

345 KV 超高壓 送電에 따른 電力系統 運用方案

● 技術報告

徐 亨 烈* · 辛 大 承** · 尹 甲 求***

— 차 례 —

- 1. 序 言
- 2. 系統의 安定度向上
- 3. 短絡電力의 抑制
- 4. 系統電壓과 周波數 維持
- 5. 事故波及에 의한 廣範圍 大停電의 防止
- 6. 結 言

1. 序 言

우리나라에서 最初의 345KV로 設計된 新麗水送電線(新沃川~麗水間)은 75年 9月 15日에 竣工되어 그동안 154KV로 運轉되어 오다가 76年 10月 20日부터 드디어 345KV로 運轉되기 始作하였다. 이에따라 우리나라 電力界에 345KV 超高壓時代의 幕을 열게 되었다.

아울러 12月 19日부터 新蔚山送電線(新沃川~新蔚山間)도 345KV로 運轉하기 始作하였다.

345KV 超高壓系統은 이것을 契機로 해서 順次로 擴大되어 數年後에는 韓國電力系統의 骨格을 이루게 될 것이며, 이에따라 基幹系統運用的 主體도 154KV에서 345KV 超高壓系統으로 漸次 넘어가게 될 것으로 展望된다.

한편 345KV高壓超系統의 運轉은 系統運用面에서 보아 送電能力의 增大와 送電損失의 輕減등 큰 利點이 있는 反面에 다음과 같은 技術的課題들을 隨伴하게 된다.

- (i) 大電力長距離送電系統의 安定度向上 問題
- (ii) 基幹送電系統의 短絡電力抑制 問題
- (iii) 大電力長距離送電系統의 系統電壓과 周波數의 維持 問題
- (iv) 事故波及에 의한 廣範圍大停電의 防止 問題

以下 위와 같은 問題들에 대하여 超高壓系統의 運用에 經驗이 있는 外國의 電力系統運用方案들을 參考로 하여 그의 概要를 記述코자 한다.

2. 系統의 安定度向上

345KV 超高壓系統의 安定度는 送電線의 大容量化와

電源의 遠隔化 및 이에따른 送電亘長의 增大가 主要原因이되어 이제까지의 方案만으로는 相當히 低下하게 된다. 그렇기 때문에 345KV 超高壓系統의 運轉과 더불어 系統의 安定度向上對策이 積極的으로 講究되어야 할 것이다.

一般的으로 送電系統의 安定度向上을 위하여는 定態安定度(steady-state stability)와 動態安定度(dynamic stability) 및 過渡安定度(transient stability)의 增進에 效果가 큰 方案을 摸索하여야 하는데, 具體的으로 다음과 같은 對策들이 講究된다.

2.1 系統 리액탄스의 輕減

(i) 電力機器 리액탄스의 輕減: 發電機나 變壓器의 리액탄스(reactance)를 減할 수 있는대로 작게 한다.

發電機의 리액탄스를 작게 하면 短絡比(short circuit ratio)가 커지고, 大型으로 되며 慣性이 커져서 過渡安定도가 增加한다. 다만 價格이 增加되는 問題가 따른다.

韓國 電力系統에서는 直接接地送電方式이 適用되고 있으므로 單捲變壓器(auto-transformer)를 採用하여, 系統리액탄스의 輕減을 圖謀하고 있다.

(ii) 並列回線數의 增強: 送電線路의 並列回線數를 增加시켜 送電루우트(route)를 增強시킴으로서 系統의 리액탄스를 輕減시키며 同時에 安定度의 向上을 圖謀한다.

(iii) 複導體의 採用: 複導體를 採用하므로써 리액탄스를 20%以上이나 減일수 있고, 코로나(corona) 開始電壓까지도 올릴수 있다. 韓國 電力系統에서는 이미 345KV 超高壓送電線에는 二複導體(twobundle)를 採用하고 있으며, 四複導體(four-bundle)의 採用도 計劃되고 있다.

(iv) 直列콘덴서의 插入: 送電線에 直列콘덴서(SrC; serise condenser)를 插入하여 送電線의 誘導性리액탄

* 正會員: 韓電 系統運用部次長 · 當學會電力系統研究會幹事
 ** 正會員: 韓電 系統運用部 繼電器課長
 *** 正會員: 韓電 系統運用部 給電計劃課長代理

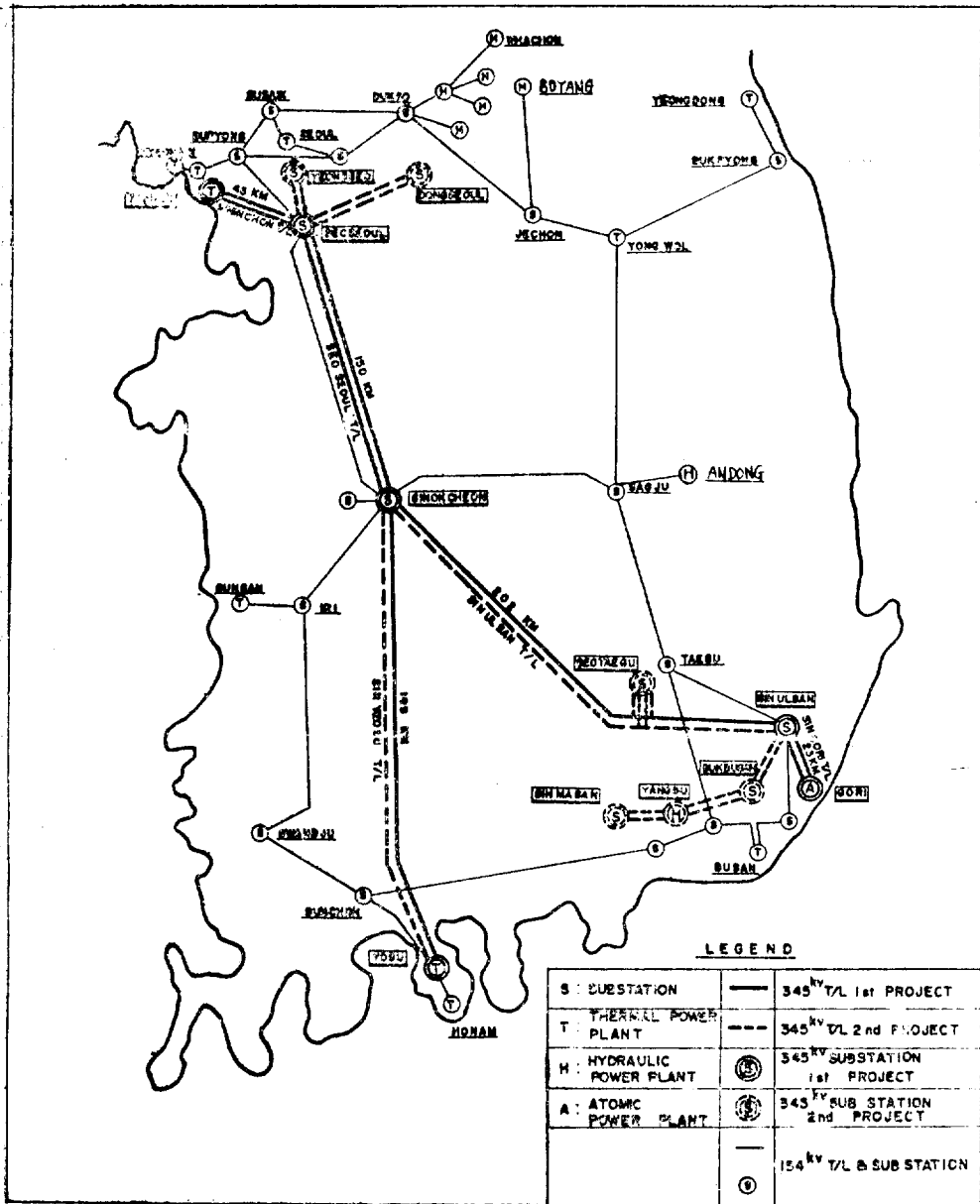


그림 1. 基幹電力系統圖

스(inductive reactance)를 相殺시키므로서 送電線의 互長을 電氣的으로 短縮시켜 安定度を 增大시키는 方式이다.

이 方式은 送電線의 短絡事故時 및 投入時의 콘덴서 에 걸리는 過電壓의 防護對策과 短絡電流의 增大 및 同

期機의 負制動現象, 誘導電動機의 自己勵磁現象, 無負荷變壓器投入時의 分數調波振動問題 등에 대한 保護方式上的 問題點등을 過渡安定도와 關聯하여 考慮해야 할 것이다.

이 方法에서는 補償度, 電壓階級, 送電距離에 따라

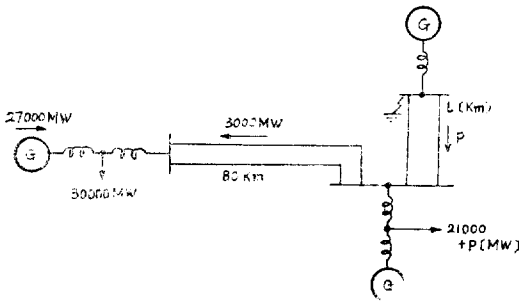


그림 2-a. 計算에 使用된 모델系統圖

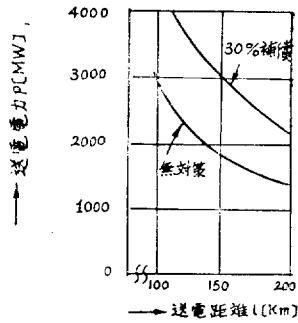


그림 2-b. SrC에 의한 安定度向上效果

서 효과가 다르지만 그림 2-a.系統에서 計算한 例로는 그림 2-b.와 같이 線路리액탄스의 30%를 補償하면 約 50%의 安定度極限電力이 增加되고 있다.

2.2 電壓變動의 抑制

(i) 速應勵磁方式의 採用: 短絡故障의 境遇 發電機는 力率이 낮은 遲相電流를 크게 흘리게 되므로 電機子反作用(armature reaction)에 의하여 端子電壓이 顯著하

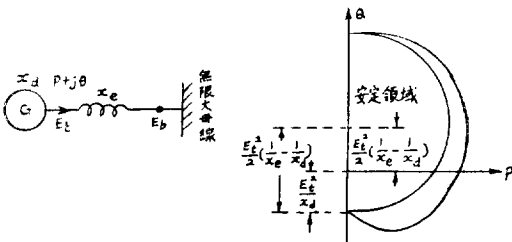


그림 3. AVR 效果를 考慮한 境遇의 安定度限界

게 低下된다. 이때에 勵磁電流를 迅速하게 增加시키면 同期化力(synchronizing power)을 늘리게 되어 安定度를 높이게 된다. 이것이 速應勵磁方式(quick response excitation)으로서 勵磁機의 電壓上昇과 頂上電壓이 크며, 發電機의 電壓이 變動하면, 곧 即應할 수 있는 自動電壓調整裝置(AVR; Automatic Voltage Regulator)를 갖는다. 韓國電力 系統에서는 勵磁電壓의 上昇率 每秒 數百~數千볼트(Volt)에 達하는 速應勵磁方式을 採用하고 있다.

(ii) 中間調相方式(Baum system)의 採用: 線路의 中間에 同期 調相機 C를 設置하여 極限電力을 增加시키는 方式이다. 이때 中間調相機 C가 同期調相機(rotary condenser)일 境遇는 安定極限相差角은 $\theta_{r.c}$ 와 $\theta_{c.m}$ 중에서 어느 한쪽이 되는, 靜電콘덴서(static condenser)일 境遇는 $\theta_{r.c} + \theta_{o.m} = \theta_{r.m}$ 가 定態安定度를 決定하는 相差角으로 된다.

그러나 이 方式은 調相機의 設備容量에 比해 極限電力의 增加가 적어 非經濟的인 境遇가 많다.

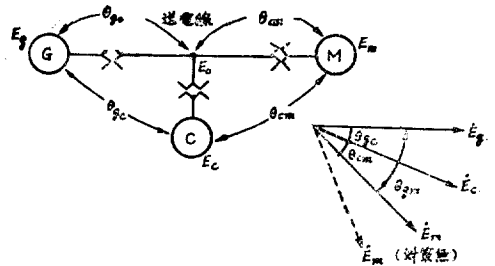


그림 4. 中間調相方式

(iii) 系統의 聯繫強化: 여러 系統을 受電端과 그 밖의 適當한 場所에서 連結시키는 것으로서 그만큼 系統容量이 增大하므로 中間調相機처럼 動作해서 電壓變動이 작아지고 따라서 系統의 安定度가 增進된다.

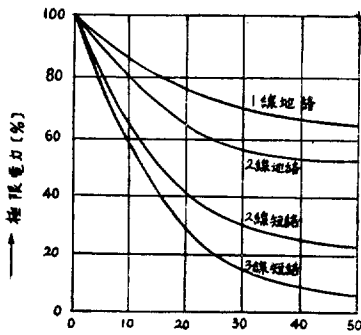
韓國電力 系統에서는 345KV超高壓系統의 初期運轉 段階에서는 短絡電力과 電力潮流가 許容되는 範圍內에서 345KV와 154KV 系統을 루우프(loop)로 運轉하는 것에 의하여 安定度의 向上을 圖謀하고 있다.

2.3 故障電流의 抑制과 故障區間의 迅速한 遮斷

(i) 適當한 中性點接地的 採用: 適當한 中性點接地方式을 採用하여 地絡電流를 적게 한다. 그러나 韓國電力 系統에서는 變壓器의 低減絕緣(reduced insulation) 또는 段絕緣(graded insulation)이 可能하다는 利點과 保護繼電器의 動作이 確實하다는 利點에서 이미 直接接

地方方式을 採用하고 있는바, 地絡電流의 輕減을 위하여는 有效接地(effective ground) 範圍를 벗어나지 않는 限度에서 變壓器의 中性點接地를 制限하는 方案을 採用하고 있다.

(ii) 故障의 高速度除去 : 韓國電力의 345KV 超高压系統에는 半導體式繼電器(static type relay)와 電力線搬送距離方向比較方式의 一次主保護(1st main protection) 및 電磁形繼電器와 電力線搬送 또는 마이크로波(micro wave) 制御언더리치(underreach) 轉送遮斷方式(transfer trip scheme)의 二次主保護(2nd main protection)로 二系列化된 高速度繼電方式을 採用하고 있으며, 3[Hz] 以內에 動作하는 遮斷器를 採用하여 過度安定度의 增進을 圖謀하고 있다. 그림 5.는 故障除去時間을 短縮하는 것에 의하여 얻어지는 送電電力의 增加狀況을 그림 2-a의 系統에서 試算한 것으로서 約 20~30%의 向上이 期待된다.

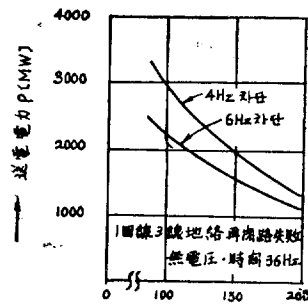


故障繼續時間 [Hz]

그림 5-a. 故障繼續時間과 過度安定度極限電力

(iii) 再開路方式의 適用 : 再開路方式(reclosing)을 採用하면 過度安定度가 크게 增進된다. 再開路方式에는 三相再開路方式에 따라 單相再開路方式이 있는데 單相再開路方式 쪽이 遮斷器는 高價이지만 安定度는 더 높다. 위의 그림 6.은 一回線과 二回線의 送電線에 三相再開路方式을 適用하는 境遇의 電力相差角曲線을 나타낸 것이다. 一回線送電線의 境遇 過度安定極限電力은 相當히 向上되고, 二回線의 境遇는 대단히 크게 增加됨을 볼 수 있다.

韓國電力 系統에서는 345KV 超高压送電線路에 대하여 三相再開路 原則으로 하고 있으나 初期의 一回線構成段階에서는 單相再開路를 適用한다. 그리고 이때의 無電壓時間은 三相再開路인 境遇에는 15~21[Hz], 單相再開路인 境遇에는 2次 아아크(arc) 電流를 考慮하여 35~55[Hz]로 한다.



送電距離 [Km]

그림 5-b. 故障除去時間의 短縮에 의한 安定度向上 効果

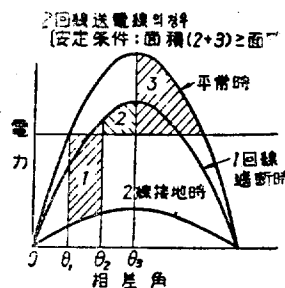
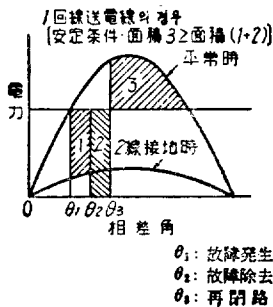
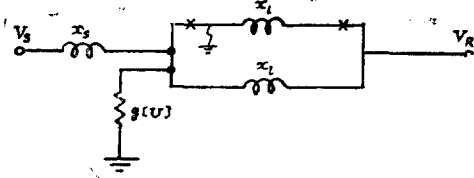


그림 6. 三相再開路方式을 適用時의 電力相差角曲線

2.4 故障時 發電機의 入出力 不平衡抑制

(i) 制動抵抗의 採用 : 送電系統에 短絡事故가 發生하면 發電機의 電氣出力은 瞬時に 大幅으로 減少하지만 機械入力は 바로 減少되지 않기 때문에 入出力의 不平

衡을 招來하여 發電機가 加速되며, 심하면脫調(stepout)될 危險이 있게 된다. 이런 境遇에는 事故發生 直後에 發電機의 端子에 模擬負荷 즉 制動抵抗(SDR; System damping resistor)을 挿入한다. 이것은 發電機의 電氣

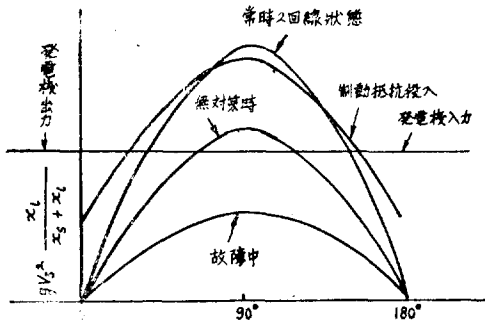


x_1 : 送電線 리액턴스

x_s : 電源 리액턴스

$$P_s = g V_s^2 \frac{x_1}{(x_1 + x_s)} + \frac{V_s V_R}{(x_1 + x_s)} \sin \theta$$

그림 7. 等價回路圖



內部電壓位相角

그림 8. 發電機出力—相差角曲線

出力를 增加시켜 加速을 抑制하므로써 過渡安定極限電力을 높이는 것이다. 위 그림은 2回 線送電線에서 1回 線이 3相故障再閉路失敗時 制動抵抗을 投入하였을 境遇의 過渡安定度の 向上을 表示한 것이다.

(ii) 調速機 動作의 迅速化: 一般的으로 原動機의 調速機는 不動時間(dead time)과 動作時間을 合해서 2~5秒 程度이므로 1~2秒 以內에 決定되는 過渡安定度の 判定에는 보통 無視하지만 調速機의 動作이 빠르면 빠른수록 安定度の 增進에 有效할 것임은 두말할 必要도 없다. 韓國電力 系統에서는 減度가 銳敏한 電氣式調速 機의 採用등으로 安定度の 增進을 圖謀하고 있다.

3. 短絡電力의 抑制

超高壓系統의 增強은 系統의 임피던스를 減小시키 게되므로 系統의 短絡電力을 增大시키게 된다. 이에 對 備하여 韓國電力 系統에서는 適用하는 遮斷器의 遮斷 容量을 154KV 系統에는 5,800~15,000MVA(定格遮 斷電流로 20~50KA) 級으로 하고, 345KV 系統에는 25,000MVA(定格遮斷電流로 40KA) 級으로 하고 있다.

그렇지만 系統構成에 따라서는 短絡電力이 既設遮斷

器들의 遮斷容量을 超過하는 수도 있게 되므로 다음과 같은 短絡電力抑制對策을 講究한다.

3.1 系統의 루우프 開放運轉

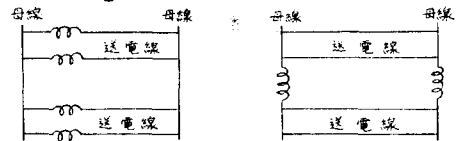
(i) 系統의 分割運轉: 345KV級 變電所 單位로 154 KV系統을 分割하는 系統構成으로 運轉하므로써 系統 의 임피던스를 增加시켜 短絡電力이 輕減되도록 한다.

(ii) 母線의 分離運轉: 變電所의 母線을 分離運轉하 므로써 系統의 임피던스를 增加시키고 이에따라 短絡 電力을 輕減시키는 方式이다. 이 方式에는 母線을 恒 常分離運轉하는 方式과 事故發生時에만 母線을 分離하 는 方式이 있다.

恒常分離하는 方式은 一般的으로 設備利用度의 低下 와 系統運用上의 制約이 따르고 事故時의 對策이 複雜 하다. 事故時母線分離方式은 短絡事故가 發生한 線路 用 遮斷器가 動作하기 전에 母線連絡用 遮斷器를 遮斷 시키고, 故障除去後에는 곧 再閉路시키는 것으로서 正 常時에는 全系統이 우프르 되므로 運用上의 支障은 없 으나 分離遮斷器가 반드시 먼저 開路되어야 하는 責任 이 있고, 母線이 分離되었을 때의 變壓器뱅크(bank)사 이의 負荷配分의 均衡化를 考慮한 保護繼電方式을 要 한다.

3.2 系統 임피던스의 增大

(i) 限流 리액타의 採用: 母線間이나 線路의 速中에 限流리액타(current limiting reactor)를 插入하여 線 路의 直列리액탄스를 크게 하므로써 短絡容量을 輕減 시키는 方式이다. 이 方式은 系統의 安定度を 低下시 키고 電壓變動과 送電損失電力을 增加시키며, 無効電 力供給을 增大시키게 하는 短點이 있다.



直列리액터方式

分離리액터方式

그림 9. 限流리액터의 插入方式

(ii) 變壓器 임피던스의 增大: 變壓器의 임피던 스를 큰 것으로 選定하는 것도 短絡容量을 減少시키 는 한 方案이긴 하나 無効電力損失의 增大, 電壓變動의 增大, 安定度低下등 系統運用上 問題點이 많다.

(iii) 變壓器 中性點接地의 制限: 安定度向上對策에서 도 밝힌 바와 같이 有效接地圈內에 드는 限 가급적 變 壓器의 中性點接地를 制限하여 地絡事故時의 故障電力

을 抑制한다.

4. 系統電壓과 周波數의 維持

大電力長距離超高壓送電線이 事故로 遮斷되는 境遇에는 큰 電壓低下를 超來하게 된다. 뿐만아니라 健全한 送電線에 過負荷를 招來하거나 系統의 安定度를 무너뜨릴 危險이 있을 때에는 電源을 遮斷시키거나 系統을 分離시키는 일까지 있게 되므로 系統周波數가 크게 變動되는 境遇가 있다. 이를 防止하기 위하여 다음과 같은 對策들을 講究한다.

4.1 系統電壓의 維持對策

(i) 運轉電壓의 適正化 : 345KV超高壓系統은 長距離에 걸쳐 大電力을 輸送하게되므로 常時 無効電力의 消費가 크고 送電線이 事故등에 의하여 遮斷되는 境遇에는 10% 程度의 큰 電壓低下를 招來하게 된다. 따라서 345KV超高壓系統의 運轉電壓은 送電損失의 輕減과 發電機의 無効電力의 有效한 活用 및 正常時와 事故時間의 電壓變動을 抑制할 수 있게 適正한 範圍로 한다.

韓國電力系統에서는 345KV超高壓의 初期運轉을 勘案해서 345KV系統電壓은 다소 낮은 電壓으로 運轉해가면서, 超高壓系統의 增強과 運轉經驗의 發展段階에 따라 漸次로 높아져가는 方向으로 한다. 最近의 運轉實績으로 보아 345KV系統의 基準電壓은 系統最高運轉電壓의 92.5~97.5% 즉 335~353KV 範圍에서 別問題없이 安定하게 運轉되고 있다.

(ii) 適正한 變壓器 탭의 選定 : 現在 運轉되고 있는 麗水火力發電所와 新沃川發電所 및 新蔚山變電所의 主變壓器는 無負荷時 탭 切換器具(off-circuit tap-changing switch)만을 具備하고 있다. 따라서 運轉中에 隨時로 탭을 切換할 수는 없으므로 미리 檢討하여 適正한 탭에 整定하여야 한다.

탭의 種類는 No. 1이 $\frac{362}{\sqrt{3}}$ KV, No. 2가 $\frac{353.5}{\sqrt{3}}$ KV, No. 3가 $\frac{345}{\sqrt{3}}$ KV, No. 4가 $\frac{336.5}{\sqrt{3}}$ KV, No. 5가 $\frac{328}{\sqrt{3}}$ KV이다. 使用○에 따라서 系統各所의 電壓과 電力潮流 및 系統損失은 다음 表 2.와 같다.

表 1. 變壓器使用탭別 電壓, 潮流 및 損失 比較表

變壓器使用탭			電 壓				送 電 線 電 力 潮 流						超高壓 및 主要 154 kV 送電 損失 [MW]
							345kV新麗水線 (麗水→新沃川)		154kV順川線 (麗水→順川)		345kV新蔚山線 (新蔚山→新沃川)		
新沃川	麗水	新蔚山	新沃川 154kV	新沃川 345kV	麗水 345kV	新蔚山 345kV	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	
345.0	345.0	345.0	141.2	329.5	346.4	349.1	320.7	84.1	396.4	151.9	89.1	87.6	92.7
336.5	345.0	345.0	142.9	326.4	345.7	348.5	319.9	94.9	397.1	148.5	89.8	97.9	92.5
336.5	336.5	336.5	141.1	320.9	337.4	340.5	314.7	82.2	402.4	154.1	88.1	84.8	93.8
336.5	328.0	328.0	139.4	315.0	329.5	332.2	309.3	70.0	407.7	159.9	86.4	72.3	95.3

— : 現在使用탭.

使用탭의 選定은 345KV超高壓系統의 初期運轉이라는 點을 勘案하고, 루우프 投入時의 電壓差와 無効電力의 循環이 抑制되도록 하기 위하여 모두 于先 No. 4 ($\frac{336.5}{\sqrt{3}}$ KV)로 하고, 將次 超高壓系統의 增強과 運轉經驗의 發展에 따라 送電損失의 輕減과 適正한 潮流의 分布까지도 考慮하도록 한다. 아울러 常時 電壓調整의 圓滑을 期하기 위하여 韓國電力系統에서는 負荷時 탭 切換器(on-load tap-changing switch)를 具備토록 하고 있다. 電所用地의 占有率이 높아지는 것에 對處하여 電力用콘센서의 콤팩트(compact)化를 圖謀토록 한다.

(iv) 分路리액타의 採用 : 超高壓長距離送電線의 初充電은 線路對地間 靜電容量의 影響으로 進相電流를 호르케 하므로 發電機는 電氣子反作用(armature react-

ion)에 의하여 端子電壓이 上昇되고, 送電線은 헤란티 效果(ferranti effect)에 의하여 受電端의 電壓이 上昇되게 된다. 이것을 防止하기 위하여 超高壓長距離送電線에는 分路리액타(shunt reactor)를 設置하여 線路의 靜電容量을 相殺하는 方法을 採用한다.

그리고 數年後에는 都心部에서의 케이블系統의 擴大에 따라 輕負荷時에 送電線의 電力潮流가 減少하면 無効電力損失도 減少하고, 系統의 無効電力이 남아돌게 되어 電壓의 異常上昇이 豫想되므로 分路리액타의 活用範圍가 더욱 넓어 질 것이다.

(v) 調相設備의 適正한 配置 : 基幹系統에서 必要로 되는 無効電力은 電源의 遠隔化와 이에 따른 長距離大電力輸送으로 電力需要 以上으로 增加되고 있다. 이에 따른 調相設備를 系統 各地域의 圓滑한 電壓維持와

送電損失의 輕減 및 將次의 電源開發과 送變電設備增設 등을 綜合的으로 考慮해서 年次的으로 適正한 位置를 選定하여 設置한다. 아울러 調相設備의 必要量이 크게 增大됨에 따라 調相設備의 變

(vi) 電壓無効電力制御의 綜合自動化: 現在의 電壓無効電力制御方式은 發變電所單位로 個別制御方式을 採用하고 있으므로 時時各各으로 變化되는 系統 條件에 即應하여 系統全體로서의 適正電壓 維持와 送電損失의 輕減을 考慮하기에는 險路가 많다. 더욱이 超高壓系統의 擴大 및 케이블 系統의 增大등은 系統電壓制御를 더욱 複雜하게 하고 있다. 따라서 個別制御를 하고 있는 隣接한 發變電所間의 協調制御가 必要하게 된다. 道窮極에는 系統全體의 電壓調整設備을 合理的으로 活用하여 系經內의 必要한 地點마다 適正電壓을 維持시켜 주며 送電損失이 最少가 되게 하는 綜合制御方式의 採用이 要求된다. 韓國電力 系統에서는 將次 導入될 自動給電시스템을 活用한 電壓無効電力 制御의 綜合自動화를 構想하고 있다.

4.2 系統周波數의 維持對策

(i) 調速機運轉의 強化 및 運轉豫備力의 確保: 大電力을 轉送하는 345KV 超高壓送電線의 事故時등에 事故波及을 防止하기 위하여 電源을 遮斷시키다거나 系統을 分離시킬 境遇 需給不均衡으로 周波數가 크게 變動하게 된다. 周波數가 上昇되는 쪽은 發電機의 調速機動作으로 發電力을 減發시켜 異常上昇은 防止되지만 反對로 周波數가 低下되는 쪽은 調速機의 動作이 있어도 發電機의 出力은 定格值 또는 負荷制限裝置(load limiter)의 設定值에 制限을 받기 때문에 큰 周波數低下에 對하여는 火力機의 低周波數運轉限度에 抵觸하는 問題가 있게 된다.

이것을 防止하기 위한 對策으로는 發電機의 調速機 후리運轉(governor free opration)의 強化와 適正量의 運轉豫備力의 確保가 必要하다. 이때 必要한 瞬動豫備力(spining reserve)은 다음의 式으로 表示되며, 系統特性의 向上과 送電線의 容量, 系統分離 및 局地系統事故에 對備하여 될수있는 대로 分散配置시키는 것이 效果의이다.

$$R = \Delta P - \Delta f_s K_L \quad [\%MW]$$

(例) $R = 10\%MW - 1.5\text{Hz} \times 4\%MW/\text{Hz} = 4\%MW$

여기서 R; 周波數低下에 의해 調速機動作으로 增加된 發電力(瞬動豫備力) [%MW]

ΔP ; 事故에 의한 不足電力) 系統의 脫落電力) [%MW]

K_L ; 系統負荷의 周波數特性定數 [%MW/Hz]

Δf_s ; 周波數低下定態值 [%Hz]

$K_L \Delta f_s$; 周波數低下에 의한 負荷電力減少分 [%MW]

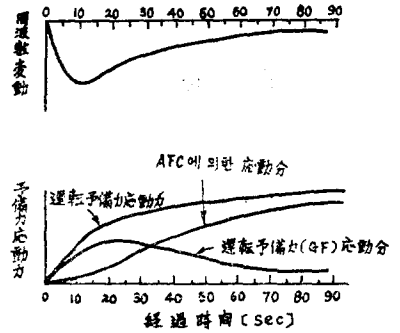


그림 10. 電源脫落時的 周波數低下와 運轉豫備力應動狀況

(ii) 自動負荷制限方式의 適用: 運轉豫備力의 應動에 의해서 抑制할 수 없을만큼 큰 周波數의 低下에 對하여는 一般的으로 低周波數繼電器(under frequency relay)를 使用하는 自動負荷制限方式이 널리 採用되고 있다. 이 방식에는 低周波數繼電器를 負荷引出口 또는 田線에 設置하여 周波數低下를 檢出시켜 미리 定해진 方法에 의해서 負荷를 遮斷하는 個別方式과 周波數低下를 一方의으로 檢出해서 系統各所의 所要負荷를 一元的으로 轉送遮斷하는 集中方式이 있다. 이때 必要한 負荷遮斷量 ΔL 은 다음 式으로 表示된다.

$$\Delta L = \Delta P - R - \Delta f_s K_L \quad [\%MW]$$

(例) $\Delta L = 20\%MW - 4\%MW - 1.5\text{Hz} \times 4\%MW/\text{Hz} = 10\%MW$

이때 負荷制限으로 電力潮流가 한쪽으로 몰린다거나 하여 連鎖的으로 事故가 擴大되는 일이 없도록 해야한다. 그러기 위하여는 系統의 特性, 規模, 地域要求量 負荷制限後의 潮流變化등의 要素들을 그때마다 考慮할 수 있는 計算制限方式을 採用하는 것이 좋다. 이것은 將次導入될 自動給電시스템(Automatic Load Dispatching System)의 活用方案의 하나로 構想되고 있다.

5. 事故波及에 의한 廣範圍 大停電의 防止

345KV 超高壓系統을 中心으로 基幹系統이 大規模로 되고 複雜化되어 감에 따라 比較的 輕易한 事故의 發端이 送電線이나 變壓器의 過負荷→發電機의 脫調→系統의 分離→系統周波數의 異常低下→火力機의 解列→廣範圍大停電事故로 連鎖波及되는 危險이 있게 된다,

이것을 防止하기 위하여 다음과 같은 對策들을 講究한다.

5.1 過負荷保護對策

(i) 系統設計面에서의 對策 : 大電源脫落 및 大電源遮斷時에 影響을 받는 輸送設備의 過負荷容量이 計劃潮流 + 電源脫落到 의한 潮流變化에 견디도록 協調시키며 電源이 過大로 集中되지 않도록 分散配置하여 重負荷大電源送電線이 나오지 않도록 系統構成을 考慮한다.

(ii) 系統運用面에서의 對策 : 事故가 發生하더라도 過負荷가 생기지 않도록 常時運用潮流를 規制하며, 運轉豫備力을 確保하여 事故後의 過負荷를 抑制토록 한다.

(iii) 事故發生後의 對策 : 事故發生등으로 送電線이나 變壓器가 過負荷될 境遇繼電器에 의하여 過負荷를 檢出시켜 發電機의 出力을 抑制토록 信號를 보내게 한다. 다음의 그림 11.은 過負荷에 의한 電線溫度上昇例를 나타낸 것이고, 그림 12.는 鹽水火力發電所의 345KV 新鹽水送電線 遮斷時에 154KV 順川送電線의 過負荷保護方式를 나타낸 것이다.

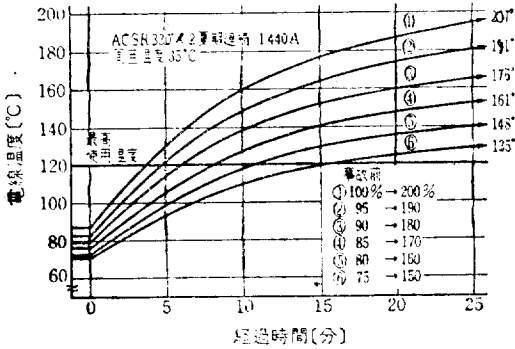


그림 11. 過負荷에 의한 電線溫度 上昇例

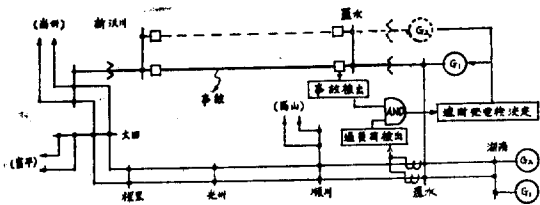


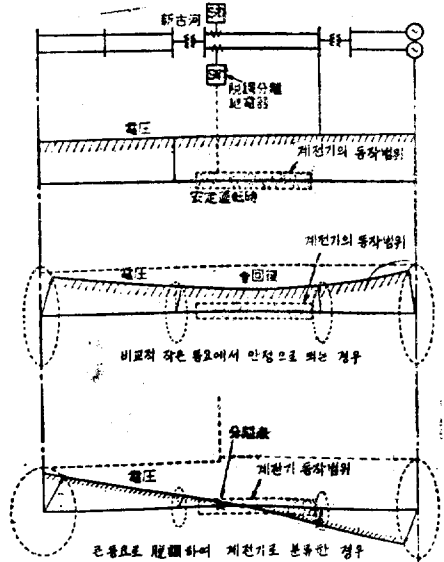
그림 12. 過負荷保護方式圖(例)

5.2 脫調防止對策

(i) 脫調未然防止方式 : 送電線에 事故가 생기면 發電機는 急激한 負荷의 變化에 의한 衝擊(shock)을 받아

60Hz로서 同期運轉되고 있는 發電機間의 速度에 亂調를 發生시켜 脫調(hunting)에까지 이르는 境遇가 있게 된다. 이러한 脫調를 防止하기 위하여는 미리 各種의 脫調事故와 그의 防止對策의 패턴(pattern)을 計算해 두었다가 事故가 發生했을 境遇 그 패턴에 對應시켜 必要한 發電機의 出力을 瞬間遮斷토록 한다. 이에 대한 保護繼電方式은 앞에서 表示한 鹽水火力發電所에 適用한 過負荷繼電方式과 비슷하나 時間的으로 同期가 벗어나기 전에 動作을 完了해야 한다는 條件이 滿足되도록 한다.

(ii) 脫調分離方式 : 로우프로 構成된 電力系統에서 만일 同期가 벗어나는 境遇가 發生하면 脫調繼電器에 의하여 適當한 連系點에서 系統을 分離시킴으로서 事故의 波及을 最小限으로 抑制시키는 방식이다. 다음의 그림 13은 脫調分離繼電器의 動作原理를 表示한 것이다.



큰 動掘로 脫調에서 繼電器로 分離한 境遇
그림 13. 脫調分離繼電器의 動作原理圖

5.3 系統監視와 操作의 自動化

(i) 소프트웨어의 開發 : 앞으로 導入될 電子計算機를 中樞로한 自動給電시스템의 適用業務에 自動發電制御 (Automatic Generation Control; AGC)와 經濟給電 (Economic Dispatch; ED) 프로그램 외에도 平常時의 系統監視 및 事故時의 系統操作의 自動化를 위하여 온 라인過負荷監視(on-line over load monitor) 프로그램과 運轉豫備力監視(reseve monitor) 프로그램 및 信賴度制御(security control) 프로그램 등의 소프트웨어

(software)開發을 包含시킨다.

(ii) 하아드웨어의 信賴度增進 : 系統監視制御業務를 하게되던 制御시스템이 高信賴度로 連續的으로 運轉되어야 한다. 따라서 自動給電 시스템은 自信이 스스로 自己診斷을 할 수 있는 診斷프로그램(diagnostic program)을 具備하고, 異常이 發生하면 곧 適切한 措置를 취할 수 있도록 量要裝置는 二重化하여 後備機能(backup system)을 갖도록 한다. 아울러 情報傳送에 使用되는 通信루우트도 二重化시킨다.

6. 結 言

以上에서 345KV超高壓送電에 따른 系統運用方案에 對하여 概略的인 說明을 하였다. 이들 中에는 이미 우리 電力系統에 適用되고 있는 方案도 있지만 345KV超高壓系統의 運轉에 첫 걸음을 내딛고 있는 우리의 立場에서는 大部分 새로운 分野가 되는 것들이다. 이러한 實情에서 부디 本稿가 關係되는 電力系統技術者 및 斯界의 積極的인 參與를 誘導하는데 動機가 되어, 超高壓系統의 安定運用에 寄與되기를 바란다.

參 考 文 獻

- 1) 宋吉永, 電力系統工學, 東明社, 76年, pp. 21~259, 371~428.
- 2) 太田宏次, 電力系統의 保護制御システム, 電氣書院 75年, pp. 9~214.
- 3) Olle I. Elgerd, Electric Energy Systems Theory, TATA Mc GRAW-Hill, '75, pp. 70~113, 477~532.
- 4) J. Robert Eaton, Electric Power Transmission Systems, PRENTICE-HALL, Inc., '72, pp. 164~187.
- 5) 關根泰次, 電力系統解析理論, 電氣書院, 71年, pp. 285~379.
- 6) 營田秀介, 電力系統의 計劃と運用, 電氣書院, 70年 pp. 306~317.
- 7) 壇野一郎監修, 電力技術デスワブック, 電氣書院, 70年, pp. 1-84~1-86, 4-67~4-83.
- 8) 吉田弘一, 太田宏次, 給電工學, オーム社, 69年, pp. 119~350.
- 9) Stagg & El-Abiad, Computer methods in

- power System analysis, Mc Graw Hill, '68, pp. 365~419.
- 10) 日本電氣學會, 送電工學, 電氣學會, 65年, pp. 238~253, 402~405.
- 11) 韓萬春, 金俊鉉, 送電工學, 一潮閣, 64年, pp. 94~95, 196~220, 395~406.
- 12) Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Westinghouse Electric Co., '64, pp. 233~665.
- 13) 前川辛一郎, 送電工學講義(上) 東京電機大學出版部, 63年, pp. 225~290.
- 14) 李承院, 李允鍾, 電氣機械, 文運堂, 62年, pp. 121-238.
- 15) Russell M. Kerchner, George Fcorcoran, Alternating-Current circuits, John Wiley & Sons, Inc., 4th, '60, pp. 522~548.

<論 文 誌>

- 1) 上之園親佐, 超高壓送電技術과 그 問題, 電氣學會誌, Vol. 25, No. 5 pp. 3~12, 76年.
- 2) 李鍾權, 超高壓送變電事業의 將來問題, 大韓電氣學會, 第1次學術發表會抄錄, pp. 15~21, 76年.
- 3) 辛大承, 尹甲求, 345KV超高壓系統의 運轉에 따른 技術的課題, 電氣學會, 電力系統研究會學術發表會抄錄, pp. 61~90, 76年.
- 4) 徐亨烈, 林柱一, 尹甲永, 電力系統運用의 最適化, 電氣學會誌 Vol. 25, No. 1, pp. 70~73, 76年.
- 5) 辛大承, 超高壓系統의 保護繼電方式, 電氣學會誌, Vol. 25, No. 1, pp. 45~48, 76.
- 6) Tomas E. Dy'Liacco, Real-Time Computer Control of Power Systems, Proceedings of The Ieec, Vol. 62, No. 7, pp. 884-891, 1974.
- 7) Hans Glavitsch, Computer Control of Electric Power Systems, Scientific American, pp. 34~44, 1974.
- 8) 矢部宏, 500KV系統運用의 實際, 電氣計算, Vol. 41, No. 12, pp. 24~29, 73年.
- 9) 吉田弘一, 福西道雄, 青井舒一, 巨大電力輸送に伴う系統, 安定用 制動抵抗裝置의 開發研究について, 日本電氣學會誌, pp. 158~167, 71年.