

고분자 전해질 연료전지용 바이폴라 플레이트의 디자인에 관한 고찰

윤 정필¹⁾, 최 장균²⁾, 차 인수³⁾, 임 중열⁴⁾

A Study on the design of bipolar plate for proton exchange membrane fuel cell

Jeong-Phil Yoon, Jang-Kyun Choi, In-Su Cha, Jung-Lyul Lim

Key words : PEMFC(고체 고분자 전해질 연료전지), CFD(전산유체역학), Hydrogen(수소), Bipolar plate(바이폴라 플레이트)

Abstract : Hydrogen fuel cell is clean and efficient technology along with high energy densities. While there are many different types of fuel cells, the proton exchange membrane fuel cell stands out as one of the most promising for transportation and small stationary applications. This paper focuses on design of bipolar plate for proton exchange membrane fuel cell. The bipolar plate model is realistically and accurately simulated velocity distribution, current density distribution and its effect on the PEMFC system using CFD tool FLUENT.

1. 서론

태양광, 풍력, 수소연료전지로 대표되는 신·재생에너지는 화석연료를 대체하여 이산화탄소 배출을 줄이고 에너지자원 확보라는 기본 명제 아래 그 보급과 개발이 확대되고 있다. 그 중에서 연료전지는 W.R Grove에 의하여 발견되어 수소에너지를 대표하는 기술이 되었다.

수소에너지의 장점은 다수의 청정에너지 중 가장 이상적이라는 것이다. 수소는 태양광, 풍력 등의 청정에너지원으로부터 생산된 전기에너지를 이용한 물 분해 또는 화석연료의 재처리 과정을 통해 얻어진다. 수소는 연소되거나 전기 에너지로 변환되어도 산출되는 것은 물이다. 이 말은 환경을 보존하고 재 사용이 가능하다는 것이다. 이러한 경향에 발 맞추어 미국, 일본을 비롯한 선진국에서는 관련 기술의 개발에 막대한 연구비를 투자하고 있으며 전 세계가 미래 에너지 및 공해 문제의 해결을 위해 2030년에는 전체 전력의 1%를 수소가 담당할 것으로 발표하고 있다.^{1)~5)}

연료전지는 보통 작동 온도와 전해질의 형태에 따라 구분되어지며 고분자전해질형 연료전지(PEMFC), 고체산화물형(SOFC), 용융탄산염형(MCFC), 인산형(PAFC), 알칼리형(AFC), 직접메탄올형(DMFC) 등으로 구분되어진다. 그 중에서도 고분자전해질 연료전지는 수소이온교환 특성을 갖는 고분자막을 전해질로 사용하는 연료전지로

서 다른 형태의 연료전지에 비해 작동온도가 낮고 효율이 높으며 전류밀도 및 출력밀도가 크고, 시동시간이 짧은 동시에 부하변화에 대한 빠른 응답 특성이 있다.

다양한 범위의 출력특성을 통해 차량 동력원, 분산전원, 이동용 전원, 군사용 전원 등 다양한 분야에 응용될 수 있는 고분자 전해질 연료전지(이하 PEMFC)는 연료전지 양쪽에 수소와 산소가 흐를 수 있는 바이폴라플레이트(Bipolar plate)와 연료극(Anode), 공기극(Cathode), 전해질막(Membrane)으로 구성된다. PEMFC의 구성요소 중에서 바이폴라플레이트의 유로에서 유동에 관한 연구는 연료전지 성능 향상에 중요한 영향을 미치는 기술요소이다.

본 논문에서는 수소와 산소가 흐를 수 있는

-
- 1) (주)퓨전정보기술
E-mail : 01196197917@naver.com
Tel : (062)223-0215 Fax : (061)330-2860
 - 2) 목포과학대학 자동차과
E-mail : photovoltaic@lycos.co.kr
Tel : (061)330-2860 Fax : (061)330-2860
 - 3) 동신대학교 수소에너지학과
E-mail : ischa@dsu.ac.kr
Tel : (061)330-3206 Fax : (061)330-2860
 - 4) 남부대학교 디지털정보학과
E-mail : enfdl@lycos.co.kr
Tel : (062)970-0125 Fax : (062)972-6200

역할을 하는 바이폴라 플레이트의 디자인에 관한 것으로서 각 구성요소의 특성과 유량, 압력 등의 운전조건, 부산물 등을 고려하여 바이폴라플레이트를 디자인하고 해석, 제작 하는 것을 목표로 한다.⁶⁾⁻⁷⁾

2. PEMFC 원리

PEMFC는 전해질 막을 중심으로 양쪽에 다공성 기체확산층인 Carbon Paper 또는 Carbon cloth에 백금 촉매 층이 입혀진 Anode와 Cathode가 부착되어 있는 형태로 되어 있다. PEMFC의 기본구조와 전기화학반응의 기본 흐름은 그림 1과 같다.

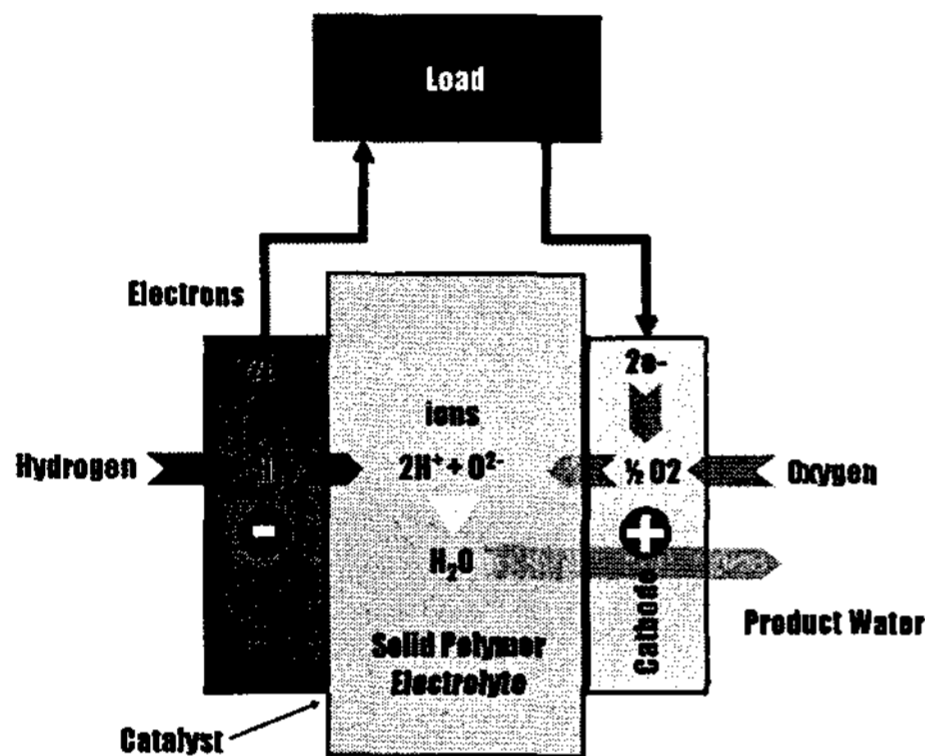
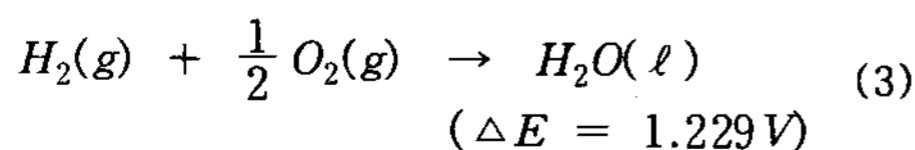
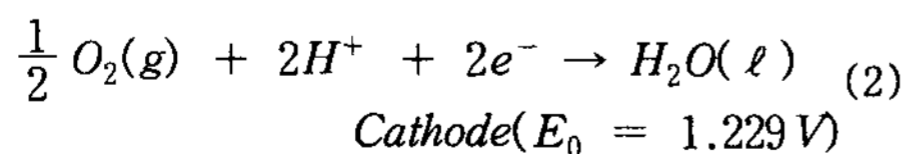
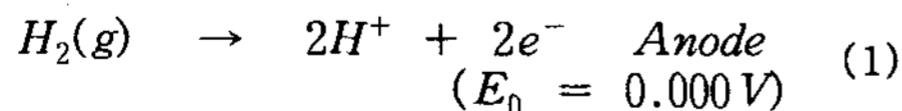


Figure 1 Schematic diagram of the PEMFC structure

Anode에서는 수소의 전기 화학적 산화가 일어나고, Cathode에서는 산소의 전기화학적 환원이 일어나며 이때 생성되는 전자의 이동으로 인해 전기에너지가 발생하게 된다.⁸⁾

Anode의 수소가 백금 촉매에 의해 H^+ 이온과 전자로 분리된 후 H^+ 이온은 전해질막 내 sulfonic acid(술폰산기)에 의해, 전자는 외부 회로를 통해 Cathode로 이동하게 된다.

Cathode에서는 전해질막을 통해 이동한 H^+ 이온과 산소가 반응하여 물을 생성하고, 외부회로를 통해 이동한 전자의 흐름이 전류가 된다. 전체적으로 수소와 산소가 결합하여 전기화학 반응에 의해 물을 생성하게 된다. 식 (1) - (3)은 각 전극에서의 반응식과 최종 반응식을 나타낸 것이다.



PEMFC의 전기화학반응은 일반적으로 60[°C]-80[°C]의 저온에서 느리게 반응하기 때문에 반응속도를 증가시키기 위해 백금과 같은 촉매를 사용하며, 수소와 산소 같은 반응물을 촉매와 빠르게 반응시키기 위해 확산층(Gas Diffusion Layer, GDL)이 사용된다. 촉매층에서 분리된 수소이온들은 MEA를 통해 Cathode로 이동하며 외부 회로를 통해 이동한 전자와 Anode로 공급된 산소와 반응을 하게된다.

MEA는 H^+ 이온만을 전달할 수 있는 고분자막을 사용하며 술폰산기를 포함하고 있는 고분자구조로 되어 있으며, sulfonic acid 기인 $-SO_3H$ 는 물에 의해 수화되고 이때 이동성이 있는 H^+ 와 비이동성인 $-SO_3^-$ 로 분리된다. 고분자 전해질막을 개발하고 있는 회사(제품명)는 미국의 DuPont(Nafion), Dow chemical (XUS), W. L. Gore & Associate (Gore-Select), 캐나다의 Ballard Advanced Material (BAM3G), 일본의 Asahi Chemical (Aciplex), Asahi Glass (Flemion), Chlorine Engineer (Product "C"), Tokuyama Soda, (Meosepta-F), 독일의. Hoechst 등이 있다.⁹⁾

3. 설계 및 해석

3.1 설계 조건

본 논문에서는 바이폴라플레이트의 설계 및 시뮬레이션을 위하여 표 1과 같은 기본 조건을 설정하였다.

조건	수치[m]
유동의 폭	0.07
유동의 길이	0.07
유로의 폭	0.002
유로의 깊이	0.002
유로 안쪽 폭	0.002

Table 1 Dimensions of the Model

모델에서 계산하는 영역은 Cathode 쪽 채널에서 시작하도록 하였고, 유로의 형상은 serpentine 타입으로 하였으며 모델링에 사용된 치수는 실험에 사용될 단위전지의 크기에 적합토록 하였다.

설계에 적용된 조건은 표 2와 같다.¹⁵⁾

Table 2 Schematic Condition

캐소드 쪽으로 주입되는 반응가스는 정상 상태
 중력의 영향은 무시
 유체의 흐름은 층류, 비압축성 이상 기체
 반응물과 생성물은 단상(single phase)
 MEA는 물 100% 가습
 MEA 내 수분 활동도(activity)는 MEA와 접한 control volume에 적용된 source term으로부터 계산
 Graphite의 운전온도는 일정.

설계 조건을 통해 디자인된 바이폴라 플레이트는 그림 2와 같다.

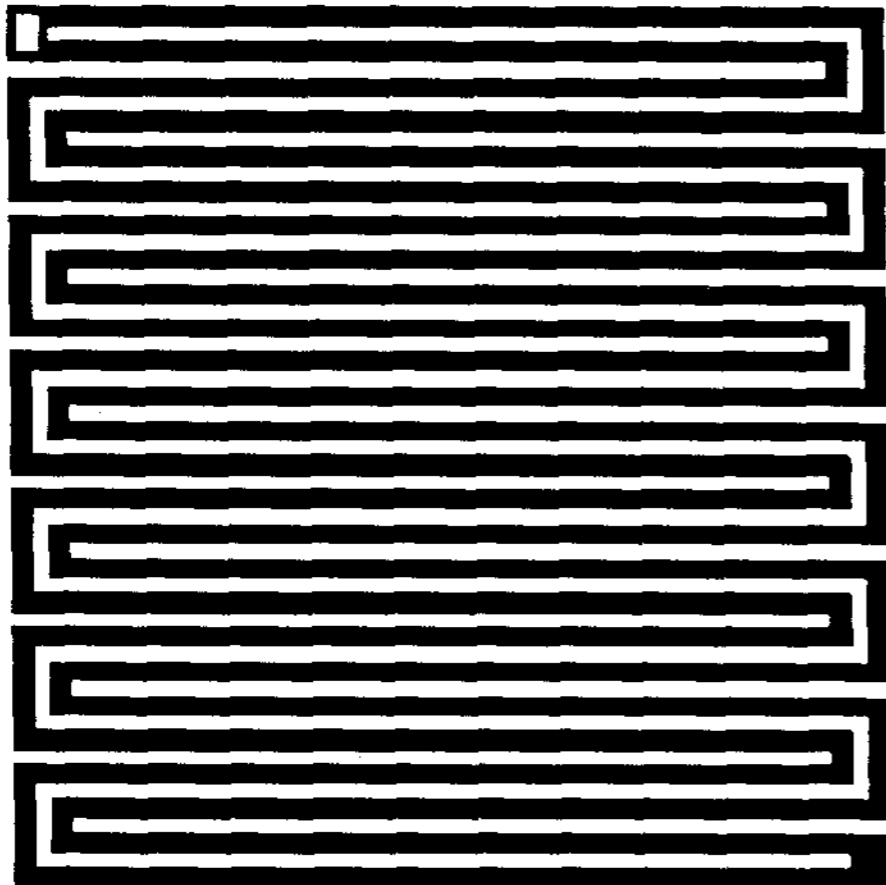


Figure 2 Schematic diagram of a serpentine flow channel

3.2 해석 및 결과

바이폴라플레이트는 산소와 수소가 기체 확산층을 통해 촉매로 이동하여 반응할 수 있게 하는 중요한 부분이다. 플레이트 유로 내에서 산소와 수소가 균일한 속도로 이동될 때 Stack의 성능이 향상된다.

CFD 상용 툴인 FLUENT Ver. 6.2를 이용하여 그림 3의 모델을 기준으로 속도분포와 전류밀도 분포를 해석하였다. 해석을 위하여 사용한 장비는 HP workstation XW-6200 XEON 2GB RAM을 사용하였으며 속도분포와 전류밀도분포를 해석하였다. 해석된 결과는 그림 3, 그림 4와 같다.

그림 3의 경우 serpentine 형식의 플레이트는 비교적 유속이 빠르며 채널간의 속도 분포도 균일한 것을 알 수 있다. 그림 4의 경우 반응가스의 농도가 전류밀도에 영향을 끼치는 것을 보여주는 전류밀도분포 해석도이다.

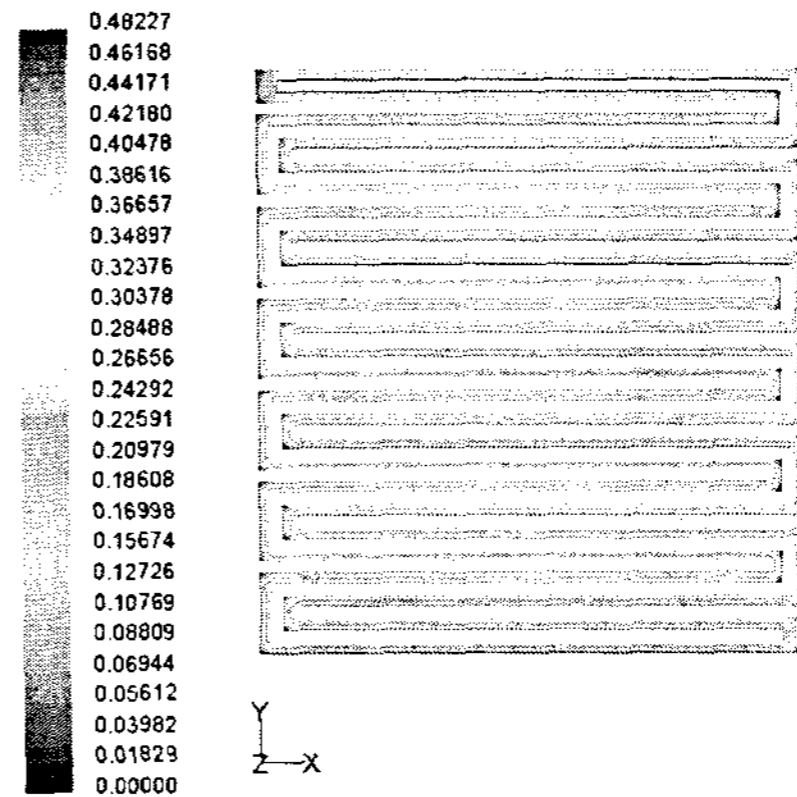


Figure 3 Velocity distribution in serpentine flow channel [m/s].

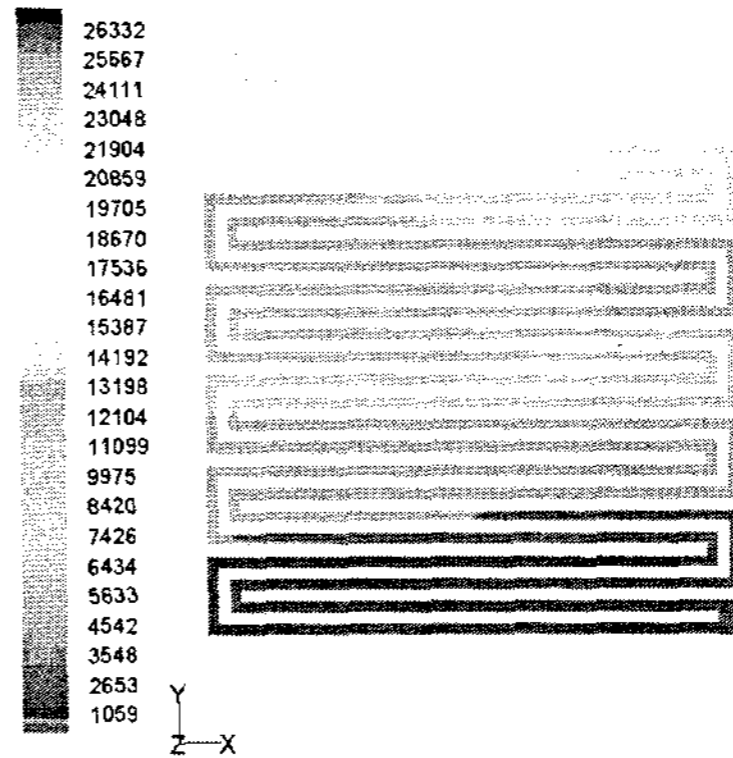


Figure 4 Local current density distribution at the serpentine flow channel [A/m]

4. 시제품 제작

그림 5는 설계와 해석을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 제작된 바이폴라플레이트 시제품의 사진을 나타낸 것으로 플레이트의 크기는 전체 120mm × 120mm 이며 유로 크기는 70mm × 70mm 이다.

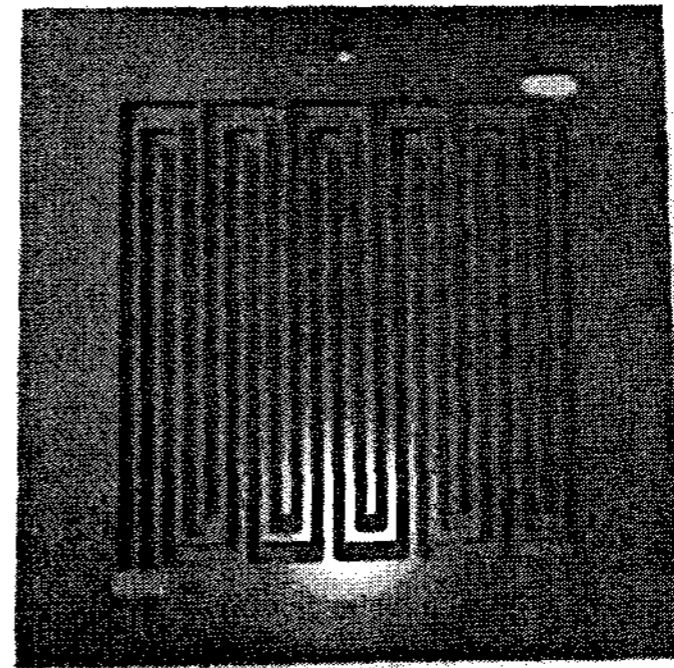


Figure 5 Bipolar plate proto-type (120mm x 120mm)

시제품을 통해 구성된 PEMFC stack은 그림 6과 같다.

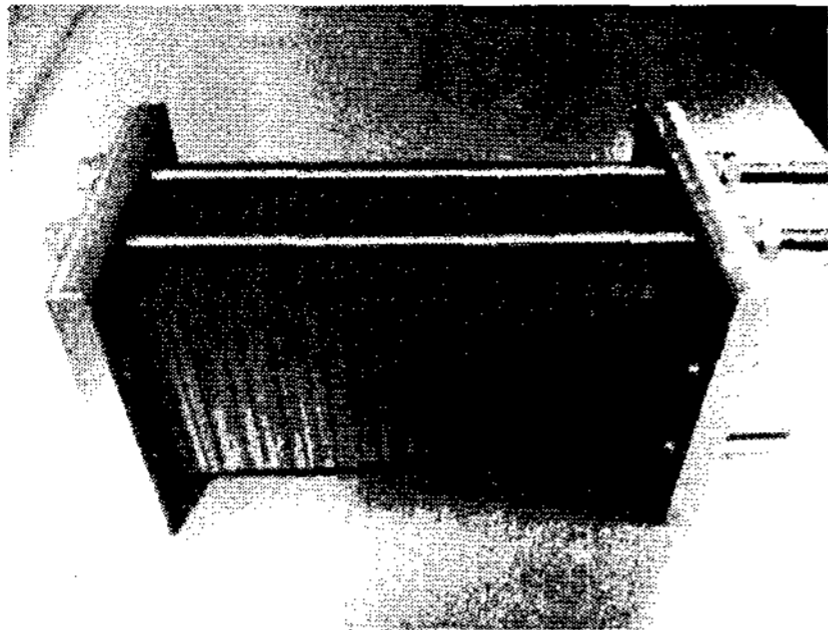


Figure 6 500[W] PEMFC Stack

시제품을 이용하여 그림 7과 같은 연구용 500[W] PEMFC 시스템 제작을 위한 연구를 진행 중이다.

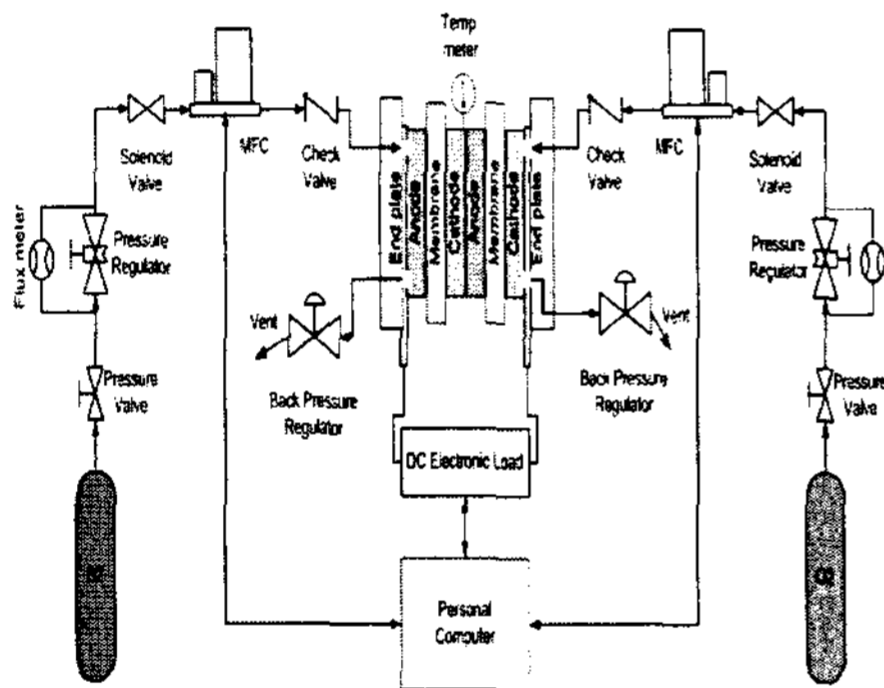


그림 7 Block diagram of 500W PEMFC system

5. 결론

다양한 범위의 출력특성을 통해 이동형 전원, 분산형 대체 전원, 가정용 보조전원 등 다양한 분야에 응용될 수 있는 고분자 전해질 연료전지의 구성요소 중에서 바이폴라플레이트의 유로에서 유동에 관한 연구는 연료전지 성능 향상에 중요한 영향을 미치는 기술요소이다.

본 논문에서는 수소와 산소가 흐를 수 있는 역할을 하는 바이폴라 플레이트의 디자인에 관한 연구와 FLUENT를 사용하여 속도분포 및 전류밀도 분포에 관한 해석을 수행하였다.

해석된 모델과 실제 제작된 Proto-type의 모델은 대부분 일치하였으며 이후 제작시 큰 도움이 될 것으로 사료된다. 해석된 결과를 통해 가스가 플레이트 유로 전체에서 균일한 분포를 나타낼 수 있도록 하는 유로의 설계가 절실함을 알 수 있었다.

현재, 본 논문을 통해 제작된 바이폴라플레이트를 이용하여 500W PEMFC 시스템을 구성하였고 이를 통해 얻어진 운전특성 및 시스템 관리는 연구를 통하여 차후 논문에서 밝히고자 한다.

References

- [1] 에너지 경제연구원, "기후변화 협약과 교토의 정서 대응전략 연구", 산업자원부, 2002
- [2] 恩田和夫, "21세기에 기대되는 연료전지 발전 시스템", 전기화학 및 공업물리학회지, pp. 658-661, 2000.
- [3] 신동열, "수소/연료전지 기술개발의 중요성", KIER 기술분석지, 23, pp.1-5, 2003.
- [4] Cutler J. Cleveland, "Encyclopedia of Energy", Elsevier, Vol. 2, 2004
- [5] International energy agency, "World energy outlook 2002", IEA, 2002.
- [6] S. H. Ge and B. L. Yi, A mathematical model for PEMFC in different flow modes, J. Power Sources, 101, 289, 2003
- [7] N. Djilali and D. Lu, Influence of heat transfer on gas and water transport in fuel cells, Inc. J. Therm. Sci. 41, 29, 2002
- [8] E. Hontanon, M. J. Escudero, and C. Bautista, Optimisation of flow-field in polymer electrolyte membrane fuel cells using computational fluid dynamics techniques, J. Power Sources, 86, 363, 2002
- [9] G. Gaggio, V. Recupero and L. Pino, Modeling polymer electrolyte fuel cells: an innovative approach, J. Power Sources, 101, 275, 2001