

PEM 연료전지의 전력-전류, 전압-전류 특성에 관한 연구

논문
58P-4-36

A Study on the P-I, I-V Characteristics of PEMFC

정유라* · 최용성[†] · 황종선** · 이경섭***
(You-Ra Jung · Young-Sung Choi · Jong-Sun Hwang · Kyung-Sup Lee)

Abstract - Recently, researchers are developing a new, clean, renewable and sustainable energy to the industrial areas and the residential areas. Solar cell and fuel cell energy are presented in this paper. The paper shows the P-I and I-V characteristics of fuel cells which are connected in parallel and series. And the voltage drop of internal resistance of the fuel cell decreases with the increasing of the current of the fuel cell. A voltage drop at the internal resistance is increased according to the current, thus the terminal voltage is decreased. The internal resistance is calculated 0.3[Ω] from maximum power transfer condition.

Key Words : PEMFC, I-V Characteristics, P-I Characteristics, Voltage Drop, Internal Resistance

1. 서론

현재 지구상의 에너지는 원유, 석탄, 천연가스 등 화석연료를 주 에너지원으로 사용하고 있고 이제 화석연료의 유한성은 누구나 다 인식하고 있다. 지속적인 경제성장을 위해 필요한 화석에너지의 고갈과 국가 정세에 따른 에너지공급의 불안정성, 화석에너지의 사용으로 인한 지구온난화를 해결하기 위해서 화석연료를 대체할 신재생 대체 에너지의 개발이 절실히 필요하다 [1~3]. 화석연료 의존도가 높은 우리나라의 경우 국제환경 규제에 의한 온실가스 배출량의 감축 및 동결은 바로 산업활동의 위축을 가져오게 된다. 이에 따라 환경을 국가의 산업생산 활동과 연계시키고자 하는 선진국과의 경쟁에서 많은 어려움이 있을 것으로 예상된다. 뿐만 아니라, 이제 신재생 대체 에너지 사업은 단순히 경제적 이익을 위한 것이 아니라 인류 생존의 문제로 인식되고 있다. 화석연료를 대체할 지속가능한 수많은 신재생에너지 자원 중에서 수소는 에너지와 환경문제를 해결할 수 있는 대안으로서 전 세계적으로 관심을 받고 있다. 수소는 전기를 생산하는데 있어 이상적인 보충물을 제공하며, 양질의 에너지를 갖고 있고 탄소를 함유하지 않으며 오염물질을 생산하지 않아 새로운 에너지로서 높이 평가받고 있다 [4, 5].

그러나, 수소를 에너지로 이용하려는 연구는 전 세계적으로 수없이 이루어지고 있으나[2], 이용의 편리성, 효율 등에 문제점이 있다. 수소를 에너지원으로 사용하는 여러 가지의

응용분야 중 연료전지는 전기 화학반응에 의해 화학에너지를 전기에너지로 변환하는 장치로, 일반 배터리와는 달리 재충전이 필요 없이 연료가 공급되는 한 계속해서 전기를 만들어 낼 수 있고, 환경오염 물질을 발생시키지 않는 청정 에너지원으로 기존의 일반적인 발전 시스템이 가지고 있는 이상의 여러 가지 장점들을 가지고 있다 [6]~[8]. 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.

수소를 사용하는 고분자 전해질형 연료전지(PEMFC)는 저온(100[°C] 이하)에서 동작하므로 빠르게 시동을 시킬 수 있으며, 부식의 위험이 있는 액체가 없다는 점이 있으며, 또한 에너지 효율과 출력밀도가 높아 주택 및 소규모 복합주거 시설, 수송용 차량, 소형 분산발전 및 휴대용 동력원에 적용 가능한 독립형 연료전지시스템으로 각광받고 있다.

따라서, 본 논문에서는 수소로부터 쉽게 전기에너지를 발생할 수 있고 효율을 높이기 위한 기초 연구로서 태양전지와 수소 연료전지가 융합된 시스템의 전압-전류 특성을 측정하였다. 또한 연료전지 전압하강의 원인중 하나인 내부전기 저항에 대하여 검토하였다.

2. 이론적 배경

연료전지의 구조는 전해질을 사이에 두고 두 전극이 샌드위치 형태로 위치하며 두 전극을 통하여 수소이온과 산소이온이 지나가면서 전류를 발생시키고 부산물로서 열과 물을 생성한다. 연료전지는 음극(Anode)을 통하여 수소가 공급되고 양극(Cathode)을 통하여 산소가 공급되면 음극을

[†] 교신저자, 시니어회원 : 동신대학교 공대 전기공학과 교수 · 공박
E-mail: yschoi67@dsu.ac.kr

* 준 회원 : 동신대학교 대학원 석사과정

** 시니어회원 : 전남도립대학 컴퓨터응용전기와 교수 · 공박

*** 시니어회원 : 동신대학교 공대 전기공학과 교수 · 공박

접수일자 : 2009년 11월 6일

최종완료 : 2009년 11월 16일

통해서 들어온 수소분자는 촉매(Catalyst)에 의해 양자와 전자로 나누어진다. 나누어진 양자와 전자는 서로 다른 경로를 통해 양극에 도달하게 되는데, 양자는 연료전지의 중심에 있는 전해질(electrolyser)을 통해 흘러가고, 전자는 외부회로를 통해 이동하면서 전류를 흐르게 하며 양극에서는 다시 산소와 결합하여 물이 된다.

연료전지는 보통 작동온도와 전해질의 화학적 성질에 따라 구분되어지며 알칼리형(AFC), 인산형(PAFC), 용융탄산염형(MCFC), 고체산화물형(SOFC), 고분자 전해질형(PEMFC) 등으로 구분된다. 표 1은 작동온도와 전해질 형태에 따른 연료전지의 종류 및 특성을 나타낸 것이다. 연료전지에는 천연가스, 메탄올, 가솔린 등의 다양한 연료가 사용되어질 수 있는데, 연료개질기(fuel reformer)를 이용해 수소로 개질하여 사용한다. 단위전지의 전압은 보통 0.7 [V]이며 이러한 단위전지를 여러 개 직렬로 연결하면 연결된 수만큼 곱한 만큼의 전압이 얻어진다.

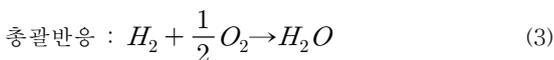
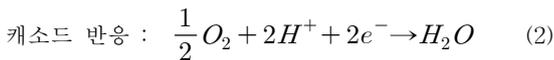
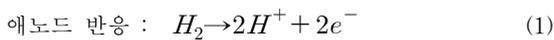
표 1 연료전지의 종류 및 특성

Table 1 Types and features of fuel cell

형식	Low Temp		Medium Temp.	High Temp.	
	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
전해질	고분자 전해질형	수산화칼륨	인산	탄산리튬/탄산칼륨	지르코니아
작동온도[°C]	25-80	65-220	180-205	600-650	800-1000
전하전달자	H ⁺	OH ⁻	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
전지 기본구성 성분	탄소	탄소	흑연	스테인레스	세라믹
전극 촉매	백금	백금	백금	니켈	Perovskites

PEMFC : Polymer electrolyte membrane fuel cell
 AFC : Alkaline fuel cell
 PAFC : phosphoric acid fuel cell
 MCFC : molten carbonate fuel cell
 SOFC : solid oxide fuel cell

연료전지는 전기화학적 에너지 변환장치로서, 이 장치는 식 (1)~(3)과 같이 애노드와 캐소드에서 동시에 전기화학 반응이 진행된다. 그림 1은 연료전지의 작동원리를 나타낸 것이다.



이러한 화학반응으로 수소연료전지는 순수한 물만을 배출하므로 무공해이다. 그림 2는 연료전지 단위셀의 구조로서, 고분자 전해질을 중심으로 양쪽에 전기화학 반응을 위한 촉매층과 반응물의 확산을 위한 기체 확산층이

있고, 반응물의 공급과 생성된 전자의 집전 역할을 하는 분리판이 있음을 나타내고 있다.

그림 3은 이극 구조의 연료전지로 연료전지의 스택을 나타내고 있다. 스택은 다수의 단위 셀을 쌓은 것이므로, 한 셀의 캐소드는 인접셀의 애노드와 전기적으로 연결된다. 그림 2를 여러 겹으로 쌓았다고 생각하면 쉬울 것이다. 전류는 비교적 얇은 전도성 판을 통해 전도되고, 큰 면적을 통해 아주 짧은 거리를 이동하기 때문에 흑연과 같은 비교적 우수한 전기 저항체를 사용할 경우에도 전기 저항 손실을 최소화할 수 있다. 스택을 설계하려면 반응물을 각 셀과 그 내부에 균등하게 공급·분배해야 하고 적정온도를 유지하고 저항손실을 최소화하려면 반응기체의 누설이 없는 구조로 하여야 한다.

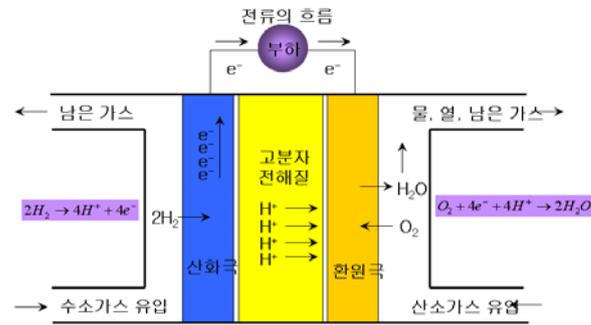


그림 1 연료전지의 작동원리

Fig. 1 Operational principle of fuel cell

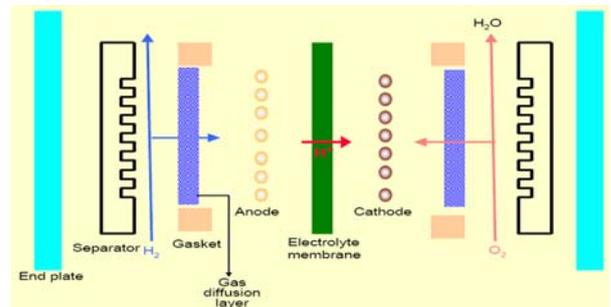


그림 2 PEMFC 단위셀의 구조

Fig. 2 Structure of a PEMFC unit cell

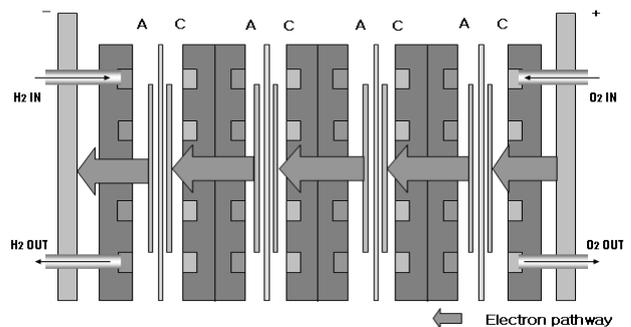


그림 3 연료전지의 이극 구조

Fig. 3 Bipolar configuration of fuel cell

연료전지 성능은 반응물의 유량에 민감하므로, 스택 중의 각 셀에 같은 양의 반응 기체를 공급하는 것이 필수적이다. 반응물 공급이 균등하지 못하면 각 전지의 성능이 불균일해진다. 균일도를 보장하려면, 외부 또는 내부의 다기관(manifold)을 통해 스택 안의 각 셀에 병렬로 공급하도록 한다.

스택을 통한 흐름 패턴은 U자형이거나 Z자형으로 하는데, 입구와 출구가 스택의 같은 쪽에 있으면 입구 다기관과 출구 다기관에서의 흐름이 서로 반대 방향이 되어 U자형이 되고, 입구와 출구가 스택의 반대쪽에 있으면 입구 다기관과 출구 다기관 흐름이 병렬이 된다.

연료전지에 반응 기체를 공급하면서도 전기 회로가 차단되어 있으면 전류가 발생하지 않을 것이며, 주어진 조건(반응물의 온도, 압력, 농도)에서의 전기 전위는 이론 전지 전위와 같거나 이론에 가까울 것으로 예상할 것이다. 그러나 실제로 이 개회로(open circuit)전위는 이론 전위보다 아주 낮으며, 대개 1[V] 미만이다. 연료전지에서는 외부 전류가 발생하지 않을 경우에도 손실이 생김을 의미한다. 전기회로가 저항(resistor)과 같은 부하(load)로 차단되면, 발생하는 전류에 따라 전위가 더욱 낮아질 것으로 예상되는데, 이는 불가피한 손실 때문이다. 연료전지에서 전압손실 요인에는 전기화학 반응 속도, 내부 전기 저항과 이온저항, 반응물이 반응 부위에 도달하는 용이도, 내부전류, 반응물의 크로스오버 등이 있다.

그림 4는 전형적인 연료전지의 분극 특성을 나타낸 결과이다. 전류가 증가할수록 단자전압이 감소함을 알 수 있다. 저항에 의한 손실이 생기는 이유는 전해질 중의 이온 흐름에 대한 저항, 전기 전도성 연료전지 부품을 통한 전자 흐름에 대한 저항 때문이다. 이러한 손실은 식 (4)와 같이 Ohm의 법칙으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta V_{ohm} = iR_i \quad (4)$$

여기서, i = 전류밀도(Acm^{-2}), R_i = 전지 총 내부 저항 (이온, 전자, 접촉저항포함)(Ωcm)

$$R_i = R_{i,i} + R_{i,e} + R_{i,c} \quad (5)$$

혹연이나 혹연/고분자 복합체를 집전체(current collector)로 사용하더라도, 전자 저항은 거의 무시할 수 있다. 이온 저항과 접촉 저항은 크기가 거의 비슷하다. R_i 의 전형적 값은 0.1~0.2[Ωcm] 정도이다.

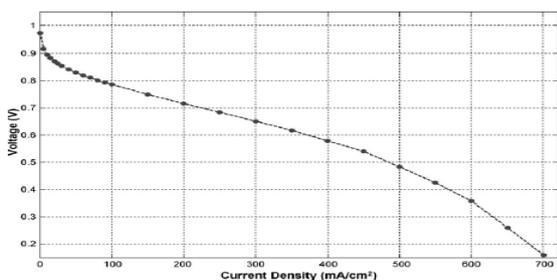


그림 4 전형적인 연료전지 분극 특성
Fig. 4 Typical PEM fuel cell polarization characteristics

3. 실험 방법

본 실험은 표 2의 데이터로 구성된 장치로 이루어져 있다. 실험장치로는 태양광 모듈 (solar module), 전해질 (electrolyser), 두 개의 연료전지, 부하모듈 그리고 할로겐램프 등으로 구성되어 있다. 그림 5와 6은 두 연료전지가 각각 병렬 및 직렬로 연결된 실험장치 구조를 나타낸 것이며 전압계와 전류계를 이용하여 부하에 인가되는 전압과 부하에 흐르는 전류를 측정하였다.

태양광 모듈의 크기는 200[mm]×297[mm]×100[mm] (width×height×depth)이고, 단자 전압은 2.2[V]이며, 단락회로 전류는 1,200[mA]이다. 또한, 태양전지가 작동하는 최대전력전달 전압은 1.8[V]이고, 전류는 1,000[mA]이며, 이때의 전력은 1.8[W]이다. 전해질 수조의 크기는 200[mm]×310[mm]×110[mm]이고, membrane의 표면적은 25[cm²]이다. 연속조작에서 표준전압은 1.4-1.8[V]이고, 전류는 0-4000[mA]이며, 수소생성은 분당 최대 28[ml]이다. 연료전지의 크기는 200[mm]×297[mm]×90[mm]이고, membrane 표면적은 2×10[cm²]이다. 2개의 연료전지가 서로 병렬로 연결될 때 전압은 0.4-1.0[V]이고, 전류는 최대 800[mA]이다. 또한 2개의 연료전지가 서로 직렬로 연결될 때 전압은 0.8-2.0[V]이고, 전류는 400[mA]이다. 부하모듈에서 가변 저항은 100[Ω]에서 0.3[Ω]으로 가변시켰으며, 할로겐 램프의 정격전력은 100[W]이다.

표 2 기술적인 데이터

Table 2 Technical Data

Solar module	
Dimensions(width×height×depth)	200mm×297mm×100mm
Terminal voltage	2.2[V]
Short-circuit current	1200[mA]

Eletrolyser	
Dimensions(width×height×depth)	200mm×310mm×110mm
Membrane surface area	25[cm ²]
Normal voltage in continuous operation	1.4-1.8[V]
Current	0-4000[mA]

Two-cell fuel cell	
Dimensions(width×height×depth)	200mm×297mm×90mm
Membrane surface area	2×10[cm ²]
Voltage when connected in parallel	0.4-1.0[V]
Voltage when connected in series	0.38-2.0[V]

Load module	
Dimensions(width×height×depth)	100mm×297mm×100mm
Selectable resistances	0.3/0.5/1/2/3/5/10/20/50/100[Ω]

할로겐 램프를 이용하여 태양전지에 빛을 조사시키면 태양전지에서는 전기에너지가 발생되고 이 발생된 전압에

의하여 전해질을 통하여 산소와 수소가 분리된다. 즉, 전해질 내에서의 반응은 $6H_2O \rightarrow 4H^+ + 4OH^- + O_2 + 2H_2$ 이며 전해질 내에서 생성된 수소와 산소는 연료전지에 공급됨으로써 연료전지에서 수소와 산소에 의해 에너지가 발생되는 것이다.

PEMFC는 전해질로 사용되는 MEA (Membrane Electrode assembly)는 원활한 이온전도를 위해 항상 습한 상태로 유지해야 하며, 이를 위해 유로 입구에서 전해질막이 건조해지는 것을 방지하기 위한 가습이 필요하다. 이 경우 PEMFC의 동작 온도가 100[°C] 이하이므로 가습을 위해 공급한 수분이 유로 내부에 응축되어 가스의 공급을 차단시킬 수 있기 때문에, 수분을 적절히 배출하기 위해서는 입구와 출구에 압력차를 두고 출구에서 인출되는 가스나 수분을 적절히 함유하여 배출될 수 있도록 하였다.

연료전지의 내부저항을 구하기 위해 DC 전자 부하기 (Kikusui PLZ1004W)를 이용하여 0[A]부터 1.8[A]까지 0.1[A] 간격으로 작동시켰다. 이 실험에서는 연료전지가 두 개가 사용되었기 때문에 각각의 내부저항을 구하기 위해 분리하여 실험하였다.

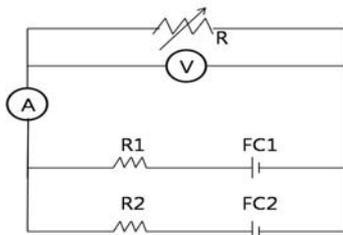


그림 5 병렬로 연결된 두 개의 연료전지 회로도
Fig. 5 Circuit diagram with 2 fuel cells in parallel

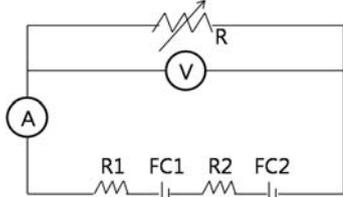


그림 6 직렬로 연결된 두 개의 연료전지 회로도
Fig. 6 Circuit diagram with 2 fuel cells in series.

4. 결과 및 고찰

그림 7은 두 개의 연료전지 중 한 개의 연료전지의 P-I, I-V 특성을 측정한 결과이다. 전류가 0.01[mA]에서 0.64[mA]까지 증가함에 따라 단자전압은 0.855[V]에서 0.52[V]로 감소하고 있음을 알 수 있다. 전류가 0.01[mA]에서 0.64[mA]까지 증가함에 따라 전력은 0.00855[W]에서 0.3328W까지 직선적으로 증가하고 있다. 이 결과로부터 최대전력전달조건[9]에서 계산한 전체저항은 0.81[Ω]이 얻어지므로, 연료전지의 내부저항은 0.4[Ω]이 계산된다. 그러나 실제로 실험에서 사용된 저항은 0.3[Ω]이므로, 0.1[Ω]의 오차는 계측장비나 저항 등의

오차나 접촉저항 등에 의한 오차로 생각된다.

또한, 그림 7에서 전류가 증가함에 따라 단자전압이 감소하는 이유는 그림 5의 연료전지 전기회로도에서 이해할 수 있다. 즉, 부하에 흐르는 전류가 증가함에 따라 연료전지에서의 발생전압은 일정하고, 부하에 흐르는 전류가 증가함에 따라 부하에서의 전압강하는 감소하지만, 내부저항에서의 전압강하는 증가하기 때문에 단자전압이 0.85[V]에서 0.52[V]로 감소하는 것이다. 그림 7의 I-V 특성으로부터 연료전지의 내부저항을 계산하여 그림 8에 나타내었다. 계산된 연료전지의 내부저항은 4.09[Ω]에서 0.21[Ω]까지 얻어졌으며, 그림7의 I-V 특성으로부터 얻어진 0.3[Ω]과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

그림 9는 연료전지 2개가 그림 5와 같이 병렬로 연결되어 있을 때의 전류에 따른 전력과 단자전압의 특성을 나타내고 있다. 그림 9에서 전류가 2[mA]에서 800[mA]까지 증가함에 따라 전압은 0.85[V]에서 0.61[V]로 미소하게 감소하고 있음을 알 수 있다. 한편, 그림 9에서 전류가 2[mA]에서 800[mA]까지 증가함에 따라 전력은 0.016[W]에서 0.49[W]까지 직선적으로 증가하고 있다. 이 결과로부터 그림 5의 회로에서 계산된 전체저항은 0.76[Ω]이므로 연료전지의 내부저항은 0.38[Ω]이 얻어진다. 따라서 그림 7에서 얻어진 연료전지의 내부저항은 0.4[Ω]과 일치하는 결과를 얻을 수 있다.

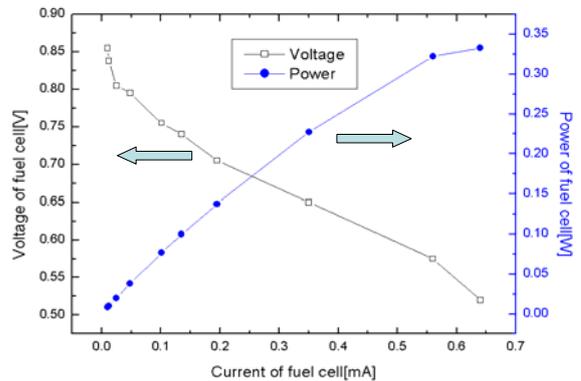


그림 7 연료전지 한 개의 P-I, I-V 특성
Fig. 7 P-I, V-I characteristics of fuel cell

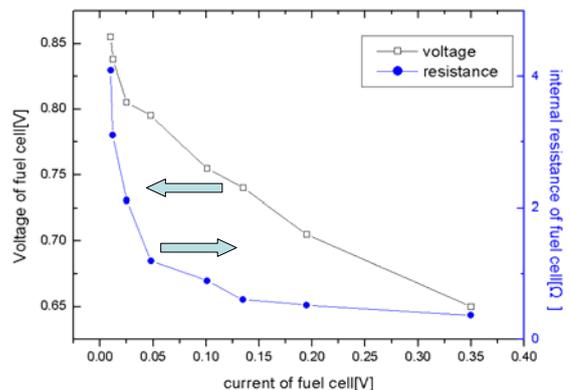


그림 8 연료전지 한 개의 P-I, 내부저항 특성
Fig. 8 P-I, V-I characteristics of fuel cell

또한, 그림 9에서 연료전지의 단자전압이 감소하는 이유는 그림 5의 연료전지 전기회로도에서 해석할 수 있다. 즉, 연료전지에서의 발생전압은 0.85[V]로 일정하고 부하에 흐르는 전류가 증가함에 따라 부하에서의 전압강하는 감소하지만, 내부저항에서의 전압강하는 증가하기 때문에 단자전압이 0.85[V]에서 0.61[V]로 감소하는 것이다. 그러나, 그림7에서는 전압이 0.85[V]에서 0.52[V]로 감소폭이 큰 이유는 그림 5에서는 연료전지가 병렬로 연결되어 한쪽 연료전지에 흐르는 전류는 400[mA]로서 그림 7에서의 640[mA]보다 적기 때문에 오옴의 법칙에 따라 전압강하 폭이 적다.

그림 10은 그림 6과 같이 2개의 연료전지가 직렬로 연결되어 있을 때의 전류에 따른 전력과 전압의 특성을 나타내고 있다. 그림 10에서 전류가 9[mA]에서 400[mA]까지 증가함에 따라 전압은 1.64[V]에서 1.44[V]로 감소하고 있음을 알 수 있다. 한편, 그림10에서 전류가 9[mA]에서 400[mA]까지 증가함에 따라 전력은 0.01[W]에서 0.57[W]까지 직선적으로 증가하고 있다. 이 결과로부터 그림 6의 회로에서 계산된 전체저항은 3.6[Ω]이므로 연료전지 하나의 내부저항은 0.9[Ω]이 얻어진다. 그러나 실제로 사용된 부하저항은 0.3[Ω]이므로, 0.6[Ω]의 오차가 발생된다. 이는 계측장비나 저항 등의 오차나 접촉저항 등에 의한 오차로 생각된다.

또한 그림 10에서 단자전압은 1.64[V]에서 1.44[V]로 0.2[V] 감소하였다. 이 결과는 그림 6의 연료전지 등가회로도에서 해석할 수 있다. 즉, 연료전지 2개가 직렬로 연결되어 전체저항은 증가하였으나, 전류는 400[mA]이기 때문에 단자전압의 감소가 그림 9에서 얻어진 결과와 동일한 것으로 생각된다.

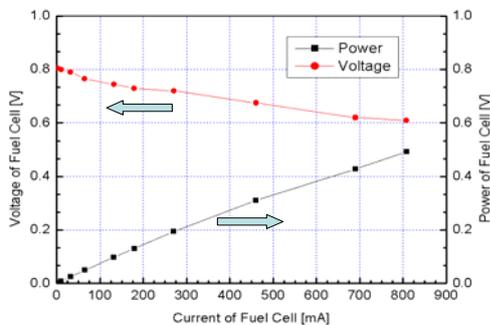


그림 9 병렬로 연결된 연료전지의 P-I, V-I 특성
Fig. 9 P-I, V-I characteristic of fuel cell in parallel

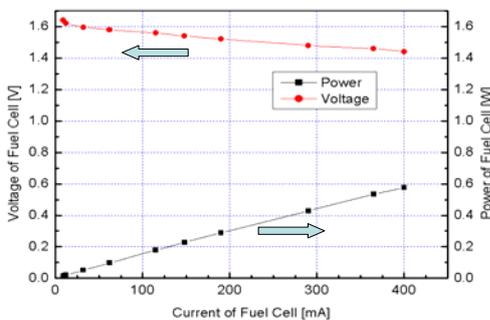


그림 10 직렬로 연결된 연료전지의 P-I, V-I 특성
Fig. 10 P-I, V-I characteristic of fuel cell in series

5. 결 론

본 논문은 수소 연료전지의 기초 연구로서 태양전지와 PEM연료전지가 융합된 시스템의 전압-전류 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전류가 증가할 때 전력은 증가하고 단자전압은 감소한다.
2. 부하에 흐르는 전류가 증가함에 따라 내부저항에서의 전압강하는 증가하기 때문에 단자전압이 감소한다.
3. 최대전력전달조건으로부터 내부저항은 약 0.3[Ω] 정도이며, 내부저항의 오차가 생기는 이유는 계측장비나 저항 등의 오차나 접촉저항 등에 의해서 생긴다.
4. 연료전지가 직렬로 연결된 경우와 병렬로 연결된 경우 단자전압은 내부저항과 연료전지에 흐르는 전류에 의하여 동일함을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단)

참 고 문 헌

- [1] 박세준, “고분자 전해질형 연료전지시스템의 운전조건에 따른 성능 특성 연구”, 동신대학교 박사학위논문, pp.1~4 (2009).
- [2] Frano Barbir, “PEM Fuel Cell”, 1st Edition, Elsevier, pp.iii~v (2007).
- [3] 에너지경제연구원, “에너지 수요전망”, 제10권 1호 (2008).
- [4] 홍정희, 최용성, 이경섭 “태양광 발전시스템의 모듈온도와 일사량에 따른 전력 패턴 분석”, 2009년 대한전지학회 전기설비전문위원회 춘계학술대회 논문집, pp.174~176 (2009).
- [5] Joan M. Ogden, “Developing an infrastructure for hydrogen vehicles : a Southern California case study”, International Journal of Hydrogen Energy 24, pp. 709-730 (1999).
- [6] Barbir, F., J. Braun, and J. Neutzler, Properties of Molded Graphite Bi-Polar Plates for PEM Fuel Cells”, International Journal on New Materials for Electrochemical Systems, No. 2, pp. 197-200 (1999)
- [7] Frano Barbir, “PEM Fuel Cells-Theory and Practice”, Elsevier Inc., ISBN:9780120781423, pp. 35-71.(2005)
- [8] Birbir, F., Progress in PEM Fuel Cell Systems Development, in Hydrogen Energy System, in Y. Yurum(editors), Utilization of Hydrogen and Future Aspects, NATO ASI Series E-295(Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands), pp. 203-214 (1995)
- [9] J.O'Malleg, Basic circuit Analysis, MC Graw-Hill, p84 (1992).

저 자 소 개



정 유 라 (鄭 誘 羅)

1985년 11월 2일생. 2008년 동신대학교 졸업(학사). 현재 동신대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정.

Tel : 061-330-3218

Fax : 061-330-3105

E-mail : dbfk3305@naver.com



최 용 성 (崔 龍 成)

1967년 11월 14일생. 1991년 동아대학교 전기공학과 졸업 (학사). 1993년 동대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공박). 1999년~2001년 JAIST Post-Doc.. 2001년~2003년 Osaka Univ. Post-Doc.. 2002년~2005년 원광대학교 연구교수. 2006년~현재 동신대학교 전기공학과 교수. 2006년~현재 전력산업인력양성사업단 기획운영부장.

Tel : 061-330-3204

Fax : 061-330-3105

E-mail : yschoi67@dsu.ac.kr



황 종 선 (黃 宗 善)

1953년 12월 13일생. 1977년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1979년 동 대학원 졸업(석사). 1995년 전북대학교 전기공학과 졸업(박사). 1987-1998 한 국원자력연구원 책임연구원. 1998~현재 전남도립대학 컴퓨터응용전기과 교수. 1999~2002 국제기능올림픽 국제심사위원 Commercial Wiring Trade.

Tel : 061-380-8621

Fax : 061-380-8466

E-mail : hlepw@hanmail.net



이 경 섭 (李 炘 燮)

1956년 11월 09일생. 1983년 조선대학교 전기공학과 졸업(학사). 1986 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1988년~현재 동신대학교 전기공학과 교수. 1994년~1995년 동경공업대학 객원연구원. 2006년~현재 전력산업인력양성사업단 단장.

Tel : 061-330-3203

Fax : 061-330-3105

E-mail : kslee@dsu.ac.kr