

日本 PWR/SG 補修

일본에서는 PWR 증기발생기 튜브 열화방지를 위해 대대적인 검사·보수계획이 시행되고 있다. 여기에 이에 관한 關西電力의 “다가마쓰”씨의 논문을 소개하고자 한다.

1990년 10월 현재 일본에서 운전중인 가압수로(PWR)는 17기이고 건설중인 것이 6기인데 운전중인 원자로의 증기발생기 튜브가 심한劣化현상을 일으키고 있다. 일본에서는 증기발생기 튜브에서 어떠한 작은 누설이 검출되더라도 즉시 운전을 정지하게 되어있다. 이러한 운전정지는 검사/보수비용을 증가시키고 발전소가동률을 낮추어 국민들의 신뢰를 훼손시킨다.

따라서 증기발생기 누설을 예방하기 위해 엄격한 검사, 사후보수, 예방보수를 시행하고 있다.

검사규칙

증기발생기 튜브 검사규칙은 다음과 같다.

- 정기검사시 모든 튜브를 철저히 검사할 것.
- 튜브 위치와 튜브열화기록에 따라 적절한 ECT probe를 사용할 것.
- 입자간 침식과 같은 타이트한 균열이 일어날 가능성이 있는 원자로에 대해서는 ECT 검사를 하기 전에 검출하기 쉽도록 1차측에 140.7 kg/cm²의 압력을 가해 균열을 확대시킬 것.
- 전력회사에서는 검사회사측의 검사에 입회해 검사결과를 확인할 것. 일본발전설계/검사회사(독립적인 전문회사)도 검사에 입회해서 확

인된 결과를 일본통산성에 보고할 것.

- 튜브열화의 판단기준 : 튜브두께의 20% 마모(thinning), 검사장비로 부터의 신호감시.

ECT Probe 종류

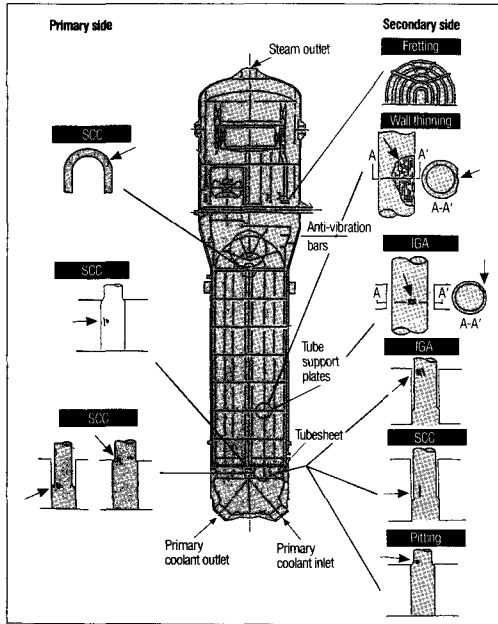
ECT 검사용 probe는 과거의 튜브열화기록과 검사개사에 따라 적절한 것을 선택해야 한다(표 참조).

“오오이”(大飯)원전 1호기는 1989년 10월에 rolling 작업시에 불량한 roller를 사용해 원극방향 응력부식균열을 일으킨 일이 있다. rolling 부위에서의 원주방향 응력부식 균열을 검출하기 위한 ECT 시험에서는 8×1 pancake coil probe가 사용된다. 3가지 주파수를 이용한 분석을 통해 튜브шит 위의 銅 같은 침전물로 인한 높은 소음신호를 제거할 수 있는데 이로써 침전물로 인한 입자간 침식이 검출된다.

튜브보수방법

튜브의 열화가 확인되면 기계식 플러깅과 Laser 용접방식에 의한 Sleeving의 2가지 방법으로 보수한다.

튜브 플러깅 : 용접식 플러깅에서 기계식 플



▲ The wide range of tube degradation mechanisms experienced in steam generators in Japan.

일본에서의 증기발생기튜브 열화사례

러깅으로 변경함으로써 작업능률도 높아지고 피폭선량도 줄었다. 그러나 1989년 1월에 미국 North Anna-1호기에서 TT 600 합금의 기계식 플러그 파열로 튜브누설사고가 발생한 후로 일본에서는 응력부식균열에 약한 모든 기계식 플러그를 TT 690 합금의 기계식 플러그로 대체했다.

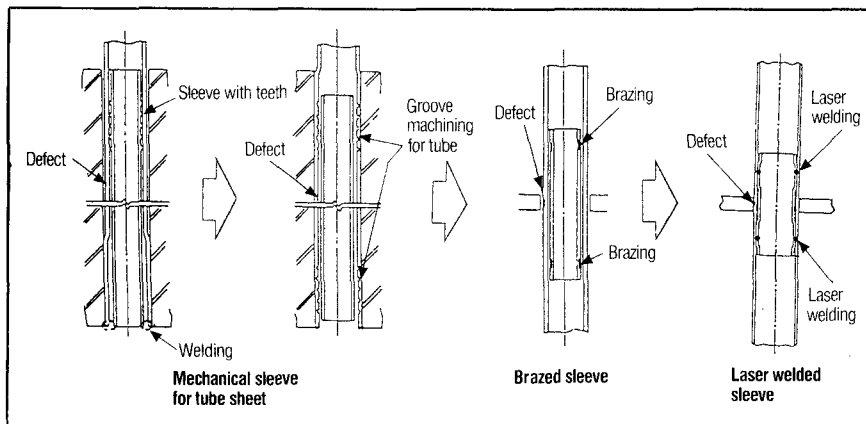
Types of eddy current inspection and areas of application in Japan

Type of eddy current testing	Area subject to inspection
Dual function bobbin coil probe	All areas
U-bend bobbin coil probe	Small radius U-bend areas (tube rows 1-3)
Bobbin coil (absolute type)	Crevice in tube sheet
Magnetic saturated bobbin coil probe	Brazed sleeve, laser welded sleeve
8 x 1 pancake coil probe	For circumferential SCC at roll transition in tube sheet
Three frequency mixing analysis	Upper surface of tubesheet (with copper deposits)

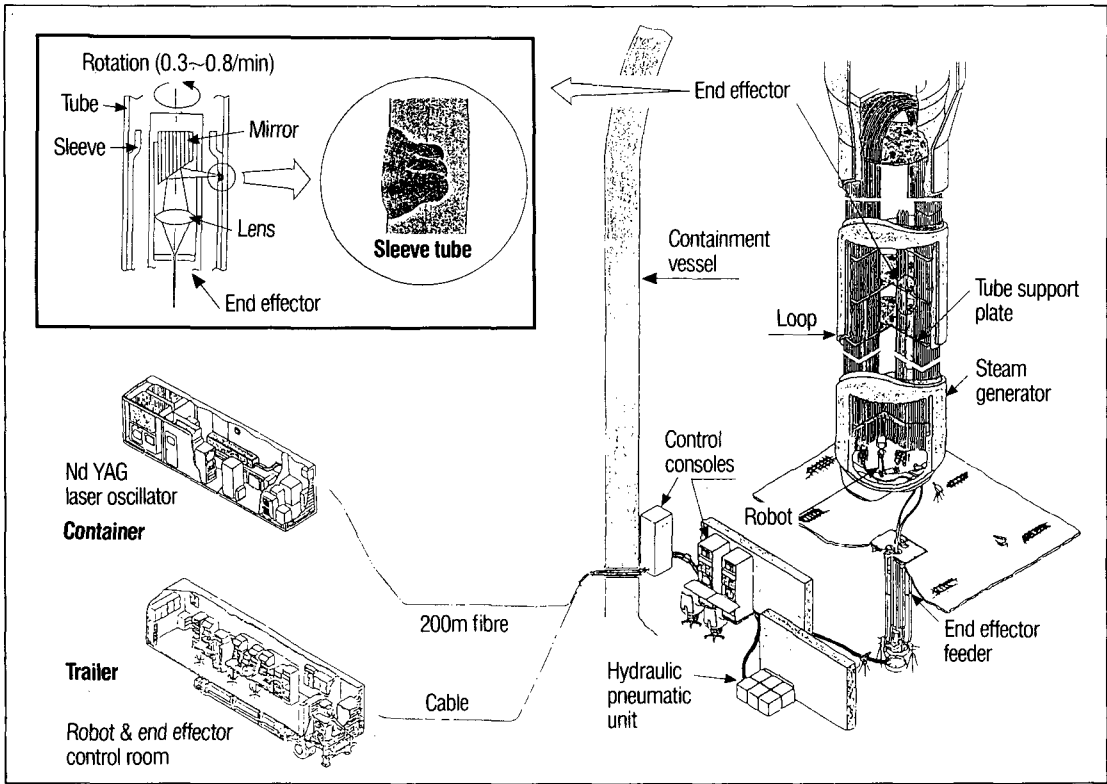
최근에는 플러그 제거/설치 장비가 자동화되어 하루에 각각 20개, 100개를 처리할 수 있게 되어 작업능률이 향상되고 피폭선량도 많이 줄어들었다.

튜브 슬리빙

신품 못지 않는 강도를 지닌 슬리브가 개발되어 플러깅 보다 선호도가 높아졌고 수열면적도 그대로 유지할 수 있게 되었다. 튜브쉬트 부위(중전에는 용접 및 기계식 슬리브만 사용되



튜브슬리빙방법이 기계식에서 레이저용접방식으로 발전



일본에서 개발한 레이저 용접방법

었던 부위)와 튜브 지지판 부위에도 적용할 수 있는 기술이 개발되었다. 선진적인 laser용접에 의한 슬리빙도 개발되어 작업시간도 단축되고 적용범위도 커졌다.

현행작업방법

이미 알려져 있는 열화현상에 대해서는 그 원인을 규명해 예방책이 강구되고 있다. 열화된 튜브가 적을 때는 플러깅하지만 이것이 많을 때는 슬리빙한다.

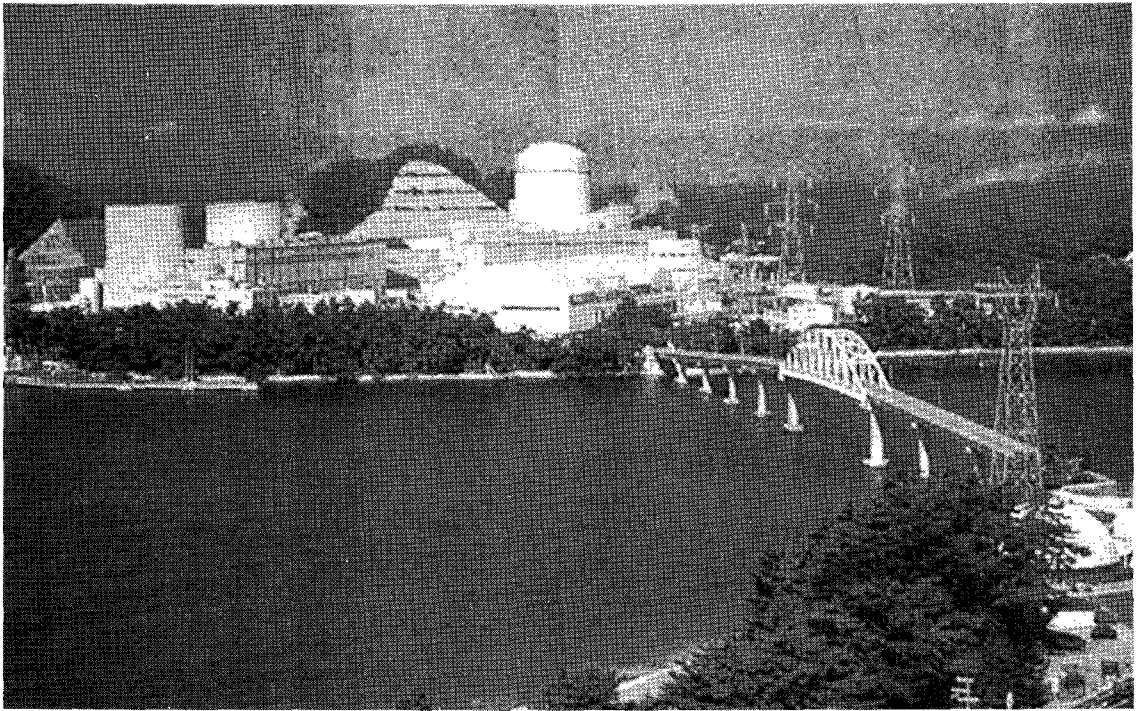
오오이(大飯)-1호기, 다카하마(高浜)-2호기, 겐카이(玄海)-1호기에서는 모두 입자간 손상이 일어났었는데 다음과 같이 이를 보수했다.

· 결함있는 튜브에 대해서는 예방책으로 슬리브가 설치되었는데 결함이 발견된 부위만이 아

니고 hot leg쪽의 3번 튜브지지판 높이까지 슬리빙했다. 결함 부위가 3번 튜브지지판 보다 높은 곳에 있을 때에는 결함부위 아래의 모든 튜브지지판까지 슬리빙했다.

· 입자간 손상이 검출되지 않은 튜브에 대해서는 hot leg쪽의 3번 튜브지지판까지만 슬리빙했다.

· 플러깅되는 튜브수가 늘어나는 것을 방지하기 위해 이미 플러깅된 튜브도 가급적 이를 슬리빙해서 다시 사용하도록 했다. 그러나 이같은 튜브의 재사용은 튜브지지판 및 튜브쉬트 crevice 부위의 튜브 外徑(2차측)상의 입자간 침식/응력부식 균열 때문에 플러깅된 튜브와 rolling 부위의 튜브 內徑(1차측)상의 응력부식 균열 때문에 플러깅된 튜브에 한한다. 자동제거장비로 플러그를 제거한 후 튜브는 ECT 검사를 받고 결함부위에 슬리브를 설치한 다음



Mihama원전 1, 2, 3호기 전경. 1호기에서는 슬리빙을 통해 플러깅된 튜브를 살리고 있다.

재사용된다.

미하마-1호기에서는 마모가 예상되는 모든 튜브를 얼마 전에 사전에 플러깅했기 때문에 PO₄ 물처리로 인한 튜브마모로 누설이 일어나지는 않았다. AVT 물처리방식에 의해 튜브마모문제가 해결됨에 따라 플러깅되었던 튜브 일부는 플러그가 제거되었는데 ECT 시험을 통해 이들 튜브의 건전성이 확인되었기 때문에 슬리빙하지 않고 재사용되고 있는 것이다.

앞으로의 일

지금까지의 튜브열화 실적을 토대로 이에 대

한 연구와 전면적인 검사/보수가 이루어져 상당한 수준의 증기발생기 신뢰도가 달성되었다.

그러나 입자간 침식이 많이 일어난 발전소는 보수해야 할 튜브수와 보수작업시의 피폭선량에 따라 발전소 정지가 장기화되는 경우도 있었다. 따라서 검사와 보수가 순조롭게 이루어지고 피폭선량을 줄이는 방안이 강구되어야 할 것이다.

현재 시행되고 있는 슬리빙 기술은 그 효과나 신빙성에 있어 신뢰할 수 있는 것이지만 증기발생기 교체기술의 연구는 다른 곳에서 시행되었던 교체방법을 검토하고 있는 정도로 시작에 불과하다.

원자력은 우리의 밝은 이웃입니다