

# 프랑스 PWR의 性能改善

## — EDF의 性能評價 定義分析 試圖 —

프랑스電力廳(Electricit'e de France: EDF)은 PWR플랜트의 性能改善을 위해 不斷한 努力을 傾注해왔다. 印象的인 實績들이 稼動後 放射線被曝量, 計劃停止期間 및 스크램發生頻度 등으로 現在 많은 現場에서 記錄되고 있다.

原子力發電 플랜트의 性能을 評價하는 데 있어 全世界에서 使用되고 있는 指標중에서 가장 普遍的인 것들을 들어보면,

- 利用率
- 稼動率
- 유니트당 原子爐 스크램發生頻度
- 人體의 放射線被曝量 등이다.

이러한 指標들은 프랑스 原子力프로그램 擔當責任者들이 各國의 運轉實績을 比較檢討하고 改善이 可能, 또는 必要한 部分들을 檢討하기 위해서 使用하고 있다.

그러나 意義있는 比較를 하기 위해서는 모든 性能의 指標가 一定한 正義에 따라 表現돼야함은 絶對的인 要件이다. 이러한 趣旨에서 EDF의 原子力/汽力發電部는 유럽에서 使用되고 있는 UNIPED(Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Electricit'e)의 여러 定義와 美國 및 日本에서 使用되고 있는 INPO(Institute of Nuclear Power Operations)의 여러 定義에 대한 詳細한 分析을 試圖하고 있는 중이다.

### 利 用 率

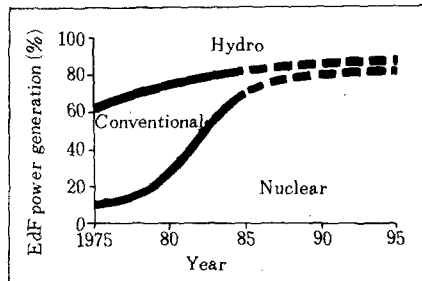
利用率은 系統에 대한 서비스의 좋은 指標이나 이것은 유니트들이 單獨 또는 그룹으로 基底負荷에서 運轉되고 있을 때에만 該當된다. 그러나 프랑스에서는 過去 2年餘의 期間동안 原子力유니트가 이와같이 運轉된 일이 없다.

프랑스 電力系統에서 原子力發電이 優勢해짐에 따라 廣範圍한 負荷變動에 대한 追從과 周波數 調整을 PWR 유니트들이 말도록 要求되고 있다. 그림 3에서와 같이 거의 1,000회의 負荷變動이 있었음을 알 수 있다.

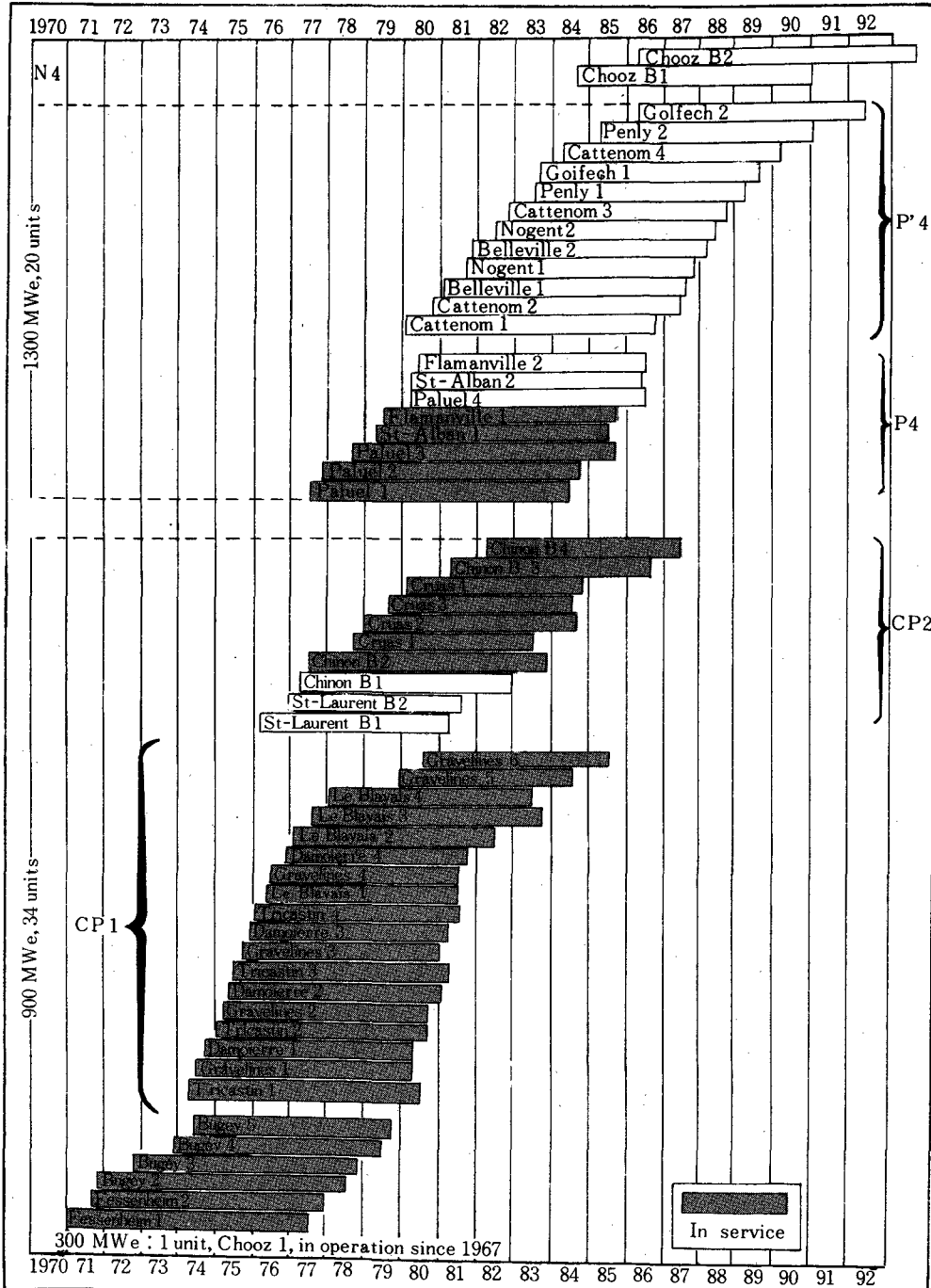
實際的인 負荷追從은 全에너지를 使用할 수 없는 경우가 많았다는 것을 意味한다. 이러한 條件下에서는 利用率은 이미 系統供給電力에 대한 正確한 測度가 될 수 없다.

1985年 EDF의 900MWe의 平均利用率이 77%

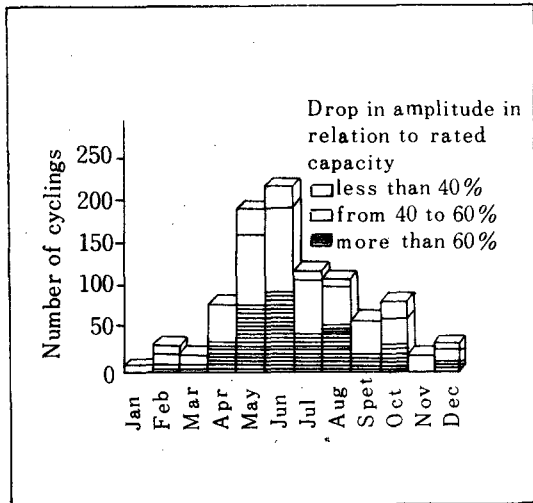
〈그림 1〉 EDF에서의 原子力 發電占有率의 急伸長



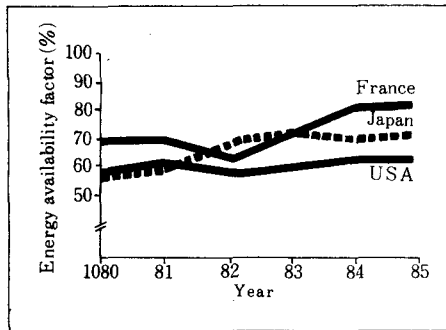
(그림 2) 프랑스의 PWR 프로그램 (CP 1 系列의 特徴은 터빈·홀이 原子力 建物에 切線方向으로 떨어져있으며 2基 또는 그 以上の ユニット로 分割된다. 그 代表的인 예가 Gravelines 이며, 이 플랜트의 터빈發電機는 Alstom-Atlantique가 아니고 Alstom/CEM에 의해 供給됐으며 터빈·홀은 原子爐 建物에 半徑方向으로 位置하며 各 原子爐는 그 自體의 터빈·홀을 갖고 있다.)



<그림 3> 1985년에 EDF의 900MWe 유니트들은 廣範圍한 負荷變動을 擔當하였다. (總 935 回의 負荷變動이 있었다.)



<그림 4> 各國의 稼動率 (商業運轉中인 PWR 유니트)



였는데 만약 플랜트들이 基底負荷에서 運轉했다 고 假定하면 이것이 83% (商業運轉中인 유니트에 대해)가 됐었을 것이다.

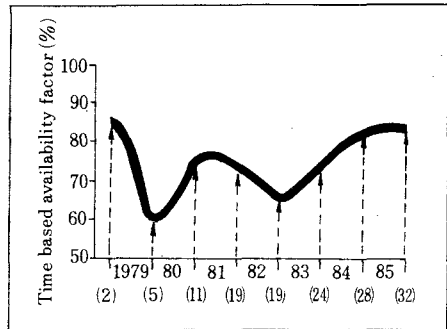
稼 動 率

稼動率은 美國과 日本에서 널리 使用되고 있는 性能指標이다. 이것은 유니트의 系統으로의 並入 如否에 關係없이 使用 可能한 狀態로 있는 一定 期間 동안의 運轉時間數로 規定되어 있다.

10臺의 가장 좋은 프랑스 유니트들의 1985年 平

<그림 5> 프랑스의 時間基準 稼動率

(各年度 아래의 팔호내 數値는 年末에 商業運轉中 이던 유니트數이다. 1985年의 높은 數値는 計劃停止 期間을 短縮하고 또한 不時停止率을 約 5%로 維持 하기위해 經驗을 살린 프로그램에 忠實했던 結果이다.)



均稼動率은 90%였고 같은 期間中에 運轉된 모든 플랜트들에 대해서는 84%였다.

이 數値는 補修와 燃料 再裝填을 하기위한 不時 및 計劃停止期間의 길이를 反英하고 있다. 計劃停止에 의한 影響을 줄이고 그 유니트의 全體 的인 品質과 系統需要를 充足시킬 수 있는 能力에 대해 더 正確한 概念을 주기위해서는 燃料사 이클 稼動率 팩터 (計劃停止 除外)가 훨씬 좋은 指標이다. 1985년에 이 數値는 EDF의 900MWe PWR에있어 95%였다.

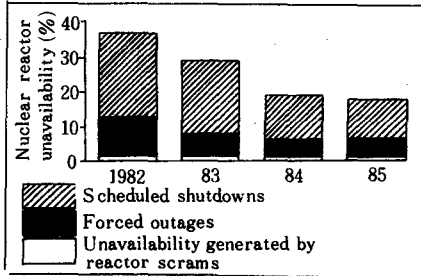
過去 4 年間의 不稼動의 原因들을 그림 6에 나타냈다. 計劃停止가 가장 큰 比率이고 原子爐 스크램이 比較的 적은 值이다.

計劃停止期間

使用不可能한 유니트에 의한 에너지 代替費用을 最少化시키기 위해 停止期間을 短縮하는 利點은 分明하며 프랑스의 900MWe PWR유니트의 平均日日 에너지 代替費用은 200萬 프랑 프랑 (25萬弗)이다.

잇따른 計劃停止期間은 一定하지 않으며, 稼動

〈그림 6〉 商業運轉 중인 프랑스 PWR들의 不稼動率 (에너지 基準 : 主要國은 分明히 計劃停止이며 스크램의 影響은 比較的 적다.)



中檢査 (ISI)와 停止期間中 豫防補修의 範圍 및 停止期間中의 改造作業體 등에 따라 變한다.

프랑스에서는 完全한 稼動中檢査 프로그램을 최초의 燃料 再裝填을 위한 停止期間中에 遂行한다. 2個月半 乃至 3個月間 繼續되는 이 停止期間은 2次 燃料사이클 後 4~7週間의 短期停止期間 (所謂 部分的인 ISI檢査 包含)으로 이어진다.

여기서 알아두어야 할 重要한 事實은 이러한 ISI檢査規程은 프랑스의 安全擔當部署에서 賦課한다는 것과 여기에서 생긴 廣範圍한 프로그램이 西獨을 비롯해 다른 몇個國에서는 알려져 있지 않다는 것이다.

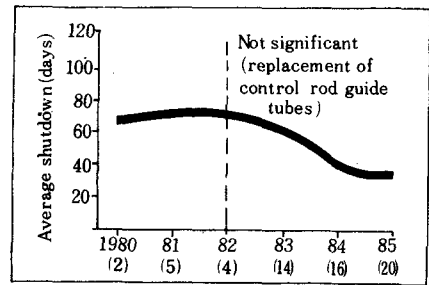
그림 7에서 보는 바와 같이 計劃停止期間은 減少되고 있다. 이것은 다음과 같은 方法을 통해 그것을 減少시키도록 協同的인 努力을 기울인 結果였다.

- 主要業務에 대한 政善된 計劃作成
  - 點檢補修作業을 위한 專用工機具의 開發
- 지금까지의 記錄上 最短期 停止期間은 Gravelines 플랜트의 기록으로서 22日間이다.

### 原子爐 스크램頻度

原子爐 스크램의 頻度も 역시 좋은 性能指標이다. 그러나 스크램率의 國際間的 比較를 意義있게 하기 위해서는 스크램의 意味를 定義해 놓을 必要가 있다.

〈그림 7〉 프랑스 900 MWe PWR의 短期 計劃停止期間 (燃料再裝填 및 部分的인 ISI 檢査를 위한)의 平均値 (年度 아래의 괄호내 數値는 이러한 停止의 年度別 數値이며 이 數値에 의해 平均値를 計算한 것이다.)



國家間的 스크램의 差異는 設備의 信賴性, 安全시스템의 重複 原則, 原子爐 保護시스템의 感度 등의 여러 팩터와 運轉技術에서 起因된다.

예를 들면 플랜트가 負荷追從을 하고 있다면 系統에 대한 要求 빈도가 많아지므로 原子爐 스크램 發生의 可能性은 이에 따라 더 커질 것이다.

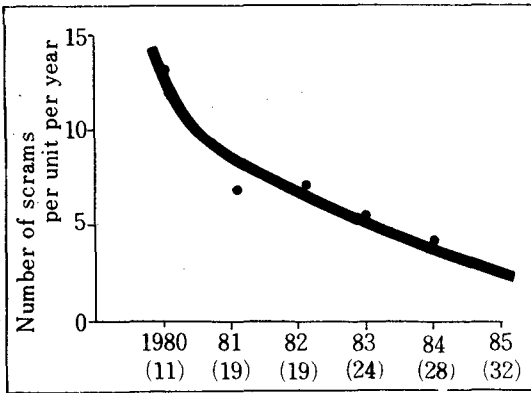
그림 8은 900MWe 유니트 (系統에 並入돼 있을 때)에서 不時의 自動的인 스크램의 發生이 줄어들고 있음을 나타내고 있다. 1985年 平均値는 年間 유니트當 約 3스크램이었다. 이것은 美國 플랜트에서 記錄된 數値와 比較한 것이다.

最近 몇年사이에 스크램의 原因을 分析해본바에 의하며 設備故障으로 因한 스크램은 크게 줄어들었음을 알 수 있는데 이는 經驗의 피드·백과 프랑스 原子力프로그램의 높은 成熟度에서 오는 當然한 結果라고 하겠다.

그러나 다른 팩터들, 특히 人間의 過失이 原子爐 스크램을 일으키는 큰 原因이 돼 왔다. 이것은 將次 解決해야할 問題이며 NRC와 INPO의 分析에서도 美國 플랜트들에 대해 같은 結論을 내고 있다.

앞으로 EDF의 目標은 스크램 發生率을 줄이는 것이며 이는 停止로 因한 費用損失을 줄인다는 것 外에 設備에 대한 많은 要求條件들을 줄이

<그림 8> 商業運轉中인 프랑스 900 PWR MWe 유니트當 年間 不時 自動스크램의 平均値



기 위해서다. 目標로는 年間 유니트當 1~2 原子爐스크램이 適合하다.

**放射線 保護**

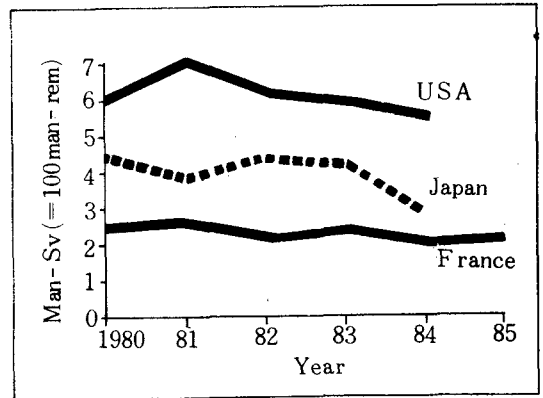
全體的인 經濟性을 勘案하여 補修는 最適正線을 찾아야 하지만 이러한 最適化는 放射線에 사람들을 더 露出시키면서 까지 行해져서는 안된다. 個人的 또는 集團的 被曝量을 플랜트 從業員을 위해 滿足할만한 水準으로 減少, 또는 最少限 維持한다는 것이 EDF PWR에 있어 또하나의 重要한 目標이다.

그림 9는 計劃停止를 했던 美國, 日本 및 프랑스 PWR 유니트들의 年間 集團被曝量을 나타낸 것이다. 1985年 프랑스의 約 200 man-rem은 美國에서의 500 man-rem 以上, 日本에서의 約 290 man-rem과 좋은 對照를 이룬다. 그러나 이들 두나라의 유니트들의 平均壽命이 프랑스 유니트들 보다 길다는 것을 銘心해야 한다.

**不斷한 改善**

EDF의 큰 目標中の 하나가 原子力유니트들의 經濟的 技術的 性能을 最小 80%의 稼動率을 目標로 改善하는 것이다.

<그림 9> 年間 計劃停止(1 回인 PWR의 年間 유니트當 集團 被曝量)



이에대해 現在 取하고 있는 主要對策은 아래와 같다.

○ 運轉事故와 設備故障에 대한 繼續的인 分析 ; 이것은 더 甚한 事故를 事前에 防止하고 不稼動率을 낮추는데 必要한 時정조치를 決定하는데 도움이 될 것이다. 重大한 再發事故를 確認後 改善과 改造 프로그램이 零負荷로의 自動的인 復歸와 原子爐 스크램回數를 줄이기 위해 1984年 始作되었다.

그러나 이에따른 時정조치는 앞으로 2~3年 間 施行될 것이고 運轉結果에 대한 影響은 그때가서 비로소 알게 될 것이다. 이에대한 좋은 例로서 原子爐 保護시스템을 위한 自動試驗시스템을 갖춘 900MWe PWR의 總 34基의 設置를 들 수 있다.

○ 運轉初期의 燃料再裝填 停止期間中에 얻은 經驗에 대한 徹底한 分析 ; 이 分析은 補修프로그램을 合理化시키고 보다 낮게 停止에 대한 準備를 할 수 있게 하고 停止中 作業을 直時 把握하는데 도움이 된다. 停止準備段階를 위해서 PLANNEC라고 불리우는 PERT 프로그램이 開發됐으며, 한편으로 CEMNNALP라고 하는 EDF에서 開發한 새로운 在來式 프로그램이 開發됐는데 이것은 日日業務 把握을 可能케 하고 作業의 構成을 容易하게 한다.

- TMI事故 結果에 따른 改造件數의 制限 ; 이 는 停止期間을 長期化시키는 單純한 完全主義의 追求를 避하기 위해서 이다.
- 繼續的인 教育訓練을 통해 보다 次元 높은 標準을 成就하고 또한 水準 높은 動機를 賦與하기 위한 品質保證 프로그램의 履行.
- 運轉中의 機器狀態에 關한 發展된 知識의 取得 ; 改善된 모니터링과 主要機器의 點檢으로 故障의 早期檢出이 可能해지며 따라서 不時停止 發生率이 減少될 것이다. 이것은 또한 設備의 設計上 全壽命 40年을 目標로한 水準 높은 補修 政策을 實行하는데 도움이 될 것이다.
- 燃料사이클 長期化(18個月)에 따른 技術的인 發展과 實驗을 통한 核燃料管理의 最適正化 ; 900MWe 3個 유닛이 現在 燃料사이클 延長 段階에 들어가 있다.
- 海外 電力會社들과의 情報變換 ; 美國과의 경우를 예로 들면 EDF는 DUKE電力(McGuire 플랜트)와 情報交換을 始作하였고 INPO에도 加入했다. 이러한 變流의 목적은 否定的인 것 과 肯定的인 것 양쪽 經驗을 다 나누고 이렇게 함으로써 運營方法과 技術的인 性能面의 向上을 期하는데 도움을 주는데 있다.

自信感의 涵養

마지막으로 두가지 點을 強調하고자 하는 것 들은 EDF가 性能向上을 期하는데 있어 絶對不可缺한 것으로 보고있고 또한 原子力플랜트들을 運用하고있는 모든 電力會社들도 틀림없이 그렇게 볼 것으로 生覺되는 것들이다.

첫째, 우리는 運轉員의 訓練을 重要視한다는 것이다. 이러한 訓練은 全人件費의 10%以上을 차지한다. 시뮬레이터나 컴퓨터를 利用한 訓練 시스템은 勿論이고 在來式設備도 이러한 目的에 使用된다.

둘째, 相當한 努力과 資源이 모든 分野의 補修

를 위해 傾注되었다는 것이다. 補修費用은 全運轉費의 約50%를 차지한다.

이러한 두 方面에 기울인 努力들은 性能向上이라는 形態로 이미 結實을 맺고 있다.

不時停止率의 減小

프랑스의 PWR은 信賴性과 稼動率의 向上을 目的으로 繼續 改善되고 있는 중이다. 稼動率向上에 있어 最大關心事는 不時停止回數의 減少이다. 이러한 趣旨에서 EDF는 停止回數를 減少시킬 目的으로 “稼動率 研究班” 이란 作業班을 編成하였다.

1982年 以後의 偶發的인 停止事故를 檢討해본 結果 다음 事項들이 主要 原因임이 判明되었다.

- 蒸氣發生機 水位調節
- 터빈 및 給水 플랜트
- 定期試驗
- 터빈發電機 故障 등.

不時停止를 減少시키기 위해 開發 또는 檢討된 是正方案은 아래와 같다.

- 디지털技術을 利用한 蒸氣發生機 給水調節系統의 改善
- 蒸氣發生機의 高一高 및 低一低 整定值 變更
- 터빈發電機 트립回數를 줄이기 위한 密封油系統의 改善
- 原子爐 트립 채널의 定期試驗 自動化
- 사이클이 끝날때의 甚한 플럭스(Flux) 變動으로 因한 트립 回數減少를 위한 改善
- 48볼트 直流電源喪失을 가져오는 短絡事故의 減少 등

이中에서 마지막 경우의 是正方法으로는 敏感한 系統의 構成部品에서의 制御와 信號 電極의 分離 增加와 在來式 信號燈의 長壽命 發光 다이오드에 의한 代替. (短絡事故의 大部分이 信號燈 變替作業中에 일어난다)