

연료전지 분리판 압력손실 감소를 위한 수치해석 및 실험적 연구

김희수[†], 강경태, 최윤기^{*,}, 이수동^{***}

*한국생산기술연구원, **한양대학교 대학원 기계공학부

***한국기술교육대학교 대학원 기계공학부

Numerical and Experimental Analysis of Pressure Drop in a Bipolar Plate channel of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell

Hee-Su Kim[†], Kyung-Tae Kang, Yun-ki Choi^{*,}, Su-Dong Lee^{***}

*Korea Insititute of Industrial Technology,
Hongchon-Ri, Ibjang-Myun, Chonan, 330-825, Korea

**School of Mechanical Engineering, Hanyang Univ.

***School of Mechanical Engineering, Korea Univ. of Technology and education

ABSTRACT

Fuel cell makes electricity through chemical reaction. Bipolar-plate distribute hydrogen, oxidation using channel geometry condensation of water vapor inside channels of bipolar-plates lowers efficiency of fuel cell. Usually high pressured gas supply is used to solve the water condensation problem with serpentine type channel geometry. In this study, a new channel geometry shows feasible to minimize lowering efficiency due to water condensation through numerical and experimental analysis.

주요기술용어 : Proton exchange membrane fuel cell(고분자 전해질형 연료전지), Bi-polar plate(분리판), Channel(유로), Computational Fluid Dynamics(CFD)

1. 서론

차세대 대체에너지인 수소를 원료로 하는 연료전지는 일반 배터리가 에너지를 저장해서 쓰는

것과 달리 수소와 산소의 직접 화학반응을 통해 전기 에너지를 만드는 방법으로 배터리보다 수명이 길다. 또한 일반 연소기관과 달리 기계적 손실이 적기 때문에 총 발전 효율이 최고 80%정도로 매우 높다. 연료전지는 고온에서 작동하는 용융탄산염 연료전지(MCFC), 고체산화물용 연료전지

[†] Corresponding author : heesukim@kitech.re.kr

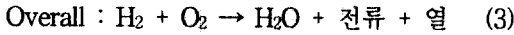
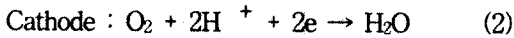
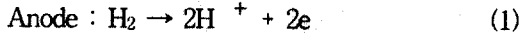
(SOFC) 및 비교적 낮은 온도에서 작동하는 인산형 연료전지(AFC), 고분자전해질 연료전지(PEMFC), 직접메탄올 연료전지(DEMFC) 등이 있다. 이 중 고분자 연료전지는 80°C 내외에서 작동하는 연료전지로 짧은 시동시간에 고출력을 얻을 수 있고 전류밀도가 높으며, 일반 가솔린이나 디젤 자동차와 비교하여, NO_x의 배출량은 1/500, SO_x의 배출량은 1/10,000이 되므로 환경 친화적인 고효율 발전 시스템이라고 할 수 있다¹⁾. 최근 자동차, 핸드폰, 노트북 등 많은 산업분야에 적용시키고 상업화하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 연료전지 구성을 대략적으로 보면 분리판, 멤브레인 복합체, 그리고 부가장치가 있다. 이중 분리판은 수소와 산소가 흐르는 유로 역할과 전기가 흐를 수 있는 극 역할을 하는데 연료전지 부속 중 가격 비율이 높고 연료전지 성능에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 기존 수행된 연구들 보면 열전달 현상²⁾, 전해질의 성분비에 관한 연구³⁾, 냉각효과와 습도조절에 관한 성능 해석⁴⁾ 등이 있다. 또한 분리판의 균일한 유동장과 유로에서의 수분 응축으로 인한 유로 막힘, 화학반응으로 생성되는 물의 배수, 분리판의 온도 분포 등 분리판에 중요한 문제를 해결하기 위한 연구가 진행 중이다. 본 연구는 가스 주입 시 동력손실을 최소화하는 설계를 수행하고 실험과 상용프로그램 CFX 5.6과 ICEM CFD4를 이용해 기체유동흐름 경향을 알아보았다.

2. 연료전지원리 및 지배방정식

2.1 연료전지 원리

연료전지의 기본 개념은 수소와 산소의 반응에 의하여 생성되는 전자의 이용으로 설명할 수 있다. FIG.2에서 보는 바와 같이 수소는 Anode를 통과하고 산소는 Cathode를 통과한다. 수소는 전기 화학적으로 산소와 반응하여 물을 생성하면서 전극에 전류를 발생시킨다. 전자가 전해질을 통과하면서 직류 전력이 발생하며 이때 열이 부수적으로 생산된다. 직류 전류는 직류 전동기의 동력

는 문제가 있기 때문에 공기 중에 포함된 산소를 직접 사용한다. 종합적으로 다음과 같은 반응에 따라 전기와 열 및 물이 생성된다.



전해질은 한 전극에서 다른 전극으로 수소 이온을 전달해 주는 역할을 하고 촉매는 전극의 반응을 향상시킨다. 2개의 전극으로 구성된 단위 셀은 이론적으로 전압을 1.23V 까지 생성시킬 수 있으나⁵⁾ 실제로는 0.6V~0.7V 정도를 생산한다. 연료전지는 필요한 전압을 위하여 겹층으로 구성하고 요구되는 출력을 얻기 위해 표준 크기의 스택을 직렬로 연결하여 상용연료전지를 구성한다.

2.2 지배방정식

본 연구에서 laminar유동을 가정하여 해석을 하였다.

연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (4)$$

운동량 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) - \nabla \cdot (\mu \nabla U) = \\ - \nabla p' + \nabla \cdot (\mu \nabla U) + B \end{aligned} \quad (5)$$

B=The sum of body force

p'=The modified pressure

$$p' = p + \frac{2}{3} \rho k \quad (6)$$

3. 경계조건 및 설계목적

3.1 경계조건.

분리판에 영향을 주는 인자는 크게 온도, 생성되는 물, 가스분배, 가습 시 채널 내에 물의 응축 등이 있는데 본 연구에서는 온도는 고려하지 않고 연료전지 작동온도인 357K로 고정하였고 가스분배부분과 응축을 피하고자하는 부분을 각각 해석하였다. 가스유량은 식(7)~식(9)을 이용해 이론값을 계산하여 0.041m/s를 입구조건으로 하고 출구는 대기압을 적용하였다.

$$\text{H}_{2\text{usage}} = \frac{In}{2F} \text{ moles}^{-1} \quad (7)$$

$$\text{H}_{2\text{usage}} = \frac{Pe}{2VcF} \text{ moles}^{-1} \quad (8)$$

$$\text{H}_{2\text{usage}} = 1.05 \times 10^{-8} \times \frac{Pe}{Vc} \text{ kgs}^{-1} \quad (9)$$

(수소의 분자량은 $2.02 \times 10^{-3} \text{kg mole}^{-1}$,

$$\rho = 0.084 \text{kgm}^{-3})$$

3.2 설계목적

Fig. 3은 현재 많이 쓰이고 있는 Serpentine형

김희수 · 강경태 · 최윤기 · 이수동

가 길어짐에 따라 가스가 흐르는 유로길이가 작아짐으로써 실험결과와 유사한 결과를 얻게 되었다. Fig. 12는 가스분배를 위한 설계부분을 전산 해석한 결과이다. 입구 쪽과 출구 쪽을 같은 형태로 설계함으로써 채널 당 동일한 유로길이를 갖게 하였고 이로 인해 동일한 압력강화를 유도했는데 전산해석결과 유도했던 채널 당 압력강화가 ($\nabla P=2801e-001$) 거의 유사하게 나옴을 알 수 있다.

6. 결론

- 1) 해석결과상 본 연구에서 제안한 유로설계안이 유로에 걸리는 압력강화가 동일하게 나옴으로써 가스분배가 골고루 이루어짐을 알 수 있고 serpentine형 유로보다 유로 길이가 짧게 설계되어 압력손실이 작아지게 되며 따라서 가스 주입 시 동력손실을 감소시킬 수 있다.
- 2) 본 연구에서 제안한 유로의 경우, 유로를 연결한 부분에서 물이 확산되어 막힌 부

분 다음부터 흐르는 것을 실험적으로 확인하였고, 수소의 경우는 시뮬레이션을 통해서 기존 parallel구조에서 유로 막힘으로 인해 가스가 흐르는 면적이 줄어드는 문제를 보완 가능성이 확인되었다. 이와 같은 결과는 산업계에서 이미 쓰이고 있는 배관의 경우와 유사하며 동일한 길이의 유로를 갖도록 설계를 했기 때문에 어느 정도 예상이 가능했던 것이다. 실제로 유로가 부분적으로 막힌다면 Fig. 5에 설계했던 것이 유리할 것이다. 그러나 전체적인 유로 막힘 현상이 발생할 때는 가스가 국부적으로만 흐르게 되기 때문에 다음 연구에서는 유로에 적용할 수 있는 표면 코팅과 유로 배수로를 설계시 반영하고 이번 연구에서 부분적으로 실험 해석한 것을 통합하여 실험하고 해석하는 연구를 계획 중이다.

후 기

본 연구는 한국생산기술연구원 주요목적과제의 일부임을 밝히며, 관계자 여러분께 깊은 감사를

드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Williams, M. C. 2000, Fuel Cell Handbook, EG & G Service Parson, Ins. Science Application International Corporation
- 2) Standaert, F., Hemmes, K and Woudstra, N 1996, "Analytical Fuel Cell Modeling," Journal of Power Sources, Vol. 63, pp. 221~234.
- 3) Ward, C A. garcia, J A., 1997, "Analytical Method for determining the internal resistance and electro-catalyst utilizayion of fuel cells." Journal of Power Sources, Vol. 66, pp. 83~84.
- 4) Lee, J. h Lalk, T.R AND Appleby, A. J.,1998"Modeling Electrochemical Performance In Large Scale Proton Exchange Membrane Fuel Cell Stacks," Journal of Power Sources, Vol. 70, pp. 258~268.
- 5) James Larminie 2003," Fuel Cell Systems Explained, Second Edition" Oxford Brookes University, UK, pp. 396~397.