



### 공학석사 학위논문

# 신조 실습선 한나라호의 계류시스템 개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of Mooring System of New Training Ship 'HANNARA'



2020년 8월

# 한국해양대학교 해사산업대학원

해양플랜트운영학과 김 수 용

# 본 논문을 김수용의 공학석사 학위논문으로 인준함



2020년 07월 17일

# 한국해양대학교 해사산업대학원



목 차

え	-

List of Tables	iii
List of Figures	V
Abstract	viii

### 1. 서 론

1.1	연구배경	 1
1.2	연구방법	 3

# 2. 연구대상 일반 현황

2.1	대상부두	 5
2.2	대상선박	 7
2.3	대상해역	10

# 3. 계류안전성평가

3.1 선박의 계류	14
3.2 계류선박의 운동	19
3.3 계류선박에 작용하는 힘	21
3.3.1 풍력	21
3.3.2 조류력	24
3.3.3 파력	25
3.3.4 계류력	26
3.4 계류안전성평가	29
3.4.1 평가 개요	29
3.4.2 평가 좌표계	32



3.5 계류상황 모델링	36
3.5.1 부두	36
3.5.2 선박	42
3.5.3 환경외력	50
3.6 계류안전성평가 시나리오	55
3.6.1 외력조건 및 시나리오 설정	55
3.6.2 선체동요 안전성 기준 설정	56

### 4. 계류안전성평가 결과

4.1 계류안전성 민감도 분석	· 58
4.1.1 고강도 계류삭 분석 결과	· 59
4.1.2 나일론 계류삭 분석 결과	· 81
4.1 계류안전성평가 결과 비교·분석	114

# 5. 계류시스템 개선

5.1 계류시스템 개선 제안	120
5.1.1 부두 계선주	120
5.1.2 선박 계류삭	122
5.2 위험도 MATRIX 활용 제안	123

참고문헌(References)		128
------------------	--	-----

Collection @ kmou

# List of Tables

Table.	1 I	Facility Status of KMOU Training Ship Wharf	• 6
Table.	2 7	Tractive Force acting on Mooring Bollards	• 7
Table.	3 (	General Particulars of 'HANNARA'	• 8
Table.	4 1	Number of Days in KMOU Wharf per year of 'HANNARA' $\cdots$	• 9
Table.	5 \	Weather Summary of Busan	11
Table.	6 1	Monthly Wind Speed(m/s) and Wind Direction	12
Table.	71	Number of Days with Specified Wind Speed	13
Table.	8 3	Standard of Crown Height	38
Table.	<b>9</b> I	installation Status of Mooring Bollards	40
Table.	10	Specification of Pneumatic Fender	41
Table.	11	Projected Area of 'HANNARA'	42
Table.	12	Characteristics of Mooring Line	43
Table.	13	Case of Evaluation of Mooring Safety	44
Table.	14	Mooring Arrangement of CASE 1	45
Table.	15	Mooring Arrangement of CASE 2	46
Table.	16	Mooring Arrangement of CASE 3	47
Table.	17	Mooring Arrangement of CASE 4	48
Table.	18	Mooring Arrangement of CASE 5	49
Table.	19	Current Condition	51
Table.	20	Tidal Level of Port of Busan	52
Table.	21	Tide Condition	52
Table.	22	Wind Condition	53
Table.	23	Wave Limit for Loading & Unloading	54
Table.	24	Wave Condition	54
Table.	25	Scenario of Evaluation of Mooring Safety	55
Table.	26	Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours	56
Table.	27	Criteria for Loading Safety	57



Table. 28 Result of Mooring Line Tension(CASE 1, Scenario No.4,10,16) 62 **Table. 32** Result of Mooring Line Tension(CASE 2, Scenario No.5,11,17) · 73 Table. 35 Result of Loading Safety(CASE 2, Scenario No.1~18) ...... 80 Table. 36 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, Scenario No.5,11,17) · 84 Table. 38 Result of Fender Thrust(CASE 3, Scenario No.5,11,17) ...... 90 Table. 39 Result of Loading Safety(CASE 3, Scenario No.1~18) ...... 91 Table. 40 Result of Mooring Line Tension(CASE 4, Scenario No.5,11,17) · 95 Table. 41 Result of Bollard Force(CASE 4, Scenario No.5,11,17) ..... 100 Table. 42 Result of Fender Thrust(CASE 4, Scenario No.5,11,17) ..... 101 Table. 43 Result of Loading Safety(CASE 4, Scenario No.1~18) ..... 102 Table. 44 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, Scenario No.5,11,17) 106 Table. 45 Result of Bollard Force(CASE 5, Scenario No.5,11,17) ..... 111 Table. 46 Result of Fender Thrust(CASE 5, Scenario No.5,11,17) ..... 112 Table. 47 Result of Loading Safety(CASE 5, Scenario No.1~18) ..... 113 Table. 49 Max. Bollard Force(CASE 1~5) ..... 116 Table. 51 Max. Surge & Sway(CASE 1~5) ..... 119



# List of Figures

Fig.	1 F	Flow Chart of the Study	• 4
Fig.	2 H	KMOU Training Ship Wharf	• 5
Fig.	3	Training Ship 'HANNARA'	• 7
Fig.	<b>4</b> (	Utilization Rate of KMOU Training Ship Wharf	• 9
Fig.	5 5	Satellite Image of Port of Busan	10
Fig.	6	Typical Mooring Pattern	14
Fig.	7 I	Effect of Hawser Orientation on Restraint Capacity	16
Fig.	8 7	Typical Load/Extension Stiffness Characteristics of Mooring Ropes	17
Fig.	9 H	Effectiveness of Mooring Stiffness on Restraint Capacity	18
Fig.	10	Ship Motions with the 6 Degrees of Freedom	19
Fig.	11	Comparison of $R_a^*$ and $R_{aH}^*$	23
Fig.	12	Angles of Mooring Line	27
Fig.	13	Forces Acting on a Moored Vessel	28
Fig.	14	Free Body Diagram	29
Fig.	15	TTI Optimoor Program	30
Fig.	16	Pier Coordinate System and Notation	32
Fig.	17	Direction of the Force Acting on the Bollard	33
Fig.	18	Vessel Coordinate System and Notation	34
Fig.	19	Direction of the Force and the Moment acting on the Vessel	35
Fig.	20	Length of KMOU Training Ship Wharf	36
Fig.	21	Section of KMOU Wharf	38
Fig.	22	Installation Status of Mooring Bollards	39
Fig.	23	Mooring Bollards of KMOU Training Ship Wharf	40
Fig.	24	Performance Curve of Pneumatic Fender	41
Fig.	25	Fender of KMOU Training Ship Wharf	42
Fig.	26	Current Chart of Port of Busan	50
Fig.	27	Comparison of Mooring Line Working Range	58



Fig. 28 Mooring Arrangement of CASE 1(UHMPE Rope) ------ 59 Fig. 30 Result of Mooring Line Tension(CASE 1, Scenario No.7~12) ...... 60 Fig. 31 Result of Mooring Line Tension(CASE 1, Scenario No.13~18) ...... 61 Fig. 33 Result of Mooring Line Tension(CASE 1, Scenario No.10) ...... 64 Fig. 39 Mooring Arrangement of CASE 2(UHMPE Rope) ------ 70 Fig. 42 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, Scenario No.13~18) ...... 72 Fig. 43 Result of Mooring Line Tension(CASE 2, Scenario No.5) ...... 74 Fig. 45 Result of Mooring Line Tension(CASE 2, Scenario No.17) ..... 75 Fig. 47 Result of Bollard Force(CASE 2, Scenario No.7~12) ----- 77 Fig. 48 Result of Bollard Force(CASE 2, Scenario No.13~18) ----- 77 Fig. 50 Mooring Arrangement of CASE 3(Nylon Rope) ------ 81 Fig. 51 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, Scenario No.1~6) ...... 82 Fig. 52 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, Scenario No.7~12) ...... 82 Fig. 53 Result of Mooring Line Tension (CASE 3, Scenario No.13~18) ..... 83 Fig. 54 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, Scenario No.5) ...... 85 Fig. 56 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, Scenario No.17) ...... 86 Fig. 57 Result of Bollard Force(CASE 3, Scenario No.1~6) ------ 87 Fig. 58 Result of Bollard Force(CASE 3, Scenario No.7~12) ...... 88 Fig. 59 Result of Bollard Force(CASE 3, Scenario No.13~18) ..... 88



Fig. 60 Result of Fender Thrust(CASE 3, Scenario No.5,11,17) ...... 90 Fig. 61 Mooring Arrangement of CASE 4(Nylon Rope) ---------------------------------92 Fig. 71 Result of Fender Thrust(CASE 4, Scenario No.5,11,17) ..... 101 Fig. 72 Mooring Arrangement of CASE 5(Nylon Rope) ------ 103 Fig. 73 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, Scenario No.1~6) ..... 104 Fig. 74 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, Scenario No.7~12) ..... 104 Fig. 75 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, Scenario No.13~18) ..... 105 Fig. 76 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, Scenario No.5) ..... 107 Fig. 77 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, Scenario No.11) ..... 108 Fig. 78 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, Scenario No.17) ..... 108 Fig. 79 Result of Bollard Force(CASE 5, Scenario No.1~6) ..... 109 Fig. 80 Result of Bollard Force(CASE 5, Scenario No.7~12) ..... 110 Fig. 81 Result of Bollard Force(CASE 5, Scenario No.13~18) ------ 110 Fig. 82 Result of Fender Thrust(CASE 5, Scenario No.5,11,17) ..... 112 Fig. 83 Max. Mooring Line Tension(CASE 1,2 and CASE 3,4,5) ..... 115 Fig. 84 Max. Bollard Force(CASE 1,2 and CASE 3,4,5) ------- 116 Fig. 85 Max. Fender Thrust(CASE 1~5) ..... 117 Fig. 86 Max. Surge & Sway(CASE 1~5) ..... 118 Fig. 87 CASE 3, Risk Matrix for Bollard(35T & 50T) ..... 122 Fig. 88 CASE 5, Risk Matrix for Bollard(35T & 50T) ..... 122 Fig. 89 Risk Matrix of CASE 3 & CASE 5 ..... 124

## A Study on the Improvement of Mooring System of New Training Ship 'HANNARA'

Kim, Suyong

Department of Offshore Plant Management Graduate School of Maritime Industries Korea Maritime & Ocean University

#### Abstract

The trend of ship size enlargement is continuing, according to the change of management environment of shipping industry, development of shipbuilding industry and various regulations of International Maritime Organization(IMO). In order to reduce transportation costs, mega ship is being introduced that can carry a large amount of cargo at a time, and according to environmental regulations, the ship is gradually becoming larger for the installation of exhaust gas related equipment, the installation of LNG propulsion system and etc. Training Ship, which is operated for education and training of trainees based on the STCW convention, is also becoming larger for responding to strengthening safety and environmental regulations, and for improving the efficiency of practical training.

As the trend of ship size enlargement, the mooring facilities of the wharf should be expanded accordingly, but due to lack of investment, lack of



wharf and berth, and other reasons, there are frequent cases where the ships exceeding the design berth capacity of the wharf are berthed at the wharf. HANNARA(9,196GT), a training ship of Korea Maritime & Ocean University, is also mooring in excess of 3,640GT design berth capacity of dedicated wharf. This poses a serious threat to the mooring safety of the ship as well as damage to berth facilities, which can lead to a major accident.

In this study, using the mooring analysis program(OPTIMOOR), the mooring safety of the ship and the safety of the mooring facilities was evaluated for the HANNARA(9,196GT) which uses the dedicated wharf of 3,640GT design berth capacity. For accurate evaluation, actual wharf and ship were modeled, and mooring analysis was carried out according to the various external force environments that could occur at the target wharf and the changes in the mooring system(mooring lines and mooring arrangement) of the HANNARA.

Through the mooring analysis, the safety of mooring bollard and fender of the wharf and the safety of mooring lines, loading safety and mooring limit of the HANNARA were analyzed and reviewed and improvement of mooring system of the wharf and ship was proposed based on evaluation results. And it was proposed to use risk matrix based on the evaluation data to analyze the mooring safety and mooring limits of the ship according to external force conditions and to perform appropriate mooring safety measures.

**KEY WORDS**: HANNARA, Evaluation of Mooring Safety, Mooring Analysis, Mooring System, Risk Matrix



## 신조 실습선 한나라호의 계류시스템 개선에 관한 연구

#### 김 수 용

### 한국해양대학교 해사산업대학원 해양플랜트운영학과

#### 초 록

해운업계의 경영환경 변화, 조선업의 발전 그리고 국제해사기구(IMO)의 각 종 규제 등에 따라 선박의 대형화 추세가 계속되고 있다. 운송 원가절감을 위하여 한 번에 많은 양의 화물을 운송할 수 있는 초대형 선박이 도입되고 있으며, 환경규제에 따른 배기가스 관련 장비 설치, LNG 추진시스템 설치 등을 위하여 선박은 점차 대형화 되어 가고 있다. STCW협약에 따라 실습생 의 교육 및 실습을 위하여 운영되는 실습선(Training Ship) 또한 안전규정 강 화 및 환경규제에 대한 대응, 실습교육효율성 향상 등을 위하여 점차 대형화 되고 있는 추세이다.

이러한 선박의 대형화 추세에 따라 계류시설 또한 이에 맞게 증설되어야 하나, 투자 부족, 부두 및 선석 부족 등으로 인하여 부두의 설계 접안능력을 초과하는 선박이 부두에 접안하는 사례가 빈번하게 발생하고 있으며, 한국해 양대학교 실습선 한나라호(9,196GT) 또한 전용부두의 설계 접안능력 3,640GT 을 초과하는 상태로 계류하고 있는 실정이다.



부두의 설계 접안능력을 초과하는 선박이 부두에 계류하는 중에 선박에 강 한 외력이 작용하는 경우, 부두의 계선주, 방충재 그리고 선박의 계류삭을 포함한 계류시스템에는 허용한계를 초과하는 힘이 작용하게 되며, 이는 부두 시설의 파손 뿐만 아니라 선박의 계류안전성에 큰 위협이 되며 자칫 대형사 고로 이어질 수 있다.

본 연구에서는 계류안전성평가 전용 소프트웨어(OPTIMOOR)를 이용하여, 설계 접안능력 3,640GT의 전용부두를 이용하고 있는 한국해양대학교 실습선 한나라호(9,196GT)에 대하여 선박의 계류안전성과 부두 계류시설의 안전성을 평가하였다. 정확한 평가를 위하여 실제 부두 및 선박을 모델링하였으며, 대 상부두에서 발생가능한 여러가지 외력환경 그리고 실습선 한나라호의 계류 시스템(계류삭, 계류배치) 변화에 따른 계류안전성평가를 수행하였다.

계류해석 및 계류안전성평가를 통하여 한국해양대학교 실습선 전용부두의 계선주 및 방충재의 안전성과 실습선 한나라호의 계류삭 안전성 및 하역안 전성 그리고 계류한계 등을 분석·검토하였으며, 그 결과를 바탕으로 계류안 전성 확보·개선을 위한 부두 및 선박의 계류시스템 개선을 제안하였다. 또한 계류안전성평가 시뮬레이션 데이터를 바탕으로 계류안전 요소별 위험도 Matrix를 작성하여, 외력조건에 따른 선박의 계류안전성과 계류한계를 분석 하고 적절한 계류안전조치를 수행하는데 활용하는 것을 제안하였다.

KEY WORDS: 한나라호, 계류안전성평가, 계류해석, 계류시스템, 위험도 MATRIX



- xi -

### 제1장서 론

#### 1.1 연구배경

해운업계의 경영환경 변화, 조선업의 발전 그리고 국제해사기구(IMO)의 각종 규제에 따라 선박의 대형화 추세가 계속되고 있다. 운송원가 절감을 위하여 한 번에 많은 양의 화물을 운송할 수 있는 초대형 선박이 도입되고 있으며, 환경규제에 따른 배기가스저감장치 설치, LNG 추진시스템 설치 등에 따라 선박은 점차 대형화 되어 가고 있다. STCW협약에 따라 해기사 실습교육을 위하여 운용되고 있는 실습선(Training Ship) 또한 해사노동협약(Maritime Labour Convention), 특수목적선 코드(Special Purpose Ship Code) 적용 등에 따른 거주구역 확대, 국제해사기구(IMO)의 환경규제에 따른 각종 장비의 탑재 그리고 실습 교육 및 훈련의 효율성을 높이기 위한 교육시설 및 각종 공간 확대 등에 따라 점차 대형화 되고 있는 추세이다.

이러한 선박의 대형화에 따라 선박이 이용하는 계류시설은 충분한 계류안전성을 확보 할 수 있도록 접안대상 선박의 크기에 맞게 증설되어야 한다. 하지만 항만시설 투자 부족, 늘어난 항만물동량에 따른 부두 및 선석 부족 등으로 인하여 부두의 접안능력(부두에 접안할 수 있는 최대 선박의 크기)을 상회하는 선박이 부두에 계류하는 사례가 빈번하게 발생하고 있으며, 이와 같이 부두의 설계 접안능력을 초과하는 선박이 부두에 계류 중인 상황에서 바람, 파랑, 조류 등 강한 외력이 작용하는 경우, 부두시설의 계선주, 방충재 그리고 선박의 계류삭을 포함한 계류설비에는 허용범위를 초과하는 작용하는 힘이 발생하게 되며, 이는 부두시설의 파손뿐만 아니라 선박의 계류안전성 손실에 따른 대형해양사고로 이어질 수 있어 이에 대한 적절한 조치 및 대응방안이 필요하다.

2019년 건조된 한국해양대학교의 실습선 한나라호(9,196GT)의 경우 부두의 설계 접안능력을 초과하는 즉, (구)한나라호(3,640GT) 기준으로 설계된 실습선 전용부두를 이용하고 있으며, 부산항에 위치한 해당부두는 남해안을 통과하는



- 1 -

저기압 및 태풍, 그리고 동해안에 발생하는 저기압에 따른 항내 파랑내습 그리고 강풍에 많은 영향을 받고 있다. 그러나 현재까지 해당 부두 및 선박의 계류안전에 대한 평가가 이루어진 바 없으며, 대상부두 및 선박의 계류안전성 및 계류한계에 대한 정량적인 데이터 부재로 인하여 선박의 운항자는 파랑내습 또는 강풍 발생 시 본선의 동요상태와 운항자의 경험과 감각을 바탕으로 계류안전 조치를 취하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 계류안전성평가 전용 소프트웨어(OPTIMOOR)를 이용하여, 설계 접안능력 3,640GT의 전용부두를 이용하고 있는 한국해양대학교 실습선 한나라호(9,196GT)에 대하여 대상해역 및 부두에서 발생가능한 외력환경 그리고 부두 및 선박의 계류시스템에 따른 계류해석 및 계류안전성평가를 수행하여, 한국해양대학교 실습선 전용부두의 계선주 및 방충재의 안전성과 실습선 한나라호의 계류삭 안전성 및 하역안전성 등을 평가하였다. 이를 통하여 현재 부두 및 선박의 계류안전성과 계류시스템에 대한 적정성을 검토하고, 계류시스템에 따른 계류안전성을 비교·분석함으로써 계류안전성 확보·개선을 위한 방안을 제안하고자 한다.



#### 1.2 연구방법

본 연구는 총 6장으로 구성되어 있다.

먼저 제1장에서는 본 연구의 배경 및 목적 그리고 연구방법 및 구성에 대하여 기술하였다.

제2장에서는 본 연구의 연구대상인 한국해양대학교 실습선 부두와 실습선 한나라호(9,196GT)의 개요 및 현황 그리고 연구대상이 위치한 부산항의 자연환경에 대하여 분석하였다.

제3장에서는 각종 문헌 자료를 통하여 부두에 계류하고 있는 선박에 대한 계류이론과 계류선박에 작용하는 힘 그리고 계류해석 및 계류안전성평가의 개요 및 이론적 배경 등을 설명하고, 한국해양대학교 실습선 부두 및 실습선 한나라호에 대한 모델설계(모델링), 환경외력조건 설정, 그리고 평가 시나리오 및 방법에 대하여 기술하였다. 보다 정확한 평가를 위하여 대상부두 및 대상선박의 도면과 항공사진을 바탕으로 부두 및 선박을 모델링하였으며, 대상부두가 위치한 부산항의 자연환경 조건과 해상교통 안전진단시행지침 등 관련 규정에 따른 계류안전성평가 기준을 분석하여 이를 평가에 적용하였다.

제4장에서는 대상부두 및 선박에 작용하는 외력조건 및 선박의 계류배치 변화에 따른 계류안전성 평가요소(계류삭, 계선주, 방충재, 하역안전성)에 대한 평가를 위하여 TTI사(Tension Technology International, Ltd.)에서 개발한 계류해석 프로그램인 OPTIMOOR를 사용하여 계류해석 및 계류안전성 평가결과를 도출하였다.

제5장에서는 계류해석 및 계류안전성평가 결과 비교·분석을 통하여, 부두 및 선박의 계류시스템에 대한 개선을 제안하였으며, 계류안전성평가 시뮬레이션 데이터를 바탕으로 계류안전 요소별 위험도 MATRIX를 작성하여 이를 선박 운항자가 외력조건에 따른 선박의 계류안전성과 계류한계를 분석하고 적절한 계류안전조치 수행하는데 활용하는 것을 제안하였다.

마지막으로 제6장에서는 본 연구의 결론을 서술하였다.

Collection @ kmou

본 연구의 연구 과정의 흐름을 도식화하면 Fig. 1과 같다.



Fig. 1 Flow Chart of the Study



## 제 2 장 연구대상 일반 현황

#### 2.1 대상부두

Collection @ kmou



Fig. 2 KMOU Training Ship Wharf

본 연구의 대상부두는 Fig. 2의 한국해양대학교 실습선 부두로 1992년에 준공되어 운영되고 있으며, 시설현황은 Table. 1과 같다. 이 부두는 기존 실습선 (구)한바다호(3,491GT)의 부두를 1994년에 건조된 실습선 (구)한나라호 (3,640GT)의 운항에 앞서 두 선박의 동시 접안을 위하여 설계 접안능력 3,640GT(2,433DWT)급으로 설계·건설되었다.

대상부두는 중력식 구간과 널말뚝식 구간으로 나누어져 있으며, 2020년 현재 중력식 구간은 실습선 한바다호(6,686GT), 그리고 널말뚝식 구간은 2019년 5월부터 실습선 (구)한나라호(3,640GT)를 대신하여 신조 실습선 한나라호 (9,196GT)가 이용하고 있다.

Item	Description
부 두 명	한국해양대학교 실습선 부두
준공년도	1992년
접안능력	3,640GT (2,433DWT)
부두길이	중력식(140.0m) + 널말뚝식(190.0m) = 총 330.0m
전면수심	중력식 : DL.(-) 7.000m, 널말뚝식 : DL.(-) 7.500m
 부두방향	230°(한나라호 선수 기준)

Table. 1 Facility Status of KMOU Training Ship Wharf

일반적으로 부두 및 계류시설은 부두를 이용하는 선박의 제원, 바람과 풍압, 파고와 파력, 조석과 이상조위 등 여러 가지 부두의 설계요건에 따라 맞게 설계·건설되고 운영되어야 한다. 그러나 대상부두는 부두의 설계 접안능력을 초과하는 총톤수 6,686톤(2,636DWT), 9,196톤(3,671DWT)의 실습선 두 척이 전용부두로 이용하고 있으며, 실습선의 대형화 추세에 따라 계류시설 용량 증설, 준설을 통한 수심확보 등 부두의 접안 능력향상을 위한 투자 및 시설개선이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이에 따라 대상선박의 운항관리자 및 운항자는 부두의 노후화와 접안능력 미달에 따른 선박 및 부두의 계류안전성, 특히 부두의 계류시설 중 계선주의 안전성 측면에서 매우 우려하고 실정이다.

항만 및 어항설계 기준에서는 계선주의 경우 부두를 이용하는 선박들의 총톤수를 고려하여, Table. 2의 계선주에 작용하는 선박의 견인력 표에 따라 선박의 총톤수에 따른 계선주의 적정 용량을 기준으로 설치된다. 그러나 현재 대상부두에는 총톤수 2,000~5,000톤급 선박에 적합한 35톤의 계선주(곡주)가 설치되어 있으며, 대상부두를 이용하는 총톤수 6,000톤급, 9,000톤급 실습선은 위 표에 따른 계선주의 적절 용량 50톤을 약 30% 하회하는 계선주(곡주)를 사용하여 계류하고 있다. 또한 해당 계선주는 노후화에 따른 마모 및 부식으로 인하여 설계 견인력 수준의 성능을 발휘하지 못할 것으로 예상되며, 이에 따라 대상부두를 이용하는 선박에 대한 부두 및 선박의 계류안전성평가 및 분석이 시급한 상황이다.

서바이 초토스 <i>(</i> CT 토)	직주에 작용하는 견인력	곡주에 작용하는 견인력
전력의 중관구(G1,관)	$(kN, \{t\})$	$(kN, \{t\})$
200톤 이상 500톤 이하	150 {15}	150 {15}
500 " 1,000 "	250 {25}	250 {25}
1,000 " 2,000 "	350 {35}	250 {25}
2,000 " 3,000 "	350 {35}	350 {35}
3,000 " 5,000 "	500 {50}	350 {35}
5,000 " 10,000 "	700 {70}	500 {50}
10,000 " 20,000 "	1,000 {100}	700 {70}
20,000 " 50,000 "	1,500 {150}	1,000 {100}
50,000 " 100,000 "	2,000 {200}	1,000 {100}
100,000 " 150,000 "	2,000 {200}	1,500 {150}
150,000 " 200,000 "	2,500 {250}	1,500 {150}
200,000 " 250,000 "	2,500 {250}	2,000 {200}

Table. 2 Tractive Force acting on Mooring Bollards

출처: 항만 및 어항설계기준 상권

### 2.2 대상선박



Fig. 3 Training Ship 'HANNARA'

본 연구의 대상선박은 Fig. 3의 한국해양대학교 실습선 한나라호로 2019년 2월 건조되어 운용되고 있으며, 이 선박의 주요제원은 Table. 3과 같다.

Item	Description				
선명 (Ship's Name)	한나라(HANNARA)				
총톤수 (Gross Tonnage)	9,196 GT				
전장 (L.O.A.)	133.00m				
수선간장(L.B.P.)	120.00m				
형폭 (Breadth)	19.40m				
형심 (Depth)	Upper Deck : 11.05m Main Deck : 8.40m				
·····································	6.40m				

Table. 3 General Particulars of 'HANNARA'

실습선 한나라호는 STCW협약(선원의 훈련·자격증명 및 당직근무의 기준에 관한 국제협약)에 따라 실습생의 교육 및 실습을 위하여 운영되고 있다. 이 선박은 특수목적선 코드(Special Purpose Ship Code)를 적용하여 설계되었으며, 국제해사기구(IMO)의 환경규제에 따라 평형수처리장치(BWTS), 질소산화물 저감장치(SCR) 등을 탑재하였고, 실습 교육 및 훈련의 효율성을 높이기 위한 거주구역 확대, 교육시설 및 공간 확대 등에 따라 기존 실습선 (구)한나라호 (3,640GT) 크기의 약 2.5배 수준인 총톤수 9,196톤으로 건조되었다.

실습선 한나라호는 현재 한국해양대학교 실습선 부두의 널말뚝식 구간을 전용부두로 사용하고 있으며, Table. 4와 Fig. 4는 실습선 한나라호의 해당 전용부두 이용현황을 나타낸다. 실습선 한나라호는 연안항해, 원양항해 그리고 태풍피항에 따른 항해기간을 제외하고 연평균 약 271일 이상 실습선 전용부두를 이용하고 있으며, 2011년부터 2019년까지의 연평균 부두 이용률은 약 74%이다. 해당 부두는 접안능력 3,640GT(2,433DWT)급으로 설계되었으나, 현재 실습선 한나라호는 이를 초과하는 상태로 계류 중이며, 선박 및 부두의 안전을 위하여 계류안전성평가 및 부두시설 개선이 시급한 상황이다.

Year	OCCUPIED (USED)	NON-OCCUPIED UNUSED	Remark
2011	263일	102일	
2012	271일	94일	
2013	275일	90일	
2014	255일	110일	
2015	268일	97일	
2016	256일	109일	
2017	256일	109일	
2018	275일	90일	
2019	319일	46일	
평균	271일	94일	

Table. 4 Number of Days in KMOU Wharf per year of 'HANNARA'



Fig. 4 Utilization Rate of KMOU Training Ship Wharf



#### 2.3 대상해역



Fig. 5 Satellite Image of Port of Busan

출처: Google Maps

Collection @ kmou

연구대상 부두 및 선박이 위치한 부산항은 1876년 2월에 국제 무역항으로 개항하였으며, 한반도 동남단에 위치하고 있고 깊은 수심과 조수간만의 차가 작은 천혜의 자연조건을 갖춘 항만으로 태평양과 아시아 대륙을 연결하는 관문의 역할을 수행하고 있다.

기후대적 위치로는 온대 계절풍 기후대와 대륙 동안 기후대에 속하며, 대한해협에 면해있기 때문에 해양의 영향을 크게 받아 해양성 기후의 특징이 잘 나타나고 있고, 해양성 기후의 영향으로 여름과 겨울의 기온차가 크지 않으며 4계절의 변화가 뚜렷하게 나타난다. 또한 동해와 남해가 구분되어지는 경계해역에 위치하고 있어 양해역의 기상특성이 골고루 나타나며, 전반적인 기상요소에 대한 값은 Table. 5와 같다.(부산광역시, 2010).

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
풍속 (m/a)	평균	3.7	3.8	4.0	4.0	3.6	3.3	3.8	3.7	3.6	3.3	3.4	3.6
	최대	16.7	18.0	17.3	21.7	20.0	23.0	24.3	21.7	22.6	20.7	16.7	19.0
(111/5)	풍향	NW	SW	SW	SW	SW	SW	SSW	SSE	SE	S	NW	NW
	평균 (m/m)	34.4	50.2	80.7	132.7	157.4	206.7	316.9	255.1	158.0	58.4	45.8	22.8
강수	계속												
	기간	44.95	50.98	65.71	75.89	83.62	98.98	107.76	81.44	79.52	37.62	37.80	27.85
	(hr)												
71 0	평균	3.2	4.9	8.6	13.6	17.5	20.7	24.1	25.9	22.3	17.6	11.6	5.8
/1 <del>년</del> (㎡)	최고	7.8	9.6	13.4	18.3	21.9	24.3	31.7	33.0	30.5	26.9	22.6	17.8
	최저	-7.6	-6.1	-2.1	3.9	9.9	14.1	18.2	20.3	15.3	7.5	0.1	-5.5
기압 (hPa)	평균	1022.4	1021.0	1018.5	1015.0	1011.5	1008.2	1007.4	1008.5	1013.0	1018.0	1021.2	1022.6
	일수	0.1	0.3	0.7	1.7	3.0	4.0	4.9	0.5	0.2	0.1	0.1	0
01-71)	계속				g/Im	IL N V	VSA	11.					
친/비	기간	0.41	0.67	1.63	7.66	12.32	17.71	15.55	1.07	0.3	0.05	0.35	0.03
	(hr)			5				1					
일조	시간	100.0	109 5	1020	210.0	991 7	170.7	165.0	200.0	167.9	200 0	104.4	2012
	(hr)	199.0	102.0	195.0	210.0	221.1	119.1	100.0	200.9	107.2	200.9	194.4	204.3
	비율 (%)	63.6	59.3	52.0	53.6	51.1	41.4	37.5	48.2	44.9	59.6	62.6	67.0

Table. 5 Weather Summary of Busan

출처: 기상청, 2010



Table. 6은 기상청에서 발간한 한국기후표(Climatological Normals of Korea, 1981~2010)의 부산지역 과거 30년간(1981년~2010년)의 월별 평균풍속, 월별 최대중속 및 풍향, 월별 최대순간풍속 및 풍향을 나타낸 표이다.

지형적 특성에 의하여 여름철에는 남서풍, 겨울철에는 북서풍의 영향을 주로 받으며, 전년(全年)의 평균풍속은 3.7m/s이다. 최대풍속은 임의의 10분간 평균풍속 중 최대값으로 각 월의 평균값에서 구한 월별평년값 중 월별 최대풍속 및 풍향을 나타낸 것으로 16.7~24.3m/s의 분포를 보이며, 최대순간풍속은 임의의 한 순간에 나타난 풍속의 최대값으로, 여름철 태풍의 영향으로 월별 최대순간풍속은 여름철에 관측된다.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
평균 풍속	3.7	3.8	4.0	4.0	3.6	3.3	3.8	3.7	3.6	3.3	3.4	3.6	3.7
최대 풍속	16.7	18.0	17.3	21.7	20.0	23.0	24.3	21.7	22.6	20.7	16.7	19.0	24.3
및 풍향	NW	SW	SW	SW	SW	SW	SSW	SSE	SE	S	NW	NW	SSW
순간 최대 픗속	28.5	27.4	25.5	28.7	27.5	28.2	42.3	34.7	42.7	30.3	31.6	29.0	42.7
5 - 및 풍향	NW	WSW	NW	WSW	SSW	SW	SE	Е	SE	SSW	W	NW	SE

Table. 6 Monthly Wind Speed(m/s) and Wind Direction

출처: 기상청, 2010

Table. 7은 최근 30년간의 월별평년값 중 일최대풍속의 계급별 관측일수를 나타낸 것으로 7.9m/s이하의 일수가 약 227일, 8.0~13.8m/s의 일수가 약 129일, 13.9m/s이상의 일수가 약 9일로 나타났다.(강을규, 2013)

	0.5~3.3m/s	3.4~7.9m/s	8.0~13.8m/s	≥13.9m/s
1월	0.2	15.5	14.9	0.4
2월	0.1	15.2	12.2	0.8
3월	0.1	15.8	14.3	0.9
4월	0.1	15.2	13.7	1.0
5월	0.4	18.8	11.3	0.5
6월	0.6	22.2	6.2	1.0
7월	0.7	19.6	9.3	1.4
8월	0.5	21.0	8.7	0.8
9월	0.2	22.3	6.9	0.6
10월	0.3	22.4	7.9	0.3
11월	0.3	19.0	10.2	0.4
12월	0.1	16.6	13.7	0.6
전년	3.7(1.01%)	223.7(61.24%)	129.2(35.37%)	8.7(2.38%)

Table. 7 Number of Days with Specified Wind Speed

출처: 기상청, 2010

### 제 3 장 계류안전성평가

#### 3.1 선박의 계류

계류(Mooring)란 선박을 부두, 부이(buoy) 등 해상 계류시설 또는 해양구조물 등의 접안설비에 정박하는 상태를 말한다. 계류시설에 정박하는 선박의 안전을 확보하기 위하여, 계류시설의 경우 국내의 항만 및 어항설계 기준, 그리고 국제수상교통시설협회(PIANC)의 설계기준 등에 따라 설계·건설되며, 선박의 계류설비는 국내의 선박설비규정, 그리고 국제선급협회 및 선급규칙 등에 따른 설비가 탑재 및 설치된다.

1) 계류배치

계류배치(Mooring Arrangement, Mooring Pattern, Mooring Layout)란 선박과 부두 사이의 계류라인의 기하학적인 배치(Geometric Arrangement)를 의미하며, 전형적인 계류배치 및 계류삭 명칭은 Fig. 6과 같다.



#### Fig. 6 Typical Mooring Pattern

출처: Trelleborg Marine Systems Bollards Product Brochure

일반적으로 계류배치는 바람, 파랑, 조류 등 외력의 변화에 따른 계류라인 사이의 균형 있는 장력 분배를 위하여 대칭적이어야 하며, 외력과 동일한 방향으로 계류 선박의 종방향 중심선 상의 위치에 설치하여 마치 합성력과 저항력이 동일한 위치에서 작용하도록 하는 것이다. 그러나 선박이 부두에 계류하는 경우 부두의 특성에 따라 외력의 크기와 방향, 계류점 위치의 상이 등 여러 가지 이유로 모두 동일하게 적용할 수 없다. 그러므로 일반적으로 적용할 수 있는 계류형태는 어떠한 방향의 외력에 대해서도 대처할 수 있는 보편적인 것이어야 하며, 이러한 힘들은 종방향과 횡방향의 구성요소로 분해하는 방법으로 접근하는 것이 최선의 방안이다. 이를 위해서 일부 계류라인(Head Line, Spring Line, Stern Line)은 종방향으로 연결하고, 일부 계류라인(Breast Line)은 횡방향으로 연결함으로써, 어느 부두에서나 적절하게 변경하여 적용할 수 있는 효과적인 계류형태의 기본적인 형태여야 한다. (김세원, 2010)

# BITIME & OCEAN

2) 계류효율성

일반적으로 선박이 횡접안하여 계류할 때에는 위의 Fig. 6과 같은 계류라인이 필요하다. 이중 헤드라인, 스턴라인, 스프링라인은 선박이 앞뒤(전후)로 이동하는 것을 방지하고, 브레스트라인은 선박이 안벽기준선의 직각방향으로 이동하는 것을 지지하여 부두에서 선박이 떨어지는 것을 억제한다. 헤드라인과 스턴라인은 계류삭을 종방향과 횡방향 사이의 어느 한 방향으로 내어줌으로써, 계류삭의 종방향 분력성분은 스프링라인과 같은 역할을 하고, 횡방향의 분력성분은 브레스트라인과 같은 역할을 하게 된다. 장력이 걸려 있는 상태에서 종방향의 구성성분을 보면, 서로 반대방향이어서 서로를 상쇄하는 경향이 있어 종방향의 억제력에 있어서는 효과적이지 못하다.(김세원, 2010)

Fig. 7과 같이 계류삭의 효율성은 부두와 계류삭으로 이루어진 수직각과 계류삭과 선박의 선수미선이 이루는 수평각에 의하여 영향을 받는다. 예를 들면 수직각 45° 방향으로 내어준 계류삭은 동일한 계류삭의 수직각 20°로 내어준 것에 비하여 계류삭 장력의 효율성은 75%밖에 되지 않으며, 동일하게 수평각도 역시 크면 클수록 종방향력에 대한 효율성이 떨어진다.(김세원, 2012) 항만 및 어항 설계기준에서는 계류라인의 수직각은 25° 이내로 하며, 어떠한



경우에도 30°를 초과하지 않도록 계획하는 것을 권고하고 있다.



Fig. 7 Effect of Hawser Orientation on Restraint Capacity

출처: OCIMF(The Oil Companies International Marine Forum) MEG3, 2008



3) 계류삭의 종류 및 특성

선박의 계류에 있어 계류삭의 종류, 파단력, 계류삭의 특성, 계류삭의 길이 등은 매우 중요한 요소이며, 이는 선박의 계류안전성에 큰 영향을 미친다. (Flory, J.F. and Ractliffe, A., 2005)

Fig. 8은 나일론, 폴리에스터, 폴리프로필렌과 같은 섬유 계류삭과 와이어 및 HMSF 계류삭에 대한 신축성과 하중을 나타낸 그래프이다. 와이어 및 HMSF(High Modulus Synthetic Fibre) 계류삭은 동일한 하중에 대해 나일론, 폴리에스터, 폴리프로필렌과 같은 섬유 계류삭에 비하여 낮은 신축성을 가지고 있으며, 이와 같이 신축성이 낮은 계류삭은 같은 하중이 작용하였을 때 신축성의 차이로 더 적게 늘어나며, 부두로부터 선박의 움직임을 최소화하고 선박의 동하중을 최소화 시키는 장점이 있다. 하지만 섬유 계류삭에 비하여 취급이 용이하지 않고, 파랑의 영향이 있는 경우 반복하중에 따른 과도한 하중이 작용하는 단점이 있다.(Banfield, S. and Flory, J., 2010)



Fig. 8 Typical Load/Extension Stiffness Characteristics of Mooring Ropes

출처: OCIMF(The Oil Companies International Marine Forum) MEG4, 2018



Fig. 9는 계류삭의 종류, 길이, 직경을 혼합하여 연결하였을 때의 계류삭 하중을 나타낸 그림이다. 같은 위치에 신축성이 다른 계류삭을 연결하는 경우 신축성이 작은 계류삭에 하중이 집중되며, 다른 길이의 계류삭을 연결하는 경우 길이가 짧은 계류삭에 하중이 집중된다. 이에 따라 일반적으로 계류삭은 같은 크기와 같은 유형(재질)을 사용하여야 하며, 같은 역할을 하는 계류삭은 같은 길이로 배치하여야 한다.



Fig. 9 Effectiveness of Mooring Stiffness on Restraint Capacity 출처: OCIMF(The Oil Companies International Marine Forum) MEG3, 2008



#### 3.2 계류선박의 운동

일반적으로 선박의 운동은 Fig. 10과 같이 6개의 자유도를 가진 운동이며, 상하이동(Heave), 좌우이동(Sway), 및 전후이동(Surge)과 같은 직교좌표축에 관한 3가지 병진운동과 좌우동요(Roll), 전후동요(Pitch) 및 선수동요(Yaw)와 같은 3가지 회전운동이 있다. 이 운동에는 모두 가속도가 포함되며, 그에 따르는 힘들이 선박구조에 걸리게 된다. 이러한 운동은 일종의 진동운동으로, 만일 선박이 어떤 힘에 의해 평형 위치로부터 벗어났을 경우, 그 힘이 제거되었을 때 선박은 운동이 감쇄되어 사라질 때까지 여러 형태의 동요를 계속한다.(문용호, 2012)



Fig. 10 Ship Motions with the 6 Degrees of Freedom

계류중인 선박은 바람, 조류, 파랑 등에 의한 외력의 영향으로 선박의 가속도, 속도 및 변위가 발생하게 된다.(Kudale, A., Vidula, S.V. and Sadhana, K.S., 2016) 이때 가속도 변수와 관계된 힘 성분을 부가질량력, 속도와 관련된 성분을 감쇠력, 변위와 관련된 성분을 복원력이라고 한다. 이러한 운동변수를 식(3.1)과 같이 선박운동방정식에 적용하여 선박에 작용하는 힘과 모멘트를 계산할 수 있으며, 이를 통해 부두의 계선주 및 방충재, 선박의 계류삭에 걸리는 힘과 모멘트를 계산할 수 있다.



$$\sum_{i=1}^{6} (M_{ij} + m_{ij}(\infty))\ddot{x}_i(t) + \sum_{i=1}^{6} \int_{-\infty}^{t} L_{ij}(t-\tau)\dot{x}_i(\tau)d\tau + D_{ij}\dot{x}_i$$

$$+ \sum_{i=1}^{6} (C_{ij} + G_{ij})x_i(t) = F_j(t)(j=1,2,\cdots,6)$$

$$(3.1)$$

$$L_{ij}(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty B_{ij}(\sigma)_{\rm COS} \sigma t dt \sigma$$

$$L_{ij}(t) = A_{ij}(\sigma_0) + \frac{1}{\sigma_0} \int_0^\infty L_{ij}(t) \sin\sigma t dt$$

여기서,

$$t$$
 : 시간

  $x$ 
 : 배수량

  $M_{ij}$ 
 : 질량 및 관성모멘트

  $m_{ij}$ 
 : 부가질량 및 부가관성모멘트

  $L_{ij}$ 
 : 지연함수

  $D_{ij}$ 
 : 지연함수

  $G_{ij}$ 
 : 정적복원력 계수

  $F_j$ 
 : 외력

  $B_{ij}(\sigma)$ 
\sigma에 대한 부가질량

출처: Ohgaki, K., Yoneyama, H. and Suzuki, T., 2008)





#### 3.3 계류선박에 작용하는 힘

선박에는 풍압력, 물의 흐름에 의한 유압력, 파력 등이 작용하며, 선박은 이러한 외력에 의한 하중의 작용을 받아 동요하게 되며, 선박의 동요에 의하여 선박의 계류삭의 장력, 계류시설의 계선주에 대한 견인력, 그리고 방충재에 대한 충격력 및 반력이 발생한다.

#### 3.3.1 풍력

Collection @ kmou

계류선박에 작용하는 풍하중은 풍속의 시간적 변동성, 선체의 단면 형상에 따라 풍항력계수의 특성을 고려하여 구한다. 선박에서의 풍력은 선박의 종축에 평행하게 작용하는 종방향 힘과 종축에 직각방향으로 작용하는 횡방향 힘의 2종류로 분류할 수 있으며, 수면 위에 드러난 수선상부 면적에 따라 변화한다. 선수방향의 바람은 수면상부의 정면투영면적에 영향을 미치므로 종방향 힘은 상대적으로 작고, 횡방향의 바람은 수면상 횡면투영면적에 작용하므로 대단히 큰 횡방향 힘을 미친다. 만일 선박의 선수미와 정횡사이의 어떤 방향으로부터 바람이 불면 종방향력과 횡방향력 양쪽에 영향을 미치게 되며, 선체의 구조적인 특성으로 인하여 정선수, 정선미 및 정횡에서 경면으로 부는 바람을 제외하고는 선체에 작용하는 풍력은 바람이 부는 방향과 동일한 방향의 합성풍력을 나타내지 않는다.(김세원, 2010)

선박에 작용하는 풍력의 산정에는 평균해면상 10미터의 풍속을 이용하며 평균해면상 임의높이 z에서의 풍속 V<sub>z</sub>와 평균해면상 10미터 높이에서의 풍속 V는 식(3.2)와 같은 풍속분포관계를 가진다.

$$V_z = V(\frac{z}{10})^{\gamma} \tag{3.2}$$

여기서, γ는 풍속의 분포형을 규정하는 지수이며, 일반적으로 해상에서는 1/7을 채용한다. 또한, 선박에 작용하는 풍력  $R_{aH}$ 의 산정에는 일반적으로 식 (3.3)과 같은 휴즈(Huges)의 식(1930)이 이용된다.

$$R_{aH} = \frac{1}{2}\rho_a C_a V^2 (A \sin^2 \phi + B \cos^2 \phi)$$
(3.3)

여기서,  $\rho_a$ 는 공기밀도,  $C_a$ 는 바람의 합력계수이다.

식(3.3)은 단일외력이 작용하는 경우에 간편하게 적용할 수 있는 식이나 조류력 등의 합성외력이 작용하는 경우에는 실용상 많은 어려움이 따른다. 따라서 풍력 이외의 외력이 작용하는 경우를 고려하여 풍력 값을 식(3.4)와 같이 분력의 합으로 표기한다.

$$R_a = R_{ax}i + R_{ay}j \tag{3.4}$$

여기서  $R_{ax}$  및  $R_{ay}$ 는 각각 식(3.5) 및 식(3.6)에 나타낸 바와 같이 x 및 y방향의 풍력의 분력이며, i 및 j는 각각 x 및 y방향 단위벡터이다.

$$R_{ax} = \frac{1}{2}\rho_a C_{ax} V^2 (A\sin\phi\cos\phi + B\cos\phi\cos\phi)$$
(3.5)

$$R_{ay} = \frac{1}{2}\rho_a C_{ay} V^2 (A\sin\phi\sin\phi + B\cos\phi\sin\phi)$$
(3.6)

여기서 ρ<sub>a</sub>는 공기밀도, C<sub>ax</sub> 및 C<sub>ay</sub>는 각각 x 및 y방향의 바람의 항력계수이다. 식(3.5) 및 식(3.6)에서 우변의 괄호 안은 각각 수풍면적의 x 항(식(3.5)) 및 수풍면적의 y항(식(3.6))을 나타낸다.

또한, 각 분력(식(3.5)와 식(3.6))을 합성하여 풍압력(풍력)  $R_a$ 를 얻는다.

$$R_a = |R_a| \tag{3.7}$$

$$= \sqrt{R_{ax}^2 + R_{ay}^2}$$

$$=\frac{1}{2}\rho_a C_a V^2 (A\sin\phi + B\cos\phi)$$

식(3.7)에서  $C_{ax} = C_{ay} = C_a$ 로 하였다.

식(3.3)과 식(3.7)을 무차원화하여, 식(3.8) 및 식(3.9)을 얻는다.


$$\frac{R_{aH}}{\frac{1}{2}\rho_a C_a V^2 A} \equiv R_{aH}^*$$
(3.8)

$$=\sin^2\phi + \frac{B}{A}\cos^2\phi$$

$$\frac{R_a}{\frac{1}{2}\rho_a C_a V^2 A} \equiv R_a^*$$

$$= \sin\phi + \frac{B}{A}\cos\phi$$
(3.9)

Fig. 11에 R<sup>\*</sup><sub>aH</sub>와 R<sup>\*</sup><sub>a</sub>를 비교하여 나타낸다. 그림에서 횡축은 풍향 φ, 종축은 무차원 풍력 R<sup>\*</sup><sub>aH</sub>와 R<sup>\*</sup><sub>a</sub>, ○와 ●는 각각 B/A=0인 경우의 R<sup>\*</sup><sub>aH</sub>와 R<sup>\*</sup><sub>a</sub>, □와
■는 각각 B/A=1인 경우의 R<sup>\*</sup><sub>aH</sub>와 R<sup>\*</sup><sub>a</sub>를 나타낸다. 일반적으로 0<B/A<1이며 그림에는 양극단을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 R<sup>\*</sup><sub>a</sub>는 R<sup>\*</sup><sub>aH</sub>
보다 항상 큰 값을 나타내며 또한 위험값을 나타낸다.(한길용, 1999)



Fig. 11 Comparison of  $R_a^*$  and  $R_{aH}^*$ 

출처: 한길용, 1999



#### 3.3.2 조류력

계류선박에는 조류의 흐름에 의한 유체압력이 작용하며, 조류에 의한 유체압력은 마찰저항과 압력저항으로 나누어지는데, 선수방향에서 흐르는 조류에 의한 압력은 대부분 마찰저항이며, 측면에서 흐르는 조류에 의한 압력은 대부분 압력저항이라 생각할 수 있다.(해양수산부, 2014a)

선박이 안벽에 계류하는 곳은 일반적으로 천해역이며 천해역에서는 조류가 탁월하다. 특히 대형선일 경우 공선시의 바람보다 만재시의 조류가 계류력에 더 큰 영향을 미친다.

선박에 작용하는 조류력의 산정에는 임의수심 z에서의 조류속 W<sub>z</sub>와 평균해면에서의 조류속 W는 바람의 경우와 비슷하게 식(3.10)과 같은 연직분포관계를 가진다.

$$W_z = W(1 - \frac{z}{h})^{\delta} \tag{3.10}$$

여기에서 h는 평균수심, δ는 유속의 분포형을 규정하는 지수이며 조류의 경우는 1/7을 채용한다.

조류력  $R_w$ 는 풍력  $R_\alpha$ 의 값을 구하는 식과 비슷하며, 식(3.11)과 같이 분력의합으로 표기한다.

$$R_w = R_{wx}i + R_{wy}j \tag{3.11}$$

여기서  $R_{wx}$  및  $R_{wy}$ 는 각각 식(3.12)와 식(3.13)에 나타낸 바와 같이 x 및 y방향의 조류력의 분력이다.

$$R_{wx} = \frac{1}{2} \rho_w C_{wx} W^2 (A' \sin\phi \cos\phi + B' \cos\phi \cos\phi)$$
(3.12)

$$R_{wy} = \frac{1}{2} \rho_w C_{wy} W^2 (A' \sin\phi \sin\phi + B' \cos\phi \sin\phi)$$
(3.13)

여기서 ρ<sub>w</sub>는 해수의 밀도, C<sub>wx</sub> 및 C<sub>wy</sub>는 각각 x 및 y방향의 해수의 항력계수, A'및 B'는 각각 선체의 수면하 측면투영면적 및 정면투영면적이다.





바람의 경우와 마찬가지로 식(3.12)와 식(3.13)의 괄호안은 각각 조류작용면적의 x항 및 y항을 나타낸다. 또한, 각 분력을 합성하여 조류합력(조류력)  $R_w$ 을 얻는다.

$$R_w = |R_w|$$

$$= \sqrt{R_{wx}^2 + R_{wy}^2}$$

$$= \frac{1}{2} \rho_w C_w W^2 (A' \sin\phi + B' \cos\phi)$$
(3.14)

식 (3.14)에서  $C_{wx} = C_{wy} = C_w$ 로 하였다.(한길용, 1999)

#### 3.3.3 파력

선박이 정박하는 계류시설은 대부분 충분한 정온도를 확보한 정온해역에 위치하고 있다. 이에 따라 계류하고 있는 선박에는 바람, 조류, 파랑 등에 의한 각종 외력 중 주로 바람 및 조류에 의한 외력이 작용한다. 그러나 외해에 위치한 계류시설이나 외해로부터 파랑이 유입되는 수역에 위치한 계류시설의 경우 바람 및 조류 뿐만 아니라 파랑에 의한 파력의 큰 영향을 받는다.

계류선박에 작용하는 파력은 선형이나 파의 제원을 고려하여 적절한 방법으로 계산한다. 스트립법, 특이점분포법, 경계요소법, 유한요소법 중 적절한 방법을 사용하지만 선박에서는 스트립법을 가장 많이 사용한다.

스트립법에 의한 선체에 작용하는 규칙적인 파력은 프루드 크릴로프의 힘(Froude-kriloff Force)과 선체에 의한 회절파력의 힘(Diffraction Force)의 합으로 구성된다. 여기서 프루드 크릴로프의 힘(Froude-kriloff Force)은 선체를 통과하는 파에 의한 힘으로 입사파의 힘과 접안시설에 의한 반사파에 의한 힘의 합이고, 선박에 의한 반사파의 힘은 입사파가 선체에 의해 분산될 때의 압력의 변화로 인해 발생하는 힘으로 이 압력의 변화를 상대적으로 선체를 운동하게 하여 라디에이션의 유체력(Radiation Force), 정지유체 속을 선박이 어느 정도의 속도로 운동할 때의 조파저항력(造波抵抗力)으로 바꾸어 추정할 수 있다. 이때의 선박의 속도는 선체단면과 입사파의 물입자와의 상대속도가



같다고 가정하고 이 속도를 등가상대속도(等價相對速度)라 부른다.

선체단면에 작용하는 프루드 크릴로프(Froude-kriloff Force)의 힘과 반사파의 힘은 선박의 장축방향에 따라  $x = -L_{pp}/2$ 부터  $x = L_{pp}/2$ 까지 적분하여 선체전체에 파력을 구할 수 있다. 만약 선박의 블록계수(Cb)가 0.7~0.8 정도이고 배후에 반사구조물이 없고 선박의 동요가 작다고 보아질 때에는 선박을 타원주체로 가정하고 회절파 이론을 근거로 한 식에 의한 파력을 계산할 수 있다.(해양수산부, 2014a)

#### 3.3.4 계류력

선박이 안벽에 계류하는 경우, 계류현쪽이 안벽이므로 계류현 반대쪽에서 계류현쪽으로 작용하는 외력은 계류력에 큰 영향을 미치지 못한다. 계류삭에 작용하는 계류력(장력)을 T라 할 때, 수평계류력 H를 분력의 합으로 표기하여 식(3.15)을 얻는다.

$$H = H_x i + H_y j \tag{3.15}$$

여기서 H<sub>x</sub> 및 H<sub>y</sub>는 각각 x방향 및 y방향의 계류력의 분력이며 식(3.16) 및 식(3.17)으로 나타낸다. Fig. 12 및 Fig. 13에서 α(∠ PSQ)는 선상의 계류점 P의 수평면과 계류색이 이루는 각(수각)이며, β는 선체에서 계류현쪽으로 배치된 계류색이 선수미선과 이루는 각(사출각)이다.

$$H_x = T\cos\alpha\sin\beta \tag{3.16}$$

(3.17)

 $H_y = T \cos \alpha \cos \beta$ 

계류력 H는 식(3.18)과 같이 계류분력 H<sub>x</sub>와 H<sub>y</sub>을 합성하여 구해진다.

$$H = |H| \tag{3.18}$$

 $=\sqrt{H_x^2+H_y^2}$ 

 $= Tcos\alpha$ 

선체에 작용하는 외력인 풍력, 조류력, 파력 등은 계류력과 평형을 이루며 x



및 y방향의 평형식은 각각 식(3.19)및 식(3.20)이 된다.

$$\frac{1}{2}\rho_{a}C_{ax}V^{2}(A\sin\phi\cos\phi + B\cos\phi\cos\phi) + \frac{1}{2}\rho_{w}C_{wx}W^{2}(A'\sin\phi\cos\phi + B'\cos\phi\cos\phi)$$

$$= T\cos\alpha\sin\beta \qquad (3.19)$$

$$\frac{1}{2}\rho_{a}C_{ay}V^{2}(A\sin\phi\sin\phi + B\cos\phi\sin\phi) + \frac{1}{2}\rho_{w}C_{wy}W^{2}(A'\sin\phi\sin\phi + B'\cos\phi\sin\phi)$$

$$= T\cos\alpha\sin\beta$$

(3.20)



Fig. 12 Angles of Mooring Line

바람은 선체정횡 계류현쪽에서 불고, 조류는 선수에서 선미쪽으로 흐를 때 를 가정하면 식(3.19)및 식(3.20)에서 각각 식(3.21)및 식(3.22)을 얻는다.

$$T\cos\alpha\sin\beta = \frac{1}{2}\rho_w C_{wy} W^2 B'$$
(3.21)

$$T\cos\alpha_{\rm COS}\beta = \frac{1}{2}\rho_a C_a V^2 A \tag{3.22}$$

식(3.21)과 식(3.22)를 제곱하여 합성하면, 수평계류력 *Tcos*α(=*H*)를 얻을 수 있다.(한길용, 1999)

$$T\cos\alpha = H \tag{3.23}$$





$$= \sqrt{(\frac{1}{2}\rho_{a}C_{a}V^{2}A)^{2} + (\frac{1}{2}\rho_{w}C_{w}W^{2}B')^{2}}$$

Fig. 13 Forces Acting on a Moored Vessel



15

3.4 계류안전성평가

## 3.4.1 평가 개요

계류안전성평가란 계류중인 선박에 외력이 가해졌을 때, 계류선박의 동요 (6자유도 운동에 대한 진폭)를 산출하고, 계류삭의 장력, 계선주에 작용하는 견인력, 방충재의 반력 등과 같은 계류선박의 안전성을 정량적으로 평가하는 것이다.(김원욱, 이성욱, 배준영, 2017)

계류안전성은 조류 및 조위, 바람, 파랑 등과 같은 환경외력, 대상부두의 선석 치수, 계선주, 방충재 등과 같은 계류시설 그리고 대상선박의 제원, 계류시스템, 계류배치, 계류방법 등을 종합적으로 고려하고 체계적으로 분석함으로써 평가되어 지며, 주요 평가 항목은 다음과 같다.(김승연, 2018)

- 계류선박에 작용하는 하중 분석
- 계류삭의 장력 평가
- 계선주에 작용하는 견인력 평가
- 방충재의 반력 평가
- 계류 선박의 운동 및 선체 동요에 따른 하역 안전성 및 한계 검토

Fig. 14는 계류시설에 계류하고 있는 선박에 바람, 조류, 파랑 등과 같은 환경외력이 작용하는 경우의 선박과, 계류시스템(계류삭, 계선주, 방충재)에 작용하는 힘을 도식화 한 것이다.



Fig. 14 Free Body Diagram



기본적으로는 이러한 힘 및 모멘트가 평형을 이루는 조건, 즉 식(3.24)를 만족하는 조건을 분석하면, 각 계류삭에 작용하는 장력, 계선주에 작용하는 견인력, 방충재의 반력 등을 추정할 수 있다.

$$\sum F_X + \sum P_X = 0(Surge) \tag{3.24}$$

 $\sum F_Y + \sum P_Y = 0 (Sway)$ 

 $\sum M_{XY} + \sum N_{XY} = 0 (Yaw)$ 

여기서,  $\sum F_X$ ,  $\sum F_Y$ ,  $\sum M_{XY}$ 는 바람, 조류, 파랑 및 기타 외력 등 환경 외력의 선체 길이방향, 횡방향 모멘트 성분이고,  $\sum P_X$ ,  $\sum P_Y$ ,  $\sum N_{XY}$ 는 계류삭, 방충재 등 계류시스템에 의한 선체 길이방향, 횡방향 모멘트 성분이다. 위 식은 구하려는 미지수에 비해 방정식의 숫자가 적은 전형적인 부정정계(Statically Indeterminate System)이며, Iteration기법에 의해 평행상태를 구한다.(이리나, 2016.) 즉, 가해진 외력에 따라 계류시스템에서 선체 평형을 찾는 정적해석과 파랑에 의한 선체의 동적거동을 통계적으로 고려하는 주파수영역에서의 동적해석 및 외력 조건의 시간에 대한 비선형성을 고려한 시간영역 해석을 수행한다.(전상엽, 김영모, 우병구, 정현, 2008)



Fig. 15 TTI Optimoor Program

본 논문에서는 국내 해상교통안전진단의 계류안전성평가에 대표적으로 사용되고 있는 미국 TTI(Tension Technology International)사의 OPTIMOOR SW(Ver. 6.4.1, 2017.06.06. Update)를 사용하여, 한국해양대학교 실습선 전용부두에 계류하는 실습선 한나라호에 대한 계류해석 및 계류안전성평가를 수행하였다. 이 계류해석 프로그램을 이용하여 각 조건(시나리오)에 따라 수치시뮬레이션을 수행하며, 대상부두 및 선박의 계류삭의 장력, 계선주에 작용하는 견인력, 방충재의 반력, 하역안전성 등과 같은 계류안전성 평가요소에 대하여 평가하고 분석한다.

이 프로그램은 선박의 계류배치를 계획하고, 부두의 계류시설의 적합성을 평가하는데 사용되며, 또한 부두의 계류시스템에 대한 선박 계류시스템의 적절성을 평가할 수 있다. 그리고 다양한 기상 외력조건에서 선박이 안전하게 계류할 수 있는지 여부를 판단하고, 안전이 확보되지 않는 경우 운항관리자 또는 운항자가 특별한 조치 또는 제한을 하는데 있어서의 정량적 지표로써 참조된다.(Ractliffe, A. and Flory, J.F., 2012.)





3.4.2 평가 좌표계

1) 부두 좌표계

해석에 사용된 부두 좌표계( $O_b - x_b y_b z_b$ ) 및 부호규약(Notation)은 Fig. 16과 같다. 부두 좌표계의 원점은 각 부두의 중앙점으로 설정하였으며, 방충재의 법선 상에 존재하는 것으로 설정하였다. 또한 높이 방향으로는 부두 높이 위치에 존재한다.



Fig. 16 Pier Coordinate System and Notation



바다에서 부두 쪽을 보았을 때, 우측 방향을 +x<sub>b</sub>축, 부두방향을 +y<sub>b</sub>축으로, 그리고 연직 상방향을 +z<sub>b</sub>축으로 설정하였다. 부두의 방향은 진북(North) 방향으로부터 시계 방향으로 정의된다. A, B, C, … 등은 부두에 위치한 계선주를 의미하며, aa, bb, cc, … 등은 방충재를 의미한다.

계선주, 방충재 등에 작용하는 힘은 Fig. 17과 같이 정의된다. *X*방향 힘은, 부두법선에 평행한 방향이며, 바다에서 부두를 보았을 때 우측 방향을 (+)로 정의 한다. *Y*방향 힘은, 바다쪽 방향을 (+)로 정의한다.(김승연, 2018)



Fig. 17 Direction of the Force Acting on the Bollard



2) 선박 좌표계

해석에 사용된 선박 좌표계( $O_s - x_s y_s z_s$ ) 및 부호규약(Notation)은 Fig. 18과 같다. 선박 좌표계의 원점은 선박의 중앙(Midship)으로 설정하였으며, 선박의 Centerline 상에 존재하는 것으로 설정하였다. 또한 높이 방향으로는 상갑판(Main Deck)상에 존재한다.



Fig. 18 Vessel Coordinate System and Notation

선수방향을  $+x_s$ 축, 접안 방향에 관계없이 부두 방향을  $+y_s$ 축으로, 그리고 연직 상방향을  $+z_s$ 축으로 설정하였다. 선박의 Fairlead 위치는 1, 2, 3, … 등의 번호로 표시하며, 번호가 빠를수록 선수부에 있는 Fairlead를 의미한다.



Fairlead의 번호는 그 Fairlead를 통과하는 계류삭의 번호와 동일하다. 부두에 대한 선박의 상대 위치는, 부두 목표점(Berth Target)에 대한 선박 목표점(Vessel Target)을 이용하여 정의한다. 부두 목표점과 선박 목표점은 최종적으로 접안이 완료된 상태에서 길이 방향으로 일치하도록 설정된 점을 의미한다. 한편, 선박에 작용하는 힘은 Fig. 19와 같이 정의된다. X방향 힘은, 선박의 길이방향 힘이며, 선미쪽을 향할 때(+)로 정의되며, Y방향 힘은, 우현 방향을(+)로 정의한다. 모멘트는 반시계 방향(우현방향)이 (+)로 정의된다.

바람, 파랑 및 조류 등의 절대 방향은, 모두 이들이 오는 방향이 북쪽에서 시계방향으로 어느 각도를 갖는 가로 정의된다.(북풍: 0°, 동쪽에서 오는 파도: 90°, 남쪽에서 오는 조류: 180°, 서풍: 270° 등)(김승연, 2014)



Fig. 19 Direction of the Force and the Moment acting on the Vessel



## 3.5 계류상황 모델링

계류해석 및 계류안전성평가는 항만 및 부두의 자연환경, 대상부두의 길이, 수심, 마루높이, 계선주의 위치 및 용량, 방충재 종류 및 타입 등과 같은 계류시설 정보, 그리고 대상선박의 제원 및 형상, 계류시스템, 계류배치, 계류방법 등을 종합적으로 고려하고, 체계적으로 분석함으로써 이루어진다. 정확한 해석 및 평가를 위하여 부두 및 선박의 설계도면 등을 바탕으로 다음과 같이 모델설계(모델링) 하였다.

### 3.5.1 부두

1) 선석 길이

선석의 길이는 대상선박이 특별히 정해진 경우 또는 단독 이용을 전제로 하여, 해당 선박의 전장에 선수 및 선미 계류라인에 의한 선박계류에 필요한 길이를 더한 값을 기본으로 한다.(해양수산부, 2014a)

대상부두의 선석은 Fig. 20과 같이 중력식 구간과 널말뚝식 구간으로 나누어지는데, 실습선 한나라호가 접안하는 길이는 190.0m의 널말뚝식 구간을 평가대상 선석으로하여 모델링하였다.



Fig. 20 Length of KMOU Training Ship Wharf

출처: 한국해양대학교, 2019

Collection @ kmou

2) 선석 수심

수심에 따라 선박흘수 및 수심의 비율이 달라지며, 이는 선박에 작용하는 조류력에 영향을 미친다.(Gaythwaite, J.W., 2014) 선석의 수심은 파랑, 바람, 조류 등에 의한 대상선박의 동요정도를 고려하며, 대상선박의 만재흘수 이상으로 기준면하 만재흘수에 여유수심을 확보한 수심을 표준으로 한다. (해양수산부, 2014a)

대상부두의 널말뚝식 구간의 설계수심은 DL.(-) 7.50m이며, 아래 식(3.25)에서 구한 계획수심 수심은 DL.(-) 7.20m이다. 현재 대상부두는 장기간의 퇴적물로 인하여 설계수심을 충족하고 있지 않으나, 2020년 대상부두의 준설계획에 따라 계획수심 수준으로 준설 공사를 진행할 예정이므로, 본 연구에서는 대상부두의 수심으로 DL.(-) 7.20m으로 설정하였다.

H = D + Ds + Dr + Dt + Dw

$$= 6.40m + 0m + 0.3m + 0m + 0.5m$$

= 7.20m

여기서, H : 계획수심(m)

D : 선박의 만재흘수 🕥

Ds : 선박 항행 시 선체침하깊이(항행속도 8kt일 때 0.5m)

Dr : 해저 토질조건에 따른 여유수심(모래 0.3m, 암반 0.6m)

Dw : 파고에 의한 여유수심(평상파의 1/2)

3) 마루높이

계류시설의 마루높이는 대상선박의 주요치수, 이상조위, 파랑 등의 자연 상황과 지반침하, 인근지역의 적용사례 등을 충분히 고려하여 적절하게 결정하게 되며, 이때 마루높이의 설정기준이 되는 조위는 일반적으로 약최고고조위(A.H.H.W.)로 한다. 대상선박이 특별히 정해지지 않은 경우에는

Collection @ kmou

(3.25)

일반적으로 Table. 8의 기준에 따라 마루높이가 결정되며, 파랑의 영향을 비교적 크게 받는 특수한 경우, 즉 안벽에서 파랑에 의한 월파방지가 요구되어지는 경우에는 설계조위에 항내파고를 적정한 방법으로 더한 높이 이상을 마루높이로 결정할 수 있다.(해양수산부, 2014a)

 

 구분
 조차 3.0m 이상
 조차 3.0m 미만
 비고

 대형 접안시설 (수심 4.5m 이상)
 A.H.H.W. + (0.5~1.5m)
 A.H.H.W. + (1.0~2.0m)

 소형 접안시설 (수심 4.5m 미만)
 A.H.H.W. + (0.3~1.0m)

Table. 8 Standard of Crown Height

위의 기준에 따라 한국해양대학교 실습선 부두는 수심 4.5m이상, 조차 3.0m 미만인 조건에 해당되며, DL.(+) 1.226m(A.H.H.W)에 여유고 1.0~2.0m를 두어야 한다. 현재 대상부두의 마루높이는 DL.(+) 1.226m(A.H.H.W)에서 여유 높이 1.774m를 확보한 DL.(+) 3.000m이며, 이 값을 평가에 적용하였다.



Fig. 21 Section of KMOU Wharf



4) 계선주

안벽에는 선박의 안전하고 원활한 계류 및 하역이 이루어질 수 있도록 선박의 계류삭 위치를 감안하여 적절히 계선주를 설치하여야 한다.

평상시 계류용이나 이·접안시의 조선용으로 사용되는 계선주는 계류삭이 부두뜰에 걸쳐지면 하역작업에 장애가 되므로 수제선 가까이에 배치하며, 계류삭이 위로 끌리는 수가 있으므로 곡주를 쓴다. 곡주는 평상시의 선박의 계류나 이·접안에 사용할 수 있도록 선석의 수제선 부근에 배치하고, 직주는 폭풍 시에 선박을 계류하기 위하여 선석 양단에 수제선에서 되도록 멀리 설치한다.(해양수산부, 2014a)

실습선 한나라호는 평가 대상부두의 널말뚝식 구간에 접안하며, 해당구간의 계선주 설치현황은 Fig. 22~23 및 Table. 9와 같다. 널말뚝식 구간의 선수 및 선미 측에 각각 70톤 직주 그리고 50톤 곡주가 1개씩 설치되어 있으며, 부두 상부 전면에 35톤 곡주들이 약 20m 간격으로 9개가 배치되어 있다. 선수 측 70ton 직주의 높이는 0.3m, 선미 측 50톤 곡주의 높이는 0.6m이며, 그리고 나머지 35톤 곡주의 높이는 0.6m이다.



Fig. 22 Installation Status of Mooring Bollards

Туре	Capacity	Installation Interval	Quantity	Remark
Bollard	35 TON	20m	9 EA	
Mooring Post	70 TON	_	1 EA	FWD
Bollard	50 TON	_	1 EA	AFT

Table. 9 Installation Status of Mooring Bollards



Fig. 23 Mooring Bollards of KMOU Training Ship Wharf

5) 방충재

안벽에는 선박의 안전하고 원활한 접안 및 계류가 이루어질 수 있도록 자연조건, 이용선박 및 계류시설의 구조에 따라 소요제원의 방충설비를 적절히 배치하여야 한다. 선체와 안벽사이에는 선박의 접안 시와 계류 중에 파랑이나 바람에 의한 동요 시 접안력 및 마찰력이 작용하며, 선체 및 구조물의 손상을 방지하기 위하여 안벽에 방충설비를 설치한다.(해양수산부, 2014a)

실습선 한나라호는 대상부두의 널말뚝식 구간(190m)에 접안하며, 해당구간은 Fig. 25와 같이 안벽 측에 CV-Type(500H×2,000L) 방충재와 Pneumatic-Type ( $\phi$ 1,500×3,000L) 방충재가 설치되어 있다. 안벽에 설치된 CV-Type 방충재의



경우 파손 및 노후화로 사용되고 있지 않으며, 접안 시 CV-Type 방충재보다 규격이 큰 Pneumatic-Type 방충재가 방충설비 역할을 하고 있다. 이에 본 연구에서는 Pneumatic-Type 방충재만을 모델링하였으며, 이 방충재의 특성 및 설치현황은 Table. 10 및 Fig. 24~25와 같다.

<b>Type</b> Pneumatic	$\mathbf{F}$ Siz $\mathbf{\Phi}$ 1,	Performance Size & Quantity $\frac{1}{2}$		Ene Abso	ergy rption kN·m	Reaction Force	Hu Pressu 60 Defle	ill ire at % ction kPA	Internal Initial Pressure
Туре		(9E	A)	100		010 11	102		
	Energy Atsorption (kM-m)	200 175 150 125 100 75 50 25 0 0 0 50 0 0 50	Reac	and a second sec		35 40 (%)	45 50	801 701 601 501 401 304 201 101 55 60	Bactor (N)

Table. 10 Specification of Pneumatic Fender

Fig. 24 Performance Curve of Pneumatic Fender 출처: THE YOKOHAMA RUBBER CO., LTD.





## Fig. 25 Fender of KMOU Training Ship Wharf

3.5.2 선박

1) 풍압면적

본 연구에서는 실습선 한나라호의 일반적인 발라스트(Ballast) 상태를 기준으로 평가하였다. 대상선박의 풍압면적은 대상선박의 의장수를 결정하는 'Equipment Number Calculation'도면에서 계산된 풍압면적(최대만재흘수 6.4m 기준)을 일반적인 발라스트(Ballast) 상태의 운항 흘수인 6.0m 기준으로 환산하였으며, 그 값은 Table. 11과 같다.

Table.	11	Projected	Area	of	'HANNARA'
--------	----	-----------	------	----	-----------

Item	Description (m <sup>2</sup> )	Remark	
수면상 정면투영면적 (Transverse Projected Area)	302.6	Draft: 6.4m	
수면상 측면투영면적 (Lateral Projected Area)	1,430.3	even Keel (만재시)	
수면상 정면투영면적 (Transverse Projected Area)	310.4	Draft: 6.0m	
수면상 측면투영면적 (Lateral Projected Area)	1,478.3	Lven Keel (운항흘수)	



2) 계류시스템

본 연구에서는 계류시스템 및 외력조건 변화에 따른 선박의 계류안전성 분석을 위하여 두 가지 종류의 계류삭 및 일반적인 계류배치 외 계류삭 보강시의 계류배치 조건을 적용하여 평가를 수행하였다.

Table. 12는 평가에 적용된 두가지 종류의 계류삭의 특성을 나타낸 것이다. 첫 번째는 본선 인수시 설치된 직경 82mm, 길이 11m의 나일론(Nylon) Tail Rope(MBL 125ton)와 결합된 직경 36mm의 UHMPE Rope(MBL 90ton)이며, 두 번째는 현재 본선의 UHMPE Rope를 대체하여 임시 사용하고 있는 직경 55mm의 나일론 Rope(MBL 48ton)이다.

	Item	Mooring Line 1	Mooring Line 2	Remark
	Type of Rope	UHMPE	8 - Strand Nylon Rope	
	Diameter	36mm	55mm	
ROPE	Minimum Breaking Load	90.0 TON	48.0 TON	
	Working Limit	49.5 TON	26.4 TON	MBL×55% (OCIMF, 2018)
	Tail Rope Diameter	82mm (Nylon)	_	
	Tail Rope Minimum Breaking Load	125.0 TON	_	
	Break Capacity	29.0	TON	Brake Slip

Table. 12 Characteristics of Mooring Line



고강도 계류삭을 이용한 일반 환경에서의 일반적인 계류배치 조건인 CASE 1을 기준으로 하여, 강풍 및 악천후시 외력에 의한 하중을 감쇄하기 위하여 브레스트라인을 추가한 계류삭배치 조건, 그리고 고강도 계류삭을 대신하여 나일론 계류삭 사용 조건 등 총 5가지의 복합적인 CASE에 대한 평가를 수행하였다. 이를 정리하여 나타내면 Table. 13과 같다.

		Quantity of Mooring Line							
CASE	Mooring Arrangement		FWD		AFT			TOTAT	
	mungement	Head	Head Breast		Head	Breast	Spring	IUIAL	
CASE 1	Normal Mooring (UHMPE Rope)	4	STIME &	2	2		4	12	
CASE 2	Breast Line '1EA' Added (UHMPE Rope)	4	1	2	2	1	4	14	
CASE 3	Normal Mooring (Nylon Rope)	4	194	2	2		4	12	
CASE 4	Breast Line '1EA' Added (Nylon Rope)	4	୬/ 2 1	2	2	1	4	14	
CASE 5	Breast Line '2EA' Added (Nylon Rope)	3	2	2	2	2	3	14	

Table. 13 Case of Evaluation of Mooring Safety



CASE 1은 직경 82mm, 길이 11m의 나일론(Nylon) Tail Rope(MBL 125ton)와 결합된 직경 36mm의 UHMPE Rope(MBL 90ton)를 사용하는 계류배치로 Table. 14와 같다. 일반 환경에서의 일반적인 계류배치로 선수 헤드라인 4개, 선수 스프링라인 2개, 그리고 선미 스프링라인 2개, 선미 스턴라인 4개 총 12개의 계류삭으로 구성하였다.

Item	Pos	ition	Quantity	Number	Remark
		Breast	_	_	UHMPE
	FWD	Head	4	Line 1,2,3,4	Rope
Mooring		Spring	2	Line 5,6	+
Line		Spring	2	Line 7,8	Nylon
	AFT	Stern	4	Line 9,10,11,12	Tail
		Breast	E & HEFN	b =	Rope
Dollard	FV	VD	2	Bitt A,C	
Dollaru	Al	T	2	Bitt F,I	
Fender	ALL		9	Fender aa∼ii	
$\odot$			them Targer		
				32	•
	mě-r	रहे म ठी	38 A		5

Table. 14 Mooring Arrangement of CASE 1



CASE 2는 직경 82mm, 길이 11m의 나일론(Nylon) Tail Rope(MBL 125ton)와 결합된 직경 36mm의 UHMPE Rope(MBL 90ton)를 사용하는 계류배치로 Table. 15와 같다. 강풍 및 악천후시 횡방향 외력에 대응하기 위하여 선수 측은 부두로부터 떨어진 곳에 설치된 직주, 선미측은 부두 끝단의 곡주를 사용하여 선수미에 브레스트라인 각 1개를 추가 보강하여 연결하였다. 즉, 선수 헤드라인 4개, 선수 브레스트라인 1개, 선수 스프링라인 2개, 그리고 선미 스프링라인 2개, 선미 브레스트라인 1개, 선미 스턴라인 4개로 총 14개의 계류삭으로 구성하였다.

Item	Pos	ition	Quantity	Number	Remark
		Breast		Line 1	UHMPE
	FWD	Head	4	Line 2,3,4,5	Rope
Mooring		Spring	2	Line 6,7	+
Line		Spring	2	Line 8,9	Nylon
	AFT 🧲	Stern	4	Line 10,11,12,13	Tail
		Breast	1	Line 14	Rope
Dollard	FV	VD	2	Bitt A,C,J	
Dollaru	AI	T	2	Bitt F,I,K	
Fender	Al	LL	9	Fender aa∼ii	
	TIÔ. F	- <b>1</b>		nê m. mê	

Table. 15 Mooring Arrangement of CASE 2



CASE 3은 직경 55mm의 나일론(Nylon) Rope(MBL 48ton)를 사용하는 계류배치로 Table. 16과 같다. 일반 환경에서의 일반적인 계류배치로 선수 헤드라인 4개, 선수 스프링라인 2개, 그리고 선미 스프링라인 2개, 선미 스턴라인 4개 총 12개의 계류삭으로 구성하였다.

Item	Pos	ition	Quantity	Number	Remark		
		Breast	_	_			
	FWD	Head	4	Line 1,2,3,4			
Mooring		Spring	2	Line 5,6	Nylon		
Line		Spring	2	Line 7,8	Rope		
	AFT	Stern	4	Line 9,10,11,12			
		Breast	-	_			
Dolland	FV	VD	2	Bitt A,C			
Dollaru	Al	T	2	Bitt F,I			
Fender	ALL		9	Fender aa∼ii			
$\odot$	LOD-	Inter	line Teger	ERSITY			

Table. 16 Mooring Arrangement of CASE 3



CASE 4는 직경 55mm의 나일론(Nylon) Rope(MBL 48ton)를 사용하는 계류배치로 Table. 17과 같다. 강풍 및 악천후시 횡방향 외력에 대응하기 위하여 선수 측은 부두로부터 떨어진 곳에 설치된 직주, 선미측은 부두 끝단의 곡주를 사용하여 선수미에 브레스트라인 각 1개를 추가 보강하여 연결하였다. 즉, 선수 헤드라인 4개, 선수 브레스트라인 1개, 선수 스프링라인 2개, 그리고 선미 스프링라인 2개, 선미 브레스트라인 1개, 선미 스턴라인 4개로 총 14개의 계류삭으로 구성하였다.

Item	Pos	ition	Quantity	Number	Remark
		Breast	1	Line 1	
	FWD	Head	4	Line 2,3,4,5	
Mooring		Spring	2	Line 6,7	Nylon
Line		Spring	2	Line 8,9	Rope
	AFT	Stern	4	Line 10,11,12,13	
		Breast	1	Line 14	
Dollard	FV	VD	2	Bitt A,C,J	
Dollaru	Al	T	2	Bitt F,I,K	
Fender	A	LL	9	Fender aa∼ii	
•					
×.			1.1		Y

Table. 17 Mooring Arrangement of CASE 4



CASE 5는 직경 55mm의 나일론(Nylon) Rope(MBL 48ton)를 사용하는 계류배치로 Table. 18과 같다. 강풍 및 악천후시 횡방향 외력에 대응하기 위하여 선수 측은 부두로부터 떨어진 곳에 설치된 직주, 선미측은 부두 끝단의 곡주를 사용하여 선수미에 브레스트라인 각 2개를 추가 보강하여 연결하였다. 즉, 선수 헤드라인 3개, 선수 브레스트라인 1개, 선수 스프링라인 2개, 그리고 선미 스프링라인 2개, 선미 브레스트라인 1개, 선미 스턴라인 3개로 총 14개의 계류삭으로 구성하였다.

Item	Position		Quantity	Number	Remark				
		Breast	2	Line 1,2					
	FWD	Head	3	Line 3,4,5					
Mooring		Spring	2	Line 6,7	Nylon				
Line		Spring	2	Line 8,9	Rope				
	AFT	Stern	3	Line 10,11,12					
		Breast	2	Line 13,14					
Dollard	FV	VD	2	Bitt A,C,J					
Dollaru	Al	T	2	Bitt F,I,K					
Fender	A	LL	9	Fender aa~ii					

Table. 18 Mooring Arrangement of CASE 5



#### 3.5.3 환경외력

계류시설에 접안하고 있는 선박은 파력, 풍압력 및 조류에 의한 유압력을 받아 동요하며, 특히 외해에서 발생한 장주기파가 직접 내습하는 항만의 계류시설에서는 선박에 작용하는 파력이 영향이 크므로 그의 영향을 충분히 고려하여야 한다.(해양수산부, 2014a)

본 연구에서는 이러한 외력의 영향이 평가에 충분히 반영될 수 있도록, 대상부두가 위치한 부산지역의 기상 특성과 부두의 특성 그리고 해상교통 안전진단 기술기준 등을 근거로 하여 외력조건을 모델링하였다.



3.5.3.1. 조류

Fig. 26 Current Chart of Port of Busan

출처 : 국립해양조사원, 2015. 조류도(부산항 부근)

부산항 부근 해역의 조류는 지형적인 영향으로 불규칙한 흐름이 나타난다. 부산만의 창조류는 북서류이고, 낙조류는 남동류이다. 이해역의 창(낙)조류는 부산조석의 저조 전 0.9 ~ 저조 후 0.1시(고조 전 0.9 ~ 고조 후 0.1시)경에 전류하고 평균대조기에 최강유속이 0.2kts로써 고저 전 3.0시(저조 전 3.0시)경에 나타난다.(국립해양조사원, 2015)

일반적으로 조류의 설정기준은 대상해역에 작용하는 최강창조류 또는 최강낙조류를 적용하거나, 신설 부두의 경우 부두 완공상태를 고려한 조류 분포를 사용한다.(해양수산부, 2014b) 본 연구에서는 조류조건으로 평균대조기 최강창조류의 조류 방향 및 유속을 설정하였으며, 평가에 적용된 조류조건은 Table. 19와 같다.

Table. 19 Current Condition

Item	Direction	Speed	Remark
Current	000°	0.2kts	

#### 3.5.3.2. 조위

조위의 변화에 따라 부두와 계류중인 선박의 상대위치는 변하게 된다. 만조시에는 상대적으로 마루높이가 낮아지고, 접안선박의 풍압면적이 증가하게 되며, 저조시에는 마루높이가 높아지고, 접안선박의 풍압면적이 감소하게 된다. 이러한 조위에 따른 풍압면적 차는 선박에 작용하는 풍하중에 큰 영향을 미치며, 조차가 큰 부두에서는 조위 조건 설정이 매우 중요하다고 볼 수 있다.

Table. 20은 대상부두에 인접한 해양박물관(영도)의 조위표이다. 대상부두가 위치한 부산항의 조석은 뚜렷한 일조부등을 보이며, 평균해면은 61.3cm, 평균대조차는 110.2cm, 평균조차는 75.0cm 정도이다.



Ite	em	Tide Level(cm)	Remark
약최고고조위	Approx.H.H.W	DL.(+)122.6	
대조평균고조위	H.W.O.S.T	DL.(+)116.4	
평균고조위	H.W.O.M.T	DL.(+)98.8	
소조평균고조위	H.W.O.N.T	DL.(+)81.2	
평 균 해 면	M.S.L	DL.(+)61.3	
소조평균저조위	L.W.O.N.T	DL.(+)41.4	
평균저조위	L.W.O.M.T	DL.(+)23.8	
대조평균저조위	L.W.O.S.T	DL.(+)6.2	
약최저저조위	Approx.L.L.W	DL.(±)0.0	

Table. 20 Tidal Level of Port of Busan

출처 : 국립해양조사원, 2015. 조류도(부산항 부근)

일반적으로 조위의 설정기준은 대상해역의 조위 변동을 고려(대조기)하되, 수심은 MSL(평균해수면)을 적용한다.(해양수산부, 2014b) 본 연구에서는 계류안전성평가의 중요요소인 풍압면적의 영향을 최대한 반영하기 위하여 대조평균고조위를 적용하였으며, 평가에 적용된 조위조건은 Table. 21과 같다.

Table. 21 Tide Condition

Item		Tide Level(cm)	Remark
Tidal Level	대조평균고조위 (H.W.O.S.T)	DL.(+)116.4	

#### 3.5.3.3. 바람

항만시설에 외력으로 작용하는 바람은 당해시설 및 구조물의 특성 등에 따라 적절한 기간의 통계자료를 근거로 하여 결정한다.(해양수산부, 2014a)

해상교통안전진단시행지침의 기술기준에 따르면 풍속은 대상해역에서 출현 가능한 순간 최대풍속 또는 대상선박의 계류가 가능한 순간 최대 풍속, 풍향은 대상해역에서 출현빈도가 높으면서 계류선박에 불리하게 작용하는 풍향으로 설정한다.

본 연구에서는 접안선박의 계류안전에 큰 영향을 줄 수 있는 강풍/ 풍랑주의보의 최대풍속 14m/s(약 27.2kts) 수준인 30kts, 강풍/풍랑경보의 최대풍속 21m/s(약 40.8kts) 수준인 40kts, 강풍/풍랑경보의 최대순간풍속 26m/s(약 50.5kts) 수준인 50kts를 바람 조건으로 설정하였다. 각 풍속에 대하여 풍향은 360°전방위에 대해 5° 간격으로 평가를 수행하였으며, 평가에 적용된 바람조건은 Table. 22와 같다.

Table. 22 Wind Condition

Item	Speed	Direction	Remark		
	30 kts				
Wind	40 kts	0~360°	Internval: 5°		
	50 kts				

#### 3.5.3.4. 파랑

Collection @ kmou

수역시설을 이용하는 선박의 정박지는 연간 97.5% 이상의 정박 또는 계류가능일수를 얻을 수 있는 정온도를 확보하여야 한다. 정박지의 정온도는 정박지 내의 파고로 평가하는 것이 통례로 되어 있지만 필요에 따라서는 계류 중인 선박 동요량에 영향을 미치는 파향, 주기 등의 영향도 함께 고려하는 것이 바람직하다.(해양수산부, 2014a)

해상교통안전진단시행지침의 기술기준에서 계류안전성평가의 자연환경설정

기준 중 파랑의 설정기준은 파고의 경우 하역가능 최대 파고, 파향의 경우 대상해역의 주 파향 혹은 계류선박에 불리하게 작용하는 파향, 그리고 신설 부두의 경우 부두 완공상태를 고려한 파랑분포를 사용하도록 되어있다.

하역가능 최대파고는 대상선박의 선종, 선형, 하역특성 등을 고려하여 적절히 정하여지며, 항만 및 어항설계기준에서는 선박의 선형 및 톤수에 따라 Table. 23과 같이 정하고 있다. 하역한계파고는 하역허용파고라는 의미로도 사용되며, 계류시설 전면의 파고가 하역한계파고를 초과하면 하역작업이 불가능함을 의미하는 파고로써 항내정온도 및 하역가동율 산정의 기준이 되는 값이다. (곽문수, 문용호, 2014)

Type of Ship	Allowable Wave Height(H <sub>1/3</sub> )	Remark						
~ 정 서	0.2m	500GT급						
도영신	0.311	미만의 선박						
즈 미처서	0 Em	소형선 및						
중·내영신	0.5m	초대형선 제외						
- 미처 H	0.7.1 Em	50,000GT급						
소대영신	0.7~1.5m	이상의 선박						

Table. 23 Wave Limit for Loading & Unloading

출처 : 해양수산부, 2014a

본 연구에서는 파랑의 파고는 중·대형선의 하역한계파고인 파고 0.5m 값과 대상부두에 수시로 입사되는 파고 1.0m 값을 적용하였다. 그리고 파랑의 파향은 부산항의 오륙도 방파제와 조도방파제 사이를 통과하여 대상부두에 입사하는 방향으로써, 부두의 각도와 동일한 방향에서 입사하는 파랑을 설정하였다. 그리고 파랑의 파주기는 8초, 10초, 12초 총 3가지로 설정하였다. 평가에 적용된 파랑조건은 Table. 24와 같다.

Table. 24 Wave Condition

Item	Height	Direction	Period	Remark
Wave	0.5 m 1.0 m	210°	8 SEC 10 SEC 12 SEC	



# 3.6 계류안전성평가 시나리오

# 3.6.1 외력조건 및 시나리오 설정

계류시스템과 외력환경 변화에 따른 대상부두 및 대상선박에 대한 계류해석 및 계류안전성평가를 위하여, 5개의 CASE와 18개의 외력조건을 설정하였으며, 총 90가지 조건의 계류해석 및 계류안전성평가를 수행하였다. 이를 표로 나타내면 Table. 25와 같다.

CASE	Cumant	Wind	Wave	Wave	Wave	Domorit
CASE	Current	Speed	Direction	Height	Period	Remark
		1	3 Druina		8 sec	Scenario No.1
				0.5 m	10 sec	Scenario No.2
		20 leto			12 sec	Scenario No.3
		JU KIS			8 sec	Scenario No.4
				1.0 m	10 sec	Scenario No.5
		107			12 sec	Scenario No.6
		40 kts	030°	45	8 sec	Scenario No.7
	0.0.1			0.5 m	10 sec	Scenario No.8
CASE	0.2 kts				12 sec	Scenario No.9
1~5 / 050	/ 050°				8 sec	Scenario No.10
	000			1.0 m	10 sec	Scenario No.11
					12 sec	Scenario No.12
					8 sec	Scenario No.13
				0.5 m	10 sec	Scenario No.14
		50 lzto			12 sec	Scenario No.15
		JU KIS			8 sec	Scenario No.16
				1.0 m	10 sec	Scenario No.17
					12 sec	Scenario No.18

Table. 25 Scenario of Evaluation of Mooring Safety



## 3.6.2 선체동요 안전성 기준 설정

계류중인 선박은 외력에 의한 영향으로 동요하며, 계류안전성평가에서는 이러한 선체의 동요수준이 대상선박의 통상적인 하역작업이 가능한 범위 내에 있는지를 평가하게 된다. 이러한 선체동요와 하역안전성 평가는 해양수산부의 항만 및 어항설계기준 및 Table. 26과 같이 PIANC(1995)의 '안전한 하역작업을 위한 선체동요 권고 기준'을 참고로 하며, 선체의 6자유도 운동(Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw) 통계량과 선체 특정부분의 상대운동에 대한 운동진폭치(Amplitude)를 기초로 하여 검토한다.

Ship Type	Cargo Handling Equipment	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
Fishing Vessels 10~3,000GT	elevator crane lift-on/off suction pump	0.15 1.00 2.00	0.15 1.0 1.0	- 0.4 -	3	 3 	_ 3 _
Freighters, Coasters <10,000DWT	ship's gear quarry cranes	1.00 1.00	1.2 1.2	0.6 0.8	1 2	1 1	2 3
Ferries, RO-RO	side ramp dew/storm ramp link span rail ramp	0.6 0.8 0.4 0.1	0.6 0.6 0.6 0.1	0.6 0.8 0.8 0.4	1 1 3 -	1 1 2 1	2 4 4 1
General Cargo 5,000~10,000DWT	-	2.0	1.5	1.0	3	2	5
Container Vessels	100% efficiency 50% efficiency	1.0 2.0	0.6 1.2	0.8 1.2	1 1.5	1 2	3 6
Bulk Carriers 30,000~150,000DWT	crane elevator bucket wheel conveyor belt	2.0 1.0 5.0	1.0 0.5 2.5	1.0 1.0 -	2 2 3	2 2 -	6 2 —
Oil Tankers	loading arms	3.0	3.0	_	_	_	_
Gas Tankers	loading arms	2.0	2.0	_	2	2	2

Table.	26	Criteria	for	Movements	of	Moored	Ships	in	Harbours
--------	----	----------	-----	-----------	----	--------	-------	----	----------

\* Note: Motions refer to peak-peak values(except for sway: zero-peak)

출처: PIANC(1995)



실습선의 경우 특별히 선체동요 권고 기준이 정해져 있지는 않지만, 본 연구에서는 PIANC(1995)의 '안전한 하역작업을 위한 선체동요 권고 기준'과 본선의 육상전원 설비 연결 및 승무원의 승하선을 위한 Accommodation Ladder 설치 및 운용 조건을 고려하여, 하역안전성 선체동요기준으로 Table. 27과 같이 전후동요(Surge) 값 1.5m, 좌우동요(Sway) 값 0.6m를 대상선박의 하역안전성 한계로 설정하였다.

Item	Surge	Sway	Remark					
Loading Safety	1.5 m	0.6m	- Surge(peak-peak) - Sway(zero-peak)					
	ATTIME & OCEAN							

# Table. 27 Criteria for Loading Safety



# 제 4 장 계류안전성평가 결과

## 4.1 계류안전성 민감도 분석

계류안전성 평가요소는 OCIMF의 표준환경기준과 권고사항을 참고하여 평가되었다. 제4장에서 설계한 계류안전성평가 모델 및 환경외력조건설정을 바탕으로 계류삭의 경우 계류삭 파단하중의 55%, 계선주의 경우 계선주 설계하중의 100%를 허용기준으로 평가에 적용하였다. 방충재는 최대반력값 이내를 허용기준으로 평가하였으며, 또한 하역안전성의 경우 전후동요(Surge) 값 1.5m, 좌우동요(Sway) 값 0.6m를 허용기준으로 평가하였다.





출처: OCIMF(The Oil Companies International Marine Forum) MEG4, 2018
4.1.1 고강도 계류삭 평가 결과

## 4.1.1.1. 일반 계류배치 평가 결과



Fig. 28 Mooring Arrangement of CASE 1(UHMPE Rope)

UHMPE Rope(MBL 90ton)를 사용하는 일반적인 계류배치인 CASE 1에 대한 계류삭 장력, 계선주 견인력, 방충재 반력, 하역안전성에 대한 분석 결과는 다음과 같다. (Case 1의 Scenario No.5,6,11,12,15,17,18의 조건은 프로그램 계산 범위를 초과하여 평가에서 제외)

### 1) 계류삭 안전성

Collection @ kmou

Fig. 29~31은 CASE 1의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 계류삭 최대장력 분석결과를 그래프로 나타낸 것이다.

Scenario No.9,14,16에서는 선수 헤드라인 2,3번과 선미 스턴라인 9,10,11,12에 Winch의 Brake Limit(29.0ton)를 초과하는 장력이 발생하여 Slip이 발생하였으며, Chock를 통과하는 선수 헤드라인 1번에는 파단하중의 55%이상의 최대장력이 발생하여 허용장력을 초과하는 것으로 평가되었다.

그리고 나머지 Scenario에서는 모든 계류삭이 허용 범위 내에 있는 것으로 평가되었다.(일부 Scenario에서 Slip 발생)



Fig. 29 Result of Mooring Line Tension(CASE 1, No.1~6)



Fig. 30 Result of Mooring Line Tension(CASE 1, No.7~12)



Fig. 31 Result of Mooring Line Tension(CASE 1, No.13~18)

Table. 28은 CASE 1의 대표 Scenario No.4,10,16에서의 전방위 풍향에 대한 계류삭 최대장력의 분석결과를 표로 나타낸 것이다.

Scenario No.4,10,16에서 계류삭의 최대장력은 풍향 160°에서 Chock를 통과하는 선수 헤드라인 1번에 각각 36.2톤, 43톤, 56.2톤으로 평가되었다. 선수 헤드라인의 최대장력은 풍향 160~170°에서 발생하였으며, 선미 스턴라인의 최대장력은 풍향 70~80°에서 발생하였다. Scenario No.16에서는 선수 헤드라인 2번과 선미 스턴라인 11,12번에 Winch의 Brake Limit(29.0ton)를 초과하는 장력이 발생하여 Slip이 발생하였으며, Chock를 통과하는 선수 헤드라인 1번에 파단하중의 62%에 해당하는 56.2톤의 최대장력이 발생하여 허용장력을 초과하는 것으로 평가되었다.

	Mooring	L1	L2	L3	L4	L5	L6
	Lino	(Chock)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
	Lille	Head	Head	Head	Head	F.Spring	F.Spring
CASE1 Scenario	Worst Direction (Deg)	160	170	170	80	160	160
No 4	Tension (Ton)	36.2	26.2	24.5	21.1	20	20.8
110.4	&of Strength	40%	29%	27%	23%	22%	23%
30kts	Mooring	L7	L8	L9	LO	L11	L12
1 0m	Line	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)
850C	Line	A.Spring	A.Spring	Stern	Stern	Stern	Stern
0360	Worst Direction (Deg)	240	240	70	70	75	75
	Tension (Ton)	12.7	12.7	21.4	21.4	20.7	20.4
	&of Strength	14%	14%	24%	24%	23%	23%
	Mooring	L1	L2	L3	L4	L5	L6
	Line	(Chock)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
	Diffe	Head	Head	Head	Head	F.Spring	F.Spring
<u>Scenario</u>	Worst Direction (Deg)	160	170	170	80	160	160
<u>No.10</u>	Tension (Ton)	43	27.7	25.7	21.7	21.9	22.7
	&of Strength	48%	31%	29%	24%	24%	25%
40kts	Mooring	<u>L7</u>	L8	L9	LO	L11	L12
1.0m,	Line	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)
8sec		A.Spring	A.Spring	Stern	Stern	Stern	Stern
	Worst Direction (Deg)	245	245	70	70	80	80
	Tension (Ton)	13.4	13.4	22.2	22.3	22.3	22.1
	&of Strength	15%	15%	25%	25%	25%	25%
	Mooring		L2	L3	L4	L5	L6
	Line	(Chock)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
	Wonst Direction	A.Spring	A.Spring	Stern	Stern	Stern	Stern
Scenario	(Deg)	160	165	80	80	160	160
<u>No.16</u>	Tension (Ton)	<u> </u>	29(Slip)	28.9	24.6	24.8	25.7
501	&of Strength	62%	32%	32%	27%	28%	29%
50kts	Mooring	(Winch)	LO (Winch)	L9 (Winch)	LU (Win ab)	LII (Winch)	LIZ (Win ch)
1.0m,	Line	(winch)	(winch)	(winch)	(winch)	(winch)	(winch)
ðsec	Worst Direction	A.Spring	A.Spring	Stern	Stern	Stern	Stern
	(Deg)	80	80	80	80	80	80
	Tension (Ton)	15.9	15.8	26.1	27.2	29(Slip)	29(Slip)
	&of Strength	18%	18%	29%	30%	32%	32%

Table. 28 Result of Mooring Line Tension(CASE 1, Scenario No.4,10,16)

Fig. 32~34는 풍향에 따른 각 계류삭의 최대장력 민감도를 분석하기 위하여, CASE 1의 대표 Scenario No.4,10,16에서의 전방위 풍향에 대한 각 계류삭의 최대장력을 360도 극좌표계 그래프(Polar Graph)로 나타낸 것이다.

선수헤드라인 1번에 상대적으로 큰 장력이 발생하며, 좌현으로부터의 횡풍이 부는 경우 계류삭의 장력이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Scenario No.16에서는 진풍향 135~180°일 때, Chock를 통과하는 선수 헤드라인 1번에 파단하중의 55%(49.5ton)를 초과하는 장력이 발생하는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 32 Result of Mooring Line Tension(CASE 1, No.4)





Fig. 33 Result of Mooring Line Tension(CASE 1, No.10)



Fig. 34 Result of Mooring Line Tension(CASE 1, No.16)

2) 계선주 안전성

Fig. 35~37은 CASE 1의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 계선주 하중 분석결과를 그래프로 나타낸 것이다.

모든 Scenario에서 선수 헤드라인 계선주A와 선미 스턴라인 계선주I에 계선주의 설계하중(35ton)을 초과하는 하중이 작용하는 것으로 평가되었고, 또한 일부 Scenario를 제외하고 선수 스프링라인 계선주C 또는 선미 스프링라인 계선주F에도 계선주의 설계하중(35ton)을 초과하는 하중이 작용하는 것으로 평가되었다.

풍속 30kts의 Scenario No.1~4에서는 계선주의 설계하중(35ton)을 최대 약 360%, 풍속 40kts에서의 Scenario No.7~10에서는 약 386%, 풍속 50kts에서의 Scenario No.13,14,16에서는 약 367% 초과하는 것으로 분석되었다.



Fig. 35 Result of Bollard Force(CASE 1, Scenario No.1~6)





Fig. 36 Result of Bollard Force(CASE 1, Scenario No.7~12)



Fig. 37 Result of Bollard Force(CASE 1, Scenario No.13~18)



Table. 29는 CASE 1의 대표 Scenario No.4,10,16에서의 전방위 풍향에 대한 계선주 최대하중 분석결과를 표로 나타낸 것이다.

Scenario No.4,10,16에서 계선주의 최대하중은 계선주A에 각각 101.8톤, 110.8톤, 128.3톤이 작용하는 것으로 평가되었으며, 계선주의 설계하중(35ton)을 각각 약 291%, 약 316%, 약 366% 초과하는 것으로 분석되었다.

Saanaria	Dollard	А	С	F	Ι
Scenario No.4	Dollaru	Head	F.Spring	A.Spring	Stern
<u>1N0.4</u>	Total Force	101.8	40.8	25.3	83.3
30kts 1.0m, 8sec	&Bollard Strength	291%	117%	72%	238%
Sacraria	Dollard	А	С	F	Ι
No 10	Donaru	Head	F.Spring	A.Spring	Stern
<u>No.10</u>	Total Force	110.8	44.5	26.7	88.2
40kts 1.0m, 8sec	&Bollard Strength	316%	127%	76%	252%
Sacraria	Pollard	А	C	F	Ι
<u>Scenario</u> No 16	Donard	Head	F.Spring	A.Spring	Stern
<u>10.10</u>	Total Force	128.3	50.4	31.8	110.5
1.0m, 8sec	&Bollard Strength	366%	144%	91%	316%

Table. 29 Result of Bollard Force(CASE 1, Scenario No.4,10,16)



3) 방충재 안전성

Collection @ kmou

CASE 1의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 방충재의 최대반력 평 가결과, 최대허용반력(59.1ton)의 28%이하의 최대반력이 작용하는 것으로 분석 되었다.

Table. 30은 CASE 1의 대표 Scenario No.4,10,16에서의 전방위 풍향에 대한 방충재 최대반력 평가결과를 표로 나타낸 것이며, Fig. 38은 이를 그래프로 나타낸 것이다. Scenario No.4,10,16에서 방충재의 최대반력은 선수 방충재 aa에 각각 7톤, 10톤, 16톤이 발생하였으며, 모두 방충재의 허용반력 내에 있는 것으로 평가되었다.

For	dor	Max. Thrust(Ton)										
гег	aa	bb	сс	dd	ee	ff	gg	hh	ii			
	30kts 1.0m, 8sec	7	7	6	6	6	6	6	6	7		
Thrust (ton)	40kts 1.0m, 8sec	10	9	9	8	8	8	8	8	8		
	50kts 1.0m, 8sec	16	14	12	11	10	10	10	11	11		

Table. 30 Result of Fender Thrust(CASE 1, Scenario No.4,10,16)



Fig. 38 Result of Fender Thrust(CASE 1, No.4,10,16)

4) 하역 안전성

Table. 31은 CASE 1의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 하역안전성 평가결과를 표로 나타낸 것이다.

풍속 30kts의 Scenario No.1~4, 풍속 40kts의 Scenario No.7~10, 풍속 50kts의 Scenario No.13,14,16에서는 Surge와 Sway 동요량이 허용범위 내에 있는 것으로 평가되었다. 그러나 Scenario No.5,15에서는 5.0m 이상의 과다한 Sway 동요량이 발생하였고, Scenario No.6,11,12,17,18에서는 대부분의 계류삭에 Winch의 Brake Limit(29.0ton)를 초과하는 장력이 발생하여 과다한 Slip이 발생함에 따라 프로그램 계산 범위를 초과하였으며, 하역안전성을 확보하지 못하는 것으로 분석되었다.

CASE	Seconomia	Wind	Wave	Wave	Max.	Max.	Loading
CASE	Scenario	Speed	Height	Period	Surge	Sway	Safety
	No.1	K		8 sec	0.14	0	GOOD
	No.2		0.5 m	10 sec	0.28	0	GOOD
	No.3	00.1		12 sec	0.44	0	GOOD
	No.4	30 Kts	1.0 m	8 sec	0.23	0	GOOD
	No.5			10 sec	2.75	5.74	<u>NOT</u> <u>ACCEPTABLE</u>
	No.6		N õH	12 sec	ERROR	ERROR	<u>NOT</u> <u>ACCEPTABLE</u>
	No.7			8 sec	0.18	0.03	GOOD
	No.8		0.5 m	10 sec	0.32	0.03	GOOD
CASE	No.9	40.1		12 sec	0.48	0.07	GOOD
1	No.10	40 Kts	1.0 m	8 sec	0.27	0.03	GOOD
	No.11			10 sec	ERROR	ERROR	<u>NOT</u> <u>ACCEPTABLE</u>
	No.12			12 sec	ERROR	ERROR	<u>NOT</u> <u>ACCEPTABLE</u>
	No.13			8 sec	0.23	0.26	GOOD
	No.14		0.5 m	10 sec	0.37	0.3	GOOD
	No.15			12 sec	0.95	5.44	<u>NOT</u> <u>ACCEPTABLE</u>
	No.16	OU KIS		8 sec	0.76	0.28	GOOD
	No.17		1.0 m	10 sec	ERROR	ERROR	<u>NOT</u> <u>ACCEPTABLE</u>
	No.18			12 sec	ERROR	ERROR	<u>NOT</u> <u>ACCEPTABLE</u>

Table. 31 Result of Loading Safety(CASE 1, Scenario No.1~18)

\* Allowable Criteria : Surge(peak-peak): 1.5m, Sway(zero - peak): 0.6m

#### 4.1.1.2. 보강 계류배치 평가 결과



Fig. 39 Mooring Arrangement of CASE 2(UHMPE Rope)

UHMPE Rope(MBL 90ton)를 사용하며, 강풍 및 악천후시 횡방향 외력에 대응하기 위하여 선수 측은 부두로부터 떨어진 곳에 설치된 직주, 선미측은 부두 끝단의 곡주를 사용하여 선수미에 브레스트라인 각 1개를 추가 보강한 계류배치인 CASE 2에 대한 계류삭 장력, 계선주 견인력, 방충재 반력, 하역안전성에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

1) 계류삭 안전성

Fig. 40~42는 CASE 2의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 계류삭 최대장력 분석결과를 그래프로 나타낸 것이다.

Scenario No.5,6,11,12,17,18에서는 선수 헤드라인 3,4번과 선미 스턴라인 10,11,13번 그리고 선미 브레스트라인 14번에 Winch의 Brake Limit(29.0ton)를 초과하는 장력이 발생하여 Slip이 발생하였으며, Chock를 통과하는 선수 헤드라인 2,5번, 선미 스턴라인 12번 측에 파단하중의 55%이상의 최대장력이 발생하여 허용장력을 초과하는 것으로 평가되었다.

그리고 나머지 Scenario에서는 모든 계류삭의 최대장력이 허용하중 범위 내에 있는 것으로 평가되었다.(일부 Scenario에서 Slip 발생)





Fig. 40 Result of Mooring Line Tension(CASE 2, No.1~6)



Fig. 41 Result of Mooring Line Tension(CASE 2, No.7~12)



Fig. 42 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, No.13~18)

Table. 32는 CASE 2의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 계류삭 최대장력 분석결과를 표로 나타낸 것이다.

Scenario No.5,11에서 계류삭의 최대장력은 풍향 160°에서 Chock를 통과하는 선수 헤드라인 2번에 각각 53.5톤, 56.9톤, Scenario No.17에서 계류삭의 최대장력은 풍향 80°에서 선미 스턴라인 12번에 77.6톤이 발생하는 것으로 평가되었다. 선수 헤드라인의 최대장력은 풍향 160~170°에서 발생하였으며, 선미 스턴라인의 최대장력은 풍향 70~80°에서 발생하였다. 세 가지 Scenario 모두 선수 헤드라인 3,4번과 선미 스턴라인 10,11,13번 그리고 선미 브레스트라인 14번에 Winch의 Brake Limit(29.0ton)를 초과하는 장력이 발생하여 Slip이 발생하였으며, 이로 인하여 Chock를 통과하는 선수 헤드라인 또는 선미 스턴라인에 파단하중의 59%를 초과하는 최대장력이 발생하는 것으로 평가되었다.

Collection @ kmou

	Mooring	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
	Line	(Chock)	(Chock)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
	Line	F.Breast	Head	Head	Head	Head	F.Spring	F.Spring
<u>Scenario</u>	Worst Direction (Deg)	160	170	200	200	200	160	160
<u>No.5</u>	Tension (Ton)	33.2	53.5	29(Slip)	29(Slip)	38.4	20.1	21.4
	&of Strength	37%	59%	32%	32%	43%	22%	24%
30kts	Mooring	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14
1.0m,	Line	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
10sec		A.Spring	A.Spring	Stern	Stern	Stern	Stern	A.Breast
	Worst Direction (Deg)	220	220	80	80	70	80	80
	Tension (Ton)	20.3	20.3	29(Slip)	29(Slip)	36.1	29(Slip)	29(Slip)
	&of Strength	23%	23%	32%	32%	40%	32%	32%
	Mooring	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
	Line	(Chock)	(Chock)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
		F.Breast	Head	Head	Head	Head	F.Spring	F.Spring
Scenario	Worst Direction (Deg)	160	170	190	200	200	160	160
No 11	Tension (Ton)	36.9	56.9	29(Slip)	29(Slip)	39.3	20.9	22.1
110.11	&of Strength	41%	63%	32%	32%	44%	23%	25%
10kts	Mooring	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14
1 0m	Line	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
1.011,		A.Spring	A.Spring	Stern	Stern	Stern	Stern	A.Breast
TOSEC	Worst Direction (Deg)	80	80	80	80	80	80	80
	Tension (Ton)	21.9	21.8	29(Slip)	29(Slip)	48.5	29(Slip)	29(Slip)
	&of Strength	24%	24%	32%	32%	54%	32%	32%
	Mooring	L1	12	T 2	Τ /	15	L.6	L7
				LJ	L4	LU	<u> </u>	
	Line	(Chock)	(Chock)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
	Line	(Chock) F.Breast	(Chock) Head	(Winch) Head	(Winch) Head	(Chock) Head	(Winch) F.Spring	(Winch) F.Spring
<u>Scenario</u>	Worst Direction (Deg)	(Chock) F.Breast 160	(Chock) Head 170	(Winch) Head 190	L4(Winch)Head80	(Chock) Head 80	(Winch) F.Spring 160	(Winch) F.Spring 160
<u>Scenario</u> <u>No.17</u>	Worst Direction (Deg) Tension (Ton)	(Chock) F.Breast 160 42.5	(Chock) Head 170 61.6	L3       (Winch)       Head       190       29(Slip)	L4(Winch)Head8029(Slip)	L3       (Chock)       Head       80       41.1	(Winch) F.Spring 160 22.1	(Winch) F.Spring 160 23.4
<u>Scenario</u> <u>No.17</u>	Worst Direction (Deg)     Tension (Ton)     &of Strength	(Chock) F.Breast 160 42.5 47%	L2       (Chock)       Head       170       61.6       68%	L3 (Winch) Head 190 29(Slip) 32%	L4 (Winch) Head 80 29(Slip) 32%	L3       (Chock)       Head       80       41.1       46%	(Winch) F.Spring 160 22.1 25%	(Winch) F.Spring 160 23.4 26%
<u>Scenario</u> <u>No.17</u> 50kts	Line     Worst Direction (Deg)     Tension (Ton)     &of Strength     Mooring	(Chock) F.Breast 160 42.5 47% L8	(Chock) Head 170 61.6 68% L9	L3 (Winch) Head 190 29(Slip) 32% L10	L4 (Winch) Head 80 29(Slip) 32% L11	L3   (Chock)   Head   80   41.1   46%   L12	(Winch) F.Spring 160 22.1 25% L13	(Winch) F.Spring 160 23.4 26% L14
<u>Scenario</u> <u>No.17</u> 50kts 1.0m,	Line     Worst Direction (Deg)     Tension (Ton)     &of Strength     Mooring Line	(Chock) F.Breast 160 42.5 47% L8 (Winch)	(Chock) Head 170 61.6 68% L9 (Winch)	L3 (Winch) Head 190 29(Slip) 32% L10 (Winch)	L4 (Winch) Head 80 29(Slip) 32% L11 (Winch)	L3     (Chock)     Head     80     41.1     46%     L12     (Chock)	(Winch) F.Spring 160 22.1 25% L13 (Winch)	(Winch) F.Spring 160 23.4 26% L14 (Winch)
Scenario No.17 50kts 1.0m, 10sec	Line     Worst Direction (Deg)     Tension (Ton)     &of Strength     Mooring Line     Worst Direction	(Chock) F.Breast 160 42.5 47% L8 (Winch) A.Spring	(Chock) Head 170 61.6 68% L9 (Winch) A.Spring	L3 (Winch) Head 190 29(Slip) 32% L10 (Winch) Stern	L4 (Winch) Head 80 29(Slip) 32% L11 (Winch) Stern	L3     (Chock)     Head     80     41.1     46%     L12     (Chock)     Stern	(Winch) F.Spring 160 22.1 25% L13 (Winch) Stern	(Winch) F.Spring 160 23.4 26% L14 (Winch) A.Breast
<u>Scenario</u> <u>No.17</u> 50kts 1.0m, 10sec	Line     Worst Direction (Deg)     Tension (Ton)     &of Strength     Mooring Line     Worst Direction (Deg)	(Chock) F.Breast 160 42.5 47% L8 (Winch) A.Spring 80	(Chock) Head 170 61.6 68% L9 (Winch) A.Spring 80	L3 (Winch) Head 190 29(Slip) 32% L10 (Winch) Stern 80	L4 (Winch) 480 29(Slip) 32% L11 (Winch) Stern 80	L3     (Chock)     Head     80     41.1     46%     L12     (Chock)     Stern     80	(Winch) F.Spring 160 22.1 25% L13 (Winch) Stern 80	(Winch) F.Spring 160 23.4 26% L14 (Winch) A.Breast 80
<u>Scenario</u> <u>No.17</u> 50kts 1.0m, 10sec	Line     Worst Direction (Deg)     Tension (Ton)     &of Strength     Mooring Line     Worst Direction (Deg)     Tension (Ton)	(Chock) F.Breast 160 42.5 47% L8 (Winch) A.Spring 80 28.3	(Chock)     Head     170     61.6     68%     L9     (Winch)     A.Spring     80     28.1	L3   (Winch)   Head   190   29(Slip)   32%   L10   (Winch)   Stern   80   29(Slip)	L4   (Winch)   Head   80   29(Slip)   32%   L11   (Winch)   Stern   80   29(Slip)	L3     (Chock)     Head     80     41.1     46%     L12     (Chock)     Stern     80     77.6	(Winch) F.Spring 160 22.1 25% L13 (Winch) Stern 80 29(Slip)	(Winch) F.Spring 160 23.4 26% L14 (Winch) A.Breast 80 29(Slip)

Table. 32 Result of Mooring Line Tension(CASE 2, Scenario No.5,11,17)

Fig. 43~45는 풍향에 따른 각 계류삭의 최대장력 민감도를 분석하기 위하여, CASE 2의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 각 계류삭의 최대장력을 360도 극좌표계 그래프(Polar Graph)로 나타낸 것이다.

대체로 선수 헤드라인 2번과 선미 스턴라인 12번에 상대적으로 큰 장력이 발생하며, 선수 계류삭의 경우 S~SE계열 바람 그리고 선미 계류삭의 경우 E-NE계열 바람이 부는 경우 상대적으로 계류삭의 장력이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Scenario No.5에서는 진풍향 120~210°일 때, Scenario No.11에서는 진풍향 100~210°일 때, Chock를 통과하는 선수 헤드라인 2번에 파단하중의 55%(49.5ton)를 초과하는 장력이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 Scenario No.17에서는 풍향에 따라 Chock를 통과하는 선수 헤드라인 2번 또는 선미스턴라인 12번에 파단하중의 55%(49.5ton)를 초과하는 장력이 발생하는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 43 Result of Mooring Line Tension(CASE 2, No.5)



Fig. 44 Result of Mooring Line Tension(CASE 2, No.11)



Fig. 45 Result of Mooring Line Tension(CASE 2, No.17)

2) 계선주 안전성

Fig. 46~48은 CASE 2의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 계선주 하중 분석결과를 그래프로 나타낸 것이다.

모든 Scenario에서 선수 헤드라인 계선주A와 선미 스턴라인 계선주I에 계선주의 설계하중(35ton)을 초과하는 하중이 작용하는 것으로 평가되었고, 또한 일부 Scenario를 제외하고, 선수 스프링라인 계선주C, 선미 스프링라인 계선주F에도 계선주의 설계하중(35ton)을 초과하는 하중이 작용하는 것으로 평가되었다.

풍속 30kts의 Scenario No.1~6에서는 계선주의 설계하중(35ton)을 최대 약 471%, 풍속 40kts에서의 Scenario No.7~12에서는 약 503%, 풍속 50kts에서의 Scenario No.7~12에서는 약 554% 초과하는 것으로 분석되었다.



Fig. 46 Result of Bollard Force(CASE 2, Scenario No.1~6)





Fig. 47 Result of Bollard Force(CASE 2, Scenario No.7~12)



Fig. 48 Result of Bollard Force(CASE 2, Scenario No.13~18)

Table. 33은 CASE 2의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 계선주 최대하중 분석결과를 표로 나타낸 것이다.

Scenario No.5,11에서 계선주의 최대하중은 계선주A에 각각 140.8톤, 144.3톤, Scenario No.17에서 계선주I에 164.1톤이 작용하는 것으로 평가되었으며, 계선주의 설계하중(35ton)을 각각 약 402%, 412%, 469% 초과하는 것으로 분석되었다.

		A	C	F	H	I	J
<u>Scenario</u>	Bollard	Uood	Fore	Aft	Aft	Storn	Fore
<u>No.5</u>		neau	Spring	Spring	Breast	Stern	Breast
30kts	Total Force	140.8	41.5	40.6	29	122.6	33.2
1.0m, 10sec	&Bollard Strength	402%	119%	116%	83%	350%	47%
	E	Α	С	F	Η	Ι	J
<u>Scenario</u>	Bollard	Uaad	Fore	Aft	Aft	Stown	Fore
<u>No.11</u>		пеац	Spring	Spring	Breast	Stern	Breast
40kts	Total Force	144.3	43	43.8	29	135	36.9
1.0m, 10sec	&Bollard Strength	412%	123%	125%	83%	386%	53%
		A	C	F	Η	Ι	J
<u>Scenario</u>	Bollard	Uand	Fore	Aft	Aft	Storn	Fore
<u>No.17</u>		пеац	Spring	Spring	Breast	Stern	Breast
50kts	Total Force	149.1	45.4	56.5	29	164.1	42.5
1.0m, 10sec	&Bollard Strength	426%	130%	161%	83%	469%	61%

Table. 33 Result of Bollard Force(CASE 2, Scenario No.5,11,17)



3) 방충재 안전성

CASE 2의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 방충재의 최대반력 평 가결과, 최대허용반력(59.1ton)의 31%이하의 최대반력이 작용하는 것으로 분석 되었다.

Table. 34는 CASE 2의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 방충재 최대반력 평가결과를 표로 나타낸 것이며, Fig. 49는 이를 그래프로 나타낸 것이다. Scenario No.5,11,17에서 방충재의 최대반력은 선수 방충재 aa에 각각 8톤, 10톤, 14톤이 발생하였으며, 모두 방충재의 허용반력 내에 있는 것으로 평가되었다.

For	Fender		Max. Thrust(Ton)									
I'ender		aa	bb	сс	dd	ee	ff	gg	hh	ii		
	30kts 1.0m, 10sec	8	7	7	7	7	7	7	7	7		
Thrust (ton)	40kts 1.0m, 10sec	10	9	9	8	8	8	8	8	8		
	50kts 1.0m, 10sec	14	13	12	10	10	10	10	11	11		

Table. 34 Result of Fender Thrust(CASE 2, Scenario No.5,11,17)



Fig. 49 Result of Fender Thrust(CASE 2, No.5,11,17)



4) 하역 안전성

Table. 35는 CASE 2의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 하역안전성 평가결과를 표로 나타낸 것이다.

풍속 30kts 및 40kts의 Scenario No.1~12에서는 Surge와 Sway 동요량이 허용범위 내에 있는 것으로 평가되었다. 그리고 풍속 50kts의 Scenario No.13~16에서는 Surge와 Sway 동요량이 허용범위 내에 있는 것으로 평가되었고, Scenario No.17에서는 Sway 동요량 0.76m, Scenario No.18에서는 Sway 동요량 1.14m로 한계동요량을 초과하여 하역안전성을 확보하지 못하는 것으로 분석되었다.

CACE	<b>C</b>	Wind	Wave	Wave	Max.	Max.	Loading
CASE	Scenario	Speed	Height	Period	Surge	Sway	Safety
	No.1	9,4		8 sec	0.13	0	GOOD
	No.2	0	0.5 m	10 sec	0.27	0	GOOD
	No.3	30 lzto		12 sec	0.44	0	GOOD
	No.4	JU KIS		8 sec	0.23	0	GOOD
	No.5	10	1.0 m	10 sec	0.52	0	GOOD
	No.6			12 sec	0.87	0	GOOD
	No.7			8 sec	0.16	0	GOOD
	No.8		0.5 m	10 sec	0.30	0	GOOD
CASE	No.9			12 sec	0.48	0	GOOD
2	No.10	40 KIS		8 sec	0.25	0	GOOD
	No.11			10 sec	0.56	0	GOOD
	No.12			12 sec	1.04	0.57	GOOD
	No.13			8 sec	0.19	0	GOOD
	No.14		0.5 m	10 sec	0.34	0	GOOD
No.14 No.15 No.16 No.17 No.18	No.15	50 lzta		12 sec	0.52	0	GOOD
	No.16	50 kts -		8 sec	0.29	0	GOOD
	No.17		1.0 m	10 sec	0.60	0.76	NO GOOD
	No.18			12 sec	1.24	1.14	NO GOOD

Table. 35 Result of Loading Safety(CASE 2, Scenario No.1~18)

\* Allowable Criteria : Surge(peak-peak): 1.5m, Sway(zero - peak): 0.6m

4.1.2 나일론 계류삭 평가 결과

# 4.1.2.1. 일반 계류배치 평가 결과



Fig. 50 Mooring Arrangement of CASE 3(Nylon Rope)

나일론 Rope(MBL 48ton)를 사용하는 일반적인 계류배치인 CASE 3에 대한 계류삭 장력, 계선주 견인력, 방충재 반력, 하역안전성에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

1) 계류삭 안전성

Collection @ kmou

Fig. 51~53은 CASE 3의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 계류삭 최대장력 분석결과를 그래프로 나타낸 것이다.

풍속 40kts의 Scenario No.9,11,12, 풍속 50kts의 Scenario No.13~18에서는 Chock를 통과하는 선수 헤드라인 1번에 파단하중의 55%이상의 최대장력이 발생하여 허용장력을 초과하는 것으로 평가되었다.

그리고 나머지 Scenario에서는 모든 계류삭의 최대장력이 허용 범위 내에 있는 것으로 평가되었다.



Fig. 51 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, No.1~6)



Fig. 52 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, No.7~12)





Fig. 53 Result of Mooring Line Tension (CASE 3, No.13~18)

Table. 36은 CASE 3의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 계류삭 최대장력 분석결과를 표로 나타낸 것이다.

Scenario No.5,11,17에서 계류삭의 최대장력은 풍향 160°에서 Chock를 통과하는 선수 헤드라인 1번에 각각 21.6톤, 31.0톤, 42.0톤이 발생하는 것으로 평가되었다. 선수 헤드라인의 최대장력은 풍향 160~170°에서 발생하였으며, 선미 스턴라인의 최대장력은 풍향 70~80°에서 발생하였다. Scenario No.11,17에서는 Chock를 통과하는 선수 헤드라인에 1번에 파단하중의 65%를 초과하는 최대장력이 발생하는 것으로 평가되었다.



	Mooring	L1	L2	L3	L4	L5	L6
	Lino	(Chock)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
	Line	Head	Head	Head	Head	F.Spring	F.Spring
Scenario	Worst Direction (Deg)	160	170	170	220	160	160
<u>INO.5</u>	Tension (Ton)	21.6	13.7	12.5	10.3	9.7	10.4
201zto	&of Strength	45%	28%	26%	22%	20%	22%
1 Om	Mooring	L7	L8	L9	LO	L11	L12
10500	International	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)
10560	Line	A.Spring	A.Spring	Stern	Stern	Stern	Stern
	Worst Direction (Deg)	230	230	80	80	80	80
	Tension (Ton)	6.9	6.9	10.6	10.5	10.2	10
	&of Strength	14%	14%	22%	22%	21%	21%
	Mooring	L1	L2	L3	L4	L5	L6
	Line	(Chock)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
	Line	Head	Head	Head	Head	F.Spring	F.Spring
<u>Scenario</u>	Worst Direction (Deg)	160	160	80	80	160	160
<u>No.11</u>	Tension (Ton)	31	16.4	14.8	12	11.6	12.5
	&of Strength	65%	34%	31%	25%	24%	26%
40kts	Mooring	L7	L8	L9	LO	L11	L12
1.0m	Line	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)
10sec		A.Spring	A.Spring	Stern	Stern	Stern	Stern
	Worst Direction (Deg)	80	80	80	80	80	80
	Tension (Ton)	8.5	8.4	13.4	14	15.1	15.2
	&of Strength	18%	18%	28%	29%	31%	32%
	Mooring	L1	L2	L3	L4	L5	L6
	Line	(Chock)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
		Head	Head	Head	Head	F.Spring	F.Spring
<u>Scenario</u>	Worst Direction (Deg)	160	160	165	80	160	160
<u>No.17</u>	Tension (Ton)	42	20.4	17.9	14.1	13.7	14.8
	&of Strength	88%	43%	37%	29%	29%	31%
50kts	Mooring	L7	L8	<u>L9</u>	LO	L11	L12
1.0m Line		(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)
10sec		A.Spring	A.Spring	Stern	Stern	Stern	Stern
	worst Direction (Deg)	80	80	80	80	80	80
	Tension (Ton)	10.6	10.4	16.9	18.1	20.7	21
	&of Strength	22%	22%	35%	38%	43%	44%

Table. 36 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, Scenario No.5,11,17)

Fig. 54~56은 풍향에 따른 각 계류삭의 최대장력 민감도를 분석하기 위하여, CASE 3의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 각 계류삭의 최대장력을 360도 극좌표계 그래프(Polar Graph)로 나타낸 것이다.

대체로 선수헤드라인 1번에 상대적으로 큰 장력이 발생하며, 좌현으로 부터의 횡풍이 부는 경우 계류삭의 장력이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Scenario No.11에서는 진풍향 130~180°일 때, Scenario No.17에서는 진풍향 070~190°일 때, Chock를 통과하는 선수 헤드라인 1번에 파단하중의 55%(49.5ton)를 초과하는 장력이 발생하는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 54 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, No.5)



Fig. 55 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, No.11)



Fig. 56 Result of Mooring Line Tension(CASE 3, No.17)

2) 계선주 안전성

Fig. 57~59는 CASE 3의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 계선주 하중 분석결과를 그래프로 나타낸 것이다.

Scenario No.1에서는 모든 계선주가 허용하중 범위 내에 있는 것으로 평가되었으며, 나머지 모든 Scenario에서 선수 헤드라인 계선주A 또는 선미 스턴라인 계선주I에 계선주의 설계하중(35ton)을 초과하는 하중이 작용하는 것으로 평가되었다.

풍속 30kts의 Scenario No.1~6에서는 계선주의 설계하중(35ton)을 최대 약 197%, 풍속 40kts에서의 Scenario No.7~12에서는 약 240%, 풍속 50kts에서의 Scenario No.7~12 에서는 약 297% 초과하는 것으로 분석되었다.



Fig. 57 Result of Bollard Force(CASE 3, Scenario No.1~6)





Fig. 58 Result of Bollard Force(CASE 3, Scenario No.7~12)



Fig. 59 Result of Bollard Force(CASE 3, Scenario No.13~18)



Table. 37은 CASE 3의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 계선주 최대하중 분석결과를 표로 나타낸 것이다.

Scenario No.5,11,17에서 계선주의 최대하중은 계선주A에 각각 54.5톤, 68,0톤, 88.2톤이 작용하는 것으로 평가되었으며, 계선주의 설계하중(35ton)을 각각 약 156%, 약 197%, 약 252% 초과하는 것으로 분석되었다.

<u>Scenario</u>	Bollard	A Head	C F.Spring	F A.Spring	I Stern
<u>201-t-</u>	Total Force	54.5	20.1	13.8	41
1.0m, 10sec	&Bollard Strength	156%	57%	39%	117%
Sacraria	Dollard	A	С	F	Ι
<u>Scenario</u> No 11	Donaru	Head	F.Spring	A.Spring	Stern
<u>No.11</u>	Total Force	68.9	24.1	17	57.3
40kts 1.0m, 10sec	&Bollard Strength	197%	69%	48%	164%
Seconorio	Pollard	А	C	F	Ι
No 17	Donard	Head	F.Spring	A.Spring	Stern
<u>110.17</u>	Total Force	88.2	28.5	20.9	76.2
1.0m, 10sec	&Bollard Strength	252%	82%	60%	218%

Table. 37 Result of Bollard Force(CASE 3, Scenario No.5,11,17)



3) 방충재 안전성

CASE 3의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 방충재의 최대반력 평 가결과, 최대허용반력(59.1ton)의 33%이하의 최대반력이 작용하는 것으로 분석 되었다.

Table. 38은 CASE 3의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 방충재 최대반력 평가결과를 표로 나타낸 것이며, Fig. 60은 이를 그래프로 나타낸 것이다. Scenario No.5,11,17에서 방충재의 최대반력은 선수 방충재 aa에 각각 7톤, 12톤, 19톤이 발생하였으며, 방충재의 허용반력 내에 있는 것으로 평가되었다.

For	dor	1	Max. Thrust(Ton)										
I ender		aa	bb	сс	dd	ee	ff	gg	hh	ii			
	30kts 1.0m, 10sec	7	7	6	5	4	5	5	5	5			
Thrust (ton)	40kts 1.0m, 10sec	12	10	9	8	6	7	7	8	8			
	50kts 1.0m, 10sec	19	15	12	10	9	9	10	11	11			

Table. 38 Result of Fender Thrust(CASE 3, Scenario No.5,11,17)



Fig. 60 Result of Fender Thrust(CASE 3, No.5,11,17)



4) 하역 안전성

Table. 39는 CASE 3의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 하역안전성 평가결과를 표로 나타낸 것이다.

풍속 30kts의 Scenario No.1~6에서는 Surge와 Sway 동요량이 허용범위 내에 있는 것으로 평가되었다. 풍속 40kts의 Scenario No.7~12에서는 Sway 동요량 1.13m로 한계동요량을 초과하는 것으로 평가되었고, 풍속 50kts의 Scenario No.13~18에서는 Sway 동요량 2.1m로 한계동요량을 초과하여 하역안전성을 확보하지 못하는 것으로 분석되었다.

CASE	Saamania	Wind	Wave	Wave	Max.	Max.	Loading
CASE	Scenario	Speed	Height	Period	Surge	Sway	Safety
	No.1	1	dr.	8 sec	0.28	0.22	GOOD
	No.2	4	0.5 m	10 sec	0.42	0.22	GOOD
	No.3	20.1to		12 sec	0.58	0.22	GOOD
	No.4	JU KIS	1.0 m	8 sec	0.38	0.22	GOOD
	No.5			10 sec	0.64	0.22	GOOD
	No.6	40 lzto		12 sec	0.98	0.22	GOOD
	No.7			8 sec	0.41	1.13	NO GOOD
	No.8		0.5 m	10 sec	0.55	1.13	NO GOOD
CASE	No.9		84	12 sec	0.71	1.13	NO GOOD
3	No.10	40 KIS	1.0 m	8 sec	0.51	1.13	NO GOOD
	No.11			10 sec	0.79	1.13	NO GOOD
	No.12			12 sec	1.11	1.13	NO GOOD
	No.13			8 sec	0.62	2.11	NO GOOD
	No.14		0.5 m	10 sec	0.76	2.11	NO GOOD
-	No.15	50 kts		12 sec	0.92	2.11	NO GOOD
	No.16	JU KIS		8 sec	0.71	2.11	NO GOOD
	No.17		1.0 m	10 sec	0.99	2.11	NO GOOD
	No.18			12 sec	1.32	2.11	NO GOOD

Table. 39 Result of Loading Safety(CASE 3, Scenario No.1~18)

\* Allowable Criteria : Surge(peak-peak): 1.5m, Sway(zero - peak): 0.6m



## 4.1.2.2. 보강 계류배치 평가 결과



Fig. 61 Mooring Arrangement of CASE 4(Nylon Rope)

나일론 Rope(MBL 48ton)를 사용하며, 강풍 및 악천후시 횡방향 외력에 대응하기 위하여 선수 측은 부두로부터 떨어진 곳에 설치된 직주, 선미측은 부두 끝단의 곡주를 사용하여 선수미에 브레스트라인 각 1개를 추가 보강한 계류배치인 CASE 4에 대한 계류삭 장력, 계선주 견인력, 방충재 반력, 하역안전성에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

1) 계류삭 안전성

Collection @ kmou

Fig. 62~64는 CASE 4의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 계류삭 최대장력 분석결과를 그래프로 나타낸 것이다.

풍속 50kts의 Scenario No.17,18에서는 Chock를 통과하는 선수 헤드라인 1번 또는 선미 스턴라인 14번에 파단하중의 55%이상의 최대장력이 발생하여 허용장력을 초과하는 것으로 평가되었다.

그리고 나머지 Scenario에서는 모든 계류삭의 최대장력이 허용 범위 내에 있는 것으로 평가되었다.



Fig. 62 Result of Mooring Line Tension(CASE 4, No.1~6)



Fig. 63 Result of Mooring Line Tension(CASE 4, No.7~12)



Fig. 64 Result of Mooring Line Tension(CASE 4, No.13~18)

Table. 40은 CASE 4의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 계류삭 최대장력 분석결과를 표로 나타낸 것이다.

Scenario No.5,11,17에서 계류삭의 최대장력은 풍향 160°에서 Chock를 통과하는 선수 헤드라인 2번에 각각 17.2톤, 21.8톤, 29.0톤이 발생하는 것으로 평가되었다. 선수 헤드라인의 최대장력은 풍향 160~170°에서 발생하였으며, 선미 스턴라인의 최대장력은 풍향 70~80°에서 발생하였다. Scenario No.17에서는 Chock를 통과하는 선수 헤드라인 2번에 파단하중의 61%를 초과하는 최대장력이 발생하는 것으로 평가되었다.



- 94 -
|                 | Mooring                  | L1             | L2             | L3      | L4      | L5      | L6       | L7       |
|-----------------|--------------------------|----------------|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|
|                 | Lino                     | (Chock)        | (Chock)        | (Winch) | (Winch) | (Chock) | (Winch)  | (Winch)  |
|                 | Line                     | F.Breast       | Head           | Head    | Head    | Head    | F.Spring | F.Spring |
| <u>Scenario</u> | Worst Direction<br>(Deg) | 160            | 170            | 190     | 200     | 220     | 160      | 160      |
| <u>No.5</u>     | Tension (Ton)            | 10.8           | 17.2           | 13.1    | 12.3    | 10.4    | 8.2      | 8.8      |
|                 | &of Strength             | 23%            | 36%            | 27%     | 26%     | 22%     | 17%      | 18%      |
| 30kts           | Mooring                  | L8             | L9             | L10     | L11     | L12     | L13      | L14      |
| 1.0m,           | Line                     | (Winch)        | (Winch)        | (Winch) | (Winch) | (Chock) | (Winch)  | (Winch)  |
| 10sec           | Want Direction           | A.Spring       | A.Spring       | Stern   | Stern   | Stern   | Stern    | A.Breast |
|                 | (Deg)                    | 220            | 220            | 50      | 50      | 50      | 60       | 80       |
|                 | Tension (Ton)            | 7              | 7              | 10.2    | 10.1    | 9.7     | 9.3      | 11.4     |
|                 | &of Strength             | 15%            | 14%            | 21%     | 21%     | 20%     | 19%      | 24%      |
|                 | Mooring                  | L1             | L2             | L3      | L4      | L5      | L6       | L7       |
|                 | Line<br>Worst Direction  | (Chock)        | (Chock)        | (Winch) | (Winch) | (Chock) | (Winch)  | (Winch)  |
|                 |                          | F.Breast       | Head           | Head    | Head    | Head    | F.Spring | F.Spring |
| <u>Scenario</u> | (Deg)                    | 160            | 160            | 170     | 170     | 220     | 160      | 160      |
| <u>No.11</u>    | Tension (Ton)            | 14.9           | 21.8           | 14      | 12.8    | 10.8    | 9.4      | 10       |
|                 | &of Strength             | 31%            | 45%            | 29%     | 27%     | 23%     | 20%      | 21%      |
| 40kts           | Mooring                  | L8             | L9             | L10     | L11     | L12     | L13      | L14      |
| 1.0m            | Line                     | (Winch)        | (Winch)        | (Winch) | (Winch) | (Chock) | (Winch)  | (Winch)  |
| 10sec           | Worst Direction          | A.Spring       | A.Spring       | Stern   | Stern   | Stern   | Stern    | A.Breast |
|                 | (Deg)                    | 220            | 220            | 80      | 80      | 80      | 80       | 80       |
|                 | Tension (Ton)            | 7.3            | 7.3            | 10.8    | 10.9    | 10.9    | 10.8     | 16.1     |
|                 | &of Strength             | 15%            | 15%            | 23%     | 23%     | 23%     | 23%      | 34%      |
|                 | Mooring                  |                | L2             | L3      | L4      | $L_{5}$ |          | L7       |
|                 | Line                     | (Chock)        | (Chock)        | (Winch) | (Winch) | (Chock) | (Winch)  | (Winch)  |
|                 | Worst Direction          | F.Breast       | Head           | Head    | Head    | Неаа    | F.Spring | F.Spring |
| <u>Scenario</u> | (Deg)                    | 160            | 160            | 170     | 170     | 80      | 160      | 160      |
| <u>No.17</u>    | Tension (Ton)            | 21             | 29             | 16.2    | 14.6    | 11.7    | 10.7     | 11.5     |
| 501             | &of Strength             | 44%            | 61%            | 34%     | 30%     | 24%     | 22%      | 24%      |
| 50kts           | Mooring                  | L8             | L9             | L10     | LII     | L12     | L13      | L14      |
| 1.0m            | Line                     | (Winch)        | (Winch)        | (Winch) | (Winch) | (Chock) | (Winch)  | (Winch)  |
| TUSEC           | Worst Direction          | A.Spring<br>80 | A.Spring<br>80 | 80      | 80      | 80      | 80       | A.Dreast |
|                 | (Deg)<br>Tension (Ton)   | 8.1            | 8              | 12.5    | 12.9    | 13.4    | 13.6     | 25       |
|                 | &of Strength             | 17%            | 17%            | 26%     | 27%     | 28%     | 28%      | 52%      |
|                 |                          | 11/0           |                | 2070    |         | 2070    | 2070     | 0270     |

Table. 40 Result of Mooring Line Tension(CASE 4, Scenario No.5,11,17)

Fig. 65~67는 풍향에 따른 각 계류삭의 최대장력 민감도를 분석하기 위하여, CASE 4의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 각 계류삭의 최대장력을 360도 극좌표계 그래프(Polar Graph)로 나타낸 것이다.

대체로 선수 헤드라인 2번과 선미 스턴라인 14번에 상대적으로 큰 장력이 발생하며, 선수 계류삭의 경우 S~SE계열 바람 그리고 선미 계류삭의 경우 E-NE계열 바람이 부는 경우 상대적으로 계류삭의 장력이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Scenario No.17에서는 진풍향 140~170°일 때, Chock를 통과하는 선수 헤드라인 1번에 파단하중의 55%(49.5ton)를 초과하는 장력이 발생하는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 65 Result of Mooring Line Tension(CASE 4, No.5)



Fig. 66 Result of Mooring Line Tension(CASE 4, No.11)



Fig. 67 Result of Mooring Line Tension(CASE 4, No.17)



2) 계선주 안전성

Fig. 68~70은 CASE 4의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 계선주 하중 분석결과를 그래프로 나타낸 것이다.

Scenario No.1,2,4,7에서는 모든 계선주가 허용하중 범위 내에 있는 것으로 평가되었으며, 나머지 Scenario에서는 선수 헤드라인 계선주A 또는 선미 스턴라인 계선주I에 계선주의 설계하중(35ton)을 초과하는 하중이 작용하는 것으로 평가되었다.

그리고 선수 스프링라인 계선주C, 선미 스프링라인 계선주F, 선미 브레스트라인 계선주 H, 선수 브레스트라인 계선주J의 경우, 모든 Scenario에서 허용하중 범위 내에 있는 것으로 평가되었다.

풍속 30kts의 Scenario No.1~6에서는 계선주의 설계하중(35ton)을 최대 약 182%, 풍속 40kts에서의 Scenario No.7~12에서는 약 201%, 풍속 50kts에서의 Scenario No.7~12 에서는 약 234% 초과하는 것으로 분석되었다.



Fig. 68 Result of Bollard Force(CASE 4, No.1~6)



Fig. 69 Result of Bollard Force(CASE 4, Scenario No.7~12)



Fig. 70 Result of Bollard Force(CASE 4, Scenario No.13~18)



Table. 41은 CASE 4의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 계선주 최대하중 분석결과를 표로 나타낸 것이다.

Scenario No.5,11,17에서 계선주의 최대하중은 계선주A에 각각 49.7톤, 55.6톤, 66.9톤이 작용하는 것으로 평가되었으며, 계선주의 설계하중(35ton)을 각각 약 142%, 약 159%, 약 191% 초과하는 것으로 분석되었다.

		А	С	F	H	Ι	J
<u>Scenario</u> <u>No.5</u>	Bollard	Head	Fore Spring	Aft Spring	Aft Breast	Stern	Fore Breast
30kts	Total Force	49.7	17	13.9	11.4	39.2	10.8
1.0m, 10sec	&Bollard Strength	142%	49%	40%	33%	112%	15%
	- Bri	A	C	F	H	Ι	J
<u>Scenario</u> <u>No.11</u>	Bollard	Head	Fore Spring	Aft Spring	Aft Breast	Stern	Fore Breast
40kts	Total Force	55.6	19.4	14.6	16.1	43.3	14.9
1.0m, 10sec	&Bollard Strength	159%	55%	42%	46%	124%	21%
	10.1	A	C	F	H	Ι	J
<u>Scenario</u> <u>No.17</u>	Bollard	Head	Fore Spring	Aft Spring	Aft Breast	Stern	Fore Breast
50kts 1.0m, 10sec	Total Force	66.9	22.2	16.1	25.1	52.1	21
	&Bollard Strength	191%	63%	46%	72%	149%	30%

Table. 41 Result of Bollard Force(CASE 4, Scenario No.5,11,17)



3) 방충재 안전성

CASE 4의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 방충재의 최대반력 평 가결과, 최대허용반력(59.1ton)의 33%이하의 최대반력이 작용하는 것으로 분석 되었다.

Table. 42는 CASE 4의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 방충재 최대반력 분석결과를 표로 나타낸 것이며, Fig. 71은 이를 그래프로 나타낸 것이다. Scenario No.5,11,17에서 방충재의 최대반력은 선수 방충재 aa에 각각 8톤, 12톤, 19톤이 발생하였으며, 모두 방충재의 허용반력 내에 있는 것으로 평가되었다.

Seen	orio	20	Max. Thrust(Ton)								
Scen	aa	bb	сс	dd	ee	ff	gg	hh	ii		
No.5	No.5 30kts 1.0m, 10sec			7	6	5	5	5	5	5	
No.11	No.11 40kts 1.0m, 10sec		10	9	8	7	7	7	8	8	
No.17	19	15	13	10	9	10	10	10	11		

Table. 42 Result of Fender Thrust(CASE 4, Scenario No.5,11,17)



Fig. 71 Result of Fender Thrust(CASE 4, No.5,11,17)



4) 하역 안전성

Table. 43은 CASE 4의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 하역안전성 평가결과를 표로 나타낸 것이다.

풍속 30kts 및 40kts의 Scenario No.1~12에서는 Surge와 Sway 동요량이 허용범위 내에 있는 것으로 평가되었다. 그리고 풍속 50kts의 Scenario No.13~18에서는 Sway 동요량 0.85m로 한계동요량을 초과하여 하역안전성을 확보하지 못하는 것으로 분석되었다.

CACE	Conneria	Wind	Wave	Wave	Max.	Max.	Loading
CASE	Scenario	Speed	Height	Period	Surge	Sway	Safety
	No.1		10,	8 sec	0.24	0	GOOD
	No.2		0.5 m	10 sec	0.39	0	GOOD
	No.3	20.1to		12 sec	0.55	0	GOOD
	No.4	JU KIS	1.0 m	8 sec	0.33	0	GOOD
	No.5	<		10 sec	0.62	0	GOOD
	No.6		5	12 sec	0.94	0	GOOD
	No.7	40 144		8 sec	0.35	0.24	GOOD
	No.8		0.5 m	10 sec	0.50	0.24	GOOD
CASE	No.9			12 sec	0.66	0.24	GOOD
4	No.10	40 KIS		8 sec	0.43	0.24	GOOD
	No.11			10 sec	0.74	0.24	GOOD
	No.12			12 sec	1.05	0.24	GOOD
	No.13			8 sec	0.50	0.85	NO GOOD
	No.14		0.5 m	10 sec	0.64	0.85	NO GOOD
	No.15	50 lzta		12 sec	0.80	0.85	NO GOOD
_	No.16	- 50 kts -		8 sec	0.60	0.85	NO GOOD
	No.17		1.0 m	10 sec	0.87	0.85	NO GOOD
	No.18			12 sec	1.20	0.85	NO GOOD

Table. 43 Result of Loading Safety(CASE 4, Scenario No.1~18)

\* Allowable Criteria : Surge(peak-peak): 1.5m, Sway(zero - peak): 0.6m

### 4.1.2.3. 보강 계류배치(CASE 5) 분석 결과



Fig. 72 Mooring Arrangement of CASE 5(Nylon Rope)

나일론 Rope(MBL 48ton)를 사용하며, 강풍 및 악천후시 횡방향 외력에 대응하기 위하여 선수 측은 부두로부터 떨어진 곳에 설치된 직주, 선미측은 부두 끝단의 곡주를 사용하여 선수미에 브레스트라인 각 2개를 추가 보강한 계류배치인 CASE 5에 대한 계류삭 장력, 계선주 견인력, 방충재 반력, 하역안전성에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

1) 계류삭 안전성

Fig. 73~75는 CASE 5의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 계류삭 최대장력 분석결과를 그래프로 나타낸 것이다.

모든 Scenario에서 모든 계류삭의 최대장력이 허용 범위 내에 있는 것으로 평가되었다.



Fig. 73 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, No.1~6)



Fig. 74 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, No.7~12)





Fig. 75 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, No.13~18)

Table. 44는 CASE 5의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 계류삭 최대장력 분석결과를 표로 나타낸 것이다.

Scenario No.5,에서 계류삭의 최대장력은 풍향 190°에서 선수 헤드라인 3번에 13.1톤, Scenario No.11,17에서 계류삭의 최대장력은 풍향 80°에서 선미 브레스트라인 12번에 각각 14.3톤, 20.9톤이 발생하는 것으로 평가되었다.



	Maaring	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
	wooring	(Chock)	(Chock)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
	Line	F.Breast	F.Breast	Head	Head	Head	F.Spring	F.Spring
	Worst Direction (Deg)	160	160	190	190	200	20	20
<u>Scenario</u>	Tension (Ton)	10.8	10.7	13.1	12.2	10.4	8.4	8.9
<u>No.5</u> 30kts	&of Strength	22%	22%	27%	25%	22%	17%	19%
1.0m,	Mooring	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14
10sec	Line	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
	Enic	A.Spring	A.Spring	Stern	Stern	Stern	A.Breast	A.Breast
	Worst Direction (Deg)	220	220	50	50	50	80	80
	Tension (Ton)	6.9	6.9	10.3	10.2	9.8	12.2	11.2
	&of Strength	14%	14%	22%	21%	20%	26%	23%
	Mooring	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
	Line	(Chock)	(Chock)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
	- Enic	F.Breast	F.Breast	Head	Head	Head	F.Spring	F.Spring
<u>Scenario</u>	Worst Direction (Deg)	160	160	170	170	200	160	160
<u>No.11</u>	Tension (Ton)	14.2	14.1	14.1	12.9	10.8	9	9.6
	&of Strength	30%	29%	29%	27%	22%	19%	20%
40kts	Mooring	L8	L9	L10	L11	L12	L13	L14
1.0m	Line	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Winch)	(Chock)	(Winch)	(Winch)
10sec	Went Direction	A.Spring	A.Spring	Stern	Stern	Stern	A.Breast	A.Breast
	Worst Direction (Deg)	220	220	50	50	50	80	80
	Tensien (Ten)				and a second second			
	Tension (Ton)	7.2	7.2	10.7	10.6	10.2	14.3	13.1
	& of Strength	7.2 15%	7.2 15%	10.7 22%	10.6 22%	10.2 21%	14.3 30%	13.1 27%
	&of Strength	7.2 15% L1	7.2 15% L2	10.7 22% L3	10.6 22% L4	10.2 21% L5	14.3 30% L6	13.1 27% L7
	Mooring Line	7.2 15% L1 (Chock)	7.2 15% L2 (Chock)	10.7 22% L3 (Winch)	10.6 22% L4 (Winch)	10.2 21% L5 (Chock)	14.3 30% L6 (Winch)	13.1 27% L7 (Winch)
	Mooring Line	7.2 15% L1 (Chock) F.Breast	7.2 15% L2 (Chock) F.Breast	10.7 22% L3 (Winch) Head	10.6 22% L4 (Winch) Head	10.2 21% L5 (Chock) Head	14.3 30% L6 (Winch) F.Spring	13.1 27% L7 (Winch) F.Spring
Scenario	Wooring Line Worst Direction (Deg)	7.2 15% L1 (Chock) F.Breast 160	7.2 15% L2 (Chock) F.Breast 160	10.7 22% L3 (Winch) Head 170	10.6 22% L4 (Winch) Head 170	10.2 21% L5 (Chock) Head 170	14.3 30% L6 (Winch) F.Spring 160	13.1 27% L7 (Winch) F.Spring 160
Scenario <u>No.17</u>	Tension (Ton)   &of Strength   Mooring   Line   Worst Direction   (Deg)   Tension (Ton)	7.2 15% L1 (Chock) F.Breast 160 20	7.2 15% L2 (Chock) F.Breast 160 20	10.7 22% <b>L3</b> (Winch) Head 170 16.2	10.6 22% L4 (Winch) Head 170 14.6	10.2 21% <b>L5</b> (Chock) Head 170 11.4	14.3 30% L6 (Winch) F.Spring 160 10.1	13.1 27% L7 (Winch) F.Spring 160 10.8
<u>Scenario</u> <u>No.17</u>	Tension (Ton)   &of Strength   Mooring   Line   Worst Direction   (Deg)   Tension (Ton)   &of Strength	7.2 15% L1 (Chock) F.Breast 160 20 42%	7.2 15% L2 (Chock) F.Breast 160 20 42%	10.7 22% <b>L3</b> (Winch) Head 170 16.2 34%	10.6 22% L4 (Winch) Head 170 14.6 31%	10.2 21% <b>L5</b> (Chock) Head 170 11.4 24%	14.3 30% <b>L6</b> (Winch) <b>F.Spring</b> 160 10.1 21%	13.1 27% <b>L7</b> (Winch) F.Spring 160 10.8 23%
Scenario No.17 50kts	Mooring Line Worst Direction (Deg) Tension (Ton) &of Strength Mooring	7.2 15% L1 (Chock) F.Breast 160 20 42% L8	7.2 15% L2 (Chock) F.Breast 160 20 42% L9	10.7 22% L3 (Winch) Head 170 16.2 34% L10	10.6 22% L4 (Winch) Head 170 14.6 31% L11	10.2 21% L5 (Chock) Head 170 11.4 24% L12	14.3 30% L6 (Winch) F.Spring 160 10.1 21% L13	13.1 27% L7 (Winch) F.Spring 160 10.8 23% L14
Scenario No.17 50kts 1.0m	Vorst Direction (Deg) Tension (Ton) &of Strength Mooring Line	7.2 15% L1 (Chock) F.Breast 160 20 42% L8 (Winch)	7.2 15% L2 (Chock) F.Breast 160 20 42% L9 (Winch)	10.7 22% L3 (Winch) Head 170 16.2 34% L10 (Winch)	10.6 22% L4 (Winch) Head 170 14.6 31% L11 (Winch)	10.2 21% L5 (Chock) Head 170 11.4 24% L12 (Chock)	14.3 30% L6 (Winch) F.Spring 160 10.1 21% L13 (Winch)	13.1 27% L7 (Winch) F.Spring 160 10.8 23% L14 (Winch)
Scenario No.17 50kts 1.0m 10sec	Verse Direction Mooring Line Worst Direction (Deg) Tension (Ton) &of Strength Mooring Line	7.2 15% L1 (Chock) F.Breast 160 20 42% L8 (Winch) A.Spring	7.2 15% L2 (Chock) F.Breast 160 20 42% L9 (Winch) A.Spring	10.7 22% L3 (Winch) Head 170 16.2 34% L10 (Winch) Stern	10.6 22% L4 (Winch) Head 170 14.6 31% L11 (Winch) Stern	10.2 21% <b>L5</b> (Chock) Head 170 11.4 24% L12 (Chock) Stern	14.3 30% L6 (Winch) F.Spring 160 10.1 21% L13 (Winch) A.Breast	13.1 27% L7 (Winch) F.Spring 160 10.8 23% L14 (Winch) A.Breast
Scenario No.17 50kts 1.0m 10sec	Vorst Direction (Deg) Tension (Ton) &of Strength Mooring Line Worst Direction (Deg)	7.2 15% L1 (Chock) F.Breast 160 20 42% L8 (Winch) A.Spring 220	7.2 15% L2 (Chock) F.Breast 160 20 42% L9 (Winch) A.Spring 220	10.7 22% L3 (Winch) Head 170 16.2 34% L10 (Winch) Stern 70	10.6 22% L4 (Winch) Head 170 14.6 31% L11 (Winch) Stern 70	10.2 21% <b>L5</b> (Chock) 170 11.4 24% L12 (Chock) Stern 80	14.3 30% L6 (Winch) F.Spring 160 10.1 21% L13 (Winch) A.Breast 80	13.1 27% L7 (Winch) F.Spring 160 10.8 23% L14 (Winch) A.Breast 80
Scenario No.17 50kts 1.0m 10sec	Version (Ton) &of Strength Mooring Line Worst Direction (Deg) Tension (Ton) &of Strength Mooring Line Worst Direction (Deg) Tension (Ton)	7.2 15% L1 (Chock) F.Breast 160 20 42% L8 (Winch) A.Spring 220 7.7	7.2 15% L2 (Chock) F.Breast 160 20 42% L9 (Winch) A.Spring 220 7.6	10.7 22% L3 (Winch) Head 170 16.2 34% L10 (Winch) Stern 70 11.5	10.6 22% L4 (Winch) Head 170 14.6 31% L11 (Winch) Stern 70 11.6	10.2 21% <b>L5</b> (Chock) 170 11.4 24% L12 (Chock) Stern 80 11.7	14.3 30% L6 (Winch) F.Spring 160 10.1 21% L13 (Winch) A.Breast 80 20.9	13.1 27% L7 (Winch) F.Spring 160 10.8 23% L14 (Winch) A.Breast 80 19.1

Table. 44 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, Scenario No.5,11,17)

Fig. 76~78은 풍향에 따른 각 계류삭의 최대장력 민감도를 분석하기 위하여, CASE 5의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 각 계류삭의 최대장력을 360도 극좌표계 그래프(Polar Graph)로 나타낸 것이다.

모든 Scenario에서 전방위 풍향에 대한 모든 계류삭의 최대장력이 허용 범위 내에 있는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Fig. 78에서는 선수 브레스트라인 1,2번과 선미 브레스트라인 13,14번에 상대적으로 큰 장력이 발생하며, 선수 계류삭의 경우 S~SE계열 바람 그리고 선미 계류삭의 경우 E-NE계열 바람이 부는 경우 상대적으로 계류삭의 장력이 증가하는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 76 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, No.5)





Fig. 77 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, No.11)



Fig. 78 Result of Mooring Line Tension(CASE 5, No.17)

2) 계선주 안전성

Fig. 79~81은 CASE 5의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 계선주 하중 분석결과를 그래프로 나타낸 것이다.

Scenario No.1~4,7~10,13,14에서는 모든 계선주가 허용하중 범위 내에 있는 것으로 평가되었으며, Scenario No.5,6,11,12,15~18에서는 선수 헤드라인 계선주A 또는 선미 스턴라인 계선주I에 계선주의 설계하중(35ton)을 초과하는 하중이 작용하는 것으로 평가되었다.

그리고 선수 스프링라인 계선주C, 선미 스프링라인 계선주F, 선미 브레스트라인 계선주 H, 선수 브레스트라인 계선주J의 경우, 모든 Scenario에서 허용하중 범위 내에 있는 것으로 평가되었다.

풍속 30kts의 Scenario No.1~6에서는 계선주의 설계하중(35ton)을 최대 약 133%, 풍속 40kts에서의 Scenario No.7~12에서는 약 138%, 풍속 50kts에서의 Scenario No.7~12 에서는 약 152% 초과하는 것으로 분석되었다.



Fig. 79 Result of Bollard Force(CASE 5, Scenario No.1~6)



Collection @ kmou



Fig. 80 Result of Bollard Force(CASE 5, Scenario No.7~12)



Fig. 81 Result of Bollard Force(CASE 5, Scenario No.13~18)



Table. 45는 CASE 5의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 계선주 최대하중 분석결과를 표로 나타낸 것이다.

Scenario No.5,11,17에서 계선주의 최대하중은 계선주A에 각각 35.6톤, 37.4톤, 42.1톤이 작용하는 것으로 평가되었으며, 계선주의 설계하중 (35ton)을 각각 약 102%, 약 107%, 약 120% 초과하는 것으로 분석되었다.

		A	C	F	Η	Ι	J
<u>Scenario</u> <u>No.5</u>	Bollard	Head	Fore Spring	Aft Spring	Aft Breast	Stern	Fore Breast
30kts	Total Force	35.6	17.3	13.8	23.4	30.2	21.5
1.0m, 10sec	&Bollard Strength	102%	49%	39%	67%	86%	31%
	Mr.	A	C	F	Н	Ι	J
<u>Scenario</u> <u>No.11</u>	Bollard	Head	Fore Spring	Aft Spring	Aft Breast	Stern	Fore Breast
40kts	Total Force	37.4	18.5	14.4	27.4	31.5	28.3
1.0m, 10sec	&Bollard Strength	107%	53%	41%	78%	90%	40%
	10.1	A	C	F	Η	Ι	J
<u>Scenario</u> <u>No.17</u>	Bollard	Head	Fore Spring	Aft Spring	Aft Breast	Stern	Fore Breast
50kts 1.0m, 10sec	Total Force	42.1	20.9	15.3	40	34.8	40
	&Bollard Strength	120%	60%	44%	114%	99%	57%

Table. 45 Result of Bollard Force(CASE 5, Scenario No.5,11,17)



3) 방충재 안전성

CASE 5의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 방충재의 최대반력 평 가결과, 최대허용반력(59.1ton)의 31%이하의 최대반력이 작용하는 것으로 분석 되었다.

Table. 46은 CASE 5의 대표 Scenario No.5,11,17에서의 전방위 풍향에 대한 방충재 최대반력 분석결과를 표로 나타낸 것이며, Fig. 82는 이를 그래프로 나타낸 것이다. Scenario No.5,11,17에서 방충재의 최대반력은 선수 방충재 aa에 각각 8톤, 12톤, 18톤이 발생하였으며, 모두 방충재의 허용반력 내에 있는 것으로 평가되었다.

For	dor	Max. Thrust(Ton)									
I CIIUCI		aa	bb	сс	dd	ee	ff	gg	hh	ii	
	30kts 1.0m, 10sec	8	8	7	6	6	6	6	6	6	
Thrust (ton)	40kts 1.0m, 10sec	12	11	9	8	7	8	8	8	8	
	50kts 1.0m, 10sec	18	15	13	11	10	10	10	10	11	

Table. 46 Result of Fender Thrust(CASE 5, Scenario No.5,11,17)



Fig. 82 Result of Fender Thrust(CASE 5, No.5,11,17)



4) 하역 안전성

Table. 47은 CASE 5의 Scenario No.1~18에서의 전방위 풍향에 대한 하역안전성 평가결과를 표로 나타낸 것이다.

풍속 30kts, 40kts, 50kts의 Scenario No.1~18에서 Surge와 Sway 동요량이 허용범위 내에 있는 것으로 평가되어, 모든 조건에서 하역안전성을 확보하는 것으로 분석되었다.

CACE	Commin	Wind	Wave	Wave	Max.	Max.	Loading
CASE	Scenario	Speed	Height	Period	Surge	Sway	Safety
	No.1			8 sec	0.24	0	GOOD
	No.2		0.5 m	10 sec	0.39	0	GOOD
	No.3	20.1to	IBA.	12 sec	0.55	0	GOOD
	No.4	JU KIS	S.	8 sec	0.34	0	GOOD
	No.5		1.0 m	10 sec	0.62	0	GOOD
	No.6	5		12 sec	0.88	0	GOOD
	No.7	40 lrts	2	8 sec	0.37	0.15	GOOD
	No.8		0.5 m	10 sec	0.51	0.15	GOOD
CASE	No.9			12 sec	0.67	0.15	GOOD
5	No.10	40 KIS		8 sec	0.45	0.15	GOOD
	No.11		1.0 m	10 sec	0.68	0.15	GOOD
	No.12			12 sec	1.06	0.15	GOOD
	No.13			8 sec	0.51	0.59	GOOD
	No.14		0.5 m	10 sec	0.65	0.59	GOOD
	No.15	50 lzta		12 sec	0.82	0.59	GOOD
-	No.16	- 50 kts -		8 sec	0.61	0.59	GOOD
	No.17		1.0 m	10 sec	0.89	0.59	GOOD
	No.18			12 sec	1.21	0.59	GOOD

Table. 47 Result of Loading Safety(CASE 5, Scenario No.1~18)

\* Allowable Criteria : Surge(peak-peak): 1.5m, Sway(zero - peak): 0.6m

### 4.2 계류안전성평가 결과 비교·분석

먼저 계류삭의 안전성 측면에서 고강도 계류삭을 사용하는 CASE 1,2와 나일론 계류삭을 사용하는 CASE3,4를 Fig. 83과 Table. 48과 같이 비교· 분석해보면, 고강도 계류삭의 경우 나일론 계류삭에 비하여 파랑이 내습하는 환경 즉, 파고 1.0m, 파주기 10초 이상인 환경에서 상대적으로 계류삭에 큰 장력이 발생하여 계류삭의 최대장력이 파단하중의 55%를 초과하여 안전성을 확보하지 못하는 것으로 검토되었으며, 고강도 계류삭은 10초 이상의 장주기파랑에 의한 외력에 대한 안전성 측면에서 매우 취약한 것으로 분석되었다.

선수미 브레스트라인을 보강하는 경우(CASE 1에서 CASE 2로 보강, 그리고 CASE 3에서 CASE 4또는5로 보강)를 비교해보면, 고강도 계류삭의 경우 계류삭의 최대장력이 프로그램 계산 허용범위를 초과하는 수준에서 벗어나긴 하였으나, 파고 1.0m, 파주기 10초 이상인 조건에서 여전히 계류삭 최대장력이 파단하중의 55%를 초과하여 안전성을 확보하지 못하는 것으로 검토되었다. 그러나 나일론 계류삭의 경우 CASE 3의 일반 계류배치 시에는 풍속 40KTS, 파고 10m, 파주기 10초 이상인 조건에서 계류삭 최대장력이 파단하중의 55%를 초과하여 안전성을 확보하지 못하였으나, CASE 4의 계류삭보강을 통하여 풍속 50KTS의 파고 1.0m 이상의 악천후를 제외하고는 계류삭의 최대장력이 허용범위 내에 있는 것으로 분석되었으며, CASE 5의 계류삭보강을 통하여 모든 조건에서 계류삭의 최대장력이 허용범위 내에 있는 것으로 분석되어 계류삭 보강을 통하여 전체 계류삭의 안전성이 개선되는 것으로 검토되었다.



- 114 -



Fig. 83 Max. Mooring Line Tension(CASE 1,2 and CASE 3,4,5)

<u> </u>	Wind	Wave	Wave	0400 1	0405.0																								
Scenario	Speed	Height	Period	CASE I	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5																					
No.1			8 SEC	28%	24%	28%	15%	17%																					
No.2		0.5 M	10 SEC	38%	34%	33%	25%	19%																					
No.3	20 12 70	5	12 SEC	49%	44%	38%	29%	23%																					
No.4	20 N I 2	5	8 SEC	40%	36%	34%	25%	20%																					
No.5		1.0 M	10 SEC	ERROR	59%	45%	36%	27%																					
No.6			12 SEC	ERROR	72%	54%	45%	36%																					
No.7			8 SEC	35%	27%	46%	28%	23%																					
No.8		0.5 M 1.0 M	$0.5 \mathrm{M}$	0.5 M	0.5 M	$0.5 \mathrm{M}$	$0.5 \mathrm{M}$	0.5 M	0.5 M	10 SEC	46%	38%	52%	33%	25%														
No.9	10 1270		12 SEC	59%	48%	55%	38%	26%																					
No.10	40 MIS		1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	8 SEC	48%	40%	53%	34%	26%												
No.11												1.0 M	10 SEC	ERROR	63%	65%	45%	30%											
No.12			12 SEC	ERROR	78%	74%	55%	38%																					
No.13			8 SEC	48	31%	67%	42%	35%																					
No.14		0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	10 SEC	60%	42%	74%	48%	37%
No.15	50 KTC		12 SEC	ERROR	53%	79%	52%	38%																					
No.16	50 KTS -		8 SEC	62%	44%	75%	49%	38%																					
No.17		1.0 M	10 SEC	ERROR	86%	88%	61%	43%																					
No.18			12 SEC	ERROR	116%	98%	70%	44%																					

Table. 48 Max. Mooring Line Tension(CASE 1~5)

계선주 안전성 측면에서는 Fig. 84와 Table. 49와 같이 CASE1~5에 대한 거의 모든 Scenario에서 대상부두의 계선주 설계하중(35톤)을 초과하는 하중이 발생하여, 안전성을 확보하지 못하는 것으로 검토되었다. 또한 동일 환경에서 고강도 계류삭을 사용하는 경우 나일론 계류삭에 비하여 계선주에 2~3배 큰 하중이 작용하는 것으로 분석되었다. 즉, 대상부두에서 고강도 계류삭을



사용하는 것은 계선주 안전성 측면에서 매우 부적합한 것으로 분석되었으며, 대상부두는 계선주 용량 증설, 각 계선주에 연결되는 계류삭 수 제한(3개 이하) 및 계류삭 분산 연결을 통한 계선주 안전성 확보가 필요한 것으로 검토되었다.



Fig. 84 Max. Bollard Force(CASE 1,2 and CASE 3,4,5)

Commin	Wind	Wave	Wave	CACE 1	CACE 9			CASE E																
Scenario	Speed	Height	Period	CASE I	CASE Z	CASE 3	CASE 4	CASE 5																
No.1			8 SEC	202%	193%	94%	83%	60%																
No.2		0.5 M	10 SEC	292%	282%	114%	101%	74%																
No.3	20 12 70		12 SEC	360%	350%	133%	120%	88%																
No.4	50 KIS		8 SEC	291%	281%	113%	100%	72%																
No.5		1.0 M	10 SEC	ERROR	402%	156%	142%	102%																
No.6			12 SEC	ERROR	471%	197%	183%	133%																
No.7			8 SEC	226%	205%	131%	96%	64%																
No.8		0.5 M	0.5 M	0.5 M	10 SEC	317%	295%	152%	117%	78%														
No.9	10 1/10		12 SEC	386%	360%	172%	136%	93%																
No.10	40 113		8 SEC	316%	294%	152%	116%	77%																
No.11		1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	1.0 M	10 SEC	ERROR	412%	197%	159%	107%				
No.12			12 SEC	ERROR	503%	240%	201%	138%																
No.13			8 SEC	276%	221%	182%	126%	87%																
No.14		0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	0.5 M	10 SEC	366%	312%	205%	147%	96%
No.15	50 KTC		12 SEC	ERROR	374%	226%	167%	106%																
No.16	50 KTS -		8 SEC	366%	311%	205%	147%	100%																
No.17		1.0 M	10 SEC	ERROR	469%	252%	151%	120%																
No.18		1.0 101	12 SEC	ERROR	554%	297%	234%	152%																

Table. 49 Max. Bollard Force(CASE 1~5)



방충재 안전성 측면에서는 Fig. 85와 Table. 50과 같이 CASE1~5에 대한 모든 Scenario에서 방충재가 허용반력 이내에 있는 것으로 평가되어, 충분한 안전성을 확보하고 있는 것으로 분석되었다. 이는 대상부두에 입사하는 파랑이 대상선박의 선미 측에서 입사됨에 따라 이러한 외력이 외력의 수직방향에 있는 방충재에는 크게 작용하지 않았기 때문이라고 분석된다.(조익순, 2017)



Fig. 85 Max. Fender Thrust(CASE 1~5)

C	Wind	Wave	Wave	CACE 1	CACE 0			
Scenario	Speed	Height	Period	CASE I	CASE Z	CASE 3	CASE 4	CASE 5
No.1			8 SEC	0)7 O k	8	7	8	8
No.2		0.5 M	10 SEC	7	8	7	8	8
No.3	20 12 70		12 SEC	7	8	7	8	8
No.4	30 N I S		8 SEC	7	8	7	8	8
No.5		1.0 M	10 SEC	ERROR	8	7	8	8
No.6			12 SEC	ERROR	8	7	8	8
No.7			8 SEC	10	11	12	12	12
No.8		0.5 M	10 SEC	10	11	12	12	12
No.9	10 1270		12 SEC	10	10	12	12	12
No.10	40 11 15		8 SEC	10	11	12	12	12
No.11		1.0 M	10 SEC	ERROR	10	12	12	12
No.12			12 SEC	ERROR	11	12	12	12
No.13			8 SEC	16	15	19	19	18
No.14		0.5 M	10 SEC	16	15	19	19	18
No.15	FU KAC		12 SEC	ERROR	15	19	19	18
No.16	90 KT2		8 SEC	16	15	19	19	18
No.17		1.0 M	10 SEC	ERROR	14	19	19	18
No.18		1.0 M	12 SEC	ERROR	18	19	19	18

Table. 50 Max. Fender Thrust(CASE 1~5)



하역안전성 측면에서는 Fig. 86과 Table. 51과 같이 고강도 계류삭을 사용하는 CASE 1,2와 나일론 계류삭을 사용하는 CASE3,4를 비교분석해보면, 고강도 계류삭을 사용하는 경우 파고 1.0m, 파주기 10초 이상인 환경에서 Winch의 Slip으로 선체동요량이 대폭 증가하여 하역안전성을 확보하지 못하는 경우가 나타나는 것으로 분석되었으나, 계류삭의 신축성(Elongation) 차이로 인하여, 고강도 계류삭을 사용하는 경우가 나일론 계류삭에 비하여 Surge, Sway 동요량이 작은 것으로 분석되었다. 나일론 계류삭의 경우 풍속 40KTS 이상의 조건에서 계류삭의 높은 신축성(Elongation)으로 인하여 상대적으로 풍속의 증가에 따른 선체동요량 증가로 하역안전성을 확보하지 못하는 것으로 검토 되었으나, 선수미 브레스트라인을 CASE 5와 같이 보강하는 경우 모든 Scenario 조건에서 선체동요량이 허용수준 이내로 감소하는 것으로 검토되어 하역안전성을 확보하는 것으로 분석되었다.



Fig. 86 Max. Surge & Sway(CASE 1~5)



Sce-	Wind	Wave	Wave	Surge	CASE 1	CASE 2	CASE 2	CASE A	
nario	Speed	Height	Period	Sway	CASE I	CASE Z	CASE 3	CASE 4	CASE 5
No 1			85EC	Surge	0.14	0.13	0.28	0.24	0.24
110.1			0.550	Sway	0	0	0.22	0	0
No 2		05 M	10SEC	Surge	0.28	0.27	0.42	0.39	0.39
110.2		0.0 10	10556	Sway	0	0	0.22	0	0
No 3			12SEC	Surge	0.44	0.44	0.58	0.55	0.55
110.5	30		12560	Sway	0	0	0.22	0	0
No 4	KTS		85EC	Surge	0.23	0.23	0.38	0.33	0.34
110.4			0.550	Sway	0	0	0.22	0	0
No 5		10 M	109FC	Surge	2.75	0.52	0.64	0.62	0.62
110.5		1.0 M	TUSEC	Sway	5.74	0	0.22	0	0
No 6			1995	Surge	ERROR	0.87	0.98	0.94	0.88
110.0			125EC	Sway	ERROR	0.08	0.22	0	0
No 7			85EC	Surge	0.18	0.16	0.41	0.35	0.37
110.7			OSEC	Sway	0.03	0	1.13	0.24	0.15
No 8		05 M	109FC	Surge	0.32	0.30	0.55	0.50	0.51
110.0		0.0 1	TUSEC	Sway	0.03	0	1.13	0.24	0.15
No 0			12SEC	Surge	0.48	0.48	0.71	0.66	0.67
110.9	40			Sway	0.07	0	1.13	0.24	0.15
No 10	KTS		00EC	Surge	0.27	0.25	0.51	0.43	0.45
N0.10			8SEC	Sway	0.03	0	1.13	0.24	0.15
No 11		10 M	10000	Surge	ERROR	0.56	0.79	0.74	0.68
INO.11		1.0 M	TUSEC	Sway	ERROR	0.07	1.13	0.24	0.15
No 12			1995	Surge	ERROR	1.04	1.11	1.05	1.06
N0.12			125EC	Sway	ERROR	0.57	1.13	0.24	0.15
No 13			85EC	Surge	0.23	0.19	0.62	0.50	0.51
10.15			0.550	Sway	0.26	0	2.11	0.85	0.59
No 14		05 M	10SEC	Surge	0.37	0.34	0.76	0.64	0.65
110.14		0.0 1	TUSEC	Sway	0.3	0	2.11	0.85	0.59
No 15			1995	Surge	0.95	0.52	0.92	0.80	0.82
N0.15	50		125EC	Sway	5.44	0	2.11	0.85	0.59
No 16	KTS		85EC	Surge	0.76	0.29	0.71	0.60	0.61
10.10		1 O M	OSEC	Sway	0.28	0	2.11	0.85	0.59
No 17			10SEC	Surge	ERROR	0.60	0.99	0.87	0.89
10.17		1.0 101	105EC	Sway	ERROR	0.76	2.11	0.85	0.59
No 18			129560	Surge	ERROR	1.24	1.32	1.20	1.21
110.10				Sway	ERROR	1.14	2.11	0.85	0.59
∦ All	* Allowable Criteria : Surge(peak-peak): 1.5m, Sway(zero - peak): 0.6m								

Table. 51 Max. Surge & Sway(CASE 1~5)

# 제 5 장 계류시스템 개선

이 장에서는 계류시스템에 따른 계류해석 및 계류안전성평가 결과에 대한 비교·분석 결과를 바탕으로, 대상부두 및 선박의 계류안전성을 확보·개선하기 위한 계류시스템 개선을 제안하고, 계류해석 결과 데이터를 바탕으로 선박 운항자가 기상변화에 따른 선박의 안전한 계류 가능 여부를 판단하고, 계류삭 재배치 및 보강, 예인선 수배, 피항 등 본선의 행동조치를 위한 판단 기준 및 지표가 되는 위험도 MATRIX 활용을 제안하고자 한다.

### 5.1 계류시스템 개선 제안

#### 5.1.1 부두 계선주

계류해석 및 계류안전성평가 결과, 대상부두의 계류시스템 중 방충재의 경우 모든 CASE 및 Scenario에서 안전성을 확보하는 것으로 검토되었으나, 계선주의 경우 대부분의 조건에서 안전성을 확보하지 못하고 있는 것으로 검토되었다.

계류안전성평가는 부두의 계선주, 방충재 그리고 선박의 계류삭, 하역안전성 등을 종합적으로 평가하는데, 대상부두 및 대상선박의 경우 특정 외력조건 이상에서 나머지 안전성은 모두 확보하고 있으나 계선주의 안전성만 확보하지 못하고 있는 경우가 다수 발생하는 것으로 분석되었다. 결과적으로 선박 운항자는 강한 외력이 선박에 작용하는 경우 계선주 안전성 문제로 계선주 파손 및 선박의 표류 등과 같은 사고를 예방하기 위한 유일한 방법으로 부두로부터의 이안 및 출항을 선택할 수밖에 없는 상황에 놓이게 된다.

계선주의 경우 부두를 이용하는 선박들의 총톤수를 고려하여 선박의 총톤수에 따른 계선주의 적정 용량을 기준으로 설치하는데, 항만 및 어항설계 기준에 따르면 대상부두에는 실습선 한나라호의 총톤수 9,196톤을 고려하여 최대 허용 견인력 50톤의 계선주(곡주)가 설치되어야 한다. 그러나 현재 대상부두에는 총톤수 2,000~5,000톤급 선박에 적합한 35톤의 계선주(곡주)가



설치되어 있으며, 이 또한 설치일로부터 약 30년이 경과하여 노후화 및 자연 부식과 마모로 인한 두께 손실로 최대 허용 견인력은 이를 하회할 것으로 예상된다.(유용응, 2017)

이에 대상부두에 설치되어 있는 직주 및 곡주 중에서 선수미 끝단에 각각 설치되어 있는 70톤, 50톤 직주를 제외한 모든 곡주는 실습선 한나라호의 안전한 계류를 위하여 50톤급 이상의 곡주로의 교체가 시급하다. 또한 폭풍시 횡방향 외력에 대응하여 선박을 계류하기 위하여, 현재 설치되어 있는 선수의 직주와 대칭으로 선미 측 브레스트라인의 역할 강화를 위한 직주의 추가 설치가 필요하다.

Fig. 87~88은 대상부두의 계선주 용량을 각각 35톤 및 50톤으로 설정하여 CASE 3과 CASE 5에 대한 계선주의 안전성을 전방위 풍향(30°간격)에 대하여 풍향에 따라 위험도 MATRIX로 나타내 비교한 것이다. 계선주의 용량이 35톤인 경우 CASE 3의 대부분의 외력조건에서 계선주의 허용하중을 초과하였으며, 특히 파고 1.0m, 파주기 10초 이상인 경우 계류배치를 CASE 5와 같이 개선(계류삭 추가를 통한 하중 분산)하여도 여전히 계선주의 허용하중을 초과하는 경우가 발생한다. 즉 이러한 경우에는 선박 운항자는 계선주의 안전성 문제로 선박을 부두로부터 이안하여야한다. 그러나 계선주의 용량이 50톤으로 증설되는 경우, 대상부두에서 발생가능한 모든 외력 조건 중 일부 조건인 풍속 50KTS, 풍향 120~180°, 파고 1.0m, 파주기 12초를 제외하고 계선주의 허용하중 이내의 하중이 작용하여 계선주의 안전성을 확보하는 것으로 분석되어, 계선주의 안전성 문제가 크게 개선되는 것으로 분석되었다.

- 121 -



Fig. 87 CASE 3, Risk Matrix for Bollard(35T & 50T)



Fig. 88 CASE 5, Risk Matrix for Bollard(35T & 50T)

## 5.1.2 선박 계류삭

대상선박에서 고강도 계류삭을 사용하는 경우 계류삭의 신축성(Elongation) 차이로 인하여 나일론 계류삭에 비하여 Surge, Sway 동요량이 전반적으로 작은 것으로 분석되었으나, 파고 1.0m, 파주기 10초 이상인 환경에서는 Winch의 Slip으로 선체동요량이 대폭 증가하여 하역안전성을 확보하지 못하는 경우가 발생하였으며, 또한 일부 계류삭의 Slack 현상으로 인하여 특정 계류삭에 하중이 집중되어 계류삭의 안전성이 저하되는 것으로 분석되었다. 그리고 고강도 계류삭을 사용하는 경우, 대상부두에 설치된 계선주 설계하중 35톤의 약 2~6배(나일론 계류삭의 경우 약 0.6~3배)의 하중이 작용하는 것으로 분석되었다.

즉, 대상선박이 고강도 계류삭을 사용하는 경우 하역안전성, 계류삭 안전성,



계선주 안전성 측면 모두에서 나일론 계류삭에 비하여 불리하며, 계류안전성을 확보하지 못하는 것으로 분석되었다. 이에 실습선 한나라호는 선박 및 부두의 계류안전성을 위하여 고강도 계류삭의 사용을 지양하고, 나일론 계류삭을 사용하는 것이 권장된다.

## 5.2 위험도 MATRIX 활용 제안

계류안전성평가에서 계선주, 방충재, 계류삭, 하역안전성과 같은 계류안전성 평가 요소들은 조류, 파랑 등 특정 외력 조건에서 전방위 풍향(5°간격)의 바람 조건에서의 최대값을 기준으로 안전성 여부를 평가하게 되며, 이러한 평가결과는 풍향에 따라 달라지는 계류안전성 변화 및 계류안전성 확보 여부를 나타내지 못하는 단점이 있다.

계류안전성평가 데이터를 바탕으로 작성된 위험도 MATRIX의 경우 전방위 풍향(30°간격)에 대하여 풍향에 따른 계류삭, 계선주의 안전성 및 하역안전성 정도를 표시하고 나타냄으로써, 선박 운항자가 변화하는 외력환경에서 계류안전성 확보여부를 쉽고 빠르게 판단하고 계류한계 조건을 파악하고 분석할 수 있는 장점이 있다.

Fig. 89는 나일론 계류삭을 사용하는 일반계류배치인 CASE 3과 보강계류배치인 CASE 5에서의 풍향에 따른 계류삭, 계선주의 안전성 및 하역안전성 정도를 위험도 MATRIX로 나타낸 것이다. 선박운항자는 일반 계류배치 상태에서 현재의 외력조건에 대한 계류삭, 계선주의 안전성 및 하역안전성을 위험도 MATRIX를 통하여 확인하고, 만약 계류안전성이 확보되지 않는 경우 보강계류배치에서의 위험도 MATRIX와 비교·검토함으로써 본선의 행동조치를 결정할 수 있다. 즉 선박운항자는 위험도 MATRIX를 활용하여, 본선의 계류안전성과 계류한계를 쉽고 빠르게 파악하고, 외력환경에 따른 적절한 계류 안전조치(계류보강, 예인선 수배, 이안 등)를 수행함으로써, 계류삭 파단, 계선주 파손 등과 같은 계류안전 사고를 방지하고 계류안전을 확보할 수 있다.









# 제 6 장 결 론

전 세계는 지구온난화 등으로 인한 기후변화로 각종 기상이변과 자연재해가 발생하고 있으며, 많은 항만에서는 기후변화에 따른 이상파랑 내습과 강풍 및 돌풍에 의한 계류선박의 계류삭 파단사고, 계선주 파손사고, 항내 선박 충돌 사고, 크레인 충돌 사고 등이 지속적으로 발생하고 있다. 한편, 많은 항만에서는 여러 가지 이유로 부두의 접안능력(부두에 접안할 수 있는 최대 선박의 크기)을 초과하는 선박이 부두에 접안하는 사례가 빈번하게 발생하고 있으며, 이에 따라 계류중인 선박의 계류안전성 손실에 의한 대형사고가 우려되는 상황이다.

본 연구에서는 설계 접안능력 3,640GT의 한국해양대학교 실습선 부두를 전용부두로 이용하며, 접안능력을 초과하는 상태로 계류중인 실습선 한나라호(9,196GT)에 대한 계류해석 및 계류안전성 평가를 통하여, 부두 및 선박의 안전성을 평가하였다. 계류해석 전용 소프트웨어(OPTIMOOR)를 이용하여 여러 외력환경조건 그리고 실습선 한나라호의 계류삭, 계류배치 등 계류시스템의 변화에 따른 부두의 계선주 및 방충재의 안전성과 실습선 한나라호의 계류삭 안전성 및 하역안전성 등을 평가하였다. 이를 통하여 현재의 부두 및 선박의 계류안전성과 계류시스템에 대한 적정성을 검토하였으며, 다음과 같은 연구결과를 도출하였다.

(1) 고강도 계류삭의 경우 나일론 계류삭에 비하여 파랑이 내습하는 환경 즉, 파고 1.0m, 파주기 10초 이상인 환경에서 상대적으로 계류삭에 큰 장력이 발생하여 계류삭의 최대장력이 파단하중의 55%를 초과하여 안전성을 확보하지 못하는 것으로 검토되었으며, 또한 고강도 계류삭은 10초 이상의 파랑에 의한 외력에 대한 안전성 측면에서 매우 취약한 것으로 분석되었다.

(2) 선수미 브레스트라인을 보강하는 경우, 고강도 계류삭의 경우 파고 1.0m, 파주기 10초 이상인 조건에서 여전히 계류삭 최대장력이 파단하중의 55%를



초과하여 안전성을 확보하지 못하는 것으로 검토되었다. 나일론 계류삭의 경우 일반 계류배치 시에는 풍속 40KTS, 파고 10m, 파주기 10초 이상인 조건에서 계류삭 최대장력이 파단하중의 55%를 초과하여 안전성을 확보하지 못하였으나, 계류삭보강을 통하여 모든 조건에서 계류삭의 최대장력이 허용범위 내에 있는 것으로 분석되어 계류삭 보강을 통하여 전체 계류삭의 안전성이 개선되는 것으로 검토되었다.

(3) 계선주의 경우 대상부두의 계선주 설계하중(35톤)을 초과하는 하중이 발생하여 안전성을 확보하지 못하는 것으로 검토되었다. 또한 동일 환경에서 고강도 계류삭을 사용하는 경우 나일론 계류삭에 비하여 계선주에 2~3배 큰 하중이 작용하는 것으로 분석되었다. 즉, 대상부두에서 고강도 계류삭을 사용하는 것은 계선주 안전성 측면에서 매우 부적합한 것으로 분석되었으며, 대상부두는 계선주 용량 증설, 각 계선주에 연결되는 계류삭 수 제한(3개 이하) 및 계류삭 분산 연결을 통한 계선주 안전성 확보가 필요한 것으로 검토되었다.

(4) 방충재의 경우 모든 조건에서 허용반력 이내에 있는 것으로 평가되어,충분한 안전성을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

(5) 계류삭의 신축성(Elongation) 차이로 인하여, 고강도 계류삭을 사용하는 경우가 나일론 계류삭에 비하여 Surge, Sway 동요량이 작은 것으로 분석되었다. 그리고 고강도 계류삭을 사용하는 경우 파고 1.0m, 파주기 10초 이상인 환경에서 Winch의 Slip으로 선체동요량이 대폭 증가하여 하역안전성을 확보하지 못하는 경우가 나타나는 것으로 분석되었으며, 나일론 계류삭의 경우 풍속 40KTS 이상의 조건에서 계류삭의 높은 신축성(Elongation)으로 인하여 상대적으로 풍속의 증가에 따른 선체동요량 증가로 하역안전성을 확보하지 못하는 것으로 검토 되었다. 하지만 나일론 계류삭은 선수미 브레스트라인을 보강하는 경우 모든 Scenario 조건에서 선체동요량이 허용수준 이내로 감소하는 것으로 검토되어 하역안전성을 확보하는 것으로 분석되었다.



본 연구에서는 계류해석 및 계류안전성 평가결과를 바탕으로 계류안전성 확보·개선을 위한 부두의 계선주 증설과 선박의 계류삭, 계류배치 등 계류시스템에 대한 개선을 제안하였고, 또한 선박 운항자가 안전한 계류가능 여부를 판단하고, 계류안전성 수준에 따라 계류삭 재배치 및 보강, 예인선 수배 또는 부두로부터의 이안 등 본선의 행동조치를 결정하는데 도움이 되는 판단 지표인 위험도 MATRIX의 활용을 제안하였다.

본 논문의 연구 결과는 설계접안능력을 초과하는 전용부두에 계류하는 실습선 한나라호의 계류안전성에 대한 정량적인 데이터를 바탕으로 계류시스템을 개선(계류시설 신설, 증설, 계류삭 변경 등)하고, 위험도 MATRIX를 활용하여 외력환경에 따른 적절한 계류 안전조치를 수행함으로써, 계류삭 파단, 계선주 파손 등과 같은 계류안전 사고를 방지하고 계류안전을 개선·확보함으로써 실습선의 안전운항과 대형 해양안전사고를 예방하는데 큰 도움이 될 것으로 기대된다. 또한 부두시설 개선, 선박 계류지침 개발 등을 위한 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 현재의 부두 계류시설 및 실습선 한나라호를 기준으로 한정하여 계류안전성을 분석하고 계류안전성 확보·개선을 위한 방안을 제시하였다면, 향후 연구에서는 실습선 한바다호와의 부두시설 공유 그리고 부두의 마루 높이, 계선주 및 방충재의 종류, 위치, 용량 등을 다각도로 고려하여 평가함으로써 경제성, 효율성, 안전성 등을 고려한 최적 계류시스템 도출에 관한 연구를 해보고자 한다.



- 127 -

# References

- [1] 강원식, 2015. 울산항 위험물취급부두 적정 접안능력설계에 관한 연구.석사학위논문. 부산: 한국해양대학교.
- [2] 강을규. 2013. 선박조종 시뮬레이터를 이용한 140K 컨테이너선의 부산항 의 주요터미널 안전 접·이안을 위한 표준 및 응급 조선법에 관한 연구. 석 사학위논문. 부산: 한국해양대학교.
- [3] 곽문수, 문용호, 2014. 계류선박의 동요량을 고려한 하역한계파고 산정 방법에 관한 연구. 대한토목학회논문집, 34(3), pp.873-883.
- [4] 국립해양조사원, 2015. 조류도(부산항 부근), 세종: 해양수산부.
- [5] 국립해양조사원, 2020. 2020년 조석표(한국연안), 세종: 해양수산부.
- [6] 기상청, 2011. 한국기후표, 서울: 기상청.
- [7] 김세원, 2000. 선박계류 안정성의 평가에 관한 연구. 박사학위논문. 부산:부경대학교.
- [8] 김세원, 이윤석, 정창현, 2012. 선박 계류안전성 평가론. 다솜출판사: 부 산.
- [9] 김승연. 2014. 초대형 부유체식 컨테이너 부두 접안 선박의 계류안전성 평가에 관한 연구. 석사학위논문. 목포: 목포해양대학교.
- [10] 김승연. 2018. 선박의 특성을 고려한 계류안전성 평가 기반의 부두 마루 높이에 관한 연구. 박사학위논문. 부산: 한국해양대학교.
- [11] 김원욱, 이성욱, 배준영, 2017. 대형 선박의 계류한계에 대한 연구. 수산 해양교육연구, 29(2), pp.415-421.
- [12] 문용호, 2012. 항만공진 현상에 의한 계류선박의 동요 해석. 석사학위논문. 서울: 명지대학교.
- [13] 부산광역시, 2010. 부산광역시 기후변화대응 종합계획.

- [14] 유용응, 2017. 선박 접이안용 계선주 성능 및 관리 기준에 관한 연구. 석사학위논문. 부산: 한국해양대학교.
- [15] 이리나, 2016. 해일 발생시 정박선박의 계류안전성에 관한 연구. 석사학 위논문. 목포: 목포해양대학교.
- [16] 전상엽, 김영모, 우병구, 정현, 2008. 부두 설계기준을 고려한 접안가능 최대선형의 결정에 관한 연구. 해양환경안전학회지, 14(1), pp.45-54.
- [17] 조익순, 2017. 전용부두 계류중인 실습선의 선체거동 해석 및 제어에 관 한 연구. 해양환경안전학회지, 23(2), pp.139-145.
- [18] 한길용, 1999. 바람 및 조류에 의한 안벽계류선박의 계류력에 관한 연 구. 석사학위논문. 부산: 한국해양대학교.
- [19] 해양수산부, 2014a. 항만 및 어항 설계기준·해설, 세종: 해양수산부.
- [20] 해양수산부, 2014b. 해상교통안전진단시행지침, 세종: 해양수산부.
- [21] 한국해양대학교, 2019. 한국해양대학교 실습선 접안부두 정밀안전진단용 역 보고서, 부산: 한국해양대학교.
- [22] Banfield, S. and Flory, J., 2010. Effects of fiber rope complex stiffness behavior on mooring line tensions with large vessels moored in waves. In OCEANS 2010 MTS/IEEE SEATTLE, pp.1–11.
- [23] Flory, J.F. and Ractliffe, A., 2005, September. The importance of properly representing line stiffness in mooring analysis. In Proceedings of OCEANS 2005 MTS/IEEE, pp.711–718.
- [24] Gaythwaite, J.W., 2014, Mooring of ships to piers and wharves. American Society of Civil Engineers.
- [25] Kudale, A., Vidula, S.V. and Sadhana, K.S., 2016. Mooring System for Very Large Ships at Berth. International Journal of Current Engineering and Technology, 6(4), pp.163–171.



- [26] Ohgaki, K., Yoneyama, H. and Suzuki, T., 2008. Evaluation on Safety of Moored Ships and Mooring Systems for a Tsunami Attack. In OCEANS 2008–MTS/IEEE Kobe Techno–Ocean, pp.1–6.
- [27] Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), 2008. Mooring Equipment Guidelines (MEG3).
- [28] Oil Companies International Marine Forum (OCIMF), 2018. Mooring Equipment Guidelines (MEG4).
- [29] PIANC(Permanent International Association of Navigation Congresses),2014. Harbour Approach Channels Design Guidelines, PIANC.
- [30] Ractliffe, A. and Flory, J.F., 2012. OPTIMOOR Mooring Analysis Computer Program Users Guide. Tension Technology International, Morristown, NJ.
- [31] Trelleborg, Marine Systems Bollards Product Brochure [Online] Available at: www.trelleborg.com/MARINE [Accessed on 24 May 2020].

