

# 原電의 安全檢査/試驗慣例

*Safety Inspection Practice of N. P. P. in U. S. A. & Japan*



金 哲 鎭 (原子力安全센터 專門委員)

## 1. 序 文

積極的인 原子力發電置重政策은 化石 에너지 資源이 貧弱한 우리나라의 實情으로서는 異論의 餘地가 없으나 安全性確保라는 命題는 特히 規制機關의 至上의 課題가 아닐 수 없다. 上記 課題는 設計, 製作, 設置, 檢査, 運轉, 補修 全過程에서 “品質保證”이 維持됨으로서 期約할 수 있는 것인 바, 全過程에 걸친 깊은 關與가 事實上 不可能한 規制機關으로서는 目的達成을 爲한 規制機關의 關與範圍 깊이의 適正化라는 問題가 抬頭된다.

나라마다의 特有한 事情으로 規制機關의 關與度는 나라마다 相異하며 適正線의 設定이 또한 容易치 않다.

本稿에서는 品質保證中 檢査/試驗에 限定, 原子力發電所의 檢査/試驗의 種類를 段階적으로 略述하고 美國과 日本의 規制機關의 安全檢査/試驗 慣例를 紹介하고자 한다.

## 2. 安全檢査

安全檢査는 크게 原子力發所 竣工前에 實施되는 初期檢査/試驗과 竣工後 段階에서 施行되는 定期檢査로 區分되는데 前者가 原子力運營者 (電力會社)가 設計報告書, 安全性分析報告書에 코미트한 設計方法 및 여유도를 포함한 設計 適合性 및 技術仕様書에 設定된 各種 運轉制

限條件 및 設定值의 適正性이 本 試驗을 通하여 確認되고 궁극적으로 發電所의 安全運轉性을 立證시키기 위한 前段階試驗이며, 後者는 일단 安全運轉性이 確認된 發電所에 對하여 定期, 週期的으로 發電所壽命期間中 實施하는 것으로 발전소가 運轉制限條件을 充足시키고 있는지 確認하기 爲한 監視試驗, 計器類의 較正, 機器 교체, 修理, 放射線管理 등 必要한 보수 및 유지관리를 通하여 발전소의 安全性을 初期竣工狀態로 유지시키는데 그 목적을 두고 있다.

따라서 발전소의 구조물 계통, 기기의 성능, 기능이 미확인상태에서 단계적, 체계적 시험을 通하여 발전소의 운전성, 안전성을 確保해야 할 前段階檢査가 국제기관의 立場에서 볼 때 더욱 重要하며 또한 보다 깊은 관여가 必要하다 할 것이다.

### (1) 初期試驗 (Initial Test)

초기시험은 使用前試驗 (Pre-Operational Test) 과 初期始運轉試驗 (Initial Start-Up Test) 으로 區分된다. 使用前試驗 前段階檢査로서 施設檢査가 先行되는데 이는 構造物, 系統, 機器가 設計대로 適切한 方法으로 適合하게 施工되었는지의 與否를 確認하는 것으로 Dimensional Check, 熔接檢査, 耐壓 및 누설시험 등 그리고 Non Conformance Report의 適正處理等 일련의 品質保證活動이 隨伴된다.

### 1.1 使用前試驗 (Pre-Operational Test)

가동전시험은 常溫機能試驗 (Cold Functional Test) 과 高溫機能試驗 (Hot Functional Test) 으로 區分되며 初期始運轉試驗 (Initial Start-Up Test) 은 初期核燃料裝填을 거쳐 零出力 및 低出力物理試驗 그리고 出力增高試驗 (Power Ascension Test) 로 分類된다.

요컨대 使用前檢査는 核燃料裝填의 先行條件인 發電所의 構造物, 系統, 機器의 安全性, 運轉性を 確認하는 組織의이며 또한 體系的인 試驗이며 운전조건이 보다 가혹한 高壓高溫下의 高溫試驗前 段階, 즉 常溫狀態下에서의 試驗에 加급적 많은 試驗對象을 包含, 機能을 確認하고 후속되는 高溫機能試驗에 철저히 對備하는 것으로 原子爐冷却水系統, 原子爐보호계통, 機器冷却水系統, 工學的安全系統試驗, 核燃料 取扱裝置試驗, 放射性廢棄物(氣體, 固體, 液體) 處理系統試驗, 直流·交流 및 非常電源을 包含한 電氣設備試驗 등이 包含된다.

高溫機能試驗은 核燃料裝填前段階로 核燃料裝填後의 萬一의 核事故의 豫防, 核事故發生時의 영향경감을 위하여 보호계통, 안전설비계통의 안전기능, 운전기능을 실제조건하에서의 시험을 통하여 확인하는 것으로 1차냉각계통加熱冷却試驗, 1次冷却系統壓力溫度較正試驗, 加壓器壓力 水位制御試驗, 증기발생기Blow-Down시험, 1次냉각재펌프운전시험, 餘熱除去系統운전시험 등이 본 시험에 포함된다.

### 1.2 初期始運轉試驗

零出力 및 低出力試驗은 設計과라미터가 充足되었으므로 또한 安全性分析上 설정했던 諸般豫測值가 正確하다는 것을 立證하는 試驗으로 減速材溫度係數測定, 制御棒價値 및 Boron價値 測定, 臨界Boron濃度測定 등을 包含하는 零出力爐心特性試驗과 出力分布測定, 出力係數測定을 包含하는 出力時爐心特性試驗 등이 例示된다.

또한 핵연료장전후 初臨界到達期間에 연료장전시험, 制御棒Cluster Driving Mechanism 시험, 原子爐制御保護系設定值確認試驗, 爐內計裝

裝置試驗, Integrated Interlock 시험, 1次冷却材流量測定試驗, 初臨界試驗 등이 例示된다.

出力增高試驗에서는 體系的으로 시험순서를 적합하게 설정하여 발전소의 안전성이 시험을 통하여 그 機能의 適合성이 確認되지않은 構造物, 系統, 機器에 依存하지 않도록하고 있으며 自動制御試驗, 負荷變動 및 차단시험, Plant Trip 시험, 出力領域核計裝較正試驗, 증기발생기 Moisture Carry-Over 시험, 放射線準位測定試驗 등이 主要시험대상이 된다.

#### ● 初期試驗 (竣工前段階)

使用前試驗 (廣義)

施設檢査 (建設確認試驗)

使用前試驗 (小義)

常溫機能試驗

高溫機能試驗

初期始運轉試驗

初期核燃料장전시험 및 零出力試驗

低出力試驗

出力增高試驗 (25%, 50%, 75%, 100%)

註: 本 分類方式은 美國의 경우이고 韓國과 日本에서는 使用前試驗을 初期試驗으로 定義하고 있음.

### 1.3 稼動前 / 稼動中檢査

原子力發電所의 一次系統은 高溫 高壓을 받고 있으며 放射線物質을 含有하고 있기 때문에 發電所의 起動에 앞선 徹底한 稼動前檢査 (Pre-Service Inspection)는 물론 運轉後에도 定期的으로 同一部位에 對하여 同一方法으로 檢査(稼動中)하여 稼動前檢査結果와의 比較, 評價가 要求되며 Unacceptable Defect로 進行되기 前에 適切한 措置를 取해야 되는 바, ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section XI "Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Component"는 바로 稼動前/稼動中檢査를 規定하고 있다.

檢査對象은 Class 1, 2, 3 Component(壓力容器, 배관, 펌프, 밸브)이며 構造上 不連續部이기 때문에 운전중 高應力을 받아 龜裂(Crack)

等 결함이 발생하기 쉬운 열영향부(Heat Affected Zone)를 포함한 용접부에 중점을 두고 있다.

또한 용접부의 검사부위와 정도는 中性子照射에 의한 照射脆化, 起動停止의 반복에 기인한 피로효과, 高應力部位(노즐 등), 二重金屬의 接合部位 등을 고려하여 정하도록 되어 있다.

검사대상인 安全等級(Safety Class) 1, 2, 3 機器는 10年週기로 검사완료토록 되어 있으므로 10年週기 검사계획에 기초한 年間檢査計劃에 의거, 每年 核燃料交替時 稼動中檢査를 實施하고 있으나 檢査時 發見된 결함의 相對的 比較評價를 爲해서는 前述한 바와 같이 稼動前檢査가 要求되므로 本 試驗은 施設檢査段階에서 實施되다.

(2) 定期檢査 / 試驗(竣工後 段階)

原子力發電所는 建設段階에서 施設檢査를 받고 또한 일련의 使用前檢査 / 試驗, 初期始運轉試驗을 거쳐 그 運轉 및 安全性이 立證되어 商業運轉에 들어 간 發電所라 할지라도 事故時 放射能汚染이라는 特性때문에 철저한 補修는 물론 지속적인 운전감시가 要望된다.

竣工後段階檢査 / 試驗은 監視試驗(Surveillance Test)과 核燃料交替時 燃料交替作業과 並行 實施되는 定期檢査 / 試驗으로 大別된다.

2.1 監視試驗

監視試驗은 特定系統의 安全과라메타(Safety

Parameter) 確認을 爲한 試驗으로 試驗週기가 最終安全分析報告書에 設定되어 있는 바, 例컨데 每交代勤務時, 每日, 每週, 每月, 每分期, 每半年, 每年, 每起動時 各各 1回 等이며 이와 같은 감시요건의 충족을 위하여 古里1號機에서는 別표와 같이 技術仕様書의 要件인 185個 項目의 監視試驗을 各部署別로 實施하고 있다.

2.2 定期檢査

10 CFR 50 Appendix B "Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plant" 에서는 安全關聯構造物, 系統, 機器의 運轉上 要求되는 品質保證 要件을 設定하고 있는 바, 本 規定의 充足을 爲하여 USNRC는 Regulatory Guide 1.33 "Quality Assurance Requirements (Operation)"을 제정하였고 同 指針 Appendix A에서 使用中 原子力發電所에서 品質保證을 達成하기 위하여 金요한 節次書作成과 節次書에 따른 施行을 要求하고 있다.

이의 充足을 위하여 韓電은 運轉節次書(古里1號機)를 作成, 施行하고 있는 바, 이 節次書는 上記 Appendix A의 指針에 의거 作成된 相대한 節次書의 文書化作業으로 다음 分類에 따라 發電所 安全運營에 金요한 節次書를 總網羅하고 있으며 韓電은 前述한 監視試驗 185개 항목포함, 約 400항목을 定期檢査對象으로 하고 있다.

① 行政

〔表〕 監視試驗計劃

項目	擔當部署	운전과	기술과	화학과	보 건 물리과	공무과	계기과	計
	주기							
1	Shift	20						20
2	Daily	3		5	3			11
3	Weekly	5		5	6	1		17
4	Monthly	10	3	4	8	1	15	41
5	Quarterly	3	1		14	2	1	21
6	Semi-annually		1		1			2
7	Annually				4		8	12
8	Refueling	13	3		2	14	19	51
9	Start-Up	1					2	3
10	Infrequently		4		3			7
小	計	55	12	14	41	18	45	185

- ② 品質管理
- ③ 發電所 運轉
- ④ 試驗 및 校正
- ⑤ 原子爐管理
- ⑥ 放射線管理
- ⑦ 環境管理
- ⑧ 水質管理
- ⑨ 補修

### 3. 規制機關의 安全檢査

#### 美國의 慣例

##### (1) 初期試驗 (Initial Test)

前述한 바와 같이 電力會社에서는 200~250 個項目的 使用前檢査/試驗을 實施하는 바, 規制機關은 그 全體試驗에 立會, 結果評價를 實施하는 것은 아니다.

10 CFR 50 Appendix A General Design C-criteria 및 規制指針 (Regulatory Guide) 1.68 Initial Test Program에서 安全重要도에 따른 Graded Approach가 강조되고 있는 바, 이는 原子力安全에 영향을 미치는 重要도에 따라 構造物, 系統, 機器를 分類하여 設計, 製作, 設置, 試驗, 運轉, 補修 등 全過程에 差等を 두도록 하는 것으로 發電所의 全構造物, 系統, 機器가 安全等級 (Safety Class) 1, 2, 3, NNS (Non Nuclear Safety) 品目으로 區分되며 또한 Quality Group A, B, C, D로 分類되고 있으며 耐震面에서도 Seismic Category I, II로 區分되며 該當 Quality Group, Seismic Category에 相應하는 設計, 製作, 設置, 試驗, 運轉, 補修가 이룩되고 있다.

따라서 NRC (Nuclear Regulatory Commission) 檢査局도 初期試驗 全項目에 關與하고 있지 않으며 安全重要도의 優先順位에 따른 選別原則에 따라 電力會社가 提出하는 試驗節次書를 試驗實施 6個月前에 받아 그 節次書가 Code 및 Regulatory Guide의 要件을 充足하고 있는지 그 節次書內容의 適合性を 檢討하고,

- 選定된 試驗에 立會하여 節次書에 따라 中

실하게 試驗을 遂行하는지를 確認하고,

- 또한 試驗結果評價는 適切한지를 確認, 評價하고 있다.

##### 1. 1 使用前試驗

NRC檢査局은 使用前試驗을 3個 Group으로 分類하고 있다.

##### 가. 必須試驗 (Mandatory Test)

- 格納容器 漏洩率試驗
- 原子爐 保護系統試驗
- 工學的 安全設備試驗
- 高温機能試驗
- 所外電力喪失試驗

##### 나. 重要試驗

Test	Module Number
① Vibration	70531 B
② Control Rod System	70532 B
③ Chemical Control System	70533 B
④ ESF Actuation System	70534 B
⑤ Safety and Relief Valves	70535 B
⑥ Residual/Decay Heat Removal System	70536 B
⑦ Main Steam Isolation Valves	70537 B
⑧ Auxiliary Feedwater System	70538 B
⑨ Component Cooling Water System	70539 B
⑩ D. C. Power System	70540 B
⑪ Emergency/Standby Power Supply System	70541 B
⑫ Containment Combustible Gas Cont. System	70542 B
⑬ Containment Spray System	70543 B
⑭ Containment Isolation Valves	70544 B
⑮ Containment Heat/Cool/Vent System	70545 B
⑯ Auxiliary Building Heat/Cool/Vent System	70546 B
⑰ Pressurizer and Level Control System	70547 B
⑱ Main Feedwater Control System	70548 B
⑲ Reactor Coolant Leak Detection System	70549 B

㉔ Loose Parts Monitoring System	70550 B
㉕ Integrated Reactor Control System	70551 B
㉖ Remote Reactor Shutdown	70552 B
㉗ Cranes, Hoists and Lifting Equipment	70553 B
㉘ Nuclear Instrumentation	70554 B
㉙ Compressed Gas System	70555 B

다. 其他試驗

위의 必須試驗 및 重要試驗에 該當되지 않는 其他試驗이다.

必須試驗에 對해서는 試驗全項目에 對해서 節次書의 檢討, 試驗立會, 試驗結果에 對한 독자적인 評價를 하도록 規定되어 있고, 重要試驗에 對해서는 25個項目中 5個項目에 對해서만 選別立會하며 試驗結果評價는 25個項目中 10個項目을 選別 實施한다. 단, 駐在官이 發電所에 常駐하는 경우에는 5個項目을 追加하도록 되어 있으며 立會評價에서 除外된 項目에 對해서는 書類심사로 대신하고 있다.

또한 其他試驗에 對해서는 일단 電力會社의 獨立的인 試驗에 一任하되 Random Sample Check로 대신하고 있다.

1.2 初期始運轉試驗

사용전시험에서와 같이 初期始運轉試驗에서도 試驗節次書檢討, 試驗立會, 試驗結果評價 各過程에서 前述한 安全重要도에 따른 選別原則(G-graded Approach)이 適用되고 있는 바, 一例를 出力增高試驗에 든다면 檢査官은 下記試驗에 選別 立會하도록 되어 있다.

가. PWR Plant (6個試驗項目 選定)

- ① Evaluation of Power Reactivity Coefficient
- ② Evaluation of Core Performance
- ③ Evaluation of Core Power Distribution for Different Full-Length and Part-Length Control Rod Position
- ④ Induce Xenon Oscillation Test
- ⑤ Pseudo Rod Ejection Test
- ⑥ Dropped Control Rod Test

- ⑦ Plant Response to Design Load Swings
- ⑧ Plant Control System Tests
- ⑨ Loose Parts Baseline Monitoring
- ⑩ Plant Response to Automatic Closure of the Main Steam Isolation Valves

나. BWR 및 PWR Plants(4個試驗項目選別)

- ① Control Room or Process Computer
- ② Calibration of Instrumentation System
- ③ Plant Heat Balance
- ④ Process and Effluent Radiation Monitoring System
- ⑤ Chemical and Radiochemical System Functional Tests and Analyses
- ⑥ Neutron and Gamma Radiation Surveys
- ⑦ Reactor Internals Vibration Monitoring
- ⑧ Turbine Startup Testing

다. Transient Test(PWR and BWR Plants)

- ① Turbine Trip
- ② Generator Trip
- ③ Shutdown from Outside the Control Room
- ④ Loss of Offsite Power

日本の 慣例

發電所 建設段階別로 初期試驗을 5個項目으로 檢査對象을 다음과 같이 分類하고 있는 바, (가) 項目이 施設檢査, (나) 項目 및 (다) 項目이 使用前檢査, (㉔) 項目이 核燃料裝填 및 零出力試驗, (㉕) 項目이 出力增高試驗에 該當된다.

(가) 項目 檢査項目

Component and System Integrity (製作 및 建設設置中) : 133項目

(나) 項目 檢査項目

蒸氣 Turbine 및 補助보일러檢査(設置後) : 1項目

(다) 項目 檢査項目

系統運轉性確認(燃料裝填前) : 62項目

(라) 項目 檢査項目

原子爐心制御系統確認(臨界到達時) : 12項目

(마) 項 檢査項目

出力運轉確認(竣工前) : 34項目

計 242項目

5個分類에 따르는 總 242項目에 對하여 日本의 規制機關인 通産省이 시험에 立會, 評價에 臨하고 있다. 一見 그 關與度가 미국의 NRC에 比해 깊은 것으로 생각될 수 있으나 前述한 NRC의 使用前檢査項目은 通産省分類項目 (나) 및 (㉠)에 該當하는 것이며 또 NRC의 경우 必須試驗項目인 工學的安全設備 即 單一試驗으로 表記되어 있으나 이를 通産省의 (㉠) 項 試驗項目에는 Safety Injection Interlock 시험, Safety Injection System 재순환시험, 高壓注入펌프시험, 殘熱除去系試驗, 格納建物 Spray Pump 시험, 補助給水系試驗 等으로 細分하고 있어 시험 항목수의 단순한 비교만으로 關與度를 云云할 性質은 못되며 内容上으로 大同小異하다고 하겠다.

다만 製作中檢査에 있어 日本의 경우 熔接檢査에 力點을 두고 中立專門檢査機關인 發電用熱機關協會傘下 熔接事業本部를 大幅 活用, 대행토록 하고 있으며, 미국의 경우에는 "N" Certificate (Stamp) 제도에 따라 Nuclear Authorized Inspector가 工場에 常駐, 品質保證을 期하고 있다.

(2) 定期檢査 / 試驗

日本에서의 定期檢査는 電氣事業法47條, 原子爐規制法29條에 의거 每年 1回 實施하도록 되어 있다.

檢査對象 原子力發電所의 基數增加에 따라 人力需給에 어려움이 있어 通産省은 熱機關協會傘下 原子力安全센터에 定期檢査를 漸次 委任하고 있으며 가까운 將來에 완전히 委任될 展望이나, 현재는 通産省制定標準檢査項目 83個中 29個項目에 對해서만 政府가 直接 檢査에 立會하고 있으므로 約70%가 委任된 狀態이다.

한가지 特記할만한 사항은 定期檢査는 官의 人力不足 等 특수사정에 따라 제3전문기관에 檢査업무가 위임되고 있으나, 使用前檢査를 포함

하여 初期試驗만은 아직도 通産省에서 直接 관장하고 있다는 點이다.

이는 앞에서 말한 初期試驗과 定期檢査의 性格의 差異, 即 前者가 安全性 및 運轉性이 未確認狀態에서 施行되는 試驗인데 反하여, 後者는 安全性 및 運轉性이 확인된 발전소의 운전상태를 수명기간 중 초기상태로 유지하기 위한 檢査라는 점에서 前者가 더욱 규제기관의 깊은 關與를 필요로 하기 때문인 것이다.

이와 같은 경향은 미국에서도 通用되고 있는데 즉, 初期시험에는 安全重要度を 감안한 선별적 시험에 NRC 檢査관이 직접 關여(節次書檢討, 試驗立會, 시험결과평가)하고 있으나 준공후의 定期檢査는 上記한 Regulatory Guide 1.33 Appendix A에서 시험절차서의 작성 및 적용을 要件化하고, 定期檢査가 시험절차서에 따라 주기적으로 적법하게 실시되고 있는지의 여부를 主 관 또는 檢査官의 定期, 隨時監査를 通하여 點檢하는 監査에 力點을 두고 있다.

4. 結 言

以上에서 原子力發電所의 建設段階別 檢査 / 試驗 및 規制機關의 安全檢査에 對한 關與度(範圍, 깊이)를 미국과 일본의 例를 들어 說明하였다.

原子力發電所의 安全運轉이라는 共同課題에도 不拘하고 規制機關의 關與度는 나라마다 相異하기 마련이다.

우리나라에서도 우리의 實情이 反映된 標準安全檢査(項目, 範圍, 깊이)의 設定이 必要하게 되어 規制當局이 本 作業에 着手했음을 알려드리며 本稿를 맺고자 한다.

(參 考 資 料)

1. US NRC Regulatory Guide 1.68 및 1.33
2. US NRC Inspection and Enforcement manual 7000 Series
3. 日本發電用原子爐檢査關聯機關出張報告書, 韓國에너지研究所