

고분자 전해질 연료전지의 매니폴드 및 분리판 유동분배 특성 분석

조 중원¹⁾, 유 상필, 김 민진, 이 원용, 김 창수

Numerical Study on the Flow Characteristics of Manifold and Bipolar Plate in Polymer Electrolyte Fuel Cells

Chungwon Cho, Sangphil Yoo, Minjin Kim, Wonyong Lee, Changsu Kim

Key words : Manifold(매니폴드), Bipolar Plate(분리판), Polymer electrolyte fuel cell(고분자 전해질 연료전지), Gas diffusion layer(가스 확산층)

Abstract : A numerical study is made of a manifold and bipolar plate in polymer electrolyte fuel cells. the aim of the present study is to describe the characteristics of flow pattern in manifold and bipolar plate. The present work shows that the flow pattern in the bipolar plate is affected by the penetration flow through GDL characterized by clamping pressure and GDL intrusion in to a channel area. Manifold geometry also affects the flow distribution. The recirculation flow by bent duct destroy even distribution in manifold. the present work shows that corner rounding can improve the manifold performance.

Nomenclature

μ : absolute viscosity, Pa's

K : permeability, m^2

ϵ : porosity

subscrip

b : bypass flow

clamp : clamp condition

1. 서론

에너지 절약과 환경문제를 해결하기 위한 해결방안의 하나로 연료전지가 활발히 연구되고 있다. 연료전지는 화학에너지를 연소과정 없이 전기에너지로 변환시키는 전기화학적 발전설비로

전체 시스템 효율은 약 35%에 이른다. 연료전지 중 고분자전해질 연료전지(polymer electrolyte membrane fuel cell, PEFC)는 전해질로 액체를 사용하지 않고 고분자 막을 사용하는 연료전지로 취급이 용이하고 다른 종류의 연료전지에 비해 부피와 무게가 작고 상온에서 동력밀도가 높으며 시동과 정지가 용이한 장점이 있다.

연료전지의 성능은 전극전해질과 전해질에 최적의 가스를 공급해줄 수 있는 분리판 성능에 크게 좌우된다. 연료전지의 성능은 전해질의 작동 온도와 습도, 공급가스의 압력과 균일성, 물 배출성에 의해서 결정되는데 이 값들은 분리판 설계에 따라서 크게 좌우된다. 이중 분리판 설계에서 특히 중요하게 다루어져야 할 것은 공급가스가 전해질막에 균일하게 공급되는 균일성의 확보와 분리판 입구와 출구의 압력강하이다. 그런데 이러한 특성은 체결압에 따른 GDL의 투과성과 변

형에 따라 크게 달라진다.

분리판이 여러 장 겹친 스택은 개별 단위전지의 성능에 크게 영향을 받게 된다. 만일 연료 및 산화가스의 공급이 불균일할 경우 전류 및 온도 분포 또한 불균일하게 되어 국부적으로 전기 및 열적 과부하 상태에 놓이게 된다. 이 경우 전지의 효율저하는 물론 수명의 단축과도 직결되므로 분리판 채널을 설계함에 있어서 유동 균일성은 반드시 고려되어야 한다. 따라서 본 연구는 CFD를 이용하여 GDL 특성에 따른 분리판 내부유동장의 특성을 살펴보고 동시에 매니폴드에서의 유동 균일성을 검토해 보고자 한다.

2. 수치해석

수치해석에 사용된 분리판 유로의 폭은 1mm 깊이는 0.4mm 리브폭은 0.8mm 이며 분리판 채널의 개수는 6개로 구성되어 있다. 수치해석을 위한 격자제는 Fig. 1과 같으며 74만개의 격자로 이루어져 있다.

분리판과 반응막을 연결시켜주는 GDL은 개스를 반응면에 공급해주는 통로역할과 전자의 이동 경로를 제공해 준다. 따라서 3차원의 복잡한 적층구조를 가짐으로서 높은 다공성을 갖게 된다. 반응면에 공급되는 가스는 이 기공을 통해 흘러하게 된다. 따라서 수치해석에서는 이 현상을 적절하게 모델링해야 하는데 본 연구에서는 GDL을 등방성의 다공성 물질로 가정하였다. 결과적으로 수치해석에 사용된 지배방정식은 GDL과 유로내부에서 서로 다르게 적용되었는데, Channel 내부의 유동은 층류유동이므로 Navier-Stokes 방정식을 사용하였으며 GDL은 다공성 매질이기 때문에 Darcy 법칙을 이용하였다.[1] 이 경우 다공성 매질의 투과도(permeability)가 매우 커서 점성에 의한 압력하강이 모두 Darcy 법칙에 의해서 표현된다고 가정하고 점성항과 대류항을 무시하였다. 결론적으로 수치해석에 사용된 식들은 각각 다음과 같다. 이때 사용된 투과도는 Jari의 실험결과를 사용하였다.[2]

$$GDL \begin{cases} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \\ -\frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\mu}{K} u_i = 0 \end{cases}, u_i = \epsilon v_i \quad (1)$$

$$Channel \begin{cases} \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0, u_i = \epsilon v_i \\ \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = (2) \\ -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \Delta^2 \frac{u_i}{\partial x_j \partial x_j} \end{cases}$$

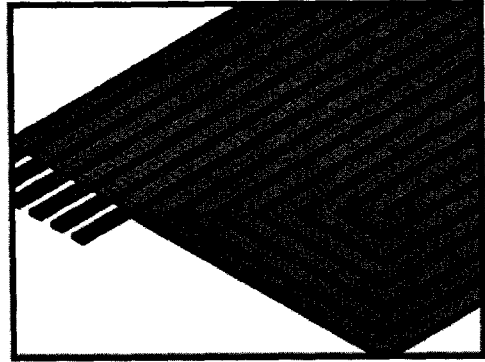


Fig. 1 Grid system for bipolar plate

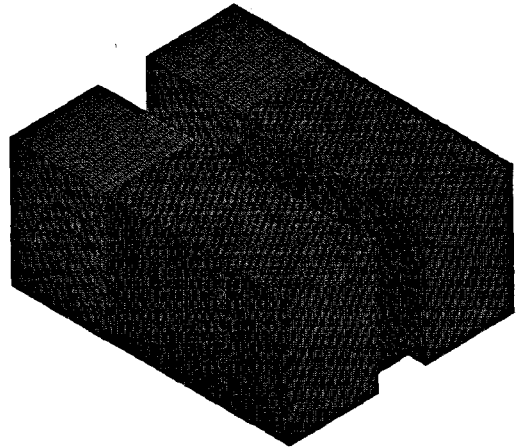


Fig. 2 Grid system for manifold

매니폴드 시스템을 위한 격자제는 Fig. 2와 같으며 격자수는 20만개 이다. 매니폴드에서는 유동의 레이놀즈 수가 높기 때문에 분리판 채널 유동과는 달리 난류유동이다. 따라서 분리판 채널유동과 매니폴드 유동을 동시에 풀기 위해서는 같은 영역별로 난류와 층류를 동시에 해석해야 한다. 그러나 이것은 계산상에 많은 번거로움을 불러오므로 분리판 내부 유동은 복잡한 Navier-Stokes 방정식을 풀지 않고 채널로 인한 압력강하를 그대로 모사 할 수 있는 다공성 막으로 대체하여 해석을 수행하였다.

3. 계산결과 및 고찰

3.1 분리판 유동해석

일반적으로 GDL은 다공성 물질이므로 압력차가 존재한다면 유체가 GDL을 뚫고 채널과 채널사이를 왕래할 수 있도록 한다. Fig. 3을 살펴보면

GDL을 통해서 유체가 움직이고 있음을 알 수 있다. 또한 이때 우회되는 유량은 전체유량 중 35%에 이르며 이로 인해 우회가 발생하지 않은 경우의 압력강하보다 약 30%가량 적은 압력강하가 계산되었다.

이러한 유동의 우회 현상은 스택의 체결압력에 크게 영향을 받게 되는데 이는 체결압력이 높을수록 GDL의 투과성이 떨어지기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 체결압력에 따른 유동의 특성을 살펴보았다. Fig. 5와 Fig.6을 살펴보면 체결압력을 10배가량 증가시키면 우회되는 유동의 양이 40%가량 줄어들고 동시에 압력의 증가는 15%가량 된다는 것을 알 수 있다.

3.2 매니폴드 유동해석

분리판과 연계한 매니폴드 유동해석의 결과는 Fig. 7에서 볼 수 있다. 이 경우 단위전지는 20개라고 가정하였으며, 채널에서의 압력강하는 다공성 막으로 대체하였다. Fig. 7은 매니폴드 중앙부에서의 속도분포를 보여주는데 각 채널에서의 속도가 거의 동일하므로 각 단위셀로 공급되는 개스의 유량은 같음을 알 수 있다. 그러나 채널 후단부에서 재순환영역(recirculation)이 발생함을 알 수 있는데 이러한 유동구조는 유동분배 성능에 좋지 않은 영향을 보일 것으로 생각된다.

Fig. 7의 결과는 매니폴드에 공급되는 유체가 아무런 방해도 받지 않고 직선으로 공급되는데 실제로는 주변환경의 제약으로 Fig. 8과 같이 꺾어진 형태로 공급되기도 한다. 그런데 이러한 경우는 강력한 순환영역이 매니폴드 내부에 생기면서 유동 분배성능을 크게 떨어뜨린다. 하지만 본 연구에서는 꺾임부에 곡면을 만들어 유동이 벽면에서 떨어지지 않게 할 경우 어느 정도의 성능향상이 있는지 살펴보았다.

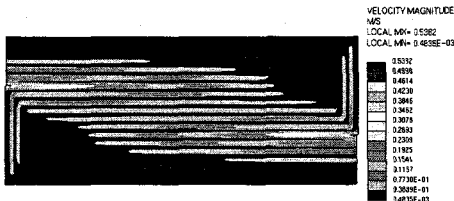


Fig. 3 Velocity contour in GDL

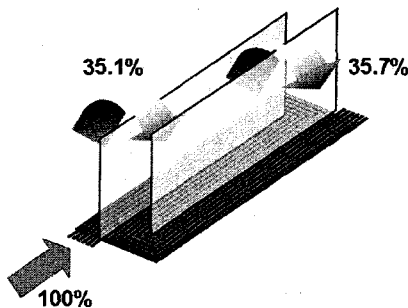


Fig. 4 Fraction of bypass mass flux

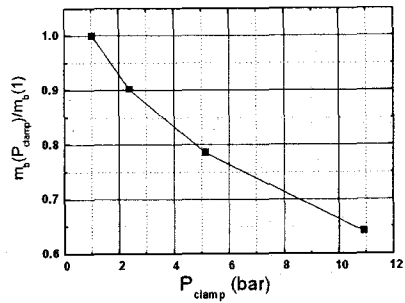


Fig. 5 Normalized bypass mass flux as a function of clamping pressure

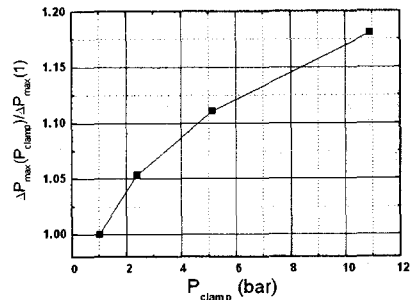


Fig. 6 Normalized pressure drop as a function of clamping pressure

Fig. 9,10을 살펴보면 90°로 꺾인 매니폴드보다 곡면을 준 매니폴드의 유동 분배 특성이 우수함을 알 수 있다. Fig. 9에서는 유동에 커다란 재순환 영역이 발생함으로 인해 분리판에 공급되는 유량이 스택의 중앙부에 몰리게 되고 공급량에 큰 편차가 있음을 알 수 있다. 하지만 Fig. 10에서는 매니폴드 내부에 재순환 영역이 사라지고 이로 인해 유량분배의 편차가 많이 사라졌음을 알 수 있다.

이는 유동이 곡면을 따라 흐르는 Coanda 효과가 나타난 것으로 이것이 유동의 박리를 억제하여 불필요한 재순환영역이 생기지 않도록 만들어 주기 때문이다.

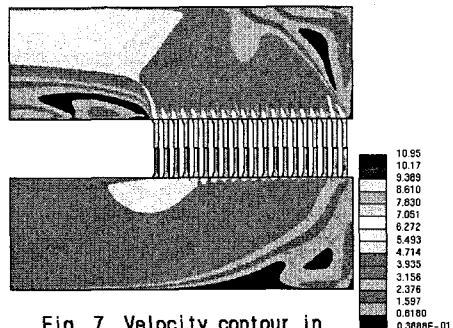


Fig. 7 Velocity contour in manifold

4. 결론

본 연구에서는 GDL의 특성에 따른 분리판 내부와 매니폴드 유동장의 특성을 살펴보았다. 계산 결과 GDL에 눌림이 없을 경우 GDL을 통해 우회되는 유량은 최대 35%정도 있었지만 체결압이 존재한다고 가정했을 경우 우회되는 유량은 20%까지 감소될 수 있음이 예측되었다. 또한 분리판과 연계한 매니폴드 해석을 통하여 20장을 쌓은 스택의 유량분배성능이 우수함을 알 수 있었다.

분리판 내부유동의 경우 실제 현상에서는 체결압을 가하였을 경우 GDL의 변형으로 인해 유동 내부 면적이 작아지고 이로 인해 인접한 채널사이의 압력차이가 커지기 때문에 우회되는 유량이 다시 커질 가능성도 존재한다. 향후의 연구에서는 이에 대한 좀 더 엄밀한 분석이 필요할 것으로 생각된다.

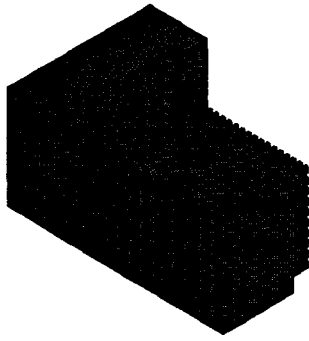


Fig. 8 Bent manifold

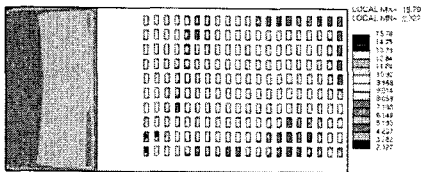
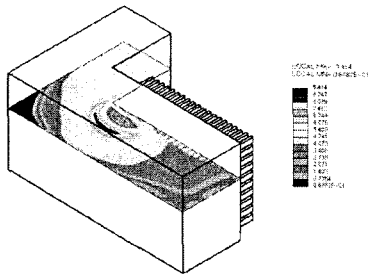


Fig. 9 Velocity contour in bent manifold

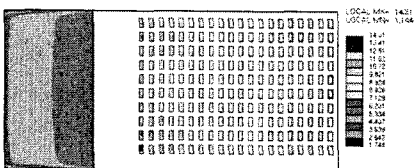
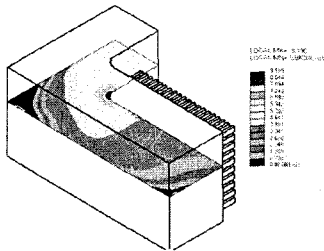


Fig. 10 Velocity contour in manifold with rounding corner

References

- [1] Donald A. Nield, Adrian Bejan, *Convection in Porous Media*, Springer-Verlag.
- [2] Jari Ihonen, Mikko Mikkola, and Goran Lindbergh, 2004, "Flooding of Gas Diffusion Backing in PEFCs Physical and Electrochemical Characterization," *Journal of The Electrochemical society*, Vol.151 No. 8, pp. 1152-1161