

5kW 급 주택용 고분자 연료전지 시스템

양태현, 박구곤, 윤영기, 이원용, 윤왕래, 김장수

* 한국에너지기술연구원 연료전지연구센터

** 한국에너지기술연구원 전환공정연구센터

Development of the 5kW Class Polymer Electrolyte Fuel Cell System for Residential Power Generation

Tae-Hyun Yang, Gu-Gon Park, Young-Gi Yoon, Won-Yong Lee, Wang-Lai Yoon, Chang-Soo Kim

*Fuel Cell Research Center, Korea Institute of Energy Research

**Conversion Process Research Center, Korea Institute of Energy Research
Jang-dong 71-2, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

ABSTRACT

Polymer electrolyte fuel cells(PEFC) have been considered to be a suitable candidate for residential, portable and mobile applications, due to their high efficiency and power density, even at low operating temperature. KIER developed a 5kW class PEFC system for residential application and operated the system for over 1,000 hours. To develop a 5kW PEFC system, performance of a cell was improved through successive tests of single cell of small and large area. Fabrication of three 2.5 kW class stacks, design and fabrication of natural gas reformer, design of auxiliary equipments such as DC/DC converter, DC/AC inverter and humidifying units were carried out along with integration of components, operation and evaluation of total system. During the development period from 1999 to 2001, MEA(membrane electrode assembly) fabrication technologies, design and fabrication technologies for separators, stacking technologies and so on were developed, thereby providing basis for developing stacks of higher efficiency and power density in the future. Experience of development of natural gas reformer opened possibilities to use various kinds of fuels. Main results obtained from the development of a 5kW class PEFC system for residential application are summarized.

주요기술용어 : PEFC system(고분자연료전지 시스템), Residential power generation(주택용 전원), Natural gas (천연가스), Reformer (개질기)

1. 서 론

연료전지 발전 시스템은 기존의 에너지 변환

방식에 비하여 고효율, 무공해 무소음의 열병합 발전 시스템으로서 연료로 천연가스, 나프타, 메

탄을 등의 다양한 연료를 사용할 수 있으며 전기 화학적 반응에 의하여 전기를 생산하는 방법이므로 공해물질의 배출이 낮다는 점에서 그 중요성이 커지고 있다. 또한 연료전지 시스템은 앞으로 예상되는 급격한 전력 및 에너지 소비 증가에 따른 에너지 고갈과 점점 더 심각해지는 환경 문제를 해결할 수 있는 청정에너지원으로서 부각되고 있는 상황이다. 특히 대부분의 에너지원을 국외로부터 수입하는 우리나라의 경우 연료전지와 같이 에너지 이용 효율이 높은 에너지원의 보급 및 확대가 중요하다고 할 수 있다.

여러 형태의 연료전지 중에서도 고분자 연료전지(polymer electrolyte fuel cell, PEFC)는 다른 형태의 연료전지에 비하여 전류밀도 및 출력밀도가 크며, 기동 시간이 짧은 동시에 부하 변화에 대한 응답특성이 빠르다¹⁻³⁾. 특히 전해질로 고분자 막을 사용하므로 부식 및 전해질 보충이 필요 없다. 이러한 특성을 바탕으로 고분자 연료전지는 무공해 차량의 동력원, 현지 설치형 발전, 우주선용 전원, 이동용 전원, 군사용 전원 등 매우 다양한 분야에 응용될 수 있다. 이러한 장점에 비해, 낮은 온도에서 운전되므로 폐열을 이용하는 데 제한적이며, 전극재료로 사용하는 Pt 촉매의 CO tolerance가 고온 연료전지에 비하여 낮다고 할 수 있다. 또한 고분자 전해질 연료전지의 전해질인 고분자 막은 불소계 수지이므로 가격이 매우 비싸며 운전 중에 고분자막의 물 공급이 어렵다는 단점들이 있다.

기존의 발전 설비에 비해 연료전지는 수소와 산소의 반응에 의해 연소과정없이 전기화학적으로 전기를 발생시키는 것으로 효율이 높으며, 전기 이외에 물과 열만이 부산물로 생성된다. 수소는 재생 에너지를 이용하여 전기 분해에 의해 얻어질 수도 있으며, 또한 탄화수소 계통의 연료를 이용하여 수소를 생성할 수 있는데 이 경우에는 부산물로 CO₂가 발생할 수 있으나, 종래의 열기관에 비해 에너지 효율이 높기 때문에 그만큼 CO₂의 배출량이 억제될 수 있다. 또한 종래의 열기관의 연소과정에서 발생하는 질소

산화물, 황 산화물, 등과 매연 등의 유해물질도 거의 발생하지 않는 장점이 있다.

천연가스는 타 화석연료에 비하여 수소/탄소-비가 가장 높은 청정 수소 제조 원료로서, 기존의 천연가스 공급 파이프 라인 공급망이 일반 가정까지 널리 보급되어 있는 장점이 있다. 따라서 선진국을 중심으로 개발되고 있는 가정용 고분자 연료전지 시스템의 경우, 수소생산을 위한 개질원료로서 천연가스가 주로 사용되고 있다. 연료개질 기술은 연료전지 운전에 필수적인 수소 연료 공급 시스템 기술로서, 이의 고효율화를 위하여 소형화, 경량화, 시동의 신속성 및 빠른 동적 응답 특성 그리고 생산비용을 낮추는 것이 중요하다^{2,4,5)}. 하지만 전 세계적으로 개질기 설계 관련 핵심요소 및 컴팩트화를 위한 엔지니어링 기술 개발이 대외비로 진행되고 있기 때문에 향후 연료전지 상용화에 대비하여 개질기 시스템 국산화 원천기술 확보가 시급한 실정이다.

연료전지는 발전과정에서 열이 발생하며 이를 급탕과 난방을 위해 사용할 수 있다. 연료전지에서 발생하는 열을 가정에 사용하기 위해서는 간단한 열교환기를 추가하면 된다. 실제적으로 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 사용량(난방용 전력 제외)과 난방에너지가 거의 동일한 것으로 알려져 있다. 연료전지의 경우 전력 생산량과 열발생량이 거의 같기 때문에 평균적인 가정의 에너지 공급에 매우 이상적이다. 따라서 현재 선진각국에서는 연료전지를 고효율, 환경친화성의 특성으로 인해 유망한 차세대 에너지 변환 기술로 인식하고 있으며, 이를 개발하기 위한 치열한 경쟁이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 천연가스를 이용한 5kW급 주택용 고분자 연료전지 시스템을 제작하였다. 연료전지 시스템은 천연가스 개질기, 연료전지 스택, DC-DC, DC-AC전력변환기, 냉각장치, 제어

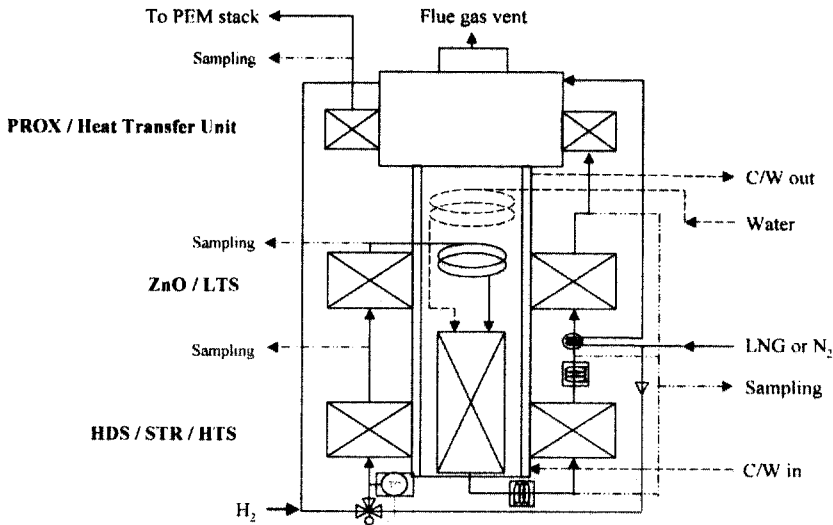


Fig. 1. Process configuration for heat integrated fuel process.

장치로 구성되었다. 각 부분의 구성과 동적 특성을 시스템 운전과 연계하여 정리하였다.

2. 연료 개질 장치

천연가스로부터 수소를 생산하기 위한 핵심기술로는 수증기 개질(steam reforming), 자열개질(autothermal reforming), 부분산화(partial oxidation), 그리고 열분해(pyrolysis) 등이 있다. 이중 수증기 개질에 의한 방법이 반응속도는 상대적으로 느리지만 수소생산효율 측면에서 가장 높고 경제적이므로 보편적으로 채택되고 있는 기술이라 할 수 있다. 하지만 실제 리포머 시스템은 5가지(탈황/수증기개질/고온전이/저온전이/선택적 산화)의 반응공정이 복합 구성되므로, 이 기술이 실용화되기 위해서는 열효율 극대화과 더불어 시스템이 최소화 되어야 한다.

본 연구에서는 제작한 β -형 개질 공정시스템은 기존의 PrOx (preferential oxidation) 반응기의 단점을 보완한 장치로서 Fig. 1과 같이 2 단 직렬 반응기를 사용하였으며 온도 제어를 위하여 fin type 반응기를 사용하였다. 또한 1단과 2

단 PrOx 반응기 사이에 공냉식 fin 형 열교환기를 설치하여 반응물의 온도를 저온(120℃)으로 제어 유지시킨 후 2단 PrOx 반응기로 공급함으로써 최종 반응물의 일산화탄소의 농도를 10ppm이하로 낮추고자 하였다. 일산화탄소의 완전산화에 필요한 공기는 각 반응기의 입구에서 반응물과 함께 동시에 공급하였다.

상용 촉매인 Pt/Al₂O₃ 및 실험실 촉매(Ru/Al₂O₃)를 각각의 선택적 산화반응기에 충전하여 일정한 반응 조건 하(STR temp: 700, 750, 800℃, S/C ratio : 2.5, 천연가스 공급량 속도 : 설계치 100%(26.2 L/min))에서 운전실험을 수행하였다. 각 반응기의 반응온도 및 반응기별 배출 가스농도를 측정된 결과를 Table 1 에 나타내었다. 우선 저온 전이반응기(LTS)를 통한 일산화탄소의 농도는 개질기의 반응온도가 증가함에 따라서 당연히 비례적으로 증가함을 보여주며 700 ℃에서는 0.26 %, 750 ℃에서는 0.34 % 그리고 800 ℃에서는 0.59 %를 나타낸다.

따라서 이를 효과적으로 제거하기 위하여 PrOx I(Pt) 및 PrOx II(Ru)을 통과시키게 되면 대체적으로 1단에서 90 %의 제거율이 그리고 2

Table 1. Temperature of reactors and composition and of reformed gas

STR temp.	Reactor	Temperature (°C)		Concentration(%)			
		Inlet	Outlet	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
700	STR	700	515	61.08	4.11	20.54	14.75
	HTS	350	344	65.35	1.28	18.08	17.15
	LTS	196	187	66.06	0.26	17.51	18.36
	PrOx I	136	163	62.09	0.01461	18.38	19.44
	PrOx II	118	132	60.37	0.00067	18.62	18.21
750	STR	750	550	67.59	5.79	11.56	13.14
	HTS	373	360	68.05	2.54	12.85	14.27
	LTS	195	192	70.50	0.34	10.78	16.20
	PrOx I	140	180	65.69	0.0295	13.06	18.47
	PrOx II	127	137	64.15	0.00073	12.94	18.45
800	STR	800	580	69.23	8.54	7.83	12.57
	HTS	396	374	71.60	2.53	7.91	17.45
	LTS	195	195	73.31	0.59	8.29	19.64
	PrOx I	140	204	66.70	0.06622	10.30	18.92
	PrOx II	120	158	65.29	0.00052	9.47	18.61

단에서는 95 % 이상의 제거율을 나타낸다. 참고로 개질반응기 온도가 800 °C일 경우에 있어서 양론계수λ(= 2O₂/CO)는 PrOx 각단을 기준으로 각기 2.1과 3.57이었다.

결국, 각 반응기에 있어서 산화 반응열의 적절한 제어를 통하여 반응기 출구온도를 200 °C 이하로 유지함과 동시에 각 반응기 사이에 공냉식 열교환을 통하여 2단 반응기 입구온도를 약 120 °C 정도로 유지함으로써 일산화탄소의 최종 배출 농도를 수 ppm대로 유지할 수 있었다. 이렇게 함으로써 저온 산화반응인 주반응(CO + 1/2O₂ → CO₂)이 부반응(H₂ + 1/2O₂ → H₂O)에 비하여 상대적으로 우세하게 진행되도록 유도함으로써 일산화탄소의 산화반응 선택도를 증대시킬 수 있었다.

3. 연료 전지 스택

5kW급 연료전지 시스템 제작을 위하여 40 셀 스택을 3기 제작하였다. 스택을 제조하기 전에

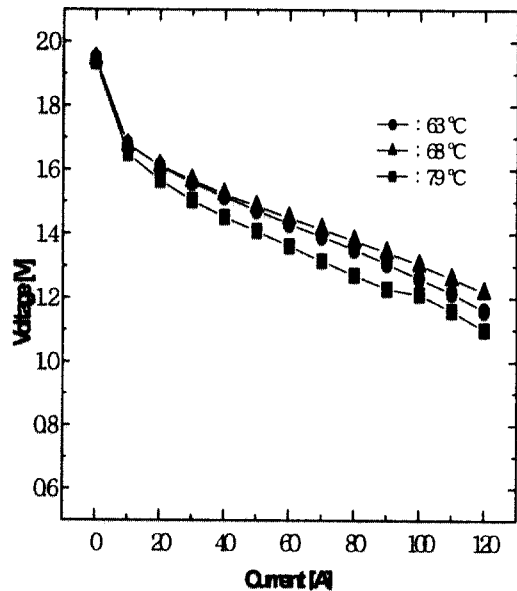


Fig. 2. Performance of 2cells test stack as a function of temperature; active area = 300 cm²; H₂/air= ambient pressure.

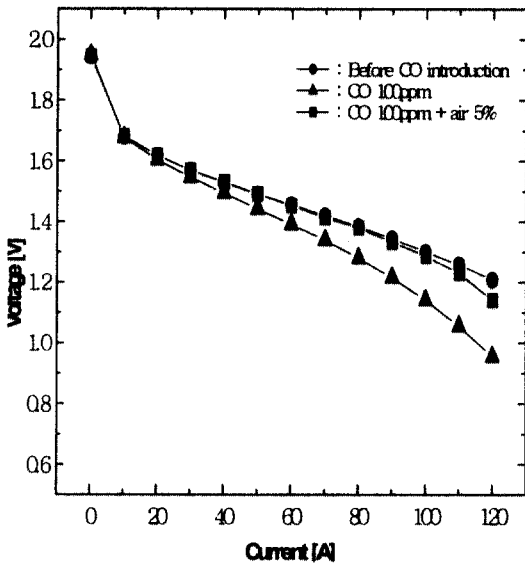


Fig. 3. Effect of air bleeding on CO poisoning: CO= 100 ppm; air bleeding = 5 vol. % air.

각 셀의 성능을 평가하기 위하여 2셀의 단스택을 체결하여 시험운전을 진행하였다. MEA, 탄소전, 분리판, 엔드판, 스프링, 조임쇠 등은 40셀 스택에 사용된 것과 정확히 동일한 것을 사용하였다. 셀의 활성 면적은 15 X 20cm² 이었으며 냉각판이 추가로 1장 덧붙여진 구조였다. MEA의 금속 촉매 담지량은 anode 와 cathode 에 대해 각각 0.8 mg/cm² 과 0.6 mg/cm² 이었다. MEA 제조에 사용된 membrane 은 Nafion 1135 였으며 촉매의 loading 은 스크린 프린팅 방식을 사용하여 고분자 필름위에 코팅후 membrane 에 전사하는 방식을 사용하였다.

단 스택의 정확한 성능을 평가하기 위해 수소와 공기 inlet 부와 outlet 부에 모두 4sets 의 압력세서와 온도 센서를 장착하였다. 센서들은 가능한 한 스택쪽에 가깝게 위치시켜 정확한 결과를 얻도록 하였다. 스택의 온도를 일정하게 유지시키기 위해 냉각수의 온도를 조절하도록 water bath를 설치하였다. 그리고 스택에 압력을 인가하기 위해 수소와 공기 outlet 쪽에 back pressure regulator 를 설치하였다. 기체의 유량

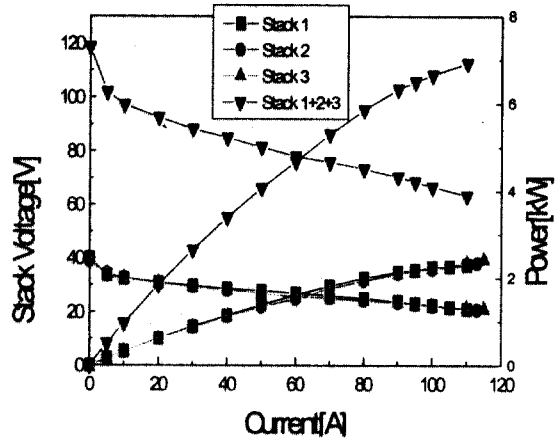


Fig. 4. Performance of fuel cell stack.

은 mass flow controller를 통과하여 정확한 유량이 흐르도록 하였다.

스택의 성능에 미치는 셀 온도의 영향을 규명하기 위해 가습온도는 동일하게 설정하고 셀 온도만을 변화시켜 스택의 성능을 조사하였다. 이 경우, 수소와 공기의 이용률은 각각 80% 와 40% 로 고정시키고 실험을 행하였다.

Fig. 2에 그 결과를 나타내었다. 셀 온도가 63℃에서 68℃로 상승함에 따라 전류가 큰 영역에서 성능이 증가하지만, 셀 온도가 다시 79℃ 까지 상승하면 스택의 성능이 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과로 부터 최적의 셀 온도는 68℃ 근처인 것으로 판단된다.

Fig. 3에 CO 피독전, 100ppm 의 CO 피독후, 그리고 5% 의 공기를 주입한 후의 스택의 성능을 나타내었다. 100ppm 의 CO 피독 후 성능 감소폭은 Nafion 115 membrane을 사용한 스택 보다는 상대적으로 작게 나타나고 있다. 5% 의 공기를 anode 측에 주입한 후에는 거의 원래 상태의 성능을 보임을 알 수 있다.

100ppm 의 CO를 혼합된 수소 가스를 흘려보내면서 일정 전류를 인가하면 전압의 감소가 보인다. 그리고 CO 포함된 수소 가스에 5% 의 공기를 혼합하여 주입하면 순수한 수소가스를 흘려주는 조건과 같은 결과를 보인다. CO 에 의한

anode의 피독은 약 5시간에 걸쳐 나타나는 것으로 보이며 5%의 공기를 주입한 결과 스택의 성능은 5분 이내라는 짧은 시간에 원래의 성능으로 환원되는 것을 볼 수 있다. Nafion membrane을 사용한 스택인 경우에도 100ppm의 CO까지는 air를 주입한 air bleeding 방식으로 피독 문제를 확실히 해결할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 제작된 연료전지 스택의 성능을 나타낸 것이다. 전류 100A로 단위전지 평균 전압 0.56 volt에서 6.7kW를, 그리고 110A로 단위전지의 전압이 0.54 volt일 경우에는 6.93kW의 전기를 출력하고 있다. 단위전지 전압 0.55 기준으로 설계 최대 출력값인 7.5kW보다는 8% 정도 작은 값이다. 이것은 성능이 저하된 일부 단위전지에 의해 종합 출력이 감소되었기 때문이다. 각 스택의 출력값은 110A에서 각각 2.3kW, 2.27kW, 2.36kW로 성능 편차가 2% 이내로 균일한 것을 알 수 있다. 스택의 OCV 상태와 부하 90A에서의 전압분포를 나타낸 것으로 전체적으로는 전압이 균일하게 분포되어 있는 것을 알

수 있었다.

4. 연료 전지 시스템 설계

연료전지 시스템을 구성하기 위해서는 4가지 주요 공정설비, 즉 연료 공급설비, 공기 공급설비, 수처리와 냉각설비, 그리고 전력변환설비와 제어설비가 필요하다. 이들 설비가 최적으로 설계 제작되어 연료전지와 연계되어야만 동력시스템으로서 높은 효율을 기대할 수 있다.

설계 제작된 연료전지 스택, 연료변환장치, 그리고 부속설비로서 가습기와 기액분리기 등의 부품과 운전 제어를 위한 제어밸브와 솔레노이드 밸브 그리고 펌프 등, 압축기를 종합화하여 주택용 연료전지 시스템을 구성하였다. 공기와 수소 그리고 냉각수 배관은 SUS304와 테프론 튜브를 이용하였다. 배관의 직경은 공기와 수소는 압력 1atm에서의 유속을 고려하여 각각 19mm와 12.7mm로 하였으며 냉각수를 위해서는 19mm로 하였다. 시스템 구성은 전체적으로 연료변환장치, 연료전지 본체부분, 배전반과 전력

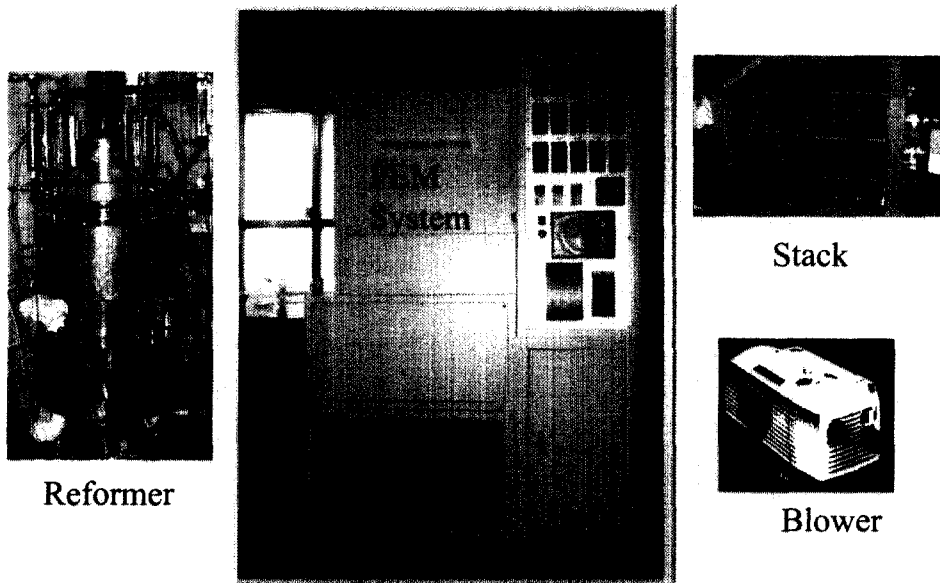


Fig. 5. 5kW class natural gas fueled PEFC system for RPG.

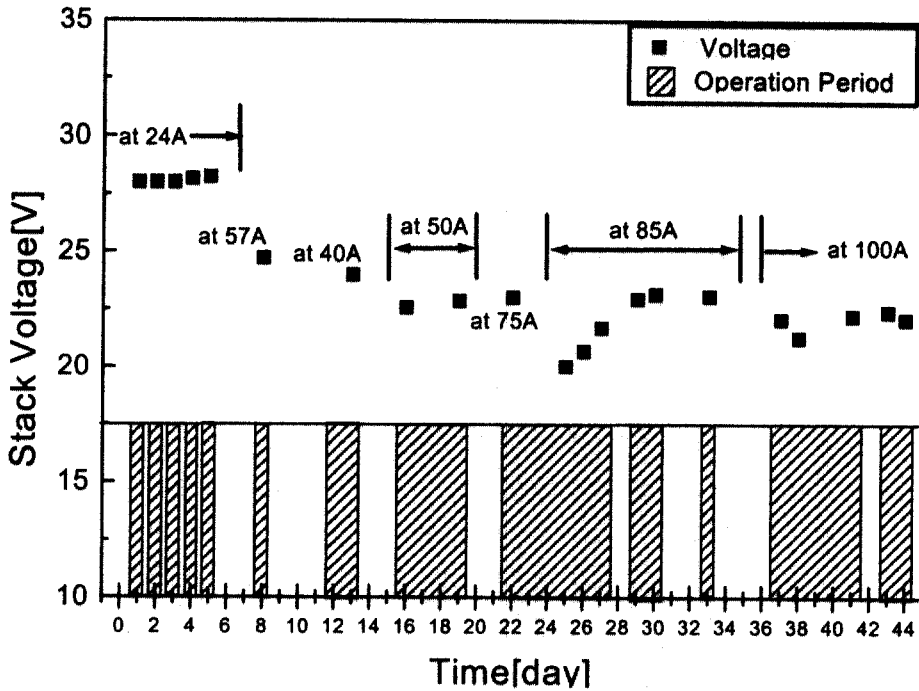


Fig. 6. Long run test of PEFC system.

변환기, 그리고 압축기 부분으로 구분되어 있으며, 나머지 설비는 연료전지 하부와 연료변환장치 하부에 배치하였다.

본 연구에서 제작된 고분자 연료전지 시스템의 사진을 Fig. 5에 나타내었다. 연료전지 본체는 공간 활용을 고려하여 3개의 스택으로 구성하였다. 3개의 스택으로 공급되는 반응가스와 냉각수를 위하여 별도로 제작된 3방향 분류기를 사용하였다.

5. 연료 전지 시스템 종합 성능

국내의 일반 주택에서 사용가능한 전기는 220volt, 60Hz의 교류전기로 연료전지 시스템의 성능은 연료전지 본체의 특성과는 달리 시스템의 최종 출력 형태인 교류 전기를 기준으로 해석하였다.

본 연료전지 시스템은 공간 활용의 효율성과 스택의 장기간에 걸친 기밀 유지 성능을 높이기

위하여 스택을 작은 용량으로 분리하여 제작하였으며 소형 스택 3기를 전기적으로 직렬로 연결하여 구성하였다.

교류 출력 5kW를 위해서는 부속 설비를 제외할 경우 전력변환장치의 성능에 따라 스택 출력이 5.3kW에서 6kW 정도가 필요하다. 부속 설비에서 사용되는 전력을 고려할 경우 약 6kW에서 7.5kW의 스택 출력이 필요하다. 스택 설계값 7.5kW는 부속설비의 성능이 낮은 경우를 고려하여 최대로 필요한 전력을 기준으로 한 것으로 실제로는 이보다 낮은 값이 필요하다. 또한 실제 연료전지 시스템은 고효율 영역인 저부하에서 운전되며 최대부하는 순시적인 침투부하를 위한 것으로 일시적으로 사용되기 때문에 시스템의 용량을 나타내는 지표로는 유용한 값이지만 실제로는 주로 사용되는 운전 범위가 아니다. 본 연구에서 제작된 시스템의 최대 효율은 최대 출력과는 달리 2kW 범위에서 나타나며 고효율로 운전하기 위해서는 최대출력의 20%- 60%범위

에서 운전되는 것이 바람직하다.

Fig. 6은 한달 보름간 연료전지를 장기운전한 결과를 나타낸 것으로 사선 부분이 운전된 시간을 나타내며 나머지 부분은 정지된 상태이다. 실제 시스템의 운전 조건과 마찬가지로 운전 초기에는 하루 한번씩 시스템을 시동 및 정지시켰다. 또한 운전 중 문제가 발생한 경우에도 시스템을 정지시킨 후 점검 수리하여 시스템을 정상상태로 운전하였으며, 휴일에도 시스템을 정지시켰다. 최대 연속 운전시간은 정지 없이 최대 6일 정도를 실험하였다. 45일의 기간은 연료전지의 성능저하 현상을 분석하기에는 짧은 시간으로 오히려 운전기간 동안 스택이 활성화되어 성능이 향상되는 현상을 볼 수 있으며 성능에 따라 부하를 증가시키면서 실험을 계속하였다. 45일간의 실험결과로는 성능저하 없이 부하 100A에서 셀당 전압이 0.56Volt로 비교적 양호한 성능을 유지하고 있는 것으로 판단되었다. 연료전

지의 최대 수명과 성능 저하 현상을 파악하기 위해서는 계속적인 장기 실험이 더 필요하다.

연료전지 시스템의 최종 출력은 주택에서 사용할 수 있는 교류 60Hz, 220Volt의 전력이어야 한다. Fig. 7은 연료전지 시스템의 중간 부하 정도에서의 최종 교류 출력을 나타낸 것으로 전력 변환기가 시동되어 1시간 동안의 주파수와 전압 변화를 나타낸 것이다. 실제 시스템의 경우 최대 부하는 순간적인 침투부하에서 나타나는 것이므로 부하 변화실험은 중간 부하를 중심으로 수행하였다. 주파수의 경우 시동과 동시에 1초 이내에 정격값인 60Hz에 도달하고 있으며 전압의 경우 초기 부하에 따라 달라질 수 있지만 10초 이내에 정격값인 220V에 도달한다. 연료전지시스템의 최종적인 결과인 교류전기의 반응속도가 공정제어에 비해 상대적으로 빠른 이유는 전력 변환기의 스택의 출력 전압범위가 전력변환기 운전 범위내에 있을 경우에는 공정제어에 관계

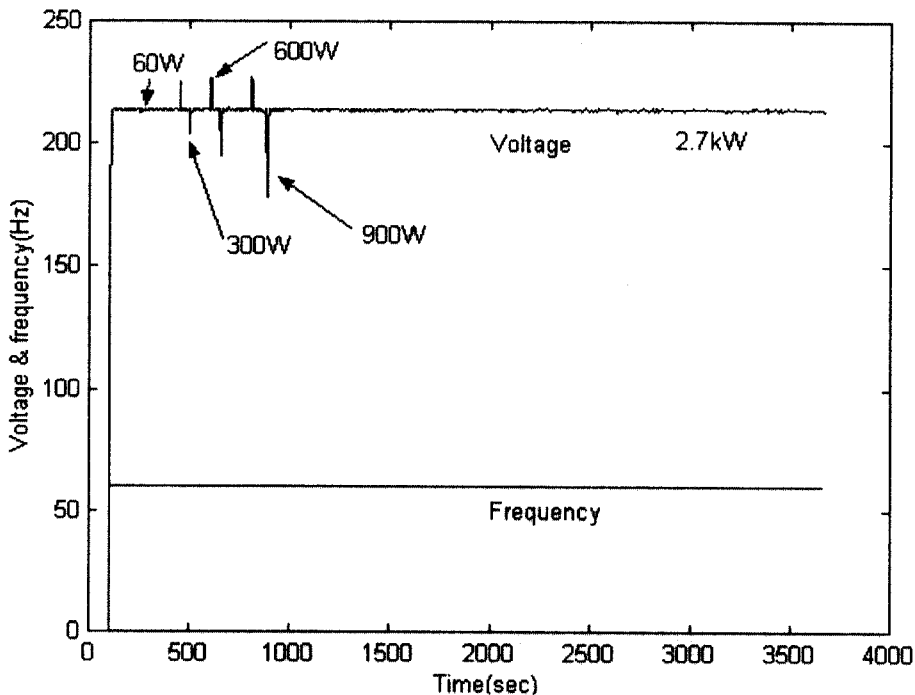


Fig. 7. AC power characteristics of PEFC for RPG.

5kW 급 주택용 고분자 연료전지 시스템

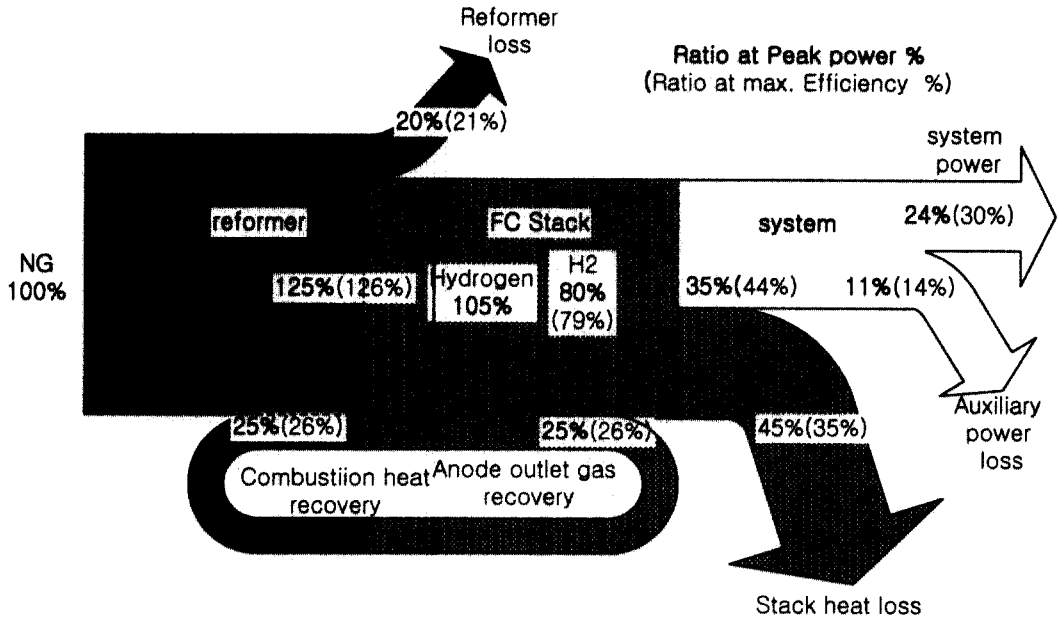


Fig. 8. Sankey diagram of 5kW PEFC system.

없이 전력변환기에서 전기적인 제어에 의해 스택 출력 전압에 관계없이 일정한 전압과 주파수를 유지하기 때문이다.

운전 부하를 교류출력기준 2.7kW로 설정한 후시동 후 부하 변화에 따른 전압과 주파수 변화를 살펴보기 위해 각각 60W, 300W, 600W, 900W에 대한 증감 실험을 수행하였다. 이것은 가정에서 필요로 하는 부하가 3kW를 초과하지 않기 때문이다. 전동하나 정도를 On/Off시킨 값이 60W로 주파수와 전압의 변화가 외관과 구분되지 않을 정도로 나타나지 않고 있다. 300W의 부하가 변할 경우 약 5%의 전압변화가 600W가 변할 경우 7%에서 9%가, 그리고 900W가 변할 경우 7%에서 16%의 전압변화가 생긴다. 부하가 감소할 경우에는 부하의 크기에 큰 관계없이 전압 변화폭이 5%에서 7%정도로 거의 일정한 값을 유지하고, 부하 증가에 비례하여 전압변화가 크게 나타나고 있다. 이것은 부하의 증감에 관계없이 일정한 제어 개인을 사용하였기 때문으로 전압 조절을 위한 제어기의 개선이 필요하다. 전

압 변동폭은 부하크기에 따라 다소 차이가 있으나 부하의 변화 후 약 5초이내에 전압은 정격값으로 회복되는 것을 알 수 있다. 실제로 실내 냉방기를 사용할 경우를 제외하고는 몇 백 와트 이상의 전력이 동시에 사용될 경우가 거의 없으나 여기서는 단계적으로 실험을 수행하여 전기의 상태를 파악한 것이다. 부하 증감에 관계없이 주파수에는 전혀 변화가 없는 것을 알 수 있다. 실험 결과에서 알 수 있는 바와 같이 주택용 전원의 특성상 정격용량의 크기가 작아 부하에 따른 전압의 변동폭이 다소 크게 나타나는 것이며, 제어기의 동적 성능 개선을 통해 5% 이하로 감소시킬 수 있을 것이다.

전체 시스템의 효율을 산출하기 위하여 동력 소비가 큰 공기압축기와 냉각수 펌프 등의 동력 손실을 고려하였다. 연료변환장치의 경우 부속 설비를 고려하지 않는 입력 천연가스 유량과 출력되는 수소의 양에 의한 변환효율을 사용한다. 전력변환기의 경우도 교류변환에 따른 손실을 고려하였다. 연료전지 시스템은 연료전지 본체의

특성과 시스템 부속설비의 부하특성에 의해 최대출력과 최대 효율점이 다르게 나타난다. 본 연구의 경우에도 연료전지 시스템의 출력이 정격값의 40% 범위에서 스택의 효율 44%, 시스템의 효율 30%인 최대 시스템 변환효율을 얻었다. 시스템 출력 정격 출력인 교류 5kW 부하 영역에서는 스택 효율 32% 그리고 시스템의 총효율은 24%가 되었다.

Fig. 8은 연료전지 시스템의 에너지 변환율을 나타낸 것으로 정격상태와 최대 시스템 효율에서의 에너지 변환 비율(괄호안에 표기)을 병행하여 표시하였다. 연료변환장치를 제외하더라도 압축기, 펌프, 전력변환기와 같은 부속설비의 동력 소비와 손실이 스택 출력의 30% 정도가 되어 순출력되는 시스템의 교류 출력이 크게 감소하고 있다. 이것은 연료전지 스택의 기술과 비교하여 최적 종합화기술과 부속설비의 기술이 낙후되어 있기 때문이다. 추후 연료전지 종합시스템의 공정 특성과 전기 특성에 맞는 전용 부속설비의 개발을 통해 압축기등 주변기기에서 사용되는 보조 동력과 손실을 20% 이하로 낮출 필요가 있다. 부속 설비에서의 동력과 손실이 스택 출력의 20% 이하가 될 경우 선진국의 수준인 시스템의 최대효율 36% 그리고 최대출력시에는 28%정도의 효율을 기대할 수 있다.

6. 결 론

본 연구의 목표인 주택용 5kW급 고분자 연료전지 시스템을 개발하기 위하여 대면적 및 소면적의 단위전지를 제작하여 셀의 성능을 향상시키고자 하였고, 5kW 급 스택 제작, 천연가스 개질기의 설계 및 제작, 전력 변환기, 가습 장치등 주변기기에 대한 설계, 운전 데이터 확보 및 전체 시스템으로의 통합, 운전평가를 수행하였다.

- 1) 천연가스 개질기 개발 : 개질기 반응온도 800 °C 로 운전시 HTS 는 396°C, LTS 195°C, PrOx I 140 °C, PrOx II 120°C 로 원활히 제

어되었다. 생성된 총 가스 유량은 10.6 Nm³/hr 이었으며 이때의 PrOx II 출구조성은 수소 65%, 이산화탄소 18.6%, 메탄 슬립 9.5%, 질소 2.8% 나머지는 수증기로 구성되었으며, 일산화탄소 농도는 5.2 ppm 이하로 제거되었다.

- 2) 스택 성능 : 전극 면적 300cm² 의 MEA 40 장으로 한 개의 스택을 구성하였으며, 이러한 스택을 3개를 합하여 전체 시스템에 통합하였다. 스택의 성능은 전류 100A 일때 단위 전지 평균 전압 0.56 volt에서 6.7kW를 그리고 110A로 단위전지의 전압이 0.54 volt일 경우에는 6.93kW의 전기를 출력하고 있다.
- 3) 시스템 장기운전 결과 : 45일간의 실험결과로는 성능 저하없이 부하 100A에서 셀당 전압이 0.56V로 비교적 양호한 성능을 유지하고 있는 것으로 판단되었다.
- 4) 시스템 제작 및 운전 : 연료전지 시스템의 출력이 정격값의 40% 범위에서 스택의 효율 44% 그리고 시스템의 효율 30%로 최대 시스템 변환효율을 구할 수 있었으며, 시스템 출력 정격 출력인 교류 5kW 부하 영역에서는 스택 효율 32% 그리고 시스템의 총효율은 24%가 되었다.

참 고 문 헌

- 1) C.-S. Kim, Y.-G. Chun, D.-H. Peck, T.-H. Yang, "Performance Evaluation of Single Cell and Stack of Polymer Electrolyte Fuel Cell by Using Transfer Printing Technique", J. of the Korean Hydrogen Energy Society, Vol. 11, 2000. pp. 19-27.
- 2) A. Heinzl, B. Vogel and P. Hubner, Reforming of natural gas, "Hydrogen generation for small scale stationary fuel cell systems", Journal of Power Sources, Vol. 105, 2002. pp. 202-207

- 3) T.-H. Yang, G.-G. Park, W.-Y. Lee, S.-H. Choi, C.-S. Kim, C-S, "Integration and operation of a 10kW PEM fuel cell system for a hybrid electric vehicle", 1st European PEFC Forum proceedings, 2001, pp. 469-477.
- 4) J. R. Howell et al., "Combustion of Hydrocarbon Fuels within Porous Inert Media", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 22, 1996, pp. 121-145.
- 5) G. F. Froment, "Production of synthesis gas by steam- and CO₂-reforming of natural gas", *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, Vol. 163, 2000, pp. 147-156