

出國報告（出國類別：訓練）

赴美國核管會
研習核能電廠稽查管制技術及參訪

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：江庚晏副研究員、余福豪技士

派赴國家：美國

出國期間：106年8月12日至106年9月7日

報告日期：106年11月3日

摘要

本次赴美國核能管制委員會(NRC)進行研習與參訪，旨在提昇我國視察員對於核能電廠安全管制稽查經驗交流與技術能力。研習人員共 2 名，行程分為三部分，簡介如下：

第一部分為課程受訓，第一階段課程安排至 NRC 位於田納西州查塔努加市的技術訓練中心 (Technical Training Center, TTC)，參加「奇異公司沸水式核能電廠 BWR4 模擬器操作技術再訓練」，內容主要包含暫態分析、運轉規範應用、其他相關技術議題探討及模擬器訓練等；第二階段課程赴 NRC 總部，參加由 EPRI 及 NRC-RES 所共同舉辦之火災機率風險評估訓練課程(Fire Probabilistic Risk Assessment Training)。

第二部分行程為參訪行程，安排前往 NRC 總部，參訪 NRC 於新建大樓所設立之的緊急應變中心 (Operations Center)，並參加 NRC 與喬治亞州、新澤西州及第 4 分區辦公室之公眾會議，後續亦拜訪位於華盛頓特區之台北經濟文化代表處 (TECRO)。

第三部分行程為電廠參訪，本次出國行程安排至 Surry 核能電廠參訪，並與 NRC 駐廠視察員及核能電廠業者進行意見交換與技術議題討論，期間隨同 NRC 駐廠視察員實地參觀電廠，瞭解 NRC 管制作為。

本次出國人員研習美方核能電廠安全管制、稽查技術與實務經驗等，對提昇視察員稽查管制能力至為重要，同時增進對美方安全管制技術之了解，可謂獲益良多，歸國後彙整受訓期間研習心得，作為我方安全管制實務工作之參考，並對本次參訪提出相關建議，希冀對我國核能電廠安全管制能有所助益。

目 錄

摘 要.....	I
目 錄.....	II
圖目錄.....	III
附件目錄	III
壹、目的	1
貳、過程	2
參、行程內容及心得.....	4
一、赴 NRC 訓練中心接受奇異公司沸水式核能電廠技術訓練課程及 NRC 總部參加「火災機率風險評估訓練課程」	4
二、NRC 總部緊急應變中心參訪及參加公眾會議	10
三、參訪 Surry 核能電廠	11
肆、建議	15

圖目錄

圖一、R-904B 課程中詢問講師問題照片	19
圖二、於 SURRY 電廠外與駐廠視察員、我方駐美人員、NRC 聯絡人合影	19

附件目錄

附件一、R-904B 核能電廠進階技術訓練課程課表	17
附件二、EPRI 與 NRC-RES 聯合舉辦之「火災機率風險評估訓練」課程	18

壹、目的

本次出國研習的主要目的有以下三項：

- 一、 精進核能電廠安全管制作業：透過交流活動與美國 NRC 人員、專家討論，以及隨同 NRC 駐廠視察員至美國核能電廠，實地觀摩駐廠活動，學習核能電廠管制實務及經驗，有助於我國研擬核安管制措施、執行相關視察作業及各項安全審查工作，可精進我國核能電廠安全管制作業。
- 二、 提昇人員管制專業能力：藉由參加美國核能管制委員會（Nuclear Regulatory Commission, NRC）技術訓練中心（Technical Training Center, TTC）之 R-904B 訓練課程(GE BWR/4 Technology Review, R-904B)，以及 EPRI 與 NRC-RES 聯合舉辦之「火災機率風險評估訓練」(EPRI/NRC-RES Fire Probabilistic Risk Assessment Training)之訓練課程，除增進對於沸水式反應器系統了解外，同時學習美國核能電廠視察員及電廠從業人員之管制經驗、深化人員對於電廠安全系統設計理念及運轉規範理念等方面之管制實務知識，以及美國管制機關對於核能電廠火災機率風險評估之最新資訊，強化核能電廠管制人員專業能力。
- 三、 強化台美管制機關相互交流：藉由拜訪美國 NRC 緊急應變中心及參加公眾會議，了解 NRC 對於核能電廠緊急事件之指揮體系、通報機制與安全管制，以及 NRC 與民眾溝通交流之經驗；另行程亦安排參訪營運中核能電廠，了解國外核能電廠管制方式及對於 FLEX 相關設備之儲存規劃，平時整備方式等，並於電廠會議中分享我國核電廠之實際案例，與美方討論並交換管制心得，深化雙方之經驗交流及人員能力。

貳、過程

此次赴美國 NRC 研習行程，主要分為三部分，行程如下：

第一部分為課程受訓，於 106 年 8 月 12 日搭機赴美，8 月 13 日抵達位於美國田納西州查塔諾加市 (Chattanooga, TN)，8 月 14 至 18 日於 NRC 技術訓練中心參加第一階段課程，進行為期一週的「奇異公司沸水式核能電廠 BWR4 模擬器操作技術再訓練」(GE BWR/4 Technology Review, R-904B)，爾後安排前往華盛頓 DC，參加 8 月 21 日至 25 日於 NRC 總部 EPRI 與 NRC-RES 聯合舉辦之「火災機率風險評估訓練課程」(EPRI/NRC-RES Fire Probabilistic Risk Assessment Training)。

第二部分為參訪行程，除拜會我國台北經濟文化代表處 (TECRO) 科技組外，亦參訪 NRC 總部於新建大樓所設立的緊急應變中心 (Operations Center)，及參加 NRC 與喬治亞州、新澤西州及第 4 分區辦公室之公眾會議

第三部分行程為電廠參訪，安排前往維吉尼亞州參訪 Surry 核能電廠。

9 月 6 日搭機並於 9 月 7 日返抵國門，結束為期 27 天之研習行程，行程簡列如下：

日期	工作內容
8 月 12 日至 8 月 13 日	去程 (搭機前往查塔努加)
8 月 14 日至 8 月 18 日	至 NRC 技術訓練中心(查塔努加)：研習 R-904B 訓練課程(GE BWR/4 Technology Review, R-904B)。 8 月 18 日課程結束後搭機前往 DC，當日下午拜會我國位於華盛頓特區之台北經濟文化辦事處 (TECRO) 科學組。
8 月 21 日至 8 月 25 日	赴 NRC 總部參加 EPRI 與 NRC-RES 聯合舉辦之「火災機率風險評估訓練課程」(EPRI/NRC-RES Fire Probabilistic Risk Assessment Training)

8 月 28 日	個人休假
8 月 29 日	參訪美國核管會總部緊急應變中心及參加 NRC 與喬治亞州、新澤西州及第 4 分區辦公室之公眾會議
8 月 30 日	參訪 Surry 電廠
8 月 31 日至 9 月 5 日	個人休假
9 月 6 日至 9 月 7 日	搭機返回台北（返程）

參、行程內容及心得

一、赴 NRC 訓練中心接受奇異公司沸水式核能電廠技術訓練課程及 NRC 總部參加「火災機率風險評估訓練課程」

本次出國訓練與實習，規劃於 8 月 14 日至 18 日參加美國 NRC 技術訓練中心有關奇異公司沸水式核能電廠 BWR/4 模擬器操作技術再訓練，以及於 8 月 21 日至 25 日參加位於 NRC 總部之「火災機率風險評估訓練課程」(EPRI/NRC-RES Fire Probabilistic Risk Assessment Training)，共計兩門課，為期兩週。

沸水式核能電廠 BWR4 模擬器操作技術再訓練課程

按原規劃行程於 8 月 14 日(星期一)一早即前往美國 NRC 技術訓練中心(TTC)報到，填寫資料申請門禁卡片，然後正式開始編號 R-904B(GE BWR/4 Technology Review)的訓練課程，除我們兩位國際學員外，其餘皆來自美國境內，包括 NRC 總部，美國各電廠駐廠視察員以及 NRC Operations Center 等。因本課程為進階課程，講師假定參訓學員均對 BWR/4 系統具一定程度之了解，而非未接觸過相關訓練者，故先進行系統複習，包括圍阻體演進過程(包括 Mark-I、Mark-II 至 Mark-III 型之設計及其理念，各種 GE BWR 之圍阻體設計差異)、ECCS 系統、torus 以及汽機控制系統介紹，對於深入了解 BWR/4 設計及掌握各項系統功能具有相當助益。

8 月 15 日(星期二)講授課程計有：上午進行 BWR/4 主蒸汽系統(MSIV、SRV、ADS 動作原理)，廢氣處理(Off-gas)系統介紹，講授內容並非單純介紹系統所含設備，而是於異常事件發生時，系統設計功能及動作原理及方式，另外也介紹了 FLEX 設備，及廠區發生 SBO 時，FLEX 設備之運用方式，同時以事件時序區分之三個階段(installed/on-site portable/off-site)分別說明，並提出於第三階段時，若需要廠外支援，在美國境內設有兩個 National SAFER Response Center (註: SAFER 為 Strategic Alliance for FLEX Emergency Response 之縮寫)，分別位於 Memphis 和 Phoenix，必要時可

提供相關物資以及出動飛行載具吊掛相關支援器械至現場，但講師也提及，由於成本的關係，NSRC 以飛行載具吊掛重型器械設備的部分(設備重達數噸)並未進行測試，其可行性待確認。下午講師帶我們至 BWR/4 模擬器操作，學員分成 3 組進行，講師先介紹程序書各項步驟後讓我們實地操作，主要操作的程序書有：緊急柴油發電機併聯測試、機組起動前長迴路與短迴路(short cycle 以及 long cycle)閥位確認及清洗、主冷凝器真空度測試等，其中講師亦說明進行緊急柴油發電機併聯測試時，running 電壓應略大於 incoming 電壓，且相角應調整為滯後，方可投入發電機斷路器。

8 月 16 日(星期三)講授課程計有：Replacement of OPDRVs(OPERATIONS WITH A POTENTIAL FOR DRAINING THE REACTOR VESSEL)，主要探討反應爐進行核反應時，反應爐水位可能會因為某些程序的啟動、系統的開啟或迴路裂縫的產生，而導致降至 TAF 以下的情形，通常來說，只要是安裝位置或取水口低於 TAF 的系統都有可能造成此現象，如 recirculation system & water clean-up system 等，為避免前述情形發生，須採取對應措施，如連接到閉迴路系統或洩水流徑應可被手動或是自動閥隔離，此時不會造成壓力槽水位降至 TAF 以下。此外，講師亦介紹 Drain time 的概念，該定義為： $(\text{how much inventory do we have above TAF})/(\text{drain time})$ ，並依計算結果反映至 LCO，予以規範在一特定時間內應採取對應行動減緩洩水，例如計算 drain time 之結果若小於一小時即應採取對應行動。下午至模擬器操作，內容有 RHR core spray 模式流徑配置、第二台冷凝水泵(CP)及冷凝水增壓泵(CBP)起動測試、依控制棒序列執行抽棒作業及 SRM&IRM 偵檢器頻譜調整作業。講師著重說明第二台冷凝水泵(CP)及冷凝水增壓泵(CBP)起動時功率限制以及抽棒時所需注意之反應爐現象、系統反應。

8 月 17 日(星期四)講授課程包括：廠用水系統介紹(service water system design)，系統設計目的為移除衰變熱及提供圍阻體冷卻等，講師提及由於環境因素的影響，廠用水通常含有雜質、沉澱物及顆粒，當上述物質沉積於管路內壁時，會使系統管路水流量下降，此外，講師亦介紹微生物影響(micro-bio corrosion)，當微生物增生時，可能影響系統管路的完整性(發生破蝕等)，同時說明預防機制，如水中加藥。在模擬器操作部分，執行 HPCI 全流量測試、汽機旁通閥(TBVs)可用性測試。

8月18日(星期五)，本日為課程最後一天，講師直接以電廠出現 SBO，主控制室值班人員所應執行之程序來考驗各分組，並觀察各分組學員之反應，並於機組狀態緩和後，講解事件發生時系統所出現暫態及對應警報涵義，課程結束後順利取得 NRC 訓練中心所頒授的結訓證書，其後即搭機由查塔努加飛抵華盛頓，於機場與本會駐美同仁趙衛武副組長會合後，下午拜訪駐美代表處(TECRO)，並逐一拜會曾東澤組長、林寶玉副組長、呂學祥秘書及陳蕙心小姐，了解駐美代表處之環境及工作後，準備參加下週課程。

綜合而言，編號 R-904B 訓練課程設定之學員為已受過完整訓練且有現場實務經驗者，故非常重視學員間的討論，講師往往是提出議題，在旁輔以引導之形式，並搭配 NRC 自有的奇異公司沸水式核能電廠模擬器進行模擬，以增加受訓學員的臨場感，主要以分組進行模擬器的操作，當出現暫態警報時，講師也從旁觀察各學員的對應方式並加以解說，透過運轉規範查詢練習及運轉規範定義的了解，學習如何判定機組各項系統參數能否符合安全分析要求，以及針對不符合規範之進入限制運轉狀況、對應之改正行動與完成時限，過程中提供充分的時間與美國視察員們討論。整體而言，對於講師們不先行提供答案而是以學員相互討論與分享經驗，來對系統暫態變化做出對應，最後再提供可行之方案的引導式教學有非常深刻的印象。

EPRI 與 NRC-RES 聯合舉辦之「火災機率風險評估訓練」課程

EPRI 與 NRC-RES 聯合舉辦之「火災機率風險評估訓練課程」(EPRI/NRC-RES Fire Probabilistic Risk Assessment Training)，地點為 NRC 第三大樓 2 樓教室，其課程目標係教授若電廠於滿載穩態運轉時發生廠內火災，應如何分析及降低爐心熔毀或放射性物質外釋的風險。本課程涵蓋範圍包含火災模擬的單位體積切割方法(Plant Partitioning)、火災引燃頻率(Fire Ignition Frequency)之估算、火災模擬範圍定義(Scoping Fire Modeling)、火災事件演進分析(Detailed Fire Scenario Analysis)以及簡述地震引發火災的內容(Seismic Induced Fire)。本課程為期一週，講師為 Francisco Joglear，課程內容敘述如下：

8月21日(星期一)除了進行本項訓練課程簡介外,講授火災機率風險評估(Fire PRA)相關的各個元素基本定義、估算某一火災事件引發CDF的通用性公式、現行火災模擬模型所具備的能力,主要內容如下:

介紹火災PRA相關各元素定義,包含火的定義、火生成的三元素(燃料、氧氣、能量)、三種熱傳方式的機制(傳導、對流、輻射)、火焰上方被加熱的空氣以及燃燒生成的產物流動串(Fire Plume)的定義、Fire Plume觸及天花板和牆壁的現象(觸及天花板會九十度轉彎在天花板下方生成薄薄之流動氣體層;觸及牆壁則牆壁會吸收其熱量,使其沿牆壁向下流動)、有無點火引源之區別(Piloted Ignition/Non Piloted Ignition)(是否已有已存在的火焰,後者又稱為spontaneous ignition)、熱釋率(Heat Release Rate, HRR)估算、燃燒率(Burning Rate)估算、影響範圍(Zone of Influence, ZOI)估算、熱塑性(Thermoplastic)及熱固性(Thermoset)材質受熱的區別(前者受熱融化;後者受熱軟化裂開但不融化)、化學計量比定義(Stoichiometric Ratio)(燃料產生蒸汽和空氣混合,使得燃料得以燃燒完全之最佳比例)、火焰傳播(Flame Spread)於不同情形下其所屬數量級值、亂流煙流(Turbulent Fire Plume)的拖帶(Entrainment)及渦流(Eddies)現象、各種火災偵測器運作機制(熱、煙、火焰)、各種抑制火災的方法和其原理(冷卻、移除氧氣、阻絕受熱面和熱源、干預化學氧化過程)、各種用以減緩或是防止火災擴散的被動火災保護措施(passive fire protection)(塗層,電纜托架屏蔽,穿越孔密封,防火牆建置等)、分析火災事件演進的基本元素(火災引源、周遭可燃物、分析目標、相關火災防護措施、火災所在位置、重要事件時間點如偵測時間點和防護措施啟動時間點等)、火災引源可能來源(蓄電池、蓄電池充電器、空氣壓縮機、變壓器、渦輪發電機油槽、馬達、MG set、電盤、泵、主控制室操作盤等)、進行電廠Fire PRA履勘原則(由潛在火災引源處向上方觀察評估其火災後各種後續可能性及其他注意事項)、火災演進事件可能導致火災蔓延之可能因素(包括空間加熱,高能量電弧故障,存在中間可燃物質)以及模擬火災的單位體積切割原則。

8月22日(星期二)課程介紹當電廠發生某一火災事件,估算火災演進之CDF頻率公式($CDF = \lambda * W * SF * P(NS) * CCDP$)。其中 λ 為假定火災引源致使引燃群組的頻率。 W 為此火

災發生在該引燃群組中特定引源或是特定電廠位置的權重因子。SF 為火災嚴重程度因子 (Severity Factor)，其定義為其嚴重程度超過特定值又未能被撲滅的百分比。P(NS) 為火災未能被撲滅使得分析目標受損的機率 (非抑制機率；Non Suppression Probability)。CCDP 為 Conditional Core Damage Probability，其定義為在分析目標損毀時，運轉員未能執行安全停機導致 CDF 的機率。

前述公式中各項因子的估算均有其原則和細節，例如將一般性的某元件火災引燃頻率轉換成特定電廠的火災特定元件引燃頻率、引燃歷史頻率的分類及計算方法和原則、評估非抑制機率(non-suppression probability)依其情境有其相應參數和曲線、估算嚴重因子(severity factor)時以 Gamma 機率分布曲線計算熱釋率(HRR)、根據分析目標物特性及目標物是否位於影響範圍(Zone of Influence, ZOI)以定義其受損門檻值(可能是溫度或是熱通量，也可能是煙霧密度值但較不易評估)、允許撲滅火災的時間長度和元件被損害的時間以及偵測到火災發生的時間的關係以及他們應用到非抑制機率計算時的情形、是否及時偵測到火災以及是否具備撲滅火災能力評估、控制室於火災發生時的適居性及電廠之替代停機(alternate shutdown)能力評估等、可燃物介入時之情形。

課程並介紹現行火災模擬模型所具備的能力，包含火焰產生之熱效應以及其對天花板的後續效應、熱空氣層以及空間加熱現象、氧氣欠缺以及火焰向上延燒影響、多處火災同時發生情境、煙霧生成及移動、不完全遮蔽及障蔽阻擋火災擴散情形、火災偵測情形、電纜及主控制室控制盤內部的火焰成長情形、控制盤間的火災蔓延、火災抑制及火勢減緩情形模擬、氫氣火災、液體擴散火災。

8 月 23 日(星期三)講授課程摘要：接續昨日之課程，當日主要講述火災檢測和抑制分析方法，模型假定於一特定空間內由單一火源針對三處(底層電纜托架、高層電纜托架及產生之煙霧效應)進行 PRA 分析，隨著時間的演進，底層電纜托架先受火源影響燃燒，進而引燃高層電纜托架，最後藉由煙霧引燃其他未直接受火源影響之電纜托架，前述事件可構建一個事件樹，以反映隨著時間的推移而漸進之傷害狀態，藉由事件樹分支點值(取決於損害時間長短和適用的非抑制機率曲線種類)，以推算目標物(本劇本為電纜托架)於承受火災影響時間區間內之可能受損機率。

下午介紹火災事件之初步檢測，包括何者構成初期的火災探測系統(VEWFD)、不同類型的煙霧探測技術及現行指引，美國一些電廠自 20 世紀 90 年代中期以來一直使用空氣取樣探測器(ASD)作為降低風險的措施，一些電廠使用 ASD 作為增強檢測系統，對於區域範圍的應用，ASD VEWFD 系統的性能優於傳統的點式探測器。

8 月 24 日(星期四)講授課程摘要：針對 PRA 分析，講師於課程第 2 天已介紹原理，今日以一些特定模型加以說明(電纜火災，機櫃(開關箱)火災傳播，高壓電弧產生火災，被動屏蔽)，針對前述火災模擬模型估計火災生長的程度和時間，模型基於火災實驗、操作經驗、實際火災事件及工程判斷等依據建立之，講師分別舉出一些事例，以及播放實際燃燒機櫃之影片來佐證說明；除前述引起火災之因素外，講師再加入主控制室控制盤面火災，主汽機主發電機火災以及氫氣火災，並分別探討傳播方式及特徵。

另因主控制室幾乎包括所有電廠系統之控制和儀表迴路，講師針對這一例子特別說明，同時逐一說明主控制室火災之分析方式，並建議以下列步驟進行分析：

- 步驟 1：確定主控制室的功能
- 步驟 2：估算主控制室的火災頻率
- 步驟 3：識別執行火災探測和抑制功能之系統
- 步驟 4：替代反應爐急停功能確認
- 步驟 5：識別目標
- 步驟 6：識別火源
- 步驟 7：定義火情
- 步驟 8：進行火焰生長和傳播分析
- 步驟 9：火災探測及抑制分析和嚴重性因素
- 步驟 10：估計使用於反應爐替代急停系統之故障機率
- 步驟 11：估計撤離控制室的機率
- 步驟 12：計算劇本頻率
- 步驟 13：建立劇本文件分析結果

8 月 25 日(星期五)講授課程摘要：今日為本課程的最後一日上課，講師講授涉及多

個具關聯性或相鄰消防隔間的火災分析，包括火災蔓延分析、煙霧傳播路徑、美國核電廠火災經驗中罕見事件及篩選過程，分析重點是先行進行單隔間分析、儘量減少多隔間組合的數量以方便分析進行，且與細部火災建模使用相同的分析方法，並由以下步驟進行分析，步驟 1：建立受到火災影響區域(隔間)矩陣、步驟 2：以定性方式進行第一次篩濾、步驟 3：以低火災影響區域(隔間)進行第二次篩濾、步驟 4：發生頻率第三次篩選、步驟 5：基於 CDF 第四次篩選、步驟 6：詳細分析、步驟 7：記錄分析結果，講師並逐步說明各步驟進行方式，並解答各參與學員於本週學習困惑之處及回答問題後，即結束本週 fire PRA 之課程。

綜合以上的 fire PRA 課程，講師對於火災的分析可謂鉅細靡遺，針對火的種類、火災成因、演進過程、火災偵測及 PRA 分析，都有相當詳盡的探討，給予我們深刻印象，而課程中講師撥放之火災影片，如模擬開關箱發生火災之演進過程、模擬核能電廠發生電纜托架起火演進過程，美國研究人員透過實際燃燒設備來呈現，亦相當具有參考價值。

二、NRC 總部緊急應變中心參訪及參加公眾會議

8 月 29 日上午參訪位在 NRC 總部第 3 大樓地下室 1 樓之緊急應變中心，NRC 安排人員向我們解說其應變機制並回答問題，內容摘述如下：

緊急應變中心設有監視儀器，可以連線至各核子設施，即時得知運轉參數，同時亦能監測美國各區氣象狀況，我們到訪當日正值哈維颶風(Hurricane Harvey)侵襲美國德州休士頓地區，因暴雨傾盆而下而造成該地區洪水氾濫，而在該中心可清楚監測前述重要氣象數據，亦有提供即時新聞給工作人員參考。緊急應變中心之主要監測區設置多台電腦隨時接收美國國內核電廠訊息，近期新增全美各航班即時相對位置影像圖，當有飛行物蓄意攻擊核電廠時，可透過相關申請程序請求鄰近空軍支援，於夜晚時如有必要，核能電廠可關閉其所有相關照明設備使蓄意撞擊核電廠之飛行物失焦無法得逞。監測區後方為玻璃透明隔間之指揮中心，隔間內設有數個大螢幕供指揮人員參考。指揮中心後方房間供負責與傳播媒體聯絡者使用，目前 NRC 非常重視各種新興媒體公布之資訊，以

及即時於各種行動載具上澄清說明相關資訊之能力，當發生緊急事件時，亦可協助總指揮對外適當發布相關消息。該中心全年無休，每天 24 小時均有 2 位專職人員值勤，每班 12 小時，負責第一線應變責任。有關緊急應變中心和各核電廠間每日聯繫方面，緊急應變中心每日能在一小時內與每座核電廠完成當日機組運轉狀態確認。此外，對於緊急應變中心安全防範方面，除將該中心設置於地下室外，每日應變中心均會產生一組隨機以英文和數字交叉組合的身分確認碼作為身分確認使用，確保相關人員安全。

8 月 29 日下午參加 NRC 公眾會議，此會議是有關喬治亞州、新澤西州及第 4 分區辦公室核材料管制相關視察結果之審查委員會議(Special Material Review Board Meeting)，NRC 以舉辦公眾會議的方式，與民眾對話。公眾會議分成三個等級：第 1 類會議，民眾只能聆聽不能表達意見；第 2 類會議，民眾可在會議主持人許可之特定時段表達意見；第 3 類會議，民眾則可隨時表達意見，第 2、3 類會議表達意見的方式，可以在現場、電話、及網路方式來進行。核管會人員會把會議資料置於 NRC 網站之 ADAMS 資料庫系統，供民眾下載資料。至於第 1 類之核管會委員會議，由主席及委員們參加並向 NRC 職員或被邀請來的講者對談，會後將會議紀錄上載至網頁公開。本次會議為第 1 類會議，參與單位包括 Office of Executive Director for Operations、NRC Region I、III 及 IV 辦公室、Office of Nuclear Material Safety and Safeguards、Office of General Counsel、喬治亞州及新澤西州辦公室，會議主持人以視訊方式與分區辦公室主管，喬治亞州及新澤西州視察員交換意見，會議中由各分區報告核材料管制情形、問題及討論，最後由會議主持人逐一詢問各與會人員及分區負責人是否同意，獲得所有人員同意後方作成決議，美方注重人員的參與及意見而非傳統上對下的形式做成結論，是比較特別之處，值得我方參考。

三、參訪 Surry 核能電廠

8月30日參訪位在維吉尼亞州 Surry 核能電廠，過程中除與 NRC 的 Surry 駐廠視察員及電廠工作人員進行意見交換外，並且赴廠房實地參觀。參觀過程由視察員 Philip

McKenna (Senior Resident Inspector)及 Clinton Jones (Resident Inspector)全程陪同，進行經驗交流及現場參觀，結果如下：

(一)現場參觀：本次 NRC 駐廠視察員安排參觀設備，首先辦理入廠手續，進入電廠需先換證，Surry 電廠的門禁管制相當嚴謹，出入都必須刷卡，且有武裝人員於管制站檢查進出人員，給我們留下深刻印象。入廠後，首先參觀 FLEX 設備(包括緊急柴油發電機、拖車、起重機及小型挖土機等)、渦輪機、輔助泵等所在的建物，前述設備均訂有檢查週期，主要檢查功能及儲油油量是否正常。電廠人員特別提及 Surry 儲置 FLEX 的建物之所以採用圓頂屋頂(Dome)，原因是可讓防護天然災害以及飛射物的程度達到最大化，避免遭遇意外災害時須提供支援之 FLEX 設備受損，達到防護最佳化。此外，駐廠視察員 Philip 也介紹 Surry 電廠的另一特點，由於建廠時期較早，有別於其他電廠使用冷卻水塔作為最終熱沉，Surry 電廠使用運河將電廠運轉生成的廢熱利用運河渠道排進和排出，採用運河的好處是若發生緊急狀況運河內有相當容積的存水量可作為冷卻備用水源(1.8 英里長以及 30 英尺深)，缺點是較冷卻水塔需要更多的維護工作(運河到河邊的距離長達 1.8 英里均需要維護)。接著視察員帶我們至開關箱廠房參觀因應電廠全黑情形(SBO)配置之緊急備援設備，前述設備均有明確標示，同時 Bus 與緊急電源連接處輔以不同顏色清楚識別，避免人員操作錯誤，值得我們參考。主控制室參觀緊急柴油發電機操作盤面，該盤面位於主控制室房間兩側，盤面包括緊急柴油發電機電壓、頻率、併聯操作、緊急停機及同步儀等相關按鍵及顯示窗口，駐廠視察員亦介紹主控制室重要盤面位置及警報模式，隨後即至駐廠辦公室討論相關議題。

(二)設備組件老化相關討論議題：本次參訪主要針對設備組件老化相關議題，例如電廠蒸汽產生器老化情形及管理進行討論。Surry 電廠運轉年齡與我國核三廠相近，其蒸汽產生器塞管率亦與我國核三廠接近。另外根據 Surry 電廠人員描述，其塞管與否之判斷標準為蒸汽產生器管壁厚度小於原設計值之 40% (根據

Technical Specification)，此點亦與我國相同。另我國核三廠先前曾清潔蒸汽產生器二次側污垢，成功解決功率震盪的現象，Surry 電廠表示，他們也曾採取過類似措施。Surry 電廠目前申請延役中，根據其電廠人員敘述，Surry 電廠與 Peach Bottom 電廠為兩座申請將電廠運轉年限從 60 年進一步延長到 80 年的領先者。

(三)電廠欠相問題之探討：針對 Surry 電廠欠相問題，電廠人員表示 NRC 針對此問題曾發布 Bulletin 2012-01 給各電廠，Surry 電廠亦就前述要求對廠內相關變壓器逐一檢視其繞組配置，結果如下：

(1)Reserve Station Service Transformer(RSST)，Surry 電廠共有 3 只 RSST(RSST A、RSST B 及 RSST C)，繞組形式為 Δ -Y 接，電壓等級均為 34.4kV(變壓器一次側)/4.16kV(變壓器二次側)，且均為一次側繞組有效接地而二次側繞組低阻抗接地。

(2)System Reserve Transformer(SRT)，Surry 電廠共有 3 只 SRT(SRT 1、SRT 2 及 SRT 4)其中 SRT 1 繞組形式為 Y- Δ 接，SRT 2 及 SRT 4 繞組形式為 Δ -Y 接，電壓等級 SRT 1 為 512.5kV(一次側)/36.5kV(二次側)，SRT 2 及 SRT 4 為 230kV(一次側)/36.5kV(二次側)，且均為一次側繞組有效接地而二次側繞組阻抗接地。

評估結果：系統是否受開路影響之因素除變壓器繞組型態外，亦受變壓器負載影響，如 ESF buses(安全相關匯流排)是透過 RSSTs 由優先電源供電，所以對 RSSTs 來說，分析時被視為有負載。第一種分析結果為當外電欠相且對象為 RSSTs 一次側繞組時，電壓降低將導致特殊安全設施匯流排(ESF Bus)之低電壓電驛(UV, under voltage)動作，可在 2 秒內與故障外電切離。第二種分析結果為外電欠相且對象改為 SRT 2 及 SRT 4 時，系統之低電壓電驛(UV)將無法有效偵測電壓不平衡，導致特殊安全設施匯流排(ESF Bus)未能與故障外電切離，在這情況下 ESF 匯流排及廠外電源可能無法正常操作(不可用)，這種情況主控制室仍會出現 ESF 匯流排低電壓警報。第三種分析結果為當外電欠相且分析對象為 SRT 1 時，情形較為複雜，當外電開路而未接地(ungrounded)時，雖然也會導致

ESF bus 出現小幅度的三相不平衡現象，但 ESF 匯流排及廠外電源供應仍能維持正常。而當外電直接接地時，則與前述 SRT 2 及 SRT 4 的情形相同，UV 或 DV 無法有效偵測，造成外電及 ESFs 均不可用。

此外，Surry 電廠也提供數種可行方法供參考，當發生外電欠相時，主控制室人員可藉由 ESF 匯流排低電壓警報(BUS 1H(Typical) Degraded Voltage)得知，可依據警報程序書步驟處理，後續亦可輔以現場履勘及定期維護減低發生外電欠相機率。另電廠人員亦表示目前核工業界對於此問題尚在研究，仍未有定論，將持續關注相關議題之進展，若有結論即依其改善之。

肆、建議

- 一、 本次出國所學之核電廠安全管理技術、管制實務，以及與美方駐廠視察員和授課講師的互動等，研習成果甚為豐富，對我國核能電廠安全管理作業有相當助益，建議未來仍應持續辦理視察員赴美參與訓練課程，且持續積極進行核安管制業務和實務經驗交流，以提升我國管制之視野與效能。
- 二、 我國目前處於執行非核家園政策時期，有三座核電廠其 40 年運轉執照即將到期，但我國核電廠並無除役相關經驗，因此相關管制與審查技術之學習及經驗獲取反饋有其必要性與急迫性。建議於未來詳細規劃並辦理相關人員出國參與除役管制安全課程或與有相關經驗的機構積極進行交流，以精進未來國內核電廠除役安全管理之能力。
- 三、 國外訓練課程著重課堂師生互動提問及學員間的討論，使得參與者得以針對所學內容彼此交換不同觀點及進行深刻反思，此方式值得我方學習，建議於考慮實際狀況後，我方可於訓練時多安排類似讀書會或討論會時段的可行性。
- 四、 以往本處派員至美國 NRC 受訓，多以參加美國 NRC 技術訓練中心(TTC)舉辦之課程為主，本次除前述相關訓練課程外，亦增加專案訓練課程(EPRI/RES 舉辦之 Fire PRA 課程)，核能電廠火災防護與機組運轉及除役期間安全息息相關，亦為我國核安管制持續關注之課題，此行可謂獲益良多，建議爾後派員出國受訓時亦可參考今年經驗，考量安排參加專案訓練課程。

附件一、R-904B 核能電廠進階技術訓練課程課表

GE BWR/4 Advanced Course R-904B

Day	Title
1	BWR/4 System Review Part I / BWR System Revolution (Containment & ECCS)
2	BWR/4 System Review Part II / FLEX Introduction / Simulator Course
3	Replacement of OPDRVs / Discussions on 10 CFR 50.59 / Simulator Course
4	Service Water System Design / Simulator Course
5	Wrap Up / Simulator Course

附件二、EPRI 與 NRC-RES 聯合舉辦之「火災機率風險評估訓練」課程

EPRI/NRC-RES Fire Probabilistic Risk Assessment Training

Day	Lecture
1	Fire Fundamentals: Introduction and Overview Fire Fundamentals: Definitions Fire Fundamentals: Fires in the Open and Fully Ventilated Fires Fire Fundamentals: Compartment Fires Fire Fundamentals: Detection and Suppression
2	Fire Scenarios Task 1 - Plant Partitioning Task 6 - Fire Ignition Frequency Fire Fundamentals: Appendix G - Heat Release Rates
3	Appendix H: Damage Criteria and Damage Time Appendix E: Fire Severity Task 11: Detailed Fire Modeling, and the PRA Standard' s Fire Scenario Selection and Analysis Technical Element Task 11a: Detailed Fire Modeling and Single Compartment Scenarios
4	Detection and Suppression Appendix P Special Topics in Detection and Suppression Analysis - General Approach for Treatment of Progressive Damage States Incipient Detection Task 11 - Special Models Part 1: Cables Fires, Cabinet Fire Spread, High Energy Arc Faults, Passive Barriers Task 11 - Special Models Part 2: Main Control Board Fires, Turbine Generator Fires, Hydrogen Fires Task 11: Special Models Part 3: Self Ignited and Hot Work Cable Fires (FAQ 13-005), Junction Boxes (FAQ 13-006) Task 11b: Main Control Room Fire Analysis and Appendix L Task 11c - Multi-Compartment Fire Analysis
5	Task 13: Seismic Fire Interactions Peak Heat Release Rates and Effect of Obstructed Plume



圖一、R-904B 課程中詢問講師問題照片



圖二、於 SURRY 電廠外與駐廠視察員、我方駐美人員、NRC 聯絡人合影