

# 선박조종시뮬레이터를 이용한 울산항 원유부이이설의 안전성 평가에 관한 연구

정재용\* · 김원욱\*\* · 김창제\*\*\* · 채양범\*\*\*\* · 강성진\*\*\*\*\*

## A Study on the Safety Assessment of the replaced Single Buoy Mooring at Ulsan Harbor by Ship Handling Simulator

Jae Yong Jong · Won Ouk Kim · Chang Je Kim · Yang Bum Chae · Song Jin Gang

### Abstract

In accordance with the development plans of Ulsan harbor, Ulsan new harbor will be constructed considering supporting Ulsan harbor as a safe berthing and departure at single buoy mooring(SBM).

In this study, we used a full-mission ship handling simulator adopting 300,000 DWT VLCC manoeuvred at the planned Ulsan SBM.

Five masters who have had a long experience of ship maneuvering were called to carry out the simulations, of which each scenario were tried one, completed total of 68 times.

The marine traffic safety was assessed in terms of 1) the closest point of approach(CPA) to other SBM and breakwater in the vicinity and the probability of crossing the restricted area of the closest SBM and fairway limit, 2) subjective evaluation such as the mental burden and the maneuvering difficulty of shiphanders, and 3) the opinions of shiphanders.

From the result of this simulation, we have a conclusion as follows:

First, because crude oil berthing angle is so small by current S-Oil Co. crude oil buoy by SK Co. No 3 crude oil buoy different view SK Co. No 3 crude oil buoy and interference of current KNOC crude oil buoy, Berthing is impossible, and Emergency departing is very dangerous too operation impossible .

Second, it is desirable that SK Co. No 2 and No 3 Single buoy Mooring that do different view controls position so that to be not put in straight line each other.

Third, SK Co. No 1 and 2 single buoy mooring that do different view to Onsanhang berthing and departing is seized by single buoy mooring by external force ship that set sail does faith control need.

**Key Word** : shiphandling simulation, the safety assessment, the closest point of approach, subjective evaluation

\* 한국해양대학교 마린시뮬레이션교육연구센터 전임연구교수

\*\* 한국해양대학교 대학원

\*\*\* 한국해양대학교 해사수송과학부 부교수

\*\*\*\* 한국해양대학교 운항시스템공학부 부교수

\*\*\*\*\* 한국해양수산연수원 전임강사

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

울산항은 우리나라 동남권 공업벨트 내의 지원항만으로서 중추적인 역할을 해 왔으나, 최근 해상화물의 지속적인 증가로 인하여 일반화물을 처리할 수 있는 부두가 부족하게 되어 채선, 체화현상이 급속히 심화되어 가고 있다. 해양수산부는 이러한 문제점을 인식하고, 이를 해결하기 위하여 1988년 12월 울산항 기본계획시 신항만 개발을 제안하고 1995년 신항만 개발 기본계획에 착수하여 1996년 12월 “울산 신항만 개발 기본계획”을 발표하였다. 이 기본계획은 용연동 전면 해상의 북측지역을 2006년까지 개발하고, 온산항 남방파제 외해의 남측지역을 2011년까지 개발하는 것이다.

이 기본계획에 의하면 기존 원유부이의 이설이 불가피하게 되고, 이설된 원유부이에 대한 선박통항 및 접이안 안전성 검토가 필요하다. 따라서 이 연구에서는 울산항의 자연·환경적 여건 및 원유부이의 현황을 고찰하고, 새로운 이설 위치에 대한 원유부이 자체의 안전성과 주위 항

행선박과의 통항안전성을 평가하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위

이 연구의 범위는 1996년 12월 “울산 신항만 개발 기본계획”에 의한 울산항 전 수역이며, 시설 및 평면도는 <그림 1>과 같다.

### 1.3 연구의 내용

이 연구의 내용은 다음과 같다.

- 가. 인근 부이 계류 원유선 및 항로 운항선박과의 상호간섭 분석 및 운항상 안전성/적정성 검증
- 나. 선박운항 시뮬레이션을 통한 항행선박 및 접·이안 선박간의 안전성 평가
- 다. 원유부이 이설시 기존의 원유부이에 미치는 상관관계 검토

## 2. 선박조종시뮬레이터의 개요

이 연구에는 조류, 시계, 바람 및 파랑 등의 환경조건을 실제와 같은 이미지로 재현할 수 있는 전기능 선박조종시뮬레이터(Full Mission

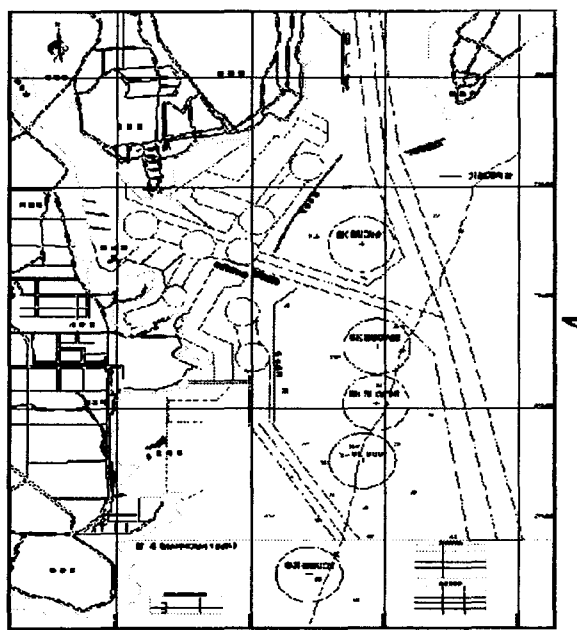


Fig. 1 Simulation area for Ulsan New harbor

Simulator System)를 사용하였다.

선박조종시뮬레이션은 조종경험이 많은 선장 출신의 연구진들이 직접 모델선박을 조종하고 그 결과를 통계적으로 분석·평가하여 안전성 여부를 검토하고자 실시하였으며, 연구의 신뢰성을 높이고 예상되는 문제점을 최소화하기 위하여 현장조사, 관련기관과의 협의, 면담 등을 통한 실태조사를 함께 수행하였다.

## 2.1 선박조종시뮬레이터의 데이터베이스

선박조종시뮬레이션에 의한 연구 결과의 신뢰성은 선정된 모델선박의 수학적 모델에 관한 정확성 뿐만 아니라 외부 환경 조건의 정확성 및 현실감에 의하여 좌우된다. 또한 항만 데이터베이스는 해당 해역의 지형, 수심, 조류 등을 비롯한 항로 및 항로표지 등에 관한 제반 사항과 선박조종자에게 해당 수역의 실제 모습을 보여주기 위한 3차원 그래픽을 구성하는 데이터베이스를 말한다.

### 2.1.1 선박모델 데이터베이스

선박의 조종성능은 각 선박의 추진력과 방향을 조종하는 타에 의하여 좌우되며, 선박의 전체 형태 및 수면하의 형태에 따라 달라진다. 선박조종시뮬레이션을 실제와 동일하게 하기 위해서는 모든 조건별 특성을 물리적 모델과 수학적 모델로 개발하여 실제 선박의 특성과 동일하게 나타내야 한다. 이 연구에서는 현재 울산항 원유부이에 접·이안하는 선박중에 최대급인 300,000DWT의 원유선과 온산항에 입·출항하는 80,000DWT의 화물선을 기준으로 하여 실제 선박과 동일한 운동특성 및 시각적 특성을 가지는 선박을 모델로 선정하여 시뮬레이션을 실시할 필요성이 인식되어, 선박운동특성이 검증된 Norcontrol사의 모델선을 이용하였다.

### 2.1.2 해상환경 데이터베이스

항만 데이터베이스는 해당 수역 해안선의 육상 지형물, 부두시설, 하역시설, 등대와 기타 주

변 경관을 3차원 그래픽으로 재현한 것으로, 이들에 대한 실측조사 및 촬영을 통하여 구축하였다. 또한 항만개발계획에 따른 항만 데이터베이스는 항만개발계획도의 부두개발계획 등을 분석하여 부두시설 및 주변 경관의 데이터베이스를 구축하였다.

해상환경은 실제와 동일한 조건의 파도나 해상상태를 구현하기 위하여 해상 구조물의 근접 촬영을 이용한 texture mapping 기술을 이용하여 현실감을 증대시켰다.

## 2.2 선박조종시뮬레이터의 이용범위

이 연구에 이용된 시뮬레이터는 전기능 선박조종시뮬레이터(Full Mission Simulator System)로 다음과 같은 이용범위를 갖는다.

### 가. 선박조종훈련

- 나. 입·출항 및 접·이안 조종 훈련
- 다. 선교자원관리교육·훈련
- 라. 항만 및 항로 설계의 타당성 검증
- 마. 항로표지의 위치 등에 관한 타당성 검증
- 바. 기본적인 항해 훈련 혹은 레이더에 의한 항해 훈련
- 사. 선박조종에 관련된 물리적 외력(바람, 조류, 파랑, 예선 및 계류사 등)에 관한 연구
- 아. 접·이안, 부표계류 등과 같은 저속 조종시의 훈련
- 자. 충돌, 좌초 등 해양사고의 재현 및 분석
- 차. 계류 시스템에 대한 훈련
- 카. 전자해도, GPS 등 새로운 항해 장비에 대한 시험 적용 등에 이용된다.

## 2.3 선박조종시뮬레이션의 평가방법

이 연구에서 시뮬레이션 대상해역, 시뮬레이션 수행회수 및 선박의 특성별로 나누어 선박의 근접도 계측, 선박의 제어도 계측 및 조종자의 주관적 평가 등에 대한 모든 시뮬레이션 결과를 평가하고 검토하였다.

### 2.3.1 선박의 근접도 평가방법

선박의 근접도는 접근시 위험이 예상되는 기준점 또는 기준선을 설정하여 최근접거리를 측정한다. 항구 입·출항의 안전성을 평가할 경우에는 항로 외곽선, 특정 부표, 방파제 끝단 등이 기준선 또는 기준점이 될 수 있다. 최근접거리는 선박이 어떤 기준점 또는 기준선을 지날 때 선박과 기준점 또는 기준선과 가장 가까운 거리를 말한다.

### 2.3.2 선박의 제어도 평가방법

선박의 제어도에 관해서는 특정 구역에서의 조종성능, 항만 배치 및 환경 조건에 따른 선박의 제어도를 평가하며, 평가 내용으로는 선수방위의 변동량, yaw rate, 타각 사용량, 기관 사용량, 선박의 속력, 접·이안시의 소요시간 등이 있다.

### 2.3.3 조종자의 주관적 평가방법

선박조종시뮬레이션을 수행할 때에 조종자는 지형, 항로표지, 조류, 바람 및 선박의 운동특성 등을 종합적으로 인식하고 이를 기초로 적절한 선박 제어 방법을 도출한다. 종합 인식 및 판단은 조종자의 지각과정, 중추신경 전달과정을 거치며 피로도와 의욕도에 따라 그 결과가 달라질 수 있는 복합적인 과정이다. 조종자에 따라 여러 정보를 종합하고 이를 근거로 선박을 제어하는 형태는 다르게 나타날 수 있다. 예를 들면, 조종자에 따라 선속이나 조류에 대한 지각 정도가 다르며 그에 따른 선박의 제어량도 기술과 전략에 따라 다르게 나타나게 된다.

시뮬레이터를 이용하여 선박 통항의 안전성을 평가하는데 있어서 선박의 근접도 평가나 선박의 제어도 평가와 같은 객관적 평가도 매우 중요하지만, 시뮬레이션을 수행하는 조종자가 제어시스템의 내부에 포함되기 때문에 조종자가 판단하고 제어한다는 측면에서 조종자의 주관적 평가도 중요한 의미를 갖는다.

이 평가의 주요 내용으로는 조류 및 바람 등

의 외력 조건하에서 특정 해역, 특정 부두에의 접·이안 및 입·출항 조종과 관련하여 선박의 특성에 따라 개개의 조종자가 느끼는 심적 부담도와 조종의 난이도 등이 있으며, 이 평가를 통하여 여러 가지의 환경조건에 따른 조종자의 주관적 평가를 정량화할 수 있고, 또한 시뮬레이션의 현실감에 대한 평가도 가능하다.

이 연구에서는 <표 1>과 같은 내용의 설문지를 작성하여 각 시나리오별 선박조종시뮬레이션을 마친 후 설문조사하였다.

Table 1 The questionnaire for the ship operators

Scenario No.	Condition
Operator name	Company
Rank	License
Experience	
Mental burden of operator	-3 : Very dangerous -2 : Dangerous -1 : A little danerous 0 : Intermidiate +1 : A little safe +2 : Safe +3 : Very safe
Maneuvering difficulty of operator	-3 : Very difficult -2 : Difficult -1 : A little difficult 0 : Intermidiate +1 : A little easy +2 : Easy +3 : Very easy
Comment	

## 3. 시뮬레이션 조건

이 연구에서는 원유부이 계류에 영향을 줄 수 있는 원유부이의 위치 및 항로 그리고 건설계획인 방파제 등의 지리적 조건은 “울산 신항만 개발 기본계획서”를 참고로 실시하였으며, 파고, 풍속 및 조류 등의 기상조건은 1995년 ~ 1999년 (과거 5년간)의 기상정보를 파악하여 시나리오를 작성, 시뮬레이션에 적용하여 실시하였다.

또한, 기본설계에 따른 방파제 건설후에 예상되는 영향도 포함하였다.

Table 2 Simulation conditions for Ulsan new port

이설부이	대상원유부이	접·이안	시뮬레이션조건
3번 원유부이	이설한 3번 원유부이	접안	선박 : 30만톤 만선 바람 : 북동풍 25노트 조류 : 남서류 2.7노트 파고 : 1.5미터
		이안	선박 : 30만톤 공선 바람 : 북동풍 35노트 조류 : 남서류 2.7노트 파고 : 3 미터
	현행 S-Oil 원유부이	접안	선박 : 30만톤 만선 바람 : 남남서풍 25노트 조류 : 020도 3.0노트 파고 : 1.5미터
		이안	선박 : 30만톤 공선 바람 : 남남서풍 35노트 조류 : 020도 3.0노트 파고 : 3 미터
2번 원유부이	이설한 2번 원유부이	접안	선박 : 30만톤 만선 바람 : 북동풍 25노트 조류 : 남서류 2.7노트 파고 : 1.5미터
		이안	선박 : 30만톤 공선 바람 : 북동풍 35노트 조류 : 남서류 2.7노트 파고 : 3 미터
		온산출항	선박 : 8만톤 만선 바람 : 북동풍 25노트 조류 : 남서류 2.7노트 파고 : 1.5 미터
	이설한 3번 원유부이	접안	선박 : 30만톤 만선 바람 : 남풍 25노트 조류 : 040도 2.7노트 파고 : 1.5미터
		이안	선박 : 30만톤 공선 바람 : 남동풍 35노트 조류 : 040도 2.7노트 파고 : 3 미터
		온산입항	선박 : 8만톤 만선 바람 : 남서풍 25노트 조류 : 040도 2.7노트 파고 : 1.5미터
1번 원유부이	이설한 1번 원유부이	접안	선박 : 30만톤 만선 바람 : 남서풍 25노트 조류 : 040도 2.7노트 파고 : 1.5미터
		이안	선박 : 30만톤 공선 바람 : 남동풍 25노트 조류 : 040도 2.7노트 파고 : 3 미터
		온산입항	선박 : 8만톤 만선 바람 : 남서풍 25노트 조류 : 040도 2.7노트 파고 : 1.5미터
		울산출항	선박 : 8만톤 만선 바람 : 남동풍 25노트 조류 : 220도 2.7노트 파고 : 1.5미터

이 연구에서 적용한 선박조종시뮬레이션의 조건은 <표 2>와 같다.

#### 4. 시뮬레이션 결과분석

시뮬레이션은 선박조종 경험이 많은 선장출신의 연구진이 <표 2>의 조건하에서 총 68회의 시뮬레이션을 실시하였고, 2.3절의 평가방법을 이용하여 결과를 분석하였다.

##### 4.1 원유부이 접 · 이안 안전성 평가

원유부이의 접안 시뮬레이션은 접안의 성공여부, 인근 원유부이의 제한수역의 침범여부, 조종자의 심적부담감, 선박조종의 난이도와 조종자의 코멘트로 평가되었고, 이안 시뮬레이션은 이안의 성공여부, 이안한 원유부이 혹은 방파제와의 최근접거리, 조종자의 심적부담감, 선박조종의 난이도와 조종자의 코멘트로 평가되었으며, 이를 요약하면 <표 3>과 같다.

<그림 2>는 한 접안 시뮬레이션의 선박 항적이고, <그림 3>은 한 비상이안 시뮬레이션의 선박 항적이다. 이 그림에서 원유부이의 제한수역은 원유부이에서 30만DWT 원유선과 선미 예인선까지의 거리인 500미터를 반경으로 하는 수역이다.

SK(주) 3번 원유부이를 이설할 경우 접안의 성공여부 및 인근 원유부이의 제한수역 침범여부에 의해 판단할 때, 접안 안전성은 확보되고 있다. 또한 조종자의 심적 부담감 및 선박조종의 난이도 역시 약간 안전하다와 어렵지도 쉽지도 않다고 조사되어 접안 안전성은 확보되고 있다고 할 수 있다.

또한 비상이안의 성공여부 및 인근 원유부이의 제한수역 침범여부에 의해 판단할 때, 비상이안의 안전성은 확보되고 있다. 또한 조종자의 심적 부담감 및 선박조종의 난이도 역시 약간 안전하다고 조사되어 비상이안의 안전성은 확보되고 있다고 할 수 있다.

현행 S-OIL(주) 원유부이에 대한 접안은 7회

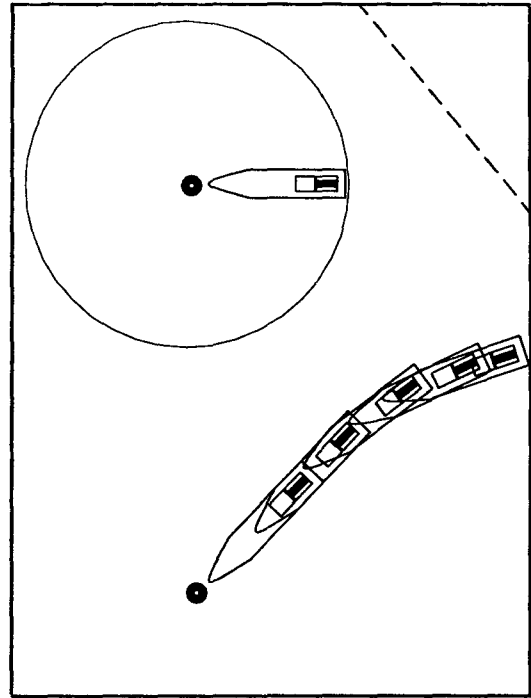


Fig. 2 The result of SBM berthing simulation

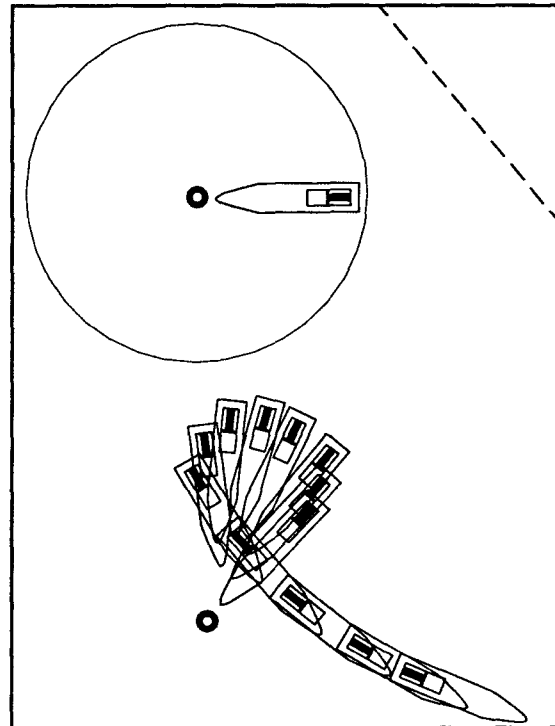


Fig. 3 The result of SBM unberthing simulation

의 시뮬레이션을 실시하였으나 모두 실패하였고, 조종자의 심적부담감은 4명의 조종자가 아주 위험하다, 3명의 조종자가 위험하다고 느낀 것으로 조사되었다.

또한 조종의 난이도 역시 6명의 조종자가 아주 어렵다, 1명이 어렵다고 느낀 것으로 조사되어 S-OiL(주) 원유부이의 접안 안전성은 SK(주) 3번 원유부이의 이설로 인해 확보되지 못한 것으로 판단된다. 한편 조종자 코멘트에서 외력에 의한 압류의 정도를 감안하여 SK(주) 3번 원유부이와 한국석유개발공사 원유부이 사이를 통과하기 위해서는 접안을 위한 접근속도를 증가해야 하기 때문에 선박을 제어하기 어렵고, 선박이 접안자세를 잡기위해서는 선수를 회두시키기 위한 넓은 수역이 필요하기 때문에 접안이 불가능한 것으로 지적하고 있다.

또한 현행 S-OiL(주) 원유부이에 대하여 6회의 비상이안을 실시한 결과 엔진의 사용시기가 적절하지 못하여 방파제까지의 거리가 160미터로 근접하게 되고 현행 S-OiL(주) 원유부이를 좌현쪽으로 보면서 출항하는 자세가 되어, 실패한 경우가 1회 발생되었다. 그리고 엔진을 적절히 사용하지 못하여 방파제에 180미터까지 근접하게 되는 위험한 상황이 1회 발생되었다. 조종자들은 SK(주) 3번 원유부이의 이설후 KNOC/S-OiL(주)/SK(주) 3번 원유부이의 각도가 너무 작아 비상이안이 매우 어렵고, 실제상황에서는 심리적 부담으로 인하여 선박조종을 포기할 수 있을 정도로 어렵다고 답하였다. 또한 엔진과 타의 사용시기를 조금이라도 놓치면 매우 위험한 상황에 돌입할 수 있기 때문에 비상이안의 안전성이 확보되지 못한 것으로 응답하였다.

이설한 SK(주) 2번 원유부이에 대한 접안 시뮬레이션 결과 5회 모두 접안에 성공하였으나 조종자가 느끼는 위험감은 평균적으로 위험하고, 선박제어의 난이도는 평균적으로 약간 어려운 것으로 조사되었다. 그러나 조종자들은 이설한 SK(주) 3번 원유부이의 제한수역으로 인해

접안자세를 취하기 위한 여유수역이 없고, 원유부이에 접근을 위한 선회시 정횡방향에서 강조류를 받기 때문에 좌현측 원유부이(이설한 SK(주) 3번 원유부이)에 계류중인 선박과의 안전 거리를 충분히 유지해야 한다고 지적하였다. 또한 이설한 SK(주) 2번 원유부이에 접근하기 위해 선회할 때에 횡조류가 더욱 거세어지기 때문에 조종자의 주의가 요망되며, 이설한 SK(주) 2번 원유부이와 이설한 SK(주) 3번 원유부이의 각도가 180도로서 일직선이 되는 것보다는 약간 사선을 이루는 것이 접안시 용이하다고 응답하였다.

또한, 이설한 SK(주) 2번 원유부이에 대한 비상이안을 5회 실시하여 모두 성공하였고, 인근 원유부이를 통과할 때의 정횡거리는 평균 330미터였다. 조종자의 심적 부담감은 안전하지도 위험하지도 않은 것으로 조사되었고, 선박조종의 난이도는 어렵지도 쉽지도 않다고 느끼는 것으로 조사되어 비상이안의 성공여부, 인근 원유부이의 정횡통과거리, 조종자의 심적 부담감 및 선박조종의 난이도에 의해 판단할 때, 접안 안전성은 확보된다고 판단된다.

이설한 SK(주) 3번 원유부이에 대한 5회의 접안 시뮬레이션을 실시한 결과 모두 성공하였으며, 조종자의 심적 부담감은 5명 모두 약간 위험하다고 느끼는 것으로 조사되었으며, 선박조종의 난이도는 약간 어렵다고 느끼는 것으로 조사되어 이설한 SK(주) 3번 원유부이에 대한 접안 안전성은 확보되었다. 다만 조종자들은 이설한 SK(주) 2번 원유부이에 계류중인 선박으로 인하여 여유수역이 충분하지 않을 뿐만 아니라 SK(주) 2번 원유부이의 제한수역에 접근되는 경향이 있어 상당한 주의를 하여야 한다고 지적하였다.

이설한 SK(주) 3번 원유부이에 대한 5회의 비상이안을 실시한 결과 모두 성공하였지만 이설한 SK(주) 2번 원유부이의 제한수역을 모두 침범하였다. 이설한 SK(주) 2번 원유부이를 통과할 때의 정횡거리는 195미터에서 270미터이고

Table 3 Simulation result for the mooring and unmooring of SBM

이설부이	대상원유부이		성공여부	제한수역침범	정횡거리/ 방파제거리	조종자의 심적 부담감	선박조종의 난이도		
SK(주) 3번	이설한 SK(주) 3번 원유부이	접안	O	X	-	+2	+2		
			O	X	-	0	-1		
			O	X	-	+2	+2		
			O	X	-	-1	-1		
			O	X	-	0	-1		
		이안	O	X	430미터	+1	+1		
			O	O	500미터	+2	+2		
			O	X	770미터	+2	+2		
			O	X	350미터	-1	-1		
			O	X	305미터	-1	0		
	현행 S-OIL(주)	접안	X	-	-	-3	-3		
			X	-	-	-2	-3		
			X	-	-	-2	-3		
			X	-	-	-3	-3		
			X	-	-	-3	-3		
			X	-	-	-3	-3		
		이안	O	X	375미터	-1	-1		
			O	X	300미터	-2	-2		
			O	O	530미터	-2	-2		
			O	X	260/180미터	0	0		
이안	O	X	260/600미터	+1	+2				
	O	X	200/160미터	-1	-2				
	SK(주) 2번	이설한 SK(주) 2번 원유부이	접안	O	X	-	-1	-1	
				O	X	-	-1	-1	
O				X	-	-2	-2		
O				O	-	-2	-2		
이안		O	O	350미터	-2	-3			
		O	X	223미터	+2	+2			
		O	X	230미터	+2	+2			
		O	O	537미터	-1	0			
이안	O	O	310미터	+1	+1				
	O	X	-	-1	-1				
	O	X	-	-1	-1				
	O	X	-	-1	-1				
이설한 SK(주) 3번 원유부이	접안	O	O	220미터	+1	+1			
		O	O	270미터	+1	+1			
		O	O	205미터	-2	-2			
		O	O	195미터	-2	-1			
	이안	O	O	215미터	-2	-2			
		SK(주) 1번	이설한 SK(주) 1번 원유부이	접안	O	-	-	+1	+1
					O	-	-	+1	-1
					O	-	-	+1	+1
O	-				-	+1	+1		
이안	O		-	355미터	+2	+2			
	O		-	240미터	+3	+2			
	O		-	265미터	+2	+2			
	O		-	310미터	+1	0			
O	-	308미터	+2	+2					



평균 232미터였다. 조종자의 심적 부담감은 약간 위험하다고 느끼는 것으로 조사되었고, 선박 조종의 난이도는 약간 어렵다고 느끼는 것으로 조사되었다. 비상이안의 성공여부, 인근 원유부이의 제한수역의 침범여부, 정횡거리, 조종자의 심적 부담감 및 선박조종의 난이도에 의해 판단할 때, 비상이안의 안전성은 확보된 것으로 판단된다.

이설한 SK(주) 1번 원유부이에 대한 접안 시물레이션은 모두 성공하였으며, 조종자의 심적 부담감은 모두 약간 안전하다고 느낀 것으로 조사되었고, 선박조종의 난이도 역시 약간 쉬운 것으로 조사되어 접안 성공여부, 조종자의 심적 부담감 및 선박조종의 난이도에 의해 판단할 때 이설한 SK(주) 1번 원유부이의 접안안전성은 확보되었다고 판단된다.

또한 이설한 SK(주) 1번 원유부이에 대하여 5회의 비상이안을 실시한 결과 모두 성공하였다. 이안 후 SK(주) 1번 원유부이를 통과할 때의 정횡거리는 240미터에서 355미터까지이고 평균 296미터이다. 조종자의 심적 부담감은 안전하다고 느끼는 것으로 조사되었고, 선박조종의 난이도는 쉽다고 느끼는 것으로 조사되었다. 비상이안의 성공여부, 정횡거리, 조종자의 심적 부담감 및 선박조종의 난이도에 의해 판단할 때 이설한 SK(주) 1번 원유부이의 비상이안 안전성은 확보된다고 판단된다.

#### 4.2 입·출항 선박의 통항안전성 평가

울산항과 온산항을 입·출항하는 선박의 통항 안전성은 이설한 SK(주) 1번 원유부이와 SK(주) 2번 원유부이와의 최근접거리, 항로경계의 침범여부, 조종자의 심적부담, 선박조종의 난이도 및 조종자의 코멘트로써 평가하였다. <그림 4>는 통항안전성을 평가하기 위해 온산항을 입·출항하는 선박과 울산항을 출항하는 선박의 항적을 보여주고 있다.

온산항 출항선이 항로상에서 온산항에 입항하는 선박과 교행하는 경우의 통항안전성은 2회

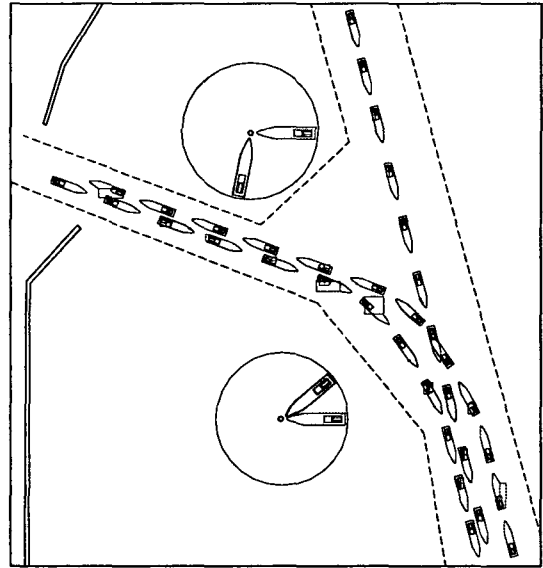


Fig. 4 The result of arrival/departure simulation

의 시물레이션을 실시한 결과 1회 항로를 침범하였을 뿐만 아니라 조종자의 심적부담감이 약간 위험하다고 느끼는 것으로 조사되었고, 선박 조종의 난이도가 어렵다고 느끼는 것으로 조사되어 출항선박이 항로상에서 온산항에 입항하는 선박과 교행하는 경우의 통항안전성은 확보되지 않는 것으로 판단된다. 또한 조종자의 코멘트 역시 외력을 고려하여 항행하여야 하기 때문에 출항선의 선수방위가 입항 선박의 선수를 횡단하도록 설정됨으로써 조종자의 심적 부담감이 크고, 변침시 SK(주) 2번 원유부이의 제한수역 쪽으로 압류되는 경향이 크므로 제한수역에 접근하지 않도록 조종하는 것에 중점을 두어야 한다고 지적하고 있다.

온산항 출항선이 항로상에서 온산항에 입항하는 선박과 교행하지 않는 경우 SK(주) 2번 원유부이와 출항선 사이의 통항안전성을 평가하기 위해 3회의 시물레이션을 실시하였다. 그 결과 모두 항로를 침범하지 않았을 뿐만 아니라 이설한 SK(주) 2번 원유부이의 제한수역과의 최근접거리는 평균 258미터였다. 조종자의 심적 부담감은 약간 안전하다에서 안전하다고 느끼는 것으로, 선박조종의 난이도는 약간 쉽다에서 쉽

다고 느끼는 것으로 조사되었다. 따라서 항로의 침범여부, 제한수역과의 최근접거리, 조종자의 심적 부담감 및 선박조종의 난이도에 의해 판단할 때, 온산항 출항선이 항로상에서 온산항에 입항하는 선박과 교행하지 않는 경우에는 이설한 SK(주) 2번 원유부이와 출항선사이의 통항 안전성은 확보된다고 판단된다.

온산항 입항선이 항로상에서 온산항에서 출항하는 선박과 교행하는 경우의 시뮬레이션 결과는 항로를 침범하지 않았지만 이설한 SK(주) 1번 원유부이의 제한수역과의 최근접거리는 150미터와 165미터로 조사되었다. 조종자의 심적 부담감은 약간 위험하다고 느끼는 것으로 조사되었고, 선박조종의 난이도는 약간 어렵다고 느끼는 것으로 조사되었다. 따라서, 항로의 침범여부, 제한수역의 최근접거리, 조종자의 심적 부담감 및 선박조종의 난이도에 의해 이설한 SK(주) 1번 원유부이와 입항선과의 안전성을 판단할 때, 안전성이 확보되지 못한 것으로 판단된다. 특히 leeway를 고려하여 조종할 경우 출항선을 횡단하는 자세가 되어 조종자가 상당한 심적 부담을 가지게 되며 외력의 영향으로 이설한 SK

(주) 1번 원유부이의 제한수역으로 접근되는 경향이 있기 때문에 바람과 조류가 강할 때에는 온산항 진입항로상에서 동시에 입출항하는 것을 가능한 한 피하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

온산항 입항선이 항로상에서 온산항에서 출항하는 선박과 교행하지 않는 경우의 3회 시뮬레이션 결과는 1회 항로를 침범하였고, 이설한 SK(주) 1번 원유부이의 제한수역의 최근접거리는 평균 177미터이다. 조종자의 심적 부담감은 약간 위험하다고 느끼는 것으로 조사되었고, 선박조종의 난이도는 약간 어렵다고 느끼는 것으로 조사되어 항로의 침범여부, 제한수역의 최근접거리, 조종자의 심적 부담감 및 선박조종의 난이도에 의해 온산항 입항선과 이설한 SK(주) 1번 원유부이의 통항 안전성은 확보된 것으로 판단된다. 그러나 1회 항로를 침범한 것에서 알 수 있듯이 온산항 진입항로로 변침할 때에는 선박의 정횡에서 강한 조류와 바람을 받아 항로를 벗어날 위험이 내포되어 있기 때문에 적절한 속력과 변침시기가 중요한 것으로 판단된다.

본선이 항로상에서 울산항으로 입항하는 선박과 교행하는 경우의 2회 시뮬레이션을 실시한

Table 4 Simulation result for the passing of Ulsan port and Onsan port

시나리오 대상원유부이	입출항	단독 교행	항로 침범여부	제한수역과의 거리	조종자의 심적 부담감	선박조종의 난이도
이설한 SK(주) 2번 원유부이	온산 출항	교행	O	140 미터	-1	-2
			X	360 미터	-1	-2
		단독	X	221 미터	+1	+1
			X	288 미터	+1	+1
			X	265 미터	+2	+2
이설한 SK(주) 1번 원유부이	온산 입항	교행	X	150 미터	-1	-1
			X	165 미터	-1	-1
		단독	O	120 미터	-1	-1
			X	210 미터	-1	-1
			X	200 미터	-1	-1
	울산 출항	교행	X	140 미터	-1	-1
			X	100 미터	-1	-1
		단독	X	205 미터	+2	+2
			X	165 미터	+2	+2
			X	220 미터	+2	+2

결과는 항로를 침범하지 않았다. 이설한 SK(주) 1번 원유부이의 제한수역과의 최근접거리는 100미터와 140미터이다. 조종자의 심적 부담감은 약간 위험하다고 느끼는 것으로 조사되었고, 선박조종의 난이도는 약간 어렵다고 느끼는 것으로 조사되어 이설한 SK(주) 1번 원유부이와 울산항을 출항하는 선박의 통항 안전성은 확보된다고 판단된다. 다만 강한 조류와 바람에 의해 교행하는 두 선박의 heading이 상대선박의 선수를 횡단하는 자세를 취하므로 두 선박의 조종자가 심적 부담감이 클 것으로 사료된다.

본선이 항로상에서 울산항으로 입항하는 선박과 교행하지 않는 경우의 3회 시뮬레이션 결과는 모두 항로를 침범하지 않았다. 이설한 SK(주) 1번 원유부이의 제한수역과의 최근접거리는 평균 197미터이다. 조종자의 심적 부담감은 모두 안전하다고 느끼는 것으로 조사되었고, 선박조종의 난이도는 모두 쉽다고 느끼는 것으로 조사되어 항로의 침범여부, 제한수역의 최근접거리, 조종자의 심적 부담감 및 선박조종의 난이도에 의해 이설한 SK(주) 1번 원유 부이와 울산항을 출항하는 선박의 통항 안전성은 확보되고 있다고 판단된다.

### 4.3 안전성 평가 요약

이설한 SK(주) 원유부이와 현행 S-OiL(주) 원유부이에 대한 접·이안 안전성은 <표 5>와 같다.

이 표에서 알 수 있듯이 울산 신항만개발 기본계획안에 의한 원유부이 이설안은

첫째, SK(주) 3번 원유부이 이설시, 이설된 SK(주) 3번 원유부이와 KNOC 원유부이의 간섭으로 인하여 현행 S-OiL(주) 원유부이로의 원유선 접안 각도가 너무 작아 접안은 불가능하고, 비상이안 역시 매우 위험하여 사실상 운영이 불가능하다.

둘째, SK(주) 2번, 3번 원유부이는 서로 일직선상에 배치되지 않도록 위치를 조정하는 것이 바람직하다.

셋째, SK(주) 1번 및 2번 원유부이는 온산항에 입출항하는 선박의 교행시 외력에 의해 원유부이에 압류될 가능성이 커 통제가 필요하다.

## 5. 결론

이 연구는 울산신항개발에 따른 원유부이의

Table 5 The summary of safety assessment

이설부이	대상원유부이		결과
SK(주) 3번	이설한 SK(주) 3번 원유부이	접안	접안 안전성 확보
		이안	이안 안전성 확보
	현행 S-OiL(주)	접안	접안 안전성 확보 불가
		이안	이안 안전성 확보 불가
SK(주) 2번	이설한 SK(주) 2번 원유부이	접안	접안 안전성 확보
		이안	이안 안전성 확보
	이설한 SK(주) 3번 원유부이	접안	접안 안전성 확보
		이안	이안 안전성 확보
SK(주) 1번	이설한 SK(주) 1번 원유부이	접안	접안 안전성 확보
		이안	이안 안전성 확보
SK(주) 2번	온산 출항	교행	통항 안전성 확보 불가
		단독	통항 안전성 확보
SK(주) 1번	온산 입항	교행	통항 안전성 확보 불가
		단독	통항 안전성 확보
	울산 출항	교행	통항 안전성 확보
		단독	통항 안전성 확보

이설과 관련하여 원유부이의 접·이안 안전성, 온산항 및 울산항 입·출항 선박의 통항 안전성을 선박조종 시뮬레이션을 통하여 평가하였다.

항만 데이터베이스는 해당 수역 해안선의 육상 지형물, 부두 시설, 하역 시설 및 등대와 기타 주변 해역시설을 3차원 그래픽으로 재현하기 위해 현장 실측조사 자료와 촬영자료를 이용하여 구축하였고, 항만개발계획에 따른 항만 데이터베이스는 항만개발계획도의 부두개발계획 등을 분석하여 부두시설 및 주변 해역시설의 데이터베이스를 구축하였다.

모델선은 현재 울산항 원유부이에 접·이안하는 최대크기의 선박인 300,000DWT의 원유선과 온산항에 입·출항하는 80,000DWT의 화물선을 선정하였으며, 선박운동특성이 검증된 Norcontrol사의 모델선을 이용하였다.

울산 신항만개발 기본계획안에 대해 선박조종 경험이 많은 선장출신의 연구진이 총 68회의 시뮬레이션을 실시하여 근접도 평가, 조종자의 심적 부담감, 선박조종의 난이도와 조종자의 코멘트로써 원유부이 이설안에 대한 안전성을 평가하였다.

그 결과 첫째, SK(주) 3번 원유부이 이설시, 이설 SK(주) 3번 원유부이 및 KNOC 원유부이의 간섭으로 인하여 현행 S-OiL(주) 원유부이

로의 원유선 접안 각도가 너무 작아 접안은 불가능하고, 비상이안 역시 매우 위험하여 사실상 운영이 불가능하다.

둘째, SK(주) 2번, 3번 원유부이는 서로 일직선상에 배치되지 않도록 위치를 조정하는 것이 바람직하다.

셋째, SK(주) 1번 및 2번 원유부이는 온산항에 입출항하는 선박의 교행시 외력에 의해 원유부이에 압류될 가능성이 커 통제가 필요하다.

### 참고문헌

- 1) 울산지방해양수산청, 울산항 원유하역시설 이설 시뮬레이션 용역, 2001
- 2) 기상청, 기상연보, 1996~2000
- 3) SK주식회사, 울산항 항로표지시설 설치조사 연구, 1998
- 4) Kongsbergnorcontrol, Polaris Ship's Bridge Simulator Ship Models, 2001
- 5) 박진수, 해상교통공학, 효성출판사, 1998
- 6) PIANC, PTC II Approaching Channels. A Guide for Design, Report of Working Group II-30. Supplement to Bulletin No.95. PIANC, Brussel, 1997