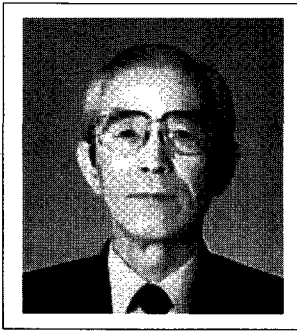


원자력발전소의 증기발생기 교체

서 두 환

한국원자력연구소 원자로관리실장



증

기발생기(Steam Generator : SG)는 원자로용기와 1차냉각재펌프를 연결하는 1차냉각재배관, 터빈과 연결되는 주증기관과 주급수관의 대구경배관, 그리고 계측용 기기와 연결되는 소구경배관으로 구성되어 있다(그림 1).

SG의 교체작업은 이들 배관의 절단, 구(舊)SG 본체의 반출, 신(新)SG의 반입, 배관과의 재연결 등이 기본이 된다.

실제의 공사내용은 플랜트의 사이트조건과 건물배치 등에 따라 SG 본체의 반출경로의 설정이 플랜트마다 다르기 때문에 외견상 큰 특징이 나타난다.

또 공사에 적용되는 기술·공법은 기본적으로 국외에서 실적이 있는 기존기술을 참작하여 실시하게 되는데, 작업의 확실성·안전성 향상·피폭저감 등의 관점에서 여러가지로 연구·개발되고 있다.

원자력발전소의 증기발생기 교체는, 대형 원자력기기의 교체공사로서, 현재로서는 가압경수로형 원자력발전소(PWR)에 대한 보수대책의 하나로 정착되어 있는 조치이다.

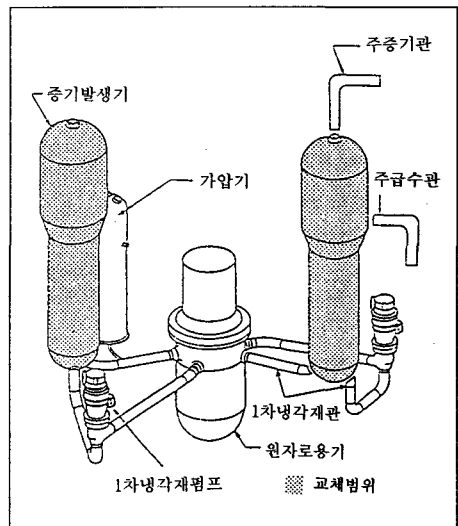
증기발생기 교체는 현재 미국·일본·독일·프랑스·스웨덴·스위스·벨기에 등의 23기 플랜트가 공사한 실적이 있다. 우리나라도 고리 1호기(587 MWe)와 고리 2호기(650 MWe)의 증기발생기를 97년경에 교체할 계획으로 있다.

증기발생기의 교체기술

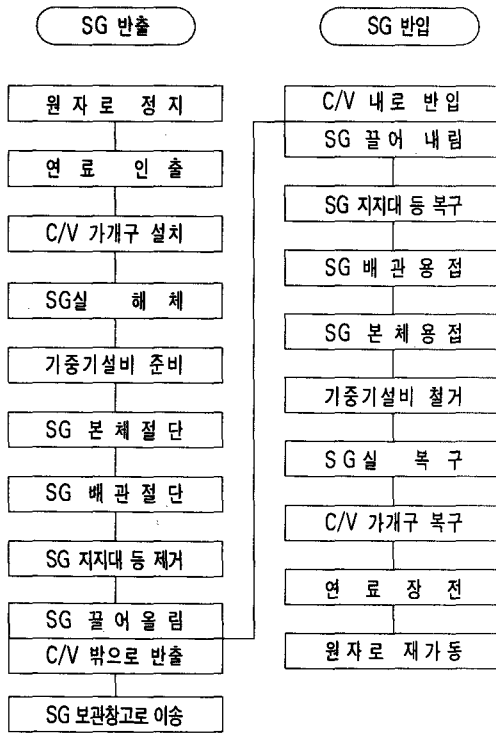
SG 교체공사의 일반적인 공사절차는 <그림 2>와 같다. 공사내용은 일본의 공사실적을 사례로 들면서 소개한다.

1. 연료인출

원자로를 정지한 후, 공사실시전에 원자로내의 모든 핵연료를 사용후핵연료저장조로 이송한다.



<그림 1> PWR(2-Loops)의 조감도



(그림 2) 증기발생기 교체공사 절차

2. 격납용기 가개구 설치

정기검사시에 사용하는 기존기기 반출입구의 크기가 SG 반출입에 불충분한 경우는, 격납용기에 가개구부(假開口部)를 설치하여야 한다(Mihama-2, Takahama-2).

구체적으로는 외부 차폐벽(콘크리트)과 격납용기 본체(강철판)를 절단한다.

또 플랜트에 따라 격납용기내의 크레인을 지탱하고 있는 콘크리트벽을 절단할 때도 있다.

콘크리트 절단에는 Wire Saw 공

에서는 기기반출 입구가 보조건물내에 있기 때문에, 보조건물내에서 SG를 돌리기 위한 대형 턴테이블을 설치하고 보조건물의 서터폭을 넓히기 위한 준비공사를 해야 한다.

그리고 가개구부의 방사성물질의 확산을 방지하기 위하여 환기공조장치를 사용, 격납용기내를 항상 부압으로 유지하고 있다.

3. SG실 해체

SG 주변에는 콘크리트벽이 있는데, 그 형상·교체공법에 따라 일부

법, Cutter 공법, Core Boring 공법이 있으며, 작업성격에 따라 적절히 병행하고 있다.

격납용기에 가개구부를 설치하는 경우에는, 개구부와 지상면 사이에 고저차가 있기 때문에, 엘리베이터방식의 승강대를 설치하거나(Takahama-2), 구내 도로와 개구부 사이에 철판과 H형빔으로 가설물을 설치하고 있다(Mihama-2).

또한 기기반출 입구를 이용할 수 있는 경우에도, Ohi-1

절단·철거해야 한다.

아이스컨테이너형인 Ohi-1은, SG를 완전히 위에서 덮고 있는 SG실로 되어있기 때문에, 이 콘크리트벽 천장을 절단·철거하였다.

4. 기중기설비 준비

SG 본체는 무게 약 300t, 길이 약 20m의 대형 중량물이기 때문에, 격납용기내 크레인으로 끌어올리려면, 일부 플랜트를 제외하고는 용량과 그 힘이 부족하다.

따라서 필요에 따라 다음과 같이 크레인을 보강해야 한다.

- ① 기설 Trolley의 용량 증강
- ② 대용량 보조 Trolley(Wire Jack, Chain Jack)의 추가 설치

③ 기설 Bridge의 보강

④ 가설 Frame의 추가 설치

또한 격납용기내에서 준비해야 할 것은 다음과 같다.

- ① 반전가대(反轉架臺)의 준비(SG를 옆으로 눕히거나 곧추 세우기 위한 것임)
- ② 운전대 마루의 증강(눕혔을 때의 강도 확보)

Ohi-1에서는 Chain Jack을 추가 설치하여, SG실의 해체량을 줄임으로써 콘크리트폐기물을 줄였다.

5. SG 본체의 절단

SG를 분할하여 교체할 때는 절단해야 한다.

분할교체는 일부분을 재이용할 수

〈표 1〉 세계각국의 SG 교체실적

플랜트	국명	출력(MWe)	교체개시일	교체기간(일)
Surry 2	미국	858	79/2	320
Surry 1	"	858	80/9	290
Turkey Pt 3	"	728	81/6	280
Turkey Pt 4	"	728	82/10	250
Point Beach 1	"	524	83/10	103
Robinson 2	"	739	84/2	240
Cook 2	"	1,133	88/4	210
Indian Pt 3	"	1,013	89/2	140
Palisades	"	845	90/9	182
Millstone 2	"	902	92/5	228
North Anna 1	"	990	93/1	96
V. C. Summer	"	954	94/9	98
Takahama 2	일본	826	94/1	210
Mihama 2	"	500	93/7	450
Genkai 1	"	559	94/5	180
Ohj 1	"	1,175	94/9	240
Danpierre 1	프랑스	957	90/2	132
Bugey 5	"	957	93/8	178
Gravelines 1	"	957	94/2	102
Ringhals 2	스웨덴	900	89/5	100
Beznau 1	스위스	364	93/4	99
Doel 3	벨기에	936	93/6	97
Obrigheim	독일	357	83/6	104

있고 취급할 크기와 무게를 작게 할 수 있다는 이점은 있지만, 현장작업은 복잡해진다.

일본에서는 작업용이성·피폭저감 등을 고려하여 일괄교체를 하고 있다.

다른 나라에서는 분할교체공법으로 상부동과 하부수실을 재이용한 플랜트도 있다.

6. SG 배관절단

가. 1차냉각재 배관절단·제염

1차냉각재 배관의 절단장소는, 신 SG 설치시의 작업성과 용접후의 배관

잔류용량에 큰 영향을 미친다.

1개의 SG당 절단장소수는 2cut(입구·출구배관의 각각 1곳), 3cut(2cut+입구 또는 출구의 1곳), 4cut(입구·출구의 각각 2곳) 공법이 기본이다.

작업량으로서의 절단수가 적은 2cut 공법이 가장 유리하다.

일본의 경우는, 잔류용량을 줄일 수 있고 시공성이 우수한 3cut 공법을 쓰고 있다.

절단은 이물질의 혼입방지가 쉽고, 공작정도가 높은 기계식 절단방법을

사용하고 있다.

나. 주증기관·주급수관의 절단

주증기관·주급수관 절단은 기계식 절단 및 Plasma Arc 절단에 의한 가스절단법을 이용한다.

신SG와의 접합부분이 되는 곳은, 정도가 높은 기계식 절단법을 사용한다.

7. 구SG의 끌어올림·반출,

보관창고로의 반입

SG의 끌어올림(Rigging), 격납용기 밖으로의 반출, 보관창고로의 반입은 SG 1개에 대하여 2~3일간의 시간을 두고 신중하게 실시한다.

격납용기에서 보관창고까지는 전용 자동주행식 대형 트레일러인 Unit Carrier를 사용한다.

구내운반 및 보관시에는, 오염물질의 확대를 방지하기 위하여 절단한 개구부를 철판으로 용접·밀봉한다.

또 SG 표면을 전면 페인트칠해야 하지만, 구SG의 표면선량당량률은 1mSv/h 정도이기 때문에 특별히 차폐할 필요는 없다.

SG 보관창고는 내진 C급으로 차폐 기능이 충분한 철근콘크리트건물이다.

8. 신SG의 반입

신SG는 해상 또는 육상 수송으로 운반·반입한다.

신SG는 구SG 반출의 역순으로 구내에서 운반하고, 격납용기내로 반입한다.

9. SG 배관복구

가. 1차냉각재 배관복구

신SG의 복구 위치를 결정하는 방법으로는, 기계식 Template법과 광학식 Template법이 있다.

기계식 Template법은 신SG 노즐(Nozzle)부 위치를 원형크기의 사이즈로 계측·기억할 수 있는 대형장비이며, Takahama-2, Mihama-2에 채용하고 있다.

협소한 SG내에서의 작업성, 장비의 오염, 취급상의 문제 등을 고려하여 Ohi-1의 SG 교체부터는 해외에서 높은 실적이 있었던 광학식 Template법을 채용하고 있다.

이것은 3각측량과 같은 방법으로 위치측정한 데이터를 컴퓨터를 사용하여 3차원의 공간좌표로 재현하는 것이다.

배관접합부에는 용접수축에 의한 배관으로의 영향을 저감시키기 위하여 협개선(狹開先)가공하여, 원격조작할 수 있는 자동용접기로 용접하고 있다.

나. 주증기관·주급수관

각 배관을 피막 Arc 용접으로 복구하고 있다.

10. SG실·가개구부의 복구

콘크리트부분의 복구는 Enclosed Arc 용접법, 기계식 계수법으로 철근부를 용접하고, 무수축 콘크리트로 복구한다.

격납용기 강철판은 재사용하고, 개선가공한 후 용접·복구한다.

이상으로 SG 교체의 실제공사는 끝난다.

가개구 복구부분, 배관 복구부분은 복구부위에 따라 내압검사·침투탐상검사를 실시하여 그 안전성을 확인한다.

피폭저감대책과 실적

SG 교체공사시에는 각종 피폭저감을 위한 대책을 강구해야 한다.

1. 1차냉각재관의 제염

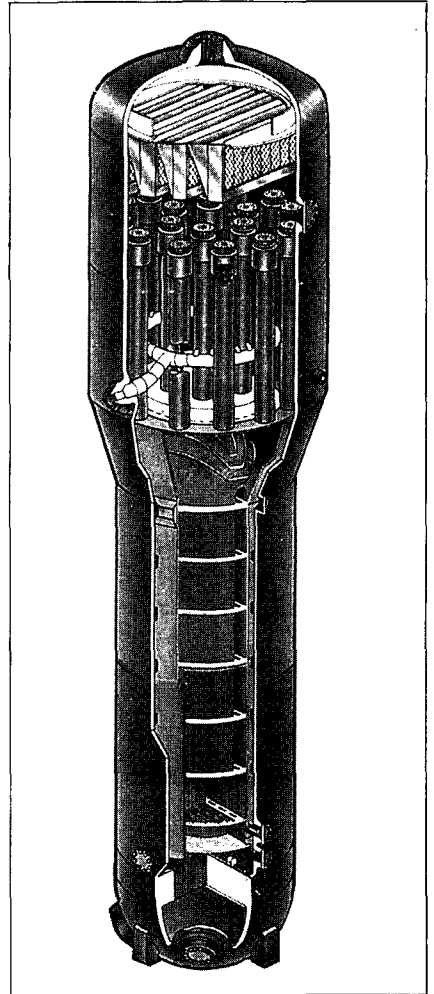
1차냉각재관의 주변은 비교적 높은 선량이기 때문에, 작업시의 피폭을 줄이기 위하여 배관을 절단한 후, 절단면에서 50~100cm 범위를 제염하고 있다(그림 3).

그 방법으로는 물리제염·전해제염·화학제염 등이 있다.

일본에서는 물리제염방법을 채용하고 있으며, 또 제염 후 배관 안쪽에 철강차폐판을 붙여, 선량당량률을 1/20~1/50로 낮추는 등 충분한 효과를 얻고 있다.

2. 1차냉각재관의 차폐

통상적으로 정기검사시에도 시행하고 있지만, 차폐효과가 큰 납금속판이 들어있는 차폐물로, 작업장소 주변에서 선원이 되는 1차냉각재배관 등에

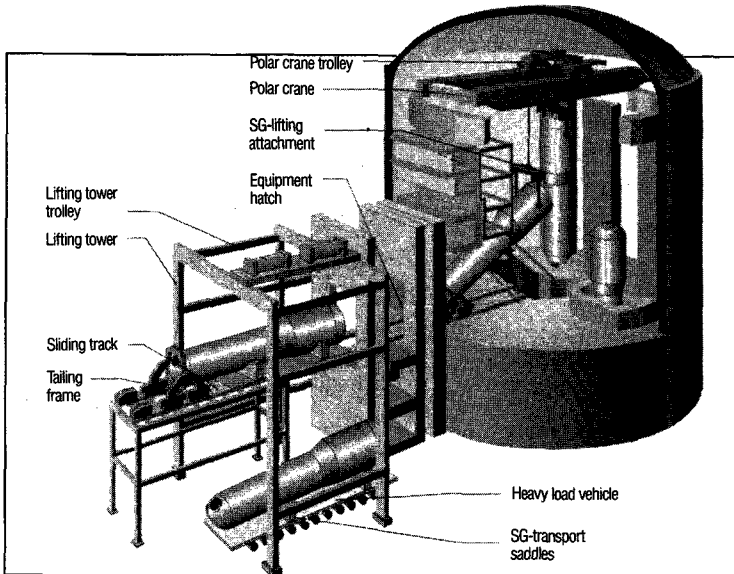


고리원자력 1·2호기에 새로 장착될 증기발생기 460

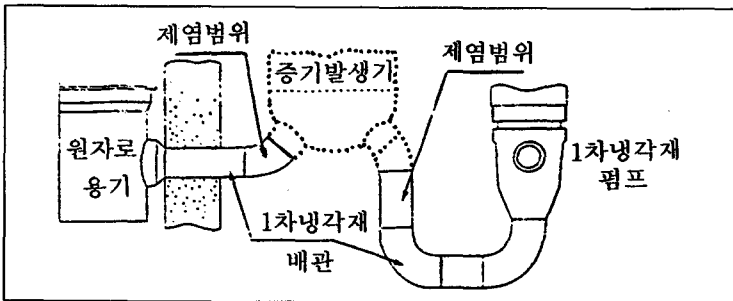
설치하고 있다.

3. 사전 Mock-up 훈련

1차냉각재관 주변에서의 현지작업을 확실히 수행하고 작업시간을 단축하기 위하여 실물과 같은 Mock-up장치를 만들어 사전훈련을 시키고 있다.



증기발생기 교체도



(그림 3) 제염범위

〈표 2〉 방사성폐기물량(200리터 드럼)

플랜트	계획치(개)	실적(개)
Mihama-2	약 1,100	약 780
Takahama-2	약 1,200	약 990
Ohi-1	약 1,600	약 1,550

주 : 구SG 본체 및 콘크리트벽 블록 제외

동용접기를 도입하여 작업을 자동화함으로써 작업자의 작업량과 인력을 줄이고 있다.

폐기물의 발생량·처분방법

SG 교체공사에서 발생하는 폐기물의 종류 및 발생량·처분방법 등은 다음과 같다.

4. 작업의 자동화

1차냉각재관의 절단·용접에는 원격조작이 가능한 기계식 절단기·자

1. 방사성폐기물

- ① 구SG 본체(약 300톤×기수)
- ② 배관·지지구조물 등
- ③ 원자로격납용기내 콘크리트(SG실·크레인벽 등)
- ④ 공사자재 등의 가연물
- ⑤ 액체폐기물(손씻은 물 등)

2. 기타 폐기물

구SG 본체는 배관·지지구조물·방사성콘크리트는 전용보관용기에 담아서 SG 보관창고에 보관하고 있다.

그외의 방사성폐기물은 통상의 정기검사시와 마찬가지로 드럼통에 넣어 고체폐기물저장고에 보관하고 있다.

SG 교체공사에는 가개구를 설치하는 경우가 많으므로, 콘크리트폐기물이 대량으로 발생한다.

그 중에서 격납용기내에서 발생하는 것은 전용보관용기에 담아서 SG 보관창고에 보관하고 있다.

그러나 격납용기의 밖에 있는 외부차폐벽은, 관리구역내에서 발생하였지만 오염되지 않았고 방사화도 백그라운드 이하이기 때문에, 일반산업폐기물로 취급하여 발전소 구내에 매설·처분하고 있다.

참고로 일본에서의 폐기물발생량을 〈표 2〉에 나타내었다.

반출입공법의 개발로 콘크리트 절단량을 줄이는 등, 세밀한 공사관리로 계획치보다 매우 적은 폐기물량을 기록하고 있다. ☞