

500W PEM형 연료전지시스템 구축 및 운전 최적화에 관한 연구

박세준*, 최홍준**, 김광열**, 차인수**, 임중열***

*동신대 전기전자공학학과, **동신대 수소에너지학과, ***남부대 컴퓨터전기정보학과

A Study on Design and Optimization of 500W PEM Fuel Cell System

Se-Joon Park*, Hong-Jun Choi**, Gwang-Yeol Kim**, In-Su Cha**, Jung-Yeol Lim***

*Dept. of Electrical & Electronics Eng., Dongshin University, **Dept. of Hydrogen & Fuel Cell Tech, Dongshin University,

***Dept. of Computer Electrical & information Eng., Nambu University

Abstract - A fuel cell power system among various alternative power sources has many advantages such as low-polluted, high-efficient, and heat-recyclable, thus it is now able to be up to hundreds MWh-scaled through improving feasibility and longevity of it. During the last few years of the twentieth century, much changed to stimulate new and expanding interest in fuel cell technology.

This paper presents optimal design and operational features of stand-alone 500W PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell) system which can be a substitute instead fossil fuel. The stack of PEMFC is composed of 35 laminated graphite, and a unit cell of the stack has electrical characteristics as below; 14W, 0.9V, 15A. The other components of BOP(Balance of Plant) are composed of hydrogen and nitrogen tanks, regulators, 3way solenoid valves, mass flow meters, etc.

1. 서 론

2005년 이후 국제유가가 급등함에 따라 신재생에너지가 세계경제의 키워드로 부상하고 있으며 국내외 언론의 주목을 받고 있다. 또한 BRICs 국가들의 에너지 소비급증에 따라 세계 각국의 에너지 확보전이 치열해지고 에너지안보의 중요성 대두되고 있다. 우리나라의 경우 매년 10%씩 에너지 소비가 증가하고 있으며, 에너지 해외의존도가 96%를 상회하기 때문에 향후 에너지 전쟁시대에 대비한 신재생에너지원의 기술 개발과 확보가 시급하다고 할 수 있다.

신재생에너지원 중 연료전지는 전기화학 반응에 의해 화학에너지를 전기에너지로 변환시키는 장치로, 일반 배터리와는 달리 재충전이 필요 없어 연료가 공급되는 한 계속해서 전기를 만들어 낼 수 있고, 환경오염 물질을 발생시키지 않는 청정 에너지원으로 전 세계적으로 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 여러 형태의 연료전지 가운데 수소를 연료로 사용하는 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)는 저온(100℃ 이하)에서 동작하므로 빠르게 시동을 시킬 수 있으며, 부식의 위험이 있는 액체가 없다는 점^[1], 또한 에너지 효율과 출력 밀도가 높아 주택 및 소규모 복합주거 시설, 수송용 차량에 적용 가능한 독립형 연료전지시스템으로 각광받고 있다.

본 논문에서는 독립형 500[W] PEM(Proton Exchange Membrane)형 연료전지시스템을 구현하고, 연료전지 스택의 출력 전압/전류와 인버터의 출력 전압/전류를 분석함으로써 시스템의 운전 특성을 분석하였으며 운전 최적화를 위한 방안을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 연료전지 스택의 설계에 관한 고찰

스택(Stack) 내부에서 화학반응에 필요한 수소와 산소는 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^{[2],[3]}, 설계 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.

PEM은 전해질로 사용되는 MEA의 특성상 원활한 이온 전도를 위해 MEA를 항상 습한 상태로 유지해야 하며, 이를 위해 유로 입구에서 전해질 막이 건조해지는 것을 방지하기 위한 가습이 필요하다. 이 경우 PEMFC의 동작온도가 100℃ 이하이므로 가습을 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^{[4],[5]}.

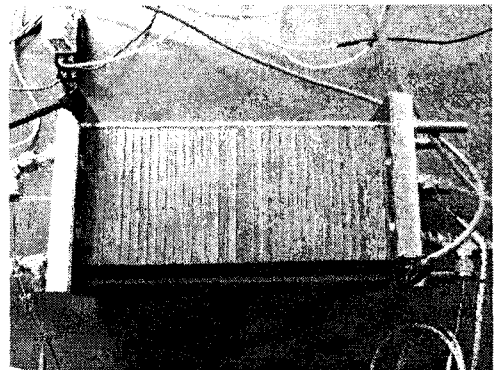


그림 1. 500W PEM형 연료전지의 스택

그림 1은 제작된 바이폴라 플레이트와 3M MEA, End plate, 실리콘 개스킷 등을 적용하여 제작한 500 W

PEMFC stack을 나타낸 그림이다. stack 양단의 전극을 통하여 각 단위셀에서 발생된 전력이 복합되어 부하에 전달되게 된다. 스택의 단위전지(35직렬, 14W, 0.9V, 15A)는 SUS end plates로 이루어진 cell프레임과 공급가스가 흐를 수 있는 유로가 형성된 세퍼레이트(Separator) 사이에 탄소전, 전극면적 49cm²의 MEA 그리고 실리콘 개스킷을 장착하여 구성하였다.

2.2 MEA의 안정화 및 활성화 조건

MEA의 안정화 및 활성화를 위하여 pre-condition 운영 필요하며 이를 위해 다음과 같은 조건으로 MEA 안정화 및 활성화 운영을 수행하였다.

- MEA 안정화 운영조건
 - 연료전지 스택온도 : 80도
 - 가습조건 : 수소/공기 100%(상대 습도)
 - 공급유량 : 수소 (800ml/min (양론비 1.5), 공기 (1800ml/min (양론비 2.5))
 - 시간 : 4-8시간
- MEA 활성화 운영조건
 - 운전모드 : Constant Voltage(C.V모드)
 - Final Voltage: 0.5V/cell
 - Step Voltage : 0.05V/cell
 - Step Time : 10초
 - 1 Cycle 소요시간 : 10분
 - Cycle 횟수 : 60Cycle
- 성능평가
 - 운전모드 : Constant Current(C.C.) 모드
 - Final Voltage : 0.5V/cell
 - Step Current : 1A(0.2A/cm²)

2.3 시스템 구축 및 실험

그림 2와 3은 연료전지 계측을 위하여 구성된 PEMFC 시스템의 구성도와 하위 세부 제어 흐름선도이다. 연료전지시스템의 구성은 연료인 수소탱크와 산소탱크, 수소가스와 공기의 압력조절을 위한 각각의 레귤레이터와 밸브, 가스유량컨트롤러인 매스플로미터, 수소가스의 입력을 체크하는 체크밸브, Stack, 배출 압력 조절을 위한 Back pressure 레귤레이터, 공기 공급을 위한 컴프레서, 그리고 시스템 구동을 위한 기타 주변장치(BOP : Balance of Plant) 등으로 구성하였다. 추가적으로 연료전지시스템의 구동전과 후에 질소 피지를 시킴으로써 스택 안에 남아있을지 모르는 수소가스 및 공기를 배출하도록 설계하였다.

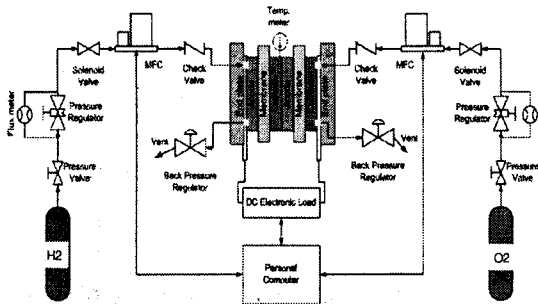


그림 2. PEMFC 시스템 운전 구성도

그림 5와 그림 6은 연료전지 시스템에 부하를 걸었을 때 연료전지에서 발전되는 출력전압과 출력전류를 측정할 결과로서, 그림 6은 연료전지가 발전하지 않고 정지된 상태에서 DC 부하를 연결하고 기동하였을 때의 파형이며 출력은 약 DC 24[V] 전압과 약 20[A]의 전류를 나타내고 있으며 이에 따른 전력은 약 480[W]이다.

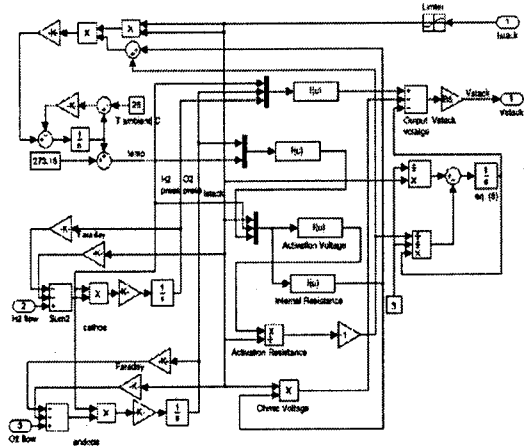


그림 3. 연료전지 제어흐름선도

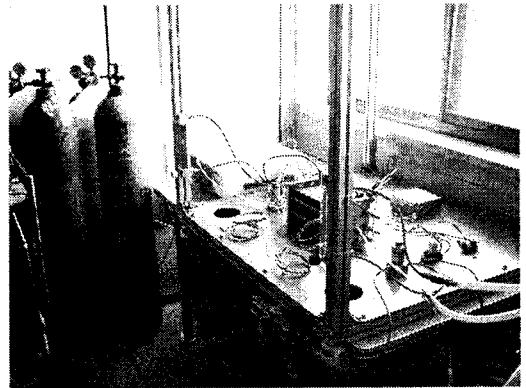


그림 4. 500W PEMFC 시스템

그림 7과 그림 8은 연료전지 시스템에서 복합 출력된 전력을 인버터에 공급하여 기동하였을 때, 부하 걸선 후 인버터에서 발생하는 전압/전류를 측정할 것으로 그림 7은 500W 부하시, 그림 8은 1kW 부하 연결 시 인버터에서의 출력 전압/전류 측정결과로서 각각 AC 220[V] 2.5[A], 220[V] 5[A]의 정격 출력을 보이고 있어서 복합 출력되어 인버터로 보내어진 전력이 정격 변환되어 부하에 공급되고 있음을 알 수 있다.

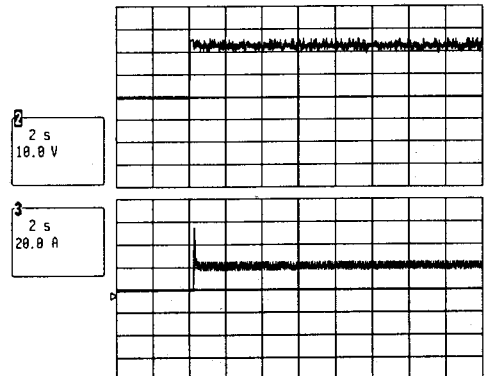


그림 5. 연료전지 전압 전류 출력 (1)

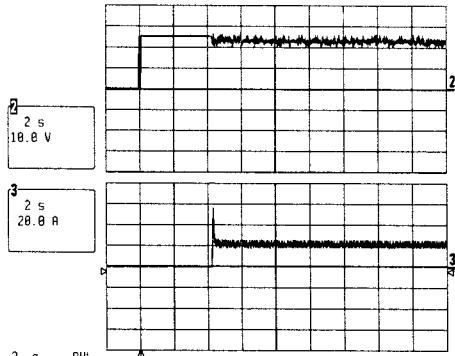


그림 6. 연료전지 전압 전류 출력 (2)

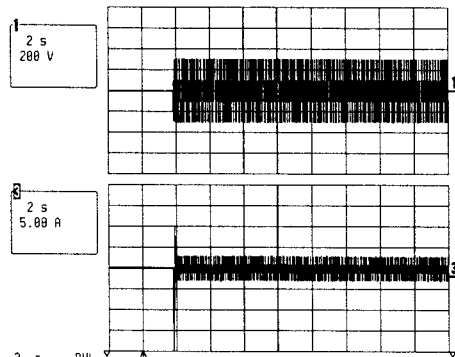


그림 7. 인버터 전압/전류 출력 (500W)

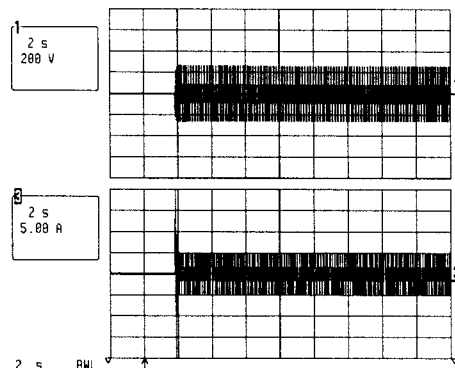


그림 8. 인버터 전압/전류 출력 (1kW)

3. 결 론

태양광, 풍력, 연료전지로 대표되는 신·재생에너지는 이산화탄소가 거의 발생치 않는 청정에너지이며 화석연료를 대체할 미래 에너지로 꼽힌다. 하지만, 현재 기후변화에 크게 영향을 받고(태양광, 풍력) 고비용의 설치비에 비해 발전효율이 부족한 타 신·재생에너지원들은 각각의 단점으로 인해 독립적이고 경제성이 뛰어나다 할 수는 없다. 따라서 본 연구에서는 외부 환경에 영향을 받지 않고 지속적으로 전기에너지를 생산할 수 있고, 주택 및 소규모 복합주거 시설에 적용 가능한 독립형 500W 연료전지시스템을 제안하여 구축하였고, 운전 특성을 분석하였다. 향후 본 시스템의 운전을 최적화시키기 위해 다음과 같은 연구방향을 목표로 하여 진행할 것이다.

- (1) 경제성 및 최적의 운전 조건을 위하여 연료전지 스택의 용량에 따른 적용기술 확립
 - 스택 용량에 따라 수소를 공급할 수 있는 수식 확립
 - 공기와 반응 후 여분의 수소가스를 측정할 수 있는 성분 분석기의 활용
 - Back pressure 레귤레이터를 이용한 수소 재활용 기술 확립
 - 정확한 수소 및 공기의 양을 공급하기 위한 MFC(Mass Flow Meter) 적용
 - 반응시간이 늦은 연료전지의 특성을 고려한 최적의 MEA 활성화 기술 확립(용량 및 시간에 따른 부하량 조절 기술)
- (2) 주변장치(BOP) 구동을 위한 타 신·재생에너지원과 연계
 - 릴레이, 체크밸브, 솔레노이드밸브, 스위치 등 주변장치 구동에 필요한 전원을 공급하기 위한 태양광 및 풍력발전시스템과의 연계
 - 주변장치에 안정한 전원을 공급하기 위한 고효율 PCS 개발 및 축전설비 구축
 - 타 신·재생에너지원과 수전해장치 및 개질시스템과의 연계 방안 탐구
- (3) 주변장치와 전체 시스템 설계 기술 및 시스템 단순화 기술 확립
 - 스택의 수분관리와 냉각방법 개선 연구
 - 발전시스템의 경제성을 고려한 에너지 발생량 및 소비량 분석
 - 태양광발전 및 풍력발전시스템으로부터 발생하는 전기에너지와 연료전지시스템의 BOP를 구동시키기 위한 에너지 소비량 분석 후 최적의 전체 시스템 설계
 - 연료전지시스템의 simplification을 위한 설계기술 개발
 - fitting류 소자 단일화 및 수소가스 및 공기의 공급을 위한 단순화 설계기술 개발

[참 고 문 헌]

- [1] James Larminie, Andrew Dicks, "Fuel Cell System Explained", WILEY, pp. 67, 2003
- [2] Karl Kordesch, Gunter Simader, "Fuel Cells and Their Applications", VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-69451 Weinheim, pp. 23-50, 1996.
- [3] Y. W. Rho and S. Srinivasan, J.Electrochem. Soc., 141, (8), pp. 2089,1994.
- [4] Leo J. M. J. Blomen and M. N. Mugerwa, "Fuel Cell Systems", Plenum Press, 1993.
- [5] D. Singh, D. M. Lu and N. Djilali, A two-dimensional analysis of mass transport in proton exchange membrane fuel cells, Int. j. Eng. Sci. 37, 431(1999)