

원통형 고체 산화물 연료전지 집전 구조 연구

A Study for Current Collecting Structure of Tubular SOFC

*박준호¹, #차석원¹, 최훈¹

*J. H. Park¹, #S. W. Cha(swcha@snu.ac.kr)¹, H. Choi¹

¹서울대학교 기계항공공학부

Key words : Fuel Cell, Tubular SOFC, Solid oxide fuel cell, Current collector

1. 서론

연료전지는 수소와 산소의 전기화학적 반응을 통해 화학적 에너지를 전기적 에너지로 직접 변환하여 그 부산물로 전기와 열 및 물 이외에는 발생시키지 않는 친환경적인 장치이다. 연료전지는 작동 온도 및 사용되는 전해질에 따라 그 종류를 나눌 수 있는데, 특히 고분자 전해질 막 연료전지 (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC) 와 고체 산화물 연료전지(Solide Oxide Fuel Cell, SOFC)가 가장 대표적인 종류라고 할 수 있다.

고분자 전해질 막 연료전지가 나피온(Nafion)®으로 대표되는 고분자 전해질 막을 그 전해질로 사용하고 100℃ 이하의 비교적 낮은 온도에서 작동함으로써 물 관리 및 효율 등에서 문제를 보이는 반면, 고체 산화물 연료전지는 YSZ로 대표되는 세라믹 계열 물질을 그 전해질로 사용하고 1000℃ 이하의 비교적 높은 온도에서 작동하여 물 관리 등의 문제점이 전혀 없고 전기화학적 반응에 의해 발생하는 활성화 에너지 손실도 상대적으로 적은 장점을 가지므로 발전용 에너지원으로써 각광받고 있다.

고체 산화물 연료전지는 그 형태에 따라 평판형과 원통형으로 분류할 수 있다. 원통형 고체 산화물 연료전지는 평판형과 비교할 때 고온의 작동 환경에서 기체에 대한 밀봉이 쉽고, 열 응력에 대한 저항성이 크며 배관이 용이한 장점을 가지고 있다. 하지만 집전에 있어서는 전기화학적 반응을 통해 생산된 전류가 평판형 고체 산화물 연료전지에 비해 상대적으로 긴 경로를 지나 집전체에 다다르므로써 큰 집전 손실이 발생할 수 있다. 실제로 원통형 고체 산화물 연료전지의 단위 전지의 성능을 측정하고자 할 때에는 그 성능을 높이기 위해

집전용 와이어를 원통형 단위 전지에 감아서 집전을 향상시키는 경우가 있는데, 본 연구에서는 이와 같이 원통형 고체 산화물 연료전지의 성능과 집전 구조의 관계에 대해 알아보고자 그에 대한 몇 가지 형상을 생성하고 상용 전산 유체 역학 프로그램인 ANSYS FLUENT를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 이론

본 연구에서는 집전 구조 형상에 따른 성능을 산출하기 위해 ANSYS FLUENT의 SOFC 모듈을 사용하였다. ANSYS FLUENT의 SOFC 모듈의 가장 큰 특징은 전해질 층을 수치 해석 도메인에 포함하지 않는다는 점에 있는데, 이는 전해질 층을 투과성이 없는 하나의 벽으로 가정함을 뜻한다. 즉, 전해질 층에 해당하는 형상이나 격자는 생성하지 않는다. 전해질 계면에서 일어나는 전기화학적 반응들은 FLUENT 내의 전기장과 화학종, 물질 및 에너지 전달에 대한 유동 해석 부분과 연결되어 있다.

전도성이 있는 영역에서는 전하의 보존을 지배 방정식으로 만족시켜야 하고, 평형 상태의 셀 전압은 Nernst 방정식에 의해 결정된다. 이는 부하가 없을 때 측정 가능한 값인 개회로 전압(Open circuit voltage)을 의미한다. 전해질 계면에서의 전기장과 전기화학 반응을 연관짓기 위해서는 벽으로 가정된 전해질 층의 양면에 대한 전압 jump 조건이 필수적이다.

활성화 손실 부분은 anode와 cathode에서의 전기 화학 반응의 속도와 관련된 에너지 손실이며, 잘 알려진 Butler-Volmer 식을 통해 산출할 수 있다. 전도성 영역에서는 에너지 지배 방정식의 source 상으로 ohmic heating이 추가되며, 전해질 층의 전

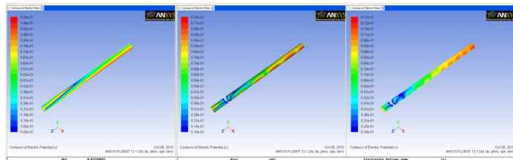


Fig. 1 contours of electric potential

체 에너지 평형은 형성 엔탈피를 포함한 모든 화학종의 엔탈피 플럭스의 합에서 전해질 층에서의 jump 전압과 전류밀도의 곱으로 표현할 수 있는 일만큼을 빼면 구할 수 있다. 또한 전해질 층에서의 전류밀도 정보를 통해 전극 계면에 화학종 플럭스에 대한 경계조건을 부여할 수 있다.

3. 결과

본 연구에서는 각기 다른 집전 구조를 가지고 있는 원통형 고체 산화물 연료전지에 대한 형상 및 격자를 생성하고 이에 대한 시뮬레이션 결과를 수행하였다. 첫 번째 구조는 폭이 1mm인 길이방향의 bus만으로 이루어져 있고, 두 번째 구조는 1mm 너비의 bus와 5개의 링으로 이루어져 있으며, 세 번째는 bus와 10개의 링으로 구성되었다. 집전 구조 이외의 형상이나 작동 조건은 모두 동일하게 유지하였으며, 전체 시스템의 전류 부하를 0A부터 30A까지 변화시키면서 그에 따른 성능을 산출하였다.

전해질-전극 계면에서의 성능을 측정된 결과 Nernst 전압 및 활성화 손실, 전해질의 저항 성분 등은 세 가지 경우에 대해 거의 일치했고 그에 따라 전해질-전극 계면에서의 전압 및 전력 밀도는 거의 비슷한 값을 나타내었다. 그러나 집전체의 끝 부분, 즉, 실제 실험에서 성능을 측정하는 부분에서의 성능은 각 집전 구조에 따라 다르게 산출되었다. 10개의 ring을 가지는 구조에서의 성능이 가장 높고, bus만으로 이루어진 구조에서의 성능이 가장 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이 결과는 집전 구조의 최적화를 통해 원통형 고체 산화물 연료전지의 성능을 높일 수 있음을 보여주는 것이라고 할 수 있겠다.

4. 결론

본 연구에서는 원통형 고체 산화물 연료전지의 집전 구조와 단위 전지의 성능 간의 상관관계를

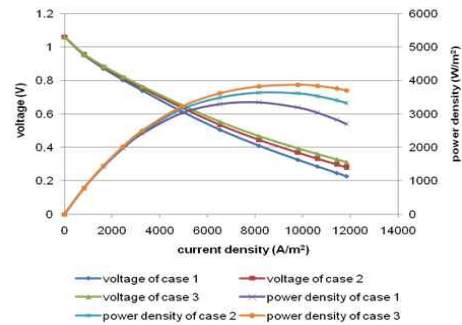


Fig. 2 i-V curves and power density curves

알아보고자 세 가지 다른 집전 구조를 가진 원통형 고체 산화물 연료전지의 형상과 격자를 생성하고 이에 대해 ANSYS FLUENT를 이용하여 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 살펴보았다.

본 연구에서 제시한 결과에서는 각 집전 구조에 따른 성능의 차이를 확인할 수 있었고 원주 방향의 집전을 돕는 구조가 있을수록 그 성능 향상에 도움이 되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 그림 1에서 보이는 바와 같이 ring구조에 의해 집전이 향상되는 효과 외에도 주로 cathode측에서 공기의 전달을 방해하는 현상이 있음을 알 수 있었다.

따라서 집전 구조의 최적화를 통해 전기적 저항이 큰 부분을 지나는 집전 경로를 최소화하여 성능의 향상을 기대할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다. 보다 정확한 결과를 제시하기 위해 실험적 연구의 결과들을 반영한 모델의 수정이 필요하며 이는 원통형 고체 산화물 연료전지 내의 현상을 규명하는데 도움이 될 것이다.

참고문헌

1. R. O'Hayre, S. W. Cha, W. Colella, F. B. Prinz, 'FUEL CELL FUNDAMENTAL'.