

온도에 따른 고분자 전해질형 연료전지시스템의 출력 특성 연구

박세준, 신영식, 정성찬, 최정식, 차인수
동신대학교 수소에너지학과

A Study on Performance Characteristics of PEMFC with Thermal Variation

Se-Joon Park, Young-Sik Shin, Seong-Chan Jeong, Jeong-Sik Choi, In-Su Cha
Department of Hydrogen and Fuel Cell Tech., Dongshin University

Abstract - The polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) with the advantages of low-operating temperature, high current density, low cost and volume, fast start-up ability, and suitability for discontinuous operation becomes the most reasonable and attractive power system for transportation vehicle and micro-grid power plant in a household. 200W PEMFC (Polymer electrolyte membrane fuel cell) system applied to middle and small-scaled micro-grid power system was constructed by this study, then the electrical characteristics and diagnosis of the fuel cell were analyzed with thermal variation.

1. 서 론

화석연료를 대체할 지속가능한 수많은 신재생에너지자원 중 수소경제(Hydrogen economy)는 전 세계에 걸쳐 특별한 관심을 받고 있으며, 수소를 기본으로 한 에너지 시스템은 실현가능하고, 그 응용에 있어 효율적이고 오염이 없으면서 안전하다는 점 등의 유리한 점이 많다고 할 수 있다^[1]. 또한 수소는 전기를 생산하는데 있어 이상적인 보충물을 제공하며, 양질의 에너지 캐리어를 갖고 있다는 점과 탄소를 함유하고 있지 않다는 점, 그리고 그 사용에 있어 오염물질을 생산하지 않는다는 점 때문에 새로운 에너지로서 높이 평가 받고 있다^[2].

수소를 에너지원으로 사용하는 여러 가지의 응용분야 중 연료전지는 전기화학 반응에 의해 화학에너지를 전기 에너지로 변환시키는 장치로, 일반 배터리와는 달리 재충전이 필요 없이 연료가 공급되는 한 계속해서 전기를 만들어 낼 수 있고, 환경오염 물질을 발생시키지 않는 청정 에너지원으로 전 세계적으로 연구가 활발히 진행되고 있다. 연료전지의 연료로는 수소, 메탄올, 천연가스, 가솔린 등이 될 수 있으나, 수소를 제외한 다른 연료는 개질을 통하여 수소를 생산하게 되므로 최종적으로 순수한 수소가 연료로써 가장 적합하다고 할 수 있다. 수소 이외의 연료는 분자식에 탄소가 있기 때문에 필연적으로 이산화탄소가 발생되지만 수소연료전지는 순수한 물만을 배출하므로 완전 무공해이다^{[3]-[6]}.

본 연구에서는 중·소규모 분산전원에 적용 가능한 200W급 고분자 전해질형(PEM; polymer electrolyte membrane) 연료전지시스템을 구현하였고 온도에 따른 연료전지의 출력 특성과 성능을 평가하였다. 연료전지시스템 구축에 있어 단위전지와 연료전지 스택의 모델링 및 제조, 수소와 공기의 공급 방법 설계, 시스템 제어와 출력 데이터를 수집할 수 있는 모니터링 시스템 구축 등을 진행하였다.

2. 시스템 구성

2.1 스택 제조

스택(Stack) 내부에서 화학반응에 필요한 수소와 산

소는 바이폴라 플레이트의 유로를 통해 흐르며, 이 바이폴라 플레이트는 단위 셀을 직렬로 연결해주는 도체의 역할을 수행하게 된다. 유로의 형태, 폭과 깊이는 전체 연료전지 활성면적에서 반응가스의 농도 분포에 큰 영향을 주는 설계 변수가 되며^{[3],[6]}, 실제 파라미터 중 유로의 폭은 바이폴라 플레이트가 전도체의 역할도 겸하고 있으므로 전기적 접촉면적 또한 고려해 주어야 한다. 그리고 바이폴라 플레이트의 설계에 있어서 가장 고려해야 할 점은 전체 활성 면적 내에서 균일한 유량 공급 및 압력 유지가 이루어지도록 유로의 형상과 크기를 결정해야 한다는 것이다. 이와 같은 설계가 제대로 이루어져야만 활성 면적 전체에 걸쳐 균일한 전기화학반응이 일어날 수 있고, 유로의 형태는 가스 공급뿐만 아니라 멤브레인(MEA)의 이온전도에 필요한 수분을 공급하고 배출할 수 있다.

PEMFC는 전해질로 사용되는 MEA의 특성상 원활한 이온 전도를 위해 MEA를 항상 습한 상태로 유지해야 하며, 이를 위해 유로 입구에서 전해질 막이 건조해지는 것을 방지하기 위한 가슴이 필요하다. 이 경우 PEMFC의 동작온도가 100℃ 이하이므로 가슴을 위해 공급한 수분이 유로 내부에 응축되어 가스의 공급을 차단시킬 수 있기 때문에, 수분을 적절히 배출하기 위해서는 유로 입구와 출구에 압력차를 두고 출구에서 인출되는 가스가 수분을 적절히 함유하여 배출될 수 있도록 유로를 설계해야 한다^{[7],[8]}.

실험을 위해 제작된 200W급 PEM형 연료전지 스택의 단위전지(30직렬, 7W, 0.7V, 10A)는 흑연 재질의 분리판(10×10cm²)과 Nafion 112와 탄소천을 hot press를 이용하여 접합한 것과 3M에서 제작한 MEA, End plate, 실리콘 가스킷 등으로 구성되어 있다. 분리판의 유로형태는 사행형이고 전극의 활성면적은 7.1×7.1cm²이며, 백금 로딩량은 cathode의 경우 0.4mg Pt/cm²이며, anode는 0.2mg Pt/cm²이다. 3M사의 경우는 anode와 cathode쪽 모두 0.4mg Pt/cm²이다. 또한 스택 양쪽에 0.3mm의 구리판을 이용하여 전류 집진판으로 사용하였으며 SUS 재질의 end plates, 그리고 K-type 열전대(Thermo-couple)를 사용하여 연료전지 스택의 온도를 측정 할 수 있도록 하였다. 그림 1은 분리판의 유로형태와 단위 전지 30개를 적층하여 제작한 200W PEM형 연료전지의 스택을 보여준다.

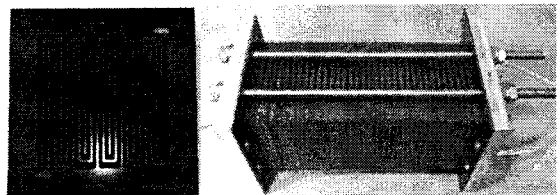


그림 1. 분리판의 유로형태와 200W 연료전지 스택

2.2 연료전지시스템의 구성

연료전지의 구동은 운전 온도, 운전 압력, 가습 온도 그리고 반응 가스의 유량과 같은 많은 파라미터들에 의해 결정된다. 조건에 의한 각각의 파라미터들은 반응하는 데에 다양한 효과를 나타내기 때문에 PEMFC의 동작 실험이나 특성 분석 시에는 이러한 파라미터의 효과를 양적으로 결정하는 것이 필요하다. 본 논문의 실험을 위하여 200W급의 PEMFC 시스템을 구성하였다.

그림 2와 그림 3은 각각 본 논문의 실험을 위하여 구성한 200W PEMFC 시스템의 구성도와 실제 사진을 보여준다. 시스템의 구성은 수소탱크와 공기공급용 컴프레서 및 펌프를 위한 질소탱크, 공급 가스의 압력조절을 위한 각각의 레귤레이터와 수분 및 유분을 걸러주는 필터, 3-way 솔레노이드 밸브, 가스유량컨트롤러인 MFC, 연료의 역류를 방지함으로써 MFC를 보호하는 체크밸브, 가습장치, Stack, 가스 배출구의 압력 조절을 위한 Back pressure 레귤레이터, 온도를 재기위한 TC, 전자 DC 부하기, 부하의 조절과 MFC를 제어함과 동시에 발전현황과 온도 등을 모니터링 할 수 있는 모니터링 설비 등으로 구성하였다.

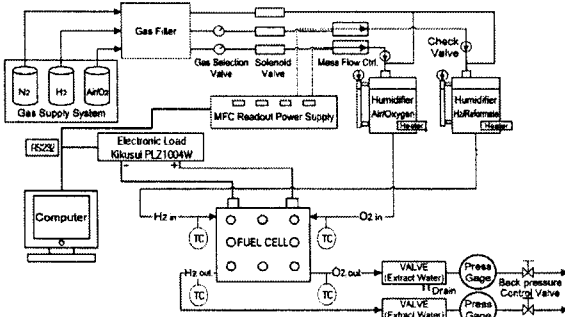


그림 2. PEMFC 시스템 구성도

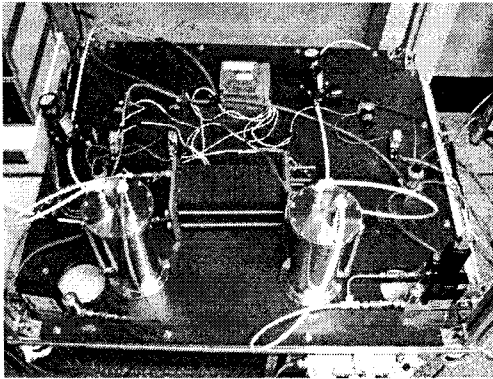


그림 3. 200W급 고분자 전해질형 연료전지 시스템

3. 실험 및 분석

본 연구에 의해 구현된 200W급 고분자 전해질형 연료전지 시스템의 성능 평가는 순수 수소를 공급하였을 때 (최적 운전 조건-정격 유량/가습100%/동작온도 70℃) 그림 4와 같이 동작하였으며 CC모드를 적용하여 실험을 진행하였다. 전류를 1A부터 10A까지 1A간격으로(단계별 60초) 총 3-cycle을 동작시켰으며, 소요시간은 30분이 걸렸다. 전자부하기가 전류를 끌어당김에 따라 전압 값은 약 30V-22V로 감소하고, 최대 전력은 약 220W를 보였다.

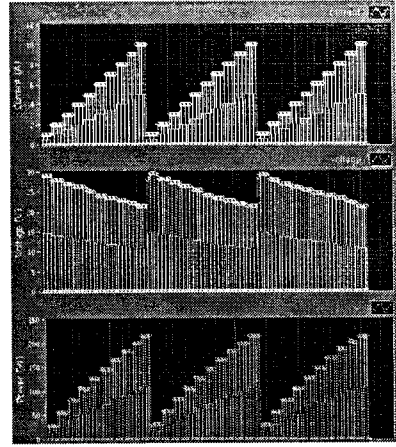


그림 4. 연료전지 스택의 동작 특성

본 연료전지 스택의 최대 출력 점을 찾기 위한 실험을 진행하였고 그 결과는 그림 5-7에 나타내었다. 그림 5에서 전류 값이 11A에 도달하였을 때 전압 값이 급격히 감소하였으며, 이에 따라 연료전지 스택의 출력이 감소함을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연료전지시스템의 최대 출력 값은 약 22V, 10A, 220W임을 확인 하였고 최대 출력점을 그림 6에 나타내었다.

그림 7은 최대 출력점을 찾는 실험에서 얻어진 데이터를 토대로 한 V-I와 P-I 분포도이며, 2A부터 10A까지는 전압과 전력의 분포점이 일정하게 유지되지만 11A에서는 점차적으로 감소함을 확인하였다. 이로써 본 연료전지의 최대(정격)출력을 도출할 수 있었다.

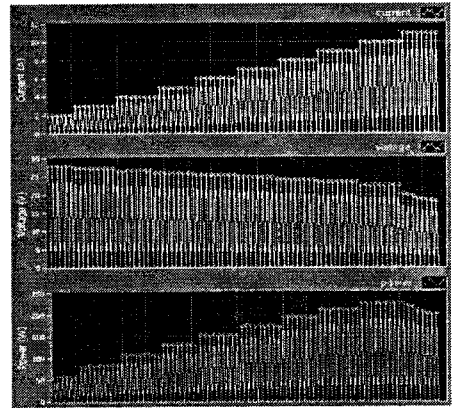


그림 5. 200W 연료전지시스템의 동작 특성 및 평가

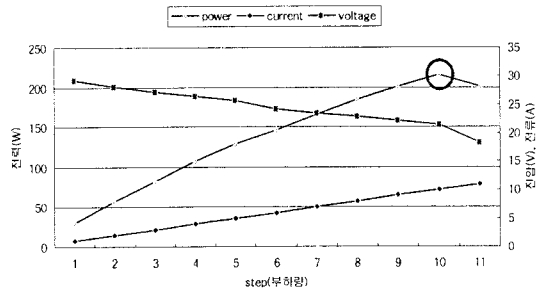


그림 6. 200W 연료전지시스템의 최대 출력점

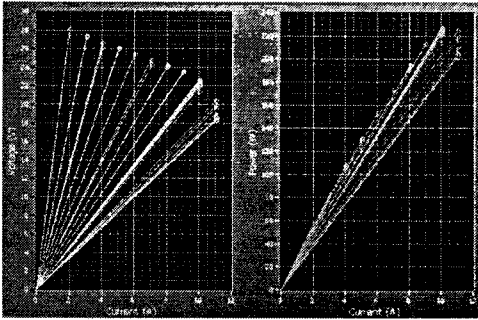


그림 7. 연료전지 스택의 성능평가를 위한 V-I특성 및 P-I특성

그림 8과 9에서는 연료전지 스택의 온도별 성능 특성을 분석하여 그래프화 하였다. 연료전지 스택에 수소와 공기가스를 주입하여 초기 구동을 시킨 후, 20℃부터 10℃씩 간격을 주어 70℃까지의 출력 데이터를 저장하여 분석하였다. 그 결과 20℃에서 약 200W를 출력하여 점차적으로 증가하였고 70℃에서는 230W 가까이 출력하였으며, 저온에서의 증가폭보다 고온에서의 증가폭이 상대적으로 약간 낮게 나타났다. 20℃와 30℃ 구간에서는 최대 출력이 각각 198.7(W)와 205.5(W)로 6.8(W)의 차이를 보였고, 60℃와 70℃에서는 224.8(W)와 226.8(W)로 2(W) 가량의 차이를 나타내었다.

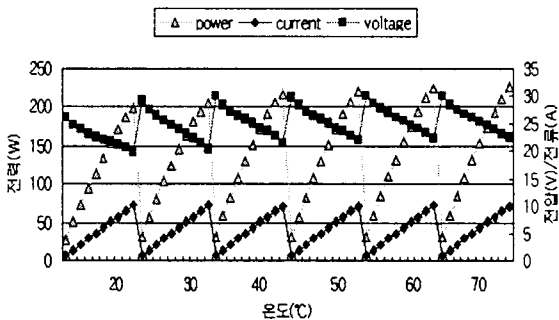


그림 8. 연료전지 스택의 온도별 성능 특성(20~70℃)

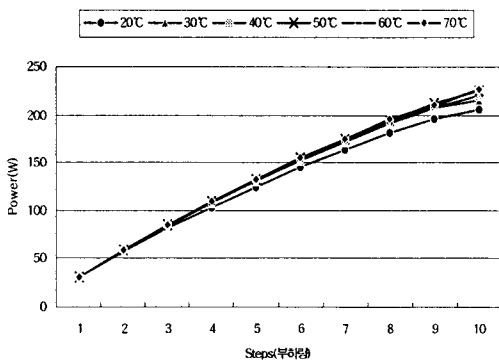


그림 9. 연료전지 스택의 온도별 성능 비교 곡선(20~70℃)

3. 결 론

대부분의 신재생에너지자원은 이산화탄소를 거의 배출하지 않고, 오염이 없으며, 대부분 자원량이 무한하다는 점 등 때문에 가까운 미래에 화석 연료를 대체할 것으로 예측된다. 태양광과 풍력 발전시스템은 일사량, 온도, 바람의 세기 등과 같은 기상상태와 주변 환경에 영향을 받기 때문에 지속적인 발전을 위해서는 사용 전원과 연계

를 하거나 별도의 축전 설비를 갖춰야 한다.

반면 연료전지시스템은 외부의 환경에 영향을 받지 않고, 높은 발전 효율, 그리고 폐열을 재생할 수 있다는 이점 등을 갖고 있어서, 경제성 개선과 장 수명화를 통해 현재 수백 MWh급까지 이용이 가능하며, 최근 몇 년 동안 연료전지 기술은 다양한 시뮬레이션을 통해 많은 발전을 해왔고, 그에 대한 관심도 또한 고조되고 있다. 낮은 운전 온도, 높은 전류 밀도, 낮은 가격과 부피, 빠른 응답 속도, 그리고 운전 지속성 등의 많은 장점을 갖고 있는 고분자 전해질형 연료전지는 수송용 차량과 가정용 분산전원을 위한 가장 유력하고 매력적인 발전 시스템이라 할 수 있다. 미래를 위한 새로운 에너지원 중 고분자 전해질형 연료전지는 위와 같이 많은 이점을 가지고 있어서 선도적인 에너지지원이라고 일컬어지지만, 이는 연료의 선택, 온도, 습도, 압력, 유량, 그리고 전기적 BOP 등의 변수가 많은 운전 조건과 파라미터에 크게 좌우된다.

따라서 본 연구에서는 200W급의 PEM형 연료전지를 구현하였고, 연료전지 성능에 영향을 미치는 여러 가지 파라미터 중 동작 온도에 따른 출력 특성을 분석하였다. 연료전지의 온도를 20℃부터 10℃씩 차등을 주어 70℃까지의 동작 특성을 분석하였고, 20℃에서는 198.7W를, 70℃에서는 226.8W의 출력을 보였으며, 약 11.4%의 출력 차이를 나타내었다. 또한 저온에서의 출력 증가율이 고온에서의 출력 증가율보다 크다는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자문부와 기초전력연구원의 전력산업연구개발사업으로 수행된 연구결과임

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

[참 고 문 헌]

- [1] Ogden J. "Prospects for building a hydrogen energy infrastructure". Annu Rev Energy Environ 1999;24:227-79.
- [2] L. Barreto, A. Makihira, K. Riahi, "The hydrogen economy in the 21st century: a sustainable development scenario, International Journal of Hydrogen Energy 28, 2003, pp. 267-284.
- [3] Joan M. Ogden et al, "A comparison of hydrogen, methanol and gasoline as fuels for fuel cell vehicle : implications for vehicle design and infrastructure development", Journal of power Source 79, 1999, pp. 143-168
- [4] Venki Raman, "The hydrogen fuel Option for Fuel Cell Vehicle Fleets", International Congress and Exposition, 1999.
- [5] J. M. Norbeck, J. W. Heffel, et al, "Hydrogen fuel for Surface Transportation", Society of Automotive Engineers, 1996.
- [6] Joan M. Ogden, "Developing an infrastructure for hydrogen vehicles : a Southern California case study", International Journal of Hydrogen Energy 24, 1999, pp. 709-730