

出國報告（出國類別：其他）

赴美國亞瑞華核能(AREVA NP)公司進行核電廠爐心設計分析稽查及議題討論

服務機關：核能研究所

姓名職稱：葉昭廷 副研究員

舒小恩 助理工程師

派赴國家：美國

出國期間：103 年 8 月 16 日~103 年 8 月 29 日

報告日期：103 年 9 月 24 日

摘要

國內核一、二廠均已進行了功率提昇計畫，運轉功率提昇後確保燃料完整性至為重要。美國亞瑞華核能公司（AREVA NP INC.）為核一、二廠目前的核燃料供應商，為確保運轉時燃料之完整性，在燃料製造過程及爐心佈局設計與安全分析，對燃料製造廠家進行縝密查驗至為重要，因此派員至亞瑞華核能公司協助台電公司進行稽查工作。

本次出差主要工作項目有四：(1)協助台電執行核一廠一號機第二十七週期及二號機第二十七週期爐心佈局設計稽查，並參訪燃料製造工廠、(2)瞭解 ACE 臨界功率關係式 (ACE correlation) 之後續處理狀況、(3)討論核電廠最近週期爐心追隨計算 MOC 之後 K 值攀升的現象、以及(4)瞭解廠家訂定 LHGR 限值的方法及 Multiplier 修訂之時機。

本次稽查檢視了相關計算書、相關程式計算 I/O 檔及分析指引(guideline)，審查結果顯示各項數值均符合台電公司要求及該公司內部設計規範，計算過程均依照分析指引執行。AREVA 亦安排於 8/25 上午參訪燃料束製造組裝工廠，詳細解說各項細節並解答疑惑。

在稽查期間，透過與 AREVA 專家們(Dang Patchana、Jeff Morris、Ken Greene、Jerry Ingham 及 Ali Zbib)面對面地討論及溝通，行前提出的議題及過程中發現的相關問題均已獲得明確的說明及答覆。因此，本次稽查之既定目標已順利達成。

關鍵字：臨界功率關係式、爐心佈局設計稽查、LHGR 限值。

目 次

摘要.....	i
一、 目的.....	1
二、 過程.....	2
三、 心得.....	16
四、 建議事項.....	18

一、 目的

美國亞瑞華核能公司（AREVA NP INC.）為國內核一、二廠目前的核燃料供應商，台電公司為確認亞瑞華核能公司相關爐心分析作業之安全與品質，每次爐心燃料填換必須派員至該公司查驗相關程序書及紀錄。本所長期協助台電核發處針對廠家每次爐心設計進行驗證分析工作，對爐心設計技術細節累積相當經驗，針對本次稽查週期（核一廠一、二號機週期二十七：CS1C27、CS2C27）在設計階段所衍生之問題與變更是否造成爐心中子與熱水流分析模式的影響，需作進一步釐清。同時，也必須瞭解廠家在分析模式內做了哪些改變，因此計畫委託單位乃邀請本組同仁擔任諮詢顧問，協助台電人員共同執行本次重要稽查工作。

國內核一、二廠均已進行了功率提昇計畫，本次出差亦配合台電委託計畫「核二廠中幅度功率提昇技術服務案」執行，針對運轉功率提昇後對爐心重要參數影響，進行查驗與評估，確保運轉時燃料安全。除了在燃料製造過程及爐心佈局設計與安全分析對燃料製造廠家進行縝密查驗，與 AREVA 核能專業工程師面對面討論有關分析技術議題亦是本次出差重要項目。討論之議題包括新版 ACE 臨界功率關係式(ACE correlation)之後續處理、核電廠最近週期爐心追隨計算 MOC 後之中子有效增殖因數（ K_{eff} ）攀升的現象、廠家有無變更慢速暫態安全分析之方法論或相關作法、以及了解廠家訂定 LHGR 限值的方法及 LHGR Multiplier 修訂之時機等，作為日後專題報告審查意見回覆之參考。

日本 311 福島核事故發生後，燃料池臨界安全議題受到關注，本次稽查燃料週期對應之燃料批次分別為 CS1R26、CS2R26，燃料廠家必須確認新燃料貯存在燃料池符合安全分析之允收準則（Acceptance Criteria）要求。核一、二廠燃料池格架都經過變更設計工程，且核二廠燃料池現狀同時存在著新舊不同規格的格架，上池擺置的格架亦有不同規格，均訂有不同允收準則，本次稽查也將特別審閱相關計算書與紀錄。

二、 過程

(一)行程

此次公差自 103 年 8 月 16 日起至 103 年 8 月 29 日止，共計 14 天，詳細行程如下：

月	日	星期	地點	工作內容	
				上午	下午
8	16~17	六~日	台北-李奇蘭	去程	
8	18	一	李奇蘭	稽查前會議，熟悉設備	稽查及研究相關問題
8	19	二	李奇蘭	LHGR 簡報及 討論 ACE 議題	稽查及研究相關問題
8	20	三	李奇蘭	稽查及研究相關問題	與工程師 Dang 討論
8	21	四	李奇蘭	稽查及研究相關問題	稽查及研究相關問題
8	22	五	李奇蘭	稽查及研究相關問題	與工程師 Dang 討論
8	23~24	六~日	李奇蘭	資料整理	
8	25	一	李奇蘭	參訪燃料製造廠	與工程師 Dang 討論
8	26	二	李奇蘭	整理稽查結果	總結會議
8 9	27~29	三~五	李奇蘭-台北	回程	

(二)出國紀要

本次參訪 AREVA 公司主要任務為稽查核一廠一號機第二十七週期(CS1CY27)及核一廠二號機第二十七週期(CS2CY27)爐心佈局設計，本所指派爐心分組的副研究員葉昭廷及助理工程師舒小恩等兩員進行協助，而同行的台電公司人員則為這趟行程的領隊林貴清課長及負責主要稽查業務的呂靜美小姐。

以下說明此次稽查工作紀要：

1. 稽查前會議

在稽查前會議中，AREVA 公司參與人員包括專案經理 Kris Mitchell 及 Robert Follett，中子分析組：經理 Daniel Jordheim、工程師主管 Dang Patchana 及工程師 Ben Nelson、Paul Smith，安全分析組：經理 Robert Schnepp、工程師主管 Jerry Ingham 及工程師 Dazhi Wang、Stone Luo，材料與熱力學組：經理 Jeff Morris，機械分析測試組：工程師主管 Ali Zbib 等人。其中專案經理 Bob (Robert)是由燃料製造工廠調升，熟稔整體製造流程。稽查前會議互相介紹雙方人員，並針對稽查相關議題、行程與時程進行討論及溝通。

2. 審閱資料

AREVA 公司提供 CS1C27 計算書共 20 本，CS2C27 計算書共 23 本，後又追加 CS1R26 及 CS2R26 cross-section library generation 計算書 2 本、Cold Critical Calculations 計算書 2 本、CS1C26 Safety Limit Analysis 計算書 1 本、multi-cycle fuel management analysis 報告 2 本。全部計算書陳列如表 1。此外，AREVA 公司還提供中子分析指引共 30 本、安全分析指引共 13 本、程式使用手冊 5 本、COLR 報告 2 本、機械設計報告 8 本、operability assessment 報告 2 本、PPD 報告 2 本、reload licensing 報告 2 本、topical report 8 本及 work plan 報告 2 本，最後還有訓練及工程師工作經驗相關文件共 7 本、WORK_PRACTICES 資料 4 項。

3. 議題探討

AREVA 公司針對本次稽查行前提出的議題與要求，由熱機械材料經理 Jeff Morris 介紹燃料棒分析方法論（包括 LHGR 限值的訂定），由負責撰寫臨界功率關係式程式之資深工程師 Ken Greene 說明 ACE/ATRIUM-10 critical power correlation 相關議題，由安全分析工程師主管 Jerry Ingham 說明 RLA 相關議題，其他剩餘議題則由中子工程師主管 Dang Patchana 進行回覆。議題與回覆內容見表 2。

4. 問題回覆

針對前述某些議題，另行提出數項相關問題。AREVA 公司於 8/20(三)下午、8/22(五)下午及 8/25(一)下午，由中子工程師 Dang Patchana 進行回答。完整問題與回覆內容請見表 3。

5. 參訪燃料製造廠

AREVA 公司排定於 8/25(一)上午參訪燃料製造工廠，由專案經理 Bob Follett 帶領大家參觀。因 Bob Follett 先前任職於工廠，故對工廠的生產動線與工作人員都非常熟稔。本次一共參訪四個地方，包括鈾轉化廠、燃料製造廠、零件加工廠以及燃料測試實驗室。簡介如下：

(1) 鈾轉化廠：AREVA 公司的鈾轉化廠有兩種，分別為濕式轉化廠及乾式轉化廠。

濕式轉化廠利用化學藥劑將 utility 買到的鈾料溶解，再轉化為適合用來燒結為燃料丸的粉狀型式，而乾式轉化則不需經過溶解的步驟。雖然乾式轉化的效率較高，但由於乾式轉化受限於轉化前鈾料型式，故濕式轉化仍是必要的。

(2) 燃料製造廠：燃料製造廠負責將燃料丸裝填至燃料護套中，再將燃料護套集結成燃料束。由於本過程須確保燃料丸及燃料束的排列不能出錯，故十分重視燃料裝填的部份及燃料裝填完畢後的檢測部份。燃料裝填時，只有通過考核的工作人員才可以進入地上有紅線圍繞的紅線區(foreign material exclusion zone, FMEZ)，常人不得進入。而裝填完畢的檢測用 Scanner 是由資深工程師負責操作，藉由中子及加馬射線來分辨燃料束軸向的濃縮度，藉以驗證燃料軸向裝填的正確性。燃料製造廠整體環境清潔明亮，材料、器具也都陳列整齊。除了紅線管制，地上還繪有開門區、警戒區(黃線)等標示，管理良好。

(3) 零件加工廠：燃料束中某些特殊零件是在別處製造後送到 AREVA 公司加工，如燃料束底座、碎片濾網等。送過來的零件於此處拋光、琢磨，可以看到加工前與加工後之清楚差異。

(4) 燃料測試實驗室：任何新開發的燃料與零組件都會在此實驗室進行模擬測試(僅針對非照射前的測試)。

因先前曾有發生核二廠於新燃料接收開箱時有 spacer 異常的情形並退還 AREVA，Bob 表示 AREVA 公司將於新燃料裝箱起運前做錄影存證以證明異常情形並非出自 AREVA 公司。

6. 稽查總結會議

總結會議由稽查領隊林貴清課長代表本次審查團隊感謝 AREVA 公司的安排及協助，並將此次稽查中發現之各項計算書或報告的缺失或建議向 AREVA 公司提出，並由 AREVA 公司回應且提出改善辦法。與會人員與稽查前會議相同，各領域負責代表皆有出席。本次稽查並未發現 AREVA 公司的爐心設計分析流程及方法有重大缺失，僅針對 2 個問題提出建議，以供參考。針對這些建議，AREVA 公司都願意在稽查之後立即改善，相關建議請見表 4。

表 1 AREVA 公司所提供之計算書資料

CS1C27 計算書 (Chinshan Unit 1 Cycle 27 Reload Licensing Analysis)	
32-9180652-000	Chinshan CS1R26 (CSH1-27) Exposure Dependent Heatup Analysis
32-9180658-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Input Decks and Auto_DCPR Scripts
32-9188381-000	CFD Evaluation of inadvertent initiation of HPCI for Chinshan: 100% power 79% flow
32-9191689-000	Chinshan Unit 1 Cycle 26 Core Follow and Projection
32-9191692-000	Chinshan Unit 1 Cycle 26 Target Rod Patterns for SPU Operation
32-9193638-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Fuel Cycle Design
32-9193705-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Pellet-to-Cladding Gap Heat Transfer Coefficients
32-9193707-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Feedwater Controller Failure With No Bypass
32-9193708-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Inadvertent Startup of the HPCI Pump Analysis
32-9193709-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 ASME Overpressurization Event Analysis
32-9193710-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Safety Limit Analysis
32-9193711-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Power History Verification
32-9193712-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 DIVOM Analysis
32-9193713-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Flow-Dependent MCPR Limits
32-9193714-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Power-Dependent MCPR Limits
32-9193715-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Power-Dependent LHGR Multipliers
32-9194631-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Control Rod Drop Accident Analysis
32-9194632-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Stability Analysis
32-9194633-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Disposition of Events
32-9196287-000	Chinshan Unit 1 Cycle 27 Long Term Stability Solution Option III OPRM Setpoint Calculation

CS2C27 計算書 (Chinshan Unit 2 Cycle 27 Reload Licensing Analysis)	
FS1-0012706 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Pellet-to-Cladding Gap Heat Transfer Coefficients
FS1-0012707 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Input Decks and Auto_DCPR Scripts
FS1-0012708 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Feedwater Controller Failure With No Bypass
FS1-0012709 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Inadvertent Startup of the HPCI Pump Analysis
FS1-0012710 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 ASME Overpressurization Event Analysis
FS1-0012713 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 DIVOM Analysis
FS1-0012714 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Safety Limit Analysis
FS1-0012715 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Flow-Dependent MCPR Limits
FS1-0012716 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Power-Dependent MCPR Limits
FS1-0012717 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Power-Dependent LHGR Multipliers
FS1-0012718 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Power History Verification
FS1-0012719 Rev 1	Chinshan CS2R26 (CSH2-27) Exposure Dependent Heatup Analysis
FS1-0012705 Rev 1	Chinshan CS1R27 (CSH1-28) Exposure Dependent Heatup Analysis
FS1-0013262 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Fuel Cycle Design
FS1-0013263 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Control Rod Drop Accident Analysis
FS1-0013264 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Stability Analysis
FS1-0013265 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Long Term Stability Solution Option III OPRM Setpoint Calculation
FS1-0013266 Rev 2	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Disposition of Events
FS1-0013878 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Flow Run-up and LHGRFAC _f Analysis
FS1-0013879 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 LFWH Analysis
FS1-0013880 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Control Rod Withdrawal Analysis
FS1-0013881 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Fuel Mislocation Analysis
FS1-0013882 Rev 1	Chinshan Unit 2 Cycle 27 Fuel Misorientation Analysis

表 2 行前議題與回覆

No.	Question	Response
1.	Some abnormal results between r0 and r1 of ACE correlation observed by INER for a specific case of KS1CY24 at 6.6 GWD/MTU.	首先由本所葉昭廷副研究員簡報 ACE revision 0 與 revision 1 兩版本差異與造成某些特殊結果差異較大之可能原因。 針對這個議題，AREVA 中子分析工程師主管 Dang Patchana 表示，在燃料標結束後 AREVA 公司就沒有使用 R0 版本，經與 INER 溝通後指出該兩版本的差異在於 additive constants，這個差異造成 CPR 的變化是預期的行為，此問題亦特別安排在 8/22（二）上午邀請負責撰寫臨界功率關係式程式之資深工程師 Ken Greene 一起參與討論，Ken Greene 認同本所的發現與說明，唯本所建議修正方法他認為存在與熱力參數相互關聯，過於複雜，可行性將再仔細研究，同時大家也都同意新版本（revision 2）應不存在類似議題，本所將來拿到 revision 2 程式碼後將進一步確認。
2.	Can we obtain the newest electronic subroutines of the modified ACE correlation while we stay in AREVA?	中子分析工程師主管 Dang Patchana 於 8/22（二）上午表示，我們所需要的最新版副程式要等到原能會針對 ACE 修訂版核准後才會提供給台電公司，對於之後欲使用新版 ACE 的週期，AREVA

		公司也是經台電公司取得原能會核備後，才會進行所有爐心初始設計之分析計算。
3.	How to verify the criticality safety of lower and upper fuel storage pools for Atrium-10? Please provide the criticality analysis reports and the calculation notes for KS and CS	中子分析工程師主管 Dang Patchana 表示，AREVA 公司是將計算所得最大 K-infinity 值與用過燃料池格架製造商提供的邊界 K-infinity 值曲線進行比較，以確認用過燃料池是否符合臨界安全分析的標準。核一廠的實證過程已被概述在 A. L. B. Ho (曾任職於 Framatome 的資深工程師)給 A. H. Jeng (核子運轉部門的主任)的摘要中，可參考 Holtec 報告 (HI-971854)；核二廠的實證過程是與台電公司提供的邊界曲線進行比較，台電公司提供的數據源自於(1) 1994 年 Edward KM Chen 寫給 R.B. Stout 的信，及(2) 2003 年 ENSA 針對核二廠發行的用過燃料池第二次格架的安全分析報告。 其中核二廠燃料池存在新舊不同規格格架，也訂有不同允收準則 (Acceptance Criteria)，舊格架允收準則即如上述(1)1994 年 Edward KM Chen 提供給 AREVA，而新格架允收準則即如上述(2)

		2003 年 ENSA 公司第二次格架的安全分析報告所訂定。AREVA 實證方法是計算標準冷態爐心幾何 (Standard Cold Core Geometry, SCCG) 之最大 K-infinity 值與二允收準則較保守者相比，因此符合規範要求。
4.	How do you quantify the LHGR limit? (How to determine Mechanical Design LHGR Limit and PAPT LHGR Limit?)	AREVA 公司在 8/22 (二) 上午安排材料與熱力學組的經理 Jeff Morris 簡報「燃料棒分析方法」，簡報內容包含 LHGR 限值及 AOO 限值制訂的目的及方法；LHGR 限值是中子分析組和材料熱力學組之間的一個折衷結果，因為對於中子設計而言希望定訂一個較高的限值以利於設計的彈性、易於運轉及獲取燃料較高的經濟效益，但以力學的觀點則是傾向定訂一個較低的限值以擁有較大的設計餘裕。功率的歷史效應是由 LHGR 限值產生的，並由燃料熱機械性能去驗證不超過設計的標準。
5.	In what situation you will modify or revise the LHGR multiplier?	中子分析工程師主管 Dang Patchana 表示，LHGR 調降因子包含 LHGRFAC_f 及 LHGRFAC_p，其修訂的時機在於電廠處於很難運轉的狀態，特別是在非額定功率條件下被調降因子限制時，或者是預

		期暫態發生之 LHGR 限值有變動的時候。
6.	Based on the calculated results of the core follow in SIMULATE-3, the trend of Keff values go upwards after MOC in recent cycles for CS. Especially the Keff reached to 1.004 and even close to 1.005 at EOC. Do you have any comment on this phenomenon?	中子分析工程師主管 Dang Patchana 表示，MB2 的分析結果也有相似的趨勢，此現象不易了解，可能是軸向功率分布向上偏移及 Gd ₂ O ₃ 燒盡的燃耗變長所致。

表 3 其他相關問題與回覆

No.	Question	Response
1.	Please provide the X/S library generation notebooks and electronic I/O files?	已提供下列兩本計算書及 I/O 電子檔以供查核。 (1) 32-9164508, Chinshan Unit 1 Fabrication Batch CS1R26 ATRIUM-10 Cross-Section LIB Generation, FUEL RQ Uranium Requirements, and Channel Bow Colorset Analysis. (2) 32-9179604-001, Chinshan Unit 2 Fabrication Batch CS2R26 ATRIUM-10 Cross-Section LIB Generation, FUEL RQ Uranium Requirements, and Channel Bow Colorset Analysis.
2.	Please provide the cold SDM test calculation notebooks that we need to check the cold-target eigenvalue whether updated?	已提供下列兩本計算書以供查核。 (1) 32-9103372-000, Chinshan and Kuosheng Cold Critical Calculation. (2) FS1-0015444 Rev 1, Chinshan Cold Critical Data and TIP Statistics. 第(1)本計算書包含 CS1CY23~24、CS2CY22~23、KS1CY19~20 及 KS2CY18~20 的分析計算，第(2)本計算書涵蓋至核一廠兩部機週期 26 的計算結果；中子分析工程師主管 Dang Patchana 表示，爾後新週期的冷爐臨界

		K 值僅需確認該計算結果是否在目標 K 值可接受的範圍內，即不須重新考量冷爐目標 K 值的訂定，且每 5 個週期才會撰寫一份計算書。
3.	The MCPR_p for all core flow, but why the limits need to divide HFlow and LFlow in MB2?	中子分析工程師主管 Dang Patchana 表示，該限值的設定確實不須有流量的區分，但電廠實際運轉時也不會用到該設定的限值，故不影響電廠正常運轉。
4.	Additional questions on LHGR limits	
(1)	Which events need to be checked for the LHGR multiplier?	中子分析工程師主管 Dang Patchana 表示，LHGRFAC _f 直接由上升流量暫態事件定義，而 LHGRFAC _p 則是每個暫態事件都需確認其保守度。
(2)	How to check the over-power > 1.35 during transient?	中子分析工程師主管 Dang Patchana 表示，暫態發生後的 LHGR 值不可超過 LHGR 限值的 35%。
(3)	Does it focus on final MFLPD > 1.35 or the variation ratio in MFLPD greater than 35%? Which one is more conservative?	中子分析工程師主管 Dang Patchana 表示，AREVA 是將暫態事件發生前後的 MFLPD 比值小於等於 1.35 當成標準，以確認是否符合 AOO LHGR 限值。

表 4 總結會議建議事項

Item	Content
Opening remarks	1. Our Appreciation • Arrangement of this audit (office, accommodations, transportation, activities for both business and social, etc.) • Working environment (computer access and refreshments, etc...) • Specific discussions of revised ACE correlation, channel bow measurement result, and plant Tours including questions and answering, etc... • Our special thanks to Robert, Jerry, and Dang 2. First, we appreciate your kindly help for this audit. Without your help, we cannot get such positive result. 3. Now, I would like to say something about this audit (including their suggestions). During the audit, the questions or comments from TPC are solved. Most of the CS1CY27 and CS2CY27 calculation notebooks are reviewed. There is no finding, however, there are 2 suggestions made by my colleagues. These suggestions are for the purpose of improving the readability of the reports and the notebooks. There is no impact on the analysis results.
Suggestion	1. We understand usually X/S library was created in Multi-cycle analysis (MCA) which was performed much earlier before fuel cycle design. The notebook and electronic I/O files of MCA are probably missing in the audit list. We suggest that please put the MCA data into the audit list in the future. 2. Channel measurement result in Susquehanna 2, shows that Zr-4 channel is better than Zr-2 channel and it is very important for TPC. According to Article 11.1 of the Fuel Fabrication Contract

	between AREVA and TPC, AREVA shall provide to TPC, at no additional cost, the results of any post-irradiation examinations conducted on fuel at AREVA's other customers' plants that is similar in design to Nuclear Fuel provided or to be provided under the Contract. So please send the measurement report to TPC as long as the report is issued formally.
General Conclusion	We do not find any problem with the CS1CY27 and CS2CY27 reload licensing analyses (neutronics and safety). Thank you very much for making this audit successful.

三、心得

1. AREVA 公司在進行每個週期的爐心設計時，均須執行大量的分析及計算，因此他們針對相關分析訂定標準作業程序(SOP)，並將大部分的計算施以自動化處理。這樣的作法，除了可節省大量的人力工時，更可避免因人為疏失而得到錯誤結果。以另一個角度來看，由於施行 SOP 及自動化，以致稍具專業背景之工程師即能執行分析計算，此時一旦輸入資料或相關設定有誤，缺乏專業經驗與能力之工程師可能無法對結果進行判讀，更遑論要發現錯誤並加以訂正。因此，在對分析及計算施行 SOP 及自動化的同時，亦必須加強分析計算執行人員及品管人員之專業訓練，如此才能相輔相成，進而得到最大的成效。
2. 台電公司每年皆會針對核一廠或核二廠的爐心設計分析進行例行性稽查，其主要工作就是根據填換爐心設計審查查核表完成相關查驗。這份審查查核表所列舉之項目林林總總，不下數十項，並且其中包含了許多重要的中子分析及熱流安全分析參數，為了完成這份審查查核表的查驗，常要耗費一半以上的稽查時間，以致稽查人員所剩時間無幾，僅能針對少數議題或技術，來跟 AREVA 公司的工程師進行探討或學習，而很難有較深入的研討，這對難得的稽查機會而言，實在是相當可惜的一件事。倘若能改變稽查在以往的例行性作法，先在行前針對審查查核表中可完成之項目進行查驗，則至美國 AREVA 公司時只須查驗剩餘部分項目，如此一來，將可節省更多查驗時間，使得稽查人員也可利用這些較充裕的時間，挑選某些特定的議題及技術進行深入性的探討及學習，相信這樣的作法應能使稽查工作收到更大的成效。
3. BWR 爐心設計涉及的領域相當廣泛，稽查時大都集中在中子分析及熱流安全分析兩個領域之上。若要對整體爐心佈局系統進行詳細審查，勢必要對這兩個領域夠熟悉，由於本分組人員對熱流安全分析領域僅有一定程度的了解，以致在耗費較多時

間之後，也不見得能有相對等的收穫。因此，若能有熟稔熱流安全分析領域的專家同行，相信在審查資料或學習時都更能收事半功倍之效。

4. 參訪期間多次與中子分析工程師主管 Dang Patchana 討論，過程中發現與 Dang 討論各項議題時，他隨時都可提供相關數據說明，可見 Dang 對任何與中子相關的分析計算具備相當完整的資料庫，以備不時之需，這也是為何他可以輕易的應答各種突如其來的議題，這種研究精神非常值得學習與效法。

四、 建議事項

本次赴美國 AREVA 核能公司出國公差建議事項如下：

(一) 訂定標準作業程序並實施自動化

AREVA 公司針對相關分析已有一套標準作業程序(SOP)，並將大部分的計算施以自動化處理，這項作法相當值得本所學習。相對來說，在對分析及計算施行 SOP 及自動化的同時，亦必須加強分析計算執行人員及品管人員之專業訓練，如此才能避免因使用不當輸入資料而得到錯誤結果的情況發生，進而確保相關計算書及報告的品質。

(二) 儘快取得臨界功率關係式(ACE correlation)之相關程式

AREVA 公司已於 2014 年 3 月正式取得 USNRC 對於 ACE Revision 2 的 approval，但在參訪期間 AREVA 公司慎重表示，新版 ACE 必須經由台電公司送審原能會並取得核發之執照後，廠家才會將相關程式釋出給台電公司，並至電廠進行臨界功率關係式的更新。因此需持續關注台電公司送審及取得原能會核備的時程，以便及早取得相關程式並為後續平行驗證計算及其他安全分析提早做準備。

(三) 派遣熱流分析人員參與稽查

BWR 爐心設計涉及中子分析及熱流安全分析的領域，由於本分組人員對熱流安全分析領域僅有一定程度的了解，以致在相關查核項目、議題及技術上得耗費更多時間，而且成效也不彰。因此，若有熟悉該領域的專業人員參與，不僅可大大提升稽查的速度與深度，更可確保稽查成果的品質。