

# 철도차량용 고압계통의 차단기 투입에 따른 이상전압 모의분석

## Analysis of the Over-voltage Characteristics at the Closing Time of the Main Circuit Breaker on the Electric Railway Vehicle

정기석\*<sup>†</sup>, 장동욱\*, 정종덕\*

Ki-Seok Jeong\*<sup>†</sup>, Dong-Uk Jang\*, Jong-Duk Chung\*

**Abstract** Vacuum circuit breaker(VCB) on the electric railway vehicle is repeatedly opened and closed due to the railway power feeding system. High frequency travelling waves over the high voltage cable between the load side of the circuit breaker and high voltage side of the main transformer (MTR) is occurred by electrical oscillation. Its peak value are 3 times the nominal voltage. It should be analyzed in advance because it gives an adverse effect on the dielectric strength of the electric equipment. In this paper, we implemented the high voltage power system model for the electrical railway vehicle including the detailed VCB model, high-voltage cable model and primary winding model of MTR using electromagnetic transients program (EMTP). VCB model is used conventional method that the switching status is repeatedly calculated from the voltage and current of the VCB. The primary winding model of the MTR is implemented using R-M-C-M lumped-parameters for the voltage amplification and internal oscillation induced by propagation waves with various frequency spectrum. Case studies show the voltage escalation characteristics of high voltage cable and primary winding of MTR according to closing the VCB.

**Keywords** : Electric railway vehicle, Vacuum circuit breaker, Over-voltage

**초 록** 철도차량용 진공차단기는 급전계통의 특성상 개폐동작을 반복하며, 전기적 공진현상에 의해 차단기의 부하 측과 변압기 고압 계통 측 사이의 고압케이블에 고주파 영역의 진행파가 생성된다. 진행파는 상용전압의 최대 3배로 주요 전력설비의 절연강도에 악영향을 주므로 사전에 반드시 검토해야 한다. 본 논문에서는 전자계과도프로그램을 이용하여 진공차단기, 고압케이블 및 주 변압기 고압권선을 구현한다. 진공차단기 모델은 양단의 전압과 전류를 입력 받아 개폐여부를 반복적으로 계산하는 기존 방법을 적용한다. 변압기 권선모델은 다양한 주파수 대역을 포함하는 진행파에 의한 내부공진 및 전압확대 여부를 검토하기 위해 R-L-C-M 기반의 상세모델로 구현한다. 최종적으로 진공차단기 투입에 따른 고압케이블 양단과 주 변압기 1차권선의 전압확대 특성을 모의 분석한다.

**주요어** : 전기철도차량, 진공차단기, 이상전압

## 1. 서 론

차단기 투입 시 전기 에너지로 충전된 전원 측과 방전상태의 케이블 사이에 에너지 교환이 발생하여 정상 전압 대비 높은 파고치와 고주파 특성을 지닌 이상전압이 생성된다.

<sup>†</sup> 교신저자: 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부(jks14@krri.re.kr)

\* 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부

최근 빠른 소호특성을 지닌 진공차단기의 투입 동작에 따른 다중 재발호 현상은 고압인통선 말단에서 다양한 주파수 대역의 VFTO를 발생시키며, 철도차량 고압계통과 진공차단기의 특성에 기인한다. 본 연구는 전기철도차량의 고압계통을 모델링하여 차단기 투입에 따른 이상전압을 모의 분석한다.

## 2. 본 론

### 2.1 철도차량용 고압계통 모델링

#### 2.1.1 계통구성

국내 고속철도의 전력계통은 AT(Auto-Transformer)급전방식의 교류급전시스템으로, 한전의 3상 전력을 수전 받아 스코트 변압기를 통해 M상, T상의 2상으로 변환하는 전원계통, 레일에서 유입되는 전류를 전차선과 급전선으로 분류시켜 주는 단권변압기, 전기차에 전력을 공급해 주는 전차선로 등으로 구성된다. 주변압기는 차량에 탑재되어 전차선로부터 분기되는 팬터그래프로부터 25 kV의 AC 단상전원을 공급받아 견인, 제동, 차량제어, 보조전원 등의 차량부하의 정격전압에 맞게 강압하는 역할을 한다.

#### 2.1.2 전원 모델

차단기 전원 측은 R-L-C 등가 모델로 표현하며, 저항성분은 인덕턴스에 비해 상당히 작으므로 생략한다. L과 C값을 단락용량 및 감쇠 진동 파형의 진동 주파수로부터 산출한다.

#### 2.1.2 차단기 모델

차단기 모델은 절연전압 강도 특성과 고주파수 전류 소호 용량 또는 전류 미분 특성의 선형 방정식을 통해 표현된다. 본 연구에서는 EMTP의 MODELS를 이용하여 차단기 양단의 전압과 전류를 입력 받아 차단기 ON/OFF 동작을 출력하도록 구현한다.

#### 2.1.3 변압기 모델

변압기 권선의 과도 전압 분포 해석을 위한 모델은 주로 집중정수소자인 저항, 커패시터, 인덕터를 결합한 회로모델을 적용한다. 상호 인덕턴스는 동일 권선 및 타 권선 간 상호유도 작용 뿐만 아니라 철심의 영향을 고려하지만 고주파 해석용 권선 모델의 경우 철심에 의한 영향이 적기 때문에 공심(air core) 형태의 변압기 권선 모델의 적용이 가능하다 [12]. 변압기 권선 모델은 해석범위에 따라 단위구역의 크기가 결정된다. 작게는 턴 단위부터 레이어(또는 디스크) 단위의 모델이 구현되며, 모의결과의 유사도나 계산시간을 고려하여 그룹핑 기법을 적용할 수도 있다. 본 연구에서는 R-L-C-M 모델로 구현하며, 사다리형 회로망으로 조합한다. 개별 턴에 대한 자기인덕턴스, 상호인덕턴스 및 정전용량 계산 결과를 토대로 레이어 단위로 합산하여 n개의 단위구역을 갖는 고압권선 모델을 구현한다.

## 2.2 사례연구

전원 측에서 차단기까지의 거리는 일정한 것으로 가정하며, 차단기에서 변압기 고압 측까지의 거리는 200 m를 설정한다. 차단기의 재단 전류값( )은 4.7 A를 적용하며, 차단기는 50  $\mu$ s에 투입한다.

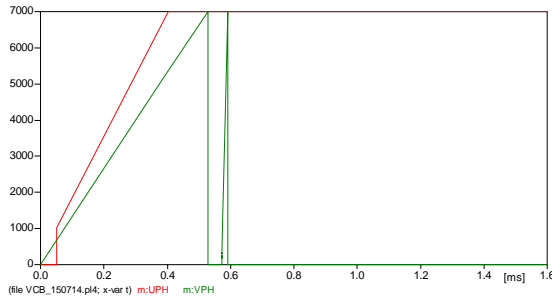


Fig. 1 Dielectric recovery voltage response

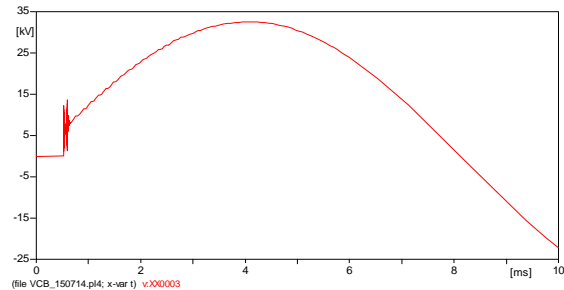


Fig. 2 Voltage response at load side of VCB

인가전원은 AC 단상전압으로 500 Hz 단위로 최대 1 MHz까지 주파수를 변동시킨다. 그림 8은 레이어간 전압 확대율을 인가된 전원의 주파수와 구역별로 도시한 것으로, 고압권선의 전압-주파수 응답 특성은 구역과 상관없이 동일한 양상을 보였다.

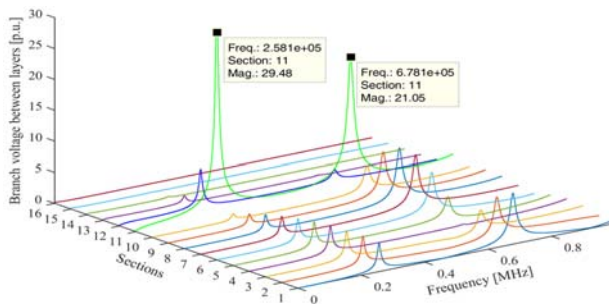


Fig. 3 Voltage magnitude response per unit excitation

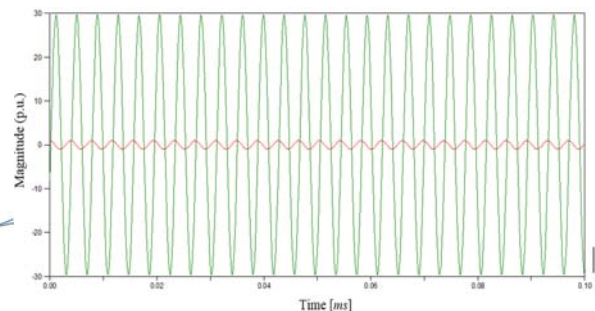


Fig. 4 Voltage response under internal resonance

## 3. 결론

본 연구는 철도차량용 고압계통 모델링을 통해 차단기 투입에 따른 서지 발생과 그 영향을 모의분석 하였다. 다중 재발호 및 변압기 1차 권선의 고주파 특성을 반영한 상세모델을 EMTP로 구현하여 시계열 및 주파수 스캔 기능을 이용하여 고압케이블 양단과 변압기 1차권선 내부의 전압확대 가능성을 논하였다.

## 후 기

본 발표 논문은 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업 “도시철도 핵심부품 국산화 및 장치고도화 개발 1단계” 과제의 연구비로 수행한 결과입니다.

(한국철도학회 정기학술대회 Full Paper -Template 작성일: 2016.04.18)