

PEM 연료전지를 이용하는 휴대용 전원의 개발

김 대 현, 최 우 진
송실대학교 전기공학부

Development of the Portable PEM Fuel Cell Power System

Dae-hyun, Kim, Woojin Choi
Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University

ABSTRACT

본 연구에서는 소형 PEM 연료전지스택을 이용한 휴대용 전원 시스템을 설계하고 그 성능을 시험하였다. 시스템은 30W PEM 연료전지 스택과 제어기, 고압 수소 실린더, DC-DC Converter로 구성되고, 구성된 시스템을 이용하여 10W DVD Player의 구동을 성공적으로 실시하였다. 500cc 350기압의 실린더를 이용할 경우 32시간 이상의 사용이 가능함을 실험을 통해 증명하였다.

1. 서 론

화석연료의 고갈과 환경문제는 인류가 당면한 가장 심각한 두 가지 문제이며 연료전지는 이를 해결할 대안으로서 높은 가능성을 인정받고 있는 차세대 에너지원이다. 연료전지는 수소와 산소를 이용하여 고효율로 전력을 생산할 수 있으며 부산물로는 오로지 물과 열만을 발생하는 청정에너지원이다. 또한 연료전지는 셀을 적층하여 스택을 만들기 때문에 용량별 설계가 용이한 장점이 있어 휴대용 기기의 전원에서 발전용에 이르기까지 다양한 분야에서 활용이 기대되고 있다. 그 중 상용화가 가장 신속히 이루어질 것으로 보이는 것이 휴대용 연료전지 시스템 분야이다. 멀티미디어 통신 서비스를 제공하는 차세대 이동통신과 노트북 등 휴대용 기기는 계속적으로 엄청난 부가가치가 창출되는 큰 시장을 형성해나갈 것으로 예측된다. 그러나 상용화되어 있는 리튬이온전지의 에너지 밀도 증대는 한계치에 다다른 반면, Digital Convergence 추세에 따라 휴대폰과 노트북의 소비전력은 비약적으로 증가하고 있어 리튬전지로 이들 기기를 충분한 시간동안 구동하는 것은 거의 불가능하다.

연료전지는 에너지 밀도가 리튬전지에 비해 획기적으로 높기 때문에 다가오는 휴대용 IT기기에 안정적인 전력을 공급하는데에 적합할 것으로 판단된다. 또한 폐기시에도 중금속을 사용하는 배터리와 달리 환경문제를 일으키지 않는다는 장점이 있다. 휴대용 연료전지로 적합한 방식은 대체로 직접메탄올 연료전지(DMFC: Direct Methanol Fuel Cell)와 개질기를 이용하는 수소연료전지가 있으나 대부분의 연구는 부피/무게당 에너지 밀도가 높은 직접메탄올 연료전지에 집중되고 있다[1-3]. 그러나 DMFC는 PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)에 비해 낮은 온도에서 동작하며, 메탄올의 분해속도는 수소산화반응에 비해 매우 느리고 메탄올의 분해과정에서 나오는 일산화탄소는 촉매인 백금을 피독시켜 반응 활성도를 더욱 낮추는 등의 단점이 있다. 최근 소규모 고압 수소 저장용기 및 마이크로 개질기의 발전에 따라, 수소연료전지를 휴대용 전원

으로 이용하기 위한 시도가 진행되고 있으며 이를 이용한 노트북이나 휴대폰 등 휴대용 기기의 외장형 충전기에 관한 연구가 행해지고 있다[4-5]. 본 연구에서는 소형 수소연료전지를 이용하는 휴대용 전원 시스템을 개발하고 부하시험을 수행하였다. 개발된 휴대용 연료전지 시스템을 500cc 350기압의 실린더와 함께 이용할 경우 소비전력 10W의 DVD Player를 32시간 이상 구동할 수 있음을 실험을 통해 확인 하였다.

2. 본 론

2.1 30W 소형 PEM 연료전지 시스템

본 연구에 사용된 연료전지는 고분자 교환막형 연료전지(PEM Fuel Cell)로 10개의 셀로 이루어져 있으며, 전극의 면적은 25cm^2 로 BCS Fuel Cell사에서 제작되었다. 두 개의 냉각 팬이 스택의 양쪽에 부착되어 있는 공랭식이며, 이의 속도를 제어하는 제어기가 있다. 또한, 제어기에서는 Purge를 위한 Solenoid Valve의 동작 주기도 노브를 통해 수동으로 조절이 가능하며 부하에 따라 4~40초 사이의 시간으로 설정한다. 스택의 Anode에는 99.99% 순도의 수소를 2.5[psi]의 압력으로 공급하며 가습은 필요치 않다. 소형 고압 실린더에 100기압으로 저장된 수소는 1차 압력 조절기에 의해 2기압 정도로 감압된 뒤 2차 조절기를 통해 다시 0.2기압으로 감압되어 스택에 공급된다. 공급되는 수소 유량의 모니터링을 위해 MFC(Mass Flow Controller)가 설치되었다.

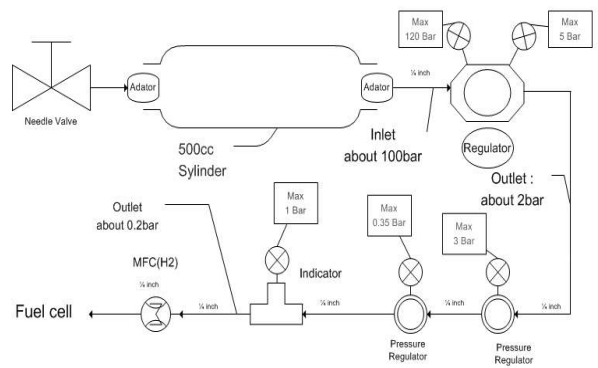


그림 1. 휴대용 30W PEM Fuel Cell Power System

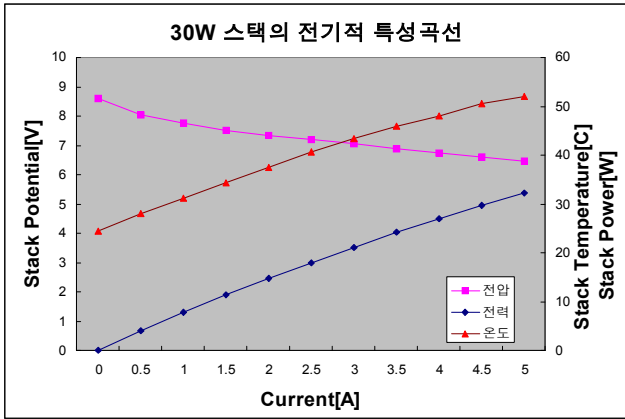


그림 2. BCS FEUL-CELL사의 30W STACK의 전기적 특성 곡선

캐소드에 필요한 산소는 주변 공기를 통해 공급되며 압력차에 의해 별도의 장치 없이 스택에 공급된다. 그림 2는 스택의 V-I 특성 곡선과 출력의 값을 동작온도와 함께 나타내었다.

2.2 DC-DC Boost Converter의 설계

그림 2와 같이 연료전지는 부하의 증가에 따라 출력전압이 9[V]에서 6[V]로 변화하므로 DVD Player가 요구하는 9[V] 정전압을 만들기 위해서 비절연형 부스트 컨버터를 설계하였다. 설계의 파라미터는 다음과 같다.

- 입력전압: V_{in} : 6 ~ 9[V], 7.4[V] Nominal
- 출력전압: 9[V]
- 출력: 15[W]
- 스위칭 주파수: 100[kHz]
- 인덕터 전류 연속조건: 정격의 10%
- 출력전압 리플: 1% 이하

주어진 조건으로부터 인덕턴스와 커패시턴스의 최소값은 식 (1)과 (2)과 같이 계산된다.

$$L_{MIN} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} = 34.9[\mu H] \quad (1)$$

(1)

$$C = \frac{D}{R \times f} \times \frac{V_o}{\Delta V_o} = 31.1[\mu F] \quad (2)$$

(2)

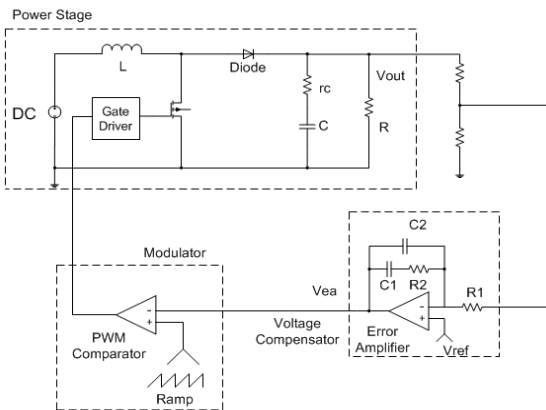


그림 3. Boost Converter의 전압모드 설계

그림 3과 같은 비절연형 부스트 컨버터의 전달함수는 다음과 같이 표현되며,

$$G_V(s) = G_{VO} \frac{\omega_n^2 (1 + \frac{s}{\omega_c})}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (3)$$

여기서,

$$\omega_n = \frac{1-D}{\sqrt{LC}}, \quad \omega_c = \frac{1}{Cr_c}$$

$$\xi = \frac{1}{2\omega_n} \left(\frac{1}{CR} + \frac{r_c(1-D)}{L} \right)$$

그림 3은 식 (3)에 의해 구한 부스트 컨버터의 전달함수를 이용하여 전압모드 제어기의 설계를 Matlab을 통해 수행하는 과정을 나타낸다. 먼저 컨버터의 스위칭 주파수는 100kHz이므로 교차주파수는 스위칭 주파수의 약 1/5지점을 잡아서 20kHz로 한다. 이때의 이득은 -46.5[dB]이고 위상은 -106[deg]이므로, 교차주파수에서의 이득의 보상을 위해 Type 2 보상기를 선택하고, K-factor법을 이용해 제어기를 설계하였다. 보상 후 교차주파수에서의 위상여유는 65[deg]가 된다.

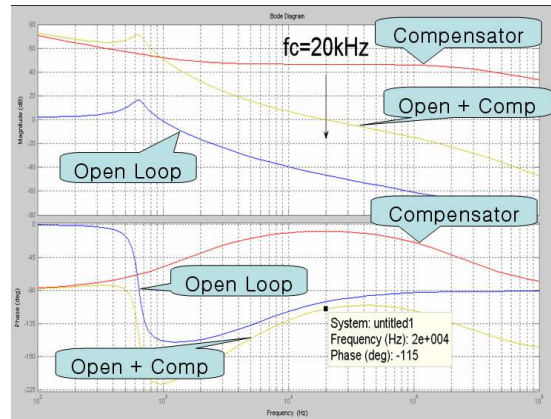


그림 4. 부스트컨버터의 전달함수 및 제어기의 설계

3. 실험 및 고찰

그림 1의 연료전지 시스템에 2.2절에서 설계한 DC-DC Boost Converter를 인터페이스 하여 그림 5와 같이 전체 시스템을 구성하고, 10W DVD Player를 구동한 뒤 시스템을 모니터링 하였다. 모니터링 시스템은 Labview 소프트웨어로 작성되었고, 센서회로를 통해 얻어진 연료전지의 출력 전압, 전류 및 전력을 그래프로 나타낸다.

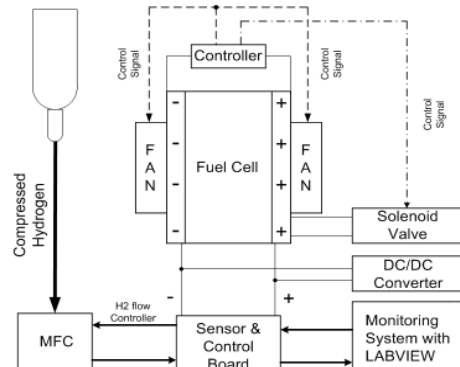


그림 5. 전체 시스템의 구성도



그림 6. DVD Player를 구동중인 연료전지 전원시스템

그림 6은 10W DVD Player를 구동중인 연료전지 시스템의 사진이고, 그림 7은 연료전지 스택의 출력전류와 전압을 나타내고 있다. 스택의 출력전압, 전류 및 출력은 각각 7.4[V], 1.12[A] 8.3[W]이며, 이때 수소의 유량은 0.09[SLM]이다. 운전 중인 연료전지 스택의 효율은 측정된 데이터를 이용하여 식 (4)~(6)으로 계산한다[8].

우선 DVD Player 구동시 측정된 수소의 유량으로부터 연료전지 스택에 1분간 유입되는 수소의 몰수(n)는 이상기체방정식을 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1\text{atm} \times 0.09\text{SLM} \times \text{min} \times 1000\text{cm}^3 \times \text{L}^{-1}}{82.06\text{cm}^3 \times \text{atm} \times \text{mol}^{-1} \times \text{K}^{-1} \times 298.15\text{K}} = 0.003679\text{mol}$$

(4)

이때 연료전지에서 1분간 발생하는 전기에너지 E_{fc}는 다음과 같다.

$$E_{fc} = (V \cdot I + P_{fan}) \times t$$

$$= (7.4[\text{V}] \times 1.12[\text{A}] + 2.4[\text{W}]) \times 60 = 641.28\text{J}$$

(5)

따라서 연료전지의 효율은 다음과 같이 계산된다.

$$\eta_{fc} = \frac{E_{fc} / n}{-\Delta h_f} = \frac{641.28 / 0.003679}{285840} \times 100 = 60.98\%$$

(6)

-Δh_f: 깃슨 자유에너지의 변화, n: mol, V: 수소의 부피,
R: 기체상수, T: 생성되는물의 온도

DC-DC 컨버터의 효율은 측정 결과 87%로 계산되었으며 따라서 전체 시스템의 연료에서 부하까지의 효율(Fuel-to-Load Efficiency)는 53%가 된다.

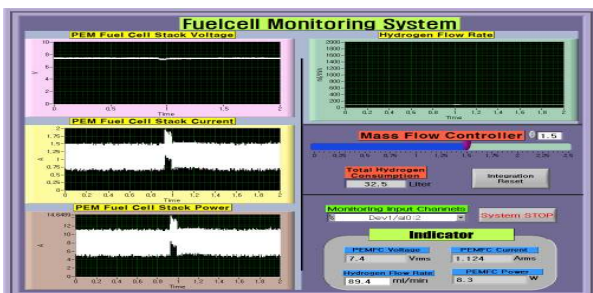


그림 7. 연료전지 모니터링 시스템

또한, 이러한 DVD Player를 한 시간 구동하는데 요구되는 수소의 유량은 5.4L/hr이므로 500cc 압축 실린더에 350기압으로 저장된 수소를 이용할 경우 약 32시간의 구동이 가능함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 30W PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell Stack)을 이용하여 소형 연료전지 시스템을 구성하고 출력을 DC-DC Converter를 이용하여 변환함으로써 휴대용 기기에 전력을 공급하는 소형 휴대용 전원의 설계에 관해 연구하고 시작품을 제작하였다.

DVD Player 구동 시 연료전지의 효율은 약 61[%]로 측정되었으며 컨버터의 효율은 87[%]로 측정되어 종합효율이 53[%]로 계산되지만, DC-DC 컨버터의 효율을 향상시킬 경우 더 높은 시스템 효율을 달성하는 것이 가능하다. 개발된 시스템은 휴대용 기기의 구동이나 충전에 사용되어 배터리를 사용하는 소형 시스템의 운전시간을 증대시키거나 배터리를 대체하여 전력을 공급하는 용도로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Chenggang Xie, Jeanne Pavo, Jerry Hallmark, Joseph Bostaph, and Allison Fisher, "Key Requirements of Micro Fuel Cell System for Portable Electronics," 37th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (2002) 603-606
- [2] Craig M. Miesse, Won Suk Jung, Kyoung-Jin Jeong, Jae Kwang Lee, Jaeyoung Lee, Jonghee Han, Sung Pil Yoon, Suk Woo Nam, Tae-Hoon Lim, Seong-Ahn Hong, "Direct formic acid fuel cell portable power system for the operation of a laptop computer", J. of Power Sources 162 (2006) 532-540
- [3] 문고영, 김혁, 유황찬, 노태근, 이원호, "휴대용 직접 메탄올 연료전지 시스템 개발," 한국 신재생 학회지 Vol. 3, No.1 (2007) 46-53
- [4] G. Squadrito and et al., "Polymer Electrolyte Fuel Cell Mini Power Unit for Portable Application," to appear in the J. of Power Sources (2007)
- [5] Young-Jun Sohn and et al., "Operating characteristics of an air-cooling PEMFC for portable applications," Journal of Power Sources 145 (2005) 604-609
- [6] Zijad Lemeš, Andreas Vath, Th. Hartkopf, H. M'ancher, "Dynamic fuel cell models and their application in hardware in the loop simulation," Journal of Power Sources 154 (2006) 386-393
- [7] Zhenhua Jiang, Roger A. Dougal, "Design and testing of a fuel-cell powered battery charging station," J. of Power Sources 115 (2003) 279-287
- [8] James Larminie, Andrew Dicks, Fuel Cell System Explained, Second Edition, (2003) Wiley
- [9] W. Choi, J. W. Howze, P. Enjeti, "Fuel Cell Powered Uninterruptible Power Supply Systems: Design Considerations", J. of Power Sources 157 (2006) 311-317