

견인전동기 특성을 고려한 배터리 충방전 토폴로지에 관한 연구

정노건\*, 이 환\*, 박철민\*, 장상훈\*\*, 김재문\*  
한국교통대\*, 한국철도기술연구원\*\*

A Study on the Battery Charge-Discharge Topology considering Traction Motor Characteristic

No-Geon Jung\*, Hwan Lee\*, Chul-Min Park\*, Sang-Hoon Chang\*\*, Jae-Moon Kim\*  
Korean National University of Transportation\*, Korea Railroad Research Institute\*\*

**Abstract** - 전세계적으로 신재생 에너지를 활용한 기술에 대한 관심이 대두되고 있는 가운데, 국내외에서 활발히 연구 중인 연료전지를 철도차량에 적용하는 연구를 수행하였다. 연료전지를 동력으로 사용하는 철도차량시스템은 계통에서 전력을 공급받아 구동하는 철도차량과 달리 배터리를 적용한 토폴로지를 사용한다. 배터리는 역행시 철도차량 견인전동기를 구동하거나 회생시 발생하는 전류를 저장한다. 본 논문은 수소 연료전지 발전시스템을 적용시 사용되어야하는 배터리 시스템의 충방전 토폴로지에 대해 분석하였다. 견인전동기 역행 및 회생특성을 반영하여 배터리 충방전 토폴로지 적용가능성을 분석하였고 시뮬레이션을 통해 제어 특성을 확인하였다.

1. 서 론

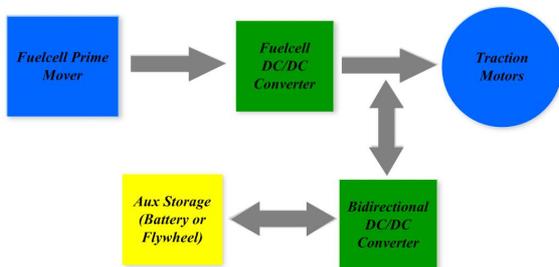
최근 화석연료의 고갈로 자원 확보 경쟁이 심화되고 있고 고유가가 지속되고 있다. 이에 에너지 공급방식의 다양화가 요구되고 있으며 기후변화협약 등 환경규제에 대응하기 위하여 청정에너지의 비중을 확대하는 것이 중요하다. 그렇기 때문에 신재생에너지에 대한 관심이 점점 더 증가하고 있다. 그 중에서도 특히 수소연료전지는 전기화학 반응을 통해 화학에너지를 전기에너지로 변환시키는 에너지원으로 이를 동력으로 이용한 철도기술의 연구가 국내외로 이루어지고 있다.[1]

연료전지를 동력으로 사용하는 시스템은 계통에서 전력을 공급받아 구동하는 철도차량과 달리 배터리를 사용한다. 이는 회생시 견인전동기에서 발생하는 전력이 연료전지발전시스템에 영향을 주게 될 경우 연료전지가 소손 될 위험이 있기 때문이다. 그렇기 때문에 연료전지 시스템에 영향을 주지 않고 이를 배터리를 충전한다. 또한 역행 시 충전된 배터리를 이용하여 견인전동기를 구동하기도 한다.[2]

본 논문은 수소연료전지 발전시스템을 적용시 사용되어야하는 배터리 시스템의 충방전 토폴로지에 대해 분석하였다. 견인전동기 역행 및 회생 특성을 반영하여 배터리 충방전 토폴로지 적용가능성을 분석하였고 시뮬레이션을 통해 제어 특성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 연료전지적용 철도차량시스템 구성



<그림 1> 연료전지 동력 철도차량시스템 블록도

그림1은 연료전지를 동력으로 하는 철도차량시스템의 블록도이다. 수소 연료전지에서 나온 전압은 통상적으로 인버터 입력으로 사용하기에 낮기 때문에 승압형 컨버터를 통해 승압을 한 뒤 인버터 입력으로 인가한다. 이후 인버터를 동작하여 견인전동기를 구동한다. 승압형 컨버터와 인버터 사이의 DC-Link에 양방향 컨버터를 병렬로 연결하고 배터리를 적용하여 기동이나 회생 시에 배터리를 사용할 수 있는 시스템이다.

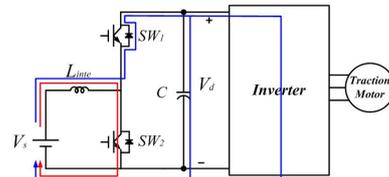
본 논문에서는 그림1의 양방향 컨버터를 이용하여 배터리 충방전 토폴로지를 구현하였다.

2.2 양방향 컨버터를 이용한 배터리 충방전 시스템

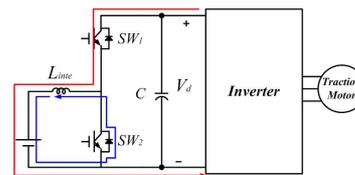
그림2는 배터리의 직류 전원을 더 높은 직류 전원으로 연결하면서 양방향으로 전력을 전달할 수 있는 양방향 DC/DC 컨버터이다. 전원에 흐르는 전류  $i_s$ 가 연속이고 스위치  $Q_1$ 의 통류율(Duty Ratio)이  $D$ 이고 전압과 변환기 사이의 인덕턴스의 저항을 무시한다면 평균적으로 식(1)이 성립한다.[3]

$$V_s + L_{inverter} \frac{di_s}{dt} = V_d D \tag{1}$$

그림 2(a)는 역행시 배터리에서 양방향 컨버터를 거쳐 DC-Link 단으로 흐르는 전류의 흐름도를 나타내었다. 이때 승압 토폴로지가 적용되며 이는 견인전동기가 역행을 준비하거나 역행시 사용하는 토폴로지를 나타내는 회로이다. 그림 2(b)는 DC-Link 단에서 양방향 컨버터를 거쳐서 배터리로 흐르는 전류의 흐름도를 나타내었다. 역행시의 토폴로지와 다르게 강압 토폴로지가 적용되며 견인전동기가 회생시 적용된다.



(a) 역행시 전류흐름도



(b) 회생시 전류흐름도

<그림 2> 양방향 컨버터 전류흐름도

2.3 시뮬레이션

시뮬레이션은 연료전지 발전 차량 DC-Link가 양방향 컨버터와 배터리를 적용 전후를 비교하여 수행하였다. 역행시는 그림 2의  $SW_2$ 를 동작하여 시뮬레이션을 수행하였고 회생시는 그림 3의  $SW_1$ 를 동작하여 시뮬레이션을 수행하였다.

제어는 DC-Link단에 전압이 380[V]를 유지할 수 있도록 PI제어기를 이용한 전압제어를 적용하였다. 표1은 양방향 컨버터 시뮬레이션 파라미터이며 향후 연료전지발전시스템 적용 철도차량 축소형 모델을 제작시 적용할 수 있는 파라미터로 시뮬레이션을 수행하였다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

파라미터	데이터
배터리 전압	100[V]
DC-Link 전압	380[V]
인덕턴스	2[mH]
커패시턴스	1[mF]

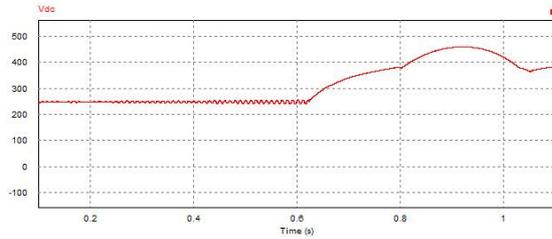
그림 3은 배터리 및 양방향 컨버터 적용유무에 따른 철도차량 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 그림3 (a)는 축소형 철도차량의 기준속도에 따른 실제 속도의 추종을 나타내었다. 1000[rpm]의 기준속도가 적용되어 역행모드가 시작되고 약 0.6[s]에 정상속도에 도달하게 된다. 또한 0.8[s]에 기준속도를 0으로 하여 제동을 하는데 이때 회생전력이 발생한다.

그림 3(b)는 배터리와 양방향컨버터를 제외한 철도차량의 DC-Link단을 나타내었다. 역행시 DC-Link전압인 380[V]를 유지하지 못하고 250[V]까지 전압강하가 발생하며 회생시 전압이 약 470[V]까지 급격하게 상승한다.

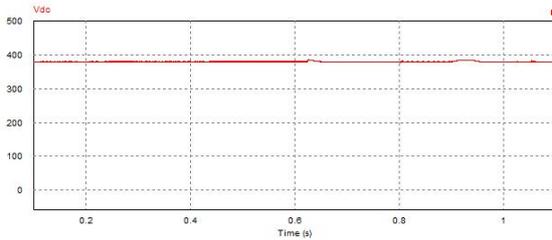
그림 3(c)는 배터리와 양방향컨버터를 적용한 철도차량의 DC-Link 전압을 나타내었다. 역행시 배터리에서 전압을 보상하도록 하여 380[V]를 유지하며 회생시에도 회생시점에 약간의 리플이 존재하지만 큰 전압이 발생하지 않는다.



(a) 축소형 철도차량 기준속도 및 실제속도



(b) 배터리와 양방향컨버터를 제외한 철도차량의 DC-Link 전압



(c) 배터리와 양방향컨버터를 적용한 철도차량의 DC-Link 전압

〈그림 3〉 배터리 및 양방향 컨버터 적용유무에 따른 철도차량 시뮬레이션

### 3. 결 론

본 논문은 수소연료전지 발전시스템을 적용시 사용되어야하는 배터리 시스템의 충방전 토폴로지에 대해 분석하였다. 견인전동기 역행 및 회생특성을 반영하여 배터리 충방전 토폴로지를 시뮬레이션을 통해 분석해 보았다. 전압제어를 통하여 충방전 토폴로지의 가능성을 확인하였다. 향후 축소형 시스템을 구축하여 실제 견인전동기 부하의 경우의 동작 특성을 확인하고자 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 정노건, 장진영, 창상훈, 김동만, 김양수, 김재문, “연료전지 발전시스템을 이용한 철도적용 선행연구”, 대한전기학회 학술대회 논문집, pp.270-271, 2013
- [2] 김재문, 정노건, 장진영, 김양수, 박철민, 창상훈, “수소연료전지 발전시스템을 적용한 3kW급 인터리브 컨버터 제어”, 대한전기학회 학술대회 논문집, 2014
- [3] 설승기, “전기기기 제어론”, 홍릉과학출판사, 2007