

우리나라 電力系統의 基本的 構成

鄭 在 吉
(中央大 電氣工學科 教授)

1. 序 言

우리가 널리 사용하고 있는 電氣는 各種 發電所에서 發電되어 送電線路, 變電所, 配電線路를 經由하여 家庭이나 工場의 電力需用 設備에 供給되고 있다

電力은 一般商品과는 달리 電力의 生産, 輸送, 配給, 消費가 순간적으로 同時に 行하여지고 途中에 貯藏할 수 없는 特徵을 갖고 있다. 따라서 供給電力은 發電所에서 需用電力에 應하여 系統 周波數를 一定하게 維持하도록 調整 또는 制御되는 소위 需給바란스 調整이 行하여지며 電壓은 發變電所에서의 無効電力 制御나 變壓器의 無負荷 및 負荷時變의 變更 線路 및 需用家の 電力콘덴서 設置 等に 의하여 調整된다.

또 發電所는 일반적으로 需用家로부터 멀리 떨어져 있으므로 發電所의 大電力을 需用家에 伝送하기 위하여는 電壓이 낮으면 電流가 커지므로 電力損失 및 電壓變動率의 輕減이나 系統 安定度 向上 等の 觀點에서 높은 電壓으로 送電하는 것이 불가피하며 이 높은 電壓은 人畜에 위험성이 따르므로 人家가 密集되지 않은 需用場所 부근에서 일단 電壓을 낮춘 다음 다시 우리가 安全하고 容易하게 使用할 수 있는 電壓까지 낮추어 電氣 使用場所에 이르게 된다.

上記와 같은 電力系統은 供給 信賴度의 向上

技術的, 經濟的인 運用上 점차적으로 擴大 複雜되어가고 있으며 이 系統構成은 여러가지 面을 綜合 檢討하여 決定된다. 그러나 여기서는 電力系統 構成中 다만 電力系統의 基本的 構成을 이루고 있는 우리나라의 送配電 電壓과 發電機 및 變壓器 結線方式을 中心으로 하여 이를 說明하고자 한다.

2. 送配電壓과 機器의 結線方式

1. 發電所

各 發電所에서는 發電機 制作의 經濟性 및 電力伝送의 經濟性 때문에 3相 電力을 發電하고 있으며 發電機의 結線은 Y結線으로 되어 있고 發電機 電壓은 一般的으로 水力系統은 11,000V 火力系統은 從來에는 보통 13,800V이었으나 最近에는 絶緣材料의 發達 및 單位機의 大容量化 추세에 따라 17,000V~24,000V의 것이 使用되고 있다. [仁川 # 3, # 4 및 호남# 1, # 2 등 發電機의 發電電壓은 24kV임]

發電機의 結線을 Y結線으로 하는 理由는 發電機 各相에 誘起되는 起電力中에는 第3 및 그 奇數倍 高調波分을 包含하는 경우가 보통이며, 이때 發電機의 結線을 Δ 結線하면 發電機 卷線에 上記 高調波에 의한 상당히 큰 循環電流가 흘러 發電機가 過熱될 뿐 아니라 그만큼 能率이 低下됨으로 이것을 Y結線 하는 것이 安全하

고 有利하기 때문이다

電壓을 11~24kv로 하는 理由는 川轉機의 絶緣設計上 이 정도의 電壓이 가장 적당하기 때문이다. 또 發電機의 中性點은 電機子 卷線의 地絡保護를 위하여 二次抵抗付 柱上變壓器 (容量 5KVA 程度)의 1次側을 通하여 接地하는 것이 보통이다. (이 方式은 變壓器 2次側의 적은 抵抗으로도 1次側에서 높은 抵抗을 얻을 수 있어 經濟的으로 有利하기 때문에 unit 系統에 適合한 方式이다)

發電所에서 發電電壓은 構內 三相變壓器에 의하여 一般的으로 154KV(특수한 경우 삼척 T/P, 마산T/P등은 66KV)로 電壓을 높인다. 이때 變壓器의 結線은 보통 Δ -Y 結線이 사용되고 있다. 一般的으로 變壓器의 勵磁電流는 鐵心の 磁氣飽和, Hysterisis 現象 때문에 一次側에 正弦波 電壓을 印加하더라도 磁束이 正弦波가 되기 위하여는 多量의 3高調波分을 必要로 하는데 1次, 2次 卷線이 모두 (3卷線 變壓器인 경우에는 3次卷線도) Y 結線으로 하면 3高調波分이 流入하지 못하므로 2次 (또는 3次)의 各相 電壓은 高調波分을 包含하게 된다.

따라서 1次側 各相에 正弦波 電壓을 인가하였을 경우 2차측 各相에서 正弦波 電壓을 얻기 위하여는 변압기 뱅크 양쪽중 한쪽은 반드시 Δ 結線으로 되어야 한다. 또 變壓器가 Y 및 Δ 結線時는 電壓이 높은 쪽을 Y 結線하는 것이 有利하다.

그 理由는,

① 正常時 同一 線間 電壓 (送電電壓)에 대하여 Y 結線은 Δ 結線에 比하여 相電壓이 $1/\sqrt{3}$ 이 되므로 한 卷線 (또는 1대의 單相變壓器)에 걸리는 電壓도 $1/\sqrt{3}$ 이 된다. 따라서 同一 線間電壓에 대하여 Y 結線쪽이 絶緣을 經濟的으로 할 수 있다.

② 또 線電流가 同一한 경우 Y 結線쪽은 Δ 結線에 比하여 $\sqrt{3}$ 배가 되므로 굵은 電線을 써서

卷回緣數를 $1/\sqrt{3}$ 배만큼 적게 할 수 있다. 즉 占積率 (Space factor)을 좋게 할 수 있다.

따라서 Y 結線은 絶緣을 經濟的으로 할 수 있으며 굵은 導體를 使用하므로 機械的으로도 튼튼하다.

③ 또한 Y 結線은 中性點 直接接地 等에 의하여 低減絶緣 및 段絶緣을 行할 수 있으므로 變壓器의 絶緣設計上 매우 經濟的이다.

따라서 發電所 構內의 變壓器는 Δ -Y 結線 (11~24kv/ 154kv) 方式을 取하고 154kv Y 측 (2次側)의 中性點은 直接接地하거나 中性點 되퇴기를 通하여 接地하고 있다.

이 中性點의 接地는 154kv 系統의 1線地絡故障時 地絡故障電流 즉 隣接 通信線에 電磁誘導障害를 일으키는 各 線路의 大地歸路 零相電流를 可能限한 抑制하면서 全 系統이 有效接地 範圍內에 들어오도록 調整하여 各 變壓器의 中性點을 直接接地한다. 一般的으로는 한 發電所 母線에 여러 대의 變壓器가 連結되어 있을 경우에는 그중 容量이 큰 變壓器 한대만의 중성點을 直接接地함으로써 有效接地 조건을 만족시킬 수 있다.

一部 發電所에서는 그 隣近地域의 負荷에 配電을 結하기 위하여 Δ -Y- Δ 結線 (3次側電壓은 3.3kv 또는 6.6kv), 또는 Δ -Y-Y 結線 (3次側電壓은 22.9kv)의 3相3卷線 變壓器를 使用하여 3次側은 配電用으로 利用하고 있다.

2. 1次 (154KV) 變電所

다음 154KV로 傳送된 送電電壓은 154KV 變電所 (1次, 2次 變電所로 區分하는 方式의 概念은 最近 희박하여 졌으나 通常 1次變電所라 함)에서 3相 變壓器에 의하여 66KV로 減弱하며 (22KV로 減弱되는 경우도 약간 있음) 變壓器의 結線方式은 前述한 바와 같은 理由로 Y- Δ 結線方式을 使用하고 있으나 幹線 系統의 154KV

變電所에서는 系統의 連系 및 隣近地域의 配電을 接하기 위하여 보통 Y-Y-△結線 또는 Y-△-Y結線의 3相3卷線 變壓器가 많이 使用되고 있다.

154KV측 Y結線의 中性點은 直接接地 하거나 中性點 피뢰기를 通하여 接地하고 있다. Y-Y-△結線은(例: 대구S/S, 대전S/S등) 1次 154KV, 2차 66KV, 3차 11KV 또는 22KV로서 3次는 從來 調相機等に 接續하는 경우가 많았으며 이것을 使用하지 않을 경우에는 變壓器 内部에 內藏하여 結線하는 경우도 있다.

이 Y-Y-△結線方式은 154KV, 66KV측을 모두 接地할 수 있고 1次, 2차간의 位相變位가 없기 때문에 많이 使用되어 왔다.

Y-△-Y結線方式은(例: 덕소S/S, 명장S/S등)最近 22.9KV 3相4線式이 널리 採用됨에 따라 많이 使用되고 있는 방식이며 1차 154KV, 2차 66KV, 3차 22.9KV로서 1차, 2차는 系統 幹線間的 電力傳送的 融通을 期하고 3次로서 配電하는 방식이다.

Y-△-Y結線의 理由는 1次 154KV측은 最大 電壓側이므로 당연히 Y結線, 3次 22.9KV 측은 3相4線式 配電線路 接續用이므로 또한 Y結線이 되어야 하고 變壓器뱅크 중 적어도 한 쪽은 △結線을 必要로 하므로 2次 66KV 側은 △結線한 것이다.

또한 이 以外에 154KV線路에서 分岐된 配電用 變電所에서는 154KV 送電電壓을 直接 22.9KV 配電電壓으로 昇降하여 需用家에 電力을 供給하는 방식도 많이 使用되고 있다. (例: 안양S/S, 오류동S/S등). 이 경우의 變壓器 結線은 Y-Y-△結線으로 하여 3次 △結線을 變壓器 内部에 內藏하는 方法과 △-Y結線으로 하는 방식이 있다.

△-Y結線은 2次側이 3相4線式 配電線路에 接續되는 關係上 Y結線을 하여야 하므로 不

得이 154KV側을 △結線한 것이다.

Y-Y-△結線方式의 內藏되는 3次側 △結線의 容量은 安定 運轉上 主要量의 30% 以上 되어야 한다. 따라서 이 兩結線 方式의 選擇은 經濟性을 고려하여 決定되어야 한다.

3. 2次 또는 配電用 變電所

154KV 變電所에서 66KV로 傳送된 電壓은 66KV變電所(通稱 2次變電所라 함)에서 3相 變壓器에 의하여 다시 22KV로 昇降하는 경우와 직접 1次配電電壓(3.3KV, 5.7KV, 6.6KV, 11.4KV, 22.9KV)으로 昇降하는 경우가 있다. 1次配電電壓으로 直接 昇降하는 경우 이 變電所를 통칭 配電用 變電所라 한다.

變壓器의 結線方式은 前者의 경우는 △-△結線 또는 Y-△結線方式이 採用되고 있으며 後者의 경우에는 2次側이 非接地 3相3線式 配電線路(電壓 3.3KV, 6.6KV系統)에 接續될 경우에는 △-△結線, 多重接地 3相4線式 配電線路(電壓 5.7KV, 11.4KV, 22.9KV계통)에 接續될 경우에는 △-Y結線方式이 採用되고 있다. 前者의 경우 △-△結線方式은 66KV側 中性點 非接地의 경우, Y-△結線方式은 66KV側 中性點 P. C接地(消弧리액터接地)의 경우에 適用된다.

실제 100KV 以下에서는 Y結線方式이 △結線方式보다 絶緣 設計上 큰 效果를 거두기 어렵고 經濟性의 見地에서 中性點 接地의 必要性이 別로 없는 경우에는 Y結線의 中性點을 Floating 하면 좋지 못하므로 66KV側을 △結線한다. 그러나 실제로 우리나라 66KV系統은 거의 非接地로 되어 있으며 이 경우에는 66KV 母線에 2回線 以上の 線路가 接續되어 있을 경우 線路의 1線地絡 故障時 選擇接地遮斷이 매우 困難하다는 問題點이 있다. 좀더 研究 檢討가 必要하다고 본다.

다음 66KV變壓所에서 22KV로 昇降되어 傳

送된 送電電壓은 22KV變電所(通稱 配電用 變電所라고 함)에서 3相變壓器 또는 單相變壓器의 3相結線에 의해 配電電壓(3.3KV, 6.6KV)로 채강된다. 이때 變壓器의 結線은 2次側이 3相3線式 配電系統에 接續되므로 주로 Δ - Δ 結線 드물게 V-V結線이 使用된다.

4. 超高壓 變電所

電力需要가 急増함에 따라 送電容量이 飛躍的으로 增大하게 되고 發電所 立地의 取得難 및 經濟性的의 追求로 發電機 單位容量이 大形化되어 大電力 長距離 輸送이 불가피하게 되고 또 送電線下 用地의 取得難 等으로 154KV 및 66KV系統만으로는 急増하는 電力需要에 應할수 있는 融通電力을 감당기 어렵게 되어 우리나라에서도 345KV 超高壓 送電系統의 建設이 必然的으로 要望되었다.

우리나라에서는 1974년에 처음으로 超高壓送電線 建設을 着工, 1975年 9월에 서서울S/S ~ 新沃川S/S間, 新沃川S/S ~ 新蔚山S/S 및 新沃川S/S ~ 新麗水S/S間의 超高壓 送電系統이 竣工되어 1975年 9월부터 運轉에 들어갔다.

超高壓 系統은 發電所에서 154KV로 채송되어 傳送된 電壓을 345KV 超高壓 變電所에서 다시 單相 單卷變壓器에 의하여 345KV로 채송되어 各 超高壓 變電所間에 相互 連系되어 大電力 長距離 傳送의 一役을 담당하고 있다.

여기서 主變壓器로서 單相 單卷變壓器를 擇한 가장 큰 理由는 輸送 問題 때문이다. 즉 300MVA 以上이나 되는 大容量 變壓器를 3相으로 한다면 輸送上 매우 困難하기 때문이다. 또 輸送 問題는 물론 事故時의 對備에 關한 問題도 3相보다는 單相이 有利하여 더욱 單卷形을 使用함으로써 重量을 輕量化할 수 있고 體積을 적게할 수 있고 價格을 低廉化할 수 있다. 變壓器의 結線은 前述한 바와 같은 理由로 Y-Y- Δ 結線으로 하여 Δ 結線을 變壓器 内部 內장

하고 1次(154KV) 및 2次(345KV)側의 中性點을 直接接地하고 있다. 3次側 Δ 전선의 電壓으로는 15~23KV間의 電壓을 채택하고 容量은 1次 容量의 20~30%를 擇하고 있다.

5. 配電系統

上述한 바와 같이 1次 配電方式에는 非接地 3相3線式(電壓 3.3KV 및 6.6KV)과 多重接地 3相4線式(電壓 5.7KV, 11.4KV, 22.9KV)이 있다. 여기서 多重接地 配電方式이란 變壓器의 中性點을 直接接地함과 同時에 線路 途中의 여러 곳에서 中性線 및 2次側의 한쪽(또는 中性點)을 함께 接地하는 方式이다.

非接地 配電系統 즉 配電用 變電所의 主變壓器의 2次側을 Δ 結線하는 主된 理由는 主變壓器의 高低壓 混觸故障時 柱上 變壓器의 2次側, 즉 需用家側 低壓線路의 對地電壓을 150V 미만으로 抑制하여 人畜의 위험성을 防止하고 또 隣接通信線의 誘導障害를 輕減시키기 위한 것이다.

더 상세히 말하면 柱上變壓器 2次側은 2種 接地가 되어 있으므로 柱上變壓器의 高低壓 混觸 故障은 1線地絡故障에 해당되며 非接地 系統에서는 1線地絡故障電流는 線路의 充電電流 밖에 흐르지 못하므로 이 地絡故障 電流와 2種 接地 抵抗值와의 積으로 表示되는 低壓線의 對地電位 上昇은 적게 되고 따라서 人畜의 위험성을 輕減시키기 위한 것이다.

3相4線式 多重接地 配電方式은 同一條件에서 3相3線에 비해 所要 電線量은 4/9배 充分하고(但 接地用 銅量은 除外)線間電壓을 3相3線式에 $\sqrt{3}$ 배만큼 높게 取하더라도 常規對地 電壓은 같고 1선지락 故障時 健全相의 對地上 昇은 3相3線보다 크게 높지 않기 때문에 系統의 絕緣費用을 節減할 수 있을 뿐 아니라 柱上變壓器의 低減絕緣 및 段絕緣(실체는 Bushing 節減)을 할 수 있어 最近에 널리 普及 採用되고

있는 방식이다. (本來 이 방식은 3相3線式用의 柱上變壓器等 其他 機器를 그대로 使用하면서 電壓은 3相3線式의 $\sqrt{3}$ 배의 電壓으로 供給하고자 試圖한 方式으로 現在 5.7KV 系統만이 이에 해당된다) 그러나 이 방식의 큰 問題點은 高低壓 混觸故障時나 一線地絡故障時 低壓線의 電位 上昇이 상당히 높게 되고 隣接 通信線의 電磁誘導障害가 크게 되며 平常時 負荷 不平衡 等에 의한 隣接 通信線의 雜音 障害가 크다는 點이다. 이의 解決策은 配電線路의 O. C. B, Recloser, 分岐線 Fuse 等の 保護協調가 充分히 이루어지도록 하여 故障區間을 高速度로 選擇 除去토록 하여야 한다.

上述한 바와 같이 配電用 變電所에서 채강된 1次 配電電壓은 一般的으로 單相 柱上變壓器에 의하여 需用家에서 安心하고 簡便하게 使用할 수 있는 低壓으로 채강된다. 2次 配電電壓은 現在 大部分 電燈은 單相 100V, 動力은 3相 200V로서 別途의 單相 變壓器에 의하여 供給되는 것이 普通이며 動力用 變壓器의 結線은 裝柱의 容易性 때문에 보통 單相變壓器 2대로서 1次 配電方式이 3相3線式의 경우에는 V-V 結線, 3相4線式인 경우에는 逆V-V 結線이 主로 使用되고 있으며 3相4線式의 경우에는 單相 3台로서 Y- Δ 結線도 一部 使用되고 있다.

또한 1次 配電系統이 22.9KV인 경우에는 단상 1단 接地變壓器 3대로서 Y-Y 結線을 行하여 2次側에서 電燈: 單相 220V, 動力: 3相 380V를 供給할 수 있는 소위 3相4線式 220/380V 燈動共用方式이 一部 地域에서 採用되고 있다. 이 방식은 앞으로 우리나라에서 全般的으로 實施할 計劃中에 있다.

3. 結 語

우리나라의 電力系統의 電壓階級은 上述한 바와 같이 상당히 많고 複雜하므로 變壓器 損失(특히 鐵損) 등의 輕減 對策의 一環으로 22KV 送電系統은 점차 없애고 新設地域은 물론 全般的으로 154KV-22.9KV 2段階 送電方式을 採用함과 아울러 2次 配電方式도 全般的으로 220/380V 燈動共用方式을 採用할 計劃中에 있다.

이렇게 될 경우 우리나라 送配電系統의 接地方式은 345KV 超高壓 系統을 위시하여 모두 直接接地方式으로 될 것이다. 그러나 66KV 現存 送電系統은 現在 2次 送電系統의 根間을 이루고 있으므로 既存系統으로 長期間 存續되리라 豫想된다. 또한 5.7KV, 11.4KV 配電系統도 그 Feeder數도 적고 上述한 바와 같은 問題點 때문에 점차 없앨 計劃인것 같으나 3.3KV 6.6KV 配電系統은 長期間 存續되리라 豫想된다

以上을 要約하면 앞으로 우리나라의 送電系統은 345KV 超高壓 系統과 더불어 送電系統의 根幹을 이루고 있는 154KV 系統과 66KV 系統으로 構成될 것이며 1次 配電系統은 3.3KV 및 6.6KV 非接地 3相3線式 系統과 22.9KV 多重接地 3相4線式 系統으로 構成되고 2次 配電系統은 電燈 100V, 動力 200V 系統에서 점차적으로 3相4線式 220/380V 燈動共用 方式으로 轉換될 것이다.

또한 앞으로 10餘年 後에는 急增하는 電力需要에 對應하는 大電力을 長距離 輸送하기 위하여 345KV 送電系統의 擴充과 아울러 現在 檢討中에 있는 750KV 또는 765KV 超高壓 系統이 出現되리라 생각된다.

