

動力爐計裝의 動向과 問題點

高 丙 俊*

● 技術資料

- 차 례 -

- 1. 序 論
- 2. 核計裝 및 其他計裝
- 3. process 計裝
- 4. 原子爐安全計裝의 動向

1. 序 論

動力爐에 있어서 計測系는 故障檢出뿐만 아니라 機器의 正常動作確認 故障의 原因과 關連된 原子爐 構造物等 그 原因糾明에 重要한 役割을 하고 있기 때문에 爐計測系의 高精密化 高信賴化는 原子爐의 安全運轉向上을 爲해서 매우 必須的인 事項이다. 이러한 安全性과 効率的인 稼動性 및 經濟性을 높이기 爲해서 爐計裝은 全系統의 特性, 爐의 構造 및 機器의 性能等을 모두 考慮해서 設計 및 開發되어야 한다. 最近에 와서는 이러한 安全性, 稼動性 등의 問題를 解結하기 爲해서 各分野의 專門家들이 넓은 見地에서 서로 協力하여 計裝의 機能을 修正하고 補強해 나가고 있다. 原子爐의 安全性과 經濟性을 높이기 爲한 方法으로는 爐內環境에 잘 견디는 高性能의 計裝을 開發하여 爐內計裝技術을 向上시키는 것과 爐內計測器를 早期異常檢出系의 一部로서 使用하는 原子爐診斷技術을 開發하는 것이다. 電子計算機는 現在段階로서는 爐特性을 計算하는데 局部的으로 使用되고 있으나 앞으로 爐計測系와의 完全한 one-line system이 이루어지면 動力爐의 安全性, 經濟性 및 稼動性的 向上을 圖謀할 것으로 믿는다. 이외에 動力爐의 實用化와 함께 重要視되어온 計測器自身의 安全性改善, 原子爐運轉中 正常動作의 監視 및 較正의 方法, 爐內에서 計測器의 架設 또는 交換을 쉽고 간단하게 하는 問題 등이 있다. 原子爐全體系統과 計測系間의 相互關連問題 또한 큰 비중을 차지하므로 破損燃料檢出에 關連된 燃料破損機構, 核分裂生成物의 移動機構 등이 爐特性에 미치는 影響을 明確히 하면서 이에 따른 測定法을 開發하는 基礎的인 問題에 力點을 두지 않으면 안된다.

위에서 열거했던 點들이 在來型爐에 이은 新型爐의 開發에 있어서 強調되어야 할 問題點들이다. 이런 點을 감안해서 本解說은 爐의 實用性, 특히 高信賴化에 力點을 두고 記述하고자 한다.

2. 核計裝 및 其他計裝

爐心內의 詳細한 情報을 얻음으로써 爐心出力密度向

* 正會員: 韓國原子力研究所 責任研究員 電子機器室長

上, 燃料의 平均燃燒度向上, Xe에 依한 空間振動抑制等 爐心特性을 向上시키기 위해 各種原子爐에서는 여러종류의 爐心計裝이 갖추어져 있다. 爐心內의 中性子分布도 爐心特性을 決定짓는 重要한 因子中의 하나이며 따라서 각각의 爐型에 適合한 各種 爐心 中性子 monitor가 開發되고 있다.

BWR의 爐心中性子 monitor는 多數의 小型中性子檢出器를 配置한 소위 小型中性子檢出法의 代表的인 例이다. 이 monitor 방식은 네개의 燃料集合體에 대해서 한개의 비율로 도합 25개의 thimble을 배치하고 있으며, 各各의 thimble 內의 軸方向에는 네개의 固定中性子檢出器가 配置되어 있다. 특히 thimble 內의 固定檢出器에 可動型中性子檢出器(Traverseing Incore probe)가 삽입될 수 있는 案內管이 設置되어 있어 軸方向의 中性子分布를 연속적으로 測定할 수 있게 된다. BWR에서는 이와같은 爐心內中性子檢出器와 計算器를 함께 使用하므로써 hardware와 software 兩面에서 3次元의 中性子分布를 監視할 수 있다. 여기에 使用된 中性子檢出器는 Microchamber라고 부르는 小型核分裂電離函이다.

PWR에서는 爐心內의 可動小型 TIP와 爐心外 中性子檢出器에 依해서 中性子分布를 監視한다. 이 爐心外 中性子檢出器는 보통 Long Ion Chamber(LIC)라고 불리는 爐心높이의 約半에 該當하는 檢出部分을 가진 線非補償型 中性子電離函(UIC)이 上下 2개로 봉입되어 있다. 爐心內에는 36개의 TIP用 thimble에 設置되어 있으며 TIP는 周期的으로 爐心內에 삽입되어 爐心內의, 中性子分布를 測定하고 計算機를 使用해서 出力의 peaking factor와 非對稱性 등을 計算監視하고 있다. 이 中性子檢出器는 특히 壓力容器 外軸의 爐心側面 ぬ곳에 90°씩 떨어져 LIC가 배치되어 있으며 出力領域計測器의 sensor로써 使用될 뿐만 아니라 그 位置關係를 利用하여 半徑方向과 上下方向의 中性子分布의 對稱性도 항상 監視하고 있다.

多量의 情報를 處理하기 위해 導入된 計算機는 最近 on-line system으로 開發되었으며, 계산기의 기능은 自動運轉을 行하는 것이 아니고 다만 性能計算, 特히

中性子束密度的監視에 의한 爐特性的把握, 爐心管理, 異常現象의 早期把握과 表示 等에 重點을 두고 있다. PWR에서는 燃料出口溫度의 情報과 incore monitor로부터 얻은 情報를 함께 計算機에 넣어 燃料集合體의 出力을 計算하고 있다. 또 熱電對 指示值의 信賴性도 計算機에 依해 檢討되어 妥當性 있는 값만 取扱하도록 되어 있다.

부분적으로는 異常診斷技術이 計算機의 導入으로 그 威力을 發揮하고 있으나 아직 完全한 on-line의 단계까지 이르지 못하고 있다.

輕水型動力爐의 計裝에서는 計算機가 차지하는 範圍가 차차 늘어가고 있으므로, 爐心으로 부터 얻는 多數의 情報에 依한 異常의 早期發見, 爐心管理等이 開發, 촉진되고 있다. 더욱이 計裝機器의 信賴性에 對하여서는 그 가치가 더욱 重要視되고 있는 形편이다.

核計測器의 故障은 불필요한 原子爐 trip을 일으키는 原因이 된다. 原子爐 plant의 運營과 熱衝擊에 의

한 原子爐壽命의 觀點에서 볼 때 計測器의 高信賴度가 要求되기 때문에 이에 관한 연구가 활발히 進行되고 있다. 핵계장系는 技術的으로 可能한 부분에서 부터 서서히 반도체화 되어 왔으며 지금은 完全히 半導體化가 可能해졌다. 또한 2 out-of 3方式 혹은 2 out-of 4方式에 의한 安全操作方法에 採擇되고 있기 때문에 핵계장의 信賴度는 대단히 向上되었다. 예를 들면 從來의 原子爐에서는 單位時間當 故障率이 $6 \sim 6.3 \times 10^{-4}/hr$ (진공관식), $0.9 \sim 4.9 \times 10^{-4}/hr$ (진공관트랜지스터혼합) 이던 것이 지금은 $3.5 \sim 4.9 \times 10^{-6}/hr$ 까지 개선되었다.

BWR에서는 1표과 같이 program을 作成하여 信賴性設計를 行하고 있다.

安全保護系의 信賴性에 對한 解析은 매우 重要하여 이에 대한 연구가 활발히 進行되고 있으며, 爐의 安全性에 關하여 非常爐心冷却系統이 큰 問題로 되어 있으며, 最終的으로 計測機器, 論理의 回路, relay 等の 信

표 1. 원자로 계장 信賴性의 program

단계 분야	開發 調査 段階	試 作 準備 段階	製 品 製 作 段階
設計 技術	設計 技術 調査 信賴性設計基準作成 ↳ 信賴性豫測 → 耐環境設計 → 시험검사 요강작성 ↳ 部品選定基準	proto-type에 의한 design review 실제仕樣의 決定 → 認定試驗의 實施 → 製品設計	標準化設計의 추진
	원 자 력 입 안 project 활동		원자력 품질 보증 위원회 활동
品 質 管 理	信賴性技術調査 部品 信賴性 調査 → 部品認定試驗 → 部品の screening ↳ 구매품 수입검사	품질보증 체제의 확립	품질보증체제의 종합적 체제화
	購入, 外注業者調査 → 品質管理 仕樣書의 작성 ↳ 外注工場 QA 監査	信賴性試驗의 실시 ↳ 再發防止 대책	品質기록의 해석
製 造 技 術	製造技術調査 → 新作業標準의 시행 → 作業標準書의 整備 ↳ 自動化, 信賴性 試驗設備의 制作, 準備 ↳ 作業 技能教育, 認定		

賴性이 system 全體의 信賴性과 密接한 關係가 있기 때문에 이들의 解析方法의 改善과 實用化가 要望되고 있다.

3. process 計裝

process 計裝은 流量計, 液面計, 壓力計, 溫度計, 蒸氣發生器의 漏洩檢出器, 不純物計, 破損燃料檢出計等으로 構成되어 있다.

流量計에는 永久磁石式 流量計와 saddle coil 型電磁

流量計 등이 開發市販되고 있다. 液面計에는 現在도 既存하는 Na 液面計 뿐 아니라 定置抵抗式, 液面追從 ON-OFF式 등이 使用되고 있다. 壓力計로는 NaK 充填式壓力計가 있으며, 最近에는 一般的인 process計裝 보다는 爐內計裝으로 空洞共振器의 共振周波數가 溫度 壓力에 依한 容積變化에 따라 變化하는 것을 利用하는 micro 波應用壓力計가 開發되고 있다. 蒸氣發生器는 細心한 注意를 가지고 設計 및 製作을 하고 있지만, 材料缺陷, 溶接不完全, 應力腐食에 依한 龜裂等 여러가

지 原因때문에 漏洩發生을 全無하게 하는 것은 不可能하므로 安全性 및 經濟性의 見地에서 볼 때 조그마한 漏洩를 早期에 檢出하여 이系를 隔離遮斷시키는 것이 重要하다. 現時點으로 가장有望한 漏洩檢出法으로는 Na中の 氣泡檢出方法, Na중에 溶存한 H 檢出方法등이 있다. 不純物計는 Na중의 不純物濃度에 依해 固有抵抗이 變하는 것을 利用한 Rho(ρ)meter와 溶解度의 溫度依存性을 利用한 計測器 및 ThO₂-Y₂O₃ 등의 固體電解質을 삽입한 Na과 酸素濃度의 對數에 比例해서 電極間에 發生하는 起電力을 利用한 酸素計 등이 있다.

破損燃料의 檢出은 燃料의 破損을 檢知하여 原子爐 運轉上의 適切한 조치를 취할 뿐만 아니라 어떤 燃料 集合體가 破損되어 있는 가 찾아내어 그 位置를 決定하는 것에 目的을 두고 있다.

破損燃料의 檢出은 高速爐로서는 安全性의 觀點에서 볼 때 位置決定方法의 開發이 重視되고 있으나 輕水爐에서는 原子爐全體를 對象으로 하여 破損의 有無를 檢出하고 環境에 대한 影響을 考慮하면서 그 規模를 監視하는 方法에 重點을 두고 있다.

普通 process 計裝機器는 대체로 規格品の 機器를 嚴密하게 檢査하여 使用하는 方向으로 하고 있으며, 특히 輕水型用 原子爐에서는 새로운 規定에 맞는 機器의 開發이 눈에 띄지 않고 있다. process計裝의 問題點도 역시 信賴性 및 檢査方法 등의 改善에 있다.

PWR의 특징은 燃料要素의 出口溫度에 關한 情報를 얻기 위하여 stainless 鋼 筒속에 설치된 크로멜·알미늄熱電對가 爐容器를 貫通하여 爐心까지 내려와 있는 것이다. 여기서 얻은 data는 計算機에 의해 處理되며, 熱電對가 故障이 생기는 경우에도 運轉을 繼續할 수 있으며 또 燃料을 交換할 때에 熱電對의 交換도 可能하다.

4. 原子爐의 安全計裝의 動向

原子力發電所는 처음부터 安全性을 充分히 考慮하여 設計, 建設, 運轉을 해왔으며 또 運轉에 關係된 問題가 發生하면 即時 原子爐를 停止시킴으로서 安全性을 繼續 維持하도록 하였다. 그러나 이제 發電所가 大規模化함에 따라 電力系統에 주는 影響, 再起動에 要하는 時間等を 考慮하여 不必要한 停止를 可及의 避하는 方向으로 나가게 되었고 이때문에 從來의 運轉制御를 爲한 計裝에 安全保護計裝을 첨가하게 되었다. 이리하여 機器의 健全性을 恒時監視하고 異常을 早期에 檢出하는 安全計裝의 開發이 매우 必要하게 되었다.

最近, 輕水爐에 있어서는 計裝을 包含한 機器의 故障 또는 誤動作에 依한 計劃外停止 및 稼動率低下가 問

題되고 있다. 美國에서는 1972年의 稼動率은 平均73% (19基)였으며 計劃停止가 16%, 計劃外停止가 11%였다. 1973年의 稼動率도 平均 70%(27 基)로서 거의 같은 程度였다.

表 2는 1972년에 計劃外停止를 한 機器의 故障 및 誤動作의 系統別 件數로서 1次 2次 冷却系가 壓倒의 으로 많음을 볼 수 있다. 또 같은 해에 報告된 異常과 故障를 機器別로 分類하면 表 3과 같다. 이表에서 보

表 2.

計劃外停止를 發生한 機器의 故障 및 誤動作

發生系統名	件數	故障時間 (hr)	故障時間率 (%)
1次冷却系	40	4,870	32.6
2次 "	79	3,852	25.8
制御棒關係	12	2,097	14.0
發電機	11	1,710	11.4
格納容器	2	583	3.9
配電系統	10	544	3.6
安全保護系統	13	418	2.8
工學安全設備	7	131	0.9
process 計裝	2	99	0.7
補助系	1	79	0.5
計	178	14,382	96.2

表 3. 機器別 故障率

機 器	故 障 率 (%)	
	BWR	PWR
valve	26	23
配管	8	13
pump motor 類	11	14
diegel, battery 變壓器	7	7
制御棒	2	11
燃料	0	3
蒸氣發生器 熱交換器	—	8
計裝	44	18
其他	2	3

는 바와 같이 valve와 配管類가 故障의 約半을 차지하고 있으며 또 計裝에 關係된 故障率이 높다는 것이 注目되고 있다.

原子力發電所의 安全性과 信賴性을 向上시키키 爲해서는 이들 機器自體의 信賴度를 높이는 것은 勿論이러니와 特히 機器狀態를 恒常監視하고 異常을 早期에 檢出하여 事故를 미연에 防止할 수 있는 새로운 計裝이 system 要求되고 있다.

原子爐安全計裝의 하나로서

原子爐診斷技術은

<<p.56 계속>>