

## 60m Beam VLCC Fore/Aft Cargo Hold 에 대한 구조 안정성 및 피로강도 평가

이상우<sup>†</sup>\*, 최지훈\*, 김명섭\*, 김만수\*, 이영만\*, 김광석\*

대우조선해양(주)\*

### Structural Strength and Fatigue Strength Assessment for Fore/Aft Cargo Hold of 60m Beam VLCC

Sang-Woo Lee<sup>†</sup>\*, J.H. Choi\*, M.S. Kim\*, M.S. Kim\*, Y.M. Lee\* and K.S. Kim\*

Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering Co.\*

#### Abstract

The double hull VLCC(Very Large Crude Oil Tanker) have been designed to have each four(4) longitudinal bulkheads and transverse bulkheads in general. Actually, the inside longitudinal bulkheads among four(4) longitudinal bulkheads, which are extended up to the end of the aft cargo hold for continuity of the members, have been designed with knuckled type inboard due to the narrowed hull shape at bottom region, but sometimes the straight type of longitudinal bulkheads were adopted based on the degree of the hull lines shape. However, regardless the type of longitudinal bulkheads, inside and outside longitudinal bulkheads conflict each other in aft cargo hold region. This makes the structure more complex thus giving difficulties to structural design and production. Recently, a vessel of straight type was reported to have cracks on bracket end and tripping bracket toe in aft cargo hold region. As a solution to this problem, in designing the first 60m Beam VLCC, DSME developed a new cargo hold structure which is good in production and structural point of view by structural strength and fatigue analysis of fore and aft cargo hold.

※Keywords : 60m Beam VLCC(60m 선폭의 초대형 원유 운반선), Longitudinal bulkhead(종방향 격벽), Big bracket

1. 서론

초대형 이중 선체 원유운반선(VLCC)의 화물창은 일반적으로 폭 방향으로 3 개의 Cargo Hold 를 갖도록 설계되어지는데, 폭 방향으로 3 개의 Cargo Hold 를 구획하는 Inside Longitudinal Bulkhead 구조 배치는 선체의 선형 변화에 따라 선수, 선미부 Cargo Hold (No.1 & 5 Cargo Hold) 부위에서 Knuckle 을 이용하여 Cargo hold 를 구획하는 방법과 중 부재의 연속성을 위해 최대한 Straight 로 배치하는 두 가지 방법이 있다. Inside Longitudinal Bulkhead 를 Straight Type 으로 구조를 배치할 경우, Inside Longitudinal Bulkhead 와 Outside Longitudinal Bulkhead 가 선미 Cargo Hold 부분에서 서로 교차하면서 생기는 복잡한 구조로 인하여 생산 작업의 어려움이 발생하게 되는데, 이런 문제점들을 해소하기 위해 60m 선폭을 가지는 초대형 원유운반선(VLCC)의 선수, 선미부 Cargo Hold 에 대한 구조해석과 피로해석을 수행하여 구조 안정성 및 생산성 향상을 동시에 고려하는 새로운 Cargo Hold 구조를 개발하였다. Fig.1 과 Fig. 2 는 기존 Straight Type 과 개선된 Knuckled Type Longitudinal Bulkhead 의 Cargo Hold 배치를 보여주고 있다.

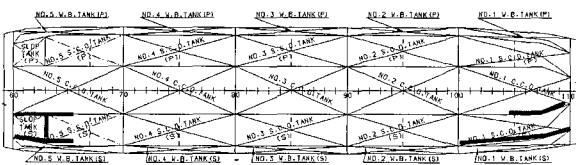


Fig. 1 Tank arrangement for straight type inside longitudinal bulkhead

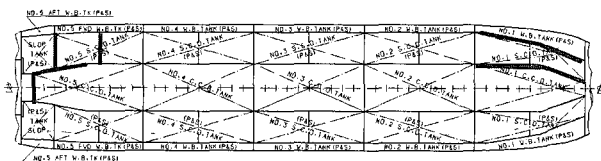


Fig. 2 Tank arrangement for knuckled type inside longitudinal bulkhead

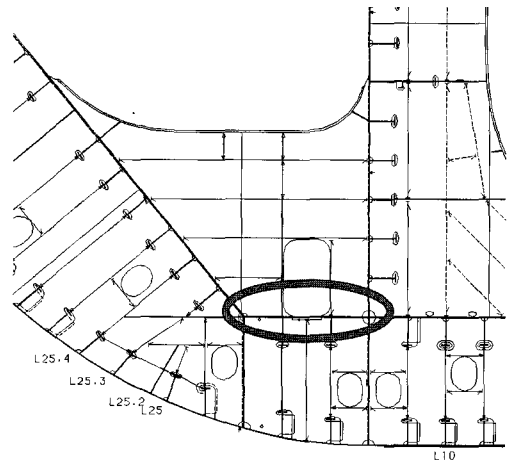


Fig. 3 Example of transverse frame section in aft cargo hold

2. 선수, 선미부 Cargo Hold 구조 개선

2.1 구조 개선 배경

건조 중인 초대형 원유운반선(VLCC)에 대해 생산 현장으로부터 선수, 선미부 Cargo Hold 내 Big Bracket 구조의 조립 및 탑재 단계에서 정도 유지 어려움, 용접 및 운반 시 변형이 발생하여 수정 작업 및 재작업이 빈번히 발생한다는 보고를 접하였다. 또한 선수, 선미부 Cargo Hold 구역에서는 아래 Fig.3 에 보여지듯이 급격한 선형 변화에 의해 Side Cargo Hold 구역의 Tank Top 에서 두 Longitudinal Bulkhead 간의 거리가 중앙부에 비해 현저히 줄어든다. 특히 선미부 No.5 Cargo Hold 에서는 Slop Tank 가 배치되어 있어 타 Hold 에 비해 길이방향 Span 도 짧아지며, 아올러 Hopper Tank 내부에는 Additional Stringer 들이 배치되어 있어 구조적으로 충분한 강도 및 강성을 유지할 수 있을 것이라 판단되었다. 이러한 생산 현장 문제점과 구조 검토 결과를 기초로 하여 선수, 선미부 Cargo hold 에 대한 구조 개선을 적용하게 되었다.

2.2 구조 개선 사항

본 연구에서 적용한 주요 개선사항은 다음의 3

가지로 요약될 수 있다. 첫번째, 선미부 Cargo hold 의 Inside longitudinal bulkhead 를 Knuckle 을 주어 힘의 분산 및 흐름을 완만하게 바꾸어 좁과 동시에 좁고 복잡한 선미부 Cargo hold 구조를 단순화 하였으며 둘째로, Big bracket toe 주변 구조에서 일어날 수 있는 구조적인 결함을 방지하고 선체 경량화 및 현장 작업의 편의를 위해 선수, 선미부 Cargo hold 구역에서는 Big bracket 을 삭제하거나 그 크기를 줄이는 구조를 적용하였다. 그리고 세 번째로는 선미부 Cargo hold 내 Hopper web 구조의 Stiffener 배치를 Longitudinal 과 Stiffener 의 End connection 부위의 피로 Crack 발생을 방지하기 위해서 기존의 Side shell longitudinal 과 Hopper top longitudinal 을 연결하던 Horizontal stiffening system 에서 Vertical stiffening system 으로 바꾸었다. 아래 Fig. 4 에는 선수, 선미부 Cargo hold 에 적용한 대표적인 개선사항을 보여주고 있다.

### 3. Cargo hold 구조 해석

앞 절에서 소개한 개선 사항들을 반영한 선수,

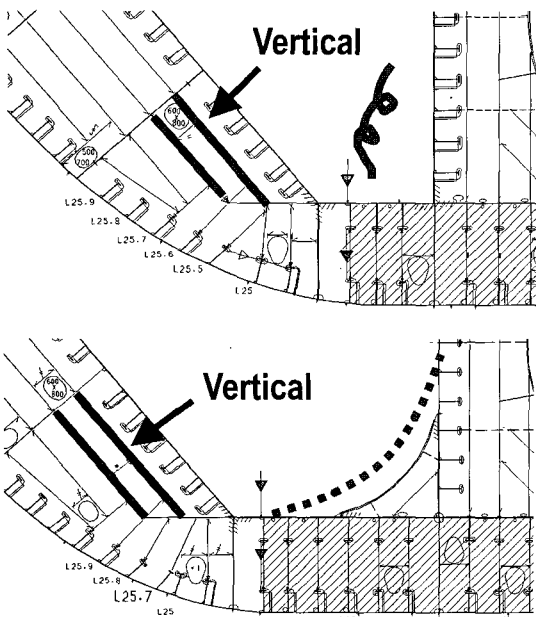


Fig. 4 Examples of improvement in cargo hold

선미부 Cargo hold 구역의 구조적 특성과 주변 구조의 영향을 파악하기 위해 유한요소 구조해석을 수행하였다.

#### 3.1 구조해석 모델

유한요소 모델은 상용 전/후처리 시스템인 MSC/PATRAN(2001 r2)을 이용하여 선미부에서는 E/R front bulkhead 에서부터 No.4 cargo hold 중간부위까지, 선수부에서는 Fore peak bulkhead 에서부터 No.2 cargo hold 중간부위까지 모델링 되었고, 유한요소의 크기는 Long. space 간격 크기를 기준으로 생성하였다. 모델의 범위는 일반적으로는 대칭된 구조와 하중조건으로 반쪽 모델만 이용하나, 로이드 선급(LR)이 제시하는 비대칭 하중

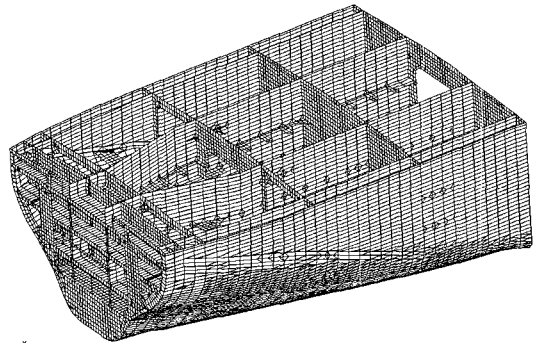


Fig. 5 FE Model for No.5 and half of No.4 cargo hold

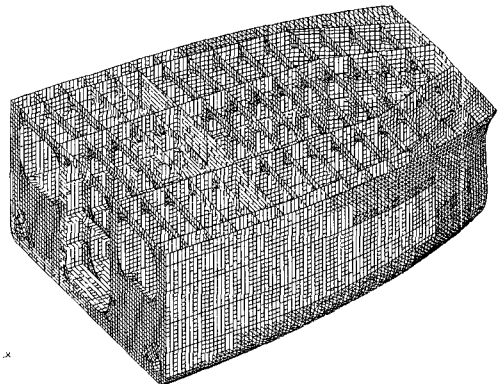


Fig. 6 FE Model for No.1 and half of No.2 cargo hold

조건을 고려하여 전폭 모델링 되었으며[4], 범용 해석프로그램인 MSC/NASTRAN(70.7)을 이용하여 구조해석을 수행하였다. Fig 5 과 Fig 6 는 선수,

선미부 Cargo hold 구역의 구조해석 모델을 보여준다. 유한요소 모델에 사용된 요소들은 3D Shell, Beam 및 Truss 요소가 사용되었다.

3.2 경계 조건 및 하중 조건

로이드 선급(LR)에서 제공한 경계조건을 이용하여 유한요소 모델 양 끝 단의 종.부재에 대칭 조건을 적용하였고, Transverse Bulkhead 위치에서 Upper deck 와 Side shell & Side longitudinal bulkhead 가 만나는 위치에 Vertical 방향으로 Simple support 를 적용하였다.[4] 초기 해석 후 불평형 반력을 Simple support 하부의 직선 단면에 놓여있는 절점들에 작용시켜 하중 평형성을 만족하도록 하고 경계부분의 응력 집중을 완화 시켰다. 구조해석을 위한 하중 조건은 로이드 선급(LR)의 하중 조건을 이용하여 11 개의 하중 조건들에 대하여 구조해석을 수행하였으며, Table 2 는 구조해석을 위한 선수부 Cargo hold 의 하중 조건 개요를 보여주고 있다.[4]

3.3 허용 강도

구조해석 결과에 대한 구조 강도와 좌굴 강도를 평가하기 위하여 LR 선급 구조해석 Guidance 인 SDA(Structural Design Assessment)에서 제시한 허용 응력 값을 적용하였다.[4]

4. 구조해석 결과 및 평가

아래에는 구조 개선 사항들을 반영한 선수, 선미부 Cargo hold 에 대해 로이드 선급(LR)에서 제시한 Procedure[4]에 따라 구조해석을 수행한 결과를 요약하였다.

4.1 Cargo Hold Aft Part

선미부에서도 두 부분으로 나누어 결과를 정리해보면 No.5 Cargo hold 구역 중에서 Swash bulkhead 앞쪽에 위치한 Frame 의 경우에는 Big bracket 의 Size 만 줄였고, Swash bulkhead 뒷쪽

Table 2 Loading condition for structural analysis

Load Case	Draft	Sketch of Loading		Condition
LC 1	Ts			Sea Going Condition
LC 2	Ts			Sea Going Condition
LC 3	Ts			Sea Going Condition
LC 4	0.4D			Harbour Condition
LC 5	0.4D			Harbour Condition
LC 6	Max. T <sub>B</sub>			Harbour Condition
LC 7	0.25D			Tank Test Condition
LC 8	0.25D			Tank Test Condition
LC 9 (Asym.)	Ts			Sea Going Condition
LC 10 (Asym.)	Ts			Sea Going Condition
LC 11 (Asym.)	0.25D			Tank Test Condition

에 위치한 Frame 의 경우에는 Inside 와 Outside longitudinal bulkhead 사이의 간격이 급격히 짧아 지므로 Big bracket 을 삭제하였으나 구조 안정성을 만족 하였다. 물론 Bottom floor, Inner bottom top 그리고 Hopper top plate 에서 응력이 높게 나올 것이라 예측하여 그 부위의 Scantling 을 미리 실적선 대비하여 키워서 반영하였기 때문에 추가 Scantling 변경이 필요하지 않았다. 또한 아래 Fig 7 에서 나타나는 것과 같이 주응력 방향이 Hopper web 상에서 No.3 stringer 에서 Side girder 방향(Vertical 방향)으로 흐르기 때문에 Hopper web stiffener 를 Vertical 방향으로 배치하여 판의 좌굴방지 효과와 Longitudinal 과 Hopper web stiffener 와의 Connection 부위에서의 피로 Fig. 8 에서는 No.1 Load case 일 때 No.5 Cargo

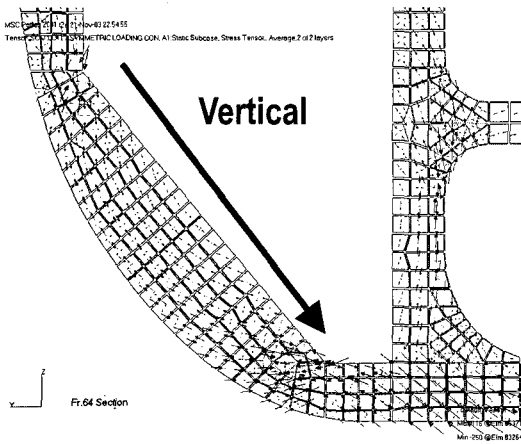


Fig. 7 Stress flow of principal stress for No.5 cargo hold

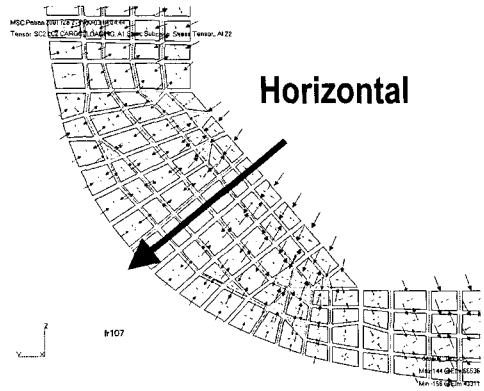


Fig. 9 Stress flow of principal stress for No.1 cargo hold

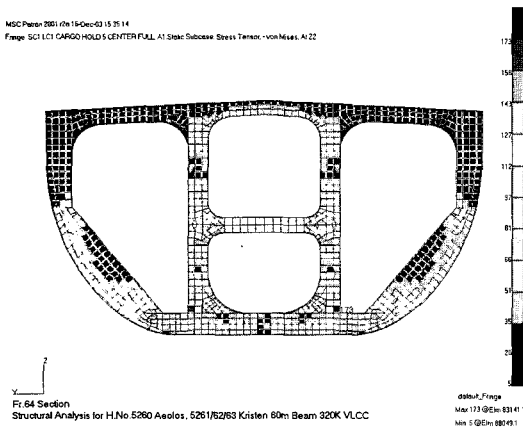


Fig. 8 Stress flows of von-Mises stress for No.5 cargo hold in load case 1

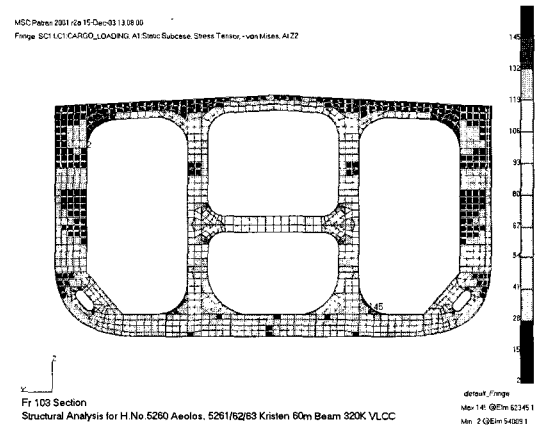
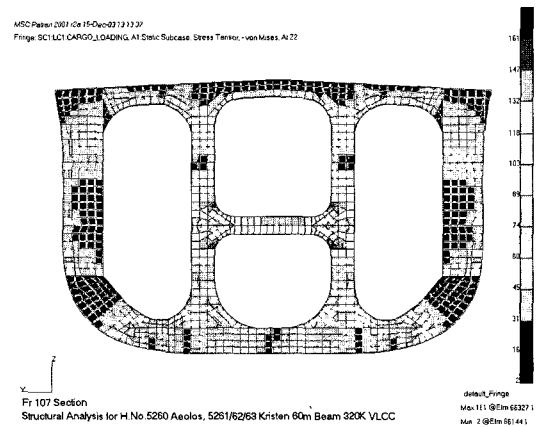
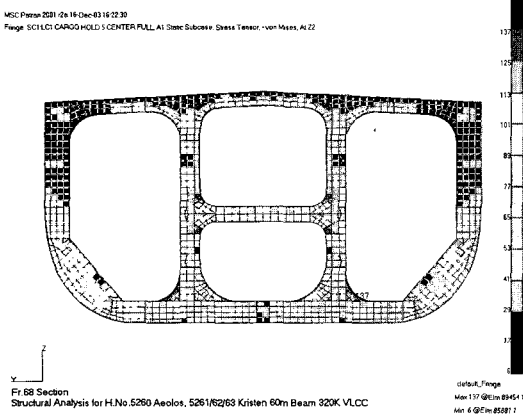


Fig. 10 Stress flows of von-Mises stress for No.1 cargo hold in load case 1



hold 에서 Swash bulkhead 를 중심으로 앞쪽과 뒤쪽에서 가장 severe 한 Frame 의 von-Mises stress 를 보여주고 있다.

4.2 Cargo Hold Fore Part

선수부에서도 선미부와 마찬가지로 No.1 cargo hold 구역 중에서 Swash bulkhead 앞쪽과 뒤쪽으로 나누어 Big bracket 의 형상을 다르게 적용하였다. 구조해석 결과는 선미부와 동일하게 구조 안정성을 만족하였으나, 선주요구 및 선수 Unknown load 를 고려하여 Big bracket size 를 줄이는 것으로만 설계하였다. Hopper web stiffener 배치는 Fig. 9 에서 나타나는 것과 같이 주응력 방향이 Cargo hold middle part 에서 나타나는 양상과 동일한 양상인 Horizontal 방향으로 나타나였으나, 피로 Crack 방지를 위하여 선미부 Cargo hold 와 동일하게 Vertical system 으로 적용하였고 역시 구조 안정성을 만족하였다.

Fig. 10 에서는 No.1 Load case 일 때 No.1 Cargo hold 에서 Swash bulkhead 를 중심으로 앞쪽과 뒤쪽에서 가장 severe 한 Frame 의 von-Mises stress 를 보여주고 있다.

5. 피로 강도 평가

본 연구에서 피로 강도 평가는 Hopper knuckle 부와 Big bracket end 부위에서 수행되었으며, 피로 강도 평가 방법은 DNV 선급에서 제시하는 간이화된 피로수명 평가방법을 이용하였다. 피로 강도 검토 결과, 관심부위에서 최소 25년 이상의 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

6. 결론

본 연구를 통하여 60m 선폭을 가지는 초대형 원유운반선(VLCC)의 개선된 선수, 선미부 Cargo

hold 구조에 대한 구조 안정성을 검증할 수 있었다. 또한, Big bracket 삭제 및 Big bracket size 축소 적용으로 복잡한 선미부 구조를 단순화함으로써 생산 현장작업의 편의성과 경제적인 구조설계도 이를 수 있었다.

참 고 문 헌

[1]오석진, 김만수, 서인성, 이경석 2002, " VLCC 선미부 화물창에서 Inside Long. Bulkhead 의 최적 구조배치," 대한조선학회 2002 년 추계 학술대회 논문집, pp. 389-394.  
 [2]이상우, 2003, " Structural Analysis of No.5 C/H for 300K VLCC," 대우조선해양주  
 [3]최지훈, 2003, " Structural Analysis of No.1 C/H for 300K VLCC," 대우조선해양주  
 [4]ShipRight SDA(Structural Design Assessment Notice No.1 to July 2002 version, LR, London.

