

AFRAMAX TANKER의 CSR 적용에 대한 고찰

김성인[†]*, 김영남*, 김경래*

한진중공업 선체설계팀*

Consideration for AFRAMAX TANKER Applied Common Structural Rules

Sung In Kim[†]*, Young Nam Kim* and Gyeong Rae Kim*

Hull Design Team/Hanjin Heavy Industries & Construction co., LTD.*

Abstract

The IACS Common Structural Rules are to be applied for double hull tanker of more than 150m length with contracted after 1 April 2006. The objectives of the rules are to make more robust, safer ship and to ensure transparency of the technical background. In compliance of CSR, we had carried out prescriptive rules scantling determination and 3-D hold FE analysis of AFRAMAX TANKER. Prescriptive rules scantling determines the minimum required scantling, hull-girder longitudinal bending and shear strength, hull girder ultimate strength, local strength of plate and stiffener, strength of primary supporting member and fatigue assessment of the longitudinal stiffener end connections to the transverse bulkhead. 3-D hold FE analysis assesses the structural adequacy of the vessel's primary hull structure and major supporting members using yielding and buckling failure modes. So we could verify the strength assessment of AFRAMAX TANKER applied CSR.

※Keywords: CSR(선체구조 공동규칙), 3-D hold FE analysis(3 차원 구조해석).

1. 서론

최근 IMO 와 같은 국제 해사기구에서 MORE ROBUST, SAFER SHIP 설계의 필요성이 대두되고, 선급 RULE 의 TACHNICAL BACKGROUND 에 대한 TRANSPARENCY 확보 및 선박설계 시 동일한

STRUCTURE 에 대한 동일 REQUIREMENT 의 필요성에 근거하여 CSR (COMMON STRUCTURAL RULES)이 개발되었다.

본 논문에서는 AFRAMAX TANKER 에 CSR 을 적용하여 PRESCRIPTIVE RULES SCANTLING 을 결정하고 3D HOLD FE ANALYSIS 를 수행한 결과를 소개하고자 한다.

PRESCRIPTIVE RULES SCANTLING 에서는

[†]교신저자: sikim74@hanjinsc.com, 051-410-3475

- DYNAMIC LOADS (EXTERNAL) : VERTICAL WAVE BENDING MOMENT AND SHEAR FORCE, HORIZONTAL WAVE BENDING MOMENT, IMPACT LOAD 를 포함한 DYNAMIC WAVE PRESSURE.
- DYNAMIC LOADS (INTERNAL) : DYNAMIC TANK PRESSURE.
- SLOSHING LOADS (INTERNAL) : PARTIALLY FILLED CARGO TANK 의 PITCH 와 ROLL MOTION 에 의한 LONGITUDINAL 과 TRANSVERSE 방향의 SLOSHING PRESSURE.

1) PRESCRIPTIVE RULE SCANTLING LOADINGS
 PRESCRIPTIVE RULES SCANTLING 에서는 NOMINAL DESIGN LOAD 가 사용된다. NOMINAL DESIGN LOAD 는 STRUCTURAL PANEL 의 BOTH SIDE 에 작용하는 EXTERNAL PRESSURE 와 CARGO/BALLAST PRESSURE 의 작용에 의해 유발 되며, LOAD COMBINATION 을 고려한다.

2) STRENGTH ASSESSMENT LOADINGS
 STRENGTH ASSESSMENT 에서는 STATIC, DYNAMIC LOADINGS(EXTERNAL, LIQUID CARGO, BALLAST PRESSURE 그리고 HULL GIRDER LOADS)가 계산 되어진다. HULL GIRDER STRUCTURES STRENGTH 와 STRUCTURAL ANALYSIS 를 계산하기 위해 31 개의 LOAD CASES 가 고려된다. (단, ONE CENTRELINE OIL-TIGHT LONGITUDINAL BULKHEAD 일 경우)

2.5 PRESCRIPTIVE RULES SCANTLING

2.5.1 LOCAL RULES SCANTLING EVALUATION

HULL ENVELOPE STRUCTURE, INNER BOTTOM 그리고 BULKHEAD STRUCTURE 의 PLATE 와 STIFFENER REQUIREMENT 를 나타내고 있다. LOCAL RULES SCANTLING 에 사용되는 DYNAMIC PRESSURE 를 구하기 위해서는 각각의 MEMBER 에 대한 DESIGN LOAD 와 DYNAMIC LOAD CASE 를 고려한다.

2.5.2 PRESCRIPTIVE BUCKLING EVALUATION

CSR 에서는 PRESCRIPTIVE BUCKLING 과 STRENGTH ASSESSMENT 에서 사용되는 ADVANCED BUCKLING(PULS) 2 가지 BUCKLING REQUIREMENT 를 만족해야 한다.

PRESCRIPTIVE BUCKLING 은 HULL GIRDER BUCKLING STRENGTH 로써 AXIAL HULL GIRDER COMPRESSIVE STRESS 와 HULL GIRDER SHEAR STRESS 를 고려한다. AXIAL HULL GIRDER COMPRESSIVE STRESS 는 PLATE PANEL 의 COMPRESSIVE BUCKLING STRENGTH 와 LONGITUDINAL STIFFENER 의 COMPRESSIVE BUCKLING STRENGTH 를 만족해야 하며, HULL GIRDER SHEAR STRESS 는 PLATE PANEL 에 대한 SHEAR BUCKLING STRENGTH 를 만족해야 한다.

PLATE BUCKLING 은 UNI-AXIAL BUCKLING 을 고려하며 X 방향의 COMPRESSIVE STRESS 와 SHEAR STRESS 에 대한 BUCKLING UTILISATION FACTOR 로써 BUCKLING 을 CHECK 하고, COMPRESSIVE AXIAL STRESS 을 이용하여 COLUMN BUCKLING MODE 와 TORSIONAL BUCKLING MODE 를 통해 STIFFENER BUCKLING 을 CHECK 한다. 특히 STIFFENER COLUMN BUCKLING 계산시 LATERAL PRESSURE 가 작용하지 않는 STIFFENER 가 SNIP 처리 된 경우, 식 (2.1)의 MOMENTS OF INERTIA REQUIREMENT CHECK 가 필요하다.

$$I_{net} \geq 100 \frac{P_z l_{stf}^2}{\pi^2} \left[\frac{w_o (e_f - 0.5t_{f-net})}{\eta_{allow} \sigma_{yd} - \sigma_x} + \frac{l_{stf}^2}{E\pi^2} 10^6 \right] \quad (2.1)$$

2.5.3 SIMPLIFIED FATIGUE ASSESSMENT

CSR 에서 고려되는 FATIGUE ASSESSMENT 는 “ LONGITUDINAL STIFFENER END CONNECTION 에 대한 FATIGUE ASSESSMENT ” 와 “ INNER BOTTOM 과 HOPPER PLATE 의 연결 부위에 관한 FE FATIGUE ASSESSMENT ” 2 가지 로 구성되어 있다. LONGITUDINAL STIFFENER END CONNECTION 에 대한 FATIGUE

ASSESSMENT 는 SIMPLIFIED FATIGUE ASSESSMENT 로서 BEAM THEORY 에 근거한 NOMINAL STRESS APPROACH 를 사용하여 계산 하며, DESIGN DRAUGHT 에서의 FULL LOAD CONDITION 과 NORMAL BALLAST DRAUGHT 에 서의 BALLAST CONDITON 2 가지 LOADING CONDITION 에서의 DAMAGE RATIO 를 계산한다. DAMAGE RATIO 계산식은 다음과 같다.

$$DM_i = \frac{\alpha_i N_L}{K_2} \frac{S_{Ri}^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \mu_i \Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi}\right) \quad (2.2)$$

각각의 LOADING CONDITION 에서 STRESS RANGES 을 결정하기 위해 VERTICAL WAVE BENDING MOMENT, HORIZONTAL WAVE BENDING MOMENT, DYNAMIC WAVE PRESSURE, DYNAMIC TANK PRESSURE 가 사용 된다. FATIGUE ASSESSMENT 에 사용되는 TOTAL COMBINED STRESS RANGE 는 GLOBAL DYNAMIC STRESS COMPONENTS 와 LOCAL DYNAMIC STRESS AMPLITUDES 로 구성되어 있 다. GLOBAL DYNAMIC STRESS COMPONENTS 는 VERTICAL WAVE HULL GIRDER BENDING STRESS 와 HORIZONTAL WAVE HULL GIRDER BENDING STRESS 를 고려하며, LOCAL DYNAMIC STRESS AMPLITUDES 는 DOUBLE BOTTOM BENDING STRESS, LONGITUDINAL 의 LOCAL BENDING STRESS 그리고 PLATE BENDING STRESS 를 고려한다. 이렇게 구한 값 을 식 (2.3)의 MEAN STRESS EFFECT 를 고려하 여 최종 TOTAL STRESS RANGE 를 결정한다.

$$\begin{aligned} S_{Ri} &= \sigma_{tensile} - 0.6 \sigma_{compressive} && \text{if } \sigma_{compressive} < 0 \text{ and } \sigma_{tensile} > 0 \\ S_{Ri} &= S && \text{if } \sigma_{compressive} \geq 0 \\ S_{Ri} &= 0.6S && \text{if } \sigma_{tensile} \leq 0 \end{aligned}$$

Where:

$$\begin{aligned} \sigma_{tensile} & \text{ mean stress plus half stress range, in } N/mm^2 \\ & = \sigma_{mean} + S/2 \\ \sigma_{compressive} & \text{ mean stress minus half stress range, in } N/mm^2 \\ & = \sigma_{mean} - S/2 \\ \sigma_{mean} & \text{ mean stress due to static load components in the full load} \\ & \text{ condition or ballast condition as appropriate, in } N/mm^2. \end{aligned}$$

(2.3)

2.5.4 HULL GIRDER BENDING STRENGTH

RULE MINIMUM VERTICAL HULL GIRDER MOMENT OF INERTIA(I_{v-min})와 RULE MINIMUM HULL GIRDER SECTION MODULUS(Z_{v-min})는 0.4L MIDSHIP 에서 REQUIREMENT 값을 만족해야 한다. CSR 은 NET THICKNESS APPROACH 로써 I_{v-min} 와 Z_{v-min} 는 기존 RULES 대비 90% 수준으로 규정되어있다.

HULL GIRDER SECTION MODULUS REQUIREMENT 는 A.P 에서 F.P 까지 FULL LENGTH 를 만족해야 한다.

2.5.5 HULL GIRDER SHEAR STRENGTH

HULL GIRDER SHEAR STRENGTH REQUIREMENT 또한 A.P 에서 F.P 까지 FULL LENGTH 를 만족해야 하며, PERMISSIBLE SHEAR STRESS 는 CSR 을 따른다.

HULL GIRDER SHEAR STRENGTH 를 계산할 때는 LONGITUDINAL BULKHEAD 에 대한 SHEAR FORCE CORRECTION 과 TRANSVERSE BULKHEAD STRINGER 의 LOAD 로 인한 SHEAR FORCE CORRECTION 을 고려하여야 한다. 따라서 TRANS. BULKHEAD 에서 AFT 1 FRAME, FWD 2 FRAME 사이 구간은 C.L BULKHEAD PLATE THICKNESS 가 증가하는 경향이 나타난다.

2.5.6 HULL GIRDER ULTIMATE STRENGTH

HULL GIRDER ULTIMATE STRENGTH 는 CSR 에 새로이 추가되는 내용으로써, SAGGING CONDITION 에서 CSR CRITERIA 를 만족해야 한 다.

이것은 극심한 해상 상태에서 선체의 안정성을 확보하기 위한 REQUIREMENT 로서 HOGGING, HARBOUR 그리고 DAMAGED CONDITION 에서는 고려하지 않는다.

2.5.7 EVALUATION OF STRUCTURE FOR SLOSHING

CARGO TANKS, SLOP TANKS, BALLAST TANKS 그리고 LARGE DEEP TANK 의 구조는 SLOSHING

에 대한 고려를 해야 한다.

LONGITUDINAL LIQUID MOTION 에 의한 SLOSHING PRESSURE 는 TRANS. BULKHEAD, STRINGER 그리고 TRANS. BULKHEAD 와 1ST WEB FRAME 사이의 LONGITUDINAL BULKHEAD, DECK, INNER HULL 의 PLATE 와 STIFFENER 에서 고려되어야 한다.

1ST WEB FRAME 이 BULKHEAD 에서 $0.25l$ 이 내에 위치한다면 TRANS. BULKHEAD 의 FWD. WEB 와 AFT WEB SECTION 은 SLOSHING 을 고려해야 한다. 또한 TRANSVERSE LIQUID MOTION 에 의한 SLOSHING PRESSURE 는 LONGITUDINAL BULKHEAD, VERTICAL WEB 그리고 LONGITUDINAL 에서 $0.25b_{slh}$ 사이의 DECK, INNER BOTTOM, STRINGER 를 포함한 TRANS. BULKHEAD 의 PLATE 와 STIFFENER 에서 고려되어야 한다.

2.5.8 PRIMARY SUPPORT MEMBER EVALUATION

PRIMARY SUPPORT MEMBER 에 대한 SECTION MODULUS, SHAER AREA 그리고 REQUIRED WEB DEPTH 는 CSR CRITERIA 를 따른다.

REDUCED SCANTLING 이 FE STRUCTURAL ANALYSIS 를 만족한다면 PSM SECTION MODULUS 와 SHEAR AREA 를 PRESCRIPTIVE RULES REQUIREMENT 의 85%로 줄일 수 있다.

TRANSVERSE PRIMARY SUPPORT MEMBER 의 PRESCRIPTIVE RULES 적용은 TRANS. BULKHEAD 의 FWD WEB 와 AFT WEB 를 제외한 나머지 WEB SEC. 에서 고려하고, FWD WEB 와 AFT WEB 는 FE STRENGTH ASSESSMENT 에서 고려한다.

2.6 STRUCTURAL STRENGTH ASSESSMENT

선박의 INITIAL SCANTLING 이 PRESCRIPTIVE SCANTLING 에 의해 검증된 후 주요 HULL STRUCTURE 와 MAJOR SUPPORTING MEMBER 의 구조적인 적합성을 결정하기 위해 FE ANALYSIS 를 수행한다. CSR 의 경우 MIDSHIP

CARGO REGION 에서 CARGO TANK STRUCTURAL STRENGTH ANALYSIS 는 MANDATORY 사항이며, MIDSHIP CARGO TANK FE MODEL 은 3 CARGO TANK 를 포함해야 한다.

FE MODEL 에 사용되는 REDUCED THICKNESS 는 t_{grs} 에서 $0.5t_{corr}$ 을 뺀 값을 사용하며, MESH SIZE 는 LONG. SPACE 간격을 기준하는 것이 일반적이다. 그림 Fig.2 는 STRUCTURAL STRENGTH ASSESSMENT 를 위한 FE ANALYSIS 모델을 보여준다.

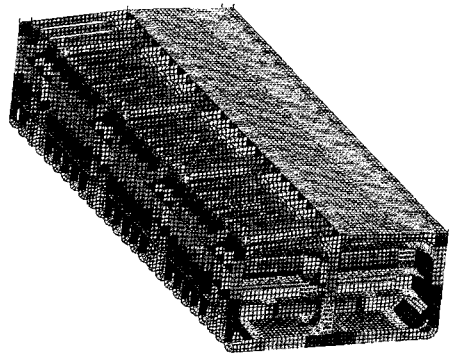


Fig. 2 FE MODEL FOR STRUCTURAL STRENGTH ASSESSMENT

2.6.1 FINITE ELEMENT LOAD CASE

AFRAMAX TANKER 에서 일반적으로 적용되는 ONE OIL-TIGHT CENTRELINE LONGITUDINAL BULKHEAD 의 경우 CSR 적용 시 31 LOAD CASES 에 대한 검토가 요구 되어진다.

Table.1 은 ONE CENTRELINE OIL-TIGHT LONGITUDINAL BULKHEAD 의 구조 강도를 검토 하기 위한 LOAD CASES 이다.

FE ANALYSIS 에 사용되는 LOADS 는 다음과 같다.

- . STATIC SEA PRESSURE
- . DYNAMIC WAVE PRESSURE
- . HULL GIRDER VERTICAL BENDING MOMENT AND VERTICAL SHEAR FORCE
- . HULL GIRDER HORIZONTAL WAVE BENDING MOMENT
- . PRESSURE IN CARGO AND BALLAST TANKS

Table 1 LOAD CASES

Loading Pattern	Figure	Still Water Loads		Dynamic load cases		
		Ordnance	% of Perm. STRESS ¹⁾	Strength assessment ²⁾	Strength assessment against hull girder shear loads ³⁾	Strength assessment against hull girder and all regions
Design load combination S + D (See-ging load cases)						
B1		0.0 T _u	100% (Sag)	See note 3	1	1
B1-1		0.0 T _u	100% (Sag)	See note 3	2, 3a	1
B1-2		0.0 T _u	100% (Sag)	See note 3	1	1
B3		0.0 T _u	100% (Sag)	See note 3	2, 4	2
B4		0.0 T _u	100% (Sag)	75% (See note 3)	1, 3a	1
B5		0.0 T _u	100% (Sag)	75% (See note 3)	1, 3b	1
B6		0.0 T _u	100% (Sag)	100% (See note 3)	1	3
B7-1		T _u	100% (Sag)	100% (See note 3)	2a, 3b	1
Design load combination S (Harbors and tank testing load cases)						
B3-1		1/3T _u	100% (Sag)	Applicable to strength assessment of midship region (see 11a) and strength assessment against hull girder shear loads (see 11b)	1	1
B3-2		1/3T _u	100% (Sag)	75% (See note 3)	1	1
B3-3		1/3T _u	100% (Sag)	75% (See note 3)	1	1
B3-4		1/3T _u	100% (Sag)	75% (See note 3)	1	1

2.6.2 BOUNDARY CONDITION

MODEL 의 AFT END & FORE END 부분의 모든 LONGITUDINAL ELEMENT 를 INDEPENDENT POINT 에 LINK 한 후 INDEPENDENT POINT 를 X 방향에 대해 AFT END 의 경우는 FIX 로 하고 FORE END 부분은 FREE 로 한다. INDEPENDENT POINT 는 N.A 와 폭 방향 SHIP CENTER 의 교차점이다. Z 방향의 SPRING ELEMENT 는 SIDE SHELL, INNER HULL LONGITUDINAL BULKHEAD, OIL TIGHT LONGITUDINAL BULKHEAD 의 GRID POINT 에 적용하고, Y 방향의 SPRING ELEMENT 는 DECK, INNER BOTTOM 그리고 BOTTOM SHELL 의 GIRD POINT 에 적용한다.

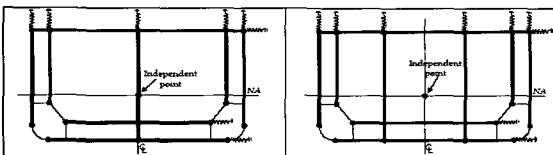


Fig. 3 BOUNDARY CONDITION

2.6.3 ASSESSMENT OF THE RESULT

FE STRUCTURAL ANALYSIS 는 PERMISSIBLE VON-Mises STRESS CRITERIA (YIELD)와 BUCKLING 에 관한 UTILISATION FACTOR 로 평가한다.

YIELD UTILISATION FACTOR 는 INTERNAL STRUCTURE 와 TANK BOUNDARY 에 따라 다르게 나타나고 있으며, 각각의 구조에서도 LOAD COMBINATION 이 S, S+D 에 따라 각각 다르게 적용되고 있다. BUCKLING 도 같은 개념으로 결과치에 대한 ASSESSMENT 를 수행한다.

Table.2~3 은 YIELD 와 BUCKLING 에 대한 UTILISATION FACTOR 를 나타낸다.

Table 2 YIELD UTILISATION FACTOR

Structural component	Yield utilisation factor
Internal structure in tanks	
Plating of all non-tight structural members including transverse web frame structure, wash bulkheads, internal web, horizontal stringers, floors and girders. Face plate of primary support members modelled using plate or rod elements	$\lambda_y \leq 1.0$ (load combination S + D)
	$\lambda_y \leq 0.8$ (load combination S)
Structure on tank boundaries	
Plating of deck, sides, inner sides, hopper plate, bilge plate, plate and corrugated cargo tank longitudinal bulkheads	$\lambda_y \leq 0.9$ (load combination S + D)
	$\lambda_y \leq 0.72$ (load combination S)
Plating of inner bottom, bottom, plate transverse bulkheads and corrugated bulkheads. Tight floors, girders and webs	$\lambda_y \leq 0.8$ (load combination S + D)
	$\lambda_y \leq 0.64$ (load combination S)

Table 3 BUCKLING UTILISATION FACTOR

Structural component	Buckling utilisation factor
Plate and stiffened panels ⁽¹⁾	$\eta \leq 1.0$ (load combination S + D)
	$\eta \leq 0.6$ (load combination S)
Web plate in way of openings	$\eta \leq 1.0$ (load combination S + D)
	$\eta \leq 0.8$ (load combination S)
Pillar buckling of cross tie structure	$\eta \leq 0.5$ (load combination S + D)
	$\eta \leq 0.4$ (load combination S)
Corrugated bulkheads	$\eta \leq 0.9$ (load combination S + D)
	$\eta \leq 0.72$ (load combination S)

2.7 구조해석 결과

AFRAMAX TANKER 선의 구조해석을 수행한 후 YIELD 와 BUCKLING 을 검토한 사항을 간단하게 기술하자면, YIELD 에서는 PRIMARY SUPPORT MEMBERS FACE PLATE 의 일부분에서 CRITERIA 를 만족하지 못하고 있다. 반면 PULS 에서 대부분의 부재가 RULE REQUIREMENT 를 만족하지 못

하고 있다. 특히, BOTTOM SHELL, WEB FRAME SECTION, TRANS.BHD의 경우 SCANTLING 증가가 비교적 크게 나타나고 있다. PULS는 CSR에 새로이 적용되는 사항으로써 NON-LINEAR 해석으로 구성된 ADVANCED BUCKLING ANALYSIS이다. Fig.4~7은 PULS의 결과를 보여주고 있다.

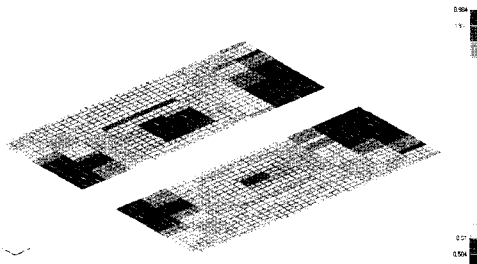


Fig. 4 BTM SHELL-PULS CHECK

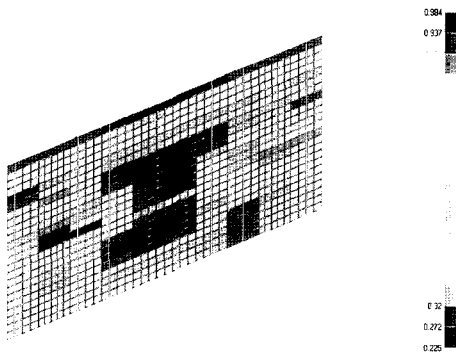


Fig. 5 C.BHD-PULS CHECK

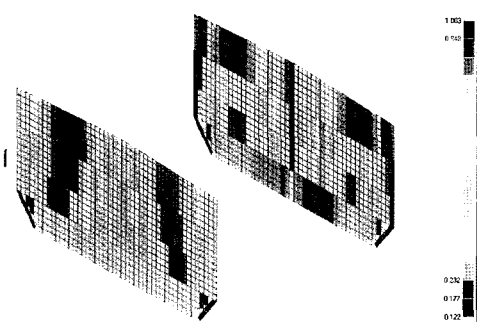


Fig. 6 TRANS. BHD-PULS CHECK

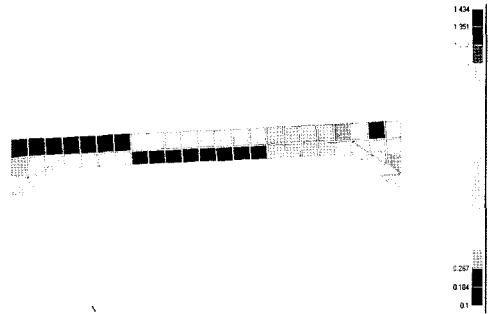


Fig. 7 WEB FRAME-PULS CHECK

3. 결론

본 연구에서는 AFRAMAX TANKER 선에 대해 CSR을 적용하여 검토하였다.

PRESCRIPTIVE RULES SCANTLING에 사용되는 PRESSURE는 STATIC PRESSURE와 DYNAMIC PRESSURE으로 구분된다. DYNAMIC PRESSURE는 DESIGN LOAD를 고려하고 있으며, LOADED CONDITION과 BALLAST CONDITION에서의 DYNAMIC LOAD CASE를 이용해서 구해야 한다. 따라서 DYNAMIC PRESSURE를 구하기 위해서는 여러 가지 CASE를 고려해야 한다.

SIMPLIFIED FATIGUE ASSESSMENT에서는 UPPER DECK에서 0.1D의 구간을 벗어나는 부분에서는 STIFFENER SOFT HEEL의 효과를 인정하지 않는다. 또한 0.1D 구간을 벗어나는 부분에서는 WEB STIFFENER가 CONNECT되지 않을 경우, WATER-TIGHT COLLAR를 추가하거나, CUT-OUT의 DETAIL DESIGN을 CSR RULES에 따라 수정해야 한다.

STRUCTURAL STRENGTH ASSESSMENT에서는 YIELD와 BUCKLING(PULS)을 CHECK하였다. BUCKLING은 CSR에서 새로이 적용되는 사항으로써 NON-LINEAR 해석인 ADVANCED BUCKLING ANALYSIS(PULS)이다. PULS에서는 각각의 부재를 STIFFENED PANEL과 UNSTIFFENED PANEL로 구분하고 있다. STIFFENED PANEL은 BUCKLING CHECK시 PLATE THICKNESS, STIFFENER PROPERTIES,

그리고 STIFFENER SPACING 을 고려하는 반면 UN-STIFFENED PANEL 에서는 PLATE THICKNESS 와 PANEL GEOMETRY 만을 고려한다. 또한 ASSESSMENT METHOD 를 METHOD 1 과 METHOD 2 로 나누고 있다. 일반적으로 STIFFENED PANEL 의 경우 METHOD 1 이 사용되고 UN-STIFFENED PANEL 에서는 METHOD 2 가 사용된다.

AFRAMAX TANKER 의 CSR 적용 검토 결과 주요 부위에 영향을 미치는 SCANTLING 경향은 다음과 같다.

- UPPER DECK : HULL GIRDER ULTIMATE STRENGTH & FATIGUE
- C. L BULKHEAD (I.W.O T-BHD) : HULL GIRDER SHEAR FORCE CORRECTION
- WEB PLATE I.W.O HOPPER & DOUBLE BTM. FLOOR : FEM BUCKLING (PULS)
- DOUBLE SIDE WEB (T-BHD WEB 보다 THICK. 증가) : FEM BUCKLING (PULS)
- T-BHD PLATE I.W.O MID-DEPTH : FEM BUCKLING (PULS)
- BOTTOM SHELL : FEM BUCKLING (PULS)

2006 년 4 월 1 일 이후 계약되는 LENGTH 150M 이상의 DOUBLE HULL TANKER 의 경우 CSR 이 적용되고 있으며, 2007 년 4 월 1 일 이후 계약되는 선박에서는 RULE CHANGE NOTICE NO.1 을 적용해서 설계를 수행 해야 한다. 새로이 적용되는 CSR 경향은 주요 구조 SCANTLING 이 PULS 에 의해 결정 되고 있다. 따라서 PULS 에 최적한 LONGI. SPACE & WEB SPACE 에 관한 연구가 필요하다고 본다. 또한 INNER BOTTOM 과 HOPPER PLATE 의 WELDED KNUCKLE 부분 STRESS 를 최소화 할 수 있는 HOPPER 형상에 관한 CASE STUDY 도 필요하다고 본다.

본 논문은 당사에서 현재까지 CSR FINAL VERSION 에 대한 기존 DESIGN 과의 결과를 비교 /검토하였으며, 금번 당사의 AFRAMAX TANKER 실선 설계적용 시 이 결과를 토대로 하여 구조적 강도 측면에서 최적의 설계가 될 수 있도록 반영 할 것이다.



< 김 성 안 >



< 김 영 남 >



< 김 경 래 >