

原電의 運轉 · 保守 自動化

輕水爐의 技術 高度化

初期에 原子力發電所는 故障에 의해 일시稼動率이 저조하였으나, 관계자의 改善努力에 의해서 信賴性의 현저한 향상을 보게 되었다. 이와 함께 運轉員 및 作業員의 被曝低減과 放射性廢棄物의 발생량 저감 등에도 적극적으로 노력하고 있으며 발전소의 保守性向上과 運轉性向上에 대해서도 꾸준한 노력을 기울이고 있다.

一般産業界에서도 최근 십수년동안 일렉트로닉스技術의 급속한 진보와 응용이 크게 진전되었는데, 原子力發電도 여러가지 분야에서 꾸준한 노력으로 앞서와 같은 개선의 원동력으로서 이를 활용하여 왔다. 또 그동안 두번의 석유파동을 경험하여 省에너지가 추진됨과 동시에 原子力發電은 단순히 경제적인 면에서 뿐만 아니라 에너지保障의 면에서도 석유대체에너지의 中核으로 인정되게 되었다.

電力需要의 鈍化로 建設計劃은 당초의 計劃을 下廻하고 있으나, 앞으로는 더욱 성능이 우수하고 經濟性이 좋은 原子力發電所의 建設이 요망되고 있다. 原子力發電所의 高度化에는 運轉·保守의 自動化도 그 하나의 지주라고 생각된다.

運轉·保守의 自動化 動向

一般産業界에서도 技術의 진보와 함께 여러가지 분야에서 自動化가 추진되고 있다. 원자력

발전소에서는 특히 다음과 같은 특징이 있는데 먼저 安全性이다. 原子力發電은 安全을 기본으로 해서 설계되고 있다. 自動化에 대해서도 이 입장을 관철해야 한다. 틀림없이 異常을 검출하고 原子爐를 安全하게 정지시킴과 동시에 自動적으로 原子爐를 냉각시킨다. 이를 위해 檢出系를 4系統 設置하여 and/or의 logic回路로 연결함과 동시에 系統分離의 사고를 철저히 하고 있다. 運轉을 自動化함에 있어서도 安全을 손상함이 없도록 충분한 고려가 필요하다.

그 다음은 信賴性이다. 大容量의 原子力發電所는 安定한 運轉을 계속하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해 機器의 개량과 함께 安全系統 뿐만아니라 常用系統에 대해서도 多重系統을 채택하는 등 신뢰성의 향상에 노력하고 있다. 또 運轉조작에 대해서도 運轉員의 誤操作 등에 의한 잘못이 일어나지 않도록 man-machine에 대해 설계단계부터 주의를 기울이고 있다.

다음에 放射線被曝의 문제인데 부지 주변의 一般公衆에 대해서는 規準이 설정되어 自然放射能보다 극히 낮은 레벨로 억제하고 있는데, 運轉員과 일년에 한번 실시하는 정기검사에 종사하는 작업원의 被曝低減이 하나의 과제이다. 이를 위해 放射線源의 低減 등 여러가지 개선을 하여 성과를 올리고 있다.

그러나 自動化·遠隔化에 의해서 作業員을 放射線源 가까이 가지 못하게 對策을 강구하는 것

이 큰 효과가 있다. 自動化은 또한 定期檢査期間의 短縮이나 保守·點檢作業의 신뢰성향상에도 효과가 있다. 앞으로 원자력발전소의 基數가 늘어남과 함께 생활수준의 향상이나 老齡化가 진행됨에 따라 自動化로의 요청은 더욱 강해질 것으로 생각된다. 코스트메리트의 評價 외에 일렉트로닉스技術 등 최신킨술을 받아들이고 또한 man-machine system에 대한 고려를 하면서 自動화를 추진해나갈 필요가 있을 것이다.

運轉의 自動化

原子力發電所는 中央制御室에서 集中監視, 集中制御를 하고 있다. 制御盤에는 플랜트의 각종 정보를 표시함과 함께 各機器의 조작스위치 제어장치가 배치되어 있다. 원자력발전소는 巨大한 시스템인데다가 單機容量의 증대, 安全對策強化, 性能向上의 요구가 높아짐에 따라 취급하는 정보가 막대해 지고 있다.

運轉을 오조작하지 않도록 스위치나 경보의 色別 및 器具의 배치 등을 研究하는 외에 플랜트의 정보를 되도록 알기 쉽게 運轉員에게 알리는 man-machine interface의 고려가 중요하며 또한 運轉員의 負擔輕減과 운전의 신뢰성향상을 위한 自動화와 運轉支援시스템 등의 도입이 추진되고 있다.

原子力發電所의 監視制御에는 ① local 監視制御레벨, ② 시스템監視制御레벨, 이들을 통괄하는, ③ 플랜트統括監視레벨, 複數基가 있을 경우에는, ④ 사이트管理레벨로 階層을 나눌 수가 있다.

運轉의 自動化에 있어서는 이들 各階層마다 가장 적합한 制御方式에 의해 情報를 上位階層으로 效率이 좋게 전달되며, 플랜트 전체로서 통일이 취해진 制御方式으로 할 필요가 있다. 運轉의 自動化에 대해서도 이와 같은 생각에 따라 下層레벨에서 上層레벨로 단계적으로 實績

을 쌓으면서 채택되어 왔다.

1. 運轉自動化的 現況

(1) 新型中央制御盤 原子力發電

플랜트의 原子爐保護系統이나 安全系統 또는 local制御나 主要서비스시스템에 대해서는 종래보다 自動化되어 있다. 최근의 플랜트에서는 電子技術을 이용해서 眞實보하여 플랜트의 通常運轉, 起動, 停止에 대해서도 플랜트運轉의 自動화를 점진적으로 추진해 왔다.

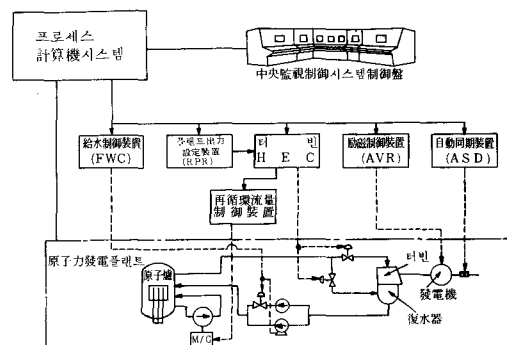
일본의 경우 이와 같은 성과는 新型中央制御盤에 집약되고 있다. 일본의 東芝에서는 이것을 PODIA(Plant Operation by Displayed Information and Automation)라 부르며, color CRT를 이용해서 플랜트의 運轉狀態를 표시함과 함께 운전감시나 운전조작에 관한 정보를 나타내는 등 man-machine의 개선을 도모한 것이다.

이 制御盤에 받아들인 自動運轉의 概略構成을 그림1에 표시하였다. 自動化的 적용범위는 주로 主要系統의 운전조작으로 하고 플랜트의 起動·出力運轉·停止에 대해서도 자동화하고 있다. 운전조작의 操作가이드를 CRT상에 표시하여 조작의 흐름을 관리하도록 하고 있다.

구체적인 自動화項目的 主된 것은 다음과 같다.

① 原子爐水位制御: 原子爐昇温에 의한 水位上昇을 原子爐冷却材淨化系統 blow valve와 給

〈그림 1〉 原子力發電플랜트 自動화시스템의 構成



水調整小 valve의 調整操作에 의해 제어한다. 出力運轉時는 原子爐 給水制御에 의해서 행한다.

② 原子爐壓力制御: 플랜트 起動時의 昇壓과 停止時의 減壓을 프로그램에 맞추어서 제어한다.

③ 터빈發電機: 일련의 운전조작을 확인하면서 자동적으로 행해나간다.

④ 原子爐出力制御: 미리 정해진 出力要求에 따라서 再循環流量制御에 의해 原子爐의 出力을 제어한다. 制御棒을 사용하는 出力調整이 필요한 경우는 조작순서를 color CRT에 가이드 표시하고 이에 따라 조작한다.

(2) 放射性廢棄物處理設備의 運轉自動化

廢棄物處理系統은 專用的 제어실을 설치하여 集中監視制御와 데이터處理를 하고 있다. 運轉은 各 서브시스템마다 batch 處理를 하는데, 운전을 mode로 나누고 그 mode마다 運轉을 自動化하는 방식으로 하고 있다. 自動化에는 micro-processor를 이용한 sequence controller를 사용하며, 신호나 데이터의 傳送에는 光多重傳送을 받아들이고 있다. color CRT의 활용도 中央制御盤에 앞서 실용화한 것이다.

2. 앞으로의 展望

운전의 自動化는 서브시스템이나 廢棄物處理系統의 自動化에서 부터 出力自動調整, 플랜트의 自動起動, 自動停止로 진행되어 왔다. 또 이들과 병행해서 감시도 단순한 data logger에서, 狀態表示, 나아가서는 狀態의 감시로 나가며 運轉가이드에 대해서는 서베이런스테스트를 포함한 통상시의 운전가이드를 표시하도록 되어왔다.

앞으로는 運轉員의 감시·진단·조작의 역할을 지원하여 가일층의 운전성 향상을 향해 개량되어 갈 것이다. 예를 들면, 原子爐出力의 予測에 쓰는 制御棒操作의 支援機能, 플랜트의 異常후를 미연에 解析診斷하는 自己診斷機能, 플랜트 異常時나 事故時 運轉員의 判斷·操作을 하는 기능을 充實強化하는 것이다.

기에는 知識工學의 응용도 생각된다. 이들

運轉支援技術은 일본에서는 通産省補 原子力發電支援 시스템의 일환으로 開을 추진하고 있다.

保守의 自動化

原子力發電所의 保守를 크게 나누면 運點檢과 保守, 定期檢査期間中 燃料交換 및 聯作業, 이 기간중에 행해지는 稼動中檢査(L)를 위시한 여러 검사와 기기의 분해·점검, 보수 작업 등이 있다. 일반적으로 原子爐의 爐心近傍과 運轉中 特定한 一部高線量地域을 제외하면 방사선레벨은 비교적 낮으며 運轉員 및 作業員의 접근에는 큰 지장이 없다.

爐心部에 대해서도 常時爐心冷却材로 使用하는 물을 數미터 깊이로 채워서 遮蔽를 함으로써 눈으로 보면서 작업을 할 수 있다. 따라서 保守·點檢의 自動化가 절대적 조건은 아니었으나, 앞서의 이유 등으로 先進國에서는 自動化, 로보트化의 要求가 높으며 효과가 높은 것에서부터 점점 實用化를 추진해 왔다.

이와 같은 경위에서 開發의 순서는 종래의 플랜트 및 기기에 맞춘 專用自動機에서 부터 시작했는데, 앞으로는 개발의 방향을 汎用機의 개발과 知能化, 다시 로보트로 향한 플랜트 설계로 전환해 나가는 것이 요망되고 있다. 다음은 原子力發電所에 대한 로보트의 適用例와 開發中인 로보트의 구체적 예이다.

1. 로보트의 適用例

(1) 燃料自動交換機

原子力發電所의 燃料는 年1回の 점검시에 爐心の 약25%~30%의 燃料交換과 일부 배치바꿈을 한다.

종래에는 물 차폐를 통해 눈으로 보면서 燃料交換機를 조작하였는데, 이것을 輕水爐에서 세계 처음으로 全自動化한 것은 일본이며, 이미 BWR 8기가 運轉되고 있다.

여기서는 計算機를 사용해서 制御하는데, 制御室에서도 조작할 수 있도록 되어 있다. 확실한 操作을 위해서 운전조작 각 단계마다의 동작을 확인하고 스위치를 누르도록 하고 있다. 이에 의해 작업시간의 30% 절감, 作業工數의 50% 절감과 함께 작업의 신뢰성 향상에도 공헌하고 있다.

(2) 制御棒驅動裝置自動交換機

原子爐에는 출력을 제어하는 제어봉을 爐心 내에 넣고, 제어봉을 制御棒驅動機構(CRD)가 原子爐壓力容器에 설치되어 있다. 대부분의 原子力發電所에서는 이중 약 20%를 每 定檢時에 分解點檢하고 있다. 이것의 設置와 꺼내는 操作을 自動化로 개발한 것이 CRD自動交換機이다. 이 로봇도 일본에서 이미 11플랜트에서 사용되고 있는데, 작업시간의 15% 削減, 作業人工數 30% 節減이 달성되었으며 定檢期間短縮과 被曝低減에 공헌하고 있다.

(3) CRD 遠隔分解裝置

原子爐에서 꺼내진 CRD는 CRD補修室에서 分解·洗淨·點檢後, 再組立되어 RPV에 설치된다. 종래에는 이들 일련의 작업은 숙련작업자에 의한 手作業으로 실시되어 왔는데, 被曝低減의 견지에서 主要作業의 自動化를 도모한 CRD 遠隔分解裝置를 日本에서 開發하여 2플랜트에서 사용하고 있다.

또한, 이의 全自動化를 목표로 로봇을 제작하여 實證試驗을 실시할 것이 日本 通商産業省 補助事業으로 財團法人 日本發電用熱機關協會에서 추진되고 있다.

(4) 自動超音波探傷

原子爐壽命期間을 통해서 原子爐壓力容器(RPV)나 重要機器配管의 健全性을 확인하기 위해서 超音波에 의한 探傷檢査(ISI)를 행하고 있다. 放射能이 강한 RPV의 ISI에 대해서는 일찍부터 自動化를 행했는데, 被曝低減과 探傷確度の 향상을 위해 한층 더 자동화범위의 확대와 데이터處理의 자동화를 추진하고 있다.

2. 實證中 또는 開發中인 로봇

日本 東芝에서는 專用로봇과 병행해서 보다 多機能, 高知能化를 목표로 한 로봇을 開發中이며 一部는 實證試驗을 하고 있다고 한다.

(1) 格納容器內自動點檢

原子力發電支援시스템의 일환으로 原子爐格納容器(PCV)內 主要機器類의 點檢을 목적으로 床面走行形格納容器內自動點檢시스템을 개발중이다. TV 등을 搭載하여 階段의 昇降을 위해서 좁은 PCV內에서의 點檢機能을 갖게 한다.

(2) 天井走行形格納容器內點檢裝置

PCV內的 點檢을 목표로 軌道上을 走行하여 對象을 上方에서 접근해서 點檢하는 로봇를 개발, 현재 實플랜트에서 實證中이다.

(3) 保全로봇

一般施設의 非定常型現場作業을 행하는 遠隔自動保全作業로봇(AMOOTY)를 개발했다. 계단의 주행이 가능하도록 특수 遊星車輪을 가진 台車에 保全作業을 행하게 하기 위한 9自由度的의 manipulator를 搭載한 것이 특징이다.

3. 앞으로의 展望

保守·點檢의 自動化 要求에 응하기 위해 플랜트 전체를 대상으로 하는 改良과 多機能·知能化가 앞선 汎用型 로봇의 개발이 희망되고 있다. 예를 들면 點檢의 高度化로서는 플랜트의 정보를 適確하게 수집하여 早期에 異常을 검출해서 故障에 이르기 전에 예방을 행할 수 있는 시스템이 고려된다. 이미 雜音解析, 패턴認識 등의 기술개발이 進行되고 있으며, 實用的인 시스템으로 정리하는 것이 앞으로의 關건이 될 것이다.

汎用로봇에 대해서도 床面清掃·除染로봇과 각종 밸브의 분해·點檢로봇 외에 作業用 bilateral manipulator의 개발이 추진되고 있으며, 앞으로 이들의 小型·高性能化와 知能化를 도모함으로써 實플랜트에 적용하도록 개발에 박차를 가하고 있다.