

수퍼커패시터를 이용한 하이브리드 연료전지시스템에 관한 연구

윤성식* · 최원목* · 김성훈* · 김태규* · 안호균*

*창원대학교 전기공학과

A Study on the Hybrid Fuel Cell System by using supercapacitor

Seong-Sik Yoon* · Won-Muk Choi* · Sung-Hoon Kim* · Tea-Kue Kim* · Ho-Gyun Ahn*

*Department of Electric Eng., Changwon National University

E-mail : fjqpzm@nate.com

요 약

본 논문에서는 급속 충·방전이 가능하고 높은 충·방전 효율 및 반영구적인 사이클 수명 특성으로 보조 배터리나 배터리 대체용으로 사용될 수 있는 차세대 에너지 저장장치인 수퍼커패시터 모듈과 양방향 직류-직류 컨버터를 이용한 연료전지 시스템에 관한 연구를 진행하였다. 수퍼커패시터의 전압 불균형으로 인한 과전압 방지를 위하여 병렬 모니터 회로를 제작하고, 시뮬레이션과 실험을 통하여 동작 성능을 확인하였다. 제작한 수퍼커패시터 모듈을 바탕으로 하이브리드 연료전지 시스템을 구성하였고, 구성된 시스템에 부하장치를 연결하여 연료전지 시스템의 동작 성능을 시험 및 평가하였다. 이를 통하여 연료전지 발전시스템의 느린 동특성, 부하에 따른 출력전압 변동, 에너지 저장 능력 결핍과 같은 단점을 보완하여 연료전지 발전 시스템의 성능을 향상시킬 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, bidirectional DC-DC converter is designed to cover up defects of fuel cell generating system like as low dynamic characteristic, unstable output and lack of storage ability by using bidirectional DC-DC Converter and supercapacitor that available to charge & discharge quickly, high efficient at charge & discharge and semi-permanent. Operating efficiency has been analyzed through simulation and examination. According to these design and data, hybrid system has been made and operation test, evaluation and results evaluation have been performed.

키워드

DC-DC Converter, Supercapacitor, Fuel Cell, Hybrid Fuel Cell

1. 서 론

친환경에너지원인 연료전지는 전기자동차와 같은 전동기 구동 시스템에 적용할 경우 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 연료전지는 일종의 발전기와 같은 동작을 하기 때문에 구조상으로 발생된 에너지를 저장하는 능력이 없다. 또한 화학반응으로 에너지를 생성하기 때문에 느린 동특성을 가지고 있다. 그로인해 부하에 따라 출력의 변동이 발생하게 된다.[1,2] 또한 매우 느린 응답성을 가지므로 순간적인 부하 변동시 배터리나 수퍼커패시터와 같은 별도의 에너지 저장장치로부터 필요한 전력을 공급받아야 한다. 그렇지 못할 경우 부하 변동에 따라 출력전압이 변동함에 따라 안정

적인 전력공급이 힘든 단점을 가진다.[3]

본 논문에서는 이러한 연료전지의 운전특성으로 인한 단점을 보완하기 위해서 비절연형 양방향 직류-직류 컨버터를 구성하고, 수퍼커패시터 모듈을 적용하여 전동기 구동에 적합한 하이브리드 시스템을 설계하였다. 설계한 직류-직류 컨버터를 통하여 연료전지 시스템의 성능을 향상시키고, 개선한 운전특성을 검증하였다.

II. 연료전지 분극특성

그림 1은 이상적인 연료전지 단위 셀의 전압-전류 특성곡선이다. 스택을 구성하는 단위 셀의

단자전압은 무부하시 약 1.23[Vdc]이고 전류가 증가하면 약 0.7[Vdc]까지 낮아진다. 따라서 발전전압을 높이기 위해 스택 제조시 이 셀을 직렬로 연결하는데, 셀의 수가 많아질수록 스택 제조가 어렵고, 단가가 높아진다. 이와 같이 연료전지는 저전압·고전류의 특성과 부하에 따라 전압이 크게 변동하는 특성을 가지므로 기존의 직류-직류 컨버터나 범용 인버터 기술로는 요구되는 특성 및 효율을 만족시킬 수 없다. 전력변환장치의 효율이 낮아지면 전단의 스택 및 개질기의 용량이 커져야 하기 때문에 전체 연료전지 발전시스템의 가격이 상승하게 되어 상용화를 어렵게 하는 요인이 된다.[4]

이론 기전력에서부터의 전압 저하(평형 전위에서의 전위 Shift)를 분극이라 하며, 그 크기를 과전압이라고 하기도 한다. 분극은 크게 '활성화 분극', '확산분극', '저항분극'의 3가지로 구분할 수 있다. 그림 1은 연료전지의 분극 특성을 포함하고 있다.

가. 활성화 분극

전극 반응 중, 화학으로 인한 분극이다. 연료극에서 수소가 전자를 방출하는 과정이나 공기극에서 산소가 전자를 받아들이는 과정에서 화학 반응의 활성화에 필요한 에너지가 소비된다. 반응물질(수소, 산소)이 그 반응을 진행하기 위해 에너지를 소비하기 때문이다. 수소의 산화 반응에 비해 산소의 환원 반응이 어렵기 때문에 활성화 분극은 공기극에서 대부분을 차지하고 있다.[5,6]

나. 저항분극

이온 또는 전자가 이동하는 속도에 기인하는 분극으로 전해질내의 이온 전도도, 분리판이나 집전체 등의 전기저항에 의한 손실이다. 이온의 도전율(Conductivity)이 전자의 도전율에 비해 상당히 작기 때문에 저항분극은 전해질 저항이 대부분을 차지하며 중 전류 영역에서 지배적이다.

다. 확산분극

반응물질(수소, 산소)이 전극으로 이동하는 속도나 생성물(물)이 빠져 나가는 과정에서 발생하는 분극이다. 반응 물질을 전극 근방에 공급하는 속도나 반응 생성물의 확산 속도의 영향에 의해 생기는 분극으로 대전류 영역에서 지배적이다.

연료전지 스택을 구성하는 단위 셀당 전압은 무부하시 약 1.15Vdc정도이고 전류가 증가하면 약 0.7Vdc 정도까지 낮아진다. 따라서 전류에 따른 전압의 변동이 심한 것을 알 수 있다. 또한 단위 셀을 직렬로 연결하여 스택을 제조하는데 셀의 수가 많아질수록 가격이 높아지기 때문에 연료전지스택의 정격전압은 20~50V로 낮아진다.

III. 슈퍼커패시터

슈퍼커패시터는 축전용량이 매우 큰 커패시터로 울트라 커패시터(Ultra Capacitor) 또는 초고용량 커패시터라고 한다. 학술적인 용어로는 기존의 정전기식(Electrostatics) 또는 전해식(Electro-lytic)과 구분해 전기화학식 커패시터(Electro-chemical capacitor)라고 불린다. 슈퍼커패시터는 화학 반응을 이용하는 배터리와는 달리 전극과 전해질 계면으로의 단순한 이온의 이동이나 표면화학반응에 의한 충전현상을 이용한다. 이에 따라 급속 충전방전이 가능하고 높은 충전 효율 및 반영구적인 사이클 수명 특성으로 보조배터리나 배터리 대체용으로 사용될 수 있는 차세대 에너지저장장치로 각광받고 있다.

전기 이중층 커패시터는 크게 100F이상의 대용량 타입과 0.1~100F의 소용량 타입으로 나뉜다. 대용량 타입은 예전부터 있었던 전기이중층형 외에 하이브리드(비대칭형/리튬계 커패시터)나 레독스 커패시터(산화환원형)로 나눌 수 있다. 2차 전지에 비해 열화나 발열이 아주 적으며 고효율, 긴 수명이란 특징은 화학반응을 이용하지 않는 동작 원리 덕분이다.

가. 병렬 모니터 회로

본 논문에서 적용한 슈퍼커패시터 종류인 EDLC의 경우 내압이 2.5~3.3V의 제품이 일반적이다. 이를 이용하여 사용자의 시스템에 적용하기 위해서는 직렬접속을 통하여 모듈형태를 구성하여야 원하는 내압 및 용량을 만들 수 있다. 그러나 대용량 커패시터를 직렬로 접속할 경우, 개별 커패시터 셀의 용량값이나 초기전압, 단자 등에 의한 내부저항에 분산이 발생하게 된다. 이 경우 같은 전류를 유입해도 완전 충전에 도달하는 시간이 각각의 셀 별로 달라진다. 이런 현상을 방지하기 위하여 완전 충전에 도달한 대용량 커패시터의 충전을 제한하여 과전압이 가해지지 않도록 하는 회로가 필요하게 된다. 이 회로를 병렬 모니터 또는 균등화 회로라고 한다. 통상적으로 이 회로를 커패시터 하나에 1개씩 병렬로 접속하여 사용하

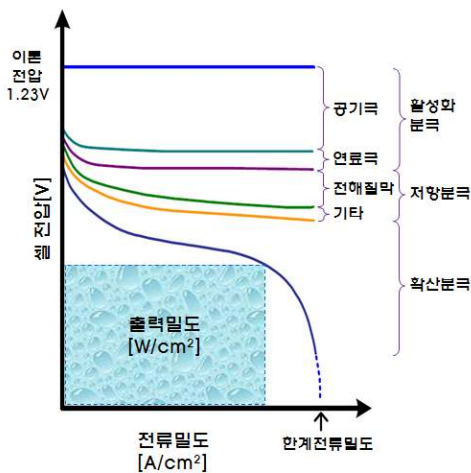


그림 1. 이상적인 연료전지 V-I 특성곡선

는 것이 일반적이다. 아래에 제작된 병렬 모니터링 회로와 시뮬레이션을 통한 회로의 전압과 전류 파형을 나타내었다.

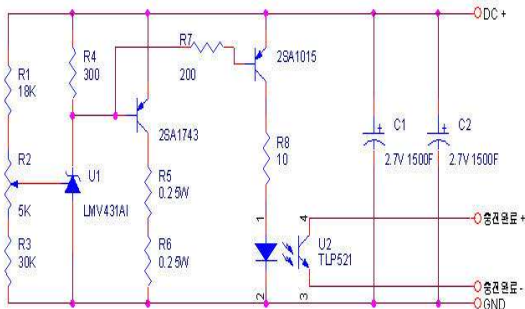


그림 2. 병렬 모니터링 회로

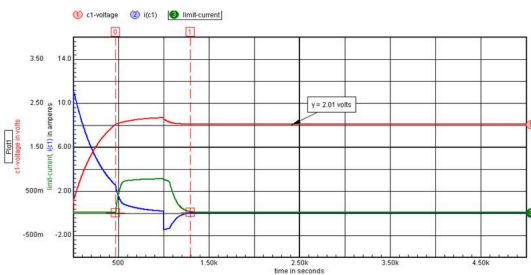


그림 3. 병렬 모니터링 회로 시뮬레이션(1500F)



그림 4. 제작한 직·병렬 커패시터 모듈

IV. 연구시스템 구성 및 실험결과

가. 연구시스템

본 연구에서 설계 및 제작된 양방향 직류-직류 컨버터를 이용한 하이브리드 연료전지 시스템의 성능 평가를 위하여 평가시스템을 구성하였다. 그림5는 전체 시스템의 구성을 나타내고 있으며, 실제 시스템의 사진을 그림6에 표시하였다.

연료전지시스템은 BALLARD사의 NEXA 1.2KW PEMFC 스택을 이용하여 연구용 시스템을 구성하였다. KORCHIP사의 EDLC인 STARCAP(내압 2.7V 1500F) 커패시터 12개를 이용하여, 수퍼커패시터 뱅크를 2병렬 6직렬 형태로 구성하였다. 또 이 모듈의 보호를 위하여 각 병렬 셀 당 1개씩 총 6개의 병렬모니터 회로를 제작하여 전체 수퍼커패시터 모듈을 완성하였다. 수퍼커패시터 모듈과 연료전지시스템의 병렬 운전

을 위하여 하프-브릿지 형태의 양방향 직류-직류 컨버터를 설계하고 제작하여 시스템에 연결하였으며, 시스템의 부하시험 및 특성 평가를 위하여 1.2KW급 전자부하와 600W급 전자부하를 연결하여 실험을 진행하였다.

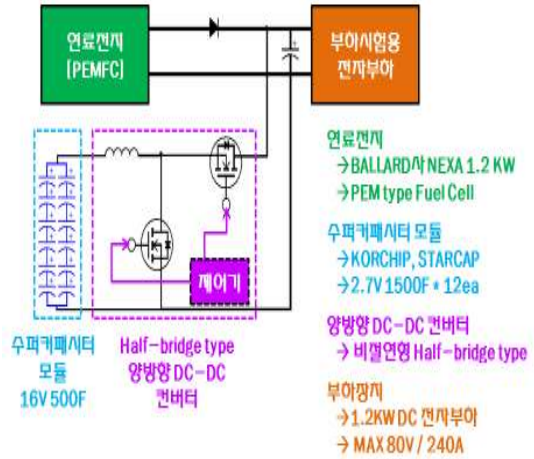


그림 5. System Structure



그림 6. 제작한 하이브리드 시스템

나. 실험 결과

그림 7의 실험 파형은 연료전지 자체를 독립운전 상태에서 부하시험을 통하여 측정된 결과파형을 나타내고 있다. 모터부하의 초기 기동시와 같은 상태를 실험하기 위하여 초기에 연료전지의 무부하 상태운전중에 순간적으로 600W의 부하를 인가하고, 이때의 전압과 전류를 측정하여 결과를 분석하였다. 파형에서 볼 수 있듯이 1.2KW급 연료전지 스택이지만 모터초기 기동시와 같은 급격한 부하 변동이 발생할 경우 상당한 전류 리플이 발생하는 것을 보여주고 있다. 그림8의 파형은 같은 조건에서 제작한 양방향 직류-직류 컨버터를 이용한 시스템의 파형이다. 독립운전에 비해 피크 전류가 감소하였다. 그림 9는 연료전지 독립운전시 부하변동에 대한 파형이고, 그림 10은 본 논문에서 제작한 시스템을 이용한 결과이다.

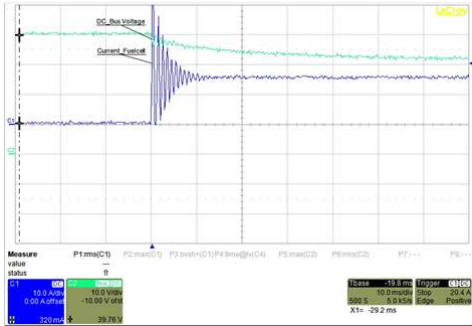


그림 7. 연료전지 독립운전시 600W 부하

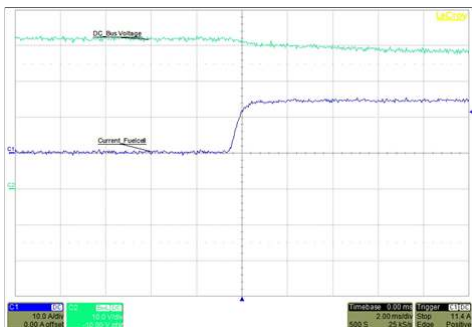


그림 8. 하이브리드 시스템에서 600W 부하

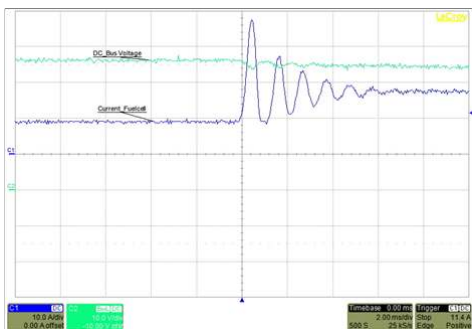


그림 9. 연료전지 독립운전시 부하변동

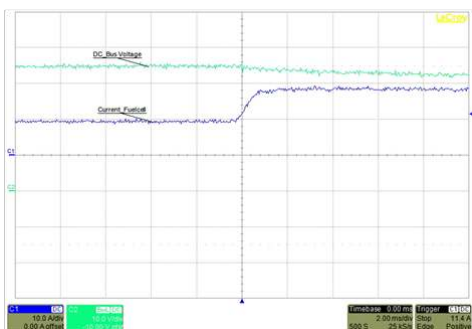


그림 10. 하이브리드 시스템에서 부하변동

V. 결 론

본 논문에서는 슈퍼커패시터 모듈을 시뮬레이션 및 제작하고, 연료전지-슈퍼커패시터 하이브리드 시스템을 제작하였다. 실험결과를 통하여 무부하 상태에서 부하변동 시(0W에서 600W로 변동)에 연료전지 출력전류의 Peak값이 약43A에서 16A로 63% 감소됨을 확인하였다.

기존 하이브리드 시스템의 보조배터리 대체용으로 급속 충전방전이 가능하고, 높은 충전방전 효율 및 반영구적인 사이클 수명 특성을 갖춘 차세대 에너지 저장 장치인 슈퍼커패시터 모듈의 하이브리드 시스템 성능을 확인하였다.

본 논문은 2009-2010년도 교내공모과제 연구비에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Phatipat Thounthong, "Driving Friendly(Fuel Cell/ Supercapacitor Hybrid Power Sources for Future Automotive Power Generation)", IEEE Power & Energy Magazine, 2008.
- [2] 한국과학기술정보연구원, "슈퍼커패시터", 한국과학기술정보연구원 테크니컬리포트, 2007
- [3] 전자부품연구원, "소형 연료전지 산업동향", 전자부품연구원 기술정보 보고서, 2003
- [4] 조용호, "연료전지 산업동향", 전자부품연구원, 2004.
- [5] 조만, "고체고분자 연료전지 기술동향(기술동향분석보고서)", 한국과학기술정보연구원, 2002.
- [6] 조만, "직접메탄올 연료전지 기술개발동향(기술동향분석보고서)", 한국과학기술정보연구원, 2003.