

## 전기철도 차량 고조파 측정

임재찬\*, 이수길\*\*, 김재철\*, 이희태\*, 한성호\*\* 이은규\*\*\*  
 송실대학교\*, 한국철도기술연구원\*\*우진산전\*\*\*

### Harmonics Measurement for electric train

Jae-Chan Lim\*, Su-gil Lee\*\*, Jae-Chul Kim\*, Hee-Tae Lee\*, Song-Ho Han\*\*  
 Soongsil University\*, Korea Railroad Research Institute\*\*

**Abstract** - It's essential to evaluate harmonic characteristics of electric train because harmonics have negative effects on a main circuit of electric train, substations and communication system. So, we measured harmonics of electric train during test operating on conservational railroad. In the result, we can know relation between operation mode(acceleration, breaking operation and uniform speed operation) and harmonics.

### 1. 서 론

전기철도는 대량의 인원 및 화물을 운송할 수 있는 유용한 교통수단으로 최근 많은 발전을 하고 있는 분야이다. 특히 전력전자 기술이 급격히 발전하게 되면서 전기철도의 심장부라고 할 수 있는 전력변환장치가 급격히 발전하고 있다. 전력변환장치는 컨버터와 인버터로 이루어져 있으며 견인전동기를 제어하여 차량의 추진 및 전기제동을 수행하는 주 전력변환장치와 차량내의 전기기기에 전원 공급 및 객차 서비스를 위한 조명설비, 냉난방설비에 필요한 전원을 공급하는 보조전원장치(SIV) 두 부분으로 구분할 수 있다[1][2]. 하지만 전력변환장치는 위상제어 및 펄스폭 변조(PWM)방식에 의해 제어되기 때문에 많은 고조파를 발생시킨다. 이런 고조파는 전기차량은 물론 변전소, 신호시스템, 데이터 전송 및 감시시스템에 영향을 주게 된다[3]. 이런 고조파의 악영향 때문에 국내에서도 변전소에서 직접 고조파를 측정하고 있으며 이렇게 측정한 데이터를 활용하여 고조파에 관한 대책으로 필터 개발 연구가 진행되는 등 고조파에 관한 많은 연구가 진행되고 있다[4][5]. 하지만 실제적으로 열차에서 발생하는 고조파를 직접 측정하고 분석하는 연구는 극히 일부에서만 진행되고 있다. 그래서 본 연구에서는 급전계통 및 타 전기철도를 고려한 고조파 해석을 위하여 현재 기전선로에서 시험운전 중인 한국형 탈것열차 "한빛 200"를 대상으로 운전모드에 따라 발생하는 고조파를 측정하였다.

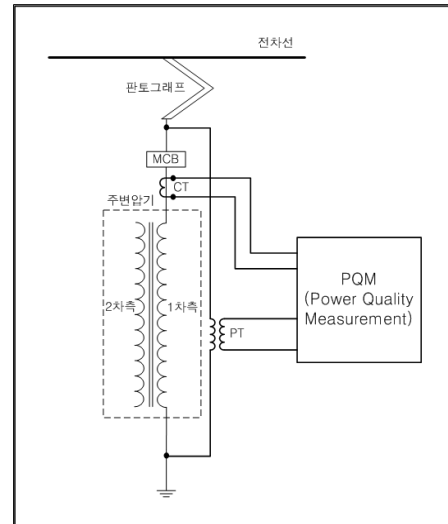
### 2. 본 론

#### 2.1 고조파 측정 방법

전기철도 운행 중에 차량에서 발생하는 고조파를 측정하기 위해서 주변압기 1차측에 <그림 1>과 같이 CT와 PT를 설치하여 주변압기의 1차측의 전압과 전류를 측정하였다. 그리고 차량의 운전 모드, 즉, 가속운전 모드, 제동운전 모드 그리고 일반 운전 모드(타행운전 모드, 전력을 공급받고 있는 상태의 정지 모드) 총 3가지 운전모드로 구분하여 PQM(Power Quality Measurement)장비를 통해 운전모드에 따른 고조파 측정을 하였다.

#### 2.1.1 측정 요소 및 측정 위치

측정 요소는 주변압기 1차측의 전압과 전류이다. 여기서 주변압기 1차측에서 측정한 고조파 전류는 대부분이 측정 차량의 전력변환장치에서 발생하는 고조파 전류이다. 극히 일부의 고조파 전류는 인접 다른 전기철도 차량에서 발생한 고조파 전류일 수도 있지만 변전소의 임피던스가 차량의 임피던스보다 상대적으로 작기 때문에 인접 다른 전기철도 차량에서 발생하는 고조파 전류는 대부분 변전소로 유입되게 되고 측정 차량에는 거의 유입되지 않는다. 따라서 주변압기 1차측의 고조파 전류는 대부분 측정 전기철도 차량에서 발생한 고조파 전류라고 볼 수 있다. 전압을 측정하기 위한 PT는 차량 내부에 설치된 2개의 PT를 사용하여 측정하였다. 즉, 차량 옥상부분에 설치되어 있는 PT를 통해 차량 내부에 설치되어 있는 PT의 출력전압을 측정 하였다. CT는 별도 MCB 밑부분에 설치하였다. <표 1>이 장비의 기본 사양이다.



<그림 1> 전류 및 전압 측정 위치

<표 1> 장비 기본 사양

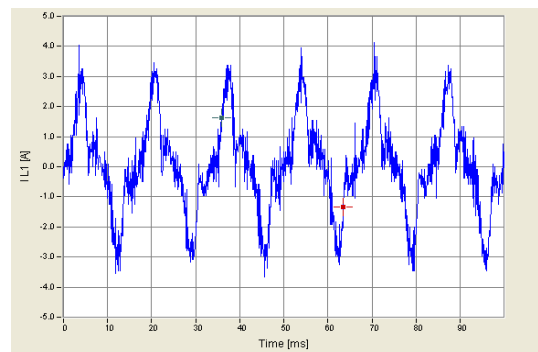
구분	차량 옥상 측 PT	차량 내부 측 PT	CT
1차 정격	25[kV]	150[V]	1000[A]
2차 정격	150[V]	5[V]	1000[A]

#### 2.2 측정 결과

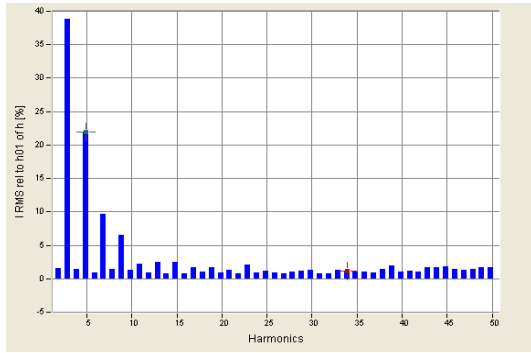
측정은 총 3가지 모드(일반 운전 모드, 가속 운전 모드, 제동 운전 모드)로 구분하여 측정하였다.

#### 2.2.1 일반 운전 모드

일반 운전 모드는 열차가 운행 중 타행으로 갈 경우와 전원을 공급받으면서 정지 하고 있을 경우이다. 이 경우는 전력변환장치 중 보조전원장치(SIV)가 작동하고 있으며 <그림 2(a)>와 같이 부하전류가 많이 왜곡되는 것을 확인할 수 있다. 이를 고조파 분석을 한 결과는 <그림 2(b)>에서 확인할 수 있다.



(a) 일반 운전 모드 전류



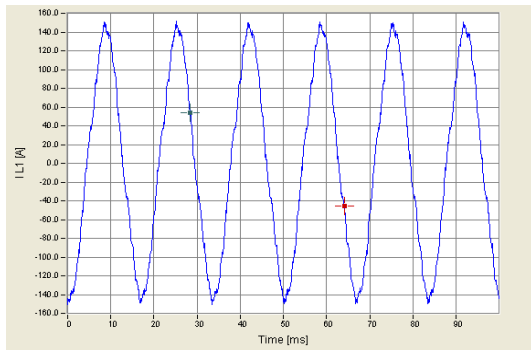
(b) 일반 운전 모드 고조파 함유율

〈그림 2〉 일반 운전 모드

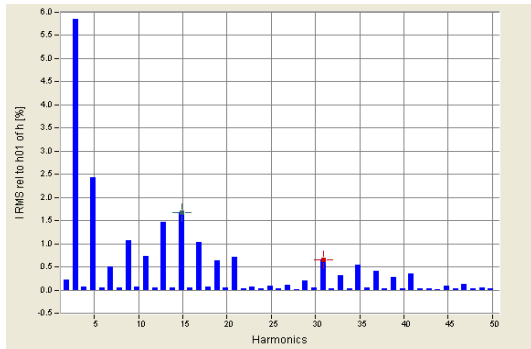
일반 모드의 전류 및 전압을 고조파 분석 결과 전압의 THD는 공통적인 패턴을 찾지 못했으나 전류 TDD는 운전 모드일 경우 9~10[%]의 결과가 나왔다.

### 2.2.2 가속 운전 모드

가속 운전 모드일 경우는 전력변환기 중 주전력변환기가 차량의 추진을 위해서 작동을 하게 된다. 이 경우 주변압기 1차측에서는 최대 약 160[A]의 부하전류가 흐르게 된다. 또한 가속 운전 모드인 경우도 보조전원장치(SIV)가 작동하므로 일반 운전 모드와 같은 보조전원장치에 의한 고조파 전류가 흐르지만 최대 부하전류가 흐를 시에는 차량이 추진하기 위해 흐르는 부하전류가 보조전원장치(SIV)에 의해 흐르는 부하전류보다 크기 때문에 보조전원장치(SIV)에 의한 고조파 전류의 영향은 적어지게 된다. 따라서 최대 부하전류가 흐를 시의 TDD는 7~8[%]로 일반 모드에 비해 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 그러나 가속을 작게 할 경우, 즉, 추진을 위한 부하전류가 적게 흐를 경우는 TDD의 크기가 17~23[%]로 일반 운전 모드보다 크게 나온 것을 확인할 수 있었다. 이를 분석한 결과 TDD는 가속의 정도에 따라(부하전류의 크기에 따라) 특정 패턴이 있다는 것을 분석할 수 있었다



(a) 가속 운전 모드 전류



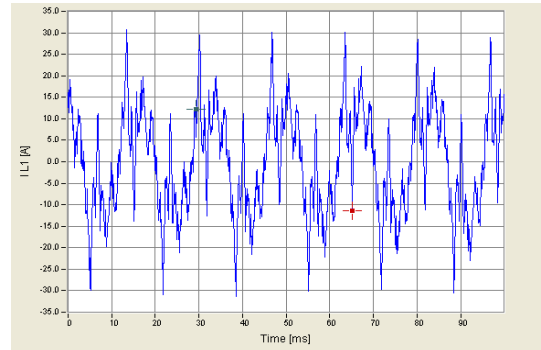
(b) 가속 운전 모드 고조파 함유율

〈그림 3〉 가속 운전 모드

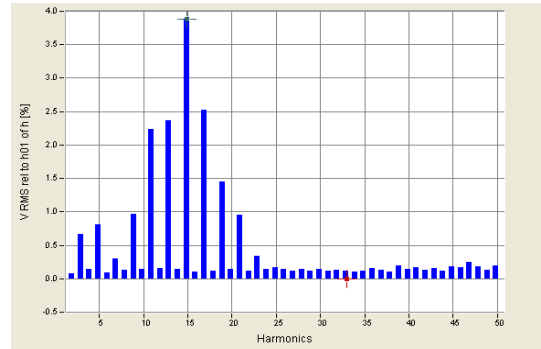
가속 운전 모드일 경우의 고조파 분석을 한 결과 전압의 THD는 4~5[%] 혹은 11~12[%]의 정도로 분포를 보였으며 일반 모드일 경우와 큰 차이를 보이지는 않았다.

### 2.2.3 제동 운전 모드

제동 운전 모드인 경우는 열차가 감속 할 경우, 즉, 회생제동을 할 경우이다. 이때는 주전력변환장치에서 회생제동을 하기위해 작동을 한다. 이때의 부하전류는 공급 전압과 거의 90°위상차가 발생하고 많은 왜곡이 발생하게 된다.



(a) 제동 운전 모드 전류



(b) 제동 운전 모드 고조파 함유율

〈그림 4〉 지동 운전 모드

제동시 고조파를 계측한 결과 전압의 THD는 크게 5~9[%] 정도로 다른 운전 모드와 크게 다르지 않았다. 하지만 고조파 전류를 분석한 결과 TDD는 다른 모드에 비해 아주 크게 발생하였으며 제동력에 따라 다르게 나오는 것을 알 수 있었다. 제동력에 따라, 즉, 제동시 부하전류 크기에 따라 크게 TDD가 40~41[%] 그리고 72~74[%]으로 분석이 됐다.

## 3. 결 론

한국형 탈빙열차 ‘한빛 200’를 대상으로 전기철도 차량이 운행하면서 발생하는 고조파를 계측하였고 그 계측 결과를 차량 운전 모드(가속, 제동, 일반 운전 모드)에 따라 분류 및 분석하였다. 그 결과 운전 모드에 따라 고조파 TDD가 다르게 나오는 것을 알 수 있었다. 따라서 차후 철도 급전계통 해석 및 전기철도 고조파에 관한 연구시 운전모드에 따른 고조파관계를 고려하여 연구가 진행되어야 한다고 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부의 지원에 의하여 한국철도기술 연구원 주관으로 수행된 과제임

### [참 고 문 헌]

[1] 우진산전 “추진제어장치 실용기술 개발 보고서” 2007. 7. 31  
 [2] Ricardo Lucio de Araujo Riberiro, Cursiono Brandao Jacobina, Edison Roberto Cabral da Silva and Antonio Marcus Nogueira Lima, “Fault Detction of Open-Switch Damage in Voltage-Fed PWM Motor Drive Systems” IEEE, 2003  
 [3] P.Ferrari, er al, “A method for integrated harmonic analysis of multi-converter systems”, ICHQP’98 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power, pp426-431, 1998  
 [4] 오광해 외, “전기철도에서의 고조파 발생과 계통응답특성”, 한국철도학회논문집, 제 7권 제1호, pp66-69, 2004  
 [5] 이명숙, “고속철도변전소의 고조파측정 및 분석”, 숭실대학교 대학원 석사학위논문, 2004