

EMTP를 이용한 전기자동차용 급속 충전시스템 모델링

주성철, 심형욱, 이재원, 김철환
성균관대학교

The Modeling of EV Fast Charging System using EMTP

Seong-Chul Ju, Hyong-Wook Shim, Jae-Won Lee, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - There is a growing interest on Electric Vehicles due to global warming and greenhouse gas emission issue. Recently, new technologies of EV fast charging are continually being developed and power supply infrastructure technologies are being developed widely. In general, the fast charging system consists of AC-DC converter, DC-DC converter, and filters. This paper performs modeling of Electric Vehicle fast charging system using EMTP(Electromagnetic transient program).

1. 서 론

전 세계적으로 기후변화에 따른 친환경 자동차의 개발 및 보급이 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 전기자동차의 상용화에 앞서 가장 먼저 해결되어야 하는 문제는 충전 인프라의 구축이다. 전기자동차의 배터리에 전력을 공급하는 데 있어서 운전자의 전기자동차 충전에 대한 불편과 불안감을 없애 줄 수 있는 적절한 수준의 충전시스템이 구축되어야 한다.

전기자동차에 전력을 공급하는 충전시스템은 가정의 110V 또는 220V를 이용하는 '가정용 충전설비'와 도심지나 도로휴게소 등에 설치되어 다수 이용자를 위해 구축되는 '공용 및 상업용 충전설비'로 분류된다. 이러한 충전시스템은 4가지 모드로 나누어진다.

모드 1 충전은 16A를 초과하지 않으며 250V 교류 단상 또는 480V 교류 3상을 초과하지 않는 연결 방식이며 모드 2 충전은 전원선과 보호접지선을 사용하여 32A를 초과하지 않으며 250V 교류 단상 또는 480V 교류 3상을 초과하지 않는 교류전원망에 연결하는 방식이다. 모드 3 충전은 교류전원망에 영구적으로 연결된 장치에서 제어감시 기능이 제어장치까지 확장된 전용 전원공급장치를 사용하여 교류 전원망에 연결된다. 마지막으로 모드 4 충전은 제어 감시 기능이 교류 전원망에 영구적으로 연결된 장치까지 확장된 오프보드(Off-Board) 충전시스템을 사용하여 교류전원망에 연결한다.

최근 들어 국내외에서 충전시스템에 대한 개발과 실증이 활발히 진행되고 있다. 충전방식도 다양해지고 있으며 가정이나 대형할인점 주변의 충전소 확충, 급속 충전, 배터리 교체 방식, 무선 충전 방식 등의 다양한 대안이 고려되어 연구되고 있다.

본 논문은 모드 4에 해당하는 급속 충전시스템을 모델링 하였다. 우선 급속 충전시스템의 사양 및 구성에 대하여 조사하였다. 이를 기반으로 EMTP/ATPDraw를 이용하여 급속 충전시스템을 모델링하였으며 시뮬레이션 결과 급속 충전시스템의 출력 전압 및 전류, 전압 리플 특성을 확인하여 모델링의 정확성을 검증하였다.

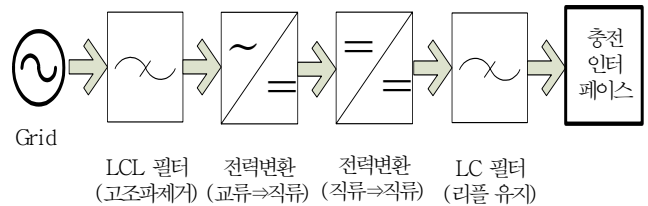
2. 급속 충전시스템

2.1 급속 충전시스템의 일반적인 구성 및 사양

가정용 충전설비는 교류 전원을 직류전원으로 변환하는 전력 변환장치로 간단히 구성되지만 고속도로 휴게소나 충전소에서 설치되는 급속 충전시스템은 좀 더 복잡한 구조를 가진다. 이러한 충전시스템을 설계할 때는 효율성, 비용, 크기, 무게, 신뢰성을 고려하여야 하며 특히 급속 충전시스템은 짧은 시간에 큰 전력을 전기자동차에 공급하기 때문에 차량과의 통신이 필수적이다. 또한, 사용자가 충전 상태 등을 확인할 수 있는 입출력표시장치와 충전케이블, 아웃렛과 같은 충전 인터페이스가 필요하며 사용자와 계통의 보호를 위한 안전 및 보호기구가 추가된다.

급속 충전시스템은 전력 변환장치도 복잡하게 구성된다. 교류 전원을 직류전원으로 변환하는 AC-DC 변환장치와 사용자의 요구에 맞게 다양한 출력을 제공하는 DC-DC 변환장치로 구성된다. 그리고 입력 전원부에는 고조파를 차단하기 위한 LC 또는 LCL 필터가 설치되며 출력부에는 전압 및 전류의 불필요한 리플을 제거하기 위한 L(인덕터)과 C(커패시터)가 설치된다. 일반적인 급속 충전시스템의 전력 변환장치 구성도는

그림 1과 같다[1].



<그림 1> 급속 충전시스템 전력 변환장치 구성도

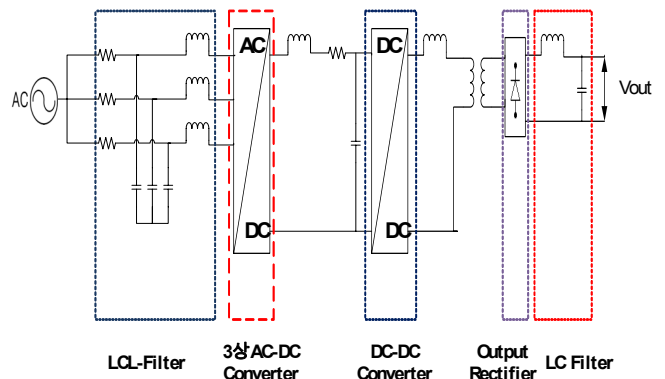
본 논문에서는 한국전력 50kWh급 급속충전시스템과 ABB의 Ultra Fast EV Charging Station의 사양 및 특성을 사용하여 모델링 하였으며 주요 사양은 표 1과 같다. 그리고 출력 전압의 리플은 5% 이내이며 출력 전류의 리플은 약 1% 이내 수준이다.

<표 1> 급속 충전시스템 사양 및 특성

항목	한국전력 (한국)	ABB (스웨덴)
입력 전압	3상 AC 380V ±10%, 60Hz	3상 AC 380~480V
동작 전압	DC 50~450V	DC 50~600V
동작 전류	DC 0~110A	DC 50~300A
효율	90% 이상	90% 이상
역률	98% 이상	60KVA이하

2.2 급속 충전시스템 모델링

2.1절에서 언급한 급속 충전시스템의 사양 및 특성을 토대로 EMTP를 이용하여 모델링 하였다. 참고문헌 [2]에서 제안한 급속충전시스템을 이용하여 모델링 하였다. 다음 그림 2는 모델링한 급속 충전시스템의 블록도를 나타내었다.



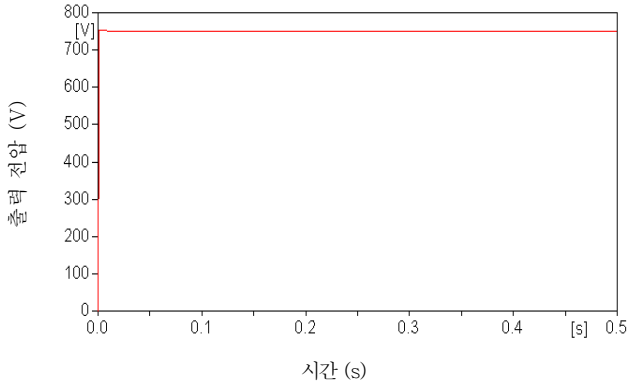
<그림 2> 급속 충전시스템 블록도

3. 시뮬레이션 및 결과 분석

3.1 AC-DC 컨버터 출력 전압

모델링한 급속 충전시스템의 성능 평가를 위하여 그림 3과 같이 AC-DC 컨버터의 출력전압을 먼저 분석하였다. 입력 전원은 교류 3상 380V, 60Hz를 사용하였고 IEC의 harmonic injection standards를 준수하기 위하여 LCL 필터를 사용하였으며 리플이 적은 6펄스 다이오드 정류기로 AC-DC 컨버터를 구성하였다. 그림 3과 같이 750V 수준의 일정

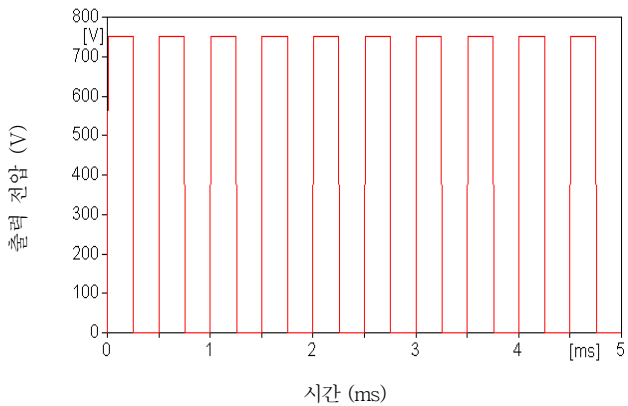
한 직류 전압이 출력 되어 모델링이 정상적인 것을 확인하였다.



〈그림 3〉 AC-DC 컨버터 출력 전압

3.2 DC-DC 컨버터 출력 전압

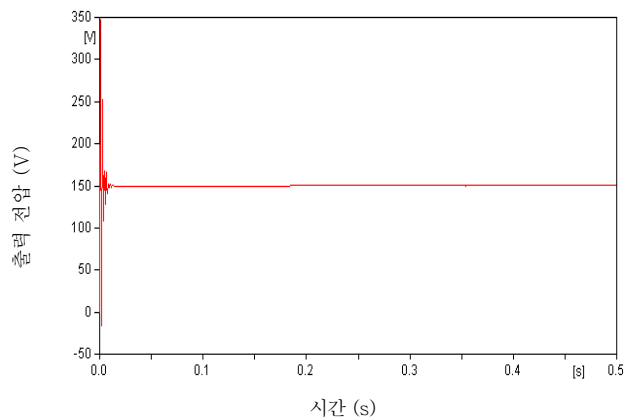
급속 충전시스템의 성능평가를 위하여 AC-DC 컨버터로부터 출력된 직류 750V를 DC-DC 컨버터에 인가하여 출력을 분석하였다. DC-DC 컨버터에는 PWM 컨버터를 구성하였다. 그림 4와 같이 직류 전압 파형이 정상적으로 변환되어 출력 되는 것을 확인하였다.



〈그림 4〉 DC-DC 컨버터 출력 전압 파형

3.3 급속 충전시스템 출력 전압

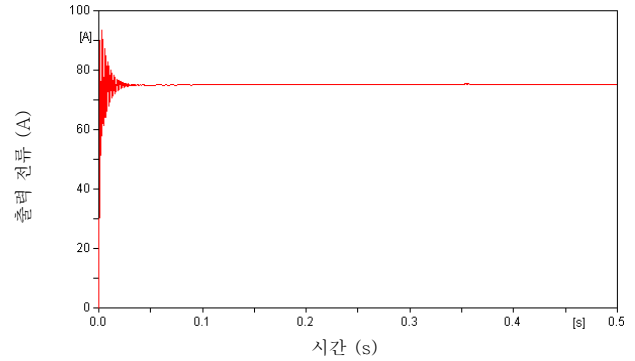
출력 전압 성능 평가를 위하여 그림 3과 그림 4와 같은 결과를 나타내는 AC-DC 컨버터 및 DC-DC 컨버터와 출력부에 주파수 변환기, 출력 정류기, LC 필터로 급속 충전시스템을 구성하였다. 그림 5와 같이 주파수 변환을 통한 양호한 직류 전압 150V가 출력되는 것을 확인하였다. 이 값은 표 1에서 동작 전압에 해당하는 값이다.



〈그림 5〉 급속 충전시스템 출력 전압 (150[V])

3.4 급속 충전시스템 출력 전류

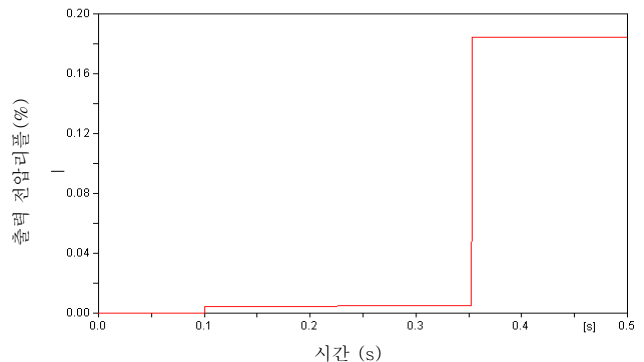
급속 충전시스템의 출력 전류는 그림 5의 출력 전압과 마찬가지로 그림 6과 같이 일정한 직류 전류 75[A]가 양호하게 나타나는 것을 확인하였다. 이 값은 표 1에서 동작 전류에 해당하는 값이다.



〈그림 6〉 급속충전시스템 출력 전류 (75[A])

3.5 급속 충전시스템 출력 전압 리플

급속 충전시스템의 출력 전압 리플이 그림 7과 같다. 출력 전압 리플의 최대값이 0.18[%]로 참조한 논문들의 1% 이내의 사양과 유사한 특성을 나타내는 것을 확인하였다. 전압의 리플을 측정하기 위하여 가장 큰 값을 가져오는 방식을 사용하였다.



〈그림 7〉 급속충전시스템 전압 리플 특성

4. 결 론

본 논문에서는 EMTF를 사용하여 급속 충전시스템의 일반적인 구성과 사양을 토대로 모델링 하여 AC-DC 컨버터 출력 전압, DC-DC 출력 전압, 급속 충전시스템의 출력 전압과 전류, 출력 전압의 리플 특성을 검증하였다.

급속 충전시스템에서 중요한 AC-DC 컨버터와 DC-DC 컨버터의 출력 전압이 각각 일정한 750[V] 직류 전압을 나타내는 것을 확인하였고 출력 전압과 출력 전류가 각각 150[V]와 75[A]로 양호하고 출력부 LC 필터의 정상 동작으로 출력 전압 리플이 0.8[%]인 것을 통해 참조한 문헌들의 충전시스템 사양을 만족하는 것을 확인하였다.

향후 전기자동차 배터리의 특성을 고려하여 충전 부하를 모델링 한 후 배전 계통과 연계하여 전력 품질과의 관계를 연구할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20104010100630-11-1-000)

[참 고 문 헌]

- [1] 정문규, “전기자동차용 급속충전시스템의 성능평가 및 특성분석”, 2010년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1116-1117, 2010
- [2] D. Aggeler, F. Canales, H. Zelaya - De La Parra, A. Coccia, N. Butcher, O. Apeldoorns, " Ultra-Fast DC-Charge Infrastructures for EV-Mobility and Future Smart Grids", Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe(ISGT Europe), 2010 IEEE PES, Page.1-8, 2010
- [3] 손홍관, “전기자동차 충전 인프라와 스마트그리드”, 대한전기학회, 전기기의 세계 제59권 제4호, pp. 47-53, 2010
- [4] 한국스마트그리드협회, “전기자동차 충전시스템 KS 표준(안)”, 2011