

論	文
26~6~4	

# 單相 再閉路時 2次아아크 電流의 減少方法에 關한 研究

## A Study on the Decreasing Method of Secondary Arc Current on Single phase Reclosing

金 俊 鉉\*  
(Joon Hyun Kim)

### Abstract

A study on the decreasing method of secondary arc current on single phase reclosing.

One of the major problem in case of using the single phase reclosing scheme for long distance UHV transmission line is the time required to deionize secondary arc current.

This paper describes the way of inducing the formular of secondary arc current originated at the times of opening and closing the ground interrupting switch.

The result was investigated by the method of numerical analysis and proved that the secondary arc current was decreasing sufficiently.

Application of this method proposed by the authod makes it possible to deduce the dead time and to improve success-rate of reclosing.

### 1. 序 論

最近 電力需要의 增加에 따라 長距離 UHV 大容量 送電系統이 增大해가는 趨勢에 있다. 長距離 UHV 大容量 送電을 交流方式으로 할 때, 故障時에 高速度 再閉路의 可能與否는 시스템全體의 信賴性에 큰 影響을 미치게 될 뿐만 아니라 過渡安定도와 密接하게 關係되므로 重要한 問題이다.

多相에 걸치는 事故가 支配的인 送配電線, 充電電流가 큰 配電系統에서는 單相 再閉路方式의 採用이 不可能하다. 長距離 UHV 大容量의 送電線에 있어서는 再閉路時間이 길게 될 可能性이 있게 되며, 또 3相 同時投入 不可能等에 의한 過電壓 發生의 우려가 있어 3相 再閉路方式을 採用하는 것은 困難하나<sup>1)2)</sup> 1線 地絡故障이 支配的이므로 單相 再閉路方式의 採用이 可能하다.

單相 再閉路方式에서는 3相 同時投入 不能을 생각할 必要가 없으므로, 此로 인한 過電壓을 考慮할 必要가 없고, 따라서 3相 再閉路方式에 比해서 基準絕緣階級을 낮게 設定할 수 있는 可能性이 있게 된다. 그러므

로 過渡安定도와 過電壓이 問題로 되는 長距離 UHV 大容量 送電線에서는 單相 再閉路方式이 有利하며, 成功할 可能이 높으므로 이 方式을 採用하고 있다.<sup>3)4)</sup>

長距離 UHV 送電線에 單相 再閉路方式을 採用하는 경우 線路의 無電壓時間의 評價가 重要한 役割을 한다. 無電壓時間을 規定하는 主要素는 絕緣回復時間과 2次 아아크 電流의 消弧時間이다. 그런데 絕緣回復時間은 짧으므로<sup>5)</sup> 2次아아크 電流의 消弧時間이 問題로 된다. 여기서 2次아아크 電流의 消弧時間을 減少시키기 위해서는 2次아아크 電流를 減少시키면 된다. ~

人爲的으로 2次아아크 電流를 減少시키는 方法으로 Water-Jet裝置를 設置하고 있으나 二重裝置가 必要하고 理論的인 뒷받침이 없다.<sup>6)</sup> 따라서 이러한 裝置 대신에 接地遮斷器를 設置하는 것이 理想的이며 有利하다.

本 論文은 長距離 UHV 送電線에 單相 再閉路方式을 採用하는 경우, 接地遮斷器 非設置時와 設置時의 2次아아크 電流를 구하는 식을 誘導하고 數值計算에 의하여 比較 檢討한 結果를 報告하는 바이다.

### 2. 記 號

사용하는 記號는 다음과 같다.

$E_{s1}$  = 送電端 emf

\* 正會員 : 漢陽工大 教授(當學會 編修理事)  
接受日字 : 1977年 9月 2日

$E_{r,1}$  = 受電端 emf

$$E_s = \begin{pmatrix} 0 \\ E_{s,1} \\ 0 \end{pmatrix} \quad E_r = \begin{pmatrix} 0 \\ E_{r,1} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$V_{r,cc}$  = 回復電壓

$I_f$  = 2次아아크 電流

$R_f$  = 2次아아크 抵抗

$I_{s,s}$  = 送電端側 接地遮斷器에 흐르는 電流

$I_{s,r}$  = 受電端側 接地遮斷器에 흐르는 電流

$R_{s,s}$  = 送電端側 接地遮斷器 抵抗

$R_{s,r}$  = 受電端側 接地遮斷器 抵抗

$V_s$  = 送電端 對稱分電壓

$V_r$  = 受電端 對稱分電壓

$V_x$  =  $x$ 點의 對稱分電壓

$I_s$  = 送電端 對稱分電流

$I_r$  = 受電端 對稱分電流

$V, I$ 는 電壓, 電流를 對稱分으로 나타낸 1列 行列

$x_{s,0}, x_{s,1}, x_{s,2}$  = 送電端의 對稱分 等價리액턴스

$x_{r,0}, x_{r,1}, x_{r,2}$  = 受電端의 對稱分 等價리액턴스

$$X_s = j \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -x_{s,0} & x_{s,1} & 0 \\ x_{s,0} & 0 & -x_{s,2} \end{pmatrix}$$

$$X_r = j \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -x_{r,0} & x_{r,1} & 0 \\ x_{r,0} & 0 & -x_{r,2} \end{pmatrix}$$

$A_1, A_x, B_x, C_x, D_x, A_y, B_y, C_y, D_y$  = 길이  $l, x$

및  $y=l-x$ 일 때의 對稱分을 4端子定數로 나타낸 主對角線 行列

$$T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$P_0 = (1 \ 1 \ 1)$$

### 3. 모델系統

모델系統은 그림 1과 같은 길이  $l$ 인 3相 3線式 送電線에 대하여 생각한다. 地絡故障相은  $a$ 相이라 하고, 故

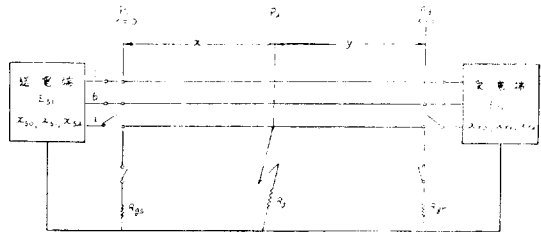


그림 1. 모델系統

Fig. 1. Model System

障點은 送電端에서는  $x$ , 受電端에서는  $y$ 만큼 떨어진 點이라 하며, 線路는 分布定數回路로 取扱한다.  $S$ ,와  $S_r$ 은 送電端側과 受電端側의 接地遮斷器를 나타낸다.

### 4. 2次아아크 抵抗

2次아아크 抵抗은 電壓, 電流, 아아크의 길이 및 周圍條件等에 의하여 다르게 될뿐만 아니라, 交流의 경우는 電流 半波사이에서도 時間에 따라 變化하고 또한 時間의 經過와 더불어 增加하게 되므로<sup>7)8)9)10)</sup> (2~10 [Hz]사이 약 150~500)<sup>9)9)</sup> 電壓 電流의 計算式이 複雜하게 된다. 따라서 解析을 容易하게 하기 위해서 時間에 關係없이 一定한 값으로 하여 다루기로 한다.

### 5. 一般式的 誘導

送受 兩端의 接地遮斷器 非投入時와 投入時 또는 어느 한쪽만 投入했을 때의 條件을 사용하여 각 경우의 2次아아크 電流를 하나 하나 구할 수 있으나, 이와같이 하면 煩雜性을 면치 못하게 된다. 따라서 이와같은

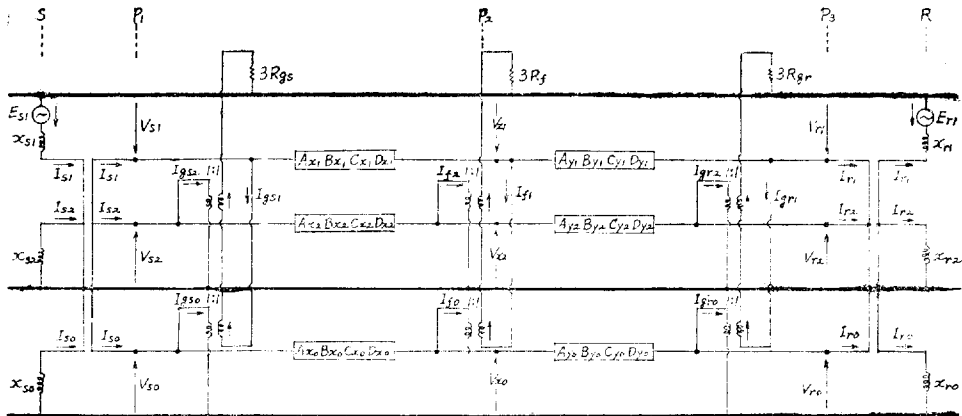


그림 2. 그림 1의 對稱分 等價回路

Fig. 2. Symmetric equivalent circuit of Fig. 1

煩雜性を 解消하고 上記값을 任意로 구할수 있는 식을 誘導한다.

그림 1에 대한 1線 地絡故障, 兩端 開放, 兩端 接地 遮斷器 投入 狀態의 回路를 對稱分 回路로 나타내면 그림 2와 같이 된다. 그림 2에서 開放 接地條件等을 사용하여 方程式을 세워, 이것을  $E_s, E, V_s, V_r, I_f, I_s$ , 및  $I_{sr}$ 로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$\begin{pmatrix} T_s & 0 & -X_s B_s^{-1} & 0 & \frac{1}{3} X_s P_s^{-1} & 0 \\ 0 & T_r & -X_r B_r & 0 & 0 & \frac{1}{3} X_r P_r \\ B_s B_x - B_s & -\frac{1}{3} B_s B_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_s & -R_f & 0 & 0 \\ P_s & 0 & 0 & 0 & -R_{sr} & 0 \\ 0 & P_s & 0 & 0 & 0 & -R_{sr} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_s \\ V_r \\ V_x \\ I_f \\ I_s \\ I_{sr} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_s \\ E_r \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서

$$\begin{aligned} T_s &= T + X_s D_s B_s^{-1} \\ T_r &= T + X_r A_r B_r^{-1} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1)은 回復電壓, 送受 兩端 接地遮斷器 非投入, 投入 또는 한쪽만 投入했을 때의 2次아아크 電流等 必要한 것을 任意로 구할 수 있는 一般式이다.

## 6. 回復電壓

### 6.1 非投入時 回復電壓

送受 兩端 開放狀態에 있어서 兩端의 接地遮斷器 非投入時의 線路의 任意點의 電壓을 非投入時 回復電壓이라 하기로 한다. 非投入時 回復電壓을 구하기 위해서 식(1)에  $I_f=0, R_f=\infty, I_s=0, R_{sr}=\infty, I_{sr}=0$  및  $R_{sr}=\infty$ 를 代入하여  $V_x$ 를 구하면

$$V_x = Q_1^{-1}(B_s T_s^{-1} E_s + B_r T_r^{-1} E_r) \quad (3)$$

여기서

$$Q_1 = B_s - B_s T_s^{-1} X_s B_s^{-1} - B_r T_r^{-1} X_r B_r^{-1} \quad (4)$$

따라서 非投入時 回復電壓을  $V_{rec1}$ 이라 하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} V_{rec1} &= V_{20} + V_{x1} + V_{x2} \\ &= P_s V_x \\ &= P_s Q_1^{-1}(B_s T_s^{-1} E_s + B_r T_r^{-1} E_r) \end{aligned} \quad (5)$$

### 6.2 投入時 回復電壓

送受 兩端 開放狀態에 있어서 兩端 또는 한쪽만의 接地遮斷器를 投入했을 때, 線路의 任意點의 電壓을 投入時 回復電壓 또는 한쪽 投入時 回復電壓이라 하기로 한다.

投入時 回復電壓을 구하기 위해서 식 (1)에  $I_f=0, R_f=\infty$ 를 代入하여  $V_x$ 를 구하면

$$V_x = Q_2^{-1}(B_s H_s^{-1} T_s^{-1} E_s + B_r H_r^{-1} T_r^{-1} E_r) \quad (6)$$

여기서

$$\left. \begin{aligned} Q_2 &= B_s - B_s H_s^{-1} T_s^{-1} X_s B_s^{-1} - B_r H_r^{-1} T_r^{-1} X_r B_r^{-1} \\ &\quad X_s B_s^{-1} \\ H_s &= u + \frac{1}{3R_{sr}} T_s^{-1} X_s P_s^{-1} P_s \\ H_r &= u + \frac{1}{3R_{sr}} T_r^{-1} X_r P_r^{-1} P_r \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

따라서 投入時 回復電壓을  $V_{rec2}$ 라 하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} V_{rec2} &= P_s V_x \\ &= P_s Q_2^{-1}(B_s H_s^{-1} T_s^{-1} E_s + B_r H_r^{-1} T_r^{-1} E_r) \end{aligned} \quad (8)$$

送受 兩端의 어느 한쪽 投入時 回復電壓은 식 (1)에  $I_f=0, R_f=\infty$ 와  $I_s=0, R_{sr}=\infty$  또는  $I_{sr}=0, I_s=\infty$ 를 代入하여  $V_x$ 를 구하여도 되지만 식 (6)과 식 (7)에서 구하는 것이 容易하다. 送電端側 投入時는  $R_{sr}=\infty$ 를, 受電端側 投入時는  $R_{sr}=\infty$ 를 식 (7)에 代入하면

$$\left. \begin{aligned} R_{sr}=\infty \text{일 때 } H_s &= U \quad Q'_2 = B_s - B_s H_s^{-1} T_s^{-1} X_s B_s^{-1} - B_r T_r^{-1} X_r B_r^{-1} \\ R_{sr}=\infty \text{일 때 } H_r &= U \quad Q''_2 = B_s - B_s T_s^{-1} X_s B_s^{-1} - B_r H_r^{-1} T_r^{-1} X_r B_r^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

와 같이 되므로, 送受端側 投入時 回復電壓을  $V_{rec3}$ 라 하면

$$V_{rec3} = P_s Q'_2^{-1}(B_s H_s^{-1} T_s^{-1} E_s + B_r T_r^{-1} E_r) \quad (10)$$

또 受電端側 投入時 回復電壓을  $V_{rec4}$ 라 하면

$$V_{rec4} = P_s Q''_2^{-1}(B_s T_s^{-1} E_s + B_r H_r^{-1} T_r^{-1} E_r) \quad (11)$$

## 7. 2次아아크 電流

### 7.1 接地遮斷器 非投入時

送受 兩端의 接地遮斷器 非投入時의 2次아아크 電流(이하 非投入時 2次아아크 電流라함)는 식 (1)에  $I_s=0, R_{sr}=\infty, I_{sr}=0$  및  $R_{sr}=\infty$ 를 代入하여  $I_f$ 를 구하면 된다. 이것을  $I_{f1}$ 이라 하면

$$I_{f1} = \frac{P_s Q_1^{-1}(B_s T_s^{-1} E_s + B_r T_r^{-1} E_r)}{\frac{1}{3} P_s Q_1^{-1} B_s B_r P_s^{-1} + R_f} \quad (12)$$

식 (12)에 식 (5)의 關係를 代入하면

$$I_{f1} = \frac{V_{rec1}}{\frac{1}{3} P_s Q_1^{-1} B_s B_r P_s^{-1} + R_f} \quad (13)$$

와 같이 되며, 分母의 第1項은 데브난의 定理에 의한 端子에서 線路側을 본 임피던스를 나타낸다.

### 7.2 兩端 接地遮斷器 投入時

送受 兩端의 接地遮斷器 投入時의 2次아아크 電流(이하 投入時 2次아아크 電流라함)는 식 (1)에서  $I_f$ 를 구하면 된다. 이것을  $I_{f2}$ 라 하면

$$I_{f2} = \frac{P_s Q_2^{-1}(B_s H_s^{-1} T_s^{-1} E_s + B_r H_r^{-1} T_r^{-1} E_r)}{\frac{1}{3} P_s Q_2^{-1} B_s B_r P_s^{-1} + R_f} \quad (14)$$

식 (14)에 식 (8)의 關係를 代入하면

$$I_{f2} = \frac{V_{rsc2}}{\frac{1}{3}P_2 Q_2^{-1} B_2 B_2 P_2^T + R_f} \quad (15)$$

와 같이 되며, 식 (13)과 같은 꼴로 표시된다. 分母의 第1項은  $R_f$  端子에서 線路側을 본 임피던스를 나타낸다.

7.3 한쪽 接地遮斷器만 投入時

送受 兩端의 어느 한쪽의 接地遮斷器만 投入時의 2次 아아크 電流는 식 (1)에  $I_{r1} = 0, R_{r1} = \infty$  또는  $I_{r2} = 0, R_{r2} = \infty$ 를 代入하여 구할 수 있으나 식 (7)에  $R_{r1} = \infty$  또는  $R_{r2} = \infty$ 를 代入하여 整理하면 다음과 같이 된다.

$$I_{f3} = \frac{P_2 Q_2^{-1} (B_2 H_1^{-1} T_1^{-1} E_1 + B_2 T_1^{-1} E_1)}{\frac{1}{3} P_2 Q_2^{-1} B_2 B_2 P_2^T + R_f} = \frac{V_{rsc3}}{\frac{1}{3} P_2 Q_2^{-1} B_2 B_2 P_2^T + R_f} \quad (16)$$

受電端側 投入時의 2次 아아크 電流를  $I_{f4}$ 라 하면

$$I_{f4} = \frac{P_1 Q_1^{-1} (B_1 T_2^{-1} E_2 + B_1 H_2^{-1} T_2^{-1} E_2)}{\frac{1}{3} Q_1^{-1} B_1 B_1 P_1^T + R_f} = \frac{V_{rsc4}}{\frac{1}{3} Q_1^{-1} B_1 B_1 P_1^T + R_f} \quad (17)$$

식 (16) 및 식 (17)의 分母의 第1項은 각 경우의  $R_f$  端子에서 線路側을 본 임피던스를 나타낸다.

8. 計算例

그림 1의 系統에 대하여

$$E_{r1} = E_{r2} = 1000. < 0^\circ \text{ [kV]}$$

線路 길이 = 600 [km]

基準容量 = 10000 [MVA]에 대한 送受 兩端 電源의 對稱 分리역턴스

$$X_{r0} = j0.23 \text{ pu}$$

$$x_{r1} = j2.23 \text{ pu}$$

$$x_{r2} = x_{r1}$$

線路의 對稱 分리역턴스

$$Z_0 = (0.14481 + j0.8108) \times 10^{-2} \text{ pu}$$

$$Y_0 = j3.39668 \times 10^{-2} \text{ pu}$$

$$Z_1 = (0.0064 + j0.32567) \times 10^{-2} \text{ pu}$$

$$Y_1 = j5.08183 \times 10^{-2} \text{ pu}$$

$$Z_2 = Z_1$$

$$Y_2 = Y_1$$

$$R_f = 50 \sim 500 [\Omega]$$

$$R_{r1} = R_{r2} = R_{r3} = 20 \sim 200 [\Omega]$$

라하여 앞에서 誘導한 式들에 上記 數值를 代入하여 計算한 結果를 나타내면 다음과 같다.

非投入時 回復電壓과 投入時 回復電壓을 나타내면 그림 3과 같이 된다. 投入時 回復電壓은 接地遮斷器의 抵抗이 減少됨에 따라서 減少되며, 非投入時 回復電壓과 比較할 때 顯著하게 減少한다.

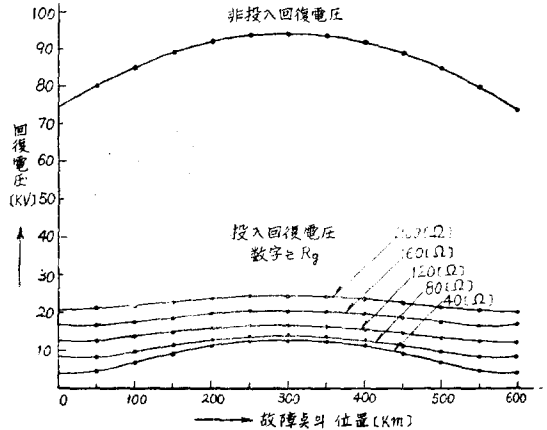
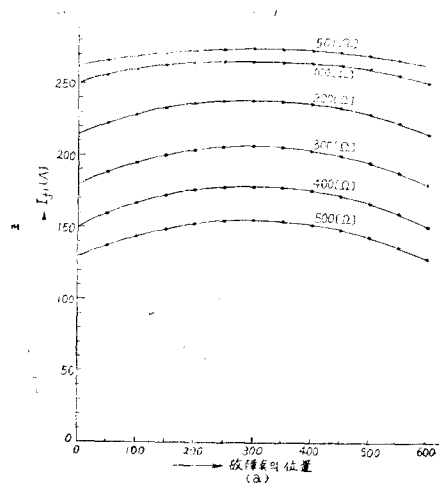


그림 3. 回復電壓  
Fig. 3. Recovery voltage

非投入時 2次 아아크 電流  $I_{f1}$ 을 故障點의 位置를 파라미터로하여 나타내면 그림 4 (a)와 같이 된다. 非投入時 2次 아아크 電流  $I_{f1}$ 은 送電端으로 부터 서서히 增加하여 線路 中央에서 最大가 된후 減少하며, 2次 아아크 抵抗  $R_f$ 가 커질수록 減少하며 電流曲線은 불모하게 된다. 또한  $E_{r1} = E_{r2} = E < 0^\circ$ 로 하였기 때문에 線路 中央點에 대하여 對稱으로 되며, 兩端의 電壓의 크기가 다르고 位相差가 있으면 對稱으로 되지 않는다. 또 非投入時 2次 아아크 電流  $I_{f1}$ 을 2次 아아크 抵抗  $R_f$ 를 파라미터로하여 나타내면 그림 4 (b)와 같이 된다. 一定한 故障點에 대하여 2次 아아크 抵抗  $R_f$ 의 增加에 따



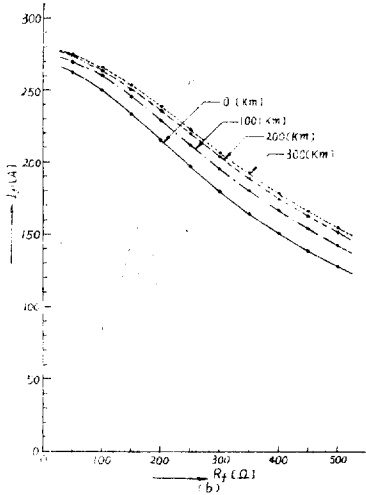


그림 4. 非投入時 2次아아크 電流  
Fig. 4. Secondary arc current in the case of no throwing

라서 電流 曲線은 緩慢하게 減少하며 故障點의 位置에 關係없이 減少率은 대체로 같다.

投入時 2次아아크 電流  $I_2$ 를 地絡 故障點의 位置를 0[km], 200[km] 300[km] 및 40[Ω], 各 故障點에 대하여 送受 兩端 接地遮斷器의 抵抗  $R_g$ 를 40[Ω], 80[Ω], 120[Ω], 160[Ω] 및 200[Ω]로 하고, 2次아아크

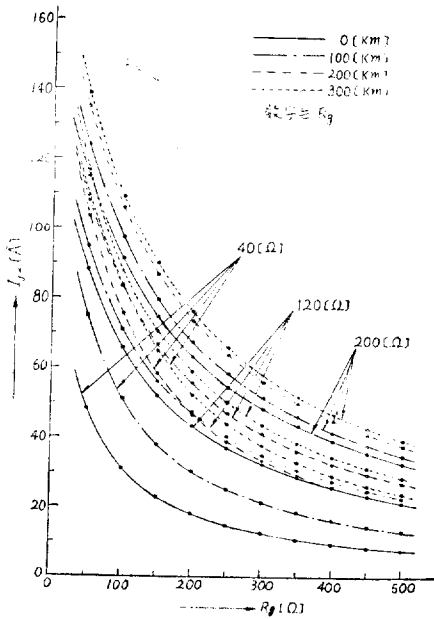


그림 5. 投入時 2次아아크 電流  
Fig. 5. Secondary arc current in throwing

抵抗  $R_f$ 를 파라미터로 하여 나타내면 그림 5와 같이 된다. 非投入時 2次아아크 電流(그림 4 (b))와 比較하면 變化하는 樣相이 다르며 指數函數의 形式으로 減少한다. 同一 故障點에 대하여 接地遮斷器의 抵抗이 작을수록 2次아아크 電流는 작게 된다.

投入時 2次아아크 電流  $I_2$ 를 非投入時 2次아아크 電流  $I_1$ 의 比로 나타내면 그림 6과 같이 된다. 線路의 任意의 點에서 地絡故障가 發生하더라도 接地遮斷器 投入으로 인하여 非投入時의 2次아아크 電流의 約90% 까지도 減少시킬 수 있으며 接地遮斷器의 抵抗이 작을수록 그 影響은 크게 나타난다. 즉 接地遮斷器를 投入하므로써 2次아아크 電流는 顯著하게 減少한다.

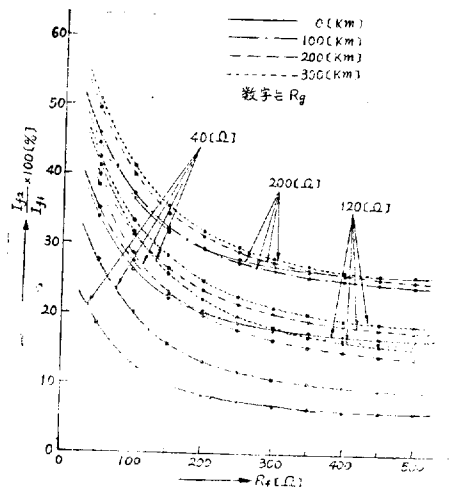


그림 6.  $I_2$ 와  $I_1$ 의 比  
Fig. 6. Secondary arc current ratio as  $I_2/I_1$ .

投入時 2次아아크 電流  $I_2$ 를 接地遮斷器의 抵抗  $R_g$ 를 파라미터로 하여 나타내면 그림 7과 같이 된다.  $R_g$ 의 값이 40[Ω]~80[Ω]일 때 線路 任意의 點에서 地絡故障가 發生하더라도 2次아아크 電流  $I_2$ 는 最少가 된다. 즉 2次아아크 電流를 最少로 하는 接地遮斷器의 抵抗值가 存在함을 알 수 있다. 따라서 線路에 適合한 接地遮斷器의 抵抗值를 選定하므로써 2次아아크 電流를 減少시킬 수 있으므로 無電壓時間을 短縮시킬 수 있게 된다.

送受 兩端 어느 한쪽의 接地遮斷器를 投入時의 2次아아크 電流는 送受 兩端의 電壓의 크기를 같게 하고 位相差를 零으로 하였으므로 어느 한쪽만 생각하면 된다. 따라서 送電端側 投入時를 다루기로 한다. 이때의 2次아아크 電流  $I_2$ 를 非投入時 2次아아크 電流  $I_1$ 의 比로 나타내면 그림 8과 같이 된다. 이 경우에도 2次아아크 電流는 상당히 減少된다.

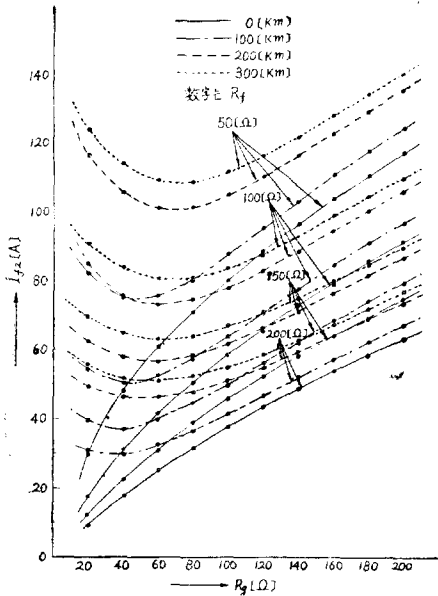


그림 7. 投入時 2次아아크 電流  
Fig. 7. Secondary arc current in throwing

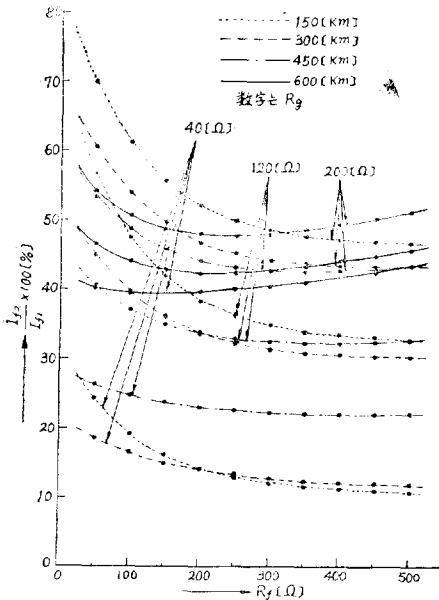


그림 8.  $I_{f3}$ 와  $I_{f1}$ 의 比  
Fig. 8. Secondary arc current ratio as  $I_{f3}/I_{f1}$

9. 結 論

長距離 UHV 送電線에 單相 再閉路方式을 採用하는 경우, 地絡時 送受 兩端에서 故障 電流를 除去한 후 兩端에서 接地遮斷器를 投入하면, 2次아아크 電流가 顯著하게 減少하게 된다. 接地遮斷器를 送受兩端의 어느 한쪽에서단 投入하드라도 그 效果는 無視할수 없다 또한 無電壓時間이 短縮되므로 再閉路 成功率이 大中

的으로 增加되고 따라서 過渡安定度가 向上된다. 再閉路時間 再閉路 可能한 送電距離等을 綜合해서 取扱하는 問題가 앞으로의 研究課題라고 생각한다. 끝으로 本 研究는 漢陽大學校 産業科學研究所 研究費로 이루어졌음을 밝혀둔다.

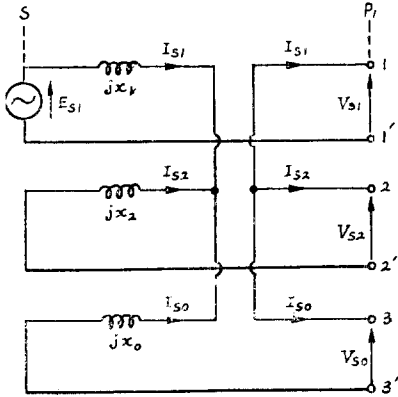
參 考 文 獻

- 1) L. Carlsson, L. Grogga, A. Cristovici, D.S. Neculescu, AI. Ionescu "Single-Pole Reclosing on EHV Line" CIGRE Report No. 31-03 1974
- 2) H.J. Maubrich, G. Hosemann, R. Thomas "Single-Phase Auto-Reclosing in EHV Systems" CIGRE Report No. 31-09 1974
- 3) G. Jancke, R. Jenkins, B-Nordström, L. Norlin "The Choice of Shunt Reactors for the Swedish 400kV System" CIGRE Report No. 412 1662
- 4) Leo Edwards, J.W. Chadwick, Jr., H.A. Riesck, and L.E. Smith "Single-Pole Switching on TVA'S Paradise-Danidson 500kV Line, Design Concepts and Staged Fault Test Results" IEEE Trans. PAS No.6 pp.2436~2450 1971
- 5) 森 英夫, 山崎精三, 前川幸一郎, 神宮司武雄 "單相再閉路方式に於ける故障アーテ消滅後の容量性續流の消弧につて" JIEEJ Vol.71 No. 758 pp. 514~521 1953
- 6) M. Müller, F. Gyaax, C. Hahn, U.P. Baltensperger "Schutz von Höchstspannungsnetzen unter Berücksichtigung der einphasigen Wiedereinschaltung bei sehr langen Leitungen" Broun Boveri Mitt., 45. Jahrg. Heft 6, Juni 1958, S.243~253
- 7) C.L. Gilkeson, P.A. Jeanne, E.F. Vaage" Power System Faults to Ground" AIEE Vol.56, pp. 428 ~433 1973
- 8) 安生見一郎, 寺瀬 齊, ツロ芳弘 "長ギヤツフ氣中アーテの自然消弧機構に關係する實驗" "JIEEJ Vol.88-4 No.955 pp.755~761 1968
- 9) 寺瀬 齊, 安本建二, 橋本義博, 荒金昌克 "500kV 送電線二次アーテ自然消弧機構に關係する實驗" 日本國中部電力研究資料 第39號 pp.51~67
- 10) 尾崎勇雄 "單相再閉路方式における二次アーテの消弧特性につて" Vol.84-6, No.909 pp.931~960 1964

付 錄

식 (1)의 誘導

그림 2에서, S-P<sub>1</sub>사이 부분만 나타내면 부록 그림 1과 같이 된다. 그림에서 점 N 또는 N'와 루우프 1'-a-N-C-O'-O-N'-1-1' 및 O'-O-N'-2-2'-b-N-C-O'에 대해서 다음식이 成立한다.



부록 그림 1. 그림 2의 S-P<sub>1</sub>부분  
App. Fig. 1. The S-P<sub>1</sub> part of Fig. 2

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{s0} \\ V_{s1} \\ V_{s2} \end{pmatrix} + j \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -x_{s0} & x_{s1} & 0 \\ x_{s0} & 0 & -x_{s2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{s0} \\ I_{s1} \\ I_{s2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ E_{s1} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (부-1)$$

또, 受電端 P<sub>3</sub>-R부분에 대해서도 위와같은 방법으로 하여 다음 식이 얻어진다.

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{r0} \\ V_{r1} \\ V_{r2} \end{pmatrix} - j \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -x_{r0} & x_{r1} & 0 \\ x_{r0} & 0 & x_{r2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{r0} \\ I_{r1} \\ I_{r2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ E_n \\ 0 \end{pmatrix} \quad (부-2)$$

여기서

$$T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}, V_r = \begin{pmatrix} V_{r0} \\ V_{r1} \\ V_{r2} \end{pmatrix},$$

$$X_s = j \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -x_{s0} & x_{s1} & 0 \\ x_{s0} & 0 & -x_{s2} \end{pmatrix}, I_s = \begin{pmatrix} I_{s0} \\ I_{s1} \\ I_{s2} \end{pmatrix}, E_s = \begin{pmatrix} 0 \\ E_{s1} \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$V_r = \begin{pmatrix} V_{r0} \\ V_{r1} \\ V_{r2} \end{pmatrix}, X_r = j \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -x_{r0} & x_{r1} & 0 \\ x_{r0} & 0 & -x_{r2} \end{pmatrix},$$

$$I_r = \begin{pmatrix} I_{r0} \\ I_{r1} \\ I_{r2} \end{pmatrix}, E_r = \begin{pmatrix} 0 \\ E_{r1} \\ 0 \end{pmatrix}$$

라 놓으면 식(부-1), (부-2)는 다음과 같이 된다.

$$TV_r + X_s I_s = E_s, TV_r - X_r I_r = E_r \quad (부-3)$$

R<sub>s</sub>, R<sub>f</sub>, R<sub>r</sub>에 흐르는 對稱分 電流사이에는 다음과같은 관계가 있다.

$$I_{s0} = I_{s1} = I_{s2} = \frac{1}{3} I_{s3}, I_{f0} = I_{f1} = I_{f2} = \frac{1}{3} I_f,$$

$$I_{r0} = I_{r1} = I_{r2} = \frac{1}{3} I_{r3} \quad (부-4)$$

그리고, 점 P<sub>1</sub>에서

$$I_s' + \frac{1}{3} P_o^T I_{s3} = I_s, P_o V_s = R_{s3} I_{s3} \quad (부-5)$$

P<sub>1</sub>~P<sub>2</sub>사이에서

$$A_x V_x + B_x I_x = V_x, C_x V_x + D_x I_x = I_x \quad (부-6)$$

점 P<sub>2</sub>에 대해서

$$I_x + \frac{1}{3} P_o^T I_f = I_x, P_o V_x = R_f I_f \quad (부-7)$$

P<sub>2</sub>~P<sub>3</sub>사이에서

$$A_y V_y + B_y I_y = V_y, C_y V_y + D_y I_y = I_y \quad (부-8)$$

점 P<sub>3</sub>에 대해서

$$I_r + \frac{1}{3} P_o^T I_{r3} = I_r, P_o V_r = R_{r3} I_{r3} \quad (부-9)$$

식(부-5)~(부-9)에서 V<sub>x</sub>, I<sub>x</sub>, I<sub>s</sub>, I<sub>f</sub> 및 I<sub>r</sub>는 각 電壓과 電流의 對稱分을 1列行列로 나타낸 것이며, A<sub>x</sub>, B<sub>x</sub>, C<sub>x</sub>, D<sub>x</sub>, A<sub>y</sub>, B<sub>y</sub>, C<sub>y</sub> 및 D<sub>y</sub>등은

$$A_x = \begin{pmatrix} A_{x0} & 0 & 0 \\ 0 & A_{x1} & 0 \\ 0 & 0 & A_{x2} \end{pmatrix}, B_x = \begin{pmatrix} B_{x0} & 0 & 0 \\ 0 & B_{x1} & 0 \\ 0 & 0 & B_{x2} \end{pmatrix}, \dots,$$

와 같이 對稱分 4端子定數로 나타낸 行列이며, P<sub>o</sub>=(1 1 1), P<sub>o</sub><sup>T</sup>는 P<sub>o</sub>의 轉置行列이다.

식(부-3), (부-5)~(부-9)에서 I<sub>s</sub>, I<sub>r</sub>, I<sub>s</sub>, I<sub>f</sub>, I<sub>r</sub>, I<sub>f</sub> 및 I<sub>r</sub>들 소거하여 V<sub>s</sub>, V<sub>r</sub>, V<sub>x</sub>, I<sub>f</sub>, I<sub>s</sub> 및 I<sub>r</sub>로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$\left. \begin{aligned} (T + X_s D_x B_x^{-1}) V_s - X_s B_x^{-1} V_x + \frac{1}{3} X_s P_o^T I_{s3} &= E_s \\ (T + X_r A_r B_r^{-1}) V_r - X_r B_r^{-1} V_x + \frac{1}{3} X_r P_o^T I_{r3} &= E_r \\ B_x V_s + B_x V_r - B_x V_x - \frac{1}{3} B_x B_x P_o^T I_f &= 0 \\ P_o V_x - P_f I_f &= 0 \\ P_o V_s - R_{s3} I_{s3} &= 0 \\ P_o V_r - R_{r3} I_{r3} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (부-10)$$

단

$$B_i = \begin{pmatrix} B_{i0} & 0 & 0 \\ 0 & B_{i1} & 0 \\ 0 & 0 & B_{i2} \end{pmatrix}$$

식(부-10)에서 T<sub>s</sub>=T+X<sub>s</sub>D<sub>x</sub>B<sub>x</sub><sup>-1</sup>, T<sub>r</sub>=T+X<sub>r</sub>A<sub>r</sub>B<sub>r</sub><sup>-1</sup>라 놓으면 식(1)과 같이 된다.