

## 가습 형태에 따른 고분자 전해질형 연료 전지의 운전 특성 비교

이승재\* · 박대진† · 노용우 · 고영태

\*Department of Applied Science, Brookhaven National Laboratory

한국가스공사 연구개발원

(1998년 8월 4일 접수, 1999년 6월 7일 채택)

## Comparison of Operation Characteristics of Proton Exchange Membrane Fuel Cell with External and Internal Humidifier

Seung Jae Lee\*, Dae Jin Park†, Yong Woo Rho and Young Tai Kho

\*Department of Applied Science, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY11973, U.S.A.

R&D Center, KOGAS, Ansan, Il-Dong, Kyounggi-Do, Korea

(Received 4 August 1998; accepted 7 June 1999)

### 요 약

가습 형태를 달리하여 고분자 전해질형 연료 전지 스택을 설계하고 그 성능을 측정하여 가습 영향을 비교하였다. 또 스택의 단위 셀에서 온도를 측정하여 성능과의 관계를 알아보았다. 대면적화와 적층에 따른 성능 감소는 고분자막-전극 사이 및 셀 사이의 접촉 저항의 증가와 원활하지 못한 반응 가스의 공급과 생성물의 제거로 설명될 수 있다. 외부 가습형 스택의 성능은 내부 가습형 스택에 비하여 월등히 우수하였으며, 스택의 성능은 주로 가습에 좌우된다. 외부 가습형 스택에서는 가운데 단위 셀에서, 내부 가습형 스택에서는 내부 가습기에 가까운 단위 셀에서 각각 우수한 성능을 보였다. 고분자 전해질형 연료 전지 스택에서 단위 셀의 온도 및 성능 분포는 가습기 형태와 밀접한 관계를 갖는다.

**Abstract** – Proton exchange membrane fuel cell(PEMFC) stacks with external and internal humidifier were made, and those performances were measured and compared each other. After measuring temperatures of the individual cells in the both stacks, we examined the correlation with these performances. The decrease of performance caused by scale-up and stacking could be explained by higher contact resistance of membrane-electrode, higher contact resistance between one individual cell and another, hindrance to provision of reacting gas and to remove generated water. The performance of the external humidifier stack was greater than that of the internal humidifier stack. Humidification is important to the stack performance. Cell performance improved in the middle individual cell of the stack for the external humidifier stack and in the individual cell closed to internal humidifier for the internal humidifier stack. Temperature and performance distribution in the individual cells of the both PEMFC stacks have much correlations with humidifier type of the stack.

**Key words:** PEMFC, Stack, External Humidifier, Internal Humidifier, Ohmic Resistance

### 1. 서 론

고분자 전해질형 연료 전지는 높은 전력 밀도 및 효율을 얻을 수 있는 장점 이외에 고체막을 전해질로 사용함으로써 부식 문제가 없고 100 °C 이하의 낮은 온도에서 작동하기 때문에 차세대 전기 자동차의 동력원으로 각광을 받고 있다[1-3]. 그러나 높은 제조 단가, 일산화탄소에 의한 촉매독, 복잡한 시스템 구성 등의 문제점은 아직까지 이 연료 전지를 상용화하는데 커다란 장애물이 되고 있다. 이러한 관점에서 높은 이온 전도성을 갖는 고분자막을 개발하고 전극에 사용되는 귀금속의 양을 줄이려는 연구 결과들[4-7]은 이 시스템의 제조 단가를 낮추는데 결정적인 역할을 하였다. 비용 절감을 위하여 개발된 탄화수소를 연료로 사용할 경우 일산화탄소는 단지 수 ppm으로도 전극 촉매

에 치명적인 독작용을 하는데, 이를 해결하기 위하여 현재 여러 가지 백금 합금 촉매, PtRu[8, 9], PtSn[10, 11], PtRh[12], PtMo[19] 등을 사용한 결과가 발표되었다. 또 무게를 줄이면서 시스템을 간략화하기 위한 방법 중에 하나로 외부 가습기 대신에 내부 가습기를 사용한 연구가 보고되었다[13, 14, 21, 22, 24]. Cisar 등[20]은 dummy cell을 내부 가습기로 사용하였으며, Meyer 등[23]은 친수성 미세 기공 bipolar plate를 열교환기를 사용한 내부 냉각 흐름과 함께 사용하였다.

액체 전해질을 사용하는 연료 전지와는 달리 고체막을 전해질로 사용하는 고분자 전해질형 연료 전지는 고분자막의 이온 전도도에 따라 성능이 크게 좌우된다. 만일 막 자체와 막으로 전달되는 물의 양이 줄어들면 막에서의 proton 전달이 어려워지고 마침내 연료 전지의 성능 저하가 일어난다. 일반적으로 반응 가스는 외부 가습기에서 과포화시킨 후 연료 전지 내부로 주입시키게 되는데, 이때 가습기의 부피와 무게는 전체 시스템의 약 20%에 이르고 있다. 이러한 문제를

†E-mail : dolmen@kogas.re.kr

해결하기 위하여 외부 가습기 대신에 속이 빈 섬유나 심지어 물을 공급하거나[15] 고분자막 내부에 산화 티타늄이나 산화 규소와 같은 흡습성 산화물을 삽입하여 물을 유지하는 방법[16] 등이 제안되었다. 그러나 이러한 방법들도 시스템의 부피는 줄일 수 있었으나 여전히 복잡한 셀과 막을 구성해야 했고 낮은 연료 전지 성능을 보였다.

외부 가습기를 사용하게 되면 전체 시스템의 부피와 함께 이를 작동시키기 위한 에너지가 추가로 필요하게 된다. 그러나 가습기를 연료 전지 스택 내부에 장치하면 이러한 문제들을 동시에 해결할 수 있다. 이때 발생하는 열과 물의 조절은 외부 가습형 연료 전지 스택에서와 마찬가지로 성능과 밀접한 관계를 갖기 때문에 냉각판의 구성과 단위 셀의 가스 흐름 설계는 스택에서 매우 중요한 요소이다.

이 연구에서는 가습기를 외부 및 내부에 장치한 고분자 전해질형 연료 전지 스택을 설계한 후 그 성능을 비교하고, 면적 및 적층에 의한 영향을 알아보았다. 또 스택의 단위 셀에서 성능 및 온도 분포를 관찰하여 상호 연관성을 살펴보았다.

## 2. 실험

### 2-1. 외부 및 내부 가습형 스택의 구성

이 실험에서 사용한 외부 및 내부 가습형 스택은 기본적으로 series-parallel 형태의 가스 흐름 통로를 갖고 반응 면적이  $50\text{ cm}^2$ 인 5개의 단위 셀로 구성되었다. 여기에 수소 입구로부터 네 번째 plate에 냉각판(cooling plate)을 설치하여 연료 전지 반응에서 발생한 열을 제거하였다. 단위 셀에서 반응 가스의 유출과 crossover를 방지하기 위하여 가스의 흐름 통로, 입구 및 출구 주위에 o-ring을 설치하였다. 반응 가스는 두 가지 가습 형태의 스택에서 동일하게 항류 흐름(counter flow)으로 흐르게 하였다. Fig. 1은 외부 가습기를 사용한 스택의 구성도이다. 외부 가습형 스택은 2개의 end plate, 5개의 단위 셀, 1개의 냉각판으로 이루어졌다. 외부 가습기에서 충분히 가습된 수소 및 산소는 각각 다른 방향에서 유입된 후 스택을 거쳐 서로 다른 방향으로 배출되었다. 냉각용 물은 수소 입구 쪽의 다른 입구로 들어간 뒤 냉각판을 통과한 후 반대편 방향으로 나오도록 하였으며, 펌프를 사용하여 연속적으로 순환시켰다. 이때 수소 입구 쪽 end plate로부터 산소 입구 쪽 end plate까지 각 plate에 thermocouple을 설치하여 연료 전지 반응에 따른 온도 변화를 기록하였다. Fig. 2는 내부 가습기를 장치한 스택을 보인다. 내부 가습형 스택은 외부 가습형 스택과 달리 스택 내부에 2개의 가습용 plate를 포함하고 있다. 각각의 plate는 Nafion 막을 사이에 두고 한 쪽에는 물이, 다른 쪽에는 반응 가스가 흐르도록 구성하고, 최종적으로 물이 농도 구배로 막을 통과하여 가스에 가습되도록 하였다. 이때 가습용 plate는 수소용과 산소용을 구분하여 두 가스의 crossover를 방지하였다. 가습용 plate는 1개

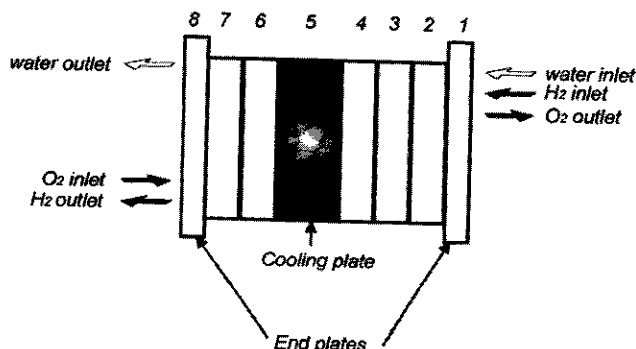


Fig. 1. Schematic diagram of a PEMFC stack(5 cells) with external humidifier.

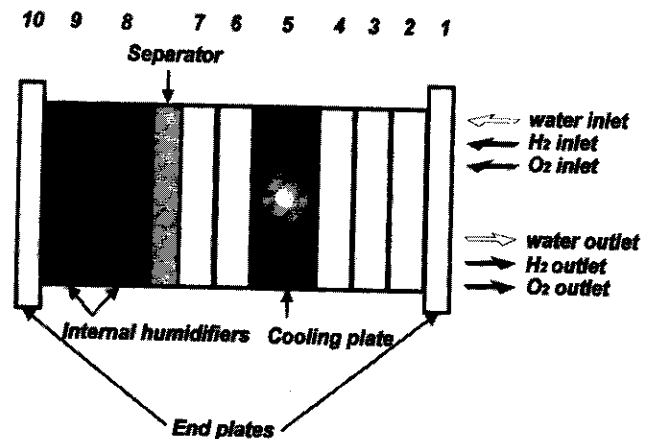


Fig. 2. Schematic diagram of a PEMFC stack(5 cells) with internal humidifier.

의 냉각판을 포함한 5개의 단위 셀들과 전기적인 단락을 방지하기 위하여 이들 사이에 분리판을 설치하였다. 건조된 수소와 산소는 같은 방향에서 스택으로 유입되어 먼저 내부 가습기를 통과한 뒤 단위 셀로 흐르게 하였다. 여기서 냉각판과 내부 가습기에 공급하는 물은 순환 펌프를 사용하여 각각 다른 경로로 연속적으로 주입되었다.

### 2-2. 막/전극 어셈블리 제조 및 성능 측정

막/전극 어셈블리는 Nafion 115막(DuPont, Fayetteville, PA)과 상용 전극(ETEK Inc., Natick, MA)을 사용하여 만들었다. 막은 각종 불순물을 제거하기 위하여 3% 과산화수소수와 0.5 M 황산으로 처리하고, 최종적으로 초순수 용액으로 세척하였다. 전극의 백금 함량은  $0.4\text{ mg/cm}^2$ 이며, 이는 전도성을 향상시키기 위하여 전극에  $1.3\text{ mg/cm}^2$ 의 Nafion 용액(Aldrich Chemical Co.)을 칠하였다. 이때 Nafion 용액 중의 잔존 용매를 제거하기 위하여 전극을  $80^\circ\text{C}$ 에서 2시간 동안 건조시켰다. 이렇게 처리된 막과 전극을 hot pressing법을 사용하여  $120^\circ\text{C}$ ,  $100\text{ atm}$ 으로 접합시켜 막/전극 어셈블리를 제조하였다. 최종적으로 막/전극 어셈블리를 o-ring이 설치된 plate들 사이에 놓고, 차례로 단위 셀, 냉각판, 내부 가습기 및 end plate를 적층시켜 연료 전지 스택을 구성하였다.

반응 가스의 유량 제어는 유량 조절기(Model 8274, Matheson Co.)를 사용하였다. 스택과 가습기의 온도는 온도 조절기(CN 9000 series, Omega Eng. Inc.)로 조절하였는데, 외부 가습기의 경우 수소는 스택보다  $10^\circ\text{C}$  높게, 산소는  $5^\circ\text{C}$  높게 유지하였다. 이때 건조된 반응 가스의 온도를 유지하기 위하여 가습기 출구에서 스택 입구까지 철저히 보온하였다. 내부 가습기의 경우에는 냉각용과 가습용으로 동일한 물을 사용하여 그 온도를 조절하였다. 스택 내의 압력은 가스 배출부에 장치한 back-pressure regulator(44-2300 series, Tes-com Co.)로 조절하였다. 스택의 성능 실험은 반응 가스의 유량을 각각 양론비 2로 고정하고  $30\text{--}70^\circ\text{C}$  스택 온도와  $1\text{--}5\text{ atm}$  스택 압력에서 행하였다. 스택에서 발생하는 전류와 전압 특성을 PC로 제어되는 dc electronic load(HP-6050A, Hewlett Packard Co.)를 사용하여 측정하였다. 또 연료 전지 반응 중에 온도 변화를 각 plate에 설치한 thermocouple로부터 측정하였다. 스택의 성능과 습도의 관계를 관찰하기 위하여 스택 출구에 냉각기를 설치하고 이를 통과하여 배출되는 물의 양을 open circuit potential에서 온도에 따라 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

반응 면적에 따른 연료 전지의 성능 변화를 Fig. 3에 나타내었다.

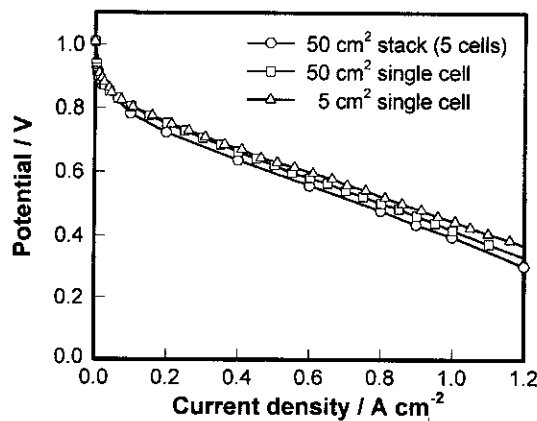


Fig. 3. Effect of reaction area on the cell performance plots for  $H_2/O_2$  PEMFCs with external humidifier at  $50^\circ C$ , 1 atm.

반응 면적이 5에서  $50\text{ cm}^2$ 로 증가하면서 단위 셀의 성능이 저하되는 것을 알 수 있는데, 이는 반응 면적이 넓어질수록 고분자막과 전극 계면에서의 접촉 저항이 커지기 때문이다. 또한 5개의 단위 셀을 적층한 스택의 성능이 단위 셀과 비교하여 저하되는 것을 볼 수 있다. 이러한 성능 저하는 스택의 경우 각각의 단위 셀간의 접촉 저항이 발생됨과 동시에 길고 복잡한 흐름 통로에서 가스의 공급과 생성된 물의 제거가 원활하지 못하기 때문이라고 생각된다. 이와 같은 현상은 성능 곡선에서 저항 과전압 영역의 기울기 변화로 확인할 수 있다. 실험 값을 비선형 최소 자승법[17]을 사용하여  $5\text{ cm}^2$  단위 셀,  $50\text{ cm}^2$  단위 셀,  $50\text{ cm}^2$  스택의 저항을 계산한 결과, 각각  $0.332$ ,  $0.356$ ,  $0.374\ \Omega/\text{cm}^2$ 로 증가하였다. 이 저항은 주로 고분자막 자체의 저항과 전극의 ohmic 저항에 지배를 받는다[18]. 그러므로 대면적화와 적층에 의한 성능의 저하는 고분자막과 전극의 복합적인 저항의 증가와 가스 흐름 통로의 설계에 기인한다는 것을 알 수 있다. 그러나 이 실험에서는 반응 면적이나 단위 셀의 증가에 의한 성능 감소는 매우 작았다. 즉, 5개의  $50\text{ cm}^2$  스택의 전류 밀도는  $5\text{ cm}^2$ 의 단위 셀에 비하여  $0.4\text{ V}$ 의 낮은 전압 영역에서조차도 감소 폭이 10% 이내였다.

스택 온도에 따른 외부 및 내부 가습형 스택의 성능을 Fig. 4에 비교하였다. 여기서 스택의 성능은 외부 가습형이 내부 가습형보다 월등히 우수한 것으로 나타났는데, 이것은 반응 가스의 가습 관계로 설명할 수 있다. 즉 외부 가습형 스택의 경우 건조 가스는 외부에 설치된 가습기를 통과하면서 설정된 온도에서 물을 완전하게 포화하는 반면, 내부 가습형 스택의 경우 건조 가스는 외부로부터 공급된 물 중

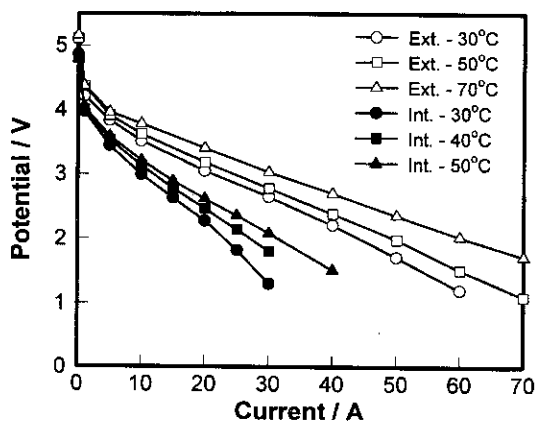


Fig. 4. Performance plots for  $H_2/O_2$  PEMFC stacks with external and internal humidifier at 1 atm as a function of temperature.

Table 1. Water amounts leaving from proton exchange membrane fuel cell with external or internal humidifier as a function of temperature

Humidifier type	Temperature ( $^\circ C$ )	Water amount ( $g/h\text{ cm}^2$ )	
		from anode	from cathode
External	30	0.035	0.032
	50	0.102	0.087
	70	0.560	0.418
Internal	30	0.010	0.009
	40	0.016	0.014
	50	0.024	0.022

에서 농도 구배로 막을 통과한 적은 양만을 포화한다. 스택을 통과하여 나오는 물의 양을 온도의 함수로 측정하여 Table 1에 보였다. 동일한 가스 흐름 및 온도에서 스택을 통과한 물의 흐름은 외부 가습형 스택의 경우가 내부 가습형에 비하여 월등히 우수하였다. 심지어  $50^\circ C$ 의 내부 가습형 스택에 비하여  $30^\circ C$ 의 외부 가습형 스택에서 더 많은 양의 가습이 막/전극 어셈블리로 공급되는 것을 알 수 있다. 외부 가습형 스택의 경우 작동 온도에서 완전 포화되었다고 가정하면 (상대습도: 100%), 내부 가습형 스택의 경우 상대습도는  $30$  및  $50^\circ C$ 에서 각각 28% 및 24%이다. 이렇게 내부 가습형 스택의 경우 물을 충분히 포화하지 못한 반응 가스는 상대적으로 적은 양의 proton만을 막을 통하여 이동시킴으로써 스택의 성능을 저하시키는 주원인이 된다. 결과적으로 저항 과전압 영역에서 고분자막의 저항은 외부 가습형 스택일 경우  $0.298\text{--}0.394\ \Omega/\text{cm}^2$ 에서 내부 가습형 스택일 경우  $0.487\text{--}0.775\ \Omega/\text{cm}^2$ 로 크게 증가하였다. 또 Table 1의 가습량은 Fig. 4의 성능 결과와 비례 관계를 갖는다. 이상의 결과로부터 고분자 전해질형 연료 전지에서 높은 전력 밀도를 얻기 위해서는 반응 가스의 충분한 가습이 절대적으로 필요하다는 것을 알 수 있다. 그러므로 내부 가습형 스택에서는 내부 가습기에 사용된 고분자막을 반응 가스의 cross over는 억제하고 많은 양의 물을 통과시킬 수 있는 다른 물질로 대체하는 것이 성능을 향상시킬 수 있는 하나의 방법이라 할 수 있다[25]. 또 반응 온도에 따른 성능의 증가폭은 내부 가습형 스택에서 더 크게 나타났다. 내부 가습형 스택에서는 냉각용과 가습용으로 동일한 물을 사용함으로써 스택의 온도 유지가 외부 가습형 스택보다 쉽다. 이러한 현상은 특히 저온( $30\text{--}50^\circ C$ )에서 반응 활성을 증가시키고 동시에 고분자막의 이온 전도도를 향상시킬 수 있는 여건을 제공한다. 본 실험에서 얻은 성능이 다른 성능 결과 보다 낮은 이유는 주로 물 투과력이 낮은 막의 사용, 가습 가스의 짧은 체류 시간 및 낮은 작동 온도 때문이다[21, 24]. Fig. 5는 Fig. 4의 성능 곡선을 전력 밀도와 스택 전압과의 관계로 도시한 것이다. 여기서 전력 밀도는 가습 형태 및 반응 온도에 무관하게 약  $2\text{ W}$ 의 스택 전압에서 최대 값을 나타내었다. 이때 수소와 산소로  $70^\circ C$ , 1 atm에서 외부 가습형 스택을 운전하여 단위 셀의 전압  $0.6\text{ V}$ 에서 약  $100\text{ W}$ 의 전력을 얻었으며, 사용된 총 백금량은  $0.1\text{ g}$ 이었다.

Fig. 6은 산화제를 달리하여 외부 및 내부 가습형 스택의 성능을 비교한 것이다. 공기를 산화제로 사용할 경우 산소 분압이 급격히 낮아짐으로써 스택의 성능 저하가 나타났으며,  $2\text{ V}$  이하의 스택 전압에서 가스 확산 저항에 의한 물질 전달 과전압이 시작되는 것을 볼 수 있다. 여기서 성능 저하의 폭은 내부 가습형 스택에서 더 크게 나타났는데, 이는 공기의 물질전달 저항 및 적은 양의 가습이 수소 이온의 전달을 어렵게 하는 복합적인 원인 때문일 것이라고 생각된다. 이렇게 저하된 성능은 공기 중의 산소의 분압을 순수한 산소의 분압과 같은 수준으로 높임으로써 향상시킬 수 있다.

이론적으로 산소와 동일한 분압의 공기를 사용하려면 약  $5\text{ atm}$ 의

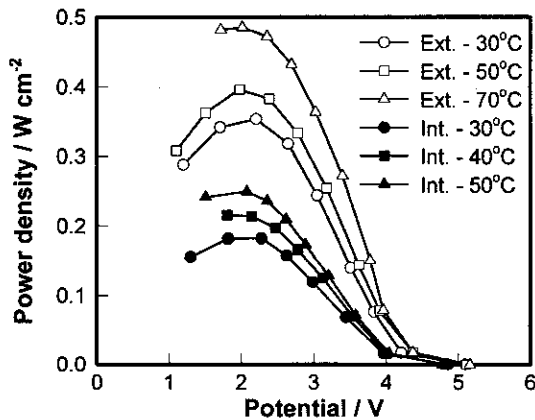


Fig. 5. Power density vs. potential for  $H_2/O_2$  PEMFC stacks with external and internal humidifier at 1 atm as a function of temperature.

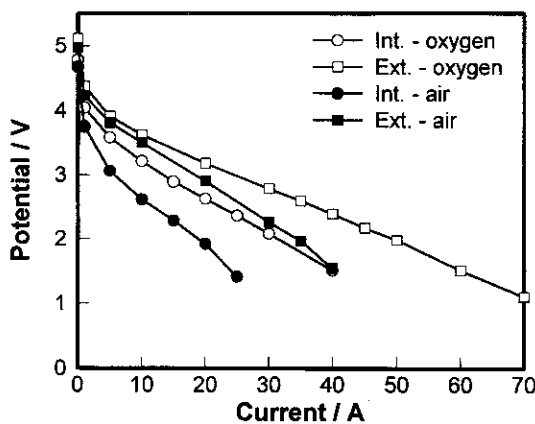


Fig. 6. Effect of oxidant on the cell performance plots for PEMFC stacks with external and internal humidifier at 50°C, 1 atm.

압력을 공기에 적용하여야 한다. Fig. 7은 산화제로 산소와 공기를 사용하여 스택의 성능 비교를 일반적인 분극 곡선 (a)와 전해질 영향을 제거한 분극 곡선 (b)로 비교하였다. 여기서 5 atm의 공기를 사용한 스택의 성능은 높은 전압 영역(외부 가습형 스택: 0.58 V 이상, 내부 가습형 스택: 0.62 V 이상)에서는 1 atm의 산소보다 높으나, 낮은 전압 영역에서는 낮은 것을 볼 수 있다. 높은 전압 영역에서는 5 atm 공기 중의 산소 분압(0.975)이 1 atm 산소(0.876)보다 높기 때문에 공

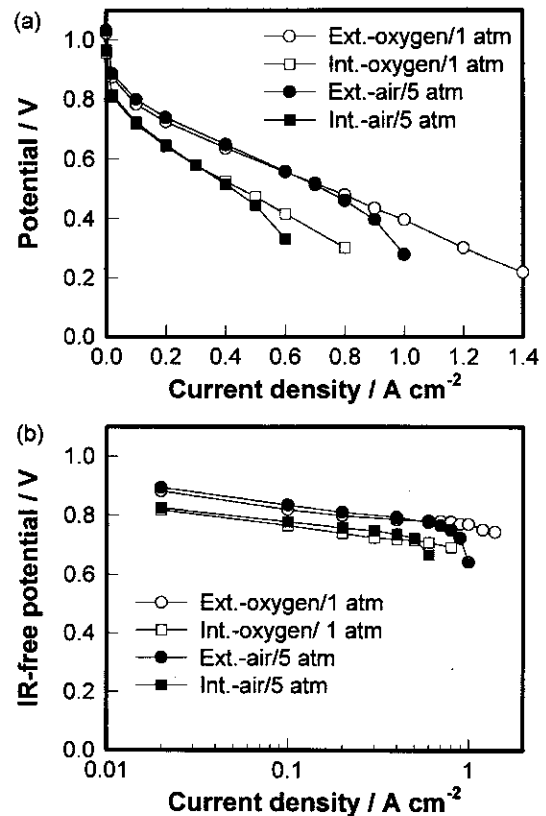


Fig. 7. Effect of pressure on the cell performance plots for  $H_2/O_2$  and  $H_2/air$  PEMFC stacks with external and internal humidifier at 50°C.

기를 사용한 스택의 성능이 우수하다. 반면 낮은 전압 영역에서는 공기의 높은 분압에도 불구하고 불활성 기체에 의한 반응 가스의 물질 전달 저항이 지배적이기 때문에 성능의 급격한 저하가 나타난다. Table 2는 여러 가지 운전 변수에 따른 외부 및 내부 가습형 스택의 전극 동력학적 변수를 비선형 최소 자승법을 사용하여 연료 전지 분극 방정식으로부터 계산한 것이다. 전적으로 가습의 영향을 받는 고분자막 저항은 높은 온도와 외부 가습형 스택과 산화제가 산소인 경우 이온 전도도의 향상으로 낮은 값을 나타냈다. 공기의 경우 높은 압력(5 atm)을 사용함에도 불구하고 외부 및 내부 가습형 스택에서 모두 높은 전해질 저항값을 얻은 것은 이 값에 물질 전달에 의한 영향이 일부 고려되었기 때문이다.

Table 2. Electrode kinetic parameters for proton exchange membrane fuel cell with external or internal humidifier using 0.4 mg Pt/cm<sup>2</sup> electrode and Nafion 115 membrane

Humidifier type	Temperature(°C)	Pressure(atm)	Oxidant	b*(mV/dec)	R*(Ω/cm <sup>2</sup> )	E <sub>0</sub> *(mV)
External	30	1	O <sub>2</sub>	60	0.394	927
External	50	1	O <sub>2</sub>	65	0.374	959
External	70	1	O <sub>2</sub>	62	0.298	957
Internal	30	1	O <sub>2</sub>	61	0.775	862
Internal	40	1	O <sub>2</sub>	67	0.581	899
Internal	50	1	O <sub>2</sub>	76	0.487	916
External	50	1	air	73	0.602	893
Internal	50	1	air	107	0.625	898
External	50	5	air	63	0.421	967
Internal	50	5	air	67	0.557	912

\*Calculated by a non-linear least-square fit of equation of  $E=E_0-b \log i-Ri$  to the experimental data (where  $E_0=Er+b \log i_0$ ,  $Er$  is the reversible potential,  $b$  is Tafel slope and  $R$  is the ohmic resistance in the electrode and electrolyte responsible for the linear variation of the potential vs. current plot).

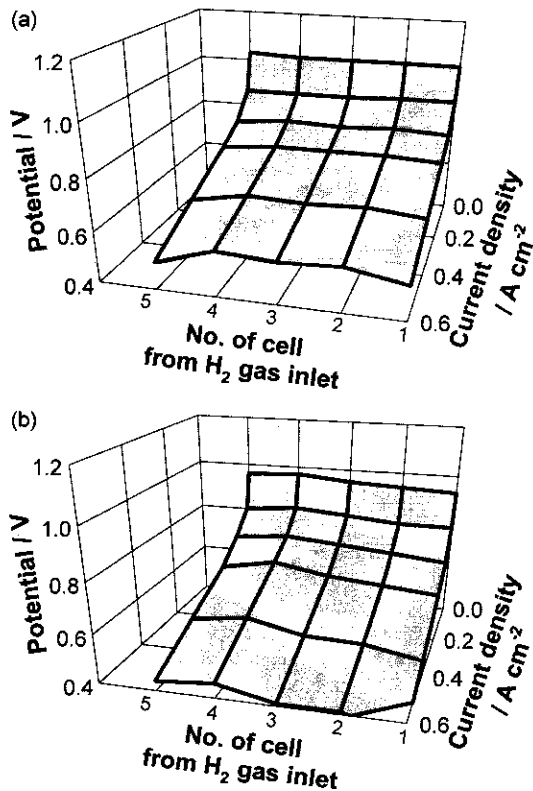


Fig. 8. Individual cell performances for  $H_2/O_2$  PEMFC stacks with external (a) and internal (b) humidifier at  $50^\circ C$ , 1 atm.

Fig. 8은 가습 형태에 따른 스택에서 단위 셀의 성능 분포를 비교한 것이다. 외부 가습형 스택의 경우 단위 셀의 성능은 스택의 가운데에서는 일정하였으나, 반응 가스의 입구가 있는 스택의 바깥쪽에서는 저하되는 것을 볼 수 있다. 이러한 성능 분포는 스택의 바깥쪽이 가운데 보다 온도를 유지하기 힘들며 가습된 가스의 전달이 어렵기 때문인 것으로 생각된다. 특히 높은 전류 밀도 영역에서 단위 셀의 성능은 수소 입구에서 가장 먼 셀이 가장 낮은 이유도 가습된 수소가 길고 복잡한 가스 흐름 통로를 통과하면서 충분한 양의 물을 공급하지 못하기 때문인 것으로 사료된다. 한편 내부 가습형 스택의 경우 단위 셀의 성능은 내부형 가습기에서 가까울수록 높고 멀어질수록 점차로 낮아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 스택 구조에 의한 가습으로 설명할 수 있다. 스택에 주입된 건조한 반응 가스는 먼저 내부 가습기를 거친 후 가습기에서 가까운 단위 셀로부터 먼 단위 셀로 흐르게 된다. 즉, 단위 셀이 내부 가습기에서 가까울수록 많은 양의 물이 반응 기체와 함께 공급되는 반면, 가습기에서 멀어질수록 물의 함량이 줄어들기 때문에 성능의 저하를 초래한다.

정전류에서 스택 단위 셀의 온도 분포를 Fig. 9에 보였다. 외부 가습형 스택의 경우 단위 셀의 온도는 스택의 가운데에서 가장 높았으며, 스택의 양쪽 가장자리로 갈수록 떨어졌다. 이는 연료 전지 반응에 의하여 발생된 열이 스택의 바깥쪽에서 공기와 접촉이 용이하여 쉽게 제거되는 반면에, 스택의 가운데에서는 상대적으로 어려워지기 때문이다. 이러한 경향은 Fig. 8에서 단위 셀의 성능 분포와 밀접한 관계를 갖는데, 단위 셀의 온도가 떨어지게 되면 반응 활성화와 고분자막의 이온 전도도도 감소하여 성능의 저하를 초래한다. 내부 가습형 스택의 온도도 외부 가습형 스택과 마찬가지로 스택의 가운데에서 가장 높고 바깥쪽으로 갈수록 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그러나 내부 가습형 스택에서는 외부 가습형 스택에 비하여 가습량이 매우 적기 때문에 단위 셀의 성능은 온도보다는 공급된 가습량에 좌우된다. 또

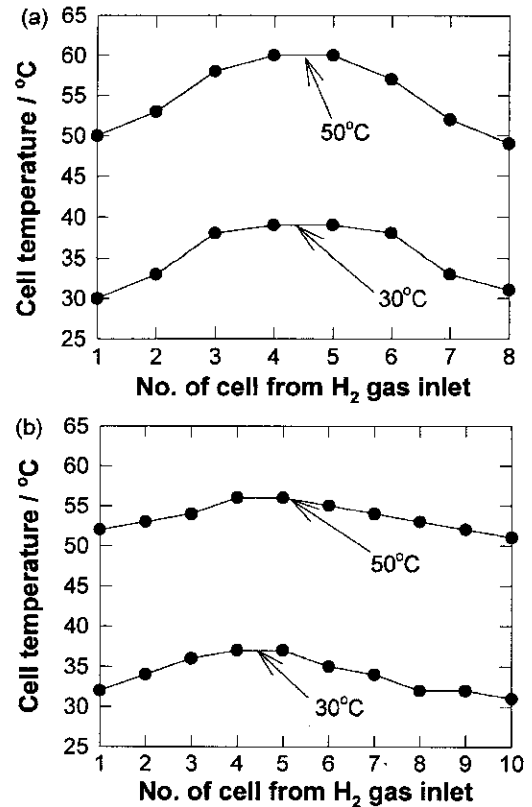


Fig. 9. Temperature distributions for  $H_2/O_2$  PEMFC stacks with external (a) and internal (b) humidifier at 1 atm.

스택의 중앙과 양쪽 끝 사이의 온도차는 설정온도  $50^\circ C$ 에서 외부 가습형 스택이  $11^\circ C$ , 내부 가습형 스택이  $5^\circ C$ 이었는데, 이는 외부 가습형 스택이 더 많은 양의 전류를 생성하면서 많은 반응열을 발생하기 때문이다.

#### 4. 결 론

외부 및 내부 가습형 고분자 전해질형 연료 전지 스택을 설계하고 운전 변수에 따른 성능 및 온도 분포를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

이 실험에서 대면적화와 적층에 따른 성능의 감소는 매우 적었으며, 전자는 고분자막 전극간의 접촉 저항, 후자는 셀 간의 접촉 저항과 원활하지 못한 반응 가스의 공급 및 생성물의 제거가 주원인이었다. 외부 가습형 스택의 성능은 내부 가습형 스택에 비하여 매우 우수하였으며,  $50^\circ C$ , 1 atm 운전시 2 V 스택 전압에서 그 전류는 내부 가습형 스택과 비교하여 약 55% 높게 나타났다. 스택의 성능은 반응 가스의 가습, 반응 가스의 전달 및 스택 온도의 유지 등 복합적인 영향에 지배를 받는다. 이 중에서 가습이 가장 주된 원인이며 외부 가습형 스택에서는 중앙에 위치한 단위 셀이, 내부 가습형 스택에서는 내부 가습기에서 가까운 단위 셀이 각각 높은 성능을 보였다. 단위 셀의 성능은 외부 가습형 스택에서는 온도 분포와, 내부 가습형 스택에서는 가습량과 밀접한 관계를 보인다.

#### 감 사

이 논문을 연세대학교 이태희 교수님의 환갑을 기념하여 봉헌합니다. 저자 중의 이승재는 문교부로부터 1996년도 해외 Post-Doc. 프로

그램의 지원을 받은 바 그 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Dhar, H. P.: *J. Electroanal. Chem.*, **357**, 237(1993).
2. Strasser, K.: *J. Power Sources*, **37**, 209(1992).
3. Prater, K. B.: *J. Power Sources*, **37**, 181(1992).
4. Wilson, M. S. and Gottesfeld, S.: *J. Electrochem. Soc.*, **139**, L28 (1992).
5. Ticianelli, E. A., Derouin, C. R., Renondo, A. and Srinivasan, S.: *J. Electroanal. Chem.*, **251**, 275(1988).
6. Taylor, E. J., Anderson, E. B. and Vilambi, N. R. K.: *J. Electrochem. Soc.*, **139**, L45(1992).
7. Wilson, M. S. and Gottesfeld, S.: *J. Appl. Electrochem.*, **22**, 1(1992).
8. Niedrach, L. W., McKee, D. W., Paynter, J. and Danzig, I. F.: *Electrochem. Technol.*, **4**, 318(1967).
9. Gateiger, H. A., Markovic, N. M. and Ross, P. N.: *J. Phys. Chem.*, **99**, 16757(1995).
10. Gateiger, H. A., Markovic, N. M. and Ross, P. N.: *J. Phys. Chem.*, **99**, 8945(1995).
11. Andrew, M. R., McNicol, B. D., Short, R. T. and Drury, J. S.: *J. Appl. Electrochem.*, **7**, 153(1992).
12. Ross Jr., P. N., Kinoshita, K., Scarpello, A. J. and Stonehart, P.: *J. Electroanal. Chem.*, **59**, 177(1975).
13. Staschewski, D.: *Int. J. Hydrogen Energy*, **21**, 381(1996).
14. Buchi, F. N. and Srinivasan, S.: *J. Electrochem. Soc.*, **144**, 2767 (1997).
15. Watanabe, M., Satoh, Y. and Shimura, C.: *J. Electrochem. Soc.*, **140**, 3190(1993).
16. Watanabe, M., Uchida, H., Seki, Y. and Emori, M.: *J. Electrochem. Soc.*, **143**, 3847(1996).
17. Mukerjee, S. and Srinivasan, S.: *J. Electroanal. Chem.*, **357**, 201 (1993).
18. Parthasarathy, A., Srinivasan, S. and Appleby, A. J.: *J. Electroanal. Chem.*, **339**, 101(1993).
19. Mukerjee, S., Lee, S. J., Ticianelli, E. A., McBreen, J., Grgur, B. N., Markovic, N. M., Ross, P. N., Giallombardo, J. R. and De Castro, E. S.: *Electrochemical and Solid State Letters*, **2**, 12(1999).
20. Cisar, A., Murphy, O. J. and Simpson, S. F.: 1996 Fuel Cell Seminar Abstracts, Orlando, FL, 647(1996).
21. Ernst, W. D.: 1996 Fuel Cell Seminar Abstracts, Orlando, FL, 563 (1996).
22. Chow, C. Y. and Wozniczka, B. M.: U.S. Patent 5,382,478(1995).
23. Meyer, A. P., Scheffler, G. W. and Margiott, P. R.: U.S. Patent 5,503,944 (1996).
24. Watkins, D. S., Dircks, K. W., Epp, D. G., Merritt, R. D. and Gorbelle, B. N.: U.S. Patent 5,200,278(1993).
25. Choi, K. H., Park, D. J., Rho, Y. W., Kho, Y. T. and Lee, T. H.: *J. of Power Sources*, **74**, 146(1998).