한국신·재생에너지학회 2008년도 추계학술대회논문집 pp.14~16

중성자 가시화를 통한 연료전지 분리판 평가

*윤 종진[1], 조 규택[2], 이 종현[3], 안 병기[4]

Investigation on Neutron imaging method of bipolar plate for PEMFC

*Jongjin Yoon, Kyutaek Cho, Jonghyun Lee, Byungki Ahn

Key words : Fuel cell(연료전지), PEM(고분자전해질막), Neutron imaging(중성자 가시화), Automotive (차량)

Abstract : 자동차 구동용 연료전지 스택에 적용된 분리판에 대하여 연료전지 내부의 수분분포 및 농도를 측정할 수 있는 중성자 가시화 기법을 이용하여 구조진단을 실시하여 유로의 분기부 및 180도 회전부의 수분 응축과 같은 국부적인 Flooding 현상과 분리판의 반응면적 전체에 대한 불균일한 수분분포를 확인하였다. 신규 개발 스택에 적용된 분리판은 이러한 구조진단 결과를 바탕으로 변형된 유로 도입을 통한 180도 회전부 제거, 냉각수 입구와 인접한 부분에서 교차하게 되는 수소 출구 부분의 수분응축에 의한 Flooding 현상을 완화하기 위한 냉각수 유로를 적용하여 중성자 가시화 기법을 통하여 동일한 가습조건에서 부하에 따른 분리판 반응면적 전체에 대한 수분분포를 조사하였다.

subscrip

NR	: neutron radiation
PEMFC	: proton exchange membrane fuel cell
MEA	: membrane electrode assembly
GDL	: gas diffusion layer
SR	: stoichiometric ratio
BB	: bread board
BOP	: balance of plant

1. 서 론

연료전지는 수소와 공기의 반응을 통해 전기를 생산할 수 있는 시스템으로 반응 생성물이 깨끗한 물 외에는 없는 미래 사회의 에너지 도구로 세계 각국에서 개발 중에 있다.[1] 특히 연료전지 스택은 내연기관의 엔진에 해당하는 부분으로 이에대한 기술개발이 활발히 이루어지고 있다.[1)-3)] 현대자동차에서는 PEMFC를 장착한 투싼/스포티지 연료전지 차량을 제작하여 운행 및 개발 중에 있다. 세계적으로 연료전지 차량의 상용화 있어서의 현안으로는 내구성 및 가격저감의 문제가 있다. 이러한 문제 해결에 있어서 성능 및 내구성 향상 관련 주요 관리 인자로서는 연료와 물이 있다. 물은 가습기 및 기타 경로를 통해 연료전지에 공급되는 가습수와 연료의 반응 후 생성되는 생성수로 구분될 수 있다. 효율적인 물 관리를 위해서는 물과 연료의 통로가 되는 분리판 유로에 있어서 적절히 물 배출이 이루어지는 다양한 형태의 유로설계 및 검증이 필요하다.

2. 연료전지 분리판

기존 80kW급 연료전지 스택 및 신규로 개발된 스택에 적용된 분리판은 제1판의 한 면에는 연료인 수소의 통로가 그 반대쪽 면에는 냉각수의 통로가 형성되고, 제2판의 한 면에는 공기의 통로가 그 반대쪽 면에는 냉각수의 통로가 형성되도

1) 현대자동차
E-mail : jjyoon@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3188 Fax : (031)368-6787
2) 현대자동차
E-mail : polymerics@hyundai-motor.com
Tel : 1-814-865-4783 Fax : 1-814-865-6694
3) 현대자동차
E-mail : jhlee1@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3206 Fax : (031)368-6787
4) 현대자동차
E-mail : bk.ahn@hyundai-motor.com
Tel : (031)899-3230 Fax : (031)368-6787

록 하여 제1판과 제2판의 냉각수의 통로가 서로 만나도록 하여 접착하는 냉각분리판의 형태로 제작되며, 이는 다시 그 기능에 따라 연료전지 반응이 일어나는 MEA로 GDL을 통하여 수소와 공기를 공급함과 동시에 반응열을 제거하기 위한 냉각수 유로가 형성되어 있는 Flow field 부분과 이러한 Flow field 부분으로 반응기체들 및 냉각수가 출입되는 Manifold 부분 및 Flow field 부분과 Manifold 부분 사이에 존재하여 수소, 공기, 냉각수가 혼합되지 않도록 하는 Sealing 부분으로 구분된다.

개발된 분리판은 자동차라는 공간제약을 극복하고 연료전지 스택의 조립 및 유지/보수성을 확보하면서 고출력밀도를 달성하기 위하여 분리판의 두께를 최소화 할 수 있는 Manifold 부분과 Flow Field 부분 및 Sealing 부분의 연결구조 뿐만 아니라 기존의 80kW급에 비해 좀더 길이가 길고 높이가 낮은 형태로 형상설계를 진행하여 반응면적을 증가시켰다.

이러한 형상설계는 Manifold 부분에서 Flow Field 부분으로 연결되는 통로의 전체 단면적을 줄여서 연료전지 스택의 부하운전중 유량증가에 따른 차압 증가로 인해 연료전지 시스템의 운전압력을 높이고 공기공급기의 소모동력을 증가시켜 시스템의 효율을 낮추는 문제점을 일으키므로, 연료전지 스택의 안정적인 운전에 필요한 SR을 고려하여 연료인 수소의 Manifold 부분과 공기의 Manifold 부분의 면적비율을 1:1.5~3.0으로 조정하고, 각각의 Flow Field 부분의 유로 깊이를 조정함과 동시에 변형된 직선유로를 도입하여 반응면적의 증가에 따라 동일한 전류밀도에서 반응기체들의 유량을 증가되더라도 전체적인 분리판의 차압이 기존의 80kW급 스택에 적용된 분리판에 비해 동일 수준 이하가 되도록 설계하였다.

또한, 차량의 구동에 필요한 전기에너지의 생산을 위한 연료전지반응에서 수소이온의 이동특성과 밀접한 관련이 있는 수분분포를 분리판의 반응면적 전체에 고르게 유지시키고, 반응생성수 및 공급된 가습수의 이동에 의해 발생되는 성능에 나쁜영향을 미치는 Flooding을 저감시키는 방향으로 냉각수 유로를 설계하였다.

2.1 연료전지 분리판의 구조 진단

차량 및 BB시스템에서 약 80kW의 출력을 내고 1000시간 이상의 장기운전이 가능한 것으로 확인된 연료전지 스택에 적용된 분리판에 대하여 연료전지 내부의 수분분포 및 수분양을 측정할 수 있는 중성자 가시화 기법을 이용하여 구조진단을 실시하여 Fig.1에 나타낸 바와 같이 수소 유로의 분기부 및 180도 회전부의 수분 응축과 같은 국부적인 Flooding 현상과 분리판의 반응면적 전체에 대한 불균일한 수분분포를 확인하였다.

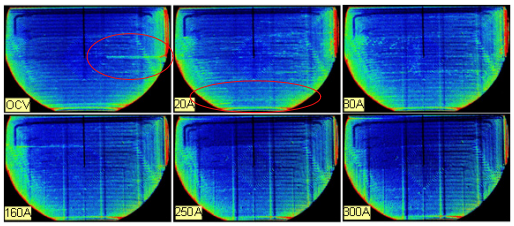
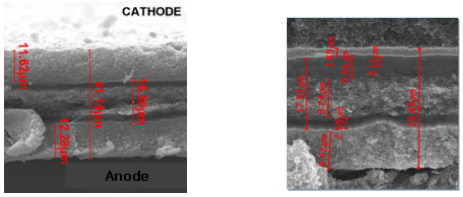


Fig.1 기존 분리판의 중성자 가시화 구조진단

국부적인 Flooding 현상은 연료인 수소의 공급이 원활하지 못하게 하는 효과에 의하여 MEA의 전극에 위치한 탄소 담지체에 고전압이 인가되도록 하여 국부적인 탄소부식을 가속화하는 효과를 가져와 장기적으로 연료전지의 성능 저하를 발생시키게 된다.[4)]



(1) 부식 전 (2) 부식 후

Fig. 2 탄소 부식에 의한 전극 두께 감소

또한, 연료전지 분리판의 반응면적 전체에 대한 불균일한 수분분포는 연료전지 셀의 국부적인 열화 및 전체 출력을 저하시키는 작용을 하게 된다. Fig.2에는 탄소부식에 의한 cathode 전극두께 감소 SEM 단면 사진을 보이고 있다.

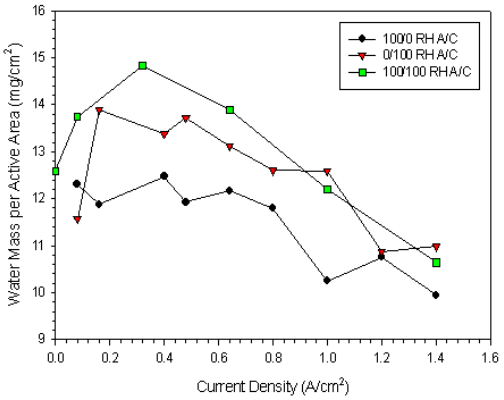


Fig. 3 가습 조건에 따른 셀 내 수분양

Fig.3에서 가습 조건에 따른 기존 분리판의 수분양 변화를 관찰한 결과 anode/cathode 가습이 100/100일 경우 셀 내에 가장 많은 수분이 존재하고 0/100 및 100/0의 순으로 나타났다. cathode에 무가습인 연료를 공급할 때 셀 내 수분양이 가장 적은 것을 알 수 있다.

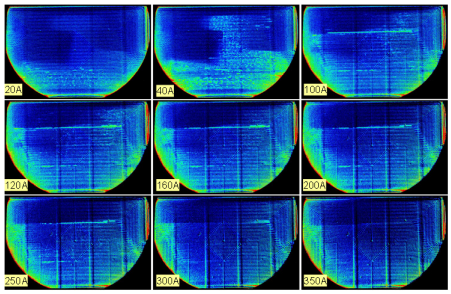


Fig. 4 A/C 100/0 가습 조건의 중성자 이미지

Fig.5의 양론비에 따른 셀 내 수분양 결과는 수양이 주로 anode 양론에 의존하는 것을 알 수 있다.

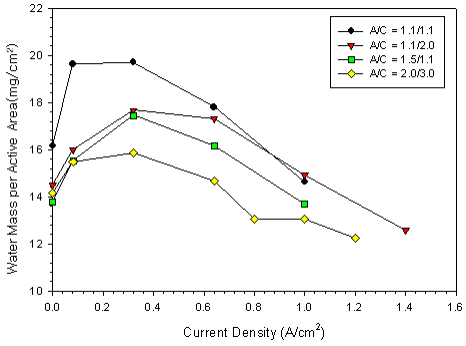


Fig. 5 양론비에 따른 셀 내 물량

2.2 신규 분리판의 구조 진단

신규로 개발된 스택에 적용된 분리판은 중성자 가시화를 통한 구조진단 결과를 적용하여 변형된 직선유로를 도입하여 180도 회전부에 의한 수분 응축을 제거하고, 냉각수 입구와 인접한 부분에서 교차하게 되는 수소 출구 부분의 냉각에 따른 수분응축에 의한 Flooding 현상을 완화하는 냉각수 유로를 적용하여 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 중성자 가시화 기법을 통하여 동일한 가습 조건에서 부하에 따른 분리판 반응면적 전체에 대한 수분분포를 조사하였다.

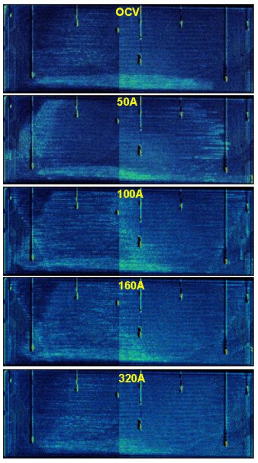


Fig. 6 신규 분리판의 수분분포 비교

또한, 이러한 수분분포개선의 효과를 확인하기 위하여 동일한 체결 및 운전조건에서 전압-전류밀도 특성곡선을 얻었으며, 이 결과로부터 신규 개발된 분리판을 적용한 셀이 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 1A/㎠의 전류밀도 조건에서 단위면적(㎠)당 약 12.7%의 출력이 상승한 것을 확인하였다.

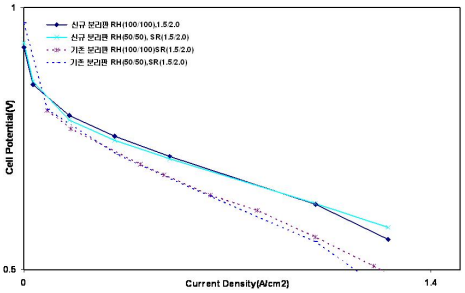


Fig. 7 전압-전류밀도 특성 곡선

3. 결 론

기존 분리판의 180도 회전부 및 냉각수 인접부에서의 수분 응축을 확인하고 가습 조건 및 양론비에 따른 셀 내 수분양을 정량화 하였다. 변형된 직선유로 구조와 반응기체 유로들의 높이조정 및 Manifold 부분의 면적비 조정을 통하여 기존 분리판과 동일한 수준으로 낮춤과 동시에 Flooding을 저감시키는 냉각수 유로 개념을 적용한 신규 개발 분리판에 대해 중성자 가시화를 통한 구조분석을 실시하여 기존 분리판에 비해 수분분포가 개선되고 1A/㎠의 전류밀도 조건에서 단위면적(㎠)당 약 12.7%의 출력밀도가 상승한 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 수소·연료전지사업단의 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] M.L.Perry, T.F.Fuller, "A Historical Perspective of Fuel Cell Technology in the 20th Century", J. Electrochem. Soc., 149(7) S59~S67, 2002.
[2] S.M.Jin, Y.C.Yang, Y.B.Kum, J.H.Lee, S.H. Kim, "Development of High Power Bipolar Plates for Fuel Cell Vehicles", KSAE (spring) Vol.4, 2356~2361, 2007.
[3] Y.Shao, G.Yin, Z.Wang, Y.Gao, "Proton exchange membrane fuel cell from low temperature to high temperature : Material challenges", J. Power Sources, 167, pp 235~242, 2007.
[4] J.P.Meyers, R.M.Darling, "Model of Carbon Corrosion in PEM Fuel Cells", J. Electrochem. Soc., 153(8) A1432~A1442, 2006.