

原子力發電所의 性能 改善

벨기에 原電의 우수한 性能은 우수한 設計, 적절한 감시(Surveillance) 및 교정조치(Corrective action)를 통한 원활한 運轉, 그리고 효율적인 補修 및 核燃料交替期間의 단축에 기인한다고 말할 수 있다.

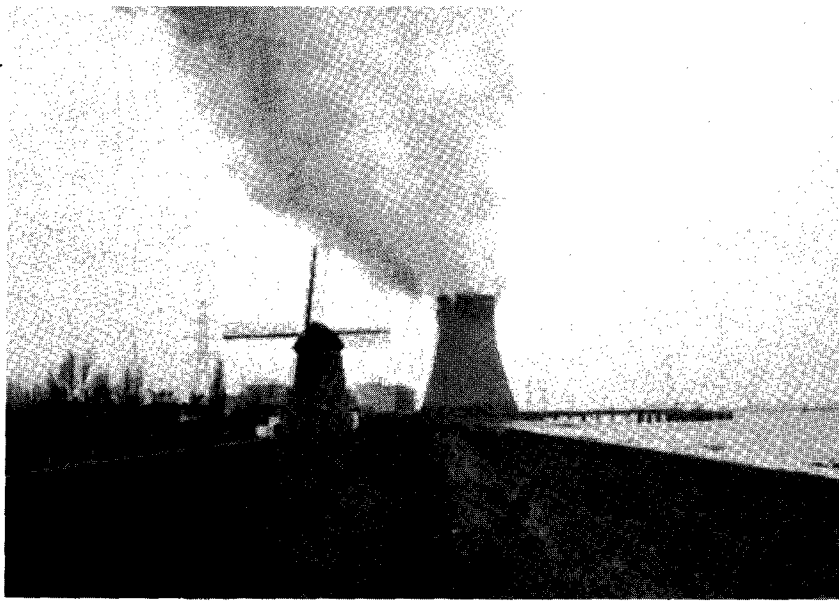
벨기에에는 현재 7基의 原電이 가동중이며 모두 가압경수로형(PWR)이다. 同原電들의 전 수명기간 동안 평균 利用率이 1987년말에 78.8%에 도달함으로써 벨기에는 전세계 原電保有國중 선진국 대열로 들어섰다. 本稿에서는 Doel-3, 4호기의 補修 및 정기보수 관리 측면에 主眼點을 두면서 벨기에 原電의 利用率 향상 원인에 대해 살펴보기로 한다.

벨기에 原電의 우수한 性能은 우수한 設計, 적절한 감시(Surveillance) 및 교정조치(Corrective action)를 통한 원활한 運轉, 그리고 효율적인 補修 및 核燃料交替期間의 단축에 기인한다고 말할 수 있다.

최적의 性能, 운전원의 신속한 개입 및 被曝線量低減을 위한 方案 등은 설계단계에서부터 반영된 바 있다. SENA원자로 핵중기공급계통(NSSS) 기기의 장시간 보수경험을 통하여 벨기에 原電은 원자로 수조를 여러개의 pit으로 나누어 놓았다. 同 技術을 적용하게되면 원자로 上部 및 下部 구조물은 水面아래 각각 따로 저장할 수 있기 때문에 원자로 pit의 水位를 원

자로용기 플랜지(flange)까지 낮추어 補修時間을 단축시킬 수 있다. 원자로와 증기발생기 맨홀에는 자동스터드조임기구(automatic stud tensioner)들을 설치함으로써 時間을 단축시켰으며 작업자들에 대한 被曝線量을 감소시켰다. 또한 Doel 4호기의 경우 Westinghouse社의 “핵연료 신속교체” 技術을 채택함으로써 30일의 運轉停止期間중 4~5일은 단축할 수 있었다.

벨기에의 증기발생기 제어계통은 WOG TRAP 프로그램에 의해 조절되었는데 이는 매우 훌륭하여 原電의 비상 정지율을 더욱 낮추었으며 기동시간단축에도 크게 기여한 것으로 인정된 바 있다. 그리고 주제어실에 컴퓨터를 통한 자동경보장치의 설치와 경보발생시 운전원의 효과적인 후속 조치를 고려한 제어실 설계와 배치는 매우 효율적인 것으로 입증되었다. 특히 Doel 3, 4호기에는 제어실내에 상태표시패널을 추가로 설치함으로써 운전원이 주요 경보발생과 그에 수반하는 運轉停止(trip)의 원인을 즉시 확인할 수 있게 되었다. 또한 엔지니어링社의 기술자와 발전소 운전원들은 발전소 감시능



력을 개선하기 위해 早期警告 및 故障점검設備을 설치하였다. 한편, 증기발생기 漏洩을 탐지하기 위하여 中性子雜音분석장비(neutron noise analysis)와 최신형 N-16계측장치, 그리고 이완부품 감시설비가 벨기에 原電의 표준항목으로 채택되었다.

Doel 3, 4호기의 定期補修管理

○組 織

Doel 3, 4호기는 人事에 관한한 단일조직으로 되어 있는데 이는 2基의 발전소에 한명의 所長과 하나의 技術陣이 있는 것을 의미한다. 기계 보수작업팀과 계측제어 부서가 발전소내 모든 보수작업에 대해 책임을 지며, 외부 보수계약

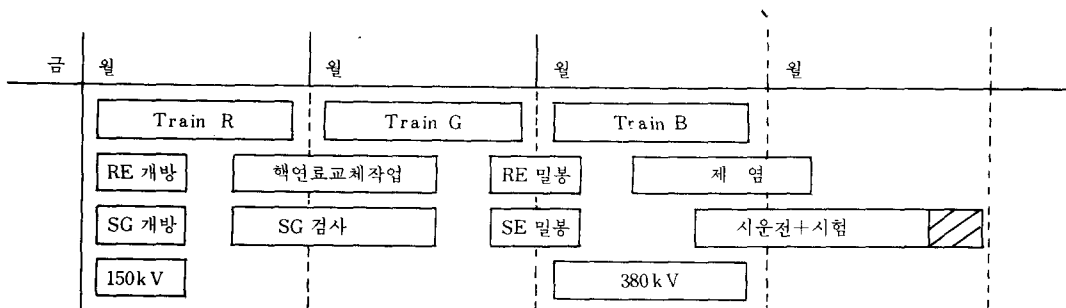
은 매년 같은 계약자가 정기적으로 투입되며, 특히 발전소 건설시에 참여했던 계약자에 우선권이 주어진다. 이들 중 대부분은 벨기에의 모든 原電에 관여해왔기 때문에 경험이 매우 많은 숙련된 기술자들이다.

Doel 3, 4호기의 연간 평균 運轉停止期間은 30일 밖에 되지 않는데, 이는 업무분담과 관련한 아래의 원칙들에 기인한다.

-핵연료교체작업중인 原電 자체가 同 작업에 대하여 완전한 책임을 진다.

-기계부문작업 부서장이 정기보수 및 核燃料交替作業을 통괄 관리한다.

-다른 부서, 엔지니어링社의 기술지원 인력 및 참여 계약자들은 기계보수부서와 계측제어 부서의 협조 아래 모든 작업을 수행한다.



<그림 1> 運轉停止時의 工程計劃(核燃料交替作業 포함)

-발전소장은 여러 부서들 사이에 異見이 생겼을 경우만 중재 역할을 수행한다.

-발전소의 보수작업부서의 직원은 각종 작업에 대하여 작업감독자의 역할을 수행한다.

-운영부서나 엔지니어링社의 기술지원인력은 핵연료교체작업만을 담당한다.

○工程計劃

전반적인 정기보수계획은 手作業으로 작성되는데, 이는 전산화할 경우 발전소 요원의 경험을 반영할 수 없기 때문이다.

상세한 정기보수계획의 수립은 실제 운영정지 최소 4개월전에 시작되는데 同計劃은 Critical Path에 특별한 관심을 두지 않고 가능한 한 융통성있게 작성된다. 인력수급, 특수공구, 엔지니어링社의 추가 기술지원 및 중앙연구소의 지원 등에 대한 사항은 가능한 同計劃작성에서 결정된다. 모든 작업(補修, 檢査, 修理)은 세가지 그룹으로 분류된다.

첫번째 그룹은 원자로 및 1차계통내 水位와 관련된 모든 작업을 담당하는데 이에는 핵연료교체작업, 증기발생기의 개방, 검사, 細管 막음 및 세관 슬리빙작업, 그리고 1차계통펌프의 밀봉, 플라이휠에 대한 모든 작업이 포함된다. 同 작업들은 순차적으로 또는 병행해서 수행된다. 특기할 사항으로 교체핵연료(노심의 1/3에 해당)를 격납건물 내부에 저장토록 발전소 설계단계에서 반영한 결과 정기보수 기간을 단축하는데 기여한 것으로 입증되고 있다.

두번째 그룹은 안전기구나 안전기능과 관련한 작업을 담당한다. Doel 3, 4호기의 경우 안전계통은 100%용량을 가지는 3개의 train으로 구성된다. 일반적으로 한 train의 모든 작업은 동시에 수행될 수 있는데, 이는 한 train에 대한 예방보수, 고장보수, 시험 및 검사 등의 모든 작업이 어떤 주어진 기간내에 수행되어야 함을 의미한다. 同 作業에 소요되는 시간은 통상 6일 이내이며 항상 월요일에 시작된다. 작업중

기능재확인(requalification)을 위한 시험 및 시운전, 그리고 다른 train을 運轉停止시키는 데에는 1일이 소요되므로 작업의 전환은 항상 週末에 수행된다. 따라서 安全성과 관련된 모든 업무는 3週후에 종결되며 運轉停止期間중일지라도 각 안전계통의 2개는 작동가능 상태에 있다. 그리고 동일한 보수요원이 각 안전계통에 대하여 세번의 동일작업을 수행하는 셈이 된다. 4週次와 마지막週에는 試運轉준비를 하게 되는데, 원자로의 뚜껑을 닫고 배기 및 워밍업이 시작되고 週末에는 노물리 시험이 수행된다. 월요일에는 증기발생기가 다시 가동될 수 있다.

上記 정기보수 工程計劃은 그림1에 잘 요약되어 있다.

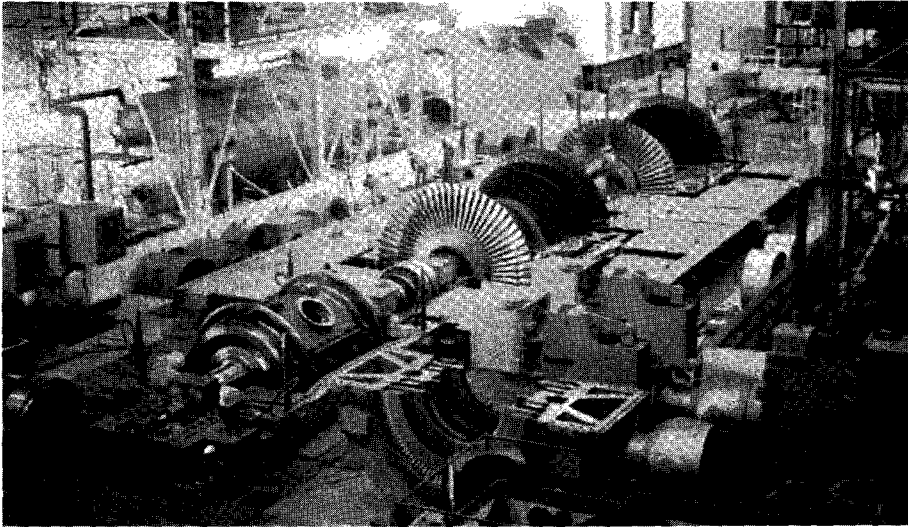
기타 모든 작업은 세번째 그룹이 담당하는데, 해당 작업들은 일반적으로 상호연관성이 없다. 터빈 보수, 원자로건물의 세척, 주북수기의 검사 등이 同 그룹 작업에 해당하는데, 同 작업들의 대부분은 병행해서 수행되어 계획이나 작업진도 추적이 그다지 필요치 않다.

가압기방출밸브의 機能試驗, 증기발생기 檢査 및 냉각탑의 세척 등과 같은 주기적 작업에 전산데이터 베이스를 사용함으로써 수많은 작업이 신속하고 효과적으로 수행되게 하고 있다. 엔지니어링社의 기술자와 발전소 요원들의 긴밀한 협조로 개발된 POPIT(Program of Plant Intervention Tasks)로 불리는 전산프로그램이 이용되고 있다. 同 프로그램은 데이터베이스 역할 뿐만 아니라 作業指示, 計劃樹立 및 tagging 등의 업무를 전산화하는 논리적 기반이 되고 있다.

○人員計劃

운전 및 보수작업팀이 어떠한 狀況에서도 항상 발전소에 대하여 충분한 감시를 할 수 있도록 모든 작업은 세부하여 분류된다.

전술한 일반적인 공정계획이외에 다음과 같은 조직상의 原則과 관리조정 指針을 고려한다.



-計劃, 進行, 調停을 위해 매일 회합을 가진다.

-원자로건물 등과 같이 많은 작업이 수행되어야 할 곳에는 경험이 많은 발전소 기술자가 상주 근무한다.

-경험이 많은 운전원이 운전정지 조직에 참여한다.

핵연료취급 및 증기발생기 검사작업시에만 발전소요원이 24시간내내 작업하며, 일반 작업은 每週 11개의 8시간작업組(每日 2個組와 토요일 午前作業組)에 의해서 수행된다. 同 運轉停止시의 작업組 편성은 社會的 費用 측면을 고려한 것이며, 非常突發作業을 위하여 週末 및 夜間 작업시간을 남겨둘 수 있다.

정기보수 작업에는 통산 250,000M/H가 소요되며 약 2,000명의 작업자가 투입되는데, 그중 650명은 1차계통작업에서 작업하여 1,350명은 발전소의 기타구역에서 작업한다.

Doel 3, 4호기에서 정기보수작업時 작업자가 받는 被曝線量은 약 1man-Sv, 年間 總線量은 1.6man-Sv로 평가되고 있다. 증기발생기에 대한 추가작업(숯 피닝이나 세관 막음 및 슬리빙 작업)時에는 약 0.3man-Sv~1man-Sv의 被曝線量이 더 예측된다.

1차계통구역에서의 세척작업은 특별한 주의를 요하여, 同 세척 및 제염작업을 위한 費用은 總 정기 補修作業 예산의 약 10%에 해당한다.

○ 試 驗

安全性 및 運轉과 관련한 주요 배관에는 배관의 變位를 감시할 수 있는 계통이 설치되어 있으며 冷態 및 溫態에서 每年 확인된다. 스너버와 용수철함은 ASME XI코드에 따라서 육안으로 검사한다. 벨기에 原電에서는 원자로용기, 1차계통 배관 및 펌프부품, 증기발생기 등의 원자로냉각재 압력경계내의 機器들의 검사에도 同 코드를 적용한다.

대부분의 電氣機械 장비에 대해서는 技術指針書에 의한 시험과 가동중검사 시험을 필요로 하며 주기적으로 전기적 시험도 수행된다. 이들 시험은 가능한 복합되어지게 하고 체계적으로 또 자동적으로 수행되도록 한다. 그리고 系統이나 回路는 매번 그 기능이 시험되며 기계적 및 전기적 측정이 동시에 수행된다. 同 시험에는 벨브의 개폐시간평가, 펌프의 유량 및 압력측정, 진동의 계량화, 배어링의 온도체크 등이 포함된다. 시험후 주요 관련 정보들은 이후의 이용을 위해 컴퓨터에 저장된다.