

日本에서 最近의 原電建設

Recent Construction of Nuclear Power Plants in Japan

川勝 理 (關西電力(株) 原子力建設部長)

1. 序 論

美國에서 부터 들어온 輕水爐를 日本에서 처음 運轉을 始作한 것은 1971年이다. 그以後日本에서 原子力發電은 많은 進歩를 보아서, 1983年에는 總發電容量의 13%를, 全發電量의 20%를 차지하고 있다.

1984年10月末 現在26基의 18,635MW가 運轉中이고, 10基의 10,390MW가 建設中이며, 7基의 6,053MW가 建設計劃段階에 있다. 이것을 모두 합치면 43基에 35,078MW의 出力容量에 달하는 것이다.

日本에서는 優先 外國會社로 부터 輕水爐를 導入하고, 漸次的으로 國産化 資材 品目を 늘려가는 方針이었다. 그러나 1975年頃에 完成된 輕水爐들은 運轉에 들어가면서 여러 問題點과 어려움을 주었다. 어떤 것들은 年間稼動率이 매우 낮아서 40%程度였다. 이러한 문제점들은 PWR에서는 증기발생기의 熱交換튜브와 爐内部体(reactor internals)에서 發生하였다. BWR에는 配管의 應力腐蝕균열(stress corrosion cracking)과 燃料集合体の 問題點들이 차례로 나타났다. 따라서 잦은 補修作業 때문에 從事者가 받는 被曝線量도 增加하게 되었다.

이러한 상황에서 「LWR改良 및 標準化委員會(LWR Improvement & Standardization Committee)」가 1975년에 設立되었고, 政府의 通

商産業省(MITI), 電力會社 및 製作會社는 自體의 技術과 設計能力을 利用하여 轉水爐의 設計를 改善하려는 努力을 함께 傾注하기 始作하였다. 이렇게 하여 이루어진 改善點은 앞으로 건설되는 發電所의 標準化의 必要條件으로 擇하여야 된다고 決定하였다. 또한 設計의 改善點은 現存 運轉되고 있는 발전소에도 適用되었고, 部分的으로는 새로운 것으로 交替하였다.

PWR에서는 증기발생기와 爐内部体를 變更하였고, BWR 경우에는 配管의 應力부식균열에 대한 대응책과 新型燃料集合체를 使用하는 等諸般努力이 原子爐의 信賴性을 높이기 위하여 이루어 졌다. 짧은 週期檢査/補修期間과 從事者가 받는 放射線被曝線量을 줄이기 위하여 部品の 補修方法 및 器具가 改善되었다.

그 結果, 近來에 와서 原子爐의 稼動率이 繼續해서 增加하고 있다. 1983년에는 年平均 稼動率이 70%에 도달하였고, 이것은 훌륭한 成就인 것이다. 또한 새로 建設이 끝나고 곧 運轉에 들어갈 發電所들은 75%까지의 稼動率을 올릴 것이며, 放射線被曝도 在來의 것에 半까지 내려갈 것이다. 本稿에서는 建設中인 Takahama 3호기의 現況을 說明하고자 한다.

2. 基本設計의 決定

現在 運轉되고 있는 발전소의 문제점을 分析

하여 얻은 결과에 의하면, 大部分의 問題點은 원래의 設計에 있다는 것이 確實히 알려지고 있다. 그러므로 關西電力(株)은 製作會社와 R&D 뿐만아니라 改善을 위한 새로운 技術導入에 協力을 하고 있다.

(1) 改善된 標準化發電所 設計利用

Takahama 3 호기와 4 호기는 政府, 電力會社, 製作會社의 共同協力を 통하여 改善되어 온 「2 次標準化發電所設計(The Second Improved Standardized Plant Design)」에 의하여 建設되고 있다. 이 발전소는 信賴性 및 安全性의 增大 그리고 被曝線量 減少 뿐만아니라 年間 檢査期間을 줄이기 위한 여러 改善點을 갖은 標準化發電所로 設計되었다. 다음은 800MW와 1,100 MW급 발전소에서의 改善方案의 例이다.

a. 負荷利用率(Capacity usage ratio) 增大

PWR : SG 熱交換 튜브의 改善(熱處理)과 튜브 支持 鐵板(tube supporting plate)의 改善.

過去에는 發電所에 따라서 負荷利用率이나, 機器稼動率이 매우 달랐다. 現在의 目標은 負荷利用率 80%에 稼動率 75%이다.

b. 檢査期間短縮

RWR : 原子爐容器뚜껑을 one-piece 構造로 改善(一體型原子爐容器蓋).

過去의 檢査期間 90-120 日에서 約70日까지 改善되었다.

c. 被曝線量減少

PWR : SG操作裝置(로봇)의 開發.

在來發電所의 全体被曝指數를 100이라고 할 때, 우리의 目標은 대략 50이다.

(2) Takahama 發電所의 機器 改善

標準化 計劃에 기초를 둔 PWR發電所에서 여러 機器의 改善點은 다음과 같다.

a. SG(증기발생기)

Takahama 3 호기에 使用된 SG는 51-F 型으로 다음과 같은 特性을 갖는다.

○ 熱交換 튜브

特殊 熱處理로 응력부식균열에 強하며, 작은 半徑의 U-tube는 굽힌 후 아닐링으로 應力을 解消하였다.

○ 튜브 支持 鐵板

鐵板의 材質을 스테인레스강 SUS405로 바꾸었다. 튜브구멍을 화살형(broach type)으로 바꾸었다.

○ 濕氣分離性能의 改善

高性能의 濕氣分離器를 開發.

○ 2 次側 水質

물의 하이드라진處理(AVT), 콘덴서를 통하여 새는 바닷물을 막기 위하여 티탄 튜브의 利用, 콘덴서의 脫鹽器 使用.

b. 爐冷却水 펌프(RCP)

○ 원래의 93A型에서 新型인 93A-1 으로 交替, No.2와 No.3 시일에 카트리지型을 使用.

○ 完全密閉된 内部冷却모터 使用.

c. 格納容器

○ 두꺼운 鐵板 使用(在來의 38mm 두께에서 Takahama의 경우는 44.5mm).

d. 터빈

○ 한개로 된 低壓터빈 회전자 사용.

○ T/G 샤프트 및 附隨部品 補強.

○ 電氣安全裝置 多重性 補強.

○ 超大形 습기분리기 히터 使用.

e. 獨立的 所內運轉

○ 터빈 by-pass 밸브의 70% 용량증가.

(3) 運轉經驗과 失手の 피드백

26基의 發電所가 日本에서 現在 運轉되고 있다. 그러므로 이 發電所에서 부터의 運轉經驗을 充分히 살려서, 앞으로의 發電所設計의 改善과 過去의 잘못을 되풀이 하지 않는 높은 信賴性을 갖는 發電所의 建設을 이룰 수 있는 것이다. 더 나아가서 「發電所技術 및 PWR建設作業 連絡委員會(Power Plant Technology and PWR Construction Liasion Committees)」를 設立하여 電力會社 相互間의 週期的인 情報交換

을 통하여 設計改善에 努力하고 있다.

(4) 設計모델의 使用

25對1의 축소 詳細모델을 使用함으로써 건설에서 운전보수까지 많은 量의 여러 정보를 적절히 다룰수 있기 때문에 均衡잡힌 發電所 全体設計를 現實化하는데 效果의이다.

a. 全 機器 및 配管, duct 그리고 tray의 最適화된 配列.

b. 論理的이고 效率的인 作業計劃 選別.

c. 檢査의 論理的 推進計劃의 作成 및 期間의 短縮.

關西電力(株)와 製作會社들은 좀 더 改善을 위하여 여러 部門을 共同으로 고려하고 있다. 특히, 關西電力(株)의 經驗은 運轉 및 補修方法을 決定하는데 有益하다. 實際的인 建設作業에 들어가기 前에 基本設計를 確固히 함으로서, 設計變更에 따라 이미 完成된 指針을 바꾸는 것을 排除할 수 있는 것이다. 이렇게 함으로서 順調로운 進行을 成就할 수 있다.

3. 基本建設工程 및 計劃作成

初期의 發電所建設과 比較하면 近來의 發電所는 安全性和 信賴性 向上 때문에 全体物量이 많이 增加하였다. Takahama 3 호기의 現場 作業의 持續的인 進展은 미리 設計上에 이 모든 點을 注意깊게 반영하여 結果的으로 高度의 基本設計를 이룩하였기 때문에 이루어졌다고 믿는다. 이에 관한 關西電力(株)의 指針은 다음과 같다.

(1) 現存 發電所의 工期達成 評價

Takahama 3 호기의 基本計劃을 세우기 위하여, 비슷한 3-loop로 最近에 完成된 Mihama 3 호기의 建設結果를 評價하기로 하였다.

a. 建設工程 및 作業量 評價

全体의 建設工程을 分析함으로써 建設의 Critical 및 Sub-critical path를 明確히 하였다. 더 나아가서 進行工程의 性格 및 各 Critical path

에 必要한 資材量을 理解함으로써, 建設工期와 進行工程의 性格 및 必要 資材들의 物量間의 關係를 明確하게 하였다.

b. 主建設方法의 評價

工程에 크게 影響을 주는 主 建設方法을 分析함으로써 改善點을 찾아냈다.

○配筋節次에 效率性を 좀 더 높이고, 형틀(form)設置節次를 改善.

○格納容器設置에서 용접량을 줄임.

○設置 크레인 容量을 늘림.

○配管의 용접절차를 더 효율적으로 하고 洗滌方法의 改善.

(2) 發電所 技術仕様が 工程에 미치는 影響 評價

Takahama 3 호기의 경우 높은 地震設計 및 追加的인 安全性 要求事項 때문에 鉄筋, 콘크리트 및 格納容器設置에 必要하거나 機械나 파이프 용접에 必要한 物量들이 매우 增加하였다. 그 結果, 만약 Takahama 3 호기를 Mihama 發電所와 같은 方法으로 건설한다면, Mihama의 工期보다 11個月이 더 걸리게 되어 있었다.

(3) 工程短縮方案의 適用

a. 建設方法委員會를 設立함으로써 工期短縮 適用

設計段階에서 부터 建設方法改善을 위하여 關西電力(株), 土建會社, 用役會社 그리고 製作會社의 人員으로 하나의 綜合委員會가 構成되었다 그 目的은 現存하는 發電所의 經驗을 土臺로 다음과 같은 目標를 適用하고 現實化하는데 있다.

○節次의 效率性 向上.

○勞動力을 줄이는 方案으로 工程短縮.

○節次의 平行的인 遂行.

b. 工程短縮方案의 評價

委員會에서 決定된 建設方法은 그 質, 價格, 工期 및 安全性의 側面에서 評價가 된 후, 建設을 위한 새로운 技術로서 基本設計에 包含되었다. 더 나아가서 그 方法의 信賴性을 確實하게 하기 위하여 實證과 檢査試驗이 새 建設方法에

遂行되었다. 이러한 節次를 通하여 基本的인 建設工程 및 計劃이 이루어졌고, 實際使用될 施工現場에 보내졌다.

4. 現場作業의 工程 및 計劃

現場作業에서는 詳細建設方法과 工程이 本社에서 準備한 基本計劃에 따라서 適用, 決定 혹은 應用되고 있다.

(1) 施工計劃의 決定

現場作業의 基準으로 使用될 施工計劃은 基本工程 및 計劃의 테두리 안에서 만들어 진다.

- a. 建物の 詳細工程의 計劃(設計會社).
- b. 機器의 詳細工程의 計劃(製作會社).

이렇게 設計 및 製作會社가 關聯된 詳細設置工程은 建設事務所에서 包括的으로 再調整되어, 現場作業의 建設計劃 뿐만아니라 設計 및 製作工程에 使用될 實際的인 執行計劃을 세우는 것이다.

(2) 通合的 工期管理

全体的 建設作業은 土木會社, 設計會社와 製作會社에게 分割된다. 名者는 具體的으로 주어 진 계약에 따라서 그 部分의 設計, 製作 및 建設에 責任을 진다. 그리고 關西電力(株)은 建設作業의 圓滑한 進展을 위하여 各者를 指令하고 管理한다. 더 나아가서 現場建設事務所는 工程管理部를 設置하여 設計 및 製作에서 부터의 諸般事項을 감독하여 現場條件에 맞추게 하여 問題가 있을 때 即刻的인 對應을 할 수 있게 한다.

a. 設計 및 製作工程의 保障

한편, 製作會社는 設計 및 製作에서 부터 公式認許可를 얻을 때까지 全体的인 工期를 電算機를 使用하여 철저히 관리하고 있다. 이러한 管理로 建設作業과 設計 및 製作사이에 現實的으로 아무 矛盾없이 工程을 保障할 수 있는 것이다. 더 나아가서 配管이나 밸브 設置에 必要한 機器의 適時供給은 現場에서 必要한 時間과 工場에서의 製作條件사이의 時間을 注意깊게

점검함으로써 可能的인 것이다.

b. 現場工程의 保障

機器, 電氣 및 建物節次와 같은 工程은 現場에서 作業進行의 實際的인 여건을 繼續 注視하며, 앞으로의 施工計劃에 따라 每日每日 調整된다. 이렇게 詳細히 管理함으로써 工程遲延을 即時 發見하며 원래의 工程을 維持하도록 必要한 對應策을 쓸 수 있는 것이다.

(3) 品質管理

Takahama 建設事務所에는 建設擔當 部署에서 設置點檢과 立會試驗을 하는 것 以外에도 品質保障의 徹底한 體系를 위하여 品質檢査官이 機器를 再點檢한다.

a. 建設中인 發電所의 點檢

現場에서 QC巡察 및 設計檢討 그리고 主要建設段階에서 徹底한 機器點檢을 通하여 높은 信賴度를 갖는 原子力發電所 建設을 이룰려고 最善을 다하고 있다.

b. 徹底한 機器調整 및 試驗

試運轉에 들어가면서 每機器를 調整과 試驗을 通하여 始初에 機器의 性能을 確實하게 한다. 試運轉中의 假想問題點들은 特히 問題를 일으킬 만한 要素를 갖고 있는 새로운 設計를 徹底한 檢討와 製作中檢査를 通하여 排除한다. 더 나아가서 機械類의 檢査에 關한 限, 實際的으로 나중 商業運轉中의 문제점을 豫防하기 위하여 試運轉段階에서 實證試驗을 하고 있다.

5. 建設條件

모든 必要한 公式的인 認許可를 마친후, 1980年12월에 Takahama 3 호기는 建設을 始作하였다. 現在 建設中이며 1985年2월에 商業運轉에 들어 갈 것이다.

(1) 格納容器(CV) 基礎바닥(base mat)

1980年12月 始工後, 地震 때문에 鉄筋과 콘크리트의 物量이 엄청나게 增加하였는데도 불구하고 Takahama 3 호기의 CV基礎作業을 6.5個

月만에 完成하였다. 그래서 實際的인 CV 建設은 1981年 6월에 始作되었다.

(2) 格納容器 (CV)

CV 建設은 8.5個月만에 끝났다. CV 壓力試驗 (MITI에서 要求한) 은 1982年 6월에 끝났다. 이 工期는 비슷한 다른 3-loop 發電所에 比하여 CV 直徑도 增加하고 철판의 두께도 증가하였는 데도 불구하고 매우 짧았다.

(3) 内部콘크리트 (internal concrete)

内部콘크리트의 타설작업은 1982年 12월에 끝났다. 이것은 CV 壓力試驗을 無難히 끝낸 10個月後였다. 타설작업이 끝나자마자 主機器의 設置作業이 始作되었다.

(4) CV 內 主機器設置 및 試運轉

原子爐容器 (RPV) 의 設置는 1983年 1월에 始作되었다. 그해 9月까지, 다른 機器 및 配管의 設置, 配管용접 그리고 프랜지를 完成하여, MITI가 要求하는 原子爐系統의 主水壓試驗 (CHT) 을 끝냈다. Takahama 3 호기의 경우, CV 内部 콘크리트타설이 끝나고 CHT까지 8.5個月이 걸렸다. 그러므로 여기서도 다른 3-loop 發電所보다 工期가 短縮되었다. CHT가 끝나고 Takahama 3 호기는 高溫機能試驗 (HFT) 과 CV 누설 시험 (LRT) 을 끝냈다. 1984年 3월에 核燃料 裝填을 끝냈으며, 現在 出力增加試驗 段階에 있으며, 1985年 2월에 商業運轉을 할 予定이다.

6. 續行 및 業績評價

Takahama 發電所의 建設은 1980年 12月 始作以後 順調롭게 進行되었다. 1984年 3월에 燃料 裝填 그리고 같은 해 4월에 臨界 (criticality) 를 이루었다. 現在는 試運轉을 끝내고 1985年 2월에 商業運轉에 들어 갈 予定이다. 그러므로 Takahama 3 호기의 建設은 1980年 12月 始作, 1985年 2月 完了라는 總工期 50個月을 目標하고 있다. 이러한 짧은 工期는 注意깊게 作成한 基本設計 및 施工前 準備한 建設計劃 그리고 建設

現場에서의 詳細한 工程管理에 對한 努力으로 成就할 수 있었다. 우리는 이번 建設에서 이룬 成果를 評價함으로써, 앞으로 있을 새로운 發電所 建設에 再利用할 計劃이다.

- (1) 建設資料 收集 및 業績評價.
- (2) 새로 지을 發電所 建設計劃에 再利用.

7. 앞으로 課題

Takahama 3 호기와 4 호기의 建設經驗을 통하여 우리는 다음과 같은 點을 補強할 必要가 있다고 생각한다.

(1) 建設費用 節減方案

過去에도 恒常 強調하여 왔듯이, 우리는 現在 建設費用을 더욱 더 줄이기 위하여 다음과 같은 方法으로 努力하고 있다.

- a. 標準化 擴大.
- b. 機器의 適切利用.
- c. 新技術의 導入.

(2) 設計改善을 위한 項目決定

工程이 길어지는 因子를 分析하여 設計改善을 위한 項目을 決定하고, 이러한 改善點을 미리 計劃에 通合시킨다.

(3) PERT (Program Evaluation and Review Techniques)

基本工程 決定段階에서 PERT를 利用하여 工期와 物量間의 가장 좋은 均衡을 이루는 最適화된 工程을 選定한다. 우리는 PERT의 部分的인 應用에서 벌써 成功을 보았다.

(4) 建設間隔의 選定

Takahama 發電所 3號機와 4號機는 6個月 間隔으로 建設되고 있다. 이번 建設經驗에 依하면 建設間隔 (號機間) 을 最適化하기 위하여 좀더 研究할 必要가 있다.

(5) 建設資料 收集計劃의 再評價

PERT에 依하여 수행되는 分析과 評價를 效果의으로 利用하기 위하여 電算機 入力에 適切한 資料 收集節次를 決定한다.