증기발생기 세정로봇 분사장치 노즐 변경 및 배열에 따른 세정 효과

박병목*, 채경선, 신경욱, 윤상정, 홍재영, 최용석, 김상태, 김영국, 장희곤
세안기술㈜, 서울특별시 금천구 가산디지털2로 184, 910호(가산동, 벽산디지털밸리 2차)
*pbm@sae-an.co.kr

1. 서론

원자력발전소 증기발생기 2차측 내부 튜브시트 상단 및 튜브표면에는 운전 년 수에 따라 슬러지(Sludge)가 축적되어 증기발생기 전열관의 열효율 저하를 초래할 수 있다[1]. 그러므로 세정로봇을 이용하여 튜브시트 상단 및 튜브표면에 응집 고착된 슬러지를 제거함으로써 전열관의 열효율 저하 및 열응력 문제를 해결하기 위해 침적물제거(Lancing) 작업을 수행하고 있다.

세정로봇을 이용한 증기발생기 2차측 내부 튜브시트상단 및 튜브표면의 세정효과를 높이기 위한 연구는 과거부터 계속되어져 왔으며 세정수의 분사압력 관련 기술, 침적물제거 작업 수행 절차 관련 기술 및 세정로봇의 분사장치 노즐 높이가 미치는 영향 등 다양한 분야의 기술개발을 통해 세정 효율을 높이고 있다.

본 연구에서는 세정수 분사 형상, 세정로봇에 적용 가능한 노즐 종류 및 노즐 배열 효과 등을 연구함으로써 증기발생기 2차측 내부 튜브시트상단 및 튜브표면의 슬러지 제거 효율을 향상시킬 수 있는 세정로봇의 노즐 형태 및 배열을 제시하였다.

2. 본론

2.1 세정수 분사 형상

노즐의 분사입구 형태에 따라 세정수의 분사형상은 달라지게 되는데 분사형상의 종류로는 원추상(중공형), 부채상(부채꼴형), 봉상(원형), 방사상 등이 있으며, 원추상은 세정수가 공동(空洞)을 두고 원뿔 모양 가장자리 부분으로만 세정수가 분사된다. 부채상은 분사되는 세정수가 부채형상으로 분사되는 입구는 좁고, 세정되는 지점은 넓게 일직선으로 분사된다. 봉상의 세정수 형상은 둘레가 둥근대 즉, 봉의 형상으로 분사노즐의 노즐구멍 각도에 따라 세정수 도달거리 및 충격력 등이 달라질 수 있으며, 특히, 각도가 작은 것은 원거리까지 단위면적당 강한 충격력을 유지할 수 있다. 봉상은 의도치 않게 근거리에서 원거리로 갈수록 세정수 퍼짐 현상이 발생된다. 방사상은 세정수가 사방으로 분사되는 형상로서 각각의 형상을 Fig.1에 나타내었다.

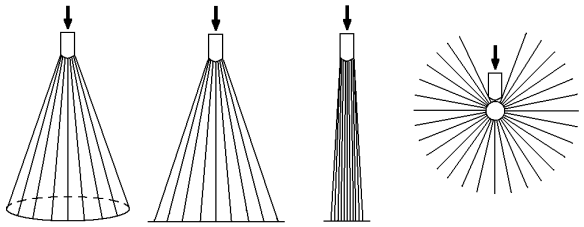

Fig. 1. Shapes of Washing Water.

현재 세정로봇에 사용중인 분사 형상은 봉상으로 튜브가 위치한 원거리까지 단위 면적당 충격력이 강한 세정수가 분사되어야 증기발생기 2차측 내부 튜브시트상단 및 튜브표면의 슬러지를 제거할 수 있기 때문이다.

2.2 세정로봇을 통한 세정절차

침적물 제거작업을 위해서는 세정로봇을 설치해야 하는데 그 순서는 증기발생기 핸드 홀에 홀 플랜지 및 Manifold 설치 → Guide Roller 설치 → 로봇 이동 Rail 설치 → 로봇설치 순이다. 로봇의 제어는 원자로건물이 아닌 보전구역에 설치된 제어룸에서 모니터상으로 원격제어하게 되며 로봇에서 분사되는 세정수의 흐름은 Storage Tank내 세정수 → 로봇을 통한 세정수 분사 → 프로세스 시스템 룸내 Surge Tank에 수집(Sludge Suction Pump와 호스를 통해) → 필터 통과(Bag 필터 및 Cartridge 필터) → Storage Tank에 수집되는 순서를 갖는다. 로봇을 통한 세정수의 흐름은 세정작업이 끝날 때 까지 반복 공정으로 수행된다[2]. 세정로봇 KALANSⅢ처럼 분사 노즐이 5개로 되어있는 경우 세정로봇을 통한 튜브시트 세정은 첫 시작시 1칼럼, 2칼럼, 3칼럼, 4칼럼, 5칼럼이 동시에 세정되고, 첫 번째 세정이 완료되면 세정로봇은 Rail을 통해 1칼럼씩 이동하게 된다. 즉, 두 번째 세정은 2칼럼, 3칼럼, 4칼럼, 5칼럼, 6칼럼을 수행하게 되는 것이다.

Fig. 2. Lancing Robot : KALANSⅢ.

2.3 세정로봇에 적용 가능한 노즐 종류

세정수 분사 형상에 따라 다양한 노즐이 개발되어 사용되고 있는데 본 연구에서는 세정로봇에 적용 가능한 노즐의 종류를 분석하였다.

첫 번째 현재 사용중인 노즐은 봉상의 분사형상을 가지며 단위면적당 충격력이 큰 Full Cone 노즐로 압력과 유량이 일정할 경우 분사각도가 작은 것이 단위면적당 충격력이 강하며, 원거리까지 세정수의 퍼짐현상이 작게 나타난다. 반면 분사각도가 큰 것은 단위면적당 충격력은 약하고, 원거리에서는 세정수의 퍼짐현상이 크게 나타난다.

두 번째는 현재 사용중인 Full Cone 노즐과 병행하여 세정효과를 높일 수 있는 분사형상은 부채상으로 대표적인 노즐은 부채꼴분사 노즐과 편향식 노즐이 있다. 부채꼴분사 노즐은 균일한 분사밀도와 높은 충격효율을 가지며, 편향식 노즐은 넓은 각도의 분사가 가능하나, 충격력이 작다. 그러므로 세정수 분사형상이 부채형상을 사용하고자 할 경우 부채꼴분사 노즐이 적합하다. 분사노즐 형상은 Fig. 3에 나타내었다[3].

[Full Cone 노즐] [부채꼴분사 노즐] [편향식 노즐]

Fig. 3. Nozzle Type.

2.4 부채꼴분사 노즐 적용 및 배열을 통한 효과

세정로봇 분사장치는 증기발생기 2차측 내부 튜브시트상단 및 튜브표면의 고착된 슬러지에 대해 세정수를 분사하여 슬러지를 분리하는 역할과 분리된 슬러지를 증기발생기 가장자리로 밀어내는 역할을 하게 된다. 그러나 현재 사용중인 Full Cone 노즐은 근거리에서 강한 충격력을 가지나 퍼짐현상은 작고, 원거리에서는 근거리 보다는 상대적으로 약한 충격력을 가지지만 약간의 퍼짐현상을 갖는다.

이러한 Full Cone 노즐이 갖는 세가지 문제점으로서 첫째, 세정로봇은 칼럼 이동시 1칼럼씩 이동함으로 중앙에 위치한 칼럼은 5회 세정되는 반면 시작시 최초 한 칼럼과 종료시 마지막 한 칼럼은 1회만 세정되는 문제점. 둘째는 Full Cone 노즐은 단면적당 강한 충격력을 갖지만 상대적으로 근거리에서는 퍼짐현상이 적어 세정 면적이 한정되는 문제점. 마지막으로 분리된 슬러지가 증기발생기 가장자리로 세정과 동시에 밀려나야 하는데 근거리에서는 세정수의 퍼짐현상이 작아 세정과 동시에 분리된 슬러지를 밀어내지 못한다는 것이다.

그러므로 위의 세가지 문제를 해결하기 위해서는 세정로봇이 가지고 있는 총 5개의 분사구중 중앙 분사구에 부채꼴분사 노즐을 설치하고 좌우 총 4곳에는 현재 사용중인 Full Cone 노즐을 설치함으로써 최초 한 칼럼과 마지막 한 칼럼의 추가적인 세정의 수행, Full Cone 노즐의 단점인 근거리에서의 적은 단면적 세정효과를 보완할 뿐만아니라 세정수 분사에 의해 분리된 슬러지를 세정과 동시에 증기발생기 가장자리로 밀어 낼 수 있는 효과를 얻게 된다.

3. 결론

원자력발전소 증기발생기 2차측 내부 튜브시트 상단 및 튜브표면에는 운전 경과 년 수에 따라 슬러지가 축적되어 증기발생기 전열관의 열효율 저하를 초래한다. 이러한 문제 해결을 위해 수행되는 랜싱작업의 효율적 운영을 위해 본 연구에서 분사노즐의 특성을 분석함으로써 현재 사용중인 세정로봇의 중앙분사구를 부채꼴분사 노즐로 변경함에 따라 슬러지 제거 효과 및 슬러지 Suction 효과 등을 높일 수 있는 방안을 제시함으로써 계획예방정비 기간이라는 한정된 기간내에 수행되는 랜싱작업의 최적화에 기여하고자 하였다.

4. 참고문헌

[1] 배용한, “증기발생기 튜브시트 전구간 세정용 세정로봇”, 특허, 2012.05.11 등록, 등록번호 10-1147356.

[2] 박병목외 8명, “원전S/G 침적물제거용 Surge Tank의 조도 변화량 측정을 통한 필터교체 시기 예측”, 한국방사성폐기물학회2013 춘계학술대회 논문요약집, 313-314, 05.09~10, 2013, 대구.

[3] 국제노즐 홈페이지(www.kjnozzle.co.kr).