

# 태양열발전 기술과 세라믹소재

글 \_ 한인섭, 서두원, 홍기석  
한국에너지기술연구원

## 1. 서론

에너지 고갈 및 지구환경 문제의 심각화에 따라 세계 각국들은 그린에너지 기술개발을 통하여 탄소의존형 경제 패러다임에서 벗어남과 더불어 향후 시장선점을 위해 국가별로 전략적 대응을 강구하고 있다. 즉, 탄소배출을 줄이기 위하여 화석연료의 사용을 줄이고 새로운 에너지원의 개발을 위한 기술개발에 박차를 가하고 있으며, 아울러 에너지다소비형이나 환경파괴형 기술로부터 에너지절약과 자원절약 효과가 우수한 기술의 개발을 통하여 그린에너지 (Green Energy) 기술로의 전환은 세계적으로 시급한 문제가 되고 있다.

이에 따라 미국의 경우 오바마 정부에서는 화석연료 사용을 줄이기 위해 대체에너지 및 에너지절약형 자동차 등의 개발에 투자하는 그린 뉴딜정책을 추진하고 있으며, 일본의 경우 2050년까지 온실가스를 50% 감축하기 위한 구체적 실행전략을 포함한 Cool Earth 50 프로그램을 추진하고 있다.

국가 총 에너지의 97% 이상을 수입에 의존하고 있는

우리나라의 경우, 연평균 에너지소비 증가율이 1.1%에 달하고 있으며, 특히 전체 에너지원의 83%가 화석연료로서 선진국에 비하여 많은 이산화탄소를 발생하고 있어 기후변화 협약에 따른 온실가스 배출 규제, 국제환경 규제 강화 등으로 인하여 수출경쟁력이 약화되고 있다. 이에 따라 우리나라의 경우에도 환경과 자원 위기에 대응하기 위하여 저탄소 녹색성장 전략이 필요하게 되었으며, 정부에서는 2009년부터 녹색성장 5개년 계획을 추진하고 있다.

한편 에너지소비 증가율을 감소시키고 환경오염의 주범인 화석연료의 사용을 억제하기 위해서는 먼저 화석에너지를 대체할 수 있는 새로운 대체에너지 (신재생에너지) 이용방법의 개발이나 에너지사용 기기·시스템의 고효율화, 고성능 제어장치 개발을 통한 에너지절약 방법체계를 구축하여야 한다. 이를 위해 소재 (또는 재료) 관련 연구분야에 있어서도 기존보다도 한층 더 가혹한 환경 하에서 전자기적, 열적, 기계적 및 화학적 성능을 나타내는 여러 종류의 기능안정화와 신뢰성이 우수한 새로운 소재의 개발이 더욱 요구되고 있다.

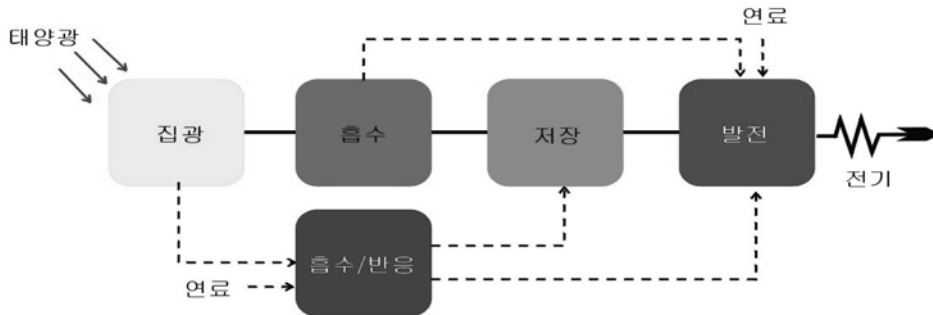


Fig. 1. 태양열 발전시스템의 기본 구성.

따라서 본고에서는 우리나라의 에너지신소재 기술의 TRM (Technical Roadmap)에 있어서 정부의 국가전략기술 중 신성장동력과 연관된 신재생 관련 에너지소재 기술 및 고효율화 에너지소재 기술 가운데 태양열발전 기술의 개요, 시장 및 기술동향과 이에 관련된 세라믹소재에 대해 간략히 기술하였다.

## 2 본 론

### 2.1. 태양열발전 기술

#### 2.1.1. 기술 개요

태양열발전은 일사된 태양의 복사에너지를 고비율로 집광하여 회수된 고온 (250~1200°C)의 열에너지를 이용, 발전설비를 구동하여 전기에너지를 얻는 것으로서 Fig. 1 과 같이 집광, 흡수, 저장, 발전 시스템을 포함하고 있다. 집광장치를 통하여 전달된 고온의 태양에너지는 열에너지의 형태로 발전설비에 공급되어 직접 전기를 생산하거나, 혹은 열로서 저장되어 발전에 사용된다. 태양열발전

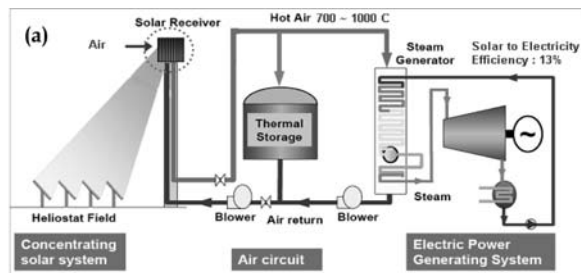


Fig. 2. 공기식 태양열발전 시스템 (공기식 흡수기+증기사이클)의 (a) 개략도 및 (b) 시스템 (PS10 Concentration Solar Thermal Power Plant, Spain) 사진.

은 효과적, 안정적 발전을 위한 발전방식 및 고온 태양열 연계방식에 따라 별도의 연료를 병행하여 사용하는 복합 (hybrid) 시스템을 구성하기도 한다.

타워형 (Power Tower) 태양열 발전은 헬리오스테트 (heliostat)라고 불리는 수백 혹은 수천 개의 반사판 거울을 사용하여 타워 상단으로 집광을 행하며, 고온의 획득이 가능하고, 열손실의 여지가 적으며, 높은 밀도의 열 에너지 저장이 가능하다는 이점을 가지는 가장 진보적인 대규모 발전 방식이다.

타워형 태양열발전에서 사용되는 작동유체로는 물/증기, 공기 및 용융염 등이 있으며, 공기를 사용할 경우 태양열발전 시스템은 Fig. 2와 같이 태양열 집광부, 공기 순환부와 전력 발생부로 나눌 수 있다. Heliostat에서 반사/집광된 태양광은 타워 상부에 위치한 흡수기의 온도를 높이고, 주로 세라믹 소재로 구성된 흡수기 (Fig. 2에서 점선 원으로 표시)에 외부/재순환 공기를 통과시키게 되면 700~1000°C의 온도를 얻을 수 있다. 증기발생기에 고온의 공기를 통과시켜 얻은 증기는 터빈을 구동하여 전기를 발생하게 되고 고온의 공기는 다시 재순환되어 흡수기로 전달된다. 이와 같이 태양열발전 방식은 공기를 이용한 증기터빈을 구동하는 방식으로 Rankine Cycle의 최대 발전효율 약 40%를 활용할 수 있다.

한편 기존의 태양열발전이 소규모 분산형 발전과 대규모 발전형식으로 분류가 되는데, 가압공기식을 활용하는 태양열발전은 타워형 뿐만 아니라 디쉬형 (Dish Type)에서도 활용이 가능하며, 따라서 수십 kW급의 소규모 분산형 발전과 수백 kW급의 중규모 발전에도 적용할 수

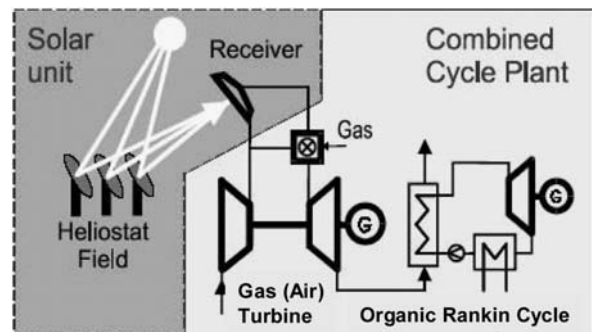


Fig. 3. 가압공기식 태양열발전 시스템 (공기식 흡수기+복합사이클) 개략도

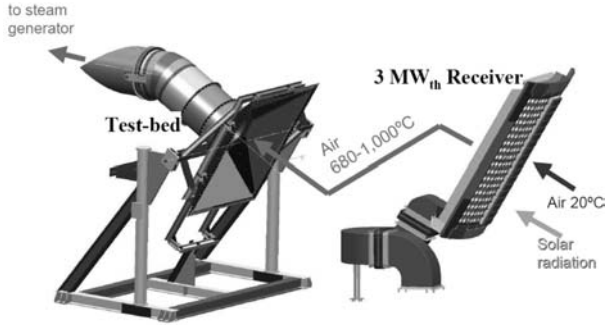


Fig. 4. SOLAIR 프로젝트 공기식 흡수기 (증기터빈 활용).

있다.

가압공기식 태양열 발전의 특징은 공기터빈 압축기에서 약 5 bar 정도로 가압된 공기를 태양열로 집광시켜 700°C에서 최대 약 1,000°C까지 공기온도를 올리고, 가압된 고온의 공기를 이용 공기터빈을 구동하여 전력을 발생시키고, 이후 가스터빈 출구의 배가스를 열교환기에서 다시 활용하여 냉매의 온도를 올린 후 ORC (organic Rankin Cycle) 터빈을 구동하여 전력을 추가로 생산할 수 있다. 이와 같이 공기터빈과 ORC 터빈을 이용하는 발전 방식이 복합발전이며, 복합발전은 최대 약 40%의 발전 효율을 올릴 수 있다. (Fig. 3 참조)

따라서 복합발전을 이용한 태양열발전 시스템은 현재의 대규모 발전방식을 제외하고는 제한된 열에너지를 효과적으로 이용하는 가장 대표적인 발전방식이라 할 수 있다.

## 2.1.2. 기술 및 시장 동향

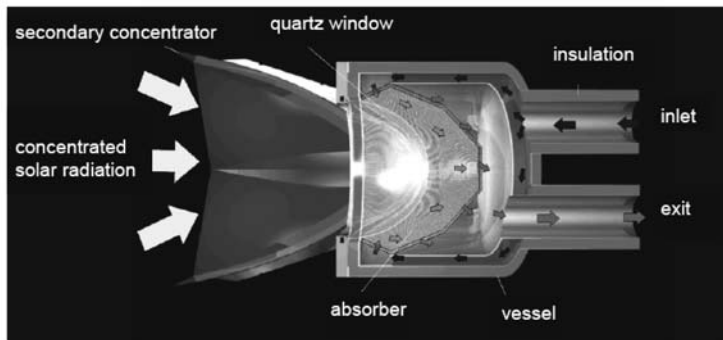


Fig. 5. SOLGATE 프로젝트 가압공기식 흡수기 (가스터빈+증기터빈 활용).

### 가) 기술 동향

공기식 흡수기를 이용한 태양열발전 연구개발은 1993년 PHOEBUS-TSA부터 REFOS, SOLGATE, SOLAIR의 프로젝트를 통하여 스페인, 독일, 이스라엘 등에서 수행하고 있다. PHOEBUS-TAS, SOLAIR, Julich 프로젝트는 공기식 흡수기를 이용하여 고온의 공기를 만들어 증기를 생산한 후, 증기터빈을 구동하는 방식으로 SOLAIR 프로젝트 흡수기의 효율은 약 80% (solar-to-air)을 보였으며, 400°C의 과열 증기를 발생시킨다 (Fig. 4 참조).

REFOS, SOLGATE 프로젝트에서는 가압공기식 흡수기를 이용하여 약 15 bar 정도 고온의 공기를 만들어 가스터빈을 구동하고, 배가스를 이용 증기터빈을 구동하는 방식의 연구를 진행하고 있는데 (Fig. 5 참조), SOLGATE



Fig. 6. Capstone사 마이크로 가스터빈.

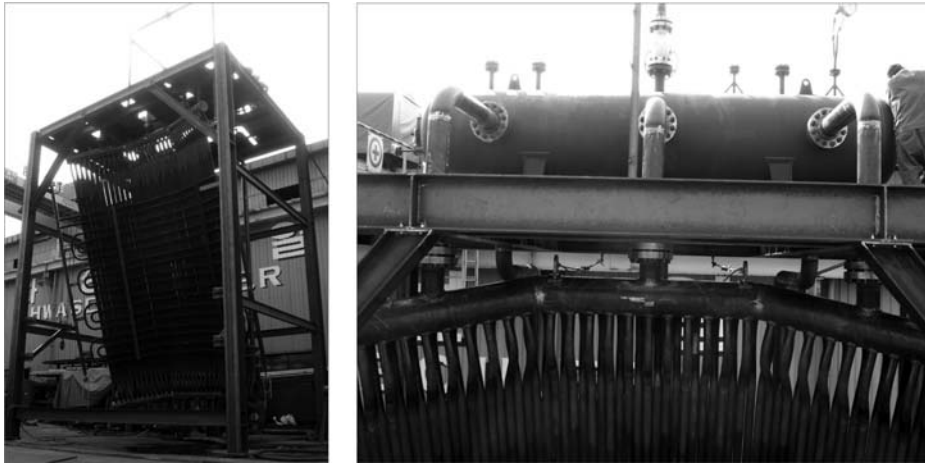


Fig. 7. 1MW급 태양열발전용 흡수기 (KIER).

프로젝트에서는 230 kWe급 ORMAT 헬리콥터용 가스 터빈을 개조하여 태양열발전에서 성공적으로 사용하였다.

한편 가스터빈의 경우, 선진국에서는 수십 kW급의 마이크로 가스터빈 발전기술이 이미 대량생산을 전제로 하여 개발되어 보급되고 있으며, 일본의 타쿠마, 미쓰비시상사, 메이텐샤 등 상당수 회사에서 마이크로 가스터빈 발전기를 미국의 Capstone사에서 들여와 코제너레이션 시스템으로 패키지화하여 보급하려는 연구를 이미 완성하여 시중에 독자모형을 선보이고 있다. 세계에서 가장 앞선 마이크로 가스터빈 발전기 기술을 보유한 것으로

알려지고 있는 Capstone사는 일본에서는 미쓰비시상사, 스미토모상사, 다쿠마, 메이텐샤 등이 주로 출자하고 있으며, 기타 건설기계 임대업을 하는 카나모토가 라이선스 협약 판매중이다. 1998년 미국의 Capstone사가 30 kW급 마이크로 터빈을 이용한 발전 시스템을 세계 최초로 상용화함으로써 새로운 시장이 형성된 이래, 많은 회사들이 개발에 경쟁적으로 뛰어들고 있다 (Fig. 6 참조).

국내의 경우에는 고집광 태양에너지에 기초한 태양열 발전 관련 연구는 한국에너지기술연구원 (KIER)에서 개발을 완료한 접시형 시스템이 상업화를 앞두고 있으며, 대규모 발전관련 연구로는 한·중 국제공동사업을 통해 1 MW급 타워형 발전시스템 개발에 관한 연구와 200 kW급 공기식 타워형 발전시스템 실증에 대한 연구가 진행중에 있다 (Fig. 7 및 Fig. 8 참조).

나) 시장동향

고집광 태양열발전 (Concentrating Solar Power, CSP) 시스템은 수백 개의 집광경을 이용하여 태양광을 집적하여 400~1000°C에 이르는 열이나 전기를 생산하는 장치로서 집광경의 형상, 태양열 추적방식 또는 에너지를 이용하는 방식에 따라 다양한 형태가 있으나, 그 근본원리는 동일하다. 현재 이용되고 있는 CPS 플랜트는 50 MW에서 280 MW급이 대표적이지만, 점점 그 크기가 증가하는 추세에 있다. 지난 5년간 태양열발전 산업은 신기

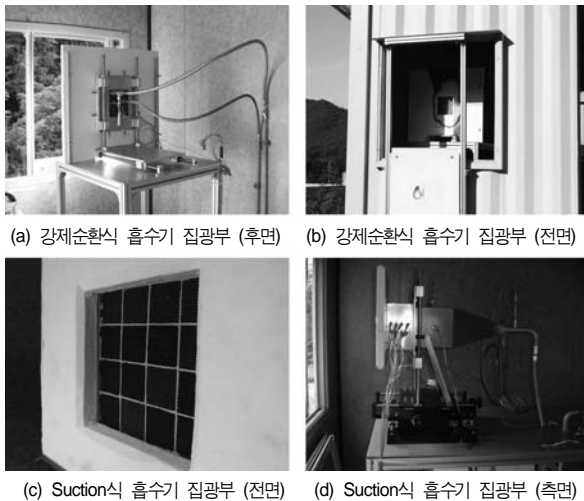


Fig. 8. 200 kW급 태양열발전용 흡수기 시험장치(KIER).

Table 1. 전 세계에서 가동 중이거나 건설 중 또는 제안되고 있는 고집적 태양열발전 (CPS) 시스템 리스트

LOCATION	INSTALLATION NAME / DEVELOPER	STATUS	TYPE	SIZE (MW)	SOLAR OUTPUT (MWe)	INSTALL. DATE
Israel	Ashdod Request for Tender Two solar thermal power plants, each with an installed capacity of between 80MW to 125MW and in the aggregate up to 220MW installed capacity.	P	Trough	220	220	2012
Morocco	Morocco ISCC Plant 2	O	Trough	6	6	TBD
Morocco	Abi Ren Mathar ONE / Abengoa	C	ISCC/Trough	470	301	TBD
Agave	Hass R'mal - Abengoa (GEF Funding)	C	ISCC/Trough	150	251	2010
Egypt	Kusmaiyat Ibaroda/Flag of OCI The Parthia part will be co-financed by a JSC soft loan by US\$7 million. The project will be owned by NREA which will cover the local currency required for the project. (GEF Funding)	C	ISCC/Trough	150	25	2010
Agave	2 x ISCC plants: NEAL Two plants of 400MW each, with 70 MW each of solar energy.	P	ISCC/Trough	800	140	2015
South Africa	Northern Cape Province: Eskom	P	Tower	100	100	TBD
Spain	Solucar PS - 10 - Abengoa Located near Seville, the first Spanish CSP project to connect to the grid. The PS-10 project received €5 million from the European Union 5th Framework programme. It will generate 24 GWh of solar electricity annually.	O	Tower	11	11	2006
Spain	Accesolar TH Abengoa	O	Dish/Stirling	8 x 0.01	0.08	TBD
Spain	Andasol 1 & 2: Solar Millennium/ ACS Cobra	O	Trough	100	100	2006/09
Spain	Andasol 3: Solar Millennium	C	Trough	50	50	2011
Spain	Ibarrillo: Solar Millennium	C	Trough	50	500	2011
Spain	PS-20: Abengoa Construction has already started and will be completed in 2008 at the same site as the PS-1, producing 4.8 GWh/annum.	C	Tower	20	20	2009
Spain	Solnova: Enel/Reddad 1, 3 and 4: Abengoa Three 50 MW plants in construction with another two proposed. Together, Solnova 1, 2, 3, 4 and 5 will produce 114.6 GWh/annum.	C	Trough	150	150	2009-10
Spain	Lubrija: Sacyr, Soler Malaterra	C	Trough	50	50	2010v
Spain	Ibarrillo Ciudad Real: Iberdrola Will produce 114 GWh per annum, over 25 years.	C	Trough	40	40	2009
Spain	Alvarado 1: Acciona	C	Trough	50	50	2009
Spain	Palma de Rio 1 & 2: Acciona Two plants of 50 MW each, the second starts construction June 2009.	C	Trough	100	100	2010
Spain	Puertollano: Iberdrola	C	Trough	50	50	TBD
Spain	Manchaelo 1: ACS Cobra Two plants of 50 MW each.	C	Trough	100	100	2010/11
Spain	Extreid 1 & 2: ACS Cobra Two plants of 50 MW each.	C	Trough	100	100	2009/10v
Spain	Gemasolar (Solar Trough): Renor, Masdar The first utility grade solar power plant with central tower and self receiver technology. It will produce about 100 GWh/yr.	C	Tower	50	17	2008
Spain	PE 1: Novatec/Pradec	O	LFR	1.4	1.4	2009
Spain	Rasajoz: La Dohesa: SAMCA	C	Trough	50	50	2009
Spain	Rasajoz: La Florida: SAMCA	C	Trough	50	50	2010
Spain	Mijas 2: Acciona	C	Trough	50	50	2009
Italy	Solar capacity merged into existing combined cycle plant	C	Trough	760	5	2010
Spain	Andasol 3: Solar Millennium	P	Trough	50	50	2011
Greece	Solar capacity using steam cycle	P	Trough	50	50	TBD
Germany	Solar Tower Jülich	O	Tower	1.5	1.5	2005

LOCATION	INSTALLATION NAME / DEVELOPER	STATUS	TYPE	SIZE (MW)	SOLAR OUTPUT (MWe)	INSTALL. DATE
USA	SEGS VII and IX: Luz / Soler Two plants of 80 MW each.	O	Trough	160	160	1989/90
USA	SEGS 11: VLS Luz / Soler Six plants of 30 MW each.	O	Trough	180	180	1984-89
USA	SEGS 1: Luz / Soler	O	Trough	13.8	13.8	1984
USA	Saguaro APS Plant: Solarpark	O	Trough	1	1	2006
USA	Navajo Solar One: Acciona Construction started in 2009. Commercial operation will produce more than 130 GWh annually.	O	Trough	64	64	2009
USA	Kimberlina: Auroa	O	LFR	5	5	2008
USA	Isiwa Demonstration plant: Sopyo	C	Micro CSP		0.05	
USA	Mojave Solar This plant would power 400,000 homes. A power purchase agreement was made in 2007.	P	Trough	553	553	2011
USA	Solar One, Phase 1: Stirling Energy Systems (SES)	P	Dish-Engine	300	300	2009-2012
USA	Solar Two, Phase 1: SES Stirling Energy Systems (SES) has secured a power purchase agreement with Southern California Edison Company for 500MW of power from their Stirling Engines, with expansion option to 850MW.	P	Dish-Engine	500	500	2009-2010
USA	Solana: Abengoa Located in Arizona, the developer has signed a contract with Arizona Public Service to build and operate it.	P	Trough	280	280	2012
USA	Centro (California): Auroa The components of this installation are being manufactured at a purpose-built facility in the United States.	P	LFR	177	177	2008
USA	Harper Lake (California): NextEra	P	Trough	250	250	2011
USA	Rascon (California): NextEra	P	Trough	250	250	2011
USA	Harshah 1: BrightSource Energy	P	Tower	100	100	2010
USA	Imperial 2: BrightSource Energy	P	Tower	300	300	2012-2013
USA	California: BrightSource Power purchase agreement with PG&E	P	Tower	900	900	TBD
USA	California: BrightSource Power purchase Agreement with Southern California Edison	P	Tower	1500	1500	TBD
USA	Florida: Florida Power And Light, Aural	P	LFR	300	300	No data
USA	New Mexico: eSolar	P	Tower	105	105	2011
USA	Southern California: eSolar Power purchase agreement with SCE	P	Tower	140	140	2011
USA	Coalaska: Mariner Renewables	P	Trough	107	107	2011
USA	Next Generation Solar Centre: NextEra	P	Trough add-on to ISCC	75	75	2011
USA	Solar Two, Phase 2: SES	P	Dish-Engine	600	600	2011
USA	Solar One, Phase 2: SES	P	Dish-Engine	300	300	2013-2014
USA	Navajo: Solar Millennium	P	Trough	250	250	2013/2014
Mexico	Hybrid Solar Thermal Plant: GEF funding, contract not awarded.	P	Trough	480	31	TBD
USA	California: Bethel Energy	P	Parabolic trough	100	100	TBD
USA	Palmdele Hybrid: Inland Energy	P	Trough add-on to ISCC	50	50	TBD
USA	Victrola Hybrid: Inland Energy	P	Trough add-on to ISCC	50	50	TBD
China	China Plant Expansion: Solar Millennium	C	Trough	50	50	TBD
Australia	Liddell Power Station: Auroa/Macquarie	C	LFR	2000	2	2009
					500 MW	
					984 MW	
					7,463 MW	
(Continuing Total Power Output: 2010-83)						

Table 2. 2050년까지의 태양열발전 시스템 시장 전망

YEAR	CSP SYSTEM (MW)	
	Moderate	Advanced
2010	3,945	4,085
2020	68,584	84,336
2030	231,332	342,301
2050	830,707	1,424,172

출처 : Concentrating Solar Power, Global Outlook 2009

솔 도입을 통해 대량생산과 에너지발전에 대한 해결방안의 극복하기 시작하였으며, 전 세계의 태양열발전은 2008년 말에 436 MW급의 태양열발전이 실현되었다.

현재 전 세계에서 지역별로 가동 중이거나 건설 중 또는 제안되고 있는 고집적 태양열발전 시스템의 리스트는 Table 1에 나타내었다. 또한 'Global CSP Outlook 2009'

에 의하면 고준위 에너지효율을 갖는 첨단산업개발 시나리오를 통해 고집적 태양열발전은 2030년 세계의 7% 이상을 담당할 것으로 예측하고 있으며, 2050년에는 25%가 수준으로 되어 매년 41 GW의 성장으로 인해 830 GW될 것으로 예측하고 있다. Table 2에는 이 보고서에서 예측한 2050년까지의 태양열발전 시스템 시장을 예측한 결과로서 안정적인 경우 2050년에 830 GW이며, 최대 1,500 GW의 발전용량에 이를 것이라는 긍정적인 예측까지 제시하고 있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 9에는 이 보고서에서 예측한 2020~2030년까지의 전 세계 지역별 안정적인 고집적 태양열발전 플랜트 건설 예측 시나리오를 나타내었다.

한편 태양열발전 시스템에 장착되는 다공성 탄화규소 세라믹 허니컴 담체에 대한 별도의 시장예측 자료는 발

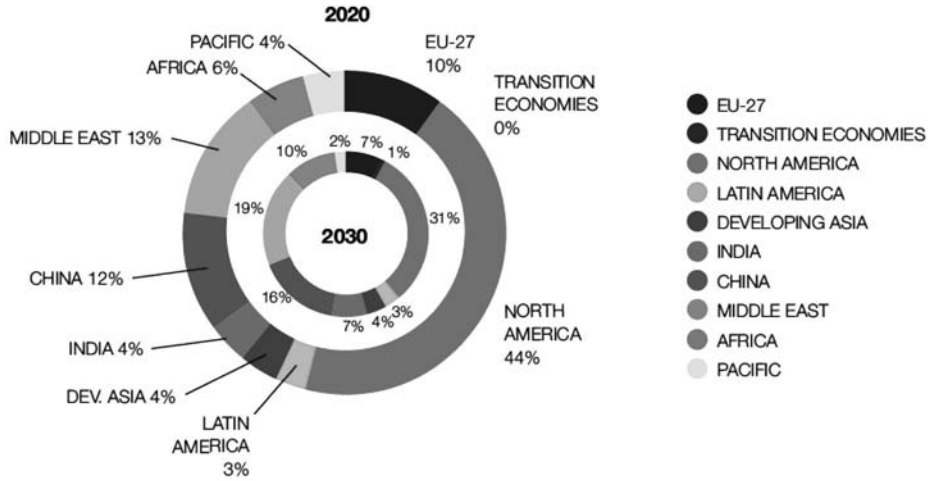


Fig. 9. 2020~2030년까지의 전 세계 지역별 안정적인 태양열발전 플랜트 건설 예측 시나리오.

Table 3. 태양열발전 시스템 흡수기용 소재의 광학적 및 열역학적 요구조건

Optical/Thermodynamic Requirements	Material Requirements
High absorption	Dark
Optical extinction	High porosity
Heat transfer surface	High cell density
High fluxes	Temperature resistance
Radial heat transfer	Thermal conductivity
High permeability	3D-structure

표되지 않은 상태이지만, DPF (Diesel Particulate Filter) 용 코디어라이트질 세라믹 담체를 주로 생산하고 있는 미국 Corning사에서는 전 세계 DPF 시장이 2005년 약 2억5천만 달러에 달했던 것으로 산출하고 있으며, 2008년에 미국과 유럽에서 새로운 기준이 발효됨에 따라 탄화규소 세라믹 허니컴 시장이 약 10억 달러까지 확대될 것으로 전망하고 있다.

따라서 국내의 경우에도 기존의 DPF용 세라믹 담체 시장에 태양열발전용 SiC honeycomb 소재 시장이 추가될 경우, 압출성형 공정에 의한 세라믹 허니컴 담체의 시장은 광범위할 것으로 전망된다.

## 2.2. 태양열발전 시스템용 세라믹 소재

타워형 공기식 태양열발전 시스템은 Fig. 2와 Fig. 3에서 언급한 바와 같이 흡수기 (volumetric receiver)가 반

드시 필요하게 되며, 이 흡수기 내에는 열전도도가 우수하고, 기공율이 높은 다공성 세라믹 소재가 반드시 필요하게 된다. 흡수기 내에 장착되는 다공성 세라믹 소재는 집광된 태양열의 흡수와 열교환을 목적으로 사용되며, 태양열 흡수기용 다공성 세라믹 소재는 Table 3과 같은 광학적, 열역학적 조건이 요구된다.

태양열 흡수기용 다공성 세라믹 소재는 얇은 격벽으로 다중 채널 또는 셸 구조를 갖는 허니컴 (thin-wall multi-channeled honeycomb) 구조의 세라믹 소재를 의미하며, 이러한 세라믹 허니컴은 얇은 격벽을 갖는 형상으로 제조되기 때문에 비표면적이 커져 가스성-고체상 간의 우수한 접촉 성능과 낮은 압력손실에 의한 높은 가스유속을 동반하여 효과적인 물질전달 성능을 나타내어야 한다. 또한 열충격저항성이 우수하여야 할 뿐만 아니라, 다공성 소재임에도 불구하고 기계적 강도 (굽힘강도, 압축강도)가 높은 소재로 개발되어야 하기 때문에 비산화물계 구조세라믹 소재 가운데 탄화규소 (SiC, Silicon Carbide)와 같이 열적, 기계적 물성이 우수한 소재가 가장 적절한 소재로 대두되고 있다.

특히 SiC 세라믹 소재는 원료합성 시부터 검은 색상을 나타내면서 열전도도가 우수한 (100 W/mK 이상) 특징이 있기 때문에 태양열 흡수나 집광이 용이할 뿐만 아니라, 허니컴 다중 채널에 채워져 있는 가스를 효과적으로 가열시킬 수 있는 장점을 동시에 있어 가장 적절한 흡수기

용 소재로 선정되고 있다.

태양열발전 시스템 흡수기용 세라믹 소재는 현재 Fig. 10에 나타난 바와 같이 덴마크나 독일에서 SOLAIR Project (Advanced Solar Volumetric Air Receiver for Commercial Solar Tower Power Plants-ERK6-CT-1999-00021)와 Julich Project를 수행하면서 다공성 SiC 허니컴 소재로서 재결정 SiC (Recrystallized SiC)나 반응소결 SiC (Reaction Sintered SiC) 재질로 개발하여 타워형 태양열발전 플랜트에서 성능평가를 수행 중에 있으며, 흡

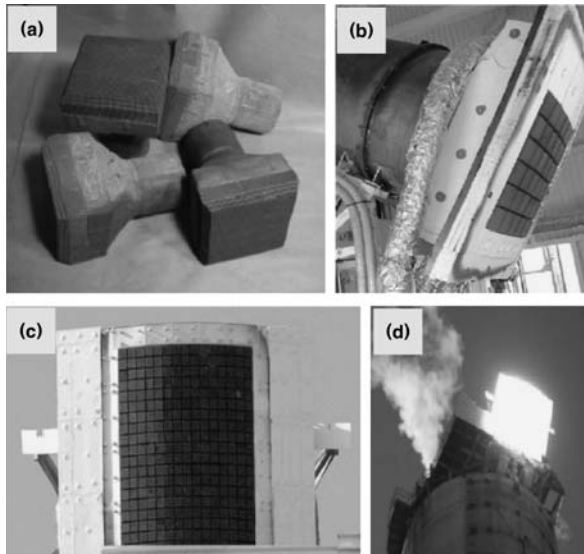


Fig. 10. 선진국에서 개발되어 시험 중인 태양열발전 흡수기용 다공성 SiC 허니컴 소재 및 모듈 : (a) Volumetric receiver honeycomb units, (b) Modular SOLAIR-200kW receiver assembly, (c) SOLAIR-200kW receiver assembly, (d) SOLAIR-200kW receiver operation.

수기 모듈은 프랑스의 Saint-Goabin 사에서 사용으로 제작하고 있다.

SOLAIR 프로젝트는 우수한 집광능, 고내구성, 고온 안정성을 갖는 고효율, 저가의 세라믹 태양열 흡수기 개발을 목표로 최소의 모듈을 적용하여 기계적이나 열적 응력을 최소화시키고, 유지/보수가 용이하면서 최대의 시스템 성능을 갖는 모듈 설계와 디자인을 개발하고 있다.

한편 SiC 소재를 이용한 다공성 허니컴 소재의 개발은 디젤 자동차의 매연저감 장치인 DPF (Diesel Particulate Filter)로 적용하기 위해 개발된 바 있으며, 전 세계적으로 일본의 IBIDEN Co. Ltd.나 NGK Insulators Ltd., 프랑스 SAINT-GOBAIN사, 미국의 Corning사가 대표적인 생산기업이며, 국내의 경우에도 (주)칸세라에서 2009년부터 상업용으로 생산을 하기 시작하였다.

그러나 DPF용 다공성 SiC 허니컴 소재는 태양열 흡수기용 다공성 SiC 허니컴 소재와 기본적인 형상이나 구조는 유사하지만, 적용 환경에서의 요구 특성이 다르기 때문에 물리적 특성 (밀도, 기공율, 기공크기 및 분포), 기계적 특성 (굽힘강도, 압축강도), 열적 특성 (열전도도, 열팽창계수) 등에서 차별성을 갖도록 개발되어야 한다.

특히 태양광발전용 흡수기와 같이  $\Delta T$  700°C 이상의 열충격이 가해지는 분위기나, 고압 (5 bar)이 적용되는 환경에서 장기 내구성을 갖는 다공성 SiC 허니컴 소재를 개발하기 위해서는 출발원료 SiC의 입도 및 소결조건 선정, 압출성형용 유기바인더의 선정과 다공성이면서 고강

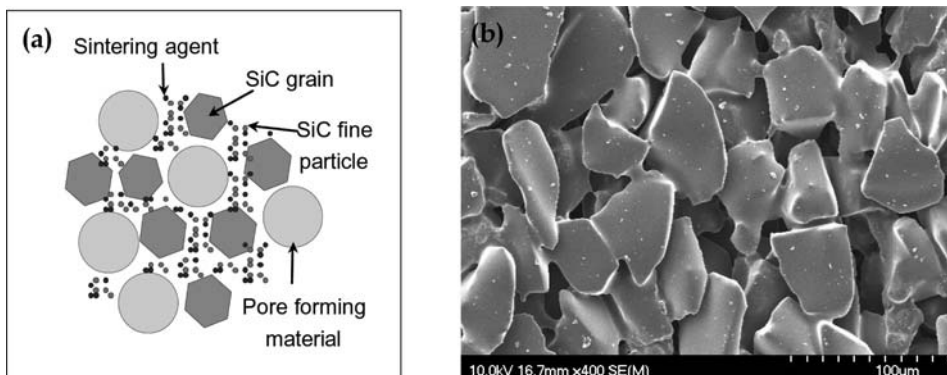


Fig. 11. (a) 기공 및 미세구조 제어 모식도 및 (b) 다공성 SiC 허니컴 소재 미세구조 일례 (칸세라 DPF 필터 자료 참조).

도 부여하기 위한 성형 및 소결방법 제어를 통하여 성형 밀도 및 셀밀도가 제어된 SiC 허니컴 소재의 형상화 기술과 미세구조가 제어된 well-necked grain boundary 형성을 위한 소결기술이 반드시 개발되어야 한다. (Fig. 11 참조)

또한 제조된 세그먼트 셀의 접합을 통한 모듈화 기술과 전열면적 극대화 기술의 확립여부가 태양열발전용 흡수기 소재의 핵심기술이라 할 수 있다.

현재 한국에너지기술연구원 (KIER)에서는 10kW급 가압공기식 흡수기-가스터빈 시스템 개발과의 성능시험에 적용시키기 위한 다공성 SiC 허니컴 소재의 개발을 수행 중에 있으며, 이를 위해 다양한 입도의 SiC 원료와 소결조제 변화를 통하여 압출성형 (extrusion)에 의한 사각 및 육각 셀 구조를 갖는 허니컴 형상화 공정과 이들 성형체를 상압소결 및 반응소결 공정을 적용하여 다공성 이면서 고강도 특성을 보유하며, 전열면적이 우수한 허니컴 소재 개발을 수행 중에 있다.

### 3. 결 론

에너지·환경 산업 분야에서 소재산업은 에너지기구나 시스템을 구성하는 가장 핵심적인 원천기술임에 따라 태양열발전용 흡수기용 다공성 SiC 허니컴 소재의 개발을 통한 발전기술은 화석연료를 사용하지 않기 때문에 온실가스 등의 환경오염 물질을 발생시키지 않는 장점이 있어 청정에너지원 확보를 위한 매우 중요한 신재생에너지 기술이다.

한편 최근에는 태양열발전의 경제성 및 활용성을 확대하기 위하여 기존 화력발전과의 경쟁이 필수적이 되었고, 이를 위하여 발전효율의 향상이 요구되고 있는 상황에서 가스터빈과 증기터빈을 동시에 활용하는 태양열 복합발전 방식이 주목받게 되었다.

또한 에너지·환경 산업 분야에서 소재산업은 에너지기구나 시스템을 구성하는 가장 핵심적인 원천기술임에 따라 태양열발전용 흡수기용 다공성 SiC 허니컴 소재의 개발을 통한 발전 기술은 화석연료를 사용하지 않기 때문에 온실가스 등의 환경오염 물질을 발생시키지 않는

장점이 있어 청정에너지원 확보를 위한 매우 중요한 신재생에너지 기술이다.

이에 따라 태양열 발전용 다공성 SiC 허니컴 소재의 성공적인 개발은 최근의 저탄소·녹색성장에 부응할 수 있는 신재생에너지 분야의 새로운 세라믹 소재 기술이며, 개발기술의 확립을 통해 침체되어 있는 국내 구조세라믹 소재 산업분야의 시장활성화에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 DPF 소재로 형성된 다공성 SiC 허니컴 소재 시장 외에 신재생에너지 분야를 대상으로 한 시장다변화와 세계시장 진출을 통한 우리나라의 소재산업을 활성화시킬 수 있는 경제·산업적으로 매우 중요한 기술이라 판단된다.

### 감사의 글

본고는 지식경제부 산업기술이사회 주요연구사업의 지원을 받아 작성되었음에 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. PSA Annual Report '97 - Technical Description and Project Achievements, pp.49-67.
2. Christos C. Agrafiotis, Ilias Mavroidis, Athanasios G. Konstandopoulos, Bernard Hoffschmidt, Per Stobbe, Manuel Romero, Valerio Fernandez-Quero, "Evaluation of Porous Silicon Carbide Monolithic Honeycombs as Volumetric Receivers/collectors of Concentrated Solar Radiation", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **91** 474-88 (2007).
3. Peter Heller, Markus Pfänder, Thersten Denk, Felix Tellez, Antonio Valverde, Jesús Fernandez, Arik Ring, "Test and Evaluation of a Solar Powered Gas Turbine System", *Solar Energy*, **80** 1225-30 (2006).
4. M. Becker, Th. Fend, B. Hoffschmidt, R. Pitz-Paal, O. Reutter, V. Stamatov, M. Steven, D. Trimis, "Theoretical and Numerical Investigation of Flow Stability in Porous Materials Applied as Volumetric Solar Receivers", *Solar Energy*, **80** 1241-48 (2006).
5. Thomas Fend, Robert-Pitz-Paal, Oliver Reutter, Jörg Bauer, Bernhard Hoffschmidt, "Two Novel High-porosity Materials as Volumetric Receivers for Concentrated Solar Radiation", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **84** 291-304 (2004).





6. Zhiyong Wu, Cyril Caliot, Fengwu Bai, Gilles Flamant, Zhifeng Wang, Jinsong Zhang, Chong Tian, "Experimental and Numerical Studies of the Pressure Drop in Ceramic Foams for Volumetric Solar Receiver Applications", *Applied Energy*, **87** 504-13 (2010).

7. Concentrating Solar Power, Global Outlook 2009, Greenpeace International SolarPACES and ESTELA.

### ●● 한인섭



- 1985. 명지대학교 무기재료공학과 학사
- 1987. 명지대학교 무기재료공학과 석사
- 1995. 명지대학교 무기재료공학과 박사
- 2007. 한국에너지기술연구원 융복합재료연구센터 센터장
- 현재. 한국에너지기술연구원 반응분리소재 연구센터 책임연구원

### ●● 서두원



- 1991. 한밭대학교 무기재료공학과 학사
- 1996. 배재대학교 무기재료공학과 석사
- 현재. 한국에너지기술연구원 반응분리소재 연구센터 선임기술원

### ●● 홍기석



- 1986. 대전공업대학교 금속공학과 학사
- 1994. 청주대학교 공업재료과 석사
- 현재. 한국에너지기술연구원 반응분리소재 센터 책임기술원