

04 연료전지

수소에너지 혁명을 주도한다



한전 전력연구원의 '초전도 플라이휠 에너지 저장장치'다. 이 저장장치는 진공상태에서 초전도 위에 떠 있는 휠을 고속회전시켜 전기에너지를 회전운동에너지로 변환시키는 장치로 대체에너지 저장과 전력품질 개선 등에 이용된다.

연합포토

글_ 임태훈 한국과학기술연구원 책임연구원 thlim@kist.re.kr

18세기에 증기기관이 발명되면서부터 인류는 급속한 공업화에 따른 편리하고 안락한 삶을 누릴 수 있게 되었다. 보다 빠르고 보다 편리한 기계들이 개발되면서 에너지에 대한 수요는 폭발적으로 증가하여 현재 석유에 대한 의존도가 갈수록 높아져 가고 있으며 이에 따르는 환경오염 또한 더욱 가속되고 있다. 또한, 불행히도 석유와 같은 화석연료의 매장량은 한정되어 있으며, 그것이 만들어지는

속도에 비해 10만 배 이상 빠른 속도로 고갈되고 있다. 현재까지 확인된 가채 매장량은 2002년 기준으로 석유는 40년, 천연가스는 60년, 석탄은 204년 정도다.

열역학적 제한 없어 발전효율 80%까지 가능

21세기 인류가 당면하고 있는 가장 큰 문제 중 하나가 에너지 자원의 한계성과 지구의 환경오염임은 누구도 부인할 수 없을 것이다.

수소에너지는 에너지와 환경문제를 동시에 해결할 수 있는 꿈의 에너지원으로 평가되고 있으며, 현재 인류가 안고 있는 화석연료의 한계인 부존자원의 고갈과 지구온난화 및 환경오염 문제를 극복할 수 있는 유일한 대안이라 할 수 있다. 특히, 연료전지는 이러한 수소에너지를 이용하는 전력변환 장치로 기존의 화석연료-내연기관 조합보다 에너지 효율을 극대화할 수 있는 차세대 고효율 청정 발전 기술로



각광 받고 있다.

연료전지의 기본 작동 원리는 19세기 영국의 그로브 경에 의해 가시화되었으나 1960년대 들어서야 비로소 우주선 및 군사용 목적으로 응용이 시작되었고, 1970년대 초 오일 파동 이후 민수용 목적으로 본격적인 개발이 진행됐다. 연료전지는 수소를 연료로 하여 전기를 발생시키는 일종의 발전기로서 물의 전기분해반응의 역반응을 이용하여 수소와 산소로부터 전

기와 물을 만들어 낸다.

〈그림 1〉에서와 같이 전해질 막의 양쪽에 접해 있는 양극과 음극에 각각 산소와 수소를 공급하면 음극에서는 수소가 수소이온과 전자로 분해되며, 수소이온은 전기적 부도체인 전해질막을 통과하여 양극으로 이동하게 된다. 양극에서는 음극에서 이동되어온 수소이온과 전자, 그리고 산소가 합쳐져서 물이 생성되는 반응이 일어난다. 이와 같은 반응을 통해 전기화

학적 회로가 완성되어 수소와 산소로부터 전기와 물과 열이 생산되는 반응이 완결되는 것이다. 연료전지는 수소가 갖고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지와 열로 변환시키기 때문에 기존의 내연기관이 갖고 있는 열역학적인 제한을 받지 않아 발전 효율은 40~55%로 기존의 발전장치에 비해 매우 높으며, 전기뿐만 아니라 열을 이용하는 열병합발전을 채택하는 경우에는 효율이 80%에까지 이른다.

필요한 곳에 발전소 설치, 송배전 시설 간소화

연료전지는 〈표 1〉에 정리한 바와 같이 전해질 종류 및 특성에 따라 작동온도, 구성요소, 시스템의 형태 및 활용분야가 결정된다. 이러한 다양한 종류의 연료전지들은 내연기관 발전과는 달리 고효율 및 무공해 발전이며, 움직이는 부분이 없어 조용하고, 또한 건설과 증설이 용이한 모듈화가 가능하고, 수소, 석탄가스, 천연가스, 매립지가스, 메탄올, 휘발유 등 다양한 연료를 사용할 수 있으며, 폐열을 이용한 열병합 발전이 가능하다는 장점이 있다. 특히, 용융탄산염 연료전지(MCFC) 또는 고체산화물 연료전지(SOFC)와 같은 고온 작동형 연료전지의 경우, 고온 작동으로 인해 비싼 귀금속 촉매가 필요 없다는 점과 열병합 발전이 유리하다는 점 때문에 〈그림 2〉에서와 같이 분산전원(수 MW급) 또는 중앙 집중형 대형 발전(수백 MW급) 시스템에 적합하다.

이에 비하여 규모가 작은 수kW급 가정용 발전장치(RPG)로는 고분자 전해질 연료전지(PEMFC), 고체산화물 연료전지가 기술 및 가격 우위를 점하기 위하여 경쟁 중에 있다. 이러한 연료전지를 이용한 청정 분산발전은 고품질 전력을 필요로 하

〈표 1〉 연료전지 종류 및 특징

	PAFC	MCFC	SOFC	PEMFC	DMFC	AFC
전해질	인산	탄산리튬/탄산칼륨	지르코니아	수소이온교환막	수소이온교환막	수산화칼륨
이온전도체	수소이온	탄산이온	산소이온	수소이온	수소이온	수소이온
작동온도	200	650	1000	< 100	< 100	< 100
연료	수소	수소 일산화탄소	수소 일산화탄소	수소	메탄올	수소
연료원료	도시가스 LPG	도시가스 LPG 석탄	도시가스 LPG	취발유, 수소 메탄올, 메탄	메탄올	수소
효율 (%)	40	45	45	45	30	40
출력범위 (kW)	100 ~ 5,000	1,000 ~ 10,000	1,000 ~ 10,000	1 ~ 1,000	1 ~ 100	1 ~ 100
주요용도	분산발전형	대규모발전	대규모발전	수송용동력원	휴대용전원	우주선용전원
개발단계	실증-실용화	시험-실증	시험-실증	시험-실증	시험-실증	우주선적용

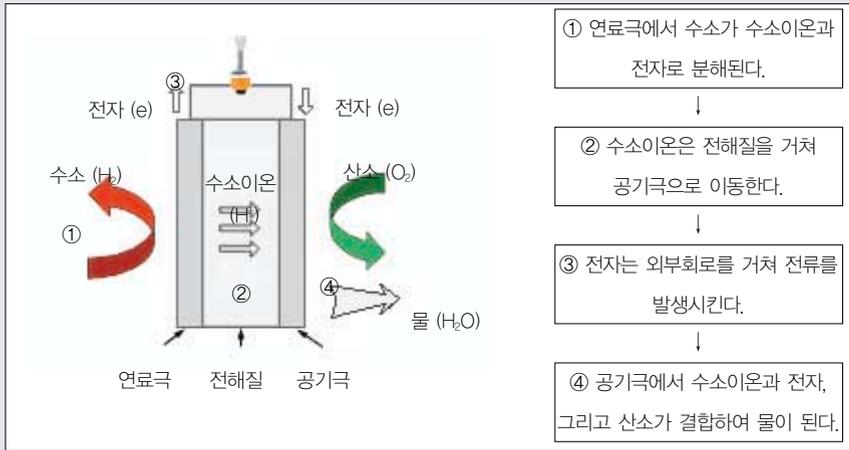
는 도심 등과 같은 수요처에 직접 발전소를 건설함으로써 부수적인 송배전 시설을 감소화할 수 있다는 장점이 있다.

자동차 동력원용 연료전지의 경우, 낮은 온-오프 및 고출력에 적합한 고분자 전해질 연료전지를 중심으로 개발이 진행되고 있으며, 국내의 현대자동차를 비롯한 세계적인 유수의 자동차 메이커들이 안정성 및 가격 저감을 달성하여 2010년경 실용화를 목표로 하고 있다.

배터리를 대체할 용도의 휴대용(수W~수백W급) 연료전지의 경우에는 연료에 대한 공급, 보관 및 저장에 간편한 직접 메탄올 연료전지(DMFC)가 집중적으로 연구되고 있다. 직접 메탄올 연료전지는 기존 배터리의 단점인 단위부피당 출력밀도 및 작동시간을 획기적으로 개선함으로써 이동용 IT 분야의 다양한 요구를 만족시키고 IT 산업을 선도할 수 있을 것으로 기대된다. 이와 같이 다양한 연료전지들은 각 연료전지의 특성에 맞는 다양한 적용 및 활용 분야를 개척함으로써 향후 40년경 예상되는 수소경제 사회로의 전환을 촉진시킬 것이다.

난지도매립지에서 발생하는 가스를 모아 삼양동월드컵 경기장과 인근 아파트 단지에서 에너지원으로 활용할 수 있는 포집, 재활용 시설





〈그림 1〉 연료전지 원리 개념도



〈그림 2〉 연료전지 종류에 따른 활용 분야

2012년까지 연료전지 자동차 1만5천 대 운행

향후 에너지 문제는 궁극적으로 국가 안보와 직결될 수 있으므로 현재 선진국들은 독자적으로 수소 및 연료전지 개발 프로그램을 운영하고 있다. 미국의 부시 대통령은 2003년 연두 의회연설에서 향후 5년간 '수소연료전지개발계획' 과 연료전지 차 프로그램을 통해 수소·연료전지 사업에 17억 달러를 지원하기로 천명 한바 있으며, 미 에너지부에서는 2010년 정부터 수소에너지 체제로 진입한다는 계획하에 가정 및 산업용 연료전지는 2010년부터, 자동차용 연료전지는 2015년부터 상업화를 추진하고 있다.

일본의 경우에는 1980년대부터 문라이트 프로그램을 통해 기술개발을 추진하고 있으며, 현재는 환경과 신에너지 개념을

통합한 뉴선사인 프로그램을 통하여 지속적으로 연구 개발을 진행해오고 있다. 2003년에 일본정부는 도요타와 혼다로부터 연료전지 자동차 5대를 월 100만 엔의 비용으로 임대하여 운영하고 있는 등 연료전지의 상업화와 보급을 위해 많은 지원을 하고 있으며, 2005년을 연료전지 상업화의 원년으로 하고, 2010년에는 본격적으로 확산시킨다는 계획을 추진하고 있다.

유럽은 6차 프레임 워크 프로젝트를 통해 2003년부터 2006년까지 수소 및 연료전지 기술 개발을 위하여 21억 유로를 투자하고 있다. 특히, 주목할 필요가 있는 것은 중국조차 863 프로젝트를 통해 자국 자동차 산업의 경쟁력을 높이는 수단으로 연료전지 개발에 1천500억 원을 투

자하고 있다는 점이다.

국내에서는 2002년 확정된 국가에너지 기본계획에서 2011년 기준으로 1차 에너지의 5%를 신·재생에너지로 공급한다는 목표를 설정하고, 그 동안 신·재생에너지의 기술개발 및 보급 사업을 추진해 왔다. 이러한 목표를 달성하기 위해 각 분야를 통합, 그랜드 컨소시엄을 구성함으로써 기술개발뿐만 아니라 성능평가, 실증연구 및 보급까지를 총괄하는 '수소·연료전지 사업단'을 발족시켰으며, 세계 3위의 연료전지 기술보유국 진입을 목표로 실증 및 보급 계획을 설정하였다. 즉, 2012년까지 가정용 연료전지 시스템 1만기, 건물용 연료전지 시스템 2천기, 전력사업용 연료전지 시스템 300기, 연료전지 자동차로 승용차 1만대와 버스 5천대, 수소주유소 50기를 보급할 야심 찬 계획을 수립하고 있다.

연료전지의 세계시장은 2010년 1천억 달러로 확대될 전망이다. 가정용 연료전지 시스템은 240억 달러 정도의 시장이 형성될 것으로 예측하고 있다. 또한 전력산업용 연료전지는 2005년경부터 본격적으로 시장이 형성되어 2010년에는 1만2천~2만2천MW 규모로 시장이 확대될 전망이다. 따라서 선진 각국은 이러한 수소경제 사회로의 전환에 따른 에너지 패러다임 변화에 대한 능동적인 대처와 향후 전개될 거대한 에너지 시장을 선점하기 위하여 연료전지 기술 개발에 박차를 가하고 있다.



글쓴이는 서울대학교 공업화학과의 졸업 후 뉴욕주립대학에서 박사학위를 받았다. 현재 한국과학기술연구원 연료전지 연구센터장을 겸임하고 있다.