

**TMLC용 345, 154kV 송전선로 모델 작성 및 계산**

최홍관\* 문영환\* 윤재영\* 추진부\*\* 윤용범\*\* 김용학\*\*  
\*한국전기연구원 \*\*한전전력연구원

**345/154 kV Transmission Line model choice and calculation using TMLC**

H.K.Choi Y.H.Moon J.Y.Yoon  
KERI

J.B.Choo Y.B.Yun Y.H.Kim  
KEPRI

**Abstract** - Transmission line data are very important for studying loadflow. Short circuit data(positive sequence, zero sequence) of 345kV and 154kV line were calculated and compared with KEPCO's line characteristics data. This paper presents method of verification and complement of line data in PSS/E loadflow data using TMLC(Transmission Line Characteristics) program.

다음으로 식을 대체하여 다음과 같이 대칭성분 방정식으로 만들 수 있다.

$$v_s = \frac{1}{3} T^* Z_{pp} i_p = \frac{1}{3} T^* Z_{pp} T i_s$$

$$v_s = Z_{ss} i_s \quad Z_{ss} = \frac{1}{3} T^* Z_{pp} T$$

설비의 모든 3상들이 전기적으로 동일할 때, Z<sub>pp</sub> 행렬의 9개 요소들은 등호 관계로 표현된다.

$$Z_{aa} = Z_{bb} = Z_{cc} = Z_p \quad Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca} = Z_m$$

그리고, 대칭 성분 임피던스 행렬은 다음과 같이 표현된다.

$$Z_{pp} = \begin{bmatrix} Z_p & Z_m & Z_m \\ Z_m & Z_p & Z_m \\ Z_m & Z_m & Z_p \end{bmatrix}$$

$$Z_{pp} = \begin{bmatrix} Z_p + 2Z_m & 0 & 0 \\ 0 & Z_p - Z_m & 0 \\ 0 & 0 & Z_p - Z_m \end{bmatrix}$$

결국 대칭의 설비 또는 변환된 송전선로에 대하여 대칭 성분 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_{0s} & - & V_{0r} \\ V_{1s} & - & V_{1r} \\ V_{2s} & - & V_{2r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{00} & & \\ & Z_{11} & \\ & & Z_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_0 \\ i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

$$Z_{00} = Z_p + 2Z_m$$

$$Z_{11} = Z_{22} = Z_p - Z_m$$

위 식에서 대칭성분 변환의 기본 원리를 알 수 있으며, 대칭구성이나 변환이 존재하는 송전선로의 전압과 전류에 적용될 때 각 sequence에서 나온 전압은 sequence 전류 하나로 표현되는 함수로 나타낼 수 있다.

**2.2.3 송전선로 대칭성분 등가회로**

실제에 있어서의 전압과 전류는 거리에 따라서 일정하지 않기 때문에 이를 고려한 임의의 적은 길이에 대하여 사인파의 전압 전류에 크기와 위상에서의 변화는 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta v_p = -Z_{pp} i_p \Delta l \quad \Delta i_p = -Y_{pp} v_p \Delta l$$

위 식들의 대부분이 대칭성분이기 때문에 변환된 대칭 성분 행렬인 Z<sub>ss</sub>와 Y<sub>ss</sub>를 무시할 만하다고 가정하고 대칭 성분 방정식으로 변환하는 것이 유용하다. 따라서 선로 요소들은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta v_1 = -Z_{11} i_1 \Delta l \quad \Delta i_1 = -Y_{11} v_1 \Delta l$$

$$\Delta v_2 = -Z_{22} i_2 \Delta l \quad \Delta i_2 = -Y_{22} v_2 \Delta l$$

$$\Delta v_0 = -Z_{00} i_0 \Delta l \quad \Delta i_0 = -Y_{00} v_0 \Delta l$$

침자를 제거하여 일반화 하면 다음과 같다.

$$\Delta v = -Z i \Delta l \quad \Delta i = -Y v \Delta l$$

그러므로 Δl을 극소로 작게 하여 선로특성이 미분 방정식들에 의해 표현되도록 하여 해석할 수 있으며 송전 단과 수신단사이의 전압과 전류의 관계가 필요하다.

**1. 서 론**

조류계산을 위한 입력데이터 가운데 하나인 송전선로 데이터를 선로정수 계산 프로그램인 TMLC(Transmission Line Characteristics)를 이용하여 345kV와 154kV 송전 선로를 대상으로 계산하였다. 현재 국내에서 생산되는 송전 선로용 도체중 국제 규격과 상이한 도체의 모델 고려 및 다양한 송전선로 구조를 고려하여 모델을 작성하고 계산하였으며, 기존의 송전선로 데이터와 비교/분석하였다. 현재 가장 광범위하게 사용중인 PSS/E 조류계산 데이터의 보완 및 검증에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

**2. TMLC 이론**

**2.1 선로 기본 특성**

송전선로의 기본 특성은 선로 종단간의 상전압차와 상전류와의 관계로 표현할 수 있다. 선로정수의 계산을 위해 선로의 단면을 고려하는 기본적인 자속 쇄교수 계산의 출력은 각 상의 선로를 따라 전압 강하와 선로 전류의 관계에서 단위로 ohms/km로 표현되는 직렬 임피던스 행렬이다. 또한 선로 정수의 계산에서 고려해야 할 사항은 선로의 정전 용량이며 송전선로 도체 대 대지의 누설 저항은 본질적으로 무한하기 때문에, 그 충전 전류는 순수하게 용량성이다. 따라서 shunt 어드미턴스 행렬의 원소는 주파수에 직접적으로 비례하게 된다.

**2.2 대칭 성분의 표현**

**2.2.1 전압의 대칭 성분 표현**

대칭 성분 변환으로 계통에서의 전압원과 순방향 회전하는 동기발전기 등을 통해서 알 수 있고 또한 상전압들의 평형된 집합을 구성할 수 있다.

$$v_a = v \sin(\omega t + \phi) = v_e^{j(\omega t + \phi)}$$

$$v_a = v \sin(\omega t + \phi - \frac{2\pi}{3}) = v_e^{j(\omega t + \phi - \frac{2\pi}{3})}$$

$$v_a = v \sin(\omega t + \phi - \frac{4\pi}{3}) = v_e^{j(\omega t + \phi - \frac{4\pi}{3})}$$

**2.2.2 선로 임피던스의 대칭 성분**

송전 선로 임피던스를 표현하면 다음과 같다.

$$v_p = z_{pp} i_p \quad i_p = T \cdot i_s \quad v_s = \frac{1}{3} T^* v_p$$

$$\frac{dv}{dx} = -Z_i \quad \frac{di}{dx} = -Y_v$$

### 2.2.4 장거리 송전 선로에서의 전압

앞 식에서 송전단과 수신단 사이의 임의의 거리  $x$ 에 대한 해는 다음과 같다.

$$v(x) = \frac{[v(0) - z_s i(0)]}{2} e^{rx} + \frac{[v(0) + z_s i(0)]}{2} e^{-rx}$$

$$i(x) = \frac{[v(0) - z_s i(0)]}{2z_s} e^{rx} + \frac{[v(0) + z_s i(0)]}{2z_s} e^{-rx}$$

$$r = \sqrt{ZY}: \text{전파정수}, \quad z_s = \sqrt{\frac{Z}{Y}}: \text{서지임피던스}$$

첫 번째 수식은 선로의 거리의 함수로서 전압 위상의 변화를 나타내고 있으며 전파정수  $\gamma (\alpha + j\beta)$ .  $2\pi/\beta$ 는 선로 전압의 파장을 나타낸다. 전압 해의 양쪽 요소들이 선로에 존재할 것이기 때문에 실제 전압 진폭은 거리에 대해 균등하게 감소되지는 않는다. 실제의 송전에서는 총 길이에 대하여 거의 일정한 전압으로 운용되는 선로들에 기본을 두고 있다. 특별하게 전압 수정을 위한 측정 없이 사용될 수 있는 송전 선로의 길이에 대한 실용적인 한계는 파장(500킬로미터)에 대하여 약 1/10 정도이다.

### 2.3 등가 회로

#### 2.3.1 송전단과 수신단의 정확한 등가 회로

선로에 대한 말단 모델의 기본은 송전단과 수신단에서의 조건을 연관시켜 수식을 재배열함으로써 쉽게 얻을 수 있으며 다음과 같은 형태로 만들 수 있다.

$$v_r = Av_s + Bi_s \quad i_r = Cv_s + Di_s$$

여기서  $A = \cosh rL$        $B = -Z_s \sinh rL$

$$C = \frac{-1}{Z_s} \sinh rL \quad D = \cosh rL$$

이를 행렬로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_r \\ i_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ i_s \end{bmatrix}, \quad M_{rs} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

결국 등가 회로는 식을 재배열함으로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_s \\ i_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-A}{B} & \frac{1}{B} \\ C - \frac{DA}{B} & \frac{D}{B} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ V_r \end{bmatrix}$$

식을 대체하면

$$\begin{bmatrix} i_s \\ i_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{Z_s \tanh rL} & \frac{-1}{Z_s \tanh rL} \\ \frac{-1}{Z_s \sinh rL} & \frac{1}{Z_s \tanh rL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_s \\ v_r \end{bmatrix}$$

등가회로 어드미턴스 행렬은 다음과 같다.

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} \left(\frac{1}{Z_{ex}} + \frac{Y_{ex}}{2}\right) & \frac{-1}{Z_{ex}} \\ \frac{-1}{Z_{ex}} & \left(\frac{1}{Z_{ex}} + \frac{Y_{ex}}{2}\right) \end{bmatrix}$$

$$Z_{ex} = z_s \sinh rL \quad Y_{ex} = \frac{2}{z_s} \tanh rL$$

결국 송전선로의 정확한 등가회로는 원하는 주파수에 서 임의의 길이에 대한 선로의 정확한 표현을 할 수 있는 기본적인 직렬 임피던스와 shunt 어드미턴스로부터 얻을 수 있다. 또한 전파정수는 주파수의 함수이고  $Z_s$ . 또한 주파수에 따라 변하기 때문에 이러한 등가회로는 유도된 주파수에 대해서만 정확성을 제공한다.

$$Z = rz_s \quad Y = \frac{r}{z_s}$$

$$Z_{ex} = ZL \frac{\sinh rL}{rL} \quad Y_{ex} = YL \frac{\tanh \frac{rL}{2}}{\frac{rL}{2}}$$

이러한 결과로부터 정확한 등가 회로의 직렬 branch  $Z_{ex}$ 는 인수 보상분을 선로의 총 직렬 임피던스에 곱한 값과 같다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 등가 회로의 총 shunt 어드미턴스는 총 shunt 어드미턴스에 선로 보상분을 곱한 것과 같다. 보상분의 수치는 선로 길이가 대략 선로 파장의 1/10보다 적은 경우 1에 대단히 가깝게 된다.

$$Z_{ex} = -B \quad \frac{Y_{ex}}{Z} = \frac{1-A}{B}$$

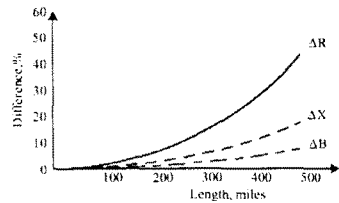
송전탑의 지지점 정보와 선로의 도체 등의 정보를 입력 받아 상 임피던스 행렬, 상 어드미턴스 행렬, sequence 임피던스 행렬, sequence 어드미턴스 행렬을 계산한다. 이러한 계산에는 도체의 번들과 가공지선, 대지전류의 투과, 대지 저항의 변화, 도체 이도 등이 고려된다.

#### 2.3.2 단거리 송전선로의 등가회로

단거리 송전선로에 대하여 다음과 같은 간략화를 사용할 수 있다.

$$Z_{ex} \approx Z_{series}L(\text{ohms}), \quad Y_{ex} \approx \frac{L}{Z_{shunt}}(\text{micromhos})$$

여기서  $Z_{series}$ 와  $Z_{shunt}$ 는 TMLC에서 계산되는 임피던스와 어드미턴스의 대각요소이다. 75마일을 넘는 송전선로에 대해서는 이러한 단순한 곱셈으로 정확히 계산할 수 없으므로 앞에서 언급한 바와 같이 정확한 선로 보정을 갖는 식을 사용하여야 한다. 다음 그림은 쌍곡선 함수의 보정을 적용한 결과를 정상임피던스에서 선로 길이에 대하여 도시하고 있다.



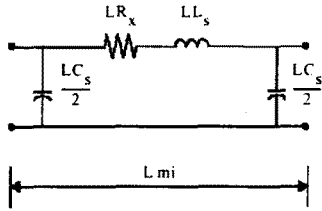
위의 그림을 통해 약 200마일 이상의 선로에서는 정확한 선로의 표현이 필요하다는 것을 알 수 있다. 또한 직렬 리액턴스와 shunt 서셉턴스보다 직렬 저항의 오차가 훨씬 크다는 것을 알 수 있으며 정확한 선로 데이터를 사용하는 것이 손실을 고려하는 경우에 있어서도 명백해진다.

#### 2.3.3 주파수가 변하는 경우의 장거리 선로

계통 주파수가 비상 사태인 경우 55Hz 정도로 낮게 떨어질 수 있고 수력계통과 같은 원격지의 전력공급 순간 부하차단이 이루어지는 경우 수전단측에서 75Hz 정도로 주파수가 높아질 수 있다. 이러한 주파수 영역을 벗어나는 경우에도 투과율이나 표피효과등을 무시하고 표현하면 다음과 같다.

$$Z(j\omega) = R_s + j\omega L_s \quad Y(j\omega) = j\omega C_s$$

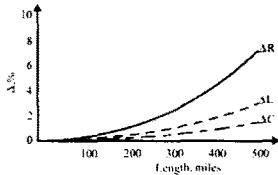
정확한 파라미터와 등가회로의 파라미터들이 거의 같은 단거리 송전 선로는 등가 회로에 의해서 모델링될 수 있다. 반면 장거리 송전선로는 선로의 임피던스와 어드미턴스의 특성이 일정하지 않기 때문에 이러한 등가회로의 형태로 표현될 수 없다.



결국 정확한 파라미터는 다음과 같이 나타난다.

$$Z_{ex} = R_{ex} + j\omega L_{ex} \quad Y_{ex} = j\omega C_{ex}$$

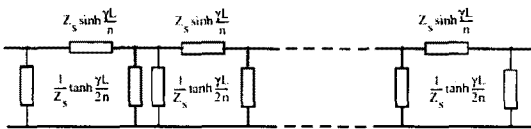
파라미터들( $R_{ex}$ ,  $L_{ex}$ ,  $C_{ex}$ )의 값은 일정하지 않고 관심 범위의 밖에서는 주파수가 변화되는 것 보다 값이 훨씬 더 크게 변한다. 실제 영역에서 선로 길이가 증가된 만큼 선로 특성값이 60에서 65Hz까지 변할 때의 백분율 차이를 보이고 있다. 여기서 일정한 실효 저항, 인덕턴스, 그리고  $\pi$ 등가 회로에서의 정전 용량 값들의 적용은 대략 100 마일 정도의 선로 구간에 대해서는 적당하게 부합하고 있는 것을 알 수 있으나, 조금 더 긴 선로들에 대해서는 차이가 많이 ( $\Delta R=8.23\%$ , 500miles) 나는 것을 알 수 있다.



이러한 장거리 선로를 이상적인 n개의 구간으로 나누어 선로 정수를 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_r \\ i_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_s \\ i_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{bmatrix}^n \begin{bmatrix} v_s \\ i_s \end{bmatrix}$$

위와 같은 식을 통하여 다음 그림처럼 단일  $\pi$ 등가 회로가 직렬로 결합된 n개의  $\pi$ 등가 회로에 의해서 정확하게 표현될 수 있음을 나타낸다.



결국 직렬 연결된 각 구간은 다음식으로 표현되며,

$$Z_{ex} = Z_s \sinh \frac{\gamma L}{n} = \frac{ZL}{n} \frac{\sinh \frac{\gamma L}{n}}{\frac{\gamma L}{n}}$$

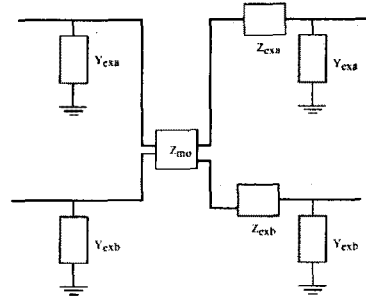
$$Y_{ex} = \frac{2}{z_s} \tanh \frac{\gamma L}{2n} = \frac{YL}{n} \frac{\tanh \frac{\gamma L}{2n}}{\frac{\gamma L}{2n}}$$

직렬로 다중  $\pi$ 등가회로의 사용으로 고유의 선로 파라미터들에 대해 계산되었던 주파수에 대해 정확하게 계산할 수 있으며, 영역을 벗어나는 다른 주파수들에서도 더 정밀하게 계산 가능하다. 50마일이나 그 이하의 선로에 대해서는 값의 차이가 없기 때문에 장거리 송전선로를 다중의 단거리 구간으로 나누어 표현하는 것이 주파수 관점에서 가장 바람직하다고 할 수 있다.

#### 2.4 선로의 병가

송전선로 부지안에서 근접하는 병렬 구간의 송전선로의

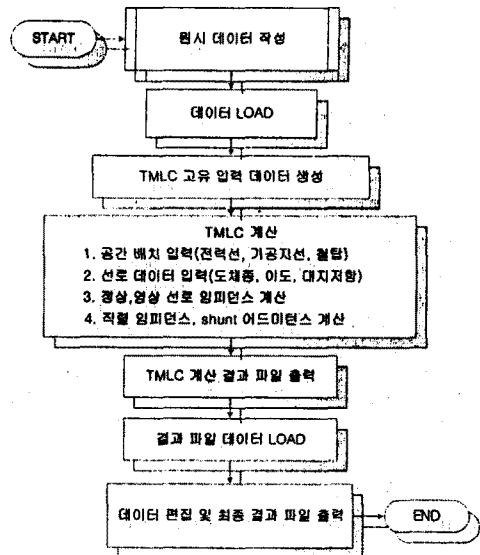
특성에 대해서 상호 연결분과 자기 임피던스 성분으로 나눌 수 있다. 병렬 구간에서의 결합 임피던스는 단지 영상분의  $\pi$ 등가 회로의 직렬 선로사이에서만 나타난다. 그러므로, 병렬 회로에 대한 영상분 등가회로는 다음 그림같이 표현할 수 있다. 정상분과 영상분에서의 선로 표현은 표준 형태의 독립적인  $\pi$  등가 회로에 의해서 표현된다.



### 3. TMLC 계산

#### 3.1 TMLC 계산 절차

TMLC를 이용한 선로 데이터의 계산 절차는 다음에서 보여지는 흐름도와 같다. 대상 계통은 2010년 한전계통으로 하였으며, 비교 대상은 PSS/E 조류계산 데이터중 송전선로 데이터이다. 계산할 선로 데이터의 양은 수백 내지 수천라인이지만 사용한 TMLC 프로그램이 다중배치처리를 지원하지 않으므로 MATLAB을 이용하여 원시데이터의 가공 및 TMLC로의 입력, 계산, 원하는 데이터로의 파일출력을 수행하였고 최종적으로 출력파일을 excel에서 읽어들이어 비교, 분석하였다.



#### 3.2 TMLC 모델

TMLC 프로그램에서 사용되는 선종 데이터는 PTI에서 가장 많이 사용되는 데이터를 제공하고 있는 까닭으로 국내에서는 정확하게 일치하는 데이터는 거의 없다. 따라서 가장 유사한 모델을 선정 또는 가공하여 사용하여야 하며, 더욱 정확한 선종의 모델링을 위해서는 사용자 정의의 모델을 사용하여야 하지만 여기에서 필요한 데이터는 제작업체에서도 제공받기 힘든 데이터가 존재한다.

따라서 TMLC 모델을 각종 규격집(Transmission linde redbook, ASTM, 국내 제작업체 데이터 등 - 참고문헌 참조)을 이용하여 가장 유사한 모델을 이용하였다. 다음 표는 대표적인 선종에 대한 TMLC 모델구성을 보여준다.

type	규격	선종	TMLC 모델	비고
ACSR	480□	전력선	RAIL	
STACIR	480□	전력선	CARDINAL/AW	
ACSR	120□	가공지선	PARTRIDGE	
ACSR	65□	가공지선	PIGEON	
OPGW	120□	가공지선	19#8AW	
OPGW	100□	가공지선	19#9AW	
OPGW	70□	가공지선	7#6AW	
AWS	100□	가공지선	19#9AW	
AWS	70□	가공지선	7#6AW	

### 3.3 TMLC 계산결과 및 비교

국내 송전선로의 전압계급(345kV, 154kV)별 결과를 모두 도시할 수 없으므로 그 중 일부분만 제시한다.

선로공장	도체 및 번들수	PSS/E(정상분)		
		R	X	B
1948	ACSR480S.4B	0.00081	0.01280	0.30045
30835	ACSR480S.2B	0.00069	0.00897	0.18468
34697	ACSR480S.4B	0.00052	0.00888	0.21623
101178	ACSR480S.4B	0.00152	0.02590	0.63052
36358	ACSR480S.2B	0.00104	0.01109	0.18896
36358	ACSR480S.2B	0.00081	0.01000	0.19846
62146	ACSR480S.4B	0.00075	0.01280	0.31160
21225	ACSR480S.4B	0.00032	0.00543	0.13212
23054	ACSR480S.2B	0.00026	0.00435	0.10594
4343	ACSR480S.4B	0.00015	0.00256	0.06232
20451	ACSR480S.4B	0.00031	0.00524	0.12745
40695	ACSR480S.2B	0.00063	0.01075	0.26174

위의 표는 PSS/E의 정상분을 나타내고 아래표는 TMLC에서 계산된 결과를 나타낸다. 여기서 고려의 대상이 되는 경우는 오차가 50%이상인 되는 경우다. 이러한 경우는 프로그램간의 오차 잠재성을 고려하더라도 명백하게 사용된 데이터가 잘못 되었다는 것을 알수 있다.

TMLC(정상분)			error(%)		
R	X	B	R	X	B
0.00003	0.00050	0.01243	96.3	96.1	95.9
0.00083	0.00981	0.15970	-20.3	-9.4	13.5
0.00049	0.00891	0.22143	5.8	-0.3	-2.4
0.00141	0.02592	0.64651	7.2	-0.1	-2.5
0.00100	0.01160	0.18832	3.8	-4.6	0.3
0.00100	0.01160	0.18832	-23.5	-16.0	5.1
0.00087	0.01595	0.39676	-16.0	-24.6	-27.3
0.00030	0.00545	0.13544	6.3	-0.4	-2.5
0.00063	0.00734	0.11933	-142.3	-68.7	-12.6
0.00006	0.00112	0.02771	60.0	56.3	55.5
0.00029	0.00525	0.13050	6.5	-0.2	-2.4
0.00112	0.01300	0.21074	-77.8	-20.9	19.5

이러한 원인으로는 실무부서에서 데이터를 잘못 입력하거나 조류계산 수렴을 위한 shunt 추가를 직접 선로 데이터에 적용한 경우 등 여러 가지 원인이 있을 것이다.

다음 표는 영상분의 자기성분과 상호결합성분을 나타낸 것이다. 대상계통인 2010년의 PSS/E의 데이터가 이러한 부분의 데이터가 거의 없는 관계로 비교/분석은 생략한다.

TMLC(영상, 자기분)			TMLC(영상, 상호분)	
R	X	B	R	X
0.00029	0.00140	0.00667	0.0003	0.0007
0.00505	0.02391	0.09396	0.0044	0.0116
0.00414	0.02392	0.11888	0.0036	0.0118
0.01198	0.06950	0.34727	0.0104	0.0343
0.00786	0.03002	0.11080	0.0068	0.015
0.00786	0.03002	0.11080	0.0068	0.015
0.00893	0.04413	0.21304	0.0083	0.023
0.00306	0.01509	0.07271	0.0028	0.0079
0.00378	0.01795	0.07002	0.0031	0.0084
0.00063	0.00309	0.01488	0.0000	0.0000
0.00295	0.01454	0.07006	0.0027	0.0076
0.00937	0.03417	0.12386	0.0081	0.0172

현재 국내에서 개발된 선로정수계산 프로그램과의 비교, 분석은 민감한 사안이므로 고려의 대상에서 제외하였다. 또한 TMLC 프로그램이 완벽한 결과를 제시한다고 볼 수 없으며 모델구성 과정에서의 오차의 내재성이 충분히 가능하기 때문이다. 다만 이러한 계산 및 비교/검증이 명백한 입력상의 데이터 오류를 가려 내는 것만으로도 충분하리라 판단된다.

## 4. 결 론

현재 국내의 전력시장제의 도입으로 더욱 정확한 조류 계산(특히 상정사고 해석 및 선로용량 고려시)의 필요성이 대두되고 있다. 해석을 위한 기본 케이스 데이터의 작성시, 이러한 선로정수 계산 프로그램인 TMLC(Transmission Line Characteristics)를 이용하여 345kV와 154kV 송전 선로 데이터를 검증할 수 있도록 모델을 포함한 입력 데이터를 작성하였다. 또한 이러한 입력 데이터를 사용하여 선로 데이터를 계산하고 기존의 송전선로 데이터와 비교/분석하였다. 현재 가장 광범위하게 사용중인 PSS/E 조류계산 데이터의 보완 및 검증에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] PTI, "PSS/E - Program Application Guide", manual, 1999
- [2] PTI, "TMLC - Transmission Line Characteristics", manual, 1999
- [3] "Transmission Line Reference Book", EPRI, 1982
- [4] ASTM subcommittee, "Book of Standards Volume 02.03", ASTM, 2001
- [5] 송변전처, "송전 설비 현황", 한전전력공사, 2000, 2.
- [6] "대한전선 규격", 대한전선, 2000.