

틸팅열차 운행중 열차 진단을 위한 전기신호 계측 연구

(Study of measuring electrical signal for diagnosis of tilting train (TTX) during operation)

임재찬*¹ · 김재철¹ · 한성호² · 이수길²

(1. 숭실대학교 · 2 한국철도기술연구원)

(Jae-Chan Lim · Jae-Chul Kim · Soung-ho Han · Su-Gil Lee)

Abstract

It's essential to measure electrical signals of Korea tilting train "Hanvit 200" during operation, Because we need to study operation characteristics of new electric train "Hanvit 200" and we want to develop diagnosis system of main circuit of Korea tilting train "Hanvit 200". So, we measure electrical signals for developing diagnosis system of "Hanvit 200" during operation. We measure voltage and current of the primary winding of main transformer and analyze them. In result, we know that each operation mode has specific waveform and frequency. In addition, we also measure arc currents and arc voltage and we know that arc of each situations has specific waveform of pattern.

1. 서론

경제가 발전함에 따라 지역간의 교류가 활발하게 되었다. 이에 따라 사람들은 더 빠르고 편한 교통수단을 원하게 되었고 이에 부응하기 위해서 한국철도공사에서는 고속열차 KTX를 도입하게 되었다. 하지만 산악이 많은 우리나라 지역 특성상 선로에 곡선부가 많을 수밖에 없으므로 곡선부분에서 고속으로 주행하지 못하는 KTX를 전 지역에서 운행하기는 어려움이 있다. 그래서 이런 우리나라의 지역적 특성을 고려하여 중고속으로 운행할 수 있는 틸팅열차 기술을 2000년도에 도입하여 한국형 틸팅열차 "한빛 200"을 제작하기 시작하였고 2007년에 시제품을 완성하여 현재 4만km 이상의 시운전을 하고 있다. 한국형 틸팅열차 "한빛 200"이란 최고속도 180[km/h]인 중고속열차로 틸팅시스템을 적용한 차량이다. 보통 열차가 곡선부분에서는 곡선을 통과시 발생하는 원심력에 의해서 탈선할 위험이 있으므로 열차는 약 20~30%의 감속을 하여 운행을 해야 한다. 따라서 국토의 약 70%가 산악지역인 우리나라의 지역 특성상 기존 선로는 많은 곡선부분을 포함하고 있으며 이런 특성 때문에 기존선로에서의 열차 속도 향상에 한계를 가지게 되었다. 하지만 한국형 틸팅열차는 열차가 곡선부분에서 진입 시 열차의 차체를 곡선부 안쪽으로 기울여서 중력가속도로 열차의 원심력을 이겨내어 열차가 감속하지 않고서도 곡선부분을

통과할 수 있다. 이렇게 우리나라 지역 특성에 맞는 한국형 틸팅열차 "한빛 200"이 많은 시간과 노력으로 만들었다 할지라도 한번 사고가 발생하며 대형사고로 이어질 수 있는 열차 사고 특성상 한국형 틸팅열차 "한빛 200" 또한 열차의 상태를 진단하고 감시할 장치가 필요하며 특히 열차가 상용화 되고 나서도 열차 내에 장착하여 운행중 실시간으로 감시할 수 있는 진단 / 감시 시스템이 필요하다. 이런 진단 시스템을 만들기 위해서는 열차의 상태를 지속적으로 감시하고 열차가 운행 중 발생하는 열차의 전기적 신호를 계측하고 분석하여 진단 시스템을 만들기 위한 데이터를 구축해야 한다. 물론 기존에 있는 열차 감시 시스템도 있으며 KTX 및 열차에서 발생하는 전기적 신호 또한 구축된 데이터가 있을 것이다. 하지만 한국형 틸팅열차 "한빛 200"은 이번에 한국에서 처음 도입하여 신기술도 개발한 신(新)열차이며 또한 기존의 방식과 달리 하나의 CI회로(Converter and inverter circuit)에 2개의 모터를 장착한 시스템을 적용한 방식을 하고 있으며 인버터 제어방식 및 여러 부분이 다르므로 한국형 틸팅열차 "한빛 200"만을 위한 운행 중 전기 신호데이터를 구축할 필요가 있다[1][2]. 따라서 이번 연구에서는 한국형 틸팅열차 "한빛 200"의 진단시스템을 만들기 위해 한국형 틸팅열차 "한빛 200"이 기존선로에서 시운전하는 동안 열차에서 발생하는 전기적인 신호를 계측하였다.

2. 본 론

2.1. 계측 요소 및 위치

이번 연구의 목적은 한국형 탈팅열차 "한빛 200"이 운행 중에 발생하는 전기적인 신호를 계측하는 것이 목적이다. 하지만 이 데이터를 활용하여 차후 한국형 탈팅열차의 진단 시스템을 개발하는 것에 최종 목표이므로 계측 위치를 선정할 때 다음 사항들을 고려하였다.

첫째, 적은 계측 수로 열차의 전체를 감시하고 진단할 수 있는 곳.

둘째, 현재 완전히 만들어진 시제품 차량에 설치하기 용이한 곳.

셋째, 아크 및 이상 전압을 계측 할 수 있는 곳.

이렇게 세가지 사항을 고려하여 계측 위치를 주 변압기 1차측으로 결정하였다. 변압기 1차측에서는 열차의 추진제어 장치의 전력을 계측 할 수 있을 뿐만 아니라 열차에 공급되는 전원 또한 계측 할 수 있는 곳이기 때문이다. 그래서 변압기 1차측의 전압과 전류를 계측 하였다. 여기서 전압은 열차에 장착된 PT를 통해 계측하였으며 전류는 변압기 1차측에 CT를 별도로 설치하여 계측하였다.

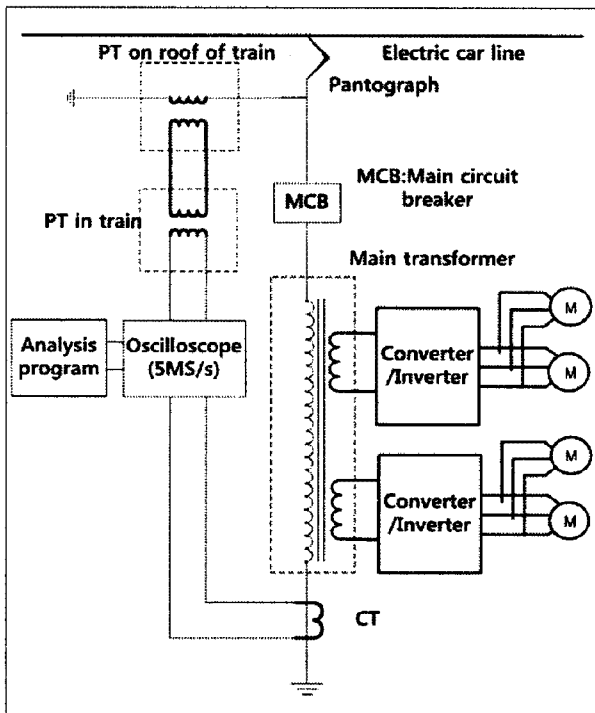


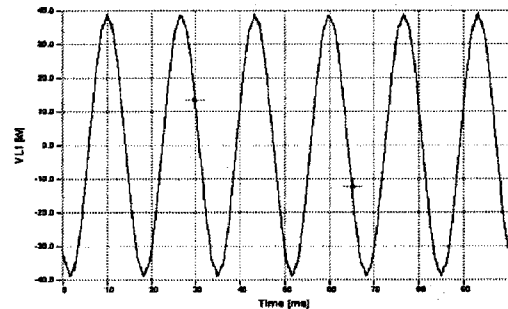
그림 1. 계측 위치

Fig. 2. The point of mesaurment

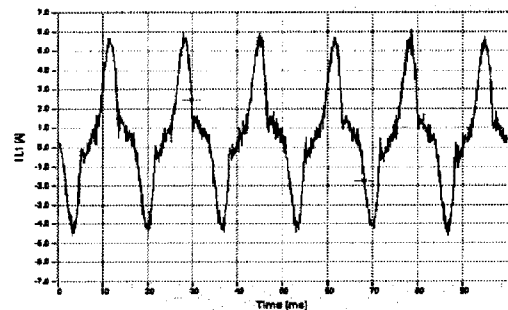
2.2. 계측 결과

한국형 탈팅열차 "한빛 200"이 운행을 하면서 발생하는 전기적 신호를 총 3가지의 운전 모드, 즉, 타행 운전, 가속도 운전 그리고 감속 운전으로 구분 지어서 계측하였고 분석하였다. 또한 운행 중 발생하는 아크전압과 전류를 계측하였다.

가. 운전 모드에 따른 계측 데이터



(a) 전압

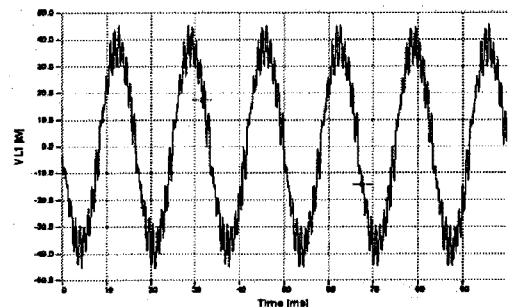


(b) 전류

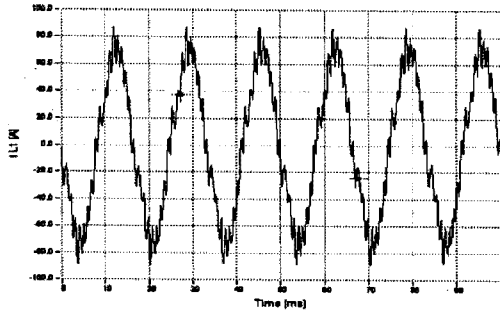
그림 2. 타행 운전의 전류, 전압

Fig. 2. The current and voltage of uniform speed

한국형 탈팅열차 "한빛 200"이 타행으로 운행 시 추진 제어장치 외의 전기설비를 위해 SIV에서 전력을 소비하므로 변압기 1차측에서는 4~8[A]의 작은 부하전류가 계측이 된다. 이를 주파수 분석한 결과 저차수의 주파수가 크게 계측 되었으며 특히 1, 3, 5차 고조파가 크게 계측이 되었다[3].



(a) 전압

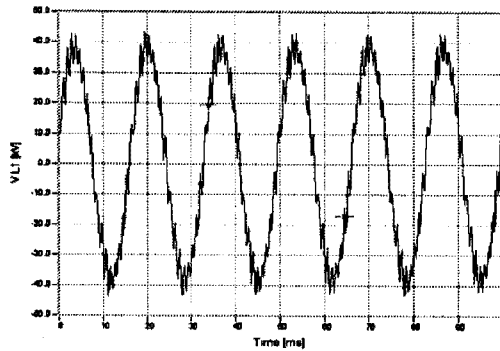


(b) 전류

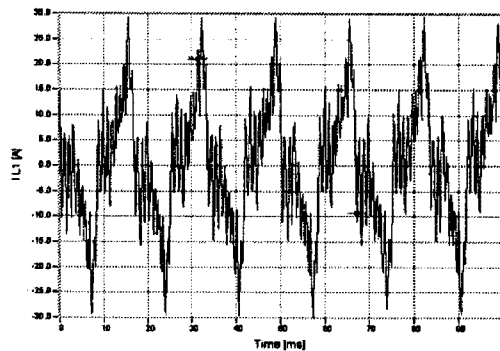
그림 3 가속 운전의 전류, 전압

Fig. 3 The current and voltage of acceleration

가속 운전하는 경우는 추진 장치에 의해서 많은 부하 전류 발생한다. 또한 전압은 인버터의 영향으로 왜곡되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 주파수 분석한 결과 1, 3, 5차 고조파가 컸으며 또한 15, 17, 19, 21 차수의 고조파가 많이 포함되어 있는 것을 분석할 수 있었다.



(a) 전압



(b) 전류

그림 4 감속 운전의 전류, 전압

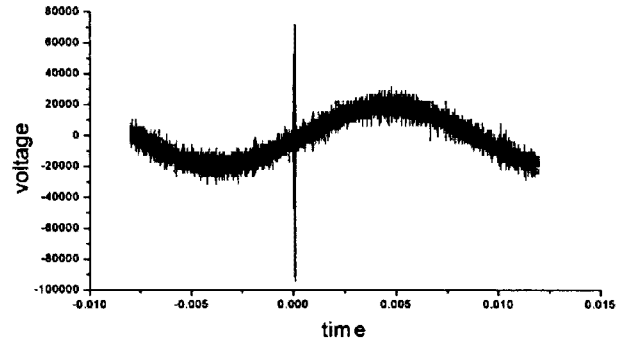
Fig. 4 The current and voltage of breaking

감속 운전인 경우는 회생제동으로 인해 전류가 전압과의 위상차가 크다는 것을 확인할 수 있었으며 많은 왜곡이 발생하는 것 또한 분석할 수 있었다. 이를 주파수 분석한 결과 주로 1, 3, 5, 15, 17, 19차의 고조파가 함유된 것으로 분석 되었으며 또한 가속운전 보다도 15, 17, 19차수의 고조파 크

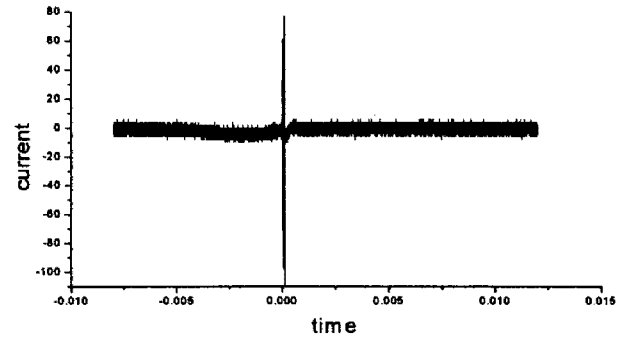
기가 더 큰 것으로 분석되었다.

나. 아크 데이터

운행 중 발생하는 아크 전류와 아크 전압을 총 3가지 경우, 즉, MCB(main circuit breaker) 차단하는 경우, MCB 투입한 경우 그리고 이동 중 습동에 의해 판토타그래프와 전차선의 이선이 발생한 경우에 대해 아크를 계측하였다.



(a) 전압

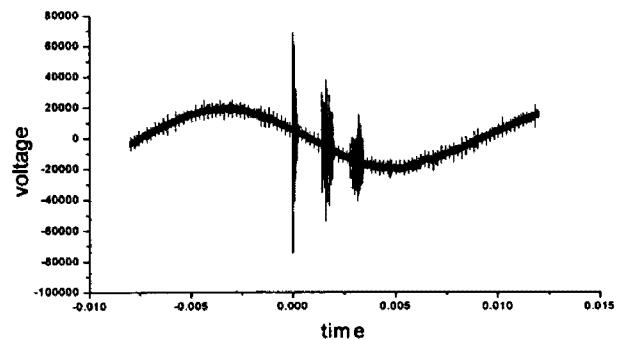


(b) 전류

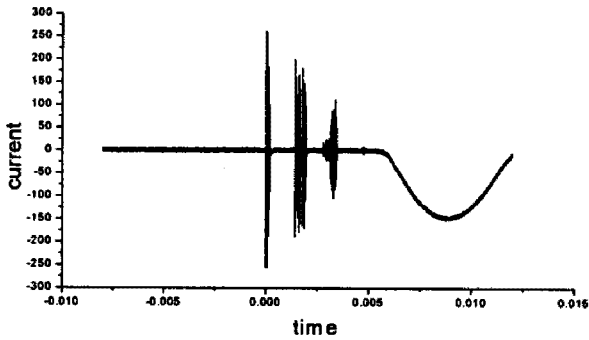
그림 5 MCB 차단시 아크

Fig. 5 Arc at MCB off

열차가 사구간에 진입 전 부하전류를 차단하기 위해서 사전 MCB를 차단한다. 그때 발생하는 아크를 계측하였다. 전압과 전류 모두 한 번의 아크가 발생한 것처럼 보이나 확대해 보면 여러 번의 아크가 발생한 것을 볼 수 있다.

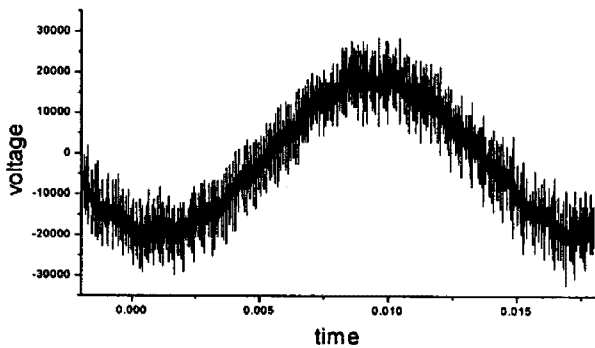


(a) 전압

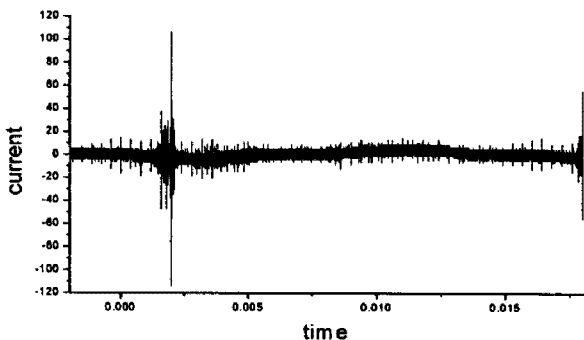


(b) 전류
 그림 6 MCB 투입시 아크
 Fig. 6 Arc at MCB on

열차가 사구간을 통과한 후 MCB를 다시 투입한다. 이 경우는 아크가 소화가 된 후 반파와 비슷한 전류 파형을 볼 수 있었으며 이것은 변압기 포화상태 때문에 발생하는 것으로 사료된다.



(a) 전압



(b) 전류
 그림 7 이동 중 이선에 의한 아크
 Fig. 7 By losing contact caused arc

열차가 이동중 진동에 의해서 전차선과 판토그래간에 이선이 발생하게 되고 이때 아크가 발생하게 된다. 이 경우는 발생하는 이선은 아주 짧은 시간동안 발생하므로 MCB 투입과 차단시 발생하는 아크에 비해 작은 아크가 발생된다.

3. 결론

본 연구는 새로 개발된 한국형 텀팅열차 "한빛 200"의 주회로 진단 시스템을 개발하기 위해 "한빛 200"이 운행 중 발생하는 전기적인 신호를 계측하고 주파수 분석을 통해 한국형 텀팅열차 "한빛 200"의 운전 특성에 대한 연구를 하였다. 그 결과 가속 및 감속 운전인 경우, 즉, 추진제어장치가 동작할 경우에는 1, 3, 5, 15, 17, 19차의 고조파가 주로 검출이 된 것으로 분석되었으며 15, 17, 19차 고조파가 특징으로 보이는 것으로 분석되었다. 이것은 인버터의 스위칭 주파수 때문인 것으로 분석된다[1]. 이렇게 인버터의 스위칭 주파수에 의해서 특정한 주파수가 발생하는 특징을 이용하여 열차의 인버터의 상태 및 열차의 상태를 파악할 수 있는 진단 시스템을 개발 할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 열차의 주회로에 영향을 줄 수 있는 아크에 대해 계측하고 분석 하였다. 보통 아크는 상황 및 여러 조건에 따라 다양하게 발생하므로 특징을 분석하기 어려운 것으로 알려져 있지만 이번 계측 결과를 통해 분석한 결과, MCB 투입과 차단 그리고 이선이 발생하는 경우 등 상황에 따라 발생하는 아크가 특정한 패턴의 파형으로 발생한다는 것을 분석할 수 있었다. 따라서 이렇게 상황에 따라 아크를 분류하고 그 아크의 패턴을 활용하여 분석한다면 열차 운행 중 발생하는 아크의 특징 및 영향에 대해 파악이 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 지원에 의하여 한국철도기술연구원 주관으로 수행된 과제임.

참고 문헌

- [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] James H. McClellan 외 3명 "한국어판 Hello 신호처리", 홍릉과학출판사
- [4] 반기중, 김낙교, "아크 전류 처단을 위한 제어 알고리즘 개발", 대한전기학회 논문지, 제 53권 3호, pp. 166-172, 2004. 4.