

가스터빈-가압형 SOFC 하이브리드 시스템의 성능특성 해석

양 원 준, 김 동 섭*, 김 재 환**

인하대학교 대학원, *인하대학교 기계공학과, **한국항공우주연구원

Performance Characteristics Analysis of Gas Turbine-Pressurized SOFC Hybrid Systems

Won Jun Yang, Tong Seop Kim*, Jae Hwan Kim**

Graduate School, Inha University, Incheon 402-751, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

**Aeropropulsion Department, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon 305-333, Korea

(Received February 12, 2004; revision received April 26, 2004)

ABSTRACT: Recently, the hybrid system combining fuel cell and gas turbine has drawn much attention owing to its high efficiency and ultra low emission. It is now on the verge of world wide development and various system configurations have been proposed. A national project funded by Korean government has also been initiated to develop a pressurized hybrid system. This work aims at presenting design performance analysis for various possible system configurations as an initial step for the system development. Study focuses are given to major design options including the power ratio between gas turbine and fuel cell, reforming method (internal or external), reforming heat source (reforming burner, cathode hot air, fuel cell heat release) and steam supply method for reformer (anode gas recirculation, external steam generator). A wide variation in performance among different configurations has been predicted.

Key words: Gas turbine(가스터빈), SOFC(고체산화물 연료전지), Pressurized hybrid system(가압형 하이브리드 시스템), Reformer(개질기), Efficiency(효율), Power ratio(출력비)

기 호 설 명

F : Faraday 상수
 FC : 연료전지
 FCT : 연료전지 작동온도 [°C]
 GT : 가스터빈
 \bar{h} : 단위 몰당 엔탈피 [kJ/kmol]
 HX : 열교환기
 LHV : 저위 발열량 [kJ/kg]

\dot{m} : 질량유량 [kg/s]
 \dot{n} : 몰유량 [kmol/s]
 PR : 압력비
 S/C : 수증기/연료 비
 TIT : 터빈 입구온도 [°C]
 U_f : 연료이용률
 V : 전압 [V]
 \dot{W} : 출력 [kW]

† Corresponding author

Tel.: +82-32-860-7307; fax: +82-32-868-1716

E-mail address: kts@inha.ac.kr

그리스 문자

η : 효율

하첨자

AC : 교류

DC : 직류

1. 서 론

전 세계적으로 환경과 에너지 절약에 대한 관심이 증대되면서 발전설비 분야에서도 공해물질 배출이 적고 효율도 높은 새로운 발전 시스템에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 특히 카르노 원리의 제약을 받는 기존의 열기관과 달리 연료가 가진 화학에너지를 전기화학반응에 의해 직접 전기에너지를 얻어 고효율, 저공해 특성을 갖는 연료전지와 열기관 중에서는 환경친화적이며 신뢰성도 높은 가스터빈이 주목받고 있다.

연료전지와 가스터빈은 각각의 시스템만으로도 우수한 성능을 갖고 있으며 그 성장 잠재능력 또한 우수하다. 최근에는 각각의 시스템 성능향상을 넘어서 두 시스템을 결합하여 시너지 효과를 얻는 하이브리드(hybrid) 시스템에 대한 기술개발 및 연구가 늘고 있다. 연료전지는 전해질에 따라 여러 종류가 있으며 3세대 연료전지인 고체산화물 연료전지(solid oxide fuel cell, SOFC)의 개발도 활발하게 이루어지고 있다. SOFC는 작동온도가 높기 때문에(600~1,000℃) 가스터빈과 결합하여 하이브리드 시스템을 이루기에 적합하다. 특히 전 세계적으로 소규모 분산발전에 대한 관심이 높아지면서 SOFC와 수십 kW급의 마이크로 가스터빈을 결합한 하이브리드 시스템에 대한 개발욕구가 더욱 커지고 있으며, 미국을 비롯한 선진 각국에서 국가적 개발사업으로 자리잡고 있다.⁽¹⁾ 하이브리드 시스템은 두 시스템을 결합하는 방법에 따라 다양한 형태가 가능한데, 연료전지의 작동압력을 기준으로 가압형과 상압형으로 나뉘며 대체로 가압형이 상압형에 비하여 높은 열효율을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.

현재까지 선진국 기술수준에서 상용화를 위해 최적화된 가압형 시스템 설계에 의하면 60%에 가까운 열효율이 가능한 것으로 알려져 있으며,⁽²⁾ 해석결과도 유사하게 나타나고 있다.⁽³⁾ 이 경우에 대체로 출력비(연료전지/가스터빈)가 5 이상으로서(220 kW/40 kW) 연료전지가 상대적으로 비중이 크다. 그러나 이는 수백 kW급 연료전지의 제

작이 가능한 경우에 실현 가능성이 있는 것이며, 현재 SOFC의 개발 초기단계인 국내에서는 단기간에 성취하기 힘들다. 반면에 가스터빈에 있어서는 국내에서 소형 가스터빈의 제작경험도 있고 현재 수십 kW의 마이크로터빈이 몇몇 기관을 중심으로 개발 중⁽⁴⁻⁶⁾이기 때문에 비교적 단기간에 일정 성능수준 이상의 소형 가스터빈의 개발이 가능하다.

현재 국내에서도 가스터빈-가압형 SOFC 하이브리드 시스템 개발에 착수하였으며, 앞서 서술한 국내의 현실적 기술수준을 고려하여 50 kW급 가스터빈에 10 kW급 연료전지를 결합한 시스템 개발을 1차 목표로 개발을 진행중이다.⁽⁷⁾ 물론 이러한 시스템은 성능면에서 최적화된 시스템으로 볼 수 없으나, 추후 연료전지 기술수준을 높여 가면서 궁극적으로는 최적화 설계를 통하여 고효율의 시스템 개발을 도모하고자 계획하고 있다.

본 연구에서는 1단계 개발목표에 해당하는 시스템의 설계성을 제시하고 시스템 구성형태를 개선해 가면서 달성 가능한 성능수준을 해석하는 것을 목적으로 한다. 본 논문에서는 50 kW 가스터빈을 기초로 하여 연료전지 출력증가에 따른 성능변화 및 주요 구성요소인 연료전지 개질기 형태 및 열공급 방법, 개질용 수증기 공급방법 등에 따른 시스템 형태의 변화와 이에 따른 성능개선 정도를 해석한 결과를 제시하고자 한다.

2. 하이브리드 시스템 구성

본 연구의 대상은 50 kW 가스터빈과 SOFC를 다양한 방법으로 결합한 6개의 시스템들로서 Fig. 1에 개략도를 나타내었으며, 각 시스템 사이의 구성방법 차이는 Table 1에 요약하였다. 가압형 시스템에서는 기본적으로 공기가 가스터빈 압축기에 먼저 공급되고 가압상태로 연료전지에서 반응을 한 뒤 가스가 터빈으로 유입된다.

하이브리드 시스템에서 주요 구성부는 연료전지와 가스터빈이며, 고효율을 전제로 한 시스템 구성 예는 문헌^(2,3)을 통하여 살필 수 있다. 연료전지는 다시 여러 가지의 구성요소로 이루어진다. 탄화수소계 연료로부터 연료전지 셀에 필요한 수소를 생산하기 위한 개질기(reformer), 개질기 흡열반응을 위한 열량 공급장치, 개질에 필요한 수증기 공급장치 등이 필요하며, 연료 개질방식에

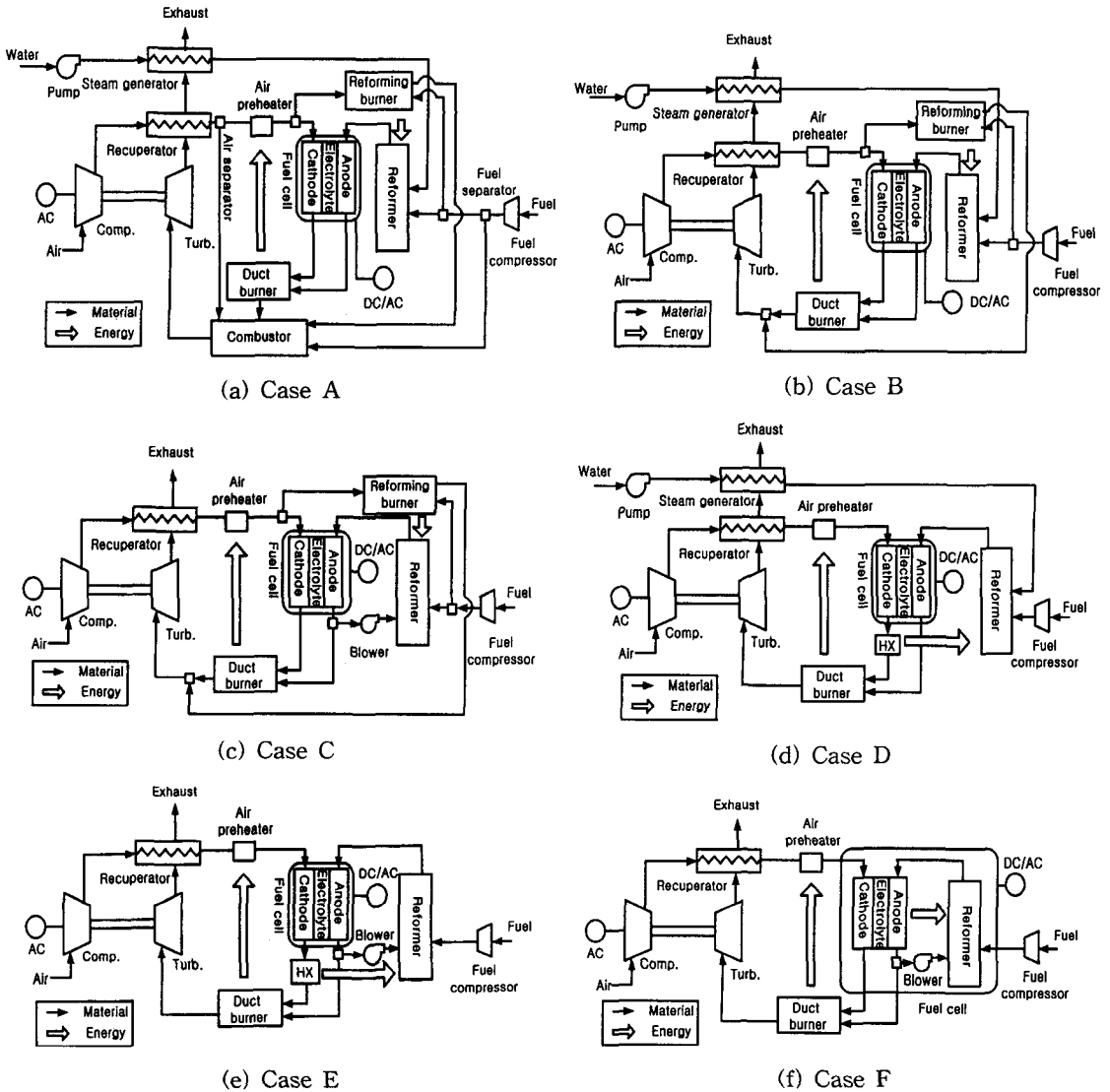


Fig. 1 Various hybrid system configurations.

Table 1 Major differences in system configuration

Case	Bypass ratio*		Reformer type		Reformer heat source			Steam supply method	
	Fuel	Air	Internal	External	Reforming burner	Cathode air HX	Fuel cell reaction	Re-circulation	Steam generator
A	0.86	0.77		●	●				●
B	-	-		●	●				●
C	-	-		●	●			●	
D	-	-		●		●			●
E	-	-		●		●		●	
F	-	-	●				●	●	

* Fraction of air and fuel at each separator which is bypassed to main combustor.

따라 다양한 시스템 구성이 가능하다.

Case A

가스터빈 50 kW에 연료전지 10 kW를 결합한 Case A가 가장 먼저 개발이 예상되는 기본 시스템이다. 이 시스템에는 연료전지와 분리된 외부 개질기(external reformer)가 필요하다. 또한 개질열을 공급하기 위하여 개질버너(reforming burner)를 사용하며, 개질반응을 위하여 외부에서 물을 공급한다. 그리고 연료전지의 출력을 제한하였기 때문에 가스터빈에서 압축된 공기를 모두 연료전지로 보내지 못하고 분리기에서 많은 부분을 바이패스시킨다. 연료도 마찬가지로 바이패스시켜서 주 연소기에서 연소시킨다.

압축기를 통해 가압된 공기가 재생기(recuperator)를 거쳐 1차 예열된 후 일부는 덕트버너로부터 연료전지 반응에 필요한 온도까지 2차 예열되어 공기극(cathode)으로 들어간다. 나머지 공기는 연소기로 바로 들어간다. 연료도 일부는 개질기에서 수소로 개질되어 연료극(anode)으로 들어가고 나머지는 연소기로 바로 들어간다. 이때 개질반응은 흡열반응인 증기개질방법(steam reforming)으로서 개질에 필요한 열은 연료전지로 들어갈 일부의 연료와 공기를 개질버너에서 연소하여 얻는다. 증기개질에 필요한 수증기는 별도로 물을 공급하여 증기발생기(steam generator)를 통해 얻는다. 이때 필요한 열원은 재생기를 거쳐 나온 가스를 다시 열교환하여 얻는다. 연료전지에서 반응 후 나온 가스는 덕트버너와 연소기를 통해 완전 연소되고 연소기를 통해 나온 고온 고압의 가스가 터빈으로 들어가서 동력을 발생한다. 터빈 입구온도(TIT)는 현 마이크로터빈 제작수준을 고려하여 850°C로 정하였으며, 압력비는 3.5로 정하였다. 추후 다른 시스템들에서도 이 온도와 압력비는 유지시킨다.

Case B

Case B는 Case A와 같은 구성에서 연료와 공기를 바이패스하지 않고 모두 연료전지로 보내는 시스템으로서 연료전지 출력이 증가해야 한다.

Case C

Case C는 Case B와 같은 구성에서 연료극에서 반응하고 나오는 수증기를 개질기로 재순환하여 개질에 필요한 수증기를 공급하도록 한 경우이다. 외부에서 수증기 공급을 하지 않도록 개선

함으로써 성능개선이 예상된다.

Case D

Case D는 Case B와 같은 구성에서 개질버너 대신 공기극에서 셀반응 후 나오는 고온의 공기를 열교환하여 개질에 필요한 열을 얻도록 한 시스템으로서 셀 온도가 충분히 높으므로 셀 출구 공기로도 충분히 개질열 공급이 가능하다고 판단되므로⁽⁸⁾ 이 방법을 고려하였다.

Case E

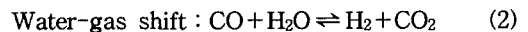
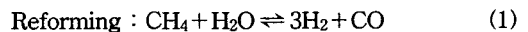
Case E는 Case C와 Case D에 사용한 수증기 재순환 방법과 공기극에서 나온 공기열을 이용한 개질열 공급을 동시에 사용한 구성이다.

Case F

이전까지의 시스템들이 외부개질에 의존한 것에 비하여 Case F에는 기술수준이 높은 내부개질(internal reforming)을 고려하였다. 셀 반응이 온도가 높은 발열반응이므로 발생한 열의 일부를 개질기에 바로 공급할 수 있으며, 이러한 방법을 적용한 시스템이다. 이 시스템은 상용화에 가장 근접한 Siemens-Westinghouse사의 시스템^(2,3)과 매우 유사한 구성을 갖게 된다.

3. 해석방법

다양한 시스템을 효과적으로 해석하기 위하여 화학반응을 포함한 열시스템 해석이 가능한 상용 소프트웨어 HYSYS⁽¹⁰⁾를 사용하였다. 공급되는 연료는 메탄(CH₄)이며, 연료의 개질반응을 통해 수소를 얻는 개질기는 1차, 2차 반응으로 이루어진다. 단위 메탄 1몰이 완전 반응을 거친다고 가정하면 아래와 같이 4몰의 수소가 발생한다.⁽⁹⁾



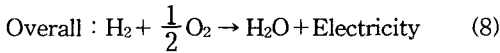
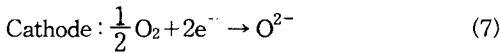
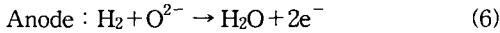
그러나 실제로 반응물은 반응조건에 의존하므로 반응온도와 압력의 함수로 이를 결정하는 평형반응(equilibrium reaction)을 고려하였다. 개질반응은 흡열반응으로서 다음과 같은 에너지식이 적용된다. 열량의 공급은 2절에서 설명한 바와 같이 시스템에 따라 다양한 방법을 고려하였다. R 과 P 는 각각 반응물과 생성물을 의미한다.

$$\sum_p \dot{n}_i \bar{h}_i + \dot{Q} = \sum_p \dot{n}_i \bar{h}_i \quad (4)$$

개질반응이 원활히 일어나도록 식(5)와 같이 수증기/연료비(steam carbon ratio, S/C)를 정하게 되는데, 본 해석에서는 3으로 일정하게 두었다. 이 값이 주어지면 외부에서 물을 공급하여 수증기를 발생시키는 경우에는 공급되는 물의 양이 결정되며 연료극 가스를 재순환하여 수증기를 개질기에 공급하는 경우에는 연료극에서 나간 가스의 재순환비가 결정된다.

$$\frac{S}{C} = \frac{\dot{n}_{H_2O, supplied}}{\dot{n}_{CH_4}} \quad (5)$$

공기극에서 공기 중의 산소만 이온화되어 전해질을 통해 연료극으로 이동하여 수소 및 개질기에서 개질되지 않고 남은 일산화탄소와 반응한다. 이때 발생된 전자가 공기극으로 이동하면서 전류를 발생시킨다. 수소를 기준으로 한 반응식은 다음과 같다.



개질반응에서 생성된 일산화탄소 역시 연료로 사용되어 수소와 마찬가지로 1몰당 2몰의 전이동을 가져온다.⁽⁹⁾ 셀 내부의 연료는 셀의 전압손실을 고려하여 모두 산소와 반응할 수 없게 제한하고 이를 연료이용률(Utilization factor, U_f)로 정의한다.

$$U_f = \frac{\dot{n}_{H_2, reacted} + \dot{n}_{CO, reacted}}{\dot{n}_{H_2} + \dot{n}_{CO}} \quad (9)$$

셀반응에서 에너지보존식은 식(10)으로 표현된다. 셀의 온도는 출구온도를 의미하며 이 반응식으로부터 구할 수 있다. \dot{Q} 는 외부개질기를 사용하는 경우에는 존재하지 않으며, 내부개질기를 사용하는 경우에는 개질기로 전달되는 열량(음수)이다.

$$\sum_p \dot{n}_i \bar{h}_i + \dot{Q} = \sum_p \dot{n}_i \bar{h}_i + \dot{W}_{FC, DC} \quad (10)$$

연료전지의 출력과 효율은 다음으로 정의된다.

$$\dot{W}_{FC, DC} = 2(\dot{n}_{H_2, reacted} + \dot{n}_{CO, reacted}) \times F \times V \quad (11)$$

$$\eta_{FC} = \frac{\dot{W}_{FC, DC}}{(\dot{m} \times LHV)_{FC, CH_4}} \quad (12)$$

가스터빈의 출력은 다음 식으로 계산되며, 가스터빈의 순출력은 가스터빈 출력에서 각종 부수적인 동력 소모율(연료압축기 동력 등)을 제외한 것을 의미한다.

$$\dot{W}_{GT, shaft} = \dot{W}_{turbine} \times \eta_m - \dot{W}_{compressor} \quad (13)$$

$$\dot{W}_{GT, AC} = \dot{W}_{GT, shaft} \times \eta_{gen} - \dot{W}_{auxiliary} \quad (14)$$

출력비는 식(15)와 같이 연료전지 대 가스터빈의 출력비로 정의하며, 하이브리드 시스템의 효율은 식(16)으로 정의한다.

$$\text{Power ratio} = \frac{\dot{W}_{FC, AC}}{\dot{W}_{GT, AC}} \quad (15)$$

$$\eta_{system} = \frac{\dot{W}_{GT, AC} + \dot{W}_{FC, AC}}{(\dot{m} \times LHV)_{CH_4}} \quad (16)$$

계산에 사용된 주요 파라미터들은 Table 2에 요약하였다. 연료전지의 발생전압은 일정하게 설계 가능하다고 가정하였고, 공기극 입구의 공기온도는 충분히 화학반응 활성화가 가능하도록 700°C로 두었다. 이외에도 기계효율, 발전기효율, 연료전지의 직교류 변환효율 및 배관에서의 압력손실들이 현실적으로 고려되었다.

Table 2 Main parameters for analysis

GT power	50 kW
TIT	850°C
Compressor PR	3.5
Recuperator efficiency	0.83
Turbine efficiency	0.85
Compressor efficiency	0.78
Reformer operation temperature	800°C
Cathode inlet air temperature	700°C
U_f	0.7
S/C	3

4. 결과 및 토의

각 시스템별로 해석된 성능지수들을 Table 3에 비교하여 요약하였다. Case A에서는 연료와 공기의 많은 부분을 연료전지에 공급하지 않고 바이패스시켜서(연료는 86%, 공기는 77%) 연료전지 출력을 작게 만든 경우이다. 출력비(Power Ratio)는 0.2이며 가스터빈의 출력이 50 kW가 되도록 공기 유량을 결정하였다. 셀온도는 785°C로 예상되었다. 전체 시스템의 효율은 23%로 상당히 낮다. 연료전지를 제거하고 가스터빈만 단독 운전한다고 가정하면 효율은 약 18%로 예상되었다. 현재 개발되어 있거나 계획중인 동급 규모의 마이크로터빈들의 효율이 25%인데 비하여 18% 정도로 낮은 이유는 하이브리드 시스템을 구성하기 위해서 시스템의 구성부가 늘고 복잡해져서 압력손실이 상당히 크기 때문이다. 결국 Case A에서는 가스터빈이 주 기기가 되고 상대적으로 효율이 높은 연료전지(연료전지만의 효율은 약 31%)가 출력을 일부 보조하는 구성으로서 시스템 효율은 가스터빈 단독 운전시보다는 다소 증가한다. 따라서 가스터빈 출력이 50 kW로 고정된 상태에서는 연료전지의 출력을 높일수록 전체 효율이 향상될 것이다.

Case B는 Case A에서 공기와 연료를 바이패스시키지 않고 바로 연료전지로 유입되게 한 경우로서 A에 비하여 더 큰 연료전지의 출력이 필요하다. 연료전지 출력이 99 kW로서 출력비가 1.98로 증가하였다. 연료전지의 구성요소가 같으므로 연료전지의 효율은 변하지 않는다. 그러나 상대적으로 효율이 높은 연료전지의 출력비중이 높아지기 때문에 전체 효율이 상승한다. 시스템 효율은 43.8%로 Case A 경우보다 거의 두 배로 대폭 상승한다. 다만, 이 경우에 셀의 작동온도가 상승하여 약 900°C가 되어야 한다.

한편 Case A와 B의 중간단계에서 연료전지로 공급되는 연료 및 공기량을 조절하여 연료전지의 출력을 연속적으로 증가시키는 것이 가능할 것이며 이에 대한 결과를 살펴보고자 한다. 먼저 Fig. 2에 연료분리기에서 연료전지로 공급되는 연료비율(1-바이패스 비율)을 증가시키면서 얻을 수 있는 성능변화를 나타내었다. 공기분리기에서 연료전지로 공급되는 공기의 비율은 Case A의 값으로 고정함으로써 연료증가의 영향만 살핀 경우이다. 연료전지에 연료공급이 증가하면 출력이 증가하면서 연료전지의 작동온도가 상승한다. 연료전지의 효율은 변하지 않지만, 전체 시스템의 효율은 증가한다.

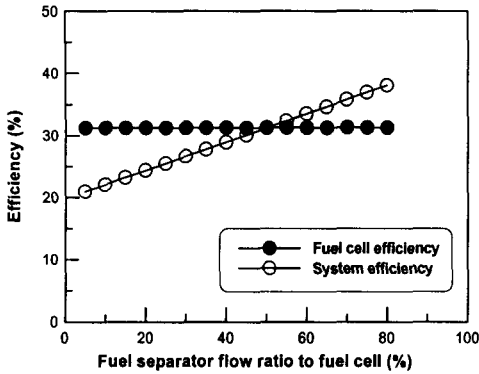
반면에 결과는 보이지 않았으나 연료공급비율은 일정하게 두고 연료전지로 공급되는 공기비율만 증가시키면 전체 효율과 출력비는 증가하지 않으며 전체 효율도 증가하지 않는 결과를 얻었다. 연료전지의 출력이 증가하기 위해서는 연료량이 증가해야 하기 때문이다. 한편 공기의 유량이 증가할수록 연료전지의 냉각효과가 커져서 셀 작동온도가 낮아진다.

결과적으로 연료공급 비율과 공기공급 비율을 동시에 조절하면 셀 작동온도를 적정수준으로 유지하면서 시스템 출력을 증가시킬 수 있다. 이러한 결과를 Fig. 3에 보였다. 셀 온도를 900°C로 유지시키도록 공기공급 비율을 조절하면서 연료비율을 높인 경우로서 Fig. 2와 비교하면 결국 출력과 효율은 연료비율로 결정됨을 알 수 있다.

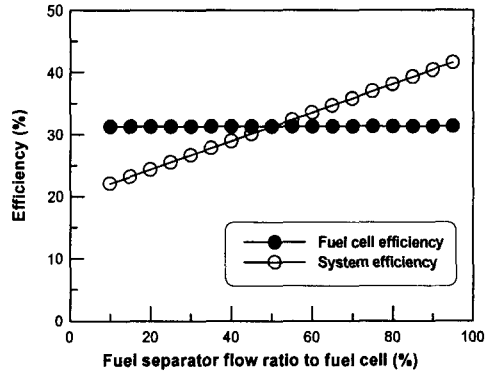
Case C는 Case A와 B에서 이용한 증기발생기 대신 연료극에서 반응 후 나오는 수증기를 이용하여 개질반응에 필요한 수증기를 공급하는 구성이다. 우선 따로 증기발생기를 설치하지 않아도 되기 때문에 설비비용을 줄일 수 있으며 연료극에서 미반응한 연료를 다시 개질기로 보내어 연료

Table 3 Comparison of analysis results

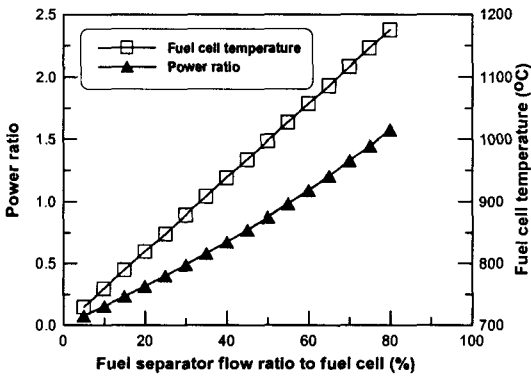
Case	Power (kW)			Power ratio	System efficiency (%)	FC efficiency (%)	Air flow (kg/s)	Reforming steam flow (kg/s)	Fuel/air ratio	FCT (°C)
	GT	FC	Total							
A	50	10	60	0.20	23.00	31.23	0.7078	0.0017	0.00746	785
B	50	99	149	1.98	43.76	31.23	0.5700	0.0153	0.01195	899
C	50	152	202	3.04	51.15	41.76	0.6133	-	0.01287	975
D	50	208	258	4.17	54.33	47.12	0.5372	0.0324	0.01770	971
E	50	320	370	6.40	61.66	57.89	0.6628	-	0.01810	1027
F	50	305	355	6.11	62.59	58.32	0.6144	-	0.01848	853



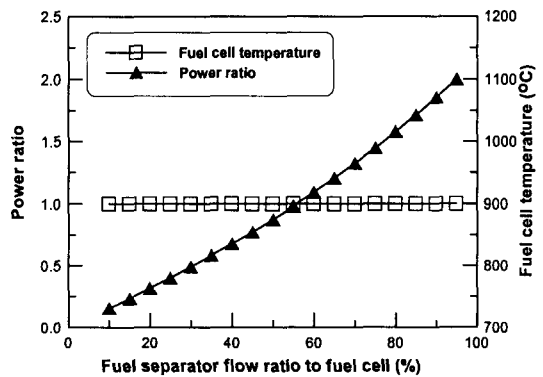
(a) Efficiency



(a) Efficiency



(b) Power ratio and cell temperature



(b) Power ratio and cell temperature

Fig. 2 Effect of increase in fuel flow ratio to fuel cell for Case A.

Fig. 3 Effect of simultaneous increases in fuel and air flow ratios to fuel cell for Case A.

전지의 효율을 높이고 출력을 증가시킬 수 있는 장점이 있다. B에 비하여 다시 50kW 정도 추가적으로 출력 증가가 가능하며, 시스템 효율도 약 51%로서 Case B의 경우보다 7% 정도 높다.

Case D는 Case B에서 개질버너 대신에 연료 전지 반응 후 공기극에서 나가는 고온의 공기를 열교환하여 개질에 필요한 열을 얻는 구성이다. 연료전지 효율과 시스템 효율은 각각 약 47%, 54%로서 Case B보다 각각 약 16%와 11%씩 증가한다. 개질버너가 없기 때문에 개질에 참여하는 연료(메탄)가 증가하여 결국 더 많은 수소가 발생한다. 따라서 셀 반응을 통해 얻어지는 전기 에너지도 증가하며 연료전지 성능도 높아진다. 연료전지 출력이 Case C보다도 약 56kW 정도 더 크고 열효율도 다소 높을 것으로 예상되었다. 한편 개질에 필요한 열을 공급하기 위하여 셀 출구

의 에너지가 높아야 하므로 셀의 온도가 상당히 높아져야 함을 알 수 있다.

Case E는 Case C와 Case D의 수증기 재순환 방법과 공기극 열교환 방식을 동시에 적용한 구성이다. 연료전지의 성능이 대폭 상승하면서 출력이 약 320kW에 이르고 출력비가 6.4에 육박하며 시스템 효율이 61.66%까지 높아지는 것으로 예측되었다. 반면에 연료전지의 작동온도가 여러 시스템 중에 가장 높아져 약 1,030°C에 이를 것으로 예상되었다.

Case F는 앞선 시스템들과 달리 내부개질을 사용한 경우이다. 내부개질을 하기 때문에 따로 개질에 필요한 열을 외부에서 받지 않는다. 연료전지 내의 셀 반응열을 직접 받아 개질하며 재순환을 통하여 수증기를 공급한다. 전체 효율은 62.6%로 가장 높고 출력비는 Case E보다는 다소 낮으

나 대체적으로 Case E와 비슷한 성능을 나타내었다. 그러나 셀 작동온도는 외부개질의 경우에 비하여 낮게 설계가 가능한 것으로 나타났다. Case E는 연료전지 내에서 공기극 출구를 제외하고는 열을 방출하지 않기 때문에 연료전지 셀 온도가 높으나 공기극에서 배출된 고온의 공기를 가스터빈에 이용하는 것이 아니라 다시 연료전지 개질에 필요한 열에 이용하기 때문에 전체적인 효율은 F에 비하여 높지 않다. Case F의 내부개질인 경우는 셀에서 개질에 필요한 열을 방출하기 때문에 작동온도가 낮고 다른 열손실이 적기 때문에 효율이 높다. 연료전지의 작동온도와 열효율 모든 면에서 내부개질 방법이 여타 외부개질 방법보다 우수할 것으로 판단된다.

5. 결 론

주어진 가스터빈 용량 하에서 시스템 구성방법에 변화를 주면서 하이브리드 시스템의 성능변화를 분석하여 다음 결과를 얻었다.

(1) 50 kW 가스터빈과 10 kW 연료전지를 결합하고 외부개질기, 개질버너, 개질증기용으로 외부에서 물공급을 사용한 경우에 시스템 효율이 약 23% 정도로 예측되었으며, 연료전지의 설계용량을 증가시켜서 연료전지로 유입되는 연료량을 증가시키면 출력과 효율이 증가하여 44%까지 효율을 얻을 수 있다.

(2) 개질에 필요한 수증기를 연료극 가스 재순환으로 얻는 방법도 출력과 효율을 대폭 향상시키며(효율 51%), 개질반응열을 공기극 출구가스의 열교환으로 공급하는 방법까지 사용하면 효율이 62%로 향상 가능하다. 반면에 이런 성능개선 방법들은 연료전지 셀의 작동온도 상승을 수반하는 것으로 예측되었다.

(3) 내부개질에 재순환을 고려한 시스템이 가장 효율이 높은 외부개질 시스템보다 더 효율이 높고, 셀 온도는 더 낮다.

후 기

본 연구는 산업자원부 차세대 신기술개발 사업의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

1. National Energy Technology Laboratory, U.S. Department of Energy, <http://www.netl.doe.gov>.
2. Veyo, S. E., Lundberg, W. L., Vora, S. D. and Litzinger, K. P., 2003, Tubular SOFC hybrid power system status, ASME Paper GT2003-38943.
3. Jeong, Y. H., Kim, T. S. and Kim, J. H., 2002, Performance Design analysis of a pressurized hybrid system combining gas turbine and solid oxide fuel cell, Trans. KSME B, Vol. 26, No. 11, pp. 1605-1612.
4. Oh, J. S. and Lee, H. S., 2002, Prototype development of a 75 kW class microturbine: Design/manufacture and self-sustaining test, Proc. of the Korean Fluid Machinery Association Annual Meeting, pp. 307-313.
5. Kim, S. Y., Park, M. R., Choi, B. S., Ahn, K. Y. and Choi, S. K., 2002, Development of a 50 kW micro gas turbine engine, 2003, Proc. of the Korean Fluid Machinery Association Annual Meeting, pp. 314-319.
6. Kwon, G. H., Kim, S. W. and Lee, S. W., 2002, Development of distributed micro turbine co-generation system, Proc. of the Korean Fluid Machinery Association Annual Meeting, pp. 320-327.
7. Korea Aerospace Research Institute, 2003, Development of high efficiency gas turbine/fuel cell hybrid power generation system, Report to Ministry of Commerce, Industry and Energy.
8. Liese, E. A. and Gemmen, R. S., 2003, Performance comparison of internal reforming against external reforming in a SOFC, gas turbine hybrid system, ASME Paper GT 2003-38566.
9. Larminie, J. and Dicks, A., 2000, Fuel Cell Systems Explained, John Wiley & Sons, Ltd.
10. Aspen Technology, HYSYS, Ver. 3.1.