

증기발생기 세정로봇의 분사장치 노즐 높이가 미치는 영향

박병목*, 채경선, 신경욱, 정정남, 김일현, 민윤기, 김영국, 장희곤

세안기술(주), 서울특별시 금천구 가산디지털2로 184, 910호(가산동, 벽산디지털밸리 2차)

*pbm@sae-an.co.kr

1. 서론

원자력발전소 증기발생기 2차측 내부 튜브시트 상단 및 튜브표면에는 운전 경과 년 수에 따라 슬러지(Sludge)가 축적되어 증기발생기 전열관의 열효율 저하를 초래하게 된다. 슬러지의 성분으로는 산화철, 산화구리와 같은 부식생성물이며 이러한 부식생성물은 튜브시트 상단 및 튜브표면에 응집, 고착되어 열전달에 따른 열효율 저하 및 열응력 등의 문제를 발생시키므로 세정로봇을 이용하여 증기발생기 튜브시트 상단 및 튜브표면의 슬러지를 제거한다[1].

국내 원자력발전소에서 사용되어지는 세정로봇은 KALANS, OLAS 및 CECIL 등이 있다. 증기발생기 침적물제거(Lancing) 작업 시기는 원자력발전소 가동중에는 수행이 불가능하므로 원자력발전소 계획예방정비 기간에 이루어진다. 그러므로 정해진 계획예방정비의 기간 내에 증기발생기 2차측 내부 튜브시트 상단 및 튜브표면에 응집, 고착된 슬러지를 효율적으로 제거해야만 한다.

본 연구에서는 세정로봇의 분사장치에 천공된 노즐높이(Nozzle height)가 랜싱작업에 미치는 영향을 분석함으로써 현재보다 더 효율적인 슬러지 제거 방안을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 분사노즐이 동일한 높이에 천공된 경우

KALANS III 세정로봇의 분사노즐은 분사장치 측면 하단 좌우측에 각각 5개씩 동일한 높이에 천공되어져있어 세척수의 도달거리(Arrival distance)는 일정하며 세척수가 도달하는 지점에서의 세척수 압력 또한 동일하다[2].

현재 KALANS III 세정로봇을 이용하여 증기발생기 2차측 튜브시트 상단 및 튜브표면에 응집, 고착된 슬러지 제거시 세척수 도달거리는 분사장치의 각도 조절을 통해 근거리에서 원거리까지 세정하고 있다.

2.2 분사노즐이 상이한 높이에 천공된 경우

세정로봇의 분사장치에 노즐을 동일한 높이에 천공하지 않고 단계적으로 높이를 달리하여 노즐을 천공할 경우 분사장치의 각도가 일정하더라도 분사노즐을 통해 분사되는 세척수의 도달거리, 세척수 비거리(Driving distance of washing water), 분사각도(Jetting angle), 슬러지에 닿은 세척수의 압력이 달라질 것이다. 뿐만 아니라 노즐 높이를 낮은 쪽에서 단계적으로 높여 천공하게 되면 세척수에 의해 세정된 슬러지가 대각선 모양으로 밀려남으로 제거된 슬러지가 증기발생기 환형 공간 방향으로 원활하게 밀려나게 된다.

2.3 천공 노즐 높이에 따른 세척수 도달거리

Fig. 1은 동일한 높이에 천공된 현재의 노즐과 단계적인 높이를 가지고 천공된 개선된 천공 노즐을 도식화 한 것이며, Fig. 2는 위치별 명칭, Fig. 3는 분사장치의 각도는 75.964°로 동일하지만 노즐 천공의 높이가 높아질수록 세척수의 도달거리는 증가함을 나타낸 것으로 천공 노즐의 높이가 1.5 cm 이고 분사장치의 각도가 75.964°인 경우 세척수의 도달 거리는 6 cm 이며, 이때 동일 각도의 분사장치이지만 노즐의 높이가 2.5 cm로 1.5 cm 보다 1 cm 높일 경우 세척수의 도달 거리가 4 cm 증가함을 알 수 있다.(단, 실제 분사장치는 튜브시트와 일정 높이를 두고 장착되어진다.)

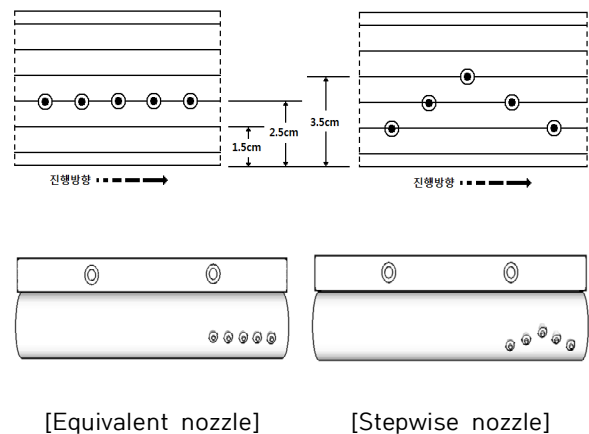


Fig. 1. Height of nozzle.

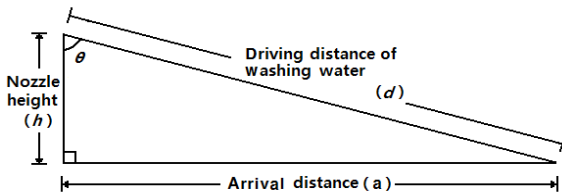


Fig. 2. Designation for position.

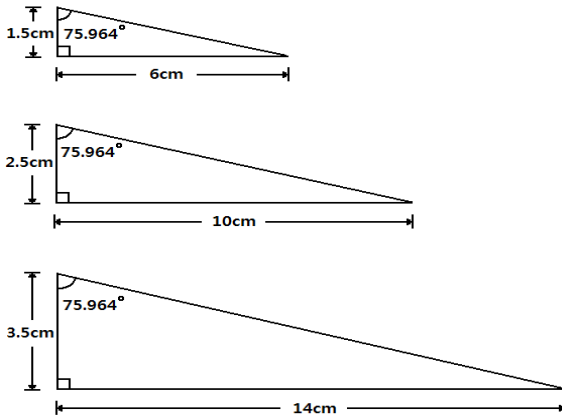


Fig. 3. Arrival distance for nozzle height.

2.4 노즐 높이에 따른 분사 각도 변화

세정로봇 분사장치에 천공된 노즐의 높이가 1.5 cm, 2.5 cm 및 3.5 cm로 각각 상이한 경우 각각의 분사 노즐을 통해 분사되는 세척수의 도달거리가 10 cm 가 되는 지점에서 분사노즐의 분사각도(Jetting angle)를 보면 모두 상이하게 된다. 또한 분사각도는 세척수 비거리에 영향을 미치며 그 값은 Table 1과 같다.

도달거리가 10 cm인 세척수는 노즐 분사각도가 큰 값을 가질수록 세척수의 비거리가 짧아져 슬러지를 타격하는 세척수의 속도가 빨라지고 슬러지에 입사하는 세척수의 각도는 작아지게 된다.

원자력발전소 증기발생기 2차측 내부 튜브시트 상단 및 튜브표면 슬러지를 제거함에 있어 슬러지의 형상 및 고착정도에 따라 세척수의 분사 압력과 분사각도도 슬러지 제거 효율에 영향을 주는 요인이 된다.

Table 1. Driving distance of washing water for nozzle height in the arrival distance 10 cm

Nozzle height	Arrival distance	Jetting angle	Driving distance of washing water
1.5cm	10cm	81.470°	10.112cm
2.5cm	10cm	75.964°	10.308cm
3.5cm	10cm	70.709°	10.595cm

2.4 식

분사장치의 노즐이 갖는 각도는 세척수 도달거리를 노즐높이로 나눈 공식 (1)에 의해 계산되어지며, 세척수 비거리는 공식 (2)에 의해 구해진다.

$$\tan\theta = \frac{a}{h} \quad (1)$$

$$d = \sqrt{(h)^2 + (a)^2} \quad (2)$$

- Jetting angle : θ
- Nozzle Height : h
- Driving distance of washing water : d
- Arrival distance : a

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 랜싱작업은 계획예방정비 기간 내에 수행되어야 함으로 랜싱작업의 효율적 운영을 통해 최적의 슬러지 제거가 이뤄져야 할 것이다. 본 연구에서 제시한 세정로봇 분사장치 분사노즐 높이를 단계적으로 달리하여 천공할 경우 슬러지 제거, 슬러지 Suction 및 랜싱작업의 시간단축 등에 영향을 줄 것이다.

또한 본 연구의 결과는 방사성물질에 의해 표면이 오염되어 제염이 필요시 되는 방사성폐기물 표면제염 분야에도 적용이 가능한 기술로 특히, 자동화된 제염장치의 분사노즐 위치, 분사각도, 세척수의 분사속도 등에 활용이 가능할 것으로 보이며, 차후 본 연구에서 다루지 않은 세척수의 온도 및 기타 인자 등에 따른 슬러지 제거 향상 연구 등 원자력발전소 증기발생기의 효율 향상에 필요한 기술개발은 계속 수행되어야 할 것이다.

4. 참고문헌

- [1] 배용한, "증기발생기 튜브시트 전구간 세정용 세정로봇", 특허, 2012.05.11 등록. 등록번호 10-1147356.
- [2] 한빛 1,2호기 증기발생기 2차측 침적물제거 (Lancing), 세안기술(주) 정비철차서, 2013.