



### 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

해상교통안전성 평가모델 개발을 위한  
기초 연구

A Primary Study on the Development of Evaluation Model for  
Marine Traffic Safety Assessment



指導教授 朴 鎮 洙

2011年 2月

韓國海洋大學校 大學院

海上交通情報學科

金 大 園

本 論 文 을 金 大 園 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長      朴 榮 守



委 員      薛 東 一



委 員      朴 鎭 洙



2010年 12月

韓國海洋大學校 大學院

# 목 차

표목차 .....	iii
그림목차 .....	iv
Abstract .....	vi
제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 방법 .....	2
제 2 장 해상교통 안전진단제도의 개념과 절차 .....	4
2.1 해상교통 안전진단의 용어 정의 .....	4
2.1.1 해상교통의 개념 .....	4
2.1.2 안전의 개념 .....	4
2.1.3 진단의 개념 .....	5
2.2 해상교통 안전진단제도 .....	6
2.2.1 해상교통 안전진단의 개념 .....	6
2.2.2 해상교통 안전진단 절차 .....	9
제 3 장 해상교통 안전성 평가 절차 및 평가모델 조사 .....	11
3.1 해상교통 안전성 평가의 개념 .....	11
3.2 해상교통 안전성 평가 절차 .....	12
3.2.1 해상교통현상 파악 .....	13
3.2.2 해상교통현상 기술 .....	13
3.2.3 해상교통현상 예측 .....	14
3.2.4 해상교통현상 재현 .....	14

3.2.5 해상교통현상 평가 .....	15
3.3 해상교통 안전성 평가모델 .....	16
3.3.1 IWRAP .....	16
3.3.2 ES Model .....	22
3.3.3 PAWSA .....	26
3.3.4 FSA .....	30
3.3.5 US Model .....	35
3.3.6 일본의 안전대책 평가 가이드라인 .....	36
3.3.7 기타 평가모델 .....	39
3.3.8 종합 분석 .....	40
<b>제 4 장 IWRAP 및 ES Model을 활용한 울산항 해역 해상교통 안전성 평가</b> ...	<b>42</b>
4.1 기초 자료 조사 .....	42
4.1.1 자연 환경 .....	42
4.1.2 항행 환경 .....	44
4.2 IWRAP을 이용한 울산항 해상교통 안전성 평가 .....	46
4.2.1 Leg 지정 .....	46
4.2.2 교통량 및 분산치 입력 .....	48
4.2.3 기타 변수 입력 .....	57
4.2.4 안전성 평가 결과 분석 .....	58
4.3 ES Model을 이용한 울산항 해상교통 안전성 평가 .....	60
4.4 해양사고 통계자료 비교 분석 .....	62
<b>제 5 장 결 론</b> .....	<b>66</b>
<b>참고문헌</b> .....	<b>68</b>

# 표 목 차

<표 3-1> 일본 항행안전대책 평가가이드라인의 주요 평가지표 .....	36
<표 3-2> 항만의 항행안전조사 사례와 조사 방법 및 평가 지표 .....	37
<표 3-3> 일본 항행안전대책 평가가이드라인 종합정리표 .....	38
<표 3-4> 해상교통 안전성 평가모델 종합 분석 .....	41
<표 4-1> 울산의 월별 최대풍속 .....	43
<표 4-2> Waypoint 지정 현황 .....	46
<표 4-3> Leg별 항로 지정 현황 .....	47
<표 4-4> 톤수별 선박의 일반적 주요 치수 .....	48
<표 4-5> Leg 별 연간 편도 통항량 (Leg 1, Leg 2&3) .....	50
<표 4-6> Leg 별 연간 편도 통항량 (Leg 4, Leg 5) .....	51
<표 4-7> Leg 별 연간 편도 통항량 (Leg 6, Leg 7) .....	52
<표 4-8> Leg 별 연간 편도 통항량 (Leg 8) .....	53
<표 4-9> Leg별 항적 분포 입력 .....	54
<표 4-10> IWRAP 충돌·과초 확률 기본 설정값 .....	57
<표 4-11> 울산항 해역 과초 및 충돌 확률 .....	58
<표 4-12> IWRAP 해역별 충돌확률 .....	59
<표 4-13> 대상해역의 해양사고 발생건수 .....	63
<표 4-14> 선종별 해양사고 발생건수 .....	64
<표 4-15> 선박종류별 충돌 사고 현황 .....	65

# 그림 목 차

<그림 1-1> 연구의 흐름 .....	3
<그림 2-1> 해상교통안전진단체도의 법제화 및 발전 계획 .....	7
<그림 2-2> 해상교통안전진단의 개념 .....	8
<그림 2-3> 해상교통 안전진단의 체계 .....	9
<그림 2-4> 해상교통 안전진단의 절차 .....	10
<그림 2-5> 해상교통 안전진단 평가항목 .....	10
<그림 3-1> 평가의 흐름도 .....	11
<그림 3-2> 해상교통 안전성 평가 절차 .....	12
<그림 3-3> IWRAP 프로그램 화면 구성 내용 .....	17
<그림 3-4> IWRAP Model View - Leg 및 수심 설정 .....	17
<그림 3-5> IWRAP Model View - Leg Editor (Distribution) .....	18
<그림 3-6> IWRAP Model View - Leg Editor (Causation Factor) .....	18
<그림 3-7> IWRAP Model View - Leg Editor (Traffic) .....	19
<그림 3-8> IWRAP Model View - Waypoint Editor (Leg/Leg Traffic) .....	19
<그림 3-9> IWRAP Model View - Waypoint Editor (Causation Factor) .....	20
<그림 3-10> IWRAP Job View - Job List .....	20
<그림 3-11> IWRAP Job View - Result View .....	20
<그림 3-12> IWRAP Job View - Ship-Ship Result .....	21
<그림 3-13> IWRAP Job View - Result View .....	21
<그림 3-14> 종합환경스트레스(ESA)치 개념도 .....	22
<그림 3-15> 부산항 인근 해역 해상교통 환경평가 사례 .....	23
<그림 3-16> 부산항 인근해역 해양사고 조사 결과 .....	24
<그림 3-17> 통영 안정항 인근 해역 해상교통 환경평가 사례 .....	24
<그림 3-18> 일본 Tobata항 야간 입출항 안전성 평가 사례 .....	25
<그림 3-19> 일본 Yokohama항 항행안전성 검토 사례 .....	26
<그림 3-20> PAWSA 5단계 수행 절차 .....	27
<그림 3-21> PAWSA 항만 위험성 모델 .....	28
<그림 3-22> PAWSA에 의한 위험도 식별 결과 .....	28
<그림 3-23> PAWSA에 의한 위험 요소 표시 화면 .....	29
<그림 3-24> PAWSA에 의한 위험 수준 완화 결과 .....	29

<그림 3-25> PAWSA에 의한 추가적인 완화 조치 권고 사항 .....	30
<그림 3-26> FSA 과정 흐름도 .....	31
<그림 3-27> FSA 모델 적용사례 .....	32
<그림 3-28> MARA 평가 단계1 - 현재 및 미래 교통상황의 종합평가 .....	33
<그림 3-29> MARA 평가 단계2,3 - 위험성 예측 및 위험성 경감 방안 .....	33
<그림 3-30> US Model을 이용한 인천대교 교각폭 검증 사례 .....	35
<그림 3-31> 항행안전대책 평가순서(신규 선박 입·출항) .....	39
<그림 4-1> 울산의 월별 최대풍속(m/s) .....	43
<그림 4-2> 울산항 항로 배치도 .....	45
<그림 4-3> Leg 별 항로 지정 현황 .....	47
<그림 4-4> Leg 1의 통항선박 항적 분포 입력화면 .....	55
<그림 4-5> Leg 2의 통항선박 항적 분포 입력화면 .....	55
<그림 4-6> Leg 3의 통항선박 항적 분포 입력화면 .....	55
<그림 4-7> Leg 4의 통항선박 항적 분포 입력화면 .....	56
<그림 4-8> Leg 5,7의 통항선박 항적 분포 입력화면 .....	56
<그림 4-9> Leg 6의 통항선박 항적 분포 입력화면 .....	56
<그림 4-10> Leg 8의 통항선박 항적 분포 입력화면 .....	57
<그림 4-11> 대상 해역 수심 설정 .....	58
<그림 4-12> 울산항 해역 Leg별 충돌 및 좌초 위험도 분석 .....	60
<그림 4-13> 울산항 해역 해상교통류 시뮬레이션 .....	60
<그림 4-14> ES Model 평가 결과 .....	61
<그림 4-15> 대상해역의 해양사고 분포도 .....	62
<그림 4-16> 선종별 해양사고 현황 .....	64



# A Primary Study on the Development of Evaluation Model for Marine Traffic Safety Assessment

*Kim, Dae Won*

*Department of Marine Traffic Information  
Graduate School of Korea Maritime University*

## Abstract

Collision between Xing Guang No.7 and Neo Blue which happened in front of the Incheon lock gate indicates that Korean coastal water is classified as dangerous area due to heavy traffic in confined waters. This may lead to severe accident such as collision, grounding, sinking and environmental pollution.

According to the Marine Traffic Safety Law, revised in 2009, Marine Traffic Safety Diagnosis System is introduced to secure the safe navigation, prevent the marine accident and to maximize the efficiency of the port. The diagnosis system aims to investigate, measure and evaluate the effect of the various development project such as the construction of bridge and/or piers, etc. and to reflect the diagnostic results for the safe navigation.

In the process of this system, the most important part is the marine traffic safety assessment, and evaluation model is required in order to implement the assessment.

However, the evaluation model used in Korea is highly limited, and these models are made in foreign countries such as Japan. There are some problems to apply these models to Korean coastal waters. So the development of the proper evaluation model for Korea is required as early as possible.

The purpose of this research is implementing marine traffic assessment of Korean coastal waters by using ES(Environmental Stress) model which is formal assessment model for marine traffic flow simulation in the Diagnosis System and IWRAP(IALA Waterway Risk Assessment Program) recommended by IALA, and analyze the results for the basic reference to develop independent evaluation model.

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

2008년 부산 남외항 모박지에서 발생한 화물선 비제이킹호와 화물선 오션리더호의 충돌 사고, 2009년 인천 갑문 앞에서 발생한 화물선 싱광7호와 폐기물 운반선 네오블루호의 충돌 사고 등에서 보는 바와 같이 우리나라 연안 해역은 좁은 선박통항 수역과 많은 선박 교통량으로 인하여 해양사고 발생 위험이 높다. 또한 지속적인 물동량 증가로 인한 선박 교통량 증가와 선박의 대형화 및 해상교량을 포함한 항만 확장으로 정해진 수역에 항행밀도가 지속적으로 높아져 결국 충돌, 좌초, 침몰 등의 해양 사고로 이어질 수 있으며 대규모 해양 오염으로 심각한 환경 파괴로도 이어질 수 있다.

이에 2009년에 개정된 해상교통안전법에 따라 해상교통 안전진단제도를 도입하여 해상 교량 및 항만 건설 등의 각종 개발 사업이 항행 안전성에 미치는 영향을 사전에 조사, 측정 및 평가하고 그 결과를 설계에 반영함으로써, 선박 통항 안전의 확보, 해양 사고의 예방 및 항만의 효율성을 극대화할 수 있게 되었다.

이러한 해상교통 안전진단제도 중 가장 중요한 부분이 해상교통 환경이 통항 선박에게 미치는 영향을 평가하는 것이고, 이러한 안전 여부를 평가하기 위해서는 적정하게 평가를 할 수 있는 지표가 반드시 필요하다.

하지만 해상교통 안전 여부를 평가하기 위하여 우리나라에서 사용하는 평가 모델이 제한적이며, 주로 사용되고 있는 모델의 경우에도 일본 등 외국에서 개발한 모델로 우리나라 기상·해상 상황과 선박운항자 등이 상이하여 우리나라 실정에 그대로 적용하는 것이 타당한 것인지에 대한 검토가 필요하다.

이 연구의 목적은 현재 해상교통 안전진단제도의 교통류 시뮬레이션에서 규정하고 있는 선박운항자의 주관적 위험도를 수치화·정량화 한 모델인 환경스트레스(Environmental Stress) Model과 IALA(International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)에서 추천하고, 선박의 충돌·좌초 위험 확률을 산출하는 정량적 평가모델인 IWRAP(IALA Waterway Risk Assessment Program)을 이용하여 국내 연안 해역의 해상교통 안전성 평가를 실시하고, 그 결과를 분석하여 우리나라 해역에 적합한 평가 모델 개발 또는 적용을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 1.2 연구의 방법

해상교통 안전진단제도 및 해상교통 안전성 평가에 대하여 조사·분석하여 해상교통 안전성 평가모델에 대한 중요성을 도출하고, 평가모델의 종류 및 특성에 대하여 조사한다. 이 모델 중 선박운항자의 위험도를 정량화·수치화 하고 해역별 위험도를 시각적으로 표시할 수 있는 IWRAP 및 ES Model을 이용하여 우리나라 연안 해역에서 위험도가 높은 해역 중 하나인 울산항 해역[1]에 대한 평가를 실시하여 그 결과를 비교·분석하고자 하며 각 장의 구성은 다음과 같다.

제2장은 “해상교통 안전진단제도의 개념과 절차”로 해상교통의 개념, 안전 및 진단에 대한 용어 정리와 해상교통 안전진단제도에 대한 조사를 한다.

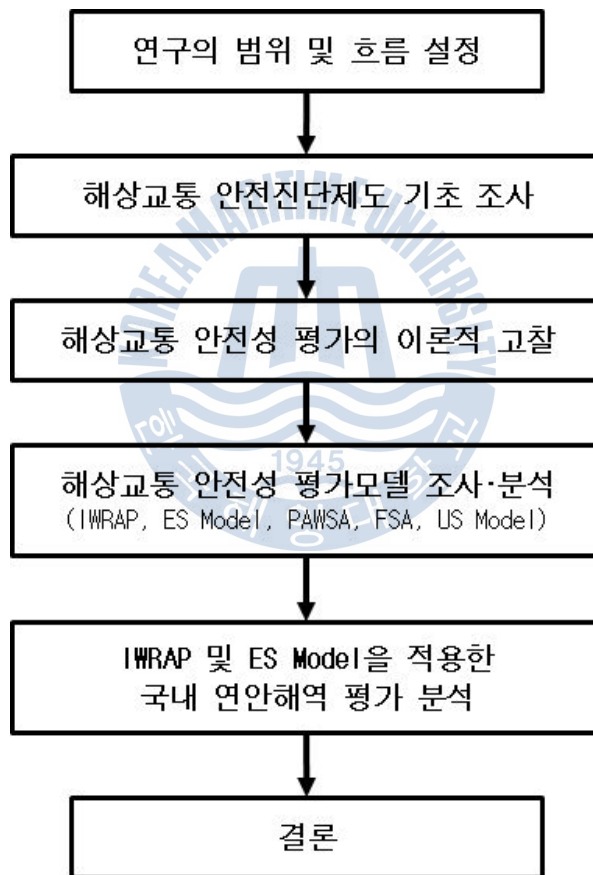
제3장은 “해상교통 안전성 평가 절차 및 평가모델 조사”로 해상교통 안전성 평가에 대한 개념 및 절차, 평가모델에 대하여 기술하였다. 이 중 이번 연구에 사용될 IWRAP과 ES Model을 포함한 해상교통 안전성 평가모델을 조사하고 적용사례를 분석한다.

제4장은 “IWRAP 및 ES Model을 활용한 울산항 해역 해상교통 안전성 평

가”로 평가 적용 대상으로 국내 해역의 울산항을 선정하고 IWRAP 및 ES Model을 이용하여 해상교통 안전성 평가를 실시하고 그 결과를 분석하여, 해양사고 통계 자료와 함께 비교·분석한다.

제5장은 이 연구에서 도출된 결론으로 구성한다.

연구의 흐름을 도식화하면 <그림 1-1>과 같다.



<그림 1-2> 연구의 흐름

## 제 2 장 해상교통 안전진단제도의 개념과 절차

이 장에서는 해상교통 안전진단제도의 구성 단어에 대한 사전적 의미와 학문적 의미에 대한 개념을 조사하고, 해상교통 안전진단제도의 개념 및 절차에 대하여 조사하고자 한다.

### 2.1 해상교통 안전진단의 용어 정의

#### 2.1.1 해상교통의 개념

교통(交通)이란 보통 사람과 물건의 이동으로 공간에 있어서 거리의 극복행위라고 정의되고 하고, 인간사회에 있어서 개별 주체가 각각의 가치기준에 기초하여 사람, 물건, 정보의 장소적 이동을 통하여 가치실현을 도모하는 실제과정이라고도 정의된다. 또한 교통은 역사적으로 볼 때 재화와 용역뿐만 아니라 사상까지 교류될 수 있는 토대를 마련하기 때문에 사회 성장에 커다란 공헌을 해왔다고 말하고 있다.[2]

해상교통은 앞서 언급한 교통의 정의에 교통수단으로서 선박이 관여하는 것이다. 해상교통에서는 보통 1척의 선박이 통항하는 것을 교통이라고 하지는 않는다. 해상교통이라는 용어를 사용할 경우는 다수의 선박이 통항하는 경우에만 적용되며, 선박과 선박의 교행관계는 2척 뿐만 아니라 3척 이상의 경우에도 발생한다. 해상교통에 있어 이와 같이 복수의 선박이 이동하는 과정에 발생하는 통항 안전의 저해가 가장 큰 문제라고 볼 수 있다.[3]

#### 2.1.2 안전의 개념

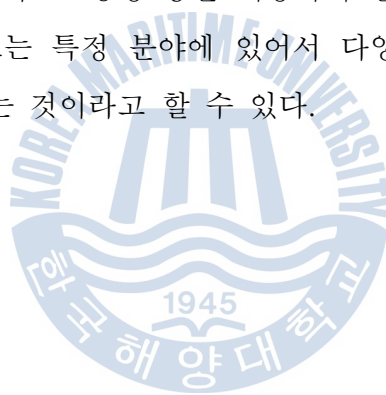
안전(安全)이란 안정하게 하여 위험하지 않은 상태가 완전한 상태에까지 이르

고 있고, 다시 결핍되는 것이 없는 모양을 나타내는 것이라고 할 수 있으며, 이는 “재난과 위험이 실제로 존재하지 않는 것”을 뜻하고 있다.[4] 즉, 안전하다는 의미는 인명, 재료, 설비 및 제품의 손해와 손상을 받지 않으며, 위의 결과로 생긴 생산 공정의 차질에 의한 손실 등이 발생하지 않았거나 앞으로도 발생할 우려가 없는 상태를 뜻하는 것이다.

해상에서의 안전이란 해상 수송, 어업 활동, 레저 등의 해상 활동에 안전의 개념을 접목시켜 인명, 선박, 화물의 손실을 입지 않는 상태라고 할 수 있다.

### 2.1.3 진단의 개념

진단(診斷)의 사전적 의미는 “증상 등을 이용하여 환자의 병명을 식별해 내는 것”이다.[5] 넓은 의미로는 특정 분야에 있어서 다양한 자료 수집 및 분석을 통하여 문제점을 파악하는 것이라고 할 수 있다.



## 2.2 해상교통 안전진단제도

### 2.2.1 해상교통 안전진단의 개념

2009년 11월 28일 발효된 해상교통안전법 개정안에서는 해상교통 안전에 영향을 미칠 수 있는 사업을 시행하기 전에 해상교통 안전진단을 시행하도록 아래와 같이 법제화 하였다.

#### □ 해상교통안전법 제2조(정의)

"해상교통안전진단"이란 해상교통안전에 영향을 미치는 다음 각 목의 사업으로 발생할 수 있는 항행안전 위험 요인을 전문적으로 조사·측정 및 평가하는 것을 말한다.(2009.11.28 시행)

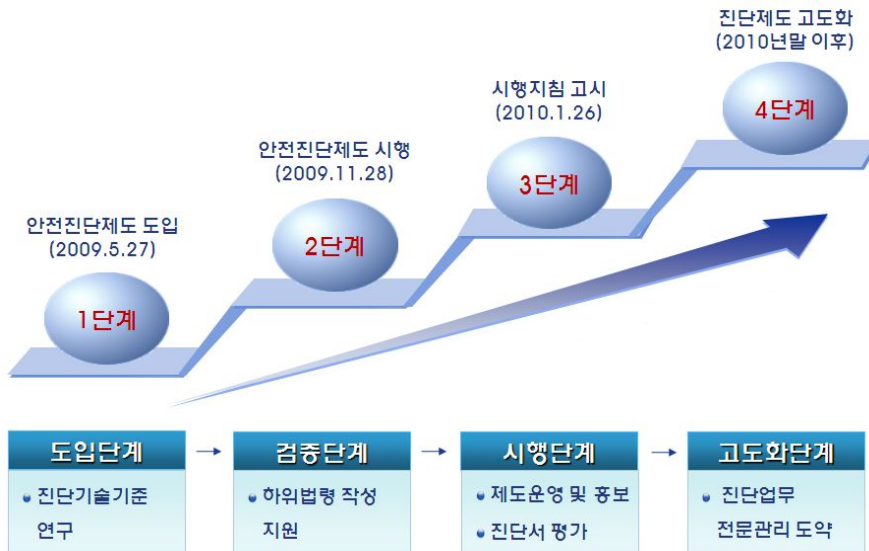
- 가. 수역의 설정 또는 변경
- 나. 수역에 설치되는 교량·터널·케이블 등 시설물의 건설·부설 또는 보수
- 다. 항만 또는 부두의 개발·재개발
- 라. 그 밖에 해상교통 안전에 현저한 영향을 미치는 사업으로서 국토해양부령으로 정하는 사업

#### □ 해상교통안전법 제6조의2 (해상교통안전진단)

진단대상사업을 하려는 자는 국토해양부령으로 정하는 진단기준에 따라 해상교통안전진단을 실시하여야 한다.

단계별 시행 내용은 <그림 2-1>과 같이 2009년 5월 안전진단제도 도입을 시작으로 검증 및 시행단계를 거친 다음 2010년 이후 고도화 단계로 진입하는 것을 목표로 하고 있다.





출처 : 해상교통안전성 평가모델 기술개발, 2010

### <그림 2-1> 해상교통안전진단제도의 법제화 및 발전 계획

본 개정안에서 해상교통 안전진단이란, “진단대상사업으로 발생할 수 있는 항행안전 위험요인을 전문적으로 조사·측정 및 평가하는 것” 이라고 규정하고 있다. 즉, <그림 2-2>와 같이 해상 통항로에 설치되는 각종 항만시설물과 사회 기반 시설물의 설치 및 보수공사 등이 선박의 안전항해에 미치는 정도를 사전 평가하도록 하는 제도를 해상교통안전법 개정을 통하여 도입한 것이다.[6]

해상교통안전진단을 통해 얻을 수 있는 이점은 다음과 같이 크게 3가지로 구분할 수 있다.

- (1) 선박의 통항안전 확보로 인한 해양사고 발생 위험률 감소
- (2) 선박안전성 및 수역이용도를 고려한 항만의 효율성 극대화
- (3) 해양사고 발생요인의 차단을 통한 경제적 이익



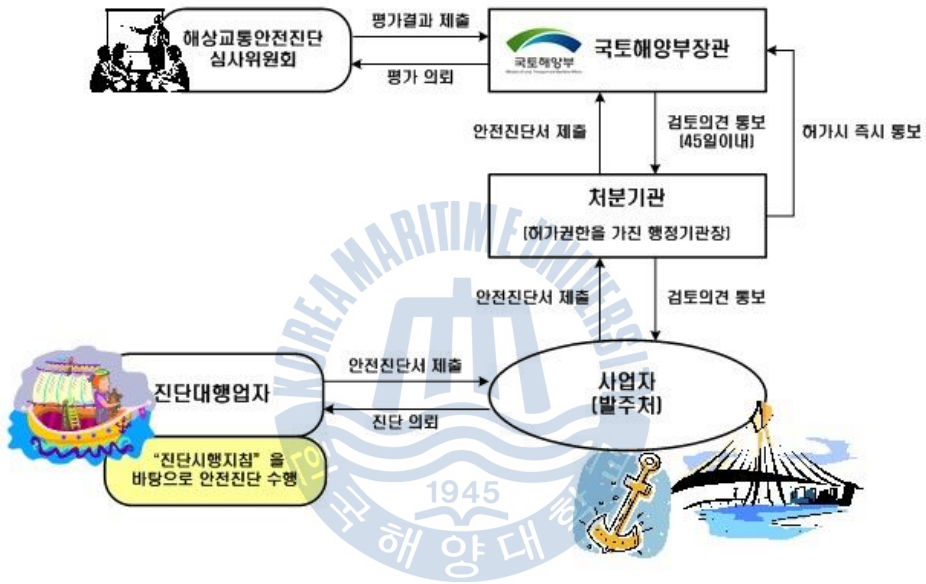
출처 : 해상교통안전진단제도 및 기술기준 소개, 2009

<그림 2-2> 해상교통안전진단의 개념

안전진단 과정은 안전문제의 예방이 단순한 치료방법 이상으로 효과적이라는 점에서 그 필요성이 강조되고 있다. 일반적으로 진단의 수행 시기가 빠를수록 안전성을 확보할 수 있고, 비용도 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다.[7]

## 2.2.2 해상교통 안전진단 절차

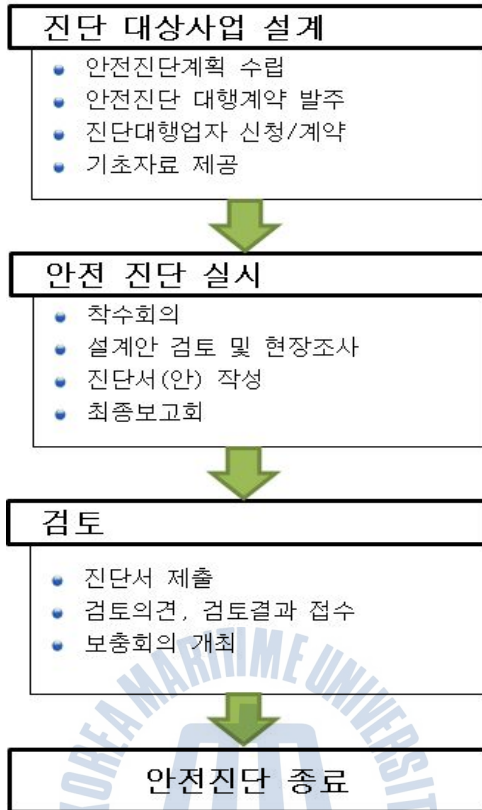
해상교통 안전진단의 체계는 <그림 2-3>과 같다. 대상 해역의 사업자는 우선 계획 수립, 안전진단 대행 계약 등의 해상교통 안전진단 대상 사업의 설계를 하고 안전진단 대행업자에게 기초자료를 제공한다. 안전진단 대행업자는 설계안 등의 기초자료를 검토하고 현장조사 및 안전성 평가를 실시하여 진단 보고서를 작성하여 사업자에게 제출하고 다시 처분기관 및 국토해양부의 검토를 거쳐 안전진단을 종료하게 된다.



출처 : 해상교통안전진단제도 소개, 2010

<그림 2-3> 해상교통 안전진단의 체계

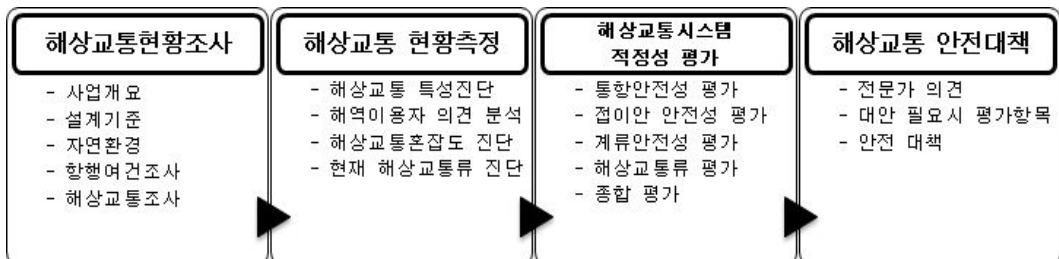
해상교통 안전진단 절차는 <그림 2-4>와 같이 대상 해역 사업자에 의한 기초 자료 준비, 대행업자에 의한 안전진단, 관계 기관의 검토를 통하여 이루어진다. 해상교통 안전진단 절차에서 중요한 부분은 사업 대상 해역의 설계안의 안전성 여부를 확인할 수 있는 해상교통 안전성 평가라고 할 수 있다.



출처 : 해상교통안전성 평가모델 기술개발, 2010

<그림 2-4> 해상교통 안전진단의 절차

해상교통 안전진단의 세부 평가항목으로는 <그림 2-5>와 같이 해상교통 현황조사, 해상교통 현황측정, 해상교통시스템 적정성 평가, 해상교통 안전대책으로 구성된다.



출처 : 해상교통안전진단제도 소개, 2010

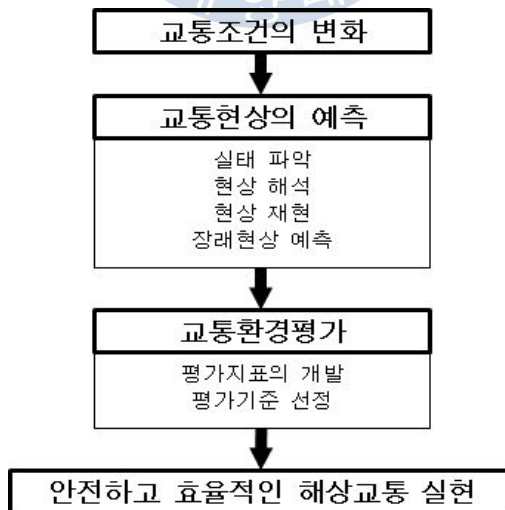
<그림 2-5> 해상교통 안전진단 평가항목

# 제 3 장 해상교통 안전성 평가 절차 및 평가모델 조사

## 3.1 해상교통 안전성 평가의 개념

해상교통 안전성 평가는 교통의 흐름과 실태를 자세히 파악하고, 선박의 행동을 통계적으로 또는 해석적으로 표현하고 평가하는 작업이다.[1] 평가 결과를 이용하여 항로 및 항만의 시설 개선 향상에 이바지하기 때문에 해상교통공학 분야에서 매우 중요한 부분을 차지한다고 할 수 있다.

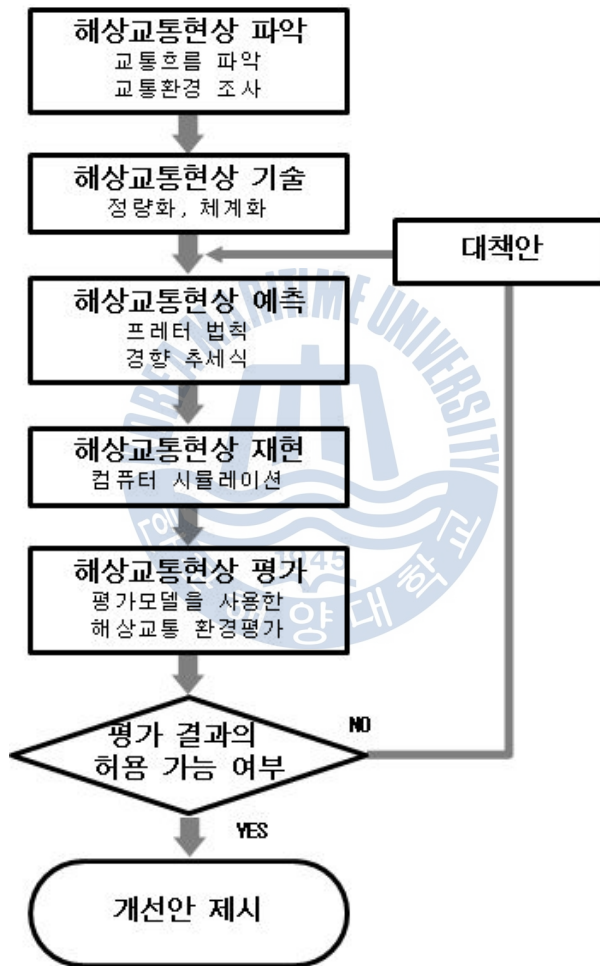
해상교통 안전성 평가를 통하여 대상 해역의 현재 안전성을 평가할 수 있을 뿐만 아니라 미래에 대한 예측된 해상교통 현상을 평가하고 현재의 상태와 비교할 수 있다. 예를 들어, 어떤 항만에 환경적인 변화가 주어진다면 반드시 그에 따르는 교통류의 변화가 있다. 이러한 변화를 정확히 예측하여 현재의 상태와 비교·평가하고, 결과를 분석할 수 있다면 항만운영정책 시행에 있어 야기될 수 있는 시행착오를 상당히 줄일 수 있다. 이러한 일련의 흐름을 정리하면 <그림 3-1>과 같다.



<그림 3-1> 평가의 흐름도

### 3.2 해상교통 안전성 평가 절차

해상교통 안전성 평가 절차는 <그림 3-2>와 같이 해상교통 현상의 파악, 기술, 예측, 재현, 평가의 5단계로 이루어지며, 최종적으로 현재 상태에 대한 평가 결과의 허용 가능 여부를 확인하거나 예측 평가와의 비교를 통하여 해상교통 및 항행공간에 대한 개선안을 제시한다.



<그림 3-2> 해상교통 안전성 평가 절차

### 3.2.1 해상교통현상 파악

현 상황에 존재하는 해상교통현상을 관측 등에 의하여 조사하는 단계이며, 모든 기초 자료를 얻어내는 평가의 가장 기본이 되는 단계이다.[2]

해상교통현상 조사 및 분석은 일정 해역의 선박 교통상황을 조사하여 그 자료를 수집하고 분석하여 예측하는 과정이다. 일정 해역의 항로는 오랜 세월에 걸쳐 크기와 성능이 비슷한 선박이 통항하는 길로서 자연스럽게 항로가 형성되어 있다. 선박이 이용하는 항로와 해상교통량 조사 및 분석에서 해상교통시스템의 설계와 평가, 사고예방 시스템의 설계와 평가를 위한 기초 자료를 얻을 수 있으며, 추가 건설되거나 신규 건설될 부두가 선박 통항에 어떠한 영향을 미칠 가능성이 있는지 예측할 수 있다. 따라서 해상교통량 조사는 현행의 교통량에 대한 정량적 평가는 물론 통항선박의 행동을 예측하고 장래의 교통량을 추정하는 중요한 기초 자료로 이용된다.

### 3.2.2 해상교통현상 기술

조사된 해상교통현상을 정량적으로 체계화하는 단계로 교통현상의 재현과 장래에 대한 예측에 꼭 필요한 단계이다. 체계화할 요소로는 항행하는 선박의 시간적, 공간적 특성에 관한 것 등이 있다.

교통을 수량적으로 표현하고자 한다면, 철도 등과 같이 시각표에 의하여 정확히 움직이고 있는 경우를 제외하면, 사람의 흐름, 자동차나 선박의 움직임을 사회적 현상으로서 통계적으로 취급할 필요가 생긴다. 그리고 해상교통을 해석하는 데에는 항로를 항행하는 선박의 상호 작용은 미약하고 또한 서로 독립적이어서, 개개 선박의 항행을 일종의 확률 과정으로 고려한 확률 이론으로 해석하는 것이 일반적이다.

### 3.2.3 해상교통현상 예측

장래의 해상교통량을 예측하는 단계로서 프레터 법칙을 이용한 방법과 경향추세식을 이용한 방법 2가지로 크게 나눌 수 있다.[8] 지금까지는 경향추세식을 이용하는 방법이 주로 사용되고 있으며, 최근에는 각 선박 크기의 분류에 대한 실제 값과 예측 값의 오차가 가장 적은 방식인 4가지 고려요소(화물수송량, 수송량별 총톤수 비율, 선박 크기별 비율, 크기별 총톤수 비율)를 고려하는 방식으로 장래 척수를 예상하는 방법을 사용하고 있다.

### 3.2.4 해상교통현상 재현

해상교통에 관한 안전성 평가는 현재 상태에 대한 평가와 장래에 예측되는 상태 즉 현실에는 존재하지 않는 현상에 대한 평가로 나눌 수 있으며, 주로 장래 예측 현상에 대한 평가가 많다.

선박의 왕래가 빈번한 항만에 새로운 방파제가 설치된다고 가정할 경우, 이 방파제가 해상교통에 미치는 영향의 정도와 그 영향이 그 해역을 통항하는 선박운항자가 허용할 수 있는 것인지 아닌지에 대한 검증의 방법으로 해상교통에 관한 안전성 평가가 이루어지는 것이다. 따라서 안전성 평가에 앞서 해상교통현상의 변화를 정확히 예측하여 평가하여야 한다. 또한 만일 어떠한 해상에서의 교통류가 단순히 2개 정도의 통항경로대의 교차에 의하여 이루어져 있다면, 이러한 교통류는 재현의 과정을 거치지 않고도 간단하게 평가할 수 있을 것이다.

하지만 해상에서의 교통류는 이렇게 단순하지 않은 관계로 복잡한 교통류를 보다 신뢰성 있게 재현하기 위하여 컴퓨터에 의한 시뮬레이션 기법이 자주 사용되고 있다. 또한 시뮬레이션 기법은 교통현상 재현을 위하여 필요한 여러 가지 재현요소를 동시에 조합하여 하나의 교통현상으로 표현하는데 용이하다. 각



각의 재현요소에는 통항경로대, 통항척수, 통항간격(시간), 선종, 선형, 침로, 속도, 변침, 변속, 피항조선 등이 있다.

피항조선 모델을 구축할 때는 선박의 조종성이나 육상물표에 대한 고려도 함께 계산되고 있다. 그러나 평가의 목적에 따라서 피항조선 모델에서 그 재현의 정도도 틀러지며 피항조선 모델을 고려하지 않는 경우도 있다.[9]

### 3.2.5 해상교통현상 평가

재현된 교통현상 또는 정량적으로 기술된 교통현상을 평가하는 단계로 이 때 평가지표를 적용한다. 평가지표의 기준에 따라 해상교통 안전의 허용 가능성 여부를 판단하며, 안전 확보가 불가능할 경우 대안을 제시하여 예측 단계부터 다시 설정하여 절차를 반복한다. 평가 결과가 허용 가능할 경우에는 현재 상태의 평가와 예측 평가 결과를 이용하여 최종 개선안을 마련할 수 있다.

이 단계에서 적용되는 평가지표에 따라서 해상교통 관리에 필요한 대책과 해상교통의 안전성 향상 또는 선박운항자에게 가해지는 조선 곤란성의 감소 등의 분석 내용이 달라질 수 있으므로 상황에 맞는 적절한 선택이 필요하다.

### 3.3 해상교통 안전성 평가모델

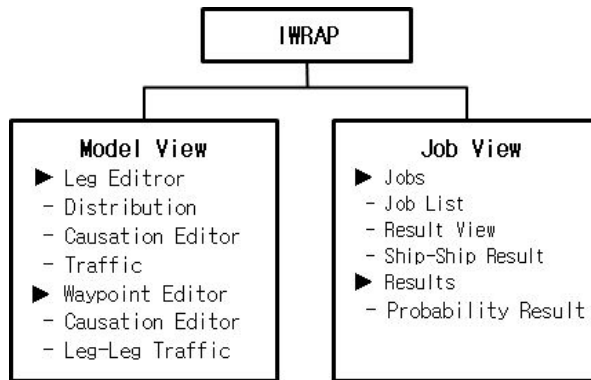
해상교통 안전성 평가에서 안전 여부 판단에 핵심적인 부분을 차지하고 있는 평가모델의 종류를 조사하고 각각의 장·단점을 분석하고자 한다.

#### 3.3.1 IWRAP

IWRAP은 “IALA Waterway Risk Assessment Program”의 약자로 선박의 충돌 및 좌초의 위험도를 산출하는 프로그램이다.[10] 1998년부터 2001년까지 실시한 덴마크 공과대학(Technical University of Denmark)의 ISESO Project에 의해 개발되었다. IWRAP은 다음에 소개할 PAWSA 모델과 함께 IALA에서 공식적으로 추천하고 있는 2종류의 해상교통 안전성 평가모델 중 하나이다.

주요 입력 요소로는 선박교통량 및 통항로 항적 분산 등의 교통조건과 수심, 항로폭 등 항로조건이 있으며 위와 같은 기초 자료를 입력하면 연간 충돌 발생 확률 및 좌초 발생 확률을 나타냄과 동시에, 프로그램에서 제공하는 지도상에 위험 정도를 색상별로 표시해준다.

IWRAP 프로그램은 <그림 3-3>과 같이 크게 선박 통항 기초 자료를 입력하는 Model View 및 확률 예측 결과를 조회하는 Job View의 두 가지 화면으로 구성되어 있다.



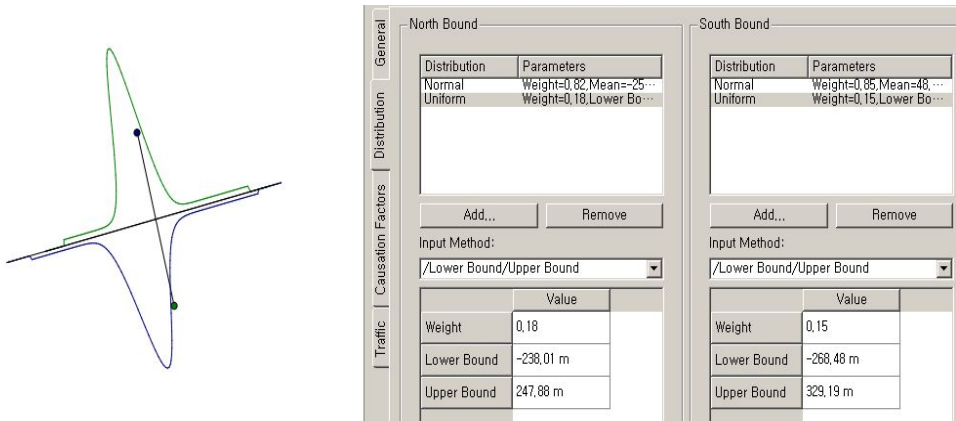
<그림 3-3> IWRAP 프로그램 화면 구성 내용

<그림 3-4> ~ <그림 3-9>는 Model View의 세부 입력 화면이다 <그림 3-4>는 IWRAP 프로그램에서 제공하는 지도에 Leg 및 수심을 설정한 결과 화면으로, Leg 및 Waypoint별 설정을 위한 기초 단계이다.



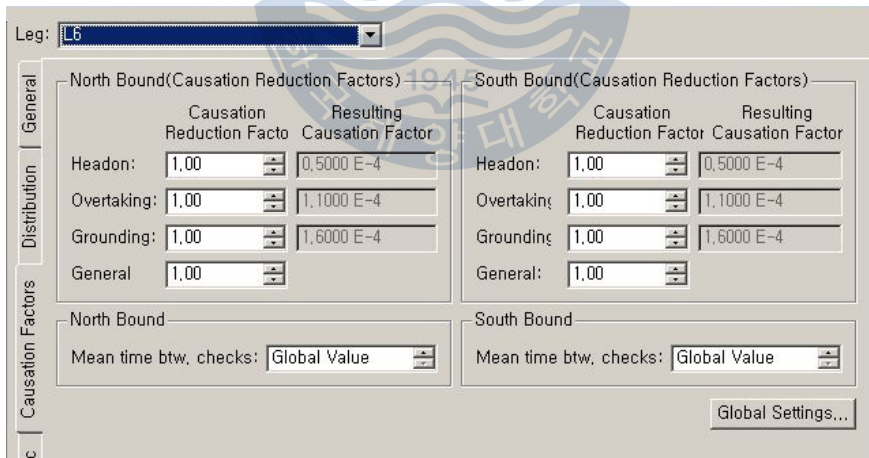
<그림 3-4> IWRAP Model View - Leg 및 수심 설정

<그림 3-5>는 Leg별 분산값을 입력하는 화면으로, 분포의 형태, 표준편차 등의 수치를 입력한다.



<그림 3-5> IWRAP Model View - Leg Editor (Distribution)

<그림 3-6>은 Leg별 충돌·좌초 확률 계산을 위한 계수 설정 화면이다. 충돌, 추월, 좌초 및 기타 사고에 관한 계수를 설정 할 수 있으며, IALA default 값이 기본으로 설정되어 있다. 평가 대상 해역에 따라 계수를 변경할 수 있다.



<그림 3-6> IWRAP Model View - Leg Editor (Causation Factor)

<그림 3-7>은 Leg별 연간 선박 통항량을 선종별, 길이별로 선박 통항량을 구분하여 입력하는 화면이다. IWRAP 프로그램에서는 선종별, 길이별로 선박 명세를 달리하여 좌초 및 충돌 확률에 적용하고 있다.

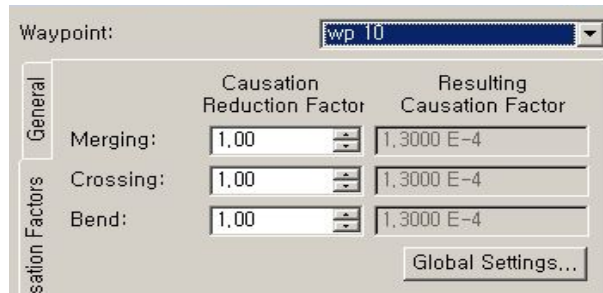
Traffic Volume Distribution Editor : North Bound								
Data Item:	Frequency		Traffic Volume Distribution: dB-1		Sum Adjusted Frequency:1286 Sum Frequency:1286			
	Crude oil tanker	oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	general cargo ship	Bulk carrier	Ro-Ro cargo ship
0-25	0	0	0	0	0	0	0	0
25-50	0	3	0	0	0	3	0	0
50-75	0	32	79	0	15	192	12	0
75-100	0	101	58	0	32	315	4	0
100-125	0	8	2	0	104	19	8	0
125-150	0	0	3	0	1	5	0	0
150-175	0	1	1	0	6	0	6	0
175-200	0	0	0	0	4	0	7	0
200-225	0	0	0	0	0	0	0	0
225-250	0	0	0	0	0	0	0	0
250-275	0	0	0	0	0	0	0	0
275-300	0	0	0	0	0	0	0	0

<그림 3-7> IWRAP Model View - Leg Editor (Traffic)

<그림 3-8>은 3개 이상의 Leg이 병합하는 Waypoint에서의 교통량 비중 설정 화면이다. 교통량 비중 설정은 입력된 교통량을 기초로 한 자동 비중 설정과 사용자에게 의한 수동 설정의 두 종류로 구성되어 있다.

<그림 3-8> IWRAP Model View - Waypoint Editor (Leg/Leg Traffic)

<그림 3-9>는 3개 이상의 Leg이 병합하는 Waypoint에서의 충돌 확률 계수 설정 화면이다. Leg Editor 계수 설정과 마찬가지로 IALA default값을 기본으로 설정하고 있다.



<그림 3-9> IWRAP Model View - Waypoint Editor (Causation Factor)

<그림 3-10> ~ <그림 3-13>은 Job View의 세부 입력 화면이다. <그림 3-10>은 기존에 실행한 모든 시뮬레이션 목록을 표시하는 Job List이다.

State	Name	Algorithm	Model	Started	Completed
Completed		Incident v1.0	frederiksstad ...	화 11 23 12:24:...	화 11 23 12:24:18 2010
Completed	논문 첨부용	Incident v1.0	?????20101028...	목 10 28 18:46:...	목 10 28 18:46:43 2010
Completed	24시	Incident v1.0	?????20101028...	목 10 28 17:03:...	목 10 28 17:03:59 2010
Completed	20시	Incident v1.0	?????20101028...	목 10 28 11:41:...	목 10 28 11:41:27 2010
Completed		Incident v1.0	?????20101028...	목 10 28 09:54:...	목 10 28 09:55:07 2010
Completed		Incident v1.0	?????20101028...	목 10 28 09:50:...	목 10 28 09:50:46 2010
Completed	18시	Incident v1.0	?????20101028...	목 10 28 09:46:...	목 10 28 09:47:09 2010
Completed		Incident v1.0	ULSAN_KDW( ...	수 10 27 11:55:...	수 10 27 11:55:37 2010
Completed	6노트	Incident v1.0	ULSAN_KDW( ...	수 10 27 11:52:...	수 10 27 11:52:10 2010

<그림 3-10> IWRAP Job View - Job List

<그림 3-11>은 Job List상의 특정 시뮬레이션 결과를 위험도에 따라 다른 색상으로 표시하여 시각적으로 구분할 수 있게 한 Result View이다.



<그림 3-11> IWRAP Job View - Result View

<그림 3-12>는 사고 유형별로 선종간의 사고 확률을 표시하는 Ship-Ship Result이다.

Item	Crude oil tanker	Oil products tanker	Chemical tanker	Gas tanker	Container ship	General cargo ship	Bulk carrier
Crude oil tanker		1.80584e-08	1.71362e-08		2.24173e-08	6.44813e-08	6.65491e-09
Oil products tanker	1.80584e-08		2.09695e-05		2.52104e-05	8.37017e-05	7.31922e-06
Chemical tanker	1.71362e-08	2.09695e-05		1.90719e-05	2.3303e-05	7.65407e-05	6.79463e-06
Gas tanker							
Container ship	2.24173e-08	2.52104e-05	2.3303e-05			2.79519e-05	9.27829e-05
General cargo ship	6.44813e-08	8.37017e-05	7.65407e-05		9.27829e-05		0.000309785
Bulk carrier	6.65491e-09	7.31922e-06	6.79463e-06		7.88242e-06	2.67888e-05	
Ro-Ro cargo ship							
Passenger ship	4.58978e-10	2.34649e-06	2.14477e-06		2.61619e-06	9.05804e-06	7.54715e-07
Fast ferry		1.29402e-07	1.18471e-07		1.33075e-07	4.99496e-07	4.29872e-08
Support ship	8.02742e-09	1.24508e-05	1.12601e-05		1.39102e-05	4.66215e-05	4.05366e-06

<그림 3-12> IWRAP Job View - Ship-Ship Result

<그림 3-13>은 충돌 및 좌초 확률 종합 결과를 표시하는 Probability Result이다.

		Unit
Powered Grounding	1.53535	Incidents/Year
Drifting Grounding	0.131029	Incidents/Year
Total Groundings	1.66638	Incidents/Year
Overtaking	0.000369556	Incidents/Year
HeadOn	0.00168456	Incidents/Year
Crossing	5.5415e-05	Incidents/Year
Merging	1.05215e-05	Incidents/Year
Bend	0.000369947	Incidents/Year
Area	1.8446e-08	Incidents/Year
Total Collisions	0.00249002	Incidents/Year

<그림 3-13> IWRAP Job View - Result View

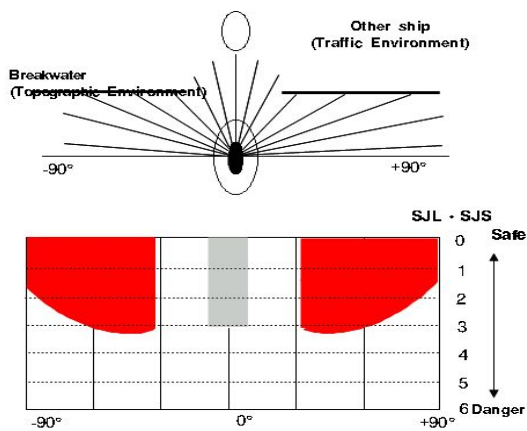
IWRAP은 선박 통항 데이터를 바탕으로 객관적이고 정량적인 평가를 할 수 있다는 장점을 가진 동시에, 프로그램의 확률 산출 방법에 대한 구체적인 설명이 부족하고, 선박 통항 항적이 복잡할 경우 평가에 어려움이 있다는 단점이 있다.

### 3.3.2 ES Model

선박운항자가 느끼는 곤란감을 평가하는 모델로, “환경(Environment) 스트레스(Stress) 모델”이라고 한다. 환경 스트레스 모델은 본선을 둘러싸고 있는 주변 환경을 조선환경과 교통 환경으로 구분하고, 이 두 환경이 선박운항자에게 가해지는 부하의 정도를 정량적으로 평가하기 위해 개발된 모델이다.[2] 해상 교통 안전진단체도의 해상교통 안전성 평가에서 가장 많이 사용되고 있는 모델이다.

주어진 환경에서 잠재하는 위험이 가시화 되어 선박운항자가 받는 환경스트레스의 크기를 “환경 스트레스치”라 하고, 이 환경 스트레스치는 지형이나 시설물 등 조선환경에 기인하는 스트레스의 크기인 “조선환경 스트레스치(Land of ES value,  $ES_L$ 치)”와 타 선박에 기인하는 스트레스의 크기인 “교통 환경 스트레스치(Ship of ES value,  $ES_S$ 치)”로 구성되며, 2가지 스트레스치를 종합하여 “종합환경 스트레스치(Aggregation of ES value,  $ES_A$ 치)”라고 한다.

종합환경 스트레스의 개념은 <그림 3-14>와 같이 선박운항자 기준 전방 180도에 해당하는 영역을 평가 대상영역으로 설정하고, 그에 따른 위험 정도를 수치화 하여 평가한다.



출처 : 해상교통공학, 2001

<그림 3-14> 종합환경스트레스( $ES_A$ )치 개념도

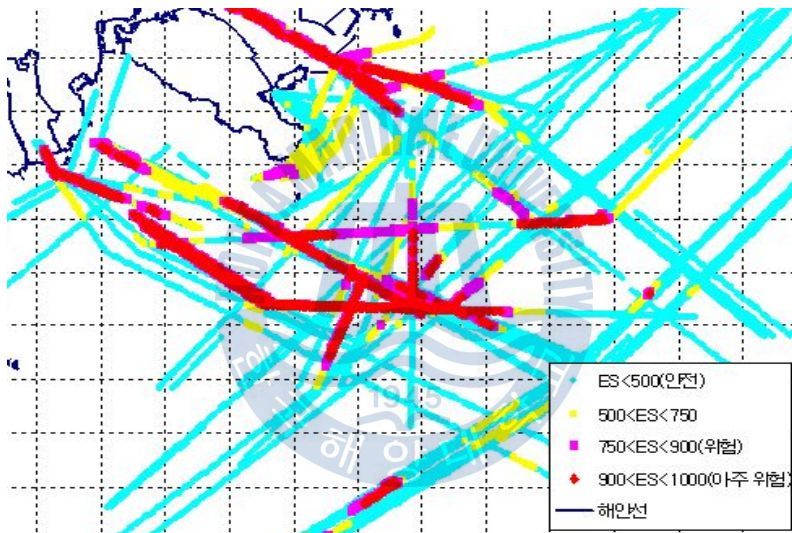


ES Model을 이용한 국내·외 평가사례는 아래와 같다.

## (1) 국내 해상교통 환경평가 사례

### 1) 부산항 인근 해역

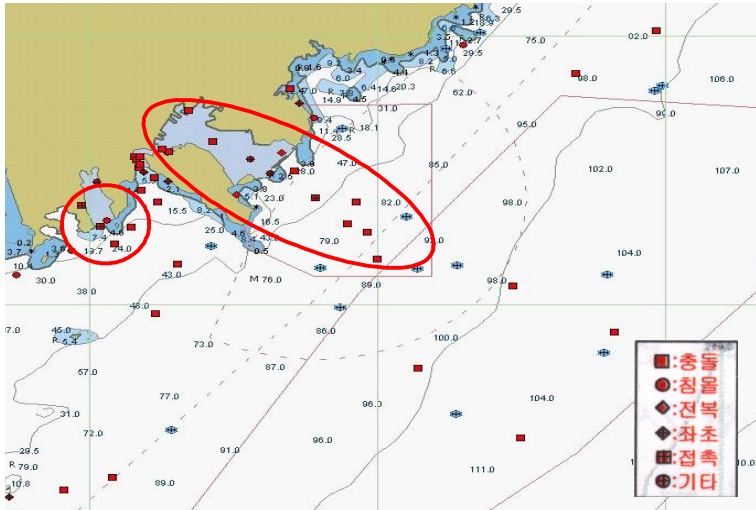
<그림 3-15>는 부산항 입출항 선박 및 인근해역을 통항하는 선박으로 인한 동 해역의 해상교통 환경 평가를 ES Model을 이용하여 실시한 사례이다.[11] 그림에서 붉은색으로 표시된 부분이 위험도가 높은 해역으로 북항 입출항 항로, 감천항 입출항 항로 및 대한해협 통항선박과 한일항로 통항선박이 교차하는 해역의 교통량이 많고 위험도가 높은 곳으로 분석되었다.



출처 : 부산항 인근해역 해상교통 환경평가 연구보고서, 2006

<그림 3-15> 부산항 인근 해역 해상교통 환경평가 사례

<그림 3-16>은 2001년부터 2005년까지 5년간의 동 해역 해양사고를 조사한 자료이다. ES Model에 의한 평가 결과와 비교하면 북항 입출항 항로 및 감천항 입구에서의 위험성이 유사한 것을 알 수 있다.

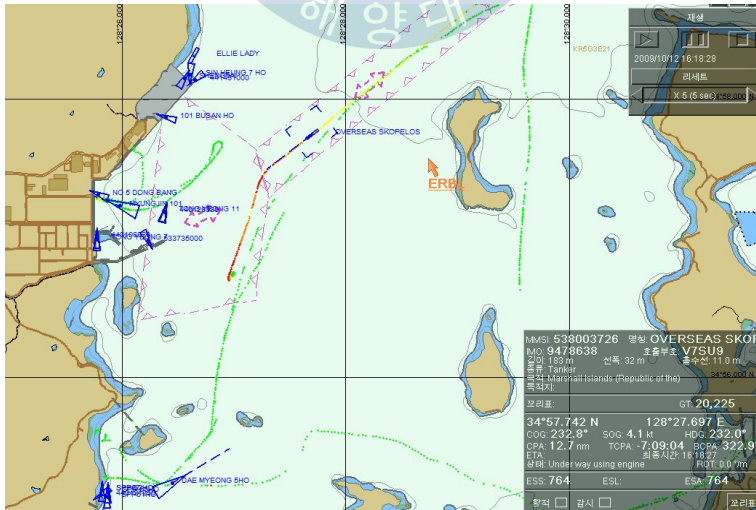


출처 : 부산항 인근해역 해상교통 환경평가 연구보고서, 2006

<그림 3-16> 부산항 인근해역 해양사고 조사 결과

2) 통영 안정항 인근 해역

<그림 3-17>은 통영 안정항 인근 해역의 통항선박의 환경스트레스 정도를 AIS 교통 데이터를 기초로 하여 시각적으로 표현한 사례이다.[12] 여수·광양항 해상교통 환경평가, 목포항 해상교통 환경평가, 인천항 해상교통 환경평가 사례도 동일한 방법으로 위험한 해역을 시각적으로 구분할 수 있게 하였다.



출처 : 해상으로부터 LNG 선박 및 하역시설 보호를 위한 안전성평가 연구보고서, 2010

<그림 3-17> 통영 안정항 인근 해역 해상교통 환경평가 사례

하지만, ES Model은 일본에서 개발된 모델인 관계로 국내 선박운항자의 위험의식이 반영되어 있지 않고, 항계 내 및 항계 밖 연안 항해 시 적용하는 위험도가 동일하다는 문제점이 있다.[13]

## (2) 국외 해상교통 환경평가 사례

### 1) 일본 Tobata항 야간 입출항 안전성 평가

일본 간몬해협에 있는 Tobata항의 야간 입출항 안전성을 평가하기 위하여 ES Model을 적용하였다. 적용 결과, <그림 3-18>과 같이 조선이 어려운 해역의 식별이 가능하였다.[14]

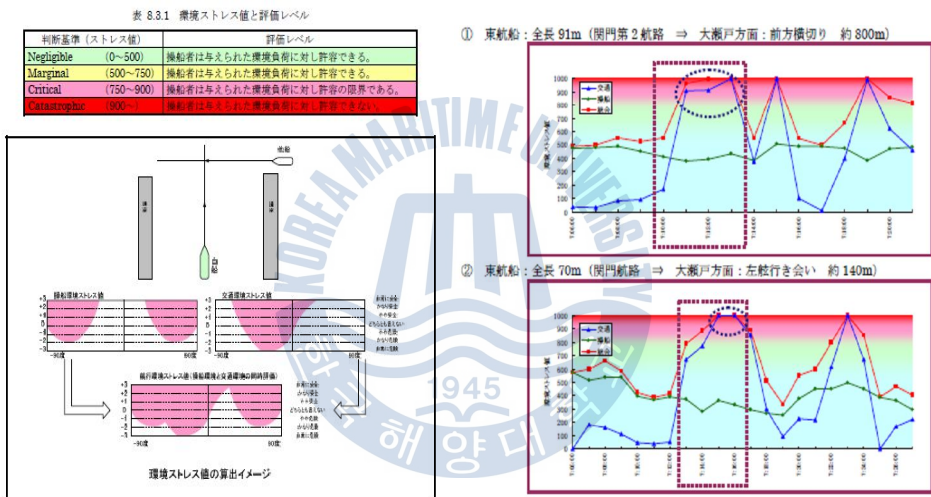


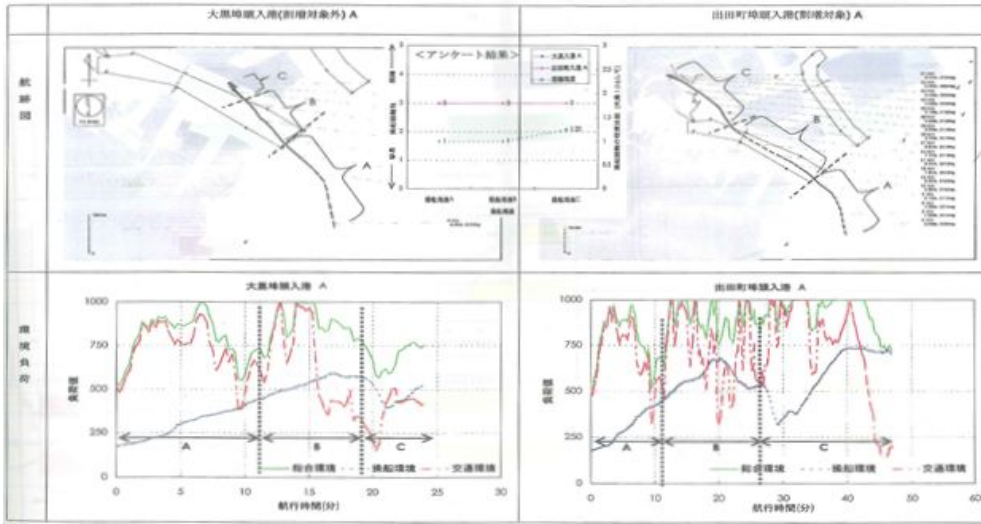
図 8.3.1 環境ストレス値の算出イメージ

출처 : 戸畑泊地大形船夜間入出港に伴う 船舶航行安全対策 調査, 2004

### <그림 3-18> 일본 Tobata항 야간 입출항 안전성 평가 사례

### 2) 일본 Yokohama항 항행안전성 검토

일본 Yokohama항의 도선료 적정성 검토 중 항행안전성 검토를 위하여 ES Model을 사용하였다. <그림 3-19>와 같이 선박운항자의 주관적 위험도는 동일한 값이지만 안쪽에 있는 항만으로 접근시 선박조종의 어려움을 느끼고 있는 것을 식별할 수 있다.[13]



출처 : 해상교통안전성 평가모델 기술개발, 2010

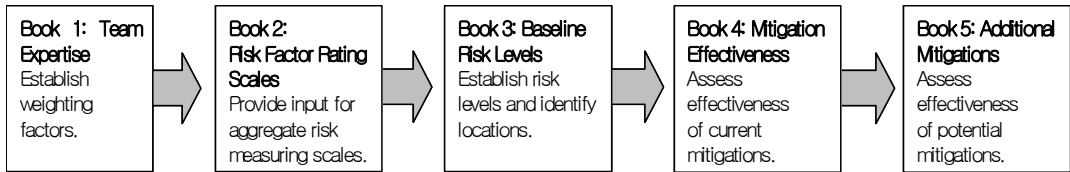
<그림 3-19> 일본 Yokohama항 항행안전성 검토 사례

### 3.3.3 PAWSA

PAWSA는 “Ports And Waterway Safety Assessment”의 약자로 해상교통 안전성 확보를 위하여 미국에서 개발한 평가모델이다.[15] 미국 연방법 CFR(Code of Federal Regulations), Title 33(Navigation and Navigable Waters)에 “선박 안전항해를 위해 항행수역에 인접한 구조물 등은 해역이용자와 협의 하여야 한다.”라고 규정되어 있다.

PAWSA 평가 방법은 조지 워싱턴 대학(George Washington University)의 Dr. Jack Harrald와 버지니아 대학(Virginia Commonwealth University)의 Jason Merrick이 계층분석법(Analytical Hierarchy Process, AHP)을 사용하여 개발하였다.

PAWSA의 수행절차는 <그림 3-20>과 같이 5단계로 구성되어 있다.



<그림 3-20> PAWSA 5단계 수행 절차

- Book 1(전문가 그룹 구성) : 전문가 그룹을 구성하여 상, 중, 하로 구분하고, 각 그룹별로 전문성에 따라 가중치를 부여한다.
- Book 2(위험 항목의 평가 척도) : <그림 3-21>과 같이 24가지의 위험 항목을 정성적으로 기술한다. 최선의 상황부터 최악의 상황까지 범위를 두며, 그 사이에 두 단계의 상황을 추가로 설정한다.
- Book 3(위험 수준의 기준설정) : 항로의 위험 수준 기준은 Book 2에서 개발된 위험성 범위에서 결정하고, 각 항목의 위험 수준 결과는 항로상 위험을 완화하기 위하여 이전에 수행된 활동을 고려하지 않는다.
- Book 4(효과성 완화) : 두 가지의 목적으로 사용한다. 첫째는 모델에서 각 항목의 위험 수준을 완화하기 위한 전략의 효과성을 평가하기 위해 사용하고 평가 결과는 현재 위험 수준에 반영한다. 둘째는 위험성 완화 전략이 충분한 균형을 이루고 있는지를 결정하며, 어떤 주어진 위험 항목이 강력한 합의에 의해 현존하는 완화 방법을 수행하자고 한다면 위험항목은 향후 토론으로 가져간다.
- Book 5(추가적 완화 조치) : 특정 위험 경감 활동에 대해 아이디어를 제공하고, 향후 위험 수준의 경감 효과를 예측한다.

Fleet Composition	Traffic Conditions	Navigational Conditions	Waterway Configuration	Immediate Consequences	Subsequent Consequences
Percentage of High Risk Deep Draft	Volume of Deep Draft Vessels	Wind Conditions	Visibility Obstructions	Number of People on Waterway	Economic Impacts
Percentage of High Risk Shallow Draft	Volume of Shallow Draft Vessels	Visibility Conditions	Channel Width	Volume of Petroleum Cargoes	Environmental Impacts
	Volume of Fishing & Pleasure Craft	Tide & River Currents	Bottom Type	Volume of Hazardous Chemical Cargoes	Health & Safety Impacts
	Traffic Density	Ice Conditions	Waterway Complexity		

출처 : Port and Waterways Safety Assessment Workshop Report, 2009

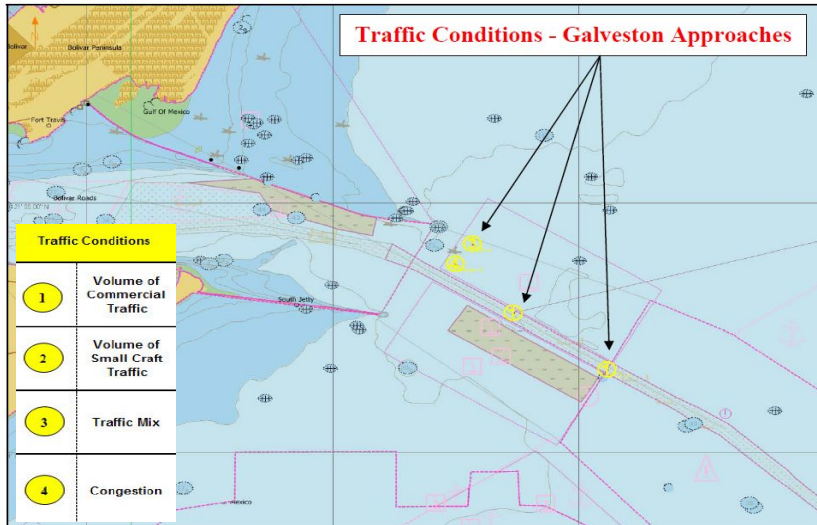
<그림 3-21> PAWSA 항만 위험성 모델

PAWSA를 이용하여 미국 Houston 및 Galveston 지역을 평가한 결과는 아래와 같다. <그림 3-22>와 같이 Book 3의 위험 기준을 설정하고 <그림 3-23>과 같이 대상 해역에서 위험도가 높은 지역을 해도에 표시한다.

Baseline Risk Levels					
Vessel Conditions	Traffic Conditions	Navigational Conditions	Waterway Conditions	Immediate Consequences	Subsequent Consequences
Deep Draft Vessel Quality	Volume of Commercial Traffic	Winds	Visibility Impediments	Personnel Injuries	Health and Safety
4.0	8.7	3.1	7.5	7.3	8.7
Shallow Draft Vessel Quality	Volume of Small Craft Traffic	Water Movement	Dimensions	Petroleum Discharge	Environmental
5.0	4.3	4.2	8.3	9.0	5.3
Commercial Fishing Vessel Quality	Traffic Mix	Visibility Restrictions	Bottom Type	Hazardous Materials Release	Aquatic Resources
8.4	7.0	3.4	2.7	8.7	6.9
Small Craft Quality	Congestion	Obstructions	Configuration	Mobility	Economic
4.6	6.9	5.0	8.4	8.5	9.0

출처 : Port and Waterways Safety Assessment Workshop Report, 2009

<그림 3-22> PAWSA에 의한 위험도 식별 결과



출처 : Port and Waterways Safety Assessment Workshop Report, 2009

<그림 3-23> PAWSA에 의한 위험 요소 표시 화면

Book 4의 위험 완화 방법을 적용한 결과는 <그림 3-24>와 같다.

Additional Interventions					
Vessel Conditions	Traffic Conditions	Navigational Conditions	Waterway Conditions	Immediate Consequences	Subsequent Consequences
Deep Draft Vessel Quality	Volume of Commercial Traffic	Winds	Visibility Impediments	Personnel Injuries	Health and Safety
Balanced	Balanced	Balanced	Waterway Changes 4.7	Balanced	Balanced
Shallow Draft Vessel Quality	Volume of Small Craft Traffic	Water Movement	Dimensions	Petroleum Discharge	Environmental
Coordination / Planning 2.9	Balanced	Balanced	Balanced	Balanced	Balanced
Commercial Fishing Vessel Quality	Traffic Mix	Visibility Restrictions	Bottom Type	Hazardous Materials Release	Aquatic Resources
Enforcement 6.5	Voluntary Training 4.7	Balanced	Balanced	Balanced	Balanced
Small Craft Quality	Congestion	Obstructions	Configuration	Mobility	Economic
Balanced	Coordination / Planning 4.4	Balanced	Coordination / Planning 4.2	Coordination / Planning 2.7	Coordination / Planning 3.2 Caution

출처 : Port and Waterways Safety Assessment Workshop Report, 2009

<그림 3-24> PAWSA에 의한 위험 수준 완화 결과

Book 5의 추가적인 위험성 완화 조치가 필요한 요소는 <그림 3-25>와 같이 각 항목별로 구체적인 언급을 한다.

Risk Factor	General Strategy	Specific Actions
Economic	Coordination/Planning	Allow flexibility for private industry to resolve the reduced functionality required for their purposes and economic survival.
Mobility	Coordination/Planning	Develop plan to address a completely blocked channel – Cooperative Business Continuity Plan; workflow and responsibilities required for contingencies such as Army Corps dredging a new channel or other alternatives to reopen the channel.
Active Traffic Management	Coordination/Planning	Expand the VTS Area to include existing fleeting area near the San Jacinto and Old River north to the I-10 Highway Bridge, Offshore Galveston Approach, Intracoastal Waterway from MM338 to Red Can Bend MM359 . Mitigate all crossings in the ‘Y’ and elsewhere.
Congestion	Coordination/Planning	Develop a “Common Passage Plan for the Houston-Galveston Ports and Waterways.”
Traffic Mix	Voluntary Training	Awareness training regarding how vessels interact and need to work with each other.
Visibility Impediments	Waterway Changes	Improve the navigational lighting; add more super ranges; ensure illumination of selected day boards.
Shallow Draft Vessel Quality	Coordination/Planning	Improve awareness of the charterers that will be using the charter vessel (Wire boats / non-rigid composite tug and tow) category so they fully understand the vessel limitations and impacts on other port users.
Commercial Fishing Vessel Quality	Enforcement	Additional resources to assist communicating and enforcing regulatory compliance.

출처 : Port and Waterways Safety Assessment Workshop Report, 2009

### <그림 3-25> PAWSA에 의한 추가적인 완화 조치 권고 사항

PAWSA는 선박운항자를 비롯하여 도선사, 항만 관계자, 관련 정부기관 등 해당 지역 이해관계자 및 전문가로 구성된 그룹에 의하여 해당 해역의 위험도를 평가하는 모델로 정성적인 모델이라는 것이 큰 특징이다. 하지만, 정성적 모델인 관계로 평가자의 이해관계에 따라 위험요소 결과가 상이할 수도 있다는 단점이 있다.

#### 3.3.4 FSA

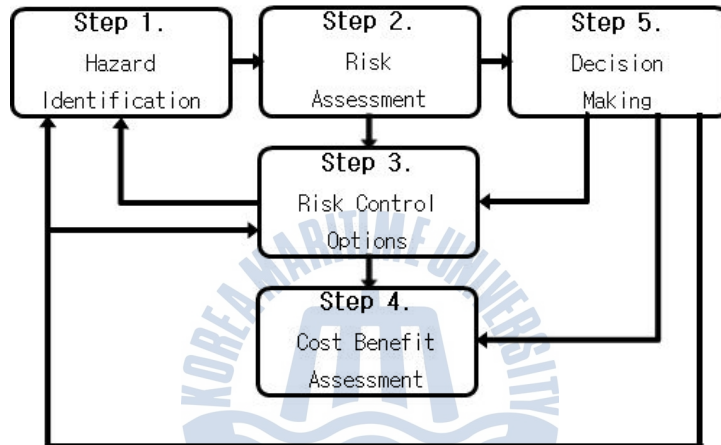
FSA란 “Formal Safety Assessment”의 약자로서 우리말로는 “공식 안전성 평가”라 번역되고 있다. 2001년 제74차 IMO MSC회의에서 정식 지침으로 채택되어 현재에 이르고 있다.

IMO에서는 “FSA는 인명, 해상환경 및 재산보호를 포함하여 해상의 안전향상



을 기하기 위한, 위험성과 비용-편익평가를 사용한 조직적이고 체계적인 안전 평가 방법”이라고 정의하고 있다. 이는 위험성과 비용-편익평가 등의 위험성 평가 방법에 근거를 둔 과학적이고 포괄적인 해상안전 관리체계라고 할 수 있다.[16]

FSA는 <그림 3-26>과 같이 위험요소 파악, 위험성 평가, 위험성 제어방안, 비용-편익 평가 및 의사결정을 위한 권고의 5단계로 이루어져 있다.

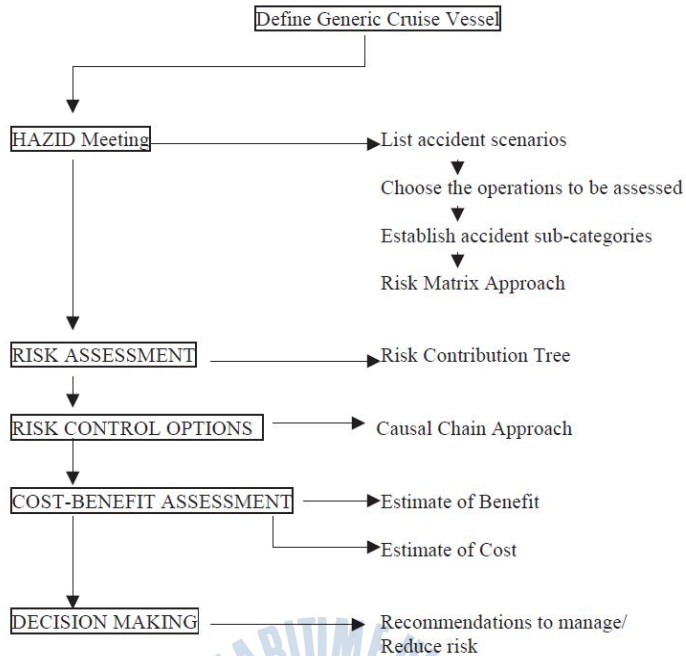


출처 : FSA(Formal Safety Assessment), 2003

<그림 3-26> FSA 과정 흐름도

이 5단계는 상호보완적 관계로서 각 단계의 결과는 다음 단계의 입력 자료로 사용될 뿐 아니라, 경우에 따라서는 이전 단계로 돌아갈 수도 있고, 일부 단계를 생략하고 직접 결론 도출로 연결될 수도 있다.

<그림 3-27>은 Cruise 선박에 FSA 방법을 적용하여 위험성을 평가하는 단계를 설명하고 있다.[17]



출처 : Formal Safety Assessment of Cruise Ships, 2004

<그림 3-27> FSA 모델 적용사례

FSA의 단점은 PAWSA와 마찬가지로 평가자의 의사 결정시 주관적인 판단이 개입한다는 점이다.

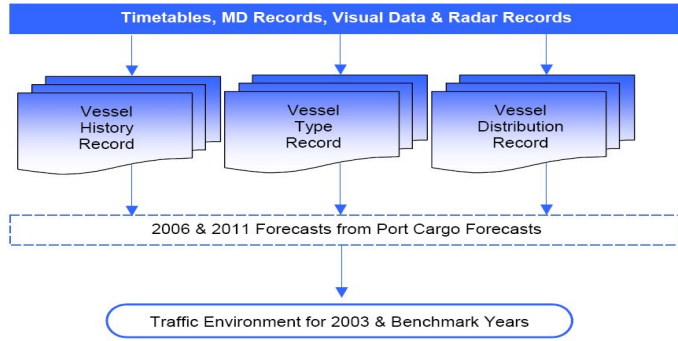
FSA 방법론을 사용하여 자국 해역의 특성화된 위험성 평가모델을 구축한 사례로는 홍콩의 MARA, 영국의 PMSC 등이 있다.

### (1) MARA(Marine Traffic Risk Assessment)

MARA는 홍콩에서 개발한 모델로서 FSA 방법론을 기반으로 하여 <그림 3-28> 및 <그림 3-29>와 같이 3가지 단계로 구성된 해양 위험성 평가모델이다.[18]

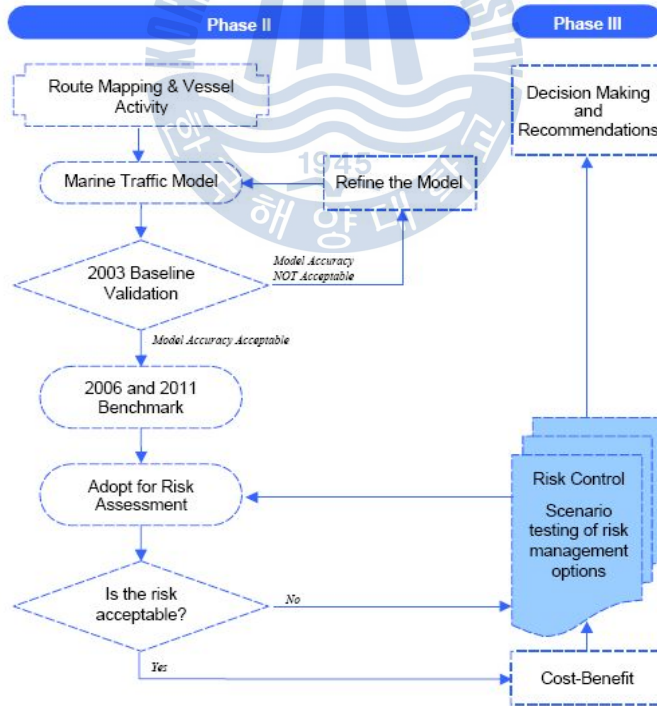
- 단계 I : 현재 및 미래 교통 상황의 종합평가

- 단계 II : 현재 및 미래 위험 수준을 나타내기 위한 해상교통 위험성 평가모델의 개발과 응용
- 단계 III : 주요한 충돌수역을 개선하기 위하여 이용 가능한 위험성 제어 방안 검토, 개발 및 시험



출처 : Marine Traffic Risk Assessment for Hong Kong Waters, 2004

<그림 3-28> MARA 평가 단계1 - 현재 및 미래 교통상황의 종합평가



출처 : Marine Traffic Risk Assessment for Hong Kong Waters, 2004

<그림 3-29> MARA 평가 단계2,3 - 위험성 예측 및 위험성 경감 방안

## (2) PMSC(Port Marine Safety Code)

FSA방법론을 기반으로 영국에서 제정한 안전성 평가 코드로 위험성을 평가하고 제어하는 절차로 이루어져 있다.

### 1) 위험성 평가

본 코드는 항만의 해양활동에 대한 공식위험성 평가, 서류화, 구조화 및 시스템 절차의 비교를 기반으로 아래의 정보를 제공하고 있다.

- 위험의 분석과 식별
- 허용할 수 있는 적절한 기준에 상응하는 위험성 평가
- 적절한 위험성 감소 방법의 비용-편익 평가
  - 모든 당국은 공식적으로 서류화하여 평가해야 하며, 시스템 개발은 절차에 부합하도록 실행되어야 한다.
  - 정량화된 위험성 평가에서 실행가능한 방안만 요구하지만 사례에 따라 법적 한계는 있을 수 있음

### 2) 위험성 제어

위험성 제어에 관련된 모든 최종 결정은 설치된 최소기준상의 관련된 규정을 고려하되, 인적요소는 필수적으로 고려하여야 한다.

위험 제어를 위한 우선 원칙은 아래와 같다.

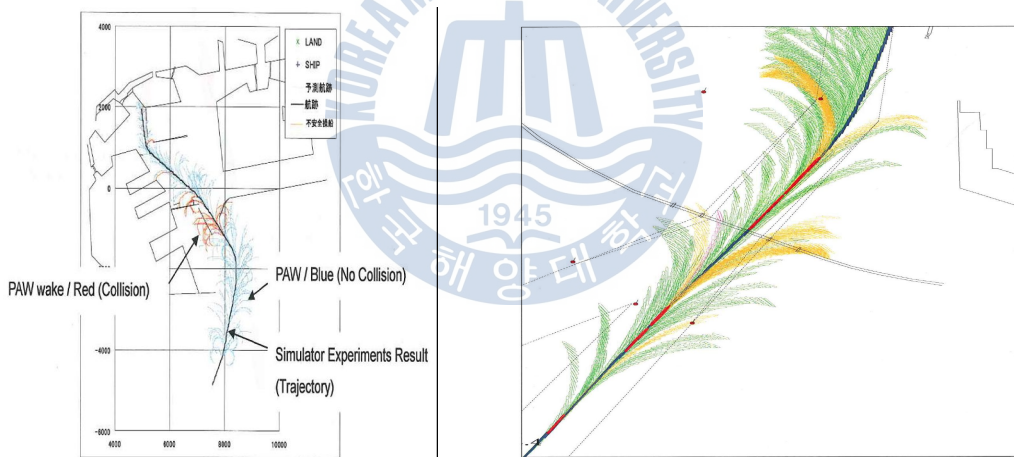
- 제거 위험: 위험한 절차의 회피, 덜 위험한 것으로 대처
- 대응 위험: 위험성 예방을 위한 방어방법
- 최소화 위험: 적절한 작업시스템

이러한 위험성 제어의 목적은 합리적으로 실행 가능한 한 위험을 감소하는데 있다.

### 3.3.5 US Model

US Model은 “Unsafe ship-handling Situation” Model의 약자로 선박의 조종성능, 특히 최단정지거리를 이용하는 지표이다.[19] 하인리히(Heinrich)의 법칙을 기초로 하여 1건의 중대 사고에는 수천 건의 불안정한 상황들이 존재하고 있다는 것을 전제로 하여 충돌확률을 계산할 수 있다. 본 모델은 <그림 3-30>의 인천대교 교각폭 검증 사례와 같이 선박조종 시뮬레이션 결과를 바탕으로 하여 위험 정도를 색상 변화를 통하여 나타내고 있다.

하지만, US Model은 현재 특허권이 있으며, 선박조종 시뮬레이션을 실시한 이후 안전성 평가가 가능한 모델로서 비용적, 시간적 소모가 많은 편이다. 또한, 평가 조건이 많을 경우 전체 시뮬레이션 횟수가 급증하여 시뮬레이션 자체가 어려운 경우가 있어 평가가 불가능하게 될 가능성도 있다.



출처 : 해상교통안전성 평가모델 기술개발, 2010

<그림 3-30> US Model을 이용한 인천대교 교각폭 검증 사례

### 3.3.6 일본의 안전대책 평가 가이드라인

일본 해난방지협회에서는 선박교통에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 목적으로 항행안전대책의 검토와 관련된 기법을 표준화 하였다. 평가대상, 평가내용, 평가기법 표준화 등의 지침 수립을 위하여 과거 수년 동안의 항행안전조사 사례를 분석하여 <표 3-1> ~ <표 3-3>과 같이 항행안전대책 평가가이드라인을 작성하였다.[20]

<표 3-1> 일본 항행안전대책 평가가이드라인의 주요 평가지표

대분류	소분류	필요한 기초조사 내용	참고자료 및 데이터
자연 환경	바람	풍향, 풍속별 출현빈도, 탁월 풍향	기상청, 항만설계 자료 등
	조류	조향, 유속별 출현빈도, 최강속도 및 유향	유향관측결과, 조류도(수로서지)
	조석 및 조위	기본수준면, 평균수면, 약최강강조면	수로서지 등
	파랑	파향별 파고 출현빈도, 항내정온도 (파고비선도), 이상시 파고	NOWPHAS, 항만설계자료 등
	시정	시계불량 출현률(농무일수)	기상청 자료 등
교통 환경	항해척수	선형별 입항척수, 연도별 입항척수의 추이, 시설별 이용척수, 시간대별 입항척수	항만통계
	해역의 이용실태	선형별 항행경로, 정박지 위치 등	선박항행실태조사 (현지관측)
	해난의 발생상황	연차별, 해난 종류별, 선종 및 선형별 발생척수(건수), 해안 위치	해상보안청 제공 자료
항행 지원 등	예선	마려, 추진기 종류별 일람	항만
	도선	도선 업무 인수 기준	도선사협회 제공
	항행원조시설	항로표지(허가표지) 일람	등대표 등
	과거 안전대책	항행안전지도, 항행관제, 정보제공, 자체적인 안전대책	기존 항행대책보고서
시설의 현황 및 계획	선박 및 박지	길이, 폭, 형상, 수심 등	해도, 항만계획
	대상 안벽	안벽길이, 측방수심, 마루높이, 구조 등	시설계획
	계선주 및 방현재	강도, 배치 수, 설치 위치, 설치 간격	시설계획
대상 선박	주요항목	전장, 수선간장, 폭, 깊이, 흘수, Air draft, 방형계수, 배수량, 적화 중량톤, 투영면적 등	일반배치도, 용적계산서 등의 완성도면
	조종성능	선회성능, 정지성능 등 조종성능, 기관속력 설정, 추진기, 타의 종류 등	해상 공식
	계류설비	계류설비의 수, 장소, 계류삭의 강도 등	일반배치도

<표 3-2> 항만의 항행안전조사 사례와 조사 방법 및 평가 지표

조사사례	조사방법	대상해역 기초자료 수집	해상교통 실태조사	선박조종 성능 자료수집	수역시설 규모평가	풍압력 유압력 정적계산	수치조선 시물 레이션	조선 시물 레이션	접안 에너지 계산	정적계류 력 계산	계류동요 시물 레이션	해상 교통류 시물 레이션	관제 대기행렬 시물 레이션	조선 시물레이터 실험 (관계자 입회)
	평가지표	풍조류 계급별 출현빈도	교통량 폭주도	기본조종 성능	기술 기준	선체 작용 외력	제어여유	제어여유 주관평가	방현재 강도, 한계접안 속도	계류한계	계류, 하역한계	만남빈도 , 조선 곤란도	경제성 효율성	
항만계획에 따른 신규 부두 및 잔교 계획 (위험물선박 이외)	○	△	○	○	-	○	○	○	○	○	-	-	-	-
항만계획에 따른 신규 부두 및 잔교 계획 (위험물 선박)	○	△	○	○	-	○	○	○	○	-	○	-	-	○
대상선박의 선형 대형화와 관련된 항행안전조사(위험물선박 이외)	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	△
대상선박의 선형 대형화와 관련된 항행안전조사 (위험물선박)	○	-	○	○	○	○	○	○	○	-	○	-	-	○
개발보존항로, 해교법항로의 준설 공사 중의 항행안전조사	○	○	○	○	-	-	○	○	-	-	-	○	-	○
항로체계, 교통체계의 검토, 항로운용 방법의 검토	○	○	○	○	○	-	-	○	-	-	-	○	○	○
인공섬(공항섬 등)과 교량건설 관련 항행안전조사	○	○	○	○	-	-	○	○	-	-	-	○	-	○
항만시설정비 등에 관한 항행안전대책	○	△	△	-	-	-	△	△	-	-	-	△	-	△

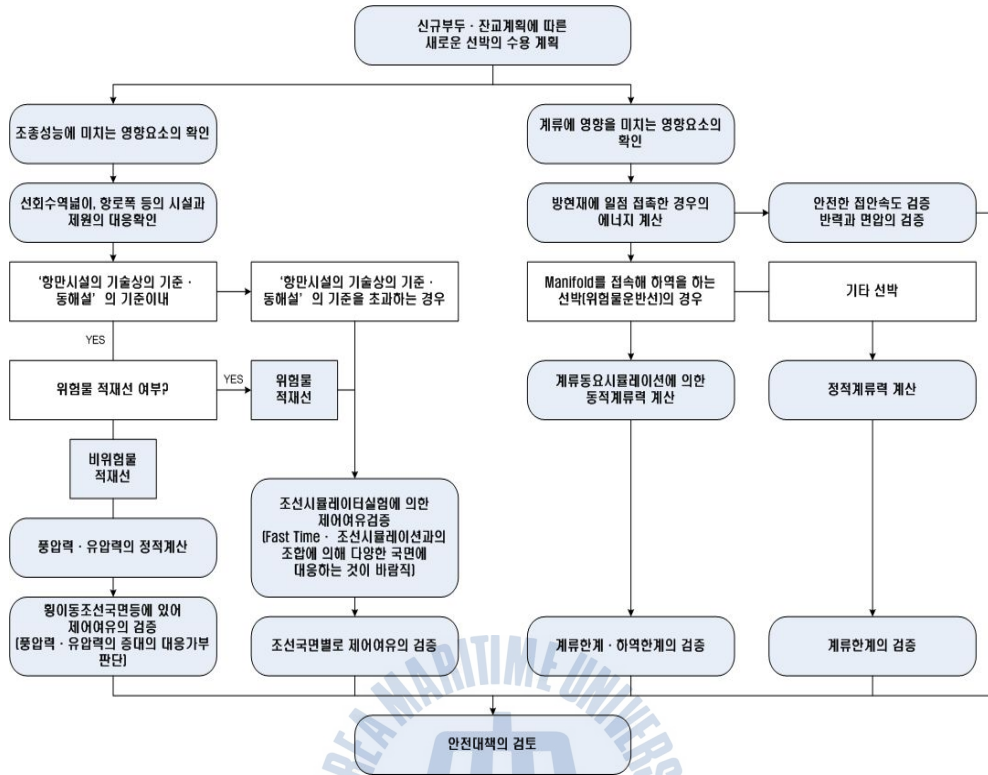
○ : 기본적으로 실시      △ : 필요에 따라 실시(기존 조사 자료 인용)

<표 3-3> 일본 항행안전대책 평가가이드라인 종합정리표

조사항목	평가방법	적용 예	평가항목
선박조종에 미치는 영향평가 (수역시설 평가)	수치선박조종 시뮬레이션	-일련의 조선을 요소로 분류하는 경우 -선박조종 시뮬레이터실험의 예비검토	-항로·박지의 평가 -출항한계조건 검토
	선박조종 시뮬레이터실험 (Real Time 조선 시뮬레이션)	-신규부두 잔교계획 -입항실적이 없는 선형의 검토 -특수한 출항조선	-항로·박지의 평가 -표준적인 입출항조선 방법의 검토 -입출항한계조건 검토
선박교통에 미치는 영향평가 (항로계획·교통체계의 검토)	선박조종·선박항행 실태조사	-항내 등 교통이 폭주하는 해역에 영향을 미치는 사업 -공사용 선박 등 항행빈도가 높은 선박 -교통량의 증가가 예상되는 항만계획	-선박폭주도 -항로폭주도 -시간대별, 선형별, 선종별 항행척수 항행상황(항적도)
	교통류 시뮬레이션	-교통량의 증가나 교통체계의 변화가 예측되는 경우	-선박간의 만남 빈도 -항행곤란도
	대기행렬 시뮬레이션	-항로체계 교통체계나 관제수법의 수정이 행해진 경우	-효율성 (대기척수, 대기시간)
계류시설의 평가	정적계류력 계산	-대상선박이 일반선박의 경우에서 파랑의 영향이 염려되지 않는 경우	-시설계획 계류계획의 당위성 평가 -계류한계의 산정
	동적계류력 계산 (계류동요 시뮬레이션)	-위험물 적재선 또는 위험물 적재선 이외에서 파랑의 영향이 염려되는 경우	-시설계획 계류계획의 당위성 평가 -계류한계의 산정

<그림 3-31>은 신규 선박이 항만에 입출항하는 경우의 항행안전 대책 평가 순서를 도식화한 것이다.





<그림 3-31> 항행안전대책 평가순서(신규 선박 입·출항)

### 3.3.7 기타 평가모델

기타 해상교통 안전성 평가모델의 종류는 아래와 같다.

#### (1) 선박 조우 빈도 평가모델

선박의 조우 반경, 교통류 밀도 및 상대 속도 등을 이용하여 파악된 선박 조우 빈도를 지표로 사용한 평가모델이다.

#### (2) 피항조선 조작량 빈도 분석 모델

회두각, 1분 이상의 피항 시간, 항로 이탈, 감속, 변침 등을 이용하여 피항횟수를 지표로 사용한 평가모델이다.

### (3) 항로 혼잡도(폭주도)

선박 피항 영역, 속력, 항로 길이, 항로폭, 시간 등을 이용하여 구한 항로내의 교통밀도를 지표로 사용한 평가모델이다.

### (4) SJ(Subjective Judgement) 모델

선박의 길이, 상대선과의 거리, 상대 방위 변화율 및 선박운항자의 주관적 위험도 등을 이용하여 운항자의 주관적 위험감을 지표화한 평가모델이다.

### (5) BC(Blocking Coefficient) 모델

침로 변경, 속력 변경, 항과 거리, TCPA 등을 이용하여 자선 주위의 타 선박과의 충돌 위험감을 지표화한 평가모델이다.

### (6) 도로교통공학에서의 일반적 위험도 모델

교통 밀도, 교통량, 평균 속력 등을 활용한 도로교통공학적 위험도 평가모델이다.

## 3.3.8 종합 분석

본 연구에서 조사한 해상교통 안전성 평가모델에 대한 종합 분석 결과는 <표 3-4>와 같다.

<표 3-4> 해상교통 안전성 평가모델 종합 분석

평가모델	특징 및 장·단점
IWRAP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IALA 추천 모델</li> <li>- 교통량/항적 자료를 바탕으로 좌초 및 충돌 확률 계산</li> <li>- 정량적 추천 모델</li> <li>- 계산 과정에 대한 이론적 설명 부족</li> <li>- 선박 통항 항적이 복잡한 해역에서는 적용이 어려움</li> </ul>
ES Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 주변 환경에 의한 선박운항자 조션 곤란감을 사용한 모델</li> <li>- 해상교통 안전진단제도에서 가장 많이 적용중인 모델</li> <li>- 선박운항자의 스트레스라는 주관적 요소를 정량화</li> <li>- 국내 선박운항자 위협의식이 반영되지 못함</li> <li>- 항계 내·외 등 각 해역별 위험도 적용 기준이 동일함</li> </ul>
PAWSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IALA 추천 모델</li> <li>- 해상교통 안전을 확보하기 위하여 전문가 집단 결정, 평가</li> <li>- 대표적인 정성적 안전성 평가모델</li> <li>- 전문가 구성, 이해관계 여부에 따라 상이한 결과 도출 우려</li> </ul>
FSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IMO 공식 안전성 평가</li> <li>- 위험성 및 비용-편익 평가 실시</li> <li>- 광범위하고 체계적인 평가모델</li> <li>- 각 국가별 응용 평가모델 다수 존재</li> <li>- 안전성 및 비용 절감 효과 관련 평가자의 주관 개입 우려</li> </ul>
US Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 선박 조종 성능, 최단 정지거리를 이용하는 평가모델</li> <li>- 특허권 행사 중(비용적 부담 발생)</li> <li>- 선박조종 시뮬레이션이 전체 조건임(시간적, 비용적 부담 발생)</li> <li>- 통항 조건이 복잡할 경우 평가 자체가 불가능한 경우 발생</li> </ul>
기타 모델	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 선박 조우 빈도 평가모델(조우 반경, 교통류 밀도, 상대 속도)</li> <li>- 피항조션 조작량 빈도 분석 모델(회두각 등의 피항 횟수)</li> <li>- 항로 혼잡도(선박 피항 영역, 항로 길이, 항로폭)</li> <li>- SJ Model(선박운항자의 주관적 위험감)</li> <li>- BC Model(타 선박과의 충돌 위험감)</li> <li>- 도로교통공학적 위험도 평가모델</li> </ul>

이 연구에서는 위에서 언급된 평가모델 중 현재 해상교통 안전진단제도에서 규정하고 있으며 정량적 평가가 가능한 ES Model과 교통량 및 항적 자료를 바탕으로 좌초 및 충돌확률 계산이 용이한 IWRAP을 대상으로 국내 연안 해역 중 해안 및 항로가 단순하지만 위험도가 높은 울산항 해역에 적용 및 평가하고자 한다.

## 제 4 장 IWRAP 및 ES Model을 활용한 울산항 해역 해상교통 안전성 평가

이 장에서는 IWRAP 및 ES Model을 이용하여 국내 연안 해역에 대한 평가를 실시하고, 그 결과를 유사한 조건의 선행 연구 사례와 비교하여 독자적 평가모델 개발의 기초 자료로 사용하고자 한다.

평가 대상 해역은 선박 통항 항적이 일정하고 선행 연구가 활발하게 진행되어 정확한 비교가 가능한 울산항을 선정하였으며, IWRAP 평가 자료 입력을 위하여 필요한 대상 해역에 대한 기초적인 사항은 다음 절에서 언급하였다.

### 4.1 기초 자료 조사

#### 4.1.1 자연 환경

울산항 및 인근 해역에 대한 바람과 조류 등의 자연 환경 조건에 대하여 조사하였다.[21]

##### (1) 바람

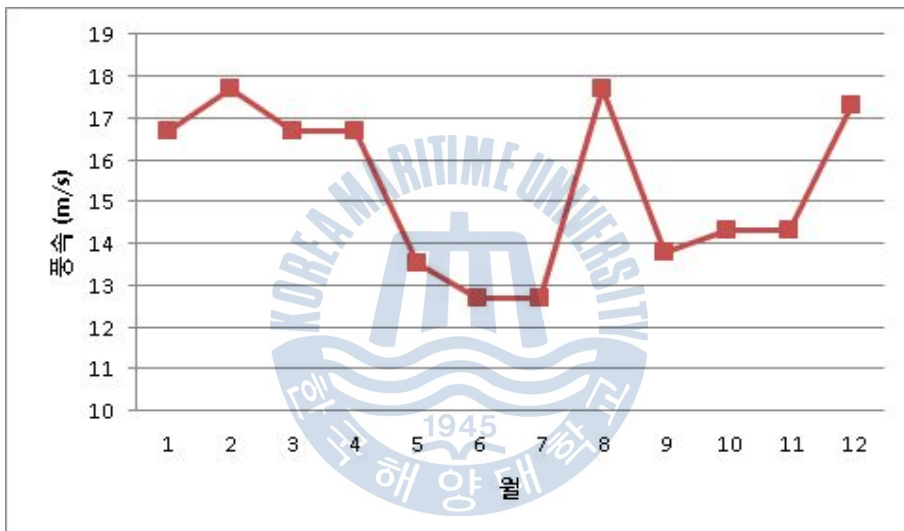
<표 4-1>은 울산지방의 30년간의 월별 최대풍속을 나타낸 것이다. 여기서 최대풍속은 임의의 10분간의 평균풍속 중 최대값을 측정한 것이다. <그림 4-1>은 <표 4-1>을 그래프로 나타낸 것이다. 월별 최대풍속의 최대값은 17.7m/s로 2월과 8월에 관측되었고, 8월의 최대풍속 최대값은 태풍의 영향에 기인한다. 최대풍속의 최소값은 여름인 6월과 7월에 관측된 12.7m/s이고, 겨울과 봄을 포함하는 12~4월은 16.0m/s 이상의 높은 최대풍속값을 보인다. 월별 최대풍속이 주로 관측되는 풍향은 NW-NNW 계열이었다. 여름의 6-7월은

ESE-S에서 최대풍속이 관측되어 IWRAP에서는 이를 기초로 하여 17.7m/s 풍속을 사용하고자 한다.

<표 4-1> 울산의 월별 최대풍속

(표 단위: m/s)

구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
최대 풍속 (풍향)	16.7 (NNW)	17.7 (NW)	16.7 (NW)	16.7 (NNW)	13.5 (WNN)	12.7 (ESE)	12.7 (S)	17.7 (NNW)	13.8 (NNE)	14.3 (NNW)	14.3 (NNW)	17.3 (NNW)	17.7 (NW NNW)



<그림 4-1> 울산의 월별 최대풍속(m/s)

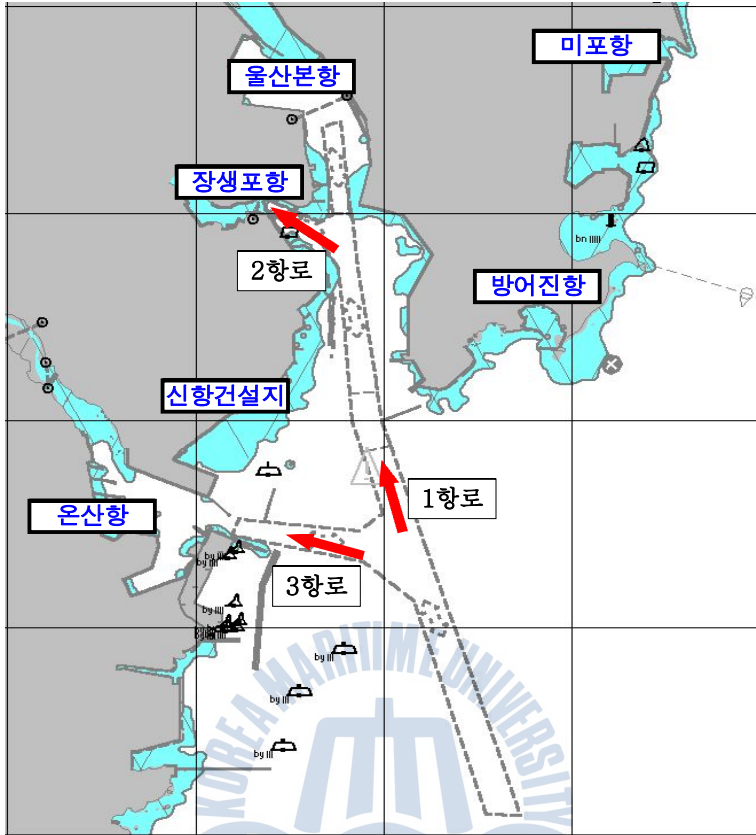
## (2) 조류

울산항 부근 해역은 크고 작은 선박의 통항이 매우 빈번한 해역으로서, 창·낙 조류가 각각 남서, 북동방향에서 일어나고 최강 유속은 해역별로 1.0~2.0노트에 이른다. 외양에서 기원하는 해류도 북동방향으로 강하게 나타나는 해역으로, 항로 및 정박지 외측의 수역은 쿠루시오 해류의 영향을 받기 때문에 쿠루시오 해류와 낙조류가 겹칠 때에는 조류가 상당히 강한 편이다.

상기 조류 개항과 달리 현행 제3항로 입구 부근의 횡조류는 약 3.0노트 이상(2007년 현대건설 측정 자료 및 현장의 도선사 의견 참조)으로 강하다. 참고로, 울산 신항 남방파제 및 기타 공사(제1공구) 축조공사를 맡고 있는 현대건설이 매 분기별로 실시하고 있는 “울산 신항 흐름 및 파랑 관측과 분석” 보고서 중 2007년 4월에서 7월까지의 자료 중에서 최강창조류는 2.66노트이고 최강낙조류도 2.66노트였다. 그리고 2007년 10월에서 12월까지의 자료 중에서 최강창조류는 3.02노트였다. 이는 통항 입출항 선박의 안전을 위협할 수 있는 중요 요인이다.

#### 4.1.2 항행 환경

울산항은 <그림 4-2>와 같이 울산 본항, 장생포항, 온산항, 미포항, 방어진으로 구성되어 있다. 울산 본항, 장생포항과 온산항으로의 입출항을 위하여 제1항로, 제2항로, 제3항로가 설치되어 있다. 울산 본항을 입출항하는 선박들은 제1, 2항로를 이용하며 온산항을 이용하는 선박들은 제1, 3항로를 이용한다. 제1항로는 울산항 항계에서 울산항 동방파제까지이며 제3항로는 제1항로에서 연결되어 온산항 진입 방파제까지 이어져 있다. 또한 제2항로는 제1항로에서 연결된 항로로서 장생포항으로 연결되어 있다.



<그림 4-2> 울산항 항로 배치도

제1항로의 울산항 항계(도선지점)쪽 시작항로의 폭은 약 550m이다. 이 지점에서 제3항로 하단 분기점까지의 길이는 2,510m이고, 폭은 600m이다. 울산항 항계에서 동방파제까지의 제1항로의 수심은 20~50m이다. 제1항로의 구간 중 동방파제 이후부터 제2항로 하단 분기점까지의 길이는 2,750m이며, 구간의 폭은 약 300~500m이다. 제2항로의 시작구간은 그 폭이 약 330m이고 항로 상단의 제일 좁은 곳은 200m이며, 제2항로의 수심은 준설하여 12.5미터 이상을 유지하고 있다. 제3항로는 원유부이의 이설작업으로 인하여 항로가 굴곡져 있다. 가장 좁은 항로폭은 가장 안쪽 부분으로 300m이며 제3항로의 수심은 약 20m이다. 항로 폭의 입력에 대하여는 다음 절에 기술하고자 한다.

## 4.2 IWRAP을 이용한 울산항 해상교통 안전성 평가

### 4.2.1 Leg 지정

Leg 지정은 IWRAP을 사용하기 위한 가장 기초적인 단계이다. 지정된 Leg을 따라 교통량 및 기타 교통 정보 입력이 가능하다.

평가는 1항로, 2항로 및 3항로를 대상으로 하였으며, 온산항에서 동해 방향으로 입출항 하는 선박에 대한 Leg를 추가로 지정하였다.

<표 4-2>는 항로 변침점 지정현황을 나타낸다.

<표 4-2> Waypoint 지정 현황

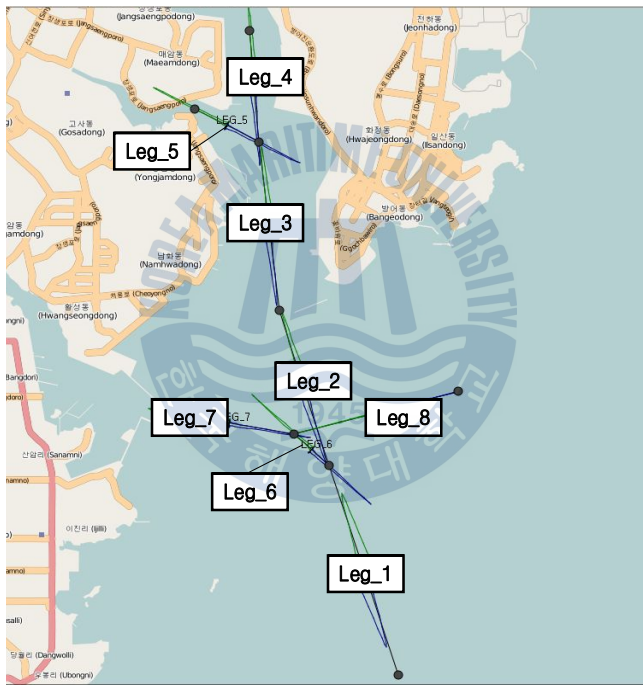
No.	설명	위치	
		위도	경도
WP_1	1항로 진입지점	35° 24'.30 N	129° 25'.27 E
WP_2	1항로/3항로 분기점	35° 26'.43 N	129° 24'.42 E
WP_3	1항로 동방과제	35° 29'.00 N	129° 23'.80 E
WP_4	1항로 - 2항로 분기점	35° 29'.72 N	129° 23'.58 E
WP_5	울산본항 내	35° 30'.85 N	129° 23'.46 E
WP_6	장생포항 내	35° 30'.05 N	129° 22'.80 E
WP_7	3항로 내 변침점	35° 26'.75 N	129° 24'.00 E
WP_8	3항로 방과제 입구	35° 26'.97 N	129° 22'.43 E
WP_9	동해	35° 27'.18 N	129° 26'.00 E

<표 4-3>은 Leg별 항로 지정 현황을 나타내었고, <그림 4-3>은 <표 4-3>을 도식화한 것이다.



<표 4-3> Leg별 항로 지정 현황

No.	Leg별 항로 지정
Leg_1	1항로 진입부 ~ 1항로/3항로 분기점
Leg_2	1항로/3항로 분기점 ~ 1항로 동방과제
Leg_3	1항로 동방과제 ~ 1항로/2항로 분기점
Leg_4	1항로/2항로 분기점 ~ 울산본항 내
Leg_5	1항로/2항로 분기점 ~ 장생포항 내
Leg_6	1항로/3항로 분기점 ~ 3항로 내 변침점
Leg_7	3항로 내 변침점 ~ 온산항
Leg_8	3항로 내 변침점 ~ 동해



<그림 4-3> Leg 별 항로 지정 현황

## 4.2.2 교통량 및 분산치 입력

### (1) 교통량 입력

PORT-MIS의 2008년 톤수별, 선종별 입출항 실적을 참고로 하였으며, IWRAP 교통량 입력의 경우 톤수별 분류가 아닌 선박 길이별 분류를 하는 관계로 “항만 및 어항 설계지침”에 있는 톤수별 선박의 일반적 주요 치수 환산표를 참고하여 길이별 분류로 전환하였다.[22][23]

톤수별 선박의 일반적 주요 치수는 <표 4-4>와 같다.

<표 4-4> 톤수별 선박의 일반적 주요 치수

톤수 (DWT)	전장(L) (m)	형폭(B) (m)	만재흘수(d) (m)
1,000	67	10.9	3.9
2,000	83	13.1	4.9
3,000	94	14.6	5.6
5,000	109	16.8	6.5
10,000	137	19.9	8.2
12,000	144	21.0	8.6
18,000	161	23.6	9.6
30,000	185	27.5	11.0
40,000	200	29.9	11.8
55,000	218	32.3	12.9
70,000	233	32.3	13.7
90,000	249	38.1	14.7
100,000	256	39.3	15.1
150,000	286	44.3	16.9

항만 및 어항 설계기준, 2005

Leg별 연간 편도 통항량은 <표 4-5> ~ <표 4-8>과 같으며, 통항량 산정 기준은 아래와 같다.

- Leg 1은 울산항 및 온산항 편도 입·출항 척수를 입력하였다
- Leg 2 및 Leg 3은 울산항 편도 입·출항 척수를 입력하였다
- Leg 4 및 Leg 5는 울산항 부두별 8년간 평균 입항 척수를 참고하여 울산본항 및 장생포항 입항 척수 비율을 각각 64% 및 36%로 산정하고 울산항 편도 입·출항 척수를 기준으로 하여 비율에 맞추어 입력 하였다[22]
- Leg 6은 Leg 7 입력값에서 Leg 8 입력값을 제외한 나머지 값을 입력 하였다
- Leg 7은 온산항 편도 입·출항 척수를 입력하였다
- Leg 8은 2009년 6월 15일부터 21일까지 실시한 OD 구분 조사 결과를 참고하여 Leg 7 기준 2.5%의 편도 입·출항 척수를 입력하였다[22]



<표 4-5> Leg 별 연간 편도 통항량 (Leg 1, Leg 2&3)

No.	선종 길이	원유선	석유제품선	케미컬선	가스선	컨테이너선	일반화물선	산적화물선	Ro-Ro선	여객선	고속훼리	지원선	어선	레저보트	기타	합계
		<div style="position: absolute; top: 50%; left: 50%; transform: translate(-50%, -50%); opacity: 0.3; font-size: 2em; pointer-events: none;">                     KOREAN MARITIME UNIVERSITY                 </div>														
LEG 1	0-25	11	230	127	27	46	71	60	18	1	0	0	0	0	149	740
	25-50	70	1,550	834	176	298	481	394	122	2	0	0	1	0	1,008	4,936
	50-75	99	2,182	1,195	248	431	670	559	168	3	0	0	1	0	1,413	6,969
	75-100	97	2,150	1,155	244	411	667	546	170	3	0	0	1	0	1,399	6,843
	100-125	38	828	453	94	163	254	213	64	1	0	0	1	0	537	2,646
	125-150	14	283	165	32	62	84	75	20	1	0	0	0	0	182	918
	150-175	13	257	168	30	67	70	72	14	0	0	0	0	0	159	850
	175-200	26	518	327	59	127	146	142	30	1	0	0	0	0	323	1,699
	200-225	9	188	112	22	43	55	50	13	0	0	0	0	0	119	611
	225-250	9	202	101	23	35	66	50	18	1	0	0	0	0	135	640
	250-275	7	138	66	16	22	46	33	13	0	0	0	0	0	92	433
	275-300	1	15	7	2	2	5	4	2	0	0	0	0	0	10	48
	300-325	0	6	4	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	4	20
325-350	4	78	47	9	18	23	22	5	0	0	0	0	0	49	255	
LEG 2 & 3	0-25	8	179	82	21	26	61	43	18	1	0	0	0	0	121	560
	25-50	52	1,256	573	142	183	423	298	122	2	0	0	1	0	847	3,899
	50-75	71	1,721	786	195	250	579	409	168	3	0	0	1	0	1,161	5,344
	75-100	72	1,748	798	198	254	588	415	170	3	0	0	1	0	1,179	5,426
	100-125	27	655	299	74	95	220	156	64	1	0	0	1	0	442	2,034
	125-150	9	202	93	23	30	68	48	20	1	0	0	0	0	137	631
	150-175	6	140	64	16	21	47	34	14	0	0	0	0	0	95	437
	175-200	13	310	142	35	45	105	74	30	1	0	0	0	0	209	964
	200-225	5	127	58	15	19	43	30	13	0	0	0	0	0	86	396
	225-250	8	183	84	21	27	62	44	18	1	0	0	0	0	124	572
	250-275	6	131	60	15	19	44	31	13	0	0	0	0	0	88	407
	275-300	1	15	7	2	2	5	4	2	0	0	0	0	0	10	48
	300-325	0	5	3	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	4	18
325-350	2	52	24	6	8	18	13	5	0	0	0	0	0	35	163	

<표 4-6> Leg 별 연간 편도 통항량 (Leg 4, Leg 5)

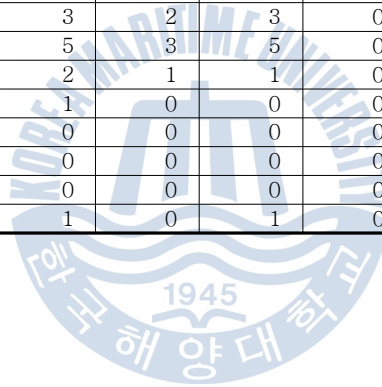
No.	선종 길이	원유선	석유제품선	케미컬선	가스선	컨테이너선	일반화물선	산적화물선	Ro-Ro선	여객선	고속훼리	지원선	어선	레저보트	기타	합계
		L E G 4														
	0-25	6	132	61	16	19	45	32	13	1	0	0	0	0	90	415
	25-50	38	929	424	105	135	313	221	90	1	0	0	1	0	627	2,884
	50-75	53	1,274	582	144	185	428	303	124	2	0	0	1	0	859	3,955
	75-100	53	1,294	591	147	188	435	307	126	2	0	0	1	0	872	4,016
	100-125	20	485	221	55	70	163	115	47	1	0	0	1	0	327	1,505
	125-150	7	149	69	17	22	50	36	15	1	0	0	0	0	101	467
	150-175	4	104	47	12	16	35	25	10	0	0	0	0	0	70	323
	175-200	10	229	105	26	33	78	55	22	1	0	0	0	0	155	714
	200-225	4	94	43	11	14	32	22	10	0	0	0	0	0	64	294
	225-250	6	135	62	16	20	46	33	13	1	0	0	0	0	92	424
	250-275	4	97	44	11	14	33	23	10	0	0	0	0	0	65	301
	275-300	1	11	5	1	1	4	3	1	0	0	0	0	0	7	34
	300-325	0	4	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	3	14
	325-350	1	38	18	4	6	13	10	4	0	0	0	0	0	26	120
L E G 5																
	0-25	2	47	21	5	7	16	11	5	0	0	0	0	0	31	145
	25-50	14	327	149	37	48	110	77	32	1	0	0	0	0	220	1,015
	50-75	18	447	204	51	65	151	106	44	1	0	0	0	0	302	1,389
	75-100	19	454	207	51	66	153	108	44	1	0	0	0	0	307	1,410
	100-125	7	170	78	19	25	57	41	17	0	0	0	0	0	115	529
	125-150	2	53	24	6	8	18	12	5	0	0	0	0	0	36	164
	150-175	2	36	17	4	5	12	9	4	0	0	0	0	0	25	114
	175-200	3	81	37	9	12	27	19	8	0	0	0	0	0	54	250
	200-225	1	33	15	4	5	11	8	3	0	0	0	0	0	22	102
	225-250	2	48	22	5	7	16	11	5	0	0	0	0	0	32	148
	250-275	2	34	16	4	5	11	8	3	0	0	0	0	0	23	106
	275-300	0	4	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	3	14
	300-325	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	4
	325-350	1	14	6	2	2	5	3	1	0	0	0	0	0	9	43

<표 4-7> Leg 별 연간 편도 통항량 (Leg 6, Leg 7)

No.	선종 길이	원유선	석유제품선	케미컬선	가스선	컨테이너선	일반화물선	산적화물선	Ro-Ro선	여객선	고속훼리	지원선	어선	레저보트	기타	합계		
		L E G 6		0-25	3	48	42	6	19	9	16	0	0	0	0	0	0	26
25-50	17			274	244	32	107	54	90	0	0	0	0	0	0	0	150	968
50-75	26			430	382	49	169	85	140	0	0	0	0	0	0	0	235	1,516
75-100	23			375	333	43	147	74	122	0	0	0	0	0	0	0	205	1,322
100-125	10			161	144	19	63	32	53	0	0	0	0	0	0	0	89	571
125-150	5			76	67	8	30	15	25	0	0	0	0	0	0	0	42	268
150-175	7			109	97	13	43	21	35	0	0	0	0	0	0	0	60	385
175-200	12			194	173	22	77	38	63	0	0	0	0	0	0	0	106	685
200-225	4			57	50	7	22	11	19	0	0	0	0	0	0	0	31	201
225-250	1			18	16	2	7	4	6	0	0	0	0	0	0	0	10	64
250-275	1			7	6	1	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4	26
275-300	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300-325	0			1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
325-350	2			24	21	3	9	5	8	0	0	0	0	0	0	0	13	85
L E G 7		0-25	3	51	45	6	20	10	17	0	0	0	0	0	0	28	180	
		25-50	18	294	261	34	115	58	96	0	0	0	0	0	0	0	161	1,037
		50-75	28	461	409	53	181	91	150	0	0	0	0	0	0	0	252	1,625
		75-100	25	402	357	46	157	79	131	0	0	0	0	0	0	0	220	1,417
		100-125	11	173	154	20	68	34	57	0	0	0	0	0	0	0	95	612
		125-150	5	81	72	9	32	16	27	0	0	0	0	0	0	0	45	287
		150-175	7	117	104	14	46	23	38	0	0	0	0	0	0	0	64	413
		175-200	13	208	185	24	82	41	68	0	0	0	0	0	0	0	114	735
		200-225	4	61	54	7	24	12	20	0	0	0	0	0	0	0	33	215
		225-250	1	19	17	2	8	4	6	0	0	0	0	0	0	0	11	68
		250-275	1	7	6	1	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4	26
		275-300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		300-325	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		325-350	2	26	23	3	10	5	9	0	0	0	0	0	0	0	14	92

<표 4-8> Leg 별 연간 편도 통항량 (Leg 8)

No.	선종 길이	원유선	석유제품선	케미컬선	가스선	컨테이너선	일반화물선	산적화물선	Ro-Ro선	여객선	고속훼리	지원선	어선	레저보트	기타	합계
		L E G 8	0-25	0	3	3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
25-50	1		20	17	2	8	4	6	0	0	0	0	0	0	11	69
50-75	2		31	27	4	12	6	10	0	0	0	0	0	0	17	109
75-100	2		27	24	3	10	5	9	0	0	0	0	0	0	15	95
100-125	1		12	10	1	5	2	4	0	0	0	0	0	0	6	41
125-150	0		5	5	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	3	19
150-175	0		8	7	1	3	2	3	0	0	0	0	0	0	4	28
175-200	1		14	12	2	5	3	5	0	0	0	0	0	0	8	50
200-225	0		4	4	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	2	14
225-250	0		1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4
250-275	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
275-300	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300-325	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
325-350	0		2	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	7



## (2) 항적 분포 입력

항적 분포 형태, 분포 중앙선 및 표준편차 값을 입력하는 단계이다.

일본 내해의 각 항로의 항적 분포에 대한 선행 연구 결과를 참고하여, 모든 Leg의 항적분포를 정규분포로 설정하였다.[2] 분포의 중앙선은 중앙선 표시가 없이 마주치는 항로에서의 값을 적용하여 항로의 중앙선으로부터 우측으로 항로폭의 1/10 거리를 설정하였으며, 표준편차의 경우 식(4.1)에 따라 계산하였다.

$$\sigma = -9.49 + 0.106\omega + 3.33Q \quad (4.1)$$

$\sigma$  : 표준편차(m),  $\omega$  : 항로폭(m), Q : 교통량(척/시)

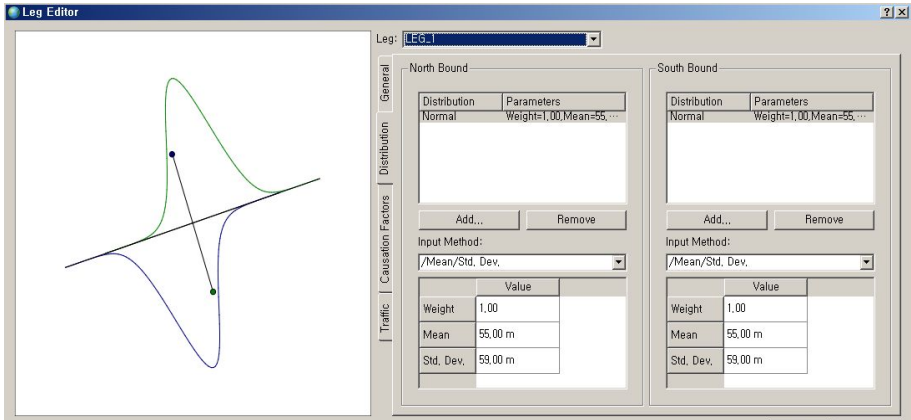
<표 4-9>는 Leg별 항적 분포 입력 결과를 나타낸 것이다. Leg 8의 경우 기초 교통조사 자료[22]의 통항 항적을 기초로 하여 분포 중앙선 및 표준편차 값을 설정하였다.

<표 4-9> Leg별 항적 분포 입력

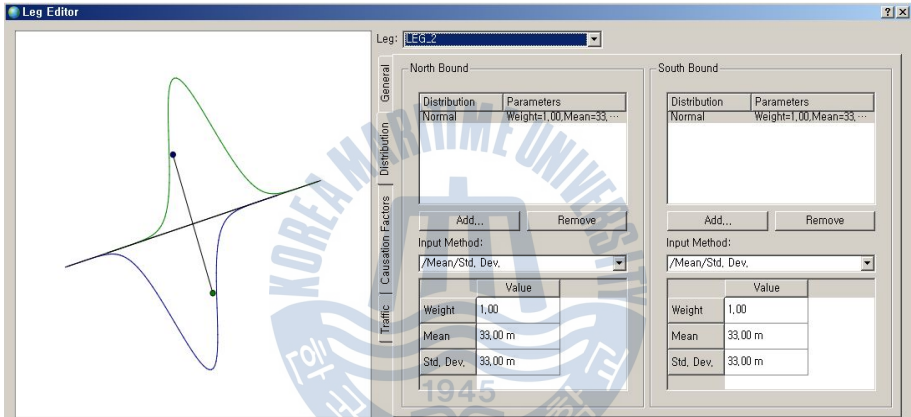
	항로폭(m)	분포 중앙선(m)	연간 교통량(척)	교통량(척/시)	표준편차(m)
Leg 1	550	55	27,608	3.15	59
Leg 2	330	33	20,899	2.39	33
Leg 3	300	30	20,899	2.39	30
Leg 4	250	25	13,380	1.53	22
Leg 5	185	19	7,519	0.86	13
Leg 6	185	19	6,262	0.71	12
Leg 7	185	19	6,709	0.77	13
Leg 8	10	1	447	0.05	1

<그림 4-4> ~ <그림 4-10>은 Leg별 항적 분포 입력 결과이다.

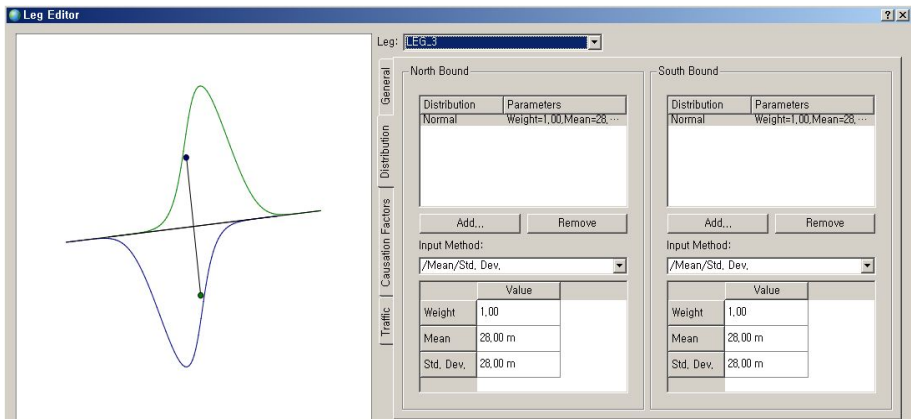




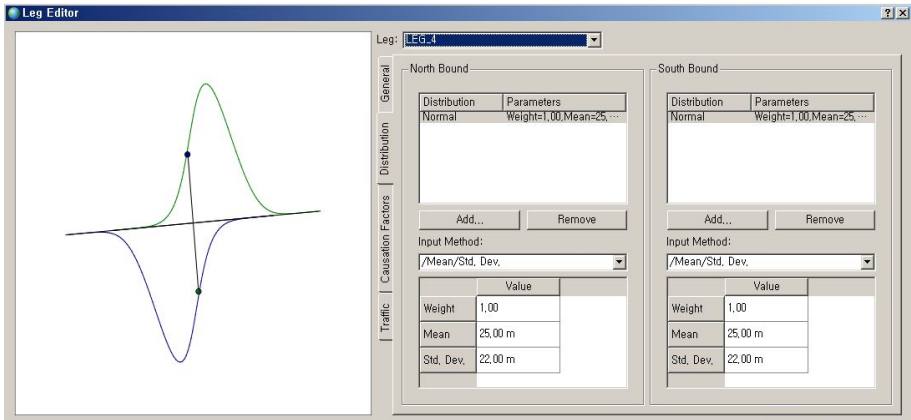
<그림 4-4> Leg 1의 통행선박 항적 분포 입력화면



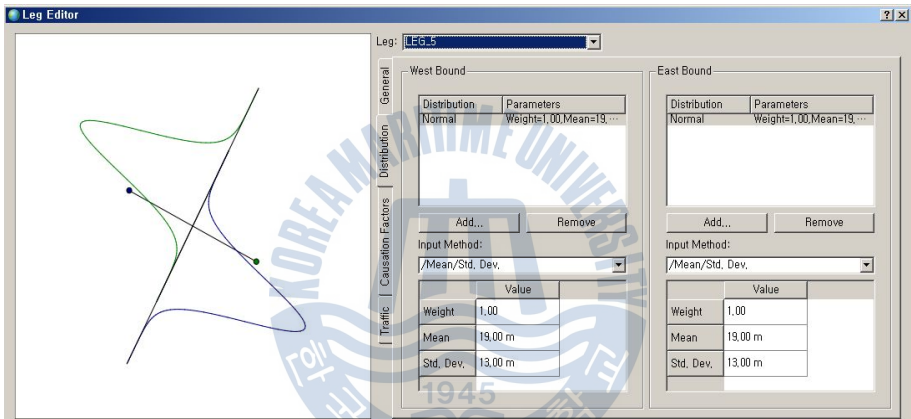
<그림 4-5> Leg 2의 통행선박 항적 분포 입력화면



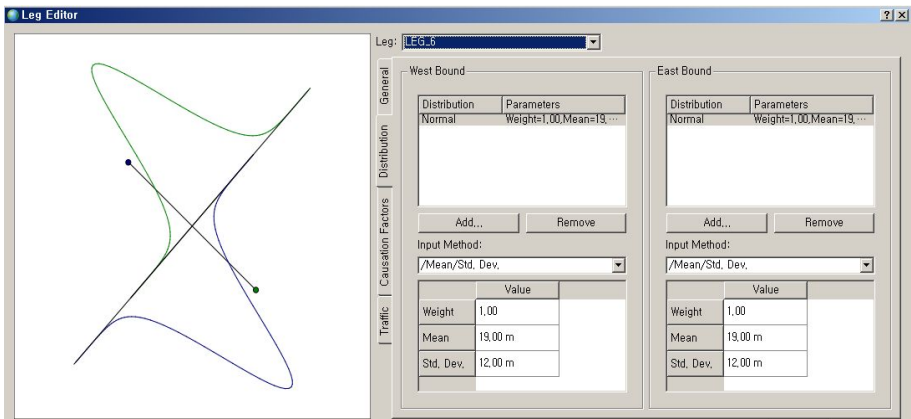
<그림 4-6> Leg 3의 통행선박 항적 분포 입력화면



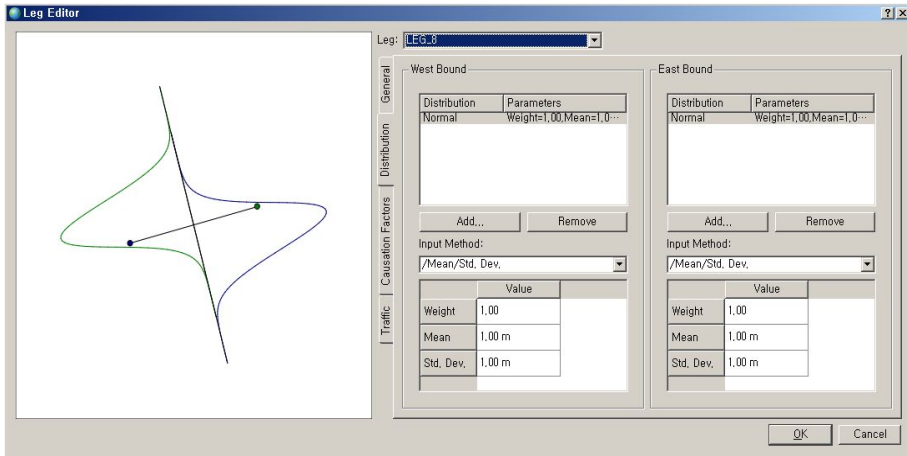
<그림 4-7> Leg 4의 통행선박 항적 분포 입력화면



<그림 4-8> Leg 5,7의 통행선박 항적 분포 입력화면



<그림 4-9> Leg 6의 통행선박 항적 분포 입력화면



<그림 4-10> Leg 8의 동향선박 항적 분포 입력화면

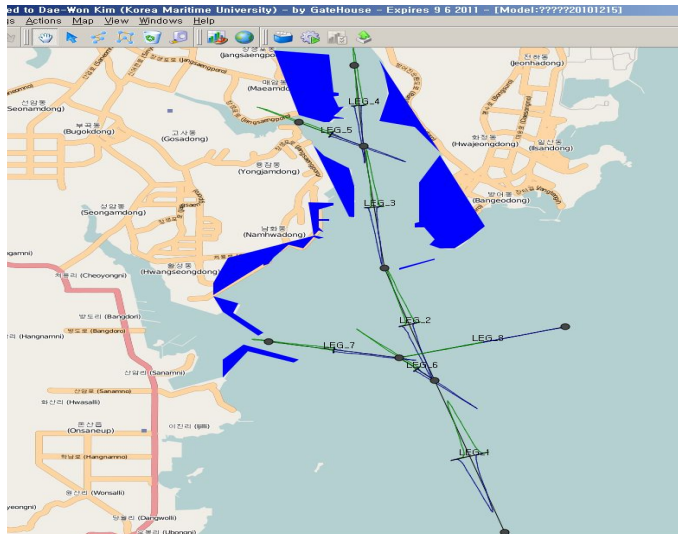
### 4.2.3 기타 변수 입력

Causation Factor, Grounding 및 Drift와 관련된 변수는 당직 항해사가 타선박과 충돌 상황에 있을 경우 주어진 시간 내에 적절한 동작을 취하지 못할 확률을 수치로 나타내어 입력하도록 한 메뉴이다. 본 연구에서는 <표 4-10>과 같이 IWRAP 프로그램에서 기본 값으로 채택, 적용 중인 기초 연구 결과를 그대로 반영하였다.[10]

<표 4-10> IWRAP 충돌·좌초 확률 기본 설정값

Condition	Causation Factor
Head on collisions	$0.5 \times 10^{-4}$
Overtaking collisions	$1.1 \times 10^{-4}$
Crossing collisions	$1.3 \times 10^{-4}$
Collisions in bend	$1.3 \times 10^{-4}$
Collisions in merging	$1.3 \times 10^{-4}$
Grounding - forget to turn	$1.6 \times 10^{-4}$
Mean time between checks after missed turn	180 seconds

수심 설정은 좌초 확률 계산을 위한 필수 입력 항목으로, <그림 4-11>과 같이 항로 주변의 해안선 및 방파제에 대한 영역 설정 후 수심 0m로 입력하였다.



<그림 4-11> 대상 해역 수심 설정

#### 4.2.4 안전성 평가 결과 분석

울산항 해역 해상교통 안전성 평가 결과 좌초 확률은 <표 4-11>과 같이 연간 2.21건, 충돌 확률은 연간 0.68건으로 나타났다.

<표 4-11> 울산항 해역 좌초 및 충돌 확률

Case	Result	Unit
Powered Grounding	1.37536	Incidents / Year
Drifting Grounding	0.839026	Incidents / Year
<b>Total Groundings</b>	<b>2.21438</b>	<b>Incidents / Year</b>
Overtaking	0.198466	Incidents / Year
Head On	0.263021	Incidents / Year
Crossing	0.0440573	Incidents / Year
Merging	0.0287787	Incidents / Year
Bend	0.147784	Incidents / Year
Area	$2.70438 \times 10^{-7}$	Incidents / Year
<b>Total Collisions</b>	<b>0.682107</b>	<b>Incidents / Year</b>

##### (1) 좌초 확률

좌초 확률은 연간 2.21건이 발생하는 것으로 분석되었다. 선박이 정상 운항

중 변침점 판단 착오, 수심 확인 미흡 등의 이유로 인하여 좌초하는 상황인 “Powered Grounding”은 1.38건, 기관 고장 등의 이유로 표류 중 좌초하는 상황인 “Drifting Grounding”은 0.84건으로 나타났다.

**(2) 충돌 확률**

충돌 확률은 연간 0.68건이 발생하는 것으로 분석되었다. 상황별 확률로는 추월 0.20건, 마주치는 경우 0.26건, 교행하는 경우 0.04건, 항로 합류지점 0.03건, 만곡부 0.15건, 기타 해역 내 사고는 0건으로 나타났다

해역별 충돌 확률은 <표 4-12>와 같이 통항량이 가장 많은 Leg 1이 가장 위험한 것으로 나타났으며, 온산항 입·출항 항로인 Leg 3, 1항로 상 변침점인 Waypoint 3, 장생포항 입·출항 항로인 Leg 2 순으로 충돌 위험이 높은 것으로 나타났다.

**<표 4-12> IWRAP 해역별 충돌확률**

Leg / Waypoint	충돌 확률(건)
Leg 1	0.15430400
Leg 2	0.10661800
Leg 3	0.13190400
Leg 4	0.03925470
Leg 5	0.00983102
Leg 6	0.00460016
Leg 7	0.01460500
Leg 8	0.00037057
Waypoint 2	0.05148820
Waypoint 3	0.13159100
Waypoint 4	0.03197050
Waypoint 7	0.00557016

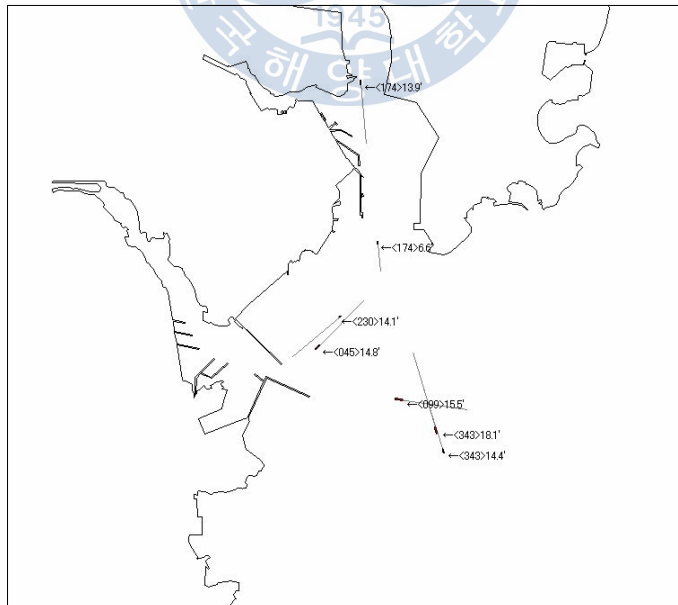
<그림 4-15>는 해역별 위험도를 도식화한 것이다.



<그림 4-12> 울산항 해역 Leg별 충돌 및 좌초 위험도 분석

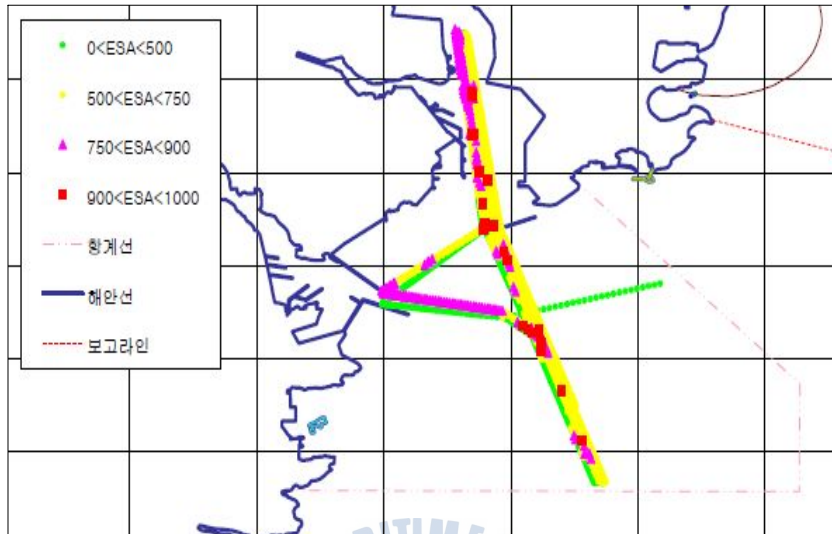
### 4.3 ES Model을 이용한 울산항 해상교통 안전성 평가

IWRAP과 동일한 항로 조건, 선박 통항량을 이용하여 <그림 4-13>과 같이 해상교통류 시뮬레이션을 실행하였다.



<그림 4-13> 울산항 해역 해상교통류 시뮬레이션

해상교통류 시뮬레이션 결과를 기초로 하여 <그림 4-14>와 같이 ES Model 을 적용하여 대상 해역의 안전성을 분석하였다.



<그림 4-14> ES Model 평가 결과

ES Model을 적용하여 분석한 결과, 1항로가 전체적으로 위험한 것으로 나타났으며, 이 중 운산항으로 입·출항 하는 선박이 합류하는 지점과, 항로 주변 해역이 좁아지는 1항로 윗부분이 집중적으로 위험한 것으로 분석되었다.

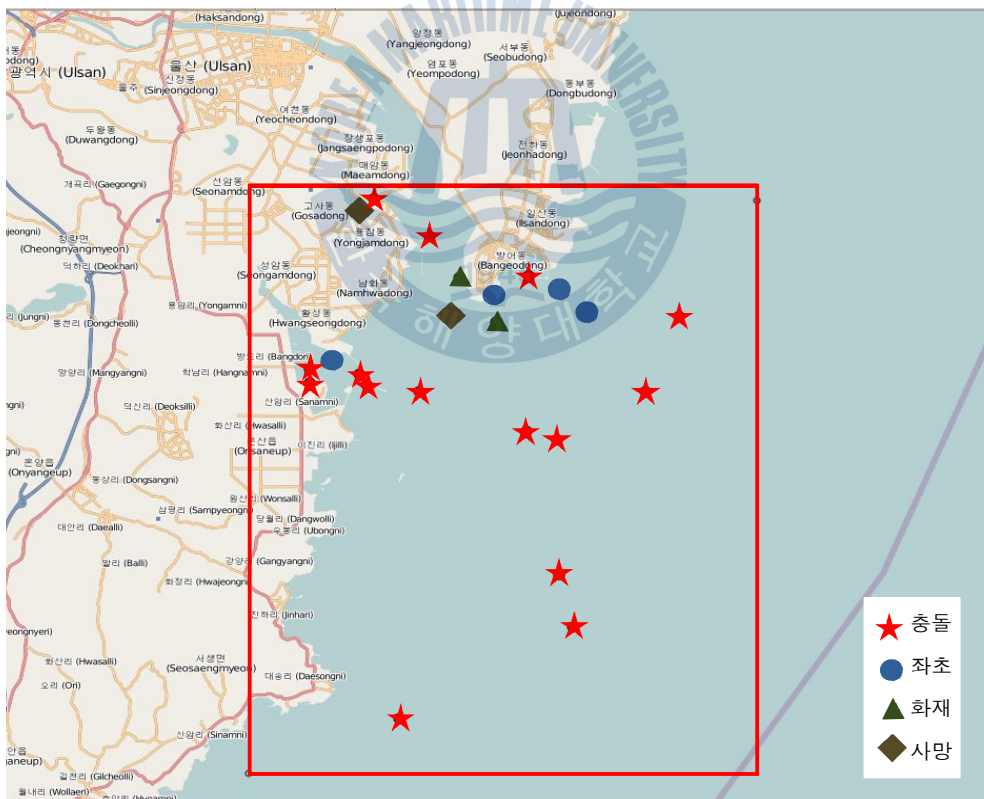
IWRAP을 이용한 평가 결과와 비교하면, 900 이상의 ES 값이 나타나는 1항로가 IWRAP과 마찬가지로 가장 높은 위험도를 나타내고 있고, 3항로의 경우에도 IWRAP과 비슷한 수준의 위험도를 나타내는 것을 알 수 있다.

## 4.4 해양사고 통계자료 비교 분석

IWRAP 및 ES Model을 이용한 평가 결과와 실제 사고 사례를 비교하기 위하여 울산 인근 해역(북위 35도 20분~35도 30분, 동경 129도 20분~129도 30분)을 대상으로 2001년부터 2009년까지의 해양안전심판원 재결서를 이용하여 해양사고 발생 현황을 조사·분석하였다.

### (1) 해양사고 발생 해역

대상해역의 해양사고 발생 장소는 <그림 4-18>과 같다. 충돌 사고는 제1항로, 3항로 및 기타 선박교통이 교차하는 해역 등에서 발생하고 있음을 알 수 있으며 좌초사고는 방어진항 입구 및 온산항 입구 부근에서 발생하고 있음을 알 수 있다.



<그림 4-15> 대상해역의 해양사고 분포도



ES Model 평가 결과에서 항행 위험 지역으로 표시한 3항로 및 1항로 해역에서 실제로 충돌 사고가 많이 발생한 것을 알 수 있다.

## (2) 연도별 해양사고 현황

해양안전심판원의 해양사고 재결서를 이용하여 조사한 대상해역에서의 해양사고는 <표 4-13>에 나타난 것처럼, 충돌 사고 14건, 좌초사고 5건, 화재 3건, 선원사망 2건으로 총 24건이 발생한 것으로 조사되었다. 충돌·좌초사고는 충돌 사고 연평균 1.6건, 좌초사고 평균 0.6건이 발생하는 것으로 조사되었다.

<표 4-13> 대상해역의 해양사고 발생건수

연도	충돌	좌초	화재	선원사망	기관손상	합계
2001	1	0	1	0	0	2
2002	2	1	0	1	0	4
2003	1	3	0	1	0	5
2004	2	0	0	0	0	2
2005	3	0	0	0	0	3
2006	1	0	0	0	0	1
2007	3	0	0	0	0	3
2008	1	1	1	0	0	3
2009	0	0	1	0	0	1
합계	14	5	3	2	0	24

## (3) 선종별 해양사고 현황

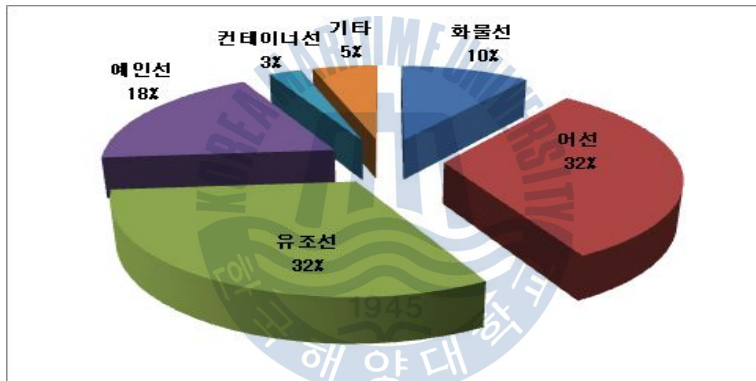
대상해역에서 발생한 사고 건수는 24건이나, 사고에 관련된 선박은 <표 4-14>와 같이 총 38척이며, 이 중 어선과 유조선이 각 12척으로 가장 많으며, <그림 4-16>에서 보는 바와 같이 각각 전체의 32%를 차지하고 있는 것을 알 수 있다.

충돌 사고만을 분석해보면, <표 4-14>와 같이 어선이 10척(36%)으로 가장 높게 나타났으며, 유조선이 7척(25%)이나 되는 것으로 나타났다.

좌초사고의 경우에는 유조선이 2척으로 전체의 40%를 차지하고 있는데, 유조선은 좌초사고 시 대량 유류유출 가능성이 높은 선박이기 때문에 유조선에 대한 특별한 관리가 필요한 것으로 판단된다.

<표 4-14> 선종별 해양사고 발생건수

구분	충돌 사고			좌초	화재	선원사망	기관고장	합계
	충돌선	상대선	소계					
화물선	2	1	3	0	1	0	0	4
어선	4	6	10	2	0	0	0	12
유조선	4	3	7	2	2	1	0	12
예인선	3	2	5	1	0	1	0	7
컨테이너선	0	1	1	0	0	0	0	1
기타	1	1	2	0	0	0	0	2
합계	14	14	28	5	3	2	0	38



<그림 4-16> 선종별 해양사고 현황

#### (4) 선종별 충돌 사고 현황

충돌 사고에 관련된 선박 현황은 <표 4-15>에서 보는 바와 같이 비어선간 6건(42.9%), 비어선과 어선간 6건(42.9%), 어선간 2건(14.2%)로 조사되었다. 전체충돌 사고 중에서 어선과 관련된 충돌 사고가 전체의 67.1%나 차지하고 있음을 알 수 있다.

**<표 4-15> 선박종류별 충돌 사고 현황**

선박	발생건수	발생빈도(%)
비어선간	6	42.9
비어선과 어선간	6	42.9
어선간	2	14.2
단독 및 부두충돌	0	0
기타(미상)	0	0
합 계	14	100.0

**(5) 해양사고 통계 분석 결과와 IWRAP 결과와의 비교 분석**

최근 9년간 해양사고 통계 분석 결과 좌초 사고 건수는 총 5건으로 연간 0.6건의 좌초사고가 일어나는 것으로 나타났다. IWRAP의 예측치인 2.2건보다 적은 사고가 발생하였다. 이와 같이 차이가 나는 이유는 IWRAP의 예측치는 모든 상황을 고려한 잠재적 좌초위험도의 측정이기 때문에 실제 일어나는 사고 건수와 차이가 나는 것으로 추정된다.

한편, 충돌 사고 건수는 총 14건으로 연간 1.6건의 충돌 사고가 일어나는 것으로 나타나, IWRAP의 충돌 예측 건수 0.7건과는 상당한 차이가 있는데, 그 원인을 충돌 사고에 관련된 어선에서 찾아보고자 한다.

<표 4-15>에서 알 수 있듯이, 9년간 충돌 사고 14건 중에서 8건이 어선과 관련된 충돌 사고이다. 하지만, PORT-MIS상의 입출항 자료에는 대상 해역의 어선 통항량 정보가 제대로 반영되어 있지 않은 관계로 IWRAP과 실제 충돌 사고 건수와의 차이가 난다고 판단된다.

실제 통계자료에서 비어선간 충돌 사고 건수만을 고려한다면 9년간 6건으로, 연평균 0.67건 가량 되어, IWRAP 예측치인 연평균 0.68건과 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

## 제 5 장 결 론

우리나라 연안 해역은 해안선이 복잡하고 섬이 산재해 있으며, 특히 서해안 지역에서는 조석 간만의 차이가 크고 조류가 강하게 흐르며 안개 발생 일수가 많아 항행 환경이 어렵고 최근에는 해상교량 및 항만 개발 등으로 인하여 상대적으로 많은 선박 교통량에 밀집되어 해양사고 발생 위험이 높은 해역으로 분류되고 있다.

이에 2009년 개정된 해상교통안전법에 따라 해상교통 안전진단제도를 도입하여 해상 교량 및 항만 건설 시 선박의 통행 안전 확보, 해양 사고 예방 및 항만의 효율성을 높이고자 하는 노력을 기울이고 있다. 이러한 해상교통 안전진단제도에 있어서 가장 핵심적인 부분은 바로 해상교통 안전성 평가이다.

제2장에서 해상교통 안전진단의 개념과 해상교통 안전진단제도에 대하여 검토하고, 평가 항목에 대하여 조사하였다. 평가항목에는 해상교통 현황조사, 해상교통 현황측정, 해상교통시스템 적정성 평가, 해상교통 안전대책 등이 있었다.

제3장에서는 해상교통 안전성 평가에 대한 기초 조사와 국내·외에서 사용 중인 평가모델의 종류와 적용 사례를 조사하였다. 우리나라의 경우 독자적 모델의 부재로 일본에서 개발한 ES Model을 주로 사용 중에 있으나, 국내 선박운항자의 위험의식이 반영되어 있지 않은 문제점이 있었다. 국내 실정에 적합하고 이해 관계자들의 만족도를 높이기 위한 독자적인 평가모델 개발의 필요성을 알 수 있었다.

제4장에서는 IWRAP과 ES Model을 이용하여 실제 국내 항만을 대상으로 안전성 평가를 실시하였다. 특히, 본 연구에서 처음으로 IWRAP을 이용하여 국내 해역을 대상으로 한 안전성 평가를 실시하였다. 안전성 평가 결과와 해양사고 통계 자료와의 비교 분석을 실시하여 IWRAP 및 ES Model에 대한 특징을 파악할 수 있었고, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, IWRAP은 선박 통항량을 기초로 하여 연간 좌초 및 충돌 확률을 계산하는 정량적 평가모델로 평가 대상 해역별 위험 정도를 색상 변화를 통하여 시각적으로 표시해 주는 동시에 연간 좌초 및 충돌 확률을 표시함으로써 위험 지역 식별이 가능하였지만, 입력 방법이 복잡하고 모델의 계산방식에 대한 이론적인 설명이 부족한 문제점이 있었다.

둘째, ES Model은 선박운항자가 느끼는 조선 곤란감을 정량화하여 나타낸 평가모델로 종합환경 스트레스치를 4단계로 구분하여 평가 대상 해역에 색상 변화를 통하여 표시를 하였다. 국내 해상교통 안전진단제도에서 사용할 모델로 선정될 만큼 높은 신뢰도를 가지고 있으나, 국내 선박운항자의 위험의식이 고려되지 않았으며 항계 내·외의 위험도가 동일하게 적용된 문제점이 있었다.

셋째, IWRAP을 이용한 충돌 확률 산출 결과와 ES Model을 이용한 특정 수준 이상의 ES값을 이용하여 두 모델간의 위험도 산출 결과를 비교할 수 있었다. 다만, ES Model이 선박운항자의 주관적 위험도를 수치화 한 결과인 관계로 개략적인 위험 구역에 대한 비교만 가능하였으며, 각 해역별 사고 확률에 대한 자세한 비교는 불가능 하였다.

향후 연구 과제로는 본 연구에서 사용한 IWRAP 및 ES Model뿐만 아니라 기타 평가모델을 이용한 국내 해역 평가가 필요하며, 평가 대상 해역을 다수로 설정하여 신뢰도 있는 기초자료의 지속적인 구축이 필요할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 정재용·김철승·박영수·정기남, 울산항의 항행환경 조사·분석, 해양환경안전학회 제14권 제3호, 2008
- [2] 박진수·박영수·이형기, 해상교통공학, 2001
- [3] 박영수, 해상교통관리에 관한 기초적 연구, 고베대학 박사학위 논문, 2002
- [4] 박진수·이형기·박영수, 해사안전관리, 2004
- [5] Oxford University Press, Oxford Dictionary of English, 2005
- [6] 조익순·이상진·김인철·황의선·임광태, 해상교통안전진단제도 및 기술기준 소개, 해양환경안전학회 춘계학술발표회, 2009
- [7] U.S. Department of Transportation, FHWA Road Safety Audit Guidelines, 2006
- [8] 박영수·김종수·박진수, 해상교통공학적 고려요소를 이용한 광양항의 장래교통량 예측에 대한 연구, 한국항해항만학회지 제31권 제6호, 2009
- [9] 박영수, 해상교량 건설을 위한 선박통항 안전성 검토요소에 관한 연구 I, 한국항해항만학회지 제29권 제1호, 2005
- [10] Peter Friis-Hansen, IWRAP Mk II Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies, Technical University of Denmark, 2008
- [11] 해양수산부, 부산항 인근해역 해상교통 환경평가 연구보고서, 2006
- [12] 한국가스공사, 해상으로부터 LNG 선박 및 하역시설 보호를 위한 안전성평가 연구보고서, 2010
- [13] 한국해양과학기술진흥원, 해상교통안전성 평가모델 기술개발, 2010
- [14] 西部海難防止協會, 戸畑泊地大形船夜間入出港に伴う船泊航行安全對策 調査 専門委員會, 2004
- [15] USCG, Port and Waterways Safety Assessment Workshop Report, 2009
- [16] 여인철, FSA(Formal Safety Assessment), 대한조선학회지 제40권 제1호, 2003
- [17] P.Loic·J.Wang·A.Wall·T.Ruxton, Formal Safety Assessment of Cruise Ships, Tourism Management 25, 2004
- [18] Marine Department of Hong Kong, Marine Traffic Risk Assessment for Hong Kong Waters, 2004
- [19] Yasda Masaru·Inoue Kinzo·Usui Hideo·Hirono Kohei, Relationship between Unsafe Ship-handling Situation and Marine Accidents at the Kurushima Strait, Journal of Japan Institute of Navigation, 2005
- [20] 日本海難防止協會, 港内航行管制基準の改定に關る調査報告書, 2009
- [21] 울산항만공사, 정박지 확충을 위한 항계선 확장 및 예부선 안전통항에 관한 연구, 2010
- [22] 국토해양부, PORT-MIS 2008년 톤수별, 선종별 입출항 실적, 2009
- [23] 해양수산부, 항만 및 어항 설계기준, 2005

## 감사의 말씀

우선 저에게 학문의 기회를 주시고, 이러한 결실이 있기까지 옆에서 항상 이끌어주신 박진수 지도교수님께 진심으로 머리 숙여 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 보다 더 좋은 논문이 될 수 있도록 심사와 조언을 해주신 설동일 교수님과, 본 논문의 처음부터 끝까지 일일이 도와주시고 세심한 배려를 해주신 박영수 교수님께도 깊은 감사의 말씀을 전합니다.

가까이에서 항상 격려해주시던 강정구 선배님, 박성용 선배님, 터키친구 Volkan, 신동숙 선배님 등 해상교통안전 연구실 모든 가족분들께 감사드리고, 특히 멀리 목포에서도 항상 응원해주신 정재용 교수님께 더 큰 감사를 드립니다.

본 논문을 처음 준비할 때 옆에서 같이 고민해주던 이진석 선배님, 김범수 선배님과 논문 준비를 핑계로 업무에 부담을 줘도 군말없이 저를 따라주고 도와주신 서보환, 김지애, 김현철, 심남훈 지도관, 옆에서 많은 도움을 주시는 이신걸 박사님, 이정진 선생님, 조미란 선생님께도 감사를 드립니다. 나란히 같은 길을 걸으며 제가 게을러지거나 흐트러지지 않게 해주고 많은 격려와 도움을 준 동기 박준모, 옆에서 항상 응원해주고 힘을 불어넣어주는 김그리고운에게도 감사를 전합니다.

영원한 벗인 한국해양대학교 운항과 57기 동기들에게도 감사의 말을 전하고, 부족한 글이나마 완성하는데 도와주신 많은 분들의 성함을 모두 올려드리지 못함을 죄송스럽게 생각하며, 그 점에 대하여 넓으신 아량으로 이해하여 주시리라 생각하고 있습니다.

끝으로, 저를 항상 믿어주시고 언제나 제가 잘되기만을 바라며 헌신하시는 부모님과, 서울에서 홀로 고생하고 있는 동생 자영이와 함께 기쁨을 나누고 싶습니다.