

수압구동 전열관다발 부분 삽입형 증기발생기 세정장비 설계

김석태[†]·정우태^{*}

Design of a Partial Inter-tube Lancing System actuated by hydraulic power for type F model Steam Generator in Nuclear Power Plant

S.T. Kim and T.W. Jeong

Key Words: Lancing, Nuclear power plant, Hydraulic driving, Steam generator

Abstract

The sludge grown up in steam generators of nuclear power plants shortens the life-cycle of steam generators and reduces the output of power plants. So KHNP(Korea Hydro and Nuclear Power), the only nuclear power utility in Korea, removes it periodically using a steam generator lancing system during the outage of plants for an overhaul. KEPRI(Korea Electric Power Research Institute) has developed lancing systems with high pressured water nozzle for steam generators of nuclear power plants since 2001. In this paper, the design of a partial inter-tube lancing system for model F type steam generators will be described. The system is actuated without a DC motor inner steam generators because the motors in a steam generator make a trouble from high intensity of radioactivity as a break down.

1. 서론

원자력발전소의 증기발생기는 원자로에서의 열을 이용하여 증기를 발생시켜 터빈을 돌려 전기를 발생시키며, 방사성 냉각수와 비방사성 냉각수의 경계가 되는 중요한 구조물로 가동기간이 늘어날수록 내부에 슬러지가 침적된다.

이 슬러지는 원자력발전소의 배관이 마모되면서 발생하는 금속성 물질이며, 증기발생기의 열전달을 방해하여 발전소의 출력을 감소시킬 뿐 아니라 증기발생기의 부식을 초래하여 수명을 단축시키기도 한다. 그러므로 원자력발전소에서는 매 계획예방정비 기간에 증기발생기의 튜브시트

(tube-sheet) 상단을 고압수 분사방식의 세정을 하고 있다. 본 논문에서 원자력발전소의 모델F형 증기발생기를 세정하기 위한 고압수 분사방식의 새로운 세정장비를 소개하고자 한다.

2. 본론

2.1 세정장비의 개요

본 논문에서 소개할 세정장비는 특히 경성 슬러지가 많이 쌓여있는 증기발생기의 튜브시트 상단부분을 대상으로 세정하는 장비로써 Fig. 1에서 보여진 것과 같다. Fig. 2는 세정장비가 증기발생기에 설치된 모습으로 증기발생기의 수작업구(Hand-hole)를 통해 내부의 무전열관 영역(No-tube lane)에 레일(Rail)을 설치한 후 그 레일에 세정로봇(Lancing robot)을 장착하여 증기발생기 내부를 이동하며 고압수를 이용하여 경성 슬러지를 제거한다.

† 한전전력연구원

E-mail : dimbar@kepc.co.kr

TEL : (042)865-5545 FAX : (042)865-5504

* 한전전력연구원

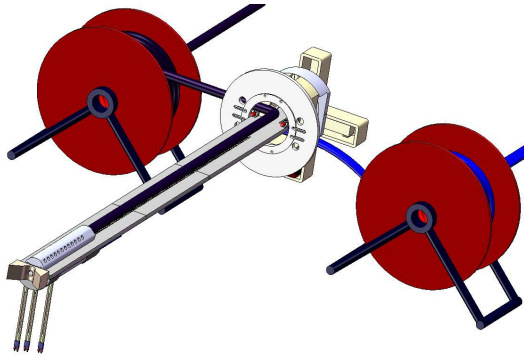


Fig. 1 Lancing system for a steam generator

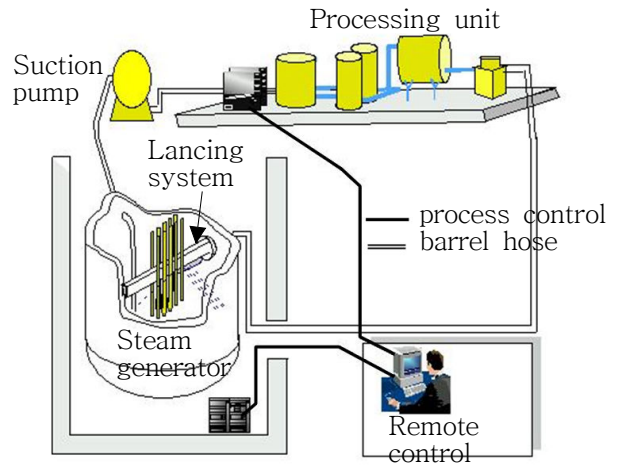


Fig. 3 Flow chart for lancing work

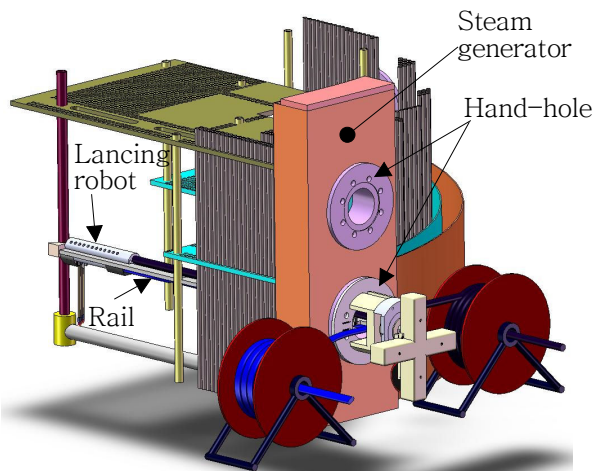


Fig. 2 Installation of lancing system

이렇게 제거된 슬러지는 Fig. 3에서와 같이 흡입펌프를 이용하여 증기발생기에서 수처리 장치(Processing unit)로 이동시켜 필터링하여 다시 고압수의 공급원으로 순환한다. 이러한 시스템은 운전자의 방사선 노출을 줄이기 위해 증기발생기 밖에서 제어된다.

2.2. 세정로봇(Lancing robot)의 설계

이전의 세정로봇은 구동을 위한 서보모터가 증기발생기 안에 투입되어 방사선에 의한 열화에 의해 자주 고장나는 문제점이 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 모든 서보모터를 증기발생기 밖에 설치하고 세정로봇의 작동은 수압을 이용하였다. Fig. 4는 세정로봇을 보여주고 있는데, 고압수를 분사할 수 있는 노즐을 3개 가지고 있어 한번 분사에 전열관 다발 사이를 3열씩 세정할 수 있어 세정작업 시간을 단축시켰다. 창(Lance)처럼 생긴 노즐이 전열관 다발 사이로 부분 삽입하여 고압수를 분사한다. 세정로봇에 고압수를 공급하지 않을 때는 스프링력과 하단 전자석 블록의 자력으로 노즐이 접혀 있다가 고압수를 공급하게 되면 고압호스가 펴질려고 하는 탄성력을 이용하여 노즐을 직각으로 펼치게 된다. 이때, 하단 전자석 블록의 자성을 제거하고 상단의 전자석 블록에 자성을 띠게 하여 노즐이 직각으로 펴지는 것을 돕게 된다. 분사 후 고압수의 공급을 중단하면 스프링력으로 노즐이 복귀하는데, 이때 역시 상단 전자석 블록의 자성을 제거하고 하단의 전자석 블록에 자성을 띠게 하여 노즐의 복귀를 돕는다. 또한 세정로봇에는 비디오 내시경(Videoscope)을 장착하여 노즐의 작동 유무와 세정되는 장면들을 녹화할 수도 있다.

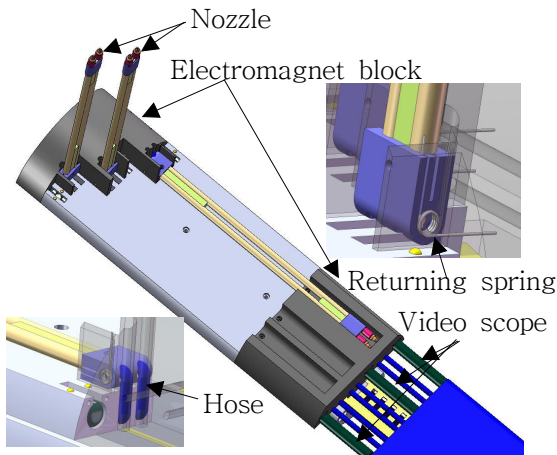


Fig. 4 Mechanism of lancing robot

또한, 세정로봇에는 Fig. 5에서처럼 삽입형 고압수 분사노즐의 반대편으로 비교적 대유량의 고압수를 분사할 수 있는 배럴스프레이(Barrel spray)가 달려 있는데, 증기발생기 튜브시트 상단 중 특히 슬러지가 많이 쌓이는 중앙영역인 강낭콩처럼 생긴 영역(Kidney bean zone)을 세정하기 적합하게 설계되었다.

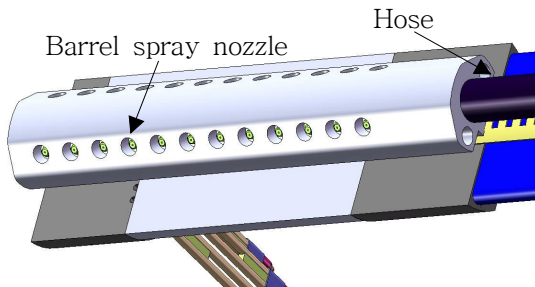


Fig. 5 Design of barrel spray

2.3. 레일(Rail) 및 구동부의 설계

원전 증기발생기 주변의 공간적 제한을 고려하여 Fig. 6과 같이 레일을 분절구조로 설계하였다. 레일설치 시 조임레버(Tensioning lever)를 이용하여 레일에 심어진 와이어(Tensioning wire) 조이면 각분절의 돌기(straightening protrusion)가 홈과 맞추어져 직선의 레일이 조립된다.

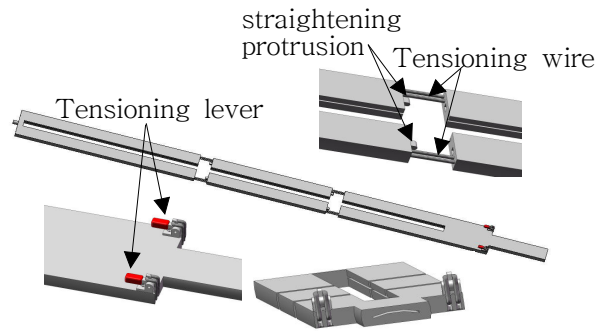


Fig. 6 Design of rail

이렇게 조립된 레일에 세정로봇을 장착하고 Fig. 7과 같이 수작업구(Hand-hole)에 플랜지(Hand-hole flange)를 볼트조립하여 구동부를 장착한다. 구동부에는 2개의 서보모터(Servo motor)가 있어 레일의 비틀림 회전과 세정로봇의 직선왕복운동을 가능케 한다. 특히 세정로봇의 이동은 이송스트립(Transferring strip)이 줄자와 같은 원리로 두루마리장치에서 계속 공급되면서 이루어지는데, 스트립이 세정로봇을 밀어낼 때 좌굴(buckling)되지 않도록 단면이 반달모양을 유지하도록 설계되었다. 또한, 서보모터를 증기발생기 밖에 설치하여 방사선에 의한 열화를 최소화하였다.

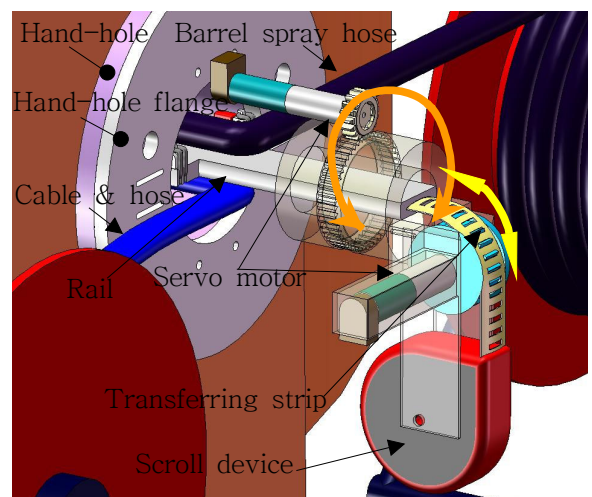


Fig. 7 Mechanism of driving device

3. 결 론

본 논문의 세정장비는 세정작업 효율측면과 유

지보수 측면에 초점을 맞추어 설계하였다.

세정작업의 효율을 높이기 위해 배럴 스프레이 노즐을 24개로 설계하였고, 전열관 다발 삼입형 노즐 역시 3개로 설계하여 한번 분사에 전열관 다발 사이 3열을 세정할 수 있게 설계하였다.

또한 비교적 방사선량이 높은 증기발생기 내부에서 자주 말뚝을 일으키던 서보모터를 증기발생기 밖에 설치하게 설계함으로써 세정장비의 고장 빈도를 낮추어 유지보수로 인한 비용과 시간을 최소화하였다. 게다가 작동 메커니즘을 단순화하여 장비의 부피와 무게를 줄여 장비의 운반·설치에도 편리하게 설계하였다.

참고문헌

- (1) Jeong, W. T., Kim, S. T., Hong, S. Y., 2004, "Development of sludge Lancing System for Ulchin NPP#2," Proceedings of ICAPP '05 Seoul, Korea, May 15-19, 2005 Paper 5358.
- (2) Jeong, W. T., Hong, S. Y., 2005, "Development of the Tube Sheet Cleaning System of the Nuclear Steam Generator," Transactions of Korean Nuclear Society Autumn Meeting, Busan, Korea, October, 2005.
- (3) Kim, S. T., Jeong, W. T., Kang, D. W., 2006, "Design of Steam Generator Sludge Lancing System with Flexible Inter-tube Lance," Transactions of Korean Society for Precision Engineering Autumn Meeting, 47-48.