

# 古里 1號機 蒸氣發生器 튜브 補修工事經驗

작년 봄에 韓國의 古里 1號機(PWR)에서는 10年次 定期補修作業이 수행되었다. 이 보수작업중에는 원래 美國 웨스팅하우스社가 공급한 蒸氣發生器에 대해 ABB Reaktor가 슬리빙工法을 사용하여 補修하는 작업이 포함되어 있었는데, 지금까지 실시된 슬리빙作業중 세계 최대규모였다. 다음에 이 보수작업을 통해 ABB Reaktor가 얻은 經驗을 소개한다.

1987年 봄 ABB Reaktor는 古里 1號機(587MWe, PWR) 증기발생기의 플러그된 튜브에 슬리빙을 실시하는데 관한 계약을 체결한 바 있다. 이번 슬리빙作業에서는 먼저 기설치된 플러그들을 제거하였고, 또한 腐蝕검사와 슬러지試料의 채취를 위하여 4개의 튜브를 뽑아냈다.

ABB Reaktor가 수행한 작업내용은 다음과 같다.

- 1,483개의 플러그 제거
- 932개의 튜브엔드 재작업
- 558개의 슬리브 설치
- 106개의 용접플러그 설치
- 튜브 4개 제거
- 슬러지試料 채취
- 튜브 전장에 대해 27% 와류탐상(EC)검사 실시
  - 튜브의 첫번째 지지플레이트까지 100% EC검사 실시
  - 설치된 슬리브에 대해 100% 베이스라인 EC검사 실시

- 슬리브 프로우필에 대한 100% EC 실시
  - 슬리브에 대한 육안검사 실시
  - 슬리브에 대한 11% 초음파(UT)검사 실시
- 이 보수공사의 목표는 2대의 증기발생기를 ABB 슬리빙工法을 사용하여 재설치함으로써 거의 정격출력으로 복구시키는 것이었으며, 이 작업에 응용된 工法과 사용된 기구들은 西獨의 Mannheim에서 광범위하게 시험되고 평가되었는데, 슬리빙 성능에 대한 평가는 한국과 서독 양국 인허가기관의 지원하에 수행되었다.

## 蒸氣發生器의 狀態

古里 1號機는 1978년 이래 운전을 계속하고 있는데 수직형 U튜브 모델51시리즈 2대가 설치되어 있으며, 각 증기발생기에는 3,388개의 튜브가 있다. 튜브의 外徑은 7/8인치(22.23mm)이고, 튜브벽 두께는 0.005인치(0.127mm)로서 모두 Inconel 600으로 제작되어 있다.

1986年 가을에 증기발생기의 상태를 EC검사

로 평가한 결과, 다음과 같은 결정을 하였다.

- 벽두께가 35~90% 얇아진 모든 튜브는 슬리브한다.

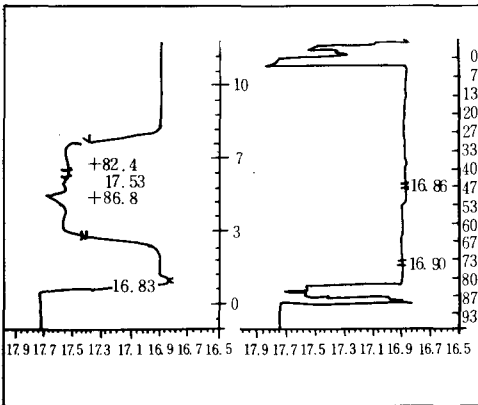
- 90% 이상 벽두께가 얇아진 튜브는 모두 영구히 플러그한다.

2대의 증기발생기 모두에서는 튜브시트의 상단부에 슬러지 퇴적물이 쌓여있었다. 이 퇴적물의 두께는 다양하였는데, 어떤 경우에는 270mm에 달하였다. 슬리브의 디멘션은 슬러지의 두께에 따라 결정되었는데 일반적으로 900mm 길이가 사용되었으며, 700~800mm 슬리브가 증기발생기 챔버와 기구의 형태에 맞추어 증기발생기 주변부에 사용됨으로써 슬리빙이 증기발생기 모든 부분에서 달성될 수 있었다.

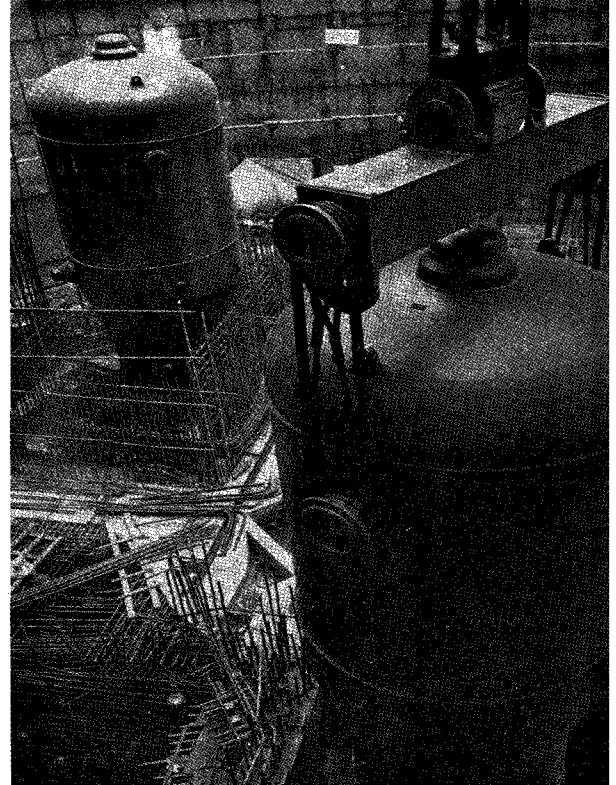
## 플러그 폴링과 튜브 슬리빙

플러그 폴링은 自動水壓시스템으로 수행되었다. 이 기구는 끝에 있는 맨드릴을 플러그내로 밀어넣음으로써 플러그를 제거시키는데, 플러그는 水壓에 의해서 뿔뿔히 호스를 통해 증기발생기 챔버에서 제거된다.

그러나 준비작업과 성능확인시험중에 다음과 같은 몇가지 문제점에 봉착하였다.



〈그림1〉 古里 1號機 슬리브의 전형적인 EC프로우필 스캔



- 스퀴드는 손상을 유발한다.
- 플러그의 코어가 충분히 아래 쪽으로 밀리지 않는다.
- 코어가 움직이지 않는다.
- 폴링이 최대 압력에서도 이루어지지 않는다.

- 일부 플러그가 폴링 동안에 剪斷된다.

따라서 이러한 문제들을 해결하기 위한 몇가지 계획이 도입되었는데, 가장 중요한 두가지 대책은 플러그 코어의 열응력 완화와 플러그 전체 또는 殘余部分을 밀링하여 제거하는 것이었다.

튜브 엔드 일부가 슬리브의 삽입을 방해하였고 또한 모든 튜브가 튜브 시트와 접촉할 정도로 확장되어 있지 않았으므로 슬리빙작업을 시작하기 전에 롤링기법을 이용하여 튜브 엔드의 상태를 조절하여야 했다.

슬리빙작업은 다음과 같은 단계로 수행되었

다.

- 슬리브 튜브의 斷面 세척
- 튜브 엔드 밀링
- 슬리브 삽입
- 슬리브 상단부 확장
- 슬리브의 밑부분을 튜브와 접촉시켜서 롤링
- 슬리브 상단과 하단 집합부 용접
- 용접부 검사

檢査에는 다섯가지의 방법이 사용되었다.

- TV카메라와 內視鏡을 이용한 조사를 수행하였다. 下部의 용접부는 매니플레이터에 적재된 TV카메라로 용접접합부를 두배 확대하여 검사하였는데, 특히 氣孔, 균열 및 용접결합의 특성과 크기에 주의를 기울였다.

- 튜브에 대해서는 초음파와 비파괴검사를 실시하였다.

- 앞으로의 정기점검을 위하여 와류탐상검사를 수행하였다.

- EC프로우필이 용접부 검사에 사용되었다.

- 용접부 20개소마다 시료를 채취하였다.

앞으로 운전을 더 계속할 경우 바로 누설이 일어날 가능성이 있는 튜브에 대해서는 플러깅을 하여 영구히 밀봉하였는데, 이 용접플러그에는 튜브밀링과 적절한 밀봉을 위한 클래딩이 망라되었으며, 용접작업을 위해 클래딩 표면을 세척하였다. 플러그는 용접토오치로 삽입되어 튜브와 클래딩에 용접함으로써 튜브를 확실하게 틀어막았는데, 밀링에 의해서 튜브를 다시 복귀시킬 수 있다.

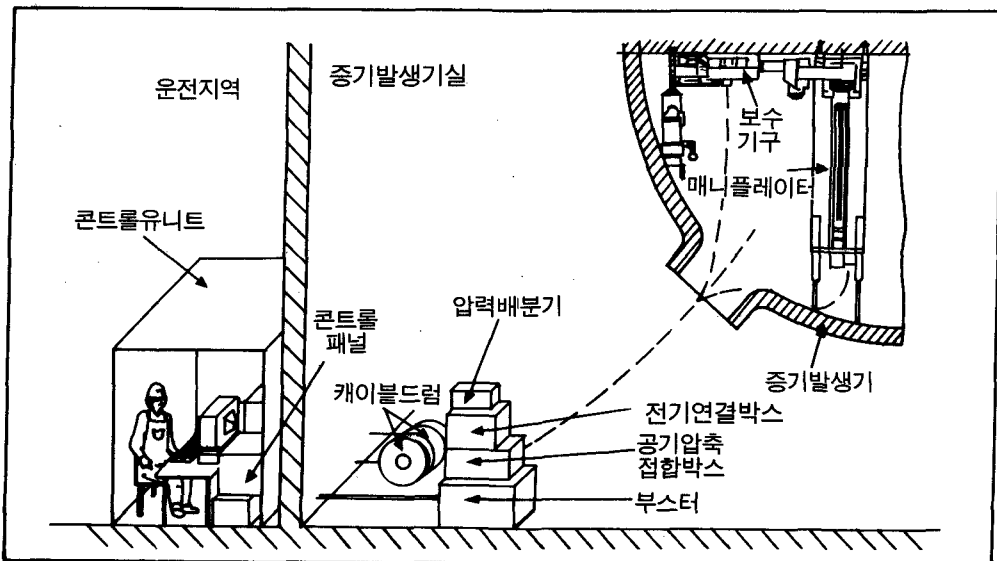
古里 1號機에서는 4개의 튜브섹션을 제거하기로 결정되었으며, 이 작업은 다음과 같은 방법으로 수행되었다.

먼저 튜브 용접부를 밀링으로 제거하고, 튜브 확장부의 응력을 개방시켰다. 그리고 튜브를 첫 번째 지지판 바로 아래에서 절단한 다음 가능한 한도까지 뽑아내어 튜브시트 밑부분을 단절하였으며, 그후 나머지 부분을 끌어내어 절단하였다. 각 튜브섹션이 제거되면 플러그를 설치하였다.

## 補修設備

補修作業에 사용된 設備들은 다음과 같은 시

## 플러깅과 롤링



〈그림2〉 補修設備는 콘트롤패널에서 원격조정된다.

시스템을 갖추었다.

- 조명시스템
- 통신시스템
- 수채버TV시스템
- 튜브시트TV시스템

• 다리, 어깨, 팔꿈치, 손목으로 이루어진 4도 굴절이 가능한 매니플레이터. 손목부분에 카메라와 전등이 부착되어 있으며, 이 매니플레이터는 콘트롤패널에서 원격조정된다.

모든 設備들은 보수작업동안 제 기능을 잘 발휘하였으며, 특히 플러그 제거로 인해서 예기치 않게 튜브내에 물이 유입되었을 경우에도 제대로 작동하였다.

## 補修作業의 結果

모든 플러그가 제거되었는데 반은 표준기술로

추출되었고, 나머지 반은 특수기술로 수행되었다.

558개의 슬리브 설치작업은 99% 성공적이었다. Hot Leg側에서 3개의 튜브섹션이 제거되었고, Cold Leg側에서 1개의 튜브섹션이 제거됨으로써 모두 106개의 용접플러그가 설치되었다.

프로우필 데이터가 증기발생기 튜브와 슬리브, 특히 확장된 부위에서 획득되었다.

수용할 수 있는 용접기준은 전체 용접선에 대해서 그 폭이 평균 1.7mm이다. UT검사를 통해서 프로우필 결과와 비교할 수 있는 슬리브 표면에서의 용접폭에 대한 데이터를 얻었다.

그밖에 작업원에 대한 방사선피폭도 많은 수의 점퍼를 사용하였음에도 불구하고 낮게 유지되었다.

古里 1號機의 증기발생기튜브에 대한 보수작업은 예정대로 3개월만에 완료되었다.

## 토·막·상·식

# 火災防止에 有用한 放射能

학교나 오피스빌딩 또는 호텔 등에는 천장을 올려다 보면 산델리아등의 조명장치 외에 소형의 원형기구를 곧 발견할 수 있다. 그것은 煙氣感知器라고 하여 건물의 화재방지를 위해 중요한 역할을 하고 있는 것이다.

세상에서 화재 만큼 무서운 것은 없다. 많은 인명을 잃게 되고, 또 귀중한 역사적 건물을 비롯한 소중한 문화유산이 잿더미로 변해 버린 예는 헤아릴 수 없을 만큼 많다.

그런데 煙氣感知器에는 방사능을 이용한 것도 사용되고 있다. 이전에는 라듐이 사용되고 있었지만, 10년쯤 전부터 아메리슘241이라는 방사성물질이 사용되고 있다. 煙氣感知器에 함유되어 있는 방사능은 1개당 10마이크로퀴리 이하로 정해져 있

다.

煙氣感知器의 내부에서는 아메리슘241에서 나오는 방사선에 의해 공기중에 생긴 이온이 작용하여 플러스端子和 마이너스端子 사이에 전류가 흐르고 있다. 연기가 이 속에 들어가게 되면 전류가 감소되므로 이것을 느낀 기기가 경보를 울리는 것이다.

천장에 설치된 煙氣感知器에 함유되어 있는 아메리슘241에 의해 실내에 있는 사람이 받는 방사선의 양은 매우 적어 거의 제로에 가까운 정도이므로 걱정할 필요는 없다.

\* 마이크로퀴리 : 방사성물질의 양을 나타내는 단위. 라듐 1그램이 약 1퀴리에 상당한다. 마이크로퀴리는 1퀴리의 100만분의 1이다.