

次期送電電壓 765KV와 電力機器

鮮于學永
(大明重電機副社長)

序 言

電力의 輸送距離가 길어지고 輸送電力이 커질 수록 經濟的 送電電壓이 높아지는 것은 電力技術의 基本이다.

電力設備에 依해서 構成되는 電力系統은 電力需要의 增大와 더불어 그 規模도 繼續 擴充해 가야한다. 特히 우리나라의 電力消費는 過去 先進國에서 볼 수 없었던 程度로 急激한 增加를 示顯, 負荷의 高密度化, 立地問題의 深刻化, 公害環境問題 등 經濟社會發展에 重大한 轉機에 處해 있다 아니할 수 없다.

따라서 電力設備의 大容量化를 推進함에 있어 送電電壓의 昇壓問題는

- ① 電力需要의 長期的 增加傾向
- ② 設備 耐用期間의 長期性
- ③ 電力系統內의 各設備의 協調
- ④ 社會가 電氣에 依存하는 深度 등을 背景으로
- ⑤ 供給의 信賴性과 經濟性的의 兩面 등을 綜合 檢討하여 決定해야 할 것이다.

日本은 20年 1 step 으르 送電電壓이 上昇하였고 대체로 電力需要가 10年 倍增의 Tempo 伸長한다면, 送電幹線 電壓도 20年 乃至 25年 程度에서 倍增한다는 것이 普通速度라고 한다.

또한 世界의 많은 送電技術者들은 系統擴充에 대해서 次期 電壓 Level은 대체로 1,100kV ~1,200kV 라고 말하고 있으며 이 Level 採用에 관한 各種 研究가 先進國에서 活潑히 지속되고 있다.

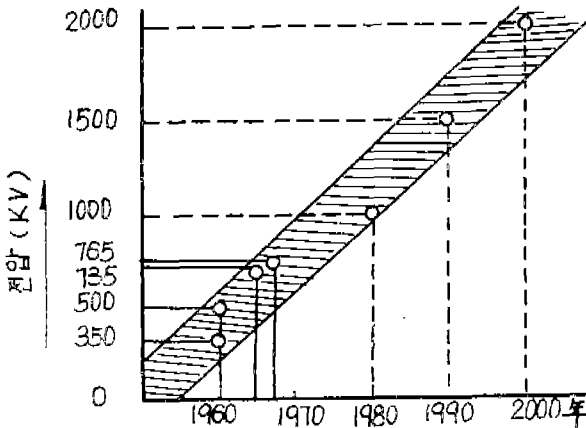
[1] 海外趨勢

超超高壓送電 System 에 對한 研究開發은 各國이 長期計劃을 樹立 猛烈히 推進하고 있다. 한 例를 紹介하던 美國의 最大電力會社인 American Electric Power Co.社(AEP)와 北歐 最大의 重電機器 Maker 인 ASEA 社 (Sweden)는 1,500 kV~2,000kV UHV 送電 System Project 의 第四段階로서 Gas Insulation 變電所의 建設과 試驗, 등을 包含한 5個年 計劃에 着手한다. 이 UHV 送電 System 共同開發은 1969年 開始된 것으로

- ① 第一段階：超超高壓의 基本研究
- ② 第二段階：研究와 併行 各種 機器의 Prototype 製作
- ③ 第三段階：1976年 10月 美國 Indiana 州 South Bend 에 超超高壓送電試驗所와 試驗送電線을 完成하고 있다. 이 試驗所에는 系統電壓 2,200kV 까지 試驗이 되는 設備가 있다.
- ④ 第四段階：今年부터 1982年末까지의 5個年 計劃으로서 最終的인 使用系統電壓數가 決定된

다. ASEA社로서는 Gas絶緣 變電所와 Shunt Reactor의 Proto의 type를 製作하고 이것들을 South Bend의 超高壓試驗所에서 1,800k까지의 電壓을 使用 試驗한다.

圖-1. 2000년까지의 送電電壓推移豫測



또한 가까운 日本의 500kV EHV (Extra High Voltage) 共同開發 經緯를 살펴보면, 1952年 現在 基幹系統인 275kV 超高壓 送電線을 最初로 運轉開始 한 後 下記와 같은 組織을 通해서, 15年 間의 協同研究後 現在의 500kV 超高壓送電을 實用化시켰다.

○1958年 : 社團法人 電氣協同研究會에 電力會社, 學界, Maker, 등 170名으로 構成되는 「400 kV級送電專門委員會」設置

○1962年2月 : 中間報告完了, 次期送電電壓 決

定까지는 못하고 移管

○1963年 3月 : 電力中央研究所內 設置된 「400 kV 級送電電壓特別委員會」에 移管

○1965年 6月 : 次期送電電壓 500kV 로 採用決定

○1965年 10月 : 500kV 送電特別委員會로 改稱.

○1973年 6月 : 500kV 送電開始

[2] 國內現況

發展單位出力의 增大(原子力發電包含) (大都市에의 需要集中, 送電容量의 飛躍的 增大 및 送電線用地的 取得難, 등)으로 154kV와 66kV 系統으로는 融通電力의 擔當이 어려워지므로 超高壓系統의 建設이 必然的으로 要望되었던 것

인바, 以下推進經緯를 概述하면,

○1968年 4月 : 超高壓施設計劃에 對한 美國, CAI社와의 技術用役 契約締結

○1970年 1月 : 345kV 超高壓送變電計劃確定

○1971年 3月 : 送變電外資에 對한 供給契約을 英國, 西獨과 締結

○1973年 12月 : 韓國電力內 超高壓 建設事務所 新設

○1974年 4月 : 345kV 新蔚山送電線을 先頭로 4個變電所 着工

表-1 世界各國의 超高壓送電電壓

(逆轉中인것)

單位 : kV

美	國	—	138	—	161	—	230	287.5	345	—	500	765 (DC 800)
英	國	—	132	—	—	—	—	275	—	400	—	—
西	獨	100	—	150	—	—	220	—	—	380	—	—
日	本	110	—	154	—	187	220	275	—	—	500	—
佛	國	—	—	150	—	—	225	—	—	380	—	735
스	웨	—	132	—	—	—	220	—	—	380	—	—
이	탈	—	120	150	—	—	220	—	—	380	—	—
캐	나	110	—	—	—	—	220	—	345	—	500	735 (DC 900)
소	련	100	—	150	—	—	220	—	330	—	500	750 (DC 800)

注 : 海外諸國의 電氣事業 日本海外電力調査會 發刊

○1975年 9月 : 亘長 189.3km 의 345kV 新麗水 送電線의 着工 16個月만에 竣工.

○1975年 9月 : 345kV 運轉開始 現在 社團法人 電氣機器試驗研究所가 不遠 機能을 發揮할 것이 나 外國과 같이 電力會社, Maker, 學界의 共同 研究體制가 早速 構成되어 次期送電電壓 및 System 에 對한 調査研究가 強力히 推進되어야 한다.

[3] 絕緣設計

絕緣設計의 基本的 諸元은 BIL(基準衝擊絕緣 強度)의 크기에 比例해서 생각할 수 있으나 超 高壓(200kV 이상) 系統이 되면 絕緣設計에 開閉 Surge (Switching Surge) 의 影響이 크게 된다. 500kV 부터 750kV, 또는 1,000kV 로 昇壓하는 경우 絕緣設計面에서는 從來와 全然 다른 樣相을 나타내게 된다. 卽 絕緣物의 치수와 絕緣強度의 關係가 直線狀이 아닌 飽和하는 傾向을 나타내며 開閉 Surge 와 같은 緩波頭長의 Surge 에 對한 絕緣間隔은 Surge 電壓에 單純히 比例하지 않고, 間隔을 넓혀도 耐壓値는 增加하지 않는 飽和現象이 일어난다. 따라서 各部의 絕緣間隔을 定하는에는 이 點을 充分히 考慮해야 한다. 특히 超超 高壓機器는 絕緣 cost 가 크기 때문에 合理的인 設計가 要望된다. 그렇기 때문에 高性能 避雷器의 分散配置, 抵抗投入形 遮斷器의 採用, 高速度遮斷方式의 採用이나 發電機 勵磁의 高速度制御 등을 해서 極力 Switching Surge 를 抑制하고 異狀電壓 倍數를 正常運轉電壓의 2倍 以下가 되도록 充分히 낮게 함으로써 低減絕緣方式이 採用되도록 해야 한다.

絕緣設計上 對象으로 되는 電壓은 下記와 같이 分類된다.

① 雷 Surge(外部의 氣象狀態에서 誘發되는 Impulse Voltage)

② Switching Surge(系統内部의 回路開閉에서

表-2. 500kV 送電線絕緣設計의 例 (標準m)

碍子個數(※표가 決定個數)		
(1) 商用 周波 異狀 電壓	最高許容電壓	525kV
	對地電壓實効值	303kV
	異狀電壓倍數	1.3
	異狀電壓	394kV
	絕緣低下係數	1.2
	所要耐電壓	473kV
	所要 50% Flash-over 電壓	526kV
所要碍子個數	15개	
(2) 開閉 Surge 電壓	開閉 Surge 倍數	2.0
	對地電壓波高值	429kV
	開閉 Surge 電壓	858kV
	絕緣低下係數	1.2
	所要耐電壓	1,030kV
	所要 50% Flash-over 電壓	1,212kV
	所要碍子個數	20개
(3) 汚損 塵埃	商用周波所要耐電壓	394kV
	碍子耐電壓	16kV/個
	所要碍子個數	25※ (280mmφ) (懸垂碍子)
絕緣間隔		
(1)	Arc-horn 間隔	3,200mm
(2)	標準絕緣間隔	3,600mm
(3)	最小絕緣間隔(開閉 Surge)	2,500mm
(4)	異狀時絕緣間隔(商用周波)	1,200mm
(5)	線間絕緣間隔(開閉 Surge)	4,000mm
(6)	線間絕緣間隔(商用周波)	2,050mm

發生되는 開閉過度電壓)

③ 交流(常時 印加되는 運轉電壓 外에 接地事故나 全負荷遮斷時의 持續性異狀電壓을 包含)

以下 500kV 電壓에 對한 絕緣設計를 略述한다.

(가) 雷 Surge 에 對한 絕緣

各主要變壓器마다 設置하는 避雷器에 依해 保護하는 것으로 하고, 避雷器의 保護 Level(例 1,220kV)과 協助를 取한 絕緣 Level(例 主要變壓器 1,550kV, 其他機器 1,800kV)을 選定한다.

(나) Switching Surge 에 對한 絕緣

Switching Surge 는 超 高壓系統의 絕緣設計를 左右하는 큰 要素이다. 이것은 空氣의 絕緣耐力이 이런 種類의 波形的 電壓에 對해서 顯著하게

飽和하는 傾向을 나타내기 때문에 氣中絶緣치수 는 主로 Switching Surge 耐壓面에서 決定된다. 따라서 干先 Switching Surge 를 抑制하는 것이 重要하므로 UHV 系統에서는 投入抵抑付遮斷器 를 使用하여 發生하는 開閉 Surge 電壓의 크기를 正常對地電壓波高值의 2倍以下로 抑制한다.

또 變電所는 遮健器가 萬一 不良動作해서 異狀하게 높은 Surge 가 發生하는 경우도 考慮해서 이런 때에도 支障없는 絶緣設計를 한다. 避雷器 에는 異狀하게 높은 電壓의 Surge 에 對한 保護 能力(例 保護 Level 1,090kV)을 갖게하고, 變壓 機器는 避雷器와 協調가 取해지도록 絶緣 Level 을 選定한다. (例 所要絶緣強度 1,090kV 機器內 部絶緣의 耐壓試驗電壓 1,200kv)

(다) 交流(正常運轉電壓 및 持續性異狀電壓).

使用期間中에 絶緣이 經年劣化, 또는 絶緣破 壞特性이 確率的인 것을 考慮해서, 交流絶緣設 計는 干先 처음 印加되는 時間이 壓倒的으로 正 常運轉電壓에 對해서 充分히 信賴性을 確保토 록 基本設計를 한다. 各種 持續性異狀電壓에 對 해서는 全負荷遮斷發生時 高速 Relay 에 依해서 送電端에서 線路遮斷을 하는 등 抑制對策을 講

究하는 것을 包含, 綜合的인 絶緣協調設計를 實 施한다.

765kV 系統에서 採用해야 할 絶緣設計의 基本 方向은 아래와 같은 事項을 考慮, 實施해야 할 것 이다.

① 現在 運轉中인 345kV 系統의 絶緣設計와 同等 以上の 信賴性을 確保한다.

② 系統의 異狀電壓中, 設備設計치수에 큰 影 響을 미치는 開閉 Surge 를 抑制한다.

③ 送電線에는 充分한 雷遮蔽(차폐)設計를 한 다.

④ 變電所의 絶緣協調는 全面的으로 避雷器를 主軸으로 한다.

⑤ 避雷器의 保護性能을 向上시켜 機器의 絶 緣을 低減시킨다.

⑥ 避雷器의 信賴性을 格段으로 向上시킨다.

⑦ 機器의 絶緣試驗은 새로운 試驗法을 包含 充分한 檢證을 한다.

⑧ 특히 避雷器 性能向上에서는 Cover가 되지 않는 耐交流電壓性能은 部分放電試驗에 依해서 綿密히 檢證한다.

表 3. 世界各國의 765kV 送電線建設費와 用地費의 比率(設計值)
(1970年의 物價水準)

國 別	765kV 建設費	765kV/1,100kV/ 1,500kV 平均建設費의 比	建設費가 占하는 用 地費의 比率
오 스 트 렐 티 아	2,600萬圓/km	1 : 1.65 : 2.6	3~4%
캐 나 다(Consultant)	2,730 "	1 : 1.7 : 2.4	≒0%
덴 마 크	2,910 "	1 : 1.6 : 2.3	10~17%
프 랑 스 (請負業者)	2,950 "	—	3~5%
伊 太 利	2,770 "	1 : 1.58 : 2.4	不 明
日 本	2,050 "	1 : 1.5 : 2.2	(條件에 따라 多數)
스 웨 덴	5,650 "	1 : 1.5 : 2.6	10~50%
스 웨 덴	2,660 "	1 : 1.7 : 2.5	7~4%
英 國 (Consultant)	2,660 "	1 : 1.6 : 2.3	≒0%
(同無水條件)	2,080 "	1 : 1.5 : 2.2	≒0%
美 國 TVA	3,120 "	1 : 1.5 : 2.4	10~20%
BPA	3,960 "	1 : 1.7 : —	10~16%
AEP	5,400 "	1 : 1.7 : 2.1	4~10%

(註) CIGRE 委員會에 提出된 것으로 765kV의 標準的인 建設費를 算出한 것의 1回線設計로 導體數는 4導體 로 되어 있음.

[4] 電力機器

超超高壓用 電力機器는 單純하게 設計만의 進歩로서 信賴性있는 安全한 製品을 얻을수 없는 것으로서, 低濕度室(空調室)新設, 絶緣處理裝置更新, 등의 製造設備의 充實, 材料, 部品の 徹底한 品質管理, Shield Room 新設, 各種 高壓試驗裝置의 充實, 그 위에 優秀한 製造·試驗技術의 開發確立, 등 總合的 技術力이 發揮됨으로써 所期의 目的의 達成되는 것이다. 以下 變壓機器中 變壓器와 遮斷器에 對해서 略述코져 한다.

(1) 變壓器

電力系統의 增大로 變壓器도 점점 大容量化, 高電壓化되어 1,500MVA 級 以上の 超大容量器가 必要하게 되었다. 한편 用地難 등의 問題로부터 機器의 小型化가 要求되며 機器의 故障에 의한 停電事故는 系統의 安定度 뿐만 아니라 社會에 미치는 影響이 深刻한바 高度의 信賴性이 必然 要求된다. 따라서 變壓器의 設計 製作에 對해서는 研究開發, 檢査, 製作, 設計, 現地設置의 全工程에 따른 信賴性의 確認과 保證이 必要하다. 信賴性에 對한 手法은 機器特有의 特殊性에 對한 檢討가 重要하다. 即 Corona, 短絡時의 電磁力, 雷 Surge, Leakage flux에 의한 局部過熱등 外에 騒音과 事故에 對한 防災의 配慮 등 社會的 要求도 加해서 變壓器에 合致한 信賴性向上에의 積極的인 接近이 必要하다.

[가] 技術開發課題

美國에서 初期의 500kv 變壓器는 工場에서의 Trouble, 運轉 1年 以內的 Trouble의 例가 相當히 있었다는 바, 大部分이 Corona 不良, 및 局部過熱에 原因이 있었다 한다. 以下 問題되는 課題를 列擧하면

- ① 超高壓變壓器의 流動帶電現象
- ② 運轉中の Corona 試驗法確立

③ Corona 發生防止

④ 油中 Gas 分析에 의한 先行異狀檢出

⑤ 卷線의 機械的強度 計算法確立

⑥ 電子計算機 및 半導體紙에 의한 卷線端部の Field Mapping

⑦ 局部過熱防止를 爲한 設計計算法確立(冷却條件包含).

上記 列擧한 項目中에서 特히 內部 Corona 發生原因은 다음과 같으며 製作技術, 品質管理에 關聯한 部分이 많다.

[a] 絶緣物中の Air Gap (Void)

[b] 乾燥不充分的 絶緣物

[c] 不純物 또는 異物混入

[d] 金屬部分의 鋭角한 角 또는 Edge

[e] 油隔에 加해지는 過度한 Stress

[f] 高電界中에 Floating 된 金屬部分

[g] 接觸不良

이런 原因을 除去하기 위한 各種 對策이 講究되어야 한다.

[나] 試驗

設計技術, 製造技術의 進歩와 더불어 製品의 最終品質을 保護하기 위한 여러 가지 試驗技術도 進歩하고 있다. 그리고 從來에는 考慮치 않았던 特殊試驗 및 參考試驗이 重大한 意義를 갖게 되었다.

○特殊試驗 및 參考試驗

[1] 絶緣特性

① Corona 試驗(發生位置의 標定 및 判定基準)

② Switching Surge Test

③ Surge Impedance 測定

④ 電位分布測定

⑤ 移行電壓測定

[2] 電氣機械的特性

① Noise Test

② Inrush Current 測定

③ 短絡強度試驗

④ 勵磁電壓電流波形分析

⑤ 固有周波數測定

(2) 遮斷器

超超高壓用遮斷器로서는 (1) 基幹系統이기 때문에 系統에 發生한 事故를 可能한 限 빨리 除去하기 爲해 遮斷時間이 짧아야 할 것. (2) 遮斷開閉 Surge 를 어떤 Level 以下로 抑制할 수 있을 것. 등의 性能이 要求되므로, 遮斷電流의 零點에 同期해서 거의 Arc 없이 遮斷하고, 또 Trip 指令부터 電流遮斷完了까지 1 Cycle 以下라는 遮斷條件을 充足시킬 수 있는 高信賴度의 機器가 開發되어야 한다.

現在 SF₆ Gas 의 優秀한 遮斷性能, 絶緣性能에 着目해서 GCB (Gas Circuit Breakers)의 開發이 各 Marker別로 盛行하게 되었다. 또한 用地面積, 環境問題 등으로 SF₆ GIS(Gas Insulated Substation)用 縮少形開閉裝置가 크게 期待되는 바, GIS에 對해서는 合理性, 經濟性의 追究가 뒤따라 行해질 必要가 있다. 또 短絡容量增大에 對處해서 遮斷容量增大에 不斷한 努力이 必要할 것이다.

다음은 超超高壓大容量 2 Cycle 遮斷器의 技術開發 經緯를 紹介한다.

(가) Puffer Type Gas 遮斷器의 問題點

④ 大容量 2 Cycle 化

- ① 遮斷可能電流가 작다.
- ② Arc 時間이 길다.
- ③ 2 Cycle 遮斷困難
- ④ 驅動力이 크다.
- ⑤ 大電流通電

⑧ 超高壓化

- ⑥ 投入 Surge 의 抑制
- ⑦ 絶緣技術

[나] 技術開發

④ 消孤室

軸方向同期吹付方式의 開發

⑥ 操作用

高速度大容量操作器의 開發

⑦ 自冷式大電流通電

遮斷部, Tank, Bushing의 大電流構造 開發

⑧ 投入抵抗裝置

機械的驅動方式投入時 復歸構造의 開發

⑨ 絶緣技術

Gas Bushing, 絶緣物, 絶緣構造의 開發

[다] 超超高壓, 大容量化

- ① 2 Cycle 遮斷方式의 確立
- ② 自冷式 大電流通電技術의 確立
- ③ 投入 Surge 抑制技術의 確立
- ④ 絶緣技術의 確立

따라서 從來의 空氣遮斷器나 二重壓力形 SF₆ GCB와는 比較가 안 되는 特長을 갖고 있다고 할 것이다.

結 語

모든 工業分野가 그러했듯이, 電力界도 例外는 아니어서, 平均電力伸張率이 10%를 넘게 急進的으로 膨大하는 現業에 置重, 長期的인 研究開發計劃을 樹立할 사이도 없이 超超高壓送電時代를 맞이하게 되었던 것이 우리의 實情이었을 을 솔직히 是認하면서 우리 電氣人은 모두 猛省을 해야 할 것이다. 그러나 345kV 送電運開가 1975年 9月 成功的으로 끝난 이상 超高壓送電運轉上 여러 가지 課題를 하나하나 解決 技術을 蓄積하던서, 早速 次期送電電壓 또는 送電 System의 研究開發에 突入해야 할 段階라고 생각하는 바 「765kV 送電推進委員會」라도 結成 運營해야 할 것이다.