

가스터빈/연료전지 혼합형 발전시스템

- 양 수 석 | 한국항공우주연구원, 책임연구원 / e-mail : ssyang@kari.re.kr
- 이 진 근 | 한국항공우주연구원, 연구원
- 손 정 락 | 서울대학교 기계항공공학부, 교수
- 조 형 회 | 연세대학교 기계공학부, 교수

이 글에서는 가스터빈-연료전지 혼합형 발전시스템에 대한 소개 및 작동원리에 대하여 알아보고, 세계적인 동향 및 향후 발전 방향을 살펴본다.

석유과동 이후 미국은 대형 전력 업체로 이루어진 당시의 전력시장을 완전히 개방시켜 전력시장의 자유경쟁 시대를 열었다. 그 결과 수많은 독립적인 전력 회사들이 설립되어 양질의 전력을 경쟁력 있는 가격으로 공급할 수 있는 효과적인 발전설비의 개발에 많은 관심을 가지게 되었는데 이것이 복합발전 혹은 열병합 발전 설비의 실용화를 앞당길 수 있는 계기가 되었다. 이와 같은 새로운 개념의 발전설비들로 인하여 발전소의 형태는 기존의 중앙 집중형(centralized)으로부터 전력 수요가 있는 곳을 중심으로 분산형(distributed)으로 급격히 변화되게 되었다. 이러한 변화의 원동력은 인간의 작업 구조를 과거의 집합적인 형태로부터 개별적인 형태로 바꾸고 있는 정보 통신 및 컴퓨터 산업이며, 과거의 산업보다 더욱 기술 의존적 산업

으로서 보다 신뢰성 있고 안정적인 전력 공급이 필수적으로 요구된다. 이와 같은 산업구조의 변화는 원자력 등의 대형 중앙집중식 시스템으로부터 복합발전, 열병합 중심의 중소형 분산 발전 시스템으로의 변화를 더욱 가속화시켜 보다 작은 형태의 초소형 분산 발전 시스템과 관련된 새로운 시장을 형성할 것으로 기대된다. 이러한 추세로 보아 분산발전 시스템 시장은 가까운 장래에 급속히 성장할 것이며, 이에 적합한 새로운 개념의 차세대 동력원의 등장 이 요구된다. 차세대 동력원의 요구 조건은 ① 기존의 동력원에 비하여 열효율이 높아 경제성이 우수하여야 하며, ② 현재 인류가 당면하고 있는 최대 현안인 환경 문제에 적합한 환경 친화적이어야 한다는 것이다. 공해 배출물이 적어야 한다는 것은 특별히 전력의 수요처에 가깝거나 바로 수요

처에 위치(on-site)하여야 하는 소형 시스템에서 그 요구조건이 더욱 강화될 것으로 예상된다.

가스터빈/연료전지 혼합형 발전 시스템

차세대 동력원의 가능성 있는 후보들 중에서 환경친화성과 함께 경제적으로 구현 가능한 축적된 기술 등을 종합적으로 고려할 때 가스터빈과 연료전지가 우선적인 적용 대상이며, 특히 두 가지 동력원을 결합한 혼합형(hybrid) 시스템을 구성하였을 경우 경제성 및 환경 친화성 측면에서의 활용 가능성이 높게 평가되고 있다. 혼합형 시스템을 구성하는 구체적 방법에는 다양한 방법들을 생각할 수 있으나, 기본적으로 두 가지 기기가 서로의 단점을 보완하고, 장점을 구현 가능하도록 구성하여 시너지(synergy)

(MCFC)의 사용이 일차적으로 고려되고 있다. 현재 이러한 기초 연구, 개발의 결과들이 국제적 연구발표회 등을 통하여 발표되고 있는데, 이 중 특히 Siemens-Westinghouse 전력회사의 튜브형 SOFC기술을 이용한 시스템이 상용화에 가장 근접한 것으로 판단된다.

Siemens-Westinghouse 전력회사의 튜브형 SOFC 시스템은 수년 내에 상용화가 가능할 것으로 예상되고 있으며, 현재 가장 실용화에 근접한 것으로서 가스 터빈의 고온 작동 특성을 활용하기 위해서 연료전지는 비교적 고온에서 작동하는 SOFC를 채택하고 있다. 가스터빈과 마찬가지로 연료전지에도 천연가스가 바로 공급되며, 연료전지 내에서 개질(reforming)과정을 거쳐 수소와 일산화탄소의 형태로 셀 내부의 연료로 공급된다. 연료전지 내 공기와 연료의 반응은 상압이 아닌 고압(3~4기압)에서 이루어지며, 가압공기는 가스터빈 구성부의 압축기에서 공급된다. 연료전지에서는 직류 전력이 생산되며, 인버터를 통해 교류로 전환된다.

연료전지 작동 온도는 약 1,000°C이며, 반응을 끝낸 가스는 터빈으로 보내져서 동력을 발생시키고, 발생된 동력으로 압축기를 구동하고 여분은 교류 전력을 발생한다. 이와 같이 두 기기의 단순 결합(combination)이 아닌, 서로 구성부를 나누는 복합(hybrid)에 의하여 고효율화를 달성한다. 현재 시스템은 시작품으로서 완전한 최적화가 이루어

지지 않은 상태이나, 추후 연구 개발에 의하여 250kW급에서 58%의 효율을 예상한다. 이어 용량을 키워가면서 효율증가가 지속적으로 가능할 것으로 보이는데, 수 MW 수준에서 70% 내외의 효율이 가능할 것으로 예상된다.

관련 요소 기술

시스템 구성 기술

가스터빈/연료전지 혼합형 발전시스템은 세계적으로 실증된 기술이 거의 전무하며, 시스템 구축을 위한 혼합형 기술 또한 확실히 정립되지 않은 단계이다. 관련 선진국에서는 특히 혼합형 사이클에서의 신뢰성, 작동성, 시동성, 부하변화에 대한 시스템 적응성, 시스템 불안정성 등을 개발 난제로 지적하고 있다. 이에 따라, 우선 시스템의 사양 결정, 설계 및 탈설계점 성능해석, 시동 및 전이 성능해석 등 시스템의 전반적인 해석을 수행하여 각 부품들의 사양을 확정하고, 연료전지와 가스터빈이 연계된 전체 시스템을 구성하는 기술이 필요하다. 또한 혼합형 발전시스템의 연료 및 공기 공급 체계는 가스터빈이나 연료전지 중 어느 한 서브시스템만을 고려하여 설계할 수 없으며 실제 운전 시에도 양쪽 서브시스템의 동작점을 함께 고려하여 운전되어야 하기 때문에 연료 및 공기의 공급계통에 대한 제어로직 기술이 필요하며 연료전지와 가스터빈에서 동시에 전력이 생성되므로 발생하는 전력을 통합

적으로 제어하는 기술도 필수적이다. 이 외에도 시스템의 구현에 필요한 복열장치(recuperator), 고온 연소장치 및 덕트버너 등의 기술이 필요하다.

고체산화물 연료전지(SOFC) 기술

고체산화물 연료전지에서는 연료를 실제 화학반응 물질(대체로 수소)로 바꾸는 개질(reform) 절차가 필요하며 특히, 내부 개질 과정은 연료전지의 온도 조절을 위한 냉각 작용도 동시에 수행한다. 또한 개질에 필요한 수증기를 내부적으로 공급하기 위해 anode 수증기를 포함한 배기가스의 일부를 재순환(recycling)시킨다. 압축기에서 가압된 공기는 터빈의 배기가스와 열교환 후에 연료전지의 cathode로 들어가 anode를 흐르는 개질된 연료와 전기화학반응을 하며 전기를 발생시킨다. 연료는 연료 압축기에서 가압된 후 개질기(reformer)로 유입되며, 이 때 가압된 연료는 전기화학반응이 끝난 anode 배기가스를 개질기 안으로 유입시키는 역할을 수행하게 된다. 전기화학반응 후 남은 가연가스성분(일산화탄소 등)은 연료전지 스택 뒤에 놓인 연소기에서 완전히 연소된 후 터빈에서 일을 수행하여 발전을 하게 된다. 고체산화물 연료전지와 관련해서는 세라믹 소재 기술, 내열성 금속 기술, 스택 설계 및 제조 기술, 연료전처리 기술, 전력 변환 및 발전 시스템 기술 등이 필요하다.

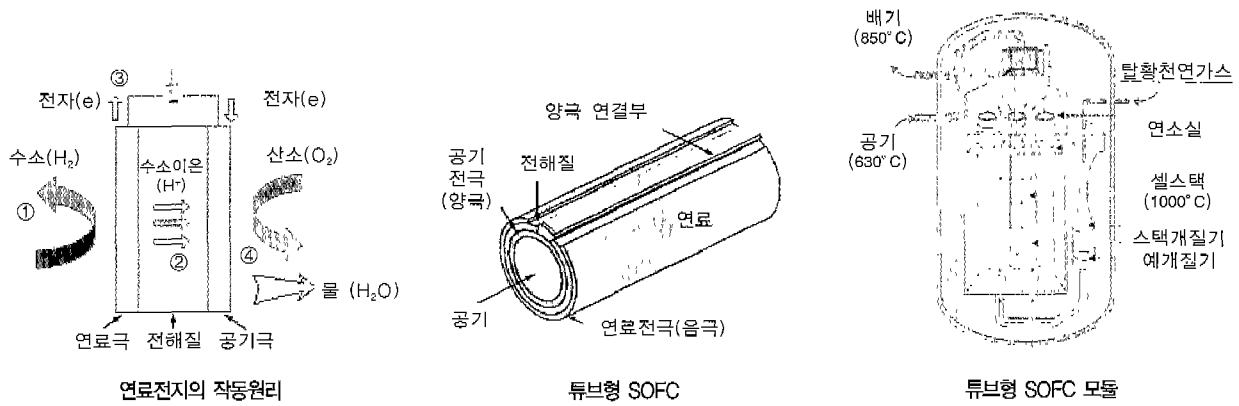


그림 3 고체산화물 연료전지(SOFC)

마이크로 터빈(MGT) 기술
 마이크로 터빈은 경제성과 제작성 등을 고려하여 압축기, 터빈 등의 주요 터보 기기 구성부들에 대체로 반경식(radial flow type)을 사용한다. 이 경우 축류식(axial flow type)을 채용하는 중대형 엔진에 비하여 구성부 효율이 낮아 전체적 엔진의 열성능이 낮은 원인이 된다. 따라서 소형 마이크로 터빈에서 시스템의 출력력을 작게 설계할 경우 압축기나 터빈의 성능이 더욱 낮아질 것이다. 그럼에도 불구하고 반경식 부품들은 부품수가 적고 제작이 용이하여 소형 마이크로 터빈의 경우에는 많은 장점이 있다. 혼합형 시스템에 사용될 마이크로 터빈의 출력 규모는 일반적으로 수십 kW급이며, 이 정도 출력 규모에서 기술적 경쟁력을 확보하기 위해서는 열효율 상승과 관련된 터빈 입구 온도를 높이기 위한 세라믹 부품 개발 기술, 열효율 향상을 위한 복열장치(recuperator) 개발 기술, 환경 친화성을 높이기 위

한 회박 연소 기술, 그리고 비운활 구동을 위한 공기 베어링 기술 등을 필요로 한다.

기대효과

가스터빈/연료전지 혼합형 발전 시스템은 향후 세계적으로 전개될 디지털 산업 분야의 분산 발전 시장 진입에 가장 적합한 제품으로서 다음과 같은 기대효과가 있다.

- 기존 발전 시스템의 문제점인 고위험도의 중앙집중식 전력 생산 시스템에서, 저 위험도의 분산형 전력 생산 시

- 스텨밍으로의 전환 효과
- 발전 효율의 혁신적인 향상으로 화력 발전 대비 40% 이상의 에너지 절감 효과
- 발전소 부지 문제 해결 및 송전 비용 절감
- 기존 발전소 대비 60% 이상의 CO₂ 발생량 감소로 온실가스효과 저감
- SO_x, NO_x 등의 발생량이 거의 없음.
- 발전시 소음이 거의 없어 소음 공해 문제 해소
- 피크 타임의 피크 전력 감소로 대형발전 비용 감소

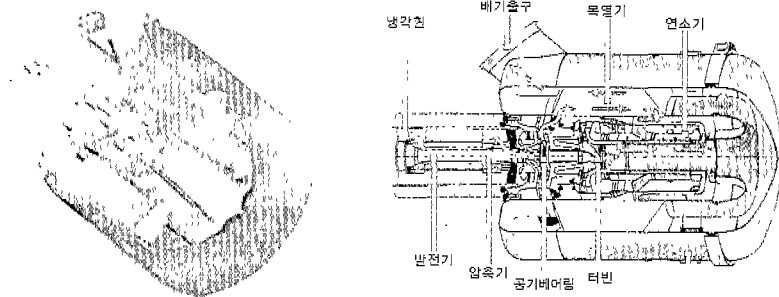


그림 4 마이크로 터빈(MGT)