

2. 2. 2 복합 발전 공정

o 기술의 개요

- * 가스터빈과 스팀터빈을 결합한 GT복합발전기술은 열기관을 이용하는 발전기술 가운데 가장 높은 효율을 제공할 수 있는 기술로서 최신의 천연가스 복합발전소에는 60%의 열효율 달성이 가능한 것으로 알려져 있다. 이러한 복합발전의 장점을 활용하고자 하는 석탄이용 발전기술이 석탄가스화복합발전 (IGCC) 기술로서 청정석탄이용기술의 근간을 이루고 있다.
- * GT 복합발전기술을 제공하는 회사로는 GE, Westinghouse, ABB, Siemens, 미쓰비시중공업 등이 있다. 현재 이들 회사들은 약 60%의 열효율을 얻을 수 있는 H-급 복합발전기를 제공할 수 있거나 개발완료단계에 있는 것으로 알려져 있다(참고, GE는 GE7H를 2004년 말부터 상용화하고 있다고 함). 이러한 효율의 향상은 연소온도와 압력을 증가시킴으로서 가능하며 이와 같은 가혹한 조건에서 작동할 수 있는 터빈재료기술, 터빈 냉각기술, 터빈제작기술 등이 핵심기술로 요구되고 있다. 국내에서는 스팀터빈이 제작되고 있으나, 대용량 복합발전기에 적용될 수 있는 가스터빈기술은 전혀 확보되지 못하고 있는 실정이며, 현재 5MW급 가스터빈 국산화를 위한 연구개발사업이 진행중에 있다.
- * 전세계적으로 여러 대의 IGCC가 시험 가동되고 있지만, 고압 Entrained Flow Reactor와 복합 발전을 결합하여 대용량 상업 발전에 적절한 형태의 IGCC는 아래의 4기가 운영되고 있다.
- * IGCC에서 활용된 복합발전의 경우 다음의 4가지 사항이 고려되어야 되는 것으로 알려져 있다.
 - System Matching & 효율: 석탄가스화를 이용한 IGCC와 천연가스복합발전에는 연료 조성의 차이에 따라서 복합발전의 실제 운용에 많은 차이가 발생할 수 있다. 즉, 연료의 유량, 온도 및 압력에 차이에 의한 매칭의 고려가 선행되어야 하며, 이를 통한 효율의 변동을 최소화할 필요가 있다. 일반적으로 국내의 천연가스 복합발전이 기저부하 생산보다는 최대전력사용에 대응하기 위한 발전으로 활용되는 측면이 강하므로 부하 추종성에 대한 많은 know-how가 축적되어 있을 것으로 사료된다. 또한 ASPEN을 이용한 IGCC의 타당성 조사 결과에 의하면 고온 대용량 복합발전기를 채택할수록 전력생산단가

가 확연히 저렴해지는 것으로 나타나고 있으므로 복합발전기의 선택에는 고효율 대용량의 신형 복합발전기의 도입이 유리할 것이다.

<표 42> 가스화 플랜트의 성능

Plant	Unit Net Capacity	Gasifier Supplier	Gasifier Type	Gas Turbine Inlet Temp.	Start-up Date	Net Efficiency (HHV)	Auxiliary Power Consumption
Buggenum (Netherlands)	253 MW	Shell	Entrained Flow	Siemens V94.2 1,050 °C	1994	41.3 %	31 MW
Wabash River (USA)	262 MW	E-GAS	2 Stage Entrained Flow	GE 7FA 1,288 °C	1995	39.7 %	34 MW
Polk Power (USA)	250 MW	Texaco	Entrained Flow	GE 7FA 1,288 °C	1996	36.5 %	63 MW
Pinon Pine (USA)	100 MW	KRW	Fluidized Bed	GE 6FA 1,288 °C	1997	40.7 %	7 MW
Puertollano (Spain)	300 MW	Prenflo	Entrained Flow	Siemens V94.3 1,120 °C	1997	42.5 %	35 MW

(참고 미국의 Pinon Pine IGCC는 유동층 가스화기를 채택한 100MW급의 소규모 IGCC)

- 연소안정성: 천연가스 복합발전기 및 IGCC의 복합발전기에서 발생할 수 있는 가장 중대한 문제점은 연소불안정성에 기인하는 가스터빈의 진동이며, 이러한 현상이 발생할 경우 터빈의 날개가 파괴되어 가스터빈을 교체해야 되는 피해를 입을 수도 있다. 연소불안정성은 연소실에 존재하는 음향파가 연소현상과 상호작용하여 음향파와 동일한 주기를 갖는 연소열 발생의 섭동을 유발하며 이와 같이 형성된 음향파와 연소열 발생 진동이 동조될 경우 음향파가 증폭되어 가스터빈의 진동을 유발하는 현상이다. 현재 운영 중인 대부분의 IGCC에서 연소불안정성을 경험한 바가 있으며, 특히 Spain과 네덜란드의 IGCC에서는 매우 심각한 연소불안정성을 경험한 바 있다.
- S천연가스 복합발전에서도 연소불안정성은 보고된 사례가 많다. 연소불안정성은 1960년대 로켓개발시기에 액체연료 로켓에서 매우 많은 연구가 진행된 바가 있다. 그러나 가스터빈을 채택하는 항공기의 추진장치는 매우 안정적인 것으로 알려져 있다. 이는 항공기 엔진이 로켓보다 연소실의 크기가 작고, 압력이 낮으며 에너지 밀도도 낮은데 기인하고 있다. 그러나 가스터빈을 이용한 복합발전에서는 심각한 연소불안정성이 자주 보고되고 있다. 즉, 발전 시설에서 고효율 저NOx 연소를 구현하기 위해서 희박에혼합연소

기술을 채택하였으며, 이러한 연소에서는 연소현상을 혼합과정이 제어하는 것이 아니라 화학반응과정이 제어하므로 압력에 대한 민감도가 급격히 높아져 가스터빈에서도 연소불안정성이 자주 발생할 수 있는 것이다. 이러한 연소불안정성을 제어하기 위해서 연소실 및 연소기의 형상에 대한 조심스런 개발을 통해서 작동조건 근처에서 연소안정성을 제공하고 있다. 그러나 연소조건이 적정 연소조건에서 이탈하면 연소불안정성이 다시 발생할 수 있으며, 국내의 인천화력에서 이와 같은 문제가 발생한 바가 있으며, 이를 해결하기 위해서 전력연구원에서는 가스터빈 연소기의 튜닝기술을 개발한 바가 있다.

- IGCC의 복합발전기는 연소불안정성에 보다 취약하다. 즉, 천연가스를 대상으로 개발된 연소기를 석탄가스에 대해서 적용하므로 상이한 연료의 조성, 온도, 유량 및 압력 때문에 연소안정성을 상실할 가능성이 크다. 특히 석탄뿐만 아니라 탄소성분이 높은 석유코크를 사용한 IGCC에서 연소불안정성이 보고된 것을 고려할 때, 연료조성에 민감할 수 있다는 점을 알 수 있다. 또한 천연가스발전에서 석탄가스발전으로 전환하거나 냉간시동을 할 경우, 천이상태에 도입된 외부 섭동에 의해서 연소불안정성이 Triggering 되는 현상도 보고되고 있다. 즉, 연료상태의 변화에 의한 연소불안정성 및 천이상태의 연소불안정성이 석탄액화-가스화발전 시스템에서 봉착할 수 있는 연소불안정성의 핵심적인 내용으로 볼 수 있다.
- 저공해연소: 가스터빈 복합발전의 커다란 장점은 희박예혼합연소를 실시하므로 고효율 청정연소가 가능하다는 점이다. 특히 GE의 경우 10ppm 미만의 저 NOx 연소가 가능한 것으로 알려져 있어, 50ppm인 국내의 NOx 배출규제기준을 쉽게 만족시킬 수 있다. 한편 일본의 MHI는 50ppm의 NOx 배출기준을 만족시킬 수 있는 연소기술이 없어 국내에 도입이 불가능한 실정이며, 이러한 문제점 때문에 한전에서 구입하여 NOx 배출기준이 느슨한 필리핀에서 영업한 것으로 알려져 있다.
- 청정연소의 구현은 희박예혼합화염에 의해서 구현되므로 연소불안정성의 발생과 매우 밀접한 연관관계를 갖고 있다. 네덜란드 Buggenum의 IGCC에서는 연소불안정성 및 고-NOx 발생이 보고된 바가 이를 시사한다. 따라서 연료상태의 변화에 대응하기 위한 연소안정성 및 저 NOx 연소는 동시에 확보되어야 될 기술이다.
- 내구성: IGCC의 복합발전에서는 석탄가스에 포함된 미세분진에

의해서 터빈의 마모가 발생하는 것으로 알려져 있다. 비록 가스화 이후 가스세정이 실시될지라도 완벽한 가스세정이 불가능하고, 매우 빠르게 회전하는 터빈의 속도에 의해서 작은 량의 미세분진에 의한 마모가 문제가 될 수 있다. 그러나 석탄액화공정과 결합된 복합발전에서는 F-T공정을 추가로 통과하므로 미세분진에 의한 터빈의 마모 문제가 훨씬 완화될 가능성이 매우 크다.

- 본 사업을 통해서 이미 선진국과 매우 큰 기술격차를 보이고 있는 가스터빈 기술의 개발은 이루어지기 힘들 것이다. 그러나 도입될 천연가스 복합발전기와 석탄액화시스템과 결합을 통한 발전부분의 Matching 기술에 대한 연구는 필수적으로 수행될 필요가 있다. 본 과제를 통해서 개발될 핵심적 기술은 다음과 같으며, 중요성과 시급성은 나열된 순서와 일치된다고 볼 수 있다.

o 국산화 필요 기술

* 복합발전 matching 최적화 기술: 가스터빈의 연소실에 들어가는 연료의 상태가 복합발전의 안전성과 효율 및 경제성에 매우 중대한 영향을 미치고 있다. 따라서 이러한 문제를 극복하고 액체연료와 전기 생산을 최적화 할 수 있는 최적 시스템 설계가 우선되어야 한다. 최적설계에 영향을 미칠 수 있는 인자가 여러 가지 있으나, 다음에 중요시 되는 인자를 중요성과 관계없이 나열하였다.

- 가스화 재료의 성상: 석탄가스의 양과 성분에 영향
- 액체연료 생산량 및 조성: 가스터빈에 투입되는 연료조성에 영향
- 복합발전의 형태: 기저부하를 목표로 하는 발전인지 피크전력 대응용 전력인지에 대한 고려, 기저부하가 아닐 경우 부하변동에 따른 효율 저하와 안전성 상실의 가능성 고려 필요
- 천연가스의 보조연료로 사용: 가스화 및 액화장치의 중단에 대응하기 위한 천연가스발전을 실시할 것인지에 대한 고려가 필요하다. 또한 부하변동에 대한 대응책으로 천연가스를 사용할 경우 연료의 변화에 따른 안전성 상실 가능성 고려 필요

* 연소불안정성 제어기술: IGCC의 경험을 토대로 볼 때, 석탄가스에 CO의 성분이 높을수록 연소불안정성의 위험성이 높아지고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 천연가스의 주성분인 CH₄와 Syngas의 주성분인 CO의 연소특성

이 확연히 달라서 (즉, CH₄의 빠르고 얇은 화염구조와 CO의 느리고 넓은 화염구조의 차이) 천연가스를 대상으로 개발된 연소안정화기술이 음향파의 증폭현상을 적절히 제어하지 못할 가능성이 높다. 따라서 CO 성분이 높은 Syngas에 대한 연소안정성의 확보방안이 개발될 필요가 있으며, 이를 위한 구체적인 연구내용은 다음과 같을 수 있다.

- CO 희박-예혼합-난류화염의 구조 규명
- CO 및 Syngas의 희박-예혼합-난류화염의 수치해석기법 개발
- 고 CO 농도 Syngas의 연소안정성 확보를 위한 연소기 및 연소실 설계 기술 (실험적 & 수치적 연구)
- 냉간시동 및 연료교체기 등 천이연소기간중 연소불안정성 제어기술

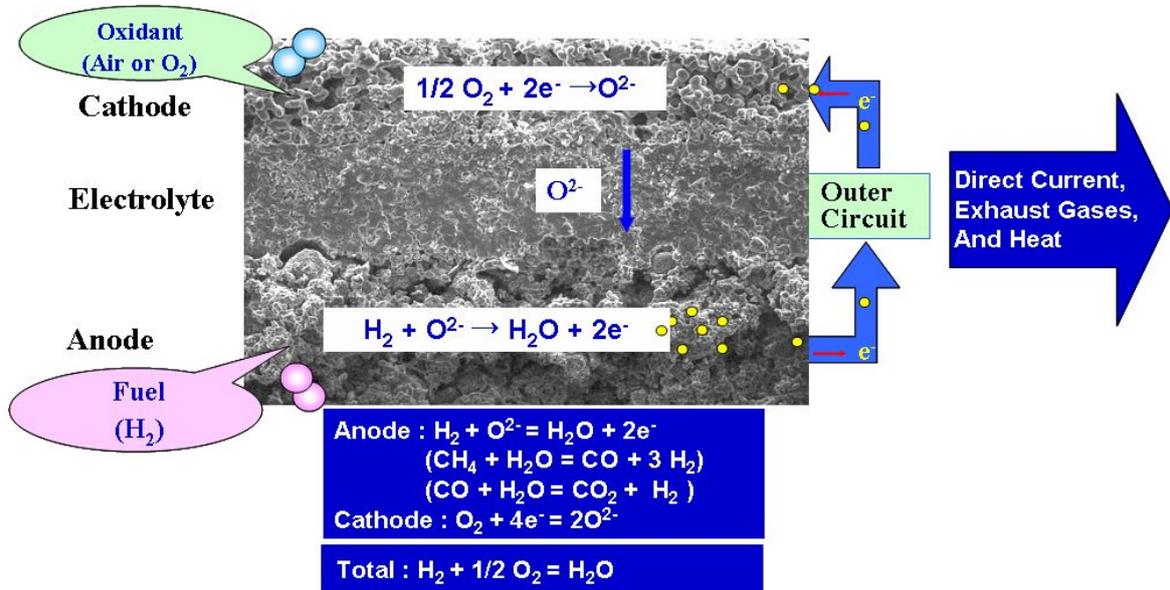
* 저NO_x 연소기술: 저 NO_x연소는 복합발전기의 환경기준을 만족시키기 위한 기술분야이다. 저 NO_x 연소는 연소안정성과 동시에 추구되어야 될 성격의 기술적 목표이므로 위에 제시된 가스터빈 연소기술의 개발과정에서 같이 확보되어야 될 기술적 목표이다. 일단 희박 예혼합연소는 Thermal NO_x의 제어에 유리할 것으로 예측되고 있으나, 석탄가스 내 다량으로 존재하는 Fuel NO_x의 전구물질인 HCN에 의한 (세정과정에서 탈질이 안 될 경우) NO_x 생성을 억제하기 위한 적절한 다단연소기술이 동원될 필요가 절실하다.

2. 2. 3 고체산화물 연료전지 발전 시스템

o 기술의 개요

* 고체산화물 연료전지는 [그림 34]에 나타난 바와 같이 중앙에 전해질이 있고, 양쪽에 전극이 있는 구조로 되어있다. 전해질은 치밀하여 가스를 투과시키지 않아야 하며, 전자전도성은 없으나 산소이온 전도성은 높아야 한다. 반면에, 전극은 가스가 잘 확산되어 들어갈 수 있는 다공질이어야 하며 높은 전자전도성을 가지고 있어야 한다. 이러한 치밀한 전해질을 사이에 두고 연료 극에는 수소를 함유한 연료가스를, 반대 극에는 공기를 흘려주어 산소 분압의 차이를 유지해 주면, 전해질을 통해 산소가 이동하려는 구동력이 형성된다. 그러나 전해질은 전자전도성이 없고 이온전도성만 가지고 있으므로, 공기극 쪽에서는 산소가 전자를 받아 산소이온으로 되어 전해질 막을 통과하여, 연료극 쪽에서는 산소이온이 전자를 방출하고 수소가스와 반응하여 수증기로 된다. 이러한 반응이 계속 일어나도록 산소와 수소를 계속하여 흘려주면, 전자는 전극을 통하여 외

부의 도선으로 흐르게 된다. 이때 전기에너지가 발생하며, 전기에너지를 인출하여 사용하는 것이 고체산화물 연료전지의 작동원리이다.



[그림 34] 고체산화물연료전지의 전기화학적 반응과 작동원리

* 세계적으로 발전설비로는 고 효율화와 함께 규모의 거대화를 통한 집중 관리방식이 선호되었으며, 이를 목적으로 동력장치의 기술 개발이 이루어져 왔다. 이러한 대규모 설비를 중심으로 구성된 중앙관리 시스템은 효율적 시스템 관리라는 측면에서는 큰 장점을 가지고 있으나, 근래에 들어서는 몇 가지 결정적인 문제점들로 인하여 더 이상의 규모의 확대에 대한 당위성에 의문이 던져지고 있다. 대표적인 문제점으로는 대규모 설비는 건설기간 등을 고려할 때 폭발적으로 증가하는 전력 수요를 정확히 예측하여 대처하기 힘들고, 장거리 송전 등으로 인한 부가적 손실이 크고, 순간적 부하 증가 등에 대처하기 힘들다는 것 등이다. 이에 따라 앞에 언급된 문제점을 극복하고자 전력 공급 구조도 중앙 집중 발전형으로부터 분산 발전형으로 변화되고 있다. 이러한 차세대 동력원의 요구 조건으로는 기존의 동력원에 비하여 열효율이 높아 경제성이 우수하여야 하며, 현재 인류가 당면하고 있는 최대 현안인 환경문제에 적합한 환경 친화적이어야 한다는 것이다. 공해 배출물이 적어야 한다는 것은 이미 대규모 발전설비를 비롯한 모든 산업 현장에서 지켜져야 할 필수 사항이지만, 특별히 전력의 수요처에 가깝거나 바로 수요처에 위치하여야 하는

소형 시스템에서는 그 요구조건이 더욱 강화될 것은 자명하다. 이러한 측면에서 고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell)는 여타 발전 시스템에 비하여 여러 가지 장점(고효율, 고성능, 고급폐열, 연료의 다양성)을 구비하고 있으나, 실용화에는 상당히 후미에 있는 느낌을 지니고 있다. 이는 구성소재가 모두 세라믹을 근거로 하기 때문이며, 소재의 제조공정 및 부품양산, 기술의 확립 등이 필수적으로 이루어져야 한다.

* 선진국의 경우 현재까지 고체산화물 연료전지 발전시스템은 주로 분산전원용, 대형발전소용으로 기술이 개발되어 왔으나 최근에는 가정용 소형 열병합 발전시스템, 자동차용 및 이동전원용으로도 많은 연구개발이 진행되고 있다. 특히 3세대 연료전지인 고체산화물 연료전지는 ①종래의 다른 연료전지에 비해 복잡한 외부 개질 시스템이 필요 없으며, ②백금 등의 귀금속 전극촉매를 사용하지 않고 ③액상전해질에 의한 부식문제가 발생하지 않는 등 저온형 연료전지에서 발생하는 여러 가지 운전상의 문제점을 최소화시킬 수 있다는 장점과 동시에 발전시스템으로 3단계 복합발전(고체산화물 연료전지 발전**가스터빈 발전** 증기터빈 발전)이 가능하다. 전기발전온도는 500℃이상에서 이루어지며, 적절한 단열을 통해 운전온도 유지가 가능할 뿐 아니라 다양한 연료를 사용할 수 있으며 운전온도 범위가 넓다. 더욱이 가스터빈과 복합 발전시 거의 70%에 가까운 전기발생효율을 가지고 있기 때문에 미국, 일본 등 선진국에서 기술개발에 박차를 가하고 있다.

* 다양한 장점을 갖고 있는 반면에 대부분의 구성요소들이 세라믹과 고온 금속소재로 구성되어 있고, 고온에서 운전되는 전기 화학적인 신 발전 기술이기 때문에 전극, 전해질, 연결재 등의 구성요소 및 전지의 설계요소와 관련되어 여러 가지 기술적인 문제점을 갖고 있다. 또한 선진국에서 실증중인 발전시스템의 경우 전극, 전해질, 연결재의 제조가 EVD, 플라즈마분사법 등 고가의 건식공정으로 이루어져 있어 실용화시 경제성 확보에 어려움을 겪을 것으로 판단되며, 실용화를 앞당기기 위해서는 저가의 제조공정 기술이 개발되어야 할 것으로 판단된다. - 고체산화물 연료전지의 전극과 전해질로 구성된 구성소재 제조공정기술과 단위전지 및 스택들은 극한 환경조건에서도 내구성과 장기 안정성을 결정하는 핵심기술이다. 이와 관련된 국내의 기술은 매우 뒤떨어져 있으며, 아직까지 고체산화물 연료전지는 기반기술 연구 수준에 머물고 있는 상태이다. 더욱이 한국의 연료전지의 요소기술, 연료전지의 설계 및 제작 기술, 발전시

시스템을 일본과 비교해 볼 때 약 10년 정도의 차이가 나는 것으로 판단되며, 선진국과의 기술격차를 빠른 시간내에 줄이기 위해서는 이들 핵심기술의 개발이 시급히 이루어져야 한다.

- * 고체산화물 연료전지는 구미 선진국에서 분산형 발전시스템을 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 고체산화물 연료전지-가스터빈 혼합발전 시스템 구현을 위한 연구가 본격적으로 진행되고 있다. 기존의 연료전지에서는 개질기라는 화공플랜트가 부착되어 이곳에서 생산되는 고순도의 수소를 사용하여야 연료전지의 성능이 발휘되는데 비하여, 고체산화물 연료전지는 천연가스를 비교적 간단한 prereformer를 통해 개질하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 따라서 복잡한 외부 개질기가 부착되지 않아 부피가 대폭 축소될 뿐만 아니라 고성능의 전기 발생효율을 가짐으로 하여 협소한 공간에서도 설치가 가능하다. 이러한 혼합발전시스템 기술은 2008년 이후부터 상용화가 될 것으로 예상되고 있다. 현재 선진국은 대형의 경우 2010년에 200 kW급, 500 kW급, MW급 고체산화물 연료전지-가스터빈 혼용 발전시스템이 시장 진입을 계획하고 있고 소형의 경우 현재 1kW급, 5kW급 가정용 열 병합발전소로 약 10기 이상이 현장 시험되고 있으며 2006년에 보급할 계획을 갖고 있다. 현재 고체산화물 연료전지는 선진국의 경우 2007년 초에 실용화될 것으로 판단되며 국내의 경우 기술 개발속도가 느려 실용화 시기는 늦어질 것으로 판단되나, 연료전지가 실용화될 경우 국내시장 규모 면에서는 2010년대 국가 총 전력의 2-3%를 점유할 것으로 예상되므로 최소 1,500 MW 이상의 시장이 확보될 것으로 전망되며, 최근 국가에너지정책의 강화로 2015년에 국가 총에너지의 약 10%를 대체에너지로 대체할 계획의 달성에도 큰 기여를 할 것이다. 또한 고체산화물 연료전지의 응용분야는 주로 전기사업용 분산발전, 독립전원 등으로 더욱 확대 개발하고 있는 실정이므로 수입에너지 대체 효과는 물론 국내 자체 에너지 관련 기반기술의 구축을 위해 매우 필요한 것으로 판단된다.

o 연료전지 요소기술 소개

가. 연료전지 스택 분야

- * 연료극 개발

- 고성능 장수명 고강도의 연료극 소재 기술
- 대면적 연료극 지지체 실용화 기술

* 공기극 개발

- 중저온용 고성능 공기극 소재 기술
- 장수명 공기극 기술

* 전해질 개발

- 중저온용 고이온전도성 전해질 기술
- 박막 전해질 저가 코팅 기술

* 연결재 개발

- 금속연결재 및 세라믹 연결재 소재기술
- 실용화 규모의 대면적 연결재 판 제조기술

* 단전지 개발

- 고성능 장수명 대면적 단전지 제조 기술
- 단전지 제조 실용화 기술

나. 발전시스템 기술

* 스택 기술 개발

- 10 kW급 스택 제조기술
- 50 kW급 고성능 스택 제조 기술

* Prereformer 개발

- Prereformer 설계 원천기술 및 10 kW급 prereformer 개발
- 100 kW급용 prereformer 설계 및 제작 기술

* 스택 내 prereformer 탑재 기술

- 전지 성능 평가 기법 개발 및 구성요소의 생산성 향상 기술
- 연료전지 최적 운전 기술

* 발전시스템 개발

- 10 kW급 발전 시스템 및 100 kW급 설계 기술

- 50 kW급 발전 시스템 및 MW급 설계 기술
- 3세대 연료전지 발전 시스템 실용화 기술

<표 43> 연료전지 기술 분류

구 분	세부 기술명
핵심기술	<ul style="list-style-type: none"> - 전류 집전기술 개발 1) - 셀 제작 공정의 최적화 및 제조공정 기술 2) - 대면적 평판형, 원통관 및 구성요소 제조 기술 3) - 고성능 및 장수명 전지 기술 4) - 대형 스택 설계 및 최적화 기술(2, 10, 20 kW급) 5) - 스택 모듈화 및 열사이클 저항 기술 6) - LNG 직접 개질 기술 7) - SOFC 전체시스템 종합 및 운용기술 개발
기반기술	<ul style="list-style-type: none"> - 발전 플랜트 개발 - 고온 연료전지 냉각 시스템 기술 - SOFC 구성 요소 제조 설비 기술 - SOFC 내열성 소재 기술 - 전력변환 기술 : 대 전류 소자 및 제어방식 개발 - 가압 시스템 계측제어기술 (차압제어, total system, 제어기술 확립)
관련기술	<ul style="list-style-type: none"> - 연료 개질 기술 - 금속 및 세라믹 코팅 기술 - 금형, 프레스 기술 및 용접 기술 - 세라믹 원료 제조공정 기술, 고온 내열성소재 기술 - 열 교환 및 공조기술, 화학공정 및 화공가스 처리 기술 - 건식 및 습식 도금 기술 - 전력 전자 관련 기술, 전력 계통 연계 기술 - 열분석 및 발전 플랜트 기술

o 기술개발의 중요성

- * 지구의 온난화, 환경오염 문제에 대처하기 위한 기후변화 협약과, 경제발전
에 따른 전력 수요의 증대, 에너지 가격 상승 및 수급 불안정 등 에너지
문제에 대응하고, 지속적인 경제 발전을 위해서는 고효율 저공해 청정
발전기술인 연료전지 발전기술 개발이 필연적임.
- * 특히 3세대 연료전지인 고체산화물 연료전지(SOFC, 세라믹 연료전지라고도
함)는 700-1,000 ℃의 고온에서 작동하기 때문에 연료전지 가운데 가장 효율이
높고(50% 이상) 환경 특성이 우수하며, 귀금속 촉매, 외부 개질장치, 전해질 제어
시스템, 냉각시스템 등 부수적인 설비가 필요 없고 시스템이 간단하여 경제성
확보가 용이함.
- * SOFC는 다른 연료전지에 비해 상대적으로 기술 격차가 적고 국내에서
도 요소기술 개발을 통해 핵심 기술에 대한 기반을 갖고 있기 때문에 집
중 개발이 이루어질 경우 선진국과 경쟁할 수 있는 실용화 기술의 개발
이 가능함.
- * SOFC는 천연가스, 석탄가스 등 다양한 연료로 발전이 가능하며, 중대형 발전
시스템뿐 만 아니라, 최근 새로운 발전 형태로 주목받고 있는 분산형 전원 및
소규모 주택용 전원으로도 사용 가능함. 또한 가스터빈과 복합 발전 시 발전 효
율 70%이상으로 초고효율 청정발전이 가능함 기술임.
- * SOFC 발전 기술 개발시 기존 발전시스템의 대체가 가능하고 2010년부터
실용화가 예상되는 21세기 선진국형 연료전지 발전시스템으로의 전환을
위한 발판이 마련됨. 또한 석탄가스화-연료전지-가스터빈 발전과 같은 초
고효율 대형 복합발전 기반을 확보할 수 있음.

o 국내외 기술 비교

가. SOFC 스택 구성요소 기술분야

- * 국외: 미국과 일본은 현재 연결재, 전극 및 전해질의 제조 기술이 거의
확립되어 가고 있는 상황이며 현재 셀은 상용 판매하는 기업이 생겨나고
있다. 그러나 원료를 사용하여 전극과 전해질, 연결재를 만드는 고가의

건식 공정 기술이 개발되었으나 경제성 문제로 저가의 제조공정 개발을 지속적으로 수행하고 있는 상황이다. 특히 일본은 소재 기술의 발달로 전극, 전해질 원료 제조 등의 기술이 세계적으로 가장 앞서 있는 것으로 판단되며, 일부 요소기술은 미국, 일본 외 중국, 인도 등에서도 많은 연구개발이 진행되고 있고 일부는 자체기술을 확보하고 있는 것으로 알려져 있다.

- * **국내:** 전극 및 전해질 제조시 사용되는 원료의 대부분을 수입에 의존하고 있다. 현재 이 원료를 사용하여 전극 및 전해질을 제조하는 공정 기술이 개발되고 있다. 고체산화물 연료전지는 구성요소의 대부분이 세라믹이기 때문에 극한 환경에서도 장기안정성을 갖는 제조공정 개발이 필요하다. 따라서 장기 안전성을 갖는 전극 및 전해질 분말의 국산화 제조 기술 개발이 요구된다. 또한 소형 단전지 제조기술은 확립되어 있는 상태이나 실용화 규모의 대면적 단전지 기술과 장수명 특성 평가 기술에 관한 연구개발이 진행되어야 한다. 또한 중요한 구성 요소의 하나인 연결재 기술, 가스밀봉 및 전류집전기술이 개발되어야 한다. 국내의 소재기술의 낙후로 소재의 제조기술의 개발은 매우 어려운 상황이며, 현재 소재의 전량을 수입에 의존하고 있기 때문에 앞으로 소재의 국산화 기술 개발이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

나. SOFC 스택 및 모듈 제조 기술분야

- * **국외:** 미국은 세계 최대인 혼합 발전시스템용 가압형 200 kW급의 고체산화물 연료전지 발전시스템을 개발하였고 일본은 자체기술로 가압형 20 kW급 스택을 제작한 바 있으며 현재 석탄가스 연계 가압형 100kW급을 개발중에 있다. 미국은 수년 내 고체산화물 연료전지 발전시스템 개발을 완료할 예정이며, 일본도 100 kW급 개발로 실용화를 추구하고 있다. 지금까지의 결과로 보면, 미국의 스택기술이 앞서 있는 상태이나, 스택에 소요되는 소재기술은 일본이 앞서 있다. 비록 많은 스택기술이 개발되었으나 여전히 기술 개발 단계로 볼 수 있으며 스택 설계 및 제조 공정 기술은 compact하고 경제성, 신뢰성 및 안정성이 확보되는 방향으로 개발되어져야 할 것으로 판단된다.

* 국내: 스택 기술은 연료전지기술 가운데 가장 핵심 사항이다. 현재 고체산화물 연료전지의 국내 기술 수준은 단전지 및 정지식 수백 W가 개발되었고, 연구비 투자 시 kW급을 단 시일 내에 개발할 능력을 보유하고 있으나 제작설비 등, 주변여건은 선진국에 비해 매우 낙후된 상태이다. 스택의 설계는 아직까지 초보단계를 벗어나지 못하고 있는 상황으로 고체산화물 연료전지 스택 개발을 통한 전류집전기술, 밀봉기술, 가압시스템 기술, 메니폴드 설계 기술 등 여러 분야의 기술이 개발되어야 하며, 스택의 규모가 커짐에 따라 시뮬레이션을 통한 설계 기술의 중요성이 강조되어질 것으로 판단된다. 또한 스택의 정상 운전에 필수적인 운전온도 제어 기술이 매우 중요하며 스택 설계 개선, 구조 단순화, 효율 개선, 운전 간소화 등 여러 가지 분야에서 기술 개발이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

다. 주변 BOP 기술분야

* 국외: 미국과 일본은 탈황, 개질기, 전력변환 시스템등 대부분의 기술을 보유하고 있는 상태이며, 성능 개선과 compact화 연구가 진행되고 있는 상황이다. 복합 발전시스템용 가스터빈을 개발하기 위해 종래의 가스터빈에 비해 소형이면서 고효율인 가스터빈 설계 및 제작기술을 개발중에 있으며, 소용량에서 대용량까지의 기술개발을 수행하고 있다.

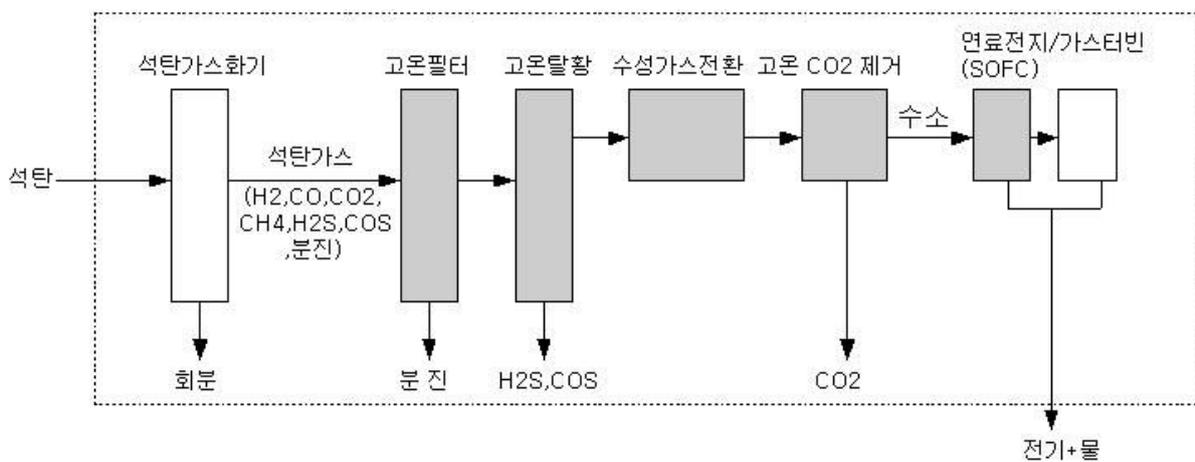
* 국내: 주변기기 기술가운데 국내적으로 개발이 완료된 기술은 전무한 상태이다. 고체산화물 연료전지에 필요한 pre-reformer는 LNG 연료를 약 75%정도 연료극 전단계에서 개질시켜주는 장치로 저온형 연료전지에 요구되는 90%이상의 연료개질기에 비해 제작에 큰 문제는 없으나 개질조건 최적화 및 장치 설계제작 등의 연구가 수행되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 기술 개발을 위해 사전조사연구, 시뮬레이션 등을 통한 발전시스템 구성의 특성을 파악하고자 하며, 전력변환기 기술면에서는 연료전지가 대전류 저전압 특성을 가지고 있기 때문에 전력변환 효율을 개선시키는 연구가 더욱 진행되어야 하고 열교환기 등은 상용제품이 많으나 연료전지에 실증 적용 기술 시험연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

라. SOFC 스택 발전시스템 종합 및 운전기술 분야

- * **국외:** 선진국들은 이미 오래 전에 대규모 연구비 투자로 MW급 연료전지 종합 발전시스템 설계 및 제작 기술을 개발하고 있으며, 현재 단일 시스템의 장기 연속 운전 기술의 개발과 가압시스템의 개발이 이루어지고 있다. 현재는 선진국의 경우 200 kW급 고체산화물 연료전지 시스템이 개발되었으며, 시스템의 실증시험, 적용시험, 배열이용 등에 관한 연구가 진행되고 있다. 앞으로 고체산화물 연료전지 시스템 기술은 compact화 연구, 이용분야 확대 연구, 성능 개선 및 수명개선, 신뢰성 및 안정성 확보 등의 연구로 확대되어 지고 있다.
- * **국내:** 국내의 연료전지 발전시스템 기술은 초보단계이다. 고체산화물 연료전지 기술은 고온에서 작동되기 때문에 시스템 설계 및 제작 기술이 매우 중요하다. 종합시스템 기술을 확보하기 위해서는 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

o 국산화 필요성

- * **기술개요:** 고체산화물 연료전지 (SOFC) 기술: 세라믹 소재로 구성된 고온 연료전지로 석탄가스와 공기를 전기화학적으로 반응시켜 전기를 생산하는 고효율 발전 시스템.



[그림 35] 석탄가스화-연료전지 발전 시스템

- * 필요성: 석유의 고갈이 예상됨에 따라, 매장량이 풍부하고 가격이 저렴한 석탄의 사용은 필연적이나, 환경 기후 협약에 대응하기 위해 환경 오염도가 높은 기존 석탄 연료를 무공해 가스 연료화 시켜 사용하는 것이 요구됨.
- * 석탄을 가스화시켜 고효율 청정발전을 하기 위해서는 석탄가스 장치의 핵심인 고온가스 정제기술 개발과 석탄가스의 발전 기술의 핵심인 고체 산화물 연료전지 발전 개발이 필수적임.