

선체 side frame 부의 피로특성에 미치는 기하학적 형상의 영향

Geometric effect on fatigue characteristics of the side frame in hull structure

윤중근*, 김현수
현대중공업(주), 산업기술연구소

1. 서론

선박은 화물에 의한 정적하중 뿐만 아니라 파도, 진동 등과 같은 동적인 외부 하중을 받고 있다. 이러한 정, 동적 외력에 의하여 선체의 구조적 불연속 부나 용접 부와 같은 응력집중부에서는 피로에 의한 손상이 발생되고 있다. B/C 선의 경우 보고된 피로 손상의 50%를 차지하는 부위는 side frame 부이다. Side frame 손상의 원인으로서는 mis-align에 의한 bending moment, hull girder stress 등의 복합 작용에 따른 응력집중에 의한 피로 현상이다. 그러나 이러한 응력집중부의 피로 손상을 방지할 수 있는 피로 설계가 아직 정립되지 못하고있다.

따라서 본 연구에서는 B/C선의 side frame 부에서의 피로 수명을 향상시키고자 응력 해석 및 피로 특성 평가시험을 실시하였다. 응력 해석시 side frame 의 web end 부의 높이 "H", face plate의 snipe angle "θ", web end 부의 radius "R", face plate end로 부터 round 까지의 거리 "D" 등의 형상 변수를 고려하여 응력해석을 실시하였다. 이는 side frame 부의 응력집중에 미치는 주요 형상인자를 규명하고 이를 토대로 보다 응력집중을 완화시킬 수 있는 side frame 부의 형상을 결정하고자 함이다.

2. 응력해석 및 시험방법

Side frame에 대한 응력해석은 side frame의 끝단 부를 대상으로, 실 구조물의 1/3 scale에 대한 응력해석을 실시하였다. 시편제작에 사용된 재질은 연강을 사용하였으며, bottom plate, web, face plate의 두께는 8mm, 시편의 시험기 장착을 위한 보강 plate의 두께는 30mm로 그림 1과 같이 3가지 "A" "B" 및 "C" type 으로 제작하여 side frame 부에 대한 정, 동적 강도평가를 실시하였다.

피로시험은 응력비 $R=0.1$ 로 최대 하중 10ton에서 실시하였으며, 피로균열 발생수명 및 피로균열 전파를 측정하기 위하여 매 2×10^4 cycles 마다 육안검사 및 dye penetration 을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Side frame 부의 응력분포에 미치는 기하학적 형상의 영향

“A” type에 대하여 face plate 의 snipe angle 을 8° 에서 30° 로 변화시킨 경우 snipe angle이 작아질수록 응력집중이 완화된다. Face toe에서 web의 round 까지의 거리 “D” 를 15, 45, 60mm로 변화시킨 경우, 15mm에 비해 60mm인 경우 약 3%의 응력집중의 완화가 이루어졌다. 더욱 응력집중을 완화시킬 수 있는 형상을 제안하고자 web 부의 곡을 및 web end 부의 높이 등의 영향을 평가하였다. 먼저 “D” 를 60mm, face angle을 8° 로 고정하고, web 부의 곡을 “R” 을 100에서 300 mm 로, web end의 높이 “H” 를 5에서 20mm로 각각 변화시켜 해석을 실시하였다. 그림 2 에서 보여 주듯이 side frame 부의 최대응력은 web 의 곡을 “R” 이 클수록 감소되며, web 의 높이 “H” 의 변화에는 정량적인 관계를 찾을 수 없다. 상기된 결과를 토대로 side frame 의 적정 형상 즉, R=300mm, H=15mm, D=60mm 으로 결정하였으며 이를 “C” type 으로 하였다. 정적시험에 의하여 평가된 최대 구조적 응력집중은 “A” type인 경우 7.16으로 face 부에, “B” type인 경우 6.92로 round 부에, “C” type 인 경우에는 4.88로 round 부에서 발생되고 있는데 이는 FEM 해석 결과와 일치되고 있다. “C” type 에 있어 응력집중정도가 적어진 것은 결국 round 부의 응력집중정도를 web 쪽으로 분산시켰기 때문임을 알 수 있다.

3.2 피로강도

하중 10ton 에서 응력비 0.1 로 피로시험을 실시한 결과를 그림 3에 나타내었다. 피로균열 발생수명은 $A < B < C$ 로 정적 및 FEM 해석결과와 잘 일치하고 있다. 즉, 그림 3에 나타낸 바와 같이 구조적 응력집중의 영향에 의한 피로균열 전파속도의 차이를 보이고 있다. 그러나 피로균열은 “A”, “B” 및 “C” type 모두 최대 응력집중부에서 발생하지 않고 모두 web 용접 toe에서 균열이 발생하였다.

4. 결 론

- 1) Side frame 부의 응력집중 정도는 web end 부의 높이, face plate의 snipe angle, web 부의 곡을 및 face plate end로 부터 round 까지의 거리 등의 형상변수에 의하여 영향을 받는다. 응력집중은 snipe angle 이 적을수록, web 부의 곡율이 클수록, face plate end로 부터 round 까지의 거리가 길수록 감소된다.

2) Side frame 의 형상을 적정화하여 기존 type 보다 응력집중정도를 30% 시켜 피로수명을 크게 향상시킬 수 있는 새로운 type 의 side frame 를 다.

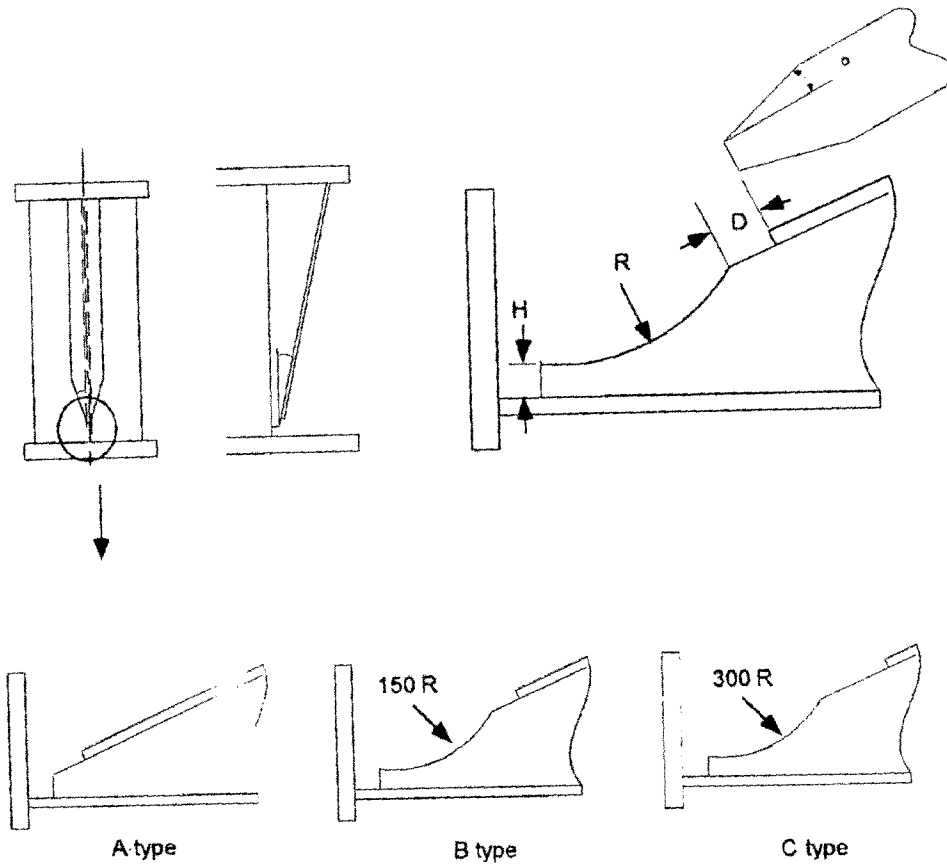


그림 1. Side frame시편형상

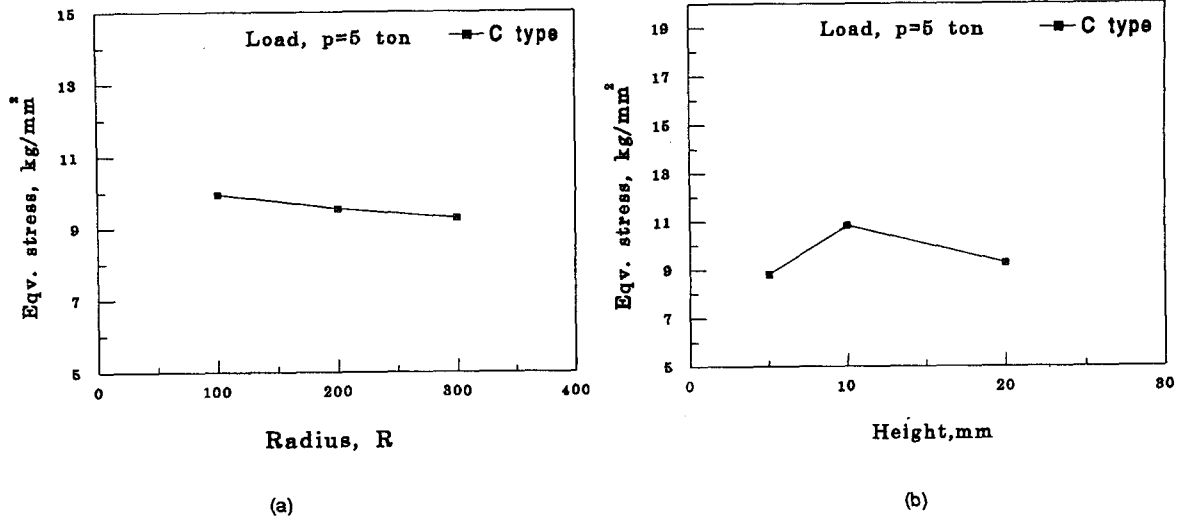


그림 2. (a) "R" 에 따른 응력변화 (b) "H" 의 변화에 따른 응력변화

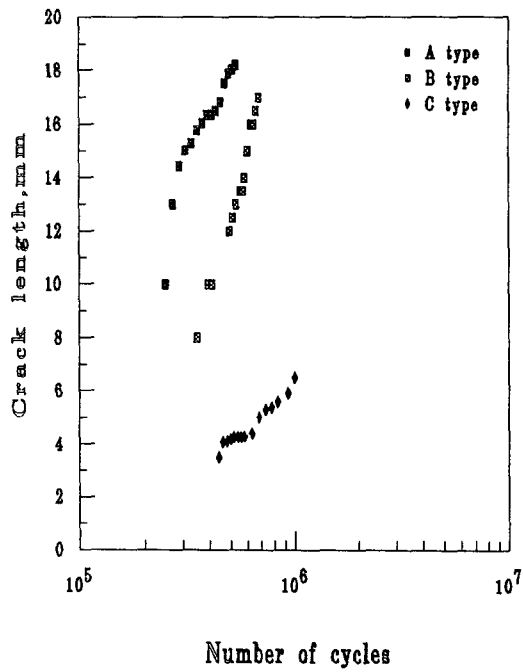


그림 3. 각 type별 피로특성