

出國報告(出國類別：開會)

赴韓、日進行除役產業鏈交流研討

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：郭東裕 核能技術處核能分析組組長

鄭素琴 核能技術處機械組組長

李宗翰 核能技術處核能工程師

派赴國家：韓國、日本

出國期間：108.09.03~108.09.11

報告日期：108.10.30

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

赴韓、日進行除役技術及產業交流會議

頁數 26 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/ 陳德隆 / (02)2366-7685

出國人員姓名/機關/單位/職稱/電話

郭東裕/台灣電力公司/核能技術處/核能分析組組長/(02)2366-7120

鄭素琴/台灣電力公司/核能技術處/機械組組長/(02)2366-7133

李宗翰/台灣電力公司/核能技術處/核能工程師/(02)2366-7124

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究4 實習 5.其他(開會)

出國期間：108.09.03 ~ 108.09.11 出國地區：韓國、日本

報告日期：108.10.18

分類號/目：

關鍵詞：除役技術/除役產業

內容摘要：(二百至三百字)

本次出國任務係因本公司核一廠已於今(108)年八月進入實質除役階段，未來核二廠及核三廠也將陸續進入除役階段，希望能透過與國際間之交流，了解韓、日兩國於除役產業鏈生態及產官學合作模式，並從中學習經驗。

韓國除役技術之發展，係由政府推展本土化除役技術之研發，已規劃於 2015-2030 年間，預計投入約 164 億新台幣發展相關技術；透過半官方機構韓國能源技術評估與規劃研究所結合政府機構及民間企業，由政府補助 3 成至 5 成不等的研發經費，以公開競標的方式由有意願的廠家投標參與研發。日本除役技術之發展，有別於韓國，係由各電力公司主導，採穩健策略開發與核能電廠相關之除役技術，如因有東海核電廠一號機除役的經驗回饋，使得所屬之日本原子力發電公司瞭解，應盡量使用現有已獲驗證之技術，於未來工作執行與展開時所承擔之不預期風險相對較小，並應把有限的資源應用在真正之技術缺口上，以使投資報酬能獲得平衡。

此次任務建議，無論與韓國或日本，未來應積極採取合作或聯盟的方式，短期內可協助國內除役產業鏈的組成與發展；以長期的遠光來看，未來可與日、韓形成實質的伙伴關係進軍國際市場，而非成為相互之競爭對手。

(本文電子檔已傳至出國報告資訊網 <http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

一、出國目的.....	1
二、出國過程.....	3
三、韓日除役技術及產業交流行程記要.....	4
(一) 9月4日 與 KHNP 召開除役暨運轉維護技術交流研討會..	4
(二) 9月5日 參訪月城核電廠及 KORAD.....	9
(三) 9月6日 參訪除污及除役產業相關設施.....	11
(四) 9月9日 與 JAPC 舉行除役技術交流研討會.....	15
(五) 9月10日 赴敦賀核電廠除役技術交流研討.....	17
四、心得建議.....	21

一、出國目的

目前世界各國使用核能發電之國家均面臨日趨嚴格的法規運轉限制或機組運轉屆齡，考量日後營運成本或法規安全管制要求，大多數核能機組將於未來陸續除役。因歐美及亞洲的韓國與日本皆有因應核能機組除役發展相關技術，故與除役相關之技術發展與產業生態已逐漸完備與成熟，能提供重要的資源及協助，對於尚未有實質核能電廠的除役經驗的我國，各國好的核能電廠除役實務典範是本公司規劃除役相關工作的展開，與除役技術/產業的發展，均有莫大的助益。

為瞭解及汲取韓國與日本除役技術發展及產業鏈建構之方法，故本次前往韓國參與由韓國水力與核能公司(Korea Hydro and Nuclear Power Co., Ltd, 簡稱 KHNP)所主辦之除役技術及產業發展技術研討會，並參訪韓國放射性廢棄物處理機構(Korea Radioactive Waste Agency, 簡稱 KORAD)、月城核電廠(Wolsong Nuclear Power Plant)用過核子燃料乾式貯存場、韓國電力公司(Korea Electric Power Corporation, 簡稱 KEPCO)旗下之電廠服務與工程公司(Korea Plant Service and Engineering Co., Ltd, 簡稱 KPS)之核能維護中心，以及斗山重工集團(Doosan Heavy Industries & Construction)之除役模擬訓練中心；日本部分則參訪日本原子能發電公司(Japan Atomic Power Company, 簡稱 JAPC)與其旗下正在除役中之敦賀核能電廠(Tsuruga Nuclear Power Plant)一號

機組。

出國期間除透過與韓、日參與核後端營運機構與業者及除役技術專家進行技術交流會議，了解目前各國核電廠除役工作規劃方向、執行現況，並討論如何與核能相關技術產業建立合作產業鏈外，也安排實地參訪，對於本公司規劃及發展除役技術與產業，有實質助益。

二、出國過程

本次出國任務係由 KHNP、JAPC 邀請本公司赴韓、日進行除役技術交流與參訪，除本公司由核能技術處莊副處長鴻瑜率隊，團員包含核能發電處魏副處長天佑、核能發電處陳組長培中、核能後端營運處丁組長宇、核能技術處郭組長東裕、核能技術處鄭組長素琴、核能後端營運處魏課長岩松、核能技術處李宗翰工程師前往外，另亦邀請工研院李研究員元志，一同前往。出國行程總計 9 天，自 108 年 9 月 3 日出發，迄 9 月 11 日返國，行程簡述如下：

日期	行程
9/3(二)	去程：台北－韓國釜山機場－慶州
9/4(三)	與 KHNP 召開除役技術與產業發展交流研討會
9/5(四)	參訪月城核電廠用過核子燃料乾式貯存場及 KORAD
9/6(五)	參訪 KPS 核能維護中心及 DOOSAN 除役模擬訓練中心，下午結束後前往釜山
9/7(六)	召開會前準備會議
9/8(日)	路程：自韓國釜山移動至日本東京
9/9(一)	與 JAPC 舉行除役技術交流研討會，下午結束後前往敦賀
9/10(二)	赴敦賀核電廠除役技術交流研討，下午結束後前往大阪
9/11(三)	返程：大阪－台北

三、韓日除役技術及產業交流行程記要

(一) 9月4日 與 KHNP 召開除役暨運轉維護技術交流研討會

參加由 KHNP 所主辦之台韓除役技術與產業發展研討會，會議合照如圖 1 所示，由 KHNP 副總經理 Park In-Sik 先生主持，並出席單位有 KORAD、CRI(Korea Hydro and Nuclear Power - Central Research Institute)、DOOSAN、KPS、Korea Nuclear Engineering & Service Corp. (簡稱 KONES)，以及 Korea Atomic Energy Research Institute (簡稱 KAERI)，針對不同的除役技術主題進行簡報及交流。



圖 1、台韓除役技術研討會

1. KORAD

由 Choi Yoon-Ji 小姐代表 KORAD 簡報核能電廠除役低階放射性廢棄物處理政策，KORAD 目前處理韓國境內核能電廠及醫療用途所產生之低階放射性廢棄物，未來還會再加上核設施除役後所產生放射性廢棄物，如目前由 2017 年起除役之 Kori 一號機(Kori Nuclear Power Plant unit 1, 簡稱 Kori #1)。另說明 KORAD 目前放射性廢棄物處置場之建造計畫，表示將依活度不同之放射性廢棄物採取不同的處置方式，如高階放射性廢棄物完全採取地質深層處置，其餘中低階放射性廢棄物視活度採深層、洞穴、淺地表處置或地表填埋等方式處置。此外，Choi 小姐亦說明 KORAD 負責辦理除役放射性廢棄物包裝、運輸與處置計畫，有關除役放射性廢棄物包件之研發計畫是與負責除役的 KHNP 共同合作進行，其所開發之包件皆兼具運輸、貯存及處置功能。

2. KHNP

KHNP 由 Sung-Phil Hwang 先生代表說明 Kori#1 機組除役現況，KHNP 擁有 35 座水力電廠及 24 部核能機組，其中 4 部機組正在興建，以及 2 部機組已永遠停機並進入除役階段。KHNP 說明 Kori #1 自 2017 年 6 月 18 日起正式除役，整體除役計畫規劃時程，前 5 年為停機過渡階段、結構物及設備拆解階段為 8.5 年，以及場址復原期為 2 年，為期 15.5 年。由 KHNP 所負責之 Kori #1 除役計畫，其組織架構為 KHNP

CEO 擔任計畫主導，執行單位有總部後端管理及除役辦公室、Kori #1 現場單位，以及由 CRI 擔任技術支援。Kori #1 自進入除役階段後，將進行組織調整及人員簡化，基於 KHNP 有多部核能機組仍在運轉階段，故現有人員可安排轉置，最終參與除役之現場人員數量，目前仍在策畫中。

3. CRI

Jong Sun Hwang 先生代表 CRI 簡報 KHNP 未來核能電廠除役之技術發展及需求，因應 Kori #1 之除役，已規劃建立 58 項關鍵技術，其中涵蓋設計、系統除污、拆解、廢棄物管理，以及廠址復原等。於技術排序的選擇上，CRI 藉由研究與篩選，最後決定 17 關鍵技術需要於未來積極投入研發。CRI 與 KAERI 除役技術分類中其項目與數量有所差別，其主要原因為 KAERI 為政府所屬研究單位，故所研究的領域及項目主要為基礎科學研究，因 CRI 屬 KHNP 其下研發單位，故研發之對象為技術應用。於簡報中 CRI 也展示 5D 技術，結合現有的 3D 模型延伸至 RPV(反應器壓力槽)活度資料統計及系統除污成本進行管理，如圖所示。其它的技術 Jong Sun Hwang 先生也簡短之說明，如系統除污、遠端遙控、場址特性調查及廢渣處理等，這些技術日後將由 CRI 持續之發展並應用在 Kori #1 之除役工作上。

接下來由 Young Hwan Hwang 先生代表 CRI 之放射性廢棄物單位接續簡報反應器內部組件解體技術，因 Kori#1 屬壓水式 2 迴路反應器，CRI 針對反應器執行詳細之活度評估，針對事前評估之結果發展 RPV 解體治具與平台，以確認所對應之活度組件能採用所設計切割方式。

4. DOOSAN

DOOSAN 由 Hee Dong Sohn 博士代表介紹該公司與除役相關之重工業營業及發展項目，範圍涵蓋 EPC 工程(Engineering、Procurement、Construction)、技術服務及技術支援等。工程部分，著重於工程規劃與 3D 結合應用、爐心活度評估、反應器解體之工程執行。其中反應器解體之工程執行另著重於治具之研發、廢棄物收集，以及環境控制等。DOOSAN 重工也將業務朝用過核子燃料乾式貯存發展，藉由與美國 NAC 公司之合作，製造 PWR 適用之貯存護箱與運輸護箱等產品。

5. KPS

KPS 由 Ki-Chul Kim 先生介紹 KPS 於核能除役技術發展項目與內容，該公司針對壓水式反應器系統開發系統除污技術，藉由 RCP(Reactor Coolant Pump)的動力與搭配 CVCS(Chemical Volume Control System)及 RHR(Residual Heat Removal system)系統，形成一除污迴路，每次循環預估可降低 $1 \text{ E } 14 \text{ Bq}$ 之活度，未來針對 Kori#1 之系統除污將考量 Nitron-E Dfd、HP/CORD D UV，以及 ASDOC 等 3 種方式。為配合所考量之 3

種系統除污方式，KPS 設定 2 個研發議題，其一為批量式草酸投入方式，相關之技術開發，如建立草酸為基底之作業程序、作業程序之驗證，以及系統除污作業對策等，於目前皆已開發完成；另一議題則為混合式系統除污，與 KAERI 進行研究合作，預計於本年度底前完成以聯氨（Hydrazine）為基礎之化學除污技術、完成實驗室規模之測試與驗證、完成實際之批量投入方式的測試與驗證，以及執行系統 mock-up 等預定研發目標。另針對屬中低階活度之反應器、壓力容器、一般重件容器、管路、用過燃料池金屬板件、生物屏蔽及混凝土等切割，發展相對應之切割方式與技術，並與國際其它案例進行平行驗證與評估。簡報最後 Ki-Chul Kim 先生也補充說明，韓國境內之除役雖然皆由電力公司主導進行，而產業之供應鏈於除役作業中也扮演相對重要的角色，因產業鏈可提供各種特殊作業與技術支援，可確保所有與除役相關之技術皆能到位，並逐一實行。

6. KONES

Nakhoon Sung 先生代表 KONES 簡報放射性廢棄物設計與工程，KONES 專精於低放放射性運輸包件（IP2-Type）、適用於反應器拆解之包件，以及適用於用過核子燃料乾式貯存護箱及系統之相關設計。針對 IP2-Type 運輸包件，KONES 依 KHNP 需求完成初步設計，以及相關安全評估。針對除役之貯存護箱，依據韓國壓水式反應器特性，發展 4 種

包件（2 種金屬、1 種混凝土，以及 1 種軟袋）。針對適用於反應器拆解之貯存護箱，目前由韓國政府投入資助進行研發，預計於 2020 年前完成概念設計並進入安全分析準備階段。KONES 亦針對壓水式反應器之用過燃料發展運輸護箱 KN18 型，為韓國第一個自行設計之運輸護箱。KONES 亦與美國 Holtec Intl. 公司合作引進 HI STAR 63 型運輸護箱，未來可提供重水型反應器（CANDU）之用過核子燃料運輸使用。

7. KAERI

Seon Kim 博士代表 KAERI 簡報說明目前該研究所對於核能除役技術之發展現況，該研究所建立於 1959 年，對於核能研究每年約 26% 預算來自政府，其餘則為相關合作計畫。對於核能除役技術方面，涵蓋設計、系統除污、拆解、廢棄物管理，以及廠址復原等。KAERI 預計至 2021 年完成所訂定之 38 項基礎技術研究，以提供韓國產業及電力公司接手進行後續之應用技術之開發。自 2021 年後 KAERI 將著重於重水式反應器除役之研發計畫，未來將涵蓋除污、廢料處理及反應器拆解技術，為韓國日後進入國際重水式反應器除役事業而準備。

(二) 9 月 5 日 參訪月城核電廠及 KORAD

今日上午至 KORAD 參訪中低階放射線廢棄物處置設施，由 KORAD 設施營運部處長 Seok-Bon Yoon 先生接待。KORAD 隸屬韓國貿易、工業及能源部，係處理所有核設施如核能電廠與醫療用途所產生中低階放射性廢棄

物之專責機關，其主要來源為 KHNP 核能電廠運轉及未來核能電廠除役所產生之中低階放射性廢棄物之處置。KORAD 放射性廢棄物自 2014 年 9 月起重新訂定新的放射性廢棄物分類方式，主要分為四類，並依據其分類之設計不同之處置方式。目前 KORAD 第一期低階廢棄物採以地底筒倉設計，共建造 6 個筒倉，於 2014 年 12 月完成建造，可容納 100000 桶之低階放射性廢棄物。該處置設施並於 2015 年 7 月開始進行第一批地底處置，也視為韓國達成低階放射性廢棄物處置之里程碑。KORAD 為因應未來 KHNP 核能電廠除役所預期可能大量產生之中低階放射性廢棄物，目前已完成第二期處置設施設計，並進入持照申請階段；未來將採近地表坑道處置方式，處置量預估為 125000 桶。

下午參訪 KHNP Wolsong 核能電廠用過核子燃料乾式貯存設施，Wolsong 電廠共有 6 部機組，包含 Wolsong 1 至 4 號機與 Shin Wolsong 1 至 2 號機。Wolsong 1 至 4 號機為重水式反應器設計（CANDU）及 Shin Wolsong 1 至 2 號機為 2 迴路壓水式反應器設計；該廠 Wolsong 1 至 2 號機目前已停止運轉，未來將逐步進入除役階段。Wolsong 用過核子燃料乾式儲存場採以混凝土護箱(筒倉-silo)進行 CANDU 型用過核子燃料乾式貯存，為增加乾式貯存場之貯存量，自 1990 年起 Wolsong 於該貯存後續增加 MACSTOR 模組貯存設計。最後再參訪 KHNP 總部，如圖 2 所示；與海外事業部總經理 Geun Park

與處長 Yongsoo Kim 進行簡短之經驗交換，使雙方就今日 KORAD 與 Wolsong 用過核子燃料乾式貯存設施參訪結果能有更進一步之瞭解。



圖 2、位於慶尚北道之 KHNP 總部

(三) 9月6日 參訪除污及除役產業相關設施

今日上午至位於慶尚北道的 KPS 核能維護工程中心，由該中心處長 Nam-Kyun Kim 博士引導本團人員參訪該維護設施。KPS 核能維護中心由去年底遷至目前本址，該中心主要負責 KHNP 旗下核能電廠營運期間重要組件之維護及更新，如蒸汽產生器集管檢測及清洗、蒸汽產生器自動化塞管、爐頂蓋 J-Groove 焊道自動化焊接、爐頂蓋更新、反應器阻板檢測及維修等。針對除役部分，該公司重心發展蒸汽產生器、調壓槽，以及反應器內部組件

之切割技術、其切割技術著重於鑽石索鋸、線鋸、圓盤鋸、電漿火炬、接觸式電弧放電切割，以及雷射等機械及熱切割技術應用，配合機械手臂，設計與開發相對應之治具及設備；系統除污部份與 KAERI 合作發展以草酸為基底之化學配方，並設計除汙所需之模組化 skid。該中心針對 Kori#1 也製造同尺寸之蒸汽產生器，預計於今年底將所確定之切割方式，進行實際 Mock-Up 切割。參觀結束後由副總 Choong-Min Cho 先生接待，與本團人員進行初步會談，接著由 Nam-Kyun Kim 博士進行後續會談，如圖 3 所示。

下午則至慶尚南道之 DOOSAN 重工進行參訪，由總經理 Hee Dong Sohn 博士接待。現場參訪則由 Namjin Lee 資深經理及 Mee Park 副理負責。DOOSAN 重工具有從原料、加工及重件成品製造之能力。主要工廠包含重工件成型之鍛造廠及鑄造廠，重件生產主要針對船舶軸承、風電、核能、火力與複循環火力發電廠皆有所對應之加工廠，以核能為例，其核能工廠主要生產壓水式反應器、蒸汽產生器及調壓槽等重要組件；DOOSAN 重工於 2015 年成功輸出壓水式核能電廠反應器及蒸汽產生器至阿拉伯聯合大公國核能電廠計畫，並於 2017 年達到完成第 100 個蒸汽產生器製造之里程碑；目前核能工廠主要生產 APR 1400 或 OP 1000 之反應器與蒸汽產生器。DOOSAN 重工於核能電廠除役則將技術發展集中於反應器本體、生物屏蔽與混凝土之切割，切割之選用則將低污染組件採機械切割之線鋸與圓盤鋸，配合工作平台之開發進行設計與應用；高污染之組件則選擇機械切割之鑽石索具及

熱切割，作為組件解體之方式。DOOSAN 重工針對反應器本體切割，採原地切割方式，以特製之治具固定於爐底現有之接合點與 400 噸之外加天車，以機械手臂搭配圓盤鋸以 L 型之切割方式切割，再使用現有廠內 Polar Crane 當作夾具將被切割之物件固定，由機械手臂將物件最後一垂直面切除後由天車吊起放置於包件中，以此方式逐步切除一斷面物件後，再由外加天車向上舉起反應器至指定高度進行相同切割作業程序，直到反應器本體完全解體為止，切割過程中以帳篷及氣體過濾系統進行環境控制。蒸汽產生器切割策略為移動至另一空間進行切割。以 Kori#1 目前之設計，需要約 100m x 70m 之場地進行切割設備之安裝，以具有水平及垂直之工作機台進行機械切割，目前 DOOSAN 預估將於 2022 年起將準備進行 Kori#1 之蒸汽產生器切割作業。參觀後與 Namjin Lee 資深經理及 Mee Park 副理之合影如圖 4 所示。



圖 3、KPS 與台電參訪團參訪後之會談

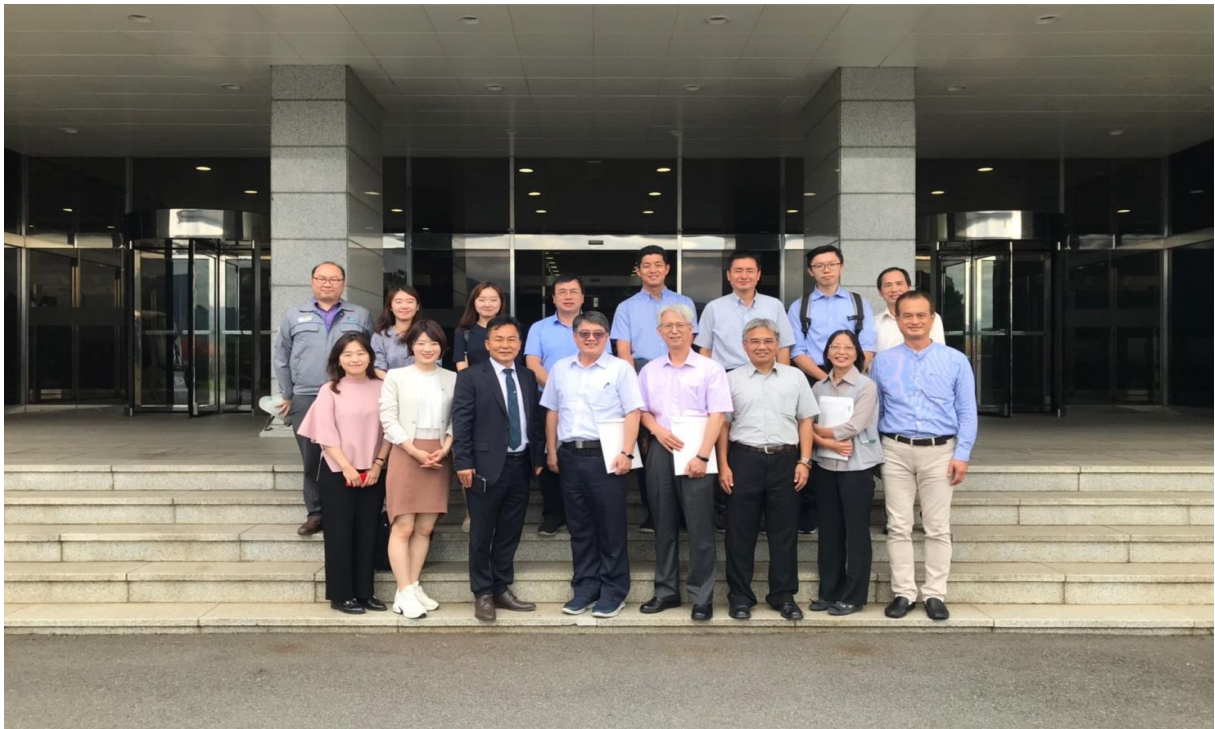


圖 4、DOOSAN 與台電參訪團之合影

(四) 9月9日 與 JAPC 舉行除役技術交流研討會

今日上午前往 JAPC 總部由代理總經理 Atsushi Tatematsu 先生及 Asami Matsumoto 小姐負責接待，並進行雙方針對除役之經驗交流。以會議之型式說明及簡報台灣現行核能電廠除役規劃現況及除役產業鏈之佈局，如圖 5 所示；日方也針對日本境內核能電廠除役現況進行整體說明。Atsushi Tatematsu 先生解釋日本境內核能電廠之除役方式亦為立即拆除，針對除役時程日本管制單位並未加以限制，以 JAPC 旗下之 Tokai#1 氣冷式石墨反應器為例，規劃除役完成時間為 32 年，該廠預計於 2030 年完成除役作業；旗下另一部 Tsuruga#1 (BWR-2) 沸水式反應器於 2017 年也正式進入除役階段，以目前規劃而言，將預計以 24 年的時間完成除役作業。Tsuruga#1 為日本第一座沸水式反應器，針對此廠之除役拆除策略及所使用之技術，將藉由 Tokai#1 除役時期所發展之遙控拆除技術外，其技術應用策略將採電廠既有之技術為主，除非相關技術需求產生缺口時，才會投入進行研發。

本次雙方交流已建立流暢之溝通管道，未來我國核能電廠除役管理、除役技術開發與產業發展方向，亦可與日本進行合作，藉由日本既有之經驗，逐步穩健的朝既定目標執行與作業開展。最後 JAPC 除役計畫部門之總經理 Toyoaki Yamauchi 先生也與我們代表團進行會談，並給與多方建議與經驗交流，雙方於完美的氣氛下結束今日的參訪，雙方合影留念如圖 6 及圖 7 所示。

我方代表團於結束 JAPC 總部參訪後，隨即由東京搭車前往福井縣敦賀市之 Tsuruga 電廠，預計於 9 月 10 日參訪 Tsuruga#1 除役現場。

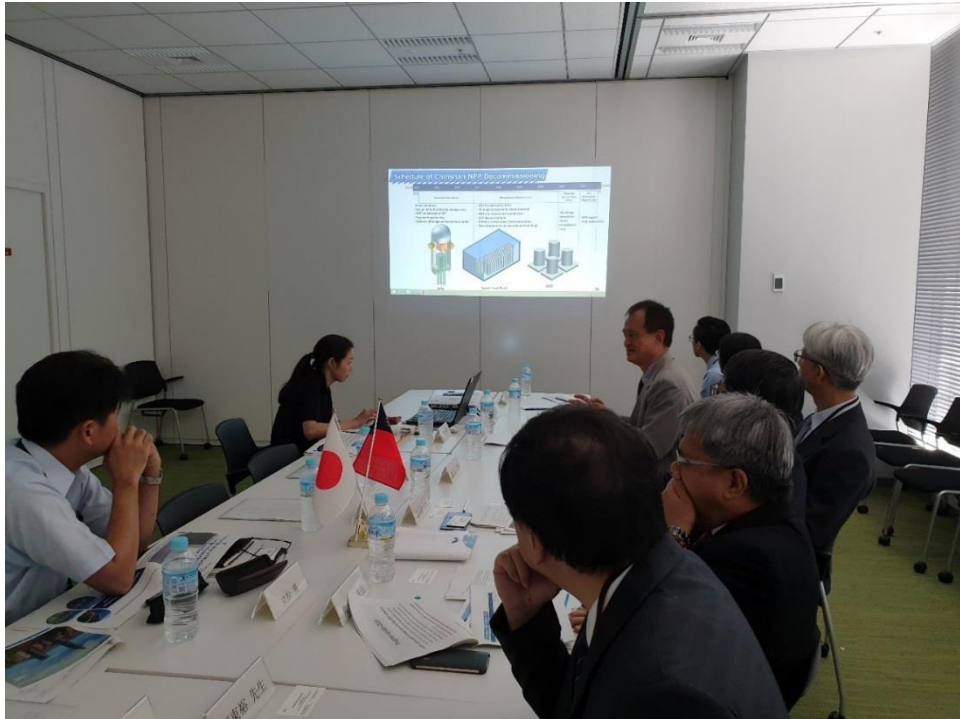


圖 5、我方除役管理現況簡報



圖 6、JAPC 與台電參訪團之合影



圖 7、台電參訪團於 JAPC 總部前之合影

(五) 9 月 10 日 赴敦賀核電廠除役技術交流研討

今日參訪 JAPC Tsuruga#1 除役現場，Tsuruga#1 為日本第一部使用輕水式反應器之電廠，採用 GE 公司沸水式反應器 (BWR-2)，電力輸出 357MW，該廠自 1970 年 5 月 14 日起發電，直至 2017 年 4 月 19 日止，共運轉 45 年，合計約為 10365 天。

本日由除役計畫部門總經理 Yasushi Nakamura 先生及電廠總務代表 Masataka Uratoko 先生接待，並由 Yasushi Nakamura 先生進行 Tsuruga#1 除役規劃簡報說明。Tsuruga#1 規劃 24 年時間進行完成除役作業，主要分成 (1) 反應器解體之準備階段為時 9 年、(2) 反應器解體階段為時 9 年，(3) 以及解體階段為時 6 年。目前為止正進行用過核子燃料運輸及汽機廠房高低壓

汽機與發電機之切割；以用過核子燃料處理而言，Tsuruga#1 面臨與台灣相似之情況，因當地政府尚未核准用過核子燃料乾式貯存設施之興建，且日本境內用過核子燃料最終處置尚未齊備，Tsuruga#1 之應對策略係將目前 1 號機用過燃料池內共 314 束用過核子燃料移至 2 號機用過燃料池進行暫時貯存，前期已移出 119 束燃料至 2 號機進行用過核子燃料運輸裝載，因 1 號機之燃料吊車無法承載用過核子燃料運輸護箱裝載作業，故以 2 號機吊車進行運輸護箱之裝載，裝載完成之 119 束燃料運至廠外燃料廠進行再處理；其餘 195 束用過核子燃料則暫時於 2 號機進行濕式貯存。

汽機廠房則正在進行高低壓汽機與發電機之切割解體，預計於 2019 年底前完成切割解體作業。Tsuruga#1 所進行之切割解體規劃，採用先行清空汽機廠房 1 樓空間作為暫時貯存區，接下來在汽機與發電機周邊區域依污染之高低分別建立工作帳篷，切割方式採用機械切割之大型鋸及線鋸等，熱切割則採電漿火炬進行切割；所有採用之切割方式皆以已被驗證及電廠既有的工具與技術進行。

現場 Walkdown 也在 Yasushi Nakamura 先生及 Masataka Uratoko 先生帶領下，參觀反應器廠房及汽機廠房。反應器廠房部份，Tsuruga#1 所採用之對策為 Cold to Hot，凡是乾井內之設備組件先以隔離不予以處理。目前反應器部分已移除 2 群組液壓式控制棒驅動系統（HCU），周邊污染與集水池採高壓水柱進行除污，其已移除之區域已無污染，並完成淨空。下階段將針對

Torus 進行內部化學液體清除與處理，利用已移除之 HCU 淨空區域，建立化學處理系統，並對 Torus 內部進行化學處理，待 Torus 內部化學液體完成處理與除污後，所有與反應器廠房相關之拆除廢棄物，將以 Tours 作為暫時貯存區域。

放射性廢棄物處理部分，至廢料廠房參觀所設計與規劃之廢棄物放行與外釋偵檢系統，該系統以雷射掃瞄先行建立廢棄物幾何形狀與預估污染情況，所設計之輸送帶系統亦配備重量量測以瞭解廢棄物相關物理現況，經量測後之廢棄物將送至輻射偵檢箱進行劑量率量測，以確定廢棄物是否符合放行與外釋條件，目前所開發之系統正在被日本管制單位進行審查。

表面除污部分，參觀目前 Tsuruga#1 針對營運期間所設計之噴砂系統，該系統依廢棄物大小規劃為 2 套噴砂設備，目前該系統只針對營運期間所需之表面除污進行處理，未來將依除役需求進行規劃以目前系統進行修改後提供除役使用。

汽機廠房部份，則參觀汽機廠房 3 樓，瞭解高低壓汽機與發電機拆除現況，目前為止高壓汽機已完成切割與解體，並完成裝入低階廢料包件中。低壓汽機與發電機已完成切割前之定位，未來將於今年年底前完成所有之切割作業，該樓層所有與切割與解體相關之技術與工法，皆是採用既有及獲驗證之技術與設備，由此可知 Tsuruga#1 採用非常務實之方法進行高低壓汽機與發電機拆除作業。

最後完成現場 Walkdown 後，於會議室進行現場參訪後之問題與經驗交換，為本次 Tsuruga#1 現場 Walkdown 劃下完美之句點，參訪團與 Yasushi Nakamura 先生於電廠前之合影，如圖 8 所示。本參訪團於傍晚結束 Tsuruga#1 現場參訪後，則驅車前往大阪，於次日返回台灣，結束本次為期 9 天之韓日除役參訪與經驗交流。



圖 8、參訪團與 Yasushi Nakamura 先生於 Tsuruga#1 前之合影

四、心得建議

經由本次日韓參訪的經驗可瞭解，韓國於核能電廠除役技術需求開發已進入齊備之階段，韓國之除役技術發展，基本上由政府主導，發展自有除役技術除應用於國內電廠之除役，亦有進軍國際市場的雄心。韓國政府之本土化除役技術研發，規劃在 2015-2030 年間投入約 164 億新台幣發展相關技術；透過半官方機構韓國能源技術評估與規劃研究所 KETEP (Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning, 簡稱 KETEP) 結合政府機構及民間企業，由政府補助 3 成至 5 成不等的研發經費，以公開競標的方式由有意願的廠家投標參與研發；例如 KPS 負責反應器內部組件拆解及系統除污之技術開發、DOOSAN 負責反應器、蒸氣產生器，以及其他電廠內大型組件之解體、KONES 負責放射性廢棄物包件，用過核子燃料乾式貯存系統之開發及設計，並同時提供完整之持照申請服務、CRI 專精於反應器切割設計，並配合 KAERI 之基礎科學研究的成果，於今年底前將完成 17 項關鍵應用技術之開發、KORAD 負責放射性廢棄物之最終處置；由於 Doosan 及 KPS 均為韓國核能產業的上游大廠，旗下產業聚落早已運作多年，其除役產業鏈亦已自然形成，唯韓國目前尚未有任何除役之機會與實績，待未來幾年內隨 KHNP 旗下 Kori 電廠除役工作之展開，相信韓國之除役技術及服務將會於國際市場上具有相當的競爭能力。

日本有別於韓國，採穩健之策略開發與核能電廠相關之除役技術，因 Tokai#1 的除役經驗回饋，使得電力公司瞭解，應盡量使用現有已獲驗證之技術，於未來工作執行與展開時所承擔之不可預期風險相對較小，並應把有限的資源應用在真正之技術缺口上，以使投資報酬能獲得平衡。

藉由本次參訪之經驗可建議未來我國核能電廠於運轉及除役相關之建議如下：

1. 韓國已積極以企業及政府資源投入與發展核能電廠除役關鍵技術，針對系統除污、用過燃料乾式貯存系統，以及反應器拆解等重要技術已逐漸日趨成熟，未來於我國核能電廠除役作業需求時，可持續與韓國進行核能除役技術與產業鏈兩國雙邊交流。
2. 日本 JAPC 已有核設施除役實績，Tsuruga #1 除役拆除策略近似是先拆低劑量區（Cold to Hot），核一廠現階段因爐心燃料無法退出，除役模式採 Cold to Hot 較可行，建議與 JAPC 持續交流，參考 Tsuruga #1 除役經驗，檢視核一廠的除役策略。
3. JAPC Tsuruga #1 除役，利用既有電廠空間規劃暫存除役期間產生的放射性廢棄物的作法，值得本公司進行核設施除役放射性廢棄物貯存規劃之參考。
4. JAPC Tsuruga #1 目前正執行中的除役作業可瞭解，所採用的技術與

設備皆以現行電廠既有或已獲驗證為主，可作為本公司規劃除役技術及產業發展的參考。