

# WH社 輕水爐의稼動率 向上

“ 웨스팅하우스社에서 輕水爐의稼動率을 分析檢討한 바에 따르면 昨年에는 많은 進展이 있었지만 아직도 改善의 餘地가 있으며 特히 停止/起動節次에서 그러한 것으로 나타났다. ”

原子力産業에서의 問題點 把握을 돕기 위해 웨스팅하우스 原子力서비스 管理處(Westinghouse Nuclear Service Integration Division; NSID)는 自社 輕水爐의稼動率을 把握하기 위해 報告業務, 電算化된 記錄維持와 데이터 分析에 關해 高度로 組織化된 管理시스템을 利用하고 있다.

크리티컬·패스상의 非稼動時間은 各種 시스템 및 機器의 補修, 核燃料再裝填, 必要試驗 등과 같은 많은 部門에 대해서 測定된다.

稼動中인 모든 輕水爐의 詳細한 記錄을 維持함으로써 NSID는 特定한 措置나 系統에 焦點을 맞출 수 있으며 設備, 訓練 또는 節次上的 改善을 強調할 수 있다. 資料는 每日 蒐集되어 顧客의 플랜트現場에 駐在하고 있는 웨스팅하우스의 現場서비스責任者(SSM)에 의해 每月 報告된다. 이 데이터들은 全體플랜트稼動率의 平均値를 내기 위해서 다른 플랜트의 데이터와 같이 平均値를 내는데 包含된다.

## 改善의 餘地가 아직도 남아 있다

1984年과 1985年사이에 蒸氣發生器, 核燃料裝填, 停止起動 등의 몇가지 部門에서 重要한稼動率 向上이 이루어 졌지만 NSID處長 Tom Christopher氏의 말에 의하면 아직도 改善의 餘地가 있다고 한다.

蒸氣發生器 部門의 例를 들면 1984年의 停止

率 4.6%는 9個月間의 蒸氣發生器交替作業을 위한 停止期間이 包含되며 이는 全體에 대해서는 2.5%에 該當한다.

1985年의 3.18%는 이 해에는 蒸氣發生器交替作業이 없었던 것을 勘案한다면 計劃値보다 그렇게 낮은 것은 아니며 이 값보다 훨씬 낮출 수도 있는 것이라고 Christopher氏는 말하였다.

이것을 實行하는데 있어 가장 生産的인 方法中의 하나는 會社에서 計劃을 세울때 蒸氣發生器作業을 크리티컬·패스상에 놓지 말고 核燃料再裝填作業과 併行시키도록 하는 것이다. 모든 蒸氣發生器補修工事의 90%는 計劃上 優先順位가 定해져 있다면 核燃料再裝填을 위한 停止期間中에 施行할 수 있다.

核燃料再裝填作業은 1984年의 平均 16日間에서 1985년에는 6日間으로 短縮되면서 꾸준히 改善되어 왔다.

NSID의 現在의 時間當 取扱能力의 標準은 6個核燃料 集合體이다. 이것은 核燃料의 除去, 再裝填과 爐心캡킹 등의 모든 核燃料再裝填節次가 4日以內에 끝나야 한다는 것을 뜻한다. 그러나 Christopher氏는 強調하기를 이러한 가장 適合한 計劃을 짜기 위해서는 훌륭한 計劃樹立, 適切한 訓練과 水晶과 같이 透明한 물 등의 協同作業이 必要하다고 하였다.

停止/起動節次는 플랜트의 停止率에 가장 影響을 끼치는 部門으로 플랜트改善에 있어 가장

큰 比重을 차지한다.

“電力會社들은 1985年 1年間 停止 또는 起動過程에서 平均 17~18日間을 消費했으며 이로 因한 設備上의 問題가 일어나지 않았다. 따라서 이것을 折半으로 短縮할 수 있을 것이다” 라고 Christopher氏는 말했다.

이 部門은 稼動率이라는 側面에서 美國과 유럽플랜트間에 單一項目으로는 最大의 差異를 보이는 것으로 유럽의 플랜트가 美國의 相應하는 플랜트보다 훨씬 더 빨리 系統併入이 되고 있다. 電力會社들과 共同作業을 펴므로써 앞으로 2年間 停止/起動時間을 每年 50~80時間 短縮할 수 있을 것으로 NSID는 自信하고 있다. Christopher氏는 “플랜트가 必要에 따라 천천히 起動하기 위해 時間을 要하는 것이라면 이와 反對로 必要에 따라 플랜트를 빨리 起動시키기 위한 節次와 메카니즘을 使用할 必要도 있을 것이다”라고 Christopher氏는 指摘했다.

앞으로 몇年間 平均稼動率을 改善하지 않기로 한 設備는 原子爐冷却材펌프(RCP)이다. 왜냐하면 RCP에 使用되고 있는 크기의 電動機는 壽命이 約10~15年인데 美國의 稼動中인 PWR는 平均稼動實績이 11年이므로 이 펌프들에 대한 經常 및 豫防補修에 消費되는 時間은 增加하는 것이 틀림없기 때문이다.

그럼에도 不拘하고 1985年 1年間의 RCP의 停止時間의 大部分은 펌프故障보다도 經常 또는 豫防補修때문에 消費된 것이다.

稼動率向上으로 1985년에는 1984年보다 約 1,300日의 全出力日數의 增加를 가져왔으며, 이러한 增加는 論議의 對象이 될 수 없을 程度의 低廉한 價格의 4基의 4-루프型 900MWe를 追加稼動시키는 것과 같다.

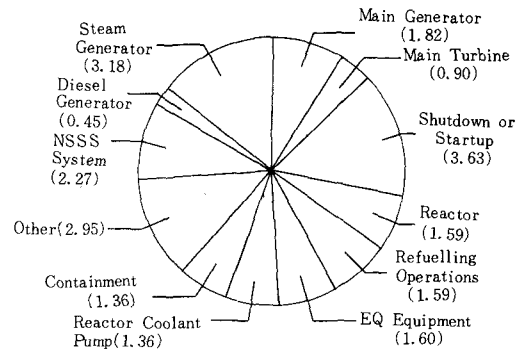
**必要한 點檢事項**

美國에서는 모든 플랜트의 主要機器와 系統은 이 플랜트의 10年과 20年의 稼動年數를 基

準한 點檢補修計劃에 따라 徹底히 點檢하게 되어 있다.

1984년에 6個플랜트가 크리티컬·패스上의 停止時間中에 點檢이 必要했으며 이것은 全停止率의 1.9%에 該當되었다.

NSID는 電力會社들에게 必要한 檢査를 몇年間에 걸쳐 正常的인 計劃停止期間에 施行하도록 分散시켜 이것을 完全히 마치도록 計劃하고 이것을 實行할 것을 強力히 勸告하고 있다. 이러한 檢査를 몇년에 걸쳐서 適時에 實施하므로써 플랜트의 10年次 및 20年次に 施行될 過度하게 長期的인 크리티컬·패스上의 停止期間을 避할 수 있을 것이다.



\* ( )內 數値는 停止率 %, 1984年 全體 停止率은 31.9%이었으나 1985년에는 22.7%로 低下하였다.

웨스팅하우스社は 10年次 및 20年次 定期檢査以前의 지나치게 長期的인 檢査에 대해서는 一部 責任이 있음을 是認하고 있다. 10年次 原子爐容器의 檢査에 使用되는 NSID의 “稼動中 檢査器具”의 性能은 90%以上 使用可能할 程度로 開發되었으며 最近에 施行된 檢査에서는 100% 카버한 일도 있다.

**不當한 停止問題**

不當하고 非正常的인 原子爐트립은 NSID와 電力會社들이 解決하려고 努力하고 있는 難題이다. 最近에 웨스팅하우스 顧客그룹으로부터 새로운 研究結果가 公開되었다(表 參照). 이 그

룹에는 1984/1985년에 36기의 웨스팅하우스 P  
WR가 포함되어 있으며 6 기의 2-루프 플랜

트, 12기의 3-루프 플랜트, 18기의 4- 루프 플  
랜트로 構成되어 있다.

| Performance comparison for Westinghouse PWRs in 1984 and 1985 |                        |      |                                  |      |   |
|---|------------------------|------|----------------------------------|------|---|
|   | %yearly unavailability |      | Average plant critical path days |      | Comments  |
|   | 1984                   | 1985 | 1984                             | 1985 |   |
| Steam generator   | 4.6                    | 3.18 | 17                               | 12   | No steam generator replacements but continued corrosion challenges                              |
| Main turbine  | 0.8                    | 0.9  | 3                                | 3    | Continued good performance  |
| Main generator  | 4.6                    | 1.82 | 17                               | 7    | Improved preventative maintenance and diagnostic techniques and performance of upgraded designs |
| Reactor coolant pumps   | 1.2                    | 1:36 | 4                                | 5    | Significant increase in preventative maintenance  |
| Startup and shutdown  | 5.1                    | 3.63 | 19                               | 13   | Reduced spurious trips still the biggest downtime factor  |

| Number of automatic trips at Westinghouse PWRs, by power level(P per cent) and plant loop category in 1984 and 1985 |                      |      |            |      |        |      |
|---|----------------------|------|------------|------|--------|------|
| Number of loops   | Number of auto trips |      |            |      |        |      |
|   | P < 2                |      | 2 < P < 25 |      | P > 25 |      |
|   | 1984                 | 1985 | 1984       | 1985 | 1984   | 1985 |
| 2   | 0                    | 4    | 3          | 7    | 4      | 3    |
| 3   | 13                   | 8    | 18         | 16   | 41     | 49   |
| 4   | 13                   | 8    | 27         | 4    | 64     | 53   |

| Root cause category of automatic trips at Westinghouse PWRs, by power level(P per cent) in 1984 and 1985 |       |      |            |      |        |      |       |      |
|--|-------|------|------------|------|--------|------|-------|------|
| Root cause   | P < 2 |      | 2 < P < 25 |      | P > 25 |      | Total |      |
|  | 1984  | 1985 | 1984       | 1985 | 1984   | 1985 | 1984  | 1985 |
| Hardware deficiencies and failures   | 17    | 13   | 33         | 17   | 97     | 88   | 147   | 118  |
| Human performance problems   | 12    | 9    | 28         | 11   | 36     | 42   | 76    | 62   |

| Number of automatic trips at Westinghouse PWRs, by system and plant loop category in 1984 and 1985 |                      |      |      |      |      |      |                  |      |
|--|----------------------|------|------|------|------|------|------------------|------|
| System   | Number of auto trips |      |      |      |      |      |                  |      |
|  | 2                    |      | 3    |      | 4    |      | Total all plants |      |
|  | 1984                 | 1985 | 1984 | 1985 | 1984 | 1985 | 1984             | 1985 |
| Main feedwater   | 3                    | 1    | 23   | 20   | 49   | 21   | 75               | 42   |
| Turbine generator  | 2                    | 1    | 8    | 5    | 16   | 13   | 26               | 19   |
| Electric   | 1                    | 0    | 15   | 16   | 11   | 14   | 27               | 30   |
| Reactor protection   | 0                    | 7    | 12   | 13   | 9    | 9    | 21               | 29   |
| Steam  | 0                    | 0    | 3    | 4    | 6    | 3    | 9                | 7    |
| Reactor coolant system   | 0                    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0                | 1    |
| Control rod drives   | 0                    | 0    | 2    | 4    | 0    | 0    | 2                | 4    |
| Other  | 1                    | 5    | 7    | 10   | 12   | 5    | 20               | 20   |

이 研究에서 밝혀진 것은 2-루프 플랜트의 不當트립 回數가 1984年の 7日에서 1985年 14日로 增加했다는 것과, 3-루프 플랜트에 대해서는 거의 같으며(1984年の 72回와 1985年の 73回), 4-루프 플랜트에 있어서는 1985년에는 顯著하게 減少하였다(1984年の 104回와 1985年の 65回). 트립이 가장 많이 일어나는 出力레벨은 蒸氣發生器가 過渡狀態에 있는 中間出力帶가 아니고 25%以上の 出力帶에서 일어나고 있는 것으로 나타났다. 4-루프 플랜트의 性能改善에 대해서도 注目할 必要가 있다.

이 研究에서 알 수 있는 것은 不當트립의 原因이 人爲的인 過失보다도 하드웨어에서 오는 것이 훨씬 더 많다는 것이었다. 實例를 들면 1984년에 하드웨어에 의한 트립이 147回, 사람의 過失에 의한 것이 76回였으며, 1985년에는 이것이 各各 118回와 62回였다.

지금까지의 트립의 原因이 되었던 機器中에서 가장 많이 일어났던 것은 主給水系統이었으며 이 系統은 維持하고 使用하기가 다 같이 어려운 系統이며 昨年에 이루어진 改善은 모두가 正常補修作業에 屬하는 것이었다. NSID는 正常플랜트運轉時의 整定値를 8%로 再調整하고 改善된 蒸氣發生器의 水位制御系統을 使用함으로써 이러한 主給水系統으로 因한 트립의 70%는 謀免할 수 있을 것으로 보고 있다.

이러한 어려운 狀況을 改善할 수 있는 하드웨어가 지금은 이미 開發되어 있으며 NSID는 電力會社들에게 이 設備의 維持補修에 더욱 努力하고 水位調節을 위한 새로운 高性能 制御系統을 設置함으로써 이 問題의 解決을 위해 努力할 것을 勸獎하고 있다.

### 核燃料사이클의 延長

12個月以上の 核燃料사이클을 取扱하는 PWR 플랜트가 增加趨勢에 있으며 1年以内に 웨스팅하우스 PWR의 50%以上에 대해서 核燃料사이클

의 延長이 이루어질 豫定이다.

統計上으로 보면 現在 延長된 核燃料사이클로 運轉中인 플랜트의 平均稼動率이 12個月 사이클의 플랜트(78.4%)보다 약간 낮은 76.2%로 나타나 있으나 이는 주로 核燃料再裝填을 위한 停止回數가 더 많아짐에 따라 補修作業의 機會가 많아진데 그 原因이 있다.

그러나 經濟的인 側面에서 보면 核燃料사이클의 延長이 낮은 稼動率을 補償할 수 있을 것이다.

### 交替部品の 購入先

交替部品들은 漸漸 더 求하기가 힘들 것이며 老朽化된 設備는 電力會社에게는 繼續 深刻하고 커져가는 問題가 될 것이다. 既存 플랜트에 機器를 供給했던 300~350個의 供給業者中에서 約35%는 이미 原子力産業界에 品質保證된 部品를 더 以上 供給하지 않고 있다.

當初의 機器供給業者의 5~10%가 每年 이 市場으로 부터 離脫하고 있으며 이러한 趨勢는 電氣部品供給業者에서 始作되어 곧 機械部品供給業者에게로 이어졌다. NSID는 乾式 1E 變壓器의 生産業者 選定을 위해 많은 生産業者와 벌써 接觸中이다.

NSID는 交替部品 問題에 대해서 言及하기를 “새로운 供給業者를 찾는다는 것은 漸漸 더 어려워질 것이며 品質保證된 交替部品를 求하는데 漸漸 더 時間이 걸릴 것이다.

### 平均플랜트稼動率을 85%로 向上

平均플랜트稼動率에 대해서 웨스팅하우스가 1年前에 設定한 85%라는 目標値는 가까운 將來에 漸漸 더 그 實現可能性이 窺보인다. 一部 會社에서는 그들 나름대로의 野心的인 目標를 세워놓고 있다. 例를 들면 Alabama 電力의 Farley 플랜트의 目標는 어떠한 플랜트停止도 31日間을 넘지 않도록 하는 것이며 可能하다면 이

것을 더 줄이려고 하고 있다. 이렇게 하기 위해서는 異例적인 計劃을 세워야 하는데 그 理由는 이것을 하는데는 15가지나 되는 主要作業을 同時에 併行시켜야 하기 때문이다. 85%의 稼動率을 達成하는데 있어서의 關鍵은 플랜트의 停止時間을 年55日間으로 維持하는 것이다.

“一部の 플랜트는 이미 85% 또는 그 이상을 達成하였으며 每年 繼續해서 이것을 위해서 努力할 것이다. 우리는 1985년에 이 값에 더 가까워져야 했을 것이며 몇가지 아주 뚜렷한 問題들을 解決했다더라면 거의 83%까지 到達할 수 있었을 것이다”라고 Christopher氏는 말했다.

## 原電의 Energy Availability Factor와 Capability Factor

原子力發電플랜트의 運轉效率를 評價하는데 있어 最善의 方法은 무엇인지에 대한 論議가 最近 原子力界에서 活潑히 展開되고 있다. 여기에 EDF 發電處 運轉/原子力安全部의 Daniel Glorian次長의 이에 대한 見解를 紹介한다.

電力事業體에서 하고 있는 原子力發電 플랜트의 性能比較評價業務를 돕기 위해 電力業界 專門誌는 定期的으로 全世界의 原子力發電유니트 各各에 대한 利用率을 發表하고 있다. 이러한 比較檢討는 여러가지 相異한 原子爐들의 最大發電容量을 가능하는 올바르고 否定할 수 없는 尺度를 提示하는 利點이 있으나 一般的으로 말해서 運轉性能에 대한 正確한 樣相을 보여주는 것은 아니다. 그 理由는 다음 두가지 問題가 있기 때문이다.

— 記錄한 期間(一般的으로 曆年 또는 12個月間의 平均値)

— 利用率의 定義

記錄한 期間이 짧을수록 發表內容이 더 無意味해진다는 것은 明白하다. 曆年이나 12個月間 平均値에는 停止補修期間이 包含되는 경우도 있고 안되는 경우도 있으며 核燃料再裝填의 週期도 一定하지 않다. 比較評價를 뜻있게 하기 위해서는 複數年數배이스로 性能을 評價하지 않으면 안된다. 이러한 觀點에서 累積된 數値는 例를 들어 商業運轉開始日(COD)로부터 始作하던지 하면, 補修工事의 效果, 核燃料 再裝填, 稼動中檢査節次를 綜合하므로써 性能에 대한 보

다 뚜렷한 樣相을 볼수 있다는 것을 쉽게 알 수 있으며 이것은 또한 補修工事의 効能性은 勿論이고 建設段階에서 適用되는 品質의 基準도 나타내게 된다. 이러한 方法에 의해 史實的인 見解가 定立이 되고 모든 結果值들(優, 良, 可)은 有效한 長期展望을 할 수 있게 綜合된다.

그러나 定義上的의 利用率이 發電플랜트의 性能을 評價하는데 必要한 모든 特性을 나타내는 것인지에 대한 解答은 플랜트의 運轉方式에 따라 달라진다.

1. 플랜트가 基底負荷에서 運轉되고 있으면 모든 可用에너지는 系統에 보내지며 利用率은 Energy Availability(美國에서는 “相當利用率”이라고 함)에 該當되며 이것은 送電系統에서 볼 수 있는 에너지를 나타내며 이 系統은 모든 可用電力을 取得하여 이것을 全系統에 分布시킨다. 그러나 이것은 반드시 運轉員(電力會社側)이 볼 수 있는 狀況이어야할 必要는 없으며 運轉員이 다룰 수 없는 경우 또는 慎重하게 作成된 運轉프로그램에 따라야 할 경우가 있으며, 이러한 경우에는 運轉員이 플랜트의 發電容量에 맞는 出力을 낼 수 없게 된다. 代表的인 例가 플랜트 延長稼動(例를 들면 輕水爐플랜트의)과 環境