

태양열 발전에 대한 IEA의 활동 및 전망

이 현 진 · 김 종 규 · 강 용 혁*

한국에너지기술연구원

Activities and Outlook of IEA about Concentrated Solar Power

Hyunjin Lee · Jongkyu Kim · YongHeack Kang*

Solar Energy Department, Korea Institute of Energy Research, 152 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 305-343 Korea

(Received 2012. 03. 30. / Accepted 2012. 05. 07.)

Abstract : Concentrated Solar Power (CSP) is a renewable energy to generate electricity by using solar thermal energy as a heat source to drive turbines or engines for thermodynamic cycles. This paper introduces ongoing projects in SolarPACES(Solar Power and Chemistry Energy systems) under the REWP(Renewable Energy Working Party) in the IEA(International Energy Agency). Then, the current status of international CSP markets and domestic activities is summarized. Finally, the CSP outlook by IEA and the key technological challenges to be overcome for its realization are presented.

Key words : Concentrated Solar Power (CSP,태양열발전), International Energy Agency (IEA, 국제에너지기구), SolarPACES (Solar Thermal Power and Chemistry Energy System), Outlook (전망)

1. 서론

태양열 발전(CSP, concentrated solar power)은 고온으로 집광된 태양 복사에너지를 열원으로 이용하여 기존의 화력발전과 마찬가지로 터빈이나 엔진을 구동하여 전기를 생산한다. 일반적으로 태양열 발전은 Fig. 1과 같이 집광, 흡수, 저장, 발전부로 구성된다. 태양 빛은 에너지 밀도가 낮기 때문에 고온을 얻기 위해서는 다수의 반사판을 이용하여 태양을 추적하며 집광한다. 흡수부는 집광된 태양열을 열전달 매체에 전달하는 열교환기의 역할을 한다. 고온의 열전달 매체의 일부는 일몰 후 전기 생산을 위해 저장되고 나머지는 발전부로 가서 전기를 생산한다.

태양열 발전은 일반적으로 소규모 분산형 보다는 대규모 중앙 집중형 발전에 적합하다. 열저장을 통해 전력 공급자가 원할 때 발전하는 능력(dispatchability)은 태양열 발전의 가장 큰 장점이다. 또한, 전기와 열



Fig. 1 태양열 발전의 구성

모두 공급이 가능하므로 화석 연료 뿐만 아니라 바이오, 지열 등 다양한 열원과 함께 하이브리드 발전이 가능하다. 산업에 필요한 공정열 공급이나 고온 열화학 공정을 통한 수소 생산 분야에도 활용 가능하다.

본 논문에서는 태양열 발전 기술에 대한 국제에너지기구(IEA, International Energy Agency) 내의 활동 현황과 향후 전망에 대한 내용을 요약하였다.

2. SolarPACES와 Task 활동

SolarPACES(Solar Thermal Power and Chemistry Energy System)는 태양열발전 및 화학 관련한 기술 개

*Corresponding author, E-mail: yhkang@kier.re.kr.

발 및 보급을 목표로 IEA 산하 REWP(Renewable Energy Working Party)로서 1977년 시작되었다. 2011년 9월 기준 SolarPACES에는 한국을 포함하여 독일, 스페인, 스위스, 미국, 호주, 오스트리아, EU, 중국, 프랑스, 이스라엘 등 20개 국가가 참여하고 있다.^{1,2)} 이외에 일본의 미쯔비시가 후원업체 자격으로 회원이 되었으며, 현재 인도, 그리스, 터키, 요르단 등이 참가에 관심을 갖고 있다. Fig. 2는 참가국 현황을 보여준다.

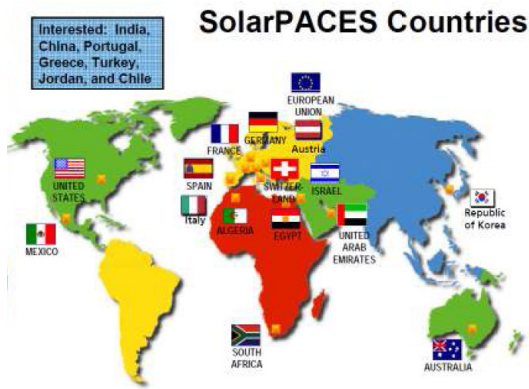


Fig. 2 SolarPACES 참가국 현황

SolarPACES에는 집행위원회(Executive Committee, ExCo)가 전체 프로그램을 관리 및 운영하고 있으며 산하에는 표 1과 같이 6개의 Task가 진행 중에 있다. ExCo 미팅은 연간 2회 개최되며, Task 미팅은 분야별 OA(operating agency)의 관할 하에 자율적으로 열린다.

2011년 우리나라는 Task I 태양열발전, Task II 태양열화학, Task III 태양열집광기술 및 적용 분야에 참여하였다.³⁾ Task I에서는 CSP 성능예측을 위한 가이드라인(Guidelines for CSP Performance Prediction)을 작

성하고 있으며 이를 guiSmo라고 명칭하고 있다. 성능 예측이 태양열발전에서 중요한 의미를 갖는 것은 CSP의 발전량 예측이 각 기관별 다르게 개발되었고 이로 인하여 정확한 발전량 예측이 이루어지지 않기 때문이다. 따라서, 새로운 기술인 태양열발전에 대한 신뢰성에 떨어뜨리며 투자자의 용이한 투자를 제한하게 되는 문제점을 야기하기 때문이다.

현재 진행 중인 guiSmo의 목적은 2012년 까지 PTC(Parabolic Trough Concentrator)시스템과 프로젝트 엔지니어링급에 해당하는 중간급 품질(Medium Quality)의 완성도를 목표로 핸드북을 제작할 계획이며 2015년 까지 모든 기술, 품질에 대한 핸드북을 작성할 계획이다. 이와 더불어 표준화 작업을 진행할 계획이다.

Task II의 경우, 최근의 연구 경향은 수소와 같은 태양연료의 생산을 위한 기술개발에 보다 집중하고 있으며 주요 선진국들도 이와 관련된 다양한 장단기 전망과 계획을 수립하고 연구에 박차를 가하고 있다. 단기적으로는 저온(약 1,000K)에서 응용이 가능한 기존의 화석연료 전환기술에 태양열을 적용하는 기술개발(Solar Enhanced Fuel 생산기술)의 상용화에 주력하고 있으며, 중·장기적으로 다단계 열화학사이클 혹은 금속산화물을 이용하는 2단계 화학반응 물분해 사이클의 응용기술을 개발코자 노력 중이다.

2012년 Task III 미팅에서는 표준화와 관련된 중요한 사항으로 반사유리의 반사율, 반사판의 성능, 흡수기 성능 등에 대한 정의에 대한 논의가 있었다. 반사율에 대해서는 기존 표준방법에 대한 검토를 바탕으로 현재까지 진행된 활동에 대한 USA NREL에서 요약 보고하였다. 용어 정의, 반사율 측정 장비, 측정 준비 사항, 측정 방법, 보고 방법 등에 대한 가이드라인 초안이 마련되었고 전문가 그룹의 추가적인 검토가 진행 중이다. 2012년까지 반사율에 대한 표준화된 성능평가 가이드라인이 마련될 것이다. 반사판의 성능에 대해서는 기존에 연구된 반사판 곡률 측정 기술에 대한 요약 발표가 있었다. 그리고, 이들 방법 중에 어떤 것이 성능 평가의 기준 측정 방법이 될지를 결정하기 위해, 각 연구소 별라운드 로빈 측정과 같이 향후 할 일에 대한 논의가 있었다. 현재 흡수기 성능 평가에 대한 논의는 시작 단계이다. 흡수기 성능 평가를 위해 열유속 분포, 온도 측정 방법, 정상상태 조건, 외부 단열 방식 등 결정해야 할 요소에 대한 의견을 취합을 하였다.

Table 1 Task 종류 및 담당 OA 기관(국가)

Task	명칭	OA (Operating Agency)
Task I	태양열발전	NREL(미국)
Task II	태양열화학	PSI(스위스)
Task III	태양열집광기술 및 적용	DLR(독일)
Task IV	태양열이용 산업공정	AEE(호주)
Task V	태양열 자원 지식 관리	NREL(미국)
Task VI	태양에너지, 수처리 및 적용	

3. 국내외 현황

2011년 기준으로 약 1.2GW 용량의 태양열 발전소가 전 세계에 설치되었고, 스페인 582MW, 미국 507MW로 대부분을 차지한다. 현재 약 17GW 용량 발전소들이 건설 또는 계획 중에 있다: 미국 약 8 GW, 스페인 4.46GW, 중국 2.5GW. 최근에는 이들 나라 외에도 중동, 북아프리카, 인도, 남아프리카 공화국 등 고일사 지역의 후발 주자들도 태양열 발전에 적극적인 관심과 참여를 보여주고 있다.⁴⁾

미국, 스페인, 중국에서 태양열 발전이 활발한 것은 정부의 적극적인 지원이 있었기 때문이다. 미국은 2009년 정보부조금을 통해 설치비의 30%까지 세금감면을 해주는 정책을 2010년 말까지 시행하였다. 또한, 주 차원에서 장기적인 재생에너지 사용 목표를 선정하고 재생에너지 의무할당제(RPS, renewable portfolio standard)를 시행하고 있다. 이를 위해 주요 발전 사업자에게 재생에너지원으로 생산된 전력을 구매하게 하는 전력수급계약을 강요하고 있다. 한편 스페인 정부는, 비록 50 MW 이하 발전소만 적용이 되었지만, 0.27 €/kWh에 해당하는 매우 호의적인 발전차액제도를 2007년 법제화하였다. 특히, 2008년 경제 위기와 재정적자에도 불구하고, 2009년 스페인 정부는 2013년까지 2,340 MW 태양열 발전에 대해서는 발전차액제도를 보장하였다. 중국 정부는 2020년 까지 15%의 비화석 연료(non-fossil fuel) 사용을 계획하였다. 이를 계기로 주정부가 소유한 발전 사업자들은 미국 회사와 기술 제휴를 통한 대형 태양열 발전소 개발을 추진하고 있다. 예를 들어 Penglai Electric은 미국 eSolar와 함께 2GW 규모까지 태양열 발전소를 중국 내륙에 건설할 계획이다.



Fig. 3 국내 최초 대구 200 kW 중앙흡수기형 태양열 발전소

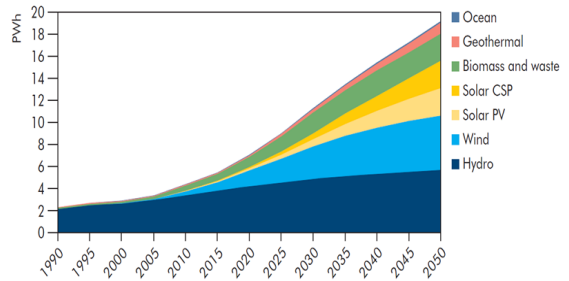


Fig. 4 재생에너지의 전 세계 발전 용량 전망

국내에서 태양열 발전은 낮은 일사 조건으로 인해 아직 상용화되지 못하고 연구 개발만 진행 중이다. 한국 에너지기술연구원은 1996년부터는 집시형 기술에 주력하여, 독일의 스텔링 엔진을 이용하여 Fig. 4에 보이는 10 kW급 상용화 모델을 개발하였다. 근래에는 중앙흡수기형에 초점을 맞추어 고집광 고정밀 헬리오스텝 및 태양로(solar furnace)를 활용한 공기식 흡수기 연구를 활발히 하고 있다. 한편, 2011년에 대성에너지(주)는 Fig. 3에 제시된 것과 같이 국내 최초로 200 kW 태양열 발전소를 대구에 건설하였다. 선다코리아는 100 kW 구유형 태양열 발전소 개발을 2010년부터 진행하고 있다.

국내에서는 낮은 일사량으로 인해 태양열 발전은 지금까지 주목 받지 못했으나, 근래에는 기존 발전소를 운영하던 발전사업자나 중동/아프리카에서 활동 중인 기업을 중심으로 관심이 증대되고 있다. 태양열 발전은 화력, 원자력, 담수화 플랜트 기술, 토목 및 건설 기술, 철강 및 콘크리트 같은 전통 소재 기술 등 국내 산업의 강점과 융합 가능한 신재생에너지기술이다.

4. IEA 향후 전망

Fig. 4는 IEA의 재생에너지별 발전 용량에 대한 2050년까지 전망을 보여준다.⁵⁾ 비록 태양열 발전이 현재 설치 용량에서는 타 에너지에 비해 적으나, 앞으로는 빠른 성장이 예상된다. 태양열 발전소는 태양광에 비해 약 1/3정도의 발전 용량을 갖겠지만, 열저장을 이용한 높은 가동시간을 바탕으로 2050년에는 태양광이나 바이오매스와 비슷한 수준으로 전기를 공급하여 전 세계 전기의 11.3% 정도에 이를 것이다. 열저장을 이용하거나 다양한 종류의 에너지원과 하이브리드로 전기를 생산하는 능력은 다양한 전력 공급자들에게

있어서 태양열 발전 기술을 선택하게 하는 중요한 요소이며 타 재생에너지의 확산에도 도움이 될 것이다.

Fig. 5는 태양열 발전의 발전 단가와 지역별 발전량 전망이다.⁶⁾ 북아메리카는 가장 많은 태양열 전기 생산 지역과 동시에 소비지역이 될 것이다. 아프리카와 인도도 많은 양의 발전이 예상되는데, 현재 설치 용량을 감안한다면 앞으로 상당히 빠른 속도로 시장이 성장할 것이다. 발전 단가도 현재의 1/4~1/6 수준으로 떨어질 것으로 예상된다. 고일사지역을 중심으로 태양열 발전은 전기 생산의 중간 부하(intermediat load)의 역할을 넘어 기저 부하(base load)까지도 가능할 것이다.

다른 재생에너지 기술과 마찬가지로 태양열 발전도 발전 단가를 낮추어 가격 경쟁력을 갖추는 것이 가장 시급한 문제이다. 일반적으로 발전 단가의 약 40%를 차지하는 초기 투자비 절감이 가장 중요하다. Fig. 6이 보여주듯이 전체 투자비 중에서는 반사판을 포함한 집광설비가 약 1/3을 차지하므로 혁신적인 기술 개발이나 100 MW 이상 대용량화가 필요하다.⁶⁾ 초기 투자비가 많아 자금 동원을 위한 기간이 길고 은행 대출 이자가 높으므로 정책적인 지원을 통해서도 발전 단가 감소가 가능하다.

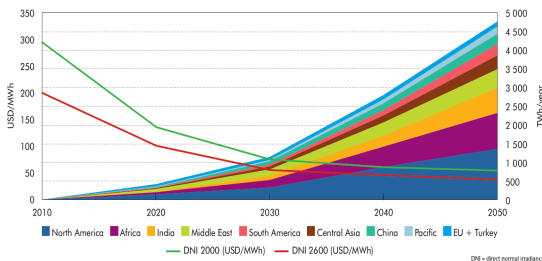


Fig. 5 태양열 발전의 발전 단가와 지역별 발전량 전망

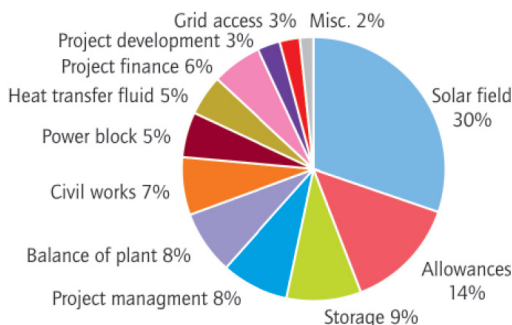


Fig. 6 구유형 발전소의 투자비 분석

효율과 가동률 향상도 발전 단가를 줄이는 중요한 방법이다. 고반사율, 고내구성 반사판 기술과 고효율 열저장 기술은 모든 종류의 태양열 발전에 혜택을 줄 것이다. 무엇보다도 기존 화력발전의 고효율 발전(과열 또는 초임계 증기 발전, 고온 고압 공기를 이용한 복합 발전)에서 사용이 가능하도록 작동 유체를 생산하는 흡수 기술의 개발이 절실하다. 고효율 발전 기술은 중앙흡수기형에서는 구현될 가능성이 높으므로 헬리오스탯 필드 설계 최적화, 추적 시스템 개선, 헬리오스탯 정밀 제어 등의 기술 개발이 요구된다. 구유형 흡수기에서 직접 증기 생산이나 중앙흡수기형 흡수기에서 용융염을 열전달 매체로 사용하는 기술과 같이 중간 열교환 과정을 생략하는 기술도 의미가 있다. 뿐만 아니라, 고일사지역은 대부분 주거지역과 동떨어진 물 부족 지역이므로 물 사용량을 줄이는 기술이나 효율적으로 전기를 장거리 전송하는 기술 개발도 중요하다.

5. 요약

- 1) 국제에너지위원회 IEA 산하 SolarPACES(Solar Thermal Power and Chemistry Energy System)는 태양열발전 및 화학 관련한 기술 개발 및 보급을 목표로 한국을 포함하여 현재 20개국이 활동 중이다. 2011년 우리나라는 집행위원회뿐만 아니라 6개 기술 분야 중에 태양열발전, 태양열화학, 태양열집광기술 및 적용 3개 분야에 참여하고 있다.
- 2) 2011년 기준으로 약 1.2GW 용량의 태양열 발전소가 전 세계에 설치되었고, 스페인 582MW, 미국 507MW로 대부분을 차지한다. 현재 미국 8GW, 스페인 4.46GW, 중국 2.5GW를 포함하여 전체 약 17GW 용량 발전소들이 건설 또는 계획 중에 있다.
- 3) 국제에너지위원회 IEA는 태양열 발전소는 태양광에 비해 약 1/3정도의 발전 용량을 갖겠지만, 열저장을 이용한 높은 가동시간을 바탕으로 2050년에는 태양광이나 바이오매스와 비슷한 수준으로 전기를 공급하여 전 세계 전기의 11.3% 정도에 이를 것으로 예측하고 있다.

Acknowledgement

본 연구는 한국에너지기술평가원의 연구비지원으로 수행되었음. (과제번호 : 20103060080020)

References

- 1) Y. H. Kang, J. K. Kim, and H. J. Lee, "Activities of IEA SolarPACES & Task Programs," Proceedings of the KSES 2011 Spring Annual Conference, pp.246-249, 2011.
- 2) <http://www.solarpaces.org>.
- 3) J. K. Kim, H. J. Lee, S. N. Lee, and Y. H. Kang, "Activities of IEA SolarPACES Task-1 & 3 Programs," Proceedings of the KSES 2011 Autumn Annual Conference, pp. 324-327, 2011.
- 4) www.wikipedia.org.
- 5) Energy Technology Perspective, IEA, 2010.
- 6) CSP Technology Roadmap, IEA, 2010.