

原電의 稼動率 向上 對策

*Upgrading Planning of Availability
of the Nuclear Power Plant*



金 東 柱
(韓國電力公社 發電事業團長)

I. 序 論

單位容量으로는 國內 最大인 古里原子力 5號機(950MWe)가 建設 着工 6年餘만에 昨年 10月 商業運轉을 開始하였다. 이로서 현재 우리의 原子力은 4基(施設容量 道합 286.5萬KWe)가 運轉되고 있으며, 現在 出力試驗中에 있는 原子力 6號機와 試運轉中에 있는 原子力 7號機까지 運轉에 들어가면 原子力發電만으로 476.5萬KWe의 施設容量을 今年中으로 갖추게 되어 全體 發電量의 3分の 1정도를 原子力이 占有하게 될 것으로 展望된다.

이와 같이 原子力發電이 電力供給에서 차지하는 比重이 날로 커짐에 따라 이에 相應하는 稼動率, 經濟性이 追求되어야 하겠으며 原電의 安全性 確保, 信賴度 向上 및 運營管理 能力의 高度化를 爲한 우리의 覺悟가 절실하게 되었다.

이에 原電 1, 2, 3, 5, 6號機의 試運轉 및 運轉에서 얻은 經驗을 토대로 原電 稼動率 向上 沮害要因을 精密 分析하고, 이에 對한 우리의 改善計劃을 紹介하고자 한다.

II. 稼動率 向上 沮害要因 分析

1. 不時發電停止

發電所停止를 大別하면 計劃的으로 制御하면서 停止하는 計劃停止와 計劃되지 않고, 制御되지 않은 狀態에서 停止하는 不時停止로 區分할 수 있으며, 이 두가지가 每年 實施하는 核燃料裝填 및 定期補修를 爲한 停止時를 除外하고는 있어서 안되겠다.

現時點에서 볼 때 우리나라 電力需要에 比하여 單位 發電機의 容量이 큰 原電이 系統에서 繼續 稼動케 됨에 따라 不時停止에 따른 系統에의 影響을 考慮하지 않을 수 없는데, 不時停止時에는 全系統의 電壓 및 周波數가 急降下하는 過度狀態가 야기되며 심한 境遇에는 全系統의 停止事態까지 進展될 수 있어서 系統運營上 어려움을 겪고 있는 實情이다. 따라서 原電의

〈表 1〉不時停止에 따른稼動率 低下

年度	停止件數	停止時間	稼動率減少影響	備考
'83	7.3	1,065時間	12.2%	事故比重;
'84	6	584時間	6.7%	原子爐側13%
'85	8	385時間	4.4%	터빈側 87%

(原電 1, 2, 3號機 平均)

〈表 2〉不時停止 原因別 分析

原因	停止件數	百分率
機器故障	93件	76.2%
誤操作	20件	16.4%
其他	9件	7.4%
計	122件	100%

(原電 1, 2, 3號機 '78-'85間 實績)

稼動率 向上에 있어 가장 重要한 것은 發電의 不時停止事故를 減少시키는 것이다.

해마다 設備의 高度化, 豫防補修의 徹底, 品質管理의 合理化 및 運轉經驗의 蓄積 등을 통하여 不時停止事故의 回數 및 期間이 점차 減少되고 있는 추세이나, 아직도 稼動率 提高에 상당한 影響을 미치고 있는 것이 事實이다(表 1).

不時停止事故를 原因別로 分類하면 機器故障, 誤操作 및 其他(系統波及影響 包含)로서 大別할 수 있는데, 國內外 資料에 의하면 大部分이 機器故障에 의한 事故로서 70%以上을 차지하며, 다음이 從事者(運轉員, 補修員)들의 誤操作에 의한 것으로 나타나고 있다(表2).

가. 機器故障

機器故障의 原因을 보면 주로 機器缺陷과 設計, 施工의 不良 및 豫防補修, 定期補修의 未洽 등으로 分類되며 機器의 缺陷은 주로 發電設備의 壽命에 따른 機器 經年 劣化에 의해 發生하지만, 機資材의 選擇에도 問題가 있을 수 있다. 따라서 機器의 信賴度를 높이기 위하여는 適合한 機資材의 選擇과 定期的인 精密點檢이 必要

〈表 3〉機器故障 原因別 分析

('78-'85)

原因	機器故障件數	分率
機器缺陷	65件	69.9%
施工不良	12件	12.9%
設計不良	11件	11.8%
補修不良	5件	5.4%
計	93件	100%

〈表 4〉運轉 및 試運轉要員 經歷現況

(85.10. 現在)

號機	1, 2	3	5, 6	7, 8	平均
經歷(平均)	3年	3.8年	1.7年	1.7年	2.5年

하다(表3).

또한 設計 및 施工側面에서 機器故障를 減少시키려면 充分한 設計檢討와 工事期間 設定 그리고 合理的인 品質管理를 통하여 充實한 建設마감이 이루어져야 하며, 機器補修에 있어서도 무엇보다도 豫防補修活動에 의해 機器故障 頻度를 減少시키고 補修를 遂行한 機器의 履歷管理 및 故障原因을 徹底히 分析하여 再發防止는 물론 補修能率提高로 補修期間을 短縮하여야 한다.

나. 誤操作

誤操作에 의한 發電所 停止事故는 運轉員의 失手와 狀況 誤判에 의한 것이 大部分이며 또한 發電所 稼動中 發電所 停止를 誘發할 可能性이 있는 機器의 補修 및 定期試驗時 作業員의 失手に 의한 것도 多數 發生되고 있다.

이러한 人爲的 失手의 主要原因으로는 運轉員의 資質不足을 들 수 있으며, 이것은 國內 原電의 運轉經歷이 짧아 運轉員 및 補修員의 實務 經驗이 豊富하지 못한 것으로 이러한 運轉 및 補修經驗의 不足은 適切한 事故對應措置에 對한 未熟과 遲延의 原因이 되고 있다(表4).

따라서 效率的인 教育訓練과 海外 原電의 經驗을 吸收 消化하여 補充해 나가야 하겠으며, 무엇보다도 原電 從事者들의 自己啓發을 爲한

〈表 5〉 定期補修期間実績

號機\年度	'80	'81	'82	'83	'84	'85	年平均
1號機	77	100 ¹	73	58	90 ²	80 ³	80
2號機	-	-	-	-	55	58	57
3號機	-	-	-	-	60 ⁴	48	54
平均	77	100	73	58	.68	62	64

註：1. 1號機 BAFFLE PEENING 作業等：'81
 2. 1號機 原子爐 内部 改造作業：'84
 3. 1號機 蒸氣發生器 漏洩 튜브 閉管作業：'85
 4. 3號機 蒸氣發生器 改造作業：'84

〈表 6〉 補修期間과 稼動率 相關性

補修期間	稼動率 減少影響	備 考
60日	16.4%	벨기에, 스위스 : 45日 実績 일본 : 80-120日 → 60日 目標 프랑스 : 60日 → 43日 目標
65日	17.8%	
70日	19.2%	
75日	20.5%	
80日	21.9%	

稼動率과 利用率 差異 : 約 5 %

動機賦與와 運轉員의 勤務意慾 및 責任意識을 갖도록 함이 先行되어야 하겠다.

表 5는 原電 1, 2, 3號機에 대한 定期補修期間 実績이며, 補修期間이 稼動率 減少에 미치는 影響을 나타낸 것이 表 6이다.

定期補修期間 短縮 沮害原因을 分析하면 다음과 같다.

○設計 및 施工時 運轉 補修 便宜施設이 充分히 考慮되지 않고 있다. 즉, 機器位置가 高所이어서 監視, 操作에 있어 불편을 주며, 安全保護設備의 過剩(例, PWR : PIPE WHIP RESTRAINTS)으로 接近 및 機器解體 등에 制約을 받고 있다.

○運轉經驗에서 이미 導出되는 問題點들이 後續機 設計時 充分히 반영되지 못하는 것은 重疊되어 進行시킨 프로젝트關係로 適時에 이루지 못한 점이 있었다.

〈表 7〉 機資材 國産化率

號機別	1	2	3	5,6	7,8	9,10
國産化率(%)	8	12.8	13.9	29.4	34.9	40.15

〈表 8〉 核燃料交替 및 定期點檢 過期 現況

(古里 1號機)

年 度	79	80	81	82	83	84	85	平均
定期點檢 (日)	76*	-	100	73	58	90	70	77.8
運轉日數	300	354	265	292	307	275	295	298 (9.9月)

* 79年度 定期點檢은 80年初까지 施行

○補修會社의 所屬 變更 頻繁('74년 創設後 4回)과 補修要員 訓練設備 不足, 補修設計技術 脆弱, 補修 標準化 未洽 등 補修技術 및 水準이 先進國에 比해 落後되어 있다.

○國內 機器供給者의 水準 落後로 主要機器들의 外國技術에 依存하고 있어 機器供給者의 아프트 서비스 등 事後技術이 困難하며 部品の 海外 依存度가 높다(表7).

○原子爐볼트 解體裝備, 燃料檢査裝置, 蒸氣發生器 등 補修便宜을 위한 新型裝備가 不足하다.

○放射線環境에서의 作業으로 인해 補修作業 遂行에 支障을 주고 있다(放射線 被曝量과 作業成果는 相反 關係임).

* 放射線環境에서의 作業(8時間 基準)의 예 :

- 作業 準備 : 2時間
- 作 業 : 5時間
- 作業後檢査 : 1時間

3. 核燃料 交替週期가 짧다

現行 加壓輕水爐型原子爐의 核燃料週期の 基準은 10個月 運轉에 2個月의 燃料交替 및 定期點檢으로 하고 있으며, 100% 連續運轉時 600 MWe級의 경우 9.2個月, 900MWe級의 경우 9.5個月이 核燃料 設計值이다(表8).

따라서 核燃料 交替週期の 延長이 稼動率 向上의 關鍵인데, 現在 國內 實情上 長週期 運轉 施行上의 沮害要因으로는

○爐心設計 技術自立 未洽(技術自立 推進中)

○長週期 核燃料 開發技術 不足

(미국, 일본 등 일부 發電所 適用段階)

等 外國 依存도가 높아 당장의 施行에 어려움이 따르고 있다.

III. 稼働率 向上 對策

앞서 導出된 稼働率 向上 沮害要因들에 대하여 設計 및 施工段階, 試運轉段階, 發電所運轉段階, 發電所 補修段階 등으로 大別하여 各段階別 長短期 細部推進計劃을 樹立 改善해 나가 고자 한다.

〈向上 目標〉

改善 項目	改善目標('91)
利用率 向上(%)	PWR : 75 PHWR : 83
定期補修期間 短縮 (日)	PWR (600MWe 級):55 PWR (900MWe 級):65 PHWR (600MWe 級):40
事故停止 減少(件/年)	4
核燃料週期 延長(月)	15~18

〈細部推進 計劃〉

1. 設計 및 施工段階

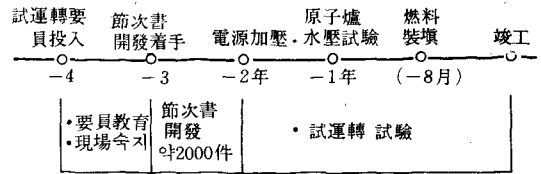
運轉 補修 便宜性 檢討, 設計缺陷 事前導出 改善, 機資材 檢討 등을 위한 “設計檢討審議會”의 構成과 設計 및 施工時 運轉 補修經驗 反映 體制를 定立하여 每號機 竣工時點에 建設 및 試運轉 評價를 위한 建設整理班을 構成하여 建設, 試運轉, 運轉, 補修經驗評價, 脆弱設備 改善, 運轉補修 便宜性 追求, 機資材 互換性 判斷 등의 業務를 遂行토록 한다.

2. 試運轉段階

○試運轉組織 및 人力 投入時期 改善

試運轉組織 및 人力 投入時期를 현행보다 1年 앞당기고, 試運轉 體系 또한 現行 核燃料裝填 前後의 二元化에서 一元化(電源加壓 以後 發電所 運營組織 專擔)함으로써 試運轉 經驗資料

〈表 9〉 試運轉 業務 및 期間 標準化



保存을 講究하고, 試運轉 經驗이 發電所 運營에 널리 活用될 수 있도록 한다.

○徹底한 試運轉業務遂行과 脆弱設備 事前導出 및 改善을 위하여 試運轉 業務 및 期間을 標準化하도록 推進한다(表 9).

○汽力發電 經驗이 있는 職員을 최대한 活用하고 運轉中 發電所에 豫備定員을 두어 運轉員을 訓練하였다가 後續機 組織時 基幹要員으로 活用하는 등 經驗있는 試運轉要員 確保 方案을 講究한다.

* 運轉組當 +2名(發電所機當 +10名)

○區域別 및 Bulk單位 施工에서 系統別 施工으로 適期 轉換하거나, 建設整理班을 編成 運營하는 등 建設工程과 試運轉工程의 連繫性을 確立하도록 한다.

3. 發電所運轉段階

運轉實績 및 放射性 被曝管理, 補修計劃 및 實績管理, 豫備品管理 등을 標準化 및 電算化하여 發電所 運營管理를 積極 改善하도록 한다.

○모든 技術指針書와 節次書上의 定期試驗 週期, 故障回復 制限時間을 가능한한 延長토록 하여 不必要한 減發運轉 또는 事故發生 可能要素 등을 줄이며 또한 技術指針書와 節次書를 한글 化함으로써 活用上의 難易度를 줄이도록 改善 補完한다.

○原子力教育 訓練課程의 持續的인 開發, 專門 講師要員들 確保 및 教育訓練施設의 擴充등을 積極 推進하고, 教育成果를 人事管理와 連繫토록 制度化함으로써 教育의 必要性을 강조 하며 職員の 資質 向上을 도모한다.

○技術情報 管理體系를 整備(專擔組織 新設

및 資料의 集中管理)하여 技術情報의 分析, 活用을 極大化한다.

* 電力그룹協議會의 電算網 構成과 連繫

4. 發電所補修段階

定期點檢 및 補修期間의 短縮을 위해 現在의 故障補修體制를 豫防補修體制로 轉換시켜야 하며, 이 외에도 다음 內容들이 考慮되어야 하겠다.

○定期補修工事 工程管理의 電算化와 아울러 標準化로 主工程의 短縮을 期하며, 補修資材管理의 電算化로 適正水準의 資材確保와 適期調達을 도모하고, Unit別로 互換性이 있는 資材는 別로 統合管理를 實施한다.

○特殊分野의 補修要員은 海外教育을 包含한 徹底한 教育과 專門員待遇 등으로 優秀要員을 많이 確保함과 同時에 補修作業前 'MOCK UP'을 活用한 徹底한 訓練을 통하여 補修作業 時間의 短縮과 放射線被曝을 줄인다.

○國內 技術이 自立될 때까지는 主機器 供給者 등과 긴급 復舊契約體制를 繼續 維持함과 아울러 標準規格의 制定 등을 통하여 技術의 海外 依存度를 줄이고, 國內 專門業體와의 協力を 통하여 國産化率과 國內 技術水準을 向上시킨다. 또한 긴급시 外資導入을 신속히 處理할 수 있는 制度도 마련되어야 하겠다.

○國內外 類似 發電所運轉 經驗을 土臺로 脆弱點이 들어난 部品이나 設備은 과감히 事前 交替함과 同時에 部品의 適期交替, 耐久性 補完이나 新素材 開發 등으로 機器의 "Maintenance Free"에 힘쓰고, 分解없이 機器를 點檢할 수 있는 裝備(로봇 등)나 自動點檢 補修設備의 利用 擴大로 補修點檢 時間을 줄인다.

○故障原因 및 狀況을 徹底히 分析記錄하고, 이를 電算化하여 類似 事故防止와 同時에 發生된 問題點에 대해서는 積極的으로 對處해 나간다.

앞의 各種 資料들을 分析한 것을 土臺로 定期點檢 週期 및 方法에 대해서도 研究 檢討되어야 하겠다.

〈表 10〉 核週期 延長 目標 및 適用時期

區 分	現行 (月)	延長目標(月)	適用時期
2 號機 (600MW급)	12	15	1987年
1 號機 (600MW급)	12	15	1989年
5-10號機(900MW급)	12	18	1990年以後

* 11,12號機는 初期爐心부터 長週期 適用 檢討

○核燃料의 長週期化

表10에 核週期 延期 目標와 適用時期를 나타내었다.

○使命感 鼓吹

計劃이 잘 되어 있고 優秀한 施設을 갖추었다 하더라도, 이를 實踐하고 運營하는 從事者들의 使命感이 없이는 大計劃의 成功을 期待하기 어렵다. 따라서 從事者 個個人的 使命感 鼓吹를 위한 教育 또한 看過할 수 없으며, 이를 위하여 精神教育 強化와 教養教育 擴大 등을 꾸준히 併行하도록 한다.

IV. 結 論

以上과 같이 10餘年間の 原子力發電事業 經驗을 土臺로 原子力發電所 稼動率 向上에 關한 諸般 沮害要因과 그에 對處할 對策을 檢討하였다. 이제는 原子力에 의한 電力生産을 이룩하고자 東奔西走하며 建設工期의 마감에 쫓겨왔던 우리 自信의 발걸음을 잠시 멈추고 지난 經驗을 면밀히 檢討하여 내일에 萬全을 기할때가 온 것이다.

따라서 우리나라 電光源의 主種을 이루어 나아가 原子力發電所의 稼動率 向上이란 目標은 電力生産業體인 韓電에만 局限될 것이 아니라, 國家經濟에 至大한 影響을 미치고 있는 점을 勘案하면 設計 및 建設施工段階에서 부터 發電所 退役時까지 關聯 産業 全般이 共同步調를 맞추어 積極 推進해 나아가야 할 課題라고 생각한다.