

Bulk Carrier 피로수명 향상을 위한 형상 고찰

윤혜림^{†*}, 이정호*, 남형주*, 신성광*

STX 조선해양 구조연구팀*

Study for Fatigue Life Improvement of Bulk Carrier

Hye Lim Yun^{†*}, Jeong Ho Lee*, Hyung Ju Nam* and Sung Kwang Shin*

Shipbuilding & Ocean Research Institute/STX Offshore & Shipbuilding co., LTD.*

Abstract

CSR for bulk carrier has been required 25 years operation life in North Atlantic condition. As the fatigue life requirement of ship structure is increased, it is necessary to study to satisfy the fatigue life which is much severe. Therefore from the fatigue analysis, especially fatigue strength for double bottom & lower stool connection area is not enough. To satisfy the fatigue life, it needs to increase double bottom strength or insert thicker plate. In this study, the consideration though structure modification have been done with 81K bulk carrier and to find the solution of fatigue problem.

※Keywords: Fatigue life(피로 수명), Structure modification(구조 변경)

1. 서론

선박의 운항 조건 및 해양 조건상 주기적인 운동이 반복적으로 일어나게 된다. 이때 부재의 항복응력을 초과하여 생기는 파괴현상 이외 항복응력보다 낮은 응력이 반복적으로 일어나게 되어 파괴에 이르는 것을 피로파괴라 한다. 특히 선박 건조 시 많은 부위를 용접으로 일체화 하게 되는데 이러한 용접부의 피로 파괴현상이 선박의 피로의 대표적인 사례이다. 기존의 선급규칙에서는 운항 조건을 worldwide condition 20 년으로 규정하였으

나 CSR 이 발효된 이후 north-atlantic condition 25 년으로 피로해석을 규정한다.

CSR 에 제시된 방법으로 피로해석 수행 시, 추가적 보강 없이는 만족하기 힘든 실정이다. 따라서 피로수명을 만족시키기 위해서 partial girder, insert plate 등 추가적 보강, 혹은 CSR 에 명시된 hot spot stress 의 계산법이 실제 형상을 고려하지 못하고 있으므로 이를 고려한 응력 계산법 등을 통하여 피로수명을 향상을 위한 여러 가지 대안 방안들을 연구되고 있다. 하지만, 다양한 하중 조건 및 기타 원인들로 인하여 뚜렷한 대책방안이 없다.

본 연구에서는 이런 피로수명이 만족되지 않는

[†]교신저자: hlyun@onestx.com, 055-548-3201

곳에 대하여 그 부위의 형상을 변화시켜 추가 보강 없이 피로수명을 만족하고자 해석을 수행하였다.

2. 피로해석

본 연구에서는 당사에서 설계가 끝난 81K Bulk Carrier 에 대하여 CSR 에 나타난 피로강도 평가 부위 중 하나인 inner bottom 과 vertical lower stool 의 연결부위에 대하여 해석모형을 구현하였다. 이는 피로강도 평가부위 중 가장 짧은 피로에 측수명을 가지므로 이 연결부위와 그 주위 형상에 대하여 MSC.PATRAN 및 RaonX FMESHER 를 이용하여 모델을 구현하고 LR 선급 ShipRight SDA 2007 을 이용하여 피로해석을 수행하였다.

2.1 피로해석 모델

Bulk Carrier 의 경우 구조해석에서 Floodable hold, Empty hold, Ore hold 의 경우에 대하여 각각의 하중조건을 가지고 구조해석 및 피로해석을 수행한다. 본 연구에서는 각 hold 별 가장 짧은 피로 수명이 예측되는 Floodable hold 의 inner bottom 과 vertical lower stool connection 부위에 대하여 피로해석을 수행하였다.

상세구조해석의 결과를 반영한 모델을 바탕으로, 피로수명을 평가 하고자 하는 부분의 모든 연결부위를 shell element 로 구현하고 이 부위에 대하여 실제 당사에서 설계 된 두께의 net thickness 크기의 요소로 모델을 구현하였다.

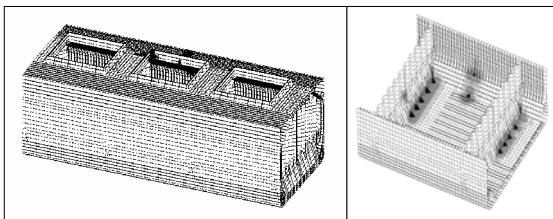
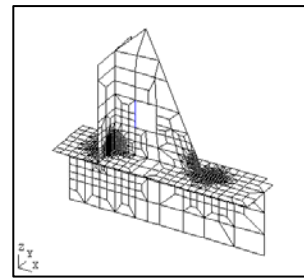
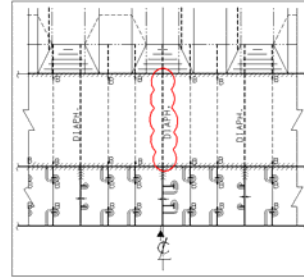
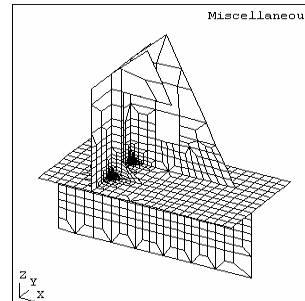
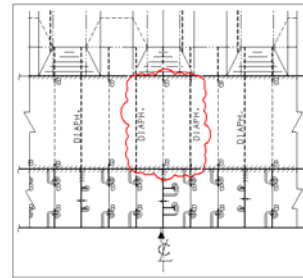


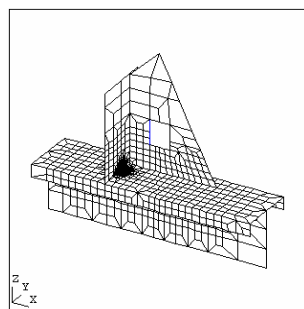
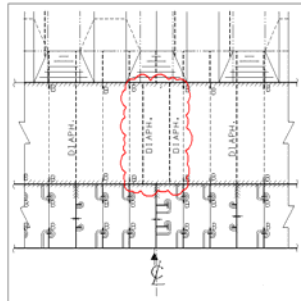
Fig.1 The model of 81K bulk carrier



[case 1]



[case 2]



[case 3]

Fig. 2 Inner bottom & vertical lower stool connection in floodable hold

피로수명을 향상시키기 위하여 Fig.2 에 나타난 것과 같이 diaphragm 위치를 달리하여 형상을 구현하여 보았다. Case1 의 경우 기본 모델로서 center girder 위에 위치한 형상을 나타내었으며, case2 의 경우 첫 번째 longitudinal stiffener 가 위치한 곳 위에 diaphragm 위치를 변경 하였으며, case3 의 경우 centerline 과 longitudinal stiffener 사이에 diaphragm 을 위치시켰다

2.2 경계조건 & 하중조건

각 모델에 대하여 CSR Bulk Carrier 에서 규정 된 boundary conditions 및 loading conditions 을 동일하게 적용하였을 뿐만 아니라 mesh size, property 등에 대해서도 동일한 조건을 부여하였다.

Table 1 Rigid-link of both ends

Nodes on long'l members at both ends of the model	Translational			Rotational		
	Dx	Dy	Dz	Rx	Ry	Rz
All longitudinal members	RL	RL	RL			

RL means rigidly linked to the relevant degrees of freedom of the independent point

Table 2 Support condition of the independent point

Nodes on long'l members at both ends of the model	Translational			Rotational		
	Dx	Dy	Dz	Rx	Ry	Rz
Independent point on aft end		Fix	Fix	Fix		
Independent point on fore end	Fix	Fix	Fix	Fix		

Table 3 Loading condition

1	Full load	T	
2	Alternate - empty	T	
	Alternate - load	T	
3	Normal ballast	T _{NB}	
4	Heavy ballast	T _{NB}	

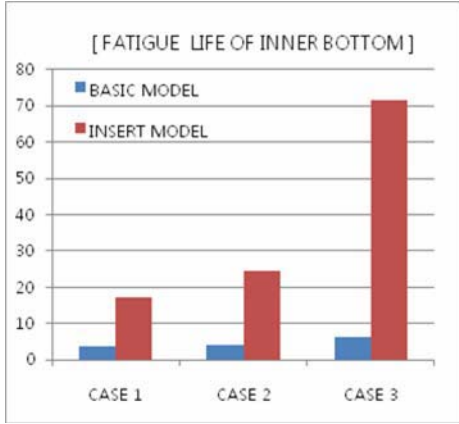


Fig. 3 Result of fatigue life

3. 해석결과

Fig 3 에 보이는 결과와 같이 3 가지 경우 모두 inserted plate 를 삽입하지 않고서는 CSR 에서 요구하는 피로수명을 만족하지 않음을 확인하였다. Insert plate 를 삽입한 결과에 대하여 case1 의 경우 17.01 년으로 이는 더 두꺼운 insert plate 를 통하여 보강을 하거나 혹은 2008 년 9 월에 IACS 에서 발표한 Rule Change Notice 3[RCN 3]를 적용하여 smooth grinding effect 를 고려한 notch factor 를 적용한다면 만족한다. Case2 의 경우는 24.42 년으로 추가보강 및 smooth grinding 이 필요없다. Case 3 의 경우는 71.5 년의 피로수명을 가진다. 하지만 diaphragm 아래 추가 보강이 필요할 뿐 아니라 현장 작업성에도 불리하다.

따라서 위의 결과를 보면 diaphragm 의 위치 이동만으로는 피로수명을 25 년을 만족 시킬 수 없지만 diaphragm 이동과 insert plate 의 추가보강의 결과를 본다면 3 개의 모델 중 case2 가 피로수명을 늘리는 데 가장 적합하다는 결론을 얻을 수 있다.

Table 4~6 은 insert plate 가 있는 모델의 피로피로수명계산에 필요한 stress range 및 damage factor 를 나타내었다.

Table 4 Result stress of case1

	Full load	Alter nate Load	Normal Ballast Load	Heavy Ballast Load
index	P	P	F	H
Combined Stress Range (MPa)	107.3	65.9	84.9	203.2
Mean Stress (MPa)	31.9	- 123	-72.5	316.1
Equivalent Hot Spot Stress (MPa)	42.9	26.3	33.9	270.5
Corrected Equivalent Notch Stress (MPa)	59.6	36.6	47.1	375.6
Elementary Fatigue Damage	0.00	0.00	0.00	1.33

Table 5 Result stress of case2

	Full load	Alter nate Load	Normal Ballast Load	Heavy Ballast Load
index	P	F	F	H
Combined Stress Range (MPa)	94.3	56.7	74.6	185.5
Mean Stress (MPa)	29.9	- 112.9	-61.1	295.8
Equivalent Hot Spot Stress (MPa)	37.7	22.68	29.8	254.1
Corrected Equivalent Notch Stress (MPa)	52.4	31.5	41.4	352.9
Elementary Fatigue Damage	0.00	0.00	0.00	1.03

Table 6 Result stress of case3

	Full load	Alter nate Load	Normal Ballast Load	Heavy Ballast Load
index	P	F	F	H
Combined Stress Range (MPa)	63.3	39.5	51.2	128.9
Mean Stress (MPa)	19.2	-82.3	-36.7	208.1
Equivalent Hot Spot Stress (MPa)	87.9	15.8	60.7	197.0
Corrected Equivalent Notch Stress (MPa)	122.1	21.9	84.3	273.6
Elementary Fatigue Damage	0.00	0.00	0.00	0.34

Fatigue damage 평가 시, 식(3.1)와 같이 elementary fatigue damage 는 corrected equivalent notch stress range 의 4 승에 비례하고, 이 corrected equivalent notch stress range 는 correction factor 를 곱하기 전 값인 equivalent notch stress range 에 의해 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

$$D_j = \frac{\alpha_j N_L}{K} \frac{\Delta \sigma_{Ej}^4}{(\ln N_b)^{4/5}} \left[\Gamma \left(\frac{4}{\xi} + 1, v \right) + v^{3/\xi} \gamma \left(\frac{7}{\xi} + 1, v \right) \right] \quad (3.1)$$

$$\Delta \sigma_{Ej} = f_{coat} f_{material} f_{thick} \Delta \sigma_{eq,j} \quad (3.2)$$

$$\Delta \sigma_{eq,j} = K_f \Delta \sigma_{equiv,j} \quad (3.3)$$

$\Delta \sigma_{eq,j}$: Equivalent notch stress range
 K_f : Fatigue notch factor
 $\Delta \sigma_{equiv,j}$: Equivalent hot spot stress range

Case 1 과 Case 2 의 corrected equivalent notch stress range 가 약 20 MPa 차이에 약 7 년 정도의 피로수명 차이를 보였다. 따라서 equivalent notch stress range 를 최소화 하는 것, 즉 fatigue notch factor 를 줄이거나 혹은 equivalent hot

spot stress range 를 줄이는 것이 피로수명을 연장하는데 효과적이다.

Case2 의 경우 girder 가 위치한 곳에서의 inner bottom 과 vertical lower stool 의 연결부위는 피로수명 25 년에 근접함을 확인 하였으므로 diaphragm 의 위치의 변경으로 인하여 주위 부재의 피로수명변화를 확인하여 보았다.

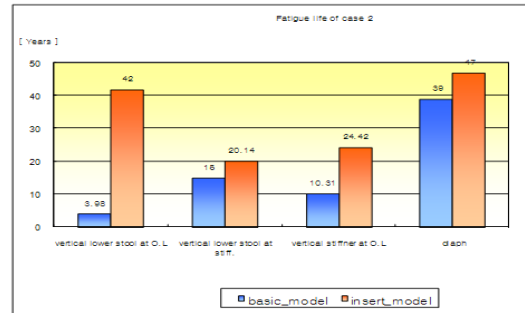
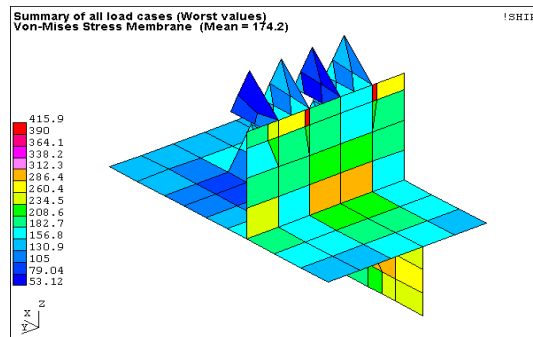


Fig. 4 Result of fatigue life about other structure

주위 부재의 피로수명을 확인 한 결과 stiffener 가 위치한 곳에서의 vertical stool plate 의 수명이 만족하지 못함을 확인 할 수 있고 이는 현재 insert plate 두께보다 조금 더 두꺼운 plate 를 삽입하여 hot spot stress range 를 줄여야 한다.

구조변경에 따른 Von-Mises stress 의 결과값을 살펴보면 inner bottom 의 응력값은 216.4N/mm², vertical lower stool 은 305.9N/mm², diaphragm 의 응력은 199.1N/mm², double bottom floor 는 315.4N/mm² 으로 모두 yield stress 만족하는 결과를 얻었다.



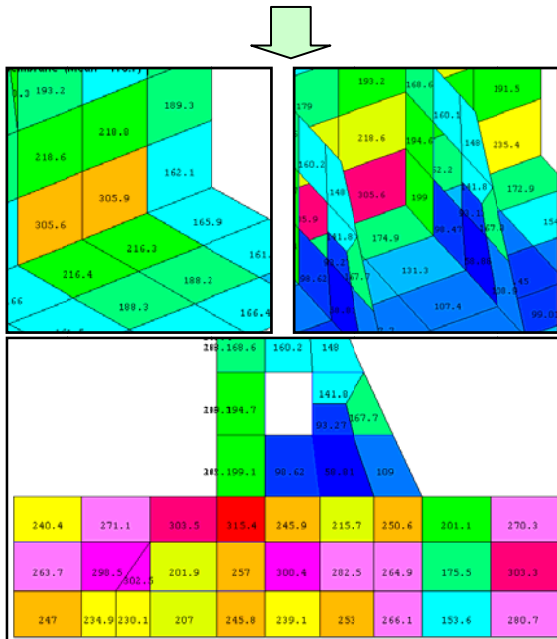


Fig. 5 Von-Mises stress of coarse-mesh model

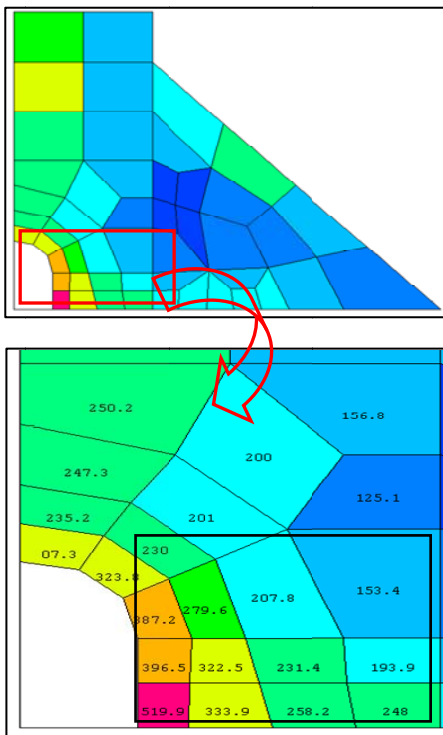


Fig. 6 Von-Mises stress of fine-mesh model

Case 2의 center line에 위치한 stiffener의 응력 값을 살펴보면 fine-mesh 허용응력 358 N/mm^2 를 만족하는 284.8 N/mm^2 이다.

4. 결론

- Diaphragm의 위치를 변화시켜가며 피로수명의 결과값을 확인 하였으나, 새로 제안된 구조에서도 insert plate 없이는 피로수명을 만족시키기는 어렵다.
- Diaphragm이 vertical lower stool과 inner bottom이 만나는 center line에 위치하는 것보다 주요 primary member가 연결되지 않는 곳에 배치하는 것이 상대적으로 좋은 결과를 가져온다. 하지만 그에 따른 추가적 보강이 요구된다.
- Case 1의 경우 RCN3를 적용할 경우 smooth grinding을 적용하면 피로수명이 만족된다. 하지만 smooth grinding은 현장의 정밀한 작업이 요구된다.
- insert plate 없이 피로수명을 만족시키며 현장 작업성도 좋은 구조 형상 연구가 활발히 이루어져야 하며, 만약 insert plate가 꼭 필요하다면 그 두께 감소 및 insert plate 삽입구간을 최소화시킬 수 있는 구조 형상연구가 필요할 것이다.



< 윤혜림 >

< 이정호 >



< 남형주 >

< 신성광 >