

## 40W급 직접 메탄올 연료전지 스택 개발

### Development of 40W Class Direct Methanol Fuel Cell Stack

백동현, 정두환, 전문석, 이봉도, 이병록, 송락현, 신동열, 김혁년\*, 박명석\*\*

한국에너지기술연구원, \*LG 화학 기술연구원, \*\*LG 전자 DA 연구소

#### 1. 서론

직접 메탄올 연료전지(Direct Methanol Fuel Cell, DMFC)는 메탄올 연료와 공기를 사용하여 전기화학적 방법으로 직접 발전하는 청정 발전 시스템이다. DMFC는 연료를 수소나 탄화 가스가 아닌 액체인 메탄올을 사용하고 작동 온도도 100℃ 이하이므로 이동과 취급이 용이하다. 또한 연료개질기(관련된 부피와 효율손실)가 필요없고 발전 시스템을 소형으로 간단하게 제작할 수 있기 때문에 가정용 비상전원, 레이저 또는 스포츠 용품(예, 골프 카트)의 이동용 전원, 무인등대등 원격지 발전, 태양열대체 교통신호기, Computer backup 메모리 전원, 전자기기용 휴대용 전원으로 응용이 가능하다.

이러한 DMFC 발전 시스템을 개발하기 위해서는 핵심 기술에 해당하는 고성능 스택의 개발이 필수적이다. 고성능 스택을 개발하기 위해서는 bipolar plate의 설계, 스택의 적층 및 실링, 집전, 연료 및 공기의 공급 및 배출, CO<sub>2</sub>제거에 대한 기술 등이 필수적으로 진행되어야 한다. 또한 이와 더불어 고성능 MEA 제작 기술도 동시에 이루어져야 한다.

현재 국내에서는 DMFC 발전 시스템을 개발하기 위하여 에너지자원기술개발사업의 일환으로 100W급 DMFC 발전 시스템에 대한 연구 개발이 진행되고 있다. 이 프로그램 중에서 100W급 DMFC 스택 개발 분야에서는 스택용 단위전지, 스택용 MEA 제조 공정, 스택 설계/제조 및 운전 특성 분석, 40W 급 스택 모듈 개발 등의 기술 개발이 이루어졌다. 본 연구에서는 현재까지 진행된 40W급 DMFC 스택 개발의 연구 결과를 요약하여 소개하고자 한다.

#### 2. 실험방법

##### 3.2.1 스택 설계

Bipolar plate는 구입한 흑연 플레이트를 자체 개발한 설계 기술에 따라서 가공 제작하여 사용하였다. 두께가 약 2.5cm 혹은 3mm이고 크기가 13.0x8.0cm 혹은 16.4x8.5cm인 흑연판을 이용하여 흑연판의 양한쪽면에 연료와 공기가 통과하도록 높이와 폭이 약 1mm 크기의 채널을 제작하였다. 연료의 입구와 출구는 고압에서도 연료가 누출되지 않게 연결부를 연결하여 연료의 주입 및 배출 라인과 연결되게 하였다.

본 연구에서 설계 제작한 다양한 형태의 직접메탄올 연료전지 스택의 사양과 특성을 표 1에 나타내었다.

그림 1은 외부 매니폴드형 30W급 스택 1을 나타낸 것이다. 이 스택은 전극면적이  $73\text{cm}^2(6.3 \times 11.6\text{cm})$ 이고 바이폴라 플레이트의 크기는  $130 \times 80\text{cm}$ 이다. 이 스택은 전극면적을 이루는 부분의 채널 골과 산의 폭을 넓게 설계한 것이다. 이렇게 하여서 연료극의 연료와 공기극의 공기 및 생성수의 공급과 배출이 용이하도록 하였다. 이 스택에서도 연료와 공기 및 산소가 외부 매니폴드로 공급되어 스택으로 들어가는 구조로 설계 제작하였다. 이 스택의 전극은 모두 11 셀로 구성하였으며 셀 간에 설치되는 가스켓과 스택의 체결부를 개량하였다. 그리고 매니폴드 부분은 연료전지 스택의 운전 중에 연료 및 산화제의 공급을 비롯하여 생성수 및  $\text{CO}_2$  발생을 외부에서 관찰하기 위하여 투명 플라스틱으로 제작하였다.

그림 2(a)는 외부 매니폴드형 40W급 스택 2를 나타낸 것이다. 이 스택은 스택 1보다 전극 면적을 크게 한 것으로 면적이  $131\text{cm}^2(12.8 \times 10.3)$ 이고 바이폴라 플레이트의 크기는  $16 \times 15\text{cm}$ 이다. 스택의 전체 크기(End plate 포함)는  $6.2 \times 16 \times 15\text{cm}$ 이다. 이 스택은 스택 1에서 적용한 기술을 이용하여 제작한 것으로 면적을 대면적화하기 위한 1단계로 시험한 것이다. 스택의 전체 구성은 스택 1과 유사하다.

그림 2(b)는 스택 2에서 사용한 Bipolar plate를 그대로 사용하여 제작한 스택 3이다. 이 스택에는 스택에 공급되는 연료와 공기의 유출과 교차를 방지하기 위하여 개발한 스택 실링 기술을 새로 적용한 것이다. 이 방법은 스택 체결시에 발생하는 MEA의 과도한 압착과 파손을 방지하기 위하여 실링부 전체에 균일한 압이 가해지도록 한 것이다. 본 연구에서 개발한 실링 기술을 적용한 이 스택에서는 스택의 유출이나 교차가 거의 일어나지 않았다.

### 3.2.2 MEA 제조

연료극 및 공기극 지지체인 탄소종이는 테프론 에멀전(Dupont Co., Teflon 120J)에 적신 후에 실온에서 건조시킨 후, 질소 분위기의 건조기에  $350^\circ\text{C}$ 의 온도에서 30분간 소결시켜, 강도 및 발수성을 부여하였다.

연료극은 Vulcan XC-72의 탄소에 60wt%의 Pt-Ru( 몰비 1:1)이 담지된 상업용 촉매에 Nafion solution을 첨가한 후 촉매 슬러리가 잘 분산되도록 교반하였다. Cathode 측의 촉매는 Pt 촉매상에서 Nafion 용액을 첨가한 후 교반하여 슬러리로 제조하였다.

탄소 종이 위에 활성 탄소층과 백금/탄소 촉매 층을 코팅하고  $80^\circ\text{C}$ 의 온도에서 1시간 동안 건조시켰다. Nafion이 함침된 전극은 전처리된 Nafion 막을 사이에 넣고 hot pressing 방법을 사용하여 접합 시켰다. hot pressing은  $90^\circ\text{C}$ 로 가열된 판 위에 MEA를 위치시키고  $125^\circ\text{C}$ 의 온도에서  $100 \sim 200\text{kgf/cm}^2$ 으로 2분간 압착하여 MEA를 제조하였다.

### 3.2.3 스택 성능의 측정장치

연료전지 스택의 성능을 측정하기 위한 장치는 크게 연료 공급부, 스택 및 데이터의 계측 및 제어 부분으로 구성된다.

연료극의 연료인 메탄올은 순수한 증류수와 혼합하여 메탄올을 농도가 2M이 되도록 제조하여 연료 저장기에 보관하였다가 유량의 조절이 가능한 정량펌프를 통해  $2.0\text{M CH}_3\text{OH}$ 를 연료극으로 공급하였다. 공기극의 연료로서는 공기 또는 산소를 이용하였고 반응에 필요한 양

이 공기극으로 공급되도록 MFC를 사용하여 조절하였다. 스택의 성능 실험은 25-130℃의 온도 범위에서 0-3kgf/cm<sup>2</sup>의 게이지 압력에서 실험이 가능하고, 전류와 전압 특성은 Electronic Load Tester(KW320-0A)를 사용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 스택 1의 성능

그림 3(a)와 3(b)는 스택을 상온, 40℃ 및 65℃에서 운전하여 얻은 스택 1의 성능을 나타낸 것이다. 연료극 연료는 2M의 메탄올을 4ml/min, 공기극에는 산소를 1L/min 혹은 공기를 10L/min으로 공급하였다. 산소를 사용한 경우(그림 3(a))에 약 47W(5.2V@9A)의 최고 출력을 얻을 수 있었다. 공기를 사용한 경우(그림 3(b)) 상온, 40℃ 및 65℃에서 각각 12.8W(3.2V@4A), 21.7W(3.6V@6A) 및 34.5W(4.1V@8.5A)의 최고 출력을 얻을 수 있었다.

그림 3(a)와 3(b)의 결과로부터 공기극에 산소 혹은 공기로 사용하였을 경우 성능 차를 나타내고 있는데, 이는 공기를 사용하였을 경우가 산소를 연료로 사용한 경우보다 높은 과전압을 나타내기 때문이다. 또한 공기를 사용한 경우에는 산소보다 전극으로 확산되어 들어가는 공기의 확산이 느리기 때문이다.

#### 3.2 스택 2의 성능

그림 4(a)와 4(b)는 스택 2를 40℃와 50℃에서 운전하여 얻은 스택 2의 성능과 스택 2를 5 A의 일정한 전류에 유지하여 얻은 각 전지의 셀 전압 분포를 나타낸 것이다. 그림 4(a)에서 나타난 것과 같이 공기를 사용한 경우에 40℃와 50℃에서 각각 14W ((1.54 V@ 9 A)와 약 18W(1.93 V @ 9.5 A)의 최고 출력을 얻을 수 있었다. 이 스택을 50℃로 운전하면서 전류를 5A로 일정하게 유지하였을 때 각 셀의 전압은 각각 0.4V 정도를 나타내었다. 각 셀은 비교적 균일한 전압 분포를 나타내고 있는 것을 그림 4(b)에서 알 수 있다. 그러나 그림 4(a)에서 알 수 있는 바와 같이 원하는 정도의 성능을 얻을 수는 없었다.

#### 3.3 스택 3의 성능

그림 5(a)는 스택 3을 제작하기 전에 성능을 확인하기 위하여 제작한 단전지의 특성을 나타낸 것이다. 이것은 스택 3을 제작하는데 적용한 기술을 거의 유사하게 적용하였다. 이 단지는 온도를 45℃로 유지하고 공기극에 각각 산소와 공기를 공급한 경우이다. 이 때 단전의 성능은 각각 7.13 W(0.31 V@ 23A)와 12.24 W(0.36 V@ 0.34 A)였다. 이 단전지에 적용한 기술을 이용하여 6셀로 이루어진 스택 3을 제작하여 성능을 측정한 결과를 그림 5(b)에 나타내었다. 스택 3의 운전 온도는 각각 30, 45 및 65℃로 하고 공기극에는 공기를 공급하였다. 이 때 스택 3에서는 운전 온도가 30, 45 및 65℃일 때 각각의 온도 조건에서 24.96 W(1.56 V@16 A), 34.96 W(1.84 V@19A)와 42.4W(2.12 V@20 A)의 성능을 얻을 수 있었다.

## 4 결론

본 연구는 100W급 DMFC 스택의 개발을 목표로 하는 연구 개발 계획 중에서 현재까지 이루어진 40W급 DMFC 스택의 개발에 대한 내용이다. 한국에너지기술연구원에서 수행한 직접메탄올 연료전지 스택 개발의 내용을 요약하여 정리하면 다음과 같다.

- ① 고성능 직접메탄올 연료전지 스택의 성능을 향상시킬 수 있는 전극제조 공정을 확립.
- ② 스택 성능 측정 장치를 자체 설계 제작하여 연구에 적용.
- ③ 다양한 외부 매니폴드 및 내부 매니폴드형 스택을 설계, 제작 운전
- ④ 위의 연구 결과에 얻어진 스택의 성능은 다음과 같다.

스택 1. 47 W (5.2 V@ 9A)

스택 2. 18 W (1.93 V@ 9.5A)

스택 3. 42.4 W ( 2.12 V@ 20A)

앞으로 내부 매니폴드식과 외부 매니폴드식의 2가지 스택을 제작하여 연구 목표인 100W급 DMFC 스택을 개발하기 위하여 고성능 MEA 개발, 스택 설계 기술 개발, 스택 실링 및 적층 기술 향상에 주력하는 연구개발을 계속적으로 진행시킬 계획이다.

#### 사 사(Acknowledgement)

본 연구는 산자부 에너지자원기술개발사업(대체에너지)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 5. Reference

- [1] H. Dohle et.al., Journal of power Sources, 106, 313-322 (2002).
- [2] K. Scott et.al., Journal of power Sources, 79, 43-59 (1999).
- [3] A.K. Shukla et.al., J. Appl. Electrochem., 29, 129-132 (1999)
- [4] L.K. Verma et.al., Journal of power Sources, 86, 464-468 (2000).

표 1. 다양한 형태의 직접메탄을 연료전지 스택 특성

항목	스택의 특성			
	스택 1	스택 2	스택 3	스택 4
◇ 셀 수 ◇ 전극 면적	◇ 10 ◇ 60 cm <sup>2</sup> (5.1x11.8cm)	◇ 6 ◇ 131 cm <sup>2</sup> (16 x 15 cm)	◇ 6 ◇ 131 cm <sup>2</sup> (16 x 15 cm)	◇ 5 ◇ 106 cm <sup>2</sup> (15x7.1cm)
◇ 촉매 ◇ 연료극 ◇ 공기극 ◇ 분리막 ◇ 전극 지지체 ◇ 바이폴라 플레이트 ◇ 전류집전체	◇ 40wt.%Pt-20wt.%Ru/C, 5.0mgPt/cm <sup>2</sup> ◇ 60wt.%Pt/C, 5.0mgPt/cm <sup>2</sup> ◇ Nafion 115 ◇ Carbon paper ◇ 흑연 플레이트(ST-3) ◇ Cu(Gold or Au coating)			

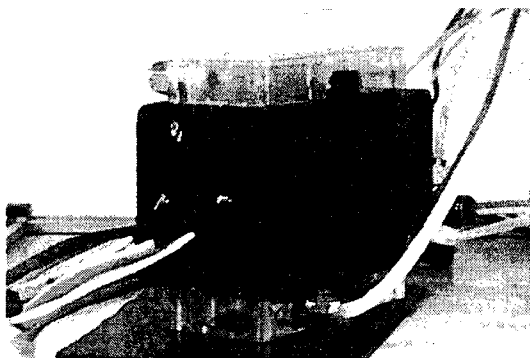
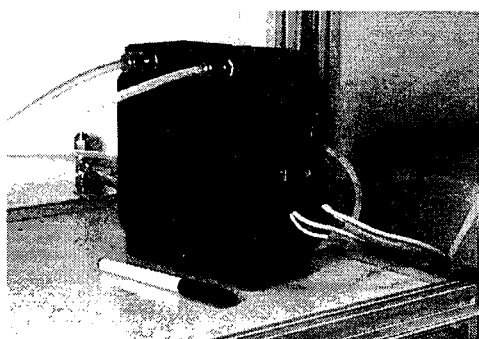
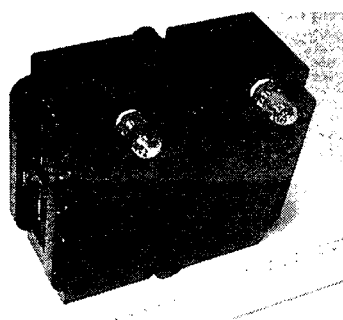


그림 1. 외부 매니폴드형 30W급 직접메탄을 연료전지 스택 1

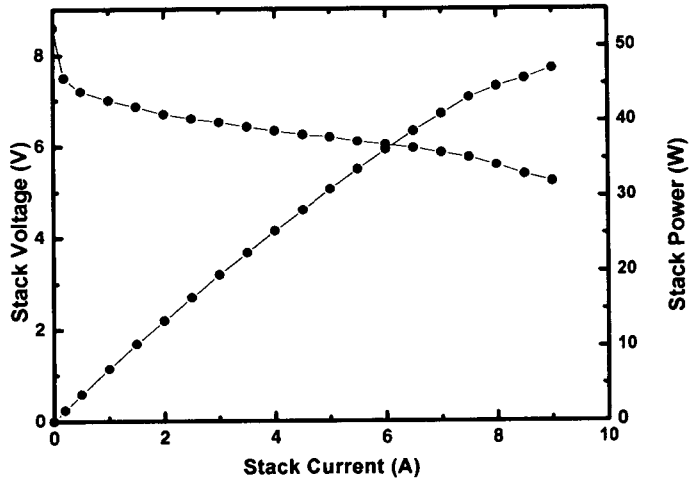


(a)

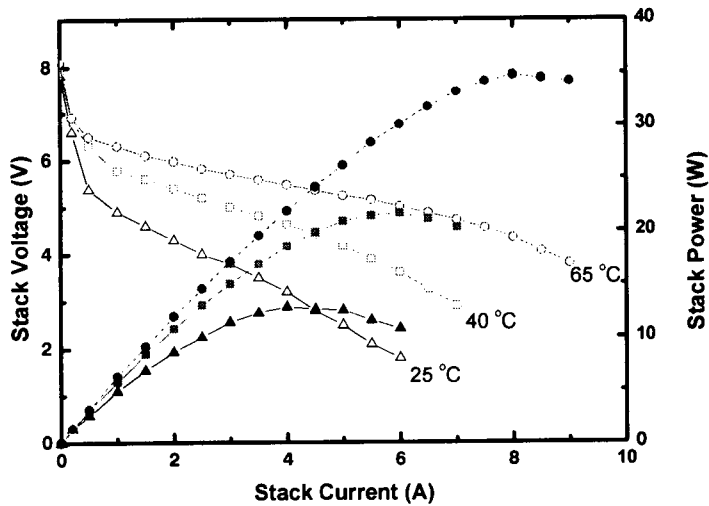


(b)

그림 2(a), (b). 외부 매니폴드형 직접 메탄을 연료전지 스택 2(그림 a)와 스택 3(그림 b)



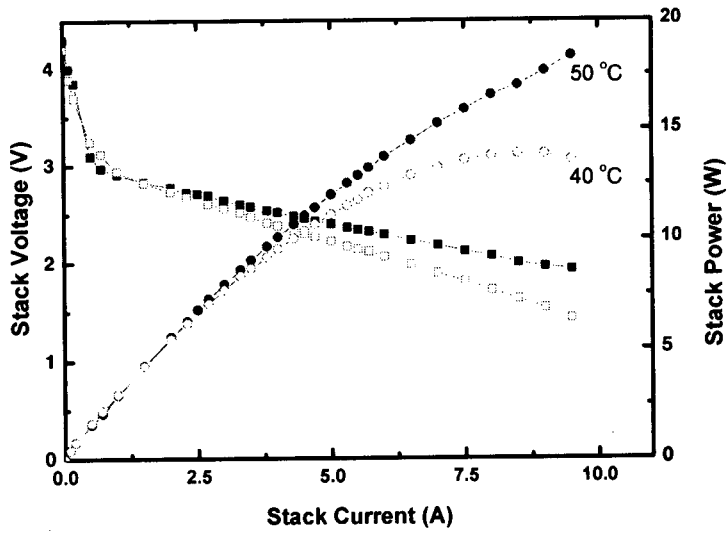
(a)



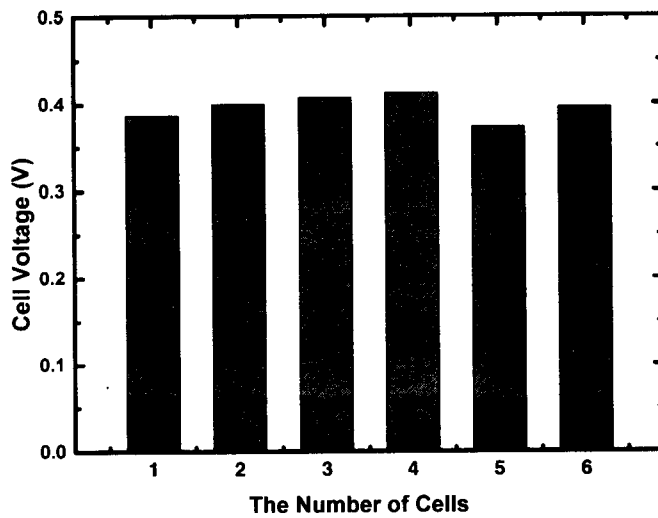
(b)

그림 3. 11셀 외부 매니폴드형 직접메탄올 연료전지 스택 1의 성능 특성.

(a): 산소, (b): 공기 사용, 스택 온도(65°C: ○, ●, 40°C: □, ■, 25°C: △, ▲),  
 2M CH<sub>3</sub>OH/공기, 산소 = 1/1 atm.

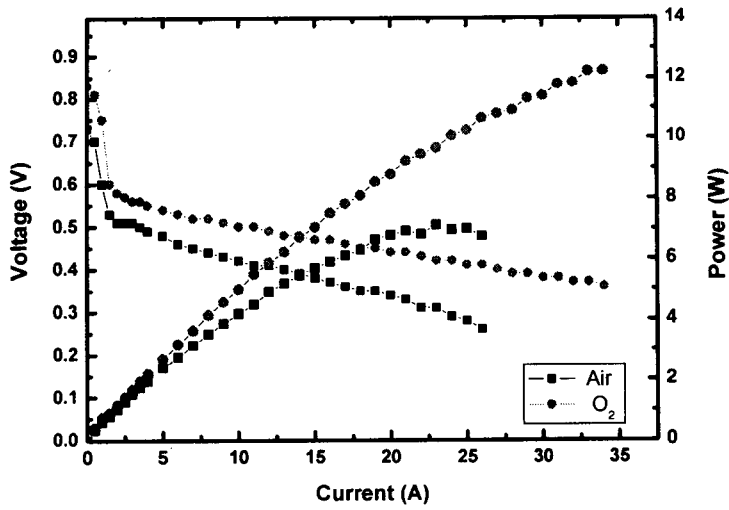


(a)

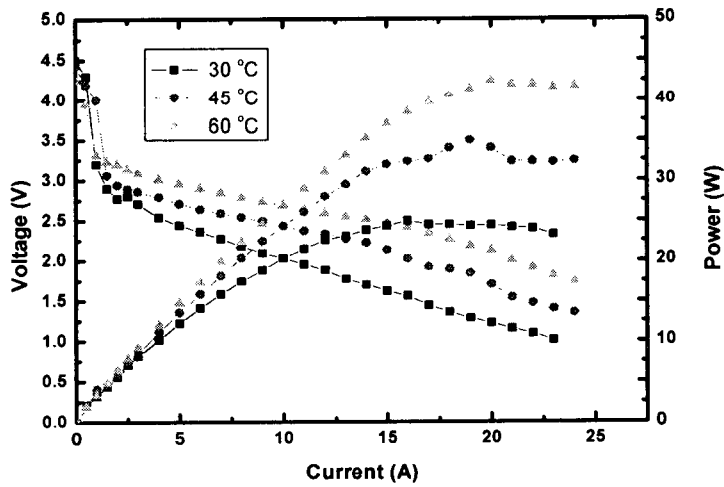


(b)

그림 4 (a), (b). 6셀 외부 매니폴드형 직접메탄올 연료전지 스택 2의 전압-전류 특성 및 일정한 전류(5A)에서 측정된 셀 전압.  
공기/2M CH<sub>3</sub>OH = 1/1 atm, 스택 온도: 40, 50°C.



(a)



(b)

그림 5 (a), (b). 외부 매니폴드형 직접메탄올 연료전지 단전지 및 스택 3의 전압-전류 특성.

공기/2M  $CH_3OH$  = 1/1 atm