

선박 접안용 계선주의 안전 강성 평가에 관한 연구

유용웅* · 김승연** · † 이윤석

***한국해양대학교 대학원, † 한국해양대학교 선박운항과 교수

A Study on the Evaluation of Safety Stiffness from Ship's Mooring Bollards

Yong-Ung Yu* · Seung-Yeon Kim** · † Yun-Sok Lee

*,**Graduate School of Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

† Division of Civil and Environment of Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

요 약 : 계선주는 선박이 계류삭을 고박함으로써 항만의 부두에 계류를 시행할 수 있도록 하는 필수적인 항만의 시설물로서, 부두에 설치되는 계선주는 국내의 항만 및 어항설계기준에서 제시하는 설치 규모와 개수, 재질 및 배치 형상에 따라 설치되고 있다. 그러나 우리나라에서는 선박의 접안 안전성 확보를 위한 계선주의 사용을 위한 관리 기준이 마련되지 않은 실정이다. 본 연구에서는 선박이 부두에 접안 중 계선주에 작용하는 견인력을 포함한 계선주 관련 설계기준을 조사하고, 국내에 현재 설치되는 계선주의 규격별 상세 제원 조사를 토대로 견인력에 따른 선박의 접안 안전성 확보를 위한 계선주의 성능을 분석하였다. 계선주 성능 분석은 견인력에 따른 작용력을 수평방향과 수직방향으로 나누어 각각의 작용력에 의해 계선주에 작용하는 각각의 응력으로 구분하여 평가하였다. 국내 계선주에 대한 성능 평가를 위해 상세 제원 조사 결과를 바탕으로 한계 강도 245Mpa를 산출하고 각각의 응력과 비교하여 적정성 평가를 시행하고 한계 성능에 도달하는 제원을 산출하였으며 산출 결과 현재 국내에 설치되는 계선주에 규격별 견인력에 따른 작용 응력은 최소 150Mpa 이하로 산출되어 한계 강도의 60% 수준으로 성능을 만족한 것으로 평가되었다. 향후 이러한 계선주 상세 제원에 따른 성능 평가 방법은 계선주 제원에 따른 부두에 접안하는 선박에 대한 계선주의 적정성 및 사용에 따른 계선주 상세 제원 변화에 대한 관리 기준 개발에도 활용될 것으로 기대된다.

핵심용어 : 계선주, 견인력, 휨 응력, 전단응력, 두께

Abstract : Mooring bollards are the mandatory facility in ports for they are the objects used to fasten the ship to its position at the berth. All the mooring bollards were installed following suggested sizes, numbers, materials and shape of installation according to Port and Fishing Design Standards. However, Korea has no management standard for use of mooring bollards to safety in ship berthing. In this research, the installation standard for mooring bollards including the holding power applied to mooring bollards in berthing was studied. Also, the performance of mooring bollards for minimum safety guarantee in berthing based on research of various specification by their sizes was analyzed. The analysis on mooring bollards was examined by each power on mooring bollards from the applied force in berthing divided into horizontal and vertical direction in order to examine the performance of domestic mooring bollards, the limit force is calculated based on detailed specification research result. As a result, the working stress according to the towing force was found to be at least 150Mpa and it was evaluated to be 60% of the limit strength. Also, by comparing each forces, the appropriateness was examined and the specification of maximum capability calculated. This performance evaluation method based on detail specification of mooring bollards will be expected to be useful to examine the appropriateness of mooring bollards for various types of vessel in berthing and to develop maintenance and management standard through the performance change evaluation referring to mooring bollard detailed specification changes.

Key words : Bollard and Mooring Post, Tractive Forces, Bending Stress, Sheering Stress, Thickness

1. 서 론

항만에서 선박이 접안 하는 모든 부두는 선박의 계류를 위하여 계류삭을 매어 부두에 접안하는 계선주가 설치되며, 선박은 계선주(Mooring Bollard)를 통해 부두에 접안하고 지속적으로 접안 중 안전성이 확보된다. 이에 따라 현재 뿐만 아니라 항

후 설치되는 부두들 모두 지속적으로 계선주가 설치되 및 관리되어야 한다.

계선주를 포함한 선박의 계류안전성을 확보하기 위한 연구는 활발하게 진행되고 있고, 특히 해상안전법에 따라 항만 또는 부두의 개발 및 재개발 등에서 해상교통안전진단(Ministry of Oceans and Fisheries, 2017)이 시행될 경우 계류안전성 평

† Corresponding author : lys@kmou.ac.kr 051)410-5098

* yyung@kmou.ac.kr 051)410-5098

(주) 이 논문은 “선박 접안용 계선주 성능 평가에 관한 연구”란 제목으로 “2017 공동학술대회 한국항해항만학회논문(부산 벅스코, 2017.4.19.-20, pp.121-123)”에 발표되었음.

가가 시행되고 있어 다양한 부두와 계류 상황들에 대하여 계류안전성 해석에 대한 연구들이 진행되고 있다.

계류안전성 해석에 관한 최근 연구 성과들을 살펴보면, 부두의 적정 접안능력을 검토하기 위하여 Jeon et al.(2008)은 울산항의 3개 부두를 선정하여 통항 및 접안 안전성과 선체동요 및 구조안전성을 종합적으로 평가하여 부두 접안 가능 최대 선박 크기를 제안하였다. 또한 Kang and Park(2016)은 울산항의 1개 부두를 선정하여 선박 규모의 변화에 따른 계류안전성 평가를 수행하여 대상부두에 대한 안전 계류 가이드라인을 제안하였다. Kim et al.(2016)은 울산항의 외력에 취약한 4개 부두에 대하여 계류안전성 평가를 수행하여 부두 운용기준을 제안하였다. Cho(2017)는 전용부두에 장기간 계류가 이루어지는 실습선에 대하여 계류안전성 평가를 시행하였다. 또한 부두의 신설 및 재개발과 관련한 해상교통안전진단 Jeju (2013)(2012), Ulsan(2011)(2016), Pohang(2016), Incheon (2011)(2012) 등에서 해당 부두에 접이안이 예상되는 대상 선박으로 계류안전성 평가가 시행되었다.

그러나 이러한 계류안전성 평가는 대상 선박이 접안 중에 작용하는 환경 조건을 가정하여 발생하는 견인력을 해석하고 부두에 설치 또는 설치 예정인 계선주의 제원상의 규격과 비교하여 단순한 만족여부를 평가하고 있으며 설치되는 계선주가 규격에 맞는 성능 여부를 평가하지 않으며, 또한 계선주가 사용에 따라 성능의 변화가 예상되더라도 계류안전성 평가에서 이러한 성능의 평가가 이루어지지 않기 때문에 성능의 변화에 대한 예측 및 반영에는 한계가 있다.

또한 사용에 따른 성능 변화를 평가하여 계선주의 유지 관리 기준 마련을 위해서도 합리적인 평가 방법 마련이 필요 할 것으로 판단된다.

이에 따라 본 연구에서는 국내 계선주(Mooring Bollard)를 직주(Mooring post)와 곡주(bollard)로 나누어 주요 제원을 통해 작용력에 대한 한계항복강도를 분석하고, 계선주에 작용하는 견인력에 따른 힘을 수평력과 수직력으로 나누어 실제 미치는 힘에 대한 휨 응력과, 전단응력과 비교하는 성능 평가 방법을 제안하였다. 또한, 수치적 계산을 통해 국내 계선주의 규격별 성능을 평가 하고 한계 성능에 도달할 것으로 예측되는 강재의 최소 두께를 산출하였다.

2. 계선주 설계기준

계선주 성능 평가를 위하여 항만의 시설물 설계를 제안하는 항만 및 어항 설계기준(2017)의 계선주에 작용하는 힘과 재질 등 관련 기준을 분석하였다.

2.1 계선주에 작용하는 힘

선박에 의해 계선주에 작용하는 힘인 견인력은 직주와 곡주로 나누어 분석한 결과 총톤수를 기준으로 200톤에서 250,000톤까지 12단계로 분류되어 있다.

다음 Fig.1과 같이 각 단계별 견인력은 1~6단계인 총톤수 10,000톤 이하의 규모의 선박들에 대하여 견인력이 10톤 단위로 증가하였으나 7~12단계의 10,000톤 이상의 선박들의 경우 선박의 규모의 증가에 따라 견인력이 50톤 단위로 증가하는 것으로 명시되어 있다.

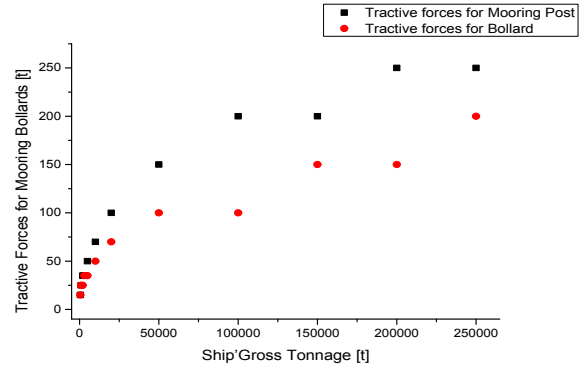


Fig. 1 Tractive forces by ship's G/T

설계 기준상 계선주에 적용하는 견인력이 총톤수 5만톤 이후 선형에 따라 견인력이 일정하게 증가하는 것이 아닌 불규칙한 증가로 인해 직주와 곡주의 견인력의 차가 50~100톤으로 불규칙 차이가 발생한다.

이러한 선박의 규모별 견인력을 비교한 결과 직주는 10만과 20만톤에서 견인력이 상대적으로 강하게 평가되어 있고 곡주는 10만톤과 20만톤의 선박에 대하여 상대적으로 견인력이 낮게 평가되어 있는 것으로 분석되었다.

2.2 계선주 설계

설계기준에서 재질은 총톤수 200톤 이상 선박을 대상으로 하는 계선주는 주강으로 제작 할 것을 명시하고 있고 이때 주강은 한국산업기준 (2016)의 KS D 3710 에 따라 탄소강 단강품이다.

계선주의 구조에 대하여 선박의 견인력에 따른 최소 직경을 제시하고 있으며, 다음 Fig.2와 같이 처음 5cm 증가 시 견인력은 5톤 증가하나 11단계의 경우 5cm 증가 시 견인력은 50톤 증가하고 있다.

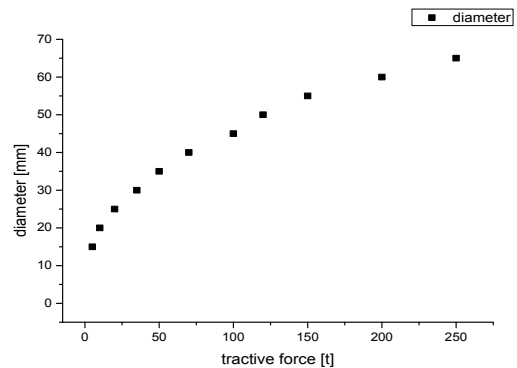


Fig. 2 Relationship between tractive force and diameter of bollard

3. 성능 평가 구성 요소

계선주 성능 평가 기준 구성을 위해 설계기준상의 계선주에 작용하는 힘인 견인력의 적용 적정성, 견인력에 따라 실질적인 작용력에 대하여 분석하여야 한다.

3.1 견인력

설계기준의 견인력의 적정성을 분석하고자 국내 항만들에 대하여 계류안전성 평가를 통해 다양한 견인력을 산출한 해상교통안전진단 등을 포함한 7건의 계류안전성평가 연구인 Jeju (2013)(2012), Ulsan (2011)(2016), Pohang (2016), Incheon (2011) (2012). 에서 수행된 8개 부두 10개 선석의 평가 결과와 비교하였다.

다음의 Table 1과 같이 부두의 특성과 선종. 그리고 부두에 작용하는 외력조건에 따라서 작용하는 견인력의 차이가 발생하나 모두 설계기준에서 제시한 견인력이 기준 이하의 조건을 만족하였으며, 평가 시 외력 조건은 설계기준상에 직주의 경우 풍속 25~30 m/s, 곡주의 경우 15m/s의 풍속까지 계류할 수 있도록 제시되었으며 10개 선석에 대한 계류안전성 평가는 설계 기준에서 제시하는 풍속 조건과 유사하게 시행되었다.

Table 1 Maximum tractive force acting on Bollard

Ship [G/T]	Bollard [t]	standard		A [t]	B [t]	C [t]	D [t]	E [t]	F [t]
		Post [t]	Bollard [t]						
4,000	35	50	35	5.8	6.1	6.5	10.2		
	35	50	35	15.1	19.9	16.6	15.2	17.5	13.8
5,000	35	50	35	16.9	26.9	16.6	15.3	24.5	17.4
	50	70	50	36.4	31.4	0.4	37.1	34.4	17.8
8,000	50	70	50	12.8	11.7	14.8	13.0	11.4	15.1
	50	70	50	16.0	17.6	15.7	14.8	20.4	20.3
9,000	50	70	50	17.6	16.7	23.5	18.7	17.5	13.8
	50	70	50	21.3	18.3	24.3	26.2	24.5	17.4
25,000	100	150	100	43.5	42.9	34.4	26.9	40.6	41.8
50,000	100	150	100	18.0	14.3	18.0	11.5	11.0	17.7
	100	200	100	36.1	74.3	27.0	23.9	57.6	47.6
65,000	100	200	100	38.7	97.9	35.6	25.1	99.6	66.9
	100,000	100	200	100	31.4	21.6	21.7	54.4	23.5
150,000	200	200	150	191.7	84.5	38.1	20.7	59.7	197.3

선행 계류안전성 평가에서 분석한 견인력과 설계기준에서 제시한 견인력을 비교한 결과 설계기준에서 제시한 견인력은 다양한 항만의 조건들을 고려하여 최대로 작용하는 상황을 고려한 것으로 평가되며, 본 연구에서는 계선주의 성능 평가를 위하여 작용하는 힘은 설계기준상에서 제시하는 견인력을 적용하였다.

3.2 작용 응력

계선주에 견인력이 작용하게 되면 수평 방향과 수직 방향에서 하중이 발생하게 된다. 수평 방향의 휨과 수직 방향의 휨의 작용에 따라 계선주에 휨이 발생하게 하는 굽힘력이 발생

하고, 굽힘력에 따라 계선주에는 휨 응력(Bending Stress)이 발생한다. 수평 방향의 힘에 의해 계선주가 부두로부터 탈락을 발생시키는 전단력이 발생하고, 전단력에 따라 전단응력(Shearing Stress)이 발생한다.

이러한 견인력에 따른 휨 응력과 전단 응력에 대하여 계선주에 실제 작용하는 응력을 평가하기 위하여 계선주에 형상을 반영하여 산출식을 적용하였다.

계선주는 원형의 단면에 중앙이 비어있는 원통형의 구조로 이러한 원통형의 단면에 작용하는 응력을 산출하였다.

3.2.1 최대 휨 응력(f_{max})

수평력과 수직력이 합산된 최대 휨 모멘트(M_{max})에 의해 발생하며, 원통형 구조의 휨 응력은 다음 식(1)과 같이 산출한다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016).

$$f_{max} = \frac{M_{max}}{S} \quad (1)$$

여기서 M_{max} : 최대 휨 모멘트 [N],

S : 계선주 단면계수(원통) [mm]

단면계수(S)는 식 휨 모멘트에 따라 비례하여 발생하는 저항값으로 계선주의 형상에 기초한 식(2)와 같은 원의 단면계수이며, 계선주의 내부가 비어 있는 원통형의 형상임 감안하여 외경에서 내경의 차를 반영하였다.

$$S = \pi \times D^3 / 32 \quad (2)$$

$$D = d_1 - d_2 \quad (d_1 \text{ 외경, } d_2 \text{ 내경})$$

3.2.2 최대전단응력(v_{max})

작용 수평력에 의해 발생하며 다음 식(3)과 같이 산출한다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016).

$$v_{max} = d_s \times \frac{V_H}{A_s} \quad (3)$$

여기서 d_s 전단계수(강재) : 2, V_H : 작용 수평력

강재의 단면적 (A_s)은 식(4)와 같이 계선주의 원통의 형상을 반영하여 원의 단면적을 바탕으로 외경과 내경의 차를 통한 원통의 단면적으로 산출한다.

$$A_s = \frac{\pi \times (d_1^2 - d_2^2)}{4} \quad (4)$$

여기서 d_1 외경, d_2 내경

4. 계선주 성능 평가

성능 평가 기준 구성에서 검토한 작용 응력이 항복강도를 초과하게 되면 계선주의 파손, 절단, 탈락이 발생하게 됨에 따라 계선주의 재질 및 규격에 따른 강도와 계선주 작용 응력과 비교하여 계선주의 성능 만족 여부를 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 작용 응력과 계선주의 항복강도가 동일한 지점이 계선주의 성능 한계로 평가 할 수 있다.

4.1 계선주 항복강도

응력에 대한 항복강도와 비교하기 위하여 계선주의 항복강도를 분석하였고 계선주의 재질에 따른 최소항복강도와 각각의 응력에 대한 저항 계수를 조사하여 각 응력에 따른 최소항복 강도를 분석하였다.

국내 계선주의 휨응력과 전단응력에 대한 항복강도를 기준을 구하고자 계선주 재질인 강재의 한국산업기준(2016)에 따른 최소항복강도 (F_y) 245 Mpa (2,498kgf/cm²)와 계선주 형태를 반영한 원통형 강재의 휨과 전단에 대한 저항계수를 통하여 각 상황별 항복강도를 산출하였으며 휨에 대한 저항계수 (Φ_f)와 전단에 대한 저항계수 (Φ_v)은 국토교통부의 한계상태 설계법(2016)에서 제시된 각각 1.00으로 기준으로 산출하였다.

계선주의 각 응력별 최소항복강도는 휨 응력과 전단응력에 대하여 245 Mpa 이상의 응력에서 항복점에 도달하며 견인력에 따른 계선주별 응력 평가 시 245Mpa 이하로 산출되면 적정한 성능을 유지하는 것으로 평가된다.

4.2 계선주 규격

견인력에 따른 작용 응력 산출을 위하여 수평력과 수직력에 따른 작용 모멘트를 산출하여야 하며 작용 모멘트 산출을 위해 계선주의 각부 상세 제원 및 작용 하중점을 조사하였다.

계선주 직주(Mooring post)와 곡주(bollard)는 다음의 Fig.3와 같이 각 부의 상세 제원을 조사하였다.

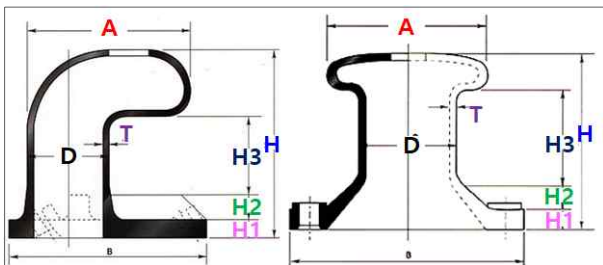


Fig. 3 Mooring post and bollard section

Fig. 3에 따른 계선주의 각부 제원(A 헤드의 직경, D 몸통의 직경, T 두께, H1 하부 철판 높이, H2 하부지지 철판 상부에서 매립 설치시 지표면, H3 지표에서 헤드 하부 높이)을 다

음과 같이 조사하였다.

직주와 곡주 모두 규격의 증가에 따라 상세 제원이 증가하였으나 25톤과 35톤에서 동일한 제원으로 설계되어 두께만 증가하는 것으로 분석되었다. 계선주의 두께의 경우 곡주의 경우 25톤 이후 두께가 증가하였으며 직주의 경우 35톤 이후 증가하였고 그 이하의 규격에서는 동일한 두께로 제작되었다.

Fig. 4와 Table 2와 같이 곡주 25톤 규격과 35톤 규격은 두께(T)를 제외한 타 제원에서 동일한 제원으로 제작 및 설치되고 있으며, 두께만 4mm 증가하는 것으로 분석되었다.

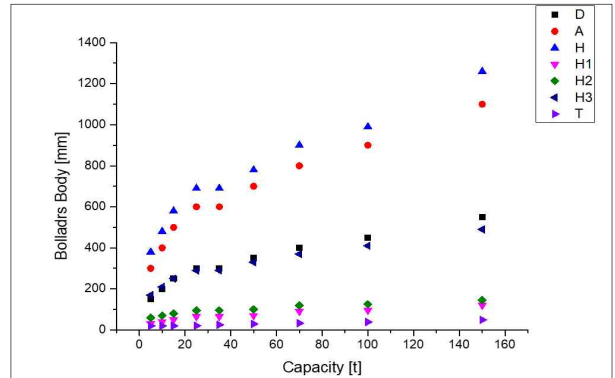


Fig. 2 Specifications of bollard

Table 2 Thickness of Mooring bollards

CAPACITY [t]	5	10	15	25	35	50	70	100	150	200
Bollard	20	20	20	21	25	29	33	39	49	-

Fig. 5와 Table 3 같이 직주 25톤 규격과 35톤 규격은 동일한 제원으로 제작 및 설치되고 있다.

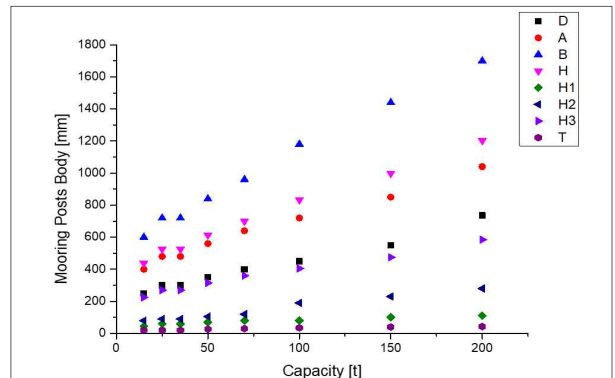


Fig. 5 Specifications of mooring post

Table 3 Thickness of Mooring post

CAPACITY [t]	5	10	15	25	35	50	70	100	150	200
Mooring Post	-	-	20	20	20	27	30	35	40	43

Fig. 4와 Fig. 5의 계선주 상세 제원을 분석한 결과 직주와 곡주 모두 25톤 규격과 35톤 규격이 유사하며 향후 성능 평가

시 35톤 규격의 계선주가 선박에 의해 계선주에 작용하는 견인력 대비 성능이 상대적으로 떨어질 것으로 예상된다.

4.3 계선주 작용력 별 하중점

계선주는 하부가 부두 또는 육상에 매립되어 설치되며 수평력은 부두면에서 계선주에 작용하며 수직력은 계류삭에 매어짐에 따라 작용점이 발생한다.

계선주 설치시 Fig.3의 H1과 H2가 부두에 매설되어 설치되며, 수평력은 H1과 H2 상부의 육상면의 구조적으로 가장 직경이 작아지는 위치점에 가장 강하게 작용하게 되고 수직력은 직경이 가장 작은 원통형 H3의 1/3 지점에 가장 강하게 작용함으로 해당 지점을 수직력과 수평력의 작용점으로 적용하였다.

국내에서 설치된 계선주에 작용하는 견인력에 따른 수직력과 수평력의 작용점을 다음 Fig.6과 같이 분석하였으며, 일반적으로 직주가 곡주보다 높은 위치에서 작용하는 것으로 분석되었다. 35톤 규격의 계선주에서 직주의 수평력 작용점은 260mm 지점이며 곡주는 230mm 지점에서 작용하는 것으로 조사되었다.

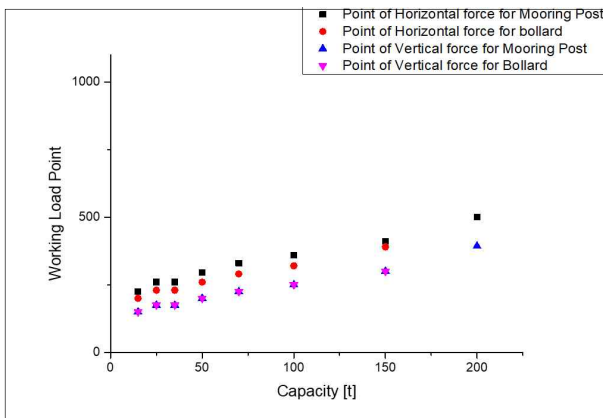


Fig 6 Working load of mooring bBollards

4.4 규격별 힘 응력 산출

휨 모멘트는 수평력과 수직력에 의하여 발생하며 수평력과 수직력을 합하여 가능한 최대 휨 모멘트를 산출하였다.

다음 Fig. 7과 같이 계선주 규격별 곡주와 직주의 휨모멘트 분석 결과 15톤에서 100톤에서 직주는 곡주의 약 85% 수준으로 분석되었고, 150톤에서 약 81% 수준으로 평가되었다.

35톤 규격의 계선주의 휨 모멘트를 비교하면 곡주는 약 141,750kN/mm, 직주는 약 121,625kN/mm 로 약 85%수준으로 직주는 설계기준상 수직력이 절반만 작용한다고 제시되어 모멘트 분석 결과 곡주에 비하여 낮은 작용력이 평가되었다.

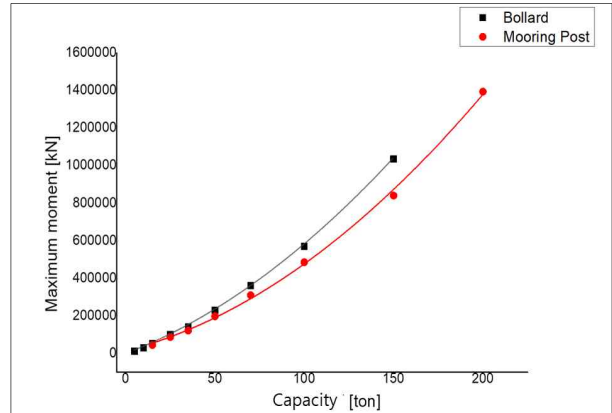


Fig. 7 Maximum moment of mooring bollards

최대 힘 모멘트를 바탕으로 식(1)을 통해 계선주의 규격별 휨 응력을 산출한 결과 Fig.8과 같이 최소 항복강도(245Mpa)의 60% 이하로 제작 시 안전 성능 한계를 만족하였다.

곡주 대비 직주의 휨 응력은 15와 25톤에서는 86%와 89%로, 50톤에서 150톤에서는 91% ~ 99%로, 상대적으로 작게 산출 되었으나, 35톤에서는 작용하는 단면이 직주가 곡주보다 작게 설계되어 직주가 131.45Mpa, 곡주가 126.93Mpa로 휨 응력이 높게 산출되었다. 또한 가장 높은 응력이 산출된 곡주의 100톤 규격에서 146.44Mpa로 평가되었다. 곡주 100톤은 설계기준상 총톤수 10만톤급의 선박까지 접안하도록 제시하고 있으며 5만톤급 선박과 동일하게 제시되어 있어 향후 10만톤급 선박 곡주에 대한 작용 견인력 검토의 필요성이 있다.

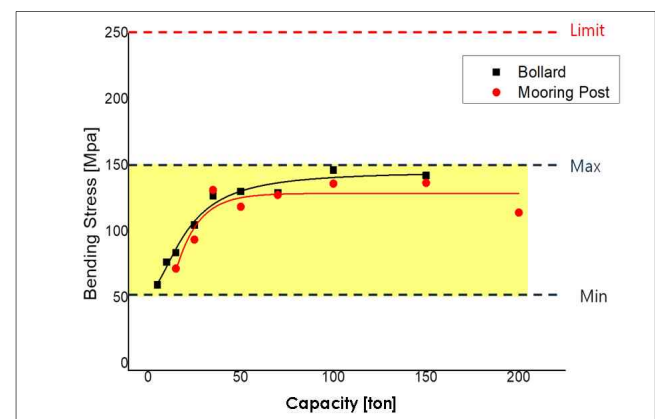


Fig. 8 Bending stress of mooring bollards

4.5 규격별 전단 응력 산출

적용 수평력을 바탕으로 식(2)을 통해 계선주의 곡주와 직주의 규격별 전단 응력을 산출한 결과 Fig.9와 같이 최소 항복강도의 20% 이하로 제작 시 안전 성능 한계를 만족한다.

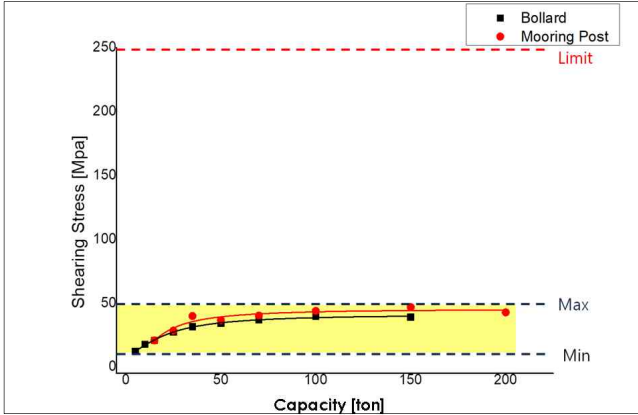


Fig. 9 Shearing stress of mooring bollards

전단응력은 곡주는 100톤에서 37.72 Mpa로 최대이며, 150톤에서 38.90 Mpa로 감소한다. 직주는 150톤에서 46.81 Mpa로 최대이며, 200톤에서 42.73 Mpa로 감소한다.

전단응력에 대한 최소 항복 강도 대비 곡주는 5톤에서 35톤의 규격까지 24%에서 52%로 증가하며, 35톤 이후 52% ~ 60%(150톤에서 60%)로 평가되었다. 직주의 경우 15톤에서 35톤까지 29%에서 54%로 증가하며, 35톤 이후 48% ~ 56%로 평가된다.

4.6 계선주 성능 한계 평가

계선주의 성능 평가에 있어 두 가지 특성이 분석되었다. 4.4의 휨 응력 산출결과 최대로 발생한 곡주 100톤을 기준으로 경우 146.44MPa가 적용되었으며 곡주 100톤의 전단 응력은 38.90MPa로 전단 응력 대비 휨 응력이 약 368%로 산출되었으며 모든 규격의 계선주에서 휨 응력이 전단 응력보다 높게 산출됨에 따라 안전 강성에 대한 성능 한계에 먼저 도달할 것으로 예측되었다.

또한 계선주에 작용하는 견인력에 따른 작용 응력은 계선주의 단면적에 작용하는 힘에 따라서 변화하게 되며 동일한 힘이 작용될 경우 단면적의 변화에 따라 작용 응력이 변화하게 된다. 즉 동일한 힘이 적용될 경우 계선주의 단면적이 감소하게 되면 작용 응력이 증가하게 되고 단면적이 증가될 경우 작용 응력은 감소하게 되며 단면적은 두께에 따라 변화한다.

따라서 두께의 감소에 따라 단면적이 감소하게 되고 작용 응력이 최소 항복 강도에 도달하게 되면 계선주의 성능 한계에 달한다고 예측할 수 있으며, 이때의 두께를 최소두께(t_m)로 안전성능 한계에 먼저 도달하게 되는 휨응력에 따른 최소두께(t_{mb})는 식(5)와 같이 산출할 수 있다.

$$t_{mb} = \frac{d_1 - d_2}{2} \quad (5)$$

여기서 d_1 외경, d_2 내경

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{M_{max}}{\Phi_f \cdot F_y} \times \frac{32}{\pi} + d_2^3} \quad (6)$$

여기서 M_{max} : 최대 휨 모멘트 [N], F_y :최소항복강도

Φ_f : 휨에 대한 저항계수

휨응력에 따른 최소두께(t_{mb}) 산출 결과, 다음의 Table 4와 같이 산출되었으며 제작시 두께인 T와 비교하여 25톤 이하의 규격에서는 50%이하로, 35톤 이상에서는 약 60%로 평가되었으며, T와 t_{mb} 까지의 여유량(t_a)이 안전성능 한계까지의 여유량으로 평가 된다.

Table 4 Analysis for thickness of mooring bollards

CAPACITY [t]	Bollard			Mooring Post		
	T [mm]	t_{mb} [mm]	t_a [mm]	T [mm]	t_{mb} [mm]	t_a [mm]
5	20	7	13	-	-	
10	20	8	12	-	-	
15	20	8	12	20	7	13
25	21	10	11	20	9	11
35	25	15	10	20	12	8
50	29	17	12	27	15	12
70	33	19	14	30	17	13
100	39	26	13	35	21	14
150	49	31	18	40	24	16
200	-	-		43	22	21

계선주는 사용에 따라 마모, 부식 등으로 강재가 지속적으로 손실되어 두께가 감소하게 된다.

따라서 계선주 규격별 항복강도에 도달하는 최소 두께를 바탕으로 지속적인 두께 계측이 또는 두께 손실에 대한 예측이 이루어진다면 계선주의 유지 관리 및 사용 기관에 따른 성능 평가에 적용할 수 있다.

5. 결 론

선박이 항만과 부두에 접안시 계류안전성 확보를 위하여 계류안전성 해석 및 평가와 관련한 연구 및 방법들이 논의되고 있으며 해상교통안전진단 등에서 계류안전성 평가가 포함되어 시행되고 있다. 그러나 실제 선박이 계류 시 접안 안전성을 확보하는 계선주에 대하여 그 평가 방법은 설치시의 제원에 대하여 대상 선박에 접안 중 환경 조건에 따라 발생할 견인력을 평가 하고 비교를 통해 분석하고 있다.

국내 계선주 관련 연구 및 설계기준 분석 결과 성능 평가에 관한 기준 적용에 한계가 있었으며, 본 연구에서는 계선주 성능을 평가하기 위한 기준을 마련하고자 계선주에 작용하는 힘인 견인력의 적정성을 평가하고 견인력에 따른 작용력을 분석하여 각각의 작용력 산출하고자 원통형 강재에 대한 휨응력과 전단응력 산출식을 적용하였다.

(1) 국내에 설치되는 규격별 계선주는 선박의 견인력에 따라 계선주 단면적에 작용하는 응력은 모두 최소 항복강도

245Mpa 대비 휨응력은 60%이하, 견인력은 20% 이하로 평가되었으며, 일반적으로 직주가 곡주보다 95%이하로 적용 응력이 낮았으며 35톤 규격에서 104%로 높게 분석되었다. 휨 응력 산출 시 곡주 100톤에서 146.44Mpa로 최대 응력이 산출되었으며 설계 기준의 견인력 분석과 비교한 결과 총톤수 10만톤급 선박에 대한 곡주의 작용 견인력 검토의 필요성이 있다.

(2) 계선주의 최소 항복강도와 작용 응력이 동일한 경우를 성능 한계로 정의하였으며 사용에 따라 마모 및 손상, 부식 등에 의하여 계선주의 두께가 변화하게 되면 계선주의 단면적이 감소하게 되며 작용 응력이 증가하게 되고, 계선주 규격별 상세 제원 중 두께를 통해 규격별 성능 한계를 제시하였으며, 설치시 계선주는 성능한계에 도달하는 최소 두께대비 약 40%의 여유량을 가지고 있었으며 두께 여유는 35톤에서 8~10mm로 가장 작은 여유량을 가지고 있었다.

(3) 계선주의 두께의 변화에 대한 계측 및 예측이 이루어진다면 계선주 성능에 대한 지속적인 평가 및 예측이 가능하며, 35톤 규격의 계선주가 두께의 여유량 즉 성능의 여유량이 가장 작아 8~10mm 성능 변화에 가장 민감할 것으로 예측된다.

후속 연구로 다양한 상황에 따른 계선주 피로 누적에 따른 강재 두께 변화 등에 대하여 계측연구 및 계선주의 성능 변화 평가가 지속적으로 이루어져 계선주 관리 기준 개발에 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] Cho, I. S., Kong, K. Y. and Lee, Y. S. (2006), A time domain analysis of moored ship motions considering tsunami resonant effects, Proceeding of the Spring Conference on Korean Institute of Navigation and Port Research, Korean Institute of Navigation and Port Research, Vol. 30, No. 1, pp. 191-197.
- [2] Cho, I. S.(2017), Behavior Analysis and Control of a Moored Training Ship in an Exclusive Wharf, Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety Vol. 23, No. 2, pp. 139-145.
- [3] Incheon Regional of Oceans and Fisheries(2011). Yeongheung Thermal Power Plant No. 5 & 6 3rd Fuel Loading Pier Marine Traffic Safety Examinations.
- [4] Incheon Regional of Oceans and Fisheries(2012), Incheon CLX 3rd berth berthing capacity enhancement project Marine Traffic Safety Examinations.
- [5] Jeju special self-governing province(2013). Seongsan Pohang border facility construction Marine Traffic Safety Examinations.
- [6] Jeju special self-governing province(2012). Basic and Detailed Design of Phase 2 of Hwasun Port Marine Traffic Safety Examinations.
- [7] Kim, S. Y., Kim, J. S., Kim, Y. D. and Lee, Y. S. (2016), A Study to Improve the Operation Criteria by Size of Ship in Ulsan Tank Terminal, Journal of the Korean Society of Marine Environmental & Safety, Vol. 22, No. 6, pp. 639-646.
- [8] Kang, W. S. and Park, Y. S.(2016), A Basic Study on Safe Mooring Guide for Dangerous Goods Berths in Ulsan Port, Journal of the Korean Society of Marine Environmental & Safety, Vol. 22, No. 1, pp. 067-073.
- [9] Korean Industrial Standard.(2016) KS D 3710 Carbon steel forgings p. 2.
- [10] Ministry of Oceans and Fisheries(2017), Guidelines for the implementation of marine traffic safety examination
- [11] Ministry of Oceans and Fisheries(2017), Port and Fishing Design Standards. KDS 64 10 10. p. 30, KDS 64 55 50. pp. 17-20.
- [12] Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2016). Highway bridge Limit state design method. Chapter 6. pp. 18-27.
- [13] Pohang Regional of Oceans and Fisheries(2016) Basic and detailed design of international passenger dock construction at Youngil Bay port in Pohang Marine Traffic Safety Examinations.
- [14] Ulsan Port Authority(2016), Construction of safety management system for unloading dangerous goods in Ulsan port. Chapter 2 Facility management plan.
- [15] Ulsan Regional of Oceans and Fisheries(2011), SK 3 pier and SK gas pier expansion Marine Traffic Safety Examinations.
- [16] Yu, Y. U.(2017) "A Study on Performance and Maintenance Standards of Mooring bollards" Korea Maritime and Ocean University, Graduate school Dissertation.

Received 31 January 2019

Revised 20 February 2019

Accepted 21 February 2019