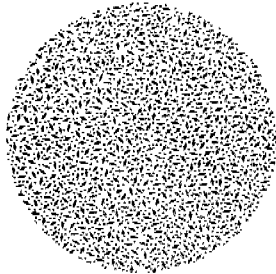


標準原子力發電所 設計 概要

Introduction to the Nuclear Power Plant Design Standardization



金 相 演

韓國電力技術(株) 副社長

1. 머리말

우리나라는 産業發展에 따른 電力 需要의 增加로 發電所의 建設이 持續的으로 要求되고 있다. 그러나 國內 에너지 부존資源이 貧弱한 條件에서 輸入 石油 또는 石炭에의 過度한 依存을 脫皮하기 위해서는 代替에너지 資源으로서의 原子力 利用이 不可 避한 實情이다. 이에 따라 現在까지 美國 및 佛蘭 西로부터 600MWe 級 및 900MWe 級의 加壓輕水爐 型(PWR)과 캐나다로 부터 600 MWe급의 加壓重 水爐型(CANDU)을 一括發注方式(Turnkey Base) 또는 分割發注方式(Component Base)으로 導入하 여 왔다.

그러나 이들 運轉中이거나 建設中인 9基의 國內 原子力發電所는 모두 注文設計에 의한 것으로 爐型 및 容量이 多樣하고 各기 다른 設計엔지니어링 會 社에 의하여 設計되어 主要機器의 特性 및 系統構 成等に 있어 多岐한 樣相을 지니고 있다.

따라서 이러한 여러가지 設計上的 問題點을 解決 하고, 建設 및 運轉 經驗, 立地環境 및 人間工學의 인 面들을 考慮하여 우리 實情에 알맞는 標準原子 力發電所의 設計, 建設 및 運營이 必要하게 되었다

本稿에서는 우리나라의 標準原子力設計事業의 推 進背景, 外國의 標準化動向, 推進計劃 및 現在의 遂 行現況에 대하여 概括的으로 言及하고자 한다.

2. 標準設計 推進 現況

가. 推進 經緯

標準原子力發電所 設計事業은 1970年 代 後半부 터 始作된 政府와 韓國에너지研究所간의 原電標準 化를 爲한 一連의 技術開發計劃에 그 根源을 돌 수 있다. 그러나 당시 國內 技術水準의 落後와 原子力 發電所 建設經驗의 不足, 그리고 關聯機關의 事業 推進 態勢가 未洽하여 具體的인 實現을 보지 못하 였다. 最近에 이르러 國內 原子力産業界의 技術開 發 및 經驗이 相當한 水準에 이르렀고 特히 世界的 으로 原子力과 火力과의 經濟性 比較가 論議됨에 따 라 標準原子力發電所 建設에 대한 具體的인 方案이 檢討되고 있는 實情이다. 이에 따라 政府로부터 原 子力發電所 關聯 設計用役 單一 專門業체로 育成하 기로 指定된 韓國電力技術(株)에서 “標準原子力 發

電所設計에 관한 研究” 事業을 提議하여 科學技術處의 支援下에 1983年 4月부터 約1年間に 걸쳐 基礎準備作業을 遂行한 바 있으며, 이 事業의 結果를 바탕으로 政府關聯部處와 韓國電力公社에서는 原子力産業과 關聯있는 諸機關의 意見을 收斂하여 “標準原子力發電所 設計事業推進計劃”을 確定하고 韓國電力技術(株)가 이 事業을 主管하여 學社的으로 遂行하게 되었다.

나. 期待 效果

여러나라로 부터 相異한 原子爐型을 導入 設置하는 過程에서 그동안의 原電建設 및 運營을 通하여 저지 않은 問題點이 導出되었으므로, 尙後 建設할 原電의 設計를 標準化함으로써 相當한 效果를 期待할 수 있을 것으로 判斷된다. 즉, 標準화된 認許可 節次로 認許可 期間의 短縮, 同一한 設計의 繼續適用으로 建設施工期間의 短縮, 機資材 仕樣의 單一化로 製作費의 節減 등 全体的인 建設費用의 節減을 期할 수 있으며, 核燃料 交替 및 補修期間을 短縮시킴으로써 發電所의 利用率을 向上시키고, 運轉員의 Human Error를 減少시켜 發電所의 非正常停止率을 極小化할 수 있을 것이다.

以上과 같은 期待效果外에도 各 分野別 專門技術의 早期習得과 蓄積을 通하여 原子力技術自立이 促進되고, 나아가 海外進出의 基礎造成도 앞당겨지게 될 것이다.

3. 標準設計의 國際動向

우리나라의 原電標準設計의 推進方向을 適正하게 設定하기 爲하여 先進國의 原電設計標準化에 關한 期間의 經緯와 動向을 調査 分析하여 보기로 한다.

가. 美 國

美國은 最近 安全規制의 強化 및 建設費의 增加 등으로 原電建設이 不振한 狀態에 있지만 1970年代 初期에 NRC(原子力規制委員會)의 主導下에 電力會社, A/E社 및 主機器供給者가 자기 혹은 共同으로 參加하여 標準化事業을 展開한 바 있다. 例컨대 Reference System(參照方式), Duplication(複製方式) 및 Replication(反復方式) 등의 方法으로 標準化를 推進하였다. 參照方式은 主機器供給者 또는 設計用役會社가 發電所 全体 또는 核蒸氣供給系統(NSSS)과 BOP(Balance of Plant) 등 部分 設備에

〈표-1〉 各國의 標準化 事例

國家	推 進 日 程	推 進 狀 況	容 量 및 爐 型(MWe)	推 進 機 關	備 考
美 國	○1972: 標準化政策發表 (NRC) ○1973: 標準化의 4가지 選擇基準 規定	○8件 14機 建設中	○1100-1300MWe級 PWR, BWR	○NRC(規制機關) ○5個 NSSS 供給者 ○14個 A/E社 ○16個 電力會社	○SNUPPS Project (4數地 5基)
프랑스	○1974: All Nuclear 政策 採擇, 第1標準型 推進 ○1976~: 第2標準型 推進 ○1977~: 第3標準型 推進	○20機運轉中 ○25機建設中	○900MWe級 PWR (第1, 第2標準型) ○1300MWe級 PWR (第3標準型)	○CEA(研究開發/規制機關) ○EdF(電力會社) ○Framatome(NSSS供給者) ○A/A(T/G供給者)	○單一爐型 指向
日 本	○1975~1977: 第1次改良標準化 ○1978~1980: 第2次改良標準化 ○1981~1985: 第3次改良標準化	○8基以上 運轉 또는 建設中	○800MWe級 및 1100 MWe級 PWR, BWR ○1300MWe級 APWR ABWR	○通商産業省 ○MITSUBISHI, HITACHI, TOSHIBA 등 機器 供給者 ○電力會社	○APWR, AB WR 開發目標
캐나다	○70年代: CANDU-600 ○80年代: CANDU-950	○2基運轉中 ○韓國, 아르 헨티나 등에 各1基씩 輸 出	○600 MWe級 PHWR ○950 MWe級 PHWR	○AECB(規制機關) ○AECL(NSSS供給者) ○O/H(電力會社)	○CANDU-1250 CANDU-2000 推進中

對하여 標準安全性分析報告書 (Standard Safety Analysis Report)를 미리 作成하여 認許可를 簡素化하는 것이며, 複製方式은 同一設計의 發電所를 多數 數地에 繼續 建設하는 것으로서 SNUPPS (Standardized Nuclear Unit Power Plant System) 프로젝트가 그 代表的인 例인데, 이 프로젝트에는 Westinghouse社, Bechtel社 및 4個 電力會社가 參與하여 4個 數地에 5基의 同一한 發電所를 建設하는 것으로 計劃되었다. 反復方式은 이미 建設許可가 發給되었거나 申請中에 있는 發電所를 基準으로 하여 同型的 發電所를 建設하는 方式이다.

나. 佛蘭西

佛蘭西는 1974년 부터 原電標準化를 積極으로 推進함으로써 1983年末 現在 45基의 標準原電을 運轉 혹은 建設中에 있어 代表的인 標準化 成功 事例가 되고 있다. 開發 時期別로는 初期運用型, 900 MWe級 PWR이 對象인 第1 및 第2 標準型, 1300 Mwe級 PWR인 第3 標準型和 N4 計劃으로 標準化 系列을 分類할 수 있는데, 同一 數地에 4基 또는 6基를 거의 同時에 建設함으로써 標準化의 利點을 極大化시키고 있다. 또한 電力會社, 機器製作會社 및 設計用役會社가 同一系機關으로 이루어져 있어 標準化를 效率적으로 推進할 수 있는 產業構造를 갖추고 있다.

다. 日本

日本은 既存 原電의 問題點을 導出하여 解決하는 視點에서 段階的인 改良 方式으로 標準化를 推進하여 왔다. 1975년 부터 1977년 까지 3年間的 第1次 改良標準化 期間 동안에는 既存 原電의 改良에 重點을 두어 推進하였고, 1978년 부터 3年間的 第2次 改良標準化 期間 동안에는 改良側面 보다는 標準化의 側面에 重點을 두고 推進하였다. 1981년 부터 5個年計劃으로 推進하고 있는 第3次 改良標準化 期間에는 獨自의 技術을 바탕으로 日本型 改良 輕水爐 (APWR 및 ABWR)를 開發하고 있는데, Mitsubishi社, Hitachi社 및 Toshiba社가 美國의 Westinghouse社, General Electric社 및 Bechtel社 等과의 技術協力を 통하여 遂行 하고 있다.

라. 캐나다

캐나다는 巨視的인 視點에서 볼 때 商業用 原電의 導入 初期에 이미 標準化의 概念을 導入하였다 고 말할 수 있다. 즉 同一 數地에 4基集結式 으로 한번 또는 두번에 걸쳐 原電을 建設하여 왔기 때문이다.

標準設計로서 完成된 것은 Candu 600 및 Candu 950型이며, Candu 600 系列로서 自國內에 2基를 運轉中이고 우리나라 및 아르헨티나에 各各 1基씩을 輸出한 바 있다.

以上에서 主要 國家들에 대한 標準化 事例를 살펴 보았는데 우리나라의 境遇는 佛蘭西의 標準化 方式에 가장 가까운 概念으로 原電標準 設計 事業을 推進하고 있다.

4. 標準設計事業 推進計劃

政府의 支援下에 基礎準備作業으로 遂行한 先行 課題調查研究 結果와 國內 原電의 建設 및 運營經驗, 經濟性 및 技術性을 土台로 韓國電力 技術(株)가 推進中인 原電設計標準化 事業 內容을 紹介하면 다음과 같다.

가. 標準設計 概念

標準設計事業은 既存 發電所의 設計, 建設 및 運轉經驗을 反映한 設計 改善과 모든 建設豫想數地의 包括的인 特性值를 適用한 同一 設計의 發電所를 多數數地에 反復建設하여, 經濟性 및 機資材의 國產化率 向上에 基本 目標을 두고 있다.

나. 基本方向

標準設計事業은 長期的인 眼目을 갖고 政策的인 支援下에 遂行되어야 하며 基本的인 遂行方向은 다음과 같다.

첫째, 標準設計의 基本方針은 設計模型 發電所를 基準으로하여 設計標準化를 遂行하며, 原電 13號機 부터 最小한 6基 以上에 適用하고, 一定期間 同一한 基準을 適用(最小限 6年)한다. 또한 主機器는 單一 主機器業體의 設計를 導入하여 製作하여, 標準設計 推進狀況에 맞추어 機資材 製作, 建設 施工 및 運轉補修의 標準化事業도 병행 推進하게 될 것이다.

둘째, 標準原電의 爐型 및 容量은 技術性, 經濟性 核燃料 供給 安定性 및 國內 電力系統에의 影響 等を 考慮하여 輕水爐型 900MWe 級을 主宗으로 하여, NSSS 및 터빈발전기(T/G)를 包含한 發電所 全系統中 標準化 可能部分과 發電設備建物에 對한 設計 및 配置를 標準設計의 範圍로 한다.

또한, 標準設計는 設計模型發電所에 既存發電所의 設計變更, 機資材製作, 運轉 및 補修經驗 等 韓國의 特性을 反映하고, 多數敷地에 適合한 包括的 敷地特性을 適用하며, 建設工期短縮, 安全性 및 信賴性向上과 利用率向上等 根本的인 設計改善 研究 結果를 反映하는 方向으로 推進할 計劃이다.

다. 推進計劃

標準設計事業은 長期間에 걸쳐 많은 人力과 費用이 所要되고 關聯產業界에 미치는 影響도 크므로, 外國의 事例 및 國內實情을 充分히 反映하여 緻密한 計劃을 樹立하여 施行하여야 한다. 政府에서는 이를 考慮하여 표 2와 같이 4段階로 區分한 長期 推進計劃을 세운 바 있으며, 最近에 이르러 韓國 電力技術(株)는 第2段階 事業인 設計改善研究를 韓國電力公社의 研究 事業으로 着手하게 되었다.

韓國電力技術(株)는 本事業을 遂行함에 있어 國

內에 蓄積된 經驗과 技術을 最大한 活用하기 爲하여 社業主인 韓國電力公社는 勿論, 韓國重工業(株) 韓國에너지(研), 韓國核燃料(株), 韓國科學院 및 學界로 부터의 資料提供 및 技術諮問等 많은 協助를 받고자하며 國內 脆弱技術分野에 對해서만 先進 外國 專門機關의 도움을 받을 計劃이다.

라. 標準設計 遂行內容

지금까지 政府關聯部處와 韓國電力公社의 支援下에 韓國電力技術(株)가 遂行하여온 標準設計事業內容을 簡略히 紹介하면 다음과 같다.

既遂行한 第1段階事業에서는 先行課題調査 研究로서 外國의 標準化事例檢討, 國內 標準原電의 爐型 및 容量과 範圍 및 內容 檢討, 原電敷地들의 特性值 調査 및 期間에 蓄積된 國內의 技術水準을 調査 分析 하였으며, 이 事業의 結果로서 우리나라의 長期 標準化推進計劃(案)을 作成 提示한 바 있다.

現在 當社는 第2段階事業으로서 設計改善, 資料電算化 및 包括的 敷地特性值 決定 등으로 區分되는 設計改善研究를 遂行 中이며 項目別 主要內容은 다음과 같다. 于先 設計改善에서는 利用率 및 安全性向上, 放射線 被曝低減, 建設工期短縮과 發電所 效率向上等을 期하기 위하여 既存發電所의 改善되

(丑-2) 標準設計 推進 日程 및 內容

段 階	期 間	主 要 業 務 內 容	備 考
第1段階 先行課題調査	'83. 4 - '84. 3 (11個月)	○標準化 推進 方案 提示를爲한 先行 課題 調査 研究 ○概念 設計 基礎 研究	既遂行
第2段階 設計改善研究	'84. 11 - '86. 12 (26個月)	○國內既存發電所 經驗 反映 ○海外 標準發電所 比較 檢討 ○設計 改善 遂行 ○建設 및 運轉資料 電算化 ○包括的 敷地特性 決定	遂行中
第3段階 基本設計	'86. 1 - '88. 6 (2.5年)	○系統設計基準書 作成 ○系統說明書 作成 ○配管 및 計裝圖 作成 ○耐震 解析 等	計 劃
第4段階 詳細設計	'88. 1 - '90. 12 (3年)	○配管 및 支持物 解析 ○機器購買 및 建設仕様書作成 ○建設圖面 作成 ○試運轉 및 運轉節次書 作成等	計 劃

어야 할 事項 및 海外 新技術 動向을 調査 分析하여 設計改善 項目을 導出하여 最適設計을 遂行할 것이다. 資料電算化에서는 建設 및 運轉關聯 資料의 電算化와 Numbering System을 構築함으로써 技術資料에의 接近 및 檢索을 容易하게 하며, 나아가 關聯產業체가 共同으로 活用할 수 있는 基盤을 造成할 것이며 包括的 敷地特性으로는 詳細 地質, 水理, 海洋 및 氣象調查와 技術經濟性 檢討를 통한 包括的 特性值를 導出할 것이다.

6. 맺는 말

以上 國策事業으로서의 標準原電의 設計事業에 대

한 推進背景, 推進計劃 및 韓國電力技術(株)가 遂行하였거나 遂行中인 研究內容 等에 關하여 紹介하였다.

標準設計事業은 凡國家의 으로 推進하여 原電 13, 14號機 부터는 標準設計로 建設할 計劃으로 있는바, 이 事業의 成功의인 遂行을 爲해서는 國內 有關機關 및 學界의 協力이 切實히 要求되며, 한편으로는 核心技術 導入 또는 共同 參與等의 形態로 外國會社와 의 技術協力도 必要한 것이다.

本 標準設計事業을 通하여 技術自立 및 國產化 促進, 原電의 經濟性 提高와 安全性 確保, 나아가 플랜트 産業의 海外 進出 基盤의 早期 構築이 可能 할 것으로 期待된다. *

* 2 分講座 *

〈原子力の 수수께끼〉 ⑫

좋은 能率로 核分裂을 일으키려면?

原子爐를 構成하는 主要한 材料가운데 核燃料과 遮蔽에 대해서는 後章에서 記述하기로 하고 여기서는 其外의 主要材料의 活動에 대해 詳述하기로 한다.

核分裂에 의해 생긴 中性子는 平均하여 約 2 million·일렉트론볼트 程度의 에너지를 지니고 있으나 좋은 能率로 다음의 核分裂을 일으키게 하기 위해서는 能量을 낮출 必要가 있다. 이것이 減速이다.

高速中性子の 減速은 極一部 非彈性 散亂이 關係되나 大部分은 減速材의 原子核과의 衝突에 의한 彈性散亂에 의해 행해진다.

撞球에서는 反發係數가 1에 가까운 象牙等의 公(球)을 衝突시키나 中性子와 原子核을 完全히 彈性的인 公으로 생각하면, 公치기의 경우와 같이 彈性衝突의 力學을 이용하여 取扱할 수가 있다. 即 運動量과 에너지의 保守則에 의해, 衝突前과 後의 中性子の 에너지와 散亂角의 關係가 求해진다.

高速中性子が 減速材의 原子核과 몇회나 衝突하여 彈性散亂을 일으키면 中性子와 減速材의 原子와 같은 程度의 平均運動에너지를 갖게된다. 이 에너지는 周圍의 溫度에 의해 定해지기 때문에 減速되어 이와같은 狀態가된 中性子를 熱中性子라고 말한다. 熱中性子の 速度(運動에너지)는 各各 室溫에 있어 每秒 2,200m (0.025일렉트론 볼트) 程度이다.

實驗에 의하면 中性子が 있는 原子核에 的中했을 경우 그 原子核에서 보아 散亂은 球對稱에 일어나는 것이

認定되고 있다. 이와같은 散亂을 等方性散亂이라고 말하는데, 이러한 경우에는 減速材의 標的核이 定해지면 中性子는 언제나 平均하여 같은 比率만큼 能量을 잃는다. 이 比率은 原子核의 質量이 작을수록 커진다. 위의 表는 高速中性子が 熱中性子에 減速하기까지의 衝突回數를 計算해본 것이다. 여기에서 알 수 있듯이 減速材의 性能은 가벼운 元素가 좋으나 散亂斷面積이 큰 것도 必要하다. 中性子が 큰 原子核에 衝突하는 경우는 거의 같은 速度로서는 튀어나갈뿐 그렇게 減速되지 않는다.

또 減速材로서 바람직한 것은 吸收斷面積이 작다는 것, 價格이 싸다는 것, 物性이 훌륭하다는 點등이 있는데 原子爐의 構造 其他를 綜合的으로 判斷하여 適當한 材料가 選擇된다.

널리 利用되는 減速材에는 輕水, 炭素(黑鉛) 등이 있으며, 散亂斷面積에 비해 吸收斷面積의 작은 減速材에는 重水가 있다.

高速中性子が 熱中性子에 減速되기까지의 衝突回數

原 子 核	衝 突 回 數
水 素	18
重 水 素	25
벨 리 륨	86
炭 素	114
우 라 늬	2172