

전기자동차 충전에 의한 고조파 영향 분석

김지훈, 심형욱, 주성철, 이재원, 김철환
성균관대학교

Analysis of Harmonic Effects due to Charging of Electric vehicles

Ji-Hun Kim, Hyeong-Wook Sim, Seong-Chul Ju, Jae-Won Lee, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - 전기자동차 급속 충전기는 AC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터와 같은 전력변환장치, 차량과 충전기를 연결하는 충전인터페이스, 전력 공급설비, 차량과 충전기 상호 커뮤니케이션을 위한 통신망 등으로 구성된다. 따라서 전기자동차 급속 충전기의 전력변환장치로부터 전력 계통으로 역류, 전력품질 및 전력기기 등에 악영향을 미치는 고조파가 발생되기 때문에 이에 대한 적절한 대책이 필요하다. 본 논문에서는 전기자동차 연계에 따른 전력 계통에서의 고조파 영향을 분석하기 위해 ATPDraw/MODELS를 이용하여 급속 충전기의 전력변환장치인 AC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터를 모델링 하였고, 이를 한전 실 배전 계통에 연계하여 차수별 고조파 및 THD(Total Harmonic Distortion)를 분석하였다.

1. 서 론

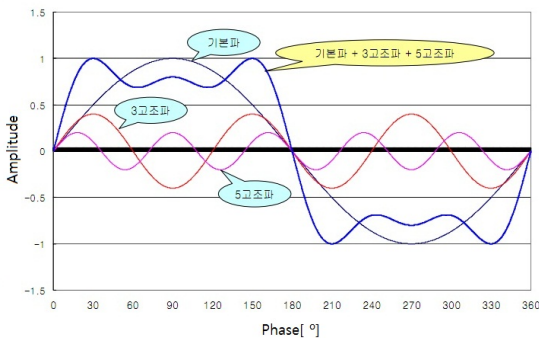
최근 국내의 자동차 산업에서는 석유와 같은 지하자원의 고갈 및 환경문제로 인해 전기자동차와 같은 친환경 이동수단에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 전기자동차의 경우 상용화를 위해서는 차량의 충전시간, 충전패턴 등을 고려한 안정적인고 효율적인 충전인프라 구축이 필요하기 때문에 충전시간 단축을 위한 급속 충전기의 개발이 가장 시급한 시점에 있다. 급속 충전기에 대한 연구와 더불어 고려해야 할 것은 향후 급속 충전기가 전력 계통에 연계되었을 때 계통에 미치는 영향이다. 특히 급속 충전기의 전력변환장치인 AC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터는 비선형 부하의 하나로서 전력 계통에 고조파를 발생시키는 원인이기 때문에 충전인프라를 구축할 때 전력 계통에 비선형 부하가 추가됨으로써 발생할 수 있는 영향은 신중히 검토되어야 한다.

본 논문에서는 전기자동차 충전으로 인한 고조파 영향 분석을 위해 급속 충전기의 전력변환장치인 AC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터를 ATPDraw로 모델링하였으며 이를 전력 계통에 연계 후 차수별 고조파 및 THD를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 고조파의 개요

사인파가 아닌 주기적 반복파형 즉 왜곡된 정현파는 그 기본주파수를 가지는 사인파와 사인파의 정수배에 해당하는 주파수를 가지는 파동으로 분해되는데 기본주파수의 정수배에 해당하는 주파수 성분을 고조파(Harmonics)라 한다. 기본주파수의 n배에 해당하는 주파수를 가지는 고조파를 n차 고조파라고 한다. 그림 1은 고조파의 구성에 대한 도식화된 파형이다[2].



<그림 1> 고조파

2.1.1 고조파에 의한 전압, 전류 왜곡

비선형 부하로 인해 발생된 고조파로 인하여 전력 계통에 미치는 영향은 전압 및 전류 파형의 THD를 측정함으로써 평가할 수 있다. 고조파로 인해 왜곡된 전압 및 전류 파형의 THD는 식(1), (2)로 나타낼 수 있다[3-4].

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100 [\%] \quad (1)$$

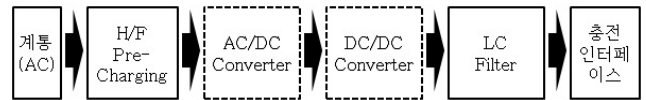
$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100 [\%] \quad (2)$$

V_1, I_1 : 기본파(60Hz)의 전압, 전류

V_n, I_n : n차 고조파의 전압, 전류

2.2 급속 충전시스템의 구성

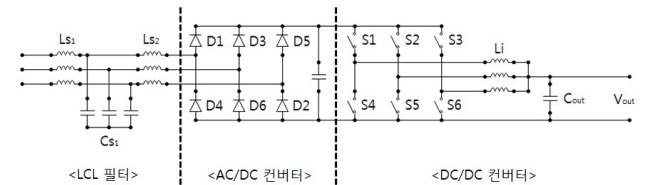
급속 충전시스템은 충전기와 전기자동차 간의 통신 및 물리적인 커넥터, 소켓, 플러그 등을 포함하지만 본 논문에서는 고조파의 주요 발생원인인 전력 변환장치에 대해 다루도록 한다. 급속 충전시스템의 전력변환장치는 그림 2와 같이 구성된다[5].



<그림 2> 전력변환장치의 구성

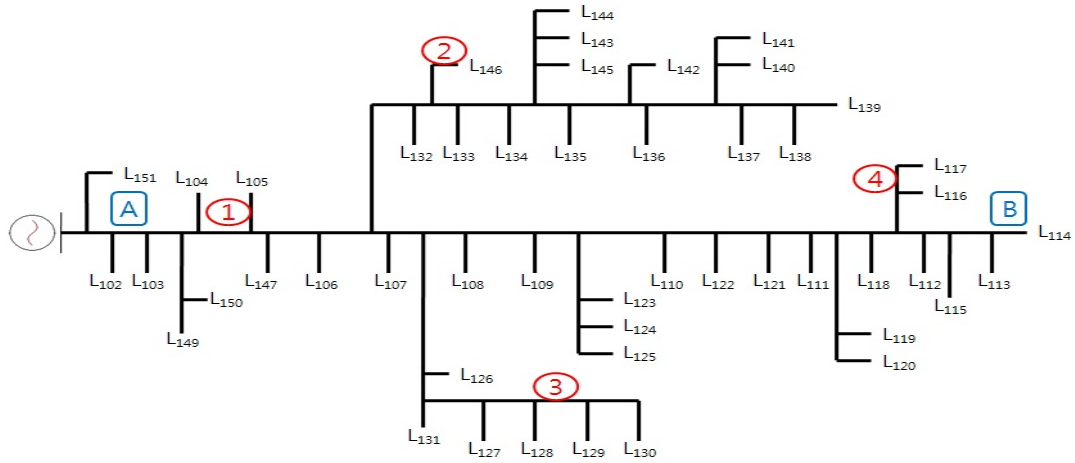
2.2.1 전력변환장치 모델링

3상 AC 380V의 전압으로 충전하는 급속 충전시스템의 전력변환장치인 3상 AC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터, LCL 필터를 ATPDraw를 이용하여 그림 3과 같이 모델링하였다.



<그림 3> 전력변환장치의 모델링

그림 3의 전력변환장치는 3상 AC 380V의 전압을 입력받아 DC 50~600V의 출력 전압과 최대 5%의 전압 리플을 가지도록 설계되었다. LCL 필터의 인덕터와 커패시터의 각 소자값은 $L_{S1} = 0.2mH, L_{S2} = 1mH, C_{S1} = 1\mu F$ 이고, AC/DC 컨버터의 저항, 인덕터, 커패시터의 각 소자값은 $R_{S1} = 0.001\Omega, R_{d1} = 0.01\Omega, R_{d2} = 0.001\Omega, R_{Csnub} = 33\Omega, L_d = 0.004mH, C_d = 500\mu F$ 이다. DC/DC 컨버터의 각 소자값은 $L_i = 50mH, C_{out} = 50\mu F$, 스위칭 주파수 $f_s = 2kHz$ 이다[6].



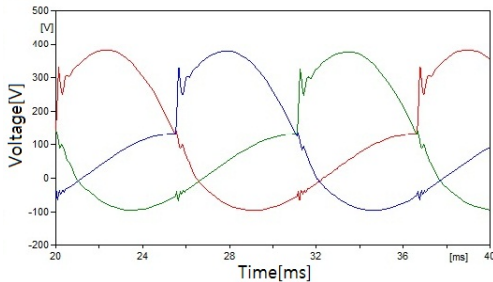
〈그림 4〉 전력 계통

2.3 전기자동차 연계에 따른 배전계통에서의 고조파 영향분석

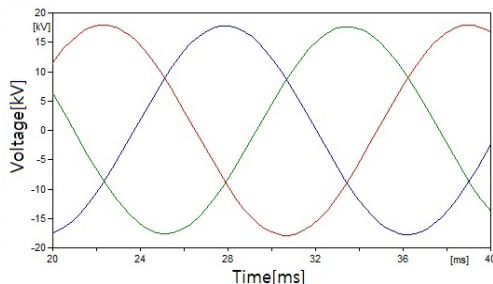
모델링한 전력변환장치를 전력 계통과 연계하여 전압 파형 및 THD를 측정함으로써 고조파를 분석하였다. 그림 4와 같은 한전 실 배전계통을 이용하였고 전력변환장치를 전원으로부터 가까운 곳 A와 먼 곳 B에 연결하여 1, 2, 3, 4의 위치에서 전압 파형의 THD를 측정함으로써 각각의 상황에 따른 고조파 영향을 분석하였다.

2.3.1 전압 파형 측정

THD를 측정하기에 앞서 급속 충전기의 전력변환장치로 인한 파형의 왜곡을 살펴보기 위해 전력 계통과 연계 후 전압의 파형을 측정하였다. 다음 그림 5와 그림 6은 각각 전력변환장치와 전력 계통에서의 전압 파형이다. 전력변환장치는 A위치에 연결되었고 전력 계통에서의 전압파형은 1번 위치에서 측정되었다.



〈그림 5〉 전력변환장치에서의 전압 파형



〈그림 6〉 전력 계통에서의 전압 파형

파형 측정 결과 그림 5의 전력변환장치에서 전압 파형을 보면 파형이 왜곡되어 비선형 부하로 인한 고조파 영향을 쉽게 알 수 있다. 그림 6에서 보이는 전력 계통에서의 전압 파형은 거의 변화가 없지만 작은 크기의 일그러짐이 보인다.

2.3.2 측정 위치에 따른 THD 측정

모델링한 전력변환장치의 고조파 영향을 분석하기 위해 ATPDraw의 MODELS를 이용하여 전압 파형의 THD를 측정하였다. 다음 표 1은 각각의 위치에서 측정된 각 차수별 고조파 전압과 THD이다. 모의 측정 결과, 전력변환장치의 연결 지점이 전원으로부터 가까운 곳(A)일 경우 측정 위치에 따른 THD의 변화는 거의 없다. 전원으로부터 먼 곳(B)일 경우 A지점에 연결되었을 때에 비해 고조파 영향이 더 크게 나타났고

측정 위치가 연결 지점에 가까울수록 고조파 영향이 크게 나타났다.

〈표 1〉 각 측정 위치에 따른 차수별 고조파 크기 및 THD

연결위치	측정위치	고조파 차수						THD [%]
		3차 [V]	5차 [V]	7차 [V]	11차 [V]	17차 [V]	19차 [V]	
A	1	29.13	8.835	4.404	5.318	2.095	1.836	0.09605
	2	28.64	8.895	4.364	5.601	2.332	1.673	0.09570
	3	28.72	9.127	4.430	5.888	2.759	1.596	0.09518
	4	28.50	9.303	4.523	6.099	3.156	1.615	0.09507
B	1	30.96	9.903	2.672	5.878	4.147	2.472	0.12520
	2	33.19	10.15	1.805	6.645	4.918	2.869	0.15970
	3	39.69	10.99	0.196	7.686	5.143	2.858	0.23190
	4	50.74	12.62	2.671	9.223	5.109	2.283	0.36250

3. 결 론

전기자동차 급속 충전시스템의 전력변환장치를 모델링하여 전력 계통에 연계 후 연결 위치 및 측정 위치에 따른 고조파 전압과 전력 계통에서 전압 파형의 THD 변화를 비교, 분석하였다. 실험 결과, 전력변환장치로 인해 전압 파형의 왜곡이 발생하였고 위치에 따른 고조파 전압 및 THD의 변화를 측정함으로써 고조파로 인한 전력 계통 영향을 확인할 수 있었다. 전기자동차의 보급이 확대되어 급속 충전 설비가 증가한다면 전력 계통에서의 고조파 영향은 더욱 뚜렷할 것이고 이에 대한 시급한 대책 방안이 필요할 것이다. 본 논문에서의 결과는 추후 전기자동차 연계에 따른 계전기 오동작, 설비의 과열 등의 문제점 대책 방안 연구에 유용할 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] 윤기갑, 김응상, “전력계통에서의 고조파 발생원인 및 영향”, 전기학회지, 제50권, 제10호, pp.3-58, 2001.10
- [2] 전력품질기술 주식회사, “알기 쉬운 고조파 이야기”.
- [3] 이호림, 김현수, 여상민, 김철환, “비선형 부하의 고조파로 인한 배전계통의 영향 분석”, 대한전기학회 제 40회 하계학술대회 논문집, pp.2226-2227, 2009.7
- [4] Daniel W. Hart, “PSpice를 활용한 전력전자공학”, 교보문고, 2009.
- [5] 정문규, “전기자동차용 급속충전기의 성능평가 및 특성분석”, 대한전기학회 제 41회 하계학술대회 논문집, pp.1116-1117, 2010.7
- [6] D. Aggeler, F. Canales, H. Zelaya-De La Parra, A. Coccia, N. Butcher and O. Apeldoorn, “Ultra-Fast DC charge infrastructures for EV-mobility and future smart grids”, Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010 IEEE PES, pp.1-8, Oct. 2010.