

出國報告（出國類別：考察）

參訪德國菲利普斯堡
（**Philippsburg**）核能電廠

服務機關：行政院原子能委員會

出國人職稱：技正
姓名：陳彥甫

出國地區：德國梅爾梅斯海姆

出國期間：106年12月3日至106年12月5日

報告日期：107年1月9日

摘要

本次公差主要目的為赴德國梅爾梅斯海姆，參訪德國巴登-伍騰堡邦能源公司的菲利普斯堡（Philippsburg）核能電廠 1 號機。該機組於 2017 年 4 月取得除役許可後，已進入除役階段正進行拆除作業。此次參訪過程，由菲利普斯堡核電廠 1 號機除役專案經理及核安經理先向我方簡介 1 號機除役作業，再至現場觀摩 1 號機汽機廠房與反應器廠房除役拆除作業執行情形。我方考察重點為除役階段機組需維持運轉之系統、拆除作業管理與人力規畫等議題，根據德國核電廠除役經驗，除役作業須要縝密的規劃，管控現場作業的進程和工法，維護現場工作人員安全和公眾安全及健康；另電廠員工的參與、經驗傳承和正向的面對核電廠除役等，可作為我國核電廠除役作業之參考。此次藉由現場實地觀摩，瞭解德國除役核能電廠實務經驗，並與電廠及管制單位進行技術交流，對於我國除役安全管制工作之推展與提昇有所效益，亦可擴大我國與德國核能相關專業人士之交流管道，有助未來交流業務之推展。

目 次

| | 頁碼 |
|---------------|----|
| 壹、目的 | 1 |
| 貳、出國行程 | 2 |
| 參、過程紀要 | 3 |
| 肆、心得與建議 | 7 |
| 伍、附件 | 8 |

壹、目的

德國政府在 2011 年 3 月 11 日福島第一核能電廠發生核子事故後，即決定將核能發電廠逐步淘汰，目前德國多部核能機組正在除役階段，另有 3 部核能機組則已完成除役作業。因 2018 年 12 月核一廠 1 號機將進入除役階段，為強化我國核電廠除役安全管制作業，原能會積極與德國聯邦環境、自然保育及核能安全部(BMUB)聯繫，期望在除役管制經驗上進行交流，本次經由德國核能管制單位安排參訪菲利普斯堡(Philippsburg)核能電廠除役中的 1 號機，該機組於 2017 年 4 月取得除役許可，目前正進行除役拆除作業。我國可汲取德國除役實務經驗作為借鏡，精進我國除役安全管制作為。此外，本次與德國核安管制單位人員一同實地參訪除役中核電廠，亦可擴大我國與德國核能相關專業人士之交流，有助於未來交流業務之推展。

貳、出國行程

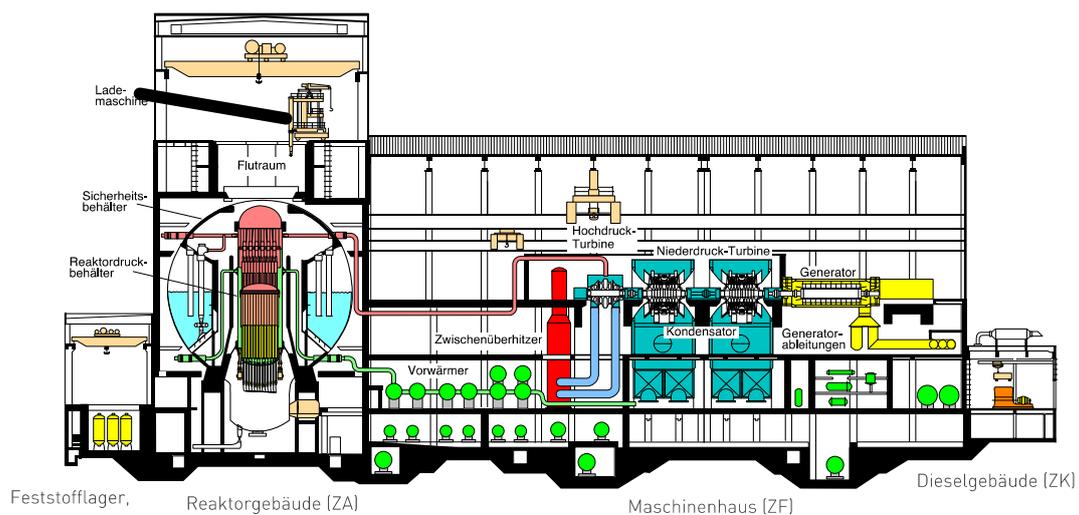
此次公差自 106 年 12 月 3 日起至 106 年 12 月 5 日止，共計 3 天，行程如下：

| 日期 | 行程 | 摘要 |
|----------------|---|-------------------------------|
| 106 年 12 月 3 日 | 奧地利維也納→德國法蘭克福→ 德國梅爾梅斯海姆(Germersheim) | 去程 |
| 106 年 12 月 4 日 | 德國梅爾梅斯海姆 | 參訪菲利普斯堡 (Philippsburg)核能電廠 |
| 106 年 12 月 5 日 | 德國梅爾梅斯海姆→德國法蘭克福→ 奧地利維也納 | 返程 |

參、過程紀要

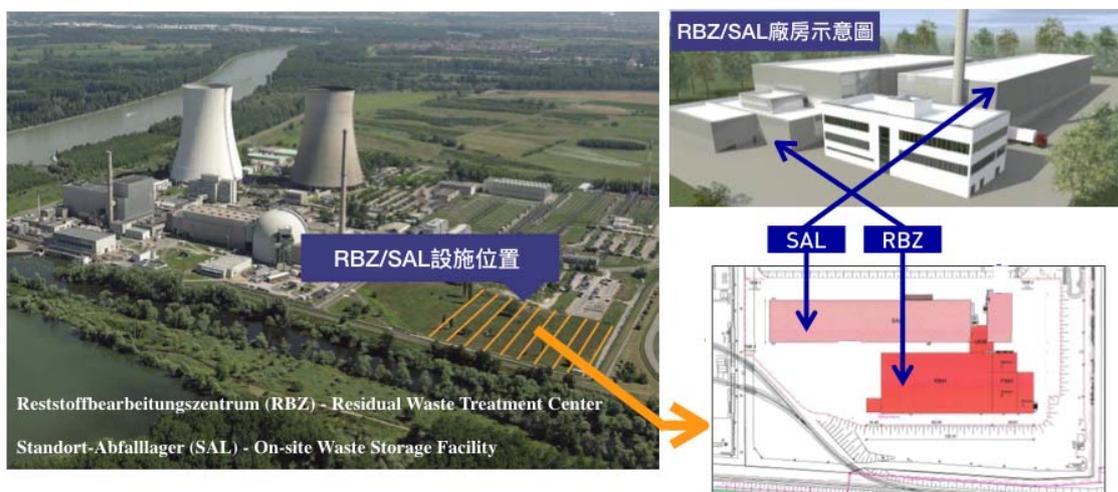
原能會高斌科長、臧逸群技正、張經妙技正與駐奧地利代表處陳彥甫秘書等四人經由德國聯邦政府環境、自然保育、營建及核能安全部(BMUB)安排於12月4日參訪位於巴登-伍騰堡邦的 Philippsburg 核電廠 1 號機，並由德國 BMUB 國際事務處處長 Christine Wassilew 博士全程陪同。在聽取菲利普斯堡 1 號機除役專案經理 Frank Bolles 及核安經理 Martin Kühn 簡介巴登-伍騰堡邦能源公司(EnBW)與 Philippsburg 核電廠 1 號機除役作業現況後，即至 1 號機汽機廠房與反應器廠房現場觀摩除役拆除作業，我方於簡報與參訪過程中亦多方面詢問電廠的實務經驗，以期深入了解其除役作業管理與規畫。12 月 4 日簡報與現場觀摩重點摘要如下：

Philippsburg 核電廠屬德國 EnBW 公司經營的核電廠之一，該廠區有 2 部機組，1 號機是沸水式反應器(BWR)型式，熱功率 2,575 MW，1979 年開始商業運轉，該機組廠房結構與設備示意圖如圖一；2 號機為壓水式反應器(PWR)型式的機組，目前 2 號機仍在運轉中，根據修訂過後的原子能法將允許運轉至 2019 年；而 1 號機於 2011 年日本福島事故後依德國政府政策永久停止運轉，於 2011 年 8 月進入過渡階段(Transition Phase)。2013 年 4 月 EnBW 提送除役計畫至巴登-伍騰堡邦環境、氣候與能源工業廳(Baden-Wuerttemberg Ministry for the Environment, Climate and Energy Industry)審查，於 2017 年 4 月取得除役許可後，則正式進入除役階段(Decommissioning Phase)。



圖一、Philippsburg 核電廠 1 號機廠房結構與設備示意圖(資料來源：Stilllegung und Abbau von Anlagenteilen des Kernkraftwerks Philippsburg Block 1)

目前德國尚未有最終處置場可接收核能電廠所產生之高階放射性廢棄物與中低階放射性廢棄物，因此 Philippsburg 核能電廠於廠內建置中期貯存設施(Intermediate Storage)貯存用過核燃料，至於機組除役拆除產生大量的中低階廢棄物，經 EnBW 評估現有廠區貯存空間不足，為確保電廠除役拆除作業可持續且快速完成，故在廠區內建置廢棄物處理中心(Residual Material Treatment Center，德文簡稱 RBZ)與廢料貯存設施(On-site waste storage facility，德文簡稱 SAL)，除役拆除設備組件將於廢棄物處理中心進行細部切割、除污及分類，減少放射性廢棄物產量，之後再將放射性廢棄物貯存於廢料貯存設施。目前 RBZ 與 SAL 設施正在施工中，預計於 2018 年完工啟用。



圖二、Philippsburg 核電廠廢棄物處理中心(RBZ)與廢料貯存設施(SAL)位置與廠房示意圖 (資料來源：<https://www.enbw.com/media/konzern/docs/energieerzeugung/rueckbau-im-dialog-praesentation-buergerdialog-philippsburg.pdf>)

Philippsburg 核電廠 1 號機除役專案經理 Frank Bolles 及核安經理 Martin Kühn 向我方簡介除役階段機組運轉安全相關議題，機組仍要維持運轉功能的系統，如空調通風系統、水淨化系統、廢水收集與處理系統、消防系統、廠房通訊系統、反應器廠房吊車等；至於必備安全系統，則如柴油發電機。在確認除役各階段哪些系統或設備仍要繼續使用後，這類設備就必須持續進行維護工作。在主控制室內亦會區分出需維持運轉功能之設備開關，在控制盤面上以掛卡標示方式，使運轉員易於辨識。

有關除役現場拆除作業管理部分，EnBW 公司於電廠內可拆除設備會噴上粉紅色漆，使現場拆除工作人員可易於辨別設備是否可拆除，至於仍在運轉中的系統設備(如消防管路系統)則會貼上黃色標示，加以警示。除了設備分為可拆除與維持運轉功能外，廠房各

區域也會作劃分，按電廠規劃拆除之工作流程，逐步按區域執行拆除作業。當某區域內相關設備經過整體評估確認可以拆除後，就會在該管制區現場張貼允許除役的指示公告，此時工作人員就可將噴上粉紅色漆的設備拆除，但若管制區域仍張貼禁止拆除的指示公告，即使該區設備已被噴上粉紅色漆的標示仍不能進行任何拆除作業。Frank Bolles 特別向我方說明在各管制區現場會有放置一個文件儲存櫃，說明該區域拆除工作程序、注意事項、工作聯絡人等資訊，此方式對現場作業人員掌握現場工作情形與處理應變很有幫助。

本次 Philippsburg 核電廠除役專案經理 Frank Bolles 帶領原能會人員觀摩 1 號機汽機廠房及反應器廠房現場除役作業。1 號機汽機廠房現場作業人員當日正在執行高低壓飼水加熱器區域的設備拆除作業，現場拆下的金屬板、管路或支架依類別整齊分裝於統一規格的運輸箱內，各金屬殼或板材幾乎是裁切並擊扁成大小相同樣式，且各個運輸箱亦貼有本箱貯存廢料來源履歷(包含相關除役處理過程記錄)、表面劑量率及辨識掃描條碼。因 1 號機已執行一迴路系統除汙作業，因此對現場拆除作業人員之劑量已大幅降低，但對於現場牆面穿越孔及拆下的管路仍會進行開口端密封作業，以避免管路內部輻射汙染物質外釋等問題。觀摩過程 Frank Bolles 特別指出各拆除區域須規劃暫存區，以便於暫存拆解下來的設備，後續再依類別尺寸進行分類裝箱。在汽機廠房汽機發電機樓層部分，目前進度是發電機已拆除並經由船運至荷蘭的公司回收金屬再利用，另因該樓層可用空間較大，EnBW 將拆除設備切割除汙專區設置於此。此外，並購置中型可移動式吊車於廠房上下連通開口旁，增加工作人員執行除役拆除設備貯存箱運輸吊運作業之效率。

本次觀摩 Philippsburg 核電廠 1 號機反應器廠房現場除役作業，反應器廠房內之用過核子燃料束已全運至乾式貯存設施貯存，燃料池內貯存格架已拆除切割，並依照劑量高低分裝入中低階放射性廢料貯存箱，以降低廢料處理及處置成本。近期 1 號機反應器廠房正在執行爐內組件切割作業，EnBW 公司預計爐內組件拆除作業需耗時一年半，此項工作是委託西屋電氣公司 (Westinghouse Electric Company) 執行，參訪當天西屋公司人員正在執行水下切割蒸汽乾燥器作業，Frank Bolles 說明採用水下切割方式主要考量是要降低工作人員輻射曝露劑量，而此作業方式池水水質需維持乾淨，以使工作人員可目視執行拆除切割作業，所以池水亦需經過循環淨化。此外，電廠也在燃料吊運台車軌道上增設一組拆除作業工作台車，方便工作人員於反應爐穴、汽水分離器、蒸汽乾燥器貯存區域等上方執行爐內組件拆除切割作業。

有關除役作業人力部分，Philippsburg 核電廠 1 號機除役專案經理 Frank Bolles 及

核安經理 Martin Kühn 說明 1 號機除役計畫的規劃撰寫及現場除役作業如輻射特性調查多由德國 EnBW 公司員工執行。除役初期需要較多人力，但目前該廠 2 號機仍在運轉中，因此 EnBW 公司已從奧布里格海姆(Obrigheim)核能電廠調動人力過來支援，Obrigheim 核能電廠除役工作已進行到中後期的階段，故可釋出部分人力支援 Philippsburg 核電廠並傳承相關除役技術經驗。Martin Kühn 另強調，在除役規劃與系統設計修改部分，因電廠員工對該廠系統設備最熟悉，配合除役階段調整原有系統設計維持系統功能對員工而言是新的挑戰。在雙方討論過程可明顯感受到 EnBW 電廠主管面對機組除役工作皆展現出積極正向的一面，且亦強調電廠除役工作目標是要有系統的按部就班儘速完成拆除，以節省公司在電廠除役的經費。

肆、心得與建議

此次出國考察除役核能電廠之心得與建議，可歸納下列幾項：

1. 核能機組於除役階段，電廠為防範工作人員誤拆除需維持運轉設備而影響機組安全，於主控制室盤面與現場設備均會有顏色標示加以區分，且會依廠房區域劃分進行整體性的安全考量後才會執行設備拆除作業。
2. 電廠除役目標是要在規劃期程內完成除役工作，所以於拆除現場會增設吊運設備、工作平台、除汙切割與貯存區域輔助，提升拆除作業效率。
3. 借鏡德國核電廠除役經驗，除役作業須要縝密的規劃，管控現場作業的進程和工法，維護現場工作人員安全和公眾安全及健康；另電廠員工的參與、經驗傳承和正向的面對核電廠除役等，可作為我國核電廠除役作業之參考。
4. 德國有多部核能機組正在除役，除役經驗豐富，而我國核能電廠陸續將進入除役階段，為強化我國核能除役安全管制，建議未來持續辦理赴德國參訪除役中核能電廠，汲取國外最新的除役經驗，並與德國核能相關專業人士交流除役相關技術資訊。

伍、附件



附圖一、參訪 Philippsburg 核能電廠相關與會人員合影。(左起為德國 Dr. Cristine Wassilew(BMUB)、Mr. Martin Kühn (EnBW)、Dr. Jianming Shang(TÜV-SÜD), Mr. Frank Bolles(EnBW)、原能會高斌科長、張經妙技正、臧逸群技正、陳彥甫技正)