

노트북 배터리용 양방향 전력전송 연료전지 시스템

정규범[†]

우석대학교 에너지전기공학과

Bidirectional Power Transmission Fuel Cell System for Notebook Battery

GYUBUM JOUNG[†]

Department of Energy Electrical Engineering, Woosuk University, 66 Daehak-ro, Jincheon-up, Jincheon-gun, 27841, Korea

[†]Corresponding author :
gbjoun@woosuk.ac.kr

Received 30 May, 2017
Revised 14 June, 2017
Accepted 30 June, 2017

Abstract >> In this paper, a fuel cell battery charger system, which is capable of bi-directional power transmission without built in battery, has been designed and fabricated. Performance and states of the notebook battery in bi-directional power transmission using the manufactured system have been tested. Before initializing the fuel cell charging system for 1 minute, the system received 10 W of electric power from notebook battery. Then the fuel cell charging system has been normal charging to notebook battery by 50 W. As a result of the experiment, the state of the notebook battery discharged less than 5% at the initial charging time, but then it has been charged. This results proves bi-directional power transmission in notebook computers increase the availability of fuel cell chargers.

Key words : Notebook charger(노트북 충전기), Bi-directional power transmission (양방향 전력전송), Fuel cell battery charger(연료전지 배터리 충전기), Battery test(배터리 테스트), Fuel cell simulator(연료전지 시뮬레이터)

1. 서론

노트북 전원기기를 비롯한 휴대용 전원기기는 배터리를 사용하여 일정 기간 동안 사용이 가능하다¹⁾. 그런데 노트북의 사용시간은 배터리의 용량과 성능에 의해 제한될 수밖에 없다¹⁻⁵⁾. 따라서, 노트북의 경우 그 사용시간이 수 시간으로 제한된다. 또한, 휴대용 기기의 배터리 성능은 사용 기간이 증가할수록 용량이 저감되어 사용할 수 있는 시간은 점점 줄어들게 된다. 연료전지는 휴대용 및 이동용 기

에 매우 중요한 사용시간의 획기적인 연장을 가능하게 하여 그동안 많은 각광을 받고 있다¹⁾. 연료전지는 사용기기의 전기 사용량에 따라 발전용량이 달라져야 하는 등 기기의 상태에 따라 동작시킬 필요가 있다¹⁻⁵⁾.

연료전지를 이용하여 노트북 컴퓨터 등 휴대용 기기에 사용할 경우 기존의 방법은 연료전지에서 노트북으로 한쪽 방향으로 전력을 공급해 주는 방법이다¹⁾. 그런데 연료전지 시스템은 기기의 상태를 고려하여 동작시키는 것이 연료사용 등 많은 면에

서 유리하다. 또한, 연료전지의 초기구동을 위해서는 전기에너지가 필요하므로 연료전지 시스템 자체에도 배터리가 내장되어야 한다. 연료전지 자체에 배터리가 내장될 경우 연료전지의 온도 상승 등의 영향으로 시스템이 복잡해지고 배터리 관리를 위한 battery management system (BMS)가 추가되어 시스템이 복잡해지고 가격이 상승하는 단점이 있다.

따라서 현재까지 노트북 컴퓨터를 비롯한 휴대용 기기에서의 연료전지 사용은 상당한 제한을 받아왔다. 연료전지를 사용한 휴대용 전원기기의 구동에 있어서 연료전지 내부에 있는 내장 배터리를 제거할 경우 연료전지 구동초기에 필요한 전원은 휴대용 전원기기에서 배터리로 전기를 공급하고 연료전지 구동 중에는 연료전지가 휴대용 전원에 전력을 공급하는 양방향 전력변환이 가능한 연료전지 시스템의 필요성이 제기되어 이에 대한 국제표준화가 진행되고 있다.

이러한 양방향 전력전송이 가능한 새로운 형태의 연료전지 시스템을 노트북에 사용할 경우 그 적용이 가능한지 연료전지 시스템과 연계된 양방향 전력전송에 대한 테스트가 필요하다.

본 연구에서는 이러한 추세에 맞추어 내장 배터리를 제거한 연료전지 충전기 시스템을 이용하여 연료전지 구동초기에는 노트북 배터리의 전기를 연료전지에 공급하여 사용하고 연료전지가 정상적으로 구동된 후에는 연료전지가 노트북 컴퓨터를 충전하는 양방향 전력변환이 가능한 시스템을 설계 제작하여 노트북 배터리의 성능과 상태를 테스트하였다.

본 연구에서는 연료전지 시스템의 제작을 연료전지 대신 연료전지 시뮬레이터를 제작하여 프로그램에 의해 그 특성을 구현하도록 하였고 프로그램에 의해 연료전지의 특성을 구현하였다.

특히, 연료전지 시뮬레이터의 상태에 따른 최대 생산전력량을 노트북에 전송할 수 있도록 하고 노트북에서 받아들일 수 있는 전력량을 전달받으면, 이를 충전할 수 있는 최대 전력량을 연료전지 시뮬레이터가 발생할 수 있도록 하는 기능을 추가하였

다. 또한, 양방향 DC-DC 컨버터의 기능을 개선하여 노트북에서 필요한 충전전류를 조절할 수 있는 기능 외에 연료전지에서 생산된 전력량을 최대한으로 충전할 수 있는 기능을 추가하여 연료전지의 효율을 최대한으로 할 수 있도록 조절하였다.

양방향 전력 송수신 테스트에서 노트북은 리튬이온 배터리를 사용하는 삼성 센스 520 컴퓨터를 사용하였다. 실험조건은 50 W와 75 W의 연료전지 시스템을 사용하여 충전초기 노트북 배터리에서 연료전지로 전력 10 W를 1분간 전송하고 이후 연료전지의 기동이 완료된 후 50 W를 연료전지에서 노트북으로 충전하는 방식으로 수행하였다. 이는 DMFC 연료전지의 초기구동이 매우 빠르게 전력을 생산하여 1-2분 이내에 거의 정격전력에 도달하는 점을 고려하여 노트북 배터리에 대해 최악의 조건(worst case)에서 실험한 것이다⁶⁾. 실험결과 노트북 배터리의 상태는 충전초기 4% 이하의 방전이 이루어지지만 이후 충전된다. 이는 노트북 컴퓨터에서 양방향 전력 전송이 연료전지 충전기의 사용가능성을 높일 수 있다는 것을 증명한다. 또한, 최근 추진되고 있는 연료전지를 이용한 이동기기의 양방향 전력전송에 대한 국제표준화가 IEC TC105/WG10에서 진행되는 추세에 비추어 매우 의미 있는 연구결과이다.

2. 노트북 양방향 전력 송수신 시스템

Fig. 1은 연료전지 시스템과 양방향 전력전송을 위한 노트북 양방향 전력 송수신 시스템의 블록도를 나타낸다. Fig. 1에서 연료전지 시스템은 연료전지 시뮬레이터로 대체하여 실험하였다. 양방향 전력 송수신 시스템에서 노트북 배터리의 충전 특성, 방전 특성은 노트북 배터리의 특성에 따라 배터리와 연료

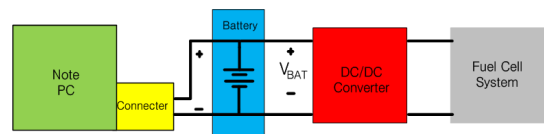


Fig. 1. Block diagram of bi-directional power transmission system of notebook computer

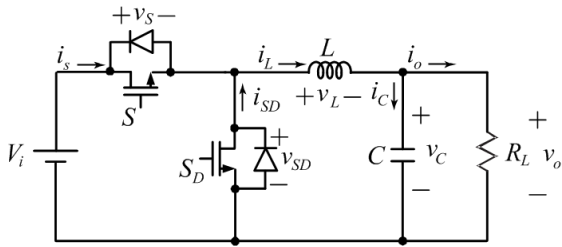


Fig. 2. Battery charger

전지 시스템 중간의 DC-DC 컨버터의 전력조절에 의해서 달라진다.

연료전지 시뮬레이터는 연료전지 시스템을 모사하며⁷⁾, 연료전지의 최대출력을 25-75 W까지 조절할 수 있도록 하였다. 연료전지의 환경에 의해 결정되는 연료전지의 특성은 프로그램을 통하여 조절된다.

Fig. 2는 DC-DC 컨버터로 양방향 송수신용 배터리 충방전기를 나타낸다. Fig. 2에서 전류 i_L 를 센싱하여 기준값과 비교하여 원하는 값으로 출력전류를 제어할 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 양방향 전력 송수신 시스템

Fig. 3은 연료전지 시뮬레이터의 제어블록도를 나타낸다. Fig. 3에서 연료전지 시뮬레이터의 출력전력을 일정한 값이 되도록 해야 하므로 시뮬레이터의 센싱전압으로부터 계산된 연료전지 특성커브의 동작전압 V_{ref} 를 이용하여 연료전지의 동작 기준전류 I_{ref} 를 계산한 후 PI 제어를 이용하여 출력전력이 일정한 값이 되도록 제어한다.

Fig. 4의 DSP 보드를 사용하여 연료전지 시뮬레이터의 특성을 구현하였고 그 특성커브는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 연료전지 시뮬레이터는 피드백 제어를 하므로 VI 특성커브를 정교하게 제어할 수 있음을 알 수 있다.

50 W 연료전지 시뮬레이터의 특성은 Fig. 5와 같은 특성을 갖도록 구현하여 실험하였다. Fig. 5의 특성을 갖는 연료전지 시뮬레이터에 대하여 출력전압

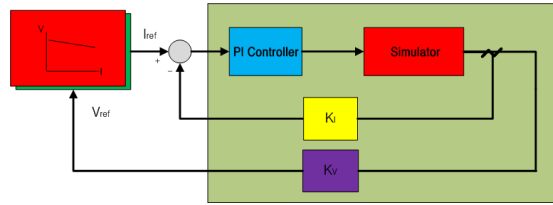


Fig. 3. Block diagram of fuel cell simulator controller

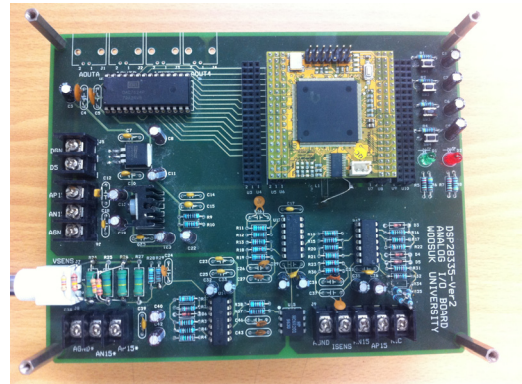


Fig. 4. DSP board of fuel cell simulator controller

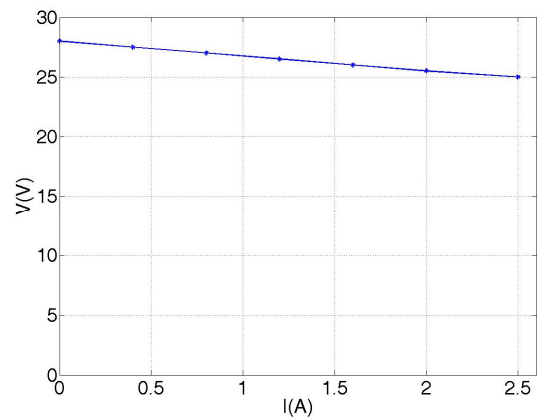


Fig. 5. Characteristics of 50 W fuel cell simulator

이 가장 높은 25 V 전압에 대한 전류와 시뮬레이터의 스위칭 파형을 측정하면 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 시뮬레이터는 컨버터의 스위칭으로 출력전류가 2.2 A 정도로 잘 제어됨을 알 수 있다.

연료전지의 출력과 PC의 요구에 따라 DC-DC 컨버터의 출력 전력을 조절할 수 있도록 하였다. 제작된 DC-DC 컨버터는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 컨버



Fig. 6. Converter switching waveform of fuel cell simulator (upper trace : output current : 1 A/div, lower trace : switching voltage 20 V/div)

터의 제어기는 DSP를 이용하여 배터리의 충방전 전류, 배터리의 충방전 전력을 자유로이 조절할 수 있도록 하였다.

Fig. 8은 DC-DC 컨버터를 한 실험파형으로 2.2 A 배터리 충전시 충전전류 i_L 과 스위치 전압 v_{s2} 의 파형을 측정한 것으로 충전요구전류에 따라 DC-DC 컨버터가 동작하는 것을 알 수 있다.

3.2 노트북 배터리 테스트 결과

양방향 전력 송수신 테스트에서 노트북은 리튬이온 배터리를 사용하는 삼성 센스 520 컴퓨터를 사용하였다. 노트북의 상태는 IBM 1.1 프로그램을 이용하여 노트북이 정상 가동되는 상태에서 실험하였다. 양방향 전력 송수신의 조건은 50 W 연료전지의 초기 구동상태를 고려하여 충전초기 노트북 배터리에서 연료전지로 전력 10 W를 1분간 전송하고 이후 연료전지의 기동이 완료된 후 50 W를 연료전지에서 노트북으로 충전하는 방식으로 수행하였다.

Fig. 9는 배터리 충전율 100%에서 IBM 1.1 프로그램을 수행한 결과 배터리 전압특성을 직접 테스트로 측정하여 사용시간에 따른 배터리 전압 그림을 나타낸다. Fig. 9에서 배터리 전압은 배터리 초기 충전율이 증가함에 따라서 초기 전압이 약간 차이



Fig. 7. Bi-direction DC-DC converter

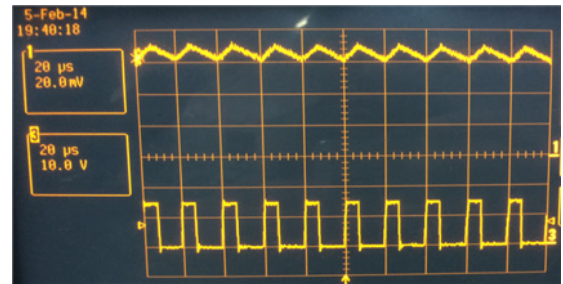


Fig. 8. Inductor current and gate voltage of battery charger (upper trace : inductor current : 1 A/div, lower trace : FET voltage : 10 V/div)

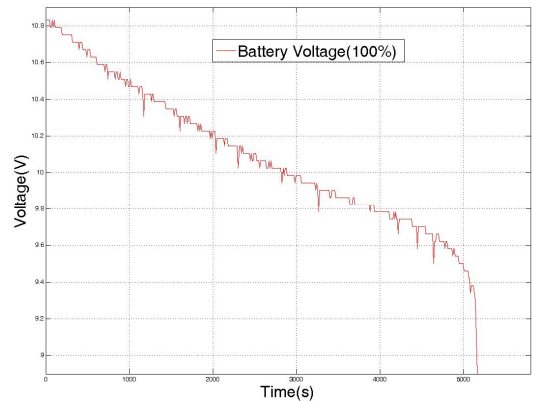
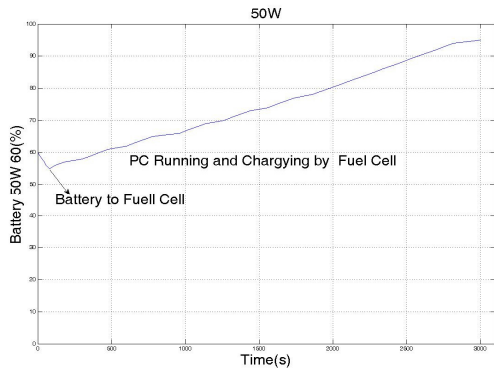


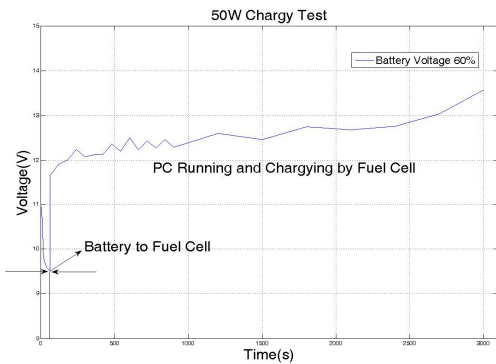
Fig. 9. Test result of battery charge rate of IBM 1.1 program

를 보이며 전압도 거의 선형적으로 감소한다. 그러나 전압이 9 V 이하가 되면 배터리의 충전율이 급격히 감소하면서 전압이 급격히 떨어진다. 본 실험에서는 노트북의 안정성을 고려하여 배터리 전압을 9 V까지만 측정하였다.

Fig. 10은 양방향 전력 송수신에 대한 노트북 배터리의 충전율과 전압변동을 나타낸다. Fig. 10에서 (a)는 충전율의 변화로 충전초기 60%의 충전에서 1분간 충전율이 4% 감소하며, 이후 연료전지에서 전력이 50W 공급되어 충전율이 증가하는 커브를 나타



(a) variation of battery charging rate



(b) variation of battery voltage

Fig. 10. Variation of battery charge rate and voltage for 50W charging

낸 것이다. Fig. 10에서 (b)는 배터리 전압의 변동으로 충전초기 전압이 급격히 감소하지만 50 W로 충전하면서 배터리 전압은 서서히 증가하는 특성을 보인다.

Fig. 11은 IBM 1.1 프로그램에서 제공하는 그래프의 커브의 배터리 충전율을 그래프로 나타낸 것으로 1분간의 충전초기 충전율이 4% 정도 감소한 후 충전되는 특성을 보인다.

Fig. 11의 실험결과 노트북 배터리의 상태는 충전초기 4% 이하의 방전이 이루어지고 배터리 전압이 감소하지만 이후 정상적으로 충전되는 현상을 보인다. 이는 노트북 컴퓨터에서 양방향 전력전송을 이용한 연료전지 충전기의 사용가능성을 높일 수 있다는 것을 증명한다.

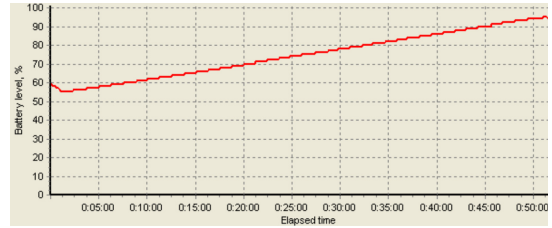


Fig. 11. Battery charge level for bi-directional power supplying

4. 결론

본 연구에서는의 연료전지 시스템을 사용하여 충전초기 노트북 배터리에서 연료전지로 전력 10 W를 1분간 전송하고 이후 연료전지의 기동이 완료된 후 50 W를 연료전지에서 노트북으로 충전하는 방식으로 수행하였다. 실험결과 노트북 배터리의 상태는 충전초기 4% 이하의 방전이 이루어지지만 이후 충전된다. 이는 노트북 컴퓨터에서 양방향 전력 전송이 연료전지 충전기의 사용가능성을 높일 수 있다는 것을 증명하며, 최근 추진되고 있는 연료전지를 이용한 이동기기의 양방향 전력전송에 대한 국제표준화가 진행되는 비추어 매우 의미 있는 연구결과이다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력관산업 육성사업과 산업통상자원부의 RIC 프로그램(2017년)의 연구비 지원에 의해 수행되었다.

References

1. S. Kamarudin, F. Achmad, and W. Daud, "Overview on the application of direct methanol fuel cell (DMFC) for portable electronic devices", *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 34, No. 16, 2009, pp. 6902-6916.
2. W. Foster, Z. Cheng, J. Dedrick, and L. Kraemer, "Technology and Organizational Factors in the Notebook Industry Supply Chain", Center for Supply Research, USA, 2006.

3. C. Simpson, "Characteristics of Rechargeable batteries", National Semiconductor, Literature Number: SNVA533.
4. D. Linden and T. Reddy, "Handbook of Batteries", McGraw-Hall, USA, 2002.
5. M. Oswal, J Paul, and R. Zhao, "A Comparative study of Lithium-Ion Batteries", University of Southern California, 2010.
6. Y.C. Park, D. H. Peck, D. H. Jung, S. K. Kim, S. Y. Lim, B. D. Lee, J. H. Jang, and D. R. Lee, "Operating Characteristics and Dynamic Behavior of 5W Stack for Micro DMFC", ECS Trans. Vol. 16, No. 2, 2008, pp. 801-805.
7. W. Choi, P. Enjeti, J. Howze, and G. Joung, "An experimental evaluation of the effects of ripple current generated by the power conditioning stage on a proton exchange membrane fuel cell stack", J. Mater. Eng. Perform., Vol. 13, No. 3, 2014, pp. 257-264.