

여천항에서의 32만 DWT급 원유 운반선의 선박운항 안전성 평가

Safety Assessment of Ship Navigation at Yecheon Harbor for
320,000DWT VLCC

1997. 5. 10

공 인 영*

*한국기계연구원 선박해양공학연구센터 선임연구원

여천항에서의 32만 DWT급 원유 운반선의 선박운항 안전성 평가 공 인영*

Safety Assessment of Ship Navigation at Yecheon Harbor for 320,000DWT VLCC Gong In-Young*1)

목 차

Abstract

1. 서언
 2. 시뮬레이션 조건
 - 2.1 대상 해역의 특성
 - 2.2 대상 선박의 제원 및 표준 조종성능 추정
 - 2.3 예선(TUG BOAT)의 설정
 - 2.4 조선(操船) 계획(Maneuvering Plan)의 작성
 3. 시뮬레이션 수행
 - 3.1 KRISO의 항만 평가용 시뮬레이션 시스템
 - 3.2 시뮬레이션 시나리오 작성
 - 3.3 시뮬레이션의 수행
 - 3.4 시뮬레이션 결과
 4. 시뮬레이션 결과 분석
 - 4.1 궤적 분석
 - 4.2 운항 평가 지수
 - 4.3 운항조건과 운항평가지수의 상관 관계 분석
 - 4.4 입항 및 접안 시뮬레이션 결과 분석
 - 4.5 이안 및 출항 시뮬레이션 결과 분석
 5. 결 언
- 후 기
참고 문헌

Abstract

It is well known that simulation study in the preliminary design stage of harbors or berths is of great use, since it can provide helpful informations to the designer from the view point of ship navigations.

In this paper, a brief review is made on the safety assessment of ship navigation for a 320,000 DWT VLCC entering Yecheon harbor area, which is carried out by shiphandling simulator system. The geographic data base for the harbor as well as the mathematical models of the ship and environmental effects are designed and developed. Based on the on-site inspections and interviews with pilots in Yecheon area, basic maneuvering plans and various simulation conditions are established, under which simulation studies are carried out in consistence with real operation conditions. Berthing and deberthing maneuvering simulations as well as approaching and departing simulations are carried out by 3 experienced navigators according to the maneuvering plans and environmental scenarios.

The simulation results are analysed in various ways to evaluate the quantitative and qualitative maneuvering difficulties and thereby to assess the safety of ship navigations in that area.

* 정희원, 한국기계연구원 선박해양공학연구센터 해상안전방재연구단 선임연구원

1. 서 언

우리 나라는 지리적인 특성상 수출입 화물의 99% 이상을 선박에 의존하고 있으며, 수출입 화물의 물동량 증가에 따라 우리 나라의 여러 곳에서 항만이 새로이 건설되거나 혹은 기존 부두의 신·증설이 활발히 이루어지고 있다. 이에 따라, 우리 나라 대부분의 항만의 물류(物流) 처리 능력이 이미 포화 상태에 도달하였을 뿐 아니라, 항만내의 혼잡도도 위험한 수준에 도달하여, 선박간의 크고 작은 충돌 및 좌초 사고가 급격히 증가하고 있는 추세에 있어, 우리 나라에서도 선박 운항 시뮬레이션을 통한 운항 안전성 검증은 항만이나 부두의 설계 단계에서의 필수적인 과정으로 자리잡아가고 있다.

본 논문에서는 현재 여천항에 위치한 한 원유 부두의 시설 증대 계획에 따른, 접근 항로 및 부두에서의 32만 DWT급 원유 운반선의 운항 안전성 평가와 관련하여, 이를 평가하기 위한 시뮬레이션 기법과 그 결과 분석 기법, 그리고 그 분석 및 검토 결과에 관하여 논하고자 한다.

2장에서는 시뮬레이션 대상 해역과 대상 선박의 모델링 방법 및 현지 조사 결과를 바탕으로 한 操船 계획(Maneuvering Plan) 등, 전반적인 시뮬레이션 조건에 대하여 논하고 있으며, 3장에서는 본 연구에 사용된 시뮬레이션 시스템과 이를 사용하여 실제로 수행된 시뮬레이션에 관하여 설명하고 있다. 그리고 4장에서는 이러한 시뮬레이션 결과의 분석 기법과 이로부터 도출된 각종 평가 지수에 관하여 논하고 있다.

2. 시뮬레이션 조건

2.1 대상 해역의 특성

2.1.1 위치

대상이 된 제 1 및 제 2 부두 부근의 해도가 Fig. 2.1에 보여지고 있다. 그림에서 보듯이 대상 부두의 위치는 현재 건설중인 원유 비축기지 부두 북방에 위치하며, 부두 전면의 선회장이 광양항 제 1 항로와 인접하여 있다.

2.1.2 조류 상황

접근 항로를 포함하는 해역에서의 강조류 상황은 Fig. 2.2A 및 2.2B에 보여지고 있다. 보다 완만한 조류 상태로는 최강조류시의 약 50% 정도의 세기를 가정하였다. 또한, 현지 조사 결과, 입항 및 접안 작업은 거의 정조 상태에서 이루어짐을 감안하여, 입항 및 접안 작업 시뮬레이션시 설정한 약조류 상황은 강조류의 약 15% 정도 값을 가지는 것으로 설정하였다.

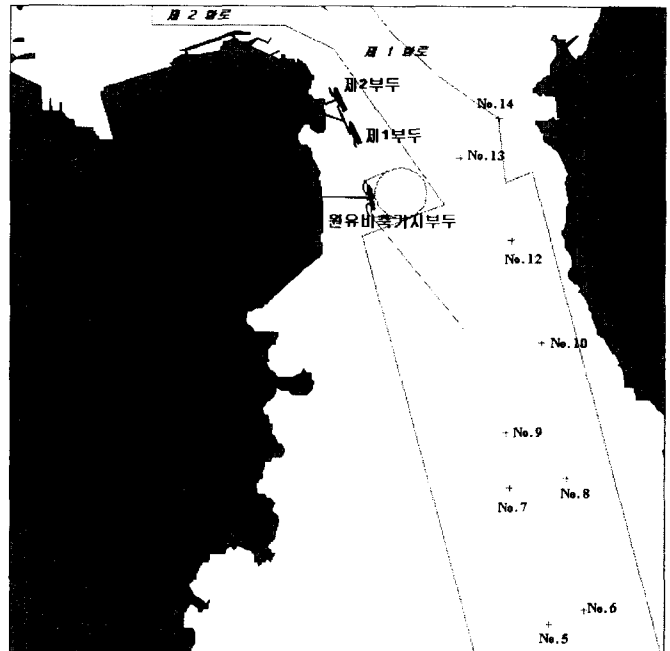


Fig. 2.1 원유 부두 부근의 해도

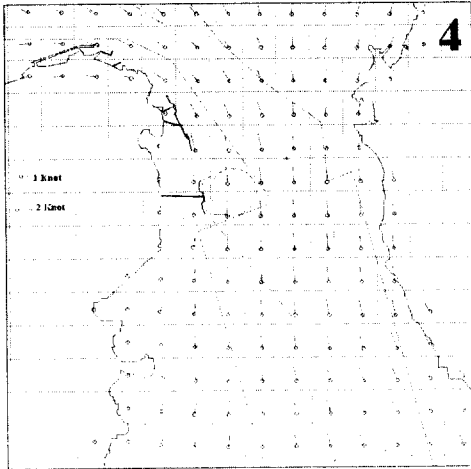


Fig. 2.2A 대상 해역의 조류 분포도
(최강 장조류)

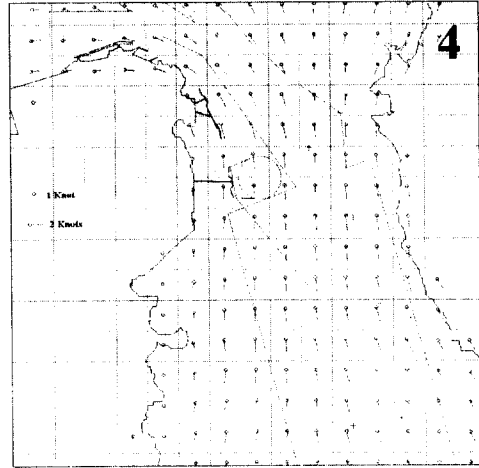


Fig. 2.2B 대상 해역의 조류 분포도
(최강 낙조류)

2.1.3 풍속 및 풍향

평상시에 본 수역에서의 풍속은 그리 큰 편은 아니지만, 시뮬레이션시에는 항내 입출항 작업이 가능한 최대 풍속인 풍속 27 Knots까지, 그리고 풍향은 본 해역에서 빈번하게 나타나고 선박 운항에도 불리하게 작용하리라 예상되는 풍향인 북서풍(NW) 및 남서풍(SW) 상황을 주로 설정하였다.

2.1.4 수심

부두 전면 수역의 수심은 약최저 저조위 (Approx.L.L.W)시 23.5m이며, 대상 선박인 32만 DWT급 원유 운반선의 입항시의 흘수는 20.5m이다. Fig. 2.3은 시뮬레이터에 입력된, 약최저 저조위면에 해당하는 수심 분포도를 보여주고 있다.

한편, 시뮬레이션시에는 조류 상황에 따라, 적절한 조위 상승이 있는 것으로 설정하였다.

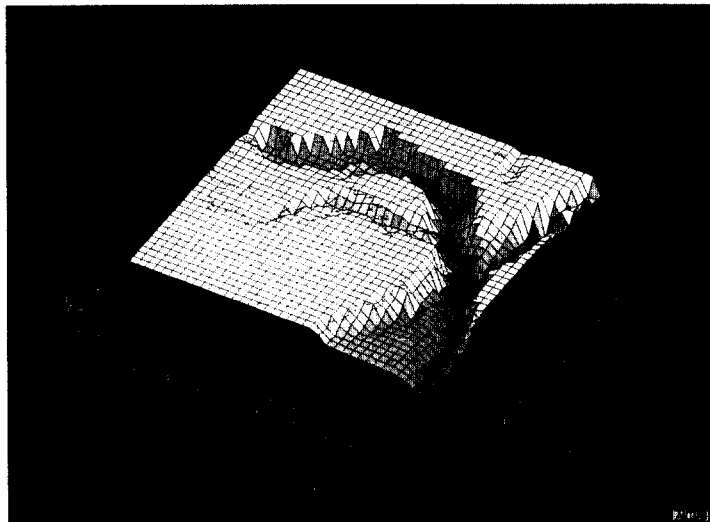


Fig. 2.3 3차원 수심 분포도

2.2 대상 선박의 제원 및 표준 조종성능 추정

본 시뮬레이션에 사용한 대상 선박의 만재 및 경하 상태에서의 제원은 Table 2.1과

같다.

Table 2.1 시뮬레이션에 사용된 원유 운반선의 제원 (단위:m)

		전장	선폭	흘수	선미트림	C_B	풍압면적 (m ²)	
							ΔT	ΔL
32만 DWT급 원유운반선	입항	345.0	60.5	20.5	0.0	0.831	1253	5344
	출항			9.9	3.0		0.745	1942

시뮬레이션에 사용한 32만 DWT급 원유 운반선의 수학적 모델을 검증하고, 입출항 시뮬레이션에 앞서 대상 선박의 기본적인 조종성능을 파악하기 위하여, 선회 시험(Turning Test), 10°/10°, 20°/20° ZigZag 시험, 정지 시험, 나선형 조종 시험 등과 같은 표준 조종 운동 시뮬레이션을 수행하였다. 이러한 표준 조종 운동 시뮬레이션은, 타 자료와의 비교를 위하여 심수(深水)역에서, 바람, 파도, 조류 등의 외력이 없는 상태에 대하여 수행되었다. Fig.2.4는 대상선박의 입항 하중 조건에서 ±35° 선회 성능 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.

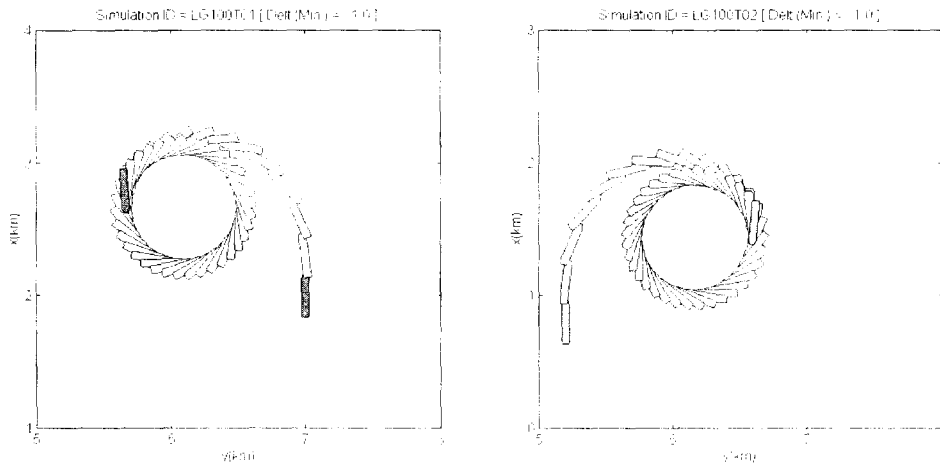


Fig. 2.4 Turning Circle Trajectory for 35 deg Rudder Turn (320K DWT VLCC(Full Load), Deep Sea, Approach Speed=10Knots)

2.3 예선(TUG BOAT)의 설정

접이안 작업에 사용될 예선들의 용량과 작용위치는, 여수 지역 도선사 협회에서 현재 사용하고 있는 예선 활용 상황을 참조하여, 32만 DWT급 유조선의 경우, 입출항시 모두 고출력(4000BHP급) 예선 3척과 중출력(3000BHP급) 예선 3척을 사용하는 것으로 설정하였다. 예선은 모두 Z-Peller형 예선이라고 가정하였다.

본 연구에서 사용한 예선의 특성값 및 작용 위치는 Fig. 2.5에 나타나 있다. 또한 이 접안시의 상황에 따라 이들 예선은 각각 좌현, 우현에서 작업하는 것으로 가정하였다.

2.4 조선(操船) 계획(Maneuvering Plan)의 작성

부두 입구로부터 접안까지의 작업 및 접안 상태에서부터 이안하여 출항하기까지, 각 지점에서의 선속과 타(舵), 엔진의 사용 방법 등 항만 내에서의 여러 가지 操船과 관련된 操船 계획을, 시뮬레이션을 담당한 항해 전문가가 여수 지방 도선사 협회의 자문을 받아 구체적으로 작성하고, 이에 준하여 시뮬레이션을 실시하였다.

3. 시뮬레이션 수행

3.1 KRISO의 항만 평가용 시뮬레이션 시스템

선박의 조종 성능은 선체의 형상뿐 아니라 선원의 조타 능력 및 자연 환경과도 밀접한 관계가 있다. 실제 해상에는 바람, 파도, 조류 등이 존재할 뿐 아니라 부근을 통과하거나 정박하고 있는 선박이 있을 수 있으며, 유한한 수심 및 폭을 가진 수로나 제한된 항로에서 이러한 여건을 극복하고 목표 지점까지 선박을 조종하여야 하는 어려움이 있다. 이에 따라 이러한 모든 효과를 고려한 상황에서의 선박의 운항 성능을 파악하기 위한 목적으로 선박 운항 시뮬레이터가 널리 사용되고 있다.

시뮬레이터에 입력되는 자료는 선박의 주요 제원을 비롯하여 그 선박의 조종성 특성을 묘사할 수 있는 여러 계수 그리고 수심, 바람 및 조류 분포를 포함한 항만 환경 자료 등이며, 타 및 엔진, 예선이나 쓰러스터(Thruster) 등은 그 효과를 낼 수 있는 장치들에 의하여 시뮬레이션시 주어지도록 되어 있다. 여기서는

당 연구소에서 개발하여 운용되고 있는 항만 평가용 시뮬레이터 시스템인 HarbSim을 중심으로 하여 그 기능 및 특성들을 간단히 기술한다.

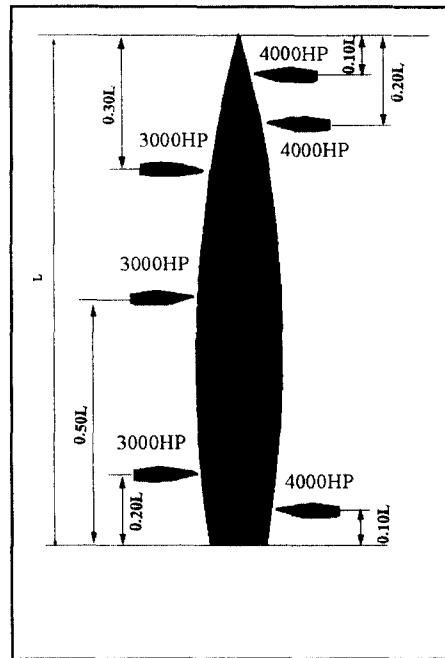


Fig. 2.5 메인시 각 예선의 위치

3.1.1 HarbSim의 Hardware 구성

HarbSim은 여러 가지 기능을 가진 항만 평가용 선박 운항 시뮬레이션 시스템이다. 본 시뮬레이터의 H/W의 구성은 Fig. 3.1과 같다.

3.1.2 시뮬레이터에 사용되는 수학 모형

조종 운동 중의 선박이 겪게 되는 여러 가지 상황에서 선체에 작용하는 각종 힘들을 정확하게 추정하고, 이를 바탕으로 선체의 복잡한 운동 방정식을 해결함으로써 선박의 위치 및 운동 상태를 신속하게 구할 수 있는 능력은 시뮬레이션 결과의 신뢰도에 결정적인 영향을 미친다고 할 수 있다. 하지만 여러 가지 복잡한 상황에서 선체에 작용하는 힘들을

이론적으로 정확히 추정하는 데에는 아직 한계가 있으므로 선박의 조종성 추정에 사용되는 대부분의 계수를 실험적으로 구하거나 조종 성능 D/B 혹은 경험식을 사용하고 있다.

항만내에서 운항하는 水上船의 조종 운동 방정식은 대개의 경우 海水 표면 효과를 무시하고, 잔잔한 물에서 낮은 선속으로 움직인다고 가정하여 전후 동요(Surge), 좌우 동요(Sway), 선수 동요(Yaw) 그리고 횡 동요(Roll)의 4 자유도의 연성 운동 방정식으로 표현하는 것이 보통이며, 여기에 선박의 엔진 조작에 따른 선속 변화의 영향을 포함시키기 위하여 엔진-프로펠러의 방정식을 추가하게 된다. 또한 선박에 작용하는 힘에는 선박의 관성력, 추진력, 각종 유체력, 조타(操舵)력 그리고 풍력과 조류력, 파도에 의한 표류력 등이 있으며 이 외에도 천수 효과와 제한 수로의 영향, 예선 및 인접 선박의 영향 등이 포함된다.

본 시뮬레이터에서 사용한 좌표계는 Fig. 3.2와 같다. 여기서 $O_0-x_0y_0z_0$ 는 공간 고정 좌표계이며 선박의 궤적은 이 좌표계에서 표시된다. $O-xyz$ 는 원점이 선체의 중앙(Midship)에 있는 선체 고정 좌표계이다.

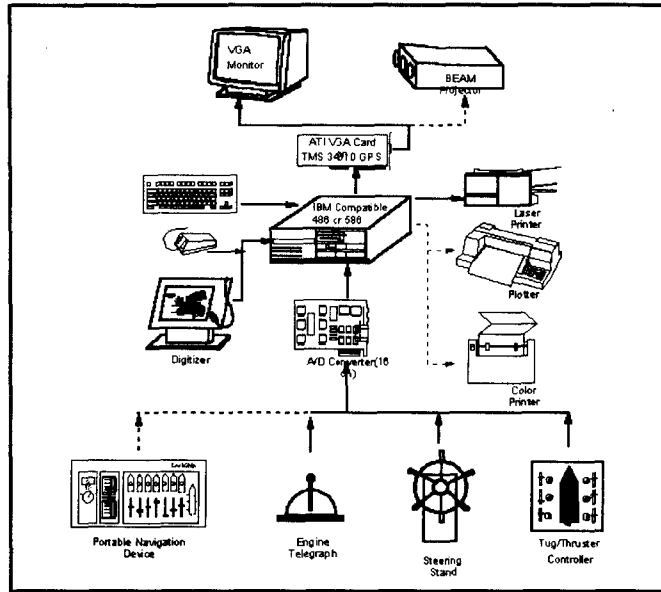


Fig. 3.1 H/W Configuration of HarbSim

원점 O 를 선체 중앙(Midship)에 놓고 x, y 방향 힘 X, Y 와 z 축을 중심으로 한 선 회 모멘트 N , 그리고 횡요 모멘트 K 를 성분별로 구분하면 선체 고정 좌표계에서의 운동 방정식은 다음과 같으며, 자세한 사항은 참고문헌 [1~4]에 수록되어 있다.

$$\begin{aligned}
 m(\dot{u} - vr - x_G \dot{r}^2) &= X_H + X_R + X_P + X_{WIND} + X_{WAVE} + X_{TUG} + X_{THR} + X_{BANK} + X_{IS} + X_{ETC} \\
 m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) &= Y_H + Y_R + Y_P + Y_{WIND} + Y_{WAVE} + Y_{TUG} + Y_{THR} + Y_{BANK} + Y_{IS} + Y_{ETC} \\
 I_{zz} \dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) &= N_H + N_R + N_P + N_{WIND} + N_{WAVE} + N_{TUG} + N_{THR} + N_{BANK} + N_{IS} + N_{ETC} \\
 I_{yy} \dot{p} &= K_H + K_R + K_P + K_{WIND} + K_{WAVE} + K_{TUG} + K_{THR} + K_{BANK} + K_{IS} + K_{ETC} \\
 2\pi I_{sp} \dot{n} / 60 &= Q_E + Q_P
 \end{aligned}$$

이 연립 미분 방정식을 시간에 따라 적절한 방법으로 적분하면, 操舵 및 엔진 조작 그리고 예선을 포함한 각종 외부 영향에 따른 선박의 운동과 임의의 순간에서의 선박의 위치, 선수 각, 선속 등을 구할 수 있게 된다.

3.2 시뮬레이션 시나리오 작성

본 해역에서의 선박 운항 시뮬레이션을 위하여, 시뮬레이션시의 기상, 해상 상황을 여러 가지로 조합하여, 입항 25 Case, 출항 26 Case에 대한 시나리오를 각각 작성하고 이에 근거하여 시뮬레이션을 수행하였다.

3.3 시뮬레이션의 수행

시뮬레이션은 1등 항해사 자격증을 가진 3인의 전문가에 의하여 미리 정해진 시나리오와 조선 계획에 따라 각각 수행되었다. Fig. 3.3은 시뮬레이션 중의 화면 모습을 보여 주고 있다.

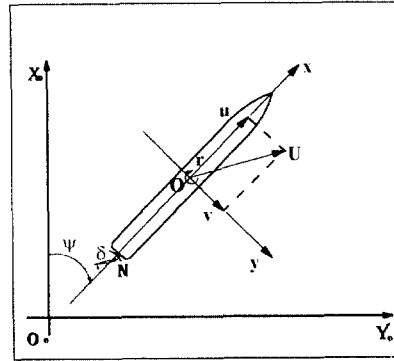


Fig. 3.2 Coordinate System

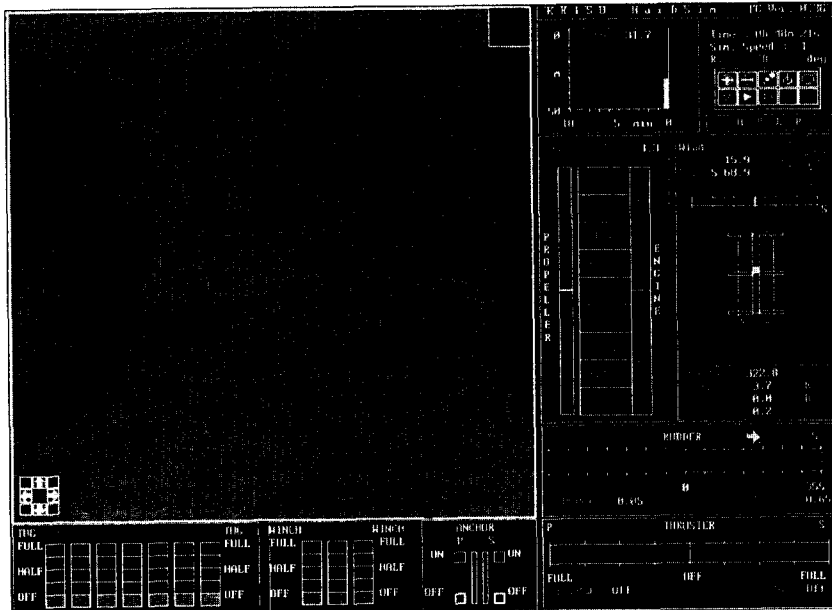


Fig. 3.3 시뮬레이션시의 화면 모습(입항 장면)

3.4 시뮬레이션 결과

수행한 시뮬레이션의 일부 결과가 Fig.3.4~3.5에 보여지고 있다. 각 그림에는 선박의 궤적이 일정한 시간 간격으로 표시되어 있으며, 동일한 상황에서 운항자 3인이 시뮬레

이선을 수행한 결과가 동시에 표시되어 있다.

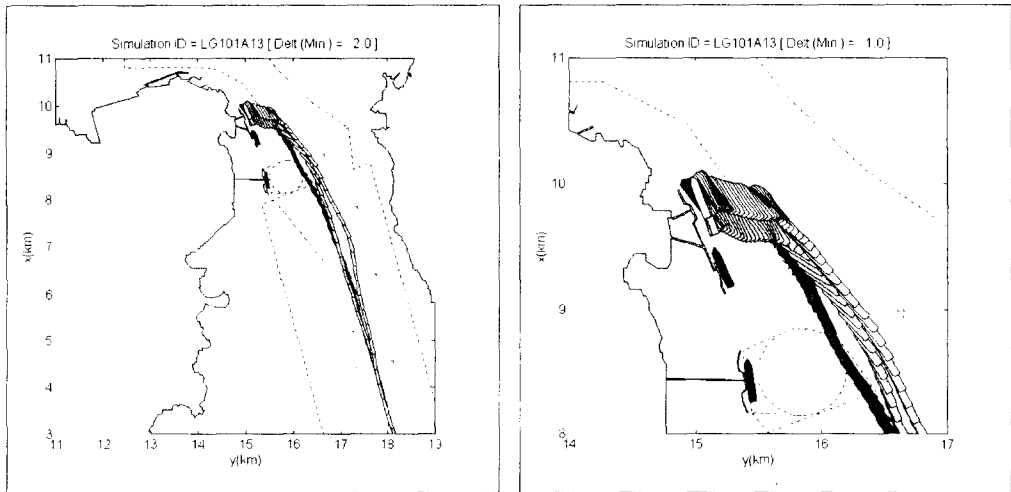


Fig. 3.4 입항 시뮬레이션 궤적(ID:LG101A13, Wind:SW 27Kts, 조류:약창조)

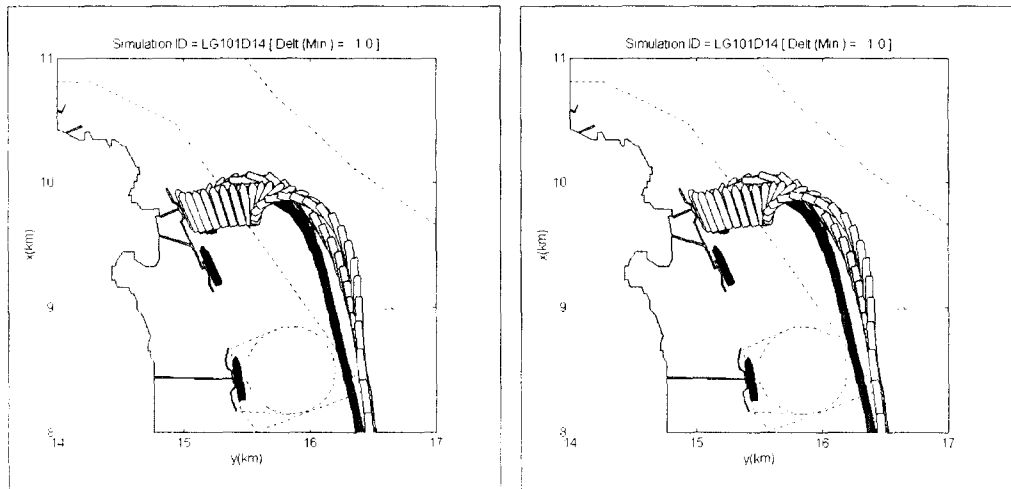


Fig. 3.5 출항 시뮬레이션 궤적(ID:LG101D14, Wind:NW 15Kts, 조류:중낙조)

4. 시뮬레이션 결과 분석

4.1 궤적 분석

여러 상황에서 입출항 선박이 취한 궤적을 분석함으로써, 해당 선박의 입출항에 관한 정성적인 정보를 파악할 수 있다. 여기서는 32만 DWT급 원유 운반선의 입항시와 출항시를 분리하여, 시뮬레이션시 이루어진 모든 궤적을 동시에 그려봄으로써, 해당 선박이 실제 상황에서 취할 가능성이 있는 항적을 추정해보았다.

Fig. 4.1은 운항자 1,2,3과 원유 1,2 부두에 대한 모든 입항 시뮬레이션의 궤적과 출항 시뮬레이션 궤적을 각각 2분 간격으로 동시에 표시한 것이다. 선박 운항자의 특성이나 바람, 조류 등의 외부 환경에 따라 조금씩 달라지기는 하지만, 실제 입항시 선박의 운항 궤적도 거의 이 영역 내에 있을 것으로 예상된다.

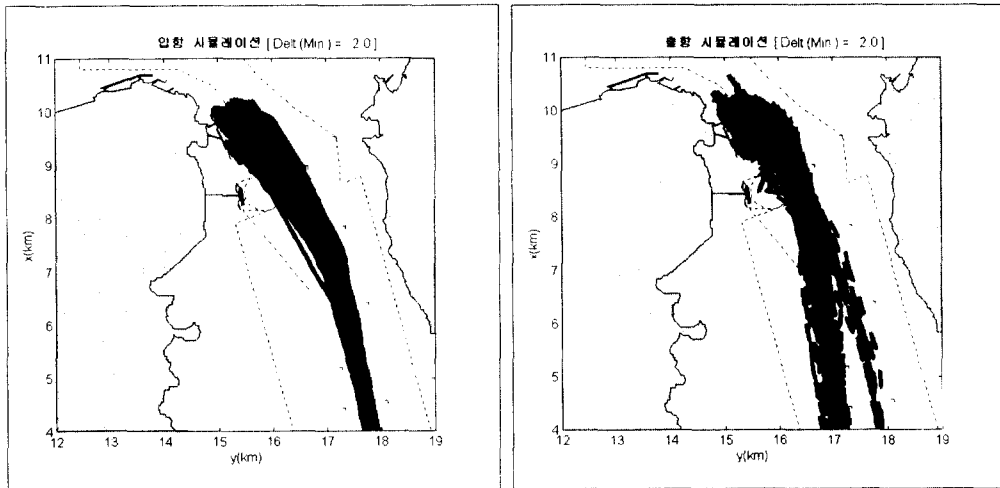


Fig. 4.1 시뮬레이션 전체 궤적

4.2 운항 평가 지수

4.2.1 입출항 소요 시간의 산정

일률적인 구간에서의 운항 소요시간 산정을 위하여, 입항하는 경우에는, No.7 Buoy 부근에서 시작하여, 선박의 중심이 해당 부두로부터 3B의 거리에 이르기까지 소요된 시간(T_s)을 각 경우의 시뮬레이션 기록으로부터 산출하였다.

출항하는 경우에는, 예선을 사용한 이안 작업부터 시작하여 No.7 Buoy를 통과할 때까지 소요된 시간을 각 경우의 시뮬레이션 기록으로부터 산출하였다.

4.2.2 타(舵) 사용량 지수

예정된 항로를 운항하는 동안 타의 평균적인 사용량을 다음 식에 의하여 산출하였다. 프로펠러가 회전하지 않거나 역전(逆轉)하는 경우에는, 타각이 존재하더라도 힘이 거의 발휘되지 않으므로 고려하지 않았다.

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{1}{T} \left\{ \int_0^T \frac{|\delta(t; n > 0)| \times n}{\delta_{Max} \times n_{max}} dt \right\} \times 100(\%) \quad (4.1)$$

여기서 T 는 프로펠러가 순전(順轉)하는 경우($n > 0$)의 전체 운항 시간이며, δ_{Max} 는

선박의 최대 타각, n_{Max} 는 프로펠러의 최대 회전수를 의미한다. $\delta(t; n > 0)$ 는 각 순간의 타각(舵角)을 의미하며, 프로펠러가 순전(順轉)하고 있는 경우에만 계산에 사용되었음을 표시한다.

4.2.3 Swept Path 지수

예정된 항로를 운항하는 동안, 선박의 표류 상황을 정량적으로 나타내기 위하여 다음과 같이 정의된 지수를 이용하였다.

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{1}{T} \left\{ \int_0^T \frac{|\beta(t)|}{\delta_{Max}} dt \right\} \times 100 (\%) \quad (4.2)$$

여기서, T 는 예선을 사용하지 않고 선박 자력으로 운항한 구간에서의 전체 운항 시간이며, $\beta(t)$ 는 각 순간의 표류각을 의미한다. 입출항시 모두 예선을 사용하지 않는 구간에 대하여만 위의 값을 산출하였다.

4.2.4 예선 사용률 지수

이접안시 예선의 사용 정도를 나타내는 지수이며 다음과 같이 정의된다.

$$\varepsilon_{Tug} = \frac{\sum_{i=1}^N \left\{ \int_0^T F_i dt \right\}}{\sum_{i=1}^N (F_i)_{Max} \times (1 \text{ Hour})} \times 100 (\%) \quad (4.3)$$

여기서,

- T_i : i-번째 예선을 사용한 총 시간
- F_i : 각 순간에 i-번째 예선이 발휘한 힘
- $(F_i)_{Max}$: 각 예선이 발휘할 수 있는 최대 힘
- N : 사용된 예선의 총 척수

를 각각 의미한다. 이 값은 단위 시간당 예선 사용률을 나타내며, 이 값이 클수록 예선을 많이 사용하였음을 의미하고, 궁극적으로는 이접안 조선의 난이도가 큰 상태임을 나타낸다.

4.2.5 근접도 평가

선박의 운항중 항만상의 어떤 특정 포인트와 선박이 얼마나 근접하였나를 알기 위한 분석을 실시하였으며, 여기서는 일례로, 인근에 설치될 예정인 원유 비축 기지 돌편과의 근접도를 조사하였다.

4.3 운항 조건과 운항 평가 지수의 상관 관계 분석

4.2절에서 언급한 5 가지의 안전성 평가 지수와 바람, 조류 및 운항자 등과 같은 운항 변수가 서로 어떤 상관 관계를 가지는가를 파악하기 위한 상관 분석을 실시하였다. X라는 운항 조건과 Y라는 안전성 평가 지수 사이의 상관 관계 r 은 다음처럼 정의된다.

$$r = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_X} \sqrt{S_Y}} \quad (4.4)$$

여기서 S_{XY} 는 공분산(Covariance), S_X 및 S_Y 는 각각 변수 X와 Y의 분산

(Variance)를 의미한다. 이들 값들은 다음처럼 정의된다. 변수 X와 Y가 관계가 클수록 공분산의 값은 커지게 되며, 이를 변수 X와 Y의 분산값을 이용하여 정규화(Normalize) 시킴으로써 두 변수 사이의 상관 관계를 정의한다. 두 변수가 완전한 상관 관계를 가진다면 r 의 값은 1.0이 되며, 두 변수가 전혀 관계가 없는 값이면, r 의 값은 0.0이 된다.

4.4 입항 및 접안 시뮬레이션 결과 분석

4.4.1 입항 소요 시간 분석

Fig. 4.2는 입항 소요 시간을 정량화하여 표시한 것이다. 또한 이하의 그림에 표시된 값들은 모두 세 운항자의 평균값이다.

풍속이 27Knots인 경우, 풍향에 따라 입항 소요 시간에 차이가 커짐을 알 수 있으며, 조류 조건은 낙조류시에 약간 시간을 오래 걸리게 할 뿐 그리 큰 영향을 미치지 않았다. 바람이 없는 경우에 비하여, 북서(NW)풍의 경우 입항 소요 시간이 비교적 커지고, 남서(SW)풍이나 북동(NE)풍의 경우는 거의 차이가 없는 경향을 볼 수 있는데, 이는 입항중인 선박에는 북서풍이 맞바람으로 작용하기 때문으로 판단된다.

풍속에 의한 입항 시간의 차이는 북서풍인 경우에만 뚜렷이 나타나며, 그 외의 풍향에서는 풍속에 따라서도 입항 시간의 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

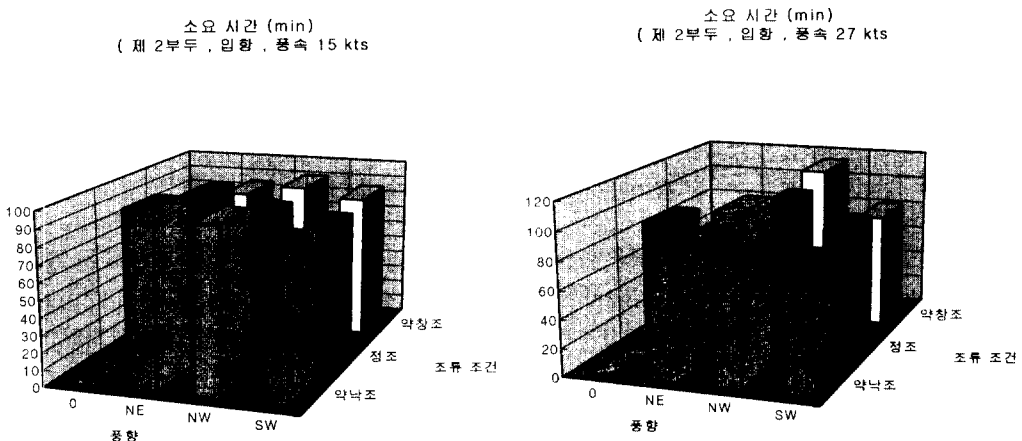


Fig. 4.2 풍향 및 조류 조건에 따른 입항 소요시간 변화

4.4.2 입항시 타의 사용량 지수 분석

Fig. 4.3은 입항하는 과정에서 사용한 타의 사용량을 외력 조건별로 정량화하여 표시한 것이다.

풍향에 따른 타 사용량의 차이는 풍속이 27Knots인 경우에 뚜렷이 나타난다. 입항시의 조류 조건은 타의 사용량에 거의 영향을 주지 않았으며, 또한, 입항중인 선박에 맞바람으로 작용하는 북서풍의 경우의 타 사용량은 바람이 없는 경우와 크게 달라지지 않는다. 하지만, 선체의 횡방향에서 불어오는 북동풍이나 남서풍에서는 타의 사용량이 크게 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 바람으로 인한 선박의 침로 변화를 방지하기 위하여 타를 지속적으로 사용하였음을 의미한다. 이러한 경향은 풍속 15 Knots의 경우에도 어느

정도 보이고 있으나, 그 차이는 그리 크지 않다.

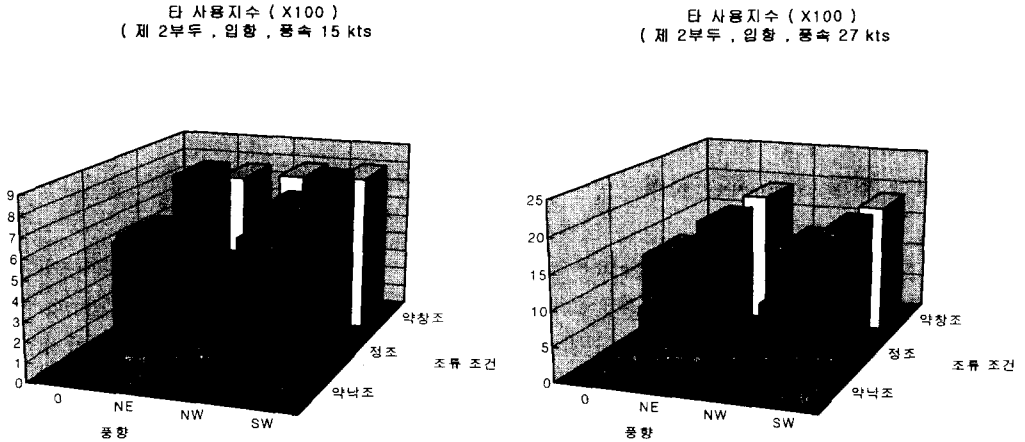


Fig. 4.3 풍향 및 조류 조건에 따른 타 사용량 변화

4.4.3 입항시 Swept Path 지수 분석

Fig. 4.4는 부두에 입항하는 과정에서 발생한 선박의 표류 상황을 나타내는 Swept Path 지수를 외력 조건별로 정량화하여 표시한 것이다.

Swept Path 지수로 정량화되는 선박의 표류량은, 입항중에는 조류 조건보다는 바람의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다. 바람이 없는 경우에 비하여, 풍속이 작은 경우에는 창조류시에 약간 큰 값을 보이고 있으나, 풍속이 커지면서 거의 모든 경우에 Swept Path 지수 값이 증가함을 알 수 있다. 이러한 경향은 북동(NE)풍의 경우 뚜렷하게 나타나는데, 이는 북서(NW)풍이나 남서(SW)풍에 비하여 북동풍의 경우가 선박과의 상대 풍향이나 상대 풍속이 커지는데 기인하며, 바람에 대항하여 선박의 침로를 유지하기 위하여 타를 사용하는 과정 중에 나타난 선박의 표류각이 상대적으로 증가하였음을 의미한다.

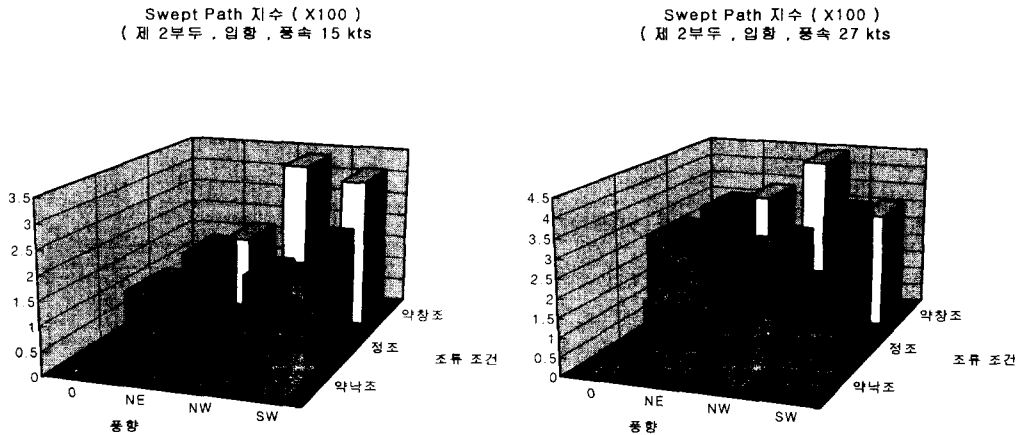


Fig. 4.4 풍향 및 조류 조건에 따른 Swept Path 지수 변화

4.4.4 접안 작업시 예선 사용률 지수 분석

Fig. 4.5는 부두에 접안하는 과정에서 이용한 예선의 사용 정도를 외력 조건별로 정량화하여 표시한 것이다.

풍속이 15 Knots인 경우에는 낙조류시에 예선 사용률이 약간 증가할 뿐, 대체적으로 큰 차이가 없으나, 풍속이 27 Knots로 커지는 경우에는 풍향에 따라서 예선의 사용량이 크게 증가함을 알 수 있다. 접안 작업시에는 부두쪽에서 불어오는 바람인 남서(SW)풍의 경우 예선 사용률이 크게 증가함을 알 수 있으며, 부두쪽으로 불어오는 북동(NE)풍의 경우 접안 작업에 이 바람을 이용하여 예선 사용률이 바람이 없는 경우보다 오히려 작아지는 경향을 보이고 있다. 그리고, 부두에 평행하게 불어오는 북서(NW)풍의 경우에는 바람이 없는 경우와 거의 유사한 값을 보이고 있다.

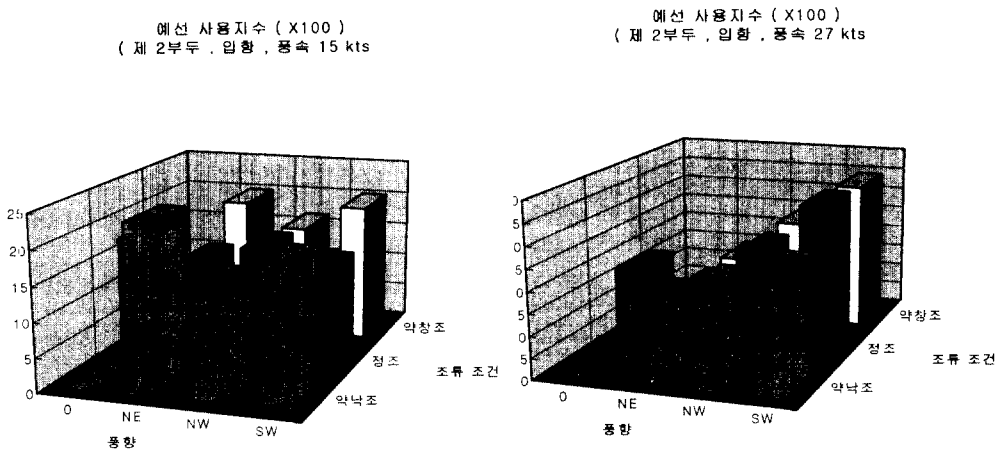


Fig. 4.5 풍향 및 조류 조건에 따른 예선 사용 지수 변화

4.4.5 입항시 원유 비축기지 부두와의 근접도 분석

Fig. 4.6은 부두에 입항하는 과정에서, 근처의 원유 비축 기지 부두에 근접한 정도를 외력 조건별로 정량화하여 표시한 것이다.

이들 그림에서 보듯이, 입항 과정에서의 원유 비축기지 부두와의 근접도는 낙조류시에 약간 감소하는 경향을 볼 수 있을 뿐, 조류 상황이나 바람 등과 같은 외부 조건에 그리 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이는 원유 비축 기지 부두 전면의 가항 구역의 넓이가 충분하여, 운항자가 외력 상황에 큰 제약을 받지 않고 원유 부두에 접근하기 위한 항로를 자유로이 선택할 수 있기 때문으로 분석된다.

4.4.6 입항시 운항 조건과 운항 평가 지수의 상관 관계 분석

Fig. 4.7은 입항 및 접안 과정에서 평가된 여러 가지 운항 평가 지수와 조류, 바람 및 운항자 등과 같은 운항 변수와의 상관 관계를 분석한 것이다.

이 도표를 보면, 입항시의 선박 운항에는 바람이 조류보다 전반적으로 큰 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있는데, 이는 32만 DWT 원유 운반선의 입항 제한 조건으로 인하여, 시뮬레이션 조건 설정시, 조류의 변화는 작게 설정한 반면, 바람의 변화는 상대적으로 크게 설정하였기 때문이다. 입항시의 타 사용 지수와 Swept Path 지수 그리고 예선 사

용 지수 등은 바람의 영향을 많이 받는 것으로 분석되었다.

입항시의 조류 조건은 약조류나 정조 상태로 제한되어 있으므로, 조류 상태가 각종 운항 평가 지수에 그리 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 분석되었으나, 운항 소요 시간 그리고 특정 포인트에 대한 근접도에는 약간 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

한편, 운항자의 운항 특성은 원유비축기지 부두와의 근접도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었는데, 이는 운항자마다 원유 부두에 접근하는 항로에 차이가 있었음을 의미한다. 이러한 차이는 입항 소요 시간에도 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그 외의 평가 지수들은 운항자에 따라 크게 달라지지 않는 것으로 분석되었다.

원유비축기지 부두와의 최근접거리 (m)
(제 2부두, 입항, 풍속 15 kts)

원유비축기지 부두와의 최근접거리 (m)
(제 2부두, 입항, 풍속 27 kts)

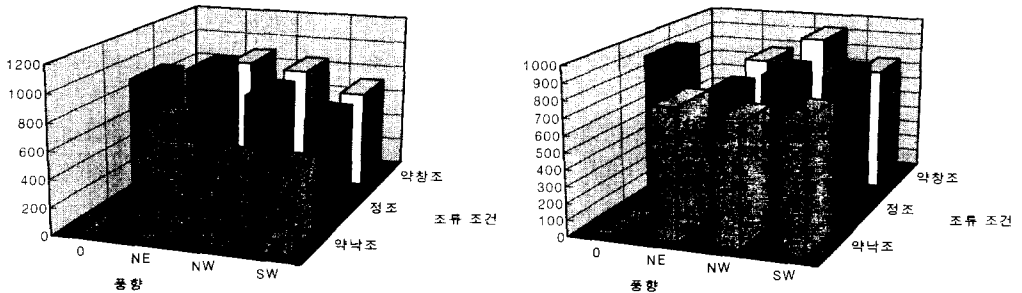


Fig. 4.6 풍향 및 조류 조건에 따른 근접도 변화

운항 조건과 안전성 지수와의 상관관계

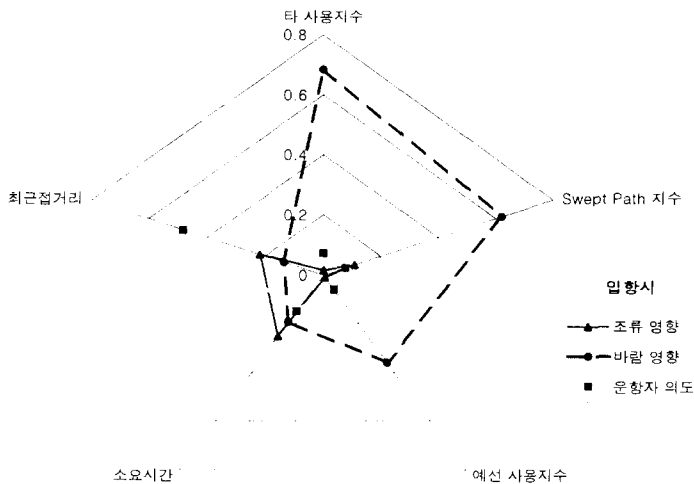


Fig. 4.7 입항시 운항 조건과 운항 평가 지수의 상관 분석

4.5 이안 및 출항 시뮬레이션 결과 분석

4.5.1 출항 소요 시간 분석

Fig. 4.8은 제 2 부두로부터의 출항 소요 시간을 조건별로 정량화하여 표시한 것이다.

출항 소요 시간은 조류의 방향에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, 동일한 구간을 운항 하는데 있어서 낙조류시에는 정조시나 창조류시에 비하여 시간이 약간 단축됨을 알 수 있다. 이는 조류 흐름의 방향이 선박의 움직이는 방향과 일치하는지 혹은 반대 방향인지에 따라 선박의 실질적인 대지(對地) 속력에 차이가 생기기 때문이다.

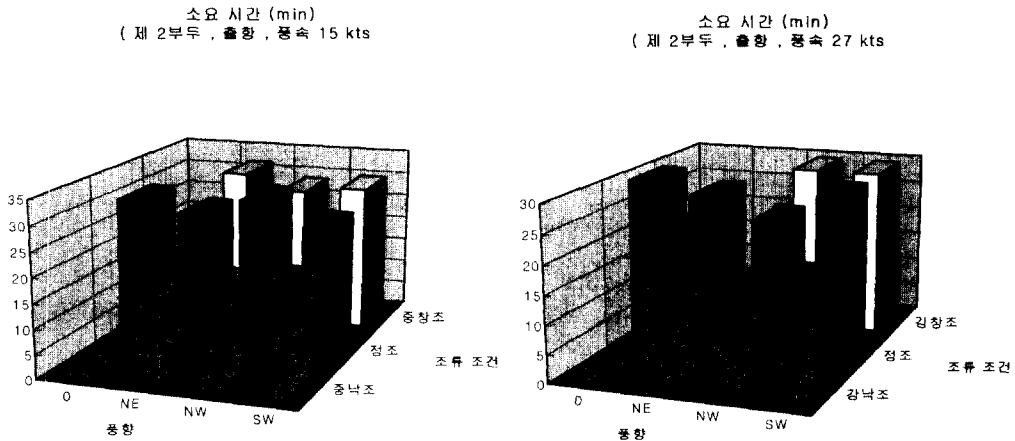


Fig. 4.8 풍향 및 조류 조건에 따른 출항 소요시간 변화

4.5.2 출항시 타의 사용량 지수 분석

Fig. 4.9는 출항하는 과정에서 사용한 타의 사용량을 외력 조건별로 정량화하여 표시한 것이다.

출항시 외력 조건에 따른 타 사용량의 변화는 뚜렷한 경향을 보이지 않고 있다. 이러한 사실은, 출항중에는 바람이나 조류 등의 외력 조건에 대항하여 선박의 침로를 유지하기 위하여 타를 사용하지 않았음을 의미한다. 이는 출항 항로가 상대적으로 넓은 관개로 인하여 바람이나 조류 등에 의하여 선박이 압류(壓流)되더라도 선박의 조선상에 큰 문제가 없었기 때문으로 분석된다.

4.5.3 출항시 Swept Path 지수 분석

Fig. 4.10은 부두에서 출항하는 과정에서 발생한 선박의 표류 상황을 나타내는 Swept Path 지수를 외력 조건별로 정량화하여 표시한 것이다.

Swept Path 지수로 정량화되는 선박의 표류량 역시 외력 조건에 따른 뚜렷한 변화 경향을 보이고 있지 않으나, 입항시와 비교하여 전반적으로 큰 값을 가지고 있다. 입항시에는 접안 자세를 확보하기 위하여 외력에 대항하면서 선체의 침로와 자세를 유지하여야 하는데 반하여, 출항시에는 외력에 대항하여 선박을 조선(操船)해야 할 필요가 없으므로 바람이나 조류 등에 의하여 선박이 압류(壓流)되더라도 선박의 침로 유지에 큰 문제가 없

였기 때문에 분석된다.

바람이나 조류의 세기가 강해질수록, 일정하지는 않더라도 전반적으로 선박의 표류량이 증가하고 있는 것은 이러한 외력에 의한 선체의 압류를 방지하기 위한 조치를 조선자가 취하지 않았음을 의미한다.

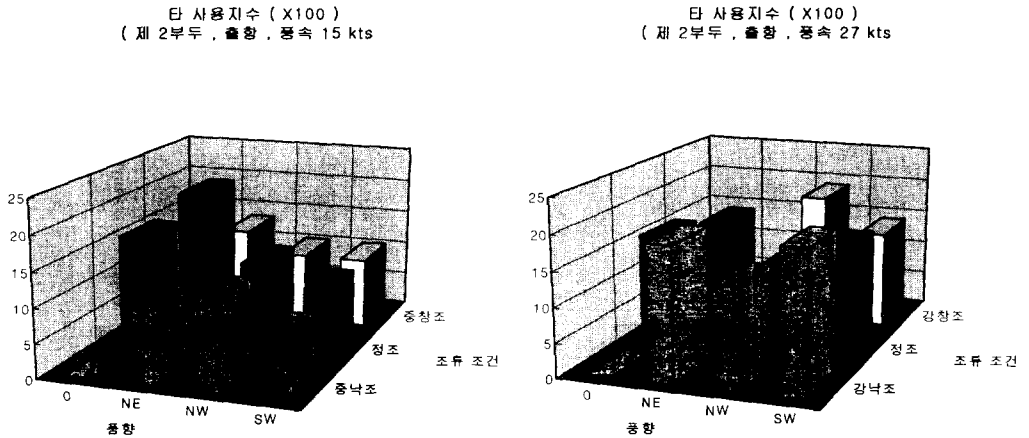


Fig. 4.9 풍향 및 조류 조건에 따른 타 사용량 변화

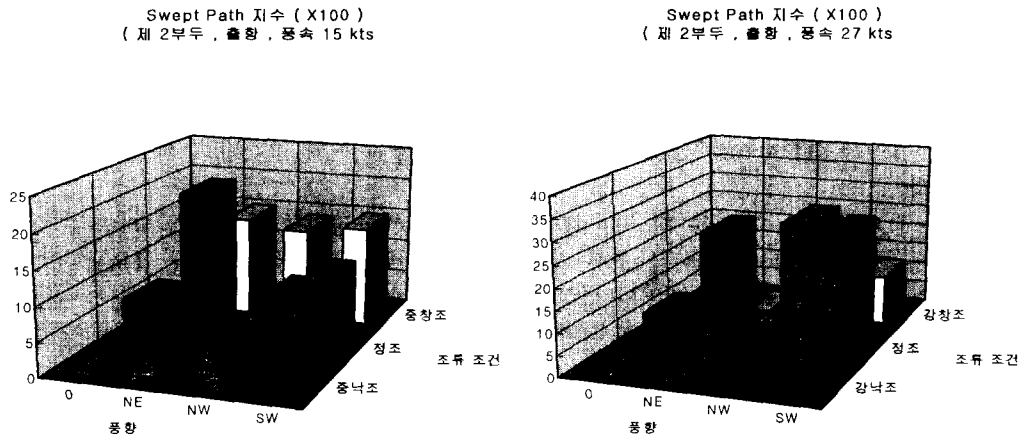


Fig. 4.10 풍향 및 조류 조건에 따른 Swept Path 지수 변화

4.5.4 이안 작업시 예선 사용률 지수 분석

Fig. 4.11은 부두로부터 이안하는 과정에서 이용한 예선의 사용 정도를 외력 조건별로 정량화하여 표시한 것이다.

이안 과정에서의 예선 사용률은 정조시에 비하여 조류가 있는 경우 증가하는 경향을 보이고 있으며, 조류의 세기가 증가함에 따라 예선 사용량도 역시 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 27 Knots의 북동(NE)풍이 존재하는 경우에만 예선 사용량이 약간 증가

하였을 뿐, 풍속이나 풍향도 이안 작업시의 예선 사용량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 이는 부두 전면의 수역이 충분하기 때문에 바람이나 조류 등의 외력에 거스르지 않고 이들을 이용하여 이안 작업을 수행하고 출항 자세를 확보하였음을 의미하며, 예선은 선박의 방향을 확보하는데만 사용되었을 뿐, 선박의 위치를 제어하는데에는 사용하지 않았기 때문으로 분석된다.

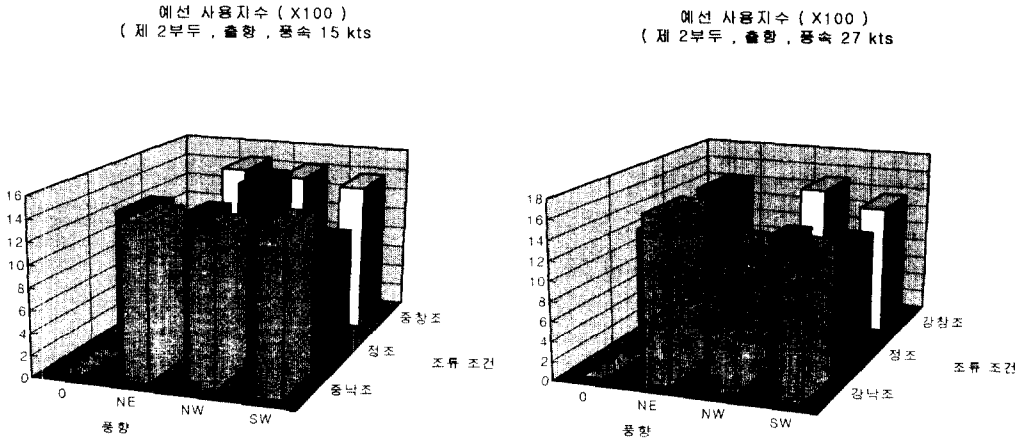


Fig. 4.11 풍향 및 조류 조건에 따른 예선 사용 지수 변화

4.5.5 출항시 원유 비축기지 부두와의 근접도 분석

Fig. 4.12는 부두에서 출항하는 과정에서, 근처의 원유 비축 기지 부두에 근접한 정도를 외력 조건별로 정량화하여 표시한 것이다.

이들 그림에서 보듯이, 출항 과정에서의 원유 비축기지 부두와의 근접도는 조류보다 바람의 영향을 많이 받고 있다. 특히 풍속 27 Knots의 강풍이 존재하는 경우에는 육지쪽으로 불어가는 바람인 북동(NE)풍인 경우에, 북서(NW)풍이나 남서(SW)풍에 비하여 근접 거리가 감소함을 볼 수 있다. 또한, 창조류의 경우가 낙조류의 경우보다 근접 거리가 가까워짐을 볼 수 있는데, 이는 창조류의 방향이 선박을 육지쪽으로 근접시키는 방향으로 작용하기 때문이다.

풍속이나 조류가 약한 경우에는, 선박 운항자가 정한 침로에 따라 원유 비축기지 부두와의 근접도가 달라지므로 뚜렷한 경향이 보이지 않고 있다.

4.5.6 출항시 운항 조건과 운항 평가 지수의 상관 관계 분석

Fig. 4.13은 부두에서 출항하는 과정에서 평가된 여러 가지 운항 평가 지수와 조류, 바람 및 운항자 등과 같은 운항 변수와의 상관 관계를 분석한 것이다.

이 도표를 보면, 출항시에는 입항시와는 달리 조류와 바람이 선박 운항에 거의 비슷한 정도로 영향을 미치고 있다. 바람은 모든 평가 지수에 비슷한 정도로 영향을 미치고 있으며, 조류는 타 사용지수나 Swept Path 지수에는 거의 영향을 미치지 않고, 출항 소요 시간에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

한편, 운항자의 운항 특성은 원유비축기지 부두와의 근접도 및 출항 소요 시간, 예선 사용량, 그리고 Swept Path 지수 등 거의 모든 평가 지수에 큰 영향을 미치는 것으로

분석되었는데, 이는 출항에 사용할 수 있는 수역이 비교적 넓은 관계로 출항 항로의 선정이 비교적 자유로와 운항자마다 출항 조선법에 차이가 있었음을 의미한다.

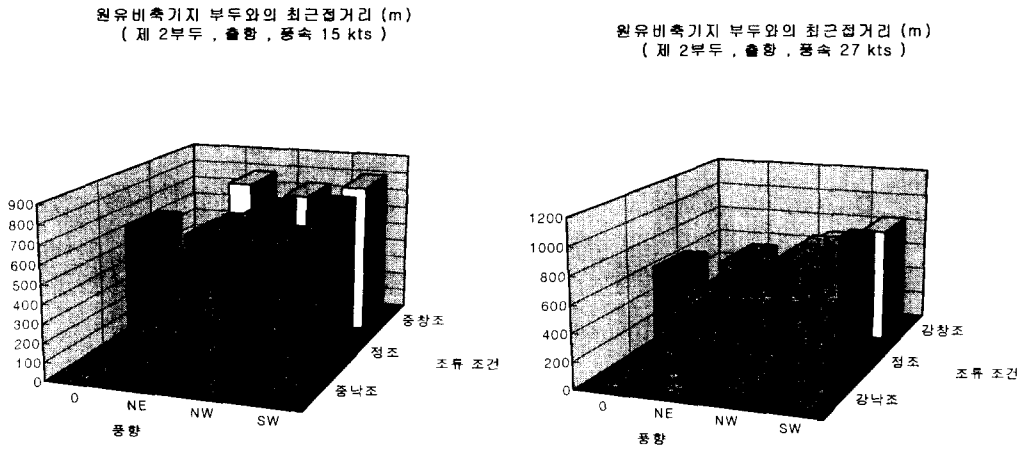


Fig. 4.12 풍향 및 조류 조건에 따른 근접도 변화

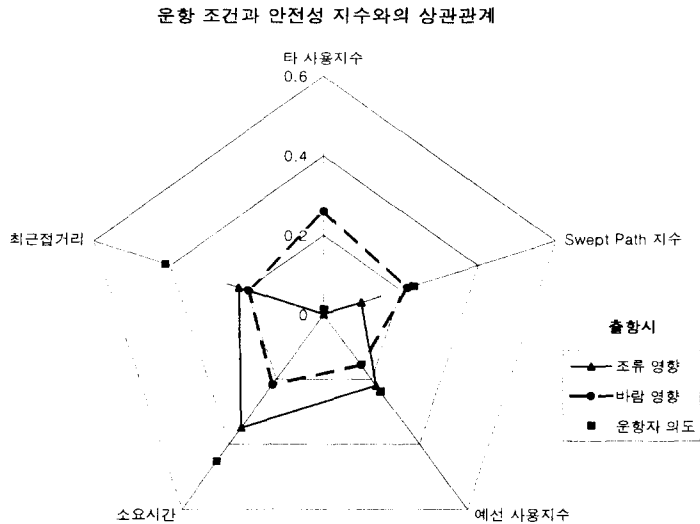


Fig. 4.13 출항시 운항 조건과 운항 평가 지수의 상관분석

5. 결 언

32만 DWT급 원유 운반선이 계획 항로를 따라 부두에 입출항 및 이접안하는 경우에 대한 선박 운항 시뮬레이션을 실시하였다. 진입 수로에서 부두 전면 선회장에 이르는 구간에서의 선박 운항 및 부두에서의 이접안 작업 등을 여러 가지 기상 및 해상 상황에서의 시뮬레이션을 통하여 검토하여 보았으며, 이처럼 여러 가지 상황에 대한 선박 운항 시뮬

레이션을 실시하고 그 결과를 체계적으로 분석함으로써, 여러 상황에서 선박 운항시 발생할 수 있는 문제점 등을 미리 검토하고 그 보완 대책을 사전에 세울 수 있다.

후 기

본 연구는 엘지 칼텍스 정유(주)의 지원으로 수행되었으며, 연구 결과의 논문 발표를 허락하여 주신데 대하여 감사드립니다. 그리고 시뮬레이션 준비 과정에서 많은 도움을 주시고 자문에 응해주신 여수지방 도선시험회에도 이 기회를 빌어 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] I.Y.Gong and et al., "Development and Application of an On-Board Maneuvering Simulator" Proceedings of MARSIM & ICSM '90, Tokyo, 1990. 6.
- [2] C.M.Lee, I.Y.Gong and et al., "Development of a PC Based Shiphandling Simulator and Its Application", Proceedings of MARSIM & ICSM '93, St. John's, 1993. 9.
- [3] I.Y.Gong and et al., "Development of Harbor Capability Assessment Simulation System by the Application of Fuzzy Algorithm", MARSIM 96, Sep.9-14, 1996, Copenhagen, Denmark
- [4] I.Y.Gong and I. Datta, "Development of Maneuvering Simulation Software for Ship in Confined Waters", Proc. of 10th Ship Control Systems Symposium, Canada, '93.10.