

# ICE CLASS 적용 선박의 Longitudinal Frame 보강 구조 연구

김호경, 조성암, 임효관 (STX조선(주) 조선해양연구소)

## 1. 서론

새로운 운항루트, 특히 Baltic 해역 개발로 이 지역을 통과하는 Tanker선이 증가함에 따라 Ice class 요건에 맞는 설계가 필요하게 되었다. 이러한 설계 요건을 만족시키기 위한 기본 규정이 Finnish-Swedish Ice Class Rule이다. Finnish-Swedish Ice Class Rule은 ice에 대해 안전성을 확보하기 위하여 일반 선박보다 높은 구조 강도를 위한 여러 가지 제한 조건을 규정하고 있으며, 이는 조선소의 생산성 측면에서 받아들이기 힘든 부분이 일부 포함되어 있다.

이러한 제약 조건 중 하나가 Finish Maritime Administration(이하 FMA)에서 ICE CLASS가 적용되는 선박에 대하여 Side shell longitudinal의 양단에 bracket을 설치하도록 한 조항이다. 이 조항은 부재수 증가를 유발하여 조선소의 생산성을 저하시키는 문제로 많은 논란을 야기하였다. 이에 FMA에서는 “Tentative Guidelines for Application of Direct Calculation Methods for Longitudinally Framed Hull Structure”(이하 Tentative Guideline)을 제시하여, Finnish-Swedish Ice Class Rule에 명기되어 있는 frame spacing과 양단 bracket 설치 규정을 대체할 수 있는 논리적 근거를 마련하였다.

본 연구는 생산성 향상을 위하여 양단 bracket을 설치하지 않는 효율적인 설계의 구조 안전성을 검증하기 위하여 FMA가 제시한 Tentative Guidelines에 따라 비선형 구조 해석을 수행하였다. 비선형 구조 해석은 FMA 규정을 만족하는 설계와 longi.

의 규격을 증가시키고 bracket을 제거한 설계에 대하여 각각 수행하여 구조 강도를 비교 검토하였다.

## 2. 해석 대상 모델

해석은 Fig. 1에 도시한 바와 같이 Panamax Tanker 선의 엔진룸 side structure를 대상으로 수행하였다. 이 부분은 Fig. 2와 같이 ice belt zone 중 Aft region에 속하는 부분으로 Midship이나 Fwd region에 비해 가해지는 하중이 상대적으로 작다. 해석은 Tentative Guideline에 따라서 FMA 규정의 양단 bracket이 설치되는 설계(이하 Rule based design)와 bracket을 제거하고 longi.의 규격을 증가시킨 설계(이하 proposed design)에 대하여 수행하였다.

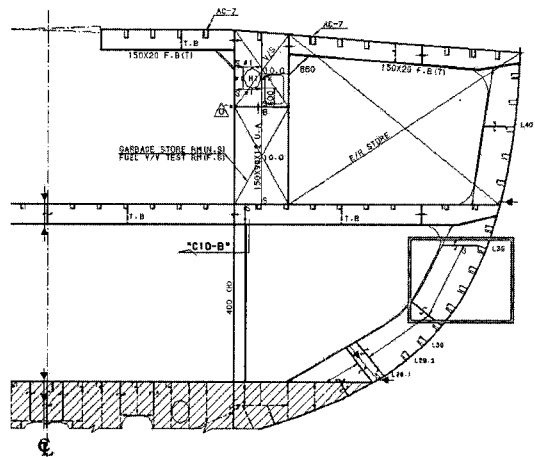


Fig. 1 Analysis regions

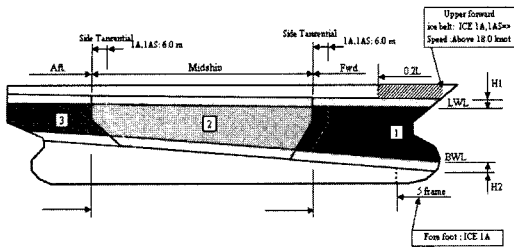
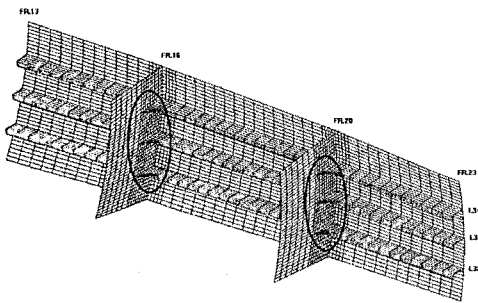
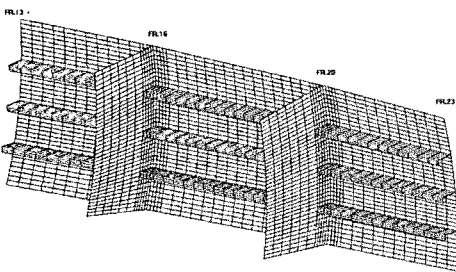


Fig. 2 Ice belt reions

상기 두 가지 구조에 대하여 각각 Fig. 3과 같이 세 web frame space와 네 longi. space에 대하여 side shell, transverse web, longi. 와 bracket을 4절점 shell 요소를 사용하여 모델링 하였으며 선체의 실제 3차원 곡면 형상을 모델링에 반영하였다.



(a) Rule based design model



(b) Proposed design model

Fig. 3 FE model for aft region in ice belt zone

### 2.1 Rule based design

FMA 규정을 만족하는 구조의 부재 scantling은 Finnish-Swedish Ice Class Rule과 DNV 선급 규정에 따라 결정하였다.

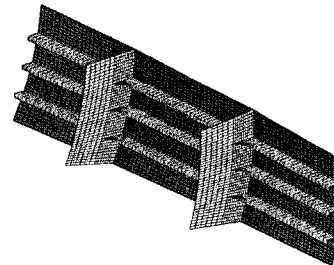
Side shell longitudinals은 230 x 90 x 11/11 IA “AH” 부재를 사용하였으며, 실제 단면 계수와 단면적은,  $Z_{act} = 397cm^3$ ,  $Z_{act} = 25.3cm^2$ 로 Rule 요구치인  $Z_{act} = 389cm^3$ ,  $A_{act} = 22.7cm^2$ 을 만족한다.

양단 bracket의 두께는 보강재의 두께와 동일하게 적용하고 길이는 보강재 web의 높이보다 큰 값으로 결정하였다. 사용된 bracket의 크기는 아래와 같다.

Fwd. Bracket: 250 x 250 x 11t “AH”

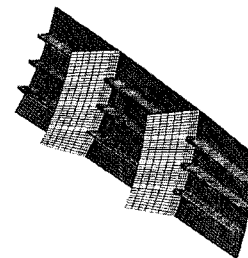
Aft. Bracket: 250 x 250 x 11t “AH”

MSC Patran 2001 (3 30-Jun-04 10:33:17)  
Fringe: Thickness Scale Plot



(a) rule structure

MSC Patran 2001 (3 30-Jun-04 08:11:00)  
Fringe: Thickness Scale Plot



(b) proposed structure

Fig. 4 Element properties (plate thickness)

### 2.2 Proposed design

양단 Bracket을 제거하는 대신 longi.의 크기를 Rule based design에 비해 증가시킨 250×90×12/16 IA “AH” 로 하였다.

두 가지 설계에 대한 유한 요소 모델링 형상과 사용한 element property는 Fig. 4와 같다.

해석에 사용한 재료 물성치는 Table 1과 같으며, isotropic bilinear hardening model을 가정하였다.

Table 1 Material properties

Material parameter	Mild Steel	HT32
Elastic Modulus	210 GPa	210 GPa
Poisson Ratio	0.3	0.3
Yield Stress	235 MPa	315 MPa
Ultimate Stress	488 MPa	537 MPa
Strain at Ultimate stress	0.20	0.20
Hardening slope	1270 MPa	1120 MPa

### 3. 하중 및 경계조건

하중의 크기 및 작용 영역은 Tentative Guideline에 제시된 바에 따라서 다음과 같이 계산되었다.

$$P_{max} = 3.37 \cdot c_d \cdot c_1 \cdot p_0(1.059 - 0.175 \cdot l) = 2.210MPa$$

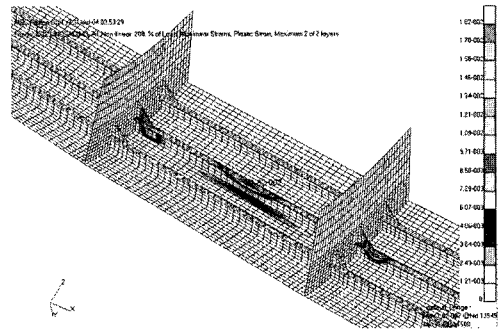
위의 계산된 하중을 Fr. 16과 Fr. 20 사이에 ICE Class IA에 해당하는 0.3m 높이로 가하였으며, 비선형 해석을 수행하기 위하여 0 MPa에서 2.210 MPa까지 하중을 가하는 부하 과정 10단계와 다시 0 MPa로 하중을 제거하는 제하 과정 10단계의 load step으로 해석을 수행하였다.

경계 조건은 상단과 하단은 완전 고정, 선수와 선미부 경계(FR. 13, FR. 23)는 단순지지로 가정하였다.

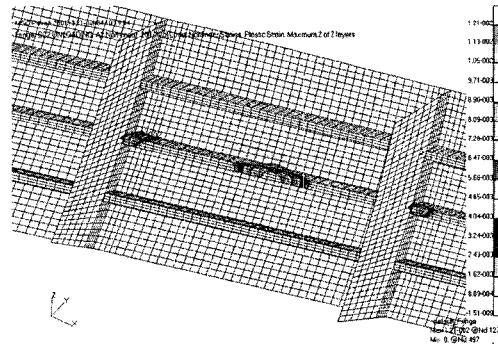
비선형 해석은 재료 물성치에 의한 비선형효과와 대변형에 의한 기하학적 비선형 효과를 고려하여 수행하였으며 MSC.Nastran Solution Code 106(Non-Linear Static)를 사용하였다.

### 4. 해석결과

Fig. 5와 같이 두 경우 모두 plastic strain은 2% 미만으로 작은 값을 나타냈다.



(a) rule structure



(b) proposed structure

Fig. 5 Plastic strain

최종 변형 형상은 Fig. 6과 같다.

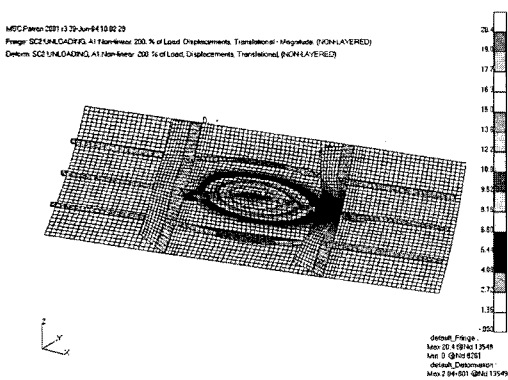
폭 방향(Y-Dir) 최대 소성 변형량은 Table 2와 같다.

Table 2 Final lateral deformation for each structure

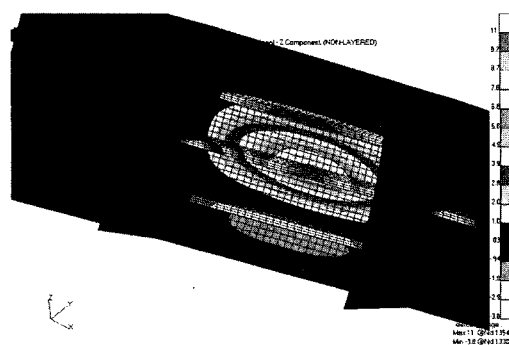
Permanent Displacement(Y-Dir)	
The Rule structure	The proposed structure
17.5 mm	10.6 mm

부하와 제하의 전 load step에 거친 폭 방향(Y-Dir) 변형의 이력은 Fig. 7과 같다.

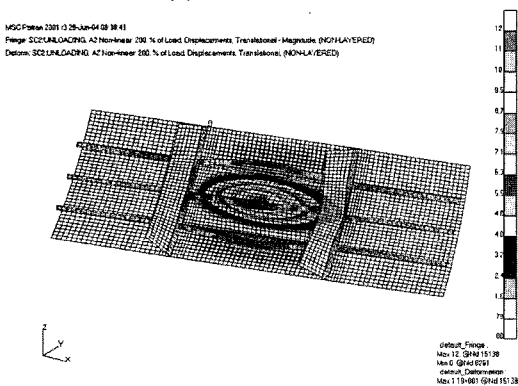
최종 소성 변형의 결과로부터 Proposed design의



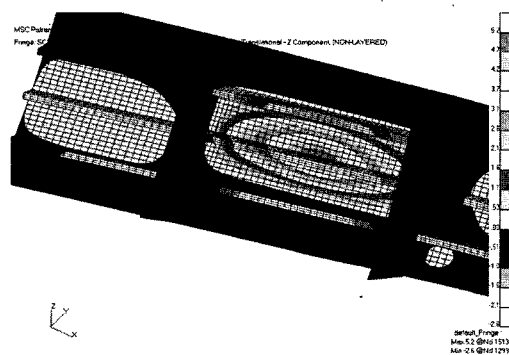
(a) rule structure



(a) rule structure



(b) proposed structure



(b) proposed structure

Fig. 6 Permanent deformed shape

Fig. 8 Permanent vertical deformation

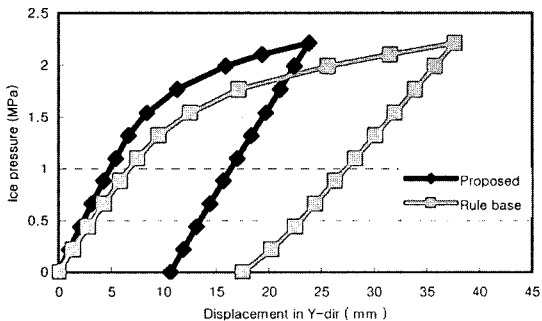


Fig. 7 History diagram for Lateral displacement

경우가 Rule based design에 비해 우수함을 알 수 있다.

Longi의 각변형은 점검하기 위한 수직 방향(Z-

Dir) 변형은 Fig. 8과 같다.

Proposed design의 Longi. 상대 각변형은 Fig.9와 같이 최대 상대 변위 1.7mm를 web height로 나누어 다음과 같이 계산된다.

The Permanent relative Deflection in Z-Direction : 1.70 mm

The Web Height of Proposed frame : 250 mm

The relative angular rotation of angle  $\tan^{-1}(1.70/250) = 0.3896$  degree

계산된 각변형량이 충분히 작으므로 tripping이 발생할 가능성은 없는 것으로 확인되었다.

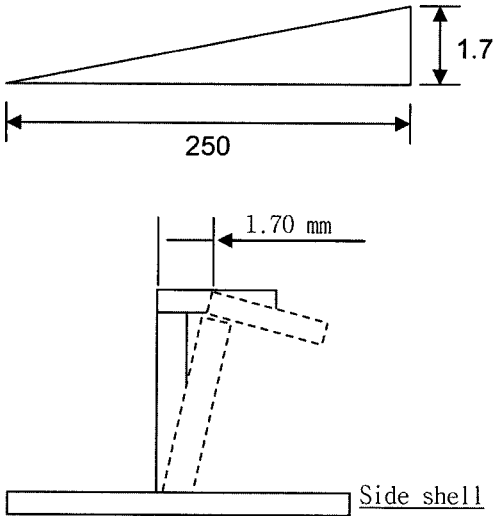


Fig. 9 Angular distortion of the frame

### 5. 결론

본 연구는 ICE CLASS 적용 선박의 중늑골 구조에 대하여, 양단 bracket 설치를 의무화하는 FMA 규

정을 면제 받기 위하여 비선형 해석을 수행하였다.

비선형 해석은 Tentative Guideline에 의거하여 수행되었으며 해석 결과 FMA의 규정을 만족시키는 설계(Rule based design)에 비해 제안된 설계(Proposed design)가 최종 소성 변형 면에서 우수함을 확인하였다. 또한 상대 각변형량에서도 0.5도 미만의 값으로 Tripping 발생 가능성도 없음을 입증하였다.

위의 결과를 바탕으로 양단 bracket을 제거한 합리적인 설계 대안을 도출하였다.

### 참고문헌

1. Tentative Guidelines for Application of Direct Calculation Methods for Longitudinally Framed Hull Structure, Finish Maritime Administration, 30 June 2003
2. Bulletin No. 13, Finish Maritime Administration, 1 October 2002
3. ICE Class Seminar Note, DNV, November 2003
4. Rules for Classification of Ships, DNV, January 2002

김 호 경 | STX조선(주) 조선해양연구소



- 1971년생
- 현 재: STX조선(주) 조선해양연구소 선체구조연구팀 과장
- 관심분야: 구조설계/개발
- 연 락 처: 055-548-1697
- E-mail: crossho@stxship.co.kr

임 호 관 | STX조선(주) 조선해양연구소



- 1956년생
- 현 재: STX조선(주) 조선해양연구소 조선해양연구소장
- 관심분야: 선박설계/개발
- 연 락 처: 055-548-1009
- E-mail: hkleem@stxship.co.kr

조 성 암 | STX조선(주) 조선해양연구소



- 1957년생
- 현 재: STX조선(주) 조선해양연구소 선체구조연구팀장
- 관심분야: 구조설계, 도장/개발
- 연 락 처: 055-548-1165
- E-mail: sachoo@stxship.co.kr