

出國報告（出國類別：開會）

參加 OECD/NEA 之
BWR 管制工作組第 4 次會議

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：法國巴黎

出國期間：108 年 9 月 23 日至 108 年 9 月 25 日

報告日期：108 年 11 月 29 日

摘要

本次公差目的為赴法國巴黎參加 OECD/NEA 之 BWR 管制工作組第 4 次會議。BWR 管制工作組是 OECD/NEA 核能管制委員會之專案小組，專門處理 BWR 管制相關議題，有美國、日本、瑞典、芬蘭、德國、西班牙、瑞士與我國等核能安全管理機關參與。此次會議先由各國說明 BWR 管制現況與技術議題專案報告，再討論 BWR 管制工作組之工作計畫及關切之管制議題，本次會議已初步評估嚴重事故指引問卷答覆說明與完成反應爐水位計多樣性設計之問卷，下次會議將就兩項工作計畫之問卷答覆內容進行深入討論。至於未列入工作計畫之 BWR 管制議題，經逐項討論後各項議題仍在處理中，並決議要求各國於下次會議報告因應福島事件之 5 項 BWR 機組實體改善案件，以了解各國改善情形。本次會議過程與各國管制機關代表討論核能電廠相關安全議題，並就管制實務進行技術交流，有助於我國精進核能電廠安全管理工作。

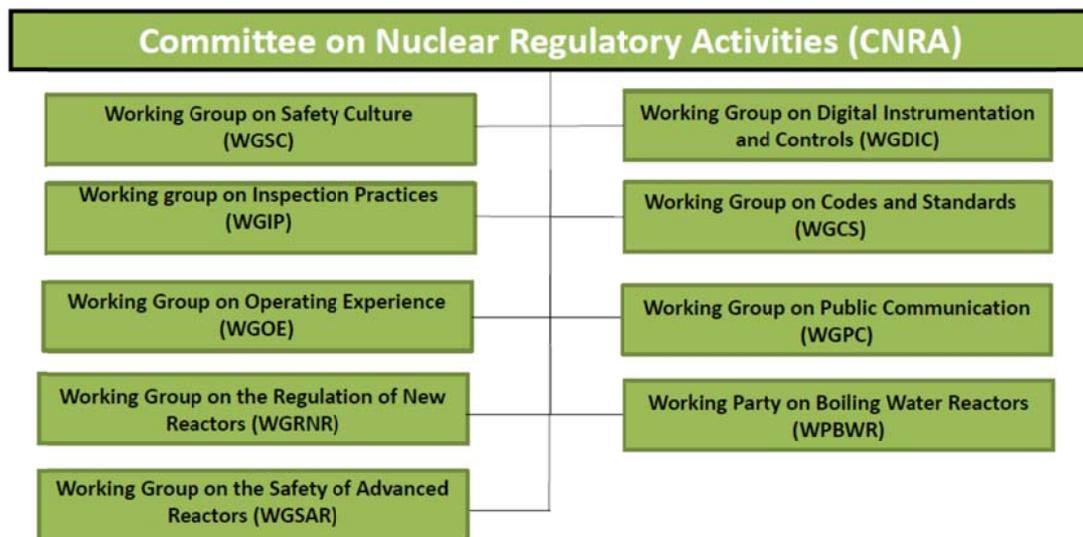
目 次

	頁碼
壹、目的	1
貳、出國行程.....	3
參、過程紀要.....	4
肆、心得與建議	11

壹、目的

經濟合作暨發展組織核能署(OECD/NEA)核能管制委員會(Committee on Nuclear Regulatory Activities, CNRA)因接獲跨國設計評估計畫(Multinational Design Evaluation Programme, MDEP)進步型沸水式反應器(ABWR)工作組參與國家之建議，應增設專門處理沸水式反應器(BWR)與ABWRs相關管制議題之工作組。CNRA於2017年12月開會討論後，即核准成立 BWR 管制工作組(Working Party on BWRs)。

核能管制委員會主要負責處理核設施安全管制、執照核發、視察等相關安全議題，提供各國管制機關一個資訊與經驗交流的平台，審視安全管制作法與運轉經驗，協同合作確保各國均符合高安全標準，並強化管制效能。CNRA 是由各國管制機關高階官員所組成，目前下設 9 個專案工作組，處理特定技術議題。BWR 管制工作組是專責處理 BWR 管制相關議題，BWR 型式亦包含 ABWRs 與經濟簡化沸水式反應器(Economic Simplified Boiling Water Reactors, ESBWRs)。



圖一、核能管制委員會下設之 9 個專案工作組

BWR 管制工作組提供各國管制機關一個國際合作平台，可就 BWR 管制經驗與技術資訊進行交流，包含核電廠設計、建廠、運轉、除役等各方面，並藉由各國分享其觀點，聚焦 BWR 所面臨之安全議題與挑戰，進而予以強化。為達成此目標，BWR 管制工作組已邀請各國擁有或將興建 BWR 反應器之安全管制機關參加，期望利用協同合作方式找出關鍵的管制議題，並提出一致性的觀點、計畫或建議，經由 CNRA 核准或認同後，即可公開評估報告或提出具體之研發計畫建議。

BWR 管制工作組第 1 次會議於 2018 年 3 月召開，其後每半年召開乙次會議。因我國核能一、二廠與龍門電廠均屬 BWR 型式的反應器，我國原能會也接獲 BWR 管制工作組邀請，自 2018 年 9 月起參加 BWR 管制工作組會議，此次 BWR 管制工作組第 4 次會議是由陳技正彥甫代表原能會參加，與各國交流 BWR 管制經驗，以提升我國核能安全管制效能。

	日 期	地 點
第 1 次會議	2018 年 3 月	瑞典
第 2 次會議	2018 年 9 月	法國巴黎
第 3 次會議	2019 年 3 月	瑞士伯恩
第 4 次會議	2019 年 9 月	法國巴黎

貳、出國行程

此次公差自 108 年 9 月 23 日起至 108 年 9 月 25 日止，共計 3 天，行程如下：

日期	行程	摘要
108 年 9 月 23 日	奧地利維也納→法國巴黎	去程
108 年 9 月 24-25 日	法國巴黎	參加OECD/NEA之BWR管制工作組第 4 次會議
108 年 9 月 25 日(晚間)	法國巴黎→奧地利維也納	返程

參、過程紀要

BWR 管制工作組第 4 次會議於 9 月 24-25 日假法國巴黎 OECD/NEA 總部召開，此次會議先由各國說明 BWR 管制現況與技術議題專案報告，再討論 BWR 管制工作組之工作計畫及關切之管制議題，以及未來會議時間與地點等。BWR 管制工作組共有 8 個國家之核能安全管理機關參與，目前英國核能管制辦公室(Office for Nuclear Regulation, ONR)已被歸類為休眠會員。

- 美國核能管制委員會(United States Nuclear Regulatory Commission, USNRC)
- 瑞典輻射安全局(Swedish Radiation Safety Authority, SSM)
- 芬蘭輻射暨核能安全管制局(Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK)
- 德國核子反應器安全研究所(Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit , GRS)
- 西班牙核能安全委員會(Spanish Nuclear Safety Council , CSN)
- 瑞士聯邦核能安全督察委員會(Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, ENSI)
- 日本原子力規制委員會(Nuclear Regulation Authority, NRA)
- 我國原子能委員會

BWR 管制工作組主席為瑞典 SSM 的資深分析師 Mr. Lennart Bons，副主席則是美國 NRC 的資深反應器系統工程師 Mr. Eric Thomas，此次會議除西班牙代表未出席外，瑞典有 2 位代表出席，其餘各國則有 1 位代表出席。NEA 秘書 Mr. Thomas Buckenmeyer 表示西班牙代表告知因業務繁忙無法出席。

NEA 秘書 Mr. Thomas Buckenmeyer 報告 NEA 近期動態，NEA 核能安全技術與管制處處長遺缺，最終是由法國輻射防護暨核能安全研究所(IRSN)的 Ms Veronique Rouyer 取得，並已於今年 8 月上任。NEA 於 2019-2020 年的預算沒有增加，再考慮到通貨膨脹與職員薪資增加等因素，相當於預算減少 5%，因此 NEA 與各委員會必須要優化其業務工作，同時也歡迎各國派員帶薪赴 NEA 工作。今年 6 月 CNRA 會議已核准 BWR 管制工作組所撰擬之嚴重事故指引與反應爐水位計多樣性設計等兩項工作計畫，有關工作組自我評估部分，CNRA 未來也將討論如何執行並提供評估指引，CRNA 要求工作組自我評估的目的之一是期望精簡工作組數量，瑞典代表認為 BWR 管制工作組運作與技術討論是很有效率且有實質助益，因為其他 CNRA 下轄的工作組，其參與成員多半都是來自 PWR 相關背景，所以

在討論技術細節時，常常會與 BWR 管制者有不同的思考角度，雙方浪費許多時間在相互溝通，有一個專責的 BWR 管制工作組是有其必要性，另有其他代表表示某些工作組已成立十多年，一直都在討論重覆的問題，效率很低，建議也應自我評估檢討，目前 BWR 管制工作組歷次開會討論均有實質進展與後續行動事項，有效促進各國就 BWR 安全管制相關議題進行技術交流。

(1) 各國 BWR 管制現況與技術議題專案報告

- 瑞典

瑞典代表報告 SSM 近期核能安全管制議題，目前 Forsmark 核電廠 1 號機有燃料破損跡象，正持續觀察中。SSM 今年視察發視 Forsmark 核電廠 1/2 號機因行政管制疏失導致備用硼液控制系統之硼濃度過低，以及 Oskarshamn 核電廠 3 號機 RPV 溫度壓力運轉區間(10 CFR 50 App G, Fracture Toughness Requirements)之計算方法有誤，均已要求電廠進行改善。

- 美國

美國代表說明 Pilgrim 核電廠已於 2019 年 6 月永久停止運轉，Duane Arnold 核電廠及 Dresden 核電廠 2/3 號機規劃於 2020、2021 年永久停止運轉。NRC 近期組成專案視察小組，就 BWR 抑壓槽內層塗裝劣化起泡進行查證，因為在中大破管喪失冷卻水假想事故下，若抑壓槽內層塗裝大量脫落，會累積在緊要爐心冷卻系統取水口濾網，導致緊要取水泵沒有足夠淨正吸水頭(NPSH)取水注入爐心。目前電廠經營者仍宣稱圍阻體是可用，但 NRC 尚未有充份的技術佐證可反駁電廠之評估。NRC 仍將持續追蹤電廠於下次大修期間，修復抑壓槽內層塗裝之作業，並進行現場查證。

- 德國

目前德國運轉中之 BWR 機組僅有 Gundremmingen 核電廠機組 C，預計在 2021 年 12 月永久停機。該機組於 2018 年有 4 件通報事件，其中一件是電廠在執行圍阻體洩漏率測試，發現圍阻體氣鎖門壓力平衡閥部分開啟，此運轉經驗較為特殊，目前 GRS 正在準備德國資訊通告，德國代表主動表示將於 BWR 工作組第 5 次會議就此運轉經驗提出專案報告，供各國參考。有關燃料破損部分，2018 年度大修期間進行啜吸檢查，有發現兩束燃料破損，經分析後認為是爐屑磨損所造成。

- 臺灣

我國代表說明核一廠 1/2 號機均已進入除役階段，另就核二廠近期大修檢查發現控制棒葉片新增裂紋指示，分享原能會安全管制作為與台電公司之因應措施。

- 瑞士

瑞士代表報告 2019 年 Leibstadt 核電廠有兩件急停事件是因壓力傳送器失效而導致機組急停，並特別介紹該電廠 MARK-III 圍阻體內設有 50 個主動式點燃器，於抑壓池上方還有 8 組 CATI 1.0 被動式點燃器，且另設有 6 組被動式氫氣再結合器 FR1-1500 與 7 組被動式氫氣再結合器 FR1-960，可控制圍阻體內氫氣濃度在安全限值以下，以避免圍阻體內發生氫氣爆炸而導致圍阻體失效。

- 芬蘭

芬蘭 Olkiluoto 核電廠有兩座 860 MWe 的 BWR 機組，自 1979 年與 1982 年開始商業運轉，兩部機可運轉至 2038 年。芬蘭代表說明目前兩部機組正在更新廠內所有緊急柴油發電機，並增設具有氣冷式能力，至於增設反應爐水位計之多樣性設計計畫尚在討論中。2019 年截至目前為止，STUK 並未接獲電廠通報任何運轉異常事件與燃料破損之情形。

- 日本

日本代表說明前次會議報告之 BWR 機組再起動申請案仍在審查中，目前未有新的進展。此次會議分享 Kashiwazaki - Kariwa 電廠 1 號機緊急柴油發電機在定期測試期間，發現異常噪音與輸出功率降低而手動停止的事件，經查是 R 向渦輪增壓器 (Turbocharger) 葉片斷裂，導致轉軸失去平衡後損毀軸承，轉軸卡住喪失加壓空氣，進而使得緊急柴油發電機輸出功率快速降低。經營者目前已開始就同型之渦輪增壓器葉片平行展開檢查。

- 異物入侵管制(Foreign Material Exclusion, FME)

為降低爐屑磨損導致燃料護套失效之發生機率，芬蘭 Olkiluoto 核電廠於 2017 年曾大幅改善 FME 訓練，例如每個工作人員都必需通過操作模擬帳(mock-up tent) 訓練，才能進入機組工作，增加訓練量的同時也強化電廠內之 FME 管制，在 2018 年大修期間，電廠開立許多 FME 發現與改善建議，表示工作人員對 FME 意識有明顯提升。瑞士 Leibstadt 核電廠則是特別成立異物入侵管制專案小組，每年召開兩次

會議，針對異物入侵事件分析肇因，並提出對應改善措施，例如專門的作業程序書、飼水系統與燃料束加裝過濾器、禁止使用鋼刷、每個系統設定清理等級(LV 1-3)與對應之清理方式、LV1 系統需要獨立人員複查清理情形。我國則分享核二廠之 FME 措施，包含管制範圍、管制作業以及反應爐爐底目視檢查等。德國代表說明電廠經營者技術協會 VGB 於 1997 年出版「Prevention of Foreign Material Entry into Open Systems / Components of Nuclear Power Plants」，根據德國核能電廠之統計資料顯示在該指引發佈後，可看出異物入侵通報事件數量有明顯下降，建議各國參考該報告之措施。瑞典代表則介紹世界核電廠協會(WANO)有出版「Guidelines for Achieving Excellence in Foreign Material Exclusion (FME)」，此外，今年 10 月將在瑞典召開研討會議討論燃料失效議題，瑞典核電廠經營者與 SSM 皆會出席，與會者將分享美國、歐洲、瑞典之經驗，包含異物入侵管制，瑞典代表表示若有蒐集到新的資訊，將會於第 5 次會議報告。

- 圍阻體內氧濃度規定

針對各國 BWR 機組屬於 Mark I/II 及相似類型之圍阻體，在核反應器運轉期間會在圍阻體內充氦，降低氧氣濃度，若發生核子事故時氫氣濃度升高，可防止圍阻體內發生氫氣爆炸之情形。各國核電廠運轉規範規定整理如下表，原則上均會控制圍阻體內的氧氣濃度在引發氫氣燃燒之限值以下，至於允許機組進入功率運轉後與停機前多久需符合前項要求，各國皆有不同，芬蘭與瑞典對於機組停機前限制圍阻體內氧濃度含量之時間有較為嚴格的要求。美國代表另表示目前正在研議修改標準運轉規範，機組在 MODE 1(Power Operation)與 MODE 2(Startup)都需維持圍阻體內氧氣濃度在限值以下，但允許機組進入起動後與停機前 72 小時才需符合前項要求。

	運轉期間圍阻體內 氧氣濃度限值(O ₂)	圍阻體內氧氣濃度限值	
		機組進入功率運 轉後	機組停機前
美國	< 4%	24 小時	24 小時
臺灣	< 4%	24 小時	24 小時
瑞士	<4%	48 小時	24 小時
芬蘭	< 2%	24 小時	8 小時
瑞典	< 1%	24 小時	12 小時

- 具有抵抗事故能力之核燃料(Accident Tolerant Fuel, ATF)

此次會議安排由 NEA 核子科學委員會秘書 Mr Davide Costa 報告具有抗事故能力之輕水式反應器燃料專家組(Expert Group on Accident Tolerant Fuels for Light Water Reactors, EGATFL)之辦理情形，該專家組成立於 2014 年，有來自 14 個國家共 35 個會員組成，分為系統評估、護套與爐心材料、燃料概念三個工作小組，就輕水式反應器燃料相關組件如燃料、護套、控制棒、BWR 燃料匣等，就強化其抵抗事故能力方面，進行科學與技術資訊交流。所謂 ATF 是指相較於現今二氧化鈾與鋯合金燃料系統，能容許此類燃料有較長的時間可處於反應爐爐心嚴重事故情況下而維持其完整性，同時也進一步強化燃料在正常運轉與暫態時之效能，並相容現行核燃料循環相關規定例如運輸與貯存，對電廠經營者而言，亦可考量申請放寬喪失冷卻水事件(LOCA)引動緊急柴油機起動之時間。該專家組探討護套材質包含鋯合金表面鍍膜、先進鋼材(FeCrAl)、SiC、鋁合金等，此外也探討使用 SiC 作為 BWR 燃料匣材質。EGATFL 最終成果報告「State-of-the-Art Report on Light Water Reactor Accident-Tolerant Fuels」已完成，並於 2018 年 9 月公布於 NEA 網站(<https://oe.cd/2mL>)，該報告目的是供各國參考，以自行決定要採用何種策略發展 ATF 相關技術。

(2) BWR 管制工作組之工作計畫

分組長瑞典代表報告嚴重事故管理指引(Severe Accident Management Guideline, SAMG)問卷答覆蒐集與彙整情形，目前各國均已繳交問卷答覆內容，僅剩瑞士尚未提出。分組長報告三項答覆內容初步彙整比較情形：(1)電廠由使用緊急運轉操作程序(Emergency Operating Procedure, EOP)轉換進入至嚴重事故指引(SAMG)之條件，詳如下表；(2)用過燃料池救援措施是否有包含在 SAMG 內：德國、西班牙、美國、瑞典表示在 SAMG 有要求確保用過燃料池水位與溫度需維持在可接受標準內，芬蘭則並未列入 SAMG，我國相關規定則是列在斷然處置救援措施。(3) SAMG 法規要求：芬蘭法規有明定 SAMG 是基於事故徵狀需有對應的緩和措施，進入與離開條件，相關措施亦需被驗證與確認，西班牙法規也有要求，事故期間救援措施相關技術需經過驗證與確認。瑞典僅在高位階的法律有原則性要求，而美國與我國的 SAMG 屬於業主自行承諾事項，無明確法規要求，業者主要參考沸水式反應器業主組織(BWROG) EOP/SAG 作業指引。下次會議分組長將詳細彙整各項問題答覆內容提出說明，至於此項工作計畫之比對成果要採用何種型式製作成果報告亦需進一步討論與確認。

表 1、由緊急運轉操作程序進入嚴重事故指引之條件

反應爐降流區低水位(且無緊要爐心冷卻系統可用)	瑞典
緊要爐心冷卻系統停止運作時	瑞典
圍阻體內放射性活度高	瑞典
反應爐低水位超過 30 分鐘	芬蘭
反應器未成功急停(包含控制棒無法插入與硼液無法注入)	芬蘭
爐心溫度大於 336 °C 超過 10 分鐘	德國
乾井內局部劑量率大於 750mGy/h	德國
無法回復且維持 RPV 水位在最低蒸氣冷卻反應水位以上	美國、西班牙、臺灣
無法回復且維持 RPV 水位在噴射泵進口高度以上	西班牙
如果判斷確定正發生爐心熔毀時	美國、西班牙、臺灣

有關反應爐水位計之多樣性設計，此工作計畫之目的是要蒐集資訊，調查各國對於 BWR 反應爐水位計之多樣性設計要求，問卷調查重點如下：(1) 現況：量測 BWR 水位之主要方法、是否有多樣性的方法。(2)法規：是否有規定反應器重要參數之量測方法需有多樣性、相關法規是否有計畫要更新。(3)多樣性設計：反應爐水位量測之多樣性設計是否曾被討論或調查、是否有嘗試要導入反應爐水位量測之多樣性要求。(4)水位計量測準確性與可靠性：反應爐水位計運轉經驗、是否曾對水位計進行改善以解決量測準確性與可靠性。(5)管制情形：管制機關對於反應爐水位計多樣性設計之立場、管制機關與經營者是否就此案在進行討論。(6)研究：是否有任何關於 BWR 水位量測之研究計畫。此次會議已討論確認反應爐水位計之多樣性設計問卷題目，各國需於下次會議前就各項問題提出答覆說明。

(3) 討論 BWR 管制工作組關切之管制議題

有關本工作組所列 BWR 管制關切議題約 20 項，其中再循環泵速控制系統失效（電子式頻率控制）、圍阻體內氧濃度規定、主蒸汽管高輻射隔離功能等已於第 3，4 次會議進行討論。針對未列入工作計畫部份，再逐項討論是否有新的管制資訊需進一步關注，經初步檢視各項議題仍在處理中，其中福島核電廠事故後經驗傳承，雖然於 2011 年後已有很多工作組討論相關議題，此工作組成員仍建議可了解各國就 BWR 機組因應福島事件之改善措施，例如反應器壓力安全釋壓閥(Safety Relief Valve)改善增設電動式閥門，最後決議請各國先於下次會議提出福島事故後之 5 項實體改善案，再視情況是否將此案列為 BWR 管制工作組下一階段的工作計畫。

(4) 下次會議時間與地點

BWR 管制工作組每半年召開乙次會議，第 5 次會議已訂於 2020 年 3 月在法國巴黎舉辦。因西班牙代表已兩度無法參加 BWR 工作組會議，故 NEA 秘書提議詢問各國代表是否同意第 6 次會議在西班牙舉辦，工作組成員均同意此提議，並建議請 CSN 安排工作組成員參訪電廠，目前初步暫定該會議於 2020 年 9 月底召開。

	日期	地點
第 1 次會議	2018 年 3 月	瑞典
第 2 次會議	2018 年 9 月	法國巴黎
第 3 次會議	2019 年 3 月	瑞士伯恩
第 4 次會議	2019 年 9 月	法國巴黎
第 5 次會議	2020 年 3 月	法國巴黎
第 6 次會議	2020 年 9 月	西班牙 (暫定)

肆、心得與建議

此次參與 BWR 管制工作組會議之心得與建議，可歸納下列幾項：

1. 此次 BWR 管制工作組會議就嚴重事故管理指引、異物入侵管制、圍阻體內氧濃度、主蒸汽管高輻射隔離功能等執行方式深入地進行技術交流，可明顯發現各國安全管制原則相似，但在執行細節與規定仍有差異，相關資訊除可供我國了解各國就這些議題之管制現況與未來發展規畫，並有助於原能會研議精進核能安全管制作為之參考。
2. 有關各國報告近期運轉經驗與管制重點，例如緊急柴油發電機渦輪增壓器葉片異常、BWR 抑壓槽內層塗裝劣化、備用硼液控制系統之硼濃度過低等議題，建議可納入原能會現場視察查證項目，以確認機組運轉安全。
3. 此工作組提供我國與各國核能管制機關官員橫向技術交流的聯絡管道，此次會議期間，亦直接詢問瑞典代表我方關切之核能安全管制議題，以作為我國核能安全管制之參考。