

# 送電線의 強制再閉路 Forced Reclosing in Transmission Line

論	文
29-6-3	

金 俊 鉉\*  
(Joon-Hyun Kim)

## Abstract

This paper deals with the implementation of forced reclosing the transmission line. Because the ground circuit breaker method decrease the secondary arc current sufficiently, the reclosing time can be reduced. As the secondary arc current is large and its residual time is long in UHV transmission line, this method is more effective in that system. The resistance of ground circuit breaker which minimize the secondary arc current is determined according to the system voltage and the length of transmission line.

## 1. 序 論

送電線에 高速度再閉路를 실시하는 경우 無電壓時間의 평가가 중요하다. 無電壓時間을 결정하는 요소는 遮斷器의 機械的 死時間, 故障電流에 의해서 생긴 殘留이온의 소멸에 기인하는 故障點의 絕緣回復時間, 2次아아크電流, 回復電壓 등이다.

특히 強制再閉路는 單相再閉路에 적합하다. 單相再閉路의 경우는 不平衡遮斷이므로 일반적으로 2次아아크電流의 지속시간이 길게 된다. 따라서 無電壓時間은 주로 2次아아크電流의 지속시간에 의하여 결정된다. 交流方式의 UHV長距離送電線에 單相再閉路方式을 사용하는 경우는 2次아아크電流의 지속시간이 高速度再閉路의 성과를 좌우하게 된다. 따라서 2次아아크電流를 감소시키고 동시에 回復電壓을 낮게하여 高速度再閉路를 용이하게 하는 대책이 필요하다.

그 대책의 대표적인 것은 2次아아크의 消弧를 大氣中の 自然消弧에 맡기며 이것을 조장시켜 2次아아크電流와 回復電壓을 감소시키는 방법과 2次아아크의 消弧를 大氣中の 自然消弧에 맡기지 않고 遮斷相의 양단을

強制로 접지하여 故障點의 2次아아크電流를 이것에 轉流하여 消弧시켜 2次아아크電流를 감소시키고 回復電壓을 낮게하는 強制再閉路法이 있다. 前者에는 차단거리를 짧게하는 방법과 補償리액터법이 있으나 차단거리를 짧게하는 방법은 적극적인 방법이라 볼 수 없으며, 後者에는 Water-Jet법<sup>1)</sup>과 接地遮斷器法<sup>2)</sup>이 있다. 本論文은 送電線의 強制再閉路의 적용가능성 여부를 모델系統에 대하여 검토하고, 또한 補償리액터법과 비교검토한 것이다.

## 2. 強制再閉路

### 2.1 Water-Jet법

Water-Jet법은 그림 2.1과 같이 故障相 차단과 동시에 遮斷相을 양단에서 Water-Jet 장치로 접지하여 2次아아크電流를 이것에 轉流시켜 消弧하는 방법이다. Water-Jet는 導電성이 좋은 NH<sub>4</sub>Cl포화액을 분출하여 線路를 접지하는 것이다. Jet에 轉流한 아아크電流가 소멸하지 않을 경우에는 Jet의 다른 노즐에서의 압축공기로 소멸시킨다. 양단의 Jet로 접지한 경우 2次아아크를 급속하게 消弧하며, 일단만 접지해도 消弧할 때가 있다.

長距離送電線에 Water-Jet법을 적용하여 高速度再

\* 正會員: 韓陽大 工大 電氣工學科 教授  
接 受 日 字: 1980年 5月 7日

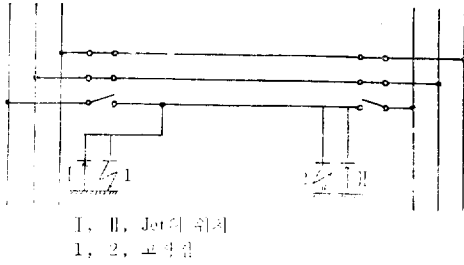


그림 2.1. Water-Jet법  
Fig. 2.1. Water-Jet method

閉路가 가능함을 실험적으로 실증하였으나 故障點의 위치에 따른 실험부족, 理論的인 뒷받침의 결핍, 2중 장치로 인한 信賴性문제 등의 결함이 내포되어 있다고 본다. 따라서 상기 문제들이 해결된다면 實用化가 가능하게 될 것이다.

2.2 接地遮斷器法

接地遮斷器法은 1線接地故障時 故障相을 送受兩端에서 차단한 후 遮斷相의 양단의 接地遮斷器를 投入하여 2次아아크電流를 이것에 轉流하여 消弧시키는 방법으로 Water-Jet장치 대신에 抵抗이 있는 遮斷器를 사용하는 방법이다. 그림 2.2와 같은 3相3線式 1回線의 모델系統에 있어서 a相이 접지되었을 때, a相의 양단을 차단하고 遮斷相의 양단에서 接地遮斷器를 投入했을 때의 對稱分等價回路는 그림 2.3과 같이 된다.

그림에 있어서 S-P<sub>1</sub> 사이, P<sub>1</sub>점, P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> 사이, P<sub>2</sub>점, P<sub>2</sub>-P<sub>3</sub> 사이, P<sub>3</sub>점, P<sub>3</sub>-R 사이에 대하여 다음식이 성립한다.

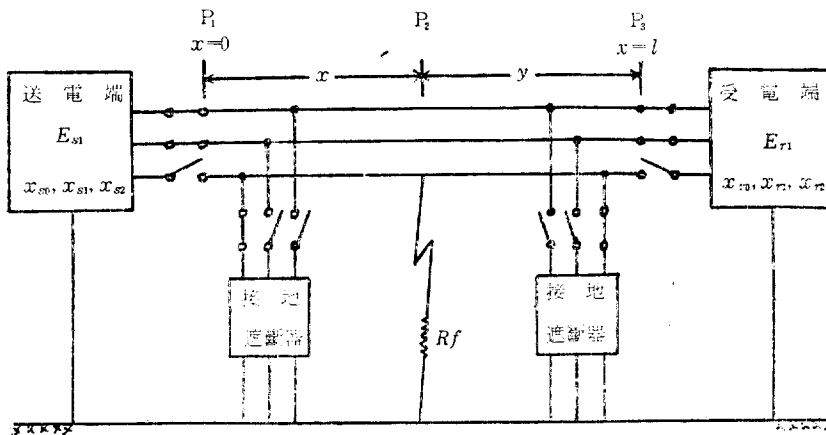


그림 2.2. 모델系統  
Fig. 2.2. Model system

$$\left. \begin{aligned}
 TV_s + X_s I_s &= E_s \\
 PV_s - R_{gs} I_{gs} &= 0 \\
 I_s' + \frac{1}{3} P^r I_{gs} &= I_s \\
 A_x V_x + B_x I_x &= V_s \\
 C_x V_x + D_x I_x &= I_s' \\
 PV_x - R_f I_f &= 0 \\
 I_y + \frac{1}{3} P^r I_f &= I_x \\
 A_y V_r + B_y I_r' &= V_x \\
 C_y V_r + D_y I_r' &= I_y \\
 PV_r - R_{gr} I_{gr} &= 0 \\
 I_r + \frac{1}{3} P^r I_{gr} &= I_r' \\
 TV_r - X_r I_r &= E_r
 \end{aligned} \right\} (2.1)$$

단

$$E_s = \begin{bmatrix} 0 \\ E_{s1} \\ 0 \end{bmatrix} \quad E_r = \begin{bmatrix} 0 \\ E_{r1} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$E_{s1}, E_{r1}$  : 送受兩端의 誘起電壓

$V_s, V_r, V_x$  : 列行列로 나타낸 送受兩端 및 x점의 對稱分電壓

$I_s, I_r$  : 列行列로 나타낸 送受兩端의 對稱分電流

$I_{gs}, I_{gr}$  : 送受兩端의 接地遮斷器에 흐르는 電流

$I_f$  : 2次아아크電流

$x_{s0}, x_{s1}, x_{s2}$  : 送電端側 機器의 對稱分리액턴스

$x_{r0}, x_{r1}, x_{r2}$  : 受電端側 機器의 對稱分리액턴스

$R_{gs}, R_{gr}$  : 送受兩端 接地遮斷器의 抵抗

$R_f$  : 2次아아크抵抗

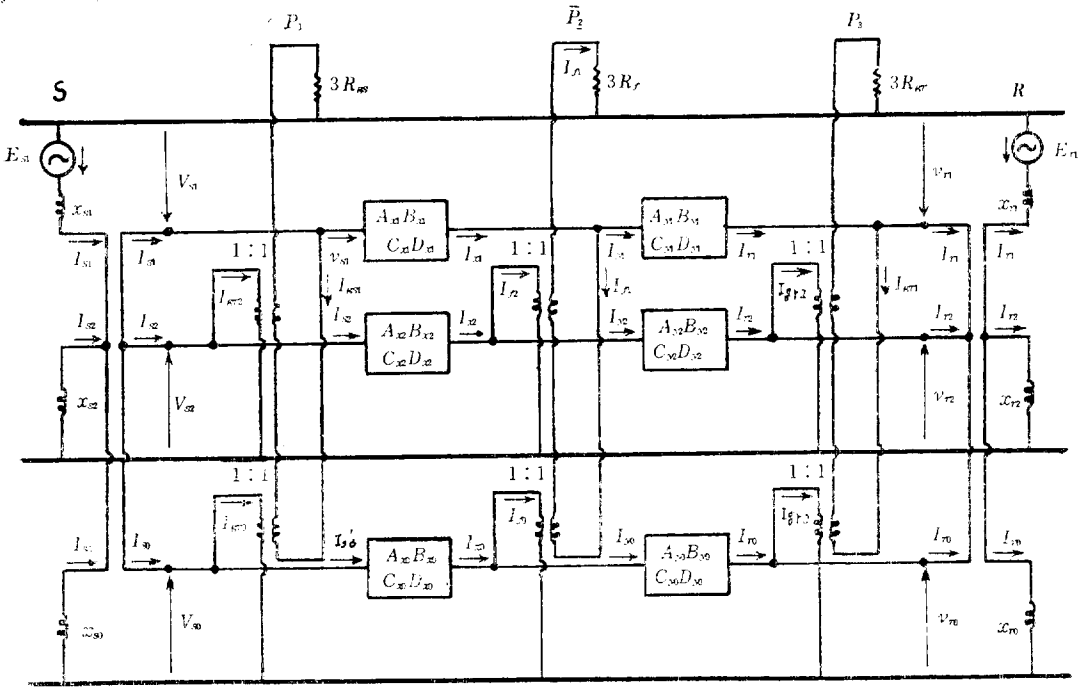


그림 2.3. 對稱分等價回路  
Fig. 2.3. Symmetric equivalent circuit

$A_x, B_x, C_x, D_x, A_y, B_y, C_y, D_y$ : 4端子定數를 對稱分으로 나타낸 主對角線行列表

$$X_x = j \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -x_{r0} & x_{r1} & 0 \\ x_{r0} & 0 & -x_{r2} \end{bmatrix} \quad X_y = j \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -x_{r0} & x_{r1} & 0 \\ x_{r0} & 0 & -x_{r2} \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad P = [1 \ 1 \ 1] \quad P^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

式 (2.1)에서  $I'_s, I'_r, I_x, I_y$ 를 소거하여  $V_s, V_x, V_r, I_s, I_r, I_f, I_{fz}, I_r$ 를 구하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} V_s \\ V_x \\ V_r \\ I_s \\ I_r \\ I_f \\ I_{fz} \\ I_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & A_x & B_x C_x & 0 & B_x D_x & \frac{1}{3} B_x P^T & 0 & \frac{1}{3} B_x B_x P^T \\ 0 & C_x & D_x C_x & -1 & D_x D_x & \frac{1}{3} D_x P^T & \frac{1}{3} P^T & \frac{1}{3} D_x D_x P^T \\ 0 & -1 & A_y & 0 & B_y & 0 & 0 & \frac{1}{3} B_y P^T \\ T & 0 & 0 & X_r & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T & 0 & -X_r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P & 0 & 0 & 0 & -R_f & 0 & 0 \\ P & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -R_r & 0 \\ 0 & 0 & P & 0 & 0 & 0 & 0 & -R_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ E_s \\ E_r \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

단,  $I$ 은 單位行列,  $0$ 은 영行列이다.

2次아아크에 대해서는 여러 연구보고가 있으나<sup>3)-7)</sup> 一義의로 판단하기는 곤란하므로, 여기에서는 2次아아크抵抗은 시간에 관계없이 일정하다고 가정한다.

式 (2.2)에서  $R_f, R_{r1}, R_{r2}$ 를 무한대로 놓든가 또는 5次行列까지 취하면 回復電壓을 구할 수 있고,  $R_{r1}, R_{r2}$ 를 무한대로 놓든가 또는 6次行列까지 취하면 接地

遮斷器 非投入時의 2次아아크電流를 구할 수 있고, 8次行列까지 다 취하면 接地遮斷器 投入時의 2次아아크電流를 구할 수 있다. 그리고  $R_f$ 를 무한대로 놓든가 또는 6째의 행과 열을 제거한 行列로부터 接地遮斷器 投入상태에서의 回復電壓을 구할 수 있다. 이상의 각 경우에 대한 것들을 數式的으로 나타내면 복잡하게 되므로 數值計算에 의해서 구하는 것이 理想的이다.

### 3. 補償리액터법

補償리액터법에는 線間에 리액터를 설치하는 방법과 이것의 中性點에 리액터를 접속하여 접지하는 두가지 방법이 있는데 여기에서는 후자에 대해서 다루기로 한다.

그림 3.1과 같은 補償리액터를 그림 2.1의 送受兩端의 接地遮斷器 대신에 접속한 경우, a相 接地故障時 a相의 兩端을 차단했을 때의 對稱分等價回路는 그림 3.2와 같이 된다. 그림의 S-P<sub>1</sub> 사이, P<sub>1</sub>점, P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> 사이, P<sub>2</sub>점, P<sub>2</sub>-P<sub>3</sub> 사이, P<sub>3</sub>점, P<sub>3</sub>-R 사이에 대해서 다음 관계식이 성립한다.

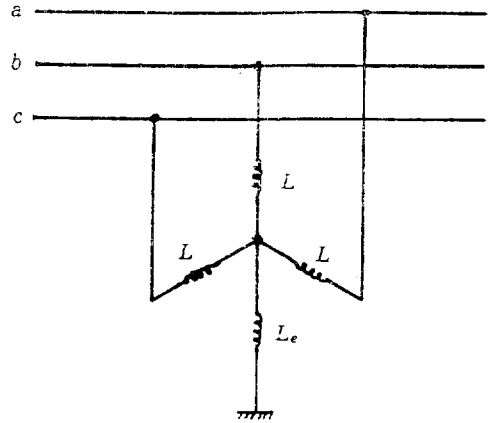


그림 3.1. 補償리액터  
Fig. 3.1. Compensate reactor

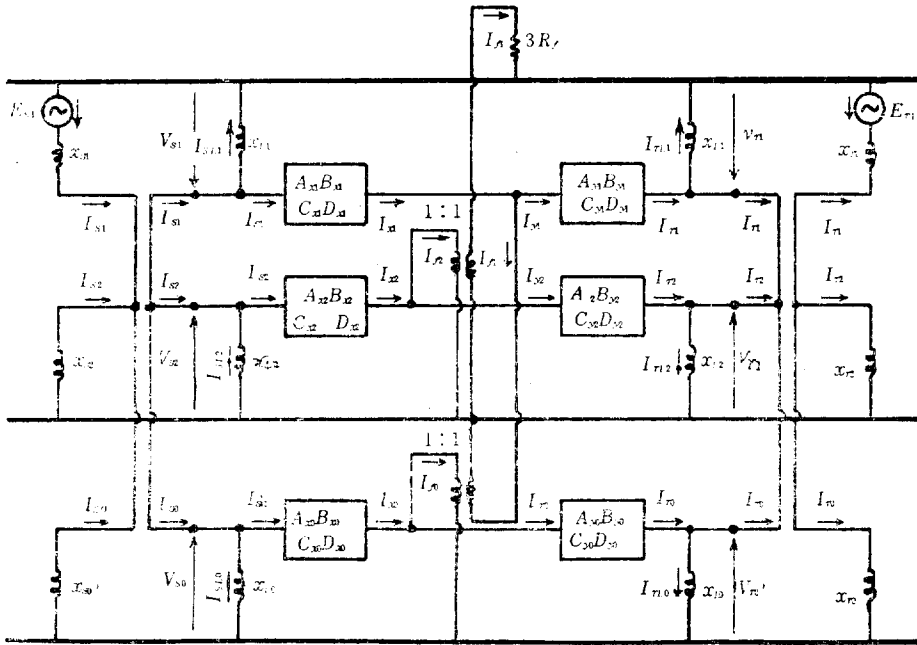


그림 3.2. 補償리액터 設置系統의 對稱分等價回路  
Fig. 3.2. Symmetric equivalent circuit of compensating reactor system

$$\left. \begin{aligned}
 TV_s + X_s I_s &= I_r \\
 V_s - X_L I_r &= 0 \\
 I_s' + I_r &= I_s \\
 A_x V_x + B_x I_x &= V_r \\
 C_x V_x + D_x I_x &= I_r' \\
 PV_x - R_f I_r &= 0 \\
 I_s + \frac{1}{3} P^r I_r &= V_x \\
 A_y V_y + B_y I_y &= V_x \\
 C_y V_y + D_y I_y &= I_r' \\
 I_r + I_r' &= I_r' \\
 V_r - X_L I_r &= 0 \\
 TV_r - X_r I_r &= E_r
 \end{aligned} \right\}$$

(3.1)

단,  $I_s, I_r$  : 列行列로 나타낸 送受兩端의 補償리액터에 흐르는 電流

$$X_L = j \begin{bmatrix} \omega L_0 & 0 & 0 \\ 0 & \omega L & 0 \\ 0 & 0 & \omega L \end{bmatrix} \quad (\text{부록 (1) 참조})$$

$\omega L_0$ 는 補償리액터의 零相分리액턴스이며  $\omega L_0 = \omega(L + 3L_r)$ 이고,  $\omega L$ 는 主리액터의 리액턴스이며 正相分(=逆相分)리액턴스이다. 補償리액터의 正相補償度를  $k_c$ , 中性點 인덕턴스의 主리액터의 인덕턴스에 대한 비를  $k_r$ 라 하면, 補償리액터의 正相 및 零相리액턴스

$\omega L_1 (= \omega L)$  및  $\omega L_0$ 는 다음과 같이 된다(부록 (2) 참조).

$$\left. \begin{aligned} \omega L_1 &= \frac{1}{k_c \frac{c_1}{a_1}} \\ \omega L_0 &= \omega L_1 (1 + 3k_c) \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

식 (3.1)에서  $I'_1, I_2, I'_3, I_4$ 를 소거하여  $V_1, V_2, I_1, I_2, I_3, I_4, I_{11}, I_{12}$ 를 구하면 다음과 같이 된다.

식 (3.3)으로부터 1線 接地故障時の 2次아아크電流 및 送受兩端의 補償리액터에 흐르는 電流를 구할 수 있다. 그리고  $R_f$ 를 무한대로 놓든가 또는 6개의 행과 열을 제거한 것으로부터 回復電壓을 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_f \\ I_1 \\ I_2 \\ I_f \\ I_{11} \\ I_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & A_x & B_x C_x & 0 & B_x D_x & \frac{1}{3} B_x P^r & 0 & B_x D_x \\ 0 & C_x & D_x C_x & 1 & D_x D_x & \frac{1}{3} B_x P^r & 1 & D_x D_x \\ 0 & -1 & A_y & 0 & B_y & 0 & 0 & B_y \\ T & 0 & 0 & X_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T & 0 & -X_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P & 0 & 0 & 0 & -R_f & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_L & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_L \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ E_f \\ E_f \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

4. 計算例

그림 2.1 및 3.1에 있어서

基準電壓  $E_{11} = E_{12} = 1100 \angle 0^\circ$  [kv]

基準容量 8000 [MVA]

線路길이 600~1000 [km]

送受兩端 機器의 리액턴스

$x_{10} = j0.15$  pu

$x_{11} = j1.1$  pu

$x_{12} = x_{11}$

$x_{r0} = x_{10}$

$x_{r1} = x_{r2} = x_{11}$

線路의 對稱분리액턴스

$Z_0 = (0.10272 + j0.54218) \times 10^{-2}$  pu

$Y_0 = j5.31424 \times 10^{-4}$  pu

$Z_1 = (0.0041 + j0.21687) \times 10^{-2}$  pu

$Y_1 = j7.97137 \times 10^{-4}$  pu

$Z_2 = Z_1$

$Y_2 = Y_1$

接地遮斷器 抵抗  $R_g = R_{r1} = R_{r2} = 20 \sim 200$  [ $\Omega$ ]

2次아아크抵抗  $R_f = 200 \sim 2000$  [ $\Omega$ ]

補償리액터의 補償度 35%

라 하여, 식 (2.2), (3.3)에 위의 數值를 대입하여 계산한 결과를 나타내면 다음과 같다.

그림 4.1은 接地遮斷器 非投入時, 投入時 및 補償리액터 設置系統의 回復電壓을 나타낸 것이다. 어느 경우나 送受兩端에서 최소가 되며 線路 중앙에서 최대가 된다.

接地遮斷器 非投入時의 回復電壓의 최대값은 送電거리 600 [km]일 때 약 104 [kv], 800 [km]일 때 약 124

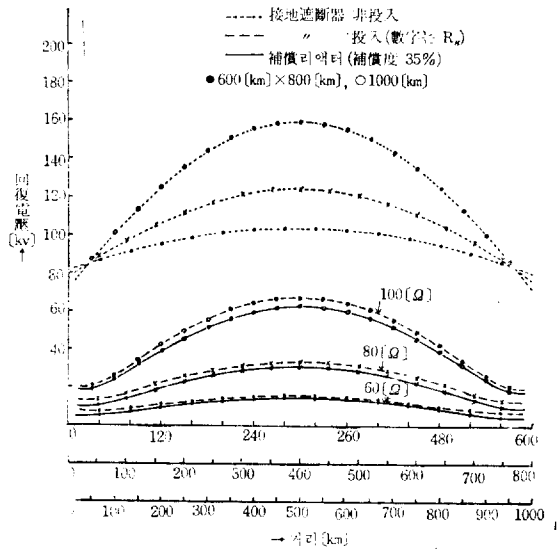
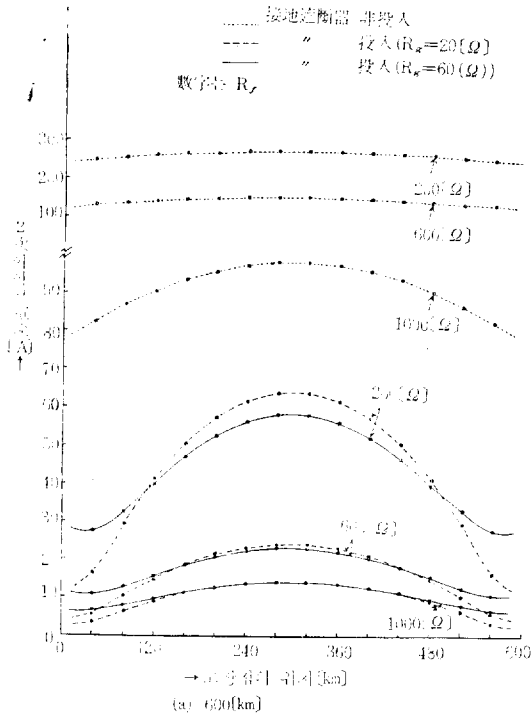


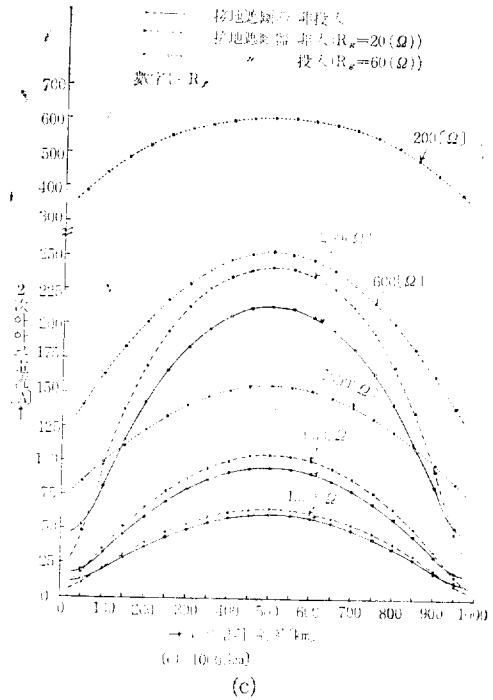
그림 4.1. 回復電壓  
Fig. 4.1. Recovery voltage

[kv], 1000 [km]일 때 약 160 [kv]로 된다. 送電거리가 길어짐에 따라서 回復電壓은 높게 되나 거리에 비례해서 증가하지는 않는다. 送受兩端 부근에서는 어느 경우나 거의 같게 되며, 그림에는 나타내지 않았으나 送電거리가 짧게 되면 이 현상은 더욱 현저하게 나타난다.

接地遮斷器 投入時의 回復電壓의 최대값은  $R_g = 60$  [ $\Omega$ ], 600 [km]일 때 약 15 [kv],  $R_g = 80$  [ $\Omega$ ], 800 [km]일 때 약 33 [kv],  $R_g = 100$  [ $\Omega$ ], 1000 [km]일 때 약 67 [kv]로 된다. 接地遮斷器 投入時와 非投入時의 최대값을 600 [km], 800 [km], 1000 [km]에 대해서 비교하면, 投入時는 非投入時의 약 7.2%, 13.3%, 41.8%



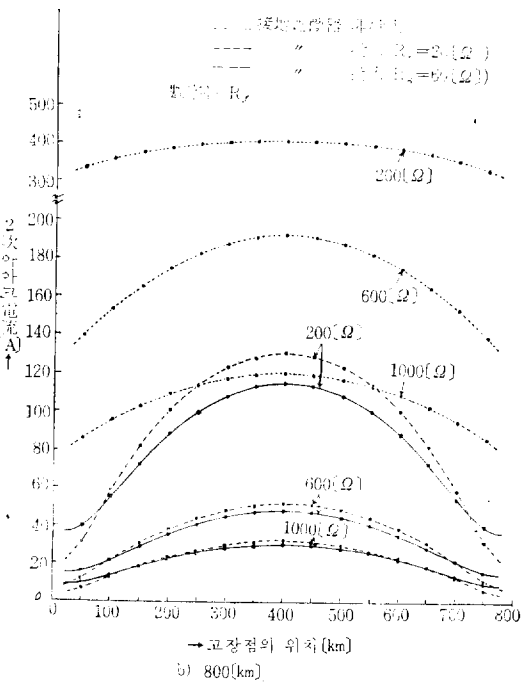
(a)



(c)

그림 4.2. 2차아아크電流

Fig. 4.2. Secondary arc current



(b)

로 되며, 回復電壓은 현저하게 감소한다. 그리고 補償 리액터 設置時와 比較하면, 線路길이가 길어짐에 따라서 接地遮斷器 投入時의 回復電壓이 다소 커지게 된다.

그림 4.2는  $R_f$ 가 200[Ω], 600[Ω], 1000[Ω],  $R_g$ 가 20[Ω], 60[Ω]일 때의 接地遮斷器 非投入時와 投入時의 2차아아크電流를 送電거리 별로 나타낸 것이며, 어느 경우나 線路 중앙에서 최대가 된다.

그림 (a)에서 接地遮斷器 非投入時의 2차아아크電流는  $R_f$ 가 200[Ω], 600[Ω], 1000[Ω]일 때 최대 약 270[A], 150[A], 98[A]가 되며,  $R_f$ 가 증가함에 따라서 감소한다. 接地遮斷器 投入時의 최대값은  $R_g$ 가 20[Ω]이고  $R_f$ 가 200[Ω], 600[Ω], 1000[Ω]일 때 약 64[A], 24[A], 15[A],  $R_g$ 가 60[Ω]일 때 58[A], 23[A], 14[A]가 된다. 接地遮斷器 非投入時와 比較하면 投入時는  $R_g=20[Ω]$ 일 때 非投入時의 약 23.7%, 16.0%, 15.3%,  $R_g=60[Ω]$ 일 때 21.5%, 15.3%, 14.3%가 된다.

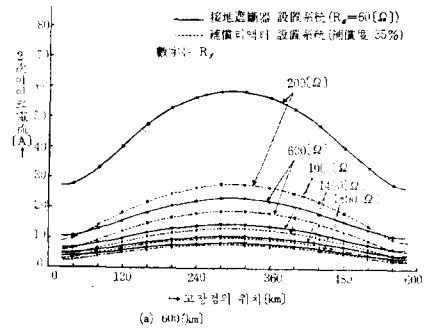
그림 (b)에서 接地遮斷器 非投入時의 2차아아크電流의 최대값은  $R_f$ 가 200[Ω], 600[Ω], 1000[Ω]일 때 약 406[A], 192[A], 120[A]가 된다. 接地遮斷器投入時는  $R_g$ 가 20[Ω]이고  $R_f$ 가 200[Ω], 1000[Ω]일 때 약 130

{A}, 52{A}, 32{A},  $R_f$ 가 60[Ω]일 때 약 115{A}, 48{A}, 30{A}가 되며, 非投入時와 비교하면 投入時는  $R_f=20[Ω]$ 일 때 非投入時의 약 32.0%, 27.1%, 26.7%,  $R_f=60[Ω]$ 일 때 28.3%, 25.0%, 25.0%로 된다.

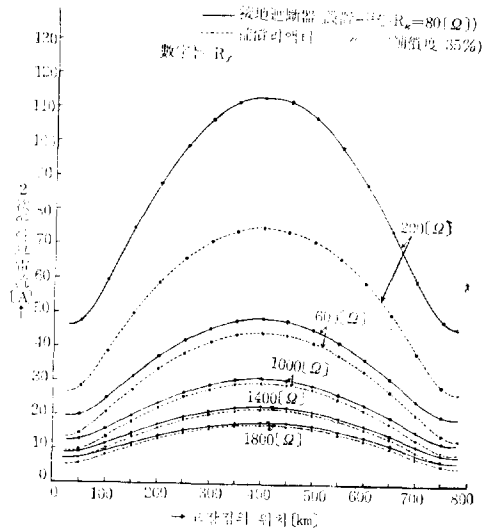
그림 (c)에서 接地遮斷器 非投入時의 2次아아크電流의 최대값은  $R_f$ 가 200[Ω], 600[Ω], 1000[Ω]일 때 약 605{A}, 252{A}, 156{A}가 되며, 投入時는  $R_f$ 가 20[Ω]이고  $R_f$ 가 200[Ω], 600[Ω], 1000[Ω]일 때 242{A}, 105{A}, 66{A},  $R_f$ 가 60[Ω]일 때 213{A}, 96{A}, 61{A}가 된다. 非投入時와 비교하면 投入時는  $R_f=20[Ω]$ 일 때 非投入時의 약 40.0%, 41.7%, 42.3%,  $R_f=60[Ω]$ 일 때 35.2%, 31.8%, 39.1%가 된다.

이상의 3경우로부터 알 수 있는 바와 같이 1線接地故障時 接地遮斷器를 投入하면 2次아아크電流는 현저하게 감소한다. 그리고 그림 (a), (b), (c)의 어느 경우에서나 같은 조건하에서 接地遮斷器의 抵抗이 작아질수록 2次아아크電流는 작게 되지는 않는다. 예를 들면 그림 (a)에서  $R_f=200[Ω]$ 일 때  $R_f=20[Ω]$ 와  $R_f=600[Ω]$ 을 비교하여 보면, 送受電端 付近에서는  $R_f=20[Ω]$ 일 때가  $R_f=60[Ω]$ 일 때 보다 작으나 線路 중앙부 附近에서는 그 반대가 된다.

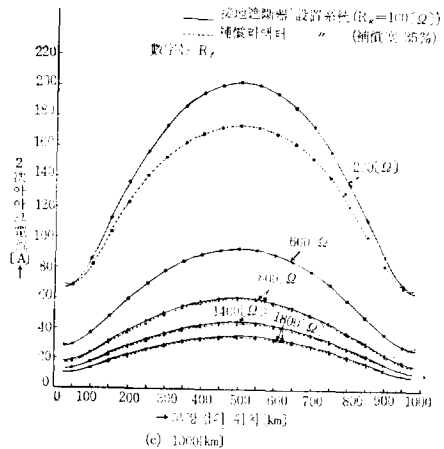
따라서  $R_f$ 의 변화에 대한 2次아아크電流의 關係를 나타내면 그림 4.3과 같이 된다. 그림으로부터 알 수



(a)



(b)



(c)

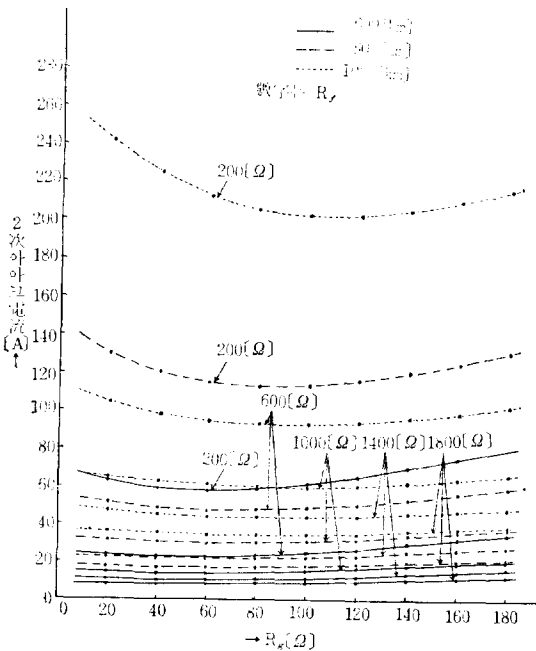


그림 4.3. 接地遮斷器 抵抗

Fig. 4.3. Ground circuit-breaker resistume

그림 4.4. 2次아아크電流

Fig. 4.4. Secondary arc current

있는 바와 같이 2차아아크抵抗에 관계없이 2차아아크電流를 최소로하는  $R_s$ 는 送電거리 600[km]일 때 40~80[Ω], 800[km]일 때 60~100[Ω], 1000[km]일 때 80~120[Ω]가 된다.

그림 4.4는 接地遮斷器 設置系統에 있어서  $R_s$ 가 60[Ω], 80[Ω], 100[Ω]일 때를 補償리액터 設置系統 補償度 35%일 때 와의 2차아아크電流를 送電거리 별로 나타낸 것이다. 接地遮斷器 設置系統의 2차아아크電流는 送電거리에 관계없이 補償리액터 設置系統과 유사하게 변화한다. 送電거리가 같을 때 2차아아크抵抗  $R_s$ 가 증가함에 따라서 2차아아크電流는 接地遮斷器 設置系統이나 補償리액터 設置系統이나 다 같이 감소하며, 두 경우의 차는 점점 감소하여 간다. 특히 送電거리가 1000[km]인 경우는 그 현상이 현저하게 나타나며  $R_s$ 가 600[Ω] 이상일 때에는 두 경우의 2차아아크電流는 거의 같게 된다. 이것은 線路가 長距離로 되면 接地遮斷器의 역할이 補償리액터와 같게 됨을 나타낸다고 본다.

5. 結 論

送電線의 強制再閉路를 함에 있어서 Water-Jet법은 2중장치이므로 信賴性이 문제로 되지만 接地遮斷器法은 이러한 문제를 생각하지 않아도 된다. 接地遮斷器法은 短距離 뿐만 아니라 UHV長距離線路上에서도 그 효과를 충분히 발휘할 수 있다고 본다. Water-Jet법은 送電거리에 따라서 2차아아크電流를 최소로 하게 하는 조치가 불가능하나 接地遮斷器法은 2차아아크電流를 최소로 할 수 있는 接地遮斷器의 抵抗值를 선정할 수 있으며, 그 抵抗值는 線路의 길이에 따라서 다르게 된다. 強制再閉路方式인 接地遮斷器法은 補償리액터법과 유사한 효과를 나타내며, 특히 UHV長距離送電線에 있어서는 그 효과가 매우 유사하다.

끝으로 本論文은 峨山社會福祉事業財團 研究費로 이루어졌음을 밝혀둔다.

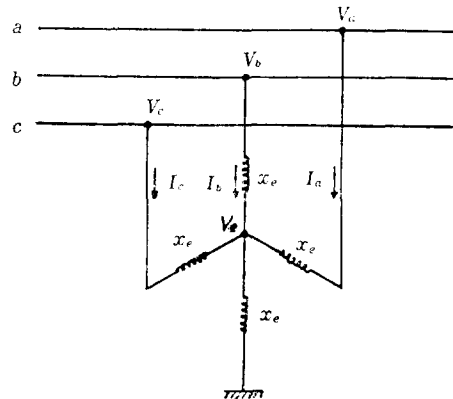
參 考 文 獻

1. M. Müller, F. Gyax, C. Hahn U.P. Balten-sperger; "Schutz von Höchstspannungsnetzen unter Berücksichtigung der einphasigen Wiedereinschaltung bei sehr langen Leitungen" Brown Boveri Mitt., 45. Jahrg., Heft 6, Jun. 1958, s. 243~253.
2. 金俊鉉; "單相再閉路時 2차아아크 電流의 減少方法

- 에 관한 研究" 大韓電氣學會誌 vol. 26, No. 6, pp. 545~551, 1977.
3. C.L. Gilkeson, P.A. Jeanne, E.F. Vaage; "Power System Faults to Ground" AIEE Vol. 56, pp. 428~433, 1973.
4. 安生晃一郎 外 2人; "長ギアッブ大電流アークの絶縁回復機構に關する實驗" J.I.E.E.J, Vol. 88-7, No. 958, pp. 1339~1348.
5. 尾崎勇雄; "單相再閉路方式における二次アークの消弧特性について" J.I.E.E.J. Vol. 84-6, No. 909, pp. 951~960.
6. 寺瀬 齊 外 3人; "500kv送電線二次アーク自然消弧機構に關する實驗" 日本國中部電力研究資料 第39號 pp. 51~67.
7. 尾崎勇雄; "氣中交流アークの諸特性" J.I.E.E.J, Vol. 87-7, No. 946, pp. 1430~1438.

부 록

(1) 부록 그림 1에 있어서 각부의 電壓과 電流를 그림과 같이 취하고, 補償리액터의 主리액턴스 및 中性點리액터의 리액턴스들  $x_L = \omega L$ ,  $x_c = \omega C$ 라 하면 다음 식이 성립한다.



부록 그림 1. 補償리액터  
App. Fig. 1. Compensate reactor

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} jx_L & 0 & 0 \\ 0 & jx_L & 0 \\ 0 & 0 & jx_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} V_c \quad (부-1)$$

$$V_c = jx_c(I_a + I_b + I_c)$$

식 (부-1)을 對稱分으로 나타내면



$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} jx_L & 0 & 0 \\ 0 & jx_L & 0 \\ 0 & 0 & jx_L \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} + 3x_s \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} I_0 \right\} \\ = j \begin{bmatrix} x_L + 3x_s & 0 & 0 \\ 0 & x_L & 0 \\ 0 & 0 & x_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (\text{부-2})$$

(2) 그림 3.2에 있어서 送受兩端의 誘起電壓의 크기를 같게 하고 位相角을 영으로, 그리고  $R_f$ 가 무한대라 하면 線路중양점에 대하여 兩側은 대칭으로 된다. 지금 線路의 중양점의 電壓, 電流를  $V_m, I_m$ 라 하면 送電端과 線路의 중양점 사이에서 다음 식이 성립한다.

$$\left. \begin{aligned} TV_m + XI_m &= E, \\ AV_m + BI_m &= V_s, \\ C'V_m + D'I_m &= I_s \end{aligned} \right\} \quad (\text{부-2-3})$$

단

$$C' = \begin{pmatrix} C_0 - j\frac{A_0}{\omega L_0} & 0 & 0 \\ 0 & C_1 - j\frac{A_1}{\omega L_1} & 0 \\ 0 & 0 & C_2 - j\frac{A_2}{\omega L_2} \end{pmatrix} \\ D' = \begin{pmatrix} D_0 - j\frac{B_0}{\omega L_0} & 0 & 0 \\ 0 & D_1 - j\frac{B_1}{\omega L_1} & 0 \\ 0 & 0 & D_2 - j\frac{B_2}{\omega L_2} \end{pmatrix}$$

$A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2, C_0, C_1, C_2, D_0, D_1, D_2$ 는 補償리액터 설치점에서 線路의 중양점까지의 對稱分 4端子定數이고,  $A$ 와  $B$ 는  $A_0, A_1, A_2$  및  $B_0, B_1, B_2$ 로 나타낸 行列이다.

回路의 대칭성에 의하여  $I_m = 0$ 으로 되므로 식 (부 2-2)의 제 2 및 제 3식은 다음과 같이 된다.

$$\left. \begin{aligned} AV_m &= V_s, \\ C'V_m &= I_s \end{aligned} \right\} \quad (\text{부-2-4})$$

식 (부 2-4)를 식 (부 2-3)에 대입하면

$$\begin{aligned} [TA + X, C']V_m &= E, \\ \therefore V_m &= [TA + X, C']^{-1}E, \end{aligned} \quad (\text{부-2-5})$$

식 (부 2-5)를 식 (부 2-4)의 제 1식에 대입하면

$$\begin{aligned} V_s &= A[TA + X, C']^{-1}E, \\ \text{따라서 } V_s \text{는 다음과 같이 된다.} \\ V_s &= PV_s = PA[TA + X, C']^{-1}E, \end{aligned} \quad (\text{부-2-6})$$

여기서 線路의 抵抗分을 무시하면  $A_0, A_1, A_2, D_0, D_1, D_2$ 는 실수로 되고,  $B_0, B_1, B_2, C_0, C_1, C_2$ 는 순허수로 되므로  $A_0, A_1, A_2, C_0, C_1, C_2$ 를  $a_0, a_1 (=a_2), c_0, c_1 (=c_2)$ 라 하면,  $V_s=0$ 의 조건은 식 (부 2-6)으로부터 다음과 같이 된다.

$$a_1 \left( c_0 - \frac{a_0}{\omega L_0} \right) - a_0 \left( c_1 - \frac{a_1}{\omega L_1} \right) = 0$$

이것을 다시쓰면

$$\frac{1}{\omega L_1} - \frac{1}{\omega L_0} = \frac{c_1}{a_1} - \frac{c_0}{a_0} \quad (\text{부-2-7})$$

여기서

$$m = \frac{\frac{c_1}{a_1} - \frac{c_0}{a_0}}{\frac{c_1}{a_1}} \quad (\text{부-2-8})$$

라 하고, 補償리액터의 正相補償度를  $k_s$ , 中性點 인덕턴스의 主리액터의 인덕턴스에 대한 비를  $k_s$ 라 하면

$$\left. \begin{aligned} k_s &= \frac{1}{\omega L_1 \frac{c_1}{a_1}} \\ k_s &= \frac{L_s}{L} \end{aligned} \right\} \quad (\text{부-2-9})$$

와 같이 되므로, 식 (부 2-7)에 식 (부 2-8)과 식 (부 2-9)의 관계를 대입하면  $k_s$ , 補償리액터의 正相 및 零相리액턴스  $\omega L_1, \omega L_0$ 는 다음과 같이 된다.

$$\left. \begin{aligned} k_s &= \frac{m}{3(k_s - m)} \\ \omega L_1 &= \frac{1}{k_s \frac{c_1}{a_1}} \\ \omega L_0 &= \omega L_1 (1 + 3k_s) \end{aligned} \right\} \quad (\text{부-2-10})$$