

原電의 安全稼動을 위한

日本에서의 人力育成訓練 現況

原子力を 安全하게 稼動시키기 위해서는 人間の 正確한 눈과 判斷이 重要條件이다. 따라서 이러한 人력을 育成하고 資質을 높히는 專門訓練所가 日本에는 2個所가 있다. 하나는 PWR의 優秀한 運轉員을 育成하는 「原子力訓練센터」이고, 또 하나는 保修要員을 育成하는 「關西電力保修訓練센터」이다.

原子力訓練센터

實際訓練으로 휴먼에러 防止를 위한
各分野에 걸친 專門教育 機關

복잡한 中央制御室. 操作하는 3名(1그룹)의 訓練生에게 教官의 준엄한 빛이 빛난다. 이것은 日本에서 단하나인 PWR型 原子力の 優秀한 運轉技術者를 養成·謝練하는 「原子力訓練센터」 實 플랜트시뮬레이터室에 訓練風景이다. 「原子力訓練센터」는 1974年 봄에(設立은 1972年 三菱重工業과 九個電力會社가 共同出資) 將來의 原子力發電時代에 對備하여 敦賀市 沓見地方에서 訓練을 開始했다.

그로부터 13년이 경과된 지금 原子力은 새로운 에너지時代를 反映하여 發電所의 數도 增加, 베이스電源으로써 順調롭게 稼動을 계속하고 있다. 原子力の 增加는 技術的인 革新 이외에 電力과 情報交換, 새로운 技術에 對한 커리큘럼, 設備의 增設 등을 도모하고 운전기술의 향상에 힘쓴 同센터의 姿勢가 公헌한 바도 크다고 할 수 있다.

原子力에는 安全運轉上의 安全裝置가 多重化 되어 있으나, 그것을 운전하는 人間이 正確한

눈이 있어서 安全하고 効率的인 稼動이 가능하며 또한 그것이 原子力の 信賴確保에 연결되는 것이다. 센터는 正確한 눈, 正確한 判斷力을 가진 운전기술자 양성을 目的으로 하고있다.

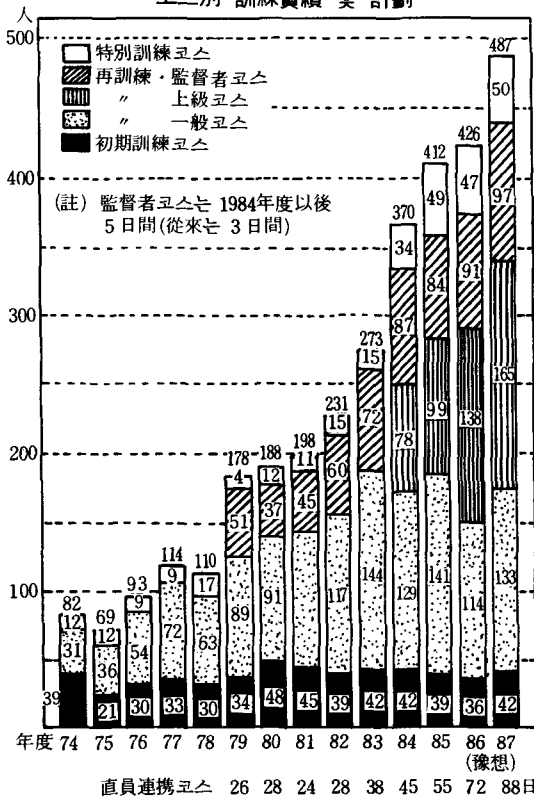
訓練도 엄격하다. 初期에는 基本原理에서부터 實運轉까지를 習得하는 코스로서 約 6個月을 要한다. 그후에 운전의 전문가가 되기 위하여 「一般코스」(10日), 「上級코스」(5日), 「監督者코스」(5日), 「直員連携코스」(1日) 등 4개코스가 있다. 이 4개코스는 플랜트의 異常·긴급시의 운전요령을 계속해서 年1回 再訓練하는 것이다. 直員連携는 주로 相互의 連携, 즉 팀플레이의 強化를 訓練한다.

이러한 再訓練을 거듭하여 上級코스를 거쳐 原子力發電 運轉責任者 認定을 받은 사람이 많다고 한다. 또한 同 센터는 認定制度의 運轉實技試驗 實施를 委託받고 있다.

「平均年齡은 初期코스가 25세, 上級코스는 35세 以上」이므로 10年 以上の 訓練을 거쳐야 제구실을 하게 된다.

訓練의 特色은 教育連絡票를 活用하여 電力會社의 個人指導方針을 反映시키기도 하고, 訓練評價를 派遣處에 通知하는 등 電力會社와 協議하여 充實을 도모하고 있다. 또 시뮬레이터訓練은 3人1組의 訓練生에 1名의 教官이 專任하는 맨 투 맨 시스템이다. 内外情報를 적기에 入手

코스別 訓練實績 및 計劃



하여 講義에 삽입하는 등 항상 새로운 情報를 訓練에 반영시키고 있다. 시뮬레이터訓練도 實 플랜트와 同一한 構造配置·照明條件으로 하는 등 現場感을 내고 있다.

특히 최근에는 플랜트의 稼動率 向上과 同時에 實플랜트에 있어서 起動停止의 機會가 적어 지고 있기 때문에 再訓練에서는 起動停止訓練을 重視하고 있다.

訓練 初期에는 시뮬레이터도 1台(美國 Zion 發電所의 模擬)였지만, 發電所의 增加와 再訓練人員의 增加로 1984年 3月 高浜 3號機를 模擬한 2號를 추가 설치한 외에 플랜트狀況 監視의 CRT 強化와 TMI事故教訓을 反映하여 1號機를 改造하고 있다. 2號機는 TMI事故教訓을 살린 것으로 되어 있다.

TMI事故以後 同 센터에서는 主로 再訓練에 役점을 두고 있는데, 그 예는 감독자코스를 3日에서 5日로, 訓練受講頻度를 2年에 1回

PWR原子力を 보유하고 있는 電力會社의 운전원 延2,500名이 訓練所에 입소하고 있으며, 메이커關係者 등이 받는 特別訓練코스를 포함하면 3,000名 정도가 수강하고 있는데, 그 수는 해마다 증가하고 있다.

에서 2回로 하는 등 充實을 도모하고 있다. 또한 소련 체르노빌事故教訓으로써 휴먼에러 防止를 도모하기 위하여 各 電力會社 本社의 企劃委員會에서 內容을 討議하여, 結論이 나오면 訓練과정에 反映시킨다.

휴먼에러에 對해서는 設備面, 知識의 不足, 순간적인 發生 등이 특징이므로 기초적인 知識의 再訓練에 의한 教育을 충분히 시행하여 資質向上에 努力하고 있다.

訓練은 모두 合宿하여 講義와 시뮬레이터로 1日 8時間 공부한다. 또한 精神을 開放하여 내일을 향한 活力을 배양하기 위하여 스포츠시설도 갖추어져 있다. 숙소는 高級비즈니스호텔 정도이다.

PWR 原子力を 보유하고 있는 電力會社의 운전원 延2,500名이 訓練所에 입소하고 있으며, 메이커關係者 등이 받는 特別訓練코스를 포함하면 3,000名 정도가 수강하고 있는데 同 센터에 訓練을 받으러 오는 사람들의 수도 再訓練을 선두로 해마다 증가하고 있다. 教官도 지금까지의 電力, 메이커 뿐만 아니라 1981년부터는 新規採用에 의한 專門家 育成을 시행하여 레벨 向上을 도모하고 있다.

또 시뮬레이터도 訓練人員의 增加 豫想과 운전훈련의 質強化策으로 改良型中央制御盤을 導入, 1990年 봄부터 運用할 計劃으로 준비를 진행하고 있다. 이 모델은 大飯 3號機를 기준으로 하는데, ACR 플랜트의 對應으로 AFC 運轉 등도 실제와 같게 模擬할 수 있는 것이다.

同 訓練센터는 내일의 原子力を 깊어지는 곳으로써 더욱더 重要的한 役할을 담당할 것이다.

關西電力保修訓練센터

經驗·技能에 맞추어 4個 코스
模擬플랜트를 사용한 個人指導

關西電力의 原子力保修訓練센터는 被曝管理上의 問題로 인해서 실제로는 施行할 수 없는 保修員의 訓練과 긴급돌발시의 대응력을 높이는 것을 目的으로 1983年 10月에 設立되었다. 발족한지 5年째를 맞는 지금은 美浜, 大飯, 高浜 등 原子力 3개 사이트에서 근무하는 保修員 400名의 技術訓練場으로써, 또 信賴받는 原子力の 推進力으로써 그 수행해야 할 역할이 크다고 하겠다. 한편 최신의 설비를 사용한 엄격한 훈련은 日本内는 물론 美國, 프랑스와 같은 原子力先進國으로 부터도 주목을 받아 今年 9月에는 방문하는 見學者의 수가 1萬名을 넘어서었다.

同 센터는 和田忠博所長 以下 現場경험이 풍부한 8名의 트레이너가 電氣, 機械, 計測分野에 걸쳐서 전문적인 지도에 임하고 있다. 建物は 研修棟, 實習棟, 기숙사 등 3棟으로 되어 있는데 鐵筋 2層 내지 3層 建物로 延建평은 대략 5,300平方미터이다. 大研修室에는 映寫機外에 100인치 大型VTR 프로젝터를 設置하여 視聽覺教育을 시행하고 있다. 금속재료연수실에는 TV 모니터를 備置한 高性能금속현미경 등을 구비하여 非파괴검사 實習을 實施한다.

또 주가 되는 實習棟은 3層 建物인데 地上 약 28미터로서 일반건물의 9層 높이에 필적한다. 이것은 實物을 1/2로 축소한 原子爐壓力容器를 中央에 설치한 때문에 發電所의 동과 거의 같은 設計이다. 1層에서는 각종 펌프, 밸브의 操作訓練設備 外에 분해, 점검, 조립, 순환계통을 사용해서 펌프운전, 계통의 耐壓검사를 實機 그대로 訓練을 할 수 있다. 2層에는 1次系統의 主冷却機 펌프설의 분해, 조립 訓練

設備와 電氣, 計測關係의 制御장치, 原子爐보호 제어장치, 制御棒制御장치의 조정과 시험방법을 배우는 中央制御室이 있다. 3層은 原子爐壓力容器 위뚜껑의 분해, 조립, 점검, 연료 꺼내기, 裝填 등의 實習設備 外에 蒸氣發生器水室이 있으며 로봇을 사용한 細管渦流探傷檢査 實習설비를 배치하고 있다. 이것들은 美浜 3號機 혹은 高浜 3, 4號機를 모델로 한 것이다.

同 센터의 訓練과정은 기초교육(I, II, III), 전문교육, 응용교육, 기술관리교육, 품질관리교육, 각종 保修기술 전문교육 등의 각 코스를 개설하여 경험에 맞는 密度 높은 교육을 시행하고 있다. 그중에서도 휴먼에러의 防止가 교육방침의 큰 목표이다.

과거 美國에서의 TMI, 소련의 체르노빌 사고는 맨·머신 시스템의 기본적인 관련을 묻는 教訓이었다. 和田所長은 이 일에 대하여 「풍부한 경험 속에서 냉정한 판단력을 기르는 것이 그 대응」이라고 말하였다. 同 센터에서는 全體的인 教育科目에 이 개념을 반영하고 있다. 예를 들면, 교육전반을 통하여 휴먼에러 防止로서 實習前에 해당作業의 위험포인트를 發見·自覺시키기 위한 KYT의 定着이다. 또한 사고, 고장예를 포함시킨 教育의 充實, 實物의 展示 등 現場感을 기본으로 한 教育 본연의 자세를 追求하는 한편 품질관리교육에 있어서도 기초, 中級, 上級으로 나눈 휴먼에러의 再發防止에 對한 研究·분석의 進行방법 등 다각도로 이 문제와 관련한 교육을 추진하고 있다. 특히 今年부터는 젊은층을 대상으로 발전소의 係長급이 체험담을 발표하는 등 現場感 넘친 教育을 강구하고 있다. 또 今後의 테마로서 實機擔當前의 再教育코스 確立, 커리큘럼의 擴充 등을 도모할 계획이다.

同 센터의 教育訓練計劃은 年間 約 5,200名이지만, 最近에는 하도급업자의 教育도 받아들이고 있어 技術의 高度化에 對應한 訓練이 계속되고 있다.

英國, 가스爐 長壽命化를 企圖

運轉溫度를 最適化

英國에서는 「마그녹스爐」로 불리는 가스冷却爐가 운전을 개시한 이래 初期의 것은 30년을 경과하고 있어 壽命 문제가 대두되고 있다. 다음은 금년 6월 29일부터 IAEA가 개최한 原子力의 長壽命化에 관한 심포지움에서 英國 中央電力廳의 「에프·다크워스」씨가 발표한 마그녹스爐의 運轉最適化에 대한 논문을 요약한 것이다.

CEGB의 제 1세대 원자력발전소는 8개의 발전소(각각 2기의 원자로가 있음)로 구성되어 있다. 이들 원자로로는 「마그녹스」라 부르는 마그네슘舍金屬 被覆管 中央에 천연우라늄의 燃料棒을 넣은 것으로 冷却材는 탄산가스, 減速材는 黑鉛이 사용되고 있다. 더구나 이들 初期 발전소는 Berkeley와 Bradwell에서 1962년에 시작해서 최근의 것은 Wylfa에서 1971년 운전을 개시했다.

1969년에 발견된 軟鋼構造物의 酸化를 계기로 設計壽命을 달성하기 위해 最大運轉溫度를 낮추게 했다. 결과적으로 壽命은 20년에서 25년으로 연장되

었다. 또 각 발전소에서의 酸化狀態를 매년 평가해야 할 必要를 느껴 각 발전소의 2基中 1基가 교대로 운전을 정지하는 시기를 이용하여 행해졌다.

酸化의 평가에는 構造物의 직접검사와 모니터링 샘플을 취하는 방법이 포함되었다. 그래서 운전을再開할 때는 原子力施設檢査局이 安全性 여부를 확인하고 있다. 酸化가 어느 정도인지를 모니터링하는 材料見本の 도입과 사람이 접근할 수 없는 構造物의 강도를 검사하기 위해 특별히 설계된 遠隔操作機器의 사용을 통하여 발전소의 안전성도 계속 檢證하게 되었다.

발전소의 상태를 나타내는 情報가 잘 수집됨에 따라 計劃壽命을 다시 30년으로 연장하는 가능성이 보이고 있다. 이것은 經年劣化를 받은 모든 機器部品의 일련의 평가·검토가 가능했음을 말해주는 것이다. 또 이에 의하여 運轉溫度를 이제까지 보다 약간 높일 수 있으며 따라서 같은 發電所에서 出力을 올릴 수도 있을 것으로 보인다.

21世紀型 輕水爐 開發

燃燒度, 現在의 여섯배

日本科學技術廳은 超高燃燒度型 輕水爐의 실험연구를 1988년부터 실시하는 방침을 확정했다. 이것은 燃料의 燃燒도가 20만MWD/T로서 現在의 경수로의 6배나 되는 高燃燒도를 겨냥한 輕水爐이다.

日本科學技術廳은 이 超高燃燒度 輕水爐를 21世紀型 輕水爐라 부르고 있다. 燃燒도를 높게 설계하면 그만큼 長期間에 걸친 裝填이 가능하여 運轉코스트를 低減하는 효과를 얻게 된다. 200,000MWD/T에서는 10年 爐心이 될 것으로 보이나 반면에 연료 및 被覆管의 耐久性問題가 제기된다.

科技廳에서는 당면한 爐心の 概念設計와 그 評價부터 착수하기로 결정했다. 현재의 경수로에서 취할 수 있는 燃燒도는 약 75,000MWD/T로서 實用化를 위한 목표는 150,000MWD/T이고, 長期目標은 200,000MWD/T로 되어있다.

21세기형 輕水爐는 高速增殖爐와 병행한 燃燒도를 겨냥한 것으로서 增殖比(U²³⁸을 플루토늄으로 전환하는 효율)를 1.0으로 하여 타지 않는 우라늄을 차례차례 플루토늄으로 바꾸어 그것을 연료로 하여 운전을 계속한다. 다만 연료를 高燃燒度化하면 耐

마그녹스發電所로서는 최신인 Oldbury 발전소와 Wylfa 발전소에서 프레스트레스트 콘크리트 압력용기를 채용하여 보다 높은 冷却材壓力에서 운전하고있다. 그러나 이와 관련하여 黑鉛의 放射線分解酸化의 속도가 증가하게 되므로 黑鉛의 손실이 발전소의 수명을 재촉하지 않도록 하기 위해 冷却材가스의 不純物造成을 제어하는 일이 필요하게 됐다. 이것은 水素含有量을 비교적 높게 유지함에 따라 이뤄지나 酸化速度는 水素의 含有에 의하여 逆으로 높아지므로 이 相反된 要求 사이에서 最適水準을 찾아 妥協하는 것이 필요하다.

原子爐의 수명은 ① 鋼鐵의 酸化, ② 黑鉛의 酸化, ③ 其他의 原因 등 세가지 獨立된 要因에 따라 決定된다.

① 과 ② 는 溫度와 冷却材가스의 組成에 의하여 영향을 받는다. 水素含有量의 증가는 鋼鐵의 酸化에 영향을 미치는 한편 黑鉛의 酸化速度를 떨어뜨린다. 또 溫度의 증가는 出力의 증가를 가져오나

鋼鐵의 酸化速度를 높이게 된다. 따라서 이렇게 競爭하는 영향 사이에서 최선의 타협점을 나타내는 운전상태를 명확히 설정하는 것이 요구된다.

鋼鐵 및 黑鉛의 酸化程度로 壽命限度를 결정하기 때문에 溫度와 水素의 時間에 의한 영향이 실험실이나 검사데이터에서 正해진다. 이러한 데이터는 어느 정도의 不正確한 점이 있음은 말할 필요도 없으나 커다란 不正確性은 壽命의 最後를 결정하는 鋼鐵과 黑鉛의 酸化程度의 定義에 달려 있다. 따라서 最適化는 어떤 不確實한 상황에서의 意思決定의 문제라고 말할 수 있다. 그러므로 確率分布에서의 作業이 필요하게 되며 溫度와 水素의 關數를 가지고 壽命出力의 期待値를 구하는 일이 요구된다.

이러한 일을 통하여 계산해 보면 Wylfa의 2기의 원자로중 1기의 冷却材가스 出口溫度는 340° 내지 380°, 冷却材 水素含有量은 20~140VPM에 期待値가 있음을 알게됐다.

久性的의 문제가 일어난다. 연료 펠릿은 MOX연료의 照射試驗에서 최고 260,000MWD/T의 실적이 있으며 평균 燃燒度 200,000MWD/T까지는 충분히 사용할 수 있는 실적도 있다. 그러나 中性子の 高照射下에서의 爐心材料의 開發은 進行이 없어 앞으로의 큰 과제가 될 것 같다.

科技廳은 爐心構造는 輕水爐를 그대로 쓰고, 연료구조를 중전보다 크게 변화시키려 하고 있어서 高轉換型 輕水爐를 더 進化시킨 形態가 될 것 같다. 輕水爐 技術의 高度化는 앞서 취해진 原子力開發

利用長期計劃 改定の 課題中 하나이다. 安全性, 經濟性 등 모든 면에 걸쳐 現行의 高度化計劃과 같이 從來기술의 연장선에서 생각하는 것 만으로는 불충분하다는 의견이 있으며, 이것을 받아들여 固有安全爐 등 중래기술의 進一步한 開發方向이 설정되었다.

21世紀型 輕水爐의 연구도 이 方針에 따른 것으로서 「革新的인 輕水爐技術의 模索」이라는 위치에서 연구가 進行되고 있다.