

345KV送電線の 過渡安定度計算 (3)

技術解説
18~3~1

A study on transient stability of 345KV power transmission line

李 在 淑*
(Chae Sook Lee)

(8) 過渡安定度에서 본 極限送電容量(其 2)

前記의 過渡安定極限送電容量을 檢討하는 方法에 있어 좀 一般化한것을 다음에 言及한다.

受電端은 無限大母線에 連結되고, 送電端은 慣性定數 $H=10$ KW-Sec/KVA 의 Turbo-Generator 를 運轉하여 送電하고 있는중 2回線중 1回線에 2線地絡事故가 發生하였을때 이것은 0.1 秒以內에 除去하였다고 假定하면 極限送電容量은 果然 얼마나 되는지 간단히 計算하는 方法이다. 그리고 이方法은 受電端을 向하여 여러回線의 超高壓送電線이 建設되고 있을때 그중 一回線에 關한 것이며, 中間開閉所 및 直列 Capacitance 의 影響도 算出할 수 있는 것이다.

(8.1) 健全時의 全 reactance (x_1)과 遮斷時의 全

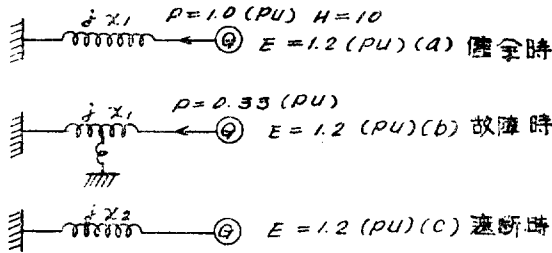


그림 8.1 一般化系統

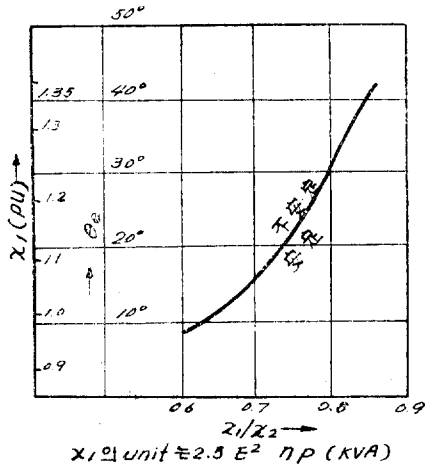


그림 8.2 過渡安定限界

reactance(x_2)와의 比와 過渡安定度. 8.1圖와 같이 無限大母線에 대한 一機系統으로서 一般化하여 計算한다.

8.1圖에 있어서 400KV 級送電線에서는 再閉路時間은 比較的인 때문에 再閉路에 의한 過渡安定度上的 效果가 적은 까닭에 過渡安定도를 非再閉路條件으로서 定하고, 再閉路後의 回路는 考慮對象에서 除外한다는 것은 變動이 없다.

또 8.1圖(b)의 故障時의 回路에 있어서 故障條件을 送電端母線에 있어서 2回線에 亙하는 異相 또는 同一回線의 2相地絡 0.1秒로 限定하는 것으로 하며, 中性點接地方式은 直接接地方式이고, 故障點에서 본 正, 逆 및 零相 reactance 는 全部 같은 값으로 하고, 0.1 秒中의 位相角變動에 의한 電力變化는 無視하여 故障중의 發電機電力 $P=0.33$ (單位法即 P.U) 一定이라고 생각한다. 그리고 簡便을 爲하여 發電機內部電壓은 發電機力率 0.85를 假定하여 1.2(P.U) 一定이라고 한다. 이러한 假定下에서 8.1圖에 있어, 定常時發電機出力 1.0 (P.U), x_1/x_2 一定의 條件下에 x_1 를 變化하여 安定極限을 求하면, x_1/x_2 의 하나의 값에 대하여, 하나의 x_1 를 決定할 수 있다. 또 同時에 過渡極限送電에 대한 定態時의 全相角 θ 를 決定할 수 있다. 8.2圖는 Stability Computer 에서 求한 x_1/x_2 와 x_1 및 θ 의 關係를 表示한다.

(8.2) 定常時에 있어 送電線以外的 相差角 8.2圖에 있어, 一般化系統이 몇 回線의 送電線으로 構成되어 있는가에 關係없이 1回線當 $2.5 E^2 n$ (KW)를 送電하고 있는 狀態를 考慮한다.(但 E ; 線間電壓 KV, n ; 1回線當送電電力의 $2.5 E^2$ 에 대한 倍數) 따라서 p 回線系統에서는 合計送電電力은 $2.5 E^2 n p$ (KW)가 된다. 한편 發電機, 送電端變壓器, 受電端變壓器의 容量은 恒常 合計送電電力의 1.11 倍가 되도록 設計하는 것으로 假定한다.

自己容量을 基準으로 하는 發電機過渡 reactance, 變壓器 reactance 를 각각 30%, 10%로 假定하면 $2.5 E^2 n p$ (KW) 基準의 送電線以外的 reactance(發電機+送電端變壓器+受電端變壓器)는 $(30+10+10) \times \frac{1}{1.11} = 45\%$ 그리고 受電端電壓은 $1.0E$, 發電機內部電壓은 $1.2 E$ 로 假定하고, 送電線以外的 相差角($\theta_x + \theta_t$)는

$$\frac{1.2 \times 1.0}{0.45} \sin(\theta_g + \theta_i) \doteq 1.0 \quad \therefore \theta_g + \theta_i \doteq 22^\circ$$

即 電源容量을 送電電力의 1.1 倍로 恒常 假定하면 送電線以外的 定常相差角은 언제나 22°가 된다. 그리고 極限全相差角은 送電線의 極限相差角(θ_i)에다 22°를 더하면 算定할 수 있다.

(3) 系統構成과 x₁/x₂의 關係 및 極限電力決定決 系統構成으로서 다음과 같이 推定한다.

送電線 reactance: 0.376 Ω/km

亘 長 : l=350km

送電電力 : 2.5E² n p (KW)

電源容量 : 1.11 × 2.5E² n p (KVA)

中間開閉所 : q=1(但 開閉所間隙은 等 距離)

直列蓄電器補償度 : α(但 補償度는 送電線 reactance 에 대한 值)

上記系統構成에 의한 2.5 E² n p (KW) 基準의 全 reactance 는

$$\text{定常時 } x_1(\%) = 45 + \frac{0.376}{2.5E^2 n p \times 10^{-3}} \times \frac{l(1-\alpha)}{p} \times 100$$

$$= 45 + 0.0976 \ln(1-\alpha)$$

$$\text{一回線遮斷時 } x_2(\%) = 45 + 0.0976 \ln$$

$$\left\{ \frac{p}{(q+1)(p-1)} + \frac{q}{q+1} - \alpha \right\}$$

따라서

$$x_1/x_2 = \frac{45 + 0.0976 \ln(1-\alpha)}{45 + 0.0976 \ln \left\{ \frac{p}{(q+1)(p-1)} + \frac{q}{q+1} - \alpha \right\}}$$

$$\dots\dots\dots(8.1)$$

그리고, 送電線의 送受電端電壓은 變動率=0 (flat regulation)으로서 각각 E(KV)로 假定하면 送電電力은 2.5 E² n p (KW) 基準에서 100% 이므로

$$\frac{1}{0.0976 \ln(1-\alpha)} \sin \theta_e = 100$$

$$n = \frac{\sin \theta_e}{0.976 \ln(1-\alpha) \times 10^{-3}} \dots\dots\dots(8.2)$$

系統이 주어지면 (1)에서 말한 條件下의 極限電力을 決定하는때는 (8.1), (8.2) 兩式 및 그림 8.2의 θ_e의 曲線에 依據한다.

即, (8.1)式 右邊에서 未知數는 n 뿐이므로 n=0.8, 1.0, 1.2등을 假定하여 x₁/x₂를 구하고, 이에 應하는 θ_e를 8.2圖에서 定決한다. 그리고 이 θ_e를 (8.2)式에 代入하여 n를 구하고 이것이 始初 假定한 n와 一致할時 n를 正解值로서 決定한다. n가 決定되면 2.5E²np(KW)가 極限의 送電電力이며, 2.5E²n가 一回線當의 極限電力이다.

345KV 2回線에 대한 計算

$$x_1/x_2 = \frac{45 + 0.0976 \ln(1-\alpha)}{45 + 0.0976 \ln \left\{ \frac{p}{(q+1)(p-1)} + \frac{q}{q+1} - \alpha \right\}}$$

$$= \frac{45 + 0.0976 \times 350 \times n(1-0)}{45 + 0.0976 \times 350 \times n \left\{ \frac{2}{(1+1)(2-1)} + \frac{1}{1+1} - 0 \right\}}$$

$$= \frac{45 + 32.9n}{45 + 32.9 + 1.5 \times n} \dots\dots\dots(8.1)$$

그리고 n는

$$n = \frac{\sin \theta_e}{0.976 \times 350(1-\alpha) \times 10^{-3}} = \frac{\sin \theta_e}{329 \times 10^{-3}} \dots\dots(8.2)$$

(8.1)에서 n=1.5로 假定하면 x₁/x₂=0.793, 그림 8.2에서 θ_e를 求하면 θ_e=29° 30' 따라서 (8.2)式에서 n의 값을 求하면 n=1.495 ≐ 1.5 따라서 n=1.5가 正答이다. 2回線當過渡安定極限電力을 求하면 2.5 × 345² × 1.5 × 2 = 890,000KW 가 된다.

以上の 計算結果, 遮斷器의 遮斷速度, 發電機의 慣性 定斷를 달이함에 따라 極限電力值에 多少差는 있으나 釜山—서울間 345KV 2回線의 過渡安定極限電力은 約 800 MW로 判斷하는 것이 妥當하다고 본다.

前記計算은 中間開閉所가 있으나 直列蓄電器를 設置치 않은 境遇 즉 實地로 豫想되는 使用狀態에서 比較檢討한 것이다. 다음 參考로 中間開閉所가 없을時와 線路 reactance의 影響을 減少키 위하여 線路에다 直列蓄電器를 4個所에다 分散設置하고 直列蓄電器의 reactance 補償度는 線路 reactance를 基準하여 50%로 定하였을 때 345KV 2回線 350KM 線路의 過渡安定極限電力을 求해 보았다.

中間開閉所와 直列蓄電器兩者다 設置치 않은 境遇는 送電容量은 534MW 이고, 中間開閉所를 線路中間點에 1個所設置하고, 50% 補償의 直列蓄電器를 線路 4個所에 分散設置할 境遇의 送電容量은 1,070MW 가 되었으며 기타 組合을 包含한 結果는 表 8.1과 같다.

8.1 表 過氣安定極限電力

並列回線數	直列蓄電器 50%	中間開閉所 1個所	x ₁ /x ₂	送電線 1回線送電電力의 相 差 角 (θ _i)	1回線送電電力의 倍 (n)	2回線 送電電力 (MW)
2	無	無	0.715	18°	0.9	534
2	有	無	0.713	17.5°	1.3	773
2	無	有	0.793	29.5°	1.5	892
2	有	有	0.707	17°	1.8	1,070

9. 商用周波異常電壓

商用周波의 異常電壓으로서는 一線接地時의 健全相의 電壓上昇, 負荷遮斷時의 電壓上昇 및 自己勵磁에 의한 電壓上昇이 있다.

1線接地時의 健全相電壓上昇

三相回路에서 한相이 接地事故를 일으킬境遇, 故障抵抗이 크면, 健全相의 電壓은 上昇하여 機器의 絕緣을 理論上 危脅할 念慮가 있다. 그러나 實地問題에 있어서는

後記兩者에 比하여 작으며 線路中間點에서 1.3倍 以內의 上昇率을 나타내므로 別로 큰 問題가 안된다.

負荷遮斷時의 電壓上昇

發電機運轉中에 負荷를 遮斷하면 다음과 같은 複雜한 持續異常電壓을 惹起한다.

(1) 負荷遮斷에 의하여 發電機는 加速되고, 그 上昇率은 發電機의 慣性定數, Governor의 死時間과 閉鎖時間, 制壓器의 動作時間에 影響을 받는다.

(2) 負荷中의 發電機端子電壓은 遲相負荷電流에 의한 減磁作用에 의하여 内部誘起電壓보다 降下되어 있으나, 負荷를 遮斷하고, 電流가 零이되면 減磁作用이 없어져 端子電壓은 上昇한다.

(3) 送電線을 接續한채 發電機負荷를 遮斷하면 回轉數上昇에 起因하여 周波數가 增加하고, reactance, 靜電容量共히 增大하므로 受電端電壓은 加一層 上昇한다.

全負荷遮斷時 380KV 300KM 線路의 電壓上昇最高值 檢討結果는 並列 reactor가 없을時 1.53倍이다. 따라서 이러한 電壓上昇을 抑制키 위한 方法은 아래와 같다.

- (가) 並列 reactor의 分散配置
- (나) 深夜에는 線路의 一部를 運休한다.
- (다) 全負荷遮斷의 頻度를 減少시킬 目的으로 多相 再開路方式을 採擇한다.
- (라) Loop 系統으로 한다.
- (마) 並列發電機容量을 어떤 값以下로 줄이지 않는다.

自己勵磁에 의한 電壓上昇

無勵磁, 定格速度로 運轉되고있는 發電機에 靜電容量 負荷를 接續하면, 發電機에는 殘留磁氣에 의하여 극히 낮은 電壓이 誘起되어있어 이 電壓에 의하여 靜電容量을 充電하는 進相電流가 흘러, 그 電機子反作用은 界磁를 強化하는 作用을 한다. 그리고 이 作用은 漏洩 reactance의 影響을 받아 發電機電壓은 上昇한다. 따라서 充電電流는 더 增加하고 發電機는 이 電流에 의하여 다시 勵磁되어 더 큰 電壓을 誘起한다. 이러한 現象이 되풀이되어 發電機電壓은 어떤 極限의 값에 到達하게 되는데 이 電壓이 너무 높으면 機器絕緣을 破損케 한다.

400KV 級送電線의 充電容量은 大端히 크므로 相當히 큰 容量의 發電機라도 自己勵磁을 일으킬 可能性이 있다.

自己勵磁로 인한 異常電壓이 發生하는지의 與否를 調査하는때는 다음 公式이 있다.

$$\text{短絡比} > \frac{Q'}{Q} \left(\frac{V}{V'} \right)^2 (1 + \delta) \dots\dots\dots (6.1)$$

여기서

Q' = 充電電昇 V' 에 있어서 線路의 充電容量(KVA)

Q = 發電機의 定格出力(KVA)

V = 發電機의 定格電壓(KV)

δ = 發電機의 定格電壓에 있어서 飽和係數

即 9.1式을 滿足하는 Q' 以內라면 自己勵磁을 發生하지 않고 充電할수 있다.

上式에서 短絡比 $\gamma = 1.0$, 飽和率 $\delta = 0.111$ 로서 定格電壓에서 充電하는 것으로 하면 自己勵磁을 發生치않은 發電機容量은 다음과 같다.

$$Q'' \leq 0.92Q \dots\dots\dots (9.2)$$

이 條件을 사용하여 345KV. 2 回線, 350KM를 充電하는데 所要되는 發電機容量을 求하면 아래와 같다.

$$E_S = A_2 E_R + B_2 I_R$$

$$I_S = C_2 E_R + D_2 I_R$$

여기서

$$I_R = 0, \quad E_S = 345 \text{ KV}$$

回路定數

A, B, C 및 D 는

上式을 풀면 $E_R = 267,200(0.8635 - j0.01005)$ volts

$$I_S = 267,200 \times 10^{-9} (20 + j2,520) = j673 \text{ 따라서 線路}$$

充電容量 $Q'' = \sqrt{3} EI = \sqrt{3} \times 345,000 \times 693$

$$= 402,500 \text{ KVA이며, 所要 發電機容量 } Q \text{ 는}$$

$$437,500 \text{ KVA 以上이라야 한다.}$$

즉, 送電端發電機容量이 $3 \times 300 \text{ MVA} = 900 \text{ MVA}$ 이므로, 發電機 2臺 並利運轉하여 發電機定格電壓보다 18.8 % 낮은 電壓에서 線路를 加壓하면 受電端電壓도 規定值 345KV로 維持되고, 自己勵磁現象으로 인한 異常電壓도 나타나지 않는다. 그러나 運轉面에서 注意해야 할 點은 역시 深夜時等 輕負荷時에 있어 發電機運轉臺數를 2臺以下로 줄려서는 안된다.

發電機運轉臺數를 이 이상 줄릴必要가 있을時는 線路의 一部를 開放하여 無壓으로 하든지 또는 系統構成分 並列 reactor의 設置를 計劃해야 할 것이다.

結 論

將次 우리나라에 建設해야 할 345KV 送電線幹線에 대하여 過渡安定極限送電電力面에서 檢討한 結果 釜山 ~ 京仁地區를 連結하는 亘長 350KM. 2回線, 複導體 3 相送電方式으로서 800MW를 送電할수 있다는 것을 本文計算으로서 判明되었다.

그리고 이때에 Corona 損失을 包含한 送電線損失은 最大 38,120KW가 豫想된다.

電線種類는 經濟面에서 보아 ACSR가 適合하며, 그 寸數는 Corona Noise Level Corona 損, Ohm 損 安全 電流面에서 檢討한 結果는 795MCM 즉 切斷面積 403 mm², Al 26/4.45mm, S_T 7/3.4mm로서 充分하다.

345KV 送電線의 碍子個數는 10" 直徑의 標準碍子를 使用할時 海岸地帶과 離隔된個所에서는 18個로서 充分하며 標準鐵塔에 있어서 平均線間距離는 9,750mm, 鐵塔

에 대한 標準間隔은 2,700mm 가 되었고 그리고 地表面에 대한 電線의 許容地上高은 8m 로 推薦하는 바이다.

系統構成面에 있어 留意할점은 350KM 라는 長距離超 高壓送電線路에 대하여서는 過渡安定度面에서 中間地點에 開閉所를 設置해야한다는 점이다. 그리고 送受電端 電壓은 超 高壓線路運轉面에서 推薦되는 바와같이 相互間에 아무런 差가 없는 345KV 로 같은 값으로 維持할려면 定態安定度極限送電電力圓線圖에서 判明되는 바와같이 受電端의 所要 進相容量은 負荷力率 0.95時에 400 MVA 가 必要하다. 따라서 將次火電의 Turbo-Generator 도 同期調相機로서 運電하는 方法에 대하여 技術檢討가 必要하다는 結論이 나온다.

끝으로 言及하고 싶은 것은 超 高壓線路의 線路靜電容量의 影響이 크므로 線路充電時 또는 輕負荷時 發電機의 自己勵磁現象이 發生하지 않도록 並列 reactor 를 設置하거나 또는 發電機臺數를 規定數以下로 줄이지 않도록 留意해야 한다는 點이다.

以上으로서 우선 345KV 超 高壓送電線의 特性一部 그리고 鐵塔設計에 必要한 資料의 計算等에 關한 一次的 檢討를 끝마치고져 한다. 1968. 1. 15~9. 16

參 考 文 獻

1. 400KV 級送電 日本 400KV 級送電專問委員會
2. Electrical Transmission and Distribution Reference Book Westinghouse E. Corporation
3. 電氣工學 Hand Book 日本電氣學會
4. National Power Survey, a report by the Federal Power Comission U.S.A. 1964.
5. 送電線의 Corona 損計算에 關하여 日本電氣學會 技術報告第40號
6. FHU Transmission Projects by Commonwealth Association Inc.
7. The future 380KV French System by E.D.F.
8. 第二次 5個年計劃期間에 있어서의 系統問題 韓電技術部
9. 電氣協同研究 第20卷 第2號 送變電設備의 鹽害對策 日本 電氣協同研究會

學術發表會 開催案内

1969 年度 第 2 回 學術發表會를 오는 8 月 大田地區에서 아래와 같이 開催키로 하였으니 積極參與하여 주시기 바랍니다

아 래

發表論文(抄錄) 提出: 1969. 7. 10 까지 (200 字原稿紙 5 枚)

發表 時間: 30 分程度

開催 日時: 1969. 8. 8(金)~9(土)

開催 場所: 大田 支部

原稿接受處: 서울特別市 中區水標洞 11의 4

大韓電氣學會 長 白