

論 文

인천항 출입항로 개선 방안에 관한 시뮬레이션 연구

김 환 수* · 정 세 모* · 허 일* · 이 덕 수*

A Simulation Study on the Improvement of the Entrance Channel of Incheon Harbour

Whan-Soo Kim · Se-Mo Chung* · Il Hugh* · Deok-Su Lee**

〈 목 차 〉

Abstract	3.2 시뮬레이션 및 분석
1. 서 론	3.3 시뮬레이션 검증 결과
2. 인천항 출입 항로의 문제점 및 개선 방안	4. 인천항 신설 중앙 항로의 기본 설계 방안 및 개략 공사비
2.1 인천항 출입 항로의 문제점	4.1 기본 설계 방안
2.2 인천항 출입항로의 개선 방안 - 출항선용 중앙 항로의 신설	4.2 개략 공사비
3. 인천항 신설 중앙 항로에 대한 시뮬레이션 검증	5. 결 론
3.1 시뮬레이션의 개요 및 준비	참고문헌

Abstract

This work aims at examining the navigational safety of the entrance channel of Incheon harbour and suggesting the way to improve ships' navigational safety through the channel.

It has been found, from the on-scene investigation of the navigational safety at Incheon, that small ships such as fishing boats and barges coming out of the harbour through the East Channel cause major threat to the inbound large ships using the channel.

An additional new waterway, therefore, has been recommended to be established in the middle of the East and West Channels so that the outbound small ships can use it. A waterway design simulation methodology has been applied to examine the safety of the newly suggested channel. Minor change has been made to the original design after the simulation experiment, and the corrected final design of the waterway has been suggested to be implemented as soon as possible.

* 정회원, 한국해양대학교 해사대학 교수

1. 서 론

인천항 출입 항로는 북장자서 왼쪽과 팔미도 오른쪽 간에 걸쳐있는 통항분리대를 사이에 두고 동수도와 서수도로 항로를 분리하여, 입항 선박은 동수도 항로를 따라 입항하고 출항선박은 서수도 항로를 따라 출항하도록 되어 있는 통항분리항로로 되어 있다. 통항분리항로를 따라 항해하는 선박의 속력은, 동수도 항로의 입구로부터 5.8마일간의 항로, 부도로부터 125도 선으로 연결된 선과 서어벌로 부터 90도 선으로 연결한 선 사이의 5.8마일간의 항로, 그리고 팔미도와 북장자서 사이의 통항분리대를 가운데 둔 약 8마일 간의 항로에서는 12노트로 제한된다. 그리고 길이 30미터 미만의 선박 또는 범선은 동수도 및 서수도 항로의 바깥 해역을 이용하여 입항하거나 출항할 수 있으며, 덕적도 서북쪽에서 인천항으로 항행하는 선박은 서수도 항로의 바깥 해역을 안전하게 항행할 수 있는 경우에는 서수도항로의 바깥 해역을 항행할 수 있으나 각각 동수도 항로 또는 서수도 항로를 따라 항행하는 다른 선박의 안전한 통항을 방해하여서는 안되도록 되어 있다.

한편 우리 나라의 경제가 급속히 성장함에 따라 물동량이 크게 증가하고 있고, 이로 인해 인천항을 출입항하는 선박의 수도 날로 증가하고 있어 기존 출입 항로의 안전을 진단하고 항로를 개선하는 것이 현안 문제로 부각되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 인천항 출입 항로의 적정성을 현장 답사 등을 통해 검증한 후, 개선안을 제시하고 이 개선안에 대한 항로 설계 시뮬레이션 검증을 거쳐 가장 바람직한 항로 신설 방안을 제시하였다.

2. 인천항 출입 항로의 문제점 및 개선 방안

2.1 인천항 출입 항로의 문제점

현장을 답사하여 조사하여 본 결과 길이 30미터

미만의 선박 및 범선은 동수도 항로 및 서수도 항로의 바깥을 이용하여 입항하거나 출항할 수 있도록 되어 있음에도 불구하고 소형 어선 및 모래 채취선(모래운반 바지 포함)등이 동수도 항로의 안쪽을 통하여 출항하는 예가 많아 사고의 위험성이 매우 높은 것으로 지적되었다. 93년 7월 초에 발생한 Ocean Duke호와 모래 채취선의 충돌이 그 한 예이다[1]. 인천항 항계 바깥쪽에 양질의 모래 채취 구역이 있어서 많은 모래 채취선이 작업 및 채취된 모래를 운반하기 위해 인천항을 빈번히 출입하고 있는 것은 다른 항에서는 볼 수 없는 특이한 상황 중 하나이다. 특히 모래 채취선과 어선들이 선단을 구성하여 항로를 역항하며 항해하여 동수도 항로를 따라 입항하는 선박의 진로를 방해하는 것이 큰 문제점으로 확인되었다.

어선의 경우 해리도 근처의 해군 검문소에 신고를 하고 출항하여야 하는 규정 때문에 신고 후 서수도를 가로질러 동수도 항로를 따라 조업 지역으로 항해해가는 경우가 많아 동수도 항로를 따라 입항하는 입항선의 항행에 지장을 주는 것은 물론 서수도 항로를 따라 출항하는 선박의 항행에 지장을 주고 있는 것도 큰 문제점 중의 하나였다.

그리고 팔미도 근처의 강한 조류가 문제점으로 지적되었다. 출항선이 강한 조류에 의해 입항하는 선박 쪽으로 밀리게 됨에 따라 주위의 입항선이 12번 Buoy 옆의 좌초선 쪽으로 밀리게 되고 이에 따라 입항선이 좌초선에 충돌할 위험이 크며 실제 그러한 사고가 다수 발생한 바 있었다. 특히 주위에 위치 확인을 위한 항로표지가 충분히 설치되어 있지 못하기 때문에 이러한 위험이 상존하는 것으로 확인되었다.

2.2 인천항 출입 항로의 개선 방안

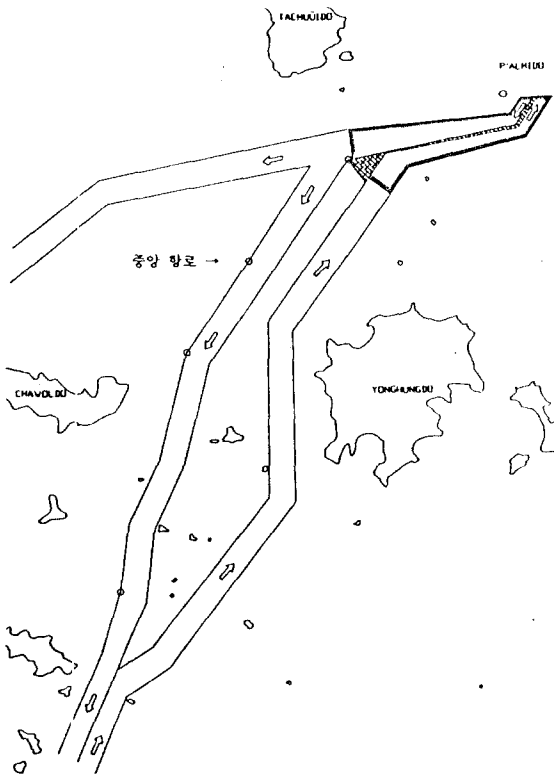
- 출항선용 중앙 항로 신설

문제점에서 지적된 바와 같이 어선 및 모래 채취선들이 동수도 항로의 안쪽을 이용하여 출항하는 경우가 많아 동수도를 따라 입항하는 대형선의 항행에 큰 위험을 주고 있다. 그리고 길이 30미터가 넘는 연안 화물선들도 인천을 출항하여 평택항

과 대산항으로 항해하는 경우 항해 거리를 단축하기 위하여 동수도 항로로 역행하며 출항하는 경우가 많다. 입항선과의 충돌 위험성이 매우 높은 실정이다.

이와 같이 동수도 항로를 따라 역행하며 출항하는 선박들이 많은 이유는 출항 항로인 서수도 항로를 이용할 경우 15마일 이상 우회할 수 밖에 없기 때문이다. 따라서 인천항 출입 항로인 동수도 항로와 서수도 항로에 추가하여 먼거리를 우회하지 아니하고 어장 또는 모래 채취 구역 그리고 대산항 방면으로 항해해 갈 수 있는 출항선용 중앙 항로를 신설할 필요가 있다.

<그림 2-1> 인천항 출항 중앙 항로 신설 방안



새 출항 항로는 <그림 2-1>과 같이 팔미도 부근의 동향 분리대를 지나 서수도 항로로부터 연결하여 동수도 항로 왼쪽의 수심이 깊은 지역을 따라 동수도 항로와 거의 나란하게 설치할 것이 제

안된다. 항로폭은 통항량이 많은 반면 계획 수심을 확보할 수 있는 해역은 매우 넓기 때문에 충분한 여유를 주어 동수도 항로와 같은 폭인 1,000미터로 하며 계획 수심은 PLANC Rule에 따라 출입선박 최대 흘수에 20%를 가산한 값인 15.7미터로 한다.

3. 인천항 신설 중앙 항로에 대한 시뮬레이션 검증

3.1 시뮬레이션의 개요 및 준비

3.1.1 항로 적정성 검증 시뮬레이션의 개요

대상 항로를 출입항 예정 선박이 안전하게 통항할 수 있는지를 검증하는데 사용되는 기법이 항로 적정성 검증 선박 조종 시뮬레이션이다. 이 방법은 실제 항로의 제반 환경 조건을 시뮬레이션 시스템에 입력하고 거기에 출입항 선박중 조종 성능이 최악인 최대의 선박에 대한 선박 운동 모델을 입력한 뒤 휴먼 알고리즘에 의해 모델 선박이 항로를 통항하도록 시험하여 항로상에서의 선박의 운항 안전성을 평가해 보는 방법이다. 선박의 운동은 각 선박의 구동 원천이 되는 기관의 힘과 방향을 조종하는 타에 의해 좌우되며, 이들 기관 및 타에 의한 선박의 반응은 선체의 크기 및 선형마다 차이가 있을 뿐만 아니라 수면하에 잠긴 선체의 모양에 따라서도 달라진다. 실제에 가장 근접한 선박 운동 시뮬레이션을 실시하기 위해서는 실제 선박과 동일한 반응을 나타낼 수 있도록 선박 모델을 구성하여 사용하여야만 한다. 그리고 선박의 운동은 본선 자체의 특성에 부가하여 외부로부터 받는 힘에 의해 크게 좌우되므로 외력으로 작용하는 바람, 조류, 수심에 관한 정확한 정보의 입력이 매우 중요하며 이들 정보들은 데이터베이스 형태로 시스템에 입력된다.

본 연구에서는 영국의 Maritime Dynamics사에서 개발한 Off Line Port and Waterway Design

Simulator를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다.

3.1.2 선박 운동 방정식의 구축

3.1.2.1 대상 선박

항로 적정성 검증을 위해서는 해당 항로 출입항 선박중 조종 성능이 가장 열악한 선박을 대상으로 하여 시뮬레이션을 실시하여야 한다. 인천항을 출입항하는 선박중 조종 성능이 가장 나쁜 선박은 출입항 선박중 가장 큰 선박의 하나인 길이 225m의 50,000GRT급 벌크선이다. 실험 대상 선박의 제원을 <표 3-1>에 나타내 보인다.

<표 3-1> 실험 대상 선박의 제원 (50,000GRT 벌크선)

명 세	크 기	명 세	크 기
전장(LOA)	225m	가속시간(최대선속의 2/3)	510초
선폭(B)	32m	감속시간(최대선속의 1/3)	780초
흘수(d)	13.1m	우현선회권 선회정상속도	5.3kts
배수톤수(Displacement)	73,310Ton	최종선회경(Circle Diameter)	480m
방형비척계수(Cb)	0.79	우현선회권 선회 최두각속도	43도/min
축수	1	우현선회권 선회편각	29도
프로펠라형	고정형	속력(전진전속)	14.9kts
주기관형	저속디젤	속력(후진전속)	9.0kts
풍압면적(측면)	1,817㎡	전속전진 기관회전수	90rpm
풍압면적(정면)	921㎡	전속후진 기관회전수	70rpm

3.1.2.2 선박 운동 방정식의 기본 원리

시뮬레이션을 위한 선체 운동 수학 모델 중 McCallum에 의해 개발된 모델을 기초로 하여 선박 운동 방정식을 구성하였으며, McCallum Model의 기본 원리는 다음과 같다.

흐르는 유체에 선체를 고정시킬 경우 선체에 미치는 힘은 <그림 3-1>과 같이 크게 유체의 흐름 방향에 직각으로 작용하는 lift force와 유체의 흐름 방향에 평행하게 작용하는 drag force 두 가지로 나눌 수 있으며, 이 힘들은 다음과 같이 계수로 표시될 수 있다[2].

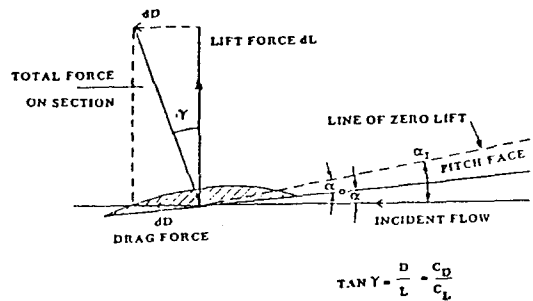
$$\text{Lift Coefficient} = C_L = \frac{L}{1/2 \rho AV^2}$$

$$\text{Drag Coefficient} = C_D = \frac{D}{1/2 \rho AV^2}$$

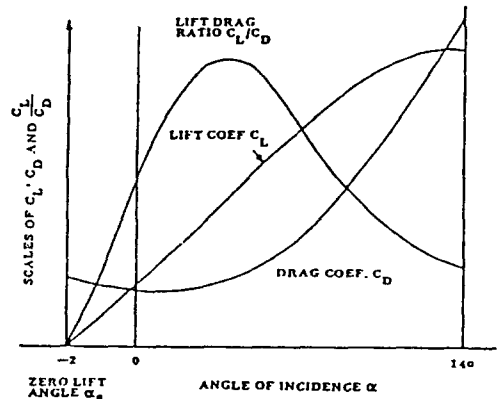
(3.1)

여기서, ρ 는 유체 밀도, A는 유체를 받는 면적, V는 유체 속력을 말한다.

<그림 3-1> Forces on a Hydro-Foil



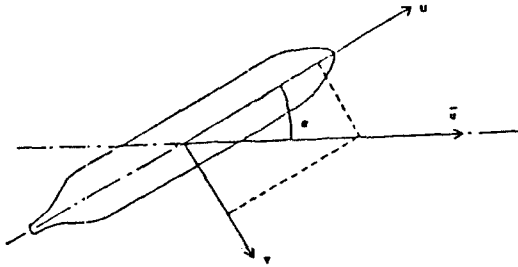
<그림 3-2> Characteristics of Lift and Drag Forces



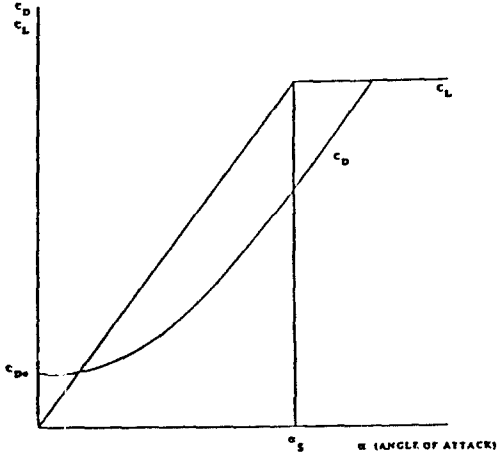
선체와 유체가 이루는 각(drift angle)을 α 라 하면 <그림 3-3>과 같이 선체에 미치는 유체의 속도는 surge 속도(u)와 sway 속도(v)의 벡터 합이 된다.

$$u^2 = u^2 + v^2 \tag{3.2}$$

<그림 3-3> Surge and Sway Velocities for a Hull at Drift Angle α



<그림 3-4> Idealized Lift and Drag Characteristics for Inclined Hull Form



그리고 drift angle α 는 surge와 sway 속도와 관계가 있으므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{v}{u} \quad (3.3)$$

특정한 형태의 선체 모양에 미치는 lift와 drag force를 정확하게 구하기는 불가능하므로 선체에 미치는 lift와 drag force는 <그림 3-4>와 같이 이상적 형태로 나타낼 수 있다고 가정한다.

<그림 3-4>에 나타나 있는 것과 같이 lift와 drag force는 stall angle α_s 까지는 거의 수직적으로 상승한다. 작은 aspect ratio(중형비)를 가질수록 stall angle은 커지며, 보통 선박의 경우 아주

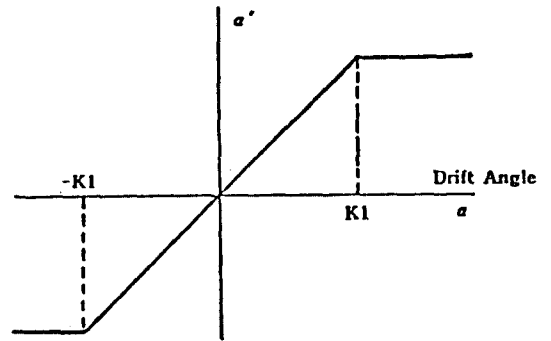
작은 aspect ratio를 가지므로 45° 이상의 stall angle을 가진다. 실제로 선박의 drift angle이 45° 를 넘는 경우는 드물기 때문에 <그림 3-2>를 고려할 때 <그림 3-4>와 같이 이상화시킨 lift와 drag 특성을 이용하더라도 수학 모델 구성에 큰 영향을 받지 않는다[3].

그리고 <그림 3-5>와 같이 이상적 lift force의 특성을 나타내는 limited drift angle의 개념을 도입하면,

$$\begin{aligned} |\alpha| \leq K1 \text{ 일 경우 } \alpha' &= \alpha \\ \alpha > K1 \text{ 일 경우 } \alpha' &= K1 \\ \alpha < -K1 \text{ 일 경우 } \alpha' &= -K1 \end{aligned} \quad (3.4)$$

으로 표현할 수 있다.

<그림 3-5> Limited Drift Angle



3.1.2.3 선체에 미치는 유체역학적 lift와 drag force

식(3.1)에 나타나 있는 바와 같이 흐르는 유체에 놓인 선체에 미치는 lift와 drag force는 유체의 속도의 제곱에 비례한다.

따라서 lift force는 다음과 같이 나타낼 수 있다 [4].

$$L_H = K7 \times \bar{u}^2 \times \alpha' \quad (3.5)$$

선체에 미치는 drag force는 α 가 0일 때는 작은 잔류 drag와 α 의 제곱에 비례하는 drag force로

구성된다[4]. 이것을 수식으로 표현하면,

$$D_H = K_8 \times \bar{u}^2 + K_9 \times \bar{u}^2 \times \alpha^2 \quad (3.6)$$

이 된다. 여기에서 $K_8 \times \bar{u}^2$ 은 α 가 0일 때의 잔류 drag량을 나타낸다.

3.1.2.4 프로펠라 유효 슬립과 후류 속도

선박 프로펠라의 실슬립비는

$$S_r = 1 - \frac{V_a}{p \times n} \quad (3.7)$$

이다. 여기서 V_a 는 프로펠라 대수 전진 속도, p 는 pitch, n 는 회전 속도를 의미한다.

그리고 프로펠라 전진 속도 대신에 선박의 속도 V 를 사용하여 또다른 슬립비를 구할 수 있는데 이를 명목 슬립비라고 하고 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$S_a = 1 - \frac{V}{p \times n} = 1 - \frac{u}{p \times n} \quad (3.8)$$

보통 선박 조종을 하여 보면 속력이 작을수록 슬립비는 커진다. 그러나 실제 조종중에 정확한 실슬립이나 명목 슬립을 구하기가 어려우므로 이를 간편하게 하기 위해 유효슬립비라는 것을 생각해 내고 이를 수식으로 표시하면

$$S_e = 1 - \frac{u}{U_0} \quad (3.9)$$

이 된다. 여기서 U_0 는 throttle setting speed를 말한다.

선박의 후류 속도(slipstream velocity) U_s 는 평정 상태(equilibrium condition)에서는 평정 속도 U_0 에 가까워진다. 이때 $u = U_0$, $S_e = 0$ 가 된다.

선박 조종중 선속 u 는 drift angle α 로 인해 선체의 저항이 증가하므로 감소한다. 그리고 프로펠라 회전이 감소할수록 유효 슬립비는 증가한다. 따라서 스크류 뒤쪽의 후류속도는 선박

조종중에 감소를 하게 된다. 다만 선속과 같은 양으로 감소하지는 않는다. 따라서 스크류 뒤쪽의 후류 속도 U_s 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$U_s = U_0 (1 - f(S_e)) \quad (3.10)$$

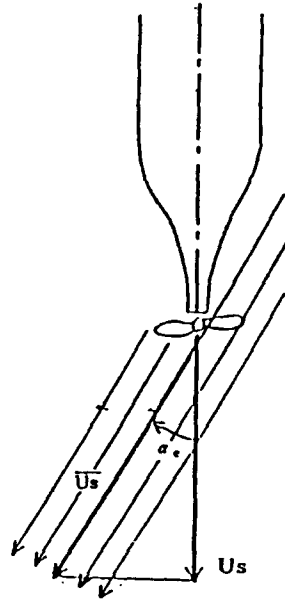
유효 슬립비와 후류 속도 사이에는 선형적인 관계가 있다는 것이 확인되어 있으므로 유효 슬립비와 후류 속도와의 관계는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$U_s = U_0 (1 - K_4 \times S_e) \quad (3.11)$$

그리고 선미 부분의 유체 흐름이 선수미선과 α_e 라는 각을 이루고 흐르고 있으므로 후류 벡터 속도는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$\bar{U}_s = \frac{U_s}{\cos(\alpha_e)} \quad (3.12)$$

<그림 3-6> Vector Slipstream Velocity



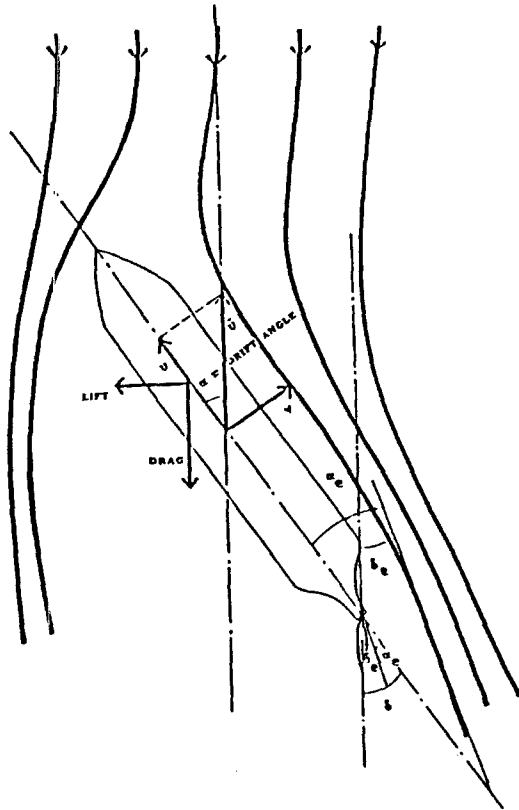
3.1.2.5 타에 미치는 lift와 drag force

<그림 3-7>에서 알 수 있듯이 타에 미치는 힘

은 실제 타의 각에 좌우되는 것이 아니고 타와 그 주위의 유체 흐름이 이루는 각에 의해 좌우된다. 만약 타각은 주어져 있으나 그때 타가 그 주위의 유체 흐름 방향과 평행하다면 타에 미치는 lift force는 없을 것이다.

여기서 유효 drift angle α_e 가 실제 drift angle α 와 티레한다고 가정하면 다음과 같이 표시할 수 있다[5].

<그림 3-7> Lift and Drag Forces and Fluid Stream of a Ship at a Drift Angle α



$$\alpha_e = K2 \times \alpha \quad (3.13)$$

유효 타각 δ_e 는 타의 중심선과 그 주위의 유체 흐름 방향이 이루는 각으로 정의되며, 다음과 같이

표시된다.

$$\delta_e = \delta - \alpha_e \quad (3.14)$$

그리고 타도 유효 타각이 실효값을 넘으면 선체의 경우와 마찬가지로 stall 현상이 일어나므로 제한 유효 타각(δ_e') 개념을 도입하여 다음과 같이 표현할 수 있다[5].

$$|\delta_e| \leq K3 \text{ 일 경우 } \delta_e' = \delta_e$$

$$\delta_e > K3 \text{ 일 경우 } \delta_e' = K3 \quad (3.15)$$

$$\delta_e < -K3 \text{ 일 경우 } \delta_e' = -K3$$

따라서 타에 미치는 lift와 drag force를 식으로 표시하면 다음 식(3.16), (3.17)과 같이 된다.

$$L_R = K10 \times \overline{U_s}^2 \times \delta_e' \quad (3.16)$$

$$D_R = K11 \times \overline{U_s}^2 + K12 \times \overline{U_s}^2 \times \delta_e'^2 \quad (3.17)$$

3.1.2.6 프로펠라에 의한 추력

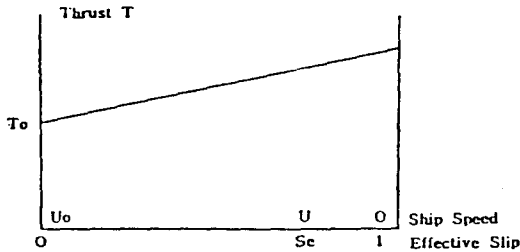
프로펠라에 의한 추진력은 throttle setting과 프로펠라 슬립의 크기에 의해 좌우된다. <그림 3-8>에서와 같이 프로펠라에 의한 추력은 유효 슬립비에 따라 증가한다. <그림 3-9>에서 보는 바와 같이 추력 계수 K_t 는 직경이 D 인 프로펠라의 경우 명목 슬립비 S_a 와 거의 일정한 비율로 변한다. 주어진 throttle setting 값에 대하여 추력 T 가 유효슬립비 S_e 와 일정 비례 관계에 있다고 가정하면 추력 T 는 다음 식과 같이 표현된다.

$$T = T_0(1 + K6 \times S_e) \quad (3.18)$$

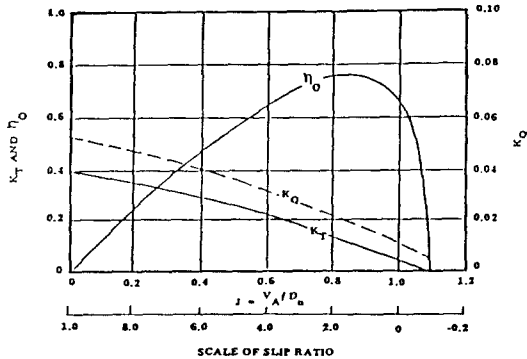
여기서, T_0 는 일직선으로 전진 운동할 때의 평정 추력이다. 이때 추력과 throttle setting 값 Th 가 일정 비례 관계에 있다고 가정하면 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$T = K5 \times Th \times (1 + K6 \times S_e) \quad (3.19)$$

<그림 3-8> Assumed Relationship between Thrust and Effective Slip



<그림 3-9> Typical Curves of Thrust, Torque and Efficiency for Propeller



3.1.2.7 선박 운동 방정식의 구성

본 논문에서 사용한 수학 모델에서는 선체의 움직임을 세 가지의 자유 운동 즉 두 가지의 힘과 한 가지의 모멘트로 표시한다. 지구에 고정된 좌표축에 관한 선박의 운동 방정식을 뉴턴의 법칙으로 표현하면 다음 식과 같다[2][6].

$$\begin{aligned} X_0 &= m \ddot{x}_0 \\ Y_0 &= m \ddot{y}_0 \\ N &= I_z \ddot{\psi}_0 \end{aligned} \tag{3.20}$$

여기서, \ddot{x}_0 와 \ddot{y}_0 는 각각의 방향의 가속도를 나타낸다.

X_0 와 Y_0 는 x_0 및 y_0 방향에 작용하는 총 힘의 양을 나타낸다.

x_0 와 y_0 는 선체 중심을 기준으로 한 직교 좌표 방향을 나타낸다.

m 은 선체 질량을 나타낸다.

N 은 선체 중심에 작용하는, z_0 축과 평행한 총 모멘트를 나타낸다.

I_z 는 z_0 축에 작용하는 선체의 관성 모멘트를 나타낸다.

ψ 는 선수미 선과 x_0 축이 이루는 yaw 각을 나타낸다.

고정축 x_0 와 y_0 를 가지는 지구에 고정된 좌표계 대신 선수미 선을 x 축, 선체 정횡 선을 y 축으로 하는 움직이는 좌표계를 생각해 보면, <그림 3-10>에서 보는 바와 같이 x 축과 y 축에 작용하는 힘 X 와 Y 를 X_0 와 Y_0 를 이용하여 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= X_0 \cos \psi + Y_0 \sin \psi \\ Y &= Y_0 \cos \psi - X_0 \sin \psi \end{aligned} \tag{3.21}$$

이때 속도는 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_0 &= u \cos \psi - v \sin \psi \\ \dot{y}_0 &= u \sin \psi + v \cos \psi \end{aligned} \tag{3.22}$$

여기서 u 와 v 는 각각 x 축과 y 축 방향의 선체 속도를 의미한다.

위의 식을 시간에 대하여 미분하면,

$$\begin{aligned} \ddot{x}_0 &= \dot{u} \cos \psi - \dot{v} \sin \psi - (u \sin \psi + v \cos \psi) \dot{\psi} \\ \ddot{y}_0 &= \dot{u} \sin \psi + \dot{v} \cos \psi + (u \cos \psi - v \sin \psi) \dot{\psi} \end{aligned} \tag{3.23}$$

(3.23)식을 (3.20)식에 대입한 뒤 그 결과 값 X_0 와 Y_0 를 (3.21)식에 대입하면 다음 식을 얻는다.

$$\begin{aligned} X &= m(\dot{u} - v \dot{\psi}) \\ Y &= m(\dot{v} + u \dot{\psi}) \end{aligned} \tag{3.24}$$

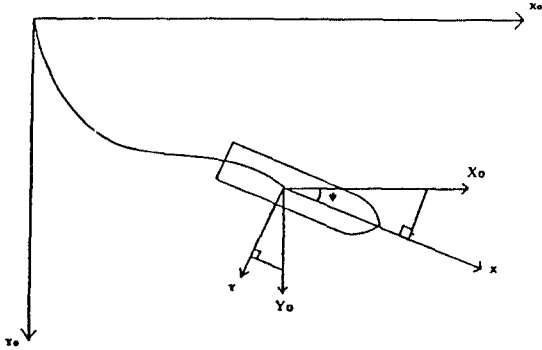
위의 (3.24)식과 (3.20)식의 세번째 식으로부터

(3.25)식과 같은 선체 운동 방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= m(\dot{u} - v\dot{\psi}) \quad \text{--- surge equation} \\ Y &= m(\dot{v} + u\dot{\psi}) \quad \text{--- sway equation} \\ N &= I_z\dot{\psi} \quad \text{--- yaw equation} \end{aligned} \quad (3.25)$$

위의 각 식은 선박의 surge, sway, yaw 운동을 각각 나타내고 있다.

<그림3-10> Relationship Between Axes Fixed in the Earth and Axes Fixed in the Moving Ship



위의 (3.25)식에 부가 질량 효과를 적용하면 다음과 같이 표현된다[3][7].

$$\begin{aligned} X &= m_1\dot{u} - m_2v\dot{\psi} \\ Y &= m_2\dot{v} + m_1u\dot{\psi} \\ N &= I_z\dot{\psi} \end{aligned} \quad (3.26)$$

x축 방향의 부가 질량은 m_1 에, y축 방향의 부가 질량은 m_2 에, 그리고 z축 방향의 부가 관성은 I_z 에 포함되어 있으며, 이들은 크기에 변함이 없이 일정하다고 가정한다.

x축과 y축 방향의 힘과 z축 방향의 모멘트는 프로펠러, 타, 유체역학에 의해 선체에 작용하는 외부 힘의 합을 의미한다. <그림 3-11>은 조종중인 선박에 작용하는 힘과 모멘트를 나타낸다.

선수미선과 평행하게 선체에 미치는 힘들을 합하면 다음과 같은 surge 방정식이 얻어진다.

$$\begin{aligned} m_1\dot{u} - m_2v\dot{\psi} &= T + L_H \sin \alpha - D_H \cos \alpha \\ &\quad - L_R \sin \alpha_e - D_R \cos \alpha_e \end{aligned} \quad (3.27)$$

따라서 surge 가속도는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \dot{u} &= \frac{1}{m_1} (T + L_H \sin \alpha - D_H \cos \alpha - L_R \sin \alpha_e \\ &\quad - D_R \cos \alpha_e + m_2v\dot{\psi}) \end{aligned} \quad (3.28)$$

선수미 선과 직각인 방향으로 선체에 미치는 힘들을 합하면 다음과 같은 sway 방정식이 얻어진다.

$$\begin{aligned} m_2\dot{v} + m_1u\dot{\psi} &= -L_H \cos \alpha - D_H \sin \alpha \\ &\quad + L_R \cos \alpha_e - D_R \sin \alpha_e \end{aligned} \quad (3.29)$$

따라서 sway 가속도는 다음과 같이 표현된다.

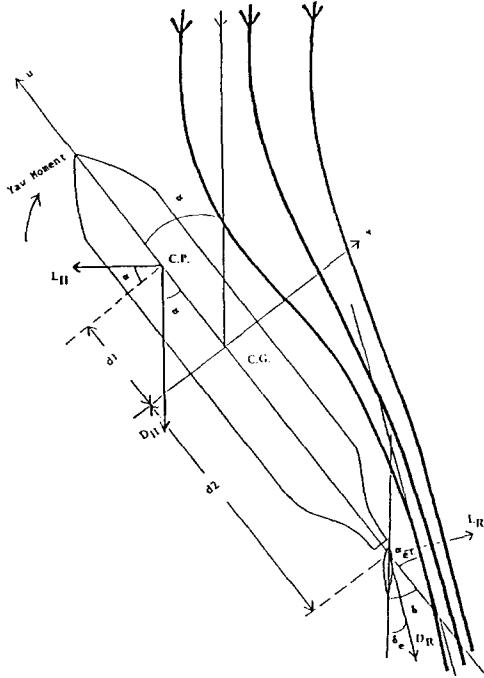
$$\begin{aligned} \dot{v} &= \frac{1}{m_2} (-L_H \cos \alpha - D_H \sin \alpha + L_R \cos \alpha_e \\ &\quad - D_R \sin \alpha_e - m_1u\dot{\psi}) \end{aligned} \quad (3.30)$$

선체에 미치는 저항 토크는 회두 방향의 반대 방향으로 작용하며, 회두 속도의 제곱에 비례한다고 가정하면 저항 토크는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$N_v = K_{I3} \dot{\psi} |\dot{\psi}| \quad (3.31)$$

yaw 방정식은 선체의 무게 중심에 미치는 모멘트로 구성되므로 우선 선체와 타의 압력 중심을 알아야 한다. drift angle의 변화에 따라 압력 중심이 약간 변하기는 하지만 선체와 타의 압력 중심은 선체와 타의 중심선 상의 일정한 위치에 존재한다고 가정하여도 무방하다.

<그림 3-11> Forces and Moments Acting on a Manoeuvring Ship



<그림 3-11>에서와 같이 선체 압력 중심은 선체의 무게 중심으로부터 d_1 만큼 앞쪽에 위치하고, 타의 압력 중심은 선체의 무게 중심으로부터 d_2 만큼 뒤쪽에 위치한다. 선체 무게 중심에서의 모멘트를 계산하면 yaw 방정식은 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{I_z} (-N_v - L_H d_1 \cos \alpha - D_H d_1 \sin \alpha - L_R d_2 \cos \alpha_e + D_R d_2 \sin \alpha_e) \quad (3.32)$$

이들 각 surge, sway, yaw 가속도 $\dot{u}, \dot{v}, \dot{\psi}$ 를 구한 다음 이들 가속도를 오일러 공식을 이용하여 시간에 대해 적분하면 각각의 속도를 구할 수 있다.

시간 t 에서의 surge, sway, yaw 속도를 각각

$u_t, v_t, \dot{\psi}_t$ 라하고 시간 t_1 에서의 surge, sway, yaw 속도를 각각 $u_{t_1}, v_{t_1}, \dot{\psi}_{t_1}$ 이라 하면

$$\begin{aligned} u_{t_1} &= u_t + \int_t^{t_1} \dot{u} dt = u_t + \dot{u} \Delta t \\ v_{t_1} &= v_t + \int_t^{t_1} \dot{v} dt = v_t + \dot{v} \Delta t \\ \dot{\psi}_{t_1} &= \dot{\psi}_t + \int_t^{t_1} \ddot{\psi} dt = \dot{\psi}_t + \ddot{\psi} \Delta t \end{aligned} \quad (3.33)$$

(단, $\Delta t = t_1 - t$)

이 된다. 그리고 이들 속도를 각각 시간에 대하여 적분하면 일정 시간 동안 선박이 이동한 각 방향의 거리 및 회전각이 구해진다.

3.1.3 조류 및 수심 데이터 베이스의 구축과 바람의 입력

정확한 시뮬레이션 결과를 얻기 위해서는 정확한 선박 운동 모델의 입력에 추가하여 정확한 수심, 조류 및 바람의 입력이 필수적이다. 수심 및 조류는 데이터 베이스를 구축하여 시스템에 직접 입력하며, 바람은 중요 바람 몇 종류를 선택하여 시뮬레이션 실행시마다 입력하게 된다. 수심에 대한 데이터 베이스는 현행 해도상의 수심을 기준으로 하되 신설 예정 항로의 준설 부분은 준설 수심 15.7m·미터를 기준으로 하여 입력하였다.

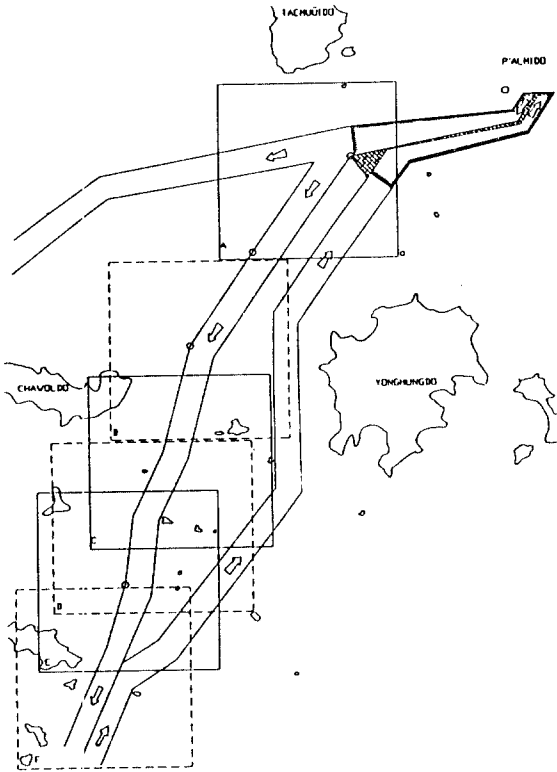
조류는 최강의 조류를 입력하여야 하므로 약 최대조류의 최강 창조류와 최강 낙조류에 대한 데이터를 테이타 베이스화하여 입력하였다. 그리고 바람은 최악의 바람을 입력하여 실험하여야 하므로 겨울철 인천항 부근 최대 바람인 북북서풍(338도 방향) 27노트를 입력하여 실험을 하였으며, 선박조종에 가장 큰 영향을 미치는 선박 진행 방향에 직각인 바람도 입력하여 시뮬레이션을 실시하였다. 그리고 외해에 설정되는 항로이므로 태풍 상황하에서도 출입이 가능한지를 검증하기 위하여 40노트의 바람을 입력하고 Gust Effect도 추가하여 종합적인 안전성을 검증하였다.

3.2 시뮬레이션 및 분석

3.2.1 시뮬레이션 방법

<그림 2-1>에서 보는 바와 같이 신설 출항 항로는 만곡부가 6개소나 존재하며 항로의 길이가 약 13.7마일에 달하는 긴 항로이다. 따라서 본 연구에서는 신설 출항 항로를 만곡부들을 중심으로 6개 해역으로 분할한 뒤, 각 해역별로 시뮬레이션을 별도로 실시하여 선박의 통항 안전성을 검증하는 방법을 택하였다.

<그림 3-12> 시뮬레이션 실험 해역의 구분



이 항로는 대형선 뿐만아니라 소형선 및 잠종선들을 유도하기 위한 출항 전용 항로이므로, 이 경우 기존의 동수도 항로 및 서수도 항로의 경우와 마찬가지로 추월이 가능한 항로로 이용할 수 있어

야만 하고, 동수도 항로 또는 서수도 항로가 선박의 좌초 사고 등으로 일시 폐쇄되는 경우에는 이 항로를 왕복 통항 항로로 지정하여 사용할 수 있어야 할 것이므로, 양방 통행이 가능한 항로인지를 검증하였다. 양방 통행이 가능하다면 추월이 가능한 일방 통항 항로로도 안전하게 사용될 수 있을 것이기 때문이다.

각 해역별로 입항 시뮬레이션과 출항 시뮬레이션을 각각 15회씩 실시하였다. 출항 및 입항 각각에 대해 최강 창조류하에서 인천항 탁월풍인 북북서풍(338° 바람) 27노트의 바람을 받으며 항해하는 경우에 대한 시뮬레이션을 5회, 최강 창조류하에서 항로에 직각 방향인, 즉 정횡풍을 받으며 통항하는 경우에 대한 시뮬레이션을 5회, 그리고 최강 낙조류하에서 정횡방향의 태풍(40노트의 바람)을 받으며 항해하는 경우에 대한 시뮬레이션을 5회씩 실시하여, 출입항 별로 각각 15회씩의 시뮬레이션을 실시하였다.

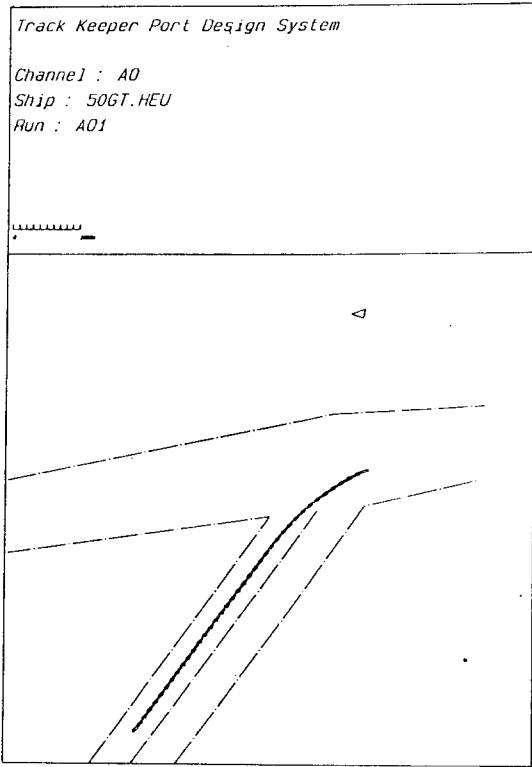
<그림 3-12>는 대상 항로를 A에서 F까지 6개 시뮬레이션 실험 해역으로 구분한 것을 보여 주고 있다.

3.2.2 해역별 시뮬레이션 실시 결과 및 분석

가. A해역

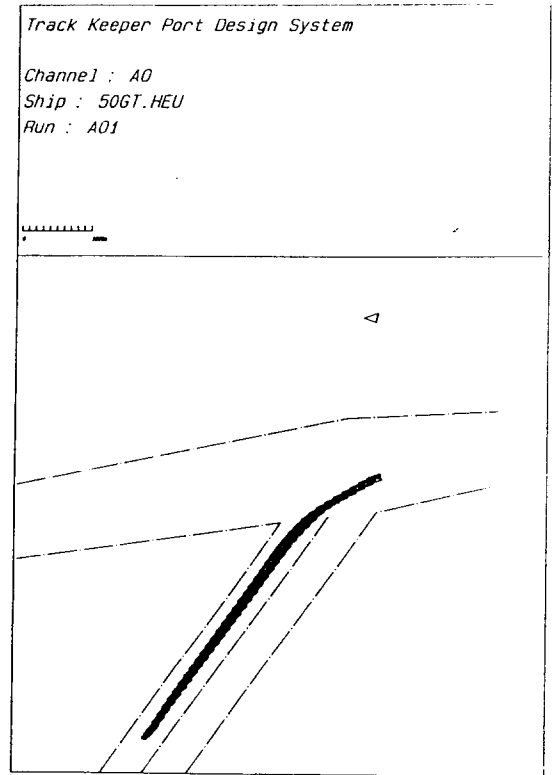
<그림 3-13>은 338° 방향의 27노트의 바람을 받으며 최강 창조류하에서 출항하는 선박을 시뮬레이션한 결과이다. 항로 폭이 넓어 무난한 출항이 가능함을 알 수 있다. <그림 3-14>는 전체 외력 조건하에서의 출항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 출항의 경우 선박의 최대 스윕트 패스(swept path) 폭은 180미터이고(전체 항로 폭 500m) 좌측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 140미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 68미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 최대 선박의 선폭의 2배 이상이 되어 미국의 항로 설계 지침이 요구하는 0.6B를 훨씬 상회하므로 출입항 최

<그림 3-13> A해역에서의 출항선의 시뮬레이션 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람)



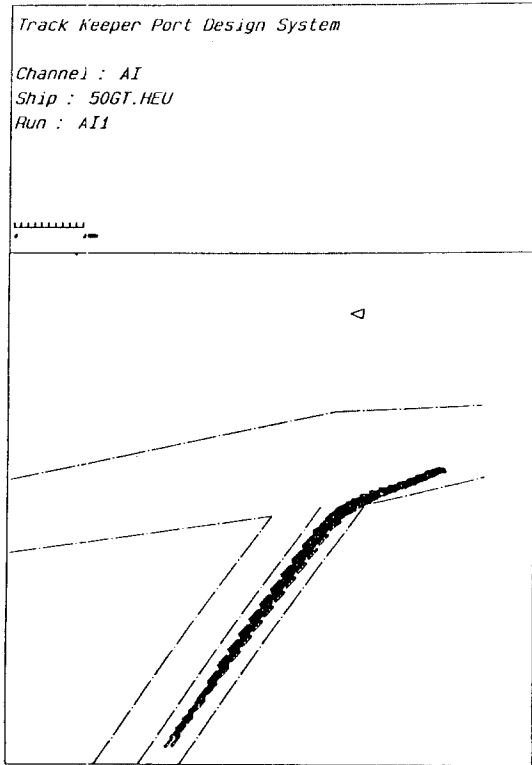
대 선박의 안전한 통항이 확보됨을 알 수 있다. <그림 3-15>는 전체 외력 조건하에서의 입항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 만곡부에서 항로 외곽선 바깥쪽으로 선박이 밀려남을 알 수 있으며 이는 항로의 만곡도가 크고 주변의 조류가 강하기 때문이다. 항로 만곡부에 부표를 설치할 예정이므로 바람과 조류가 강할 때에

<그림 3-14> A해역에서의 출항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 304° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 304° 방향의 40노트 바람)



는 배가 항로 바깥쪽으로 밀리면서 설치된 부표와 충돌할 가능성이 매우 크고, 이는 양방 통행시의 입항선의 경우 뿐만 아니라 일방 통행시의 피추월선의 경우에도 마찬가지일 것이므로 A해역의 오른쪽 만곡부는 만곡도를 낮추고 폭을 넓히는 방향으로 개선해 주어야만 할 것이다.

<그림 3-15> A해역에서의 입항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 304° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 304° 방향의 40노트 바람)

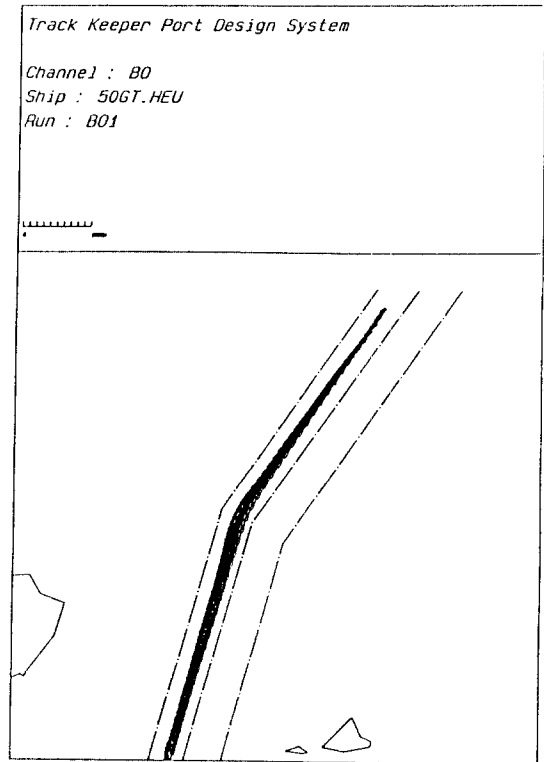


나. B해역

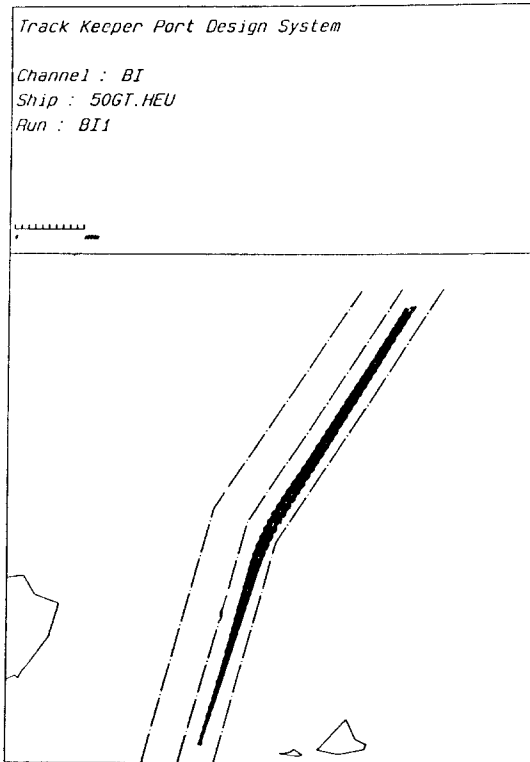
<그림 3-16>은 B해역에서의 전체 외력 조건 하에서의 출항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 출항의 경우 선박의 최대 스윙패스 폭은 230미터이고(전체 항로폭 500m) 좌측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 155미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 65미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 최대 선박의 선폭의 2배 이상이 되어 미국의 항로 설계 지침이 요구하는 0.6B를 훨씬 상회하므로 출입항 최대 선박의 안전한 통항이 확보됨을 알 수 있다. <그림 3-17>은 B해

역에서의 전체 외력 조건하에서의 입항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 입항의 경우 선박의 최대 스윙패스 폭은 205미터이고(전체 항로폭 500m) 좌측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 180미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 65미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 최대 선박의 선폭의 2배 이상이 되어 미국의 항로 설계 지침이 요구하는 0.6B를 훨씬 상회하므로 출입항 최대 선박의 안전한 통항이 확보됨을 알 수 있다.

<그림 3-16> B해역에서의 출항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 304° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 304° 방향의 40노트 바람)



<그림 3-17> B해역에서의 입항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 304° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 304° 방향의 40노트 바람)

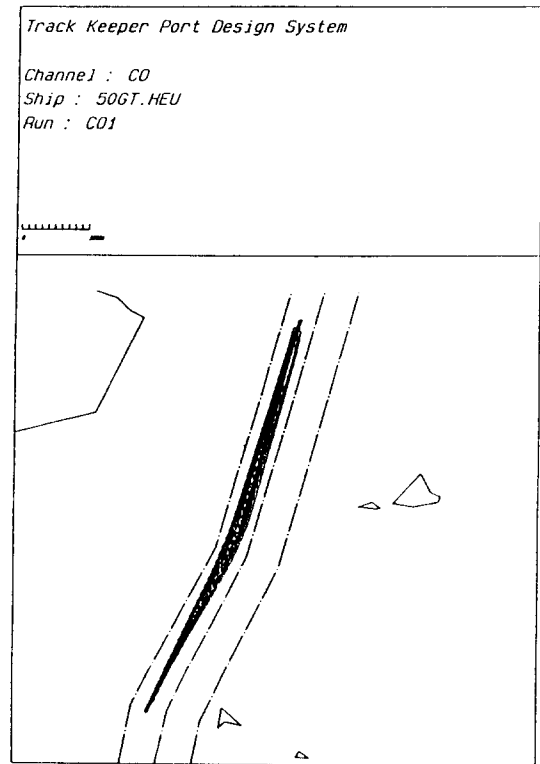


다. C해역

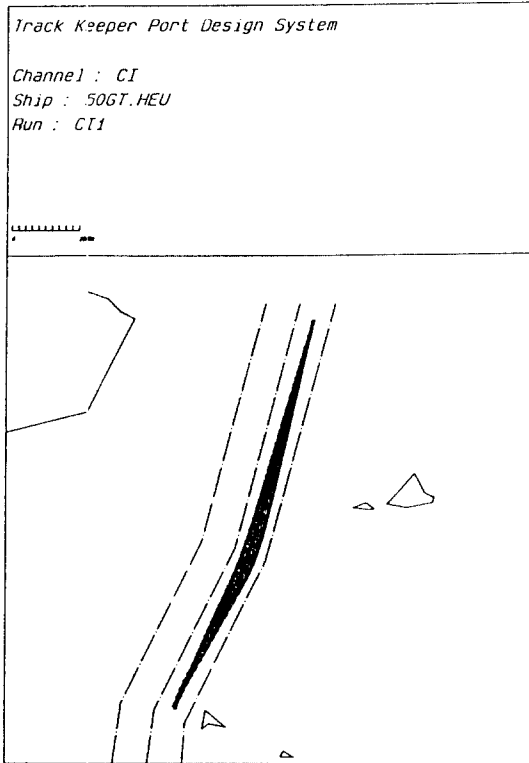
<그림 3-18>은 C해역에서의 전체 외력 조건하에서의 출항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 출항의 경우 선박의 최대 스웨프트 패스 폭은 245미터이고(전체 항로폭 500m) 좌측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 85미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 100미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 최대 선박의 선폭의 2.7배 이상이 되어 미국의 항로 설계지침이 요구하는 0.6B를 훨씬 상회하므로 출입항 최대 선박의 안전한 통

행이 확보됨을 알 수 있다. <그림 3-19>는 C해역에서의 전체 외력 조건하에서의 입항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 입항의 경우 선박의 최대 스웨프트 패스 폭은 250미터이고(전체 항로폭 500m) 좌측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 95미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 98미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 최대 선박의 선폭의 3배 가량이 되어 미국의 항로 설계 지침이 요구하는 0.6B를 훨씬 상회하므로 출입항 최대 선박의 안전한 통행이 확보됨을 알 수 있다.

<그림 3-18> C해역에서의 출항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 284° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 284° 방향의 40노트 바람)



<그림 3-19> C해역에서의 입항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 284° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 284° 방향의 40노트 바람)

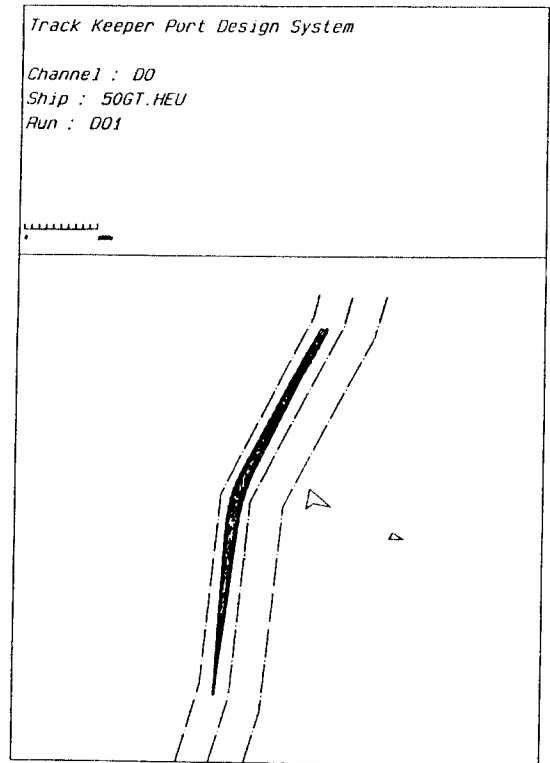


라. D해역

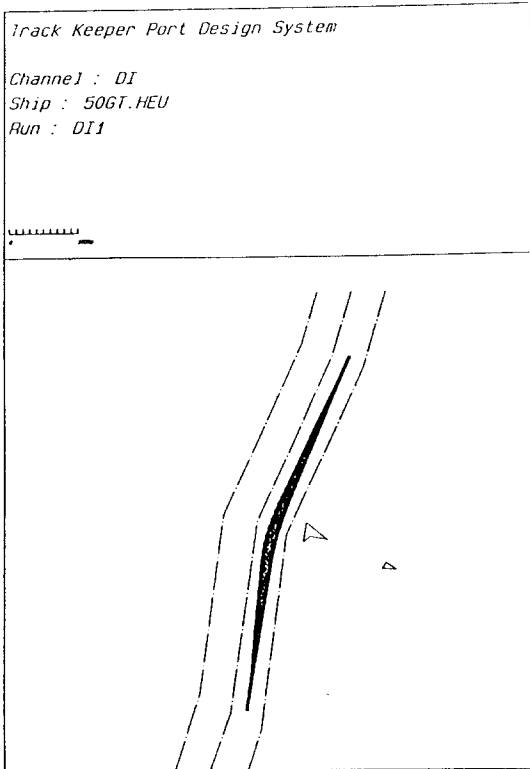
<그림 3-20>은 D해역에서의 전체 외력 조건 하에서의 출항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 출항의 경우 선박의 최대 스윙프트 패스 폭은 205미터이고(전체 항로폭 500m) 좌측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 90미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 65미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 최대 선박의 선폭의 2배 이상이 되어 미국의 항로 설계 지침이 요구하는 0.6B를 훨씬 상회하므로 출입항 최대 선박의 안전한 통행

이 확보됨을 알 수 있다. <그림 3-21>은 D해역에서의 전체 외력 조건 하에서의 입항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 입항의 경우 선박의 최대 스윙프트 패스 폭은 200미터이고(전체 항로폭 500m) 좌측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 115미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 95미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 최대 선박의 선폭의 약 3배 이상이 되어 미국의 항로 설계 지침이 요구하는 0.6B를 훨씬 상회하므로 출입항 최대 선박의 안전한 통행이 확보됨을 알 수 있다.

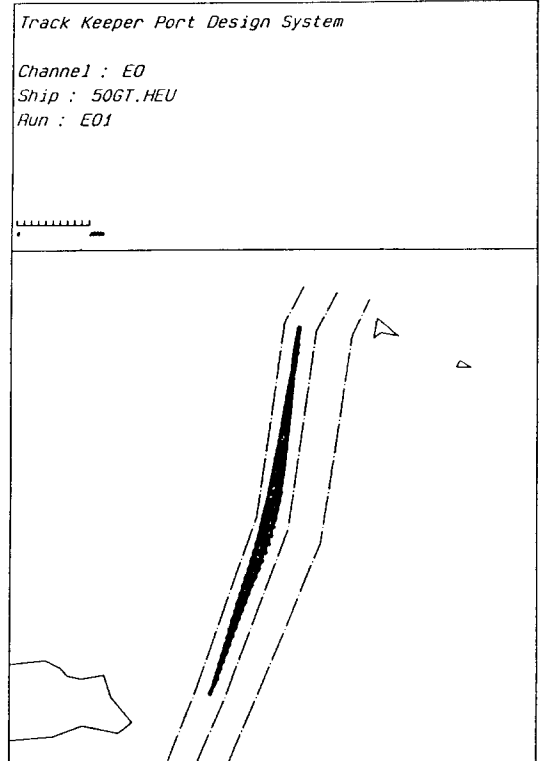
<그림 3-20> D해역에서의 출항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 296° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 296° 방향의 40노트 바람)



<그림 3-21> D해역에서의 입항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 296° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 296° 방향의 40노트 바람)



<그림 3-22> E해역에서의 출항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 276° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 276° 방향의 40노트 바람)

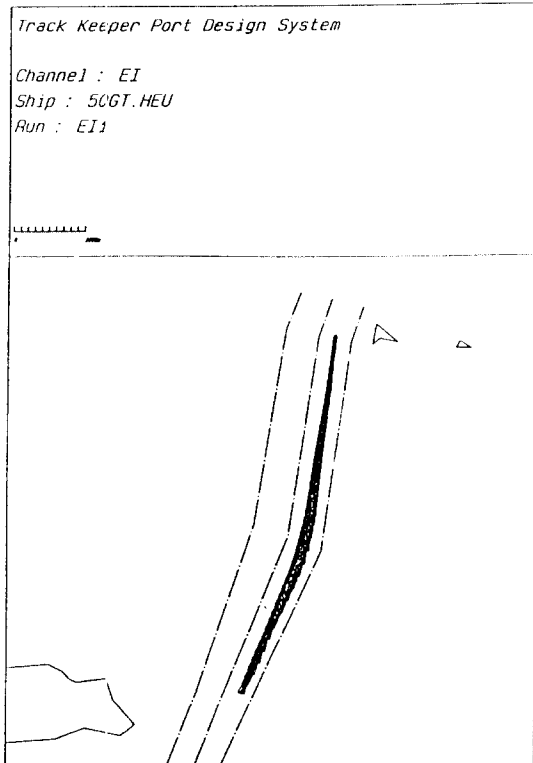


마. E해역

<그림 3-22>는 E해역에서의 전체 외력 조건하에서의 출항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 출항의 경우 선박의 최대 스웨프트 패스 폭은 245미터이고(전체 항로폭 500m) 좌측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 60미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 140미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 최대 선박의 선폭의 약 2배 이상이 되어 미국의 항로 설계지침이 요구하는 0.6B를 훨씬 상회하므로 출입항 최대 선박의 안전한 통항이 확보됨을 알 수 있다.

<그림 3-23>은 E해역에서의 전체 외력 조건하에서의 입항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 입항의 경우 선박의 최대 스웨프트 패스 폭은 195미터이고(최대 swept path 지역 항로폭 500m) 좌측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 140미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 90미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 최대 선박의 선폭의 약 3배 이상이 되어 미국의 항로 설계지침이 요구하는 0.6B를 훨씬 상회하므로 출입항 최대 선박의 안전한 통항이 확보됨을 알 수 있다.

<그림 3-23> E해역에서의 입항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 276° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 276° 방향의 40노트 바람)

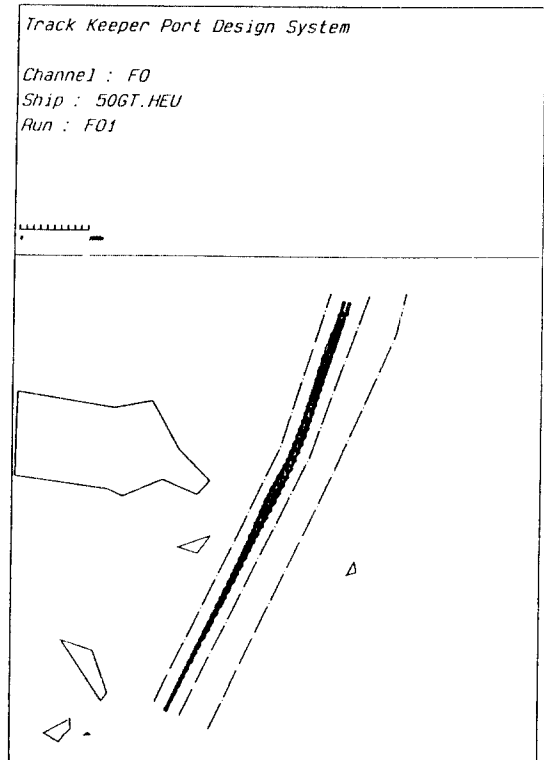


바. F해역

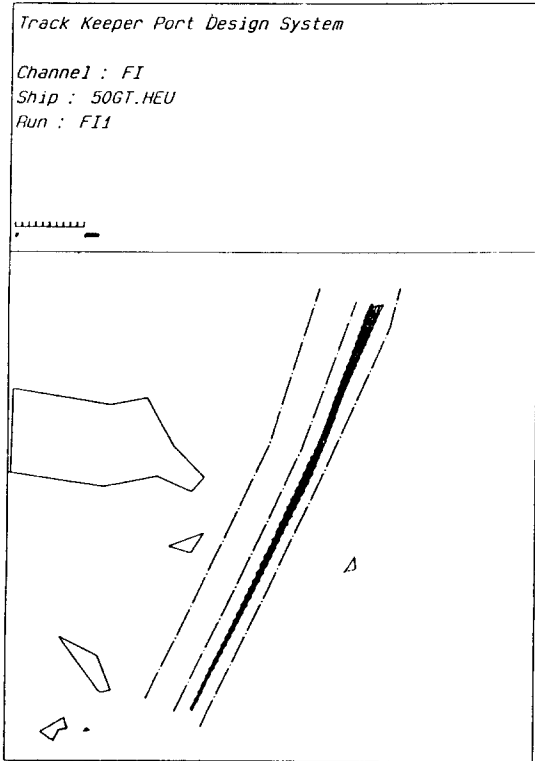
<그림 3-24>는 F해역에서의 전체 외력 조건 하에서의 출항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 출항의 경우 선박의 최대 스웨프트 패스 폭은 195미터이고(최대 스웨프트 패스 지역 항로폭 400m) 좌측 항로외곽선까지의 최근 접거리는 125미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 115미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 최대 선박의 선폭의 3.6배 이상이 되어 미국의 항로 설계지침이 요구하는 0.6B를 훨씬 상회하므로 출입항 최대 선박

의 안전한 통행이 확보됨을 알 수 있다. <그림 3-25>는 F해역에서의 전체 외력 조건하에서의 입항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 입항의 경우 선박의 최대 스웨프트 패스 폭은 190미터이고(최대 스웨프트 패스 지역 항로폭 500m) 좌측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 155미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 120미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 최대 선박의 선폭의 약 4배 이상이 되어 미국의 항로 설계지침이 요구하는 0.6B를 훨씬 상회하므로 출입항 최대 선박의 안전한 통행이 확보됨을 알 수 있다.

<그림 3-24> F해역에서의 출항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 287° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 287° 방향의 40노트 바람)



<그림 3-25> F해역에서의 입항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 287° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 287° 방향의 40노트 바람)

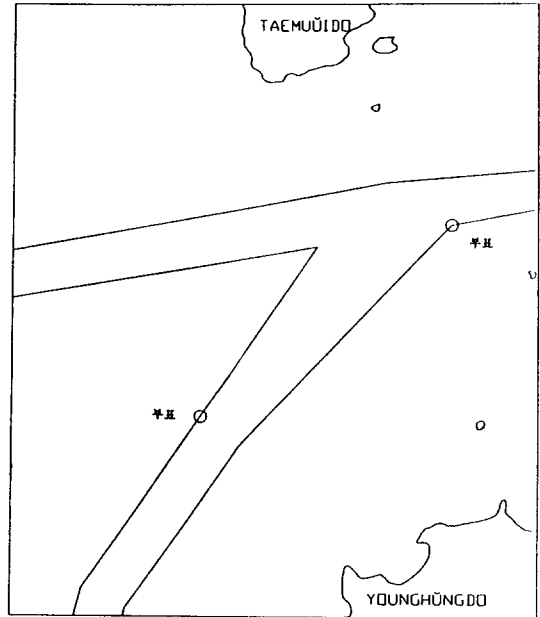


3.2.3 문제 해역에 대한 항로 수정안 및 수정안에 대한 시뮬레이션 검증

시뮬레이션 결과 B, C, D, E, F 해역의 경우 대상 선박인 50,000GT급 벌크선이 양방 통행으로 입출항하는데 문제가 없는 것으로 확인되었으나, A해역의 경우에는 항로 우측 만곡부의 만곡도가 43도나 되어 입항선이 만곡점에 설치될 부표와 충돌할 가능성이 매우 높은 것으로 판명되었다. 추월 가능한 출항선 전용 항로로 활용할 경우에도 같은 위험성이 예상되므로, A해역의 경우에는 항로 확장 등의 수정을 해 주어야만 될 것이다. 이에 따라 북위 37° 18분 02초, 동경 126° 24분 06초 지점에 설치될 2번째 신

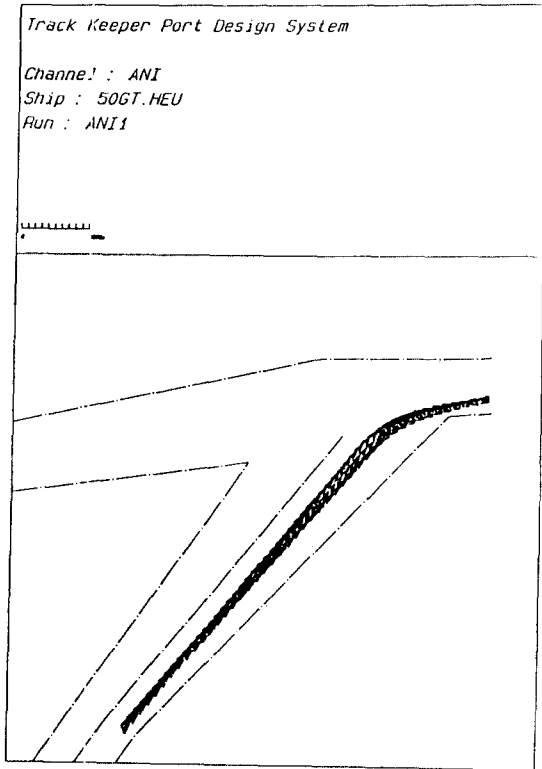
설 부표의 맞은 편 지점에서부터 43.5° 방향의 선을 그어 제안된 항로보다 항로 폭을 확장하는 수정안을 <그림 3-26>과 같이 마련하였다. 항로폭은 동수도 항로와의 통항분리대를 유지하는 범위내에서 최대한 확장하는 방향으로 그 폭을 넓혔다.

<그림 3-26> 신설 항로의 A해역 부분 수정안



수정안에 대해 그 적정성을 검증하기 위하여 3가지 환경조건 하에서의 시뮬레이션 실험을 실시하였다. 추월 가능한 출항선 전용 항로로 활용할 가능성이 더 높은 관계로 우측 절반 항로를 이용한 출항 시뮬레이션도 함께 실시하였으며, 입항 및 출항 각각 15회씩 총 30회의 시뮬레이션을 시행하였다. <그림 3-27>은 전체 외력 조건하에서의 입항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 입항의 경우 선박의 최대 스웨프트 패스 폭은 260미터이고(최대 스웨프트 패스 지역 항로폭 900미터) 좌측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 200미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 70미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 선폭의 2배 이상이 되어 미국 항로

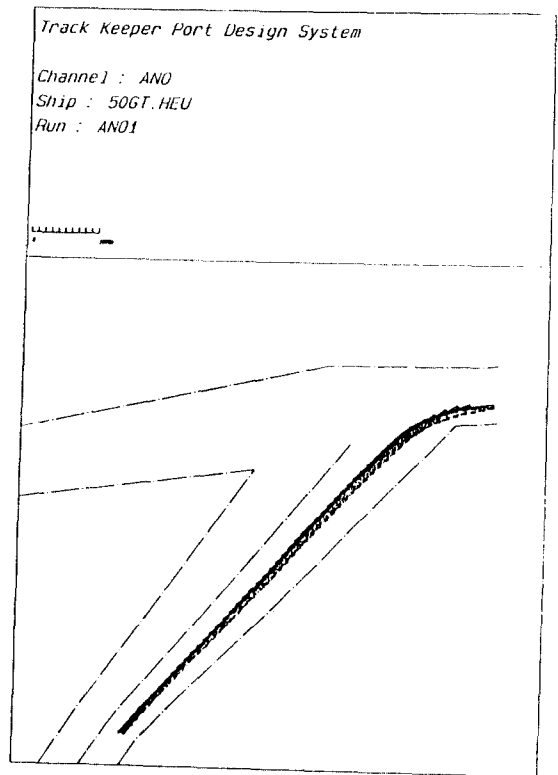
<그림 3-27> A해역 항로 수정안에 대한 입항선 시뮬레이션의 종합결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 302° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 302° 방향의 40노트 바람)



설계지침이 요구하는 0.6B를 훨씬 상회하므로 입항 최대 선박의 안전한 통항이 확보됨을 알 수 있다. <그림 3-28>은 전체 외력 조건하에서의 출항 시뮬레이션 결과를 모두 종합하여 선박의 궤적을 동시에 플로팅한 것이다. 출항의 경우 선박의 최대 스웨프트 패스 폭은 170미터이고(최대 스웨프트 패스 지역 항로폭 900미터) 좌측 항로 외곽선까지의 최근 접거리는 100미터, 우측 항로 외곽선까지의 최근접 거리는 190미터로서 항로 외곽선까지의 최근접 거리가 선박의 3배 이상이 되어 출항 최대 선박의 안전한 통항이 확보됨을 알 수 있다. 이상으로부터 제안된 수정안이 신설 항로를 추월이 가

능한 일방 통항 항로로 사용하는 경우 및 양방 통항 항로로 사용하는 경우 모두에 있어서 선박의 안전한 통항이 보장되는 안임이 검증되었다.

<그림 3-28> A해역 항로 수정안에 대한 출항선 시뮬레이션의 종합 결과(최강 창조류 및 338° 방향의 27노트 바람, 최강 창조류 및 302° 방향의 27노트 바람, 최강 낙조류 및 302° 방향의 40노트 바람)



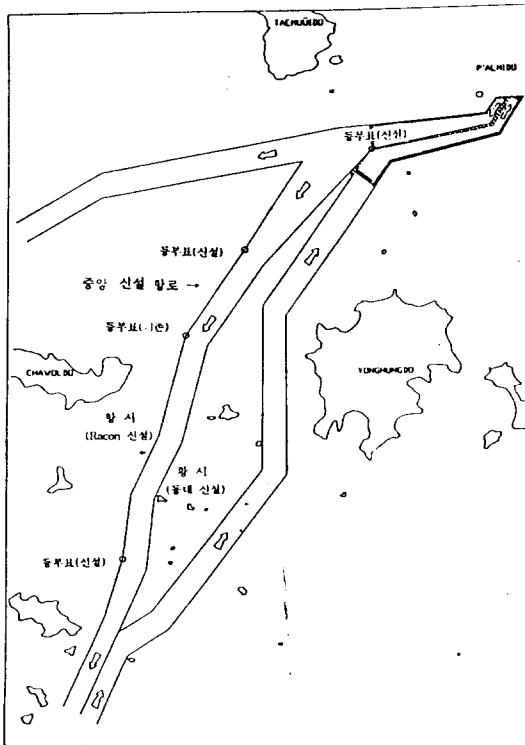
3.3 시뮬레이션 검증 결과

제안된 인천항 중앙 항로에 대해 출입 예정 선박 중 조종 성능이 가장 열악한 출입 최대 크기의 선박 중 하나인 50,000GT급 벌크선이 최악의 환경 조건 하에서 안전하게 항행할 수 있는지를 Simulation 실

험을 통해 검증하였다.

시뮬레이션 검증 결과 B, C, D, E, F 해역의 경우 제안된 항로를 통해 대상 선박이 통항하는데에 문제가 없다는 것이 확인되었다. 그러나 A해역의 경우 오른쪽 만곡부의 만곡도가 40도를 넘는 관계로 통항 선박이 만곡 지점에 신설될 부표와 충돌할 위험이 있음이 발견되었다. 이에 따라 만곡 부위의 항로 폭을 더 확장하는 수정안을 제안하였으며, 그 수정안에 대한 시뮬레이션 검증 결과 대상 선박이 안전하게 통항할 수 있음이 확인되었다. 따라서 A해역의 만곡부를 수정하여 <그림 3-29>와 같이 중앙 항로를 신설할 것을 제안한다.

<그림 3-29> 인천항 신설 중앙 항로 최종안



신설 중앙 항로의 경우 양방 통행 항로 또는 추월이 가능한 일반 통행 항로도 모두 사용할 수 있을 것이나, 동수도 항로를 역행하며 출항하는 잠종선들이 항해에 큰 위험을 주고 있으므로, 이들 선

박들을 유도하기 위해 추월이 가능한 출항 전용 항로도 지정하여 사용하는 것이 더 바람직할 것이다. 그리고 동수도 항로 또는 서수도 항로가 해난 사고 등으로 일시 폐쇄되는 경우가 발생할 때 중앙 항로를 왕복 통항 항로로 쓸 수 있도록 하면 좋을 것이다.

4. 인천항 신설 중앙 항로의 기본 설계 방안 및 개략 공사비

4.1 기본 설계 방안

<그림 3-29>와 같이 동수도 항로에 근접한 출항 항로를 신설하여 동수도 항로를 역행하며 출항하는 잠종선들을 신설 항로로 유도하여 해난사고 유발 요인을 제거해야 할 것이다. 신설 항로의 항로 폭은 입구 및 출구를 제외한 해역에서는 기본적으로 1,000미터로 하며 계획 수심은 15.7미터로 한다.

이렇게 하기 위해서는 다음 각호의 기점을 연결한 선안의 해역을 신설 항로로 지정하고 황서 좌측의 수심 13.3미터 지역을 15.7미터로 준설하고 승봉도 우측에 위치한 수심 13미터의 침선을 제거한 후 승봉도와 부도 사이의 암반을 수심 15.7미터까지 제거하여야 한다. 그리고 황서 좌측 규사광 채취 구역의 항로 내측 부위를 수심 15.7미터까지 준설하여야 한다.

- ① 북위 37도 07분 33초, 동경 126도 19분 30초
- ② 북위 37도 10분 48초, 동경 126도 21분 21초
- ③ 북위 37도 12분 25초, 동경 126도 21분 36초
- ④ 북위 37도 13분 42초, 동경 126도 22분 22초
- ⑤ 북위 37도 15분 52초, 동경 126도 23분 04초
- ⑥ 북위 37도 17분 44초, 동경 126도 24분 39초
- ⑦ 북위 37도 20분 17초, 동경 126도 27분 40초
- ⑧ 북위 37도 19분 56초, 동경 126도 25분 46초
- ⑨ 북위 37도 16분 07초, 동경 126도 22분 29초
- ⑩ 북위 37도 13분 51초, 동경 126도 21분 44초
- ⑪ 북위 37도 12분 30초, 동경 126도 20분 54초
- ⑫ 북위 37도 11분 05초, 동경 126도 20분 42초
- ⑬ 북위 37도 09분 47초, 동경 126도 20분 12초

⑭ 북위 37도 07분 45초, 동경 126도 19분 03초

그리고 항로를 표시하기 위해서 북위 37도 16분 07초, 동경 126도 22분 29초에 위치한 No. F 부표에 추가하여, 부표 수를 최소로 하여 경비를 절감할 수 있는 Staggered Arrangement 방법을 이용하여 아래의 세곳에 등부표를 설치한다.

그리고 항서에는 Racon을 설치하고 황서에는 광달 거리 8마일 이상의 등대를 각각 설치한다.

- ① 북위 37도 20분 17초, 동경 126도 27분 40초
- ② 북위 37도 18분 02초, 동경 126도 24분 06초
- ③ 북위 37도 11분 05초, 동경 126도 20분 42초

4.2 계약 공사비

4.2.1 항로표지 공사비

신설 중앙 항로에는 3기의 등부표와 1기의 Racon, 그리고 1기의 등대를 설치할 것이 요망된다. 이들 항로표지를 설치하기 위한 계약 공사비는 다음과 같다.

가. 등부표 설치비

동 해역에는 등부표 LL2600M/M의 설치가 적정하며 제작비와 설치비는 다음과 같다.

- 제작비 : 26,000,000원 × 3기 = 78,000,000원
- 설치비 : 10,500,000원 × 3기 = 31,500,000원

본 항로는 사실 항로가 아닌 해상교통안전법상의 지정 항로이므로 항로표지기지창의 표지 공작선이 등부표를 설치하게 되며, 이 경우 설치비는 제외할 수 있을 것이므로 부표 3기의 설치를 위한 실제 예상 비용은 약 78,000,000원이다.

나. 황서 Racon 설치비

황서는 높이 5.4m의 간출암으로서 조석차가 약 8m에 이르는 해역에 위치하고 있어 Racon의 높이를 약 15미터로 하여야 할 것이며 이 경우 계약 공사비는 다음과 같이 산출할 수 있다.

- 기초 공사비 : 55,000,000원
- 등탑 공사비 : 25,000,000원
- 부대 공사비 : 10,000,000원
- 레이콘 구입비 : 30,000,000원
- 전원 및 설치비 : 40,000,000원
- 제 경 비 : 50,000,000원
- 계 : 210,000,000원

레이콘은 X-Band, 1W를 기준으로 하여 산출하였으며, 전원 및 설치비는 태양 전지 40KW 1조, 축전지 2V-250 AII 9개(예비품 3개 포함), 충방전 조절기의 구입비에 설치대의 설치를 포함한 제반 설치비를 포함한 비용이다.

다. 황서 등대 설치비

황서는 무인도로서 해안이나 방파제상에 등대를 건립하는 경우보다 많은 공사비가 소요된다. 해발 41미터의 황서 정상에 등대를 설치하기 위한 개략적인 공사비를 산출해 보면 다음과 같다.

- 기초 공사비 : 10,000,000원
- 등탑 공사비 : 25,000,000원
- 부대 공사비 : 70,000,000원
- 주요 자재비 : 20,000,000원
- 제 경 비 : 25,000,000원
- 계 : 150,000,000원

라. 항로표지 공사비 합계

이상의 개략 공사비 산출 내역으로부터 인천항 신설 중앙 항로에 설치할 등부표 3기, Racon 1기 및 등대 1기의 설치에 필요한 공사비는 총 438,000,000원 가량이 소요될 것으로 예상된다.

4.2.2 항로 준설 공사비

신설 항로의 계획 수심을 15.7미터로 유지하기 위해서는 승봉도 북동측 해역의 토사를 준설하고 승봉도 동남측 약 1.2 km 해상에 위치한 수중 암반을 제거하여야 한다.

가. 토사 준설비

현지 여건상 그레브 준설선을 이용하여 남항 투기장에 투기할 경우 소요되는 준설 단가는 준설비, 토운선 및 예선 이용료, 그리고 육상 투하비로 1 입방미터당 약 11,000원이 소요된다. 총 준설량이 약 7,128,000 입방미터이므로 준설 비용은 78,400,000,000원이 소요될 것으로 추산된다.

나. 암 준설비

수심 8.8미터의 수암을 쇄암선을 이용하여 준설하는 경우 준설 단가는 1평방미터당 약 32,900원이며, 예상되는 준설량은 약 165,000 평방미터이다. 따라서 암 준설 비용은 약 5,428,500,000원이 소요될 것으로 추정된다.

다. 준설 공사비 합계

이상에서 신설 항로의 준설 공사비로 총 83,828,500,000원 가량이 소요될 것으로 추정된다.

5. 결 론

인천항 출입 항로에 대한 현장 답사 결과 동수도 항로를 역행하며 출항하는 어선 및 모래 채취선 등이 입항하는 대형선의 항해에 큰 위험을 주고 있는 것으로 확인됨에 따라 이들 소형 잠종선들을 유도하기 위한 출항 항로를 제안하고, 이 항로의 적정성을 항로 설계 시뮬레이션 기법을 이용하여 검증하였다. 시뮬레이션 검증에서는 출입 예정 선박중 조종 성능이 가장 열악한 선박인 50,000GT급 벌크선이 최악의 환경 조건하에서 안전하게 항행할 수 있는지를 검증하였다. 신설 예정 중앙 항로는 만곡부가 6개소 존재하는 긴 항로이므로, 만곡부들을 중심으로 항로를 6개 해역으로 분할한 뒤, 각 해역별로 시뮬레이션을 별도로 실시하여 선박 통항의 안전성을 검증하였다.

시뮬레이션 검증 결과 B, C, D, E, F 해역의 경우 제안된 항로를 통해 대상 선박이 통항하는 데에 문제가 없다는 것이 확인되었다. 그러나 A해역의 경우 오른쪽 만곡부의 만곡도가 40도를 넘는 관계로 통항 선박이 만곡 지점에 신설될 부표와

충돌할 위험이 있음이 발견되었다. A 해역의 경우 만곡 지점에 설치될 등부표와 통항 선박이 충돌할 위험이 있음이 확인됨에 따라 만곡 부위의 항로 폭을 더 확장하는 수정안을 제안하였으며, 수정안에 대한 시뮬레이션 검증 결과 대상 선박이 안전하게 통항할 수 있음이 확인되었다.

따라서 A해역의 만곡부를 확장한 <그림 3-29>와 같은 중앙 항로를 신설할 것을 제안한다. 신설 중앙 항로의 경우 양방 통행 항로 또는 추월이 가능한 일방 통행 항로도 모두 사용할 수 있을 것이나, 동수도 항로를 역행하며 출항하는 잠종선들이 항해에 큰 위험을 주고 있으므로, 이들 선박들을 유도하기 위해 추월이 가능한 출항 전용 항로로 지정하여 사용하는 것이 더 바람직할 것이다. 그리고 동수도 항로 또는 서수도 항로가 해난사고 등으로 일시 폐쇄되는 경우가 발생할 때 중앙 항로를 왕복 통항 항로로 쓸 수 있도록 하면 좋을 것이다.

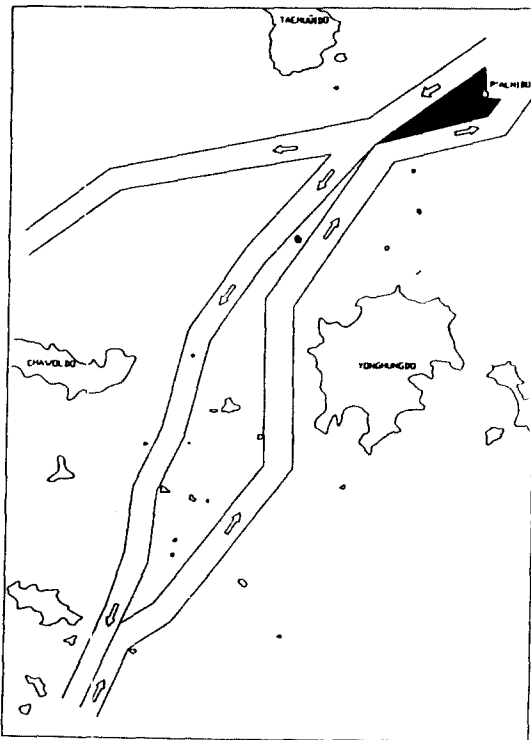
계획 수심 15.7미터를 확보하기 위해서는 부도 서북쪽의 암초 및 수심 13미터의 침선을 제거하고 황서 서북쪽의 수심 13.3미터 지역 및 규사광 채취구역의 항로 안쪽 부분에 대한 준설을 하여야만 한다. 그러나 준설 비용이 약 784억원 가량 소요될 것으로 추정되므로 준설 예산의 확보가 용이하지 않을 수 있다. 준설 예산의 확보가 당장 어려운 경우에는 제안된 안과 같이 항로를 설정한 후 부도 서북쪽의 암초만 제거하고 항로표지들을 제안된 바와 같이 설치한 후, 홀수 11미터 이하의 선박만 중앙 항로를 이용하도록 하고 홀수 11미터 이상의 선박은 준설이 될 때까지 서수도 항로를 이용하도록 하는 단계적 개선이 바람직하다. 이렇게 할 경우 암초 제거 비용 약 54억원과 항로표지 설치비 약 4억4천만원을 합하여 총 58억 4천만원의 예산이 있으면 실현 가능하다.

한편, 팔미도 부근은 조류가 매우 심하고 항로 폭도 좁아 입출항하는 선박들이 항해에 큰 어려움을 겪고 있고, 이에 따라 부근에서 좌초 및 충돌 사고도 자주 일어나고 있는 것이 현실이다. 따라서 팔미도 우측에 통항분리대를 두고 입출항 항로를 설치해 두는 것보다는 팔미도를 기준으로 하여 우측은 입항 항로로 좌측은 출항 항로로 분리하는

것이 더 바람직할 것이다. 이렇게 하고자 할 경우 팔미도 좌측의 친수 해역을 준설하여야만 하며, 준설 비용이 막대하게 소요될 것이 예상된다. 그러나 영종도 신공항 개발 사업과 관련하여 팔미도 좌측 해역에 대한 모래 채취 작업이 계획중에 있고, 모래 채취 작업이 완료되면 일부 해역에 대한 추가 준설만으로도 항로를 설치하여 사용할 수 있게 될 것이다. 따라서 장기적으로는 <그림 5-1> 과 같이 팔미도를 기준으로 우측은 입항 항로로 좌측은 출항 항로로 설정하여 선박의 통항을 분리해 주는 방안을 강구할 필요가 있다고 본다. 물론 팔미도 좌측 출항 항로의 경우 준설 후의 항로 매몰도 여부 및 선박 통항 안전성 등에 대한 검토를 거친 후 이의 신설을 추진해야 할 것이며, 이는 향후 과제중의 하나라고 할 수 있다.

그리고 장안서 부근에는 평택항에 출입하는 선박들과 대산항에 출입하는 선박들 및 인천항 동수도 항로를 통해 인천으로 입항하는 선박들로 교통이 매우 복잡한 것이 현실이다. 중앙 항로를 입항 동수도 항로의 바로 옆에 설치하게 되므로 이 부근의 교통량이 더 늘어날 것이 예상된다. 우선 당장에는 큰 문제가 없을 것으로 예상되나 장기적인 관점에서 보면 평택항 및 대산항으로의 통항량도 앞으로 더욱 늘어날 것으로 예측되므로 이 부근 해역에 대한 교통 흐름 관제 방안을 강구할 필요가 있다고 본다. 따라서 장안서 부근 해역에 통항 분리대 등을 설치하는 방안을 장기적인 관점에서 연구 검토할 필요가 있다고 보며 이것도 향후 과제중의 하나이다.

<그림 5-1> 팔미도를 기준으로 하여 입출항 항로를 분리하는 방안(장기 검토 과제)



참 고 문 헌

- [1] 해운항만청, 연안해역의 항행환경조사 및 항로개선에 관한 연구, 1994
- [2] Comstock, J. P., Principles of Naval Architecture, the Society of Naval Architects and Marine Engineers, N. Y., 1967, pp. 463-603
- [3] McCallum, I. R., A New Approach to Manoeuvring Ship Simulation, Doctoral Thesis of the Department of System Science of City University, London, 1976
- [4] *ibid.*
- [5] *ibid.*
- [6] Kettenis, D. L., "On the Mathematical Description of Ship Manoeuvring", Netherlands Ship Model Basin, Wageningen, Holland
- [7] Nomoto, K., "Problems and Requirements of Directional Stability and Control of Surface Ships", Journal of Mech. Eng. Sci., Vol. 14, No. 7, 1972, pp. 1-5
- [8] 김환수, "선박의 안전을 위한 최적 항로배치 및 항로폭 결정에 관한 연구", 해양안전학회지, 제1권 제1호, 1995, pp. 9-25