

연료전지 스택의 기밀성 향상을 위한 가스켓 모델링과 해석 기법

김 현영¹⁾, 김 정민²⁾, 김 대영³⁾, 서 정도⁴⁾, 양 유창⁵⁾, 임 철호⁶⁾

Numerical Modeling of Fuel Cell Gasket for Sealing Performance

Heon Young Kim, Jung Min Kim, Dae Young Kim, Jung Do Suh, Yoo Chang Yang, Cheol Ho Im

Key words : Fuel Cell Stack(연료전지 스택), Gasket(가스켓), Sealing(기밀성)

Abstract : Fuel Cell Stack performance, which is influenced by the maintenance of a constant internal environment, requires high levels of air tightness. Used for analysis, gasket for fuel cell is made of elastic rubber materials and placed over separator, and shape of deformation of a gasket affects the transformation separator and airtightness while fastening structure. Separator as made of steel sheet isn't broken under pressure but can affect gas and cool water flow by the plastic deformation process. Therefore, it is understood that assembly process is well developed in case distribution of stress and shape of deformation is shown uniformly. This study is conducted on the assumption that a fuel cell maintenance is advantageous in that conditions. In this paper, analyses of unit cell and partial model were performed and distribution of stress and shape of deformation of Gasket and separator were analyzed to evaluate the airtightness while fastening structure.

1. 서론

최근 화석연료의 고갈과 환경파괴로 인하여 저공해 발전장치인 연료전지(Fuel Cell)에 많은 관심이 집중되고 있다. 연료전지는 고효율, 무공해, 사용 연료의 다양성 등의 특징을 가지고 있으며 교통 운송 분야에서 내연기관을 대체할 수 있는 가장 유망한 기술 중의 하나이다. 세계 에너지 중 약 24%가 자동차 관련 분야에서 소비되고 있으며, 이산화탄소(CO₂)를 비롯하여 많은 공해 문제들이 야기된다. 이와 같은 이유로 공해 저감, 효율 향상, 대체 에너지 개발 등의 연구가 진행되고 있으며, 세계 주요 자동차 회사 및 선진국의 정부에서는 고연비 자동차 엔진, 하이브리드 엔진(Hybrid Engine), 연료전지 자동차 등의 개발에 막대한 연구 개발비를 투자하고 있다.

연료전지 시스템은 연비가 높고, 공해 물질의 발생이 없으며, 소음/진동 특성이 우수한 장점을 가지고 있다. 하지만 가스의 공급을 통하여 전기를 발생시키는 장치이기 때문에 스택 내부의 온도, 압력, 습도 등 내부 환경에 따라 그 성능이 좌우된다. 연료전지 스택은 각 구성요소 부품의 정확한 제어와 체결을 통하여 응력분포, 유동분포, 가습 등 내부 환경의 균질성을 유지하는 것이

가장 중요하며, 이를 위해서는 상당히 높은 수준의 기밀성 기술이 요구된다. 기밀성의 성능을 좌우하는 가스켓(Gasket)은 일반적으로 탄성을 지닌 고무로 제작되며 매니폴드(Manifold)와 활성면적(Active Area) 모두를 감싸고 있다. 따라서 수소 및 공기, 냉각수가 정해진 경로를 따라서만 흐르게 되며 절대로 서로 섞이거나 밖으로 누출

-
- 1) 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부
E-mail : khy@kangwon.ac.kr
Tel : (033)250-6317 Fax : (033)242-6013
 - 2) 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과
E-mail : ychi2000@kangwon.ac.kr
Tel : (033)252-6317 Fax : (033)242-6013
 - 3) 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과
E-mail : dae-young@kangwon.ac.kr
Tel : (033)252-6317 Fax : (033)242-6013
 - 4) 현대기아자동차
E-mail : suhjd@hyundai-motor.com
Tel : (031)368-2136 Fax : (031)368-5818
 - 5) 현대기아자동차
E-mail : ycyang@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3202 Fax : (031)368-6787
 - 6) 현대기아자동차
E-mail : sydymoch@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3134 Fax : (031)899-3331

되지 않아야 한다. 또한 스택의 우수한 성능을 좌우하는 원활한 기체 확산과 유로의 폭은 스택의 체결 및 기밀성에 관련되며, 이것은 연료전지의 성능에 직결된다고 할 수 있다.

현재 연료전지는 가스 및 냉각수 누출에 의한 부품 손상의 문제를 완벽하게 해결하지 못한 상태이다. 분리판을 비롯한 주요 부품들의 설계/재질 변경에 따른 가스켓의 설계 기술을 확보해야 한다.

본 연구에서는 유한요소 해석 기술을 통하여 연료전지 스택의 기밀성 평가를 수행하였고, 해석 시간의 절약과 적층 해석을 위하여 단면/부분 모델의 해석 및 모델링을 수행하였다.

2. 자동차용 연료전지 스택의 구조

연료전지 자동차에 사용되는 스택의 기본 구조는 Fig. 1과 같이 엔드플레이트(End plate), 분리판(Separator), 전해질막(MEA : Membrane Electrode Assembly), 기체확산층(GDL : Gas Diffusion Layer), 가스켓으로 구성되어 있으며, 엔드플레이트에 하중을 가하여 압축시킨 후 압축 밴드를 통하여 체결시킨다. 이때 압축되는 부분은 분리판에 장착되어있는 가스켓과 전해질막 테두리의 서브 가스켓(Sub Gasket)으로 볼 수 있으며, Fig. 2와 같이 분리판과 기체확산층이 접촉하여 내부 형상이 고정된다. 스택이 완전 체결 후 기체 및 냉각수의 압력에도 분리판의 변화는 없다고 할 수 있다.

전기를 생산하는 기본 단위인 단위셀의 구조는 Fig. 3과 같이 4장의 분리판, 4장의 기체확산층, 1장의 전해질막, 2장의 엔드플레이트로 구성된다. 내부의 분리판을 통해서 유입된 가스가 기체확산층에서 확산되어 전해질막에서 화학반응을 일으켜 전기와 물이 발생되고, 외부의 분리판을 통해서 유입되는 냉각수가 발생된 열을 냉각시킨다. 자동차에 사용되는 연료전지 스택의 단위셀은 두께에 비하여 활성면적이 넓은 형상으로 체결 및 기밀성 기술이 유로의 형상에 밀접한 관계가 있으며 이는 내부 환경과 유지와 직결된다. 유로형상은 가스, 냉각수의 유동에 영향을 주고, 이는 스택의 성능과 안전성에 직결되는 문제라고 할 수 있다.

3. 유한요소 모델링 및 경계조건

연료전지 스택은 단위셀을 적층한 구조로 되어있으며, 단위셀의 해석도 의미가 있지만, 적층상태의 결과가 중요하기 때문에 적층해석이 가능한 방법을 모색하였다. 일반적으로 적층모델의 시험 및 해석은 3-5셀 이상 적층되어야 의미를 부여할 수 있으나 가스확산층, 전해질막, 유로의 형상을 자세히 모델링할 경우 요소의 수가 너무 많아 해석 시간이 오래 소요되며, 적층 해석 수행이 불가능해 지므로 해석시간 단축을 위하여 모델의 단순화가 필요하다. 이를 위하여 분리판의 면적 중 대부분을 차지하는 유로부분의 중앙부분에 단면해석을 적용하였으며, 이를 검증하기 위하여 부분모델 해석을 수행하였다.

시험에 적용되는 이론적 압축량과 냉각수면 분리판 유로의 접촉여부 및 형상을 확인하고, 활성면 유로의 간격유지 여부를 평가하기 위하여

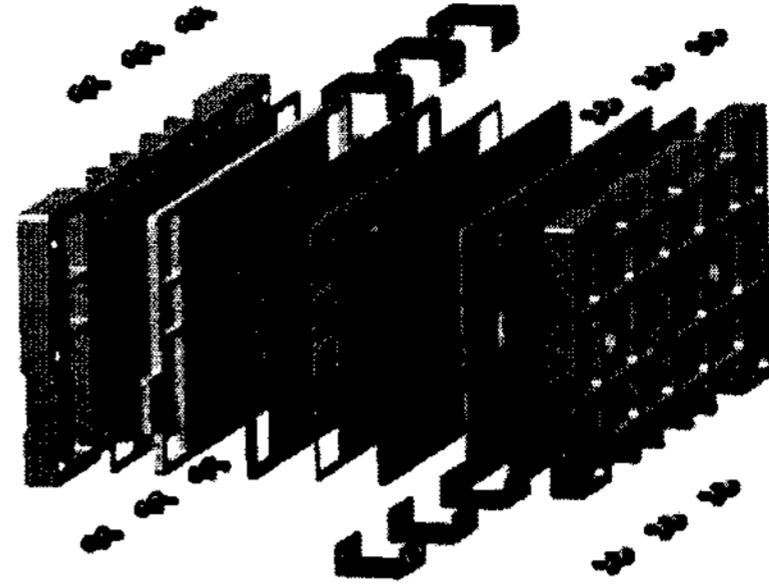
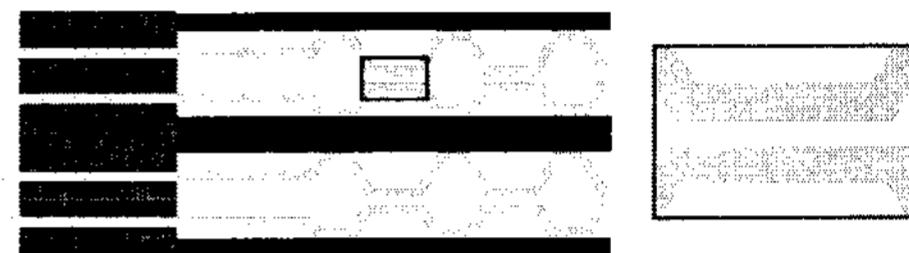
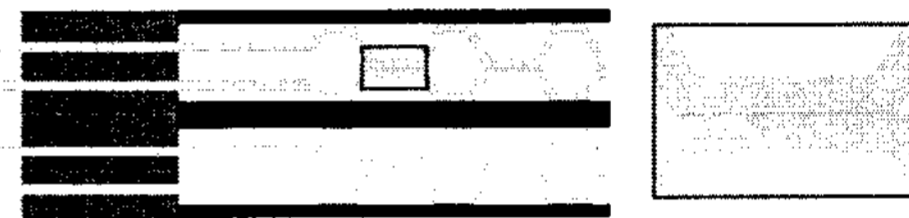


Fig. 1 Structure of Fuel Cell Stack



(a) Before Assembly



(b) After Assembly

Fig. 2 Assembly of Stack

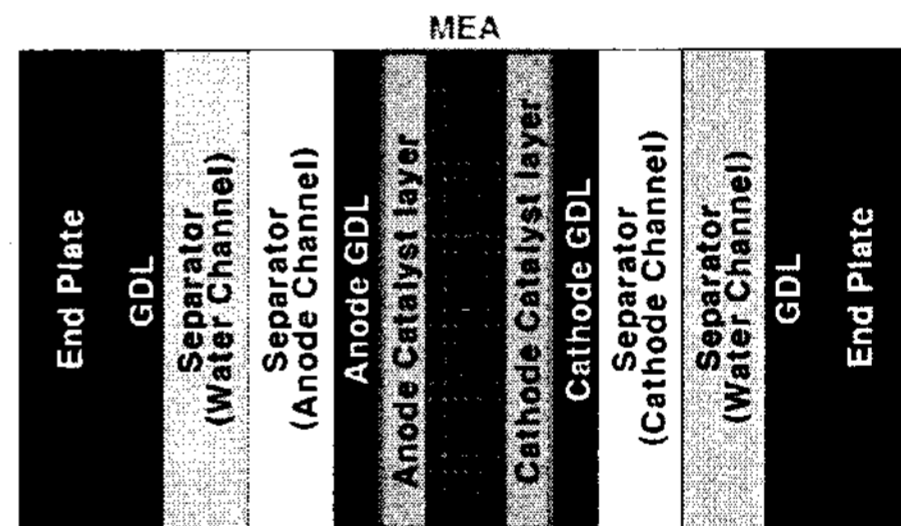


Fig. 3 Structure of Unit Cell

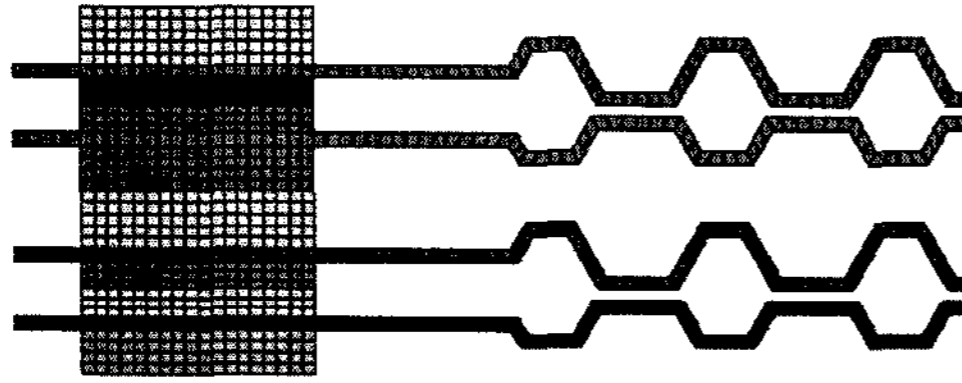
단면 해석을 수행하였다. 단면해석을 통하여 단위셀과 적층모델의 압축량, 반력 및 각 부품의 변형양상을 확인하고 부분모델 해석에 참고하였다.

3.1 유한요소 모델링

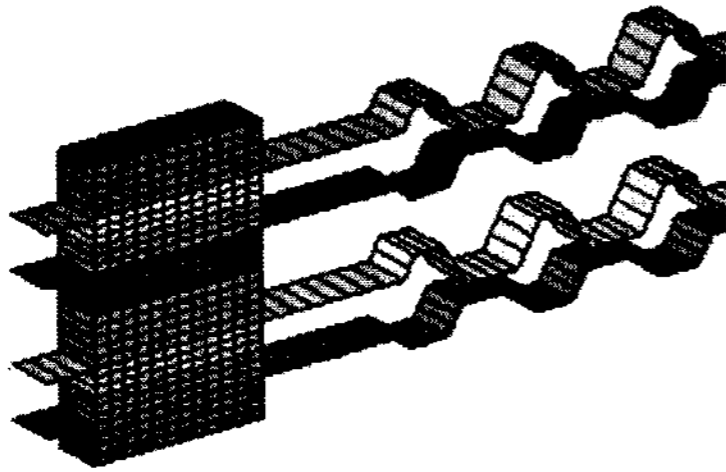
해석을 위하여 Fig. 4와 같이 단면해석과 부분모델 해석에 사용될 단위셀 모델을 구성하였으며, 모델 구성 시 해석시간 단축 및 적층해석을 위하여 가스확산층과 전해질막의 압축 시험 결과를 접촉력(Contact Force)으로 적용하여 모델링에서 제외하였다. 적층 해석은 단위셀 모델을 적층하여 수행하였고, 부분모델 해석에서 분리판은 유로 부분이 전체 면적의 대부분이므로 길이, 폭 방향으로 대칭(Symmetry)조건을 부여하여 요소수를 최소화 하였다.

해석에 사용된 가스켓은 합성고무 중 가스켓과

시일(Seal)에 주로 사용되는 니트릴-부타디엔 고무(NBR : Nitrile Butadiene Rubber)를 사용하였고, 금속분리판과 엔드플레이트의 재질은 스테인레스강으로 재료의 물성은 Fig. 5와 같다.

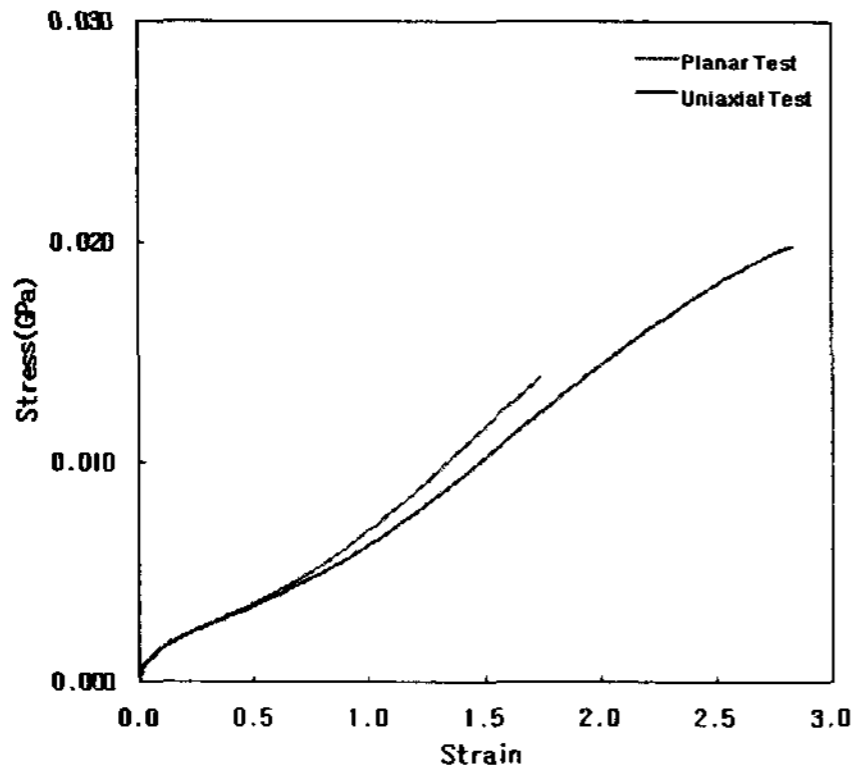


(a) 2D model

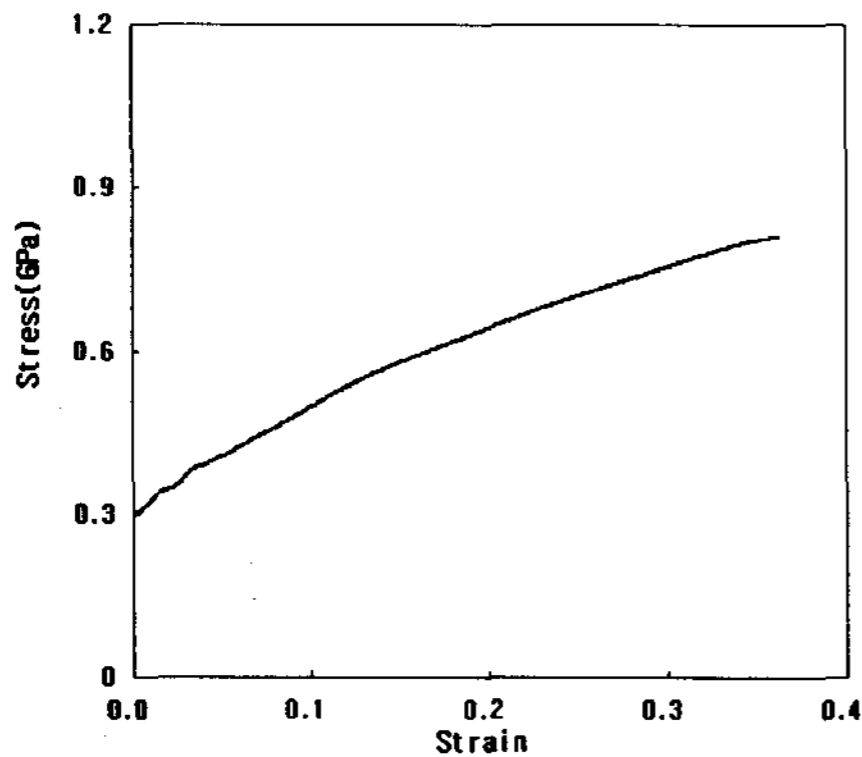


(b) 3D shell model

Fig. 4 F.E. Model of Unit Cell



(a) Gasket (Rubber)



(b) Stainless Steel

Fig. 5 Material Property

3.2 경계조건

해석모델의 길이, 폭 방향으로 대칭조건을 적용하였고, 엔드플레이트는 요소수를 최소화하기 위하여 강체(Rigid Wall) 처리 하였다. 스택의 체결을 위하여 시험에 적용되는 하중(변위)을 적용하였으며, 가스확산층과 전해질면은 Fig. 6과 같은 접촉압력을 적용하였다. 단면모델과 부분모델의 경계조건은 Fig. 7과 같고, 부분모델 해석에서는 폭, 길이 방향으로 대칭조건을 적용하였다.

4. 해석 결과 및 분석

단위셀의 해석 결과 분리판 사이의 접촉압력은 Fig. 8과 같으며, 측정점은 가스켓에서 분리판의 중심 방향으로 전해질막의 접촉 부위에서 측정하였다. 유로의 중심으로 갈수록 접촉압력이 일정하게 나타나는 것을 알 수 있으며, 중심으로 갈수록 체결력에 영향이 작아진다는 것을 알 수 있다. 또한 가스켓과 가까운 부분에서의 차이는 두 모델의 가스켓 두께 차이와 분리판 요소의 굽힘 변형에 대한 차이로 볼 수 있다.

분리판 유로의 변위 분포를 확인한 결과 Fig. 9와 같이 접촉압력과 동일하게 가스켓과 가까운 부분에서 두 모델이 차이를 보이지만, 중앙부분으로 갈수록 그 차이는 없어진다.

적층해석은 부분모델로 5개의 Cell을 사용하여 수행하였으며, 가장 위쪽과 가장 아래쪽 분리판, 그리고 중앙부의 분리판에 작용하는 접촉압력을 측정하였다. 그 결과 Fig. 10과 같이 접촉압력이 분포하였으며, 변형양상은 Fig. 11과 같았다.

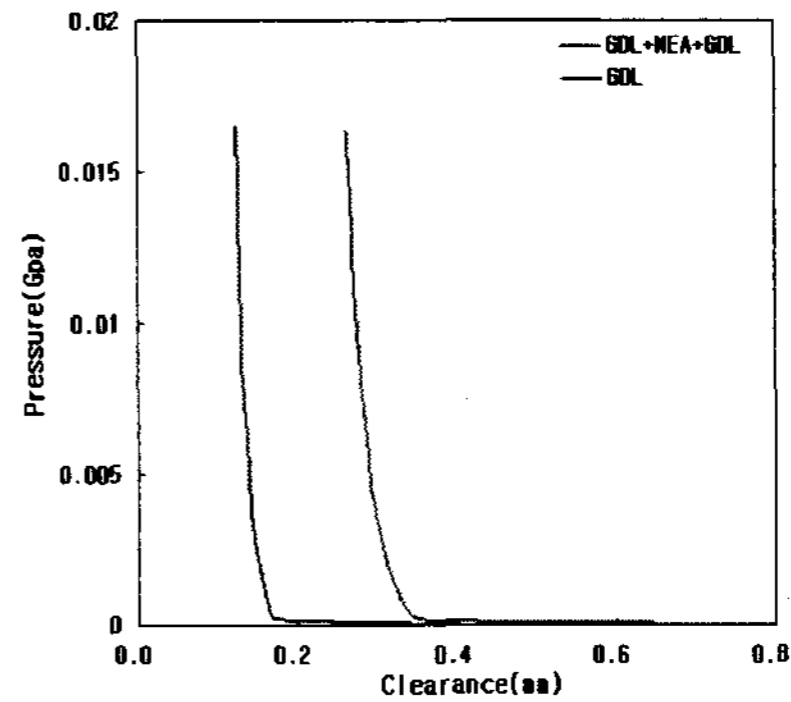
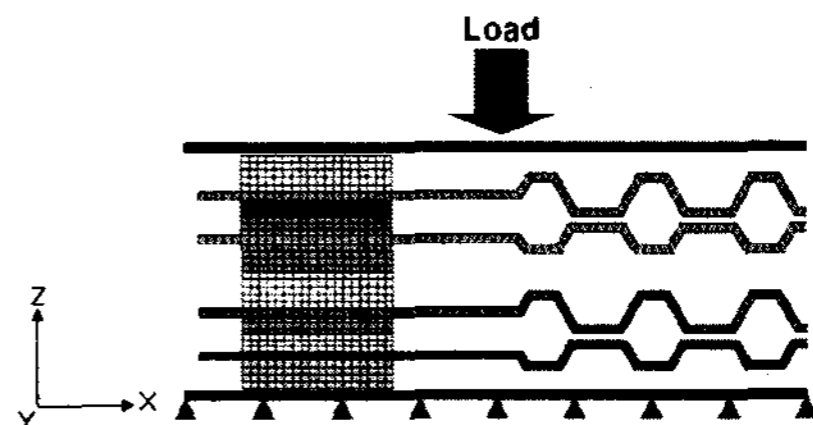


Fig. 6 Contact Pressure



▲ : All Fixed
— : Rigid Wall(End Plate)

Fig. 7 Boundary Condition

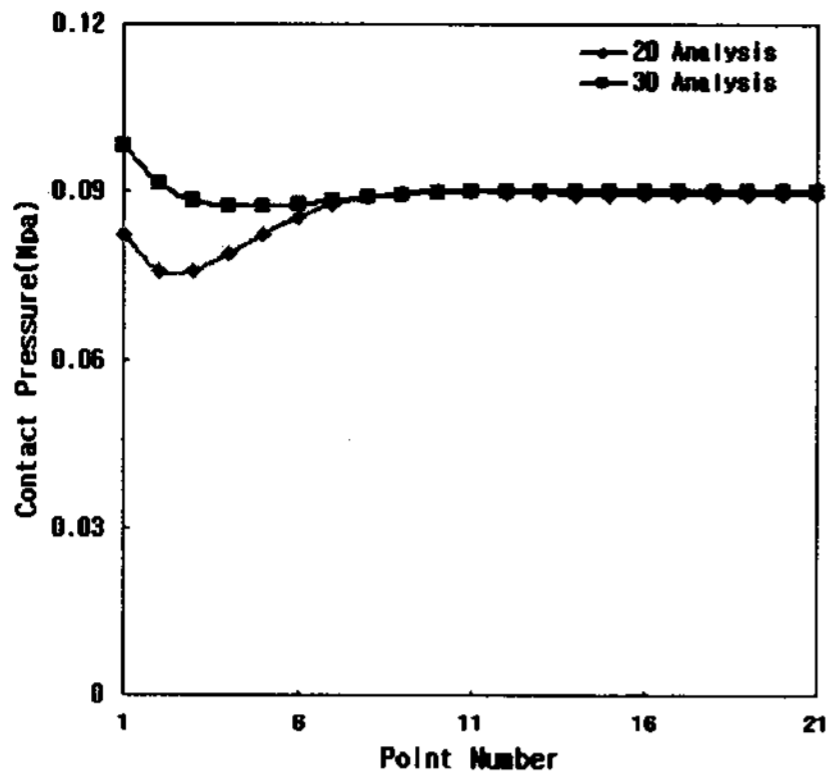


Fig. 8 Contact Pressure of Gas Channel

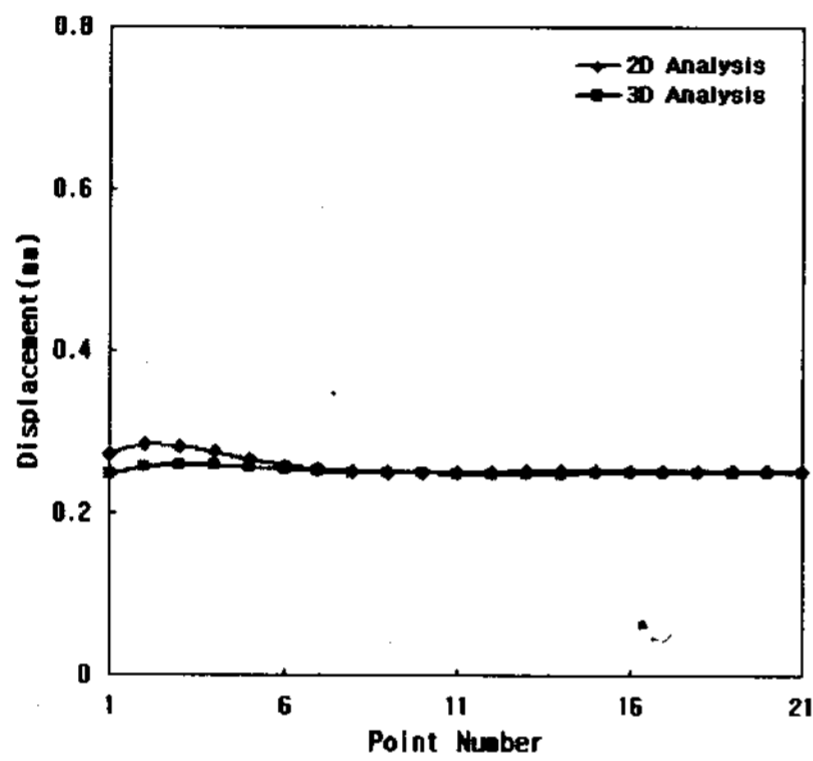


Fig. 9 Displacement of Gas Channel

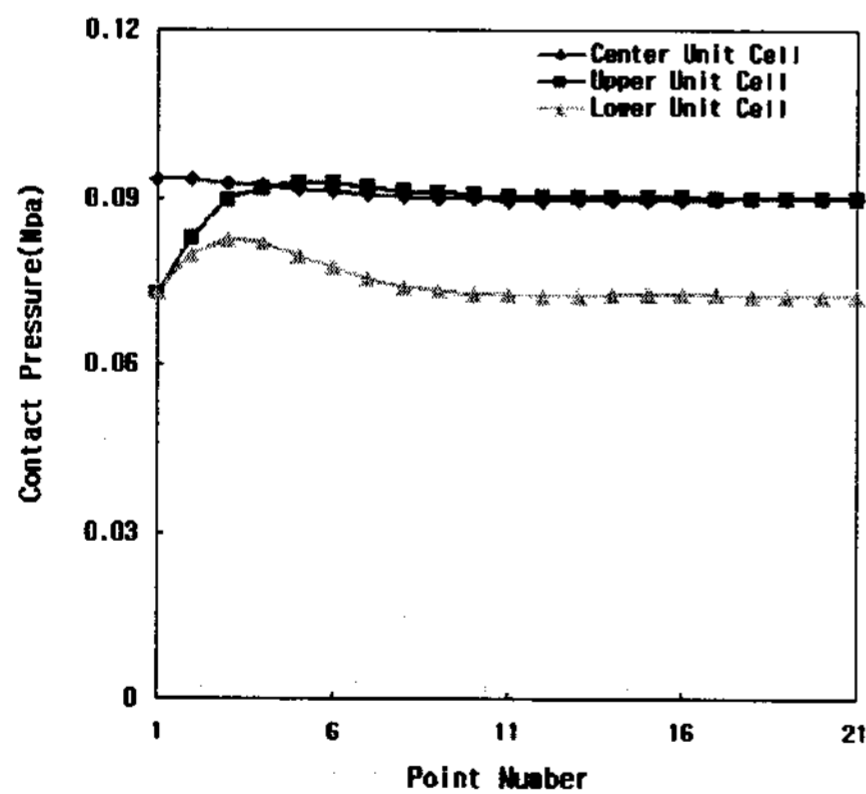


Fig. 10 Contact Pressure of Gas Channel

5. 결론

1) 2차원 평면변형요소와 셀요소를 사용하여 단위 셀 체결 해석을 수행하였다. 체결력에 의하여 약 20%의 가스켓의 변형이 발생하였으며, 가스켓 부근에서는 사용된 요소의 특성에 따라 접촉압력에 차이를 보였으나, 중심부에서는 동일한 접촉압력을 보였다.(Fig.8)

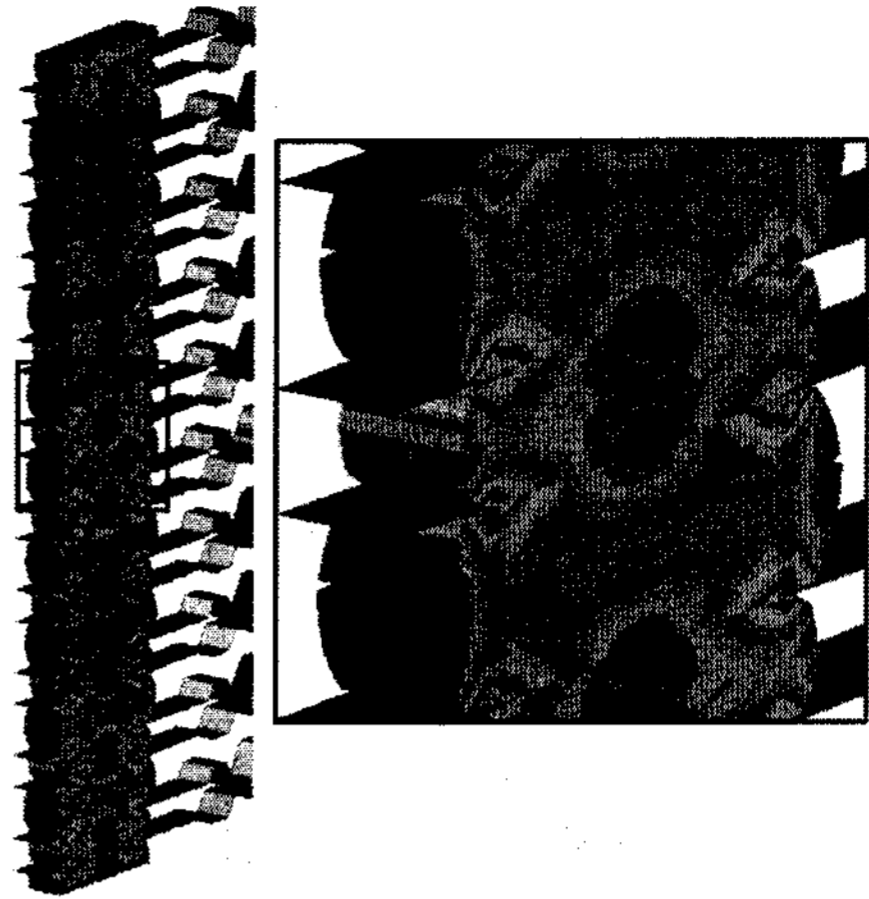


Fig. 11 Deformed Shape of Gasket in 5-Cell

2) 5개의 셀을 적층하여 체결력을 적용한 결과, 각 단위셀에서의 접촉압력이 동일하지 않으며, 그 이유는 가스켓이 분리판 상하로 대칭구조가 아닌 것에 기인한다.

3) 단위셀 및 5개 체결해석 결과, 분리판의 중심부는 가스켓의 영향이 미미함을 알 수 있었다. 그러므로 전체모델에 의한 적층모델 체결해석 시 분리판 중심부 유로는 최대한 단순화할 필요가 있다.

후기

본 연구는 산업자원부 '승용 연료전지 차량설계 및 시스템 인터그레이션 기술개발' 과제 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Song, S. H., Lee, W. Y., Kim, C. S., Park, Y. P., "Fuel Cell Modeling and Load Controlling by the Variable Utilization of Airflow," J. of KES, Vol. 6, No. 1, 2003.
- [2] Jung, H. M, Um, S. K, Sohn, Y. J., Park, Jung. S., Lee, W. Y., Kim, C. S., "Numerical Study on the Thermal and Flow Characteristics of Manifold Feed-Stream in Polymer Electrolyte Fuel Cells," J. of KSNRE, Vol. 1, No. 2, 2005.
- [3] Lee, P. H., Cho, S. A., Choi, H. S., Hwang, S. S., "Three Dimensional Computational Study on Performance and Transport Characteristics of PEMFC by Flow Channel Patterns," J. of KSNRE, Vol. 2, No. 4, 2006.
- [4] Lee, H. S., Ahn, S. H., Jeon, U. S., Ahn, S. Y., Ahn, B. K., "Evaluation of Mechanical and Electrical Properties of Bipolar Plate Made of Fiber-reinforced Composites for PEM Fuel Cell," J. of KSAE, Vol. 14, No. 5, pp. 39-46, 2006.