

구획배치에 따른 최소 전단력을 고려한 H-CSR 기반 중형 살물선 종강도 부재의 중량 절감 방안 연구

나승수¹·송하철¹·정솔²·박민철^{2,†}·배상돈²
목포대학교 조선공학과¹
목포대학교 조선해양시스템공학과²

On the Weight Reduction of Longitudinal Members of Mid-Sized Bulk Carrier Considering the Minimum Shear Force according to Compartment Arrangement based on H-CSR

Seung-Soo Na¹· Ha-Cheol Song¹· Sol Jeong²· Min-Cheol Park^{2,†}· Sang-Don Bae²
Department of Naval Architecture, Mokpo National University¹
Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Mokpo National University²

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.

Because the Energy Efficiency Design Index(EEDI) came into effect in 2013, it is necessary to develop a new technology to overcome CO₂ emission regulations. In structural design viewpoint, lots of researches are carried out to develop eco-friendly and high fuel efficiency ships by weight reduction. By using the automated compartment arrangement system and automated structural design algorithm which were developed by the authors, new researches are performing to combine the above two systems. However, the effect of weight reduction was not significant because structural designs by using these systems for the midship part was carried out only focused on the minimum still water bending moment. In this paper, at first, good compartment arrangements which give the minimum still water bending moment and(or) shear force were chosen by using the automated compartment system. And then, influence of shear force on weight reduction was investigated by using the automated structural design algorithm considering longitudinal strength, local strength and shear strength of longitudinal members in cargo holds. Conclusively, it is necessary to consider the minimum still water bending moment and shear force simultaneously to reduce the weight of mid-sized bulk carrier. Also, good compartment arrangement which gives much more weight reduction compared with existing ship was proposed.

Keywords : Shear strength(전단강도) Harmonized common structural rules(H-CSR, 통합공통구조규칙), Structural design(구조설계), Automated compartment arrangement system(구획배치 자동화 시스템), Weight reduction(중량절감), Bulk carrier(살물선)

1. 서론

2013년 1월 선박제조연비지수(EEDI : Energy Efficiency Design Index) 규정이 발효된 이후 조선-해운업계에서는 이에 대한 대응기술로서 친환경, 고연비 선박의 개발에 대한 필요성이 다양한 분야에 걸쳐 높아지고 있다. 구조적인 측면에서도 선박의 경량화를 통한 고연비 선박 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 2015년 7월 통합공통구조규정 (IACS, 2016)이 발효된 이

후 설계 치수에 대한 요구치가 대폭 강화됨에 따라 이 분야에 대한 연구 (Sung & Lee, 2015)도 진행되고 있다.

특히 저자들은 구획배치와 구조설계를 연동한 설계통합 시스템에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 동일한 선형 내에서 설계변수와 목적함수를 설정하고, 구획배치와 선박계산에 대한 각 규정을 제한조건으로 부여하여 이를 충족하는 다양한 구획배치 안과 NAPA와 연동된 선박계산 결과를 얻을 수 있는 구획배치 자동화 시스템 (Na, et al., 2013a; 2013b; 2013c)이 개발되

었다. 또한 주어진 횡단면에 대하여 종강도 부재의 치수를 자동으로 결정할 수 있는 구조설계 자동화 알고리즘 (Moon, 2015; Jeong, et al., 2015; Park, et al., 2016)을 개발하였으며, 이를 한국선급과 공동으로 상용화된 구조설계 프로그램 (KR, 2015)에 반영하였다.

개발한 설계 통합 시스템을 중형 살물선에 적용하여 구획배치를 수행하고 통합공통구조규정(H-CSR)에 기반한 구조설계를 수행하여 종강도와 종강도 부재의 치수 결정에 지배적인 영향을 미치는 정수 중 굽힘 모멘트가 감소할수록 중앙 횡단면적이 감소하는 것을 확인할 수 있었으나 그 영향이 크지 않았다(Na, et al., 2016). 기존 연구의 경우 정수 중 최소 굽힘 모멘트에만 초점을 맞추었기 때문에 선박의 중앙부에 대해서만 종강도와 종강도 부재의 국부강도에 대한 구조설계를 수행하였다.

본 연구에서는 38k급 중형 살물선인 실적선을 기반으로 개발한 구획배치 자동화 시스템 (Na, et al., 2013a; 2013b; 2013c)을 이용하여 정수 중 굽힘 모멘트와 정수 중 전단력이 최소가 되는 구획배치 안을 찾은 후, 각 구획배치 안에 대해 화물창부 10개의 단면에 대한 구조설계를 수행하여 전단력이 구조설계에 미치는 영향을 알아보고, 이 결과를 토대로 최소 전단력을 고려한 중형 살물선의 화물창부 종강도 부재의 종량을 절감하는 구획배치 안을 제시하고자 한다.

2. 대상 선박

Table 1은 본 연구에서 사용된 통합공통구조규칙을 적용하여 설계를 완료한 실적선인 38k급 중형 살물선의 주요치수이다.

Table 1 Principal dimension of 38k bulk carrier

| Item | Value (m) |
|-------------------------------------|----------------|
| LOA (Length over all) | Appx 181 |
| LBP (Length between perpendiculars) | 177.3 |
| Ls (Rule length) | 175.6 |
| B(Moulded breadth) | 30 |
| D(Moulded depth) | 15.2 |
| Ts (Scantling draught) | 10.6 |
| Td (design draught) | 10.1 |
| DWT (Deadweight tonnage) | 37,650(tonnes) |

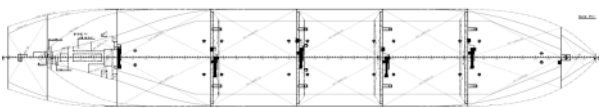


Fig. 1 Cargo hold plan view of mother ship

Fig. 1, 2는 대상 선박의 화물창구역의 평면도와 중앙부 횡단면이다. 5개의 화물창을 가지며 일반적인 살물선과 같이 중앙에

화물창이 존재하며, 선저의 이중저 내부와 호퍼, 탑사이드 탱크의 종격벽을 기준으로 외측은 평형수 탱크가 배치되어 있고, 탑사이드의 내측에는 연료유 탱크가 배치되어 있다.

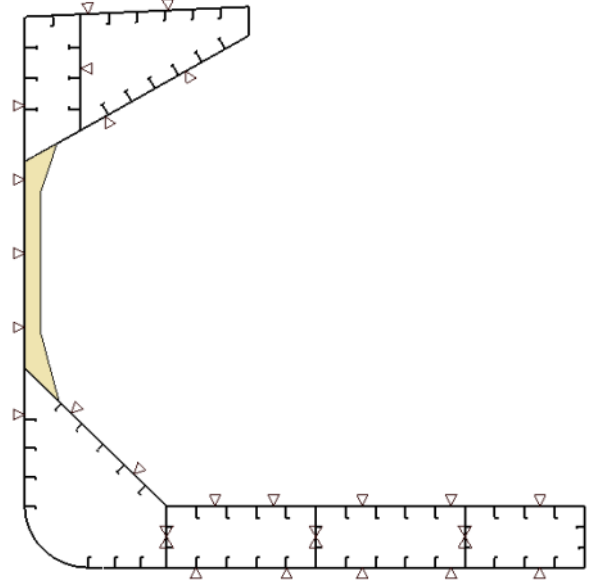


Fig. 2 Midship section of mother ship

3. 구획배치 자동화 시스템

저자들이 개발한 구획배치 자동화 시스템 (Na, et al., 2013a; 2013b; 2013c)을 실적선에 적용하여 구획배치 자동화를 수행하였다.

3.1 목적함수

목적함수는 정수 중 굽힘 모멘트와 정수 중 전단력으로 한다. 각종 선박계산은 서브모듈인 NAPA를 호출하여 실시한다.

3.2 설계변수

Table 2 Design variables and design regions

| Design variable | Min. value | Max. value | Step size |
|------------------------|------------|------------|-----------|
| DB* (m) | 1.66 | 1.74 | 0.04 |
| HTK* (m) | 11.12 | 11.28 | 0.08 |
| HA* (°) | 43.5 | 46.5 | 1.5 |
| Trans.BHD No.4 (Fr No) | 72 | 78 | 3 |
| Trans.BHD No.3 (Fr No) | 105 | 111 | 3 |
| Trans.BHD No.2 (Fr No) | 138 | 144 | 3 |
| Trans.BHD No.1 (Fr No) | 171 | 177 | 3 |

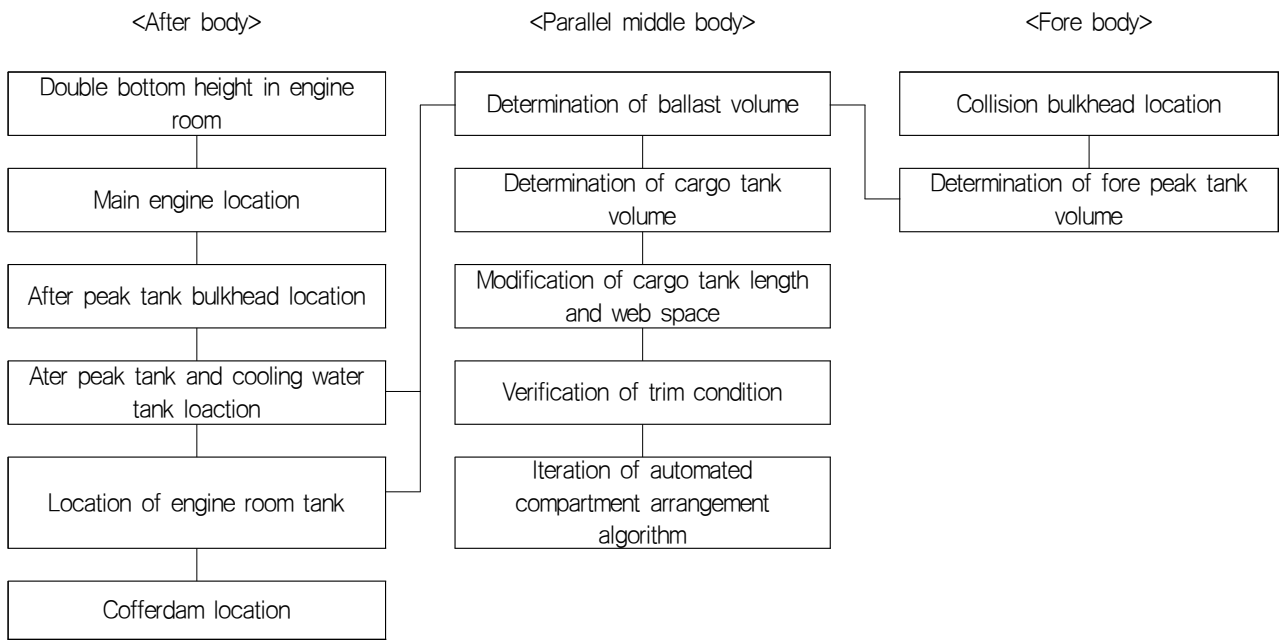


Fig. 3 Automated compartment arrangement algorithm

Table 2는 구획배치 자동화 시스템에 적용된 설계변수와 설계 영역을 나타낸 표이다 목적함수에 영향을 미치는 이중저 높이 (DB : Double Bottom height), 호퍼탱크의 너를 지점(HTK : Hopper Tank Knuckle), 호퍼 각도(HA : Hopper Angle)와 1, 2, 3, 4번 횡격벽의 위치를 고려한다.

3.3 제한조건 및 적용 규칙

제한조건은 재화중량(DWT)과 구획배치에 필요한 해양오염방지협약(MARPOL : Marine Pollution Treaty), 해상인명안전협약(SOLAS : International Convention for the Safety of Life at Sea) 및 통합공통구조규칙(H-CSR : Harmonized Common Structural Rules)을 적용한다.

3.4 구획배치 자동화 알고리즘

Fig. 3은 구획배치 자동화 시스템의 알고리즘으로서 제한조건을 만족하는 범위 내에서 선미부와 선수부의 구획배치를 선행하고 중앙부의 구획배치를 수행하게 된다. 구획배치 자동화 시스템은 선수, 선미 그리고 중앙부의 구획만 변경할 수 있도록 개발되었으며, 기관부 구획은 실적선 데이터를 호출하여 사용하도록 한다.

4. 화물창부 종강도 부재의 구조설계

4.1 전단강도를 고려한 종강도 부재의 치수 결정

유조선의 경우 이중선체 구조를 갖기 때문에 국부치수를 만족

할 경우 전단강도도 함께 만족하게 된다. 하지만 살물선의 경우 Fig. 4와 같이 격창적재로 인해 횡격벽의 위치에서 높은 전단력이 작용하기 때문에 국부치수를 만족한다 해도 전단응력이 높게 걸리는 단일선측이 전단강도를 만족하지 못하게 된다. 설계 과정에서는 단일선측에 대한 보강이 이루어지며 이로 인해 길이방향에 따라 단일선측의 두께의 편차가 발생하게 된다.

본 연구에서는 구조설계 단계에서 전단강도를 고려하기 위해 중앙횡단면 뿐만 아니라 전단력이 크게 작용하는 5개의 횡격벽 위치와 비교적 전단력이 작게 작용하는 각 화물창 중앙 위치 5부분, 총 10개의 횡단면을 대상으로 구조설계 자동화 알고리즘을 활용하여 종강도, 종강도 부재의 국부강도와 전단강도에 대한 구조설계를 수행한다. 이를 통해 정수 중 굽힘 모멘트뿐만 아니라 정수 중 전단력이 종부재 치수에 미치는 영향에 대하여 알아보고, 이들을 동시에 고려하여 중량을 절감할 수 있는 방안을 찾고자 한다.

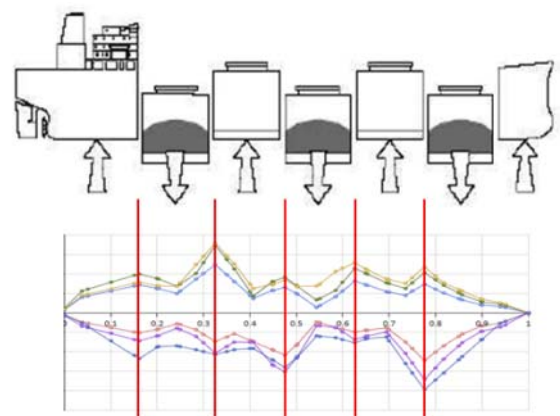


Fig. 4 Shear force of bulk carrier

4.2 전단강도를 고려한 구조설계 자동화 알고리즘

Fig. 5는 전단력을 고려한 살물선 종강도 부재의 설계 자동화 알고리즘으로서 기존의 개발된 구조설계 자동화 알고리즘에 전단강도를 고려할 수 있도록 보완하였다.

먼저 보강재의 초기 크기를 결정한 후 판재의 국부 강도를 평가하여 항복강도와 좌굴강도에 대한 규정을 만족하지 않은 경우 해당 판재의 두께[T]를 0.5 mm씩 증가시킨다. 그 후, 보강재의 국부 강도 평가를 통해 보강재의 크기를 결정한다. 선저(bottom), 내저(inner bottom), 호퍼(hopper), 선측(side), 내선측(inner side), 종격벽(longi. BHD), 갑판(deck) 순으로 판재와 마찬가지로 항복강도와 좌굴강도의 규정 기준을 확인한다. 기준에 만족하지 않은 보강재는 위치별 보강재의 크기 결정 알고리즘(Moon, 2015; Jeong, et al., 2016)에 의해 보강재 크기를 변경한다.

종료조건은 현재의 판의 두께가 이전 단계의 판의 두께와 동일할 경우 국부강도가 만족하였다고 판단하여 종강도 결정 알고리즘을 수행하고, 동일하지 않을 경우 판재의 국부강도 평가를 통해 보강재 크기 결정 알고리즘 과정을 반복 수행한다.

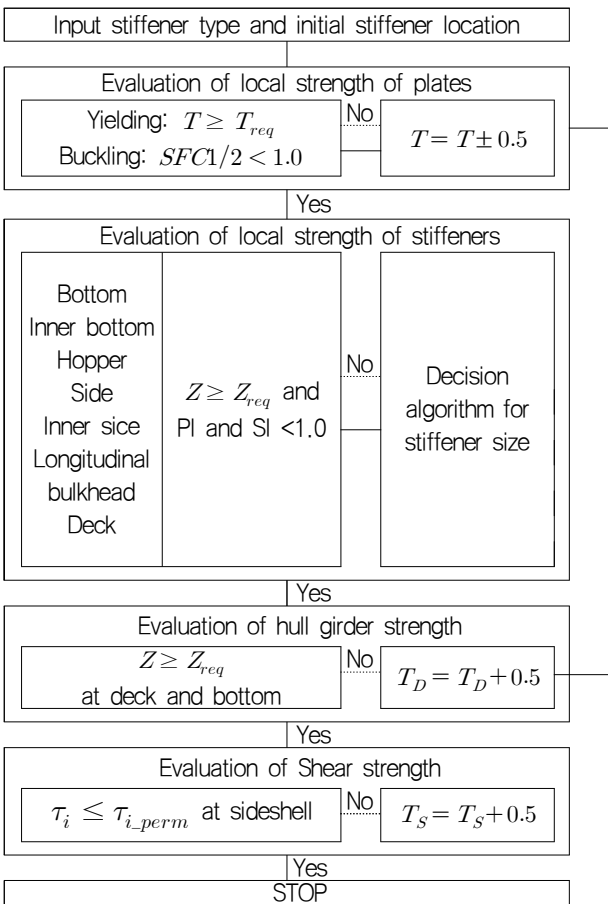


Fig. 5 Algorithm of automated structural design considering shear strength

살물선의 경우, 판재 및 보강재의 국부강도를 모두 만족한 후

종강도 결정 알고리즘을 수행하여 종강도의 만족여부를 확인하고 부족할 경우 갑판의 두께[T_D]를 보강하여 종강도를 만족하도록 한다. 갑판의 치수가 변경되면 중립축의 위치 변동이 생기기 때문에 판재와 보강재의 국부강도 평가를 재수행한다. 이 과정은 종강도가 만족될 때까지 반복 수행한다.

판재와 보강재의 국부강도, 종강도에 대하여 모두 만족할 경우, 선체 거더 전단력을 평가한다. 선체 거더 전단력 평가는 규정상 모든 부재에 대하여 이루어져야하지만 대부분의 종강도 부재들은 국부 강도를 만족할 때 전단강도를 만족하게 되므로 과도한 전단응력이 발생하는 단일선측에서만 전단강도를 평가한다. 선체 거더 전단력 평가 결과 만족하지 않을 경우 단일선측의 두께[T_S]를 0.5 mm 증가시킨 후 재평가를 반복한다.

전단강도를 평가한 후 판재와 보강재에 대한 국부강도 평가와 종강도 평가는 재수행하지 않는다. 종강도와 달리 단일 선측의 치수변화가 국부강도에 큰 영향을 주지 않으며, 반복수행이 될 경우 알고리즘의 수행시간이 과도하게 길어지는 점을 감안하여 선체 거더 전단력을 만족할 경우 전단력을 고려한 종강도 부재의 구조설계 알고리즘을 종료한다.

4.3 전단강도를 고려한 화물창부 종강도 부재의 중량 추정법

기존의 연구 (Na, et al., 2016)에서는 중앙 횡단면에 대한 종강도 부재의 치수결정만을 수행한 후, 그 결과로 얻은 횡단면적에 화물창의 길이를 곱해 중량을 단순하게 추정하였다. 본 연구에서는 5개의 횡격벽 위치와 5개의 화물창 중앙부 위치의 횡단면적을 이용하여 중량을 보다 정확하게 추정하고자 한다. 중량 추정은 Fig. 6과 같이 횡격벽 주변 구간, 화물창 중앙부 주변 구간, 그리고 그 외 구간인 3 부분으로 나누어 계산한다.

먼저 횡격벽 주변 구간의 경우 식 (1)과 같이 중량을 추정한다. 횡격벽 위치의 횡단면적에 횡격벽 전방 화물창 길이의 1/8 과 횡격벽 후방 화물창 길이의 1/8을 더한 값을 곱한 후 강재의 비중량을 곱한다.

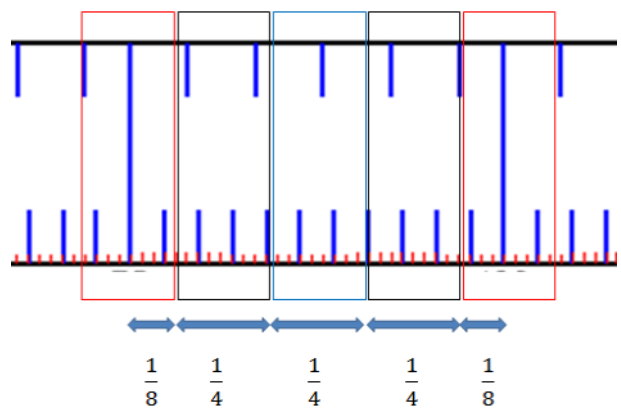


Fig. 6 Weight estimating method according to longitudinal position

화물창 중앙부 주변 구간의 경우 식 (2)와 같이 중량을 추정한다. 화물창 중앙부 위치의 횡단면적에 해당 화물창 길이의 1/4과 강재의 비중량을 곱한다

그 외 구간은 화물창 중앙부 위치의 선측외판 두께와 전단강도에 의해 보강되는 횡격벽 위치의 선측외판 두께를 이용하여 선형적으로 계산하며, 식 (3)과 같이 중량을 추정한다. 해당 화물창 중앙부 위치의 횡단면적에 화물창 중앙부 위치의 선측외판의 두께와 전단강도 평가에 의해 보강되는 선측외판의 길이를 곱한 값을 뺀 후, 화물창 중앙부 위치의 선측외판 두께와 횡격벽 위치 선측외판 두께의 평균에 선측외판의 길이를 곱하여 더해 준다. 그 후 해당 화물창 길이의 1/4과 강재의 비중량을 곱한다.

$$W_{BHD-i} = A_{B-i} \times \left(\frac{l_{i-1}}{8} + \frac{l_i}{8} \right) \times \gamma_{steel} \quad (1)$$

$$W_{Hold-i} = A_{H-i} \times \left(\frac{l_i}{4} \right) \times \gamma_{steel} \quad (2)$$

$$W_{ex} = \left[A_{H-i} - (t_{S-H-i} \times S_S) + \left(\frac{t_{S-H-i} + t_{S-B-i}}{2} \times S_S \right) \right] \times \left(\frac{l_i}{4} \right) \times \gamma_{steel} \quad (3)$$

$$= \left[A_{H-i} + \left(\frac{t_{S-B-i} - t_{S-H-i}}{2} \times S_S \right) \right] \times \left(\frac{l_i}{4} \right) \times \gamma_{steel}$$

- A_{B-i} : 해당 화물창 횡격벽 위치의 횡단면적 (mm²)
- l_i : 해당 위치의 화물창 길이 (mm)
- l_{i-1} : 해당 위치 전방의 화물창 길이 (mm)
- γ_{steel} : 강재의 비중량으로서 7.85 (ton/m³)으로 계산한다.
- A_{H-i} : 해당 화물창 중앙부 위치의 횡단면적 (m²)
- t_{S-H-i} : 해당 화물창 중앙부 위치의 선측외판 두께 (mm)
- t_{S-B-i} : 해당 화물창 횡격벽 위치의 선측외판 두께 (mm)
- S_S : 전단강도 평가에 의해 보강되는 선측외판의 길이 (mm)

5. 연구 수행 결과

5.1 구획배치 자동화 시스템 결과

Table 2에서 언급한 바와 같이 7가지의 설계변수를 3개의 영역에 대하여 구획배치 자동화 시스템을 수행한 결과 2187(37)번 반복 수행하여 그 중 제한조건을 만족하는 구획배치 안 1998개를 얻을 수 있었다.

Table 3에서는 구획배치 자동화 시스템을 수행하여 얻은 결과 중 중량 감소가 기대되는 구획배치 안을 선정하였다. Case 1094는 실적선과 동일한 구획배치 안으로서 결과의 비교를 위한 기준으로 사용한다. Case 902는 항해상태 정수 중 호킹 모멘트 (Seagoing S.W.B.M : Still Water Bending Moment)가 최소가 되는 구획배치이다. 실적선 대비 호킹 모멘트는 3.53% 감소하였으며, 새깅 모멘트는 16.08% 증가, 선박의 횡경사를 포함한 침수상태 전단력(Flooding S.W.S.F : Still Water Shear Force)은 1.66% 감소하였다. Case 1580은 항해상태 정수 중 새깅 모멘트가 최소가 되는 구획배치이다. 실적선 대비 새깅 모멘트는 13.50% 감소하였으며 호킹 모멘트는 3.48% 감소, 침수상태 전단력은 2.07% 감소하였다. Case 1586은 침수상태 전단력이 최소가 되는 구획배치이다. 실적선 대비 전단력이 11.72% 감소하였으며 정수 중 호킹 모멘트는 3.49% 감소, 새깅 모멘트는 15.25% 증가하였다.

5.2 구조설계 결과

종강도 부재의 치수는 여러 가지 요건을 고려하여 결정하기 때문에 중량을 절감하기 위해서는 각 요건에 지배적인 영향을 주는 하중들을 동시에 고려하여야 한다.

본 연구에서는 종강도 부재의 국부강도 치수 결정에 큰 영향을 미치는 항해상태 정수 중 호킹/새깅 굽힘 모멘트와 전단강도에 지배적인 침수 상태 정수 중 전단력을 동시에 고려하고자 한

Table 3 Result of automated compartment arrangement system

| Design case | Ship calculation | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------|---------|--------|-------------------|-----|-----|-----|--------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|----------|-------------------------|
| | Design variable | | | | | | | Cargo volume (m ³) | Seagoing S.W.B.M (kN*m) | | Flooding S.W.S.F (kN) | | |
| | DB (m) | HTK (m) | HA (°) | BHD Position (Fr) | | | | | Hog | Sag | Positive | Negative | Max(ABS) |
| | | | 4 | 3 | 2 | 1 | | | | | | | |
| *1094 | 1.70 | 11.20 | 45.0 | 75 | 108 | 144 | 174 | 49,701 | 972,267 | -808,711 | 66,423 | -67,717 | 67,717 |
| 902 | 1.70 | 11.12 | 46.5 | 75 | 105 | 141 | 171 | 49,514 | 937,933 (-3.53%) | -938,718 (+16.08%) | 61,747 | -66,590 | 66,590 (-1.66%) |
| 1580 | 1.74 | 11.12 | 45.0 | 75 | 108 | 141 | 177 | 49,489 | 938,379 (-3.48%) | -699,469 (-13.50%) | 66,317 | -64,040 | 66,317 (-2.07%) |
| 1586 | 1.74 | 11.12 | 45.0 | 75 | 105 | 144 | 177 | 49,488 | 938,303 (-3.49%) | -932,018 (+15.25%) | 59,783 | -59,782 | 59,782 (-11.72%) |

*1094 : 실적선과 동일한 구획배치를 갖는 설계안

다. 물리량이 다른 굽힘 모멘트(kN*m)와 전단력(kN)을 동시에 고려하기 위해 Table 4와 같이 해당 구획배치 안의 물리량을 실적선과 동일한 구획배치를 갖는 안(Case 1094)의 물리량으로 나누어 실적선 대비 비율로 표현하였다. 실적선 대비 호깅 모멘트 비율은 "H", 실적선 대비 새깅 모멘트 비율은 "S", 실적선 대비 전단력 비율은 "SF"로 표현하였으며, 이를 통해 모멘트와 전단력이 실적선 대비 어느 정도 증감하였는지 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 또한 서로 다른 물리량을 동시에 고려하기 위해 동일한 가중치를 주어 실적선 대비 호깅 모멘트 비율과 새깅 모멘트 비율의 평균을 "H+S", 실적선 대비 호깅 모멘트 비율과 전단력 비율의 평균을 "H+SF", 실적선 대비 호깅 모멘트 비율, 새깅 모멘트 비율, 전단력 비율의 평균을 "H+S+SF"로 나타내었다.

구조설계 결과 항해상태 정수 중 호깅 모멘트가 최소가 되는 구획배치 안(Case 902)의 경우 실적선 대비 중량이 0.25% 감소하였으며, 항해상태 정수 중 새깅 모멘트가 최소가 되는 구획배치 안(Case 1580)의 경우 실적선 대비 중량이 0.34% 감소하였다. 침수상태 정수 중 전단력이 최소가 되는 구획배치 안(Case 1586)의 경우 실적선 대비 중량이 1.63% 감소하였다. 중량 변화에 따른 경향을 확인하기 위해 정수 중 호깅 모멘트가 최대인 구획배치 안(Case 493)에 대하여 추가적으로 구조설계를 수행한 결과 실적선 대비 중량이 1.34% 증가한 것을 확인할 수 있었다.

6. 결과 분석 및 고찰

Case 902의 경우 항해상태 정수 중 호깅 모멘트가 3.53% 감소하고 새깅 모멘트는 오히려 16.08% 증가하였으나 중량은 0.25% 감소하였다. 새깅 모멘트가 대폭 증가하는데도 중량에 크게 영향을 미치지 않는 이유는 일반적으로 중형 살물선의 새깅 모멘트는 선급 규정에서 요구하는 최소 요구 값보다 작기 때문이다. Case 1580의 경우에는 항해상태 정수 중 호깅 모멘트는 3.48%, 새깅 모멘트는 13.50% 만큼 크게 감소하였으며 "H+S"와 "H+S+SF" 또한 가장 낮았으나 중량은 0.34%만 감소하여 그

영향이 미미하였다. 이를 통해 해당 실적선에 대하여 정수 중 굽힘 모멘트의 영향을 받는 국부강도 요건[H-CSR Part.1 Ch.6 Sec.4~5]보다 최소두께요건[H-CSR Part.1 Ch.6 Sec.3]의 지배를 받는 종강도 부재가 많기 때문에 정수 중 굽힘 모멘트의 변화가 중량 변화에 큰 영향을 주지 못하는 것을 확인할 수 있었다. Case 1586의 경우 항해상태 정수 중 호깅 모멘트는 3.49% 감소, 새깅 모멘트는 15.25% 증가, 침수상태 정수 중 전단력이 11.72% 크게 감소하여 중량은 1.63% 감소하였다. Case 493의 경우 정수 중 호깅 모멘트는 27.7% 증가, 새깅 모멘트는 31.6% 감소, 침수상태 정수 중 전단력은 15.1% 증가하여 "H+S"와 "H+S+SF"가 가장 높았으며 중량은 1.34% 증가하였다. 이를 통해 침수상태 정수 중 전단력이 감소함에 따라 전단강도 평가를 통한 단일선측의 보강량이 감소함에 따라 중량이 감소하였으며, 중형 살물선의 경우 침수상태 정수 중 전단력이 중량에 미치는 영향이 크다는 것을 확인할 수 있었다. Table 5는 프레임 위치 별 단일선측의 두께를 보여 주고 있으며, 프레임 위치 별 전단력의 크기에 따라 단일선측의 두께가 달라지는 것을 알 수 있다.

Table 5 Sideshell plate thickness according to frame number (unit:mm)

| Case No Fr. No | 1094 | 902 | 1580 | 1586 | 409 |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| 39 | 14.5 | 14.5 | 14.5 | 14.5 | 14.5 |
| 57 | 16.5 | 16.5 | 16.5 | 16.0 | 16.5 |
| 75 | 21.5 | 21.0 | 21.0 | 19.5 | 22.0 |
| 93 | 19.0 | 19.0 | 19.0 | 19.0 | 19.0 |
| 108 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.5 |
| 123 | 19.0 | 19.0 | 18.5 | 18.5 | 19.0 |
| 141 | 18.5 | 19.0 | 20.0 | 18.0 | 19.5 |
| 159 | 17.5 | 17.5 | 17.0 | 17.5 | 17.5 |
| 174 | 22.0 | 21.0 | 21.0 | 20.5 | 23.5 |
| 200 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 |

Table 4 Comparison of weight according to bending moment and shear force

| Case No | H | S | SF | (H+S)/2 | (H+SF)/2 | (H+S+SF)/3 | Weight [ton] | Diff of Weight [ton] (Ratio, %) |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------------------------|
| 1094 | 1.0000 | 1.0000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 2586.9 | - |
| 902 | 0.9647 | 1.1610 | 0.9834 | 1.0629 | 0.9741 | 1.0364 | 2580.6 | -6.51 (-0.25%) |
| 1580 | 0.9650 | 0.8650 | 0.9790 | 0.9150 | 0.9720 | 0.9363 | 2578.2 | -8.86 (-0.34%) |
| 1586 | 0.9651 | 1.1510 | 0.8828 | 1.0581 | 0.9240 | 0.9996 | 2544.9 | -42.19 (-1.63%) |
| 493 | 1.2774 | 0.6840 | 1.1510 | 0.9807 | 1.2142 | 1.0375 | 2621.8 | +34.70 (+1.34%) |

Fig. 7, 8은 정수 중 호강 모멘트 비율 "H", 새강 모멘트 비율 "S", 침수상태 정수 중 전단력 비율 "SF"와 이들을 함께 고려한 비율에 따른 중량 변화를 나타내고 있다. 전단력을 고려한 "SF"와 호강 모멘트와 전단력을 동시에 고려한 "H+SF"가 중량과 비례함을 뚜렷이 알 수 있다. 여기서, S, H+S, H+S+SF가 중량과의 비례 경향이 잘 나타나지 않는 이유는 S (Sagging Moment)가 통합공통구조규칙에서 요구하는 최소값보다 작게 되어 S의 변화에 관계없이 최소 요구 값으로 계산되기 때문이라 사료된다.

본 연구를 통해 중형 살물선의 경우 침수상태 정수 중 전단력이 중량에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었으며, 향후 선박의 크기 변화를 고려한 연구를 수행하여 전단력이 중량에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 입증할 예정이다. 선박이 커지게 되면 최소두께 요건보다 국부강도 요건이 크게 되어 정수 중 굽힘 모멘트 또한 중량에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

따라서, 선박의 중량을 절감하기 위해서는 굽힘 모멘트나 전단력을 각각 고려하기보다는 동시에 고려하는 것이 바람직하다고 사료된다.

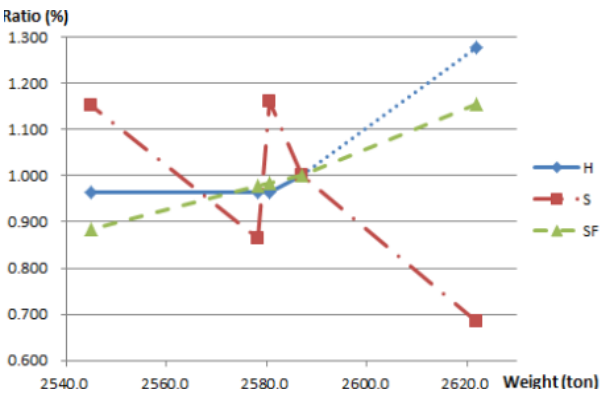


Fig. 7 Relation between weight and ratio of shear force (or bending moment)

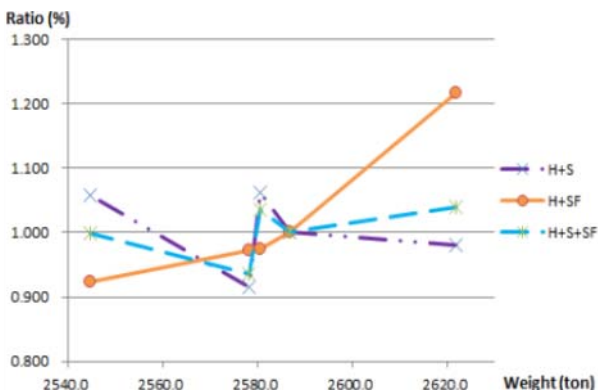


Fig. 8 Relation between weight and ratio of shear force and bending moment

7. 결론

통합공통구조규칙을 기반으로 구획배치에 따른 최소 전단력을

고려하여 중형 살물선의 화물창부 종강도 부재의 중량 절감을 위한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 보다 정확한 종강도 부재의 중량을 추정하기 위해서는 전단력의 변화가 심한 횡격벽 부근의 횡단면에 대해 전단력을 고려한 구조설계를 수행하여야 하며 이를 화물창 전체로 확대하여야 한다.
- 2) 중형 살물선의 경우 구획배치를 통한 침수상태 정수 중 전단력이 중량에 미치는 영향이 크다는 것을 확인하였으며, 선박의 중량을 절감하기 위해서는 최소 굽힘 모멘트나 최소 전단력을 각각 고려하기 보다는 동시에 고려하여야 한다.
- 3) 대상 선박의 경우 정수 중 호강 모멘트와 침수상태 전단력을 동시에 고려한 비율("H+SF")이 감소할 때 중량이 감소하는 경향이 가장 뚜렷하다. "H+SF"가 최소가 되는 구획배치는 실제적 대비 중량이 1.63% 감소하였으며, 가장 좋지 못한 설계안(Case 493)과 비교하면 중량이 3% 이상 차이가 발생하므로 구획배치를 신중하게 수행해야 한다.

향후 살물선의 크기 변화와 횡격벽을 포함한 횡부재를 동시에 고려하여 화물창부 전체의 중량 절감에 관한 연구를 수행할 예정이다.

후기

본 연구는 목포대학교에서 주관하는 산업핵심기술개발사업의 중소형 조선소 주력선종의 최적선형 및 에너지 절감장치 적용기술 개발(3차년도, 과제번호:10050510) 과제의 연구비를 지원받아 수행되었음을 밝히며, 지원에 감사드립니다.

References

- International Association of Classification Societies, 2015. *Common structural rules for bulk carriers and oil tankers*. [Online] (Update January 2015) Available at: <http://www.iacs.org.uk> [Accessed May 2016].
- Jeong, S. Moon, S.C. Song, H.C. & Na, S.S., 2015. Development of automated algorithm of intergrated structural design system based on CSR-H for bulk carrier. *Team 2015 The 29th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures*, Vladivostok, 12-15 October 2015, pp.263-266.
- Korean Register, 2015. *SeaTrust-Hullscan user guide*. Korean Register: Busan
- Moon, S.C., 2015. *Development of the structural design algorithm according to compartment of*

arrangement based on HCSR. Master's Thesis. Mokpo National University.

Na, S.S. Song, H.C Jo, D.Y. Shim, C.S. Lee, G.H. Jeong, S. Heo, J.H. Jeong, T.S. Lee, C.H. Jo, Y.C & Kim, D.C. 2013a. Development of automated algorithm for compartment arrangement of oil tanker. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 50(1), pp.59-68.

Na, S.S. Song, H.C. Jeong, S. Youn, G.E. Lee, J.R. Lee, H.G. & Park, H.G., 2013b. Development of Optimization System for Compartment Arrangement of bulk carrier. *Proceedings of the Annual Autumn conference*, SNAK, 23-25 May.

Na, S.S. Song, H.C. Jeong, S. Youn, G.E. Lee, J.R. Lee, H.G & Park, H.G., 2013c. The strategy for optimum compartment arrangement of oil tanker and bulk carrier. *Proceedings of the Annual Autumn conference*, SNAK, 7-8 November.

Na, S.S. Song, H.C Jeong, S. Park, M.C. & Jeon, H.G. 2016. A study on the weight reduction of mid-sized bulk carrier based on the harmonized common structural rules. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 53(4), pp.336-342.

Park, C.I. Jeong, S. Song, H.C. Na, S.S. Park, M.C. Shin, S.H. & Lee J.Y. 2016. Development of an

automated design algorithm for the longitudinal members of oil tankers based on H-CSR. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 53(6), pp. 503-513.

Sung, C.H. & Lee, S.K., 2015. Comparison analysis on requirement of structural members by application of harmonized common structural rules. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 52(3), pp. 265-274.

