

아산항 계획 항로에서의 선박 통항의 안전성 평가 검토

이동섭* · 윤점동** · 정태권**

An Investigation for Evaluation of the Safety of the Ship's Transit
in the Planned Channel of Asan Port

Dong-Sup Lee · Jeom-Dong Yun** · Tae-Gweon Jeong***

Abstract	4. 시나리오 設計
1. 序論	5. 結果 및 分析
2. 研究의 構成要素	6. 結論
3. 實驗設計	參考文獻

Abstract

This paper was a part of the risk management in planning a channel. It utilized Korea Marine Training & Research Institutes (KMTRI) which houses a real-time, full-mission shiphandling simulator to examine the safety of the ship's transit in the planned channel of Asan port. 6 competent Captains participated in this study. The vessel modelled was a 60,000-ton ship. The two variables(factors) examined were environmental conditions such as flood-and-ebb current condition and day-and-night condition. The two variables were combined to produce four experimental conditions.

To evaluate the safety of the environmental conditions, two categories of performance measures were analyzed. They were vessel's proximity to channel boundary and vessel controalbility. The findings regarding the effects of environmental conditions were as follows :

- Closest Point of Approach(CPA) to channel boundary was enough for 60,000-ton ship to transit throuth the channel with 99.999% confidence level.
- Closest Point of Approach(CPA) to channel boundary further was under against-current condition than under with-current condition.

* 정희원, 한국해기연수원
** 정희원, 한국해양대학교

- Vessel controlability was better under against-current condition than under with-current condition.
- Vessel controlability was better under inbound transit than under outbound transit.

1. 서 론

새로운 항만을 건설하는 데에는 대규모의 투자가 필요하고 일단 건설된 항만을 변경하는것은 어렵다. 최근 탱커의 사고 등과 같은 대형 사고의 발생으로 인한 기름 유출로 해양 오염이 증대되고 있고 특히 수역이 좁은 항로나 항만 내에서의 선박 조종상의 곤란으로 이런 지역에서는 선박 통항의 안전성이 더욱 중시되고 있다. 따라서 항만이나 선박 설계시 사전의 안전성 평가가 더욱 중요하다고 볼 수 있다.

이런 때 선박의 조종 운동에 대한 수학적 모델과 비주얼 재현이 가능한 선박 조종 시뮬레이터가 개발되어 선박이나 항로의 안전성 평가에 이용되고 있다. 항로에서의 선박의 안전성 평가는 보통 다음과 같은 방법으로 하고 있다.¹⁾

- ① 해당 항로를 통항하는 선박의 모델 개발 및 확인
- ② 해당 항로에 대한 비주얼 이미지 개발 및 확인
- ③ 항로 설계 및 시뮬레이션 실시
- ④ 시뮬레이션 결과의 분석 및 안전성 여부 평가

본연구에서는 전설부 및 서울지방국토관리청의 '아산항 공업기지의 항만 개발 기본 계획서'(이하 "계획서"라 한다)에서 제시한 아산항 계획 항로의 일부 구역에 대하여 선박 통항의 안전성을 검토하는 것으로 한정한다. 본 연구를 위하여 활용한 장비는 한국해기연수원 소유의 선박조종시뮬레이터이다.

시뮬레이션은 우선 아산항 계획 항로에 대한 영상 이미지(visual image)를 만들어서 60,000톤 선박 모델을 이용하여 6명의 선장이 만재상태인 60,000톤의 선박을 13번 부표에서 36번 부표까지 조종한다. 독립 변수는 환경 조건이고, 이 환경 조건을 조합하여 4개의 시뮬레이션 시나리오를 만든다. 각 선장은 항해사와 조타수의 도움을 받아 실시간 시뮬레이션(real time simulation)을 행한다.

선박의 운항의 안전성 평가에 대하여서는 시뮬레이션이 끝날 때마다 선박의 근접도와 선박의 제어도를 종속 변수로 선택하여 환경 조건에 대한 이들 변수의 값을 측정하고 그 결과를 통계적으로 분석하는 것으로 한다.

2. 연구의 구성 요소

2.1 참가 인원

본 연구를 위해 조선에 실제로 참가한 인원은 6명의 경험이 많은 선장과 항해사 1명과 조타수 1명이다.

2.2 데이터 베이스(data base)

본선이 지나는 수역의 시뮬레이션에는 우선 데이터 베이스 개발이 필요하다. 이들 데이터 베이스는 본선의 하이드로다이나믹(Hydrodynamic)과 에어로다이나믹(Aerodynamic) 방정식이 서로 연계되어 외부 장치에 대한 시각 관측과 선교 장비에 나타난 정보로써 실제적인 움직임을 나타내주도록 되어 있다. 본 연구에서 평가하려고 하는 아산항 계획 항로는 '계획서'와 일치하는 Fig. 1과 같고 이 항로를 구성하는데 필요한 데이터 베이스는 시각 데이터, 수심 조류 뱅크의 데이터 베이스, 레이더 데이터 베이스, 상황표시 및 플로팅 데이터 베이스로 되어 있다. 이들을 간략히 설명하면 다음과 같다.

1) 시각 데이터 베이스(visual database)

아산항 계획 항로의 시각 데이터를 완전한 컬러 컴퓨터 그래픽(Color computer graphic)으로 생성한다. 눈에 보이는 것은 육지의 자연 지형과 인공 구조물, 항로 표지 및 등질, 본선의 전부 갑판, 다른 선박, 항로가 된다. 육지에 대한 상세 정도는 얼마만큼 실제적인 항해 목적으로 사용할 것인가와 주위 환경에 대한 느낌을 얼마만큼 나타낼 수 있는가에 따라서 결정한다. 사람이 만들거나 자연

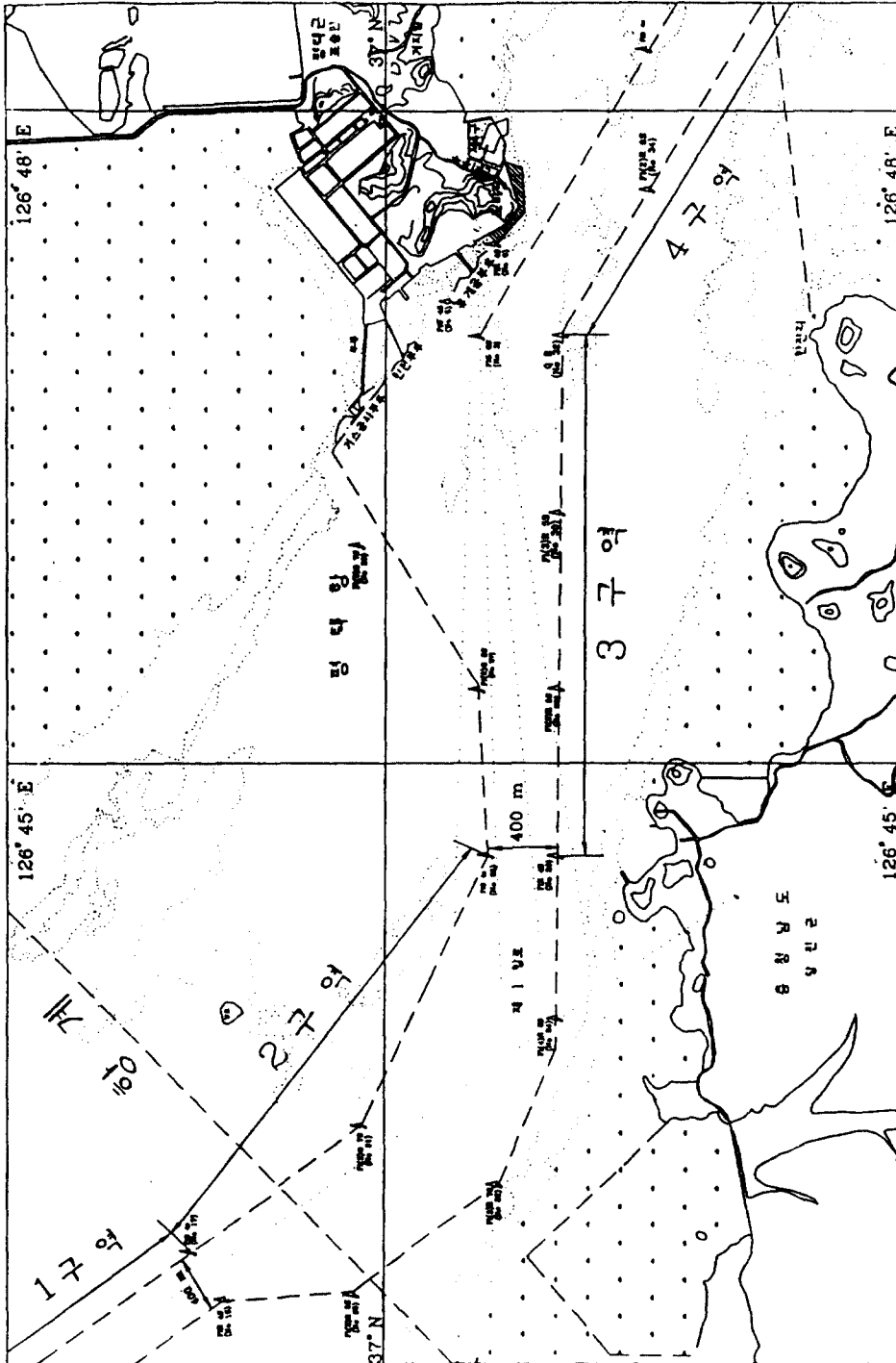


Fig. 1 The planned channel of Asan port

적으로 형성된 구조물은 육지 또는 바다쪽으로 찍은 사진으로 부터 개발한다. 수로 및 육지의 윤곽은 해도를 이용하고 항로표지 정보는 해도 및 등대표와 같은 수로서지와 '계획서'의 자료를 이용한다. 본선의 위치에서 어떤 목표까지의 시계는 주간, 야간, 안개 등의 상태에 따라 다르게 나타나도록 한다. 야경은 항로 표지등, 항해중인 선박의 항해등, 육상의 불빛을 포함하도록 한다. 본연구에서 주는 주간의 시정을 8마일로 한다.

2) 수심, 조류, 뱅크의 데이터 베이스(depth/current/bank data base)

제한된 수로에서의 조선 시뮬레이션에서 수심, 채널 양측의 구조, 조류 등은 조선상 올바른 감각을 얻는데 필수적인 것이다. 이들에 대한 자료는 선행 연구의 결과²⁾ 및 해도를 이용한다.

3) 레이더 데이터 베이스(radar data base)

레이더는 제한된 수로 및 연안 수역의 실제 항해와 같이 시뮬레이션에서는 필수적이다. 한국 해기 연수원의 시뮬레이션용 레이더 데이터 베이스는 육지의 윤곽선을 이용하고 선박이 수로를 통과할 때 실제로 PPI 화면에 나타난 사진을 이용하여 수정한다. 항로 표지를 측정하여 얻은 레이더 방위와 시각 방위가 실제의 경우와 똑같이 시뮬레이터에서도 완전히 일치하도록 한다. 또 시각 데이터 베이스에 있는 구조물-예를 들어, 부표, 육지, 육지의 건축물-등이 본선의 선교에서 보이지 않는다고 하더라도 레이더 데이터 베이스에는 삽입시켰다. 레이더의 영상은 실선의 레이더와 마찬가지로 방해 잡음, 맹목구간, 그늘구간, 페이딩 현상이 나타나도록 하였다.

4) 상황 표시 및 플로팅 데이터 베이스(situation display and plotting data base)

상황 표시 데이터 베이스에는 아산 항로의 전경(全景), 항로 표지, 해안선, 육지의 주요 구조물이 나타나도록 하였다. 상황 표시 데이터 베이스는 시뮬레이션 실행 중 온라인(on-line)으로 선박의 이동 상황을 감시하는데 이용하고, 플로팅 데이터 베이스는 시뮬레이션이 끝난 후 선박의 궤적을 플로팅하여 데이터를 분석하는데 사용한다.

2.3 본선의 모델

본선의 모델은 앞으로 주로 출입항할 선박일 것, 바람과 조류 및 천수 영향을 그대로 나타낼 것 등을 고려하여 60,000톤 선박을 선정하였다. 본선에 사용된 수학적 모델은 CAORF가 개발한 모델을 사용하였다. 모델 선박의 선체 운동 방정식은 MMG이며 3 자유도의 운동 특성을 갖고 있다. 선박은 60,000톤급으로 최대 흘수가 11.6M이다. 선박의 요목은 Table. 1과 같고 조종 특성은 Fig. 2와 같다.

Table 1. 60,000-ton ship's particulars

ITEMS	CONTENTS
DWT	60,000 TON
LOA	254.0 METER
LBP	240.0 METER
BEAM	32.2 METER
DRAFT	11.6 METER
ROTATION DIRECTION	RIGHTHAND
MAX SPEED AHEAD	18 KTS
MAX SHAFT RPM AHEAD	120 RPM
MAX SHEED ASTERN	10 KTS
MAX SHAFT RPM ASTERN	90 RPM
NUMBER OF RUDDER	1 SET
RUDDER RESPONSE TIME	26 SECONDS
BOW THRUSTER	1,200 HP

3. 실험 설계

아산항 계획 항로의 안전성 평가를 위한 실험 설계를 하는 데 다음과 같은 독립 변수와 종속 변수를 사용한다.

3.1 독립 변수

실험 설계에 있어 사용하는 독립 변수는 일반적으로 항해 시스템과 환경 조건이 되지만 본 연구에서는 계획 항로에 대한 안전성 평가가 목적이기 때문에 환경 조건을 독립 변수로 한다. 환경 조건에도 조류, 시정, 주야, 바람 등이 있으나 본 연구에서는 바람은 연중 최대 풍속으로 하고 시정도

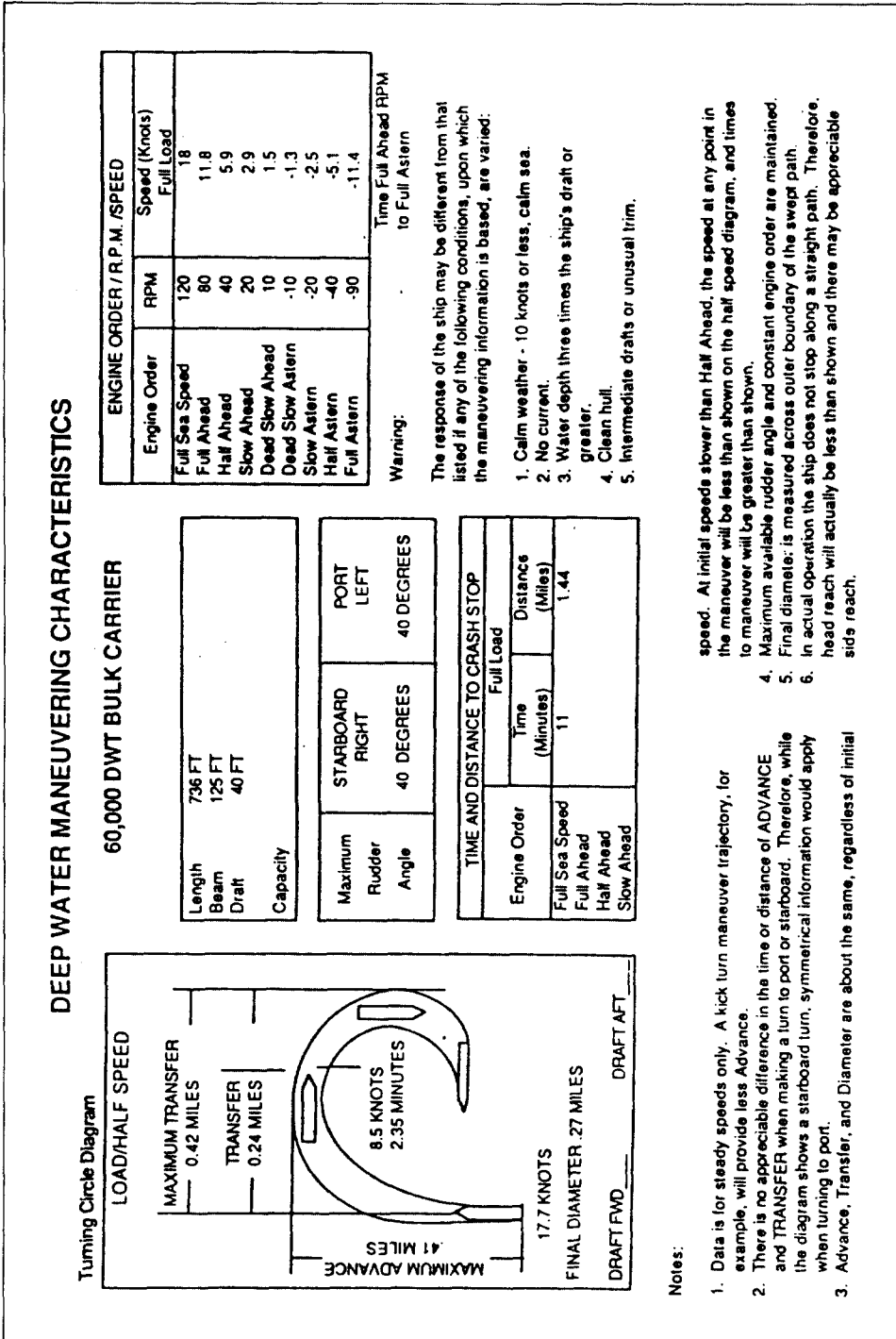


Fig. 2 60,000DWT Vessel and Deep Water Maneuvering Characteristics

양호한 상태로 하였다. 따라서 독립 변수는 조류 조건(창조류, 낙조류), 주야 조건(주간, 야간), 통항 방향(입항, 출항)이다. 이를 정리하면 다음과 같다.

- 항해 시스템 : 계획 항로에 의한 단일 시스템
- 바람 조건 : NW'ly 25kts
- 조류 조건 : 창조류 2kts, 낙조류 2kts
- 통항 방향 : 입항, 출항
- 주야 조건 : 주간, 야간

3.2 종속 변수

아산항 계획 항로의 안전성을 검토하기 위하여 선택한 종속 변수는 선박의 근접도와 선박의 제어도이다(Table 2)³⁾.

Table 2. Dependent Variables relating to the safety of Asan Channel

Performance Measures	Dependent Variables
Proximity Measures	<ul style="list-style-type: none"> • Closest Point of Approach (CPA) of ship to Channel boundary • Probability of exceeding channel boundary
Controlability Measures	<ul style="list-style-type: none"> • Variability of heading • Average of absolute of yaw • Average swept path during transit • Average absolute deviation of ship's track from channel centerline • Average absolute rudder angle

본 연구에서 선박의 근접도(vessel proximity)에 대한 평가는 다음과 같이 한다. 본선이 항로를 지날 때 항로 경계와의 거리가 가장 짧은 곳을 지나 는 기준선을 잡고 이 기준선상에서 선박과 항로 경계와의 최근접 거리를 측정하고 이것을 토대로 본선이 항로 경계를 벗어날 확률을 구한다.

한편, 본선이 항로 경계를 벗어날 확률은 부두 계류 선박과의 최근접 거리의 평균치를 \bar{x} , 이때의

표준편차를 σ 로 하고 측정된 데이터가 정규 분포를 이룬다고 가정하면 본선과 계류 선박과의 최근접거리의 추정 평균치 μ 는 다음과 같이 표시할 수 있다⁴⁾.

$$P(\bar{x} - k \leq \mu \leq \bar{x} + k) \geq 1 - \alpha$$

$$k = Z_{\alpha/2} \cdot \sigma$$

단,

Z = 표준정규변수

α = 항로 경계를 벗어날 확률

P = 신뢰구간

TNO의 보고⁵⁾에 따르면 확률 α 의 값은 항로 경계에서는 0.001, 항만내 또는 방파제 입구에서는 0.0001로 정하고 있다. 본연구에서는 시뮬레이션 구역이 항로이므로 확률 α 를 0.001로 하여 안전성을 평가하는 기준으로 잡고자 한다.

선박의 제어도(vessel controllability)에 대한 평가는 본선이 항로를 지날 때의 본선을 조종하는데 필요한 양의 평가로서 본 연구에서는 항로를 지날 때의 요잉 특성, swept path, 항로의 중심선으로부터의 편의량, 평균 사용 타각을 측정한다. 이들은 항해 시스템을 독립 변수로 채택할 경우 보다 효율적인 방법이 되나 본 연구에서는 조류 및 선박의 크기에 따른 제어도를 비교 검토하는 것에 그치고자 한다.

우선 요인 특성으로서는 선수 방위 변동량, 평균 yaw rate를 측정한다. 선수 방위 변동량이란 선수 방위의 변동에 대한 표준 편차를 말하고 평균 yaw rate는 선수 방위의 변화 비율의 평균치를 절대값으로 나타낸 것이다.

스융트 패스(swept path)란 항로의 중앙선에 수직한 직선에 선박을 투영하여 측정할 거리로서 항로를 지나는 선체가 끌고 지나가는 수면의 면적으로 볼 수 있다. 각각의 독립 변수에 대하여 선박 및 항로 경계와의 최근접거리가 동일할 때 스텍트 패스(swept path)가 클수록 선박의 반응력을 감소한다고 말할 수 있다. 평균 스텍트 패스(swept path)는 선박이 기준선을 통과할 때까지의 스텍트 패스(swept path)의 평균치를 말한다.

항로 중심선으로부터의 편의량은 선박의 중심이

항로 중심선에서 떨어진 거리를 말하며 평균 편의량은 기준선을 지날 때까지의 편의량의 절대값을 평균한 것을 말한다.

평균 사용 타각은 기준선을 지날 때까지의 사용 타각의 절대값을 평균한 것이다.

4. 시나리오 설계

본연구의 시나리오는 3개의 within subject factor로서 조류조건(수준 2), 주야조건(수준 2), 통항조건(수준 2)을 각각 조합하여 8개로 설계한다.

Table 3은 이들 시나리오의 수행 순서와 그 횟수를 나타낸 것이다. 여기서의 수행 순서는 날짜별의 차이를 상쇄시켜 인자 수준간의 차이를 독립적으로 구할 수 있도록 완전히 랜덤하게 작성한 것이다.

Table 3. Experimental Design of Asan Channel

	Inbound				Outbound				
	Flood current		Ebb current		Flood current		Ebb current		
	D	Night	D	Night	D	Night	D	Night	
	ay		ay		ay		ay		
S1	6	4	3	7	1	8	2	5	8
S2	3	5	2	8	4	7	1	6	8
S3	2	7	4	1	8	3	5	6	8
S4	4	3	5	6	2	7	8	1	8
S5	8	2	6	3	5	1	4	7	8
S6	1	8	6	3	5	1	4	6	8
	6	6	6	6	6	6	6	6	48

Where, S means each captain.

이들 시나리오를 수행할 때, 선장은 면허를 가진 항해사 및 실무 경험이 많은 조타수의 도움을 받는다. 항해사는 실선에서와 같이 선장에게 항해상 필요 정보를 제공하거나 선장의 명을 받아 기관 사용 등의 필요 조치를 하도록 한다. 조타수도 선장의 칙로 명령이나 조타 명령을 수행한다.

본 연구에서 다루는 아산항 계획 항로는 Fig. 1과 같이 긴 항로이므로 분석 편의상 4 개의 구역으로

나눈다. 제 1 구역은 부표 13에서 17번까지의 직선 항로이고, 제 2 구역은 부표 17번에서 25번까지의 만곡부이다. 제 3 구역은 부표 25번에서 32번까지의 직선 구간이고, 제 4 구역은 부표 32번에서 부표 36번까지이다.

시물레이션에 참가하는 선장에게는 해당 선박의 조선 방법이나 일반적인 주의사항을 설명하여 주고 시물레이션의 영상, 선교 장비의 위치 및 작동, 항로를 이해하도록 숙지 훈련을 두 차례 실시하였다.

5. 결과 및 분석

5.1 데이터 분석의 개요

본 연구에서의 데이터 분석은 60,000톤 선박에 대한 선박의 근접도 및 제어도를 나타내는 각 종속 변수가 각 환경 조건에 따라 유의적인 차이가 있는가를 알아보고, 또 선박의 근접도 변수에 대한 평가한다. 이 평가는 항로 경계를 침범할 확률 및 통항 선박과 충돌할 확률을 조사하여 선박 통항의 안전성을 확인한다.

분석 결과를 나타내는 주요한 방법은 각 변수에 대한 기술 통계량을 살펴 보는 것이다. 보통 기술 통계량은 평균과 표준 편차로 나타낸다. 이 평균에 대한 유의적인 차이 여부는 분산분석법(analysis of variance)으로 검정한다.

5.2 환경 조건이 선박의 성능에 주는 영향 분석

환경 조건, 여기서는 조류 조건과 주야 조건이 선박의 근접도 및 선박의 제어도 등 선박의 성능에 주는 영향을 살펴 보자. 환경 조건에 따른 선박의 근접도 변수 및 제어도 변수의 평균과 표준 편차는 Table 4 및 Table 5와 같다.

각각의 종속 변수에 주는 환경 조건의 영향은 2원 분산분석법(Two factor repeated measures analysis of variance)으로 검정한다. 여기서 사용한 두가지 요소는 환경 조건으로서 수준이 2인 조류 조건과 수준이 2인 주야 조건이다. 각 선장은 각각의 실험 조건에 참가하므로 각각의 선장을 bloc-

Table 4. Descriptive Statistics for Vessel Proximity Measures as a Function of Environmental condition

Seg.	Dependent Variables		Inbound				Outbound			
			Flood Curr.		Ebb Curr.		Flood Curr.		Ebb Curr.	
			Day	Night	Day	Night	Day	Night	Day	Night
1	CPA to Channel	M	100.68	109.53	90.23	91.25	163.98	177.48	183.93	190.67
	Boundary	SD	28.71	19.81	29.27	27.62	45.19	42.80	40.68	45.23
	CPA to Traffic	M	82.18	90.25	116.15	112.17				
	ship	SD	25.82	29.11	26.22	28.85				
2	CPA to Traffic	M	287.77	271.27	333.87	292.00	185.50	193.27	182.55	182.58
	Boundary	SD	60.94	67.62	58.28	52.53	58.19	41.11	57.51	52.78
	CPA to Traffic	M					209.43	233.27	182.55	182.58
	ship	SD					58.93	61.69	46.42	41.28
3	CPA to Traffic	M	148.67	130.42	154.32	153.37	171.80	148.23	120.48	117.70
	Boundary	SD	39.18	28.04	33.58	27.26	44.05	49.52	35.40	32.23
	CPA to Traffic	M	150.25	143.10	155.83	143.00	150.07	131.47	101.18	132.52
	ship	SD	30.77	26.57	49.03	11.95	31.76	37.37	24.77	21.85
4	CPA to Traffic	M	193.00	200.77	173.68	212.88	129.77	116.35	153.38	122.58
	Boundary	SD	54.08	51.14	53.95	56.57	36.67	25.49	24.15	16.41
	CPA to Traffic	M					124.85	116.25	85.10	104.33
	ship	Sd					32.18	33.46	19.69	16.16

king variable로 처리하여, 모두 8번의 분산분석을 하였다. 이에 대한 F 통계량 및 관련 유의 수준은 Table 6, Table 7과 같다.

5.2.1 제 1 구역

1) 선박의 근접도 Table 6의 분산분석표에서 항로 경계와의 최근접거리를 살펴보면 입항시나 출항시 모두 조류 조건 및 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 상호 작용도 유의적이지 못하다. 따라서, Table 4의 기술 통계량에 의하면 항로 경계와의 최근접거리는 입항의 경우 90.23m~109.53m이고 출항의 경우는 163.98m~190.67m이다. 따라서 출항의 경우가 입항의 경우보다 더 크음을 알 수 있다.

Table 6에서 보듯이 통항 선박과의 최근접거리는 입항의 경우, 조류 조건에 대하여서는 유의적인 차이가 있지만 주야 조건에 대하여서는 유의적인 차이가 없고 조류 및 주야의 상호작용도 유의적이

라 할 수 없다. 즉 Table 4의 기술 통계량에 의하면 통항 선박과의 거리는 낙조류 2kts에서 116.15m, 창조류 2kts에서 82.18m로 낙조류인 경우가 창조류때보다 약 34m 더 떨어져서 지나간다고 할 수 있다.

2) 선박의 제어도

Table 7의 분산분석표에서 보는 바와 같이 선수 방위 변동량은 입항의 경우 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하나 출항의 경우 조류 조건에서만 유의적인 차이가 나타나고 있다. 즉, Table 5의 기술 통계량에 의하면 선수방위 변동량은 입항의 경우 1.14~1.43°이다. 출항의 경우는 창조류일 때 0.69°이고 낙조류일 때 0.30°로 창조류일 때가 낙조류일 때보다 더 크게 나타나고 있다.

평균 yaw rate는 입항의 경우 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하나 출항의 경우 조류

Table 5. Descriptive Statistics for Vessel Proximity Measures as a Function of Environmental condition

Seg.	Dependent Variables		Inbound				Outbound			
			Flood Curr.		Ebb Curr.		Flood Curr.		Ebb Curr.	
			Day	Night	Day	Night	Day	Night	Day	Night
1	Variation in Heading	M	1.18	1.14	1.32	1.43	0.61	0.77	0.56	0.37
		SD	0.20	0.37	0.71	0.94	0.18	0.19	0.19	0.14
	Ave. Abs. Yaw Rate	M	0.07	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.03	0.03
		SD	0.02	0.05	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02
	Ave. Swept Path	M	47.05	47.44	47.62	47.17	46.69	47.61	47.69	47.65
		SD	0.65	0.32	0.63	1.05	1.15	0.97	0.45	0.66
2	Ave. Dev. from Centerline	M	41.90	36.92	53.88	65.33	35.27	41.59	44.76	43.29
			15.92	12.39	29.56	39.51	20.50	21.72	4.67	5.99
	Ave. Abs. rudder angle	M	4.48	4.05	3.54	4.39	3.09	2.27	2.13	1.97
		SD	1.01	2.65	0.92	2.34	0.73	0.22	1.32	1.04
	Variation in Heading	M	2.94	2.49	3.29	2.53	1.60	1.32	1.20	1.14
		SD	1.61	1.08	2.35	0.54	0.75	0.54	0.20	0.18
3	Ave. Abs. Yaw Rate	M	0.21	0.19	0.17	0.22	0.16	0.14	0.13	0.13
		SD	0.11	0.08	0.03	0.02	0.04	0.04	0.02	0.04
	Ave. Swept Path	M	48.90	48.48	51.12	49.27	50.69	49.80	48.70	49.21
		SD	5.24	4.13	7.88	3.49	1.09	1.95	0.46	1.51
	Ave. Dev. from Centerline	M	231.41	172.90	190.63	205.82	98.91	90.23	107.33	173.65
			37.55	36.02	29.56	30.18	16.96	19.42	17.58	19.93
4	Ave. Abs. rudder angle	M	6.68	6.67	5.89	6.94	5.04	6.23	4.08	4.84
		SD	2.95	2.42	2.52	3.85	2.45	2.15	2.37	1.38
	Variation in Heading	M	1.26	1.15	1.17	1.34	1.08	1.13	1.06	1.00
		SD	0.23	0.48	0.13	0.51	0.25	0.11	0.20	0.18
	Ave. Abs. Yaw Rate	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05
		SD	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
5	Ave. Swept Path	M	41.85	41.40	41.95	42.29	41.95	42.23	41.10	41.86
		Sd	0.54	1.03	0.63	1.45	0.75	0.53	0.57	0.24
	Ave. Dev. from Centerline	M	117.23	123.61	122.01	136.09	112.23	115.36	110.16	112.00
		SD	36.56	32.64	35.76	33.15	24.75	30.10	17.70	16.75
	Ave. Abs. rudder angle	M	3.34	3.05	3.25	3.59	2.99	3.16	2.13	2.76
		SD	1.50	1.05	0.81	1.19	0.50	1.40	0.23	1.05
6	Variation in Heading	M	1.43	1.11	1.05	1.01	1.09	0.86	1.01	0.99
		SD	0.56	0.14	0.44	0.15	0.25	0.11	0.32	0.06
	Ave. Abs. Yaw Rate	M	0.13	0.11	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08
		SD	0.06	0.04	0.03	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01
	Ave. Swept Path	M	43.32	42.69	43.68	42.32	42.46	41.88	42.11	42.01
		SD	2.29	1.21	2.38	0.63	0.46	0.18	0.67	0.20
7	Ave. Dev. from Centerline	M	129.72	144.09	130.71	144.85	145.25	154.27	141.03	148.74
			31.97	35.00	32.35	37.54	20.04	12.47	5.41	31.72
	Ave. Abs. rudder angle	M	8.16	6.44	3.54	5.62	2.84	3.58	3.64	3.30
		SD	4.00	2.30	1.30	1.58	0.90	0.46	0.61	0.46

조건에서 유의적인 차이가 나타나고 있다. 즉, 평균 yaw rate는 입항의 경우 $0.05^{\circ}/\text{sec} \sim 0.07^{\circ}/\text{sec}$ 이다. 출항의 경우는 창조류일 때 $0.065^{\circ}/\text{sec}$ 이고 낙조류일 때 0.03 가로 창조류일 때가 낙조류일 때보다 더 크게 나타나고 있다.

평균 swept path는 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, 평균 swept path는 입항의 경우 $47.05\text{m} \sim 47.62\text{m}$ 이고 출항의 경우는 $46.69\text{m} \sim 47.65\text{m}$ 로서 입항시나 출항시 비슷한 크기를 보이고 있다.

항로 중심선으로부터의 편의량은 Table 7에서 보는 바와같이 입항의 경우 조류 조건에서만 유의적인 차이가 있음을 볼 수 있고 출항의 경우 어떤 조건에서든 유의적인 차이를 볼 수 없다. 즉, 항로 중심선으로부터의 편의량은 입항의 경우 창조류일 때 39.46m , 낙조류일 때 59.76m 로 선박은 낙조류일 때가 창조류일 때보다 항로 중심에서 더 벗어났음을 알 수 있다. 한편 출항의 경우는 $35.27\text{m} \sim 44.76\text{m}$ 임을 알 수 있다.

평균 사용타각은 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, 평균 사용타각은 입항의 경우 3.54 가가 4.48 가이고 출항의 경우는 $1.97^{\circ} \sim 3.09^{\circ}$ 로 입항시보다 출항시보다 타각을 더 크게 사용하고 있다.

5.2.2 제 2 구역

1) 선박의 근접도

Table 6의 분산분석표에서 항로 경계와의 최근접거리를 살펴보면 입항시 조류 조건에서만 유의적인 차이가 있으나 출항시에는 모두 조류 조건 및 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 상호작용도 유의적이지 못하다. 따라서 Table 4의 기술통계량에 의하면 항로 경계와의 최근접거리는 입항의 경우 창조류일 때 279.52m , 낙조류일 때 312.94m 로 낙조류일 때가 창조류일 때보다 더 크다. 출항의 경우는 $182.55\text{m} \sim 193.27\text{m}$ 이다. 이를 보면 입항의 경우가 출항의 경우보다 더 큼을 알 수 있다.

Table 6에서 보듯이 통항 선박과의 최근접거리는 출항의 경우 조류 조건에 대하여서는 유의적인 차이가 있지만 주야 조건에 대하여서는 유의적인 차이가 없고 조류 및 주야의 상호작용도 유의적이라 할 수 없다. 즉 Table 4의 기술통계량에 의하면 통항 선박과의 거리는 낙조류일 때 221.35m , 창조류일 때 151.29m 로 낙조류인 경우가 창조류때보다 70.06m 더 떨어져서 지나간다고 할 수 있다.

2) 선박의 제어도

Table 7의 분산분석표에서 보는 바와같이 선수방위 변동량은 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, Table 5의 기술 통계량에 의하면 선수방위 변동량은 입항의 경우 $2.49^{\circ} \sim 3.29^{\circ}$ 이고, 출항의 경우는 $1.14^{\circ} \sim 1.60^{\circ}$ 이다. 이것을 보면 선수방위 변동량은 입항의 경우가 출항의 경우보다 더 크다고 할 수 있다.

평균 yaw rate는 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, 평균 yaw rate는 입항의 경우 $0.17^{\circ}/\text{sec} \sim 0.22^{\circ}/\text{sec}$ 이고 출항의 경우는 $0.13^{\circ}/\text{sec} \sim 0.1^{\circ}/\text{sec}$ 로 입항의 경우가 출항의 경우보다 더 크게 나타나고 있다.

평균 swept path는 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, 평균 swept path는 입항의 경우 $48.48\text{m} \sim 51.12\text{m}$ 이고 출항의 경우는 $48.70\text{m} \sim 50.69\text{m}$ 로 차이가 별로 없다.

항로 중심선으로부터의 편의량은 Table 7에서 보는 바와같이 입항의 경우나 출항의 경우 모두 조류 조건 및 주야 조건에서 유의적인 차이가 나타나고 있지 않고 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, 항로 중심선으로부터의 편의량은 입항의 경우 $172.90\text{m} \sim 231.40\text{m}$ 이고 출항의 경우 $90.23\text{m} \sim 137.65\text{m}$ 로 입항의 경우가 중심선으로부터 더 벗어나 있음을 알 수 있다.

평균 사용타각은 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, 평균 사용타각은 입항의 경우 $5.89^{\circ}/6.68^{\circ}$ 이고 출항의 경우는 $4.08^{\circ}\sim 6.23^{\circ}$ 로 입항시가 출항시보다 타각을 더 크게 사용하고 있다.

5.2.3 제 3구역

1) 선박의 근접도

Table 6의 분산분석표에서 항로 경계와의 최근접거리를 살펴보면 입항시에는 어떤 유의적인 차이가 없으나 출항시에는 조류 조건에서 유의적인 차이가 있고 그외는 없다. 따라서 Table 4의 기술통계량에 의하면 항로 경계와의 최근접거리는 입항의 경우 $130.42m\sim 154.32m$ 이다. 또 출항의 경우는 창조류일 때 $160.02m$, 낙조류일 때 $119.09m$ 로 창조류일 때가 더 크게 나타나고 있다.

Table 6에서 보듯이 통항 선박과의 최근접거리는 입항이나 출항의 경우 모두 어떤 조건에 대하여도 유의적인 차이가 없다. 즉 Table 4의 기술통계량에 의하면 통항 선박과의 거리는 입항시 $143.00m\sim 155.83m$ 이고 출항시 $101.18m\sim 150.07m$ 로 입항시가 더 크다고 볼 수 있다.

2) 선박의 제어도

Table 7의 분산분석표에서 보는 바와같이 선수방위 변동량은 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, Table 5에 따르면 선수방위 변동량은 입항의 경우 $1.15^{\circ}\sim 1.34^{\circ}$ 이고, 출항의 경우는 $1.00^{\circ}\sim 1.08^{\circ}$ 이다. 이것을 보면 선수방위 변동량은 입항의 경우가 출항의 경우보다 더 크다고 할 수 있다.

평균 yaw rate는 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, 평균 yaw rate는 입항의 경우 $0.05^{\circ}/sec\sim 0.07^{\circ}/sec$ 이고 출항의 경우는 $0.05^{\circ}/sec\sim 0.06^{\circ}/sec$ 로 거의 비슷하게 나타나고 있다.

평균 swept path는 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다.

즉, 평균 swept path는 입항의 경우 $41.40m\sim 42.29m$ 이고 출항의 경우는 $41.86m\sim 42.23m$ 로 차이가 별로 없다.

항로 중심선으로부터의 편의량은 Table 7에서 보는 바와같이 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건 및 주야 조건에서 유의적인 차이가 나타나고 있지 않고 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, 항로 중심선으로부터의 편의량은 입항의 경우 $117.23m\sim 1136.09m$ 이고 출항의 경우 $110.16m\sim 115.35m$ 로 입항의 경우가 중심선으로부터 더 벗어나 있음을 알 수 있다.

평균 사용타각은 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, 평균 사용타각은 입항의 경우 $3.05^{\circ}\sim 3.34^{\circ}$ 이고 출항의 경우는 $2.13^{\circ}\sim 3.16^{\circ}$ 로 입항시가 출항시보다 타각을 더 크게 사용하고 있다.

5.2.4 제 4구역

1) 선박의 근접도

Table 6의 분산분석표에서 항로 경계와의 최근접거리를 살펴보면 입항시나 출항시 모두 어떤 조건에서든 유의적인 차이가 없다. 따라서 Table 4에 따르면 항로 경계와의 최근접거리는 입항의 경우 $173.68m\sim 212.88m$ 이다. 또 출항의 경우는 $116.35m\sim 153.38m$ 로 입항시가 출항시보다 더 멀리 떨어져서 지나가고 있음을 알 수 있다.

Table 6에 따르면 출항시 통항 선박과의 최근접거리는 어떤 조건에 대하여도 유의적인 차이가 없고 Table 4에서 보듯이 그 거리는 $85.10m\sim 124.85m$ 에 달하고 있다.

2) 선박의 제어도

Table 7의 분산분석표에서 보는 바와같이 선수방위 변동량은 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, Table 5에 따르면 선수방위 변동량은 입항의 경우 $1.01^{\circ}\sim 1.43^{\circ}$ 이고, 출항의 경우는 $0.86^{\circ}\sim 1.09^{\circ}$ 이다. 이것을 보면 선수방위 변동량은 입항의 경우가 출항의 경우보다 더 크다고 할 수 있다.

평균 yaw rate는 입항이나 출항의 경우 모두 조

류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, 평균 yaw rate는 입항의 경우 0.10°/sec~0.13°/sec이고 출항의 경우는 0.08°/sec로 입항의 경우가 출항의 경우보다 더 크게 나타나고 있다.

평균 swept path는 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건과 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, 평균 swept path는 입항의 경우 42.32m~43.63m이고 출항의 경우는 41.88m~42.46m로 양자 사이에는 큰 차이가 별로 없음을 알 수 있다.

항로 중심선으로부터의 편의량은 Table 7에서 보는 바와같이 입항이나 출항의 경우 모두 조류 조건 및 주야 조건에서 유의적인 차이가 나타나고 있지 않지만 상호작용에서 입항의 경우 유의적이다. 즉, 항로 중심선으로부터의 편의량은 입항의 경우 129.72m~144.85m이며 출항의 경우 121.03m~154.27m로 거의 차이가 없이 나타나고 있다.

평균 사용타각은 입항의 경우 조류 조건에서 유의적인 차이가 있으나 출항의 경우 조류 조건 및 주야 조건에서 유의적인 차이를 볼 수 없고 또 이들의 상호작용도 유의적이지 못하다. 즉, 평균 사용타각은 입항의 경우 창조류에서 7.3°, 낙조류에서 4.58°로 창조류일 때가 낙조류일 때보다 크게 나타나고 있다. 출항의 경우는 2.84°~3.64°이다. 따라서 이를 보면 입항시가 출항시보다 타각을 더 크게 사용하고 있음을 알 수 있다.

5.2.5 종합적인 검토

앞에서 각 구간별로 검토한 것을 종합하면 다음과 같다.

선박의 근접도 중 항로 경계와의 최근접 거리에 대한 환경 조건의 영향을 살펴보면 주야 조건에서는 유의적인 차이가 나타나고 있는 구간은 없으나 조류 조건에서는 유의적인 차이가 있는 구간이 있다. 상호 작용의 경우도 유의적인 구간은 없다. 조류 조건에서 유의적인 차이가 있는 구간은 입항시의 제 2 구간, 출항시의 제 3 구간이다. 따라서 항로 경계와의 최근접거리는 입항시 제 2 구간에서는 낙조류일 때가 창조류일 때보다 더 크게 나타나고 있고 출항시 제 3 구간에서는 창조류일 때가

낙조류일 때보다 더 크게 나타나고 있다. 이 두 경우를 보면 선박이 역조를 받을 때가 순조를 받을 때보다 항로 경계와의 거리가 큼을 알 수 있다.

선박의 근접도 중 통항 선박과의 최근접 거리에 대한 환경 조건의 영향을 보면 조류 조건에서 유의적인 차이가 있는 구간이 있고 주야 조건에서는 차이가 있는 구간이 없으며 상호 작용도 유의적인 구간이 없다. 조류 조건에서 유의적인 차이가 있는 구간은 입항시 제 1 구간, 출항시 제 2 구간이다. 따라서 통항 선박과의 최근접 거리는 입항시 제 1 구간에서 낙조류일 때가 창조류일 때보다 더 크게 나타나고 있고 출항시 제 2 구간에서 창조류일 때가 낙조류일 때보다 더 크게 나타나고 있다. 즉, 역조를 받을 때가 순조를 받을 때보다 더 크게 나타나고 있다.

선박의 근접도와 마찬가지로 선박의 제어도를 살펴보면 조류 조건에서 유의적인 차이가 나타나는 구간은 제 1 구간과 제 4 구간이다. 제 1 구간에서는 입항시의 편의량, 출항시의 선수방위 변동량, 평균 yaw rate이고 제 4 구간에서는 입항시의 평균 사용 타각이다. 편의량, 선수 방위 변동량, 평균 yaw rate는 역조시가 순조시보다 크게 나타나고 있고 평균 사용타각은 순조시가 역조시보다 크게 나타나고 있다.

한편, 입항시와 출항시를 비교하여 보면 선박의 근접도에서 항로 경계와의 최근접 거리는 제 1 구역을 제외한 다른 구역에서는 입항시가 출항시보다 더 크게 나타나고 있다. 선박의 제어도에서 선수방위 변동량, 평균 yaw rate, 평균 편의량, 평균 사용 타각 등은 입항시가 출항시보다 더 크게 나타나고 있으나 평균 swept path는 별다른 차이가 없다. 선박의 제어도 측면에서 보면 입항의 경우가 출항의 경우보다 더 어렵다고 말할 수 있다.

5.3 선박의 근접도에 관한 안전성 검토

선박의 근접도에 관한 안전성은 본선이 항로를 지날 때 본선과 항로 경계와의 최근접거리를 확률 분포로 표시하고 이것으로 항로 경계를 벗어날 확률을 산출 비교함으로써 검토한다.

선박이 항로를 지날 때 항로 경계와의 최근접거

리 및 통항 선박과의 최근접거리의 확률 분포가 정규 분포를 이룬다는 가정하에 충돌 확률 $\alpha=0.01$, $\alpha=0.001$, $\alpha=0.0001$ 에서 신뢰 구간을 구하여 상한값을 나타낸 표가 Table 8이다. Table 8에 따라 구역별로 살펴보면 다음과 같다.

제 1 구역에서 항로경계와의 최근접거리는 항로 경계를 벗어날 확률 $\alpha=0.01$ 및 $\alpha=0.001$ 에서는 양의 값이 나타나므로 선박이 항로 경계를 벗어나지 않는다고 할 수 있다. 다만 확률 $\alpha=0.0001$ 에서는 입항시 창조류 및 야간의 경우를 제외하고는 선박이 항로 경계를 벗어난다고 할 수 있다. 또 통항선박과의 최근접거리는 입항의 경우 충돌 확률 $\alpha=0.01$ 및 $\alpha=0.001$ 에서는 충돌하는 경우는 없다고 할 수 있으나 충돌 확률 $\alpha=0.0001$ 에서는 실험에 사용된 모든 조건에서 충돌한다고 말할 수 있다.

제 2 구역에서 항로경계와의 최근접거리는 항로 경계를 벗어날 확률 $\alpha=0.01$ 및 $\alpha=0.001$ 에서는 양의 값이 나타나므로 선박이 항로 경계를 벗어나지 않는다고 할 수 있다. 확률 $\alpha=0.0001$ 에서는 입항의 경우 창조류 야간의 경우만이 선박이 항로 경계를 벗어난다고 할 수 있고 출항의 경우는 창조류 및 야간일 때를 제외하고는 선박이 항로 경계를 벗어난다고 할 수 있다. 한편 통항선박과의 최근접거리는 출항의 경우 충돌 확률 $\alpha=0.01$ 및 $\alpha=0.001$ 에서는 충돌하는 경우는 없다고 할 수 있으나 충돌 확률 $\alpha=0.0001$ 에서는 실험에 사용된 모든 조건에서 충돌한다고 말할 수 있다.

제 3 구역에서 항로경계와의 최근접거리는 항로 경계를 벗어날 확률 $\alpha=0.01$ 및 $\alpha=0.001$ 에서는 양의 값이 나타나므로 선박이 항로 경계를 벗어나지 않는다고 할 수 있다. 확률 $\alpha=0.0001$ 에서는 입항의 경우 창조류 주간인 경우만이 선박이 항로 경계를 벗어난다고 할 수 있고 출항의 경우는 어떤 경우에서든 선박이 항로 경계를 벗어난다고 할 수 있다. 한편 통항선박과의 최근접거리는 출항의 경우 충돌 확률 $\alpha=0.01$ 및 $\alpha=0.001$ 에서는 충돌하는 경우는 없다고 할 수 있으나 충돌 확률 $\alpha=0.0001$ 에서는 입항의 경우 낙조류 주간조건일 때만 충돌한다고 볼 수 있고 출항의 경우는 창조류 야간조

건과 낙조류 주간조건에서 충돌한다고 할 수 있다.

제 4 구역에서 항로경계와의 최근접거리는 항로 경계를 벗어날 확률 $\alpha=0.01$ 및 $\alpha=0.001$ 에서는 양의 값이 나타나므로 선박이 항로 경계를 벗어나지 않는다고 할 수 있다. 확률 $\alpha=0.0001$ 에서는 입항의 경우 실험에 사용된 모든 조건에서 선박이 항로 경계를 벗어난다고 할 수 있고 출항의 경우는 창조류 및 주간일 때만 선박이 항로 경계를 벗어난다고 할 수 있다. 한편 통항선박과의 최근접거리는 출항의 경우 충돌 확률 $\alpha=0.01$ 및 $\alpha=0.001$ 에서는 충돌하는 경우는 없다고 할 수 있으나 충돌 확률 $\alpha=0.0001$ 에서는 낙조류 야간일 때를 제외한 모든 조건에서 충돌한다고 말할 수 있다.

위의 결과를 종합하면 확률 $\alpha=0.01$ 및 $\alpha=0.001$ 일 때 본 실험조건하에서는 전구역에서 선박이 항로 경계를 벗어나거나 통항 선박과 충돌하는 경우가 없다고 할 수 있으며 확률 $\alpha=0.0001$ 일 때는 항로 경계를 벗어나거나 충돌하는 경우가 대부분이라고 할 수 있다. 그러나, TNO의 자료에 따르면 항로 경계를 벗어날 확률을 $\alpha=0.001$ 로 정하고 있으므로 이것에 의하면 아산항의 계획항로의 수로 폭은 안전하다고 볼 수 있다.

6. 결 론

아산항 계획 항로 통항시 선박의 안전성을 검토하기 위하여 모델 선박을 60,000톤으로 정하고 환경 조건인 창조류 2kts, 낙조류 2kts 이 각각에 대한 주야 조건을 조합하여 4개의 실험 시나리오를 만들어 6명의 선장이 시나리오에 따라 시뮬레이션을 실시하고 얻은 데이터를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 아산항 계획항로에 대한 선박의 근접도에 대하여서는 침범 또는 충돌 확률 $\alpha=0.001$ 이상에서는 선박이 항로 경계를 벗어나거나 통항 선박과 충돌할 위험이 없다고 할 수 있다. 즉, 침범 또는 충돌 확률 $\alpha=0.001$ 에서 선박은 안전하게 통항할 수 있다고 볼 수 있다.

② 아산항 계획 항로의 각 구간에서 나타난 환경조건의 영향을 보면 조류 조건에서는 유의적인

Table 8. Lower Limit of Confidence Interval for CPA to Channel Boundary

Seg.	Dependent Variables		Inbound				Outbound			
			Flood Curr.		Ebb Curr.		Flood Curr.		Ebb Curr.	
			Day	Night	Day	Night	Day	Night	Day	Night
1	CPA to Channel M Boundary		100.68	109.53	90.23	91.25	163.98	177.48	183.93	190.67
	SD		28.71	19.81	29.27	27.62	45.19	42.80	40.68	45.23
	Confidence level	$\alpha=0.01$	86.34	76.92	42.05	45.79	89.59	107.03	116.97	116.21
		$\alpha=0.001$	20.17	53.98	8.15	13.80	37.25	57.45	69.85	63.83
		$\alpha=0.0001$	-30.34	19.13	-43.34	-34.79	-42.24	-17.83	-1.71	-15.73
	CPA to Traffic M ship		82.18	90.25	116.15	112.17				
SD		25.82	29.11	26.22	28.85					
2	CPA to Channel M Boundary		287.77	271.27	333.87	292.00	185.50	193.27	182.55	182.58
	SD		60.94	67.62	58.28	52.53	58.19	41.11	57.51	52.78
	Confidence level	$\alpha=0.01$	187.46	159.96	237.94	205.53	89.72	125.60	87.89	95.70
		$\alpha=0.001$	116.88	81.65	170.44	144.69	22.32	77.99	21.28	34.57
		$\alpha=0.0001$	9.67	-37.31	67.92	52.28	-80.04	5.67	-79.89	-58.27
	CPA to Traffic M ship						209.43	233.27	155.45	147.12
SD						58.93	61.79	47.42	41.28	
3	CPA to Channel M Boundary		148.67	130.42	154.32	153.37	171.80	148.23	120.48	117.70
	SD		39.18	28.04	33.58	27.26	44.05	49.52	35.40	32.23
	Confidence level	$\alpha=0.01$	84.18	84.26	99.05	108.50	99.29	66.72	62.21	64.65
		$\alpha=0.001$	38.80	51.79	60.15	76.83	48.27	9.36	21.21	27.32
		$\alpha=0.0001$	-30.12	2.46	1.08	28.97	-29.22	-77.75	-41.06	-29.38
	CPA to Traffic M ship		150.25	143.10	155.83	143.00	150.07	131.47	101.18	132.52
SD		30.77	26.57	49.03	11.95	31.76	37.37	24.77	21.85	
4	CPA to Channel M Boundary		193.00	200.77	173.68	212.88	129.77	116.35	153.38	122.58
	SD		54.08	51.14	53.95	56.57	36.67	25.49	24.15	16.41
	Confidence level	$\alpha=0.01$	103.98	116.59	84.88	119.76	69.41	74.39	113.63	95.57
		$\alpha=0.001$	41.36	57.36	22.39	54.24	26.94	44.87	85.66	76.56
		$\alpha=0.0001$	-53.79	-32.60	-72.52	-45.27	-37.57	0.03	43.17	47.69
	CPA to Traffic M ship						124.85	116.25	85.12	104.33
SD						32.18	33.46	19.69	16.16	
Confidence level	$\alpha=0.01$					71.88	61.17	57.63	77.73	
	$\alpha=0.001$					34.61	22.42	29.88	59.01	
	$\alpha=0.0001$					-22.00	-36.44	-4.75	30.59	

Note : - value means exceeding channel boundary.

차이가 있는 구간이 있으나 주야 조건에 대하여서는 유의적인 차이가 있는 구간은 없다. 또 조류 조건과 주야 조건의 상호 작용도 유의적인 구간은 없다.

③ 선박의 근접도에서 항로 경계와의 최근접 거리 및 통항 선박과의 최근접거리가 조류조건따라 유의적인 차이가 있는 구간을 보면 역조시가 순조시보다 더 크게 나타나고 있다.

④ 선박의 제어도에서 선수방위 변동량, 평균 yaw rate, 편의량, 평균 사용 타각은 조류 조건에 따라 유의적인 차이가 있는 구간이 있다. 이들 구간에서 선수방위 변동량, 평균 yaw rate, 편의량은 역조시가 순조시보다 더 크게 나타나고 있으나 사용타각은 순조시가 역조시보다 더 크게 나타나고 있다.

⑤ 출입항을 비교하여 보면 선박의 근접도에서 항로 경계와의 최근접 거리는 입항시가 출항시보다 더 크게 나타나고 있다. 한편 선박의 제어도에서 선박의 제어도에서 선수방위 변동량, 평균 yaw rate, 평균 편의량, 평균 사용 타각 등은 입항시가 출항시보다 더 크게 나타나고 있다. 즉, 선박의 제어도 측면에서 보면 입항의 경우가 출항의 경우보다 더 어렵다고 말할 수 있다.

본 연구에서는 아산항 계획 항로에 국한하여 선

박 통항의 안전성을 선박의 근접도 및 제어도 측면에서 검토하였으나, 앞으로 선박의 안전 통항을 결정하는 선박의 제어도의 요소 및 조선자의 요소 (human factor)의 객관적인 기준에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- 1) CAORF RESEARCH METHODOLOGY(Task -K-0216-12), 1987.
- 2) 건설부, 서울지방 국토관리청, "아산 공업기지 항만개발 기본계획", 1990. 12
- 3) CAORF, "AN OVERVIEW of CAORF RESEARCH DATA ANALYSIS AND MODEL VALIDATION PERFORMANCE MEASURES"(Task -K-0216-11), 1987.
- 4) Witt, F. G. J., "Analysis of Simulated Maneuvers", Proceedings of MARSIM '81, 1981. PP. A12. 1-17.
- 5) Th. Elzinga, M. P. Bogaerts., "A Simulator Study for LNG Transport by GAS Carrier to Eemshaven, the Netherlands", Proceedings of MARSIM" 84, 1984. PP. 247~258.