

出國報告（出國類別：實習）

韓日除役計畫技術發展
與電廠安全改善設施觀摩

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：李亮瑩 核能工程師

派赴國家：韓國、日本

出國期間：106年12月13日至106年12月21日

報告日期：107年2月12日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

韓日除役計畫技術發展與電廠安全改善設施觀摩

頁數 10 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/服務機關/單位/職稱/電話

李亮瑩/台灣電力公司/核能技術處/核能分析組工程師/(02)23667125

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：106.12.13 ~ 106.12.21 出國地區：韓國、日本

報告日期：107.2.12

分類號/目：

關鍵詞：KHNP、除役技術、美浜電廠、除役計畫

內容摘要：(二百至三百字)

西元 2011 年發生了福島事故以後，亞洲各國的核能產業皆面對急遽的挑戰，日本更是將所有電廠停機直到去年才有電廠重啟的計畫，迎面而來的除役計畫以及電廠安全設備改善是各國所需面對的議題，透過參訪韓國與日本，了解他國核能電廠如何進行除役計畫以及電廠安全改善，作為本次行程的重要課題。

韓國水力及核電公司(KHNP)的古里 1 號機已於 2017 年 6 月宣布永久停機並開始進行除役計畫，此為韓國第一個面臨除役的核電廠。此前韓國已開始規劃發展除役相關技術。日本關西電力公司的美浜 1、2 號機於 2015 年宣布停機，除役計畫於 2017 年 4 月取得核管單位的許可。

韓國圍阻體過濾排氣系統於 2017 年開發完成，亦完成測試工作，唯目前尚無實績。日本福島後新安全標準下進行大量改善，現已有 5 部機組完成改善並重新啟動。

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

目次

壹、	目的	1
貳、	過程	2
一、	行程與工作項目	2
二、	出國紀要	3
參、	心得與建議	9
一、	心得	9
二、	建議	10

壹、目的

本次出國任務主要配合本公司核能電廠即將進入除役階段，前往韓國及日本了解兩國目前在除役技術發展的狀況。韓國第一個商轉的古里 1 號機於 2017 年 6 月正式停止運轉，日前韓國在國際上發表其現階段在除役技術之發展技術項目，將於 2021 年之前發展完成，本次與韓國水力與核能公司(Korea Hydro and Nuclear Power, KHNP)接洽，並與相關研究單位討論其除役技術之盤點與進展；日本美濱核能發電廠 1、2 號機(壓水式反應器)永久停止運轉，正式進入除役階段。目前該廠已完成 1 號機的除汙(decontamination)，透過本次的參訪，了解相關除役經驗。此兩國在除役技術上都可透過本次的觀摩參訪，蒐集其除役經驗，做為未來國內發展除役技術之參考。

除了除役之議題外，兩國福島後之發展也透過本次觀摩進行了解。韓國於 2017 年完成圍阻體過濾排氣系統(Filtered Containment Venting System, FCVS)之研發，並完成該設施相關測試工作，本次安排前往韓國原子力研究院(Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI)觀摩其 FCVS 測試設施；日本福島事故之後，其核能電廠積極進行各項改善，陸續亦有電廠重啟，本次除參觀美濱電廠相關設施，也參訪日本東京 NFI(Nuclear Fuel Industries)燃料公司，討論目前日本核能產業的現況，作為國內核能產業發展的借鏡。

貳、過程

一、行程與工作項目

此次任務出國期間自民國 106 年 12 月 13 日起至 106 年 12 月 21 日止，共計 9 天，詳細行程如下：

日期	地點	工作內容
12/13	台北-慶州	去程
12/14	慶州	參訪 KHNP 之研究單位(Central Research Institute, CRI) 以及韓國原子力研究院(KAERI)
12/15	慶州	於 KHNP 總部進行簡報以及討論相關議題
12/16~17	慶州-東京	路程與資料整理
12/18	東京	與日本 NFI 公司討論日本核能現況
12/19	東京-敦賀	路程與資料整理
12/20	敦賀	參訪美浜電廠並討論除役議題
12/21	大阪-台北	回程

二、出國紀要

(一) 韓國

本次主要任務為了解韓國核能電廠的除役技術發展狀況以及圍阻體過濾排氣系統設備(FCVS)。除參訪 KHNP 本部，另亦至 KHNP 之研究單位 CRI 與韓國原子力研究院(KAERI) 進行觀摩討論。

韓國核能發電現況

韓國核能現有 24 部機組運轉中，核能發電約佔總發電量的 30%；1 部永久停機進行除役活動(古里 1 號機，Kori 1)；原有 5 部機組興建中，另計畫新建 4 部機組。2016 年 6 月 19 日韓國總理文在寅於古里 1 號機停機儀式致詞時提出將放棄以核電為主的能源政策，全面取消新核電機組的建設計畫，也不再延長機組壽命，朝脫離核電方向邁進。此政策發表後韓國政府計畫取消新建機組之規劃；興建中的新古里 5、6 號機受此政策影響停工。韓國政府經審慎考量後成立了「公論委員會」，針對施工進度已達 30%的兩部機組進行是否重啟施工進行意見調查，最終於 10 月 20 日公布結果，贊成重啟建設的佔 59.5%，韓國政府遵從委員會結論，10 月 24 日發布重啟決定，10 月 25 日凌晨重啟工程。

韓國水力與核能公司(KHNP)



韓國水力與核能公司為韓國電力公社(Korea Electric Power Corporation, KEPCO)之子公司，於 2001 年 KEPCO 重組時分離出來，負責韓國核能電廠及水力電廠、抽蓄電廠及部分再生能源機組之營運。旗下共有 24 個核能機組，提供 22.5GW 的電力；35 個水力機組，¹ 供應 0.607GW 的電力；16 個抽蓄機組，供應 4.7GW 的電力；7 個在再生能源機組，供應 0.115GW 的電力。KHNP 下設有研發部門(KHNP-CRI)、海外商務部門等，故 KHNP 亦為南韓核能技術發展、統整、外銷的主力。KHNP 是韓國核能工業的領頭羊，近年來積極配合韓國政府核能技術輸出的政策，與其國內廠商合作，大力推展海外市場。

¹ Logo 引自 KHNP 官網 <http://www.khnp.co.kr/eng/content/463/main.do?mnCd=EN010105>

韓國原子力研究院(KAERI)



韓國原子力研究院成立於 1959 年，是韓國第一個通過核技術實現能源自給自足的科學技術研究機構。多年來，KAERI 完成韓國標準核電廠核島系統(Nuclear Steam Supply System, NSSS)自主設計等本土化工作；近年向國際發展，如與沙特阿拉伯簽署備忘錄，加強一體化模組式進步型反應爐(System-integrated Modular Advanced Reactor, SMART)技術的合作，協助約旦研究和訓練用反應器(Jordan Research and Training Reactor, JRTR)能順利建設完成。協助研發的圍阻體過濾排氣系統目前亦在國際與其他廠家競爭。KAERI 在韓國除役工作擔任基礎技術研發的角色，未來也將加入除役計畫協助除役工作進行。

韓國核能電廠除役與除役技術發展

福島事件之後，韓國政府開始重視核能除役相關技術之研發。由 KAERI 進行除役基礎技術之研發，KHNP 作為除役的計畫管理單位，KHNP-CRI 則針對古里 1 號機進行所需之技術盤點與研發。

目前韓國正在除役的古里 1 號機(Kori 1)為壓水式反應器(Pressurized Water Reactor, PWR)，發電量 587 MWe，於 1977 年首次臨界，1978 年 4 月商轉。2007 年透過執照更新將運轉年限由 30 年延長為 40 年，2017 年 6 月 19 日宣告停止運轉並啟動除役。整個除役按目前規劃分為四個階段：第一階段是除役執照送審工作。依照韓國核管法規要求，核電廠於永久停止運轉後的五年內須提出最終除役計畫(Final Decommission Plan, FDP)給核管單位。這五年內必須完成 FDP，經過一年的公聽程序，依據公聽會意見修改 FDP 後方能提出申請。KHNP 希望能於 2018 年底提出 FDP，經過一年的公聽，將公聽會的意見反映至 FDP 後，於 2020 年中交付核管單位審查，並於 2022 年取得 NSSC(Nuclear Safety and Security Commission)之同意；第二階段目標為燃料移出，類似我國除役過度階段，建置乾式貯存設

² Logo 引自 KAERI 官網 https://www.kaeri.re.kr/english/sub/sub01_05.jsp

施，預計 2025 年底將燃料取出至乾式貯存；第三階段為拆廠階段，預計將建設放射性廢棄物處理設施，並依序拆除無放射性相關設施與放射性設施，預計 2030 年完成拆除；第四階段為場址復原，預計花 2 年時間至 2032 年，完成後運轉執終止。

由於韓國於福島事故後政策轉變，開始集中發展除役技術，除自己國內電廠除役使用之外，更以技術外銷為目標。KAERI 自 2012 年盤點除役活動中會應用到的基礎核心技術(fundamental technology)，大致可分為 5 大類別：除役規劃(Decommissioning Planning)相關，如除役安全分析技術、輻射偵測技術；除汙技術(Decontamination technology)，如系統除汙，奈米粒子泡沫除汙(Foam decontamination containing nano-particle)；拆除技術，如遠端遙控拆除、3D 人機介面等；廢棄物處置(Waste treatment)，包含高階廢料安定化、含超鈾元素(Transuranium element, TRU)之廢棄物處理等；廠址回復(Site restoration)技術，如污染土壤處理、汙染抑制等技術，總共有 38 項基礎核心技術。其中有 11 項技術發展尚未成熟，目前 KAERI 正全力研發，預計 2021 年可以全數發展完畢。

相對於 KAERI 研發基礎技術，KHNP-CRI 檢視古里 1 號機除役所需商業化技術(commercial technology)，參考 EPRI 2001 年的除役先期規畫手冊(Decommissioning Pre-Planning Manual)進行技術盤點。該手冊中列出 65 項除役活動(Decommissioning Activities, DAs)，整合成 32 項除役任務要項(Decommissioning Task Outlines, DTOs)。CRI 從這些除役活動與要項中篩選，將不符合古里 1 號機需求之項目刪除，剩下 58 項作為古里 1 號機除役所需之技術。此 58 項技術分類成設計與許可申請(Design/Licensing)、除汙、拆除、輻射廢棄物管理、廠址回復等五類。經過盤點，CRI 截至目前仍有 17 項技術仍在開發。

除役放射性廢棄物處理

有關放射性廢棄物處理，目前古里 1 號機預期會有 80,790 桶的放射性廢棄物，透過減容壓縮成 14,500 桶。對於低階放射性廢棄物(Low Level Waste, LLW)與超低階放射性廢棄物(Very Low Level Waste, VLLW)中如廢樹脂等，韓國應用電漿火炬熔融(Plasma Torch Melter, PTM)來減容裝桶，無法用 PTM 處理的可直接裝桶，金屬廢棄物也有使用切割、除汙、融熔等方式處理後進入最終處置。電纜經過除汙後可再循環使用。中階廢棄物可放入高完整性容器 HIC(high integrity container)或屏蔽容器包裝後放入中期貯存最後再進入最終處置。

由於除役技術發展為韓國之國家政策，韓國截至目前為止已投入上百億美元，並整合協調國內各項資源，全力推動技術研發及應用。

圍阻體過濾排氣系統

福島事故之後，韓國的核管單位要求國內核能電廠皆須裝設圍阻體排氣設備。韓國 FNC 公司與 KHNP、KAERI 等合作開發 Korean FCVS，屬於乾濕混合的型式，於 2017 年開發完成。由於算是市場上的新產品，尚無安裝使用實績。為了將 FCVS 推向國際，韓國除了在 KAERI 進行實驗測試完成，另再送至第三方認證單位瑞士 PSI 公司(Paul Scherrer Institute)進行測試。測試結果，過濾懸浮微粒碘(aerosol)過濾效率 99.99% (DF=10,000)，元素碘(elemental iodine)過濾效率 99.9% (DF=1,000)，有機碘(organic iodine)過濾效率達 98%(DF=50)。

目前韓國國內仍有 12 部機組需要安裝 FCVS，FNC 按照其國內法規參加投標，也積極推向國際市場。

(二) 日本

日本 2011 年發生福島事故之後，日本核能產業重創，所有核能機組停機，部分機組積極進行改善、重啟申請，另外亦有決定除役的機組。本次出訪日本 NFI(Nuclear Fuel Industries, Ltd.)及美浜發電廠，實際了解其福島後改善措施以及美浜電廠 PWR 機組除役現況。

日本東京 NFI 燃料公司

日本核能燃料製造市場，主要的燃料製造廠為 GNF-J (Global Nuclear Fuel-Japan Co., Ltd.)、NFI 以及 MNF(Mitsubishi Nuclear Fuels Co., Ltd.)。GNF-J 有六成股份由 GE 持有，生產 BWR 燃料。MNF 主要仍為三菱重工持有，主要生產 PWR 燃料、氧化鈾及 PWR 燃料護套。本次參訪之 NFI 公司目前股份由西屋公司持有過半。旗下有兩個燃料製造廠，東海製造廠(Tokai Works)主要生產 BWR 燃料及 HTR(High Temperature Gas Cooled Reactor)燃料，熊取製造廠(Kumatori Works)主要生產 PWR 燃料。

日本 2011 年發生福島事故之後，所有核能機組停機，2012 年 9 月成立具獨立屬性的核能管制機關原子力規制委員會(Nuclear Regulation Authority, NRA)，並制定核安新基準。各電

力公司依據新的核安基準進行改善工作，除管制單位審查流程外(包含反應爐設置變更許可、工程計畫認可申請及保安規定變更認可申請之審查)，還需經當地民眾、地方政府溝通取得同意。

2013 年九州電力川內核電廠 1、2 號機完成改善並申請再啟動，2015 年 8 月 1 號機重啟，10 月 2 號機重啟，開啟新的里程碑，直至目前有 5 部 PWR 機組進行重啟。雖然陸續有機組獲同意重啟，也有許多機組因地方反對而受到阻礙。目前 PWR 電廠重啟進度較 BWR 電廠領先，除可能與 BWR 電廠皆分布於鄰近太平洋的東部，若海嘯來襲其影響較大之外，BWR 電廠啟動之前的必要條件包含 FCVS 之建置，相較 PWR 電廠 FCVS 的建置僅需在一定時間內完成，非啟動之必要條件，也是 BWR 電廠重啟的難處之一。

也因為日本國內核能機組目前僅有幾部核能機組運轉，NFI 公司表示其燃料製造需求大減，目前除原有燃料業務極力爭取國外訂單外，亦提供其他如輻射偵測等服務。

日本關西美浜電廠

日本關西電力公司(Kansai Electric Power Co., Inc., KEPCO) 旗下共有 11 部 PWR 機組，包含美浜發電所的 3 個機組，高浜和大飯發電所各 4 部機組。本次參訪的美浜發電所位於福井縣三方郡美浜町(接近福井縣敦賀市)。1 號機於 1970 年 11 月商轉，是日本第一個商轉的 PWR 機組，2 號機於 1972 年 7 月商轉。兩部機分別於 2010 年 11 月及 2012 年 7 月運轉執照屆滿(2011 年福島事件後即停機)。2015 年 4 月決定中止運轉這兩部機組，2016 年 2 月提報除役計畫並於 2017 年 4 月通過核管單位的認可。值得一提的是，於 1976 年 12 月商轉的 3 號機，福島事件後停機後進行改善及運轉執照延長之規劃。2015 年 3 月依照核安新基準要求提出反應爐設置變更許可申請，2015 年 10 月提出 3 號機運轉年限延長申請。2016 年 10 月獲得反應爐設置變更許可，11 月獲得延長運轉年限許可，運轉年限由 40 年增加為 60 年。

美浜 1、2 號機除役計畫

美浜 1 號機裝置容量 340MW，2 號機裝置容量 500MW。除役計畫預估需要 30 年，分為四個階段，第一階段預計為 2017 年至 2021 年，共 6 年，主要工作包括：系統除汙、廠址輻射特性調查、移出燃料以及拆除發電機組、汽機、主冷凝器等二次側設備。第二階段預計

為 2022 年至 2035 年，計 14 年，主要工作包括：拆除新燃料儲存槽、移除用過燃料、拆除海水系統外的二次側設備。第三階段預計為 2036 年至 2041 年，共 6 年，主要工作為：拆除 RPV、蒸汽產生器、調壓槽等一次側系統、拆除海水系統及拆除用過燃料池。第四階段預計 2042 年至 2045 年，共 4 年，解除管理區域以及圍阻體與輔助廠房拆除。

本次參訪時美浜電廠已完成 1 號機的系統除汙。美浜電廠為降低反應爐冷卻水系統 (reactor cooling system, RCS)、化學與容積控制系統(chemical and volume control system, CVCS)、餘熱移除系統(residual heat removal system, RHRS)等一次側系統輻射劑量而進行系統除汙。其使用 AREVA 公司的化學除汙方法(Chemical Oxidation Reduction. Decontamination, CORD)，將除汙藥品打入一次側循環管路中。系統除汙的過程會透過離子交換產生大量的樹脂(resin)。依據美浜電廠的經驗，1 號機(340MW PWR)的除汙過程所產生的二次廢樹脂量約為 5.8 m³，可作為我國核三廠未來系統除汙評估之參考。

美浜 3 號機福島後改善

美浜 3 號機於福島後配合新核安基準及延役進行一系列改善工作，內容包含(1)因應自然災害進行強化(防止事故發生)：如針對地震強化廠內耐震等級，如用過燃料池、圍阻體強度、壓力槽(Vessel)的爐心底板結構、海水泵室耐震結構等；針對可能發生的最大海嘯建立 5.5 米的海嘯牆；針對廠內火災增設消防設施、耐火材料；針對廠外火災在廠區與附近林地設置防火帶；於設備上方設置鋼網避免龍捲風的影響等。(2)重大事故救援強化(減緩事故進展)：如電源設備增設氣冷式緊急發電機及移動式電源；加強多重注水系統，如以增加備用海水泵、移動式泵作為原有海水泵的備援、中壓泵與消防水車作為輔助飼水之備援、新增多台固定式及移動式替代低壓注水設備等。(3)因應嚴重事故之強化(防止事故擴大)：設置氫氣燃燒裝置及觸媒式氫氧再結合防止圍阻體氫爆的可能性；增加消防車若有輻射物質外釋時得以使用強力水注抑制擴散；緊急應變中心設置於免震棟等等。

日方由於為福島事件直接受害者，相關安全強化要求十分嚴謹。美浜電廠 3 號機目前仍在如火如荼地進行多項大型改善工程。美浜電廠表示，雖 1、2 號機進入除役階段，但因 3 號機相關工作人力需求相當龐大，故該廠人力皆能轉置運用。

參、心得與建議

一、心得

- (1) 韓方由於除役技術發展為韓國之國家政策，國家投入整合協調國內各項資源，全力推動技術研發及應用。不同機構分工明確，由政府設定里程碑並與各機構協調並決定各自負責的工作。技術研發單位分別會舉辦研討會、工作坊、會議等來來彌補其不足之處。另由於其國內供應鏈成熟，當問到如何與國內不同公司合作時，韓方通常表示在某些方面他們原本就有固定合作的一些廠商，可以合作開發相關技術。我國在這方面目前剛開始起步，韓方許多經驗可以當作我國之借鏡。
- (2) 日方由於為福島事件直接受害者，不僅需滿足相關十分嚴謹的安全強化及審查要求，更需要與民眾與地方政府大量交流取得認同。在本次出訪前，12月13日廣島高等法院接收來自廣島縣民的請求，對定期檢查期間並沒有在運轉的四國電力公司伊方核電廠，下達不得重啟的假處分。這類民間團體與核能電廠的攻防戰在福島事件之後屢見不鮮，司法凌駕於技術與專業，使得日本核電廠雖然陸續完成重啟的強化工作，在重啟和穩定順利發電仍相當艱辛。而韓國因文在寅政府的反核立場，也要往非核的政策邁進，興建到一半的電廠因而停工。韓國政府成立了「公論委員會」並選取了立場較中立的民眾參加公論化會議，在提供核能資訊與教育後，針對新機組是否重啟施工進行意見調查。這些成員中許多人原本對於核能發電不太了解，在得到足夠的資訊後，竟然反轉此前的調查結果，贊成重啟建設的接近六成。由此可見要如何讓民眾能夠得到正確的資訊並瞭解實際情況，仍舊是現今需要再次思考的課題。
- (3) 我國福島事故總體檢工作也參考日本措施，諸如耐震補強、移動式電源、移動式水源、免震棟等都在其中。本次參訪美浜電廠看到許多改善工程正在進行，也再次提醒自己核能安全議題需要以嚴謹的態度面對，並且付出實際行動改善與解決。
- (4) 非常感謝公司讓我有這次機會，本次的收穫除了原本預定的任務外，更重要的是韓方與日方的面對面交流，互相交換各國核能現況，更重要的是人脈的建立。

二、建議

- (1) 韓國「公論化委員會」選取了立場中立的民眾參加公論化會議，在提供核能資訊與教育後，針對新機組是否重啟施工進行意見調查，出乎意料的得到民眾的支持。由此可見正確的資訊與教育是正確判斷的依據。韓方這項「公論化」成功的經驗應可更深入研究，作為我國推動各項政策時的參考。
- (2) 韓國在除役技術發展方面已投入相當多的資源，其發展經驗值得我國除役技術發展與產業鏈規劃參考。我國由於沒有如韓國多年來建立的核能產業鏈規模，然除役未嘗不是一個新的契機。由本公司領頭規劃盤點除役相關工作，逐步藉由不同除役作業項目與我國工業界產生互動。此舉可連結我國相關產業投入除役工作，亦可協助台電核電廠人力轉型、活化再升級；建立台電除役工程能力，領導國內團隊，降低台電除役費用；甚至未來成為全球唯一具核電廠之建廠、營運、及除役之一條龍的工程服務公司，擁有國際競爭優勢爭取訂單，創造新價值。