한국에너지공학회 (2002년도)
춘계 학술발표회 논문집 P109-

도시가스 사용 5kW급 고분자 연료전지 운전 특성

박구곤, 이원용, 양태현, 윤영기, 김창수
한국에너지기술연구원 연료전지 연구센터

Operation Characteristics of 5kW Class PEMFC System Using NG as a Fuel

G.-G. Park, W.-Y. Lee, T.-H. Yang, Y.-G. Yoon, C.-S. Kim
Fuel Cell Research Center, KIER

도시가스(NG)를 연료로 사용하는 주택용 고분자연료전지 시스템을 국내 최초로 개발하였다. 이 장치는 연료전지부, 개질부, 전력변환부 및 제어부가 통합된 패키지화된 시스템으로 1,000시간 이상 운전 데이터를 확보할 수 있었다.

1. 서 론

고분자 전해질 연료전지(PEMFC)는 낮은 운전 온도에서도 높은 에너지 밀도와 고효율의 특성을 가져, 주택용, 휴대 및 이동원용 전원으로 주목을 받고 있다. 한국에너지기술연구원(KIER)은 연료로 도시가스(NG)를 이용하는 주택용 5kW급 연료전지 시스템을 개발하여, 1,000시간 이상 운전에 성공하였다[그림 1]. 5kW 시스템을 개발하기 위해서 체계적인 단위전지 및 대면적 전지에 대한 실험을 통하여 성능향상을 얻을 수 있었고, 이를 기반으로 3개의 2.5kW급 스택, 10 Nm^3/hr급의 NG 개질기, dc/dc converter 와 dc/ac inverter를 포함하는 전력변환기, 연료전지 시스템 제어기 및 가습장치 등의 디자인하였으며, 개별 성능 시험에 이은 전체 시스템 통합을 통해 통합된 시스템을 제작하였다.

연구개발 기간인 1999년에서 2001년 동안, MEA 제조기술, 분리판 설계 및 제작기술, 스택 적층기술 등 5kW급 스택 제작 관련기술들이 개발되어 향후 고출력 밀도, 고효율의 스택을 제작할 수 있는 기반이 마련되었으며, 천연가스 개질기의 설계 및 제작을 통해 다양한 연료의 사용 역시 가능하게 되었다. 또한 전력변환기 외에 여러 주변기기에 대한 설계와 실제운전 데이터를 확보하여, 보다 소형의 통합 시스템을 제작, 운전할 수 있는 발판을 마련하였다. 본 연구에서 수행한 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

2. 연구내용 및 결과

2.1. 고성능 MEA 개발

고분자 연료전지용 MEA(Membrane Electrode Assembly) 제조시 촉매 슬러리의 조성을 바꿈으로써 성능향상을 얻을 수 있었는데, 기존에 첨가제로 사용하던 글리세린(Glycerin)을 에틸렌 글리콜(Ethylene Glycol)로 교환한 경우, 성능 및 제조공정 등 여러 가지 측면에서 유리하였다. 에틸렌 글리콜을 이용해 제작한 전극에 대해 수소/산소를 공급기체로 사용한 경우, 50cm^2의 전극면적을 가지는 단위전지 성능시험 결과, 0.5V에서 1,230 mA/cm^2, 0.6V에서 840 mA/cm^2의 성능을 얻었다. 또한 열가소제의 도입으로 기존의 촉매층에 비해 구조적 안정성을 월등히 향상시킬 수 있었다. 전극면적 300 cm^2인 대면적 단위전지에 대한 성능은 그림 2에서 볼 수 있는데, 수소/공기 운전시 0.6V에서 370 mA/cm^2의 성능을 보였다. 개질가스/공기로 운전시 전극의 성능변화와 air bleeding의 효과를 그림 3에서 확인할 수 있다. 100ppm의 CO가 포함된 수소를 공급하며 장기 성능을 확인한 경우 0.6V에서 200 mA/cm^2까지 성능이 저하되었으나, 수소 대비 5%의 공기를 함께 공급한 경우 0.6V에서 340 mA/cm^2의 성능을 보여 100ppm의 CO 농도에서는 air bleeding 기술을 이용하여, 촉매의 피독을 확실히 해결할 수 있었다.

2.2. 도시가스 개질기 개발

개질기 반응온도 800℃로 운전시 HTS는 396℃, LTS 195℃, PrOx I 140℃, PrOx II 120℃로 원활히 제어되었다. 생성된 총 가스 유량은 10.6 Nm^3/hr 이며, 이때의 PrOx II 출구조성은 수소 65%, 이산화탄소 18.6%, 메탄 slip 9.5%, 질소 2.8% 그리고 나머지는 수증기로 구성되었으며, 일산화탄소 농도는 5.2 ppm 이하로 제어되었다.

2.3. Stack 성능

전극면적 300 cm^2의 MEA 40장으로 한 개의 스택을 구성하였으며, 이렇게 제작된 스택 3개를 합하여 전체 시스템에 통합하였다. 스택의 성능은 그림 4에서 볼 수 있는데, 전류 100A 일 때 단위전지 평균 전압 0.56V에서 6.7kW를 그리고 110A에서는 단위전지 평균 전압 0.54V를 나타내었으며, 이때 6.93kW의 전기를 출력하였다. 각 스택의 출력값은 110A에서 각각 2.3kW, 2.27kW 그리고 2.36 kW로 성능 편차는 2% 이내로 균일하였다.

2.4. 주변기기 설계 및 제작

스택의 습도를 조절하는 방법으로 다양한 외부가습 방식에 대해서 연구를 수행하였다. 막 표면의 물증발 속도 및 온도, 압력 및 유량에 따른 가습량을 확인하여, 실제 시스템에 적용 가능한 가습기의 설계변수를 얻었으며, 이를 기초로 한 중공사막 가습기를 고분자 연료전지 시스템에 적용하였다.

전력변환기의 효율은 연료전지의 운전범위에서 고전류형은 84% 그리고 고전압형은 90%이상을 유지하였다.

2.5. System 장기운전

실용화시의 실제 운전 상황을 모사하기 위해서, 하루에 한번 또는 일주일에 한번 정도의 기간을 두고 시스템을 시동 및 정지시키며, 45일간 스택을 장기운전한 결과 운전기간 동안 스택이 활성화되어 성능이 향상되는 현상을 볼 수 있었다. 45일간의 운전시 성능저하 없이 전류부하 100A에서 전극당 전압이 0.56V로 양호한 성능을 유지하고 있는 것으로 측정되었다.

2.6. System 제작 및 운전 특성

연료전지 시스템을 설계하기 위하여 우선 전체 시스템을 개념 설계하여 구성하였으며, 구성된 연료전지 종합시스템의 이론적 성능해석을 통해 열역학적 설계자료와 운전조건을 도출하였다. 최종 설계된 종합 시스템은 연료전지 최대 출력 기준 7.5kW급이며, 가로, 세로 그리고 높이가 각각 1.1 m, 1.1 m 그리고 1.6m의 직사각형 형태로 제작되었다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 이 공간 내에 연료변환장치, 압축기, 펌프, 전력변환기, 3기의 연료전지 스택 및 제어판이 설치되었다.

연료전지 시스템의 출력이 정격값의 40% 범위에서는 스택 효율 44% 그리고 시스템 효율 30%로 최대 시스템 변환효율을 얻을 수 있었으며, 시스템의 정격출력인 교류 5kW 부하 영역에서는 스택 효율 32% 그리고 시스템의 총효율은 24%가 되었다. 연료변환장치를 제외한 압축기, 펌프, 전력변환기로 구성된 연료전지 시스템의 부속설비에서 소모하는 동력이 스택 출력의 약 30%정도를 차지하여 시스템의 교류 출력을 크게 감소시킴을 알 수 있어, 연료전지 전체 시스템의 효율을 높이기 위해서는 시스템 부속설비에 대한 개발이 보다 필요함을 보였다. 시스템 부속설비에서의 동력손실을 20% 수준으로만 유지시킬 수 있다면, 최고효율 약 36%에 이르는 연료전지 통합시스템 효율을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

국내최초로 도시가스(NG)를 연료로 사용하는, 교류출력 5kW의 패키지화 된 주택용 고분자 연료전지 시스템을 개발하여, 1,000시간 이상 운전 데이터를 확보하였다. 통합 시스템의 최대 효율은 30%이며, 정격인 교류 5kW 출력에서는 24%의 총효율을 나타내었다.

4. 참고 문헌

1. "주택용 5kW급 고분자 연료전지 시스템 실용화 개발" 최종보고서(2001).

그림 1. 도시가스 이용 5kW급 주택용 고분자연료전지 시스템
(2001년 한국에너지기술연구원 개발)

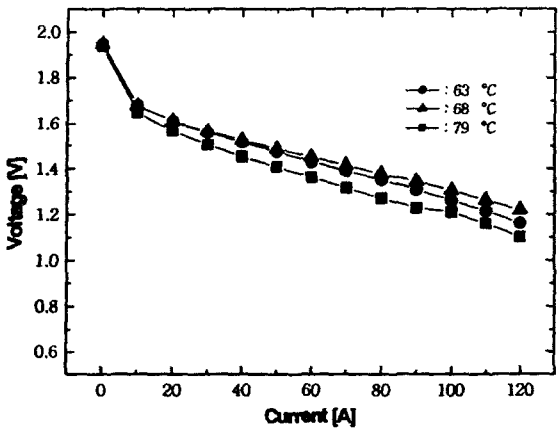

그림 2. 온도에 따른 2Cells test stack의 I-V 성능 특성, 활성면적 = 300 cm^2
공급기체 = 수소/공기, 상압

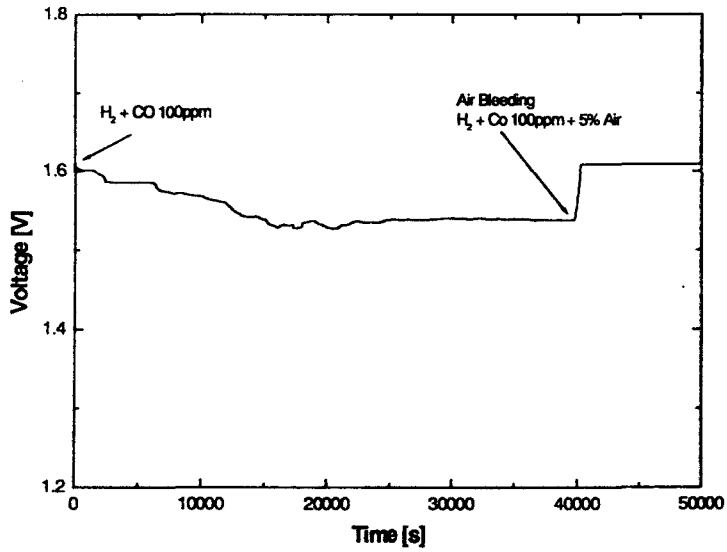

그림 3. CO에 의한 전극 피독 및 air bleeding 효과
; CO = 100 ppm, air bleeding = 공기 5%

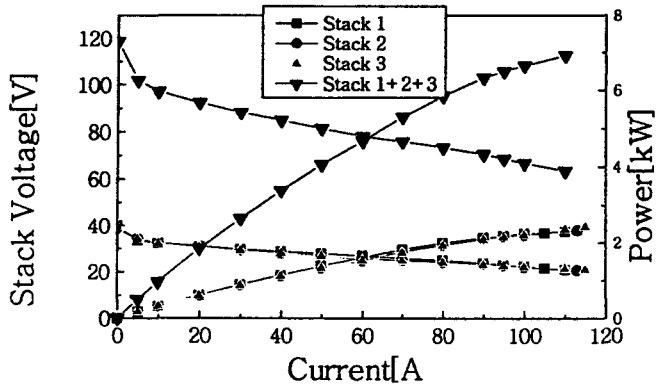

그림 4. 통합된 연료전지 시스템에서 3기의 스택 출력 특성
활성면적 = 300 cm^2, 공급기체 = 수소/공기, 상압