에 당장의 우리 눈앞에 닥쳐 있는 에너지 문제나 환경 규제 문제에 대응은 물론이고 국가 경쟁력을 갖추기 위한 신재생에너지의 연구 개발 및 이용에 관한 노력이 절실히 필요한 시점이며, 서술된 태양광 집광 기술 소개가 시대적 요구에 대한 정답이 아닐 수도 있으나 차선책은 될 수 있다고 판단한다.

### 참 고 문 헌

- [1] 하나 금융연구소, “국내 풍력발전사업의 전망과 경쟁력 분석” 2009.6.30.제 17호.
- [2] 김지수, 이응직, 이충식. “저탄소 녹색도시를 위한 태양에너지 선진 이용 사례조사” 한국태양에너지 학회 춘계 학술발표 논문집, Vol. 19., No.1. 대구BEXCO.
- [3] Spectrolab website, [www.spectrolab.com](http://www.spectrolab.com).
- [4] R. R. King et al., Appl. Phys. Lett. 90, 183516 (2007).
- [5] M. A. Green et al., Prog. Photovolt. Res. Appl. 14, 45(2006).
- [6] M. Bosi et al., Prog. Photovolt. Res. Appl. 14 (2006).

### ◇ 저 자 소 개 ◇



#### 홍규장

1960년 12월 4일생. 1987년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1989년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사).

2008년 현재 (주)지상 시스템 대표.

Tel : 010-5523-4928

E-mail : [gyujang@hotmail.com](mailto:gyujang@hotmail.com)