

技 術 解 說

中部電力 北豊田變電所納入 275kV 450MVA 負荷時 TAP 切換變壓器

藤本匡昭・高萩隆司・貞川郁夫

宋 岐* 譯

目 次

- I. 머리말
- II.仕様
- III.構造
- IV. 漂遊負荷損低減對策
- V. 短絡強度對策
- VI. 負荷時 TAP 切換器
- VII. 信賴性 向上 對策
- VIII. 輸 送
- IX. 結 論

I. 머리말

電力系統의 增大에 따라 變電所用 變壓器도 大容量化되어 가고 있다. 變電所用 大容量 變壓器의 경우 最大問題가 되는 것은 鐵道輸送의 경우 輸送限界에 있다 日本의 鐵道는 狹軌이기 때문에 輸送能力이 작고 275kV 變壓器의 경우 組立輸送할 수 있는 限界容量은 從來 300MVA라고 되어 왔지만, 最近 技術의 進歩와 信賴性 向上 施策에 따라 450MVA까지도 鐵道輸送을 하는 것이 가능케 되었다. 이와같은 事情때문에 當社는 이번에 中部 電力・北豊田變電所에 3相 60Hz, 275/154/31.5kV, 450/450/135MVA 變壓器를 納品하였다. 本器는 超高壓 變電所用으로는 日本에서 最大級의 것으로 여러가지의 特徵을 가지고 있다. 그 主要點을 들면,

(1) 鐵道에 의한 組立輸送을 可能케 했다. 더우기 負荷時 TAP 切換器를 本體 TANK에 組立해서 輸通한다.

(2) 一次 超高壓 卷線에는 線路端을 中央에 配置한 HISERCAP 卷線을 採用한다.

(3) 當初 65Phon, 將來 55Phon의 低騒音仕樣을 滿足시키기 위해서 高效率의 送油風冷式 低騒音放熱管을 使用했다.

(4) 機器의 信賴性을 높이기 위해 設計, 製造, 試驗 檢査 各面에 萬全을 기했다.

그러나 그 외에도 여러가지 研究가 推進되고 있으며 다음에 概要를 説明하고자 한다.

II. 仕様

本器의 仕様 및 諸元을 表1에 表示했다. 그림 1은 現地에서 運轉中の 寫眞이고 그림 2는 그 外形圖이다.

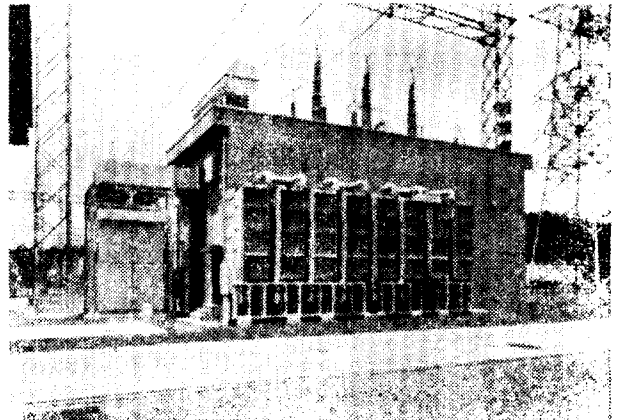


그림 1. 450/450/135MVA 變壓器
Fig. 1. 450/450/135MVA transformer

III. 構造

1. 鐵 心

本 變壓器는 鐵道로 組立輸送하기 위해서 그 높이, 치수를 縮小할 必要가 있어 5却鐵心構造로 하여 電子計算機에 의한 磁束分布를 求하고 Yoke, 歸路却斷面積을 最適으로 만든 것이다.

또 變壓器의 無負荷特生 및 發生騒音 Level을 改善하기 위해서 各種의 對策을 하였다. 즉

- (1) 低損失 低磁氣 歪曲의 HiB 鋼板의 使用

*正會員：國際電氣工業(株) 技術理事

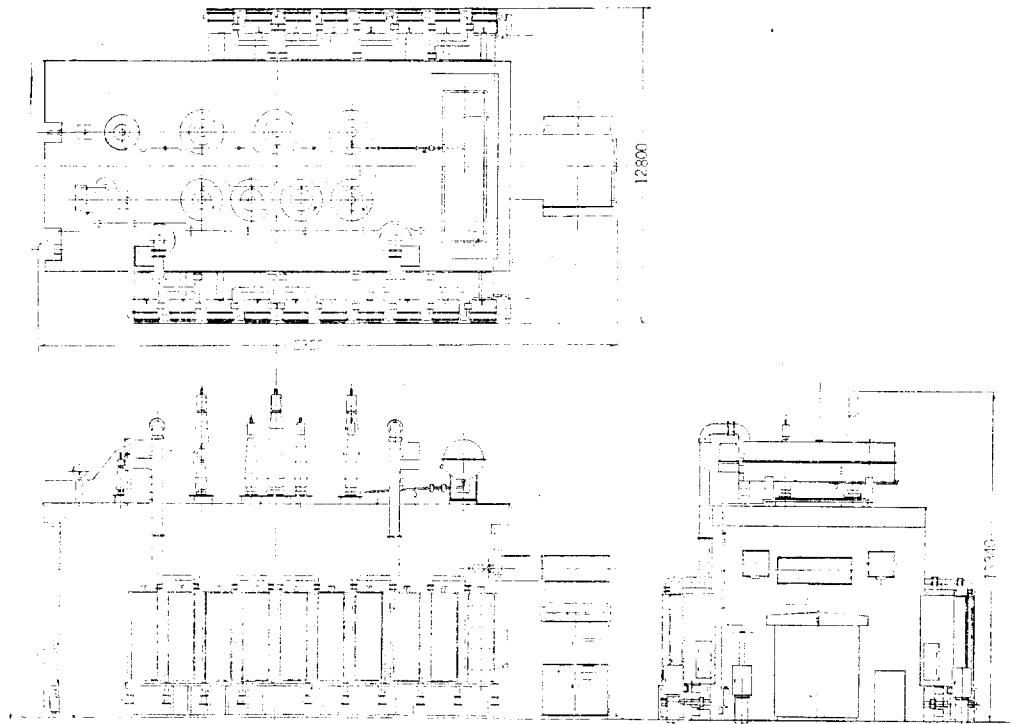


그림 2. 變壓器外形圖
Fig. 2. Outline of transformer

表 1 變壓器仕様
Table 1. Specifications of transformer

相數	3
周波數	60Hz
冷却方式	送流風冷式
TAP 切換方式	負荷時 TAP 切換方式(19Tap)
定格容量	450/450/135MVA
定格電壓	300~R275~243.8/154/31.5kV
定格電流	945/1,687/2,474A
絕緣階級	200(中性點80)140(中性點 80)/30號
Impedance電壓	22%(一次~三次間 450MVA基準)
結線	人/人/△(Yy0d1)
騒音	65Phon 以下(特來55Phon 以下 에 改造可能)
防音方式	Concrete建屋方式(顧客施工)
輸送方式	鐵道輸送形
總重量	422ton
總油量	110k ^l

(4) 油壓 Jack에 의한 鐵心締付 壓力의 嚴重한 管理

(5) 鐵心に 有害한 Stress가 加해지지 않도록 鐵心을 塞우는 裝置를 使用했다. 그림 3은 鐵心外觀을 나타낸다.

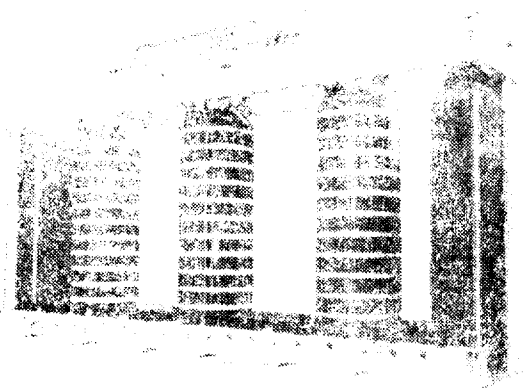


그림 3. 鐵心
Fig. 3. Core assembly

(2) 材料 加工後의 連續 燒鈍爐에 의한 熱處理
(3) FRP Band에 의한 均一한 鐵心締付 構造

2. 卷線

大容量變壓器의 信賴性을 높이고 더우기 嚴格한 輸送 限界內에 넣기 위해서는 電氣的 機械的 特性이 優秀하고 또한 要求되는 特性을 滿足시키는 卷線을 擘組 立해서 使用하여 合理的인 設計를 行할 必要가 있다. 이를 위해서 이번 에 卷線 設計에 있어서는 下記의 檢討를 하고 一層의 信賴性의 向上을 圖謀하였다.

(1) 電子計算機에 의한 高電壓部電界 Mapping(그림 4, 그림 5 參照)

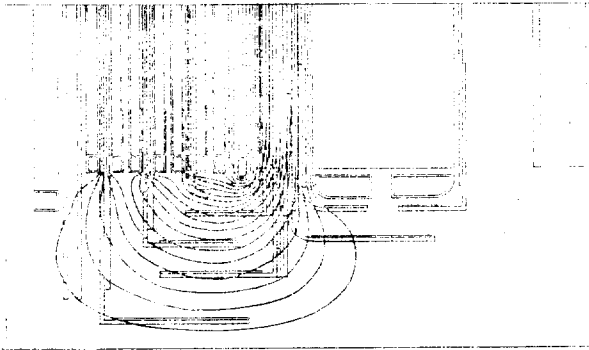


그림 4. 卷線의 電界 Mapping(ex. 1)
Fig. 4. Electric field mapping of winding(ex. 1)

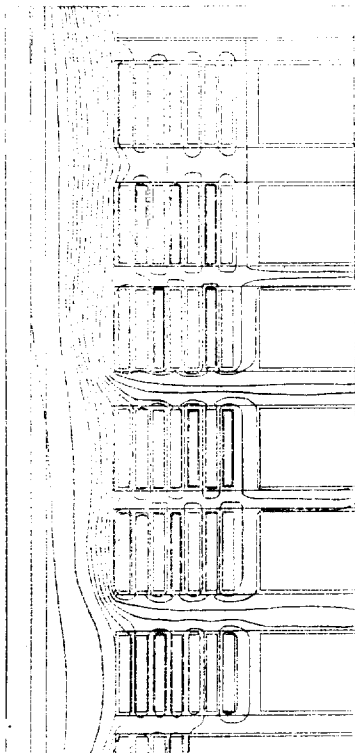


그림 5. 卷線의 電界Mapping(ex.-2)
Fig. 5. Electric field mapping of winding(ex. 2)

- (2) 卷線內 電位 振動 計算(그림 6. 參照)
- (3) Carbone紙에 의한 卷線內 油流分希의 測定
- (4) 電子計算機에 의한 磁界 Mapping(그림 7 參照)

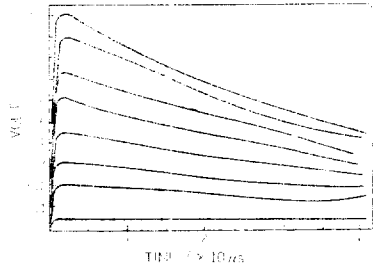


그림 6. 高壓卷線의 電位分布
Fig. 6. Voltage distribution in HV winding

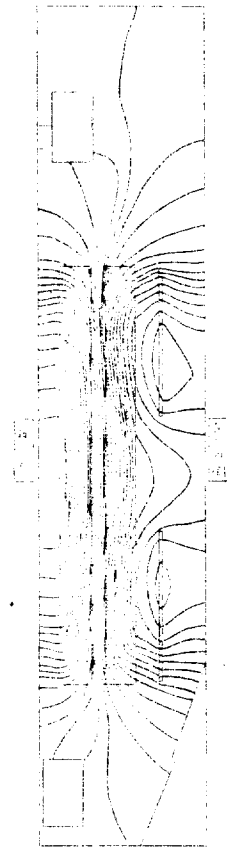


그림 7. 漏泄磁束分布
Fig. 7. Magnetic field mapping

지금 卷線 配置를 그림 8에 나타내었다. 鐵心側부터 低壓卷線, 中壓卷線, 高壓卷線, 高壓 TAP卷線의 順으로 同心的으로 配置했다. 또 高壓 TAP 卷線을 上下 二分劃하여 高壓卷線 線路端部를 卷線 中央에서 袞내는 構造로 하고 中性點 側은 卷線 上下 端部에 配置하

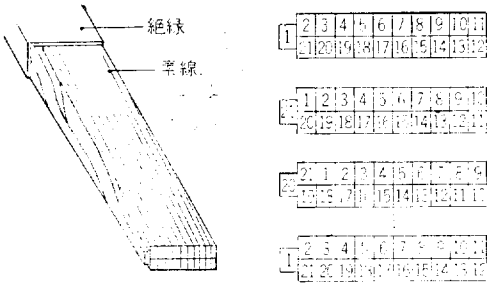


그림 11 轉位導體電線
Fig. 11. Transposed conductor

고 또 作業성이 優秀하다. 또한 素線 Size를 적게 選擇할 수 있기 때문에 卷線內의 外류손을 低減할 수 있는 등 大容量의 圓筒卷線에는 特히 適合하다. 또 卷線 路端에는 靜電 Shield板을 配置하고 卷線 電位振動 分布의 改善과 高壓 卷線으로 부터의 移行電壓의 防止를 圖謀했다.

3. 低壓卷線

低壓卷線에는 轉位導體使用의 1層圓筒卷線을 採用했다. 三次 外部回路 短絡時의 卷線內 發生 機械力 및 三次側 遮斷器의 遮斷容量 低減을 위해 二次~三次間의 Impedance를 크게 할 必要가 있어서 이를 위해 三次에 限流 Reactor를 直列로 接繼시키고 있다. 이 Reactor는 短絡時의 鐵心飽和에 의한 Impedance 變化를 피하기 위해 空心形으로 하고 外部 누설磁束을 吸收키 위해 卷線上下 珪素鋼板에 의한 磁氣遮閉를 實施하고 있다.

3. 防音 對策

大容量 變壓器의 低騒音化를 圖謀키 위해서는 音源 Level의 低減, 防音壁 構造, 防振 및 冷却 System에 對해서 各各의 對策이 必要하다. 本器에서는 當初 65 Phon 以下 將來 55phon以下로 改造 可能케 한다는 條件을 감안하여 防音對策을 行하였다.

(1) 變壓器 騒音의 根源인 鐵心振動을 적게 하기 위해서 鐵心材料나 構造상의 면에서 配慮를 行했다.

(2) 防音壁 構造는 Concrete 건물方式으로 30dB 以上の 遮音效果를 갖는다(顧客施工)

(3) 建物內는 強制 換氣方式으로 吸排氣孔에는 二段膨脹形의 吸音 Chamber를 설치했다.

(4) 冷却方式은 送油風冷式이기 때문에 單器의 騒音值가 60Phon 以下の 低騒音 冷却器를 使用했다.

將來 55Phon 以下일 경우에 이것에 防音風胴을 追加하기만 하면 改造가 可能하다(그림 12)

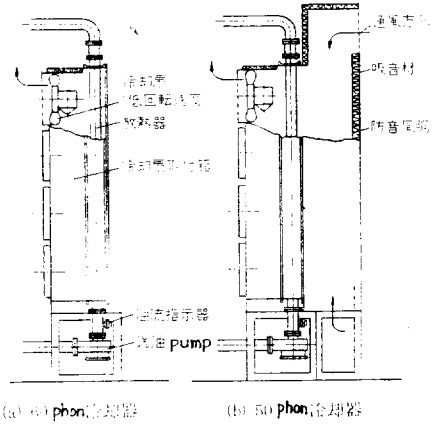


그림 12 低騒音冷却器
Fig. 12. Low-sound-level cooler

(5) 鐵心振動이 外部에 傳播하는 過程에서 그 要所에 防振 對策을 實施하고 있다. 그림 13에 防振 系統圖를 表示한다.

4. 冷却器

從來 騒音 規定이 60Phon 以下の 大容量 變壓器의 경우 自冷式이 技術面 및 Cost面에서 有利했었지만 큰 裝置面積을 必要로 하는 缺點이 있었다. 따라서 低騒音 變電所의 Compact化를 圖謀키 위해서는 冷却 效率이 좋은 低騒音形 送油 風冷式 冷却器는 重要한 意味를 가지고 있다.

表 2에 當社가 開發한 低騒音 冷却器 Series를 나타낸다.

여기까지는 우선 第一의 發生 騒音을 줄이기 위해서

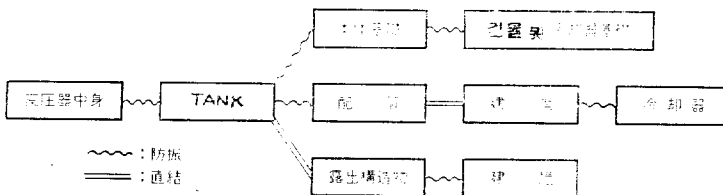


그림 13. 防振系統圖
Fig. 13. Isolation of vibration

表 2 送油風冷式冷却器의 Series(60Hz의 例)
Table 2. Series of OFAF cooler(60Hz)

變壓器 騒音 (Phone)	變壓器 騒音 (Phone)	Fan Motor 極數(P)	冷却器構造
50	45	20	
55	50	16	
60	55	20	
65	60	16	
70	65	12	
75	70	10	
80	75	8	
85	80	6	

空氣 騒音이 낮은 大口徑 FAN과 多極 Motor와의 組立에 의한 冷却器 騒音 55Phon까지는 防音風胴이 없는 構造로 하고 또한 減音하는 경우에는 前面에 防音風胴을 追加하는 것에 따라 45Phon까지의 低騒音화가 可能케 된다. 本器에 있어서도 當初 變壓器 騒音 65 Phon 以下일 때에는 冷却器 騒音은 60Phon 以下이면 좋고 防音風胴이 없는 標準形 構造로 하되 將來 變壓器 騒音을 55 Phon 以下로 할 때에는 防音風胴을 追加하기만 하면 改造가 可能하다. 그림 12에 改造 前後에 있어서 構造의 對比를 表示한다. 그러나 防音風胴을 裝置하는 것에 따라 冷却器의 空氣 抵抗이 增大하고 冷却 能力이 若干 低下되기 때문에 將來 冷却器의 臺數를 늘리는 것을 미리 考慮하고 있다. 一般적으로

低騒音 冷却器에서는 그 冷却 能力이 적기 때문에 많은 Set數를 必要로 하고 있다.

우리들은 冷却管에 空氣 抵抗이 적고 冷却 效率이 좋은 波形을 使用하여 이 有題에 對處하고 있다.

IV. 漂遊負荷損低減對策

漂遊負荷損을 大別하면

1) 누설磁束에 의한 卷線導體內에 發生하는 와전류 손

2) 卷線 以外의 支持構造材나 Tank 等に 發生하는 附加的인 損失로 分類할 수 있다. 이 中 主된 것을 간주하면 表3와 같다.

또 一般 同心配置 卷線變壓器의 누설 磁束量 ϕ_l 은 다음 式으로 表示된다.

$$\phi_l = K \cdot Z \cdot (kVA)^{\frac{1}{2}}$$

여기서 Z ; 變壓器의 % Impedance
(kVA) ; 變壓器 脚當의 容量

K ; 定數

따라서 大容量器가 될수록 거의 누설 磁束量이 增加하고 이 누설 磁束은 漂遊負荷損의 增加를 招來, 局部 過熱의 原因이 되기 때문에 特히 重要한 問題이다. 變壓器의 누설磁束 分布는 電子計算機에 의한 높은 精度 值를 얻을 수 있지만 더우기 當社는 많은 經驗과 各種의 實驗을 쌓아 온 결과 各種 事例에 대해서 計算式을 確立하고 있다.

本 變壓器의 設計에 있어서는 누설 磁束分 및 各部 發生 損失을 求하는 것은 물론이고 發生 損失을 低減시키는 材料의 選定과 構造上의 配慮를 하고 더우기 損失 發生 部分의 溫度上昇을 追求 여러 部分의 局部 過熱을 防止하도록 配慮했다. 以下 本 變壓器에 實施한

表 3 漂遊負荷損低減對策

Table 3. Reduction of stray load losses

發生 項目	分 類	發 生 個 所	對 策
卷線에서 發生하는 漏泄磁束	卷線內의 電流損	(1) 卷線導體 (2) 卷線의 並列回路導體	(1) 導體의 細分化 (2) 並列導體間의 轉位 (3) 轉位導體의 使用
	構造材中의 漂流損	(1) 卷線締付 Ring Sealed Ring (2) 鐵心締付板 (3) 卷線支持構造物(Frame)	(1) 非磁性鋼의 使用 (2) 非金屬材料의 使用 (3) 構造物을 可能한 卷線에서 分離한다.
	TANK損	TANK壁	磁氣遮蔽板의 設置
大電流 Lead 部分의 磁束	Lead에의 한漂遊損	(1) Lead부분의 構造材 · TANK (2) Bushing Pocket	(1) 非磁性鋼의 使用 (2) 大電流 Lead의 正負 AT를 消除 (3) 磁氣遮蔽板의 設置

諸對策中 主된 것에 대해서 記述한다.

그림 7은 電子計算機로 구한 本 變壓器 主要 部分의 누설 磁束 分布이다.

1) 卷 線

卷線導體는 高壓卷線을 除外하고 모두 轉位導體를 使用하여와 電流損을 減小 시켰다. 高壓卷線導體는 平角導體를 多數 本 並列로 使用하여 充分히 轉位를 行하였다.

2) 卷線 締付 Ring

LW合板(電氣用 壓縮板)을 使用했고 LW合板은 下記 特性을 가지고 있다.

(1) 機械的 特性이 優秀하고 強度部材로서도 充分한 信賴性이 있다.

(2) 油浸性이 좋고 電氣的 特性이 Press Board와 같이 優秀하다.

3) 鐵心脚 珪素鋼板

脚部에 있어서 누설磁束에 對向하는 面에 珪素鋼板의 幅은 누설磁束에 의한 外電流를 低減하도록 可能한 限까지 設했다.

4) 鐵心 締付板

上記와 같은 趣旨에서 幅을 細分했다.

5) 電界 緩和用 Shield Ring

非金屬材料와 金屬箔으로 構成한 것을 使用했다.

6) 卷線을 지지하고 있는 上下 Frame은 그 位置를 卷線에서 멀어 뜨려 漂遊損의 低減을 圖謀했다.

7) Tank壁 內側에 珪素鋼板을 取付하여 누설 磁束을 吸收 Tank壁에 發生하는 損失의 低減을 꾀했다.

V. 短絡強度 對策

1. 電磁機械力의 計算

變壓器의 短絡強度는 大容量化에 따라 큰 問題로 대두되고 있다. 當社에서는 電子計算機를 利用하여 系統短絡時의 卷線 各部에 發生하는 電磁力을 追求, 強度檢討를 行하고 있다. 또 그 電磁力에 대한 強度를 檢證하기 위해서 實規模 Model 變壓器에 의한 短絡試驗을 數없이 實施하여 計算値와 잘 一致하는 것을 確認하고 있다.

2. 卷線의 체부와 乾燥處理

短絡時 卷線이 헐거워 지는 것을 防止하기 위해서 卷線에 미리 充分한 壓縮力을 주어야 必要가 있다. 그 힘은 前締力이라고 말하며 當社는 油壓 Jack을 使用하여 그 前締力이 卷線에 正確하게 加해지도록 嚴重한 管理와 方法을 취하고 있다.

當社에서의 卷線 乾燥處理는 Coil 卷線 作業後 卷線단을 壓縮, 眞空乾燥, 油含浸의 前處理를 行한 후 다

시 中身組立狀態에서 眞空乾燥, 油含浸을 實施 最終的으로 앞에서 말한 바와 같이 油壓 Jack으로 締付하고 있기 때문에 卷線絕緣物의 經年 變化에 의한 收縮은 生기지 않게 되어 있지만 本器에서는 더욱 信賴性을 높이기 위해 單일 조그만 弛緩이 생겨도 이를 吸收할 수 있도록 卷線締付機構를 採用했다.

VI. 負荷時 TAP切換器

本 變壓器의 負荷時 Tap 切換器에는 昭和 41년에 開發하고 以後 多數의 納入 實績을 가진 大容量의 3DS-D1形을 採用했다. 이 仕様을 다음에 表示한다. 또 外形을 그림 14에 表示했다

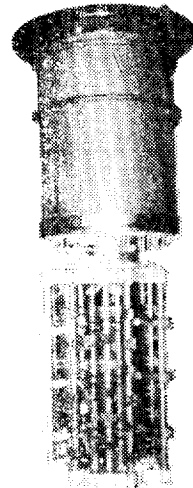


그림 14 3DSD1形負荷時 TAP切換器
Fig. 14. 3DSD1 type on-load tap-changer

中性點 調整用 三相 : Unit

定格 通過 電流 : 1,200A

定格 Step 電壓 : 1,900V

三相 Unit가 X한개로 構成되어 있으므로 本體 Tank에 넣어서 輸送하는 것이 可能해졌다.

VII. 信賴性 向上 對策

高品質, 高信賴性의 變壓器를 製作하기 위해 當社는 全力을 들여 各種의 施策을 講究해 오고 있지만 特別 本器의 製作에 있어서는 設計, 製造, 品質保證 各部門의 專門家로 構成된 Project Team을 編成하여 設計段階부터 現地 組立까지 一貫해서 그 Team이 要所 要所 Check하는 方式을 採用했다. 그림 15에 信賴性 Program의 概要를 表示하지만 主要點은 다음과 같다.

1. 信賴性 技術과 Design Review

基本 設計 段階에서 電界, 磁界, 油流의 Field Ma-

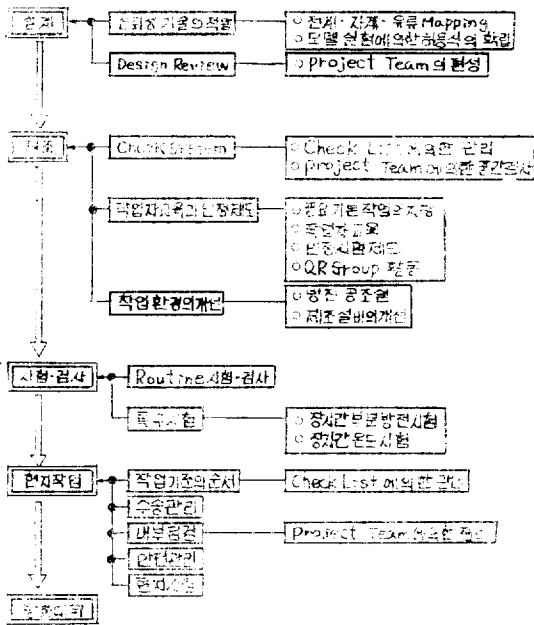


그림 15 信頼性(Program)
Fig. 15. Reliability program

apping을 詳細히 하고 電界集中에 의한 部分放電의 發生, 누설 磁束에 의한 局部 過熱, 혹은 高速 油流에 의한 流動 帶電 現象을 防止하기 위해 各種 Model 實驗에서 얻어진 許容値와 대조해 가면서 設計 諸元을 決定한다.

또 設計 各 段階에서 Project Team에 의한 Design Review를 行하여 균형 잡힌 제일 最適한 構造를 採用했다.

2. 高品質化 施策

1) 作業 環境의 改善

變壓器 中身 組立에 있어서 絕緣物의 吸濕 혹은 먼지·附着 防止는 絕緣 信頼度의 面에서 극히 量要하다. 이를 위해 絕緣物 및 卷線 加工, 組立의 工程은 完全한 防塵 空調室에서 實施하고 있다.

2) 作業 管理, 作業者의 訓練 教育 銅線의 건로 附着 Aluminum의 MIG 및 TIG 溶接, ARC 및 GAS 溶接 端子 壓着 등 基本的인 重要한 作業을 「重要 基本 作業」이라 指定하여 그 指定된 作業을 行하는 作業者는 社內 認定 試驗에 合格한 「認定者」가 아니던 안된다는 嚴重한 制度를 두어 高水準의 技能, 管理, 教育을 行하고 있다.

3) 製品의 品質 安定을 위한 施策

品質의 安定과 工作 精度의 向上을 위해 珪素鋼板連續 燒鈍爐 自動 Press Line, NC M/C Center, 自動

加壓 卷線機 鐵心 세우는 裝置 Press Brake 등의 設備을 備置하고 있다. 또 中身 Frame 및 Tank 內面 白色塗裝·紙卷心線에 靑色 絕緣紙의 採用, 圓板卷線의 連續化 등에서 品質의 安定을 圖謀하고 있다.

3. 試 驗

通常의 Routine 試驗을 行하고 그 性能을 檢證함과 同時에 信頼性을 確認하기 위해 表 4에 나타낸다. 特殊 試驗을 行하여 部分 放電(Corona)이 發生하지 않는 것 도 異常局部 過熱에 의한 油中 Gas 發生이 없

表 4. 特殊試驗
Table 4. Special test

試驗 項目	內 容	結 果
長 時 間 部分放電試驗	印加電壓 E : 常規對地電壓	ERA法으로 測定하고 部分放電(Corona)을 檢出하지 않는다.
過負荷試驗 長時間溫度試驗	負荷 : Pattern 全損失供給電流의 1.1倍相當의 溫度로 行했다.	油中 Gas分析을 實施하기 좋다.

다는 것을 確認했다.

4. 現地作業

本器와 같이 高電壓 大容量 低騒音 變壓器라던 附着 作業도 複雜 또는 長期化하여 工場에서 確認된 信頼性을 損傷않고 完成하기 위해서는 高度의 作業管理 安全管理 등이 要求된다. 現地に 있어서 絕緣處理 등에 대해서는 電氣 協同 研究會의 「大容量 變壓器 現地 作業 基準」에 따라 充分히 이를 滿足한 形態에서 行하여졌다.

5. 防災對策

有効 接地系 變壓器의 內部 事故는 일단 發生할 경우 그 影響은 대단히 크며 그 防止에는 最大限의 努力을 기울여야 한다. 設計·製造上에 있어서의 信頼性的 確保와 그 確認 適切한 保守 및 異常 早期 發見 등 事故의 未然 防止 對策과 同時에 事故의 擴大를 防止하기 위해서 本器에서는 여러가지의 防災對策을 施行했다.

(1) 內部 事故時 內壓 上昇에 對해서 Tank의 破壞 強度를 增大시키기 爲해서의 補強

(2) 建物內의 防災 設備로서 Halon Gas 消火裝置

를 設置, 火災 檢出에 의해 吸排氣口는 自動的으로 閉鎖되어 이 Gas가 充滿토록 시킨다(顧客施工).

(3) 放壓裝置로 부터의 噴油에 對해서는 이를 集合해서 排油槽에 誘導擴散을 防止하고 있다(顧客施工)

그림 16에 防災 概念圖를 表示한다.

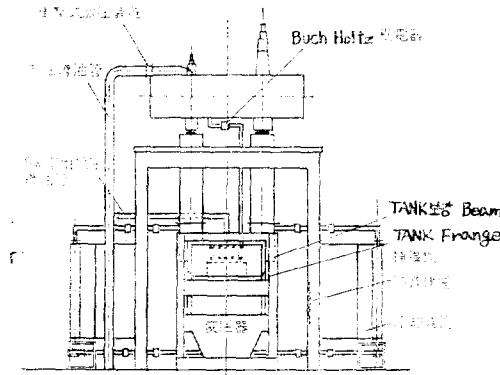


그림 16. 防災概念圖
Fig. 16. Protection against transformer faults

VIII. 輸 送

變壓器를 製作하는데 있어서 그 輸送方法에 따른 輸送 限界는 제일 重要한 制約條件의 하나이며 이에 의해 變壓器 形이 決定된다. 大容量 內鐵形 變壓器에 있어서의 輸送 寸數 縮小 및 輸送重量의 輕減 對策으로서 몇개의 研究가 考慮되고 있다. 鐵心 Yoke의 一部를 歸路脚으로서 바꾸어 놓은 소위 五脚 鐵心이나 高壓 線路端子를 卷線높이 中央部에서 引出한 中央 線路端方式은 變壓器 높이 寸數를 縮小시키기 위한 有效한 方法이다.

또한 輸送 重量을 輕減시키는 方法으로는 卷線의 多重 同心 配置가 있다. 例를 들어 一次 卷線을 二分劃하고 이를 二次 卷線의 內外 兩側에 配置하면 二重 同心 配置가 된다. 이 二重 同心化를 行함으로써 Impedance와의 關係에서 鐵心重量은 적어지며 全體로서도 中身 重量은 輕減된다. 이번에는 標準 卷線 配置에서도 60Hz 450MVA器가 組立 輸送되었지만 이 二重 同

心 配置를 採用하면 50Hz 450MVA器 또는 60Hz 500MVA器 級에도 組立 輸送이 可能하다.

第17圖에는 中央 線路端 方式을 採用한 本器 60Hz 450MVA의 卷線 配置와 輸送制限 寸數와의 關係 및 二重 同心 配置를 採用한 경우의 50Hz 450MVA器에 있어서의 이것을 表示한다.

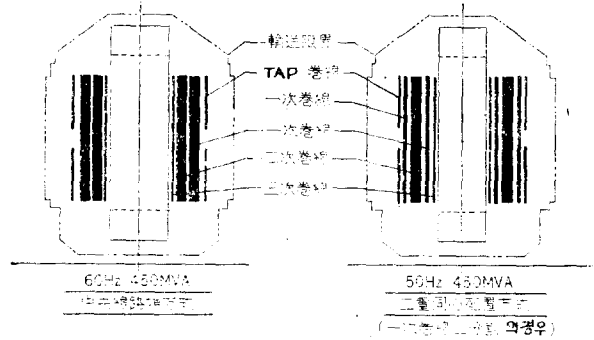


그림 17 輸送限界와 卷線形態와의 關係
Fig. 17. Transport-limitation and winding arrangements

IX. 結 論

本稿에는 금번 完成한 275kV, 450MVA 變壓器의 構造上 特徵, 信賴性을 確保하기 위한 對策에 대해서 報告했다.

本器 完成에 의해 더욱 豫想되는 變壓器의 大容量化에 對處할 수 있는 確信을 얻을 수가 있었다.

參 考 文 獻

- (1) 稜場, 岩波, 伊藤: 最近 富士 低騒音 變壓器 富士時報 49, No. 5(1976年)
- (2) 年川, 宮幽: 變壓器用 負荷時 TAP切換 裝置要論 富士時報 39, No. 8(1966年)
- (3) 國枝, 山川, 野澤: 超超高壓 變壓器 製造 體制 富士時報 46, No. 6(1973年)
- (4) 電氣協同研究: 大容量 變壓器 現地 作業 基準 31, No. 3(1975年)
- (5) 電氣協同研究: 大容量 變壓器 事故 防止對策 30, No. 6(1974年)