

증기발생기 내에 삼각형 배열을 가진 전열관 주위에 쌓인 슬러지 제거를
위한 자동화 된 랜싱 장비 개발

Development of Automated Lance Systems for Removing Deposited
Sludge around Heat Transfer Tubes with a Triangular Pattern in a
Steam Generator

황권상, 성형진

한국과학기술원

대전광역시 유성구 구성동 373-1

정우태, 홍승열

한전전력연구원

대전광역시 유성구 문지동 103-16

박용수

한빛ENG

대전광역시 유성구 문지동 103-16 한전전력원 중소기업육성센터

요 약

울진 원자력 발전소의 증기 발생기 내부에 설치되어 있는 삼각형 형태의 전열관(heat transfer tubes) 주위에 쌓인 이물질을 제거하기 위해 자동화 된 랜싱 장비 (automated lance systems)를 개발하였다. 개발된 두 개의 랜싱 장비는 최외곽 전열관들과 증기발생기 안쪽 벽면 사이에 있는 환형(annulus)과 전열관이 배열되어 있지 않는 증기발생기의 중심선 (Blowdown Lane; BdL)으로 접근해서 랜싱작업을 수행할 수 있다. 환형을 따라 랜싱하는 장비는 수직 방향으로 조금 떨어져 있는 평행한 두 개의 원봉형 안내 지지대를 180도 떨어져 있는 두 개의 핸드홀에서 고정시키고, 이것을 따라 랜싱 장비를 이동시키면서 랜싱 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 랜싱 장비는 고압수를 분사할 수 있는 노즐 실린더와 전열관이 꽂혀있는 튜브 시트 바닥면 전체를 커버하기 위해 노즐 실린더의 수평축 회전 운동 (sweeping motion)을 일으키는 드라이브 기구로 구성된 노즐 블록, 노즐 분사 방향을 전열관 레인과 일치시키기 위해 노즐 블록의 수직축 회전 운동을 야기하는 드라이브 기구, 노즐 블록을 지지해 주는 지지 구조물과 랜싱장비를 안내 지지대에 지지해 주며 이것을 따라 원주방향으로 움직일 수 있도록 슬라이더 역할을 하는 홀더로 구성되어 있다. 고압수 분출 시 생기는 반발력을 견딜 수 있도록 하기 위해서 랜싱 장비 바깥 면에는 증기 발생기의 벽면과 접하는 바퀴를 가진 옆면 지지대

(side wall supporting wheel assembly)를 부착하였다. 랜싱 장비의 앞면과 뒷면에는 이송용 케이블을 부착해 핸드홀 바깥에 설치된 모터로 구동되는 드럼을 감고 풀면서 랜싱 장비의 원주 방향 위치를 제어하도록 하였다. 증기발생기의 BdL을 따라서는 전열관의 배열이 삼각형이기 때문에 중심선을 기준으로 30도, 90도 및 150도 방향으로 분사가 가능한 랜싱 장비를 각각 따로 개발하였다. 튜브 시트 바닥 면으로부터 핸드 홀 높이만큼 떨어진 위치에 BdL을 따라 설치되어 있는 안내 지지대를 따라 이것을 이동하도록 하여 각각의 각도에서 랜싱 작업을 수행함으로써 전열관 주위에 그림자 영역 (shadow zone)을 최대한 없애도록 하였다.

Abstract

Automated lance systems have been developed to remove sludge deposits filed up around the heat transfer tubes of a triangular pattern in a steam generator. The accessible ways of the lance systems inside the steam generator are the annulus region which occupies the space between the outermost tubes and the inner wall of the steam generator, and the blowdown lane region (BdL) without tubes along the centerline of the steam generator. The lance system along the annulus employs a slidable guide support rail and a lance body. The guide support rail, which is composed of two parallel circular rods with a vertical distance, is tightly fixed inside the hand holes. The guide support rail extends from a hand hole at 0 degree to the other hand hole at 180 degree. The lance body is slideably held on the guide support rail by means of supporting holders which are attached on both the bottom and the upper plates of the lance body. The lance body is comprised of a nozzle block with a nozzle cylinder and a first drive means which makes sweeping motion of the nozzle cylinder, a second drive means which aligns the direction of nozzle jets from the nozzle cylinder toward the desired tube lanes by rotating the nozzle block in the horizontal plane, and two side wall supporting wheel assemblies attached to the outer surface of the lance body, rolling along the inner wall of the steam generator. For the transportation of the lance, two control cables which extend outward through the hand holes are attached to both ends of the lance body and are driven by a drive means with a powered drum. The lance system along the blowdown lane adopts a horizontal guide support rail and a lance body which can convey three nozzle blocks for emitting high pressure water in the 30, 90 and 150 degree directions. By utilizing the above two lance systems, the shadow zones around the tubes where the high pressure water does not reach are highly reduced.

1. 서 론

PWR (Pressurized Water Reactor) 방식의 원자력 발전소에서 증기 발생기는 원자로 내에서 높은 압력 하에 가열된 냉각수 (hot reactor coolant)를 내장된 전열관 내로 받아들여 전열관 주위로 공급되는 순환수 (feed water)를 끓여 증기를 발생시키는 역할을 한다. 여기에 사용되는 전열관은 거꾸로 된 U자 모양을 하고 있고, 전열관의 한쪽 다리는 원형의 튜브 시트 한쪽 반원 면에, 그리고 다른 다리는 다른 반원 면에 꽂혀있다. 따라서 증기발생기 내부 구조는 고온의 원자로 냉각수 (hot reactor coolant)가 전열관으로 공급되는 고온 영역 (hot leg), 냉각수가 전열관 주위의 순환수와 열교환을 한 후에 전열관을 빠져나오는 저온 영역 (cold leg), 증기 발생기의 중심 부분에 전열관이 꽂혀있지 않는 영역 (Blowdown region; BdL)과 튜브 시트에 꽂혀있는 최외곽 전열관들과 증기 발생기의 안쪽 벽면 사이의 공간인 환형 (annulus) 영역으로 나눌 수 있다 (그림 1 참조).¹⁾⁻¹⁰⁾

이러한 열전달 과정에서 순환수를 공급하는 2차 계통 배관의 이물질과 부식 및 산화로 인하여 슬러지 (주성분: Iron, Fe_3O_4 , Cu, NiO, ZnO, etc.)가 비교적 유속이 낮은 튜브시트 (tube sheet) 상부의 전열관이 밀집된 부분과 전열관 표면에 쌓이게 되는 문제가 발생한다. 고온의 환경에서 이렇게 쌓인 침적물은 화학 반응을 일으켜 점점 딱딱한 고체 침적물로 바뀌게 된다. 결과적으로 이러한 슬러지의 침적으로 인해 전열관의 열전달율이 떨어지고 증기압이 떨어져 출력이 저하되는 문제로 이어지게 된다. 또한 인산이나 염소 등이 슬러지 속에 농축되면 전열관에 부식을 일으켜 전열관 두께가 줄어들거나 입자간 응력 부식 균열 (Inter-Granular Stress Corrosion Cracking)을 초래하여 전열관이 국부적으로 패이는(denting) 현상이 발생하기도 한다. 따라서 이러한 침적물을 주기적으로 제거하여 전열관의 표면을 깨끗하게 유지시켜 줄 필요가 있다.

이를 위해 압력 펄스 방법 (pressure pulse method)^{1), 5)}, 화학적인 세정 방법 (chemical cleansing method)⁵⁾ 및 기계적인 고압수 분사 방법 (high pressure water jetting method)

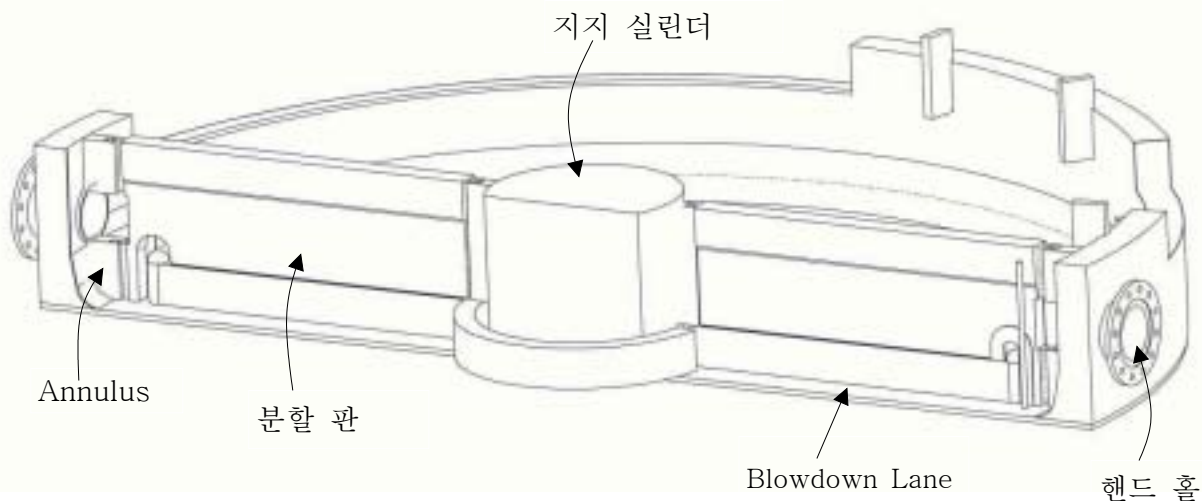


그림 1 울진 원자력 발전소 증기 발생기 내부 구조도

이 ²⁾⁻¹⁰⁾ 사용되고 있다. 압력 펄스 방법은 신속하게 작동하는 밸브를 가진 장비를 증기 발생기에 부분적으로 채워져 있는 물표면 아래에 설치해서 많은 양의 질소 가스를 빠르게 방출하여 물속에 큰 기포를 발생시킨다. 발생된 기포로 주위의 물이 요동치게 되어 튜브 표면이나 튜브 시트 바닥면에 쌓여있는 슬러지가 제거되게 된다. 이 방법은 다루기 쉽고 부드러운 슬러지를 제거하는데 효과가 있지만 딱딱하게 굳어진 고체 슬러지를 제거하는 데는 전혀 효과가 없다. 다음으로 화학적인 세정 방법은 화학 세정액과 슬러지와의 화학 반응을 통해 슬러지를 제거하는 방법이다. 이 경우에는 화학 세정액으로 인해 전열관이 부식될 우려가 있고, 전열관이 밀집된 부분까지 깊숙이 세정액이 침투하기 힘든 문제와 2차적인 방사성 폐기물이 다량 생성되는 문제가 존재한다. 따라서 지금 현재로 기계적으로 고압수를 직접 분사하여 슬러지를 제거하는 고압수 분사 방법이 가장 광범위하게 사용되고 있다.

고압수 분사 방법은 증기 발생기의 BdL을 따른 랜싱 장비 ^{3)-5), 7)-8), 10)}와 환형 영역 ^{2), 6), 9)}을 따른 랜싱 장비로 크게 나누어진다. 전자는 BdL에서 튜브 라인 안쪽으로 직접 분사하는 배럴 스프레이 방식 (Barrel Spray)과 노즐이 부착되어 있는 노즐 헤드 부분을 BdL으로부터 90도 꺾어 튜브 라인의 안쪽까지 집어넣어 슬러지 바로 위에서 분사하는 랜싱 장비 (inter-tube lancing) ^{4), 7), 9)}로 나누어진다. 여기서 환형 영역을 따라 하는 랜싱 작업은 증기 발생기의 구조상 전열관이 삼각형의 배열을 가지고 있는 경우에만 수행가능하다.

문헌에 의하면 증기 발생기의 환형부 (annulus)를 따라가면서 랜싱 작업을 수행하는 대표적인 예는 Creek et al. (1985)이 개발한 장비이다. 이것은 빠른 분리 돌쩌귀 (quick disconnect hinges)로 서로 연결된 세 부분으로 이루어진 이송기 (transporter)를 사용하는 특징을 가지고 있었다. 자세히 검토해 보면 이 장비에는 몇 가지 문제점이 있는 것을 발견할 수 있다. 첫째로 최외곽 전열관들이 어떤 반경을 가지고 있는 한 원상에 균일하게 놓여 있다는 가정 하에 이송기가 고안되었다. 증기 발생기의 실제 상황에서는 이런 가정이 맞지 않다. 그림 1에 보는 바와 같이 최외곽의 전열관들이 들쭉날쭉하게 배열되어 있다. 결과적으로 이송기가 원주 방향으로 이동함에 따라 고압수 노즐 분사 방향이 계속 바뀌게 되어 랜싱하고자 하는 튜브 라인으로 쉽게 고압수를 분사할 수 없게 된다. 둘째로 증기 발생기 바깥에서 이송기의 양쪽에 연결되어 있는 케이블을 끌때 이송기가 전열관의 표면에 접촉한 상태로 원주 방향으로 이동하기 때문에, 양쪽에서 끌어당기는 케이블에 힘의 균형이 깨어지는 경우나 다른 요인으로 인해 랜싱 장비로 전열관의 표면을 상하게 하는 경우가 발생할 수 있다. 실제로 울진 원자력 발전소 내에 랜싱 작업을 수행하는 가운데 전열관의 표면이 상하는 심각한 문제가 발생한 적이 있다. 셋째로 이송기를 전열관과 증기 발생기의 안쪽 면 사이에 정박시켜놓고 랜싱작업을 수행하도록 하기 위해 이송기의 양쪽 부분에 넣었다 뺐다 할 수 있는 봉을 두 개 설치하였는데, 여기에도 문제가 있다. 여기에는 이들 봉이 기대는 증기 발생기의 안쪽 면이 수직이라는 가정이 들어 있다. 그러나, 실제 상황에서는 증기 발생기의 전열관을 잡고 있는 튜브 시트 바닥 면과 증기 발생기의 안쪽 면이 접하는 부분이 곡선으로 되어 있다. 따라서 이들 봉이 이송기를 안전하게 정박시킬 수 없게 되고 랜싱 작업 시 이송기 자체가 반발력을 견디지 못하게 되어 전복되는 사고가 발생할 수도 있다. 마지막으로 이송기가 증기 발생기의 바닥면과 접촉한 상태로 이동하기 때문에, 만약의 경우 바닥 면이 이물질로 인해 고르지 않을 경우, 랜싱 장비를 실은 이송기

가 약간 기울어질 수 있는 문제가 발생하여 랜싱 작업이 불안전하게 진행될 수 있게 된다.

위에서 언급한 문제들을 해결하기 위해서 본 연구에서는 증기 발생기의 바닥 면과 최 외곽 전열관을 접하지 않고 증기 발생기의 환형 (annulus) 영역을 따라 랜싱 작업을 수행할 수 있는 장치를 고안하는 것을 첫 번째 연구 목적으로 잡았다. 여기에 전열관 주위에 고압수가 닿지 않는 그림자 영역 (shadow zone)을 줄이기 위해 BdL을 따라서 90도 뿐만 아니라 30도 및 150도 방향으로도 분사가 가능한 랜싱 장비 동시에 개발하는 것을 두 번째 목적으로 하고 있다. 핸드 홀과 비슷한 높이에 환형 영역을 따라 평행한 두 개의 원형 봉으로 이루어진 안내 지지 레일 (guide support rail)을 설치하여 이것을 따라 랜싱 장비가 이동하도록 하여 랜싱 작업을 수행하도록 한다. 안내 지지 레일은 핸드 홀에서 단단하게 고정되도록 한다. 이렇게 했을 때, 랜싱 장비가 최외곽 전열관의 표면을 접하지 않고 이동하기 때문에 전열관의 표면이 손상될 염려가 없어지게 된다. 그리고 일정한 반경을 가진 안내 지지 레일을 따라 랜싱 장비가 이동하기 때문에 노즐 분사 방향을 랜싱 하고자 하는 튜브 라인들 (tube lane)로 손쉽게 향하게 할 수 있다. 더 나아가 랜싱 장비가 핸드 홀 바깥에 설치되어 있는 모터로 구동되는 드럼에 의해 원주 방향으로 자동적으로 움직이도록 하였기 때문에 랜싱 작업의 효율성을 높일 수 있다.

2. 본 문

2.1 환형부를 따른 랜싱 장비

그림 2는 삼각형 모양의 전열관 배열을 가진 증기 발생기의 환형 영역을 따라서 랜싱 작업을 수행할 수 있는 랜싱 장비를 보여주고 있다. 랜싱 장비는 안내 지지 레일 (guide support rail)과 이것을 따라서 움직이면서 랜싱 작업을 수행하는 랜싱 장비 본체 (lancing body)로 구성되어 있다. 안내 지지 레일은 동일한 반경을 가진 평행한 두 개의 원형 봉으로 이루어져 있다. 안내 지지대 레일은 한쪽 핸드 홀에서 시작하여 전열관 주위를 따라 원주 방향으로 다른 핸드 홀까지 연결되는데, 양 끝은 핸드 홀에서 단단하게 고정되도록 한다. 이것은 랜싱 장비 본체

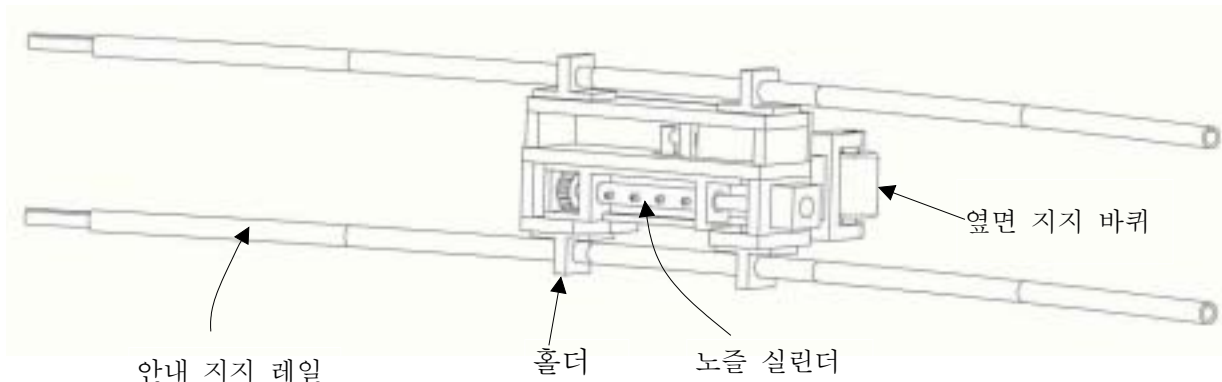


그림 2 증기 발생기의 환형(annulus) 영역을 따라 슬러지를 제거하는 랜싱 장비

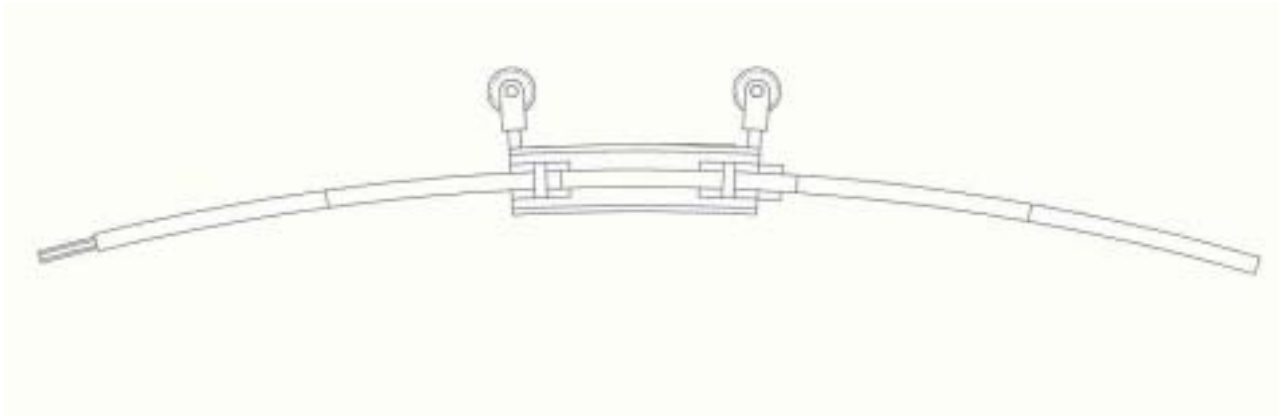
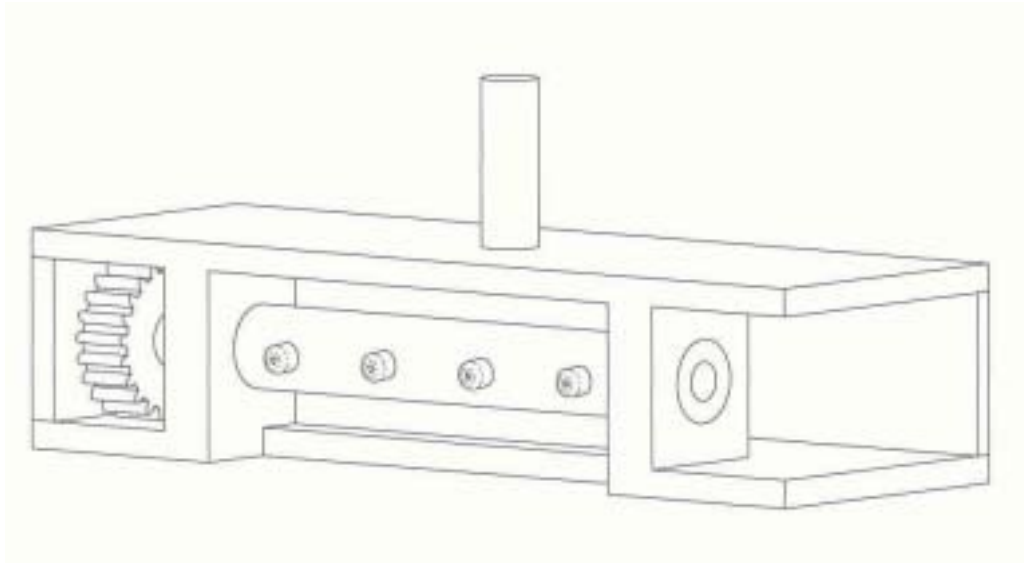


그림 21 그림 2의 랜싱 장비 평면도

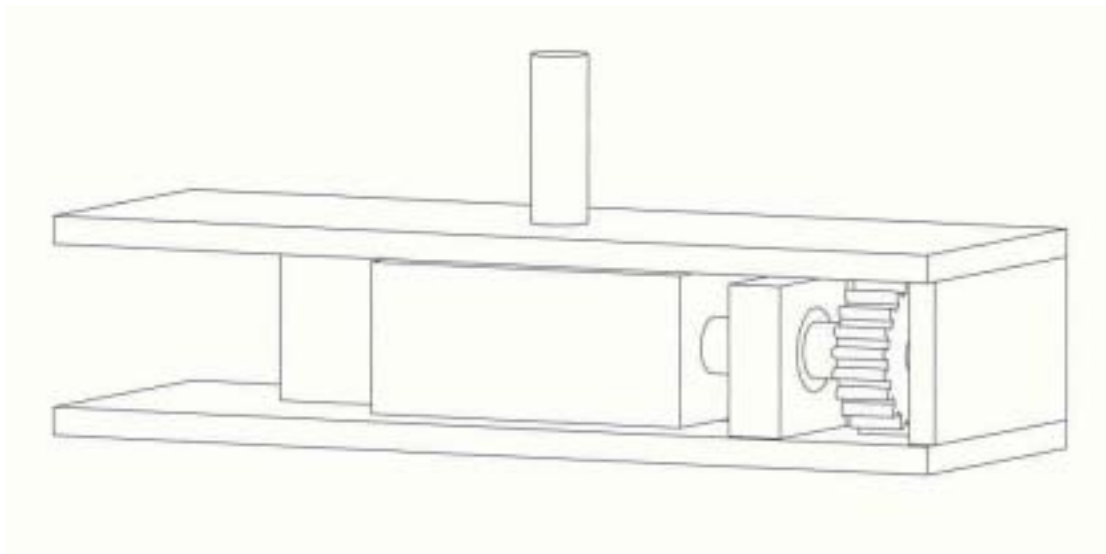
를 환형 영역의 열린 공간에서 지지하는 역할 뿐만 아니라 환형 영역을 따라 랜싱 장비 본체를 이동하도록 안내하는 역할을 한다. 안내 지지대 레일을 삽입하는 핸드 홀의 직경이 유한하기 때문에 (15.24mm 내지 17.78mm), 이것을 일체형으로 해서 증기 발생기 내에 설치할 수 없다. 따라서 이것을 삽입 가능한 크기로 만들어서 핸드 홀에서 조립하여야만 한다. 한쪽 핸드 홀에서 조립된 부분을 다른 핸드 홀까지 이동시키기 위해서는 이것을 싣고 나를 수 있는 소형 짐차 (cart)를 사용한다. 소형 짐차에 연결되어 있는 케이블을 다른 쪽 핸드 홀 바깥에서 끌어당김으로서 조립되고 있는 안내 지지 레일을 다른 쪽 핸드 홀까지 안전하게 이동시킬 수 있다. 여러 부분으로 조립되어 있는 안내 지지대 레일을 일체형으로 묶어 두기 위해 제어 케이블 (control cable)를 안쪽으로 통과시켜 양 끝에 단단하게 고정시킨다. 안내 지지대 레일에 사용되는 원형 봉의 재료는 이것에 매달려 있는 랜싱 장비를 통해 고압수를 분사할 때 발생하는 반발력을 이길 수 있는 높은 경도 (high stiffness)를 가진 것을 사용하여야만 한다.

랜싱 장비 본체는 굽어져 있는 안내 지지대를 따라 부드럽게 이동하도록 하기 위해 안내 지지 레일과 같은 곡률 반경을 가진 굽은 모양으로 설계하였다 (그림 3 참조). 랜싱 장비 본체는 네 개의 고압수 분사 노즐을 가지고 있는 원형 노즐 실린더와 튜브 시트의 바닥 면 전체를 랜싱 하기 위해 이것의 수평축 회전 운동 (sweeping motion)을 할 수 있게 하는 드라이브 기구로 구성된 노즐 블록 (nozzle block), 세정하고자 하는 튜브 라인 쪽으로 노즐 분사 방향을 조정할 수 있게 노즐 블록을 수직축을 중심으로 회전하도록 하는 다른 드라이브 기구와 노즐 블록을 지탱해 주는 지지 구조물 (supporting structure)로 이루어져 있다.

노즐 실린더의 길이와 직경은 주어진 환형 영역에서 노즐 실린더가 자유롭게 회전할 수 있는 범위 내에서 정한다. 노즐 실린더 표면에는 튜브 라인의 피치와 일치하게 네 개의 구멍을 뚫고 이들 구멍에 고압수 분사 노즐을 조립한다. 노즐 실린더는 가운데 부분에 구멍을 뚫어 고압수가 이것을 통해 노즐에 공급되도록 하였다. 노즐 실린더에 고압수를 공급하는 방법으로 노즐 실린더의 회전축을 통해 위로부터 공급되는 것과 랜싱 장비 본체의 옆면을 통해 공급되는 것을 생각할 수 있다. 본 연구에서는 랜싱 장비 본체의 옆면에 고압호수를 부착할 수 있는 어댑터를 설치하고 이것과 노즐 실린더를 쉽게 굽어지는 고압호스로 연결하는 방법을 채택하였다.



a)



b)

그림 4 노즐 블록 구조도. a)정면도, b)후면도.

그림 4에 나타나 있듯이, 노즐 실린더의 수평축 회전 운동 (sweeping motion)을 일으키는 드라이브 기구는 증기발생기의 환형 영역에서 높이 방향으로 주어진 제한된 공간 때문에 노즐 실린더의 옆면에 설치하였다. 드라이브 기구의 구동 모터가 회전 운동을 할 때, 이것과 노즐 실린더의 회전축에 고정되어 있는 기어 쌍을 통해 노즐 실린더가 수평축 회전 운동을 하게 된다. 기본적으로 노즐 실린더의 수평축 회전 각도는 제약을 받지 않지만, 실제 상황에서는 대략

적으로 10도에서 80도 사이로 하면 튜브 시트의 전체 면을 다 커버할 수 있다. 노즐 블록의 수직축 회전은 이것의 수직 회전축과 직각으로 만나는 구동 모터 축을 베벨 기어로 맞물리게 하여 가능하게 하였다. 구동 모터는 노즐 블록을 지지하는 지지 구조물의 윗면에 설치하였다. 랜싱 작업 시 물기가 전기로 작동되는 이들 모터 내로 들어가지 않도록 드라이브 기구들이 설치된 부분은 반드시 밀폐해서 방수되도록 하였다.

그림 2에서 옆면 지지 바퀴 기구 (side wall supporting assembly)를 볼 수 있다. 두 세트가 랜싱 장비 본체의 바깥 면에 고정되어 있는데, 바퀴는 증기 발생기의 안쪽 벽면에 접하도록 되어 있다. 랜싱 작업 시 고압수의 분사로 발생하는 반발력을 증기 발생기의 안쪽 면에서 이것으로 지탱하도록 하기 때문에 안내 지지 레일에 힘이 거의 걸리지 않게 되어 이것의 휘어짐을 방지할 수 있게 된다. 랜싱 장비가 원주 방향으로 이동할 시 증기 발생기의 안쪽 벽면이 고르지 않을 가능성을 고려해서 길이 방향으로 약간의 가변성을 두었다.

랜싱 장비 본체를 안내 지지대 레일에 연결시키기 위해 랜싱 장비 본체의 위와 아랫면에 안내 지지 레일에 끼워지는 홀더 (holders)를 부착하였다. 이 홀더는 안내 지지대 레일을 따라 별 다른 마찰 없이 이동 가능하도록 하였다. 안내 지지 레일을 따라 랜싱 장비 본체를 이동시키기 위해서는 이것의 앞과 뒷면에 끌 수 있는 케이블을 부착하여 이것을 핸드 홀 바깥에 설치된 모터로 구동되는 드럼 끌 수 있도록 하였다. 이렇게 할 때 안내 지지대 레일이 일정한 곡률 반경을 가지기 때문에 랜싱 장비를 원하는 원주 방향의 위치로 이동시켜 원하는 튜브 라인 사이로 고압수를 분사시킬 수 있다. 환형 영역 랜싱 장비를 사용해서 랜싱할 수 있는 영역은

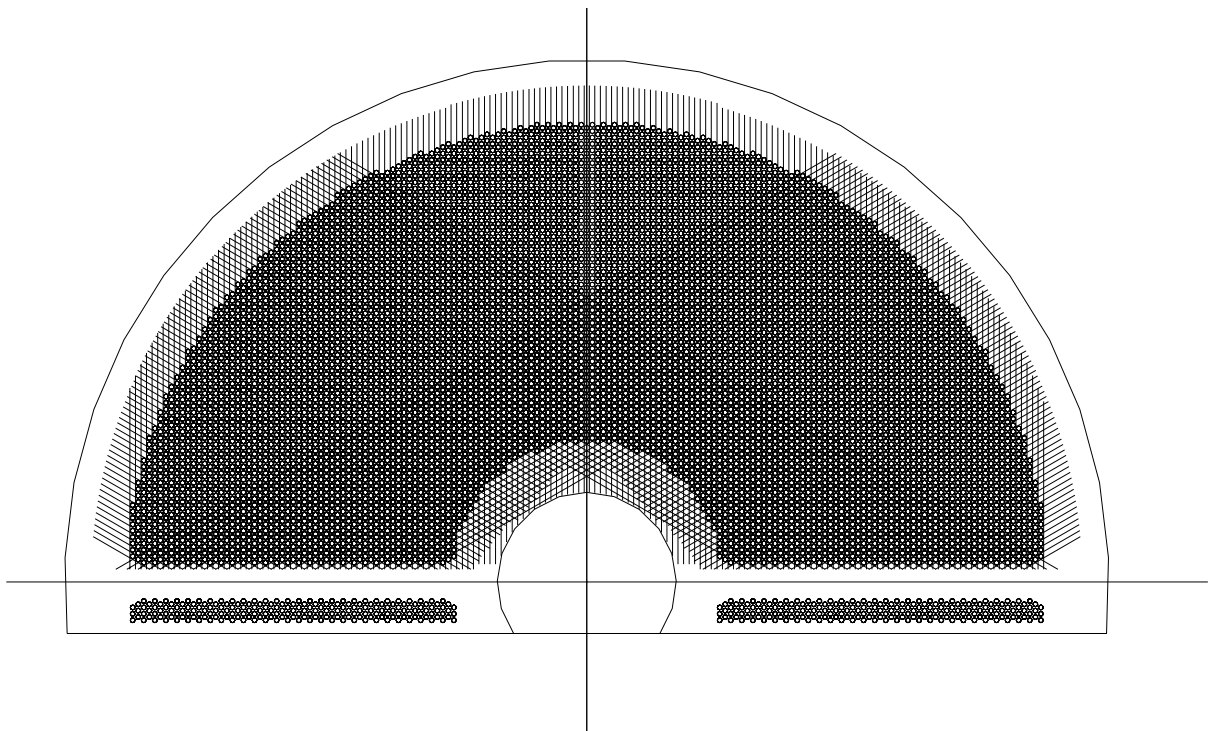


그림 5 BdL 및 Annulus를 통한 랜싱 작업의 영역 표시도

그림 5에 나타나 있는 바와 같이 원주 방향의 위치에 따라 다르다.

2.2 BdL를 따른 랜싱 장비

울진 원자력 발전소의 증기 발생기 내부 구조는 그림 6과 같이 아주 복잡하다. BdL을 따라서는 고온 영역 (hot leg)과 저온 영역 (cold leg)을 나누는 분리판 (economizer divider plate)이 놓여 있고, 중심에는 지지 실린더 (supporting cylinder)가 놓여 있다. 따라서 핸드 홀을 지나 BdL을 따라 접근할 수 있는 넓이는 겨우 30 mm 정도이다. 그리고 랜싱 장비를 지지하는 안내 지지 레일 (guide supporting rail)은 중심에 미치기 전에 지지 실린더 앞에서 이것 주위로 꺾어야만 한다. 그림6에서 안내 지지 레일의 한 쪽은 핸드 홀에서 고정되고 다른 쪽은 지지 실린더 주위까지 설치되어 있는 것을 볼 수 있다. 이것을 따라 랜싱 장비가 이동하며 BdL을 기준으로 30도, 90도 및 150도 방향으로 고압수를 분사할 수 있게 된다.

그림 7는 BdL을 따라 30도 혹은 150도 방향으로 고압수를 분사할 수 있는 랜싱 장비를 보여주고 있다. 이것은 본체와 고압수 공급 튜브와 회전 모터 구동용 모터 박스로 구성되어 있다. 본체에는 노즐 블록의 수평 회전축과 모터의 회전 동력을 이것에 전달해주는 수평 기어 축 (transmission axis)이 고정되어 있다. 수평 기어 축에는 회전 동력 전달용 피니언 기어가 네 개 부착되어 있고, 이것과 노즐 블록의 수평축에 동시에 맞물려 있는 복합 랙 기어 (complex rack gear)를 통해 노즐 블록에 회전 동력이 전달된다. 회전 동력 전달 시 복합 랙 기어는 본체에 파여 있는 홈을 따라 수직 방향으로 직선 운동을 한다. 결과적으로 회전 모터의 구동으로 노즐 블록이 수평축 회전 운동 (sweeping motion)을 하여 튜브 시트의 바닥 면 전체를 커버할 수 있게 된다. 노즐 블록에 30도 각도 간격으로 두 개의 노즐이 꽂혀있는데, 이는 수직 방향으로 주어진 공간상의 제약 때문에 노즐 블록의 수평축 회전 각도를 줄여 본체의 높이 및 복합 랙 기어의 높이를 줄이기 위함이다. 본체의 바닥 면은 노즐의 분사 경로에 해당하는 만큼 절단하였다. 고압수 공급 호스와 모터 박스는 랜싱 장비 본체 앞과 뒤에서 붙일 수 있도록 하였다. 따라서, 증기 발생기의 저온 영역 (cold leg)에서 30도 각도로 랜싱하는 장비를 고온 영

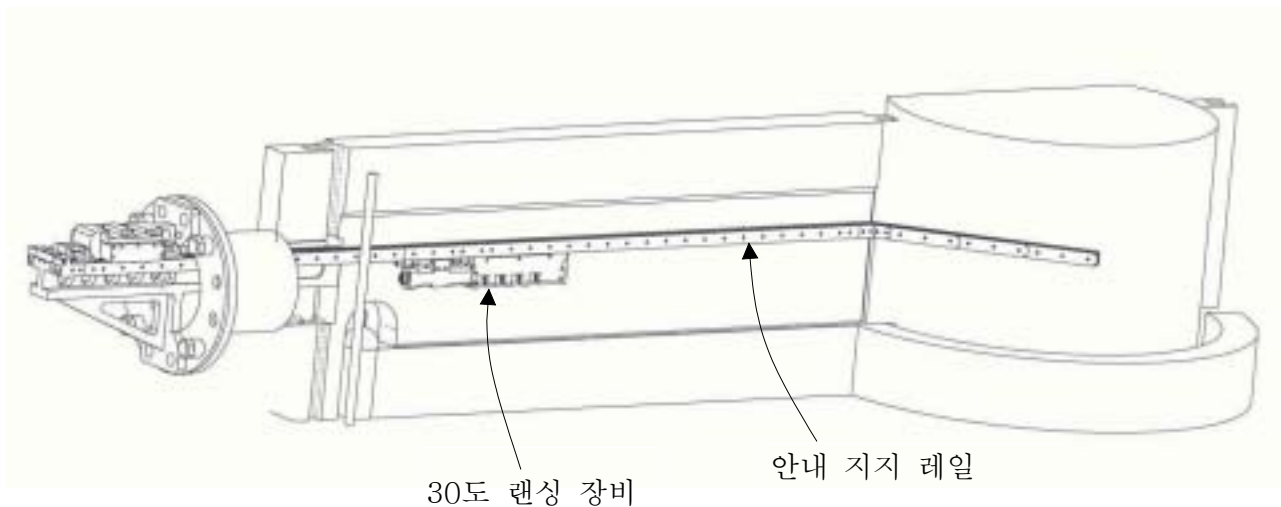


그림 6 BdL을 따라 장착된 안내지지 레일 및 랜싱 장비 구조도

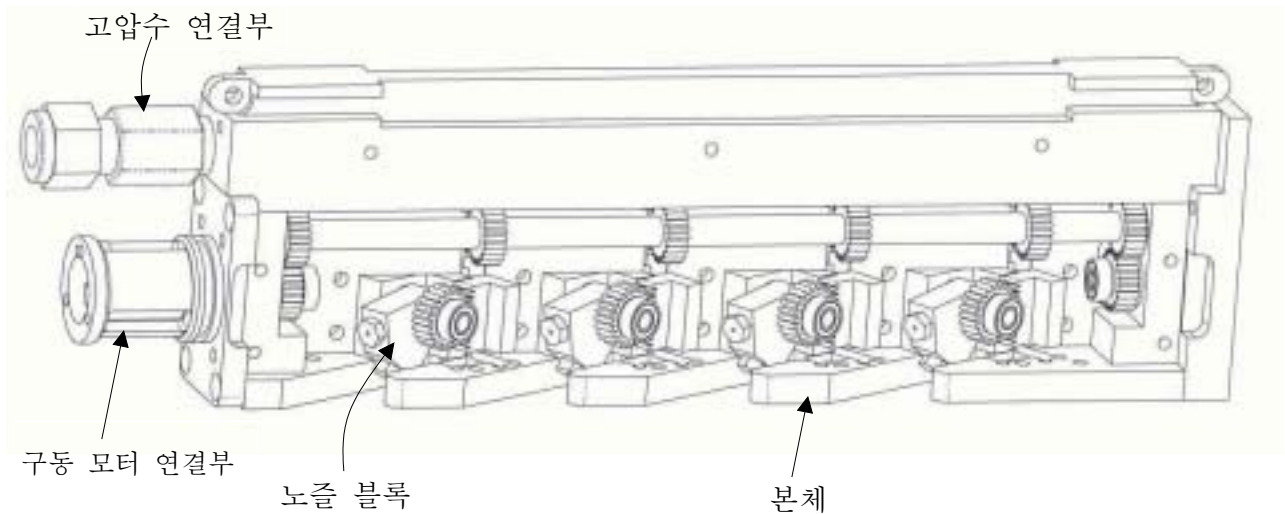


그림 7 BdL를 따라 30도 방향으로 고압수를 분사하는 30도 랜싱 장비

역 (hot leg)에서는 150도 각도로 랜싱하는데 사용할 수 있게 된다. 고압수는 본체의 위쪽에서 공급되어 수직으로 하강하여 노즐 블록의 수평 회전축을 통해 노즐 블록에 전달된다.

본 연구에서는 이와 같은 개념으로 BdL을 따라 30도 및 150도 방향으로 랜싱할 수 있는 30도 분사용 랜싱 장비와 150도 랜싱 장비뿐만 아니라 90도 방향으로 분사하는 90도 분사용 랜싱 장비를 개발하였다. 이들이 커버할 수 있는 랜싱 범위는 그림 5에 나타나 있는 것과 같다. 그리고 앞에서 언급한 환형 영역을 따른 랜싱 장비와 같이 랜싱 작업을 수행할 때 그림 5와 같이 전열관 주위에서 고압수가 닿지 않는 그림자 영역 (shadow zone)이 줄어들게 되어 전열관 표면과 주위에 쌓여있던 대부분의 슬러지를 제거할 수 있게 된다.

3. 결 론

공간상의 제약이 많은 전열관이 삼각형으로 배열되어 있는 울진 원자력 발전소의 증기 발생기를 랜싱할 수 있는 고압수 분사 장비를 개발하였다. 접근할 수 있는 영역이 극히 제한적인 BdL을 따라서 30도, 90도 및 150도 방향으로 랜싱할 수 있는 장비뿐만 아니라 증기 발생기의 환형 영역을 따라서 30도, 90도 및 150도 방향으로 고압수를 분사할 수 있는 장비를 개발하였다. 이렇게 했을 때, 슬러지가 쌓여있는 전열관 주위에서 고압수가 닿지 않는 그림자 영역이 줄어들게 되어 전열관의 열전달율이 높아지는 결과를 가져오게 된다. 그리고 환형부를 따른 랜싱 장비의 경우는 기존의 개념과는 달리 튜브 시트 바닥 면과 최외곽 전열관의 표면과 전혀 접촉하지 않고 안내 지지대 레일을 따라 움직이며 랜싱 작업을 수행하기 때문에 전열관의 표면을 상하게 할 염려가 줄어들게 된다. 그리고 반경이 일정한 안내 지지대 레일을 따라

움직이기 때문에 노즐 분사 방향을 세정하려고 하는 튜브 라인 사이로 쉽게 맞출 수 있게 된다. 결론적으로 본 연구에서 보여준 랜싱 장비를 현장 투입용으로 개발 성공할 때 수입에 의존했던 고가의 랜싱 장비를 국산화하게 되고, 이것들을 유지 보수하는데 있어서도 상당한 경비 절감의 효과가 있을 것이라 기대한다.

4. 참고 문헌

- 1.KRC-92C-J03, 고리2호기 증기발생기 화학세정을 위한 최적공정 확립 연구, 한전기술연구원, 1993
- 2.Steam Generator Sludge Lancing Management, J. C. Lowry, ABB-CE
- 3.Review of Lancing Jet Wear Tests by Foster-Miller, M. H. Hu, Westinghouse, 1991
- 4.CECIL: A Robot for Secondary-side Maintenance of PWR Steam Generators, EPRI NP-5929s, Feb. 1898
- 5.EPRI NP-5563, NDE and Mechanical Removal of Sludge in PWR Steam Generators, EPRI, 1988
- 6.Remotely Operated Maintenance and Inspection Equipment Transporter, R. B. Creek; C. T. Harden and H. H. Harris, US Patent 4515747, 1985.
- 7.Flexible Lance and Drive System, S. K. Ruggieri, S. Jens and R. Sykes, US Patent 5036871, 1991
- 8.Nuclear Steam Generator Sludge Lancing Method and Apparatus, G. R. Muller, S. M. Theiss, J. E. Brown, B. R. Lawson, US Patent 4715324, 1987
- 9.Automated Sludge Lance, J. P. Vandenberg, US Patent 5555851, 1996
- 10.Nuclear Steam Generator Sludge Lance Method and Apparatus, R. A. Shirey and D. E. Murrsy, 1991