

## 전용부두 계류중인 실습선의 선체거동 해석 및 제어에 관한 연구

조익순\*\*

\* 한국해양대학교 해사대학 선박운항과

Behavior Analysis and Control of a Moored Training Ship  
in an Exclusive Wharf

Ik-Soon Cho\*\*

\* Department of Ship Operation, Korea Maritime &amp; Ocean University, Busan 49112, Korea

**요약** : 최근 이상적인 자연현상으로 인해 돌풍, 태풍 및 쓰나미 등 비상상황이 자주 발생하고 있고, 이로 인해 항내 계류선박은 선체거동을 미리 예측하여 해석하고, 선체거동을 제어하지 못해 계류선박의 계류시스템이 손상되면 해양사고가 발생할 수 있다. 따라서 계류시스템의 손상이 예상되는 경우 정량적 판단에 의해 항내 계류할 것인지 아니면 항외로 피항할 것인지 결정할 필요가 있다. 본 연구에서는 외력에 의한 계류선박의 거동해석 및 계류시스템 제어를 위해 대학내 전용 부두에 계류중인 실습선을 대상으로 계류안전성을 평가하였다. 계류선의 최대장력을 분석한 결과, 파주기 12초 및 15초인 경우에는 대부분 허용강도(S.W.L)를 초과하는 것으로 분석되었다. 계선주에 작용하는 최대견인력을 분석한 결과, 해당 위치에 설치된 지 노후화된 소형 계선주에 다수의 계류선을 체결함으로써 모든 평가 Case에서 계선주 허용규격인 35톤을 초과하는 것으로 분석되었다. 선체동요 및 하역안전성 평가결과 파주기 12초 이상 및 풍속 25노트 조건에서는 Surge 운동의 한계값인 3.0미터를 초과하는 것으로 분석되었다. 그 결과를 토대로 계류시스템 제어를 위한 판단기준이 되는 풍속, 파고 및 파주기 등의 주요 외력조건별 고위험, 위험 및 보통 위험 등 3단계의 리스크 매트릭스(Risk Matrix)를 작성하여, 계류시스템 제어를 위한 판단기준이 되는 위기관리 대응매뉴얼로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심어** : 전용부두 계류선박, 계류안전성, 선체거동, 너울, 리스트 매트릭스, 동요저감

**Abstract** : Recently, gusts, typhoon and tsunamis have been occurring more frequently around the world. In such an emergency situation, a moored vessel can be used to predict and analyze other vessel behavior, but if the mooring system is destroyed, marine casualties can occur. Therefore, it is necessary to determine quantitatively whether a vessel should be kept in the harbour or evacuate. In this study, moored ship safety in an exclusive wharf according to swell effects on motion and mooring load have been investigated using numerical simulations. The maximum tension exerted on mooring lines exceeded the Safety Working Load for intervals 12 and 15 seconds. The maximum bollard force also exceeded 35 tons (allowable force) in all evaluation cases. The surge motion criteria result for safe working conditions exceeded 3 meters more than the wave period 12 seconds with a wind speed of 25 knots. As a result, a risk rating matrix (risk category- very high risk, high risk and moderate risk) was developed with reference to major external forces such as wind force, wave height and wave periods to provide criteria for determining the control of capabilities of mooring systems to prevent accidents.

**Key Words** : Moored ship in an exclusive wharf, Mooring safety, Ship's movement, Swell, Risk matrix, Mitigation of movement

## 1. 서론

항만에 있어 돌풍, 태풍 및 쓰나미 등 비상상황 발생시 선체거동을 미리 예측하여 해석하고, 선체거동을 제어하지 못해 계류선박의 계류시스템이 손상되면 좌초, 안벽충돌과 같은 사고가 발생하여 Fig. 1과 같이 화재나 해양환경오염으로

이어질 수 있다.

특히 2016년 9월 경상북도 경주에서 한반도 관측이래 최대규모의 지진이 발생하여 진앙지인 경주시는 물론 전국에서 진동을 감지하여 더 이상 한반도가 지진의 안전국가 아님을 실감하게 해 주었다. 진원깊이도 낮고 바닷속에서 발생했지만, 단층대가 수평으로 이동했기 때문에 다행히도 쓰나미 피해는 발생하지 않았다. 하지만, 한반도 인근에서

† ischo@kmou.ac.kr, 051-410-5072

지진에 의한 쓰나미 발생 또는 장주기파에 의해 항내 계류 중인 선박에 막대한 피해를 끼칠 가능성도 있다.

태풍과 같은 황천시의 항내에 있어서 선박의 정박에 대해 고려해보면, 우리나라 항만의 숙명적인 과제는 여름~가을철에 태풍이 내습한다는 것이다. 태풍의 직간접적인 영향으로 항내 및 항외에 계류, 묘박, 표류중인 선박의 피해건수는 수도없이 많이 존재한다. 태풍시 항내에서 정박하는 것에 대한 위험성이 지적되어, 항외에서의 피항이 바람직한 것으로 검토되어 항외 피항을 권고하며, 학교부두에 계류중인 실습선도 매년 3회 내외의 태풍 피항을 가고 있다.

선박동요 해석에 관한 연구 성과들을 살펴보면, Kubo et al.(1993)은 계류시스템의 특성을 반영하여 선박동요해석을 수행하고 하역가동율을 산정할 수 있는 개략식을 제안하였다. 그리고 Kubo and Sakakibara(1995)은 계류선박의 동요를 고려하여 파군 및 부진동에 의한 장주기파의 영향이 중요함을 관측결과로부터 입증하였다. Kubo et al.(2005)는 쓰나미가 항내 계류중인 선박 및 항만에 미치는 영향에 대한 잠재적 시나리오를 검토하고 저감대책을 제시하였다. Cho(2005)는 쓰나미 내습으로 인한 선박운동의 관점에서 수치 시뮬레이션 과정을 검토하고, 선박운동에의 영향 및 계류하중을 수치실험으로 평가하였다. 또한, Cho et al.(2006)는 항만내 계류 중인 선박의 거동에 대한 수치시뮬레이션을 수행하여 공진 주기파를 고려한 계류하중을 실험적으로 평가하였다. Kwak and Moon(2014)은 선박크기, 파랑 주기 및 파향 등 계류선박의 동요량을 고려한 하역한계파고 산정방법을 제시하였다.

본 연구에서는 전용 부두에 장시간 계류중인 실습선을 대상으로 풍속별, 너울 및 장주기파의 파고 및 파주기별 외력에 의한 계류선박의 거동해석을 실시하였다. 이를 토대로 계선주 용량의 상향 조정제안 등 계류시스템에 대한 개선방안을 제시하였고, 계류삭 보강방안 등 동요저감방안을 제안하였다. 또한, 계류시스템 제어를 위한 판단기준이 되는 풍속, 파고 및 파주기별 리스크 매트릭스(Risk Matrix)를 작성하여 본선의 대응 매뉴얼 또는 위기관리 데이터베이스를 구축하였다. 이를 통해 계류선박의 안전을 확보하고, 사고 피해를 경감하는 것으로 연구목표로 한다.

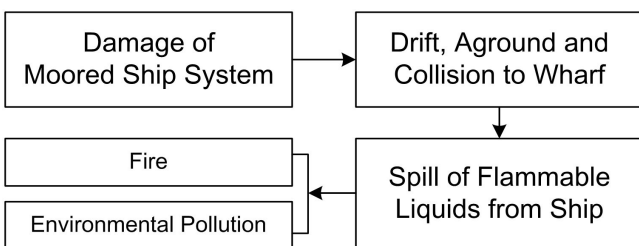


Fig. 1. Evaluation of mooring safety by external force.

## 2. 계류안전성 평가

계류안전성 해석은 학교 부두에 접안중인 실습선을 대상으로 했으며, 본 연구에서는 바람, 조류 및 파랑과 같은 외력이 존재할 때 계류된 선박에 대한 계류삭 및 계선주의 장력, 방충재의 반력 변화를 평가하기 위해 대상부두 특성, 이용선박 특성 및 바람, 조류 및 파랑 등과 같은 환경외력을 모델링 하였다(Kang and Park, 2016).

계류안전성 평가는 T.T.I(Tension Technology International)사의 OPTI-MOOR SW(Ver.6.2.6) 최신 버전을 이용하여 수행하였다. OPTI-MOOR는 선형 해석으로 타 계류안전성 해석프로그램에 비해 단순하나 정확한 모델링으로 국내 해상교통안전전단의 계류안전성평가에 대표적으로 사용되고 있는 해석프로그램이다(Kim et al., 2016).

### 2.1 대상선박 및 대상부두

계류안전성 평가대상은 부산항내 한국해양대학교 전용부두에 접안중인 동양 최대 규모의 실습선 한바다호이며, 주요 제원은 Table 1과 같고, 계선주 좌표 등은 실측을 통해 상세 좌표로 입력하였다. 또한, 실습선의 계류삭 특성 및 체결 상황은 Table 2와 같이 총 12본으로 구성된다.

Table 1. General particulars of T.S. Hanbada

Items	Dimensions
L.B.P.	104.0 m
Breadth	17.8 m
Depth	10.8 m
Mean Draft	5.9 m
G.T.	6,686 ton
Trim	0.8 m by the Stern
Alongside	Stb'd
Transverse Projected Area	287 m <sup>2</sup>
Lateral Projected Area	1,430 m <sup>2</sup>

Table 2. Characteristic of mooring lines

Items	Line No.	Line Property
Fore	Head	1, 2, 3, 4
	Spring	5, 6
Aft	Spring	7, 8
	Stern	9, 10, 11, 12
		Nylon Stranded
		∅60 mm
		M.B.L : 52.0 ton
		S.W.L : 28.6 ton

### 2.2 부두 모델링

학교부두의 계선주는 Fig. 2와 같이 모두 곡주이며, 최대 하중이 35톤인 노후화된 소형 계선주이다.

배치된 방충재는 PNEUMATIC-Fender와 V-Type Fender 두 종류의 방충재가 설치되어 있으나, 접안시 현측에 접촉하는 PNEUMATIC-Fender(1,500H×3,000L)만을 계류안전성평가 사항으로 고려하여 모델링하였다.

계류선박 및 계선주, 방충재 등 부두 배치 현황은 Fig. 3과 같다.



Fig. 2. Photo of mooring bollard in KMOU wharf.

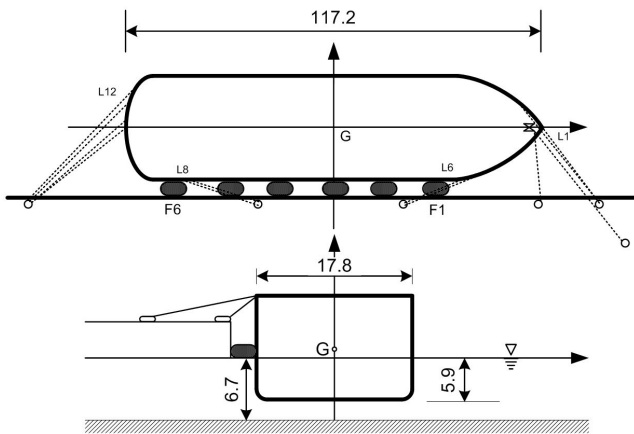


Fig. 3. Mooring arrangement of T.S Hanbada.

### 2.3 환경외력 모델링

부산항내의 조류는 항내의 지형적인 영향으로 항내는 유속이 미약하며, 한국해양대 부두 주변의 조류는 조도의 영향으로 항내의 주된 조류속도 보다는 다소 감쇠되고 방향 또한 조도를 타고 흘러 한국해양대 부두 부근에 이르러서는 내항으로 향하는 모습을 보인다. 한바다호가 접안한 학교부두 내 위치가 부산항 초입과 가까운 점을 감안하여 조류 방향 및 속도는 030도, 0.5 knots로 설정하여 계산하였다.

파랑은 항만 및 어항설계기준상 중대형선 하역한계과고인 0.5 m 및 초대형선 기준과고인 0.7~1.5 m의 중간값에 해당

되는 1.0 m 등 2개 경우로 수행하였다. 파향은 겨울철 항외로부터 부산항 방파제를 통과하여 파도가 입사되는 방향인 020도를 기준으로 설정하였다. 항내가 정온한 것처럼 보여도 선박이 크게 동요해 하역의 장애 또는 계류삭이 절단되는 사례가 주로 외해에 접한 항만에서 발생하곤 한다. 그 원인은 주기 10초 전후의 너울(Swell)과 함께 주기 20초 이상의 장주기파라고 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 너울의 대표적 주기로 10초, 12초, 15초를 입사파 주기로 설정한다.

풍속은 20 knots, 25 knots 및 30 knots를 대상으로 했으며 풍향은 5도 간격 전 방위로 한다.

### 2.4 계류안전성 평가요소

선체동요는 선체 및 계류장치로 구성되는 진동계에 파랑, 바람 및 조류 등의 외력으로 작용하는 경우 발생한다. 계류안전성 평가는 계류삭에 작용하는 최대장력, 방충재에 작용하는 최대반력, 계선주에 작용하는 견인력의 계류안전성평가요소와 외력에 의한 선체동요에 의해 선박의 통상적인 하역작업이 가능한 범위내에 있는지 평가하는 하역안전성 평가로 크게 구분된다. 또한, 일반적으로는 계류시스템의 안전성 Margin을 고려해 선박의 계류한계를 고려하게 된다.

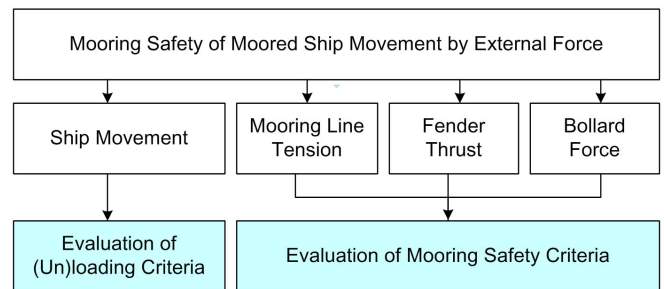


Fig. 4. Evaluation concept of mooring safety.

## 3. 계류안전성 평가결과

### 3.1 계류삭 최대장력

외력조건에 따른 각 계류삭의 최대 장력값을 비교하기 위해 5도 간격의 전 방위에 대하여 평가하지만 풍향에 관계없이 최대 장력값을 표시한다.

풍속 20노트, 25노트 및 30노트를 각각 구분하여 대표주기 10초, 12초, 15초를 대상으로 평가를 수행하였다. 중간 파주기의 영향을 검토하기 위해 30노트의 경우에는 1초 주기간격으로 평가를 수행한 결과는 Fig. 5와 같다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 파주기 12초 및 15초인 경우에는 대부분 허용강도(Safety Working Load, Minimum Brake Load(M.B.L)의 55%)를 초과하는 것으로 분석되었다.

파주기 12초 및 15초에 대한 영향을 검토하기 위해 Fig. 6 과 같이 모든 풍속별 최대장력을 비교해본 결과 모든 경우에서 허용강도를 초과하는 계류삭이 존재하는 것으로 나타나 계류삭의 파단의 가능성이 높은 것으로 분석되었다.

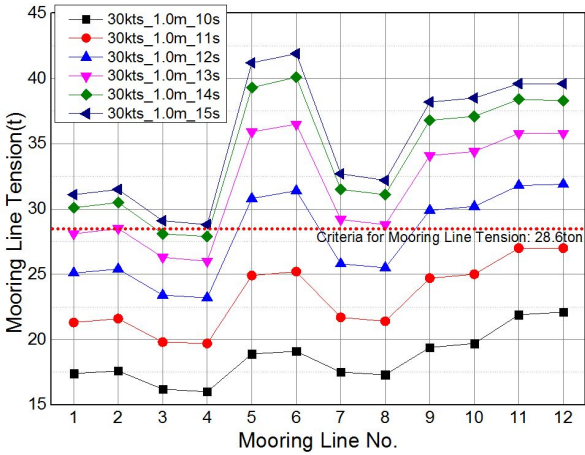


Fig. 5. Evaluation of mooring line tension by wind 30 kts.

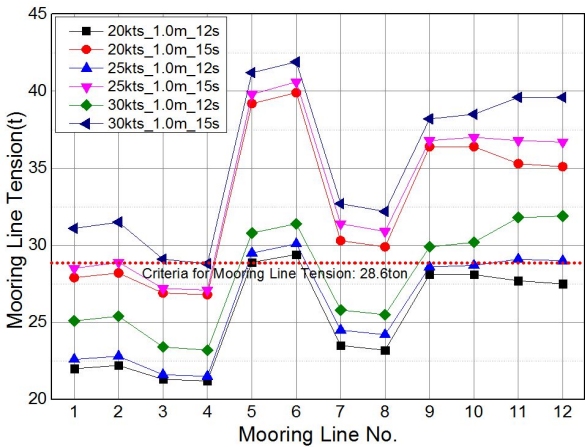


Fig. 6. Comparison of mooring line tension by 12&15 sec wave.

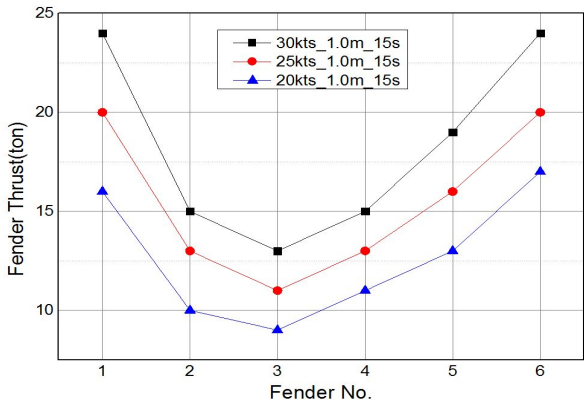


Fig. 7. Comparison of fender thrust by 15 sec wave period.

### 3.2 방충재 최대반력

본 시뮬레이션 평가에서는 선수방향으로 파가 입사하도록 설정함으로써 선수미 방향 계류삭에 작용하는 장력이 매우 크게 작용하나 파입사 방향과 직각방향인 방충재에는 Fig. 7과 같이 허용범위의 약 30~40% 수준의 최대반력이 작용하는 것으로 분석되었다.

### 3.3 계선주 최대견인력

계선주에 작용하는 최대견인력을 비교하면 Table 3 및 Fig. 8과 같다. 해당 위치에 설치된 지 약 30년이 넘은 노후화된 소형 계선주에 다수의 계류삭을 체결함으로써 모든 평가 Case에서 계선주 허용규격인 35톤을 초과하는 것으로 분석되었다. 특히, 파주기 15초의 경우에서는 허용규격의 3배에 달하는 하중이 작용하는 것으로 분석되었다. 이러한 상황이 반복되는 경우 계선주가 파괴될 가능성이 있으므로 주의가 요구되며, 신조 실습선 도입에 따라 계선주의 용량을 대폭 상향 조정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Max. bollard force by external force.

Wind	Wave Height	Wave Period		
		10sec	12sec	15sec
20kts	0.5m	54.6t	83.9t	103.6t
	1.0m	70.9t	110.2t	141.2t
25kts	0.5m	58.1t	87.8t	107.6t
	1.0m	74.6t	114.2t	145.7t
30kts	0.5m	65.7t	95.8t	115.9t
	1.0m	82.3t	122.5t	154.3t

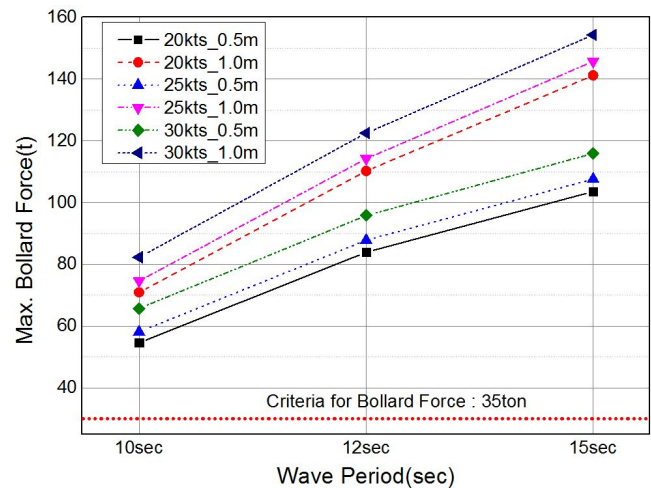


Fig. 8. Evaluation of max. bollard force by wave period.

3.4 선체 동요 및 하역안전성평가

외력에 의한 선체동요로 인해 대상 선박의 통상적인 하역 작업이 가능한 범위 내에 있는지를 평가하기 위하여 선체의 6자유도 운동(Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw) 통계량과 선체 특정부분의 상대운동에 대한 운동 진폭치(Amplitude)를 기초로 하여 검토한다.

선체동요 및 하역안전성 평가는 해양수산부의 항만 및 어항설계기준(Ministry of Oceans and Fishery, 2014) 및 PIANC(1995) 기준의 동요성분을 기준으로 하는데 하역 가능한 한계가 되는 계류선박의 동요량의 허용치로서 Table 4와 같은 값을 제시하였다. 다만, 실습선의 경우 승무원 및 실습생이 안전하게 승선할 수 있으며 되므로 이에 직접적으로 해당되는 것이 없다. 실습선의 경우 육상전원이 연결되어 있음을 고려하여 Loading Arm이 장착된 Oil Tankers의 하역한계 기준값인 Surge(peak-to-peak) 및 Sway(0-to-peak)가 각각 3.0m가 한계값이라고 가정하여 평가를 수행하였다.

Table 4. Recommended motion criteria for safe working conditions by PIANC.

Ship Type	Cargo Handling Equipment	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
General Cargo	-	2.0	1.5	1.0	3	2	5
Container	100% efficiency	1.0	0.6	0.8	1	1	3
	50% efficiency	2.0	1.2	1.2	1.5	2	6
Bulk	Crane	2.0	1.0	1.0	2	2	2
	Conveyor belt	5.0	2.5		3		
Oil Tankers	Loading arms	3.0	3.0				
Gas tankers	Loading arms	2.0	2.0		2	2	2

Table 5. Max. surge motion by external force.

Wind	Wave Height	Wave Period		
		10sec	12sec	15sec
20kts	0.5m	1.3m	2.3m	<b>3.0m</b>
	1.0m	1.9m	<b>3.3m</b>	<b>4.1m</b>
25kts	0.5m	1.4m	2.3m	<b>3.1m</b>
	1.0m	2.0m	<b>3.3m</b>	<b>4.2m</b>
30kts	0.5m	1.5m	2.5m	<b>3.3m</b>
	1.0m	2.1m	<b>3.3m</b>	<b>4.3m</b>

선체동요 평가결과 Table 5와 같이 파주기 15초인 경우 Surge가 모든 케이스에서 한계값인 3.0m를 초과하는 것으로 분석되었다. 또한, 파주기 12초의 경우에는 파고 1.0m인 경우 한계값을 초과하는 것으로 분석되어 Surge와 같은 병진운동의 경우 풍속보다 파주기 영향이 훨씬 큰 것을 알 수 있다.

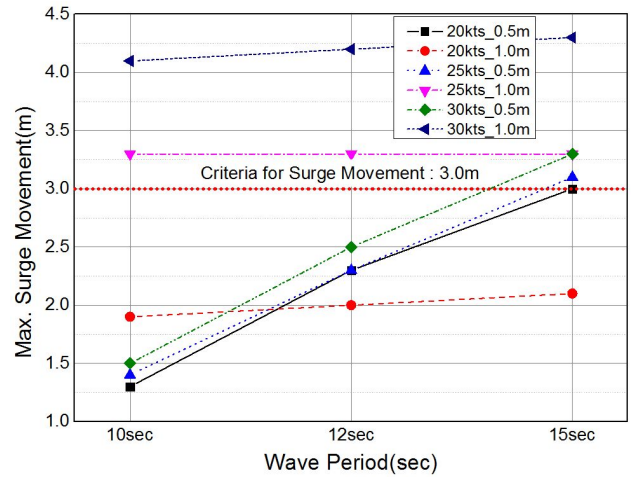


Fig. 9. Evaluation of surge movements based on wind force.

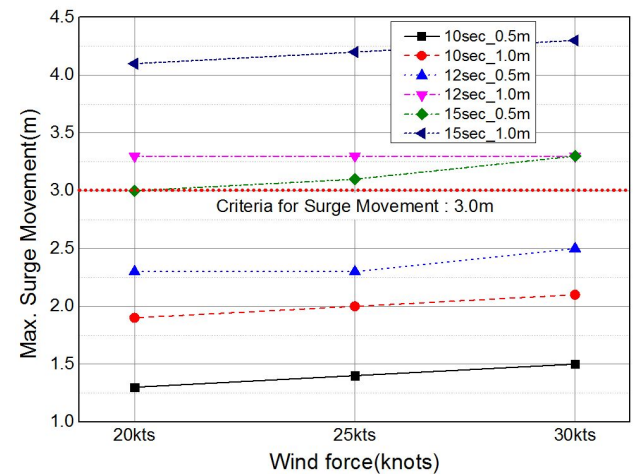


Fig. 10. Evaluation of surge movements based on wave period.

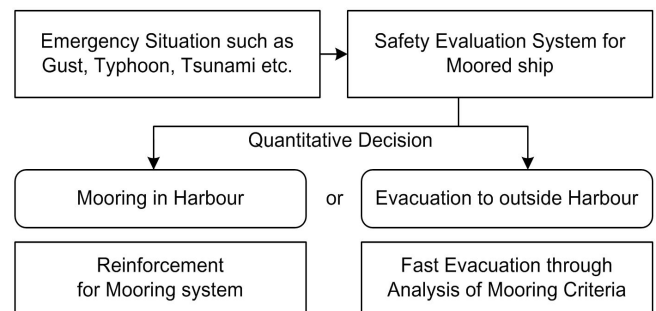


Fig. 11. Control concept of mooring system.

### 3.5 계류시스템 개선 개념

상기와 같이 검토한 결과를 토대로 태풍, 돌풍, 지진해일 등 비상상황이 발생하면 Fig. 11과 같이 계류선박의 안전성 평가를 통해 항내에 그대로 계류한 상태로 계류시스템을 보강할 것인지 아니면 계류한계치 분석을 통해 신속히 항외로 대피할 것인지에 대한 정량적 판단을 해야 한다.

### 3.6 동요 저감 방안

계류선박의 안전성평가결과를 토대로 본선에서 신속하게 조치 가능한 계류시스템 개선사항으로 계류삭 보강이 있다. 즉, 본 연구에서는 한바다호에 체결하고 있지 않는 선수 브레스트(breast) 라인을 보강하는 경우의 영향을 검토하였다. 짧은 길이의 브레스트 라인을 가까운 계선주에 추가 체결하는 경우와 기존 계선주보다 약 10m 정도 육상쪽에 위치하여 긴 브레스트 라인을 연결하는 경우를 비교하였다. 그 결과 Fig. 12와 같이 짧은 브레스트 라인을 잡는 경우 너울성장주기파에 의해 의한 큰 선체동요에 의해 파단강도를 넘는 장력이 작용하여 추가로 라인을 보강하는 것이 큰 의미가 없는 것으로 분석되었다. 하지만, 긴 브레스트 라인을 체결하는 경우 모든 계류삭에 작용하는 하중이 추가 라인 등에 골고루 분포하여 짧은 브레스트 라인을 보강하는 것보다 효과가 있는 것으로 분석되었다.

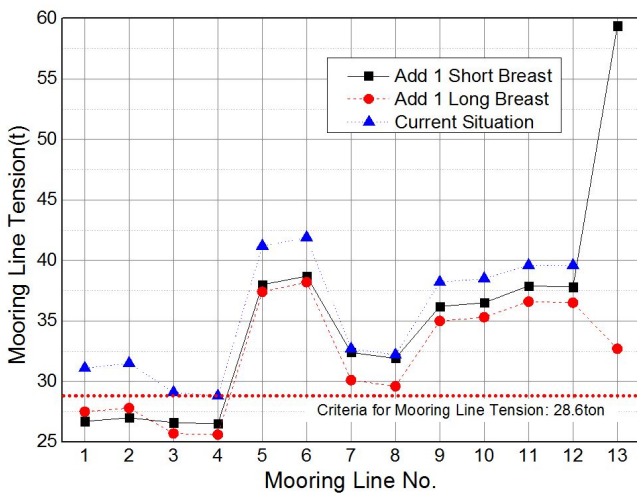


Fig. 12. Comparison of mooring tension by addition breast line.

### 3.7 종합평가 및 운영가이드라인

전용부두에 계류중인 6,700톤급 실습선을 대상으로 계류 안전성을 평가한 결과, 대상선박의 계류삭에 작용하는 최대 장력, 방충재의 최대반력, 계선주에 작용하는 최대하중 및 「항만 및 어항설계기준」 상의 선체동요 및 하역한계기준 등에 대한 평가결과를 종합하면 Table 6과 같다.

계류시스템 제어를 위한 판단기준이 되는 풍속, 파고 및 파주기 등의 주요 외력조건별 리스크 매트릭스(Risk Matrix)를 작성하여 본선의 대응 매뉴얼 또는 위기관리 데이터베이스를 구축하였다. 고위험(Very High Risk), 위험(High Risk) 및 보통 위험(Moderate Risk)과 같이 3단계로 구분하였다. 고위험은 계류삭 및 방충재의 한계하중을 초과한 경우이며, 위험은 한계하중을 초과하지 않는 80%까지의 값이며, 보통 위험은 한계하중의 80% 미만인 경우로 정의하였다.

계류시스템 제어의 판단기준으로 이러한 리스크 매트릭스를 활용하면 계류중인 선박의 안전확보 및 항만에서의 예상되는 사고에 의한 피해를 줄일 수 있는 획기적인 수단이 될 것으로 전망된다.

Table 6. Risk rating matrix for control measures.

Wind	Wave Height	Wave Period		
		10sec	12sec	15sec
20 knots	0.5m	○	△	△
	1.0m	△	×	×
25 knots	0.5m	○	△	×
	1.0m	△	×	×
30 knots	0.5m	○	△	×
	1.0m	×	×	×

<Remark> ○: Moderate Risk, △: High Risk, ×: Very High risk

## 4. 결론

최근 이상적인 자연현상으로 인해 돌풍, 태풍 및 쓰나미 등 비상상황 발생시 항내 계류선박은 선체거동을 미리 예측하여 해석하고, 선체거동을 제어하지 못해 계류선박의 계류시스템이 손상되면 해양사고가 발생할 수 있다. 따라서 계류시스템 손상이 예상되는 경우 정량적 판단에 의해 항내 계류할 것인지 아니면 항외로 피항할 것인지 결정할 필요가 있다.

본 연구에서는 외력에 의한 계류선박의 거동해석 및 계류시스템 제어를 위해 대학내 전용 부두에 계류중인 실습선을 대상으로 계류 및 동요 안전성을 평가하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 계류삭의 최대장력을 분석한 결과 파주기 12초 및 15초인 경우에는 대부분 허용강도(Safety Working Load, M.B.L.의 55%)를 초과하는 것으로 분석되었다.

- (2) 계선주에 작용하는 최대견인력을 분석한 결과 해당 위치에 설치된 지 약 30년이 넘은 노후화된 소형 계선주에 다수의 계류삭을 체결함으로써 모든 평가 케이스에서 계선주 허용규격인 35톤을 초과하는 것으로 분석되어 안전을 위해서는 계선주의 용량을 상향 조정할 필요가 있는 것으로 분석되었다.
- (3) 선체동요 및 하역안전성 평가결과 파주기 12초 이상 및 풍속 25노트 조건에서는 Surge 운동의 한계값인 3.0m를 초과하는 것으로 분석되었다.
- (4) 계류시스템 제어를 위한 판단기준이 되는 풍속, 파고 및 파주기 등의 주요 외력조건별 리스크 매트릭스 (Risk Matrix)를 작성하였으며 이를 통해 본선의 대응 매뉴얼 또는 위기관리 데이터베이스로 활용 가능할 것으로 분석되었다.

본 연구에서 제시한 계류시스템 제어를 위한 판단기준이 되는 풍속, 파고 및 파주기별 리스크 매트릭스는 부두별 운영가이드라인을 작성하는 기초 자료가 될 것으로 기대되며, 항내 계류선박의 각종 재해 예방을 위해서는 부두별 특성, 선종 및 선형을 고려한 영향을 보다 상세히 검토하여 계류선박의 거동을 제어할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

이 논문은 2012학년도 한국해양대학교 신진교수정착연구비 지원을 받아 수행된 연구임.

## References

- [1] Cho, I. S.(2005), A Study on Dynamic Analysis of Moored Ship Motions by Tsunami, The Journal of Navigation and Port Research, Vol. 29, No. 8, pp. 661-666.
- [2] Cho, I. S., Y. S. Lee and Lee C. R.(2006), A Time Domain Analysis of Moored Ship Motions with Resonant Period of a Tsunami, The Journal of Navigation and Port Research, Vol. 30, No. 6, pp. 433-438.
- [3] Kang, W. S. and Park Y. S.(2016), A Basic Study on Safe Mooring Guide for Dangerous Goods Berths in Ul-san Port, Journal of the Korean Society of Marine Environmental & Safety, Vol. 22, No. 1, pp. 067-073.
- [4] Kim, S. Y., J. S. Kim, Y. D. Kim and Lee Y. S.(2016), A Study to Improve the Operation Criteria by Size of Ship in Ulsan Tank Terminal, Journal of the Korean Society of Marine Environmental & Safety, Vol. 22, No. 6, pp. 639-646.
- [5] Kubo, M., I. S. Cho, S. Sakakibara, E. Kobayashi and S. Koshimura(2005), The Influence of Tsunamis on Moored Ships and Ports, International Journal of Navigation and Port Research, Vol. 29, No. 4, pp. 319-325.
- [6] Kubo, M., K. Saito and T. Oki(1993), Approximate calculation of ship motions under the prevention system of ship separation from quay wall, Journal of Japan Institute of Navigation, Vol. 89, pp. 15-21.
- [7] Kubo, M. and S. Sakakibara(1995), Effects of long period waves caused by wave groups and harbor oscillation in computation of wharf operation efficiency, Proceeding of Coastal Engineering, Japan Society of Civil Engineering, Vol. 42, pp. 931-935.
- [8] Kwak, M. S. and Y. H. Moon(2014), A Study on Estimation of Allowable Wave Height for Loading and Unloading of the Ship Considering Ship Motion, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 34, No. 3, pp. 873-883.
- [9] Ministry of Oceans and Fishery(2014), Harbour and Fishery Design Criteria, pp. 711-712.
- [10] PIANC PTC II Working Group 24(1995), Criteria for Movement of Moored Ships in Harbours - A Practical Guide -, p. 7.

Received : 2017. 04. 10.

Revised : 2017. 04. 21.

Accepted : 2017. 04. 27.