

전기철도차량 고조파 전류 시험

이태형, 김주락, 장동욱, 이장무, 박찬경
한국철도기술연구원

Harmonic Current Test of Electric High Speed Train

Taehyung Lee, Joorak Kim, Donguk Jang, Jangmu Lee, Chankyung Park
Korea Railroad Research Institute

Abstract - 전기철도차량에서 사용한 부하전류는 귀환 회로인 케도를 통해 변전소로 유입한다. 전기철도차량에서 사용하는 전력변환장치 때문에 부하전류에는 고조파가 함유되고 이 고조파 전류는 외부통신선에 영향을 주지 않아야 한다. 본 논문에서는 한국형 고속열차를 대상으로 고조파 전류를 측정하여 외부통신선 영향을 평가하는 등가방해전류로 환산하고 그 기준으로 평가한 결과를 소개한다.

1. 서 론

전기철도차량의 전력변환시스템은 견인전동기를 제어하여 차량의 추진 및 전기제동을 수행하는 주전력변환장치와 차량내 전기기기 전원 공급 및 객차 서비스를 위한 조명설비, 냉난방설비에 필요한 전원을 공급하는 보조전원장치로 구성된다. 전력변환시스템은 전력전자기술, 고속 대용량 반도체소자 및 마이크로프로세서의 기술발달에 힘입어 높은 성능과 승차감, 효율, 안전성, 에너지 소비측면에서 뛰어난 제어능력을 갖추게 되었다. 하지만 고속 스위칭소자를 사용함에 따라 발생하는 고조파로 인해 전기차량은 물론 변전소, 신호시스템, 데이터 전송 및 감시시스템에 영향을 주게 된다[1]. 또한 전기에너지를 사용하는 환경에서 발생하는 문제 중의 하나는 최근 여러 가지 전자기기나 정보통신기기가 폭발적으로 보급됨에 따라 대두되는 기기 상호간의 전자적인 간섭 문제와 인체 건강에 미치는 영향이다. 전기철도 환경에 존재하는 기기 상호간의 전자적인 간섭 문제는 기기에서 발생하는 불요 전자기계가 인근 환경의 무선통신, 방송의 수신장해나 전기철도 내외에서 사용하는 기기의 동작불량 원인이 되는 경우가 있다[2].

본 연구에서는 한국형 고속열차의 고조파전류를 측정하여 외부통신선 영향을 평가하는 등가방해전류로 환산하고 그 기준으로 평가한 결과를 소개한다.

2. 본 론

2.1 한국형 고속열차 주전력변환장치

주전력변환장치는 크게 단상 교류전원을 받아 직류전원으로 변환하는 장치인 컨버터부와 직류전원을 다시 3상 교류전원으로 변환하여 견인전동기를 구동하는 인버터부로 구성한다. 컨버터부는 4상한 PWM 컨버터 2대를 병렬 운전하는데 Boost Type PWM 컨버터 방식을 사용하여 직류 링크전압을 2,800Vdc로 제어하고 컨버터 1대의 용량은 약 1,238kVA이며 입력단 전압은 1,400Vac이다. 상기와 같은 형태의 컨버터를 사용함으로써 입력 역율을 1.0에 접근하도록 제어가 가능하고 회생제동시에

에너지를 입력측으로 환원할 수 있을 뿐만 아니라 입력 전류를 정현파 형태로 할 수 있고 병렬운전에 의해 입력 측 고조파 성분을 대폭 줄였다. 견인전동기를 구동하는 인버터부는 전압형 3상 PWM 인버터를 사용한다. 전압과 주파수를 동시에 제어하는 가변전압, 가변주파수 제어방식을 적용하였다. 출력전압과 주파수를 동시에 제어하게 되면 교류전동기의 가감속제어는 가능하나, 제동시 교류전동기에서 인버터로 흐르는 회생전력으로 인하여 콘덴서 전압이 크게 상승하거나 시스템에 과부하가 걸리게 되므로 이를 방지하기 위하여 전력을 제어하는 회생제어기법을 적용하였다. 표 1은 주전력변환장치의 주요 사양이다.

표 1 주전력변환장치 주요 사양

	구분	내용
컨버터부	가선전압	AC 25kV
	입력전압	AC 1,400V
	입력전류	930A
	출력전압	DC 2,800V
	출력전류	884A
	용량	2,500kVA
인버터부	제어방식	전압형 PWM 변조제어
		가변전압/가변주파수제어
		가감속제어, 회생제어
	연속정격 용량	2,730kVA
	최대정격 용량	3,000kVA
	출력전압	AC 0 ~ 2,183V
	냉각방식	강제공냉식
	전력소자	IGCT(4,500V/4,000A)
주회로방식	1Inverter 2 Motor	
효율	0.97	

2.2 한국형 고속열차 보조전원장치

보조전원장치는 교류입력전압을 직류전원으로 변환할 수 있는 IGBT를 사용한 PWM컨버터로 구성되어 있다. 직류출력단 필터 커패시터의 초기 충전을 위한 충전부는 충전용 접촉기와 충전저항으로 이루어졌으며 4개의 파워모듈로 이루어진 2군 2병렬 운전회로방식으로 구성되어 있어 보조전원장치에서 1개의 파워모듈이 불의의 사고로 인한 고장이 발생하게 되면 고장이 발생한 파워모듈의 컨버터군은 부하와 분리하고 정상운전중인 나머지 파워모듈을 사용하여 운전한다. 또한, 교류의 입력전류파형을

정현파로 유지하도록 함으로써 저차고조파를 줄일 수 있고, 교류 입력측의 역율을 1.0에 근사하게 제어할 수 있으며 계통의 효율을 증대시킬 수 있다. 또한 직류 출력 전압의 맥동성분을 줄여 일정하게 제어할 수 있으며, 쌍방향의 전력흐름이 가능하여 4상한 운전이 가능하다. 동일 용량의 위상제어방식 싸이리스터 컨버터에 비해 시스템의 중량 및 부피가 감소된다. 보조전원장치에서 생성한 직류전압은 열차의 주변압기 냉각을 위한 냉각팬 구동용 인버터의 전원으로 사용하며 승객서비스를 위한 냉난방장치와 공기압축기 등을 구동하기 위한 전원으로 사용한다. 표 2는 보조전원장치의 주요 사양이다.

표 2 보조전원장치 주요 사양

구분		내용
형식	주회로방식/제어방식	IGBT/PWM제어
	운전방식	2군 2병렬
	냉각방식	Heat Pipe + 강제냉각
입력	정격전압/정격전류	25kV/383V, 914A
	동작범위	19 ~ 27.5kV
	입력역율	0.98이상
출력	정격용량	1.4MW
	출력전압/출력전류	DC 670V/2,089.6A
	효율	97% 이상

2.3 한국형 고속열차 고조파 전류 시험

한국형 고속열차의 고조파 전류를 시험하기 위해 오송에서 광명역 방향으로 최대 견인으로 주행하는 조건에서 고조파 전류를 측정하였다. 고조파전류 측정지점은 주변압기 1차측이다. 그림 1은 시험구간에서 주변압기 1차측에서 소비하는 부하전류를 도시한 것이다. 최대전류로 주행하여 최고속도 300km/h까지 주행하였을 때 소비한 부하전류는 최대 186A이다. 그림 2는 부하전류중에서 제일 큰값에 대한 고조파 전류를 도시한 것이며, THD(tot al harmonic distortion)은 3.0%이었다. 속도별 측정된 고조파 전류를 사용하여 등가방해전류(Psophometric Current)를 속도별로 도시한 결과를 보인 것이다. 등가방해전류 계산식은 식(1)과 같으며 여기서, J_{Pn} 은 각 조파별 등가방해전류, S_{fn} 은 국제전기통신연합(ITU)의 잡음평가계수, I_n 은 고조파 전류, J_P 는 등가방해전류이다.

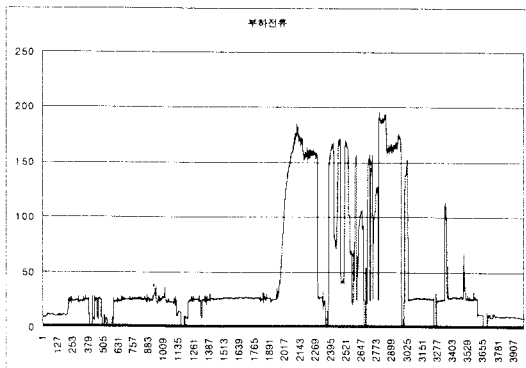


그림 1 부하전류

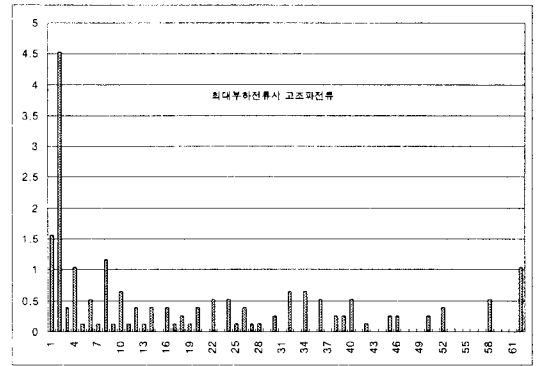


그림 2 최대부하전류시의 고조파 전류

$$J_{Pn} = S_{fn} I_n \quad (1)$$

$$J_P = \sqrt{\sum(J_{Pn})^2}$$

그림 3은 잡음평가계수이며, 그림 4는 식(1)을 사용하여 오송과 광명구간을 상행방향으로 주행하였을 때 나타난 등가방해전류이다. 주행시험을 위해 선로에 정차하고 있는 시간에는 등가방해전류가 0.5의 수준을 보이다가 주행중에는 2.0의 수준을 나타내었다.

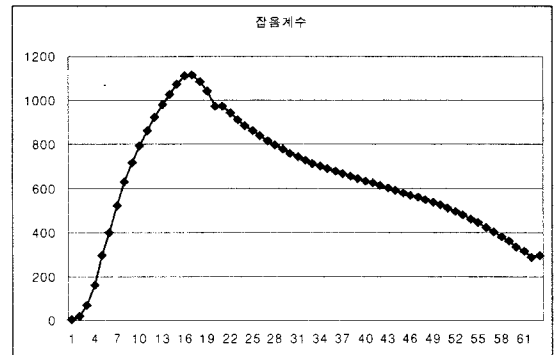


그림 3 잡음평가계수

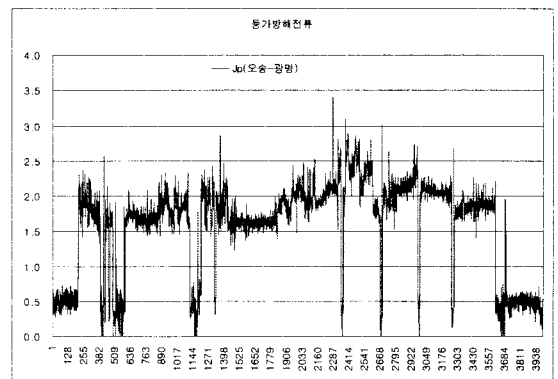


그림 4 등가방해전류(오송 - 광명, 상행방향)

3. 결 론

한국형 고속열차를 대상으로 고조파 전류 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 고조파 전류 시험을 위해 최대전인으로 주행하였을 때 부하전류는 186.0A 이었다.
- 또한 최대부하전류에서의 THD은 3.0%이었다.
- 결론적으로 오송과 광명구간에서 계산한 등가방해전류는 기준치인 3.8A를 상회하지 않았다.

향후 최대제동력으로 회생제동시 고조파 전류를 측정하여 그 영향을 평가할 예정이다.

후 기

본 연구는 건설교통부 고속철도기술개발사업으로 지원된 “고속철도시스템 신뢰성 및 운영 효율화 기술개발”과제의 연구 결과 중 일부입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이장무, “교류전기철도 AT급전계통의 고조파 해석 및 적용 사례”, 한국철도기술 2004년 5,6월호 p8 ~ p16
- [2] 한문섭, “전기철도 EMC 규격의 동향”, 한국철도기술 2004년 5,6월호 p17 ~ p19
- [3] 한국전력공사 영업처, “영업 업무처리 지침 제 4 절(고조파)”, 1990.7.
- [4] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields(up to 300GHz)”, ICNIRP Guidelines, 1998.