

# 철도고배 전송선로 분로리액터 설치에 대한 모델링

## A modelling on Shunt Reactors in Railway Power Transmission System

이종수\* · 이종우†  
(Jongsoo Lee · Jongwoo Lee)

**Abstract** - In power transmission systems, voltage changes continuously as reactive power is whether over supply or shortage. Reactive power produces in generators and consumes in transmission lines, and loads. Voltages at end points of transmission lines rise which is called Ferranti effect. Excessive voltage rising can reduce transmission equipment life, the voltage rising is usually permitted within the limit of 10%~30% excess. Shunt reactors are installed in transmission lines to put a curb on voltage rising. In this paper, we tried to do modelling for shunt reactor configuration types which are no grounding, grounded and grounded neutral reactor. Simulation are carried out for reactor magnitude for compensating transmission line capacitance.

**Key Words** : Power transmission, Ferranti effect, Shunt reactor, Reactive power, Modelling

### 1. 서론

전력계통에서의 전압은 무효전력의 과부족에 따라 변화되는데 무효전력의 소비는 주로 부하와 송전계통(송전설비, 변압기 등)에서 이루어지고, 무효전력의 생산은 발전기와 송전선로에서 이루어진다. 무효전력을 계통에 공급하면 전압은 상승하고 반대로 이를 흡수하면 전압이 낮아지게 된다. 리액터는 무효전력을 흡수하며, 캐패시터는 무효전력을 공급하는 역할을 한다[1].

분로리액터(Shunt Reactor) 무효전력의 양을 조정하기 위한 것으로 전력용 캐패시터와 반대기능을 수행하며, 무효전력의 증가를 흡수함으로써 전압을 낮추는 역할을 한다. 경부하 시간대에는 부하 측의 유도성 리액턴스가 감소하고, 송전선로에선 용량성 리액턴스가 증가하여 계통전압이 상승하기 때문에 이를 억제하기 위하여 분로리액터를 설치하여 운용하고 있다. 대부분의 경우 전압이 10%이상 상승하는 경향이 있을 경우에 분로리액터를 연결하고, 거의 0~100%까지 상승전압을 보상한다. 일반적으로 전송시스템은 운용에서 안전하게 혹은 연결된 설비들의 안전한계를 고려해서 전압상승의 크기는 5% ~10% 내에서 관리되며, 최대한 전압상승범위는 10%~30%이다[2]. 전송길이가 긴 경우에는 200

Km ~ 300 km 관리하고, 필요하다면, 변전소에서 전압과 무효전력을 이용하여 전압을 제어한다.

전송선에 분로리액터를 설치할 경우 용량성 리액턴스를 상쇄하고, 전압 프로파일을 개선할 수 있으며, 전력시스템의 volt/VAR를 개선할 수 있다. 분로리액터의 설치는 적용분야에 아주 다를 수 있다. 본 논문에서는 전송선로를 모델링하고, 페란티 효과에 의해서 전압이 상승할 때 상쇄할 수 있는 분로 리액터를 모델링하고, 모델 별로 미치는 영향에 대해 분석하였다.

### 2. 전송선 모델링

#### 2.1 전송선 모델링[3]

전송선을 저항, 인덕턴스 및 캐패시턴스 성분을 갖게 되며, VAR 발생원( 캐패시턴스)과 소비자(직렬 임피던스)가 있다. Fig. 1과 같이 전송선에 의해서 생성된 VAR은 전송선의 전압원  $V_s$ 과 전송선의 서셉턴스  $B$ 에 의해서 결정된다. 전송선의 서셉턴스는 고정되어 있고, 송전단  $V_s$ 는 상대적으로 일정하다. 전송선에 의해서 생성된 VAR는 식 (1)과 같이 나타내며 거의 일정하다.

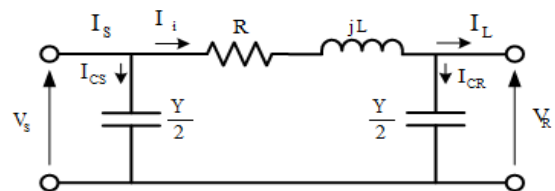


Fig. 1 “π” type modelling for transmission lines

† Corresponding Author : Dept. of Railway Electric and Signaling Engineering, Graduate School of Railway, Seoul National University of Science and Technology, Korea  
E-mail : saganlee@seoultech.ac.kr

\* Dept. of Railway Electric and Signaling Engineering, Graduate School of Railway, Seoul National University of Science and Technology, Korea

Received : April 24, 2015; Accepted : July 2, 2015

$$Q_{Produced} = |V_S|^2 B \quad (1)$$

Fig. 2에서 나타난 것처럼 전송선에서 VAR의 소비자는 전송선의 리액턴스(X)와 전송선 전류(I<sub>L</sub>)이다. 전송선의 리액턴스는 일정하지만, 전송선의 전류는 “0”에서부터 최대년까지 도통할 수 있으며, 경우에 따라서는 정해진 시간동안 과전류가 도통하는 것을 허용하고 있다. 이것은 전송선에 의해서 소비되는 VAR는 식 (2)와 같이 부하전류에 직접적으로 비례한다.

$$Q_{consumed} = |I_L|^2 X \quad (2)$$

$$I_L = (I_S - jV_S B) \quad (3)$$

캐패시턴스가 큰 전송선은 충전전류를 무시할 수 없다. 그 전송선이 개방되어 있거나 혹은 부하가 경부하일 때 수전단의 전압은 송전단의 전압보다 높을 수가 있으며, 식 (4)으로 나타낼 수 있다.

$$V_{rise} = V_R \omega^2 C_{CR} L = V_R \omega^2 c_u l_u l_{ength}^2 \quad (4)$$

단위길이 당 캐패시턴스와 인덕턴스를 각각 c<sub>u</sub>, l<sub>u</sub>로 나타낼 때, 식 (4)에서와 같이 전압상승은 길이 l<sup>2</sup><sub>ength</sub>으로 나타나므로 전송길이가 길면 길수록 급격하게 상승한다.

전송선에서 소모되는 VAR보다 생성되는 VAR가 많을 경우, 수전단의 전압은 송전단의 전압보다 높아지게 된다. Fig. 2와 같이 시스템의 부하가 작을 경우는 과도하게 생성되는 VAR를 소모시킬 수 있는 장치를 부착해야 한다.

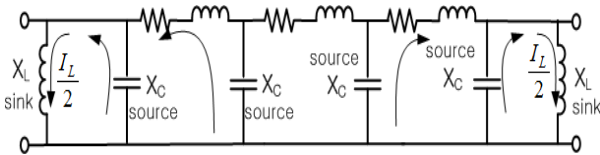


Fig. 2 VAR production and Consume in power system[3]

생성된 VAR를 소모하기 위해서 리액터를 설치하며, reactive 전류에 의해서 발생하는 손실을 최소화 하도록 전송선의 끝단에 설치한다. 인덕터는 VAR를 흡수하므로, 분기 캐패시터와 병렬로 연결하며, 분기 캐패시터에 의해서 생성된 VAR는 전송선에 병렬로 연결된 리액터에서 소비하도록 한다.

### 2.2 분로리액터 설치

분로리액터 구성 방법은 Fig. “3”, “4”, “5”와 같으며, (a) 중성점 접지를 하지 않는 리액터를 Y 결선, (b) Y결선의 중성점을 직접 접지 방법, 및 (c) 중성리액터를 설치하여 접지를 하는 방법 등이 있다.

(a) 중성점 비 접지 분로 리액터

중성점에 접지가 없는 경우에는 3상 시스템이 불평형인 경우에도 영상전류가 존재하지 않는다. Y 결선 리액터의 경우는 delta 결선으로 변환할 수 있으며, 이 경우는 Fig. 3과 같이 선간에 존재하는 capacitance와 1대1로 대응되어 병렬회로가 된다.

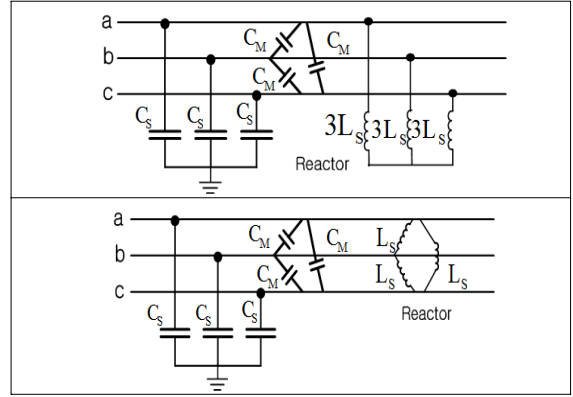


Fig. 3 Non grounded shunt reactor can correspond to line to line capacitance

Y결선 리액터를 delta 결선의 등가 변화를 하였을 경우는 식 (5)와 같이 된다.

$$I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = 3L_s \quad (5)$$

(b) 리액터의 중성점 접지

중성점 접지 리액터는 단상 리액터이며, 일반적으로 대지와 변압기, 발전기의 중성점 사이를 연결한다. 리액터 중성점 접지는 최대 고장 전류를 제한하기 위해서 사용되고, 최대 고장전류는 파워 시스템의 장치에 피해를 주지 않고, 고장점을 제거하기 위한 릴레이 동작이 될 수 있는 충분한 고장전류가 흐를 수 있다.

3상전력이 불균형이 발생하면은 리액터 중성점 접지를 통해서 영상전류가 흐른다. 리액터 중성점 접지선에 CT를 설치하면 영상 전류를 검지할 수 있으며, 중성점의 전위는 Millman의 정리에 의해서 구할 수 있다.

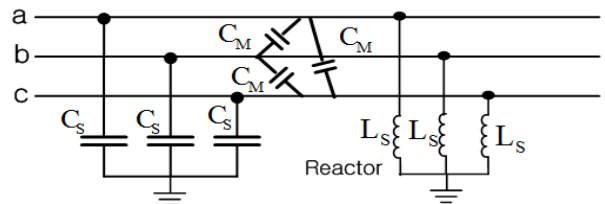


Fig. 4 Star type shunt reactor corresponds directly to line to ground capacitance

리액터의 중성점을 접지한 경우는 Fig. 4와 같이 전력선의 상-대지간의 캐패시턴스와 1대1로 대응하게 된다.

(c) 중성점에서 분로 리액터

중성 리액터(단상 리액터)는 단독 극 자동 투입이 적용되는 곳에서 2차 아크를 소호하기 위해서 사용되며, 중성점과 그라운드 사이에 설치한다. 중성 리액터의 목적은 가공선의 전체적인 “0” 시퀀스 리액턴스를 증가 시킨다. 이 방법으로 전송선 차단기가 동작하였을 때 단상 전송선 고장상황에서 고장전류가 작도록 한다. 이러한 결과를 고장점에서 아크를 소호시키고, 재투입 작업이 원활히 수행될 수 있는 확률을 높인다.

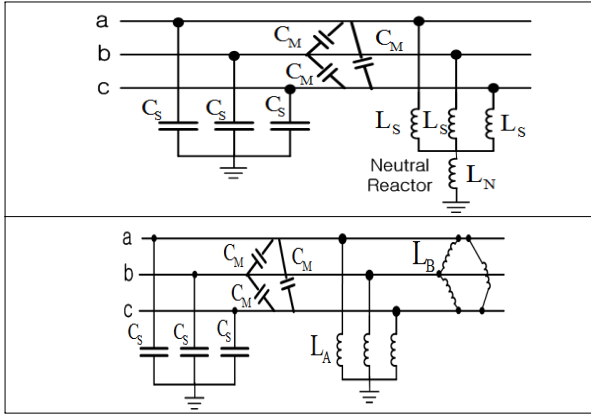


Fig. 5 Grounded neutral reactor corresponds to line to line and line to ground capacitances

$$L_A = 3L_N + L_s \quad (5)$$

$$L_B = \frac{L_s}{L_N} (3L_N + L_s) \quad (6)$$

중성리액터를 설치하면, 식 (5)와 (6) 같이, 상간 및 상대지간에 리액터를 설치한 것과 같다.

### 3. 배전시스템에서의 분로리액터의 영향

#### 3.1 배전 시스템운용

배전시스템에 분로리액터를 설치한 경우 배전시스템의 운용에 영향을 미치며, 배전선로에 분로리액터를 설치하였을 때 나타나는 현상을 규명할 필요가 있다. 분로리액터를 설치된 전송선에서 전류의 투입, 차단 및 고장상태를 규명할 필요가 있다.

배전선로의 모델링은 Fig. 6과 같다.

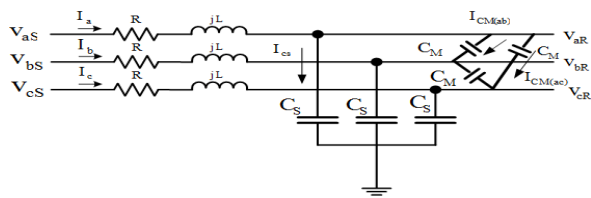


Fig. 6 Three Phases Distribution Line Model

이 경우에 “a”상의 전압상승은 식 (7)과 같다.

$$v_{as} = v_{aR} + j\omega(c_s v_{aR} + c_M v_{ab} + c_M v_{ac})R - \omega^2(c_s v_{aR} + c_M v_{ab} + c_M v_{ac})L \quad (7)$$

$$\text{단, } v_{ab} \equiv v_{aR} - v_{bR} = \sqrt{3} v_a \angle 30^\circ,$$

$$v_{ac} \equiv v_{aR} - v_{cR} = \sqrt{3} v_a \angle -30^\circ$$

#### 3.2 정상상태

(a) 중성점 비 접지 분로 리액터

중성점에 접지가 없는 경우는 Fig. 7과 같이 나타낼 수 있다. 상호 캐피시턴스  $C_M$ 과  $3L_S$ 의 병렬 임피던스는 식 (8)과 같다.

$$X_{p1} = j\omega \frac{L_M}{1 - \omega^2 L_M C_M} \quad (8)$$

식 (8)은 susceptance만 존재하며, 값을 구하기 위해서 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_{p1} = j \frac{1 - \omega^2 L_M C_M}{\omega L_M} \quad (9)$$

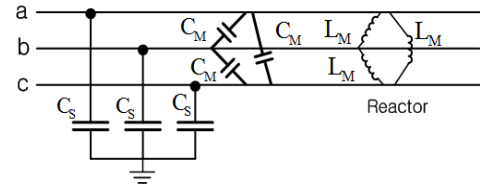


Fig. 7 Non grounded shunt reactor

각상에 흐르는 전류와 “a” 상의 전압상승을 식 (10), (11) 및 (12)에 나타내었다.

$$I_a = j\omega C_s V_a + j\omega B_{p1} (V_a - V_b) + j\omega B_{p1} (V_a - V_c) \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = j\omega \begin{bmatrix} C_s + 2B_{p1} & -B_{p1} & -B_{p1} \\ -B_{p1} & C_s + 2B_{p1} & -B_{p1} \\ -B_{p1} & -B_{p1} & C_s + 2B_{p1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$v_{aR} = v_{aS} - j\omega(C_s v_{aR} + B_{p1} v_{ab} + B_{p1} v_{ac})R + \omega^2(C_s v_{aR} + B_{p1} v_{ab} + B_{p1} v_{ac})L \quad (12)$$

$$L_s = \frac{1}{\omega^2 C_M} \quad (13)$$

이 경우 리액터  $L_s$ 의 용량은 식 (13)과 같으며 수전단의 전압  $v_{aR}$ 은 식 (14)와 같다.

$$v_{aR} = v_{aS} + j\omega(C_s v_{aR})R + \omega^2(C_s v_{aR})L \quad (14)$$

(b) 리액터의 중성점 접지

중성점 접지 리액터는 Fig. 8과 같이 나타낼 수 있다.

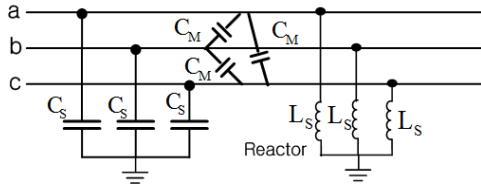


Fig. 8 Neutral grounded shunt reactor without neutral reactor

$$B_{p2} = j \frac{1 - \omega^2 L_s C_s}{\omega L_s} \quad (15)$$

$$I_a = j\omega B_{p2} V_a + j\omega C_M (V_a - V_b) + j\omega C_M (V_a - V_c) \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = j\omega \begin{bmatrix} B_{p2} + 2C_M & -C_M & -C_M \\ -C_M & B_{p2} + 2C_M & -C_M \\ -C_M & -C_M & B_{p2} + 2C_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$v_{aR} = v_{aS} - j\omega (C_M v_{aR} + B_{p2} v_{ab} + B_{p2} v_{ac}) R + \omega^2 (C_M v_{aR} + B_{p2} v_{ab} + B_{p2} v_{ac}) L \quad (18)$$

$$L_s = \frac{1}{\omega^2 C_s} \quad (19)$$

여기서 보상을 할 경우는  $B_{p2}$ 가 “0”이 되도록 한다.

$$v_{aR} = v_{aS} + j\omega (C_s v_{aR}) R + \omega^2 (C_s v_{aR}) L \quad (20)$$

(c) 중성점에서 분로 리액터

중성 리액터를 설치한 경우는 Fig. 9와 같이 된다.

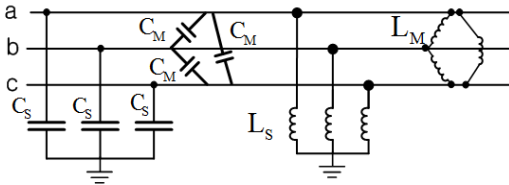


Fig. 9 Neutral reactor grounded shunt reactor

$$I_a = j\omega B_{p2} V_a + j\omega B_{p1} (V_a - V_b) + j\omega B_{p1} (V_a - V_c) \quad (21)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = j\omega \begin{bmatrix} B_{p2} + 2B_{p1} & -B_{p1} & -B_{p1} \\ -B_{p1} & B_{p2} + 2B_{p1} & -B_{p1} \\ -B_{p1} & -B_{p1} & B_{p2} + 2B_{p1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$v_{aR} = v_{aS} - j\omega (B_{p1} v_{aR} + B_{p2} v_{ab} + B_{p2} v_{ac}) R + \omega^2 (B_{p1} v_{aR} + B_{p2} v_{ab} + B_{p2} v_{ac}) L \quad (23)$$

중성리액터의 경우, 식 (24)는 식 (19), 식 (25)는 식 (13)과 동일하다.

$$L_s = \frac{1}{\omega^2 C_s} \quad (24)$$

$$L_M = \frac{1}{\omega^2 C_M} \quad (25)$$

이론적으로 식 (22)와 (23)의 값을 취할 때  $B_{p1} = 0$   $B_{p2} = 0$ 이므로, 식 (26)과 같이 수전단과 송전단 전압을 갖게 된다.

$$v_{aR} = v_{aS} \quad (26)$$

리액터를 설치 후 보상율에 따라, 전압상승을 계산할 수 있다. 식 (7), (12), (18) 및 (23)은 벡터성분이 포함된 식이므로, 벡터 선도를 이용해서 계산하여야 한다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 값을 구했다.

### 3.3 1상 지락

케이블의 지락은 발생빈도가 가장 높은 1선 지락에 대해서 고려를 하였다. 1선 지락의 경우 차단기가 개방되었을 때, 일차회로 단에서는 지락이 발생한 도선에 전력공급이 차단된다. 그러나 지락이 발생한 고장선로와 정상적인 나머지 2 선로와는 캐패시터가 존재하여, 정상적인 선로와 고장선로 사이에서 고장전류가 흐르고, 고장점에서 아크가 발생을 하면은 고장전류는 잘 흐르게 된다. 한번 일차 아크가 발생을 하면, 아크를 유지하는데 필요한 전류는 캐패시터 전류만으로도 충분하다. 이러한 현상을 2차 아크라고 한다. 2차 아크를 소호시키기 위해서, 중성리액터를 설치한다. 중성리액터를 설치하는 목적은 LC공진회로를 발생하도록 한다. 그것은, 외부에서 볼 때, 병렬 전송선으로 취급 하였으며, 1차 지락이 발생하였을 때를 모델링하였다.

(a) 중성점 무 접지 분로 리액터

중성점을 접지하지 않은 경우에 "a"상에 지락이 발생하였을 때 Fig. 10과 같다.

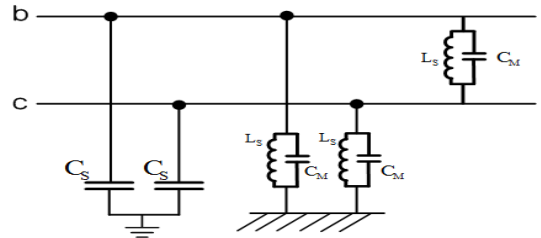


Fig. 10 Phase “a” faulted case in non grounded shunt reactor

이 경우에 다음과 같은 식 (18)이 성립한다.

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = j\omega \begin{bmatrix} C_s + 2B_{p1} & -B_{p1} & -B_{p1} \\ -B_{p1} & C_s + 2B_{p1} & -B_{p1} \\ -B_{p1} & -B_{p1} & C_s + 2B_{p1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (27)$$

“a” 상에 흐르는 전류는 식 (28)과 같이 된다.

$$I_a = -j\omega B_{p1}(V_b + V_c) \quad (28)$$

식 (25)에서  $B_{p1} = 0$ 이므로 전류  $I_a \approx 0$ 이 된다. 실제로는 지락 장소에 따라, 선로 임피던스가 다르므로  $I_a \approx 0$ 이 되지는 않는다.

(b) 리액터의 중성점 접지

중성점 접지 리액터는 Fig. 11과 같이 나타낼 수 있다.

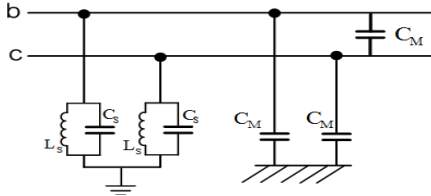


Fig. 11 Phase "a" faulted case in neutral grounded shunt reactor without neutral reactor

이 경우는 식 (11)을 적용하였으며,  $V_a = 0$ 이므로

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = j\omega \begin{bmatrix} B_{p2} + 2C_M & -C_M & -C_M \\ -C_M & B_{p2} + 2C_M & -C_M \\ -C_M & -C_M & B_{p2} + 2C_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$I_a = -j\omega C_M(V_b + V_c) \quad (30)$$

식 (30)에서  $C_M \neq 0$ 이므로 전류  $I_a \neq 0$ 이 되어 전류가 흐른다.

(c) 중성점에서 분로 리액터

중성 리액터를 설치한 경우는 Fig. 12와 같다.

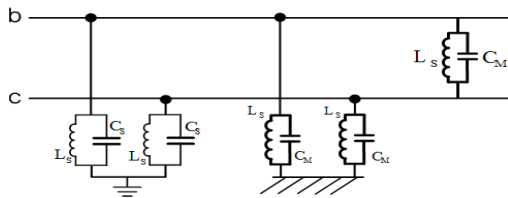


Fig. 12 Phase "a" faulted case in neutral reactor grounded shunt reactor

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = j\omega \begin{bmatrix} B_{p2} + 2B_{p1} & -B_{p1} & -B_{p1} \\ -B_{p1} & B_{p2} + 2B_{p1} & -B_{p1} \\ -B_{p1} & -B_{p1} & B_{p2} + 2B_{p1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$I_a = -j\omega B_{p1}(V_b + V_c) \quad (32)$$

식 (31)에서  $B_{p1} = 0$ 이므로 전류  $I_a \approx 0$ 이 된다.

## 4. 시뮬레이션

### 4.1 시뮬레이션 tool 및 조건

분로리액터의 시뮬레이션은 상용 소프트웨어인 SIMULINK®의 powerlib를 이용하여 모델링하였으며, 분로리액터의 설치 효과를 분석하기 위한 Simulink 모델을 Fig. 13과 같이 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다. 철도 고배 전송선로 선로의 길이, 선간 간격, 선과 대지와의 간격, 도선의 특성 등 선로 특성이 주어지면  $R$ ,  $L$ , 및  $C$ 는 "power\_lineparam"를 이용해 쉽게 구할 수 있다. 위에서 제시한 모델은 철도고배선로, 한전 송전선로, 한전 배전선로 등에 적용할 수 있으며, 본 논문에서는 편의상 철도 배전선로에 적용하였다.



Fig. 13 Railway 22.9kV Aerial Transm -ission lines

Table 1 Distributor line parameters

도체명	상	x축(m)	y축(m)	y축(min)
p1	1	-1.14	6	6
p2	2	-0.49	6	6
p3	3	1.14	6	6
GND	0	0	7	6

Table 2  $Rl, Cl, Ll$  of line characteristics

$Rl[ohm/km]$	$Ll[H/km] \times 10^{-2}$	$Cl[F/km] \times 10^{-8}$
$\begin{pmatrix} 0.169 & 0.126 & 0.124 \\ 0.126 & 0.172 & 0.126 \\ 0.124 & 0.126 & 0.169 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.243 & 0.135 & 0.121 \\ 0.135 & 0.242 & 0.135 \\ 0.121 & 0.135 & 0.242 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0.840 & -0.223 & -0.114 \\ -0.223 & 0.894 & -0.222 \\ -0.114 & -0.222 & 0.840 \end{pmatrix}$

Table 3  $R2, C2, I2$  for positive and zero sequence of Symmetric Transformation

$R2[ohm/km]$	$I2[H/km] \times 10^{-2}$	$C2[F/km] \times 10^{-8}$
$[0.045 \quad 0.420]$	$[0.112 \quad 0.503]$	$[1.044 \quad 0.485]$

22.9kV의 가공선로 배전선로는 대부분 짧은 거리(100km)에 대한 것으로 거의 전압상승이 없다. 이론적으로 전압상승을 위해

서 500km에 대한 배전선로에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다. 500km의 선로에서 전압상승은 식 (3)을 이용하여 계산하였을 때 4,750V가 상승하였다.

실제 보상률은 캐패시턴스의 70%~ 80%정도에서 보상을 하는 리액터를 사용하며, 이 경우는 보통의 부하에서 리액터를 그대로 연결시켜 동작 시킬 수 있다[3].

분로 리액터의 인덕턴스  $L_1, L_2, L_3$  및  $L_5, L_6, L_7$ 과 중성리액터  $L_4$  및  $L_8$ 의 값은 식 (5), (6), (13), (19)를 이용해서 구하였으며, 시뮬레이션은 지락 발생은 0.1~0.3초 및 0.7~0.9초에 일어났고, 리액터 투입은 0.6~1.2초 및 1.3~1.6초, 부하투입 1.2~1.4초를 가정하였다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 14에 대표로 나타내었다.

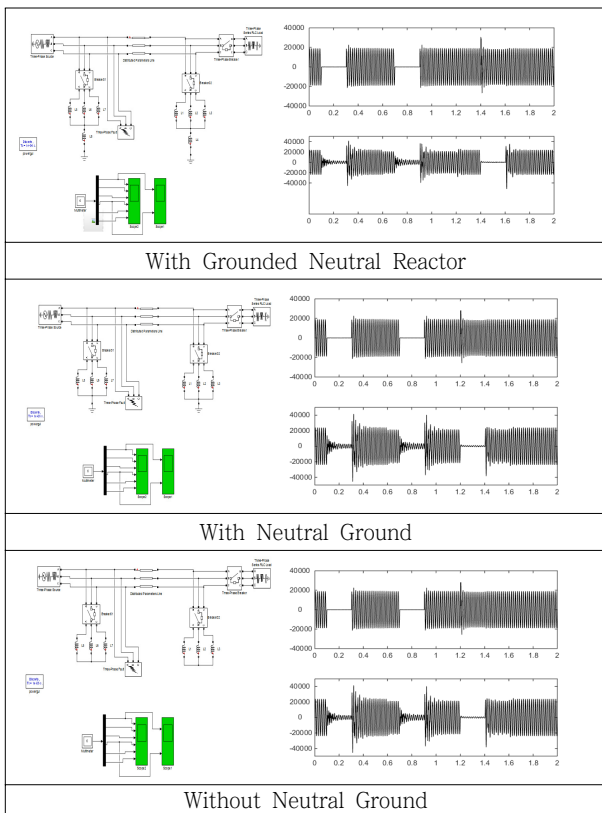


Fig. 14 Different Reactor Configuration and Simulation Results

Table 4 Inductances to Different Compensation Ratio

Type	Compensation Ratio	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%
		a	$L_M$	-1.9	-2.53	-2.53	-3.8	-4.43	-5.06	-5.7	-6.33
b	$L_s$	0.5	0.67	0.67	1	1.17	1.34	1.51	1.68	1.84	2.01
c	$L_s$	2.44	3.26	4.07	4.89	5.7	6.52	7.33	8.14	8.96	9.78
	$L_N$	-0.65	-0.86	-1.08	-1.03	-1.51	-1.73	-1.94	-2.16	-2.37	-2.59

상호 인덕턴스와 중성인덕턴스는 negative 값을 갖는다[12].

Fig. 15과 16는 리액터를 양쪽 및 한쪽에 설치하고, 보상률을 30%~120%까지 변화시켜 시뮬레이션한 결과이다. 전압 값은 0.5~0.6초와 0.6~0.7초 값의 RMS한 값이다.

부하단에 설치하였을 때에는 전압보상 효과가 양쪽 단에 설치한 것보다 작았다. 이것은 SIMULINK에서 기인된 것인지는 분명하지 않다. 향후 다른 tools를 이용해서 결과를 비교하여 볼 수 있다.

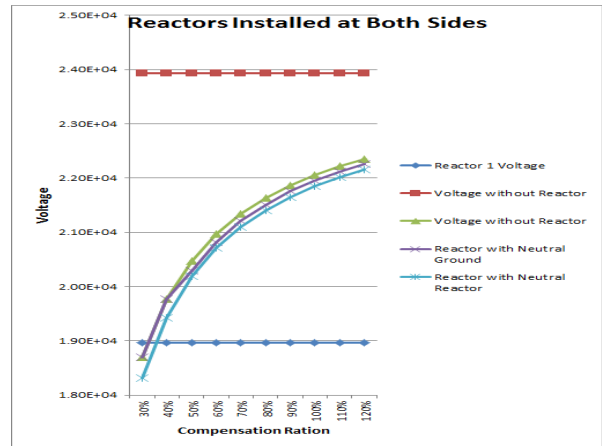


Fig. 15 Voltage curves to different compensation of reactor installed at both sides

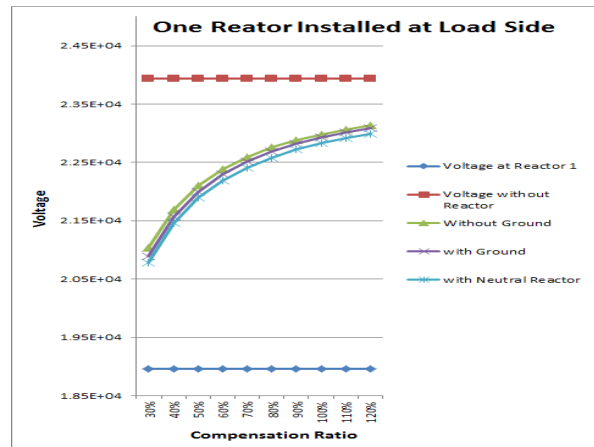


Fig. 16 Voltage curves to different compensation of reactors installed at load side

### 3. 결 론

본 논문에서는 비접지, 중성접지 및 중성 리액터 접지 방식에 대한 분로 리액터의 모델링을 수행하였다. 분로리액터는 선 대지 간의 캐패시턴스에 의해서 전압상승을 방지하기 위해서 설치하는 것으로, 생성되는 캐패시턴스에 상응하는 리액터를 설치해야 한다. 본 논문에서는 Matlab-Simulink를 이용하여 시뮬레이션을 수행



하였으며, 이론적인 모델링에 의한 예측과 시뮬레이션이 일치하는 것을 확인하였다. 실제 전송로에 분로리액터를 설치하기 위해서는 실제 노선의 형상을 이용한 캐패시턴스의 산정과 그에 대한 분로리액터 용량을 설정하여 시뮬레이션을 수행하고, 실제 운용노선에 대한 측정과 설치 값을 비교하여 증명하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 단지 중성리액터 접지 분로 리액터의 전압변동 현상에 대해서 모델링과 시뮬레이션을 수행하였지만, 향후 연구로서는 분로리액터를 설치 후 운용에 발생하는 현상 스위치 투입 및 차단, 지락, 재투입 및 보호 장치 등을 고려하여 종합적으로 분석하는 것이 필요하다.

### 감사의 글

본 연구는 2015학년도 서울과학기술대학교 산학협력단의 지원에 의하여 이루어진 “철도고배 전송선로 분로리액터 설치에 대한 모델링”의 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

### References

[1] John J. Anderson, “Power System Analysis”, McGraw-Hill International Editions

[2] C.D. Tsirekis et al., “Control of Shunt Capacitors and Shunt Reactor Energization”, International Conference on Power Transient, IPST2003 in New Orleans, USA

[3] Eithar Nashawati et al., “Impacts of Shunt Reactors on Transmission Line Protection”, <https://www.eiseverywhere.com>

[4] Yoshihide Hase, “Handbook of Power Systems Engineerings”, John Wiley & Sons, Ltd

[5] Horng-Ching HSIAO et al., “Shunt Reactor Switching Characteristics and Maintenance Planning in 161 kV System”, J. Electromagnetic Analysis & Applications, 2009, 1: 214-219

[6] Yiyuan Xue et al., “Charging Current in Long Lines and High-Voltage Cables - Protection Application Considerations”, Western Protective Relay Conference, in Washington, October 2012

[7] SHAO Wenquan et al., “Single-phase Adaptive Reclosure for EHV and UHV Transmission Lines with Shunt Reactors”, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5449451>

[8] David Shipp et al., “Characteristics of Different Power Systems Neutral Grounding Techniques: Fact & Fiction”, IEEE 1988 Industry Applications Society Technical Conference in Pittsburgh, PA

[9] S.R. Atmuri, et al., “NEUTRAL REACTORS ON SHUNT COMPENSATED EHV LINES”, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=328443>

[10] IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems

[11] E.E. Colapret, et al., “Effects of Faults And Shunt Reactor Parameters On Parallel Resonance”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 2, February 1981

[12] Hirohito Funato, et al., “Realization of Negative Inductance Using Variable active - Passive Reactance (VAPAR)”, IEEE Transaction on Power Electronics, VOL. 12, NO. 4, July 1997

[13] W. Y. LEE et al., “Determination of Optimal Controlled Switching Instants for Circuit Breaker of Shunt Reactors”, Trans. KIEE Vol.51B No.12, DEC., 2002, 664-669 (6 pages)

[14] S.D. LEE et al., “Coordinated Control Modeling and Simulation among the Voltage Compensation Equipments Using Python”, Trans. KIEE. Vol. 59, No. 1, JAN, 2010

### 저 자 소 개



#### 이 종 수 (Jongsoo LEE)

He was received his B.S and M.S. in Electrical Engineering from Seoul National University of Science and Technology in 2002 and 2004. He is in toward PH. D. and is currently in charge of director general in KP electrics.

Tel : 032-862-2121

E-mail : trleekr@korea.com



#### 이 종 우 (Jongwoo LEE)

He was received his B.S from Hanyan University in 1983 and M.S. from Ecole Centrales des Nantes France, in 1986 and Ph. D. from University of Paris VI in 1993. He is the professor of Graduate School of Railway, Seoul National University of Science and Technology since 2005.

Tel. : 02-970-6874

Fax : 02-970-6874

E-mail : saganlee@seoultech.ac.kr