

평판형 연료전지 스택의 제조를 위한 매니폴드 형상별 압력분포 시뮬레이션

논문
58P-4-46

Pressure Distribution Simulation on Geometrical Manifolds Structure for Fabrication of a Planar-type Fuel-Cell Stack

박 세 준* · 최 용 성[†] · 이 경 섭**
(Se-Joon Park · Young-Sung Choi · Kyung-Sup Lee)

Abstract - A fuel-cell power system among various alternative power sources has many advantages such as comparatively independent circumstances, 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 decades, numerous research results has been investigated to expand interest in fuel-cell technology. This study presents pressure distribution on the geometrical manifold structures, which are U-type and Z-type, of a planar-type fuel-cell stack by simulated with computational fluid dynamics(CFD). Then, electrical performance of a 200W fuel-cell stack, which is U-type, was diagnosed after pre-conditioning operation. The stack has electrical characteristics ; 22V, 10A, 220W, and current density 200mA/cm².

Key Words : CFD Modeling, Pressure/Flow Distribution, Planar-Type Fuel-Cell, U-/Z-Type Stack, Navier-Stokes Equation

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 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. 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 무공해 발전방식이다[3-6].

본 논문에서는 평판형 연료전지 스택의 일반적 구조인

U-자형과 Z-자형 스택에 대한 압력분포 해석을 위하여 이론적 고찰과 CFD(Computational Fluid Dynamic)를 이용한 시뮬레이션을 수행하였으며, U-자형 스택을 제조하여 MEA 활성화 운전 및 성능 특성을 평가하였다.

2. 이론적 배경

2.1 연료전지 스택의 구조

그림 1은 평판형 연료전지 스택의 구조를 보여준다. 연료전지 스택은 다수의 단위 셀을 쌓은 것이므로, 한 셀의 캐소드는 인접 셀의 애노드와 전기적으로 연결된다. 이 경우 동일한 전류가 각 셀을 통해 흐른다. 전기회로는 스택의 고체부분(외부 회로 포함)을 통과하는 전자 흐름 및 전해질을 통과하는 이온 흐름과 그 계면(촉매층)에서의 전기화학 반응으로 이루어진다. 연료전지 스택의 기본 구성은 막-전극 복합체(MEA), MEA 둘레의 개스킷, 전기 연결선이 있는 이극판, bus plate, 유체 연결부가 있는 end plate 등으로 이루어져 있다. 이극 구조(bipolar configuration) 연료전지는 전류가 비교적 얇은 전도성 판(conductive plate)을 통해 전도되고, 큰 면적을 통해 아주 짧은 거리를 이동하기 때문에 흑연(또는 흑연 고분자 복합체)과 같은 비교적 열등한 전기 전도체를 사용할 경우에도 전기 저항 손실을 최소화할 수 있다[7-10].

연료전지 성능은 반응물의 유량에 민감하므로, 스택 중의 각 셀에 같은 양의 반응 가스를 공급하는 것이 필수적이다. 반응물 공급이 균등하지 못하면 각 전지의 성능이 불균일해지기 때문에 균일도를 보장하려면 내부의 매니폴드를 통해 스택 안의 각 셀에 병렬로 공급하도록 한다. 스택을 통한 흐름 패턴은 그림 2와 같이 U-자형이거나 Z-자형으로 하는데, 반응가스 입구와 출구가 스택의 같은 쪽에 있으면 입구와 출구에서의 흐름이 서로 반대 방향이 되어 U-자형이 되고,

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

* 정 회원 : 동신대학교 공대 전기공학과 겸임교수 · 공박

** 시니어회원 : 동신대학교 공대 전기공학과 교수 · 공박

접수일자 : 2009년 11월 9일

최종완료 : 2009년 11월 19일

입구와 출구가 스택의 반대쪽에 있으면 입구와 출구 흐름은 병렬이 되는 Z-자형 스택이 된다[9-11].

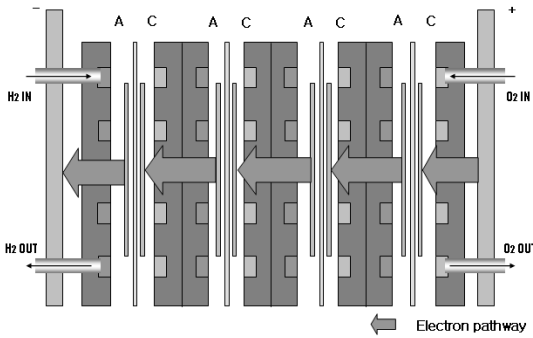


그림 1 평판형 연료전지 스택의 구조
Fig. 1 Structure of planar-type fuel-cell stack

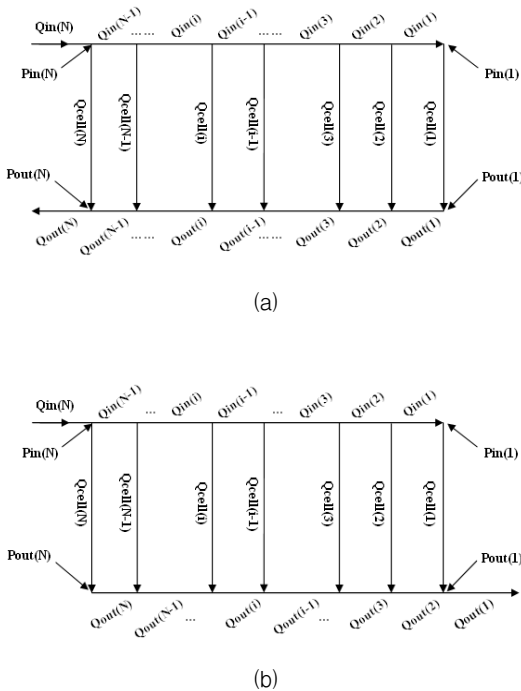


그림 2 수학적 모델을 위한 압력 및 흐름 변수의 표기
(a) U-자형, (b) Z-자형[9-11]

Fig. 2 Designation of pressure and flow variables for mathematical model: (a) U-shape (b) Z-shape[9-11]

유로에 흐르는 각 셀의 유량은 $Q_{cell}(i)$ 로, 입구로부터 출구까지의 유동 압력 강하(Pressure drop)는 $\Delta P_x(i)$ 로 표기된다. 압력강하 $\Delta P_x(i)$ 는

$$\Delta P_x(i) = P_{in}(i) - P_{out}(i), \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (1)$$

이 되며, 다기관 입구에서 누적되는 유량 $Q_{in}(i)$ 와 $\Delta P_{in}(i)$ 는

$$Q_{in}(i) = \sum_j^i Q_{cell}(j) = Q_{in}(i-1) + Q_{cell}(i) \quad (2)$$

$$Q_{in}(i) = Q_F, \quad Q_F = \text{입구에 유입되는 총 유량} \quad (3)$$

$$\Delta P_{in}(i) = P_{in}(i) - P_{in}(i-1), \quad (i = 2, 3, \dots, N) \quad (4)$$

이 된다. U-자형 스택의 다기관 출구에서 $Q_{out}(i)$ 와 $\Delta P_{out}(i)$ 는 다음과 같이 정의될 수 있으며

$$Q_{out}(i) = \sum_{j=1}^i Q_{cell}(j) = Q_{out}(i-1) + Q_{cell}(i) \quad (5)$$

$$\Delta P_{out}(i) = P_{out}(i-1) - P_{out}(i), \quad (i = 2, 3, \dots, N) \quad (6)$$

Z-자형 스택의 다기관 출구에서 $Q_{out}(i)$ 와 $\Delta P_{out}(i)$ 는 다음과 같이 정의된다[11].

$$Q_{out}(i) = \sum_{j=1}^i Q_{cell}(j) = Q_{out}(i-1) + Q_{cell}(i) \quad (7)$$

$$\Delta P_{out}(i) = P_{out}(i) - P_{out}(i-1), \quad (i = 2, 3, \dots, N) \quad (8)$$

2.2 CFD(Computational fluid dynamic) 적용 방정식

어떤 물질(유체)의 이동현상은 크게 운동량과 열 그리고 물질전달 이 세 가지의 전달현상으로 나뉜다. 이들의 각각 이동현상은 전달매체가 다를 뿐만 아니라 물리적인 이동과 정도 매우 상이하다. 그러나 이들의 현상을 설명하는 수학적 체계는 매우 단순하리만큼 일치성을 보이고 있다. 대상 부피에 작용하는 외부 힘의 합은 선운동량의 순 유출속도와 대상 부피 내의 선 운동량 변화 속도의 합과 같다는 것이다 [12-13].

Navier-Stokes 방정식은 선형 모멘텀 보존이 differential control volume에 적용된 데에서 시작한다. 관성기준계 (inertial frame of reference)에서 결과식은 Cauchy 모멘텀 방정식이라 불리는 운동 방정식의 가장 일반적인 형식이며 식 (9)와 같이 주어진다.

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \Delta v \right) = -\Delta P + \Delta T + f \quad (9)$$

여기서 v 는 유동 속도, ρ 는 유체 밀도, ΔP 는 압력의 변화량, ΔT 는 변형력 텐서(점성의 힘), 그리고 f 는 흐르는 유체의 힘(중력에 의한 외부의 힘)을 나타낸다. 식 (9)에서 시간에 대한 유체의 전달효과는 유체의 힘과 압력 발산의 합계와 같다는 것을 나타낸다. 결론적으로 Navier-Stokes 방정식은 ‘어떠한 유체의 불규칙한 가속도와 전달 가속도의 합은 압력 변화량과 그 유체의 점성 그리고 외부의 힘(중력)의 합과 같다’라고 정의 될 수 있다.

한편, 물질의 보존방정식은

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z) = S_m \quad (10)$$

인데, 압력 미분 계수인 ΔT 는 Navier-Stokes 방정식에 적용하기에 난해한 점이 많기 때문에, 유체의 점성도의 구체적인 양을 구하기 위해서는 속도와 같이 널리 사용되는 변수를 사용하게 된다. 유체는 압축할 수 없다는 가정 하에 양

으로써 $\mu \nabla^2 v$ 로 치환될 수 있다.

식 (9)를 식(10)에 대입하면 x, y, z 방향으로 각각

$$\begin{aligned} \rho(v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z}) \\ = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2}) + S_{px} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \rho(v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z}) \\ = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2}) + S_{py} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \rho(v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z}) \\ = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2}) + S_{pz} \end{aligned} \quad (13)$$

이 된다.

위의 모멘텀 보존식에서 고분자 전해질형 연료전지의 전극과 고분자 전해질 막 내에서의 반응물 확산에 대한 해석을 위하여 Darcy's Law가 적용되며[14-15], 고분자 전해질형 연료전지 내 압력에 대한 해석과 반응물 및 생성물의 분포를 해석하기 위한 에너지 보존과 물질이동식은 다음과 같다.

$$\rho C_p (\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial T}{\partial z}) = K(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}) \quad (14)$$

3. 연료전지 모델링

연료전지의 단위 셀은 그림 3에서 보는 바와 같이 고분자 전해질막을 중심으로 양쪽에 전기화학 반응을 위한 촉매층과 전극 역할 및 반응물의 확산을 위한 기체 확산층이 위치해 있고, 반응물의 공급과 생성된 전자의 집전 역할을 하는 분리판이 위치하게 된다. 분리판에는 수소나 산소(또는 공기)와 같은 반응가스가 지나가는 유로가 있으며, 이 유로에 압력을 가해주어 반응가스를 균일하게 분포시킴으로써 연료전지의 성능을 향상시킬 수 있다.

CFD를 이용하여 압력분포 해석을 위한 절차는 우선 ANSYS, PATRAN등의 CAD/CAE 프로그램을 이용하여 분리판을 디자인한 후 GAMBIT 2.4으로 메쉬 생성과정을 통해 삼각 또는 사각 격자를 형성한다. 격자 생성 후 각각의 경계 조건을 설정해 주면 해석을 위한 메인 도메인이 완성된다. 이렇게 형성된 도메인을 FLUENT 6.3을 통해 변환한 후 물성, 경계조건 및 초기 조건 등의 도메인에 대한 조건들이 입력된 후 반복적인 계산과 수렴과정을 통해 해를 얻게 된다.

본 논문에서는 애노드(수소)극 채널을 해석 영역으로 설정하였고, CFD 상용 툴인 FLUENT Ver. 6.3을 이용하여 유로 내의 압력분포 및 스택 형상에 대한 압력분포를 시뮬레이션 하였다. 분리판 모델의 치수는 표 1에 나타내었고, 스택 내부 유로의 압력 분포와 스택의 구조에 따른 압력 분포를 표 2와 같은 운전 조건 하에 해석하였다. 시뮬레이션 해석을 위해 사용된 장비는 HP workstation XW-6200 XEON 2GB RAM을 사용하였다.

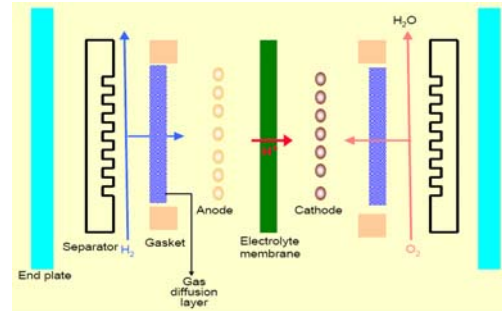


그림 3 고분자 전해질형 연료전지 단위셀의 구조
Fig. 3 Structure of a PEMFC unit cell

표 1 분리판 모델의 치수

Table 1 Dimensions of the separator model

Parameter	구분 (cm)
Flow field의 폭	7
Flow field의 길이	7
Channel의 폭	0.3
Channel의 깊이	0.3
Channel의 rib 폭	0.3

표 2 분리판 및 스택 해석 조건

Table 2 Analysis conditions of the separator

조건	상태
애노드 쪽으로 주입되는 반응가스	정상 상태
중력의 영향	무시
유체의 흐름	층류, 비압축성 이상 기체
반응물, 생성물	단상(single phase)
가습조건	100%
MEA내 수분 활동도(activity)	MEA와 접한 control volume에 적용된 source term으로부터 계산
Graphite의 운전온도	70°C로 일정하게 유지

4. 결과 및 검토

4.1 CFD 해석

입구에 공급된 수소는 유로를 따라 유입되면서 압력이 상승하고 출구로 갈수록 압력이 낮아지면서 수소의 원활한 전달에 영향을 미치게 된다. 유로의 내부에서 적절한 압력분포가 형성되면 수소가스는 확산층으로 확산이 잘 이루어질 것이며 이는 연료전지의 성능에 영향을 미치게 된다.

그림 4는 단위 셀 유로의 압력분포를 나타낸다. 단위 셀 유로의 압력 분포는 입력단에서 가장 높았고 출구쪽에 가까워질수록 압력이 강하한다는 것을 확인할 수 있다. 유로 출구의 압력을 101,325 Pa로 설정하였을 때 유로 입구의 압력은 101,966 Pa로 나타났다. 따라서 ΔP 는 641 Pa(0.006326 atm)의 압력강하를 나타내는 것으로 평가되었다.

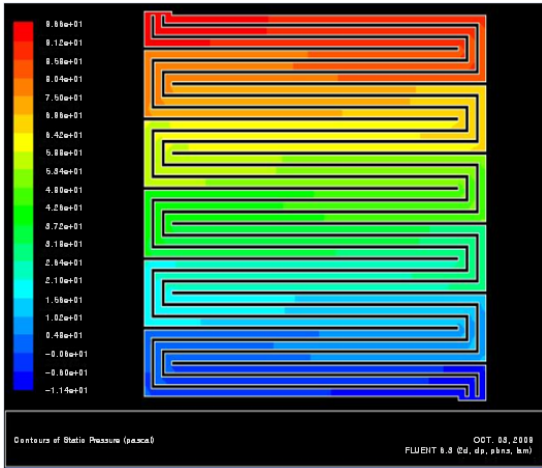


그림 4 바이폴라 플레이트 유로의 압력 분포
Fig. 4 Gas pressure distribution of bipolar plates channel

그림 5와 6은 U-자형 및 Z-자형 연료전지 스택의 압력 분포도이다. U자형 구조를 갖는 스택의 압력 분포는 연료 입력단에서 가장 안쪽에 자리하고 있는 단위전지의 압력이 가장 높은 반면, Z자형 구조는 입력단에 가까운 단위전지의 압력이 가장 높게 분포하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 각 연료전지 스택의 압력강하 ΔP 는 U-자형의 경우 736 Pa(0.007264 atm), Z-자형은 940 Pa(0.009277 atm)으로, Z-자형 연료전지 스택의 압력강하가 U-자형 연료전지 스택에 비하여 압력강하가 상대적으로 크다는 것을 확인하였다.

연료전지의 운전압력을 증가시켜 반응가스를 가압하여 운전하면 성능을 향상시킬 수 있는데, 이는 반응가스 농도 증가, 산소환원반응의 교환전류밀도의 증가, 김스에너지에 따른 OCV증가 때문이다. 따라서 연료전지의 출력 특성을 향상시키기 위해서는 유로내 압력강하를 최소화 해주는 것이 중요하다 할 수 있다. 연료극의 출구쪽에 back pressure regulator를 이용하여 압력을 가하면 압력강하를 줄일 수 있어 연료의 낭비를 막을 수 있고 연료전지의 효율 또한 높일 수 있다는 것을 의미한다.

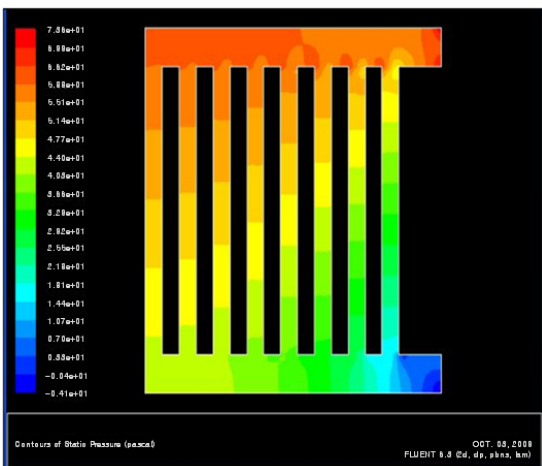


그림 5 U자형 구조 스택의 가스 압력 분포 해석
Fig. 5 Gas pressure distribution of U-shape stack

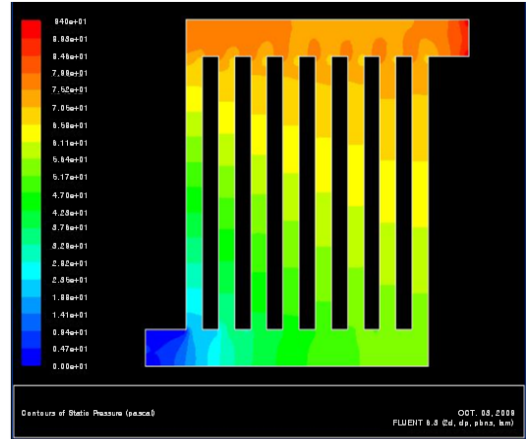


그림 6 Z자형 구조 스택의 가스 압력 분포 해석
Fig. 6 Gas pressure distribution of Z-shape stack

4.2 연료전지 스택 활성화 및 진단

본 연구에 의해 제작된 200W급 PEM형 연료전지 분리판과 스택(U-자형)은 그림 7에 나타내었다. 본 스택은 MEA의 안정화 및 활성화를 위하여 pre-condition 운영 필요하며, 이를 위해 표 3과 같은 조건으로 MEA 안정화 및 활성화 운전을 수행하였다. 본 연료전지 스택의 최대출력점은 그림 8과 같이 22V, 10A, 220W를 나타내었으며 200mA/cm²의 전류밀도 갖는 것으로 확인하였다.

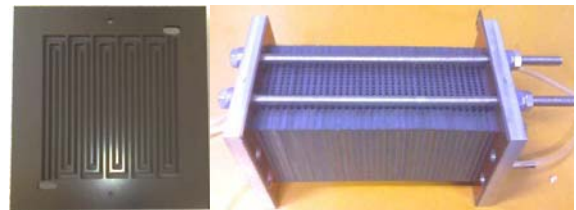


그림 7 분리판의 유로형태와 200W 연료전지 스택
Fig. 7 Hydrogen channel plate and 200W fuel cell stack

표 3 연료전지 스택 활성화 및 성능평가 방법
Table 3 Analysis conditions of the separator

항 목	세 부 내 용
MEA 안정화 운영조건	<ul style="list-style-type: none"> 연료전지 스택온도 : 60-70도 가습조건 : 수소/공기 100%(상대 습도) 공급유량 : 수소 (3L/min (양론비 1.2), 공기 (8L/min (양론비 1.5)) 시간 : 8시간
MEA 활성화 운영조건	<ul style="list-style-type: none"> 운전모드 : Constant Voltage(C.V모드) Final Voltage: 30V/cell Step Voltage : 3V/cell Step Time : 10초 1 Cycle 소요시간 : 10분 Cycle 횟수 : 60Cycle
성능평가	<ul style="list-style-type: none"> 운전모드 : Constant Current(C.C.) 모드 Final Voltage : 0.6V/cell Step Current : 1A(0.2A/cm²)

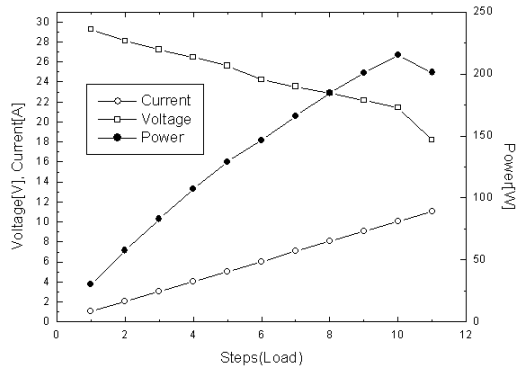


그림 8 200W PEM형 연료전지의 성능 특성
 Fig. 8 Performance characteristic of 200W PEMFC

5. 결 론

연료전지 스택을 설계할 때 반응가스의 활성면적과 셀 수를 결정함으로써 대략적인 스택의 용량을 산정할 수 있다. 하지만 연료전지 스택을 구성하는 재료, 반응가스 공급방식, 유로 및 매니폴드의 형태 등 스택의 효율에 영향을 미치는 여러 인자들이 존재하기 때문에 이 인자들을 최적화시킴으로써 더 높은 연료전지 스택의 효율을 기대할 수 있다.

성능인자 중 가장 핵심적인 조건은 반응가스를 각 셀에 균등하게 공급함과 동시에 셀 내부에 균등하게 분포시켜야 한다는 것이며, 운전압력을 증가시킴으로써 압력에 의한 반응가스를 크게 분포할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 스택 매니폴드의 구조에 따른 압력분포를 분석하기 위하여 FLUENT 6.3을 이용한 CFD 시뮬레이션을 진행하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) U자형 구조를 갖는 스택의 압력 분포는 연료 입력단에서 가장 먼 쪽에 자리하고 있는 셀의 압력이 가장 높은 반면, Z자형 구조는 입력단에 가까운 셀의 압력이 가장 높게 분포하고 있다.
- 2) 연료전지의 효율을 향상시키기 위해서는 유로내 압력강하를 최소화 해주는 것이 중요하다고 할 수 있으며, Z-자형에 비해 U-자형의 구조를 갖는 스택의 압력강하가 적기 때문에 U-자형의 효율이 더 높을 것으로 사료된다.
- 3) 연료극의 출구쪽에 back pressure regulator를 이용하여 압력을 가하면 압력강하를 줄일 수 있어 연료의 낭비를 줄일 있고, 결론적으로 연료전지의 효율 높일 수 있을 것이다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

[1] Paolo Agnolucci, "Hydrogen infrastructure for the

transport sector", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 32, No. 15, pp 3526-3544 (2007)

[2] L. Barreto et al., "The hydrogen economy in the 21st century: a sustainable development scenario", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 28, No. 3, pp. 267-284 (2003)

[3] Joan M. Ogden et al., "A comparison of hydrogen, methanol and gasoline as fuels for fuel cell vehicles: implications for vehicle design and infrastructure development", Journal of Power Sources, Vol. 79, No. 2, pp. 143-168 (1999)

[4] W.G. Colella et al., "Switching to a U.S. hydrogen fuel cell vehicle fleet: The resultant change in emissions, energy use, and greenhouse gases", Journal of Power Sources, Vol. 150, No. 4, pp. 150-181 (2005)

[5] H. J. Plass Jr et al., "Economics of hydrogen as a fuel for surface transportation", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 15, No. 9, pp. 663-668 (1990)

[6] Joan M. Ogden, "Developing an infrastructure for hydrogen vehicles: a Southern California case study", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 24, No. 8, pp. 709-730 (1999)

[7] Birbir, F., "Development of an Air-Open PEM Fuel Cell", SBIR Phase I Final Technical Report, A report by Energy Partners, Inc. to U.S. Army Research Laboratory, contract DAAL01-95-C-3511, pp. 268-302 (1995)

[8] K. Ledjeff et al., New SPFC-Technology with Plastics in O.Savadogo, New Materials for Fuel Cell Systems, pp. 128-134 (1995)

[9] Frano Barbir, PEM Fuel Cells-Theory and Practice, Elsevier Inc., pp. 35-71 (2005)

[10] 조영일 역, 고분자 연료전지공학 이론과 실제, 북스힐, pp. 145-196 (2007)

[11] Joon-Ho Koh et al., "Pressure and flow distribution in internal gas manifolds of a fuel-cell stack", Journal of Power Sources, Vol. 115, No. 1, pp. 54-65 (2003)

[12] 김웅석 외 1인, "고분자 연료전지 발전시스템에 대한 비선형 관측기 설계", 전기학회논문지, Vol. 58, No. 2, pp. 314-321 (2009)

[13] 김종수 외 3인, "PCS 최적설계를 위한 고분자 전해질 연료전지의 동특성 모델링", 전기학회논문지, Vol. 57, No. 9, pp. 1563-1571 (2008)

[14] A. Schmitz et al., "Planar self-breathing fuel cells", Journal of Power Sources, Vol. 118, No. 1-2, pp. 162-171 (2003)

[15] Sampath Yerramalla et al., "Modeling and simulation of the dynamic behavior of a polymer electrolyte membrane fuel cell", Journal of Power Sources, Vol. 124, No. 1, Pages 104-113 (2003)

저 자 소 개



박 세 준 (朴世竣)

1980년 10월 10일생. 2002년 동신대학교 전기전자공학과 졸업(학사). 2004년 동대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박). 현재 (주)세화테크 기술연구소 선임연구원. 동신대학교 전기공학과 겸임교수.

Tel : 061-330-3218

Fax : 061-330-3105

E-mail : ssejoo@nate.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 (공학박). 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



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(공학박). 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