

전송로의 직렬리액턴스 산정 시 Carson 모델의 적용범위 검토

論 文
58-2-2

Study of the Applicability of the Carson Line Model for the Series Reactance Calculation of the Power Feeding Lines with no Ground Return

鄭相基[†] · 權三榮* · 倉相勳** · 張東旭***
(Sang-Gi Chung · Sam-Young Kwon · Sang-Hoon Chang · Dong-Uk Jang)

Abstract - In this paper, it is shown that Carson's equation can still be applied for the calculation of the series reactance of transmission lines with no ground return current as well as the one with ground return. It is proved in the following method. First two voltage drop equations for three-phase three wire transmission line are derived, one without considering ground return and the other using Carson's equation. The impedance matrix of the two equations are different from each other. But if we put the condition of zero ground current, $I_a + I_b + I_c = 0$, those two equations becomes the identical equations. Therefore even a transmission line is not grounded, its line parameters can still be obtained using the Carson's equation. It has been confused whether or not Carson's equation can be used for an ungrounded system. It is because where ever Carson's equation is shown in the book, it also says that the system has ground return current paths as a premise. It is also verified with EMTP studies on the test circuit.

Key Words : Carson, Line Parameter, Inductance, Ground Effect

1. 서 론

본 논문에서는 전력 전송로의 선로정수 중 특히 직렬 리액턴스 L 의 산정 방법에 대해 논의 한다. 전송로의 직렬 리액턴스 L 의 산정 방법은 전송로에 대지가 포함될 경우와 포함 안 될 경우 그 계산 방법이 달라진다. 후자의 경우 그 산정 방법은 매우 일반화 되어 있고 대부분의 전력공학 서적에 잘 설명되어 있다. 전자의 경우는 Carson에 의해 대지를 귀로로 하는 가공선로 임피던스 산정 방법이 제시되었으며, 이 방법은 그 후 약간의 변형된 형태로 현재까지 대지가 포함된 전송로의 리액턴스 산정 방법의 기본이 되고 있다.[1] 현재 전력 계통의 해석에 흔히 사용되는 EMTP나 MatLab사의 SymPower 모듈에서는 전송로의 선로정수를 구할 때 Carson 모델을 이용한다. 그러나 한편으로는 전기철도의 급전시스템과 같이 전송로에 대지가 포함되어 있지 않을 경우, Carson 모델을 이용한 리액턴스 계산 방법은 적절하지 않다고 판단하기도 한다.[2] 이러한 혼동은 Carson의 전송로 모델이 대지로의 전류 귀환을 전제로 하고 있기 때문이다. 본 논문에서는 Carson의 전송로 모델이 대지를 귀로로 포함하고 있음에도 불구하고 대지를 귀로로 하지 않는 전송로에서도 그대로 적용될 수 있음을 수식으로 증명하고 EMTP를

이용한 모의를 통해 확인하였다. 증명의 방법은 다음과 같이 수행하였다. 3상 3선식 전송로에 대하여 위의 2가지 방법을 적용하여 계통의 전압 강하식을 각각 구하였다. 전압 강하식에 나오는 임피던스 매트릭스는 물론 서로 상이하게 된다. 그러나 이 서로 다른 2 가지 전압 강하식에 대지에 흐르는 전류가 제로라는 조건을 부여하면 이 2가지 식은 동일한 결과를 가져오는 것을 수식으로 보여준다. 실제로 3상 3선식 전송로에만 적용되는 것이 아니고 임의의 N상 N선식에도 동일하게 적용될 수 있다.

2. 본 론

2.1 전송로의 자기 및 상호 인덕턴스

전송로의 인덕턴스 계산 방법은 매우 일반화 되어 있으므로 여기서는 그 결과만 인용한다. 그림 1과 같이 M개 도체로 구성된 전송로에 있어서 임의의 도체 k와 쇄교되는 자속은 ϕ_k 는 식(1)과 같으며 도체 k의 자기 인덕턴스 L_{kk} 및 도체 m 사이의 상호 인덕턴스 L_{km} 은 각각 식 (2) 및 식(3)과 같이 된다.[3]

$$\phi_k = 2 \times 10^{-7} \left(I_k \ln \frac{1}{D_{k1}} + \dots + I_k \ln \frac{1}{D_{kk}} + \dots + I_M \ln \frac{1}{D_{kM}} \right) \quad (1)$$

$$= 2 \times 10^{-7} \sum_{m=1}^M I_m \ln \frac{1}{D_{km}} \quad Wb-t/m$$

$$L_{kk} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{1}{D_{kk}} \quad (2)$$

† 교신저자, 正會員 : 한국철도기술연구원 수석연구원 工博
E-mail : sgchung@krrri.re.kr
* 正會員 : 한국철도기술연구원 책임연구원
** 正會員 : 한국철도기술연구원 수석연구원
*** 正會員 : 한국철도기술연구원 선임연구원
接受日字 : 2008年 9月 22日
最終完了 : 2008年 12月 17日

$$L_{km} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{1}{D_{km}} \quad (3)$$

위 식에서 D_{kk} 는 k 도체의 자기 GMR(self geometric mean radius)이며 도체 k의 반경이 r인 경우 $D_{kk} = e^{-1/4}r = 0.7788r$ 과 같이 계산되며, D_{km} 은 k 도체와 m 도체 사이의 거리이다.

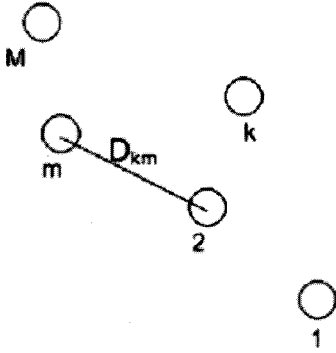


그림 1 M개 도체의 전송로
Fig. 1 Array of M conductors

2.2 3상 3선식 전송로의 자기 및 상호 인덕턴스

그림 2, 3에서 나타내는 3상 3선식 전송로에서 식 (2) 및 (3)을 이용하여 인덕턴스 매트릭스를 구하고 전압강하 식을 구하면 각각 식 (4) 및 (5)와 같다.

$$L = 2 \times 10^{-7} \begin{bmatrix} \ln \frac{1}{D_{aa}} & \ln \frac{1}{D_{ab}} & \ln \frac{1}{D_{ac}} \\ \ln \frac{1}{D_{ab}} & \ln \frac{1}{D_{bb}} & \ln \frac{1}{D_{bc}} \\ \ln \frac{1}{D_{ac}} & \ln \frac{1}{D_{bc}} & \ln \frac{1}{D_{cc}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} V_a - V_a' \\ V_b - V_b' \\ V_c - V_c' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + k \ln \frac{1}{D_{aa}} & k \ln \frac{1}{D_{ab}} & k \ln \frac{1}{D_{ac}} \\ k \ln \frac{1}{D_{ab}} & R_b + k \ln \frac{1}{D_{bb}} & k \ln \frac{1}{D_{bc}} \\ k \ln \frac{1}{D_{ac}} & k \ln \frac{1}{D_{bc}} & R_c + k \ln \frac{1}{D_{cc}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 $k = j\omega \times 2 \times 10^{-7}$

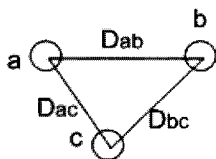


그림 2 3상 3선식 전송로의 상간 거리
Fig. 2 Geometry of three phase three wire line

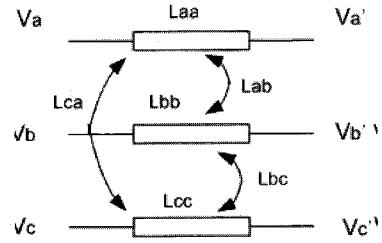


그림 3 3상 3선식 전송로 자기 및 상호 인덕턴스
Fig. 3 Inductances of three phase three wire line

2.3 대지를 귀로로 하는 전송로의 모델과 인덕턴스

Wagner, Evans 등은 Carson의 대지 귀로 선로는 가공선로로부터 D_{ad} 단위길이 만큼 아래 위치하고 자기 GMR이 1의 단위길이인 선로로 모델링 될 수 있음을 보여주었다.[1] 그림 4는 상기 논리로 Wagner, Evans에 의해 작성된 Carson의 대지를 귀로로 하는 단상 가공 전선로의 모델이다.[1] 그림 4로부터 식(6)이 작성된다. 식(6)의 임피던스 매트릭스의 각 성분은 식(2) 및 (3)을 이용하여 계산되어 각각 식 (7)~(9)와 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{dd'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a - V_a' \\ V_d - V_d' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa}' & Z_{ad}' \\ Z_{ad}' & Z_{dd}' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ -I_a \end{bmatrix} \quad [\text{V/unit length}] \quad (6)$$

여기서 식(2) 및 (3)에 의해

$$Z_{aa}' = R_a + k \ln \frac{1}{D_{aa}} \quad [\Omega/\text{unit length}] \quad (7)$$

$$Z_{dd}' = R_d + k \ln \frac{1}{D_{dd}} \quad [\Omega/\text{unit length}] \quad (8)$$

$$Z_{ad}' = k \ln \frac{1}{D_{ad}} \quad [\Omega/\text{unit length}] \quad (9)$$

$$k = j\omega \times 2 \times 10^{-7}$$

한편 그림 (4)에서 $V_d = 0$ 이고 $V_a - V_a' = 0$ 이므로 식(6)을 V_a 에 관해 풀면 식(10)과 같이 표현되며 대지를 귀로로 하는 전송로의 자기 임피던스 Z_{aa} 는 식 (11)이 된다.

$$V_a = (Z_{aa}' + Z_{dd}' - 2Z_{ad}')I_a = Z_{aa}I_a \quad [\text{V/unit length}] \quad (10)$$

$$\begin{aligned} Z_{aa} &= Z_{aa}' + Z_{dd}' - 2Z_{ad}' \\ &= (R_a + R_d) + k \ln \frac{D_{ad}^2}{D_{aa}D_{dd}} \\ &= (R_a + R_d) + k \ln \frac{D_e}{D_{aa}} \quad [\Omega/\text{unit length}] \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 $D_e = \frac{D_{ad}^2}{D_{dd}}$ 이다. D_e 의 값은 실측 시험에 의한 값으로서 식 (12)와 같이 대지의 저항률 ρ 및 전류 주파수 f 의

함수이다. 또한 대지저항 R_d 는 식 (13)과 같으며 역시 실험에 구하여진 식이다.

$$D_e = 658.5 \sqrt{\rho/f} \text{ [m]} \quad (12)$$

$$R_d = 9.869 \times 10^{-4} f \text{ } [\Omega/\text{km}] \quad (13)$$

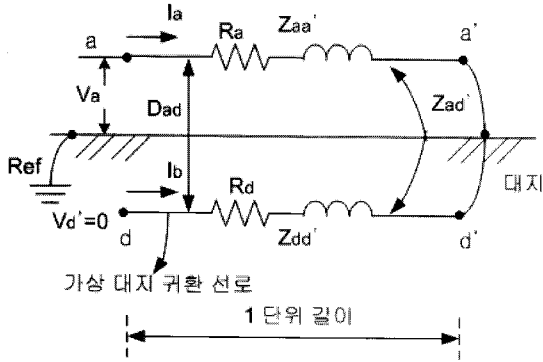


그림 4 대지를 귀로로하는 전송로의 Carson 모델[1]
Fig. 4 Carson's line with ground return[1]

2.4 3상 3선식 전송로의 Carson 모델

3상 3선식 전송로는 정상상태에서 대지를 귀로로 하지 않지만 Carson 모델을 이용하여 자기 및 상호 임피던스를 구했다. 3상 3선식 전송로의 Carson 모델은 그림 (5)와 같고 전압 강하식은 식(14)과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{bb'} \\ V_{cc'} \\ V_{dd'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a - V_{a'} \\ V_b - V_{b'} \\ V_c - V_{c'} \\ V_d - V_{d'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa'} & Z_{ab'} & Z_{ac'} & Z_{ad'} \\ Z_{ab'} & Z_{bb'} & Z_{bc'} & Z_{bd'} \\ Z_{ac'} & Z_{bc'} & Z_{cc'} & Z_{cd'} \\ Z_{ad'} & Z_{bd'} & Z_{cd'} & Z_{dd'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_d \end{bmatrix} \text{ [V/unit length]} \quad (14)$$

여기서 자기 임피던스는 식(7)의 형태를 갖으며 상호 임피던스는 식(9)의 형태를 갖는다.

또한 $I_d = -(I_a + I_b + I_c)$ 이고, 모델로부터 $V_{a'} - V_{d'} = 0$, $V_{b'} - V_{d'} = 0$, $V_{c'} - V_{d'} = 0$, $V_d = 0$ 이므로 식 (14)에서 $V_{dd'}$ 열을 소거하여 V_a , V_b 및 V_c 에 관해 풀면 각각 식 (15)~ (27)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} V_a &= V_a - (V_{a'} - V_{d'}) \quad \text{[V/unit length]} \quad (15) \\ &= (Z_{aa'} - 2Z_{ad'} + Z_{dd'})I_a \\ &\quad + (Z_{ab'} - Z_{ad'} - Z_{bd'} + Z_{dd'})I_b \\ &\quad + (Z_{ac'} - Z_{ad'} - Z_{cd'} + Z_{dd'})I_c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_b &= V_b - (V_{b'} - V_{d'}) \quad \text{[V/unit length]} \quad (16) \\ &= (Z_{ab'} - Z_{bd'} - Z_{ad'} + Z_{dd'})I_a \\ &\quad + (Z_{bb'} - 2Z_{bd'} + Z_{dd'})I_b \\ &\quad + (Z_{bc'} - Z_{bd'} - Z_{cd'} + Z_{dd'})I_c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= V_c - (V_{c'} - V_{d'}) \quad \text{[V/unit length]} \quad (17) \\ &= (Z_{ac'} - Z_{cd'} - Z_{ad'} + Z_{dd'})I_a \\ &\quad + (Z_{bc'} - Z_{cd'} - Z_{bd'} + Z_{dd'})I_b \\ &\quad + (Z_{cc'} - 2Z_{cd'} + Z_{dd'})I_c \end{aligned}$$

$$Z_{aa'} = R_a + k \ln \frac{1}{D_{aa'}} \text{ } [\Omega/\text{unit length}] \quad (18)$$

$$Z_{bb'} = R_b + k \ln \frac{1}{D_{bb'}} \text{ } [\Omega/\text{unit length}] \quad (19)$$

$$Z_{cc'} = R_c + k \ln \frac{1}{D_{cc'}} \text{ } [\Omega/\text{unit length}] \quad (20)$$

$$Z_{dd'} = R_d + k \ln \frac{1}{D_{dd'}} \text{ } [\Omega/\text{unit length}] \quad (21)$$

$$Z_{ab'} = k \ln \frac{1}{D_{ab}} \text{ } [\Omega/\text{unit length}] \quad (22)$$

$$Z_{ac'} = k \ln \frac{1}{D_{ac}} \text{ } [\Omega/\text{unit length}] \quad (23)$$

$$Z_{ad'} = k \ln \frac{1}{D_{ad}} \text{ } [\Omega/\text{unit length}] \quad (24)$$

$$Z_{bc'} = k \ln \frac{1}{D_{bc}} \text{ } [\Omega/\text{unit length}] \quad (25)$$

$$Z_{bd'} = k \ln \frac{1}{D_{bd}} \text{ } [\Omega/\text{unit length}] \quad (26)$$

$$Z_{cd'} = k \ln \frac{1}{D_{cd}} \text{ } [\Omega/\text{unit length}] \quad (27)$$

$$k = j\omega \times 2 \times 10^{-7}$$

식(15)~(17)을 행렬식으로 정리하면 식 (28)이 된다. 식 (28)은 그림 2 및 3의 3상 3선식 전송로를 Carson 모델을 사용하여 얻은 전압 강하식이다.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + R_d & R_d & R_d \\ R_d & R_b + R_d & R_d \\ R_d & R_d & R_c + R_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \text{ [V/unit length]} \quad (28)$$

$$+ k \begin{bmatrix} \ln \frac{D_e}{D_{aa}} & \ln \frac{D_e}{D_{ab}} & \ln \frac{D_e}{D_{ac}} \\ \ln \frac{D_e}{D_{ab}} & \ln \frac{D_e}{D_{bb}} & \ln \frac{D_e}{D_{bc}} \\ \ln \frac{D_e}{D_{ac}} & \ln \frac{D_e}{D_{bc}} & \ln \frac{D_e}{D_{cc}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

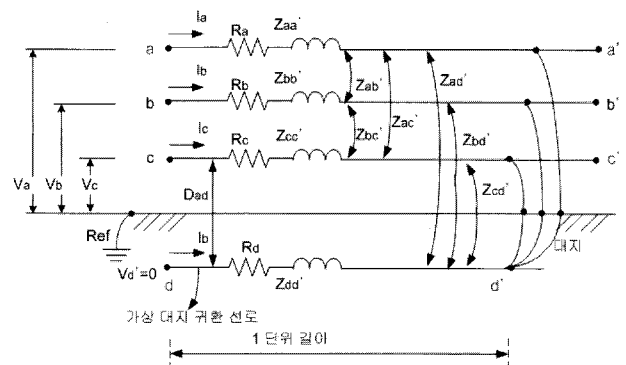


그림 5 3상 3선식 전송로의 Carson 모델[1]
Fig. 5 Three-phase line with ground return[1]

2.5 귀환 전류가 대지를 통해 흐르는 경우(Carson Model)와 대지를 통하지 않는 경우의 비교

2.4절의 식(28)은 동일한 전송로를 대상으로 하나 대지를 귀로로 하지 않는 경우의 전압 강하식 식(5)와 상이하다. 따라서 AC 전기철도의 급전선로와 같이 대지를 귀로로 하지 않는 전송로 경우에는 선로정수의 계산에 Carson 모델을 사용해서는 안 된다고 판단하기 쉽다[3]. 또한 대부분의 전력공학 책에서도 Carson의 모델을 설명할 때 대지를 귀로로 한다는 것을 명시하고 있어 독자들에게 혼동을 초래할 수 있다. 그러나 대지에 의해 전류가 귀환하지 않을 경우, 즉 $I_a + I_b + I_c = 0$ 조건을 식(5)와 식(28)에 각각 적용하여 V_c 열을 소거하고 V_a 및 V_b 를 구하면 식(5)와 식(28) 모두 식(29)과 같이 동일한 결과를 가져온다. 물론 지락사고 경우와 같이 $I_a + I_b + I_c \neq 0$ 경우에는 식(5)와 식(28)은 서로 상이한 결과를 가져오며 이 경우 식(5)의 모의는 전송로와 대지사이의 상호임피던스가 고려되지 않았으므로 적절하지 않고 Carson 모델 즉 식(28)을 적용해야 한다. 결론적으로 전송로가 대지를 포함하던 안하던 상관없이 Carson 식을 적용할 수 있다. 이상에서는 3상 전송로의 경우를 예로 하여 대지를 귀로로 고려한 경우와 대지가 귀로가 아닌 경우를 비교하였지만 전송로 상의 수와 관계없이 대지가 귀로가 아닌 경우는 2 모델 모두 동일한 결과를 가져온다.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_b + k \ln \frac{D_{ac}}{D_{aa}} & k \ln \frac{D_{ac}}{D_{ab}} \\ k \ln \frac{D_{bc}}{D_{ab}} & R_b + k \ln \frac{D_{bc}}{D_{bb}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} \quad [\text{V/unit length}] \quad (29)$$

2.6 EMTP에 의한 검증

2.5 절에서는 2가지 모델 모두 대지를 통한 귀환전류가 없을 시 동일한 결과를 가져오는 것을 수식으로 보여 주었다. 이 절에서는 EMTP를 통해 2 가지 실시간 대해서 실제 모의 결과를 검토해 본다. 그림 6은 69kV 3상 시험 전송로 모델이다. 각 상 전선의 외경은 0.528인치, GMR은 0.01668피트, dc 저항은 0.276 ohm/mile, 60Hz 저항은 0.278 ohm/mile이다. 이 전송로에 대지를 귀로로 하지 않는 모델 즉 식(5)에 의한 선로정수와 Carson 모델을 이용하여 구한 선로정수는 각각 그림 7 및 8과 같다. 이 2가지 선로정수를 갖는 3상 파이모델을 작성하였다. 그림 9에서 'RL1'은 Carson 모델로부터 계산된 선로정수를 갖는 전송로이며 'RL2'는 식(5)에 의해 계산된 선로정수를 갖는 전송로이다. 이 2 전송로에 동일한 전원, 69kV 60 Hz AC 전원,을 연결하고 동일한 부하(일반화를 위해 비평형 부하를 만들려고 a,c 상 사이에 10옴 저항, b,c 상 사이에 10옴을 연결하였음)를 연결하여 EMTP-RV 모델을(그림 9) 작성하여 모의를 수행하였다. 모의 결과에 대해 RL1 및 RL2의 전압강하와 전류를 비교하였다. 그림 10은 RL1 및 RL2 전송로 전압강하를 보여준다. 그림에서 위의 3 그래프가 Carson 모델에 의한 선로정수를 갖는 전송로, 즉 RL1 a,b,c 상 각각의 전압강하이고 아래 3그래프는 식(5)에 의한 전송로 즉 RL2 각 상의 전압

강하이다. 위 그래프와 아래 그래프가 완전히 일치함을 볼 수 있다. 그림 11은 RL1 및 RL2 전송로에 흐르는 전류 값을 보여준다. 마찬가지로 위의 3 그래프는 RL1 각상에 흐르는 전류이고 아래 3 그래프는 RL2 각상에 흐르는 전류이다. 역시 위 그래프와 아래 그래프가 완전히 일치함을 볼 수 있다. 그림 10 및 11에서 보는 바와 같이 서로 다른 임피던스 매트릭스를 갖는 전송로 RL1 과 RL2가 정확하게 동일한 전압강하 및 전류 값을 보여준다. 즉 대지전류가 흐르지 않는 한 2가지 모델은 동일한 특성을 보여준다.

참고로 대지에 귀환전류가 흐를 때의 2 계통의 특성을 비교하기 위하여 그림 12와 같이 동일한 a상 지락사고를 2 계통에 모의하였고 그림 13에서 각 상에 흐르는 전류를 비교하였다. 차이를 명확히 보여주기 위해 각 모델의 동일한 상 전류는 한 그래프 내에 보여주었다. 실선은 일반식에 의한 모의 결과이며 점선은 Carson 식에 의한 결과이다. 비교 결과는 예상되었던 대로 2 계통에 흐르는 전류차가 최대 25% 가량 차이가 남을 보여준다. 즉 대지전류가 존재 할 경우는 일반식에 의한 모델은 부정확하다는 것을 보여주는 것이다. 그림 13에서 RL1 즉 Carson 모델에 의한 계통의 a상 전류가 상대적으로 작은 것은 대지 전류와의 상호 임피던스가 고려되었기 때문이다.

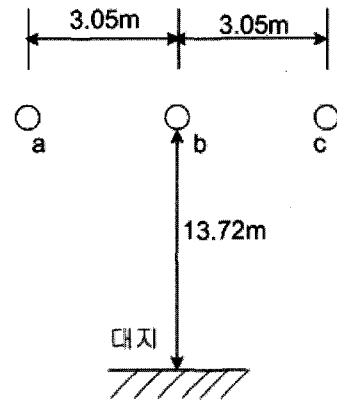


그림 6 69kV 3상 시험 전송로
Fig. 6 Line configuration of a 69kV test circuit

3. 결 론

대부분의 전력공학 서적에서 전력전송로의 직렬 리액턴스를 산정함에 있어 Carson의 전송로 모델을 설명할 때 대지를 귀로로 한다는 것이 항상 함께 기술되기 때문에, 대지를 귀로로 하지 않는 전송로의 선로정수를 계산할 때, Carson의 모델은 적합하지 않다고 판단되기 쉽다. 본 연구를 통해서 Carson의 모델은 대지의 귀환회로로 사용 여부에 관계없이 사용될 수 있다는 것이 수식 및 EMTP 모의 결과로 증명되었다. 따라서 AC 전기철도의 Auto Transformer 혹은 Booster Transformer 급전시스템처럼 귀환전류가 강제로 가공선로를 통해 흐르는 경우에도 Carson의 모델을 적용하는 것이 타당하다. 특히 지락사고전류의 계산 등 비정상 운전 상태 하에서는 Carson의 모델을 반드시 적용하여야 한다.

RL coupled branch

R Ω		Sequence Data		
R	1	2	3	
1	0.1728	0	0	
2	0	0.1728	0	
3	0	0	0.1728	

Make symmetric using upper matrix

L mH		Sequence Data		
L	1	2	3	
1	1.05633	-0.2229	-0.36153	
2	-0.2229	1.05633	-0.2229	
3	-0.36153	-0.2229	1.05633	

Make symmetric using upper matrix

그림 7 대지를 귀로 하지 않은 모델에 의한 선로정수

Fig. 7 Series reactance of the test circuit calculated without considering ground return

RL coupled branch

R Ω		Sequence Data		
R	1	2	3	
1	2.2873E-01	5.7235E-02	5.7232E-02	
2	5.7235E-02	2.2873E-01	5.7235E-02	
3	5.7232E-02	5.7235E-02	2.2873E-01	

Make symmetric using upper matrix

L Ω		Sequence Data		
L	1	2	3	
1	8.8808E-01	4.2670E-01	3.7444E-01	
2	4.2670E-01	8.8808E-01	4.2670E-01	
3	3.7444E-01	4.2670E-01	8.8808E-01	

Make symmetric using upper matrix

그림 8 Carson Model에 의한 선로정수

Fig. 8 Series reactance of the test circuit calculated from the carson's model

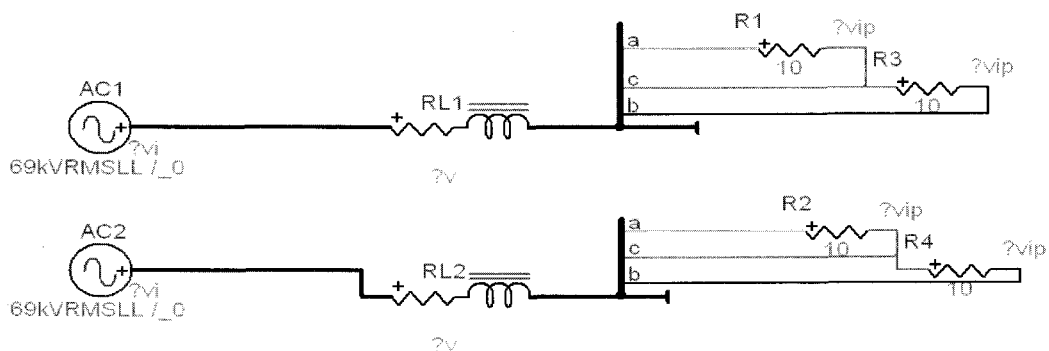


그림 9 2가지 방법에 의한 EMTP-RV 모델

Fig. 9 Two identical EMTP test circuits except the different line parameters

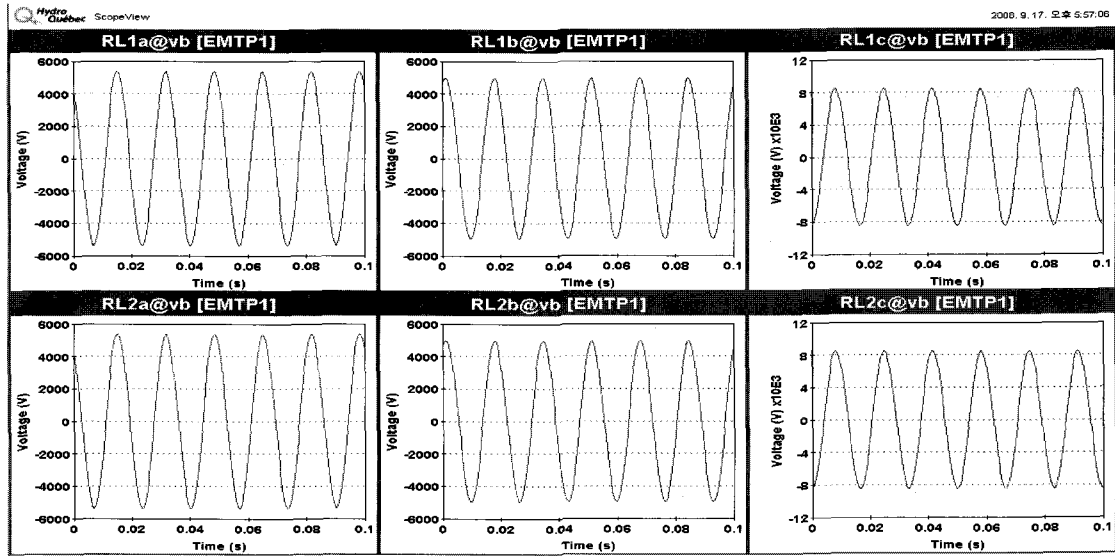


그림 10 2 모델의 각 상 전압강하 비교

Fig. 10 Comparison of line voltage drops between the two circuits with different line parameters

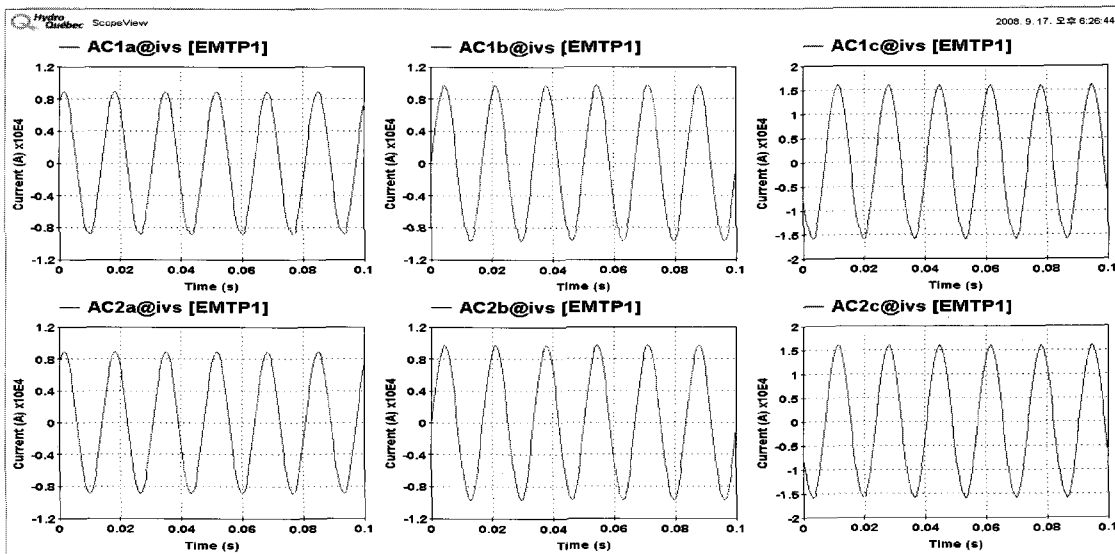


그림 11 각 모델 전송로에 흐르는 전류 비교

Fig. 11 Comparison of line currents between the two circuits with different line parameters

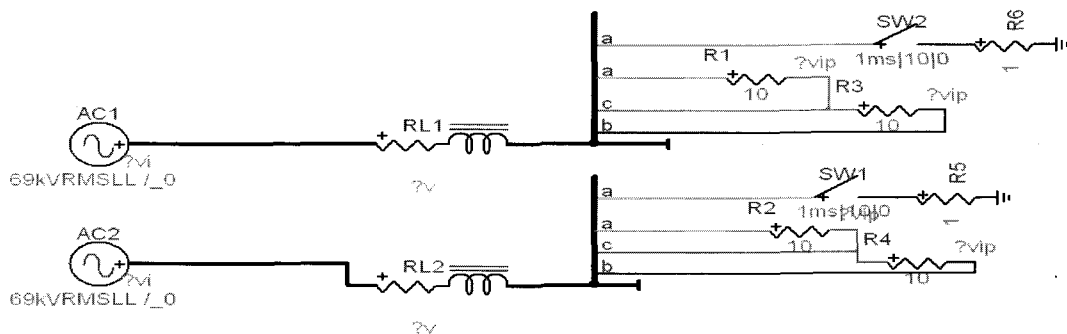


그림 12 각 모델에 대지전류가 포함될 때 비교를 위해 a 상 지락 모의

Fig. 12 Phase 'a' to ground fault model to compare the two systems behavior when ground current exists

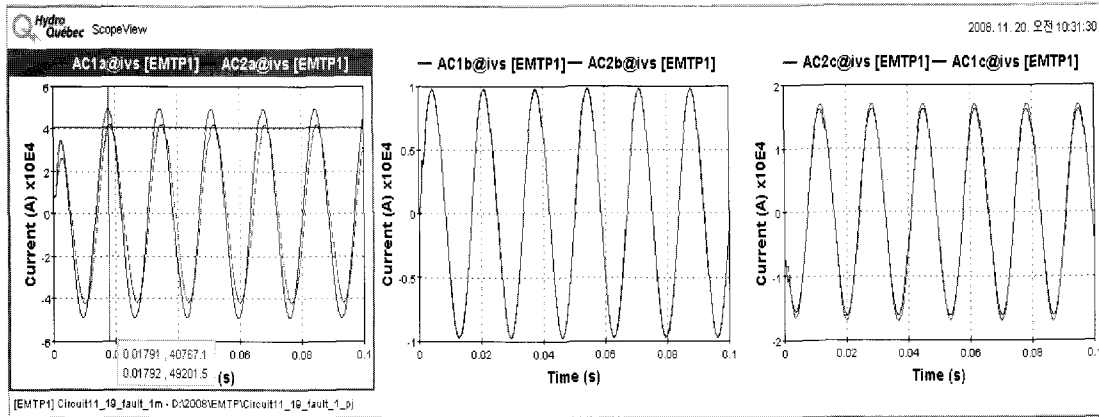


그림 13 대지전류가 존재할 경우 각 모델 전송로에 흐르는 전류 비교

Fig. 13 Comparison of line currents between the two circuits with different line parameters when ground current exists

참 고 문 헌

- [1] Paul M Anderson, 'Analysis of Faulted Power Systems', IEEE Press Power Systems Engineering Series, Chapter 4', Power Math Associates, Inc, 1995
- [2] 한국고속철도건설공단, '고속철도 연구보고서(전기분야) pp 49', 1996
- [3] Hadi Saadat, 'Power System Analysis 2nd Ed., Ch. 4.6', International Edition, Mc Graw Hill, 2004



창 상 훈 (倉相勳)

1961년 3월 28일생. 2002년 홍익대학교 대학원 전기정보제어공학과 졸업(공학박사)
 1992년~1994년 철도청 기술연구소, 2004년 고려대학교 차세대전력연구센터 객원연구원, 2002년~ 서울산업대학교 철도전문대학원 겸임교수, 1994년~2008년 현재 한국철도기술연구원 수석연구원
 Tel : 031-460-5419
 Fax : 031-460-5459
 E-mail : shchang@krri.re.kr

저 자 소 개



정 상 기 (鄭相基)

1974년 서울공대 전기과 졸업. 1980년 미국 위스칸신주립대학 전기공학 석사. 2002년 명지대학교 전기공학 박사 현재 한국철도기술연구원 수석연구원
 Tel : 031-460-5733
 Fax : 031-460-5459
 E-mail : sgchung@krri.re.kr



장 동 옥 (張東旭)

1998년 충북대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 8월~현재 한국철도기술연구원 집전전력연구실 선임연구원.
 Tel : 031-460-5412
 Fax : 031-460-5459
 E-mail : dujang@krri.re.kr



권 삼 영 (權三榮)

1962년 8월 22일생. 1984년 2월 한양대 전기공학과 졸업. 1997년 2월 한양대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 1997년~ 현재 한국철도기술연구원.
 Tel : 031-460-5425
 Fax : 031-460-5459
 E-mail : sykwon@krri.re.kr