

## 유한요소 해석법을 이용한 진원도 보정 장치의 설계 파라메타 검토

### Finite element analysis for determine design parameter

### for pipe alignment apparatus

박 중구\*, 조 시훈\*, 장 태원\*

\* 삼성중공업(주) 생산기술연구소 용접연구

#### 1. 서 론

선박의 의장품으로 사용되는 대형 스테인레스 파이프는 취부 작업이나 용접 시 그 크기 및 무게로 인해 많은 작업 시수와 노력을 요구하고 있다. 또한 작업의 난이도로 인해 취부 정도를 확보하기 어렵고, 이는 최종 품질의 저하를 초래하기도 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 진원도 보정 및 취부 작업성 향상을 위한 장치의 개발이 필요하게 되었으며, 본 연구에서는 진원도 보정을 위한 장치의 설계 단계 및 적용 단계에서 검토한 내용에 대해 기술하고자 한다.

진원도 보정 장치를 설계하기 위해 필요한 파라메타들을 결정하기 위해 유한 요소 해석법을 이용하여 설계 값들을 검토하였다. 초기 진원도가 확보되지 않은 파이프의 진원 보정을 위한 확관 하중을 검토하여 설계 하중 값으로 사용하였으며, tack 용접 및 본 용접 시 용접 수축에 의한 장치의 구조적 안정성에 대해서도 검토하였다. 그리고 tack 용접 간격 및 순서에 따른 영향을 검토하여 작업을 표준화 하였다.

#### 2. 파이프 확관 하중 계산

파이프의 진원도 보정 장치의 확관 장치를 설계하기 위해 확관에 필요한 하중을 계산하였다. 파이프의 용접 전 초기 진원도 오차를 결정하기 위해, 용접 전에 개선 가공이 끝난 파이프들 중에 무작위로 선정하여 파이프의 진원도를 측정하였다. 측정 대상은 24" SCH 10S 파이프로, 측정 결과 진원도는 최대  $\pm 5\text{mm}$ 의 오차를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 강제 하중으로 5mm 늘려진 파이프에 대해 진원으로 확관할 때 필요한 하중을 검토하였다. 확관을 위한 bar는 rigid surface로 가정하여 유한요소 해석 모델링을 하였다. 각각의 확관을 위한 bar는 장치의 원점을 중심으로 방사형으로 움직이며, 파이프와의 접촉 문제를 풀어 bar에 적용되는 하중을 계산하였다. 유한요소 해석을 위해 상용 코드인 MSC/MARC를 사

용하였다.

파이프 확관 하중 계산은 rigid surface의 reaction force를 평가하는 방법으로 계산하였으며, 확관 시 각 bar에 걸리는 하중을 계산하였다. 계산 결과 최초 2개의 바에 의해 확관이 시작되며, 6개의 바가 모두 닿는 경우에는 하중이 급속도로 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 이 결과를 통해 확관 시 6개의 bar가 모두 닿는 것은 확관에 매우 불리한 조건임을 알 수 있었으며, 2개의 bar에 의해서만 확관이 이루어지도록 확관 장치를 설계하였다. 그리고 확관 후 파이프에는 소성 변형이 발생한 구간은 거의 없는 것을 볼 수 있었으며, 확관에 의한 품질 손상의 가능성은 적은 것을 알 수 있었다.

#### 3. 진원 보정 장치의 구조 강도 평가

확관 후 파이프 용접 시 수축 하중이 발생하였을 때 장치의 구조 안정성을 평가하였다. 계산의 효율성을 위해 진원 보정 장치를 원통형 bar로 이상화하였으며, 용접 수축 하중이 확관 장치 및 진원 보정 장치에 미치는 영향을 검토하였다. 파이프 용접 조건은 전류 90A, 전압 11V로 용접 속도는 초당 2mm를 진행하는 것으로 하였다. 용접 열원의 모사를 위해 Goldak의 double ellipsoidal heat input model을 사용하였으며, 초층 용접에 의한 영향만 고려하였다. 유한요소 해석에는 파이프 및 진원 보정 장치 (확관 장치와 진원 보정 장치가 모두 포함된 모델)을 함께 고려하여 해석하였다. 진원 보정 장치는 6개의 bar로 구성되어 있으며, 확관 장치의 굽힘 변형에 의해 진원 보정 장치에 작용하게 되는 하중 값을 검토하여, 설계 하중과의 비교를 통해 안정성을 검토하였다.

파이프 용접 시 확관 장치의 변형 양상을 검토하기 위해, 유한요소 해석 상에서는 확관 장치에 의해 확관 bar와 파이프는 매우 잘 밀착되어 있는 것으로 가정하였다. 용접 수축에 의해 진원 보정 장치는 약 0.4mm의 굽힘 변형이 발생하며,

이로 인해 압축 및 인장 하중을 받게 되나, 그 영향은 적은 것을 알 수 있었으며, 따라서 용접 시 작용하는 수축 하중은 장치의 구조 안정성에 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 해석 결과 전체적으로 40kg 이내의 하중이 장치에 작용하고 있으며, 이는 장치의 설계 하중에 비해 작은 값으로, 초층 용접에도 구조적으로 안정함을 알 수 있었다.

#### 4. Tack 용접 변형 해석

파이프의 본 용접 전에 fit up을 위해 tack 용접을 하며, tack 용접에 의해 강성이 확보되면 용접 수축 변형을 억제하는 역할도 한다. Tack 용접의 개수가 작으면, tack 용접 간의 길이가 길어져, 본 용접 중 발생하는 수축 변형에 의해 더 이상 용접 진행이 불가능 한 상황이 발생할 수 있다. 그리고 tack 용접의 개수가 많아지면 작업 효율이 저하되는 단점이 있다. 따라서 효율적인 작업을 위해 최소 tack 용접 개수와 위치, 그리고 순서를 결정하여 표준화된 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 해석적으로 검토된 작업 방법을 장치 작업 순서에 적용하여 tack 용접 방법을 표준화할 수 있다.

우선, tack 용접을 하였을 때 발생하는 수축 변형 및 반대편의 벌어짐 값에 대해 검토하였다. 1 point의 tack 용접에 의해 용접 부 근처에서 약 1mm의 수축이 발생하며, 반대편에도 약 1mm의 벌어짐이 발생한다. 초기 root gap은 용접봉의 직경보다 커서 초층 용접이 가능하지만, tack 용접 및 본 용접에 의해 수축이 발생하여 root gap이 용접봉의 직경보다 작아지면 더 이상 용접 진행이 불가능하게 된다. 따라서 이러한 용접 수축 현상을 고려하여 tack 용접의 간격 및 순서를 결정하여야 한다.

일반적인 작업 조건인 root gap이 5mm 일 때 tack 용접을 8구간의 등 간격으로 나누어 실시하는 경우의 해석 결과, tack 용접 후 본 용접에 의해 최대 1mm의 수축 변형이 발생 하는 것을 알 수 있으며, 이 결과를 통해 초기 root gap이 5mm 이면 8point 이상의 tack 용접이 필요함을 알 수 있다. 그러나 개선 가공의 부정확도에 의해 root gap이 달라질 수 있으므로, 최소 root gap인 3mm인 경우를 검토하였으며, tack 용접 point는 12개로 하였다. 해석 결과 tack 용접 후 본 용접 시 tack 용접이 된 구간을 따라 0.4mm의 수축이 발생하는 것으로 나타났다. 용접봉의

직경이 2.5mm이므로 초층 용접이 가능하지만, 전체적으로 3mm 이상의 root gap을 요구하는 것을 알 수 있다.

Tack 용접 순서의 표준화를 위해, 용접 순서의 영향을 유한요소 해석을 통해 평가하였다. Tack 용접 순서를 무시하고 아래에서 위로 순차적으로 용접한 경우는 최대 1mm 이상의 수축 변형이 발생하고 있으며, 순서를 지킨 경우의 0.4mm 수축 발생에 비해 매우 큰 변형이 발생하고 있음을 알 수 있다. 본 해석에서 용접 순서를 결정하는 방법은 한 쪽 방향을 용접하여 강성을 확보한 뒤 맞은편을 용접하여 점차적으로 파이프 전체의 강성을 확보하는 방향으로 결정하였다. 이러한 순서를 무시하면 용접 수축이 한 방향으로 집중되어 매우 큰 변형을 발생 시킬 수 있음을 알 수 있다. 이러한 해석 결과를 종합하여 tack 용접 작업을 표준화 할 수 있었다.

#### 5. 결론

파이프 진원도 보정 장치의 tack 용접 및 초층 용접에 의한 구조 강도 평가를 통해 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 파이프의 진원 보정 확관을 위해 필요한 하중을 검토하였다.
- 2) 파이프 용접에 의해서도 장치는 구조적으로 안정함을 알 수 있었다.
- 3) tack 용접의 순서 및 개수를 결정하여 tack 용접 작업을 표준화 하였다.