

原子力發電支援시스템

— 稼働率 및 信賴性向上을 위해 —

1. 概 要

美國의 TMI 원자력발전소의 사고후부터 運轉 信賴性, 稼働率向上 등의 요구에 호응하여 일본의 경우, 1980년부터 通産省의 보조작업으로서 原子力發電支援시스템의 개발이 추진되어 왔다.

原子力發電支援시스템은 인스트럭션시스템과 格納容器內 自動點檢시스템의 개발로서 나뉘지는데, 本稿에서는 運轉支援技術(인스트럭션技術), 信號多重傳送處理技術 및 機器異常診斷技術로서 이루어진 인스트럭션技術을 중심으로 소개하기로 한다.

인스트럭션技術의 개발목표는 크게 다음의 두 가지로 정리된다.

(1) 發電所에서의 故障, 事故를 미연에 방지한다.

(2) 原子力發電所에 異常·事故가 발생했을 때 보다 용이하게 그 상황을 인식할 수 있으며, 적절한 대응조치를 취할 수 있도록 한다.

이 목표에 대응하여 開發시스템은 다음의 내용을 기본구상으로 하고 있다.

(1) 플랜트가 起動·停止, 通常運轉中은 新型 制御盤으로 이미 개발된 CRT에 의한 플랜트의 종합적인 정보제공과 조작이 필요로 할 때 그 操作가이드를 제공한다.

(2) 異常·事故時는 그 원인이 되는 내용 또는 현상을 진단하고 그 결과에 따라서 플랜트의

정보와 操作가이드를 제공한다.

이 기본구상에 따라 운전원과의 역할을 고려한 인스트럭션技術을 그림 1과 같이 기능별로 분류하였다.

(1) 플랜트運轉條件의 確立

- 運轉繼續과 運轉安全性의 確保

통상의 운전조작지원 및 異常·事故의 발생에 대해 설계대로 플랜트의 各種機器가 應答可能하도록 운전조건의 확립을 확인한다.

(2) 異常의 발생방지와 影響輕減

- 運轉繼續과 plant trip의 防止

異常·事故의 발생을 억제하기 위해 異常·事故發生時에는 이에 이어지는 過渡事故의 완화를 도모할 수 있도록 운전을 지원한다.

(3) 플랜트安全機能의 確保 및 事故收拾

- 異常·事故의 擴大防止

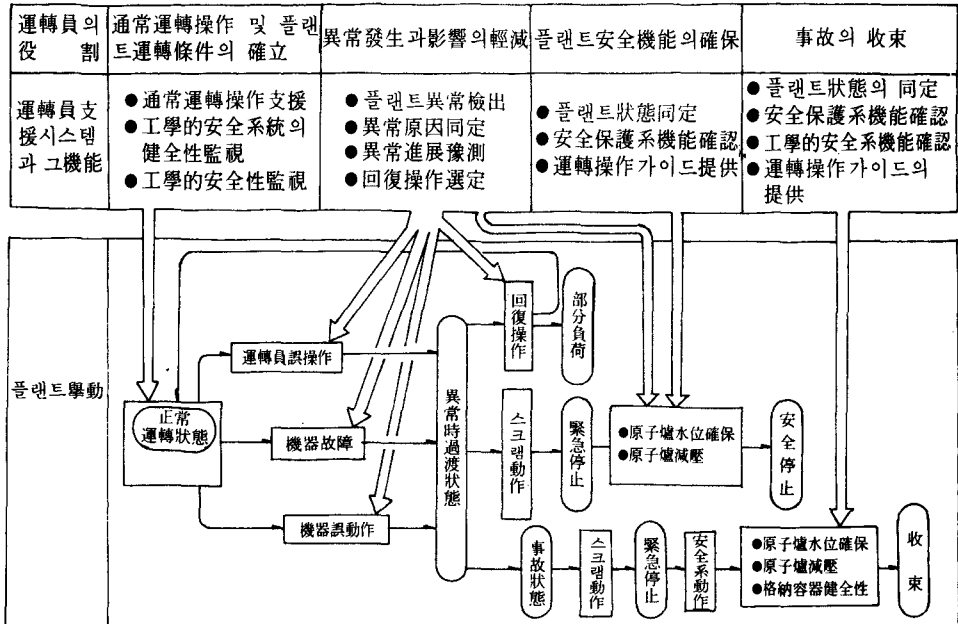
異常·事故가 발생한 후에는 事故를 확대시키지 않고 플랜트상태를 안전상태로 유도하는 것을 지원한다. 이 인스트럭션技術은 그 기능에 따라 沸騰水型原子力發電所(BWR)用과 加壓水型原子力發電所(PWR)用이 있다.

2. PWR INSTRUCTION技術

2.1 診斷가이드시스템의 機能仕樣

診斷가이드시스템의 기능은 待機系 모니터링 시스템機能, 異常時 診斷機能, 트립時 診斷機

〈그림 1〉 플랜트 상태에 따른 인스트럭션 시스템의 기능展開



能 및 事故時 診斷가이드機能이다.

(1) 待機系모니터링

緊急時·事故時에 동작해야 할 필요가 있는 工學的安全系統·安全保護系統의 pump, fan, valve, damper, switch, process量에 대해 健全性を 감시한다. 감시에 필요한 파라미터에 대해서 기준 상태·기준치를 정하여 확인한 후 이상이 발견 되면 異常메시지를 출력한다.

(2) 異常時 診斷機能

이상시 진단은 診斷論理(CCT)에 따라서 실행한다. 진단논리에서는 入力파라미터를 정하여 이 파라미터가 미리 설정된 設定點을 넘은 시점부터 진단을 개시하여 플랜트 운전상태에 따라서 인터록하며, 필요한 운전상태에서만 진단을 시작하도록 설계되어 있다.

(3) 트립時 診斷機能

트립시 진단기능은 診斷論理에 따라서 트립이 발생한 시점에서 시작된다. 진단은 대별해서 自動作動機器 狀態確認 및 주요 파라미터狀態確認과 주요 安全機能確認의 기능으로 나누어지며, 주요 安全機能確認機能은 사고시에

작동한다.

(4) 事故時 診斷가이드機能

사고시 진단기능은 論理에 따라 安全注入系의 作動信號가 발생한 시점부터 시작하여 다음의 내용을 점검한다.

- ① 自動作動機器·系統의 狀態確認을 행하여 이상시에는 操作가이드를 출력한다.
- ② 주요 파라미터에 대해서 상태를 진단하고 플랜트가 어떠한 事故狀態인가를 추정한다.
- ③ 運轉員이 推定事故狀態의 確認操作을 행함으로써 事故狀態에서 주요한 시점에서의 監視操作가이드를 출력한다.
- ④ 트립시와 마찬가지로 주요 安全機能確認을 행하여 이상이 검출되었을 때는 操作가이드를 출력한다.

2.2 出力表示體系

인스트럭션시스템의 出力表示體系를 표시하면 다음과 같다.

- (1) 플랜트 전체에 걸친 表示體系는 改良型制御盤의 표시체계를 기본으로 한다.
- (2) 인스트럭션시스템의 출력은 플랜트의 이상

상태에 대한 정보정보라고 생각한다. 따라서 改良型制御盤의 표시체계에서의 정보표시로서 취급한다.

(3) 인스트럭션시스템의 출력정보에 관련된 정보는 전체 표시체계 속에 짜넣는다.

3. 인스트럭션技術評價試驗

3.1 評價試驗의 實施

(1) 試驗方法

인스트럭션시스템의 개발목표는 운전 지원에 의한 원자력발전소의 운전신뢰성 향상을 통해서 가동율향상을 도모하는 것으로 이를 위해 다음의 항목을 만족시키도록 시스템의 개발을 추진해 왔다.

① 原子力發電所에서 여러가지의 運轉모드에서 이상이 발생했을 때는 운전원이 빨리 상황을 인식, 적절한 대응조치를 할 수 있도록 운전원을 지원할 것.

② 여러가지의 플랜트운전상황에서 운전원의 부담을 줄이고 誤判斷·誤操作의 가능성을 낮출 것.

確證試驗은 개발의 마지막 단계로서 개발된 시스템을 사용해서 운전원이 보다 쉽게 플랜트의 상황을 판단할 수 있고, 보다 쉽게 조작을 할 수 있도록 맨·머신시스템의 관점에서 성능을 평가하기 위해서 원자력플랜트의 각종 舉動을 모의할 수 있는 시뮬레이터와 결합시켜 실시했다.

(2) 試驗節次

플랜트의 異常時·事故時 각 운전모드마다 대상이 되는 작용은 다르다. 이를 위해 시험은 각각의 모드마다 따로 정할 필요가 있다. 각각의 모드에 대한 시험절차는 기본적으로 동일하며 다음과 같은 단계로 시험을 실시했다.

① 制御盤의 내용을 반복속지시켜 운전원의 의욕을 향상시켰다.

② 운전모드에서 작용에 대한 인스트럭션시

스템의 지원없이 운전하여 작업데이터를 수집했다.

③ 인스트럭션시스템이 實機에 도입되었을때와 같은 상황을 유도하기 위해 인스트럭션시스템의 사용방법에 관한 연습을 하였다.

④ 위의 내용을 실시한 후 ②와 같은 내용의 작용에 대해 인스트럭션시스템의 지원으로 운전하여 작업데이터를 수집했다.

⑤ ②항 및 ④항에서 얻어진 결과를 비교했다.

3.2 評價試驗結果

(1) 測定데이터의 分析評價

評價試驗에서 얻어적 각종 데이터를 시간에 따라 정리하고 인스트럭션시스템이 없는 경우와 있는 경우에 대해서 다음의 6항목에 대해서 비교분석을 행하였다.

- a. 時間短縮效果
- b. 負擔輕減效果
- c. 判斷過程의 支援
- d. activity check
- e. CRT畫面의 利用狀況
- f. 主要 플랜트 파라미터의 變化

다음에 위의 내용중 주요한 항목에 대해 비교 분석한 결과를 기술한다.



① 時間短縮効果 : 시간단축에 대한 효과를 얻기 위해 각 시험마다 주요한 確認・判斷・操作段階까지의 데이터를 시간에 따라 정리하였다. 전반적으로 인스트럭션시스템을 사용했을 경우 많은 시간이 단축되었다.

② 負擔輕減效果 : 부담경감효과를 定量的으로 파악하는 데이터로서 각 시험마다 운전원의 이동거리를 정리하여 ①의 경우와 같이 주요한 確認・判斷・操作段階까지 積算距離에 대해 평가한 결과 인스트럭션시스템을 사용하면 최대 이동거리가 작아졌다.

③ 判斷過程의 支援 : 인스트럭션시스템이 운전원의 판단과정에 어떠한 영향을 주었는가를 판단하기 위해 각 시험에서 운전원의 판단과정을 분석하였다. 이 경우 異常의 檢知後 인스트럭션시스템의 診斷・가이드메시지를 참조하여 의식적으로 狀態認識, 目標設定, 戰略立案 등의 단계를 통하지 않더라도 신속히 대응조작할 수 있도록 제시되고 있다.

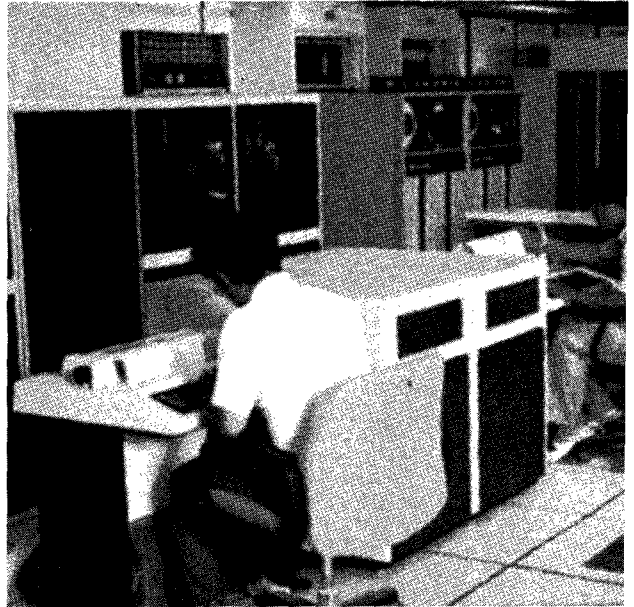
④ activity check : activity check의 방법은 운전원이 행하리라고 생각되는 표준조작이 실행되었나를 체크하고 지원정보의 효과를 보려는 것이다. 인스트럭션시스템이 없는 경우와 있는 경우에 대해서도 확인하였다.

기본조작에서는 인스트럭션시스템의 有無에 따라 큰 차이는 보이지 않았으나 스크램 전후에 시간적여유가 있는 운전조작의 경우 인스트럭션시스템이 있는 경우가 標準操作實施狀況이 잘 되어 있는 경향이 있다.

4. 結 言

인스트럭션기술은 原子力發電플랜트의 가동률 및 신뢰성의 향상을 목적으로 전자계산기를 이용, 플랜트의 운전상황을 종합적으로 파악하고 운전원에 대해 적절한 操作가이드를 제공해 주는 것이다.

또한 플랜트운전모드를 起動・停止時・通常時



・異常時・事故時로 분리하여 待機系の 狀態監視, 異常・事故의 檢査 및 原因診斷, 狀態의 예측, 운전조작가이드 등을 행하는 각종 시스템을 개발했으며, 또 맨・머신 인터페이스에 관해서도 터치 스크린, 音聲告知裝置 등을 채용하여 운전원에 대한 원활한 정보제공도 도모했다.

이상의 결과에서 이 개발의 성과를 정리하면 다음과 같다.

1) 과거 運轉員에 맡겨져 왔던 異常時・事故時 등 플랜트상태에 대한 診斷對應處置의 결정이라는 대단히 중요한 작업에 관해서 계산기의 정보처리능력을 활용하여 이것을 지원하는 기능이 實證되었다.

2) 評價試驗結果에서 보는 것처럼 운전조작의 확실성이 증가했다는 것과 운전조작의 부담이 경감되고 있었다는 것이 확인되었다. 이 결과 운전신뢰성향상이 기대된다.

3) 通常時, 異常時 診斷가이드기능에 의해 플랜트 트립을 미연에 방지할 수 있었다. 이 결과 플랜트의 稼動率向上에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.