

日本에서의 變壓器의 現況과 將來에 對하여

● 技術 解説

高 橋 寅 夫*

— 차 례 —

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 序 論 2. 送電系統 發變電設備과 變壓器의 仕様 3. 大容量高電壓化와 組立輸送 4. 電力用 變壓器 5. 500kV 單卷變壓器 및 特殊變壓器 | <ol style="list-style-type: none"> 6. 製造技術 및 保守管理 7. 研究關係 8. 將來의 動向 8. 結 言 參考文獻 |
|--|--|

1. 序 論

1952年 超高壓 276kV 系統이 運轉된 이래 약 20年, 이 사이에 電力需要의 增加는 현저하였고, 設置된 變壓器의 容量도 增大一路에 있었다. 1973年 5月에는 日本에서 最初の 500kV 房總線이 運轉을 개시하고, 新技術의 結集에 의한 500kV 變壓器의 製作도 百台以上에 이르렀다. 그러나 同年末의 石油波動 이래, 電力需要의 伸張은 저조하게 되고, 變壓器의 生産低下는 현저하여 變壓器業界는 甚대한 危機에 처하게 되었다. 今후, 技術의 向上은 물론, 日本經濟의 早速한 回復과 成長을 期待하며, 安定成長下에 對處함이 重大한 課題이다.

以下, 주로 電力用變壓器를 中心으로 特殊仕様の 機器 및 Reacto 등을 약간 곁드리면서 變壓器의 現狀과 將來에 對하여 言及하기로 한다.

2. 送電系統, 發變電設備 및 變壓器의 仕様

2.1 發變電設備

日本에서의 187kV 以上の 超高壓送電系統은 富士川一親不和以東이 50Hz系, 以西가 60Hz系로 구성된다. 1973年 500kV系가 運轉開始된 이래, 順次昇壓되어 東京電力은 袖浦, 福島부터 新所澤까지, 關西電力은 紀の川이나 中部, 中國, 九州까지 連系될 것이다. 한편 佐久間周波數交換所에서 275kV系의 50~60Hz間의 連系가 行하여지고 있었으나, 그 외에 275kV連系增強

表 1. 發 電 設 備

(1975年 3月末 現在 單位: MW)

	9電力會社		その他の電氣事業者		電氣事業者		自家用		合 計	
	發電所數	最大出力	發電所數	最大出力	發電所數	最大出力	發電所數	最大出力	發電所數	最大出力
水 力	1,154	15,112	247	7,365	1,401	22,477	140	1,067	1,541	23,545
汽 力	71	54,393	26	10,674	97	65,067	402	9,671	499	74,739
ガスタービン	13	779	1	29	14	808	18	219	32	1,028
內 燃 力	46	182	19	36	65	219	88	768	153	987
原 子 力	4	3,370	2	520	6	3,893	1	12	7	3,905
計	1,288	73,838	295	18,628	1,583	92,466	649	11,740	2,232	104,206

* 日本 株式會社 明電舎 生産本部技師長
本稿는 當學會主催로 開催한 特別學術講演會(1977年 5月 18日·電氣會館講堂)에서 發表된 內容을 간추린 것이다.

用으로서 新信濃變電所가 建設中에 있다. 또한 北海道 本州間은 直流線이 計劃中에 있으며 이들이 完成되면 全系統이 連系運轉된다.

또한 表 1 및 表 2에는 1975年 3月末 現在의 發電設備 및 變電設備의 狀況을 參考로 표시한다.

表 2. 變 電 設 備
(1975年 3月末 現在 單位: MVA)

	9電力會社	電源開發(株)	計
箇 所 數	3,371	4(1)	3,375(1)
變電所出力	213,754	4,036(300)	217,790(300)
調相設備容量	24,895	1,017	25,912

2.2 變壓器에 要求되는 仕様

表 3에는 電力會社別 主要送電電壓을 나타낸 것으로 187kV 以上은 直接接地系統으로 되어 있고 500/275 kV의 變壓에는 單卷變壓器가 採用되지만 2次電壓 154

kV 以下에 있어서는 二卷線 또는 三卷線變壓器가 採用된다.

500kV 變電所用變壓器는 輸送 및 火災의 離隔距離等 때문에 單相器가 採用되나 275kV 以下의 變壓器는 거의 三相器로 中身組立輸送을 前題로 하여 容量이 決定된다.

또한 電力의 質의 向上 및 系統運營의 圓滑化를 위해 變電所用變壓器는 大型器까지도 負荷 Tap 切換裝置를 갖추도록 一般化하고, 한편 都心部에서는 變電所가 Building의 地下에 設置된 Elephant形 變壓器, 冷却塔을 사용한 送油水冷方式이 採用되어 排熱은 Building 暖房의 一部에 利用되는 경우도 있다. 특히 最近에는 防災對策이 엄격해졌다.

또한 最近에 小形輕量化에의 要求가 많고 특히 遮斷器나 斷路器를 組合한 縮小形變電機器도 實用化되어 市街地 및 近郊의 變電에 順次的으로 採用되는 경향이 있다.

表 3. 電力會社別 主要送配電電壓

公稱電壓 (kV)	絕緣階級 (號)	BIL (kV)	交流試驗電壓 (kV)	接 地 方 式	中性點レベル (號)	電 力 會 社											
						北海道	東北	東京	北陸	中部	關西	中國	四國	九州			
500	500L	1,550	750	有効(直接)接地	60 또는 30			○				○					
275	200	1,050	460	有効(直接)接地	80		○	○	○	○	○						
220	170	900	395		60								○		○		
187	140	750	325		60	○									○		○
154	140	750	325	非有効接地	80 또는 100		○	○	○	○	○						
110	100	550	230		100 또는 60										○		○
77	70	400	160	非有効接地	70				○	○	○	○	○	○	○	○	○
66	60	350	140		60	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
33	30A	200	70	非有効接地			○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	30B	170	70														
22	20A	150	50														
	20B	125	50														
11	10A	90	28				△										
	10B	75	28														
6.6	6A	60	22	非有効接地			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	6B	45	16														
3.3	3A	45	16														
	3B	30	10														

그러나 이에 信賴性的 向上이 大前題가 되어 基礎 研究에 입작한 合理的인 設計는 물론 工場의 製造工程 에서부터 現地組立에 이르기까지 品質管理에 徹底를 기할 것이 要求되고 있다.

3. 大容量高電壓化와 組立輸送

3.1 大容量化

電力需要의 현저한 伸張, 變壓器의 信賴度向上, 組立輸送技術의 進歩 및 經濟性 등으로 近年에 특히 大容量化의 傾向이 현저해졌다. 그림 1은 日本에서의 年間 需要電力量과 1MVA 以上の 變壓器出荷實績의 推移를 나타낸 것이다. 變壓器의 出荷實績은 景氣에 큰 영향을 받으며, 1973年의 石油波動期까지는 電力需要의 伸張이 年率 11.8% 以上으로 着實하였다.

다음 그림 2는 變壓器의 容量記錄의 變遷이 나타나 있다. 1950年 以後는 火力發電所用變壓器로서 記錄이 크게 更新되었으며, 1976年 關西電力大飯原子力發電所用 1,240MVA 變壓器가 製作되었다. 또한 그림 3에는 電壓記錄의 變遷이 표시되어 있다. 1951年 275kV 新北陸幹線用變壓器가 製作된 이래, 輸出品으로 記錄을 伸張하다가, 1971年 國內最初の 500kV 送電用單

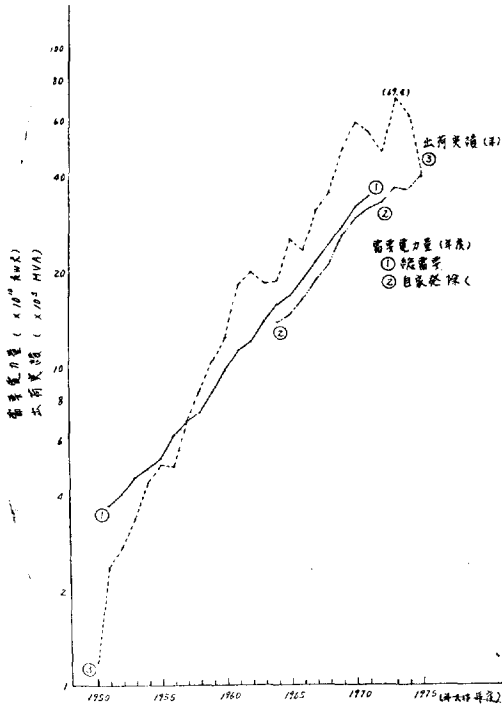


그림 1. 年間需要電力量과 電力變壓器(1MVA 이상)의 出荷實績

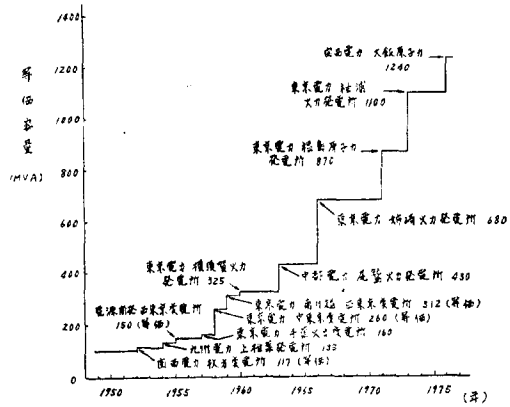


그림 2. 變壓器의 容量記錄의 變遷

卷變壓器를 完成시켰다.

그림 4에는 變電所用 變壓器의 電壓別 unit 容量의 推移가 나타나 있으며, 分路 Reactor 등에 이르기까지 大容量化의 傾向이 뚜렷하다.

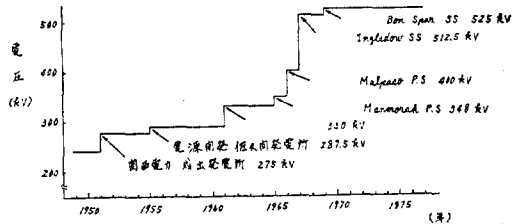


그림 3. 變壓器의 電壓記錄의 變遷

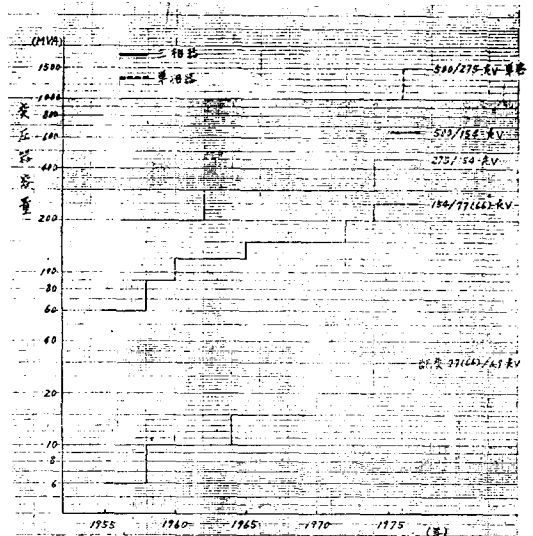


그림 4. 變電所用 變壓器의 電壓別 unit 容量의 推移

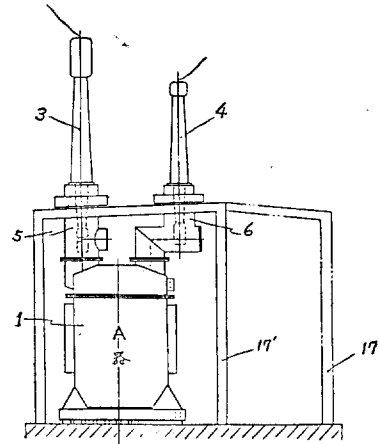
3.2 組立輸送

變壓器信賴性的 確保와 現地組立의 經濟性的의 關係에서 組立輸送이 分解輸送에 比하여 有利한 것은 말할 필요도 없다. 日本의 陸上輸送은 歐美諸國에 比해서 一般적으로 重量, 寸法制限이 엄격하여 大型器는 거의 Bushing, Conserva 및 冷却器 등의 付屬品을 분리시켜 本體만 窒素封入하여서 輸送한다.

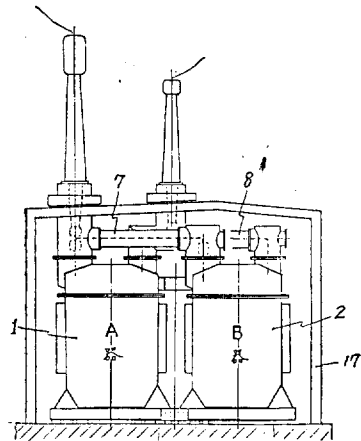
現在 陸送의 最大荷重은 貨車로 280t, Trailer로 600t으로 되어 있으며 특히 後者에서는 道路橋梁의 制限을 엄격하게 받는 곳이 많다. 또한 그림 5에는 日本 國有鐵道의 輸送限界寸法이 표시되어 있는 바, 最大高 4,250mm, 最大幅 3,600mm로 되어 있으나 Curve에 의한 偏倚때문에 幅寸法은 상당히 縮少된다. 代表的인 大型特殊車에는 低床式, 落込式 및 吊掛式 등이 있으며, 이의 順序로 輸送限界를 有效하게 利用할 수가 있다. 이와 같은 大型貨車의 出現으로, 變壓器技術의 開發에 의한 3相器의 경우 落込式으로 154kV 150MVA, 吊掛式으로 275kV 450MVA가 組立輸送이 가능하게 되었다.

또한 특히 輸送限界가 엄한 경우에는 變壓器本體를 3分割해서 輸送하여 現地에서 組合하는 方法을 택한다. 이는 一體型에 比하여 經濟的인 難點이 있으나 分割器間을 Duct 등으로 接合하면 信賴性이 一體型과 同等해 질 수 있다는 점에서 500kV器에도 實用되어 1,500/3MVA器가 輸送되었다.

또한 最近에는 그림 6에 표시한 바와 같은 1/2 容量의 3相器 2台를 現地에서 組合하는 새로운 分割方法도 開發되었다. 이 方式은 變壓器의 信賴性確保, 投資効率上 또는 輸送上 더우기 現地作業의 省力化 등등의

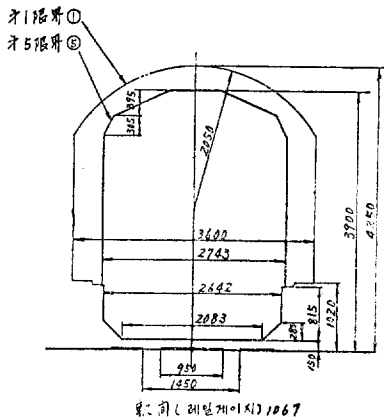


(a) A器單獨運轉의 경우



(b) A器+B器運轉의 경우

그림 6. 特殊分割形三相變壓器



電機(레전제이시) 1067

그림 5. 日本國有鐵道의 輸送制限方法

여러가지 長點이 있으며, 특히 低經濟成長時代에 適合한 方法으로 注目되며, 이미 東京電力京浜變電所 275 kV 450MVA 變壓器등에 採用되었다.

大容量火力이나 原子力發電所의 경우에는 Post crane or Floating crane으로 船積하여 海上輸送이 되는데, 輸送上의 制約은 적다. 3φ 1,000MVA 級變壓器의 輸送重量은 600t 程度이다.

4. 電力用變壓器

4.1 小型輕量化

變壓器技術의 進歩는 단순하 限界容量變壓器에 대한 輸送이나 短絡等의 問題를 解決하는 것만이 아니고 鐵心, 卷線 및 絕緣등에 새로운 분야를 開拓하여 變壓器

의 성능을 向上시키고 동시에 小型輕量化로 經濟的인 製作을 행하는데 있다. 表 4는 超高壓變壓器 및 配電變電所用變壓器의 新舊比較例를 표시한 것이다. 容量은 倍增되고 있으나 그 비율로 重量, 寸法은 增加되지 않으며, 10年間的 進歩가 꽤 큼을 알 수 있다.

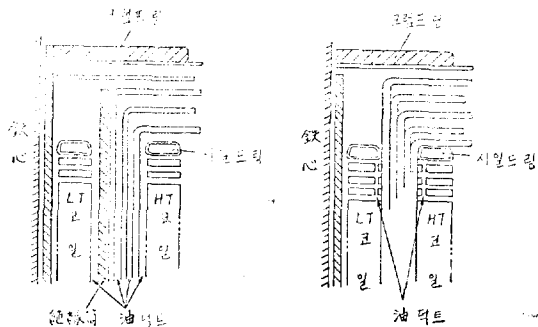
4.2 鐵心

鐵心材料로서의 方向性珪素鋼板이 國産化된지 이미 25年, 그 동안 特性은 크게 改善되어, 變壓器의 小型化와 特性向上에 裨助한 效果를 올리게 되었다. 또한 最近에 鋼帶自體의 表面被膜의 改良에 따라 高磁束密度에서의 磁氣特性이 우수하여 騒音의 原因이 되는 磁歪가 적은 Drient core (Z-9H 以上)가 開發되어 美國에 逆輸出되는 정도로 成長하였다.

鐵心은 M社 이외에는 전부 內鐵型으로, 輸送高壓문에 3φ 200MVA級은 3脚에서부터 5脚鐵心까지의 경우가 있다. 接着鐵心이나 Bind 鐵心 등에 따라 구멍내는 加工의 廢止도 점차 大型器에 적용되고 있으며, 層間絶緣의 強化, 鐵心起治具 등의 添用에 의한 加工歪의 減少等과 함께 鐵心特性은 대단히 向上되고 있다.

4.3 卷線 및 絶緣構造

超高壓卷線으로서는 各製造者獨自의 製作技術과 함께 雷 Impulse 特性이 좋고 短絡機械力에 강한 各種絶緣方式(外鐵型 Surge proof卷線, 無振動多重圓筒卷線, 高直列容量卷線 및 C-C Couple用 Sheald 付圓板卷線等)이 採用되어 絶緣方式의 合理化와 함께 寸法의 縮少와 信賴性의 向上을 도모하고 있다. 例컨데 그림 7에 表示한 바와 같이 高低壓間의 主絶緣構造는 종래



(a) Barrier絶緣方式 (b) 充填絶緣方式
그림 7. 主絶緣構成圖



그림 8. 轉位導體

Barrier 絶緣方式이 採用되고 있었으나 誘電率이 낮은 기름에 平均의 1.5倍 가까운 電壓이 걸리는 缺點이 있었다. 最近에는 充填絶緣方式이나 狹油間隙에 의한 기름의 絶緣特性의 向上을 有效하게 이용한 構造가 채택되고 있다. 한편 漂遊損低減을 위하여 轉位導體가 開發되어, 大容量器의 多重圓筒卷線에는 거의 사용되고 있다. 이것은 그림 8에 圖示한 바와 같이 數~十數本の 導體를 100mm 前後의 Pitch에서 轉位하고 있다. 따라서 卷線中에 특히 轉位를 필요로 않는 導體本數를 減함으로써 點積率을 低下시키지 않고 漂遊損의 增加를 억제할 수 있다. 또한 大容量器에는 卷線內에 기름을 強制循環시킴으로서 冷却效果의 向上을 도모하고 있으나, 특히 最高點溫度에 대하여 충분히 檢討하여 中身構造를 포함한 漂遊損에 의한 局部加熱防止에 노력하고 있다.

4.4 負荷時 Tap 切換方式

電力의 質的要求와 負荷時 Tap 切換裝置의 信賴度의 向上으로 最近의 送配電變壓器는 대부분 負荷時 Tap 切換裝置를 설치하였다. 그러나 高電壓大電流의 경우, 抵抗式이 대단히 有利하기 때문에, 高壓中性點 直接切換方式이 標準으로 되고, 輸送 및 耐鹽害로 埋入形이 거의 대부분이다. 특히 信賴度의 向上과 保守의 簡素化의 要求로 電氣적으로는 20~30萬回, 機械적으로는 80萬回 以上の 切換性能試驗이 課하여져 活線淨油裝置의 付屬과 함께 負荷時 Tap 切換裝置의 性能을 一新했다.

또한, 變壓器의 大容量化에 따라 Tap 切換器自體의 電流容量의 큰 것이 개발되어 오고 있으나, 變壓器卷線의 接續方法과 함께 Tap 切換器 2台 내지 3台를 並列 接續하여서 使用하기도 한다. 이 경우 Tap 切換器간의 分流가 均等히 되도록 共通鐵心に 嵌은 分流器를 통하여 電流를 2분하여 並列切換하는 方法과 卷線自身을 2~3本の 並列導體로 감아, 그 사이에 Impedance를 갖게하여 각각의 Tap 切換器에 接續하는 경우가 있다. 또한, 系統運用面에서 大容量發電所用變壓器에도 負荷時 Tap 切換器를 채용하는 경우가 있어 860MVA가 容量記錄이다.

4.5 低騒音方式

變壓器의 騒音은 容量 電壓 및 冷却方式에 따라 다르나, 그 基準値는 JEM-1118에 의하여 定하여져 있다. 특히 最終形態에서의 境界線騒音에서 距離減衰나 台數效果등을 감안하여 單體騒音仕樣이 결정된다.

低騒音對策으로서 鐵心の 磁束密度를 낮추는 方法은 不經濟的이며 一般的으로는 二重防音壁이 채용된다.

表 4. 防音壁의 種類와 減音量

種	類	減音量 dB
組立式鐵板	A形 防音壁	10~15
組立式鐵板	B形 防音壁(全閉構造)	12~23
組立式 Concrete pannel	B形 防音壁(全閉構造)	17~30
Concrete	防音壁(專用建物)	20~40

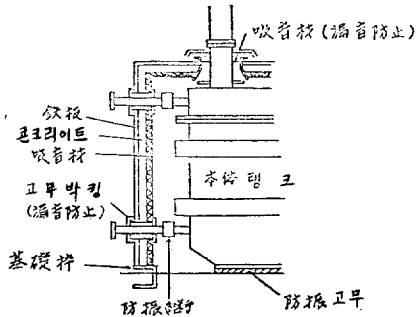


그림 9. 組立式 콘크리트 판넬 B形 防音壁例

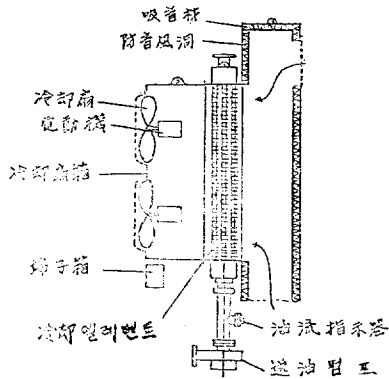


그림 10. 低騒音冷却器例

表 4에 代表的인 防音壁의 種類와 減音量을 표시한다. 그중 組立式 Concrete pannel B形 防音壁의 構造를 그림 9에, 또한 그림 10에는 低騒音冷却器의 構造例를 표시한다.

基準値에서 30phone 以上 低減하는 경우는 送油自 冷式으로 하고 Concrete 防音壁(專用建物)構造가 채택 된다. 1973年 220kV 250MVA에서 本體와 防音建物 과의 사이에 基礎를 分離하여 42phone이라는 超低騒 音變壓器가 제작되었다.

4.6 主回路端子引出方式

日本에서는 海岸線에 主要都市가 있어, 耐鹽Bushing

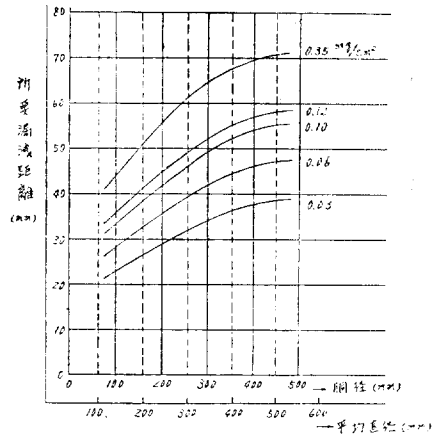


그림 11. 得管類의 所要漏洩距離

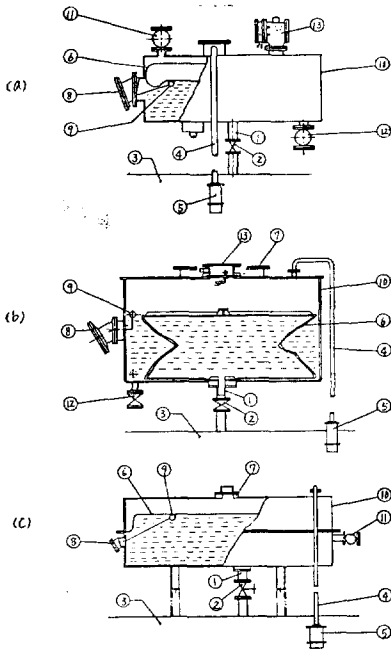
의 要求도 상당히 많다. 특히 超高壓系에서는 部分放 電의 測定에서 거의 Condenser Bushing이 채용된다. 鹽分附着量에 대한 平均直徑과 表面漏洩距離의 關係는 그림 11에 나타난다. 電氣協同研究의 報告書가 기초가 되어 있다. 특히 注水洗滌를 고려하여 散水傘을 붙인 것도 있다. 500kV 級에는 氣中距離 8m의 長大得管이 제작되었다.

또한, 鹽害對策으로서 Bushing을 水平으로 引出하여 壁을 貫通하여 屋內에 引入시킨 콘크리트形이나 電力 케이블을 직결한 에테판트形變壓器도 채용된다. 특히 에테판트形變壓器는 充電部分이 露出하여 있지 않고, 据付空間이 적으므로 그 후 Building의 地下變電所用 이나 海岸에 가까운 火力發電所用으로서 급격히 증가 하였다.

4.7 油劣化防止裝置

日本에서는 특유의 高溫多濕의 氣候가 많기 때문에 絶緣物의 吸濕防止에 關係하여 옛날부터 研究가 행하 여져 왔다. 絶緣油의 吸濕劣化防止裝置로서, 형제 小形 器에서는 密封式이나, 간단한 吸濕防止裝置에 의한 것 이 이용된다. 配電變電所用中形變壓器 以上에서는 隔 膜式이 標準으로 사용되고, 脫氣油를 封入하는 것이 汎用의 으로 행하여져 있다.

그림 12에는 隔膜式 Conservator의 概略構造를 보인 다. 기름이 직접 空氣와 접촉하기 않기 위하여 水分의 浸入은 물론, 결드러서 大氣中의 酸素도 차단되어, 絶 緣物의 酸化에 의한 劣化防止에도 効果의 이다. 또한 負荷氣溫의 急減時에 있어서도 油中의 氣泡의 發生을 防止할 수 있다. 이 裝置의 適用에 의하여 變壓器 및 絶緣油에 대한 保守가 大幅의 으로 省力化할 수 있도록 되었다. 또한 만일 變壓器내부에서 異常이 발생할 때



- ① 連結管
- ② 連結弁
- ③ 變壓器本體
- ④ 吸溫呼吸器連結管
- ⑤ 吸溫呼吸器
- ⑥ 隔膜
- ⑦ Hand Hall
- ⑧ 油面計
- ⑨ 浮子
- ⑩ Case
- ⑪ 過辨兼排氣弁
- ⑫ 排油弁
- ⑬ 異常警報裝置

그림 12. 隔膜式 Conserator의 構造圖

도, 發生가스가 外部에 放散되지 않으므로 가스檢出에 의한 異常檢出이 容易하여 重大事故의 未然防止에도 効力を 발휘하고 있다.

4.8 防災對策

變壓器의 信賴性向上에 對하여는 여러가지 對策이 강구되어 있는데, 만일의 內部事故가 發生한 경우를 想定하여 여러가지의 檢討가 行하여진다. 특히 直接接地系에 접속된 變壓器에서는 線路端에 가까운 處에 接地事故가 일어나면 arc energy가 커서, 系統의 短絡容量의 크기에 따라 火災의 危險性도 있다. 이의 對策으로, Tank 強度 및 膨脹係數의 增大, 避壓能力의 強化(특히 避壓空間의 設置) 保護繼電器의 高速化 및 系統短絡容量의 低減 등이 고려되며, 그 위에 經濟性 등도 問題가 된다.

非接地系에서는 相間短絡을 막는 것이 重要한데, 絕緣을 強化하여 막는 것이 그 中 용이하다.

만일 火災가 發生한 경우에는 消化裝置, 燃燒防止裝

置 및 流出油의 處理裝置 등이 필요하다. 이에 對한 詳細는 생략하는데, 檢討된 結果는 「變電所 등에 있어 서의 防災對策指針」으로 정리하여 發行단계에 있다. 또 最近 製作된 大容量器에서는 防音壁의 內部에 炭酸가스 消化裝置를 附着하는 방법도 急増하고 있다.

5. 500kV 單卷變壓器 및 特殊變壓器

5.1 500kV 單卷變壓器

單卷變壓器는 普通變壓器에 比하여 重量, 寸數가 低減하며, 効率이 좋아 經濟的이나, 日本에서는 154kV 以下의 送電線이 非有効接地이기 때문에 過去에는 電力用單卷變壓器의 實績이 거의 없었다. 그러나 500kV 送電開始와 함께, $500 \pm 5\% / 275/66(77)kV$ 1,000/3 MVA 單卷變壓器가 開發되어, 設置台數增加와 함께 Bank 容量도 1,200에서 1,500MVA器가 製作되게 되었다. 以下 간단히 종래의 分離卷線과의 差를 중심으로 説明코져 한다.

單卷變壓器의 경우, Tap의 範圍 및 3次卷線 容量의 增大는 等價容量에 대목적인 영향을 주게 되어 組立輸送을 곤란하게 한다. 또한 Tap 卷線의 結構도 直接式에서는 그림 13에 나타낸 바와 같이 三種이 있다.

(a), (b)는 負荷時 Tap 切換器에 걸리는 電壓이 높고 특히 (a)는 直列卷線에 對한 Tap 卷線의 비율이 크게 되므로 高壓側의 impulse 試驗에서 Tap 間에 큰 電壓이 걸리고, (b)는 電流가 2,000A를 넘게 되는 問題가 생긴다. (c)는 電壓, 電流가 다 함께 낮으나, 같은 調整電壓을 얻기 위하여는 Tap 範圍가 넓어지고, 또한 Tap 間隔도 일정하게 되지 않는다. 또한 3次電壓도 변화하는 缺點이 있다. 어느 경우나 500/275kV 連系의 경우, Tap 範圍는 $\pm 7.5\%$ 以下가 바람직하다 以上의 Tap 卷線의 位置는 각각 得失이 있으나, 275kV 系統에 Tap을 붙인 例는 世界的으로 드문게 사실

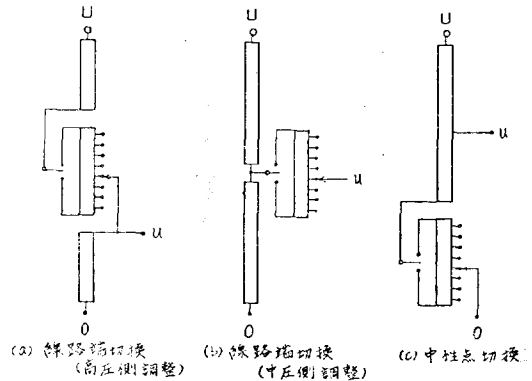


그림 13. 負荷時 Tap 切換單卷變壓器結線圖

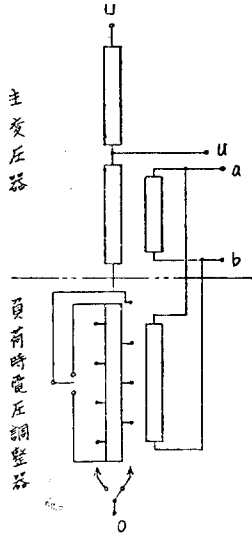


그림 14. 間接式 Tap 切換結線圖

이므로 (c) 方式을 決定하였다.

實器製作에 있어서는, 當初 50Hz系는 交流試驗電壓이 높은 것에서 오는 輸送上의 問題와 함께 그림 14에서 보인 中性點側 間接切換方式이 채용되고 60Hz系는 製作實績을 쌓은 經驗으로 直接切換方式으로 製作되었다.

다음에 單捲變壓器의 鐵心 및 卷線方式으로서, M社는 外鐵形으로 그림 15(a)에 보인 高壓端子를 가운데 4群構成으로 製作되어 있다. S 및 H社는 內鐵形으로 50Hz器는 單相 5脚 또는 4脚 鐵心으로 主脚에 插

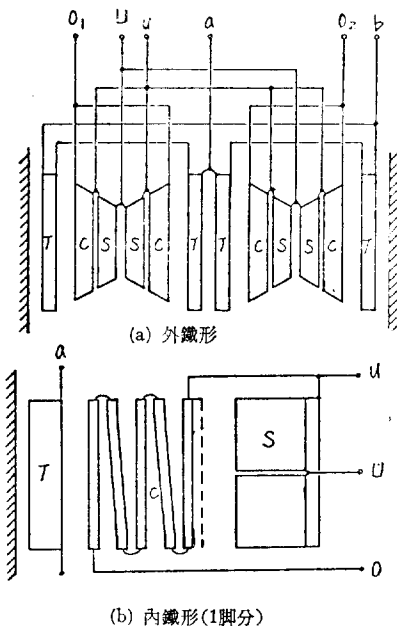


그림 15. 卷線斷面圖

入한 卷線을 並列接續하고 있다. 그림 15(b)에 卷線配置를 표시하고 있는데, 高壓卷線에는 圓板卷線, 分路卷線에는 多重圓筒卷線을 채용하고 있다. 또한 60Hz器는 單相 脚鐵心으로 外脚에 3次 및 Tap 卷線을 감는 등의 조치가 강구되고 있다.

특히 單捲變壓器에서 1次 2次間의 Impedance는 14%로 선정하였으나 自己容量에 換算하면 30% 정도가 되어, 小形化되나, 短絡 및 漂遊損이 다 함께 대단히 심각하게 된다.

5.2 縮小形變電所

大都市 및 周邊地區의 變電所用地의 取得難과 臨海 重工業地帶의 臨塵宮汚損對策으로서, 從來의 大氣壓의 空氣絕緣에 의존하여 있던 各 電力機器의 露出部分을 絕緣特性이 우수한 絕緣材料로 감싸고, 變電所全體를 超小形化하여, 동시에 安全性을 높힐려 하는 소위 Minigrade 變電所가 實用段階에 들어가 500kV級까지 점차 범위가 넓어지고 있다.

面積縮小率은 電壓階級에 따라 다르며, 1/2.5~1/20가 1次的인 自標이다. 當初 6.6~2.2kV까지는 固體絕緣, 66~500kV까지는 SF₆ 가스絕緣開閉裝置가 개발되었으나, 다시 經濟性, 信賴性, 省力化 등을 한층 향상시켜 總合效率을 올리기 위하여 直空遮斷器를 사용한 油絕緣의 66kV Supergrade도 제작되고, 다시 154kV도 개발되어, 75kV에 挑戰中이다.

5.3 移動變壓器

移動變壓器는 變電所의 事故 또는 災害 등의 非常事態 이외, 최근에는 應急出力의 增加對策, 季節的過負荷 및 工事의 경우의 負荷分擔에서 變電所의 共通豫備 등에 사용된다. 그리하여 利用率도 높게 된다. 이들의 諸要求에 대하여 機動性을 가지고 대처함에는 走行時 特別한 認可를 필요로 하지 않는 條件, 즉 車輛을 포함한 全裝備로, 높이 3.5m, 폭 2.5m, 重量 20ton으로 하지 않으면 안된다. 현재 特種 積載形으로 66kV 10 MVA 負荷時 Tap 切換裝置付變壓器가 제작되어 本體重量은 油入時 12.5ton이다. 한편 Trailer 積載形에서는 154kV, 50~100/3MVA 單相變壓器 3臺로 된 Bank가 實用되고 있다.

5.4 乾式 및 不燃性油入變壓器

극도로 火災를 꺼리는 Building 등의 電源으로서 종래 33kV까지는 H種乾式變壓器, 77kV까지는 不燃性油入變壓器가 사용되어 왔다. 한편 SF₆ 가스絕緣變壓器는 10年前 66kV 3MVA器가 제작되었으나 경제성이 없어, 그후 제작실적이 적다.

그러나 PCB公害로 인하여 不燃性油入變壓器는 1972

年以後 製作中止가 되었고, 그것의 代替品이 要望되고 있다. 특히 33kV 超過의 電壓範圍에 대하여는 乾式으로 製作되지 못하고, 77 및 66kV級에 대하여는 SF₆ 가스 絕緣變壓器가 再檢討되게 되고, 縮少形開閉裝置의 開發에 사용된 基礎技術을 되살리려고 하고 있다.

그러나 價格 및 保守의 點에서 引火點이 높은 Silicon 油 등의 合成絕緣油에의 期待가 크며, 新幹線車輛用變壓器의 實績을 포함하여, 검토되고 있다.

또한, 최근, H種乾式變壓器에 대하여 Mould變壓器가 開發되어 注自되고 있다. 要는 어떻게 하면 經濟的으로 製作되는가에 달려 있다.

5.5 Reactor

500kV 送電線의 新設과 케이블系統의 增加에 따라서 分路 Reactor의 必要容量은 급격히 增大하여 單器容量 66~154kV 80MVA, 275kV 150MVA器가 제작되게 되었다.

製造者에 따라 差가 있으나 40MVA까지는 鐵心形 60MVA 以上은 空心形이 유리하다. 또한 150MVA級은 設置條件과 試驗을 포함하여, 單相 50MVA unit 3 台로 構成되어 있다. 특히, 鐵心形分路 Reactor에서는 積層鐵心Block에 Gap를 設置한 것의 鐵心을 放射狀으로 펼쳐서, 磁束 fringing의 影響을 적게한 低損失의 Reactor도 제작되고 있다. 또한 空心形에서는 製造者에 따라 3相으로 外鐵形, 上下繼鐵만으로, 單相으로 磁氣 Shield付가 채용되고 있다.

또한 中性點 Reactor는 空心形, 消弧 Reactor는 鐵心形으로 제작되고, 최근에는 극히 短期間使用으로 前者는 10초, 後者는 5분 定格의 것이 많다.

한편, 系統의 容量增加과 함께 短絡電流를 억제하기 위한 限流 Reactor의 必要性이 增大하여 大容量變壓器에서는 3次用限流 Reactor를 本體에 內藏하는 경우가 많다.

또한 系統連系用으로서 154kV 45MVA 限流 Reactor가 S社에서 제작되어, 특히 66kV 特殊連系裝置가 3社에서 개발되어 實系統에 설치되고 있다. 後者는 500kV用을 最終目的으로 한 것으로, 常時自由連系에서는 Impedance는 적고, 事故時에는 Impedance를 急增하여 限流機能을 갖게 하는 등 特殊한 仕様으로 되어 있다.

6. 製造技術 및 保守管理

6.1 製造技術

變壓器의 單器容量이 增大하면 經濟性은 증가하나, 單일 事故를 일으켰을 때의 系統에 미치는 影響을 고

려하지 아니하면 안된다. 따라서 上述한 設計面에서의 檢討는 물론, 製造面 특히 現地組立에까지의 各段階에서의 확실한 點檢을 통하여 綜合的인 品質管理 體制의 確立이 중요하다.

최근 大形器의 卷線 및 中身組立은 吸濕에 의한 寸數變化와 먼지에 의한 絕緣低下를 막기 위하여 空調防塵의 工場에서 행하는 것이 一般化되고, 계속하여 中間試驗, 乾燥, 直空注油處理로 이어진다. 總組立후 再眞空注油, 熱油循環處理 등을 一貫하여 絕緣處理가 행하여진다. 그리하여 工場試驗에서 엄중한 點檢을 받는다. 특히 中間試驗에서, 設計品에 대하여 短時間氣中通電試驗을 행하여 局部加熱의 有無를 點檢하고, 完成試驗에서는 部分放電測定과 試驗前後의 油中溶解가스의 分析을 행하여 異常의 有無를 확인한다.

그후 本體는 輸送카바를 하고, 輸送, 現地組立이 행하여지는데, 일단 油浸紙가 吸濕하면 除去가 상당히 곤란하여지므로, 乾燥空氣發生裝置 등을 준비하여 吸濕防止에 最善을 다한다.

6.2 保守管理

變壓器의 重大事故를 未然에 防止하기위하여는 適正한, 保守가 중요하다. 保守에 있어서는 內部點이 어려우므로, 그 變壓器의 歷歷을 중시함과 동시에, 약간의 異常現象도 놓치지 안해야 한다. 그러나 變壓器의 保守는 異常短絡, 外部閃絡, 地震 등의 異常時外는 日常巡視와 定期的으로 絕緣油, Tap 切換裝置 및 付屬品의 點檢項目를 갖추어야 한다.

- (1) 日常巡視點檢; 油面, 油洩 및 異常녹 등의 外觀 檢査가 主體
- (2) 定期點檢; 製作者의 取扱說明書를 참고한다.

7. 研究 및 委員會關係

大容量高電化에 따라 發生하는 技術的 諸問題를 빠짐없이 파악하여 高信賴性을 달성하기 위하여는 設計에서 工作, 試驗까지, 綜合的으로 協調된 높은 技術이 필요하다. 또한 背景이 되는 固有技術이 충실하지 아니하면 안된다.

여기에서는 최근에 發表된 文獻 및 委員會報告 中에서 高電壓大容量化, 絕緣, 短絡, 漂遊損 및 溫度上昇 등에서 중요하다고 생각하는 것을 열거한다.

A. 高電壓大容量化

- (1) 500kV 變壓器의 信賴度確認을 위한 實證試驗
- (2) 500kV 變壓器의 絕緣試驗電壓
- (3) 大容量變壓器의 事故防止對策
- (4) 大容量變壓器現地作業基準

(5) 超高壓以上の 分路リアクター의 必要性和 效果

B. 絶緣

- (1) 部分放電測定, 發生位置의 標定, 判定基準 등
- (2) 長時間課電試驗
- (3) 閉閉 Impulse 耐電壓試驗 (v-t 特性)

C. 短絡強度

- (1) 短絡時 卷線의 動的特性 및 耐力에 미치는 各因子の 영향
- (2) 19.5MVA의 實器短絡試驗
- (3) 低電壓 Impulse法
- (4) 電磁機械力의 3次元 解析

D. 漂遊損 및 溫度上昇

- (1) 大容量器의 漏洩磁束과 漂遊損
- (2) 漏洩磁束의 2次元, 3次元解析
- (3) OD 冷却과 OF 冷却의 溫度上昇限界
- (4) 最高點溫度上昇
- (5) 油流速의 解析과 可視化技術
- (6) 大形鐵心의 溫度上昇計算法과 冷却 duct의 配列法
- (7) 赤外線撮影에 의한 Tank 局部加熱點檢法
- (8) 冷却塔水冷變壓器의 溫度上昇
- (9) Freon 混合에 의한 油中蒸發冷却

E. 其他

- (1) 變電所의 低騒音化對策
- (2) 低騒音變壓器
- (3) 油中가스 分析에 의한 變壓器事故內容의 判定
- (4) 大容量變壓器에 적합한 繼電方式과 保護裝置
- (5) Mould 變壓器
- (6) 縮小形變電所
- (7) 試驗用變壓器의 使用上의 問題點

8. 將來의 動向

日本國最初の 500kV 送電이 開始된 후 겨우 1年이 못되어 石油危機로 景氣가 退潮하여 電力需要의 伸張이 멈추었다.

그러나 設備의 自動化나 家庭電化의 普及을 고려할 때, 電力需要의 伸張은 今後에도 年率 數%程度上昇하고 있으며, 高電壓大容量化의 傾向은 계속될 것이다. 海外에서는 이미 1,000~1,500kV級變壓器가 論議되어 Float型의 變壓器도 試作되고 있다. 日本國에서는 20年 1 step로 電壓이 上昇하여 왔고, 1990年頃에는 1,000kV 送電의 必要도 생기게 되지 않을까 한다.

그러나, 日本國에서는 輸送條件이 극히 不利하므로, 大容量化에 대한 研究 특히 新絶緣構造나 冷却構造를

비롯하여 從來方式으로는 輸送이 되지 않는 경우도 고려하여 現地組立을 극히 短時間에 行할 수 있도록 改良된 分解輸送도 研究의 對象이 될 것이다.

한편, 本州 北海道連系나 50Hz와 60Hz 連系用으로서, 直流送電의 檢討가 行하여지고 있으나, 直流에서는 抵抗比에 따라서도 電壓分擔이 정하여지는 등 또한 直流耐壓의 向上에는 交流와 다른 별도의 문제가 있다.

또한, 公害防止에 絡들여 用地難이나 鹽害등으로 低騒音變壓器나 縮小形變電所로서의 閉閉裝置를 一體化한 變壓器가 增加될 것으로 생각한다. 특히 都市 中心部에 設置되어 있는 경우에는 더 한층 높은 信賴性이 요구되고, 특히 大形器에서는 本體의 耐爆強化와 함께 炭酸가스自動消化設備등의 檢討가 行하여지고, 小形器에서는 不燃 또는 難燃性變壓器의 개발이 추진될 것으로 본다. 한편으로 材料面에서는 騒音が 적은 鐵心材料, 耐熱性이 높은 絶緣物이나 絶緣油의 開發이 要望된다.

9. 結 言

以上으로 日本에서의 變壓器의 現狀과 將來의 動向에 對하여 大容量變壓器를 中心으로 설명을 하였다. 그러나 取扱해야 될 事項이 많고, 또 충분히 설명을 드리지 못하였지만, 이것으로 日本의 狀況에 對하여 理解가 되고, 將來에 무언가 도움이 되면 다행으로 생각하는 바이다.

參 考 文 獻

電氣學會編 “四半世紀における電氣工學の變貌と發展” (1964) コロナ社

日本電力調査會 “電力需要想定及び電力供給算定方式의 解説” (1972)

日本電力調査會, 日本電力調査報告書, 各版

日本電機工學會, 電氣機器資料集, 重電機器 各版

負荷時タップ切換變壓器實用性能專門委員會, 電氣協同研究 20卷 5號 (1964)

負荷時タップ切換變壓器實用性能專門委員會, 電氣協同研究 21卷 5號 (1965)

日本電機工業會標準規格 JEM 1118 (1977) 變壓器의 騒音레플의 基準值 (改訂案)

石油學會: 石油學會誌 (絶緣油特集號) 17卷 7號 (1974)

大容量變壓器의 事故防止對策: 電氣協同研究 30卷 6號 (1975)

大容量變壓器現地作業基準: 電氣協同研究 31卷 3號 (1975)

<p.37에 계속>