

目 錄

壹、 前言與實習行程內容簡介.....	1
一、 前言.....	1
二、 實習行程內容簡介.....	2
貳、 心得與感想.....	4
一、 有載分接頭.....	4
二、 箱外式切換器.....	7
三、 真空閘型切換器.....	9
四、 油中氣體分析.....	12
五、 線上氣體監視設備.....	13
參、 綜合結論.....	17
肆、 建議.....	19

壹、前言與實習行程內容簡介

一、前言

本公司各型變壓器均附有有載切換器(OLTC)，負責變壓器輸出電壓之調整，其接頭因經常作電壓切換，會有電弧產生，連帶造成絕緣油的分解與碳化，必須週期性進行保養；此外，該裝置經常處於動作切換狀態，其可靠度對供電品質影響極大。

箱外式切換器安裝在變壓器本體的側板上，其模組化的設計方式，使得維修時無需吊出心體和拆卸外部傳動機構；再者，維護人員不必登上變壓器頂部，站在地上即可檢修，較為方便。而採真空閥方式設計的切換器，則可徹底隔離電弧對絕緣油的影響，直接降低維護人力需求，延長維修檢點周期。

無人化變電所之變壓器常時運轉，其內部絕緣油之情形未能即時了解，應用線上氣體監視設備，可設定警報，使調度中心能立即掌握變壓器的情況，提早採取對策，減少事故機率。

此次分別前往瑞典 ABB 公司 OLTC 廠與德國 MR 機械廠實習箱外式與真空閥型 OLTC 及線上氣體監視設備的應用，希望能了解及收集這些裝置的最新發展情形，可幫助未來變壓器採購規範之修訂，進而提升變壓器之可靠度。

二、實習行程內容簡介

(1) 91 年 5 月 20 日至 5 月 24 日

經德國法蘭克福轉機至斯德哥爾摩後，參訪 ABB 公司 OLTC 瑞典廠。ABB 公司有三大研發中心，分別位於美國、德國及瑞典，而瑞典分公司主要是生產變壓器及其相關產品，舉凡變壓器本體、冷卻器、套管及切換器等皆有生產，其中套管的市佔率為全球第一，OLTC 的市佔率為全球第二。

ABB 瑞典分公司自 1910 年開始研發 OLTC，至今已有將近 102 年的歷史。該公司在 OLTC 有三大生產線，分別是 UC、UZ 及 UBB 三種型式的 OLTC，各生產線從設計、組裝、接線到測試，均獨立而完整，其中的 UZ 型切換器即為箱外式 OLTC，其發展相當完備，主要是供貨給英語系的國家。除了參觀三大生產線外，在廠內還有一個訓練中心，專門是提供給客戶訓練用，而本次的參訪，主要即在該中心內接受實習 - 中心內有一間小教室，可播放相關的電視教學節目，而各種機構設備，都有硬體可供親自操作，感覺相當實際。此外，利用這次的實習機會，也就近參觀了該公司的套管廠，如同 OLTC 一般，各電壓等級的套管都有獨立、完整的生產線，但規模更大，令吾人印象相當深刻。

最後，值得一提的是，藉由網際網路的發展，該公司有一套讓客戶 24 小時都能隨時下單的系統，客戶在電腦上挑選或輸入所需求的設備規格後，即能收到該設備所有相關的設計圖面，而 Pro/Engineer 軟體，更能傳送 3D 的設備圖面至客戶端，相當方便。

(2) 91 年 5 月 25 日至 6 月 2 日

返回德國參觀 MR 機械廠。MR 機械廠創辦於 1901 年，最初是一個木工機械場，1926 年 Dr. Jansen 取得德國設計專利後，由他提供技術，MR 負責製造，開創了目前世界第一的專業 OLTC 製造商。MR 公司每年生產約 4500 台 OLTC，全球市佔率約 65%。公司目前有新、舊兩個廠 - 舊廠為主要工廠的所在地，並有設計及研發中心；新廠則有組裝線、修復線、技術服務中心及一個與當地大學建教合作的訓練中心，學校安排績優學生在該中心實習，畢業後即能上線工作。本次的實習內容，主要是針對 MR 公司近幾年最新開發的真空閥型 OLTC，除了參觀實體設備的製造過程外，在訓練中心更可以看到採用透明外殼製作、專供訓練用的模型設備，其構造與實際產品完全相同，讓吾人得以清楚了解機構在操作時，各相關器具的連動情形，非常特別。

此外，MR 公司也安排吾人至鄰近的變電站，參觀安裝於變壓器之線上油中氣體監視設備的應用情況。這次主要是了解與比較 SYPROTEC 公司 HYDRON 系列（採總量顯示分析方式）的監視設備與 SERVER ON 公司第一部經過專業認證實驗室級之 TrueGas 系列（採分量顯示分析方式）監視設備的應用情形。

貳、心得與感想

一、有載分接頭切換器(On-Load Tap Changer)

1. 定義

變壓器二次側應提供穩定的額定輸出電壓，使負載設備能產生最佳性能。但是，由於？路或供電設備的電壓降及輕、重載間的差異，使得二次側電壓會產生變動。有載分接頭切換器(OLTC)即是一種當變壓器在負載變動情況下，利用改變繞組的接線匝比，來調整二次側輸出電壓，進而維持負載電壓穩定的一種設備。

2. 型式

OLTC 根據操作機構及原理的不同，主要可分為兩大類 - 切換器開關型(Diverter switch type)與選擇器開關型(Selector switch type)。

2.1 切換器開關型

切換器開關型 OLTC 的構造如下圖，主要是由上半部的切換開關(Diverter)及下半部的分接頭選擇器(Tap Selector)所構成。

此型 OLTC 電壓的切換主要分成兩個階段，第一階段是繞組分接頭的選擇，此部分是在下半部的分接頭選擇器內進行；第二階段即是電壓的切換，此部分是在上半部的切換開關內進行，電弧的產生即在此開關部分。前者直接浸在變壓器絕緣油中；後者因

為在電壓切換時會發生電弧，造成絕緣油的碳化及分解，所以有獨立的油槽，並有活線濾油機進行濾油。

2.2 選擇器開關型

選擇器開關型 OLTC 的構造如下圖，是一個由切換開關與分接頭選擇器合併的單元所構成，電壓的切換與分接頭的選擇是一次完成，而由於絕緣耐壓的限制，此型 OLTC 目前最高僅能應用至 145kV 以下的變壓器。

3 安裝位置

變壓器分接頭可置於一、二次側均可，考量變壓器內部空間絕緣情形及是否增設內藏式串聯變壓器，目前變電所內之變壓器除 30+30MVA 因二次側有雙繞組，置於二次側外，其餘均置於一次側（考量之重點為切換電流較小），目前國內各級變壓器使用的型式整理如下表。

電壓等級	容量	型式
69kV	25MVA	選擇器開關型
161kV	30+30MVA	選擇器開關型
	60MVA	切換器開關型
	200MVA	切換器開關型
345kV	167MVA	切換器開關型
	500MVA	切換器開關型

二、箱外式切換器

箱外式切換器安裝

在變壓器本體外側面

板上（如右圖），操作
開關及所需要的裝置
全都裝入一個單獨的
油箱中，是 ABB 公司
的一項專利產品，具有
許多獨特的優點。

1 簡化安裝

箱外式切換器採獨立單元的靈活設計，每相箱體內包括有切
換選擇開關(change-over selector)、限流電阻(transition resistor)及接
點切換組件(moving main and switching contact assembly)，所有元
件安裝在一個模鑄件(molding)上，組裝相當簡便，單相組件的內
部構造如下圖。

2 節省成本

與傳統箱內式(in-tank)切換器不同，箱外式(on-tank)切換器
獨立安裝於變壓器本體箱外（如下圖），不但縮小了變壓器的外型
尺寸，進而減少了絕緣油的用量，並可以減少各相繞組與切換器
間的導體連接與焊接，可降低製造成本；而為了避免污染變壓器
油，切換器箱體與變壓器主油箱是以一塊電木/鋼隔板隔離（如右
下圖）。

3 共同驅動軸

電動驅動機構直接附屬在 OLTC 油箱外側，與切換器整合成一個完全單元，省去傳統箱內式切換器的水平與垂直驅動軸；由於可動部分較少，不但可靠性相對提高，每接頭（Tap）的切換時間由 5 秒減為 3 秒，絕緣恢復較傳統為快，電弧時間縮短，而維修檢點的周期也由傳統的 4~5 年延長至 7 年。

4 檢修簡便

箱外式切換器的一項最大特色，即是使最終用戶的維護及檢修工作相當方便。首先，由於安裝位置是在變壓器本體箱外的下側，只要拆卸前側面板，人員站在地面即可直接對全部機構進行檢修。再者，由於其獨特的驅動機構，維修時不需要吊心體和拆卸外部傳動裝置，省去傳統上維修時需要的一些起吊設備及特殊工具，更可避免吊心體復裝時的錯置造成切換順序混亂。此外，維修人員不必登上變壓器頂部，較為安全。

三、真空閥型切換器

過去 20 多年以來，由於真空開關在中壓的技術發展相當卓越，使得目前世界上超過 60% 的中壓斷路器已被真空閥型的斷路器所取代。

鑑於真空閥的安全性及不使用絕緣油作為開關介質所帶來的環保考量，世界第一的 OLTC 專業製造商 - MR 公司，自 80 年代起即開始著手研發真空閥型的 OLTC，經過多年的努力，在 3 年前正式量產，目前已有超過 600 台以上的實績。

真空閥具有以下四大特性：

1. 相較於油中或 SF₆ 中的電弧，真空中的電弧有較低的電弧電壓，所以接點打開時的能量耗損較低，接點的損失亦較少。
2. 真空中接點表面金屬蒸氣電漿的高凝結率使接點的損失更低。
3. 密閉的閥室使得電弧不會與任何絕緣介質接觸，所以不會分解絕緣介質、不會使絕緣介質老化，也不會使接點表面氧化，進而長期保持低的接觸電阻。

4. 真空中絕佳的快速介電恢復性，可以確保最長僅半週期的電弧時間。

MR 公司真空閘型 OLTC 的動作原理，即是將下圖左方的油中開關接點，改以下圖右方的真空閘來取代，電弧的產生完全在真空閘中，而不需消弧介質。

在機械結構上，真空閘型 OLTC (VV Type) 與傳統 OLTC (V Type) 幾乎完全相同，主要有兩大相異點 (如下圖)：

1. 由 V Type 的單一上蓋，改良成 VV Type 的三層上蓋 (圖中方框) - 第一層供以連接傳動機構；第二層供以連接油管及保護電驛；第三層則為絕緣筒上蓋，各層可獨立做 360 度旋轉，方便管線從各個方向引接。
2. 切選擇開關(change-over selector)由原來的絕緣筒上部，改至絕緣筒側面 (圖中圓框)，各相切換器與極性開關在同一平面，較有利於引線的連接。

綜合上面所述，真空閘型 OLTC 具有以下的優點：

1. 電弧的產生在真空閘中，不會使絕緣油產生碳化及分解，不但可免去使用活線濾油機，更能增加油的耐久性，具有環保概念。
2. 沒有金屬接點的磨擦，避免接點的耗損。

3. 基於上述兩點，維修檢點的周期，由傳統的 4~5 年，大幅增加至 15 年，大大降低了最終用戶的維護成本。
4. 分離設計的切換器頂蓋，易於安裝於變壓器本體，並利於切換器與附屬設備間的管線引接。

四、油中氣體分析

目前的電力系統中，輸配電級的電力變壓器多為油浸式變壓器。由於變壓器故障所引起的電力系統損失著實難以計數，歐美先進國家對於變壓器故障的預防措施有非常深入的研究，其中應用最為普遍的即是油中（故障）氣體分析。

油中氣體分析的原理，主要是油浸式變壓器在發生故障前，絕緣油會產生分解，而針對不同的故障原因，會產生不同的（故障）氣體（如下表）。因此，吾人如果能定期抽試變壓器油，分析油中氣體的濃度，得到其趨勢圖，則可藉以判斷變壓器內部的情況，進行相關的應變措施。

故障原因	油中氣體
高溫運轉	CO, CO ₂
金屬過熱	CH ₄ , H ₂ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₆
部分放電	CH ₄ , H ₂ , C ₂ H ₂
電弧現象	H ₂ , C ₂ H ₂ , CH ₄
絕緣油過熱	C ₂ H ₂ , C ₂ H ₆ , CH ₄
絕緣紙老化	CO, H ₂
電暈	H ₂ , CH ₄

目前本公司試驗所對於變壓器油中可燃性氣體的判斷標準如

下：

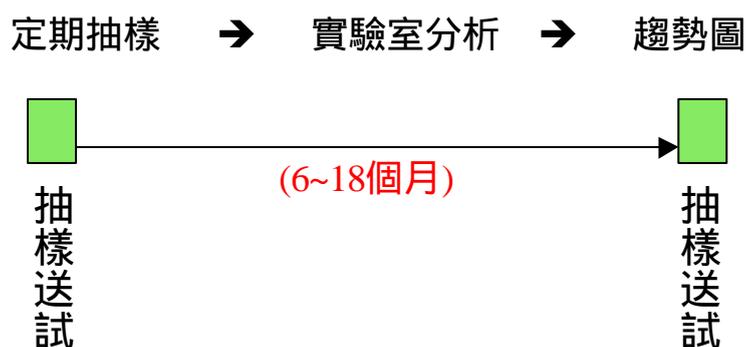
➤ 油中可燃性氣體「須注意」基準

變壓器 電壓	氣體含量 (ppm)							TCG 增加量 (ppm/年)
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	TCG	
69kV 以下	125	350	250	150	1	350	1000	300
161kV	100	150	150	100	1	300	650	250
345kV	75	100	100	100	1	200	400	200

➤ 油中可燃性氣體「異常」基準

變壓器 電壓	氣體含量 (ppm)							TCG 增加量 (ppm/年)
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	TCG	
69kV 以下	250	700	500	300	20	700	2000	75
161kV	200	300	300	200	15	600	1300	60
345kV	150	200	200	200	10	400	800	50

而傳統油中氣體分析的流程如下圖所示：



由於絕緣油的抽試過程繁瑣，不但耗費人力，所需費用也頗高，分析間隔通常長達 6~18 個月，而這樣的分析流程，會產生下面兩大問題點：

1. 由於抽試期間長達 6~18 個月，如果故障的發生是在兩次抽試期間，這種方法則無法達到預警作用。
2. 同一台變壓器，在相同的時間，但是由不同的人、不同的實驗室操作取樣，所得到的結果不一定會相同。

基於上述的討論，定期抽試絕緣油會有盲點產生。因此，最好、最有保障的方法，還是以”連續不間斷”的方式來偵測變壓器油中氣體的狀況，線上氣體監視設備也因此應運而生。

五、線上氣體監視設備

因應前節所述的測試盲點及無人化變電所的需求，自 1970 年代起開始了線上氣體監視設備的發展。所謂的線上氣體監視設備是在變壓器不用停電的情形下，即能對變壓器的油中氣體進行偵測。目前主要有以下兩大類的顯示方式：

1. 總量顯示 - TCG

SYPROTEC 公司的 HYDRON 系列產品，是以總量可燃性氣體 TCG (Total Combustible Gas) 來代表變壓器的油中氣體情況，其公式如下：

$$TCG = H_2 + CO \times 0.18 + C_2H_2 \times 0.08 + C_2H_4 \times 0.015$$

主要是針對氫氣來做偵測，優點是安裝容易，僅需在油管或變壓器箱體上增設油閥，再將偵測器水平安裝於閥上即可（如下

圖); 體積小且價格較便宜(約 50 萬/台), 並且不須電腦即可運作, 可直接與本公司的監視系統相連結。

偵測器的原理係利用薄膜滲透技術, 但僅能顯示總量、建立趨勢, 但不能了解是何種可燃性氣體過高, 準確度較低, 會有誤判斷的情形發生; 此外, 警報產生後, 需再抽油送試才能了解確實情況, 可達到預警功能, 但不能及時診斷。

2. 分量顯示 - DGA

SERVER ON 公司的 True Gas 系列產品, 是第一部經由專業認證、實驗室級的線上氣體監視設備, 採用氣體色層分析法來做可溶性氣體分析 (Dissolved Gas Analysis), 可針對八種指標性故障氣體的濃度分別採樣、檢測及顯示, 其架構圖如下。

依設定的取樣頻率 (4~24 小時, 可視趨勢圖機動調整), 由內建水泵(pump)抽取變壓器油, 透過油氣分離裝置(gas extractor)的耐壓超細纖維分離出油中的氣體, 再經由高壓載體(氦氣瓶, Helium Tank)將氣體送入色層分析儀(chromatography column), 利用不同氣體分子量的不同, 依停留在管中的時間長短, 精確地辨識出其中的八種氣體與濃度, 再藉由內建的數據機, 可作遠端互動式資料傳輸。

主要的優點有真正線上使用，實驗室級、不需再送油抽試，可針對八種氣體（ $H_2, O_2, CH_4, CO, CO_2, C_2H_2, C_2H_4, C_2H_6$ ）獨立監控，箱體內另有校正鋼瓶，可在每次測試前進行自我偵測、高度精確；唯體積較大、需要額外的台架空間（如下圖），且造價較高（約 120 萬/台）。

參、綜合結論

本次出國實習的主要內容為兩種型式（箱外式、真空閘型）的有載切換器及變壓器的線上氣體監視設備應用，茲針對各主題的內容整理出下面三點結論：

- 一、 箱外式切換器最特別的地方在於採取獨立單元的設計，所有組件皆安裝在一模壓件上，並以電木/鋼隔板與變壓器主油箱隔離，不但使得變壓器本體的外型縮小，更節省許多的導體接線及主油箱空間；而整合成一體的共同驅動機構，不但使得切換器本身的機械動作特性更為可靠，配合切換器的安裝位置接近地面，使得維修人員在地面即可進行檢點工作，並不須要一些特殊的吊裝設備，是一項設計理念相當具有顧客導向（customer-oriented）的產品。
- 二、 真空閘型切換器是一項嶄新的設計理念，由於電弧的切換是在真空閘內完成，除了具有真空開關切換的優點外，更重要的是，這種設計方式，使得動作頻繁的切換器不會像傳統的有載切換器會造成絕緣油的污染，不但免除了活線濾油機的使用，更能使絕緣油本身的耐久性延長，進而增加絕緣油的壽命，減少了處理廢棄絕緣油時所造成的環保問題，是一項相當具有綠色概念的產品。

三、 線上氣體監視設備的應用在歐美已相當普遍，其主要目的是要解決傳統變壓器絕緣油定期抽試所產生的盲點，真正達到預防警報的功能。而目前的線上監視主要有兩種方式，一是總量顯示；一是分量顯示。總量顯示主要是取油中 100% 的氫氣濃度，加上少量的其他三種故障氣體濃度來作為變壓器油中的總量可燃性氣體濃度，優點是安裝容易、價格較低，但會有誤判斷的情形發生，而且警報產生後必須再抽油送實驗室作進一步的分析；分量顯示是針對油中的八種可溶性氣體分別獨立取樣與分析，優點是準確性較高，警報產生後即能判別故障原因，不必再抽油送試，但體積較大、價格較高。

肆、建議

經由以上的討論，針對本次的實習內容，提出以下三點建議：

- 一、箱外式切換器的優點在於維修方便、容易，不需要特殊的吊裝工具，並可降低維護人力的需求。由於切換器是安裝在變壓器本體側板上，對於採用套管引線之屋外式變壓器而言較為方便；但是，對於採用電纜引線之屋內式變電所變壓器而言，可能會增加電纜進出的因難。此外，箱外式切換器構造較特殊，與本公司舊有維護習慣不同，將送請請運轉部門參考。
- 二、真空閥型切換器不但具有環保概念，更可根本解決電弧對絕緣油的影響，真正節省變壓器的維修費用，但是由於技術性的考量，目前只適用於 145kV 等級以下的變壓器。除了浸油式變壓器之外，氣體絕緣變壓器（GIT）均必須使用真空閥型有載切換器，本公司一些特殊需求的變電所已有真空閥型切換器的應用實例，例如，位於台中市的自由 S/S 地下變電所及四平變電所即是採用 GIT，而台北市的基信變電所、北縣中和市的信南地下變電所等，也都規劃使用 GIT。由於真空閥型切換器正處於起步階段，待未來產品更為成熟、市場更為普遍時，可考慮增列入浸油式變壓器之採購規範中。
- 三、線上氣體監視設備可掌握變壓器的內部狀況，藉由警報的設

定，可及時採取對策，進而提高供電品質。總量顯示（TCG）較為方便、經濟，是目前運轉單位採取的主要方式；分量顯示（DGA）較為精確、安全，唯單價較高、體積較大。目前本公司運轉單位針對老舊（服務年資 25 年以上）921 地區週邊、TCG 送試有異常記錄、屋外式、重要地區（如科學園區、抗爭地區）的變壓器已全面安裝總量顯示的線上氣體監視設備，未來可考慮於較重要地區的變電所安裝分量顯示的線上氣體監視設備，作為運轉維護之早期警報。