

분산발전을 위한 가스터빈-연료전지 하이브리드 시스템

김재환* · 손정락** · 노승택** · 김동섭***

Gas Turbine and Fuel Cell Hybrid System for Distributed Power Generation

Jae Hwan Kim*, Jeong L. Sohn**, Sung Tack Ro**, Tong Seop Kim***

Key Words: Gas Turbine(가스터빈), Fuel Cell(연료전지), Distributed Power Generation(분산발전), Hybrid System(혼합형 시스템), MGT(마이크로 가스터빈), SOFC(고체전해질형 연료전지)

ABSTRACT

Hybrid energy system of fuel cell and gas turbine is discussed as the system to be used in the distributed power generation. Discussion is first directed to the distributed power generation system which is expected to be more popularly introduced both in urban and isolated areas. In the next, some characteristic features of fuel cell and micro gas turbine are shortly described. In the last, discussion is turn to the fuel cell and micro gas turbine hybrid system. In particular, performance characteristics of a representative SOFC/MGT hybrid system are investigated through the concept design at various power capacity levels.

1. 서 론

세계적으로 최근까지의 전력생산은 고효율화 및 규모의 거대화를 통한 집중 관리방식으로 이루어져 왔으며, 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 규모 확대에 대한 당위성에 의문이 제기되고 있다. 대표적인 문제점으로는 대규모 설비는 건설기간 등을 고려할 때 폭발적으로 증가하는 전력 수요를 정확히 예측하여 대처하기

힘들고, 원거리 송전 등으로 인한 부가적 손실이 클 뿐만 아니라, 순간적 부하 증가 등에 대처하기 힘들다는 것 등이다. 이러한 문제점을 보여주는 예로는 최근 미국 캘리포니아주에서 일어난 바 있는 대규모 정전사태이다. 이 사태에는 물론 여러 가지 다른 사회 경제적 문제가 내포되어 있지만, 근본적으로 대규모 발전 및 송전 설비에 의존한 시스템이 지닌 위와 같은 요인들이 실제로 큰 문제를 야기할 수 있음을 단적으로 보여주는 예이다.

한편 세계적으로 전력산업은 기존의 정부주도의 중앙 통제적 구조로부터 민간 주도의 자율적 시장으로 개편되 나가고 있다. 이에 따라 위에 언급된 문제점들을 극복하고자 전력 공급 구조도 중앙 집중 발전형으로부터 분산 발전형으로 변화되고 있다. 이러한 현상은 미국을 비롯한 서구 선진국들에서 최근 수년간 두드러지게 나타나고 있으며 대표적인 예는 가스터빈을

* 서울대학교 터보동력기계연구센터

** 서울대학교 기계항공공학부

*** 인하대학교 기계공학부

이용한 중급규모 이하의 발전소의 건설 및 이용이다. 이러한 추세는 앞으로 더욱 심화되어 현재의 중대형 송전 및 전력회사들이 특정 지역별로 더욱 세분화되어 보다 독립적인 소규모 회사들로 분사되거나 자가 발전 형태로 전개되어 나갈 것으로 추정된다. 특히 앞으로는 정보통신 산업의 폭발적 발전으로 인하여 수요지역이 더욱 분산되어 소규모의 전력을 넓은 범위에 공급해야 할 것이다. 그러므로 현재보다 더욱 소형의 발전 시스템에 대한 사회적 수요가 늘 것으로 예상된다. 이러한 추세로 보아 분산발전 시스템 시장은 가까운 미래에 급속히 성장할 것이며 이에 적합한 새로운 개념의 차세대 동력원의 등장도 요구된다.

소형 분산 발전 시스템의 동력원으로는 왕복동 엔진, 스테링 엔진, 마이크로 가스터빈, 연료 전지, 풍력 터빈 및 태양열 집전 등 여러 가지를 생각해 볼 수 있으나, 환경 친화성, 고효율, 가격 경쟁력 등의 사안을 고려해 볼 때 소형 가스터빈과 연료전지가 그 적용 대상으로 떠오른다. 특히, 두 가지 동력원을 결합하여 하이브리드 시스템을 구성하였을 경우 경제성 및 환경 친화성 측면에서의 활용 가능성이 높게 평가되고 있다. 이 같은 시도는 미국에서 에너지성(DOE)의 전폭적인 지원 하에 수행되고 있으며, 이미 시제품 제작을 끝내고 상용화를 준비하는 단계까지 와있다.

본 기고에서는 현재 에너지 산업분야의 큰 관심이 되고 있는 분산 발전의 특징 및 분산 발전에 요구되는 특성 등을 살펴보고, 그 동력원으로 고려되고 있는 연료전지, 마이크로 가스터빈 및 두 동력원의 하이브리드 시스템의 특징에 대해 기술한다. 또한 가스터빈-연료전지 하이브리드 동력 시스템에 대한 개념설계를 수행하여 출력용량 설정에 따른 성능특성을 살펴본다.

2. 분산 발전 시스템

분산 발전은 일반적으로 30MW이하 정도의 출력용량을 가진 동력원을 사용하여 수요자의 근접지역에서 전기를 공급하면서 때로는 중앙 집중 발전의 경제적 운전에도 보조적인 역할을 행하는 발전형태를 의미한다. 서론에서 언급한 바와 같이 중앙 집중식 발전방식이 발전설비 및 송전설비 구축에 큰 비용이 필요한 반면, 분산 발전의 경우 이에 대한 비용이 상대적으로 적고, 빠르게 변화하는 전력수요에 효율적으로 대처할 수 있는 장점을 지니고 있다. 또한 발전소 등과 같은 기반 시설로부터 고립되어 있는 지역의 전기공급에 경제적

으로 유리하며, 정전 등의 한시적 고립 상태에서 원활한 전기의 공급을 필요로 하는 병원, 반도체 제조공장, 상수도 공급장 등의 자가 발전용으로 적합하다. 한편, 기존의 중앙 집중 발전은 평소 전력 수급량의 3배에 달하는 최대 전력용량을 확보하고 있어야 하기 때문에, 전력 사용량이 비교적 적은 시기에 일부가 운전을 하지 않거나 부분부하로 운전되는 비효율적 운전이 불가피하다. 따라서 이와 같은 비효율적 운전을 피하기 위해 중앙 집중 발전이 가져 부하를 담당하고 최대 전력 사용 시 나머지 부하를 분산 발전이 담당하는 효율적 전력 공급 시스템의 구성도 생각해 볼 수 있다.

분산 발전 시스템은 전기적으로 고립되어 있는 상태에서도 기동이 가능해야 하기 때문에, 배터리 등과 같은 적은 보조동력으로 시동이 가능(Self-sustaining)해야 하며, 수요자가 직접 운전할 경우 조작의 수월성 및 운전의 신뢰성이 요구된다. 또한 자연재해 시에 자가 발전용으로 쓰일 경우 빠르고 안정적인 시동특성을 필요로 한다. 무엇보다도 출력 용량의 감소에 따른 효율의 감소가 예상되기 때문에, 중앙 집중식 발전방식과의 운전가격 경쟁력 면에서 볼 때 고효율의 동력원이 도입되어야 하며, 부가적으로 얻을 수 있는 열을 함께 공급하는 열병합 시스템 등의 구성을 통해 고효율화를 도모해야 한다.

3. 연료전지

연료전지는 1839년 영국의 물리학자 William Grove가 전기분해의 역반응, 즉 수소와 산소의 반응을 통해 전기를 생산하는 실험에 성공함으로써 그 개념이 세상에 알려지게 되었고, 1960년대 들어와 미국의 우주 개발 사업에 활용되면서 실용화되기 시작하였다. 연료전지의 연구개발은 1970년대의 오일쇼크에 따른 에너지의 효율적 이용이 큰 문제로 대두되면서 활발해 졌지만, 1980년대 들어와 화석 연료가격의 안정 및 경제성 등의 문제로 다른 동력원에 비하여 크게 주목받지 못하였다. 하지만 1990년대에 들어 환경문제가 크게 대두되면서 새로운 에너지 동력원으로서 급부상하고 있으며 세계적인 자동차 제조 회사들도 연료전지를 기반으로 하는 하이브리드 차량 개발을 추진 중에 있다.

연료전지는 연료와 산화제가 연소에 의하지 않고 전해질을 매개로 한 화학반응을 일으켜 직류전류를 생산하는 직접 에너지 변환 장치이다. 따라서 가스터빈 등과 같은 열기관이 갖는 'Carnot 효율'의 제한을 받지

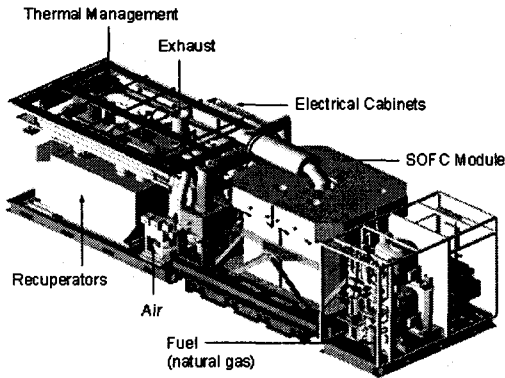


Fig. 1 Siemens Westinghouse's 100kW SOFC-CHP system

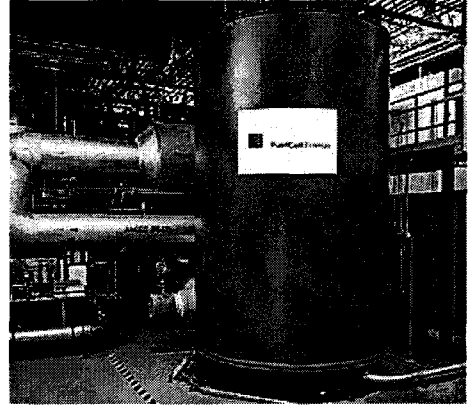


Fig. 2 Fuel Cell Energy's 250 kW Direct FuelCell™

않아 이론적으로 높은 열효율을 얻을 수 있으며, 수소와 산소만으로 작동되는 연료전지의 경우 유해 배기 가스의 방출이 없기 때문에 환경 문제 대처 능력이 매우 우수하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 화학반응 촉진을 위한 촉매재질이 고가인 경우가 많으며 스택설계 기술의 부족 등의 문제가 상용화의 걸림돌이 되고 있어 최근에도 계속 이를 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

연료전지에는 여러 가지 종류가 있으나 전해질의 종류에 따라 다음의 대표적인 6가지 형태의 연료전지로 구분된다.

- 고분자 전해질형 연료전지(PEMFC)
- 직접 메탄올형 연료전지(DMFC)
- 알카리형 연료전지(AFC)
- 인산염형 연료전지(PAFC)
- 용융 탄산염형 연료전지(MCFC)
- 고체 산화물형 연료전지(SOFC)

위의 연료전지 중 앞의 4가지는 저온형 연료전지로서 작동온도(50~200℃)가 비교적 낮고 주로 휴대용 전자기기나 교통수단의 대체 동력원으로 그 쓰임이 고려되고 있다. MCFC와 SOFC의 경우는 비교적 높은 작동온도(600~1000℃)를 특징으로 하는 고온형 연료전지로서 앞의 저온형 연료전지에 비해 내부 저항이 작고 고가의 촉매를 쓰지 않아도 되는 장점이 있다. 또한 높은 작동온도로부터 얻는 고온의 배기 가스는 열과 전기를 같이 공급하는 열병합 시스템이나 열원을

필요로 하는 다른 동력원과의 결합을 통한 복합 발전의 구성을 가능하게 하여 분산 발전에의 적용에 매우 유리하다. 위에 언급한 연료전지 중 현재 상용화에 성공한 것은 인산염형 연료전지이며 이미 세계 여러 곳에서 운전되고 있다. 하지만 최근에는 MCFC와 SOFC가 분산 발전에의 적용에 적극적으로 검토되고 있으며, 미국에서는 이미 시제품을 완성하여 시험을 완료하고 상용화를 준비하는 단계에 있다. 여기서 대표적인 2개의 시스템을 소개한다. 미국의 Siemens Westinghouse사의 EDB/ELSAM SOFC-CHP System을 Fig. 1에 보였다⁽¹⁾. 이 시스템은 내부 개질형 SOFC를 사용하여 100kW의 전기와 65kW의 열을 공급하며 약 47%의 발전효율을 갖는다. 1997년 네덜란드에서 처음 운전을 시작하여 약 16,600시간의 시운전을 성공적으로 마치고 2004년 상용화를 앞에 두고 있다. 또 하나의 고온형 연료전지 시스템으로 Fuel Cell Energy사의 Direct FuelCell™이 있으며 Fig. 2에 보였다⁽²⁾. 이 시스템은 내부 개질형 MCFC를 채택하고 있으며, 250kW의 출력과 45%의 발전효율을 갖는다. 1999년 미국 코네티컷에서 운전을 시작하여 약 11,800시간의 시운전에 성공하였다. 위에 보인 시스템 이외에도 연료전지를 이용한 소규모 발전은 미국뿐만 아니라 일본, 유럽 등지에서 시험적으로 이루어지고 있다.

4. 마이크로 가스터빈

가스터빈은 지속적인 설계 및 제작기술의 향상으로 고효율화를 달성하였으며, 연료 사용의 다양성, 그리고

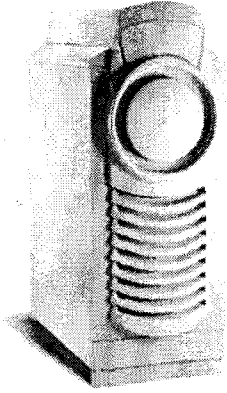


Fig. 3 Capstone 30kW MicroTurbine 330

다른 열기관과 비교하여 현저히 적은 공해 배출 특성 등에 힘입어 발전용으로의 사용이 급증해 왔다. 또한 가스터빈이 배출하는 고온의 배기가스로부터 다량의 열 에너지를 얻어낼 수 있기 때문에 열병합 발전 및 복합 발전에의 이용에 적합하다. 가스터빈은 수kW에서 수백MW에 이르는 광범위의 출력범위를 가지고 있기 때문에 중앙 집중형 발전의 동력원으로서 뿐만 아니라 분산 발전과 같은 소형 시스템의 동력원으로도 그 쓰임이 가능하다. 특히 최근 들어 출력범위가 수kW에서 수백kW에 이르는 마이크로 가스터빈은 분산 발전 분야에 적극적으로 도입되고 있다.

마이크로 가스터빈은 명칭에서 알 수 있듯이 기존 대형 발전용 엔진에 비해 상당히 소형화 되어 있으며, 이를 위해 보통 반경식(radial flow type) 터보기기를 사용하여 설계된다. 한편, 엔진의 소형화에 따른 구성부의 성능저하와 축류식(axial flow type)에 비해 효율이 낮은 반경식 터보기기의 도입은 마이크로 가스터빈이 갖는 낮은 열효율의 원인이 된다. 따라서, 이러한 문제의 해결을 위해 대부분의 마이크로 가스터빈은 열교환기를 장착하고 있으며, 고성능의 열교환기 설계가 전체 엔진성능에 중요한 역할을 하게 된다. 마이크로 가스터빈은 일반적으로 한 단의 반경식 압축기를 사용하기 때문에 전체 압력비가 약 2.5~4정도로 설계된다. 이 같은 범위의 압력비는 재생 사이클(regenerative cycle)이 단순 사이클(simple cycle)에 비해 비교적 낮은 압력비에서 최대 열효율을 갖는다는 측면에서도 유리하다. 일반적으로 수십kW의 출력용량을 갖는 마이크로 가스터빈의 경우 현재 기술 수준의 구성부 효율을 고려할 때 약 25~30%정도의 열효율을 갖는다. 현재 세계적으로 이 분야 시장 확보를 위하여 가장 활발

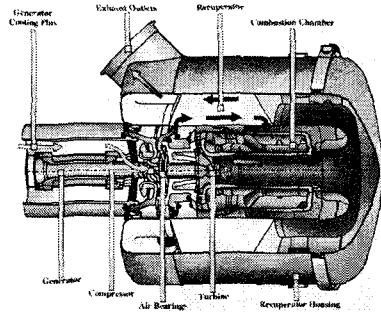


Fig. 4 Engine core schematic of Capstone MicroTurbine 330

한 활동을 벌이고 있는 회사는 미국의 Capstone Turbine사로서 30kW내외의 마이크로 가스터빈을 개발하여 초소형 자가 발전, 초소형 열병합 발전에서부터 하이브리드 차량에 이르기까지 다양한 분야의 시장을 개척하고 있다⁽³⁾. Figure 3에 Capstone Turbine사의 Micro Turbine 330을 보였으며 단순화된 개략도를 Fig. 4에 나타내었다. 전체 시스템의 출력은 30kW, 발전효율은 27%이며 Fig. 4에서 보듯이 반경식 터보기기, 열교환기 등의 전형적인 마이크로 가스터빈의 구성부를 갖추고 있고, 시스템의 소형화 및 단순화를 위해 윤활장치가 필요 없는 공기 베어링을 장착하고 있다. 이 밖에도 Honeywell Power System이나 Ingersoll-Rand Energy System등이 유사한 출력용량의 마이크로 가스터빈을 개발하여 시장진입을 추진하고 있다.

5. 가스터빈-연료전지 하이브리드 시스템

최근의 에너지 시스템들은 동력원의 고효율화, 환경친화성 및 효과적인 에너지의 이용을 목표로 하고 있으며, 이의 실현을 위해 고성능 구성부의 개발 및 복합적 에너지 공급 시스템으로의 전환이 추진되고 있다. 전력생산에 있어서도 열병합이나 복합 발전 시스템과 같은 효과적 에너지 이용이 가능한 시스템이 도입되어 왔으며, 현재에도 새롭고 다양한 형태의 발전방식이 시도되고 있다.

이 같은 시도의 일환으로 최근 들어 앞서 언급한 두 가지의 형태의 발전방식, 즉 가스터빈과 연료전지의 장점을 이용하여 새로운 형태의 발전 시스템을 만들고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 고온형 연료전지는 고온의 배기가스를 방출하기 때문에 가

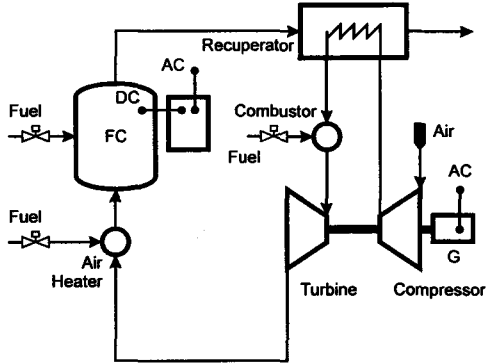


Fig. 5 Atmospheric pressure FC/MGT hybrid system

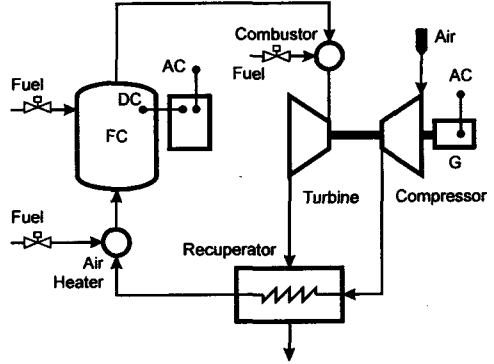


Fig. 6 Pressurized FC/MGT hybrid system

스터빈의 연소기를 대체할 수 있으며, 혹은 가스터빈의 배기가스를 이용하여 고온 연료전지를 운전시키는 방식도 생각해 볼 수 있다.

이미 기초기술 확보 단계에 접어들고 있는 선진국들의 연구 및 개발 결과를 바탕으로 볼 때 가스터빈-연료전지 하이브리드 시스템은 구성상 Fig. 5의 상압 시스템과 Fig. 6의 가압 시스템으로 구분할 수 있다.⁽⁴⁾ 상압 시스템의 경우는 고온의 산화제(산소 혹은 공기)를 필요로 하는 연료전지에 가스터빈으로부터 배출되는 고온의 배기가스를 공급하는 방식으로, 연료전지가 상압에서 운전되기 때문에 위의 명칭으로 불리운다. 가압 시스템은 연료전지가 고온의 배기가스를 터빈에 공급하는 연소기와 같은 역할을 하는 방식이며, 연료전지로 공급되는 산화제가 압축기에서 가압된 상태로 공급된다. 연료전지의 경우 작동유체가 가압된 상태에

서 운전되는 것이 열효율 측면에서 유리하나 상압에서 운전되는 연료전지에 비해 구조가 복잡하고 수명이 짧은 단점을 안고 있다. 가스터빈-연료전지 하이브리드 시스템에 대한 이론적인 연구와 각 동력원에 대한 제품개발 등은 세계 여러 곳에서 이루어지고 있으나 실제 제작되어 운전되고 있는 시스템은 Fig. 7에 보인 Siemens Westinghouse사의 SOFC/MGT Hybrid System이 유일하며 현재 가장 실용화에 근접해 있는 시스템이다⁽¹⁾. 시스템의 압력비는 2.9, 터빈입구온도는 840°C로 설계되었으며, 전체출력은 220kW, 발전효율은 57%이다. Figure 8에 전체 시스템 구성도를 보았다. 이 시스템은 압축기에서 압축된 공기가 열교환기에서 터빈 배기가스로 예열된 후 SOFC 스택으로 공급되는 가압형이며 내부 개질형 SOFC를 채택하고 있다. 따라

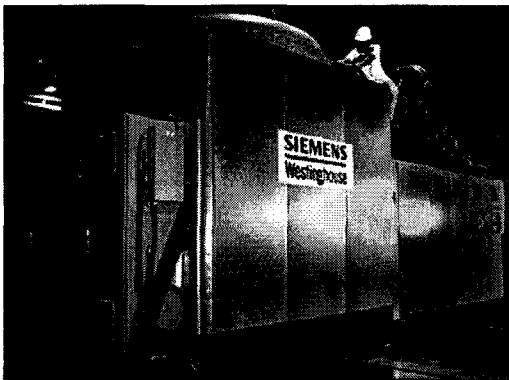


Fig. 7 Siemens Westinghouse 220 kW SOFC/MGT hybrid system

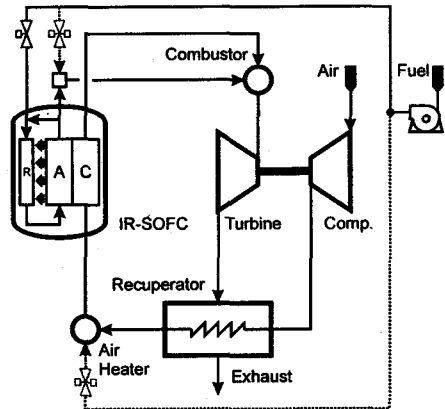


Fig. 8 Schematic of Siemens Westinghouse 220kW SOFC/MGT hybrid system

Table 1 Design parameters of SOFC/MGT hybrid systems

| Parameters | 50 kW | 100 kW | 200 kW |
|--------------------------|--------------------------------|--------|--------|
| Compressor | 1 stage radial type | | |
| Isentropic efficiency, % | 73 | 76 | 79 |
| Recuperator | Fin-plate type | | |
| Effectiveness | 0.87 | | |
| Combustor | Can type | | |
| Fuel | Natural Gas (CH ₄) | | |
| LHV, kJ/kg | 50,169 | | |
| Combustion efficiency, % | 99 | | |
| Turbine | 1 stage radial type | | |
| Inlet temperature, °C | 1000 | | |
| Isentropic efficiency, % | 74 | 79 | 84 |
| Pressure loss | | | |
| Inlet, % | 2 | | |
| Combustor, % | 6 | | |
| Recuperator (air), % | 3 | | |
| Recuperator (gas), % | 4 | | |
| Exhaust, % | 2 | | |
| Other losses | | | |
| Mechanical loss factor | 0.98 | | |
| Generator loss factor | 0.95 | | |

서 SOFC로 공급된 연료는 개질과정을 거쳐 수소와 일산화 탄소의 형태로 anode에 공급되며, 앞서 압축되어 cathode에 공급된 공기 안의 산소와 연료전지 스택에서 반응하여 직류전기를 생산해 낸다. 이때 생기는 열은 흡열반응인 개질반응에 사용되기 때문에 내부 개질형 연료전지의 경우 스택 안의 자체냉각이 가능하다. 또한 연료전지 반응 후 anode측 배기가스에는 수증기가 포함되어 있어 이를 개질기 쪽으로 재순환 시켜 스

택 내에서 자체적으로 수증기를 공급할 수 있으며, 이는 내부 개질형 연료전지의 또 하나의 장점이 된다. 한편, 연료전지에 공급된 연료를 전부 반응시킬 경우 스택 뒤쪽의 연료회박에 의한 전압손실이 커지기 때문에 일반적으로 공급된 연료의 85%정도만을 반응시키며, 잉여연료는 Fig. 8에서 보듯이 터빈 앞에 장착된 연소기에서 연소시켜 고온의 연소가스를 얻는다. 고온의 연소가스는 터빈에서 팽창되면서 압축기에 필요한 동력을 공급하고 잉여동력은 발전기를 구동하여 추가적으로 교류전기를 생산하게 된다. 위에 언급한 시스템은 현재 가스터빈-연료전지 하이브리드 시스템 설계의 표준이 되어 있으나, 다른 형태의 조합이나 흡수식 냉동기 등과 같은 부가적인 에너지 시스템과의 결합을 통한 고효율화의 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

본 기고에서는 개념설계의 일환으로 앞서 언급한 시스템의 설계해석을 수행하여 전체 출력의 용량설정에 따른 성능특성을 살펴본다. 계산에 사용된 전체 시스템의 설계변수들은 Table 1과 같다.

앞서 언급한 바와 같이 마이크로 가스터빈의 경우에 경제성과 제작성 등을 고려하여 압축기, 터빈 등의 주요 터보 기기 구성부 들은 대체로 반영식이 사용된다. 이 경우 축류식을 채용하는 중대형 엔진에 비하여 구성부 효율이 낮고 이는 전체적인 엔진의 열성능을 낮게 하는 한 원인이 된다. 따라서 마이크로 가스터빈에서 시스템의 출력을 작게 할 설계할 경우 압축기나 터빈의 성능이 더욱 낮아질 것이다. 그럼에도 불구하고 원심식 부품들은 부품수가 적고 제작이 용이하여 마이크로 가스터빈의 경우에는 많은 장점이 있다. 본 해석에서는 설계출력 감소에 따라 각 터보기기의 단열

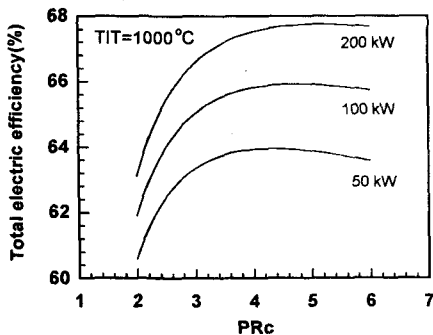


Fig. 9 Total electric efficiencies of SOFC/MGT hybrid system at various power capacity

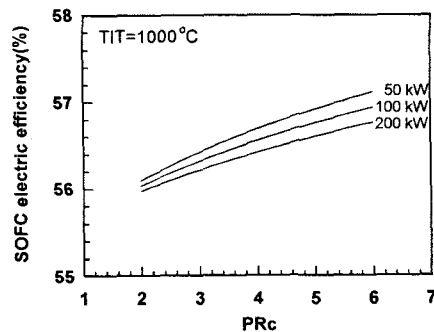


Fig. 10 SOFC electric efficiencies at various power capacity

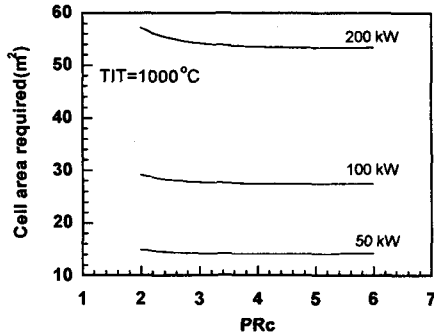


Fig. 11 Cell area required at various power capacities

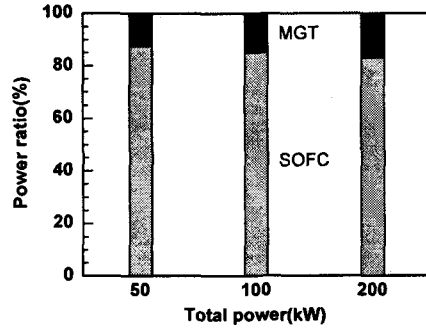


Fig. 12 Power distributions of MGT and SOFC at various power capacities

효율을 감소시킴으로써 소형화에 따른 성능저하를 고려하였다.

연료전지의 출력은 단위 연료전지 셀을 직렬이나 병렬로 연결하게 조절하는 것이 일반적이다. 이 때 많은 단위 셀의 연결은 내부적인 저항을 증가시켜 셀 자체의 전압손실을 가져오지만 본 연구에서는 이에 대한 영향은 고려하지 않았다. 본 계산에서 연료전지의 전류밀도는 $500\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 하였으며 연료이용률은 85%, anode가스 재순환 시의 수증기/탄소비는 3.0으로 하였다. Figure 9에 시스템의 압력비(PRc)에 대한 발전효율 변화를 각 출력용량별로 나타내었다. 결과에서 보는 바와 같이 시스템의 출력을 크게 설계할수록 전체 발전 효율이 높아짐을 알 수 있다. 이는 저 출력으로 설계할 경우 앞서 언급한 바와 같이 가스터빈의 소형화에 따른 구성부의 성능저하 때문이다. 이 것은 연료전지 스택의 자체효율에 대한 결과를 보면 확실히 알 수 있는데 Fig. 10에서 보듯이 출력설정에 따른 연료전지 스택 자체의 발전 효율은 거의 영향이 없음을 알 수 있다. Figure 11는 각 출력으로 설계할 경우 필요한 단위 연료전지 셀의 개수, 즉 연료전지 스택의 반응면적에 대한 계산결과이다. 고 출력의 제품일수록 발전 효율면에서는 이득을 볼 수 있으나 필요한 단위 연료전지의 수가 증가하므로 시스템 구성 초기의 제작 비용이 많이 들게 된다. 따라서 초기제작비용 및 운전비용에 대한 최적화가 설계 시에 중요함을 알 수 있다. SOFC/MGT 하이브리드 시스템의 경우 Fig. 12에서와 같이 마이크로 가스터빈의 출력이 전체출력의 약 15~20%를 차지함을 알 수 있으며 저출력 시스템의 경우 앞서 언급한 바와 같이 구성부 성능저하에 의한 마이

크로 가스터빈의 비출력 저하로 차지하는 출력의 비중이 낮아짐을 알 수 있다.

6. 결론

본 기고에서는 최근 에너지 산업분야에 큰 관심이 되고 있는 분산 발전에 대한 특징 및 이에 요구되는 특성들을 살펴 보았다. 또한 분산 발전의 동력원으로 이미 사용되고 있거나 도입이 검토되고 있는 마이크로 가스터빈, 연료 전지 및 두 동력원의 하이브리드 시스템에 대해 특징을 기술하고 연구개발 현황을 살펴 보았다. 이와 더불어 기존 하이브리드 시스템의 출력용량에 따른 성능특성을 살펴봄으로써 설계시 중요시 되는 파라미터들을 제시하고 초기 제작비용 및 운전비용의 최적화가 세심하게 이루어져야 함을 보였다.

참고 문헌

- (1) George, R. A., 2000, "Status of tubular SOFC field unit demonstrations," Journal of Power Sources, Vol. 86, pp. 134~139.
- (2) Bentley, C., Farooque, M., Maru, H. and Leitman, J., "Direct fuel cell commercialization," www.fce.com.
- (3) www.capstoneturbine.com.
- (4) Suzuki, K., Teshima, K. and Kim, J. H., 2000, "SOFC/MGT hybrid system for distributed power systems," Proceedings of the 4th JSME-KSME Thermal Engineering Conference, Vol. 3, pp. 1~7.