

휴대폰용 연료전지 전원공급 시스템 개발 및 충방전 특성 연구

한재성[†] · 김영술 · 박은성

SK(주)대덕기술원 Fuel Cell Project

대전시 유성구 원촌동 140-1

(2001년 11월 2일 접수 : 2001년 12월 1일 채택)

Development and Charge-Discharge Performance Analysis of Direct Methanol Fuel Cell Power Pack for Mobile Phones

Jaesung Han[†], Youngshol Kim and Eunseong Park

Fuel Cell Project, Research and Development Center, SK Corporation 140-1 Wonchon-dong Yuseong-gu Taejeon 309-370

(Received November 2, 2001 : Accepted December 1, 2001)

초 록

본 연구는 메탄올과 공기를 이용하여 상온, 상압에서 전기를 발생시키는 휴대폰용 전원공급 장치의 개발에 관한 것이다. 이 장치는 직접 메탄올 연료전지(DMFC)와 Back-up 전지가 병렬로 연결되어 있어, 통화시 소요 전력의 최대 50%를 DMFC가 공급하고 나머지 부분은 Back-up 전지가 공급한다. 또한 통화 대기시에는 DMFC가 100% 필요 전력을 공급하고, 잉여 전력으로 Back-up 전지를 충전한다. 상기 DMFC는 유효면적이 9 cm^2 인 8개의 단위전지가 직렬로 연결되어 있으며, 휴대폰의 작동 전압 범위인 2.5~3.9 V의 전압을 출력한다.

Abstract : We report a fuel cell power supply unit for mobile phone which operates at room temperature and ambient pressure using liquid methanol and air. The unit consists of a direct methanol fuel cell (DMFC) and a back-up battery connected parallelly to the fuel cell. DMFC supplies half of the required power and the back-up battery supplies the other half during talk mode. In standby mode, DMFC covers 100% of the required power and charges the back-up battery as well. Eight unit cells, each having 9 cm^2 of active area, were connected in series in order to raise the output voltage to 2.5~3.9 V, which is typical for most mobile phones.

Key words : DMFC, Mobile phone, Battery, Methanol

1. 서 론

일반적으로 연료 전지는 산소 공급 방법으로써 우주용의 특수한 경우를 제외하고는 대기 중의 산소를 이용하고 있으며, 수소 공급 방법으로는 압축 수소의 형태로 보관후 사용하거나 혹은 수소 저장 합금을 이용한다.

그러나 상기와 같은 형태의 수소 저장 능력에는 한계가 있기 때문에 이를 극복하기 위하여 액체 탄화수소 화합물인 메탄올 혹은 가솔린을 개질하여 수소를 공급할 수 있는 개질기가 개발되고 있다. 하지만 상기의 방법들은 소요 전력이 수 mW에서 수십 W인 휴대폰의 소형 전자기기에 적용하기에는 부피나 중량 면에서 매우 부적절하다.

따라서 액체 상태의 메탄올을 별도의 개질기 없이 직접 연료로서 사용하려는 연구가 1970년대부터 시도되어 왔으며 특히 90년대 초반부터 메탄올의 직접 산화반응에 적합한 촉매들이 보

고되면서 현재 세계 각 곳에서 수많은 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁻⁵⁾. 액체 메탄올의 이론적인 에너지 저장 용량은 $3,000\text{ Wh/kg}$ 으로서 현재 개발된 Li-ion battery의 이론적인 에너지 저장 용량인 600 Wh/kg 대비 약 5배 수준이다.

현재 소형 전자기기용 battery의 시장 성장률은 20% 이상이며 향후 수년간은 지속적으로 고성장이 예상되는 분야이다. 한편 무선 데이터 통신 기술 및 전자회로 설계 기술의 급속한 발전에 따라 개인용 휴대 전자기기는 더욱 다기능화 될 것이며 현재 이용되고 있는 Li-ion battery로는 소비자를 만족시킬 만한 사용 시간을 확보하지 못할 것으로 추정된다. 그러므로 DMFC는 이론적 에너지 저장용량이 절대적으로 높을 뿐만 아니라 다른 연료전지와는 달리 상온 및 상압에서 구동할 수 있기 때문에 휴대폰, 노트북 컴퓨터 등과 같은 소형 전자기기의 차세대 전원장치로 매우 유망하여 이를 활용하려는 시도가 활발히 진행되고 있다⁶⁻⁷⁾.

본 연구팀에서는 소형 DMFC 전원 공급장치를 설계, 제조하여 휴대폰에 대한 DMFC의 적용 가능성을 고찰하였다.

[†]E-mail: jshan@skcorp.com

2. 실험 방법

2.1. Membrane Electrode Assembly 제조

백금과 루테튬을 carbon에 함침하기 위하여 기 합성한 $\text{Na}_6\text{Pt}(\text{SO}_3)_4$ 와 $\text{Na}_6\text{Ru}(\text{SO}_3)_4$ 를 적정량의 carbon과 함께 황산용액에 녹인 후 환원시켜 함침시켰다. 이렇게 하여 제조된 cathode용 촉매는 Pt의 함침량이 60%Pt/C이며, anode용 촉매는 40%Pt-20%Ru/C이다.

각 촉매는 Nafion Solution, PTFE, Isopropyl Alcohol 등과 혼합시켜 paste화 한 후 cathode용 촉매 paste는 teflon용액으로 발수처리 한 carbon paper에, anode용 촉매 paste는 발수처리를 하지 않은 carbon paper에 바른 후 건조시켰다. 20시간 이상 건조된 촉매층을 일정량의 Nafion solution으로 재처리한 후 100°C에서 100 kgf/cm²의 압력으로 1분간 열간 가압을 하여 MEA를 제조하였다. 이 때 carbon paper는 Kureha사 제품을 이용하였으며 각 MEA의 단면적은 9 cm²이다. 이 때 전극에 함유된 촉매량은 연료극 및 공기극에 Pt기준으로 8 mg/cm²가 되도록 하였다.

2.2. Non-Bipolar type Module 제조

전기화학적 반응에 의해 발생한 전기를 집전하기 위해 일반적으로 사용되는 graphite재질의 bi-polar plate대신 0.2 mm의 SUS304L foil을 grid형태로 가공하여 촉매층 지지체인 탄소종이에 접착시켰다. 이렇게 함으로써 DMFC module의 에너지밀도를 높였다.

최종적으로 상기 금속 집전체를 MEA의 양면에 위치시킨 후 novel polymer를 사용하여 일정조건에서 가압 가열하여 DMFC module을 제작하였다. 한 DMFC module에는 8개의 단위전지가 직렬로 연결되어 있다.

2.3. Hybrid type 전원공급 Unit 제작

Back-up전지로 사용된 Li-ion battery는 현재 SK Teletec사에서 판매중인 IM-1100 model의 소형 전지팩에 사용되는 각형 Li-ion battery(Model: SK BAT-300S)를 채택하였다. 상기 battery는 에너지용량이 750 mAh이며 부피 및 질량은 5.5 cc, 17 g이다.

본 연구팀이 제작한 DMFC module과 상기 Li-battery는 병렬로 연결되어 있으며, Li-battery와 핸드폰의 terminal이 연결되는 사이에는, 급격한 온도 상승으로 인한 과충전 및 과방전의 방지를 위한 전기회로가 연결되어 있다. 또한 메탄올 용액을 교체하기 위하여 상부에 연료출입구를 위치시켰으며, 발생하는 CO₂기체는 외부로 유출되나 메탄올 용액은 유출되지 않도록 SK(주)에서 개발한 통기성 polymer film을 장착하였다.

Fig. 1의 우측이 당사에서 제작한 monopolar type의 박막형 DMFC module이다. 4개의 unit cell로 구성된 monopolar 2개를 다시 직렬로 연결하여 한 개의 DMFC module이 되며 monopolar 사이에 methanol용액이 위치한다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 2M 메탄올 수용액을 anode의 연료로 사용하였으며, 상온, 상압의 대기중 산소를 cathode의 연료로 사용하였다. 단위면적당 촉매 도포량을 변화시킬 경우의 단위면적당 전류-전압 특성은 Fig. 2와 같다. 그림에서와 같이 촉매의 함량이 8 mg/cm²일 때 최대 전류밀도를 보여주고 있으며, 이는 메



Fig. 1. Photograph of monopolar containing four MEA connected in series.

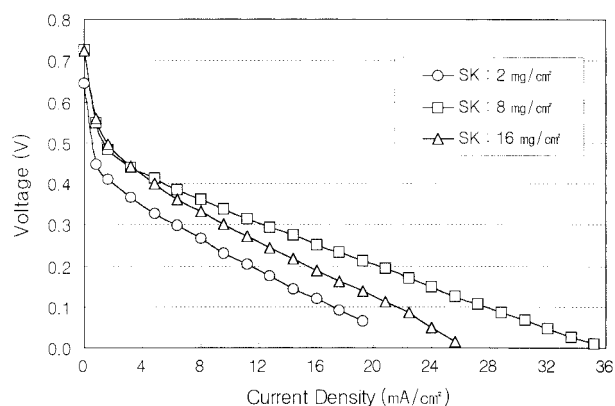


Fig. 2. Effect of the amount of catalyst at room temperature and ambient pressure.

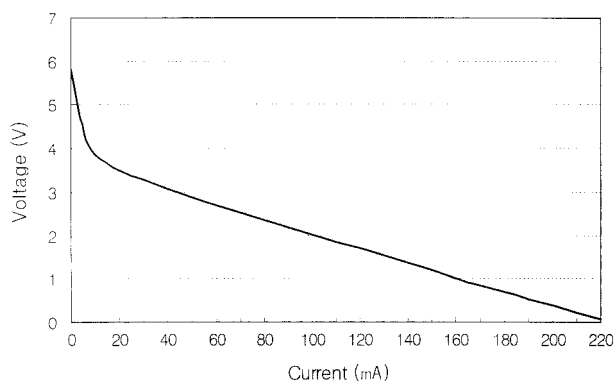


Fig. 3. Polarization curve for one module consisting of eight unit MEA connected in series at room temperature and ambient pressure

탄올의 산화분해 반응이 촉매량에 크게 의존하고 있음을 의미한다.

본 연구에서 제작한 unit cell 8개를 직렬로 연결한 후의 전류-전압 특성 결과는 Fig. 3과 같다. 즉, 단위면적 9 cm²의 unit cell 8개를 직렬로 연결하면, 10 mA의 전류발생시에 전압이

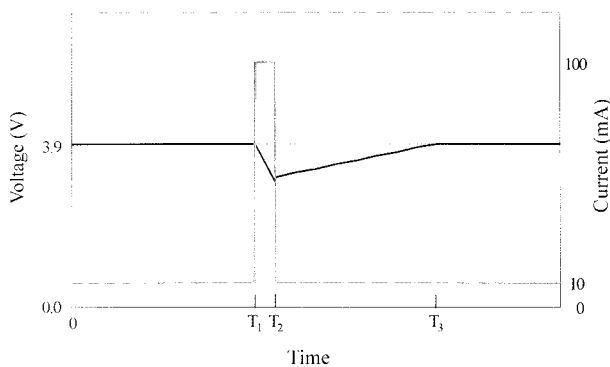


Fig. 4. A prospect of voltage variation in talk time and standby.

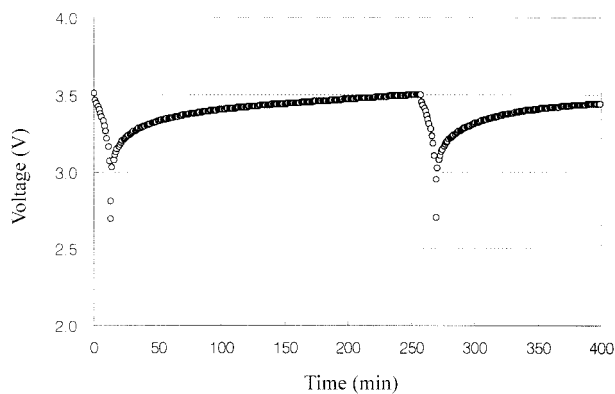


Fig. 5. Experimental result of voltage variation in talk time and standby mode.

3.9 V가 되고 50 mA의 전류 발생시에 전압은 최소 2.5 V 이상이 된다. 그러므로 통화대기의 경우에는 DMFC에서 휴대폰으로 3.9 V 이하에서 최소 10 mA 이상의 전류를 공급할 수 있다. 100 mA를 사용하는 통화시에는 DMFC에서 10 mA와 back-up battery에서 90 mA를 초기에 공급하게 되고, 방전에 따른 전위 하락시 DMFC의 전류 공급비중은 높아지게 되고 반대로 back-up battery의 전류 공급비중은 낮아지게 된다. 다시 통화대기의 상태로 들어간 경우 DMFC에서 휴대폰으로 10 mA의 전류를 공급함과 동시에 잉여발생 전류를 back-up battery로 공급함으로써 3.9 V까지 충전시키도록 설계되어 있다.

Fig. 4는 상기 예상결과를 부하변동에 따라 Li-ion battery의 전압변화로 나타낸 것이다. 이때 Li-ion battery의 충전상태는 3.9 V로 가정한 것이며, 0~T₁ 및 T₃ 이후 구간은 통화대기상태인 경우로서 휴대폰에 필요한 전류량 10 mA를 DMFC에서 공급하고 있는 것이며, T₁~T₂구간은 통화구간으로서 통화시간의 증가에 따라 전압이 떨어지게 되나, T₂~T₃구간에서와 같이 DMFC에서 통화대기에 필요한 전류 10 mA를 공급할 뿐 아니라 back-up battery를 충전시켜 전압이 올라가게 된다.

장시간 통화로 인하여 전체 회로가 2.5 V이하로 내려갈 경우

에도 일정전압까지는 통화를 할 수 있으나 휴대폰이 요구하는 최소필요전압을 안정적인 관점에서 2.5 V로 볼때 2.5 V로 전압 하락시 일단 통화를 중지시키고 충전시간이 필요하게 된다. 그러나 Li-ion battery 단독으로 사용할 때의 전위 하락속도와 비교하면 상대적으로 더 많은 통화시간을 확보할 수 있다.

Fig. 5은 실제로 제작한 직접 메탄올 연료전지 전원 공급 장치를 이용하여 Li-ion battery의 초기 충전전압이 3.5 V인 상태에서 2.7 V가 될 때까지 100 mA를 출력하고, 2.7 V에 도달한 이후에는 10 mA만을 출력하도록 운전모드를 적용시켰을 경우 전원공급 장치의 전압 변화를 나타낸 것이다. 상기 결과를 통해 당 연구팀에서 제조한 전원 공급 장치로는 약 15분간 통화가 가능하며, 통화시 소요된 에너지와 통화대기시 필요한 에너지를 공급하여 초기 전압인 3.5 V까지 승압하는데 230분이 소요되었다.

4. 결 론

직접 메탄올 연료전지를 Li-ion battery와 연계하여 핸드폰에 전원을 공급할 수 있도록 하기위해 anode/cathode촉매 제조, 단위 MEA 제조, novel polymer를 사용한 module을 제조하였다. Li-ion battery의 초기 충전전압이 3.5 V인 상태에서 2.7 V가 될 때까지 100 mA를 출력하고, 2.7 V에 도달한 이후에는 10 mA만을 출력하도록 운전 mode를 적용시켰을 경우 약 15분간 통화가 가능하며, 통화시 소요된 에너지와 통화대기시 필요한 에너지를 공급하는데 약 230분이 소요되었다.

이러한 DMFC 전원공급 장치가 상업적으로 이용 가능하기 위해서는 더욱 소형으로 제조되어야 할 것이며, 이를 위해서는 고성능 촉매를 개발하여 단위면적당 출력을 더욱 높여야 할 뿐만 아니라, 단위 높이 당 더 많은 monopolar를 적층시킬 수 있어야 할 것이다. 또한 가장 중요한 것은 메탄올 crossover가 없이 고농도의 메탄올 용액을 사용할 수 있는 membrane을 개발해야 한다.

본 연구팀에서 제작한 직접 메탄올 연료전지의 원가를 분석한 결과 재료비만 약 67,000원이었으며, 대량 생산시에는 30,000원까지 낮출 수 있을 것으로 추정되었다. 따라서 매우 중요한 추가적 원가상승 요인이 없다면 가격적 측면에서는 향후 충분히 Li-ion battery와 경쟁력이 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. K. Scott, W. M. Taama, and P. Argyropoulos, *J. Power Sources*, **79**, 43 (1999).
2. S. C. Thomas, X. Ren, and S. Gottesfeld, *J. Electrochem. Soc.*, **146**, 4354 (1999).
3. A. Heinzl and V. M. Barragan, *J. Power Source*, **84**, 70 (1999).
4. D. R. Rolison, L. Patrick, and J. W. Long, *Langmuir*, **15**, 774 (1999).
5. M. Hogarth, P. Christensen, and A. Shulka, *J. Power Source*, **69**, 113 (1997).
6. R. G. Hockaday, *US Patent No. 5,759,712* (1999).
7. R. G. Hockaday, *US Patent No. 5,631,099* (1999).