

出國報告（出國類別：訓練）

赴韓國參加美國能源部 Argonne 實驗室  
2017 核能設施除役訓練研習課程  
(FDTC-2017)

服務機關：行政院原子能委員會

出國人職稱：副研究員  
姓名：黃郁仁

出國地區：韓國釜山

出國期間：106 年 07 月 23 日至 106 年 07 月 28 日

報告日期：106 年 10 月 27 日

## 摘要

本次訓練主要目的是赴韓國釜山參加美國能源部 Argonne 實驗室舉辦 2017 核能設施除役訓練研習課程(Facility Decommissioning Training Course, FDTC)，此次訓練內容主要涵蓋美國核設施除役經驗、除役期間管制作法、業主與管制單位功能與責任、除役計畫之執行、放射性廢料管理、除污與拆除、除役預算規劃、環境保護及組織管理等相關議題。依 2025 非核家園政策，國內三座核能電廠將於運轉執照期限 40 年到期後陸續進行除役。台電公司已於 104 年 11 月依核管法規定向本會提出核一廠除役計畫，本會亦於今(106)年 6 月 28 日完成相關審查作業，然核一廠乾貯設施目前尚無法如期使用，可能造成運轉執照到期時，反應爐仍有核燃料期間須執行除役計畫之狀況。因此，為瞭解美國能源部所管轄核能設施除役過渡階段(Deactivation)之管制技術經驗，並精進同仁對於除役管制專業能力，派員赴韓國參與美國能源部舉行的核設施除役專業訓練課程，對於國內核電廠除役停機過渡階段期間之安全管制作業將有所助益，亦可蒐集最新核能設施除役資訊，可作為我國核能電廠除役安全管制的重要參考。

# 目 次

	頁碼
壹、目的.....	01
貳、出國行程.....	02
參、過程紀要.....	03
肆、心得與建議.....	25
伍、附件.....	26

## 壹、目的

核能設施除役訓練研習課程(Facility Decommissioning Training Course, FDTC)，係美國能源部 Argonne 實驗室核設施除役專案小組負責開設，自 1998 年起每年定期於美國各地開設 2~6 梯次課程，並曾於其他國家如加拿大或韓國等地方舉行相關課程，本梯次適逢韓國新政府宣布位於釜山古里核電廠(KORI NPP)於今(106)年 6 月 18 日永久停止運轉，並將進行除役及新政府非核政策，其從事核能專業人員對除役知識亦有進一步瞭解之需求。自 2015 年起每年 ANL 講師均前往韓國授課。本次訓練課程共分 18 項目，包含「除役介紹」、「除役美國聯邦相關法規」、「除役環安職安」、「除役過渡階段」、「放射性廢棄物管理」、「除役廠址及設施特性輻射調查」、「除役紀錄管理」、「除役規劃及管理」、「除役經費預估」、「除役拆除技術」、「除役溝通與知識管理」、「除役終期狀態偵測」及「除役研發科技」等單元(課程內容綱要詳如附件二)、內容相當豐富且實用。然因講師為前往他國講授相關課程，故並未如往例於課堂最後一天安排參觀核能設施行程。

本次奉派於 2017 年 7 月 23 日~7 月 28 日赴韓國釜山，參加美國能源部 Argonne 實驗室於韓國釜山大學機械館教室舉辦今年第 3 梯次核能設施除役訓練研習課程，主要目的為瞭解國際核能設施除役過渡階段之管制技術經驗，並掌握國際間核能電廠除役與拆除之最新技術發展，對強化國內核能電廠除役過渡階段期間之安全管制作業將有所助益，另亦可蒐集最新核能設施除役資訊，作為我國核能電廠除役安全管制的重要參考。

本次參與受訓的學員大都為韓國當地核設施之專業從業人員，其中包含管制單位、電力公司、製造廠家、學術與研究單位等，另外日本及澳洲等亞洲國家亦派員參訓，值得一提的是，韓國釜山地方政府此次派遣的學員共有 2 位，可看出韓國地方政府對於當地核電廠除役作業之公眾參與關切與重視程度。訓練課程期間，學員均可自由發表提問與講授者交換意見，結訓時主辦單位將結訓證書授與所有學員，本次訓練證書影本請參閱附錄三。相信藉由本次訓練的學習，除可提升參訓人員除役管制專業知能外，並有助於精進除役電廠之安全管制作業。

## 貳、出國行程

此次訓練自 106 年 07 月 23 日起至 106 年 07 月 28 日止，公務行程共計 6 天，行程如下：

日期	行程	摘要
07/23	台北—韓國釜山	往程
07/24~27	韓國釜山	參加 2017 美國能源部 Argonne 實驗室核設施除役訓練課程
07/28	韓國釜山—台北	返程



圖 1 2017 美國能源部 Argonne 實驗室核設施除役訓練課程參加人員合影

## 參、過程紀要

就本次除役訓練課程內容與管制除役作業安全方面較有重要關連性的部份摘要分述如下：

### (一) 除役作業介紹(Introduction to Decommissioning)

在許多研討會或是訓練課程中都會提及核能電廠除役概念，但仍將美國除役現階段較新狀態在此簡要說明，在本節課程中提及除役背景、程序及細節及管制規範與單位。在 30 年前較少在講除役技術，現今美國除核設施外，一般的石化燃料廠房、工業廠址及化學貯槽也都需要執行除役相關作業，只是核能電廠除役作業較為繁複且需要注意輻射安全的考量。而在美國除了核能電廠外的核設施外，亦有鈾礦、轉化、濃縮、核燃料製造與再處理設施、核醫藥物製造設施、核武製造設施、核廢處理及核能工業相關設施等，其除役理由可能為該設施運作任務結束如冷戰時期核武製程或研究計畫(Rocky flags、Hanford Site)、設施的設計年限、過時的技術與成本花費太高、政府核能政策改變(如台灣、韓國、德國、丹麥)，以及其他因素(如 Windscale Pile、NPP A1、TMI-2、Chernobyl、Fukushima 核能事故或經營者破產等)，都有可能使設施停止運轉並進入除役作業階段。

在 IAEA 除役定義為設施或廠址自營運狀態終止執照，並減低其剩餘輻射劑量至可允許程度，其允許程度將視業主將其釋出作為限制性使用或非限制性使用而定，但其除役作業不包含反應器維護與用過核子燃料處置，以及清理拆除廢棄物。

美國在現階段對於除役設施種類可分為"歷史廠址 Legacy Sites"與"現代廠址 Modern Sites"，歷史廠址營運較早於現今管制法規建置時間如 1970 年前，如 Hanford Production Reactors or Elk River Reactor，因此其復原與除役過程對於現今管制法規之適用性會再進行考量，而現代廠址則營運較晚於現今管制法規建置時間如 1970 年後，如 DOE-Tokamak Fusion Test Reactor or current NPPs，並依循現今管制法規要求，較易於管理與管制。

國際原子能總署(IAEA)在現階段(1990 年中期後)對於除役策略的方式分為三大類別，「立即拆除(Immediate Dismantling)」、「延遲拆除(Deferred Dismantling)」及「固封除役

(Entombment)」，其與美國在現階段對於除役策略的方式分為三大類別相似，可做為除役規劃時之參考，分別為「立即拆除(DECON)」、「延遲拆除(SAFSTOR)」,及「固封除役(ENTOMB)」，詳細說明如下：

1. 立即拆除(DECON)：電廠運轉到達設計壽命後的一段時間內，將所有含放射性物質的裝備、結構與部分設施除污後拆除，依其活度符合之處置場接收標準移至放射性廢棄物處置場，使廠址達到無限制使用之條件。
2. 延遲拆除(SAFSTOR)：電廠運轉到達設計壽命，設施停止運轉後，先維持且監督在穩定狀況，使設施內之放射性核種經一段時間衰變，再進行組件之除污、拆除後移出廠區，使廠址達到無限制使用之條件。
3. 固封除役(ENTOMB)：電廠運轉到達設計壽命後，將廠內所有用過核燃料、放射性廢液與活度較低的放射性廢棄物及選擇部份可再利用組件移出廠區，再將殘留有高放射性或高污染性組件，密封在混凝土的屏蔽內。除此固封之設施須維持輻射防護管制外，其餘廠址內之設施依除役作業進行，恢復土地無限制使用之條件。目前美國核電廠尚未有申請此種除役方式之案例。

在美國影響決定除役的策略有「政府決策方向、立法、管制法規」、「可用的放射性廢棄物管理系統」、「潛在危害度之安全評估」、「可支用財務」、「設施硬體設備現況」、「可用的工作人員」、「廠址及設施未來再利用」、「設施型式及殘留劑量」、「社會與經濟的衝擊」，以及近期較關注的「利害關係者的參與」。

在美國核設施除役作業過程，首先步驟為「安全停機/過渡階段」，其中包含該階段之偵測試驗與維護管理方案，接續是針對欲拆除廠址進行「輻射特性調查/工程規劃」，例如如何進行輻射調查及規劃拆除作業，在完成相關調查與規劃作業後，進行「廠址除役作業」依據不同除役策略執行拆除、除污、放射性廢棄物處理等作業，在完成拆除作業後經營者與管制單位分別執行「最終輻射特性調查/驗證特性調查結果」，經營者提出「最終報告」向管制單位申請「執照終止/廠址外釋」，並隨不同管制機關如 NRC 或 DOE 之管制要求、不同設施如核能電廠、研究用反應器或小型核設施，以及除役過程面臨風險而有所差異。

在美國核設施除役作業計畫的管制機關除能源部外、亦有核管會、環保署及州政府等單位，歷史廠址多數屬能源部管轄範圍，其身分較特殊可作為業主顧問或協助管制單位審查；現代廠址多數屬核管會管轄範圍，其任務主要為核能管制並負責業主相關申請審查事宜；環保署主要負責環境管制，負責放射性廢棄物移除、緊急應變與環境復原；州政府與核管會簽訂協議仍保留 NRC 監督核能電廠運轉執照之權利，並依 NRC 法規之廠址外釋接受標準為小於 25mrem/yr，管制範疇示意圖(圖 2)可瞭解美國核能設施除役的管制概況。

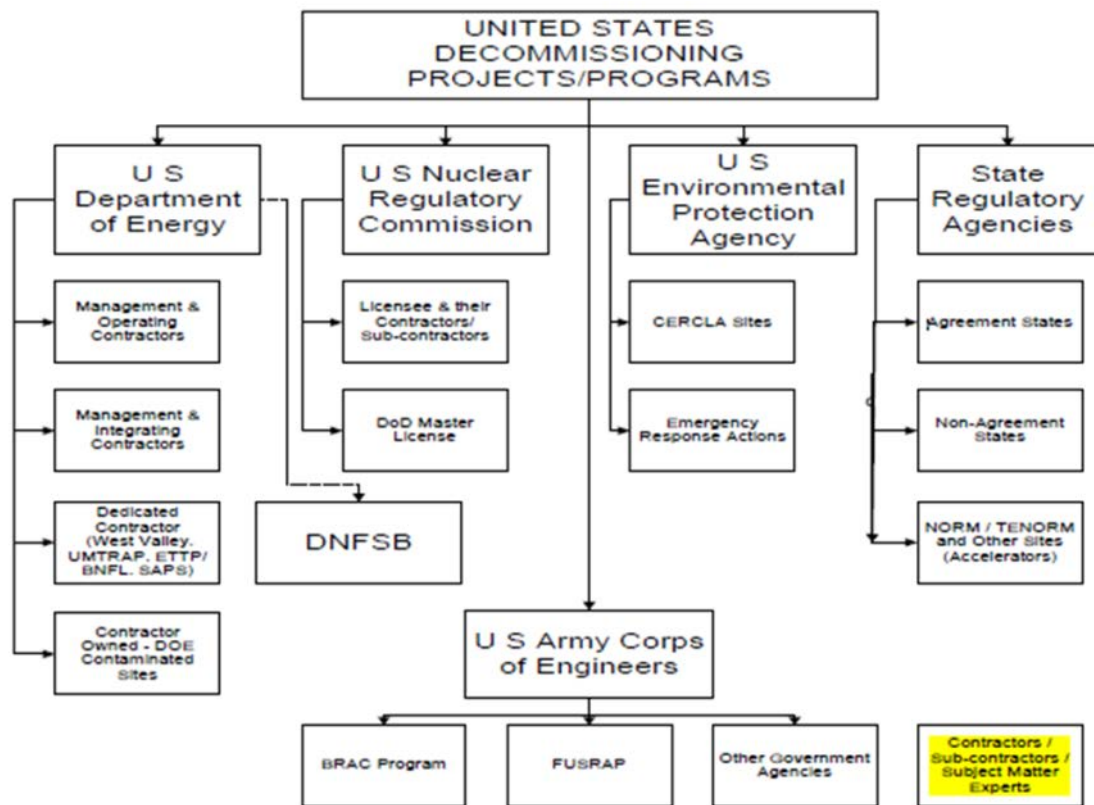


圖 2 美國核能設施除役管制範疇示意圖

講師於課堂也簡要說明 DOE、NRC 與國際上除役法規要求，近期全美各類核設施在核管會管制的除役計畫數量清單，以及核能電廠除役最新消息與未來時程規劃如下說明：

- 近期狀況 Crystal River NPP、Kewaunee NPP、San Onofre NPPs - 2013；Vermont Yankee NPP - 2014；Fort Calhoun NPP - 2016
- 未來時程 Pilgrim & Oyster Creek NPPs - 2019；Palisades - 2018/2019；Three Mile Island-1 NPP(時程未定)；Indian Point & Diablo Canyon NPPs - 2020+



本課程最後也介紹了數個 DOE 負責核設施除役成功的案例，其中一座核設施除役令人印象深刻，是「Rocky Flats Site」的一座核武工廠，該設施已於 2006 年 12 月完成所有除役之清理作業，其中清運出 600,000 立方公尺的放射性廢棄物，依類別分別運送至全美各地處理及貯存處置，可看出美國核能工業分工如此之縝密，相關技術居於國際領先地位。

## (二) 除役過渡期間(Deactivation Activities)

除役過渡期間(Deactivation)為 DOE 除役階段之一，在核設施永久停止運轉後開始進入過渡階段活動，包含移除核燃料、開始進行輻射調查、除役相關作業準備活動如紀錄審查、設施清理、一般除污、輻射現況、空調/火災與水災防護，以及放射性廢棄物與核物料處理等，使設施進入穩定與準備進入拆除階段，並移除危害或放射性物質，以確保現場工作人員、廠界環境及社會大眾安全。

為何除役要有過渡階段，其優點為可最大化利用現有營運人員進行重要除役活動與其對該設施運轉經驗，不充足的準備將導致未來除役可能遇到範圍、花費及時程等許多問題，且依過去經驗顯示一些 DOE 設施轉變至除役過程並未有過渡期間，因而衍生出許多除役組織應負責的工作範圍問題與議題，以及等待除役基金或授權過程可能發生設備、結構劣化或基礎滲水等問題。

在美國除役過渡階段預算大多數情況是使用運轉的預算基金，若除役執行狀況不佳，可能需要花更多經費來補正，另過渡階段後仍須維持運轉設備之偵測試驗與維護保養花費，例如 K-25 氣體擴散廠約每年 7000 萬美金、Maine Yankee 電廠之乾貯設施約每年 500~1000 萬美金。

在進入過渡階段前須準備過渡計畫，並提出工作活動範圍、WBS、OBS、結束時間與時程規劃，相關作業程序、佐證文件與執行計畫皆須準備以利該階段依循，在過渡階段完成後須準備該期間品質文件及計畫報告，並將仍須維持運轉設備之偵測試驗與維護保養內容納入，不要忽視安全基準和其他“核心”管制/持照文件修訂。

對於該階段組織與人員管理，其架構須配合過渡階段與燃料安全存放期間而修正，如電廠設施員工、作業程序、視察與運轉規範、持照基準文件等，在除役期間一些重要員工會從負責營運轉變為監管人員，並持續補充具有燃料安全存放或維護測試知識之專業或臨時人員，如核燃料與物料移除、工作區域清潔、除污、系統洩水、隔離與維護。

講師於課堂上以瑞典 Vattenfall 電力公司 Ringhals 電廠與美國 Entergy 電力公司 Vermont Yankee 電廠案例進行說明，Ringhals 1、2 號機分別為 BWR 與 PWR 型式均已運轉 40 年左右，其為停止運轉研擬相關安全與保安計畫，主要面向為電廠員工規劃與核安文化、使電廠處於適當狀態、財務管理最佳化與獲管制單位核准議題。另 Vermont Yankee 與我國核一廠同型為 BWR-4 電廠，其機組進入過渡期間員工人數自永久停止運轉 550 人，在 2015 年爐心燃料移至用過燃料池時減少至 316 人(維持原 57%人力)，在 2017 年用過燃料池燃料移至乾式貯存設施時減少至 127 人(維持原 23%人力)，其人力減少方式為自然離退或輔導轉任其他職務。

對於除役過渡階段，多數電廠活動為品質文件審查、核物料移除、系統與設備評估、系統卸除、通風系統需求、系統隔離、外釋清潔、一般除污、劑量監控、火水災防護、結構穩定性、設施輻射特性調查範圍篩選、檢視除役基金現況，如有需要可對保安進行檢視等，部分舉例摘述說明如下：

1. 核物料移除：移出放射性物料、用過核燃料、射源、桶裝廢料等其他營運產生相關核物料，以減少核子保安與保防管制需求。其範圍包括用過核燃料傳送至乾式貯存設施，以及運轉中所產生放射性廢棄物，例如冷卻水、潤滑油、離子交換樹脂、過濾器、輻射屏蔽等，並應注意潛在混和與高劑量之放射性廢棄物之處理。
2. 系統與設備評估：確認過渡期間那些系統與設備仍須維持運轉及運作程度，例如持續 100%時間運轉、間歇 25~75%時間運轉部分可能需要設計修改或新系統替代，以及永久停止運轉，並應列系統查核表管控。
3. 系統卸除：減少潛在可能造成危害、污染擴散、輻射曝露之物質，並利用電廠員工專業知識進行卸除作業。

4. 通風系統：應規劃未來設施通風系統之需求，並隨運轉設備減少而降低流量需求，以及考量改變對環境監測方式或設備的影響。
5. 系統隔離：設施例行性設備需求包含水和蒸汽、衛生及污水、電力與保安系統，水和蒸汽系統應洩水隔離、衛生及污水系統視需求移除，保安系統或許仍有需求，以及電力系統應評估仍須運作部分並維持相關維護測試作業。
6. 一般除污：對於大面積與高污染區域之除污方式可利用表面沖洗，以降低未來須執行維護測試區域之輻射劑量，例如核電廠一次側迴路除污。系統除污需求依不同曝露風險、危害度、經濟效益，以及如何執行維護測試有關。
7. 劑量監控：劑量監控必須管制以降低污染擴散機率，例如避免鳥類或動物進入污染區域，並使用不同種包封屏蔽或處理污染區域。
8. 外釋清潔：設施區域設備組件可能隨時間移至廠區內其他位置、其他廠址重新使用，或者清潔後當作一般廢棄物外釋出去，長期被忽略的區域及設備應予以特別注意。另依除污與拆除經驗，對於剩餘與可回收材料處理舉例如下：
  - 熱室玻璃如 Nevada Test Site RMAD 計畫可回收重新使用於 DOE Fermi Lab。
  - 人員通道雙重氣鎖門如 Zion 電廠氣鎖門拆除、除污並重新使用於 Salem 電廠。
  - 新蒸汽產生器如 Crystal River 電廠重來未使用但置入圍阻體內。
  - 核燃料如 Shoreham 電廠在停止運轉時，將短暫燃耗但未達限值之核燃料轉移給其他電廠使用。
  - 加速器與其他設施通常可將剩餘設備組件作為運輸成本。
9. 水火災防護：火災防護策略必須消除所有火災危害以避免火勢蔓延可能，應注意區域可能包含不同系統組件中的油或油膏滯留物，儘管經過清洗仍可能存在殘留物；水災防護部分，外部水災依其地質與水文條件進行評估，一些區域可能需要水密強化或相關監測與抽水系統仍須進行維護。Vermont Yankee 電廠地下水滲漏案例，在汽機廠房基礎結構滲水，電廠將地下水收集並進行妥善處理。
10. 結構穩定性：目的為確保相關結構性評估結果能延長至除役期間，且能推估適切之耐震等級做為未來除役期間設施設計修改使用，以及評估工作人員、公眾與環境對於地

震危害度之影響，並定期檢視耐震需求。另考量內部受污染設施應確保其結構屋頂之健全，並達成其包封輻射物質之目的，應例行性檢查與評估並記錄其狀況，直到最後拆除作業，因此相關結構之翻新與修理等老化管理隨時間流逝是有必要的。

11. 設施範圍輻射偵測：輻射偵測可用來補充運轉期間輻射調查紀錄如廠址歷史評估(HSA)，以獲得設施輻射基準狀態，相關資訊應從運轉紀錄、調查資訊，以及有限度的取樣與量測等收集而來。其內容應包含將區域分類為受污染或不受污染、提供輻射特性調查之設計輸入數據，以及確定除輻射劑量外是否存在其他危害。
12. 除役基金現況：首先檢視該設施除役計畫須執行項目，接著再估算除役過程須花費金額，若業主未準備除役基金，則應從如何取得適當的資金開始討論。另須檢視資金可用性，是否釋出限制條件，並討論除役完成後剩餘資金如何利用。
13. 保安需求：保安類別分為武裝警衛、物理障壁及監視系統，目的為保護機敏資訊，並應具有不同等級保護類別與門禁許可，且資訊保護應優先於資訊公開，相關保安需求則須花費不少來建置。

### (三) 廠址/設施特性調查(Site / Facility Characterization)

特性調查作業(Characterization)是輻射偵測與廠址調查(Radiation Survey and Site Investigation, RSSI)作業中一項基本流程，同時亦為除役計畫中重點工作項目，而且核設施拆除前的物理、輻射與非輻射特性調查是所有除役計畫的關鍵元素，相關調查結果應符合要求，以確保工作人員、環境與公眾安全。若廠址特性調查做的不夠確實，將在執行除役作業時產生額外非預期的支出。因此，廠址特性調查能被視作朝向廠址除役的起始步驟，用來界定工作範圍與準備廠址除役計畫、選擇除污與除役技術、發展廢棄物處置策略、精化成本估算與時程、收集數據、發展輻防與工安、定義外釋準則，以及提供最終輻射特性調查設計輸入資料。

另外在核設施除役作業的輻射偵測與廠址調查(RSSI)作業，首先進行廠址歷史評估(Historical Site Assessment, HSA)，之後再進行各項輻射偵檢，包括範圍輻射偵測(Scoping

Survey, SS)、特性輻射偵測(Characterization Survey, CS)、改善措施輔助輻射偵測(Remedial Action Support Survey, RASS)以及最終狀態偵測(Final Status Survey, FSS)。圖 3 RSSI 作業流程分為廠址確認、廠址歷史評估、範圍輻射偵測、特性輻射偵測、改善措施輔助輻射偵測與最終狀態輻射偵測等。

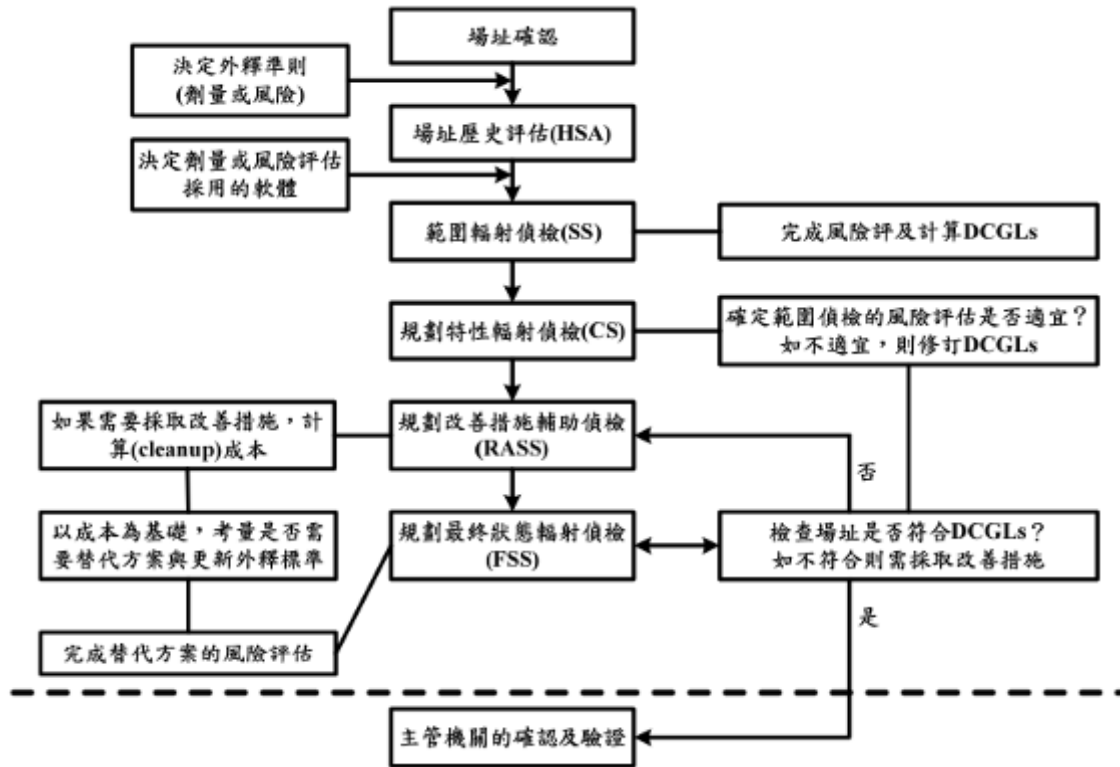


圖 3 輻射偵測與場址調查(RSSI)作業流程

其中較為重要的項目說明如下：

1. 廠址歷史評估(Historical Site Assessment, HSA)：

廠址歷史評估(HSA)的目的是為了收集和場址與其環境相關的資訊，其主要目標為(1)區別受影響與未受影響的區域；(2)辨識潛在的污染來源；(3)判定廠址是否對人員健康與環境造成威脅；(4)提供範圍與特性輻射偵檢設計的輸入數據；(5)提供污染遷移可能性的評估；(6)確認與調查廠址額外潛在放射性區域。

其資料來源包含持照申請、運轉紀錄與文件、例行性輻射偵測、與運轉人員訪談、圖面或照片、事件紀錄及專業工程判斷。

2. 界定範圍輻射偵測(Scoping Survey, SS)：

如果在 HSA 期間收集的歷史運轉資料或量測數據指出某地區有受到輻射影響，則將執行範圍輻射偵測。範圍輻射偵測依據有限的量測結果提供特定廠址的資訊，其主要目標為(1)執行以確認廠址歷史評估資料正確性；(2)執行初步的危害度評估；(3)對於所有或部分廠址分類可假設視為 Class 3 區域；(4)評估輻射偵測計畫能否有效地在特性輻射偵測或最終狀態輻射偵測中使用；(5)如果需要的話提供作為特性輻射偵測的輸入數據。

### 3.特性輻射偵測(Characterization Survey, CS)：

特性輻射偵測係依 HSA 與範圍輻射偵測結果來規劃，並針對污染區做詳細的放射性環境特性調查。其主要目的為(1)決定污染的種類與範圍；(2)收集數據作為選擇改善方法與技術之評估佐證資料；(3)評估輻射偵測計畫是否能有效地使用於最終狀態輻射偵測；(4)作為改善措施輔助輻射偵測與可行性研究之需求；(5)如果需要的話提供作為最終狀態輻射偵測的輸入數據。

其中特性輻射偵測是所有偵測類型中最全面且產生最多數據，可能包括建構參考網格、系統性與判斷性之量測，以及利用不同方式進行偵測。

### 4.改善措施輔助輻射偵測(Remedial Support Surveys)：

改善措施輔助輻射偵測係依前述特性輻射偵測結果來進行相對應改善措施，並針對高污染區域進行清潔除污後，再重新進行輻射偵測，以確保量測結果符合外釋接受標準，若改善措施超出成本考量，則再佐以替代方案或檢討外釋準則。其主要目的為(1)實際執行改善措施活動；(2)確認廠址或機組可準備進行最終狀態輻射偵測；(3)提供並更新預估廠址輻射偵測參數，以使用於最終狀態輻射偵測。

### 5.最終狀態輻射偵測(Final Status Survey, FSS)：

最終狀態輻射偵測結果用來證明是否符合法規要求，其主要目標為(1)選擇/證實輻射偵測單元分類；(2)驗證每一個輻射偵測單元殘餘污染的潛在劑量或者風險低於外釋標準；(3)驗證每一個輻射偵測單元內小地區高活度造成的潛在劑量與風險低於外釋標準。

因應輻射偵測目的不同所使用的各類輻射偵測儀器，不論是環境等級或是污染特性調查等級，這些儀器我國核設施大多數均有採購及使用，所以廠址早期調查越確實，則後續

執行拆除作業的廢棄物管控也將更有效率，故業者於核電廠除役先期作業上，必須確實執行落實此一範疇的調查工作。

#### (四) 除污技術(Decontamination Technologies)

核設施除役作業中牽涉到除污、拆除及廢棄物管理等重要步驟，而選擇與應用適當的除污方式及拆除技術勢必成為除設計畫成功與否的關鍵因素。其中又以除污技術為在核設施除役作業期間最常使用的關鍵技術之一。

核設施除污作業中，污染組件表面乃是藉由沖洗、熱力、化學溶劑、電化學方式及機械作用等方法來移除核種，相關說明摘述如下：

- 化學除污：通常使用於一次側封閉迴路系統之除污作業，其濃度或稀釋反應溶劑直接與污染物反應，並且被廣泛使用、快速、相對便宜與簡易，可溶解出累積鏽垢層，甚至金屬基材，故可得到較高除污因子(DF)約 5-40(除污效果為 80%~97.5%)，用於較複雜幾何與均勻的表面如管路，較不適合用於多孔表面。反應溶劑可回收以避免產生大量二次廢料，溫度與反應時間為重要變因，催化劑可使用有助於與污染物之結合，泡沫、溶劑與水霧可用於協助化學除污應用，其四種介質為氧化劑、還原劑、催化劑與酸鹼溶液。另講師亦介紹使用於 Big Rock Point 與 Maine Yankee 電廠之化學除污步驟，以及簡單化學除污方式如利用市面常販售家用清潔劑進行擦拭等。
- 電化學除污：利用電化學方式對除污對象施加電位差進行氧化還原，並可用於碳鋼、不鏽鋼或鋁等導電度較好材質進行處理，且相對便宜與快速。通常電解質使用酸液對較小直徑管路進行除污，其缺點為管路殘留的油、鏽垢、油膏與油漆會對除污效果有影響，且需對容器加熱與攪拌，不適合小於或複雜幾何材料，而優點則是產生較少二次側放射性廢棄物。
- 機械除污：利用物理性表面清潔或移除，通常應用於小面積或表面污漬，例如多孔性表面，然對於除污過程所產生空浮需進行量測與控制，以及現場工作人員聽力保護。

其除污技術之種類包括工具刮除、吸附黏除、超音波震盪、高壓沖洗、高能雷射、機器研磨、氣體吹除、真空除污、重機械設備等，並對不同機械刮除設備之移除深度及速率等效能進行比較。

除污過程相對的也會產生二次廢棄物，所以當需要除污項目愈多及範疇愈廣時，則產生的二次廢棄物也就會愈多。因此，在確保工作人員安全以及放射性廢棄物減量考量因素上，選擇適當的除污技術就顯得相當重要。講師亦於課堂上介紹除污技術選擇評估因子及協助選擇的資源。

選擇適用的除污技術需要考量下列幾個因子，分列如下：

- 安全性—選用的技術不會產生污染擴散及新的危害性物質。
- 效率性—選用最低的操作成本、使用已有驗證且在短時間內作業中使作業中的工作人員輻射曝露最少化的技術。
- 成本效益性—選擇除污後比未除污的物質運送費用要低的除污技術。
- 廢棄物管理—選取產生最少化的一次及二次廢棄物的技術。
- 應用之可行性—避免密集性勞力的技術或避免在處理過程中使用大量不常用物質。

課程中講授各式除污方式及機具，對每一種技術都詳細介紹，使學員瞭解不同作業、組件所使用的各類除污方法(如表 1)。

表 1 不同作業階段之各類除污方法一覽表

作業方式	除污目的	待除污物件	除污方法
組件拆解前除污	降低職業曝露	管路系統	化學除污 機械除污
		桶槽	水力噴射、噴砂、剝離式被覆
拆解後除污	金屬再利用及減少放射性廢棄物	管路，組件	電拋光、化學浸泡、噴砂、超音波、凝膠
建物(混凝土)除污	廢棄物外釋及減少放射性混凝土廢棄物	混凝土表面	機械鏟除
			真空吸塵法
			刨削/刮削
			鑽孔與打碎
			噴鋼砂
			微波照射



除污的目的除了降低輻射曝露外，也可以減少貯存及處置場處置的空間壓力、降低貯存期間或長期監測與監管要求，以確保民眾健康與安全。

## (五) 拆除作業技術(Dismantlement Technologies)

本課程介紹拆除作業的緣由、拆除方式及應用、選擇拆除技術之評估參數，以及成熟與新興拆除技術等，拆除定義為除役過程中拆除清潔或放射性設備或組件結構，所使用的方法為熱力、機械或電氣等方法執行拆解作業，但有時也因某種因素考量不須拆解或是以廢棄物最小量產出方式來執行拆解。

核設施組件、結構拆解，是移除高活性的物件以及要符合最終處置的接收標準以外，也要考量運送的限制條件，所以在評估作業時，都會事前擬妥拆解計畫，明列拆除項目與範圍。拆除方式可分為單一組件移除或廢棄物最小量產出方式來執行拆解，歐亞大多數國家較偏向盡可能將組件拆解成較小尺寸的物料或廢料，而美國較偏向整個大組件拆除。

針對拆除方式及應用部分，拆除之工作環境有組件由外往內或者由內往外進行，現場作業環境空間常因組件結構的不同而有所差異。在選擇拆除技術方面，沒有任何單一技術可以滿足除設計畫內所有涵蓋的拆除需求，拆除技術選擇取決於待拆除設備/零件之材質種類(如混凝土或金屬)、厚度與幾何形狀；設施類型如核電廠、燃料循環設施、核武及核研究設施等、環境介質如空氣或水，放射性活度水平與劑量及污染控制；廢棄物管理如廢棄物分類與處置場址；拆除計劃管理如拆除時程與花費，其中設施類型直接影響同位素含量、工業安全及切割環境，進而影響程序的選擇。

在進行切割時要先予以訓練與模擬，例如執行圍阻體結構拆除、通風系統、偵測與取樣設備、攝影、照明與通訊設備、除污設備、吊運設備如吊具與天車、塵粒控制設備、電力設備等，才較能確保實際作業時的安全。

單一組件移除考量，通常為反應爐、蒸汽產生器、熱交換器、調壓槽等大型組件，其考量因素經濟因素、廠址準備、廢棄物接受準則、輻射特性調查資料、運輸議題等。講師

亦於課堂上解說 DOE 場址單一組件移除實績如 Big Rock Point、Trojan、La Crosse 等電廠反應爐、Hanford 場址反應器組件及廢棄物桶槽、Savannah River 場址反應爐與蒸汽產生器等。

拆除設備種類主要分為金屬與混凝土，在金屬切割可利用機械如剪具、圓鋸機、砂輪機、鑽石刀、研磨機、切割機等，熱力如電漿焰、氣切焰、炸藥，或電氣如電切焰、電焊鋸等方法。另混凝土切割則利用機械如鑽石刀、圓鋸機、榔頭、怪手與熱力如焰切、炸藥等方法。前述不同拆除方法應依其優缺點適用於相對應設備組件。

講師紹美國各電廠反應器切割技術經驗、切割使用方法、經驗回饋、執行期間、執行方式、反應爐活度/曝露劑量/廢棄物產量等資訊。另隨除役拆除技術進步，電廠所選擇切割技術從機械切除、高壓研磨水柱，到近期遙控機械設備切除等方式之演進，其目的為降低人員輻射劑量曝露，以符合理抑低 ALARA 之精神。

拆除作業應注意過程所產生的空浮對工作人員劑量之影響，且伴隨著拆除作業的進行會產生二次廢棄物，例如研磨粉塵、沖刷廢液、碎片與煙霧等。控制這些污染物質是非常重要的，因為會直接影響工作人員安全及更多廢棄物待處置管理，有時過濾器因捕捉塵粒所產生廢棄物體積，會造成總廢棄物體積增加，故在執行相關除污作業亦須將二次廢棄物裝卸與處理的成本一併考量。

在切割過程中不免會動用到火源，所以工作環境的意外防範要求是要以更嚴格標準來要求的，例如防火毯、滅火器、緊急待命人員等均要缺一不可，而輻射防護的配備更是嚴格要遵守。

## **(六) 除役作業之廢棄物管理(Waste Management During Decommissioning)**

除役作業中對於廢棄物管理範疇，其特別重要之影響參數有下列幾項：

- 成本：關係到廢棄物的處置、運送、盛裝容器、廢棄物特性、搬卸裝運及二次廢棄物等議題。
- 計畫清單：工期排序、階段性正進行之工作、輻射劑量合理抑低 (ALARA)、資金流通、物料流通等均會影響廢棄物量與質，並應儘可能一次性處理。

- 管制層面：須符合除役後最終使用標準，避免為背承諾事項等。
- 安全層面：人因工學所有安全事項、放射性污染等。

而在除役作業中廢棄物管理也受限於許多限制因子，例如「最終處置場的接收標準」、「廢棄物盛裝容器規格、限制條件與盛裝容量」、「可使用的盛裝容器及金屬護箱與火車」、「輻射劑量合理抑低的考量」、「遵循所有相關管制及法規」、「風險管理」等。講師於課堂上也以美國實際案例解釋各項限制因子，如 Yucca Mountain 最終處置場議題等，與我國目前廢棄物管理亦面臨相同議題，將會對後續除役作業有嚴峻挑戰與工作，須盡全力達成安全管制的終極目標。而對於廢棄物成本的衝擊因子不外乎為廢棄物的「活度」、「體積」、「搬運機具及尺寸限制」、「運輸模式」、「劑量率」、「運送距離」、「容器種類」及「最終處置」等。核設施不同除役方式如 SAFSTOR 與 DECON 比較，其時間因素將影響廢料處理花費，如其所含核種之活度、劑量將隨時間衰減，進而影響處理的體積與重量、封裝桶數與運輸成本，甚至是處置的花費。

拆除後的廢棄物運送也是一項重要議題，對於運送計畫以及載具的規範要求，我國也有相對應的管制規範。因此，對於廢棄物的管理從源頭管制到後續貯存均要嚴密管制，才能確保除役作業及環境安全。

### **(七) 除役作業中環境及人員安全衛生防護計畫(Environment, Safety, & Health Planning for Decommissioning)**

本課程主要在講授除役作業中其環境及人員可能會發生安全議題及應準備之防護措施，講師在課堂中會引用一些短片來詮釋課程內容，潛移默化中就让學員了解安全相關的重要性。而除役作業中最重要的還是作業人員的安全，因此須列為為最優先考量，而管制機關在執行檢查作業時也要能瞭解安全防護，以確保整體作業的安全性。

環境及人員安全衛生防護計畫是在指進行除役作業之時，其所涵蓋的範疇可分為輻射防護安全、非輻射防護安全，以及額外議題，故只要與安全相關的範疇均要考量納入，例如工作人員劑量管控、工業安全、放射性與非廢棄物的管理、排放及運送、醫療救護、火

災防護、文件管理、緊急計畫及品保作業等，其目的是降低其為害性。

在除役作業中的各項工作意外、發生危害會對工作人員造成傷害或死亡，相對於設施或環境亦會造成災害，所以預防性的防範措施將會比事後的彌補檢討更有功效，進而防範機制，才會達到防護目標。講師也於課堂上舉例有關除役作業中游離輻射意外之危害類型、作業項目及控制措施(詳如表 2)。

表 2 除役作業中游離輻射危害類型、作業項目及控制措施列表

危害類型	除役作業項目	控制措施
游離輻射	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 燃料吊運、檢查與廢棄物處理</li> <li>● 輻射偵測與取樣</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 所有工作將在輻防人員的督導下進行</li> <li>● 輻射工作許可(RWP)將用於管控輻射管制區域</li> <li>● 所有工作人員將依據輻防要求進行訓練與測試</li> <li>● 人員在離開輻射管制區時將要求進行量測</li> <li>● 空氣樣品與體外劑量將用於曝露評估</li> <li>● 輻防人員將依輻防要求執行例行性偵測</li> </ul>

講師亦提醒學員，雖然已有執行工作危害性分析，也得到分析後的結論，但仍必需依據分析結果採取危害性的控制措施，將這些分析結果落實納入工作任務中，這樣才能有效的避免意外危害事件發生。而危害的優先順序和有效性控制措施如下：

1. 工程層面管控：

包括實務工作上如何去除或降低危害因子，例如封密某一特定區域，或者隔離圍籬、重新定位或移除等，都可以達到避免意外危害事件發生。

2. 行政層面管控：

涵蓋了人員訓練、程序書的建立與落實執行、工期的限定、監測、警報訊號等。

3. 個人防護裝備：

當工程控制不可行或不可完全消除危害因子時，個人防護裝備就顯得相當重要，尤其

是工作場所沒有提供額外的保護時或者根本無法以工程技術層面來控制危害性質工作，但又不得不派遣工作人員進入有危害區域或從事此類危害性工程時就顯得十分重要。而在除役作業的實務工作上，某些場合無法完全消除危害性因子時，就需要上述三項措施組合搭配執行。

而且講師也針對運轉中與除役之核設施在環境、人員安全及衛生防護面向上有不同挑戰解釋說明，如表 3 所示，例如在除役作業中許多工作是先前未有的經驗，且沒有既有的防護經驗，而且著重在拆除作業上，這些諸多需要面對的挑戰，現場規劃及工作人員要直接面對。

表 3 運轉中與除役核設施在環境、人員安全及衛生防護面向上不同挑戰項目表

運轉中的核設施(Operations)	除役之核設施(Decommissioning)
許多工作是例行性質	許多工作是獨特性質
大部份安全議題已獲確認	新工作創建新的安全性挑戰
大多數員工明瞭廠址特性及操作流程	新進且為臨時性承包商占多數
廠址內廠房作業是例行性	廠址內工作是持續性的流動進行
著重績效安全的操作	著重於拆除的安全性
發電且財務累積增進	並未有營運基金且有限的財務完成工作
現場隨著時間僅些為改變	廠址外貌及結構持續的改變
有經驗的及支援性質的工作人員	基於不同工作而變動較大的工作人員
智能型的工作人員	經驗型的工作人員
已建立完善的訓練機制	為持續性需求而進行或起始的訓練

#### (八) 除役作業之經費估算(Cost Estimation for Decommissioning)

除役經費估算是一項要兼顧品質及準確性的困難工作，業主必須進行除役經費估算，其目的為確保除役期間所需花費之資金、足夠資金可用、使用於除役計畫與執照終止、建立預算基準及滿足管制單位要求與洞見信心。所以要特別注意業者對經費的評估作業是否

符合品質的要求。

除役經費估算內容大致包含(1)基本預估：除役策略、各階段點、設施描述與廠址調查、廢棄物管理、用過核燃料管理、引用資料來源、經費估算方法、除役技術、程式與計算方法論；(2)估算架構：活動花費、週期花費、附帶花費及不確定性花費等；(3)工作分解架構與時程。除役經費估算流程(圖 4)。

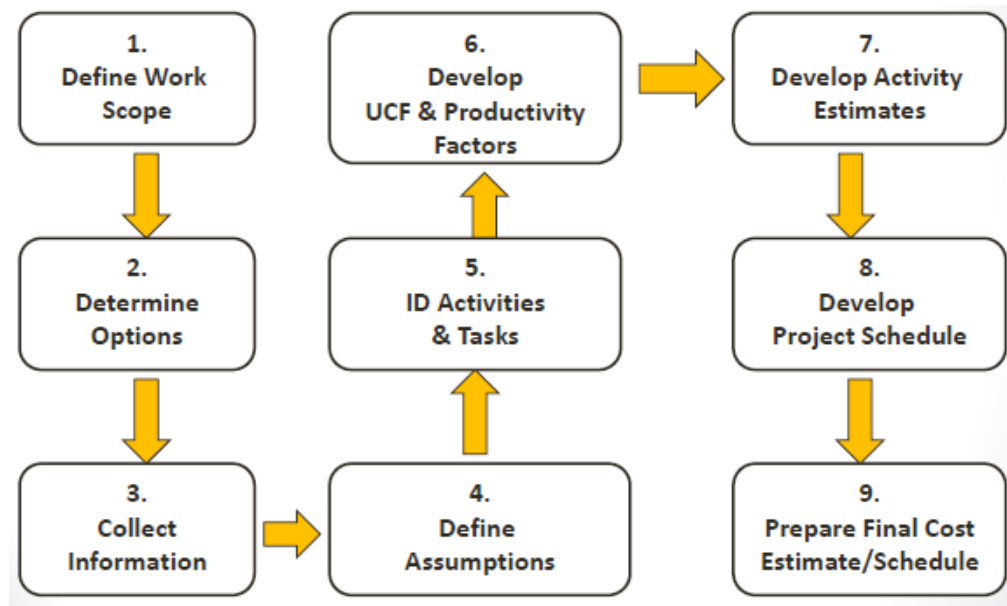


圖 4 除役經費估算流程圖

另對於核能電廠除役費用比其他設施費用要高，是因為在有輻射的環境中工作，故具有複雜性及風險。而從事除污與拆除作業、廠址輻射特性調查、放射性廢棄物管理及廠址復原等工作，均需要具有經驗的人員來執行。一般而言，具有經驗的工作人員人事成本較高。而會影響除役估算費用的因素，也包括除役的行政執行架構、所選擇的除役策略、所考量費用項目(費用估算範圍)、所採用方法及所考量的風險與不確定性方式。

#### (九) 除役紀錄管理(Records Management in Decommissioning)

本課程主要針對除役品保文件紀錄管理進行講授，其紀錄種類主要可分為圖面與計算書、報告與程序書、其他技術文件、顧問公司提交文件、人資紀錄與設計修改文件等。

紀錄管理的職責包含(1)紀錄的創建與使用之規劃、政策、作法與執行；(2)除役活動與

非活動紀錄之儲存；(3)紀錄評估、維護、保留與處理；(4)紀錄與訊息管理技術。

紀錄產生來自於該核設施生命週期自設計、興建、運轉、停機與除役，早期許多紀錄與運轉安全及成本有關，對於後續除役作業資訊均有相當助益，其文件保留準則依循管制單位規定辦理，並能清楚瞭解廠址現況且可用於除役相關資訊。

紀錄管理系統主要可分為電子式或物理形式，其資料庫架構包含安全管理、維護測試管理、廢棄物管理、計畫與執照管理、人力資源管理、財政管理及文件管理等(圖 5)。



圖 5 除役期間紀錄管理系統(Record Management System, RMS)之類型

紀錄媒介隨科技進步，對於紀錄保存過程可能發生包含：不完整紀錄、顧問公司執行文件、翻譯議題、組織更動、電子文件無法讀取、科技進步汰舊、密碼遺失、人員更替、保安議題及管制要求改變等問題，應避免影響品保文件之留存要求。

#### (十) 除役合約計畫與管理(Decommissioning Contracting Planning and Management)

在規劃除役計畫前，有許多議題需注意包括：對於該計畫之重要作業進行描述、除役經費預估是關鍵部分、重要完成事項將實行於計畫內容、規劃者必須對於該設施有所瞭解如廠址歷史評估、輻射特性調查、紀錄文件、人員訪談與設計圖面等，並對計畫進行管理，在進行現場作業前須完成除役計畫規劃等相關程序。

除役計劃管理，在業主部分包含業主管理計畫、對於除役顧問合約提供風險洞見、訂定該設施最佳除役計畫方式如設施可用員工、經驗回饋及專業能力、並成立專案小組包含具有除役經驗成員，使計畫能順利進行。顧問公司部分包含合約顧問機制與角色應清楚定義，且業主必須參與其中，最重要的是業主與合約顧問者必須要有一致的目標。

講師舉美國 Zion 核電廠案例，其所屬 Exelon 電力公司與美國其他除役合約顧問團隊如 AREVA 及 Northstar 進行合作相關拆除作業，另 Vermont Yankee 核電廠於 2013 年底機組永久停止運轉及 2014 年爐心用過核燃料移除後，近期將電廠資產轉賣給專責除役業務之 Northstar 公司，講師亦說明此為美國電廠最新且較聰明之除役作法，目前至 2020 年期間正進行用過燃料池核燃料移出至乾式貯存設施作業，其除役效益如何將有待觀察。

一般除役組織單位，其組織上位為除役計畫，其包含品保管理、安全衛生管理與行政管理部分，以及許多應執行之除役專案小組。對於每個專案小組一般會有一管理者、負責財政、品保、獨立查證、現場作業小組、技術支援小組及行政支援小組等，並應維持組織結構、成本花費進行評估、安全與衛生評估、輻射劑量合理抑低評估、依循法規導則、執行政程序與訓練計畫。

#### **(十一) 除役溝通與知識管理 (Decommissioning Community & Knowledge Management Resources)**

有關除役溝通部分，講師舉美國 Zion 核電廠及 DOE 廠址橡樹實驗室等案例，因除役作業應以安全、保安與環境考量擺在最優先順位，以高度危險物質減量為主要重點，雖然美國核設施大多地處偏遠，但仍有當地或鄰近居民是受除役作業最直接，所以要充分使當地或鄰近居民表達意見，此項工作是核電廠業者在執行除役作業中社會溝通的一環。

另於課堂介紹過渡階段與除役期間知識管理系統，此主要針對該期間除役技術、設備系統、經驗回饋、最佳案例、文件資料、法規工具指引及訓練內容等，對於業主執行除役作業均有良好參考資訊。



## (十二) 終期狀態輻射偵測/執照終止(Final Status Surveys & License Termination)

終期狀態輻射偵測主要考量廠址或設施區域是否存在殘留放射性物質，並確認其輻射特性屬定性或定量，該污染殘留活度資訊，對於平均殘留活度是否低於外釋準則，以及局部區域殘留活度是否超過輻射調查平均值，講師亦於課堂上針對 Georgia Tech 輻射特性調查之案例進行說明。其方法論為 Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, MARSSIM，一個輻射偵測評估標準方法，並於輻射偵測領域廣泛被使用。雖其使用上仍有一定限制，但對於規劃、建置與評估除役期間廠址或設施的輻射偵測作業，MARSSIM 仍不失為一個嚴謹和靈活的方法。

另對於設施內材料與設備部分，包含各式各樣金屬、混凝土、工具、設備、管路、電纜、容器等，均可利用 MARSSIM 附錄 MARSAME 進行評估。

導出濃度指引水平(Derived Concentration Guideline Level, DCGL)為各種曝露途徑與情境分析之計算結果，並對應外釋準則所要求劑量限值。其分析程式如下說明：

- RESRAD—由 USDOE 之 ANL 在 1980 年開發並持續更新。
- DandD—由 USNRC 之 Sandia 在 1998 年開發。
- 其他分析程式—Cap88-PC、GENII-S、PRESTO。

最終狀態輻射偵測設計目的為收集必要統計數據以證明廠址符合外釋準則，首先應先建立資料品質目標(Data Quality Objectives, DQO)，其最小要求包括對偵檢單位(Survey Units)分類 Class 1、2、3 並訂定邊界、訂定無效假設(Null Hypothesis)係假定偵檢單位內所殘留放射性活度超過外釋準則、訂定灰色地帶(Gray Region)，其上限定義為 DCGLW，而其下限(Low Bound of the Gray Region, LBGR)定義通常初始選擇為 DCGLW 的一半。

偵檢單位分類可依據廠址歷史評估或先前輻射偵測之結果，Class 1 為最高潛在污染區域，該區域曾經進行復原改善、潛在放射性活度污染，以及已知污染超過 DCGLW；Class 2 為已知污染區域，但相關污染未超過 DCGLW；Class 3 為不預期該區域會有殘留放射性活度或預期該殘留放射性活度與 DCGLW 相比小許多。

數據收集部分，MARSSIM 建議評估除役後環境輻射偵測資料，其背景中存在關鍵核

種時，採用 WRS 檢定法，若背景中不存在關鍵核種，則用 Sign Test 檢定法。Class 1、2 區域依計算出偵測點數與起始位置進行網格狀量測，Class 3 可隨機選點量測。

美國核電廠執照終止計畫是在描述除役作業執行到最終狀態調查程序，以及逐一驗證除役後的廠址可滿足無限制使用釋出之要求，同時亦不會對環境品質有不利影響。執照終止計畫內容包括一般資訊、廠址特性調查、剩餘活動確認、廠址復育計畫、最終狀態調查、符合輻射標準、除役費用更新及環境報告補充等。

### (十三) 發展中的技術(Evolving Technologies)

本節介紹機器人之遠端操控來執行高劑量區域之相關工作，雖然上述工作經費及時間成本耗費不低，但卻是必須要使用的，其理由為符合工作人員的健康與安全與輻射劑量之合理抑低精神，且在高劑量或極度狹隘空間等艱困的工作環境的確不適合派遣人力去執行，唯有藉助機器人之遠端操控才可安全的完成作業，講師以日本福島電廠 1、2、3 號機乾井內污染區域內的輻射偵測與影像攝影作業為例，其遠端輻射偵測設備上亦配備有攝影功能，然因現場劑量因素，多數遙控設備功能無法維持太久，相關輻射偵測技術尚待克服。

而選擇這些發展中的技術要考量的因素有防範輻射污染的保護機制、移動性、維護性、工作精準度與操控性、尺寸重量及實際經驗等。特別是要利用自動化機器或是遠端操控設備之前，應預先建構無輻射的空間區域並進行試驗，如此才能確保所選用的機具與設備是最合適的選擇。

而後在拆解新興技術中也介紹了電漿火炬切割組件技術以及其優缺點與適用範圍。雖該設備可以移動且功率較低，但工作溫度仍可以超過攝氏 3000 度。

在除污作業中介紹利用雷射光及凝膠除污等新興技術，並說明其適用範圍及優缺點，在課堂上講師與幾位韓國水力核能電力公司(KHNS)等從事現場執行或是規劃除役計畫的學員亦提出問題進行意見交換。其中有一項輻射特性偵測技術為 Gamma Camera，本項技術在數年前僅為理論階段，而如今已發展為應用於偵測污染組件商業產品。此設備索搭配

的攝影機可將組件上受污染劑量的範圍與等劑量圖顯現於該組件的影像上(如圖 6)，可使現場的工作人員立即了解到該組件污染狀態，除可提升工作效率外，亦可增加輻射安全的防護性，講師並以廠房中某些彎管會累積放射性物質之實務偵測舉例，然該設備偵測距離仍會影響其解析能力，故需視現場劑量情況來決定偵測的距離的遠近。

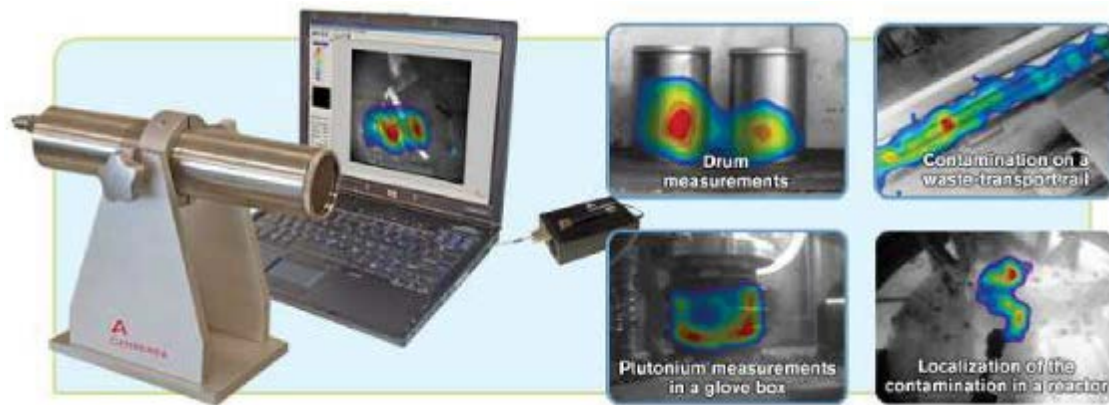


圖 6 輻射特性偵測技術-Gamma Camera

## 肆、心得與建議

此次參加美國 ANL 於韓國釜山舉辦 FDTC-2017 訓練課程之心得與建議，可歸納下列幾項：

1. 核能設施除役訓練課程(FDCT)內容主要涵蓋美國核設施除役經驗、除役期間作法、除役計畫之執行、放射性廢料管理、除污與拆除、除役預算規劃、環境保護及組織管理等相關議題，是良好獲取除役知識與經驗之管道，藉由參與核能設施相關除役課程，可從中了解世界各國核能電廠除役發展趨勢，並針對我國所關切之議題亦可與專家進行深入討論，因此建議未來仍派員收集與了解最新的技術發展及各國安全管制作為。
2. 美國 NRC 已著手進行除役過渡階段之管制立法規劃，並針對近期進入除役過渡階段電廠如 Vermont Yankee、SONG 核電廠等提出管制經驗報告，歐盟對於核發電廠除役許可作法亦有相關規定，以及日本福島相關核能電廠除役及拆除研究計畫在國際組織推動下，亦已取得穩定的進步。為瞭解國際核能設施除役過渡階段之管制技術經驗，並精進同仁對於除役管制專業能力，應持續派員學習相關訓練課程，對於國內核電廠除役停機過渡階段期間之安全管制作業將有所助益，亦可蒐集最新核能設施除役資訊，可作為我國核能電廠除役安全管制的重要參考。
3. 對於核設施除役訓練建議可參考韓國邀請國際具有除役專業知識與經驗團隊開設訓練課程的作法，以建立與國際除役管制交流與技術合作之平台，促進國際交流合作。

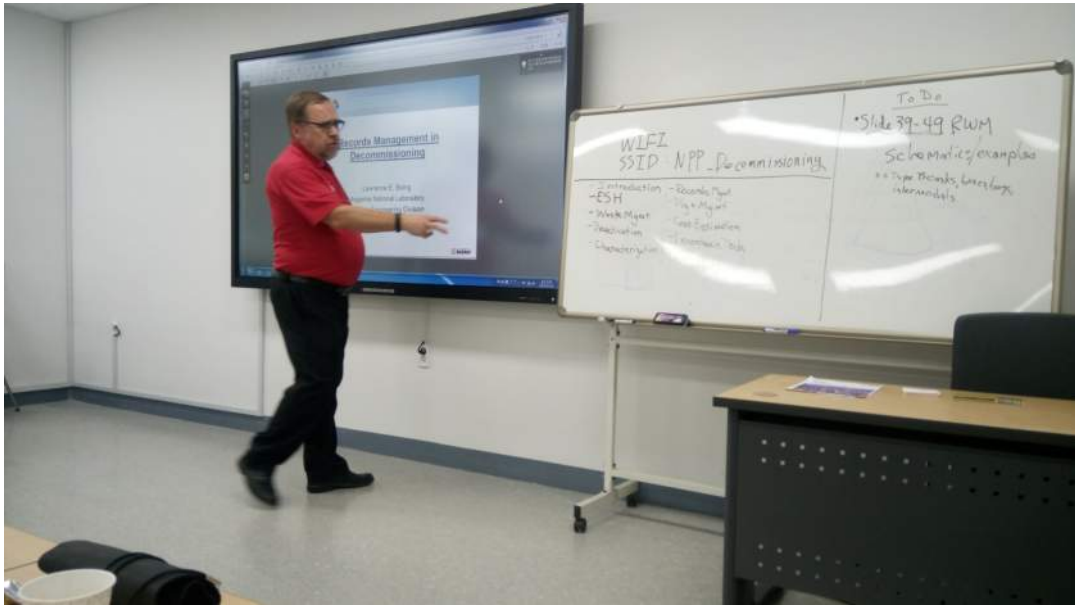
## 伍、附件

附件一 FDTC-2017 訓練課堂

附件二 FDTC-2017 課堂結束後全員合影

附件三 FDTC-2017 結訓證書

# 附件一 FDTC-2017訓練課堂



FDTC-2017 訓練課堂照片



FDTC-2017 課堂結束後全員合影

## 附件二 FDTC-2017 訓練課表

Agenda - July 2017 - Busan - DRAFT.xls

2017-07-13 10:23 AM

### ANL Facility Decommissioning T C

July 24-27, 2017

DRAFT REV 4

Hosted by Pusan National University, Busan, KOREA  
In partnership with the Korean Radwaste Society (KRS)

Day	Time	Activity	Speaker	#
M, 7-24-2017	8:45 AM	Sign-In / Opening Remarks	Larry Boing, ANL	
M, 7-24-2017	9:15 - 10:00 AM	Attendee Introductions	Participants	
M, 7-24-2017	10:00 - 11:30 AM	Introduction to Decommissioning	Larry Boing, ANL	1
M, 7-24-2017	11:30 AM - 12:30 PM	Environment Safety & Health in Decommissioning	Tom Hansen, Ameriphsysics	2
M, 7-24-2017	12:30 - 1:30 PM	LUNCH (on your own)		
M, 7-24-2017	1:30 - 2:30 PM	Deactivation Process	Larry Boing, ANL	3
M, 7-24-2017	2:30 - 3:45 PM	Waste Management in Decommissioning	Tom Hansen, Ameriphsysics	4
M, 7-24-2017	3:45 - 4:00 PM	BREAK		
M, 7-24-2017	4:00 - 5:00 PM	Site / Facility Characterization	Tom Hansen, Ameriphsysics	5
M, 7-24-2017	5:00 - 5:30 PM	Internet Resources / D&D ToolBox	Larry Boing, ANL	6
M, 7-24-2017	5:30 - 6:00 PM	Q & A / Discussions / Videos	ALL	
Tu, 7-25-2017	9:00 - 10:00 AM	Records Management	Larry Boing, ANL	7
Tu, 7-25-2017	10:00 - 11:15 AM	Planning and Management	Tom Hansen, Ameriphsysics	8
Tu, 7-25-2017	11:15 AM - 11:30 PM	BREAK		
Tu, 7-25-2017	11:30 AM - 12:30 AM	Cost Estimation for Decommissioning	Tom Hansen, Ameriphsysics	9
Tu, 7-25-2017	12:30 - 1:30 PM	LUNCH (on your own)		
Tu, 7-25-2017	1:30 - 2:30 PM	Decontamination Technologies	Larry Boing, ANL	10
Tu, 7-25-2017	2:30 - 2:45 PM	BREAK		
Tu, 7-25-2017	2:45 - 3:45 PM	Case Study - Georgia Tech Characterization - Part 1	Tom Hansen, Ameriphsysics	11
Tu, 7-25-2017	3:45 - 5:00 PM	Case Study - Georgia Tech Characterization - Part 2	Tom Hansen, Ameriphsysics	12
		Close early today	ALL	
W, 7-26-2017	9:00 - 10:40 AM	Dismantling Technologies	Larry Boing, ANL	13
W, 7-26-2017	10:40 - 11:00 AM	BREAK		
W, 7-26-2017	11:00 - 11:45 AM	Decommissioning Community & Knowledge Management	Larry Boing, ANL	14
W, 7-26-2017	11:45 AM - 1:00 PM	LUNCH (on your own)		
W, 7-26-2017	1:00 - 2:30 PM	Final Status Surveys	Tom Hansen, Ameriphsysics	15
W, 7-26-2017	2:30 - 2:45 PM	BREAK		
W, 7-26-2017	2:45 - 4:15 PM	Facilitated Exercise - Final Status Survey	Tom Hansen, Ameriphsysics	16
W, 7-26-2017	4:15 - 5:30 PM	International Decommissioning or Videos	Larry Boing, ANL	17
W, 7-26-2017	5:30 - 6:00 PM	Q & A / Discussions / Videos	ALL	
Th, 7-27-2017	9:00 - 10:00 AM	Evolving Technologies	Larry Boing, ANL	18
Th, 7-27-2017	10:00 - 10:15 AM	BREAK		
Th, 7-27-2017	10:15 - 10:30 AM	GROUP PHOTO	ALL	
Th, 7-27-2017	10:40 - 11:15 AM	Key Decommissioning Concepts	Larry Boing, ANL	19
Th, 7-27-2017	11:15 AM - 12:15 PM	LUNCH (on your own)		
Th, 7-27-2017	1:15 - 2:00 PM	Q & A / Discussion Forum	ALL	
Th, 7-27-2017	2:00 - 2:45 PM	Distribution of Certificates / Closing Remarks	Larry Boing, ANL	
Th, 7-27-2017	2:45 PM	Evaluation Submittals / Closing Remarks	Larry Boing, ANL	
Th, 7-27-2017	3:00 - 6:00 PM	Free Time	ALL	
EXTRA		ACRONYM Listing	Larry Boing, ANL	20
EXTRA		Soil Clean-Up	Larry Boing, ANL	21
EXTRA		Case Study - JANUS Reactor D&D Project	Larry Boing, ANL	22



