

出國報告 (出國類別：洽公)

赴韓國首爾 OREUM 公司:擔任「SG 渦
電流資料分析」課程講師

服務機關：台灣電力公司核能發電處
姓名職稱：陳勝雄-核能工程監
李紹喜-核能工程監

派赴國家：韓國
出國期間：自民國 105 年 6 月 13 日至 105 年 6 月 17 日
報告日期：民國 105 年 6 月 28 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴韓國首爾 OREUM 公司:擔任「SG 渦電流資料分析」課程講師。

頁數 10 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話
台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話
陳勝雄、李紹喜/台灣電力公司/核能發電處/核能工程監、核能工程監
/(02)23667066

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究4 實習 5 其他(洽公)

出國期間：自民國 105 年 6 月 13 日至 105 年 6 月 17 日

出國地區：韓國首爾 OREUM 公司

報告日期：105 年 6 月 28 日

分類號/目關鍵詞：SG 渦電流資料分析

內容摘要：(二百至三百字)

105 年 1 月鼎技企業股份有限公司代表韓國 OReum 公司，函請本公司提供 S/G 渦電流檢測領域相關專業人員 2 員赴韓國 OReum 公司授課 3 天，其要求講師資格: (1) 須具備英文授課能力。(2) 須具備 ET QDA LEVEL III。(3) 須熟悉 EDDYNET SUITE 及 EddyNet98 or 11i software 操作。(4) 須具備主管資格及相關 10 年以上 S/G 和 RCCA 渦電流資料分析經驗。經雙方簽訂委託工作合約書，依排定 6 月 13 日由桃園國際機場搭機赴韓國首爾，6 月 14 日至 6 月 16 日，由檢測隊經理陳勝雄與電子維護主管李紹喜 2 員擔任講師，赴韓國 OReum 公司授課 3 天，6 月 17 日搭機從韓國首爾返回桃園國際機場，依合約要求順利完成授課。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

<u>內 容</u>	<u>頁次</u>
一、 目的與過程	2
二、 韓國 OReum 公司授課.....	2
三、 心得與建議	10

一、目的與過程

105年1月鼎技企業股份有限公司代表韓國 OReum 公司，函請本公司提供 S/G 渦電流檢測領域相關專業人員 2 員赴韓國 OReum 公司授課 3 天，其要求講師資格：(1) 須具備英文授課能力。(2) 須具備 ET QDA LEVEL III。(3) 須熟悉 EDDYNET SUITE 及 EddyNet98 or 11i software 操作。(4) 須具備主管資格及相關 10 年以上 S/G 和 RCCA 渦電流資料分析經驗。

經雙方簽訂委託工作合約書，依排定 6 月 13 日由桃園國際機場搭機赴韓國首爾，6 月 14 日至 6 月 16 日，由檢測隊經理陳勝雄與電子維護主管李紹喜 2 員擔任講師，赴韓國 OReum 公司授課 3 天，6 月 17 日搭機從韓國首爾返回桃園國際機場，依合約要求順利完成授課。

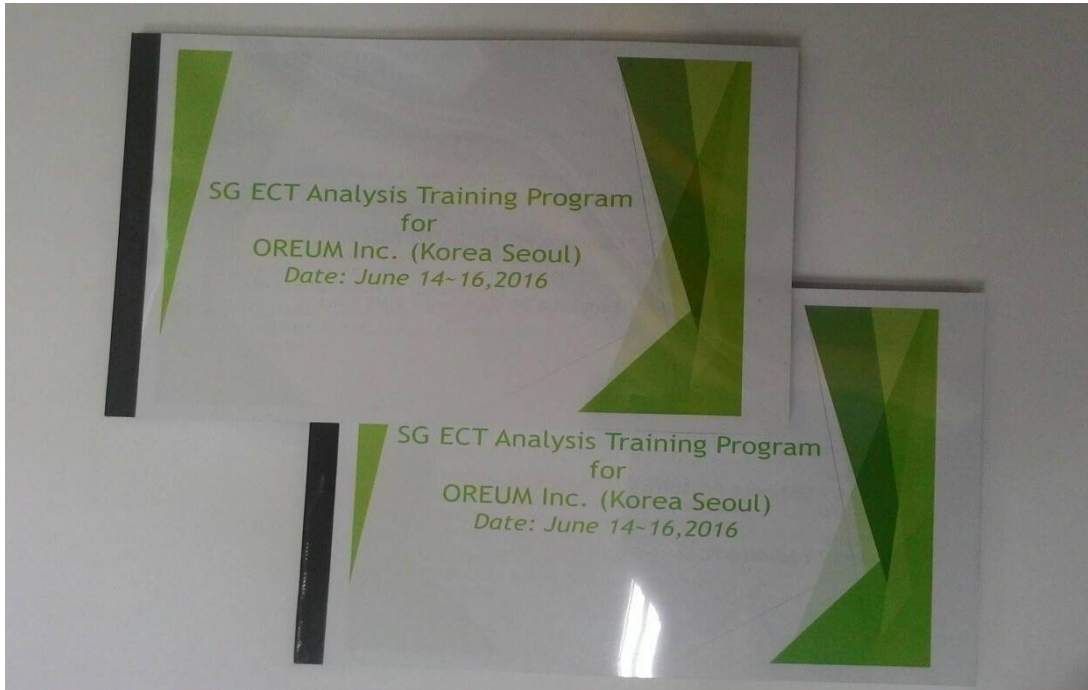
二、韓國 OReum 公司授課

(一)、教材準備事項

- 1、依合約要求編定授課內容:SG ECT Analysis Training Program for OREUM Inc.
(Korea Seoul) Date: June 14~16,2016
- 2、Day1 SG inspection 8 hrs (Instructor: CHEN SHENG-SHIONG, LEE SOU-SEE)
 - (1)、Introduction of Taiwan power company and ISI-team
 - (2)、Overview SG code requirement
 - (3)、Steam Generator Program Guidelines
 - (4)、TPC Steam Generator Program
- 3、Day2 ENS / EddyNet® PC Software / Data Analysis 8 hrs (Instructor: CHEN SHENG-SHIONG, LEE SOU-SEE)
 - (1)、TPC Steam Generator MIZ80i and ZR100 acquisition System
 - (2)、Bobbin coil data analysis tools and features
 - (3)、Review MRPC Data
 - (4)、Review for Array & X-Probe Data
- 4、Day 3 ENS / EddyNet® PC Software / EIMS 8 hrs(Instructor: CHEN SHENG-SHIONG, LEE SOU-SEE)
 - (1)、TPC Steam Generator ECT results

- (2)、TPC Steam Generator Scale management
- (3)、TPC Steam Generator sludge management
- (4)、TPC RCCA inspection System

5、依合約要求編製教材:印製 20 份教材。



(二)、韓國 OReum 公司授課：

1、6 月 13 日抵達韓國



2、6月14日抵達韓國 OReum 公司:拜會其執行長 Hotaek Yoon 先生及總經理 HougKun Ann 先生。



3、6月14日至6月16日授課情形:共有34位學員參與課程講習





4、6月14日授課之內容簡述如下:

(1)、介紹台電公司與核能發電處檢測隊(Introduction of Taiwan power company and ISI-team)

介紹台電公司核能發電情形與核電廠非破壞檢測業務及人員訓練、持照項目。並利用此次機會說明台電公司對外服務意願。

(2)、蒸汽產生器法規要求概覽(Overview SG code requirement)

壓水式核能電廠蒸汽產生器熱交換管是反應器冷卻壓力邊界整體的一部分，亦能隔離輻射產物從一次側至二次側到環境。在 1970 年代發展至 2006 年所要求使用檢測及修復 SG 管的技術規範有時效性，從運轉的經驗顯示 2006 年前使用的技術規範，可能無法確保 SG 管的整體性。其次美國機械工程師協會之技術規範(ASME CODE Section XI) 沒有如何使用各種檢測方法，檢測在熱交換管不同位置的特定劣化機制說明或如何選用特定檢測方法達成特別的目標。美國原子能總署(以下簡稱 US-NRC)於 2006 年頒佈了通函 GL 2006-1：蒸汽產生器熱交換管完整性與相關運轉技術規範，要求電廠執行以美國核能工程協會(以下簡稱 NEI) 訂立之 NEI 97-06：蒸汽產生器計畫導則(Steam Generator Program Guidelines)為基礎的 TSTF-449 Rev. 4 修改運轉規範，以滿足熱交換管運轉準則與確保熱交換管之完整性。NEI 97-06 包含了二次側的預防、非破壞檢測、評估和修復與洩漏監測措施，並要求須符合美國電力研究所(以下簡稱 EPRI)指導準則，它是以經驗為基礎且可行的技術來訂定的規定。美國 EPRI 相關工作導則如下：壓水式核能電廠蒸汽產生器檢測導則、壓水式核能電廠一次側至二次側洩漏導則、壓水式核能電廠二次側水質導則、壓水式核能電廠一次側水質導則、蒸汽產生器完整性評估導則與蒸汽產生器管內壓力測試導則。

(3)、蒸汽產生器計畫導則(Steam Generator Program Guidelines)

美國電力研究所(US-EPRI)於 1975 年成立了 SGMP 迄今，全美 22 個電力業者與 69 部壓水式核能機組均是 SGMP 會員，國際會員包括 9 個會員國(台灣、加拿大、日本、韓國、阿根廷、法國、瑞士、西班牙與比利時)共 145 部壓水式核能機組，每年約有 7.5 百萬美金投入相關議題研究，多年運作迄今成效卓著，其以一致性且廣泛的工業界立場來處理與解決 SG 所面臨的相關議題，並著重於各種議題的解決與結案，協助電廠達到 NEI 97-06 的要求，著力於 SG 運轉能力的探討，並研究如何將水化學最佳化以減少結垢並降低電廠的運轉與維護費用，亦對電廠非破壞檢驗(Nondestructive Examination, NDE)方面助益甚大，在 SGMP 計畫下發展了最新的 NDE 技術，可進一步降低檢驗費用並增加數據擷取與分析的效率與精確度，使 NDE 技術更有效地發揮功能。其提供電廠所需要的資訊與技術工具，使電廠能有效地處理 SG 換熱管(Heat Exchange Tube)的劣化問題，確保換熱管的結

構完整性與運轉能力，並降低運轉與維護的費用，為了達到這些目的，發展了相關導則與技術文件，可幫助 PWR 電廠安全且可靠地運轉 SG。

針對 NEI 97-06 「蒸汽產生器導則」，引用 SGMP 導則中有關壓水式核能電廠蒸汽產生器檢測導則(Pressurized Water Reactor Steam Generator Examination Guidelines, Rev. 7)與蒸汽產生器完整性評估導則(Steam Generator Integrity Assessment Guidelines, Revision 2&3)，壓水式核能電廠一次側至二次側洩漏導則(PWR Primary-to-Secondary Leak Guidelines)、壓水式核能電廠二次側水質導則(PWR Secondary Water Chemistry Guidelines)、壓水式核能電廠一次側水質導則(PWR Primary Water Chemistry Guidelines)、蒸汽產生器管內壓力測試導則(Steam Generator In Situ Pressure Test Guidelines, Revision 3)。

NEI 97-06 要求對 SG 的熱交換管執行狀況追蹤與運轉評估，蒸汽產生器完整性評估導則提供證明熱交換管符合性能準則的方法，使用本導則所述的標準程序有助於管制單位的審查與接受。SG 完整性分析最主要的三個部分是：DA、CM、與 OA，此三部分的分析結果可確保 SG 將持續滿足性能準則。

DA 實際上是規劃的過程，DA 指出電廠 SG 劣化的相關資訊並建檔備查，DA 的目標是為了即將來臨的大修對於 SG 現有的與潛在的劣化所準備的檢查方法，需確認對 SG 完整性分析所需的資訊已齊全。

CM 是檢視過往(Backward Looking)的措施，其目的是確認在過去的週期內熱交換管維持應有的完整性，CM 是對檢查後所了解的熱交換管情況執行分析，以確認是否能滿足性能準則，熱交換管的檢查需依照壓水式核能電廠 SG 檢測導則完成非破壞檢測將其結果完成 CM，其結構與洩漏完整性評估的結果需與各自之性能準則比較，若無法滿足性能準則，需執行肇因分析並採取適當的改正行動，CM 分析的結果需視各自因素而納入電廠將來的 DA、檢查計畫以及 OA 評估。

OA 與 CM 不同的地方為 OA 是預期未來(Forward Looking)而不是檢視過往，OA 的目的是確認在下一個運轉週期內熱交換管能夠符合 SG 完整性性能準則。

(4)、台電蒸汽產生器檢測計畫(TPC Steam Generator Program)

SG 熱交換管的劣化機制，可區分為二大塊：(1) 腐蝕相關，與(2) 機械力引起。腐蝕相關的劣化包括薄化、孔蝕 (pitting)、ODSCC、以及 PWSCC，而機械力引起之劣化包括磨耗、沖擊(impingement)以及高週疲勞。

沿晶侵蝕與外徑應力腐蝕之裂縫：沿晶侵蝕(Intergranular Attack, IGA)與外徑應力腐蝕(Outside Diameter Stress Corrosion, ODSCC)發生於管板與熱交換管間之隙縫、管板的脹管過度區、支撐板與熱交換管間之隙縫、管板頂端淤泥堆積處、以及支撐板間之裸管(Free Span)。IGA 的特性是在晶粒邊界產生局部的、腐蝕性的材料耗失，並不需要有大的拉應力存在，但應力的存在加速了 IGA 的滋生與成長，軸

向 IGA/IGSCC 會沿著熱交換管外徑表面的淺紋發展，這些淺紋很可能是在 SG 組裝的過程中所造成，IGA 在這些淺紋中產生，最後裂縫沿著晶粒邊界而繁衍。

一次側應力腐蝕：軸向與周向的一次側應力腐蝕(Primary Water Stress Corrosion Cracking, PWSCC)典型地發生在 SG 熱端(Hot Leg)端高殘留應力區域，例如管板之擴管區、U 型彎管區、發生凹蝕之支撐板附近，發生此類型的裂縫一般都需要同時存在著敏感的金屬顯微組織、高殘留應力、以及溫度，在管板與熱交換管焊接的熱影響區亦曾發現 PWSCC，由於製造技術的不同，較高列數的外層 U 型彎管，其應力亦有可能高於內層 U 型彎管，若熱交換管的脹管過度區超過管板外面許多，在 DA 中必須描述檢查的要求。

磨損與磨耗：磨損(Fretting)與磨耗(Wear)是機械組件之間相互摩擦所造成的劣化，可能是鄰近的熱交換管之間、熱交換管與防震桿之間、或者是熱交換管與支撐板鑽孔之間的磨擦，磨耗通常都是指連續性的而且振幅較小的摩擦，而磨損則是指間歇性且振幅較大的摩擦，磨損與磨耗一般都是流體誘發振動所引起，而流體誘發振動是橫越熱交換管之局部高流速所造成。

孔蝕：孔蝕(Pitting)指直徑很小的管壁穿孔，一般來說都發生在管板上淤泥堆積的附近，將此種劣化稱為積垢下或隙縫腐蝕可能更貼切，因為必須要有淤泥堆積或者積垢才會產生此種腐蝕，積垢成為雜質擴散的障礙，因此更加強了腐蝕性雜質在局部的濃度，此種劣化過去大量存在。

高週疲勞(High cycle fatigue) 一般都是流體誘發振動所引起，而流體誘發振動是橫越熱交換管之局部高流速所造成，西屋公司所出產的 SG(以碳鋼為材質的鑽孔型支撐板)發生過高週疲勞。疲勞的一個重要機制是流體彈性不穩定(Fluid-elastic Instability)所造成的流體誘發振動，當流體彈性穩定比(SR)大於或等於 1 的時候，流體彈性機制對熱交換管的反應有甚大影響。

沖擊：沖擊(Impingement)會導致熱交換管表面金屬的喪失，主要是因為高速流體中夾雜著懸浮粒的原因，此種劣化機制最先在 Oconee 電廠直通式 SG 中發現，現在比較少發生。

蝕耗/薄化：蝕耗(Wastage)或薄化(Thinning) 指腐蝕造成的劣化，管壁的金屬被蝕掉，且蝕掉的面積相對的比較大且被蝕之厚度較均勻，若熱交換管表面磷酸鈉濃度較高就容易發生，此種劣化主要發生在西屋 Model 51 SG 冷端熱交換管支撐板附近。

SG 熱交換管，當劣化（在對結構穩定性和滲漏的一個挑戰）存在時，非破壞檢測（NDT）是可以提供安全機制需要，掌握 SG 運轉後的條件，建立適當的維修和運轉參數。為了指出影響 SG 熱交換管完整性的劣化，檢測與量測劣化的 NDE 系統需加以量化，蒸汽產生器檢測導則提供了建議包括：檢測要求、技術驗證、

數據品質與技術和人員的資格。

為使 SG 安全被驗證，累積運轉壽命，SG 熱交換管的劣化機制，更有可能成為挑戰其安全運轉操作。主要工業運轉前檢測，NEI97-06 已制定管理這些機制的影響。NEI97-06 是集合眾多的努力，由發電業者，核能電廠蒸汽供應系統(NSSS) 供應商，運轉間檢測(ISI) 的供應商，以及各種顧問等，建立健全安全和技術上的做法，使核能電廠 SG，提供最大限度的使用壽命。

5、6 月 15 日授課之內容簡述如下:

(1)、台電蒸汽產生器管檢測設備(TPC Steam Generator MIZ80i and ZR100 acquisition System)

介紹現有核三廠蒸汽產生器管渦電流檢測設備，因屬高輻射與高汙染作業，使用遠端網路遙控自動定位機構 ZR100 與遠端網路遙控自動渦電流檢測設備 MIZ80i 執行檢測、校準、維護經驗。

(2)、軸繞探頭特性與研判、驗證技術(Bobbin coil data analysis tools and features)

介紹現有核三廠蒸汽產生器管渦電流檢測軸繞探頭檢測技術、探討 EPRI 蒸汽產生器檢測導則有關軸繞探頭之有效驗證技術，並於工作站實際操作解釋，以利學員了解軸繞探頭研判技術。

(3)、旋轉探頭檢測技術應用(Review MRPC Data)

介紹現有核三廠蒸汽產生器管渦電流檢測旋轉探頭檢測技術、探討 EPRI 蒸汽產生器檢測導則有關旋轉探頭探頭之有效驗證技術，並於工作站實際操作解釋，以利學員了解旋轉探頭探頭研判技術。

(4)、陣列與 X-探頭檢測技術應用(Review for Array & X-Probe Data)

介紹現有核三廠蒸汽產生器管渦電流檢測陣列探頭檢測技術、探討 EPRI 蒸汽產生器檢測導則有關陣列探頭探頭之有效驗證技術，並於工作站實際操作解釋，以利學員了解陣列探頭探頭研判技術。

6、6 月 16 日授課之內容簡述如下:

(1)、台電蒸汽產生器管渦電流檢測結果(TPC Steam Generator ECT results)

介紹現有核三廠蒸汽產生器管渦電流檢測各種探頭檢測規劃、追蹤檢測項目與檢測結果，並與相同型式之蒸汽產生器比較塞管差異與瑕疵統計。

(2)、台電蒸汽產生器管積垢管理(TPC Steam Generator Scale management)

介紹現有核三廠蒸汽產生器管積垢成因，清洗管理、檢測規劃及數據分析。

(3)、台電蒸汽產生器管板汙泥管理(TPC Steam Generator sludge management)

介紹現有核三廠蒸汽產生器管淤泥成因，清洗管理、檢測規劃及數據分析。

(4)、台電爪型控制棒檢測系統(TPC RCCA inspection System)

介紹台電第三核能發電廠，有兩部壓水式核能反應器，由美國西屋公司生產製造，採用上方抽插的爪型控制棒（Rod Cluster Control Assembly 簡稱 RCCA）。爪型控制棒是控制反應器功率的基本工具，不僅用於控制正常運轉時反應度的改變，亦控制異常狀態時急遽改變的反應度，使反應器安全停機。

壓水式反應器爪型控制棒運轉時，除調整功率的控制棒外，停機之用的控制棒均抽離燃料束，停在核能反應器上區的保護匣內，因反應器內部水流擾動造成爪型控制棒護套振動與反應器上區的保護匣內支架接觸磨損。

為確保運轉操作安全，台灣電力公司在原子能委員會嚴格監督下，依「核電廠爐心營運計畫」擬定壓水式反應器控制棒檢測計劃，在有限的機組大修時程，由核發處非破壞檢測隊執行爪型控制棒護套渦電流檢測，確認其結構的完整性。

控制棒(RCCA)渦電流檢測，係使用 2 套數位化多頻道渦電流 EddyNet 檢測系統及 1 套 EddyNet 研判系統，能一次同時檢測 12 支 Rodlet，只要 0°，180°即可完成整組控制棒 24 支 Rodlet 的檢測；比以往外國系統一次檢測 3 個探頭要 0°、90°、180°、270°經 4 次控制棒上下均紀錄檢測才能完成，可節省檢測時間。

三、心得與建議

1. 本次為首次與國外客戶簽訂委託工作合約書執行對外授課，準備期間因出國員額規定，必須挪用年度出國計畫經費與員額，對於國外工作承攬有所受限制，建議公司能擬定海外工作承攬出國規定免受公務出國員額限制。
2. 經過 3 天的授課，課堂間亦與學員討論分享韓國核電廠非破壞檢測作業與檢測經驗，對韓國核電廠非破壞檢測作業能進一步了解，在授課時教學相長。
3. 藉此上課機會能了解韓國核能電廠運轉期間非破壞檢測 ISI 執行狀況，檢測相關法規引用以及檢測技術方法現況與未來需求趨勢。
4. 韓國核能電廠運轉期間非破壞檢測公司基本上有多家合格的私人公司，檢測公司的規模、設備與人員各類證照數須經電廠查驗認可符合資格才能參與競標，得標廠家則依合約規範要求執行工作。