

금속분리판 연료전지 스택의 구조 해석

이 상민¹⁾, 전 지훈¹⁾, 이 창우¹⁾, 서 정도²⁾, 장 훈²⁾, 김 세훈²⁾, 이 성호²⁾, 황 운봉¹⁾

Structural analysis in Metal bipolar plate of Fuel Cell Stack

Sang Min Lee¹⁾, Ji Hoon Jeon¹⁾, Chang Woo Lee¹⁾, Jung Do Suh²⁾, Hoon Chang²⁾,
Sae Hoon Kim²⁾, Sung Ho Lee²⁾, and Woonbong Hwang¹⁾

Key words : Fuel cell stack(연료전지 스택), Metal bipolar plate(금속분리판), Structural analysis
(구조 해석)

초록 : 금속 분리판으로 제작된 연료전지 스택의 기계적인 거동을 유한요소 해석을 통하여 살펴보았다. 연료전지의 구성요소는 크게 금속 분리판, 가스켓, MEA, GDL, 엔드 플레이트로 나눌 수 있다. 각각의 요소들은 적절한 힘에 의하여 체결되어야 하고 이에 의해 연료전지 스택의 성능이 많이 좌우된다. 유한 요소해석을 위해 가스켓, GDL을 금속 분리판 위에서 변위에 따른 힘의 변화를 실험을 통해 구했으며, 금속 분리판의 유로 부분을 단순 평판으로 치환하여 유한 요소해석을 진행하였고, 해석 결과와 실험결과가 일치함을 확인하였다. 이를 통해 금속 분리판 스택이 체결되었을 때의 기계적 거동을 유추할 수 있다.

Abstract : Mechanical behavior in metal bipolar plate of a fuel cell stack was studied using finite element analysis. The fuel stack is essentially composed of a metal bipolar plate (metal BP), a gasket, an end plate, a membrane electrolyte assembly (MEA), and a gas diffusion layer (GDL). It is important to maintain a suitable fastening force of Metal BP, because it influences the power efficiency of the fuel cell stack. After a gasket and a GDL are placed on the metal BP, the reaction force with the displacement is measured. The channel of metal bipolar plate is replaced by a simple geometrical plate. The results of FEM are similar to those of experiment. Therefore mechanical behavior in metal BP of a fuel cell stack can be estimated by using FEM.

1. 서 론

석유 자원으로 인한 환경 공해 및 석유 자원의 고갈에 따른 에너지 문제를 해결하기 위하여 현재 많은 시도가 이루어지고 있다. 풍력, 태양열, 조력 등 많은 자연 자원을 이용하려는 시도가 있지만, 효율이 극히 낮다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결할 현실적인 대안 중의 하나가 수소에너지의 사용이다. 그리고 수소를 가장 효율적으로 활용할 수 있는 에너지 기술은 연료전지이다. 그러나 연료전지는 다른 석유 대체 에너지 기술보다 효율은 높지만 상용화를 위해서는 성능향상의 연구가 절실히 요구된다. 연료전지는 물의 전기분해 반응의 역반응을 이용한 것이다. 특정한 전해질 사이에 한쪽에는 산소, 다른 한쪽에는

수소를 두면 적당한 압력과 온도에서는 '반응을 하며 그 반응의 결과로 인해 물과 전기에너지가 발생된다.

연료 전지 스택의 일반적인 구성 요소 미치 기능은 다음과 같다. 분리판(bipolar plate, BP)은 수소나 산소의 통로이다. 전극 전해질 어셈블리(membrane electrolyte assembly, MEA)에서는 산소와 수소가 전기화학 반응을 일으키는 부분이다. 가스 확산층(gas diffusion layer, GDL)은

-
- 1) 포항공과대학교 기계공학과
E-mail : whwang@postech.ac.kr
Tel : (054)279-2174 Fax : (054)279-5899
 - 2) 현대자동차 연료전지 개발팀
E-mail : suhjd@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3142

분리판을 통과한 가스가 MEA로 이동하기 전에 넓은 면적에 대해서 확산이 잘 이루어지도록 하기 위한 층이며 탄소 섬유나 종이로 이루어져 있다. 또한 분리판에는 가스가 외부로 새지 않도록 가스켓을 사용한다. 금속 분리판의 단위 셀은 4개의 분리판과 1개의 MEA, 2개의 GDL을 단위 셀이라 하며, Fig. 1에 대략적인 개요를 보였다. 1개 셀의 사용 전압은 0.6 ~ 0.7 V가 되며, 전압을 높이기 위해서 스택을 직렬로 적층한다. 보통 적층 개수는 수십 개에서 수백 개 가량 된다^{1)~5)}. 이러한 연료전지 스택의 성능 향상 및 개발을 효율적으로 수행하기 위해서는 유한 요소법이나 전산 유체 역학을 사용할 수 있다. 본 연구에서는 4개의 금속 분리판의 유로를 직교이방성 복합재료로 단순화하여 유한 요소법으로 모델링하였다. 연료전지의 효율 향상을 위해서는 분리판 사이의 접촉 면압이 중요하며 일정하게 유지되어야 한다. 그리고 금속 분리판은 탄소 분리판과는 달리 소성변형이 일어나서, 체결시에 약간의 소성 변형이 일어난다. 따라서 본 논문에서는 금속 분리판

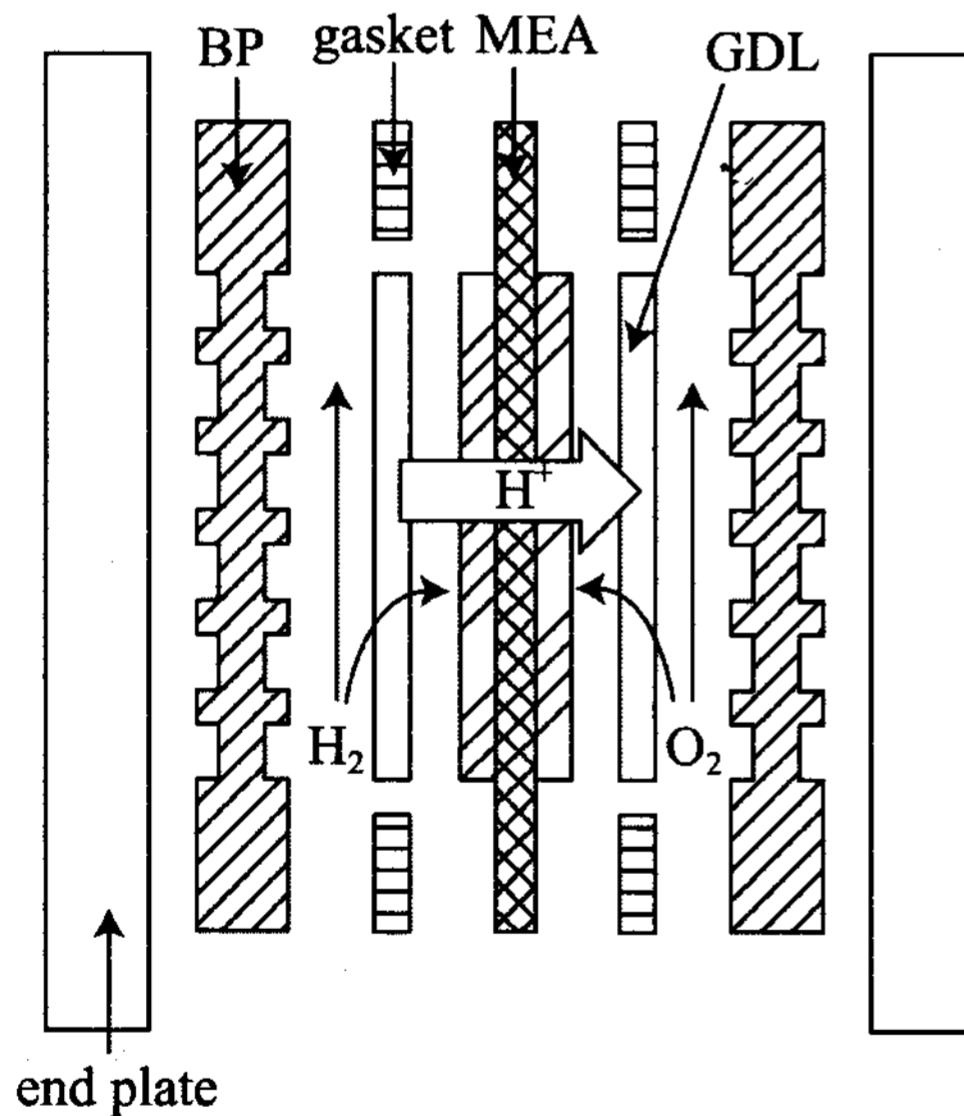


Fig. 1 Single unit of fuel cell stack

1개 셀이 체결되었을 때의 체결력을 살펴보고, 금속 분리판의 변위 및 받는 응력을 분석하였다.

2. 개별 부품 물성 평가

2.1 금속 분리판

Fig. 2와 같이 분리판에는 냉각수와 수소, 산소가 흐르기 위한 유로(channel)가 존재하며, 이

를 개별적으로 모델링 하는 것은 비효율적이다. 분리판은 외부 체결 요소에 의하여 급힘 하중을 받을 가능성이 있으며, 대체적으로 한 방향으로 구성되어 있다. 따라서 분리판의 유로가 형성된 부분을 하나의 직교이방성의 복합재료의 물성으로 대체할 수 있다. 유로가 형성되어 있는 방향으로 한 개의 강화 섬유(fiber)가 형성되어 있다고 가정하고, 유로가 있는 부분과 없는 부분의 비를 계산하여, 혼합법칙(Rule of Mixture)을 이용 각 방향의 물성을 추정하였고, 직교이방성인 요소를 이용하여 한 개의 분리판 유한요소 모델을 생성시켰다.

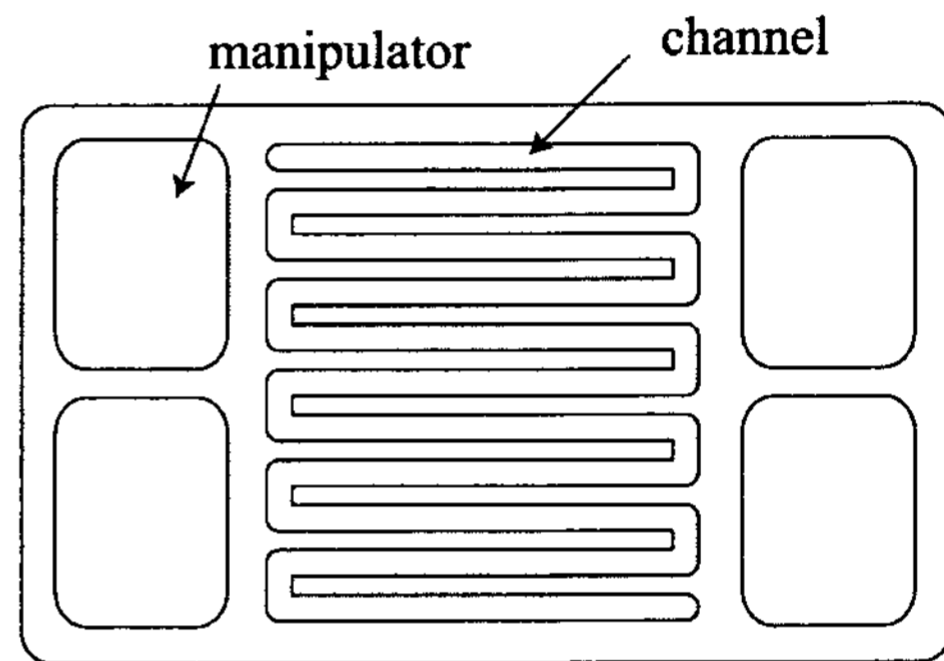


Fig. 2 Schematic view of bipolar plate

2.2 가스켓

분리판과 분리판 사이에 연료의 유출을 방지하기 위하여 쓰이는 가스켓은 ABAQUS의 gasket element로 두었고 압축실험을 하여 변위에 따른 하중 변화를 측정하여 유한 요소 해석에 사용하였다.

2.3 MEA 및 GDL

MEA는 다른 요소에 비해 매우 얇기 때문에 해석시 고려하지 않았으며, GDL은 금속 분리판에 올려놓은 다음 압축실험을 수행하였다. 그리고 가스켓과 마찬가지로 GDL을 gasket element로 둔 다음 변위에 따른 하중 변화를 측정하여 유한 요소 해석에 사용하였다.

2.4 그 외의 부품

분리판 4개로 구성된 1개 셀에 대해 해석할 때, 엔드 플레이트는 다른 부품에 비해서 형상이 복잡하지 않기 때문에 강체로 두고 해석을 진행하였다.

3. 물성 실험 결과

3.1 금속 분리판 인장 실험 결과

유로가 있는 부분에 대해 유로가 흐르는 방향과 유로에 수직인 방향에 대해 인장 실험을 하였다. 그리고 유로가 있는 부분을 단순 평판으로 고려했을 때의 E_{11} , E_{22} 값을 실험을 통해 구하였다. 또한 유한 요소 해석으로 구한 E_{11} , E_{22} 와 비교시 큰 차이가 없었으며, 나머지 물성상수 ν_{12} , G_{12} , G_{13} , G_{23} 은 유한 요소 해석 결과를 이용하였다. (Fig. 3 참조)

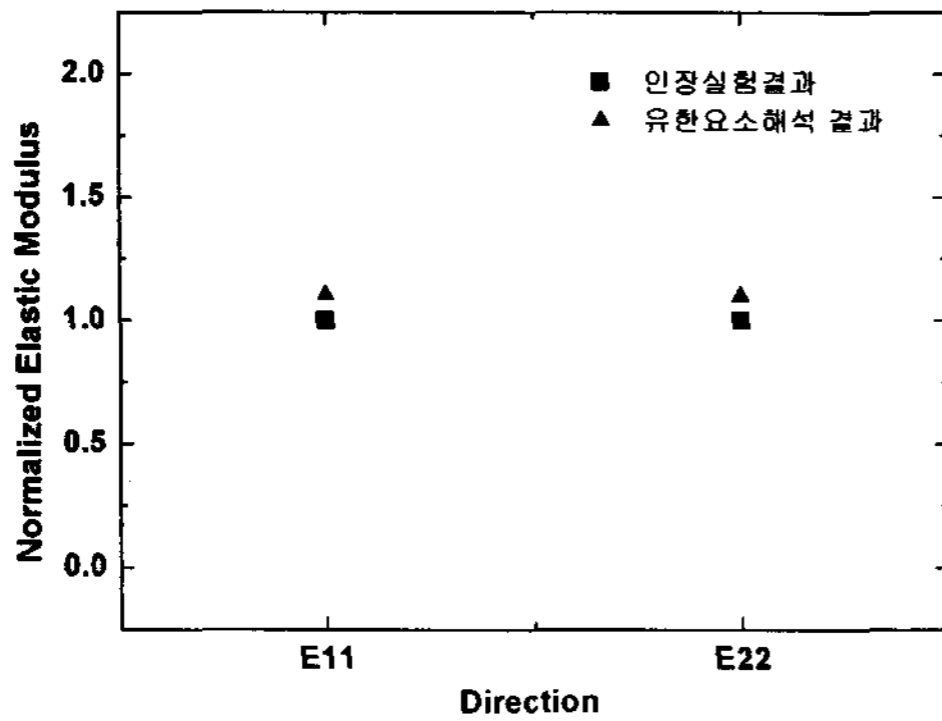


Fig. 3 Normalized elastic modulus of metal BP

3.2 가스켓 측정 결과

1개의 분리판 양쪽에 가스켓을 넣고 압축하중을 가하였다. 실험 장비는 MTS사의 UTM과 전용 지그를 사용하였고, 변위는 extensometer를 사용하여 측정하였다. Fig. 4는 가스켓의 변위와 하중 변화에 대한 실험 결과이다.

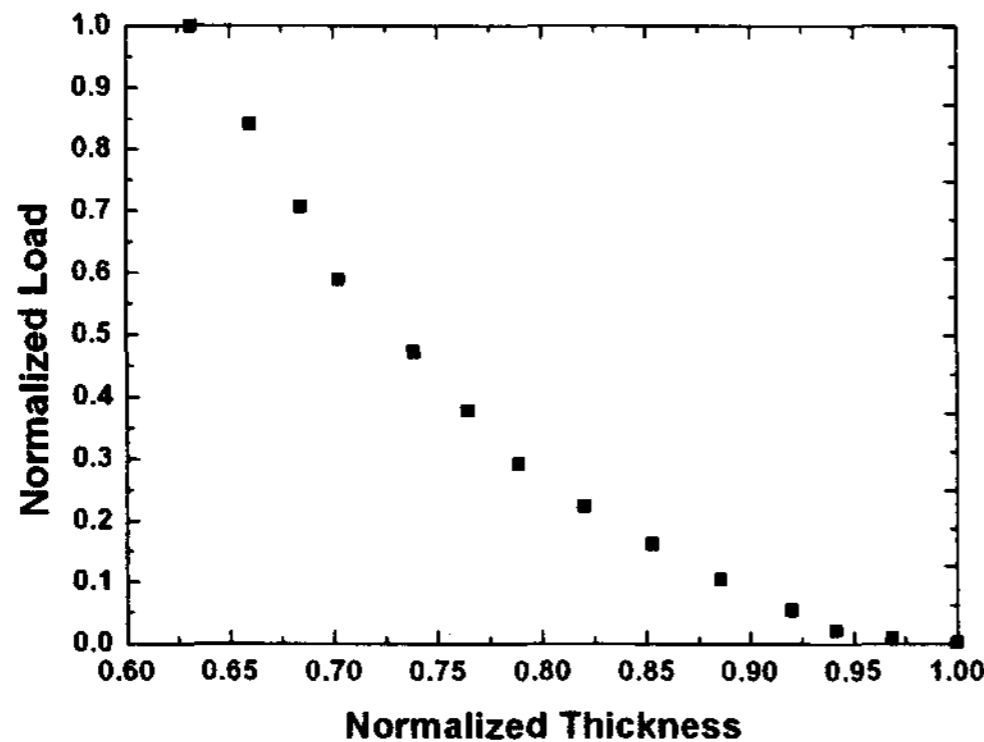


Fig. 4 Results of gasket compression test

3.3 GDL 측정 결과

가스켓을 측정할 때와 마찬가지로 금속분리판

양면에 GDL을 놓고 압축하중을 가한 뒤 변위에 따른 하중 변화를 측정하였다. Fig. 5는 GDL의 변위와 하중변화에 대한 실험 결과이다.

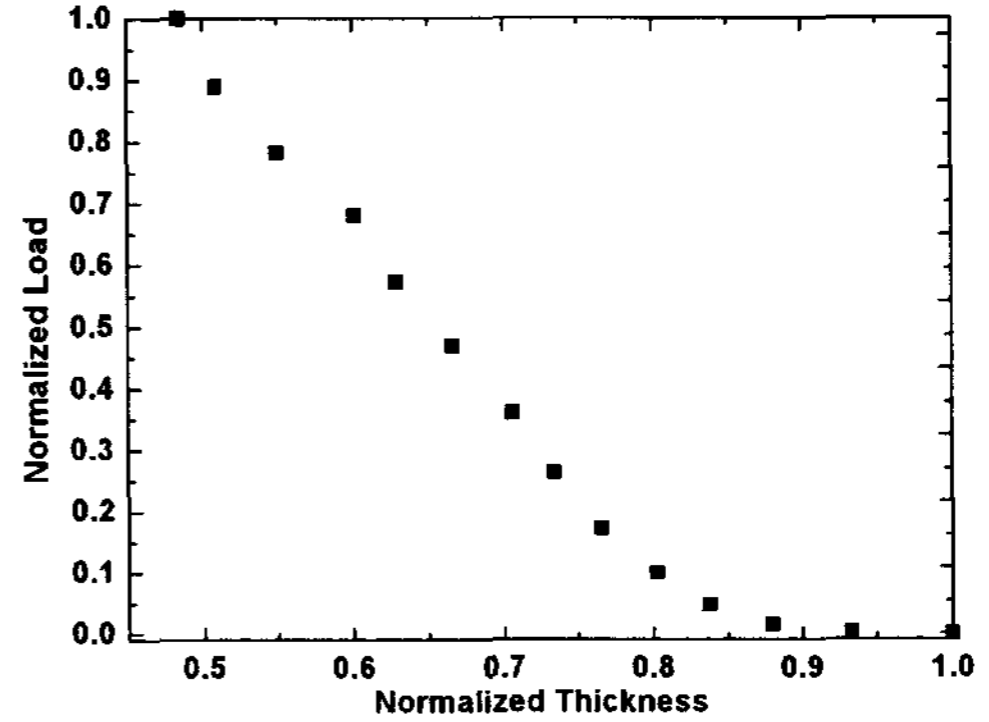


Fig. 5 Results of GDL compression test

4. 스택 체결 구조 해석

4.1 경계조건 및 유한 요소 모델

금속 분리판이 4개 적층된 1개 셀에 대해 유한 요소 해석을 하였다. 금속 분리판의 경우 좌우 대칭인 모델이기 때문에 1/4 해석 모델을 사용하였다고, 유로 부분을 단순 평판으로 치환한 뒤 유한 요소 해석을 통해 구한 물성치를 대입하였다. 체결시 엔드플레이트는 강체로 가정하였고, 이 구조물은 마찰력이 중요시 되는 모델이 아니기 때문에 마찰은 없다고 가정하였다.⁶⁾ 그리고 각 대칭면에는 대칭 경계 조건을 가하였다. 금속 분리판은 S4R 요소를 사용하였고, 가스켓과 GDL은 GK3D8 요소를 사용하였다. 즉 스택이 체결되었을 때 예상되는 변위를 하중으로 가하여 최종적으로 걸리는 하중을 체결력으로 보았다. 또한 해석을 통해 구한 체결력과 실제 실험을 통해 구한 체결력을 비교해 보았다. 그리고 체결되었을 때 GDL과 가스켓에 걸리는 면압을 확인하였다.

4.2 유한 요소 해석 결과

금속 분리판 4개로 이루어진 1개 셀에 대한 유한 요소 해석과 실제 체결력을 비교해보니, 유한 요소 해석 결과는 금속 분리판을 사용한 연료 전지 스택의 체결력 분포 내에 있음을 알 수 있었다. 이를 통해 유한 요소 해석 결과는 실제 금속 분리판 스택 구조의 체결력과 일치함을 확인할 수 있었다.

그리고 체결되었을 때 GDL과 가스켓은 허용범 위 내에서 일정한 면압이 걸리는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구를 통하여 금속 분리판을 이용한 연료 전지 스택 1개 셀의 기계적 거동을 알 수 있었다. 자세한 과정은 다음과 같다.

유로가 복잡한 분리판을 직교이방성 물성을 갖는 재료로 단순화하여 요소의 개수를 효과적으로 줄일 수 있었다.

체결력은 유한 요소 해석 결과와 실제 실험 결과가 일치함을 확인할 수 있었고, 이를 통해 1개 셀 뿐만이 아니라 더 많은 셀 구조물에 대한 유한 요소 해석을 통해 연료전지 스택 구조물의 체결력, GDL과 가스켓의 면압 등의 기계적 거동을 유추할 수 있다.

후 기

본 연구는 (주)엔지비의 연료전지 금속 분리판 스택의 구조해석 및 체결기구 설계 기술 개발 과제 일환으로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

References

- [1] Mease, K. L., Brunner, A. K., Pitts, L. A. and Winslow, A. F., 2001, "Clamping Apparatus and Method for a Fuel Cell," US Patent, US 6,218,039
- [2] Peter, R. G., 2000, "Compression Assembly for an Electrochemical Fuel Cell Stack," US Patent, US 6,057,053
- [3] Barton, R. H., Ronne, J. A. and Voss, H. H., 2001, "Electrochemical Fuel Cell Stack with an Improved Compression Assembly," US Patent, US 6,190,793
- [4] Boquslaw, W. Nicholas J. F. and Peter, R. G., 1999, "Electrochemical Fuel Cell Stack with Compression Bands," US Patent, US 5,993,987
- [5] Sugita, N., Okazaki, K., Yamagami, T. and Komura, T., 2001, "Fastening Structure for Fuel Cell Stack," US Patent, US 6,258,475
- [6] 전지훈, 황운봉, 조규택, 임태원, 2004, "연료 전지 스택의 가스켓 노화에 따른 면압 예측," 한국 수소 및 신 에너지학회, 추계학술대회