

□ 미국 산업체 및 시장현황

○ Siemens Power Generation

☞ SOFC 개발 초기 원통형 양극 지지형 cell을 개발하였으나 전력밀도 향상을 위해 cell 유효면적을 증가시키는 구조로 변경 [그림 2-31]. Delta-9 적용시 원통형 cell 대비 전력 밀도 약 50% ($0.23\text{W}/\text{cm}^2 \rightarrow 0.35\text{W}/\text{cm}^2$) 증가.

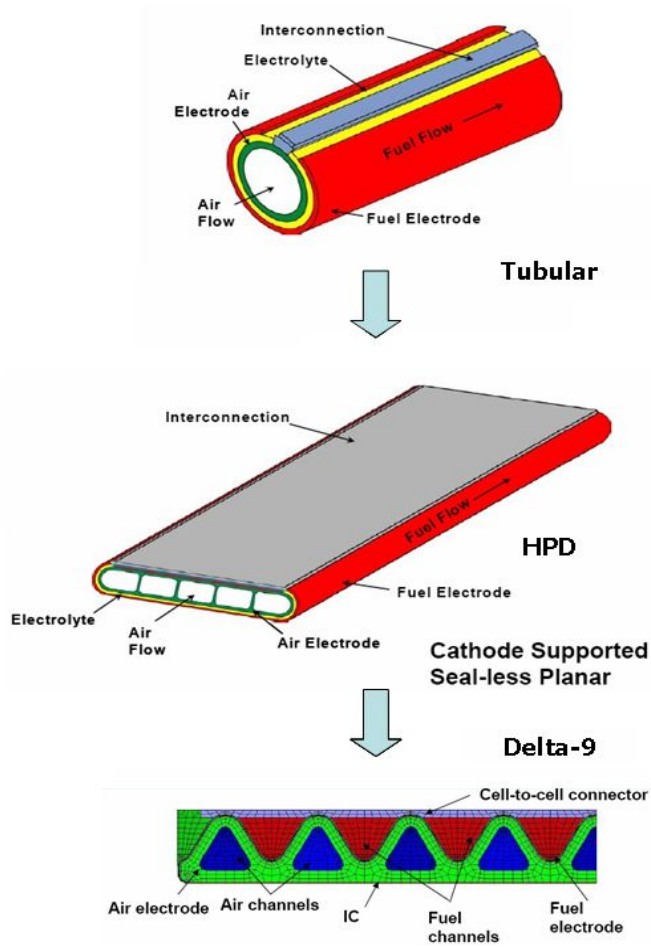
☞ 연료전지의 가장 발전된 형태라고 할 수 있는 SOFC/GT 하이브리드 발전소는 마이크로터빈 압축기를 이용하여 연료전지를 약 3기압까지 가압하여 작동하며, 배기구에서 나오는 $1,500^\circ\text{F}$ 의 배기가스가 마이크로터빈을 구동시키는 기동력으로서 작용하고 마이크로터빈은 다시 압축기와 발전기를 구동.

☞ NETL 청정석탄이용 프로그램에 의해 이산화탄소 분리공정이 포함된 석탄가스이용 SOFC-가스터빈 하이브리드 시스템 개발에 ConocoPhillips(석탄 가스화 기술 제공), Air Products and Chemical Inc.(이온 전도성 분리막 설비)과 함께 참여하고 있음.

☞ 220kW (200kW SOFC + 20kW GT) SOFG/GT 하이브리드 발전소를 california에 세계 최초로 설치하여 전기 효율 약 55% 확보함. 구동 결과를 바탕으로 1MW급에서는 전기효율 60%, 20MW급에서는 70%의 전기효율 확보 예상함.

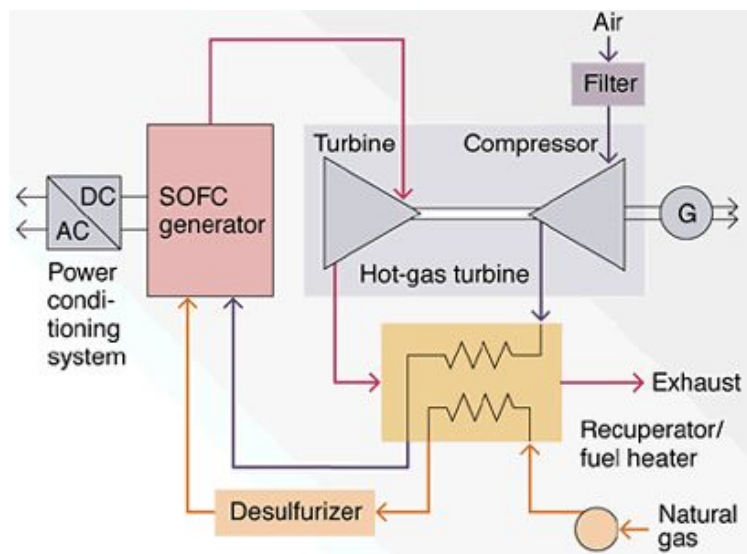
☞ Tube형태이므로 가스 sealing 문제 발생 확률은 작지만, 1셀당 전류 이동 경로가 길어져서 Joule손실이 커지는 단점이 있으며, 압출법으로 제조된 공기극 위에 전기화학 증착법(EVD: Electrochemical Vapor Deposition)으로 치밀한 박막을 제조하기 때문에 제조 비용이 높다는 단점이 있음. 비용 감소를 위해 일부 기관에서는 tube형 지지체 위해 slurry coating, 동시 압출(co-extrusion)등의 연구를 진행하고 있음.

☞ 현재 발전용 SOFC 상용화에 가장 근접한 기관으로 평가됨.



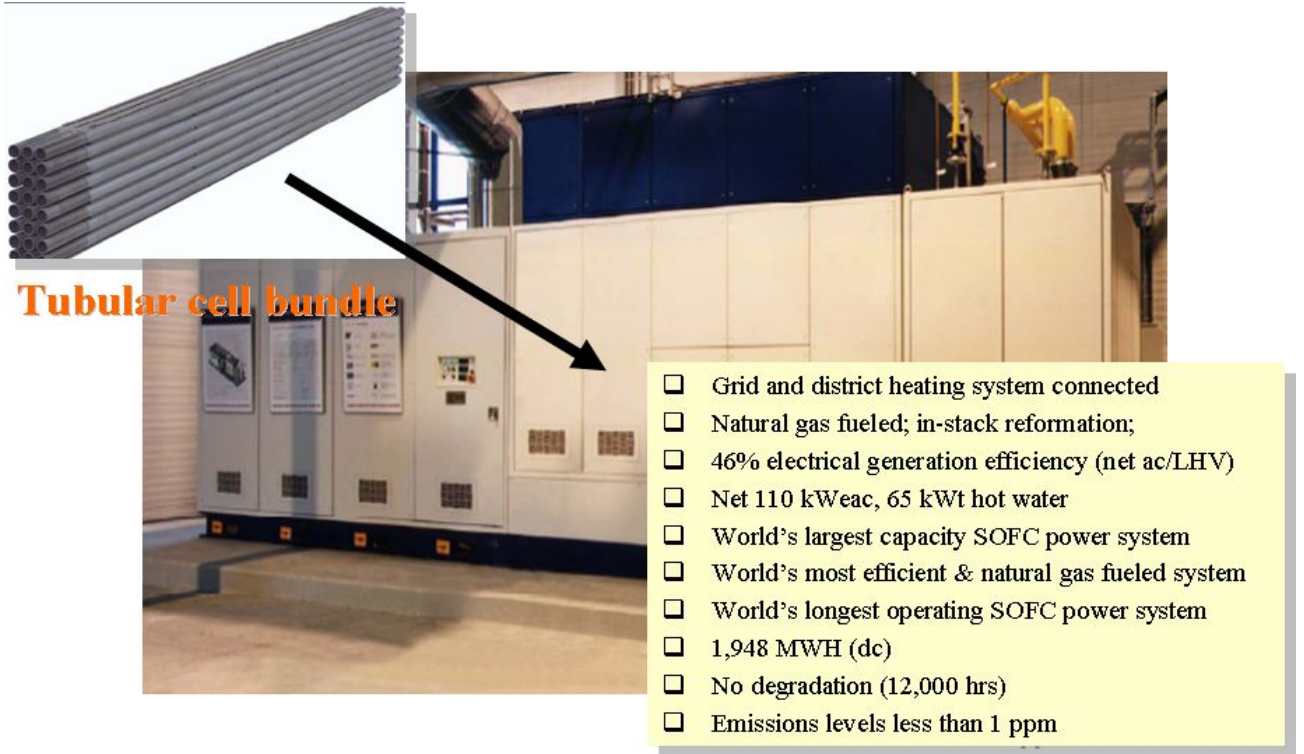
[그림] Siemens cell 구조 변천사

(출처 : Siemens Power Generation, <http://www.powergeneration.siemens.com>)

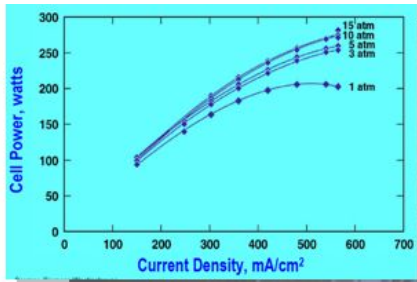


[그림] SOFC/GT 하이브리드 발전 개념도

(출처 : Siemens Power Generation, <http://www.powergeneration.siemens.com>)

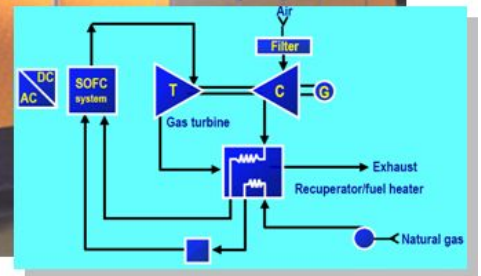


[그림] 지멘스-웨스팅 하우스 사의 100kW 급 CHP 시스템

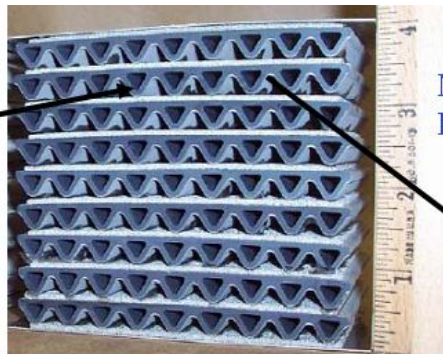
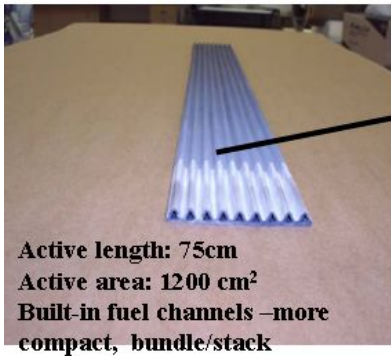


Tubular cell Stack

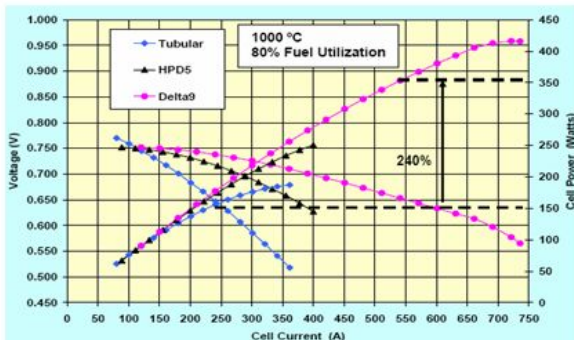
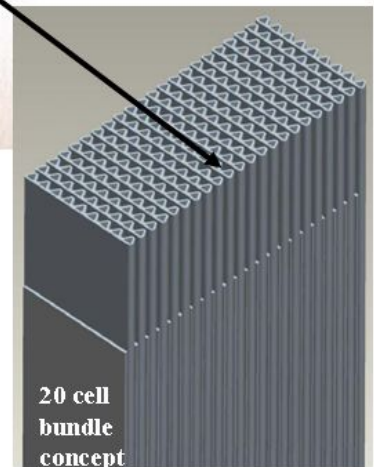
- ❑ Un-manned operation, World's first hybrid system
- ❑ Natural gas fueled; in-stack reformation;
- ❑ Successful factory test & site start-up
- ❑ 182 kWe
- ❑ 52% electrical generation efficiency (net ac/LHV)
- ❑ 1700 hours operating time
- ❑ World's highest capacity SOFC power system



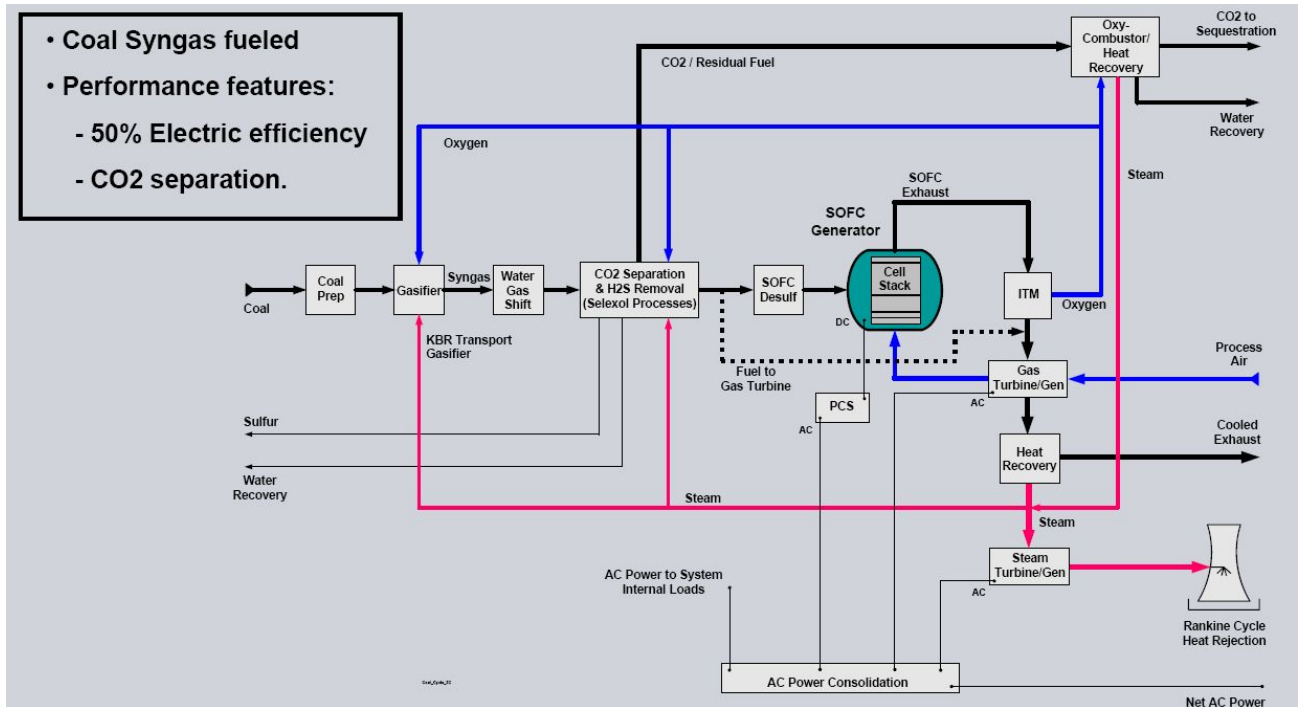
[그림] 지멘스-웨스팅 하우스 사의 220kW급 가스터빈 연료전지 하이브리드 시스템



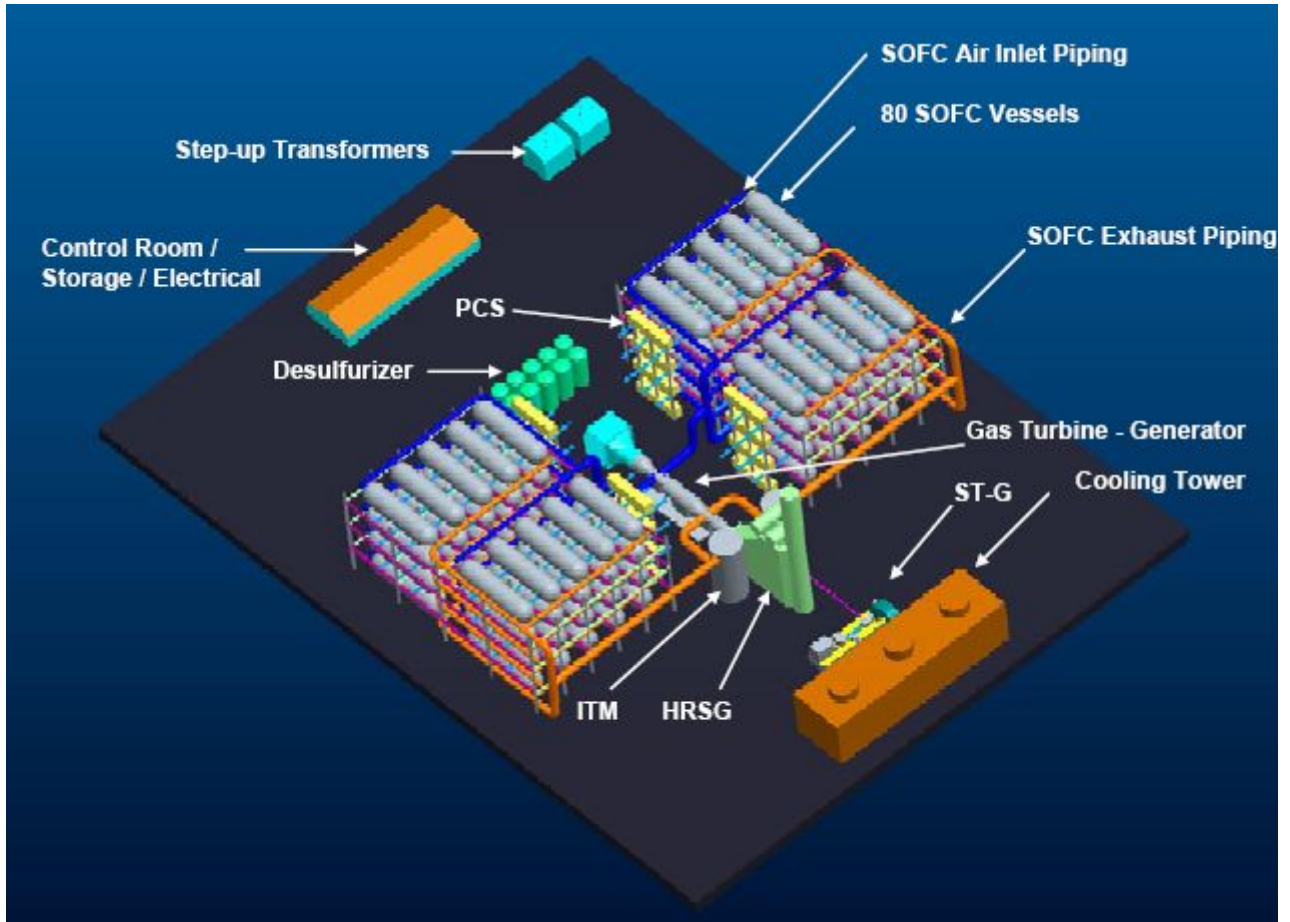
Nine Delta9 Cells
Power Density ~ 600 mW/cc



[그림] 지멘스 파워 코퍼레이션 사의 신개념 연료전지 델타9의 스택 설계도



[그림] 지멘스 파워 코퍼레이션 사의 가압-SOFC/가스터빈/증기터빈
전력 발전소 공정 흐름도



[그림] 지멘스 파워 코퍼레이션 사의 100MW 급 연료전지/가스터빈/증기터빈 전력 발전소 개념

○ GE

↳ Honeywell의 개발 결과를 바탕으로 SOFC 하이브리드 시스템 개발을 목표로 함. SECA의 참여 기업으로서 평판형 SOFC를 완성 형태로 개발 생산하기로 함. 6-sigma 기법을 도입하여, 최적의 미세구조를 얻기 위한 새로운 SOFC 증착 조건을 개발하고 현재의 공정을 최적화 하는 전략.

↳ 수MW급 석탄 이용 연료전지 발전시스템(IGFC, Integrated coal gasification fuel cell combined cycle) 개발 중. NETL 청정석탄 이용 프로그램에 GE energy, GE global research, PNNL, Univ. South Carolina와 함께 참여하여 SOFC, 가스터빈, 석탄 가스화 기술을 융합한 연료 전지 이용기술을 개발하기로 함.

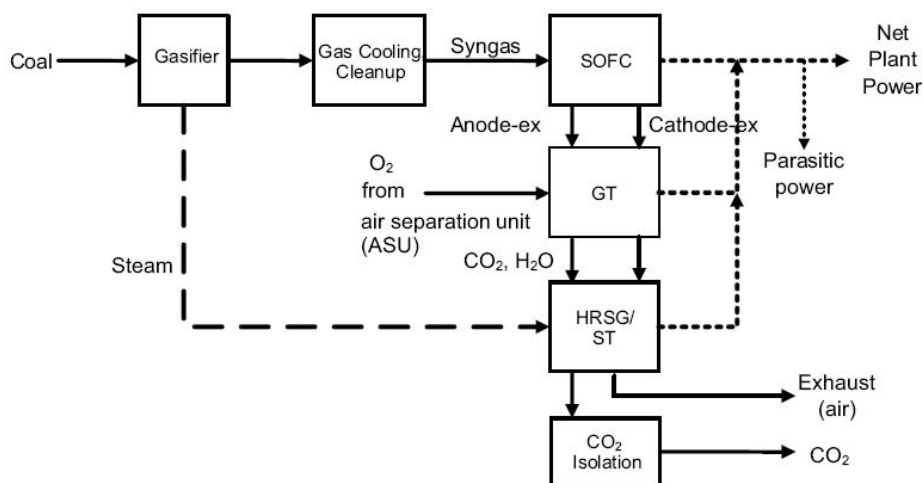
↳ IGFC는 석탄가스화복합발전(IGCC, Integrated coal gasification

combined cycle) 보다 한 단계 진화된 것으로 석탄에서 뽑아낸 가스를 활용, 수소를 뽑아 연료전지를 만드는 것으로 연료전지, 증기터빈, 가스 터빈을 함께 이용하기 때문에, 효율이 IGCC 보다 10% 정도 높은 것으로 알려져 있음.

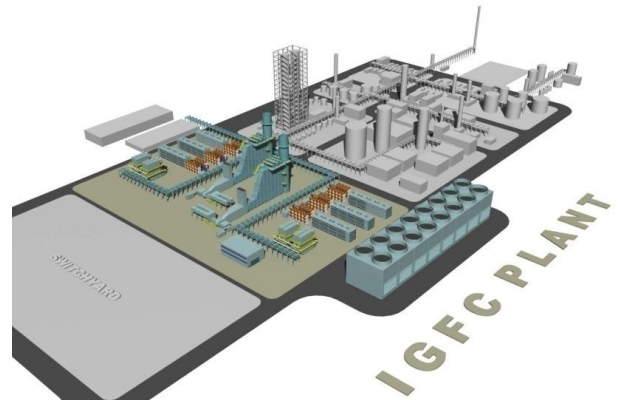
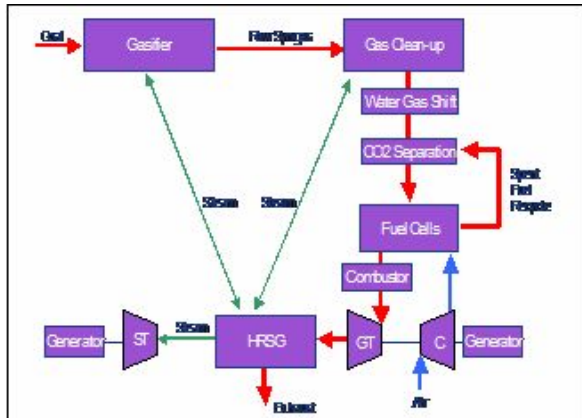
☞ 현재 기술로는 여러 가지 주변기기 개발이 완료되지 않았고 일산화탄소 배출 등의 문제가 있지만 빠르면 2020년경 상용 가능한 기술을 축적할 수 있을 것이라는 게 GE의 판단임.

☞ GE는 수MW급 IGFC 개발을 위해 시스템 설계 및 분석, 연료전지 적층 기술 개발, 소형 IGFC 시제품 테스트에 주력하고 있음. 5kW급 IGFC 시제품 평가 결과 DC 효율 41%, DC peak power 5.4kW, 500hr 당 1.8% power 열화 등이 보고됨.

☞ 기존 석탄 화력발전과 비교할 때 IGCC는 투자비용은 약 10% 정도 높으나 이용률이 높고 친환경적이기 때문에 GE는 대용량 IGCC 개발을 완료한 후 기존 세계에서 가동되고 있는 석탄 화력발전소 대체 시장을 선점한다는 전략. 기후변화협약 등 지구온난화방지 차원에서 이산화탄소 저감시스템 공급 확대가 이슈이기 때문에 상용 개발시 수백조원대 시장 열림. IGFC 역시 IGCC 보다 활용도가 커 상용 개발시 시장은 IGCC 시장을 능가할 것으로 예상됨.



[그림] 석탄이용 연료 전지 발전 시스템 개략도 (출처 : GE, SOFC-X, 2007)



[그림] 300MW급 IGFC 공정흐름도 및 전력 발전소 layout

○ Acumentrics

☞ 1994년에 설립된 무정전 전원 공급장치 (UPS, Uninterruptible Power Source) 제조회사로서 2000년부터 SOFC 개발 시작함. 가정용, 소규모 발전용 원통형 SOFC 개발 중이며 1~10kW의 가정용, 소규모 발전용 연료전지 실증 실험중.

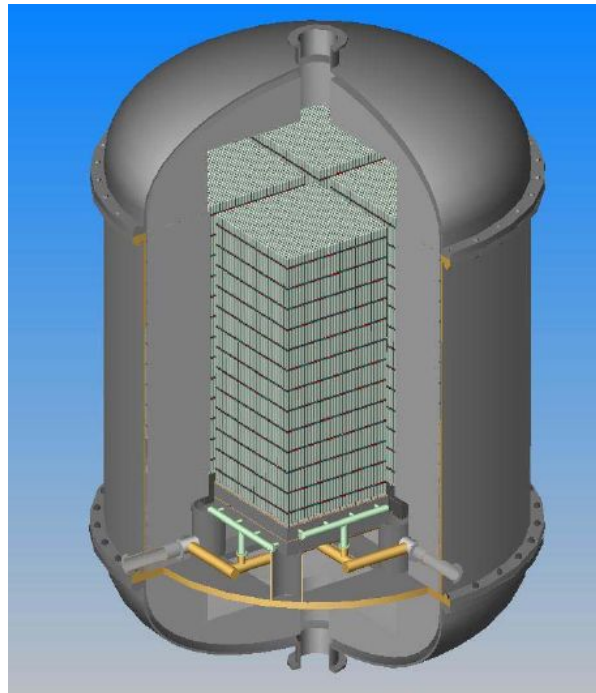
☞ 2003년 Sumitomo과 함께 joint venture (Acumentrics Japan) 설립하였으며, 합작 회사의 목적은 원통형 SOFC 전력 시스템을 일본에 판매하고, 일본시장에 SOFC 발전 시스템을 적용하기에 필요한 개발 작업을 수행하는 것임.

☞ 2007년 FCT (Fuel Cell Technology Ltd., CA)를 인수하여 FCT의 BOP (Balance Of Plant)기술 획득함.

☞ SECA program에 참여하여 천연가스, 프로판 등의 탄화수소를 직접 이용하는 2~10kW급 원통형 연료극 지지형 SOFC 시스템을 개발 중임. Brazing 기술에 의해 전기적 연결방식을 향상시킴으로써 33%의 출력향상을 얻었으며, 6000 시간 운전시의 성능감소는 0.25%/500h (2010년 SECA 목표 0.1%/500h)에 불과함. 현재 작동온도(800°C)를 650~700°C로 낮추기 위한 기술을 개발 중임.



[그림] 어큐멘트릭스사의 보조전원 SOFC 발전시스템 및 5kW급 SOFC 발전시스템



[그림] MW급 관형 SOFC 발전시스템 layout

○ Delphi

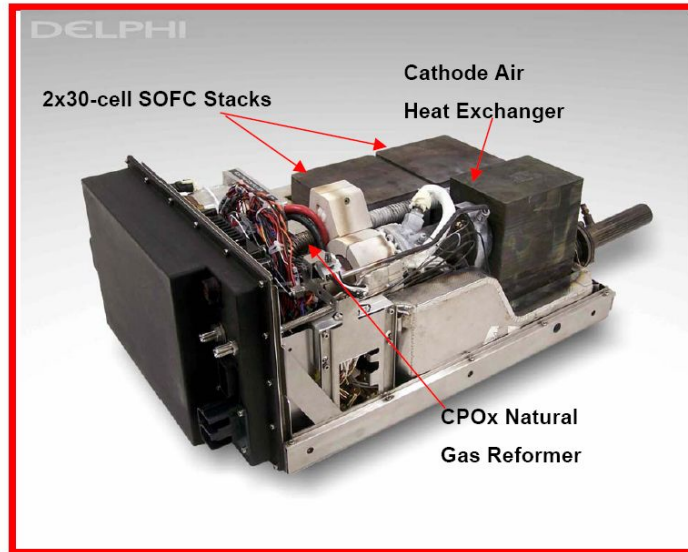
☞ DOE (US Department of Energy)의 SECA (Solid State Energy Conversion Alliance) 프로젝트에서 설정한 효율, 내구성 등의 성능 목표 phase1을 만족시킴 [표 2-7].

[표] 고체 전해질 연료전지 개발 현황 (Delphi)

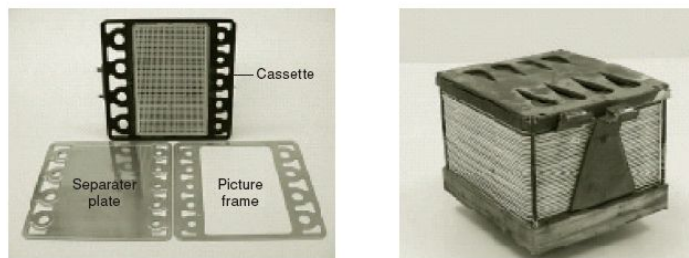
(출처 : Delphi, <http://delphi.com>)

	SECA	Delphi
최대 전력	3~10kW	4.24kW
전기 효율	35%	37%
전력 열화율	7%/1500hr	7%/1500hr
장비 및 설치 비용	US\$800/kW	US\$770/kW

☞ 1999년에 SOFC 시스템의 개발에 착수하여 대형 트럭의 보조 전원 등의 용도로 개발 중임. BMW와 공동으로 승용 및 경량 트럭용, 군용 APU 시스템을 개발 중. 5kW APU용 가솔린 개질기술 및 3~10kW APU용 천연가스 개질을 포함하는 평판형 SOFC Gen3 cassette의 경우 모사연료를 사용하여 750°C에서 0.5W/cm² (at 0.7V)의 성능을 보임.



[그림] 보조전원용 SOFC 발전시스템



[그림] SOFC 스택에 사용되는 금속접속자와 스택 형상

○ Versa Power System

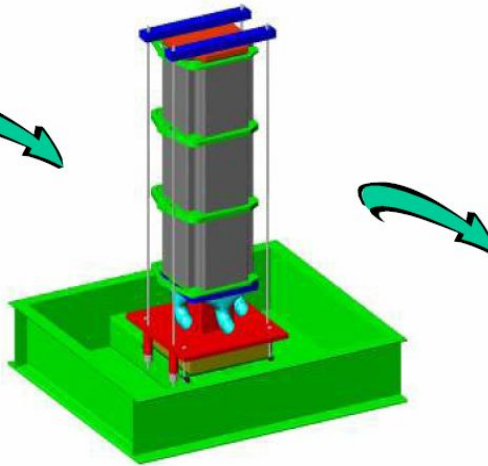
☞ VPS는 구 Global Thermoelectric Inc.의 SOFC 부문을 판매한 Fuel Cell Energy 기술을 기본으로 해서 2001년에 설립된 Joint Venture 로서 SECA 프로젝트에 참여하여 SOFC 개발 진행. 셀 유효면적이 25*25 cm²의 각형 연료극 지지체 셀을, 64 셀 적층해서 10kW 스택 모듈 형성. 그러나 열화율은 2% 이상(1000시간 당)으로 크고 수명특성 과제. 향후 셀의 대형화(33 x 33cm) 및 시스템 대형화(10kW 시스템, 30kW 시스템) 추진 예정. 또한 FuelCell Energy와 제휴해서 MW급의 석탄 발전 프로젝트용 SOFC 개발 진행.

10 kW Stack



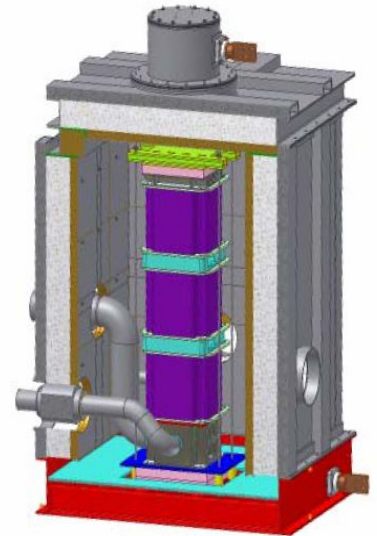
Building block for stack towers
10- 50 kW

Stack Tower



Building block for stack modules of ≥ 250 kW

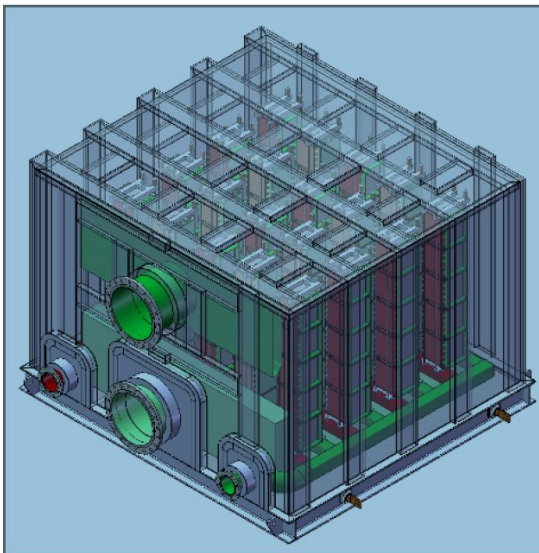
Stack Module



Building Block for a ≥ 100 MWe Integrated Gasification Fuel Cell (IGFC) system

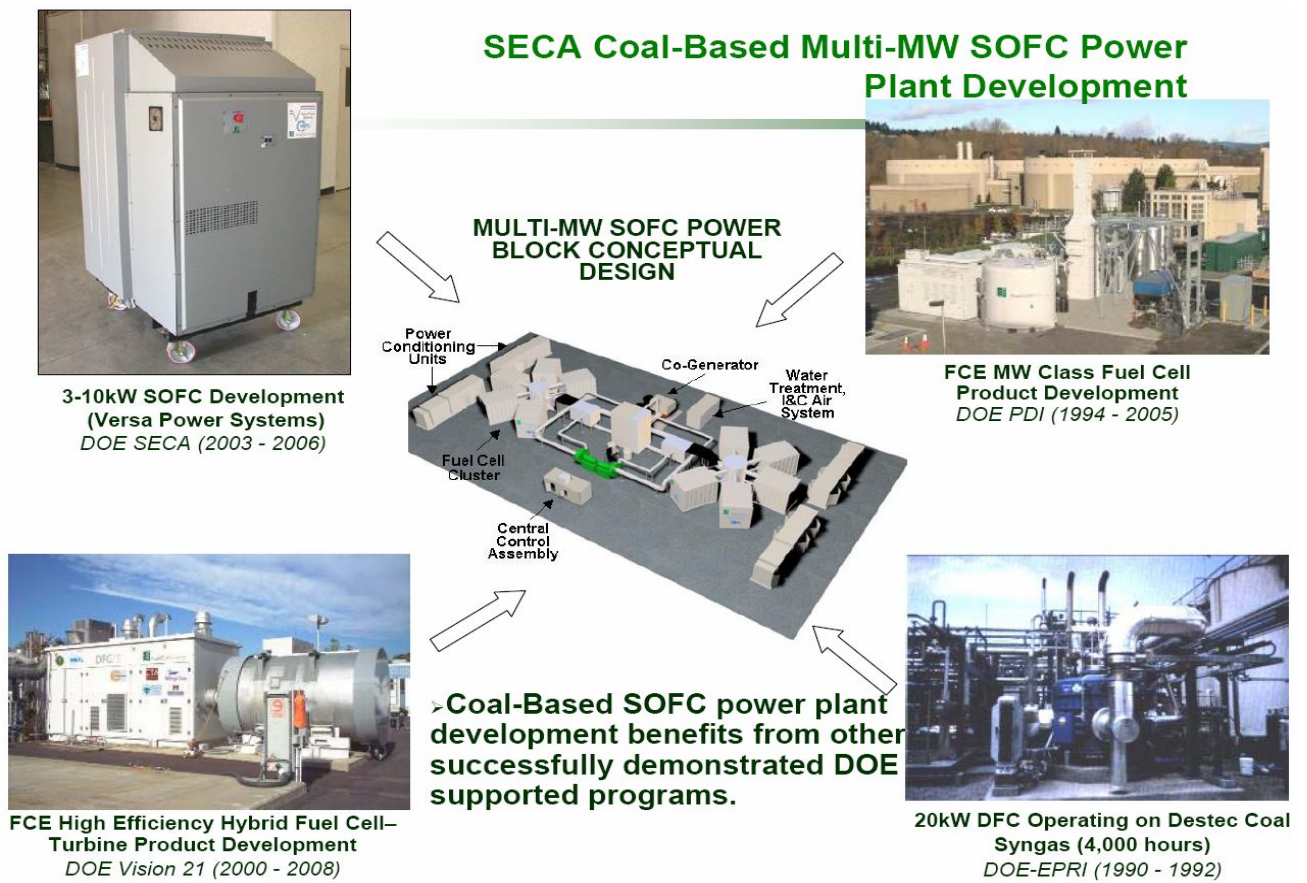
[그림] VPS 사의 스택, 스택 타워, 스택 모듈의 개발 진행 과정 모사

MW-Scale SOFC Stack Module

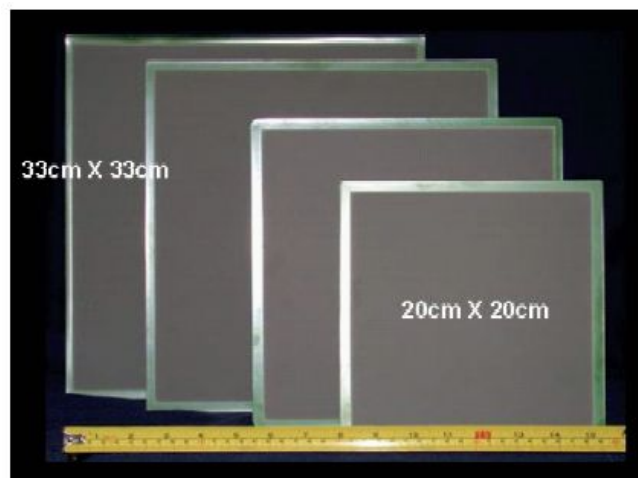


➤ The SOFC MW module is built off lessons learned from FCE's commercial MW-scale products

[그림] FCE 사의 SOFC MW급 발전시스템 개발 개념



[그림] FCE 사의 석탄 가스 이용 전력 발전소의 개념 설계 및 layout



[그림] VPS 사에서 개발한 평판형 SOFC 셀 및 대용량 셀 개발

○ PNNL (Pacific Northwest National Lab)

☞ SECA 프로그램을 NETL (National Energy Technology Lab)과 함께 주도하고 있으며, 새로운 SOFC 시스템과 소재 개발 및 평가, 생산단가를 낮추기 위한 생산 기술 개발 중. Delphi Corp., Battelle Memorial Institute 등과 공동으로 SOFC를 이용한 차량 탑재용 APU 시스템 개발 중이며, SPG와 고효율 저온 탈황시스템 개발 등을 수행중. DOE EERE 프로그램에서는 중량 트럭용 고효율 동력 시스템 개발을, DARPA Palm Power 프로그램에서는 양극재료 개선과 전극의 미세구조제어 등의 연구를 수행 중. SECA 프로그램을 통해 SOFC 셀, 스택, 시스템을 분석하기 위한 모델 개발, 저렴한 밀봉재 개발, 중저온 SOFC를 위한 전극 소재 개발에 참여 중.

○ Zteck Corp.

☞ 고성능 수증기개질을 포함하는 SOFC 에너지 개발, 생산, 판매, 서비스 산업에 종사하고 있는 기업으로서, 1kW급 연료 전지 스택을 15,000시간이상 성공적으로 운전함. 현재는 여러개의 연료전지 스택과 천연가스 내부개질을 이용하는 25kW 시스템 개발, 운전 중이며, 200kW SOFC-가스터빈 시스템 건설 중.