

## 울진 3,4 호기 증기발생기 슬러지 세정장비 개발

정우태, 김석태, 홍승열  
한전전력연구원 원자력연구실

### 요 약

한전전력연구원에서는 한국표준형 원전 증기발생기인 시스템 80 모델의 튜브시트 상부에 침전된 슬러지를 제거하기 위한 고압 분사식 슬러지 세정장비를 개발하였다. 국내에는 영광 3,4,5,6 호기 및 울진 3,4,5,6 호기 등 총 8 기의 한국표준형 원전이 운전중에 있으나 기 사용하고 있던 증기발생기 세정 장비가 자동화가 미흡하여 작업자의 방사선 쏘임량이 과대하고 장비가 전열관에 충돌하여 전열관이 손상될 가능성이 상존하며 세정 방식이 증기발생기 가장자리인 annulus 에서 중앙의 center stay cylinder 로 향해 슬러지가 증기발생기 중앙 부분에 집중적으로 침적될 가능성이 있는 등 문제점을 해결하기 위하여 개발에 착수하였다. 개발된 증기발생기 세정 장비는 2004 년 4 월 중 울진 3 호기 증기발생기 세정 작업에 성공적으로 활용되었다.

### 1. 서 론

'01. 8 월, 한국전력공사 전력연구원에서는 국내의 한국표준형 원전의 울진 3,4 호기 시스템-80 증기발생기 세정작업을 위한 장비 개발에 착수하였다. 개발에 착수하게 된 직접적인 동기는 기 활용하고 있던 외국산 장비는 거의 자동화가 되어 있지 않아 작업자들이 수동으로 조작하도록 되어 있어서 작업 종사자의 방사선 쏘임량이 많고 증기발생기 가장자리 쪽에서 중앙 부분으로 고압수를 분사토록 설계되어 있어서 오히려 슬러지 제거가 가장 필요한 부분에 슬러지를 모으게 되는 역효과도 발견되었다. 또한 작업자들이 고압수를 분사하는 노즐 Assembly 를 줄로 묶어서 위치를 옮기는 과정에서 예상치 못했던 문제점의 발생도 예상되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 시스템-80 증기발생기 세정장비를 새로 개발하기로 결정하였다. 논문 전반부에서는 국내 랜싱 장비 현황을 살펴보고 후반부에서는 울진 3,4 호기 한국표준형 원전 시스템-80 증기발생기 랜싱 작업을 위하여 개발된 KALANS(Kepco Advanced LANcing System) 및 현장 적용 과정에 관하여 기술코자 한다.

### 2. 국내 증기발생기 세정장비 현황

'04년 9월 현재 국내에는 자체 개발한

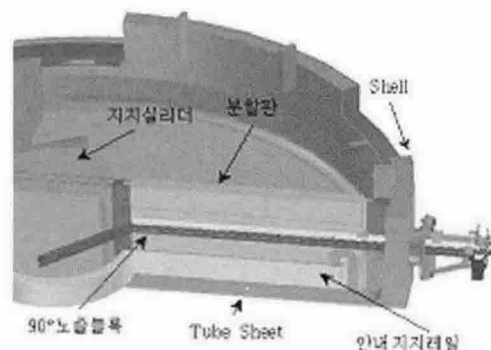
고리1호기용 KALANS<sup>®</sup>-I(Kepco Advanced LANsing System), 고리 2발전소에서 보유하고 있는 CECIL 1호기, 울진1발전소에서 활용하고 있는 CECIL 2호기, 영광3,4호기를 비롯한 한국표준형 원전에 활용하고 있는 ABB-CENO 장비, 울진2발전소용 KALANS<sup>®</sup>-II, 영광1발전소용 KALANS<sup>®</sup>-III, 그리고 고리2발전소 증기발생기 이물질 제거 장비인 KALANS<sup>®</sup>-IV 등 국산 및 외산 랜싱 장비가 활용되고 있다.

KALANS<sup>®</sup>는 한국전력공사 전력연구원에서 자체적으로 개발한 증기발생기 세정장비의 이름으로 상표로 등록되어 있으며, 울진2발, 영광1발, 그리고 고리2발 등 장비를 차례로 개발하면서 동일한 장비 명을 사용하고 있다.

### 3. 증기발생기 세정장비 기구 개발

한국표준형 원전 시스템-80형 증기발생기의 핸드홀 덮개를 열면 아래 그림에서 보는 바와 같이 economizer 분할판이 가로막고 있기 때문에 다른 증기발생기와 달리 분할판 옆면과 튜브 다발 사이에 존재하는 공간이 충분하지 않다. 이러한 공간적인 제약을 극복하고 자동화 운전이 가능하도록 하기 위하여 좁은 공간을 따라 세정장비의 레일을 설치할 수 있도록 설계하였다.

슬러지에 고압수를 분사하기 위하여 여러 개의 노즐이 장착된 랜스(lance)는 레일에 나있는 홈을 따라 이동할 수 있도록 설계되었으며, 핸드홀에 장착된 서보모터의 구동에 의해 타이밍벨트가 작동되고 이 벨트에 연결된 노즐 블록이 고압수를 분사하면서 이동하도록 설계되었다.



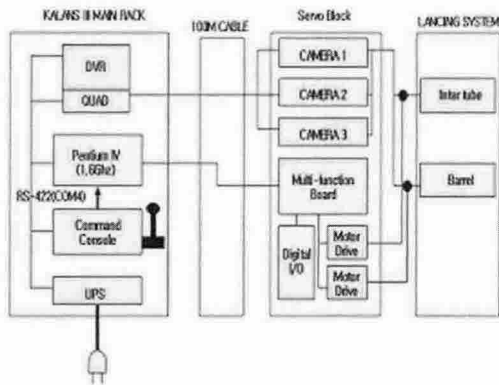
분할판은 핸드홀의 중심선을 기준으로 좌우로 최대 1.66mm 정도 움직일 수 있는 가능성을 가지고 있다. 그러므로 핸드홀의 내경에

고정되는 핸드홀마운트에 안내 지지 레일의 정확한 통과 위치를 정할 수 없다. 이런 문제를 해결하기 위해, 세정장비의 레일 설치 시 증기발생기 조립시의 공차를 허용할 수 있도록 핸드홀마운트(handhole mount)를 설계하였다. 세정 장비 레일은 증기발생기 중앙 부분에 위치하고 있는 지지실린더 옆으로 근접하여 고압수를 분사할 수 있도록 하기 위해 끝 부분을 여러 마디로 세분하여 제작하였다. 이 마디들을 관통하는 와이어가 레일 전체를 관통하고 있다. 레일 설치 시에는 이 와이어의 인장력을 제거하여 각 마디들이 유연하게 하고 일단 지지실린더 옆까지 진입시킨 후에는 와이어에 인장력을 가하여 견고하게 고정되도록 하였다.

슬러지에 고압수를 분사하는 램프는 핸드홀마운트에 부착되어 있는 서보 모터로 구동하도록 설계하여 고장 시 신속한 교체가 가능하도록 하였다.

#### 4. 증기발생기 세정장비 제어계통 개발

제어 시스템은 크게 증기 발생기 세정로봇을 원격으로 감시 및 조정하는 Main Rack과 100M 통신 케이블, 모터를 구동하는 Servo Block으로 나누어 진다.



Main Rack은 주로 CV외부에 위치하며, Servo Block은 CV내부에 위치, 100M 통신 케이블을 통해서 이들을 연결한다. Main Rack은 그 목적이 원격 감시 및 제어이므로, 원격 감시를 할 수 있는 장치인 DVR과 QUAD, 그리고 원격조정을 할 수 있게 하는 Command Console(C/C) 이들 전체를 총괄하는 Computer(Pentium IV 1.6Ghz, RAM 256M)로 구성되어 있다. 또, 정전 시에 시스템의 갑작스러운 다운을 예방하기 위해서 UPS를 사용하고 있다. Servo block(S/B)은 원격감시 및 조정을 할 수 있게 도움을 주는 역할로 주로 카메라 신호를 받아서 Main Rack으로 주는 역할과 모터구동을 담당한다.

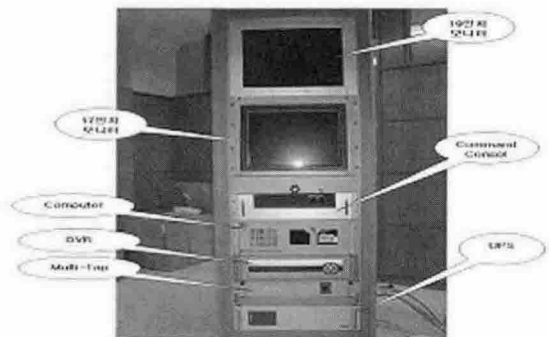
Main Rack의 전체 모습은 오른쪽페이지의 그림과 같이 맨 하부에 UPS가 있고, 그 위는

멀티 탭, 위쪽으로 올라 갈수록 DVR, Computer, C/C, 17인치 Computer Monitor, 19인치 DVR Monitor로 구성되어 있다.

UPS는 시스템이 갑작스러운 다운으로 인해 모터의 오동작 등을 예방할 수 있게 하는 장치로서 사용되고 있다. DVR은 세정 로봇의 원격 감시를 위해서 카메라 디스플레이를 위해서 사용하는 장치로서, 총 4개의 분할된 화면을 가지고 있다. 그리고 1개의 채널에 대해서 녹화를 통해서 저장, PC에 저장된 내용을 다운 받아서 PC에서 모니터링 할 수 있게 되어 있다. Quad를 사용 1개의 채널을 다시 4등분 하는 방식을 취해서 각종 정보(시간, 날짜, 로봇의 종류, 종류에 따라서 길이, 각도, 높이, Hot/Cold, A/B/C등)를 모니터링해서 저장할 수 있는 방식을 취하고 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 KALANS<sup>®</sup>로 명명되는 여러 가지 증기발생기 세정 장비 중에서 특히 국내에서 가장 많이 가동되고 있는 한국표준형 원전의 시스템-80 형 증기발생기 세정 장비인 KALANS<sup>®</sup>-II 개발에 관하여 기술하였다. 이 장비는 기존 외국산 장비의 단점을 개선하여 완전 자동화 운전이 가능하게 하였으며, 슬러지 제거 필요성이 가장 큰 증기발생기 중앙 부근의 세정 작업 효율을 향상시킬 수 있도록 하였다. 또한 향후의 원자력발전소의 예방정비 기간 단축에 대비하여 여러 대의 장비로 짧은 시일 내에 세정 작업이 가능하도록 구성하였다. 개발된 KALANS<sup>®</sup>-II 장비를 활용하여 울진 3 호기 증기발생기 세정 작업을 수행한 결과 약 20Kg의 슬러지를 제거하여 이전 주기의 슬러지 제거량인 12Kg에 비해 상당히 향상된 결과를 얻을 수 있었다.



#### REFERENCES

[1] 홍승열, 정우태, 김석태, 영광 1,2 호기 및 울진 3,4 호기 증기발생기 슬러지 세정장비 개발, 한수원(주), 2004.