

直接接地的實驗的研究

趙健績* 章祥炫** 金教福***

直接接地實驗的研究의 意義

1. 概說

現在 우리나라 또는 外國에서 使用하고 있는 電力系統의 一般의 中性點 接地方式에는

1. 非接地
2. 直接接地
3. P.C. 接地
4. 抵抗接地
5. Reactance 接地

等이 있다. 各 接地方式에는 長短點이 있어 어떤 것이 가장 좋다고 評價할 수 없으며 接地를 하고자 하는 電力系統의 여러가지 事情과 地域의 條件을 檢討하여 그 系統에 가장 適合한 方式을 採擇하여야 한다.

그런데 우리나라에서는 154 kV, 66 kV 및 22 kV 의 一部는 P.C. 接地 22 kV 의 一部는 非接地方式을 創設期부터 採擇하고 있다. 그러나 韓電 電力系統이 過去와는 많이 變貌되었고 將來에는 더욱 변모될 것이며 系統保護方式 亦是 많이 變形 發達된 此際에 現在 使用하고 있는 接地方式이 韓電 電力系統에 技術的 또는 經濟的으로 가장 適合한가 아닌가를 再檢討할 價値가 있다고 믿는다.

數年前에 SHAG 會社에서 우리나라 電力系統에 對한 接地方式을 中性點 直接接地方式으로 變更할 것을 願고 받은 일이 있지만 이것을 뒷받침 할만한 技術的 經濟的인 比較檢討가 없었으며 그 후 SHAG 會社의 技術者가 模擬送電線과 電話線을 가설하고 國內技術者에게 通信線 誘導障害에 對한 教育訓練을 實施한 바 있으나 이것으로 送電系統 直接接地方式을 採擇할 資料가 되지 못했다.

그리하여 當 研究室에서는 系統이 比較的簡單하고 附近에 容易하게 誘導電壓을 測定할 수 있는 通信線이 並行한 22 kV 南陽系統(水原—南陽)을 選擇하여 直接接地와 非接地時의 異常現象을 測定 比較하였다.

여기서 外國의 直接接地方式 採擇에 對한 傾向을 보면 美國은 直接接地가 壓到的으로 많으며 歐洲 各國에서도 直接接地가 우리나라에서 보다 훨씬 많이 實施하여 長時日의 運轉實績을 갖고 있다. 佛國에서는 380 kV, 220

kV, 150 kV 系統을 直接接地, 90 kV, 60 kV 以下는 P.C. 接地가 아닌 非接地이다. 스웨덴은 380 kV, 220 kV 는 直接接地이며 130 kV 以下는 P.C. 系가 약간 있다. 스위스에는 230 kV는 直接接地, 150 kV 以下는 直接接地와 P.C. 接地를 使用한다. 英國은 270 kV의 super grid와 132 kV의 grid 는 直接接地이다. 英, 佛, 伊에서도 P.C. 系는 試驗的으로若干 있을 뿐이며 統計에 들어 갈만한 數가 못된다.

P.C. 가 發生된 獨國에서도 150 kV 以下는 P.C. 接地를 使用하고 있지만 230 kV 는 南部獨逸에서 1953 年 가을 北部獨逸에서는 1954 年에 P.C. 系를 直接接地로 變更하였고 送電線을 감지 않고 230/300 kV 直列變壓器를 使用하여 300 kV 直接接地系도 1 回線(Braweiler—Reinan 間) 實用하고 있다.

2. 實驗方針

22 kV 南陽送電線을 非接地 直接接地($\sqrt{3}$ 倍昇壓) P.C. 接地系로 하였을 때

- (1) 1線接地故障
- (2) 2 //
- (3) 1線斷線 故障

의 人工故障試驗으로써 다음의 異常現象을 測定 比較하여 直接接地 $\sqrt{3}$ 倍昇壓方式의 採用 可能性을 檢討하는데 있음.

- (1) 異常電壓(正常的 및 過渡的)
- (2) 誘導障害(誘導電壓의 最高值)
- (3) 保安裝置特性(添架電話 및 外部通信線)
- (4) 絕緣 level
- (5) 直接接地의 經濟性

但 ① P.C. 接地系의 試驗은 模擬 P.C. 製作을 못하여 實驗比較치 못함.

② 外部通信線의 業務關係로 1線接地故障만 實驗함.

(直接接地系의 事故는 1線地絡으로 끝나고 2線 接地까지는 거의 發展하지 않는다)

最終 實驗前에 數回의 基礎實驗 및 接地改善工事を 施行하였고 또 最終實驗時 測定의 正確性 測定計器의 調整과 昇壓後의 차단기容量, 大地電位上升, 繼電器의 適用을 爲해 故障電流分布計算 및 各 通信線의 誘導電壓에 對한 豫備計算을 하였다. 여기서는 實驗에 對한 經過와豫備計算은 紙面關係로 省略하였고 다음의 最終 人工故障試驗에 對한 結果를 檢討하기로 한다.

* ** *** 韓電 電氣試驗所

實測 및 實測 主目的에 對한 檢討

本 實驗의 目的은 現 接地方式와 直接接地方式을 實測 比較하여 直接接地方式의 長點이 韓電系統에서도 有益하며 異常電壓 및 誘導障害問題가 解決될 수 있는가를 檢討하고 또 本 實驗에서 直接接地와 同時 $\sqrt{3}$ 倍의 昇壓 實驗도 檢하였기 때문에 機器의 絕緣 level의 檢討가 또한 重要하다. 實系統電壓을 印加하고 最終的인 第2次 人工故障試驗의 實測值을 比較하면서 檢討하기로 한다.

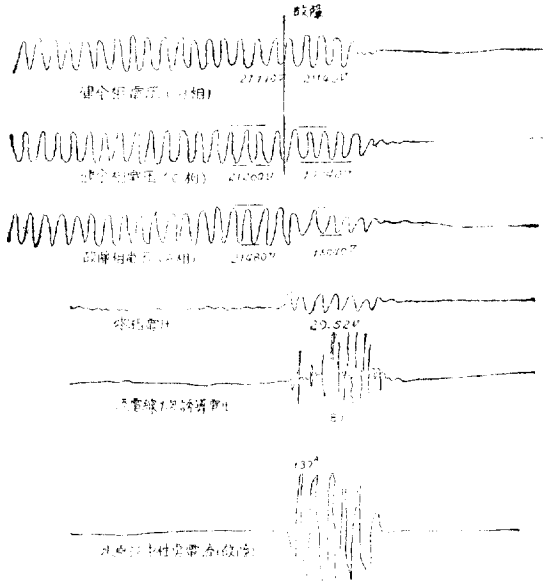


Fig. 1. 1線接地故障(直接接地時)

直接接地時의 健全相 電壓上昇

試驗番號	水原中性點電流(A)	B相電壓(健全相)			C相電壓(健全相)			A相電壓(故障相)			備 考
		故障前(V)	故障後(V)	倍數	故障前(V)	故障後(V)	倍數	故障前(V)	故障後(V)	倍數	
1	150	21140	21140	10	21260	2974	0.93	21480	16064	0.75	MW 621 Oscillo로 測定 電壓值은 試驗番號1과 同一함 Fig. 20에서
2	130	//	//	//	//	//	//	//	//	//	
3	121	//	//	//	//	//	//	//	//	//	
4	132	//	//	//	//	//	//	//	//	//	
5	122	//	//	//	//	//	//	//	//	//	

表 1. 各 相電壓 上昇率(直接接地)

非接地時의 健全相電壓上昇

試驗番號	故障前電流(A)	B相電壓(健全相)			C相電壓(健全相)			A相電壓(故障相)			備 考
		故障前(V)	故障後(V)	倍數	故障前(V)	故障後(V)	倍數	故障前(V)	故障後(V)	倍數	
1	3.4	12120	24500	2.02	12200	22700	1.85	--	--	--	EMO-1 Oscillo로 測定
2											

表 2. 各 相電壓 上昇率(非接地)

1. 異常電壓

(1) 測定

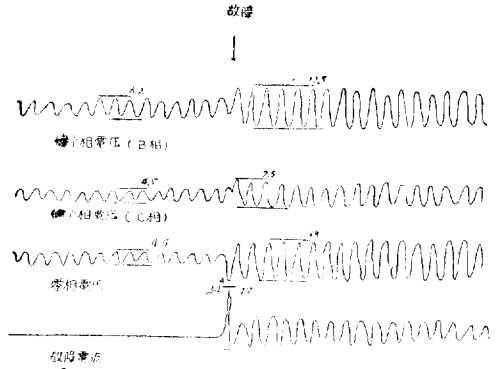


Fig. 2. 2線接地故障(非接地時 水原 s/s 故障)

(2) 非接地系와 直接接地系의 電壓上昇

① 定常的 電壓上昇

表 1과 2(Fig. 1, 2의 Oscillo)는 非接地 및 直接接地系의 試驗에서 얻어진 健全相 電壓上昇值을 定常狀態의 電壓值에 對한 倍數로써 求한 것이다. 非接地系統에 있어서는 1線接地時의 定常的 電壓上昇倍數는 1.8~2.0 倍이다. 直接接地系에서 이 值는 1.0 내지 1.0 以下라는 結果가 얻어진다.

表 1, 2를 보면 直接接地時 B相의 健全相 電壓上昇은 定常電壓보다 더 적은 值가 되었고, 非接地時에는 健全相 電壓이 定常時의 $\sqrt{3}$ 倍 以上이나 된 것을 볼 때 美國 電力系統의 直接接地系에서 避雷器의 定格이 0.8E를 使

用하고 있고 0.7 E를 사용할 수 있다고 주장한것은 짐작 할 수 있다.

2. 過度的 電壓上昇

非接地系나 直接接地系에서도 過度的 電壓上昇은 전혀 나타나지 않았다. 從來 非接地系에서는 最大 4~6 倍라고 하는 過渡異常電壓(開閉 surge 高調波 共振現象)이 發生할 可能性이 많다고 하나 此 系統에서는 볼 수 없었다.

이것은 此 系統이 發電端에서 멀고 小容量의 系統關係인 것으로 본다.

2. 異常電壓과 有效接地問題

送電線 故障의 大部分이 1線接地에서 부터 發端하는 것이 많다. 故障除去時間이 길면 故障은 2線接地 또는 3相短絡으로 發展할 可能性이 많다. 1線接地故障時의 健全相에 發生하는 電壓上昇値는 中性點의 接地 impedance의 크기에 따라 다르고 같은 電壓의 送電線에서도 中性點 接地 impedance의 大小에 따라 異常電壓値는 大端히 相異하다. 여기서 中性點接地 impedance를 變化시킬 때 健全相 電壓上昇이 받는 影響 및 有效接地의 問題를 生覽해보기로 한다.

本 試驗時 韓電 現存 接地方式의 하나인 P.C. 接地系의 比較試驗을 못한 것이 遺憾되나 그것은 理論의으로 檢討하기로 하여본다.

1線接地(a相)時 故障點의 b相과 c相의 電壓의 一般式은

$$V_b = \frac{(a^2-1)Z_0 + (a^2-a)Z_2}{Z_1+Z_2+Z_0} \cdot E_a$$

$$V_c = \frac{(a-1)Z_0 + (a-a^2)Z_2}{Z_1+Z_2+Z_0} \cdot E_a$$

- E_a : 故障前에 故障點에서의 a相의 相電壓
- Z_0 : 故障點에서 본 全 系統의 零相 impedance
- Z_1, Z_2 : 故障點에서 본 全 系統의 正相 및 逆相 impedance

이 式에서

1線接地時 異常電壓이 發生하는 것은 分母가 直列共振 때이고 Z_1, Z_2 는 언제나 誘導 impedance 이므로 Z_0 가 容量性 impedance 非接地, P.C. 不足補償 tap 가 되도록 中性點接地를 할 때는 異常電壓이 發生한다. 그러나 直接接地와 P.C. 過補償 tap 면 誘導性 impedance 가 된다.

中性點 接地方式을 不平衡故障時의 電壓 電流의 見地에서 分類하면,

即 對稱分 impedance 比로써 볼 때

(a) 非接地

$$Z_n = \infty; Z_0 = -jX_{c0}, \quad \frac{X_0}{X_1} < 0$$

(b) P.C. 接地

$$Z_n = jX_n = -jX_{c0}$$

(c) 直接接地

$$Z_n = 0; \quad \frac{X_0}{X_1} > 0$$

但 Z_n : 中性點에 插入하는 impedance 値

X_n : // // reactance 値

X_{c0} : 零容量性 reactance

Z_0 : $R_0 + jX_0$; 零相 impedance

$Z_1 \approx Z_2 = R_1 + jX_1$; 正(逆)相 impedance

R_1 은 無視함.

Z_0 의 크기를 나타내는데 X_1 에 對한 相對的 關係로써 X_1 에 對比한 比는

$$k = \frac{R_0}{X_1} \quad m = -\frac{X_0}{X_1}$$

의 形으로 나타내면 b相의 電壓은

$$V_b/E_a = \frac{(-1.5 - j \cdot 0.866)(k + jm) + 1.732}{k + j(m+2)}$$

上式에서 變數 k를 parameter로 하고 m을 變化시켜 b相의 電壓上昇을 圖表로 나타내면 Fig. 3과 같다.

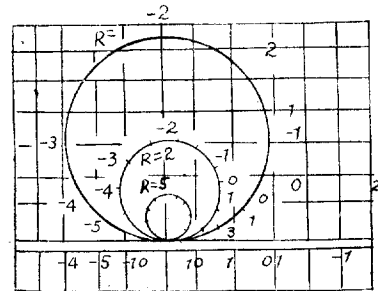


Fig. 3. b相의 電壓上昇

例컨대 $k=0$ 때 $m=-2$ 即 零相 impedance에 抵抗分이 없고 reactance는 容量性이고 電源의 正相 reactance의 2倍 때 直列共振에 依한 異常電壓($V_b = \infty$)이 發生하는 것이 된다.

Fig. 4는 b相電壓의 絕對值로 零相 reactance를 橫軸으로 나타낸 것이고 零相 reactance가 誘導性인 限 아무리 抵抗分이 되어도 $\sqrt{3}$ 倍를 超過치 않는다는 것을 나타낸다.

$k=0$ 는 P.C. 接地方式의 異常電壓을 나타낸다. 即 $m=-2$ 때 無限大의 異常電壓이 發生한다. m 가 正일 때는 過補償 tap로써 運轉할 때이다.

$k=0$ 의 曲線中에 $m=0$ 인 點이 中性點 直接接地方式 때의 電壓上昇을 나타낸다. 1線接地 때 健全相의 電壓上昇은 오히려 0.866倍로 下降하고 있다.

本 試驗에서도 Fig. 1의 b相電壓은 0.93倍로 減少되었음은 上記 理由에서 說明 될 수 있을 것이다.

할 必要性이 있다.

3. 通信線誘導障害

(1) 緒 論

系統直接接地에 따른 通信線 誘導實測은 本 實驗目的의 하나이다. 22kV 南陽送電線에 並行하고 있는 通信線은 Fig.5에서와 같이 添架電話線, 遞信部線, 內務部線, 交通部線이고 電力線 1線接地故障時 各 通信線에 誘導電壓은 電磁 oscillo 또는 眞空管電壓計로써 直接接地와 非接地에서 比較 測定하였다.

通信線에 對한 純粹한 誘導電壓(誘導電壓計算에 必要한 係數算出)은 第2次 基礎試驗에서 測定하였고 第2次의 最終 人工故障試驗에서의 誘導電壓値는 現在 各 通信線을 使用하고 있는 狀態, 即 通信線의 兩端을 接地하지 않고 平常時의 使用狀態에서 測定하였으므로 水原—南陽送電線 以外의 電力線에 依한 誘導電壓이 包含되어 理論 計算値와는 多少 差異가 있을 筈이다.

그러나 이 狀態에서 誘導電壓 最高値를 測定한 것은 電力線의 自然的인 1線接地 故障의 發生할 수 있는 것으로 더욱 現實的인 測定目的이 될 수 있을 것이다.

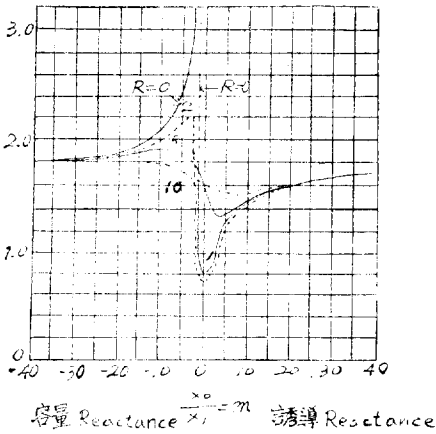


Fig. 4. b相의 電壓上昇

지금까지 定常的인 健全相 基本調波電壓에 對한 것이고 高調波 過電壓에 對해서는 直接接地系에도 危險度는 發生할 수 있다. 22kV 系統의 적은 非接地나 P.C. 接地系은 大部分이 $\sqrt{3}$ 倍의 基本波電壓 뿐이고 그 以外의 特別한 過電壓은 Fig.2와 같이 發生하지 않는다고 본다.

여기서 有效接地라는 것은 健全相 電壓上昇이 平常時電壓의 1.3倍를 넘지 않는 中性點 接地 impedance 이다.

即 有效接地條件은

$$R_0 < X_1$$

$$X_0 < 3X_1$$

이고 이 範圍에서는 健全相 電壓上昇은 1.3倍 以下가 되며 上記 條件을 滿足할 때 有效接地라고 한다.

그러므로 有效接地系에서는 機器의 絕緣 lever와 避雷器 定格을 引下할 수가 있다. 이와 같이 直接接地系에서는 基本波 電壓上昇이 적은 利點을 發揮할 수가 있고 적은 系統(22kV, 66kV系)에서는 高調波 過電壓도 發生치 않으므로 直接接地 實現에 支障이 없다. 그러나 大容量의 系統에서는 高調波過電壓의 危險性을 考慮해야 한다고 하므로 이러한 系統에는 別途 實驗으로 이를 確證

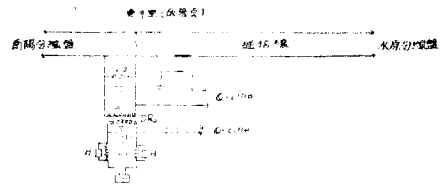


Fig. 5. 測定回路

(2) 測定方法

漁川故障點 附近의 各 通信線을 500m 程度 延長하여 Fig.5와 같이 drainage repeating coil의 1次大地, 2次線間을 Oscillo로써 測定하였다.

(3) 添架電話線

가. 施設狀況

互長: 21.45 km

區間: 水原 s/s—南陽 s/s

接地方式	試驗番號	故障點電流(A)	故障點施設抵抗(Ω)	誘導電壓(1次-大地)		誘導電壓(2次線間)		L ₁ (1000V) L.A動作 860	L ₂ (300V) L.A動作	備 考
				正常時(V)	故障時(V)	正常時(V)	故障時(V)			
直接接地	1	186	70~80	105.4	835	—	—	없 음	없 음	Fig. 25에서
	2	198.3	〃	96.2	870	—	—	〃	〃	
	3	174.6	〃	—	—	—	81.4	〃	〃	Fig. 26에서
	4	171	〃	—	—	—	124.8	〃	〃	
非 接 地	1	3.6	〃	30	199.2	—	—	〃	〃	Fig. 27
	2	4.8	〃	32.6	251	—	—	〃	—	

表 3. 添電線誘導電壓 測定值

線種 : 4 mm 鐵線 2線
 經過度 : 電力線에 添架

나. 測定

22 kV 兩陽系를 直接接地와 非接地로 하여 1線接地故障時의 添電線 誘導電壓值을 Fig. 6, 7, 8의 oscillo 測定에서 얻었다.

個 oscillo 는 數回의 測定한 graph中 1個 만을 表示하였음.

다. 檢討

表 3에서 DR_2 의 1次測(線路-大地間) 誘導電壓 最終値는

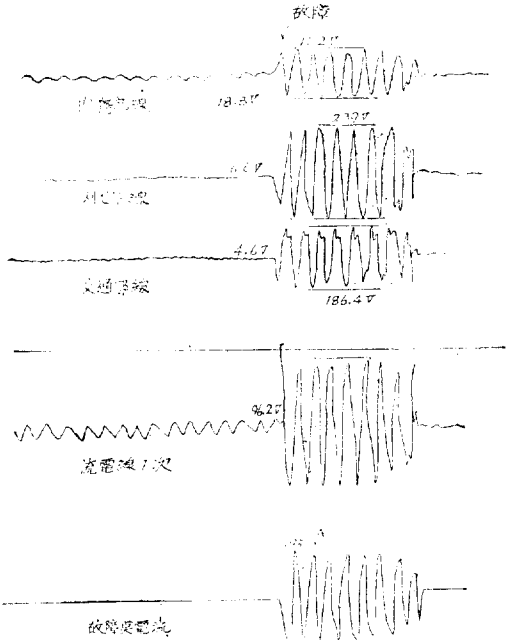


Fig. 6. 直接接地系 1線接地故障 時의 各 通信線 1次-大地誘導電壓

直接接地時 870 V이고 非接地時 251 V이다. 直接接地時가 非接地 때보다 3.5倍이다. 直接接地時 通信線誘導 障害의 限界値(1線 條에는 許用值 300 V 以下, 0.1秒 以內의 故障 除去時는 430 V)를 超過하였으나 drainage repeating coil 2次電壓(受話器 入力)은 最大 124.8 V 로서 工規보다 작은 值가 된다. 또 此 系統에서는 遮斷器의 高速度遮斷(6~7 cycle)이므로 보다 작은 障害로 써 限定시킬 수 있다.

또 近日 兩陽定規으로써 電磁誘導電壓許用值는 630 V 로 改定하고 있다 한다.

L_2 의 遮雷器는 試驗前에 許用周波 1,000 V에서 放電 도록 試驗前에 調整하였고, 今般 試驗에서 實際 誘導電壓은 이 值에 未達되었으므로 動作치 않았다.

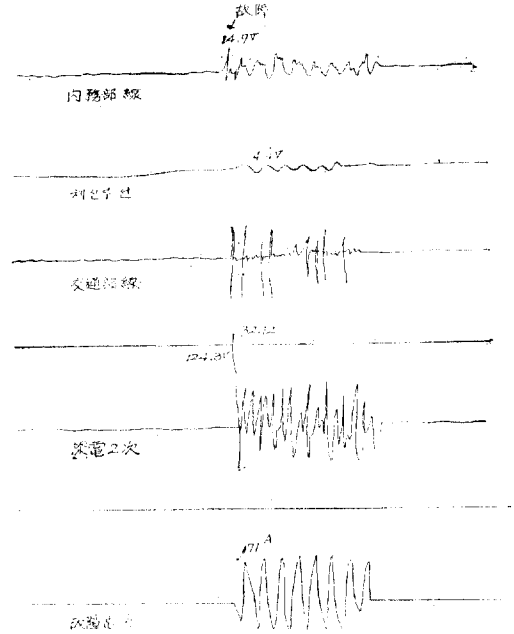


Fig. 7. 直接接地系 1線接地故障時의 各 通信線 2次線間誘導電壓

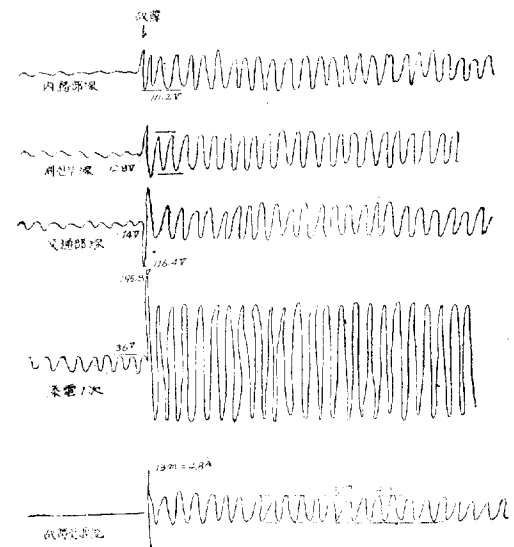


Fig. 8. 非接地系에서 1φ-G 間의 誘導電壓

直接接地時의 誘導電壓波形은 第3調波이고, 非接地時는 第5調波가 包含되어 있다. 以上の 試驗結果로 볼 때 添電線이 危險電壓이 發生하여도 特高 第2種 保安裝置를 使用하면 安全하고 正常時의 通話障害(雜音)는 直接接地 $\sqrt{3}$ 倍 昇壓後에도 非接地와 比較할 때 더 큰 障

害가 없었다.

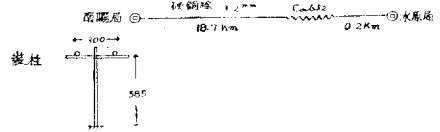
(4) 遞信部線 誘導電壓

(가) 施設狀況

區長 : 18.9 km

區間 : 水原市 - 南陽面

測定線路構成



(나) 測定

Fig. 7, 8, 9에서 다음 測定値를 얻음.

接地方法	試驗番號	故障點電流 (A)	故障點抵抗 (Ω)	誘導電壓(1次-大地)		誘導電壓2次線間故障時 (V)	L, A(300V) 動作	備 考
				正 常 地 (V)	故 障 時 (V)			
直接接地	1	186	70~80	10.8	239.2	—	없 음	Fig. 25에서
	2	195.3	//	66	239.0	—	//	
	3	174.6	//	—	—	6.4	//	
	4	171	//	—	—	4.4	//	
非 接 地	1	3.6	//	11.1	60	—	//	Fig. 27에서
	2	4.8	//	12.8	114	—	//	

表 4. 遞信部線 誘導電壓 測定值

(다) 測定値에 對한 檢討

故障時 直接接地系에서 239 V 非接地系에서 114 V 即 直接接地 때가 2 倍程度 誘導電壓은 크다. 그러나 誘導電壓許容値보다 적은 値이므로 DR₂를 裝置않아도 安全할 것이며, 此 系統은 遮斷器遮斷時間이 7 以內이므로 더욱 安全度는 높아 질 것이다.

正常時의 誘導電壓은 √3 倍 昇壓時에도 直接接地때가 昇壓前 此 接地時보다 더 적은 値가 나타났다. 實際 通話 雜音도 直接接地때가 적었음을 感覺할 수 있었다.

波形은 故障時 非接地系가 高調波分이 많이 包含되었고, 正常時 直接接地系에서 高調波分이 없는 것은 中性點의 大地電流(不平衡電流)는 無視 할 程度임을 말한다.

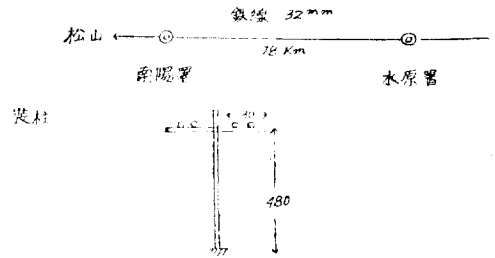
(5) 內務部線 誘導電壓

(가) 施設狀況

區長 : 18km

區間 : 水原市—南陽面(途中 짧은 支線에 分枝함)

測定線路構成 :



(나) 測定

Fig. 7, 8, 9에서 表 5의 測定値가 된다.

接地方法	試驗番號	故障點電流 (A)	故障點抵抗 (Ω)	誘導電壓(1次-大地)		誘導電壓2次線間故障時 (V)	L, A 動作	備 考
				正 常 地 (V)	故 障 時 (V)			
直接接地	1	186	70~80	14.2	177.6	—	없 음	Fig. 25에서
	2	195.3	//	18.8	141.2	—	//	
	3	174.6	//	—	—	17.9	//	
	4	171	//	—	—	14.9	//	
非 接 地	1	3.6	//	12.3	84.8	—	//	Fig. 27에서
	2	4.8	//	7.5	111.2	—	//	

表 5. 內務部線 誘導電壓 測定值

(다) 測定値에 對한 檢討

直接接地系에서 誘導電壓은 豫測計算보다 적게 나타났 다. 即 直接接地나 非接地에서 誘導電壓은 큰 差異가 없 음은 注目할만한 것이다.

正常時의 誘導電壓이 遞信部線보다 많은 것은 送電線과의 並行距離가 더 接近하고 있기 때문이다.

非接地系에서 故障時 誘導電壓은 遞信部, 內務部, 交通部가 모두 大略 같은 値를 나타내고 있다.

結局 故障時에 直接接地나 非接地에서 全히 危險電壓이 發生하지 않음을 알 수 있다.

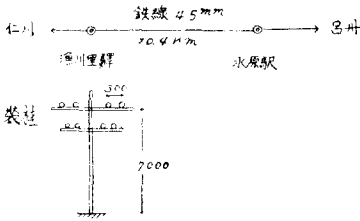
(6) 交通部線 誘導電壓

(가) 施設狀況

全長 : 10.46 km

區間 : 水原市 - 漁川里

測定線路의 構成



(나) 測定値

表 6. 交通部線 誘導電壓 測定値

接地方式	試驗番號	故障電流 (A)	故障點接地抵抗 (Ω)	誘導電壓 (1次-大地)		誘導電壓 2次線間故障時 (V)	L, A 動作	備考
				正常 (V)	故障 (V)			
直接接地	1	186	70~80	4.6	193		없음	
	2	195.3	//	4.6	186		//	Fig. 25에서
	3	174.6	//			17.5	//	
	4	171	//			32.12	//	Fig. 26에서
非接地	1	3.6※	//	13.3	73.2		//	
	2	4.8※	//	14	116.4		//	Fig. 27에서

※ Fig. 8의 oscillo 와 같이 非接地系에서 1線接地故障 電流는 初期 過渡時를 지나서는 1.4 A 이다. 따라서 誘導電壓도 初期 過渡時의 最大電壓을 記錄한 것임.

(다) 測定値에 對한 檢討

交通部 通信線은 計算値와 近似한 값이 測定되었다. 그러나 非接地時의 誘導電壓은 零相電流에 比例하는 計算上의 比較로서는 大端히 큰 値가 測定되었다고 본다. 直接接地나 非接地系에서 誘導電壓은 危險電壓이 發生하지 않았음을 알 수 있다. 그리고 $\sqrt{3}$ 倍 昇壓後의 靜電誘導電壓도 오히려 작은 値가 나타났다.

(7) 通信線 誘導障害에 對한 結言

가. 各 外部通信線(遞信, 交通, 內務)의 誘導電壓 最高値는 1線接地故障時 $\sqrt{3}$ 倍昇壓 直接接地系에서는 250 V 未滿으로써 工規의 許用電壓 以下이다. 여기서 直接接地方式의 가장 큰 障害라고 믿어온 誘導障害가 不可避하다는 信念을 解消시킬 根據가 된다고 본다. 即 危險電壓 및 通信障害가 直接接地系에서만 빈드시 發生한다고는 볼 수 없다.

나. 添架電話線은 電力線과의 距離 1.5 m~2.5 m 로써 並行하고 있으므로 直接接地系에서 接地故障時는 1,000 V 以上의 電磁誘導電壓을 豫想해야 하나 여기서는 特高保安裝置 (drange repeatig coil) 을 設置함으로써 危險電壓發生은 除去할 수 있다.

다. 正常時의 通信線에 對한 誘導障害(主로 靜電誘導)는 $\sqrt{3}$ 倍昇壓 直接接地時에도 外部通信線은 모두 20 V 未滿으로써 故障時 通信業務上 支障이 없었다.

添電線에도 最大 105 V가 測定 되었으나 非接地매와 比較해서 큰 差異가 없고 通信障害도 없었다.

그러나 故障瞬間에 音響衝擊은 若干 있었다.

4. 通信線(添架)保安裝置 特性試驗

保安裝置特性試驗結果는 紙面關係上 省略한다.

5. 38 kV 昇壓 및 直接接地에 따른 絕緣 level

今般의 22 kV 非接地 南陽送電線의 $\sqrt{3}$ 倍 昇壓 直接接地 實驗에서 38 kV 昇壓에 따른 送變電機器絕緣 level 을 檢討하고 앞으로 適用될 昇壓直接接地系統에서 일어날 수 있는 여러가지 問題에 對해 考察해 보고자 한다.

(1) 送電線의 絕緣 Level

送電線의 商用周波絕緣耐力으로서 Sporn 氏의 提案은 다음과 같다.

最高運轉電壓	1.00	} 3.5 times normal (但 base 는 最高回路電壓으로 한다)
線路故障時過電壓	1.3	
汚損	1.4	
耐壓/50%閃絡電壓	1.15	
標準外氣象條件	1.10	
安全率	1.5	

現在 南陽送電壓線의 碍子는 254 mm, 懸垂碍子 2,020 個 20 kV pin 碍子 33 個가 있다.

(가) Pin 碍子

送電電壓을 38 kV($22 \text{ kV} \times \sqrt{3} = 38 \text{ kV}$)로 하면 必要한 60 c/s 注水時의 交流閃絡電壓은 75 kV 이므로 安全係數値는 $75/38/\sqrt{3} = 3.4$

이 値는 上記에서 必要한 安全係數 3.5에 對해 若干 낮으나 1線直接接地故障時 健全相電壓上昇이 1.3 以下(南陽系에서는 1.0 以下)로 抑制되므로 38 kV 昇壓하여도 安全하다고 본다.

(나) 懸垂碍子

南陽送電線 懸垂碍子는 2~3 個이다. 1個의 注水閃絡電壓은 50 kV 이므로 2 連個數로 보았을 때

$$100 \text{ kV} / 38 / \sqrt{3} = 4.5$$

이것은 安全係數 3.5보다 크므로 充分하다.

또 碍子에 對한 50% 衝擊閃絡電壓은 表 17에서와 같이 pin 碍子 160 kV, 懸垂碍子 2連이 255 kV 이므로

switching surge 에 대해서도 安全하다.

昇壓實驗 前此 系統에 工規에 依한 耐壓(Line-大地間) 33,000 V 로써 10分間 加壓(第1次基礎實驗의 表 5) 하여 異常이 없었다. 33,000 V 는 昇壓時 大地電壓 22,000 V 의 1.5 倍이다.

그러므로 $\sqrt{3}$ 倍昇壓後에도 碍子個數의 增加는 必要치 않다.

2. 變壓器의 絕緣 Level

20 kV 級 機器 現地試驗電壓 32,500 V (約 1.5 E) 를 印加하여 異常이 없었으므로 故障時 健全相 電壓上昇이 거의 없는 此 系統에서 充分한 安全率을 가진다. 또 製作試驗으로서는 2倍 以上(商用周波)의 耐壓試驗을 거처야 하므로 老朽되지 않은 變壓器는 더욱 安全하다고 본다.

表 7. 衝擊 電壓 強度

公稱 電壓 (kV)	絕緣 階級 (號)	基準衝 擊絕緣 強度 (kV)	發用 變電所 用 變電器		250 mm 懸垂 碍子		pin 碍子	
			制限 電壓 (kV)	放電 電流 (A)	1連의 個數 (個)	50% 閃路 電壓 (kV)	號 (號)	50% 閃路 電壓 (kV)
20	20	150	86	1500	2	255	20	160
30	30	200	130	1500	3	355	30	200

Switching surge 에 對해서는 20 kV 級 變壓器의 基準 絕緣衝擊電壓強度는 150 kV 이므로 switching surge 에 對해서는 其 8割의 120 kV 의 耐壓이 있다고 본다. 또 switching surge 值가 現在의 遮斷器(3.3 kV A.B.C.) 를 使用하여 3倍가 發生한다고 하여도

$$38 \text{ kV} / \sqrt{3} \times \sqrt{2} \times 3 = 93 \text{ kV}$$

로 되어 安全하다고 본다.

3. 超高壓變壓器의 段絕緣問題

系統接地方式을 直接接地方式(有効接地)으로 한 超高壓(154 kV 以上) 系統에서는 變壓器의 絕緣을 他 接地方式보다 低下하여 變壓器의 重量, 規格을 低減縮少할 수 가 있어 經濟上의 利益은 크다.

美國에서는 1934年 以來 低減絕緣이 採用되어 最近에는 歐美諸國에서 超高壓變壓器에는 모두 直接接地式 低減絕緣으로 하고 있다.

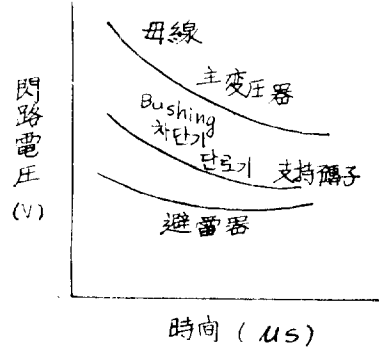
韓電 系統은 모두 P.C. 接地 또는 非接地이므로 全 絕緣變壓器가 導入되었다. 이것은 變壓器의 絕緣을 中性點 側도 同一하게 線路側과 같은 基準의 絕緣을 施行하는 方法이다. P.C. 를 包含하여 高 impedance 接地系統에서는 商用周波異常電壓, 外雷, 內雷에 對해서 變壓器 捲線內部 및 中性點은 線路側과 同程度의 電位 stress 를 받기 때문이다.

그러나 中性點 直接接地의 變壓器에서는 中性點의 對地電壓은 거의 上昇치 않으므로 絕緣低減이 되고 線路側에서 衝擊電壓이 侵入하여도 他端이 接地되었으므로

初期電壓分布는 定常電壓分布와 거의 같으며 捲線各部의 內部電位振動도 極少한다. 따라서 線路端子에서 中性點에 갈수록 차차로 絕緣을 低減시킬 수 있는 段絕緣으로써 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 의 經濟的 設計가 可能하다고 한다.

避雷器와 絕緣協助

各 機器의 絕緣強度 選擇은 豫期된 異常電壓이 問題된다. 內雷에 對해서는 直接接地時 異常電壓이 發生치 않음을 故障試驗에서 알 수 있고 外雷에 對해서는 避雷器衝擊電壓波高值를 各 機器의 衝擊電壓에 對한 絕緣強度 以下로 制限해야 한다. 이것을 Fig. 9 와 같이 表示할 수 있다.



時間 (μs)

Fig. 9

(1) 施設된 避雷器의 特性試驗

表 8. 避雷器 銘板

變電所	製作所	種 類	Type	Max kV	設立年月日
水 原	W.H.	Auto valve	LV	25	1961. 10. 7.
南 陽	日本	Pellet oxide film	GI	25	1959. 10. 7.

避雷器의 特性試驗은 現場事情으로 水原 s/s 此 系統것 만 하였다.

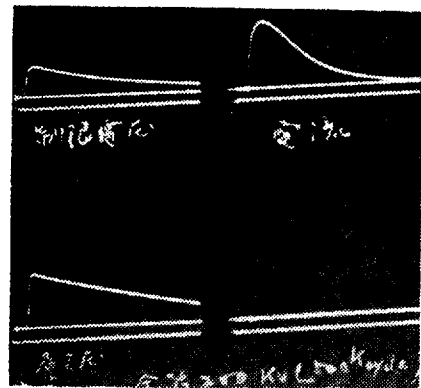


Fig. 9. 放電開始電壓試驗

Fig. 28은 全波 200 kV, 500 k cycle 의 衝擊電壓을 印

加하였을 때 制限電壓値는 108 kV 였다.

또 商用周波放電開始電壓은 65 kV 였다. 上記 試驗으로서 避雷器規格은 1.4 E 에 해당된다



Fig. 10. 制限電壓特性試驗

AIEE 의 避雷器 動作 責務特性은 다음表와 같다.

表 9. 避雷器動作責務特性表

公稱電壓 (E)	許容端 子電壓 1.4E	放電開 始電壓 1×40	制限電壓 15000 A	商用周 波耐壓 2.3 E
(kV)	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
25	35	1125	107	57.5

水原 s/s 避雷器는 表 9 에서와 近似한 試驗値이다.

(2) 他機器와의 絶緣協助

(1)의 試驗에서 水原避雷器의 規格이 1.4 E 면

$$1.4 E = 1.4 \times 20 = 28 \text{ kV}$$

1線接地時의 健全相의 電壓上昇 1.2 (此 系統에서는 1.0 倍임) 라고 할때,

$$38 \text{ kV} / \sqrt{3} \times 1.2 = 26.4 \text{ kV}$$

28 kV 에 對해 26.4/28 = 1.06 의 安全率이 되나 이것은 最惡의 境遇이고 22 kV 系統에서는 大體로 安全하다. 또 制限電壓은 108 kV 이고 Tr 의 衝擊電壓의 強度는 150 kV 이므로 變壓器와의 絶緣協助를 充分히 期待할 수 있다.

兩 變電所의 避雷器 商用周波 許用 端子電壓은 機器自體에 明示안되었기때문에 日本製品의 1.2 E, 1.4 E, 1.7 E, 2.0 E, 2.3 E 中 어떠한 規格의 避雷器를 設置하였는지 南陽 s/s 것은 알수가 없다. 韓電에 設置된 數 많은 避雷器는 그 規格을 把握하지 못하고 있고, 設置當時 P.C. 또는 非接地에서 使用 可能도록 다음式에 依한 避雷器 1.4 E 以上の 것이 使用될 筈이다.

$$\frac{E}{\sqrt{3}} \times \alpha \times \beta \times \gamma \times \delta = \text{避雷器規格}$$

但 α : 變壓器 最高 tap 의 비

β : 電壓變動率

γ : 1 ϕ -G時 健全相電壓上昇率

δ : Safety factor

그러나 韓電 系統에서 發生하는 避雷器 또는 機器絶緣 破壞原因이 系統接地 方式을 變更하지 않는限 異常電壓 發生할 系統에 있어서 그 防止策은 直接 接地時에 使用

되는 以上の 不經濟가 따르게 될 것이다. 故로 異常電壓이 자주 發生하는 系統에서는 避雷器 規格도 알맞는것을 擇해서 設置할 必要가 있다는것을 參考로 말하여 둔다.

4. 遮斷器 및 P.T., C.T. 에 對하여

(1) 遮斷器

水原 s/s 遮斷器는 22 kV 送電端側에는 施設되어 있지 않으며 3.3 kV 側遮斷器로써 閉閉하고 있다. 그러므로 7割 昇壓에 따른 絶緣關係는 問題되지 않는다.

南陽 s/s 에서는 22 kV 受電端이 O.C.B. 가 設置되어 있으나 製作年月이 오래되었고 老朽된 것으로 보아 安全하다고는 볼 수 없었다.

그러나 直接接地 7割 昇壓前에 1次分解點檢後 耐壓試驗으로 確認할 必要性이 있다. (昇壓試驗期間은 아무 異常이 없었다.)

(2) P.T.

22 kV 南陽送電線에는 22 kV P.T. 가 設置되어 있지 않다. 水原에 接地故障檢出用 G.P.T. 가 있으나 直接接地로 할 때 接地故障除去는 中性點 OCR 로써 充分함으로 所用이 없게된다.

(3) C.T.

南陽 s/s 에 22 kV C.T. 2臺가 設置되어 있어 耐壓試驗 (32.5 kV 10分間) 結果로 볼때 昇壓後에도 此 系統에 使用될 수 있다.

5. 昇壓問題와 他系統에 對한 適應性

現存 電力施設의 有効利用의 見地에서 既設送電線의 昇壓이 많이 論議된다. 1953年 4月號 日本國 電學誌에 다음 記事가 있다.

「日本國에서는 몇개의 30 kV 系統의 非接地系統을 直接接地方式으로 바꾸어서 $\sqrt{3}$ 倍昇壓시켰고 140 kV 系를 200 kV 系의 昇壓 可能性이 論議되고 있다. 佛國 E. D.F. 에서는 110 kV 를 150 kV 昇壓可能性을 檢討하는 長期間의 現場試驗을 施行하고 있으며 美國 D.B.A. 에서는 既設 230 kV 系에 單捲變壓器 또는 直列變壓器를 設置하여 300 kV 級의 昇壓을 考慮하고 있다. 獨逸 R.W.E. 에에서도 같은方法으로 220 kV 를 300 kV 로 運轉한다고 한다.」

美國에서도 30~90 kV 의 範圍에서 $\sqrt{3}$ 倍昇壓 $A \rightarrow Y$ 結線의 方式이 施行되고 있는 것 같다.

(1) 154 kV 및 66 kV 系統에의 適應性

本 實驗에서는 22 kV 高壓系에서만 實測한 것이나 此 實驗을 통해 그 以上の 高壓系統에 對한 展望을 적어 본다.

超高壓系統에서 低減絶緣의 基礎가 차차 確立되고 있으므로 昇壓에 設計上 妥當視 될 때가 많다.

我社の P.C. 接地方式인 154 kV 및 一部 66 kV 系統에

도 直接接地方式을 採擇하면 下圖와 같은 主變壓器의 結線變更 또는 單捲變壓器의 追加단으로써 既設 送電設備을 利用하여 適合한 昇壓(7割程度)이 可能하다고 본다.

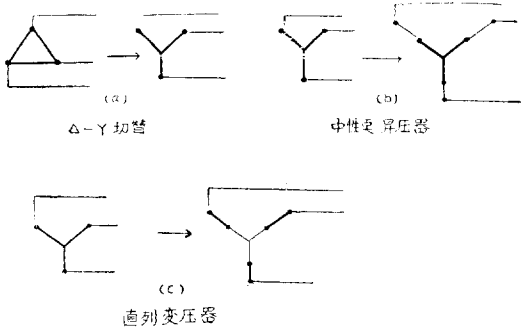


Fig. 11. 昇壓方法의 例

이와 같은 直接接地 또는 昇壓方式을 全系統 同時에 實行한다는 特異한 改革에는 莫大한 經濟上의 問題가 따른다고 하면 將來性을 豫見하고 部分的이나 新設되는 系統에 設置할 變壓器의 購入仕樣도 이 方式에 適用될 수 있도록 考慮되어야 할 點이 많을것이다.(P.C. 設置가 必要없게 됨)

直接接地系와 P.C. 또는 非接地系의 連繫運轉에 對한 問題도 可能할 것으로 生覺되나 韓電의 重要한 課題로써 더욱 研究 및 實驗이 必要하다고 본다.

(2) 22 kV 및 66 kV 系統에의 適應性

韓電 22 kV 및 66 kV 系統의 一部分은 單相變壓器 Δ 結線運轉이 많다. 이러한 系統에서는 本 實驗에서와 같이 Fig. 10 (a)의 結線變更만으로도 電壓上昇이 可能하여 電力資材의 節約이 莫大하고 適用範圍는 넓다. $\sqrt{3}$ 倍 昇壓($\Delta \rightarrow Y$)은 配電分野에서는 相當한 實施例가 있으나 配電系統에는 많은 柱上變壓器가 있어 困難한 問題가 많으나 送電系統에서 오히려 簡單하다고 볼 수 있어 我社로서 實現시킬 수 있는 可能性이 있다.

6. 直接接地系 7割昇壓에 따른 經濟的 利益

此 實驗系統에서 非接地時의 現 系統과 直接接地 $\sqrt{3}$ 倍 昇壓時의 經濟性을 檢討해 본다.

(1) 電力損失의 減少

表 10.

送電方式 內容	22 kV Δ	38 kV $Y_{\frac{2}{3}}$	比較
電力損失 ($3I^2r$)	$W_{\Delta} = 3I_{\Delta}^2 r$	$W_Y = 3I_Y^2 r$	$W_Y = \frac{1}{3} W_{\Delta}$
電壓降下 ($\sqrt{3}IZ_c$)	$V_{\Delta} = \sqrt{3} I_{\Delta} Z_c$	$V_Y = \sqrt{3} I_Y Z_c$	$V_Y = \frac{1}{\sqrt{3}} V_{\Delta}$
損失率을 γ_{Δ} 로 했을 때의 送電容量			$P_Y = 3P_{\Delta}$

22 kV 非接地系를 38 kV 昇壓하고 直接接地方式을 適用 할 때 같은 電力을 送電하는데 生起는 電力損失 및 電壓降下等을 比較하면 表 10과 같다.(線路 reactance 는 無視)

여기서 22 kV 非接地 (Δ) $P = \sqrt{3} V_{\Delta} I_{\Delta}$

38 kV 直接地 ($Y_{\frac{2}{3}}$) $P \approx \sqrt{3} V_Y I_Y$

$V_Y = \sqrt{3} V_{\Delta}$

$I_Y = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{\Delta}$

表 10 에서와 같이 電力損失面에서 1/3로 減少시킬 수 있고 損失率을 같이 보았을 때 3倍의 送電容量을 얻을 수 있다.

(2) 機器材料費의 節約

非接地系로써 38 kV 昇壓時 機器 및 送電線의 改造와 增設(碍子等)에 所用되는 費用은 現 施設原價의 約 1/3 이 節約될 것이며 人件費 또한 여기에 따른다.

또 22 kV 系 送電容量 不足으로 66 kV 容變工事를 施行한다고 하면 莫大한 資金이 所用될 줄 안다.

直接接地로 했을 때는 第3章의 絕緣 level 에 言及한 마와 같이 各機器가 20 kV 絕緣號數로서의 規格에 맞는 絕緣狀態만 維持된다면 各變電所에서 零相電流를 取하는 中性點 C.T. 1個 및 中性點 O.C.R. 1個의 增設과 有效接地範圍로 할 수 있는 接地抵抗改善工事 단이 必要하므로 그 運用은 極少한 것이다.

(3) 機器의 燒損 減少

一般的으로 非接地系에서 異常電壓 發生이 많으므로 直接接地系에서 機器燒損의 減少가 豫想된다. 그러나 本 實驗系統과 같은 22 kV의 電源側에서 먼 送電線에서는 非接地系에서도 異常電壓 發生은 거의 없다.

(4) 電力供給의 質的 向上

直接接地系로 하였을 때만이 1線接地故障 除去는 迅速하게 除去할 수 있어 2線接地 및 其他 事故의 擴大를 防止할 수 있고 需用家에 對한 停電時間 短縮을 期할 수 있다.

結 言

1. 電力線의 異常電壓

1線接地故障時 $\sqrt{3}$ 倍昇壓 直接接地系에서 定常的電壓上昇(健全相 電壓)은 1.0 내지 1.0 以下 非接地系에서 1.8~2.0倍이고 過渡的電壓上昇(surge 性) 또한 兩系에서 發生치 않는다.

2. 通信線 誘導障害

外部通信線(遞信, 交通, 內務)의 誘導電壓은 $\sqrt{3}$ 倍 直接接地系 1線接地 故障時에도 最高 250 V 未滿으로써 工規 許用電壓值 以下이고 正常時 20 V 未滿이므로 支障 없었다.

3. 添架電話線 誘導電壓

添電線에 誘起되는 過渡時 誘導電壓은 直接接地系 故障時에 870 V 이나 特高 保安裝置 設置로써 交換台側에 130 V 以下로 減少시킬 수 있어 安全하다.

4. 特高 保安裝置特性

特性 및 現場試驗結果 非流中繼線輸의 1次側 起電壓은 2次側에서 約 1/7 로 減少시킬 수 있다는 것을 確認할 수 있음.

5. 38 kV 昇壓 및 直接接地系에 따른 絕緣 Level

絕緣階級 20 號 (22 kV 系) 의 工規에 依한 絕緣強度가 維持될 수 있는 系統은 直接接地로써 38 kV 昇壓 ($\sqrt{3}$ 倍) 에도 支障이 없는 絕緣 level 이 된다. (36 kV 昇壓은 더욱 安全하다)

6. 他系統에의 適應性

以上の 本 實驗을 통해 22 kV 의 P.C. 또는 非接地系統

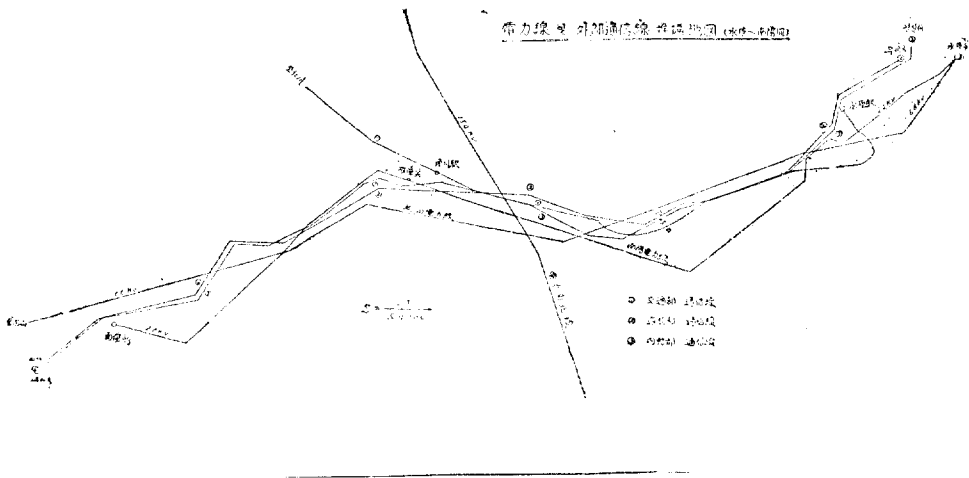
은 $\Delta-Y$ 結線變更과 中性點(零相分 檢出用) C.T, OCR 의 各 1個增設, 有效接地 範圍가 되는 接地改善工事 안 으로서 直接接地 $\sqrt{3}$ 倍昇壓이 可能함.

7. 經濟的 利益

$\sqrt{3}$ 倍 昇壓의 直接接地化는 現存 機器의 大部分을 改造 또는 增設없이 送電損失을 1/3로 減少시킬 수 있으며 3倍의 送電容量 增大을 期할 수 있고 系統故障率의 減少 需用家에 對한 停電時間 短縮을 期待할 수 있다.

電力技術上 注目되어온 送電系統에서의 7割昇壓 直接接地의 實地 實驗結果는 效果의으로 所期의 目的을 實測할 수 있었고 韓電 最初의 本 實驗을 基礎로 하여 그 以上의 高壓 系統 直接接地化에 對한 檢討에 貴重한 資料가 되기를 바란다.

(1964年 5月 15日 接受)



贊助廣告 索引

釜山鐵管工業株式會社.....	42
千一電機製作所.....	88
事業維持會員.....	89
不二貿易株式會社.....	表紙 3
利川電機工業株式會社.....	表紙 4

事業維持會員 紹介 索引

韓國電力株式會社.....	85
株式會社金星社.....	86
韓永工業株式會社.....	86
國際電線工業株式會社.....	87
三和電機産業株式會社.....	87
大韓金屬計器株式會社.....	88