



가정용 연료전지 발전시스템

글 ■ 이원용 / 한국에너지기술연구원, 책임연구원
■ 김창수 / 한국에너지기술연구원 연료전지연구센터장

e-mail ■ WY82LEE@kier.re.kr

최근 주목을 받고 있는 고분자 전해질 연료전지를 이용한 가정용 연료전지 코제너레이션 시스템에 대한 소개 및 작동원리에 대하여 알아보고, 기술 개발 동향을 살펴본다.

가정에서 사용되는 보일러에서 급탕과 난방을 위한 온수는 물론 경제성 있는 전기가 나오는 고효율 청정 에너지변환시스템의 보급이 기대되고 있다. 또한 기존의 발전설비와 달리 에어컨과 TV와 같이 손쉽게 사용될 수 있는 가전기기 개념의 에너지 시스템이 될 것으로 예상되고 있다. 이것이 현재 개발되고 있는 가정용 마이크로 코제너레이션 시스템으로 이 기술이 안정성과 경제성을 확보하여 저렴하게 가정에 보급될 경우 PC 보급과 마찬가지로 에너지 수급에도 새로운 변화가 일어날 수 있을 것이다.

무엇이 이러한 기술을 현실화시키고 있는 것일까? 현재 선진 각국에서 연료전지를 고효율, 환경친화성의 특성으로 인해 유망한 차세대 에너지 변환 기술로 인식하고 있으며, 이를 개발하기 위한 치열한 경쟁이 이루어지고 있다. 연료전지 중 고분자 전해질 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, 이하 PEMFC)는 전해질로 액체를 사용하지 않고 고분자 막을 사용하는 연료전지로 취급이 용이하고, 다른 종류의 연료전지에 비해 부피와 무게가 작고 상온에

서 동력밀도가 높으며, 작동온도가 80°C 정도로 낮아 시동과 정지가 용이한 장점이 있다. 이러한 특징을 살릴 수 있는 분야로 전기 자동차용 동력원을 비롯하여, 소형 코제너레이션 시스템, 이동형 전원 시스템으로 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현재의 연료전지 붐을 일으키고 있다. 이와 같이 PEMFC의 등장으로 단위 주택 규모의 코제너레이션이 가능하게 되었다.

연료전지는 발전과정에서 열이 발생하며, 이를 급탕과 난방을 위해 사용할 수 있다. 연료전지에서 발생하는 열을 가정에 사용하기 위해서는 간단한 열교환기를 추가하면 된다. 실제로 연료전지 시스템의 경우 최적 운전온도를 유지하기 위하여 물이나 공기를 이용하여 냉각을 하고 있으며, 이를 위한 배관 설비가 이미 설치되어 있으므로 약간의 설비만 추가하면 열을 이용할 수 있다. 일반적인 가정의 경우 전력의 사용량과 난방에너지가 거의 동일한 것으로 알려져 있으며, 연료전지의 경우 전력 생산량과 열 발생량이 거의 같기 때문에 평균적인 가정의 에너지 공급에 매우 이상적이다.

주택용 연료전지 도입의 장점

연료전지는 직접 수소와 산소를 화학적으로 반응시켜 전기를 얻기 때문에 에너지 변환 효율이 높다. 연료전지의 연료를 어느 것으로 사용하느냐에 따라 다소 달라질 수 있으나, 현재 도시가스를 사용하는 고분자 전해질 연료전지시스템의 경우 전기효율 35% 이상을 얻을 수 있으며, 이와 같은 고효율을 기존의 다른 마이크로 코제너레이션 시스템과 달리 1kW에서 7kW에의 소용량 저출력 영역에서도 달성할 수 있는 장점이 있다. 이론적으로는 더욱 높은 발전 효율의 향상도 기대할 수 있으며, 열이용까지 고려할 경우 80% 정도를 달성할 수 있다. 연료전지는 수소와 산소에서 전기를 만들기 때문에, 발전과정에서 부산물로 물만 배출되는 무공해 시스템이다. 연료 변환기 즉 개질기에 의해 화석연료를 이용하여 수소를 생성할 수 있는데 이 경우에는 부산물로 CO₂가 발생할 수 있으나, 종래의 열기관에 비해 에너지 효율이 두 배 정도로 높은 만큼, 적은 연료로 동일한 에너지를 얻을 수 있기 때문에 그만큼 CO₂의 배출량이 억제될 수 있다. 낮은 소음도 또 다른 장점이다. 연료전지는 동급의 가스나 디젤발전설비보다 약 1/4 정도 소음이 낮으므로 이로 인한 영향을 최소화시킬 수 있다. 연료전지의 연료인 수소는 개질 과정이나, 가수 분해 등 보다 광범위한 연료로부터 전환이 가능하다. 손쉽게 운반이 가능한 프로판, 천연가스, 메탄올, 디젤, 가솔린 등과 석탄가스 등에서 생성된 디메틸 에테르, 천연가스 등에서 생성된 액체 합성연료 등 모든 종류의 연료가 사용될 수 있는 장점이 있다.

연료전지의 높은 에너지 변환

효율과, 환경친화성에 의해 장래의 에너지 환경 분야에서 Key Technology의 하나로 인식되고 있다. 21세기는 환경의 세기라고 불릴 정도로 환경에 관련된 기술력의 차이가 기법의 경쟁력 우열에 큰 영향을 줄 것이기 때문에, 연료전지의 기술개발, 실용화는 장래 국가 산업 경쟁력에 직접 관계되는 것이다. 현재 연료전지에 필요한 것은 소형화, 가격 저감, 내구성 향상 등의 기술로 연구 개발이 진행되고 있다. 연료전지 실용화에는 전기기기산업, 소재산업, 에너지산업 등, 광범위한 산업에 걸친 기술이 필요하기 때문에 국가 산업 전체에 미치는 영향이 크고, 새로운 기술의 진전에 의해 신규산업의 창조, 고용창출의 가능성도 매우 크다.

가정용 연료전지 기술

가정용 연료전지가 설치 예를 나타낸 것이 그림 1이며, 연료전지 시스템은 그림 2와 같이 전지를 적층한 스택 이외에 연료변환장치, 전력변환장치, 공기공급장치 그리고 냉각 및 열회수 장치 등으로 구성된다. 이들 장치들이 연료전지 특성에 맞게 종합화되고 연계되어 운전될 때, 연료전지의 장점인 고효율을 유지할 수 있다. 연료변환장치에서는 LNG와 같은 연료를 연료전지에서 사용할

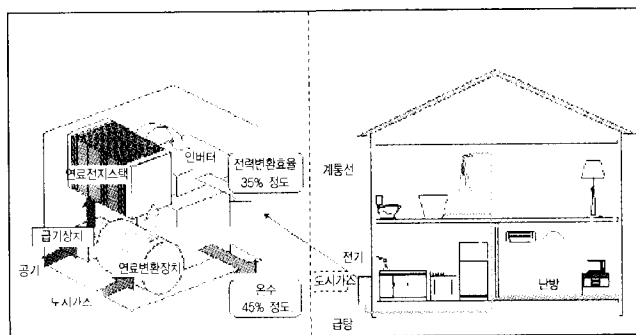


그림 1 가정용 연료전지 코제너레이션 시스템 적용 예

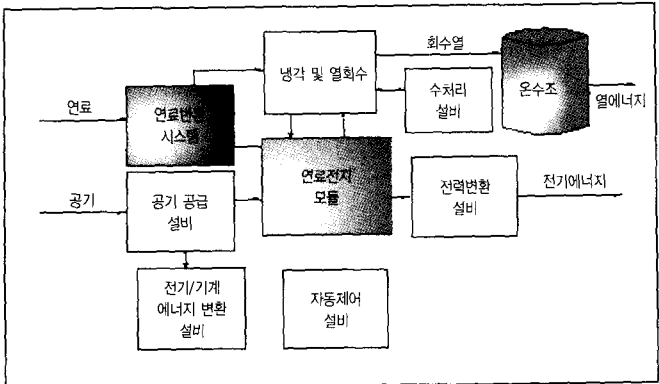


그림 2 연료전지 시스템 구성

전기동로 역할을 하는 바이폴라 플레이트판 그리고 전체 활성면에 반응 가스를 균일하게 공급하기 위한 가스확산층으로 구성된다. 단위전지가 적층된 스택은 구성요소간의 접촉저항을 줄이기 위하여 양쪽 끝의 체결판을 조임볼트로 압착하게 된다.

양쪽 끝의 조임판에는 반응기체의 출구 및 입구, 냉각수 순환구, 전기출력용 단자가 설치되어

수 있는 수소로 변환시키는 장치이며, 여기서 발생된 수소와 공기 중의 산소를 이용하여 연료전지 본체에서 직류 전류를 발생시키게 된다. 최종적으로 연료전지에서 발생한 전력을 인버터에서 교류로 변환시켜 사용하게 된다.

PEMFC는 다른 연료전지들보다 낮은 온도에서 작동된다. 작동온도는 전해질로 사용하는 고분자막의 열적 안정성 및 전도성에 따라 결정되며 보통 80°C 정도이고 더 우수한 막을 사용하면 10~20°C 정도 높일 수 있다.

연료전지 스택(stack)은 전기화학반응이 일어나는 단위전지(single cell)를 수십 또는 수백 개 적층한 구조로 이루어져 있다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 단위전지는 전기화학반응에 의해 전기가 발생하는 전극 전해질 접합체(MEA : Membrane-Electrode Assembly), 반응가스 공급과

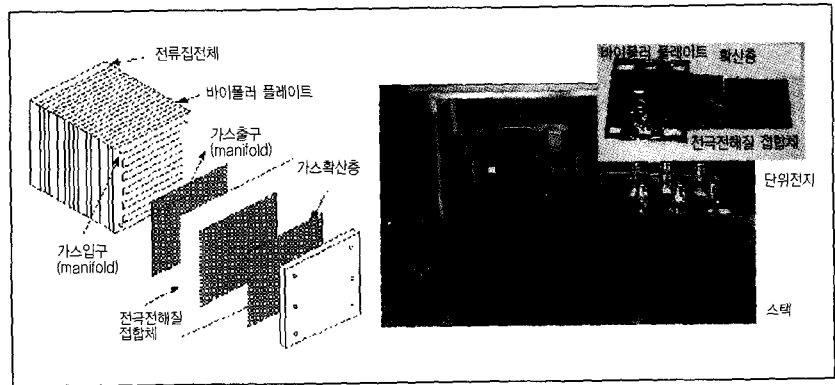


그림 3 연료전지 스택 구성

있다. 단위전지 중 한 쪽면의 바이폴라 플레이트와 MEA 그리고 가스확산층을 나타내고 있으며, 이와 같은 구조가 직렬로 연결되어 연료전지 스택을 구성하게 된다.

그림 4가 연료전지 코제너레이션 시스템과 기존의 화력발전소에 의한 전기와 도시가스를 이용하여 난방열을 얻을 경우를 비교한 것이다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 계통선에서 독립되어 열을 최대한으로 이용하면서 전기를 발생하는 경우, LNG화력 발전과 비교하면 일차에너지 소비량을 약 30% 정도 절감할 수 있으며, 이와 더불어 CO₂도 30% 정도의 절감효과를 기대할 수 있다.



가정용 연료전지 개발 현황 및 대책

고분자 전해질 연료전지를 사용한 가정용 연료전지 시스템은 아직 시장에 도입되지는 않았지만, 시제품들이 활발하게 시범 운영되고 있다. 선진 각국에서 제작한 시스템들의 설계 사항은 각국의 생활 양식과 기후에 따라 전기 사용과 열사용 정도가 달라질 수 있으므로 일본의 경우 주로 1kW급의 연료전지를 이용한 시스템을 개발하고 있으며, 북미의 경우 5kW에서 7.5kW급 까지 그리고 독일의 경우 4.5kW급의 연료전지를 이용한 코제너레이션 시스템이 그리고 국내의 경우 현재 3kW 시스템의 개발이 이루어지고 있다.

일본에서의 PEMFC의 실용화를 위한 계획은 밀레니엄 프로젝트의 하나로 PEMFC 개발을 선택한 것에서 알 수 있다. PEMFC는 지구온난화 방지 등을 위한 환경 분야의 유력한 기술 제시되었으며, 고분자전해질 연료전지를 자동차와 주택용으로의 도입하는 것을 목표로 하고 있다. 일본의 경우 장기적인 계획에 의해 2004년까지 기반정비 기술 실증단계에서 한정적으로 가정용 연료전지를 시판하고, 5년 정도의 도입 단계에서 공적기관 및 관련기업에 의한 도입을 정부차원에서 지원하며, 2010년부터 일반 민간부

분으로 확대하여 민간주도의 공급체제를 본격적으로 확대하려고 하고 있다.

일본의 경우, 전기 제조업체와 가스업체가 주도가 되어 가정용 연료전지 시스템과 핵심부품을 활발하게 개발하고 있으며, 荏原발라드, 三洋電氣, 東芝IFC, 日立, 富士電氣, 松下電工, 三菱電氣 등에서 가정용 고분자전해질 연료전지 시스템을 개발하고 있으며, 일본가스협회를 중심으로 오사카가스 등에서 LNG를 이용한 수소 변환장치를 개발을 완료하고 시판 계획 중이다. 荏原발라드 1kW급 시스템의 경우 AC 출력 전기 효율이 35%이며, 총효율은 81%이다. 荏原발라드는 이와 같은 결과를 바탕으로 준상용기기의 개발을 진행하여 2004년에 상용기 판매를 목표로 하고 있다. 또한 미국의 가정이나 일본의 업무용도를 위해 5kW급 시스템의 개발도 수행하고 있다. 三洋電機 시스템은 연료전지 시스템과 급탕조를 별도로 설치한 것으로 송전단 기준 전기효율 32%이다. 상용기로는 전기효율 35%, 열회수율 35%의 저가 시스템을 개발하고 있다. 東芝 IFC는 인산형 연료전지의 개발 경험을 바탕으로 1kW와 30kW급 고분자 전해질 연료전지 시스템을 개발하고 있다. 1kW급 시스템의 전기효율은 35%이다. 다른 제조업체의 경우에도 대부분 三洋電機와 같은 목표로 유사한 구조의 시제품 제작을 완료하고 실험 중이다.

General Electric(GE)에서는 Plug power와 제휴로 그림 5의 GE HomeGen 7000을 개발하여 실험과 평가를 수행하고 있다. 이미 140기 이상이 제작되어 실험 중이다. 첫 번째 모델은 LPG를 사용하고, 계통선 연계되어 운전되며, 가격은 아직 정해지지 않았지만 \$3,000/kW 이하를 합리적인 가격으로 보고 있다. 2003년부터는 열을 사용할 수 있는 코제너레이션 시스템을

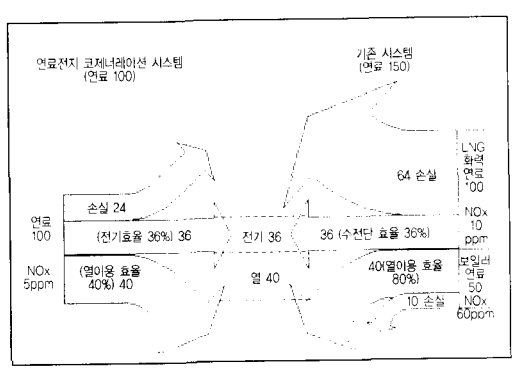


그림 4 에너지 효율 비교



생산할 예정이다. GE는 독일의 Vaillant 그리고 일본의 쿠보타 사를 각각 독일과 일본의 제작 및 판매사로 제휴하여 판매망을 확충하고 있다. Hpower 사에서는 정격 4.5kW로 3kW에서 10kW까지 운전할 수 있는 가정용 연료전지를 개발하고 있으며, Dais analytic 사에서는 1,750W 스택 두 개를 이용한 3kW급의 가정용 연료전지를 개발하였다.

국내의 경우 PEMFC 기본 연구는 대학을 비롯해서 여러 곳에서 연구 중에 있으며, 주택을 위한 kW급의 연료전지 스택과 시스템에 대한 연구로는 한국에너지기술 연구원이 주도

로 2001년 말에 LNG 이용 5kW급 연료전지시스템의 시제품을 제작하여 시험을 완료한 바 있다. 현재 이 기술을 바탕으로 실용화를 위해 CETI를 중심으로 한국에너지기술 연구원, 한전, 가스공사, LG화학, 경북대, 연세대, 충남대, 항공대 등이 산학연 협동으로 요소와 시스템 연구를 수행하고 있다. 현재 개발 중인 시스템은 교류 출력 3kW를 위한 코제너레이션 시스템이며, 2002년도에 시작되어 2004년에 이내에 상용화가 가능한 시제품을 개발할 예정이다.

지구온난화 문제의 대응과 석유에너지 절약 그리고 국제적인 산업경쟁력을 확보하기 위한 관점에서 차세대 핵심기술의 하나인 연료전지를 실용화를 향한 연구 개발을 가속화할 필요가 있다. 선진국 주요 계획에

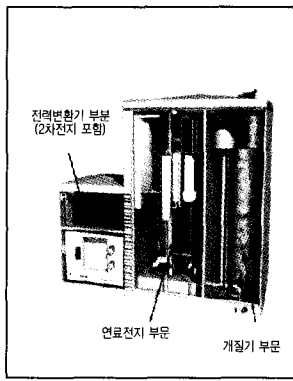


그림 5 GE HomeGen 7000 시스템

의하면 가정용 연료전지 시스템은 2003년에서 2005년까지 실용화가 이루어질 전망으로 2005년 정도까지는 경쟁적인 기술 개발을 통해 기반 기술 확립과 실증적인 적용 실험이 이루어질 것이다. 2005년 이후에는 약 5년간 실용품이 도입되면서 성능 향상과 가격 저감 기술 문제를 해결하는 시장 진입 단계가 이루어질 것으로 예측되며, 2010년

부터 연료전지 자동차 보급과 더불어 연료전지의 가격 저감이 이루어지면 본격적인 보급이 이루어질 수 있을 것이다.



그림 6 독일 Vaillant 시스템

국가 산업 측면에서도 연료전지는 관련된 기술 분야가 광범위하며, 신기술

이기 때문에 에너지산업, 전기기기산업, 그리고 소재산업 분야 등이 포함된 새로운 첨단 신규 산업의 육성에도 크게 기여할 수 있다.

가정용 연료전지의 실용화와 보급을 위해서는 스택, 연료변환장치, 전력변환장치, 압축기 등 핵심부품의 고효율화, 가격저감, 편리성, 안정성 등의 기술개발과 더불어 시범사업을 통한 사회적 수용성의 향상, 기준 규격 설정과 표준화 등의 현행 제도의 검토 및 정비, 부족한 전문가 확보 등 해결해야 할 문제가 많으며, 이를 위해서는 업체의 적극적인 참여를 바탕으로 대학, 국립연구소 등의 연구기관, 그리고 정부가 일체가 되어 일관성 있는 계획 수립 및 연구개발 그리고 지원이 이루어져야 할 것이다.