

<解 說>

原子力發電所の 計劃과 建設(7)

車 宗 熙

韓國原子力研究所
(접수 1978. 2. 23)

8. 原子力發電所の 建設(繼續)

라. 建設中の 品質保證活動

原子力發展所 建設中の 品質保證活動은 安全性을 確保하고 信賴性을 높이기 위하여 必要한 것으로 해를 거듭할수록 範圍가 擴大되고 重要性이 強調되고 있다. 이러한 重要性에 立脚하여 美國에서는 이미 原子力發電所의 品質保證을 위한 必要한 活動으로 法으로 規制하고 있다⁽²⁸⁾ ⁽²⁹⁾. 原子力發展所의 品質保證이란 安全과 關聯한 모든 部品, 裝置 및 系統들이 設定한 品質과 性能을 滿足스럽게 保有하도록 하는 計劃적이고 體系的인 活動을 말한다.

品質保證活動은 建設의 各段階, 即 設計, 製作, 組立 및 試驗에 對하여 適用事項이 規定되고 있으며 이 活動은 發電所所有者 뿐만 아니라 供給者, 建設者에게도 要求되고 있다.

品質保證活動에 對한 計劃이 建設許可申請時 樹立되어 建設以前에 規制機關의 承認을 받는 것이 通例이다. 이 計劃은 다음의 內容이 包含되고 있다.

- 一 組 織
 - 品質保證活動의 責任과 權限, 組織의 獨立性의 明示等
- 一 品質保證計劃一般
 - 適用範圍, 業務管理方法, 必要한 設備內容, 教育과 訓練等
- 一 設計管理
 - 設計要求事項, 設計文書管理, 材料 및 工程의 審査, 設計業務의 限界, 設計의 確認, 設計變更의 管理等
- 一 購買管理
 - 購買文書의 管理等
- 一 指示書, 要領書 및 圖面管理判定基準 等の 文書化等
- 一 文書管理
- 一 購入材料 및 機器의 管理

購入材料, 機器의 適合性, 供給者의 評價選定, 檢收要領, 供給者의 品質管理評價等

一 特殊工程의 管理

一 試驗, 檢査管理

試驗 및 檢査計劃의 確立, 試驗 및 檢査要求事項 및 判定基準, 試驗 및 檢査結果의 文書化, 檢査員의 獨立性等

一 取扱, 保管 및 出荷의 管理

一 不滿足材料, 部品 및 機器의 管理

一 是正措置

一 品質保證記錄

一 監査

다음에 建設現場에서의 組立工程에 必要한 品質保證活動의 具體的 內容을 略述하기로 한다.

(1) 設計管理

現場組立 및 設置는 設計者에 依해 準備된 設計示方, 圖面 및 節次書에 따라 遂行된다. 現場條件으로 인해 既存設計要求條件이 제대로 이루어질 수 없을 때에는 現場條件을 完全히 記述해서 設計再檢討를 하도록 모든 關係者들, 即 原子力事業者, 專門家, 設計者 및 製作者들에게 傳達되어야 한다.

現場設計變更에서 考慮되는 重要한 事項을 列舉하면 다음과 같다.

(가) 鎔 接

(나) 材料, 鎔接部, 組立體, 端部의 非破壞試驗方法

(다) 鎔接部의 熱處理方法

(라) 要望水準의 清潔을 維持하기 위한 能力

(마) 組立 및 解體方法

(바) 寸數檢査方法

(사) 稼動中檢査 및 維持補修를 위한 接近方法

(아) 取扱 및 輸送方法

(자) 特定節次에 따른 品質保證書類作成의 要求條件

(차) 成形 및 屈曲作業의 要求, 資格 사항

(2) 檢 收

(가) 船積物品

檢收는 보통 現場品質管理監督者의 責任이다. 船積書類에 따라 船積物品을 檢査해야 하고 試驗證明書 및 報告書를 包含한 全製作書類가 現場에서 入手可能해야 한다. 檢收를 爲해 適當한 文書作成이 必要하며, 이 節次는 오직 檢收可能物品만이 設置를 爲해 檢收되고, 不適合物品은 使用을 防止하기 위함이다.

(나) 不適合物品의 處分

不適合物品이란 契約要求條件, 設計書類 및 示方, 規制基準 등에 適合하지 못한 材料, 部品 및 器機를 말한다.

(3) 鎔接管理

(가) 鎔接節次

各 鎔接過程에 대해서, 設置責任이 있는 製作者에 의해 鎔接節次書가 準備되어 專門家에 의해 사전에 승인을 받는다. 鎔接이 이 節次書에 따라 행해지는지, 그리고 立會 및 試驗을 하는지를 立證하는 것은 現場品質管理者에 責任이다.

(나) 鎔接工의 資格

모든 鎔接活動은 資格을 갖춘 사람에 의해 遂行되어야 하며 專門家에 의해 承認되어야 한다. 即, 製作工場에서 鎔接하는 사람과 똑같은 資質을 갖춘 사람이 現場에서 鎔接活動을 해야 한다.

(다) 鎔接材料管理

品質管理者는 鎔接材料를 적절히 管理함으로써 適用示方에 規定된, 그리고 專門家에 의해 承認된 材料 이외에는 어떤 材料도 使用하지 않도록 해야 한다. 또한 鎔接材料를 指定安全區域에 貯藏, 取扱 및 撤出하는 節次書가 準備되며 이에 따라 管理되어야 한다. 鎔接이 끝나거나 作業을 交代할 때에는 使用되지 않은 鎔接棒은 貯藏庫에 返還되어야 한다.

(라) 鎔接管理記錄

各 鎔接工이 올바른 鎔接材料를 使用하고 있다는 것을 立證하는 記錄이 維持保存되어야 한다. 鎔接管理記錄臺帳에는 熔接作業中에 실제로 使用되는 鎔接特性을 記錄해야 한다. 即 鎔接番號, 鎔接節次, 契約 및 部品番號, 時間, 날짜, 鎔接工의 이름, 電流, 電壓, 채움재의 크기, 熱, 매치番號, 豫熱 등과 같은 特性을 記錄한다.

(마) 鎔接裝備의 維持管理

鎔接裝備의 維持管理는 部品이나 機器를 設置하는 製作者의 責任이다. 品質管理者는 鎔接집게, 토오치(torches), 鎔接치이불의 供給, 補修, 洗滌, 檢査 등 必要한 活動들이 遂行되고 있다는 것을 立證할 責任이 있다.

또한 電壓 및 電流測定機가 必要할 때마다 週期的으로 補正되어야 한다.

(4) 熱處理管理

(가) 豫熱(Preheat), 인터패스(interpass) 및 後熱(postheat) 溫度制御

豫熱, 인터패스, 後熱의 溫度條件이 技術示方이나, 其他 關聯書類, 即 鎔接資料臺帳이나 鎔接節次書와 같은 資料에 定義된다. 이러한 溫度條件들은 品質管理者에 의해 면밀히 統制되어야 한다.

(나) 鎔接後 熱處理管理

鎔接後 熱處理節次書는 熱處理作業의 特定規定을 다루고 있는 標準, 規格 및 基準에 따른 技術示方의 一部分이 된다.

(다) 熱處理裝備의 補正

이 節次書는 記錄이나 熱處理裝備의 必要한 補正을 빠짐없이 기술해야 한다. 品質管理者는 이 節次書대로 補正이 遂行되고 適切히 記錄되어 現場專門家の 檢討를 받을 수 있도록 책임을 져야 한다.

(5) 非破壞試驗

(가) 非破壞試驗節次

專門家에 의해 承認된 技術示方이나 規制基準에 따라 모든 非破壞試驗이 遂行되어야 한다. 非破壞試驗을 통해 材料의 不連續部를 찾아 내도록 해야 하며, 또한 品質管理者는 이 節次書에 따르도록 非破壞試驗을 統制해야 한다.

(나) 非破壞試驗記錄

모든 非破壞試驗結果가 試驗樣式에 記錄되어야 한다. 現場品質管理監督者는 非破壞試驗結果의 承認이 資格을 갖춘 사람에 의해 遂行되도록 해야 한다.

(다) 非破壞試驗裝備의 補正

非破壞試驗裝備의 週期的인 補正에 대한 規定들이 文書形式의 節次書로 確立되어 技術示方의 一部分이 되어야 한다. 各 補正記錄이 現場에서 維持保存되어야 하며, 또한 各 試驗裝備에 달린 꼬리표에 補正豫定일이 表示되어 있어야 한다.

(6) 品質保證監査

品質管理責任者는 現場活動에 대한 週期的인 監査를 監査指針에 따라 遂行해야 한다. 監査項目은 그 現場을 爲해 準備된 品質保證教範(QA manual)으로부터 選別한다. 또한 各 監査結果는 正式으로 現場所長에게 提出하여 조치를 취하도록 해야 한다.

마. 性能試驗

原子力發電所內의 主要施設의 設置가 끝나는데로 各 部品, 系統, 또는 이것의 組合施設에 對한 性能試驗이 實施된다(이 內容은 性能點檢의 見地에서 다른 것으로 試驗內容에 있어 다음의 始動運轉試驗과 重複된 部分이 있음).

性能試驗을 通해 모든 部品, 副系統(subsystem), 또는 副系統의 組合 등이 明細된 能力, 品質 즉 契約上의 모든 條件과 一致하는가를 立證할 수가 있다. 一般적으로 이것은 供給者나 建設者가 契約에 따라 그들의 作業을 遂行했음을 보여 주기 위한 것이다. 이 性能試驗이 만족스럽게 끝나면 事業主는 發電所를 引受할 수 있게 된다.

性能試驗의 日程表에 關해서, 試驗은 供給者 또는 建設者가 모든 建設 및 關聯試驗을 마친 후에 實施된다. 앞서 關聯試驗이 신중히 遂行되었다면 이 實質적으로 最終性能試驗을 더욱 容易하게 遂行되게 한다. 이 段階에서 系統(system)의 모든 部品는 적당히 調節되고, 計測 및 電氣部品도 補正 및 調節되고, 모든 세트포인트가 點檢된다. 이 作業이 遂行되는 過程에서 系統의 缺陷이 發見되어 修正된다.

原子力發電所의 信賴性은 두 가지 觀點에서 評價되어야 한다.

(가) 電力生産은 信賴할만 한가?

(나) 原子爐事故의 發生確率は 어느 程度이며, 事故時 放射能 放出防止策은 信賴할만 하며, 爐心冷却은 시킬 수 있는가?

試驗은 規制要員 및 專門家 뿐만 아니라 供給者와 運轉者에 의해 遂行되어야 한다. 原子力發電所의 商業運轉은 모든 原子力安全關聯分野의 試驗이 성공리에 끝났을 때 시작되어야 한다.

(1) 獨立된 副系統의 性能試驗準備 및 實施

副系統의 性能試驗은 發電所의 모든 建設活動과 깊은 關係 속에서 이루어져야 한다. 發電所의 여러 系統은 建設期間中 工程에 따라 각각 다른 時刻에 完成된다는 것을 생각해야 한다. 그러므로 建設期間中의 어떤 時刻에 工事が 시작되는 系統이 있고 建設中인 系統, 建設이 完成되어 試驗準備中인 系統, 이미 性能試驗이 끝난 系統도 있다. 대부분의 試驗이 完了되어야 定常運轉에 들어간다.

副系統의 性能試驗前에 充足되어야 하는 先行條件을 考慮해 보기로 하자. 原子力發電所의 거의 모든 副系統의 運轉을 위해 電力, 明細된 品質을 갖는 用水, 蒸氣, 壓縮空氣, 가스, 冷却水, 기타 媒體 등이 必要하다. 만약 中央制禦系統과 連結되어 있다면 運轉을 위해 必要

한 모든 信號가 有用해야 한다.

供給者, 建設者 그리고 물론 事業主는 建設工程이 順調롭게 進行되기를 바라므로 性能試驗이 지연되거나 다른 業務를 中斷시켜서는 안된다. 그러므로 綜合적이고 짜임새있는 試驗스케줄이 必要하다. 한 例로써 供給水 펌프裝置의 試驗스케줄에 對해 記述하기로 한다. 그림 16은 供給水 펌프裝置의 性能試驗을 위한 節次를 보여 주고 있다. 供給水 펌프裝置의 性能試驗準備가 完了되면 試驗節次를 決定한다. 우선 우리는 主要部品는 供給者의 作業場에서 이미 檢査했음을 알고 있다. 各 펌프의 能力, 效率, 기타 性能은 알고 있다.

첫째로 우리는 必要한 裝備나 部品이 規定대로 잘 設置되었는가를 檢査한다. 檢査되어야 하는 部品는 給水 펌프, 補助 및 主給油펌프, 오일탱크, 冷却器 오일 필터, 給水配管과 給水탱크間의 配管, 再熱器 및 給水制禦裝置, 冷却水供給, 모터 및 供給電力, 펌프 및 모터의 保護系統 等이다.

둘째로 補正作業이다. 補正作業에는 計測裝置의 補正, 세트포인트의 點檢, 自動制禦系統의 檢査 및 校正, 冷却水供給의 調整 및 檢査, 오일供給의 調整 및 檢査, 保護系統의 檢査 等이 包含된다.

이제 主性能試驗을 實施하여 다음의 基準을 檢査한다.

- 펌프流量 및 壓力
- 電力消耗 및 回轉速度
- 펌프回轉軸의 位置 및 軸드러스트
- 펌프와 軸의 振動, 騒音, 溫度
- 오일供給壓力 및 溫度
- 펌프吸入條件
- 最少 및 最大펌프出力
- 保護系統檢査

이러한 試驗은 遂行하는데 必要한 系統文書로써는 運轉 및 整備教範, 計測器 및 세트포인트리스트, 回路圖, 機械의 詳細圖面, 豫備部品리스트 等이다. 試驗期間에 發見된 缺陷이 修正되면 裝置는 定常運轉이 可能하게 된다.

이와 같은 試驗을 通해 副系統부品の 品質 및 技術의 데이터가 契約條件과 一致하는가를 檢査할 수가 있다. 모든 試驗結果에 對한 情報과 데이터를 評價하여 앞으로의 商業運轉을 위해 文書化해 두어야 한다. 이러한 文書는 發電所運營을 위해 重要한 情報을 提供하며, 發電所事故後 安全分析에 有用하고, 自動長期運轉프로그램의 入力資料가 된다.

(2) 發電所의 性能試驗 및 準備

發電所運轉에 必要한 모든 部品이나 系統이 定常狀態

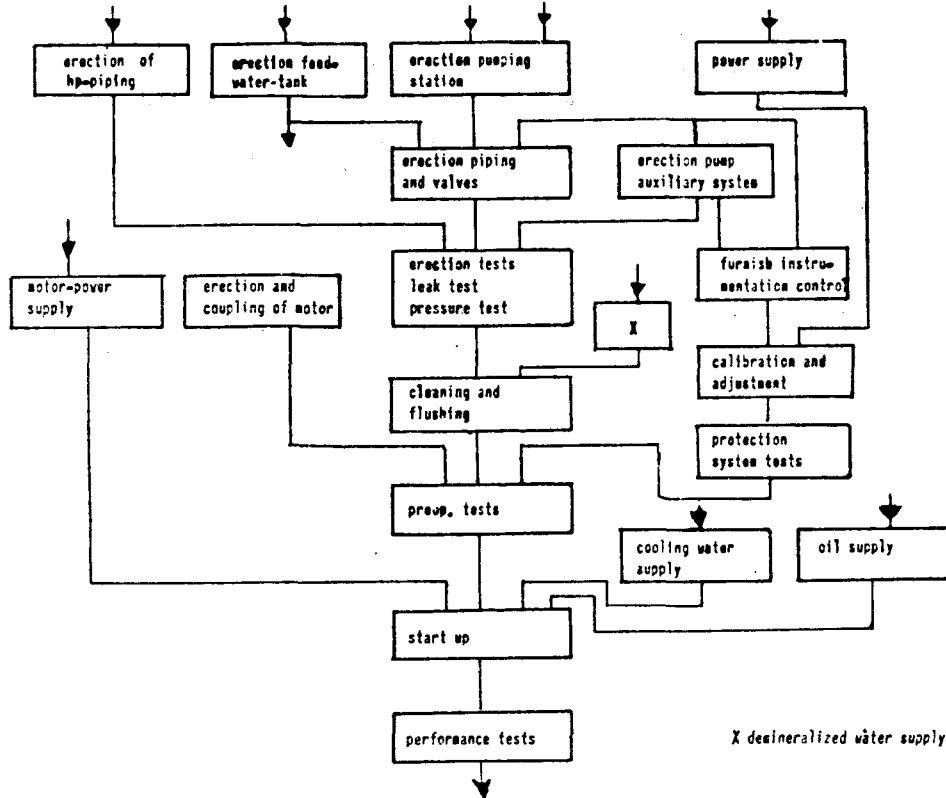


그림 16. 給水펌프施設の 性能試驗節次例

가 되면 全發電所試驗이 出力, 靜的·動的 舉動, 效率等 여러 면에 대해 實施된다. 試驗에서 調査되어야 할 問題는 대체로 11個의 質問으로 大別할 수 있다.

- (가) 要求된 電力이 얻어지는가?
- (나) 모든 負荷點, 主로 全出力狀態에서 熱的 및 技術的 效率가 要求한 限界以內인가?
- (다) 모든 系統 및 部品이 明細된 條件과 出力레벨에서 運轉되는가?
- (라) 熱 및 기타 損失이 明細된 限界以內인가?
- (마) 모든 系統과 함께 全發電所는 一定한 負荷運轉 동안 安全狀態에서 運轉되고 있는가?
- (바) 動的品質 即 運轉振動, 騒音, 變位不安定이 明細된 限界以內인가?
- (사) 電力 또는 發電所條件의 交代가 手動이나 自動에 의해 시작된다면 迅速히 遂行되는가?
- (아) 全發電所와 部品들은 效率의이고, 安全하며, 信賴할만한가?
- (자) 自動스위치와 制禦系統은 發電所를 願하는 狀態로 安全하게 誘導할만큼 充分히 效果의인가?
- (차) 모든 部品과 함께 發電所는 長期運轉에 適合한

가?
(카) 計測制禦系統은 運轉을 위해 必要한 모든 情報를 提供하는가?

위의 모든 質問에 對한 答은 다음 3段階 試驗을 통해 얻어진다.

- 出力試驗
- 動的 運轉試驗
- 長期間試驗

(가) 出力驗試

出力試驗期間中 發電所는 그의 出力能力을 보여야 한다. 이를 위해 評價되어야 하는 主要데이터는 電力生產率, 主消費源으로 分類된 補助電力消費, 體積 및 質量流量, 壓力 및 溫度, 原子爐熱出力, 熱 및 電氣의 損失 등이다.

性能試驗을 遂行할 당시의 原子力發電所는 새것이므로 各 部品은 가장 높은 效率과 最適條件에 있으므로 結果는 가장 좋은 것이 된다. 그러나 몇달 또는 몇년 후 品質은 表面損傷, 磨耗 등으로 인해 점차로 減損된다. 供給者는 發電所의 最高運轉品質을 보이기 위해 可能한 빨리 發電所性能試驗을 하기를 願하지만 運轉者는 試驗

條件이 實際運轉條件과 같아지도록 可能한 늦게 하기를 願한다. 必要한 精密測定裝置의 量은 大規模이므로 準備하고 設置하는데 時間과 資本이 많이 든다. 모든 測定裝置는 設置하기前 또는 設置中에 校正되고 檢査되어야 한다. 信賴할만한 試驗結果를 얻기 위해 모든 測定裝置의 測定範圍는 0.5~1.0% 보다 좋아야 한다.

(나) 動的 試驗

動的 試驗은 制禦系統의 安定性, 精密性을 보이고 溫度, 壓力, 出力의 反應速度를 測定하고 檢査하며, 壓力容器나 터어빈의 高壓케이싱과 같은 部品の 壓力을 調節하고 觀察하기 위해 必要하다.

最近에는 大型컴퓨터프로그램을 利用하므로 動的 條件을 精密하게 分析할 수 있다. 그러므로 프로그램이나 그들의 結果를 檢討하는 것이 重要한 일이다. 試驗의 主要目的은 다음과 같다.

(i) 1次 系統

- 中性子束과 中性子束分布
- 制禦棒의 位置와 硼酸의 濃度
- 冷却材의 溫度 및 壓力
- 壓力容器나 加壓器의 水位
- 供給流量

(ii) 터어보 發電系統

- 發電機出力
- 制禦밸브位置 및 蒸氣壓力·溫度
- 蒸氣流量
- 터어빈 壁溫度
- 케이싱과 軸間의 相對伸張率
- 振動

(iii) 蒸氣-물回路

- 蒸氣發生器의 水位
- 蒸氣壓力·溫度
- 蒸氣 및 供給水流量
- 再熱器後方의 溫度

實施해야 하는 主要試驗은 發電所의 舉動을 試運轉期間, 各各 다른 負荷段階에서 100% 出力까지 다시 100% 出力에서 零出力 사이에서 보여야 한다. 이런 試驗과 並行하여 特殊目的의 一連의 試驗을 遂行하여 電氣的·機械的 裝備 即 主發電機의 電壓調節, 水位 및 壓力制禦, 流量 및 硼酸制禦裝置 등의 動的品質을 保證해야 한다.

(다) 防護系統 및 스위치試驗

防護系統 및 스위치試驗이 防護, 安全, 自動스위치系統을 效率, 速度, 信賴性的 觀點에서 檢査하도록 實施된다. 이 段階에서 이러한 安全, 防護 및 스위치系統이 모든 다른 系統이나 部品과 함께 어떻게 作動되는가를

試驗해야 한다. 그러므로 全發電所가 多少間의 事故發生時에도 制禦가 可能한 範圍에서 安全하게 運轉되고 放射能의 大氣放出이 抑制되고 있음을 立證할 수 있다. 특히 이러한 試驗은 原子力發電所의 安全性을 立證하므로 運轉許可를 取得하기 위해서도 必要하다. 이러한 試驗은 出力 cut-off 試驗, 非常條件을 制禦하기 위한 시스템試驗으로 大別할 수 있다. 첫번째 出力 cut-off 試驗에서는 發電所가 明細된 限界點을 넘지 않고 零出力으로 갈 수 있는가를 立證한다. 둘째로 原子爐安全系統의 試驗이다. 多様な 스크램信號이 運轉條件이 限界點을 벗어날 때 原子爐를 設다운시킨다. 非常爐心冷却試驗의 示範은 冷却材喪失을 模倣해서 實施되어야 한다. 그러나 實際로 原子爐系統을 減壓시키는 것은 不可能하므로 이 系統은 明細된 時間과 限界以內에서 系統의 運轉, 自動始動, 流量시그날을 試驗해야 한다. 이러한 試驗은 發電所壽命期間中 가장 나쁜 條件을 代表할 수 있어야 한다.

(라) 長期試驗

앞에서 論議된 試驗을 遂行하는 동안 여러 部品에서 缺陷이 修正되었으므로 發電所는 더욱 改善되었다. 마지막으로 長期試驗을 통해 發電所가 契約期間 동안 별 다른 事故없이 運轉될 수 있는가를 보여야 한다.

大型原子力發電所의 品質은 수많은 獨立部品이나 構成品에 달려 있다. 그러므로 보다 나은 有用性을 얻기 위해 發電所의 모든 部品은 철저히 檢査되어야 한다. 이러한 試驗節次의 成功的 遂行은 原子力發電所建設期間中 技術的·時間的 問題를 解決해 주는데 必要하게 된다. 發電所의 信賴性은 發電所의 動的 舉動 및 安全系統에 依해 決定되므로 이러한 品質에 對한 情報은 發電所를 效果적이고 安全하게 制禦 및 運轉하기 위해 運轉要員에게도 必要하다.

바. 始動運轉試驗의 組織과 節次

原子力發電所建設의 마지막 段階는 始動運轉試驗이다. 이 始運轉이 成功하면 發電所는 正式으로 所有者에게 引繼引受된다. 따라서 始動運轉試驗에서는 發電所의 全體 系統이 既設定된 技術示方을 充足하고 있으며 安全性과 信賴性이 確保되었는가를 點檢하게 된다.

始動運轉試驗은 發電所를 運營할 所有者側에서 組織을 構成하여 實施하며 將次 이 組織이 運轉을 引受받게 되는 것이 慣例이기도 하다.

(1) 始動運轉의 組織

所有者側의 始動運轉要員의 構成은 다음과 같다.

- 發電所管理團

· 機械課：交替運轉要員，機械保守要員，倉庫담당，工作서비스담당 等

· 電氣課：計測制禦保守要員，電氣保守 等

· 物理 및 化學課：放射線 및 安全담당，化學 및 放射化學實驗要員，原子爐 및 放射線物理要員，一般安全監督者 等

建設이 完了되면 各 系統의 責任은 建設管理團으로부터 始動運轉管理團으로 引繼되며 모든 始動運轉試驗의 指導, 監督의 責任을 진다.

機械課責任者는 始動運轉에 墜跌을 주지 않도록 機構와 人員의 點檢, 始動運轉計劃, 運轉守則, 要員의 指導의 任務를 가지며 交替運轉時에는 運轉監督者가 된다.

電氣課責任者는 稼動前에 發電所의 電氣系統 및 計測制禦系統을 點檢하고 이를 運轉要員에게 引繼한다. 또한 電氣담당要員訓練의 責任을 가진다.

放射線防護 및 安全管理責任者와 담당要員은 放射線防禦令의 遵守와 確認, 放射線防護, 放射線測定, 統制區域內의 管理, 職員의 安全記錄 및 維持, 放射性物質의 統制管理 等 任務를 가진다. 또한 新燃料의 安全運搬의 責任을 진다.

核工學分野의 諮問團을 두어 試驗時 必要한 節次, 措置, 監督, 要員訓練을 遂行토록 한다.

化學諮問團을 두어 必要한 化學 및 放射化學의 監督과 訓練을 맡도록 한다.

따로 技術室을 두어 回路圖 및 資料 等を 管理토록 한다.

所有者側과 供給者側의 始動運轉試驗의 人的 構成例를 表 9 및 그림 17에 表示한다⁽³⁰⁾.

表 9. 所有者側의 始動運轉要員

部 署/任 務	技術員	技能員	熟練工	非熟練工
1. 發電所管理要員				
所 長	1			
統計員		1		
副所長	1			
2. 機械工學課				
課 長	1			
係 長	2			
機械技術員	2			
機械技能員		4		
土木技能員		1		
製 圖 士		2		
補 助 員				3
2.1 交替運轉要員(6交代)				

部 署/任 務	技術員	技能員	熟練工	非熟練工
交替班長	6			
制御室運轉員(原子爐)		6		
制御室運轉員(터보發電)		6		
制御室運轉員(附屬裝置)		6		
機械交替職工長		6		
機械組立工			18	
電氣交替職工長		6		
電氣組立工			6	
計測制御組立工			6	
電子裝置組立工			6	
補助員				18
用水處理交替監督	6			
用水處理交替組立工			6	
위補助員			6	
機械交替組立工(空氣調和)			6	
위補助員				6
2.2 機械保守員(工作室包含)				
保守技術員	1			
保守技能員		2		
職工長		2		
工具取扱工			3	
機械組立工			10	
鎔接工			2	
板金 및 斷熱工			2	
크레인運轉工			2	
위助手			2	
木 工			1	
塗裝工			1	
補助員				3
2.3 倉庫管理, 一般서비스				
倉庫管理員			1	
위助手				3
運轉士			6	
構內乘務員				5
3. 電 氣 課				
課 長	1			
3.1 電氣技術室				
電氣技術員	1			
電氣技能員		2		
프로그래머		1		
製圖士		1		
補助員				1
3.2 電氣保守, 電氣工作室				

部 署/任 務	技術員	技能員	熟練工	非熟練工
電氣技術員	1			
轉工長		2		
補助員			8	
3.3 計測制御保守				
計測制御工作室				
計測制御保守技術員	1			
電子技術員	1			
技能員		3		
職工長(계측제어)		1		
職工長(電子)		1		
職工長(通信)		1		
計測制御組立工			5	
通信系統組立工			1	
補助員				3
4. 物理 및 化學課				
課 長	1(物理學者)			
4.1 放射線防護 및 安全				
放射線防護 및 安全技術員	1			
應急措置訓練員		4		
助 員			3	
洗濯工			1	2
4.2 化學 및 放射化學實驗室				
發電所化學者	1(化學者)			
化學技能員		2		
放射化學技能員		2		
實驗助手			2	
補助員				2
4.3 原子爐 및 放射線物理				
物理學者	1			
技能員		2		
助 手			1	
4.4 一般安全				
安全技術員	1			
合 計	30	65	96	55

(2) 核燃料가 裝填안된 狀態에서의 各 系統의 常溫, 高溫試驗運轉

다음의 始運轉節次는 加壓輕水型原子爐에 대한 것이 다. 코미쇼닝 期間은 5段階로 나누며 全體가 26個月 걸 린다. 以後에 바로 試驗運轉이 行하여지며 이것이 끝나 면 發電所를 運轉者側에 양도한다. 코미쇼닝 期間中의 重要한 節次例가 그림 18에 表示되어 있다.

(가) 段階 A

(i) 코미쇼닝의 全般的인 順序

A 段階는 發電所의 主要系統의 試立이 完成되는대로 바로 始作한다. 이와 동시에 發電所用 電力부스바와 原子爐冷却系統과 補助系統의 大部分의 機器들이 稼動되 어야 한다. 各系統에 대한 코미쇼닝 作業例가 그림 19에 表示되어 있다.

機械技術者에 依하여 行하여지는 各 系統檢査는 各 系統이 그 設計와 機能에 맞게 잘 作動하는지를 檢査하 며 各 機器의 品質檢査가 끝나면 機悤의 再調整에 들어 간다. 各 機器의 流出率 및 壓力試驗이 끝나면 곧 技術的인 commissioning 을 遂行할 수 있다. 위와 같은 豫備試驗이 끝나면 各 主要系統의 實際的인 코미쇼닝이 主要部品들의 安全 및 릴리리즈인틸록(interlock)과 함 께 遂行된다. 즉 制御系統의 最適化, 計數形自動調整의 點檢 등을 포함한 技術的인 系統檢査가 行하여지며 마 지막으로 主要系統에 대한 政府專門家의 허락이 나면 모든 코미쇼닝은 끝나게 된다.

(ii) 原子爐冷却 및 補助系統의 作業

A 段階에서 가장 重要한 일은 一次系統의 壓力試驗이 다. 이 試驗은 原子爐壓力容器, 蒸氣發生器, 加壓器, 主冷却펌프, 一次系統配管 등의 設置가 끝나면 施行한 다. 이 試驗에 해당되는 部分은 冷却水淨化系統, 가스 除去계통, 가스取扱 및 貯藏系統, 燃料貯藏탱크, 冷却 및 淨化루우프, 특히 體積制御系統 등이다. 以上の 系統以外에도 커버가스 및 실링水系統, 二次系統의 冷却 水系統, 加熱蒸氣系統 등이 一次系統 壓力試驗以前에 作動가능케 準備되어야 한다. 一次系統 壓力試驗 後에 도 重要한 部分에 대한 코미쇼닝이 주어지는데 이들은 原子爐冷却펌프와 이에 사용되는 기름이나 시일用水를 위한 補助機關, 高壓, 低壓주입펌프와 축열기를 포함 한 安全注入系統, 廢棄物處理系統 등이다.

(iii) 二次系統의 作業

가장 重要한 일은 二次系統壓力試驗이며 始運轉給水 펌프와 高壓펌프로 行하여진다. B 段階에서 生成된 蒸氣를 제거하기 위해서 다음의 機器들이 A 단계 종료까 지는 作動이 가능해야 한다.

- ① 블로우다운 및 安全밸브
- ② 制御루우프와 연결된 바이패스증기밸브
- ③ 復水器의 진공계통
- ④ 復水器冷却회로
- ⑤ 터어빈의 潤滑油系統

(iv) 電力系統의 作業

各 系統을 코미쇼닝하는 동안 閉回路와 開回路제어의 重要한 部分을 지적해 놓아야 한다. 이 부분에서의 故

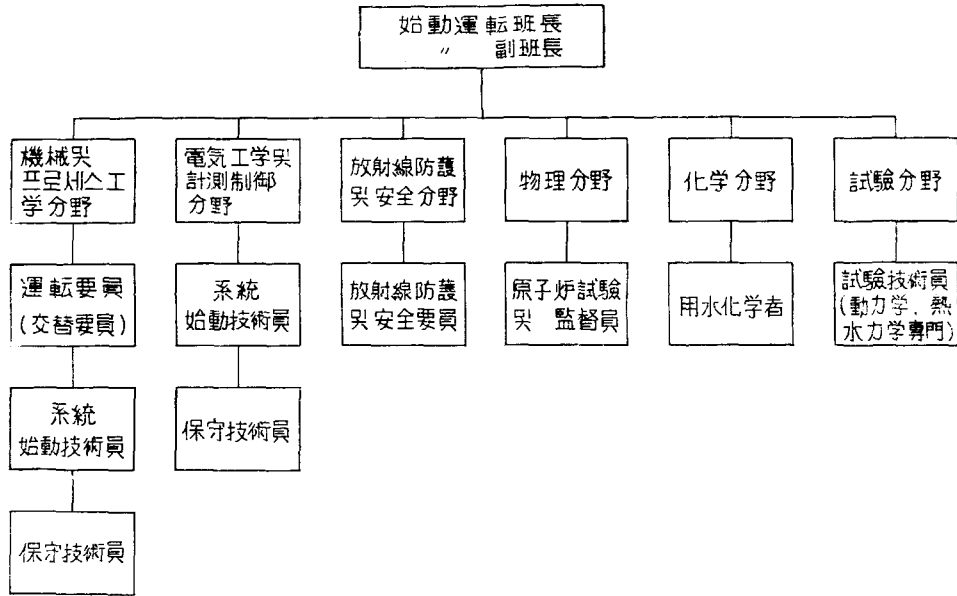


그림 17. 供給者側의 始動運轉組織

障은 대개 원격으로 조작되는 모터나 밸브에서 생긴다. 다음의 몇가지 電力系統部品들은 직접 機械系統에 連結될 수 없다.

- ① 非常디젤發電機
- ② 發電所運轉上 必要한 電子計算機
- ③ 制御棒作動用 電子制御系統
- ④ 原子爐保護系統
- ⑤ 振動, 中子束, 放射能漏出 測定機器

(나) 段階 B

(i) 一次系統의 試驗

最初의 高溫試驗運轉인 B段階의 目的은 一次系統의 各 機關과 연관된 補助機關을 檢査하는 것이다. 여러 가지 다른 條件下에서 펌프作動的 點檢과 原子爐容器와 루우프에서의 冷却水流動을 點檢한다. 正常稼動條件下에서 一次系統의 여러 計測, 自動制御기판이 最初로 點檢되어야 한다. 이 중 重要한 것들은

- ① 原子爐의 入口, 出口에서의 冷却水溫度, 壓力, 加壓器, 蒸氣發生器의 水位, 시일用水流動測定, 主冷却 펌프의 回轉數測定
- ② 冷却水壓力, 加壓器의 水位, 硼素濃度の 制御

이외에 全般的인 原子爐保護系統의 機能이 政府專門家에 依하여 認定되어야 하며 正常稼動條件下에서 처음으로 運轉室의 排氣施設과 遮蔽冷却施設이 點檢되어야 한다.

(ii) 二次系統의 試驗

高溫試驗運轉中 2次系統試驗의 目的은 될 수 있는 한 많은 試驗을 稼動條件下에서 行하는 것이다. 高溫試驗稼動的 初期에 安全밸브와 排氣밸브가 점검되며 一次系統의 繼續인 稼動이 이루어지면 生成된 蒸氣가 바이패스밸브를 통해서 復水器로 가며 이 경우 自動바이패스制御能力이 點檢되며 給水回路에 있어서는 始運轉 給水펌프와 蒸氣發生器의 水位調整能力이 點檢된다.

(iii) 基準檢査

一次, 二次系統의 檢査가 끝나면 原子爐容器에 대한 點檢이 始作되며 原子爐內部的 均열을 추적하게 된다.

이 容器점검이 계속되는 3~4週동안 一次系統의 作業은 하지 못한다.

(3) 出力試驗運轉을 위한 初期原子爐心 核燃料裝填

(가) 初期燃料裝填

裝填될 全體燃料은 미리 燃料물에 저장되며 熱料물과 原子爐冷却系統은 硼酸水로 일부만 채워진다. 이 때 硼素의 濃度は 모든 制御棒이 完全히 제거된 狀態에서 常溫原子爐心의 中性子유효증배계수가 0.9 정도로 유지될 수 있을 정도이다. 熱料裝填作業時 制御棒, 可燃性흡수물체 冷却水流動制限機 등을 포함한 燃料다발이 貯藏탱크에서 原子爐壓力容器內에 있는 爐心의 特定場所에 삽

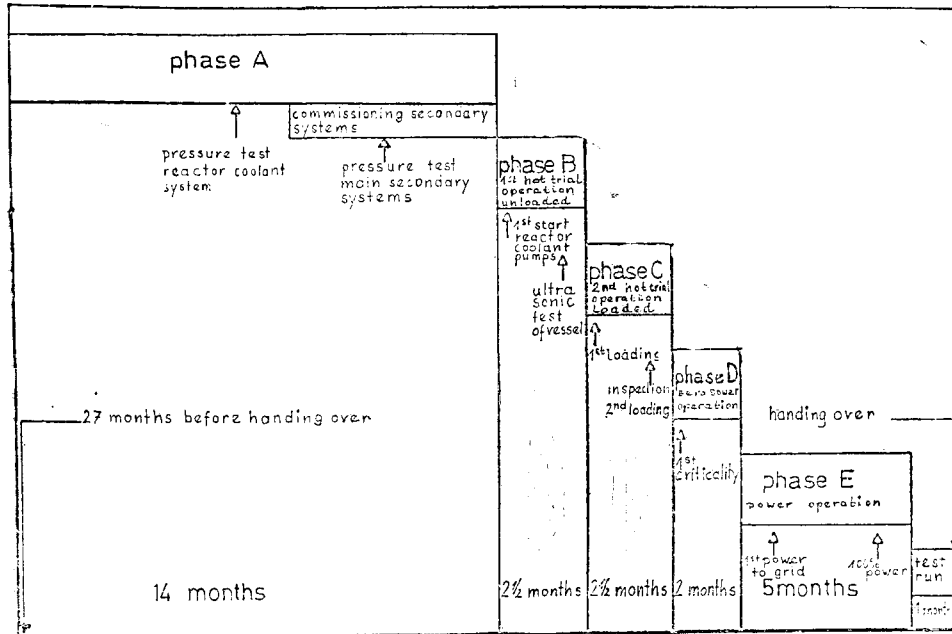


그림 18. 始動運轉試驗節次例

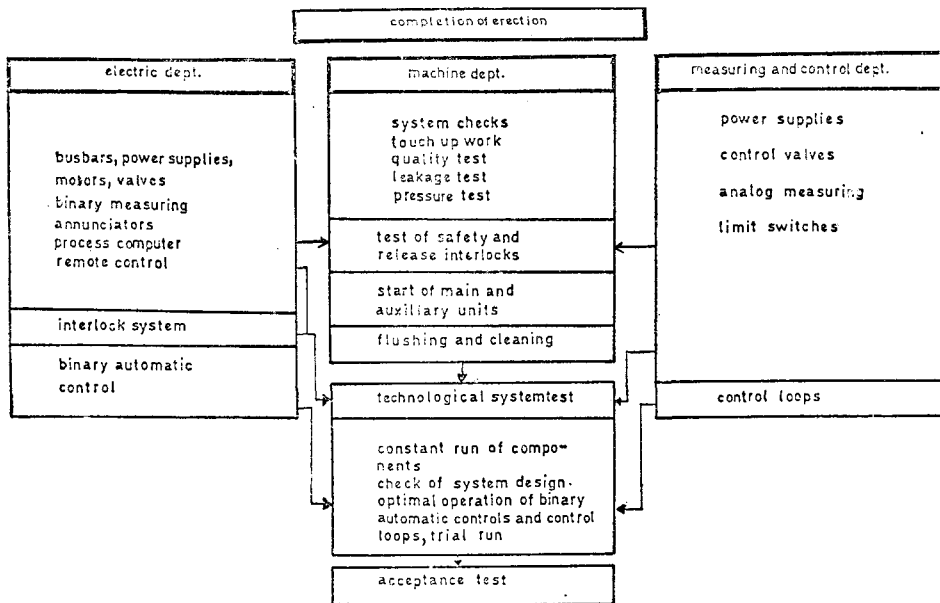


그림 19. 各 系統의 코미쇼닝作業例

입된다. 燃料裝填이 끝난 原子爐心の 最終點驗이 끝나면 制御棒驅動장치와 各 計測機器 등이 설치된 爐心の 외 뚜껑부분이 닫히고 이어 壓力容器的 머리 부분도 닫힌다.

(나) 常溫과 高溫에서의 試驗運轉

核燃料 裝填後 原子爐 冷却系統은 硼酸水로 完全히 잠

기게 되며 이 때의 中性子有効增倍係數는 0.95 정도로 유지되므로 다음의 試驗을 行하는 동안 原子爐는 安全한 未臨界狀態를 유지한다.

- ① 器子爐 冷却系統 流量比와 壓力손실의 測定
- ② 原子爐 冷却系統 펌프의 런다운(rundown) 實驗
- ③ 原子爐 冷却系統機器에 대한 振動測定

- ④ 原子爐 壓力容器와 그 内部構造物에 대한 振動測定
- ⑤ 制御棒의 開回路 制御狀態에 點檢
- ⑥ 原子爐 保護系統의 出力信號點檢
- ⑦ 緊急出力稼働의 檢査

(다) 一次의인 臨界狀態로의 接近

初期 原子爐運轉은 發電所의 試驗稼働에 있어서 重要한 段階이므로 臨界狀態에 이르기 前에 原子爐系統의 安全性을 위해서 지금까지 行해은 기기의 性能試驗 및 測定들이 安全審査委員會에 依하여 再檢討된다. 安全審査委員會에 의한 同意가 나면 原子爐의 모든 制御棒을 閉狀態에서 臨界狀態가 되도록 純水의 注入率을 조정하며 中性子有效増倍係數의 증가율은 계속 測定器에 依해 檢시된다.

(라) 零出力 爐物理試驗

最初로 臨界狀態가 이루어지면 原子爐出力이 定格出力의 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 정도까지 유지되는 稼働段階에 들어가게 된다. 모든 制御棒이 完全히 閉힌 狀態에서 臨界狀態를 유지하는 硼素濃度는 적어도 2가지 以上の 溫度에서 決定되어야 한다. 이 試驗은 過剩反應度(excess reactivity)와 反應度 溫度계수를 알기 위한 것이다. 만일 現在 고려되고 있는 原子爐心の 爐物理的 設計가 표준설계와 상당한 差異가 있는 경우 위에 열거한 試驗 이외에도 이 原子爐心の 設計를 實驗的으로 證明하기 위해서 더 많은 實驗들이 施行되어야 한다.

(마) 試驗出力運轉

零出力 試驗이 끝나면 原子爐出力을 試驗出力運轉의 順序에 따라 점점 증가시킨다. 出力증가의 폭은 각 出力段階에서 試行되어야 할 試驗의 結果와 測定값이 다음 段階로까지 外插(extrapolate)될 수 있도록 選擇되며 이렇게 하므로써 原子爐稼働의 安全性을 確保하고 發電所運轉에 있어서의 非正常的인 이탈을 항상 탐지할 수 있게 한다. 試驗出力의 各 段階는 定格出力의 5%, 30%, 50%, 80%와 100%이며 30% 段階를 除外한 全段階에 대해서는 各 段階始作前에 그 以前段階에서 行한 測定과 機能檢査內容이 完全한가를 安全審査委員會에 依하여 再檢討되어야 한다.

(4) 出力試驗運轉(段階 E)

發電所 양도를 위한 試驗稼働期間中에 運轉과 技術的인 安全性의 確認이 이루어져야 한다. 이러한 確認點檢의 數와 정도는 이 발전소가 原型이나 또는 이미 세워진 발전소의 複制型이나에 따라 큰 差異가 있다. 前者는 수많은 實驗을 통하여 그 設計의 타당성을 입증해야 하는 반면 後者는 各種制御機能의 點檢과 이 發電所에 特定된 계수들의 點檢을 行하기만 하면 된다.

(가) 여러 出力段階에 있어서의 重要點

5%와 30%의 出力段階에서는 주로 始運轉制御기관이 사용되며 試運轉制御의 最適化에는 古典的인 方法이 사용된다. 50% 出力段階에서는 주로 正常稼働時 사용되는 制御系統의 코미쇼닝과 그 最適化가 行하여진다. 이 段階는 負荷변화와 負荷減少試驗 등을 포함하며 反應度攪亂과 펌프트립도 포함한다. 發電所의 全般的인 稼働狀態에 대한 가장 광범위한 研究는 80% 出力段階에서 이루어지며 始運轉과 正常運轉에서 사용되는 各種 制御裝置들이 마지막으로 再調整된다. 이 때 각 機器에 대한 모든 制限條件이 주어지며 主冷却펌프의 트립시험에 의해 발전소가 감소된 수의 冷却루우프를 가지고도 일정한 出力의 稼働이 가능하다는 것이 증명된다. 100% 出力段階에서는 上述된 모든 機能의 자세한 調整과 포괄적인 滿足要件이 이루어진다.

(나) 制御系統의 限界와 追加機能의 點檢 및 最適化 試驗

蒸氣發生器의 水位調節器, 加壓器의 水位調節器, 一次系統 壓力調節器 등의 많은 制御裝置들은 常溫, 高溫 試驗稼働中에 비교적 일찍 코미쇼닝을 받는다.

出力試驗稼働 기간에 중요한 사항은 다음과 같다.

- ① 原子爐心 中性子束 測定
- ② 未使用蒸氣의 最大壓力調整
- ③ 터보發電機의 回轉速度調節
- ④ 發電機出力調節器

50% 段階에서는 制御棒삽입 및 인출限度, 制御棒速度 및 原子爐出力의 限度가 再調整되고 點檢된다.

80%에서는 出力密度制限 및 出力分布制限系統들이 稼働된다.

100% 出力단계에서는 낮은 出力段階에서 點檢되었던 모든 回路나 系統들이 作動하게 된다.

(다) 發電所全體의 稼働狀態評價를 위한 點檢

始運轉試驗을 앞으로 닥칠 攪亂(disturbances)의 견지에서 再考해 본다.

(i) 正常稼働過程에서 야기되는 교란

교란에 의해 야기될 부하변동을 豫想하여 行하여지는 負荷變化試驗은 주로 冷却水溫度, 制御棒位置調整루우프, 原子爐出力分布를 위한 제어, 發電機出力, 蒸氣發生器水位, 一次冷却水壓력과 加壓器水位 등의 最適化를 위하여 行하여진다.

(ii) 運轉事故에 의한 攪亂

- ① 給水펌프의 트립
- ② 制御棒의 落下와 급격한 出力감소에 따른 原子爐 冷却펌프의 트립
- ③ 主冷却펌프의 트립

- ④ 反應度擾亂
- ⑤ 負荷減少試驗

(iii) 主要系統故障으로 인한 교란

원자로트립이나 非常電力으로의 대체 등과 같은 교란은 故障탐지를 위한 點檢이나 이러한 교란을 取扱하기 위해 고안된 安全系統의 正常作動을 수립하기 위한 것이다.

위와 같은 試驗을 통하여 발전소 運轉팀이 증가되고 이 훈련된 人員들이 후속기에 참여할 것이므로 자연적이고 즉각적인 情報의 교환이 이루어진다.

맺 는 말

지금까지 7회에 걸쳐 原子力發電所의 建設에 對한 妥當性調査서부터 計劃, 建設 및 試運轉의 各段階에 있어서의 技術的 內容과 問題點을 概略的으로 記述하여 보았다.

以上에서 記述한 內容은 모든 것을 網羅하였다고 생각되지 않으며 또 建設하는 國家에 따라, 建設時期에 따라 內容은 얼마간 修正될 수 있다고 보며 事實 原子

力技術은 日益 發展되고 있는 것이다. 이 記事를 쓰고 있는 동안 우리 나라의 原子力開發事業은 2000년까지 40餘機라는 意欲的인 計劃이 樹立되고 있다. 이런 狀況에서 原子力技術의 土着化는 우리의 當面課題이며 이 글이 이를 위해 조금이라도 寄與될 수 있다면 多幸이라 하겠다.

앞으로 機會가 있으면 不足한 部分을 補完하고 새 情報를 追加하여 完全할 것을 期待하면서 이만 擱筆한다.

參 考 文 獻

- 28. U.S. 10 CFR 50, Appendix B, Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants and Fuel Reprocessing Plants.
- 29. American National Standard, Reactor Plants and Their Maintenance, ANSI N45.2.
- 30. H. Friedrich, The Start-up Personnel Organization, Kraftwerk Union AG, Erlangen, 1975.