

# MEG4(Mooring Equipment Guideline 4) 적용에 따른 대용량 무어링 피팅 개발

이명수\* · 서광철\*\* · 박주신\*\*\*\*

\* 조선대학교 선박해양공학과 교수, \*\* 목포해양대학교 조선해양공학과 교수, \*\*\* 삼성중공업 조선해양연구소 그룹장

## Development of the Large-Capacity Mooring Fittings according to MEG4(Mooring Equipment Guideline 4)

Myung-Su Yi\* · Kwang-Cheol Seo\*\* Joo-Shin Park\*\*\*\*

\* Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chosun University, Gwangju 61452, Korea

\*\* Professor, Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

\*\*\* Group manager, Ship and Offshore Research Institutes, Samsung Heavy Industries, Geoje 53261, Korea

**요약** : 선박이 부두에 안전하게 계류 및 예인하기 위해서는 관련 국제규정에 부합하는 설계를 해야 한다. 그러나 현재까지도 일부 소형 조선소 및 설계 회사에서는 그 내용을 정확히 숙지하지 못하고 있는 경우가 많다. 따라서 본 논문에서는 예인 및 계류설비에 관한 국제규정을 살펴보고, 최신 발표된 MEG4(Mooring equipment guideline 4) 기준에 만족하는 대표적인 계류 의장품인 볼라드(Bollard)와 쇼크(Chock)를 개발하고자 한다. 볼라드는 계류 밧줄을 선체에 고박하기 위한 의장품이며, 일반적으로 2개의 기둥으로, 대부분은 8자 매듭 형태로 사용하고 있다. 쇼크는 선외에서 선내로 들어오는 계류 밧줄의 방향을 전환하고, 밧줄의 손상을 방지하기 위하여 곡률을 갖는 주물 방식으로 제작한다. 이 두 가지 계류 의장품은 선박의 선수와 선미, 중앙부 측면에서 많이 사용되고 있다. 최근 컨테이너선 및 LNG 운반선의 크기 증가로 인하여, 계류 밧줄 하중이 증가하고 있으며, 계류 의장품도 안전사용하중(Safe working load)이 변경되어야 한다. 본 연구에서는 유한요소해석 모델링을 통한 허용응력 평가법 결과를 정리하고, 분석하였다. 추가적으로 비선형 붕괴 거동 평가를 통하여, 안전사용하중 결정에 대한 검증을 수행하였고, 탄성영역 내 설계가 되었음을 확인하였다. 연구에서 제안하는 평가법 및 기준, 그리고 해석절차는 향후 유사 의장품 개발 시 참조가 가능하다.

**핵심용어** : 볼라드, 쇼크, 계류 밧줄, 안전사용하중, 유한요소해석

**Abstract** : For safe mooring and towing between the ship and port, the equipment must be designed in accordance with the relevant international regulations. However, some small shipyards and engineering companies often do not fully comprehend the core contents. Therefore, the international regulations regarding towing and mooring equipment are reviewed and the bollard and chock are newly developed based on the Mooring Equipment Guideline 4 (MEG4) standards. A bollard is a mooring equipment used to fix a mooring rope to the hull. It has two columns and is mostly used in a figure eight pattern knots under the mooring condition. The chock, which is used to change the mooring rope direction coming into the ship from outside, is manufactured using a casting with curvature. The two mooring equipment are widely used in the stern, bow, and mid-side. Owing to the increase in the size of container vessels and LNG ships, the mooring rope load has increased and the safe working load of the mooring equipment must be revised. This study summarizes and examines the results of the allowable stress method obtained using finite element analysis modelling. To consider the mesh size effect, a reasonable criteria was suggested by referring the existing class guidance. Additionally, the safe working load was verified through nonlinear collapse analysis, and the elastic region against load increments was confirmed. Furthermore, the proposed evaluation method can be used to develop similar equipment in the near future.

**Key Words** : Bollard, Chock, Mooring rope, Safe working load, Finite element analysis

\* First Author : true413@chosun.ac.kr, 062-230-7182

† Corresponding Author : scv7076@nate.com, 055-630-9613

## 1. 서 론

계류는 선박이 환경조건에 의해 이동하지 않도록 밧줄을 사용하여 부두에 고박 하는 것을 일컫는다. 환경조건은 바람, 조류, 파도, 빙하 등을 포함할 수 있다. 선박에 설치되는 계류 의장품은 선박의 정상적인 계류에 사용되는 볼라드(Bollard), 비트(Bitt), 페어리드(Fairlead), 스탠드롤러(Stand roller) 및 쇼크(Chock)와 같은 구성요소를 의미한다. 이 의장품을 지지하는 선체 구조와 연결되는 용접, 볼트 구속 장치는 구성품의 일부이며, 산업표준을 적용한 설계가 되어야 한다. 여기에서 언급한 산업표준은 주관청의 승인을 조건으로, 선박이 건조되는 국가에서 인정되는 국제 또는 국가표준을 의미한다. 예인을 위한 계류 의장품은 하중의 효율적인 분배를 위하여, 갑판 구조의 일부인 종 늑골, 트랜스 웹 및 보강재에 위치해야 한다. 가스운반선, 화학 유조선 또는 유조선의 항구 접안 시 계류용 밧줄의 파손으로 인하여 수년 동안 수많은 사망자가 발생하였으며, 계류 작업은 작업자에게 있어서 고위험 작업의 한가지이다. 이러한 배경에서 석유회사 국제 해양포럼(OCIMF, 2008)에서는 항구에서 안전한 계류를 위하여 새로운 지침을 공표하였다. 1997년 MEG3(Mooring Equipment Guideline3)이 발표되었으며, 일부 개정사항을 반영한 지침서가 2008년도에 발간되었다. 개정판은 선박과 항구 접안 설비의 변화를 반영하였고, 지금까지의 계류 경험과 비결, 사고 사례에 대한 개선 방향이 잠재되어 있다. 계류는 상용 운반선과 해양플랫폼의 위치를 고정하는 데 있어서 가장 기본적인 중요한 작업이며, 안전한 작업을 위해서는 합리적인 절차서가 필요하다. 아직도 계류 시 선박의 계류 선원 혹은 항구에서 계류를 담당하는 작업자가 다치는 사고가 발생하고 있으며, 석유회사 국제 해양포럼(OCIMF, 2018)에서는 기존 MEG3에서 취약하였던 안전 사항을 전면 개정하는 작업을 수행하여, 2018년도부터 MEG4(Mooring Equipment Guideline4)를 적용하고 있다. 본 연구와 관련된 기존의 선행연구를 아래와 같이 요약하였다.

Oh et al.(2006)은 IACS(International Association of Classification Society)에서 개발한 공통구조규칙(Common Structural Rule)의 근간인 최종강도 기준 설계를 국부구조물에 적용한 사례 연구이다. 대상은 계류 의장품(Mooring fitting)과 이면 구조부재이며, 볼라드 3개 크기에 대해서 두 가지 하중(중방향, 횡방향)을 고려하였다. 최종강도 해석 결과를 통하여, 최초 항복점에 도달 후에도 많은 잉여강도를 갖고 있었으며, 최종강도는 항복강도의 2~4배 이상의 값을 확인하였다. 기존 항복강도 기준의 평가법에서는 볼라드 지지 구조는 보강 후 1.5 배 이상의 강도가 확보되었으며, 최종강도 기준에서는 보강효과가 미비하였다. 연구에서는 최종강도 기반의 안전사용 하중의 제시가 필요하고, 이때 안전계수의 선정이 무엇보다

도 중요함을 언급하였다.

Cho et al.(2010)은 2003년 국내 4대조선사(현대중공업, 현대미포중공업, 삼성중공업, 대우조선해양)에서 표준화된 무어링피팅의 비선형 최종강도 수치해석 결과와 구조 강도 실험 결과를 비교하였다. 종래에 허용응력 기준 적용 시 무어링피팅의 구조 하부에 많은 보강이 발생하고, 이를 만족하기 위한 비용과 보강안 수립의 애로사항이 많다. 저자는 재료의 소성 경화를 고려한 비선형해석을 통하여, 최종강도 기준의 평가를 통하여 무어링피팅의 합리적인 평가를 할 수 있다는 것을 주장하였다.

Jung and Lee(2012)은 선박의 계류장치 중에 가장 많이 사용되고 있는 클로즈드 쇼크를 대상으로 구조 강도 해석 및 실험을 통한 검증을 수행하였다. 계산에 사용된 프로그램은 MSC Patran/Nastran이며, 선형해석과 비선형해석 모두 수행하였으며, 실험 결과와 비교는 비선형해석을 이용하였다. 수치해석을 통한 시트가 있는 쇼크의 사용안전하중은 82톤이 계산되었고, 실험에서는 96톤이 구해져, 약 16% 차이가 발생하였다.

Kim et al.(2017)은 대형화 되는 컨테이너선, LNG 운반선에 사용될 볼라드, 쇼크, 유니버설페어리드의 안전사용하중을 최대 180톤까지 사용할 수 있는 신규 모델을 개발하였다. 개발모델은 별도의 강도실험으로 검증되었으며, 용접부의 균열과 구조물 이상 유무를 확인하였다. 기존에 사용된 연강(Mild steel)재질을 고장력강으로 대체함으로써 설계 하중 증가에 따른 허용응력 기준을 향상하게 시켰다. 선형수치해석 결과는 모두 허용응력 기준을 만족하였으며, 실험 후 용접부의 균열은 발견되지 않았다.

Tran et al.(2018)은 유럽에서 차량을 이용한 테러 공격으로 인하여 기존 재료를 복합재료로 교체한 램 볼라드 내충격성을 개선하기 위하여 다양한 설계 조건들의 비교 연구를 수행하였다. 연구를 통한 결과로 볼라드 구조에 다른 에너지 소산 재료를 통합하여 중공 튜브 시스템의 저항 증가 및 반력 감소를 확인하였다. 연구의 최종 목표는 차량 충돌이 발생하는 볼라드의 국부적 충격 및 파손을 줄이기 위한 최적 조합 모델을 찾는 것이며, 중공 내부에 충전제를 넣은 경우가 변위를 감소시키는 것을 확인하였다. 최종적으로 카본스틸-충전제-알루미늄 조합인 볼라드가 내충돌성이 가장 우수하였다.

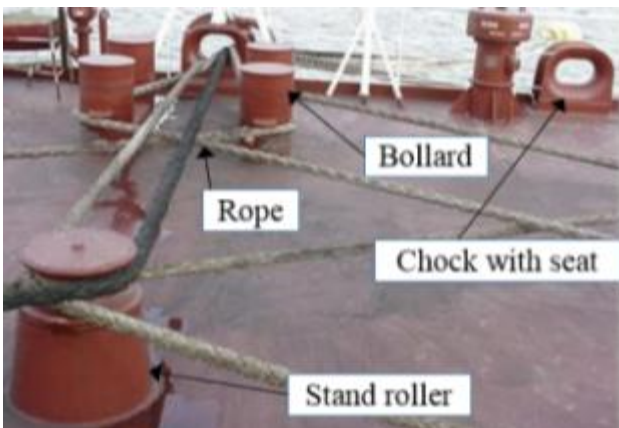
본 연구에서는 계류 장치에서 가장 보편적으로 사용되는 볼라드와 쇼크의 안전하중을 결정하는 데 있어서, 수치해석적 방법을 이용한 세부사항에 대해서 검토 후, 합리적인 평가법을 제안하였다. 연구를 통한 주요 결과는 조선 및 해양 분야 계류장치의 구조 안전성 평가 분야에 관련된 기초적인 자료로 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

## 2. 예인 및 계류설비

### 2.1 계류삭 및 계류설비의 종류

계류삭(Mooring rope)에는 강철(Steel), 나일론(Nylon), 마 소재(Hemp) 밧줄의 3종류가 사용되고 있다. 계류삭의 재질과 관계없이 앵커(Anchor)와 앵커체인(Anchor chain)과 같이 의장수에 따라 필요한 최소한의 개수와 1본당 길이 및 절단 하중(Breaking load)이 규정되어 있고, 이를 만족한 설계를 해야 한다. 강선 밧줄(Wire rope)이나 직물 밧줄(Fibre rope)을 선택하는데 특별한 규정은 없지만, 강선 밧줄은 강성이 크나, 사용이 불편하여 직물 밧줄을 주로 사용하고 있다. 일반적으로 컨테이너선의 경우, 컨테이너 하역하는 동안에 선박의 움직임이 최소화되어야 하므로, 신축성이 좋은 직물 밧줄을 주로 사용하고 있다.

볼라드는 계류삭을 선체에 고박하기 위하여 설치하는 의장품이며, 일반적인 형상이 2개의 기둥으로 된 것을 볼라드라고 칭하며, Fig. 1과 같다. 볼라드는 기둥이 한 개인 비트보다 넓은 설치공간이 필요하지만, 밧줄을 감기가 쉽고 비트에 비해 큰 하중을 지지할 수 있어서, 다양한 선박에 많이 사용되고 있다.



(a) mooring arrangement on deck



(b) typical bollard with two columns

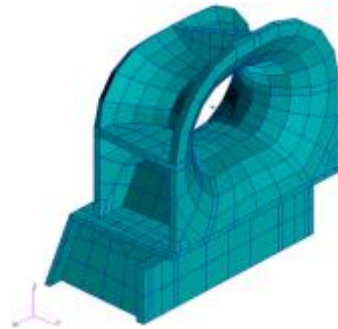
Fig. 1. Example of the mooring arrangement and bollard.

쇼크(Chock)는 선박 외부에서 선내로 배치되는 계류삭의 방향을 전환하고 밧줄의 손상을 방지할 수 있도록 밧줄과 마찰되는 부위를 곡률을 갖는 형상으로 구성되어 있으며, Fig. 2와 같다.

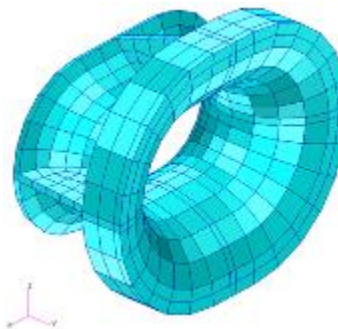


Fig. 2. Typical chock with seat foundation.

쇼크는 시트가 있는 모델과 시트가 없이 선체 외판에 바로 용접되는 모델로 분류할 수 있으며, Fig. 3과 같이 외관상의 차이가 명확하다.



(a) chock with seat



(b) chock without seat

Fig. 3. Two types of the mooring chock.

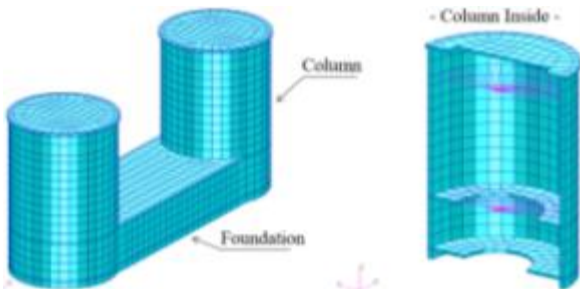
MSC/Circular.1175-Guidance on Shipboard Towing and Mooring Equipment 및 IACS(International Association of Classification Societies) UR A2(Shipboard fittings and supporting hull structures associated with towing and mooring)의 발효 전까지 예인 및 계

류설비에 대한 가장 구체적인 요건은 OCIMF(Oil Companies International Marine Forum)에 의한 것이다. 특히, 계류삭, 계류설비, 선체의 구조 강도에 대해서 권고하고 있는 사항으로, 계류설비는 계류삭의 강도보다 커야 하고, 선체의 구조 강도는 계류설비보다 커야 한다는 것이다. 명확한 설명은 없지만, 계류삭 설비의 문제가 선체의 구조 강도에 문제가 되지 않도록 가중치를 부여하고 있다.

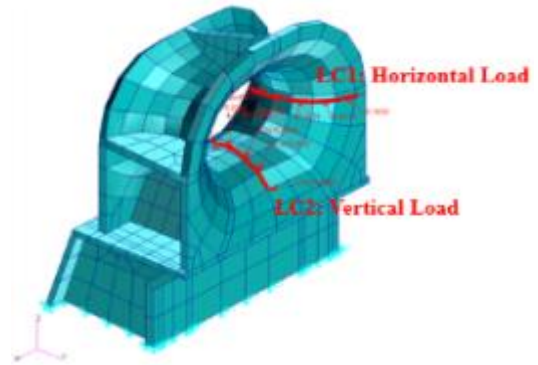
### 3. 유한요소해석 및 고찰

#### 3.1 모델링 및 경계, 하중 조건

본 연구에서는 유한요소법(Finite Element Method)을 근간으로 하여 공학용 해석이 가능한 상용프로그램인 MSC Patran/Nastran Version. 2012를 사용하였다. 모델링은 4개의 grid point를 갖는 3차원 솔리드 요소(CTETRA)를 사용하였다. 이 요소는 형상이 복잡한 구조의 모델링에 적합하며, 날카로운 모서리가 있는 경우, CHEXA 요소와 비교하면 강점이 있다. 기하학적 형상의 왜곡이 발생하지 않게 하려고, 요소의 분할 크기는 20~60mm 범위로 설정하였다. 볼라드 모델링에 사용된 요소는 총 1,680개이고 쇼크는 1,136개의 솔리드 요소로 구성되어 있다. 해석의 경계 조건은 지면과 닿는 면적에 고정지지(x, y and z : fix) 조건을 Fig. 4(a)와 같이 적용하였다. 사용된 볼라드는 수직 기둥의 최대외곽 지름이 550mm이고 두께는 38mm이며 고장력강(AH36, 항복응력 355MPa)을 사용하였다. 두 개의 수직 기둥을 연결하는 바닥 받침대는 두께 30mm로서 동일한 강재이다. 쇼크(Chock)는 무어링 로프의 쓸림을 방지하기 위하여 곡물을 갖는 형상이면서 주물제작을 하며, 재료는 SCW550을 사용하며 항복응력은 350MPa이다. 쇼크 하부 시트부는 AH36 강재로 용접으로 한 개의 모델을 완성한다. 두재료의 탄성계수는 205GPa로서 동일한 물성 값이며, 포아송비는 SCW550이 0.27이고 AH36은 0.3이다. 쇼크의 외형크기는 500mm이며, 깊이는 400mm 그리고 두께는 26mm이다. 하부 쇼크 시트부의 수직 판은 20mm, 평면부 판은 13mm이다.



(a) bollard (ID 500 model)



(b) chock (ID 500 model)

Fig. 4. Bollard model and load condition of the chock (horizontal and vertical load).

볼라드는 예인조건(Towing)에서 한 개의 기둥의 전체높이 4/5 지점에 2배의 예인 하중이 작용하며, 계류 밧줄이 닿는 부위에 RBE3(Rigid Body Element) 강체 요소를 적용하였다. 이 요소는 단일점에서 독립자유도가 지정되고, 임의의 복수개의 점에서 종속 자유도가 지정되는 강체를 정의한다. RBE3 요소는 모델에 강성을 추가하지 않기 때문에, 수치적 실수를 발생하지 않으며, 변위 관계를 규정하는 구속 요소이다.

#### 3.2 MSC/Circular 1175 와 IACS UR A2

IACS UR A2의 주요 내용으로는 정의된 하중을 적용하였을 때 계류설비는 관련 규정에 따른 충분한 구조 강도를 확보해야 한다. 여기에서 충분한 구조 강도의 기준은 발생하는 응력이 계류설비의 항복 응력 이하의 값이다. 설계 하중은 Normal towing, Other towing 그리고 Mooring에 따라 아래와 같이 다르게 적용된다. 모든 계류 의장품은 부식 두께 2mm를 적용하고 계류 밧줄이 접촉하는 부위는 추가로 1mm의 두께 감소를 적용한다.

계류 조건은 선박의 의장수(Equipment Number)에 의한 계류삭의 파단강도의 1.25배를 기준으로 한다. 선박의 항만계류 혹은 항해 조종조건에서는 계획된 최대 예인력의 1.25배를 기준으로 한다. Other towing 조건은 예인하는 선박에 의한 조건으로서, 의장수에 의한 예인 라인의 파단강도를 기준으로 한다. 이때 의장수에 의한 예인 밧줄의 파단강도는 계류 밧줄의 파단 강도 보다 훨씬 큰 값이다. 계류설비에 표기하게 되는 안전사용하중(Safe Working Load)은 아래 식(1, 2, 3)과 같다.

$$\text{Mooring} : 0.8 \times 1.25 \times \text{Breaking Strength} \quad (1)$$

$$N.T : 0.8 \times 1.25 \times \text{Max. } T.F \quad (2)$$



where, N.T is normal towing such as harbour and manoeuvring,  
T.F is maximum towing force as planned

$$O.T : \text{Breaking Strength of towing line according to E.N} \quad (3)$$

where, O.T is other towing such as escort condition

### 3.3 허용응력 평가법 및 결과 (볼라드)

MSC Circ.1175에서는 예인 밧줄의 파단 강도의 1.25배를 견딜 수 있도록 권고하고 있으며, 별도의 해석적 절차에 대해서는 언급하지 않고 있으며, 응력집중계수는 고려하지 않는다고 정의되어 있다. 따라서 볼라드의 안전사용하중 계산 시 범 이론에 의한 허용응력 평가를 주로 사용해왔다. 그러나 이러한 방법은 기하학적 형상이 복잡해지며 다양한 연결부를 갖는 실제 구조의 안전사용하중을 평가하기에는 한계점이 있어서, 최근에는 수치해석 모델링을 이용한 유한요소 해석을 수행하는 추세이다. 예인 하중 조건을 적용하였을 경우, 최대 응력은 수직 기둥부와 만나는 상부 브릿지에서 발생하며, 이는 요소의 크기가 조밀하고, 응력집중에 의하여 결정되고 있다. 구조의 허용 응력은 355MPa이며, 최대 응력은 278.5MPa로서 고려한 하중(187.5톤)에 만족하는 수치이다.

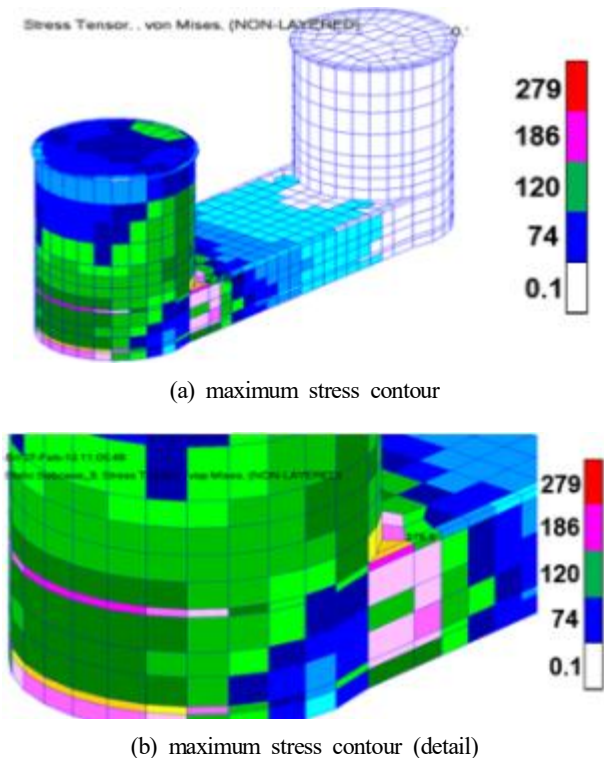


Fig. 5. A maximum stress contour around upper bridge corner under towing condition (500HM).

수치해석 모델링의 정밀도 조건에 따라서, 최대 응력 값은 변화 가능하며, 선형해석에서는 Fig. 5에서 나타내는 위치에서 발생하는 경향을 유지한다. 앞서 언급한 응력집중계수를 고려하지 않는다는 MSC. Circ.1175와는 대비되는 현상이다.

### 3.4 최종강도 평가법 및 결과 (볼라드)

최근 선박의 구조부재 평가 기준은 탄성 허용응력 설계에서 최종강도 기반 설계로 변화가 발생하였으며, 대표적으로 국제공통규칙(H-CSR)에서 제시하고 있다. 지금까지 계류의 장품은 선체 구조와는 다른 허용응력 평가법을 적용하고 있어서 평가의 일원화가 필요하다. 본 논문에서는 재료의 비선형, 기하학적 비선형성 모두를 고려한 비선형 최종강도 해석을 수행하여, 하중증가에 따른 변위 변화를 Fig. 6과 같이 정리하였다. 선형구간을 지나자마자 수직 기둥의 최하단 부위에서 초기항복이 발생하며, 이때부터 강성 기울기가 감소하는 거동을 보이다가 수직 기둥의 전단면 소성이 발생하는 패턴을 Fig. 7에서 나타내고 있다. 적용된 하중이 384톤에서 초기항복이 발생하며, 최종강도는 570톤이다. 계류 시 발생할 수 있는 선박의 운동에 대한 동적 효과 안전계수를 2.0(API RP 2A, 2014)을 고려하면, 안전사용하중은 285톤이다. 동적계수 2.0은 외부 환경하중에 의해 발생할 수 있는 고유주기 차이가 최대값이 발생하는 조건이며, 보수적인 관점에서 이 값을 인용하였다. 안전사용하중 285톤은 여전히 탄성한계 내에 있으며, 반복 하중이 적용되더라도 안전하게 사용할 수 있는 범위이다.

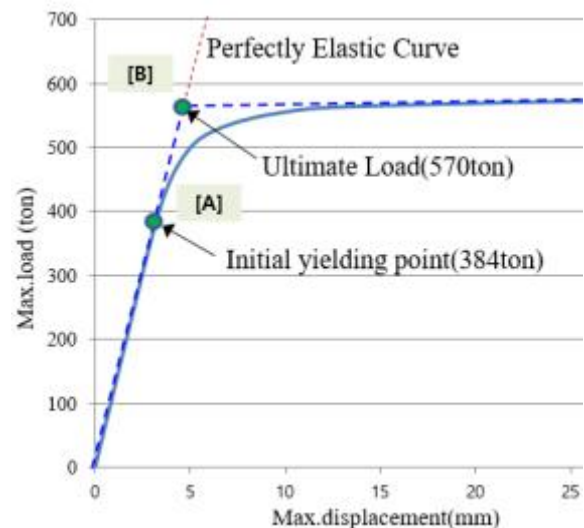
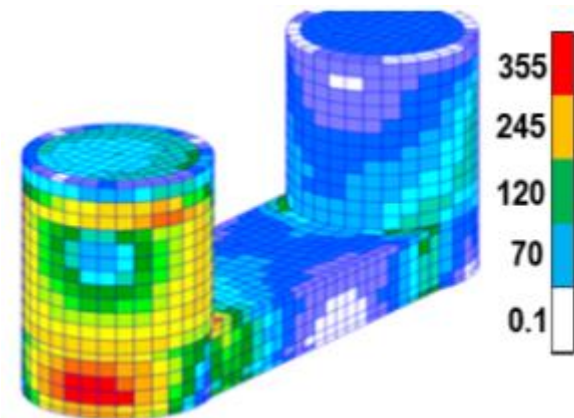
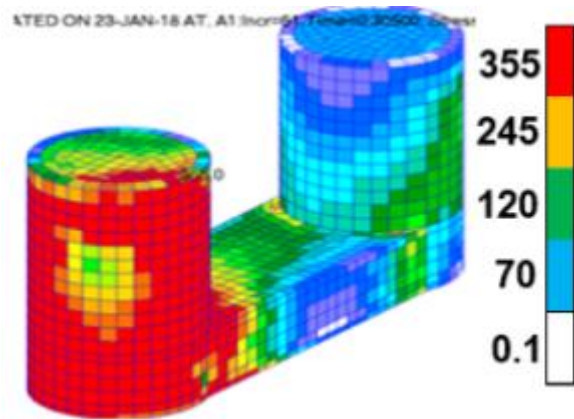


Fig. 6. A relationships of between maximum load and displacement under towing condition of 500HM bollard.

MEG4(Mooring Equipment Guideline 4) 적용에 따른 대용량 무어링 피팅 개발



(a) von-Mises stress contour (initial yielding)

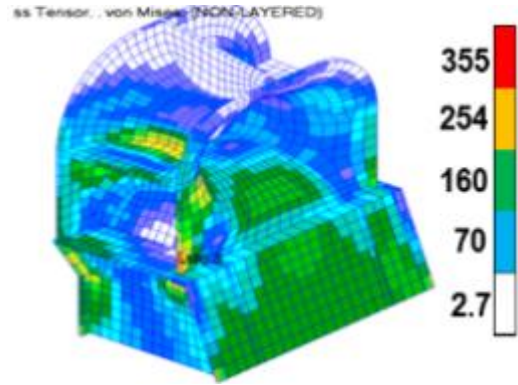


(b) von-Mises stress contour (ultimate strength)

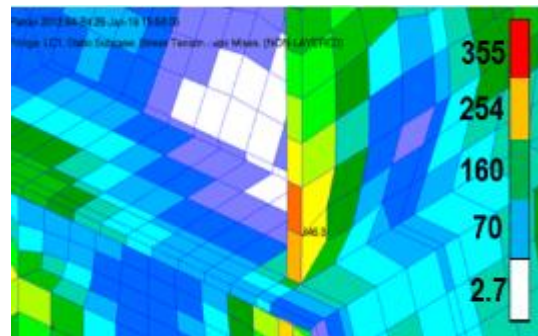
Fig. 7. A comparison of von-Mises stress contour varying load value.

3.5 허용응력 평가법 및 결과 (쇼크)

쇼크에 발생 가능한 예인 맞줄 하중은 횡방향 하중과 수직 방향 하중이다. 수직 방향 하중은 시트와 선체가 하중 분담을 하므로, 의장품 입장에서는 큰 문제가 되지 않으며, 쇼크의 횡방향 하중이 보수적인 설계 조건이다. 아래 Fig. 8의 결과는 횡방향 하중 적용 시, 허용응력 평가법에 따른 최대 응력을 나타내고 있다. 시트와 쇼크 끝단 부에서 최대 응력 346.3MPa이 발생하며, 이는 허용응력의 97% 수준이다. 계류 맞줄이 직접 닿으면서 응력을 유발하는 쇼크 측면은 최대 응력이 100MPa로서 여전히 충분한 여유를 가진 것으로 평가되고 있다.



(a) maximum stress contour



(b) maximum stress contour (detail)

Fig. 8. A maximum stress contour around upper bridge under horizontal force of chock with seat (500x250x525M).

3.6 최종강도 평가법 및 결과 (쇼크)

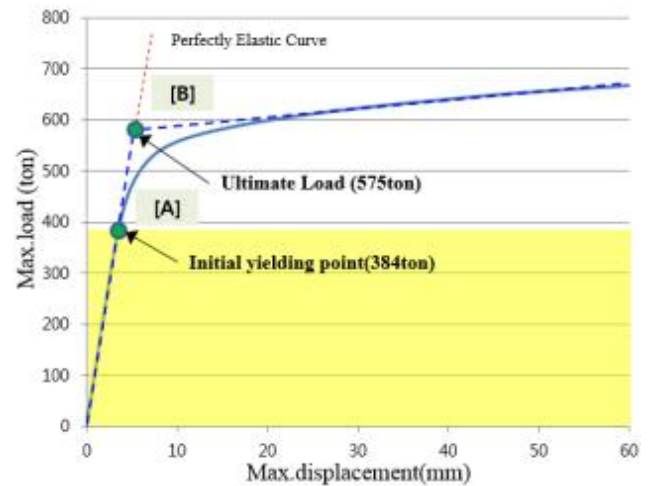
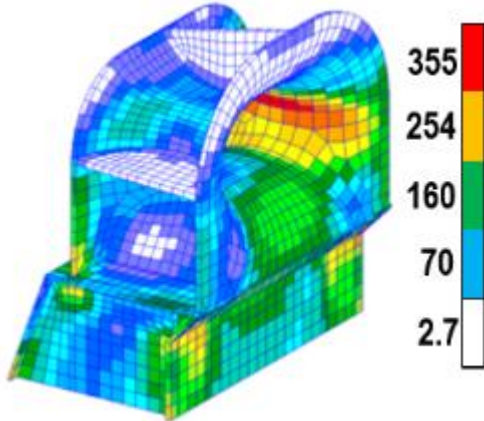
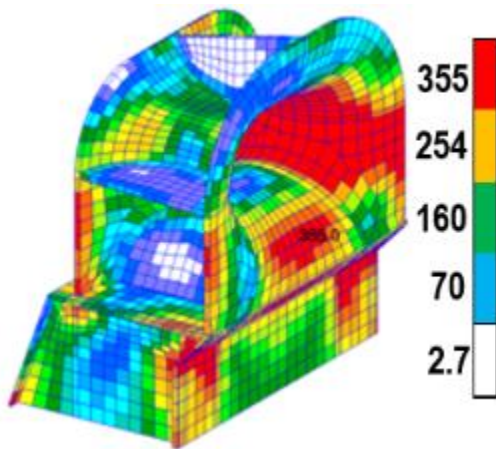


Fig. 9. A relationships of between maximum load and displacement under horizontal force of chock with seat (500x250x525M).

Fig. 9와 10의 결과에서 보여지는 것처럼, 쇼크는 탄성구간을 지나자마자 초기항복이 384톤에서 발생하며, 최종강도는 575톤에서 결정되고 있다. 볼라드와는 다르게 최종강도 이후에도 하중증가 유형이 발생하며, 이는 쇼크의 하부에 시트가 수평 하중을 분산하는 효과가 있어서 나타난 결과이다. 안전사용하중은 동일한 동적계수 2.0을 나눈 287.5톤이다. 선형해석에서 적용한 187.5톤과는 상당한 차이가 있는 수치이다.



(a) von-Mises stress contour (initial yielding)



(b) von-Mises stress contour (ultimate strength)

Fig. 10. A comparison of von-Mises stress contour varying load value.

### 3.7 평가법 차이에 대한 고찰 및 대안

허용응력 기반 구조해석 평가에서는 요소의 형상, 크기, 응력집중 효과로 인하여, 최대 응력 발생 지점 예측이 실제와는 다른 결과를 보여주고 있다. 재료의 비선형성을 고려한 비선형 최종강도 해석에서는 하중증가에 따른 항복 과정이 물리적으로 잘 일치하고 있으며, 앞서 언급한 항목들을 모두 반영한 거동으로 좀 더 현실적인 값이다. 허용응력 기반

구조해석에 의한 안전사용 하중을 적용할 경우, 요소 크기에 대한 보정 계수 도입, 국부적인 응력집중 부위에 대한 제거 등이 반영될 수 있도록 추가적인 기술적인 검토가 필요할 것으로 생각한다. 기본적으로 최종강도 기반 구조평가법을 수행한 후, 안전사용 하중을 선형구간 내에서 결정하는 것이 합리적인 대안으로 제시하고자 한다.

## 4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구논문에서는 최근 개정된 MEG4 계류 규정을 기반으로 하여 선박에서 널리 사용되는 볼라드와 쇼크의 안전사용 하중을 결정하는데 유한요소해석 모델링을 활용한 조건에서의 문제점에 대해서 분석하고 합리적인 대안을 제시하였다. 본 연구에서 언급하고 있는 주요 내용은 유사 의장품의 안전사용 하중을 계산하는 데 있어서 중요한 기초 자료가 될 것으로 생각하며, 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

- [1] 유한요소해석 기반 구조 강도 평가 시, 크기가 작고 두께가 두꺼운 경우에는 솔리드 요소를 사용하는 것이 두께 방향 휨 응력 효과를 고려할 수 있다.
- [2] 허용응력 평가 시, 선형해석에서는 요소의 크기, 형상, 응력 집중현상으로 인하여 최대 응력 지점을 다르게 나타낼 수 있다.
- [3] 비선형 최종강도 해석에서는 하중증가에 따른 최대 응력 변화를 예측할 수 있고, 구조 모델링 효과에 영향이 크지 않아서 합리적인 의사결정이 가능하다.
- [4] 계류 의장품의 하부에 대한 구조 강도 검증은 비선형 최종강도를 일부 적용하고 있으며, 의장품도 같은 방법을 적용하여 엔지니어링 혼선을 방지해야 한다.
- [5] 선형해석에서의 안전사용 하중과 최종강도 기반 안전사용 하중의 차이가 크게 발생하고 있다. 이러한 점은 충분한 구조 강도실험 데이터를 기반으로 조율이 필요한 부분이다.

향후 연구과제로서는 계류 의장품의 실물 모델에 대한 실험을 통한 안전사용 하중 데이터베이스 구축이다. 이를 바탕으로 합리적인 수치해석 평가법에 대한 검증이 필요하다.

## 사 사

This research was supported by "Regional Innovation Strategy (RIS)" through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE) (2021RIS-002).

## References

- [1] API(2014), Recommended Practice 2A-WSD : Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design, 21th edition.
- [2] Cho, S. R., J. M. Choung, C. M. Oh, K. S. Lee, and J. Y. Kim(2010), Ultimate load capacities of mooring bollards and hull foundation structures, Ocean Engineering, Vol. 37, pp. 770-776.
- [3] IACS(International Association of Classification Societies) (2017), Shipboard fittings and supporting hull structures associated with towing and mooring on conventional ships, pp. 3-11.
- [4] Jung, J. W. and B. H. Lee(2012), Strength analysis and standardization for closed chocks by using the finite elements method, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 49, No. 2, pp. 132-145.
- [5] MSC Software(2012), Patran 2012 User's Guide, Chapter 6, Material modeling, pp. 125-136.
- [6] OCIMF(2008), Mooring Equipment Guidelines (MEG3), Oil Companies International Marine Forum, Book ISBN 978 1 90533132 1, United Kingdom.
- [7] OCIMF(2018), Mooring Equipment Guidelines (MEG4), Oil Companies International Marine Forum, Book ISBN 978 1 85609771 0, United Kingdom.
- [8] Oh, C. M., J. M. Choung, and S. R. Cho(2006), Ultimate strength assessment of bollard and its foundation considering production costs, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 5, pp. 604-610.
- [9] Tran, P., S. Linforth, T. D. Ngo, R. Lurnantarna, and T. Q. Nguyen(2018), Design analysis of hybrid composite anti-ram bollard subjected to impulsive loadings, Composite Structures, Vol. 189, pp. 598-613.

---

Received : 2023. 10. 10.

Revised : 2023. 11. 17.

Accepted : 2023. 12. 29.