

# 증기발생기 내부 이물질 검사 및 제거 작업시 작업시간 단축 및 방사선피폭저감을 위한 안내관 개선

박병목\*, 채경선, 신경욱, 정정남, 김일현, 민윤기, 윤상정, 김영국, 장희곤  
 세안기술(주), 서울특별시 금천구 가산디지털2로 184, 910호(가산동, 벽산디지털밸리 2차)  
 \*pbm@sae-an.co.kr

## 1. 서론

증기발생기 내부 이물질 검사 및 제거(FOSAR : Foreign Object Search And Retrieval)는 일반적으로 상용화된 내시경 장치를 사용하는 가장 기본적인 육안검사를 의미한다. 원래의 FOSAR는 육안검사를 지칭하는 의미였으나 국내에서는 상용화된 내시경 프로브와 이물질 제거툴을 이용한 관판상부에서의 육안검사 및 이물질 제거 기술을 지칭하는 의미로 사용되고 있다. 일반적으로 증기발생기 2차 측에서의 FOSAR는 관판(TTS, Top of Tube Sheet)상부를 주된 검사대상으로 하고 있다[1]. 그러나 증기발생기 내부 관판상부의 기하학적 형상으로 인하여 검사자가 직접 육안으로 관찰할 수 없어서 내시경카메라(Video Image Scope)를 활용하고 있으며, 내시경카메라는 관판 각 Column들 사이를 효과적으로 이동, 관찰하기 위해 안내관을 사용한다.

본 연구에서는 현재 FOSAR 작업 수행시 사용되어지는 안내관 개선을 통해 작업의 편리성, 작업시간 단축 및 방사선피폭 저감 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 검사 장비 및 안내관

원자력발전소에 사용되고 있는 FOSAR 장비 중 이물질 검사에 사용되는 장비인 Video Image Scope를 Fig. 1에, 안내관은 Fig. 2에 나타내었다.



[Olympus-Video Image Scope] [GE-Video Image Scope]

Fig. 1. Video Image Scope.



[Column Guide Tube] [Annulus Guide Tube]

Fig. 2. Guide Tube.

### 2.2 문제점 분석

현재 사용 중인 수동 안내관의 문제점으로는 첫 번째, 협소한 FOSAR 작업장소를 들 수 있는데 세 관 각각의 Column들 사이 이물질검사를 단계적으로 수행하기 위해서는 길이가 긴 안내관이 필요하나, 작업수행 지점인 증기발생기(SG : Steam Generator)의 Hand Hole 지역은 장소가 협소하여 길이가 긴 일체형 안내관을 삽입하는데 어려움이 있다. 그러므로 여러 개의 안내관을 단계적으로 연결할 수 있도록 너트 연결방식을 채택하고 있다. 두 번째, 안내관의 재질에 따른 무게로 안내관의 재질은 스테인리스강을 적용하여 녹을 방지하도록 하였으나 밀도가 약  $7.94 \text{ g/cm}^3$ 으로 무거우며, 특히, 단계별로 안내관을 연결할 경우 무게 증가로 인하여 안내관을 정확하게 제어하기 어렵다. 세 번째, 고준위 방사선량률 지역에서 수행되는 FOSAR 작업은 일반 작업과 다른 제약을 받게 되는데 방사선에 대한 피폭, 작업장의 낮은 조도, 납 차폐복 착용에 따른 활동성의 제약 및 방사성물질에 대한 오염 발생 가능성 내재 등으로 작업능률이 저하된다.

### 2.3 개선 방안

첫 번째, 협소한 FOSAR 작업 장소에서의 문제점을 해결하기 위해 현재 사용중인 너트 연결형 안내관을 Zoom형 안내관으로 활용 FOSAR 수행시 내부에 삽입되어져 있는 관(Tube)들을 모두 빼낸 후 단계적으로 관을 넣어가면서 FOSAR 작업을 수행함으로써 협소한 작업 장소에서 너트 연결 없이

먼 거리에 있는 Column에서 가까운 거리의 Column까지 이물질검사를 수행할 수 있는 Zoom형 안내관으로 개선.

두 번째, 안내관의 재질에 따른 무게로 먼 거리의 Column 이물질 검사시 안내관을 운영하는 작업자가 연결된 안내관 무게로 인하여 원하는 Column과 Column사이로 정확한 제어를 하기 어려운데 이러한 문제점을 해결하기 위해 밀도가 2.7 g/cm<sup>3</sup>인 두랄루민(Duralumin)과 같은 가볍고 높은 강도를 가진 재질로 변경하여 기존 스테인리스강을 대체할 수 있는 Zoom형 안내관으로 개선.

세 번째, 작업장소가 고준위 방사선량률 지역이라는 점으로 이러한 문제해결을 위해 FOSAR 작업전 모의훈련(Mock-up) 및 각종 교육을 실시하고 있으나 숙련훈련에 의한 작업시간을 줄이는 데는 한계가 있음으로 Column 구간 구간에 해당하는 길이만큼 단계별로 접을 수 있는 요철형 길이조절이 가능한 Zoom형 안내관으로 개선할 경우 FOSAR 작업 능률이 증가할 것으로 판단된다.

## 2.4 개선 내용

안내관의 재질을 경량화 하고, 너트 연결형 안내관을 Zoom형 안내관 형식으로 일체화 한 것을 Fig. 3에 나타내었으며, 주요특징은 다음과 같다.

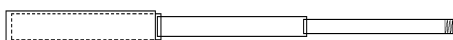
첫 번째, Zoom형 안내관은 4단 또는 그 이상으로 제작하여 사용할 수 있고, 일자형 안내관 하나의 길이가 59 cm임을 감안하여 최대 Zoom In 상태는 236 cm 이상이고 최대 Zoom Out 상태는 65 cm를 초과하지 않도록 한다.

두 번째, 안내관의 끝단은 일자형 안내관외에도 일정한 모양의 안내관을 연결할 수 있도록 너트의 나사선을 설계한다.

세 번째, 너트 연결형 안내관은 Column과 Column 이동시 작업자가 감각적으로 조금씩 이동시키고 있다. 그러나 Zoom형 안내관은 Column과 Column 사이의 간격만큼 관이 Zoom Out 되도록 반원 형태의 요철구조로 제작하여 반원과 반원이 겹치지 않을 경우에는 일정한 힘을 주더라도 고정되고, 반원과 반원이 겹칠 때는 일정한 힘이 가해지면 이동할 수 있는 구조를 갖도록 한다.



[Guide Tub-4단 연결]

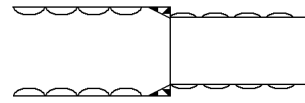


[Guide Tube-3단 연결]

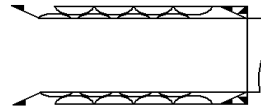


[Guide Tube-2단 연결]

[Guide Tube - 1단 연결]



[Guide Tube-부분 연결(완전 Zoom In 상태)]



[Guide Tube-고정상태]



[Guide Tube-이동상태]

Fig. 3. Improved Guide Tube.

## 3. 결론

원자력발전소 증기발생기 건조성확보를 위해 계획예방정비시 2차측 내부 관판상부에 대한 검사를 수행하고 있다. 검사시 주로 발견되는 연성물질의 경우 제거가 용이하고, 발견시마다 즉시 제거하므로 증기발생기 건전성에 영향을 주지 않으나, 거의 발견되지 않은 경성이물질의 경우 정상가동시 세관 건전성에 영향을 줄 수 있다.

경성 또는 연성 이물질 검사를 위한 FOSAR 작업의 효율성을 높이는 방법으로 너트 연결형 안내관을 Zoom형 안내관으로 개선 방안을 제시하였다. 협소한 작업공간, 안내관 무게에 따른 문제, 고준위 방사선량률 및 오염지역에서의 장시간 작업이 갖는 문제점 등을 해결함으로써 FOSAR 작업에 따른 작업자의 방사선피폭 저감, 작업의 정확성을 확보 및 작업시간 단축 등을 통해 FOSAR 작업 능률 향상에 기여할 것으로 기대되며, 향후 더 향상된 검사 기술의 개발을 위해 관심을 갖을 필요가 있다.

## 4. 참고문헌

- [1] 증기발생기 2차측 육안검사 기술 현황, 한국원자력안전기술원, 2015.10.