變電技術의 變遷

Transition of Substation Technology

南 相 吉

韓電送變電處 變電計劃部長

電力系統에 있어서 重要한 位置를 占하고 있는 變電所는 1986. 8. 30 現在 總 313個所 34,240.5MVA에 達하고 있다.

이제까지의 우리나라 變電設備의 變遷을 더듬어 보면 解放 以後 供給力의 絶對不足으로 인한 設備擴充時期에서 電力系統 規模의 擴大에 依한 高電壓化, 大容量化 推進時期로, 그리고 高度 産業情報化 社會에서 필수적으로 요구되는 電力品質의 高度化 時代로 移行되고 있음을 알 수 있다.

現代社會는 都市化의 進展에 따른 土地効用 價値의 增大 및 投機抑制를 爲한 各種 稅制上의 圧迫等으로 施設用地의 確保難이 深刻하므로 이를 効率的으로 克服하고 電力供給의 高信賴度化 및 地域과의 環境調和를 이룩하기 위해서는 機器 信賴性의 向上 低騷音化 및 縮小隱蔽化, 豫測保全技術의 向上等 變電技術의 發展이 무엇보다도 重要하다고 할 수 있다.

여기에서는 變電設備 및 變電技術의 變遷過程을 뒤돌아 보고 變電技術의 現狀과 課題 및 今後의 動向에 對하여 생각해 보기로 한다.

1. 變電設備의 變遷

解放直後 主로 北韓에 依存하던 우리나라의 電力事情은 1948. 5. 14 北韓의 一方的인 斷電으로 말미암아 極度로 惡化되었다. 여기에 雪上加霜으로 6.25動亂이 勃發하면서 電力設備도 막대한 戰禍를 입게 되어 한때 電力供給이 麻痺狀態에 빠지게 되었다.

따라서 當時는 電力供給能力이 絶對 不足하였으므로 供給信賴度보다는 設備擴充에 重點이 두어질 수밖에 없었으나 그것도 外資導入의 遲延과 內資의 뒷받침을 얻지 못하는 等 事業推進이 순조롭지 못하였다. 그러다가 5.16革命을 맞아 電力三社가 統合되고 電源開發計劃이 推進되면서 變電設備는 飛躍的으로 擴張되어 드디어 1964. 4. 1 電力制限이 全面 解除되기에 이르렀다.

電力制限의 全面解除는 급격한 需要增加를 招來하여 變電設備의 大幅的인 擴充이 時急하였으나 公社의 資金不足과 發電所建設에 事業優先權이 賦與되는 等 諸般 與件上 既存設備를 最大限 活用하는 方向으로 計劃이 樹立되었다.

이에 따라 第1次 電源開發期間(1962~1966)동안에는 主로 66KV設備가 大幅 增加하였다. 그러나 第2次 電源開發期間(1967~1971)에 이르러서는 電源開發事業이 本格化되고 産業施設이 擴張되면서 154KV變電設備가 눈에 띄게 늘어났는데 이는 第1次電源開發期間과는 달리 154KV에서 直接 配電電圧인 22.9KV-Y로 變圧하여 配電하고 不可避한 境遇를 除外하고는 66KV設備擴張을 抑制한다는 方針 때문

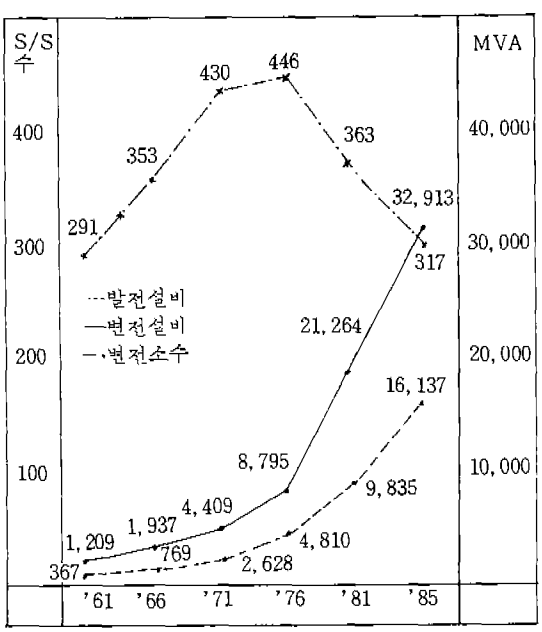
이었다.

第3次 電源開發期間(1972~1976)에는 國內最初로 345KV超高圧設備가 系統에 병입됨으로써 流通電力의 大部分이 高電圧, 大容量의 設備系統을 通하여 供給되고 送配電損失率이 6%水準으로 격감되는 等 비로소 先進國形 電力設備의 形態를 갖추게 되었다.

以後 345KV超高圧設備와 154KV送変電設備가 飛躍的으로 增加하였으며 近來 尖端産業의 發展에 따른 高信賴度 要求와 環境保全問題가 社會的으로 再認識됨에 따라 새로이 登場한 것이 가스絶緣変電所(G.I.S)이다.

GIS変電所는 機器設置面積의 劃期的인 縮小가 可能하고 環境影響을 最小化할 수 있으며 供給信賴度가 높은 새로운 形態의 変電所인데 1980. 10. 28 最初로 運轉을 開始한 以來 現在 345KV 4個変電所 및 154KV 28個変電所가 준공 運轉되고 있다. GIS変電所 建設에 따라 複合機能의 変電所 및 地下変電所의 設置가 擴大되고 있으며 変圧器廢熱利用技術의 確立, 変電所設備의 標準化, 電算化 및 運轉補修의 自動化等 21世紀 安定的인 電力供給을 위하여 노력하고 있다. 그림1은 그동안의 發電設備 및 変電設備의 擴充實績을 電源開發期間別로 對比하여 나타낸 것이다.

〈그림-1〉 발전설비 및 변전설비규모의 변천



2. 変電技術의 変遷

가. 変圧器

1950年代의 変圧器는 Breather(呼吸器)만으로 呼吸하는 開放式이 主流를 이루었으나 1960年代부터 窒素密封式으로 改良되고 이어서 隔膜式 및 絶緣油와 外氣가 完全히 區分되는 無圧密封方式으로 發展하였다(그림2 參照)

國內에서는 1969年에 154KV級 変圧器의 國産化成功에 이어 1978年 345KV 單卷変圧器가 國産開發됨에 따라 絶緣油 및 內部絶緣技術이 비약적으로 發展하였으며 또한 信賴性을 포함한 製造技術의 進步等에 따라 現在 変圧器는 內部點檢이 不必要한대단히 補修性이 優秀한 機器로 되고 있다.

変圧器에 對한 技術의 進步를 內部構成物에서 보면 표1과 같다.

나. 電圧調整器

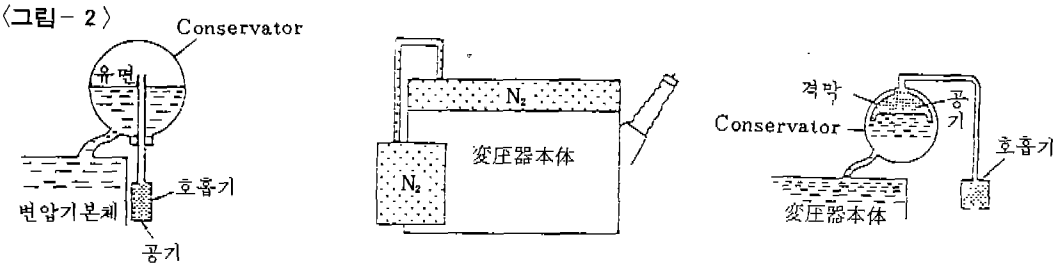
現在 変圧器는 通常 負荷時 TAP切換器(LTC)가 內藏되어 있는데 1940年代까지는 誘導電圧調整器(IVR)를 変圧器2次側에 直列로 接續한 것이 거의 大部分이었다. 이것이 1940年代 後半에 現在의 負荷時TAP切換器를 別置한 負荷時TAP調整器(LRA)가 使用되었다.

1950年代에는 이 TAP切換器를 変圧器內에 內藏시킨 LTC내장형変圧器가 開發되어 現在에 이르고 있다. 현재는 回轉式으로서 抵抗형 限流方式이 一般的이다.

다. 遮斷器

1940年代 後半까지는 油入차단기가 大部分이었는데 1950年代부터는 系統의 高電圧化 및 短絡容量增大에 對處하기 위해 空氣차단기(ABB) 및 碍子形차단기(PCB)로 代置되었다. 공기차단기는 主로 154

〈그림－2〉



(a) 開 放 式　　(b) 隔 膜 式　　(c) 窒素密封式

〈표－1〉 變压器의 變遷

1 段 階	2 段 階	3 段 階	4 段 階
○窒素封入形콘서베타採用 ○리액터식負荷時TAP절환기 採用 ○油入開放形붓싱, Buchhol-tz Ry, 베크라이트 放压板 銅리본쿨라採用 ○手計算, 電解槽Mapping에 의한 設計해석	○無压밀봉형콘서베타採用 ○抵抗式負荷時TAP절환기 採用 二重管式쿨라의 채용 ○油入密封式붓싱, 耐塩 붓싱, 충격油压Ry, 경보接點부放压장치의 採用 ○鐵心脚無볼트화設計 ○手계산, 導電紙매핑解析	○硫化銀, 硫化銅對策 ○轉位電線의 採用, 연속원반 卷線化 ○Press board成型절연물 多用化 ○流動帶電현상의 해명對策 ○油浸紙, 레진紙콘넨서붓싱의 採用 ○Computer의 導入	○耐震, 防災기술의 向上, 確立 ○UHV技術의 確立 ○有限要素法의 도입등에 의한 解析기술의 高精度化 ○自己융착電線의 採用에 依한 機械力의 向上 ○亞鉛질鋼管Cooler의 채용 ○에너지節約, 低騷音化기술의 向上, 確立

〈표－2〉 遮断器의 變遷

1 段 階	2 段 階	3 段 階	4 段 階
○OCB (탱크형, 소유량형) ○空氣차단기의 出現 ○磁氣차단기의 出現 (arc chute는 아스베스토성형) ○3 Cycle형차단기출현	○OCB －소호실에 FRP採用 －多重切블럭System ○空氣차단기 －多重切形구조의 採用 －2 Cycle CB의 出現 ○近距離선로고장의 解明 ○大容量化	○GCB, GIS의 出現 －複压式→單压式puffer형 －애자형→탱크형으로 移行 ○VCB의 出現 ○공기遮断器 (arc chute는 지르콘磁器제) ○電界해석의 진보 CAD도입 ○조작장치의 airless화 (油压, 電動Spring)	○GCB －차단點數의 低減 －Maintenarce free化 ○Design Review실시 ○動的解析기술의 進步 ○操作장치의 밀폐화 ○GIS의 複合化

KV級에 많이 使用되었으나 1960年代 後半에는 優秀한 消弧能力을 가진 SF_6가스를 利用한 가스遮断器(GCB)가 GIS用의 遮断器로 開發適用되었다(표 2)

G. C. B는 當初 複压式으로서 大形이었으나 單压化, 消弧室의 改良, 電界解析技術의 進步에 따라 大幅的인 性能向上과 Compact화가 이루어져 現在에는 GCB遮断點 1點當 遮断容量이 ABB의 約 10倍에 이르고 있다. 이 結果 66~345KV級에서는 GCB가 標準的으로 使用되고 있으며 6~22KV級에서는

1970年代初부터 VCB가 開發 使用되고 있다.

라. 避雷器

피뢰기는 1980年代初 酸化亞鉛(Gapless) 避雷器가 開發·實用化됨에 따라 6~345KV까지 全面的으로 適用되고 있으며 從來의 特性要素에 탄화규소(SiC)를 使用한 Gap부피뢰기는 점차 없어지고 있다. 直列Gap이 없는 酸化亞鉛 피뢰기는 非直線性이 優秀한 素子에 直接 課電할 수 있기 때문에 保護特性, 耐汚損性能이 우수하다.

더우기 ZnO素子技術의 進步에 따라 保護Level의 大幅的인 低減도 可能하게 되었다.

마. 保護, 制御裝置

保護繼電裝置는 1940年代 後半까지 誘導원반形이 大部分이었으나 1950年代에 들어서면서 誘導円筒高速度繼電器가 使用되기 始作하였는데 現在에도 同一方式의 繼電器가 使用되고 있다.

또 1960年代 初에는 트랜지스타를 使用한 정지형 繼電器가 出現하였고 1970年代에는 常時監視 및 自動點檢裝置附 繼電器가 開發되어 信賴性의 向上과 補修, 點檢의 簡素化를 圖謀할 수 있게 되었다. 1980年代 初에는 보다 複雜한 系統特性에 對處할 수 있고 또한 高速度 및 自己診斷機能이 優秀한 Digital 形繼電器가 使用되고 있다.

바. 母線方式

變電所全体의 信賴性을 向上시키기 위하여 系統構成의 單純化와 高信賴性 機器의 開發에 따라 變電所 形態도 時代에 따라 改善되어 왔다.

從來 母線結線은 運用上의 便宜等 때문에 點檢用母線, Bypass개폐기等 開閉器類를 多數 設置하였으나 高信賴性 機器의 採用에 따라 복잡한 結線을 改善, 主回路를 아주 單純化하여 信賴性의 向上을 꾀하고 있다.

3. 變電技術의 現狀과 課題

이제까지 記述한 바와 같이 變電技術은 여러 技術的課題들을 克服하면서 發展되어 왔는데 여기에서는 最近의 現狀과 課題에 對해 略述하기로 한다.

가. 機器의 損失低減

變電機器의 低損失化는 材料의 改良 및 解析技術 製造기술의 進步에도 있으나 赤是 高電圧, 大容量에 依한 것이 가장 크다. 高電圧化, 大容量化에 문제되는 것은 變圧器內 各部에 發生하는 電圧의 低減化와 損失, 局部過熱이다.

鐵心은 從來 方向性규소鋼帶를 使用하였으나 HI-B강판, 박형규소강판, Laser처리鋼板등 鐵心材料의 開發로 鐵損이 低減되고 있다.

또 卷線에 있어서는 漏洩磁束을 적게하는 卷線配置와 적절한 轉位를 適用하는 等의 對策으로 표류손을 低減하며 磁界解析에 의한 Lead 및 金屬구조물의 配置, 자기Shield設計등으로 局部的인 損失이나 過熱이 생기지 않도록 한다.

最近 材料面에서 注目할만한 것이 Amorphous Core인데 이것은 규소강판에 比해 鐵損이 約1/3~1/4程度이기 때문에 變圧器에의 適用이 積極的으로 硏究되고 있다.

또한 補助기기 損失의 低減에 對해서는 變圧器負荷에 따라 冷却器를 制御하는 方法이 實用化 되고 있다. 이것은 冷却器를 2群 또는 3群으로 나누어 負荷에 따라 冷却器 運轉台數를 制御하는 群制御方式과 VVVF(可變電圧, 可變周波數), Inverter를써서 送油Pump나 Fan의 回轉數를 制御하는 可變速제어方式이 있는데 後者가 에너지節約 效果가 크다.

나. 設備의 Compact化 環境保全

高電圧, 大容量化에 따라 機器가 大型化 되므로 輸送制限이나 環境性의 面에서 機器의 Compact 化가 필요하다. 即 從來 機能別로 存在한 各各의 機器를 하나의 裝置로 機能을 集約할 必要性이 높아지고 있다.

例를 들면 GIS는 從來 母線, 遮斷器, 斷路器等을 各其 獨立配置하던 것을 하나의 탱크內에 收納한 이른바 All-in-one type로 하는 複合化가 이루어지고 있다.

그러나 兩母線이 同時에 停止되는 것은 避할 필요가 있고 1回線事故가 他 健全回線에 影響을 주지 말아야 하므로 運轉補修面에서 다음의 條件을考慮하여야 한다.

① 主母線 相互 獨立
② 回線 相互 獨立
③ 回線과 母線 相互 獨立

또 가스흐름과 아크特性의 解析 및 차단現象의기초硏究 그리고 電界解析기술의 向上에 따라 消弧性能의 向上 및 消弧室의 小形化등도 圖謀되고 있다.

變壓器에 있어서는 Mold變壓器 및 가스 絶緣變壓器等의 硏究가 活發히 進行되고 있다. Mold 變壓器는 絶緣耐力이 큰 Epoxy 樹脂로 絶緣하여 小形化시킨 乾式變壓器로서 地下 또는 屋內變電所에 使用되고 있으며 가스絶緣變壓器는 主絶緣을 SF_6 가스로 하고 冷却은 不燃性冷媒인 Fluorocarbone을 卷線에 살포하여 그 증발잠열을 利用하는 變壓器이다.

다. 設備의 綜合自動化

關係된 他部門을 包含한 巨大하고 複雜多岐한 情報를 迅速正確하게 處理하기 위한 設備綜合自動化를 推進하고 있다.

라. 豫防保全 및 點檢補修의 簡素化

機器의 小形化에 依한 機器의 密閉化에 따라 機器內部의 상황을 外部에서 파악하는 外部診斷 기술이 必要하다.

外部診斷기술은 機器가 故障에 이르는 징후를 早期에 發見할 뿐아니라 Trouble 發生時에도 故障個所를 早期에 發見하는 것을 目的으로 하고 있다. 現在는

○機器內部의 코로나放電 自体 또는 코로나放電에 依하여 發生하는 超音波를 檢出하는 技術

○GIS等 밀폐형機器의 內部를 X線 촬영으로 診斷하는 技術

○遮斷器등 조작기구부의 Stroke를 챠트화하여 異常의 有無를 判定하는 기술등이 開發되고 있다.

또 變壓器에 있어서는 油의 채취, 油中가스의 추출分析등의 工程이 自動的으로 이루어지는 油中가스 自動分析장치도 開發되고 있다. 外部진단技術은 點檢의 簡素化, 事故의 미연防止외에 機器의 수명判定에도 크게 기여하는 등 今後 變電技術의 主要한 分野가 될 것으로 생각된다.

4. 今後의 動向

遮斷器는 기초기술이나 數値解析기술의 向上 및 제조試驗기술의 向上, 運轉경험 蓄積을 바탕으로 全三相一括化, 複合化, 絶緣Level의 合理化, 遮斷性能의 向上등 小形化, 高信賴化는 더욱 擴大될 것으로 보인다. 또 最近 눈부시게 發展하고 있는 micro-Electronics나 Opt Electronics의 導入에 따라 보다 高性能의 GIS가 製作되어 變電所의 自動化, 無人化가 促進될 것으로 보인다.

避雷器는 ZnO 피뢰기의 保護Level 低減이 最大課題가 될 것이며 이를 爲해서는 素子特性의 改良을 추진하는 外에 避雷器 放熱구조의 改良에 초점이 모아지고 있다. 또한 光이 가진 絶緣性, 無誘導性, 小形輕量의 利點을 살린 各種 光應用計測技術의 開發이 活發히 추진되고 있다. 이에 따라 直接 光으로 電圧, 電流를 檢出하는 光PT 및 光CT가 實用化될 것으로 보인다.

變電技術은 今後에도 各設備의 高信賴度化를 추진해 갈 것이며 最新의 Digital기술, 光情報에 依한 Network化, Expert System등 Computer에 依한 情報, Data處理기술등 設備운전보수를 總括한 Total System이 구축될 것으로 보인다. *