

집광형 태양광/열 동시 활용 기술



문승필
한국전력공사



강성현
한국전력공사

서론

최근 정부에서는 신재생 에너지 발전량의 비중을 20%로 증가 시키겠다는 재생에너지 3020 이행 계획안을 발표 하였다. 이 계획안에 따르면 ‘30년 까지 재생에너지의 발전 용량을 총 63.8 GW로 증가시키고, 그 중 태양광 발전을 36.5 GW(재생에너지 발전 용량의 57%)로 하겠다는 목표를 설정하였다. 정부에 이러한 정책으로 태양광 발전에 대한 관심이 증대되고 있는 상황이다.

일반적으로 태양광 발전은, 실리콘 태양전지를 이용한 태양광 발전을 의미한다. 하지만, 실리콘 태양전지의 경우 광전환 효율이 20% 미만으로, 태양광 발전소 건립을 위하여 많은 부지가 필요하다. 때문에, 최근 태양광 발전소 건립을 위한 산림 훼손에 대한 언론매체의 보도가 되고 있어 태양광 발전이 친환경적인 발전에 대한 의문점들이 야기되고 있다. 또한, 국토의 효율적 활용 측면에서도 부정적인 시각이 존재한다.

이러한 문제점을 극복하고자, 전력연구원에서는 다양한 태양광 발전에 대해 연구를 진행하고 있다. 본 기고문에서는 지표도달 태양 에너지의 효율적인 사용을 위한 집광형 태양광/열 동시활용 기술을 소개하고자 한다.^[1]

집광형 태양광 발전 시스템

그림 1은 실리콘 계열 태양전지와, III-V 3중 접합 태양전지의 광전환 Spectrum을 나타내고 있다. 실리콘 계열 태양전지의 경우 광전환 Spectrum영역이 작고 광전환 파장 대에서도 낮은 광전환 효율을 갖는 것을 확인할 수 있다. 때문에, 실리콘계 태양전지의 광전환 효율은 20%대에 머물러 있다.

III-V 3중 접합 태양전지의 경우 넓은 광전환 Spectrum을 가지고 있으며, 실리콘 태양전지와 비교하여 같은 파장대에서 높은 광전환 효율을 가지고 있다. 때문에 III-V 3중 접합 태양전지의 경우 35% 이상의 광전환 효율을 가진다.^[2] 하지만 III-V 화합물계 태양전지의 경우 공정이 복잡하고, 고가의 재료를 사용하여 제작하기 때문에 일반 실리콘 태양전지에 비해 양산 단가가 높다. 이로 인하여 III-V 화합물계 태양전지 사용 면적을 줄이기 위하여, 렌즈 혹은 집광판을 이용하는 집광형 태양광 발전(Concentrator Photovoltaic, CPV)방식을 이용한다.

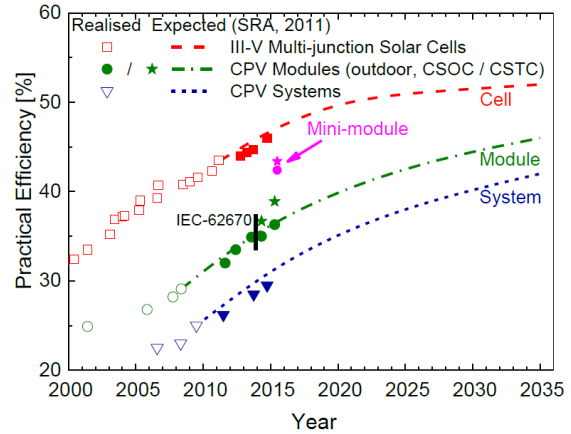


그림 2. 집광형 태양광 효율 증가 추이

다중접합 태양전지의 광전환 효율 향상을 위한 연구는 계속해서 진행되고 있으며, 셀 단위 효율 46%(Fraunhofer ISE, Soitec, CEA-LETI), 모듈단위에서는 38.9%(Soitec)를 달성 하였고 Fraunhofer ISE와 NREL공동 보고서를 통하여 발표 하였다.^[3] 그림 2를 통하여 2035년까지 III-V 다중 접합 태양전지의 효율이 약 50%에 도달하며, 발전 시스템 효율이 약 40%까지 향상 될 것을 볼 수 있다.

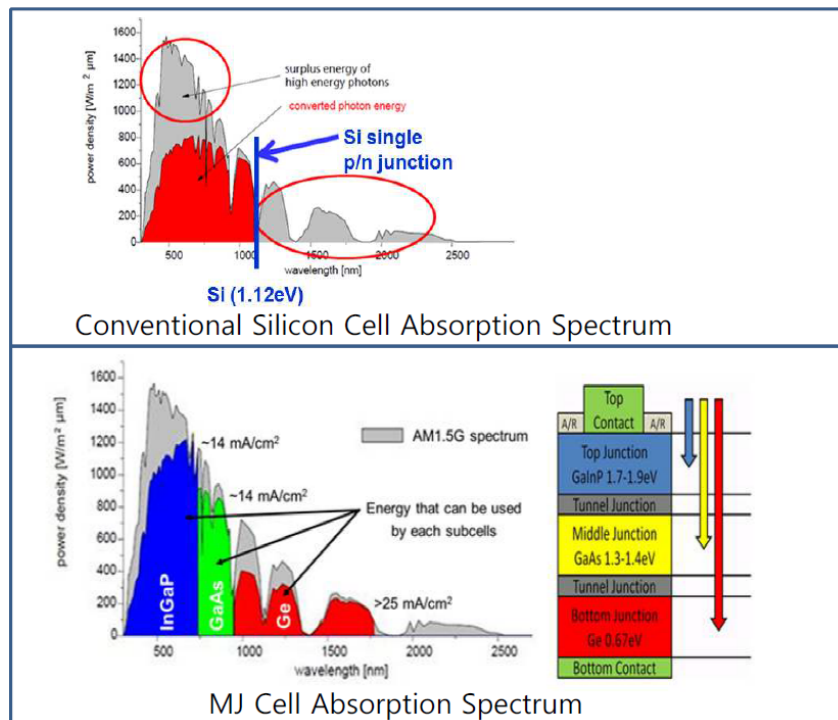


그림 1. 실리콘 태양전지와 III-V태양전지 동작 Spectrum

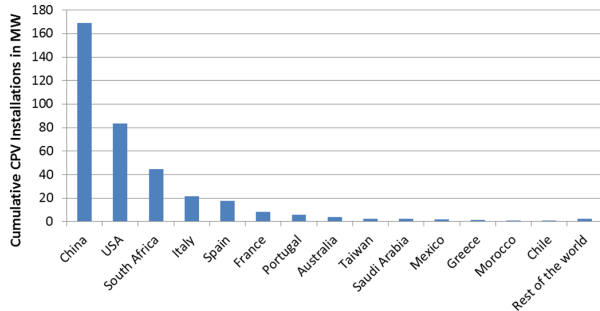


그림 3. 2016년 계통 연계형 집광형 태양광 용량 현황

이러한 세계적인 흐름에 맞추어 한국에서는 Ge/GaAs/InGaP를 이용한 광전환 효율 37.4%의 3중접합 태양전지를 한국나노기술원과 아주대 공동연구를 통해 개발하였다. 또한, 전력연구원과 한국광기술원은 고가의 Ge기판이 아닌 GaAs기판을 이용하여 효율 30%대의 3중 접합 태양전지를 개발하였다.

국내에는 아직 대규모 집광형 태양광발전 구축 사례가 없지만, 전 세계적으로 약 370 MW의 집광형 태양광 발전 시스템이 운영되고 있으며 신뢰성이 검증 되었다고 판단되고 있다.^[4] 그림 3을 통하여 나라별 집광형 태양광 설치 용량을 확인 할 수 있는데, 집광형 태양광 발전의 약 45%인 170 MW가 중국에서 운영되고 있으며, 미국이 그 다음

으로 용량을 갖고 있음을 알 수 있다. 한국전력공사의 경우 미 Alamosa CPV 발전소를 인수하여 30 MW의 집광형 태양광 발전 단지를 운영하고 있다. MW급 집광형 태양광 발전은 Redsolar(중), Sumitomo(일)가 중국 및 모로코에 MW급 집광형 태양광 발전소를 설치하고 있다.^[5]

하지만, 집광형 태양광 발전 시장이 크게 형성되지는 않고 있는데, 이는 위에서 언급한 것처럼 III-V 다중접합 태양전지의 가격이 큰 요인으로 작용하고 있다. 또한, 중국의 대규모 물량으로 인하여 예측치보다 실리콘 계열 태양전지 가격의 하락으로 인하여 경제성에서 실리콘 태양광 발전을 따라가지 못하는 게 현실이다.

최근에는 III-V 다중접합 태양전지의 가격을 낮추는 기술의 개발이 활발히 진행되고 있는데, SHARP사에서는 다중접합 태양전지 가격에 큰 비중을 차지하는 기판을 100회 재활용 하는 기술을 개발하여, 기존 가격대비 약 11%로 다중접합 태양전지를 생산하겠다는 계획을 발표 하였다.

이러한 연구들을 통하여, Fraunhofer ISE에서는 일사량이 2000 kWh/(m²a) - 2500 kWh/(m²a) 지역에서 LCOE (Levelized Cost Of Electricity)가 그림 4와 같이 일반 태양광 발전과 비슷한 수준까지 하락할 것으로 전망하고 있다.^[6]

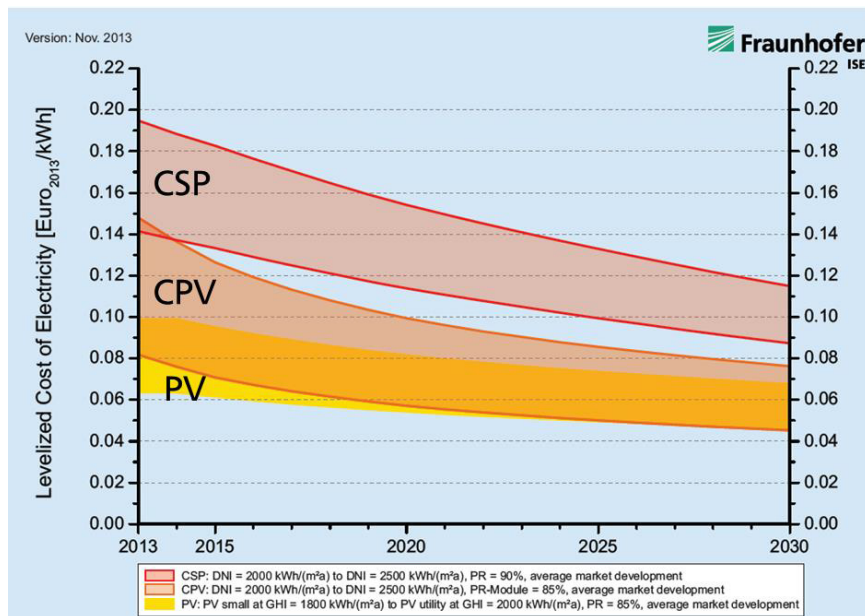


그림 4. PV, CPV, CSP의 LCOE 변화 추이(일사량 2000 kWh/(m²a) - 2500 kWh/(m²a) 기준)

집광형 태양광/열 동시활용 기술

집광형 태양광 발전은 렌즈나 집광판을 이용하여, 태양 에너지를 모으기 때문에 높은 에너지 밀도를 가지게 된다. 이로 인하여 태양전지의 온도상승을 야기해 광전환 효율을 하락시키는 결과를 가져온다. 이러한 온도상승을 막기 위하여 다양한 냉각 방식에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 최근에는 이러한 고밀도의 열에너지를 활용하는 집광형 태양광/열 동시활용(CPV-T)기술 개발이 진행되고 있다.^[7]

그림 5는 전력연구원과 한국광기술원에서 개발하고 있는 집광형 태양광/열 동시생산 하이브리드 시스템의 개념을 나타내고 있다. 개발하고 있는 하이브리드 시스템은 지표도달 태양에너지의 약 75%를 활용할 수 있는 기술로써, 기존의 태양 에너지를 이용하는 시스템과 비교하여 높은 에너지 효율을 갖는 신기술로 볼 수 있다. 기존에는 태양

광 발전과 태양열 생산을 각각 다른 시스템을 이용하여 생산하였지만, 개발하고 있는 기술을 이용할 경우 하나의 설비로 전기와 열을 동시에 생산할 수 있어 같은 에너지를 생산하는 설비의 가격을 낮출 수 있다. 또한 높은 태양에너지 사용률은 좁은 국토를 보다 효율적으로 활용 할 수 있다는 장점을 가진다.

이러한 집광형 태양광 하이브리드 시스템을 구축하기 위하여, 광전환 효율 35% 이상의 저가 고효율 태양전지 개발과 전기와 열을 동시에 생산할 수 있는 리시버 개발, 태양에너지를 집중시킬 수 있는 반사판 개발이 진행되고 있다. 특히 리시버의 경우 2중 열회수 구조 방식을 개발하여 태양전지 배면온도는 40°C 이하로 유지 하면서 생산되는 열은 약 100°C에 가까운 고온의 열을 생산 할 수 있는 기술이다.

그림 6은 CPV-T의 다양한 활용을 보여주고 있다. 농촌 연계형 CPV-T의 경우 농업에 필요한 전기뿐만 아니라 열

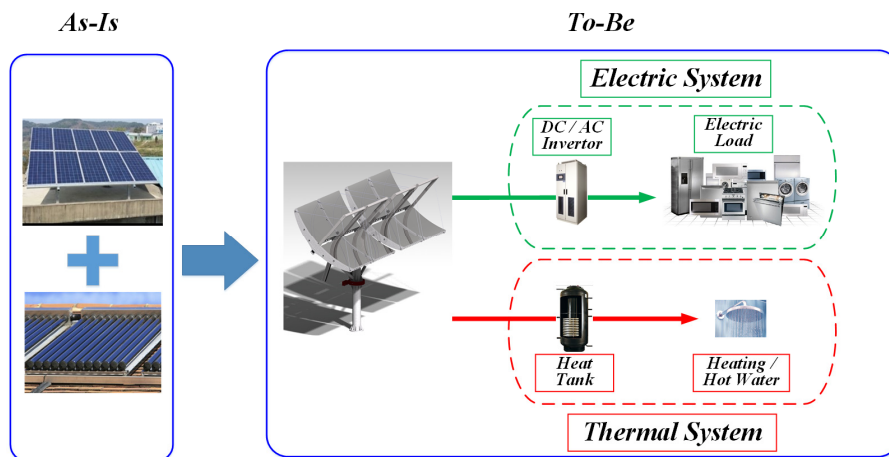


그림 5. 전력연구원과 한국광기술원이 연구 중인 집광형 태양광 하이브리드 시스템

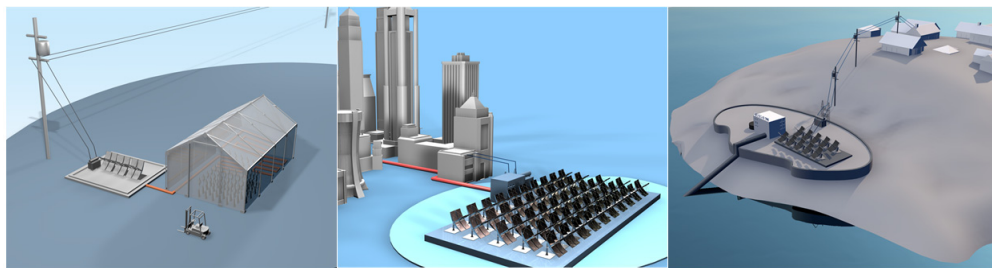


그림 6. 집광형 태양광 하이브리드 시스템 활용



도 동시에 공급함으로써, 겨울철 난방비를 줄일 수 있어 농가 소득 향상에 기여할 것으로 예상되어 진다. 또한, 유인섬에 있는 해수 담수화 설비 연계형 CPV-T의 경우 도서지역에 전기를 공급할 뿐만 아니라, 해수 담수화 설비에 열을 공급하여 해수 담수화 설비의 담수화 효율을 향상시킬 수 있다.

결론

정부의 신재생 에너지 정책에 부합하면서 국토를 효율적으로 활용하기 위하여 기존의 태양광 발전보다 고효율의 태양광 발전 기술의 개발이 필수적이라고 볼 수 있다. 이를 위하여 저가 고효율의 태양전지의 개발이 필요하며, 또한 에너지를 효율적으로 생산할 수 있는 기술의 개발역시 필수적이다.

따라서 고효율의 광전환 효율을 가지면서 다양한 설비와 연계할 수 있는 CPV-T 시스템은 이러한 상황에 맞는 기술이라고 볼 수 있다. 하지만 CPV-T기술의 활성화를 위한 진입장벽은 아직 존재한다. 이러한 진입장벽을 낮추기 위한 다양한 요소기술들이 개발된다면, 실리콘 태양광 발전과 같이 시장 활성화가 이루어질 것으로 예측된다.

참고문헌

- [1] 강성현, 문승필 (2017). III-V Multi-Junction Solar Cell 기반 집광형 전기와 열 동시생산 기술. 전기의 세계, 66(10), 17-22.
- [2] CURRENT STATUS OF CONCENTRATOR PHOTOVOLTAIC (CPV) TECHNOLOGY(2017), Fraunhofer ISE, NREL
- [3] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E. D. Dunlop, "Solar cell efficiency tables (version 47)," Prog. Photovolt., Res. Appl. 24 (1), 3-11 (2016).
- [4] T. Gerstmaier, T. Zech, M. R. ttger, C. Braun, and A. Gombert, "Large-scale and long-term CPV power plant field results," in AIP Conference Proceedings 1679 (2015), Vol. 1679, p. 30002.
- [5] <http://cpvconsortium.org/projects>
- [6] Fraunhofer ISE, Study: Levelized Cost of Electricity – Renewable Energy Technologies – Fraunhofer ISE (2013).
- [7] Maike Wiesenfarth, Joachim Went, Armin B sch, Alexander Dilger, Thomas Kec, Achim Kroll, Joachim Koschikowski, and A. W. Bett "CPV-T mirror dish system combined with water desalination systems" in AIP Conference Proceedings 1766 (2016).