

出國報告（出國類別：考察）

核電廠 RPV&I 拆除及除役作業 管理觀摩及學習

服務機關：台灣電力公司核能後端營運處

姓名職稱：范振璉副處長

楊國華副廠長

謝秉璋經理

徐世融課長

楊梓棋課長

派赴國家/地區：瑞典、德國

出國期間：113 年 11 月 4 日～113 年 11 月 15 日

報告日期：114 年 1 月 8 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：核電廠 RPV&I 拆除及除役作業管理觀摩及學習

頁數 25 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司/ 黃惠渝/ (02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

范振聰/台灣電力公司/核能後端營運處/ 副處長/(02)2365-7210 #12201

楊國華/台灣電力公司/第一核能發電廠/副廠長/(02)2638-3501 #3002

謝秉璋/台灣電力公司/第一核能發電廠/修配經理/(02)2638-3501 #3380

徐世融/台灣電力公司/第一核能發電廠/劑量評估課長/(02)2638-3501 #3135

楊梓棋/台灣電力公司/第一核能發電廠/固體廢料課長/(02)2638-3501 #3221

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：113.11.04~113.11.15

派赴國家/地區：瑞典、德國

報告日期：113 年 12 月 16 日

關鍵詞：除役 放射性廢棄物管理 反應器及其內部組件拆除

內容摘要：(二百至三百字)

核一廠反應器壓力槽及其內部組件(RPV&I)之拆除作業為除役進程中之關鍵路徑，本次出國參訪瑞典正在進行 RPVI 拆除作業之 Ringhals 核電廠，了解該廠 RPVI 拆除作業準備規畫與執行之實務經驗，同時與其 RPV&I 拆除作業之承包商瑞典西屋公司進行交流，討論拆除作業細節並參訪該公司切割工場及維修中心，亦參訪瑞典 Studsvik 廢棄物處理示範設施並與 Uniper 專家與會，了解國外廢棄物處理技術及電廠除役規劃；另參訪德國 Isar 核電廠，該電廠已完成內部組件拆除，正進行 RPV 切割作業，藉由與其承攬商 GNS 公司交流，了解現場作業情形與前置作業準備規劃，未來用

於我國 RPV&I 拆除前置規畫作業之參考，並建立與國際間 RPV&I 拆除作業交流管道。

目錄

壹、 出國目的.....	7
貳、 出國行程.....	8
參、 參訪單位考察過程.....	9
一、 瑞典 Studsvik 考察內容.....	9
(一) inDRUM 廢棄物處理技術與其處理示範設施.....	10
(二) Studsvik/Uniper 專家交流內容.....	13
二、 瑞典西屋公司考察內容.....	16
(一) 與西屋公司與會交流內容.....	16
(一) 參訪西屋模擬訓練中心.....	19
三、 瑞典 Ringhals 核電廠爐內組件(RPVI)拆除作業考察內容.....	20
四、 德國 Isar 核電廠反應器壓力槽(RPV)拆除及除役作業考察內容....	22
(一) 反應器壓力槽(RPV)拆除作業.....	22
(二) 除役作業觀摩.....	22
肆、 心得與建議.....	24

表目錄

表 2-1 「核電廠 RPV&I 拆除及除役作業管理觀摩及學習」考察行程.....	8
---	---

圖目錄

圖 1 瑞典 Studsvik 場址	9
圖 2 瑞典 Studsvik 場址參訪合照.....	10
圖 3 inDRUM 處理設施及處理流程.....	11
圖 4 廢棄物整桶置入 inDRUM 處理單元	12
圖 5 與 Studsvik 及 Uniper 專家與會交流.....	13
圖 6 Uniper 公司旗下核能相關業務 Uniper Nuclear.....	15

壹、出國目的

本公司核一廠除役許可已於 108 年 7 月 16 日生效，目前已處於除役排程中的第一階段「除役過渡階段」，核二廠兩部機組運轉執照亦已分別於 110 年 12 月及 112 年 3 月屆期，依法規要求，本公司必須於核電廠除役許可生效後的 25 年內依除役計畫完成除役工作，其中反應器壓力槽及其內部組件(RPV&I)之拆除作業為除役進程中之關鍵路徑，本次出國考察任務觀摩學習瑞典及德國核能電廠 RPV&I 拆除作業準備規畫與執行之實務經驗，作為本公司推動與執行之借鏡，亦與專家討論交流，汲取國外最新經驗與資訊，作為優化精進適用我國之拆除方案，以利我國電廠 RPV&I 拆除作業之推動與執行。

本次出國規劃參訪瑞典 Vattenfall 電力公司所屬之 Ringhals 核電廠，Ringhals 電廠的 2 部機組分別在 2020 及 2019 永久停止運轉並將於今年下半年開始執行現場 RPV&I 拆除作業，本次參訪期能了解 Ringhals 核電廠 RPV&I 拆除作業準備規畫與執行之實務經驗，同時安排與 Ringhals 電廠 RPV&I 拆除作業之承包商瑞典西屋公司進行交流，討論拆除作業細節並參訪該公司切割工場及維修中心，亦安排參訪 Studsvik 的廢棄物處理示範設施，以了解國外廢棄物處理技術及其實績；另經連絡後安排參訪德國 Preussen Elektra 電力公司所屬之 Isar 核電廠，該電廠由 GNS 公司與西屋公司負責 RPV&I 拆除作業，已於 2024 年初完成 RPVI 拆除，預計今年秋季進行 RPV 拆除作業，藉此參訪期能了解 RPV-I 拆除及控制棒處理之規劃及現場作業之經驗回饋。

。

貳、出國行程

此次「核電廠 RPV&I 拆除及除役作業管理觀摩及學習」時間為 113 年 11 月 4 日至 113 年 11 月 15 日，共計 12 日，主要參訪單位所在地為停瑞典與德國，考察行程如表 2-1 所示。

表 2-1 「核電廠 RPV&I 拆除及除役作業管理觀摩及學習」考察行程

時間	地點	工作內容
11 月 4 日(一)	台灣至德國	去程
11 月 5 日(二)	德國至瑞典	去程
11 月 6 日(三)	瑞典 Studsvik	參訪 inDrum 廢棄物處理示範設施
11 月 7 日(四)	瑞典 Västerås	參訪瑞典西屋總部
11 月 8 日(五)	瑞典 Solna	拜會 SKB / Vattenfall 電力公司
11 月 9 日(六)	瑞典	假日
11 月 10 日(日)	瑞典	路程(火車) 斯德哥爾摩-哥特堡
11 月 11 日(一)	瑞典 哥特堡	參訪 Ringhals 電廠
11 月 12 日(二)		路程(飛機) 瑞典-德國
11 月 13 日(三)	德國	參訪 Isar 電廠
11 月 14 日(四)	德國至台灣	返程
11 月 15 日(五)	德國至台灣	返程

參、參訪單位考察過程

本次出國考察安排的參訪單位，分別為 Studsvik 公司、瑞典西屋公司、瑞典 Ringhals 核電廠及德國 Isar 核電廠，另由 SKB 公司協助安排與 Vattenfall 電力公司(Ringhals 電廠所屬公司)交流；以下將針對各參訪單位之考察內容加以介紹及說明。

一、 瑞典 Studsvik 考察內容

Studsvik 公司源於瑞典斯德哥爾摩南方波羅的海海岸的 Studsvik 場址(如圖 1)，數十年來，Studsvik 成長為全球性企業，在許多國家設有當地辦公室，許多顧問和工程人員駐紮並為其所在地理區域提供服務，包括工程諮詢、核燃料與材料測試、反應器模擬軟體，以及後端相關的廢棄物管理與核設施除役。但基於特殊的熱室設施，有關核燃料與材料相關技術的核心仍位於瑞典 Studsvik 場址，該場址距離 Nyköping 28 公里，約有 120 名專家在那裡工作，並以此為基礎為全球客戶提供支援。

本次即為參訪瑞典 Studsvik 場址，如圖 2，主要安排參觀新建置的 inDRUM 廢棄物處理示範設施，了解其用途及處理成果，同時在其邀約下與 Uniper 公司的專家一同與會交流。本小節將分為「inDRUM 技術與其處理示範設施」與「Studsvik/Uniper 專家交流內容」。



圖 1 瑞典 Studsvik 場址



圖 2 瑞典 Studsvik 場址參訪合照

(一)inDRUM 廢棄物處理技術與其處理示範設施

Studsvik 延續過去熱有機還原(Thermal Organic Reduction)的處理技術，接續改善開發並取得專利之廢物處理技術 inDRUM，inDRUM 是利用熱能和受控環境，無需將廢棄物倒出或換桶，直接處理原貯存於容器內的放射性廢廢物，以去除放射性廢廢物的自由液體、破壞有機物並使容器內的腐蝕性物質和反應性物質失去活性，致使產出乾燥、惰性、無機的灰燼廢棄物，其具有適合運輸、長期貯存，並可以安全地處置於最終處置設施。

inDRUM 的處理過程包含兩個主要處理系統：第一個是容器處理單元(Container Treatment Unit, CTU)，在處理單元中汽化液體、熱分解碳基化合物並穩定反應性物質，同時大部分的放射性核種將困於處理

後的產物中。第二個系統是廢氣處理系統，該系統可捕獲任何固體、反應性、腐蝕性或揮發性氣體，最終過濾將釋放出可接受的氣體，如二氧化碳，以達到排放標準，設施及處理流程詳圖 3。

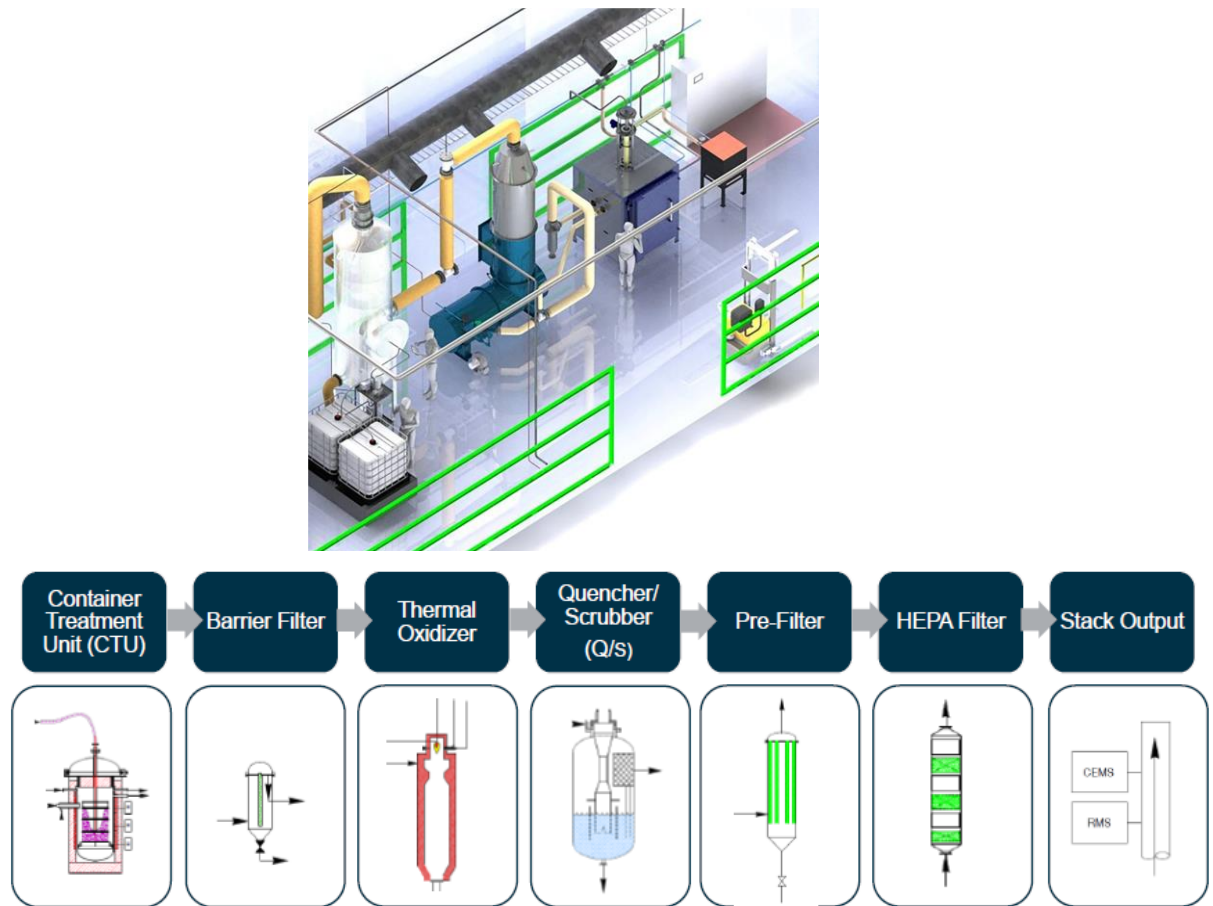


圖 3 inDRUM 處理設施及處理流程

上述等廢棄物經 inDRUM 設施處理後，可達到以下的特點：

- 最終處置場可接收的廢棄物狀態：可符合歐洲的處置標準，並滿足美國 DOE modified 1040 測試。
- 顯著減容：對有機和液體廢棄物具有顯著減容效果。
- 處理簡易：無需將廢棄物倒出或換桶，可直接處將整桶廢棄物放入 inDRUM 處理單元，詳圖 4。
- 完全破壞有害物質：完全破壞硝酸鹽和有機物，形成穩定的廢棄物型式。

- 去除液體：通過蒸發去除廢物中的任何自由液體。
- 轉化有害物質：將腐蝕性和反應性物質轉化為惰性非危險性氧化物或碳酸鹽化合物。



圖 4 廢棄物整桶置入 inDRUM 處理單元

(二) Studsvik/Uniper 專家交流內容

本次參訪除了 inDRUM 廢棄物處理示範設施參訪外，Studsvik 亦安排本公司與 Uniper 公司的專家一同與會交流，詳圖 5，首先 Studsvik 於會議上先針對即將參訪的 inDRUM 設施進行介紹及說明，讓本次參訪人員對 inDRUM 設施有初步了解，後續 Studsvik 再介紹除役廢棄物處理，其重點介紹場址內的金屬熔煉處理場。

Studsvik 於 1987 年在 Studsvik 場址內建立金屬熔煉處理場，處理量能約每年 3-4000 噸金屬，至今已累積處理完成約 3 萬噸廢金屬及約 1 萬噸各類型的大型組件，包含熱交換器、氣機轉子、蒸汽產生器…等。

Studsvik 金屬熔煉處理場提供一套完整的熔煉程序，首先對低放射性廢金屬執行初步量測，分類污染程度，再經由噴砂除污移除表面污染後(移除 Co-60 為主)，將除污後的廢金屬與乾淨金屬混合熔煉，達到 Co-60 活度小於 1 Bq/g 的目標值，藉由熔煉可將放射性核種與金屬母材分離，鈾、鈾、鎂等核種會累積至熔渣中，另藉由廢氣系統可分離移除 Cs-137，最終以達成解除管制之目標。



圖 5 與 Studsvik 及 Uniper 專家與會交流

待 Studsvik 介紹結束後，續由 Uniper 公司專家介紹自家公司服務，另分享瑞典兩座核電廠的除役經驗(Oskarshamn-OKG 及 Barsebäck-BKAB)。

Uniper 是一家國際能源公司，主要供應歐洲客戶所需的天然氣與電力，在歐洲擁有約 22.5 GW 的發電能力，而核能相關業務(Uniper Nuclear)為其公司眾多服務中的一項，除了提供 RPVI/RPV 切割、大型組件拆除、廢棄物除污及管理、解除管制等服務外，Uniper Nuclear 亦是瑞典 Oskarshamn 與 Barsebäck 的執照持有者，詳圖 6，故會議上 Uniper 公司專家分享前述電廠除役經驗。

瑞典 Oskarshamn 與 Barsebäck 核電廠除役期程大致可分成 3 個階段：

- (1) 2016 年~2020 年過渡階段(Transition): 繼 Barsebäck 電廠兩部機組陸續進入除役後，2015 年 Oskarshamn 電廠決定除役，次年完成針對除役作業的組織調整，並於 2018 年決策將 Oskarshamn 與 Barsebäck 兩座電廠 4 部機組之除役作業進行整合；在該階段內執行燃料移除、組織調整、輻射特性調查、反應爐內部組件拆除、系統除污及廢棄物、物流和基礎設施準備工作。
- (2) 2020 年~2028 年拆除階段(Radiological D&D): 此階段內將執行系統和基礎設施拆除，包含反應爐壓力槽、圍阻體、生物屏蔽、汽機側及反應器廠房系統等拆除，廢棄物處理、物流和貯存作業、建築結構解除管制、以 RP-89/101 標準執行廢棄物離廠作業。
- (3) 2028 年後傳統拆除階段(Convectional Demolition): 進入此階段前，建物結構應已解除管制，後續將以傳統非放射性考量的拆除方式進行建物結構的拆除，此外，本階段亦將執行放射性廢棄物貯存及運輸至 SKB 最終處置設施之作業。

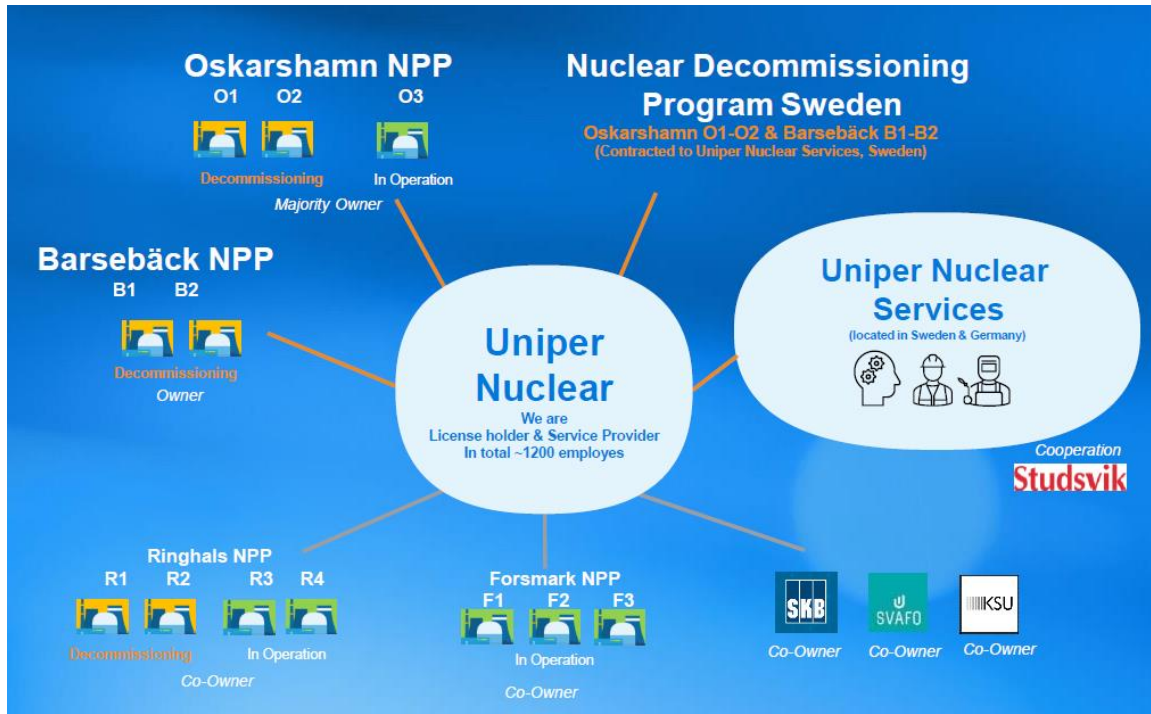


圖 6 Uniper 公司旗下核能相關業務 Uniper Nuclear

二、 瑞典西屋公司考察內容

西屋電氣公司(Westinghouse Electric Company LLC)為 George Westinghouse 於 1886 年在美國賓州匹茲堡市(Pittsburgh, PA)所創立，於 2007 年轉賣至日本東芝公司(Toshiba Corporation)。

瑞典西屋電氣公司(Westinghouse Electric Sweden AB)為西屋電氣公司旗下的子公司，最早名稱為 Westinghouse Atom Ab，於 2003 年才改為現名。其總部設在瑞典首都斯德哥爾摩(Stockholm)西方約 100 公里的韋斯特羅斯(Västerås)，瑞典西屋公司核能部門分為四個主要的子部門，包含核能相關服務、燃料、電廠等，本次參訪主題反應器壓力槽及其內部組件拆除工作是由核能服務部門負責。

本次參訪瑞典西屋公司總部，除了與其專家針對反應器壓力槽及其內部組件拆除作業進行交流外，在其安排下，參觀西屋模擬實驗工廠，了解人員訓練、工具開發與測試等作業。本小節將分為「與西屋公司與會交流內容」與「參訪西屋模擬訓練中心」。

(一)與西屋公司與會交流內容

與西屋公司人員與會之主題主要圍繞著反應器壓力槽及其內部組件拆除作業的全案執行流程及工項來做交流及討論，大致可分成下列議題來說明：

中子活化分析及結果驗證方式：中子活化分析過程包含程式計算及結果之驗證修正，其目的為估算反應器壓力槽、內部組件及周遭區域的活度總量與分布，作為廢棄物分類與切割規劃之依據，為後續切割規劃、裝箱規劃等基礎。中子活化分析程式計算的部分可再細分成中子通量計算及中子活化計算兩個部分，分別採用不同計算程式接續進行，先利用反應器壓力槽及其內部組件的尺寸及材料組成，配合電廠運轉歷史資訊，以程式計算出中子通量分布及大小，接續再以前述算出的中子通量進行下一步的活化計算，最終得到反應器壓力槽及其內部組件的活度總量與分布。

為確保程式計算的結果符合實際反應器壓力槽及內部組件的輻射狀態，需再針對計算結果進行驗證修正，驗證方式包含實物取樣後送實驗室進行核種定量分析，以比對程式結果，或是以劑量率量測方式驗證並修正。

反應器壓力槽及其內部組件(RPV/RPVI)拆除前準備作業：在進行拆除切割作業前，準備作業初略可成計畫文件的產出及作業前的現場準備工作；有關文件產出，切割計畫及裝箱計畫為前期準備階段裡最重要之產出文件，依電廠特性及中子活化分析結果，建立 RPV/RPVI 3D 切割模型，執行虛擬切割規畫，以決定最佳的切割工具及下刀位置，並產出各個組件的切割圖面，亦確保工作人員徹底了解切割工法及程序，而裝箱計畫則依切割計畫及業主提供的盛裝容器，並利用 3D 模型模擬裝填效果，最小化廢棄物盛裝容器數量且視覺化的表示讓作業人員了解切割後物件應放置於何種容器及如何置放及堆疊。

有關作業前現場準備工作的部分，主要針對電廠實際狀態進行硬體的修改或調整，以利於後續切割作業的執行；除了通用性改善外，亦會針對特定電廠的差異進行針對性的改善，例如：安裝分隔布幕，避免切割碎屑散至爐穴。

反應器壓力槽及其內部組件(RPV/RPVI)拆除作業：

由於內部組件的高放射性緣故，需採水下切割，爐心內部組件拆除流程為將爐心組件從反應器壓力槽中拆卸後，置於旋轉盤面，依據切割計畫確認下刀位置，以固定刀具配合旋轉盤面調整水下切割位置及角度，進行細部切割。

而切割方式依目前西屋公司及國際資料收集的結果，爐心內部組件採用水下機械式切割有最佳的成效，其優勢如下：

- 切割時不會產生空浮。
- 切割過程，水質全程清澈可透視。
- 切割碎片通過重力沉入池底並保持不動，且易於收集。
- 在許多先前計畫中機械切割得到驗證和使用。
- 刀具靈活、使用彈性佳。
- 安全、優化且經過測試的切割設備，維護需求小。

有關反應器壓力槽的拆除，因其輻射強度較低，拆除方式的選擇上就更加多元，乾式切割是近期業界廣泛採用的反應器壓力槽切割方案，其原因有：

- 切割快速 - 提高工期彈性。
- 減少二次廢棄物（水）。
- 減少電廠的改裝需求。
- 降低電廠限制（空間、通道、吊重能力等）的影響。

在本次參訪的德國 Isar 電廠、Uniper 公司介紹的 Oskarshamn 與 Barsebäck 電廠皆是以乾式切割方式進行反應器壓力槽拆除作業，且其拆除流程也大致類似，先將反應器壓力槽在原位橫切成環狀後，移至其他區域進行細切、裝箱作業。

反應器壓力槽及其內部組件(RPV/RPVI)拆除後清理作業：西屋公司經驗回饋表示在後續清理作業時，若先前採用水下機械式切割，其中一項優勢即可在此時展現，機械式切割的碎屑通過重力沉入池底保持不動，易於收集，以移動式過濾系統、真空吸塵器及鏟具等三種方式可輕易清除池底碎屑，其中鏟具可直接剷除 95% 以上的池底碎屑，並直接將碎屑鏟入約 150 公升的容器中，置於盛裝容器中，真空吸塵器則可吸取剩餘 5%。

(一)參訪西屋模擬訓練中心

瑞典西屋公司為因應大量除役作業服務之工具開發測試與人力需求，自行建置模擬訓練中心，以實物大小模型、深水池、原尺寸切割操作平台與切割工具，提供人員訓練、工具開發與測試等用途。

整個模擬訓練中心主要以人員訓練為主要目的，提升作業人員熟練度，減少工時/劑量，為職前訓練優良典範，讓從事反應爐壓力槽與大型內部組件割的人員，充分了解反應爐壓力槽及其內部組件的結構與相對位置與配置狀況，亦對在不同水深與能見度狀況下的工作環境所帶來的工作挑戰有所體驗，藉以提昇訓練成效。

模擬訓練中心亦提供工具操作使用訓練及測試，例如：機械式水下切割機具、剪切與擠壓機具、圓盤鋸、液壓剪等，開發多套模組化、標準化的切割工具，針對不同形式電廠及切割可運用空間，彈性組裝切割工具，亦針對各型機具設置校正與測試實驗室，可依需求立即進行機具調整與維修工作。

三、 瑞典 Ringhals 核電廠爐內組件(RPVI)拆除作業考察內容

瑞典 Ringhals 核電廠由 Vattenfall 公司（70.4%）和及 Uniper 子公司 Sydkraft 核電（29.6%）共同擁有，位於瑞典西南部哥特堡以南約 60 公里處，Ringhals 電廠內擁有四部機組，1 號機為沸水式反應器，2、3 及 4 號機為壓水式反應器。

該電廠自 1976 年投入商業運營，在 45 年的營運後，瑞典 Ringhals 核電廠 1、2 號機分別於 2020 及 2019 年永久關閉。早在 2015 年，瑞典便已決定先後關閉 Ringhals 核電廠的 1 及 2 號機組，因此 2021 年起將持續進行這兩座反應爐的後續拆除工作。另外，Ringhals 核電廠的 3 號及 4 號反應爐將持續運轉 20 年，Ringhals 核電廠的未來發展備受關注，包括延役、新建小型模組化反應爐(SMR)等議題，都在持續討論中。

本次參訪目標為 Ringhals 核電廠 1 號機的爐內組件拆除作業，Ringhals 電廠先於會議室以簡報方式介紹廠內拆除期程規畫，並說明本次參訪標的反應器內部組件拆除工作的狀況，同時本公司也向對方介紹核一廠的除役現況及困境，下午則是進入現場實際觀摩內部組件拆除現況。

有關 Ringhals 核電廠 1 號機反應器壓力槽及其內部組件拆除工作由瑞典西屋公司承攬，2021 年中簽訂拆除合約，但西屋公司承攬範疇不含中子活化分析及取樣驗證，由電廠提供中子活化分析的結果作為切割計畫的依據。

有關 Ringhals 電廠反應器壓力槽及其內部組件拆除工作的規畫期程，全案期程 2021 年至 2024 年為規劃階段，內部組件切割作業於 2024 年 4 月開始，接續 1 號機反應器壓力槽切割作業在 1 號機進行反應器壓力槽切割時，將執行 Ringhals 2 號機的內部組件切割作業。

參訪當下西屋人員正以圓盤鋸進行蒸汽乾燥器的水下切割，可清楚見到切割碎屑在水下如雪花般四散，但水質清澈度仍可保持，不致

影響人員作業，且四散的切割碎屑隨即因重力緣故沉入池底，直接展現機械式切割的優勢。

此外，現場觀摩時可發現廠內照明清晰良好，且雖然屬於正在除役中的機組但其環境整潔，有關污染防治部分，僅內部組件切除後物質出水及切割工具維護的區域(小面積)有鋪設拋棄式圍籬墊及地墊，偵測有污染時可直接替換，現場定時執行作業環境拭跡量測，確認污染狀況。

四、 德國 Isar 核電廠反應器壓力槽(RPV)拆除及除役作業考察內容

德國 Isar 核電廠(KKI)位於德國巴伐利亞行政區，坐落在伊薩爾(Isar)河畔，靠近蘭休特市，離慕尼黑約 1 小時車程，Isar 核電廠內擁有二部機組，1 號機為沸水式反應器，2 號機為壓水式反應器，Isar 核電廠由德國 PreussenElektra 公司營運及持有，廠內約有 500 名電力公司員工及眾多承包商。

Isar 核電廠的 1 號和 2 號機組分別於 1979 年和 1988 年開始運轉，2011 年日本福島核災後，德國政府決定加速核能退出的步伐，Isar 1 號機於 2011 年 3 月率先停機，並於 2017 年獲得除役許可，Isar 2 號機組則在 2022 年底正式停止運作。

本次參訪將分為「反應器壓力槽(RPV)拆除作業」與「除役作業觀摩」。

(一)反應器壓力槽(RPV)拆除作業

Isar 核電廠 1 號機的爐內組件拆除工作由西屋公司承攬，於 2024 年開始，由 GNS 公司承攬反應器壓力槽的拆除切割作業。

其反應器壓力槽拆除作業的流程與 Uniper 公司所介紹的瑞典 Oskarshamn 與 Barsebäck 電廠作業流程類似，先將反應器壓力槽橫切成環狀後，移至其他區域進行細切及裝箱作業，Isar 電廠將環形的切割工具安裝於應器壓力槽內側，用以執行環狀切割，完成後再移至燃料池進行細部切割及裝箱作業。

(二)除役作業觀摩

反應器壓力槽拆除現場觀摩後，廠方繼續帶領本次參訪人員觀摩 Isar 核電廠 1 號機的除役作業，包含走訪廢棄物處理廠房、廢棄物物流管理及離廠偵檢作業的介紹。

有關廢棄物處理廠房，其縮寫為 ZEBRA，其功能主要進行拆除廢棄物的細切及除污作業，拆除下的廢棄物若為大物件則直接送往 ZEBRA，或是於現地初步切割成可裝入搬運箱的尺寸並分類裝箱後，送至 ZEBRA 進行除污及細切，廠房內使用帶鋸執行自動化切割作業，亦有設置污染物件切割時所用的隔離帳，Isar 電廠 ZEBRA 所選用的除污方式為噴砂與高壓水除污，另外，為便於吊掛作業移動待處理之物件，對於較重的物件鑽孔並裝上適合的吊環，對重量較輕的物件則採吸盤方式移動。

為有效管理拆除廢棄物的動向，Isar 電廠也有發展一套廢棄物物流追蹤的線上系統及作為廢棄物廠內流動的盛裝容器-運輸箱(Transport Box)。

有關 Isar 電廠的廢棄物離廠偵檢作業，廠房內建立高度可調式工作平台及移動式門吊，待測物放置於在平台上執行表面污染熱點掃描及中型箱型偵檢器量測，通過後始予送至解除管制量測中心執行量測；解除管制量測中心的部分使用儀器為大型箱型塑膠閃爍偵檢器，亦有使用 ISOCS 作為離廠量測儀器，並搭配手持式表面污染量測儀器，來針對無法進入箱型偵檢器之大型物件進行離廠偵檢。

肆、心得與建議

核一廠反應器壓力槽及其內部組件(RPV&I)之拆除作業為除役進程中之關鍵路徑，全案執行流程大致可分成中子活化分析、拆除前準備及 RPV&I 拆除裝箱作業；本次出訪主要目標為了解現場作業情形與前置作業準備規劃，未來用於我國 RPV&I 拆除前置規畫作業之參考，並建立與國際間交流之管道。根據本次 12 天參訪內容之心得與建議，分述如下：

(一)RPV&I 拆除作業-中子活化分析:

1. 此次出訪經驗，中子活化分析作業必須先於 RPV&I 拆除準備作業，作為切割計畫及裝箱計畫的基礎。
2. 多數電廠採取樣核種分析的方式執行爐心組件及反應器壓力槽的中子活化分析結果驗證作業，且取樣位置及數量皆具一定數量。

(二)RPV&I 拆除作業-拆除前準備

1. 切割計畫及裝箱計畫為前期準備階段裡最重要之產出文件，利用 3D 模型模擬切割及裝填，最小化廢棄物盛裝容器數量且視覺化的表示讓作業人員了解切割後物件應放置於何種容器及如何置放及堆疊，直接影響後續現場拆除切割作業的結果。
2. 有關 RPVI 水下切割作業，國外廠商已建立一套可實際應用並經驗證的拆除工具，例如本次參訪的西屋模擬訓練中心，且豐富的拆除經驗使其工具的發展逐漸模組化、規格化，可大幅降低成本。

(三)RPV&I 拆除作業-RPV&I 拆除裝箱作業

1. 依目前所得經驗，RPVI 採用水下機械式切割可有最佳之成效，在污染防範、水質清澈度、切割機具運維及後續場地清理上皆展現其他切割法是無可比擬的優勢。
2. RPVI 與 RPV 這兩項物件之拆除切割工作，就技術及工時各方面來看，RPVI 拆除為全案關鍵作業，因高輻射劑量的 RPVI 必須水下作業，其設備與技術之要求較高，相對於 RPV 切割，若能適當除污(例如：拆除前完成系統化學除污)，即可採用乾式切割，降低技術要求。
3. 因此，綜整國際經驗可發現，許多公司皆有執行 RPV 拆除的對外服務能力，例如：西屋公司、Uniper 公司、GNS 公司，但是能提供 RPVI 拆除服務的公司就相對少了很多。

(四)其他單位參訪心得

1. 依其展示成果，inDRUM 處理設施可將廢棄物處理至符合處置接收標準，離子交換樹脂經由其處理應可滿足安定化要求，但目前其處理效率約為 1 天 1 桶。
2. 藉由本次參訪德國 Isar 電廠之廢棄物處理廠房、廢棄物物流管理及離廠偵檢作業，可參考其優點，優化目前的規劃結果。