

연료전지-배터리 하이브리드 시스템의 구조 비교 분석

주동명, 우동균, 구근완, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

Comparison of Structures for Fuel Cell-Battery Hybrid System

Dong Myoung Joo, Dong Gyun Woo, Keun Wan Koo, and Byoung Kuk Lee*
College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 휴대용 연료전지 배터리 하이브리드 시스템에 적용 가능한 구조들을 비교 분석하고 구조 선정을 위한 가이드라인을 제시한다. 각 구조의 특징 및 장단점을 분석하고 시스템 설계 사양에 적합한 구조를 선정하는 과정을 보인 뒤, 그 타당성을 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증한다.

1. 서 론

최근 수소 저장기술의 발달에 따라서 연료전지 시스템에 대한 연구개발 및 상품화가 이루어지고 있다. 이러한 연료전지 시스템은 지속적인 전력 전달을 위해 연료를 계속해서 공급해 주어야 하는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 배터리를 보조 전원으로 사용하여 연료전지 배터리 하이브리드 시스템을 구성하면 연료전지가 발전을 못하는 상황에서도 지속적으로 에너지를 공급할 수 있게 된다. 이 때, 기존 연료전지 시스템에 배터리를 접속하는 방법에 따라 시스템의 특성이 달라지게 된다.

따라서 본 논문에서는 연료전지(Fuel Cell; FC) 배터리 하이브리드 시스템에 적용 가능한 구조들을 효율, 구성 소자 수, 출력 전압 제어 성능, 배터리 선정 고려 요소, 피크 부하 대응 능력, 제어 용이성 및 부하 변동에 따른 제어 속응성의 관점에서 비교 분석하고 그에 따른 설계 가이드라인을 제시한다. 타당성 검증을 위해 설계 가이드라인에 따라 실제 시스템 설계 사양의 최적 구조를 선정하고, PSIM 시뮬레이션을 통해 제안된 설계 가이드라인의 타당성을 검증한다.

2. 본 론

2.1 FC-배터리 하이브리드 시스템 구조 비교 분석

연료전지는 동특성이 느리고 수소 공급 하에서만 발전이 가능하기 때문에 이를 보상하기 위해 대부분의 연료전지 시스템은 배터리나 슈퍼 커패시터 등의 백업용 소자를 사용한다. 백업용 소자로 배터리를 적용한 연료전지 시스템에서는 그림 1과 같은 세 가지 구조를 사용할 수 있다. 시스템의 구조에 따라 효율, 구성 소자 수, 출력 전압 제어 성능, 배터리 선정 고려 요소, 피크 부하 대응 능력, 제어 용이성 및 부하 변동에 따른 제어 속응성 등과 같은 다양한 특징들에 있어서 차이점이 발생한다. 따라서 구조 선정 가이드라인을 제공하기 위하여 7가지 기준에 대한 구조별 성능을 비교 분석하였다.

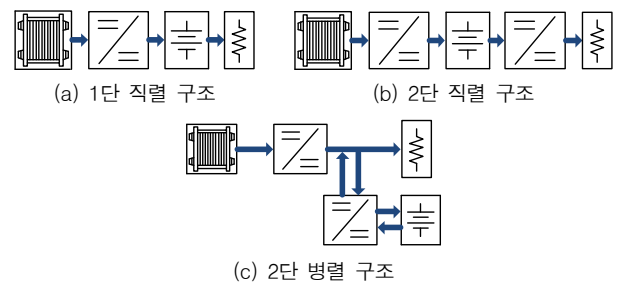


그림 1 FC-배터리 하이브리드 시스템에 적용 가능한 배터리 접속 구조
Fig. 1 Battery connection structures for FC-battery hybrid system

• 효율

연료전지 배터리 하이브리드 시스템에서 주 동작 영역은 연료전지에서 부하로 전력을 전달하는 모드이다. 주 동작 영역에서 1단 직렬 구조와 2단 병렬 구조의 전력 흐름은 1Stage를 지나는 반면 2단 직렬 구조에서는 2Stage를 지나므로 2단 직렬 구조는 타 구조에 비해 상대적으로 효율이 낮다.

• 시스템 구성 소자 수 및 출력 전압 제어 성능

시스템의 DC DC 컨버터의 개수는 시스템 구성 소자 수와 출력 전압 제어 성능에 직접적인 영향을 미친다. 1단 직렬 구조는 가장 간단하지만 배터리와 부하의 전압이 동일하므로 출력 전압의 능동 제어가 불가능하다. 2단 직렬 및 병렬 구조는 배터리와 부하 사이에 컨버터가 존재하므로 출력 전압을 정전압으로 제어할 수 있다.

• 배터리 선정 및 피크 부하 대응 능력

1단 직렬 구조는 배터리의 공칭전압이 출력 전압과 비슷한 전위로 선정되어야 하지만 2단 직렬 및 병렬 구조는 배터리와 연결된 컨버터 토폴로지에 따라 승압 및 강압이 가능하기 때문에 배터리의 전압 선택이 비교적 자유롭다. 또한 각 직렬구조는 배터리의 출력이 정격 부하를 감당할 수 있어야 하고 시스템의 피크 출력이 배터리의 피크 출력으로 제한된다. 반면 2단 병렬 구조는 연료전지와 배터리가 독립 전압원 이므로 배터리의 사용 목적에 따라 배터리의 용량을 선정 할 수 있으며 피크 부하 대응 능력은 연료전지와 배터리의 피크 출력의 합과 같다.

• 제어 용이성 및 부하 변동에 따른 제어 속응성

2단 병렬 구조는 양방향 컨버터를 사용하므로 조건에 따라 충/방전 제어를 수행해주어야 하고, 주 동작 영역에서는 연료전지가 주로 부하를 담당하므로 부하 급변에 대한 속응성이 상대적으로 느리다.

표 1 연료전지-배터리 하이브리드 시스템 구조별 성능

Table 1 Performance according to the structures of FC-battery hybrid system

구조	효율	시스템 소자 수	출력 전압 제어 능력	배터리 선정	피크 부하 대응 능력	DC DC 컨버터 제어 용이성	부하 급변 제어 속도성
1단 직렬 구조	높음	적음	능동 제어 불가	전압 및 정격 고려 필요	배터리정격	단순	빠름
2단 직렬 구조	낮음	많음	제어 가능	배터리 정격 고려 필요	배터리정격	단순	빠름
2단 병렬 구조	높음	많음	제어 가능	토폴로지에 따라 선정 고려 필요	연료전지 + 배터리 정격	복잡	보통

반면에, 직렬 구조들은 단방향 구조이기 때문에 컨버터의 제어가 단일 동작으로 단순하고 배터리에서 부하로 전력을 전달하므로 2단 병렬구조에 비해 부하 속도성이 빠르다.

연료전지 배터리 하이브리드 시스템의 구조 선정 가이드라인을 위한 각 구조별 성능 비교 분석 결과를 표 1에 정리하였다. 이를 통해 주어진 설계 사양에 가장 적합한 연료전지 배터리 하이브리드 시스템 구조를 선정할 수 있다.

2.2 가이드라인에 따른 시스템 구조 선정

표 2 시스템 설계 사양

Table 2 Design specifications

출력 전압	12±5% [V]
시스템 정격 출력	150 [W]
시스템 피크 출력	200 [W]

2.1절에서 제시한 가이드라인의 타당성을 검증하기 위해, 표 2와 같은 설계 사양이 주어진 경우를 고려해 본다. 각 구조별로 설계사양을 만족시켜주기 위해 적절한 컨버터 토폴로지를 선정하였고, 이에 대한 구조별 시스템 구성도는 그림 2와 같다.

표 1에 따라 효율을 비교하면 2단 직렬 구조는 주 동작 영역에서 전력이 2Stage를 지나므로 타 구조에 비해 효율이 낮은 약점을 가진다.

2단 구조들은 두 개의 컨버터가 사용되므로 시스템 구성 요소가 1단 구조에 비해 복잡하지만, 배터리에 연결된 컨버터에 의해 출력 전압을 능동적으로 제어할 수 있으므로 정전압 제어 성능에서 유리하다.

각 구조에서 배터리의 전압은 컨버터의 토폴로지에 따라 선정될 수 있다. 1단 직렬 구조 및 2단 직렬 구조는 피크 출력을 만족시키기 위해 정격 200W이상의 배터리 용량을 선정해야 하지만 2단 병렬 구조는 정격 출력과 피크 출력의 차이인 50W 이상의 배터리를 선정하여 설계 사양을 만족시킬 수 있다.

직렬 구조에서 컨버터에서는 단방향의 전력흐름만 발생하므로 제어가 단순하고 부하 속도성이 좋지만, 병렬 구조는 연료전지, 부하 및 배터리의 조건에 따라 양방향 컨버터의 충전 및 방전 제어를 선택해야 하므로 부하 급변에 따른 제어 속도성이 상대적으로 떨어진다.

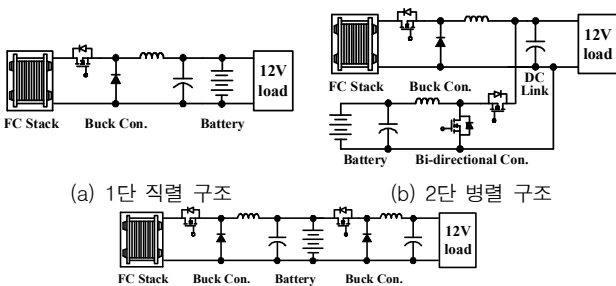


그림 2 각 시스템 구조 별 토폴로지
Fig. 2 Topology of each system structure

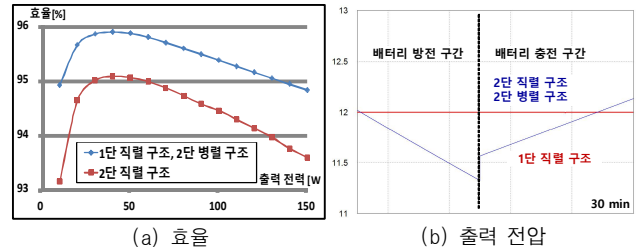


그림 3 각 구조 별 효율 및 전압 제어 성능
Fig. 3 Efficiency and output voltage regulation performance

위의 비교 결과를 종합하면 2단 병렬 구조가 부하 급변 시 속도성이 느리고 제어가 복잡하다는 단점을 가지고 있지만, 전력 변환 시스템에서 가장 중요한 요소인 효율, 정전압 출력 측면에서 유리하고 배터리 선정 자유도가 높아 시스템의 부피를 줄일 수 있기 때문에 가장 적합한 구조로 판단된다.

2.3 시뮬레이션

선정한 구조의 적합성을 검증하기 위해, PSIM 9.0 시뮬레이션을 활용하였다. 실제 전력반도체 소자의 데이터 시트를 사용하여 PSIM의 Thermal Module을 구성하였고, [1]에서 제안된 방법을 통해 인덕터에서 발생하는 손실을 도출하였다. 그림 3(a)는 그림 2의 토폴로지별 효율을 나타낸다. 시뮬레이션 결과 2단 직렬 구조가 2단 병렬 구조 및 1단 직렬 구조에 비해 전부하 영역에서 1%내외로 효율이 떨어짐을 확인할 수 있다. 그림 3(b)는 배터리의 충/방전시의 출력 전압 파형이며 1단 직렬 구조는 배터리 전압의 최대 및 최소 제한 값을 두어 제어하였다. 시뮬레이션 결과 2단 구조들은 정전압 제어가 가능하지만, 1단 직렬 구조는 배터리의 충전/방전 상황에 따라 출력 전압이 변하게 된다. 따라서 2.2절에서 선정된 구조가 표 2의 사양에 가장 적합하다는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 연료전지 배터리 하이브리드 시스템에 적용 가능한 구조를 비교 분석하고, 주어진 사양에 가장 적합한 연료전지 배터리 하이브리드 시스템의 구조를 선정하기 위한 가이드라인을 제시하였다. 또한 제안된 가이드라인의 타당성을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

본 연구는 지식경제부 지원 하에 수행된 신재생에너지융합원천기술개발사업 (No 20113010030020)의 연구결과입니다

참 고 문 헌

[1] 성원용, 오창열, 조남진, 이병국, "Multi function Block을 이용한 xEV용 고성능 DC DC 컨버터의 손실분석", 대한전기학회 춘계학술대의 논문집, pp. 415 417, 2012.