

전기차량 주행 중 이선상태에 따른 급전계통의 전압, 전류 동특성 연구

김재문*, 박 영**, 김양수*, 이종성***
 한국철도대학*, 한국철도기술연구원**, 부천대학***

A study on the dynamic characteristic of voltage and current in a feeder system in case of cause contact loss on driving an electrical railway vehicle

Jae-Moon Kim*, Young park**, Yang-Su Kim*, Jong-Sung Lee***
 Korean National Railroad College University*, KRRI**, Bucheon University***

Abstract - In this study, the dynamic characteristic of a contact wire and pantograph supplying electrical power to electrical railway vehicle is investigated from an electrical response point of view. To analysis voltage and current waveforms by induced contact loss phenomenon on driving electrical railway vehicle, a hardware Simulator which considered contact loss between contact wire and the pantograph as well as contact wire deviation is developed. It is confirmed that a contact wire and pantograph model are necessary for studying the dynamic behavior of the pantograph system. Throughout prototype simulator and contact wire and catenary wire experiments, it is confirmed that current waveforms is distorted by contact loss phenomenon and in case of driving electrical railway vehicle.

표현된다.

$$v_{ac} = (R + R_1)i_1 + (L + L_1)\frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C_1} \int i_1 dt + v_{mtr1} \quad (2)$$

v_{ac} 는 전차선 교류전압이므로 이선현상이 발생하게 되는 순간 식 (2)에서 보듯이 $R-L-C$ 직렬회로의 과도응답 특성을 갖는 회로가 된다. 즉 과도상태에서 정상상태로 전이되는 과정에서 주변압기 1차측에 흐르는 전류는 식 (2)를 정리하면 식 (3)과 같이 된다.

$$i_1 = A \sin \omega t + e^{-at} (B \cos \omega_1 t - C \sin \omega_1 t) \quad t \geq 0 \quad (3)$$

여기서, A, B, C, a, ω_1 는 상수, $\omega (= 120\pi)$ 는 각주파수

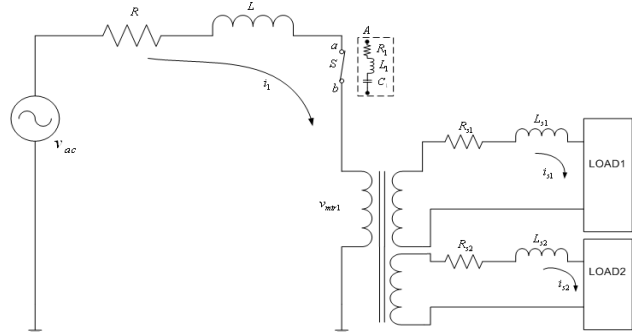
식 (3)을 고찰해 보면, 두 번째 항은 cosine 함수로 표시할 수 있고 진폭은 정상상태의 진폭에 비해 매우 크게 된다. 따라서 이선현상이 발생하는 순간 회로의 손실이 적을 때(Q 가 클 때)로 $t=0$ 에서 전차선 전압 v_{ac} 전원의 위상과 초기조건에 따라 매우 큰 과도전류가 발생하고 시간이 지남에 따라 지수 함수적으로 감소함을 알 수 있다.

1. 서 론

고속전철(KTX)이 개통과 더불어 국내 철도기술이 비약적으로 발전하고 있으며, 정부 계획에 따라 2020년 92%까지 전철화율을 계획하고 있다. 특히 국내 IT 기술 및 신소재 개발, 제어 기술 및 반도체 성능향상 등 산업전반에 걸쳐 비약적인 기술 발전을 보임에 따라 복합기술을 요구하는 철도분야에 신기술이 접목되고 있다. 전기철도에서 전기차량을 고속화함에 따라 선로, 차량, 전차선로 등에서 주요 문제점이 발생되는데 전차선로(catenary)는 전기가 흐르는 전차선에 전기차량이 접촉하여 전력을 받아들이기 위해 열차 상부에 설치된 팬터그래프(pantograph)와의 인터페이스를 담당하며 안정된 집전 능력을 확보하기 위해 설계에 따른 전력공급 능력, 기계적 동특성 등을 고려하여 사양을 결정한다.

집전시스템과 관련된 연구를 살펴보면 전기차량 주행속도 증가에 따라 팬터그래프와 전차선사이에 진동도 증가로 접촉력 변화가 커져 이선과 아크가 발생하여 팬터그래프 집전판의 손상을 초래한다는 결과가 있다. 또한 전차선 재료를 대체하거나 팬터그래프 자체를 개량하여 동적인 움직임이 최소가 되도록 연구와 안정된 집전 성능을 확보하기 위해 접촉력을 해석하여 능동적으로 제어하는 방법 등이 이루어지고 있다. 그러나 이선에 따른 이선률 등 산정시에 이선여부에 대한 관정이 모호한 경우가 많은 실정이지만 이에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 전기차량 주행시 이선 여부를 판별할 수 있도록 알고리즘 구현을 위해 이선 발생시 급전시스템 전압, 전류 동특성을 분석하여 향후 이선을 산정 등에 활용하고자 한다.



<그림 1> 이선현상에 따른 전기적 모델링

2. 본 론

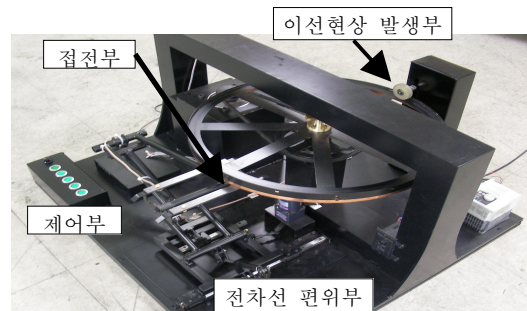
2.1 이론적 고찰 및 축소모형 실험[1]

<그림 1>에 대한 전기적인 모델링을 보여준다. 스위치 S는 전차선과 팬터그래프의 이선에 따른 현상을 의미하는 것으로 이선이 발생하지 않은 경우에는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$v_{ac} = R i_1 + L \frac{di_1}{dt} + v_{mtr1} \quad (1)$$

여기서, v_{ac} : 전차선 전압, R : 전차선 저항, L : 전차선 인덕턴스, i_1 : 고속전철내의 주변압기 1차측에 흐르는 전류, v_{mtr1} : 주변압기 1차측 전압

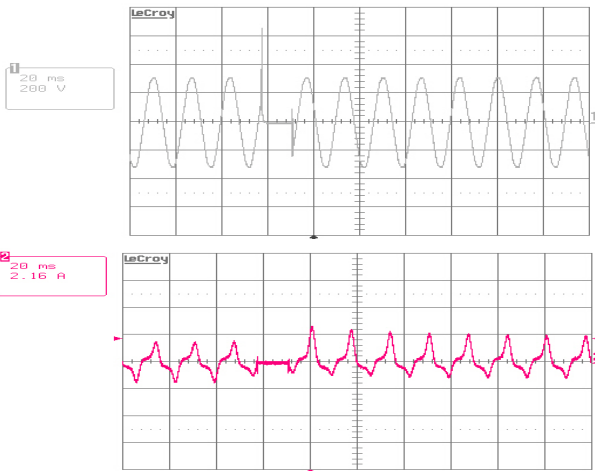
그러나 이선이 발생할 경우에는 전차선과 팬터그래프 사이에는 아크가 발생하므로 스위치 S가 개방되고 박스 A에서 보는바와 같이 $R_1 - L_1 - C_1$ 소자가 직렬로 연결된 형태가 된다. 따라서 식 (2)와 같이



<그림 2> 이선현상 모의 시뮬레이터 장치

<그림 2>는 전기차량 주행시 이선현상을 모의하기 위한 축소형 시뮬레이터 장치를 보여준다. 장치 상부에 원판모양이 회전될

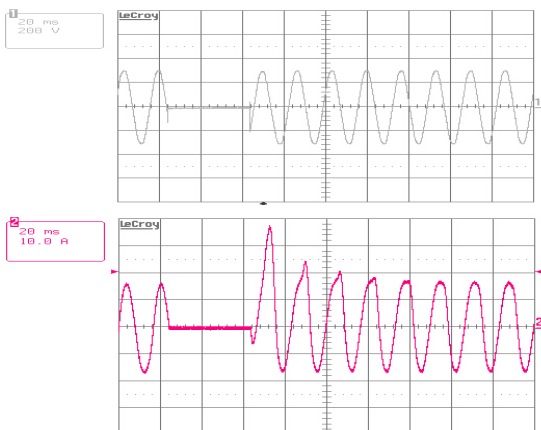
하게 되면 하부에 설치된 팬더그래프가 접촉하게 되는데 제어부에서 이선현상 발생부가 동작명령을 주면 이선이 발생하게 되며 이선을 다양하게 가할 수 있다. <그림 3>은 R-L(15.6Ω,10mH) 부하를 직렬로 연결한 후 차단장치를 통해 개방한 상태에서 전원의란 시뮬레이터를 구동하면서 변압기 1차측 전압, 전류를 측정 한 파형이다.



<그림 3> RL(15.6Ω,10mH)부하를 연결했을 때 변압기 1차측 전압, 전류(200V,2.16A/div, 20ms/div)

부하가 개방된 상태이므로 변압기 1차측에 정현파 전압은 인가되지만, 전원공급라인-팬더그래프-변압기로 연결되고 2차측이 무부하이므로 변압기에서의 누설자속성분으로 인해 왜곡된 전류가 흐른다. 또한 전원의란 시뮬레이터가 회전 중에 이선이 발생하는 순간 변압기 공급전압은 인가전압의 2배인 과도전압이 발생하고 전류는 흐르지 않다가 다시 팬더그래프와 상부 회전판이 접촉하는 순간 과도전류가 흐르다가 지수함수적으로 감소하여 수 사이클 후에 정상적으로 흐름을 보여준다. 이것은 전기차량 내부에 주변압기가 설치되어 있는데, 전차선을 비롯한 급전계통에 유사한 파형이 발생할 수 있음을 알 수 있다.

<그림 4>는 RL부하를 연결한 후 이선현상으로 인해 부하에 미치는 영향을 살펴보았다. 인가전압이 Zero되는 순간 이선현상을 발생시켰을 경우 과도전압이 거의 나타나지 않고 있지만 다시 전차선과 팬더그래프가 접촉하는 순간 정상전류의 2배 이상에 가까운 과도전류가 크게 발생하여 4 사이클동안 지수함수적으로 감소하고 있음을 보여준다. 이것은 식 (3)에서 표현된 수식과 유사함을 알 수 있다.

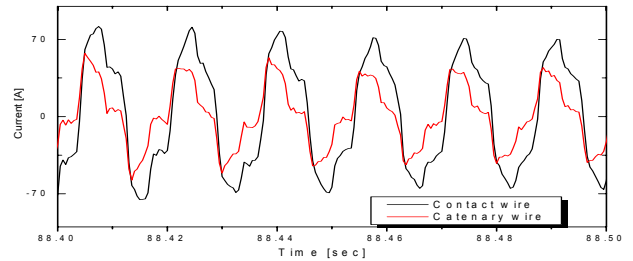


<그림 4> RL(15.6Ω,10mH)부하를 연결했을 때 부하측 전압, 전류(200V,10A/div, 20ms/div)

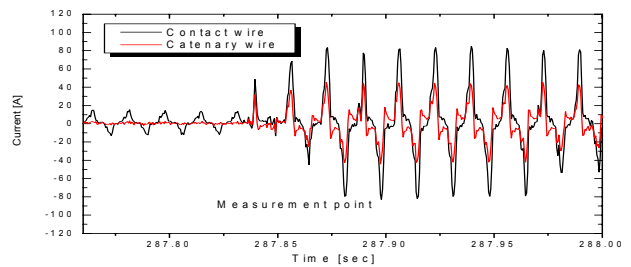
2.2 전차선과 조가선의 전류측정[2]

전차선의 전류 측정기술은 전차선로의 특성과 전동차의 견인능력 및 이선 현상을 판단 할 수 있는 구체적인 평가기술이지만 현재까지 실시간으로 전류를 측정하여 특성을 평가한 바는 보고되지 않고 있다. 이러한 이유는 전차선로 자체의 전류를 실시간으로 측정하는 시스템의 부재가 원인이다. 고속철도차량(KTX)이 160 km/h 운행 중 측정된 전차선과 조가선의 전류비는 6.5 : 3.5이고 무궁화 열차의 경우 약 120 km/h의 속도에서 약 6.3 : 3.7의 전류 분포비를 보여 일반적으로 6 : 4 ~ 7 : 3의 전류 분포비에 해당되고 있음을 확인하였다. 전류비가 전류량에 따라 틀린 이유는 전류값에 따라 임피던스 변화가 나타난 결과로 보인다.

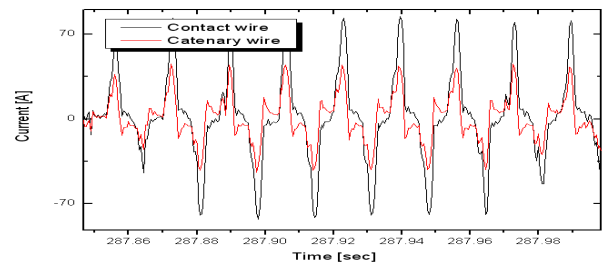
전차선로 전류값의 경우 고속철도차량(KTX) 운행에 따라 급격하게 변하며 이러한 특성은 전류값의 변화로 나타난다. <그림 5>에서와 같이 전차선로 전류는 60 Hz 정현파와 전류가 흘러야 하지만 <그림 6>, <그림 7>과 같이 전류량이 급속히 증가한 경우 전류값의 왜곡이 심한 경우를 알 수 있다.



<그림 5> 타행구간 전류파형



<그림 6> 역행구간 전류파형



<그림 7> 역행구간 피크전류 파형

3. 결 론

본 논문에서는 이선현상에 따른 교류 급전시스템에서의 전압 및 전류 변화의 동특성을 측정하였다. 이선현상을 모의하기 위한 축소형 시뮬레이터인 경우 변압기 1차측에서 전압에 비해 전류의 왜곡이 심하게 발생함을 확인하였다. 실측한 전차선과 조가선 전류파형인 경우 타행 및 역행구간 전류파형이 심하게 왜곡되고 있음을 알 수 있어 향후 상호간 이선에 따른 연관 관계를 지속적으로 분석하고, 이를 토대로 이선상태를 확인할 수 있는 알고리즘을 구현할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김재문, 김양수 외 2인, “전차선-팬더그래프 사이의 이선현상에 따른 전원의란이 보조전원장치에 미치는 영향, 대한전기학회 전기설비위원회 춘계학술대회 논문집, pp197~181, 2008
- [2] 오석용, “고속철도 성능향상을 위한 전철설비 특성 측정에 관한 연구”, 성균관대학교 석사학위논문, 2011