



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위 논문

블럭 운반용 바지 계류시스템의
초기 장력 선정에 관한 연구

Determination of the Pre-tension of the Mooring
Systems of Block Transportation Barges

울산대학교

자동차선박기술대학원

설계 기술 전공

김진수

블럭 운반용 바지 계류시스템의
초기 장력 선정에 관한 연구

지도교수 이주성

이 논문을 공학석사 학위 논문으로 제출함

2017년 12월

울산대학교

자동차선박기술대학원

설계 기술 전공

김진수

김진수의 공학석사 학위 논문을 인준함

심사위원 조 상 래 인

심사위원 신 현 경 인

심사위원 이 주 성 인

울산대학교

자동차선박기술대학원

2017년 12월

블럭 운반용 바지 계류시스템의 초기 장력 선정에 관한 연구

김진수

울산대학교 자동차선박기술대학원 설계 기술 전공

요약

과거에는 고정된 설비와 공간의 제약 속에서 선박을 건조하였지만 오늘날에는 기존시설의 제약을 극복하고 설비의 증축과 발달된 선박기술로 인해 선박건조량이 증가하며 대형화되었고 그로 인해 선박에 선적하는 블럭 역시 대형화로 제작되고 있다. 이렇게 제작된 대형화된 블럭은 바지선에 선적 후 해상 운송하여 납품하게 되는데, 항내에 계류되어 있는 바지선에 대형화된 블럭을 선적 하는 동안 생길 수 있는 순간의 사고는 블럭 제작에 소요된 수 개월의 제작 시간과 비용의 손해를 불러오고 나아가 프로젝트 공정작업에 차질을 발생시킨다. 그러기에 계류 중인 바지선의 계류라인 안전성의 해석은 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구는 국내 중견 조선소에서 많이 사용하는 블록 운반용 바지선 3기를 선정하여 계류에 사용되는 계류라인의 안전성을 KR, GL Noble Denton 표준서를 기준으로 평가하고자 한다. 먼저 바지선의 계류라인에 초기 장력(Pre-tension)을 적용하여 미적용시와 비교한 후 이를 바탕으로 바지선에 적용되는 계류라인 초기 장력(Pre-tension)의 필요성을 도출하며 마지막으로 바지선의 계류라인에 적용되는 초기 장력(Pre-tension)의 범위를 산정할 것이다. 이를 토대로 어떠한 선적환경 조건이 주어진다 하더라도 바지선의 계류라인의 최적배치를 쉽게 실행할 수 있도록 안전하고 효과적인 바지선의 계류를 위한 방법을 찾는데 이 연구의 목적이 있다.

계류의 설계에서 계류라인의 내력 계산의 일환으로 계류 계산 프로그램 옵티머어(OPTIMOOR / TTI Software)을 이용하여 정적 해석 결과를 도출하고 이를 바탕으로 계류라인의 초기 장력(Pre-tension)에 대한 적용 기준을 제시하고자 한다.

목 차

1. 서론.....	1
1.1 국내 바지선 운영 현황.....	1
1.2 계류 라인 검토의 필요성.....	1
1.3 설계 및 연구 방법.....	2
2. 본론.....	3
2.1 계류.....	3
2.2 계류설계 조건.....	4
2.3 계류 설계 환경 조건.....	6
2.4 계류 라인의 초기 장력 배경.....	7
2.5 계류 라인의 초기 장력 목표.....	8
2.6 계류 라인 계산 방법.....	9
2.7 계류 라인 사양 및 계산 안전율.....	14
2.8 계류 라인 내력 계산 Case I (Not apply pre-tension).....	15
2.9 계류 라인 내력 계산 Case II (Apply pre-tension).....	24
2.10 계류 라인 내력 계산 Case III (Pre-tension D40, 50 & 60mm).....	30
3. 해석 결과.....	34
4. 결론.....	40
참고문헌.....	42
Abstract.....	44

표 목차

Table.1 Weather criteria	-----	6
Table.2 Engineering Properties of Air and Water	-----	13
Table.3 Polypropylene rope data	-----	14
Table.4 Mooring design safety factors	-----	14
Table.5 OPTIMOOR results data introduction	-----	20
Table.6 Line-4 & 8ea 계류라인 장력 결과 (Case I - DWT 4000 barge)	-----	21
Table.7 Line-4 & 8ea 계류라인 장력 결과 (Case I - DWT 10000 barge)	-----	22
Table.8 Line-4 & 8ea 계류라인 장력 결과 (Case I - DWT 20000 barge)	-----	23
Table.9 Line-4ea 계류라인 장력 결과 (Case II - DWT 4000 barge)	-----	28
Table.10 Line-4ea 계류라인 장력 결과 (Case II - DWT 10000 barge)	-----	29
Table.11 Line-4ea 계류라인 장력 결과 (Case II - DWT 20000 barge)	-----	29
Table.12 초기 장력 비교 결과 (Case III - DWT 4000 barge)	-----	31
Table.13 초기 장력 비교 결과 (Case III - DWT 10000 barge)	-----	32
Table.14 초기 장력 비교 결과 (Case III - DWT 20000 barge)	-----	33

그림 목차

Fig.1	Mooring plan	-----	3
Fig.2	DWT 4000 barge data & Wind load area	-----	4
Fig.3	DWT 10000 barge data & Wind load area	-----	5
Fig.4	DWT 20000 barge data & Wind load area	-----	5
Fig.5	Design optimization process	-----	9
Fig.6	Ratios of ship draft to water depth	-----	12
Fig.7	Line-8ea mooring arrangement (Case I - DWT 4000 barge)	-----	16
Fig.8	Line-8ea mooring arrangement (Case I - DWT 10000 barge)	-----	17
Fig.9	Line-8ea mooring arrangement (Case I - DWT 20000 barge)	-----	18
Fig.10	Environment input data	-----	19
Fig.11	Line-4ea mooring arrangement (Case II - DWT 4000 barge)	-----	25
Fig.12	Line-4ea mooring arrangement (Case II - DWT 10000 barge)	-----	26
Fig.13	Line-4ea mooring arrangement (Case II - DWT 20000 barge)	-----	27
Fig.14	초기 장력 비교 그래프 (Case III- a / DWT 4000 barge & Line D40mm)	-----	37
Fig.15	초기 장력 비교 그래프 (Case III- b / DWT 4000 barge & Line D50mm)	-----	37
Fig.16	초기 장력 비교 그래프 (Case III- c / DWT 4000 barge & Line D60mm)	-----	37
Fig.17	초기 장력 비교 그래프 (Case III- d / DWT 10000 barge & Line D40mm)	-----	38

Fig.18 초기 장력 비교 그래프 (Case III- e / DWT 10000 barge & Line D50mm)	-----	38
Fig.19 초기 장력 비교 그래프 (Case III- f / DWT 10000 barge & Line D60mm)	-----	38
Fig.20 초기 장력 비교 그래프 (Case III- g / DWT 20000 barge & Line D40mm)	-----	39
Fig.21 초기 장력 비교 그래프 (Case III- h / DWT 20000 barge & Line D50mm)	-----	39
Fig.22 초기 장력 비교 그래프 (Case III- i / DWT 20000 barge & Line D60mm)	-----	39

1. 서론

1.1 국내 바지선 운영 현황

바지선은 골재 채취, 화물 운송 등에 주로 사용되고 있는 것으로 교각 및 해안 블럭 등의 공사를 위해서 바다에서 운용하는 경우가 많다. 현재 국내의 중소 조선소의 주된 업무는 단위 블럭 및 단품을 제작하여 대형 조선소에 납품하는 것으로 공정의 결과물은 대부분 부선, 즉 바지선을 이용하여 해상으로 운송하여 납품되고 있다.

작은 빈도로 사용되고 있는 바지선은 바람, 해류, 조석 간만의 차, 그리고 파랑 등 해상 일기가 나쁜 경우에는 운용하기가 힘들고 선박 운전자들의 바지선의 운용 능력과 그에 대한 책임이 대형 선박들보다 낮은 편이어서 관리적인 측면에서의 어려움이 수반된다. 그리고 선박은 표류나 좌초 등으로 인해 사고가 발생하며 화주의 요구 사항들에 의해 계류 시 설계가 과 설계로 이어지는 사례도 있다. 대표적인 계류 라인 문제에 의해 선박이 좌초된 사례는 보령항 현대 스피리트호 사고이다.[1]

선박용 계류장치는 로프나 체인 등을 사용하여 선박을 안벽이나 부두에 정박 및 계류시 파도의 영향을 최소화하기 위해 고정하는 장치로 바지선의 경우 정확하게 정지될 필요는 없으나 안전을 확보하기 위해서는 바지선의 계류시스템에 대한 고찰이 필요하다고 하겠다.

1.2 계류 라인 검토의 필요성

계류의 경우는 상시 계류의 상황과는 달리 작업 시간의 경과가 적다 보니 안전이 확보되지 않은 상황에서도 이루어지고 이는 사고의 안일성을 조장하며 안전사고의 발생 위험률을 높이게 된다. 계류된 바지선들은 조류에 따른 상하운동과 환경 하중(주로 바람, 파도, 조류 등)에 영향을 받아 운동량이 제한되고 경계 내의 움직임을 유지하기 위해서 허용범위 내로 구속하게 된다. 바지선의 운동을 구속하는 계류장치로는 계류 라인(Mooring), 윈치(Winch), 볼라드(Bollard), 비트(Bitt) 등이 있다.

계류장치 중 계류 라인은 유동적이고 환경 변화에 민감하여 파손, 파단이 잦다. 계류 라인의 파단은 선적 블럭의 훼손은 물론 바지선의 안전성을 위협하며 작업자의 안전을 위해 하여 물적, 인적 재앙을 불러올 수 있다. 그러므로 계류 라인의 안정성 검토가 필요하다.

본 연구는 계류 중인 바지선에 초기 장력(Pre-tension)의 효과로 계류 라인의 최소배치를 확인하여 경제성의 목적과 계류 라인에 적합한 초기 장력의 범위를 수치 예제로 도출함으로써 다른 환경조건이 주어진다고 하더라도 쉽게 최적 배치를 할 수 있도록 하는 데 안전성의 목적이 있다.

1.3 설계 및 연구 방법

본 연구는 고성 조선소에서 진행 중인 자켓(Jacket) 블럭 선적 사례를 가지고 계류 계산 프로그램 옵티무어(OPTIMOOR)을 이용하여 정적 해석(Static Analysis)을 수행한다. 프로그램의 신뢰성 확인과 초기 장력 적용 사례는 HHI에서 수행한 CLAIR RIDGE FULLY INTEGRATED TOPSIDES – CONTRACT[2], NASR FULL FIELD DEVELOPMENT PROJECT[3]를 참고하였다.

해석 결과로부터 계류 라인의 내력을 파악한 후 바지선에 적용되는 초기 장력(Pre-tension)과의 상호 관계를 분석하고 이를 통해 바지선 계류의 최적 배치를 찾는다. 또한 계류 라인의 직경에 따른 바지선에 적용되는 초기 장력(Pre-tension)의 변화 범위를 확인하고 그에 적합한 바지선의 계류를 위한 적용 기준을 찾고자 한다.

계류 설계의 경우, 기상악화 및 태풍 내습시에는 블럭의 선적과 하역을 시행하지 않는다. 선적 일시가 확정되면 최소 작업 전 3~7일간의 해양 환경을 수집하여 계류를 실시하므로 환경 조건은 일반 기상조건(Normal weather condition)을 사용한다.

2. 본론

2.1 계류

블럭 선적과 하역시 바지선은 바람, 파도, 조류에 의해 안벽에서 멀어지거나 안벽을 따라 움직이게 되는데 이때 바지선의 운동을 한정적으로 구속하는 것을 계류라고 부른다. 계류에 사용되는 계류 라인(Mooring Line)은 Fig.1에 표기하였듯이 바지선의 선미에 접안하고 안벽에는 Bitt와 바지선 Bollard를 이용하여 체결한다.

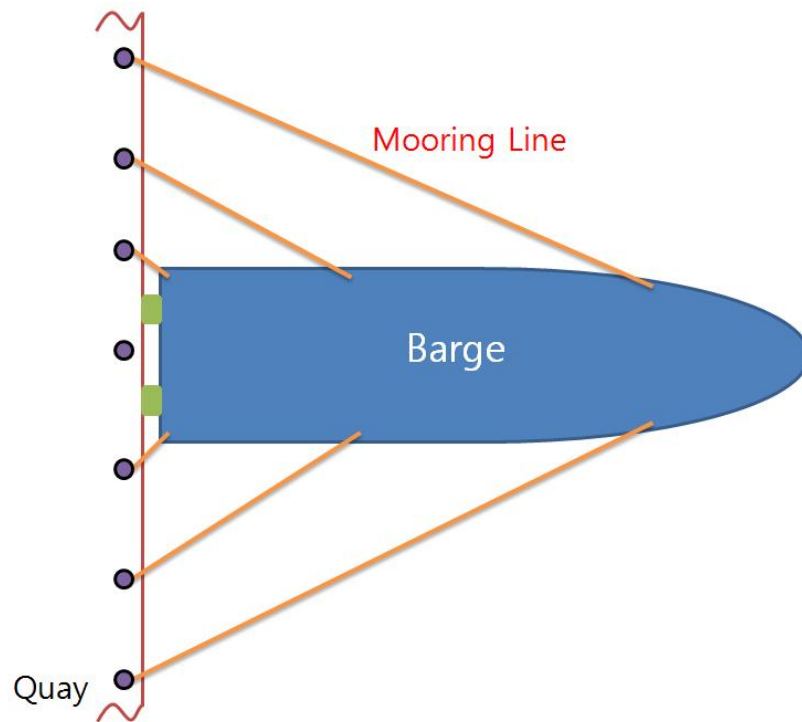


Fig.1 Mooring plan

2.2 계류설계 조건

본 연구는 Fig. 2~4 와 같이 국내에서 사용빈도가 높은 3가지 유형의 DWT(Dead Weight) 4000, 10000, 20000 용량의 블록 운반용 바지선을 가지고 각각의 용량에 맞는 블럭(자켓)을 선적하기 위한 선미 접안 계류를 연구조건으로 한다. 바람 하중 유효 면적은 자켓 구조의 특수성을 고려하여 실제 바람 하중을 영향을 받는 유효 면적을 고려한다.

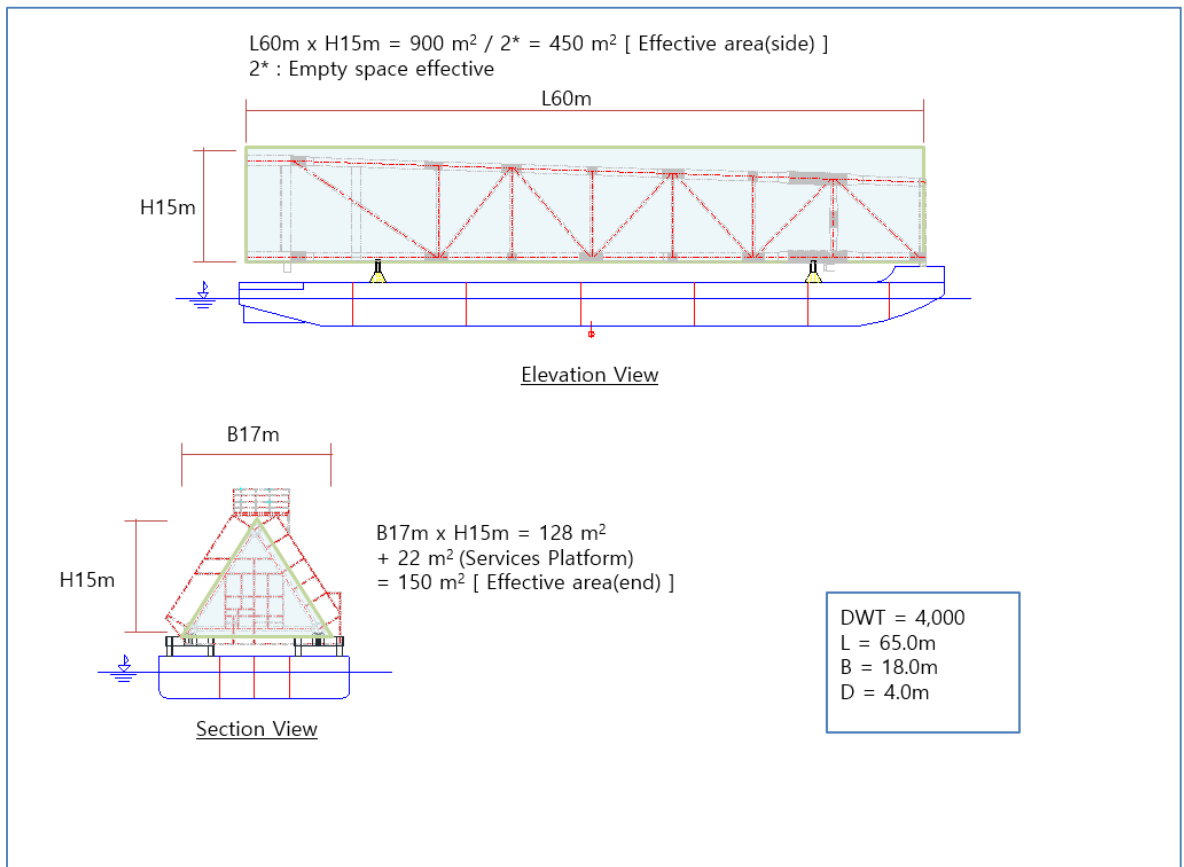


Fig.2 DWT 4000 barge data & Wind load area

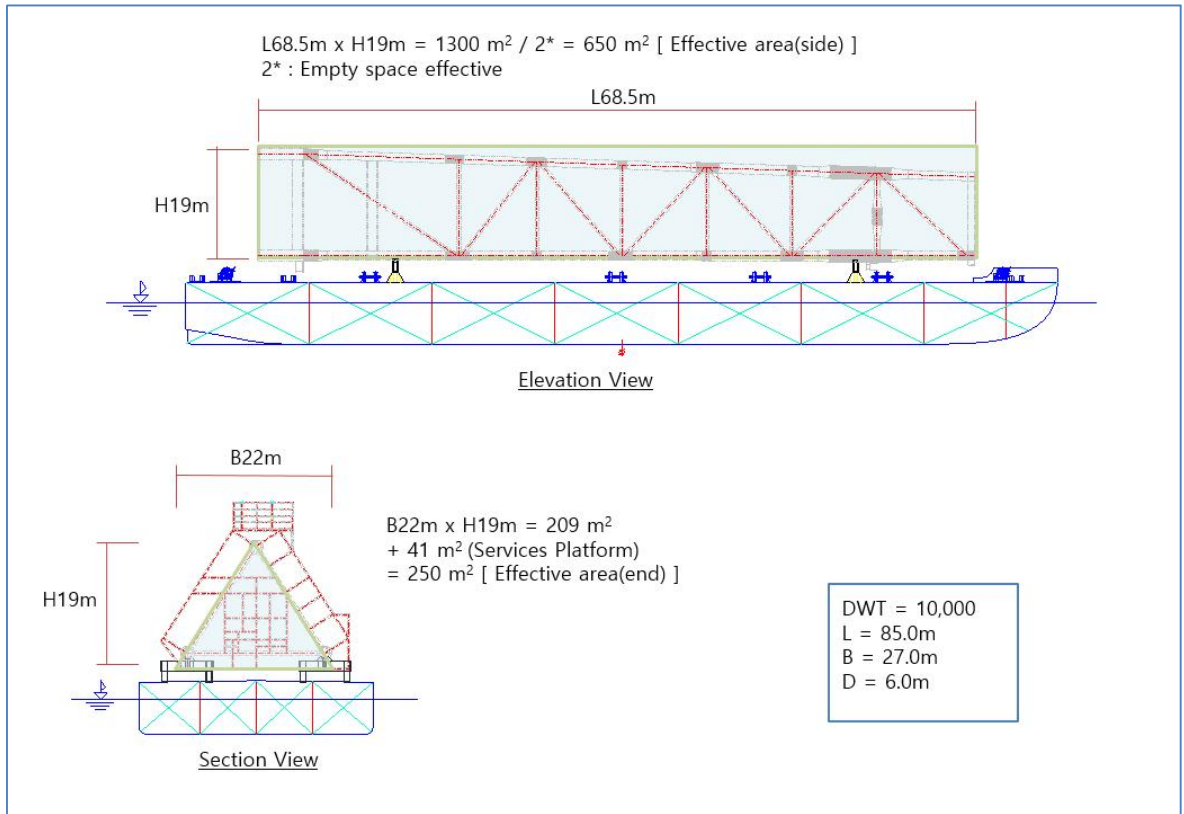


Fig.3 DWT 10000 barge data & Wind load area

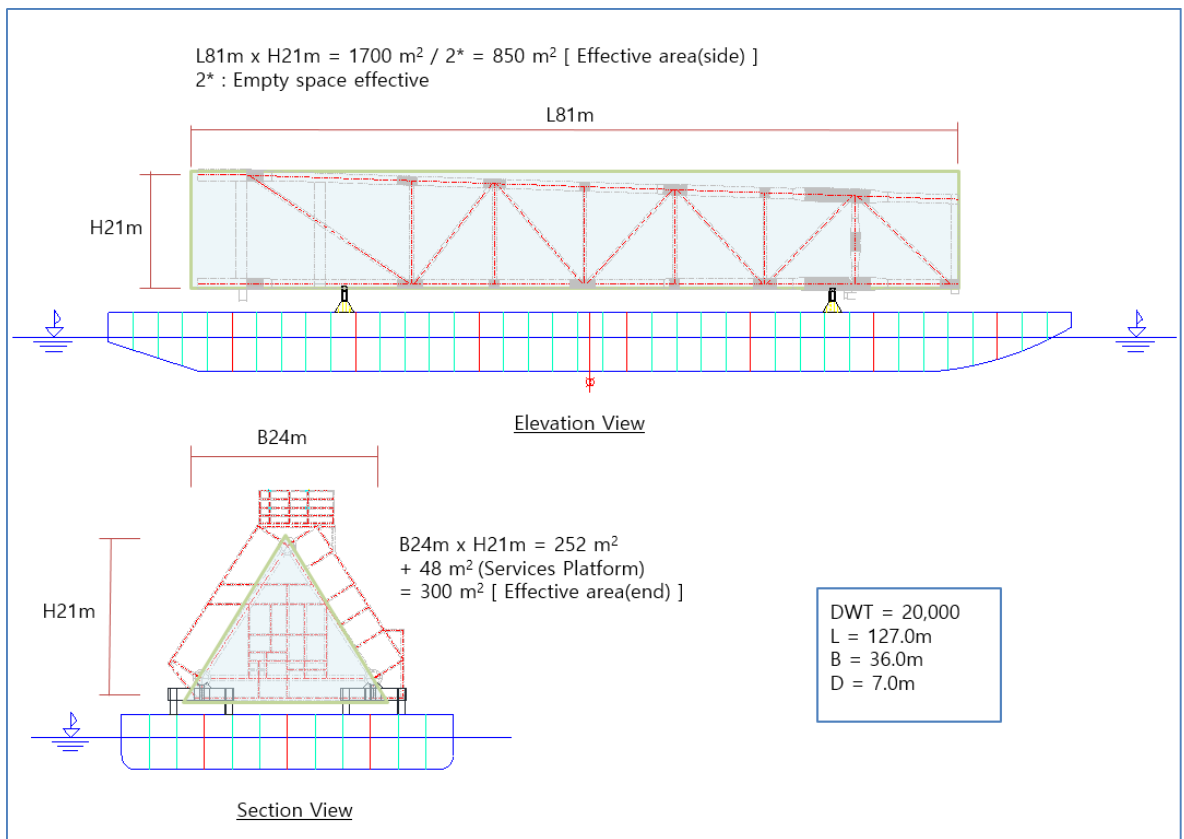


Fig.4 DWT 20000 barge data & Wind load area

2.3 계류 설계 환경 조건

한국선급(KR)의 일점 계류장치 지침[4]에 의거하여 설계 환경조건은 운용 조건과 폭풍 조건 2가지로 제시하고자 한다. 본 연구는 계류의 설계시 내력 평가가 목적이므로 환경기준은 운용 조건을 적용한다. 운용 조건이란 허용하중을 초과하지 않고 계류 상태를 유지할 수 있는 해상상태를 말하는 것으로 설계에 사용되는 바람, 파도 및 조류는 해양 및 기상전문가의 해당 자료를 기초로 한다.[4]

본 연구는 고성 조선소에서 진행 중인 자켓 선적 프로젝트 사례를 적용하기에 여가에서의 기상전문가의 자료는 거제 지역 일반 기상자료이다. 지난 3년, 2014년~17년 거제 지역의 기상청 평균 통계자료 중 가장 큰 값을 가지고 있는 2014년 2월 값을 환경조건으로 적용하였다. 거제 지역 2014년 2월의 바람, 파도 및 조류 조건은 아래 Table.1과 같다.

Table.1 Weather criteria

	Design Criteria	Remark
Wind Speed	13.5 m/s	26.2 knots
Wave Height	1.70 (Hs [m])	7.2 sec
Current Speed	0.4 m/s	0.8 knots

바지선의 운용 조건 중 환경조건에는 바람, 파도, 조류가 있다. 첫 번째로 바람(Wind)은 바람의 속도와 바람에 노출되는 바지선의 면적과 블럭 표면적에 따라 하중을 달리한다. 두 번째로 파표류력(Wave drift force)은 파도의 높이와 파도의 주기로 바지선에 영향을 주는 인자이며 마지막으로 조류력(Current force)은 조류의 유속과 바지선의 수면 하부의 침수 표면적 그리고 표면 형상에 따라 영향을 받는다. 위의 세 가지 조건 중 특히, 바람은 태양열로 인한 지표면 및 해수면의 온도차로 해상에서는 육상에 비해 강하고 잦은 빈도 관계로 블럭 설계에서 매우 중요한 요소로 작용한다.[5]

2.4 계류 라인의 초기 장력 배경

바지선의 계류 라인에 발생하는 내력을 줄이기 위해서는 펜더에 주어지는 마찰력은 증가되어야 하고 바지선의 움직임을 줄여 주는 계류 라인에 적용되는 초기 장력(Pre-tension)은 적절하게 제공될 수 있어야 한다. 이때 바지선에 적용되는 계류 라인의 내력을 감소시키면 계류 라인의 수를 줄일 수 있다.

1977년 이전에 발표된 석유 회사 보고서에서는 실용적인 견지에서 10ton 정도의 초기 장력(Pre-tension)이 만족스럽다고 주장하였으나 이후의 연구 및 실제 경험에 따르면 대형 선박 같은 경우, 선박의 움직임에 필요한 최소한의 안전을 확보하기 위해서는 10ton 이상의 초기 장력(Pre-tension)이 필요함을 알 수 있고, 계류 라인에 필요한 초기 장력(Pre-tension)의 크기는 정확하게 고정되지 않음을 확인할 수 있다.[6]

적용 수심이 매우 깊지 않은 경우는 바지선의 계류 라인에 발생하는 내력이 라인 길이 혹은 초기 장력(Pre-tension)에 매우 민감하게 응답하는 것으로 미루어 보아 바지선에 적용되는 초기 장력(Pre-tension)은 계류선 설계의 매우 중요한 인자임을 알 수 있다.[7]

2.5 계류 라인의 초기 장력 목표

계류 라인은 처음에 목표 위치에 놓여 있고 초기 장력(Pre-tension) 된 상태에서 선상에 놓일 때 이상적인 라인 장력을 나타낸다. 초기 장력 목표는 각 라인마다 다르게 지정할 수 있다. 실제, 초기 장력 목표는 결코 정확하게 달성되지 않다. 왜냐하면 일반적으로 명시된 긴장감은 평형을 가져오지 않기 때문이다. 이 옵티머어(OPTIMOOR) 프로그램은 평형을 유지하면서 각 라인의 초기 장력 목표에 최대한 가깝도록 각 라인의 초기에 끌어당김을 자동으로 조정할 수 있다.[8]

윈치 드럼과는 달리 비트에 고정된 선을 초기 장력 적용하는 것은 일반적으로 어렵거나 불가능하다. 초기 장력 부하 장비는 선수, 선미 윈치를 이용하나 윈치 사용이 어려운 위치에 놓여 있는 계류 라인은 임시 윈치(Temporarily Winch)를 설치하여 초기 장력을 부하한다.

2.6 계류 라인 계산 방법

환경 하중의 외력에 의해 움직이게 되는 바지선의 에너지는 그 바지선을 잡고 있는 계류 라인 길이의 변화에 따라 발생하는 탄성 에너지를 흡수하게 된다.[9]

계류 라인에 발생하는 탄성 에너지를 구하여 그 연구 과정을 그림으로 나타내면 Fig.5와 같다. 먼저 초기 장력(Pre-tension)이 없는 상태의 계류 라인을 바지선에 배치하여 기본 해석을 수행한다. 기본 해석을 통해 계류 라인에 발생하는 내력을 알 수 있으며 이를 바탕으로 계류 라인의 초기 장력(Pre-tension)을 적절히 조절, 적용하여 최적 배치를 수행한다. 마지막으로 최적 설계된 해석을 바탕으로 계류 라인 직경에 따른 초기 장력(Pre-tension)의 적용 값을 정립한다.

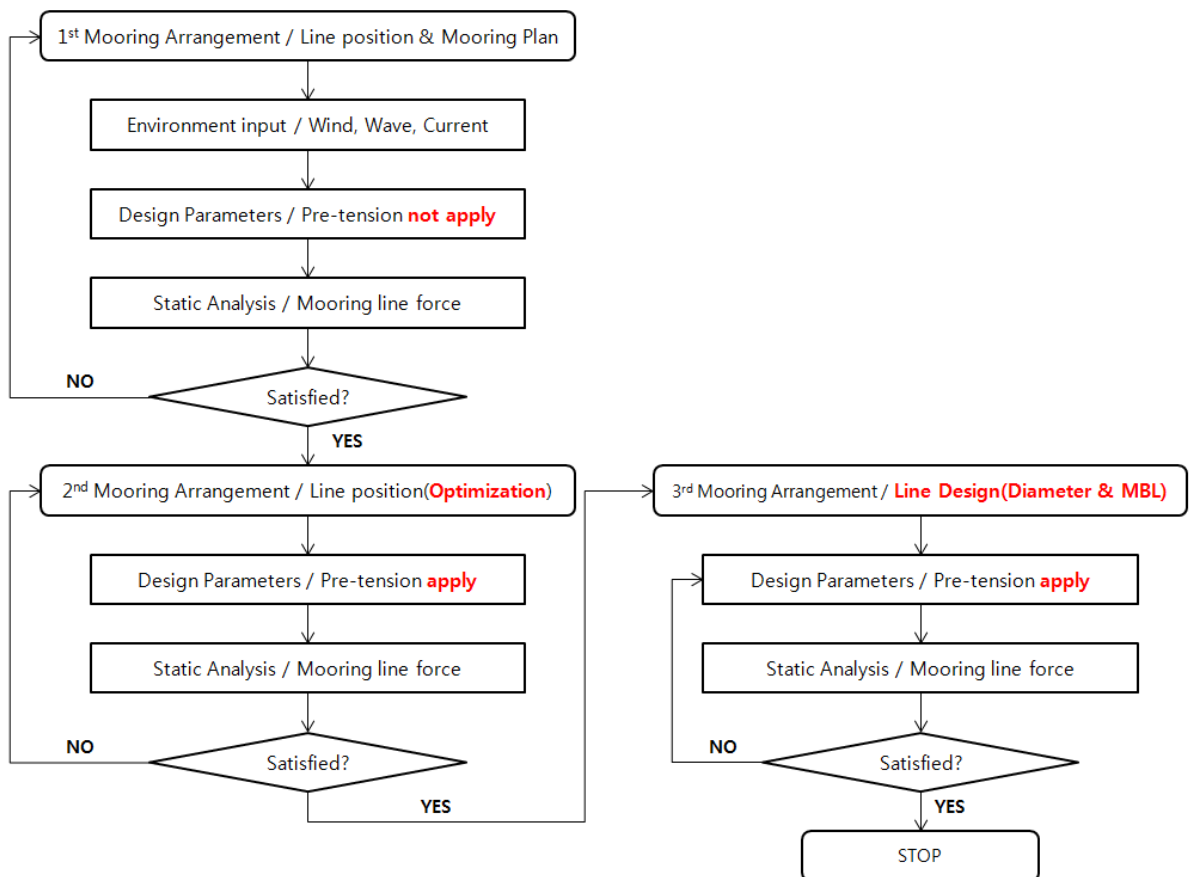


Fig.5 Design optimization process

계류 라인 계산은 라인 데이터와 위치가 변경 될 때마다, 옵티무어(OPTIMOOR) 프로그램은 계류 라인의 힘 및 모멘트 방정식을 만족시키기 위해 일련의 계산을 수행한다. 이 방정식은 옵티무어 가이드[10]를 참고하였으며, 식 (1)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\Sigma F_x + \Sigma P_x &= 0 \quad (\text{Surge}) \\ \Sigma F_y + \Sigma P_y &= 0 \quad (\text{Sway}) \\ \Sigma M_{xy} + \Sigma N_{xy} &= 0 \quad (\text{Yaw})\end{aligned}\tag{1}$$

Where

F_x = is the x vector component of an externally applied force, e.g., wind, current.

P_x = is the x vector component of a mooring line force (fenders exert no force in the x direction).

F_y = is the y vector component of an externally applied force, e.g. wind, current.

P_y = is the y vector component of a mooring line force or fender force.

M_{xy} = is the moment in the x-y plane produced by an externally applied force, e.g. wind, current.

N_{xy} = is the moment in the x-y plane produced by a mooring line force or fender force.

계류 라인의 힘 및 모멘트 방정식(1)에 필요한 바람(Wind force)은 선박의 중심선에서의 수직적인 힘의 성분으로 정의되며 이 계산식은 옵티무어 가이드[11]를 참고하였고 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

Wind Force Equation :

$$F_{xw} = 0.5 C_{xw} p_a V_w^2 A_T \quad (2)$$

Where

C_{xw} = Longitudinal wind force coefficient

C_{yw} = Lateral wind force coefficient

C_{xyw} = Wind yaw moment coefficient

p_a = Density of air (Table.2)

V_w = Velocity of wind

A_L = Lateral (side) (broadside) wind area

A_T = Transverse (end) (head-on) wind area

조류(Current force)는 선박의 아래 간격이 크면 Fig.6 (a)와 같이 바지선 아래로 자유롭게 흐를 수 있다. 간격이 작으면 Fig.6 (b)와 같이 선박이 조류의 흐름을 차단하여 선박에 주어지는 조류의 힘은 증가한다. 이러한 영향을 고려하여 조류의 힘이 결정된다. 계류 라인의 힘 및 모멘트 방정식(1)에 필요한 조류(Current force)은 선박의 중심선에서의 수직적인 힘의 성분으로 정의되며 이 계산식은 유티머어 가이드 [12]를 참고하였고 식 (3)와 같이 나타낼 수 있다.

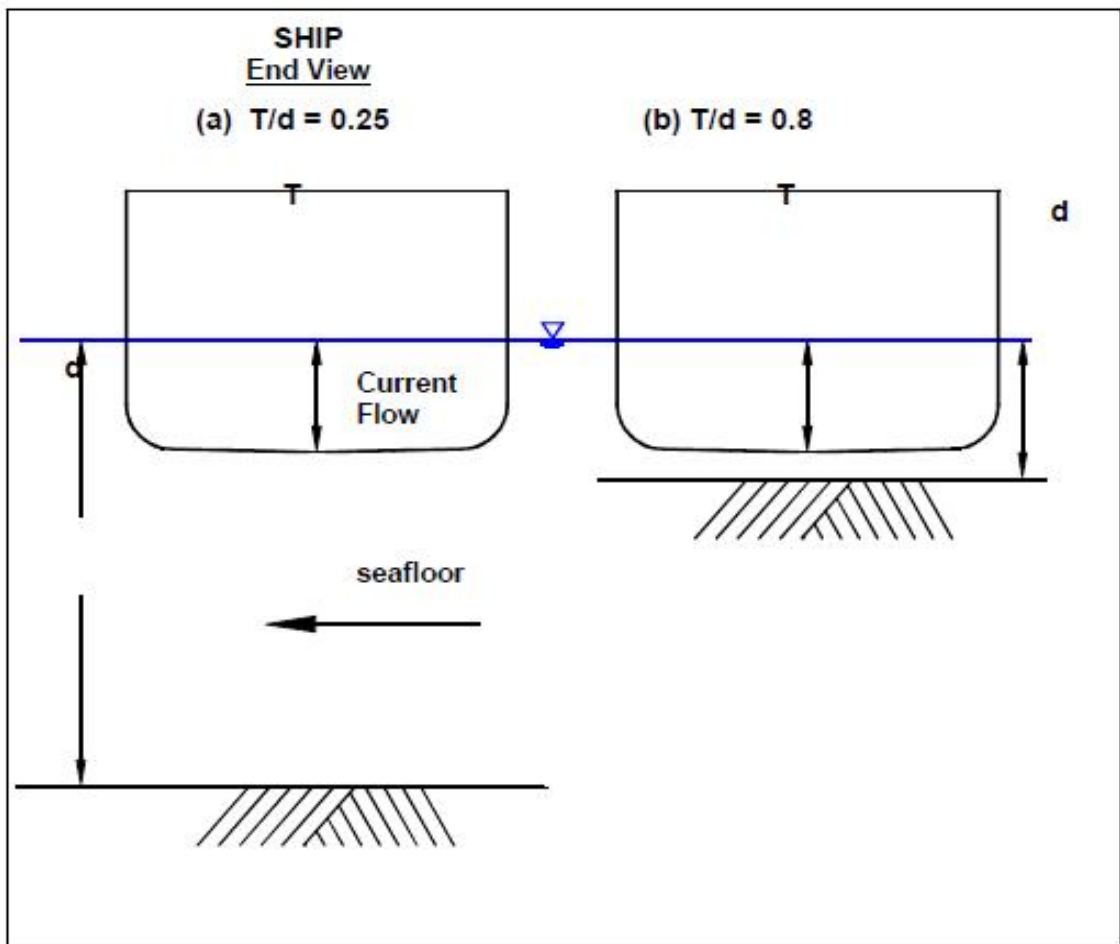


Fig.6 Ratios of ship draft to water depth

Current Force Equation :

$$F_{yc} = 0.5 C_{xc} \rho_w V_c^2 L_{BP} T \quad (3)$$

Where

C_{xc} = Longitudinal current force coefficient

C_{yc} = Lateral current force coefficient

C_{xyc} = Current yaw moment coefficient

ρ_w = Density of water (Table.2)

V_c = Velocity of current

L_{BP} = Length between perpendiculars)

T = Draft of vessel

Table.2 Engineering Properties of Air and Water [13]

(a) Standard salt water at sea level at 15°C (59°F)	
Property	SI System
Mass density, ρ_w	1026 kg/m ³
Weight density, γ_w	10060 newton/m ³

(b) Standard fresh water at sea level at 15°C (59°F)	
Property	SI System
Mass density, ρ_w	999.0 kg/m ³
Weight density, γ_w	9797 newton/m ³

(c) Air at sea level at 20°C (68°F)	
Property	SI System
Mass density, ρ_a	1.221 kg/m ³
Weight density, γ_a	11.978 newton/m ³

2.7 계류 라인 사양 및 계산 안전율

본 연구에서 사용하는 계류 라인 Polypropylene rope의 사양은 Rope standard를 참고하여 Table.3에 정리하였다. 최적 설계 해석에는 DWT 4000 Barge는 직경 40mm를, DWT 10000 & 20000는 직경 50mm를 적용하였고 최적 설계 해석 이후 계류 라인 직경에 따른 초기 장력(Pre-tension)의 적용 값을 산출하기 위한 해석에는 직경 40, 50, 60mm를 비교 분석하였다.

계류시스템 설계 안전율은 기준서 및 환경에 따라 조금씩 차이가 있다.[14] 계류 상태를 고려하여 GL Noble Denton 0032의 Line tension limits and design safety factors의 기준[15]을 참고하였으며 계류 라인의 내력 안전계수는 Table.4에 따라 MBL(Minimum Breaking Strength)에 적용하여 허용하중을 검토하였다. 여기서 "intact"이란 모든 계통이 손상되지 않은 계류 상태를 의미한다.

Table.3 Polypropylene rope data

Diameter (mm)	Type	MBL (ton)
40	8-Strand Rope	22.3
50	8-Strand Rope	33.9
60	8-Strand Rope	47.4

Table.4 Mooring design safety factors

Analysis condition	Analysis	Line Tension Limit (percent of MBL)	Design Safety Factor
Intact	Quasi-Static	50%	2.0

2.8 계류 라인 내력 계산 Case I (Not apply pre-tension)

계류 라인 내력 계산 상용 프로그램인 옵티무어(OPTIMOOR) 시스템을 사용하여 정적 하중에서의 라인 내력을 도출하였다. 펜더를 이용하여 바지선 선미 접안 후 계류 라인 직경 40 & 50mm / Rope 8-라인을 계류 조건으로 모델링 하였다.

- . DWT 4000 바지선 모델링(Fig.7)

: L65m x B18m x D4m / Wind Area =450m²(Side), 150m²(End) (Fig.2)

- . DWT 10000 바지선 모델링(Fig.8) :

: L85m x B27m x D6m / Wind Area =650m²(Side), 250m²(End) (Fig.3)

- . DWT 20000 바지선 모델링(Fig.9) :

: L127m x B36m x D7m / Wind Area =850m²(Side), 300m²(End) (Fig.4)

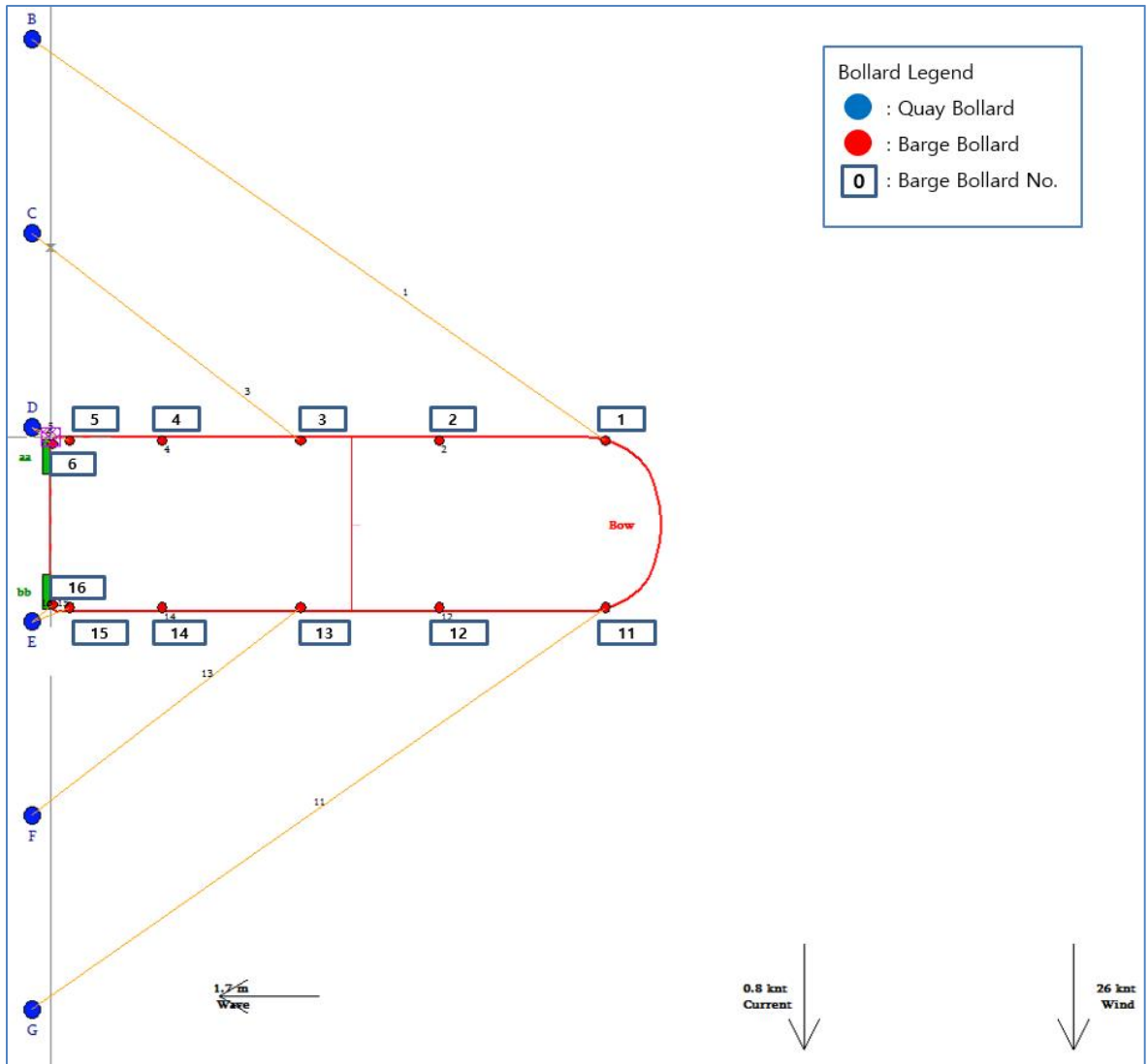


Fig.7 Line-8 sea mooring arrangement (Case I - DWT 4000 barge)

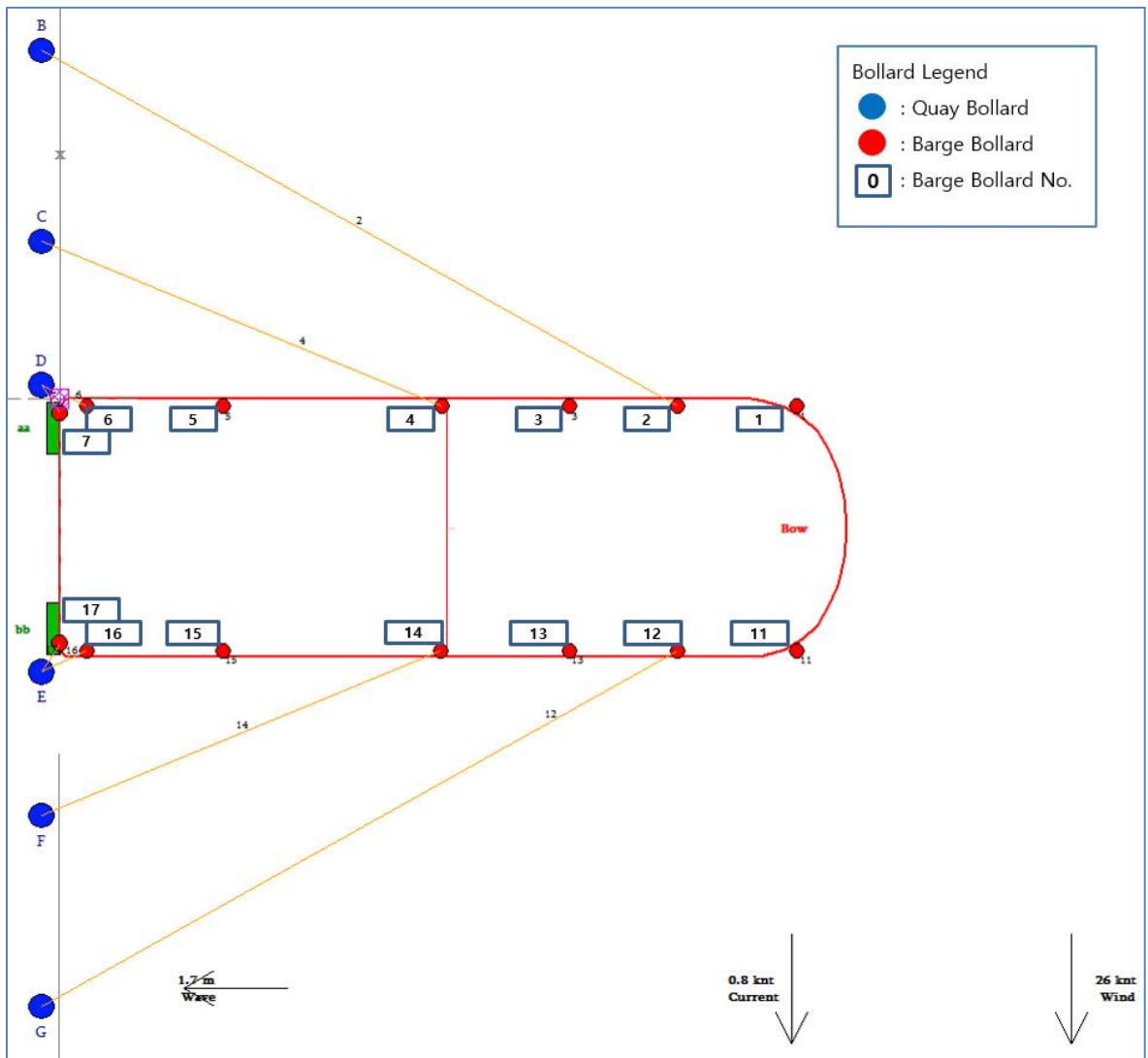


Fig.8 Line-8ea mooring arrangement (Case I - DWT 10000 barge)

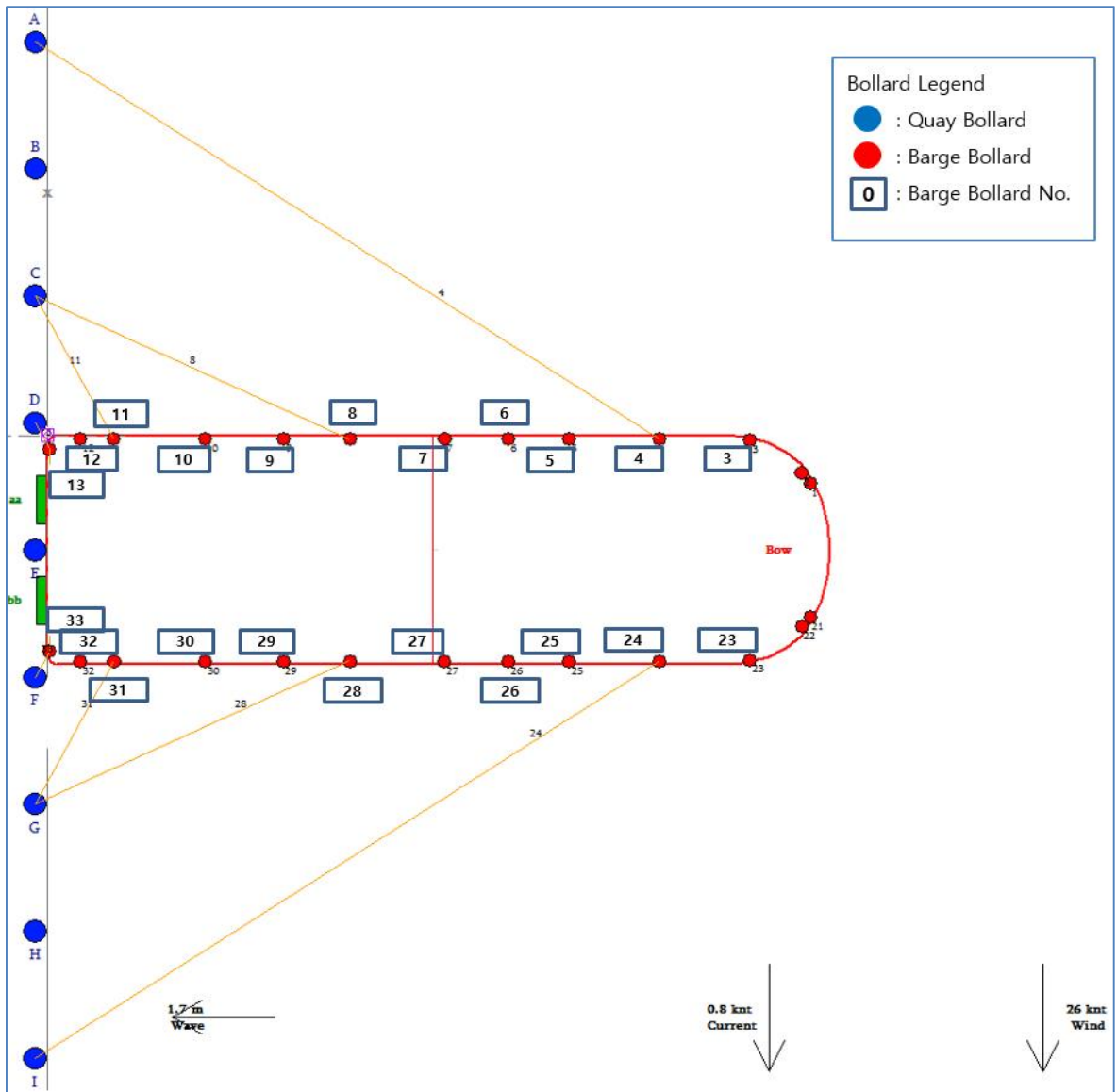


Fig.9 Line-8 sea mooring arrangement (Case I - DWT 20000 barge)

환경조건은 세 가지 바지선 모두 동일하며 Fig.10와 같고 바람 속도- 13.5m/s(26.2 knots)와 조류 속도- 0.4m/s(0.8 knots)는 바지선의 가로방향 (Transverse)으로 외력이 적용되고, 파도는 1.7m(7.2 sec)를 바다에서 육지 방향으로 적용한 보수적인 환경을 연구조건으로 설정하였다. 본 연구에서는 초기 장력의 필요성과 초기 장력 값의 범위 확인에 목적이 있다. 그래서 정적 해석을 수행함에 있어 Significant Swell Height, Natural Periods는 적용하지 않았다.

WIND		WAVES		SWELL	
Mean Windspeed (knots):	26	Significant Wave Height:	1.7	Significant Swell Height:	0.0
Wind Direction (from) True:	90°	Wave Direction (from) True:	180°	Swell Direction (from) True:	180°
Angle to Berth Line X-axis:	0°	Angle to Berth Line X-axis:	90°	Angle to Berth Line X-axis:	90°
Wind X-Force (Longitudinal):	-0.1	Average Wave Period Tz:	7.2	Average Swell Period Tz:	10.0
Wind Y-Force (Transverse):	-11.5	Mean Drift X-Force (Longt):	4.5	Mean Drift X-Force (Longt):	0.0
Wind Yaw Moment / LBP:	1.3	Mean Drift Y-Force (Trans):	0.0	Mean Drift Y-Force (Trans):	0.0
Wind Spectrum:	⊙ Steady	Mean Drift Yaw Mom / LBP:	0.0	Mean Drift Yaw Mom / LBP:	0.0
Wave response has not been set for this ship and wave motions are not calculated by Optimoor. You can specify a radius of circular motion on vessel window.					
CURRENT	Const	Tidal	Combined	Natural Periods (Approx) secs	
Velocity (knots):	0.8	-	-	Remarks:	
Dirctn (from) True:	90°	-	-		
Angle to Berth Line:	0°	-	-		
X-Drag (Longitudinal):	-0.1				
Y-Drag (Transverse):	-5.3				
Drag Yaw Moment / LBP:	0.1				

Fig.10 Environment input data

정적 해석 결과 바지선의 크기별 계류 라인의 내력을 정리하면 아래와 같고 해당 값들은 Case II에서 계류 라인의 초기 장력 필요성 검토의 기준이 된다.(Table 6~8)

- DWT 4000 barge : Line - 8ea / max. 8.8 ton (No.6-line)
Line - 4ea / max. 11.2 ton (No.6-line)
- DWT 10000 barge : Line - 8ea / max. 12.7 ton (No.7-line)
Line - 4ea / max. 15.0 ton (No.7-line)
- DWT 20000 barge : Line - 8ea / max. 16.4 ton (No.13-line)
Line - 4ea / max. 19.0 ton (No.13-line)

해석 결과를 기준서(GL Noble Denton)를 바탕으로 하여 계류 라인을 아래와 같이 검토하였다.

- DWT 4000 barge : Line - 8ea / Mooring 80% < 100% (No.6-line) -> O.K
Line - 4ea / Mooring 102% > 100% (No.6-line) -> Fail
- DWT 10000 barge : Line - 8ea / Mooring 74% < 100% (No.7-line) -> O.K
Line - 4ea / Mooring 88% < 100% (No.7-line) -> O.K
- DWT 20000 barge : Line - 8ea / Mooring 98% < 100% (No.13-line) -> O.K
Line - 4ea / Mooring 112% > 100% (No.13-line) -> Fail

옵티머어로 계산된 결과 Table 및 내력 결과 검토는 Table.6~8이다. 계류의 환경 조건에서 발생하는 내력의 값은 작았지만 최적 설계를 위한 계류 라인의 내력 기준은 알 수 있었다. 결과를 정리하면, Case I에서는 블럭 선적시 Pre-tension 없이 계류 라인 8개를 사용하여 계류의 환경조건을 만족하는 결과를 확인할 수 있다. Table.5에서는 옵티머어 결과 옵션에 대하여 설명하였다.

Table.5 OPTIMOOR results data introduction

Line	Barge bollard no.
Bollard/Hook	Quay bollard no.
Pull-in	Length variation (Tension length)
Inclination Down	Mooring line angle with horizontal plane
Tension (t)	Tension generated in mooring line(ton)
% of Strength	Load ratio on mooring rope MBL and mooring line (No design factor)

Table.6 Line-4 & 8ea 계류 라인 장력 결과 (Case I - DWT 4000 barge)

(a) Mooring Line 8ea / Result Summary

Load Case / Maximum value	Line ID with Max Tension	Tension [ton]	Allowable load [ton]	Utilization of MBL (%)
Intact Case	6-D	8.8 x 2 = 17.6	22.3	80

→ Mooring line : O.K

(b) Mooring Line 4ea / Result Summary

Load Case / Maximum value	Line ID with Max Tension	Tension [ton]	Allowable load [ton]	Utilization of MBL (%)
Intact Case	6-D	11.2 x 2 = 22.4	22.3	102

→ Mooring line : Fail

(c) Mooring Line 8ea / OPTIMOOR Result Plot

Line	1	3	5	6	11	13	15	16
to Bollard/Hook	B	C	D	D	G	F	E	E
Pull-in (m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inclination Down	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
Tension (t)	0.1	0.3	1.7	8.8	slack	slack	slack	slack
% of Strength	1%	1%	8%	40%				

(d) Mooring Line 4ea / OPTIMOOR Result Plot

Line	1	6	11	16
to Bollard/Hook	B	D	G	E
Pull-in (m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Inclination Down	0°	1°	0°	1°
Tension (t)	0.2	11.2	slack	slack
% of Strength	1%	51%		

Table.7 Line-4 & 8ea 계류 라인 장력 결과 (Case I - DWT 10000 barge)

(a) Mooring Line 8ea / Result Summary

Load Case / Maximum value	Line ID with Max Tension	Tension [ton]	Allowable load [ton]	Utilization of MBL (%)
Intact Case	7-D	12.7 x 2 = 25.4	33.9	74

→ Mooring line : O.K

(b) Mooring Line 4ea / Result Summary

Load Case / Maximum value	Line ID with Max Tension	Tension [ton]	Allowable load [ton]	Utilization of MBL (%)
Intact Case	7-D	15.0 x 2 = 30.0	33.9	88

→ Mooring line : Warning

: 계류 라인 4 개 배치도 만족을 하나 계산 허용범위가 14% 상승된 결과를 확인할 수 있다.

(c) Mooring Line 8ea / OPTIMOOR Result Plot

Line	2	4	6	7	12	14	16	17
to Bollard/Hook	B	C	D	D	G	F	E	E
Pull-in (m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inclination Down	0°	1°	5°	7°	0°	1°	6°	10°
Tension (t)	0.2	0.3	3.0	12.7	slack	slack	slack	slack
% of Strength	1%	1%	9%	37%				

(d) Mooring Line 4ea / OPTIMOOR Result Plot

Line	2	7	12	17
to Bollard/Hook	B	D	G	E
Pull-in (m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Inclination Down	2°	1°	1°	1°
Tension (t)	0.9	15.0	slack	slack
% of Strength	3%	44%		

Table.8 Line-4 & 8ea 계류 라인 장력 결과 (Case I - DWT 20000 barge)

(a) Mooring Line 8ea / Result Summary

Load Case / Maximum value	Line ID with Max Tension	Tension [ton]	Allowable load [ton]	Utilization of MBL (%)
Intact Case	13-D	16.4 x 2 = 32.8	33.9	98

→ Mooring line : O.K

(b) Mooring Line 4ea / Result Summary

Load Case / Maximum value	Line ID with Max Tension	Tension [ton]	Allowable load [ton]	Utilization of MBL (%)
Intact Case	13-D	19.0 x 2 = 36.0	33.9	112

→ Mooring line : Fail

(c) Mooring Line 8ea / OPTIMOOR Result Plot

Line	4	8	11	13	24	28	31	33
to Bollard/Hook	A	C	C	D	I	G	G	F
Pull-in (m)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inclination Down	-1°	-1°	-1°	-1°	-1°	-1°	-1°	-1°
Tension (t)	1.2	1.4	3.1	16.4	slack	slack	slack	slack
% of Strength	4%	4%	9%	48%				

(d) Mooring Line 4ea / OPTIMOOR Result Plot

Line	4	13	24	33
to Bollard/Hook	A	D	I	F
Pull-in (m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Inclination Down	-1°	-1°	-1°	0°
Tension (t)	3.6	19.0	slack	slack
% of Strength	11%	56%		

2.9 계류 라인 내력 계산 Case II (Apply pre-tension)

앞서 수행한 Case I 해석은 계류 라인에 초기 장력 없이 8개의 계류 라인을 사용하여 계류 라인을 배치하였다. 하지만 4개의 계류 라인 사용 시에는 라인에서 문제가 되는 것을 확인하였고 Case II 에서는 4개의 계류 라인 사용 시 문제가 되는 부분을 초기 장력을 적용하여 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

Pre-tension 적용을 근거로

- . DWT 4000 바지선 모델링(Fig.11) : 라인 8개(Case I) -> 4개(Case II)
- . DWT 10000 바지선 모델링(Fig.12) : 라인 8개(Case I) -> 4개(Case II)
- . DWT 20000 바지선 모델링(Fig.13) : 라인 8개(Case I) -> 4개(Case II)

즉, Case I 에서는 계류 라인 8개를 사용하였지만 Case II는 동일 환경 조건에서 초기 장력 적용으로 계류 라인 4개만으로 라인의 내력 값을 만족하는 최적배치를 도출하였다.

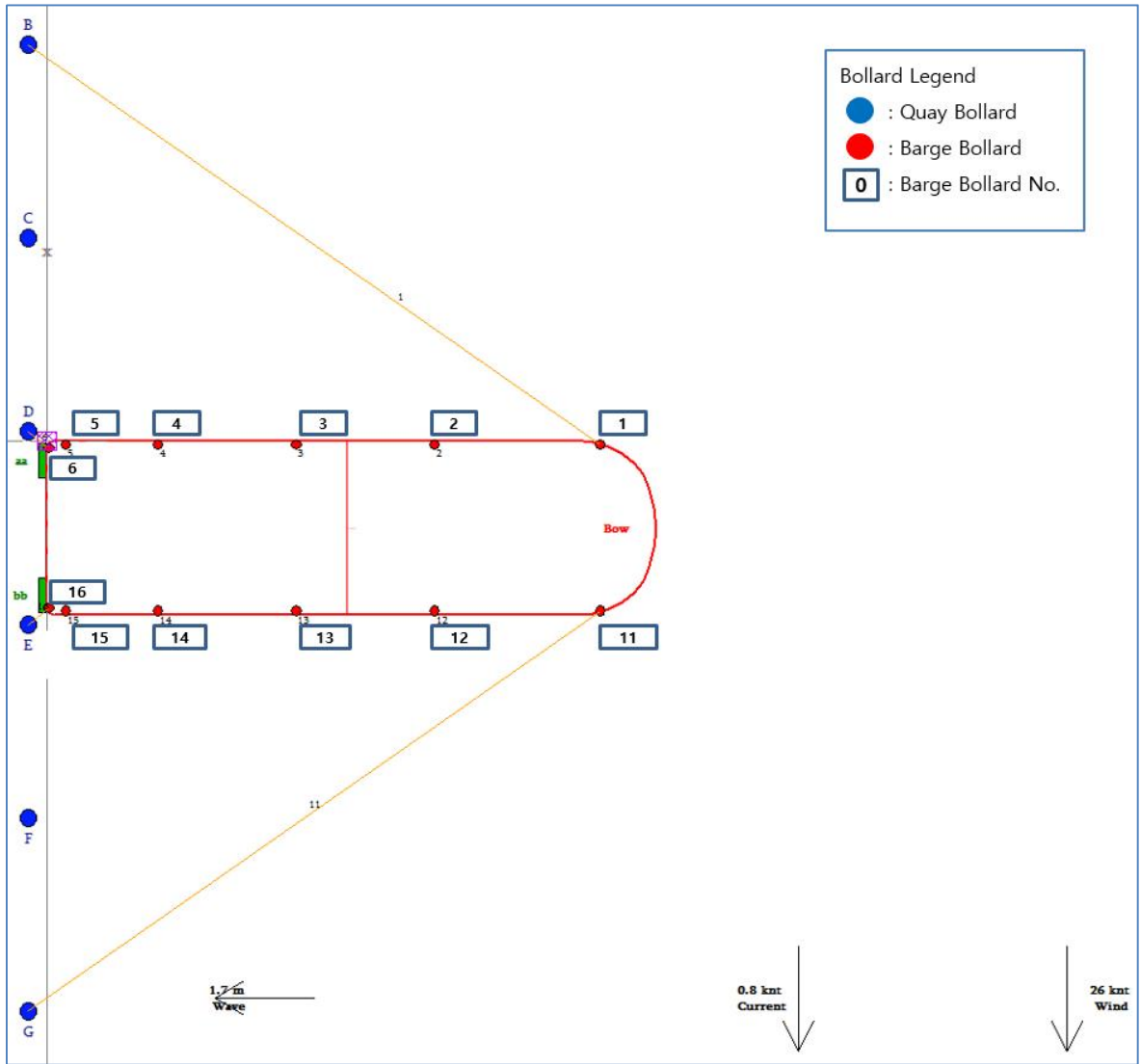


Fig.11 Line-4ea mooring arrangement (Case II – DWT 4000 barge)

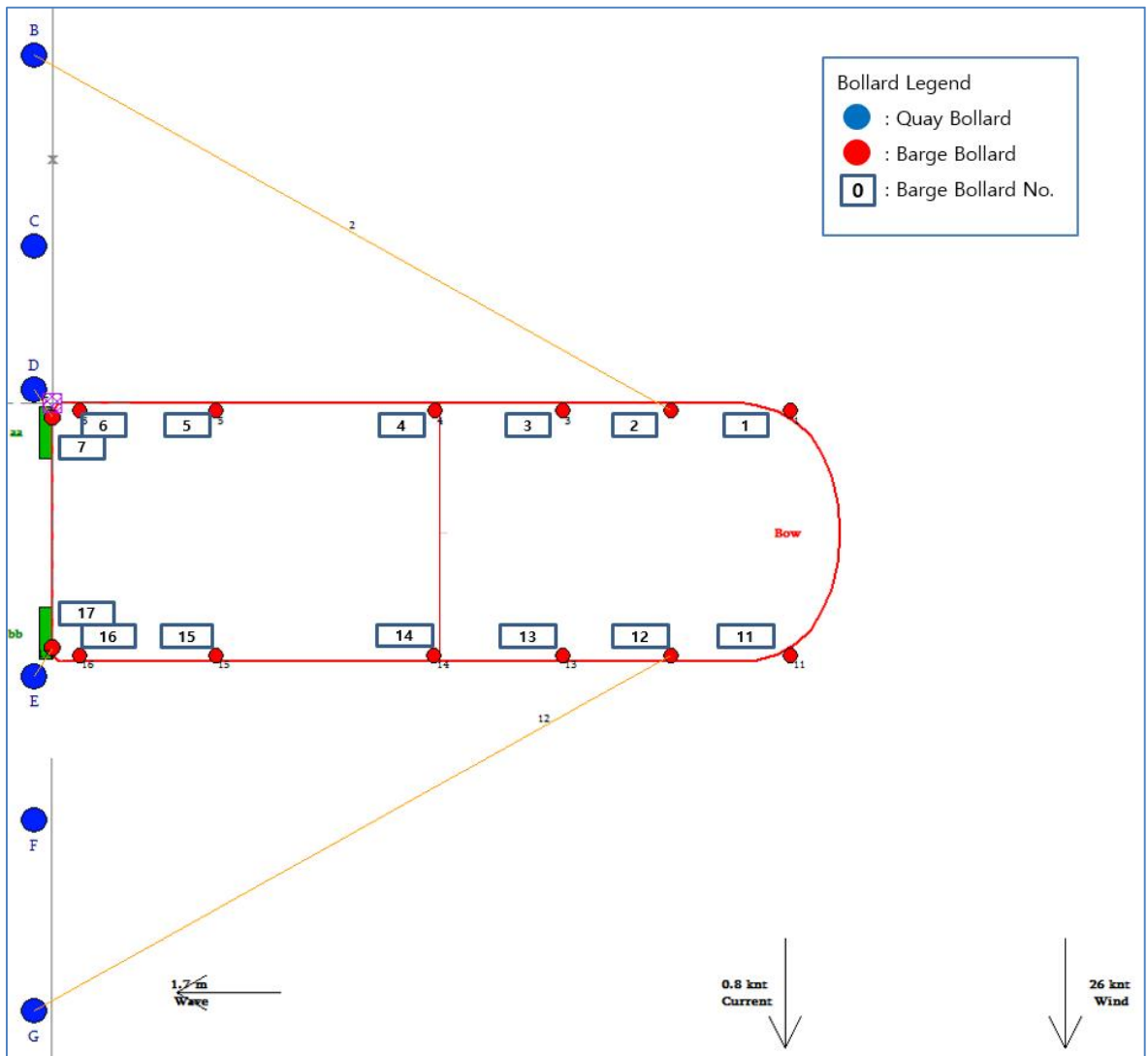


Fig.12 Line-4ea mooring arrangement (Case II - DWT 10000 barge)

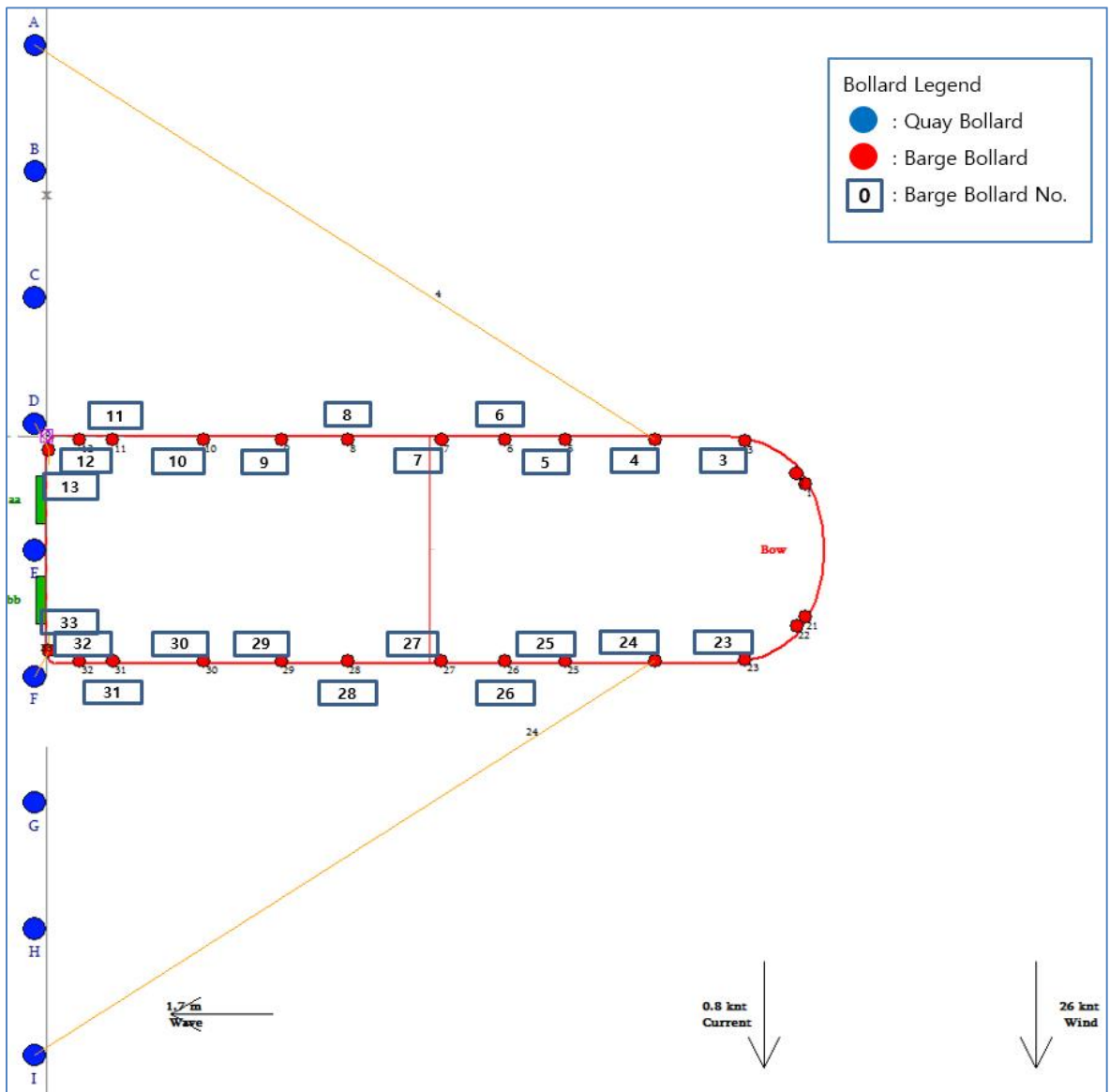


Fig.13 Line-4ea mooring arrangement (Case II - DWT 20000 barge)

Pre-tension을 적용한 최적 배치 계류 라인의 내력을 정리하면 아래와 같다.(Table 9~11)

- DWT 4000 barge : Line - 4ea / max. 9.0 ton (No.6-line)
- DWT 10000 barge : Line - 4ea / max. 12.6 ton (No.7-line)
- DWT 20000 barge : Line - 4ea / max. 16.1 ton (No.13-line)

해석 결과를 기준서(GL Noble Denton)에 바탕으로 계류 라인을 검토하니 아래와 같이 Case II 에서도 Case I 과 마찬가지로 만족하는 결과가 나타났다.

- DWT 4000 barge : Line - 4ea / Mooring 81% < 100% (No.6-line) -> O.K
- DWT 10000 barge : Line - 4ea / Mooring 74% < 100% (No.7-line) -> O.K
- DWT 20000 barge : Line - 4ea / Mooring 95% < 100% (No.13-line) -> O.K

옵티머어로 계산된 결과 Table 및 결과 검토는 Table.9~11이다. Case II 에서는 블럭 선적 시 계류 라인에 Pre-tension을 적용하여 4개의 계류 라인으로 계류 환경 조건을 만족하는 결과를 확인할 수 있었다.

Table.9 Line-4ea 계류라인 장력 결과 (Case II - DWT 4000 barge)

(a) Mooring Line 4ea / Result Summary

Load Case / Maximum value	Line ID with Max Tension	Tension [ton]	Allowable load [ton]	Utilization of MBL (%)
Intact Case	6-D	9.0 x 2 = 18.0	22.3	81

→ Mooring line : O.K

(b) Mooring Line 4ea / OPTIMOOR Result Plot

Line	1	6	11	16
to Bollard/Hook	B	D	G	E
Pull-in (m)	9.1	0.33	5.6	0.20
Inclination Down	0°	1°	0°	1°
Tension (t)	4.4	9.0	1.4	0.4
% of Strength	20%	41%	7%	2%

Table.10 Line-4ea 계류 라인 장력 결과 (Case II - DWT 10000 barge)

(a) Mooring Line 4ea / Result Summary

Load Case / Maximum value	Line ID with Max Tension	Tension [ton]	Allowable load [ton]	Utilization of MBL (%)
Intact Case	7-D	12.6 x 2 = 25.2	33.9	74

→ Mooring line : O.K

(b) Mooring Line 4ea / OPTIMOOR Result Plot

Line	2	7	12	17
to Bollard/Hook	B	D	G	E
Pull-in (m)	10.1	0.44	6.5	0.24
Inclination Down	0°	8°	0°	9°
Tension (t)	7.7	12.6	2.8	0.5
% of Strength	23%	37%	8%	2%

Table.11 Line-4ea 계류 라인 장력 결과 (Case II - DWT 20000 barge)

(a) Mooring Line 4ea / Result Summary

Load Case / Maximum value	Line ID with Max Tension	Tension [ton]	Allowable load [ton]	Utilization of MBL (%)
Intact Case	13-D	16.1 x 2 = 32.2	33.9	95

→ Mooring line : O.K

(b) Mooring Line 4ea / OPTIMOOR Result Plot

Line	4	13	24	33
to Bollard/Hook	A	D	I	F
Pull-in (m)	17.6	1.00	11.6	0.55
Inclination Down	-1°	-12°	-1°	-13°
Tension (t)	11.0	16.1	3.7	0.8
% of Strength	32%	47%	11%	2%

2.10 계류 라인 내력 계산 Case III (Pre-tension D40, 50 & 60mm)

본 장에서는 최적 배치 기준인 Case II의 설계 기준을 바탕으로 직경 40, 50 & 60mm 각각에 Pre-tension 0.5~11ton 을 적용하고 그에 따른 계류 라인에 발생하는 내력 값을 산출하여, 라인 직경과 Pre-tension과의 상호 관계를 확인하였다.

각 조건 별로 해석 라인의 내력 결과 값을 정리하면 Table.12~14와 같고 계류 라인 Pre-tension의 최적 값으로 얻은 가장 작은 계류 라인의 내력은 노란색으로 표기하였다 적용 Pre-tension이 늘어남에 따라 라인 내력은 조금씩 감소하다 어느 순간부터는 다시 라인 내력이 증가하는 현상을 확인하였다.

Table.12 초기 장력 비교 결과 (Case III - DWT 4000 barge)

Barge & Diameter	Pre-tension (ton)	Line tension (ton)	Pull-in (m)	Line No.
DWT 4000 & Line D40mm	0.5	10.1	0.12	(No.6-line)
	1.0	9.8	0.20	(No.6-line)
	3.0	9.0	0.33	(No.6-line)
	5.0	9.0	0.41	(No.6-line)
	7.0	9.7	0.47	(No.6-line)
	9.0	10.5	0.51	(No.6-line)
	11.0	12.0	0.54	(No.6-line)
DWT 4000 & Line D50mm	0.5	10.2	0.08	(No.6-line)
	1.0	10.0	0.16	(No.6-line)
	3.0	9.1	0.28	(No.6-line)
	5.0	9.1	0.34	(No.6-line)
	7.0	9.7	0.39	(No.6-line)
	9.0	10.7	0.43	(No.6-line)
	11.0	12.0	0.47	(No.6-line)
DWT 4000 & Line D60mm	0.5	10.2	0.06	(No.6-line)
	1.0	10.0	0.12	(No.6-line)
	3.0	9.0	0.24	(No.6-line)
	5.0	9.3	0.30	(No.6-line)
	7.0	9.7	0.35	(No.6-line)
	9.0	10.9	0.38	(No.6-line)
	11.0	12.0	0.41	(No.6-line)

Table.13 초기 장력 비교 결과 (Case III - DWT 10000 barge)

Barge & Diameter	Pre-tension (ton)	Line tension (ton)	Pull-in (m)	Line No.
DWT 10000 & Line D40mm	0.5	15.0	0.13	(No.7-line)
	1.0	15.0	0.21	(No.7-line)
	3.0	14.4	0.34	(No.7-line)
	5.0	14.0	0.42	(No.7-line)
	7.0	13.9	0.48	(No.7-line)
	9.0	14.5	0.52	(No.7-line)
	11.0	14.9	0.56	(No.7-line)
DWT 10000 & Line D50mm	0.5	14.3	0.10	(No.7-line)
	1.0	14.0	0.19	(No.7-line)
	3.0	13.0	0.35	(No.7-line)
	5.0	12.7	0.44	(No.7-line)
	7.0	12.7	0.50	(No.7-line)
	9.0	13.1	0.55	(No.7-line)
	11.0	13.9	0.60	(No.7-line)
DWT 10000 & Line D60mm	0.5	14.3	0.07	(No.7-line)
	1.0	14.1	0.14	(No.7-line)
	3.0	13.0	0.30	(No.7-line)
	5.0	12.5	0.38	(No.7-line)
	7.0	12.8	0.44	(No.7-line)
	9.0	13.0	0.49	(No.7-line)
	11.0	14.1	0.53	(No.7-line)

Table.14 초기 장력 비교 결과 (Case III - DWT 20000 barge)

Barge & Diameter	Pre-tension (ton)	Line tension (ton)	Pull-in (m)	Line No.
DWT 20000 & Line D40mm	0.5	19.0	0.30	(No.13-line)
	1.0	18.7	0.52	(No.13-line)
	3.0	17.1	0.85	(No.13-line)
	5.0	16.2	1.05	(No.13-line)
	7.0	16.1	1.19	(No.13-line)
	9.0	16.1	1.30	(No.13-line)
	11.0	16.6	1.40	(No.13-line)
DWT 20000 & Line D50mm	0.5	19.0	0.20	(No.13-line)
	1.0	18.7	0.38	(No.13-line)
	3.0	17.2	0.70	(No.13-line)
	5.0	16.2	0.87	(No.13-line)
	7.0	16.1	1.00	(No.13-line)
	9.0	16.1	1.11	(No.13-line)
	11.0	16.4	1.20	(No.13-line)
DWT 20000 & Line D60mm	0.5	19.0	0.14	(No.13-line)
	1.0	18.9	0.28	(No.13-line)
	3.0	17.1	0.60	(No.13-line)
	5.0	16.0	0.76	(No.13-line)
	7.0	16.2	0.88	(No.13-line)
	9.0	16.2	0.98	(No.13-line)
	11.0	16.3	1.06	(No.13-line)

3. 해석 결과

앞에서 수행한 Case I, II & III의 라인 내력은 일반 기상조건(Normal weather condition)을 적용하여 계산을 수행하였기에 값의 변화가 크게 나타나지는 않지만 계류 라인에 Pre-tension의 적용 여부와 라인 직경에 따른 계산 조건에 따라서는 변화된 값을 확인할 수 있었다.

- Case I : Not apply pre-tension (계류라인 8ea 적용)
- Case II : Apply pre-tension (Case I 을 기본으로 계류라인 4ea 적용)
- Case III : Apply pre-tension (Case II를 기본으로 계류라인 직경 40, 50 & 60mm 에 따른 계류라인에 발생하는 값 산출)

아래 노란색으로 표시된 값은 동일한 환경조건에서 계류 라인의 Pre-tension을 적용 시와 미적용 시로 적용하였을 때의 라인 수량을 비교한 값이다. Pre-tension이 적용된 계류 라인은 수량을 1/2를 줄여도 비슷한 내력의 값을 얻을 수 있었으며 이로 인해 최적 설계 효과임을 확인하였다.

1) 최적 설계 비교

*. DWT 4000 Barge

- [Case I] Pre-tension= 0ton : Mooring line 8ea (Line max tension= 8.8ton)
- [Case II] Pre-tension= 3ton : Mooring line 4ea (Line max tension= 9.0ton)

*. DWT 10000 Barge

- [Case I] Pre-tension= 0ton : Mooring line 8ea (Line max tension= 12.7ton)
- [Case II] Pre-tension= 5ton : Mooring line 4ea (Line max tension= 12.6ton)

*. DWT 20000 Barge

- [Case I] Pre-tension= 0ton : Mooring line 8ea (Line max tension= 16.4ton)
- [Case II] Pre-tension= 7ton : Mooring line 4ea (Line max tension= 16.1ton)

Case III는 Case II의 설계 기준을 가지고 각각의 계류 라인 직경의 크기에 적합한 계류 라인의 Pre-tension을 찾았다. Fig.14~22 는 계류 라인의 직경 크기에 따른 Pre-tension의 적용에 따른 내력 변화를 도식화한 그래프이다. 그래프를 분석하면 초기에는 작은 Pre-tension 값에 따라 작은 내력 값을 유도할 수 있으나 점진적으로 직경의 크기에 변화를 주면 어느 정점을 지나고 나서부터는 Pre-tension 값에 따라 내력의 값이 다시 커지는 경향을 확인할 수 있었다. 무조건적인 Pre-tension의 적용은 역효과가 나타남을 확인하였고 적합한 Pre-tension을 계산하기 위해서는 주어진 환경조건과 블럭의 특성을 고려하여 방안을 잡는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

아래 노란색으로 표시된 값을 보면 계류 라인의 직경 크기에 따른 내력(Tension) 값의 변화와 내력으로 인하여 발생하는 Pull-in length 값이 확인 가능하다. 큰 직경을 가지는 계류 라인은 Pull-in length 가 많이 발생하지 않아 작은 Pre-tension 값으로도 최대의 효과를 보이는 것을 확인할 수 있다.

2) 최적 Pre-tension 비교

*, DWT 4000 Barge

- Mooring line D40, Pre-tension = 3 & 5 ton
 - : Mooring line tension = 9.0 ton
 - : Mooring line pull-in = 0.33 & 0.41 m
- Mooring line D50, Pre-tension = 3 & 5 ton
 - : Mooring line tension = 9.1 ton
 - : Mooring line pull-in = 0.28 & 0.34 m
- Mooring line D60, Pre-tension = 3 ton
 - : Mooring line tension = 9.0 ton
 - : Mooring line pull-in = 0.33 m

*, DWT 10000 Barge

- Mooring line D40, Pre-tension = 7 ton
 - : Mooring line tension = 13.9 ton
 - : Mooring line pull-in = 0.48 m
- Mooring line D50, Pre-tension = 5 ton
 - : Mooring line tension = 12.7 ton
 - : Mooring line pull-in = 0.44 m
- Mooring line D60, Pre-tension = 5 ton
 - : Mooring line tension = 12.5 ton
 - : Mooring line pull-in = 0.38 m

*, DWT 20000 Barge

- Mooring line D40, Pre-tension = 7 ton
 - : Mooring line tension = 16.1 ton
 - : Mooring line pull-in = 1.19 m
- Mooring line D50, Pre-tension = 7 ton
 - : Mooring line tension = 16.1 ton
 - : Mooring line pull-in = 1.00 m
- Mooring line D60, Pre-tension = 5 ton
 - : Mooring line tension = 16.0 ton
 - : Mooring line pull-in = 0.76 m

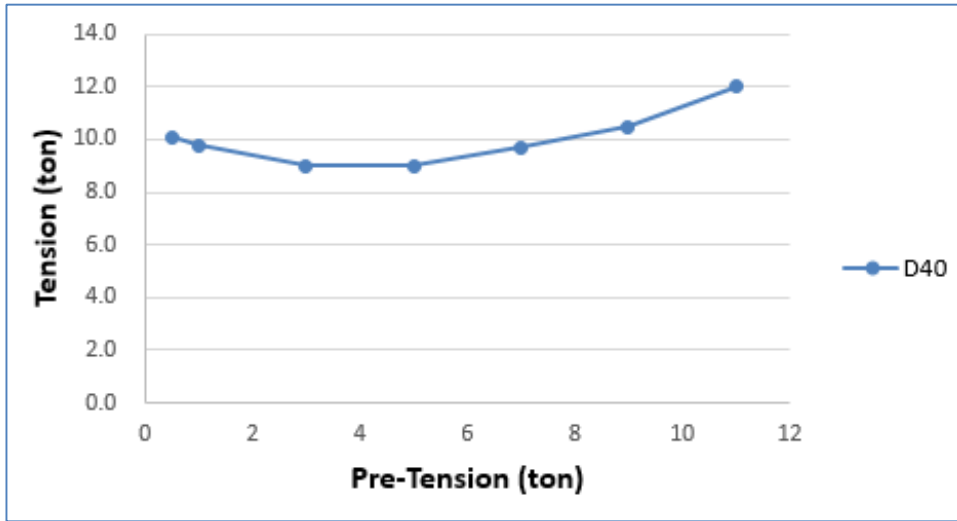


Fig.14 초기 장력 비교 그래프 (Case III- a / DWT 4000 barge & Line D40mm)

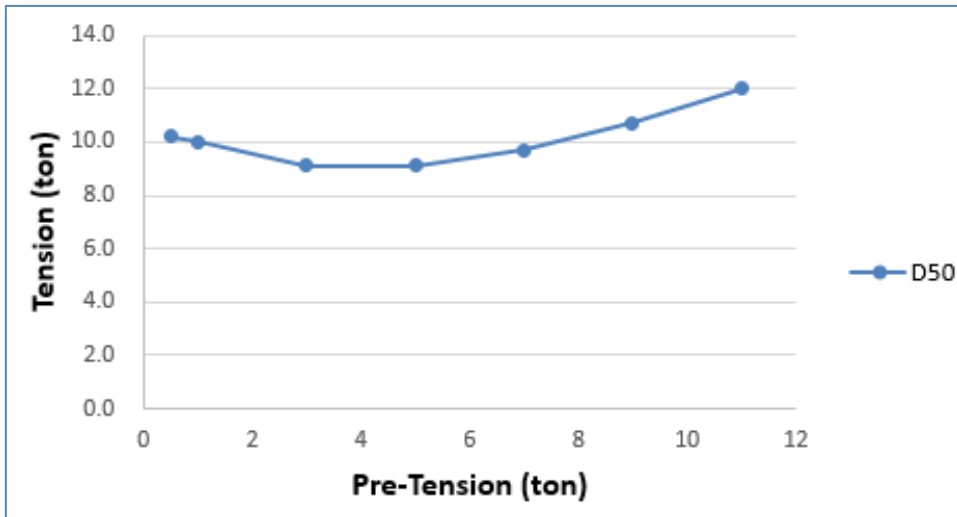


Fig.15 초기 장력 비교 그래프 (Case III- b / DWT 4000 barge & Line D50mm)

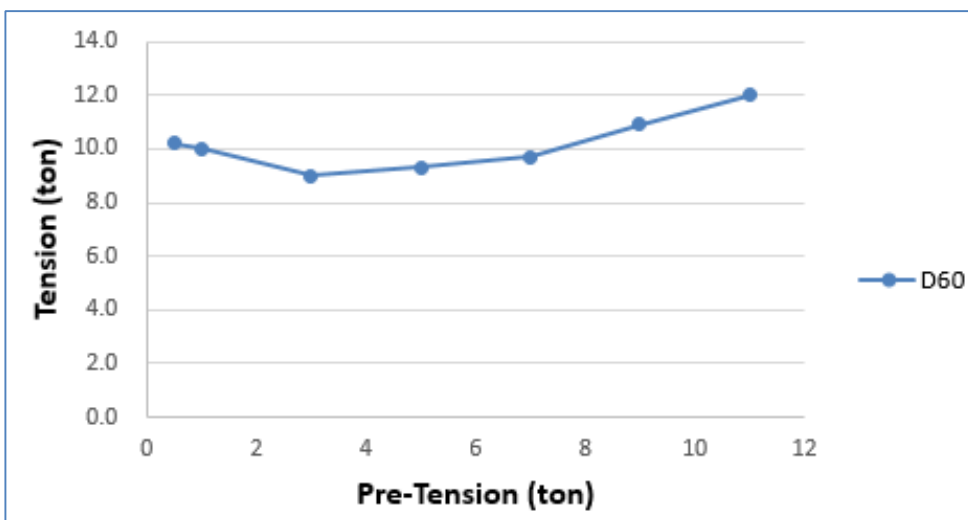


Fig.16 초기 장력 비교 그래프 (Case III- c / DWT 4000 barge & Line D60mm)

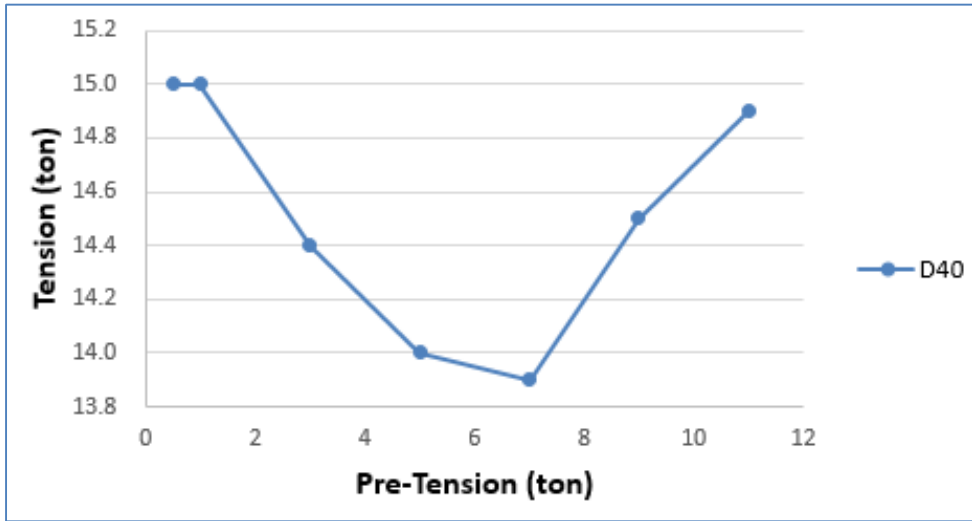


Fig.17 초기 장력 비교 그래프 (Case III- d / DWT 10000 barge & Line D40mm)

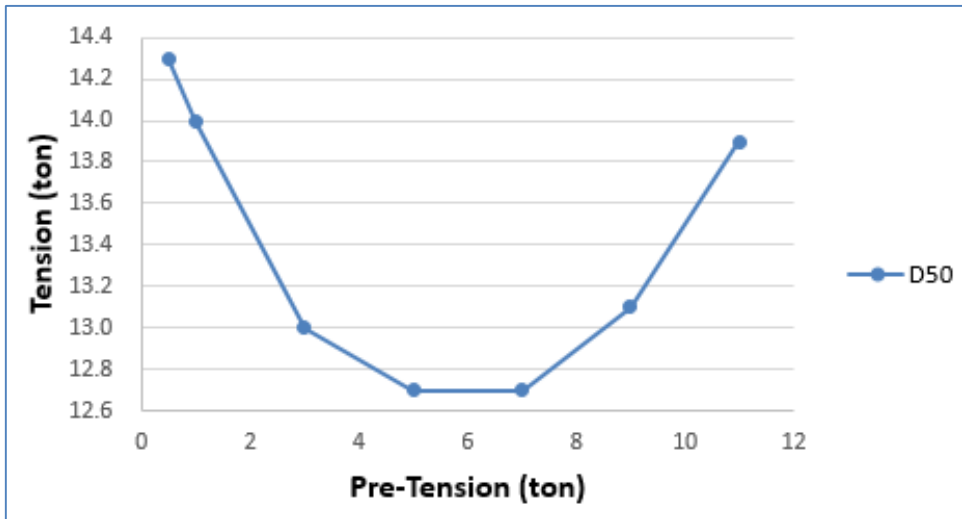


Fig.18 초기 장력 비교 그래프 (Case III- e / DWT 10000 barge & Line D50mm)

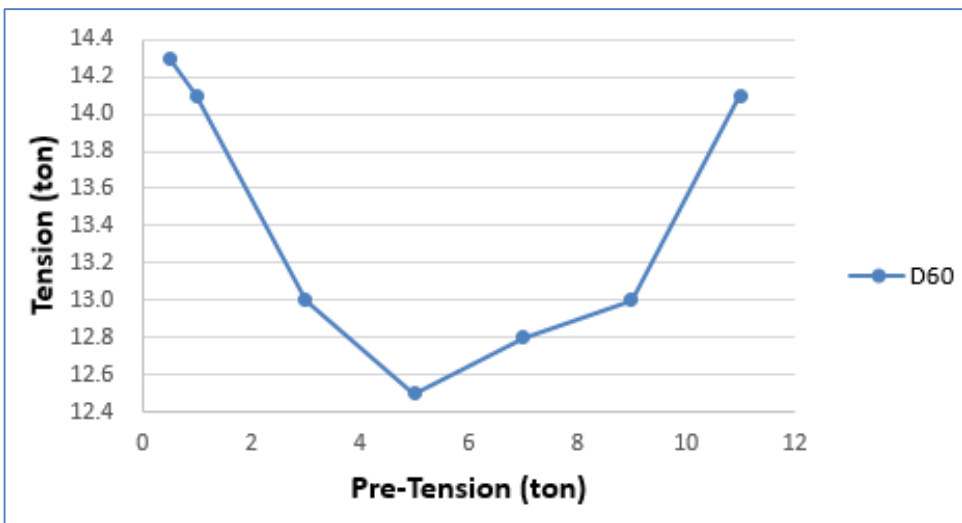


Fig.19 초기 장력 비교 그래프 (Case III- f / DWT 10000 barge & Line D60mm)

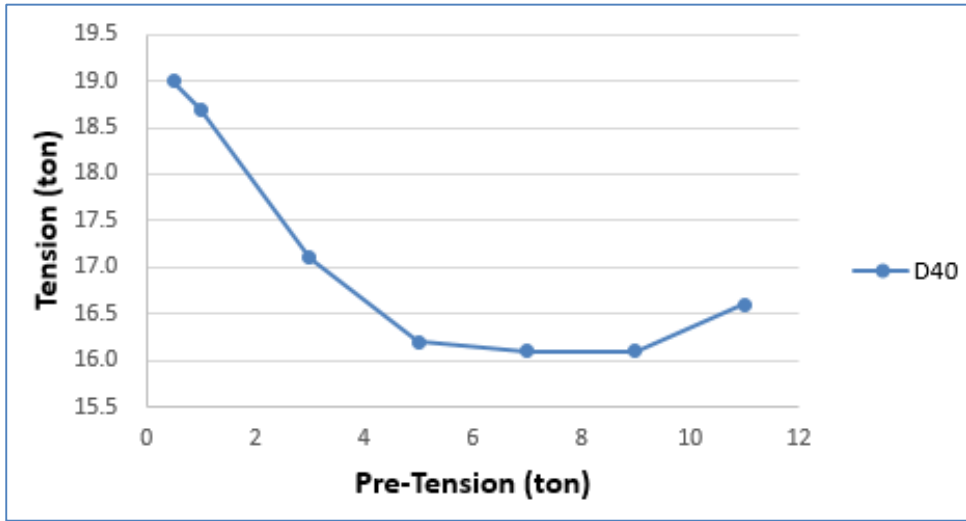


Fig.20 초기 장력 비교 그래프 (Case III- g / DWT 20000 barge & Line D40mm)

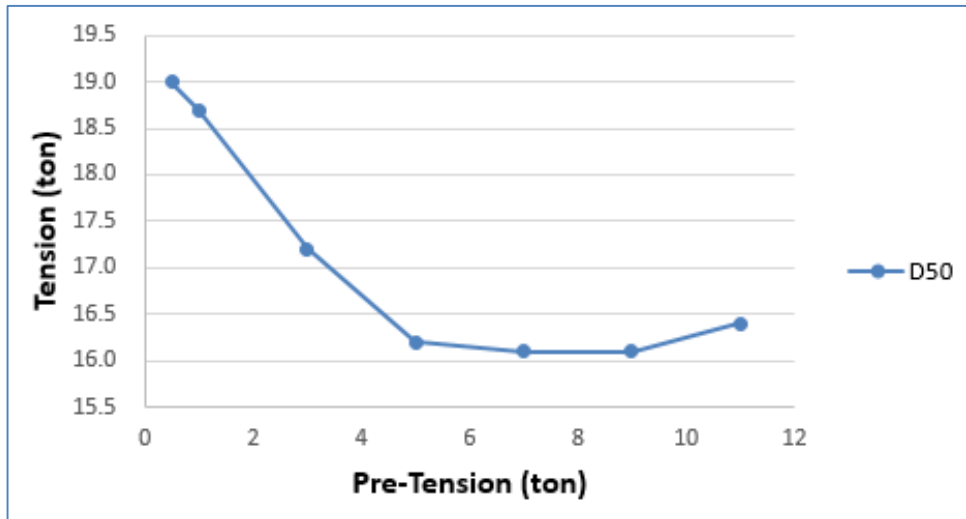


Fig.21 초기 장력 비교 그래프 (Case III- h / DWT 20000 barge & Line D50mm)

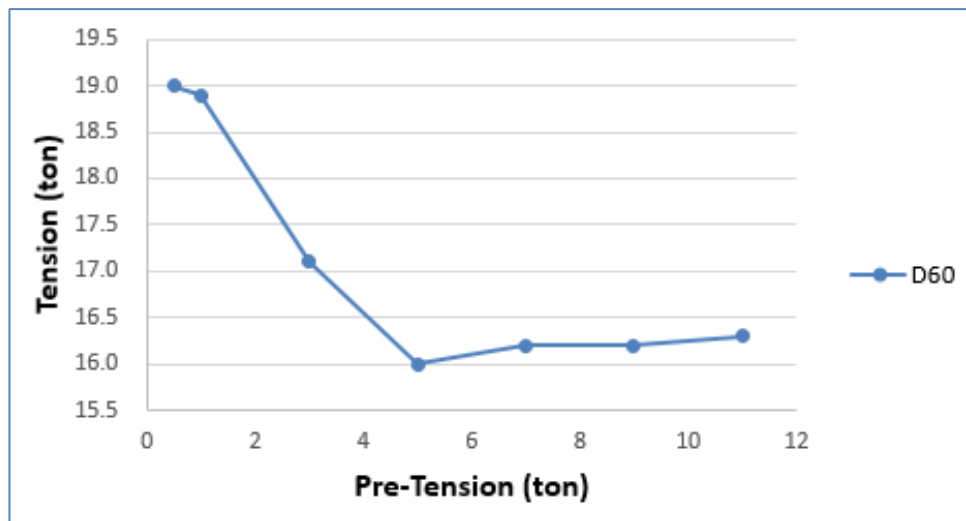


Fig.22 초기 장력 비교 그래프 (Case III- i / DWT 20000 barge & Line D60mm)

4. 결론

대형화된 블럭을 화주에게 인계하기 위해 바지선에 블럭을 선적하는 단계에서는 바지선의 불안정한 계류로 인하여 선적 블럭이 훼손되고, 작업자의 작업환경의 안전을 위해 하고 납기 지연 등의 사고가 빈번하게 발생한다. 이에 대비하여 계류의 안전성을 확보하고 사고의 방지를 위해 계류 라인의 내력에 대하여 연구하였다.

본 연구는 DWT 4000, 10000, 20000 바지선에 블럭을 선적하는 경우, 계류 중에 발생할 수 있는 해양 환경하중으로 인한 외력을 산정하였다. 그 외력을 바탕으로 계류 라인의 내력을 산출하였고 이를 기준으로 계류 라인의 초기 장력(Pre-tension)을 검토, 적용하여 계류 라인의 설치 절감 및 계류시스템의 시간과 비용의 절감을 확인하였다. 또한 연구에서는 계류 라인의 직경과 바지선의 크기에 따른 계류 라인 초기 장력(Pre-tension) 값을 산출하여 이용하므로 합리적인 바지선의 계류 방안이 계획될 것으로 판단된다.

계류 내력 계산은 상용 프로그램인 옵티머(OPTIMOOR)를 이용하여 정적 해석(Static Analysis)을 하였다. 동일한 환경 하중 조건에서 초기 장력(Pre-tension)이 적용되지 않은 계류 라인 8ea를 이용한 상황과(Case 1) 초기 장력(Pre-tension)을 적용한 계류 라인 4ea를 이용한 상황(Case II)에서 동일한 계류 효과를 도출하였다. 이로 인해 계류 라인에 적용되는 초기 장력(Pre-tension)의 효과 및 필요성을 확인할 수 있었다. Case III의 경우에는 Case II(초기 장력 적용 / 계류 라인 4ea)와 동일한 계류 라인을 배치하여 환경 하중 조건상에서의 계류 라인에 발생하는 내력은 계류 라인의 직경이 커져 감에 따라 작은 초기 장력(Pre-tension) 값으로도 동일한 효과를 나타냄을 확인하였다. 하지만 계류 라인에 적용되는 초기 장력(Pre-tension)의 값은 적정 수준을 넘어서면 오히려 계류 라인의 내력을 늘어나게 하여 문제가 되었다.

이런 과정을 거쳐 본 연구로 산출된 계류 라인의 초기 장력(Pre-tension)은 어떠한 환경 조건속에서도 적용이 가능하며 그로 인해 합리적인 설계를 도출할 수 있다.

- 계류 라인에 초기 장력(Pre-tension)을 적용 시 어떠한 환경이 주어지더라도 1/2의 최적 설계 효과를 볼 수 있음을 확인하였다.
 : Case I -> Not apply pre-tension / 계류 라인 8ea
 : Case II -> Apply pre-tension / 계류 라인 4ea
 (동일 환경 조건)
- 초기 장력(Pre-tension) 값은 적정 수준을 넘어서면 역효과가 발생함을 결과로 확인하였다.
 : Case III -> Apply pre-tension / 계류 라인 직경 40, 50 & 60mm
- 계류 라인의 직경이 클수록 작은 초기 장력(Pre-tension) 값으로도 최적 설계가 가능함을 확인하였다.
 : Case III -> Apply pre-tension / 계류 라인 직경 40, 50 & 60mm

향후 과제로, 다양한 블럭의 형상을 구현하여 그에 따른 바람의 하중을 해석함으로써 정확하고 다양한 내력의 산출을 고려해 볼 수 있다. 그리고 파도의 주기와 파고에 따른 동적 해석을 수행하여 계류시스템의 설계 결과를 좀 더 명확하게 보완해 나가야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 해양경찰청 청장, 한국 해양오염방제조합 이사장 (2002). "해양오염 방제 사례집 : III. 1998년~2001년 해양오염사고 - 보령항 현대 스피리트호 좌초 사고", 해양경찰청, pp 238-251.
- [2] HHI Project (2015). "CLAIR RIDGE FULLY INTEGRATED TOPSIDES - CONTRACT - Mooring Analysis Report for CM", Rev. A1, pp 1-59.
- [3] HHI Project (2017). "NASR FULL FIELD DEVELOPMENT PROJECT EPC WORKS FOR PACKAGE 2 - Quayside Mooring Analysis & Design Report for Gas Treatment Platform", Rev. B, pp 1-81
- [4] 한국선급협회 (2001). "일 점 계류장치 지침 : 제3장 계류장치 설계", 한국선급협회.
- [5] 이재신 (1989). "해양구조물 설계 개요", 원광 출판사.
- [6] Bratteland, E. (1987). "Advances in Berthing and Mooring of Ships and Offshore Structures", NATO ASI Series, Series E: Applied Sciences - vol. 146, pp. 43.
- [7] 정동호, 신승호, 남보우, 김현주, 이호생, 문덕수 (2012). "상용 S/W를 이용한 계류선 설계", 대한조선학회 학술대회자료집, 2015.5, pp 1688-1691.
- [8] Dr. Alan Ractliffe, Mr. John F. Flory (2012). "OPTIMOOR Mooring Analysis Computer Program - Users Guide", Tension Technology International Ltd, 2012 Edition, pp 1-133.
- [9] 오태명, 엄덕준 (1990). "안벽 계류 해석", 대한조선학회지, 27권, 3호, pp 47-55.
- [10] Dr. Alan Ractliffe, Mr. John F. Flory (2012). "OPTIMOOR Mooring Analysis Computer Program - Users Guide", Tension Technology International Ltd, Appendix A, pp 2-20.
- [11] Dr. Alan Ractliffe, Mr. John F. Flory (2012). "OPTIMOOR Mooring Analysis Computer Program - Users Guide", Tension Technology International Ltd, Appendix D, pp 2-14.

[12] Dr. Alan Ractliffe, Mr. John F. Flory (2012). “OPTIMOOR Mooring Analysis Computer Program – Users Guide”, Tension Technology International Ltd, Appendix C, pp 2-10.

[13] United States Military Standard (1999). “Department of Defense Handbook – Mooring Design”, MIL-HDBK-1026/4A, pp 83-84.

[14] Jun Zhang, Richard S. Mercier (2003). “Deepwater Mooring Systems – Concepts, Design, Analysis, and Materials”, ASCE American Society of Civil Engineers, pp. 278-281.

[15] GL Noble Denton (2013). “Guidelines for Moorings (0032 ND)”, GL, Rev. 1, pp 24-25

Abstract

Determination of the Pre-tension of the Mooring Systems of Block Transportation Barges

Kim jin-su

Institute Of e-Vehicle Technology
University Of The Ulsan
Ulsan, Korea

At the stage of loading a structure onto barge for the purpose of delivering to consignors, any unstable mooring system often causes accidents, such as damage to a structure, or a safety hazard to worker, or delivery delay. In readiness for such accident, this study has been carried out with reference to tension of mooring lines in order that guarantees safety of mooring and avoid some accident.

This study has been carried out as the following steps. We have calculated the external force due to sea state that could happen during mooring, and then calculated the internal force of mooring lines based on such external force. According to these forces, we have checked the pre-tension of mooring lines, and then verified reduction in amount of installation work of mooring lines, and reduction in time or cost of mooring system with the application of pre-tension. Besides, we have calculated the pre-tension of mooring lines as per the diameter of mooring lines and the size of barge.

At the same sea state, we have drawn the same effect of mooring in a situation that uses eight (8) mooring lines without considering pre-tension and that uses four (4) mooring lines with considering pre-tension. We hereby have been able to verify the effect or need for pre-tension which applies to mooring lines. Furthermore we have verified that the internal force shows same efficiency with smaller pre-tension as per increasing the diameter of mooring lines.

The calculated pre-tension of mooring lines is applicable at any sea state with this study, and hereby reasonable design is able to be conducted.