

철도전력망을 이용한 EV DC 충전설비 배터리 잔존용량에 따른 충전효율 가변성 연구

김기석*, 정호성**, 박 영**, 박찬배**, 박철민**, 장길수*
 고려대학교*, 한국철도기술연구원**

A Study on Charging Efficiency Variability by Utilizing Remaining Capacity of EV DC Charging Facility Batteries of Railway Electric Power Grids

Ki-Suk Kim*, Ho-Sung Jung**, Young Park**, Chan-Bae Park**, Chul-Min Park**, Gil-Soo Jang*
 Korea University*, Korea Railroad Research Institute**

Abstract - Recently, while interests on supply of electric vehicles have increased there still are insufficient charging facilities. As a solution to this matter, using electric power grids that constantly retain about 30~50[%] residual power is being considered. Therefore proposed in this paper railway, is a method to establish a charging infrastructure to utilize railway DC power grids. In addition we designed a high-speed DC charging system, and simulated improvements of the charging structure's charging efficiency according to remaining capacity of batteries.

1. 서 론

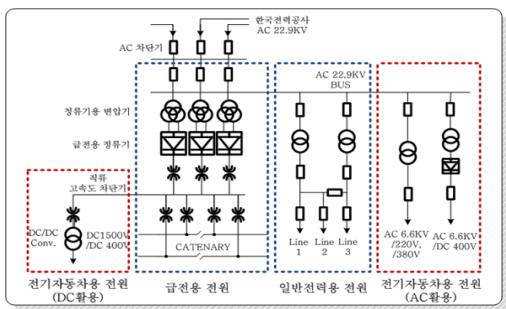
최근 고유가, 환경오염의 심화 등의 이슈와 맞물리면서 전기차에 대한 관심이 높아졌다. 정부도 작년 12월 '그린카 발전 로드맵' 발표를 통하여, 전기차 산업 육성에 대한 의지를 표명하였고, 2015년까지 소형차에서 버스에 이르는 다양한 전기차를 양산함과 동시에 충전 인프라 구축을 통해 전기차 보급을 앞당긴다는 계획이다. 하지만 충전 인프라 구축이 선행되지 않고서는 전기차의 보급과 시장형성을 기대하기 어렵다. 따라서 최적의 충전 인프라 구축에 대한 해결책으로 상시 30~50[%] 정도의 여유전력을 보유하고 있는 도시철도 시설과 철도전력망을 활용하는 방안이 대두되고 있다. 따라서 본 논문은 철도 DC 전력망을 이용한 EV 충전인프라 구성 방안을 제시하고, 충전설비의 효율을 향상시킬 수 있는 방안을 찾아보고자 철도 DC 전력망에 적합한 DC 충전설비를 설계하여 전기자동차용 배터리 등가모형을 통한 충전 시뮬레이션을 통해 배터리 잔존용량에 따른 철도 DC 충전설비의 충전효율 가변성을 알아보고자 한다.

2. 본 론

2.1 철도 DC 전력망을 이용한 EV 충전인프라 구성

철도전력망을 이용한 충전인프라 구성 방안으로 AC전력을 활용하는 방법과 DC전력을 활용하는 방법이 있다. AC전력을 활용하는 방법은 일반전기설비에 전력을 공급하는 배전계통에서 전압을 변환하여 충전기에 전력을 공급하는 방식이고, DC전력을 활용하는 방법은 정류기 2차 측의 직류 1500[V]에서 급전모선을 인출하고 DC/DC 컨버터를 이용하여 충전 전력을 공급하는 방식이다. <그림 1>은 철도전력망을 이용한 충전시스템 개념도이다.

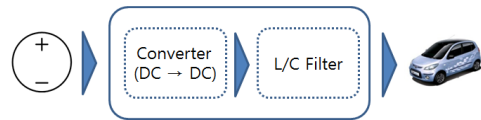
전기자동차 급속충전을 위한 직류 전력을 공급하기 위해 DC 1,500[V] 급전모선에서 전력공급선을 인출하고 DC/DC 컨버터를 이용하여 급속충전을 위해 요구되는 직류 전압으로 변환하여 전력을 공급한다. 또한 충전 부분에서의 고장으로 인해 전동차 운행에 지장이 없도록 DC/DC 컨버터 일차 측에 직류 고속도차단기 및 보호계전기 등의 보호설비를 구성한다.



<그림 1> 철도전력망을 이용한 충전시스템 개념도

2.2 DC 급속충전 시스템

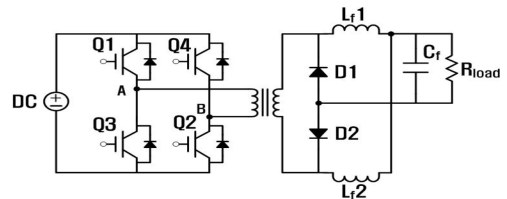
DC 급속충전 시스템의 전력변환 장치는 철도 직류전력을 입력받기 때문에, AC 급속충전 시스템의 AC/DC 컨버터가 필요 없다. 따라서 직류전력을 입력받아 DC/DC 컨버터를 통해 전기자동차 배터리의 충전전압 레벨로 변경하여 충전을 하며, <그림 2>는 DC 급속충전기 전력변환장치 구성도이다.



<그림 2> DC 급속충전기 전력변환장치 구성도

2.3 철도전력망용 EV 충전설비 설계

전기자동차 급속충전기에 사용되는 DC/DC 컨버터는 일반적으로 고압을 사용하기 때문에 절연형 컨버터를 사용한다. 하지만 컨버터는 스위칭 주파수가 증가함에 따라 스위칭 손실이 증가하여 시스템 효율을 저하시키는 요인으로 작용한다. 또한 이러한 스위칭 손실의 절감을 위해 사용되는 스너버 또는 보호회로로 인해 추가적인 제작비용의 손실이 초래된다. 풀 브리지 컨버터는 두 쌍의 스위치가 동시에 ON/OFF 동작을 하며, 스위치가 모두 OFF 되었을 때 부하의 전류는 다이오드 정류기를 통해 순환되며 이때 변압기의 누설인덕턴스와 스위칭 소자의 기생유도 커패시턴스와의 기생공진현상이 발생한다. 이러한 기생공진에 의한 영향을 줄이기 위한 위상전이 풀 브리지 컨버터는 안정한 영전압 스위칭 동작영역을 확보하기 위해 위상을 지연시킴으로써 변압기 이차 측 전압이 0인 시간동안 일차 측 스위칭중 하나가 항상 ON상태가 되도록 제어한다. 이는 변압기의 누설인덕턴스와 스위칭 소자의 출력 커패시턴스의 기생공진문제를 해결할 수 있도록 누설인덕턴스에 따른 전류를 순환시키기 위한 경로를 제공해 준다. 따라서 별도의 스너버 회로가 필요치 않게 된다. 따라서 본 논문에서 사용되는 DC/DC 컨버터는 위상전이 풀 브리지 토폴로지를 선정하여 설계하였다. <그림 3>은 위상전이 풀 브리지 DC-DC 컨버터의 블록 다이어그램이다.



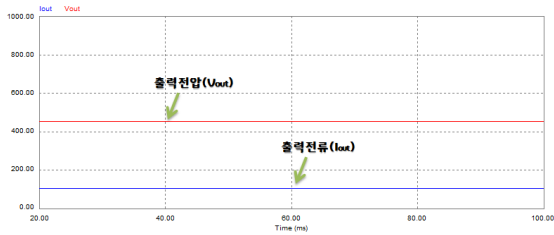
<그림 3> 위상전이 풀 브리지 DC-DC 컨버터

DC 급속충전기 시스템 사양은 <표 1>과 같으며, 출력용량은 50[kW], 출력전압과 전류는 기존의 AC 급속충전 시스템과 같은 DC 450[V] / 110[A]로 설계하였다.

<표 1> DC 급속충전시스템 설계 사양

항목		DC 충전설비
출력	용량	50 [kW]
	전압	DC 450 [V]
	전류	DC 110 [A]
	효율	> 90 [%]
입력	전압	DC 500 [V]
	전류	< 100 [A]
	역률	> 0.9

<그림 4>는 PSIM을 이용해 설계된 DC 급속충전기 시스템의 출력 전압과 전류의 파형이다.



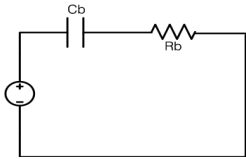
<그림 4> DC 급속충전시스템 출력 전압, 전류

2.4 EV 리튬이온 폴리머 배터리 등가모델

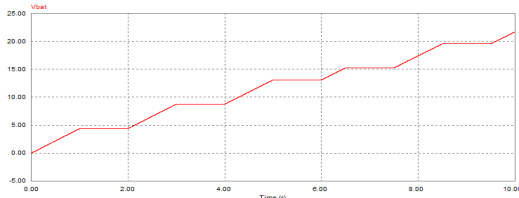
본 논문에서는 전기자동차 배터리의 충전용량에 따른 충전설비의 효율변화를 알아보기 위해 현대 블루온을 기준으로 리튬이온 폴리머 전지를 모델링하여 시뮬레이션 하였다. 블루온의 경우 SK에너지의 리튬이온 폴리머 배터리를 사용하며, 1회 충전 주행거리 140[km], 용량 16.4[kWh]으로 배터리 전압은 360[V], 급속충전시간은 약 25분이다.

배터리를 모델링하기 위한 여러 가지의 리튬이온 폴리머 배터리의 등가 임피던스 모델이 존재하지만 복잡한 배터리 모델링 방법 대신에 <그림 5>와 같이 저항-커패시터 직렬회로로 리튬이온 폴리머전지를 등가화 한다. 등가모델에서 C_b 의 초기전압은 0이며 V_b 는 이론상으로는 커패시터의 초기전압이고 충·방전 시스템에서는 리튬전지의 초기값이 된다. 리튬이온 폴리머 배터리의 등가모델에서 커패시터 C_b 는 $Q=CV$ 공식으로부터 추출 가능하다.

또한, 리튬이온 폴리머전지 모델에서의 R_b 값을 결정하기 위해서는 실제 리튬이온 폴리머 전지의 충전시험을 수행하여 시정수 값을 구하여야 하지만 본 연구에서는 간단한 추세를 알아보기 위한 연구이므로 리튬이온 폴리머 전지의 일반적인 저항값인 50[mΩ]을 기준으로 시뮬레이션 하였다. <그림 6>는 PSIM을 이용한 배터리 등가모델의 충전 시뮬레이션 파형의 일부로 충전설비를 통한 배터리의 충전여부 확인을 위해 실시하였다.



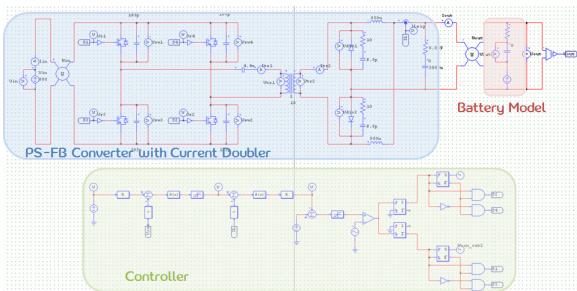
<그림 5> 배터리 등가모델



<그림 6> 리튬이온 폴리머 전지 충전 시뮬레이션 파형

2.5 배터리 잔존용량에 따른 충전설비 효율

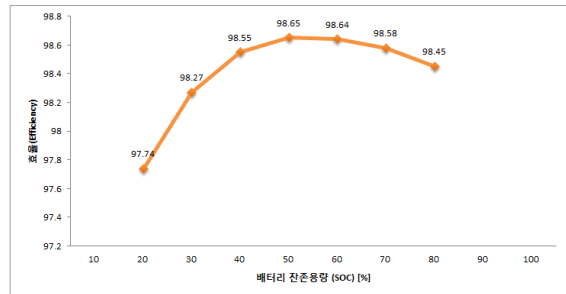
배터리의 경우 급속 충전의 경우 SOC 80[%] 충전이 기준이므로 SOC 20~80[%]까지 10[%] 단위로 시뮬레이션 하였으며, PSIM을 이용하여 DC충전설비 설계와 배터리 등가모델을 연결하여 시뮬레이션 하였다. <그림 7>는 PSIM을 이용하여 시뮬레이션 한 그림이다. 또한 <표 2>는 배터리 잔존용량에 따른 충전 효율을 나타낸 결과표이며, <그림 8>은 충전 효율 그래프이다.



<그림 7> DC 급속충전기 전력변환장치 Simulation

<표 2> 배터리 잔존용량에 따른 충전 효율

SOC[%]	20	30	40	50	60	70	80
충전설비 효율	97.74	98.27	98.55	98.65	98.64	98.58	98.48



<그림 8> 배터리 잔존용량에 따른 충전 효율 그래프

3. 결 론

본 논문은 철도전력망을 이용한 EV 충전시스템의 구축방안을 제시하고 충전설비를 설계하여 배터리 잔존용량에 따른 충전설비의 충전효율의 가변성을 알아보기 위한 시뮬레이션이다.

제시된 철도전력망을 이용한 EV 충전시스템은 기존의 철도전력망을 이용하므로 추가적인 설비가 필요 없으며, 충전설비 또한 기존의 방식에서 AC/DC 전력변환기를 제거할 수 있어, 경제적이며, 전기자동차 보급 활성화를 위한 충전인프라 구축시 시간단축을 할 수 있을 것으로 예상된다.

전기자동차 배터리 잔존용량에 따른 EV 충전설비 효율은 시뮬레이션 결과, SOC 50[%]일 때, 효율 98.65[%]로 가장 좋은 효율을 나타냈으며, 방전상태인 SOC 20[%]일 때 97.74[%], 충전상태인 SOC 80[%]일 때는 98.48[%]의 효율을 나타내었다. 배터리 충전상태와 방전상태의 효율 차이는 약 0.74[%], 최고 효율과 최저 효율의 차이는 0.91[%]로 배터리의 잔존용량에 따른 충전설비의 충전효율에 미치는 영향이 1[%] 미만으로 예상보다 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 추후 철도전력망을 이용한 EV 충전설비 구축시 충전 효율을 높이기 위해서는 다른 방안을 모색할 필요가 있을 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Nasser H.Kutkut, Glen Luckjiff, "Current mode control of a full bridge dc-to-dc converter with two inductor rectifier", Power Electronics Specialists Conference, PESC '97 Record, pp 203~209, 1997
- [2] 김기석, 정호성, 박영, 김형철, 박철민, 장길수, "철도전력망을 이용한 EV용 충전방식 설계 및 시스템 설치 분석 연구", 2011년도 대한전기학회 전기설비부문회 춘계학술대회 논문집, pp 8~10, 2011
- [3] 정호성, 박영, 김형철, 김기석, 박영재, 김성태, "철도전력망을 이용한 EV 충전인프라 구축 및 충전용 소요전력 예측", 2010년도 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp 46~53, 2010
- [4] 임재관, 아윤, 최재호, 정교범, "PSIM을 이용한 리튬이온 전지 모델링", 2010년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp 1002~1003, 2010
- [5] 원화영, 채수용, 홍순찬, "상대공간평균에 의한 리튬전지 충방전 시스템의 해석", 전력전자학회논문지 제14권 제5호, pp 387~396, 2009