

독립형 500W PEMFC 시스템의 최적 설계 및 구동 특성에 관한 연구

박세준*, 하민호*, 최홍준**, 차인수**, 윤정필***, 임중열****

*동신대학교 전기전자공학과, **동신대학교 수소에너지학과,

(주)한국에텍, *남부대학교 컴퓨터전기정보학과

A Study on Optimal Design and Operational Features of a Stand-alone 500W PEMFC System

Se-Joon Park*, Min-Ho Ha*, Hong-Jun Choi**, In-Su Cha**,

Jeong-Phil Yoon***, Jung-Yeol Lim****

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

Dongshin University, ***HKETEC Co. LTD., ****Dept. of Computer Electrical & Information, Nambu.ac.kr

ABSTRACT

The international oil price now has been going up every each day, about 120 USD per a gallon April 2008, so that most of countries in the world are concern of the the shortage of petroleum and the development of new and renewable energy resources. 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 graphites, 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. 서론

산업화가 가속되고 정보 가전기기의 사용이 기하급수적으로 늘어남에 따라 에너지 사용량도 비례하여 증가하고 있다. 21세기 에너지의 생산은 석유, 석탄, 천연가스와 같은 화석연료에 의존하고 있다. 우리나라의 경우 세계 10대 에너지 소비국, 세계 5위 석유 수입국, 세계 2위 천연가스 수입국, 97[%]에 이르는 등 높은 에너지 해외 의존도를 보이고 있으며 에너지 다 소비형 산업구조와 소비구조로 인해 향후 에너지 대란이 예측되고 있다. 게다가 높은 화석연료 의존도로 인해 CO2의 발생량이 매우 높아 2005년 발효된 교토의정서 협약 대상에는 포함되지 않지만 향후 포함될 가능성이 높은 국가로 지목되고 있다. 이러한 열악한 국내 에너지 현실에서 태양광·풍력·수소연료전지로 대표되는 신·재생에너지원의 개발과 보급은 필수적이고 매우 중요한 사안이라 할 수 있다.

본 논문에서는 주택 및 소규모 복합주거 시설, 수송용 차량에 적용 가능한 독립형 연료전지시스템을 제안하였으며, 시스템의 구성은 500[W](PEMFC : 고체고분자연료전지)의 운전 시스템을 구현하고, 각각의 출력 전압, 전류와 인버터의 출력 전압, 전류를 분석함으로써 시스템의 운전 특성을 분석하였다.

2. 고분자 전해질 연료전지의 이론적 고찰

고분자 전해질 연료전지(이하 PEMFC)의 기본구조는 전해질 막을 중심으로 양쪽에 다공성 기체확산층인 카본 또는 탄소 에 Pt/C 또는 Pt-겨/C와 같은 촉매층이 입혀진 산화극(Anode)와 환원극(Cathode)이 부착되어 있는 형태로 되어 있다. PEMFC의 기본처리 개념도는 그림 1과 같다. 산화극에서는 전기화학적 환원이 일어나며, 이때 생성되는 전자의 이동으로 인해 전기에너지가 발생된다^{[1],[2]}.

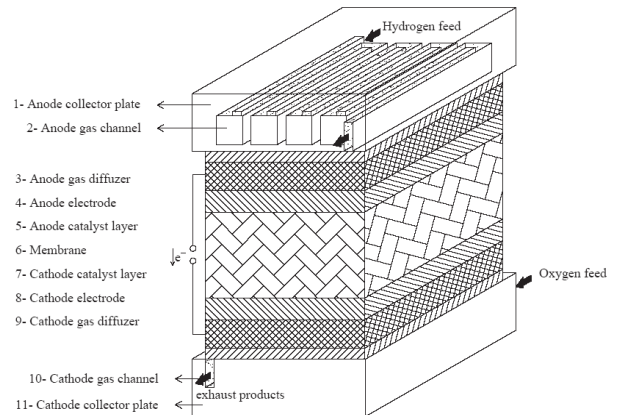
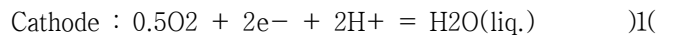


그림 1 고분자 전해질 연료전지의 기본 처리 개념도
Fig. 1 Conceptual fuel cell diagram and processes

반응경로는 산화극의 수소가 촉매에 의해 H^+ 이온과 전자로 분리된 후 H^+ 이온은 전해질막 내 술폰산기(sulfonic acid)에 의해, 전자는 외부 회로를 통해 환원극으로 이동하게 된다. 환원극에서는 전해질막을 통해 이동한 H^+ 이온과 산소가 반응하여 물을 생성하게 되며 외부회로를 통해 이동한 전자의 흐름이 전류가 된다. 각 전극에서의 반응식과 총 반응식은 식(1), (2), (3)과 같다.



2.1 연료전지의 성능 인자

H₂/O₂ 연료전지의 이상적인 전위는 물의 생산과 함께 1.229[V]이다. 수소 산소 반응에서 전위의 힘은 깁스 자유에너지의 변화로 표현된다. 온도가 내려감에 따라 Gibbs 자유에너지가 상승하고 이상적인 전위는 깁스 자유에너지와 직접 연관되어 변화한다.

실제적인 전위는 비가역에 의한 손실에 의해 평형전위보다 떨어진다. 이 손실은 분극, 과전압, 과전위라 불리는데 활성화 분극, 저항분극, 농도분극 등이 주요한 원인이다. 이러한 손실들은 셀의 전압을 이상적인 전위보다 낮게 한다.

활성화 분극에 의한 손실은 저전류 영역에서 지배적이다. 이 점에서 전류의 이온이 이동하기 위해서는 전기적인 장벽이 극복되어야 한다. 활성화 손실은 전류가 증가함에 따라 약간 증가한다. 저항 분극은 전류에 따라 직접적으로 변화하며 셀의 저항이 근본적으로 일정하기 때문에 전류 영역에서 증가한다.

그림 2는 PEMFC 연료전지 셀의 전형적인 개방전압, 전류 밀도 등의 특징을 나타낸 것이다.

가스 이동에 의한 농도손실은 전 전류 영역에서 나타나지만 셀의 반응영역으로 충분한 양의 반응물을 공급할 수 없기 때문에 높은 전류밀도에서 지배적이다.

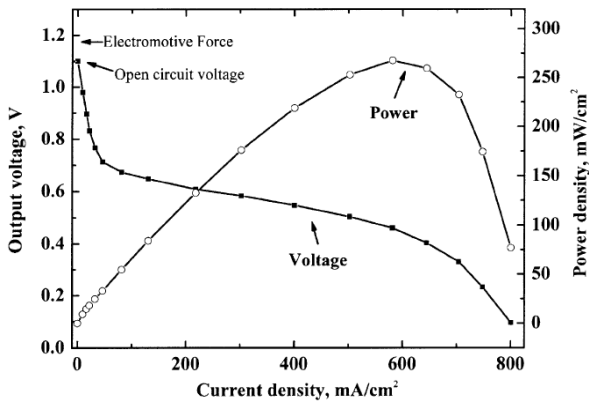


그림 2 연료전지에 공급되는 수소로부터 전류밀도에 따른 개방전압과 전압 밀도

Fig. 2 Schematic dependence of output voltage and power density on electrical current density from a hydrogen fed PEM fuel cell

3. 500W 연료전지시스템 구성 및 실험

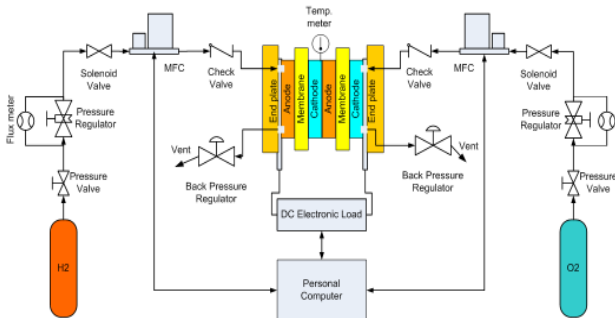
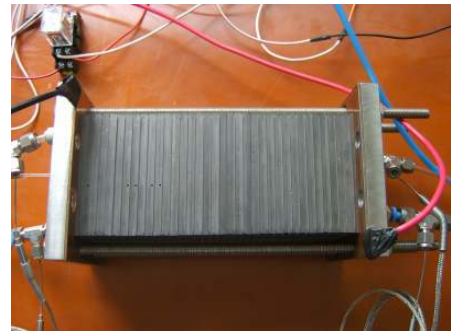


그림 3 PEMFC 시스템 운전 구성도
Fig. 3 Structure of PEMFC system

그림 3과 4는 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 퍼지를 시킴으로써 스택 안에 남아있을지 모르는 수소가스 및 공기를 배출하도록 설계하였다.



(a) 시스템 구성



(b) 500W PEMFC stack

그림 3 500W 연료전지시스템의 (a)구성 및 (b)스택
Fig. 3 500W PEMFC and stack

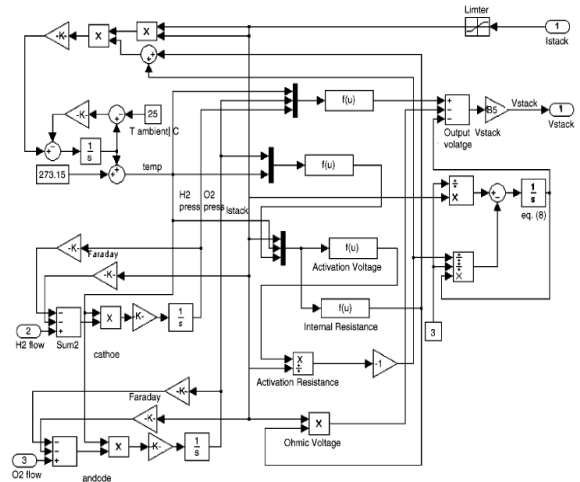


그림 4 연료전지 제어시스템 구성
Fig. 4 Control diagram of Fuel cell system

그림 5와 그림 6은 연료전지 시스템에 부하를 결선하였을 때 연료전지에서 발전되는 출력전압과 출력전류를 측정된 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 7과 그림 8은 연료전지 시스템에서 복합 출력된 전력을 인버터에 공급하여 기동하였을 때, 부하 결선 후 인버터에서 발생하는 전압/전류를 측정된 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.

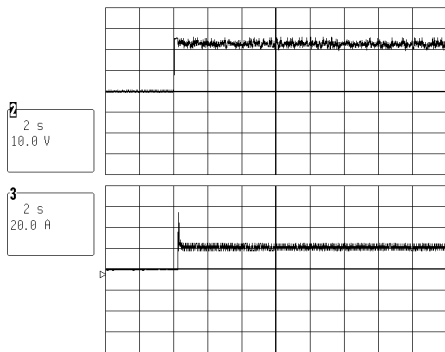


그림 5 연료전지 전압 전류 출력 (1)
Fig. 5 Voltage/Current output curve of the Fuel cell system (1)

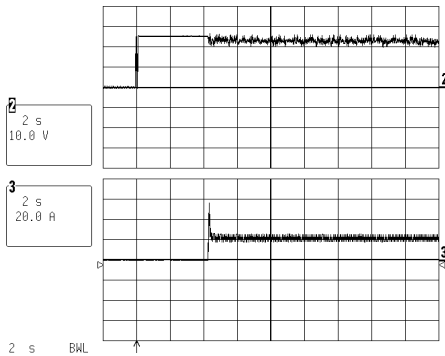


그림 6 연료전지 전압 전류 출력 (2)
Fig. 6 Voltage/Current output curve of the Fuel cell system (2)

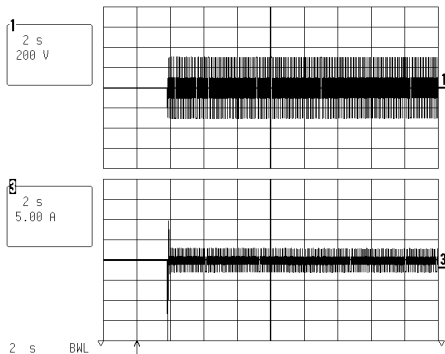


그림 7 인버터 전압/전류 출력 (500W)
Fig. 7 Inverter Voltage/Current output (500W)

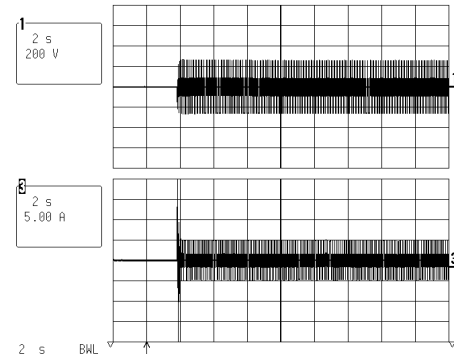


그림 8 인버터 전압/전류 출력 (1kW)
Fig. 8 Inverter Voltage/Current output (1kW)

4. 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 논문에서는 외부 환경에 영향을 받지 않고 지속적으로 전기에너지를 생산할 수 있고, 주택 및 소규모 복합주거 시설에 적용 가능한 독립형 연료전지시스템을 구현하여 그 운전 특성을 분석하였다.

본 논문에서는 언급되지 않았지만 CFD 해석 툴인 FLUENT를 이용하여 PEMFC(고분자 전해질 연료전지)의 구성요소 중 Stack 내부에서 화학반응에 필요한 수소와 산소를 공급하면서 단위 셀을 직렬로 연결해주는 도체의 역할을 수행하는 바이폴라 플레이트 모델링 및 해석을 통해 본 논문의 연료전지 stack에 적용하고자 한 serpentine type 바이폴라 플레이트의 유속과 전류 밀도 분포 해석을 수행하였고 이를 통해 0.25 ~ 0.35 [m/s]의 유속 분포를 나타내는 결과를 얻었으며 바이폴라 플레이트를 제작에 적용하였다.

앞으로 연료 공급에 있어 다양한 조건을 주어 그 운전 특성을 분석할 것이며 사용되고 남은 수소가스를 재생하는 방법 및 경제성을 고려한 최적의 설계 조건 등에 대하여 연구를 지속할 계획이며, 타 신·재생에너지원과의 연계 방안 및 그에 따른 주변장치 설계 기술 등에 대한 방안도 모색중에 있다.

이 논문은 산업자원부 전력산업연구개발사업(관리번호 : R-2005-B-117) 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

[1] Ogden JM. Prospects for building a hydrogen energy infrastructure. Annu Rev Energy Environ 1999;24:227-79.
[2] Yergin D. The prize: the epicquest for oil, money, and power. New York: Simon and Schuster, 1991, p. 778; Fuel cells meet big business. The Economist, 24 July 1999.