

原電 非常運轉의 State Orientated Approach

프랑스電力廳(EdF)은 原子力發電所에서 適用되고 있는 非常時 運轉節次를 變更中이다. 現行의 事象指向式 方法(Event-Orientated Approach)과는 對照的으로 새로운 方法은 플랜트의 基本的인 物理的인 特性(여기서는 “플랜트狀態”라고 指稱한다)의 變動을 連續的으로 모니터하고 플랜트狀態만을 基準하여 校正措置를 取하는 것을 基本으로 한다.

1979年の TMI事故後 프랑스電力廳(EdF)이 調査한바에 의하면 既存의 非常運轉節次上에 脆弱點이 있음이 判明되었다. TMI 事故前까지는 이러한 節次를 마련하는데 使用된 方法은 正確한 始發事象과 이에 따른 後續事象들에 대한 分析을 基本으로 하여 詳細한 節次書를 作成하는 것이 慣例였다. 따라서 運轉員은 다만 原子爐를 安全狀態로 復歸시키기 위해서 事前에 미리 分析해 놓은 이것에 該當되는 節次에 따라 校正措置를 取하기만 하면 된다.

가장 發生可能性이 큰 假想事象을 考慮하는 接近方法을 “事象 指向式 方法”이라고 한다. 이 方法의 缺點은 다음과 같다.

- 이 方法은 全的으로 始發事象을 分析한 正確度에 달려있으며 이에 따라 後續事象들의 시퀀스가 달라진다.

- 모든 假想事故內容과 이에 따른 事象들의 시퀀스를 反映시킨다는 것은 分明히 不可能하다.

- 運轉員이 어떤 校正節次를 選擇한 다음에는 이 시스템이 豫定된 基本型에서 벗어나기 前에는 이것을 修正하고 現實化시킬 수 없다.

이러한 事象指向式 方法의 缺點은 狀態指向式 方法을 使用하므로써 解決할 수 있다. 이 方法은 現在 EdF에서 漸次的으로 導入하고 있는 中이며 結局에는 從來의 事象指向方式을 全的으로 代置하게 될 것이다.

이 狀態指向方式은 플랜트의 物理的인 狀態를 連續的으로 모니터하여 “플랜트狀態” 各各에 대해 여러가지 修正措置를 指示하는 것이 基本으로 되어있다. 여기서 말하는 “플랜트狀態”는 壓力, 溫度, 冷却材溫度 등의 基本的인 플랜트의 파라미터와 各種 安全시스템의 利用可能性을 反映한 것이다.

運轉員이 取해야할 措置는 各 플랜트 狀態別로 規定되어 있으나 追加的인 事象들이 發生했을 경우의 臨時措置는 플랜트狀態가 變化하면 여러가지 다른 運轉節次가 適用되기 때문이다.

이러한 狀態指向式에 의한 措置를 取할때는 危急時 運轉員이 事故의 原因과 豫定되어 있는 事象들의 시퀀스에 대해서 關心을 둘 必要가 없으며 다만 플랜트의 現在狀態와 이것을 修正할 수 있는 方法에만 關心을 두면 된다.

이 方法의 段階的인 適用

EdF는 段階別로 새로운 方法을 適用하고 있다. 既 稼動中인 900MWe와 1,300MWe의 標準型 유니트에 대해서는 1980年代末까지는 이 狀態指向方式은 事象指向方式의 節次를 補完하기 위해 部分的으로 適用할 豫定이며 다음과 같이 하고 있다. TMI事故以後로 安全/放射線防禦擔當 技術者 한사람을 運轉組에 配置하여 스크램이 發生할때 마다 5分內에 制御室로

召還한다., 이 사람의 主任務는 特定한 節次書인 事故後調査樣式에 따라 運轉員과는 別途로 플랜트狀態(一次系統 閉鎖와 安全시스템)를 繼續 모니터링하는 것이다. 이 節次書에는 여러가지 플랜트狀態에 對處하기 위한 基準이 마련되어 있다.

事故後의 事象들이 미리 定해 놓은 시퀀스에 따라 發生한다면 運轉員은 그들의 事象節次를 適用한다. 이 경우 安全 / 放射線防禦 擔當者의 任務는 그가 모니터링해야 할 플랜트狀態中 아무것도 나빠지고 있는 것이 없는지를 點檢하는 것이다. 事象들의 시퀀스가 豫定된 시퀀스에서 조금만 벗어나도 그는 運轉員에게 補完措置(蒸氣發生器遮斷, 펌프起動 등)를 指示할 수 있으나 運轉員은 그 다음에는 그의 事象節次를 繼續해 나가야 한다.

그러나 플랜트狀態가 매우 나빠져 事象節次가 맞지않게 되면 安全/放射線防禦擔當者는 運轉員에게 그의 事象節次를 拋棄하고 “非常” 節次(UI)를 適用할 것을 指示한다. 이것은 全的으로 플랜트狀態指向方法의 原則에 의한 것이다. 運轉員이 UI節次로 變更할 것을 一旦 指示받으면 그는 事象節次로 되돌아갈 수 없으며 플랜트가 安定되고 安全하게 될 때까지 UI節次를 繼續 適用해야 한다.

그러나 現在 稼動中인 原子力플랜트에 設置되어 있는 計裝設備로는 運轉員들이 一次系統의 狀態를 繼續 모니터링할 수 없으며 特히 主要運轉파라미터中의 하나인 1次系統內 水量減少는 아주 徐徐히 檢出된다.

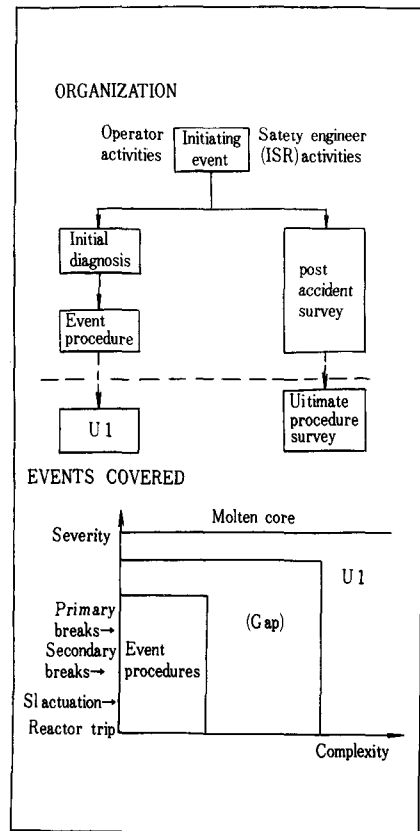
그러나 校正措置는 繼續的으로 取할 수 없기 때문에 設計基準狀態(一般的으로 事象指向式節次에서 適用되는)와 UI節次에 의해 取扱할 수 있는 더 나빠진 狀態사이에는 罅이 생긴다. 모니터링된 여러가지 파라미터들이 UI를 適用할 수 있는 基準을 充足시킬 수 없을 때까지는 運轉上의 事象節次가 多少 適切하지 않더라도 이러한

罅이 있는 狀況에서 運轉員은 이것을 繼續 適用하게 된다.

그림 1은 既存의 事象指向式節次를 事故後調査節次/UI으로 補完한 實例를 보이고 있다.

計裝의 改善

1980年代末에 運轉開始豫定인 新規原子力發電所들은 1次系統 冷却水量의 連續的인 모니터링(主로 原子爐容器內의 水位測定에 의한)에 必要한 計裝을 갖추게 될것이다.



〈그림 1〉 既存의 事象指向式節次的 系統圖. 在來式 事象指向式節次가 事象指向的인것 보다도 全的으로 플랜트狀態에 根據한 UI節次를 부추기는 安全擔當者의 業務活動에 의해 補完되어 있다. 이 圖表의 아랫部分은 設計基準事象(事象指向式節次에 의한)과 UI節次에 의해 取扱되는 훨씬 더 惡化된 狀態와의 罅을 나타내고 있다.

1989년과 1990년에 각각 운전開始될 豫定인 1,300MWe유니트와 1,000MWe유니트의 運轉員들은 既存의 事象指向式節次와 事故後調査 / UI의 綜合的인 措置를 代置하는 完全한 셋트의 狀態指向式 節次를 驅使하게 될것이다. 1989년 정부부터는 既存의 900MWe와 1,300MWe유니트도 이와 같은 種類의 計裝으로 補強될 것이다 (이들 既存의 1,300MWe유니트에는 이미 原子爐容器水位計가 設置되었으나 運轉員들을 위한 出力데이터의 自動處理와 狀態指向式節次の 開發을 위해 아직도 더 할일이 남아 있다).

앞으로 適用하게될 狀態指向式 節次는 이미 그 概要가 書面으로 作成完了되었다. 이를 위한 作業팀이 2年以上 考慮對象이 될 狀態, 이것에 맞는 修正措置를 規定하고 運轉員에게 情報를 提供하는 方法을 研究하여 왔다. 이러한 業務活動의 하나하나는 이 方法의 開發에 있어 한 段階를 이룬다.

• 첫째, 必要한 情報의 蒐集. 이에는 物理的인 파라미터, 原子爐狀態의 惡化란 項目으로 表示된 데이터의 解析(主로 新規容器水位測定에 대해서), 運轉員들에게 잘 보이게 하기위한 데이터의 自動處理, 安全시스템의 使用可能性 提示 등이 包含된다. 情報가 蒐集되면 플랜트狀態에 대해 올바른 判斷을 내릴 수 있도록 이것들은 綜合整理된다.

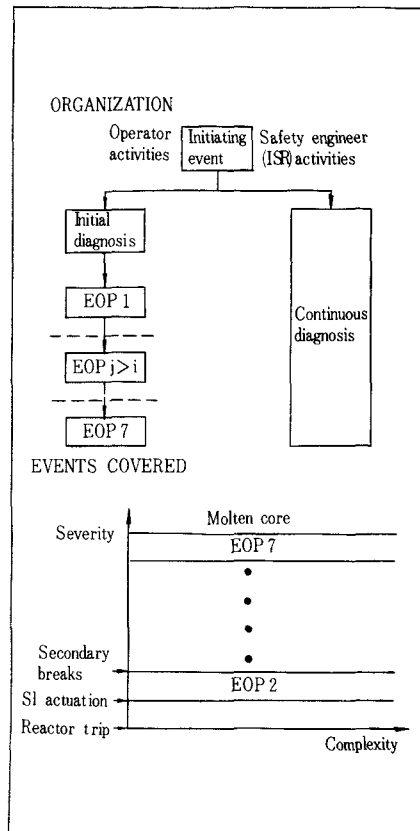
• 둘째, 對象들에 대한 優先順位를 決定한 다음 豫定된 對象(殘熱 除去, 一次系統內 水量 調整 등)을 위한 各狀態에서의 較正措置를 決定한다.

• 셋째, 運轉員에게 情報를 提供하기 위한 最善의 方法을 決定한다.

이러한 目的達成을 위해서는 비록 可能性있는 狀態를 많이 다루고 있지만 制限된 件數의 書類를 갖추고 이것들은 모두 比較的 짧고 既存節次書와 같이 使用하기가 容易해야 한다. 이러한 原則에 따라 7件的인 가이드 라인,

1件的인 2次的인 가이드 라인, 1件的인 閉鎖保障措置에 대한 가이드 라인이 作成될 것이다. 7件的인 1次的인 가이드 라인은 運轉員들에게 플랜트를 安定되고 安全한 狀態로 復歸시키기 위한 長期的인 方法을 提示하고 直刻的으로 取해야할 措置들이 表記되어 있다.

診斷節次는 運轉員들로 하여금 事故發生初期부터 非常事態가 끝날때 까지 繼續的으로 이것에 맞는 1次 가이드 라인을 選擇할 수 있게 하기 위한 것이다. 한가지 가이드 라인이 選定된 다음에는 더 惡化된 狀態에서 始作되는 가이드 라인에 依해서만 變更할 수 있다. 어떠한 다른 시스템故障이나 人爲的 過失이 없는 한가지 事象에 대해서는 플랜트가 安全狀態로 될때 까지



〈그림 2〉 새로운 狀態指向式節次の 系統圖. EOP는 非常運轉節次를 다타낸다.

같은 가이드 라인을 使用한다.

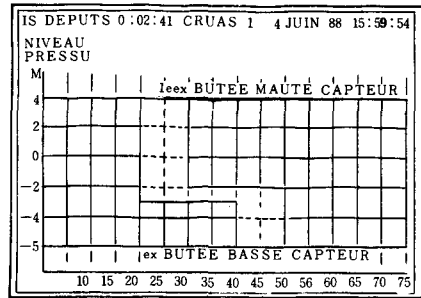
2次 가이드 라인에서는 蒸氣發生器의 稼動率 調整과 이것의 復舊 및 保全關係를 다루고 있으며 1次系統 冷却을 위한 여러가지 方法을 提示하고 있다.

閉鎖시스템에 대한 가이드 라인에는 3次保護 壁의 保全과 復舊를 위한 節次가 마련되어 있으며 1次診斷을 돕기 위해 閉鎖狀態에 關한 情報를 提供한다.

狀態指向式方法을 그림 2에 나타내었다.

이러한 節次的 開發과 함께 診斷法과 運轉員을 위한 其他 補助資料의 開發作業이 이루어졌다.

既存의 事象指向式 節次와 이에 대한 補充節次인 事故後調查와 UI節次는 運轉員들의 要請에 의해 이미 部分的으로 安全盤의 스크린상에 展示되었으며 이 画面展示는 1990年代에 運轉開



〈그림 3〉 狀態指向式方法 適用時의 運轉員에게 提示되는 資料의 代表的인 例로 安全注入時의 狀態를 나타내고 있다. 이 그림은 基本的인 파라메터 狀態를 나타내고 있는데 이 경우에는 加壓器레벨(縱軸)과 飽和마진(橫軸)이다. 플랜트狀態의 變化는 圖表上 一連의 點으로 나타내고 있다.

始豫定인 標準型 1,400MWe의 制御室內的 正常運轉設備의 一部分이 될것이다. 그러나 運轉員들은 恒常 書面 節次書도 가지고 있어야 한다.

토막상식

스트론튬과 칼슘

세슘 137과 함께 환경이나 생물 및 人體에 널리 존재하고 있는 人工放射性核種에 스트론튬 90이 있다. 核實驗에 의해서 온세계에 분포하고 있으며 半減期가 29년으로 긴 것은 세슘 137과 닮은 점이나, 크게 相違한 점은 세슘 137과는 달리 뼈속에 集中的으로 蓄積하는 성질을 가지고 있다는 점이다.

그래서 人體의 스트론튬 90의 調査는 뼈를 試料로 해서 分析된다. 베타線만을 放出하므로 세슘 137과 같이 휴먼카운터로 온몸을 計測할 수 없다. 뼈에 注目하는 것은 스트론튬이 칼슘과 매우 유사한 化學的, 生理的 作用을 하기 때문이다. 따라서 칼슘이 존재하는 곳에는 스트론튬이 모이며, 兩者를 분리하는 것은 쉽지 않다.

사람이 食物에서 칼슘을 섭취할 때 스트론튬(人工放射性核種인 스트론튬 90도 포함하여)

도 반드시 섭취된다. 그러나 生體는 칼슘과 스트론튬을 완전히 平等하게는 취급하지 않는다. 스트론튬을 조금 차별한다. 食物中의 스트론튬 90이 칼슘 1그램當 100pCi의 농도일때 사람의 뼈에는 칼슘 1그램當 25pCi정도의 농도로 沈着한다.

牧草속의 스트론튬 90의 농도가 칼슘 1그램當 100pCi이면 牛乳속의 스트론튬 90의 농도는 칼슘 1그램當 10pCi가 된다. 바다물속의 스트론튬 90의 농도(칼슘 1그램當 pCi)가 밝혀지면 生鮮의 스트론튬 90의 농도는 그 5분의 1 정도로 推定된다. 이와 같이 스트론튬 90은 칼슘과 共存하나 조금씩 差別되어 그 농도가 줄어드는 것이다.

註) pCi(피코퀴리) : 放射能의 量을 나타내는 單位, 1 pCi = 1 × 10⁻¹² Ci