

# 고분자 전해질 연료전지 공기판 유로 설계 및 해석

## Design and Flow Analysis of a Air Plate for a Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell

양지혜, 박정선, 이원용\*, 김창수\*

한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부, \*한국에너지기술 연구원 연료전지 연구센터

### 1. 서론

연료전지의 전류 밀도는 내부 유동과 밀접한 관계가 있으므로 연료전지의 성능을 높이기 위해서는 유동장 채널을 통해 반응 공기가 전지 내부로 고르게 확산되고, 그 후 박막(membrane)면에 최대한 투과되어 균일하게 많은 양의 공기가 화학 반응할 수 있도록 설계되어야 한다. 이러한 유동장의 설계를 얻기 위해서, 또는 전지 채널 설계 후, 성능을 검증하기 위해서는 해석을 통해 채널의 유동 특성의 분석이 필요하다. 이전에 진행된 연료 전지에 관한 연구들은 이러한 유동 특성보다는 전기화학적 특성과 화학 공학적 측면에서의 화학 반응과 물질 전달 현상을 주로 다루었다. 이에 본 연구에서는 분리판 채널의 최적 설계를 위한 유동 특성에 대한 연구를 수행하였다. 본 해석의 기초가 되는 고분자 전해질 연료전지의 경우 공기의 이용률이 50%인 경우 공기판에 공급되는 공기의 약 10% 내외로 소모되고 그 나머지 90%는 밖으로 배출된다. 본 연구에서는 공기판으로 공급된 공기가 소모되지 않고 모두 배출된다고 가정한 경우와 공기의 소모가 있다고 가정한 경우를 해석하여 그 결과를 비교하였다.

### 2. 기본 가정 및 해석 방법

연료전지의 지배방정식들은 반응기체의 특성, 전극표면에서의 기체의 반응을, 동작전압, 전류밀도, 온도분포 등을 동시에 포함하는 복잡한 편미분 방정식으로 구성되어 있다. 전지의 유동 해석을 위해서는 연속방정식, 운동량 방정식, 이온전달 방정식을 동시에 풀어야 한다. 본 연구에서는 고려하는 유동은 비압축성, 층류 유동이고, 공기는 이상기체로 가정하였으며 지배방정식을 단순화하여 사용하였다. 채널 내의 유동을 층류로 가정한 것은 유동특성을 결정하는 Reynolds 수가 매우 작기 때문이다. 본 계산에 사용된 질량, 운동량 보존 방정식은 Navier-Stokes 방정식을 사용하였다. 다음의 식 (1), (2)는 각각 연속 방정식과 운동량 보존 방정식을 텐서(tensor) 표현법을 사용하여 나타낸다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v_i) = 0 \quad \text{for } i, j = 1, 2, 3 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho v_i v_j + p \delta_{ij}) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{x_i x_j}) \quad (2)$$

공기판의 압력, 유량 분포 등을 구하기 위하여 범용 전산유체 해석 코드인 STAR-CD를

이용하였다. 입구의 경계조건은 유입되는 유량이 일정하다고 가정하여  $\dot{m} = 0.3347 \times 10^{-4}$  kg/s으로 놓았고, 초기 압력은 상압으로 구동된다. 출구는 입구와 충분히 떨어져 있어서 출구에서는 유체의 흐름방향으로 압력을 제외한 모든 변수들에서 변화가 일어나지 않는다고 가정하였다. 분리판의 활성면적 전체가 촉매층과 박판에 맞닿아 있고 이 박판을 통해 공기가 확산되고 소모된다. 공기가 소모된다고 가정한 경우의 해석에서는 공기는 활성면 전체를 통해 고르게 소모된다고 가정하였으며, 활성면 전체에 화학반응이 일어나는 박판과 같은 두께의 porous 층을 두어 공기가 균일하게 확산되어 나가도록 하였다. porous 층에 대한 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{dp}{L} = - \frac{150\mu(1-\epsilon)^2 u}{\epsilon^3 D_p^2} - \frac{1.75\mu(1-\epsilon)u^2}{\epsilon^3 D_p} \quad (3)$$

여기서  $\mu$ 는 분자 점성,  $D_p$ 는 porous내의 입자의 평균 직경,  $\epsilon$ 은 체적 기공도,  $u$ 는 매질을 지나가는 표면 속도,  $L$ 은 매질의 높이를 나타낸다.

### 3. 계산 결과 및 고찰

연료전지의 전기적 특성은 전압, 전류, 압력, 유량, 온도, 습도에 따라 다르게 나타낸다. 이처럼 압력과 유량이 전지판의 전압(cell voltage)의 중요변수이다. 분리판내의 입구와 출구사이의 압력차는 전기적 특성만을 고려할 때는 작을수록 좋지만, 압력차가 화학반응에 의해 생성된 물의 배출을 돕기 때문에 시스템 전체의 효율을 고려하여 압력차를 조절하여야한다. 이전에 수행된 연구결과를 살펴보면 전체 효율을 고려한 허용 압력차의 범위는 1000pa에서 3000pa이다.<sup>(1)</sup>

각 공기판의 입구와 출구사이의 압력차는 공기가 소모된다고 가정한 경우가 1510pa, 공기의 소모가 없다고 가정한 경우가 1730pa로 나타났다. 두 가지 경우 모두 앞에서 제시된 허용 범위를 만족시킨다. 압력 강하는 채널이 꺾어지는 부분을 중심으로 일어나며, 두 경우의 압력 변화 경향은 매우 유사하다. 공기판 내부 유동의 속도를 살펴보면 공기의 소모를 고려한 경우의 최고 속도가 7.05m/s 이고, 공기의 소모를 고려하지 않은 경우는 최고 속도가 7.75m/s이었다. 최고 속도는 공기가 소모되지 않는 경우가 좀더 높게 나타났다. 반면 전반적인 채널내의 흐름은 공기가 소모되는 경우가 약 0.5m/s 정도 높게 나타났다. 각각의 경우의 압력 분포와 속도분포를 각각 그림. 1, 그림. 2에 나타내었다.

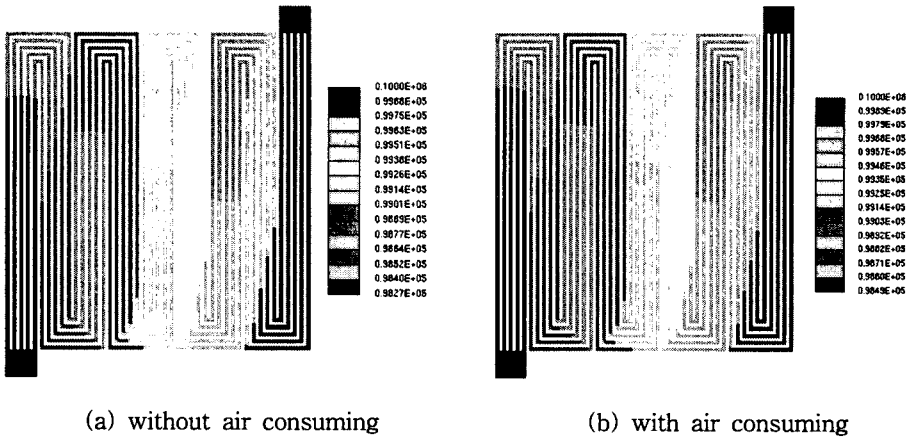


그림. 1 압력 분포도

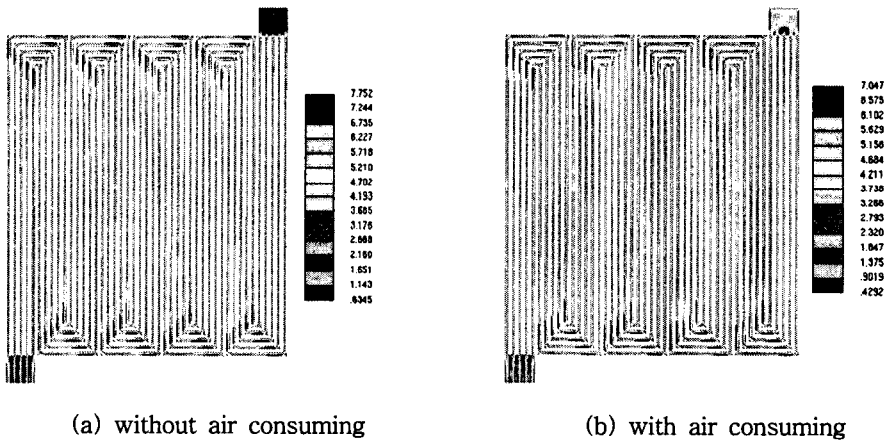


그림. 2 속도 분포도

공기판에서 유량분배의 차이가 생기면 이는 생산되는 전류밀도에도 영향을 미친다. 전류 밀도가 높아지면 적은 수의 단위전지를 적층해도 높은 전류를 얻을 수 있기 때문에 연료 전지의 성능을 가늠하는 중요 변수이다. 유량이 불균일하게 분배되었을 경우 단위전지내의 전류밀도가 불균일하게 된다. 그러므로, 공기판의 유동을 해석함으로써 각각의 채널로 분배되는 유량을 파악하는 것은 연료 전지 성능 평가에 있어서 매우 중요하다. 각각의 채널로 분리되는 유량은 그림. 3에 나타나 있다. 공기의 소모가 고려된 경우가 고려하지 않은 경우와 비교하여 유량의 분배가 더 균일하게 일어남을 알 수 있다. 그러나 표 1 에서 보면 알 수 있듯이 그 차이는 0.02%에서 0.04%사이로 매우 근소하여 거의 무시할 수 있는 정도이다.

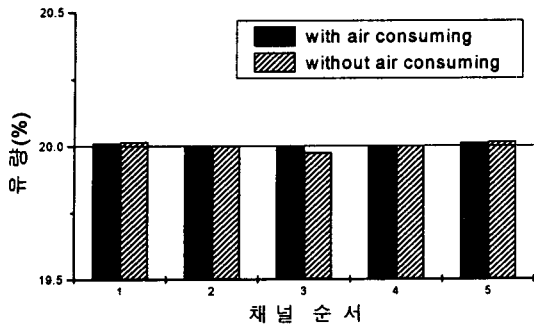


그림. 3 각각의 채널의 유량

		최소값	평균값	최대값
유량 (%)	With Air Comsuming	19.992	20	20.010
	Without Air Comsuming	19.974	20	20.014

표 1 유량의 최대, 최소 평균값

#### 4. 결론

고분자 연료전지에서는 공기측이 전체 반응을 지배하므로 공기의 균일한 공급이 매우 중요하다. 해석 결과에서 공기의 소모를 고려한 경우와 그렇지 않은 경우, 각각의 압력차의 차이는 매우 작은 값이다. 속도 분포를 살펴보면 최대 속도나 전반적인 흐름의 모습을 볼 때 두 가지 경우의 흐름이 유사함을 알 수 있다. 유량의 경우, 공기의 소모를 고려한 경우의 최대값과 최소값의 차이가 0.02% 미만이고, 공기의 소모를 고려하지 않은 경우는 그 차이가 0.04%로 두 경우 모두 매우 작은 양이었다. 각각의 채널로 거의 균일하게 분배됨을 확인할 수 있다. 압력과 유량의 두 경우를 살펴볼 때, 공기의 소모를 고려한 해석의 결과와 공기의 소모를 고려하지 않은 해석의 결과 모두 공기관의 유동 특성이 효율적인 연료전지의 운용을 위한 조건에 부합된다. 또한, 전지판의 주요 변수인 압력과 유량에 대해서 두 가지 해석의 결과가 거의 차이가 없으므로 공기관의 초기 설계 단계에서는 공기의 소모를 고려하지 않고 단순 유동 해석만을 수행해도 충분할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- (1) Thomas mennola, Design Experimental Characterization of Polymer Elecrolyte Membrane Fuel Cells, 2000.
- (2) James Larminie, Andrew Dicks, Fuel Cell Systems Explained, John Wiley & sons