

보강재 배치 및 스킨랩 형상에 따른 slot 구조의 피로수명 (Effect of Stiffener Arrangement and Scallop Radius on Fatigue Life of Slot Structure)

김현수, 황주환, 윤중근
현대 중공업(주), 산업기술연구소

1. 서론

근래 보고되는 선박에서의 손상은 대개 피로균열 발생에 기인된 손상으로서, 이는 선박이 운항중 파도, 엔진 진동과 같은 다양한 외력을 반복적으로 받음에 따라 구조적 불연속부나 용접부와 같은 응력집중부에서 발생하는 것이다. 특히 피로손상의 50% 이상이 slot 구조부에서 발생하고 있으며, 또한 최근 해양오염 방지를 위한 이중 선체구조의 적용으로 slot 구조부가 크게 증가되어 이에 대한 피로수명의 충분한 확보는 매우 중요하다. Slot 구조부는 종보강재와 횡보강재의 교차부로서 복잡한 형상을 하고 있으며, 이 부위에는 굽힘, 전단 및 압축하중이 조합하중으로써 반복 작용함으로 인하여 피로 균열에 의한 손상이 주로 발생하고 있다. Slot 구조부에서 발생하는 피로 균열은 주로 보강재 하부 용접부에서 발생되어 전파된다.

본 연구에서는 이중 선체구조의 slot 구조의 피로수명을 향상시킬 수 있는 방법을 모색하고자 하였다. 이를 위하여 현재 채택되고 있는 slot 구조에 대한 응력 분포를 유한요소법으로 평가하여 응력집중이 심한 부위를 파악하고, 이에 미치는 자체의 기하학적 형상 예컨대 보강재 스킨랩의 크기 및 배치 방법등의 영향을 평가함으로써 slot 구조에 있어 응력집중정도를 최소화하고자 하였다.

2. 응력 해석

153 K 이중선체 오일 탱커의 한 slot 구조를 대상으로, 1 프레임 스페이스와 1 longitudinal 부재를 mesh 한후 NISA II 를 이용하여 FEM 응력 해석을 실시하였다. 해석시 주변은 모두 대칭으로 하였으며, 좌측 web plate 중심 node의 변위를 Y 방향에 대하여 고정, 이때 bottom plate에 압력 113 KN/m^2 를 가하였으며, web plate에는 평균 전단 50 N/m^2 가 작용하도록 경계조건을 하였다. 해석 결과, 하부구조인 longitudinal 부재는 web plate 와 slot 를 중심으로 하여 날개와 처럼 변형되었으며, 최대응력은 보강재 하부의 heel 부에 작용되고 있었으며, 보강재의 toe 및 slot 면에도 높은 응력이 작용되고 있었다.

상기된 응력분포에 미치는 자체 기하학적 인자 즉, 보강재 스킨랩 반경, 높이 및 보강재 배치의 영향을 평가하고자 그림 1과 같이 모델을 구성하여 상세 해석을 실시하였다. 해석시 경계조건은 전술한 바와 같으나 web plate 상에 작용되는 평균전단력은 고려하지 않았으며, 하중도 모델의 상부에 30톤 부여하였다.

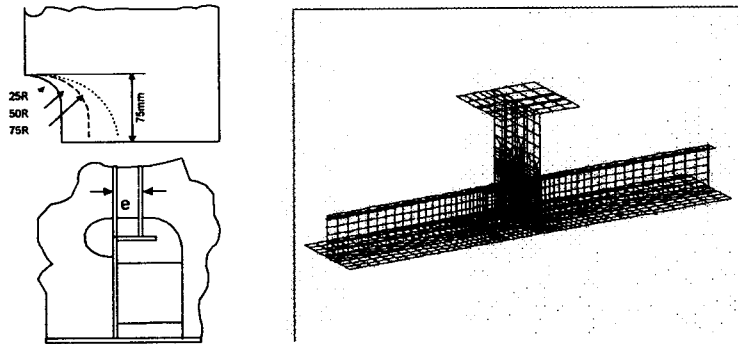
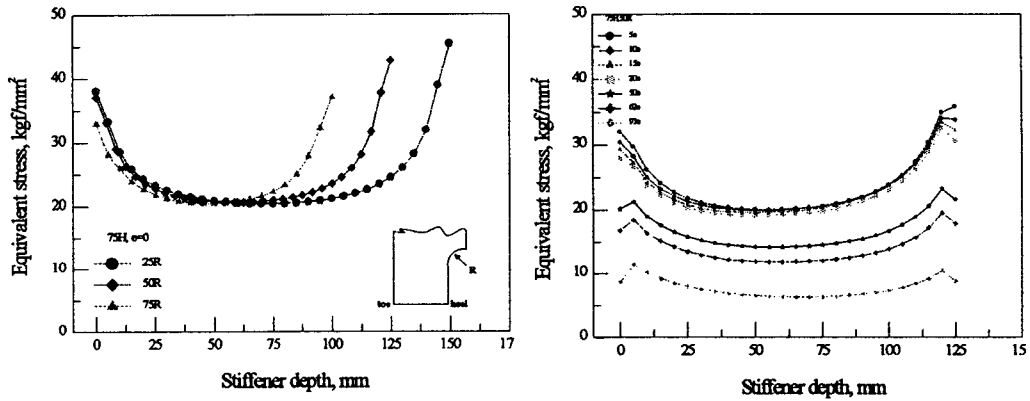


그림 1 응력 해석을 위한 요소망 및 기하학적 변수



(a)

(b)

그림 2 보강재하부 응력분포에 미치는 (a) 스킨랩 반경 (R)과 (b) mis-alignment 영향

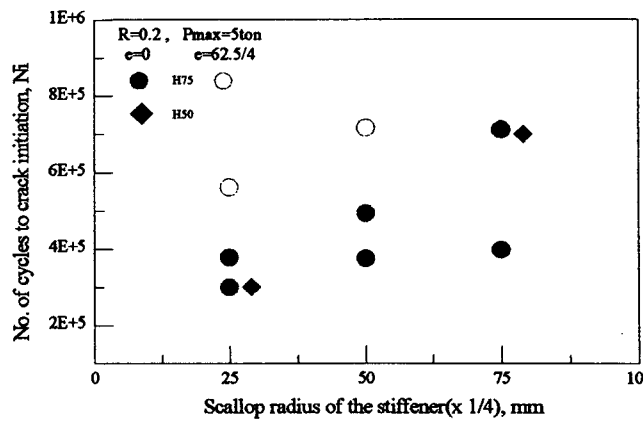


그림 3 Slot 구조의 피로 수명에 미치는 스킨랩 반경과 mis-alignment 의 영향

그림 2 (a)에 스킴의 높이가 75mm 인 경우 보강재 하부에 작용되는 응력분포에 미치는 스킴 반경의 영향을 도시하였다. 보강재 하부의 응력분포는 스킴 반경이 증가할수록 감소되고 있으며, 스킴 반경이 25 mm 에서 75 mm 로 증가함에 따라 보강재 heel 에 작용되는 최대 응력값이 45 에서 37 kg/mm² 으로 약 18% 감소하였다. 반면 스킴 반경 변화에 따른 보강재 toe 부에서의 응력변화는 비교적 적다. 한편 보강재 하부의 응력 분포에 미치는 스킴 높이의 영향은 적은 것으로 평가되었다.

H=75mm 이고 R=50mm 인 slot 구조를 대상으로 하여 보강재 하부의 응력분포에 미치는 보강재 배치 즉, 보강재와 longitudinal 부재간의 mis-alignment 의 영향을 평가하였으며, 그 결과를 Fig.2 (b) 에 나타내었다. 보강재 하부 응력분포는 mis-alignment 가 증가할수록 크게 감소되어, 보강재 heel 부의 응력은 mis-alignment 가 50mm 이상이 되면 그 값이 1/2 보다 적게 된다. 이와 같은 효과는 보강재의 굽힘효과에 기인하며, 이로 인하여 web plate 전반에 걸쳐 응력이 증가되며 특히 slot 상에서의 응력 증가 및 높은 응력을 받는 영역이 증가된다.

3. 피로 실험 결과

전 절의 해석 결과를 바탕으로 하여, 해석모델의 1/4 크기로 피로시험용 시편을 제작하여 3점 굽힘 피로시험을 실시하였다. 시험편에 사용된 재료는 일반 연강이었으며, 제작은 FCAW 기법으로 필렛용접을 실시하였다. 피로시험시 응력비=0.1 인 인장 편진 조건으로 실시하였으며, 최대 피로하중은 5톤이었다. 본 연구에서 피로균열 개시수명을 피로균열의 표면 길이가 약 10mm 가 되는 반복하중의 사이클 수로 정의하였다.

그림 3은 slot 구조의 피로 수명에 미치는 보강재 스킴 반경 및 mis-alignment 의 영향을 도시한 것으로, 응력해석 결과와 유사하게 스킴 반경이 증가할수록 slot 구조의 피로 수명은 증가되고 있으며, 주어진 스킴 형상하에서는 mis-alignment 가 존재하는 경우 피로수명이 더욱 증가됨을 알 수 있다.

4. 결 론

1. 현재 채택되고 있는 slot 구조에 있어 최대 응력 집중처는 보강재 하부인 heel 이며, 보강재 toe, slot 주위 등도 높은 응력이 작용되고 있다.
2. 보강재 하부 heel과 toe 부의 응력은 보강재 스킴 반경과 mis-alignment 에 크게 의존되나 스킴 높이에는 큰 영향을 받지 않는다.
3. 스킴 반경과 mis-alignment 가 증가할수록, 보강재 하부 heel과 toe 부의 응력이 감소되기 때문에 slot 구조의 피로수명도 증가한다.