

運轉사이클의 最適化

輕水爐의 技術 高度化

1. 運轉사이클

原子力發電所의 運用은 출력운전과 정기검사를 반복한다. 처음에는 약 9개월의 運轉期間과 약 3개월의 定期檢査期間이 합쳐져서 1년의 운전사이클이 되도록 계획되어 있었다. 정기검사는 제도상 年 1회의 실시가 의무화되어 있었는데, 일본에서는 1980년 이후 정기검사종료에서부터 다음 정기검사개시까지의 기간(즉, 運轉期間)이 최대 13개월까지 인정되었기 때문에 그후 일본은 이에 적응한 긴 운전사이클을 계획, 실시하도록 되어 있다.

運轉사이클과 設備利用率의 관계는

$$\text{設備利用率} = \frac{\text{運轉期間}}{\text{運轉期間} + \text{定期檢査期間}} \times \text{運轉中負荷率}$$

로 나타낼 수 있으므로 ① 운전기간을 길게 한다, ② 정기검사기간을 짧게 한다, ③ 運轉中負荷率을 높게 하는 것을 실현시킬 필요가 있다.

일본의 경우를 예로 들어보면, 運轉期間에 대해서는 1978년도에 평균 8.5개월, 1980년 9.7개월, 1983년 11개월로 순조롭게 연장되고 있으며, 최근의 가장 긴 예로는 玄海 2號 415日, 福島第二 1號 400日 등의 실적이 있다.

定期檢査期間에 대해서는 트러블의 對策工事を 정기검사기간을 이용해서 실시한 적도 있어서 1976~1977년도에는 평균 約 220日이었던 것

이 그후 1982~1983년도에도 約 120日까지로 단축되고 있다. 최근의 가장 짧은 예로는 玄海 2號의 60日이라는 실적도 있다. 또 運轉中負荷率에 대해서는 事故·故障의 再發·未然防止對策을 철저하게 함으로서 그 발생을 대폭 감소시켜 改善을 도모하고 있다.

2. 定期檢査의 効率化

定期檢査期間에 행해지는 작업은 ① 과거 운전해온 機器·設備를 점검, 검사해서 필요한 보수를 행하여 다음 運轉을 위한 所要機能, 性能을 확보할 것, ② 燃燒된 燃料를 꺼내고 다음 운전을 위한 새로운 연료와 교환하는 것이다.

이들 작업은 순서에 따라 計劃的으로 행해지는데 全體工程을 지배하는 주요한 작업은 原子爐容器 뚜껑의 開放, 燃料를 꺼내는 것, 蒸氣發生器傳熱管檢査(PWR), 燃料裝填, 原子爐容器 뚜껑의 復舊, 水壓試驗, 原子爐容器漏洩率試驗, 起動試驗, 制御棒驅動機構分解點檢(BWR) 등이다. 작업이 보다 효율적으로 실시될 수 있도록 피폭의 저감과 아울러 그외 여러가지의 개량, 개발이 행해져 왔다.

예를 들면, 일본 등에서는 원자로용기뚜껑의 開放·復舊를 쉽게 하도록 뚜껑과 그 부속품을一體化한 구조물의 개발, 연료취급의 Speed up을 도모하기 위해 연료교환기에 대한 컴퓨터의 고도이용, 연료검사의 効率化를 위한 피트方式

燃料檢査시스템의 채택, 연료취급과 증기발생기전열관 작업의 병행실시가 가능하도록 蒸氣發生器水室노즐뚜껑의 開發, 제어봉구동기구작업의 效率化를 도모하는 자동교환기의 개발 등이 있으며, 이들의 개발내용은 日本 通産省이 주체가 되어 전력회사, 원자력 플랜트 메이커, 건설업체가 일체가 되어서 추진하고 있는 輕水爐改良標準化計劃에서 정리되었다.

이에 의해서, 1980년도에 끝난 第2次計劃에서 정기검사를 약70일로 실시할 수 있는 전망이 얻어지고 있다. 이것은 새로 건설되는 플랜트에 대한 목표이며, 이미 운전중을 하고 있는 플랜트에서는 設備改良에 한도가 있기 때문에 플랜트마다 목표를 정하게 된다. 따라서, 실제로 60일로 정기검사를 실시한 플랜트의 예가 있기는 하나 모든 플랜트에 대해서 약10년후에 평균60일 정기검사를 實現시키려면 앞으로 정기검사의 效率化를 위해서 더욱 검토 또는 기술개발을 할 필요가 있을 것이다.

(1) 定期檢査의 最適化

정기검사의 效率化를 도모하기 위해서는 우선 그 最適化를 도모할 필요가 있다. 이것은 지금까지의 原子力發電所 運轉, 檢査, 保修經驗의 축적을 기초로 해서 所要의 신뢰성을 확보하면서 현재 정기검사에 행해지고 있는 검사의 내용을 재검토하자는 것인데, 예를 들면 ① 全數檢査에서 部分檢査로의 移行, ② 검사주기의 장기화, ③ 검사방법의 변경 등으로 作業量을 감소시켜서 期間短縮의 效果가 기대된다.

(2) 運轉中檢査技術의 確立

펌프, 밸브 등 종래 분해해서 內藏物의 기능, 성능을 확인하던 기기에 대해서 분해하지 않고 運轉中에 검사를 할 수 있으면 정기검사의 作業量을 저감시킬 수가 있다. 이 기술을 확립시키기 위해서는 內部欠陥檢出技術 뿐만 아니라 性能劣化의 예측과 그 검출기술의 개발이 필요할 것이다.

(3) 其他

早期開發의 要求는 없으나 ① 長期間 점검, 보수를 할 필요가 없는 maintenance free의 개발, ② 原子爐容器 등 중요한 기기, 배관의 용접부에 대해서 그 健全性을 확인하기 위해 행해지는 稼動中檢査(ISI)作業을 단시간에서 效率的으로 하기 위한 技術開發이 필요하다고 생각되고 있다.

3. 運轉期間의 長期化

정기검사에서 다음 정기검사까지의 운전기간을 결정하는 因子로서 정기검사의 간격을 규제하고 있는 제도상의 문제는 별도로 하더라도 기술적으로는 ① 기기가 事故·故障없이 그 期間 運轉을 계속할 만큼의 信賴性을 갖고 있을 것, ② 燃料의 燃燒가 확보될 수 있는 두 가지가 주된 것으로 들 수 있다.

(1) 機器의 信賴性

플랜트의 계속 운전에서 필요한 機器는 ① 豫備機를 준비해서 운전중 적시에 교환을 하여 필요한 점검, 보수를 할 수 있는가, ② 短時間 그 기기의 운전을 정지시켜 필요한 점검, 보수를 할 수 있는가, ③ 충분한 耐久性을 갖게 하여 플랜트의 계속운전중에 정지함이 없이 운전할 수 있는가의 능력을 보유하도록 하고 있다. 이중 플랜트의 운전기간을 연장했을 경우 검토의 대상이 되는 것은 주로 ③에 속하는 기기의 신뢰성일 것이다.

그래서 앞으로 運轉期間의 延長을 實現시키기 위해서는 ① 운전기간을 연장했을 경우에 신뢰성의 면에서 검토대상이 되는 기기를 선출, ② 선출된 기기에 대해서 플랜트 運轉中 및 定期檢査時에 어떤 점검, 보수가 행해지고 있는가를 조사하여 계속운전조건과 점검, 보수와의 관계를 명백히, ③ 운전기간연장을 위해 어떤 對策을 취할 필요가 있을 경우에는 그 對策을 검토, ④ 다시 이들의 검토를 기반으로 필요할 경우 機器 또는 플랜트전체의 신뢰성을 확인하

기 위해 시험을 하는 단계로 검토를 추진해 나가는 것이 고려된다.

현재 점차로 긴 운전기간의 실적이 나오고 있으므로 이들 플랜트의 運轉, 保守 데이터의 조사, 분석을 주축으로 하여 먼저 代表플랜트에 대해서 단계적으로 운전기간연장의 實証을 행하고 그 결과를 다른 플랜트에 반영시켜 차례로 모든 플랜트의 運轉期間 長期化를 실현해 가는 것이 효과적이라고 생각되고 있다.

일본의 경우 약 10년후에 모든 플랜트에 대해서 평균 약 15개월운전이라는 목표는 앞으로 건설될 플랜트도 포함한 것이므로 실제에 있어서는 일반적으로 새로운 플랜트일수록 긴 운전기간의 달성이 필요하게 될 것이다.

(2) 燃料의 燃燒度

燃料集合體는 일단 爐에 裝填된후 정기검사 때마다 燃燒가 많이 진행된 것을 꺼내고 그 대신 새로운 것을 裝填한다. 通常적으로 약 2~4 사이클동안 사용된후 使用後核燃料로 꺼내진다. 따라서 플랜트의 운전기간을 연장시키려면 1회의 交換集合體數를 증가시키거나 또는 각 집합체의 燃燒度を 높게 해서 대응하게 된다. 當面은 교환집합체의 증가로 대응한다고 하더라도 資源의 有効利用, 燃料사이클코스트의 저감 등의 관점으로는 燃燒度を 높여가는 방향이 적절하며, 그를 위한 技術開發이 필요하다.

現在 燃料集合體平均燃燒度の 制限値는 약 40 GwD/t이며 실제로 사용되고 있는 연료의 연소도에 대해서 爐型에 따라 여유의 차이가 있는 하나, 다음 단계에서는 이 제한치를 50~55 GwD/t까지 높이는 것을 목표로 개발을 추진할 것을 생각하고 있다. 燃燒度を 높이는데 관한 開發은 앞으로도 계속해서 ① 實플랜트에서 단계적으로 높은 燃燒度の 試驗照射, ② 試驗爐에서 出力急變試驗, ③ hot lab.에서 照射後試驗 등 高燃燒도에 관한 實証데이터를 축적해 나간다.

이 개발은 상당히 長期間을 要할 것으로 생

각되므로 실제로 플랜트의 運轉期間을 연장함에 있어서는 그 時點에서 달성이 가능한 燃燒도와 교환연료집합체와의 組合으로 대응해 나갈 것이다.

4. 運轉사이클의 最適化

發電코스트의 저감이라는 관점에서 보면 현재의 技術水準에서는 定期檢査期間을 되도록 짧게 할수록 좋으며 또 운전기간은 길게 할수록 좋다고 생각된다. 따라서 運轉期間自體와 定期檢査期間과의 組合에 대한 最適點이 있을 것이다.

이 最適點을 구하기 위해서는 플랜트에 요구되는 安全性, 信賴性의 확보를 전제로 하여

① 燃料에 대해서는 運轉期間에 대해서 燃料濃縮度, 꺼내는 燃燒度, 交換集合體數를 파라미터로 하여 燃料사이클코스트로의 영향을 평가한다,

② 機器에 대해서는 長期運轉에 대응하기 위해 仕様強化가 필요할 경우 그것에 소요되는 코스트를 평가함과 함께 定期檢査期間을 단축시키기 위해 검사시간의 단축 또는 檢査週期의 長期化를 도모하는 仕様으로 할 필요가 있을때 여기에 드는 코스트를 평가하는 등 설비코스트로의 영향을 평가한다,

③ 정기검사시간을 파라미터로 해서 검사코스트로의 영향을 평가한다 등이 필요하다.

이들의 평가는 1運轉사이클에서 구할 것이 아니라 플랜트의 계획, 설계단계에서 부터 운전 단계를 거쳐 廢止措置段階까지를 포함한 토털 라이프적 관점에서 행해야 한다.

既設 플랜트에서 최적운전사이클은 운전경력 및 설비개량의 難易性에 영향을 주며 한편 新設플랜트에서는 逆으로 設備設計仕様が 최적운전사이클에 영향을 주게 된다. 따라서 먼저 이들의 파라미터를 고려해 넣은 최적운전 사이클의 評價方法 確立을 도모하는 것이 당면의 과제이다.