

250kW급 MCFC 연료전지-가스터빈 하이브리드 시스템

이영덕* · 이상민* · 안국영* · 임희천**

1. 서 론

전기에 대한 양적, 질적 수요증가와 함께 분산발전 에 대한 관심이 증가하고 있다. 분산발전에 적용가능한 기술로서 가스터빈, 가스엔진, 스팀링엔진, 태양광발전, 풍력발전 등에 대한 연구가 활발한 가운데, 연료전지를 이용한 분산발전 시스템에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다⁽¹⁾.

연료전지를 적용한 분산발전시스템에는 용융탄산염 연료전지 (MCFC, Molten Carbonate Fuel Cell), 고체산화물 연료전지 (SOFC, Solid Oxide Fuel Cell)와 같은 고온형 연료전지가 주로 적용된다⁽²⁾. 현재 선진국에서는 MCFC를 이용한 250 kW급 발전시스템이 상용화되고 있으며⁽³⁾, 효율 극대화를 위해 연료전지와 가스터빈 (GT, Gas Turbine)을 연계한 하이브리드 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다^{(2),(4),(5)}.

국내에서는 한전전력연구원 주관으로 가압형 MCFC를 이용한 100 kW급 발전시스템이 개발되었고⁽⁶⁾, 현재는 상압형 MCFC를 이용하여 250 kW급 발전시스템을 개발하는 연구가 진행중에 있다⁽⁷⁾. 연료전지/가스터빈 하이브리드 시스템에 대한 연구는 대학과 연구기관에서 설계연구 중심으로 진행되어 왔는데⁽⁸⁾, 최근 소형 SOFC와 마이크로 가스터빈을 연계하여 운전한 연구 결과가 보고되었다⁽⁹⁾.

본 논문에서는 현재 국내에서 개발 중인 250 kW급 상압형 MCFC 시스템을 대상으로 기본 사이클을 해석하여 시스템 설계 자료를 도출하였다. 또한 Cathode 출기가스 재순환 적용여부의 영향을 살펴보았으며, 가스터빈을 연계한 하이브리드 시스템에 대하여 성능개선 효과를 살펴보았다.

2. 시스템 구성

본 논문에서는 현재 국내에서 개발중인 250 kW급 상압형 MCFC 시스템⁽⁷⁾을 기준으로 해석을 진행하였다. Fig. 1에 기준시스템을 개략적으로 나타내었다. 기준시스템은 상압형 MCFC, 연료개질기, 공기블로어, 촉매연소기, Cathode 가스 재순환 블로어, 열교환기 등으로 구성되며, 연료전지 단독으로 운전하는 시스템이다. 시스템에 공급되는 연료로는 천연가스를 사용한다. 천연가스는 연료개질기 내에서 수증기 개질반응을 통해 수소로 변환되며, 변환된 개질가스는 연료전지의 Anode에 공급된다. Anode에서 반응하지 않고 배출된 연료 (Off-gas)는 촉매연소기에서 연소되어 개질기의 열 공급원으로 사용되며, 산소를 포함한 연소가스는 Cathode에 산화제로 공급된다. 시스템에 적용된 MCFC는 외부개질형으로서 연료전지의 냉각을 위해서는 과량의 가스가 Cathode에 공급되어야 한다. 이를 위해서 Cathode 배출가스의 일부를 재순환하여, 촉매연소기 연소가스와 함께 Cathode에 공급한다. 기준시스템의 주요사양을 Table 1에 정리하였다.

본 연구에서 구성한 하이브리드 시스템의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 압축기를 통해 고압으로 유입된 공기는 시스템 내의 열교환기를 지나면서 폐열을 흡수하여 온도가 상승한다. 온도가 상승한 고압의 공기는 터빈을 지나면서 전력을 발생시키고, 상압으로 압력이 떨어진 뒤 촉매연소기로 공급된다. 촉매연소기에 공급

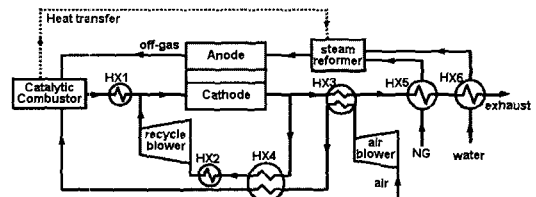


Fig. 1 기준시스템 개략도(상압형 MCFC 시스템)

* 한국기계연구원 청정환경기계연구센터

** 한국전력연구원

E-mail : kyc@kimm.re.kr

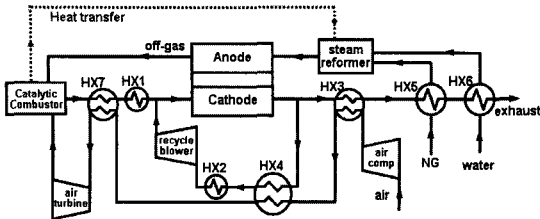


Fig. 2 하이브리드 시스템 개략도 (보조버너 미설치)

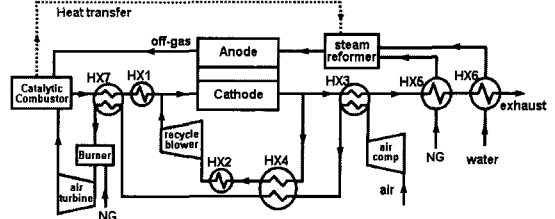


Fig. 3 하이브리드 시스템 개략도 (보조버너 설치)

된 공기는 Off-gas를 산화시켜 개질기에 열을 공급하고, Cathode에 산화제로 공급된다.

터빈입구의 가스온도가 높을수록 터빈에서 더 많은 전력이 발생되는데, 이러한 목적으로 터빈입구에 보조버너를 설치하기도 한다. Fig. 3에 터빈입구에 보조버너를 설치한 하이브리드 시스템의 개략도를 나타내었다.

3. 해석방법 및 내용

시스템의 화학반응과 열 및 물질평형은 공정해석을 위해 개발된 상용프로그램⁽¹⁰⁾을 이용하여 계산하였다.

효율 비교를 위해 먼저 Cathode 가스 재순환이 있는 기준시스템 (case 1)을 해석하였다. 그리고, 연료전지 냉각에 Cathode 재순환 가스를 사용하지 않고, 과량의 공기만을 공급한 경우 (case 2)를 해석하여 효율을 비교하였다. 다음으로 Fig. 2에 도시된 하이브리드 시스템 (case 3)에 대하여 가스터빈 작동압력을 변화

시켜 가며 계산을 수행하여 case 1과 비교하였다. 계산결과로부터 효율이 최대가 되는 가스터빈 작동압력을 도출하였다. 보조버너에 공급되는 연료의 양을 증가시키면서 계산을 수행하여 Fig. 3에 도시된 보조버너 하이브리드 시스템의 성능특성을 살펴보았다 (case 4). 가스터빈의 작동압력은 case 3에서 도출된 최적압력조건으로 설정하였다. 보조버너에 추가로 공급된 천연가스의 연소에 필요한 공기는 압축기에 유입되는 공기량을 당량비만큼 증가시키는 방법으로 공급하였다.

4. 해석결과

본 논문의 기준시스템은 연료전지 냉각을 위하여 과량의 가스를 Cathode에 공급하여야 하는데, Cathode 출구가스를 재순환하는 경우 (case 1)와 Cathode 출구가스를 재순환하지 않고 과량의 공기만을 이용하는 경우 (case 2)를 비교하였다. Case 1의 경우가 전기효율

Table 1 기준시스템 주요사항

	주요사항		비 고
	운전압력	상압	
연료전지	운전온도	Max 680℃	입출구 온도조건 - Cathode in : 570℃, Cathode out : 680℃ - Anode in : 650℃, Anode out : 680℃
	셀전압	0.73V	
	연료이용율	75%	
	산소이용율	40%	
	개질방식	수증기개질	
개질기	운전압력	3.3 bar	- 반응기 크기, 열교환면적 등을 고려하여 가압형 개질시스템으로 설계함.
	운전온도	650℃	
	S/C 비	4.0	
축매연소기	연료	Off-gas	- Honeycomb type 축매사용.
	공기공급	$\lambda=3$	
공기블로어	타입	원심형	- 고온형 블로어
재순환블로어	타입	원심형	

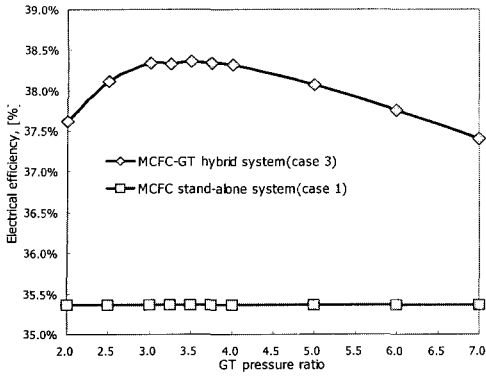


Fig. 4 시스템 전기효율 변화

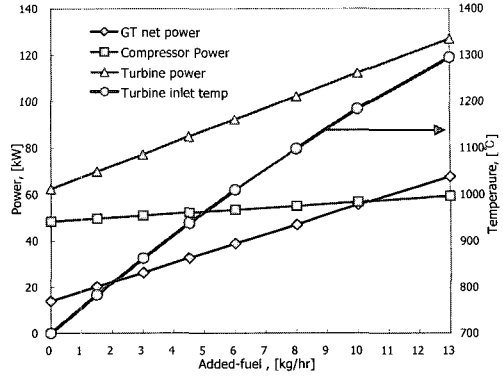


Fig. 5 연료추가에 따른 터빈입구온도 변화와 가스터빈 전력생산량 변화

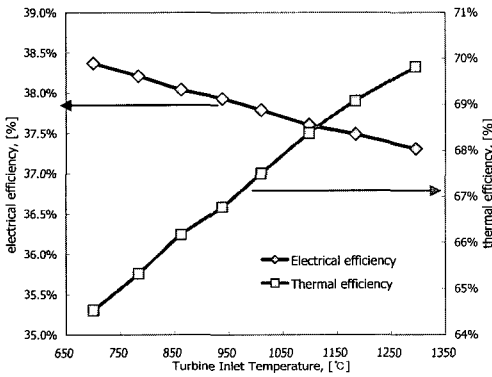


Fig. 6 터빈입구온도 변화에 따른 전기효율과 열효율 변화

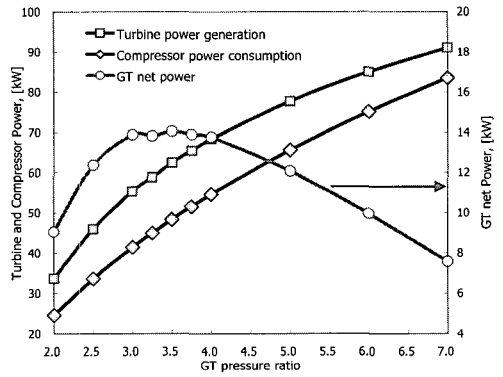


Fig. 7 가스터빈 전력생산량 변화

이 1% 정도, 열효율이 16% 정도 높게 계산되었다.

본 논문에서 구성한 하이브리드 시스템 (case 3)의 해석결과를 Figs. 4와 5에 나타내었다. Fig. 4를 보면 가스터빈 작동압력이 증가함에 따라 터빈발생전력과 압축기 소비전력이 함께 증가하지만, 증가율에서 차이를 보여 순수발생전력은 포물선 형태로 나타난다. 따라서 시스템 전기효율 또한 Fig. 5에서와 같이 포물선 형태로 변하며 압력비가 3.5 정도일 때 최대값을 갖는다.

Case 4의 계산결과를 Figs. 6과 7에 나타내었다. Fig. 6을 보면 보조버너 연료공급량을 증가시킬수록 터빈입구온도가 상승하여 가스터빈의 순수발생전력이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나, Fig. 7에서와 같이 전기효율은 완만하게 감소하는 경향을 보인다. 이는 보조버너에 공급된 연료가 가지는 에너지의 일부만이 가스터빈의 출력으로 전환되고 나머지는 열의 형태로 방출되기 때문이며, 초소형 가스터빈의 효율이 연료전

지 효율에 비해 높지 못한 점⁽¹⁾을 고려하면 타당한 결과라 할 수 있다.

5. 결론

- 250 kW급 상압형 MCFC의 냉각은 공기만을 과급하여 사용하는 것보다 Cathode 출구가스 재순환을 이용하는 것이 바람직하다. Cathode 출구가스 재순환을 적용한 경우가 전기효율이 1%, 열효율이 16% 정도 높게 계산되었다.
- 위 기준시스템에 가스터빈을 적용하여 하이브리드 시스템을 구성하게 되면, 전기효율이 3% 정도 향상되며, 이 때 가스터빈의 최적운전 압력비는 3.5이다.
- 위 하이브리드 시스템에 보조버너를 설치하여 터빈 입구온도를 증가시키는 경우, 시스템 출력은 증가하지만, 전기효율은 감소한다.

참고문헌

- (1) 오시덕, “분산발전으로서 열병합 발전기술의 현황 및 전망”, 대한설비공학회 소형 열병합 발전 기술 세미나, 2005.
- (2) M.C. Williams, J.P. Strakey, S.C. Singhal, “U.S. distributed generation fuel cell program”, J. Power Sources, Vol. 131, pp. 79~85, 2004.
- (3) Fuel Cell Energy, www.fce.com.
- (4) Kevin Litzinger and Thomas Flower, “Combined Cycle SOFC of Siemens-Westinghouse”, Proceeding of Luzern Fuel Cell Forum, A09, 2005.
- (5) Hossein Ghezal-Ayagh et al., “State of direct fuel cell/turbine systems development”, J. Power Sources, Vol. 152, pp. 219~225, 2005.
- (6) 산업자원부, “100 kW급 외부개질형 용융탄산염 연료전지 발전시스템 개발 연구”, 최종보고서, 2005.
- (7) 산업자원부, “250kW급 열병합 용융탄산염 연료전지 발전시스템 Proto Type 개발”, 1단계 사업 보고서, 2006.
- (8) 오경석, 김동섭, “상압형 MCFC/가스터빈 하이브리드 시스템의 구성 방법에 따른 설계 성능 분석”, 대한설비공학회 2004 하계학술대회 논문집, pp. 987~992, 2004.
- (9) 김재환, 박부민, 양수석, 이대성, “가스터빈/연료전지 혼합형 고효율 발전시스템 개발”, 한국산·계생 에너지학회 2005년도 춘계학술대회논문집, pp. 243~247, 2005.
- (10) WinSim Inc., DESIGN II for Windows, Version 9.15.