

기술보고

Harmonised Common Structural Rules(CSR-H) 개발현황

김창욱, 조병삼, 변상호 ((사)한국선급)

1. IACS 공통구조규칙의 개요

이중선체유조선 및 산적화물선에 대한 International Association of Classification Societies (IACS)의 공통구조규칙(common structural Rules, CSR)은 2006년 4월 이후 건조 계약된 선박에 적용되어 오고 있다. 두 선종에 대한 CSR은 적용하중의 정립, 직접강도계산 강제화, 피로강도평가 강화, 순치수 접근방법 도입, 최종강도 평가, 진보된 좌굴평가방법 도입 등을 통해 이전 각 선급의 구조규칙에 비해 강화된 안전성을 주는 구조규칙으로 평가받고 있다. 또한 IACS "Knowledge Centre" (KC)를 통해 규칙에 대한 comment, interpretation 등의 industry feedback을 적절히 수용함으로써 규칙으로서의 완성도를 더욱 높여오고 있다.

2. 통합 공통구조규칙 필요성의 대두

두 선종에 대한 CSR은 서로 독립적인 과정으로 개발된 관 계로 이중, 구조부재 치수산정식, 구조해석방법, 피로강도평가 법, 좌굴평가식, 용접법 등 규칙의 핵심적인 내용이 서로 상이 하다. 예를 들어, 두 CSR은 선박이 일생동안 북대서양 파랑환 경에서 운항되는 것으로 동일하게 가정하고 있으나, 선수파, 횡파 등의 하중상태에서 외판에 적용되는 각각의 동적 수압이 같지 않다. 이는 각 CSR의 개발과정에서 참고된 자료, 경험 등이 일치하지 않았기 때문이다. 물론 계산된 동적수압의 고 저로 구조규칙의 엄격도, 정확도를 판단할 수 없으며, 치수산 정식 및 구조해석 평가시 허용응력 등을 하중의 고저와 함께 고려하여야 한다. 그럼에도 불구하고, 동일한 가정을 바탕으 로 개발된 구조규칙의 핵심적인 내용이 두 CSR에서 상이한 것은 기술적으로 합리화되기 어려운 부분이다. 자연스럽게도 CSR도입의 초기단계에서부터 두 CSR 통합에 대한 필요성이 제기되었으며, 2016년 중반부터 적용이 강제화되는 IMO Goal Based Standards (GBS) 요건 만족을 위해 기존의 두 CSR을 일부 보완할 필요가 있었고 이는 본 harmonisation project의 또 다른 목적이기도 하였다.

3. Harmonisation project 진행

IACS는 2008년부터 두 CSR에 대한 통합작업(harmoni sation project)를 시작하였다. 표 1과 같이 분야별로 총 10개 의 harmonisation project team(HPT)를 구성하였고, HPT별로 각 선급에서 추천한 HPT manager 1명과 HPT member 4-10 명으로 구성하여 해당분야의 rule text 및 technical back ground 개발작업을 수행하고 있다. 한국선급에서는 주로 신 조선 설계와 관련된 HPT에 참여하고 있으며, HPT03, FEA 분 야에서는 managing Society 역할을 수행하고 있다.

표 1 HPT 현황

HPT	Subject
HPT 1*	Wave Loads
HPT 2*	Buckling
HPT 3*	FEA
HPT 4	Corrosion
HPT 5	Welding
HPT 6*	Fatigue of Hatch Corners
HPT 7	Ship in Operation
HPT 8*	Fatigue
HPT 9*	Prescriptive Criteria
HPT 10*	Consequence studies

* : KR member 참가 HPT

4. 주요통합내용

4.1 Wave loads

통합 공통구조규칙(harmonised common structural Rules, CSR-H)에서 적용되는 dynamic load case (DLC)는 표 2와 같으며, 전체적으로 보면 CSR-OT의 일부 DLC를 제외하고는 두 CSR의 모든 DLC를 포함하는 내용으로 통합되었다. 각 DLC는 max. response 인자를 최대화, 최소화하는 2개의

DLC로 나누어지고 이는 규칙에 -1, -2 첨자로 구분되어 있다. 예를 들어 HSM-1은 vertical wave bending moment가 음으로 최대가 되는 DLC이고 HSM-2는 양으로 최대가 되는 DLC이다. 또한 현행 CSR-BC에서는 선박의 형상이 대칭인 경우, port side를 weather side로 가정하고 횡파상태에서 starboard side가 weather side가 되는 경우는 별도로 계산하지 않는데, 통합된 규칙에서는 규칙적용의 일반화를 위하여 CSR-OT와 같이 양현이 weather side가 되는 경우 모두를 계산하게 되었다. 기존 CSR에서는 각 DLC별로 규정된 wave bending moment와 같은 부호의 still water bending moment만 고려하면 되었는데, CSR-H에서는 각 DLC별로 양/음의 still water bending moment를 모두 고려해야 하므로 계산량은 총 DLC의 2배가 된다.

표 2 Dynamic load cases for strength assessment

Load Case	CSR-H	CSR - Similar load case	
	Max. response	CSR-BC	CSR-OT
HSM	Head Sea VBM max at MS	H1	DLC 1
HAS	Head Sea Vacc. Max at FP	-	DLC 2
FSM	Following Sea VBM max at MS	H2	-
BSR	Beam Sea, Roll max	R1 & R2	DLC 5
BSP	Beam Sea, Press. Max at MS	P1 & P2	DLC 7
OST	Oblique Sea, TM max at $\frac{1}{4}L$	-	DLC 4
OSA	Oblique Sea, Vacc. Max	-	-

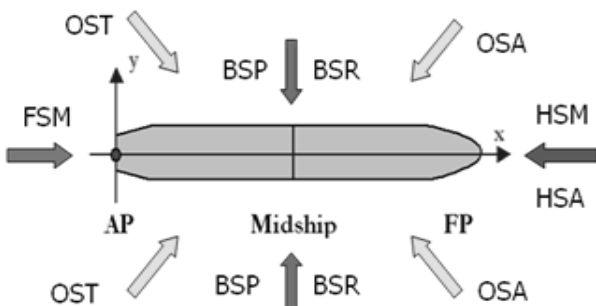


그림 1 Schematic diagram of equivalent design wave

결과적으로 선체강도평가를 위한 DLC의 수는 총 22개, 계산량은 총 44개로써 CSR-BC(8개)와 CSR-OT(약 11x2개)에 비해 2배 이상 늘어나므로 계산시간의 증가가 예상되나 소프트웨어 및 하드웨어 기술의 발달로 인해 경쟁력 있는 소프트

웨어를 사용하면 최적시간 내에 설계가 가능할 것으로 판단된다. 그림 1은 CSR-H에 채택된 equivalent design wave (EDW)를 도식적으로 보여주고 있다.

4.2 직접강도평가 및 좌굴평가

CSR-H의 직접강도평가는 model extent, modeling 방법, boundary condition, hull girder load application, equilibrium method, yield criteria, corrosion 고려, opening 고려 등의 주요 내용에 있어 현 CSR의 관련규칙을 참고하여 통합되었다. 이중 boundary condition에 대해서는 산적화물 선의 hatch corner fatigue 평가를 위한 warping 거동을 구현하기 위하여 새로운 boundary condition이 개발되어 채택되었다. 직접강도평가에서 현 CSR에 비해 가장 큰 변화는 fore-most와 aft-most 화물창(또는 탱크) 구조해석의 강제화이다. 이를 위하여 그림 2에 보인 바와 같이 선수단까지, 그리고 engine room 후단 격벽까지 모델링하여 3-hold analysis를 수행하여야 한다.

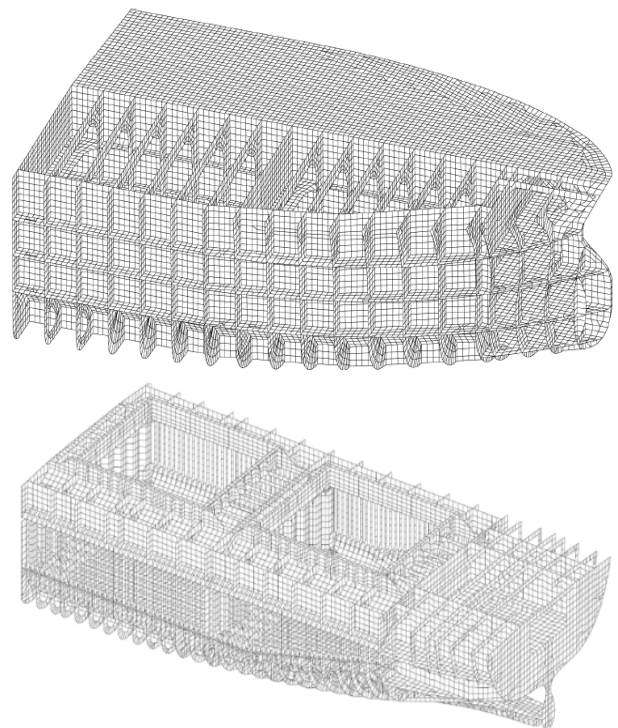


그림 2 최전방/최후방 화물창 모델링 예시

CSR-H의 좌굴평가는 두 CSR의 관련규칙을 바탕으로 좀 더 진보된 형태의 새로운 closed form method (CFM)를 채택

하였으며 다음의 세 가지 buckling failure mode를 평가한다.

- Overall stiffened panel capacity
- Plate capacity
- Stiffener buckling capacity

현 CSR-OT와 유사한 방법으로 패널들은 stiffened panel(SP)과 un-stiffened panel(UP)로 구분되고, SP와 UP는 다시 Method A와 Method B로 구분된다. 따라서, 총 4종의 패널(SP-A, SP-B, UP-A, UP-B)은 failure mode, ultimate critical stress계산에 사용되는 reduction factor가 각각 다른데, Method A는 주변 부재와 견고하게 연결되어 있어 in-plane방향의 변위는 발생하지만 패널이 straight 상태를 유지한다고 가정되므로 Method B에 비해 상대적으로 ultimate critical stress가 크게 계산된다.

4.3 Fatigue strength

Simplified fatigue strength check와 관련하여 CSR-H에서는 용접부에 대한 S-N Curve를 기본으로 하여 각 연결상세에 대한 응력집중계수를 규정하고 있다.

FE approach에서는 기존 CSR-BC에서 인정되던 coarse mesh 모델을 이용한 피로평가는 인정되지 않고 t x t mesh analysis를 통한 평가만 인정된다. 기존 CSR에서 내용이 다소 부족했던 grinding, TIG dressing, peening 등의 post-weld treatment의 상세가 포함되었으며, 주요 피로강도평가 지점에 대한 design standard를 상세히 규정하고 있다.

4.4 Prescriptive criteria

현재 두 CSR에서 plating과 stiffener에 대한 치수산정식은 대체로 유사하지만, 선체거더응력과 국부응력의 조합을 위한 허용응력계수에서 다소 차이가 나고 적용되는 재료의 허용항복응력도 다르다.

$$t = 0.0158 \alpha_p s \sqrt{\frac{|P|}{\chi C_a R_{eH}}}$$

$$Z = \frac{|P| s \ell_{bdg}^2}{f_{bdg} \chi C_s R_{eH}}$$

← 허용응력계수

CSR-OT에서는 최소항복응력의 100%를 항복응력으로 취하며, CSR-BC에서는 235/k를 취함으로써 표 3에서 보인 바

와 같이 고장력장에서 CSR-OT에 비해 낮은 항복응력을 적용하고 있다.

표 3 허용항복강도 비교

	CSR-OT (ReH)	CSR-BC (Ry=235/k)
MS	235	235
HT32	315	301
HT36	355	326
HT40	390	345

unit : N/mm²

허용응력계수를 비교해 보면 CSR-OT는 plating에 대해서는 CSR-BC에 비해 허용응력계수가 높고, stiffener에 대해서는 계수가 대체로 낮다. 허용응력계수와 항복응력을 곱한 결과인 허용응력을 선체거더응력에 대해 그래프를 그려 보면 그림 3과 같은데, 선체거더하중과 국부하중이 같을 경우 CSR-OT는 CSR-BC에 비해 plating은 더 작은 치수, stiffener는 반대로 더 큰 치수를 요구하게 됨을 알 수 있다. CSR-H에서는 정적+동적 하중상태와 정적 하중상태의 허용응력이 반영되어 있는 CSR-OT의 plating, stiffener 치수산정식을 채택하였다.

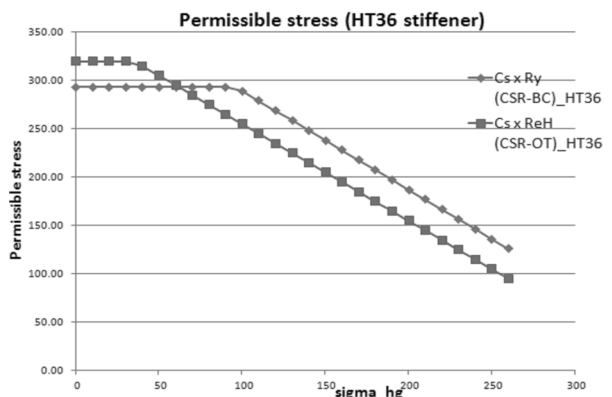
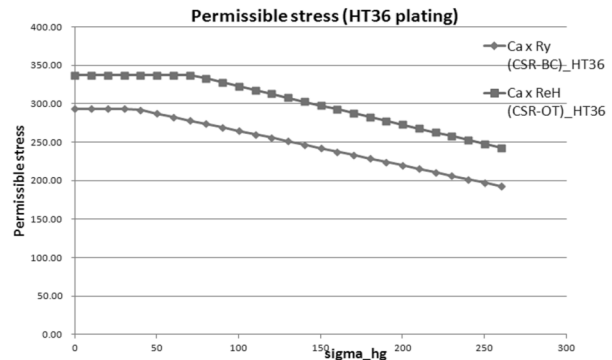


그림 3 허용응력비교 (HT36 plating & stiffener)

5. Scantling impact of CSR-H

IACS에서는 2012년 7월에 통합 공통구조규칙(안)을 공개하고 업계의 검토를 요청하였다. 규칙(안)과 함께 scantling impact에 대한 overview를 제공하기 위하여 지난 2년간 IACS 내부적으로 수행된 consequence assessment report도 공개하였다. 공개된 report에는 다음의 내용이 포함되어 있다.

- Prescriptive Assessment: longitudinal structural members in the midship region (Yielding and Buckling)
- Finite Element Assessment: The cargo hold or tank at midship only (Yielding only)
- Simplified fatigue strength assessment (Longi, stiffeners)

보고서의 내용을 요약하면, 선체구조부재에 대하여 양 또는 음의 scantling impact가 있는데, 산적화물선의 선측외판은 좌굴강도 만족을 위하여 다소 증가되어야 하며, 산적화물선에서 보강재의 요구 단면계수가 CSR-BC에 비해 대체로 증가하는 경향이 있다. 이는 그림 3에서 보인 바와 같이 CSR-H에서 보강재에 대한 허용응력이 CSR-BC에 비해 작아지는 점에 기인하는 것으로 설명할 수 있다. 산적화물선에 대한 FE yield assessment와 관련해서는 양 또는 음의 minor impact가 일부 구역에서 발견된다.

반면 산적화물선의 bottom plating과 inner bottom plating은 FEA buckling check, GRAB, steel coil loading등의 다른 요건에 의해 요구치수가 국부적으로 조정되는 점을 감안하더라도 항복강도 check 관점에서 대체로 감소하는 경향을 보인다. 이는 CSR-H의 하중개발단계에서 선체강도평가를 위한 선속을 5 knots로 가정함으로써 head sea상태의 설계동적수압이 전반적으로 감소한 것에 기인한다.

이중선체유조선에 대해서는 CSR-H의 scantling impact가 상대적으로 매우 작으며 국부적인 것으로 보고되었다.

보강재에 대한 피로강도평가 보고서를 보면, 일부 선저보강재, 선측보강재의 피로수명이 기존 CSR에서 계산된 피로수명이 비해 작게 계산되는 결과를 보이므로, 일부 scantling impact가 예상된다.

6. 향후 일정

IMO GBS의 일정에 따르면, 2016년 7월 1일 계약되는 산적화물선 및 유조선부터 새로운 통합공통구조규칙(CSR-H)가 적용될 예정이다. 다만, IACS선급 입급선박에 대한 조기적용 가능성이 있으며, 현재 논의가 진행 중이다.

2012년 7월부터 시작된 공통구조규칙(안)에 대한 industry

review는 2012년 말까지 진행될 예정이다. 규칙(안), consequence assessment자료, 개략적인 설명자료는 IACS 홈페이지에서 다운로드 받을 수 있다. 규칙을 검토한 선사, 조선소, 학계 등의 업계종사자들이 industry comment를 지정된 이메일(csr@iacs.org.uk)로 전달하면, 규칙을 개발한 HPT member들이 답변을 작성하고 규칙 보완이 필요한 부분을 식별하는 절차로 진행된다. 국내 업계종사자들의 관심과 참여가 필요한 부분이다. 2013년에 규칙 보완 및 각 선급의 규칙 제정절차를 완료한 후, 2014년 중반에 IMO에 GBS compliance 검토를 요청할 예정이다.

참고 문헌

- (사)한국선급, 2012, "선급 및 강선규칙 제11편, 산적화물선 공통구조규칙"
- (사)한국선급, 2012, "선급 및 강선규칙 제12편, 이중선체 유조선 공통구조규칙"
- IACS, July 2012, "Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers, External release version"
- IACS, July 2012, "Consequence Assessment Report"
- IACS, July 2012, "Consequence Assessment Report for Fatigue Stiffener end connections"



김 창 욱

- 1959년생
- 1982년 서울대학교 조선공학과 졸업
- 현 재 : (사)한국선급 도면승인실장
- 관심분야 : 에너지절감선박, 선체구조, 파괴역학
- 연 락 처 : 070-8799-8400
- E - mail : cwkim@krs.co.kr



조 병 삼

- 1971년생
- 2004년 충남대학교 선박해양공학 석사
- 현 재 : (사)한국선급 선체기술1팀장
- 관심분야 : 선체구조
- 연 락 처 : 070-8799-8401
- E - mail : pscho@krs.co.kr



변 상 호

- 1974년생
- 2008년 충남대학교 선박해양공학 석사
- 현 재 : KR 선체기술1팀, HPT09 member
- 관심분야 : 선체구조
- 연 락 처 : 070-8799-8403
- E - mail : shbyun@krs.co.kr