한국형고속열차의 주행상태와 고조파 상관관계 분석

임용찬[1] , 이태형[1] , 박춘수[1] , 김기환[1] , 신명철[2]
한국철도기술연구원[1] , 성균관대학교[2]

Analysis of Harmonic Correlation of HSR350X

Im, Yong-Chan[1] , Lee, Tae-Hyung[1] . Park, Choon-Soo[1] , Kim, Ki-Hwan[1] , Sin, Myung-Chul[2]
Korea Railroad Research Institute[1] , SungKyunKwan University[2]

Abstract - 전기철도차량에서 발생되는 고조파전류는 각종 문제를 야기시킨다. 예를 들어 고조파전류의 발생은 인접통신선에의 유도장해를 일으키고 철도신호장애의 원인이 될 뿐만 아니라, 전원계통에 유입되는 경우에는 보호계전의 오작동을 일으키는 경우도 있다. 이에 고조파 전류 발생을 줄이거나 차단하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 전기철도차량의 주행상태에 따라 차량에서 측정된 전압, 전류 값을 분석하여 고조파의 발생이 어떠한 관계가 있는지 분석하여 보았다.

1. 서 론

교류 전기철도는 통상 단상 25kV/50kV 급전방식에 기초를 두고 있으며 단상의 대용량 전력을 공급 받기 위해서는 3상 전력계통과 연계되어야 한다. 이를 위해 철도교류급전회로는 전철변전소의 스코트변압기에 의해 단상으로 변환된 전력을 급전선, 전차선, 레일을 통해 차량에 공급한다. 발전소나 변전소 등 기존의 전력시스템에서 파형은 공통 결합 지점(PCC: Point of Common Coupling)을 측정함으로써 얻을 수 있고, 그들의 주파수 성분들은 신호처리를 이용해서 다룰 수 있다. 이러한 과정을 통하여 얻어진 결과를 이용하여 THD(Total Harmonic Distortion), TDD(Total Demand Distortion), 전압 플리커(Voltage Flicker) 등의 여러 종류의 지수를 통해 고조파 평가를 하게 된다.

본 논문에서는 전철변전소에서 전압·전류파형을 측정하는 방식이 아닌 한국형고속열차 내에서 측정된 전차선 전압과 차량내부에 설치된 변압기 입력전류에 대한 파형을 이용하여 분석하였으며, 열차의 주행상태(즉, 파형에 다른 차량의 파형이 들어가지 않는 단독주행을 실시한 야간 시운전 데이터)에 대한 데이터를 확인하였다. 이러한 파형을 전력분석프로그램으로 전압·전류의 종합왜형율(THD)를 계산하였으며, 차량의 주행상태에 따라 그 값이 어떻게 변화하는지에 대해서 비교, 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전력분석프로그램

전력분석프로그램은 한국형고속열차의 종합계측시스템을 이용하여 측정할 수 있는 전차선전압과 변압기입력전류의 값을 넣어 주면, 유효전력(P), 무효전력(Q), 피상전력(S), 역률(PF: Power Factor), 전압·전류 종합왜형율(V-THD, I-THD), 등가방해전류, 소비전력을 계산하고, 분석할 수 있도록 만든 프로그램이다. 그림 1은 이 프로그램을 이용하여 데이터를 계산 후 분석한 화면이다.

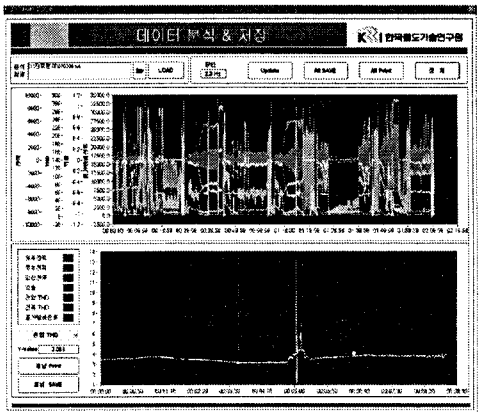

그림 1. 전력분석프로그램

전압·전류 종합왜형율의 식은 다음과 같다.

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

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

여기서 V_1·I_1은 60Hz 기본파 전압·전류, n은 고조파 차수, N은 최고 고조파 차수이다.

등가방해전류에 대한 식은 다음과 같다.

$$J_{pn} = S_{fn} I_n \quad (3)$$

$$J_p = \sqrt{\sum (J_{pn})^2} \quad (4)$$

여기서, J_{pn}은 각 고조파별 등가방해전류, S_{fn}은 잡음평가계수, I_n은 최고 조파까지의 고조파 전류, J_p는 등가방해전류이다.

2.1.1 시험데이터 계산

한국형고속열차의 시운전시험은 주간시운전과 야간시운전시험으로 나눌 수 있다. 주간에 실시하는 시운전시험은 영업운전중인 KTX차량과 같이 운행하며 시험을 하는 것이며, 야간에 실시하는 시운전시험은 KTX차량의 영업운행이 종료된 후 한국형고속열차 단독으로 운행을 실시하게 된다. 본 논문에서는 한국형고속열차에서만 발생되는 고조파를 분석하기 위해 야간에 실시한 시운전시험에 대해서 분석을 하였다. 전력분석프로그램을 이용해 계산을 한 시운전 데이터는 2006년 12월 11일에 00시부터 03시까지 실시한 시운전 데이터와 2007년 2월 4일 11시 50분부터 동월 5일 03시까지 실시한 데이터다.

표 1 야간시운전 시험

시운전 횟수	시운전 시행 날짜	총 주행시간
1회	2006년 12월 11일	약 2시간 40분
2회	2007년 2월 5일	약 2시간 10분

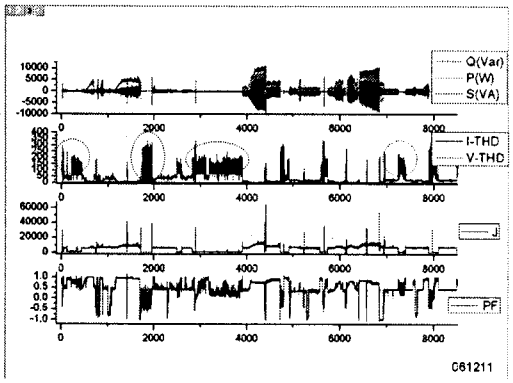

그림 2. 1회차 계산결과

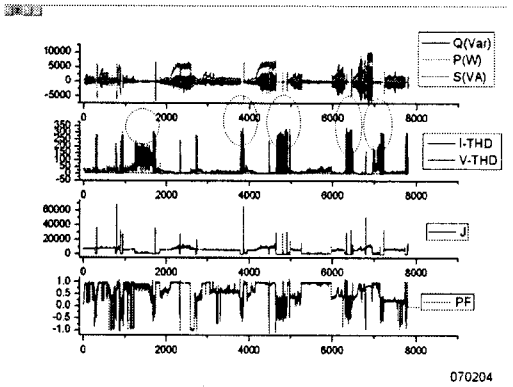

그림 3. 2회차 계산결과

2.2 데이터 분석

그림2와 그림3에 점선으로 표시된 부분에서 고조파전류의 발생이 크게 나타났다. 이러한 경우는 고속선의 사구간(Dead Line) 진입이거나 차량 운행이 멈춘 상태이거나 전차선에 의해 전원이 공급되지 않을 때 이러한 경향을 나타냈다. 그러므로 본 논문에서는 차량의 주행상태에 따라 발생되는 고조파에 대해 분석하기 때문에 위의 경우를 제외한 차량의 주행하고 있는 상황에서의 고조파에 대해서 검토하였다.

2.2.1 추진상태일 경우의 데이터 분석

차량이 추진신호 즉 PWM패턴이 0에서 100으로 증가시켜 가속을 할 경우 고조파의 발생이 어떠한지에 대해 분석하여 보았다.

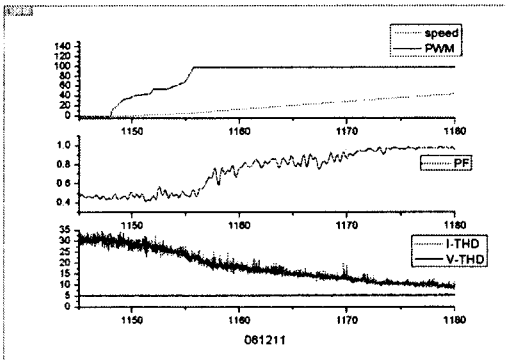

그림 4. 차량을 견인하는 경우(1회차)

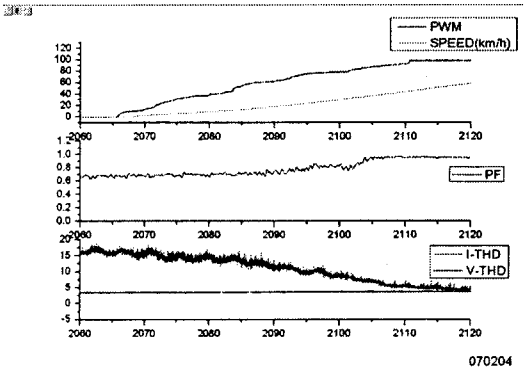

그림 5. 차량을 견인하는 경우(2회차)

그림4는 PWM패턴을 0에서 100까지 올리는 시간이 짧은 경우(10초 이내)이고 그림5는 긴 경우(약 55초)이다. 이와 같이 급속히 추진한 경우와 천천히 추진한 경우를 비교하였을 때 전류종합왜형율이 최소화되는 시간은 약 1분 정도로 비슷한 경향을 나타냄을 볼 수 있다.

2.2.2 제동(회생)상태일 경우의 데이터 분석

차량이 회생제동을 하는 경우에 고조파 발생이 어떻게 나타나는지 분석하여 보았다.

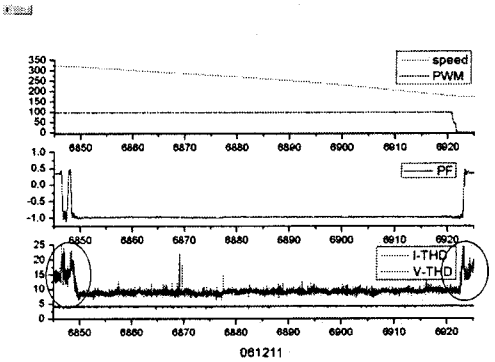

그림 6. 회생제동을 하는 경우(1회차)

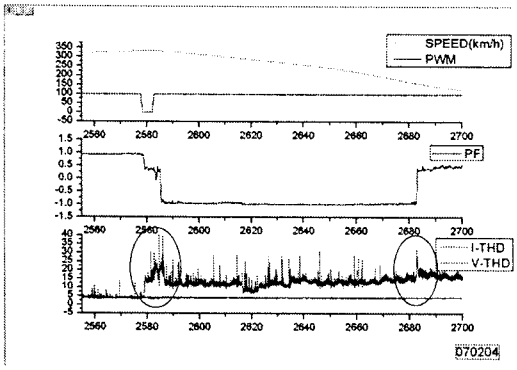

그림 7. 회생제동을 하는 경우(2회차)

그림6과 7에서 볼 수 있듯이 회생제동을 할 경우에는 역률이 -1로 되며 차량신호가 추진에서 제동신호로 바뀌는 시점에서 표시된 것과 같이 고조파가 발생되고 다시 제동에서 추진신호로 바뀌거나 신호가 0으로 바뀔 때에도 고조파 발생이 나타남을 볼 수 있다. 또한 회생제동을 하고 있는 동안에는 그림에서 보는 것과 같이 추진 중일 경우보다 높은 수치를 나타냄을 알 수 있다.

3. 결 론

이 연구는 한국형고속열차의 시운전시험을 토대로 외부에서 발생되는 고조파에 대한 영향을 최대한 줄이기 위해 단독운행을 한 야간시운전 데이터에 대해서 고조파 발생의 경향에 대해 비교 분석한 연구이다. 위의 결과에서 볼 수 있듯이 고조파 발생의 경향은 추진일 경우에 고조파전류 값이 높게 나타났으며, 일정시간이 지나면 최소화가 되는 경향을 볼 수 있었다. 회생제동일 경우에는 추진신호가 회생제동신호로 바뀌는 시점과 회생제동에서 다시 추진이나 신호가 0으로 바뀔 때 높은 값을 나타냄을 알 수 있다.

본 논문에서는 차량 내부에서 측정된 순시치 전압, 전류 값을 계산하여 데이터를 분석하였다. 따라서 향후에는 본 논문에서 비교분석한 데이터와 전철변전소에서 측정된 데이터에 대해서 비교분석을 하여 어떠한 경향을 나타내는지에 대한 연구가 진행되어야 하겠다.

후 기

본 연구는 차세대고속철도기술개발사업의 “분산형 고속철도 시스템엔지니어링 기술개발” 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.