

신재생에너지 기술과 세라믹스

글 _ 이상국, 한인섭, 김세영
한국에너지기술연구원

1. 서론

21세기들어 에너지 고갈 및 지구환경 문제의 심각화에 따라 세계 각국들은 그린에너지 기술 개발을 통하여 탄소의존형 경제 패러다임에서 벗어남과 더불어 향후 시장 선점을 위해 국가별로 전략적 대응을 강구하고 있다. 미국의 경우 오바마 정부에서는 화석연료 사용을 줄이기 위해 대체에너지 및 에너지 절약형 자동차 등의 개발에 투자하는 그린 뉴딜정책을 추진하고 있으며 유럽연합은 신재생 에너지 법을 기반으로 녹색산업경쟁력 강화를 위한 지원을 강화하고 있다. 또한 일본의 경우 2050년까지 온실가스를 50% 감축하기 위하여 고효율 저비용 태양발전 기술 및 수소연료화 기술 등의 혁신기술개발에 관련된 구체적 실행전략을 포함한 Cool Earth 50 프로그램을 추진하고 있다.

총 에너지의 97% 이상을 수입에 의존하고 있는 우리나라의 경우 세계 10위의 에너지 다소비국가로 에너지소비 증가율은 여전히 최상위에 속하고 있는 반면, 소요에너지의 전량을 수입에 의존하고 있는 실정으로 에너지의 안정적 확보, 에너지 저소비형 경제·사회구축, 기후변화협약의 효율적 대응 등 국가적인 과제를 안고 있다. 따라서 우리나라의 경우에도 환경/자원 위기에 대응하기 위하여 저탄소 녹색성장 전략이 필요하게 되었으며 정부에서는 2009년부터 녹색성장 5개년 계획을 추진하고 있다. 이러한 저탄소 녹색성장 전략의 중심에는 신재생에너지 산업이 자리 잡고 있다. 최근 정부가 확정 발표한 “2030 신재생에너지 보급 기본 계획”에 따르면 2030년까지 총 에너지 소비의 11%를 신재생에너지로 대체한다는 목표

를 제시하였으며, 이에 따른 CO₂ 저감 예상량은 약 8천 1백만톤으로 국내 CO₂ 배출 저감에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 이러한 재생에너지 보급에 의한 CO₂ 저감량중 바이오에너지에 의한 CO₂ 저감 기여율은 약 45%로 가장 큰 비중을 차지할 것으로 예상된다.

신·재생에너지는 화석연료를 변환·이용하거나(신에너지) 햇빛·물·지열·강수·생물유기체 등 자연의 재생가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지(재생에너지)로 「신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법」 제2조의에 의거 11개 분야로 구분한다. 신에너지는 연료전지, 석탄액화·가스화 및 중질 잔사유 가스화, 수소에너지 등 3개 분야이고, 재생에너지는 태양광, 태양열, 바이오, 풍력, 수력, 해양, 폐기물, 지열 등 8개 분야이다.

이러한 신재생 관련 에너지 기술은 정부의 주도하에 저탄소 녹색성장을 이루기 위한 가장 중요한 동력원으로 추진되고 있는 기술이다. 특히 정부는 2008년 현재 2%에 불과한 신재생에너지 사용 비율을 2030년에는 11%, 2050에는 20% 이상 사용하는 것을 목표로 하고 있다. 이에 따라 광에너지 변환 및 열전발전 분야에서 13,000 TOE의 시장 형성이 예상되며, 수소에너지 변환의 경우 지식경제부에서는 2012년까지 분산전원(250~1000kW 급) 300기, 건물용(10~50kW 급) 2,000기, 가정용(3kW 급) 10,000기, 승용차 및 버스 15,000기의 보급을 목표로 하며 580억원 규모의 자동차용 연료전지 시장을 예상하고 있다. 초고용량 커패시터의 경우에도 향후 하이브리드 자동차의 보급에 따른 300억원 규모의 급격한 시장 확대가 예측되는데, 특히 차세대 성장동력의 일환으로서 신소재 개발 및 실용화를 위해 지속적인 투자 확대가 이

루어질 것으로 예상된다.

본 고에서는 신재생에너지 기술 중 태양전지 및 연료 전지 등을 제외한 태양열, 풍력 및 IGCC 기술 및 이에 관련된 세라믹소재에 대해 간략히 기술하였다.

2. 본 론

2.1. 태양열 기술

2.1.1. 기술 개요

태양에너지는 지구상에서 최대의 신재생 에너지 자원이라 할 수 있다. 이런 태양에너지원은 풍력 또는 바이오메스 보다 전 세계의 훨씬 넓은 지역에 걸쳐 고르게 분포하고 있어, 보다 넓은 지역에서 에너지원의 이용이 가능하다. 태양에너지는 빛(광)을 이용하는 방법과 복사열을 이용하는 방법이 있다.

태양열 에너지를 이용하는 기존의 방법은 건물에 일사되는 태양에너지를 수동적으로 활용하거나, 평판형 혹은 진공관형 집열기 등을 이용하여 열에너지를 회수하여 난방이나 급탕 등의 목적으로 활용하는 기술이 널리 적용되고 있다. 즉, 태양열 시스템은 열매체의 구동장치 유무에 따라서 자연형(passive) 시스템과 설비형(active)시스템으로 구분된다. 전자는 온실, 트롬월과 같이 남측의 창문이나 벽면 등 주로 건물 구조물을 활용하여 태양열을 집열해서 이용하는 장치이며, 후자는 집열기를 별도로 설치해서 펌프와 같은 열매체 구동장치를 활용해서 태양

열을 집열하는 시스템으로 보통 후자를 흔히 태양열 시스템이라 한다. 집열 또는 활용온도에 따른 분류는 일반적으로 저온용, 중온용, 고온용으로 분류하기도 하며, 각 온도별 적정집열기, 축열방법 및 이용분야는 Table 1과 같다. 그러나 태양에너지를 고집광 장치를 통하여 열을 집적하여 고온의 태양열 에너지를 얻어 활용할 경우 보다 다양하고 높은 효율의 첨단분야 활용이 가능하다.

태양열 발전은 일사된 태양의 복사에너지를 고비율로 집광하여 회수된 고온 (250~1200°C)의 열에너지를 이용, 발전설비를 구동하여 전기에너지를 얻는 것으로서 Fig. 1과 같이 집광, 흡수, 저장, 발전 시스템을 포함하고 있다.

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 열에너지 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, 공기순환부와 전력 발생부로 나눌 수 있다. Heliostat에서 반

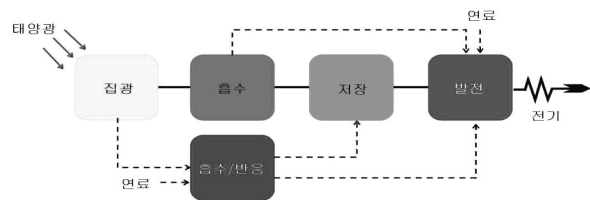


Fig. 1. 태양열 발전 시스템의 기본 구성.

Table 1. 태양열 기술 분류방법

구분	자연형		설비형	
	저온용	중온용	중온용	고온용
활용온도	60°C 이하	100°C 이하	300°C 이하	300°C 이상
집열부	자연형시스템 공기식집열기	평판형 집열기	PTC형집열기 CPC형집열기 진공관형집열기	Dish형집열기 Power Tower, 태양로
축열부	Tromb Wall (자갈, 현열)	저온축열 (현열, 잠열)	중온축열 (잠열, 화학)	고온축열 (화학)
이용분야	건물공간난방	냉난방·급탕, 농수산 (건조, 난방)	건물 및 농수산분야 냉·난방, 담수화, 산업공정열, 열발전	산업공정열, 열발전, 우주용, 광촉매폐수처리 광화학, 신물질제조

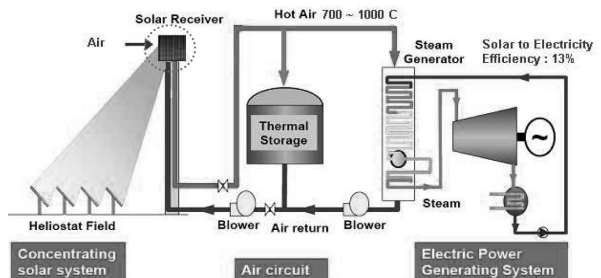


Fig. 2. 공기식 태양열발전 시스템 (공기식 흡수기 + 증기사이클) 개략도.

사/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 발전 형식으로 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 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)

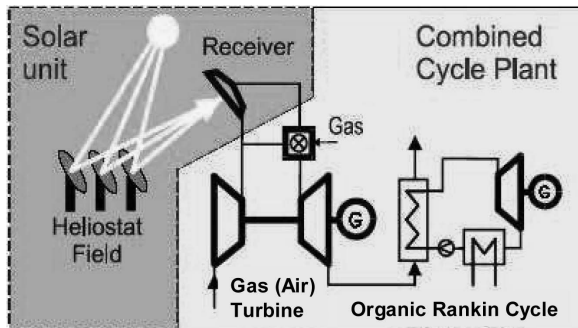


Fig. 3. 가압공기식 태양열발전 시스템 (공기식 흡수기+복합사이클) 개략도.

2.1.2. 태양열발전용 세라믹 소재

타워형 공기식 태양열발전 시스템은 Fig. 2와 Fig. 3에서 언급한 바와 같이 흡수기 (volumetric receiver)가 반드시 필요하게 되며, 이 흡수기 내에는 열전도도가 우수하고, 기공율이 높은 다공성 소재가 반드시 필요하게 된다. 흡수기 내에 장착되는 다공성 소재는 집광된 태양열의 흡수와 열교환을 목적으로 사용되며, 흡수기용 다공성 세라믹 소재는 Table 2와 같은 광학적, 열역학적 조건이 요구된다.

흡수기용 다공성 세라믹 소재는 얇은 격벽으로 다중 채널 또는 셀 구조를 갖는 허니컴 (thin-wall multi-channeled honeycomb) 구조의 세라믹 소재를 의미하며, 이러한 세라믹 허니컴은 얇은 격벽을 갖기 때문에 비표면적이 커짐에 따라 우수한 가스상-고체상 간의 접촉과 낮은 압력손실에 의한 높은 가스유속을 동반하기 때문에 우수한 물질전달 성능을 나타내어야 한다. 또한 열충격 저항성이 우수하여야 할 뿐만 아니라, 다공성 소재임에도 불구하고 기계적 강도 (굽힘강도, 압축강도)가 높은 소재로 개발되어야 하기 때문에 탄화규소 (SiC, silicon carbide)와 같이 열적, 기계적 물성이 우수한 비산화물계 구조세라믹 소재로 개발되고 있다.

특히 SiC 세라믹 소재는 원료합성 시부터 검정 색상을 나타내면서 열전도도가 우수한 특징이 있기 때문에 태양열 집광이 용이할 뿐만 아니라, 동시에 허니컴 다중 채널에 채워져 있는 가스를 효과적으로 가열시킬 수 있는 장점이 있어 가장 적절한 흡수기용 소재로 선정되고 있다.

태양열발전 시스템 흡수기용 세라믹 소재는 현재 유럽에서 SOLAIR Project (Advanced Solar Volumetric Air Receiver for Commercial Solar Tower Power Plants-ERK6-CT-1999-00021)를 수행하면서 다공성 SiC 허니

Table 2. 흡수기 소재에 요구되는 광학적 및 열역학적 조건

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

컴 소재를 재결정 SiC (recrystallized SiC)나 반응소결 SiC (reaction Sintered SiC) 재질로 개발하여 타워형 태양열발전 플랜트에서 성능평가를 수행 중에 있다. (Fig. 4 참조)

SOLAIR 프로젝트는 우수한 집광능, 고내구성, 고온 안정성을 갖는 고효율, 저가의 세라믹 태양열 흡수기 개발을 목표로 최소의 모듈을 적용하여 기계적이나 열적

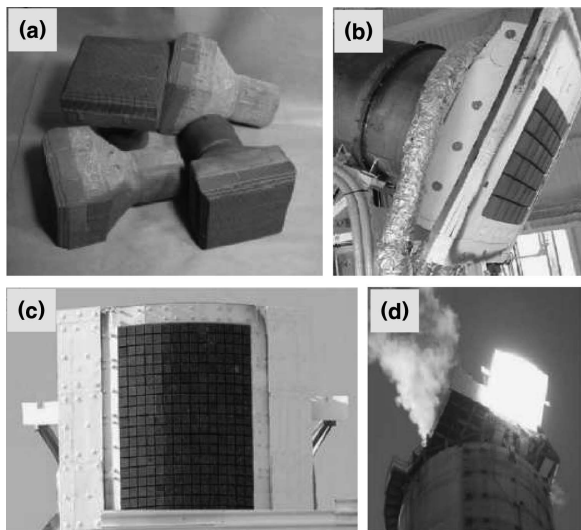


Fig. 4. 선진국에서 개발되어 시험 중인 태양열발전 흡수기용 다공성 SiC 허니컴 소재 및 모듈 : (a) Volumetric receiver honeycomb units (b) Modular SOLAIR-200kW receiver assembly (c) SOLAIR-200kW receiver assembly, and (d) SOLAIR-200kW receiver operation.

응력을 최소화시키고, 유지/보수가 용이하면서 최대의 시스템 성능을 갖는 모듈 설계와 디자인을 개발하고 있다.

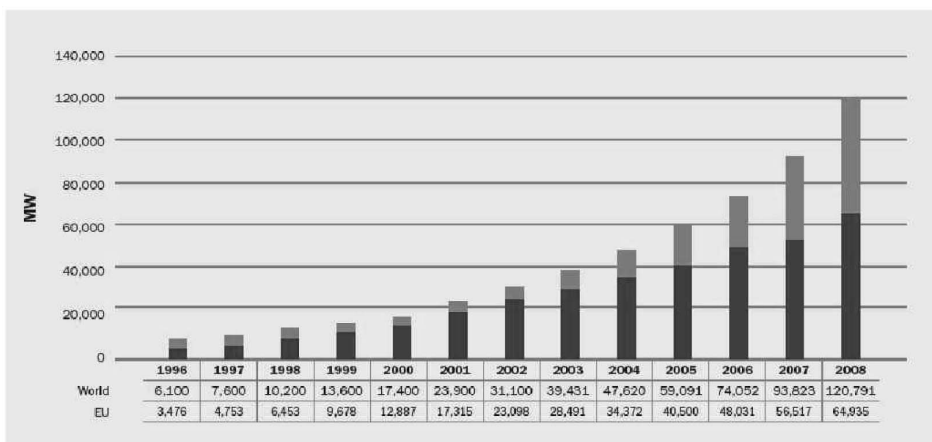
2.2. 풍력발전 기술

2.2.1. 기술 개요

풍력발전은 자연의 바람으로 풍차를 돌리고 풍차에 연결된 기어기구 등을 이용하여 발전기를 돌리므로 전기를 생산하는 장치이다. 즉, 풍력발전은 무공해 에너지원으로 바람의 힘을 회전력으로 변환시켜 발생하는 전력을 전력 계통이나 수요자에게 직접 공급하는 기술이다. 이러한 풍력 에너지 개발에서 가장 큰 관심사 중 하나는 생산 단가의 절감이다. 생산 단가를 줄이기 위한 여러 방법 중 하나는 주어진 풍속에서 최대의 에너지를 흡수할 수 있는 블레이드 형상을 결정하는 것이다.

풍력발전은 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 2009년 현재 미국, 중국시장 확대에 따른 유럽중심의 세계 풍력시장 구도가 변화되고 있으며, 연평균 약 27%의 높은 성장률을 유지하고 있다. 이는 향후에도 연평균 10% 이상의 성장이 가능함을 나타내며, 최근 육상풍력 자원의 한계 극복 및 풍력발전 시스템 대형화에 따른 경제성 향상을 위해 해상풍력 보급이 점유율 전체 대비 20% 이상 성장하고 있다.

이러한 풍력발전의 경제성 확보를 위해서 그 효율을



Source: GWEC/EWEA

Fig. 5. 세계 풍력시장 발전 추이.

높이는 연구가 지속적으로 이루어지고 있으며, 이는 아래의 (식 1)에서와 같이 풍력발전 시스템의 회전면적을 증가시키는 방향으로 집중되고 있다. 또한 이외에도 풍력발전 시스템의 효율 증대 및 유지보수 비용을 최소화하여 효율을 증가시키는 연구개발 역시 활발히 진행되고 있다.

$$\text{Power in the wind} = 1/2\rho AV^3 \quad (\text{식 1})$$

(ρ : air density, A : area of the circle swept by rotor, V : wind velocity)

최근들어 세라믹 소재는 풍력발전 시스템의 연구개발의 여러 분야에 중추적인 역할을 하고 있으며, 고효율의 시스템을 위해 적용되고 있다.

2.2.2. 풍력발전용 세라믹 소재

풍력발전 시스템의 대형화를 위한 풍력발전기의 블레이드는 섬유강화 플라스틱 (FRP ; Fiber Reinforced Plastic)으로 제작되며, 현재까지는 주로 유리섬유를 강화한 GFRP (Glass FRP)가 사용되고 있다. 그러나 최근 풍력발전 시스템의 효율향상을 위해 블레이드의 회전반경이 매년 30%씩 증가하여 현재 약 120m에 이르게 되면서 무게에 따른 효율 감소와 설치 비용이 크게 늘어나게 되었다. 이를 극복하기 위해 유리섬유를 대체하는 탄

소섬유의 사용이 점차 늘어나고 있으며, 이에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다.

탄소섬유는 유리섬유에 비해 비강도가 우수하여 대형 블레이드 제작의 경우, 블레이드의 강성은 유지함과 동시에 그 무게를 유리섬유에 비해 줄일 수 있어 풍력발전 시스템 효율증가에 큰 역할을 하게 된다. Fig. 6에는 유리섬유와 탄소섬유의 기계적 성질 그래프를 나타내었다. 그러나 탄소섬유의 경우, 현재까지 가격이 유리섬유에 비해 매우 높기 때문에 이를 보완한 유리섬유와 탄소섬유를 혼용한 hybrid 구조를 이용한 블레이드가 적용되고 있다.

한편 풍력발전 시스템의 효율 증가를 위한 세라믹 소재는 풍력발전 시스템 내의 발전기 베어링에서 주된 파손 현상은 부식 (electrical pitting 및 erosion)에 의하여 발생한다. 이러한 부식은 current arc를 발생시키며, 이는 금속 베어링과 접촉된 곳으로 이동하여 부식 현상을 심화시키게 된다. 이러한 부식 현상을 Fig. 7에 나타내었다.

특히, 최근 해상 풍력발전이 크게 성장함에 따라 금속 베어링의 부식 현상은 큰 문제로 떠오르게 되었다. 이를 해결하기 위해 많은 풍력시스템 기업들은 세라믹 베어링, 세라믹 하이브리드 베어링 (steel races with ceramic bearing) 또는 세라믹 코팅 베어링을 적용하기 시작하였다. 세라믹 베어링은 current arc가 발생하지 않으며, 작은 입자가 존재하거나 고온의 환경에서 금속 베어링보다 우수

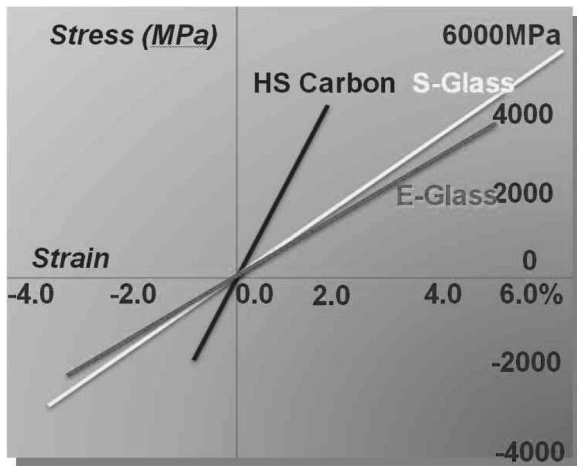


Fig. 6. 유리섬유와 탄소섬유의 기계적 성질.

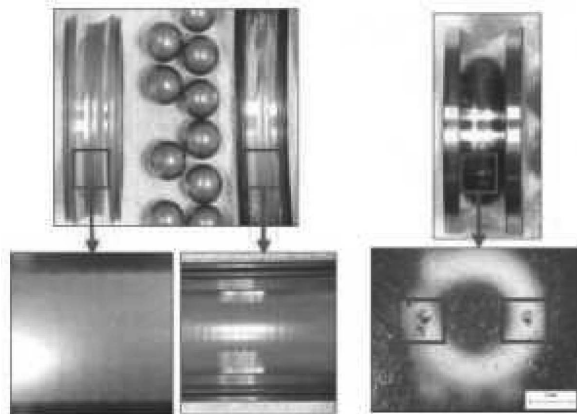


Fig. 7. The race damage in both cases above is attributed to stray current from an improperly grounded generator. Electricity takes the path of least resistance, and sometimes that is through a bearing.

한 수명을 나타내며, 그 윤활 특성을 잃지 않는 장점이 있다. 또한, 낮은 열팽창과 고른 표면 조도, 높은 경도와 강성 그리고 비강도와 부식저항성에도 매우 우수함에 따라 그 적용분야가 매우 넓을 뿐만 아니라, 금속 베어링에 비해 수명이 길기 때문에 노후 베어링 교체에 따른 비용 절감 (1회 베어링 교체에 약 \$10,000의 비용이 크레인과 인력사용에 따라 소요)에 큰 효과가 있다. 현재 SAINT-GOBAIN 사에서는 silicon nitride (Si_3N_4) 소재를 이용하여 풍력발전기용 베어링을 CERBEC®이라는 제품명으로 생산하고 있으며, Fig. 8에 기존 금속 베어링과 비교한 수명 실험 결과를 나타내었다.

이외에도 풍황에 따라 블레이드의 형상을 변화시켜주는 지능형 액츄에이터 역할을 하는 자성소재 (ferroelectric)인 piezoelectric, electrostrictive 그리고 magnetostrictive 소재들이 풍력발전기용 세라믹 소재로 사용되고 있다.

2.3. IGCC 기술

2.3.1. 기술 개요

석탄의 가스화 연구 중 석탄가스화 복합 발전 시스템 (IGCC, Integrated Gasification Combined Cycle)은 가압유동층 연소방법 (PFBC, Pressurized Fluidized-Bed Combustion), Integrated Gasification Advanced Cycle (IGAC) 및 Integrated Gasification Fuel Cell (IGFC)과 함께 에너지효율 극대화화 청정에너지를 생산을 위한 차세

대 화력발전 시스템 기술로서 부각되고 있다.

IGCC 기술은 기존의 유연탄 화력발전에 비해 고정정 환경성, 고효율, 기술의 진보에 따른 지속적인 시스템 개선이 가능한 기술 특성과 저렴한 발전 및 설비단가, 연료의 유연성, 최종 생성물의 다양한 이용분야 등의 경제적인 특징을 갖고 있다.

IGCC 기술이 다른 석탄연소기술에 비해 두드러지는 장점이 있는데, SO_x 의 제거효율이 높고, NO_x 배출도 천연가스를 이용할 경우와 대등한 수준을 나타내며, 지구온난화의 주 원인인 CO_2 의 배출도 저감시킬 수 있을 뿐만 아니라 입자상 (고상) 물질의 배출에 의한 환경오염 저감에도 크기 기여할 수 있는 기술이다. IGCC 시스템은 연료와 탈황제 주입시스템, 가스화 시스템 (gasifier), 배가스 정제시스템, 발전시스템 (가스터빈, 증기터빈, reactor), 폐열회수 시스템 등으로 구성되어 있으며, Fig. 9에 IGCC에 의한 전체 공정과 다양한 에너지생산 시스템의 개념도를 나타내었다. 여기에서 연료인 석탄은 탈황제인 석회석이나 백운석과 함께 연소로로 주입되어 연소되며, 고온·고압의 연소 배가스는 고온·고압 집진시스템으로 유입되어 분진입자를 포집, 제거하며, 청정 배가스로 전환된 고온·고압의 배가스를 이용하여 가스터빈을 회전시켜 전력을 발생시킨다. 또한 가스터빈의 회전축과 연결되어 있는 압축기로부터 고압의 압축공기가 연소로로 주입되고, 이때 가스터빈을 지나온 배가스는 폐열회수 시스템에 의하여 추출된 폐열을 이용하여 증기터빈을 회전시켜 전력을 발생시킨다.

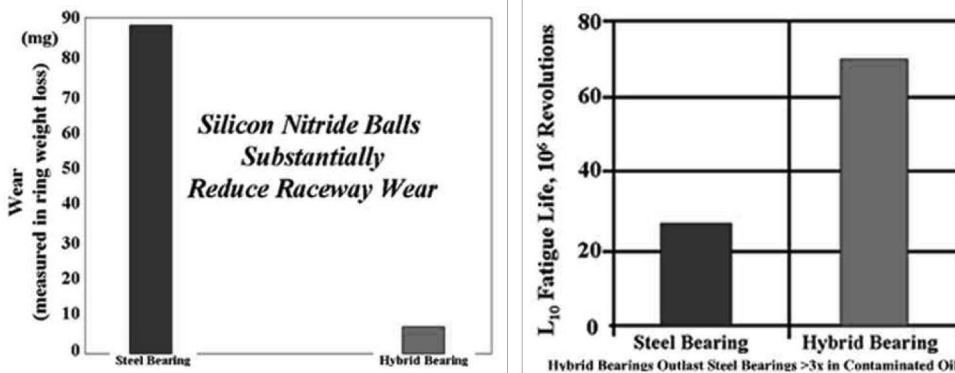


Fig. 8. SAINT-GOBAIN 사의 CERBEC® (hybrid bearing) 제품의 수명 비교실험 결과.

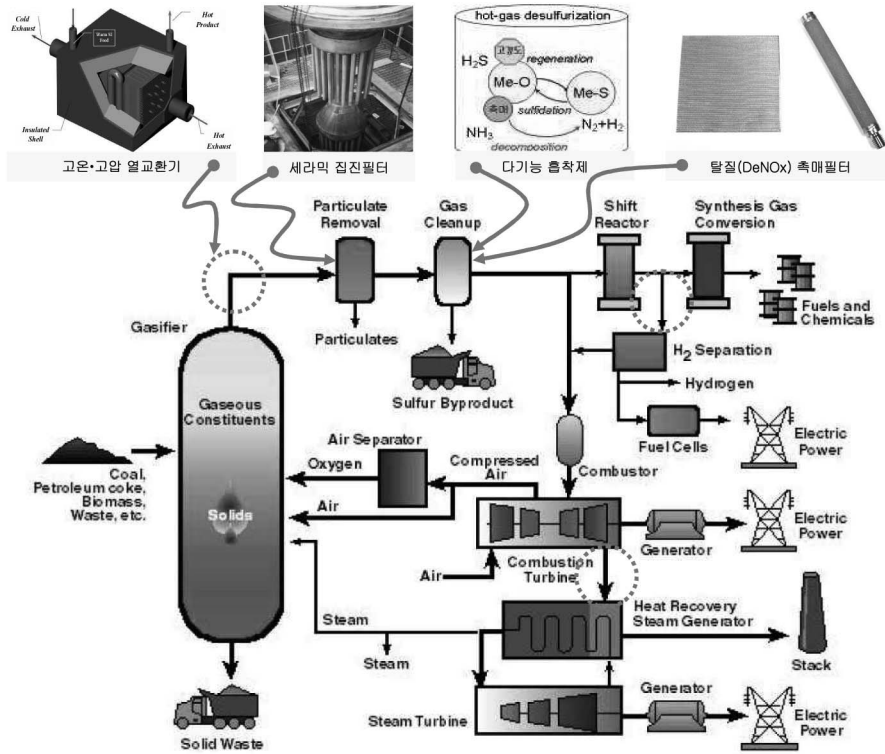


Fig. 9. 석탄가스화복합발전 (IGCC) 시스템을 구성하고 있는 핵심원천소재 분야.

2.3.2. IGCC용 세라믹 소재

IGCC 공정은 2단계의 연소과정, 즉 1단계의 연소과정에서 석탄의 부분산화에 의한 가스화 과정을 거친 후, 2단계에서 탈황된 가연성 석탄가스를 터빈 연소기에서 재연소시키는 과정을 거치기 때문에 고온·고압 정밀집진 기술이 필수적으로 요구된다. 또한 집진기술의 향상에 따라 시스템의 열효율 향상뿐만 아니라 설비투자비나 운전비를 절감할 수 있기 때문에 고온·고압 조건의 합성가스 중에 함유된 미세입자상 물질 및 공해물질을 동시 처리하기 위한 초고도 정제 집진기술 확보나 이의 상용화 개발은 매우 중요하다.

고온가스 내에 존재하는 입자상 물질의 제거를 위한 장치들로는 싸이클론, 전기집진기, GBF (Granular Bed Filter), 다공성 세라믹 필터 등과 같은 다양한 방법들이 사용되거나 개발되고 있다. 다공성 세라믹 필터가 다른 방식의 집진장치들에 비하여 집진효율이 월등히 우수하기 때문에 대부분의 학계와 산업계 연구들이 다공성 세

라믹 필터를 이용한 집진시스템 개발에 집중되고 있는 추세에 있음을 알 수 있다. 그러므로 실제 공정에서 사용되고 있는 배가스 정제 방법으로는 일차적으로 싸이클론에서 큰 먼지입자를 제거한 후, 세라믹 필터를 이용하여 이차집진을 하고 있다.

현재 IGCC 공정의 집진 목표는 10,000ppm~20,000ppm으로 배출되는 분진을 400~500℃, 20~30 기압에서 10ppm 이하로 집진하는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 IGCC 시스템의 온도는 500℃ 정도로서 PFBC의 750~900℃에 비해 상대적으로 낮지만, 작동압력이 약 25 기압으로 PFBC의 6~10 기압 범위에 비해 2배 이상의 고압에서 작동된다.

일반적으로 모든 연료들은 부식성이 강한 어느 정도의 황 (S, sulfur) 성분을 포함하고 있고, 연소 시 연료의 산화 또는 부분 산화에 의해 이산화탄소 (CO₂), 황산화물 (SO_x)가 형성될 수 있고, 석탄의 연소시 NO_x 성분이 형성된다. 특히 IGCC 시스템의 경우, 합성가스 중에는 가

스터빈을 마모시키는 미세먼지 입자가 다량 함유되어 있고, 부식 및 침식을 유발하는 알칼리성 금속화합물과 황산염 (sulfate), 질소함유 이온 (질산염, 암모니움), 염화물 (chloride), 불화물 (fluoride) 및 인산염 (phosphate) 등의 이온 성분(ionic species)과 미량 원소 (trace elements) 또는 유기화합물 등이 함유되어 있다. 특히 알칼리성 금속화합물은 미세한 분진형태, 휘발된 증기상태, 분진에 응축되어 입자로 응집된 여러 가지 상태로 존재하고 있다. 이에 따라 미세분진이나 화합물들은 가스터빈뿐만 아니라 집진을 위해 사용되는 세라믹 필터의 내구성을 열화(劣化)시키게 된다.

또한 집진필터가 집진 vessel 내에 수십 개에서 수백 개가 장착되어 미세분진이 집진될 때, 집진의 연속성을 위해서 일정한 주기로 낮은 온도의 압축공기를 이용한 탈진 작업이 요구된다. 이는 분진들의 부착 입자층에 의해 더 이상 집진의 기능을 수행할 수 없을 때 수행되는 작업이며, 이러한 경우 세라믹 필터 소재에 열충격 (thermal shock)이 가해지게 되므로 이에 대한 저항성이 높은 소재가 요구되고 있다. 또한 석탄가스화의 연속 작업이 이루어지려면 필터에 반복적인 열적 사이클이 주어지게 되므로 열적 피로 (thermal fatigue)에 대한 저항성도 요구된다.

이와 같은 입자상 물질을 집진하기 위한 집진필터용 세라믹 재료는 Fig. 11과 같이 모노리스 산화물 및 비산화물계 소재, 산화물 및 비산화물계 연속상 세라믹 섬유 소재 (CFCC) 등 여러 재료를 이용하여 독일과 미국이 중심이 되어 개발하고 있다. 그리고 1980년대부터 PFBC, PCFBC 또는 IGCC 실증 플랜트에 적용하여 현재까지 소재의 평가와 문제점 분석을 수행하고 있다.



Fig. 11. 세라믹 집진필터의 종류 및 형상.

따라서 저급의 석탄을 원료로 이용하여 오염물질 (PM, SOx, CO₂, Hg 등) 배출없이 발전과 수소를 동시에 생산할 수 있는 석탄신공정인 석탄가스화복합발전 시스템에서 발전 및 가스정제 설비의 구성부품 중 전체 성능을 좌우하는 핵심 원천소재의 개발은 매우 중요한 기술이다.

3. 결 론

현재 우리나라의 경우 세계 10위의 에너지 다소비 국가로 에너지소비 증가율은 여전히 최상위에 속하고 있는 반면, 소요에너지의 전량을 수입에 의존하고 있는 실정으로 에너지의 안정적 확보, 에너지 저소비형 경제·사회구축, 기후변화협약의 효율적 대응 등 국가적인 과제를 안고 있다. 특히 에너지 및 환경이슈에 대한 이러한 도전들을 비용 효과적으로 슬기롭게 극복하고 정부에서 주도하고 있는 저탄소 녹색성장을 이루기 위해서는 신재생 에너지 이용기술의 개발은 에너지 절대 빈국인 우리나라의 경우 매우 절실하다고 할 수 있다.

따라서 전술한 여러 응용분야에서 특성이 우수한 에너지소재를 개발하여 응용할 경우 신재생 에너지기기의 고효율화를 이룰 수 있어 에너지 생산국으로의 한발음 내딛을 수 있게 될 것이다. 특히 에너지소재 중 고온, 내식성 분위기에 필수적으로 사용되어지는 세라믹스의 개발은 신재생 에너지기기의 고효율화를 이루는데 매우 중요한 역할을 할 것으로 생각된다.

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, and 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, and 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, and 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, and 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, and Chong Tian, “Exper-

imental and Numerical Studies of the Pressure Drop in Ceramic Foams for Volumetric Solar Receiver Applications”, *Applied Energy*, **87** 504-13 (2010)

7. T.K. Barlas and G.A.M. van Kuik, “Review of State of Art in Smart Rotor Control Research for Wind Turbines”, *Progress in Aerospace Science*, **46** 1-27 (2010)

8. Karan Mason, “Carbon/glass Hybrids Used in Composite Wind Turbine Rotor Blade Design”, *Composites Technology* (2004)

9. Paul Dvorak, “Ceramic Coated Bearing Handles Stray Current”, *Windpower Engineering* (May 29, 2009)

●● **우상국**



- 1978. 연세대학교 요업공학과 학사
- 1987. 한국과학기술원 무기재료공학과 석사
- 1994. 한국과학기술원 무기재료공학과 박사
- 2004. 한국에너지기술연구원 에너지신소재연구부 부장/센터장
- 2004. 한국에너지기술연구원 에너지재료연구센터 센터장
- 2007. 한국에너지기술연구원 융복합재료연구센터 책임연구원
- 현재. 한국에너지기술연구원 선임연구본부장

●● **한인섭**



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

●● **김세영**



- 2003. 한국항공대학교 항공재료공학과 학사
- 2005. 한국항공대학교 항공재료공학과 석사
- 2006. 하이닉스반도체 공정연구원
- 현재. 한국에너지기술연구원 반응분리소재연구센터 연구원
KAIST 신소재공학과