

모델 F 형 증기발생기 슬러지 세정장비 개발 (Development of Sludge Lancing System for Model F Stream Generator)

김석태, 정우태, 홍승열
한전전력연구원, dimbar@kepri.re.kr

1. 서론

증기발생기는 원전운전이 계속됨에 따라 2 차 계통 내부의 Tube Sheet 상부 및 튜브 지지판 상부에 슬러지가 침적되는 현상이 발생한다. 침적된 슬러지는 증기발생기 전열관과 원자로 냉각재 사이의 열전달을 방해하고 부식을 초래하여 증기발생기의 수명을 단축시킬 수도 있으므로 증기발생기 제작 업체와 KINS 에서는 증기발생기의 건전성을 확보하기 위해 매 예방정비기간 중 슬러지를 제거하도록 권고하고 있다. 본 논문에서는 모델 F 형 증기발생기용 세정장비 개발에 대해 소개하고자 한다.

2. 본론

본 논문에서는 증기발생기의 여러 가지 세정방법 중 고압수분사식 방식을 채택하여 영광 증기발생기 세정장비를 개발하고 적용하고자 한다.

2.1 세정장비의 요건

세정장비는 설치 및 운전에 있어서 작업자의 방사능 피폭을 최소화하고 장비 취급이 용이하여야 하며 특히 증기발생기 전열관에 손상을 주지 않아야 한다. 이러한 기본 요건을 만족한 후 증기발생기의 전열관 사이에 침적되는 슬러지를 제거할 수 있어야 한다.

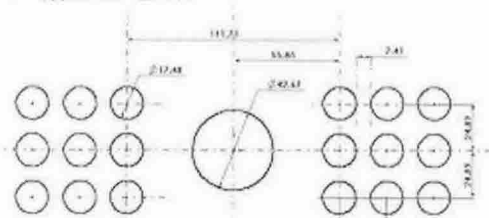


그림 2-1 F형 증기발생기 튜브 시트 상단 중앙부 전열관 배열

모델 F형 증기발생기는 KSNP형 증기발생기에 비해 전열관 사이가 약 7.41mm로 틈새가 비교적 넓은 편이고 이 사이를 이동할 수 있는 효율적인 세정장비가 필요하다.

2.2 고압분사를 위한 노즐 개발

슬러지 제거를 위해 효율이 높은 고압분사식 세정방법을 채택하였고 고압분사를 위한 고성능의 노즐개발이 필수적이다. 이를 만족시킬 노즐의 성능은 수축각(θ), 수축비($R_c = d_o/d_i$), 노즐형상비($R_a = l_o/d_o$) 등에 의하여 지배 받는다.

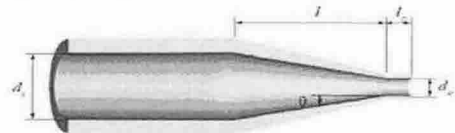


그림 2-2 Pilot nozzle의 형상

가장 지배적인 요소인 형상비에 따른 고압수의 직진성을 살펴보면 그림 2-3와 같다.

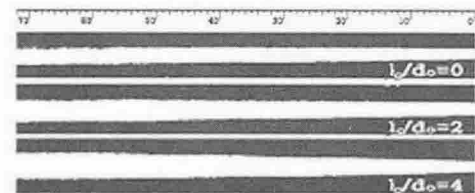


그림 2-3 형상비에 따른 직진성 실험

또한 실험적으로 가장 적합한 것으로 검증된 형상비 $l_o/d_o = 0$ 을 택하여 운동량 분포 데이터를 무차원으로 도시하여 그림 2-4 처럼 하나의 분포함수로 표현하였고 분포곡선의 식(curve fit)을 식 (1)과 같이 도출하였다.

$$\frac{M_o}{(M_o)_{max}} = (1.10e-9)\left(\frac{X}{d_o}\right)^3 - (1.56e-6)\left(\frac{X}{d_o}\right)^2 - (0.38e-3)\left(\frac{X}{d_o}\right) + 1.05$$

M_o : 운동량, X : 노즐분사거리.....(1)

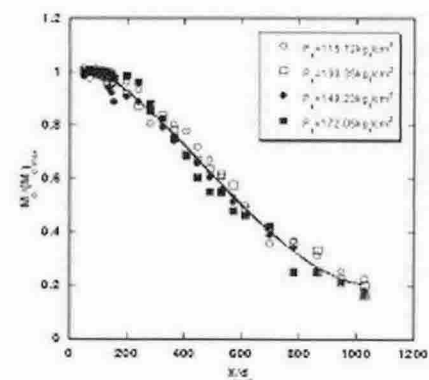


그림 2-4 무차원 길이에 따른 무차원 momentum 의 분포 양상

결론적으로 노즐형상비가 영(0)인 경우 우수한 직진성 및 충동력을 보였으므로 이 노즐을 채택하여 설계하였다.

2.3 세정장비의 설계

세정장비는 고압 랜스로봇 및 이송장비, 호스 및 케이블 취급장비, 제어 및 감시 시스템, 슬러지 처리 장비 등으로 크게 구분한다.

고압 랜스로봇은 그림 2-5 와 같이 비디오스코프 시스템과 시야 확보를 위한 LED 조명장치, 카메라 렌즈의 물기 제거를 위한 Air Purge 가 장착되어 있어 살수뿐만 아니라 비주열 기능도 수행할 수 있다. 또한 이송장비는 서보모터를 이용하여 랜스로봇의 끝단이 전진방향으로 이동할 수 있는 Translation, 전진방향에 대하여 회전할 수 있는 Rotation, 90°방향으로 휘어져 이동할 수 있는 Translation 등 총 3 자유도의 이동성을 가지며 전열관 사이를 이동할 수 있게 해준다.

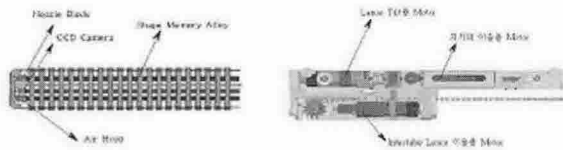


그림 2-5 Intertube 탄력성 랜스로봇과 이송장비

호스 및 케이블 취급장비는 고방사능 구역에서 작동하는 랜스로봇과 안전한 구역에서 랜스로봇을 컨트롤하는 제어 시스템 간 100m 이상의 거리를 연결해주는 케이블과 랜스로봇에 들어가는 호스가 꼬이는 것을 방지해주는 Take-up 장치로 구성되어 있다.

안전한 구역에서 장비를 리모트 컨트롤하는 제어 및 감시 시스템은 모니터를 통해 증기발생기 내부를 관찰할 수 있고 모터의 과전류를 감지하여 랜스의 간섭이 생길 경우 작업을 중단하도록 하는 알고리즘을 가지고 있다.

그림 2-6 에서 Handhole Flange 를 증기발생기 Handhole 에 고정시키고 랜스로봇은 레일을 통해 이동하며 전열관 사이를 세정하게 된다.

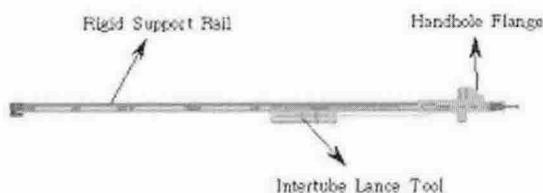


그림 2-6 세정장비의 전체적인 모습

세정장비를 통해 제거된 증기발생기의 슬러지는 슬러지 처리 장비로 이동되어 필터를 통해 제거되고 걸러진 물은 다시 세정장비로 순환하여 세정 작업을 계속하게 된다.

3. 결론

본 논문에서 소개된 세정장비는 정전상황을 대비한 UPS(uninterruptible power supply)장치와 Over Current Detection 개념을 도입하여 특히 안전성에 비중을 두어 설계하였다. 또한 세정작업을 완전 자동화하여 세정작업자들의 방사능 피폭을 최소화하였고 만약의 경우를 대비하여 수동으로 장비를 제거할 수 있도록 설계하였다. 소개된 세정장비는 한전전력연구원에서 개발하여 영광 1 발전소 현장 적용까지 완료하여 성공적인 개발이 이루어 졌다.

REFERENCES

[1] J. W. Bitting, D. E. Nikitopoulos, S. P. Gogineni, E. J. Gutmark, "Visualization and two-color DPIV measurements of flows in circular and square coaxial nozzles", *Experimental in Fluids* 31 (2001) 1-12.
 [2] P. A. Strakey and D. G. Talley, "The effect of manifold cross-flow on the discharge coefficient of sharp-edged Orifices", *Atomization and Sprays*, vol. 9, pp. 51-68, 1999
 [3] 김성민, 이상진, 노병준, 정우태 "고압 액체 분사 노즐의 최적설계를 위한 실험적 연구", 대한기계학회 호남지부 학술대회, 2003.