

韓國最初の 超高壓變電所 設計

宋 聖 顯*

一 次 列

1. 序 言
2. 送電系統의 概要
3. 變電所設計基準
4. 變電所配置
5. 맺음말
6. 附 錄

1. 序 言

韓國에 있어서의 超高壓送電技術의 開發은 지난 6년 동안 重要한 前進을 成就하였다. 韓電은 超高壓送變電設備의 建設을 推進하여 最初の 345kV 送變電設備의 建設工事を 完了하고 지난 10월 20일 歷史的인 運轉開始를 함으로써 韓國에 超高壓送電時代를 到來케 하였다. 이제 345kV 變電所의 設計에 對하여 具體的으로 紹介할 수 있게 되었으므로, 本稿에서는 345kV 新沃川變電所의 設計를 中心으로하여 連關되는 送電系統, 變電所設計基準 및 變電所配置 等を 간추려보고자 한다. 사진 1은 第1段階建設이 完了되어 運轉을 開始한 345kV 新沃川 變電所의 全景이다.



사진 1. 第1段階建設을 完了하고 運轉을 開始한 345kV 新沃川變電所 全景

2. 送電系統의 概要

韓國의 電力需要는 過去 15年間 平均 20.7%로 增加되어왔고 이와같은 需要에 맞추어 發電電力도 增大되어 1976년말에는 500萬kW를 突破하게 되었다. 이와같은 發電設備를 154kV 送電網으로 連繫를 이루고 있었으나 1970년에 韓國電力은 345kV 送電網을 構成하여 既設 154kV 送電系統을 補強함으로써 增大하는 電

力需要에 對處키로 決定하였다. 새로운 345kV 送電網의 構成으로 地域間 電力融通을 爲한 效果的인 連繫를 이룰수 있게 될뿐 아니라 154kV 送電網을 分離할수 있게 되므로 系統의 短絡容量을 制限하는데 貢獻하게 된다. 最初の 345kV 系統은 그림 1과 같으며 新沃川, 新蔚山 및 西서울 등의 3個 變電所와 麗水發電所를 連結하는 588km의 送電線으로 構成된다. 各變電所는 容量 500MVA의 單卷變壓器를 通하여 345kV를 154kV로 遞降하여 各地域의 154kV系統에 連結시킨다. 新沃川變電所는 京仁地區, 嶺南地區 그리고 湖南地區를 連結하는 中心에 位置하여 系統을 制御하며 主變壓器를 通하여 大田地區에 電力을 供給하는 役割을 擔當한다. 新沃川 麗水間과 新沃川-新蔚山間의 送電線은 最初에 1回線만 架線하고 장차 增設할 計劃이며, 新沃川-西서울間의 送電線은 最初부터 2回線을 架線한다. 各線路는 回線當 600MW의 送電容量을 갖고 있다(그림 2 345kV 系統單線回 參照).

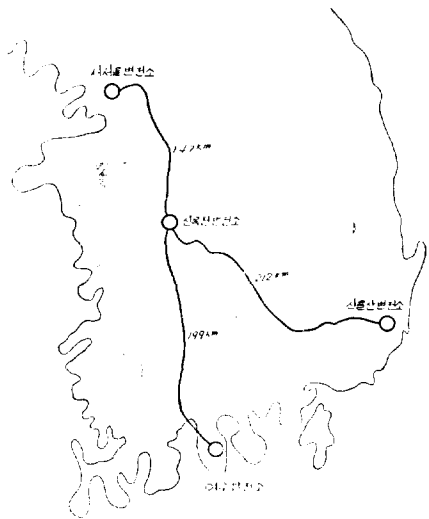


그림 1. 最初の 韓國 345kV 系統圖

* 正會員: 韓電 超高壓建設事務所 變電課 變電1係長(技術士)

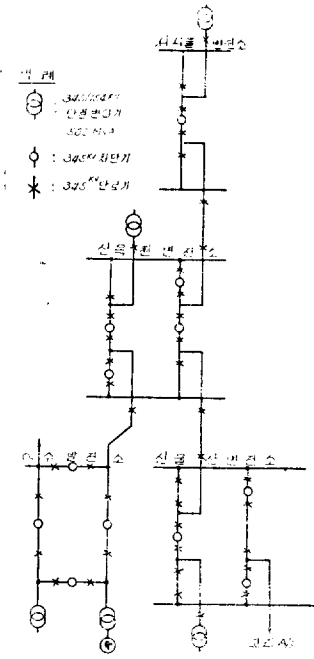


그림 2. 345kV 系統單線圖

變壓器의 內部絕緣에 使用되는 油含沈絕緣紙 같은 것은 低電壓에서와 같은 思考方式으로 絕緣設計가 이루어진다. 그러나 空氣中의 絕緣間隔은 다르다. 雷電壓과 같은 急峻한 波形에 對해서는 印加電壓과 閃絡距離 사이에는 絕緣間隔이긴 경우에도 線形의 比例關係가 있다. 그러나 開閉異常電壓의 領域에서는 電壓이 높아 질수록 氣中絕緣耐力은 떨어져서 超高压用의 碼子選定 때에는 閃絡距離가 大幅的으로 큰 것을 擇하지 않으면 안된다.

그림 3은 雷電壓과 開閉異常電壓에 對한 棒對板 電極間의 閃絡距離를 表示한 것이다. 그림에서 開閉異常電壓의 曲線은 電壓이 높아지면 絕緣間隔을 增加시키면 閃絡電壓은 별로 增加하지 않고 飽和를 이루고 있음을 보여주고 있다.

이것이 超高压의 絕緣設計時 基本的으로 適用되는 思考方式이다(1). 따라서 開閉異常電壓의 크기를 먼저 定하고 이에 對應하는 保護裝置와 絕緣耐力을 考慮하여야 한다.

TNA Study (Transient Network Analyzer Study) 結果는

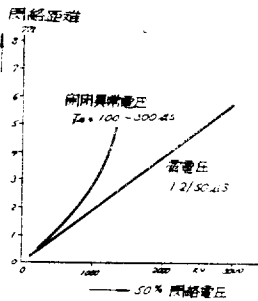


그림 3. 雷電壓과 開閉異常電壓에 對한 棒對板電極間의 閃絡距離曲線

3. 變電所 設計基準

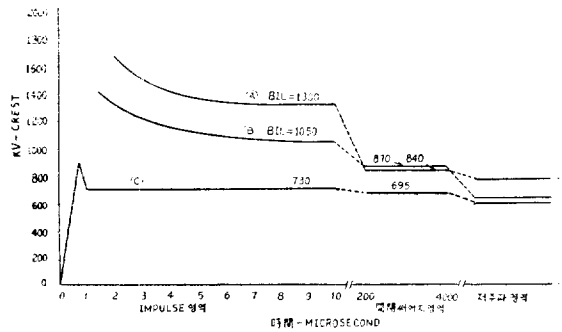
變電所電氣設計基準의 主要領域은 絕緣協調, 母線構成, 母線導體選定 그리고 機器仕樣이다. 以下 이와같은 順序로 略述한다.

3-1. 345kV 絕緣協調

超高压의 領域에서는 絕緣設計가 建設費用에 미치는 影響이 크다. 따라서 安全한 設備을 만들기 爲하여 支拂되는 費用은 經濟性이 充分히 考慮되어야 한다.

遮斷器에 投入抵抗器(Closing Resistor)를 設置함으로써 開閉異常電壓을 2.3 Per Unit(690kV)以下로 抑制할 수 있다는 것을 보여 주었으므로 投入抵抗器付遮斷器를 採擇하였다. 345kV 系統은 直接接地方式을 適用하고 있으며 一線地絡故障時 健全相의 對地電壓은 線間商用 周波過電壓의 80%以下로 豫想되기 때문에 80% 定格의 (電壓으로 表示하여 288kV 定格의) 避雷器를 採擇하였다(2). 機器의 BIL은 變壓器는 1050kV, 遮斷器 및 其他機器는 1300kV 그리고 電壓變成器(CPD)는 1550kV로 하였다.

그림 4는 1050BIL 變壓器, 1300BIL 遮斷器 그리고 288kV 避雷器의 絕緣協調를 나타낸 것이다. 그림에서



- Ⓐ Volt-time特性—1300BIL 遮斷器
- Ⓑ Volt-time特性—1050BIL 變壓器
- Ⓒ ASEA製 288kV 避雷器의 保護 特性

그림 4. 345kV 絕緣協調曲線

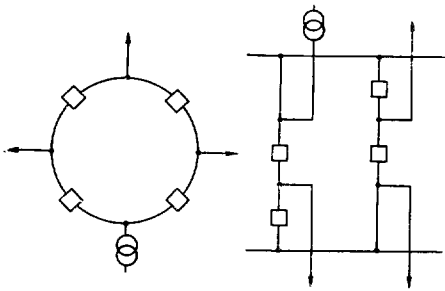
1300BIL 遮斷器의 開閉차지耐電壓은 840kV로써 1050 BIL 變壓器의 開閉차지耐電壓 870kV와 거의 같다. 따라서 이 境選 開閉차지耐電壓이 避雷器의 定格을 決定하는 重要한 要素가 된다(3). 變壓器의 絕緣耐力과 避雷器의 保護基準 사이에는 適切한 裕度를 維持하였다. 即, 變壓器 355kV 捲線의 BIL 1050kV에 대하여는 38%의 裕度를 그리고 開閉차지耐電壓 870kV에 대하여는 25%의 裕度를 두었다. 空氣中의 最少絕緣間隔은 CAI(4)의 勸告值인 相間 2.43m對地間 2.75m로 하였다. 이 數値는 開閉차지電壓의 特性이 斜明됨에 따라 계속 檢討되어야 할 것이다. 雷電壓에 對한 추가적인 對策으로 345kV Post間 및 154kV Post間을 架空地線으로 連結하여 雷擊遮蔽가 되도록 하였다.

3-2. 345kV 母線構成

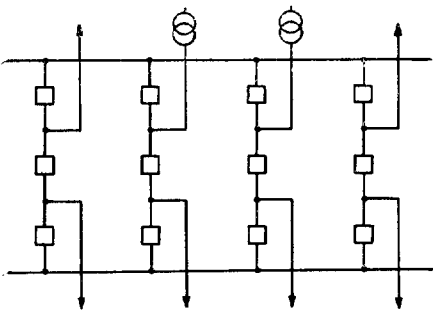
母線構成은 1과 1/2 遮斷器方式을 採擇하였다. 이 방식에서는 모든 線路는 보통 2個의 遮斷器에 依해서 開閉된다. 이 방식의 長點은 變電所의 Feeder 2個마다 1個의 豫備遮斷器가 確保되며, 正常運轉時에 母線상의 어느 部分이 故障나더라도 1回線以上은 停電되지 않음.

다. 1개의 遮斷器를 修理中인 때의 事故時 또는 遮斷器의 遮斷失敗時에도 2回線 以上은 停電되지 않으므로 높은 電力系統의 信賴度를 維持할 수 있는 것이다. 그러나 이 母線方式에서 同一한 發電所 또는 負荷側으로 連結되는 2개의 線路는 同一한 Bay에 連結함으로써 事故時 同時에 停電되는 것을 防止하기 위하여 各 回線을 서로 다른 BAY에 連結시키도록 設計하였다.

建設 初期段階에서는 Feeder를 4回線 또는 5回線程度를 設置할 때까지는 Ring母線方式으로 建設하고 最終적으로 1과 1/2 遮斷器 方式으로 轉換할 計劃이다. Ring母線方式은 똑같은 信賴度를 維持하면서 遮斷器의 所要數가 적기 때문이다. 그림 5는 2段階의 母線構成을 보여주고 있다.



4회선 4차단기 RING모선



8회선 12차단기 1 1/2차단기 방식모선
그림 5. 母線構成方式의 發展段階

3-3. 母線導體選定

母線導體는 電流容量과 機械的 強度를 考慮하여 選定되었다. 主母線의 連續電流容量은 2400A로 하였고 母線導體의 機械的 強度와 母線支持碼子의 Cantilever Strength는 25,000MVA의 短絡電流에 견디도록 設計되었다.

主母線導體로는 200mm×5mm의 알루미늄합금도체 파이프를 使用하였다.

3-4. 變電機器仕樣

韓電이 採擇한 主要變壓機器의 定格을 參考으로 附錄에 列擧하였다. 다음에 超高壓變電機器選定에 있어서 特히 考慮된 事項을 略述한다.

1) 345/154kV 單捲變壓器

經濟的인 理由에서 主變壓器는 單捲變壓器가 選擇되었다. 單捲變壓器는 같은 容量의 2捲線變壓器에 比較하여 크기와 무게가 작아지므로 超高壓用變壓器로는 費用節減의 效果가 크기 때문이다. 變壓器의 容量은 系統容量, 送電線의 容量 및 變壓器用開閉裝置의 經濟性等을 감안하여 500MVA로 하였으며 4個變電所에 同一容量의 것을 設置하여 豫備器共有와 大量發注에 依한 經濟性을 圖謀하였으며 單相式으로 하여 運搬의 便利와 豫備器確保上의 經濟性을 期하였다. 345kV측 및 154kV側이 스타結線이므로 제3차고조파의 회로와 有效接地系를 維持하기 爲한 接地電流의 歸路를 마련해 주기 爲하여 23kV의 3次 델타 捲線을 두었다. 3次捲線의 容量은 主로 1次 및 2次의 接地電流의 크기를 考慮하여 決定되었다. 델타結線을 만들기 爲한 3次 母線은 外部의 異物接觸에 依한 短絡事故가 發生하면 重大한 變壓器事故로 發展할 위험성이 있으므로 絶緣間隔과 碼子를 選定에 있어서 一段階 높은 것을 採決하여 過絶緣設計가 되도록 하였다. 또한 3次 捲線에 Reactor를 內藏하여 3次의 短絡容量을 1000MVA로 制限하였다.

2) 345kV 遮斷器

遮斷容量은 25,000MVA의 것을 擇하여 장차 系統이 發展한 後에까지 使用할 수 있도록 하였다. 送電線의 電流容量은 840A이나 1과 1/2 遮斷器 母線方式에서는 遮斷器의 電流容量은 線路의 電流容量의 150%以上이 되어야 하므로 遮斷器의 電流容量을 2000A로 하였다. 超高壓系統에서의 開閉異常電壓은 線路가 길수록, 系統(Feeding Network)의 短絡容量이 작을수록 높아지며 並列補償이 안된 回路에서는 統計적으로 2.5Per Unit以上을 나타낸다고 한다⁽⁴⁾. 韓電의 系統構成은 初期段階이므로 以上の 모든 條件이 不利하게 作用하여 큰 異常電壓이 發生될 것으로 豫想되었으므로 遮斷器에 投入抵抗器를 附着토록 하였으며 TNA Study는 滿足스런 結果를 보여주었다. 장차 韓電의 超高壓系統의 擴張에 따라서 短絡容量이 增大되고 線路길이 가 짧아지게 되면 遮斷器의 投入抵抗器를 省略하여 費用을 節減할 수 있을 것이다. 그러나 그때에는 TNA Study를 실시하여 開閉異常電壓이 2.3 Per Unit를 초과하지 않음을 確認해야 된다.

3) 保護繼電裝置

345kV系統은 電力系統의 骨格을 이루고 있으므로 故障發生時 全系統에 波及되는 영향이 크므로 保護繼

電裝置도從來보다 한층 높은 성능과 信賴도를 確保해야 된다. 또 1과 $\frac{1}{2}$ 遮斷器母線方式과 單捲變壓器의 採擇等在來의 系統에 없는 새로운 設備과 回路構成을 採用하기 때문에 保護繼電方式도 이들과 調和되도록 되어 있다. 主要한 特色으로는 送電線主保護를 二重化하는 것이다.

1次主保護(1st Main)에는 電力線搬送 距離方向地較方式으로 靜形繼電器를 使用하고 2次主保護(2nd Main)에는 電力線搬送 또는 Micro波 制御 Underreach轉送遮斷方式으로 이에는 電磁形繼電器를 使用한다. 繼電器뿐만 아니라 이에 連結되는 回路인 Battery, CT, PT 및 CB의 Trip Coil等の 全回路를 二重化하여 한 系列에 故障이 發生하여도 또 하나의 系列이 動作하여 保護裝置의 信賴도를 維持하도록 하였다. 또한 高速度再閉路方式으로 하여 過渡安定度を 向上시켰으며 Breaker Failure Protection을 具備하여 遮斷器의 遮斷失敗에 對備하였다⁽⁵⁾.

4) 制御케이블

超高壓變電所에 設置되는 制御케이블에는 過渡異常電壓 및 電流가 誘起될 수 있다. 가장 치명적인 過渡現象은 母線, 線路等を 斷路器로 開閉하거나 特高콘덴사 Bank等を 開閉操作할 때 發生되며, 이때 1次回路에 일어나는 高에너지의 振動現象은 附近의 制御케이블回路에 靜電的 및 電磁的으로 誘導되어 危險한 電壓을 誘起시키고 이것이 制御裝置等に 傳達된다. 이와같은 過渡現象을 抑制하기 爲한 適切한 措置를 取하지 않으면 制御機器가 誤動作을 하거나 破壞될 수도 있다는 것이 많은 調査報告書에 依해서 確認되었다.

이에 對한 對策으로 다음과 같은 方法들이 提示되고 있으며^{(6),(7),(8)}, 이에 依據하여 設計가 實施되었다. 即 모든 制御케이블은 Shield케이블(靜電遮蔽付케이블)을 使用하고 遮蔽層導體를 케이블의 兩端에서 接地網에 連結한다. 모든 制御케이블은 樹枝狀(Radial Circuit)으로 構成한 것. 即, 往路와 歸路로 이루어지는 한쌍의 導體는 同一케이블內의 素線으로 이루어져야 하며 異種의 케이블에 連結되어 무뚝뚝을 이루지 않게 할 것 등이다. 最近 靜形繼電器(Static Relay)의 耐차지設計에 對한 研究가 活潑히 進行되었으므로 繼電器의 차지 電壓保護 레벨과 이의 試驗方法이 樹立되어 있으므로 今後의 繼電器仕樣에 이를 반영하여야 될 것이다.

5) 코로나雜音對策

變電所의 電線, 碼子裝置, 機器等の 高電壓部에서 發生되는 코로나放電(部分放電)에 의해서 電流펄스의 周波數스펙틀은 高周波領域까지 分散되어 高周波成分은 空間에 放射되어 變電設備附近의 一般人的 라디오

聽取에 妨害를 주게 된다.

이와같은 코로나放電에 의하여 생기는 妥害電波 即 코로나雜音은 超高壓系統에서 特히 問題가 된다.

코로나雜音對策으로서는 다음과 같은 方法을 강구하였다. 即, 345kV母線은 알루미늄파이프를 使用하고 耐張母線은 複導體로 하였다. 碼子裝置와 機器端子等에는 코로나 Shield를 附着하고, 母線金具類는 Corona Free Type을 使用하였다.

4. 變電所配置

345kV 新沃川變電所의 Layout은 그림 6과 같다. 이와같은 變電所에 所要되는 敷地는 約 350m×370m이다. 以下 各部分別로 略述한다.

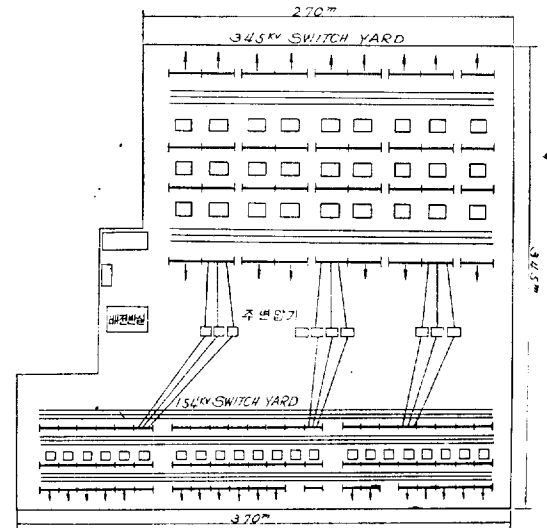


그림 6. 345/154kV 新沃川變電所 Layout

4-1. 345kV Switchyard 配置

345kV Switchyard는 最終目標로 345kV送電線 15回線과 變壓器 3병크를 1과 $\frac{1}{2}$ 遮斷器母線方式으로 收容할 수 있도록 되어있다. 그림에서 보는바와 같이 두개의 支持母線(主母線)사이에서 세臺의 遮斷器가 一렬로 配置되고 各各의 右邊쪽 遮斷器와 中間의 遮斷器 사이에서 Feeder의 引出線路가 나가게 된다. 引出線路는 主母線을 넘어서 밖으로 나간다. 2렬의 Bay사이마다 道路를 내어 補修와 增設에 便利토록 하였다

4-2. 主變壓器配置

主變壓器는 345kV Switchyard와 154kV Switchyard의 사이에 配置하고 主變壓器의 周邊에 차차 並列 캐파시타 또는 並列리액터等を 設置할 수 있도록 餘白을 두었다. 主變壓器는 單相 4臺로써 其中 1臺는 豫備器이며, 新沃川變電所 뿐 아니라 4個變電所의 電壓器都

合 12臺에 對한 豫備器로서 存在한다.

4-3. 154kV Switchyard 配置

154kV Switchyard는 最終的으로 2個의 主母線과 1個의 補助母線을 設置토록 되어 있으며 15回線의 154kV線路를 收容할 수 있도록 되어있다. 母線은 알루미늄파이프支持母線이다.

4-4. 配電盤室配置

配電盤室은 그림과 같이 主變壓器 附近에 適當한 空間이 없으므로 變電所의 隅구리에 位置하고 있으며 이것이 變電所를 制御하는 中央制御所役割을 한다. 이곳에 154kV用 保護繼電裝置를 設置하고 있다. 345kV Switchyard에는 線路 4回線마다 1個씩의 直接制室을 마련하여 保護繼電裝置를 收容하고 그곳에서 直接制御(Local Control)할 수 있도록 함으로써 變電所運轉制御機能의 Block化를 기하고 信賴度를 높이도록 하였다.

5. 맺음말

以上 紙面關係로 主要事項을 中心으로 略陳하였다. 本設計와 建設이 成功的으로 이루어진 것은 電力會社, 產業界 그리고 學界의 많은 人士들이 꾸준한 努力과 研究 그리고 相互間의 協助에 힘입은 것으로 생각한다. 本事業은 韓國初有의 것이므로 設計 및 施工에 있어서 改善되어야 할 점이 많다고 생각한다. 이제 막 搖籃期를 지낸 超高壓送電技術이 이 땅에서 꽃을 피울수 있도록 더욱 많은 聲援과 助言 있기를 바라는 마음懇切하다.

부 록

主要機器의 仕様

主變壓器

- 1) 單相, 單卷
- 2) 3相容量 : 300/400/500MVA OA/FA/FA
- 3) 定格電壓 : 345/154/23kV
- 4) BIL : 1050/650/150kV
- 5) 3次 3相容量 : 66/88/110MVA
- 6) ULTC : 없음
- 7) 1次분장
 - 內部 BIL : 1050kV
 - 注水開閉異常電壓耐電壓 : 870kV, crest
 - Creepage distance : 345inch

遮斷器

- 1) 空氣遮斷方式
- 2) 定格電壓 : 345kV
- 3) 定格連續電流 : 2,000A
- 4) 最大設計電壓 : 380kV

- 5) 定格遮斷容量 : 25,000MVA
- 6) 定格遮斷時間 : 3Hz (60Hz基準)
- 7) 再開路時間 : 21Hz (")
- 8) 注水開閉異常電壓耐電壓 : 840kV, crest
- 9) BIL : 1,300kV
- 10) 投入抵抗器付

遮斷器

- 1) 型式 : 單相 및 3相, 垂直切, Motor操作方式
- 2) 定格電壓 : 345kV
- 3) 最大使用電壓 : 380kV
- 4) 定格連續電流 : 2,000A
- 5) 定格瞬時電流 100,000A
- 6) BIL : 1,300kV
- 7) 注水開閉異常電壓耐電壓 : 800kV
- 8) 乾燥商用周波耐電壓 : 610kV
- 9) 注水商用周波耐電壓 : 525kV
- 10) Creepage distance : 6,300mm
- 11) RI電壓 : 1,000microvolts(220kV L-G인까지 1,000kHz에서)

參 考 文 獻

- (1) Rudolf Kahnt, Technical and Economic Aspects of the Transmission of Energy at Extra-High Voltages, Extra-High-Voltage A.C. Transmission, Siemens p.5.
- (2) 이봉용, 345kV超高壓設備의 絕緣協調에 關한 考察, 電氣會誌, Vol.20-No.6, 1971, p.37.
- (3) Commonwealth Associates·INC, Planning and Design Studies for 345kV Transmission. System of Korea Electric Co., 1969.
- (4) CIGRE Working Groupe 13.02, Switching. Overvoltages in EHV and UHV Systems with Special Reference to Closing and Reclosing Transmission Lines, ELECTRA, No.30.
- (5) 辛大承, 超高壓系統의 保護繼電方式 電氣會誌, Vol.25-No.1 1976 p.45.
- (6) D.A. Gillies, H.C. Ramberg, Methods for Reducing Induced Voltages in Secondary Circuit, IEEE Trans. PAS July 1967 pp.907~916.
- (7) R.L. Hicks, D.E. Jones, Transient Voltages on Power Station Wiring, IEEE Trans. PAS Jan./Feb 1971 pp.261~269.
- (8) R.R. Fillenberg, G.W. Cleveland, R.E. Harris. Exploration of Transients by Switching Capacitors, IEEE Trans. PAS Jan./Feb. 1971.