

운전 조건에 따른 고분자 전해질형 연료전지의 전지 성능

노용우[†] · 조원일 · 고영태 · 이진홍 · 목영일*

한국가스공사 연구개발원

*아주대학교 화학공학과

(1994년 5월 13일 접수, 1994년 12월 29일 채택)

Cell Performances of Proton Exchange Membrane Fuel Cell as to Operation Conditions

Yong Woo Rho[†], Won Ihl Cho, Young Tai Kho, Jin Hong Lee and Young Il Mok*

R&D Center, Korea Gas Corporation, 277-1, Il-Dong, Ansan City, Kyunggi-Do 425-150, Korea

*Dept. of Chemical Engineering, Ajou University

(Received 13 May 1994; accepted 29 December 1994)

요 약

고분자 전해질형 연료전지에서 전극/고분자막의 집합체 제조기법, 전극/고분자막 재료에 따른 전지 성능의 영향 및 온도, 압력, 반응 가스의 가습 조건 등과 같은 운전 조건에 따른 전지 성능의 영향에 관하여 고찰하였다. 고분자 전해질형 연료전지의 성능은 집합체 구성 재료 중 고분자 막의 특성에 크게 의존하며 가습 조건은 산소 쪽은 단위전지의 온도보다 약 5°C 정도, 수소 쪽은 10°C 정도 높게 유지하는 것이 최적의 조건임을 알 수 있었다. 또한 전지 작동 온도에 따른 전지 성능은 70°C 이하에서는 온도 증가에 따라 반응 활성도 증가하나, 운전 압력이 1기압일 경우 70°C 이상에서는 전지 온도 상승에 의한 활성의 증가를 볼 수 없었다. 이것은 전지온도를 상승시킬 경우 물의 포화 증기압도 올라가 이에 따른 반응가스의 농도가 낮아지기 때문으로 생각된다. 작동 압력이 2기압 이상인 경우에는, 물의 포화 증기압이 전체 반응 가스의 농도에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었으며 결과적으로 온도 상승에 따른 활성의 증가가 90°C 까지 계속되었다. 일정한 온도에서 전지의 성능은 작동 압력이 증가할수록 이에 비례하여 증가함을 알 수 있었다.

Abstract—The performance of proton exchange membrane fuel cell was investigated to optimize the fabrication method of membrane/electrode assembly, and to find appropriate operating conditions such as pressure, temperature and inlet gas humidification. It is the membrane electrolyte that has decisive effect on the cell performance. The optimum condition for humidification could be found by varying the inlet gas temperatures. Gas temperature 5°C for oxygen and 10°C for hydrogen higher than that of cell temperature was found to the optimum humidification condition irrespective of the cell temperature. Increase in temperature and/or pressure generally resulted in enhanced cell performance. The cell performance operated at 1 atm, however, exhibited an interesting temperature dependence. Enhanced performance with increasing temperature was observed up to 70°C, whereas cell temperature showed no appreciable effect on the cell performance above 70°C. This observation might be attributed to the increased vapor pressure, with increasing temperature, which dilutes inlet gas composition. Cells operated at higher pressure did not show this behavior where the effect of increased vapor pressure becomes relatively insignificant.

1. 서 론

고분자 전해질형 연료전지는 우주선, 군사용 등으로 사용할 목적으로 제한적인 연구가 진행되어 왔으나 1980년대 말에 이르러 석유 제품을 쓰는 자동차가 환경 오염의 주범으로 대두됨에 따라 이를 대체하기 위한 자동차의 동력원으로 사용될 것이 기대됨에 따라 다시 연구의 활기를 찾게 되어 세계적으로 연료전지를 전기 자동차에 사용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1, 2].

다양한 연료전지 유형 중에서 전기 자동차에 이용할 수 있는 것은 고분자 전해질형, 알칼리형, 인산형 연료전지 및 고체산화물 등이다. 이 중에서 첫번째 두가지는 저온형(40-100°C)인 반면 인산형은 중온형(200°C), 그리고 고체산화물형은 고온형(600-1000°C)이다. 이 중 승용차와 같은 소형 전기 자동차용 연료전지로서 적용 가능한 것은 현재 상업화 단계에 와 있는 인산형과 알칼리형 그리고 고분자 전해질형 등을 들 수 있다. 이 중 고분자 전해질형 연료전지가 기술적으로 우수한 전기 자동차용 동력원으로서 주목을 받고 있는 이유는 (i) 단위면적당 높은 전류밀도(>1 W/cm²)[1], (ii) 단위무게당 높은 전류밀도, (iii) 상온에서도 출력이 가능할 정도로 작동온도가 낮고, cold start 시간이 가장 짧으며, (iv) 전해질은 고체인 고분자막을 사용하므로 인산형 연료전지와 같이 부식 및 전해질 조절이 필요없으며, 또한 (v) 기계적인 충격 등에 비교적 안전하다는 점 등이다. 또한 고분자 전해질형 연료전지는 전 세계적으로 연구가 시작된 단계이므로 우리의 경우도 비교적 기술적 열세를 빨리 극복할 수 있으며 핵심기술인 스택 기술이 적은 투자로 개발될 수 있다는 장점으로 연구가 활발히 진행되고 있다.

초기 고분자 전해질형 연료전지의 개발은 우주선에 사용할 목적으로 1960년대 초 GE사에서 polystyrene계 이온교환막을 사용한 연료전지를 개발하여 Gemini program에 사용하였으며[3], 1968년에 Dupont에서 Nafion 막을 개발하여 GE사에서 이 막을 연료전지에 채택하여 좋은 성능과 수명 연장을 이룩하였다. 이 때의 전극 중 백금량은 4 mg/cm²이었으며 산화제로서 순수 산소를 사용하여 0.7 V에서 100 mA/cm² 정도의 성능을 보였다. 이 후 본격적인 고분자전해질형 연료전지의 개발은 1980년대를 넘어서부터 시작되었다. 초기 Canada의 Ballard사에서 고분자 전해질형 연료전지 스택의 시작품을 개발하였으나 고합침 전극을 사용하였으며 수명에 대한 검증도 충분하지 않았다. 이후 Los Alamos National Lab (LANL)에서 백금전극의 저합침화(0.4 mg/cm²) 그리고 Dow사로부터 고성능의 고분자 전해질 막이 개발되면서

성능이 많이 향상되었으며, Texas A&M 대학에서도 많은 연구가 진행되어 1990년 초 0.4 mg/cm²의 전극으로 가압하에서 0.7 V에서 1000 mA/cm² 정도의 성능을 구현하였으며, 1991년 중반에는 전극합침량을 0.4 mg/cm²으로 약 0.75 V에서 5기압 수소-산소의 경우 2000 mA/cm², 1기압에서는 약 500 mA/cm² 그리고 1기압 수소-공기의 경우 200 mA/cm² 정도의 성능을 구현하였다[5, 6]. 최근에도 전극촉매의 저합침화에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있으며 M. S. Wilson과 S. Gottesfeld가 Nafion 고분자막에 Pt/C전극을 직접 칠하여서 백금촉매의 양을 0.17 mg/cm²까지 줄이는 연구를 행하였다[7].

최근의 고분자 전해질형 연료전지 연구는 북미의 경우 GM, IFC, Ballard, Ergenics, Analytic Power, US Fuel Cells 등의 기관에서 연구를 진행하고 있으며 유럽에서는 Siemens 그리고 DeNora 등의 회사에서 그리고 일본에서는 Mitsubishi와 Fuji에서 많은 연구활동을 벌이고 있다[2]. 또한 미국의 경우 대통령 과학자 문회의(The President's National Critical Technologies Panel)에서 미국의 경제적 번영의 이룩과 국가의 안보를 유지하기 위한 핵심기술로 자동차에 응용하기 위한 고분자 전해질형 연료전지 기술을 22개의 핵심기술 중의 하나로 선정하여 연구개발에 박차를 가하고 있다.

고분자 전해질형 연료전지의 주된 연구분야 중의 하나는 전극과 고분자 막의 전해질을 제작하는 기법으로 반응대인 3상계면을 넓히는 전극/고분자막의 접합체를 제작하는 것이다. 또한 다른 형태의 연료전지와는 달리 고분자 전해질형 연료전지는 작동시 전해질인 고분자 막이 전하전도성을 유지하기 위하여 고분자 막에 적절한 수분을 유지시켜 주어야 하며 이를 위하여 반응가스에 적절한 수분을 공급해 주어야 한다. 따라서 본 연구는 (i) 전극/고분자 막의 접합체 제조기법, (ii) 전극/고분자 막 재료에 따른 전지 성능의 영향, (iii) 온도에 따른 전지성능의 영향, (iv) 압력에 따른 전지 성능의 영향, (v) 높은 성능을 유지하기 위한 반응가스의 가습 조건 등에 관하여 논하고자 한다.

2. 실험방법

2-1. 전극/고분자 막의 접합체 제조

고분자 전해질형 연료전지도 다른 종류의 연료전지와 같이 반응가스, 고분자 막, 그리고 전극촉매가 만나는 곳, 즉 삼상대 면적의 극대화가 성능이 좋은 연료전지를 만드는데 매우 중요한 역할을 하게 된다. 그러나 다른 종류의 연료전지와는 달리 전해질이 고상인 고분자 막이므로 삼상대가 잘 형성되도록 하는 고분자 막과 전

극의 접합이 매우 중요하게 된다. 지금까지의 연구는 전극에서의 백금의 양을 최소화하는 분야와 반응이 일어나는 전극 전해질 반응기체가 만나는 곳을 극대화하기 위한 전극/고분자 막 접합기술에 연구가 집중되었다.

본 연구에서 사용된 전극은 상업용으로 시판되고 있는 고분자 전해질용 전극인 미국 Globetech사 제품으로 담체인 Vulcan XC-72 카본블랙에 20% 백금을 0.4 mg/cm^2 로 함침시킨 전극과, 미국 E-TEK사 제품인 ELAT로 담체인 Vulcan XC-72 카본블랙에 20% 백금을 $0.35 \pm 0.04 \text{ mg/cm}^2$ 로 함침시킨 전극을 사용하였다. 고분자 전해질형 연료전지 전극은 일반적으로 인산형 연료전지와 같은 촉매를 사용하며 전극제조 방법도 매우 유사하다. 다만 고분자 전해질형 연료전지는 고분자 막 전해질 전달을 원활히 하여 주기 위하여 고분자 막에 수분을 계속적으로 공급해 주어야 한다. 따라서 전극의 지지체는 전자 전달이 용이하고 반응 기체를 반응이 일어나는 삼상대로 원활히 공급하여 줄 수 있는 재료가 필요하다. 본 연구에 사용된 양쪽 전극은 모두 다 지지체로 테프론으로 발수처리된 카본 천을 사용하였다.

전세계적으로 연료전지용 고분자 막을 개발하고 있는 회사로는 미국에 Dupont사와 Dow Chemical사 그리고 일본의 Asahi Chemical사 세곳으로 알려져 있으며 이중 상업적으로 유용한 고분자 막은 미국 Dupont사의 Nafion이다. Dow Chemical사 그리고 일본의 Asahi Chemical사는 연구 개발을 계속 수행하여 고분자 전해질형 연료전지에 적합한 고분자 막을 개발하고 있으나 아직 상업적으로 시판하고 있지는 않다. 막의 성능으로는 Dow Chemical사와 Asahi Chemical사의 막은 거의 같은 정도 성능을 보이는 것으로 알려져 있으며 Dupont사의 Nafion막의 경우는 성능이 많이 떨어지는 것으로 발표되고 있다[1, 8]. 그러나 Dow Chemical사나 Asahi Chemical의 경우 막이 아직 연구 단계이며 상업적으로는 유용하지 않은 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 Dupont사의 Nafion 115막을 사용하여 실험을 행하였다.

고분자 전해질형 연료전지는 위에서 언급한 바와 같이 고성능화를 위하여는 반응이 일어나도록 3상을 만들어 주는 것이 중요하며 따라서 고분자 막과 전극의 결합이 매우 중요하다 할 수 있다. 본 연구에서는 Los Alamos National Lab.(LANL)에서 개발된 방법으로 고분자막과 전극이 잘 결합되는 고분자 막과 전극을 고온가압하는 hot press 법을 이용하여 고분자막/전극 결합체(membrane & electrode assembly)를 제작하였다[5].

Hot pressing법에 의한 M&E assembly 제조는 (i) 5% Nafion 용액(Aldrich Chemical Co.)을 그림용 붓

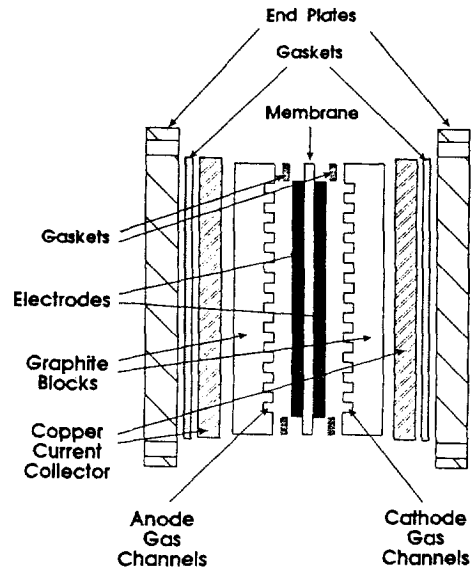


Fig. 1. Schematic of proton exchange membrane fuel cell assembly.

으로 전극에 균일하게 칠하고, (ii) Nafion 용액의 용매(aliphatic 알콜과 물)를 제거하기 위하여 80°C 오븐에 넣고 약 2시간 동안 건조시킨 후, (iii) 전극을 고분자 막 양쪽에 놓고 약 140°C , 약 1 metric ton의 유압으로 고온 가압한다. 여기에 사용하는 고분자 막은 산화된 유기 물질을 제거하기 위하여 5 w/o 과산화수소에 넣고 적당한 시간 동안 끓인 후 또한 금속성 불순물을 제거하기 위하여 묽은 황산에 넣고 일정시간 동안 끓인다. M&E assembly를 만들기 전 초순수 용액에 넣고 장시간 끓여서 모든 불순물을 제거한 후 사용한다.

이렇게 만들어진 M&E assembly가 수소극과 산소극이 전기적으로 단절이 되어 있는지를 확인한 후 단위 전지 cell에 장착한 후 서서히 온도를 올리면서 실험을 수행한다.

2-2. 실험장치

만들어진 M&E assembly의 실험을 수행하기 위한 단위 전지의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 단위전지의 유효 반응면적은 5 cm^2 이며, 전류 collector와 가스의 흐름을 형성시켜 주는 판은 resin이 함침된 Unocal사의 Poco graphite를 사용하였으며 각각 전극의 성능을 조사하기 위한 반쪽전지 구성을 위하여 단위전지에 가역 수소 기준 전극을 설치하였다. Graphite로 된 끝판은 가스 feed의 입구와 출구가 설치되어 있으며 흡파진 곳으로 가스가 주입되어 다공성 가스확산전극의 뒤쪽으로 가스가 흘러 들어가도록 하였다. 또한 온도 조절을

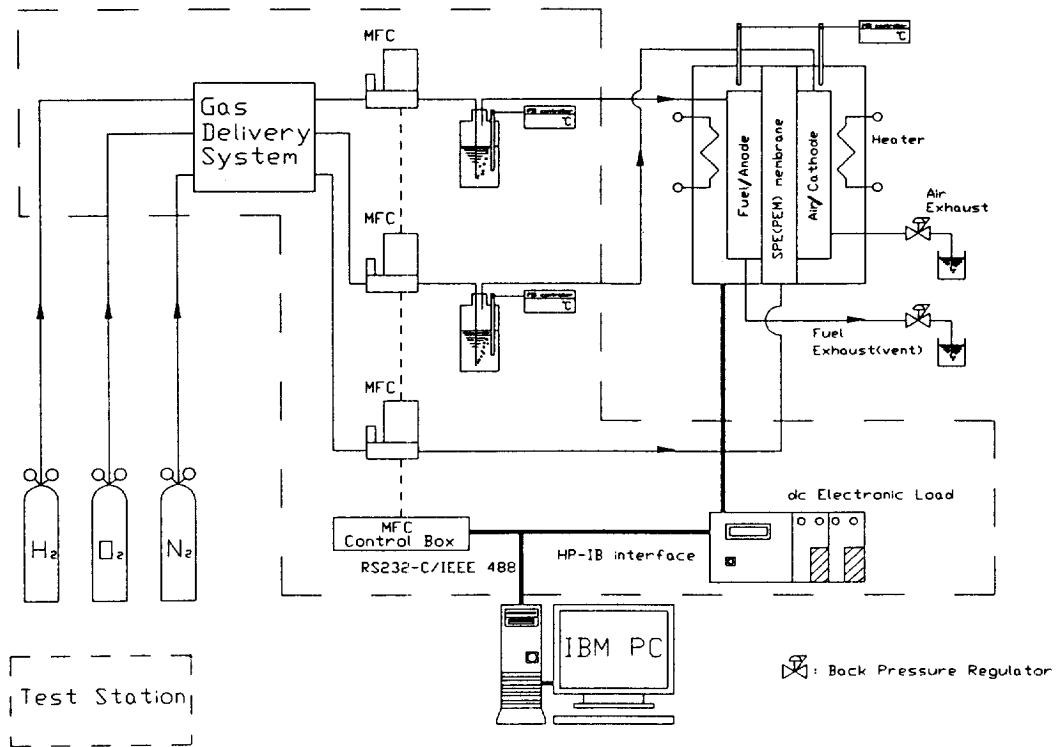


Fig. 2. Schematic of fuel cell test station.

위한 전기 히터와 온도 지시기를 꽂을 수 있도록 홈을 만들어 주었다. M&E assembly를 두개의 gasket과 graphite plate 사이에 설치한 후 전류 collector인 구리판으로 양쪽을 고정하여 실험을 행하였다.

전체 실험장치 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 고순도 수소, 산소를 각각의 펌프로부터 유량조절기로 유량이 결정된 후 가습기를 통하여 단위 전지로 흘러 들어가도록 하였다. 고분자 전해질형 연료전지의 경우 고분자 막이 전하 전도성을 갖기 위하여 적절히 수분을 공급해 주어야 하는데 이를 위하여 반응가스에 수분이 함유하도록 하여야 한다. 반응 가스의 가습은 stainless로 제작한 가습기에 물을 담은 후 일정 온도를 유지시켜 반응 가스를 통과시켜 그 온도에서 물을 포화시킨 후 단위 전지에 보내어지도록 하였다. 단위전지에서 반응 후 나온 반응가스는 back pressure regulator를 통하여 반응 가스의 압력이 조절되도록 한 후 대기 중으로 방출되도록 하였다.

실험장치는 단위전지에서 나오는 전류, 전압 특성을 자동적으로 주사하여 data를 저장 처리토록 하는 연료 전지 실험장치를 Fig. 3과 같이 구성 사용하였다. 전류 밀도에 따른 전압 측정은 Hewlett Packard사에서 제

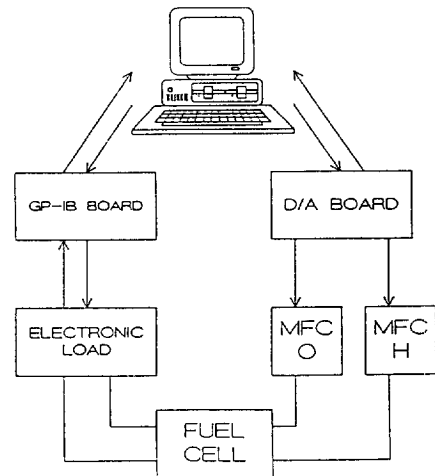


Fig. 3. Schematic of fuel cell test station and control sub-system.

작된 electric load(HP-6060A)를 사용하였으며 이를 IBM-PC 호환기종인 개인용 컴퓨터에 연결 data를 저장하도록 하였다.

고분자 전해질형 연료전지 성능 측정은 온도와 압력을 변화시키면서 수행하였는데 온도는 50°C에서 90°C 사이, 압력은 1 atm에서 5 atm으로 변화시켜 가면서 측정하였으며 이에 따른 전위-전압 성능 곡선을 얻었다.

3. 결과 및 고찰

고분자 전해질형 연료전지는 일반적으로 다음의 각각의 단계를 거쳐 반응이 일어나 전기를 생산하는 것으로 나타낼 수 있다[9].

(i) 지지체와 확산층을 통하여 가습된 반응가스의 확산

(ii) 고분자 막과 가습된 반응가스의 접촉을 통하여 반응물이 고분자 막으로 용해

(iii) 전기화학 촉매 활성점 즉 전극/고분자 전해질이 접해 있는 계면까지 용해된 반응가스가 확산

(iv) 수소극에서 전기화학반응으로 생성된 H^+ ion이 전극/고분자 막 계면까지 이동

(v) 전기화학반응($O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2H_2O$)이 산소 전극/고분자 막 계면에서 일어난다.

(vi) 생성물인 물이 고분자 막을 통하여 이동되고 확산층과 지지체를 통하여 확산 방출된다.

위의 단계를 살펴보면 기상에서의 반응물의 확산, 고분자 막에서의 H^+ ion의 확산, 그리고 전기화학반응 등으로 대별할 수 있으며 기상에서의 반응물의 확산시 생성된 물이 장애가 되어 전극 성능을 저하시킬 수 있으므로 전극 촉매를 지지하는 지지체를 teflon으로 발수 처리한 탄소 섬유를 사용하는 것이 보편적이다. 또한 전기화학반응을 촉진시키기 위하여는 활성 면적을 넓히는 물리적인 방법과 전지 조작 온도 및 압력을 높이는 운전 조건으로 전지 성능을 향상시킬 수 있다. H^+ ion이 고분자 막을 통한 이동이 전지 성능에 중요한 역할을 하는데 이는 고분자 막에 적절한 수분을 공급하는 운전조건과 고분자 막이 가지고 있는 고유의 성질에 기인한다고 볼 수 있다. 고분자 막에서의 H^+ ion의 빠른 이동은 고분자 막에 적절한 수분을 공급하여 고분자 막이 적절히 수화(hydration)가 이루어져야 한다.

3-1. 단위전지 운전조건 및 전극/고분자 접합체 재료에 따른 전지성능의 영향

고분자 전해질형 연료전지의 경우 다른 형태의 연료전지와 달리 고분자 막에 적절한 수분을 공급해 주어야 한다. 그러나 너무 많은 수분의 공급은 반응물이 전극의 촉매 활성점까지 도달하는 통로를 방해하므로 적절한 수분 공급이 전지 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구에서 사용한 고분자 막에 수분을 공급하는 가습방

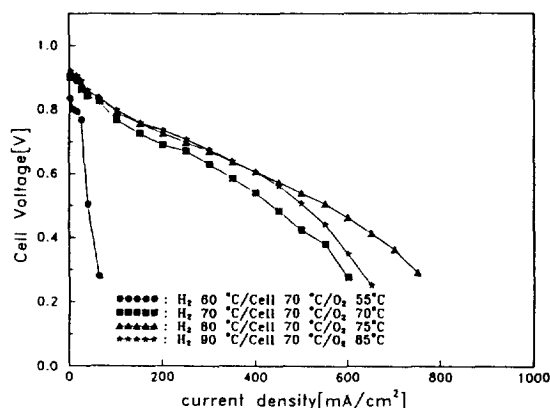


Fig. 4. Effect of feed gas temperature on cell potential vs. current density plot with Globetech electrode and Nafion 115 membrane at 1 atm.

법은 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 반응가스를 온도가 결정된 가습기를 통과시켜 반응가스에 수증기를 포화시킴으로서 수분을 공급하는 방법을 사용하고 있다. 따라서 가습기의 온도를 조절함으로써 공급되는 물의 양을 조절할 수 있다. Fig. 4는 단위전지의 온도를 70°C로 고정하고 각각 공급되는 반응가스의 가습기 온도를 5-20°C까지 단위전지 온도보다 높게 또는 낮게 변화시키면서 본 전위와 전류밀도 관계를 보여 주는 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 단위전지의 온도가 반응가스가 통과하는 가습기의 온도보다 수소쪽은 10°C 낮게 유지하고 산소쪽은 15°C 낮게 유지할 경우 전지의 성능이 현저히 저하됨을 알 수 있다. 이는 고분자 막의 온도가 반응가스의 온도보다 높아 고분자 막이 건조(drying)됨으로써 H^+ ion의 전달이 현저히 저하되어 전하전달 저항이 커짐으로서 생기는 현상으로 사료된다. 단위전지 온도와 반응가스의 온도를 같이 유지할 경우 전지 성능은 현저히 증가되나 단위전지의 온도보다 산소쪽 온도가 5°C 높게 유지하고 수소쪽 온도를 10°C 높게 유지할 경우 가장 좋은 전지 성능을 보임을 알 수 있었다. 단위전지 온도보다 반응가스의 온도가 15°C 이상 유지될 경우는 전류밀도가 커질 경우 전지 성능이 약간 저하됨을 보 이는데 이는 수증기가 과량 주입되어 전극 표면에 응축됨으로서(flooding 현상) 반응가스가 전극 표면까지 전달하는데 방해가 됨으로서 생기는 현상으로 사료된다. 따라서 가습의 최적 조건은 산소 쪽은 단위전지의 온도보다 약 5°C 정도 높게 수소 쪽은 10°C 정도 높게 유지하는 것이 전지 운전의 최적 조건임을 알 수 있었으며 산소쪽 온도가 수소쪽 온도보다 5°C 낮게 유지한 이유는 반응 생성물인 물이 산소쪽에서 생성하므로 산소쪽 전

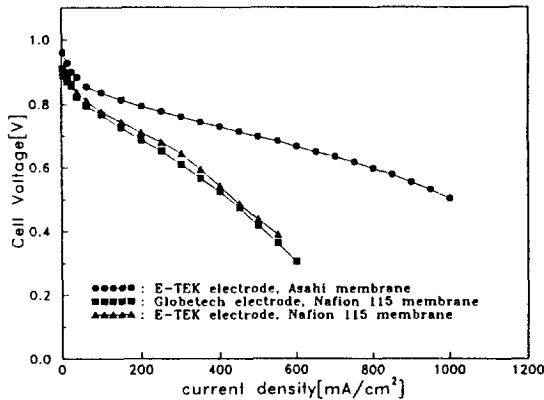


Fig. 5. Effect of different M&E assembly on cell potential vs. current density plot in a PEMFC at 1 atm, 50°C.

극의 flooding현상을 최소화하고자 하기 위함이었다. 이후의 실험시 온도는 언제나 위의 관계를 따른 것이다. 다시 말하여 이하에서의 온도 표시는 전지의 온도이며 언제나 수소쪽은 전지보다 10°C 높게, 산소쪽은 전지보다 5°C 높게 유지하면서 실험을 행하였다.

일반적으로 연료전지의 경우는 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 cell의 전위에 따른 전류밀도가 연료전지의 성능을 평가하는데 중요한 척도가 된다. Fig. 5에서는 각각 다른 고분자 막, 전극재료를 가지고 만든 M&E assembly를 사용한 그림이다. 하나는 전극으로 E-TEK사, 고분자 막으로는 Asahi Chemical사의 Asiplex-S를 사용한 것과, 전극은 Globetech사, 고분자 막으로 Dupont사의 Nafion-115를 사용한 것 그리고 E-TEK사의 전극과 Nafion-115를 사용하여 만든 M&E assembly를 가지고 50°C 1기압으로 단위전지 성능 실험을 한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 Asahi 막을 사용한 전지는 0.7 V에서 약 500 mA/cm² 정도의 전류가 발생하나 Nafion-115를 사용한 막의 경우는 약 230 mA/cm²으로 Asahi Chemical사의 고분자 막을 사용한 전지가 두배 정도 많은 전류를 생산하는 것을 알 수 있었다. 이는 전극의 성능의 차이보다는 사용된 고분자 막의 성능에 기인한 것으로 사료되며 고분자 전해질형 연료전지의 경우 전해질인 고분자 막이 전지 성능에 많은 영향을 미칠을 알 수 있다. 그러나 Asahi Chemical의 Aciplex-S 고분자 막은 상업적으로 유용하지 않아 이후의 실험은 Nafion-115 막을 사용하여 실험을 행하였다. 또한 위의 전지 성능은 Dupont사의 Nafion막을 사용한 전지의 경우 초기 Los Alamos National Lab.에서의 data와 비슷한 수준의 것이며[5] Asahi Chemical의 Aciplex-S 고분자 막을 사용한 경우 Texas A&M대학의 data와 비슷한 수준의

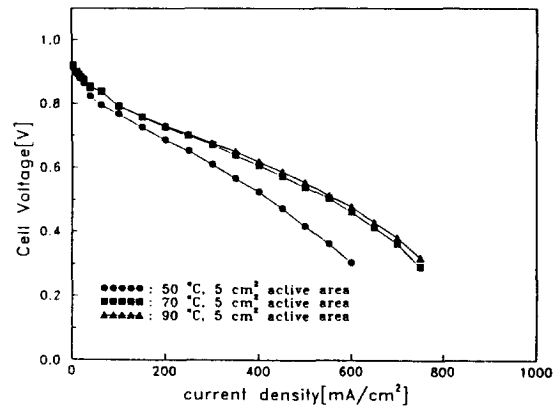


Fig. 6. Effect of unit cell temperature on cell potential vs. current density plot with Globetech electrode and Nafion 115 membrane at 1 atm.

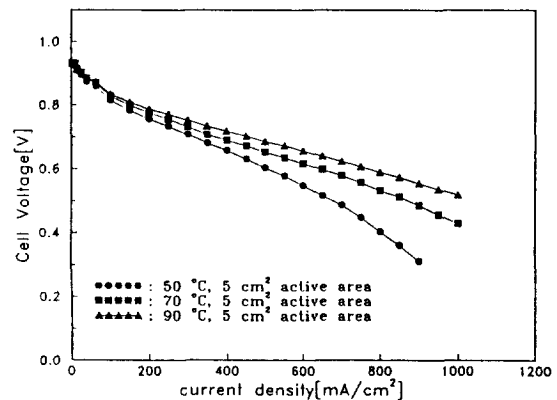


Fig. 7. Effect of unit cell temperature on cell potential vs. current density plot with Globetech electrode and Nafion 115 membrane at 2 atm.

것이다[8].

3-2. 온도 압력에 따른 전지 성능의 영향

Fig. 6은 cell의 온도에 따른 단위전지의 성능을 본 것이다. Cell의 온도가 50°C 인 경우보다 70°C 인 경우에는 전지의 성능이 상당히 증가하였으나 90°C의 경우는 70°C의 경우보다 많은 차이가 없음을 알 수 있었다. 이는 온도 증가에 따라 반응 활성은 증가하나 물의 포화 증기압도 올라가 이에 따른 반응가스의 농도가 낮아짐으로써 생기는 현상인 것으로 생각된다. 다시 말하면 50°C 물의 증기압은 92.51 mmHg인 반면 70°C의 경우 233.7 mmHg, 90°C 물의 증기압은 525.76 mmHg이므로 50°C의 경우 반응물의 몰분율(mole fraction)은 1기압에서 전지가 작동할 경우 반응물의 몰분율은 0.87, 70

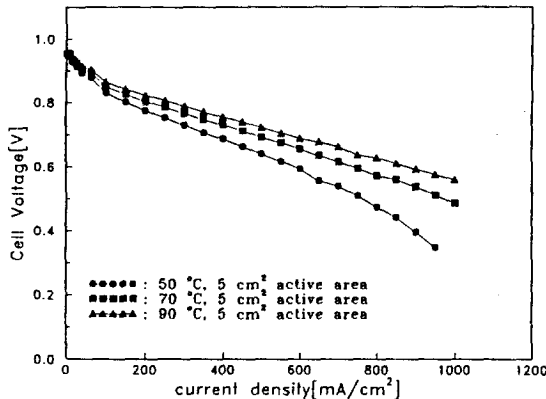


Fig. 8. Effect of unit cell temperature on cell potential vs. current density plot with Globetech electrode and Nafion 115 membrane at 4 atm.

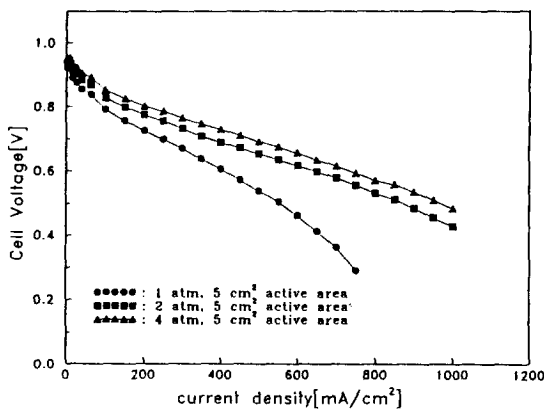


Fig. 9. Effect of operating pressure on cell potential vs. current density plot with Globetech electrode and Nafion 115 membrane at 70°C.

°C의 경우 0.69, 90°C의 경우 반응물의 물분율은 0.31 정도로 현저히 떨어져 온도 상승으로 인한 반응 활성화에도 불구하고 90°C의 경우 70°C 경우보다 전지 성능에는 그리 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

Fig. 7과 8은 단위전지의 압력을 각각 2 atm, 4 atm으로 하고 온도의 변화를 본 것이다. 두 경우 온도가 증가할수록 전지의 성능도 비례적으로 증가함을 볼 수 있는데 이는 고압의 경우 증가된 온도 때문에 생기는 포화 증기압의 크기가 전체 압력에 비하여 크지 않기 때문인 것으로 생각된다. 다시 말하여 전지의 작동압력이 4기압일 경우는 50°C의 경우 반응물의 물분율 (mole fraction)은 0.97이며, 90°C의 경우 반응물의 물비는 0.83으로 상압에서의 작동 시에 비하여 물의 증

기압이 미치는 영향이 거의 없음을 알 수 있다.

Fig. 9는 반응 가스의 압력에 따른 전지의 성능을 나타낸 것이다. 압력이 증가할수록 전지의 성능은 증가함을 알 수 있었다. 이는 압력이 곧 반응농도를 나타내므로 이에 비례하여 전지 성능이 증가함을 알 수 있다. 그러나 상압에서보다 2기압에서의 전지 성능 증가폭이 2기압에서 보다 4기압에서 전지 성능 증가폭보다 낮음을 알 수 있었다. 이는 2기압 이상의 경우 반응가스의 농도가 전지 성능에 큰 영향을 미치지 않는다고 사료된다. 따라서 고분자 전해질형 연료전지의 경우 최적의 운전조건은 전지온도는 70°C, 수소쪽 반응가스 온도는 80°C, 산소쪽 반응가스 온도는 75°C, 그리고 전지 작동압력은 2기압 정도가 될 것으로 사료된다.

4. 결 론

고분자 전해질형 연료전지 전극/고분자 막 접합체 제조와 운전조건에 따른 전지 성능에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 고분자 전해질형 연료전지 가습의 최적 조건은 산소 쪽은 단위전지의 온도보다 약 5°C 정도 높게 수소 쪽은 10°C 정도 높게 유지하는 것이 전지 운전 가습의 최적 조건임을 알 수 있었다.

(2) 고분자 전해질형 연료전지의 성능의 고분자 막의 성능에 주로 지배됨을 알 수 있었다.

(3) 전지 작동 온도에 따른 전지성능은 온도 증가에 따라 반응 활성화는 증가하나 운전 압력이 1기압일 경우 70°C 이상으로 전지 작동 온도를 증가시킬 경우 물의 포화 증기압도 올라가 이에 따른 반응가스의 농도가 낮아짐으로써 전지 성능이 증가하지 않으나, 작동 압력이 2기압 이상인 경우 물의 포화 증기압이 전체 반응가스의 농도에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

(4) 전지 작동 압력에 따른 전지의 성능은 압력이 증가할수록 이에 비례하여 증가함을 알 수 있었다.

감 사

본 연구는 한국가스공사, (주)유공, 그리고 상공자원부에서 시행하는 대체에너지 기술개발사업비의 지원에 의하여 수행된 결과이며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Srinivasan, S., Velev, O., Parthasarathy, A., Manko, D. and Appleby, A. J.: *J. Power Sources*, **36**, 299 (1991).

2. '92 Fuel Cell Seminar, Tucson, Arizona(1992).
3. Appleby, A. J. and Foulkes, F. R.: "Fuel Cell Hand Book", Van Nostrand Reinhold(1989).
4. Srinivasan, S., Ticianelli, E. A., Derouin, C. R. and Redondo: *J. Power Sources*, **22**, 359(1988).
5. Ticianelli, E. A., Derouin, C. R., Redondo, A. and Srinivasan, S.: *J. Electrochem. Soc.*, **135**(9), 2209 (1988).
6. Srinivasan, S., Manko, D. J., Koch, H., Enayetullah, M. A. and Appleby, A. J.: *J. Power Sources*, **35**, 368 (1990).
7. Wilson, M. S. and Gottesfeld, S.: *J. Electrochem. Soc.*, **139**(2), L28(1992).
8. Rho, Y. W., Velez, O. A., Srinivasan, S. and Kho, Y. T.: *J. Electrochem. Soc.*, **141**(8), 2084(1994).
9. Rho, Y. W., Srinivasan, S. and Kho, Y. T.: *J. Electrochem. Soc.*, **141**(8), 2089(1994).
10. Staiti, P., Poltarzewski, Z., Alderucci, V., Maggio, G., Giordano, N. and Fasulo, A.: *J. Applied Electrochem.*, **22**, 663(1992).
11. Wilson, M. S. and Gottesfeld, S.: *J. Applied Electrochem.*, **22**, 1(1992).