대한조선학회논문집 Technical Paper
Journal of the Society of Naval Architects of Korea
eISSN:2287-7355, Vol. 63, No. 1, pp. 50-59, February 2026
https://doi.org/10.3744/SNAK.2026.63.1.50

Check for updates

반 격납 앵커링 시스템 구조강도평가에 관한 기초 연구

심천식[1] · 정다슬[1] · 정대성[2] · 김광옥[2] · 이덕연[2,†]
국립목포대학교 조선해양공학과[1]
대한조선(주)[2]

A Basic Study on Structural Strength Assessment for a Semi-Pocket Type Anchoring System

Chunsik Shim[1] · Daseul Jeong[1] · Daeseong Jeong[2] · Kwangok Kim[2] · Deokyeon Lee[2,†]
Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Mokpo National University[1]
Daehan ship building., Ltd[2]

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.

Vessels utilize anchoring systems to prevent collisions and other hazards, to maintain their position, to minimize movement, and to anchor safely. Among these systems, the bell-mouth is a key component that keeps the anchor stored safely without touching the hull. It is typically manufactured as a cast steel product using a mold. However, due to its complex shape, size discrepancies can occur between the design and the produced product, which can lead to problems when using the anchor. These issues increase both costs and safety risks, as they often require the re-production of the bell-mouth or necessitate field workers to perform dangerous modifications at height. This study aims to examine the feasibility of applying the semi-pocket type anchoring system as a replacement for the conventional bell-mouth type anchoring system on a Suezmax crude oil tanker. To apply this system, the bow structure of the existing vessel was redesigned, and mock-up tests were conducted to identify potential operational issues. Subsequently, structural strength evaluations were performed by applying the Minimum Breaking Load (MBL) of the anchor chain, confirming that the required strength criteria were satisfied. Through these steps, this study sought to verify the feasibility of applying the semi-pocket type anchoring system to large vessels such as Suezmax crude oil tankers.

Keywords : Bell-mouth(벨 마우스), Semi-pocket type anchoring system(반 격납 앵커링 시스템), Mock up test(목업 시험), Suezmax oil tanker(수에즈 막스급 원유 운반선), Minimum Breaking Load(최소 파단 하중)

1. 서 론

선박에 의한 해상 운송은 전 세계 물류의 약 85%를 차지하며, 장거리 및 대량 화물 운송에 적합하고, 상대적으로 낮은 단위 운송비용으로 인해 주요 운송 수단으로 활용되고 있다. 특히 원유 및 석유 정제품과 같은 액체 화물의 운송에는 Fig. 1과 같이 대형 유조선이 주로 이용되며, 이는 한 차례 운항으로 막대한 양의 화물을 운반할 수 있어 에너지 자원의 국제 유통에 필수적인 역할을 수행한다.

이와 같은 선박은 항해 중 강풍, 높은 파도, 조류 등 다양한 해양 환경에 직면하게 되며, 이러한 조건 하에서 일정한 위치를 유지하거나 선체의 운동을 최소화하기 위한 장치로 앵커링 시스템(anchoring system)이 필수적으로 탑재된다. 이는 항만 정박이나 화물 작업 대기와 같은 일반 운용 상황뿐 아니라, 충돌, 주 추진기 고장, 조타기 이상, 전력 상실 등의 비상 상황에서 선박의 안전 확보를 위한 위치 고정 수단으로도 활용된다. 앵커링 시스템은 일반적으로 선수 좌현(port)과 우현(starboard)에 각각 하나의 앵커링 시스템이 설치되며, Fig. 2와 같이 구성되어 있다. 주요 구성으로는 앵커 체인을 보관하는 체인 로커(chain locker), 체인의 이동 통로인 호저 파이프(hawse pipe), 앵커의 승하강을 제어하는 양묘기(windlass), 체인의 이탈을 방지하고 고정해주는 컴프레서(chain compressor), 체인 컴프레서에 앵커를 고정하는 도그

Received : 3 August 2025 | Revised : 21 October 2025 | Accepted : 24 November 2025
† Corresponding author : Deokyeon Lee, ejrdussp@daehanship.com

Fig. 1 Suezmax crude oil tanker (Daehan ship building Co., Ltd, 2004)

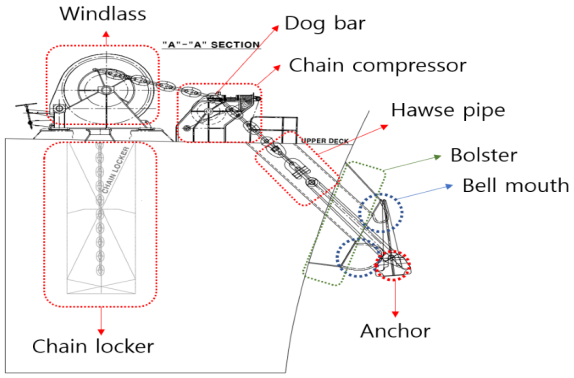
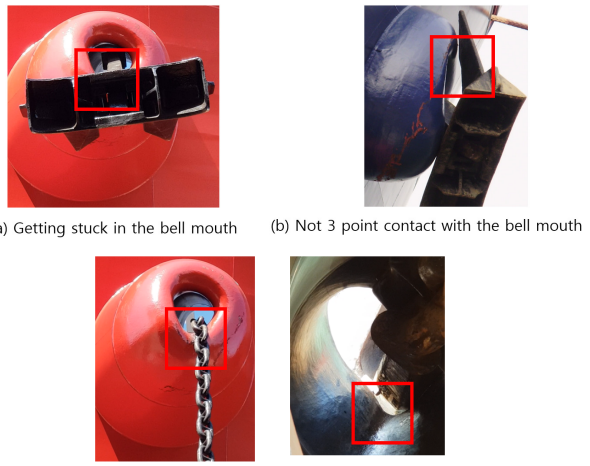


Fig. 2 Main structure of the bell-mouth anchoring system

바(dog bar), 앵커를 선박에 안전하게 격납하는 벨 마우스(bell-mouth), 벨 마우스와 선박 외판 간 간섭을 방지하는 볼스터(bolster), 선박을 해상에서 안전하게 정박할 수 있도록 고정해 주는 앵커(anchor)로 구성되어 있다.

이 중 벨 마우스는 앵커를 선체 외판에 접촉되지 않도록 격납하는 핵심 구조물로, 상선에 널리 사용되고 있다. 벨 마우스는 주강품으로 주물 틀을 이용한 주조 방식으로 제작된다. 이러한 제작 방식은 우수한 내마모성, 내식성 등을 갖으며 형상이 복잡한 대형 구조물 제작에는 유리하나, 기공 및 결함 발생 가능성이 높아 기계적 강도에 문제가 발생할 가능성이 있고, 정밀한 형상을 구현하기 어려워, 설계와 제작 공정 간 형상 오차가 발생할 수 있는 문제가 발생해 Fig. 3에 보여지는 것과 같은 운용 문제가 발생하고 있다. Fig. 3(a)은 앵커 삽입 과정에서 벨 마우스 내부에 앵커가 정상적으로 유입되지 못하고 끼이는 현상이며, Fig. 3(b)는 앵커 프루크(Fluke)와 벨 마우스 간의 불완전 접촉으로 인해 정위치 고정이 되지 않아, 반복적인 하중으로 인해 유발되는 구조 손상을 보여주고 있다. 또한 Fig. 3(c)는 설계와 제작 공정 간의 오차 누적으로 인해 체인 및 샹크가 벨 마우스의 홈을 원활하게 이송되지 못해 발생하는 간섭 문제 현상이다.

이러한 문제들로 인해 설계 재검토와 벨 마우스 재제작이 발생하고 있으며, 벨 마우스 운용 문제를 사전에 예방하고자 목업 시험을 수행하는 등 제작 비용이 증가하게 된다. 또한, 설치 후 운영 문제가 발견될 경우, 현장 작업자가 선박 외판에서 고소 수작업으로 해당 문제를 해결하고 있으며, 이는 공정 지연과 생산비 증가, 작업자의 안전사고 위험률 증가 요인으로 작용한다.



(a) Getting stuck in the bell mouth

(b) Not 3 point contact with the bell mouth

(c) The anchor chain and shank failing to follow the groove path of the bell mouth

Fig. 3 Operational issues of bell-mouth anchoring system

Kang et al. (2020)은 벨 마우스의 문제점을 해결하기 위해 앵커 체인의 지름(diameter)을 기준으로 벨 마우스 가이드바를 제시하였다. 목업 시험을 통해 앵커 샹크(shank)의 이동 시 간섭 없이 방향성을 유지할 수 있는 최적의 형상을 도출하였으며, 실제 선박에 적용한 결과, 벨 마우스 형상으로 인한 문제를 효과적으로 개선할 수 있음을 확인하였다.

Yoon (2018)은 벨 마우스형 앵커링 시스템에서 벨 마우스와 앵커 프루크 사이의 공차로 인해 3점 접촉이 이루어지지 않는 문제와 데크(Deck) 상부의 앵커 체인 스토퍼(stopper)의 정확한 위치를 설계하기 어려운 점을 지적하였다. 이를 해결하기 위해 앵커 프루크 각도와 벨 마우스 제작 오차가 앵커 격납에 영향을 미치지 않도록 직각 형상의 벨 마우스를 개발하였다.

Kim (2009)은 벨 마우스의 최적 격납 조건을 확립하기 위해 목업 시험을 실시하였으며, 이 과정에서 벨 마우스 형상을 변화시키며 앵커 프루크의 최초 접촉 위치에 따른 최종 격납 상태를 분석하였다.

Yang et al. (2015)는 이치스 CPF를 탑재한 플로팅 도크의 계류안전성을 확보하기 위해 해석 및 실측 기반 연구를 수행하였다. MOSES 및 NAPA 모델을 활용하여 정상 및 태풍 조건 하에서 계류력, 오프셋, 체인 간섭 등을 분석한 결과, 모든 항목이 안전계수 기준을 만족함을 확인하였다.

Chun et al. (2024)선박 및 해양 구조물에 적용되는 U-bolt의 구조강도평가를 위해 구조 시험 및 비선형 유한요소해석을 수행하였다. 수직 및 수평 방향 하중 조건에서의 거동 분석 결과, 기존 선형탄성 기반 설계 방식이 실제 구조 성능을 보수적으로 평가함을 확인하였다. 이에 따라 하중 방향별 실제 거동을 반영한 합리적인 안전 작업 하중(SWL) 산정 방법을 제안하였다.

본 연구에서는 지속적인 운영상의 문제와 생산성 향상을 위해 기존 벨 마우스형 앵커링 시스템을 대체할 수 있는 반 격납 앵커링 시스템을 수에즈 막스급 원유 운반선에 적용할 수 있는 가능성을 구조적 관점에서 검토하였다. 기존 벨 마우스형 시스템은 주강품을 사용하여 유지보수가 어렵고, 반복적인 목업 시험으로

인해 제작비용이 높다는 단점이 있다. 반면, 반 격납 앵커링 시스템은 주로 중소형 선박에 적용되어 왔으며, 선박 외판 구조를 일부 변형하여 주물 제작이 아닌 일반 강재를 사용해 설계할 수 있고, 격납 구조를 통해 설치 및 유지보수가 용이하다는 장점이 있다. 이러한 이점에도 불구하고, 대형 선박에 대한 적용 사례가 부족하여, 구조 안전성에 대한 기술적 검토가 아직 충분하지 않은 실정이었다. 이에 따라 본 연구에서는 반 격납 앵커링 시스템을 수에즈 막스급 원유 운반선에 적용하기 위해 선수부 구조를 재설계하고, 운용 중 발생할 수 있는 문제를 사전에 파악하기 위해 목업 시험을 수행하였다. 이후, 선박 구조 해석 전용 프로그램인 SeaTrust-HullScan을 활용하여, 앵커 체인의 최소 파단 하중(Minimum Breaking Load, MBL)을 기준으로 선수부에 대한 구조강도 평가를 수행하고, 구조 안전성을 검토하였다.

2. 반 격납 앵커링 시스템

2.1 설계

본 연구에서는 수에즈 막스급 원유 운반선에 반 격납 앵커링 시스템 적용 가능성을 구조적 관점에서 검토하였다. Fig. 4는 본 연구의 절차를 나타낸 순서도이다. 먼저, 반 격납 앵커링 시스템을 수에즈 막스급 원유 운반선에 적용하기 위해 재설계를 수행하고, 설계 도면을 바탕으로 성능 확인을 위한 목업 시험을 수행하였다. 이후, 한국선급(Korean Register, KR) 구조해석 프로그램 SeaTrust-HullScan을 활용하여 반 격납 앵커링 시스템이 적용된 선수부의 구조 안전성을 평가하였다. 평가에서는 앵커 체인의 최소 파단 하중을 적용하여 선체 구조에 미치는 영향을 분석하고, IACS(International Association of Classification Societies) 규정을 기반으로 구조 안전성을 검토를 수행하였다.

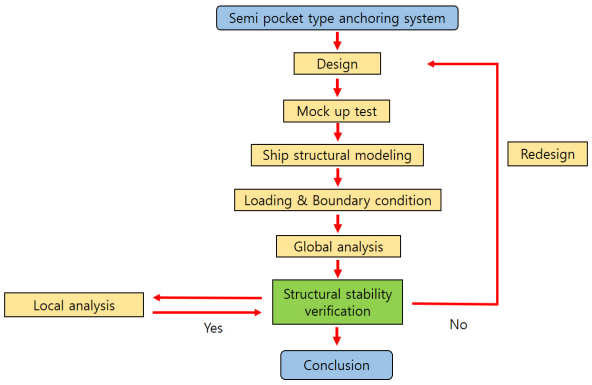
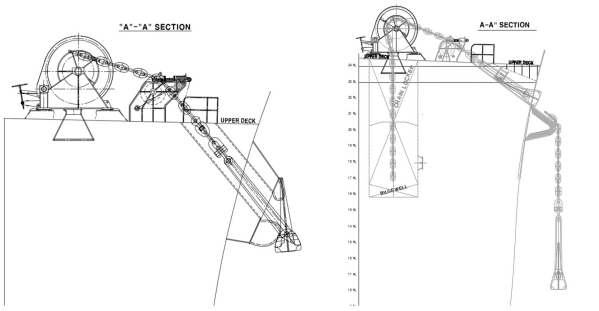


Fig. 4 Structural strength evaluation flowchart of bow section with semi-pocket type anchoring system

먼저 기존 수에즈 막스급 원유 운반선에 적용되던 벨 마우스형 앵커링 시스템의 운용상 문제점을 개선하고, 제작 공정의 효율화 및 생산비 절감을 위해 수에즈 막스급 원유 운반선에 적용 가능한 반 격납형 앵커링 시스템을 설계하였다. Fig. 5는 기존 벨 마우스형과 반 격납 앵커링 시스템의 구조를 비교하여 나타낸 것으로, Fig. 5(a)는 벨 마우스형 앵커링 시스템이 적용된 기존의 선수부 구조를, Fig. 5(b)는 반 격납 앵커링 시스템 적용을 위해 설계 변경된 선수부 구조를 각각 나타낸다.



(a) Bellmouth type anchoring system (b) Semi pocket type anchoring system

Fig. 5 Comparison of anchoring systems

Fig. 6과 같이 반 격납 앵커링 시스템은 벨 마우스형 앵커링 시스템 대비 호저파이프의 각도를 40도에서 55도로 변경하여 급격한 꺾임을 완화하였다. 이를 통해 앵커 체인의 이동이 원활해지고, 호저 파이프 발생하는 응력이 기존보다 완화되도록 하였다. 또한, 선박의 운동으로 인해 앵커가 호저 파이프에 충격을 가하는 현상을 방지하기 위해, 앵커를 고정할 수 있는 스톱퍼(stopper)를 설계하였으며, 앵커 체인의 이탈을 방지하는 가이드 바(guide bar)를 설치하였다. 추가적으로, 앵커를 선체 내부로 격납할 수 있는 구조로 설계 변경하였고, 앵커링 중 선체 외판과의 직접적인 접촉을 방지하기 위한 볼스터를 적용하였다. 볼스터의 구조 강도 확보를 위해 내부에 보강재를 추가함으로써, 구조적 안정성을 확보하도록 설계하였다.

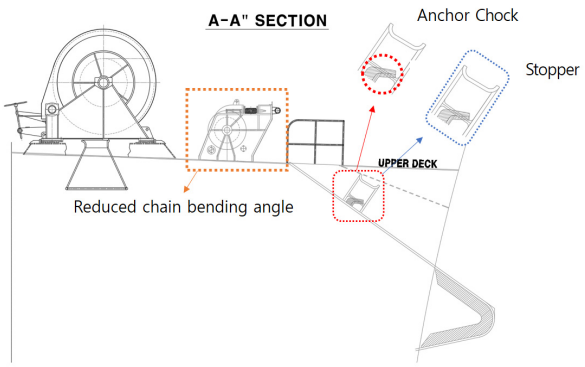


Fig. 6 Main structure of the semi-pocket type anchoring system

앵커는 KS V 8877(2023)에 따라 스톡리스 앵커(stockless anchor), 스톡 앵커(stock anchor), 싱글 프루크 앵커(single fluke stock anchor)로 분류된다. 현재 어선 및 소형 선박을 제외한 일반 대형 선박에서는 크기와 관계없이 Fig. 7에 보여지는 스톡리스 앵커를 사용하고 있으며, 선급 등 선박 관련 기준에서도 대부분 스톡리스 앵커에 대해 규정하고 있다. 본 연구에서는 Fig. 7에 제시된

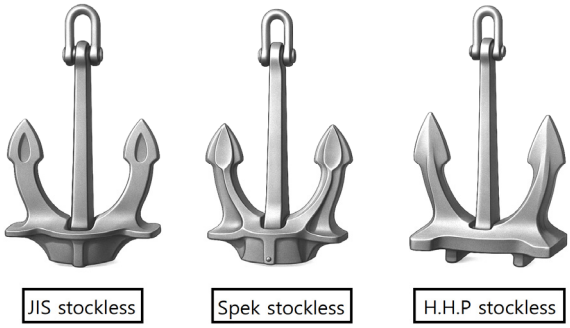


Fig. 7 Types of stockless anchors

Table 1 Applicable anchoring systems

Anchor type	Applicable anchoring system
JIS stockless	Bell-mouth, bolster
Spek stockless	On-deck, pocket, semi-pocket
H.H.P stockless	On-deck, bell-mouth, pocket, semi-pocket, bolster

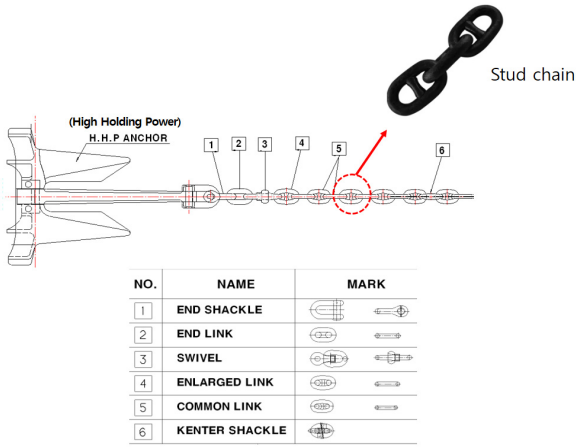


Fig. 8 Structure of the anchor chain

H.H.P(High Holding Power) 스톡리스 앵커를 사용하였으며, 이는 동일한 파지력을 제공하는 다른 스톡리스 앵커에 비해 약 75%의 중량만으로도 높은 파지력을 발휘하는 장점을 가지고 있다. 스톡리스 앵커에 적용 가능한 앵커링 시스템은 Table 1에 정리하였다.

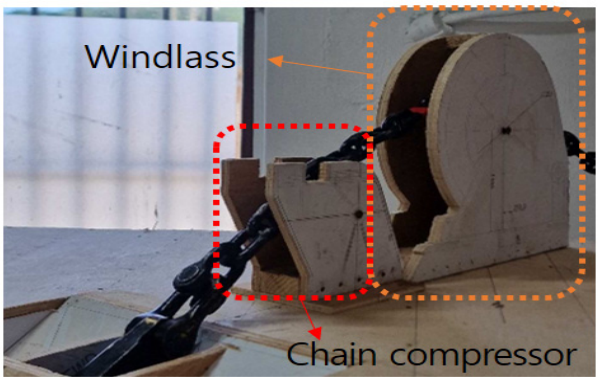
Fig. 8은 앵커 체인의 구조를 나타낸다. 본 연구에서는 KR 선급의 선급 및 강선 규칙 제4편 선체의장(KR, 2024b) 규정을 참고하여 직경 97mm의 Grade 3 스터드(stud) 체인을 사용하였다. Grade 3 체인은 일반적으로 고강도 등급에 해당하며, Grade 2 대비 약 45% 높은 인장강도를 갖기 때문에, 수에즈 막스급 원유 운반선과 같은 대형 선박의 고 하중 계류 조건에 적합하다. 스터드 체인은 스터드가 없는 체인에 비해 체인 링크의 비틀림 및 변형을 억제하는 구조적 이점이 있으며, 체인 라커에 보관 시, 꼬임이 발생하지 않는 장점이 있다.

2.2 목업 시험

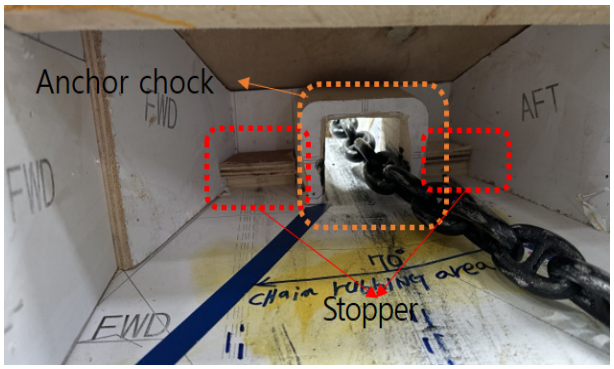
앵커링 시스템을 실제 선박에 적용하기에 앞서, 시스템의 성능 검증과 설계 과정에서 발생할 수 있는 문제점을 사전에 파악하고, 구조부재의 응력 집중 부위를 확인하기 위해 별도의 목업 시험을 수행한다. 특히, 반 격납 앵커링 시스템은 기존의 벨 마우스형 구조와는 다르기 때문에, 앵커가 선체 내부에 격납 하는 과정, 앵커 초크와 스톱퍼 기능 검증에 대한 사전 검토가 필수적이다. 이에 따라, 수에즈 막스급 원유 운반선의 선수부 구조를 1:10 비율로 축소 제작한 목형을 기반으로, 앵커 체인의 운용 궤적, 주요 구조물과의 간섭 여부, 제한 조건 및 운용 시 발생 가능한 응력 집중 부위를 조사하였다. 이를 통해 설계상의 보완 사항과 구속 조건 및 하중 조건의 위치를 선정하였다. Fig. 9는 목업 시험에 사용된 주요 구성 목형이며, 앵커의 경우 SS400, 선박 선수부와 반 격납 앵커링 시스템의 부재는 일반 판재를 사용하여 제작하였다. Fig. 9(a)는 H.H.P 앵커, Fig. 9(b)는 양묘기와 체인 컴프레서, Fig, 9(c)는 앵커 초크와 스톱퍼, Fig. 9(d)는 반 격납 앵커링 시스템이 적용된 선박 선수부의 축소 목형을 보여준다.

수에즈 막스급 원유 운반선에 반 격납 앵커링 시스템의 적용 가능성을 검증하기 위해, Fig. 10과 같이 축소형 목형을 이용한 목업 시험을 수행하였다. Fig. 10(a)는 볼스터와 앵커 간의 간섭 여부 및 프루크의 접힘 상태를 검증하는 모습이며, Fig. 10(b)에서는 앵커 체인의 꼬임 현상이 발생하지 않는 것을 확인하였다. Fig. 10(c)로부터 앵커가 선체 외판에 안정적으로 격납 되는지를

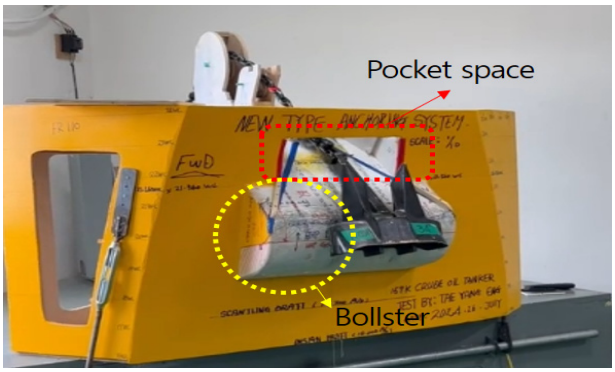
(a) Anchor mock up



(b) Windlass and chain compressor mock up

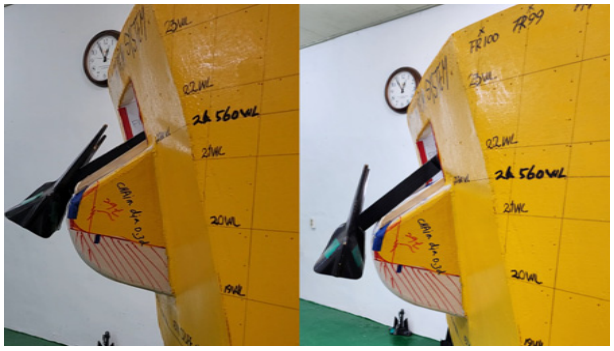


(c) Anchor chock and stopper mock up

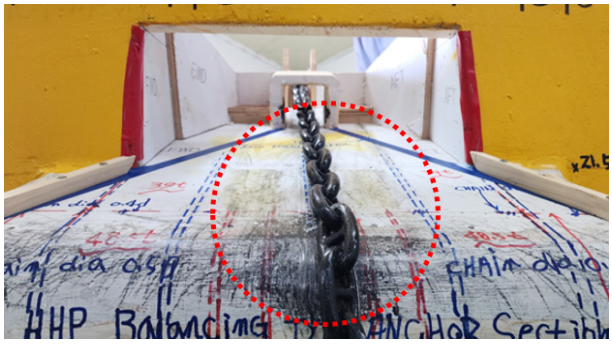


(d) Semi-pocket type anchoring system mock up

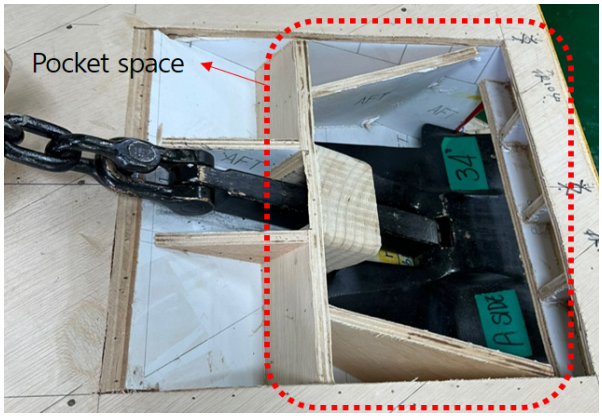
Fig. 9 Assembly of the bow section mock up with a semi-pocket type anchoring system applied



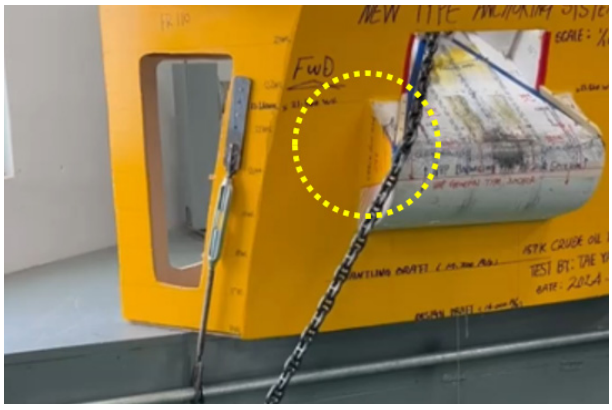
(a) Interference and folding check between bolster and anchor



(b) Anchor chain twisting check



(c) Storage check of anchor



(d) Detachment check of anchor

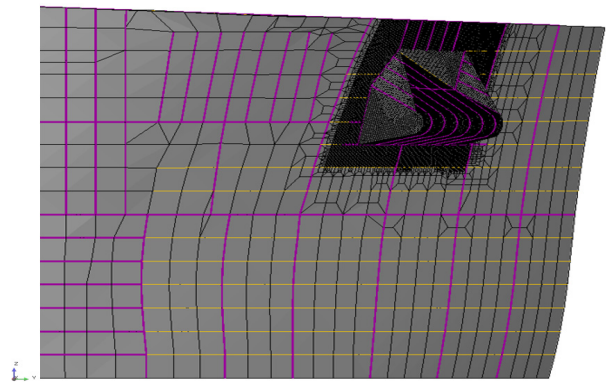
Fig. 10 Results of semi-pocket type anchoring system

확인하였으며, Fig. 10(d)는 앵커링 과정 중 선체 외판에 충격이 가해지는지에 대한 검증 결과를 보여준다. 목업 시험을 통해 반 격납 앵커링 시스템의 응력 집중 부위가 볼스터와 가이드 바에서 발생함을 확인하였다.

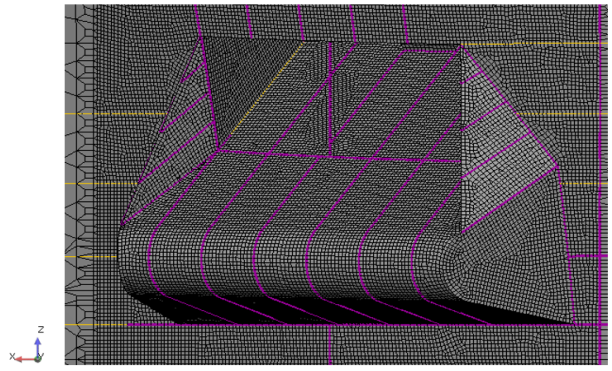
3. 구조강도평가

3.1 FE 모델

목업 시험을 통해 수에즈 막스급 원유 운반선에 반 격납 앵커링 시스템을 적용했을 때, 운용 중 문제점이 발생하지 않음을 확인하였다. 이에 따라, 앵커 체인의 파단 하중에 따른 선수부 구조 안전성을 평가하기 위해 Fig. 11에 보여지는 것과 같이 유한요소 모델(FE model)을 생성하였다. 본 연구에서는 선박 중심선 기준 우현 영역만 모델링하였으며, 선수부 외판, 내부 보강재 및 주물부를 포함한 전체 구조를 쉘요소(shell element)로 적용하였다. 모든 쉘요소의 Plate normal 방향을 + 방향으로 설정하였다. 전체 해석 모델은 900mm × 900mm의 유한요소격자(mesh)로 구성하였으며(Fig. 11(a)), 목업 시험에서 응력 집중이 확인된 부위는 CSR(Common Structural Rules) 규정을 기반으로 Fig. 11(b)에

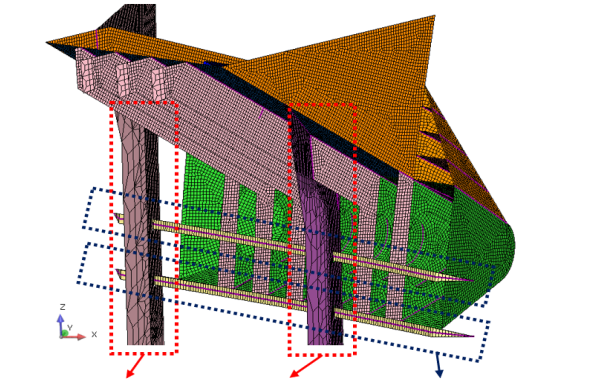


(a) FE model of the ship bow section

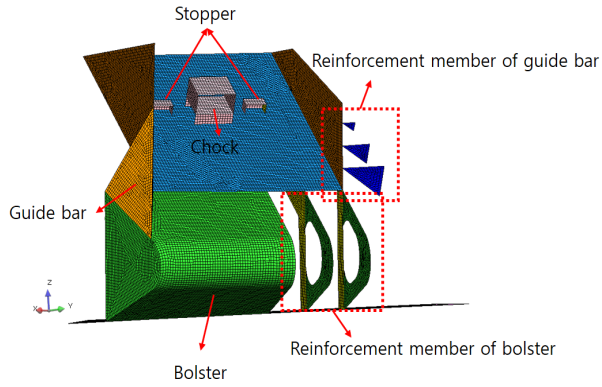


(b) FE model of the semi-pocket type anchoring system

Fig. 11 FE model of the ship bow section with the semi-pocket type anchoring system applied



(a) Structure of the ship bow with the applied semi-pocket type anchoring system



(b) Structure of the semi-pocket type anchoring system

Fig. 12 Main structures of the semi-pocket type anchoring system

보여지는 것과 같이 50mm × 50mm의 정밀 격자를 적용하여 해석의 정확도를 높였다.

Fig. 12는 반 격납 앵커링 시스템의 주요 구조를 나타낸다. Fig. 12(a)는 반 격납 앵커링 시스템이 적용된 선박 선수부를, Fig. 12(b)는 반 격납 앵커링 시스템의 주요 구조를 보여준다. 각 부재의 재료와 치수는 Table 2에 정리하였으며, 재료의 물성치는 KR선급의 선급 및 강선규칙 제2편 재료 및 용접(KR, 2024a)과 제13편 산적화물선 및 유조선 공통(KR, 2024c) 을 참고하여 Table 3에 정리하였다.

3.2 구속 및 하중조건

본 연구에서는 반 격납 앵커링 시스템에 작용하는 응력을 확인하고자 모델의 대칭성을 고려하여 선체 중심선(center line)과 선수부 하단에 병진 자유도(Tx, Ty, Tz)와 회전 자유도(Rx, Ry, Rz)를 모두 0으로 설정하여 Fig. 13과 같이 고정(fixed) 구속 조건을 적용하였다. 하중 조건은 CSR 규정을 참고하여 설정하였다.

일반적으로 수에즈 막스급과 같은 대형 선박에는 높은 인장 강도를 요구하는 체인이 사용된다. 이에 본 연구에서는 선급 기준을 고려하여 Grade 3 체인을 하중 조건으로 선정하였다. 실제 적용 사례를 바탕으로 직경 97mm 체인의 파단 하중의 80%에 해당하는 5,352kN을 설계기준 하중으로 설정하였다. 체인 하중의 세부 사항은 IACS 체인 하중 규정(2023)을 참고하여 Table 4에 정리하였다.

Table 2 Dimension and properties information of the semi-pocket type anchoring system

Structural members	Material	Thickness
Chock	A grade	20mm
Stopper		20mm
Section. 101	AH32	20mm
Section. 105		30mm
Bolster		70mm
Guide bar		40mm
Reinforcement member		30mm
Reinforcement member of bolster		60mm
Reinforcement member of guide bar		15mm

하중 작용 위치는 기존 연구 사례가 부족한 점을 고려하여, 보수적인 관점에서 선정하였다. Fig. 14와 같이 실제 운용 조건과 목업 시험을 반영하여, 앵커 체인 3개 링크가 볼스터에 접촉된 Fig. 14(a)의 상태와 앵커가 선체 하부에 파지된 극한 조건 Fig.

Table 3 Material properties

Properties	A grade	AH32
Young's modulus(GPa)	206	206
Poisson's ratio	0.3	0.3
Tensile strength(MPa)	400~520	440~570
Yeild strength(MPa)	235	315

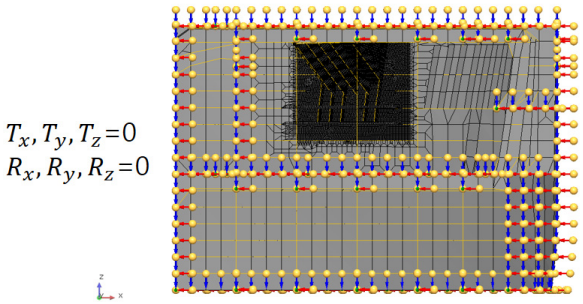


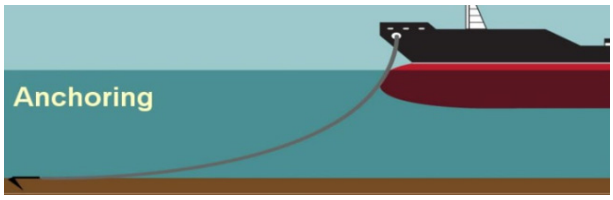
Fig. 13 Boundary condition

Table 4 Information of anchor chain load

Diameter	Grade 3		
97mm	Proof load	Breaking load	Design load
	4,680 kN	6,690 kN	5,352 kN

14(b)의 두 가지 경우를 가정하였다.

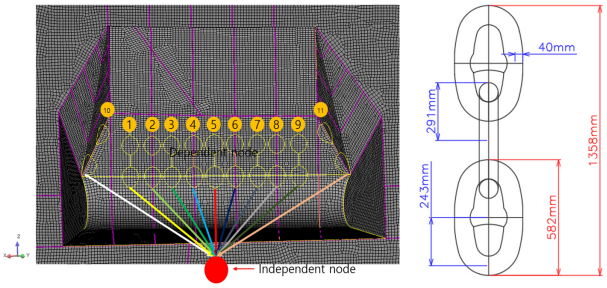
이에 따라 본 연구에서는 Fig. 15와 같이 두 가지 조건에 대해 반 격납 앵커링 시스템의 하중 작용 위치를 설정하였다. Fig. 15(a)는 앵커 체인 3개 링크가 볼스터에 접촉된 조건을 나타내며, MPC(Multi Point Constraint)를 사용하여 3개의 종속 노드(dependent node)와 1개의 독립 노드(independent node)를 설정하고, 총 11개의 하중 조건을 설정하였다. Fig. 15(b)는 앵커가 선체 하부에 파지된 극한 조건을 나타내며, 본 연구에 사용한 총



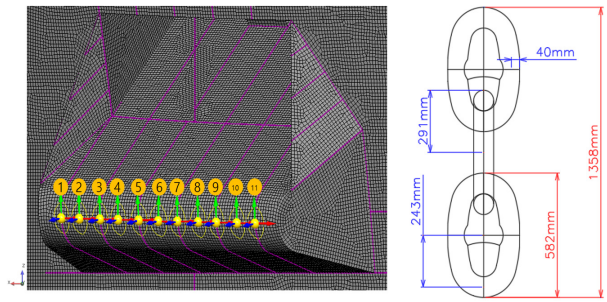
(a) Anchor operating condition

(b) Operation under ultimate condition

Fig. 14 Anchor operation condition



(a) 3 Chain links load application location



(b) Ultimate load application location

Fig. 15 Loading cases of the semi-pocket type anchoring system

Table 5 Total loading cases of the semi-pocket type anchoring system based on application location

Loading case for 3 chain links	Loading case for ultimate load
Bolster-01-3CL	Bolster-01-ULT
Bolster-02-3CL	Bolster-02-ULT
Bolster-03-3CL	Bolster-03-ULT
Bolster-04-3CL	Bolster-04-ULT
Bolster-05-3CL	Bolster-05-ULT
Bolster-06-3CL	Bolster-06-ULT
Bolster-07-3CL	Bolster-07-ULT
Bolster-08-3CL	Bolster-08-ULT
Bolster-09-3CL	Bolster-09-ULT
Guild bar-10-3CL	Bolster-10-ULT
Guild bar-11-3CL	Bolster-11-ULT

22개의 하중 조건을 Table 5에 정리하였다.

3.3 구조강도평가 기준

본 연구에서는 기존 벨 마우스형 앵커링 시스템을 대체할 수 있는 반 격납 앵커링 시스템을 수에즈 막스급 원유 운반선에 적용할 수 있는 가능성을 구조적 관점에서 검토하고자 앵커 체인의 파단 하중을 기준으로 두 가지 운영 조건(Fig. 14) 기반, 22가지 하중 조건(Fig. 15)에 대한 구조해석을 수행하였다. 구조해석은 선박 구조해석 전용 프로그램인 SeaTrust-HullScan을 활용하여 구조 안전성 검증을 수행하였으며, 평가 기준은 재료의 항복 강

Table 6 Material factors

Material	Yield stress	Factor
Mild steel	235 MPa	1.00
AH 32	315 MPa	0.78

Table 7 Fine mesh yielding stresses

Material	Element not adjacent to weld factor	Element adjacent to weld factor
Mild steel	319.600MPa	282.000MPa
AH 32	409.744MPa	361.539MPa

도 기준에 따라 구조 안전성을 판단하였다. 항복 강도는 IACS 산적화물선 및 유조선을 위한 공통 구조 규칙(IACS, 2024)의 Fine mesh yielding criteria를 기반으로 식 (1), (2), (3), (4)와 Table 6에 보여지는 재료 계수(material factors)를 활용하여 항복강도를 재 산정하였으며, Table 7에 보여지는 항복 강도를 본 연구에서 구조강도평가 기준으로 사용하였다.

$$\sigma_y = R_y \times \gamma_e \quad (1)$$

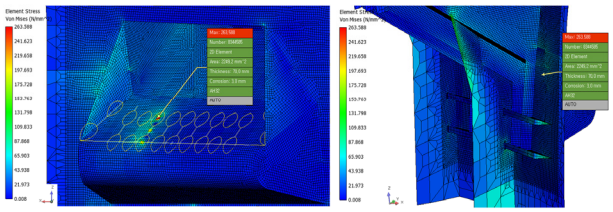
$$R_y = 235MPa \,/\, \text{Material factor} \quad (2)$$

γ_e = Element adjacent to weld factor

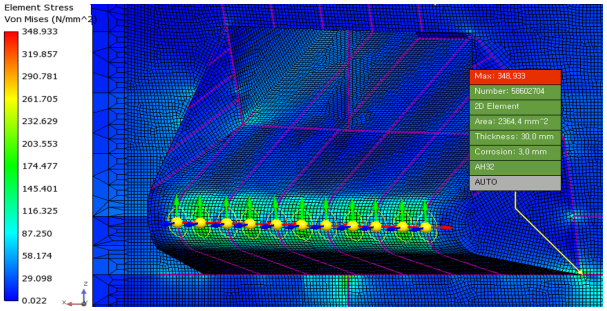
Static = 1.20 (3)

γ_e = Element not adjacent to weld factor

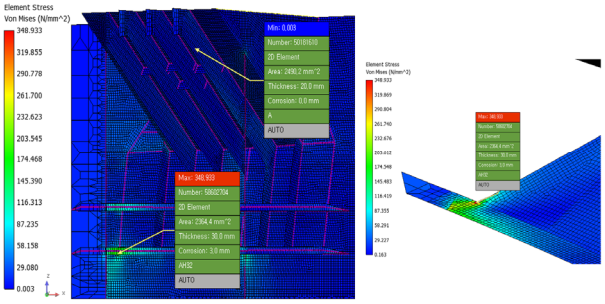
Static = 1.36 (4)



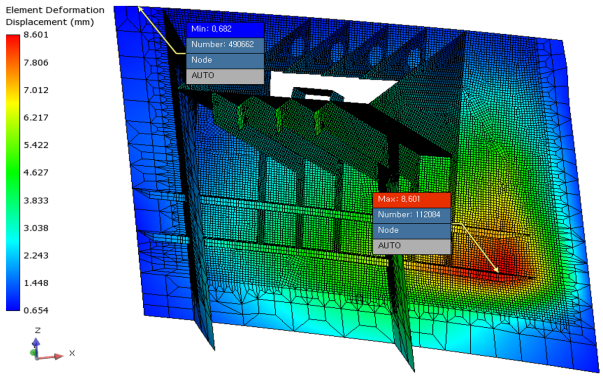
(a) Analysis results(Bolster-03-3CL) of the maximum stress load application of 3 chain links



(b) Analysis results of the ultimate load application location



(c) Analysis results(Bolster-11-ULT) of the maximum stress at the bow section with the semi pocket type anchoring system



(d) Analysis results(Bolster-01-ULT) of the maximum deformation at the bow section with the semi-pocket type anchoring system

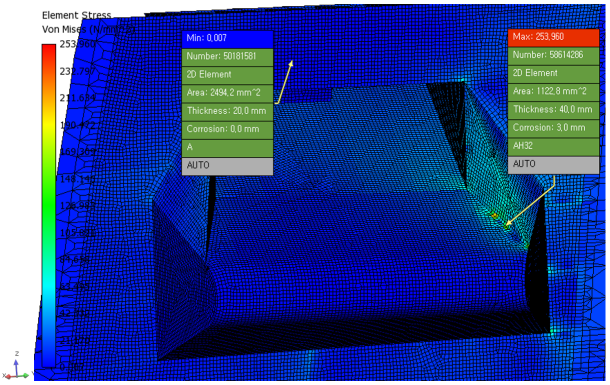
Fig. 16 Analysis results of bow section with the semi-pocket type anchoring system

3.4 해석 결과

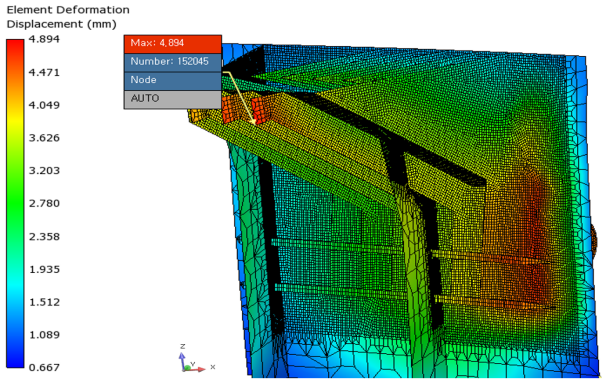
해석 결과는 Fig. 16에 정리하였으며, Fig. 16(a)는 3 체인 링크 조건에서의 최대 응력 발생 위치를, Fig. 16(b)는 극한 하중 조건에서의 전체 구조해석 결과를 각각 나타낸다. 두 가지 하중 조건 중 최대 응력과 최대 변형량은 각각 Fig. 16(c)와 Fig. 16(d)에 정리하였으며, 극한 운영 조건의 11번째 하중 조건에서 선수부 내부 보강재에 최대 응력 348.933MPa가 발생하였고, 1번째 하중 조건에서 동일 위치에 최대 변형량 8.601mm가 발생하였다. 이들 결과는 Table 8에서 확인할 수 있다.

Fig. 15(a)에 보여지는 하중 조건 10과 11에 해당하는 가이드바에 대한 구조해석 결과는 Fig. 17에 정리하였으며, Fig. 17(a)에 보여지는 것과 같이 하중 조건 11에서 최대 응력 253.960 MPa이 발생하였고, Fig. 17(b)에 보여지는 것과 같이 하중 조건 10에서 최대 변형량 4.894mm가 발생함을 확인하였다.

3 체인 링크, 일반 운영 조건하에서 11개 하중 조건(Fig. 15(a))에 대한 구조 해석 결과는 Table 8에, 극한 운영 조건하에서 11개 하중 조건(Fig. 15(b))에 대한 구조 해석 결과는 Table 9에 각각 정리하였다. 해석 결과, 모든 하중 조건에서 발생한 최대 응력은 재료의 항복 강도 기준에 만족하고 있음을 확인하였다.



(a) Analysis results(Guld barr-11-3CL) of the maximum stress point at the guide bar load application location



(b) Analysis results(Guld bar-10-3CL) of the maximum deformation point at the guide bar load application location

Fig. 17 Analysis results of guide bar

Table 8 Analysis results of the bow section with the semi pocket type anchoring system at the 3 chain links load application location

Loading case	Max.stress (MPa)	Deformation (mm)	Result
Bolster-01-3CL	262.280	5.665	OK
Bolster-02-3CL	194.341	4.928	OK
Bolster-03-3CL	263.588	4.934	OK
Bolster-04-3CL	187.566	4.898	OK
Bolster-05-3CL	234.579	4.815	OK
Bolster-06-3CL	190.755	4.769	OK
Bolster-07-3CL	246.761	4.658	OK
Bolster-08-3CL	188.384	4.823	OK
Bolster-09-3CL	251.576	5.336	OK
Guld bar-10-3CL	225.161	4.894	OK
Guld barr-11-3CL	253.960	4.385	OK

4. 결 론

(1) 본 연구에서는 지속적인 운영상의 문제 해결과 생산성 향상을 위해, 기존 벨 마우스형 앵커링 시스템을 대체할 수 있는 반 격납 앵커링 시스템을 수에즈 막스급 원유 운반선에 적용할 가능성을 구조적 관점에서 검토하였다. 이를 위해 먼저 수에즈 막스급 원유 운반선의 선수부 구조를 반 격납 앵커링 시스템에 적합하도록 재설계하였으며, 시스템 성능 검증과 설계 과정에서 발생할 수 있는 잠재적 문제를 사전에 파악하고 구조 부재의 응력 집중 부위를 확인하기 위해 목업 시험을 수행하여 문제없음을 확인하였다.

Table 9 Analysis results of the bow section with the semi pocket type anchoring system at the ultimate load application location

Loading case	Max.stress (MPa)	Deformation (mm)	Result
Bolster-01-ULT	335.495	8.601	OK
Bolster-02-ULT	289.638	7.989	OK
Bolster-03-ULT	338.190	7.283	OK
Bolster-04-ULT	272.039	6.928	OK
Bolster-05-ULT	335.930	6.022	OK
Bolster-06-ULT	251.778	6.425	OK
Bolster-07-ULT	337.329	5.214	OK
Bolster-08-ULT	261.820	6.373	OK
Bolster-09-ULT	334.204	5.323	OK
Bolster-10-ULT	320.785	6.685	OK
Bolster-11-ULT	348.933	5.850	OK

(2) 목업 시험을 통해 구조 부재의 응력 집중 부위를 파악하고 앵커링 성능을 검증한 후, KR 구조해석 소프트웨어인 SeaTrust-HullScan을 활용하여 구조강도평가를 수행하였다. 기존 연구 사례가 부족한 점을 고려하여 앵커 체인의 최소 파단 하중만을 기준으로 정적 구조해석을 실시하였다. 하중 작용 위치는 실제 운용 형상 및 목업 시험 결과를 반영하여 설정하였으며, 앵커 체인 3개 링크가 볼스터에 접촉된 상태와 앵커가 선체 하부에 파지된 극한 조건의 두 가지 경우를 가정하였다. 해석 결과, 조건 11의 극한 조건에서 최대 응력 348.933MPa이 발생하였으며, 이는 Fine mesh yielding criteria 기준 구조적 안전함을 확인하였다.

(3) 본 연구에서는 앵커 체인의 최소 파단 하중을 기준으로 한 정적 하중 조건 하에서 구조 강도 평가를 수행하였다. 실제 해상 운용 조건에서는 파랑, 조류, 풍하중 등으로 인한 동적 하중의 영향이 구조물의 응력 분포 및 피로 수명에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 추후 연구에서는 동적 하중 조건을 반영하여 주요 부재에 작용하는 실질적인 하중을 계산하고, 이를 기반으로 합리적이고 신뢰성 있는 해석 결과를 도출하고자 한다. 이를 통해 반 격납 앵커링 시스템을 적용한 선박 선수부의 최적 설계를 수행하고자 한다.

후 기

본 과제(결과물)는 2025년도 교육부 및 전라남도의 재원으로

전라남도RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다.(2025-RISE-14-001)

References

Chun, M.S., Kim, J.Y., Kim, K.H., Jeong, D.S., Lee, D.Y., Wi, S.K., Kim, B.H., Kim, C.H. and Shim, C.S., 2024. A fundamental study on structural strength assessment of U-bolts for expanded application to shipbuilding and offshore piping systems, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering,* 16, 100561.

Daehan Shipbuilding Co., Ltd, 2004, [Online] Available at: https://www.daehanship.com [Accessed 18 January 2024].

Internatinal Association Classification Societies (IACS), 2023, Anchoring Equipment, Test load values for stud link chain cables.

Internatinal Association Classification Societies (IACS), 2024, Common Structural Rules, Bulk Carrier and Oil Tankers.

Kang, D.J., Cho, D.G., Song, W.S. and Kim, J.G., 2020. A Study on the Effects of Guide bar Installation Conditions on the Ship's Anchor Containment. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, 22(4), pp.769-773.

Kim, Y.J., 2009. *A Study on Shape of Bell mouth for Optimal Anchoring Condition*. M.S., Republic of Korea: University of Ulsan.

Korean Register (KR), 2024a, Classification Societies and Steel Ship Rules, Part 2: Materials and Welding.

Korean Register (KR), 2024b, Classification Societies and Steel Ship Rules, Part 4: Hull Construction.

Korean Register (KR), 2024c, Classification Societies and Steel Ship Rules, Part 13: Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers.

Korean Standards & Certification, 2023, KS V 8877, Korean Agency for Technology and Standards.

Yang, S.H., Cho, J.W., Kim, H.J. and Kim, B.K., 2015. Study on the Mooring Stability of Floating Dock with Ultra Large Offshore Structure. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 52(6), pp.509-519.

Yoon, J.S., 2018. *Anchoring apparatus*. [Online] (Updated 26 July 2018) Available at: https://www.kipris.or.kr/khome/main.do [Accessed 25 December 2024].

Authorship Contribution Statement

Chunsik Shim: Funding acquisition, Supervision, Writing – original draft; **Daseul Jeong:** Project administration, **Daeseong Jeong:** Conceptualization, Resources; **Kwangok Kim:** Methodology, Resources, Software; **Deokyeon Lee:** Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Software, Visualization, Writing – review & editing

심 천 식

정 다 슬

정 대 성

김 광 옥

이 덕 연