

## 대형 선박의 계류한계에 대한 연구

김원옥\* · 이성욱\*\* · 배준영†

(\*한국해양수산연수원 · \*\*한국해양대학교 · †동주대학교)

### A Study on Mooring Limit Analysis of Large Ship

Won-Ouk KIM\* · Sung-Wook LEE\*\* · Jun-Young BAE†

(\*Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology ·

\*\*Korea Maritime and Ocean University · †Dongju College)

#### Abstract

This study is aiming to find one of working conditions for loading and unloading a large ship at game port. Firstly, for dynamic analysis of the moored ships, the motion characteristics of ship according to loading condition are figured out. The motion characteristics of ship is related to environmental factors such as current, wind, mooring line, fender and etc. As a result, it is ascertained through numerical simulation using the AQUA MARINE developed by ANSYS INC. This study might contribute to make a new method of mooring stability of target ship.

**Key words :** Wave force, Current force, Mooring line, Mooring stability

#### I. 서론

선박의 계류안전성을 평가하기 위해서는 항만의 바람, 파랑, 조류 등과 같은 환경외력과 선박의 적하 상태에 따른 하중조건, 항만의 형상, 계류라인의 재질과 특성, 방충재의 재질, 특성 및 설치 위치, 계류라인의 배치, 곡주 및 직주의 특성 및 위치 등에 대한 종합적이고 포괄적인 상세 정보가 요구된다. 따라서 외력 평가에 이용되는 대상지역의 환경외력은 물론 대상선박의 제원, 계류 방법, 계류 시설물에 대한 종합적이고 체계적인 분석이 요구된다.

계류안전성을 평가하기 위한 기초적인 자료는 Buoy Engineering에서 소개되고 있다(Berteaux (1976). 실제 항만에 적용한 연구는 Kim et al.

(2010)이 광양 제철부두를 대상으로 수행하였으며, Kang & Park(2016)도 울산항의 위험물 부두를 대상으로 수행하였다. 또한 계류재 및 부유체의 운동해석을 위한 3차원 운동 정보와 가속도를 측정하여 계류된 부유체의 안전성 평가를 수행하는 계측시스템에 대한 연구가 Seong & Kwak (2014)에 의해 수행되었다.

본 연구는 대상선박의 계류안전성을 평가하기 위해서 ANSYS사에 의해서 개발된 AQUA MARINE 소프트웨어의 14.0버전을 사용하였다(ANSYS, 2010).

환경외력을 고려하여 계류 선체의 6자유도 운동에 대한 진폭을 계산하고 계류라인에 걸리는 장력은 수치시뮬레이션을 통해 검토가 이루어지며, 계류라인의 장력에 따라 계선주에 작용하는

† Corresponding author : 051-200-1556, newthousands@gmail.com

\* 이 논문은 동주대학교 교내 연구비 지원(2016년)에 의하여 연구되었음.

견인력을 계산한다.

이와 같이 계류 선박의 안전성 평가는 선박이 바람, 파랑, 조류 등과 같은 환경외력을 받을 경우 풍향과 풍속, 파고와 파주기를 이용한 스펙트럼을 사용하여 시간 영역에서 계류 선박의 동요를 산출하고, 또한 계류 선박의 동요에 따른 계류라인의 장력과 방충재의 반력을 평가하여 선박의 계류 한계 및 하역 한계 등과 같은 계류 선박의 안전성을 정량적으로 평가하는데 있다고 할 수 있다.

계류안전성 평가에 이용된 시뮬레이션 외력 변수, 방충재의 특성 및 계류로프의 배치 현황, 대상선박에 대한 제원 등에 관한 구체적인 사항은 II. 해석 모델 수립에서 수행하였다.

## II. 해석 모델 수립

### 1. 계류안전성 평가 주요 항목

계류된 선박의 안전성을 평가하기 위한 주요 항목은 다음과 같다.

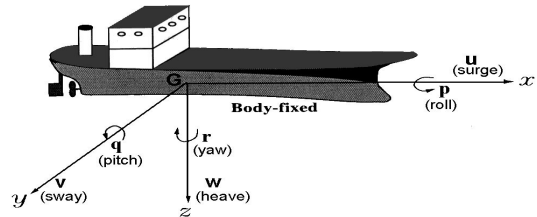
- (1) 계류 선박의 하중 분석
- (2) 계류 선박의 동요 분석 및 선체 동요에 따른 계류라인의 장력 평가
- (3) 항주파에 의한 계류 선박의 동적 동요 및 영향 분석
- (4) 계선주에 작용하는 견인력 평가

### 2. 좌표계 설정

돌핀 및 곡주에 계류된 선박은 환경외력, 계류라인 및 방충재 등에 의해 복잡한 6자유도 운동을 하며, 이러한 운동을 묘사하기 위하여 각방향의 병진운동(surge, sway, heave) 및 회전운동(roll, pitch, yaw)은 [Fig. 1]과 같이 정의한다.

### 3. 계류안전성 해석 모델링

- 1) 대상선박



[Fig. 1] Coordinate System for describing the motion of Target Ship

대상선박은 5만DWT급 원유운반선으로 상세 제원은 <Table 1>과 같다. 계류안전성 해석을 위한 대상선박의 3차원 모델링은 유사선 자료를 참조하였다.

<Table 1> Principal Dimension of the Target ship

Item		Light Weight	Full-load Displacement
LOA	m	183	183
LBP	m	173	173
Breadth	m	32	32
Depth	m	18.8	18.8
Fore Draft	m	6.9	12.3
After Draft	m	9.1	12.3
Displacement	ton	32,085	56,373

### 2) 해상 조건

#### 가) 파랑

수역시설을 이용하는 선박의 정박이나 계류용 박지로서 계류시설의 전면박지에서는 원칙적으로 연간 97.5% 이상의 정박 또는 계류가능일수를 얻을 수 있는 정온도를 확보하여야 한다. 또한 계류시설 전면박지의 하역한계파고는 대상선박의 선종, 선형, 하역 특성 등을 고려하여 적절히 정할 필요가 있다. 본 연구에서는 Ministry of Oceans and Fisheries (2014)에 따라 최대하역한계파고를 1.5m로 설정하여 선박의 계류안전성을 검토한다. 이때의 파는 풍파로 가정하며 파주기는 식(1)로 표현되는 Pierson-Moskowitz의 식을 이용하였다.

$$T_H = 3.86 \sqrt{H_{1/3}} \quad (1)$$

여기서  $T_H$ 는 유의파주기(sec),  $H_{1/3}$ 은 유의파고(m)를 나타낸다.

나) 바람

OCIMF(2008)에서는 1만6천톤급 이상의 선박의 선박계류안전성 평가에 적용풍속을 60knots (30.84m/s) 이하로 규정하고 있다. 대상지역의 최대 풍속은 17.7m/s로 조사되었으나, 본 연구에서는 OCIMF 기준의 최고한계풍속을 사용하였다.

다) 조류 및 조위

대상지역의 최강 조류속도는 0.5knots(0.26 m/s)로 조사되었으며 계류안전성 해석에 이 값을 적용한다. 또한 대상지역의 조위차가 크지 않기 때문에 평균조위를 적용한다.

라) 수심

대상지역의 준설수심은 13.00m이며, 이 값을 사용하여 계류안전성을 평가한다.

3) 계류시스템 제원 및 계류배치

가) 계류라인

대상지역에 설치되어져 있는 돌핀의 QRH(Quick Release Hook)의 최대 용량이 60톤 임을 감안하여 계류라인 직경 및 SWL(Safety Working Load)를 고려하였다. <Table 2>에 계류라인의 세부사항을 나타낸다.

<Table 2> Mooring rope of Target ship

Item	Target ship	Remarks
Type of rope	Polypropylene	
Diameter	100 [mm]	
Minimum Breaking Load(MBL)	129.0 [ton]	
Safety Working Load(SWL)	70.95 [ton]	SWL=MBL×5%, OCIMF

나) 계선주 및 QRH

계선주 및 QRH는 대상지역에서 실제 사용되는 것을 모델링하여 사용하였다. 계선주 및 QRH의 주요 제원은 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Principal dimension of bollard and QRH

Item	Type of mooring post	Load
Mooring Dolphin No. 1(M.D#1)	QRH	60ton-3Hooks
Mooring Dolphin No. 2(M.D#2)	QRH	60ton-3Hooks
Breast Dolphin No. 1(B.D#1)	Bollard	50ton
Breast Dolphin No. 2(B.D#2)	Bollard	50ton
Working Platform	Bollard	50ton
Breast Dolphin No. 3(B.D#3)	Bollard	50ton
Breast Dolphin No. 4(B.D#4)	Bollard	50ton
Mooring Dolphin No. 3(M.D#3)	QRH	60ton-3Hooks
Mooring Dolphin No. 4(M.D#4)	QRH	60ton-3Hooks

다) 방충재(Fender)

대상지역에 실제 설치된 방충재는 CELL 1000H 모델이 사용되었으며, RH(High Reaction Force)의 값을 허용조건으로 사용하였다. <Table 4>에 CELL 1000H 모델의 허용 조건을 나타내었다.

라) 계류배치

대상지역에 설치된 개선주 및 QRH를 고려하여 대상선박의 선수 및 선미의 계류라인을 <Table 5>와 같이 배치하였다.

<Table 4> Allowable condition of CELL 1000H type fender

Performance Rubber grade	Reaction force [ton]	Energy absorption [ton-m]
Rated deflection 52.5%		
Super high Reaction Force(RE)	75.2	33.1
Super high Reaction Force(RS)	66.8	29.3
High Reaction Force(RH)	57.9	25.4
Standard Reaction Force(R0)	44.5	19.5
Low Reaction Force(RL)	35.6	15.6
Maximum deflection 55%		
Super high Reaction Force(RE)	80.0	35.0
Super high Reaction Force(RS)	71.0	31.0
High Reaction Force(RH)	61.5	26.9
Standard Reaction Force(R0)	47.2	20.7
Low Reaction Force(RL)	38.0	16.6

Tolerance : ±10% Performance : ±10%

4) 선체 동요 기준

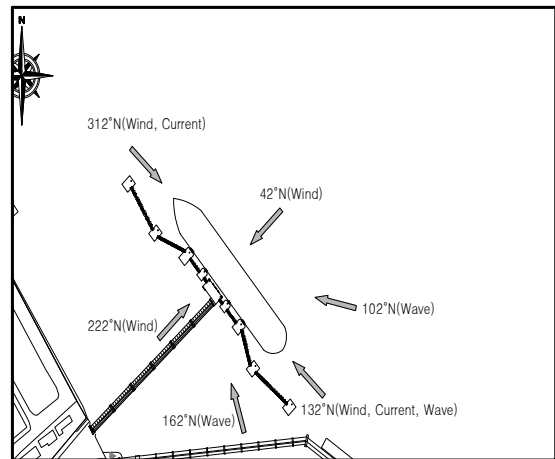
하역한계조건에 대한 선체 동요 기준은 PIANC(2014)에 따르며 대상선박이 유조선이며 하역 장비가 Loading Arms임을 감안하여 선체의 Surge 동요량이 ±1.5m, Sway 동요량이 ±3.0m 이내 일 때 하역 안전성을 확보하는 것으로 하였다.

5) 대상선박 하중조합

[Fig. 2]는 대상지역의 조류 및 바람의 방향을 나타내고 있으며, 이를 고려하여 대상선박에 가해지는 하중 조건을 설정하였다.

<Table 5> Mooring arrangement of target ship

Item	Line	Anchor	
Bow	Head Line	1	M.D#1
		2	
		3	
Bow	Breast Line	1	M.D#2
		2	
	Spring Line	1	B.D#1
Stern	Spring Line	2	B.D#4
	Breast Line	3	M.D#3
		4	
	Stern Line	1	M.D#4
		2	
3			



[Fig. 2] Loading direction of target ship

대상선박의 하중 조합을 <Table 6>과 같이 설정하였다. 여기서 풍속은 30.84m/s, 조류의 속도는 0.26m/s, 수심은 13.3m, 조위는 평균조위로 고정하였으며, 유의파고(H<sub>1/3</sub>), 파주기(TH), 파향(Wave Direction, WD), 풍향(Wind Direction, WN), 유향(Current Direction, CD)은 대상지역의 환경외력 및 관련 기준을 고려하였다.

<Table 6> Loading condition of target ship

Load Case (LC)	H <sub>1/3</sub> [m]	T <sub>H</sub> [sec]	WD [°N]	WN [°N]	CD [°N]
LC01~04	1.0	4.73	162	312, 42, 132, 222	312
LC05~08					132
LC09~12	1.5	5.46			312
LC13~16					132
LC17~20	1.0	4.73			312
LC21~24					132
LC25~28	1.5	5.46	312		
LC29~32			132		
LC33~36	1.0	4.73	102		312
LC37~40					132
LC41~44	1.5	5.46			312
LC45~48					132

<Table 7> Allowable wave height for safety of loading and unloading ship

Item		Surge [m]	Sway [m]
Allowable ship motion		1.5	3.0
FL	H <sub>1/3</sub> 1.0m	ship motion	0.3
		loading safety	O.K
	H <sub>1/3</sub> 1.5m	ship motion	0.7
		loading safety	O.K
LW	H <sub>1/3</sub> 1.0m	ship motion	0.6
		loading safety	O.K
	H <sub>1/3</sub> 1.5m	ship motion	0.9
		loading safety	O.K
Allowable wave height for loading and unloading ship		1.5 m	

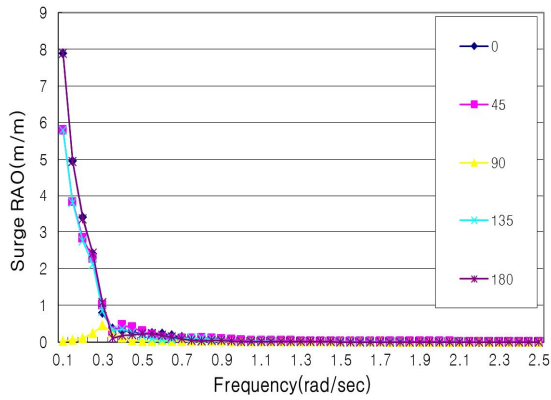
### Ⅲ. 결과 및 고찰

경하 및 만재배수량 상태에서의 RAO에 대한 검토를 모두 수행하였지만 본 논문에서는 지면 관계상 만재배수량에서의 RAO만을 [Fig. 3]에 나타내었다. 하역 안전성에 중요한 요소인 Surge와 Sway에 대한 RAO는 입사파가 각각 0°와 90°일 경우에 가장 큰 값을 보이고 있다.

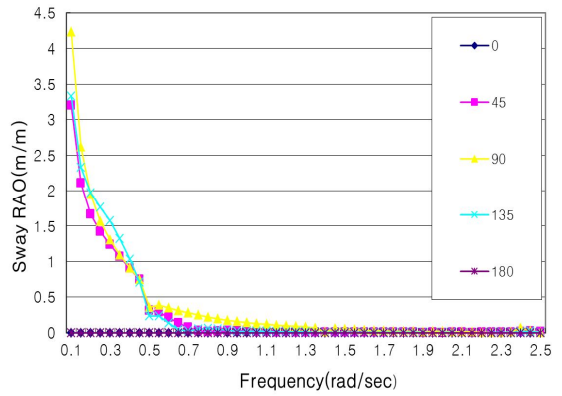
하역 안전성과 계류시스템의 안전성을 검토한 결과를 <Table 7~8>에 요약하여 나타낸다. 여기서 FL(Full loading Displacement)은 만재배수량을 의미하며, LW(Light Weight)는 경하배수량을 의미하며, B(Bollard)는 곡주, F(Fender)는 방충재, AL(Allowable Load)은 허용하중, MF(Mooring Force)로 계류라인에 걸리는 힘을 나타낸다.

<Table 8> Allowable wave height for safety of mooring system

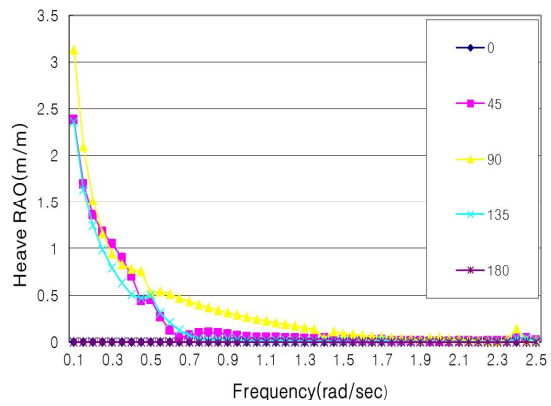
Item	AL [ton]	WN 30.84m/s, CV 0.26m/s			
		H <sub>1/3</sub> 1.5m			
		MF [ton]	Safety		
B	FL	Head	60	14.4	O.K
		Bow Breast	60	31.6	O.K
		Spring	50	38.9	O.K
		Stern Breast	60	29.1	O.K
		Stern	60	10.6	O.K
	LW	Head	60	18.0	O.K
		Bow Breast	60	55.9	O.K
		Spring	50	42.2	O.K
		Stern Breast	60	40.9	O.K
		Stern	60	14.8	O.K
F	FL	61.5	49.8	O.K	
	LW	61.5	57.9	O.K	
Allowable wave height for loading and unloading ship		1.5m			



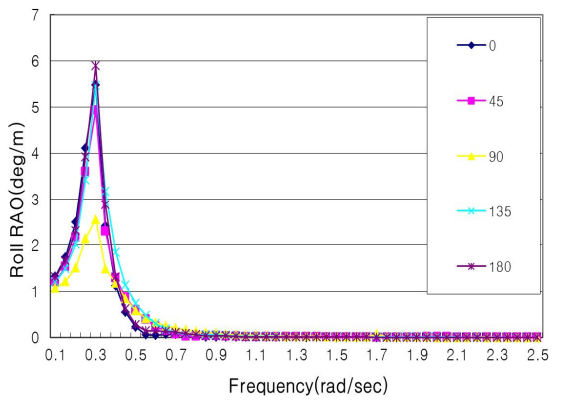
(a) Surge



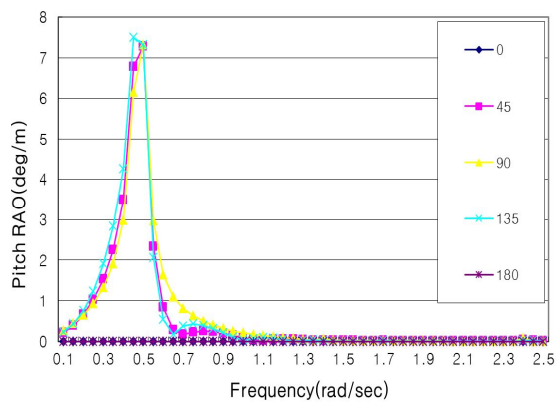
(b) Sway



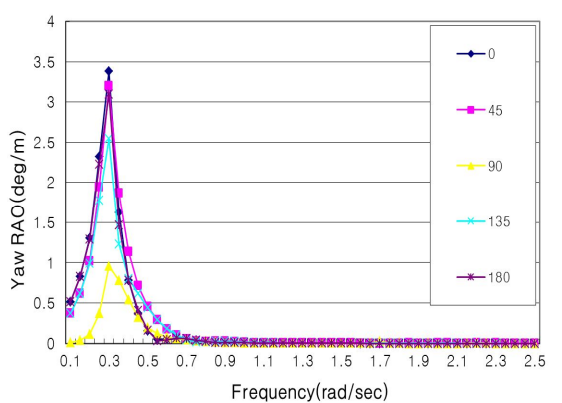
(c) Heave



(d) Roll



(e) Pitch



(f) Yaw

[Fig. 3] RAO of target ship at Full-load displacement

### IV. 결론

본 연구에서는 5만DWT급 원유운반선을 대상으로 AQUA MARINE 14.0 소프트웨어를 이용하여 대상지역에 계류되었을 때의 하역 및 계류시스템의 안전성 만족 여부를 평가하였다.

하역 안전성은 유의과고가 1.0m, 1.5m 모두에서 surge와 sway에 대한 병진운동이 기준을 만족하는 것으로 검토되었다.

계류시스템의 안전성도 설정한 모든 외력 조건에서 계류라인, 방충재 및 QRH의 허용조건을 만족하는 것으로 검토되었다.

따라서 대상지역에 대상선박이 계류되었을 경우에 관련 기준 및 환경외력에 의해 설정된 모든 하중 조건에서 안전하게 작업이 가능함을 본 연구를 통하여 확인하였다.

### References

ANSYS(2010). ANSYS Manual DNDE, ANSYS AQWA.  
 Berteaux(1976). A Wiley-Interscience Publication, Buoy Engineering.

Kang, Won-Sik & Park, Young-Soo(2016). A Basic Study on Safe Mooring Guide for Dangerous Goods Berths in Ul-San Port, Journal of the Korea Society of Marine Environment & Safety, 22(1), 067~073.  
 Kim, Young-Bok · Jeong, Tae-Gweon · Kim, Se-Won · Kim, Jung-Yeop & Kim, Young-Hun(2010). Dynamic Analysis for the Mooring Safety at KwangYang Port, Korea Society of Coastal and Ocean Engineers, 22(6), 423~428.  
 Ministry of Oceans and Fisheries(2014). A Guide for Design of Harbor and Fisheries, 29~52, 710~712.  
 OCIMF(2008). Oil Companies International Marine Forum, Mooring Equipment Guidelines. 3rd Edition, 31~38, 77~88, 109~135, 163~173.  
 PIANC(2014). Permanent International Association of Navigation Congresses, Harbour Approach Channels Design Guidelines, 3rd Edition, 31~38.  
 Seong, Yu-Chang & Kwak, Jae-Min(2014). Development of Measurement System for the Safety Analysis of Moored Floating Matters, Journal of Advanced Navigation Technology, 18(3), 201~208.

- 
- Received : 16 January, 2017
  - Revised : 13 February, 2017
  - Accepted : 21 February, 2017