

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：廖柏名技正、張自豪技士

派赴國家：美國

出國期間：105年7月16日至105年8月20日

報告日期：105年11月04日

摘 要

本次赴美國核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, 以下簡稱 NRC)進行研習與參訪, 旨在增進我國核能電廠稽查管制技術能力。研習人員共 2 名, 行程分為「訓練學習」及「參觀訪問」二部分, 摘述如下:

「訓練學習」部分為至位於田納西州查塔努加市的美國核管會訓練中心(NRC Technical Training Center)進行分別為期三週的奇異沸水式反應器基礎訓練課程(R-304B GE BWR-4 Technology)及為期一週的奇異沸水式反應器模擬器訓練課程(R-704B GE BWR/4 Simulator Refresher), 基礎訓練課程以介紹 GE BWR-4 反應器系統及基本知識為主, 包括反應器理論、安全限值、系統操作原理、安全相關系統、電力系統設計與系統邏輯連鎖及反應器保護系統等; 模擬器訓練課程主要就沸水式反應器業者組織(BWR Owner Group, BWROG)發展的緊急程序指引及緊急運轉程序(Emergency Procedure Guidelines and Emergency Operating Procedures, 以下簡稱 EPG/EOP)及相關模擬器操作進行講解與演練, 包括 EPG/EOP 之結構與界面、徵候與進入點、重要參數監測、EPG/EOP 之運用與訂定基礎、運轉員及電廠對各種暫態及異常狀況之處理等。

「參觀訪問」部分為前往位於賓州東北邊的 Susquehanna 核電廠, 參觀廠房周邊設施與反應器廠房內部, 並與 NRC 駐廠視察員進行管制意見交流及經驗分享; 此外, 也至位於華盛頓特區的美國 NRC 總部參觀運轉中心(NRC Operations Center), 除聽取 NRC 人員的相關簡報, 並就我國核電廠事故通報與核子事故應變處理等進行意見交換, 再參觀運轉中心配置之緊急應變資訊系統。

本次出國所學習者包含反應器原理、核電廠系統知識、暫態分析、電廠經驗回饋、緊急程序指引及緊急運轉程序之訂定基礎與處理程序等安全管制技術, 並藉由參訪機會, 了解汲取美國核管會及核電廠對日本福島事件後之

強化措施與管制作為，以及緊急應變資訊通報等經驗，對提昇核能電廠安全管制視察員專業能力與管制作業有相當的助益，已將相關心得整理於報告中，未來可將所學應用於安全管制實務工作上，以提升管制效能。

目錄

壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
參、行程內容及心得.....	4
一、赴 NRC 技術訓練中心接受奇異公司沸水式反應器技術訓練課程.....	4
二、赴 Susquehanna 電廠參觀訪問.....	11
三、赴 NRC 運轉中心參觀訪問.....	13
肆、建議.....	15

附件一、R-304B 奇異沸水式反應器基礎課程課表

圖一、與 NRC 技術訓練中心受訓學員合照

圖二、與 NRC 駐廠視察員合照

圖三、與 NRC 駐廠視察員於 FLEX 設備儲存場所合照

圖四、參觀 NRC 運轉中心照片

壹、目的

本次出國研習的主要目的有以下四項：

- 一、 提昇核能管制人員專業知能：參加美國 NRC 技術訓練中心 (Technical Training Center, TTC) 之訓練課程，學習核能電廠沸水式反應器基礎知識、緊急程序指引及緊急運轉程序 (Emergency Procedure Guidelines and Emergency Operating Procedure, EPG/EOP) 及模擬器操作等專業知識，有助提昇核能電廠管制人員的專業知識與能力。
- 二、 落實「核能電廠運轉員主試員(考官)培養訓練」：原能會對於核能電廠運轉員主試員之訓練皆已明定實施計畫與資格取得程序，諸如：基礎養成訓練、駐廠視察實務、國外管制機構訓練及見習等，而本次出國訓練即屬於主試員培養訓練計畫中之一環。
- 三、 精進核能電廠安全管制作業：藉由至美國核能電廠實地觀摩美國核管會駐廠視察員管制作業與電廠之安全營運，瞭解美國核能管制單位對安全相關議題之管制實務及成效，進行管制與視察作業之經驗交流，作為我國研擬核安管制措施、執行視察及安全審查作業之參考，精進我國核能電廠安全管制作業。
- 四、 強化台美雙方交流：藉由拜訪 NRC 總部運轉中心及參訪運轉中核能電廠，了解 NRC 相關作業及對運轉中核能電廠駐廠視察員管制之規劃，相互討論並交換管制心得，強化雙方之經驗交流與學習。

貳、過程

此次赴美國 NRC 研習與參訪行程，主要分為二部分：第一部分行程於 105 年 7 月 15 日搭機赴美，於 7 月 17 日抵達位於田納西州查塔努加市 (Chattanooga, TN) 的 NRC 技術訓練中心，於 7 月 18 日至 7 月 22 日進行為期一週的「奇異沸水式反應器模擬器在職訓練課程」(GE BWR/4 Simulator Refresher, R-704B)，以及於 7 月 25 日至 8 月 12 日進行為期三週之「奇異沸水式反應器基礎課程」(GE BWR/4 Technology Course, R-304B)。

第二部分行程於 8 月 13 日至 8 月 20 日期間，由田納西州查塔努加市前往華盛頓特區，與原能會駐美代表科學組副組長趙衛武博士會合後，於 8 月 15 日前往 NRC 總部運轉中心(Operations Center)參觀訪問，了解該中心運作情形及進行意見交流，結束後從華盛頓特區出發前往賓州。於 8 月 16 日前往 Susquehanna 核能電廠參觀訪問，就所整理的議題資料與 NRC 駐廠視察員進行討論與意見交換，並至現場參觀該電廠於日本福島一廠事故後之強化措施。下午結束後返回華盛頓特區，於 8 月 17 日前往台北經濟文化代表處科技組，與趙衛武博士討論美國核能管制相關資訊。最後於 8 月 18 日搭機返國並於 8 月 20 日抵達國門，結束為期 37 天之研習行程，整體行程如下表所示：

日期	工作內容
7 月 15 日至 7 月 17 日	搭機至美國查塔努加(去程)
7 月 18 日至 8 月 12 日	NRC 技術訓練中心(查塔努加)：研習 R-704B、304B 訓練課程
8 月 13 日	路程(查塔努加至華盛頓特區)
8 月 14 日	整理資料及準備議題
8 月 15 日	參觀美國 NRC 運轉中心
8 月 16 日	參訪 Susquehanna 核能電廠
8 月 17 日	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，討論美國核能管制相關資訊
8月18日至8月20日	搭機返回台北（返程）

參、行程內容及心得

一、 赴 NRC 技術訓練中心接受奇異公司沸水式反應器技術訓練課程

本次出國訓練研習部分，為至美國 NRC 設於田納西州田納西州查塔努加市之技術訓練中心，參加有關沸水式反應器共計兩門技術訓練課程，第一門課程為 7 月 18 日至 7 月 22 日為期一週的奇異沸水式反應器模擬器在職訓練課程 (R-704B：GE BWR/4 Simulator Refresher)，第二門課程為 7 月 25 日至 8 月 12 日為期三週的奇異沸水式反應器基礎訓練課程(R-304B：GE BWR/4 Technology)。

美國 NRC 技術訓練中心建置之沸水式反應器模擬器當初係向 Shoreham 核電廠購買，該核電廠反應器型式為 GE BWR/4，圍阻體型式為 MARK-II，美國運轉中 BWR 核能電廠之反應器有半數以上為 GE BWR/4 型式，故 NRC 技術訓練中心有關沸水式反應器一系列訓練課程均以該 GE BWR/4 反應器及 MARK-II 圍阻體之組合為訓練標的。

奇異公司沸水式反應器模擬器在職訓練課程

按原規劃行程於 7 月 18 日(星期一)一早前往 NRC 技術訓練中心報到，填寫個人資料申請門禁卡片，隨即至 NRC 技術訓練中心的 BWR 模擬器教室正式開始為期一週的訓練課程。

本梯次 R-704B 訓練課程參加人員，包含我們兩位共 7 人參加，NRC 參加人員除 1 人為消防專業工程師外，其餘 4 人均為核能電廠資深駐廠視察員。課程講師有三位，其中一位講師負責每日課程講解，另兩人則隨時協助學員有關模擬器操作上問題。

本項課程主要在協助已具 BWR 反應器基礎與進階知識的資深學員，複習沸水式反應器業者組織(BWR Owner Group, BWROG)發展的緊急程序指引及緊急運轉程序(Emergency Procedure Guidelines and Emergency Operating Procedures, EPG/EOP)及相關模擬器操作，課程內容包括 EPG/EOP 之結構與界面、徵候與進

入點、重要參數監測、EPG/EOP 之運用與訂定基礎、運轉員及電廠對各種暫態及異常狀況之處理等。本項課程參與學員為已具 BWR 反應器基礎與進階知識的資深學員，且都在模擬器上進行操作，本項課程每日由講師於課前在模擬器設定不同的異常事件情境，再由學員共同於模擬器操作處理。學員被分成 4 組，分別為負責指揮調度的值班主任(Unit Supervisor)、負責反應器操作的運轉員(RO)、負責飼水泵及發電機前盤操作的運轉員及負責安全系統前盤操作的運轉員等 4 個崗位。講師設定不同之異常事件，由學員輪流擔任不同崗位，共同於模擬器上進行應變操作，將機組帶至安全狀態。

7 月 18 日(星期一)第一天，講師先介紹各項運轉設定點，包括反應爐水位從 L1 至 L8 之設定點、反應爐各種壓力設定點（如反應爐高壓力急停設定點 1043 psig）、冷凝器各種真空設定點（如主汽機真空跳脫設定點為 22.5” Hg）等，並說明 EOP 進入條件程序及控制流程圖、NRC 事故種類區分圖等。

7 月 19 日(星期二)演練反應爐急停且控制棒無法全入、汽機旁通閥誤開啟 (BPV FAIL OPEN) 及高壓補水之 HPCI 與 RCIC 系統不可用、主汽機跳脫且無法急停使用旁通閥開啟等異常狀況之處理。

7 月 20 日(星期三)演練喪失所有飼水及 HPCI 系統不可用、喪失所有飼水及 HPCI 與 RCIC 系統均不可用、喪失所有飼水及 HPCI、RCIC 與 ADS 系統均不可用等異常狀況之處理。

7 月 21 日(星期四)演練喪失廠外電源且 HPCI 及 RCIC 系統皆不可用、ATWS 及 SRV 無法正常使用且餘熱移除系統均不可用、喪失爐心冷卻水事故 (LOCA)且外電喪失(Loss of Outside Power)等異常狀況之處理。

7 月 22 日(星期五)演練 LOCA 且發生廠內全黑事故演練(Station Blackout)、福島事故等異常狀況之處理。

本項課程以崗位輪換方式進行，藉由不同的人員擔任不同的角色，可看出每個人對事故嚴重性判斷及處理程序上的差異。三位講師則隨時在旁觀察學員的處

理情形、操作的正確性、翻閱運轉技術規範及查看其訂定基礎(Bases)的能力，藉由時序的變化引導學員研判系統暫態發生之原因與未來可能變化趨勢，使受訓學員能夠逐漸掌握各項系統參數變化之因果關係。學員操作過程中，講師一發現學員有判斷或處理不當，脫離該項應處理流程的情形，會隨時暫停模擬器操作，說明不當之原因，並提出問題供學員討論並引導學員往正確方向操作。也會分享美國核能電廠以往發生異常狀況之處理經驗，過程中不時也有學員會提出不同的看法與見解，與講師相互討論互動。最後會由擔任值班主任(Unit Supervisor)的學員就依異常狀況處理流程圖所繪之應變流程，逐一說明其判斷處理過程，如有不當或錯誤，講師會適時糾正或提出問題大家共同討論，此種訓練教學方式具有開放性、挑戰性及啟發性，對已具相當基礎之學員有很大幫助。

沸水式核電廠 EPG/EOP 係以電廠參數或徵候作為緊急操作程序(EOP)的進入條件或運轉員採取各項行動的條件，緊急程序指引(EPG)訂有包括反應爐控制、一次圍阻體控制、二次圍阻體控制及放射性物質排放控制等四個高層控制指引，及包括替代水位控制、反應爐緊急洩壓、蒸汽冷卻、反應爐灌水及水位/功率控制等五項相關緊急措施(Contingency)，整份流程圖內容非常龐大，在 NRC 技術訓練中心係以立架固定整份流程圖並於圖上覆蓋透明塑膠片的方式，此方式可全面掌握應進入流程，避免漏失應進入之控制指引，學員也可非常方便以可擦拭色筆在流程圖上記錄進入之流程，明確掌握時序狀態。其作法與國內核電廠採行方式類似，差別在於國內之流程圖為就不同控制分張置於專用工作桌面，基本上亦可達到相同目的。

奇異公司沸水式反應器基礎訓練課程

課程編號 R-304B 之奇異公司沸水式反應爐基礎訓練課程(GE BWR/4 Technology)，課程期間共 3 週。

7 月 25 日(星期一)第一天課程，學員先自我介紹，包括所有講師及受訓學員，本次課程講師共有五位，受訓學員包括我們兩位共計 6 位，4 名 NRC 參訓人員 1

位來自第一分區(Region I Officer)、在 NRC 總部核能管制署(NRR)服務的有 3 位。於自我介紹完後，由講師先介紹技術訓練中心的環境、各位講師之辦公室及重要聯絡電話等。隨後開始本日課程，本日課程為課程總覽及反應爐槽介紹，課程總覽先綜覽本次課程所有系統，並對各系統功用作一概要性敘述；反應爐槽課程則綜覽反應爐槽內所有組件，再分別說明各組件功用及各組件相互關係等。

7 月 26 日(星期二)課程計有核子物理、核燃料與控制棒及反應爐槽儀器等三堂課。核子物理課程說明中子壽命循環公式及各參數對中子壽命之影響、各種反應度係數(如都卜勒係數、緩和劑溫度係數及緩和劑空泡係數)意義及其變化對反應爐功率之影響、分裂產物氬濃度變化對反應爐功率之影響及運轉參數(如控制棒移動、再循環水流量、反應爐壓力、飼水溫度及流量等)改變對反應爐功率之影響；燃料及控制棒課程說明燃料及控制棒之構造，包括燃料棒、燃料束(bundle)、燃料匣(channel)、燃料元件(assembly)及控制單元(control unit)等構造、燃料元件之冷卻水流路徑，及控制棒功用及構造如葉片、速度限制器等，以及控制棒驅動機構及反應爐槽底部端板之連接關係等。反應爐槽儀器課程介紹用於偵測反應爐槽水位、壓力及流量之各項儀器。

7 月 27 日(星期三)課程計有控制棒驅動機構、反應器手動控制系統(Reactor Manual Control System)及控制棒本領限制器(Rod Worth Minimizer)等三堂課。控制棒驅動機構課程介紹控制棒驅動機構之構造，包含外管、內管、分度管、活塞管及儀器管，插棒或抽棒之液壓驅動流程等。反應器手動控制系統(Reactor Manual Control System)說明控制棒位控制及顯示；控制棒本領限制器(Rod Worth Minimizer)，主在說明如何藉由管制控制棒之移動以限制控制棒之本領，以抑低發生控制棒掉落事故(Rod Drop Accident)時燃料棒因急速加入正反應度而受損之程度。

7 月 28 日(星期四)課程計有中子偵測系統簡介、SRMs/IRMs/LPRM/APRM/TIPSs 及阻棒偵測系統(Rod Block Monitor)等三堂

課。中子偵測系統簡介課程，先概略介紹從源階至功率階的各中子偵測系統，包括 SRM、IRM、LPRM、APRM 及 TIP 等；SRMs/IRMs 課程介紹 SRM 及 IRM 主要組件之功能及操作、機組運轉對 SRM UPSCALE、DOWNSCALE 及 INOP 等之回應等；LPRM/APRM/TIPSs 課程介紹 LPRM、APRM、TIPSs 主要組件之功能及操作，LPRM 與其它系統如 APRM、RPS 等之介面關係等。阻棒偵測系統 (Rod Block Monitor) 課程說明該系統目的在反應爐功率 30% 以上時，限制所選控制棒附近局部功率之變化。

7 月 29 日(星期五)課程計有再循環系統及再循環流量等兩堂課。再循環系統課程介紹再循環系統之組成、各組件之構造、流徑等；再循環流量課程說明再循環流量控制系統之組成、各組件之功能及操作、造成 EOC-RPT、ATWS-RPT 等之運轉條件及與其它系統之介面關係等。

8 月 1 日(星期一)課程計有爐水淨化系統及備用硼液注入系統等兩堂課。爐水淨化系統課程介紹 RWCU 系統包括再生式熱交換器與非再生熱交換器等之組成、各組件之功用及與其它系統之介面關係等。備用硼液注入系統課程介紹 SBLC 系統包括爆破閥等之組成、各組件之功用及與其它系統之介面關係等。

8 月 2 日(星期二)上午舉行期中考試，下午課程計有主蒸汽系統、爐心隔離冷卻系統等兩堂課。主蒸汽系統課程介紹主蒸汽系統流徑，包括主蒸汽、汽機旁通、抽汽、汽封蒸汽系統等，及各種組件，包括主蒸汽隔離閥、蒸汽限流器、安全釋壓閥等組件之構造及功能等。爐心隔離冷卻系統課程介紹該系統流徑、功能與動作時機，及各組件之構造。

8 月 3 日(星期三)課程計有反應爐保護系統、冷凝水與飼水系統及廠用及儀用空氣系統(Service and Instrument Air Systems)等三堂課。反應爐保護系統課程介紹該系統之功用、急停動作信號、動作邏輯及相關組件包括急停閥、導引閥、後備急停閥及急停洩放容器等組件的構造及動作方式；冷凝水與飼水系統課程介紹冷凝水與飼水系統之流程，及各種組件包括主冷凝器、冷凝水泵、飼水泵、低壓

高壓飼水加熱器及 RFPT 等組件之構造及功能；廠用及儀用空氣系統課程介紹廠用及儀用空氣之不同，及各種組件包括空壓機、乾燥器等組件之功用。

8 月 4 日(星期四)課程計有飼水水位控制系統(Feedwater Level Control)、循環水系統(Circulating Water)及熱限值(Thermal Limits)等三門課。飼水水位控制系統課程介紹反應爐水位、蒸汽流量及飼水流量之三元水位控制系統、起動水位控制、RFPT 速度控制及水位或流量訊號喪失之狀況及處理；循環水系統課程介紹循環水系統之功用、流徑及各組件包括循環水泵、迴轉攔污柵、沖洗泵之構造及功用；熱限值課程介紹包括 Critical Power Ratio(CPR)、Linear Heat Generation Rate(LHGR)及 Average Planer Linear Heat Generation Rate(APLHGR)等爐心燃料熱限值之意義。

8 月 5 日(星期五)課程計有電動液壓控制(Electro Hydraulic Control)、反應器廠房閉路循環水系統、反應器廠房海水系統、汽機廠房閉路循環水系統、汽機廠房海水系統 (RBCLCW/RBSW/ TBCLCW/TBSW)等課程。電動液壓控制課程介紹反應爐壓力、汽機進口壓力及壓力設定點之關係，及各組件包括壓力控制單元、速度控制單元、負載控制單元、閥控制單元等用以控制反應爐壓力、汽機發電機之轉速與電力負載及主汽機、主發電機及主冷凝器之保護等功能；反應器廠房閉路循環水系統與反應器廠房海水系統分別提供反應爐輔助設備冷卻水與冷卻反應器廠房閉路循環水；汽機廠房閉路循環水系統及汽機廠房海水系統則分別提供汽機廠房輔助設備冷卻水及冷卻汽機廠房閉路循環水系統。

8 月 8 日(星期一)課程係說明一次圍阻體、二次圍阻體、反應器廠房備用通風系統及 NSSSS，本課程講解對象為 MARK II 圍阻體，有別於核二廠之 MARK III 圍阻體，兩者有明顯差異，例如本課程一次圍阻體範圍僅到乾井及抑壓池且其內為充滿氦氣；二次圍阻體範圍則為反應器廠房，與核二廠 MARK III 圍阻體之一次圍阻體範圍係到反應器廠房且未充氦氣；二次圍阻體範圍到輔機廠房與 Enclosure Building 之設計不同。

8月9日(星期二)課程係說明緊急爐心冷卻系統，包括高壓之HPCI，及低壓之Core Spray、RHR及ADS，本課程高壓之HPCI注水係以蒸汽推動汽機帶動泵補水入反應爐，蒸汽係從主蒸汽管A之Inboard MSIV上游取出，HPCI泵從CST取水後經飼水管路B進入爐心，與本課程介紹之RCIC之流徑差異僅在RCIC係經飼水管路A進入爐心。另RHR之LPCI模式從抑壓池取水經RHR泵、RHR熱交換器後藉再循環泵出口管路注入爐心，此流徑與核一廠相同，與核二廠之LPCI從其個別特定注水管注入爐心之設計不同。

8月10日(星期三)課程介紹的電力系統，計有Main Transformer、Normal Station Service Transformer、Reverse Station Service Transformer，其中Normal Station Service Transformer(NSST)相當於核二廠之起動變壓器；Reverse Station Service Transformer(RSST)相當於核二廠之緊急起動變壓器，但無核二廠之輔助變壓器，所有廠內用電，包括非安全相關之匯流排1A、11、1B、12及ESF匯流排101、102、103均從NSST及RSST供電，ESF匯流排101、102、103另有緊急柴油發電機(EDG)於喪失外電時可併入供電。

8月11日(星期四)課程介紹燃料池冷卻及淨化系統，及機組大修進行燃料換填時之反應爐蓋開蓋之過程，下午則給學員複習明天的期末考試。

8月12日(星期五)為進行期末考試，試題共75題選擇題，考題有些深度，多數未出現於平日作業及考前複習，考後講師單獨就答錯之題目逐一講解。

對課程的訓練方式，個人認為有三點值得提出學習。第一，對內部構造複雜之組件，提供解剖之實體供學員直接觀察，例如內部構造非常複雜之控制棒驅動機構，以前只能從一些圖面及文字說明花費很多時間反覆研讀才能大概瞭解其構造，在此由講師帶領學員直接觀察講解內部實際構造，配合教材之文字說明，可以很快明確瞭解其構造及動作方式；第二，課程講述到的運轉狀況、動作條件及其影響等，講師於當天下午或隔天立即就到模擬器實作操作一遍，例如各種中子偵測系統之運轉條件及數據顯示、棒位顯示、控制棒阻棒之狀況等，理論與實際

結合，讓學員能夠快速瞭解其內容；第三，對於某些難記的設定點及跳脫邏輯，講師會傳授口訣讓學員快速記憶，例如反應爐保護系統動作訊號 SCRAMDVL 各字母分別代表分別為：停止(S)閥關閉、控制閥(C)快速關閉、主蒸汽管高輻射(R)、APRM/IRM 讀數高或不可用、主(M)蒸汽隔離閥關閉、乾(D)井高壓力、反應爐(V)高壓力及反應爐低(L)水位，令人印象深刻。

二、 赴 Susquehanna 電廠參觀訪問

本次參訪 Susquehanna 核能電廠之行程，除與 NRC 駐廠視察員進行意見交換外，並赴廠房實地參觀。參觀過程由資深駐廠視察員 Jonathan E. Greives 及駐廠視察員 Travis R.Daun 及 Susquehanna 核能電廠人員全程陪同。本次參訪情形如下：

1. Susquehanna 電廠是由 Talen Energy 公司營運，該公司共營運 21 個電廠，其中 2 部為核能電廠，發電容量約 15320 MW，營運版圖分佈在馬里蘭州，馬薩諸塞州，新澤西州，德克薩斯州，賓夕法尼亞州，弗吉尼亞州和蒙大拿州等。Susquehanna 電廠 1 號機初次商業運轉時間為 1982 年，2 號機則是在 1984 年，兩部機均已於 2009 年底取得延役許可，運轉執照有效期可由 40 年延長至 60 年。Susquehanna 電廠兩部機皆是 BWR/4，額定熱功率 3952 MWt，圍阻體型式是 Mark-II，特別的是兩部機組除了共用控制室和汽機廠房外，連反應器廠房頂樓的燃料填換樓層也是兩部機連通在一起，機組型式及系統和我國核一廠類似，最大的差別在 Susquehanna 電廠是藉由大型的冷卻水塔 (Cooling Tower) 來提供發電時產生的廢熱的熱沉。
2. Susquehanna 對於外來訪客的工安及輻安的管制十分嚴格，進入廠區前必須先完成全身的劑量評估，並進行相關的宣導，相關前置作業完成後才可進入管制區域，前後大概費時 1 小時左右才順利進入廠區。本次參觀路線廠房外圍區域包含用過核燃料乾式貯存設施、冷卻水塔、FLEX 設備貯存廠所、泵室，

再至廠房內參觀汽機廠房、用過燃料池與控制室等區域。在現場參觀過程中不斷的有廠區人員提醒我們這些區域該注意些什麼，對於人身安全十分重視。

3. 因應日本福島事故相關改善項目，在天然災害部分，該電廠位於美國內陸，並不會遭遇到海嘯襲擊，地震活動歷來罕見，因此 Susquehanna 電廠對於日本福島事故相關改善項目並不如我國需考慮很多，大致上 Susquehanna 由於位於 Susquehanna River 旁，主要考慮的因素為內陸河流洪水氾濫問題。關於 Susquehanna 電廠旁內陸河流洪水氾濫問題，由於電廠泵室與取水河道中間有小山丘阻隔，且電廠廠區位置位於地勢較高處，經評估後 Susquehanna 電廠強化了泵室的水密能力及洩水時的流道改善，當河域氾濫時並不會明顯地影響到電廠機組的安全。
4. 因應日本福島事故相關改善項目，Susquehanna 電廠之改善主要為 911 防恐相關措施 B.5.b 專案的延伸，Susquehanna 電廠主要考慮因素電廠全黑事故及暴風雪時災害應變能力，因此增購了多輛移動式電源車、配線車、水車、大型鏟裝車及快速拆接電源及取水設備，目的在於因應災害時，可藉由較少的人力達到災害控制的效果，避免對機組造成危害，此與國內核電廠總體檢所採措施類同。
5. 經詢 NRC 駐廠人員有關多樣化與具變通性策略(FLEX)所貯存之設備儲放情形，NRC 駐廠視察員表示，在 NEI 12-06 僅要求個廠需考量地震、水災、暴風雪、冰風暴以及異常極端氣候極高低溫等自然危害，但對於 FLEX 設備貯存策略之影響，仍需就其廠址特性進行危害評估。Susquehanna 電廠已完成相關改善，並將相關設備存放於耐震及防止飛射物設計之鋼筋混凝土橢圓球狀建物中。經赴現場觀察該建物內寬約 40 米、長約 80 米，樓高約 10 米，廠房內置放設備井然有序。
6. 因應日本福島事故用過燃料池水位儀器強化改善項目，NRC 駐廠視察員表示 Susquehanna 電廠之改善主要亦為防恐相關措施 B.5.b 專案的延伸，考慮因素

為遭遇恐怖攻擊時，如何得知用過燃料池相關水位資訊。因 Susquehanna 電廠每部機組皆有一個用過燃料池，兩部機組的燃料池水位是連通的，且各具有一個單元的水位儀器。當單一水位儀器失效，電廠需要於 90 天內恢復，當無法恢復則需要進行補償措施。補償措施包括使用另一機組的水位儀器作為備用或定期目視檢查。如果兩個水位儀器都失效，補償措施必須 72 小時內實施，必須採取行動在 24 小時內恢復其中一個水位儀器，設備的維護皆依照產品廠家建議進行 2 年一次校驗及維護保養，此與國內所採之措施基本上相同，但國內之維護週期為每次大修(18 個月)。

三、 赴 NRC 運轉中心參觀訪問

8 月 15 日中午與駐美科技組趙副組長衛武博士一同參訪位在 NRC 總部第 3 大樓地下室 1 樓的運轉中心，其功能與原能會之核安監管中心大致相同，平時負責接收與掌握核電廠等相關運轉狀況資訊與監測資訊，發生緊急事件時，則作為 NRC 總部緊急應變中心。此次參訪，NRC 安排人員向我們解說其運作機制，並就相關問題進行意見交流，內容摘述如下：

1. 運轉中心的主管向我們解說該中心的運作，運轉中心組織架構為指揮中心、新聞小組（包含媒體與社群網站）、政府聯絡小組（包含聯邦單位與州政府）、反應器安全小組（Reactor Safety Team）、防護措施小組（Protective Measure Team）。每一個時段均有兩人在值勤，而在緊急應變正式運作時，編制上是有約 85 個位置，每一個位置皆有 4 人可以進行輪替換班，值勤人員為 Headquarters Operations Officers(HOOs)或 Headquarters Emergency Response Officers (HEROs)，通常需具備 5 年視察員經驗，或是曾在電廠擔任過運轉員，且需熟悉核子設施或需具運轉經驗，值勤人員需持續接受在職訓練。
2. NRC 總部的運轉中心值勤室有一面大電視牆，牆上有美國各地區電廠的輻射監測資訊及運轉狀況，在執勤室的後方為緊急應變時的會議室，透過透明玻

璃可觀看到相關狀況資訊，提示在事故進展過程中，決策者定期向白宮或其他聯邦機構等回報事故狀況，以及所提出事故評估結果與決策建議等。該中心以系統化的方式管理指揮行動，強化指揮中樞指揮與決策之效率。

3. 於事故發生時，NRC 運轉中心有專職人員負責網路訊息的傳遞，NRC 的官員指出之前 Indian Point 電廠發生之變壓器大火事件，當事件發生時約 7 分鐘後就接到白宮來電詢問電廠狀況，顯示網路傳遞之快速。簡報中可以看出運轉中心相當重視網路上的訊息傳播，當搜尋到類似訊息便會立即向當地電廠或機構進行求證。
4. 我方請教有關當天然災害發生時，NRC 駐廠視察員會被要求提供何種資訊給運轉中心，而運轉中心該如何確保資訊的正確性。經運轉中心官員表示，首先電廠經營者必須主動負責提供相關電廠資訊，NRC 的駐廠視察員則會查看電廠是否有依照法規執行。其次電廠的經營者必須有足夠的能力去解決所面對的問題，NRC 會提供法規及技術諮詢，美國核管會視察員均依照視察手冊及視察程序書執行查證。

肆、建議

- 一、持續精進核安管制人才培育：我國已建立核能電廠視察員證照制度，然核安管制人員的培育並非一蹴可幾，核能電廠的運轉及管制需要建立在許多專業之上，建議在現有基礎上，參考美方作法，適當依據個人專業背景或職務內容，並因應視察員與主試員年齡斷層之經驗傳承與年輕化，規劃適當之訓練，如核能電廠視察員的專業分工與訓練，強化所需專業知能，以因應未來執行管制業務之需求。
- 二、吸取美國經驗作為我國管制參考：本次參訪 Susquehanna 核能電廠，除與 NRC 駐廠視察員進行多項議題討論，並就福島改善案相關議題進行討論與實地參觀，深覺核能電廠的運轉及管制需要建立在許多專業與國內外之實施經驗之上。目前本處已有針對安全管制議題之管制經驗進行回饋分享之作法，建議未來持續辦理，並可考慮以多位成員組成小組之方式，就重大管制議題進行國內外經驗資料蒐集與研議，以增加廣度與深度，並提出簡報，以增進其他人員之專業與視野。
- 三、精進人員訓練與核能電廠運轉人員執照考試評核後續作業：NRC 技術訓練中心講師對學員於模擬器演練有處理不適當或評核測驗答題錯誤之處時，會就內容進行討論並提出正確答案，本處在自辦訓練與執行核電廠運轉人員筆試測驗亦會提供參考答案，模擬器操作測驗部分亦會就評核過程發現操作處理不適當或有疑慮之處與應試人員討論確認。建議未來將評核所發現需改進或待加強之處告知，以讓應試人員了解改進。
- 四、持續辦理視察員赴美參與訓練與參訪：本次出國研習，除了核能電廠系統相關基本知識外，最主要是能從已在安全管制人員訓練均已建立相當成熟制度與經驗的國際單位汲取其作法與觀點，使我國視察員對核安管制工作有更多元的了解；赴管制單位與電廠參訪，藉由與 NRC 官員及駐廠視察員討論相關視察議題與意見交換，以及實地參觀電廠各項作業所獲得資訊，

除了可增進視察員之國際觀外，對於未來國內相關安全管制作業亦有所助益，建議未來仍應持續辦理視察員赴美參與訓練課程與參訪，深化我方與美方在視察員訓練與核安管制實務經驗交流，提升管制效能。

附件一、R-304B 奇異沸水式反應器基礎課程課表

Day	Subjects
2016/7/25	Training Center Introduction Course overview Primary and Auxiliary Systems Overview Process Instrumentation and Control Systems Overview Reactivity Control Systems Overview Containment Systems Overview ECCS Overview Reactor Vessel
2016/7/26	Review Session Reactor Physics Fuel and Control Rods Reactor Vessel Instrumentation
2016/7/27	Review Session Control Rod Drive Reactor Manual Control System Rod Worth Minimizer
2016/7/28	Review Session Introduction to Neutron Monitoring SRMs/IRMs APRM/LPRM/TIPS Rod Block Monitor
2016/7/29	Review Session & Simulator and Simulator (CRD, RMCS and RWM,SRMs/IRMs) Recirculation System Recirculation Flow Control
2016/8/1	Review Session & Simulator /APRMs/LPRMs/TIPs, RR, RFC) Reactor Water Cleanup System Standby Liquid Control System Mid-Course exam review and self-study
2016/8/2	Mid-Course Exam/Exam Review Main Steam Reactor Core Isolation Cooling System

2016/8/3	Review Session & Simulator (RWCU, RCIC and SLC) Reactor Protection System Condensate and Feedwater Service and Instrument Air Systems
2016/8/4	Review Session & Simulator (RPS,MS, &. IA) Feedwater Level Control Circulating Water Thermal Limits
2016/8/5	Review Session & Simulator (FWLC, CW, & Thermal Limits) Electro Hydraulic Control RBSW/RBCLCW/TBSW/TBCLCW
2016/8/8	Review Session & simulator (EHC, SW) Primary Containment Secondary Containment Reactor Building Standby Ventilation Nuclear Steam Supply Shutoff System
2016/8/9	Review Session and simulator (LOCA demo) Introduction to Emergency Core Cooling High Pressure Coolant Injection Automatic Depressurization System Core Spray Residual Heat Removal
2016/8/10	Review Session & Simulator (HPCI, ADS, CS, RHR, RBSVS) Emergency Core Cooling Wrap Up Electrical Systems Offgas
2016/8/11	Review Session Fuel Pool Cooling & Cleanup Refueling Slides Open Review Session & Self Study
2016/8/12	Final Examination



圖一、與 NRC 技術訓練中心受訓學員合照



圖二、與 NRC 駐廠視察員合照



圖三、與 NRC 駐廠視察員於 FLEX 設備儲存場所合照



圖四、參觀 NRC 運轉中心照片