

## EMTP를 이용한 전기자동차 충전기용 AC/DC 컨버터 모델링

정동수, 심형욱, 주성철, 이재원, 김철환  
성균관대학교

### AC/DC Converter Modeling for EV Charging System using EMTP

Dong-Su Jung, Hyeong-Wook Sim, Seong-Chul Ju, Jae-Won Lee, Chul-Hwan Kim  
Sungkyunkwan University

**Abstract** - 최근 친환경적인 자동차 산업을 위해 지속적인 전기 자동차의 보급이 이루어지고 있다. 따라서 내연기관의 대체 교통수단으로 자리매김하기 위해 전기 자동차 충전소와 같은 적합한 인프라 구축이 필요하다. 전기 자동차 보급에 있어 가장 이슈가 되고 있는 부분은 전기 자동차의 충전시간이며 이 충전시간은 내연기관 차량의 주유 시간과 비교했을 때 비교적 길기 때문에 이를 최대한 단축시키기 위한 급속 충전 기술 개발이 시급하다. 본 논문에서는 전기 자동차용 급속 충전기에 대한 분석을 위해 EMTP(Electro Magnetic Transient Program)를 이용하여 3상 AC/DC 컨버터를 모델링하고 검증하였다.

#### 1. 서 론

전기 자동차는 엔진 구동을 통하여 동력을 얻는 기존의 내연기관 차량과는 달리, 전동기를 보조 및 주요 동력원으로 사용하며, 대용량 배터리를 통해 전동기를 구동시키는 에너지를 얻는다. 전기 자동차를 충전하는 방식은 크게 네 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째 방식은 가정용 충전 설비로 220V의 가정용 전원을 이용한 충전 형태이며 6시간 내외의 긴 충전 시간을 갖는다. 두 번째 방식은 급속 충전 방식을 사용하는 공용 충전 설비로 고출력을 통해 30분이내의 단시간에 충전을 가능하게 한다. 세 번째 충전 방식은 배터리 교환 방식으로 다른 방식에 비해 긴 항속 거리를 안정적으로 확보할 수 있다. 마지막으로 무선 전력 전송 기술을 기반으로 한 도로 충전 방식이 있다[1].

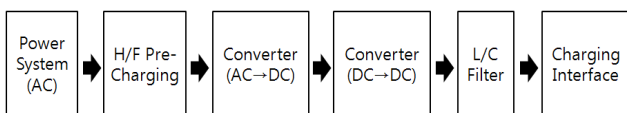
전기 자동차 충전방식에서 급속 충전 방식은 계통 전원의 AC 전원을 입력받아 전기 자동차 배터리의 상태에 상응하는 DC 출력을 이용하여 충전이 이루어진다. 현재 일본에서는 동경 전력이 3상, 입력전압 220[V], 출력 전압과 전력은 500[v], 50[kW] 수준의 급속 충전 방식의 충전 인프라를 구축하고 있으며 영국 역시 급속 충전기 네트워크를 2012년부터 3마일 범위를 기준으로 구축할 예정이다. 국내에도 한국 전력, LS 산전 등을 중심으로 급속 충전기에 대한 개발이 활발히 진행 중이고 정부는 제주 실증 단지를 설정하여 그 개발을 장려하고 있다[2].

지속적인 전기 자동차 보급에 따른 급속 충전 방식의 도입으로 전기 자동차 연계 시 전력계통에 미치는 영향 분석이 필요하다. 본 논문에서는 신뢰도 높은 전력계통 영향 분석을 위해 전행하여 EMTP(Electro Magnetic Transient Program)를 이용하여 급속 충전기의 AC-DC 컨버터 모델링하고 이를 검증하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 급속 충전 시스템의 구성 및 동작

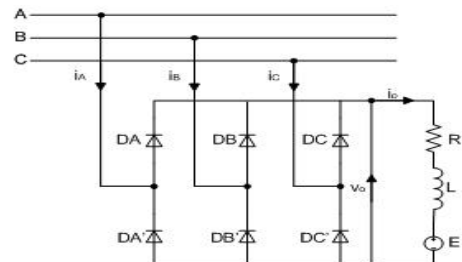
급속 충전기의 하드웨어적인 요소는 계통에서의 교류 전원을 직류 전원으로 변환해주는 전력 변환 장치, 사용자가 충전상태 등을 확인할 수 있도록 도와주는 입출력표시장치, 차량과 충전기 간의 충전케이블을 포함한 충전 인터페이스, 안전 및 보호기능을 구비한 외함 등으로 구분 될 수 있다. 현재 개발 중인 급속 충전 시스템은 30분 이내에 대용량 배터리의 80[%] 충전을 가능케 하며 급속 충전기의 충전 용량은 20[kW]에서 150[kW] 사이이다. 전력 변환 장치의 구성은 그림 1과 같다[3].



〈그림 1〉 전력변환장치의 구성도

##### 2.2 AC/DC 컨버터

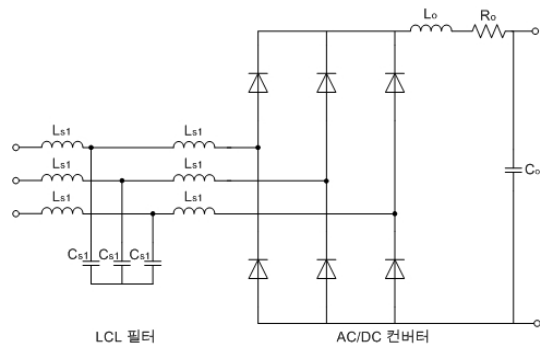
현재 가장 널리 사용되는 AC/DC 컨버터는 6-펄스 다이오드 정류기이다. 이 정류기는 고정된 직류 전압을 만들어내고 정류기의 전력 회로는 3상 브리지 구조를 가지며 6개의 전력용 다이오드로 구성되어 있다. 그림 2는 6-펄스 다이오드 정류기의 구조를 나타낸 것으로 다이오드 DA, DB, DC로 구성되는 공통-캐소드 군과 다이오드 DA', DB', DC'로 구성되는 공통-애노드군에서 각각 하나씩의 다이오드가 쌍을 이루어 도통하면서 3상 교류 전원을 직류 전원으로 변환한다. 6-펄스 다이오드 정류기의 출력 전압은 3-펄스 정류기보다 리플이 더 적고, 두 배 더 높은 특성을 가지며, 다이오드에 입력되는 전류 THD(Total Harmonic Distortion)는 0.31 수준이다[4].



〈그림 2〉 6-펄스 다이오드 정류기

##### 2.3 3상 AC/DC 컨버터 모델링

EMTP를 이용하여 전력계통에서 교류 전원을 입력받아 직류 전원으로 변환해주는 AC/DC 컨버터 모델링을 진행하였다. 컨버터를 통해 변환된 직류 전압은 2차 DC/DC 컨버터에 일정한 750[v]를 인가한다[5].



〈그림 3〉 EMTP를 이용한 AC/DC Converter 모델링

그림 3는 EMTP를 이용하여 모델링한 AC/DC 컨버터의 회로도이다. 모델링은 [4]에서 소개된 6-펄스 다이오드 정류기와 [6]에서 소개된 LCL 필터가 적용되었다. 좌측부분이 교류 전원으로 부터의 고조파 영향을 줄이기 위해 사용되는 LCL 필터이며 우측 부분이 LCL 필터를 거친 교류 전원을 직류 전원으로 변환시키는 AC/DC 컨버터이다.

##### 2.3.1 LCL 필터 모델링

대부분의 전력전자장비에서의 과형은 고조파 성분을 갖고 있

는데 이 고조파 성분은 전력용 콘덴서의 과열로 인한 손상, 인버터의 교류측에서의 전압파형 왜곡, 민감한 전자기기의 전기적 영향, 계측 시스템의 측정 에러 현상 등의 전기적 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 전력 품질을 향상시키기 위해선 고조파 성분을 감소시키기 위한 필터가 필요하다.

본 논문에서는 AC-DC 컨버터에서 발생하는 고조파를 억제하기 위해, 리플 감쇄 효과가 뛰어난 LCL 필터를 사용하였다. 일반적으로 입력 측에 인덕터만 사용할 경우, 입력 전류의 THD와 역률을 개선하기 위해 큰 인덕턴스를 갖는 인덕터가 필요하지만 커패시터를 삽입하여 LCL 필터의 공진 주파수가 입력 전원 주파수의 10배 이상이 되게 하면 큰 인덕턴스를 갖는 인덕터 없이도 이에 상응하는 효과를 갖게 된다. 표 1은 LCL 필터의 설정 값을 나타낸다[6].

**<표 1> LCL 필터의 설정 값**

| 설정 값            | 값       |
|-----------------|---------|
| 입력 단 인덕터 (Ls1)  | 2[mH]   |
| 컨버터 단 인덕터 (Ls2) | 3[mH]   |
| 입력 단 커패시터 (Cs1) | 2.2[μF] |

**2.3.2 3상 AC/DC 컨버터 설정 값**

3상 AC/DC 컨버터의 모델링을 위해 표 2와 같이 AC/DC 컨버터의 파라미터 값들을 설정하였다.

**<표 2> 3상 AC/DC 컨버터 파라미터**

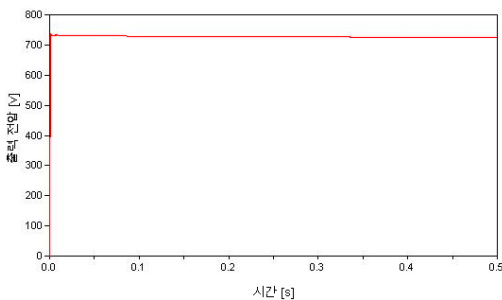
| 변수             | 값        |
|----------------|----------|
| 출력 단 다이오드 (Lo) | 0.1[mH]  |
| 출력 단 저항 (Ro)   | 0.005[Ω] |
| 출력 단 커패시터 (Co) | 120[μF]  |

**2.4 3상 AC/DC 컨버터 성능 결과 분석**

EMTP를 이용하여 모델링한 AC/DC 컨버터의 특성 분석을 위하여 출력 전압 파형, 출력 전압 리플 시험, 필터를 거쳐 다이오드에 입력되는 전류의 고조파 영향을 측정하였다.

**2.4.1 출력 전압 값**

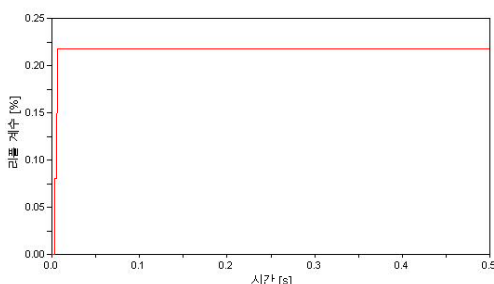
2차 DC/DC 컨버터에 입력 되어야 하는 직류 전압이 750 [v]이고 이 값의 오차를 ±10[%]라고 했을 때 출력 측 커패시터는 100 [uF]에서 140 [uF]의 값을 갖는다. 시뮬레이션에서의 평균 출력 전압은 730.29 [v]로 오차 범위 안의 값을 출력한다.



**<그림 4> AC/DC 컨버터 출력 전압**

**2.4.2 출력 전압 리플 계수**

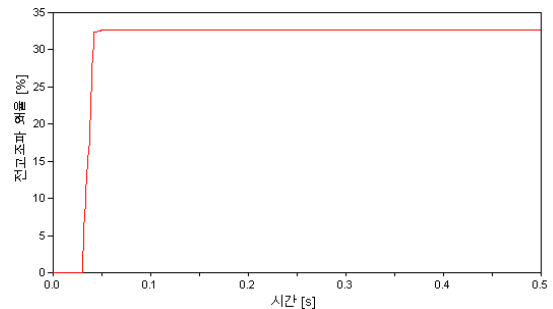
그림 5는 컨버터 출력 전압에서의 최대 리플 계수를 MODELS를 이용하여 얻은 그래프이다. 출력된 최대 리플 계수는 0.2[%]이고 이 값은 1[%] 미만으로 비교적 적은 값을 나타낸다.



**<그림 5> AC/DC 컨버터 출력 전압 리플 계수**

**2.4.3 다이오드 입력 전류 고조파 시험**

그림 6는 AC/DC 다이오드 정류기에서 LCL 필터를 거쳐 다이오드에 입력되는 선 전류의 전고조파 왜율을 나타낸다. 본문 2.2에서 소개한 6-펄스 다이오드 정류기의 특성에서 이 전고조파 왜율은 31[%] 수준이며 모델링을 통해서 얻은 평균 THD 값은 32.7 [%]로 유사한 값을 나타낸다.



**<그림 6> 다이오드 입력 전류 THD**

표 3은 EMTP를 이용하여 모델링한 3상 AC/DC 컨버터에 대한 성능 분석 결과이다. 결과로부터 전력변환장치에서 AC/DC 컨버터의 출력 전압은 DC/DC 컨버터의 입력 전원이 되며 이 값은 약 730[v]가 된다. 출력 전압 리플은 약 0.2[%] 미만의 값을 나타내며, LCL 필터를 거쳐 다이오드에 입력되는 전류 THD는 32.7[%] 수준이다. 시뮬레이션을 통해 알아본 출력 결과들은 모두 허용 오차 범위 안에서의 값을 출력하였다. 이를 통해 EMTP를 이용한 AC/DC 컨버터 모델링은 합리적으로 모델링 되었다는 것을 확인하였다.

**<표 3> 3상 AC/DC 컨버터 성능 결과**

| 성능 지표          | 결과 값      |
|----------------|-----------|
| 출력 전압          | 730.29[v] |
| 출력 전압 최대 리플 계수 | 0.2[%]    |
| 다이오드 입력 전류 THD | 32.7[%]   |

**3. 결 론**

본 논문에서는 LCL 필터와 AC/DC 컨버터를 EMTP를 통해 모델링하고 시뮬레이션을 통해 출력 전압 값, 출력 전압의 리플 특성, LCL 필터를 거쳐 다이오드에 입력되는 전류의 전고조파 왜율 특성을 확인하였다. 추후 검증된 전기 자동차 충전기의 모델링을 이용하여 실제 계통에 적용된다면 전기 자동차 연계 계통의 관리 및 운용 시스템을 개선시킬 것으로 사료된다.

**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] 테이코 산업 연구소, “국내외 전기차 충전 인프라 개발 동향 및 시장전망”, 2010  
 [2] 정문규, “전기자동차용 급속 충전기의 성능 평가 및 특성 분석”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1116~1117, 2010.7  
 [3] 하회두, 박정우, 김종무, “전기자동차 충전기술 현황 및 경제적 충전 인프라 구축”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집 F, pp.1886~1891, 1998.7  
 [4] Andrzej M. Trznhadlowski, “Introduction to Modern Power Electronics 2nd”, WILEY, 2011  
 [5] D.Aggeler, F. Canales, H. Zelaya, A.Coccia, “Ultra-Fast DC-Charge Infrastructures for EV-Mobility and Future Smart Grids”, Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, IEEE PES, Oct. 2010  
 [6] Marco Liserre, Frede Blaabjerg, Steffan Hansen, “Design and Control of an LCL-Filter-Based Three-Phase Active Rectifier”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 41, No.5, pp. 1281~1291, Sep./Oct. 2005