

LM-EI-89-01

龍門核能電廠第一次專業團隊視察報告

行政院原子能委員會
核能管制處

中華民國八十九年二月

目 錄

壹、前言.....	1
貳、視察範圍與方式.....	1
參、視察結果.....	2
肆、結論.....	7
伍、附圖.....	12
陸、附件.....	16

壹、前言

龍門核能電廠一、二號機於 88 年 3 月 17 日取得本會核發之建廠執照後，即全面展開建廠工程，並於 88 年 3 月 31 日執行一號機反應器基座第一區塊之混凝土澆置作業。目前一號機反應器基座已完成第六區塊混凝土澆置及進行上層(七至十二區塊)鋼筋之綁紮，而二號機已完成第五區塊混凝土澆置，正進行第六區塊鋼筋之排紮(請參閱圖一、二)。由於反應器基座係重要安全結構，而且目前之進度正是執行相關作業評估之較佳時機，因此本會於八十九年元月廿五日、廿六日執行兩天之專業團隊視察。本次視察由核管處陳處長率隊，整個視察團隊包括沈副處長、陳振川教授(台灣大學)、黃兆龍教授(台灣科技大學)、林志棟教授(中央大學)、陳建源、孫儒宗、劉允平，視察總人力為 14 人天，詳細視察計畫及專業團隊視察審查評估表如附件一。

貳、視察範圍及方式

本次視察範圍及方式包括：

一、反應器廠房結構混凝土澆置品管作業簡報及

討論：此部份係針對混凝土製造品質管制、混凝土澆置作業品質管制、檢驗及品管人員資格與訓練等項，由台電公司提出說明，並由專業視察人員提出審查意見，並交換技術觀點，以達到提升施工品保共識，落實達成品質管制之目的（請參閱圖三、四）。

二、品管文件審查：包括審查反應器廠房混凝土施工品管計畫、混凝土澆置品管計畫、混凝土材料及配合比例設計試驗報告、反應器廠房水泥特性測試報告等，以證實其符合品保要求（請參閱圖五、六）。

三、現場作業之巡視及查證：包括評估混凝土拌合場及混凝土試體養生實驗室之作業及品質管理、查驗鋼筋加工場作業、鋼筋續接器加工、鋼筋儲存，以及赴一、二號機反應器廠房巡視結構鋼筋排紮、混凝土澆置層現況，並檢視混凝土模擬澆置測試塊之混凝土界面等，以證實其作業品質符合品管要求（請參閱圖七、八）。

參、視察結果

經過團隊視察成員之專家群，詳細的審查相關品管

作業文件，以及現場作業評估與查證後，就審查意見、整體作業總評與建議事項等三方面，列述如下：

一、審查意見

(一)陳振川教授：

- 1.預拌場設備優良，惟限於目前供料方式，僅於某特定期間大量供料，對機械運作、人員操作與品質穩定性會有影響，如何加強平時之訓練與管理以為因應，請檢討改進。
- 2.骨材、飛灰、化學摻料之料源管制與品管應透過統計分析，檢討改進以確保品質。
- 3.宜從配比檢討、施工程序，強化巨積混凝土施工之溫度控制能力。目前所進行 Mockup test 無法提供溫升資訊，必要時應於實體施工時做溫升控制試驗檢討，以提升應變能力。
- 4.921 大地震影響與未來應變作業，請檢討。
- 5.混凝土 90 天設計強度為 280kg/cm^2 ，一般試驗抗壓強度平均達 460kg/cm^2 ，宜從混凝土設計之耐久性與體積穩定性角度，再加以檢討。
- 6.體積穩定性(潛度、乾縮)問題可反應混凝土配比品質問題，宜再依據工程實際所得之數據審慎檢討是否應再進行試驗探討。

(二)黃兆龍教授

核能電廠之安全性及耐久性為重要之事項，宜全面重視之，以下數項建議請參考。

- 1.整體設計品質假設為均質場；如何確保均勻一致之品質，相當重要，宜提出由料源、製程至完成品質之確認工作方案與計劃。並應依據 ISO 之要求執行控管(點線面體考量)。
- 2.整體施工品質之分析及評估工作應更詳實，並定期將品質資料資訊化，並將品質資訊回饋工程施工上，此方面資訊包括混凝土配料、拌合料、鋼

筋。

- 3.基於體積穩定性之考量，宜重視配比設計，例如拌合水量。另外亦可以考量降低水泥用量，以減少水泥水化熱、硫酸鹽膨脹、鹼骨材反應之影響，理想值建議為 $f'c$ 除以 20psi/kg 水泥為原則，並適量添加飛灰、爐石等添加劑。
- 4.核四廠地處海域環境，鋼筋防蝕必須依據 ACI 1995 最新規範，水膠比 $(W/C+P)$ 小於 0.4，抗壓強度大於 350kg/cm^2 (56 天或 91 天) 280kg/cm^2 (28 天) 但 用水量宜考量低於 150kg/m^3 。
- 5.核能電廠基座之耐久性壽命，應至少在 50 年以上，請提出相關設計之說明。
- 6.施工品質應建立完整之量化資訊，繪製 $\bar{X}$ -R 圖形，並適時回饋修正原設計規範，不斷 PDCA (Plan Do Check Action) 精進。
- 7.透明化及數據化的統計品管資訊可以保持整體工程品質，請加強之。
- 8.混凝土表面乳沫宜清除，鑿除之處理時宜以水刀清除，並修正配比降低水量及水泥量，可以提高坍度。
- 9.預拌混凝土生產前一個月應有均勻性及穩定性測試，俾建立作業默契。
- 10.應以「苟日新，日日新，又日新」的理念，不斷推動教育訓練、檢討改良，施工處與現場工程作業人員宜建立工程團隊之整體默契及建立團隊責任及榮譽感。

(三)林志棟教授

- 1.文件紀錄有關的結構之混凝土、鋼筋等，基本上沒問題。
- 2.相關的品管計畫、施工計畫、配比計畫界面部份應澄清。
- 3.反應器廠房混凝土施工品管計畫，一號機及二

- 號機之版次應視實際狀況加以修正。
- 4.預拌混凝土場之料源基本資料庫，未有明確建檔。宜建立樣品室，粒料基本資料應符合 ASTM C39 要求。
 - 5.預拌場、鋼筋供應廠之評鑑制度已初步建立，宜就執行面之落實再加強。
 - 6.預拌場出料單應符合 ASTM C99 之規定，配比資料庫應建立，並隨環境溫度調整。
 - 7.混凝土抗壓強度評估應依 ACI214 之規定，執行全體變異、組間變異及組內變異分析。
 - 8.ACI 檢驗員及試驗員之 LI 及 L 之職責應有適當區隔，其落實度請再確認及澄清。
 - 9.台電之混凝土測試實驗室宜申請 CNLA 認證。
 - 10.針對本工程之特色，應定期整合現有人力，如承包商工地主任(營建署認定) 品管工程師(公共工程委員會認定)成立技術委員會及品管委員會，提升工程施工技術水準，以確保施工品質。
 - 11.諸如混凝土設計規範及混凝土施工規範等，相關的參考資料並不夠完整，應補充。

二、整體作業總評

(一)陳振川教授

- 1.預拌場、施工單位、業主在團隊能力提升與合約管理方面可再檢討提升，特別是在品管作業方面。
- 2.各單位均很投入，設備頗佳，宜再檢討如何配合工期與工作量，適時加強訓練提升團隊力量。

(二)黃兆龍教授

- 1.整體品質良好，惟應整合業主、承包商、預拌

場成一完整工程團隊，不斷精進改良，並隨時建立資料庫，使品質透明化。

- 2.工程品質耐久性應重視，並建立壽命設計之觀念，此方面目前較欠缺，宜再改善。

(三)林志棟教授

- 1.工程施工環境在業主之主導下，已達一定之國際水準。由於核能電廠之品保方案較一般公共工程之水準更高且更嚴格，對新亞建設公司及信南公司而言，在人力、物力上資源充沛。
- 2.整體而言，預拌場在硬體方面較軟體為優，但感覺應變能力較差，未有應變措施計畫。
- 3.鋼筋加工廠一貫式作業令人印象深刻，而鋼筋載剪力機之噪音及振動，應可再改良降低，以確保鋼筋品質。續接器之工廠加工部份，設備優良，但成效如何評估及自主檢查表應落實。
- 4.核島區之鋼筋綁紮及預拌混凝土施工澆置皆達到一定水準。

三、建議事項

(一)陳振川教授

- 1.中國土木水利工程學會剛出版(科技圖書)之403-88 鋼筋混凝土施工規範可供參考，用以檢討及改進目前之作業方式。
- 2.施工單位與營造廠應再加強混凝土施工專業訓練，增加品管與施工能力，提升工程經驗。
- 3.混凝土配比宜再檢討，增加流動性，以利密集鋼筋施作。

(二)黃兆龍教授

- 1.建立完整資料庫，保留記錄，傳承經驗。
- 2.落實整體品質，建立品質保證標準作業程序。
- 3.收集核一、二、三廠工程品質資訊，回饋核四工程規範。
- 4.工程品質宜由點線面體全方位考量，保障核電

廠完美之品質。

- 5.教育訓練建立共識(業主、承包商及拌合場三方一起執行)。

(三)林志棟教授

- 1.應熟讀 ACI、ASTM、CNS、ASME 之相關規範及標準，尤其在建立程序書時，宜將此規範及標準本土化。
- 2.預拌混凝土及鋼筋加工場應採用統計分析方法及品管等方法，以全面將品質特性定量分析，並進行檢驗及管制工作。
- 3.施工單位對新進人員訓練，應有全盤計劃，無論監造單位、施工廠商針對供應商或施工之領班及其協力廠商，宜加強在職教育及觀摩。
- 4.「品質看得見，過程是關鍵」，施工各階段之記錄應配合行政院公共工程委員會之施工品管管理制度作業要點，全面落實三級品管制度。

肆、結論

在台電公司之主導下，龍門核電廠工程施工環境，已達到一定之國際水準。而反應器廠房結構混凝土與鋼筋綁紮整體施工品質，亦相當良好，惟部分作業上仍尚有精進之空間，有關重要之視察結論，整理如下：

一、混凝土設計及製造品質管制方面

- 1.混凝土之整體設計品質係假設為均質場；因此如何確保均勻一致之品質，相當重要，宜提出由料源、製程至完成品質之確認工作方案與計畫。並要依據 ISO 要求執行控管(點線面體考量)。骨材、飛灰、化學摻料之料源管制與品管應透過統計分析，檢討改進以確保品質。
- 2.應從配比檢討、施工程序，強化巨積混凝土施

工之溫度控制能力。目前所進行 Mockup test 無法提供溫升資訊，必要時應於實體施工時做溫升控制試驗檢討。

3. 混凝土 90 天設計強度為 280kg/cm^2 ，一般試驗抗壓強度平均達 460kg/cm^2 ，宜從混凝土設計之耐久性與體積穩定性角度，再加以檢討。
4. 體積穩定性(潛度、乾縮)問題可反應混凝土配比品質問題，宜再依據工程實際所得之數據審慎檢討是否應再進行試驗探討，並進一步再檢討混凝土配比，增加流動性，以利密集鋼筋施作。
5. 預拌混凝土場之料源基本資料庫，未有明確建檔。宜建立樣品室，粒料基本資料應符合 ASTM C39 要求。
6. 預拌場出料單應符合 ASTM C99 之規定，配比資料庫應建立，並隨環境溫度調整。
7. 預拌混凝土及鋼筋加工場應採用統計分析方法及品管手法，以全面將品質特性定量分析，並進行檢驗及管制工作。
8. 鋼筋截剪機器之噪音及振動應可改良降低，以確保鋼筋品質。續接器之工場加工部份，設備優良，但其成效及自主檢查表執行應再評估落實。
9. 預拌場硬體方面較軟體為優，但感覺應變能力較差，請加強建立應變措施計畫。

二、混凝土試體實驗室作業方面

1. 混凝土抗壓強度評估應依 ACI214 之規定執行全體變異、組間變異及組內變異分析。
2. 施工處之混凝土測試實驗室宜申請 CNLA 認證。

三、檢驗及品管人員資格與訓練方面

- 1.ACI 檢驗員及試驗員之 LI 及 L 之職責應區隔，其落實狀況請再評估及澄清。
- 2.預拌廠設備優良，惟限於目前供料方式，僅於某特定期間大量供料，對機械運作、人員操作與品質穩定性會有影響，宜再檢討如何配合工期及工作量，以及如何加強平時之訓練與管理以為因應。
- 3.施工單位與承包商應再加強混凝土專業訓練，增加品管與施工能力，提升工程經驗。對新進人員訓練，應有全盤計劃，對供應商或施工之領班及其協力廠商，宜加強在職教育及觀摩，並整合業主、承包商成一完整工程團隊。

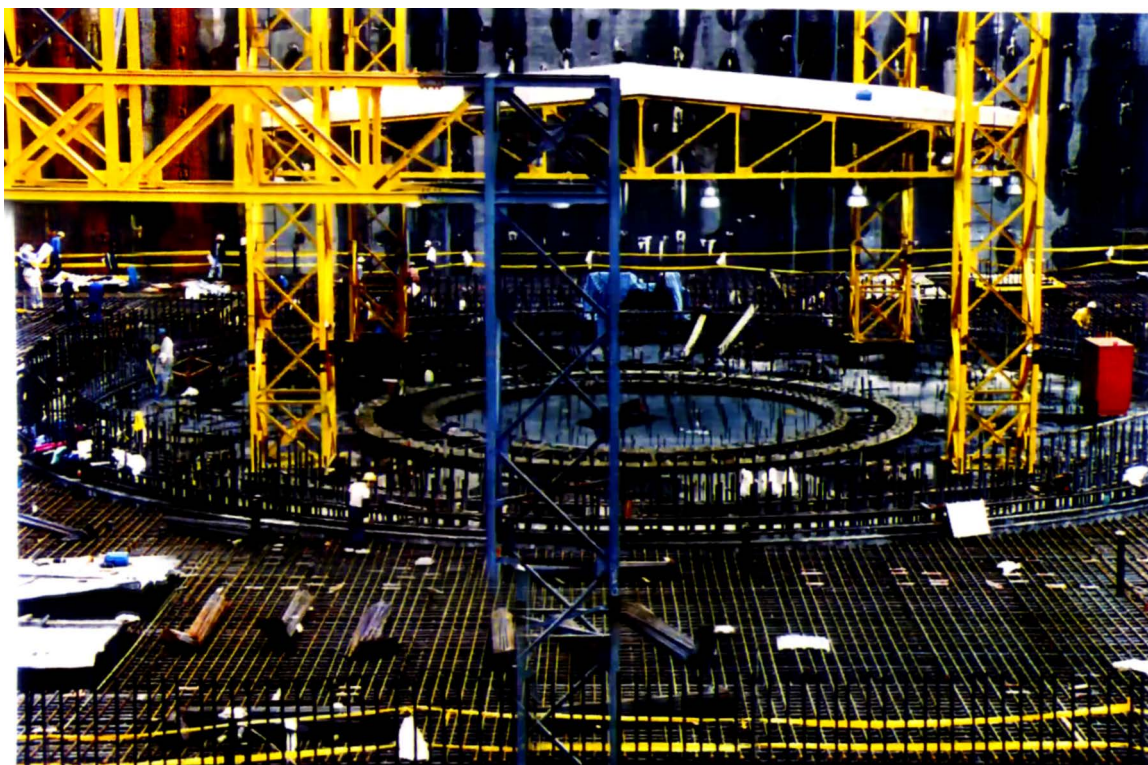
四、建議事項方面

- 1.體積穩定性之考量宜重視配比設計，依品管紀錄顯示目前用水量太多(約 200kg/m^3)，建議拌和水量不宜超過 150kg/m^3 ，並且審慎考量是否宜降低水泥用量以減少水泥水化熱、硫酸鹽膨脹、鹼骨材反應之影響，其理想建議值為 f'_c 除以 20psi/kg 水泥為原則，並適量添加飛灰、爐石等添加劑。
- 2.海域環境下鋼筋防蝕必須依據 ACI 1995 最新規範，水膠比(W/C+P)小於 0.4，抗壓強度大於 350kg/cm^2 (56 天或 91 天), 280kg/cm^2 (28 天)但用水量宜評估是否保持低於 150kg/m^3 。
- 3.工程品質耐久性壽命應重視，並建立耐久性壽命概念，宜考量至少 50 年以上，並請提出壽命保證之具體措施。
- 4.施工品質應建立完整之質量資訊，繪製 $\bar{X}-R$ 圖形，並適時回饋修正原設計規範，不斷 PDCA

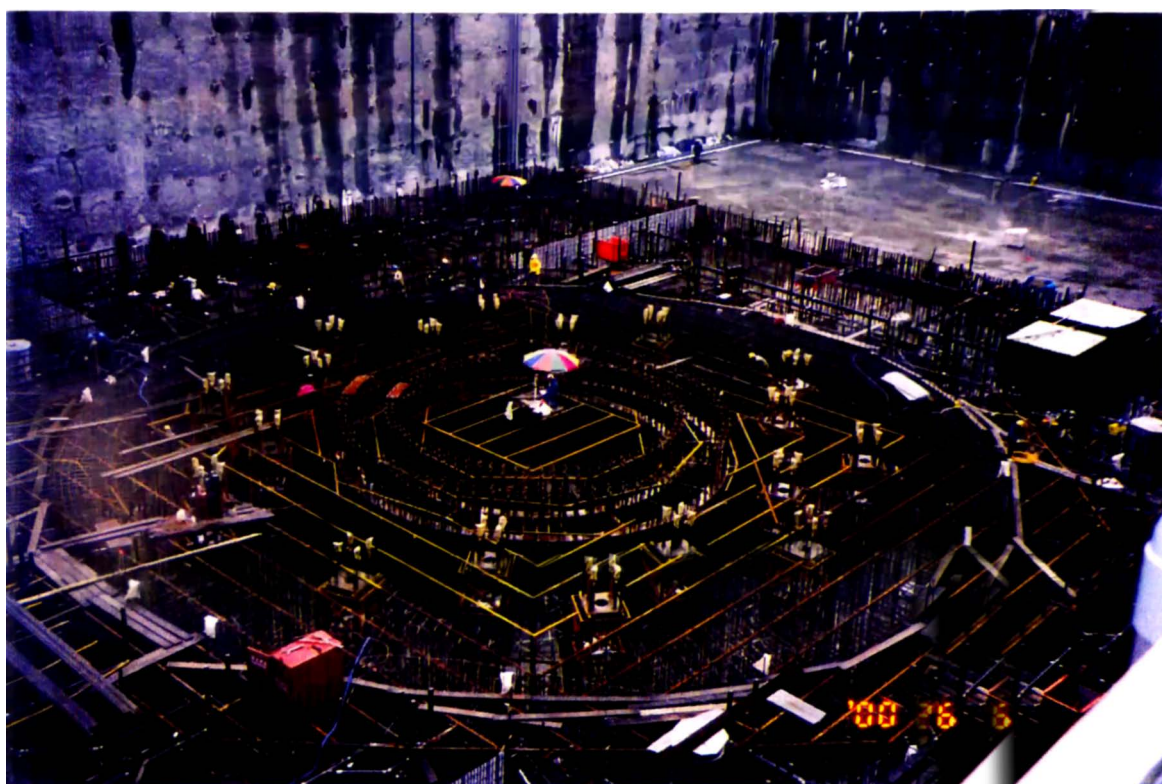
精進。

5. 整體施工品質之分析及評估工作應更詳實，並定期將品質資料資訊化，並將品質資訊回饋工程施工上，此方面資訊包括混凝土配料、拌合料、鋼筋。
6. 針對本工程之特色，應定期整合現有人力，如承包商工地主任(營建署認定)、品管工程師(公共工程委員會認定)成立技術委員會及品管委員會，提升工程施工技術水準，以確保施工品質。
7. 透明化及數據化的統計品管資訊可以確保整體工程品質，請再加強。
8. 混凝土表面乳沫宜清除，鑿除之處理時宜以水刀清除。
9. 預拌混凝土生產前一個月應有均勻性及穩定性測試，俾建立施工默契。
10. 「苟日新，日日新，又日新」不斷教育訓練，檢討改良，甲乙兩方宜建立工程團隊之整體默契及建立團隊責任及榮譽感。
11. 相關的參考資料很缺乏，例如混凝土設計規範及混凝土施工規範。其中中國土木水利工程學會出版(科技圖書)之 403-88 鋼筋混凝土施工規範可供參考，用以檢討及改進目前之作業方式。
12. 預拌場、施工單位、業主在團隊能力提升與合約管理方面可再檢討提升，特別是在品管作業方面。
13. 預拌場、鋼筋供應廠商之評鑑制度已初步建立，宜再加強。
14. 宜建立完整資料庫，保留施工記錄，傳承經驗。
15. 落實整體品質，建立品質保證標準作業程序。

- 16.收集核一、二、三廠工程品質資訊，回饋至核四工程規範。
- 17.工程品質宜由點線面體全方位考量，以確保核電廠完美之品質。
- 18.教育訓練建立共識(甲乙丙三方一起執行)。相關工程品管人員，應充分熟悉瞭解適用之ACI、ASTM、CNS及ASME之相關規範及標準，規範尤其宜儘量本土化(中文化)。
- 19.品質看得見，過程是關鍵，施工各階段之記錄宜配合行政院公共工程委員會之施工品管管理制度作業要點，全面落實三級品管制度。



圖一 一號機反應器基座照片



圖二 二號機反應器基座照片



圖三 台電公司品質簡報



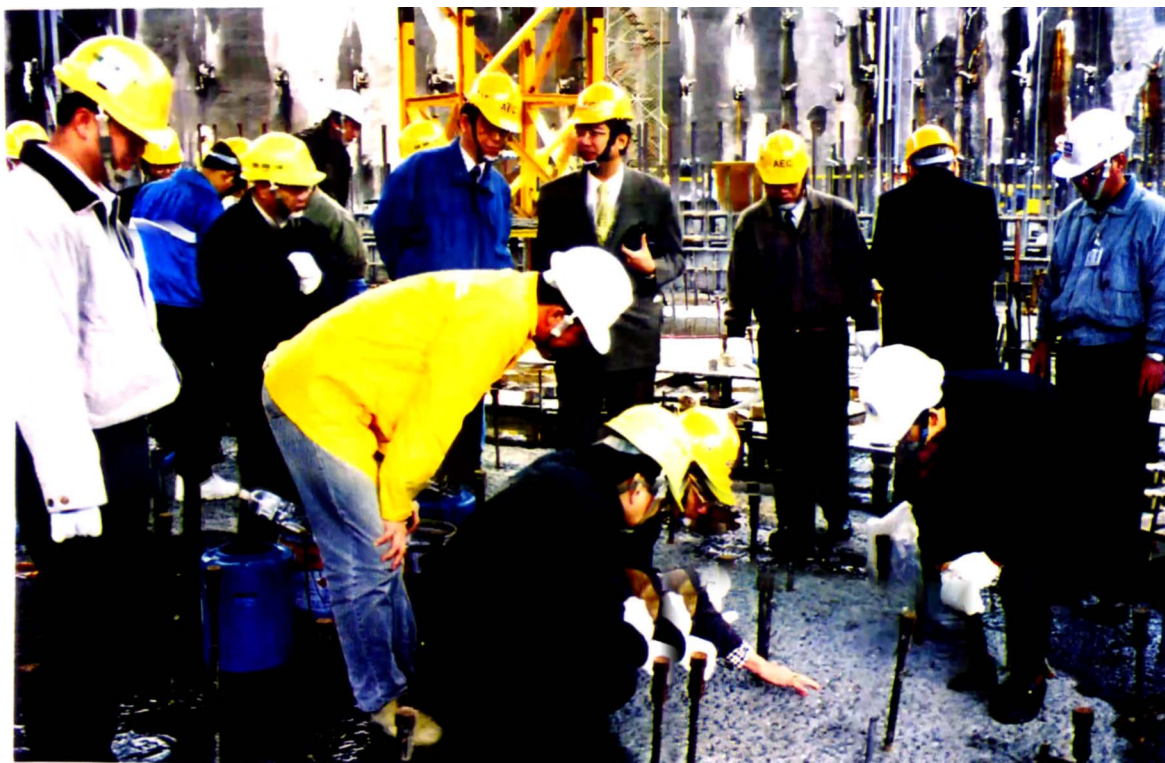
圖四 台電公司品管簡報



圖五 （品管文件審查之一）



圖六 （品管文件審查之二）



圖七 （現場巡視之一）



圖八 （現場巡視之二）