

연료전지자동차에서 연료이용률과 연료전지 내구성 향상을 위한 양방향 DC-DC 컨버터의 제어기법

조진상*, 정상민*, 이진희*, 최세완*, 한수빈**
 *서울산업대학교, **한국에너지기술연구원

Control Method of Bidirectional DC-DC Converter for Fuel Utilization and Durability Improvement in Fuel Cell Vehicles

Jinsang Jo*, Sangmin Jung*, Jinhee Lee*, Sewan Choi*, and Soobin Han**
 *Seoul National Univ. of Tech., **Korea Institute of Energy Research

ABSTRACT

본 논문에서는 연료전지 자동차와 같은 하이브리드 시스템에서 양방향 DC-DC 컨버터에 의한 충·방전 동작시 원하는 지령전력을 정확히 제어하여 연료전지의 과부하에 의한 전지수명단축과 연료이용률저하에 의한 연료소모 문제를 개선하기 위한 전력제어기를 제안하고자 한다. 또한 연료이용률과 배터리의 SOC를 일정하게 제어하여 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 양방향컨버터의 충·방전 운전 알고리즘을 제안한다.

1. 서 론

석유에너지의 고갈과 환경오염에 의한 지구온난화를 방지하기 위한 도교의정서가 발효됨에 따라 CO₂ 배출을 억제하기 위한 하이브리드 및 연료전지 자동차의 개발이 시급한 과제로 부상하고 있다.

연료전지 자동차는 그림 1에서와 같이 연료전지 시스템의 느린 응답성을 보완하고 에너지를 효율적으로 이용하기 위하여 1차 에너지원인 연료전지 이외에 주로 배터리 또는 슈퍼커패시터등의 2차 에너지 저장장치를 이용하여 하이브리드 시스템으로 구성하게 된다^{[1]-[3]}. 이때 부하의 급격한 변동에 따른 연료 및 산소의 공급이 원활하지 않은 경우 연료전지 내부에서 반응가스의 확산 불량에 의해 전지성능의 저하를 초래하게 될 수 있으므로 연료이용률을 일정하게 하는 제어가 필요하다^[4].

양방향 컨버터는 배터리등의 에너지 저장장치를 통하여 적절히 에너지를 충·방전함으로써 연료전지가 일정한 이용률을 유지하고 연료전지와 부하간 전력의 균형을 유지시키는 역할을 하게 된다^[5]. 그런데 부하의 급격한 증가에 의하여 일정한 전력의 배터리 방전이 요구될 때 컨버터의 전력손실과 전류모드 제어에 기인하는 오차로 인하여 양방향 컨

버터가 정확한 유효전력을 공급하지 못하는 경우 과부하로 인한 연료전지 수명의 단축이나 연료이용률의 저하를 초래할 수 있다.

본 논문에서는 하이브리드 시스템에서 양방향 DC-DC 컨버터에 의한 충·방전 동작시 원하는 지령전력을 정확히 제어하여 연료전지의 과부하에 의한 수명단축과 연료이용률 저하에 따른 연료소모 문제를 개선하기 위한 전력제어기를 제안하고자 한다. 또한 연료이용률과 배터리의 SOC를 일정하게 제어하여 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 양방향컨버터의 충·방전 운전 알고리즘을 제안한다.

2. 제안하는 양방향 컨버터의 전력제어기 및 운전제어 알고리즘

그림 2는 제안하는 양방향 컨버터의 제어기 구성도로서 이는 상위제어기로부터의 전력지령을 수행하기 위한 전력 제어기, 과도상대응답의 향상을 위한 피드포워드 제어 및 피크전류모드 제어기로 구성된다.

또한 양방향 컨버터 측에서는 부하측인 인버터와 전원측인 연료전지가 병렬로 연결된 단일부하로 볼 수 있으므로 이를 다음과 같은 등가저항 R_{eq}으로 표현할 수 있다.

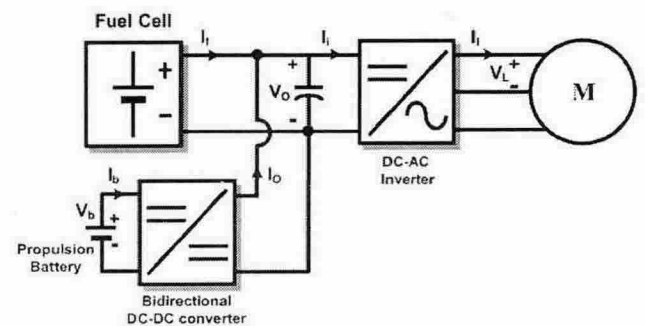


그림 1 연료전지자동차의 전력변환시스템

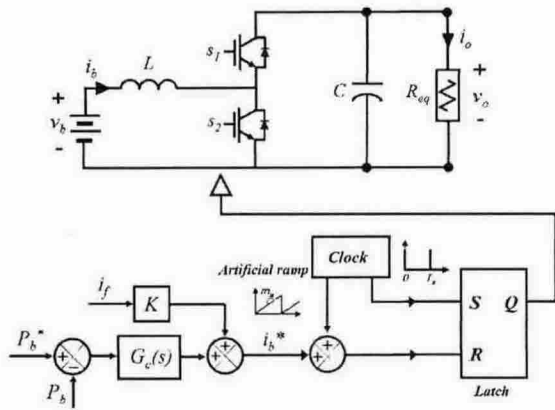


그림 2 제안하는 양방향 컨버터 제어 시스템 구성도

$$R_{eq} = \frac{V_o^2}{(P_L - P_F)} \quad (1)$$

이후 제안한 양방향 DC-DC 컨버터 및 제어부를 충전과 방전의 각 모드별로 교류 소신호 등가회로를 이용하여 모델링하여 피크전류제어와 컨버터의 소자 손실에 의한 오차를 보상하기 위한 전력제어를 설계한다. 부스트 모드시 양방향 컨버터를 평균화방법을 이용하여 교류 소신호 모델링을 하면 그림 3과 같다. 이로부터 듀티에 대한 인덕터 전류, 즉 배터리 전류의 전달함수 $G_{id}(s)$ 와 배터리 전류에 대한 출력전압의 전달함수 $G_{vi}(s)$ 는 다음 식과 같다.

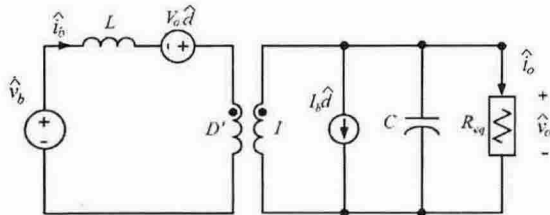


그림 3 부스트모드에 대한 교류 소신호 모델

$$G_{id}(s) = \frac{\hat{i}_b(s)}{\hat{d}(s)} = \frac{2V}{D^2 R} \cdot \frac{(1 + s\frac{RC}{2})}{1 + s\frac{L}{D^2 R} + s^2\frac{LC}{D^2}} \quad (2)$$

$$G_{vi}(s) = \frac{\hat{v}_o(s)}{\hat{i}_b(s)} = \frac{D}{Cs + \frac{1}{R}} \quad (3)$$

식(2)와 (3)에서 구한 양방향 컨버터의 부스트모델과 피크전류모드제어에 대한 전달함수를 포함하는 상세한 제어블록도 그림 4에 나타낸다. 연료전지 전력과 부하 전력의 차를 상위 제어기가 계산하여 양방향 컨버터로 지령하면 양방향 컨버터는 이와같이 지령전력 \hat{P}_b^* 에 의한 배터리 지령전류를 추

종하기 위하여 $G_c(s)$ 로 보상하여 전력제어를 수행한다. 그리고 부하의 급격한 변동시 출력전압의 변동분만을 구하여 보상하면 과도상태의 응답이 느릴 수 있으므로 연료전지 전류의 변동분을 피드포워드하면 과도상태의 응답 특성을 개선할 수 있다. 그림 4로부터 전력지령치에 대한 출력전력의 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\hat{P}_b = \hat{P}_b^* \frac{G_c F_m G_{id} (G_{vi} (i_i - i_f))}{1 + G_c F_m G_{id} (G_{vi} (i_i - i_f))} \quad (4)$$

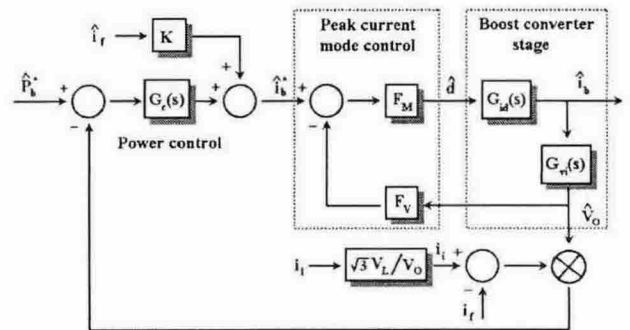


그림 4 부스트모드의 상세제어 블록도

그림 5는 연료이용률과 배터리의 SOC를 일정하게 유지하여 하이브리드 시스템의 전력의 균형을 정확히 맞추어서 에너지를 효율적으로 사용하기 위하여 제안한 양방향 컨버터의 충·방전 운전 알고리즘을 나타낸다. 본 논문에서는 연료이용률은 0.8로 배터리의 SOC는 0.97로 가정하였다.

3. 실험 결과

축소모형은 1.5kW급으로 제작되었으며 실험사양은 다음과 같다.

- 저전압측 배터리 : 12V
- 고전압측 전압 : 45V
- 인덕턴스 : 200uH
- 직류단 커패시터 : 6800uF
- 스위칭 주파수 : 20kHz

그림 6은 부하가 약 600W에서 800W로 증가시 실험결과 파형을 보여준다. 그림 6(a)에서와 같이 부하전력이 계단파형으로 증가한 경우 그림 6(b)에서 보면 전력제어기가 있는 경우 200W에 해당하는 전류가 방전되나 전력제어기가 없는 경우 컨버터의 손실과 피크전류모드시 오차로 170W만이 출력되는 것을 볼 수 있다. 따라서 그림 6(c)에서 보듯이 전력제어기가 있는 경우는 연료전지 출력에 변화없이 제어되고 있는 것을 볼 수 있다.

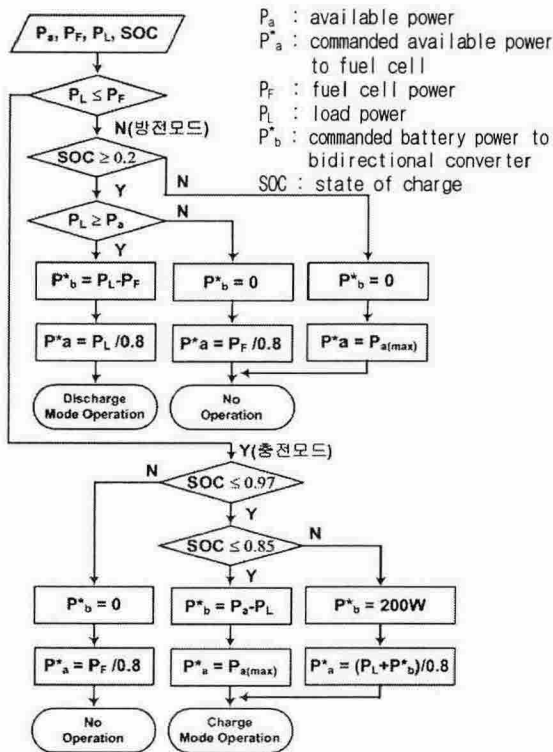
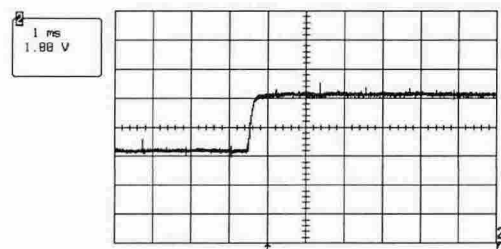
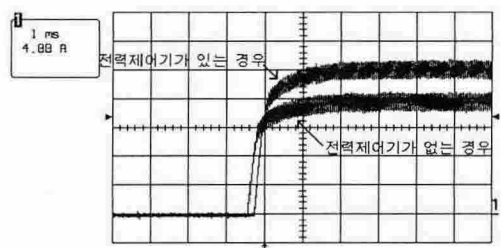


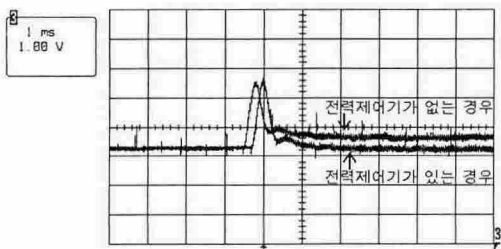
그림 5 연료전지 이용률 및 배터리 SOC 제어를 위한 양방향 컨버터 운전기법



(a) 부하전력 P_L



(b) 배터리 전류 i_b



(c) 연료전지 출력전력 P_F

그림 6 실험결과 파형

4. 결론

본 논문에서는 연료전지-배터리 하이브리드 시스템에서 두 전원과 부하간의 전력을 효율적으로 제어하여 연료전지의 수명단축 및 연료이용률 저하에 따른 연료소모 문제를 개선하기 위한 전력 제어기를 제안하고 연료이용률과 배터리 SOC를 일정하게 제어할 수 있는 운전알고리즘을 제안하였다. 제안한 방식은 1.5kW급의 양방향 DC-DC 컨버터를 통한 실험 및 모의실험으로 타당성을 입증하였다. 제안한 양방향 컨버터의 제어기법은 연료전지 자동차, 독립형(stand-alone) 연료전지 발전시스템 및 연료전지를 이용한 UPS등에 활용될 수 있다.

이 논문은 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력 연구원(R-2003-B-315)주관으로 수행된 과제임.

참고 문헌

- [1] 이진희, 조진상, 장민수, 최세완, 한수빈, "고체 산화물형 연료전지를 위한 10kW급 독립전력 변환장치의 개발", 전력전자학회논문지, 제8권 6호, pp.551-560, 2003. 12.
- [2] 최세완, "연료전지 발전시스템에서의 전력전자기술", 전력전자학회지 특집기사, pp.30-35 2003. 8.
- [3] 정상민, 조진상, 최세완, 한수빈 "하이브리드 에너지 시스템에서 양방향 DC-DC 컨버터에 의한 배터리 제어 기법" 전력전자학회 하계학술대회 논문집, pp 359-363, 2004. 7
- [4] 한수빈, "연료전지/Battery 복합운전의 모델링 시뮬레이션 기술개발", 한국에너지기술연구원, 2003. 9
- [5] Liu, C., Nergaard, T., Leslie, L., Ferrell, J., Huang, X., Shearer, T., Reichl, J., Lai, J., Bates, J. "Power balance control and voltage conditioning for fuel cell converter with multiple sources", IEEE PESC, Vol. 4, pp. 2001-2006, 2002, June.
- [6] R.M. Schupbach, J.C. Balda, "Comparing DC-DC Converter for Power Management in Hybrid Electric Vehicles", Electric Machines and Drives Conference, Vol. 3, pp. 1369-1374, 2003, June.
- [7] K. Wang, C.Y. Lin, L. Zhu, D. Qu, F.C. Lee, J.S. Lai, "Bi-directional DC to DC Converters for Fuel Cell Systems", Power Electronics in Transportation, pp. 47-51, 1998, Oct.