

## 고온태양열 활용기술 최근동향: 2008 SolarPACES Symposium Review

김 진수<sup>1)</sup>, 강 용혁<sup>2)</sup>, 김 종규<sup>3)</sup>

### High-Temperature Solar Thermal Technologies: 2008 SolarPACES Symposium Review

Jin-Soo Kim, Yong-Heack Kang, Jong-Kyu Kim

**Key words** : solar thermal(태양열), solar thermal power(태양열발전), solar fuel(태양연료), concentrating solar (집광태양열), solar thermochemistry(태양열화학)

**Abstract** : The proceeding of the 14<sup>th</sup> biennial concentrating solar power SolarPACES symposium was closely reviewed and summarized to have an overview on up-to-date concentrated solar thermal technologies. A number of studies covering parabolic trough concentrating system, central receiver technology, solar fuels, dish and others were presented in the symposium which was held in Las Vegas, USA, from 4 to 7, 2008. Based on this overview a brief summary of technology trend and prospects were added in the paper.

#### 1. SolarPACES

SolarPACES (Solar Thermal Power and Chemical Energy System) 는 태양열 발전 및 태양 화학에너지 시스템 분야 국제협력을 위한 IEA (International Energy Agency) 산하의 조직으로 1977년 소규모 태양열 발전 시스템 (SSPS : Small Solar Power System) 개발을 위해 10개국 (오스트리아, 벨기에, 독일, 영국, 그리스, 이탈리아, 스페인, 스웨덴, 스위스, 미국)이 참여하여 시작되었다.

1990년에 IEA REWP (Renewable Energy Working Party)가 SSPS사업의 성공을 확인한 후 1991년부터 몇 개국(러시아, 이스라엘, 호주)이 추가로 참가하여 제4단계 계획에 돌입하였으며, 동시에 프로그램 이름도 SSPS에서 SolarPACES로 바뀌었다. 제4단계에서는 실험실 수준의 소규모 태양열 발전소에서 상업용 규모의 대형발전소와 이를 위해 수행해야 할 연구 분야를 포함하는 광범위한 태양열 응용 분야로 확대되었다. 우리나라는 2007년 회원국으로 가입을 신청하여 2008년부터 정식 회원국으로 활동하고 있다.

현재 SolarPACES는 15개국이 회원국으로 참여

하고 있으며 6개의 Task 분야별로 활발하게 운영되고 있다.

SolarPACES는 격년으로 Symposium을 개최하고 있으며 매년 2회의 정기적인 Executive Committee(ExCo) 모임을 통해 전체 SolarPACES 프로그램의 관리, 감독을 수행하고, 연구개발 방향의 설정과 산업화 전략에 관한 논의를 진행해오고 있다.

SolarPACES에서 운영 중인 6개의 Task별 담당 분야는 다음과 같다.

- Task I: 태양열발전 시스템 관련 분야
- Task II: 태양열 화학반응관련 분야
- Task III: 요소기술 및 응용 관련 분야
- Task IV: 산업공정 태양열 관련 분야
- Task V: 태양에너지 자원조사 관련 분야
- Task VI: 태양에너지와 물 관련 분야

- 
- 1) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구본부  
E-mail : jnskim@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3549 Fax : (042)860-3739
  - 2) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구본부  
E-mail : yhkang@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3500 Fax : (042)860-3739
  - 3) 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구본부  
E-mail : rnokim@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3477 Fax : (042)860-3739

## 2. 2008 SolarPACES Symposium

본 논문에서는 2008년 미국 Las Vegas에서 개최된 제 14회 SolarPACES 심포지엄에서 발표된 논문들을 심포지엄 논문집에 수록된 분야별로 나누어 간략하게 소개하고, 고온 태양열 활용분야의 최신 연구 및 사업에 관한 동향을 살펴보았다. 소개된 개별 연구개발 사례에 대한 보다 상세한 정보는 심포지엄 논문집(CD version)을 참조 바람이며 논문집 CD자료가 필요할 경우 한국에너지기술연구원 고온 태양열 연구센터를 통해 열람이 가능하다.

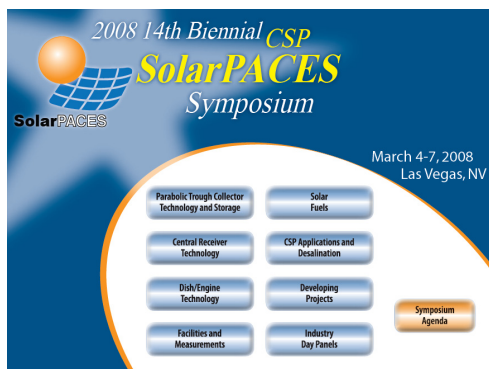


Fig. 1 2008 SolarPACES Symposium Proceeding CD 메뉴 화면

### 2.1 Parabolic Trough Collector (PTC) Technology and Storage (구유형 집광기술 및 열저장 관련 분야)

동 분야에서는 집광장치 성능분석, PTC 요소 디자인, 최근 시도되고 있는 Direct Steam Generation 방식의 PTC 기술, 열전달 유체, 대규모 Power Plant 모델링 및 최적화 기법, PTC용 흡수기 관련 기술 및 열저장 시스템 등에 대한 이론분석, 실험 및 운전 결과에 대한 논문을 포함하고 있으며 주요 연구현황에 대한 간략한 정보는 다음과 같다.

장치 성능 분석 및 PTC 요소디자인과 관련하여 PTC집광장치의 Alignment를 분석키 위한 TOP(Theoretical Overlay Photographic) Alignment System의 개발 및 적용에 관한 결과(미국 SNL), 축정장치에 의한 집광 태양열 Test Loops에 대한 성능 불확실성에 대한 분석(독일 DLR, 스페인 PSA), 스페인 Andasol Power Plants 집광장치 성능분석, PTC 집광장치의 표준화를 위해 고려해야 할 항목들에 대한 분석(스페인 CIEMET),

Molten Salt를 열유체로 사용하는 PTC에 대한 개념설계, 저가화를 위한 스페인 Sener사의 신형 Trough Collector (SENERTROUGH)에 대한 소개, 자동차 유리 제작 공정을 이용한 고강도 반사경 제작 기술, Flexible PTC 열유체 배관 개발 등에 관한 연구논문 등이 제시되었다.

Direct Steam Generation(DSG)과 관련해서는, DSG PTC 설계를 위한 이론 분석, DSG 방식의 최초의 PTC Plant에 관한 스페인 PSA의 보고가 있었으며, DSG 방식의 PTC Plant를 위한 PCM 열저장 시스템 개발(DLR)에 관한 연구도 발표되었다.

PTC 열유체에 관한 연구로는 Organic 열유체의 수명 연장을 위한 On-site Multi-state Distillation 적용에 관한 연구, Quaternary Molten Salt를 이용하는 고온 열유체 특성에 관한 연구, PTC 열유체로 Oil, Water/Steam, Molten Salt에 대한 열유체 모델링 및 비교 분석(스페인 CIEMET) 등의 연구결과가 제시되었다.

PTC 발전장치의 성능분석 및 최적화와 관해서는 PTC성능의 경제성에 대한 민감도 분석(미국 NREL), Solar Commercial Project를 위해 Andasol-1,2에 적용되었던 소프트웨어 SENSOL 소개 (스페인 SENER), PTC Plant의 기술적 경제적 성능분석을 위한 Computer Feasibility Tool (독일), Tecno-Economic System Simulation 및 최적화 (독일), Nuclear Industry 응용 코드를 이용한 Solar Power Plant의 Transition 조건 분석(스페인 Abengoa), Linear Fresnel Reflector 광학분석 및 Quality Control (독일 FhG), Linear Fresnel Reflector Demonstration, 설계, 제작, Commissioning, Test에 관한 보고(스페인 PSA) 등이 포함되었다.

PTC용 흡수기(Receiver) 개발과 관련해서는 흡수기 성능향상을 위한 고온(500°C) 코팅기술 개발 (독일 SCHOTT, FhG ISE), PTC 흡수기에서의 수소생성 문제에 관한 연구(미국 NREL), PTC용 Solar Selective 코팅에 관한 실험연구(미국 NREL, Stanford) 등이 다루어졌다.

PTC용 열저장 기술의 경우 Modular Storage 개념의 콘크리트 열저장시스템의 적용에 관한 경제성 분석 (독일, DLR), PTC Plant에 열저장 시스템을 적용한 경우에 대한 US Market에서의 경제성 분석 (독일), 태양열 발전용 축열을 위한 잠열축열(상변화 온도 145, 225°C) 시스템 연구결과(독일), PTC 플랜트의 가동율을 높이기 위한 Molten Salt Storage의 실제 응용예(스페인 Andasol I) 등에 관

한 보고가 있었다.

## 2.2 Central Receiver Technology (타워형 집광 장치 기술)

중양 집중식 타워형 집광기술과 관련된 분야에서는 동분야의 각종 분석 Tool, 요소개발, Solar Field 광학특성 분석 및 평가에 관한 논문들이 발표되었다.

분석 Tool과 관련해서는 Solar-to-flux, Flux-to-Electricity, Electricity-to-Revenues 의 세 영역으로 나뉘어 Solar Power Plan를 분석하는 Luz(이스라엘)사의 SPP 프로그램 신버전이 소개되었고, 그 밖에 바람, 중력 영향을 고려한 Heliostat 설계 기법(독일 DLR), Surrounding Heliostat Field의 기초 디자인 등에 관한 내용도 보고되었다.

타워형 집광장치 관련 요소기술로는 Compact Heat Exchanger기술에 기반한 고온 Air Receiver 개발 실험(프랑스), Line-Focus Heliostat (스페인 PSA), 과열 수증기 생산용 흡수기를 별도로 장착한 Receiver-Boiler 의 개발(이스라엘)에 관한 내용 등이 다루어졌다.

Solar Field 광학 특성 분석과 관련해서는 Retroreflective Target을 사용하지 않고 빠른 시간에 Solar Field 에 대한 광학분석을 가능토록 하는 Edge Detection and Photogrammetry 기법(독일 DLR), Beam Down 기술을 위한 Tower Reflector 의 반사판 설치기법(이스라엘 WIS), 소형 타워 집광 장치인 CSIRO Solar Array Heliostat의 집광성능 분석(호주), 최초의 Volume 흡수기를 적용한 독일 Julich 1.5MW Solar Power Tower의 개발에 관한 연구 등이 포함되었다.

## 2.3 Dish Systems (접시형 발전 시스템)

소형 분산형 발전이 가능한 접시형 발전시스템 관련 분야에서는 Solar-Hybrid 마이크로 터빈 시스템을 위한 튜브 리시버 개발(독일 DLR), 1, 2 단계에 걸쳐 각각 500-850MW, 300-900MW 규모의 대규모 상용 Dish-Stirling 시스템 구축을 위한 연구(미국 SES), Ray-Tracing 코드(SOLTRACE)에 의한 Dish/Stirling 시스템 광학 분석(프랑스 등), 멕시코의 7.5m 급 접시형 집광장치 개발 등에 관한 연구결과가 보고되었다.

## 2.4 Facility and Measurements (부가설비 및 측정)

고온 태양열의 원활한 활용을 위한 부가설비 및 측정기술과 관련된 분야에서는 Conical Cavity Calorimeter 에 관한 연구(멕시코), 비접촉식 고온 측정장치인 Pyrometer의 반사광 영향 문제를 해결키 위한 Solar-Blind Pyrometer Test(스페인 PSA), 태양열 흡수기 사용재료의 Thermal Cycling 관련 실험 연구(스페인 PSA) 등이 보고되었다.

## 2.5 Solar Fuels (태양연료)

태양연료 분야에서는 탄소를 포함하는 화학반응 기술, 금속산화물을 매개로 하는 2단계 물분해 수소 생산 기술, 반응기 설계기술, 다단계 물분해 열화학 반응 사이클 등의 전 분야에 대한 다수의 논문이 발표되었다.

탄소물질을 기반으로 하는 태양열 화학반응 연구와 관련해서는 Beam Down Optics를 고려한 Coal Coker Gasification 적용 연구(일본), 메탄 열분해를 위한 Particle-Flow Solar Reactor(스위스), Rapid Thermal Gasification에 의한 Corn Stover로부터 합성가스 제조에 관한 실험 연구(미국),  $Fe_3O_4/FeO$  Redox Reaction를 이용한  $CO_2$ 로부터의 C, 및 O 생산 이론 분석(스위스 PSI) 등 다양한 대상 화학반응에 대한 연구결과가 소개되었다.

금속산화물을 매개로 하는 2단계 물분해 수소생산 기술분야에서는 Solar Furnace이용 Two-Step Thermo-Chemical 불분해 수소생산 사이클 실험적 검증 및 100kW급 Pilot 장치로의 확장 관련 연구(독일 등 6개국), Mixed Iron Oxide이용 2단계 물분해 열화학 사이클 실험 연구(스페인), Cobalt Spinel Oxides 이용 물분해 수소생산 열화학사이클 실험 연구(미국), Sodium Manganese Ferrite 열화학 사이클 실험연구(이탈리아), Monoclinic Zirconia Support  $Fe_3O_4$  이용 2단계 물분해 연구(일본) 등의 연구가 보고되었다.

반응기 관련 연구로는 CR5 (Counter-Rotating-Ring-Receiver/Reactor /Recuperator 태양열화학엔진 시제품의 개발(미국), Rotary-Type Reactor 실험연구(일본), HyS을 고려한 열화학 물분해 수소생산 사이클 Process Design과 경제성 분석(독일 DLR), Solar Hydrogen에 대한 Well-To-Wheel 분석 및 경제성 평가(스위스 PSI), 태양열 화학반응기 재료 관련 실험 분석(미국) 등의

연구가 다루어졌다.

다단계 물분해 열화학반응 사이클 분야에서는 PV 장치를 HyS 전기분해 공정에 적용한 Solar Driven Sulfurous Acid 전기분해에 관한 연구(호주), Volatile Metal Oxide Reduction을 위한 Volumetric Solar Reactor 모델링(프랑스), ZnO 화학반응 사이클 Scale-up을 위한 Rotating Cavity Receiver 개발(스위스), SnO<sub>2</sub>/Sn Carbothermic Cycle 물분해 수소생산 관련 실험연구(이스라엘) 등이 포함되었다.

## 2.6 기타 분야

언급된 분야 이외에도 고온태양열의 산업공정열 적용, 저온 ORC사이클 구동에 의한 발전, 해수 담수화 등의 응용분야에 관한 연구결과도 보고되었으며, Linear Fresnel 집광방식을 적용한 177MW Solar Plant 계획 및 시스템 디자인, 스페인의 대표적 기업인 Abengoa Solar사의 태양열 발전 Project 수행 현황 등에 관한 내용도 다루어졌다.

## 3. 동향 분석 요약

금번에 개최된 제 14회 SolarPACES 심포지움에 발표된 논문들을 통하여 얻어진 관련기술의 연구개발 및 산업화 동향을 요약하면 다음과 같다.

PTC 태양열 발전시스템은 대형 상용화 시스템으로 보급 및 시장형성이 본격화되고 있으며 당분간 태양열 발전을 대표하는 기술로 보급이 확대될 것으로 전망된다. 다만, 보다 본격적인 시장의 형성은 시스템의 성능분석 및 경제성 모델링 기법의 일반화와 이를 통한 장치의 최적화, 시스템의 표준화가 정착된 연후에 보다 빠른 속도로 진행될 수 있을 것으로 전망된다.

타워형 태양열 발전시스템의 경우 실증단계를 지나 상용시스템의 운전 초기 단계에 머물고 있으나, 고밀도 열저장, 새로운 발전사이클 적용 등 발전장치 구성에 보다 획기적인 차별화가 없을 경우 보급에 있어 특별한 이점을 주장하기 어려울 수도 있을 것으로 판단된다. 다만, 각종 태양열 화학반응 사이클을 이용한 수소생산 등 태양연료 생산기술의 개발이 완성단계에 이르면, 타워형 집광장치가 이들 공정을 수행할 수 있는 유일한 대규모 집광시스템이라는 사실이 또 다른 가능성으로 작용될 수 있다.

태양연료 생산 분야의 경우 기술개발 초.중기 단계로 많은 나라에서 다양한 대상 반응을 각종 규모로 연구하고 있음을 볼 때, 관련기술의 미래 가능성에 대한 공감은 크게 형성된 것으로 판단된다. 동 분야는 향후 수소시장의 향배와 매우 밀접한 관련이 있어, 만일 단시간 내에 수소시장이 급속도로 확대된다면 이에 상응하는 상당한 분량의 산업화가 급속도로 진행될 가능성이 매우 클 것으로 예상된다.

## References

- [1] Proc. 2008 14<sup>th</sup> Biennial Concentrating Solar Power SolarPACES Symposium, March 4-7, 2008, Las Vegas, USA.