

出國報告（出國類別：實習）

## 電力變壓器油中水分偵測技術實習

服務機關：台電輸工處北區施工處

姓名職稱：翁崧屏 八等電機工程師

派赴國家：美國

出國期間：99.12.01～99.12.10

報告日期：100.01.17

# 目 錄

壹、實習計畫緣由及目的 .....	2
貳、出國實習過程 .....	3
參、絕緣油中氣體及水分之監測與應用設備 .....	4
一、油中氣體及水分之產生及對電力變壓器的影響 .....	4
二、油中氣體及水分之限制標準 .....	6
(一) IEEE 規範之油中氣體限制標準 .....	6
(二) IEEE 規範之油中水分限制標準 .....	7
三、變壓器油中氣體及水分偵測器之構造、動作原理與規格 .....	8
(一) Hydran M2 變壓器油中氣體/水分偵測器 .....	8
(二) Kelman TAPTRANS 變壓器油中氣體/水分偵測器 .....	12
四、變壓器油中氣體/水分之監測與診斷 .....	15
(一) Kelman PERCEPTION 監測診斷系統 .....	15
(二) TEC 監測診斷系統 .....	15
五、電力變壓器初期內部故障之診斷 .....	19
肆、實習心得與建議事項 .....	22
一、實習心得 .....	22
二、建議事項 .....	23
伍、參考文獻 .....	24

## 壹、實習計畫緣由及目的

在電力傳輸系統中電力變壓器乃一極為重要的設備，尤其在輸變電系統中更扮演著相當重要的角色，故其健康狀況對於輸變電系統影響相當廣泛；一旦發生嚴重事故而使變壓器燒損時，將引起各界關注及民眾恐慌，進而可能對變電所的安全性產生質疑，故如何即時研判目前運轉中的變壓器之狀態，將有助於避免代價昂貴的故障狀況發生。

目前針對運轉中變壓器之絕緣油中水分偵測技術，係藉由偵測變壓器絕緣油中之水分含量與氣體性質、濃度等，來預先研判變壓器內部可能發生的故障及其嚴重程度，而美國地區的製造廠商及電力公司對於此項偵測技術之發展及應用上較為先進，故希望藉由本次出國計畫，前往實習參與其技術及經驗，俾利日後本公司購置設備之參考。

## 貳、出國實習過程

本次出國實習分別赴美國 ABB 公司、GE 公司及 conEdison 及 PSEG 電力公司轄區內之變電所，實習電力變壓器油中水分偵測技術，期間過程茲分述如下：

一、往程【99.12.01】：台北 → 美國紐約。

二、美國 ABB 公司【99.12.02 ~ 99.12.04】：

赴 ABB 美國紐約公司及當地 conEdison Cherry St.變電所研習電力變壓器油中水分及氣體偵測器之原理、特性、監測及診斷等相關技術。

三、美國 GE 公司【99.12.05 ~ 99.12.08】：

赴 GE 公司及當地 conEdison Rockview 及 PSEG Essex 變電所研習電力變壓器油中水分及氣體偵測器之原理、特性、監測及診斷等相關技術。

四、返程【99.12.09 ~ 99.12.12（順道觀光 2 天）】：美國紐約 → 台北。

## 參、絕緣油中氣體及水分之監測與應用設備

### 一、油中氣體及水分之產生及對電力變壓器的影響

電力變壓器所使用的絕緣油及纖維質的絕緣材料，隨著變壓器經長時間的運轉下，都會受熱、氧氣、水分及電場等影響而開始劣化，其中在絕緣油的劣化部分，因絕緣油之成份大部分皆為碳氫化合物的混合體，當變壓器內部發生局部過熱或電暈放電時，絕緣油與氧分子因高溫受熱而產生氧化反應，析出各種不同成分及濃度的氣體於絕緣油中，如  $H_2$  (氫)、 $CH_4$  (甲烷)、 $CO$  (一氧化碳)、 $C_2H_2$  (乙炔)、 $C_2H_4$  (乙烯)、 $C_2H_6$  (乙烷) 等可燃性油中氣體，如圖 1 所示[1]。

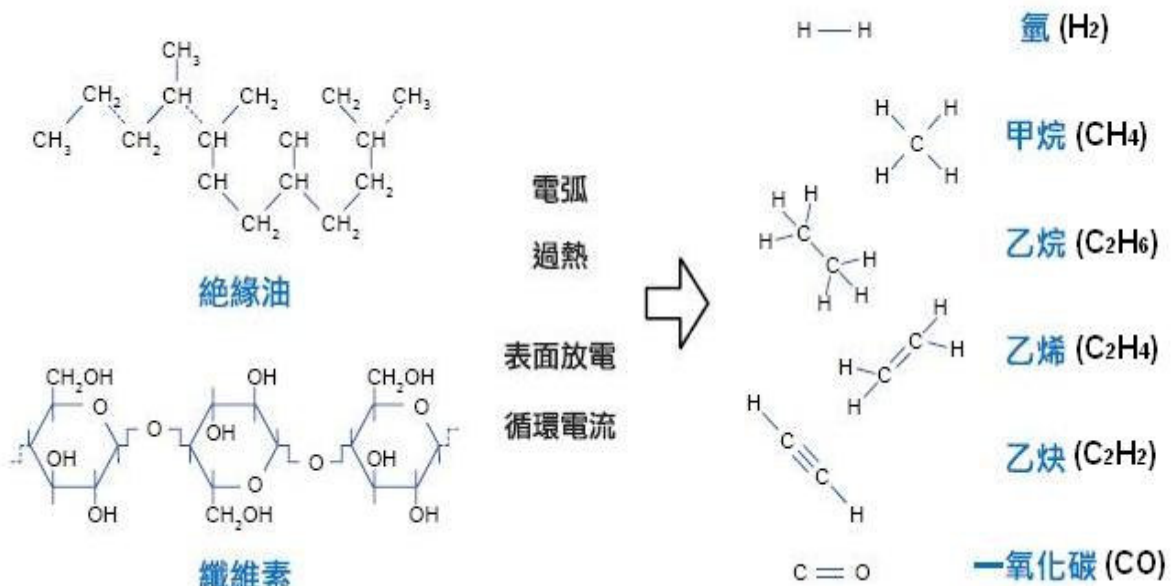


圖 1 絕緣體劣化的化學作用

圖 1 中之纖維素係表示纖維質固體絕緣材料(如絕緣紙、壓縮紙板等)，其分子具有氫氧基與氧原子，容易受熱、氧氣、水分及電場等影響而開始分解劣化，進而影響變壓器的可靠度及壽命。有關絕緣紙之劣化過程詳如圖 2 所示[2]。

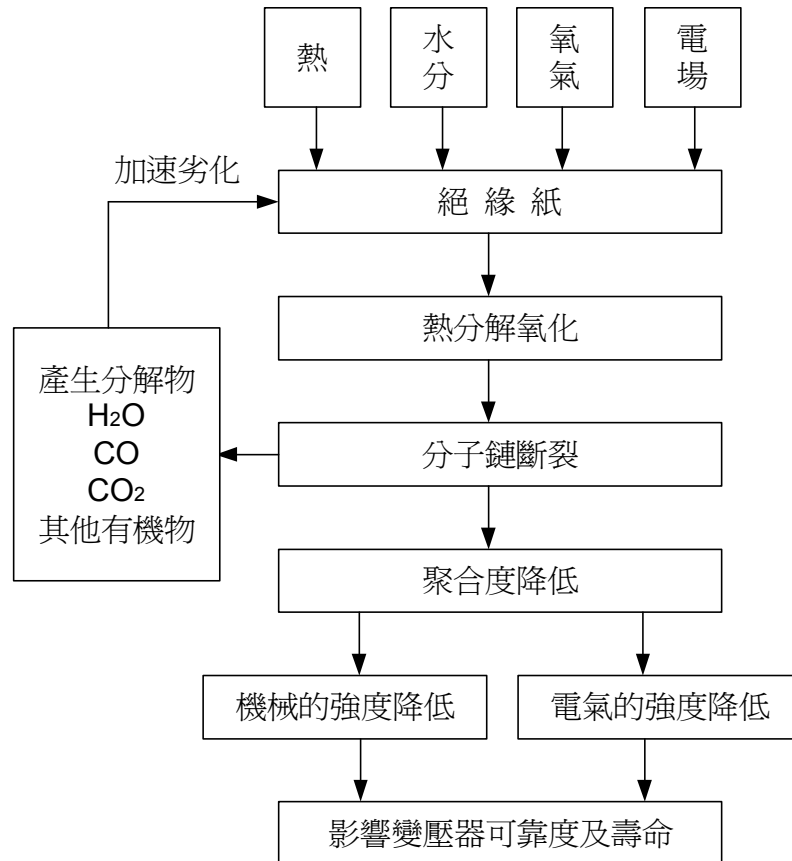


圖 2 絕緣紙的劣化過程

雖然變壓器的水分在出廠時必依規範規定予以烘乾，但從出廠到開始運轉，紙、油的劣化也跟著開始緩慢進行。由於絕緣油與絕緣紙間水平衡的關係，運轉中之電力變壓器的絕緣紙含水量很難直接測定，然而絕緣紙係為親水性材料，變壓器中之水分容易被吸附於絕緣紙中，故可透過偵測絕緣油含水量，進而可推估絕緣紙之含水量。

目前已有許多文獻探討水分對絕緣紙的影響，如絕緣紙的熱劣化程度與其含水量成正比[3]、含水量每增加一倍，絕緣材料的機械壽命則會減半[4]、同一絕緣紙中水分含量發生水蒸氣泡的溫度與其紙含水量成反比關係[2]，許多研究測試已指出對於一台新的變壓器，其絕緣紙中約有 0.5%含水量，氣泡溫度約為 180°；但若是一台絕緣紙含水量達 4%之變壓器，其氣泡溫度則可能低於 110°，故當遇到外部短絡事故時，絕緣紙含水量高的變壓器則有

可能因為事故大電流而使線圈溫度急升，產生水蒸氣泡，進而產生部分放電，甚者可能導致燒毀[1]。

由上述可得知，電力變壓器絕緣油中水分含量之多寡，對絕緣紙的劣化有著直接的關係，故當電力變壓器開始運轉後，如何監測其絕緣油中含水量狀況，同時檢視絕緣油中各主導型故障氣體濃度，將有助於即時為變壓器把脈，瞭解其健康狀況，及早發現異常狀況之症狀或跡象，研判其絕緣材料劣化的嚴重性，並在未發生嚴重故障前予以處理改善。

## 二、油中氣體及水分之限制標準

### (一) IEEE 規範之油中氣體限制標準

IEEE C57.104.1991 係北美地區在變壓器油中氣體解析上最常使用之規範，依據該規範指出，變壓器各類故障狀況可由其絕緣油中主要產生之氣體種類來判斷，如下表 1 所示[5]。

表 1 各類故障型態與其主要產生之氣體

故障型態	主要產生之氣體
部分放電	H <sub>2</sub> (氫)
絕緣紙熱破壞	CO (一氧化碳)
高溫過熱 (油中的熱破壞)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (乙炔)
電弧	H <sub>2</sub> (氫)及 C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (乙炔)

所以當變壓器絕緣油中氣體內的 H<sub>2</sub> (氫) 及 CO (一氧化碳) 濃度超過標準且持續上升時，若無適當處置，日後將可能導致故障的發生。

另外，IEEE C57.104.1991 規範亦指出，可燃性油中氣體之總和 (TDCG, Total Dissolved Combustion Gases) 可由一些具有指標性的油中氣體算出，該計算式如下：

$$\text{TDCG} = \text{H}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$$

IEEE C57.104.1991 規範依據 TDCG 之數值，定義了如表 2 所列之四種狀況，用以評估目前變壓器的運轉狀況有無異狀。

表 2 TDCG 數據與變壓器狀況之關係

狀況	TDCG	變壓器狀況
1	< 720	運轉正常
2	721 ~ 1920	未來可能會出現異狀
3	1921 ~ 4630	目前可能已發生異狀
4	> 4630	若持續運轉會導致故障

TDCG 單位：ppm

同時，依據上述四種狀況與個別指標性油中氣體濃度間之關係，制訂了下表 3。

表 3 指標性個別油中氣體濃度與變壓器狀況之關係

氣體	狀況 1	狀況 2	狀況 3	狀況 4
H <sub>2</sub>	< 100	101~700	701~1800	> 1800
CH <sub>4</sub>	< 120	121~400	401~1000	> 1000
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	< 35	36~50	51~80	> 80
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	< 50	51~100	101~200	> 200
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	< 65	66~100	101~150	> 150
CO	< 350	351~570	571~1400	> 1400
CO <sub>2</sub>	< 2500	2500~4000	4001~10000	> 10000

單位：ppm

## (二) IEEE 規範之油中水分限制標準

有關絕緣油中水分之含量基準，IEEE-C57.106-2002 規範依照電力變壓器之電壓等級及油溫，制訂了電力變壓器絕緣油溫與油含水量上限值及油中水分相對濕度等基準值，如下表 4 所示[6]。



表 4 油溫與油含水量基準

IEEE-C57.106-2002 規範			
油 溫 與 油 含 水 量 上 限			
電壓等級	< 69kV	69~230kV	> 230kV
溫度(°C)	ppm		
50	27	12	10
60	35	20	12
70	55	30	15
油 中 水 分 相 對 濕 度			
單位(%)	15	8	5

### 三、變壓器油中氣體及水分偵測器之構造、動作原理與規格

目前變壓器絕緣油中氣體分析（DGA）及水分測量已公認為評估變壓器狀態最重要的測試工作，而目前美國地區之製造廠商對於此項監測技術的發展及應用較為先進，接下來將分別介紹 GE 公司之變壓器油中氣體/水分偵測器 Hydran M2 與 Kelman TAPTRANS。

#### (一) Hydran M2（未附線上監測診斷系統）變壓器油中氣體/水分偵測器

Hydran M2 係為 GE Energy 公司之產品，取代 Hydran 201Ti 機型，一般安裝於一油箱頂端與底部的旁通迴路上。其除了偵測可燃性氣體總量讀值外，還內建一具濕氣感測器以偵測絕緣油中水分含量，另設有 4 個可設定組態的類比輸入端，這些輸入端可用於讀取及記錄油箱頂部油溫、冷卻狀態、環境溫度及負載電流等資料，圖 3、4 為裝設於美國 PSEG 電力公司 Essex 變電所內之 Hydran M2。

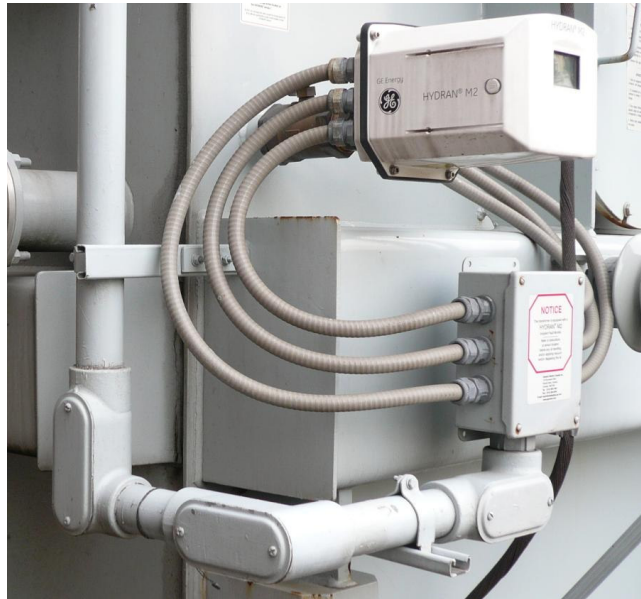


圖 3 GE Hydran M2



圖 4 裝於電力變壓器上之 Hydran M2

### 1. Hydran M2 偵測油中氣體之元件及動作原理

Hydran M2 之油中氣體偵測技術係運用探針技術於氣體溶解變化之偵測，如圖 5 所示[7]，溶解於變壓器絕緣油中之可燃性氣體，透過氣體滲透薄膜而與氣體偵測器接觸，並經探針反應後轉換成電流，其

中，電流反應溶解於絕緣油中的 H<sub>2</sub>（氫）含量為 100%，進而推估出其他三種氣體溶解於絕緣油中的含量，其分別為：CO（一氧化碳）為 15%，C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>（乙炔）為 8%，C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>（乙烯）為 1.5%。

該設備之氣體偵測原理簡單來說，即透過氣體滲透薄膜元件，將變壓器絕緣油中的 H<sub>2</sub>（氫）、CO（一氧化碳）、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>（乙炔）及 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>（乙烯）等可燃性氣體過濾出來，並經氣體偵測器而產生一定比例於故障氣體濃度之電氣信號，透過電腦比對後，將這些電氣信號轉換成 ppm 讀值顯示。

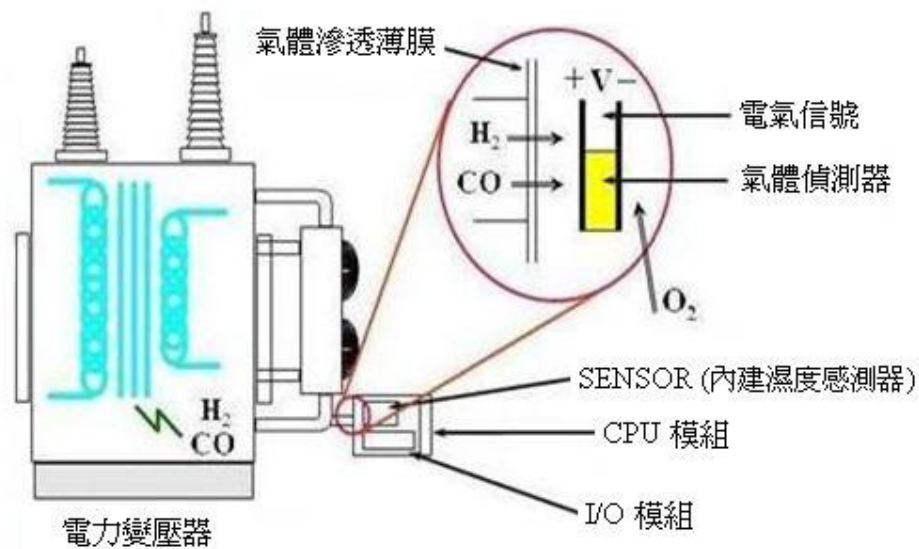


圖 5 油中氣體偵測器構造及原理

Hydran M2 所採用之絕緣油中氣體偵測技術並不完全依照 IEEE 57.104.1991 規範所設計。由於其氣體偵測器對該四種氣體之反應各不同，會有一定之比例於氣體濃度（H<sub>2</sub> 為 100%、CO 為 18%、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 為 8%、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 為 1.5%）的電氣信號，故其可燃性氣體之總量（TCG：Total Dissolved Gases）為四種氣體之含量與其所佔比例乘積之和。

$$TCG = H_2 * 100\% + CO * 18\% + C_2H_2 * 8\% + C_2H_4 * 1.5\%$$

舉例說明：

若氣體在絕緣油內含量為：H<sub>2</sub>：100ppm、CO：200ppm、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>：25ppm、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>：20ppm，則在偵測器中顯示之總量讀值為：138.3ppm，計算式如下所示：

$$\begin{aligned} \text{TCG} &= 100 * 100\% + 200 * 18\% + 25 * 8\% + 20 * 1.5\% \\ &= 138.3\text{ppm} \end{aligned}$$

Hydran M2 的故障氣體總量值計算方式之所以會有別於 IEEE C57.104.1991 規範，係因為 H<sub>2</sub>（氫）乃為放電之主導氣體，而放電對於變壓器之絕緣破壞影響最大，故 Hydran 裝置在油中氣體偵測上以 H<sub>2</sub>（氫）為主體偵測導向。

## 2. Hydran M2 偵測油中水分之元件及動作原理

Hydran M2 之油中水分偵測技術係利用濕度感測器來偵測電力變壓器絕緣油中之水分含量（以相對濕度顯示），如圖 5、6 所示。

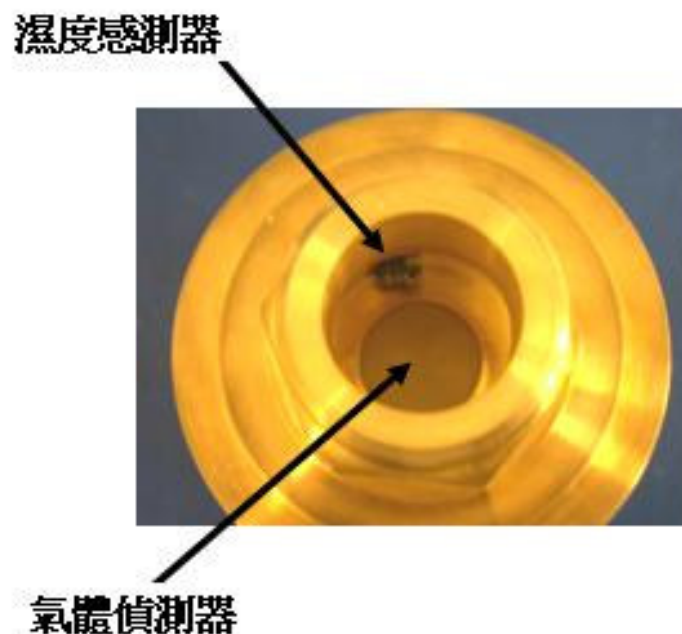


圖 6 Hydran M2 之氣體偵測器與濕度感測器

Hydran M2 之濕度感測器為薄膜電容性感測器，係採用高分子薄膜電容，並於高分子膜上下各鍍上一電極膜片，上方之電極為多孔性，可吸收水分，使水分子能被高分子膜吸收而改變其電容量，故當環境濕度發生改變時，其電容量也會因介電常數變化而改變，而電容變化量與相對濕度成正比關係，進而感測出相對濕度。

### 3. Hydran M2 變壓器線上油中氣體/水分偵測器之規格

- 偵測成分：RH%（相對濕度）、H<sub>2</sub>（氫）、CO（一氧化碳）、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>（乙炔）及 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>（乙烯）。
- 量測範圍：濕度：0 ~ 100 %RH。  
氣體：0 ~ 2000 ppm。
- 精    度：濕度：±2 %RH。  
氣體：±10 of reading ±25 ppm。
- 響應時間：濕度：5 分鐘；氣體：10 分鐘。
- 通信模組：RS-232 及 RS-485 介面。
- 外部感測器：4 個外部感測器的額外輸入端。

### (二) Kelman TAPTRANS (附線上監測診斷系統) 變壓器油中氣體/水分偵測器

TAPTRANS 係為 GE Kelman 公司最新研製之變壓器油中氣體/水分線上監測診斷系統，其採用該公司專利之光聲光譜檢測技術 PAS，可應用於個別檢測絕緣油中 8 種可燃性氣體及水分含量，同時，其可以監測變壓器主油箱、選擇器油箱及分壓器油箱，為單一系統即可監測主油箱跟 LTC 之高科技變壓器油中氣體/水分線上監測診斷系統。圖 7、8 為裝設於美國 conEdison 電力公司 Rockview 及 Cherry St. 變電所內之 Kelman TAPTRANS。



圖 7 GE Kelman TAPTRANS



圖 8 裝於電力變壓器上之 GE Kelman TAPTRANS

## 1. Kelman TAPTRANS 偵測油中氣體/水分之元件及動作原理

GE Kelman TAPTRANS 係應用光聲光譜檢測 (PAS) 技術於變壓器絕緣油中氣體及水分之分析。

PAS (Photoacoustic Spectroscopy) 是基於光聲效應的一種檢測技術，而光聲效應則是因氣體分子吸收到特定波長之電磁輻射（如紅外線輻射）所產生的效應。當油中氣體分子受紅外線輻射照射後，會吸收輻射而導致其溫度升高，此過程若是發生於密閉容器中，則氣體溫升將導致氣體壓力的變化；另外，由於每種化合物都有其特定的分子吸收光譜，若入射波長可變，則可檢測到隨波長變化的光聲信號圖譜。故透過選取適當波長的光輻射並配合檢測壓力波動的強度，即可鑑定該氣體是否存在及其濃度高低。圖 9 為 PAS 技術原理之圖示說明[8]。

Kelman TAPTRANS 之 PAS 技術係利用一個燈絲光源經拋面鏡反射聚焦後，經由以恆定速率 30HZ 轉動的光源調制盤調制其光源頻率，再透過一系列的濾光片（每一濾光片皆用於透射特定波長之光輻射）後，入射至光聲室，此時，光聲室內的油中氣體分子將會與入射光輻射產生光聲效應，利用高靈敏的微音器，即可探測與光輻射頻率相同或波長一致的壓力波動，進而達到對各油中氣體分子偵測及濃度分析。

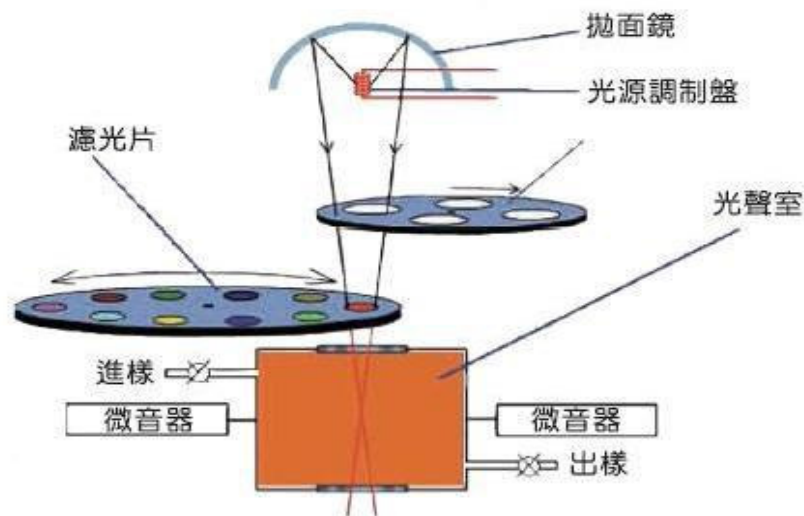


圖 9 光聲光譜檢測 (PAS) 技術之原理

## 2. Kelman TAPTRANS 變壓器油中氣體/水分偵測器規格

- 偵測成分：H<sub>2</sub>O（水）、H<sub>2</sub>（氫）、CO（一氧化碳）、CO<sub>2</sub>（二氧化碳）、CH<sub>4</sub>（甲烷）、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>（乙炔）、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>（乙烯）、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>（乙烷）及 O<sub>2</sub>（氧）。
- 量測範圍：濕度：0 ~ 100 %RH。  
氣體：0 ~ 5000 ppm。
- 精確：±5 %或 ±1 ppm。
- 測量頻率：每小時 1 次到每日 1 次，可調整。
- 通信模組：RS-232、RS-485、乙太網路及 GSM 無線傳輸等。
- 外部感測器：5 個外部感測器的額外輸入端、3 個 12~30V DC 數位輸入端。

## 四、 變壓器油中氣體/水分之監測與診斷

### (一) Kelman PERCEPTION

TAPTRANS 附有監測與診斷功能，其專用軟體 PERCEPTION 具有遠端控制、結果下載、各氣體值趨勢分析、故障診斷與結果分析等功能，故透過 PERCEPTION 軟體即可進行警報、取樣週期等設定，自動計算各氣體之增加速率與氣體比值，診斷目前變壓器之運轉狀況。

PERCEPTION 軟體提供有 Duval 三角形診斷法、主要氣體診斷法、氣體比值法以及曲線趨勢分析等功能選項。

### (二) TEC (Transformer Electronic Control) 監測診斷系統

TEC 係 ABB 公司結合其電力變壓器設計之經驗與 IEC、ANSI/IEEE 等標準所開發出來的一個電子控制、監控與診斷設備，該系統能依據使用者目前與過去歷史狀態資料，對變壓器設備操作條件進行評估，TEC 設備外觀如圖 10 所示[9]。





圖 10 TEC 箱體外觀

### 1. TEC 之架構

如圖 11 所示[9]，TEC 係透過各種感測器的輸入連接至其輸入基板後，收集與處理這些輸入數據，再經由網路將資料傳至中控室或遠端，並可於個人電腦上透過網站介面顯示該變壓器的狀態，如圖 12 所示[9]。

TEC 也可針對不同的使用條件進行模擬，並預報該設定條件對變壓器使用壽命的影響，便於使用者透過 TEC 來監控變壓器的目前狀態，及早偵測到異常徵兆而降低故障的風險。

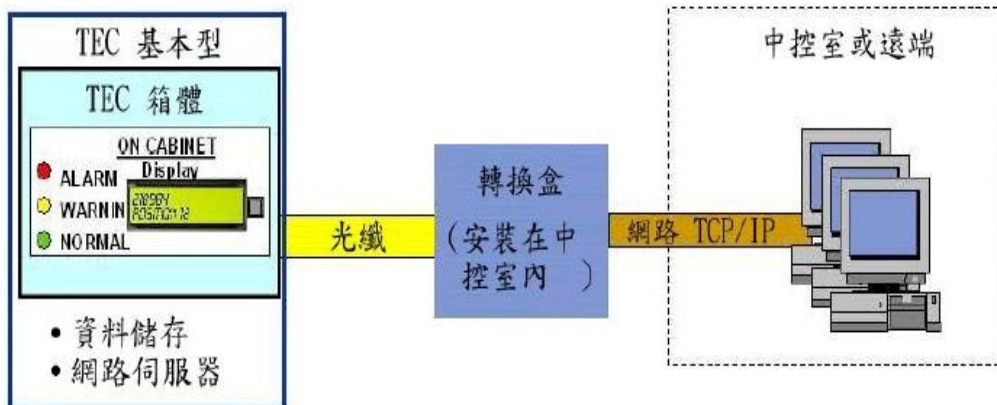


圖 11 TEC 設備架構

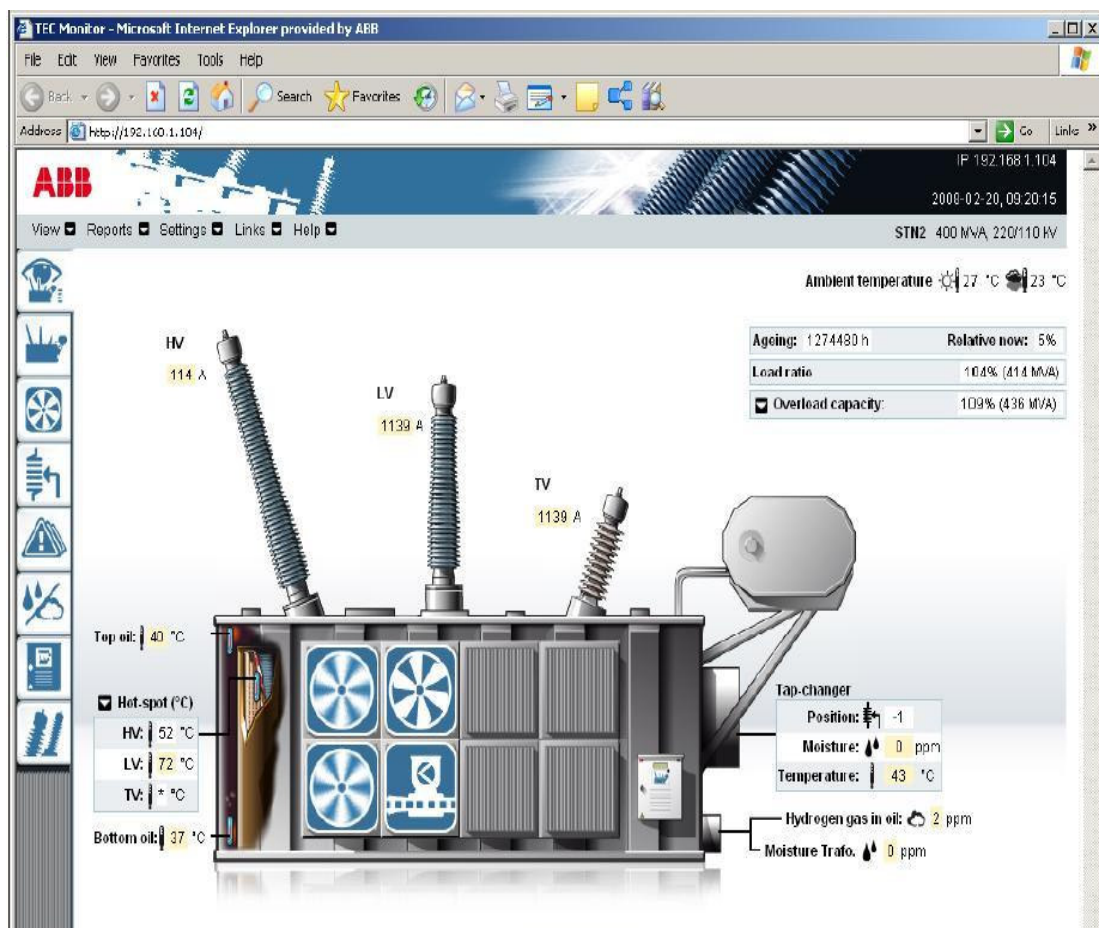


圖 12 TEC 網站介面

## 2. TEC 執行油中氣體/水分線上偵測之方式

TEC 在電力變壓器油中氣體偵測技術上（須先裝設油中氣體偵測器），係透過油中氣體偵測器，將其標示並儲存其數據後，於變壓器瀏覽螢幕上顯示目前之氣體數值及氣體含量隨時間變化之趨勢圖形，以供使用者觀察油中氣體含量的變化趨勢是否與負載有關，以監測變壓器是否有過熱之問題等異狀發生。

另外，在油中水分之偵測技術分析上（須先裝設濕度感測器），係將濕度感測器所測得之數值儲存成其數據，並計算變壓器油中水分含量，以 ppm 或相對濕度表示之，其數據亦會顯示於 TEC 顯示版及網路介面上，故當變壓器含水量增加時，可供使用者於圖形中觀察到油中水分含量之上昇趨勢，而採取適當的水分管理措施。有關 TEC 之油中氣體/水分偵測功能視窗顯示如圖 13 所示[9]。

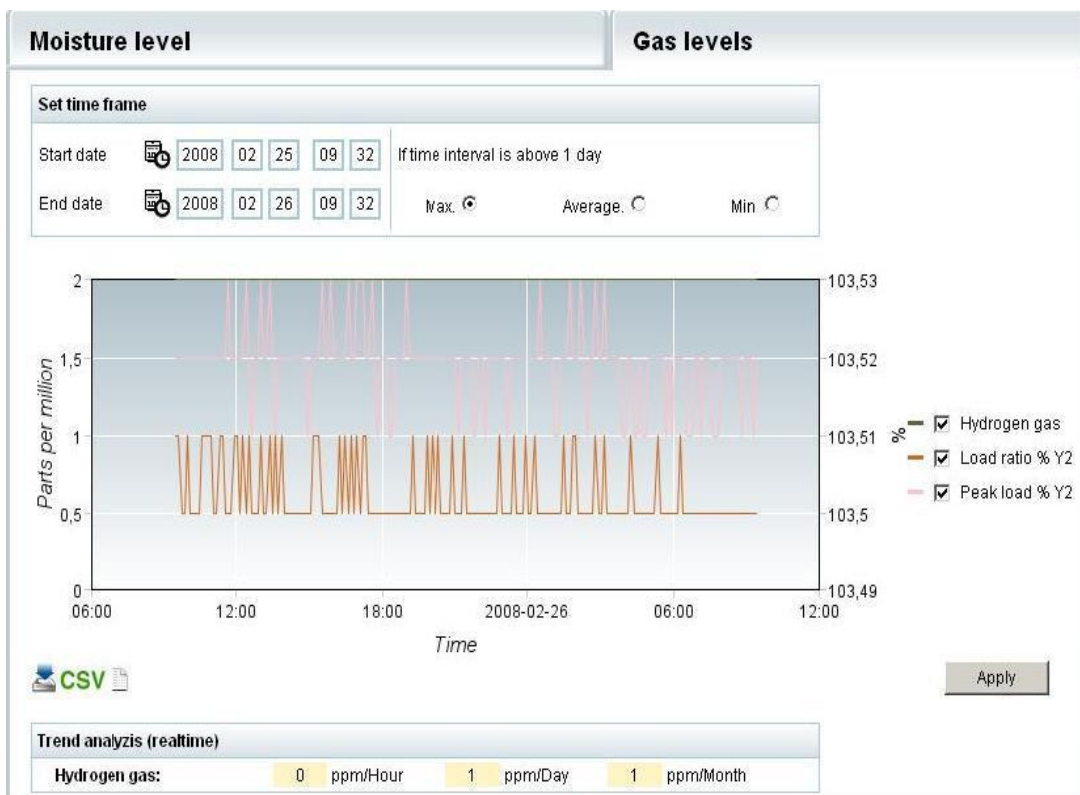


圖 13 TEC 之油中氣體/水分偵測功能視窗

## 五、 電力變壓器早期內部故障之診斷

電力變壓器於內部發生異狀之早期階段，絕緣油開始會產生一些微量氣體，並依異狀之類型而產生各種不同的油中氣體，此時，利用變壓器油中氣體/水份偵測器，即可偵測得相關氣體等數值，然而，如何透過這些個別氣體的定量（或總量）及這些氣體產生的速率，去研判及推估出可能發生的問題種類及嚴重性，對於每家電力公司來說都是相當重要的。

因此，美國 SRP 電力公司就針對最常見的四種電力變壓器故障問題所產生的各種氣體與 Hydran M2 偵測出的總量讀值相比較，以供作為日後運轉維護上之參考，相關說明如下[1]。

### 1. 在潮濕的絕緣體內發生軌跡放電

濕氣在進入變壓器後，於其底部絕緣隔板的冷卻零件上，容易收集到較多的水分，使得介電強度降低，進而導致壓板隔檔(Pressboard barriers)上可能發生軌跡放電。如圖 14，低電量的放電將明顯產生 H<sub>2</sub>（氫）及 CH<sub>4</sub>（甲烷）。

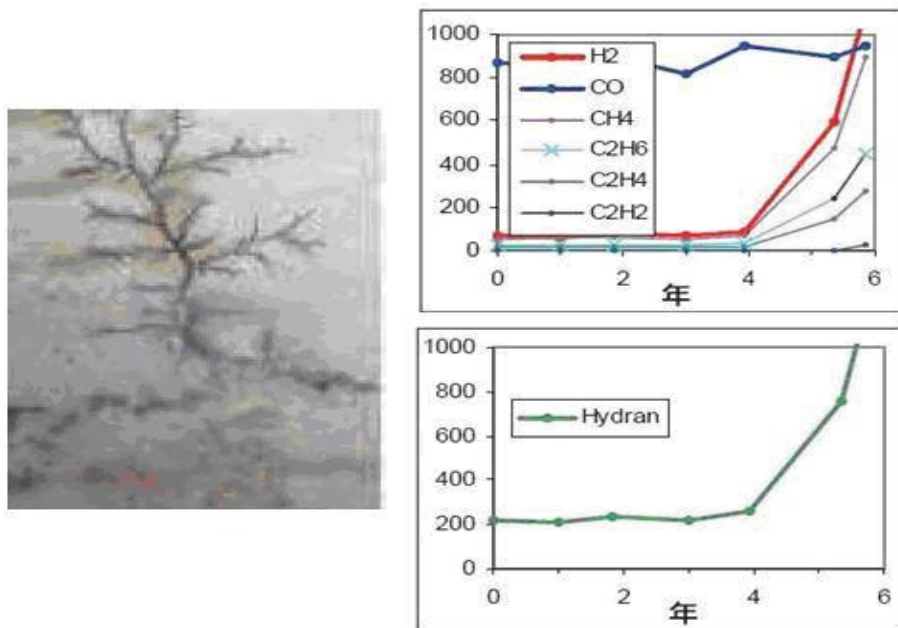


圖 14 潮濕的絕緣體內發生軌跡放電之氣體分析

## 2. 在鐵心內部有電流循環及局部過熱

變壓器鐵心發生絕緣故障時，可能導致在鐵心內部有電流循環及局部過熱之現象。如圖 15，這種熱金屬故障主要會產生  $C_2H_4$  (乙炔)、 $CH_4$  (甲烷) 及大量的  $H_2$  (氫)。

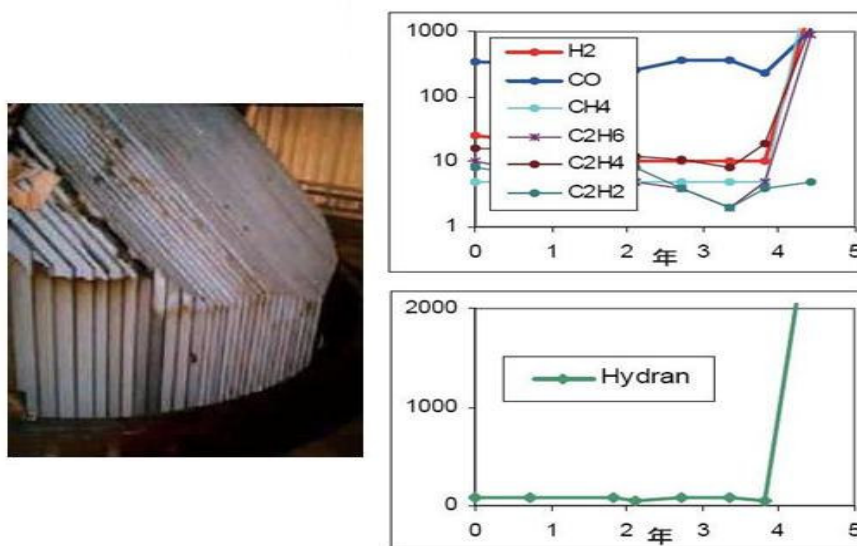


圖 15 在鐵心內部有電流循環及局部過熱之氣體分析

## 3. 繞組導體間過熱連接

當可繞式導線與硬式繞組導體間之壓接或焊接接點發生劣化時，通常會導致一個局部點。如圖 16，這種類型故障初期時會產生一些  $CO$  (一氧化碳)，之後則主要產生  $C_2H_4$  (乙炔) 及  $CH_4$  (甲烷)。

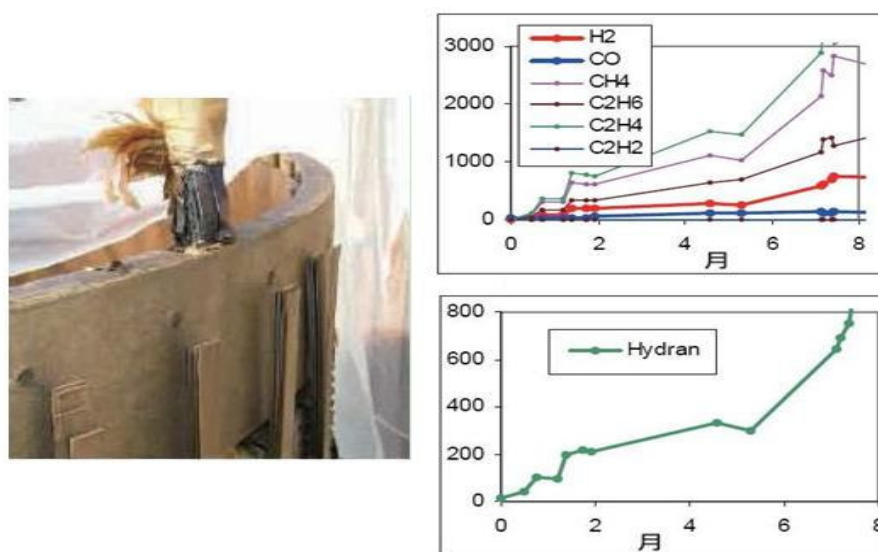


圖 16 在鐵心內部有電流循環及局部過熱之氣體分析

#### 4. 過載而導致繞組過熱和絕緣紙的熱退化

變壓器反覆的過載或冷卻系統不足時，可能會導致繞組絕緣過熱和絕緣紙之熱退化現象。如圖 17，這種類型的故障主要產生 CO（一氧化碳），然而這種固體絕緣材料之劣化是無法修換的，故若發生此種狀況時，也宣告了變壓器之壽命終止。

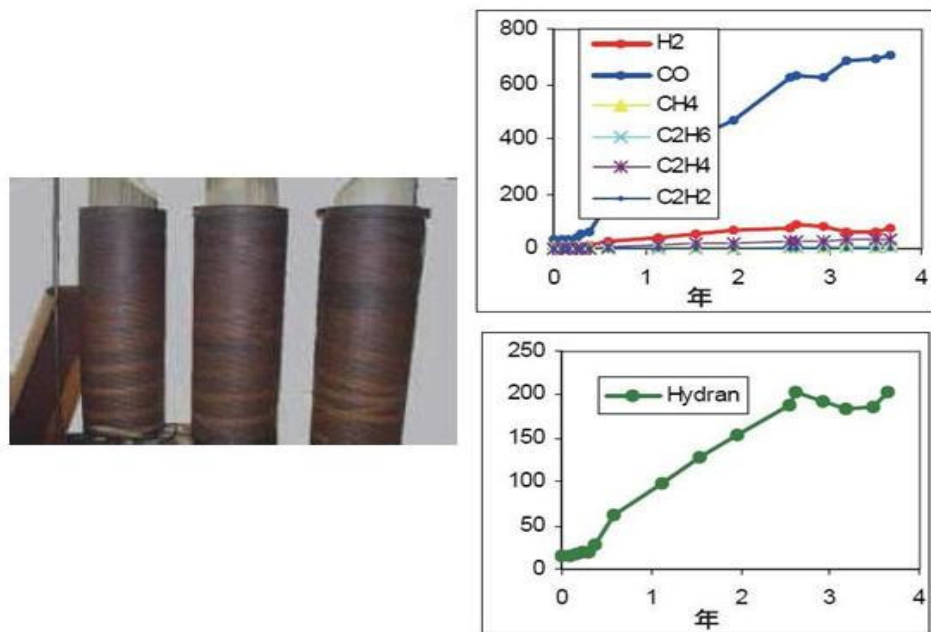


圖 17 過載而導致繞組過熱和絕緣紙的熱退化之氣體分析

## 肆、出國實習心得與建議

### 一、實習心得

本次赴美國參加電力變壓器油中水分偵測技術實習，經 ABB 公司、GE 公司及變電所等相關人員對該項技術及設備的介紹與說明後，瞭解到國外目前在油中水分偵測技術上的發展及應用，同時也對絕緣油之水分含量對變壓器的劣化影響有了進一步的認識。

以往認為溫度是影響變壓器老化的主要因素，現在則瞭解到絕緣油中之水分亦是一個重要的因素，若油含水量偏高將影響絕緣紙的絕緣強度，進而加快其劣化速度，尤其絕緣紙不像絕緣油可以修換，一旦嚴重劣化，也宣告著變壓器的不治。故利用電力變壓器油中水分偵測技術將有助於及早偵測出電力變壓器內部故障，對提升電力變壓器設備安全及供電可靠度有莫大助益。

目前國外電力公司在電力變壓器油中水分的偵測分析上，除了偵測絕緣油含水量外，亦會配合油中氣體偵測器所測得之各氣體種類及濃度，予以研判目前運轉中的變壓器狀況。故本次出國實習除了研習變壓器油中水分偵測技術外，對油中氣體偵測技術亦有所涉獵，因為運轉中的變壓器內部一直不斷的在進行油-紙之間的水分擴散移動，使得絕緣紙含水量難以直接量測，僅能從絕緣油含水量去推估絕緣紙的含水量，但由於紙分子容易受熱而氧化、水解，產生出水、一氧化碳及二氧化碳等氣體，故若再配合油中氣體的偵測，將有助於更準確的研判絕緣油、紙中之水分含量。

拜現今科技日新月異所賜，各製造廠家已研製出兼具偵測變壓器油中氣體及水分之監測設備，惟該技術應用時間尚短且仍在持續發展中，待日後該技術應用發展成熟後，將可引進本公司輸、供電系統。同時，在引進採用後，如何透過該設備所測得之數據，更細部的去研判目前運轉中的電力變壓器內部可能會發生故障狀況，將是日後運轉維護之重要課題。

## 二、建議事項

目前本公司輸、供電系統電力變壓器所安裝之早期故障偵測器，僅具油中氣體偵測功能、尚無油中水分偵測功能，建議本公司繼續追蹤油中氣體/水分偵測器及其相關早期故障診斷技術發展，俟其技術及應用相當成熟後，再行引進採用。



## 伍、參考文獻

- [1] “線上診斷老化的變壓器”，儀測科技
- [2] 賴昭村「浸油式電力變壓器的維護與水分管理」,台電工程月刊第 674 期 (2004 年)
- [3] J. Fabre and A. Pichon, “Deteriorating Processes and Products of Paper in Oil Application to Transformers”, *International Conference on Large High Voltage Electric System (CIGRE)*, Paris, France, 1960, Paper 137.
- [4] F. M. Clark, “Factors Affecting the Mechanical Deterioration of Cellulose Insulation”, *Transactions of Electrical Engineering*, vol. 61, pp. 742-749, October 1942.
- [5] IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers., IEEE Std. C57.104-1991, New York, NY, 1992.
- [6] IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment., IEEE Std. C57.106-2002, New York, NY, 2002.
- [7] “變壓器油中氣體監測系統操作手冊”，儀測科技
- [8] “變壓器油中氣體線上監測診斷系統-Kelman”，儀測科技
- [9] “智慧型監控系統-變壓器電子控制（TEC）系統-技術指南”，ABB 公司