

## CFD 해석을 이용한 PEMFC 용 기체 확산층의 특성평가

김병희\*(강원대 기계메카트로닉스공학부), 최종필(강원대 기계메카트로닉스학과),  
전병희(인덕대 컴퓨터응용설계전공)

### The Characteristics Evaluation of the Gas Diffusion Layer for a PEM Fuel Cell by Computational Fluid Dynamics

B. H. Kim(Mecha. Eng. Dept., KNU), J. P. Choi(Mecha. Eng. Dept., KNU),  
B. H. Jeon(Computer. Design. Dept, INDUC)

#### ABSTRACT

In this paper, a two-dimensional cross-channel model was applied to investigate influence of the gas diffusion layer(GDL) property and flow field geometry in the anode side for proton exchange membrane fuel cell(PEMFC). The GDL is made of a porous material such as carbon cloth, carbon paper, or metal wire mesh. To the simplicity, the GDL is represented as a block of material containing numerous pathways through which gaseous reactants and liquid water can pass. The purpose of present work was to study the effect of the GDL thickness and the porosity, and flow field geometry by computational fluid dynamics(CFD).

**Key Words** : Gas diffusion layer(기체 확산층), Proton exchange membrane fuel cell(고분자전해질 연료전지),  
Computational fluid dynamics(전산유체역학), Carbon Paper/Cloth(탄소종이/탄소천), 기공도(Porosity)

#### 1. 서론

전자기기의 시장이 증대됨에 따라 이것에 걸맞게 사용될 수 있는 이동 및 비상용 전원의 필요성이 증가하고 있다. 특히 휴대성이 용이한 노트북에 대한 수요가 증가함에 따라, 기존의 이차전지가 가지고 있는 작은 용량, 긴 충전시간, 짧은 수명, 폐기시의 공해 유발 등과 같은 여러 문제점들로 인해 새로운 전원체에 대한 요구와 관심이 증가되고 있다[1-3]. 이러한 요구에 힘입어 최근 연료전지는 차세대 동력 전원으로 세계적인 관심을 불러일으키고 있다. 연료전지는 전기 화학 반응에 의해 연료가 가지고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 전기화학 장치로서 기존의 다른 발전장치들에 비해 효율이 높고, 소음 및 유해 배기가스 등에 대한 문제점이 적은 장점을 가지고 있다. 또한 수소와 산소의 촉매에 의한 전기화학반응으로 전기를 생산하기 때문에 수명이 길고 취급이 간단하며 쉽게 연료를 얻을 수 있다.

특히, 고분자전해질 연료전지는 높은 출력 밀도,

낮은 작동 온도, 짧은 작동시간 및 우수한 부하저항성을 지니고 있다. 또한 고체전해질을 사용하기 때문에 부식저항성이 높고, 구조가 단순하며, 높은 반복작동 안전성을 지니고 있어 기존 배터리의 대체 전원으로서 높은 평가를 받고 있다. 연료전기가 수~수십 와트급 이하의 소형 휴대 전원으로서 기존의 배터리 기술과 경쟁하기 위해서는 가볍고, 크기가 매우 작아야 하며, 효율적 연료 공급을 통한 연료 손실을 최소화 시켜야 한다[4-6].

본 논문에서는 촉매층의 지지체 역할뿐만 아니라 전극으로 통과되는 반응물질이 최대한의 반응면적으로 확산시키는 기체 확산층(GDL)의 CFD 해석을 통해 그 특성 파악 및 성능 개선을 위한 연구를 수행하였다. 기체 확산층을 포함한 유로 형상을 2차원으로 모델링하고, 기체 확산층의 두께와 기공도의 차이 및 유로의 형상 변화에 따른 기체확산의 특성 해석을 수행하였다.

## 2. 고분자 전해질 연료전지

### 2.1 동작원리 및 단위전지

고분자 전해질 연료전지의 발전 원리는 양극(Anode)에 공급된 수소가 촉매 상에서 수소이온(H<sup>+</sup>)과 전자(e<sup>-</sup>)로 분해된다. 분해된 수소이온은 전해질 막을 통해 음극(Cathode)으로 이동하며, 전자는 외부 전선을 통해 음극으로 이동한다. 음극에는 산소가 공급되어 양극에서 이동되어 온 전자와 수소이온과 산소가 촉매 상에서 반응하여 물을 생성한다. Fig. 1 은 고분자 전해질 연료전지의 내부 구성도 및 전기화학반응을 보여주고 있다. 고분자 전해질 연료전지는 집전판(bipolar plate), 기체 확산층, 전극, 전해질 막으로 단위전지를 구성한다. 고분자 전해질 연료전지의 성능은 MEA(membrane and electrolyte assembly)에 의해 크게 좌우된다.

### 2.2 기체 확산층

기체 확산층은 연료전지의 성능에 영향을 미치는 요인들 중 하나인 MEA의 성능에 상당히 큰 영향을 준다. 기체 확산층은 반응물과 생성물의 투과, 열 및 전기 전도, 물질 전달 등 전극 내에서 여러 가지 역할을 수행한다. 대부분의 고분자 전해질 연료전지에서는 대체로 탄소종이나 탄소천을 기체 확산층의 재료로 사용한다. Fig. 2 에 탄소종이와 탄소천의 SEM 사진을 보여주고 있다. 탄소 재질은 높

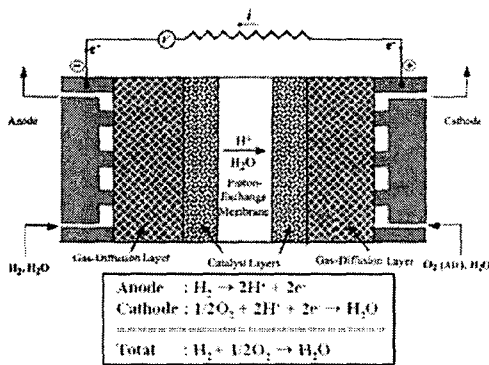


Fig. 1 Schematic of proton exchange membrane fuel cell and electrochemical processes

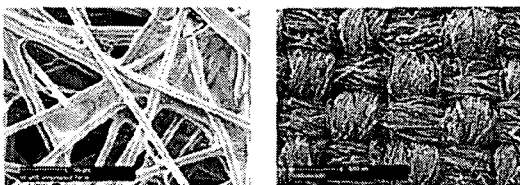


Fig. 2 SEM image of carbon paper(left) and carbon cloth(right) of GDL materials

은 기공도(porosity)와 우수한 전기 전도도를 가지고 있다. 또한 기체 확산층을 테프론으로 발수 처리함으로써 물의 제거가 용이하며 동시에 MEA와의 결합 특성을 증가시킬 수 있다.

## 3. 유로 및 기체 확산층 모델링

### 3.1 유로의 2 차원 형상 모델링

집전판을 통해 공급된 수소는 구불구불한 유로를 통하여 흐르게 된다. 이 유로는 기체 확산층과 직접 접해있으며, 이를 통해 전극으로 연료가 공급되어진다[7].

Fig. 3 은 3 차원 유로 형상과 기체 확산층의 모델을 보여주고 있다. 이러한 3 차원 형상의 해석은 복잡한 모델로 인해 해석이 어렵고 많은 소요 시간이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 유로의 길이방향 형상과 수직방향의 간단한 2 차원 형상으로 분리하여 해석을 수행하였다. Fig. 4 는 2 차원 형상으로 분리된 유로 형상이다.

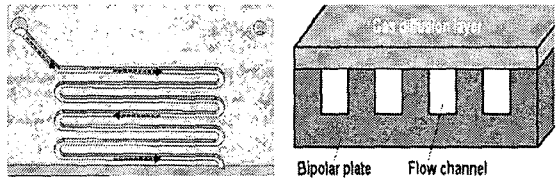


Fig. 3 3 dimensional flow field

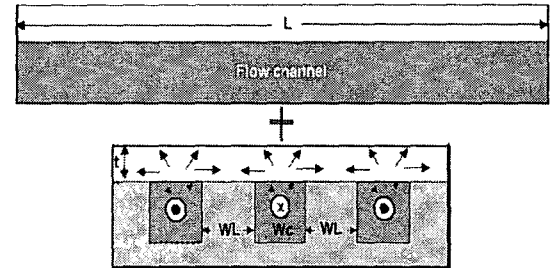


Fig. 4 2 dimensional decoupled flow field

### 3.2 기체 확산층의 모델링

기체 확산층의 가장 큰 특징은 기공도에 있다. 이 기공도를 통하여 기체를 균일하게 전극으로 전달하게 된다. 또한 기체 확산층 내부 유로의 비틀림(tortuosity)을 고려하여 모델링을 수행하였다[8]. 비틀림의 값은 Bruggeman 모델을 적용하여 1.5의 값을 사용하였다. 해석에 사용된 기본형상은 채널 폭(W<sub>C</sub>)과 랜드 폭(W<sub>L</sub>)이 모두 1mm이며, 기공도는 0.63, 두께는 300 μm, 습도 50%의 상태로 해석을 수행하였다. 해석에 고려되어진 기체 확산층의 재질은 카본종이이다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 유로의 길이에 따른 확산속도와 압력

연료전지의 성능을 향상 시키기 위해서는 전 유로 영역에 걸쳐 일정한 압력 및 속도로 연료가 공급되어야 한다. 그러나 유로 내부의 압력 차와 유로의 길이에 따른 저항의 발생으로 인하여 기체의 흐름 방향으로 공급되어지는 연료의 확산 속도 및 압력이 점차적으로 줄어드는 현상을 확인하였다. Fig. 5 와 Fig. 6 은 2 차원으로 분리된 유로 형상의 길이 방향에 따른 확산속도 감소 및 압력 저하를 보여주고 있다.

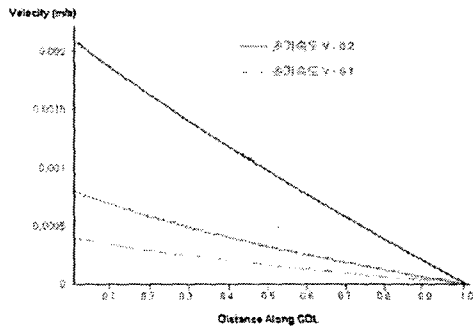


Fig. 5 Variation of velocity with distance along GDL

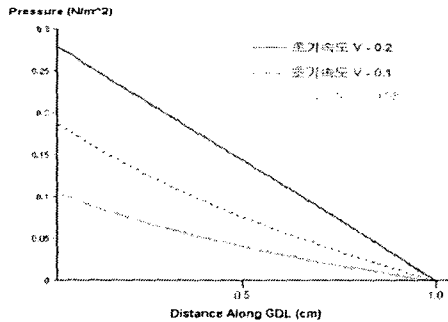


Fig. 6 Variation of pressure with distance along GDL

##### 4.2 두께에 따른 확산속도

연료 공급의 균일성을 유지하기 위해서는 연료의 흐름을 방해하는 저항 요소들의 제거와 형상의 변화를 수행하여야 한다. 기체 확산층은 연료의 균일한 확산을 돕지만 방해하는 요인으로 작용 할 수도 있다. 이러한 방해 요인을 제거하기 위하여 기체 확산층의 두께 변화에 따른 확산 속도에 대하여 해석을 수행하였다.

Fig. 7 은 기체 확산층의 두께 변화에 따른 유로의 수직방향의 확산 현상을, Fig. 8 은 두께에 따른 확산속도를 나타내고 있다. 두께가 너무 얇은 경우

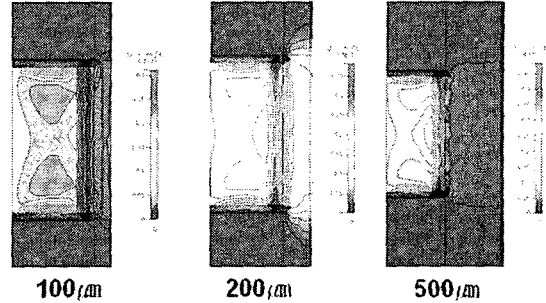


Fig. 7 Distribution of gas for various GDL thickness

확산은 거의 일어나지 않으며, 두께가 너무 두꺼운

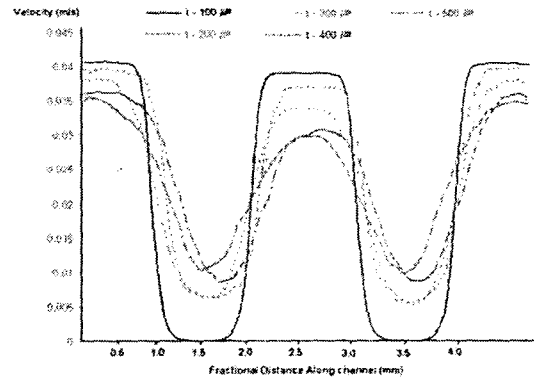


Fig. 8 Distribution velocity for various GDL thickness

경우는 확산은 잘 이루어지나 극격한 속도의 저하를 가져온다. 본 해석을 통하여 200~300 μm 두께의 기체 확산층이 가장 좋은 확산의 특성을 나타냄을 확인 되었다.

##### 4.3 기공도에 따른 확산속도

물질의 내부에 많은 기공이 존재하면 그 기공들로 인하여 기체 및 유체 물질의 전달할 수 있는 통로를 제공한다. 또한 기공도의 크기나 구조를 제어할 수 있다면 물질을 균일하게 확산 시키는 것이 가능해 진다. 연료전지내의 기체 확산층은 이러한 무수한 기공들을 통하여 연료를 공급하고 생성된 물을 배출하는 통로가 된다. 이러한 특징을 가지는 기공도가 기체 확산에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다.

Fig. 9 는 기공도의 차이에 따른 수직방향으로 확산되어지는 기체의 속도 변화에 대한 그림이다. 높은 기공도의 경우 가장 큰 확산속도를 나타내지만 기체 확산층의 끝단 부분에서 급격한 속도의 감소를 보인다. 이러한 속도 구배는 일정한 연료의 공급이 불가능하고 연료소실을 가져올 수 있다. 또한 너무 작은 기공도는 일정하게 연료를 공급하지만 확산속도가 너무 느리다는 단점이 존재한다.

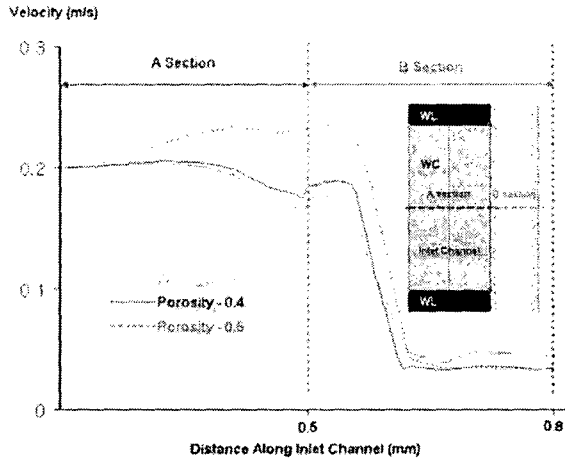


Fig. 9 Variation of velocity with distance along inlet channel

따라서 적절한 기공도의 선택이 연료전지의 성능을 향상 시키는 요인이 될 것이다.

#### 4.4 유로 형상에 따른 확산속도

유로의 랜드 폭( $W_L$ )의 형상 변화를 통한 기체의 확산 특성을 파악하였다. 전체적으로 랜드 폭이 좁은 형상이 유로간의 간섭현상으로 많은 확산 현상을 보였다. Fig. 10 은 랜드 폭의 변화에 따른 기체 확산의 추이를 보여주고 있다.

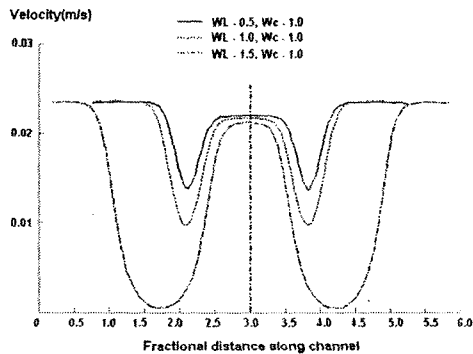


Fig. 10 Variation of velocity for various flow field geometries

### 5. 결론

본 논문에서는 고분자 전해질 연료전지에 사용되는 기체 확산층의 특성평가를 수행하여 다음과 같은 결론과 추후 연구 진행 방향을 도출하였다.

1. 연료전지 내부의 압력 차와 유로 저항으로 인해, 위치에 따라 확산속도의 감소와 압력 구배

현상이 발생하였다. 이는 전극으로의 균일한 연료의 공급을 방해하는 요인이 되며, 이러한 이유로 향후 기체 연구에 있어 내부의 속도 감소 및 압력 구배에 따른 균일한 연료의 공급을 위해 기체 확산층의 기공도의 변화를 주어 제작하는 연구를 수행할 계획이다.

2. 기체 확산층의 두께는 200~300  $\mu\text{m}$  가 가장 우수한 기체 확산 특성을 보였으며, 적절한 기공도의 선택 및 유로 형상의 조화가 연료전지의 성능을 향상시키는 중요한 인자가 된다. 또한 기체 확산층의 두께, 기공도, 유로 형상은 개별적으로 연료전지의 성능에 영향을 미치는 중요한 인자이며, 또한 이들의 복합적 관계를 고려한 특성 파악이 연구되어야 한다.

### 후 기

본 연구는 산업자원부 성장동력, 중기거점/차세대신기술개발사업의 마이크로 모바일 발전 기계장치 개발”의 세부과제로 수행 중이며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. H. Voss and J. Huff, J. Power source, 65, 155 (1997)
2. S. R. Yoon, G. H. Hwang, W. I. Cho, I.-H. Oh, S.-A. Hong, and H. Y. Ha, J. Power source, 106, 215 (2002)
3. C. K Dyer, J. Power source, 106, 31 (2002).
4. B. K. Kho, Y. J. Kim, S. A. Hong, I. H. Oh, and H. Y. Ha, J. Korean Electrochemical Society, 6, 23 (2003)
5. C. K. Witham, W. Chun, T. I. Valder, and S. R. Narayanan, Electrochem Solid-State Lett., 3, 497 (2000)
6. K. Scott, W. M. Taama, and, P. Argyropoulos, J. Power source, 79, 43 (1999)
7. Lan Sun, Patrick H. Oosthuizen, Kim B. McAuley, *NUMERICAL STUDY OF THE EFFECT ON FLOW CROSS-OVER THROUGH THE GAS DIFFUSION LAYER ON THE PRESSURE DISTRIBUTION IN PEMFC FLOW PLATES*, Hydrogen Fuel Cells 2004 Conference and Trade Show September 25-28, 2004.
8. Nathan Phillip Siegel, *Development and Validation of a Computational Model for a Proton Exchange Membrane Fuel Cell*, Dissertation Submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY in Mechanical Engineering, 2003.