

23 KV Y 配電方式 研究 (2)

報 告
15-4-1

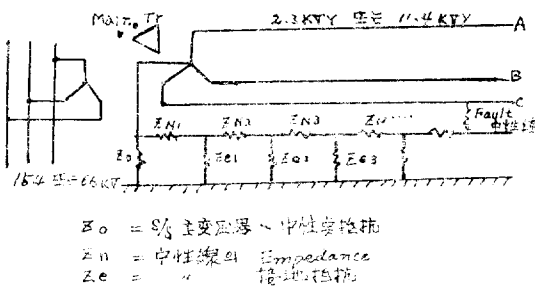
*閔正根 · **嚴仁澤 · ***邊勝鳳

7. 試驗結果 檢討

B. 앞으로 新設될 配電系統에서의 高低壓混觸時 電位上昇

A 項의 檢討에서 若木系統의 實測値와 D.C. board 에 依한 計算値 사이에 約 10~20%의 誤差는 있으나 計算値로써 電位上昇을 추정할 수 있음을 알았으므로 新設될 23kv Y 및 11.4kv Y 配電方式에 對하여 計算한다.

1) 系統圖



2) 故障電流 및 中性線 對地 電位上昇 計算

가) 가정

앞으로 京仁地區와 釜山鎮에 新設될 23kv Y 또는 11.4 kv Y 配電方式은 154KV 또는 66KV 系統에서 直接降下 하며 變壓器容量도 20~30MVA 로 大容量化하고 있다. 以上과 같은 新系統狀態를 고려하여 下記와 같은 配電系統을 가정하여 中性線의 電位上昇에 對하여 檢討한다.

① 154KV 에서 直接 23kv Y 電壓으로 配電한다. 變壓器容量은 30MVA% 1mp 는 10%(Self Capacity)로 한다.

② 配電線路는 現線路를 그대로 利用한다고 생각됨으로 22°(7/2.0m/m) 38°(7/2.6m/m)의 H.D.C.C.를 使用하고 線路 Impedance 는 Km 당 아래와 같이 한다.

線 種	$Z_1(Z_2)$	Z_0
22°	0.945/28°	1.805/51.2°
38°	0.668/43.1°	1.64/60°

*, **, *** 韓國電力 電氣試驗所 第一研究室, 正會員

또한 配電線의 亘長은 約 8Km 로 한다.

③ 中性線의 굵기는 22° 38°의 配電線 굵기와 같은 것으로하고 또 高低壓混觸時의 電位上昇을 考慮하여 60° 100° 때에도 計算한다. 多重接地抵抗은 Km 당 平均 2.5 Ω, 5.0Ω, 7.5Ω로 한다.

④ 主變壓器의 中性點에는 0Ω, 2.5Ω, 5.0Ω, 7.5Ω의 直列抵抗을 연결한다.

⑤ 系統 Impedance 는 편의상 154KV bus 에서 0%로 본다. 參考로 現系統에서 系統 Impedance 를 보면,

- 富平 154KV bus 에서.....15.7%(100MVA base)
- 水色 //16.9%
- 감천 //17.4%

이며 만일 영월~양지間 154KV 送電線이 新設되어 154 KV 系統이 Loop 運轉되고 영동火力 群山火力 및 서울火力이 系統에 편입되면 154KV 系統의 Impedance 는 훨씬 작아질것임으로 154KV Bus 에서 系統 Impedance 를 省略하여도 故障電流의 計算値에는 큰 差가 없을 것이다.

나) 故障電流 및 中性線 電位上昇 計算式

$$\text{故障電流 } IF = \frac{100 \times 100}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \times \frac{1,000}{\sqrt{3} \times 23} \times 3[A]$$

$$\text{中性線電位上昇値 } V_0 = IF \times Z_e$$

단 : Z_1, Z_2, Z_0 는 100MVA base 의 %

Impedance Z_e 는 接地抵抗(Ω)

$$Z_1 = Z_2 = Z_s + Z_{tr} + ZD/L$$

Z_s : System Impedance 省略

$$Z_{tr}; \text{ Main Tr 의 Impedance} = 10\% \times \frac{100\text{MVA}}{30\text{MVA}} = 33.3[\%]$$

ZD/L ... 配電線의 Impedance

$$22^\circ = 0.945\Omega/\text{km} \times 18.9 = 17.8\%/\text{km}$$

$$38^\circ = 0.668\Omega/\text{km} \times 18.9 = 12.62\%/\text{km}$$

$$60^\circ = 0.532\Omega/\text{km} \times 18.9 = 10.05\%/\text{km}$$

$$100^\circ = 0.454\Omega/\text{km} \times 18.9 = 8.56\%/\text{km}$$

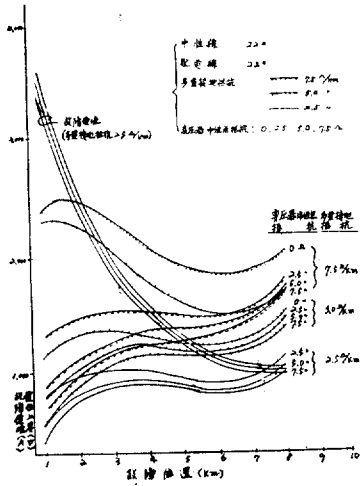
$$Z_0 = Z_{0tr} + Z_0D/L + Z_0N/L$$

Z_{0tr} ; Main Tr 의 영상 Impedance 로써 正相 Impedance 와 같은고로 33.3%

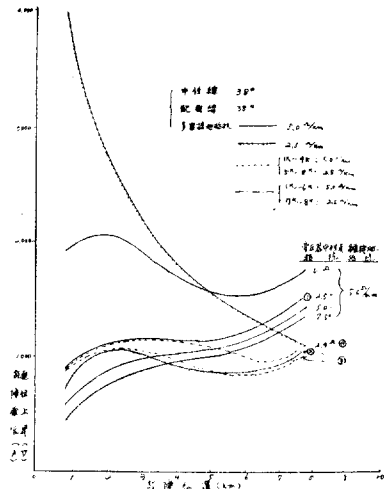
Z_0D/L : 配電線의 영상 Impedance

$$22^\circ = 1.805\Omega/\text{km} \times 18.9 = 34.1\%/\text{km}$$

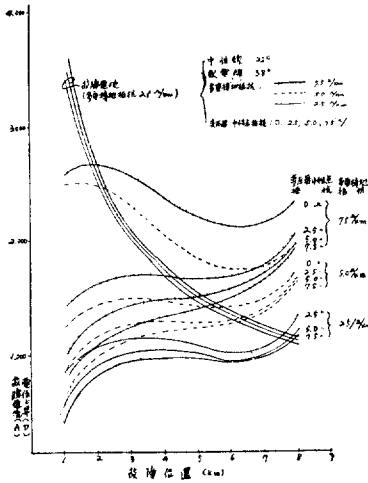
$$38^\circ = 1.64 // \times 18.9 = 31 //$$



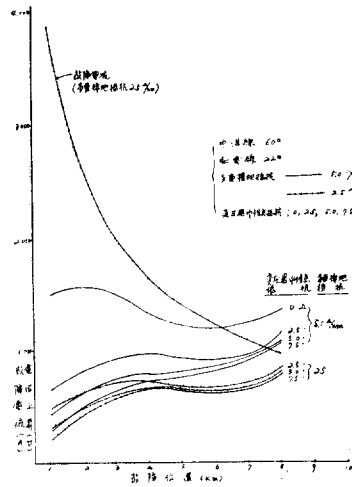
(A)



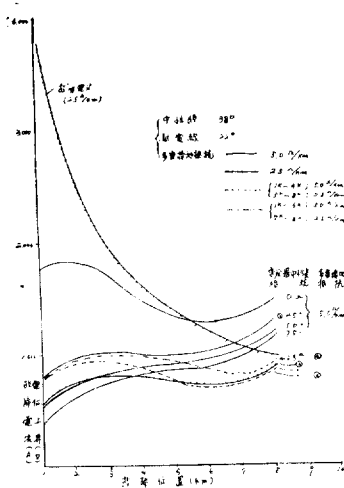
(D)



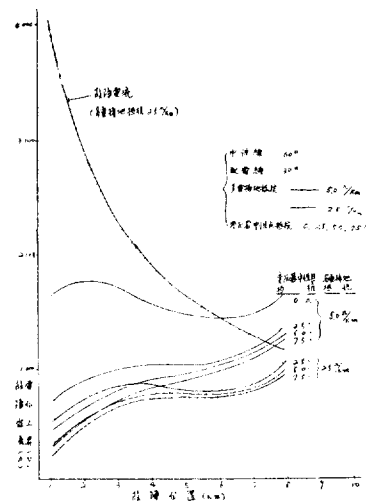
(B)



(E)



(C)



(F)

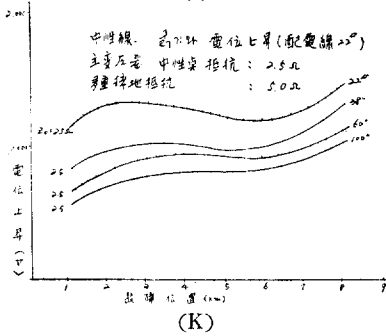
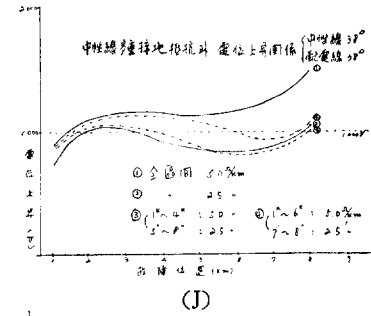
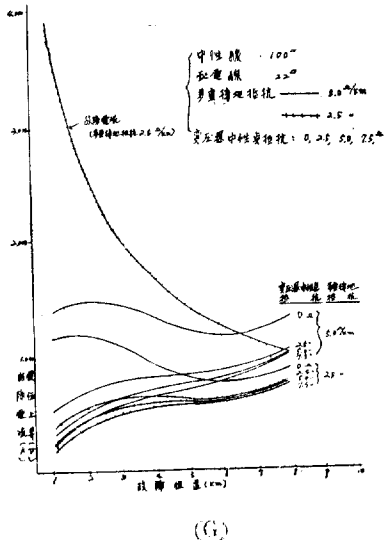


그림 15

Z_0N/L ; 中性線과 多重接地抵抗의 合成한 Impedance 로서 별첨과 같이 D.C. Board 에 의하여 計算하였다.

다) 計算表 및 圖表

가), 나)項에 의하여 故障電流와 中性線의 電位上昇值을 計算하면 그림 15 와 같다.

表 14 計算條件

中性線의 기	配電線의 기	變壓器中 性點抵抗	多重 接地抵抗
22°	22° 38°	0.25, 5.0, 7.5Ω	2.5, 5.0, 7.5 Ω/Km
38°			
60°	//	//	//
100°	//	//	//

3) 中性線電位上昇檢討

가) 主變壓器의 中性點抵抗과 電位上昇關係 中性線 22° 配電線 22°인 경우에 對하여 檢討한다. 圖表 1 에서는 中性線의 多重接地抵抗을 7.5Ω/km, 5.0Ω/km, 2.5 Ω/km 로 할때 主變壓器의 中性點抵抗을 7.5Ω, 5.0Ω, 2.5Ω, 0Ω로 變更할 경우인데(他의 中性線 配電線에서 도 같은 關係이다) 이때의 中性線의 電位上昇值를 比較하면 아래와 같다.

即 ① 主變壓器의 中性點抵抗을 크게 할수록 中性線의 電位上昇은 억제된다. 이원인은 中性點抵抗의 大小는 故障電流의 크기에는 큰 영향을 미치지 못하나 故障電流의 分布와 큰 關係를 갖기 때문이다.

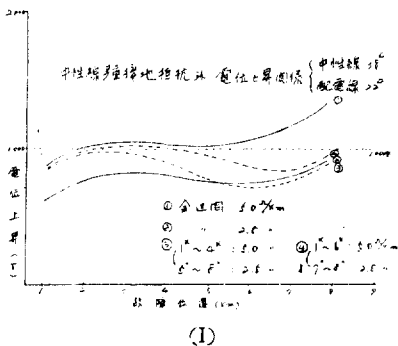
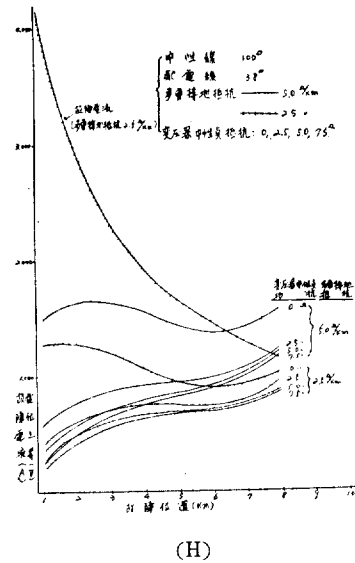


表 15 電位上昇値比較

中性線多重接地抵抗 [Ω/Km]	主變壓器의 中性點 抵抗 [Ω]	中性線電位上昇[V]		
		4Km 地點(中間地點)의 電位[V]	最高電位[V]	
			1-4Km	末端電壓
7.5	0	2100 > 570	2500	2050
	2.5	1530 > 180	1550	1800
	5.0	1340 > 140	1340	1730
	7.5	1200 > 140	1200	1700
5.0	0	1800 > 450	2300	1700
	2.5	1350 > 150	1360	1530
	5.0	1200 > 100	1200	1500
	7.5	1100 > 100	1100	1450
2.5	0	×	×	×
	2.5	1050 > 120	1050	1150
	5.0	920 > 20	930	1050
	7.5	900 > 20	900	1020

② 中性點抵抗이 작을수록 變電所 가까이에서의 故障時에 電位上昇이 높으며 末端故障時에는 中性點抵抗值에 큰 關係없이 近似하다. 即 變電所 가까이에서의 電位上昇은 主變壓器中性點抵抗의 影響을 크게 받고 配電線 末端가 가까이에서의 電位上昇은 中性線의 多重接地抵抗의 影響을 크게 받는다.

③ 네체로(全圖面을 通하여) 中性線의 電位上昇最高值는 末端에 있으나 主變壓器中性點抵抗을 낮출수록 變電所 근처로 接近한다.

나) 中性線의 多重接地抵抗과 電位上昇

① 多重接地抵抗을 감소시킬 수록 中性線電位上昇은 억제된다.

② 故障電流는 中性線의 多重接地抵抗值와는 큰 關係가 없고 故障位置에 따라 크게 다르다.

即, 中性線 220 配電線 220인 한 경우에 대하여 檢討하면 아래와 같다(主變壓器의 中性點抵抗은 5.0 Ω)

多重接地抵抗	故障位置		
	1Km 地點	4Km 地點	8Km 地點
2.4Ω/Km	3485A	1540A	939A
5.0 //	3470//	1490//	890//
7.5 //	3470//	1470//	861//

③ 中性線의 多重接地抵抗을 區間別로 다르게 하면 圖表 3 및 4의 曲線 ③④에서 보는바와 같이 中性線의 電位上昇은 區間 區間마다에서 多重接地抵抗을 一定하게 했을 경우들을 連結시킨 것과 같아진다.

即 圖面 3과 4에서

曲線 ①은 全區間을 5.0 Ω/km 로 一定하게 했을 때이고 曲線 ②는 全區間을 2.5 Ω/Km 로 一定하게 했을 때이다. 지금 曲線 ③과 같이 1 Km 에서 4 Km 까지는 5.0

Ω/Km 로 하고 ④와 같이 5 Km 에서 8 Km 까지는 2.5 Ω/Km 로 하면 1 Km 에서 4 Km 의 區間은 曲線 ①(5.0 Ω/Km)에 가깝고 5 Km 에서 8 Km 의 區間은 曲線 ②(2.5 Ω/Km)에 가까워진다.

또 曲線 ④와같이 1 Km 에서 6 Km 까지는 5.0 Ω/Km 로 하고 7 Km 에서 8 Km 까지는 2.5 Ω/Km 로 하면

1 Km 에서 6 Km 의 區間은 曲線 ①에 가깝고

7 Km 에서 8 Km 의 區間은 曲線 ②에 가까워진다.

以上的 關係를 考慮하면서 曲線 ③과 ④를 分析하여 본다.

圖表 3의 曲線 ①은 앞에서 記述한 바와 같이 全區間을 5.0 Ω/Km 로 均一하게 接地했을 경우인데 最大 電位上昇點은 配電線 末端에서 約 1350 V 이고 7 Km 地點에서는 1150 V, 6 Km 地點에서 1050 V 이다. 또 曲線 ②는 全區間을 2.5 Ω/Km 로 均一하게 接地했을 경우인데 最高 電位上昇點은 亦是 配電線 末端에서 約 950 V 이다 여기서 만일 中性線의 電位上昇을 1000 V 以下로 억제해야 한다고 하면 全區間을 均等히 多重接地 할 때에는 最低 2.5 Ω/Km 까지는 施工해야 할 것이다. 그러나 曲線 ①과 같이 全區間을 5.0 Ω/Km 로 해도 配電線 5 Km 以內에서는 1000 V 以內로 電位上昇이 억제되고 6 Km 以後에서만 1000 V 를 훨씬 넘어간다.

따라서 曲線 ③과 같이 1 Km 에서 4 Km 까지는 5.0 Ω/Km 로 하고 5 Km 以後는 2.5 Ω/Km 로 하든가 曲線 ④와 같이 1 Km 에서 6 Km 까지는 5.0 Ω/Km 하고 7 Km 以後를 2.5 Ω/Km 로 하여도 電位上昇을 1000 V 以內로 억제할 수 있게된다.

이와같은 相互關係를 適用하여 配電線의 中性線 接地 工事を 施行하면 가장 經濟的으로 中性線의 電位上昇을 억제할 수 있다.

다) 中性線의 굵기와 電位上昇

中性線이 굵을수록 中性線의 電位上昇은 억제된다 圖表 11에서 配電線의 굵기를 22°로 固定하고 中性線의 굵기를 22°, 38°, 60°, 100°로 했을 경우 電位上昇値를 比較하면 아래와 같이 配電線이 굵을수록 降下한다.

(단 主變壓器 中性點抵抗 2.5 Ω, 多重接地抵抗 5.0 Ω/Km)

3 Km 地點에서의 電位上昇値가

1350 V → 1050 V → 950 V → 800 V

末端에서의 電位上昇値가

1520 V → 1350 V → 1170 V → 970 V 로 降下한다.

다. 通信線誘導障害關係

1) 豫備計算

가) 故障電流計算

앞으로 新設될 23 kv Y 配電方式에서의 系統은 154 kv

에서 23kv Y 로 直接降下하고 主變壓器의 容量은 20Mun 로 하고 配電線路는 H.D.C.C. 22° 와 38° 를 使用한다고 假定하여 計算한다.

(1) 安養~軍浦間의 配電線路

直接接地時 1 線地絡 故障電流는(系統 Impedance 를 無視함)

$$I_g = \frac{E/\sqrt{3}}{R_n + Z_l + Z_e + R_g}$$

E; 線間電壓 (23 KV)

R_n: 中性點接地抵抗 (10 Ω)

R_g: 故障點接地抵抗 (0~30 Ω)

Z_l: 變壓器 1mp. (2.64 Ω. % Z_l=10%)

Z_l=線路 1mp.

i) 配電線을 H.D.C.C. 22° 使用

$$(Z_l = 4.32 + j2.53) \Omega$$

R_g=0 일때

$$I_g = \frac{13,800}{10 + (4.32 + j2.53) + j2.64} = 905 / -19.85^\circ \text{ A}$$

R_g=10 Ω 때

$$I_g = \frac{13,800}{10 + 10(4.32 + j2.53) + j2.64} = 554 / -12^\circ \text{ A}$$

R_g=20 Ω 때 I_g=398 / -8.58° A

R_g=30 Ω 때 I_g=308 / -6.65° A

ii) 配電線을 H.D.C.C. 38° 使用 (Z_l=2.56 + j2.3)

R_g=0 Ω 때 I_g=1,020 / -21.5 A

R_g=10 Ω 때 I_g=600 / -12.4 A

R_g=20 Ω 때 I_g=420 / -8.65 A

R_g=30 Ω 때 I_g=322 / -6.61 A

(2) 安養~삼성지선 22° 使用

i) 配電線을 H.D.C.C. 22° 使用 (Z_l=2.26 + j1.32)

R_g=0 때 I_g=1,070 / -17.9° A

R_g=10 Ω 때 I_g=644 / -7.58° A

R_g=20 Ω 때 I_g=425 / -7° A

R_g=30 Ω 때 I_g=327 A

ii) 配電線을 H.D.C.C. 38° 使用 (Z_l=1.34 + j1.2)

R_g=0 때 I_g=1,158 / -18.3 A

R_g=10 Ω 때 I_g=640 / -10.22 A

R_g=20 Ω 때 I_g=436 / 70 A

R_g=30 Ω 때 I_g=334 / -5.33° A

나) 誘導電壓豫備計算

(1) 安養 S/S~軍浦支線 119 號

i) 遞信部線

$$\Sigma \frac{l}{b} = 30.07 (1/10,000 \text{ 圖面에서 算出})$$

$$lm = Kf \Sigma \frac{l}{b} = 0.8 \times 10^{-3} \times 60 \times 30.09 = 1.44 \text{ V/A}$$

ii) 鐵道聽線

$$\Sigma \frac{l}{b} = 31.92 (1/10,000 \text{ 圖面에서 算出})$$

$$lm = Kf \Sigma \frac{l}{b} = 0.8 \times 10^{-3} \times 60 \times 31.92 = 1.53 \text{ V/A}$$

(2) 安養 s/s~삼성지선 23 左 38

i) 遞信部線

$$\Sigma \frac{l}{b} = 27.6$$

$$lm = 0.8 \times 10^{-3} \times 60 \times 27.6 = 1.32 \text{ V/A}$$

(3) 若木 6/6~22kv Y 配電線 136 號

$$\Sigma \frac{l}{b} = 13 (1/50,000 \text{ 圖面에서 算出})$$

$$lm = 0.9 \times 10^{-3} \times 60 \times 13 = 0.702 \text{ V/A}$$

2) 多重接地된 中性線效果

中性線 多重接地된 系統에서는 通信線의 電磁誘導電壓에 對하여 中性線이 減少效果를 갖는바 이는 歸路電流와 遮蔽效果로 分析할수 있으며 이 두 境遇에 關하여 生 變한다.

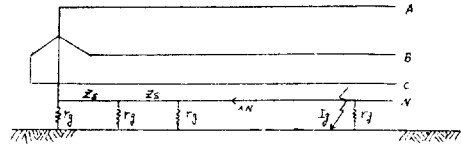


그림 16. 多 重 接 地

가) 中性線歸路電流에 依한 效果

(1) 中性線電流式의 算出

中性線의 歸路電流는(Engineering Reports of the joint Subcommittee on Development and Research P. 313 App 1 참조)

$$i_N = A_1 e^{-px} - A_2 e^{px} \cdot P = \sqrt{\frac{Z_s}{r_g}}$$

r_g=中性線의 接地抵抗 Ω/Km

Z_s=中性線의 Self Imp Ω/Km

x=0 때 i_n=I_{g0}
x=l 때 i_n=I_{gl} }의 初期條件에 依하여 A₁, A₂를

定한後 代入하면

$$i_n = \frac{\epsilon pl (I_{g0} \cdot \epsilon^{pl} - I_{gl})}{(\epsilon^2 pl - 1)} e^{-px} - \frac{(I_{g0} - I_{gl} \cdot \epsilon^{pl})}{(\epsilon^2 pl - 1)} \epsilon^{px}$$

通信線側에서 본 起誘導電流의 平均電流는 電線電流와 中性線電流와의 差를 距離로 積分하여 距離로 나눈 것 이므로

$$I_A = \frac{1}{l} \int_0^l (I_g - i_n) dx = \frac{1}{l} \left\{ I_g l - \frac{(I_{gl} + I_{g0})(1 - \epsilon^{pl})^2}{p(\epsilon^2 pl - 1)} \right\}$$

이다.

$$\left. \begin{aligned} I_{gl} &= \alpha I_g \\ I_{g0} &= \beta I_g \end{aligned} \right\} \text{를 代入하면}$$

$$I_A = \frac{I_g}{l} \left\{ l - \frac{(\alpha + \beta)(1 - \epsilon^{pl})^2}{P(\epsilon^2 pl - 1)} \right\}$$

(2) 通信線誘導電壓의 低減係數

$$I_A/I_g = \frac{1}{l} \left\{ l - \frac{(\alpha + \beta)(1 - \epsilon^{\beta l})^2}{P(\epsilon^{2\beta l} - 1)} \right\}$$

通信線誘導電壓을 低減할 수 있는 中性線의 低減係數

上式을 使用해서 I_A/I_g 를 計算하던

는 I_A/I_g 이므로

i) 安養 S/S~軍浦支線 119號 (數值計算은 若木 S/S와 同一함)

中性線의 種類	l(Km)	α	β	$Z_s(\Omega/Km)$	$r_g(\Omega/Km)$	$P = \sqrt{\frac{Z_s}{r_g}}$	I_A	$ I_A/I_g $	備考
22°	5.28	0	1	1.268/46.2°	5	0.503/23.1°	0.67/7.5I _g	0.67	
38°	5.28	0	1	1.046/58.6°	5	0.457/29.25°	0.642/9.05I _g	0.642	
60°	5.28	0	1	0.944/67.4°	5	0.435/33.7°	0.632/10.88I _g	0.632	
100°	5.28	0	1	0.844/74.3°	5	0.411/37.15°	0.61/12°I _g	0.61	

ii) 安養 S/S~삼성지선 23좌 38

中性線의 種類	l(Km)	α	β	$Z_s(\Omega/Km)$	$r_g(\Omega/Km)$	$P = \sqrt{\frac{Z_s}{r_g}}$	I_A	I_A/I_g	備考
22°	2.76	0	1	1.268/46.2°	5	0.503/23.1°	0.557/4.35I _g	0.557	
38°	2.76	0	1	1.046/58.5°	5	0.457/29.25°	0.54/5.03I _g	0.54	
60°	2.76	0	1	0.944/67.4°	5	0.435/33.7°	0.533/5.22I _g	0.533	
100°	2.76	0	1	0.844/74.3°	5	0.411/37.15°	0.522/5.35I _g	0.522	

iii) 若木 S/S 22kvY 配電線 136號

$$P = \sqrt{\frac{Z_s}{r_g}} = \sqrt{\frac{1.41/46.9^\circ}{19.3}} = \sqrt{0.073/23.45^\circ} = 0.27/23.45^\circ$$

$$P \cdot l = 0.27/23.45^\circ \times 7.68 = 2.07/23.45^\circ$$

$$\epsilon^{\beta l} = \epsilon^{2.07/23.45^\circ} = \epsilon^{196j + 0.825} = 4.55 + j4.9$$

$$\epsilon^{2\beta l} = -3.3 + j44.6$$

$$\therefore \frac{I_A}{I_g} = \frac{1}{7.68} \left\{ 7.68 - \frac{(0.248 + 0.632)(1 - 4.55 - j4.9)^2}{0.27/23.45^\circ(-3.3 + j44.6 - 1)} \right\}$$

$$= \frac{1}{7.68} (7.68 - 2.66/-10.75^\circ) = 0.665/5.58^\circ$$

$$\begin{cases} Z_s = 1.41/46.9^\circ \Omega/Km \\ r_g = 19.3 \Omega/Km \\ l = 7.68 Km \end{cases}$$

나) 中性線의 遮蔽效果

i) 安養 S/S~軍浦支線 119號

中性線의 種類	$Z_{1s}(\Omega)$	$Z_s(\Omega)$	$Z_e(\Omega)$	$P = \sqrt{Z_s \cdot g}$	$R = \sqrt{Z_4/g}$	l(km)	入	備考
22°	0.438/82.21°	1.268/46.2°	5	0.503/23.1°	2.285/29.25°	5.28	0.902/-11.2°	
38°	0.438/82.21°	1.046/58.5°	5	0.457/29.25°	2.285/29.25°	5.28	0.874/-13.55°	
60°	0.438/82.21°	0.944/67.4°	5	0.435/33.7°	2.17/33.7°	5.28	0.83/-14.5°	
100°	0.438/82.21°	0.844/74.3°	5	0.411/37.15°	2.1/37.5°	5.28	0.815/-16.8°	

ii) 安養 S/S~삼성지선 23좌 38

中性線의 種類	$Z_{1s}(\Omega)$	$Z_s(\Omega)$	$Z_e(\Omega)$	P	R	l(km)	入	備考
22°	0.438/82.21°	1.268/46.2°	5	0.503/33.1°	2.52/23.1	2.76	0.983/-7.95°	
38°	0.438/82.21°	1.046/58.5°	5	0.457/29.25°	2.285/29.25°	2.76	0.932/-9.78°	
60°	0.438/82.21°	0.944/67.4°	5	0.435/33.7°	2.17/33.7°	2.76	0.98/-11.65°	
100°	0.438/82.21°	0.844/74.3°	5	0.411/37.15°	2.1/37.5°	2.76	0.974/-13.5°	

(1) 分布接地로 되어 接地抵抗을 고려했을 경우 中性線의 遮蔽電流分布는

$$i = \frac{Z_{1s}}{Z_s} \cdot I_g \left\{ 1 - \frac{Z_e}{R + Z_e} (\epsilon^{-\beta x} + \epsilon^{-(l-x)}) \right\}$$

(今川三郎著 送電工學 8.21 式)

平均電流는

$$I_0 = \frac{1}{l} \int_0^l i \cdot dx = \frac{Z_{1s}}{Z_s} \cdot I_g \left\{ 1 - \frac{2Z_e}{P(R + Z_e)} (-\epsilon^{-\beta l}) \right\}$$

Z_{1s} : 電力線과 遮蔽線의 Mutual Imp.

Z_s : 遮蔽線의 Self Imp.

g : Conductance

$$P: \sqrt{Z_s \cdot g}$$

$$R: \sqrt{Z_s/g}$$

l : 通信線과의 並行距離

Z_e : 遮蔽線의 兩端接地抵抗

iii) 若木 S/S 22kv Y 配電線 136 號

$$Z_{1s} : 0.555/83.88^\circ \quad Z_e = 10.45 \Omega, \quad F = 0.27/23.45^\circ$$

$$Z_s : 1.41/46.90^\circ \quad g = 1/19.3 \Omega, \quad R = 5.21/23.45^\circ$$

$$\frac{Z_{1s}}{Z_s} \left\{ 1 - \frac{2Z_e}{P \cdot l(R+Z_e)} (1-\varepsilon^{-Pl}) \right\}$$

$$= 0.394/36.98^\circ \left\{ 1 - \frac{2 \times 10.45}{0.27/23.45^\circ \times 7.68 \times (5.21/23.45^\circ + 10.45)} \right. \\ \left. \times (-\varepsilon^{-0.27/23.45^\circ} \times 7.68) \right\}$$

$$= 0.394/36.98^\circ (1 - 0.655/-31.23 \times 0.905/7^\circ)$$

$$= 0.205/64.88^\circ$$

$$\lambda = 1 - \frac{Z_{1s}}{Z_s} \left\{ 1 - \frac{2Z_e}{P \cdot l(R+Z_e)} (1-\varepsilon^{-Pl}) \right\}$$

$$= 1 - 0.205/64.88^\circ = 1 - 0.087 - j0.185 = 0.932/-4.5^\circ$$

(2) 中性線의 接地抵抗을 0Ω로 假定했을 경우

(i) 安養 s/s~軍浦支線 119 號 및 安養 s/s~삼성지선 23 左 38.

$$\lambda = \left| 1 - \frac{Z_{1s}}{Z_s} \right| \quad \text{式을 使用하여 計算하면}$$

中性線의 種類	$Z_{1s}(\Omega)$	$Z_s(\Omega)$	Z_{1s}/Z_s	入	備	若
22°	0.438/82.21°	1.268/46.2°	0.346/36.01°	0.749		
38°	0.438/82.21°	1.046/58.5°	0.419/23.71°	0.64		
60°	0.438/82.21°	0.944/67.4°	0.465/14.81°	0.53		
100°	0.438/82.21°	0.884/74.3°	0.497/7.91°	0.515		

(ii) 若木 s/s~22 Y 配電線路 136 號

$$\lambda = \left| 1 - \frac{Z_{1s}}{Z_s} \right| = |1 - 0.394/36.98^\circ| = |0.725/-19.1^\circ|$$

= 0.725 다) 中性線歸路電流에 依한 効果와 遮蔽線效果를 중첩했을 경우.

$$\text{中性線歸路電流의 平均電流는 } \frac{I_g}{l} \left\{ \frac{(\alpha+\beta)(1-\varepsilon^{Pl})^2}{P(\varepsilon^{2Pl}-1)} \right\}$$

$$\text{中性線의 遮蔽平均電流는 } \frac{Z_{1s}}{Z_s} \cdot I_g \left\{ 1 - \frac{2Z_e}{P \cdot l(R+Z_e)} \right.$$

$\left. (1-\varepsilon^{-Pl}) \right\}$ 通信線側에서 本 起誘導電流 I_A 는 電力線電

(1) 安養 S/S~軍浦支線 119 號 ($\alpha=0, \beta=1$)

流와 中性線電流와의 差이므로

$$I_A = I_g - \frac{I_g}{l} \left\{ \frac{(\alpha+\beta)(1-\varepsilon^{Pl})^2}{P(\varepsilon^{2Pl}-1)} \right\}$$

$$- \frac{Z_{1s}}{Z_s} I_g \left(1 - \frac{2Z_e}{P \cdot l(R+Z_e)} \right)$$

$$\therefore \frac{I_A}{I_g} = \frac{1}{l} \left(l - \frac{(\alpha+\beta)(1-\varepsilon^{Pl})^2}{P \cdot (\varepsilon^{2Pl}-1)} \right)$$

$$- \frac{Z_{1s}}{Z_s} \left(1 - \frac{2Z_e}{P \cdot l(R+Z_e)} \right)$$

中性線의 種類	$\frac{1}{l} \left(l - \frac{(\alpha+\beta)(1-\varepsilon^{Pl})^2}{P(\varepsilon^{2Pl}-1)} \right)$	$\frac{Z_{1s}}{Z_s} \left(1 - \frac{2Z_e}{P \cdot l(R+Z_e)} (1-\varepsilon^{-Pl}) \right)$	I_A/I_g	備考
22°	0.67 / 7.5°	0.255 / 53.36°	0.556 / -9.05°	
38°	0.642 / 9.05°	0.255 / 53.36°	0.491 / -12.1°	
60°	0.632 / 10.88°	0.286 / 49.81°	0.445 / -11.8°	
100°	0.61 / 12°	0.321 / 47.31°	0.393 / -16.1°	

(2) 安養 s/s~삼성지선 23 좌 38

中性線의 種類	$\frac{1}{l} \left(l - \frac{(\alpha+\beta)(1-\varepsilon^{Pl})^2}{P(\varepsilon^{2Pl}-1)} \right)$	$\frac{Z_{1s}}{Z_s} \left(1 - \frac{2Z_e}{P \cdot l(R+Z_e)} (1-\varepsilon^{-Pl}) \right)$	I_A/I_g	備考
22°	0.557 / 4.35°	0.138 / 78.31°	0.538 / -10.05	
38°	0.54 / 5.03°	0.17 / 79.46°	0.523 / -13.25	
60°	0.533 / 5.22°	0.202 / 78.91	0.516 / -16.85	
100°	0.522 / 5.35°	0.234 / 76.81	0.503 / -20.95°	

(3) 若木 s/s 22 KVVY 配電線 136 號

$$0.665/5.58^\circ - 0.205/64.88^\circ = 0.59/-11.75^\circ$$

3) 中性線抵減係數의 計算値와 實測値와의 比較

가) 安養 s/s~軍浦支線 119 號(實測値는 없음).

中性線의 種類	歸路電流에 依한 低減係數	遮蔽線에 依한 低減係數 ($rg=5$)	遮蔽線에 依한 低減係數 ($rg=0$)	歸路電流와 遮蔽線效果를 中첩했을때 ($rg=5$)
22°	0.67	0.902	0.749	0.556
38°	0.642	0.874	0.64	0.491
60°	0.632	0.83	0.53	0.445
100°	0.61	0.815	0.515	0.393

나) 安養 s/s~삼성지선 23 좌 38

中性線의 種 類	歸路電流에 依한 低減係數	遮蔽線에 依한 低減係數 (r _g =5)	遮蔽線에 依한 低減係數 (r _g =0)	歸區電流와 遮蔽線效果를 중첩했을 때 (r _g =5)
22°	0.557	0.983	0.749	0.538
38°	0.54	0.9825	0.64	0.523
60°	0.533	0.98	0.53	0.516
100°	0.522	0.974	0.515	0.503

다) 若木 s/s~22 KVY 配電線 136 號

- (1) 歸路電流에 依한 低減係數.....0.665
- (2) 遮蔽線效果에 依한 低減係數(r_g=19.3).....0.935
- (3) 遮蔽線效果에 依한 低減係數(r_g=0).....0.725
- (4) 歸路電流와 遮蔽線效果를 중첩했을 경우의 低減係數(r_g=19.3).....0.59
- (5) 實測低減係數.....0.615

라) 比較

- (1) 安養 s/s 地區에서는 中性線이 없음으로 實測值를 구하지 못하고 計算值만 구했다.

(2) 中性線의 種類를 38°로 選定했을 때 通信線誘導 電壓을 約 50%로 低減시킬 수 있다(安養地區에서).

(3) 若木 s/s~22 KVY 配電線에서 實測한 結果

(i) 一般의 使用되고 있는 遮蔽線의 低減係數의 公式

$$\lambda = \left| 1 - \frac{Z_{12}}{Z_g} \right|$$

를 使用하여 구한 값 0.725 是 實測值

0.615 와 0.11 的 差를 나타내고 있으나

(ii) 歸路電流와 遮蔽線效果를 중첩했을 경우의 低減 係數 0.59 와는 0.025 的 差를 나타내고 있으므로 (i) 的 경우보다 實測值에 가깝다.

4) 過信線의 豫想 誘導電壓

電力線이 一線地絡故障될 경우 예상되는 地絡故障 電流에 대한 豫想誘導電壓을 구해보면 다음과 같다.

가) 中性線이 單一接地일 境遇

配電方式을 23 KVY 單一接地式으로 變更했을 경우 예상되는 通信線 誘導電壓을 計算하면

지역	배 전 선 구 간	예상고장전류	체 신 부 선			철 도 청 선			비 고
			계산치 (V/A)	실측치 (V/A)	예상유도 전 압	계산치 (V/A)	실측치 (V/A)	예상유도 전 압	
안 양	안양 s/s~군포119호	308~1.020 A	1.44	1.75	540~1785 V	1.53	1.64	505~1675 V	
	안양 s/s~삼성23좌38	327~1.158 A	1.32	2.09	683~2.420 V		0.966	316~1120 V	
오 류 동	오류 s/s~오류53호	308~1.010 A	0.72		222~727 V				
	오류 s/s~오류53좌9	305~980 A	0.4		122~392 V				
	오류 s/s~오류68호	302~953 A				0.596		180~568 V	
부 산 진	부두 s/s~해안41호	158~553 A	1.24		196~686 V				
	부산진 s/s~전철163호	162~595 A	0.256		415~154 V				
도 화	도화 s/s~마포1좌12	322~1177 A	0.496		159.7~685.8				
	도화 s/s~마포85호	316~1108 A	0.175		65.3~193.9				

나) 中性線이 多重接地일 境遇

配電方式을 23 KVY 多重接地式으로 變更했을 경우 通信線誘導電壓은 中性線에 依하여 低減되므로 이 低減된

豫想誘導電壓은 다음과 같다.

- (1) 安養 s/s~軍浦支線 119 號(地絡故障 接地抵抗을 0Ω~30Ω로 假定)

통신선명	전 력 선 류	예상고장전류	예상유도전압 (단일접지)	22°		38°		60°		100°	
				저감 계수	유도전압	저감 계수	유도전압	저감 계수	유도전압	저감 계수	유도전압
				체신부선	22°	308~905 A	540~1585 V	0.556	300~880 V	0.491	265~778 V
	38°	322~1.020 A	564~1785 V	0.556	314~994 V	0.491	277~875 V	0.445	251~795 V	0.393	221~700 V
철도청선	22°	308~905 A	505~1485 V	0.556	281~825 V	0.491	248~730 V	0.445	225~661 V	0.393	1985~584 V
	38°	322~1020 A	528~1675 V	0.556	294~822 V	0.491	259~822 V	0.445	235~745 V	0.393	207~658 V

- (2) 安養 s/s~삼성지선 23 좌 38 號(地絡故障接地抵抗을 0~30Ω로 假定)

통신선명	전력선류	예상고장전류	예상유도전압 (단일접지)	22°		38°		60°		100°	
				저감계수	유도전압	저감계수	유도전압	저감계수	유도전압	저감계수	유도전압
체신부선	22°	327~1070	683~2240V	0.538	368~1200V	0.523	357~1170V	0.516	352~1155V	0.503	344~1130V
	38°	334~1158	698~2420V	0.538	376~1300V	0.923	365~1265V	0.516	360~1250V	0.503	351~1220V
철도청선	60°	327~1070	316~1036V	0.538	170~557V	0.528	165~542V	0.516	163~534V	0.503	159~520V
	38°	334~1158	322~1120V	0.538	173~602V	0.523	1685~586V	0.516	166~578V	0.503	162~564V

(3) 地絡故障接地抵抗이 20 Ω 일때
地絡故障時 接地抵抗이 20 Ω 정도로 떨어지므로 이때
에 예상되는 유도전압을 구하면
(i) 安養 s/s~軍浦支線 119 號

통신선명	전력선류	예상고장전류	예상유도전압 (단일접지)	22°		38°		60°		100°	
				저감계수	유도전압	저감계수	유도전압	저감계수	유도전압	저감계수	유도전압
체신부선	12°	398A	696V	0.556	387V	0.491	342V	0.445	310V	0.393	273V
	38°	420A	135V	0.556	408V	0.491	361V	0.445	327V	0.393	280V
철도청선	22°	420A	696V	0.556	381V	0.491	242V	0.445	310V	0.393	273V
	28°	436A	716V	0.556	397V	0.491	351V	0.445	318V	0.303	281V

(ii) 安養 s/s~삼성지선 23 과 38 號

통신선명	전력선류	예상고장전류	예상고장전압 (단일접지)	22°		38°		60°		100°	
				저감계수	유도전압	저감계수	유도전압	저감계수	유도전압	저감계수	유도전압
체신부선	22°	425A	888V	0.538	477V	0.523	465V	0.516	458V	0.503	447V
	38°	436A	910V	0.538	490V	0.523	476V	0.516	469V	0.503	458V
철도청선	22°	425A	410V	0.538	330V	0.523	214V	0.516	211V	0.503	206V
	38°	436A	420V	0.538	234V	0.523	220V	0.516	217V	0.503	211V

라. 1線 接地故障時의 保護方式

1) 過電流保護(遮斷容量)

11.4 KVV 또는 23 KV Y 配電方式에서 過電流保護는 △ 方式에 比하여 3相短絡以外에 相短絡(即 中性線과의 短絡)도 比較해야 할 경우가 있으나 本配電系統에서와 같

이 系統 Impedance 가 적은 곳에서는 3相短絡故障單을 計算하여 遮斷容量을 定하여도 充分하다(별첨 故障電流 計算表)

主變壓器 30 MVA 154 KV/23 KVV 配電系統에서의 三 相短絡 故障電流와 遮斷容量은 大략 다음과 같다(配電 線 38°인 경우)

區 分	故障位置	變電所 23KV bus	1km	2// 3// 4// 5// 6// 7// 8//							
				300MVA以上	6000A	//	4000//	//	//	//	2100//
	3相短絡故障電流(A)	7550A	5470//	4300//	3500//	3000//	2500//	2300//	2100//	1900//	
	遮斷容量(MVA 또는A)	300MVA以上	6000A	//	4000//	//	//	//	//	2000//	
	遮斷器의 定格容量(A)	1000A	100A	//	//	//	//	//	//	//	
	其 他										

2) 繼電方式

가) 23 KV Y 配電方式

變電所設計基準[A-3 Feeder 數] 및 [A-6 三相4線式 配電에 對한 繼電方式]에 依하여 O.C.R.와 O.C.G.R.를 設置하면 下圖와 같다.

主變壓器의 容量을 30 MVA 로 하면23 KVV에 對한 定格電流는

$$\frac{30 \times 1000}{\sqrt{3} \times 23} = 753[A]$$

따라서 主變壓器 2次側의 C.T Ratio 는 1000/5 로 한 다.

또한 設計基準에 한個 Feeder의 容量을 10,000 KVA -5,000 KVA 로 規定하고 있으므로 最大容量인 10,000 KVA 로 하면 1個 Feeder의 定格電流는

$$\frac{10 \times 1000}{\sqrt{3} \times 23} = 251[A]이다$$

따라서 各 Feeder 의 C.T.Ratio 는 300/5 로 한다.

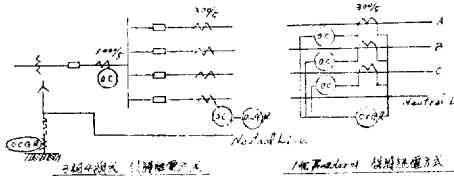


그림 1-17

一般的으로 Y 配電方式에서 上圖와 같이 變壓器 中性點個所에 繼電器를 設置하면 負荷의 不平衡이나 變壓器의 勵磁電流等이 分類하는 故로 故障電流만을 區分하여 動作하도록은 不可能함으로 故障檢出感도가 低下된다.

따라서 中性點에는 低感度の 繼電器를 設置하여야 하는데 低感度繼電器를 使用함으로써의 問題點은 繼線事故나 地絡事故때에 高抵抗으로 接地되던 그 地絡抵抗이 어떻게 變化되어 接地繼電器를 充分히 動作시킬수 있는 故障電流가 發生하는가에 있다.

外國의 例에 依하면 11.4KVY 配電方式과 같이 特高壓 配電에서는 地絡事故時에 絕緣破壞現狀이 並行的으로 發生하여 高抵抗이 低抵抗으로 變化하여 相間短絡故障과 거의 같게 되기 때문에 美國이나 自由中國에서는 地絡抵抗을 30~40 Ω 로 定하여 故障電流를 計算하고 있다.

우리나라의 경우에도 地絡抵抗이 30~100 Ω 로 變化한다고 가정하고 故障電流와 接地繼電器의 動作關係를 考察한다. 1個 Feeder 의 容量 10,000 KV 에서 接地繼電器 (GR 라함)의 動作下限을 30% Unbalance 까지 定하면 G R 의 感度は 300/5 CT 에서 100[A] 以上이 된다.

$$251A \times \frac{30}{100} \approx 75 \approx 100[A]$$

별첨 故障電流計算表와 같이(配電線 38° 中性線 22°) 地絡抵抗 3.0 A 일때에 故障電流가 400 A~300 A 인고로 G.R 의 Per unit 電流 4~3 Ru 로써 잘 動作한다.

地絡抵抗이 50Ω 일 때에는 故障電流가 250 A~200 A 로 G.R 의 Per unit 電流 2.5~2 Ru 로써 역시 잘 動作한다.

그러나 地絡抵抗이 100Ω 일 때에는 故障電流 120A 內外로써 GR 의 動作이 不確實해진다(G.R 의 動作은 規定上 1±0.05 R. u 電流에서 動作해야 하나 長時間 經過後엔 둔화된다)

이와같은 事實은 1線地絡故障이 高抵抗(100Ω 以上)으로 持續되면 G.R 의 動作이 不確實해져 故障線路를 선택 차단됨이 없이 故障狀態가 계속 되어 人畜에게 위험을 주게된다고 할 수 있다.

따라서 電流容量이 比較的 큰 Recloser 뿐만 아니라 配電線 中間이나 分枝點에 Repeating Fuse, Line Fuse 등을

設置하여 相互協助시켜야 할 것이다. 地絡抵抗의 變化에 對한 實測은 3) 項에서 記述한다.

나) 11.4KVY 配電方式

가)項에서와 같이 主要變壓器의 容量을 30MVA 로 하면..... 11.4 KV 에 對한 定格電流는

$$\frac{30 \times 1000}{\sqrt{3} \times 11.4} = 1520 [A]$$

따라서 主變壓器 2次側의 G. T. Ratio 200/5 로 한다. 또한 設計基準에 한個 Feeder 의 容量을 3,000~5,000 KVA 로 規定하고 있으므로 最大容量인 5,000 KVA 로 하면 1個 Feeder 의 容量을 3,000~5,000 KVA 로 規定하고 있으므로 最大容量인 5,000 KVA 로 하면 1個 Feeder 의 定格電流는

$$\frac{5000}{\sqrt{3} \times 11.4} = 254[A]$$

따라서 各 Feeder 의 C.T.Ratio 는 300/5 로 한다. G.R 의 動作 下限을 30%의 Unbalance 까지 定하면 G.R 의 感度は 300/5 CT 에서 約 100[A] 以上이 된다.

그러나 별첨 故障電流計算表에서 보는바와 같이 地絡抵抗이 100 Ω 일 때에는 故障電流가 約 65~62[A] 이어서 G.R 의 感度以下인 고로 動作범위에 들지 못하며 地絡抵抗이 50Ω 일 때에도 故障電流가 128[A]~117[A] 로써 겨우 G.R 의 動作범위內에 들기는하나 G.R 의 動作이 確實치 못하다.

地絡抵抗이 30Ω 이면 故障電流가 그 10A~183A 로써 G.R 의 動作이 確定해진다. 이와 같은 事實은 地絡抵抗 30 Ω 以上인 1線地絡故障時에는 G.R 의 動作이 不確實하다는 結論이 된다.

3)項의 地絡抵抗의 變化에서 보는바와 같이 11.4KVY 配電方式에서는 콘크리트 위나 포장되지 않은 道路上을 除外한 모—든 곳에서는 地絡抵抗이 50 A 보다 훨씬 큰 고로 G.R 가 動作되지 않는 地絡故障이 發生할 可能性은 크다. 따라서 11.4KVY 配電方式에서는 23KVY 配電方式에서 並用하는 Repeating Fuse, Line Fuse 뿐만아니라 接地金貝(腕木과 平行으로 接地金貝를 달아서 短線地絡을 確實히 함)을 使用해서 接地感度を 높여야 한다.

3) 地絡抵抗變化

測定值 表Ⅱ의 高抵抗接地試驗 및 補充試驗 測定值를 보면 地絡抵抗은 相電壓과 地絡點의 狀態에 따라 크게 相異하며 地絡時間의 經過에 따라 變化됨을 일수 있다.

即 11.4 KV Y 配電方式에서는

- ① 콘크리트 부록크 위 (約 28 Ω)
- ② 非포장 道路 (// 30 Ω)
- ③ 물끼 많은 논, 밭 (// 60 Ω)
- ④ 小路 (約 51~80 Ω)

- ⑤ 잔디밭 (約 87 Ω)
- ⑥ 아스팔트·위 (// 114 Ω)
- ⑦ 습기 적은 學校운동장 (// 177 Ω)

⑧ 바위나 雜木위 (最大) 등의 順으로 地絡抵抗이 다
 르며 바위 위나 雜木위에 電線이 落下하였을 때에는 아
 주 작은 電流가 흐르는 경우도 있다. 그러나 습기가 적은
 學校운동장을 除外하고는 대체로 地絡抵抗이 100 Ω
 以內로 變化됨을 알 수 있다.

또한 23 KV Y 配電方式에서도

- ① 콘크리트 부록크위 (約 20 Ω)
- ② 非포장 道路 (約 23 Ω)
- ③ 진흙 밭 (約 26 Ω)
- ④ 자갈 밭 (約 29 Ω)
- ⑤ 아스팔트 위 (約 46 Ω)

⑥ 雜木 위 (最大) 등의 順으로 되어 11.4 KV Y 配電方
 式에서의 같은 順으로 地絡抵抗이 故障點에 따라 相異
 하나 地絡抵抗은 훨씬 작다.

23 KV Y 方式에서는 雜木위를 除外하고는 여러狀態에
 서 約 50 Ω 以內로 變化됨을 알 수 있다.

故障電流 計算表 省略

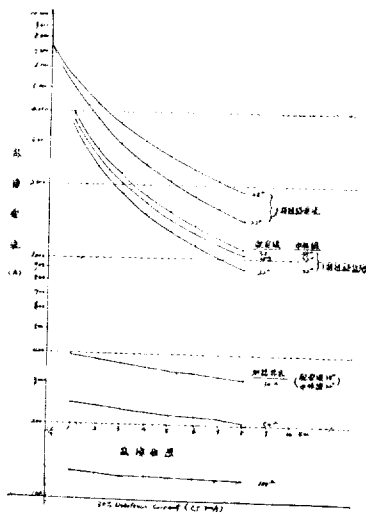


그림 18. 故障電流와 地絡抵抗과의 關係
 (23kv Y 配電方式)

6. 結 論

가. 高低壓線 混觸事故時의 低壓線電位上昇問題

1) 主變壓器의 中性點에 2.5 Ω~10Ω의 直列抵抗을 連
 結하여 接地하면 中性線의 電位上昇(=低壓線의 電位上
 昇)을 最高 1,000 V로 制限시킬 수 있다.

直列 抵抗值의 決定은 配電系統에 따라(電位上昇上限
 도 考慮하여야 한다) 다르나 本研究課程에서 假定한 系
 統(容量 30 MVA 配電線기리 8 km)에서는 配電線의 굵
 기, 中性線의 굵기 및 中性線의 多量接地抵抗等を 考慮

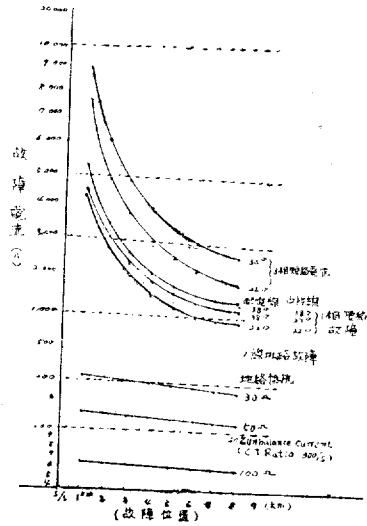


그림 19. 故障電流와 地絡抵抗과의 關係
 (11.4kv Y配電方式)

하여 아래와 같이 決定하면 될 것이다.

多重 配中 接地 電性 線 線	地絡 抵抗	2.5Ω/km		5.0Ω/km		備 考
		2.5Ω/km	5.0Ω/km	2.5Ω/km	5.0Ω/km	
22°	22°	2.5Ω~10Ω	10Ω 以上	7km以後에 서는 多重 接地抵抗을 더 낮추어야 한다		
	38°	2.5Ω~10Ω	2.5Ω~10Ω	//		
	60°	2.5Ω 以上	2.5Ω 以上	//		
	100°	關係없음	2.5Ω 以上	※s/s 근처에 서만 1200V 상승함		
38°	22°	5.0//~7.5//	7.5 以上	7km以後에 서는 多重 接地抵抗을 더 낮추어야 한다		
	38°	2.5//~7.5//	5.0//~7.5//	//		
	60°	2.5//~ 以上	2.5//~ 以上	//		
	100°	關係없음	2.5//~ 以上	※s/s 근처에 서만 1,300 상승함		

2) 中性線의 多重接地抵抗을 變電所에서 6 km 地點까
 지는 5.0 Ω/km 또는 2.5 Ω/km 로 하고 6 km 以後는 可
 能한限 적게 하여(5Ω/km 또는 2.5Ω/km 以下로) 末端
 에서의 電位上昇을 制限함이 좋다.

3) 中性線은 굵은것을 使用할수록 電位上昇이 抑制된
 다.

나. 1線接地故障時的 保護方式

1) 繼電方式을 變電所 設計基準 A-6에 依하여 定하 고 全負荷 電流의 30%以上 不平衡時에 接地繼電器가 動作하도록 調整하면 23KV Y 配電方式에서는 地絡抵抗이 50Ω 以內인故로 그 動作이 確實하나 11.4KV Y 配電方式에서는 地絡抵抗이 30Ω 以內이어야 하는故로 그 動作이 不確實하다.

2) 地絡抵抗은 23KV Y 配電方式에서는 約 50Ω 以下로 11.4KV Y 配電方式에서는 約 100Ω 以下로 變化한다.

3) 遮斷器의 容量은 變電所의 1個 Feeder의 Main O. C.B가 300MVA 以上 各 分岐線用 Recloser가 6000A~2000A以上이며 配電線 中間 中間에 Repeating Fuse, Line Fuse 等を 並用하여 高抵抗接地(1000Ω 以上)時에도 區分遮斷이 可能하도록 Coordination 시킴이 좋다.

다. 通信線誘導障害

1) 中性線歸路電流에 依한 誘導電壓의 低減效果는 遮蔽線效果보다 크다.

2) 中性線이 굵을수록 誘導電壓을 低減시킬수 있다.

3) 通信線 잡음전압은 負荷의 不平衡狀態에 依해서 發生되어 通信에 重要한 問題로 야기되고 있으나 現在로서는 實驗的인 檢討를 할 수 없으므로 차후 研究檢討

되어야 할 것으로 思料된다.

參 考 文 獻

- ① 高壓配電方式 大野光由 著
- ② 送配電工學 今川三郎 宮地巖 共著
- ③ 送配電工學 送電編Ⅱ 電氣學會
- ④ 誘導防害와 그遮蔽 酒井 洋 著
- ⑤ 誘導防止基準의 解說 誘導防止專門委員會 編
- ⑥ 變電所設計基準 韓國電力株式會社
- ⑦ 電力 昭和 38年 5月
- ⑧ 電力 昭和 38年 8月
- ⑨ 電力 昭和 38年 3月
- ⑩ OHM 1962年 3月
- ⑪ Engineering Reports of the joint Subcommittee On Development and Research, VolⅣ Edison Electric Institute and Bell Telephone system.
- ⑫ Fundamentals of Inductive coordination common wealth assoviate. INC.
- ⑬ 10.4KV 多重接地方式配電의 試驗實施에 對하여, 1961年 12月 東京電力株式會社

(1966年 11月 29日 接受)