



## 5 kW급 고분자 전해질 연료전지 스택의 운전 특성

이정운 · †김재동 · 박달영

한국가스공사 연구개발원 LNG 기술연구센터  
(2007년 2월 26일 접수, 2007년 3월 26일 채택)

## Operation Characteristics of 5 kW Class Proton-Exchange-Membrane Fuel Cell(PEMFC) Stack

Jung-woon Lee · †Jae-Dong Kim · Dal-Ryung Park

LNG Technology Research Center, R&D Division, Korea Gas Corporation  
(Received 26 February 2007, Accepted 26 March 2007)

### 요 약

78개 셀의 전극유효 면적이 295 cm<sup>2</sup>인 고분자 전해질 연료전지(PEMFC) 스택의 운전특성과 CO 피독에 대한 영향을 조사하였다. 전류밀도 325 mA/cm<sup>2</sup>에서 출력 5.4 kW를 6시간 유지시키는 동안 셀들의 전압편차는 2.3%로 매우 안정함을 보였다. 개질과정의 부산물로 생성되는 CO는 PEMFC의 성능에 중요한 영향을 끼치는 스택의 주 오염물질중의 하나이다. 시간에 따른 연속적인 CO 피독 실험(5-20 ppm)은 스택의 피독과 재생과정의 route를 알 수 있었다.

**Abstract** – 78-cell proton exchange membrane fuel cell(PEMFC) stack with an effective electrode area of 295 cm<sup>2</sup> were investigated its operational characteristics and effects of CO poisoning. When power output, 5.4 kW, was released at current density of 325 mA/cm<sup>2</sup> for 6 hours, stability of each cell was showed the small deviation of 2.3%. Carbon monoxide is a conventional contaminant in the fuel obtained from reforming processes with an important influence on the performance of the PEMFC. The studies of continuous injection of CO presented (5-20 ppm) with the time gave information about poisoning and recovery processes of the stack.

**Key words** : Proton Exchange Membrane Fuel Cell(PEMFC), Stack, CO poisoning

### I. 서 론

고분자 전해질 연료전지(PEMFC)의 스택은 구조가 간단하고, 기동하는 동안 전해질의 누수 및 손실이 적다. 특히 빠른 기동과 응답속도 및 내구성을 지니고 있고, 수소에서부터 메탄올, 천연가스에 이르기까지 자유롭게 연료를 선택할 수 있는 장점을 가지고 있다[1,2].

특히, 전해질로서 Nafion 막을 사용하는 PEMFC의 연구와 개발은 1980년대 이후로 많이 이루어지고 있다[3]. 국내에서도 스택의 핵심인 MEA의 성능평가에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있는 실정이다[4].

기존 발전방식의 경우 대규모 발전에서 전기를 발생시키고, 가정에서 보유하는 보일러로 온수를 받는 방식을 사용하는데 반하여, 연료전지 시스템은 가정에서 직

접 전기와 열을 생산하기 때문에 열을 사용할 수 있는 장점이 있다. 기존발전과 보일러를 이용하는 것에 비하여 연료전지를 사용할 경우 전기와 난방비가 약 12-13% 정도 절감된다. 또한 앞서 언급한 것처럼 연료전지는 가스의 화학에너지를 직접 전기에너지로 전환하기 때문에 기존의 발전에 비하여 CO<sub>2</sub>가 약 30-40% 절감하고, 연료전지로 인한 발전은 기존의 발전에 비하여 26%의 에너지를 절감하여 지구 환경의 보존에 기여할 수 있는 신 개념의 발전 시스템이라 할 수 있다.

또한 연료전지는 일정한 용량의 module 형태로 제작되어, module의 직·병렬 결합으로 사용목적과 용도에 맞는 발전 설비를 구성할 수 있어 가정이나 상업용에 적합한 1-5 kW급의 용량부터 공장이나 대규모 단지의 수백 kW의 용량도 공급할 수 있는 장점이 있고, 설치 장소에 대한 제한 요소가 거의 없으므로 전력 수요 밀집 지역에서의 현지 설치형(on-site) 발전장치로 매우

†주저자:nature@kogas.or.kr

적합한 특성을 갖추고 있다. 이처럼 연료전지 시스템은 발전효율이 높고, 청정에너지로 기존의 발전 방식을 대체할 수 있는 미래에너지로 각광을 받아 전 세계적으로 연구하고 있으나, 연료전지의 실용화를 위해서는 아직 여러 가지 문제를 안고 있는 실정이다.

본 연구에서는 국내의 연료전지 시스템의 실용화를 위하여 5 kW급 가정용 연료전지 실증 단계에서의 국내 A사 스택의 운전특성을 평가하고자 한다.

## II. 실험 방법

스택은 MEA와 분리판을 연속적으로 적층하여 제조된다. MEA의 활성면적이 클수록 전류가 증가하고 셀 수가 많을수록 전압이 증가하므로 스택의 출력은 단위 전지 면적과 적층되는 셀수의 조합으로 결정된다. 개질 가스를 이용한 정지형 연료전지(Stationary Fuel Cells)는 단위전지 기준으로 0.7 V 정도에서 운전되므로 5 kW의 출력을 얻기 위해서는 적어도 80셀 정도의 적층수를 필요로 한다.

78개 셀의 전극유효면적이 295 cm<sup>2</sup>인 고분자 전해질 연료전지 스택의 성능 평가는 운전온도 60°C~70°C에서 (스택의 냉각수 출구 온도기준) 완전 가습 조건에서 실시하였다. 이후 스택의 가동은 작동온도까지 가습된 기체를 서서히 상승시키면서 수행하였다. 이때 연료의 이용율은 x1.25, 공기의 이용율은 x2에서 수행하였다. 연료는 순수수소는 물론 모의 개질가스 조성인 수소 75%와 질소 25%의 혼합기체를 이용하였다.

5 kW PEMFC 스택의 운전은 약 60°C에서 진행하였으며, 가습기의 온도를 변화시키는 등 여러 운전조건에서의 특성을 비교 평가하고자 하였다. 스택에 공급된 가스는 충분히 가습될 수 있도록(R.H.=100%) 가습기에서 가습되어 공급되었다.

CO 피독 실험은 5-20 ppm CO를 장시간 흘려주면서 CO 농도에 따른 스택의 성능을 평가했다. 또한 스택의 cleaning은 수소를 이용하여 환원시켰다.

## III. 결과 및 고찰

### 3.1. 스택의 성능평가

연료전지는 일반적으로 스택(또는 셀)의 전압에 따른 전류밀도가 연료전지의 성능 및 특성을 평가하는 중요한 요인이 된다.

Fig. 1에서는 개질가스 이용율(H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>(75%), Air(50%)) 및 모든 운전조건을 고정시키고 양극(공기극)과 음극(수소극)의 가습기 온도 변화에 따른 V-I plot을 나타내

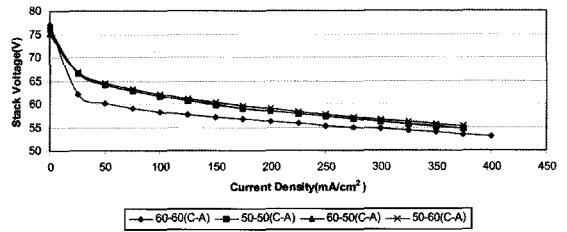


Fig. 1. I-V characteristics according to the humidification condition of anode and cathode (at (H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>(75%), Air(50%)), utilization rate(%) of reformat gas).

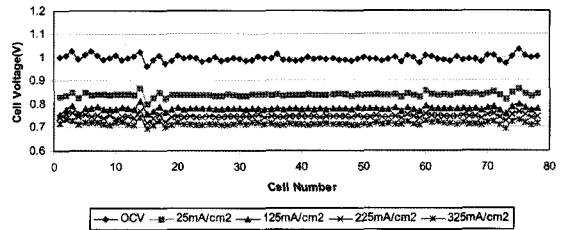


Fig. 2. Voltage characteristics of each cell according to the current density.

고 있다. 가습조건이 양극(60°C)-음극(60°C)인 경우 55.3 V에서 250 mA/cm<sup>2</sup>의 전류가 발생하나 양극(50°C)-음극(60°C)인 경우 365 mA/cm<sup>2</sup> 가량의 전류를 발생한다. 즉, 가습조건이 전류발생에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이는 고분자 막에 있어서 가습의 정도가 얼마나 중요한지를 나타내고 있다. 높은 가습의 경우에 연료전지의 성능저하는 전극표면에 과다 가습으로 인한 반응가스의 접촉을 방해하는 것으로 기인된다.

스택내에서 전류 밀도에 따른 각 셀들의 성능을 Fig. 2에 나타내었다. 운전조건은 이용율 H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>(75%)-Air(50%)이고 전류밀도를 0-325 mA/cm<sup>2</sup>으로 증가시키면서 측정하였다. 1번이 공기 입구이고 78번이 수소 입구이다. 각각의 입구 주위에서 셀 전압의 편차를 조금 보였고 나머지 구간에서는 고른 셀 전압 분포를 보이고 있다. 전류 밀도가 증가하는 동안에도 편차는 크게 증가하지 않고 매우 안정한 셀 분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 적층 및 운전환경 차이가 비가역 분극 전위의 차이로 나타난 것이라고 할 수 있다. 또한 개회로 셀 전압 분포와 전류밀도를 증가시킨 경우의 셀전압 분포가 거의 일치함을 보이고 있다. 이는 초기 제작 상태가 계속 성능에 영향을 미침을 알 수 있다. 또한 Fig. 3은 5 kW급 연료전지 스택을 평가하는게 목적이므로 출력이 5.4 kW가 나올 수 있는 조건인 전류밀도 325 mA/cm<sup>2</sup>에서 6시간 동안 유지시키는 동안의 셀 전압을 모니터링하여 각각의 셀 전압의 편차를 도식화한

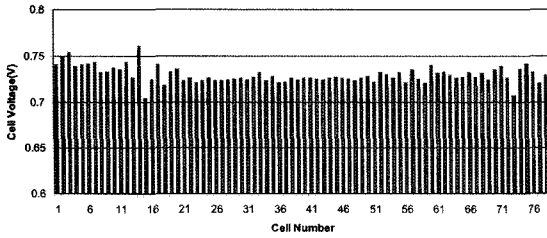


Fig. 3. Deviation and distribution of each cell voltage at 5.4 kW, power output.

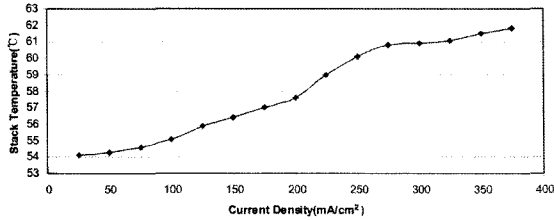


Fig. 4. Temperature change with current density.

그림이다. 공기 입구 쪽에서의 편차가 다른 구간에보다 조금 클뿐 전체 셀들의 편차는 2.3%로 매우 작음을 알 수 있고, 각 셀의 전압분포를 검토할 때 전체적으로 매우 균일한 전압분포를 나타내고 있다.

Fig. 4는 전류밀도를 증가시키면서 스택내부의 온도 변화를 알아보기 위한 그림이다. 가습온도 조건은 양극 (60°C)-음극(60°C) 조건하에서 수행하였고, 전류 밀도를 증가시킴에 따라서 스택의 온도가 S자 형태를 띠고 있음을 보이고 있다. 목표 출력인 5 kW를 발생시킬 수 있는 전류밀도 300 mA/cm<sup>2</sup> 부근에서는 스택의 온도가 안정하게 됨을 알 수 있다.

기존의 선행 연구들에 의해서 여러 최적의 운전 조건들의 확립이 이루어져 있다[5,6]. 하지만 단위전지 혹은 단위전지의 적층수가 적은 3 kW급 이하의 스택의 평가가 주를 이루고 있어, 스택의 용량이 커질수록 용량에 맞도록 운전 조건에 따른 운전 특성에 관한 연구가 필요하다.

### 3.2. CO 피독

개질가스를 사용하여 실제 연료전지 시스템의 성능 특성의 영향을 알아보고자, 시간에 따른 연속적인 CO 피독 실험을 하였다(Fig. 5). 5 ppm CO를 흘린 경우 230분이 지나도 2.3%의 작은 피독 특성을 보인다. 10 ppm CO의 경우는 230분 만에 약 20%의 전압 강하를 보인 후 377분이 지나는 구간까지 계속해서 스택 전압이 20%대 주변에 맴돌게 된다. 이는 CO의 흡착과 탈착이 동적 평형을 이루는 cyclic adsorption-desorption

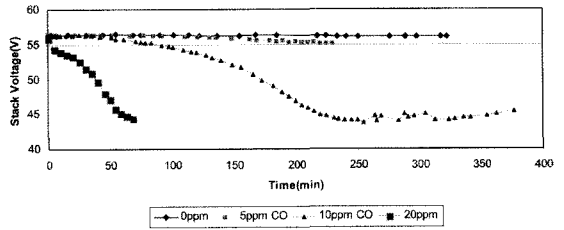


Fig. 5. CO poisoning with time at different CO concentration.

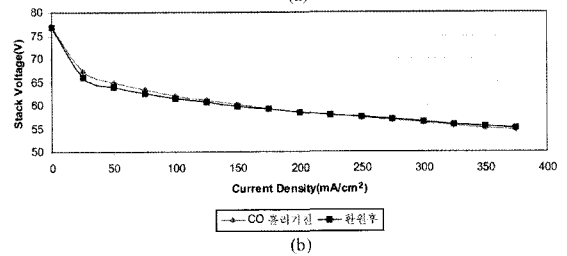
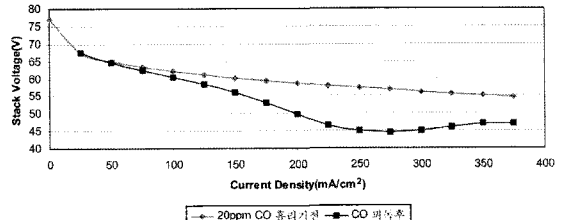


Fig. 6. Comparison of I-V plot before Vs after poisoning (a) and before poisoning Vs after cleaning by hydrogen treatment.

processes에 기인하는 것으로 사료된다. 20 ppm CO의 경우에는 동적평형에 70분 만에 도달함을 알 수 있다[7].

스택을 피독시키고, 다시 수소로 환원(after cleaning)시킨후 스택의 특성을 알아보기 위하여 I-V plot을 살펴 보았다. Fig. 6(a)의 경우는 피독시킨후 연료전지의 성능이 많이 저하되었음을 눈으로도 확연히 볼 수 있다. 스택 전압 55 V에서 전류밀도가 350 mA/cm<sup>2</sup>에서 150 mA/cm<sup>2</sup>로 급강하함을 알 수 있는데 이는 단지 CO에 의한 촉매의 피독에 의한 영향이다. (b)의 경우는 한 시간 동안 수소로 환원시 스택의 성능이 완전히 초기 상태로 돌아왔다. 이는 CO의 흡탈착이 완전한 가역 반응임을 알 수 있다.

## IV. 결 론

스택의 출력 밀도 향상을 위하여 분리판의 dead zone

을 줄이고 유효이용 면적을 향상시켰다. 또한 부피당 출력 밀도 및 무게당 출력 밀도 향상을 위하여 분리판의 두께를 감소시켰으며, 스택의 신뢰성 향상을 위하여 가스켓 디자인 및 가스켓 형상을 변경하였다. 이러한 스택 개선 작업을 통하여 일정 전압하에서 높은 전류 밀도를 얻을 수 있었다.

1) 가습조건에 따라 양극(60°C)-음극(60°C)인 경우 55.3 V에서 250 mA/cm<sup>2</sup>의 전류가 발생하나 양극(50°C)-음극(60°C)인 경우 365 mA/cm<sup>2</sup> 가량의 전류를 발생한다.

2) 전류 밀도를 증가시키는 동안에도 각 셀전압은 고르게 유지되어 스택의 안정성을 높였다.

3) CO 피독시 5 ppm을 흘렸을 경우 230분이 지나도 2.3%의 작은 피독 특성을 보인다.

### 참고문헌

[1] Blomen, L.J.M.J. and M.N. Mugerwa, Fuel Cell

System, Plenum Press, New York, (1993)

[2] Kordesch, K. and G. Simander, Fuel Cell and Their Applications, VCH, Weinheim, Germany, (1996)

[3] T.F. Fuller, Electrochemical Society Interface, Fall, 26, (1997)

[4] 김홍건, 강성수, 박이구, 강영우, “이중촉매 MEA의 성능평가에 관한 연구”, 한국신재생에너지학회지, 1739-3935, 2(2), 50-59, (2006)

[5] 조원일, 노용우, 고영태, “폴리머 전해질형 연료전지 스택의 최적 운전 조건 연구”, HWAHAK KONGHAK, 34(2), 194-200, (1996)

[6] 최형준, 안상열, 조성아, 이정규, 심중표, 차석렬, 하홍용, 홍성안, 임태원, 오인환, “3 kW급 고분자전해질 연료전지 스택의 운전특성 연구”, HWAHAK KONGHAK, 38(4), 5504-5555, (2000)

[7] Jimenez, S., J. Soler, R.X. Valenzuela and L. Daza, “Assesment of the Performance of a PEMFC in the presence of CO”, J. of Power Sources, 151, 69-73, (2005)