

1kW급 연료전지-배터리 복합 전원 시스템의 운용 알고리즘 구현

박진주, 채수용, 송유진, 한수빈
한국에너지기술연구원

The operation algorithm of the 1kW fuel cell-battery hybrid power system

Jinju Park, Suyong Chae, Yujin Song, Soobin Han
Korea Institute of Energy Research

ABSTRACT

In this paper, an operation algorithm for the fuel cell battery hybrid power system is proposed. As the output current slope of the fuel cell is normally limited to protect the fuel cells' deflection, efficient power distribution algorithm between the fuel cell and battery is very important for the successful hybrid control operation. For the experimentation, a 1kW dc dc converter with 500W fuel cell stack and 1kWh Li polymer battery is implemented.

1. 서론

연료전지는 높은 에너지 밀도와 효율을 갖는 대표적 차세대 에너지원으로 각광받고 있으며 하이브리드 자동차 전원 등 다양한 산업분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 하지만 연료전지의 연료 공급량의 변화에 따른 반응속도의 제한으로 인해 모터 부하 특성과 같은 급격한 부하전류의 변동을 연료전지 단독으로 추종하는 것은 연료전지 스택에 손상을 가할 가능성이 높다. 모터부하와 같이 급격한 부하전류의 변동을 추종하기 위해 전류 응답특성이 비교적 우수한 리튬 폴리머 배터리와 연료전지를 결합한 복합 전원 시스템을 구성하는 것이 유리하다.^[1]

리튬 폴리머 배터리를 안정적으로 유지하기 위해서는 배터리 상태관리 회로(BMS)를 통해 지속적인 모니터링이 선행되어야 하며 그에 따른 제어를 통해 안정성을 확보하는 것이 매우 중요하다. 특히, 부하전류의 원활한 공급을 위해서는 배터리의 충전상태(SOC)가 일정 값 이상으로 안정적으로 유지되도록 하는 알고리즘의 확보가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 리튬 폴리머 배터리의 중요한 인자인 SOC와 부하 측에서 요구되는 부하전류를 고려한 복합 전원 시스템의 운용제어 알고리즘을 제시하고자 한다. 제안된 논문에서는 배터리의 충전상태와 부하요구량을 이용하여 연료전지의 출력 전력과 출력 전류 기술기를 결정하고, 일정 수준 이상의 배터리 SOC를 유지할 수 있는 운용 안정성이 뛰어난 전원 시스템을 구현하고자 한다.

2. 연료전지-배터리 복합 전원 시스템의 구성

그림 1은 연료전지와 리튬 폴리머 배터리로 구성된 복합전원 시스템의 구성을 나타낸다. 연료전지와 배터리는 전력변환을 담당하는 DC DC 컨버터로 연결되어 있으며, 컨버터는 총

4개의 부스트 컨버터 모듈로 구성된다. 각 컨버터의 모듈은 90°의 위상차로 스위칭을 하며 이를 통해 낮은 인덕터 전류리플을 갖는다.

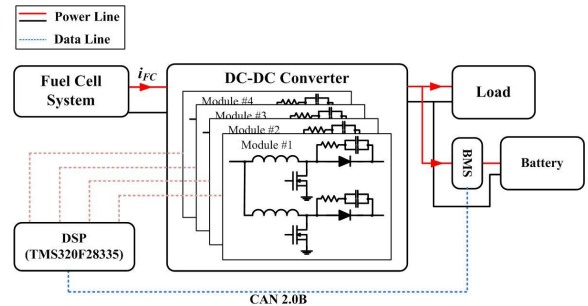


그림 1 연료전지-배터리 복합전원 시스템
Fig. 1 fuel cell-battery hybrid power system

또한, 그림 1에서 확인할 수 있듯이 각 컨버터 모듈은 동일한 2개의 부스트 컨버터가 병렬로 연결된 형태로 구성된다. 본 논문에서 언급한 연료전지는 1kW 동작조건에서 20V, 50A의 전압 및 전류특성을 보인다. 이러한 조건에서 96% 이상의 효율특성을 확보하도록 병렬동작 구성을 채택하였다. 컨버터는 아날로그 전류제어기를 통해 각 컨버터 모듈의 입력전류를 제어하며, 입력 전류의 추종 값은 알고리즘에 의해 계산된 값이 DSP로부터 전송된다. 또한 전력변환 모듈에는 과전압 혹은 과전류 상태로부터 컨버터 모듈을 보호하기 위해 릴레이로 구성된 보호회로를 포함하고 있다. DSP에서는 입력력 전압 및 전류를 모니터링하고 불안정해질 경우 입력 전류를 0으로 조절하고 연료전지, 부하, BMS에 모든 릴레이를 개방하여 이상검출시 전압 혹은 전류로부터 컨버터 모듈을 보호한다. 뿐만 아니라, 최초 컨버터 구동 시 컨버터 입력 측의 고용량 커패시터에 의한 연료전지 스택의 손상을 최소화하기 위해 소프트 스타트 방식을 채택했으며, DSP에서 모니터링 된 입력 전압을 기반으로 소프트 스타트 릴레이를 구동한다.

3. 리튬폴리머 배터리의 SOC와 부하 전력 요구량에 따른 시스템의 전력분배

연료전지에서 출력 가능한 최대 전력(P_{max})보다 높은 전력을 부하에서 요구할 경우 배터리를 방전하여 부족한 부하 요구 전력을 충족시켜야 한다. 때문에 모니터링 되는 부하 전력을

바탕으로 연료전지와 배터리 사이의 적절한 전력분배를 통해 배터리를 충전하여 배터리 SOC를 일정 범위($SOC_{min} \leq SOC < SOC_{max}$)내로 유지하여 시스템의 운용 안정성을 높이고자 한다. 그림 2는 연료전지 배터리 복합전원 시스템의 전력분배 알고리즘의 flow chart이며 각 모드의 동작은 다음과 같다.

가. Mode 1 ($P_{Load} \leq P_{min}$)

$$P_{FC} = \begin{cases} P_{Load} & (SOC \geq SOC_{max}) \\ P_{min} & (SOC < SOC_{max}) \end{cases} \quad (1)$$

where, P_{FC} : 연료전지 출력전력, P_{Load} : 부하전력
 SOC_{max} : 배터리 안정화를 위한 최대 SOC
 SOC_{min} : 배터리 안정화를 위한 최소 SOC

나. Mode 2 ($P_{min} < P_{Load} \leq P_{max}$)

$$P_{FC} = \begin{cases} P_{Load} & (SOC \geq SOC_{max}) \\ P_{max} & (SOC < SOC_{min}) \\ \frac{(P_{max} - P_{Load})P_{bat,max}}{P_{max} - P_{min}} + P_{Load} & (SOC_{min} \leq SOC < SOC_{max}) \end{cases} \quad (2)$$

where, $P_{bat,max} = (P_{max} - P_{min}) - (SOC - SOC_{min}) \times \frac{P_{max} - P_{min}}{SOC_{min}}$
 $P_{bat,max}$: 배터리 충전가능 최대 전력

다. Mode 3 ($P_{Load} > P_{max}$)

Mode 3에서는 배터리 SOC와 관계없이 부하 전력의 요구량을 충족하기 위해 P_{max} 를 출력한다.

$$P_{FC} = P_{max} \quad (3)$$

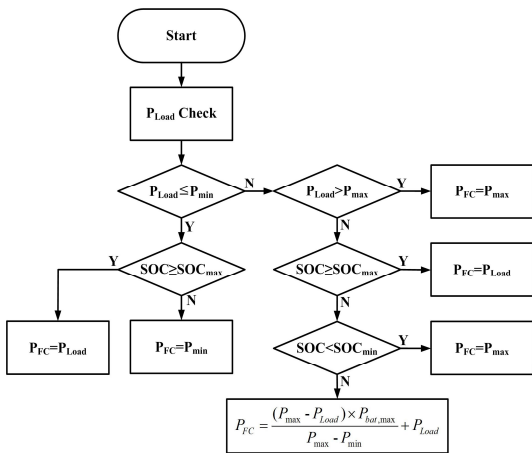


그림 2 연료전지-배터리 복합전원 시스템의 전력분배 알고리즘
 Fig. 2 An operation algorithm for fuel cell-battery hybrid power system

4. 실험결과

그림 3은 복합전원 시스템의 운용을 위한 알고리즘에 대한 실험결과이다. 전력변환장치의 입력전압은 25V를 인가하고 출력전압은 배터리의 전압에 의해 고정된다. 배터리의 SOC는 40~80%를 유지하고, 연료전지에서 출력가능한 최대 전력(P_{max})은 700W라 가정하고 1kWh급의 10S1P 리튬폴리머 배터리를 사용했으며 최대부하 1kW의 구성으로 실험을 진행하였다. 실험 내용은 다음과 같다.

실험 1 : 제안한 알고리즘을 적용하지 않고 부하에서 요구하는 전력을 시스템의 입력과 배터리를 통해 공급.

실험 2: 제안한 알고리즘을 적용하여 부하의 요구 전력을 충족시키며 배터리 충전을 병행.

그림 3은 각각 실험 1과 2의 실험결과로써 각 구성 요소의 전류 파형이다. 두 실험은 동일한 부하 프로파일과 기타 실험 조건으로 수행하였으며 그림에 표시하였듯이 동일한 구간에서 알고리즘에 의해 배터리 충전량이 다른 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 두 실험의 결과 비교를 위해 배터리 SOC 변화를 나타낸 그래프이며 이를 통해 알 수 있듯이 실험 1에 비해 실험 2에서는 배터리 SOC가 약 5% 개선되었다.

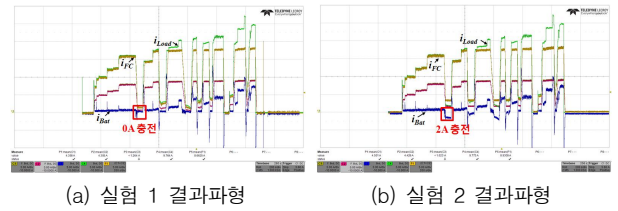


그림 3 실험 1,2의 구성 요소 전류파형
 Fig. 3 The component current waveform of experiment 1, 2

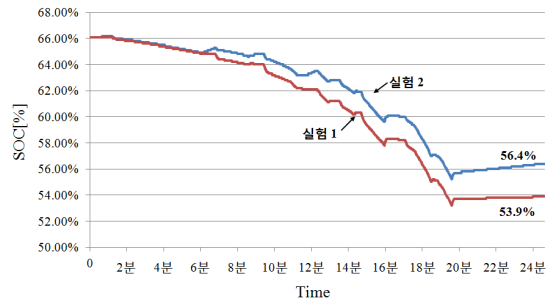


그림 4 시간에 따른 배터리 충전 상태 변화
 Fig. 4 The Battery SOC variation

5. 결론

본 논문에서는 1kW급 연료전지 배터리 복합 전원 시스템의 운용 알고리즘을 구현하였다. 부하 전력 요구량과 배터리 SOC 정보를 이용하여 복합 전원 시스템의 효율적인 전원 분배를 위한 알고리즘을 제안하였다. 전력변환 장치로는 병렬구조의 다상 부스트 컨버터 모듈을 이용해 입력전류 리플을 줄이고, 컨버터 모듈별 동일한 부스트 컨버터를 병렬 동작시켜 96% 이상의 효율을 달성하였다. 1kW 부하 조건에서 700W급 연료전지와 1kWh급의 리튬폴리머 배터리, 1kW급 전력변환장치로 구성된 복합전원 시스템을 구현하여 제안한 알고리즘에 의해 배터리 충전상태가 약 5% 이상 개선될 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 방위사업청 및 국방과학연구소 지원으로 수행되는 차세대군용전원특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] Zhenhua Jiang, Lijun Gao, Roger A. Dougal, "Adaptive Control Strategy for Active Power Sharing in Hybrid Fuel Cell/Battery Power Sources", IEEE Trans. Energy Conversion, vol.22, No.2, pp.507-515, 2007, June.