

3. 해설기사

연료전지 시스템 및 BOP 기술

Fuel Cell System and BOP Technology



안 국 영

Kook-Young Ahn

- 한국기계연구원 그린환경에너지 연구본부 책임연구원
- E-mail: kyahn@kimm.re.kr

1. 서 론

연료전지가 실용화되어감에 따라 연료전지 시스템 및 BOP 기술의 중요성이 부각되고 있다. 연료전지 기술의 필요성 등은 잘 알려져 있으므로 본고에서는 연료전지기술의 접근 방법을 효율 측면에서 살펴보고 BOP(Balance of Plants, 주변기계장치)을 포함하여 관련 기술 동향을 살펴보기로 한다[1].

최근, 지구온난화와 관련하여 전세계가 떠들썩하다. 온난화 자체에 대하여도 논란은 많지만 우리가 기후변화를 생활에서 실감하고 있기 때문에 온실가스에 의한 온난화는 받아들일 수밖에 없다고 생각된다. 문제는 어떻게 대응하는가인데 그 대책도 이미 잘 알려져 있다. 기술적 측면에서 보면 에너지 절약, 신재생에너지 사용, 에너지 효율 증대 등을 생각할 수 있는데 이 중 에너지 효율증대에 대하여 생각하여 보기로 한다. 에너지 효율을 증대시키는 방법으로는 발전설비등의 성능 개선, 복합 또는 하이브리드 등 새로운 개념 도입 및 새로운 기술의 도입 등을 생각할 수 있으며, 이 중 에너지 효율을 증대시키는 새로운 기술로 연료전

지를 분류하여 생각해 보기로 한다.

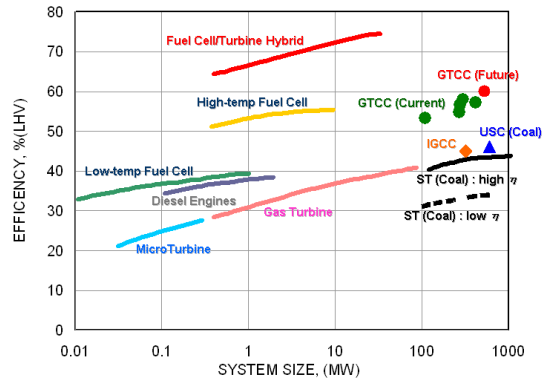


그림 1: 발전시스템 효율 비교 (source: SIEMENS (reproduced))

발전시스템별 효율을 살펴 보면 그림 1에서 보는 바와 같이 연료전지 시스템의 효율이 가스터빈과 디젤엔진에 비하여 현저히 높다. 그러나, 가스터빈과 스팀터빈의 복합사이클의 경우(GTCC) 효율이 57%정도이고 향후 60%까지 증가할 가능성

이 있음을 주시할 필요가 있다. 현재, 발전용으로 실용화에 근접한 MCFC(용융탄산염연료전지) 시스템의 경우 효율이 47%정도이고, 향후 55%정도 까지 증가될 것으로 예측된다. 그림에서 보는 바와 같이 연료전지와 가스터빈이 조합된 하이브리드 시스템이 해결책으로, 효율이 65-75%까지 예측되므로 이에 대한 연구의 필요성이 인식되어 현재 연구개발이 진행 중이다[2].

연료전지 시스템의 고효율화 전략으로는 그림 2에서 보는 바와 같이 스택성능개선, 시스템 최적화 기술, 고효율 BOP 개발 및 하이브리드 기술 등을 들 수 있으며, 스택성능개선 및 하이브리드 기술 적용이 효율 증가 효과가 높다[3].

본 고에서는 연료전지 하이브리드 시스템, 시스템 최적화 기술 및 BOP 기술에 대하여 알아보기로 한다.

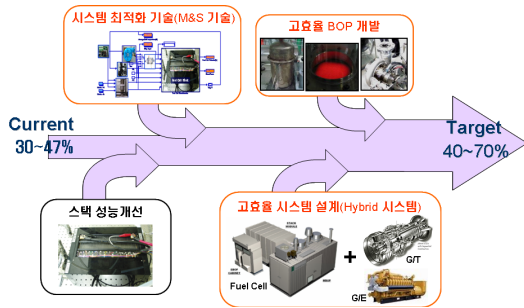


그림 2: 연료전지 시스템 고효율화 전략

2. 연료전지 하이브리드 시스템 기술

연료전지 하이브리드 시스템은 그림 3에서 보는 바와 같이, 연료전지 배열을 이용한 추가적인 발전, 연료전지에 필요한 공기 공급, 가압시스템의 경우에는 연료전지에 고압을 공급하는 등의 역할을 한다. 하이브리드 시스템의 적용은 PEMFC와 같은 저온형 연료전지의 경우에는 거의 효과가 없으며, MCFC 또는 SOFC와 같은 고온용 연료전지에는 효과가 큰 것으로 보고되고 있다. 연료전지와 가스터빈은 하이브리드 시스템에 적합하도록 각각 개발되어 적용하는 것이 바람직하나, 개발비등을 고려하여 기존에 개발된 상용품을 이용한 하이브리드 시스템에 대한 연구가 보고되고 있다[2][4][5].

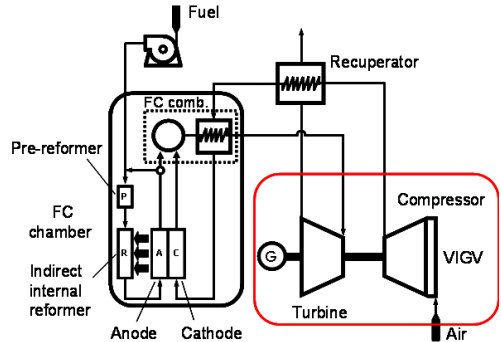


그림 3: 연료전지 하이브리드 시스템

한 예로 100kW급 SOFC에 Capston사의 C-30 모델을 하이브리드 시스템으로 적용하면 그림 4에는 보는 바와 같이 47.4%의 효율을 갖는 연료전지가 하이브리드 시스템으로는 59.30%로 효율이 증가하게 된다. 만약 연료전지에 최적화된 가스터빈을 사용하게 되면 효율을 더욱 더 증가시킬 수 있다[4].

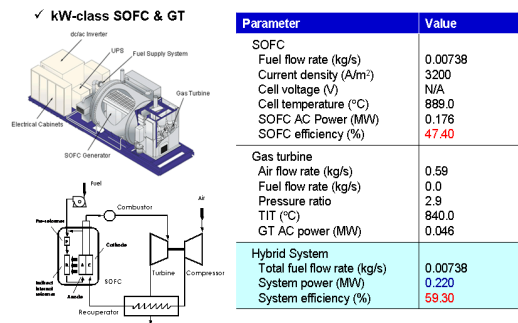


그림 4: 상용 GT - SOFC 하이브리드 시스템

3. 연료전지 시스템 최적화 기술

최근에는, 시스템을 최적화하는 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 시스템 최적화 기술로는 최적 구조 및 기구설계기술, M&S 기술(Modeling & Simulation)을 들 수 있다. 대표적인 최적 구조 및 기구 설계 기술을 적용한 사례로는 CFC-Solutions사의 Hot Module을 들 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 모듈 내부에 스택을 비롯하여 촉매연소기, 블로어 등을 함께 설치함으로써 열손실을 최소화하여 효율을 극대화하고 있다[5].

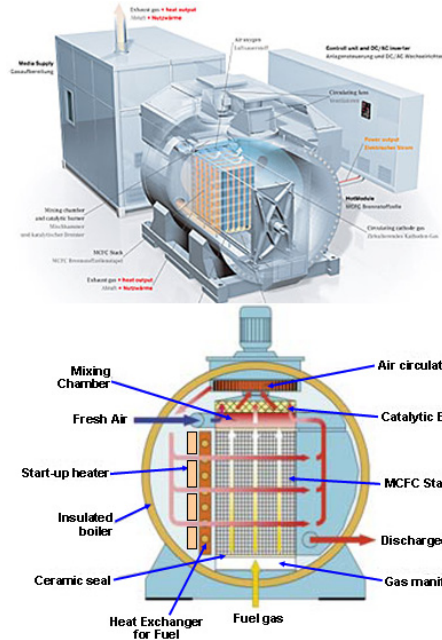


그림 5: CFC-Solution사의 Hot Module

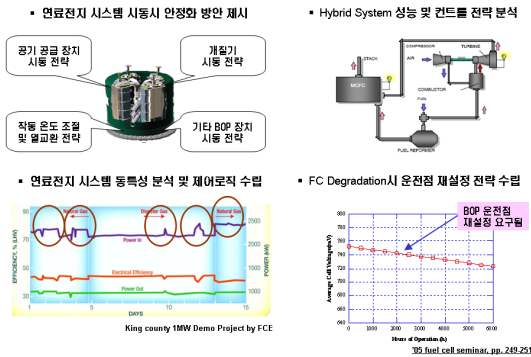


그림 6: M&S 기술의 시스템 적용 예

대표적인 M&S 기술로는 GE사의 SOFC 제어 시스템 설계, 핀란드 Warsila사의 SOFC 제어 프로그램, Cummins사의 트럭용 SOFC 보조 발전시스템 등을 들 수 있으며, M&S 기술을 이용하여 그림 6과 같이 시스템 해석에 적용할 수 있다[6-9].

4. 연료전지 BOP 기술 및 개발전략

BOP는 스택을 제외한 나머지 구성부품 또는 주변기계장치를 지칭하는 것으로, 스택과 전체시

스템을 운용하는 역할을 수행한다.

연료전지뿐 만 아니라 모든 에너지시스템에서는 가격, 내구성 및 효율 등을 고려하여야 한다. 가격적 측면에서 BOP는 전체 시스템의 50-70%정도를 차지하고 있으며, 고장의 원인도 그림 7에서 보는 바와 같이 BOP가 크게 차지하고 있으며, 효율적 측면에서도 BOP의 효율이 시스템 효율에 크게 영향을 미친다[10].

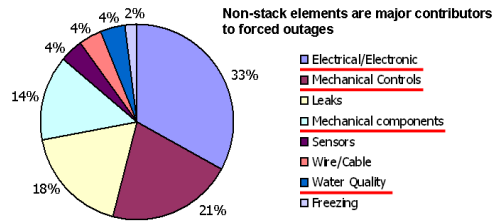


그림 7: 연료전지 시스템의 사고 분석

현재, 모니터링 사업이 진행 중인 가정용 연료전지의 경우 그림 8에서 보는 바와 같이 스택이 28%를 차지하는 반면 연료개질기를 제외한 BOP의 가격은 35% 정도이다. 연료전지에서 가격 문제가 가장 큰 이슈로 대두되는데, 그림에서 보는 바와 같이 양산화됨에 따라 가격이 현저히 감소할 것으로 예상된다,

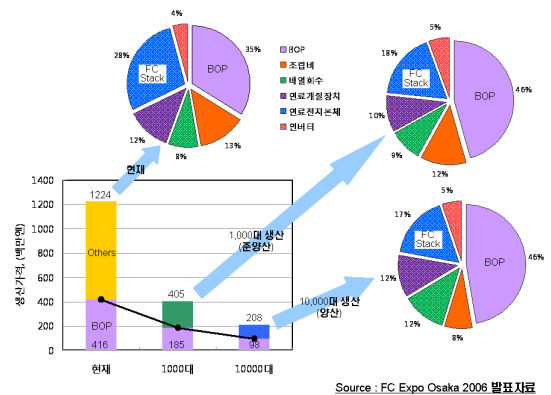


그림 8: 일본 가정용 연료전지 비용 및 향후 전략

BOP에 대한 연구는 주로 연료전지 시스템을 개발하는 연구과제에 포함되어 진행되고 있으며, 대표적인 BOP 과제로 미국 DOE의 SECA 프

젝트를 정리하여 표 1에 나타내었다[11].

표 1: 미국 DOE SECA 프로젝트




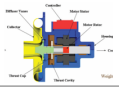

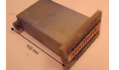
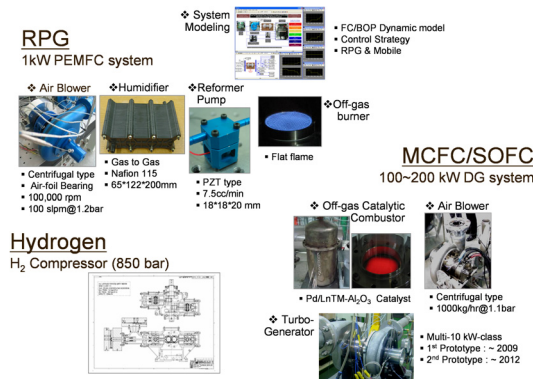
Project ID	Item	Photo	Company	Purpose	Specification & Technical Feature
IV.E.1	Recuperator		Acumentrics Corporation	Incoming Air Pre-heating for SOFC system	Effectiveness>80% Dual part ceramic : 800-1000°C, metal : <750°C 3 pass - Cross flow Air side leakage : <2% Fin core supply : T-RAD
IV.E.2	Control Module for Hybrid FC/IT power plant		Fuel Cell Energy Inc. (FCE)	Advanced Control Algorithm Development for SOFC/IT Hybrid system	MATLAB / Simulink base DFC & SOFC Dynamic modeling DFCT & SOFCIT system integration Development of control strategy Neural Network embedded online control supervision
IV.E.3	Anode Recirculation Blower		Phoenix Analysis & Design Technologies (PADT)	High Temperature Anode gas Recirculation	Anode gas Temp. = 750°C (800°C test completed) -Regenerative Type Blower (20,000 RPM) -Life target = 40,000 hour -1MW Future Gen system and 3-10 kW SOFC target
Project No.	Item	Photo	Company	Purpose	Specification & Technical Feature
IV.E.4	Cathode Air Blower		R&D Dynamics Corporation	Cathode Air Supply	-Centrifugal Type Blower (80,000 rpm, foil bearing) -Cost Target : \$100 (50,000 unit/year) -Life target = 40,000 hour -Elec. Input : 150 W (design)
IV.E.5	Anode Recycle Blower		R&D Dynamics Corporation	High Temperature Anode gas Recycle	-Anode gas Temp = 850°C -Centrifugal Type Blower (88,000 RPM, foil bearing) -Cost Target : \$100 (50,000 unit/year) -Life target = 40,000 hour -100 SLPM @ 1.08bar
IV.E.6	Recuperator		TRAX LLC	Incoming Air Pre-heating for SOFC system	Effectiveness : 85-95% (40-60 % achieved) -material : TiAlC (machinable ceramic) -Counter-flow plate fin -3-10 kW SOFC target -CF...>30SLPM@100 SLPM

그림 9에는 현재 한국기계연구원에서 개발중이거나 개발완료한 BOP를 나타내었다.



RPG
1kW PEMFC system

- System Modeling
- FC/BOP Dynamic model
- Control Strategy
- RPG & Mobile

MCFC/SOFC
100~200 kW DG system

- Off-gas Catalytic Combustor
- Air Blower
- Hydrogen H₂ Compressor (850 bar)
- Turbo-Generator

그림 9: 한국기계연구원의 BOP 개발 사례

BOP는 밸브로부터 블로어, 열교환기 등 그 종류가 매우 많기 때문에 기술 개발 전략이 필요하다. 따라서, BOP를 그림 10에서 보는 바와 같이 세가지로 분류할 필요가 있다. 즉, 상용제품을 구

매하여 사용하는 경우, 상용제품을 쉽게 응용하여 사용할 수 있는 경우 및 연구개발이 필요한 경우로 나눌 수 있다. 그림 10에는 육상용 및 선박용 BOP 개발 전략을 포함하여 나타내었다.

• BOP 별 기술특성 분석



Traffic Sign Method : ● ● ●

→ 전문가 그룹의 기술분석 : 시스템회사, 부품 제작사, BOP 설계기술 전문가 등

• 선박용 연료전지 시스템 기저대 개발전략 검토(예시)

항목	목적용	기술성	선박용
발브류, 배관류	기술성	경제성	기술성
지강해 연소기	미연용 및 공해물질 최소화	부적합물은 크지 않음	미연용 및 공해물질 최소화 (선박기준만)
고효율 블로워	고효율인 양력인 모터인버터	부적합물은 크지 않음	고효율 및 소형화해 미연 기술적 고려가 필요한
레규퍼레이터	기술적으로 문제없음	소형화해 미연 고려해 공기압축용 증가	소형화해 미연 고려해 공기압축용 증가
태열회수장치	기술적으로 문제없음	소형화해 미연 고려해 공기압축용 증가	소형화해 미연 고려해 공기압축용 증가

그림 10: 연료전지 BOP 기술 개발 전략

5. 결 론

연료전지가 실용화되어감에 따라 시스템 및 BOP 기술에 대한 요구가 증가되고 있다. 연료전지 시스템은 효율적 관점에서 다른 에너지 시스템과 비교하여 우위를 가져야 한다. 연료전지 시스템의 효율 향상을 위하여는 스택의 성능개선, 시스템 최적화 및 고효율 BOP 개발 등을 들 수 있으며, 한편으로는 가스터빈과의 하이브리드 시스템을 적용함으로써 효율을 현저히 향상 시킬 수 있다. 향후, 연료전지와외의 새로운 형태의 하이브리드 시스템 또는 연료전지를 적용한 다양한 시스템의 효율 향상 등을 고려할 필요가 있다.

연료전지 시스템은 가격 경쟁력, 내구성 등의 측면에서 실용화에는 아직 해결하여야 할 과제가 많은 것은 사실이나, 시스템이 갖는 특성상 효율 측면에서 다른 시스템에 비교하여 유리한 점이 많다. 최근에는, 선박에 연료전지를 적용하고자 하는 연구교류회가 결성되는 등 적용 범위도 점차 확장되어 지고 있다.

연료전지 시스템이 가격, 내구성 및 효율 등의 관점에서 문제점을 극복하여 가장 효율적인 시스템으로 실용화될 수 있도록 관련 연구자들이 노력하여야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 이영덕, 이상민, 안국영, “가정용 연료전지 시스템 및 BOP 기술”, 기계와 재료, vol. 18, no. 1, pp.45-55, 2006.
- [2] Hossein Ghezeli-Ayagh et al., “State of direct fuel cell/turbine systems development”, J. Power Sources, vol. 152, pp. 219-25, 2005.
- [3] 안국영, 이영덕, “연료전지 BOP 및 시스템 기술”, 그린에너지기술 심포지움, 2009.
- [4] Song, T.W. et al., “Performance analysis of a tubular solid oxide fuel cell/micro gas turbine hybrid power system based on a quasi-two dimensional model”, Journal of Power Sources, vol. 142, pp. 30-42, 2005.
- [5] <http://www.mtu-online.com>
- [6] General Electric, “GE Hybrid Power Generation Systems” 4th Annual SECA Meeting, April 15-16, 2003.
- [7] Cummins Power Generation, “10kWe SOFC Power System Commercialization Program”, Mar. 22, 2003.
- [8] ROKNI Masoud et al., “Dynamic modeling of Wärtsilä 5 kW SOFC system”, Proceedings of SOFC-IX, vol. 2, no. 2, 2005.
- [9] M. Tooi et al., “Development of Molten Carbonate Fuel Cell in Japan”, Proceedings of Fuel Cell Seminar 2005, pp. 249-251, 2005.
- [10] Tutorial Material, Fuel Cell Seminar, 2005.
- [11] NETL-Office of Fossil Energy, 2007, “Fuel Cell Program Annual Report”, DOE-USA, pp. 203-221, 2007.
- [12] 지식경제부, “선박해양용 MW급 연료전지 보조전원시스템 개발(연구기획 최종보고서)”, 지식경제부, 2009.