

Deck-house block 용접부 파단 원인 분석

Failure analysis of the weldment in deck-house block

김유일, 강중규, 권순창

대우조선해양 선박해양기술연구소 시험평가연구팀

1. 개요

대형 유조선에 탑재되는 deck house block을 운반하는 도중에 lug를 부착한 위치에서 과도한 하중에 의해 deck house의 외판이 파단되는 사고가 발생하였다. Photo 1은 lug를 부착한 부위의 상세형상과 파단이 발생한 부위를 나타낸다. 탄소성 대변형해석과 파괴역학 해석을 통해 block의 파단원인을 분석하였다.

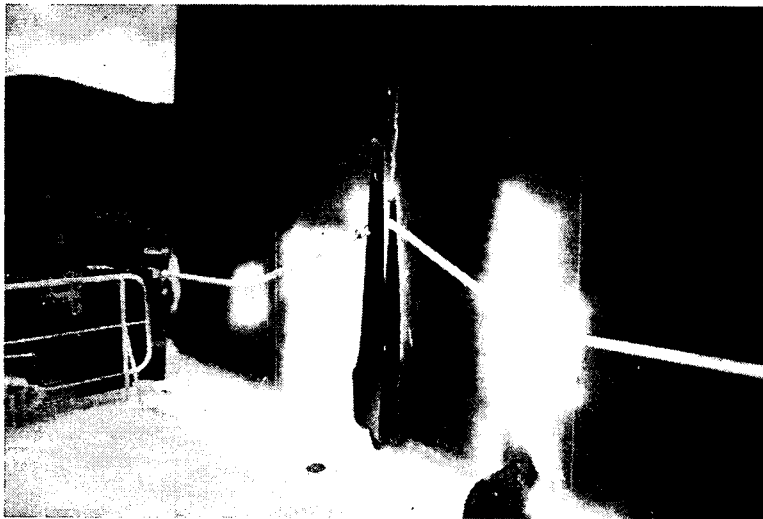


Photo 1 파단이 발생한 block

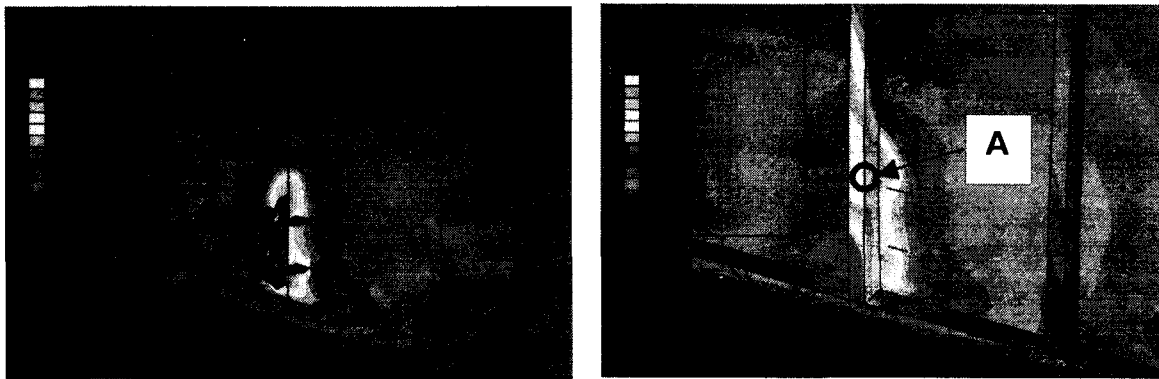
2. 강도해석

재료의 파단은 과도한 소성영역의 생성으로 인한 소성붕괴, notch로부터 시작되는 취성 혹은 연성 파괴 중의 한 형태로 나타나는 것이 보통이며, 대부분의 경우 용접부 notch로부터 시작되는 취성 및 연성 파괴가 일반적이다. 좌굴에 의한 파괴는 소성붕괴의 대표적인 양상인데, 이는 설계단계에서 충분한 해석을 거쳐 부재의 치수가 결정되므로 크게 문제가 되지 않는 것이 일반적이다. 그러나 용접부에서 발생하는 파괴의 경우는, 용접작업 시에 발생하는 여러가지 예측 불가능한 요인으로 인한 불확실성 때문에 정확한 강도해석이 힘들 뿐만 아니라, 제작 시에 설계와는 다른 여러가지 제작오차가 발생할 가능성이 훨씬 높아 파괴의 위험에 보다 더 노출되어 있다고 볼 수 있다. 본 보고서에서는 block lifting 시에 발생할 수 있는 파괴의 양상을 앞서 언급한 두가지 경우로 나누어 각 경우의 파단 발생 가능성을 검토하였다.

2.1 소성 붕괴

Deck house는 선체에 작용하는 하중을 견디어 내는 구조부재가 아니므로, 선체의 다른 부위에 비해 상대적으로 얇은 판으로 구성되는 것이 일반적이다. 이와 같이 박판으로 구성된 block을 lifting하는 경우에는 lug에 작용하는 하중에 의해 구조적으로 취약한 deck house가 과도한 소성변형을 겪게 될 가능성이 상대적으로 높다. Lifting lug에 의해 전달되는 하중이 얇은 판 및 보강재로 구성된 국부 영역에 전달되므로, lug의 부착위치는 신중히 결정되어야 하며, 강도가 부족하다고 판단되는 경우에는 추가적인 보강재를 설치한 후 lifting작업을 수행하는 것이 바람직하다. 특히 deck house block의 경우 용접 변형을 방지하기 위해 일면 용접이 적용되는데, 이 때 생기는 비 용입부는 큰 하중 하에서 불안정 급속 파괴를 야기할 수 있는 요인이 되므로 lug부착위치 결정 시에 반드시 고려해야 한다.

먼저, lifting에 의한 소성붕괴의 가능성을 검토하기 위해 탄소성 대변형 해석을 수행하였다. 재료의 항복응력은 25 kgf/mm²로 가정하였으며, Mises-Hill의 탄소성 rule을 적용하였다. Fig.1은 shell의 mid surface에서의 등가응력의 분포를 나타낸다. 회색으로 표시된 부분은 항복응력을 초과하여 항복이 일어난 영역을 나타내며, 나머지 부분은 아직 항복에 도달하지 않았음을 나타낸다. Lug가 부착된 이면의 stiffener에 상당부분의 소성영역이 발생함을 확인할 수 있는데, 이는 stiffener의 복합적인 굽힘 거동으로 인한 결과라 생각된다. 최대응력이 발생하는 지점은 Fig.1 (b)에 표시된 A지점으로 실제로 파단이 시작된 것으로 추정되는 지역과는 일치하지 않는다. 이는 과도한 소성변형이 모재의 파단을 가져올 만큼의 크기는 아니라는 사실을 입증해주는 결과이다. 결론적으로, lifting에 의해 상당부분의 영역이 항복을 하였으나, 이러한 국부적인 소성변형이 구조물의 소성붕괴로 이어졌을 것으로 생각되지는 않는다.



(a) Lug 쪽에서 바라본 경우

(b) 이면에서 바라본 경우

Fig.1 등가응력 분포

2.2 파괴

비용입부와 같은 notch를 포함하고 있는 용접부에 과도한 하중이 작용하게 되면, 균열과 같은 역할을 하는 notch의 선단으로부터 불안정한 급속 파단이 발생하게 되는데, 이를 일반적으로 파괴(fracture)라고 부른다. Fig.1에 보인 바와 같이 lug와 외판이 만나는 교차부에 상당히 높은 응력이 작용하고 있는데, 이는 이면에 부착된 stiffener와 외판사이의 일면 필렛 용접부의 비용입부에 의한 파괴를 초래할 가능성이 높다. 필렛 용접부의 비용입부를 이상적인 균열이라는 가정하에 파괴역학적

해석을 통해 *lifting* 시의 파괴여부를 검토하였다.

Fig.2는 *lug* 부착위치 이면 *stiffener* 용접부위에 존재하는 비용입부의 형상을 나타낸 그림이다. *Stiffener*의 두께는 7mm이며, 비용입부는 6mm 정도로 가정하였다. Fig.3은 파괴역학 해석을 위한 유한요소모형을 나타낸다.

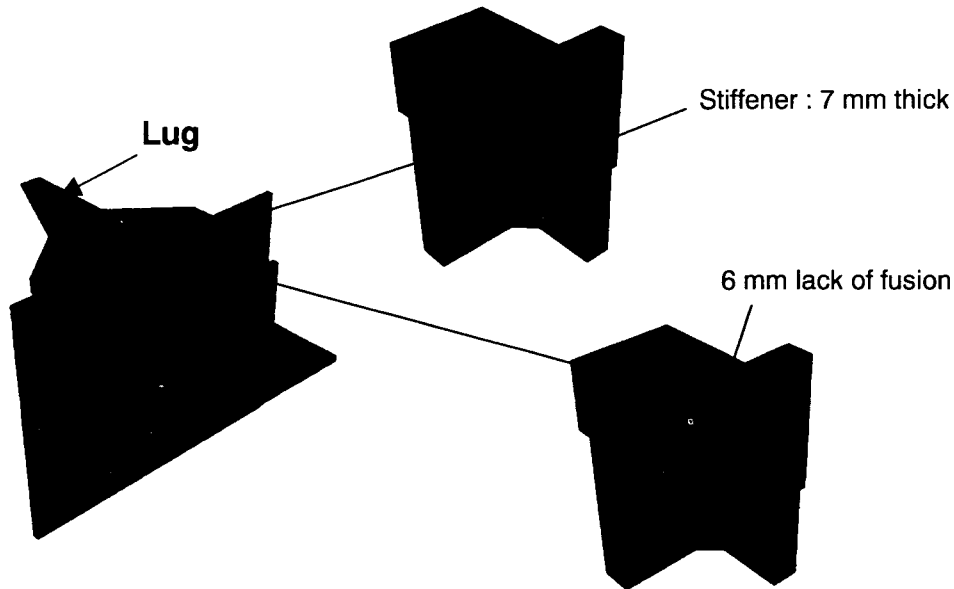


Fig.2 이면 용접부 상세 형상

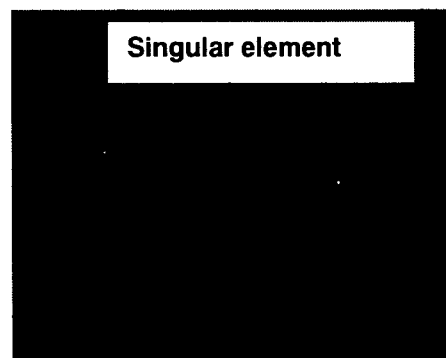


Fig.3 유한요소 모델

Fig.4는 *notch tip*을 따라 분포하는 에너지 해방을 값의 분포를 나타낸다. 그림에 보인 것처럼 이면 보강 용접을 한 경우와 보강을 하지 않은 경우는 각각 임계값의 위와 아래에 위치하여, 보강을 하지 않은 경우 파괴의 확률이 매우 높음을 확인 할 수 있다. 실제로 사용된 파괴인성치는 실험을 통해서 구해질 수 있는데, 실험의 결과로부터 얻어지는 값 자체가 너무 *scatter*가 심하여 명확한 값을 규정하기는 힘들다. 여기서 사용된 파괴인성치는 실험치 중 최소값을 취한 것이다.

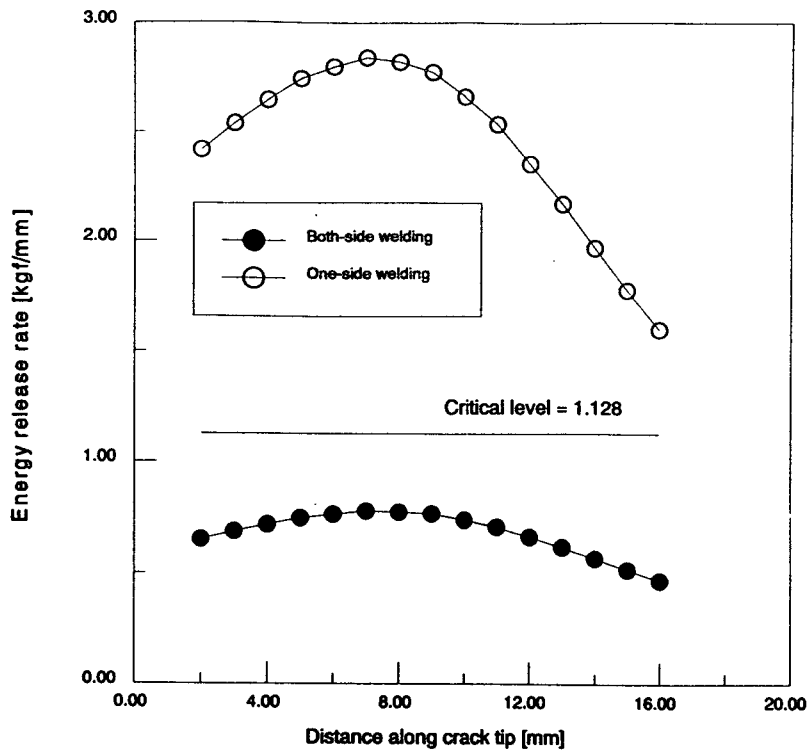


Fig.4 에너지 해방율 및 임계값

3. 결론

소성붕괴 및 파괴의 관점에서 구조물의 거동을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- Lug에 전달되는 최대 50 ton의 하중은 lug주위에 상당부분의 소성영역을 발생시키나, 이러한 항복이 구조물 전체의 소성붕괴를 야기하지는 않는다. 그러나, 하중을 제거한 후에 상당량의 잔류변형을 유발하므로, lug의 위치선택에 문제가 있는 것으로 판단된다.
- Lug부착 이면에 보강용접을 하지 않은 경우, 보강용접을 한 경우에 비해 파괴강도가 상당히 떨어짐을 알 수 있으며, 50 ton의 하중이 작용한 경우라면 보강용접을 한 경우에 파괴가 일어날 가능성은 거의 없다고 판단된다.

참고문헌

- [1] R.W.Hertzberg, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, John Wiley & Sons, 1996.
- [2] D.J.Howarth, P.H.Pumphrey, *Fracture Mechanics Application*, LR Technical Association, 1997-1998.