

# 原子力發電所의 異常診斷 技術

(日本原子力研究所)  
(東海研究所)

## 1. 머리말

과거 1년간(1977년 3월~1978년 2월) 美國에서 原子力發電所(1978년 3월 현재 68基)의 爐가 停止된 原因은 다음 [표 1]과 같으며, 日本에서도 감독관청으로부터 原因報告가 되었다. 그 原因은 여러 가지였으며 [표 1]의 (1), (2), (3), (5) 및 (6)項은 診斷에 의한 早期 發見으로 定期檢査時에 그 原因을 제거하여 불의의 緊急 爐 停止를 피할 수 있을 것으로 본다. 이 緊急 爐의 停止는 機器設計에 감안되어 있으나, 그 回收가 거듭되면 構造部材의 疲勞를 촉진시켜 새로운 異常의 原因을 만들어낼 위험성도 있다.

따라서 異常 發生 후의 시스템 전체의 機能테 別을 診斷하고 그후의 處置를 合理的으로 결정 할 수 있는 시스템診斷이 設備異常 診斷技術의 개발과 더불어 중요한 과제로 되었다. 여기서 原子爐 停止時의 健全性 診斷과 運轉時의 連續 監視에 의거한 診斷에 대하여 최근 2, 3년간의 동향을 기술하겠다.

## 2. 定期檢査에서의 健全性 診斷

### ① 使用期間中檢査

原子力發電所 機器 檢査의 基本은 매년 2~3 개월간에 걸쳐서 실시하는 定期檢査이며 그 내용에 대하여는 輕水形原子力發電所用 機器의

[표 1] 과거 1년간의 美國의 原子力發電所의 停止原因

原 因	件 數
(1) 回轉体軸封, 슈퍼킹, 각종 시일部에서의 冷却材누설	23
(2) 檢出器 또는 制御器의 故障 또는 誤設定	17
(3) 制御棒驅動裝置, 循環機, 弁驅動裝置 등 動的機器의 故障	16
(4) 電力機器의 故障 또는 所外電源상실	11
(5) 構造材振動에 의한 疲勞 또는 粒界應力腐蝕 등으로 인한 크랙	6
(6) 構造材 두께의 감소, 熔接不良, 또는 급속한 降溫으로 인한 傳熱管, 配管 등의 크랙	5
(7) 火 災	1
(8) 格納系, FP필터, 異常, 기타	3

\* 이 데이터는 Nuclear Safety Vol. 18, No. 4~Vol. 19, No. 3의 Operating Experience에 의거 종합된 것임.

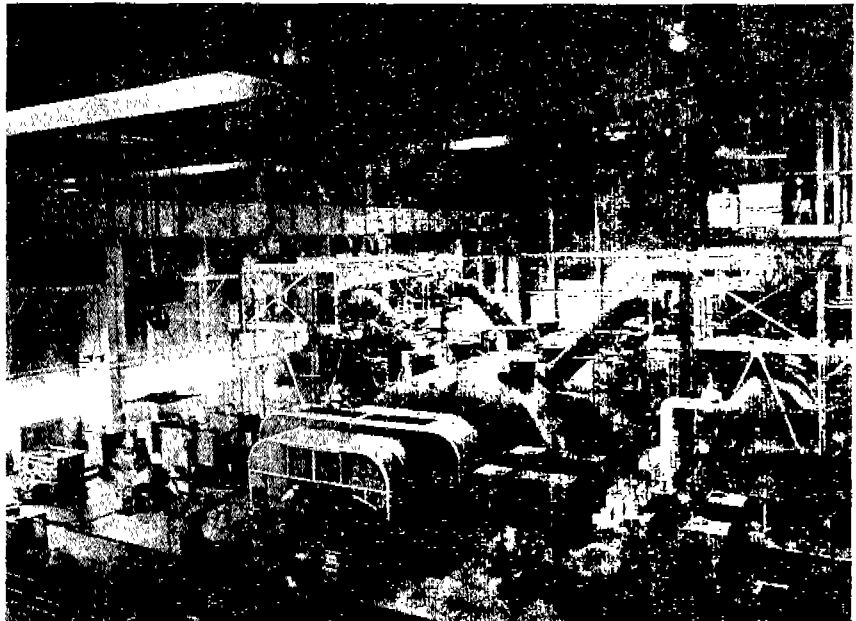
使用期間中 檢査 (ISI라함)로서 基準 JEAC-4205 등에서 規制되고 있다. 이 ISI는 安全上 중요한 放射性物質을 收納할 수 있는 冷却材 壓力障壁을 형성하는 原子爐 壓力容器, 配管, 弁, 펌프 및 蒸氣發生器 등에 檢査대상을 限定시켜 크랙, 마모 등의 기계적 결함을 진단한다. 이 검사에 사용하는 試驗法은 肉眼시험, 表面시험, 体積시험 및 加壓 및 漏洩시험으로 이루어진다. 최근 BWR의 配管熔接部에서의 粒界應力 腐蝕 균열 및 冷却材 溫度振動에 기인하는 반복 熱應力피로에 의한 노즐크랙, 또한 BWR의 蒸氣發生器 傳熱管두께의 減少에 의한 冷却材리크 등은 ISI에서의 超音波 探傷 (UT) 및 渦電流 探傷 (ECT)에서 각각 檢出된 결함이다. 이들 UT 및 ECT는 体積試驗法의 하나로서 ISI에는 不可欠의 기술이며, 현재 日本에서는 熔接部の 대부분 및 蒸氣發生器 傳熱管 전체의 검사가 요구되고 있다는 등의 이유로 그들에 대한 시험장치는 계산기와 결합된 自動化가 급속히 진전되었다.

### ② 材料서베이런스

原子爐壓力容器的 재료는 가혹한 中性子照射, 溫度, 壓力下에 있기 때문에 材質의 異常性을 조사하는 材料서베이런스가 基準 JEAC-4201 등에 규정되어 있다. 이것은 대상의 部材와 동일한 환경하에서 테스트피스를 놓고 그것을 適當히 꺼내어 파괴시험 (衝擊시험, 引張強度시험) 을 통해서 재료의 強度를 中性子 照射 脆化, 燒戻 脆化, 應力時効 脆化 등의 관점에서 검사하고 安全解析上 파괴가 발생할 수 없게 되어 있는 原子爐壓力容器的 胴 및 鏡部の 材料強度를 보증하는 手段이다.

### ③ AE의 利用

AE (Acoustic Emission) 을 利用한 機器의 非破壞檢査는 ISI가 곤란한 장소의 代替試驗法으로서 加壓試驗과 함께 組合하여 利用할 수 있다. 그러나 欠陥性狀과 AE의 關係를 명확히 하는 데이터의 축적이 빈곤하다는 것과 카이저 效果의 對應策이 없다는 등의 이유로 定期點檢



古里原子力發電所の 터빈과 發電機

의 시험법으로서 인정하기에 이르지는 못하고 있다.

또한 최근의 ISI期間의 短縮 경향과 作業員의 被曝低減을 위하여 AE의 運轉中 연속감시로 ISI의 시험범위를 減少시키는 技術 開發이 進行되고 있으나 AE의 센서 부착이 ISI의 방해가 되는 등 시스템設計上の 문제가 많아 適用化의 연구가 각국에서 進行중에 있으며 西獨의 KRB爐(BWR)에서의 ISI에의 적용, 美國의 Vermont Yankee爐(BWR)에서의 연속감시 및 프랑스에서의 누설검사의 AE와 누설량 및 시험압력 관계 등이 보고되고 있다.

### 3. 運轉時的 異常診斷

原子爐 運轉中の 中性子束, 冷却材 溫度, 流量, 壓力, 音響, 비틀림, 振動 등을 연속적으로 관측하여 正常運轉時的 그것과 비교하여 이상의 유무를 경험적으로 진단한다.

이 데이터 처리는 그들 狀態變量의 變動量의 實効值 및 각종 特性值(파우어스펙트럼密度, 振幅, 코피런스關數 등)의 算出法 및 多變量 統計의 해석 시스템을 이용한 패턴認識, 시뮬레이터를 사용한 逆시스템, 回歸모델을 사용한 推定시스템 등의 評價法을 채용, 발전해왔다. 이들의 적용으로 中性子束雜音에서 BWR의 보이드 速度의 측정, PWR의 코어배럴의 振動檢出, 制御棒 驅動機構의 異常檢出, 또한 流量 및 壓力의 雜音을 加하여 FBR에서의 나트륨 沸騰과 그 보이드의 核的 反應度의 推定 등의 연구 실적이 이미 있었으며 近年에 그 手法의 일부분이 점차로 實用化되기 시작하고 있다.

#### ① 診斷裝置의 動向

##### (1) LPM(루스 파트 모니터링)

이것은 加速度計(壓電素子)를 사용하여 機器의 구속 및 支持機構, 動的機器類의 部品 등의 이완이나 벗어남을 연속적으로 감시하는 기술로 企業化되고 있으나 이 문제점은 정상시의 振動레벨과 異常時的 그것과의 判別 및 센서設置 位置의 선택이며 前者에 관해서는 周波數帶域 필터의 利用과 異常振動波形 데이터의 蓄積, 後者에 관해서는 기본적으로 壓力容器 低部 또는 스탠드파이프가 붙은 부분 등의 루스파트의 滯留가 용이한 장소를 권장하고 있으나 實用上の 문제점이 많으며 개선책의 검토가 進行되고 있다.

##### (2) 回轉機器 모니터 및 格納容器 音響모니터

前者는 回轉機器에서 발생하는 音響, 振動 및 非接觸變位 檢出器에 의한 샤프트의 2次元 變位 등으로 診斷한다. 한편 後者는 運轉中에는 들어갈 수 없는 格納容器內의 主要機器의 診斷을 목적으로 마이크로폰을 分散, 설치하여 集中的으로 감시, 진단한다. 두 장치가 모두 企業化 되어 있으나 루스파트모니터링과 마찬가지로 실제면에서의 경험의 축적이 요구되고 있다.

#### ② 데이터 處理의 動向

종래의 雜音 分析法은 그 모델을 多入力 - 單出力으로 하였기 때문에 對象外의 雜音이 섞인 信號의 情報에 의한 진단이었다. 이 改良을 목표로 雜音모델을 多入力 - 多出力으로 한 AR(Multivariate Autoregressive)법의 적용이 진보되어 BWR爐心에서의 雜音源의 精確한 分析이 가능하게 되었다. 한편 核反應度의 微小變動의 檢出에 칼만필터의 이용도 시도하게 되었다.

### 4. 시스템診斷

가령 앞에 기술한 手法으로 機器單體의 異常을 발견해도 곧 原子爐를 정지해야 되는지 여부의 판단을 망서리게 된다(安全을 해치는 경우는 原子爐는 自動적으로 정지한다). 즉 機能이 欠落되어도 運轉에 지장이 없는 機器 (豫備機, 多重성이 있고 容量에 여유가 있는 機器, 事故時에만 사용하는 機器 등)라면 計劃停止時까지 유지시키는 것도 생각할 수 있다. 이와 같이 機器의 異常을 시스템 전체의 機能레벨의 이상으로 포착하고 그 후의 處置 및 修理計劃을 세우는 것이 필요하게 된다. 이 시스템機能의 레벨 低下의 진단은 Fault Tree法에 의거 대상의 異常에서 파생하는 위험의 정도를 상실한 기능을 대행하는 機器의 신뢰성, 補修時間을

기초로 사고 발생 확률의 관점에서 평가하여 시스템이 빠져 들어간 異常의 정도를 알아냄으로써 진단한다. 이 진단법은 通常運轉에서는 사용하지 않으나 사고 발생시에 작동해야 될 工學的 安全施設에서 異常이 발견된 경우의 處置를 合理的으로 判斷하는데 有用하다.

### 5. 맺는 말

최근 數年の 특징은 LPM에서 볼 수 있듯이 數年前까지는 개발도상에 있었던 기술이 급속히 企業化되었다는 것이다.

앞으로는 더욱 데이터를 축적하여 진단기술이 신뢰성이 높은 기술로서 시스템化 될 것으로 기대된다.

(日本電氣學會誌 1979. 3月號)

## 海外 TOPIC

p.36에서 계속

코에서의 美·英石油會社 17社의 國有化宣言을 斷行하였다. 1917년의 新憲法의 정신은 드디어 石油産業의 國有化라는 形態로 實現된 것이다. 新憲法의 原則은 1938년의 國有化로 具現되었다. 그 후 20년간 이 原則에 의거, 혹은 過渡의인 石油法이 탄생하고 또는 새로운 經驗이 쌓여 드디어 1958년의

石油法이 成立되었다. 이것은 오늘날에 와서 멕시코石油産業規制의 大原則이 되었다. 즉 發見石油는 國家에 屬하며 石油의 探鑛, 개발은 모두 페멕스를 통하여 國家만이 할 수 있다. 石油 利權制는 完全히 廢止되었기 때문에 페멕스와 체결하는 請負契約에 의해서만 개발할 수 있다. 契約者에의 支給은 만드시 現金으로 하

고 石油로 支給하는 것은 認定하지 않는다. 여하튼 現在 새로운 石油強國으로 부상하는 墨西哥는 1910년부터 30년 이상의 長期間에 걸쳐 아스피린이라도 服用하지 않고는 頭痛과 不安感을 해소할 수 없었던 어둡고 괴로운 時代를 거쳐 오늘에 이른 것이다.