

Operating Characteristics on Coupling of Fuel-Cell System with Natural Gas Reformer

박 세 준* · 최 용 성[†] · 황 중 선** · 이 경 섭***
(Se-Joon Park · Young-Sung Choi · Jong-Sun Hwang · Kyung-Sup Lee)

Abstract - A reformer, which produces hydrogen from natural gas, plays a major role for producing quality hydrogen to fuel-cell system. In this paper, fuel processor is designed to deliver hydrogen(75%) from the reformer to 200W fuel-cell system, and the electrical output power of the fuel-cells is examined by being injected different hydrogen concentrations to the system. We verified that the output power characteristics of the fuel-cells with 75% reformed hydrogen was lower about 7% than the case of pure hydrogen supplied. The type of reformer in this experiment takes SMR(Steam methane reforming) process, and the temperature variation characteristics of reforming process by reactions are examined in operation.

Key Words : Natural Gas Reformer, Steam Methane Reforming, Fuel-Cell System, Polarization Curve, Reformed Hydrogen

1. 서 론

수소를 에너지원으로 사용하는 여러 가지의 응용분야 중 연료전지는 전기화학 반응에 의해 화학에너지를 전기에너지로 변환시키는 장치로, 낮은 환경오염, 높은 효율, 연료의 다양성(천연가스, LPG, 메탄올, 나프탈렌 등), 모듈화의 용이성[1] 등의 많은 장점을 가지고 있다. 태양광 및 풍력 등으로 대표되는 대체에너지자원은 일사량, 온도, 바람의 밀도 등의 시간적, 지형적 제약이 존재하는 반면, 연료전지는 연료가 공급되는 한 계속적으로 전기를 생산해 낼 수 있어 독립적인 발전이 가능하고, 출력의 변동이 적어 고품질의 분산전원으로 미래에너지 자원의 한 축이 되리라 여겨진다.

연료전지에 가장 알맞은 연료는 수소이나 현재 수소를 공급하는 사회 기반시설이 부재한 가운데 기존의 연료공급 시설을 이용하는 방법이 활발히 연구되고 있다. 사실 가장 이상적인 수소 생산방식은 물을 전기분해하는 것이지만 에너지 비용이 화학에너지에 이용하는 방식과 비교하여 약 5배 정도 비싸기 때문에 일본 등의 연료전지분야 선진국에서도 천연가스나 나프타 등의 탄화수소로부터 수소를 생산하는 방식을 채택하고 있다. 특히 수증기메탄개질(steam methane reforming)기술 분야는 현재 수소생산의 가장 큰 부분을 차지하고 있으며, 대용

량 리포머는 100,000Nm³/h에 이른다. 설비비 측면에서도 많은 부문을 점하고 있고, 수소제조에의 코스트 저감, 에너지 효율 향상 등의 키를 쥐고 있는 분야이기도 하다[2-7].

본 논문에서는 천연가스를 이용하여 약 75% 농도의 수소를 생산하는 개질기와 연계된 연료전지시스템을 제시하였고, 공급 수소의 종류(순수 및 개질수소)에 따른 연료전지 분극곡선의 변화 및 그에 따른 연료전지의 출력특성을 비교 분석하였으며, 운전중인 개질기의 반응 공정별 온도 경시변화를 검토하였다.

2. 이론적 배경

2.1 연료전지

연료전지의 구조는 전해질을 사이에 두고 두 전극이 샌드위치의 형태로 위치하며 두 전극을 통하여 수소이온과 산소이온이 지나가면서 전류를 발생시키고 부산물로서 열과 H₂O를 생성한다. 연료전지는 연료극(Anode)을 통하여 수소가 공급되고 산소극(Cathode)을 통하여 산소가 공급되면 연료극을 통해서 들어온 수소분자는 촉매(Catalyst)에 의해 양자와 전자로 나누어진다. 나누어진 양자와 전자는 서로 다른 경로를 통해 산소극에 도달하게 되는데, 양자는 연료전지의 중심에 있는 전해질(Electrolyte)을 통해 흘러가고, 전자는 외부회로를 통해 이동하면서 전류를 흐르게 하며 산소극에서는 다시 산소와 결합하여 최종적으로 H₂O가 된다.[8-12]

2.1.1 기본 반응

PEM형 연료전지는 전기화학적 에너지 변환 장치이다. 이 장치에서는 표 1과 같이 수소측(anode)과 산소측(cathode)에서 동시에 전기화학 반응이 진행된다. 이러한 반응은 이온 전도성 전해질과 전기전도성 전극 사이의 계면에서 일어난다. 연료전지 전기화학 반응의 반응물은 기체이므로, 전극을 다공질로 만들어야 기체가 반응 부위에 도달하는 동시에 생성

[†] 교신저자, 시니어회원 : 동신대 공대 전기공학과 교수 · 공박
E-mail: yschoi67@dsu.ac.kr

* 정 회 원 : 동신대 공대 전기공학과 겸임교수 · 공박

** 시니어회원 : 전남도립대 신재생에너지전기과 교수 · 공박

*** 시니어회원 : 동신대 공대 전기공학과 교수 · 공박

접수일자 : 2009년 11월 9일

최종완료 : 2009년 11월 26일

<본 논문은 본 학회 2009년도 전기설비전문위원회 추계학술대회에서 우수논문으로 선정되어 편집위원회에서 심사 후 본 논문에 게재 되었음>

된 수분이 반응 부위에서 떠날 수 있다. 한편 위에 나타난 반응들은 총괄 반응이며, 두 반응 모두 몇 단계의 중간 직렬 반응과 병렬 반응이 일어난다.[8-11]

표 1 PEM형 연료전지의 화학반응식

Table 1 Chemical reaction equation on PEM fuel-cell

Anode	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
Cathode	$\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
Overall	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$

2.1.2 분극 곡선

연료전지에 반응 기체를 공급하면서도 전기 회로가 차단되어 있으면 전류가 발생하지 않을 것이며, 주어진 조건(반응물의 온도, 압력, 농도)에서의 전기 전위는 이론 전기 전위와 같거나 이론에 가까울 것으로 예상할 것이다. 그러나 실제로 이 개회로(open circuit)전위는 이론 전위보다 아주 낮으며, 대개 1V 미만이다. 연료전지에서는 외부 전류가 발생하지 않을 경우에도 손실이 생김을 의미한다. 전기 회로가 레지스터(resistor)와 같은 부하(load)로 차단되면, 발생하는 전류에 따라 전위가 더욱 낮아 질 것으로 예상되는데, 이는 불가피한 손실 때문이다. 연료전지에서 전압 손실 요인에는 전기화학 반응 속도, 내부 저항과 이온 저항, 반응물이 반응 부위에 도달하는 용이도, 내부 전류, 반응물의 크로스오버(crossover) 등이 있으며 그림 1에 전형적인 연료전지의 분극곡선을 나타내었다.[8-9]

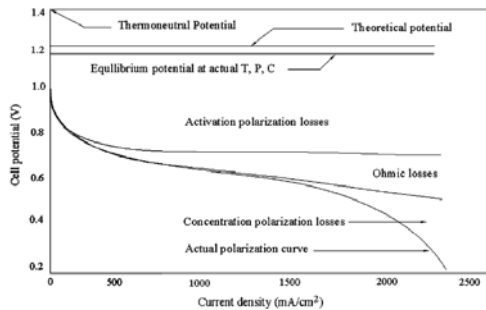


그림 1 전압손실로 인한 연료전지 분극곡선[8-9]
Fig. 1 Polarization curve by voltage losses in fuel-cell[8-9]

2.2 수증기메탄개질시스템

개질시스템(reforming system)은 메탄을 포함하고 있는 혼합가스를 반응조건을 주어 수소를 생산하는 장치로서 수소제조, 합성가스의 제조 공정에서 중심이 되는 부분이다. 연료개질 방법에는 크게 수증기메탄개질(SMR ; steam methane reforming)과 부분산화(POX ; partial oxidation), 그리고 자열개질(ATR ; auto-thermal reforming) 등으로 나뉘며 각각의 방법은 장·단점을 가지고 있다. 이중 SMR은 POX 및 ATR에 비해 고농도(75% 이상)의 수소를 생산할 수 있고 개질 효율이 비교적 높은 반면 반응 평형(정상)상태에 도달하는 속도가 느리며 연료전지의 촉매를 피독 시키는 CO가 발생되기 때문에 이 CO를 CO₂로 전환하여 주는 수성가스 전환반응(WGSR ; water gas shift reaction) 및 선택적 산화(PROX ; Preferential oxidation) 공정을 필수적으로 거쳐야 한다[2-7].

수소생산을 위한 LNG의 개질공정은 탈황(desulfurization)공정, 수증기개질(STR ; steam reforming)공정, 수성가스전환공정, 선택적 산화 공정 등 4가지의 공정을 거친다. 그림 2에서 SMR 수소생산 공정과 연계된 연료전지시스템의 구성도를 보여준다. 개질기(reformer)에 탈황 처리된 메탄가스와 700-800℃의 스팀 및 공기가 공급되어 약 60%의 수소, 10%의 CO, 6%의 공기, 19%의 CO₂가 혼합된 가스가 발생되며, 이 혼합 가스는 HTS(high temperature shift)와 LTS(low temperature shift)로 나누어진 WGS를 거쳐 약 75%의 수소와 0.5%의 CO를 갖게 된다. 미 반응된 CO는 다시 PROX I, II 반응에 의해 대부분이 제거되어 약 75%의 수소농도를 갖는 가스를 연료전지에 공급하게 되며, 각 공정별 반응 온도와 화학반응식은 표 2와 같다.

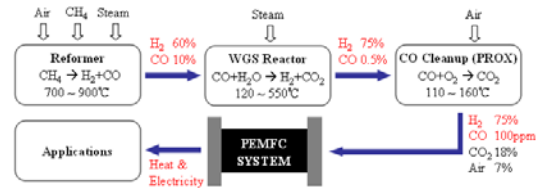


그림 2 SMR과 연계한 연료전지시스템의 순서도
Fig. 2 Flowchart of fuel-cell system with SMR

표 2 수증기메탄개질기의 화학 반응식

Table 2 Chemical reaction equation for SMR

단 계	반응온도	화학 반응식
STR	700-800℃	$CH_4 + 2H_2O \Rightarrow CO + 3H_2 + H_2O$
HTS	400-550℃	$CO + 3H_2 + H_2O \Rightarrow CO_2 + 4H_2$
LTS	120-220℃	
PROX	110-160℃	$CO(\text{미반응}) + 1/2O_2 \Rightarrow CO_2$
개질반응	-	$CH_4 + 2H_2O \Rightarrow CO_2 + 4H_2$

STR 공정에 사용된 촉매는 Ni 촉매로서, Ni은 C-C결합과 O-H결합의 파괴, 수소화 반응에 대해 높은 활성을 보이며, 알칼리종의추가는 흡수된 물질과 Ni의 상호작용으로 개질 활성을 높일 수 있다. 또한 Ni은 귀금속인 Rh과 마찬가지로 수성가스전환반응에 대한 활성이 비교적 낮지만 다른 촉매와 마찬가지로 Ni기반촉매의 사용에 도금속소결(sintering) 및 코크형성이 발생되어 운전시간이 증가함에 따라 성능이 저하된다.

2.2.1 개질가스가 연료전지 성능에 미치는 영향

개질가스에서 배출되는 개질가스 조성은 연료의 종류, 개질 장치의 형식, 연료 개질장치의 운전 효율 등에 따라 달라진다. 개질가스에는 CO가 100 PPM 까지 들어있고, 미반응 연료와 기타 탄화수소(메탄, 에탄, 에틸렌)도 포함된다. 또 소량이지만 황화수소, 암모니아, 알데히드 등의 부산물도 포함되어 있다.

기질가스가 연료전지의 성능에 영향을 미치는 이유는 1) 수소 함유량이 낮으면 전위가 손실되고, 2) CO는 촉매를 피독시키며, 3) 암모니아와 황화수소 등의 성분은 아주 낮은 농도에서도 촉매와 전해질막에 독성작용이 있기 때문이다. 특히 CO는 아주 낮은 농도에서도 심각한 영향을 미치는데, 100℃이하의 낮은 온도에서는 Pt의 CO 친화력이 수소보다 높으므로, CO 농도가 100 PPM 이하이더라도 촉매 활성부분의 대부분을 CO가 차지하게 되어, 실질적 전류 발생 능력이 거의 없어진다[8-10].

3. 실험방법

3.1 연료전지 스택

실험을 위해 제작된 200W급 PEM형 연료전지 스택의 단위전지(30직렬, 7W, 0.7V, 10A)는 흑연 재질의 분리판(10×10cm)과 Nafion 112와 탄소천을 hot press를 이용하여 접합한 것과 3M에서 제작한 MEA, End plate, 실리콘 개스킷 등으로 구성되어 있다. 분리판의 유로형태는 사행형이고 전극의 활성면적은 7.1×7.1cm이며, 백금 로딩량은 cathode의 경우 0.4mg Pt/cm²이며, anode는 0.2mg Pt/cm²이다. 3M사의 경우는 anode와 cathode쪽 모두 0.4mg Pt/cm²이다. 또한 스택 양쪽에 0.3mm의 구리판을 이용하여 전류 집진판으로 사용하였으며 SUS 재질의 end plates를 이용하여 체결하였다.

3.2 연료전지시스템

본 시스템의 구성은 그림 수소탱크와 공기공급용 컴프레서 및 펌지를 위한 질소탱크, 공급 가스의 압력조절을 위한 각각의 레귤레이터와 수분 및 유분을 걸러주는 필터, 3-way 솔레노이드 밸브, 가스유량컨트롤러인 MFC, 연료의 역류를 방지함으로써 MFC를 보호하는 체크밸브, 가습장치, Stack, 가스 배출구의 압력 조절을 위한 Back pressure 레귤레이터, 온도를 재기위한 TC, 전자 DC 부하기, 부하의 조절과 MFC를 제어함과 동시에 발전현황과 온도 등을 모니터링 할 수 있는 모니터링 설비 등으로 구성하였다.

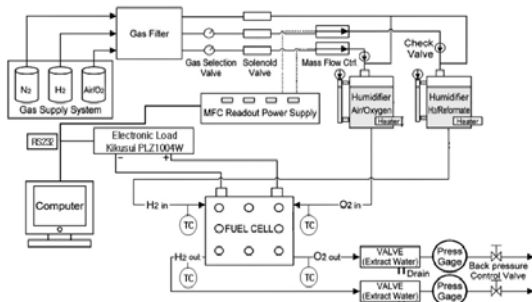


그림 3 PEMFC 시스템 구성도
Fig. 3 Schematic configuration of PEMFC system

3.3 천연가스이용 수소생산 개질기

본 연구에 사용된 개질기와 제어 파라미터는 그림 4, 5와 같다. 본 개질기는 크게 3가지로 분류할 수 있는데 시스템 제어부, 가스 및 스팀 공급부, 연료 개질부로 구성되어 있다. 제어부는 다시 각 영역의 온도, 압력, 유량 등 모든 데이터를 처리를 담당하는 PLC, PLC로부터 신호를 받아 밸브 및 펌프를 제어하는 릴레이, STR온도를 읽어 버너를 on/off 제어하며, LTS, PROX 온도를 읽어 냉각펌프를 작동하여 반응기를 냉각하는 TE110/TE112 온도 컨트롤러, 공급 유량을 조절하는 MFC 및 드라이버, 펌프의 모터 속도를 제어하는 모터 드라이버 및 이 모든 공정을 모니터링하고 제어할 수 있는 PC 등으로 구성되어 있다. 가스 및 물 공급부는 가스 연결 포트, LTS 및 PROX 반응을 위한 냉각 펌프, 정량 펌프, 유/수분 제거 필터, 천연가스 저장탱크, DI 물탱크, 물 분리기 등으로 구성되어 있다. 본 개질기는 원통 일체형 반응기를 이용한 Steam reforming 개질기로서 메탄 전환율은 98%, 운전 효율을 75%, CO 함량은 100 ppm, start-up 시간은 3시간이다.



그림 4 수증기 메탄 개질기
Fig. 4 Steam methane reformer

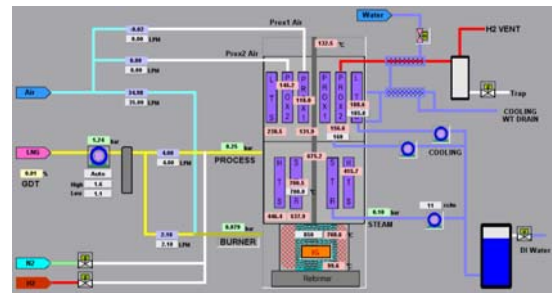


그림 5 개질 공정의 제어 파라미터
Fig. 5 Control parameters of reforming process

4. 결과 및 고찰

천연가스를 이용하여 수소를 생산하는 개질기의 반응별 온도 및 압력운전 등의 운전특성을 분석하여 그림 6과 7에 나타내었다. 그림 6에서 버너의 연소상단온도가 정상상태인 850℃까지 도달하는 시간은 11,770초로 약 3시간(Start-up time)이 소요되었으며 STR의 내부온도는 874℃까지 상승하였다. 연소상단 및 STR의 온도가 정상상태에 도달된 이후 그림 6과 같이 연료(천연가스)와 수증기를 공급하게 되며, 반응물들의 온도차에 의해 STR의 내부온도가 급격히 감소하여 약 50분 이후에는 670~680℃ 사이를 유지하면서 개질수소를 생산하였다. 또한 HTS의 경우 연료공급 후 420~430℃, LTS는 180℃, PROX는 120℃를 유지함을 확인하였다.

본 실험에서는 연료전지시스템에 개질수소를 공급함에 앞서 연료전지의 최적 운전 조건(경역 유량/가습100%/동작온

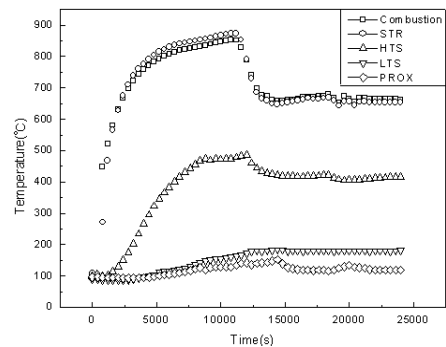


그림 6 개질 공정의 반응별 온도변이 특성
Fig. 6 Temperature variation characteristics of reforming process by reactions

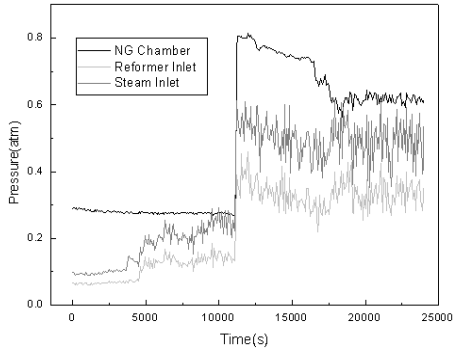


그림 7 천연가스 및 스팀 공급부의 압력변이 특성
Fig. 7 Pressure variation characteristics of NG and steam supply

도 70℃) 하에서의 출력 특성을 분석하였다. CC(constant current) 모드를 적용하여 1A부터 10A까지 1A간격으로 부하를 동작시켰으며, 그에 따른 전압 강하는 약 30V에서 22V로 감소하였다. 순수수소를 공급하였을 경우 그림 8과 같이 연료전지의 내부 총 저항이 2.142Ω에 도달하였을 때 최대전력은 224.8W, 전류밀도는 200mA/cm²로 평가되었다.

개질수소를 연료전지에 공급하여 그에 따른 분극곡선 및 출력특성을 앞선 실험 결과와 비교 분석하여 그림 9와 10에 나타내었다. 약 75%의 성분비를 갖는 개질수소를 공급하였을 경우 전압강하는 전류밀도가 6A를 넘어선 이후 보다 많은 감소율을 갖는 것으로 평가되었는데 이는 연료의 이용률에 따른 전압강하의 차이로 보인다. 또한 이때의 출력 전압과 전류는 20.5V, 10A에서 200.4W의 최대 전력을 나타내었

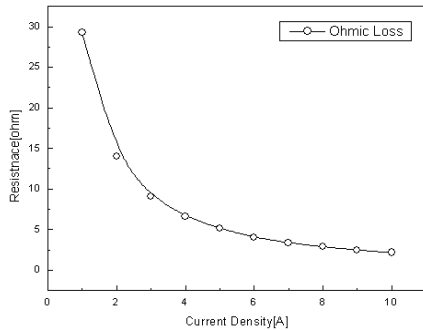


그림 8 전류밀도에 따른 연료전지의 내부 총 저항 특성
Fig. 8 Total internal resistance characteristics of fuel-cells according to current density

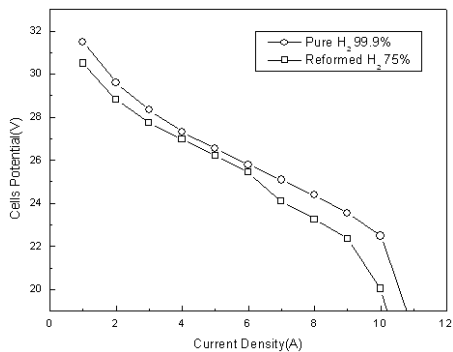


그림 9 전압손실로 인한 연료전지 분극곡선
Fig. 9 Polarization curve by voltage losses in fuel-cells

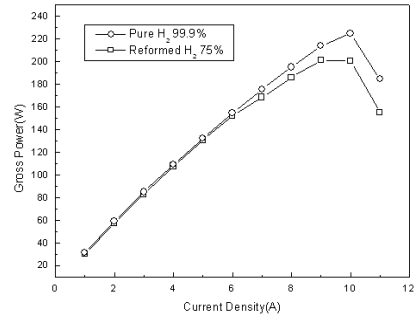


그림 10 수소의 농도에 따른 연료전지의 출력 특성
Fig. 10 Output power characteristics of fuel-cells according to hydrogen concentration

다. 개질 수소를 연료전지에 공급할 경우 연료전지 효율은 순수 수소를 공급하였을 때(22V, 10A, 220W)와 비교하여 약 7% 정도 감소함을 확인하였다.

5. 결 론

대부분의 신재생에너지자원은 이산화탄소를 거의 배출하지 않고, 오염이 없으며, 대부분 자원량이 무한하다는 점 등 때문에 가까운 미래에 화석 연료를 대체할 것으로 예측된다. 태양광과 풍력 발전시스템은 일사량, 온도, 바람의 밀도 등과 같은 기상상태와 주변 환경에 영향을 받기 때문에 지속적인 발전을 위해서는 사용 전원과 연계를 하거나 별도의 축전 설비를 갖춰야 한다. 반면 연료전지시스템은 외부의 환경에 영향을 받지 않고, 높은 발전 효율, 그리고 폐열을 재생할 수 있다는 이점 등을 갖고 있어서 경제성 개선과 시스템 장 수명화, 최적의 BOP기술 등의 기술개발이 활발하게 진행되고 있다.

이러한 배경으로 본 논문에서는 천연가스를 이용한 개질기와 연계된 연료전지시스템을 구현하였고, 각 시스템별 운전특성 및 성능특성을 분석하였다. 실험을 통하여 개질기가 수소를 생산하기까지는 약 3시간이 소요되었는데, 그 이유는 STR의 적정 반응 온도인 800℃까지 온도를 올려주어야 하기 때문이다. 가정용 연료전지에 적용하기에는 다소 긴 시간이라고 사료되며, 개질 반응에 열을 공급하는 버너의 안정적 연소기술과 고효율 열전달 기술을 고려하여 개질 효율을 높일 수 있는 설계 기술이 필요하다. 또한 연료전지 성능특성 실험을 통해 75%의 성분비를 갖는 개질수소를 연료전지시스템에 공급하였을 때 순수 수소와 비교하여 약 7%의 성능이 저하되었으며 분극곡선의 전압강하 역시 불안정함을 확인하였다. 이는 수소의 농도(또는 이용률)에 의한 출력 차이로 인한 감소이며 양론비를 높여줌으로써 연료전지의 성능저하를 극복할 수 있다.

향후 가정용 연료전지에 적합한 천연가스 개질 공정은 안전성 등을 고려하여 start-up 시간이 짧으면서 보다 낮은 온도에서 탄화수소의 반응속도가 빠르고 전환율 또한 기존의 것보다 뒤지지 않게 반응기의 촉매, BOP 등의 세부적인 연구가 지속되어야 할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단)

참 고 문 헌

- [1] 문현욱 외 2인, “연료 전지 시스템의 전압왜란 개선”, 대한전기학회논문지:전기기기및에너지변환시스템부문B, Vol. 54, No. 5, pp.245-252 (2005).
- [2] Yu Taek Seo et al., “Design of an integrated fuel processor for residential PEMFCs applications”, Journal of Power Sources, Vol. 160, No. 1, pp. 505-509 (2006).
- [3] Atilla Ersoz et al., “Reforming options for hydrogen production from fossil fuels for PEM fuel cells”, Journal of Power Sources, Vol. 154, No. 1, pp. 67-73 (2006).
- [4] J. Mathiak et al., “Coupling of a 2.5 kW steam reformer with a 1kW_{el} PEM fuel cell”, Journal of Power Sources, Vol. 131, No. 1-2, pp. 112-119 (2004).
- [5] Cecilia Wallmark et al., “Integration of the components in a small-scale stationary research PEFC system”, Journal of Power Sources, Vol. 159, No. 1, pp. 613-625 (2006).
- [6] D. Dalle Nogare et al., “A thermodynamic analysis of natural gas reforming processes for fuel cell application”, Chemical Engineering Science, Vol. 62, No. 18-20, pp. 5418-5424 (2007).
- [7] F. Cipiti et al., “Experimental analysis of a 2 kW_e LPG-based fuel processor for polymer electrolyte fuel cells”, Journal of Power Sources, Vol. 157, No. 2, pp. 914-920 (2006).
- [8] Frano Barbir, PEM Fuel Cells-Theory and Practice, Elsevier Inc., pp. 35-71 (2005)
- [9] 조영일 역, 고분자 연료전지공학 이론과 실제, 북스힐, pp. 145-196 (2007).
- [10] 김중수 외 3인, “PCS 최적설계를 위한 고분자 전해질 연료전지의 동특성 모델링”, 전기학회논문지, Vol. 57, No. 9, pp. 1563-1571 (2008).
- [11] M.G. Santarelli, M.F. Torchio, P. Cochis, “Parameters estimation of a PEM fuel cell polarization curve and analysis of their behavior with temperature”, Journal of Power Sources, Vol. 159, No. 2, pp. 824-835 (2006)
- [12] James Larminie, Andrew Dicks, Fuel Cell System Explained, WILEY, pp. 10-58 (2003).
- [13] Ralph, T. R. et al., “Catalysis for Low Temperature Fuel Cells”, Platinum Metal Review, Vol. 46, No. 3, pp. 117-135 (2002).

저 자 소 개



박 세 준 (朴世竣)

1980년 10월 10일생. 2002년 동신대학교 전기전자공학과 졸업(학사). 2004년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박사). 현재 (주)세화테크 기술연구소 선임연구원. 동신대학교 전기공학과 겸임교수.

Tel : 061-330-3218

Fax : 061-330-3105

E-mail : ssejoo@nate.com



최 용 성 (崔龍成)

1967년 11월 14일생. 1991년 동아대학교 전기공학과 졸업 (학사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사). 1999년~2001년 JAIST Post-Doc.. 2001년~2003년 Osaka Univ. Post-Doc.. 2002년~2005년 원광대학교 연구교수. 2006년~현재 동신대학교 전기공학과 교수. 2006년~현재 전력산업인력양성사업단 기획운영부장.

Tel : 061-330-3204

Fax : 061-330-3105

E-mail : yschoi67@dsu.ac.kr



황 종 선 (黃宗善)

1953년 12월 13일생. 1977년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1979년 동대학원졸업(석사). 1995년 전북대학교 전기공학과 졸업(박사). 1987-1998 한국원자력연구원 책임연구원. 1998~현재 전남도립대학 전기에너지시스템과 교수. 2001~현재 한국직업능력개발원 평가위원. 1999~2002 국제기능올림픽 전기 국제심사위원. 2007~현재 분학회 전기설비전문위원회 부회장.

Tel : 061-380-8621

Fax : 061-380-8466

E-mail : hlepw@hanmail.net



이 경 섭 (李炘燮)

1956년 11월 09일생. 1983년 조선대학교 전기공학과 졸업(학사). 1986 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1988년~현재 동신대학교 전기공학과 교수. 1994년~1995년 동경공업대학 객원연구원. 2006년~현재 전력산업인력양성사업단 단장.

Tel : 061-330-3203

Fax : 061-330-3105

E-mail : kslee@dsu.ac.kr