

프랑스 原電의 負荷追從運轉

다음의 몇가지 數値가 프랑스에서의 負荷追從 經驗의 規模를 나타낸다.

1985년에 프랑스의 2~12時間동안 935회의 出力減少를 經驗했다

- 1985년에 프랑스의 輕水爐들은 系統需要에 따라 2~12時間동안 935회의 出力減少를 經驗했다.
- 1986年 5월에 20基의 프랑스 유니트가 유럽의 提携先 電力融通의 自動調整에 參與했다(이들 유니트의 總稼動時間의 平均 68%).

지난 2年사이에 負荷追從이 프랑스 輕水爐 플랜트의 正常的인 運轉方式이 되었으며 여기에서 프랑스(EDF)가 世界的인 次元에서 先驅者 役割을 한 이러한 經驗에 대해 여러가지 側面에서 論하고자 한다. 여기서 4個 項目이 強調되는데 即 플랜트 基數에 의한 프랑스 電力系統의 獨特한 樣狀: 需要를 充足시키는 데 있어

서의 原子力의 役割: 稼動中인 輕水爐設備에 의한 優秀한 伸縮性: 蓄積된 經驗이 그것이다.

프랑스電力系統의 獨特한 樣狀

프랑스의 原子力發電施設容量은 約39,000MW이며 主로 900MW(32基)와 1300MW(5基)의 輕水爐로 構成되어 있으며 이數値는 1985年 1月の 가장 추웠던 날의 피크 需要電力 60,000MW와 比較해볼 수 있을 것이다. 現在 프랑스의 總熱出力의 2/3은 原子力에 의해 充當되고 있다.

低廉한 燃料費로 因해 原子爐의 型式에 關係없이 原子力플랜트를 基底負荷曲線上에서 最大出力으로 稼動하도록 促進시키고 있다. 이러한 原子力플랜트의 運轉方式은 現在 全世界的으로 거의 標準이 되어 있다.

프랑스에서는 原子力플랜트가 1984년에 벌써 年中負荷曲線以上으로 뛰어오를 수 있었다. 따라서 1985년에는 프랑스의 輕水爐設備는 系統의 “負荷追從”에 重要的 部分을 차지하였으며 今年 1986년에는 原子力이 系統上에서 2,000時間의 余裕度를 갖게 될것으로 推定된다.

프랑스는 오늘날 原子力發電設備에 置重하고 있는 唯一한 國家이며 이러한 型式의 에너지의 重要性이 앞으로 더욱 더 높아질 것이다. 1990년에는 프랑스 電氣出力의 3/4이 原子力發電所에서 나올 것이며 年間 約4,000時間의 余裕度를 갖게 될것이다.

原子力에 의한 負荷追從

1973년에 作成된 프랑스에서의 原子力, 石炭, 燃料油의 比較檢討書에는 新規 原子力設備의 開發에서 오는 利點이 分明히 나타나 있는데 그것은 新規 石炭燃燒플랜트와의 差異가 平均年間 運轉時間이 定格出力에서 年間 2,000~3,000時間에 이르는 것이었다.

原子力플랜트의 設置基數에 대해서는 이러한

狀況下에서는 플랜트를 標準化하므로서 最大의 利得을 가져올 수 있었으며 프랑스에서 많은 數의 同一한 標準化된 유니트를 協調的으로 設置 하도록 되어 있다. 이러한 政策의 利點은 이제 더 以上 證明할 必要가 없다.

結果的으로 1973년부터 프랑스의 原子力發電 플랜트가 때맞추어 需要電力의 많은 部分을 擔當할 것이다.

1985년에 原子力이 約2,000時間 基低負荷에서 벗어났으며 이것은 原子力에 의한 總發電量 2130億KWh 中에서 約 60億KWh의 非發電의 可用出力에 該當된다. 1990년에 原子力은 4,000時間의 余裕度를 갖게 되어야 하며 이는 全出力의 10%인 約300KWh의 非發電의 可用電力에 該當한다.

原子力設備 設計者들은 約10年間 輕水爐유니트들이 全國의 送配電系統需要에 맞추어 系統의 負荷追從運轉을 할수 있게 機動性이 向上된 裝置를 開發하지 않으면 안되었다. 發電設備에서 輕水爐유니트가 차지하는 比重이 커짐에 따라 생기는 또하나의 興味있는 팩터는 計劃停止에 대한 適正한 計劃作成이다. 負荷追從은 어떤 유니트들에 대해서는 實際的으로 燃料週期를 延長시키므로 生産管理面의 伸縮性을 높여야 한다. EDF에서 完成한 數學的인 모델 PLANUM은 여러가지 補修上의 制約을 考慮해서 最適正化를 期할수 있게 해준다. 이러한 伸縮性에 의해 各유니트의 出力을 언제라도 正確히 調整할 수 있게 되고 各플랜트에 대한 가장 適正한 發電計劃을 할수 있게 된다.

輕水爐의 運轉上의 伸縮性(成果良好)

이러한 伸縮性을 주는데 있어서의 必要條件은 相互連結된 西유럽의 電力系統의 範圍內에서 各電力會社들이 優良한 運轉上의 安全을 保障하는 良質의 서비스를 提供해야 한다는 것이다. 輕水爐에 關한 限 負荷追從을 위해 다음과

같은 性能이 갖추어져 있어야 한다. 即 最少의 技術的인 出力(200MW)에서 定格出力(900MW 輕水爐유니트에 대해)까지의 出力調整範圍와 正常負荷變動速度가 1分間에 定格出力의 2~3%이어야 한다.

以上과 같이 電力系統의 必要條件을 充足시키기 위해서는 輕水爐유니트의 負荷調整은 두가지의 附隨되는 다이어그램에 따른다. 即 하나는 平日에 該當되는 것으로 夜間調整사이클을 包含하며 다른 하나는 週末에 該當되는 것으로 午後에는 第2次 調整사이클을 나타낸다.

負荷變動을 위해서는 最小의 可用 追從幅이 必要함은 勿論이며 프랑스에서의 全日日調整幅은 約10,000MW이다. 事實上 모든 發電 플랜트가 負荷追從에 利用할 수 있는 것은 아니며 一部는 核燃料再裝填을 위해 停止되어 있다. 1985년에는 몇번 最大의 追從幅을 갖는 모든 可用유니트들이 一部 不可用유니트의 停止를 豫防하기 위해 使用하지 않을수 없었는데 이는 再起動時의 過重한 運轉費를 要하는 過程을 調整하기 위한 것이었는데 이것은 電力系統에게 줄수 있는 伸縮性의 크기가 얼마나 重要한가를 말해 준다.

세가지 型式으로 伸縮性이 分類된다. 첫째는 바로 앞에서 말한 負荷追從으로 이것은 需要에 대한 基本的인 팩터가 된다.

둘째는 周波數調整으로 이것은 需用家에게 供給되는 電力의 品質에 대한 또하나의 重要한 팩터이다. 周波數는 두가지 面이 있는데, 하나는 1次調整(터빈調速가버너의 出力과 負荷間의 갑작스러운 不均衡에 대한 反作用이며 例를 들면 定格周波數에서 定格出力의 2.5%인 最小 豫備出力의 갑작스러운 喪失과 같은 것임)이며 다른 하나는 自動周波數調整(또는 2次調整이라고도 함)으로 定格出力의 5%以內에서 負荷追從運轉中이라도 1分間에 定格出力의 1%의 出力變動(急速한 變動率의 경우에는 1分間에 定

格出力의 4.5%)이 있을때 周波數를 50Hz 레벨에서 連續的인 平衡을 維持하게 하기 위한 것이다. 세제는 Spinning 豫備電力의 分擔이다. 自動運轉이 不適切할 때는 系統電力을 支援하기 위해 可用 豫備電力의 使用이 必要하게 된다.

負荷追從運轉은 spinning 豫備電力을 擔當하고 있는 輕水爐플랜트를 復合的으로 使用하므로서 이루어진다. 이렇게 하므로서 技術的인 面에서는 1分間에 定格出力의 3~5%에서 부터 出力을 急速히 上昇시킬수 있게 되며 이렇게 하기 위해서는 低負荷運轉時 爐心에 制御棒을 維持하므로서 可能하다.

G-型式: 이러한 技術的인 機能을 900MW유니트를 “中間型式”으로 運轉하므로서 可能하다. 當初의 設計에 대한 이러한 改造는 유니트들의 當初의 機能에 대해서 機動性을 向上시키기 위한 것이며 이렇게 하므로서 電力系統에 대해 在來式設備에 相應하는 伸縮性을 가져다 준다. 말할것도 없이 이러한 裝置를 完成시키기 위해서는 應力을 받고 있는 設備 特히 燃料에 대한 많은 疲勞試驗이 必要하다. 現在의 成果로 보아 이와 같이 選擇된 解決方法이 正當했다는 것이 證明되었다.

유럽의 原子力 보일러 製造業者들은 硼素와 吸收力이 덜한 吸收體 制御棒(灰色制御棒)을 使用하고 爐心內에서 出力레벨을 調整하는 同一한 基本技術의 여러가지 다른 方法을 提示하고 있으며 方法마다 各各 다르나 大同小異하다. 그러나 프랑스의 技術은 現在 모든 유니트의 實際運轉條件下에서 完全히 試驗이 끝난 狀態이다. 따라서 1985년에 거의 1,000件에 가까운 負荷追從이 이루어졌으며 이것은 주로 프랑스에서 가장 負荷가 낮은 夏節期에 일어났다.

向上된 機動性 裝置는 모든 900MW級輕水爐 유니트에 核燃料再裝填을 위한 計劃停止期間中에 一律的으로 設置되었으며 가까운 將來에 負荷追從運轉에 1,300MW 유니트를 使用하는 案

도 檢討中이다. 왜냐하면 이들 設備는 最近 年間負荷曲線상의 基底負荷를 맡기 始作했으므로 지금 當場에 負荷追從을 擔當할 必要가 없기 때문이다.

經驗의 蓄積

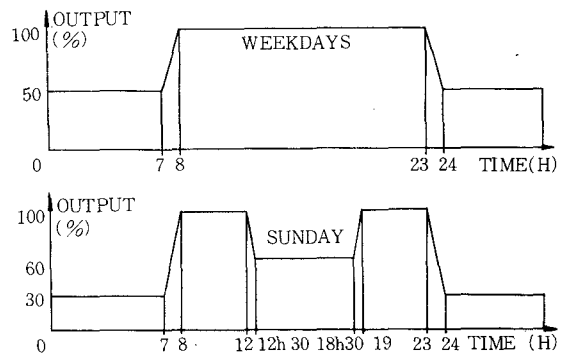
負荷變動에 따른 運轉方式은 原子力安全을 擔當하고 있는 政府機關으로 부터 承認書를 發給받아야 한다는 것을 強調해 둔다. EDF와 製作業者들은 이러한 運轉方式이 正常運轉條件下에서 安全하며 事故時에 負荷調整이 初期條件을 相當히 變更시킬수 있다는 것을 證明하지 않으면 안되었다.

따라서 問題接近에는 慎重을 期해야 하며 段階的으로 進行시켜야 한다. 即 運轉報告書를 다음 段階가 始作되기 前에 作成되어야 한다. 이 報告書에는 核燃料의 牲狀, 事故調查를 위한 初期條件, 主原子爐冷却材回路의 機械的인 強度, 運轉員用 教材등에 대한 分析이 包含되어 있어야 한다. 이것에 의한 成果는 지난 몇年동안에 實施된 試驗과 使用된 方法에서 알수 있는 바와 같이 系統負荷追從에 있어 特殊한 專門技術이 될것이다.

核燃料의 牲狀

各種 過渡狀態에 있어서의 被覆의 應力을 推

〈Typical Standard Practice Load Following Operation(French PWR NPPs)〉



測하기 위해 模型試驗을 통해서 文書로 作成되며 試驗은 Cadarache市에 있는 改良된 模型의 蒸氣供給系統上에서 實施되었다. 이 運轉報告書는 48회의 核燃料사이클을 다루며 負荷追從과 運轉業務의 增加와의 相互關係를 끄집어 낼수는 없었다. 이 分析作業은 現在 繼續되고 있으며 最近의 分析結果値는 以前の 檢出事項들을 再確認하는 것이었다. 그러나 危險度を 減少시키기 위해 運轉上 制約이 加해졌었다는 것을 指摘하지 않을 수 없으며 模型試驗結果 危險이 中準位 出力에서 延長運轉된 後에 發生한다는 것을 알았다. 72時間 經過後 이러한 運轉의 結果 負荷追從을 위한 再起動作業이 始作되기 前에 核燃料가 過使用되었음에 들림없다는 것이다. 實際의 計算은 매우 複雜하며 上位 및 下位 플레토우의 持續時間을 數學的으로 計算하게 된다.

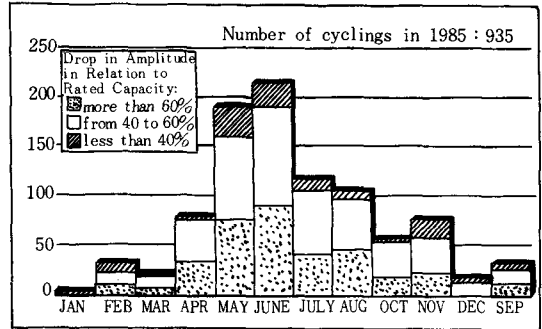
事故調查를 위한 初期條件

이 分野에는 다음의 調査가 包含된다. 即 原子爐과라메터(溫度, 壓力)의 最大 및 最小值, 定格出力을 超越하지 않았다는 것을 保證하기 위한 方法, 熱精算, 負荷制限器, 稼動中인 原子爐冷却材回路의 漏出후의 監視, 負反應度마진의 適用에 대한 保障, 制御棒停止를 檢出하기 위한 防禦에 있어서 出力變動率을 勘案하는것, 制御棒이 半徑方向으로 歪曲된 流量分布狀態에서 插入됐을때 減少된 出力에서 延長運轉 할때의 影響등을 調査해야 한다.

主原子爐冷却材回路의 機械的 強度

設計過程에서 推定된 한 數値와 連關된 過渡值들에 관한 데이터를 蒐集하고 또한 이로 因해 이루어지는 過渡值의 個數를 集計하기 위한 시스템을 形成하기 위해서 調査와 橫型試驗이 實施되었다. 이에 따라 12,000회의 負荷追從이 豫定되었으며 試驗의 目的은 溫도와 壓力의 變化에 따른 模型試驗에서 導出되는 假定值들을 點

<Participation of French PWR Units in Load Following>



檢하는데 있었으며 이에 追加해서 메카니즘과 制御棒의 機械的인 強度 主原子爐冷却材回路의 補助管路와 파이프에 關한 研究가 이루어졌다. 試驗結果 그것의 壽命은 系統負荷에 대한 追從運轉(改造後)와 比例하는 것으로 나타났지만 메카니즘의 負荷回數를 集計했다. 이 試驗에 의해 또하나의 問題點도 發見할 수 있었는데 吸收材 制御棒의 摩擦로 因한 磨耗가 1.26×10^6 회의 스텝後에 評容限界値에 이른다는 것이었으며 各 스텝에서 制御棒의 같은 部分을 磨耗시키는 것은 아니며 特히 臨界狀態에서는 그렇다는 것이었다. 이에 따라 各유니트에 대해 制御棒面當 磨損시키는 스텝의 回數를 集計하는 裝置를 設置하기로 決定하였다.

運轉節次書

運轉員은 運轉節次書 特히 硼素濃縮과 關聯이 있는 措處에 대해서는 運轉節次書를 가지고 있어야 한다. 지금까지 論議된 모든 過渡狀態들은 稀釋도와 濃縮度を 手動點檢하여 이루어졌지만 EDF는 Framatone社에서 開發한 自動硼素制御시스템을 한 유니트에 設置했다. 이 시스템은 다음 因子들을 入力으로 使用한다. 即 溫度制御棒의 位置, 軸으로 부터의 偏心과 出力이다. 한 사이클동안 滿足스러운 運轉이 이루어지면 이 시스템을 全般的으로 適用해야 할것이다.