

통합공통구조규칙(CSR-H) 적용에 따른 구조 부재 요구치의 비교 분석

성치현^{1,2,†} · 이승건¹
부산대학교 조선해양공학과¹
로이드선급협회²

Comparison Analysis on Requirements of Structural Members by Application of the Harmonized Common Structural Rules

Chi Hyun Sung^{1,2,†} · Seung-Keon Lee¹
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering Pusan National University¹
Lloyd's Register of Shipping²

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

International organizations and classification societies established rules and regulations to which shipbuilders and ship operators should comply during design, construction, even operation keeping from hazard to life of crews and ocean environment. Hence, rules and regulations could be guidelines for design and construction of ship sometimes. In practical wise, ship structure designers be predisposed to design lightest and easy-to-product structures which satisfy rules and regulations. Therefore, changes of rules and regulations are remarkably important issue to related industries. In 2006, IACS established and released Common Structural Rules for Bulk Carrier and Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker. These CSRs are consolidated and unified rules of class society's rules. But these two rules are different from each other. IACS has plan to release unified rule of two ship type called Harmonized Common Structural Rule for Bulk Carriers and Oil Tankers. This new rule will be effective from July 2015. Hence, bulk carrier and double hull oil tanker whose contract date is on and thereafter July 2015 should be complied with CSR-H. Therefore, it is highly important to be aware of consequences and cause of consequences with respect to CSR-H. The object of this research is to compare requirements of structure scantling in way of midship area for selected target ship according to CSRs and CSR-H and to analysis cause of deviation between two rules.

Keywords : Common Structural Rule(CSR, 공통구조규칙), Harmonized Common Structural Rule(CSR-H, 통합공통구조규칙), Bulk Carrier(산적화물선), Double Hull Oil Tanker(이중선체유조선)

1. 서론

선박의 구조는 선박의 수명동안 받을 수 있는 환경적 하중을 견딜 수 있도록 설계, 생산, 유지되어야한다. 그렇지 않으면 항복이나 좌굴을 동반한 영구변형, 피로손상누적으로 인한 균열전파로 인해 이용성에 문제가 되기도 하고, 심지어는 선원의 생명을 위협하고 심각한 해양 환경 오염을 유발하는 생존성과 관련한 문제를 일으키기도 한다. 이에 국제기구와 선급협회는 선박건조 운용시에 따라야 하는 규칙과 규정을 제정하였다. 또한 규칙과 규정은 선박의 설계와 건조의 지침이 되기도 하며 실제적으로는 선박구조설계자는 규정과 규칙을 만족하면서 가볍고 생산이 쉬운 구조설계에 목표를 두는 경향이 있다. 그러므로 규칙과 규정의 변경은 관련 산업에 있어

아주 중요한 사안이 된다. 국제 선급협회(IACS)는 2006년에 여러 선급의 규칙을 통합한 규칙인 산적화물선의 공통구조규칙(CSR-BC) (IACS, 2012a) 과 이중선체유조선의 통합공통구조규칙(CSR-DHOT) (IACS, 2012b)을 공표하였다. 2015년 7월 (IACS, 2014a)에는 산적화물선과 이중선체유조선에 모두 적용되는 산적화물선과 이중선체유조선의 공통구조규칙(CSR-H)을 공표할 예정이다. 이에 본 연구에서는 선택된 산적화물선 1척과 이중선체유조선 1척에 대해 구조 부재 요구치의 차이를 비교하고 그 원인을 분석하고자한다.

2. 연구의 범위와 방법

본 연구에서는 선택된 대상 선박의 중앙부 횡단면에 대해 이

미 설계된 선박 주요치수 (IACS, 2014b), 설계인자, 구조 배치를 토대로 CSR-BC 혹은 CSR-DHOT에 의한 구조 부재 요구치와 CSR-H의 구조 부재 요구치를 비교 분석한다. 또한 직접적으로 요구치를 도출해내는 규칙만 본 연구의 관심으로 두고 직접적으로 요구치를 도출해내지 않고 설계된 구조를 평가하는 규칙은 본 연구에서 제외한다. 따라서 본 연구에서 포함된 규칙은 선체 종 거더 단면계수 요구치, 선체 종 거더 최종 강도 요구치, 항복으로 인한 국부구조부재 요구치, 그 외 국부구조물의 위치에 따라 적용해야하는 국부구조부재 요구치이다. 또한 본 연구를 위해 로이드 선급협회와 미국선급협회가 공동개발한 CSR Stage1과 CA stage1을 이용하였다.

3. 대상 선박의 주요 정보

본 연구에서 분석될 산적화물선은 9개의 화물창을 가지고 6번 화물창은 평형수 겸용이다. 또한 주요 설계인자와 중앙부 굽힘 모멘트는 Table 1과 같다.

Table 1 Design parameters of bulk carrier

Item	Value
LBP(Length between perpendiculars)	293.00 m
LWL(Length on summer load water line)	298.30 m
Ls(Rule length)	289.35 m
B(Moulded Breadth)	50.00 m
D(Moulded Depth)	24.85 m
Ts(Scantling Draught)	18.37 m
Tbal(Normal Ballast Draught)	8.13 m
Thbal(Heavy Ballast Draught)	9.10 m
DWT(Dead Weight)	205,000 tonnes
Cb(Block Coefficient)	0.849
V(Maximum ahead speed)	15.8 knots
Ballast exchange method	Sequential

Table 2 Permissible bending moment of bulk carrier(kNm)

Fr. No.	Seagoing		Harbour		Flooded	
	+	-	+	-	+	-
145	6205800	3002800	6202560	0	7357500	7357500
173	6205800	3002800	6460919	0	7357500	7357500
201	6205800	3002800	5678315	0	7357500	7357500

대상 산적화물선의 중앙부 횡단면은 Fig. 1과 같다. 일반적인 산적화물선과 같이 중앙에 화물창이 있고 선저부와 톱사이드에 평형수 탱크가 배치되어 있고, 선저부의 중앙의 구획은 덕트킬이다.

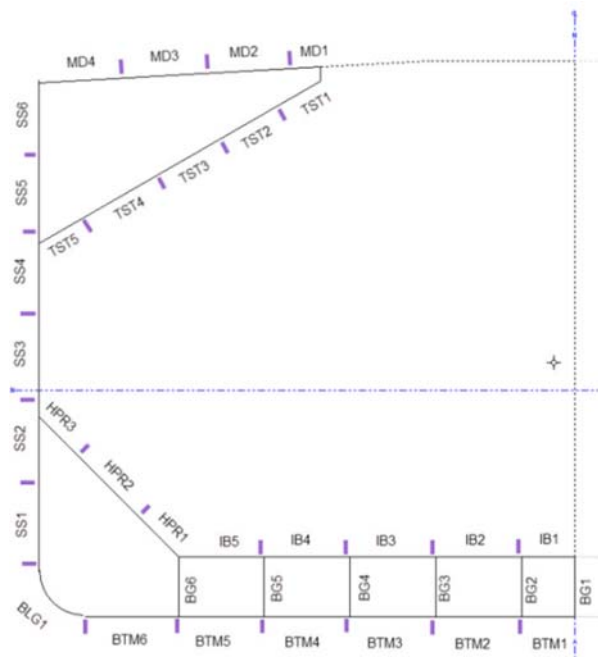


Fig. 1 Midship section of target bulk carrier

본 연구에서 분석될 이중선체유조선은 6 쌍의 화물탱크를 가지고 있고, 주요 설계인자와 중앙부 굽힘 모멘트는 Table 3과 4와 같다.

Table 3 Design parameters of double hull oil tanker

Item	Value
LBP(Length between perpendiculars)	219.00 m
LWL(Length on summer load water line)	223.14 m
Ls(Rule length)	216.45 m
B(Moulded Breadth)	32.20 m
D(Moulded Depth)	20.90 m
Ts(Scantling Draught)	14.50 m
Tbal(Normal Ballast Draught)	6.70 m
DWT(Dead Weight)	74,000 tonnes
Cb(Block Coefficient)	0.862
V(Maximum ahead speed)	16.0 knots
Ballast exchange method	Sequential

Table 4 Permissible bending moment of double hull oil tanker(kNm)

Fr. No.	Seagoing		Harbour	
	+	-	+	-
63.5	2158200	1226250	2854710	1530360

대상 이중선체유조선의 중앙부 횡단면은 아래 그림과 같다.

중앙에 한 쌍의 화물탱크, 선저와 선측에 평형수 탱크가 배치되어 있고, 선저부의 중앙의 구획은 덕트킬이다.

4. 요구치 비교와 분석

4.1 산적화물선

CSR-BC와 CSR-H에 의한 산적화물선의 선체 거더 단면계수 요구치와 선체 거더 최종강도 요구치 항복과 최소 요구치로 인한 국부구조 요구치를 비교 분석하였다.

(1) 선체거더 단면계수

산적화물선의 선체 거더 단면계수에 대한 요구치의 차이는 Table 5에 정리하였고, ①에서 ③의 소결론을 도출하였다.

① 항내(harbour) 조건에서 CSR-H의 경우는 파랑 굽힘모멘트를 0로 두고, 대신 작은 허용응력을 채택함으로써 단면계수 요구치에 차이가 발생한다. 식 (1)과 (2)는 각각 CSR-BC와 CSR-H의 선체 거더 단면계수 요구치이다.

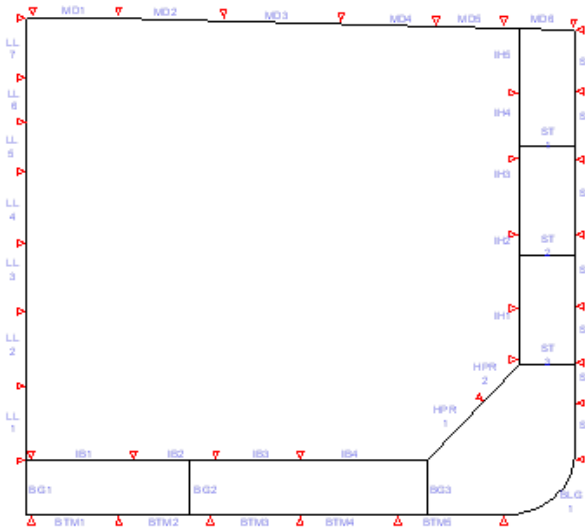


Fig. 2 Midship section of target double hull oil tanker

Table 5 Hull girder section modulus of bulk carrier

Loaded hold (Fr.173)		CSR-BC			CSR-H			Deviation
		Msw (kNm)	Mww (kNm)	Required Section Modulus(m ³)	Msw (kNm)	Mww (kNm)	Required Section Modulus(m ³)	
Seagoing	Hogging	6205800	7235697	48.11	6205800	7235697	48.11	0%
	Sagging	3002800	7656884	38.15	3590815	7656884	40.25	6%
Harbour	Hogging	6460919	2894279	33.48	6460919	0	30.72	-8%
	Sagging	0	3062754	10.96	4488518	0	21.34	95%
Flooded	Hogging	7357500	5788558	47.05	7357500	5788558	47.05	0%
	Sagging	7357500	6125507	48.25	7357500	6125507	48.25	0%
Empty hold (Fr.201)		CSR-BC			CSR-H			Deviation
		Msw (kNm)	Mww (kNm)	Required Section Modulus(m ³)	Msw (kNm)	Mww (kNm)	Required Section Modulus(m ³)	
Seagoing	Hogging	6205800	7235697	48.11	6205800	7235697	48.11	0%
	Sagging	3002800	7656884	38.15	3590815	7656884	40.25	6%
Harbour	Hogging	5678315	2894279	30.68	5678315	0	27.00	-12%
	Sagging	0	3062754	10.96	4488518	0	21.34	95%
Flooded	Hogging	7357500	5788558	47.05	7357500	5788558	47.05	0%
	Sagging	7357500	6125507	48.25	7357500	6125507	48.25	0%
Ballast hold (Fr.145)		CSR-BC			CSR-H			Deviation
		Msw (kNm)	Mww (kNm)	Required Section Modulus(m ³)	Msw (kNm)	Mww (kNm)	Required Section Modulus(m ³)	
Seagoing	Hogging	6205800	7235697	48.11	6205800	7235697	48.11	0%
	Sagging	3002800	7656884	38.15	3590815	7656884	40.25	6%
Harbour	Hogging	6202560	2894279	32.56	6202560	0	29.49	-9%
	Sagging	0	3062754	10.96	4488518	0	21.34	95%
Flooded	Hogging	7357500	5788558	47.05	7357500	5788558	47.05	0%
	Sagging	7357500	6125507	48.25	7357500	6125507	48.25	0%

$$Z(m^3) = \frac{M_{sw-h} + 0.4M_{wv}}{190/k} 10^{-3} \quad (1)$$

$$Z(m^3) = \frac{M_{sw-h}}{143/k} 10^{-3} \quad (2)$$

② CSR-H의 경우 정수 선체 거더 굽힘모멘트의 최소값을 규정함으로써 대상선박과 같이 새깅 정수 굽힘모멘트가 작은 경우에 단면계수 요구치의 증가가 발생하였다. 식 (3)은 CSR-H의 비손상 항해(seagoing) 조건에서의 최소 정수 선체 거더 굽힘모멘트에 관한 식이다.

For hogging case:

$$f_{sw} (171 C_w L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-3} - M_{wv-h}) \quad (3)$$

For sagging case:

$$0.85 f_{sw} (171 C_w L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-3} - M_{wv-s})$$

③ 위와 같은 차이에도 불구하고 최종단면계수 요구치는 침수(Flooded)조건이 가장 지배적이었고, 그 값은 CSR-BC와 CSR-H가 동일하다. 따라서, 침수조건이 가장 큰 요구치를 보이는 보통의 산적화물선의 경우에는 단면계수 요구치는 동일할 것으로 예상된다.

(2) 선체 거더 최종강도

Table 6에 산적화물선의 선체거더 최종강도 요구치를 분석하였다. CSR-H에서 새로 도입된 γ_{DB} 라는 새로운 안전계수에 의해 호깅/새깅 여부, 화물창의 종류에 따라 다른 차이를 보인다.

For hogging case:

$$\gamma_{DB} = 1.25 \text{ for empty holds of BC-A bulk carrier} \quad (4)$$

$$\gamma_{DB} = 1.10 \text{ for other cases} \quad (5)$$

For sagging case:

$$\gamma_{DB} = 1.0 \quad (6)$$

Table 6 Required ultimate bending capacity of bulk carrier

Considered case	Required ultimate bending capacity(kNm)	
	CSR-BC	CSR-H
Hogging case of Empty hold	16377501	20471877 (+25%)
Hogging case of other holds	16377501	18015251 (+10%)
Sagging case	-13391935	-14038642(+5%)

또한 앞서 식(3)에서 이미 나타낸 바와 같이 CSR-H이 도입한 최소 정수 선체 거더 굽힘 모멘트에 의해 새깅 조건의 선체 거더 최종강도 요구치 또한 증가하였다.

(3) 판 국부구조 요구치

판 국부구조 요구치는 규칙에서 정하는 다양한 하중 케이스 중 가장 큰 설계 요구치를 만드는 경우의 면외압력에 의한 요구치와 해당구조별로 적용되는 별도의 요구치들을 Table 7에 정리하였다. 또한, CSR-BC와 CSR-H의 차이가 발생한 부분 중에 구조 설계 요구치를 변화시키는 규정에 대해서는 원인을 분석을 하였다. 다음 Table 들에 소괄호가 있는 부재는 분석이 필요한 위치이다. 산적화물선의 내저판과 호퍼판, 톱사이드판은 화물창의 용도에 따라 국부구조 설계를 다르게 함을 고려하여 요구치 정리와 분석도 따로 하였다.

Table 7 Plate requirements for bulk carrier[CSR-BC]

Item	CSR-BC			
	T_other [mm]	Hull girder stress [N/mm²]	Pressure [kN/m²]	T_press [mm]
Keel	16.0[Min]	202	225	13.0
Bottom	14.0[Min]	202	230~253	13.0
Bilge	14.5[Min]	-	278	9.5
Side	14.5[Min]	88~-79	143~272	12.5~14.5
Shear	16.0[Min]	-110	143	10.5
Deck	10.5[Min]	267~280	69~92	8.5~9.5
Inner bottom (Loaded)	16.0~16.5 [Grab]	118	507~531	18.0
Inner bottom (Empty)	16.0~16.5 [Grab]	121	269~321	14.0
Inner bottom (Ballast)	16.0~16.5 [Grab]	-89~121	321~377	14.0~14.5
Hopper (Loaded)	14.5[Grab]	65~84	289~350	13.5~15.0
Hopper (Empty)	14.5[Grab]	34~121	185~202	11.0~12.0
Hopper (Ballast)	14.5[Grab]	-90~-76	367~380	15.5~16.0
Topside (Loaded)	12.0[Min]	-166~258	67~151	7.5~11.5
Topside (Empty)	12.0[Min]	-166~258	67~155	7.5~11.5
Topside (Ballast)	12.0[Min]	-54~258	66~222	9.5~12.0
Center girder	10.0[Min]	Not applicable [Non tight]		
Tight girder	10.0	202	219	10.5
Non tight girder	10.0	Not applicable [Non tight]		

T_{other} : 면외압력으로 인한 두께를 제외한 요구치
 T_{press} : 면외압력으로 인한 두께 요구치
 Min : 선박 길이에 의해 결정되는 경험적 최소두께
 Grab : 내저판과 호퍼판에 적용되는 Grab에 의한 두께
 Slen : 세장비 만족을 위한 최소두께

Table 8에 소괄호로 표시한 값이 CSR-BC의 요구치에 비해 달라지는 CSR-H의 요구치이다. 우선 빌지(bilge)와 선측외판(side)의 요구치는 CSR-BC와 CSR-H 모두에서 경험적 최소두께 요구치가 지배적이다. 또한 그 값은 CSR-H에서 0.5 mm 감소하였다. Table 9는 선박길이에 따른 빌지와 선측외판의 경험적 최소두께이다. 산적화물선의 경우 대부분의 길이 범위에서 0.5 mm의 감소, 이종선체유조선의 경우 1.0 mm의 증가의 영향이 있다.

Table 8 Plate requirements for bulk carrier[CSR-H]

Item	CSR-H			
	T _{other} [mm]	Hull girder stress [N/mm ²]	Pressure [kN/m ²]	T _{press} [mm]
Keel	16.0[Min]	97	236	12.0
Bottom	14.0[Min]	202	221~240	12.0~12.5
Bilge	14.0[Min] (-0.5)	-	277	10.0
Side	14.0[Min] (-0.5)	4~83	169~236	11.0~13.0
Shear	16.0[Min]	123	112	9.5
Deck	12.0~13.5 [Slen] (1.5~3.0)	132~214	70~102	7.5~9.0
Inner bottom (Loaded)	17.0~17.5 [Grab]	74	484~514	18.5~19.0 (0.5~1.0)
Inner bottom (Empty)	17.0~17.5 [Grab] (0.5)	76~128	311~284	14.5~15.0
Inner bottom (Ballast)	17.0~17.5 [Grab]	-83~-64	320~369	15.5~16.0
Hopper (Loaded)	15.5[Grab]	57~74	321~349	15.5~16.0 (1.0~2.0)
Hopper (Empty)	15.5[Grab] (1.0)	55~71	236~254	14.5~15.0
Hopper (Ballast)	15.5[Grab]	-83~-68	355~369	16.5 (0.5~1.0)
Topside (Loaded)	12.0[Min]	-54~198	96~161	7.5~10.5
Topside (Empty)	12.0[Min]	89~128	94~165	7.0~11.5
Topside (Ballast)	12.0[Min]	45~98	130~226	8.0~12.5
Center girder	12.5[Min] (2.5)	Not applicable [Non tight]		
Tight girder	11.5[Min]	-97	282	11.5(1.0)
Non tight girder	11.5[Min] (1.5)	Not applicable [Non tight]		

Table 9 Comparison of minimum thickness for side shell

L	CSR-DHOT	CSR-BC	CSR-H	IMPACT ON	
	4.5+0.03L	0.85L ^{1/2}	5.5+0.03L	DHOT	BC
150	9.0	10.5	10.0	1.0	-0.5
200	10.5	12.0	11.5	1.0	-0.5
250	12.0	13.5	13.0	1.0	-0.5
300	13.5	14.5	14.5	1.0	-0.5

갑판(deck)의 경우 CSR-BC는 경험적 최소두께에 의해 결정되었지만, CSR-H의 경우 판에 대한 세장비로 인한 규정이 도입됨으로 인해서 넓은 폭을 가지는 경우에 요구치에 증가가 발생한다. 그러나 대개의 실제 설계의 관점에서 갑판은 선체 거더 종강도를 만족시키기 위해 국부구조에서 요구하는 두께보다 상당히 큰 두께를 사용하게 되므로 실제적 영향이 있다고 볼 수는 없다. 다만 중앙부를 벗어나 갑판의 두께가 국부구조 요구치에 의해서 결정되는 경우에는 CSR-H로 인한 영향이 있을 것으로 예상된다.

이종저 구조물(내저판과 호퍼판)은 화물창의 종류에 따라 각기 다른 양상을 보인다. 적재화물창(loaded)의 경우 면외압력으로 인한 요구치에 의해 0.5~1.0 mm의 증가가 발생하였다. 또한 CSR-H에서 면외압력은 감소하였음에도 두께 요구치는 증가하는 양상을 보였다. 이는 CSR-H가 χ 라는 인자를 도입하여 산적화물선의 이종저 구조에 대해서 CSR-BC에 비해 작은 허용응력을 도입한 것에 기인한다. CSR-BC는 이종저 구조물에 대해 정해진 재료의 항복응력의 100%, CSR-H는 같은 구조물에 대해 70%의 항복응력을 허용한다.

공화물창(empty)의 경우 내저판과 호퍼판 모두 Grab 요구치에 의해 결정되고, 각각 0.5~1.0 mm의 증가가 발생하였다. 이는 CSR-BC에서는 Grab 무게가 최소 20ton임에 반해 CSR-H는 선박의 길이에 따라 20에서 35 ton까지 증가하는 최소 Grab 무게를 의무화하고 있는 것에 기인한다, 따라서, Grab이 우세하는 판에 대해서는 요구치 증가를 보였다.

평형수 검용창(ballast)의 경우 내저판은 Grab에 의해 결정되었지만, 호퍼판은 면외압력의 요구치가 우세하였고, CSR-H에 의해 0.5~1.0 mm의 증가를 나타내었다. 이는 식 (7), (8), (9), (10)에서 보는 바와 같이 호퍼판은 내저판보다는 작은 Grab 무게에 의한 두께를 요구하는 것과 CSR-H의 작은 허용응력에 의해 기인한다.

CSR-BC:

$$t = 0.28(M_{GR} + 50) \sqrt{bk} \quad \text{for inner bottom} \quad (7)$$

$$t = 0.28(M_{GR} + 42) \sqrt{bk} \quad \text{for hopper plate} \quad (8)$$

CSR-H:

$$t = 0.62 \sqrt{bk} \left(\frac{M_{GR}}{20} \right)^{0.25} \quad \text{for inner bottom} \quad (9)$$

$$t = 0.55 \sqrt{bk} \left(\frac{M_{GR}}{20} \right)^{0.25} \quad \text{for hopper plate} \quad (10)$$

수밀 거더의 요구치는 면외압력에 의한 두께가 지배적이었으며, CSR-H에서 1.0mm 증가되었다. 또한 면외압력 또한 상당히 증가하였다. 이것은 CSR-BC와 CSR-H의 면외압력 계산의 차이에 기인한다. CSR-BC에는 정적 압력만 고려하는 하중 시나리오가 없으며, CSR-H에는 정적 압력만 고려하는 시나리오와 정적 압력과 동적 압력을 동시에 고려하는 하중시나리오가 있다. 그런데, CSR-H에서의 식 (12)과 같이 정적압력만을 고려하는 경우에 정적압력의 수두는 넘침관까지의 전체 높이를 고려한다.

CSR-BC와 CSR-H의 차이는 특히 탱크톱과 넘침관의 높이 차이가 클 때 더 많은 영향이 있을 것으로 예상된다. 대상 산적화물선의 경우에 이중저 평형수 탱크와 톱사이드 평형수 탱크가 분리되어 있어 이중저 평형수 탱크의 탱크톱은 호퍼판의 상단이지만, 넘침관은 상갑판 위에 배치되어 있어 수두의 차가 상당하다.

$$p_{bs} = \rho_L g (z_T - z + 0.5 d_{AP}) \quad \text{for CSR-BC} \quad (11)$$

$$p_{bs} = \rho_L g (z_T - z + h_{air}) + P_{drop} \quad \text{for CSR-H} \quad (12)$$

중심거더를 비롯한 비수밀 거더는 경험적 최소두께 요구치가 CSR-H에서 2.5m, 1.5m 증가하였다. Table 10, 11에 의하면 산적화물선의 중심거더와 일반 거더에는 각각 2.0~2.5mm, 1.0mm의 증가가 예상된다.

Table 10 Comparison of minimum thickness for center girder

	CSR-DHOT	CSR-BC	CSR-H	IMPACT ON	
L	5.5+0.025L	0.6L ^{1/2}	5.5+0.025L	DHOT	BC
150	9.5	7.5	9.5	0.0	2.0
200	10.5	8.5	10.5	0.0	2.0
250	12.0	9.5	12.0	0.0	2.5
300	13.0	10.5	13.0	0.0	2.5

Table 11 Comparison of minimum thickness for other girder

	CSR-DHOT	CSR-BC	CSR-H	IMPACT ON	
L	5.5+0.020L	0.6L ^{1/2}	5.5+0.020L	DHOT	BC
150	8.5	7.5	8.5	0.0	1.0
200	9.5	8.5	9.5	0.0	1.0
250	10.5	9.5	10.5	0.0	1.0
300	11.5	10.5	11.5	0.0	1.0

(4) 보강재 국부구조 요구치

CSR의 보강재 치수에 관한 규정은 단면계수, 이차단면모멘트, 웹 두께, 플랜지 두께가 있지만, 실제적으로는 단면계수 요구치를 만족시키기 위해 보강재의 치수를 정하면 대부분의 다른 요구치는 자동으로 만족한다. 따라서 본 연구에서는 면외압력에 의한 단면계수 요구치를 검토하였다.

선저 외판의 결과를 비교하면 선체거더 응력과 면외압력은 유사함에도 불구하고 CSR-H는 다른 결과를 보인다. 이것은 두 규칙의 항복응력에 관한 정의와 선체 거더 응력을 국부구조 설계에 고려하는 방식의 차이에 기인한다. 식 (13), (14)는 두 규칙에서 종방향으로 배치된 보강재의 정+동 하중 시나리오에서의 단면계수에 관한 식이다.

CSR-BC :

$$\frac{(p_s + p_w)sl^2}{m\lambda_s R_Y} \quad (13)$$

$$\lambda_s = \min(0.9, 1.2(1.0 - 0.85|\frac{\sigma_x}{R_Y}|))$$

CSR-H & CSR-DHOT:

$$\frac{|P|sl^2}{f_{bdg}\chi C_s R_{EH}} \quad (14)$$

$$C_s = \min(0.9, 1.0 - 1.0|\frac{\sigma_{hg}}{R_{EH}}|)$$

위의 식의 인자들 중 하중에 해당하는 면외압력, 선체거더 응력, CSR-H에서 도입된 χ 를 제외한 다른 값들은 CSR-BC와 CSR-H에서 같은 값이지만, λ_s 와 C_s , R_Y 와 R_{EH} 는 Fig. 3 과 Table 12와 같이 조금씩 다른 값을 갖는다. Fig. 3에서 CSR-H이 CSR-BC에 비해 선체 거더 응력을 더 민감하게 고려하는 것으로 나타난다. 그리고 고장력강에 대해 CSR-H는 CSR-BC에 비해 높은 항복응력을 가정한다. 따라서, 유사한 면외응력과 선체 거더 응력에도 단면계수 요구치는 달라질 수가 있다.

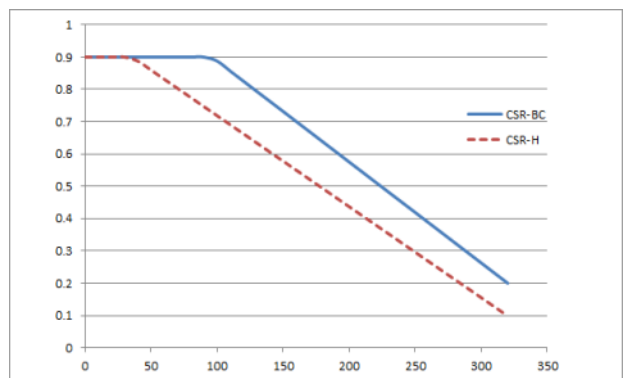


Fig. 3 Hull girder stress consideration for stiffener

Table 12 Comparison of minimum thickness for other girder

Material	R _v (CSR-BC)	R _{EH} (CSR-H & CSR-DHOT)
Mild	235	235
HT32	301	315
HT36	326	355
HT40	346	390

Table 13과 14에서 보여 주듯이 선측 외판 보강재의 경우 유사한 결과를 나타내었고, 갑판 보강재의 요구치에 어느 정도 감소가 보였지만, 실제로는 갑판 보강재의 치수 또한 판과 같이 선체 거더 단면계수를 만족하는 하는 것에 의해 결정되므로 CSR-H에 의한 영향은 없을 것으로 예상된다.

Table 13 Stiffener requirements for bulk carrier[CSR-BC]

Item	CSR-BC		
	Hull girder stress [N/mm ²]	Pressure [kN/m ²]	Section Modulus [cm ³]
Keel	-202	223	300
Bottom	-202	228~251	1182~1368
Side(Hopper)	88~-79	143~272	861~898
Side(top)	54~72	250~261	749~821
Deck	270~280	68~69	843~964
Inner bottom (Loaded)	118	477~531	1694~1883
Inner bottom (Empty)	121	269~321	965~1150
Inner bottom (Ballast)	121, -84	321~373	1153~1223
Hopper (Loaded)	53~71	248~309	854~1064
Hopper (Empty)	54~73	182~198	625~680
Hopper (Ballast)	-81~-67	358~371	1232~1277
Topside (Loaded)	-154~250	65~155	650~846
Topside (Empty)	-56~258	66~155	694~845
Topside (Ballast)	-57~101	136~237	702~1327
Tight girder	175	201	169

Table 15 Hull girder section modulus of double hull oil tanker

Condition		CSR-DHOT			CSR-H			Deviation
		Msw (kNm)	Mwv (kNm)	Required Section Modulus(m ³)	Msw (kNm)	Mwv (kNm)	Required Section Modulus(m ³)	
Seagoing	Hogging	2158200	2467376	18.99	2158200	2467376	18.99	0%
	Sagging	1226250	2588500	15.66	1226250	2588500	15.66	0%
Harbour	Hogging	2854710	0	15.57	2,854,710	0.00	15.57	0%
	Sagging	1530360	0	8.35	1,530,360	0.00	8.35	0%

Table 14 Stiffener requirements for bulk carrier[CSR-H]

Item	CSR-H		
	Hull girder stress [N/mm ²]	Pressure [kN/m ²]	Section Modulus [cm ³]
Keel	-197	218	345(15%)
Bottom	-194	222~243	1151~1173 (-3~-14%)
Side(Hopper)	-102~-147	207~209	873~1006(1~12%)
Side(top)	-96~-105	131~140	782~792(-5~6%)
Deck	210	66~69	631~692(-28%)
Inner bottom (Loaded)	-157	366~407	1982~2204(17%)
Inner bottom (Empty)	-161	209~245	1149~1347 (17%~19%)
Inner bottom (Ballast)	-161, -83	245~364	1355~1447(18%)
Hopper (Loaded)	-132~-120	225~259	1074~1304 (23~26%)
Hopper (Empty)	47~63	224~242	947~1062 (52~56%)
Hopper (Ballast)	-62~-76	345~359	1319~1447 (7~13%)
Topside (Loaded)	130~198	81~117	677~831(-2~20%)
Topside (Empty)	10~233	41~153	409~765 (-49~-10%)
Topside (Ballast)	-56~-77	116~208	592~1143 (-16~-7%)
Tight girder	176	282	288(70%)

이중저 구조의 경우 대부분 판의 분석에서 나타난 바와 유사하게 χ 의 값에 의한 증가가 보였으나, 공화물창의 호퍼 보강재에는 상당한 증가가 보였다. 면외압력도 증가하였고, 이 면외압력은 정적하중만 고려한 하중시나리오의 값으로 나타났다. 이 것은 χ 와 앞서 지적한 정적하중 시나리오에서의 수두값의 차이에 기인한다. 수밀 선저 거더 또한 유사한 이유로 상당한 증가를 보였다.

4.2 이중선체유조선

(1) 선체거더 단면계수

이중선체유조선의 선체 거더 단면계수에 대한 요구치의 차이는 Table 15에 정리하였다.

(2) 선체 거더 최종강도

이중선체유조선의 선체 거더 최종강도에 대한 요구치의 차이는 Table 16에 정리하였다.

Table 16 Required ultimate bending capacity of double hull oil tanker

Considered case	Required ultimate bending capacity(kNm)	
	CSR-DHOT	CSR-H
Hogging	5630956	6194052(10%)
Sagging	-4771907	-4771907(0%)

이중선체유조선의 경우 CSR-H로 인한 선체 거더 단면계수 요구치는 동일하였으며, 이 결과는 두 규칙의 선체 거더 단면계수에 관한 규정이 동일한 점에 기인한다.

앞서 산적화물선의 분석에서 이미 논의된 바와 같이 호킹의 경우에만 γ_{DB} 에 의해 10% 증가하였다.

(3) 판 국부구조 요구치

Table 17과 18에 이중선체유조선의 판 국부구조 요구치도 산적화물선과 동일한 방식으로 정리하였다.

Table 17 Plate requirements for double hull oil tanker [CSR-DHOT]

Item	CSR-DHOT			
	T _{other} [mm]	Hull girder stress [N/mm ²]	Pressure [kN/m ²]	T _{press} [mm]
Keel	13.0[Min]	-161	164	12.0
Bottom	11.0[Min]	-98	207	14.0~14.5
Bilge	11.0[Min]	-	216	14.5
Side	11.0[Min]	-79~26	131~207	9.5~13.0
Shear	11.0[Min]	-62	96	7.5
Deck	9.0[Min]	-91~-87	28~46	4.5~5.0
Inner bottom	9.0[Min]	-74	222~272	11.5~12.0
Hopper	9.0[Min]	-74~35	222~251	11.5~12.5
Inner hull	9.0[Min]~10.0[Slen]	-42~59	105~230	7.0~12.5
Center bulkhead	9.0[Min]	-74~114	50~222	6.0~13.0
Center girder	11.0[Min]	Not applicable(Non tight)		
Tight girder	10.0[Min]	-98	244	14.0
Non tight girder	10.0[Min]	Not applicable(Non tight)		
Stringer	8.0[Min]	Not applicable(Non tight)		

용골판은 경험적 최소두께가 지배적이었으며, CSR-H의 요구치가 1.0mm 증가하였다. 식 (15), (16)은 용골판의 경험적 최소 두께 관한 CSR-DHOT와 CSR-H의 규정이다.

$$\text{CSR-DHOT: } 6.5 + 0.03L \quad (15)$$

$$\text{CSR-H : } 7.5 + 0.03L \quad (16)$$

선저판, 발지판, 선측외판, 현측후판의 경우, 최소두께에서 1.0 mm의 증가가 있었지만, 대부분 면외압력에 의한 요구치가 우세하다. 따라서, CSR-H에 의한 영향은 면외압력이 줄어들어 최소두께가 우세한 선측외판의 상부와 현측후판에서 최소두께에 의한 증가가 예상된다.

Table 18 Plate requirements for double hull oil tanker [CSR-H]

Item	CSR-DHOT			
	T _{other} [mm]	Hull girder stress [N/mm ²]	Pressure [kN/m ²]	T _{press} [mm]
Keel	14.0[Min] (1.0)	-158	179	12.5
Bottom	12.0[Min]	-98	207	14.0~14.5
Bilge	12.0[Min]	-	225	14.5
Side	12.0[Min]	-79~21	146~207	10.0~13.0
Shear	12.0[Min] (1.0)	-76	115	8.5
Deck	9.0[Min]	-109~-106	56~76	5.5~6.5
Inner bottom	12.0[Min]	-60~-49	290~298	12.0~12.5 (1.0)
Hopper	9.0[Min]	-66~-53	276~295	12.5~13.0 (0.5~1.0)
Inner hull	9.0[Min]~10.0[Sled]	-42~59	101~257	8.0~13.5 (0.5~1.0)
Center bulkhead	9.0[Min]~10.0[Sled]	7~85	87~291	7.0~13.5 (0.5~1.0)
Center girder	11.0[Min]	Not applicable(Non tight)		
Tight girder	10.0[Min]	-98	244	14.0
Non tight girder	10.0[Min]	Not applicable(Non tight)		
Stringer	9.0[Min] (1.0)	Not applicable(Non tight)		

또한 화물 탱크 주변의 구조 (선저판, 호퍼판, 내측판, 중심 격벽)의 판은 면외압력에 의한 요구치가 우세하였으며 면외압력의 증가로 인해 0.5~1.0mm의 증가가 나타났다. 이러한 면외압력의 전반적인 증가는 식 (17), (18)에서 보는 바와 같이 동하중이 동반되는 하중시나리오에서 화물탱크에 대한 정압력 식의 차이에 기인한다. 아래의 두 식에서 PPV는 화물탱크의 안전밸브

의 설정압력으로 CSR-H에서는 이 압력을 동하중 동반 하중시나 리오에서도 고려한다.

$$\text{CSR-DHOT: } \rho g z_{tk} \quad (17)$$

$$\text{CSR-H : } \rho_L g(z_T - z) + P_{PV} \quad (18)$$

스트링거는 경험적 최소두께에 의한 아래 대상선박의 길이에 서 Table 19와 같이 0.5mm 증가가 보였다.

Table 19 Comparison of minimum thickness for stringer

L	CSR-DHOT 5.5+0.015L	CSR-H 0.6L0.5	IMPACT
150	8.0	7.5	-0.5
200	8.5	8.5	0.0
216.45	8.5	9.0	0.5
250	9.5	9.5	0.0
300	10.0	10.5	0.5

(4) 보강재 국부구조 요구치

Table 20과 21에 이중선체유조선의 보강재 요구치를 산적화물선과 동일한 방식으로 정리하였다.

Table 21을 검토하면, 외판의 경우 유사한 결과를 보이지만, 화물 탱크 주변의 구조물의 경우 증가가 보였다. 판에 대한 분석에서 이미 분석한 바와 같이 화물탱크 정수압 25kN/m²의 영향에 기인한다. 25kN/m²의 차이가 면외압력이 작은 화물탱크 윗부분의 구조에는 상대적으로 큰 비중을 차지하여 갑판, 중심격벽에는 큰 증가가 나타났다.

Table 20 Stiffener requirements for double hull oil tanker [CSR-DHOT]

Item	CSR-DHOT		
	Hull girder stress [N/mm ²]	Pressure [kN/m ²]	Section Modulus [cm ³]
Bottom	124	206~212	1040~1083
Side	-125~78	84~152	665~1266
Deck	131~137	26~33	164~220
Inner bottom	-79	222	1116
Hopper	-70~-51	198~216	1138~1425
Inner hull	-14~125	41~219	249~1001
Center bulkhead	-62~105	54~219	237~1707
Tight girder	-90	237	1259

Table 21 Stiffener requirements for double hull oil tanker[CSR-H]

Item	CSR-H		
	Hull girder stress [N/mm ²]	Pressure [kN/m ²]	Section Modulus [cm ³]
Bottom	-151	183~197	1063~1201 (0~11%)
Side	-124~9	131~174	731~1440 (0~14%)
Deck	-104~223	34~77	262~335 (51~60%)
Inner bottom	-127	224	1140(2%)
Hopper	-126~-106	189~207	1260~1617 (11~13%)
Inner hull	-116~-18	80~248	298~1118 (14~19%)
Center bulkhead	-58~200	48~250	459~1949 (5~94%)
Tight girder	-90	237	1259(0%)

5. 결론

2015년 7월부터 산적화물선과 이중선체유조선에 관한 공통구조규칙에 의한 구조부재의 요구치에 대한 영향을 분석하였다.

산적화물선의 선체 거더 단면계수에 대한 요구치에 대해서는 조건별로 차이가 있었지만, 침수상태가 지배적인 일반적인 산적화물선에 대해서는 영향이 없었다. 다만, 기존의 CSR-BC와는 달리 항내(harbour) 조건이 국부구조물 요구치에도 고려됨으로 인해 기존의 항내(harbour) 조건의 선체 중 허용 굽힘모멘트, 전단력은 과도한 치수를 요구할 것으로 예상된다. 선체거더 최종강도에 관한 요구치에서는 CSR-H에서 도입된 안전계수로 인해 화물창의 종류와 선체거더 하중의 방향에 따라 다른 증가를 보였다. 국부구조는 증가된 Grab 무게, 선체 거더 응력에 대한 보정, 면외압력 계산 방식, 허용응력, 경험적 최소 두께 등에 대한 규칙의 변화로 인해 증감이 보였다. 이중선체유조선의 선체 거더 단면계수의 요구치는 동일하였고, 선체 거더 최종강도는 새로 도입된 안전계수로 인해 호강 상태에 대해서만 증가하였다. 국부구조는 산적화물선에 비해 많은 증감이 나타나진 않았으나, 경험적 최소두께, 화물탱크에 관한 정적 면외압력 계산식의 차이로 인해 증가가 나타났다. 본 연구에서 선정한 대상선박에 대한 요구치 변화와 그 이유에 관한 분석을 통해 기존의 각 선종별 공통구조규칙(CSR-BC, CSR-DHOT)과 새로 도입될 통합공통구조규칙(CSR-H)의 결과적 차이를 분석하였다. 본 논문의 결론은 늑골판의 배치, 보강재의 배치 등을 고려하여 최적화에도 에 참고할 수

도 있을 것이다 (Na & Jeon, 2008; Na, et al., 2010). 또한, 본 논문의 결과를 참고하여 향후 다른 논문을 통하여 산적화물선과 이중선체유조선에 대상으로 기존의 CSR에 대비하여 CSR-H의 적용에 의한 중량증가분을 선체 중앙부의 중앙횡단면을 기준으로 분석할 계획이다.

References

- Na, S.S. & Jeon, H.G., 2008. Optimum Structural Design of Mid-ship Section of D/H Tankers Based on Common Structural Rules. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 45(2), pp.151-156.
- Na, S.S. Yum, J.S. & Kim, Y.S., 2010. The Structural Design of a Large Oil Tanker based on the CSR by Considering the Web Arrangement and Material Property. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 47(4), pp.598-605.
- International Association of Classification Societies(IACS), 2012. *Common Structural Rules for Bulk Carriers*. [Online] (Updated July 2012) Available at: <http://www.iacs.org.uk/> [Accessed October 2014].
- International Association of Classification Societies(IACS), 2012. *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers*. [Online] (Updated July 2012) Available at: <http://www.iacs.org.uk/> [Accessed October 2014].

International Association of Classification Societies(IACS), 2014. *Common Structural Rules for Bulk Carrier and Double Hull Oil Tankers*. [Online] (Updated January 2014) Available at: <http://www.iacs.org.uk/> [Accessed October 2014].

International Association of Classification Societies(IACS), 2014. *Consequence Assessment Report* [Online] (Updated June 2014) Available at: <http://www.iacs.org.uk/> [Accessed Oct 2014].

