

자동차용 PEMFC 스택 개발

신 환수¹⁾, 조 규택²⁾, 성 용진³⁾, 김 영민⁴⁾, 서 진식⁵⁾, 김 세훈⁶⁾

Development of PEMFC stack for Fuelcell vehicle

Hwansoo Shin, Gyutaek Cho, Yongjin Seong, Yungmin Kim, Saehoon Kim

Key words : PEMFC stack(고분자전해질 연료전지), Power density(출력밀도), Gas to Gas humidifier(가스/가스 가습기), stack performance(스택 성능)

Abstract : Hyundai motor company has designed a above 50kW-class PEMFC stack for Fuelcell vehicle based on SUV. Hyundai increased the power density of the stack through the optimized flowfield of bipolar plate, manifold structure, and improvement of sealing, etc. Also, Gas to Gas humidifier was adopted in fuelcell system to reduce the system humidification load, it had been proven by short stack test. Components of stack, bilpolar plate, manifold, were analyzed through the computer simulation, so temperature and pressure distribution in the components and system were improved. This stack tested in Bread Board which was organized similar to real vehicle system.

subscrip

BOP : Balance of Plant
MEA : Membrane Electrolyte Assembly
GDM : Gas Diffusion Media
MPL : Micro-porous Layer

위해서 많은 노력을 기울이고 있으며, 현대 자동차 또한 이러한 기류에 발맞추어 연료전지 자동차 개발에 박차를 가하고 있다. 현대자동차는 2000년부터 UTCFC와 공동으로 연료전지차량을 개발하고 있으며, 동시에 정부지원을 바탕으로 자체개발 자동차용 연료전지 스택(시스템)을 개발하고 있다. 본 논문에서는 현대자동차가 자체개발하고 있는 연료전지 자동차용 스택개발 현황에 대해서 소개하고자 한다.²⁾

1. 서론

연료전지 자동차는 자동차 산업에서 환경문제와 에너지 문제를 해결할 수 있는 대안으로 여겨지고 있다. 연료전지는 화학적 에너지를 전기적 에너지로 변환시키는 장치로 연료로는 우주상에 가장 많이 존재하는 수소와 대기 중의 산소를 이용하기 때문에 환경문제와 에너지 자원 고갈 문제를 동시에 해결할 수 있다.¹⁾ PEMFC는 다른 연료전지들 보다 낮은 온도에서 작동하며 출력밀도가 높기 때문에 수송용과 가정용으로 개발이 이루어지고 있다. 세계 유수의 자동차 업체에서 PEMFC를 사용한 연료전지자동차를 상업화시키기

-
- 1) 현대자동차
E-mail : hsshin74@hyundai-motor.com
Tel : (031)368-6672 Fax : (031)368-6787
 - 2) 현대자동차
E-mail : polymeric@hyundai-motor.com
Tel : (031)368-6672 Fax : (031)368-6787
 - 3) 현대자동차
E-mail : heyman@hyundai-motor.com
Tel : (031)368-6672 Fax : (031)368-6787
 - 4) 현대자동차
E-mail : kymin06@hyundai-motor.com
Tel : (031)368-6672 Fax : (031)368-6787
 - 5) 현대자동차
E-mail : jinsikseo@hyundai-motor.com
Tel : (031)368-7635 Fax : (031)368-6787
 - 5) 현대자동차
E-mail : saehoon@hyundai-motor.com
Tel : (031)368-6672 Fax : (031)368-6787

2. 50kW급 이상 PEMFC 스택 개발

현대자동차는 연료전지시스템의 효율을 높이기 위해 대기압에서 운전되어지는 스택 및 시스템을 개발하고 있다. 이러한 대기압 시스템을 기본 바탕으로 연료전지 차량용 연료전지 스택을 개발하였다.

2.1 연료전지 스택의 구성

현대자동차의 연료전지 스택은 110셀로 이루어진 서브스택을 기본 구조로 하고 있다. 이러한 서브스택 4개를 공용분배구조를 기준으로 체결하여 하나의 연료전지 스택을 구성하게 된다. 각 서브스택은 적층된 분리판과 MEA, GDM들을 적절한 힘을 가해 엔드플레이트와 체결밴드를 통해서 체결되어 제조된다. 공용분배구조는 연료로 사용되는 수소와 공기를 각 서브스택에 균일하게 분배하여 공급하고 배출가스와 생성 및 가습수를 효율적으로 배출되게 해준다. 또한 스택운전 시 발생하는 발생열을 제거하기 위한 냉각수의 분배 역할을 수행하고 있다. 표 1에는 현대자동차에 개발된 자동차용 PEMFC 스택의 사양을 나타냈다.

Table 1 Specifications of Hyundai's Stack

셀 수	440	작동온도(°C)	65°C
부피(L)	97.7	연료	수소/공기
무게(kg)	115	가습	외부가습
작동전압(V)	250-440	운전압력	대기압
출력(kW)	80kW		

연료전지 스택은 순수한 수소와 대기 중의 공기를 사용하고 있으며, 반응하지 않고 배출되는 수소는 리사이클링 블로어를 이용하여 재순환시키고 있다. 따라서 수소의 가습은 재순환과 스택 내의 water balance에 의해서 조절된다. 공기의 가습은 Gas-to-Gas 가습기를 사용하고 있으며, 공기출구에서 나오는 가스의 이용하여 공급해 주는 공기를 가습하는 형태를 적용하므로써 차량탑재 시 가습부하를 감소시킬 수 있게 된다.

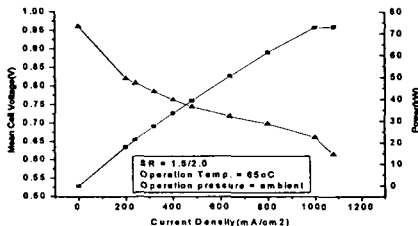


Fig. 1 Performance of Hyundai's stack

그림 1에는 현대자동차가 개발한 차량용 proto-type 연료전지 스택의 성능곡선을 나타냈다. Proto-type으로 제작된 스택은 실제 연료전지 차량에서 사용되는 BOP 부품들로 이루어지고 연료전지 차량 제어시스템으로 운전되는 Bread Board 장치에서 평가되었다. Bread Board 장치에서는 연료전지 스택의 운전성능 특성, BOP 부품

의 성능검증과 연료전지 스택과의 상용성, 운전 기술개발 등을 수행할 수 있다.

2.2 구성품 개발

연료전지 스택을 구성하는 분리판의 온도분포 향상, 냉각수 및 공기 입/출구의 압력차 감소, 공용분배구조의 분배성능을 향상시키기 위해서 시뮬레이션 해석과 설계인자 검증 등이 수행되었다.

2.2.1 분리판

1) 분리판 압력편차 개선

스택의 차량탑재성 향상을 위해서 분리판의 두께감소가 요구되었으며, 이러한 두께감소는 연료/냉각수 유로 깊이의 감소를 초래하여 압력상승의 요인으로 작용하였다. 또한 스택의 출력이 증가함에 따라 냉각수 펌프와 공기공급기의 용량증대가 분리판 유로설계 개선을 유발시켰다. 이에 따라, 기존의 분리판과는 다른 유로의 형태, 깊이, 폭, 매니폴드의 크기를 갖는 분리판을 설계하였다. 새로운 분리판은 입/출구 차압을 0.1 bar 이내로 유지하며, 분리판의 두께를 기존대비 0.4mm 감소시켰으며, 면적은 28.9%로 감소시키므로써 스택 출력밀도 향상에 크게 기여 하였다.

2) 냉각수 온도편차 개선

분리판의 면적이 증가됨에 따라 냉각수 입구측과 출구측의 반응열에 의한 온도편차가 증가하게 된다. 분리판의 균일한 온도편차는 안정적인 스택의 성능과 구성품의 내구성을 향상시켜주게 된다. 냉각수의 유로설계는 분리판 냉각성능 향상뿐만 아니라 수소/공기 유로의 형태와 상관관계가 있기 때문에, 분리판 파손성과 냉각성능을 함께 고려해야만 한다.

그림 1.에는 컴퓨터 해석을 통한 분리판의 온도편차를 나타냈다. 분석결과 기존의 분리판은 중앙부의 온도가 높게 형성되어 있었다. 이에 따라 냉각수 중앙부 유로에 냉각수 유량을 증가시키며, 수소/공기 유로와 간섭을 최소화 시키는 구조로 설계를 변경한 결과 온도편차를 기존 15°C에서 10°C로 감소되었다.

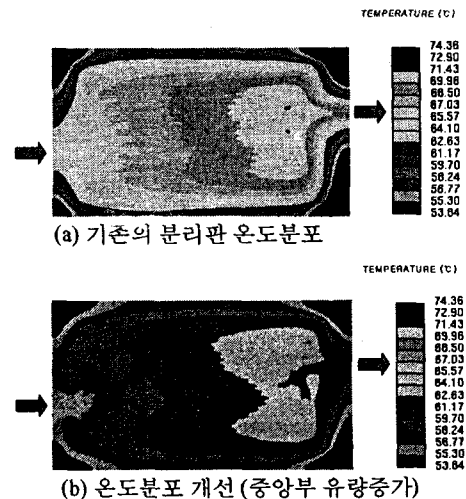


Fig. 2 Improvement of Temperature distribution in Bipolar plate

2.2.1 공용분배구조

1) 공용분배구조 개발

반응가스를 각 서브스택으로 균일하게 분배하고, 각 서브스택 내 분리판으로 반응가스를 공급해주기 위해서 공용분배구조의 유동해석을 통해 설계인자를 도출해 낼 수 있으며, 이러한 설계인자의 적절한 조절에 의해 균일한 분배구조를 설계할 수 있게 된다.

차량의 부하가 변동함에 따라 공용분배구조 매니폴드 내에 비정상적인 유동이 발생할 것으로 여겨져 2-D 유동해석을 실시하였다. 120셀 스택에 90도 각도로 회전하여 공기가 들어온다고 가정하였다. 0.1초동안 공기의 유량이 50A에서 150A에 상응하는 유량으로 증가할 경우, 입구 및 출구영역에서 층류에서 난류영역으로 변하며, 유동장내 순간적 역압력구배가 발생하여 반응가스가 원활히 공급되지 못하는 것을 알 수 있었다. 이러한 2-D 유동해석뿐만 아니라 3-D해석을 통해서, 4개의 서브스택으로 수소/공기/냉각수를 균일하게 분배할 수 있는 공용분배 구조를 설계하였으며, 그림. 2와 3에 공용분배구조 설계 시 이루어 졌던 유동해석결과들을 나타냈다.

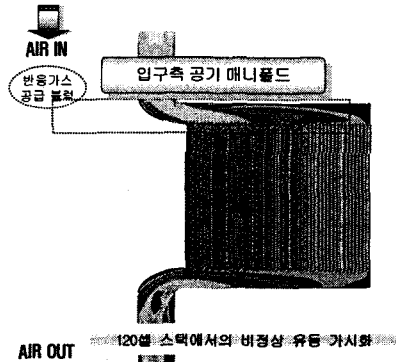


Fig. 3 2-D Flow Analysis in Manifold

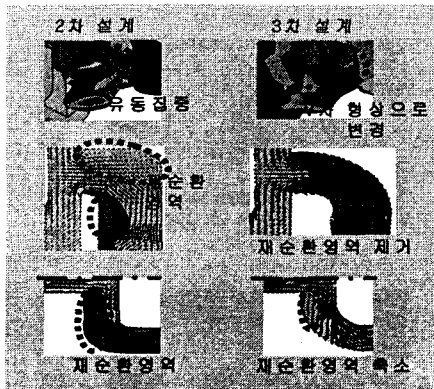


Fig. 4 2-D Improvement pressure distribution in Manifold

유동해석결과 발견된 문제점들을 해결한 최종 설계된 공용분배구조의 경우, 서브스택별 최대유

량편차가 1%이내이며, 입구와 출구의 압력차이는 4000 LPM에서 0.06 bar 이내로 나타나고 있다.

2.3. 성능향상

스택의 셀 성능향상을 위해서 가습, 운전온도, MEA, GDM, 분리판물성 등의 변화에 따른 단위전지 평가실험도 꾸준히 진행되고 있다

2.3.1. GDM에 따른 셀 성능변화

GDM은 촉매층으로의 반응물 확산과 생성물의 배출을 원활히 하게하며, 촉매의 유실을 방지하는 역할을 수행한다.³⁾ 근래에는 MPL을 도입하여 GDM과 촉매층과의 전기적 접촉을 향상시키고, 생성물의 배출을 더욱 용이하게 하고 있다.

GDM 변화시 성능변화와 가습조건 변화에 따른 성능변화를 확인하여 최적의 MEA/GDM 조합과 운전 조건을 도출하기 위한 일련의 실험을 수행해왔다. 그림 3에는 다양한 상용 GDM과 MEA의 조합에 따른 단위전지의 성능곡선을 나타냈다.

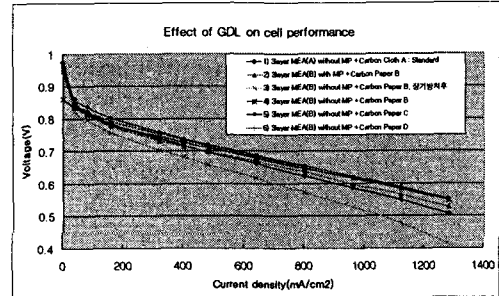


Fig. 5 IV-Curve with various GDMs

GDM A와 B는 MPL이 없는 것으로 MEA 전극촉매위에 상용 MPL을 접합하여 시험하였으며, GDM C와 D는 MPL직접 코팅된 사양으로 상용 MPL을 사용하지 않고 시험하였다. GDM B의 경우 상용MPL을 사용하지 않게 되면 초기에는 상용MPL을 사용한 것보다 높은 성능을 나타내지만 시간이 지남에 따라 셀 성능이 저하되는 현상이 보였다. MPL가 없는 경우 단위전지 체결 시 GDM이 MEA를 침투하여 수소의 crossover가 발생하여 OCV가 상대적으로 낮게 형성되고, 추후에는 electric short가 발생된 것으로 사료된다. GDM C와 D를 사용할 경우, 가장 높으며 안정된 성능을 보였다.

2.4 Gas-to-GAS 가습기

연료전지 차량의 가습부하를 줄이고자 Gas-to-Gas 튜브형 막가습기를 사용하였다. 차량 시스템에 적용가능 여부를 판단하기 위해서 20셀로 이루어진 Short stack을 제작하여 검증실험을 실시하였다. 그림. 4에 나타낸 바와 같이 수소는 연료전지 평가장치를 통해서 가습을 조절하고, 공기출구와 입구를 가습기와 연결하여 공기를 가습하였으며, 공기의 상대습도는 50%가 된다.

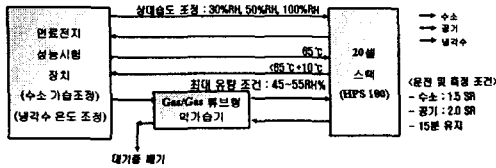


Fig. 6 Schematic diagram of experimental system

시험결과 튜브형 막가습기를 사용하여도 커다란 성능변화를 발견하지 못하였다. 수소 기압량 변화에 따른 성능차이는 300A 부하 시, 셀 평균전압에서 최대 0.017V의 차이를 보였으며, 수소의 상대습도가 50%일 때 최대의 성능을 나타냈다. 이때의 성능을 440셀 스택 출력으로 환산할 경우, 셀 전압 0.6V 기준 80kW의 출력이 예상되었다.

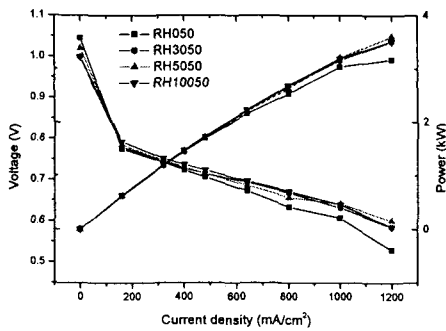


Fig. 7 I-V curve of 20 cell stack at various relative humidity condition

4. 결론

현대자동차는 연료전지스택에 사용되는 여러 구성품 개발과 운전기술 개발에 많은 노력을 기울이고 있으며, 기 제작된 proto-type의 스택의 평가를 통해 연료전지 차량에서 요구되어지는 사양을 만족하며, 높은 출력밀도와 내구성 있는 80kW급 차량용 PEMFC 스택을 개발에 박차를 가하고 있다. 이러한 기술을 바탕으로 현대자동차는 보다 나은 지구환경을 위해서 2010년대 연료전지 자동차 상용화를 달성하고자 많은 노력을 기울이고 있다.

Reference

- [1] R.K.A.M. Mallant, 2003, "PEMFC system: the need for high temperature polymer as water and heat management" J. Power Source, 118, 424-429
- [2] J.H. Lee, L.H. Jeong, K. I. Lee, H.R. Kwon, H.S. Shin, 2005, "Development of fuelcell hybrid vehicle powered by Hyundai's fuelcell II", EVS21
- [3] L. Jordan, A. Shukla, T. Behrsing, N. Avery, B. Muddle, M. Forsyth, 2000, J. Power Source, 86, 250-254