

日本에서의

플랜트設計 高度化 및 改良標準化

—經濟性的의 向上 및 設計의 合理化·適正化—

自主技術에 의한 輕水爐의 信賴性, 稼動率의 向上 및 從業員의 被曝低減을 目標로 輕水爐改良標準化計劃이 日本에서 通商産業省에 의해 시작된 것은 1975年이었다. 그 후 第1次(1975—1977년도), 第2次(1978—1980年度)를 끝내고 현재는 第3次 改良標準化計劃(1981—1985年度)이 추진되고 있다. 한편, 일본은 곧 原子力發電所 50—100基 時代를 맞이하게 되므로 앞으로의 原子力開發課題와 解決策에 대해 日本의 通産省資源에너지廳은 1982년 7월부터 1983년 6월까지 原子力發電高度化懇談會에서 검토하여 報告書를 정리했다. 이 보고서에서는 情報·人材·技術 세분야에 관한 高度化의 具體案을 제시함과 함께 原子力發電所 경제성 향상에 대한 노력을 호소하고 있다.

다음은 日本에서 原子力發電高度化懇談會報告書를 기반으로 하여 第3次 改良標準化計劃의 일환으로 검토중인 플랜트設計의 高度化에 대한 구체적 방법의 要約이다.

1. 輕水爐改良標準化의 高度化

1.1 高度化

原子力發電高度化懇談會報告書에서 技術의 高度化와 經濟性 向上에 관한 具體的 方案의 提言은 다음과 같다.

(1) 技術의 高度化

APWR 및 ABWR을 대상으로 한 第3次 改良標準化計劃의 추진을 중심으로 原子力發電플

랜트의 주변기술도 포함해서 長期的, 計劃적으로 다음의 技術開發을 추진할 필요가 있다고 한다.

- ① 信賴性 向上
- ② 運轉性·補修性 向上
- ③ 稼動率 向上
- ④ 先端技術의 積極的 應用

(2) 經濟性 向上

原子力發電의 發電코스트에서 占하는 資本費(주로 建設費)의 비율을 低減시키나, 安全性의 확보를 전제로 보다 고도의 신뢰성을 추구하면서 경제성의 향상을 도모하기 위해 다음 5個項目的 실시에 의해 10%정도의 建設費 低減이 가능해진다고 한다.

- ① 標準化의 擴大·徹底
- ② 設計의 合理化
- ③ 建設工期의 短縮
- ④ 購入方法의 再檢討
- ⑤ 品質管理의 合理化

1.2 輕水爐改良標準化

현재 진행중인 第3次 改良標準化計劃은 第1次, 第2次의 성과를 기초로 機器·시스템은 물론 爐心을 포함한 原子爐本體에 이르기까지 自立技術을 기본으로 하여 國際協力을 도모하면서 信賴性의 向上, 稼動率의 向上, 運轉性의 向上, 被曝의 低減, 立地效率의 向上, 리드타임의 단축화 관점에서 輕水爐에 대해 더 한층 향상을 도모함으로써 日本型輕水爐를 확립하는 것을 목

적으로 하고 있다.

이 계획에서는 앞으로의 輕水爐路線을 담당할 새로운 爐型世代로 新型輕水爐가 거론되고 있음과 동시에 在來型輕水爐에 대해서도 계속 改良이 도모될 것이며 구체적으로는 다음 분야로 大別해서 검토가 추진되고 있다.

(1) 新型輕水爐의 改良標準化로

- ① 新型 BWR(ABWR) 改良標準化
- ② 新型 PWR(APWR) 改良標準化

(2) 在來型輕水爐의 改良標準化로

- ① 定期檢査에 관한 改良
- ② 放射性廢棄物處理 改良標準化
- ③ 建設工法에 관한 改良
- ④ 計裝·運轉에 관한 改良
- ⑤ 工認標準化
- ⑥ 耐震設計의 標準化

(3) 標準化의 擴大·徹底와 設計의 合理化

그리고 (1), (2)項의 성과는 각각 서로 반영할 방침이다.

2. 設計의 合理化·適正化

原子力發電플랜트의 設計에 있어서는 安全性 信賴性을 최우선하는 것이 원칙으로 되어 있다. 지금까지의 운전실적, 경험 등에 비추어서 原子力發電플랜트의 機器·設備를 재검토해 보면 設計余裕가 必要以上으로 확보된 것으로 되어 있어서 合理化·適正化를 하더라도 安全上 問題가 없을 것으로 생각되는 것이 있다. 原子力發電플랜트의 建設코스트 低減을 도모하기 위해 安全性의 확보를 전제로 安全設計, 耐震設計, 機器設計 등에 대해 다음과 같은 과제가 대두되었다.

2.1 安全設計의 適正化

(1) 配管 Whip對策

現行 플랜트에서는 설계배이스로 高에너지配管은 瞬時破斷을 想定하여 破斷되었을 경우 配管 Whip에 의한 주변설비의 영향을 막기 위해

Whip 制止材 등을 설치하고 있다. 그러나, 配管破斷이 일어날 確率은 극히 적다고 생각되며, 破斷이 일어난다고 하더라도 그 以前에 長時間에 걸친 漏洩를 수반하므로 漏洩檢知 등에 의해 보다 적절한 조치를 강구하는 것이 가능하다는 생각(LBB: Leak Before Break)이 設計基準으로 채택이 가능하게 되었을 경우 Whip 制止材 등의 削除가 가능하게 되어 플랜트의 경제성 향상이 기대된다.

또한, 稼動中檢査 등 정기검사의 작업환경 개선에도 기여할 수 있다. 현재 이와 같은 設計基準이 歐美에서는 일부 채택되고 있으며, 일본도 채택을 위해 政府次元에서 검토가 추진되고 있다.

(2) 터빈미슬對策

터빈 事故時의 터빈미슬로부터 중요한 機器·設備를 보호하기 위해 건물의 천정이나 벽의 콘크리트 두께를 증가시키는 등의 대책이 행해지고 있다. 그러나, 터빈미슬중 터빈임펠러에 대해서는 터빈 케이싱 貫通後의 殘存에너지評價法에서 케이싱의 보강효과가 충분하게 평가되고 있지 않다. 따라서 이를 改善하여 보강효과를 고려한 평가법을 검토중이며, 이에 의해 建設側 등에서의 특별한 대책은 필요없게 된다.

(3) off-gas 放出率 및 爐水濃度의 再檢討

차폐벽의 콘크리트 두께와 높이의 설계기준이 된다. off-gas 放出率(BWR) 또는 爐水濃度(PWR)의 値는 운전실적에 비해 상당히 보수적으로 되어 있다. 연료의 개량 등에 의한 신뢰성 향상과 운전실적을 고려해서 設計用 off-gas 放出率 및 爐水濃度를 재검토하여 차폐용콘크리트 두께의 削減 등에 의해 건설비의 低減을 도모하는 것으로서 현재 검토중에 있다.

2.2 耐震設計의 合理化·適正化

耐震設計의 合理化·適正化에 대해서는 改良標準化 등에서 많은 항목에 관해서 논의되어 있는데, 1984年度 부터 改良標準化와는 별도의

府委員會에서 集大成하여 심의하기로 되었다. 당면으로 심의되는 항목은 다음과 같은 것들인데, 1985년 3월까지 결론을 맺을 예정이다. 이들의 實現에 의해 콘크리트, 철근, 기기, 배관 등 支持構造物의 物量低減이 기대된다.

(1) 硬質地盤으로의 入力地震動스펙트럼의 再檢討

硬質地盤에서의 入力地震動은 軟質地盤에서의 入力地震動보다 작아진다는 의견이 있어서 이를 뒷받침하는 데이터의 축적을 기반으로 硬質地盤으로의 入力地震動스펙트럼을 低減시킨다.

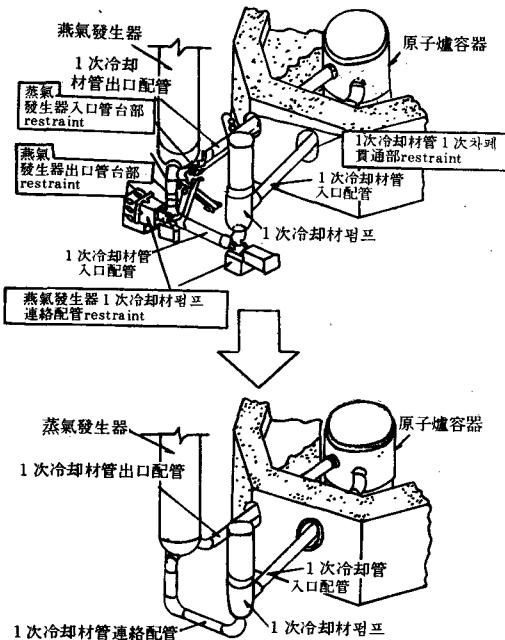
(2) 地盤剛性の 評價法

地盤-建物 相互作用의 평가에 사용하는 地盤剛性の 値는 지진시의 흔들림을 고려해서 여러 종류의 剛性値로 검토를 하기도 하나, 현재의 지식에 의하여 설계에 剛性低下를 고려하지 않아도 되는 것으로 한다.

(3) 地盤-建物 相互作用의 合理的 評價法

합리적인 sway rocking model의 채택과 함께 사이트에서 실시되는 地盤關係 振動試驗의 간략

〈그림 1〉 配管 whip 對策適正化案



화를 도모하는 것이다.

(4) 機器減衰定數의 再檢討

電氣盤·케이블트레이의 減衰定數에 대해서 振動試驗데이터에 따라 보다 합리적인 數値로 한다. 그리고 배관의 減衰定數에 대해서는 이미 이 취지에 의한 반영이 일부에 행해지고 있다.

2.3 系統設計의 合理化·適正化

系統設計의 合理化·適正化에 대해서는 다음과 같은 사항을 포함하여 여러가지의 案이 제시되고 있다.

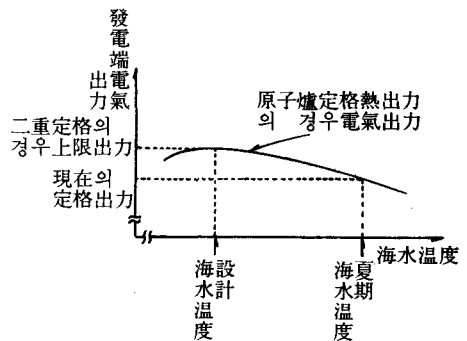
(1) 二重定格

原子力發電所에서는 夏期海水溫度時의 發電端出力을 定格出力으로 해서 이것을 營業運轉常用上限 플랜트出力으로 하고 있다. 따라서 여름철을 제외한 年間의 대부분은 定格出力以上の 發電能力을 가지고 있다. 그래서 設計海水溫度時의 發電端出力도 定格出力으로 하여 정격출력을 두가지로 설정해서(二重定格), 海水溫度에 따라서 原子爐認可出力의 범위에서 有效한 發電을 행함으로써 경제적인 플랜트運用을 할 수 있도록 認許可面에서의 검토를 제안하고 있다(그림2 參照).

(2) 光傳送, 多重傳送 및 software logic의 安全系統으로의 適用

一般産業 및 常用系에 실적이 있는 光傳送·多重傳送을 安全系統에 적용함과 함께 현재 hardware logic 및 analog回路로 구성되어 있는 原子爐保護系統, 非常用爐心冷却系統 등 安全系

〈그림 2〉 二重定格



統的 作動logic, 制御logic에 micro-processor 를 사용한 software logic을 적용시킴으로서 다음과 같은 利點이 기대된다. 즉, 制御盤의 축소화, 합리화, 시스템 진단기능의 추가, redundancy 구성에 의한 신뢰성 향상 및 케이블의 削減 등이다. 이들의 實現에 필요한 分離·耐震·信賴性を 확보하기 위해서 설계, 제작, 시험, 검사의 방법 등에 대해서 현재 검토가 추진되고 있다.

그 외에 플랜트內的 實情을 고려한 換氣回數와 設計實溫 등을 재검토해서 설비용량의 合理化·適正化를 도모하는 「換氣空調系統의 再檢討」 등 많은 항목이 검토되고 있다. 이들의 검토와 검토결과에의 반영에는 법령기준 등의 개정이 필요한 경우와 認許可上的 적용변경이 필요한 경우도 있겠으나 이들 항목의 일부에 대해서는 規則當局을 포함하여 調整을 취하면서 구체적 검토가 추진되고 있다.

3. 標準化의 擴大·徹底

지금까지 爐心주위를 중심으로 추진되어 왔던 標準化를 플랜트全體로 확대시켜 「標準플랜트」를 설정하여 앞으로 建設計劃을 추진하는 플랜트에 대해서는 자연조건 등에 의해 종합적으로 불리해지는 경우를 제외하고는 標準플랜트를 채택하면 適當한 間隔으로 量産되는 경우에 표준화의 효과로 設計·解析工數의 합리화, 습득효과에 의한 기기제작 등의 工數削減, 信賴性向上, 工期短縮, 認許可, 檢査業務의 간소화 등이 고려된다.

3.1 第2次 改良標準化까지의 達成內容

(1) 設備의 標準化

설비의 표준화로 設計方針, 系統構成, 基本仕様에 대해 가능한 것부터 표준화의 검토가 행해져서, 그 결과 爐心, 燃料, 1次冷却設備, 工學

的安全施設, 原子爐補助設備(一部)의 標準化가 도모되었고, 原子爐補助設備, 放射性廢棄物處理施設, 電氣施設, 터빈施設 등에 대해서는 설계방침의 표준화와 標準化制約因자의 摘出·檢討가 행해졌다.

(2) 建物の 基本配置와 機器配置의 標準化

原子爐 格納容器內的 가능한 항목에 대해서는 기본배치 및 기기배치의 표준화가 도모되었는데, 건물마다의 표준화에 대해서는 標準化制約因子로 인해 feasibility 단계에 그쳤다.

(3) 耐震設計의 標準化

標準用地震動의 작성, 耐震解析方法의 검토 및 標準化, 標準의인 건물의 耐震性檢討, 主要기기·설비의 耐震設計의 표준화, 認許可에서의 내진계산서 표준화 등이 행해졌다.

(4) 工事計劃認可關聯事項의 標準化

工事計劃認可申請에 관한 設備區分의 기본방침, 공사계획서의 format, 添附書類作成의 기본방침, format의 표준화 및 공사계획서 첨부서류의 항목·용어의 통일 등이 실시되었다.

3.2 標準化의 擴大·徹底方針

第1次, 第2次 改良標準化는 自主技術의 확립에 막대한 공헌을 했으나, 표준화의 달성이라는 관점에서 보면 여러가지의 標準化制約因子로 인해 그 성과가 충분했다고 하기 어렵다는 평가도 있다. 日本의 原子力發電技術은 定着段階에 있어서 앞으로 합리성, 경제성의 추구를 목적으로 한 표준화를 추진할 기반은 정비되었다는 판단에 따라 信賴性向上, 被曝低減, 安全性의 堅持를 존중하면서 경제성 추구를 위한 표준화의 확대, 철저의 검토를 행하여야 한다는 것이 高度化懇談會報告書의 主旨이다.

따라서 이번에는 설계의 합리화, 적정화를 포함하여 第2次 改良標準化에서 제시된 標準化制約因子에 대해 그 해소에 힘쓰며 標準化對象範圍를 넓혀 더욱 표준화의 수준도 안전심사수준에서 工事認可申請書의 수준으로 깊게하는 등

〈表1〉標準化制約因子

사이트條件	自然環境 등으로 發電所마다 對應이要求되는 경우. 즉, 耐震設計條件, 地形, 地盤條件, 海水溫度, 氣象條件 等
上流設備	主從關係에 있는 設備中 從設備의 標準化가 主(上流設備) 仕樣의 標準化의 程度에 따라 左右되는 경우
技術의 進步	技術의 進步가 現저하고 評價가 流動的인 경우
其他	國際關係, 國內事情으로 對應 또는 plant 運用 等에 의해 一律的으로 定하기 어려운 경우

〈表2〉標準化方式

標準設計	site條件, 上流設備의 制約을 받지않고 定해지는 設計.
module設計	site條件, 上流設備가 一意로 定할 수 없 어 條件을 假定해서 行한 設計
barriation	module設計를 했을 경우 module 設計의 條件이 다른 條件에 따른 設計
option	site條件, 上流設備의 제약은 받지않으 나 技術進步, 기타의 制約因子에 의해 보 통의 標準設計로는 合理的인 아닌 경우, 標準設計를 대신하여 選擇可能한 設計

을 목표로 標準化檢討를 추진한다는 방침이 제 시되었다.

3.3 具體的檢討方法과 再檢討

第2次 改良標準化에서 제기된 標準化制約因 子의 내용을 분석한 결과 表1과 같이 분류정리 되었다.

(1) 사이트條件

• 耐震設計條件, 地形·地盤條件에 대해서 건 물설비를 一律로 표준화하는 것은 경제적인 면 에서 得策이 아니다.

• 海水溫度, 氣象條件 등에 대해서는 경제적으 로 지장이 없는 한 되도록 포괄적인 설계를 한다.

(2) 上流設備

• 上流設備가 標準化可能인 경우 下流設備의 표준화를 추진할 수 있으나, 표준화가 어려운 경우는 上流設備의 標準인 설계를 가정하고 이 범위에서 下流設備의 표준화를 추천하지 않 을 수 없다.

〈表3〉設計進度

設計方針	系統·設備의 가장 基本的인 項目에 대 한 方針立案
主要系統構成	設計方針에 따르는 主要機器의 種類 및 主要機器間의 연관, 概略系統 또는 設 備構成의 계획
基本仕樣	設計方針을 基本으로 하여 主要機器의 仕 樣, 台數 및 그 機能達成에 필요한 系統構 成 및 그 機器의 基本配置계획
詳細系統計劃	基本仕樣에 따르는 系統設計仕樣書 等의 詳 細計劃, model engineering (總合配置設計) 과의 調整도 포함
詳細機器設計	機器의 製作 및 plant 建設用的 詳細設計

(3) 技術의 進步

• 현재 생각되고 있는 最善의 設備로 표준화 를 하여야 한다.

(4) 기 타

• 電力會社間 仕樣이 다른 것들에 대해서는 표준화를 철저히 하는 관점에서 먼저 電力會社 間 仕樣의 통일을 적극적으로 추진하도록 표준 화에 반영될 예정이다.

이상과 같이 標準化制約因子의 해소를 위해 여러가지의 노력이 이루어지고 있는데 충분한 해결은 기대할 수 없는 실정이며, 이들의 사정 을 감안하여 달성되는 각 계통설비의 표준화는 表2와 같은 방식으로 하기로 結論하였다.

이와 같은 관점에 따라 第2次 改良標準化보다 標準化範圍를 확대하기 위한 수단으로 設計進 度(表3參照)와 標準化制約因子를 파라미터로 하 는 標準化매트릭스를 각 계통설비마다 작성하 여 약80건의 系統設備內 詳細系統計劃까지의 포 준화가 타당한 것으로서,

• 非常用爐心冷却系統 등 20件

• 化學體積制御設備(PWR)나 原子爐冷却材淨 化系統(BWR)등 約50件(옵션포함)

등의 標準化展望이 얻어지고 있다. 현재 이 범 위에 따라서 보다 구체적으로 標準設計의 책정 을 추진하고 있다.