

신발전으로써 고체산화물 연료전지 기술 개발 방향

송락현, 김종희, 유승호, 백동현, 정두환, 신동열
한국에너지기술연구원 신연료전지연구팀

Solid Oxide Fuel Cell for New Power Generation

R.-H. Song, J.-H. Kim, S.-H. Yoo, D.-H. Peck, D.-H. Jung, D.-R. Shin
Advanced Fuel Cell Research Team, Korea Institute of Energy Research

1. 서 론

고효율, 무공해 등의 뚜렷한 장점을 갖고 있는 차세대 연료전지 기술은 지구의 온난화, 환경오염 문제에 대처하기 위한 기후변화 협약과, 경제발전 에 따른 전력수요의 증대 및 에너지 가격상승 등 에너지 문제에 대응하고 지속적인 경제 발전을 위해서는 대체에너지원으로써의 연료전지 발전기술의 개발이 필연적이라 할 수 있다.

연료전지중 제 3세대 연료전지인 고체산화물 연료전지(Solid, Oxide Fuel Cells, 세라믹연료전지라고도 함)는 700~1000℃의 고온에서 작동하기 때문에 연료전지 가운데 가장 효율이 높고(50%이상), 환경특성이 우수하며, 귀금속촉매, 외부개질 장치, 전해질 제어 시스템, 냉각시스템 등 부수적인 설비가 필요 없는 시스템이 간단하여 경제성 확보가 용이하다. 특히 고체산화물 연료전지는 천연가스, 석탄 가스 등 다양한 연료로 발전이 가능하여 중대형 발전 시스템뿐만 아니라, 최근 새로운 발전 형태로 주목받고 있는 분산형 전원 및 소규모 주택용 전원으로도 사용이 가능하며, 21세기 미래 발전기술로 선진국에서 실용화를 위하여 집중적인 연구개발이 이루어지고 있으며, 기술의 급속한 발전으로 인하여 수년 내에 상용화가 확실시되고 있다.

이러한 관점에서 본 고에서는 차세대 신 발전 기술로써 고체산화물 연료전지의 원리 및 특성, 국내의 기술개발 현황, 향후의 기술개발 방향 등을 기술하였다.

2. 고체산화물 연료전지 원리 및 특성

고체산화물 연료전지는 연료기체가 소유하고 있는 화학에너지를 전기화학반응에 의해 직접 전기에너지로 변환시키는 에너지변환 장치이다. 고체산화물 연료전지 구성요소는 Fig 1과 같이 중앙에 치밀한 전해질(electrolyte)이 있고 양쪽에 다공성 공기극(cathode)과 연료극(anode)이 부착되어 있는 단위구성요소와 그 구성요소를 직렬 연결할 때 연료기체와 산화제의 혼합을 막고 전기적으로 연결해주는 연결재(interconnect)를 이용하여 단위전지(single cell)를 구성한다. 각각

의 전지는 전극 활성 에너지 손실과 전기적 저항 손실, 그리고 이것의 발전량을 더욱 낮은 전압으로 감소시키려는 이온 이동 저항 손실에 영향을 받는다. 따라서 연료전지 발전용으로 사용하기 위해서 여러 개의 단위전지를 직렬 및 병렬로 연결한 스택(stack)을 구성하여 기본 연료전지 시스템이 구성된다.

스택 구조에서 기체의 흐름을 조절하기 위해서는 특별한 디자인이 요구되는데 특히 SOFC는 모든 구성요소가 교체이기 때문에 다양한 형태의 디자인이 연구되었고, 지금까지 개발되고 있는 고체산화물 연료전지 형태는 원통형, 평판형 및 일체형의 3 종류가 있으며, 원통형과 평판형이 주로 많이 연구 개발되어지고 있다. 현재의 기술 개발 수준을 보면, 원통형 시스템이 가장 진보된 기술이며, 그 다음으로 평판형 기술이 개발되어지고 있다. 원통형은 대형 시스템에 주로 적용되고 있으며, 소형 시스템의 경우 평판형도 가능하다.

원통형 구조의 Siemens-Westinghouse의 발전 시스템은 지금까지 가장 발전된 연료전지 시스템이며, 25kW, 100kW, 200kW 발전 시스템(Fig. 2)에 대해 검증되었으며, 최근에는 마이크로가스터빈을 결합하여 60% 이상의 효율을 갖는 발전시스템이 개발되었다. 한편 최근 중온형 전극지지체 SOFC가 개발되고 있으며, 중온형 SOFC는 전극 지지체식 구조로 기존의 전해질의 두께를 얇게 하여 내부저항을 줄이고, 금속 연결체의 사용으로 제조원가를 낮추고, 장기 안정성을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 반면 저온형 SOFC의 경우 기존의 재료로는 전해질의 이온전도도와 전극반응 요구조건을 만족시키지 못하므로 새로운 전해질 재료의 개발이 선행되어야 한다. 또한 연료개질 반응 온도 이하이므로 부수적으로 연료개질기를 운용할 필요가 있다. 다만 저온형 SOFC는 가정용, 자동차 동력원 등 소형전원으로 활용될 가능성이 있어 이에 관한 활발한 연구가 수행되고 있다.

3. 고체산화물 연료전지 기술개발 현황

미국, 독일, 일본 등의 선진국에서는 환경, 에너지에 대한 국가 시책을 바탕으로 연료전지 실용화가 진행되고 있으며, 마이크로 가스터빈과의 복합발전 등 대형 시스템 개발이 진행되고 있고, 보조전원용, 소형분산전원용으로서의 기술개발에도 관심이 집중되고 있다.

미국은 에너지성(DOE)과 전력연구소(EPRJ)를 중심으로 연구개발 프로그램이 진행되고 있다. DOE는 웨스팅하우스사의 25kW, 100 kW급 원통형 SOFC의 성공적인 개발에 힘입어 2002년까지 2억달러를 투자하여 연료전지/가스터빈 복합발전시스템인 가압형 250 kW, 1 MW, 2 MW 발전시스템을 개발하는 프로그램을 1997년부터 진행하고 있으며, 발전시스템의 가격을 kW(ac)당 1300 달러로 감소시키는 것을 목표로 하고 있다. 현재 250 kW급 발전시스템의 개발을 완료하였다.

일본은 NEDO의 뉴선사인 프로그램을 진행하고 있으며, 주로 평판형을 많이 연구개발하여 왔으나, 원통형 구조도 함께 개발하려고 25 kW급의 미국 기술을 도입하고 자체기술 개발로는 다전지식 원통형 연료전지를 개발하고 있다. 1995년에는 미츠비시중공업이 10 kW를 성공적으로 개발하고 시스템의 제조단가 저하

를 위한 공정개선 연구는 물론 시스템 전체의 완성도를 높이려는 연구를 집중적으로 진행시키고 있다.

유럽은 독일을 중심으로 영국, 네덜란드, 덴마크, 스위스 등에서 기본 요소기술의 혁신을 위한 연구개발이 진행되고 있으며, 독일은 현재 10 kW, 20 kW의 평판형 SOFC를 제작하여 운전하였으며, 연료극 지지체식 평판형 구조 개발을 진행하고 있다. 최근 호주에서는 정부, 가스회사, 에너지회사, 전력회사 등을 중심으로 SOFC 전문회사인 CFCL을 설립하여, 3~5 kW의 스택을 개발하고, 25 kW급 스택 개발을 확보하기 위하여 노력하고 있다.

4. 고체산화물 연료전지 개발 방향

향후 신발전시스템으로서의 고체산화물 연료전지의 실용화, 상용화는 가까운 시일 안에 신 에너지원으로써 혁명적인 변화를 예고하고 있다. 특히 발전용 연료시장의 규모는 미국 ABI사의 분석보고에 따르면 Fig 3과 같이 2010년경 약 12,000MW에서 22,000MW 정도로 예상하고 있으며, 이러한 변화는 상용화가 실현될 2010년경부터 2050년경에는 전체 발전시장의 50% 이상을 점유할 것으로 예상되며, 국내의 자체 고체산화물 연료전지 발전시스템기술의 기술확보는 절실히 이루어져야 한다고 본다.

현재 고체산화물 연료전지에 대한 기반기술은 국내에서도 국책연구기관과 대학등에서 연료전지 요소기술에 대한 연구는 상당부분 진행되어 지고 있으나, 발전시스템으로서의 상용화를 위해서는 기본요소기술의 개발과 함께 단위전지와 스택 본체 연계기술의 개발 및 시스템, 연료처리기나 주변기기 등의 부수 설비까지 종합적으로 검토되어지는 종합 엔지니어링 기술개발로 이루어져야 하며, 첨단 신발전 시스템 기술력 확보로 선진국과의 기술 교류에서 우위성을 선점하여야 한다.

또한 고체산화물 연료전지 자체의 세라믹 구성재료 및 주변 고온소재재료의 자체 기술확보, 고온에서 사용연료의 밀봉을 최소화한 스택 시스템 제작을 통한 저가의 신재료의 개발 및 시스템의 가격을 낮추어서 상용화를 추진하고, 최종 목표의 대형발전 시스템에 앞서 소형(2kW-5kW급) 발전기술을 가정용, 모듈형(10kW) 발전기술의 독립전원 주택, 건물전원, 이동용 전력원으로 제품화가 절실히 요구된다. 따라서 국내의 고체산화물 연료전지의 개발, 실증시험 및 보급을 위한 국내 자체 기술력확보 및 시스템, 운전, 주변기술의 확보를 위한 국책연구소, 대학, 전력회사, 가스회사, 중공업회사등 관련분야의 전문기술력 확보와 공동 연구를 통하여 국내 연구역량을 극대화하는 종합적인 연구가 이루어져야 한다.

궁극적으로 고체산화물 연료전지 발전 시스템은 수백kW급-수MW급 범위의 대형 발전시스템을 개발하여야 하고, 가스터빈과 연계한 초고효율 복합발전 시스템이 개발되어야 한다. 이를 위해서는 선진국 기술의 도입과 자체기술 개발 전략도 심감히 고려해 볼 필요가 있으며, 이러한 전략은 선진국과의 기술격차를 단시일 내에 줄이기 위한 좋은 방안이 될 수 있다.

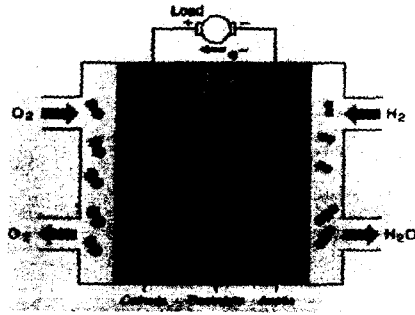


Fig 1. 고체산화물 연료전지구조 및 작동원리

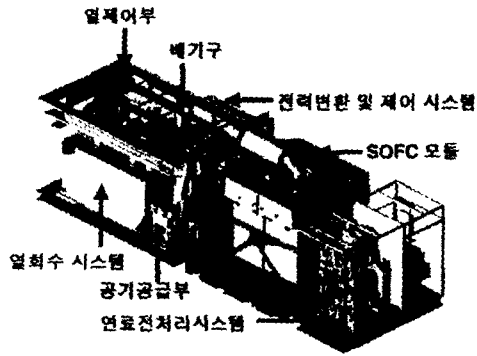


Fig 2. 100kW급 고체산화물 연료전지발전 시스템(Siemens-Westinghouse)

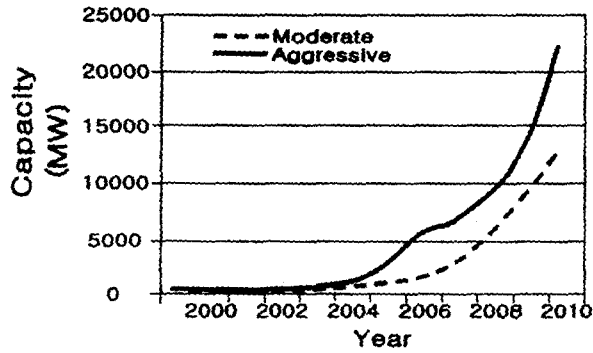


Fig 3. 발전용 연료전지 세계시장 규모(미국 ABI사 보고서)