

유압용 flange와 pipe 간의 적정 용접 설계

A proper weld design for a pipe to flange joint used for a hydraulic line

송민철, 신상범, 윤중근
현대중공업(주), 산업기술연구소

1. 서론

선박의 건조 과정에서 의장 공정에는 다양한 유압시스템이 포함되며, 이러한 유압 시스템을 구성하는 유압 line은 주로 pipe에 flange를 용접하여 flange들을 상호 bolt체결함으로써 연결된다. 이러한 flange는 대부분 JIS나 ASME 등에서 규정된 제품이 사용되나, pipe와 flange간의 정확한 용접부의 크기나 형태 등은 생산성 향상과 작업 조건 등을 고려하여 설계자에 의하여 결정된다. 이에 따라 조업중 종종 pipe와 flange간의 용접부에서 파손이 발생되어 지고 있어 이에 대한 용접 설계기준을 명확하게 정립하여야 할 필요성이 대두되었다. 또한 현재 적용되고 있는 용접부 설계 기준은 주로 사용압에 대한 정적 강도이므로, 설계시 유압의 변동에 따른 피로 강도측면에서의 고려도 함께 수반되어야 하겠다.

따라서 본 연구에서는 유압용 socket type flange 를 대상으로, 용접부의 정·동적 강도에 미치는 용접 설계 즉, 용접부의 기하학적 형상에 대하여 유한요소법을 이용하여 평가하였다. 본 연구에서 고려한 기하학적 형상은 용접부의 개선 형태, pipe 와 flange 사이의 gap 크기 및 용착 금속의 목두께등 이었다. 용접부의 피로강도는 피로균열 발생 수명 측면에서 평가함으로써, 유압용 socket type flange 에 대한 용접부 설계 기준을 정립하고자 하였다.

2. 해석 방법

Flange 와 pipe 용접부에서의 응력 분포를 평가하기 위하여, 20절점 등매개 요소를 사용하여 3차원으로 대상부위를 모델링하였다. 용접부와 pipe는 중심축에 대하여 대칭인데 반해 flange는 중심축에서 4분면에 대하여 대칭이므로 전체의 4분의 1만을 모델링하였다. 일차적으로 3차원 모델에 대하여 탄성 해석을 수행하여 용접부에서의 응력 분포 및 최대 응력 발생부를 선정하였다. 이차적으로 최대 응력 발생 단면을 축대칭 요소를 사용하여 재 모델링하였는데, 응력 집중부는 요소의 크기를 더욱 세분화 시켜 가면서 얻어지는 해석결과의 수렴성을 조사하여 적정요소망을 구성하였다. 응력 집중부인 용접 root부는 반지름 0.05mm의 fillet 으로 가정하였으며, 응력 집중부에서 소성 거동 발생 여부등 더욱 정확한 응력상태를 알기 위하여 탄소성 해석을 수행하였다. 하중

조건은 320 kgf/cm²를 가하였으며, 구속조건으로는 Fig. 1과 같이 pipe의 경우 축방향으로 무한히 긴 것으로 가정하고 평면변형율(plane strain) 조건을 적용하였으며, flange의 경우 Y축에 대해 대칭이므로 대칭 경계 조건을 적용하였다. 해석시 변수로 한 것은 용접부의 개선 형태, pipe 와 flange 사이의 gap 크기 (d1, d2) 및 용착 금속의 목두께 (w) 등 이었다.

피로수명 평가는 식 (1) 즉, strain-life 관계를 이용하여 평가하였는데, 식 (1)에서 필요한 물성치는 본 연구에서 다루는 재료와 기계적 물성이 흡사한 재료를 선택하여 사용하였다.

$$\epsilon_a = \frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{\sigma_f'}{E} (2N_c)^b + \epsilon_f' (2N_c)^c \quad (1)$$

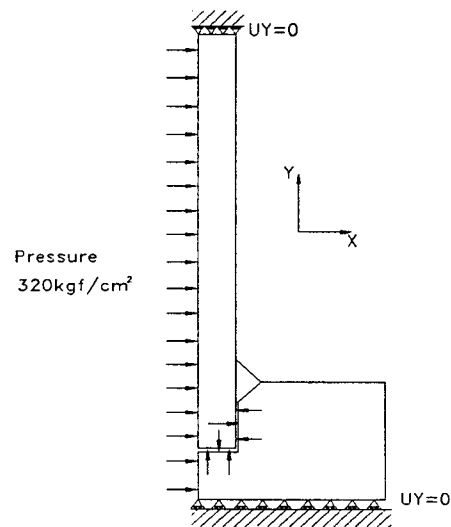


Fig.1 하중 조건과 구속 조건

3. 결과 및 고찰

Flange와 pipe 간의 용접부 (목두께=pipe 두께, $d_1, d_2=0.25\text{mm}$, 개선 = 45°) 에서의 응력분포를 평가한 결과, 용접부에서는 항복강도보다 매우 적은 응력이 작용되고 있으며 용접부 목두께 영역에서의 평균 Von-Mises 응력은 약 8 kg/mm^2 이었다. 그러나 용접 root 부에서는 응력집중이 크게 발생되어 항복 강도이상의 응력이 작용되고 있다.

용접부에서의 평균 Von-Mises 응력과 국부응력에 미치는 용접 목두께 (w)의 영향을 평가한 결과, 그림2에서 보여주듯이 용접 목두께가 증가할수록 평균 응력값은 반비례적으로 감소되고 있다. 용접 root 부에서의 응력값의 경우 탄성해석 결과에서는 목두께의 증가에 따라 감소되나 그 값이 재료의 인장강도값을 훨씬 상회하고 있어 공학적인 의미가 없다고 하겠다. 그러나 탄소성 결과를 살펴보면, 용접 목두께의 증가에 따른 응력 변화거동은 크게 없으나 소성역의 크기는 증가되었음을 알 수 있었다. 한편 그림 2와 3에는 용접부에서의 응력분포에 미치는 용접부 개선 형상의 영향 즉, 45° single bevel형과 곡선 개선별 용접부의 응력 변화를 보여 주고 있다. 용접부 평균 Von-Mises 응력값의 경우에는 상호 차이가 없으나, 용접 root부 에서의 탄소성해석 결과에 의한 응력값은 큰 차이를 보이고 있다. 즉, 곡선 개선된 용접부에 작용되는 응력이 45° single bevel형 의 경우 보다 상당히 큰 것을 보여 주고 있다. 이는 곡선 개선된 용접 root부에 발생된 소성변형이 항복강도가 상대적으로 높은 용착금속으로 발전되기 때문이다. 한편 용접부의 응력 상태에 미치는 pipe 와 flange간의 gap 크기의 영향을 평가한 결과, gap 크기가 증가됨에 따라 평균 Von-Mises 응력은 약 5%정도 증가하였으나 목두께의 증가에 따른 응력 증가 효과와 비교할 때 미미하였다. 한편 피로 균열의 발생 특성은 전술된 응력해석 결과에서 보여 주듯이 root 부에서는 소성영역이 발생되므로 strain 변화에 지배를 받게 된다. 피로 수명예측과 전파거동에 대해서는 학회에서 상세하게 보고 하겠다.

4. 결론

- 1) 유압용 flange와 pipe 간의 용접부의 정적 강도는 용착 금속의 단면적 (목두께) 에 크게 지배를 받으나 용접부의 개선 형상이나 pipe 와 flange 간의 gap 크기에는 거의 영향을 받지 않는다.
- 2) 유압용 flange와 pipe 간의 용접부의 피로 특성은 최대 응력이 발생된 root 부에서의 소성 상태에 의존된다.

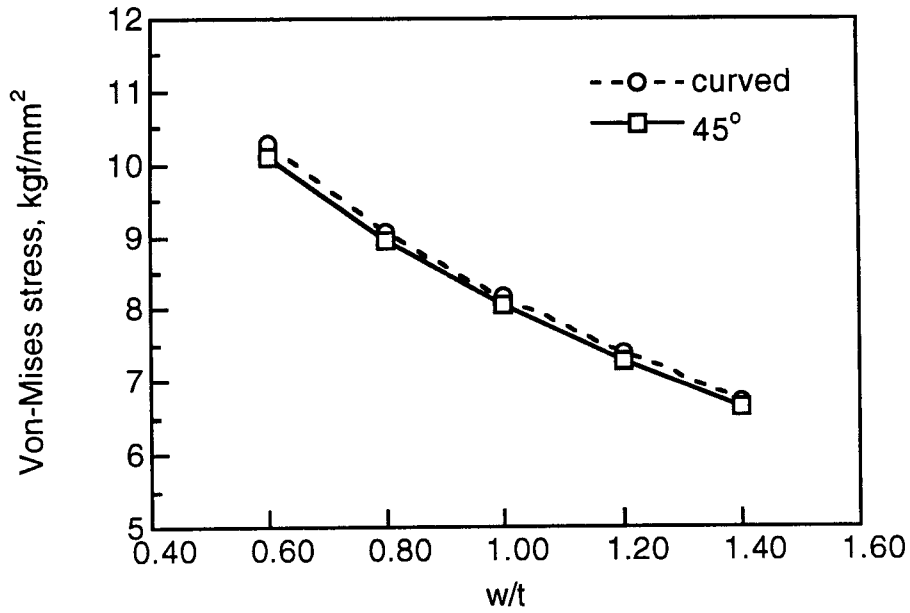


Fig. 2 Effect of w/t on the mean Von-Mises stress

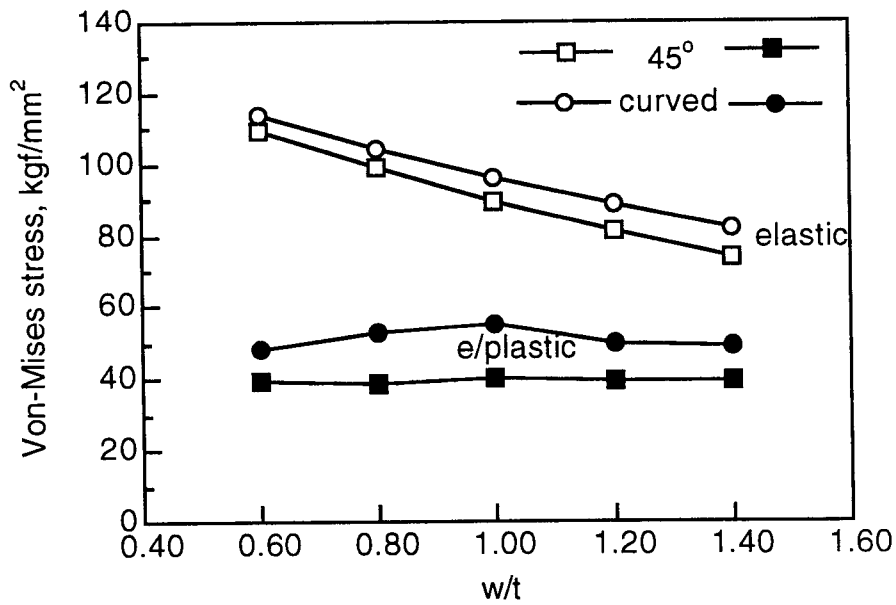


Fig. 3 Effect of w/t on the local Von-Mises stress