

Kamsarmax급 CSR Bulk Carrier의 Forward Cargo Hold 구조적 특성 및 안정성 검증

항상욱^{1,†} · 박정준¹
대우조선해양(주) 선체 설계팀¹

Structural Strength Assessment of Forward Cargo Hold for Kamsarmax CSR Bulk Carrier

Sang-Wook Hwang^{1,†} · Jeong-Jun Park¹
Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd.¹

Abstract

The International Association of Classification Societies (IACS) had developed the Common Structural Rules (CSR) for bulk carriers as per the needs noted above. ISO and IMO GBS (Goal-Based Standards) are now being developed in this regard. This study has been prepared to verify the strength of forward cargo hold of 82,000 DWT class bulk carriers. A cargo hold/tank 3-D FE model was established to assess the structural adequacy of the primary structural members with the loading conditions. Full breadth model was established for the analysis considering asymmetric nature of structural layout and loading conditions. To summarize this result of structural assessment based on IACS CRS for bulk carrier, it is benefit to design this kind of bulk carriers and to study the strength assessment for the similar type of bulk carriers.

Keywords : Kamsarmax(캄사르막스), Common structural rules(CSR, 선급 공통 규칙)

1. 서론

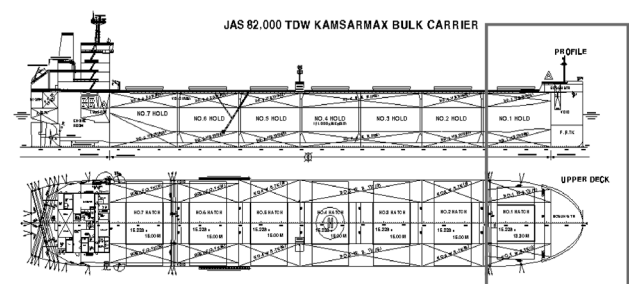
산적 화물 운송의 대부분의 Handy-max급 및 Pana-max급의 두 종류가 주를 이루고 있다. Panamax bulk Carrier는 전세계적으로 경쟁 압력으로 인하여, 추가로 여분의 화물을 운송할 수 있도록 Cargo Capacity를 지속적으로 늘리고 있다. 따라서, Panamax급 산적 화물선 보다 큰 특별하게 건조된 선박을 'Kamsarmax' 산적 화물선이라 부른다. 본 선박은 보크사이트(bauxite)항, 적도 근처의 기니(Guinea) Kamsar항을 입출항 할 수 있는 가장 큰 크기의 Bulk Carrier이다.

Kamsarmax급 Bulk Carrier는 기본적으로 82,000 DWT급으로 Panamax급에서 선박의 길이가 229 m로 증가된 적도 기니 Kamsar Port 용이다.

현재 적용되고 있는 선박공통규칙(Common Structural Rules) 규정에 따라 중앙부 설계되고, 구조 해석 검증을 통하여 Scantling이 결정된다. 그 결과를 기반으로 하여 선수미 Hold에 Scantling을 동일하게 적용할 수 있다. 이는 중앙부 구간이 가장 Critical하기 때문에 이를 선수미 Hold에 적용하여도 문제가 없다고 보는 것이다.



Picture of Kamsarmax Bulk Carrier



882,000 TDW Kamsarmax Bulk Carrier의 GA
Fig. 1 General arrangement for Kamsarmax Bulk Carrier

[†] 교신저자 : suhwang@dsme.co.kr, 055-680-4107

하지만, 선박의 선수미 Hold에서는 중앙부와 형상이 다르며, Acceleration의 변화에 따른 Dynamic 하중이 다르다. 이러한 점들은 선수미 Hold에서 Loading condition과 Effect가 적용되어야 한다는 것을 의미하며, 당사에서는 그에 따른 구조 해석의 필요성을 제기 하게 되었다.

이에 IACS의 CSR For Bulk Carrier[1]에 규정되지 않은 No.1 Cargo Hold의 구조적 안정성을 평가 및 검증하기 위하여 해석 절차를 한국 선급(KR)과 협의를 통하여 결정하였으며, 선급 프로그램을 이용하여 다양한 Loading condition 및 계산 결과 및 특징을 연구하여 그 결과를 서술하였다.

Kamsarmax Bulk Carrier의 일반적인 배치는 Fig. 1과 같이 7

개의 Cargo Hold로 계획되었으며, No.4 Cargo Hold는 Ballast Tank로 배치되어 있다.

2. 구조강도 계산

본 선박은 일반적으로 7개의 Cargo Hold를 갖고 있고, 선수미 Hold를 제외한 나머지 Hold는 중앙부의 선형과 동일하다. 본 Project는 각각의 Cargo Hold에 대한 구조 해석을 수행하여 그 결과를 설계에 반영하였고, 본 고에서는 Dynamic 하중이 가장 큰 No.1 Cargo Hold와 선수부 (Fore Body)에 대한 구조 강도 계산을 중

Table 1 Loading conditions for fore cargo hold

Load Case	Sketch of Loading	Load Case (Design Wave)			
		Still Water Bending Moment			
LC1 Full Load		P1			
		0.5Msw,s			
LC2 Full Load		P1			
		0.5Msw,s			
LC3 Slack Load		P1			
		0			
LC4 Multi Port-2		F2	P1		
		Msw,h	Msw,s		
LC5 Multi Port-3		P1			
		Msw,s			
LC6 Multi Port-3		P1			
		Msw,s			
LC7 Multi Port-4		F2	R1	R1	P1
		Msw,h	Msw,h	Msw,s	Msw,s
LC8 Alternate		F2	P1		
		Msw,h	0		
LC9 Harbour					
		Msw,p,h	Msw,p,s		

Table 2 Cargo Holds Data

Cargo Hold	Mass M_H (tonnes)	Alternate load Mass M_{HD} (tonnes)	Volume hold (m^3)	Volume hatch Coaming (m^3)	Volume total (m^3)
No.1 C/H	11771.5	20550.0	13893.8	246.69	14155.3
No.2 C/H	11329.8		13362.6	304.26	13624.1

Table 3 No.1&2 Cargo Hold Data

		M_H	0.5 M_H	M_{Full}	$M_{HD}+0.1 M_H$	M_{HD}
No.1 C/H	Mass (tonnes)	11771.5	5885.75	14155.3	21727.2	20550.0
	Density (ton/ m^3)	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0
No.2 C/H	Mass (tonnes)	11329.8	5664.9	13624.1	-	-
	Density (ton/ m^3)	3.0	3.0	1.0	-	-

심으로 서술되었다. 또한 방형계수가 상당히 크고, 구상선수(bulbous bow)가 없는 선형을 적용함으로써 전향적인 선수구조 배치가 필요로 하게 되었고 이에 검증이 필요로 하게 되었다.

2.1 구조 해석 범위

구조 강도 계산은 당 선박의 선급인 한국선급(KR)과 협의를 통하여 구조해석 절차를 결정하였으며, 구조 모델은 선수부 및 No.1 화물창의 구조응답을 구하기 위해서 선수부 (Fore Body)에서 선체 중앙부(No.2 Cargo Hold) 구역까지 확장하였으며, 유한 요소 모델은 전처리 시스템인 MSC/PATRAN(2005, R2)[2]/Sea-Trust Holdan [3]을 이용하고, 유한 요소(Mesh Size)의 크기를 Long. Space간격 크기를 기준으로 모델링 하였고, MSC/NASTRAN (2008) [4]을 이용하여 구조해석을 수행하였다. Fig. 2은 유한요소 구조해석 모델과 범위를 보여준다.

2.2 하중 조건

No.1 Cargo Tank와 Fore Body 구조 강도를 검토하기 위한 하중 조건들은 Table 1과 같이 관심 구조에 따라 적용하중을 이용하여 평가하였다. 적용 하중은 IACS Common Structural Rules For Bulk Carrier (2008)[3]에서 제시하는 External Sea Pressure, Ballast Pressure, Internal Pressure and Force을 이용하였으며, Table 1에서 보여진 각 Local Hold 하중 조건들은 Internal 하중과 External 하중의 조합으로 이루어졌으며, Local Hold 하중 조건과 Hull Girder하중 조건이 따로 수행하였다. Hull Girder Loads (Vertical Still Water Bending Moment)를 적용한 결과(중 방향 응력)는 하중 조건에 맞는 Local Hold 하중 조건에 선형적으로 조합하였다.

적용된 화물의 Heavy Cargo Specific Gravity는 3.0 ton/ m^3 , Light Cargo Specific Gravity는 1.0 ton/ m^3 , Ballast와 Sea Pressure는 1.025 ton/ m^3 이며, cargo holds 주요 데이터는 Table 2&3과 같다. 또한 선급에서 제시하는 bottom Slamming과 Bow impact pressure를 계산하여 하중을 적용하였다.

2.3 허용 강도

구조 안정성을 평가하기 위하여 CSR에서 제공한 허용 응력 값을 적용하였으며, 모든 하중 조건의 구조 해석 결과들에 대하여 Yield strength와 buckling strength들을 평가하였다. Yield strength 평가는 local load 와 종강도가 조합된 등가 응력으로 평가하였으며, 아래의 식과 같다.

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

Where,

σ_x =total stress in x direction, σ_y =total stress in y direction, τ_{xy} =shear stress in xy plane

Reference stresses는 CSR (Ch.7 Sec.2.2.5)에서 요구되어지는 235/k (N/ mm^2) 넘어서서는 안되며 재료계수 k 및 허용응력은 Table 4와 같다.

Table 4 Material Properties & allowable stress

Material	Material Factor	Min. Yield Stress	Allowable Stress
Mild Steel	1.0	235 N/ mm^2	235 N/ mm^2
'AH' Grade Steel	0.78	315 N/ mm^2	301 N/ mm^2
'AHS' Grade Steel	0.72	355 N/ mm^2	326.4 N/ mm^2

좌굴 평가는 CSR Bulk Carrier (Ch 6, Sec 3 & Ch.7, Sec.2)에 의하여 Primary Supporting Panel에 대하여 수행을 하였으며, 안전율은 1.0으로 제한하였다.

3. 구조 해석 결과 및 평가

Kamsarmax Bulk Carrier의 선수부 화물창에 대하여 구조 해석을 수행하여 그 결과를 검토하고 구조 안정성이 만족되도록 하였

으며, 각 구조 별 구조 해석 결과에 대한 특징을 아래와 같이 요약하였다.

(1) Double Bottom Floor & 및 Topside Wing Tank Web 구조
 External Sea Pressure와 Cargo Loading (LC8)에 기인하여 No.1 Cargo Hold 중앙부 Floor들에 응력집중 현상이 발생해서, 국부적으로 허용치를 초과하였으며, 또한, 국부적인 좌굴(Buckling) 현상이 예상되어 Buckling Stiffener를 이용하여 보강하였다. 그리고, Bulkhead에 인접한 Wing Tank Web가 국부적인 응력 집중 현상이 발견되었으나, 허용응력을 넘지 않는 Stress를 보였다.

(2) Ordinary Side Frame구조

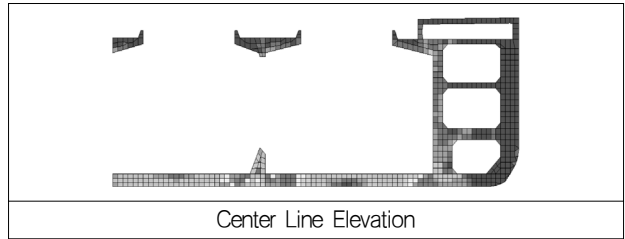
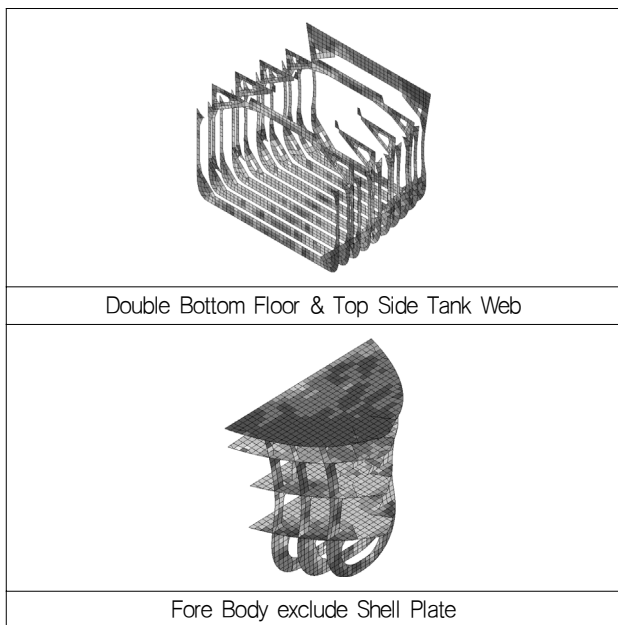
전형적인 Single Hull 구조물에서 Side Frame의 끝 단에서 국부적으로 응력집중 현상이 발생하여 보강하는 경우가 많았으나, 본 선박의 경우 CSR 적용됨으로 Side Frame이 충분한Scantling을 가져가서 허용치를 초과하는 구역은 보이지 않는다.

(3) Double Bottom Girder 및 Center Line Girder 구조

Double Bottom Girder들의 구조 해석 결과들은 일반적으로 Transverse Bulkhead 근처에서 높은 응력을 보여 주는데, 이는 Local Hold 하중에 의한 Bending Stress와 Shear Stress가 높기 때문이다. 주요 보강은 bottom slamming pressure에 기인하여 보강되었다.

(4) Hopper Plate 구조

Low Hopper Plate 구조는 선수부 Hopper Corner가 Shear Stress에 의해 Scantling 증가 및 Side Bottom Girder와 만나는 부근의 Buckling이 예상되어 구조적 보강을 하였다.



5. 결론

본 연구에서 Kamsarmax급 CSR Bulk Carrier (82,000 TDW)의 선수부 및 No.1 화물창에 대한 구조 강도 해석을 통하여 여러 가지 하중 조건에 대한 구조 강도를 평가하고 구조 안정성을 확보하였다. 또한, IACS CSR Rule을 바탕으로 설계된 Bulk Carrier의 강도 결과값을 도출함으로써, 산적 화물선 설계에 유용하게 활용될 수 있으며, 유사 선박 및 다른 선종의 강도에 대한 연구를 하는데 활용될 수 있을 것으로 보인다.

참고 문헌

Korean Register, 2010, Sea-Trust Holdan User's Guide.
 Lloyd's Register, 2008, IACS Common Structural Rules for Bulk Carrier, Chapter 4.
 MSC.Software Corporation, 2003, MSC.Patran User's Manual (Version 2003).
 MSC.Software Corporation, 2000, MSC.Nastran User's Guide (Version 2008).

