

가정용/상업용 연료전지 발전시스템

김재동 · 조영아, 최정환 · *이상규 · 박달령
 한국가스공사 연구개발원 이용기기연구센터 · *LNG 탱크국산화팀

높은 에너지 효율을 갖는 동력원의 개발 및 고효율 발전은 인류가 전기에너지를 사용하면서부터 계속되어 온 과제였으며, 앞으로도 효율적 전력생산에 대한 노력은 계속될 것이다. 기존의 발전용 동력원들은 화석연료를 사용하는 왕복동엔진, 터빈 등의 열기관이 주를 이루었으며, 지금까지 구성부의 성능향상 및 응용사이클의 개발을 통하여 꾸준한 효율증대가 이루어져 왔다. 하지만 이들 열기관들은 이들이 가진 기본적인 에너지변환 과정(열에너지 기계에너지)으로 인하여 효율증대에 제한(카르노효율)을 받는다. 한편 연료전지는 연료가 가진 화학적 에너지를 직접 전기에너지로 변환함으로써, 기계적 에너지로 변환하는 과정이 생략되어 매우 높은 발전 효율을 갖는다. 연료전지

시스템은 연료전지 시스템의 운전시 전기 및 발생되는 폐열을 회수하여 상업용에서 사용되는 급탕 및 난방용 온수로 활용함으로써 효율을 배가시킬 수 있다는 점과 가정 및 상업용도로 손쉽게 이용할 수 있는 천연가스를 연료로 사용한다는 특징이 있다.

가정용/상업용 연료전지 시스템은 소비자가 손쉽게 사용할 수 있어야 하므로, 아래와 같은 조건을 갖추어야 한다.

- 운전과 보수가 쉬워, 일반인도 운전이 가능할 것.
- 연료전지시스템의 연료인 천연가스의 공급이 용이하도록, 배관망이 잘 완비되어 있을 것.
- 소비자의 주변에 설치되기 때문에, 배기가스나 소음이 적을 것.

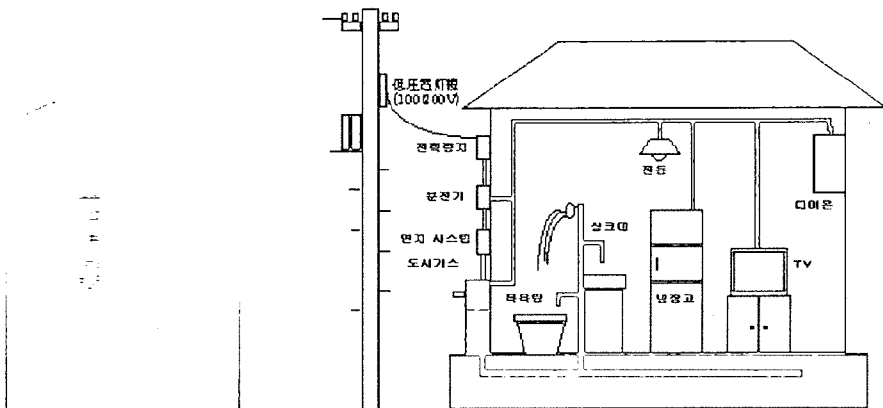


Fig 1. 가정용/상업용 연료전지 발전 시스템

- Compact 해서, 좁은 장소에도 설치가 가능할 것.
- 기동시간이 빠르고, 장기 내구성이 있을 것.

위와 같은 조건을 만족하는 연료전지는 상용화에 근접되어 있는 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)로서, 미국, 일본, 유럽에서는 이미 가정용/상업용 PEMFC 시스템이 제작되어 실증연구가 진행 중에 있다. 그림 1은 가정에서 연료전지를 사용하였을 때의 가상도이다. 가정에 공급된 천연가스는 연료처리장치에서 수소로 전환되어 PEMFC 시스템에서 전기를 생산하게 되고, 생산된 전기는 가정의 냉장고, 에어컨, 전동같은 가전제품을 작동시키고, PEMFC 시스템에서 발생된 열은 온수공급시스템에 공급되어 가정의 난방이나 샤워실, 화장실 등에 온수를 공급하게 된다. 일반적인 가정의 경우 전력의 사용량과 난방에너지가 거의 동일한 것으로 알려져 있으며, 연료전지의 경우 전력 생산량과 열발생량이 거의 같기 때문에 평균적인 가정의 에너지 공급에는 거의 이상적이다.

가정용/상업용 연료전지는 분산형 전원으로 소비자의 주변에 설치되기 때문에 기존의 화력발전이나 원자력발전처럼 유해물질이 방출되면 분산형 전원으로 역할을 수행하기 어렵다. 연료전지는 수소와 산소의

전기화학적 반응에 의하여 물만을 배출하고 전력을 생산하기 때문에, 대기오염을 일으킬 수 있는 질소화합물(NOx), 유황화합물(SOx), 분진의 배출량이 극히 적은 환경친화적 기술이라 할 수 있다. 그림 2는 기존의 발전방식과 연료전지 방식을 통하여 배출되는 공해물질의 양을 비교한 도표로서, 연료전지 방식이 기존의 발전방식에 비하여 공해물질이 적게 배출되는 것을 확인 할 수 있다.

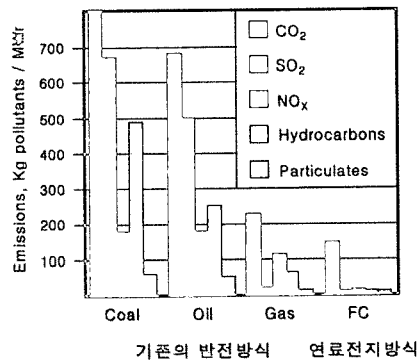
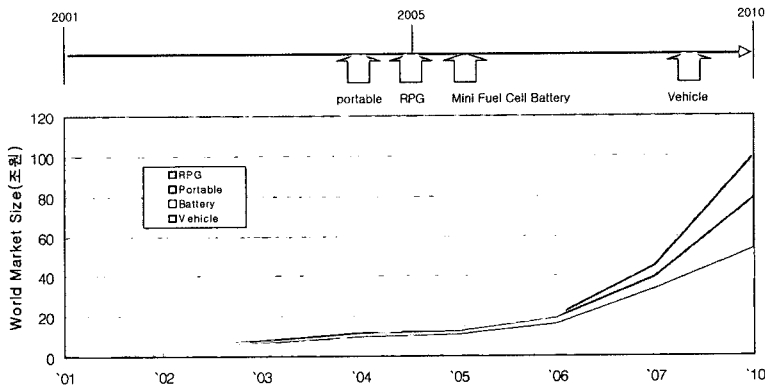


Fig 2. 배출되는 공해물질의 양

연료전지는 낮은 소음도 장점이다. 연료전지는 동급의 가스나 디젤 발전설비보다 약 1/4 정도 소음이 낮으므로 이로 인한 영향을 최소화시킬 수 있다.



*source : " Fuel Cells: on the Verge". Business Communications Company, Inc. 1998

Fig 3. 연료전지의 시장전망

가정용/상업용 연료전지 시스템의 구성

천연가스를 도입하여 최종으로 AC 전력과 열을 생산하기 위해서는 전기를 생산하는 스택(stack)뿐만 아니라, 스택에 수소를 공급하는 연료처리장치(Fuel Processor), 스택에서 생산된 DC를 AC로 전환할 인버터(Inverter), 연료전지의 폐열을 회수하는 폐열회수장치, 제어장치 등이 필요하다. 그림 4는 PEMFC 시스템의 전체적인 구성도이고, 핵심 부분의 각각의 특성은 다음과 같다.

첫째, 천연가스가 공급되는 연료처리장치는 크게 세 부분으로 구성된다. 천연가스는 대부분 CH₄로 구성되어 있으나, 천연가스의 누출을 후각으로 감지하기 위하여 부취제가 첨가된다. 황화합물인 부취제가 제거되지 않고 개질기(reformer)에 공급되면, 개질기는 황화합물에 의하여 피독 되고, 개질기의 성능이 점점 감소되는 문제점이 있다. 그래서 탈황장치를 이용하여 천연가스에 포함된 황성분을 제거하고 개질기에 공급된다. 황 성분이 제거된 천연가스는 개질기에서 수소로 전환된다.

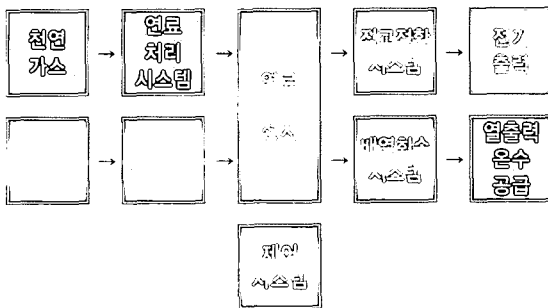


Fig 4. PEMFC 시스템 구성도

그러나 개질기에서 나오는 개질 가스는 전부 수소로 구성되어 있지 않고, 일부 CO(일산화탄소)가 포함된다. 개질기에서 나오는 가스를 직접 스택에 공급하게 되면, 개질가스에 포함된 CO가 전극의 Pt에 흡착되

어 피독을 발생시키고 스택의 성능은 감소하게 된다. 그래서 개질기에서 나오는 가스에서 CO를 제거하는 CO제거 장치가 요구된다. 스택에 공급되는 가스에서 CO의 농도가 10ppm이하가 되어야 하기 때문에, HTS, LTS, PROX의 장치를 통하여 CO가 제거된다.

둘째, 전기를 생산하는 스택부분으로 연료처리장치에서 생산된 개질가스는 가습기에 의하여 수분이 포함된 개질가스로 전환되어 연료극(anode)에 공급되고, 가습된 공기가 공기극(cathode)에 공급된다. 가습된 연료가스와 공기는 각각의 MEA(Membrane Electrode Assembly)에서 전기화학반응을 하여 물과 전기를 발생시킨다.

셋째, 소비자가 사용하는 전기는 AC이기 때문에, PEMFC 시스템의 인버터가 스택에서 생산된 DC를 AC로 전환한다. 기존의 전력이 공급되지 않는 지역은 상업용 PEMFC 시스템을 독립적(Grid independence)으로 운영하겠지만, 한전의 그리드(Grid)가 있는 경우, 한전의 그리드(Grid)와 연결하여 GC(Grid connection) 또는 GI(Grid Independence) 운전할 수 있다.

넷째는 폐열회수장치로 연료전지 시스템은 전기효율이 40% 정도이고, 연료전지 시스템에서 발생하는 열을 이용하여야, 전체적인 효율이 80% 정도에 도달할 수 있다. 상업용 PEMFC 시스템의 폐열회수장치는 난방과 온수의 용도에 사용이 되는데, PEMFC 시스템에서 생산된 60~80℃ 정도의 온수를 난방에 직접 사용하거나, 찬물과 혼합하여 온수로 사용한다.

다섯째, 제어장치는 연료처리장치, 스택, 인버터, 폐열회수장치 각각을 운전하게 할뿐만 아니라, 각 부분이 유기적으로 연계가 되어야 전력과 열을 발생시킬 수 있으므로, 제어장치는 각 부분을 유기적으로 제어하도록 하는 역할을 한다.

가정용/상업용 연료전지의 개발동향

PEMFC를 이용한 가정용/상업용 연료전지 시스템은 아직 시장에 도입되지 않았지만, 전세계적으로 광범위하게 연구되어 현재 시제품이 생산되어 실증운전 중에 있다. 일본에서의 PEMFC 실용화를 위한 계획은 밀레니엄 프로젝트의 하나로 PEMFC를 가정용/상업용 연료전지와 자동차용으로 도입하는 것을 목표로 하고 있다. 밀레니엄 프로젝트하에서 2005년까지는 가정용/상업용 연료전지를 도입하여 실증연구를 수행하고, 도입단계인 2010년도까지 가정용/상업용 연료전지로 2.1백만Kw를 생산하고 연료전지 자동차를 5만대 보급할 예정이다. 또한 연료전지 보급단계인 2020년까지 가정용/상업용 연료전지로 10백만 kw의 전력을 생산하고 연료전지 자동차를 500만대 보급할 계획을 세우고 있다.

일본의 경우 가스업체와 제조업체가 주도가 되어 가정용/상업용 연료전지 시스템과 핵심부품을 개발하는 중이다. Tokyo gas의 경우 2001년 1kw급 시제품을 제작하여, 2003년 3월까지 기동정지 횟수 200회 이상, 총 발전시간 4,800시간이상 운전하여 왔다. 이 결과를 바탕으로 Tokyo gas는 EbaraBallard와 Matsushita 같은 연료전지 제작업체와 공동으로 PEMFC 시스템을 제작하여 요코하마와 사이타마에 있는 사원주택에 1kw급 PEMFC 시스템을 설치하여 현장적용 중으로 그 특성은 표 2와 같다.

Table 1. Tokyo gas 의 실증 시스템

설치장소	Yokohama	Saitama
제조사	EbaraBallard	Matsushita
출력	1.0 kw	1.3kw
온수	60	70
크기	800(W)×380(D)×900(H)mm	950(W)×320(D)×840(H)mm
중량	170kg	160kg

마츠시다의 경우 2000년대 중반 시장도입을 목표로 1kw급 시스템을 제작하여, 2003년 6월부터 오사카의 공업화주택에서 상품화를 위한 현장적용 시험중으로 약 2년 동안 현장시험예정이다. IHI의 경우, MCFC(용융탄산염 연료전지)를 오랫동안 연구 개발을 해온 회사로서, 현재 5kw급 PEMFC 시스템을 개발하고 시제품을 제작하여, 현장시험중에 있다. Mitsubishi의 경우, 세계 최고효율의 인버터를 탑재하였으며, 신일본석유와 함께 요코하마에 연료전지 모델하우스를 건축하여 약 1년간 실증 운전중에 있다. EbaraBallard사는 캐나다의 PEMFC 전문업체인 Ballard사와 일본의 Ebara사가 합작하여 설립되었으며, 전기효율 35%, 총효율 81%의 1kw PEMFC 시스템을 제작하여 운전중에 있으며, 2004년부터 상용기 판매를 목표로 하고 있다. Osaka gas도 Tokyo gas와 마찬가지로 Sanyo나 H-power 같은 PEMFC 제작업체와 협력하여 PEMFC 시스템을 제작하고 실증 운전 중에 있다. 현재 Sanyo, Fuji, Toshiba 등에서도 1kw급 이나 5kw급 가정용/상업용 연료전지를 개발하여 실증운전 중에 있다. 일본의 경우 정부에서 연료전지 발전시스템의 개발과 보급을 중요한 과제로 생각하여 1kw PEMFC 시스템의 경우 정부에서 50-60만엔을 지원하고 소비자가 50-60만엔의 가격으로 구매할 수 있도록 정책을 세워 추진중에 있다.

일본의 경우 가스업체와 대기업에 의하여 PEMFC 개발이 주도되고 있지만, 미국의 경우 연료전지 전문 벤처기업에 의하여 PEMFC 개발이 주도되고 있다. 미국에서는 주로 벤처기업에 의하여 상업용 PEMFC 시스템의 개발 및 실증 평가가 수행되고 있다. 1997년 DTE 와 Mechanical Technology의 joint venture로 설립된 Plug Power는 8개국 50곳에 130기 이상의 5kw PEMFC 시스템을 현장시험중이다. 그림 5는 미국의 3곳에서 실증운전 중인 5kw 시스템의 년 평균이

용률과 전기효율을 나타낸 것이다.

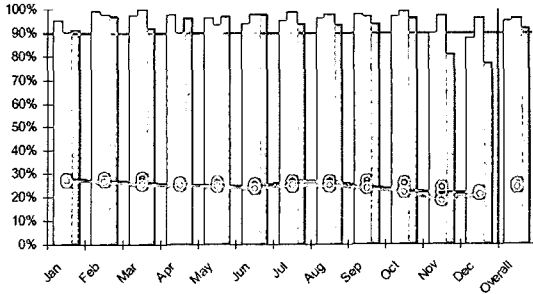


Fig 5. 5kw 시스템의 평균 이용률과 전기효율

세 곳 모두에서 1월에서 12월까지 운전을 하여 년 평균 90%이상을 실증 운전하였고, 각 시스템의 전기효율을 평균 30%정도에 이르는 것을 알 수 있다. 또한 Plug power 와 GE(General Electric)는 joint venture 회사를 설립하여 GE HomeGen 7000을 개발하여 실험과 평가를 수행하고 있다.

UTC Fuel Cell은 AFC(알카리 연료전지), PAFC(인산형 연료전지)를 오랫동안 개발해온 연료전지 제조회사로서, 5kw급 PEMFC 시스템을 2001년에 제작하여, 현재 현장 적용 시험 중에 있다. UTC Fuel Cell은 Toshiba와 일본시장의 진출을 위하여 joint venture를 설립하였으며, 유럽시장의 진출을 위해, Buderus GmbH와 협력관계에 있다.

Ballard의 경우, 전세계 유수의 자동차 업체들에 PEMFC 시스템을 공급하여 왔고, 일본의 Ebara사와 일본시장의 진출을 위하여 EbaraBallard사를 설립하여 1kw급 PEMFC 시스템을 개발하여, 실증운전 중에 있다. 그리고 Ballard사는 대용량의 정지형을 보급시키기 위하여 250kw PEMFC 시스템을 미국, 독일, 스위스, 일본에서 실증운전 중에 있다.

국내의 경우, PEMFC의 기초 연구는 대학을 비롯해서 여러 곳에서 연구 중에 있으며, 1996년에 한국가스공사 연구개발원에서 국내에서 최초로 1kw급 스택

을 자체 제작하여, 수 천시간 동안 장기운전 테스트를 하였다. 이후 1999년과 2000년에 KIST와 한국에너지기술연구원에서 kw급 시스템을 개발하였고, 현대자동차에서는 1998년 자동차용 연료전지 차를 개발하였다. 가정용/상업용 연료전지 시스템의 경우, 2001년도 한국에너지 기술연구원에서 5kw급 연료전지 시스템을 개발하였다. 또한 2000년에는 가정용 연료전지 시스템을 상용화하기 위한 연료전지 전문기업인 (주)세티가 설립되어 가정용 3kw급 PEMFC 시스템을 개발하고 있다. 2001년도에 스택부품인 MEA와 스택을 개발하는 Fuel Cell Power가 설립되어 5kw급 스택을 개발하고 있다. 현재 국외에서는 가정용/상업용 PEMFC 시스템의 실증운전 활발하게 진행중이나, 국내에서는 실증운전 및 평가가 진행되지 못하여 가정용/상업용 PEMFC 시스템이 국내에서의 적용 가능성을 확인하지 못하였다. 그러나 한국가스공사에서 2003년 10월부터 5kw급 PEMFC 시스템의 실증연구를 진행하여, 국외의 PEMFC 시스템 수입하고 실증운전 및 평가를 함으로 국내에서 PEMFC 시스템의 적용 가능성을 확인 할 예정이다.

맺음말

이상에서 살펴본 바와 같이, 연료전지는 발전효율이 높고, 공해배출량이 미비하며 열병합 발전이 용이하기 때문에, 에너지의 수요가 급증하며 환경규제가 심해지는 현재의 상황에 적합한 분산형 발전시스템으로 사료된다. 또한 미국, 일본, 유럽에서 친환경적인 대체에너지보급의 활성화를 위해, 국가에너지정책법(NEP), 우선구매제, Green Pricing같은 지원정책을 도입하였고, 국내에서도 2002년 대체에너지 개발 및 이용 보급 촉진법 및 시행령을 개정하여, 대체에너지

보급의 활성화의 역점을 두고 있다.

특히 가스관련업계에서는 계절에 따른 천연가스 수요의 편차가 심한 문제점을 해결하는 것이 중요한 문제이다. 그러나 천연가스를 연료로 사용하는 연료 전지의 도입은 가정 및 산업에 생산되는 전력을 생산할 수 있어, 계절에 관계없이 천연가스의 수요를 증가시키는 장점이 있다.

연료전지는 차세대국가성장동력중의 하나로, 연료

전지의 실용화에는 에너지산업, 전기기기산업, 그리고 소재산업 등 광범위한 산업에 걸친 기술이 필요하다. 때문에, 국가 산업 전체에 미치는 영향이 크고, 새로운 기술의 진전에 의하여 신규산업의 도출, 고용창출의 가능성도 매우 크다고 할 수 있다. 이 같은 범세계적인 환경문제 및 대체에너지보급의 국가적인 지원과 맞물려, 향후 연료전지는 중요한 대체에너지 수단 및 기반산업으로 자리매김을 할 것으로 사료된다.