

실하중조건에서 Lifting Lug의 용접부 강도해석

대우조선공업(주) 이만승
대우조선공업(주) 강중규
대우조선공업(주) 한종만
대우조선공업(주) 한용섭

1. 서론

선박 건조공정에서 선체 Block의 운반 및 Turn Over는 필수적인 공정이 되고 있으며, 이 공정을 수행하는데 필요한 Jig로는 Block에 부착되어 하중을 분담하는 역할을 하는 몇가지 형태의 Lifting Lug가 있다. 만일 탑재단계에 이른 Block이 Lifting Lug 용접부의 파단으로 인해 손상된다면 안전과 공정상에 있어서 큰 손실이 된다. 그러므로, Lifting Lug의 강도와 적절한 배치는 매우 중요한 문제가 된다.

본 연구에서는 파손 사례가 발생한 Lifting Lug 형상에 대해 설계변경을 하였고 기존 Lifting Lug와 개선된 Lifting Lug에 대해서 유한요소법에 의한 탄소성 해석을 수행하여 형상에 따른 최대응력을 평가하였고, 또한 실구조물 실험을 통해서 Lifting Lug 형상에 따른 용접부의 강도를 평가하고 개선된 Lifting Lug의 하중분담 능력을 검토하였다.

2. Lifting Lug 용접부의 탄소성 해석

실제로 조선 Block의 Turn Over시에는 매순간마다 작용하중의 방향이 달라지게 되나 본 해석에서는 Lifting Lug 용접부의 끝단부에 응력집중을 일으키는 원인이 되는 Side Force가 실작업시의 제한 각도인 30° 방향에서 작용할 때를 대상으로 하여 Fig.1과 Fig.2와 같이 Modeling하고 ANSYS Reversion 4.4를 사용하여 3차원 탄소성 유한요소 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 기존 모델(40t)에 대해 개선 모델(40t)은 Bracket와 Double Plate가 더 커지고 Bracket이 앞쪽으로 당겨서 Double Plate위에 부착되고 용접되는 Round부분의 반경이 더 커졌다. 탄소성 해석시 사용된 재료특성은 연강에 대해 아래 식과 같이 가정하였다.

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n$$

여기서, $n = 0.26$ (0.05% C-Steel, Annealed)

$K = 77,000$ psi

기존 모델과 개선된 모델에 대해 하중을 100kN부터 단계적으로 500kN까지 적용하였을 때 Lifting Lug에 작용하는 최대 유효응력을 Fig.3에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 것과 같이 해석 결과에 의하면 개선 모델은 기존 모델에 비해 500kN에서 최대 유효응력을 $10\text{kg}/\text{mm}^2$ 정도 적게 받는 것을 확인할 수 있다.

3. Lifting Lug의 실구조물 실험

실험에서는 기존 모델(40t)와 개선 모델(35t, 45t)을 실제와 동일한 크기로 제작하고 Side Force는 두께방향으로 30°, 길이방향으로 17°의 각도로 인장하중을 600kN까지 부가하였으며 응력집중 부위에 Strain Gage를 부착하여 각 50kN 마다 Strain을 측정하였다.

실험결과 기존 모델의 경우 400kN부근에서 Lifting Lug 앞부분에 큰 변형이 발생하였으며, 앞부분 용접부위에 Crack이 발생하여 Double Plate 부착위치까지 전진하였다. 개선 모델의 경우 Fig.4에서 나타낸 것과 같이 35t, 45t 모델 모두 Strain 값이 300kN부근에서 소성변형이 시작되는 것으로 나타나고 있으며 300kN 이상의 하중에서는 35t 모델 쪽의 소성변형이 더 커짐을 알 수 있다. 결국 같은 하중의 작용 후 잔류 Strain은 35t 모델이 더 크게 되며, 그로 인해 45t 모델보다 더 작은 하중에 의해서도 파

단될 수 있다.

기존 모델이 개선 모델(35t, 45t)에 비해 작은 하중 하에서 큰 변형을 일으키는 것은 기존 모델의 설계가 두께방향으로 30° 정도의 각을 가진 하중에 의한 Moment에 충분한 저항을 갖지 못했기 때문이다. 즉, 개선 모델(35t, 45t)처럼 Double Plate가 충분히 길어 응력을 Bracket에서 분담할 수 있어야 하나, 짧은 Double Plate에 의해 Lug의 앞부분에서 거의 모든 하중을 받아주므로 과도한 응력 집중이 발생하게 된다. 그리고 Bracket의 위치가 개선 모델(35t, 45t)처럼 앞 부분에 가까이 있지 못해 하중을 거의 받아주지 못하고 있다.

4. 결론

선박건조 공정에서 선체 Block을 운반 및 Turn Over할 때 사용되는 Lifting Lug를 설계 변경하기 위해 유한요소법으로 3차원 탄소성 해석을 하고 또한 실구조물 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존 모델의 경우, 짧은 Double Plate와 Bracket은 응력집중부에서 비교적 멀리 떨어져있는 관계로 Lifting Lug 앞부분에 걸리는 응력집중의 분산에 거의 도움을 주지 못하고 있으며, 실구조물 실험에서도 인장하중 400kN에서 용접부에 Crack이 발생하고 진전하여 파단되었다.

2. 개선 모델(35t, 45t)의 경우, 해석 결과에 의하면 개선 모델은 기존 모델에 비해 응력집중부에서 최대 유효응력을 10kg/mm² 정도 적게 받고 있었으며, 실험결과에서도 600kN까지 파단되지 않음을 알 수 있었다. 또한 35t와 45t 모델의 실험비교에서는 두 모델 모두 300kN 정도에서 소성 변형이 발생하므로 300kN 이하의 하중에서 사용하는 것이 바람직하다.

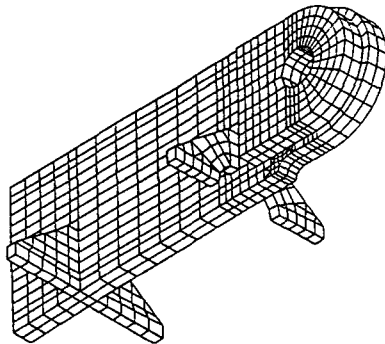


Fig.1 Finite Element Model for Present Lifting Lug

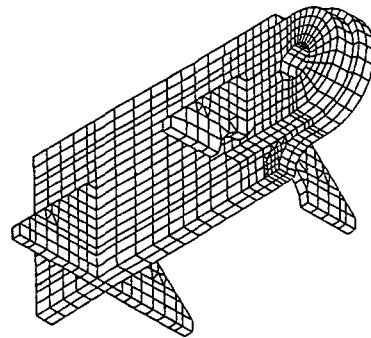


Fig.2 Finite Element Model for Modified Lifting Lug

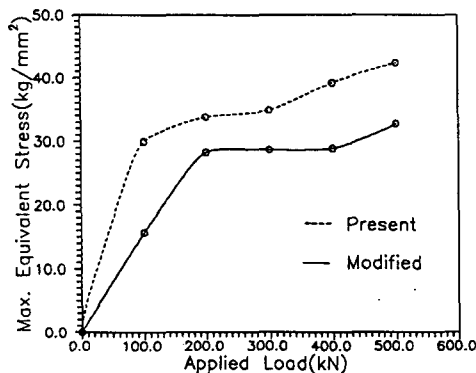


Fig.3 Maximum Equivalent Stress - Applied Load Relation in the Present & Modified Lifting Lug

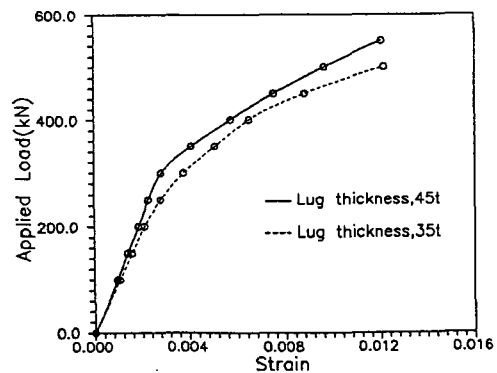


Fig.4 Applied Load - Strain Relation according to the Lifting Lug Thickness(35t, 45t)