

# 종강도 및 Bottom Damage를 고려한 300K VLOC의 최적구획검토

박지윤<sup>1</sup>·구자원<sup>1,†</sup>  
한진중공업(TMS 기본파트)<sup>1</sup>

## Study on Optimum Compartment of 300K VLOC Considered Longitudinal Strength and Bottom Damage

Ji-Yun Park<sup>1</sup>·Ja-Won Koo<sup>1,†</sup>  
HHIC (TMS Basic Part)<sup>1</sup>

### Abstract

The last years have seen a dramatic increase of the new-building orders for Very Large Ore Carriers(VLOC), mainly driven by the increasing demand for iron ore imports from Australia and Brazil to the steel mills in China. Thus the vibrant research of VLOC aimed cost-cutting by optimum compartment have conducted in recent years. In this study, we are also trying to find ways to reduce longitudinal strength by optimum compartment and check additionally whether the modified compartments were satisfied with SOLAS bottom damage.

**Keywords** : Optimum compartment(최적화형상), Longitudinal strength(종강도)

## 1. 서론

300K VLOC의 경우 cargo Loading/unloading 및 선주의 cargo operation 취향과 hold strength 측면을 고려하여 보통 5~6개의 hold로 설계되고 hatch opening은 hold 당 1개 또는 2개로 설계된다. 또한 ore의 경우 비중이 크기 때문에 cargo lading/unloading 시 변화되는 선박의 draft, trim 등을 적절히 제어하기 위해 ballast tank의 용적이 큰 특성이 있다. 본 연구에서는 위와 같은 VLOC의 특성을 고려하여 최적의 hold 형상과 개수를 검토하고 종강도를 최소화 하여 강제중량을 감소시키며 SOLAS bottom damage를 만족하는 최적구획이 다방면으로 검토되었다. 특히 PSPC (Performance Standard for Protective Coatings)의 적용에 따른 건조비용 증가를 최소화 하기 위해 ballast tank의 용적을 줄이되 선체 종강도를 동시에 감소시키는 연구가 진행되었다.

## 2. 본론

### 2.1 Hold 및 Hatch 배치

일반적으로 300K급 Ore Carrier는 cargo hold가 5~6개로 설계되고 있으며 hatch opening은 선주의 cargo operation 선호경

향과 소요시간을 고려하여 각 hold별 1개 또는 2개로 설계된다. 종강도 및 ballast tank의 배치 등을 고려할 때 5 hold의 경우 10 hatch, 6 hold의 경우 6 hatch의 구조가 일반적이며 5 hold에서는 hatch opening의 scantling이 커지는 단점이 있다. 따라서 최근 선박 design은 cargo loading/unloading을 빠른 속도로 처리할 수 있고 종강도 측면에서 유리한 6 hold /6 hatch의 구조가 선호된다. 5 hold와 6 hold의 구조적 특징은 Table 1과 같고 본 연구에서는 6 hold로 설계된 선박 design이 여러 측면에서 유리하다는 결론을 얻었으며 이를 바탕으로 최적 구획이 검토되었다.

Table 1 Comparison of design hold

	경하 중량	종강도	손상복원성	선/하적 시간
5 hold/ 10 hatch	250 ton 감소	증가	불리	증가
6 hold/ 6 hatch	250 ton 증가	감소	유리	감소

또한 VLOC의 midship section configuration은 Fig. 1과 같이 세가지 형상이 검토되었으며 종강도 및 현장 작업성을 고려할 때 300K급의 VLOC는 knuckle type으로 설계되는 것이 최적이라는 결론을 얻었다.

<sup>†</sup> 교신저자 : jwwoo@tms2010.com, 070-4034-7400

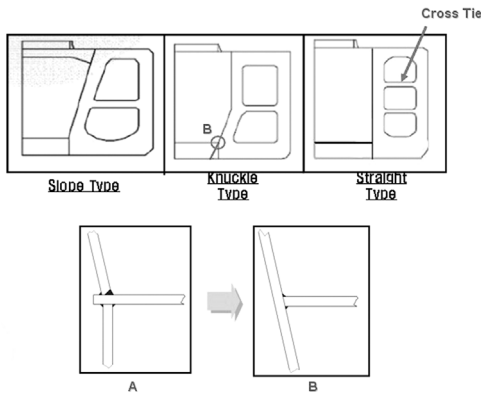


Fig. 1 Midship section configuration

그리고 longitudinal bulkhead 하부와 Inner bottom joint 형상의 경우, 기존에는 Fig. 1의 A와 같이 inner bottom이 관통하는 방식이었으나 knuckle 부위의 alignment 관리, 피로강도 등을 고려하여 B와 같이 longitudinal bulkhead가 관통하는 방식으로 설계 변경되었다.

Longitudinal bulkhead의 knuckle point에 대한 보강 및 side wing tank의 transverse web의 span 감소등을 고려하여 2개의 cross tie를 배치하였으며 cross tie개수로 인한 중량 증가는 transverse web의 전체적인 scantling 절감으로 상쇄가 가능하다는 결론을 얻었다.

## 2.2 SOLAS Bottom Damage Stability 및 URS11 검토

2009.01.01 keel laying 되는 선박은 SOLAS 2009 규정중 regulation 9의 bottom damage 계산을 만족해야한다. 이 규정은 화물창 bottom의 구조에 따라 면제 받을 수 있는데 이를 위해 화물창 바닥의 center에 배치된 double bottom을 선체외판까지 연장하는 Fig. 2의 방법이 검토되었다. 그러나 강제중량 증가로 인한 원가 상승으로 타당성이 결여되는 것으로 판단되어 fore peak tank와 after peak tank를 void로 설계하고 water ballast tank를 길이 방향으로 2 등분하여 SOLAS bottom damage stability

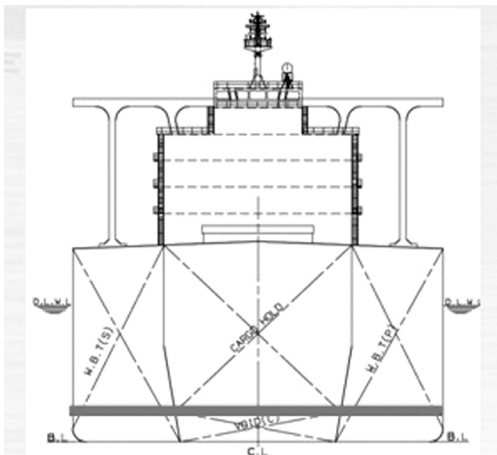


Fig. 2 Examination of double bottom

를 만족하는 구획이 다방면으로 검토 되었다(이와 관련된 구획 검토는 2.8절 참조). 또한 ore carrier의 경우 IACS (International Association of Classification) URS 11 조항에 근거하여 Ballast loading condition의 ballast tank가 partially filling된 경우 해당 tank의 모든 filling level에서 중강도가 검토되어야 함을 고려하여 최적구획배치의 검토가 진행되었다.

## 2.3 화물창 용적

국가별로 매장되어있는 철광석의 비중은 18~22 t<sup>3</sup>/LT (비중: 1.993~1.631)이며 VLCC의 화물창의 용적은 stowage factor 20.8 t<sup>3</sup>/LT를 기준으로 170,000 m<sup>3</sup>로 설계되었다.

참고로, VLCC 실적선의 화물창 용적은 다음과 같다

230K : 143,000m<sup>3</sup>, 250K : 153,000m<sup>3</sup>, 300K : 169,000m<sup>3</sup>,  
313K : 165,000m<sup>3</sup>, 322K : 179,000m<sup>3</sup>

## 2.4 Ballast tank의 배치

VLCC는 임의의 화물창에 황천시 ballast를 채우도록 하는 heavy ballast가 필요 없으므로 normal ballast 상태에서 충분히 선체가 잠겨서 안전운항이 되도록 ballast량을 고려하여 설계되었으며 수제선의 발라스트 용적은 160,000m<sup>3</sup>으로 설계되었다.

선체에 적재되는 철광석의 비중이 다른 화물에 비해 높기 때문에 항해 중에 선원들의 배 멀미를 야기할 수 있으므로 rolling period에 신중을 기해야 한다. 따라서 수제선의 화물구역의 이중저에 ballast tank 대신에 void space를 배치하였고 PSPC측면에 서도 ballast capacity를 최소화하는 것이 유리하다.

참고로, VLCC실적선의 화물창구역의 발라스트 용적은 다음과 같다.

230K : 130,000m<sup>3</sup>, 250K : 152,000m<sup>3</sup>,  
300K : 160,000m<sup>3</sup>, 322K : 230,000m<sup>3</sup>  
320K : 160,000m<sup>3</sup>

## 2.5 Upper & Low stool 배치

- Upper stool

일반적으로 upper stool은 PMA(Permanent Means of Access for cross deck)의 생략이 가능한 full type과 PMA가 적용되는 partial type이 있다. upper stool height는 CSR requirement에 따라 corrugated bulkhead 깊이("C")의 2~3배를 요구하나 turn over 등의 작업성 및 corrugation plate의 scantling, 강제 중량 감소를 고려하여 4.5 m height를 가진 partial upper stool type을 적용하였다.

- Lower stool

lower stool은 cargo의 직접적인 pressure를 받는 중요한 부재로서, bottom girder 및 corrugated plate scantling에 직접적인 영향을 미치며 Height가 5m인 both slant type을 적용하였다.

## 2.6 Pipe duct in double bottom in way of cargo hold

ballast tank 용량이 일반 벌크선에 비해 크므로 water ballast 용 pump와 diesel generator의 용량도 증가된다. hold bottom 구획의 void space를 pipe duct로 활용하였으며 전 hold의 double bottom 구역을 one (1) compartment로 설계하였다.

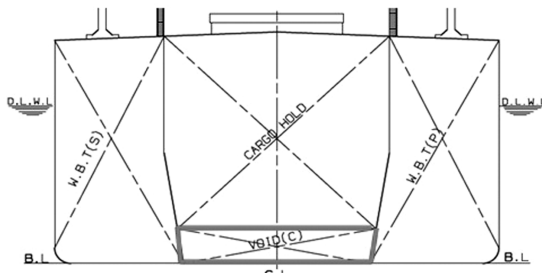


Fig. 3 Pipe duct configuration

## 2.7 Design Development

본 연구는 2.1~2.6절에서 결정된 형상을 바탕으로 각 water ballast tank의 compartment 범위를 변경 시키며 종강도 및 SOLAS bottom damage를 검토하였으며 대략의 변경사항은 대부분 종강도 감소와 생산비 절감에 초점을 맞추었다.

compartment 변경으로 인한 결과는 Table 2 & Table 3과 같다.

Table 2 Result for modified compartment

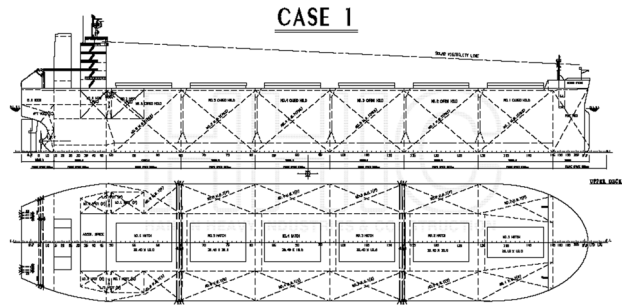
	SOLAS Damage	Divided W.B.T	Modified No1 C/H
Case 1	Not Applied	Not Applied	Not Applied
Case 2	Not Applied	Not Applied	Applied
Case 3	Applied	No2&5 W.B.T	Applied
Case 4	Applied	No1,3&5 W.B.T	Applied

	HOG (kN-m)	SAG (kN-m)
Case 1	+8,160,000	-8,850,000
Case 2	+8,160,000	-7,820,000
Case 3	+5,950,000	-7,820,000
Case 4	+3,959,000	-7,820,000

Table 3 Result for cost-cutting

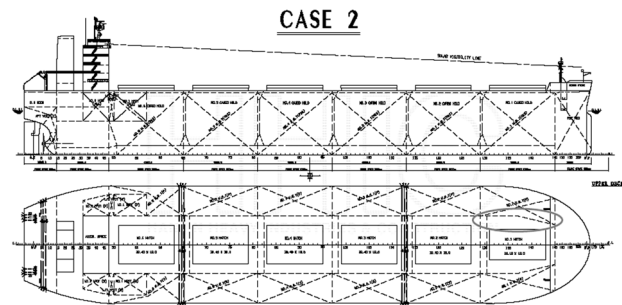
	Case 1	Case 2
Hull Weight	Base	- \$ 254,000
Paint (PSPC)	Base	-
Total	Base	- \$ 254,000
	Case 3	Case 4
Hull Weight	+ \$ 30,000	+ \$ 170,000
Paint (PSPC)	- \$ 220,000	- \$ 110,000
Total	- \$ 190,000	+ \$ 60,000

### 2.7.1 Case 1 검토



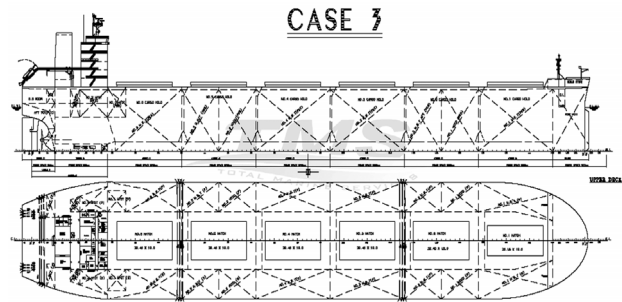
Case 1은 초기 VLOC 설계단계이다. No.1 cargo hold의 Side BHD에 knuckle을 주지 않아 생산 작업성은 좋으나 cargo loading condition에서 sagging bending moment가 높아 이를 낮추기 위한 설계 개선 작업을 수행하였다.

### 2.7.2 Case 2 검토



Case 2에서는 No.1 cargo hold의 Side BHD에 knuckle을 적용하여 cargo capacity를 증가시키고 cargo loading condition의 sagging moment를 약 12% 감소시켰다. bending moment의 감소로 longitudinal member의 scanting을 낮출수 있었으며, 약 330 ton의 선체 중량이 감소되는 효과가 있었다. 하지만 SOLAS bottom damage stability를 만족하지 못하여 추가적인 설계 변경이 필요하였다.

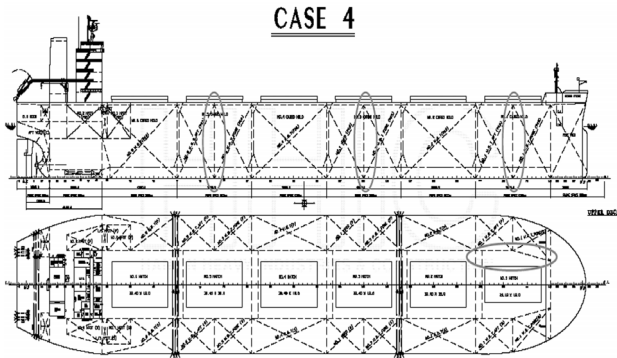
### 2.7.3 Case 3 검토



SOLAS bottom damage stability를 만족시키기 위하여 No.2 & No.5 W.B.T를 분할하여 after space만을 ballast tank로 사용하고 fore space에는 void space를 배치하여 bottom damage

stability를 만족시켰다. 또한 hogging moment를 약 27% 감소시켰으며 ballast tank 용량이 줄어 PSPC 적용시 cost를 줄일 수 있다.

2.7.4 Case 4 검토



SOLAS bottom damage stability 만족과 hogging moment 감소를 위하여 No.1,3,5 W.B.T를 분할하여 설계하였다. bottom damage를 만족하고 hogging moment를 초기 대비 약 51%를 감소시킬 수 있었지만 bulk head의 증가로 선체중량이 증가하여 cost가 증가하는 결과가 되었다.

2.8 종강도 및 Bottom Damage를 고려한 최적구획 결정

결론적으로 2.7.3.절의 Case 30이 SOLAS bottom damage 요구 조건을 만족하며 maximum bending moment를 약 27%, maximum shear force를 약 12% 감소시켜 건조비를 줄일 수 있는 경제성이 있는 최적구획으로 판명되었다.

Table 4 SOLAS bottom damage result for modified design

	1차	2차	3차	4차	5차
No.6 W.B.T			분할		
No.5 W.B.T			분할	분할	분할
No.4 W.B.T					
No.3 W.B.T					분할
No.2 W.B.T		분할	분할	분할	
No.1 W.B.T		분할	분할		분할
결 과	불만족	불만족	불만족	만족	만족

bottom damage에 대한 최적구획 검토를 위해서 실제적으로 5차에 걸쳐 설계변경이 진행되었으며 아래 Table 4의 4차가 최적구획으로 결정된 Case 30이다.

3. 결론

본 논문에서는 300K VLOC 선박의 특성을 파악하고 hold/ hatch 형상, 화물창 용적, ballast tank 배치, upper/Low stool 배치, pipe duct등의 주요 형상을 결정한 뒤 SOLAS bottom damage를 만족하면서 종강도를 감소시키는 방법을 다방면으로 모색하였다. 1차 설계 대비 종강도를 감소시키며 SOLAS bottom damage를 만족하는 최적의 방법은 water ballast tank를 분할하여 일부를 void space로 사용하는 것으로 사료되며 연구 결과는 다음과 같다.

- 300K급의 VLOC 경우 5 hold/ 10 hatch, 6 hold/ 6 hatch로 설계될 수 있으나 종강도, 손상복원성, cargo operation 등을 고려할 때 6 hold/ 6 hatch 구조가 적합한 것으로 사료된다.
- 6 hold/ 6 hatch의 구성을 바탕으로 종강도를 감소시키는 방법은 water ballast tank의 inner knuckle을 조절하는 방법과 water ballast tank를 길이 방향으로 세분화 하는 방법이 설계변경을 최소화 하면서 선체 종강도를 줄일 수 있는 최적의 방법으로 판단된다. 설계 변경을 통해 이를 확인할 결과 1차 설계 대비 maximum bending moment가 약 27%, maximum shear force가 약 12% 감소되는 것을 확인하였다.
- SOLAS bottom damage를 만족하는 최적구획을 결정하기 위해 5차에 걸쳐 설계 변경 후 계산을 수행한 결과 6 hold로 설계된 300K VLOC의 경우 No.2 & No.5 water ballast tank를 두 구획으로 나누고 앞쪽 구획을 void로 설계하는 방법이 강재 증가를 최소화 하고 bottom damage를 만족하는 결과를 얻었다. 또한 water ballast tank를 구획화 하고 일부를 void로 설계하는 것은 PSPC 적용시 water ballast tank의 고가 도장의 사용을 줄여 원가 절감 차원에서도 유리하다.

참 고 문 헌

- SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea including 2009 Amendments).
- IACS (International Association of Classification Societies) URS11.
- ICLL (International Convention on Load Lines).



박 지 윤



구 자 원