

## 연료전지용 출력 인터페이스 장치에 관한 연구

### A Study on the Interface Construction of Fuel Cell Hybrid System

박석인, 한수빈, 정확근, 정봉만, 이원용  
한국에너지기술연구원

#### 1. 서론

최근에는 연료전지나 캐패시터와 같은 새로운 에너지 저장/발생 시스템들이 개발되어 이들과 축전지를 연계하여 이용하는 복합시스템에 대한 관심이 증가되고 있다. 축전지를 이용한 기존의 에너지 저장시스템은 수명, 크기, 응답시간, 파워, 에너지 용량 등의 이유로 다양하게 용도로 응용되기에는 문제점이 있다. 연료전지는 연료 주입에 의해 고효율로 에너지를 지속적으로 발생할 수 있으나 연료 공급시스템에 의해 응답이 느린 특징이 있으며, 축전지는 에너지가 매우 큰 저장시스템으로 방전이 용이하므로, 두 가지를 하이브리드로 구성하면 응답이 빠르고 지속적인 전원시스템을 구성할 수 장점이 있다. 이와 같은 하이브리드 시스템의 장점에 의해 전기자동차나 이동형 전력공급장치 같은 다양한 분야에 적용하여 에너지 시스템을 최적화하기 위해 연구가 진행되고 있다.

본 논문은 연료전지/축전지 하이브리드 전원 시스템의 연계 동작특성을 살펴보기 위한 것으로 에너지원과 인터페이스 장치 등에 대해 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였으며 이를 바탕으로 시스템을 설계 구성하여 실험을 수행하였다.

#### 2. 시스템 모델링, 시뮬레이션

##### 2.1 연료전지 모델링

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 1은 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 발생한다. 연료전지시스템에서는 전기화학반응에 의해 발생하는 고 전압 상태를 제거하기 위해 방전부하가 필요하다. 몇몇 연료전지 시스템에서는 방전부하로 연료전지 전극사이에 저항부하를 직접 사용한다. 전기자동차와 같은 복합운전시스템에서는 연료전지에 의한 축전지의 충전이 연료전지의 방전부하와 같은 역할을 한다. 따라서 동작부하 범위는 방전부하와 최대부하사이가 된다.

연료전지시스템은 기계, 전기화학, 화학의 복합적인 시스템으로 구성된다. 따라서 완벽한 모델링은 거의 불가능하지만 다음과 같은 방법을 모델링에 사용한다.

- C, FORTRAN, Matlab과 같은 언어로 작성된 프로그래밍 표현

- 실제로 측정된 I-V특성을 사용한 Look up table(LUT)방법
- 시변 전압원

각각의 방법마다 장점이 있겠지만 그림 2에서와 같은 LUT 방법이 전기공학적인 관점에서 가장 유용하다.

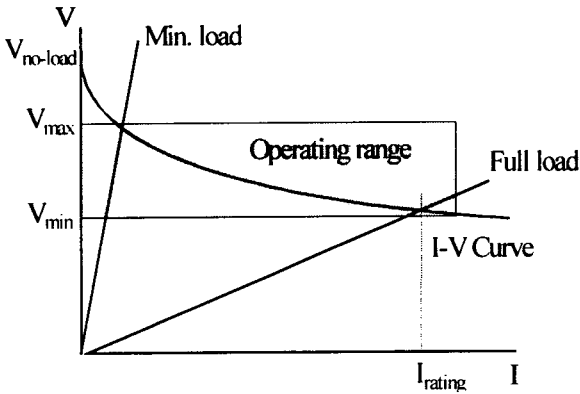


그림 1 연료전지의 전류-전압 특성

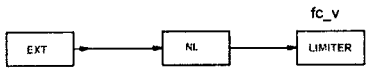
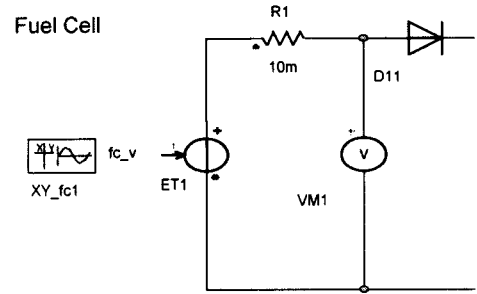


그림 2 LUT에 의한 연료전지 모델링

## 2.2 축전지 모델링

일반적인 축전지 모델은 여러 방식이 있지만 이들 중에서 가장 간단하며 일반적으로 사용되는 모델은 개방 회로 전압과 등가 내부 직렬 저항으로 구성된다. 축전지 충전 상태(SOC)에 따른 개방회로전압과 내부 저항의 비선형적 특성을 고려하면 이 모델을 향상시킬 수 있다.

그림 3은 심플로러를 사용한 모델링이다. 이 모델은 축전지 전류를 적분하여 축전지의 SOC를 계산하였다. 그림 4는 모델의 결과물로서 SOC가 감소함에 따라 축전지의 충전 전류와 전압이 감소함을 알 수 있다

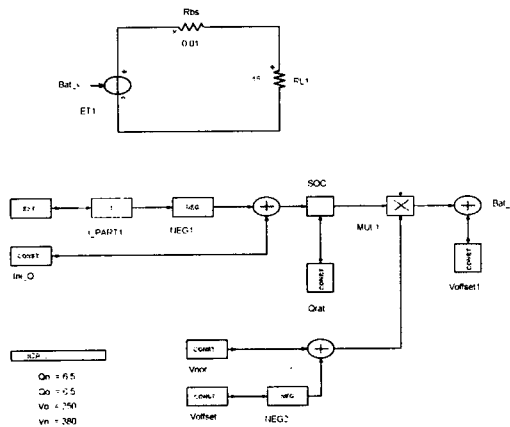


그림 3 축전지 모델(심플로러)

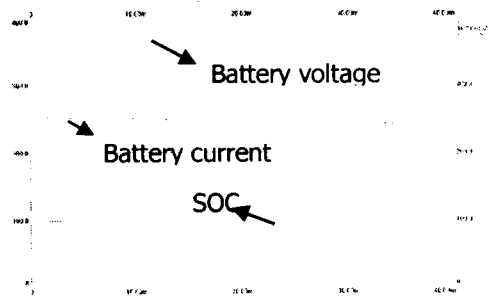


그림 4 축전지 모델 테스트

### 2.3 인터페이스 방법 및 모델링

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

연료전지의 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 초퍼나 DC-DC 컨버터를 사용하게 만든다. 그러나 컨버터와 인버터를 포함하는 시스템은 가격이 높고, 단독으로 사용되어지는 인버터에 비해 효율이 떨어진다. 따라서, 이러한 시스템들의 장단점을 고려하여 시스템 설계를 하여야한다. 지금까지는 AC 출력을 내는 파워시스템에서는 인버터와 컨버터를 사용하고, DC 출력을 내는 시스템에서는 컨버터만 사용하는 추세이다.

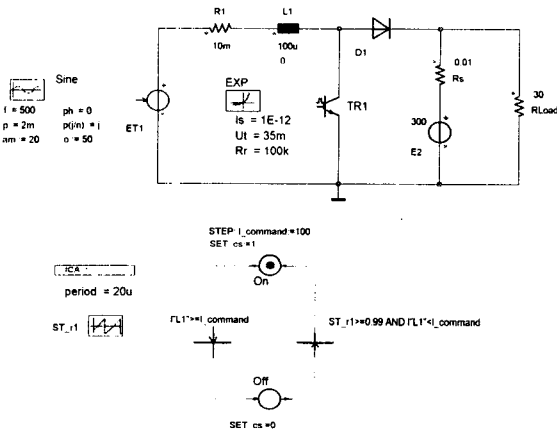


그림 5 부스트 컨버터의 전류모드 제어

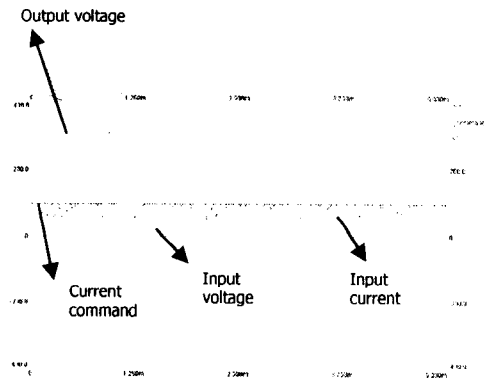


그림 6 전류 모드 제어 테스트

컨버터의 토폴로지는 시스템의 스펙과 용도에 따라 다양하게 결정되어진다. 이 논문에서는 그림 5에서와 같이 전류모드 제어방식의 부스트 컨버터를 사용하였다. 그림 6은 전류모드 제어 테스트결과이다. 입력 전압이 시간에 따라 변하여도 인덕터 전류는 전류지령치를 잘 추종하고 출력전압도 일정전압을 유지하였다. 복합에너지시스템에서는 입력 전압원과 출력 전압원이 어플리케이션에 따라 축전지나 연료전지, 슈퍼캐패시터가 사용된다. 그림 7은 입력측에 연료전지를 출력측에는 축전지가 사용된 복합 에너지 저장 시스템이다. 그림 8은 시뮬레이션 결과이며, 전류지령치와 부하 변화에 따른 연료전지와 축전지의 다양한 변화를 시뮬레이션하였다.

### 3. 인터페이스 구성 및 실험

복합에너지시스템의 인터페이스 컨버터는 그림 9와 같이 구성하였다. 그림 7에서와 같은 부스트타입 DC-DC 컨버터가 파워부에 사용되었다. 파워부는 아날로그타입 전류제어기에 의한 IGBT 게이트 드라이브 신호에 의해서 제어된다.

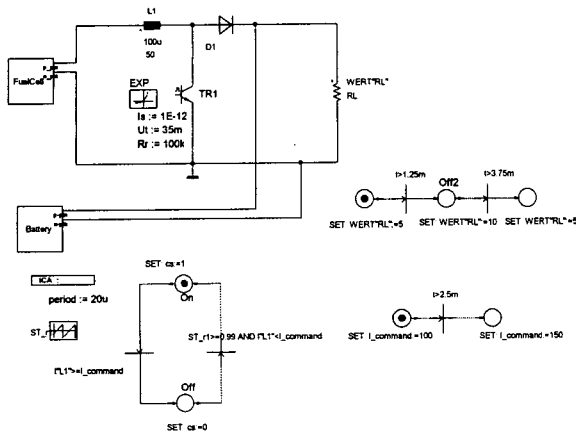


그림 7 복합에너지시스템 구현

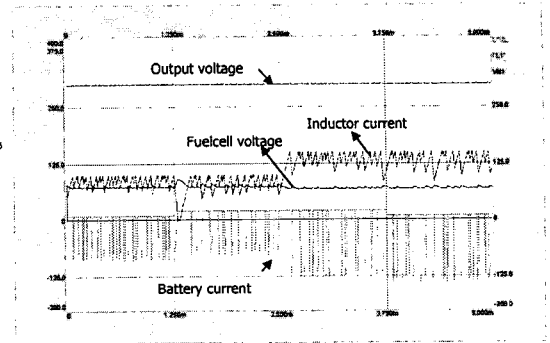


그림 8 복합에너지시스템의 시뮬레이션

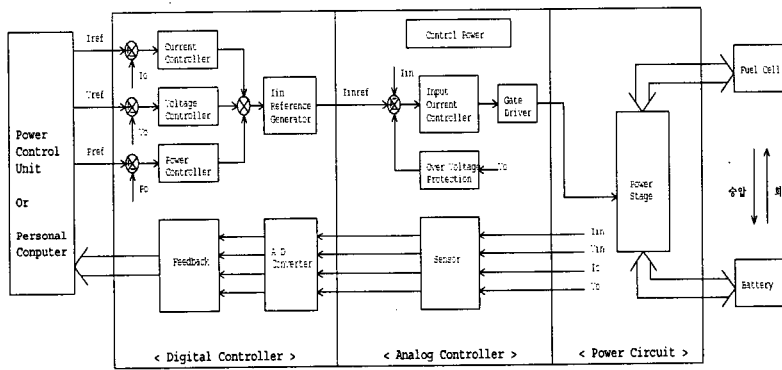


그림 9 인터페이스 컨버터의 구조

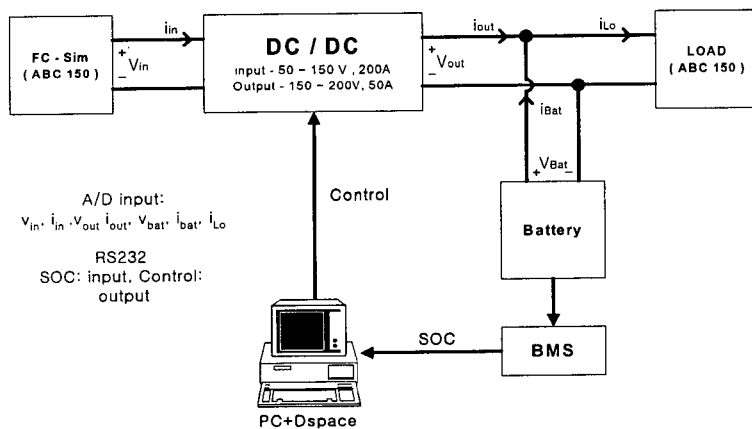


그림 10 복합 에너지 시스템 전체 블럭도

전류지령치는 파워제어유닛의 전류, 전압, 출력과워 명령치에 의해서 디지털제어부에서 계산되어진다. PC의 파워제어부는 dSPACE에서 만든 ds1103제어 보드를 사용하였다.

실제 시스템 운전에서는 그림 10에서와 같이 PEM(Polymer Exchange Membrane) 타입 연료전지의 특성을 구현하는 연료전지 시뮬레이션 파워서플라이 ABC150를 인터페이스 입력측에, 출력측에는 전자부하와 납축전지 बैं크를 연결하였다. 인터페이스 컨버터는 입력범위가 전압은 30-150V, 전류는 0-300A이고, 출력범위는 전압이 100-350V에 최대 25kW의 출력을 가진다. 그림 11은 실험환경을 보여준다.

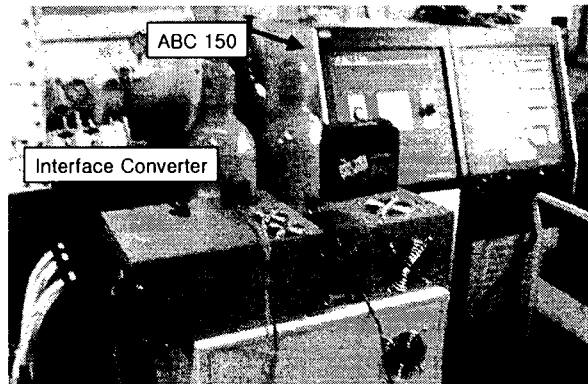


그림 11 인터페이스 컨버터 실험환경

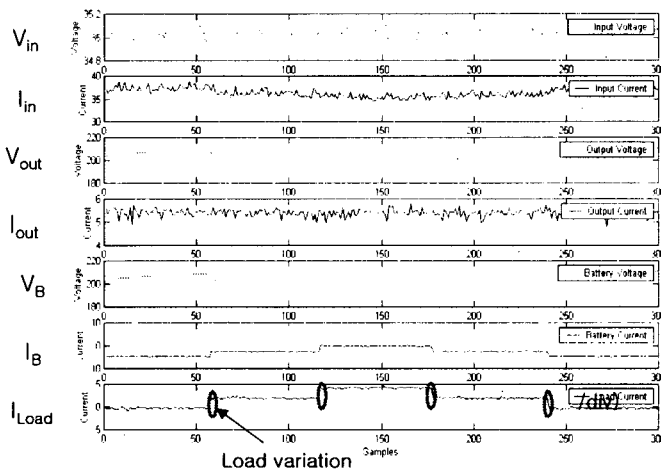


그림 12 부하변동에 따른 전압 전류의 변화

연료전지 스택의 반응시간은 수msec로 매우 빠르다. 그러나 여기에 부가적으로 붙는 연료공급장치와 같은 기계적, 화학적 시스템에 의해서 전체적인 연료전지시스템은 매우 느려진다. 따라서 연료전지시스템은 주로 주 전력으로 사용된다. 이 경우, 복합에너지시스템에서 축전지는 과도 부하변동을 보상하는데 사용된다. 급격한 부하 변동이 발생하면, 연료전지가 부하에 추종할 때까지 축전지가 부하의 변동을 보상하게 된다. 그림 12는 부하가 step형태로

변화할 때의 실험결과이다. 부하가 변함에 따라 부하전류가 급격히 변하고, 초기에는 축전지 전류가 부하 변동을 추종한다. 그러나 이 경우에도 컨버터 출력은 변하지 않는다.

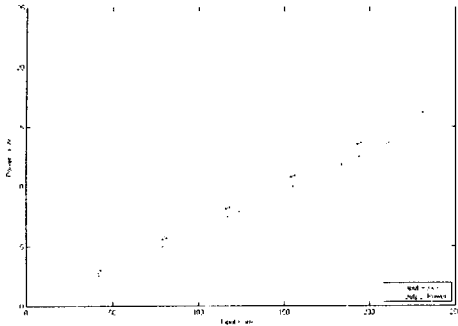


그림 13 입력, 출력 파워 특성  
(x축 : 전류, y축 : 파워)

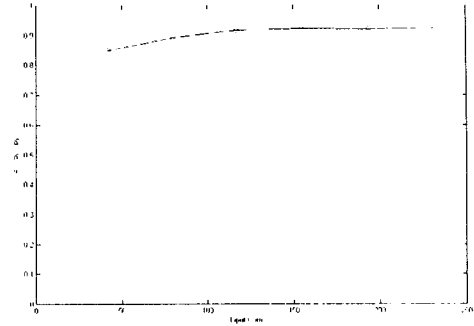


그림 14 전류 변화에 따른 효율 특성  
(x축 : 전류, y축 : 효율)

그림 13은 입력전류에 따른 인터페이스 컨버터의 상태를 보여준다. 입력 전류가 증가함에 따라 입력 파워와 출력 파워가 같이 증가한다. 150A이상의 고 전류상태에서는 출력 파워가 내부손실의 증가로 입력 파워에 비례해서 증가하지 못한다. 따라서 고 전류상태에서는 그림 14에서와 같이 인터페이스 컨버터의 효율이 약 93%로 포화된다.

#### 4. 결 론

이 논문은 연료전지와 축전지 복합시스템의 인터페이스 방법에 대해서 기술했다. 시스템 구성요소들은 실제시스템의 설계를 위해 심플로러로 모델링과 시뮬레이션을 수행하여 성능을 분석하였다. 또한 연료전지시스템이 주 전력으로써 사용되고, 축전지는 과도 부하를 추종하는데 사용하는 복합에너지시스템을 구성하여 성능을 실험하였다. 최적 시스템 설계와 제어방법은 부하 형태에 따라 달라진다. 향후 다양한 적용을 위한 복합 에너지원의 최적화 이용 및 분담에 관련한 연구를 진행할 예정이다.

#### 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 batteries, *EPE Conference, Vol. 1*, pp.55-90, 1997
- [5] R. P. Severns, G. Bloom, "Modern DC to DC Switchmode Power Converter Circuit," VNR, 1985.