

# 수치해석을 통한 해상 Ship-to-Ship 계류 특성에 관한 연구

이상원\* · 이윤석\*\* · † 조익순

\*한국해양대학교 대학원, \*\*,† 한국해양대학교 선박운항과 교수

## A Study on Offshore Ship-to-Ship Mooring Characteristics through Numerical Analysis

Sang-Won Lee\* · Yun-Sok Lee\*\* · † Ik-Soon Cho

\*Graduate school, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

\*\*, † Department of Ship Operation, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

**요 약 :** 최근 액체화물운반선 운송량이 증가함에 따라 국내외에서 해상환적(Ship-to-ship)에 대한 필요성이 대두되고 있다. STS 계류의 경우, 일반적인 부두에서의 계류와 그 특성이 다르기 때문에 다른 기준으로 안전성 검토가 이루어져야 하지만, 국내에서는 별도의 기준이 부재한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 STS 계류의 특성을 파악하기 위해 상용 수치해석프로그램인 OPTIMOOR 프로그램 이용한 STS 계류 시뮬레이션 및 민감도 분석을 시행하였다. 대상해역은 여수항의 D2 정박지를 모델링하였으며, 대상 선박의 모델링은 VLCC-VLCC의 Case로 선정하였다. 이 수치해석과 민감도 분석을 통하여 STS 계류의 특성을 파악하고자 하였으며 이를 바탕으로 STS 계류안전성 평가에 대한 기준을 확립하고자 하였다. 수치해석 시뮬레이션 결과, STS 계류는 선박 재화상태, 기상상태(파주기 및 파고영향) 및 만남각, 그리고 계류삭의 초기장력 등에 따라 변화함을 확인하였다. 또한 Risk Matrix를 작성하여 해당 해역에서의 안전외력범위를 설정하였다. 이 결과를 통해 STS 의 계류 특성을 파악할 수 있으며, 계류안전성 평가 기준을 개정에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

**핵심용어 :** 해상환적, 계류안전성, 수치해석, OPTIMOOR, 민감도 분석, 리스크 매트릭스

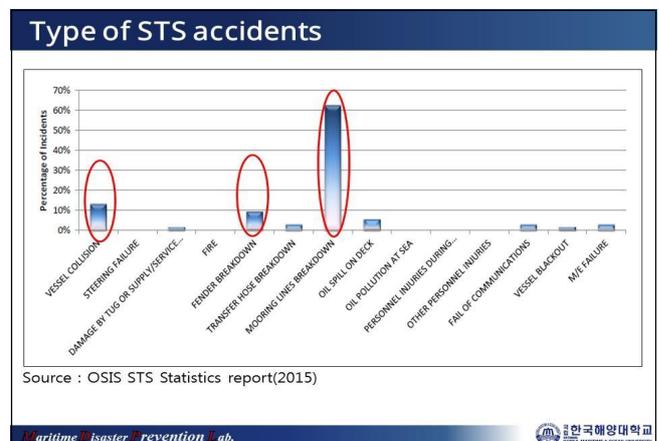
**Abstract :** In recent years, the need for ship-to-ship has emerged around the world as the volume of tanker carriers increases. In the case of STS mooring, a safety review should be carried out on other standards since the characteristics are different from the mooring at a typical wharf. However, there is no separate standard about STS in Korea. Therefore, in this study, STS mooring simulation and sensitivity analysis were performed using OPTIMOOR program, a commercial numerical analysis program, to identify STS mooring characteristics. The target sea area is modeled at D2 anchorage of Yeosu Port in Korea, and modeling of the target ship is selected as the case of VLCC-VLCC. Based on this, we tried to establish the standard for STS mooring safety evaluation. Numerical simulation results show that the STS mooring changes depending on the ship load condition, weather condition(wave period and wave height), encounter angle and pre-tension of mooring line. In addition, a risk matrix was created to set the safe external force range in the sea area. It is expected that the mooring characteristics of the STS can be grasped by this result and contribute to the revision of the mooring safety assessment standard.

**Key words :** Ship to ship, Mooring Safety Assessment, Numerical Analysis, OPTIMOOR, Sensitivity Analysis, Risk Matrix

### Introduction

배경	연구목적
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 국내를 포함하여 전세계 각지에서 STS(Ship to ship) Transfer에 대한 요구 증가.</li> <li>■ STS의 특성상, 위험액체운반선(Tanker)의 작업이 대부분이므로 안전사고에 특히 유의해야함.</li> <li>■ 이러한 상황에도 불구하고, 국내에서는 STS 계류에 대한 제대로 된 가이드라인이나 연구가 미비함.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 일반적인 계류와는 다른 STS 계류 상황에 대한 수치시뮬레이션을 통해, 계류안전성 평가 결과 도출 - 국내의 주요 탱커 터미널 중 여수항을 모델링하여 분석</li> <li>■ 민감도 분석을 통해, STS 계류의 영향요인을 식별하여 안전성 향상 방안 마련</li> <li>■ Risk Matrix 작성하여 STS 작업에 대한 환경외력조건에 대한 안전 작업 한계점 도출</li> </ul>

Maritime Disaster Prevention Lab. 한국해양대학교



† 교신저자 : 종신회원, ischo@kmou.ac.kr  
\* 정회원, leelar@naver.com

## Outline of analysis

- TTI사의 OPTI-MOOR(Ver.6.4.1, 2017.6.15) 프로그램 사용
- Ship to Ship Transfer 에 대하여 계류안전성 평가 수행
- 평가요소 : 계류삭 장력(모선 및 자선), 펜더 반력 및 하역안전성 평가
- OCIMF에서 발행한 'Ship to ship Transfer Guide' 및 Mooring Equipment Guidelines참조



## Sensitivity Analysis to Identify Factor



### \* 민감도 분석

1. Ship's Size -> VLCC-VLCC 분석
2. Ship's Load Condition
3. Weather Condition
4. Weather Encounter Direction
5. Mooring Configurations -> Mooring Plan
6. Mooring Line Pre-Tension
7. Head/Stern Load Angles -> Mooring Plan
8. Sea Depth, UKC

## Target vessel modeling

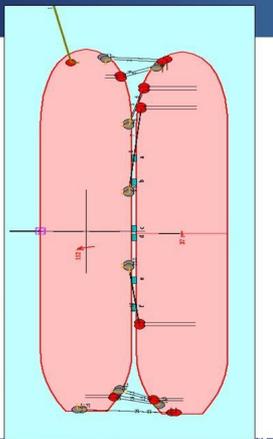
항목	Full Load condition	Ballast condition
전장 (Loa), m	333.0	
수선간장 (Lpp), m	320.0	
선폭 (Breadth), m	60.0	
깊이 (Depth), m	30.4	
선미흘수 (Fore draft), m	22.5	10.6
선미흘수 (Aft draft), m	22.5	10.6
수면 상부 선체 정면 투영면적, m <sup>2</sup>	1187.3	1859.3
수면 상부 선체 측면 투영면적, m <sup>2</sup>	3625.2	7224.8

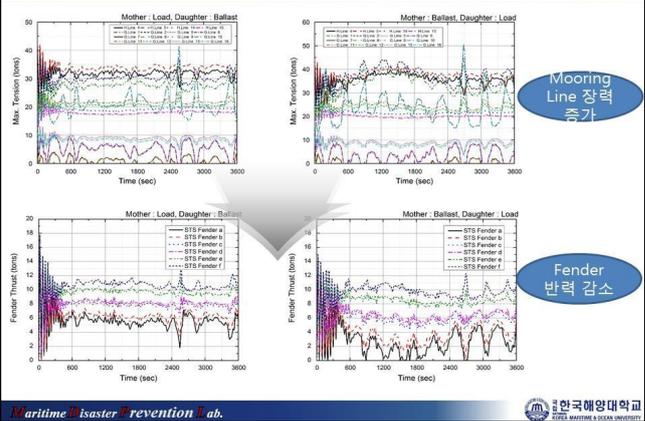
구분	규격	피안경도(MBL)	최중경도(SWL)	비고
Mooring Line	42mm wire rope x 16	121 ton	66.5 ton	+11m tail rope(nylon)

구분	규격	제원
Pneumatic Fender	3,300φ × 6,500L 6개	반력(kN) : 3,230, 충수력(kN.m) : 1,950



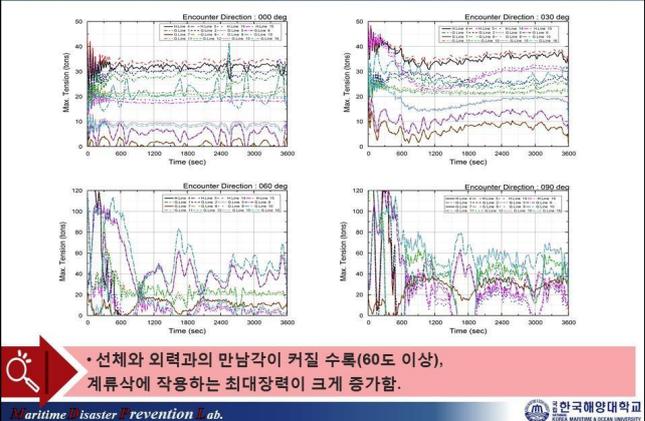
## Sensitivity Analysis (Ship's Load Condition)

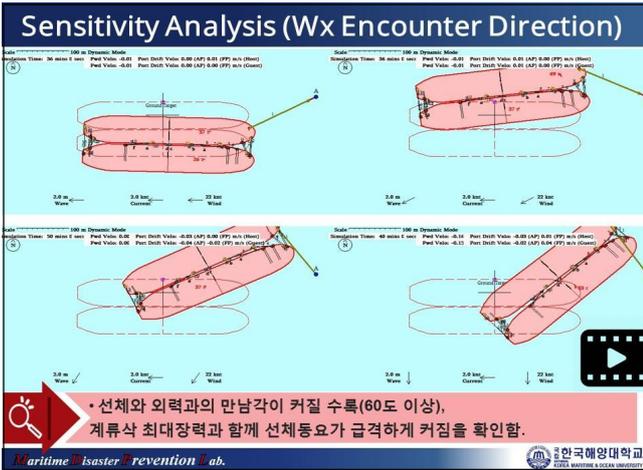


## Target sea area



## Sensitivity Analysis (Wx Encounter Direction)



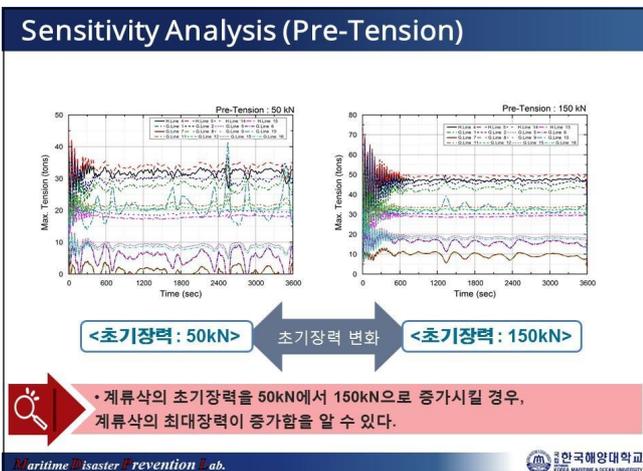


### Sensitivity Analysis (Weather Condition)

Mother Loaded, Daughter Ballast

Case	Hs / Tp	6	8	10	12
		VLCC	Green	Green	Green
Vs	1.5	Green	Green	Red	Red
VLCC	2.0	Green	Green	Red	Red
	2.5	Green	Green	Red	Red

Maritime Disaster Prevention Lab. 한국해양대학교

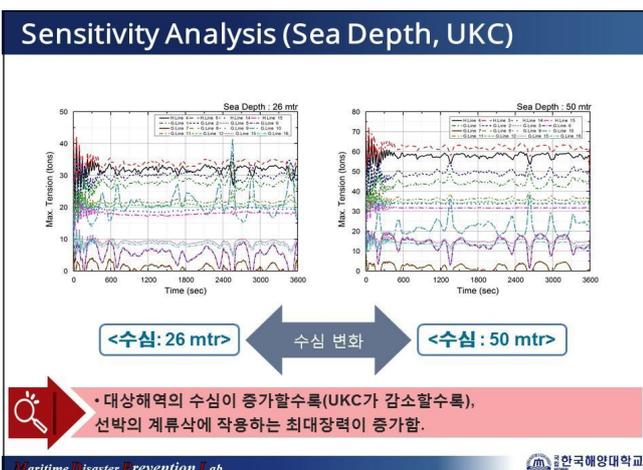


### Risk Matrix

Case	Wind	Wave	Wind & Wave Direction (from ship's heading)			
			000	030	060	090
VLCC	22kts	2.0 m / 6 sec	Green	Green	Red	Red
		2.0 m / 8 sec	Green	Green	Red	Red
		2.0 m / 10 sec	Red	Red	Red	Red
Vs	27kts	2.0 m / 6 sec	Green	Green	Red	Red
		2.0 m / 8 sec	Green	Green	Red	Red
		2.0 m / 10 sec	Red	Red	Red	Red
VLCC	32kts	2.0 m / 6 sec	Green	Green	Red	Red
		2.0 m / 8 sec	Green	Green	Red	Red
		2.0 m / 10 sec	Red	Red	Red	Red

• 자연외력 변화에 따른 Risk Matrix를 작성함으로써, 대상해역에서의 한계외력에 대해 파악할 수 있다.

Maritime Disaster Prevention Lab. 한국해양대학교



- ### Conclusion
- 01 여수항 모델링을 통한 STS 계류안전성 평가결과 도출  
- 해상안전 운영수칙에 대해 계류안전성 만족
  - 02 VLCC-VLCC 간의 STS 계류에 대한 민감도 분석 결과,  
선박 재화 상태 : 모선, 자선의 재화상태가 달라짐에 따라 계류삭장력 및 펜더반력 변화  
외력과 만남각 : 만남각이 증가할수록(선수기준 60도 이상), 계류삭장력이 크게 증가  
계류삭의 초기장력 : 초기장력이 클수록, 최대장력이 증가  
수심 : 대상해역의 수심이 깊을수록(UKC 증가), 계류삭장력이 증가
  - 03 대상해역에서 다양한 외력 조건을 입력하여, Risk Matrix를 작성하여 한계외력조건을 도출  
ex) 풍속22kt, 파고2.0m, 파주기8sec에서는 만남각 030도까지 안전.
  - 04 단순 수치해석을 통한 분석이 아닌 CFD 및 실선 실험을 통한 추가분석을 통한 기준설정을 추후 연구과제로 설정함.
- Maritime Disaster Prevention Lab. 한국해양대학교