

出國報告（出國類別：實習）

核能電廠除役輻射劑量評估程式 RESRAD訓練課程

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：呂世紀 核一廠廠區環境課長

林義興 核二廠劑量評估課長

張芝庭 核三廠核能工程師

派赴國家：美國

出國期間：111年 09月 24日 ~

111年 10月 02日

報告日期：111年 11月 16日

摘要

本次出國行程係參加由美國阿岡國家實驗室(ANL)舉辦之輻射劑量評估RESRAD系列程式訓練課程。課程介紹RESRAD發展歷史、程式假設情境及各參數之意義，透過實機練習熟悉操作與判斷計算結果之合理性，亦解說計算模型理論及其相關參數，藉由該程式之劑量評估模式、選定特定核種清單與曝露途徑，計算導出濃度指引基準(DCGL)。上述標準將用於最終土地偵檢，並透過統計檢定方式，以確保符合我國「核子反應器設施管制法施行細則」第17條之非限制性使用對一般人造成之年有效劑量不得超過0.25毫西弗之要求。

本次參與之訓練程式包含 RESRAD-ONSITE、RESRAD-OFFSITE 與 RESRAD-BUILD，藉由該訓練課程可了解國際核能先進國家於核能電廠除役實務經驗與技術，並於課堂中進行交流，對我國核電廠除役工作推行有相當之幫助。

關鍵字：導出濃度指引基準、非限制性使用、RESRAD

目 錄

摘 要.....	I
目 錄.....	II
壹、目的.....	1
貳、過程.....	1
一、行程概要.....	1
二、參加核能電廠除役輻射評估程式-RESRAD 訓練概要.....	2
(一)簡介.....	2
(二) RESRAD-ONSITE 程式學習概要.....	2
(三) RESRAD-OFFSITE 程式學習概要.....	4
(四) RESRAD-BUILD 程式學習概要.....	4
參、心得及建議.....	5

壹、目的

本次實習行程係參加由美國阿岡國家實驗室(Argonne National Laboratory, ANL) 舉辦的RESRAD訓練課程，內容包含：RESRAD-ONSITE、RESRAD-OFFSITE與RESRAD-BUILD 等程式之基礎應用訓練。RESRAD相關程式係用於分析環境殘餘的放射性物質對人體和生物群的潛在輻射曝露，透過程式分析各種途徑來評估輻射曝露和相關風險，並計算出污染介質中放射性核種濃度的導出濃度指引基準(Derived Concentration Guideline Level, DCGL)，與實務量測結果並搭配統計分析方法，以證明廠址可安全外釋並作為其他用途使用。本次目的希望藉由實習課程，可增進本公司人員對於RESRAD程式操作能力，以及強化對於該程式之熟悉程度，俾利除役工作之推動順遂。

貳、過程

一、行程概要

此次參加核能電廠除役輻射評估程式-RESRAD訓練自111年9月26日起至111年9月30日止，於美國伊利諾州阿岡國家實驗室(Argonne National Laboratory, ANL) 接受RESRAD Training課程，公務行程共計9天，公務行程如表1：

表1：公務行程規劃

日期	行程	摘要
9/24-9/25	桃園→舊金山→美國芝加哥	去程
9/26-9/30	美國芝加哥 Argonne國家實驗室	RESRAD Training
10/1-10/2	美國芝加哥→舊金山→桃園	返程

二、參加核能電廠除役輻射評估程式-RESRAD 訓練概要

(一)簡介

ANL著手於RESRAD相關評估程式之研發，截至目前為止共計已研發 9 套 RESRAD Family Codes，仍持續維護更新之軟體為 RESRAD-ONSITE、RESRAD-OFFSITE、RESRAD-BUILD、RESRAD-RDD 及RESRAD-BIOTA共5套專業軟體，其中前3套軟體RESRAD-ONSITE、RESRAD-OFFSITE及RESRAD-BUILD為本次基礎訓練課程之講授重點。RESRAD Family Codes提供免費下載，可逕行於ANL實驗室網站下載區 (<https://resrad.evs.anl.gov/>)下載，使用者僅需輸入人員基本資訊及電郵等資料，ANL即可提供連結下載檔案，該維護實驗室亦提供開發者反饋電郵，可解決使用者軟體操作或使用參數等相關問題之服務。

(二) RESRAD-ONSITE 程式學習概要

RESRAD-ONSITE 程式係美國能源部(Department of Energy, DOE)、核管會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)、環保署(Environmental Protection Agency, EPA)、國防部(Department of Defense, DOD)及州政府等政府機關用以評估除役廠址在各種情境下對關鍵群體造成劑量是否符合法規限值的分析工具，其程式歷經許多驗證程序、國家級實驗室平行驗證、國際間發表的研究論文，皆受各方專業人才肯定。

本公司各核能電廠對RESRAD計算之年劑量限值與曝露情節規劃如下，年劑量限值部分將符合非限制使用之標準0.25毫西弗，曝露情節部分可依據廠址規劃再利用選擇農業情節(Resident Farmer Scenario)或工

業情節(Industrial Use Scenario)做為廠址釋出後再利用之情境假設，仍需以0.25毫西弗作為關鍵群體年劑量限值，農業情節與工業情節途徑比較如表2所示，農業情節人員接受輻射曝露來源與途徑較多，計算出受到的輻射劑量亦較大，另考量輻射防護保守性原則，以及考量未來變更土地用途為任意使用之可能性，故規劃採用較保守之農業情節。

表 2：農業情節與工業情節途徑比較表

農業情節		工業情節
直接輻射	嚥入植物	直接輻射
吸入懸浮粒子	嚥入肉類	吸入懸浮粒子
吸入氫氣	嚥入奶類	吸入氫氣
飲用當地水資源	嚥入海生物	嚥入土壤
	嚥入土壤	

RESRAD-ONSITE透過一系列參數，對各種途徑進行風險評估的分析：

1. Source 輻射源(污染源)：參數包含土地污染面積大小、及其所含放射性核種種類及核種濃度等。
2. Environmental Pathway環境因子：可分為影響核種釋出(Release)與傳輸(Transport)兩種，影響核種釋放包含淋溶作用(Leaching)、大氣釋出、腐蝕作用及植物根部吸收等；影響核種傳輸之參數包含地下水傳輸、大氣作用、氫氣及食物鏈等。
3. Exposure Pathway曝露途徑(與土地之使用情節相關)：包含體外曝露External、攝入Inhalation及吸入Ingestion。其中攝入途徑需考慮土壤、水、植物、肉類、奶類及海洋食物之攝入，吸入途徑則須考慮懸浮粒子與氫氣等。

藉由輸入以上參數，將計算出核種濃度(concentration)、環境轉移因

子(environmental transport factor)、與劑量轉換係數(dose coefficient)，最後相乘相關數值，再經由RESRAD-ONSITE程式運算，可獲得此外釋土地對關鍵群體健康影響之程度，健康影響程度可由劑量或罹癌機率方式呈現(Dose or Cancer Risk)；而若以反向推導，可將劑量限值作為計算結果之最終劑量，藉以計算出該外釋土地中各放射性核種之濃度限值，即為各核種之導出濃度指引基準(DCGL)，將用以判斷該廠址殘留放射性核種濃度是否符合外釋標準，如果同時具多個核種存在時，計算方式需使用分數和法則(Sum of Fractions)進行計算。

(三) RESRAD-OFFSITE 程式學習概要

RESRAD-OFFSITE程式最初是利用基本的RESRAD-ONSITE程式，額外增加廠址外土壤劑量累積計算功能而創建的，之後再陸續加入平流及分散地下水傳輸的計算模型，以及大氣傳輸子模型和地表水體累積模型，另外尚有模擬主要污染物隨時間延遲釋放和分佈、平衡解吸(desorption)計算，以及主要污染物隨地下水傳輸的功能。

軟體中添加可於 ICRP 38 和 ICRP 107 的轉換數據進行選擇、模擬溶解度控制釋放、受污染材料的擴散釋放，以及放射性微粒在地表集水區上沉積計算的功能。這些改進讓RESRAD-OFFSITE可用以評估複雜除役廠址的解除管制標準和低放射性廢物處置設施對廠外民眾之劑量。

(四) RESRAD-BUILD 程式學習概要

RESRAD-ONSITE與RESRAD-OFFSITE程式是評估污染土壤經由各種曝露途徑造成關鍵群體的劑量與風險，而RESRAD-BUILD則是評估關

鍵群體因受放射性污染建物影響而產生的劑量。建築結構中的放射性物質可以通過擴散（氬氣和氡水）、機械去除（除污活動）或侵蝕（移除表面污染物）等機制釋放到室內空氣中。

RESRAD-BUILD考慮的曝露途徑包含吸入、攝入、體外曝露及氬氣；吸入空氣中的放射性微粒以及再懸浮(resuspension)微粒，攝入空氣中的放射性微粒以及沉積於地上或食物的放射性粒子，由污染建物、沉積的放射性微粒、和空間內被放射性微粒覆蓋的物件所產生的直接輻射，均為RESRAD-BUILD的曝露途徑。RESRAD-BUILD操作介面相當人性化並且具圖形化介面，射源參數可選擇之射源有點、線、面與體射源等四種型式，面射源可選擇圓形或方形，體射源可選擇圓柱型或六面體，圖形化介面可顯示射源(Source Parameters)與接受體(Receptor Parameters)之相對座標，可供操作者於顯示圖上確認避免誤植。

參、心得及建議

此次參與ANL舉辦為期五天的RESRAD程式基礎訓練，對於此系列程式的發展與應用都有進一步的認識，課程中RESRAD-ONSITE及RESRAD-BUILD目前已在台灣核電廠除役計畫中及建立解除管制建物之標準頻繁使用，也了解該程式背後必須有一個強大的團隊在持續精進與不吝提供協助，另亦對核電廠的除役評估有更深一層的瞭解。

以下就本次出國經驗提出三個建議：

- (一)整體課程需於一周內將三套軟體完整介紹並實際操練，故課程相當豐富且緊湊，另外出國人員處於不熟悉的學習環境，時常需要隨機應變，建議有機會前往出國人員，事先需要研讀相關文獻資料，並先行下載程式安裝熟習介面，個人亦可準備筆記型電腦，如此可於

課程上實際執行軟體運跑，如於課堂中有運跑上的問題可直接與當地技術人員協助解決；另可邀請國外專家至台灣進行現場教學或各相關單位執行平行驗證及討論等方式，均可提升本公司專業人才之核心技術。

(二)使用 RESRAD 計算廠址之 DCGL 數值，必須審慎考量廠址核種清單及廠址特性調查輸入參數，因核種清單數目會影響後續計算之時間與作業複雜度，故應積極與主管機關有效溝通，以盡早建立合理之核種清單篩選方法論；另有關廠址特性調查輸入參數，須執行 PRCC 分析，惟國外案例美國 YNPS 電廠以 0.25 以上作為選擇較靈敏之參數排序，相關 PRCC 篩選數值抉擇仍建議由業者和管制機關溝通決定，且土地的外釋現階段尚無法執行，故建議前期採內建參數或相對保守參數進行運跑，俟後期拆除作業完成後，再與主管機關協商特定調查之廠址特性參數合理性，以避免過度浪費國家資源執行不必要的廠址特性輸入參數調查。

(三)本公司核能事業部將面臨事業轉型，並鑒於除役作業長達 25 年，需長期培養具除役專業訓練之人力資源，考量 RESRAD 程式對除役作業推動及土地解除管制之重要性，建議各單位持續積極培養人才，可透過公司內部交流、經驗回饋傳承等方式強化並汲取公司內部具受訓資格及具實務操作經驗之先進相關 RESRAD 操作經驗，藉以與強化各除役電廠之實務經驗，以促進核電廠除役工作順利推動。