

전기철도차량 주변압기의 %임피던스에 따른 차단기 개폐시 과도특성 분석

Transient Characteristics by Transformer %Impedance at the time of Opening the Main Circuit Breaker on the Electric Railway Vehicle

창 상 훈*
(Sang-Hoon Chang)

Abstract - Transient of Electric railway vehicle occurs when change to another state. The duration of the transient phenomenon only takes a few second. During this time is considered, the present of short circuit current and the normal state, the energy is present in the form of a magnetic field. Recognized by the vibration of the transient voltage or transient current at witch energy is present in the field. This paper is presented the result of transient characteristics by transformer % impedance at the time of opening and closing of the main circuit Breaker on the electric railway vehicle.

Key Words : Electric railway vehicle, Main circuit breaker, Transformer % impedance, Transient

1. 서 론

전기철도 운행구간에서 발생하는 이상전압은 자연현상인 뇌(雷)에 기인하는 것과 회로의 개폐, 고장 등이 원인이 되는 것으로 크게 구별할 수 있으며, 이상전압은 계통에 최고 사용전압 이상의 전압이 발생한 경우의 전압으로 전력계통의 내부요인에 의한 것과 외적 요인에 의한 것이 있다. 이상전압의 발생은 다양한 원인이 있으나, 일반적으로 보면 내적 요인으로는 개폐 이상전압, 고장 시의 과도이상전압, 계통조작과 고장 시의 지속 이상전압 등이 있으며, 전기철도차량의 주차단기(Main Circuit Breaker)의 개폐 조작에 따른 과도현상 때문에 발생하는 이상 전압을 개폐 과전압(switching Over voltages)라고 부른다. 외적 요인으로는 유도뢰, 직격뢰 및 다른 선로와의 혼촉 및 유도 등으로 분류하고 있다.

개폐 과전압은 전기차량의 견전한 회로에서 차단기를 투입하였을 때 일어나는 투입 과전압과 회로를 차단하였을 때 일어나는 개방 과전압으로 나누어지는데 이들은 어느 것이나 선로 전압에 급격한 변화를 주어서 때로는 아주 높은 이상 전압에 이를 수도 있다. 일반적으로 회로를 투입할 때보다는 개방하는 쪽이, 또 부하가 있는 회로를 개방하는 것보다 무부하의 회로를 투입·개방하는 쪽이 더 높은 이상 전압을 발생한다. 그러므로 이상 전압이 가장 큰 경우는 무부하 시의 투입·개방의 경우이다.

전기철도차량의 과도현상은 주로 한 정상상태에서 또 다른 정상상태로 변환할 때 발생하며, 과도현상의 지속시간은 수[μ sec]에서 수[msec]에 지나지 않으며, 이 시간 동안 단락

전류의 존재는 정상상태로 간주될 수 있고 에너지는 주로 자기장 형태로 존재하게 된다.

고장전류의 진행이 스위칭 동작에 의해 막히게 될 때 계통은 에너지가 주로 전기장에 존재하는 또 다른 정상상태로 전이되고 계통이 집중요소의 형태로 표현될 때 비로소 자기장에서 전기장으로의 에너지 천이는 과도 전압 혹은 과도전류의 진동으로 인식된다.[1]

본 논문에서는 전기철도차량 운행시 변전소 및 급전구분소 통과시 주차단기를 개폐할 때 차량에 탑재된 주변압기(Main Transformer)의 %임피던스에 따른 과도특성을 분석하였다.

2. 철도차량 주변압기 및 차단기 특성

2.1 철도차량용 주변압기 특성

전기철도에 이용되는 주변압기의 권선은 팬터그래프로부터 전원을 공급받는 1차권선, 견인전동기에 전원을 공급해주는 견인권선, 각종 보조장치에 전원을 공급하는 보조권선으로 구성된다. 견인권선, 보조권선 및 내장된 리액터의 개수와 정격용량, 정격전압은 추진시스템의 구성방식에 따라 결정되므로 변압기의 형태는 전력변환방식, 견인전동기의 종류 등에 따라 차이가 있다.[2]

그림 1, 2에 철도차량 동력차의 주 회로도 및 주 변압기의 권선 회로도를 나타내었다.

주변압기의 용량은 견인전동기의 정격출력 및 보조전원의 용량에 의해 결정되지만 차량의 속도 및 중량, 선로상태, 기관차의 효율 등 운전조건도 고려하여 선정한다.

일반적으로 차량용 주변압기의 권선은 인덕턴스와 분포정전용량으로 구성되며 변압기의 단자에 가까운 과두를 가진 충격과가 가해지면 진동이 발생하여 내부의 대지전위가 일부에서 인가 전압보다 높아지는 경우가 있다.

* Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, Korea

E-mail : shchang@krii.re.kr

Received : February 13, 2014; Accepted : April 1, 2014

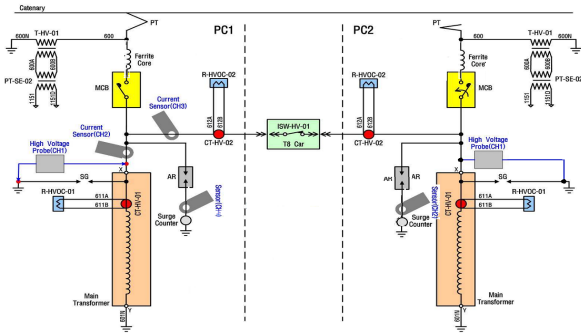


그림 1 전기철도차량의 블록도
Fig. 1 Block diagram of electric railway vehicle

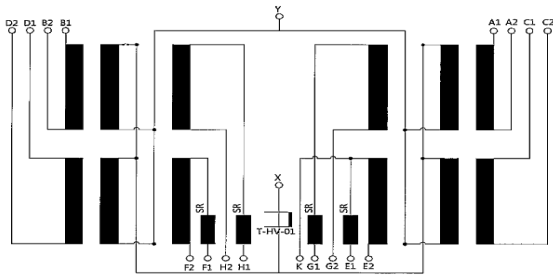


그림 2 주변압기 권선 회로도
Fig. 2 Core circuit diagram of main transformer

철도차량용 주변압기에서는 전기철도의 전압을 규정한 IEC 60850 (Railway applications-Supply voltages of traction systems)과 IEC 60310(Railway applications - Traction transformers and inductors on board rolling stock)에 따라 급전시스템의 공칭전압(nominal voltage)은 25[kV]로 주변압기의 절연강도는 150[kV]를 BIL로 적용하고 있다.

본 논문에서 적용한 주변압기 사양은 표 1과 같다.

표 1 주변압기 사양
Table 1 Specification of main transformer

| 구분 | 사양 |
|-----|--------------|
| 용량 | 6.2 MVA |
| 전압비 | 27.5/36.0 kV |
| %Z | 0.42 p.u. |

2.2 전기철도차량용 주차단기의 특성

철도차량용 주차단기는 진공차단기로 평상시에는 전류를 통하고, 차량 회로에 이상이 발생하였을 때에 순간적으로 동작하여 선로나 주요기기를 보호하는 역할을 한다. 고진공속 (4×10^{-6} Torr)에서 전류를 차단하고 공기조작을 통해 1[m/s]의 속도로 투입된다.

진공차단기를 투입할 때 고주파 재발호 진동이 발생해 주변압기의 공진주파수와 일치되면 주변압기 내부에서 공진, 확대되어 권선의 절연이 파괴 될 수 있다. 고주파 재발호 진동의 등가회로는 그림 3과 같다. 여기서 C_s 는 전원측 표

류용량, C_f 는 부하측 표류 용량, L_s 는 전원 인덕턴스, L_o 는 표류인덕턴스, γ 는 고주파 회로 저항, L_f 는 부하 인덕턴스 (차량용 변압기)를 나타낸다.

개폐기의 투입 동작으로 전극의 간격이 좁아져 전원측과 부하측에 전압 차가 있을 때 극간 절연을 감당할 수 없게 되면 선행 방전을 일으키게 된다. 이때 $C_f - \gamma - L_o - C_s$ 라는 진동 회로가 형성되어 고주파 전류가 흐르고, 영점을 통과할 때 고주파 전류가 소호되어 부하측은 고주파 진동의 피크 전압으로 충전된다.

이후 부하측의 전압은 $C_f - L_f$ 회로의 진동 파형으로 감소해 충전 전압의 역방향으로 향하기 때문에 개폐기의 극간전압이 점차 높아져 극 사이에서 고주파 전류의 소호와 재발호의 반복으로 고주파 재발호 진동을 일으키게 된다.[3]

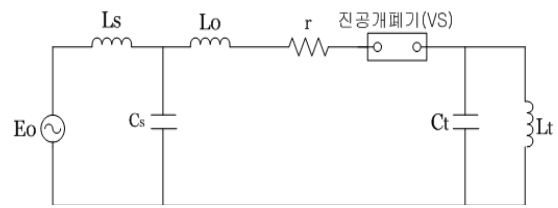


그림 3 철도차량용 진공차단기 고주파 재발호 진동의 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit for rolling stock vacuum circuit breaker, high-frequency reignition vibration

3. 교류급전시스템 모델링 [4], [5], [6]

3.1 전철용 변압기의 주변압기

3상으로부터 큰 단상전력의 부하를 가질 필요가 있을 때 3상 전원의 1상만으로부터 부하를 가지면 3상 전원에 불평형이 생긴다. 이러한 경우, 단상 변압기를 2대 사용하여, 3상 → 2상 변환을 하여 3상 회로의 전원에 평형 부하가 걸리도록 하는 방식이 스코트 결선이다.

이 스코트 결선 방식은 교류 전철화 초기시절에는 단상 변압기 2대를 사용하여 결선을 해왔지만, 결선의 복잡성, 설치 면적, 경제성 등의 면에서 불리하기 때문에 현재는 거의 사용되고 있지 않고, M상, T상의 권선을 각각 별개의 철심으로 감아 동일한 탱크에 넣은 2철심형 혹은 2개의 철심을 함께 묶은 1철심형으로 스코트 결선을 실시하고 있다.

결국 전원계통인 한전계통과 Scott 변압기를 함께 나타내면 그림 4, 5, 6과 같다.

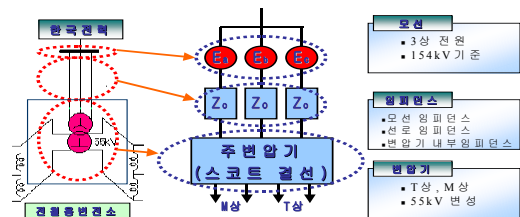


그림 4 스코트 변압기에 의한 한전계통과 철도계통의 연결
Fig. 4 Connection of KEPCO power system and railway power system by scott transformer

단상의 대용량 전철전력을 공급받기 위해서는 3상 전력계통과 연계되어야 한다. 이를 위해 철도 교류급전회로는 보통 스코트변압기에 의해 단상으로 변환된 전력을 급전선, 전차선, 레일에 의해 차량에 공급한다. 이러한 급전용 스코트 변압기는 3상을 2상으로 변환하고 있기 때문에 일반적으로 3상 용량의 1/2이 2차 측 단상용량이 된다. 이 경우 M상 또는 T상의 임피던스 Z_{TR} 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Z_{TR} = \%Z_{TR} \frac{10 \cdot V^2}{P_{TR} / 2} \quad [\Omega] \quad (1)$$

여기서, Z_{TR} : 스코트 변압기의 M상 또는 T상 임피던스 $[\Omega]$

- $\%Z_{TR}$: 스코트 변압기의 % 임피던스
- V : 기준전압(55kV) [kV],
- P_{TR} : 스코트변압기의 3상 용량 [KVA]

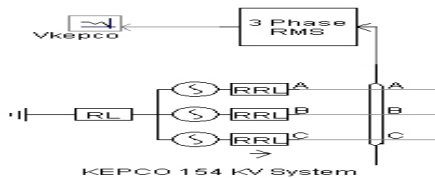


그림 5 한전변전소 해석모델
Fig. 5 Model of KEPCO Substation

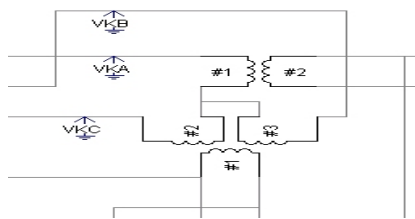


그림 6 스코트변압기 해석모델
Fig. 6 Model of scott transformer

3.2 단권변압기

단권변압기(AT)는 2권선 변압기와는 달리 1차 권선과 2차 권선으로 되어 있지 않고, 공통 철심을 이용하여 코일 2개를 감고 이를 직렬로 접속해서 1차와 2차의 단자를 인출함으로써 2권선 변압기와 동일한 변성 비를 얻을 수 있다. 그러나 1차 측에서 이상 현상이 발생하면 2차 측에 영향이 그대로 나타나기 때문에 1차 측에서 이상 현상을 차단해야 한다. 전차선로에서 사용되는 AT는 1차 측의 권수가 2차 측의 2배가되며, 직렬권선과 분로권선이 1:1의 권수 비를 가지고 있다. 1차 측의 전압은 55[kV]이고, 2차 측의 전압은 27.5[kV]가 되며 두 권선을 접속하는 지점에 전차선로의 레일과 연결한다.[4]

3.3 전차선로

AT 급전방식의 전차선로는 일반적으로 상·하행선 별로

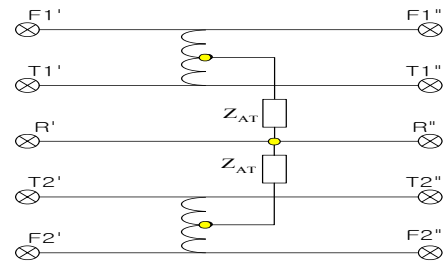


그림 7 보조급전구분소의 단권변압기
Fig. 7 Auto transformer of sub-sectioning post

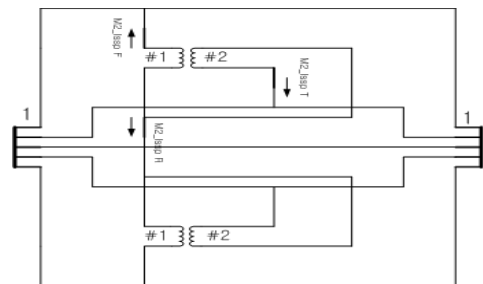


그림 8 보조급전구분소의 단권변압기 해석모델
Fig. 8 Analysis model of sub-sectioning post auto transformer

급전선, 전차선, 조가선, 레일, 가공보호선으로 구성되어 있다. 이들 전차선로는 상·하행선 별로 전차선과 조가선이 수 미터마다 드로퍼로 연결되어 있고 상·하행선 레일, 가공보호선이 서로 연결되어 있다. 이런 시스템을 실제적으로 해석하기 위해서는 이들 도체들을 서로 연결되지 않은 도체로 가정하는 것 보다 상행 급전선, 하행 급전선, 상·하행 각각의 전차선 도체군(전차선+조가선), 레일 도체군(상·하행 레일, 상·하행 가공보호선)의 5개 도체군으로 모델링하는 것이 최근 교류 전기철도를 해석하는 데에 있어서 주류를 이룬다. 그러나 본 과제의 목적이 레일에서 전차선으로 흡상되는 사고전류의 해석에 있기 때문에 5도체 모델링과 같이 상·하행 급전선, 상·하행 전차선 도체군(전차선+조가선)의 네 도체의 등가를 적용하지만, 레일 도체군은 상·하행 레일과 상·하행 보호선 그리고 매설접지선으로 분리하여 전차선로를 구성하였다.

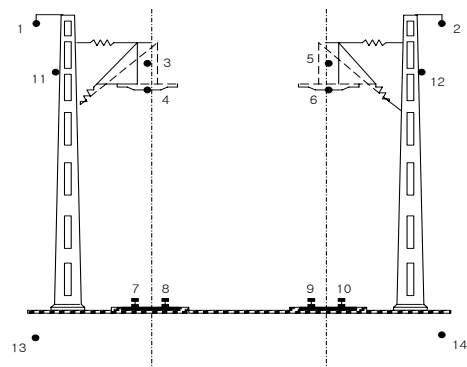


그림 9 전차선로의 기하학적 구조
Fig. 9 The geometric structure of catenary system

3.3.1 등전위 도체 분류 및 그룹핑

등전위 도체라는 개념은 두 개 이상의 도체가 서로 단락이 된 상태라고 정의된다. 전차선과 조가선의 경우, 수 m마다 드로퍼로 연결되어 있으므로 등전위 도체로 분류가 가능하며 계통을 해석할 때에 그룹핑 된다. 그러나 레일, 가공보호선, 접지선의 경우에는, 공통으로 연결되어 있으므로 하나의 등전위 도체로 고려하는 것이 일반적인 해석방법이지만, 본 과제의 특성 상 상행·하행 각 2 개의 레일도체만 그룹핑하는 것으로 해석모델을 구성하였다.[5]

3.3.2 5도체 등가 회로모델

5도체 등가화 과정의 흐름도를 그림 10에 보인다. 도체 데이터 정보 입력에서는 각 도체에 대한 높이, 도체간 거리, 반지름, 비투자율 등이 입력자료로 들어간다. 서로 연결된 도체를 분류하고 그룹핑한다. 그룹핑된 도체들은 등가 회로 모델링에 의해 등가 임피던스 및 등가 커패시턴스를 계산하고 등가 모델에 대한 선로 정수를 출력한다.

모든 도체의 선로정수를 얻기 위한 입력 데이터는 표 2, 3, 4와 같다.

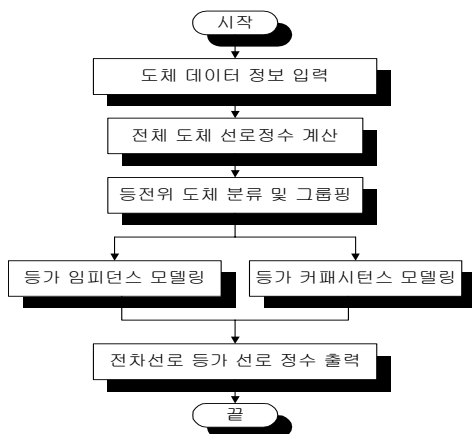


그림 10 도체 등가화 과정의 흐름도
Fig. 10 Flowchart of a process equivalent of the conductors

모든 도체의 선로정수를 얻기 위한 입력 데이터는 다음과 같다.

표 2 내부 임피던스 (직류 저항, 투자율)

Table 2 Internal impedance(DC resistance, permeability)

| 파라미터 | 직류저항(Ω/km) | 비투자율 | 비고 |
|-------|------------|------|-------------------|
| 급전선 | 0.09802 | 1 | aluminium/steel |
| 조가선 | 0.4474 | 1 | tin bronze |
| 전차선 | 0.11729 | 1 | hard drawn copper |
| 레일 | 0.2281 | 70 | 60kg/m steel |
| 가공보호선 | 0.30294 | 1 | aluminium steel |
| 접지케이블 | 0.30294 | 1 | aluminium steel |

표 3 각 도체의 기하학적 높이

Table 3 Geometric height of each conductors

| 파라미터 | 데이터(m) | 비고 |
|-------|--------|----|
| 급전선 | 7.45 | 지상 |
| 조가선 | 7.29 | " |
| 전차선 | 6.03 | " |
| 레일 | 0.95 | " |
| 가공보호선 | 6.95 | " |
| 접지케이블 | -0.55 | 지하 |

표 4 도체간의 수평 길이

Table 4 The length of the horizontal direction between the conductors

| 파라미터 | 데이터(m) | 비고 |
|---------------|--------|----|
| 급전선1 - 조가선1 | 4 | |
| 급전선 - 가공보호선1 | 1 | |
| 레일1 - 레일2 | 1.435 | |
| 레일2 - 레일3 | 3.065 | |
| 전차선1 - 가공보호선 | 3 | |
| 전차선1 - 전차선2 | 4.5 | |
| 전차선1 - 가공보호선2 | 7.5 | |

Table 5 도체의 기하학적 평균반경(GMR)

Table 5 Geometric mean radius of the conductors(GMR)

| 파라미터 | 데이터(m) | 비고 |
|-------|----------|----|
| 급전선 | 0.017170 | |
| 조가선 | 0.008177 | |
| 전차선 | 0.010590 | |
| 레일 | 0.105000 | |
| 가공보호선 | 0.009735 | |
| 접지케이블 | 0.009735 | |

4. 주차단기 개폐시 과전압 특성 해석

4.1 교류급전시스템 정상상태 해석

그림 11은 154kV 한전계통으로부터 수전받아 스코트변압

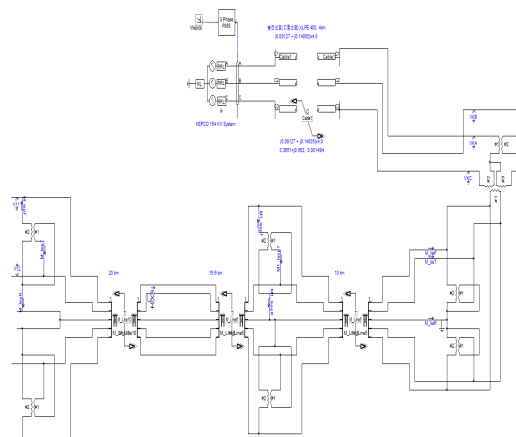


그림 11 교류급전시스템 모델링

Fig. 11 Modeling of AC railway power feeding systems

기를 거쳐 교류철도시스템에 급전하는 교류급전시스템 모델이다. 무부하의 모의 조건을 상정하고, 해당 조건에서 가선 전압을 모의하였다.

무부하 조건에서 모의를 하였을 때 125.87kV(상전압 순시치)한전공급전압(그림 12)에 대하여 가선전압은 그림 13에서 보는 바와 같이 M상 말단 전압은 38.99kV(상전압 순시치)로 모의되었고, 27.5kV 상전압 실효치 레벨로 모의됨을 알 수 있다. 그림 13의 교류급전시스템을 기반으로 이후의 과전압 모의를 진행하였다.

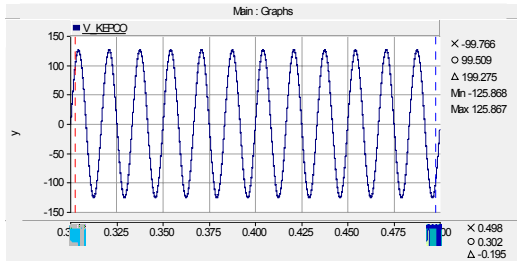


그림 12 한전 154kV 계통 공급전압(상전압 순시치)
Fig. 12 Power supply voltage of KEPCO 154kV system (instantaneous value of phase voltage)

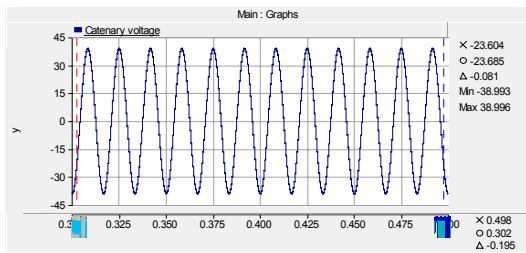


그림 13 M상 가선전압(상전압 순시치)
Fig. 13 Overhead contact line voltage of M phase (instantaneous value of phase voltage)

4.2 스위칭 과전압 모의 해석

차량 내부 차단기 투입에 따른 과전압 모의 해석을 수행하였다. 모의를 위하여 그림 14와 같이 개략적으로 표현된 차량 내부 계통을 그림 15와 같이 모델링하였다. 팬더그래프는 차량 최후단에 위치하며 가선과 팬더그래프를 통해 공급되는 전기에너지는 고압인통선을 통하여 차량 앞단의 주 변압기에 공급되어 동력을 발생시키게 된다. [7], [8]

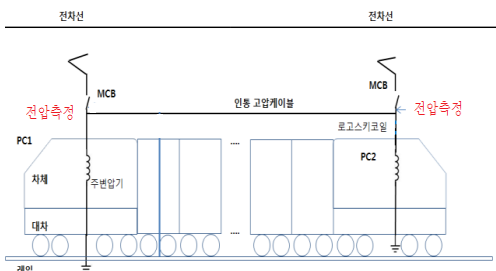


그림 14 철도차량 고전압 회로구성도
Fig. 14 Construction of the railway vehicle high voltage circuit

전기철도차량 주변압기의 %임피던스에 따른 차단기 개폐시 과도특성 분석

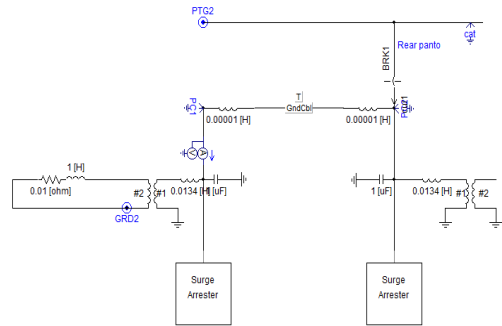


그림 15 철도차량 고압계통 모델링
Fig. 15 Modeling of high voltage systems of railway vehicle

4.3 차량 구성 요소

차량에 전력을 공급하기 위한 고압인통선 사양은 표 6에 나타내었다. 고압인통선 모델링을 위하여 PSCAD/EMTDC library에서 제공하는 Bergeron 모델을 사용하였다.

표 6 철도차량 고압계통 사양

Table 6 Specification of the high voltage systems

| 구분 | 사 양 | |
|-------|-------------|---------------|
| | 요소 성분(/km) | 임피던스(/m) |
| 길이 | 200m | |
| 인덕턴스 | 0.415 mH/km | 0.0001565 Ω/m |
| 커패시턴스 | 0.226 uF/km | 11.7368 MΩ/m |
| 저항 | 0.4 Ω/km | 0.004 Ω/m |

피뢰기의 경우 IEC 가이드라인에 의하면 뇌서지 과전압 (FFO) 모의를 위해서 IEEE WG 3.4.11에 의한 모의방법을 추천하고 있다[4]. IEEE WG 3.4.11에 의하면 뇌서지 분석을 위한 피뢰기 모의를 그림 16과 같이 비선형저항 2개를(A0, A1) 이용한 방법을 제시하고 있으며, 식 (2)~(6)과 같이 각 파라메타 계산방법을 제시하고 있다.[9]

피뢰기 컬럼의 수(n)와, 피뢰기 컬럼의 길이(d)에 대하여, 각 저항, 인덕터, 커패시터는 다음과 같이 계산된다. 내부 커패시터의 정전용량이 50pF으로 제시되었고, 이에 역산하여 컬럼의 수를 1로 가정할 때, 피뢰기 컬럼의 길이가 2m가 됨을 알 수 있고, 이를 이용하여 나머지 4개 저항 및 인덕터 요소에 대한 파라메터를 계산하여 그림 17과 같이 모델링하였다.

$$I_0 = 0.2 \times \frac{d}{n} = 0.4 \mu H \tag{2}$$

$$I_1 = 15 \times \frac{d}{n} = 30 \mu H \tag{3}$$

$$R_0 = 100 \times \frac{d}{n} = 200 \Omega \tag{4}$$

$$R_1 = 65 \times \frac{d}{n} = 130 \Omega \tag{5}$$

$$C_1 = 100 \times \frac{n}{d} = 50 pF \tag{6}$$

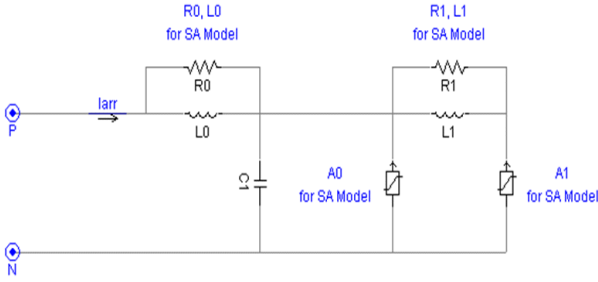


그림 16 IEEE 피뢰기 서지 해석모델
Fig. 16 Arrester surge analysis model of the IEEE

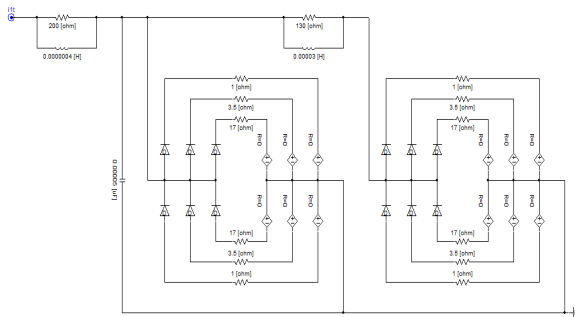


그림 17 EMTDC 피뢰기 모델링
Fig. 17 Arrester Modeling of EMTDC

4.4 철도차량용 주변압기 %임피던스에 따른 과전압 크기

철도차량용 주변압기는 중량, 단락전류, 차단기의 정격 차단전류, 전압강하, 부하손, 각종 전력기기 및 고압케이블 등의 단락강도에 영향을 주게 되므로 이러한 점을 고려하여 선정한다. 본 논문에서는 철도차량용 주변압기 %임피던스에 따른 차단기를 투입 시 발생하는 과전압을 모의하였다. 변압기 %임피던스는 0.1, 0.5, 1.0p.u.로 변화하여 모의하였다. 표 7에 정리한 모의결과를 보면, 변압기 %임피던스가 증가함에 따라 과전압의 크기가 증가하는 것을 알 수 있다. 다만 그 차이가 크지 않은 것은 그림 18에서 보는 바와 같이 차단기의 투입에 따라 발생하는 서지의 성분 중 공진성 고주파수 진행파 성분이 최대서지전압이 나타나기 전에 감쇠되어 최대전압 크기에 영향을 주지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

차단기 투입 초기 진행파 성분에 대한 스펙트럼은 그림 19에서 보는 바와 같이 200~240차(12~14.4kHz) 고주파 범위의 고주파수대에서 큰 값을 가진다. 그림 20~22는 변압기 임피던스 변화에 따른 과전압 파형을 나타낸다.

표 7 변압기 %임피던스에 따른 과전압 모의 결과

Table 7 Overvoltage simulation result corresponding to %impedance of the transformer

| Case | %Z (p.u.) | Voltage @PC1 | | Voltage @PC2 | |
|------|-----------|--------------|--------|--------------|--------|
| | | Peak(kV) | % | Peak(kV) | % |
| 1 | 0.1 | 64.029 | 164.64 | 63.918 | 164.35 |
| 2 | 0.5 | 64.766 | 166.53 | 64.630 | 166.18 |
| 3 | 1.0 | 65.404 | 168.17 | 65.247 | 167.77 |

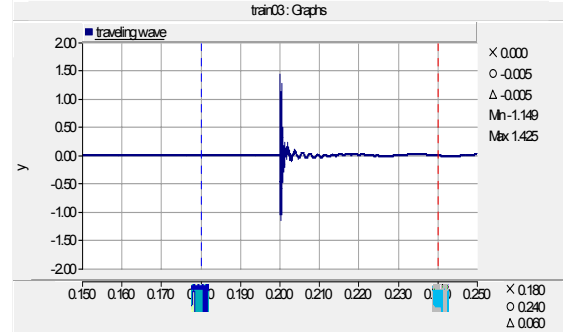


그림 18 진행파의 파형 및 감쇠
Fig. 18 Attenuation and waveform of the progressive wave

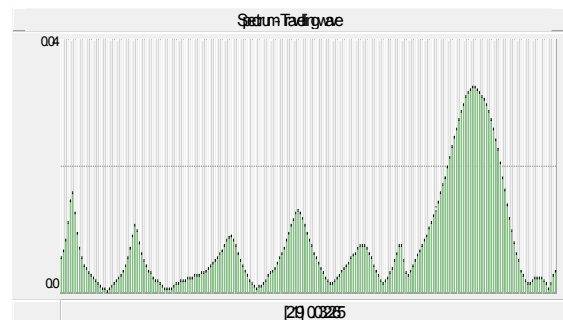


그림 19 진행파에 대한 스펙트럼 분석
Fig. 19 Spectrum analysis of progressive wave

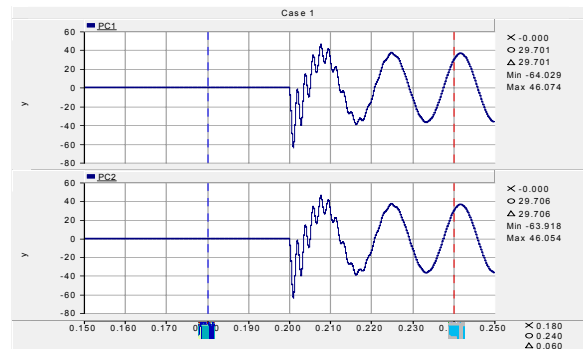


그림 20 Case 1 : 0.1pu %Z
Fig. 20 Case 1 : 0.1pu %Z

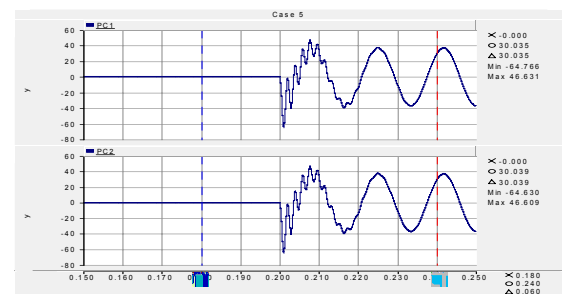


그림 21 Case 2 : 0.5pu %Z
Fig. 21 Case 2 : 0.5pu %Z

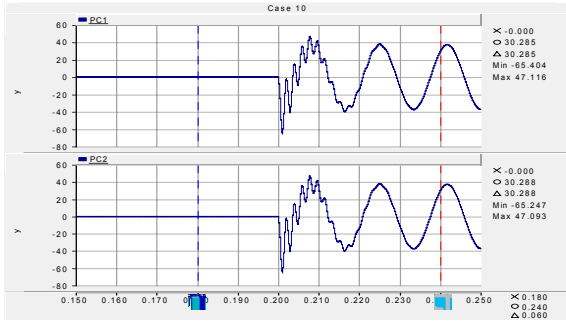


그림 22 Case 3 : 1.0pu %Z

Fig. 22 Case 3 : 1.0pu %Z

5. 결 론

전기철도차량의 과도현상은 주로 한 정상상태에서 또 다른 정상상태로 변환할 때 발생한다. 과도현상의 지속시간은 수 μ [sec]에서 m[sec]에 지나지 않으며, 이 시간 동안 단락전류의 존재는 정상상태로 간주될 수 있고 에너지는 주로 자기장 형태로 존재하게 된다.

전기철도차량이 주차단기는 열차의 기동시나 전철변전소의 상전환시 정상으로 급전되고 있는 변전소 또는 급전구분소의 절연구간을 통과할 때 취급되며, 이때 주차단기를 개방 후 재투입하는 개폐과정에서 주변압기의 소손이 종종 발생하고 있다. 이에 대한 원인과 대책을 수립하기 위하여 주변압기의 %임피던스 크기에 따른 영향을 분석하였다.

연구결과 주변압기 %임피던스가 커짐에 따라 과전압의 크기가 증가하는 것으로 분석되었다. 다만, 그 차이가 크지 않은 것은 차단기의 투입에 따라 발생하는 서지의 성분 중 공진성 고주파수 진행과 성분이 최대서지전압이 나타나기 전에 감쇠되어 최대전압 크기에 영향을 주지 못하기 때문이다. 차량에 발생하는 과전압은 주차단기의 제점호 과정에서 발생하는 스위칭 서지로 인해 발생하는데 스위칭 과도과전압의 크기는 정격의 약 160%대로 높게 형성됨을 알 수 있다.

이번 논문은 주변압기의 %임피던스의 크기에 따른 과전압의 영향을 분석하였다. 향후에는 차량용 주차단기인 진공차단기의 개폐시 고주파 재발호 진동이 발생해 주변압기의 공진주파수와 일치되어 주변압기 내부에서 공진 확대로 권선의 절연이 파괴되는 현상에 대하여 이론적인 검토 및 실제시험을 통해 원인을 분석하고자 한다.

References

[1] Lou van der Sluis, "Transients in Power Systems", John Wiley & Sons, LTD, 2001.
 [2] Korea Railroad Research Institute, "A Study on Transient characteristic of Railway Track Circuit at Dead Section" 2005
 [3] Hitoshi Hayahiya, Koji Ajiki, "Closing Surge and Surge propagation at SHINKANSEN Changeover Section", IEEJ Trans. IA, Vol. 126, No.3, 2006.
 [4] Sang Hoon Chang et al, "Harmonic Analysis for Power Supply System Using Four-Port Model",

Trans. KIEE, Vol. 51A, No. 6, JUNE 2002

[5] Korea University, Development and Application of Urban AC Railway Power System Analysis Model Using PSCAD/EMTDC", Urban Transit Standardization R&D Report, KRRI, 2002. 11
 [6] Han Min Lee et al, "A Reduction Equivalent Constant of the Catenary System, Trans. KIEE, Vol. 53A, No. 8, AUG, 2004
 [7] S. Hatsukade and T. Maeda : Experiment and basic analysis of the surge on a Rolling Stock's Body, IEEJ Trans. PE, Vol.125, No.8, 2005.
 [8] Zlatoje Zdravkovic, Petar Vukelja, Jovan Mrvic "Insulation co-ordination for continuous operating voltages and temporary over voltages", Electrical Engineering (2006) 88 : 441 - 446
 [9] IEEE WG 3.4.11, Modeling of Metal Oxide Surge Arresters, IEEE Transactions on Power Delivery, pp. 393-398, 1992.07

저 자 소 개



창 상 훈 (倉 相 勳)

2002년 홍익대학교 전기정보제어공학과 졸업(공학박사), 1994년~현재 한국철도기술연구원 미래광역도시철도연구실 수석연구원, 2013년~현재 한국교통대학교 교통대학원 겸임교수

Tel : 031-460-5419

Fax : 031-460-5459

E-mail : shchang@krri.re.kr