

## 축전지를 포함한 복합에너지원을 갖는 시스템의 운전 제어 및 특성 연구

한 수빈, 김 홍복, 박 석인, 정 봉만, 정 학근

한국에너지기술연구원

### A Study on the Operating Control and Characteristics of Hybrid Energy System

Soo-Bin Han, Hong-Bok Kim, Suck-In Park, Bong-Man Jung, Hak-Kun Jung

Korea Institute of Energy Research

#### 1. 서 론

축전지에 기반을 둔 일반적인 에너지 저장시스템은 몇 가지 문제점들을 가지고 있으며, 수명, 크기, 응답시간, 파워, 에너지 용량 등의 이유로 다양하게 응용되기에는 충분하지 못하다. 최근에는 슈퍼 캐패시터나 연료전지 같은 에너지 저장/발생 시스템들이 개발되어 이들과 축전지를 함께 이용하는 시스템에 대한 관심이 증가되고 있다. 축전지는 에너지가 매우 큰 저장시스템이지만, 중간 정도의 전력을 발생하며, 슈퍼캐패시터는 에너지 저장 능력이 적지만 큰 전력을 발생시킬 수 있다. 연료전지는 연료만 주입되면 높은 에너지를 지속적으로 발생하는 장치이다. 특히, 축전지/슈퍼 캐패시터, 축전지/연료전지 등과 같이 다양한 에너지 시스템들로 구성된 하이브리드 에너지 시스템들은 전기자동차나 이동형 전력공급장치 같은 다양한 분야에서 에너지 시스템을 최적화하기 위해 새롭게 접근되고 있다.

본 논문은 이러한 복합에너지 시스템에 대해서 다양한 구성 및 동작특성을 살펴보기 위한 것으로 에너지원에 대한 특성을 살펴보고 시스템 운영을 분석하기 위한 모델 및 시뮬레이션을 수행하였으며 시스템을 구성하여 실험하여 보았다.

#### 2. 복합에너지원들의 특성과 모델

##### 2.1 축전지

가장 일반적인 에너지 저장 장치로 에너지 저장 능력이 매우 큰 특성을 갖고 있다. 그러나 순시적으로 발생시키거나 저장할 수 있는 전력은 제한이 되어 이러한 경우는 캐패시터를 사용하게 된다. 일반적인 축전지 모델은 여러 방식이 있지만 이들 중에서 가장 간단하며 일반적으로 사용되는 모델은 그림 1과 같이 개방 회로 전압과 등가 내부 직렬 저항으로 구성된다. 개방회로 전압은 사실상 축전지의 SOC (State of Charge)에 의해 변화되는 데 축전지의 에너지를 정확하게 제어하려면 이 SOC를 측정할 수 있어야 한다. 그림 1의 모델에서는 전류의 누적치로 SOC를 계산하는 방식을 사용하였다. 개방회로 전압과 내부저항은 사실상 SOC와 온도에 따라서 비선형적으로 변화되는 특성을 갖고 있으므로 넓은 범위의 동작 시뮬레이션을 위해서는 이들 파라미터에 대한 정보를 갖고 있어야 한다. 그림 2는 축전지 모델의 테스트 동작으로 실제 계산시간의 단축을 위해서 파라미터값은 임의로 조정하였다. 경향을 보면 축전지의 방전전류가 증가하면 SOC가 감소하게 되고 궁극적으로는 단자전압이 감소하게 된다.

##### 2.2 연료전지<sup>[1,2]</sup>

연료전지는 전기화학적 반응에 의해 직류전력을 생성하는 면에서 축전지와 비슷하다. 두 개의 전극 즉, 애노드와 캐소드도 역시 전해물에 의해 분리되어 위치한다. 축전지와 같이

연료전지는 필요한 전압과 전력을 얻기 위해 스택으로 적층하여 사용된다. 그러나 축전지와 다른 점은 에너지를 저장하는 것이 아니라 수소연료를 외부에서 받아 전기에너지로 직접 변환하여 발생시키고 연료가 공급되는 한 지속적으로 동작한다.

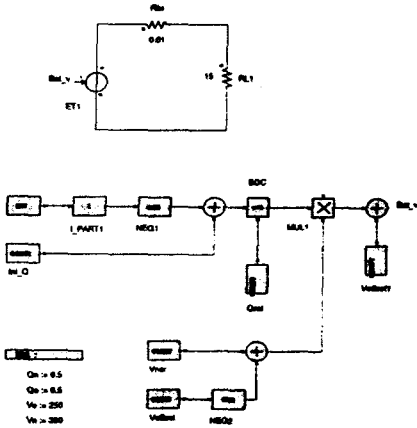


그림 1 축전지의 모델

Fig. 1 Commonly used battery model

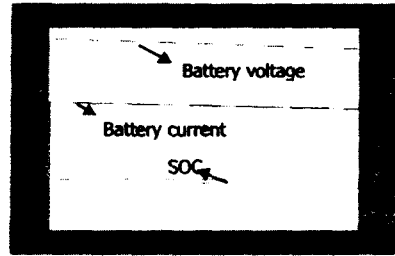


그림 2 축전지의 모델 테스트

Fig. 2 Battery model test

그림 3은 연료전지의 I-V 특성곡선을 보여주는데 연료전지 전압은 무부하 상태에 해당하는 100% 전압에서부터 전부하 상태까지 40~50%로 전류의 증가에 따라 크게 감소한다. 일반적으로 피크 전력은 정격전압 근방에서 발생하게 되고 통상적으로 안정된 동작을 권장하는 동작구간이 존재한다. 연료전지의 모델은 이러한 I-V 특성을 look-up-table화하여 구현하는 것이 실제적이다. 구현의 예와 동작은 제3장에서 서술하였다.

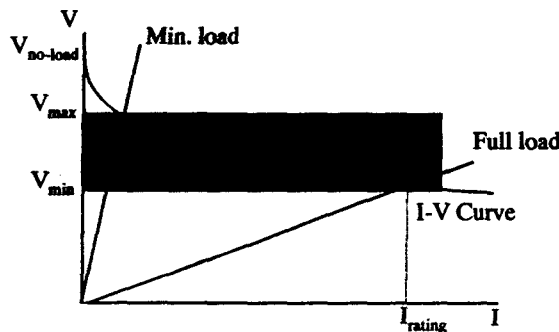


그림 3 연료전지의 전압-전류 특성

Fig. 3 I-V characteristics of fuel cell

### 2.3 슈퍼캐패시터<sup>[3,4]</sup>

슈퍼캐패시터는 용량이 매우 크지만 일반 캐패시터처럼 동일하게 동작한다. 따라서 슈퍼캐패시터의 모델은 캐패시터의 모델을 그대로 사용할 수 있다. 단일 소자로 5000F이상이 현재 판매되고 있는데 계속적으로 용량은 증가하고 있다. 다만 취약점은 약 2V대의 낮은 내압을 갖는 것에 있으며 응용 상에서 제한이 되고 실제 사용을 위해 필요이상으로 직렬로 사용하여 전압을 높여야 하기 때문에 시스템에서 가격상승의 요인이 되고 있다.

### 3. 복합에너지 시스템의 운전제어

### 3.1 인터페이스의 수단<sup>[3,4]</sup>

다양한 에너지 시스템들의 인터페이스는 여러 가지 방법이 가능하다. 간단한 방법은 에너지 시스템 사이에 저항과 같은 수동소자를 사용하여 연결하는 것인데 전압, 전류에 대한 조정능력과 손실 등의 문제로 시스템 구성시 경제적이지만 효과적인 수단이 될 수 없다.

연료전지나 슈퍼 캐패시터의 출력 전압은 전류 증가에 따라 급격하게 감소하는데 정격전류에서 출력 전압은 무부하 상태의 50%이하로 감소될 수 있다. 이것은 넓은 범위의 입력 전압에 대해서 일정 출력을 얻어야 하는 경우 필연적으로 인터페이스 수단으로 초퍼와 같은 DC-DC 컨버터를 사용하게 만든다<sup>[5]</sup>. 그러나 넓은 동작범위가 설계에는 큰 부담이 되고 있다.

### 3.2 복합에너지 시스템의 구성

복합 에너지 시스템의 구성은 사용되는 에너지시스템에 따라서 그림 4와 같이 다양하게 가능하다. 일반적으로 에너지저장 수단으로는 축전지와 슈퍼캐패시터를 사용하게 되고 에너지원으로는 상용전원과 대체에너지원으로 구분되는데 대체에너지원으로는 풍력발전, 태양광발전, 연료전지 발전 등이 대표적으로 사용된다. 많은 대체에너지원들은 직류로 발전되는 경우가 많은데 그림 4에서는 직류발전 중에서 연료전지 발전을 예로 들었다. 그림 4-a의 경우는 연료전지와 축전지의 복합시스템으로서 연료전지 자동차, 연료전지 이동전원장치 등이 이러한 구성으로 사용된다. 축전지대신에 슈퍼캐패시터를 사용하는 것도 가능하다. 그림 4-b의 경우와 그림 4-c의 경우는 슈퍼캐패시터와 축전지를 사용한 경우로 구성이 되는데 축전지와 슈퍼캐패시터의 설치 위치는 응용에 따라서 달라질 수 있다. 연료전지의 경우는 단방향으로 에너지를 전달하지만 축전지와 슈퍼캐패시터의 경우는 양방향으로 에너지 전달이 되므로 이때의 인터페이스 장치는 모두 양방향으로 구성된다.

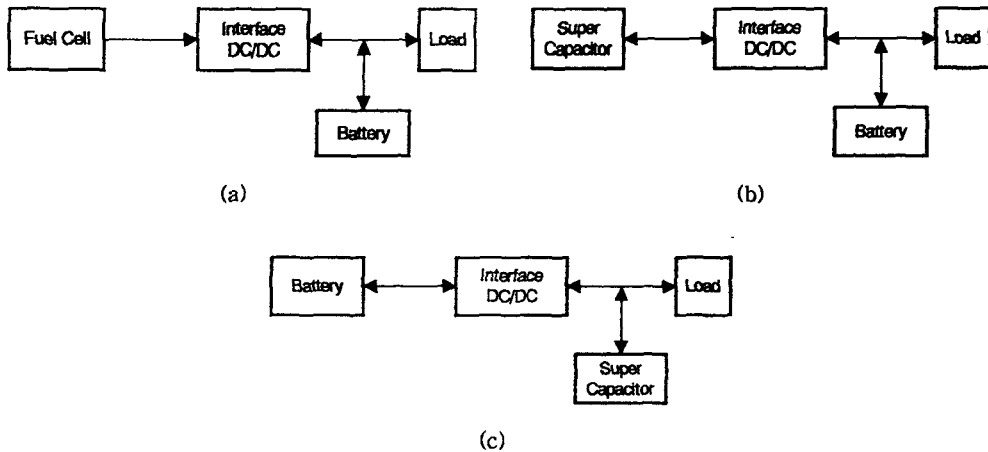


그림 4 복합에너지 시스템의 가능한 구성  
Fig. 4 Possible construction of hybrid energy system

본 논문에서는 그림 5와 같이 boost converter에 대해서 고려하였으며 에너지원들 사이에서 전류모드<sup>[6]</sup>로 동작하여 에너지를 제어한다. 여기에서는 연료전지와 축전지에 대한 하이브리드 시스템에 대한 모델과 시뮬레이션의 예를 보였다. 부하가 변화하면 연료전지에서 에너지가 공급되는 것이 아니고 축전지에서 에너지가 공급이 된다. 전류명령이 증가할 경우는

연료전지에서 에너지를 더 공급하게 되고 부하에 공급되고 남은 에너지는 축전지를 충전하게 된다.

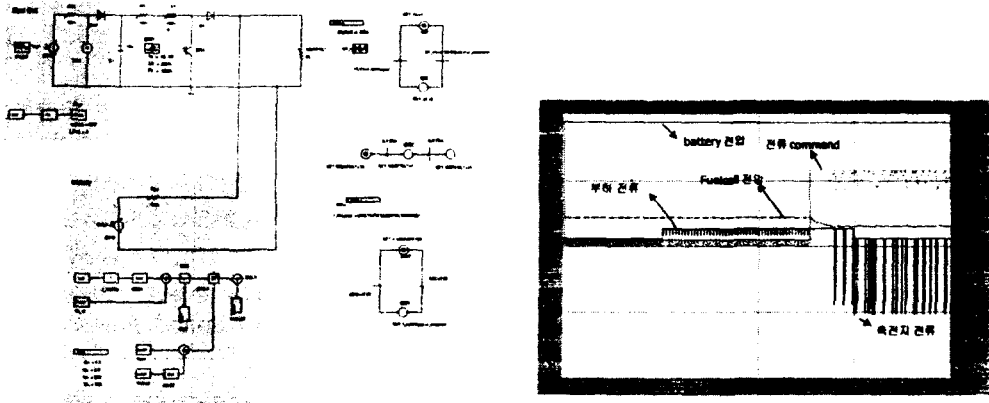


그림 5 연료전지와 축전지의 복합 시스템과 시뮬레이션 예  
 Fig. 5 Fuel cell and battery hybrid system and a simulation example

#### 4. 복합에너지 시스템의 시험

복합 에너지 시스템에 대한 실험을 위해서 그림 6과 같이 실험시스템을 구성하였다. 연료 전지 대신에 직류공급장치를 사용하였고 DC/DC 컨버터를 통해서 축전지와 연결 구성하였다. 향후 실험을 위해서 축전지의 BMS를 연결하여 SOC상태를 파악할 수 있도록 하였으며 컨버터에 대한 동작명령은 PC에 장착된 Dspace controller를 사용한 제어알고리즘에 따라 계산된다.

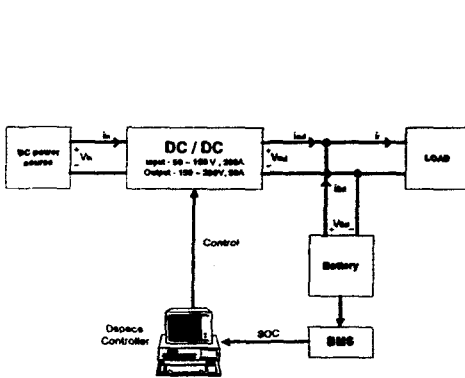


그림 6 복합에너지 시스템 동작을 위한 실험도

Fig. 6 Experiment System for hybrid energy system operation test

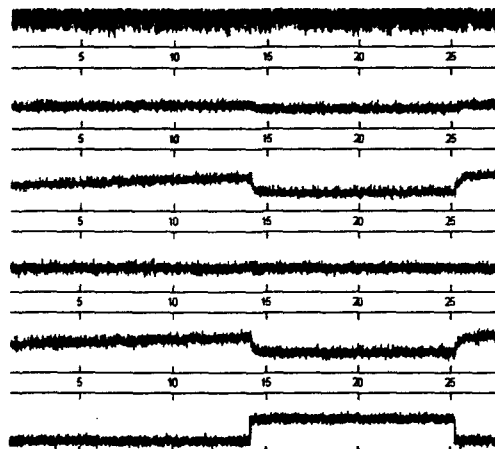


그림 7 연료전지와 축전지의 복합 시스템 동작 실험

Fig. 7 Hybrid system operation test

그림 7은 복합시스템의 컨버터의 입출력의 전압, 전류, 축전지의 전압, 전류 파형으로 약 1.4msec와 2.5msec의 시점에서 부하의 스텝변화를 주었을 때의 시스템의 동작을 보여준다.

부하의 급격한 변화에 대해 컨버터의 출력 전류는 내부의 전류명령이 바뀌지 않은 상태에서는 일정하게 유지되는 반면에 축전지의 전류는 급격한 증감을 보이면서 부하에서 필요한 에너지를 공급하게 된다. 이러한 경향은 시동시와 과도상태시의 축전지의 유용성을 보여준다.

## 5. 결론

복합에너지 시스템의 대표적인 예는 HEV(Hybrid Electric Vehicle) 또는 FCV(Fuel Cell Electric Vehicle)로서 엔진 또는 연료전지등 에너지원이 축전지와 병용해서 사용하게 된다. 이러한 하이브리드 시스템에서는 축전지와 연료전지, 또는 축전지와 슈퍼캐패시터와의 에너지의 합리적 운용(에너지 이용의 분배 및 상호보완)이 부하에 따라 적절히 유지되어야 한다. 통상 부하들은 교류 또는 직류용 모두 일정 전압의 유지를 전제로 하여 사용되고 있으므로 부하의 변화에도 출력전압을 인터페이스 장치를 사용하여 일정하게 제어할 필요가 있으며 또한 에너지의 공급을 조절하여야 한다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 시스템의 구성과 기본적인 동작에 대해서 기술한 것으로 향후 에너지원들의 최적화 이용 및 분담과 관련된 연구를 진행할 예정이다.

이 논문은 과학기술부의 기본연구사업에 의하여 연구되었음

## 6. 참고문헌

- [1] G.A. Phillips, J.H. Vogt, J.H.Walton, Inverters for Commercial Fuel Cell Power Generation, *IEEE Trans. on Power App. And Sys.*, pp.994-953, 1976.
- [2] A.Maggiore, "Solid Polymer Fuel Cells of Industrial Interest, *Intertech Conference Records of Commercializing Fuel Cell Vehicles 97*, 1997.
- [3] R.L Spyker, et al Evaluation of Double layer Capacitors for Power Electronic, *IEEE, IAS Conference Record*, pp. 725-pp730, 1996.
- [4] R. Bonert, and S. Reichert, Super-Capacitors for Peak Load shaving of batteris, *EPE Conference, Vol. 1*, pp.55-90, 1997
- [5] R. P. Severns, G. Bloom, "Modern DC to DC Switchmode Power Converter Circuit," VNR, 1985.
- [6] R. Redl and N. Sokal, "Current Mode Control, Five Different Types, Used with the Three Basic Classes of Power Converters," *Power Electronics Specialists Conference Record*, pp. 771-785, 1985.