

油槽船의 SECONDARY MEMBER의 應力制御

이 동 대 <현대중공업(주) 사장>, 이 동 부 <현대중공업(주) 과장>
이 순 식 <현대중공업(주) 과장>, 서 영 호 <현대중공업(주) 대리>

1. 서 언

선체 구조에 있어서 종늑골 및 횡늑골을 포함하는 판보강재, 즉 secondary member의 직접해석에 의한 응력평가는 제2세대 VLCC인 東京丸의 외판 종늑골의 피로파괴 사고 이전까지는 조선 관계자로부터 그다지 주목받지 못한 상태였다. 이들 부재의 강도는 선급에서 요구하는 부위별 단면계수 및 단면의 2차모멘트를 만족하는 것으로만 설계 되어왔다.

1989년 여름에 東京丸의 사건이 조선 업계에 알려졌고 이후 판보강재에 대한 피로해석 요구가 보편화되었다. 하지만 종늑골의 경우 실제 구조해석을 수행하여본 결과 특정 하중 조건하에서 일정부위는 상당히 높은 응력상태가 되어 피로해석을 수행하기에 앞서 정하중상태에서의 응력제어 문제가 구조해석 실무자들을 괴롭혀 왔고 많은 논란의 대상이 되어왔다.

종늑골의 경우 각 선급들이 규정하고있는 단면계수의 요구치가 mild steel 기준 허용응력 125 N/mm² 근방으로 되어있어 선체의 종굽힘응력이 I-ACS 허용치 175 N/mm²의 60%만 되어도 합산 응력은 재료의 항복점 근방이 되고 여기에 transverse main frame의 처짐에 기인하는 강제변형 응력이나 transverse bulkhead의 stiffener로부터 전달되는 끝단모멘트에 의한 응력이 추가될 경우 판보강재의 응력총합은 쉽게 재료의 항복점을 초과하게 된다. 특히 VLCC의 경우에는 diagonal loading시 center cargo tank를 형성하고있는 경계 벽면의 판보강재들이 직각으로 연결된 부위에서 선형해석시 얻어지는 응력이 매우 높게 나타난다.

그러나 실제로 대부분의 유조선들은 안전한 항해를 하고 있고 응력이 가장 높게 나타나는 upper deck longitudinal의 손상 사례는 흔하지 않다. 이에 대한 원인으로는 현재 각선급에서 요구하고있는 구조해석용 하중조건이 실운항상태에 비하여 너무 과장되었거나, 재료자체가 가지고있는 안전율이 상당히 크다는 등 몇 가지를 생각할 수 있으나 본 소고에서는 이를 규명하고자함은 아니다. 단지 동일 하중조건으로 수행한 구조해석 결과 primary member에 비해 상대적으로 너무 높은 응력상태를 보이는 판보강재의 응력을 큰 경제적 부담 없이도 낮출 수 있는 방안이 있어 소개 하고자 한다.

2. Center tank 주변의 하중상태

일반적으로 VLCC의 판보강재에 peak stress가 유발되는 하중 상태는 cargo tank의 diagonal loading 상태에서 hull girder bending moment가 중첩된 상태이다. Double hull VLCC의 대표적 구조배치 형식중의 하나인 그림1, 2와 같이 center web type으로 transverse bulkhead의 stringer와 stiffener가 bulkhead면 앞쪽(선수쪽)에 배치되어 있을 경우, 1) 화물유가 적재된 center cargo tank의 선미쪽 횡격벽에서 upper deck longitudinal과 transverse oiltight bulkhead의 vertical stiffener가 만나는 부위, 2) No.1 bulkhead stringer 주변의 종격벽 longitudinal, 3) center line buttress와 transverse oiltight bulkhead의 vertical stiffener가 만나는 부위등의 응력상태는 선체의 종굽힘 응력과 여러 성분의 국부 응력이 같은 방향으

로 작용하여 peak값을 나타내게 된다

가지며 처짐에 의한 moment 발생량 M 은 $E.I.X/L^2$ 에 비례한다.

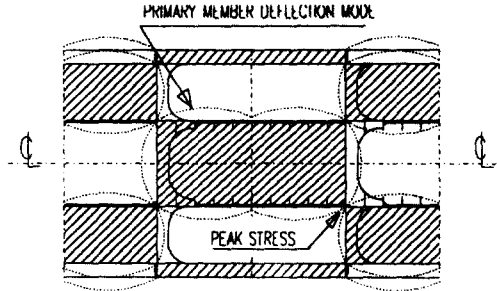


그림 1 Stringer plan & loading

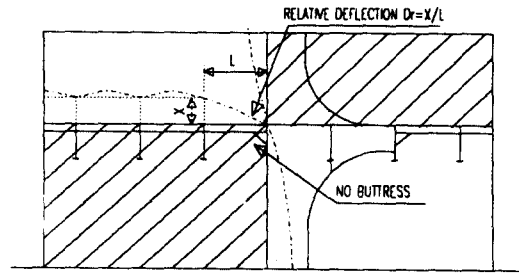


그림 3 Buttress가 없을 경우의 상대 처짐

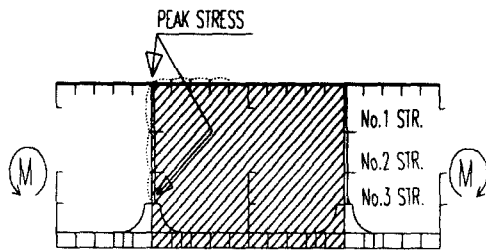


그림 2 Center line elevation

2) 강력 Buttress로 보강한 경우

그림 4.에서 보는 바와 같은 강력 buttress로 보강을 할 경우는 상대변형에 의한 peak stress 발생 부위가 1 frame 뒤로 이동 할 뿐으로 크기의 변동은 거의 없다. 이 경우 생각 없이 보강범위를 연장하다 보면 예상치 않았던 horizontal stringer가 형성되기도 한다.

3. Buttress에 의한 응력제어

그림 1에서 stringer 뒷쪽에 발생하는 peak stress는 upper deck의 hullgirder bending moment가 IACS maximum hogging moment 상태로 될 경우 No.1 stringer의 위치에서 upper deck의 재질이 HT32 steel 일 때 약 120 N/mm^2 의 인장응력이 발생한다. 여기에 mild steel 기준 stiffener의 local bending stress 125 N/mm^2 과 web frame의 강제변형에 의한 부가응력(100 N/mm^2 이상)을 더할 경우 최종응력은 산술적으로 재료의 항복점을 초과하게 되나 적절한 강성을 가지는 buttress를 설치할 경우 쉽게 그 값을 목표치 이하로 완화시킬 수 있다.

1) Buttress가 없는 경우:

일반적인 형태로 transverse bulkhead stringer 뒷쪽의 web frame의 상대 처짐량은 X/L 의 크기를

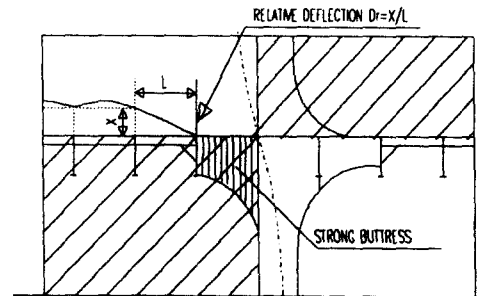


그림 4 강력 Buttress로 보강한 경우

3) 적정크기의 Buttress가 설치된 경우:

그림 5에서 보는바와같이 횡격벽 바로 뒤쪽 web frame의 처짐량을 일반 web frame 처짐량의 1/2 정도로 구속할 수 있는 정도의 강성을 가지는 buttress를 설치할 경우 상대 처짐량은 $X/2L$ 로 반감되어 상당한 크기의 응력 완화를 이룩할 수 있으며, 최적의 buttress depth는 필자들의 경험에 의하면

butress의 web depth가 web frame depth의 1/2 정도일 때가 가장 효과적이었다.

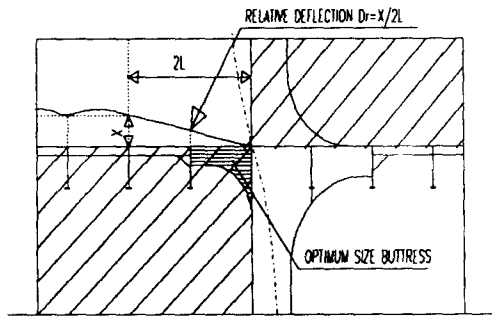


그림 5 효과적인 Buttress

4. Buttress 연결부위의 응력제어

그림 2의 횡격벽 vertical stiffener와 buttress가 만나는 부위 혹은 그림 4와 5에서 종격벽의 longitudinal stiffener가 buttress 끝단과 연결되는

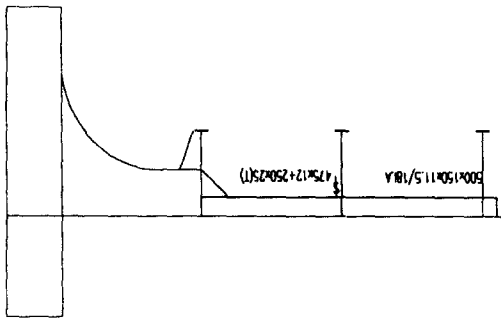


그림 6 Wide flange builtup 보강

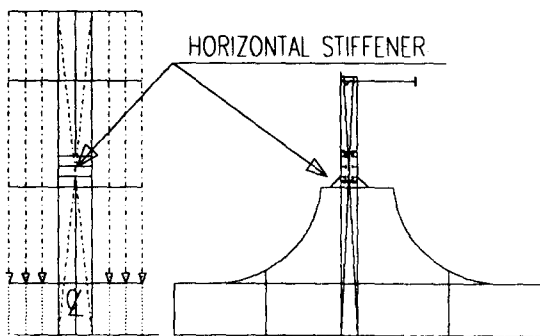


그림 7 Buttress와 O.T BHD. stiffener를 단속

부위의 응력 제어는

- 1) 단면의 2차 모멘트를 줄이고 단면계수를 높이는 lower web depth / wide flange type의 특수 builtup section으로 보강하는 방안
- 2) 국부적으로 stiffening 방법을 변경하여 힘의 전달을 단절시키는 방법이 있다.

5. Upper deck longitudinal의 응력제어

5.1 하중분석

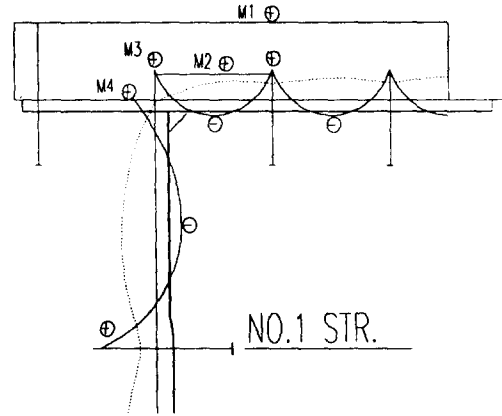


그림 8 Bending moment diagram

- 1) Hull girder bending moment (M1): Hogging moment 상태로 upper deck long.에 인장응력이 발생한다.
- 2) 강제변위 moment (M2): 각선급에서 요구하는 cargo tank의 하중조건은 일반적으로 upper deck상부 2~3 meter 높이의 부가 수두를 규정하고 있으며 deck transverse를 상부로 밀어 올리고 결과적으로 deck long.와 transverse bulkhead의 vertical stiffener가 만나는 부위에서 상대 처짐의 차이로 deck long.의 face plate에 인장응력이 발생한다.
- 3) Deck long. bending moment (M3): 위의 2)에서 언급한 부가수두의 영향으로 deck long.에 local bending moment가 발생하며 transverse bulkhead와 만나는 부위에서 deck long.의 face plate에 인장응력을 유발시킨다.
- 4) Transverse bulkhead vertical stiffener end moment (M4): 위의 그림 1-3에서와 같은 부재배치와 하중 상태가 될 경우 인장응력이 발생한다.

위와 같이 문제부위의 역학구조는 Hull girder bending moment와 3개의 국부하중이 인장력으로 합산이 되어 이론상으로 큰 하중이 유발될 수 있음을 알 수 있다.

5.2 초기 구조형태 및 구조해석 결과

- 1) Hull girder stress M1 : 220 N/mm²
- 2) center line deck buttress : 없음 (無)
- 3) upper bracket : 횡격벽 vertical stiffener 와 일체형 (web thk.: 12.0mm)
- 4) upper deck longitudinal: 400x100x13/18 I.A

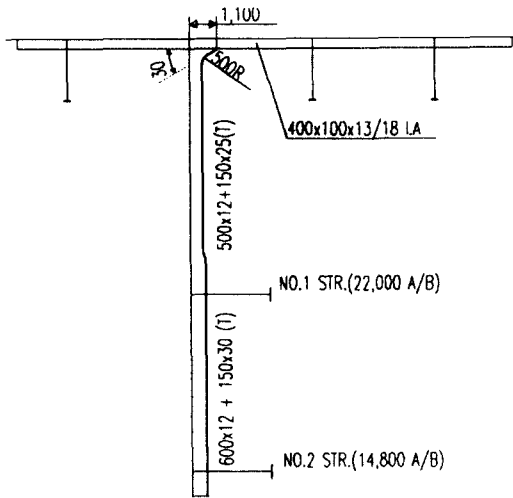


그림 9 1,840 off center line elevation

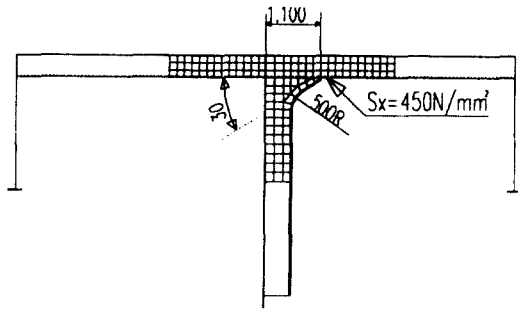


그림 10 초기응력상태 : mesh size 150 mm

* 구조보강 이전의 최초응력 상태로 upper deck longitudinal의 face plate 인장 응력이 450 N/mm² 으로 재료의 항복응력 315 N/mm² 를 상당

히 벗어난 상태임을 알 수 있다.

5.3 Deck buttress의 효과

그림 11에서 보는바와 같이 center line에 deck

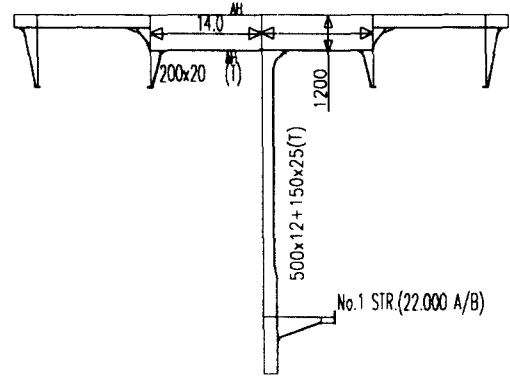


그림 11 Center line deck buttress

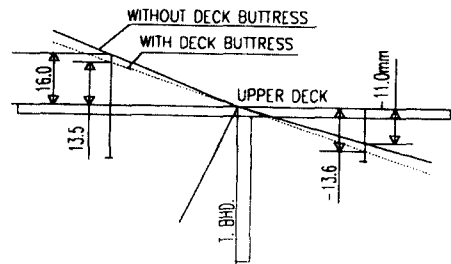


그림 12 Deflection of deck transverse

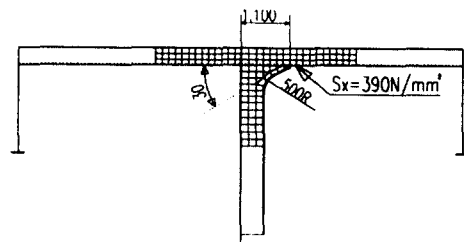


그림 13 buttress 설치후의 응력변화

transverse web 높이의 1/2 크기를 가지는 deck buttress 를 설치한 결과 그림 10의 peak stress였던 450 N/mm²는 그림 13에서 보는바와같이 390 N/mm²으로 60 N/mm² 정도 감소하여 초기응력 대비 약13 %의 개선 효과가 있었다.

5.4 횡격벽 끝단 모멘트의 영향

상기 5.1의 4) M4의 영향을 줄이기 위하여 No.1 STR.의 위치를 그림 14와 같이 900mm 위로 이동시켜 횡격벽의 vertical stiffener로부터 전달 되는 moment를 줄여본 결과, 5.3의 peak stress 390 N/mm² 가 355 N/mm² 으로 35 N/mm² 줄어들어 약 9 %의 응력 감소 효과가 있었다.

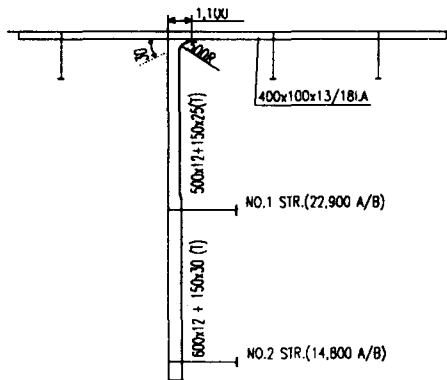


그림 14 No.1 STR.위치이동

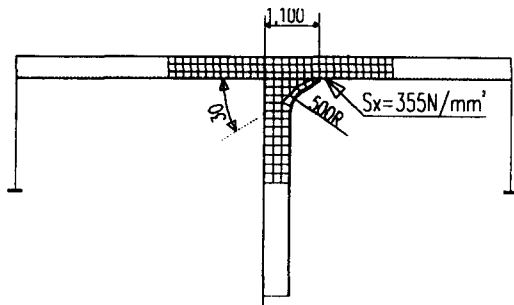


그림 15 No.1 STR. 위치 이동후의 응력변동

5.5 Deck longitudinal 효과

upper deck longitudinal의 강성에 따른 효과를 파악하기 위하여 deck longitudinal size를 400x100x13/18 I.A에서 450x125x11.5/18 I.A로 증가시킨 결과, 상기 그림 1의 peak stress 355

N/mm² 가 333 N/mm² 로 되어 약 6 %의 응력감소효과가 있었다.

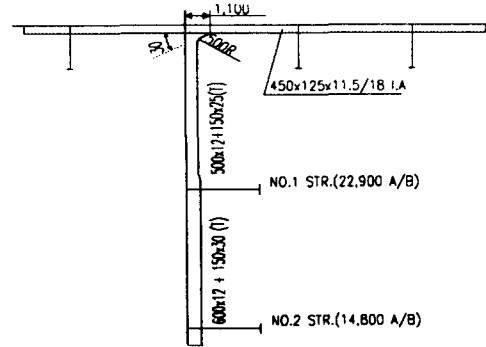


그림 16 Deck longitudinal scantling 증가

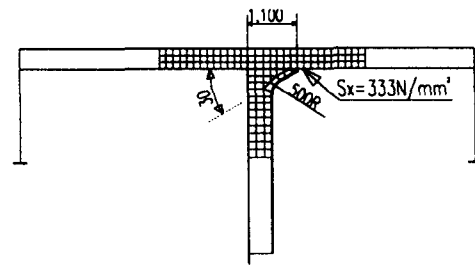


그림 17 Deck longitudinal 증가후의 응력

5.6 끝단 Bracket의 영향

상기 5.5의 결과에서 end bracket의 형상을 보다 soft한 형상으로 바꾸고 그림 18와 같이 분리형 bracket로 보강할 경우 응력은 301 N/mm² 으로 감소하였다.

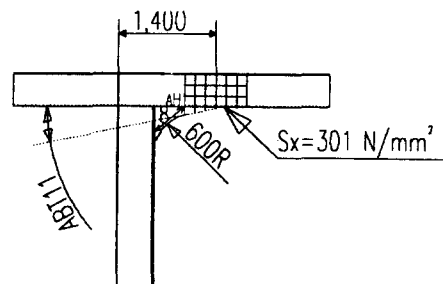


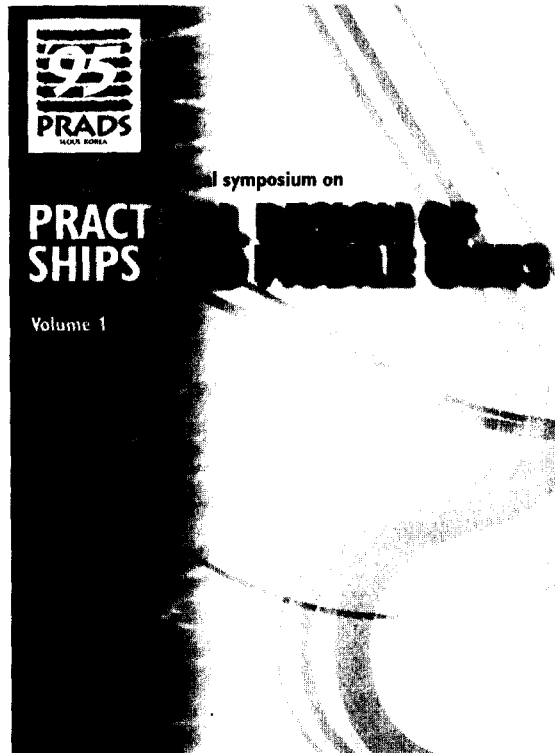
그림 18 분리형 bracket로 보강한 경우

6.결 언

본 고에서는 필자들이 실제선박을 설계하면서 경험한 유조선의 secondary member의 응력제어과정을 통해서 적절한 강성을 가지는 buttress와 soft bracket의 도입 및 기초적인 역학분석과 구조보강을 통해 double hull VLCC의 upper deck longitudinal의 face plate 인장응력을 300 N/mm^2 정도

로 제어시킨 과정을 나타내었으며, 필자들이 택한 방법이 비록 기존의 선박에 대한 추가적인 보강성격을 가지고 있지만 선박의 품질 향상과 기술적인 측면으로 볼때 기존의 구조해석에서 문제시되었던 응력의 불균형에 대한 모순점을 개선하였다는데 의의를 두며, 차후 유사한 구조적 불연속점에 대한 요소연구는 계속되어야 한다고 생각된다.

※ 인 립 니 다 ※



■ 판매가격 : 50,000원

■ 연 락 처 : 대한조선학회 회원관리담당자앞

TEL : 568-7533, 3452-2370, 2371

※ 지로입금후(한미은행 : 102-53148-250, 예금주: 대한조선학회) 전화 신청하시면 우송해 드립니다.