

광양항 항로개선에 관한 Simulation 연구

홍 중 해, 김 환 수

1. 서 론
2. 광양항의 지리적 여건및 항로여건
 - 2.1 지리적 여건
 - 2.2 항로여건
3. 광양항 개발계획에 따른 항로상 문제점
 - 3.1 광양항 항만개발계획
 - 3.2 항로상의 문제점
4. 항로 개선방안및 Simulation 검증
 - 4.1 Simulation 방법및 수학기모델
 - 4.1.1 Simulation 방법
 - 4.1.2 수학기모델
 - 4.2 항로개선방안및 Simulation 검증
 - 4.2.1 3항로및 4항로의 개선방안
 - 4.2.2 묘도 북방항로 신설방안
5. 결 론

광양항 항로개선에 관한 Simulation 연구

1. 서론

광양항은 1969년 4월 개항한 삼일항을 흡수 통합하여 1986년 12월 1종 지정항만으로 지정된 항으로 여천항에서는 주로 석유화학원료및 제품을, 광양항에서는 광양제철소에서 필요한 철판 원료와 유연탄및 철판제품을 취급하는 등 공업항으로서의 기능은 물론 최근 우리나라가 겪고있는 컨테이너 처리시설의 부족현상과 컨테이너 물동량의 부산항 집중으로 인한 제반 컨테이너 유통체계상의 문제점등을 해결하기 위해 부산항과 더불어 컨테이너 중심항만으로 개발, 발전되고 있다.

따라서 현재 광양항에서는 광양제철의 원료부두에 25만톤급 2개 선석과 15만톤급 2개 선석을 포함하여 총 20개의 선석이 마련되어 있고, 광양제철소 제 4기가 1992년 10월에 준공됨에 따라 조강능력이 포항제철을 능가하게 되어 출입항 선박량이 급격히 증가되고 있다. 또한 날로 증가하는 우리나라 컨테이너 물동량의 원활한 처리를 위해 1987년에 시작된 광양만 컨테이너 터미널 개발계획이 단계별로 완성되어 현재 1개 선석이 준공되었고 1995년까지 5만톤급 선석 4개의 건설을 완료하고 2000년까지 6개 선석을 추가로 확충하여 전체 10개 선석에 연간 240만 TEU의 컨테이너를 처리할 계획으로 있으므로 대형 선박들의 통항량이 급속도로 증대될 것이 예상된다.

이에 따라 본고에서는 급격한 선박 통항량 증가에 따르는 광양만 출입항로의 전반적인 문제점을 분석하고 이에 대한 입출항 선박의 안전성 확보를 위한 항로 개선방안을 Simulation을 이용 검증하여 보았다.

2. 광양항의 지리적 여건및 항로조건

2.1 지리적 여건

광양항은 여수반도 북동부의 동광양시및 여천시에 걸쳐 위치한 무역항이다. 여수와 광양항의 진입해역인 여수해만은 동쪽으로 갈수록 수심은 점점 깊어진다. 여수해만에는 남해도의 남쪽 약 6.8마일에서부터 광양항 입구까지 부표가 설치된 특정해역이 설정되어 여수및 광양항에 출입하는 선박의 주항로로써 이용되고 있다. 이곳에는 목도 북서쪽 약 1마일 부근에 저조시에 수면상으로 나타나는 3개의 간출암인 삼기가 있으며 이 부근은 특정해역내에서 수심이 가장 얇다. 광양항은 입구의 폭이 약 1.5마일이고 항내에는 부표가 설치된 4개의 항로가 있다. 항로주변의 위험물로는 제3항로와 제4항로의 사이에 수심 약 3M의 암반이 있고 제 3항로 서쪽에 수심 약 2M의 암반인 노랑여가 존재한다.

2.2 항로여건

광양만 출입항로는 돌산도 앞 해역의 북위 34도 50분 32초, 동경 127도 48분 05초 지점에서 시작하여 광양항 항계까지 18.3마일에 걸쳐 지정되어 있는 깊은 수심항로로 되어 있다. 지정된 항로에서의 항법은 흘수계약선이 광양만 출입항로를 항행하고자 할 때에는 깊은 수

심항로를 따라 항행하여야 하며, 홀수제약을 받지 아니하는 선박은 홀수제약선의 진로를 피하여야 하며, 홀수제약선끼리 서로 충돌의 위험이 있을 경우에는 입항선박이 출항선박의 진로를 피하도록 되어 있다. 그리고 북위 34도 45분을 경계로한 선에서 광양항 항계까지의 5.7마일의 구간에서는 출입항하는 선박의 속력이 12노트로 제한되어 있다.

3. 광양항 개발계획에 따른 항로상 문제점

3.1 광양항 항만 개발계획

광양항의 선박입출항 수와 화물취급량은 아래에서 보는바와 같이 1993년 기준으로 할 때 입출항 선박은 총 28,612척에 총화물취급량은 92,159천톤에 달하였다.

광양항 입출항 선박및 화물취급량

(해운항만 통계연보, 해운항만청, 1994)

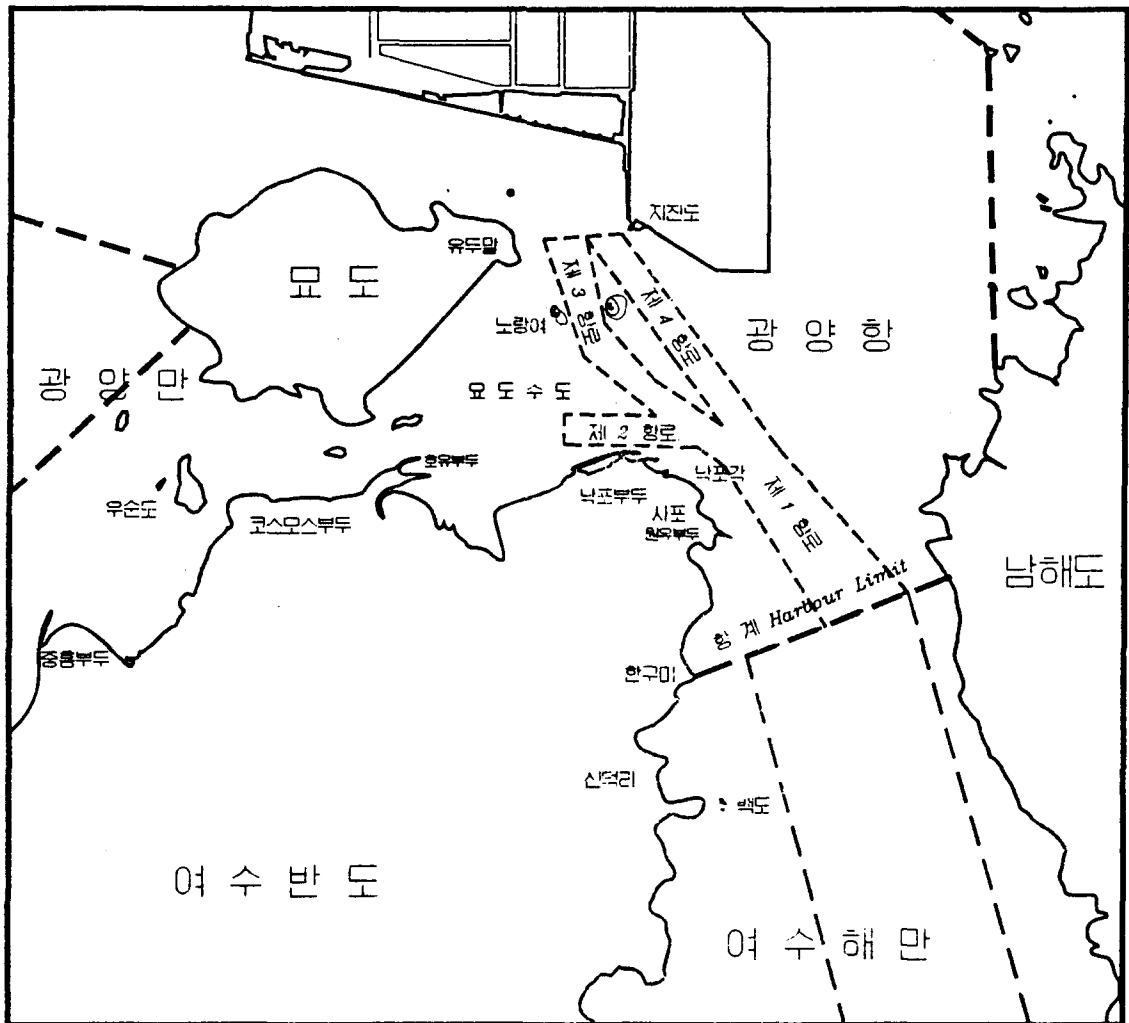
구 분	입 항 척 수	출 항 척 수	입 하 량	출 하 량
외 항 선	3,109척	3,105척	58,677천톤	8,208천톤
내 항 선	11,234척	11,164척	7,787천톤	17,487천톤
합 계	14,343척	14,269척	66,464천톤	25,695천톤

광양항의 개발계획및 선석소요 전망에 있어 컨테이너부두의 경우는 2011년의 컨테이너 화물수요 480만TEU를 처리하기 위해서는 20선석이 개발되어야 할 것으로 판단되며 일반부두및 공공부두의 경우에는 2011년의 일반화물수요 671만톤을 처리하기 위해서 12선석이 필요할 것으로 전망된다. 이에 따라 광양제철에 공급되는 원료탄과 철광석의 수송을 위해 25만톤급 선석 2개를 포함하여 총 20개의 원료및 제품부두를 새로 건설하였으며 전체 부두의 총처리 물동량은 987,000톤이다. 그리고 우리나라가 겪고 있는 컨테이너처리시설 부족 현상과 컨테이너 물동량의 부산항 집중에 따른 제반 컨테이너 유통체계상의 문제점을 해결하기 위하여 광양항 컨테이너부두 개발계획이 수립되어 현재 1단계 개발사업이 추진중에 있는 바 96년도에 1단계 사업이 완료되면 5만DWT급 선석 4개를 갖춘 부두가 완공될 것이며 연간 96만TEU의 컨테이너가 처리될 예정이다. 또한 1996년부터 2000년사이에 실시될 2단계 개발계획이 완료되면 총 10개 선석에 240만TEU의 컨테이너를 처리할 수 있는 규모가 될 예정이다.

3.2 항로상의 문제점

광양항에는 현재 25만톤급 초대형 광석선이 출입항하고 있고 앞으로 5만톤급 컨테이너선이 빈번하게 출입항할 예정으로 있으나 광양항내 광양제철 부두및 컨테이너부두로의 진입 항로인 제3항로와 제4항로의 경우 각각 주위의 암초들과 얽은 수심으로 인하여 항후 항행상의 안전에 있어 문제점들이 많은 것으로 지적되었다. 다음 그림에 보이는 바와 같이 제3항로의 경우 서쪽에는 노랑여, 동쪽에는 22번 부표 근처에 암초가 각각 있고 항로의 만곡부에 위치하고 있어 출입항하는 대형선에 위험을 주고 있으며, 제4항로의 경우에는 수심이 얕아서 소형 제품선등만이 통항하며 대형 원료선은 항행하지 못하고 있다.

제3항로의 경우 항로폭이 최소 380미터에서 최대 500미터 사이이며 수협의 변침을 요하는 만곡항로이므로 25만톤급 초대형 원료선이 타선박 통과시 동시 통항하기는 어렵다는 것이 첫번째 지적된 문제점이었다. 제4항로의 경우 해도상의 최저수심은 13미터로 되어 있으나 실제 최저 수심이 11미터에 불과한 실정으므로 흘수가 10미터에서 13미터 사이인 5만톤급 컨테이너선이 이 항로를 이용하여 출입할 수 없다. 따라서, 컨테이너 부두가 완공된 후 컨테이너선은 제 3항로를 이용하여 출입해야만 할 것이며, 컨테이너선의 출항 통과를 대기하게 될 대형 원료선의 경우 제 1항로상에서 미숙전진 또는 표류하면서 대기할 수밖에 없게 된다. 이때 조류 또는 바람으로 인한 압류될 막을 수 없을 것이며 심한 경우 낙포각 원유부두쪽 또는 그 반대 방향으로 압류되어 좌초 사고가 일어날 가능성이 매우 커진다. 컨테이너선이 아닌 원료선의 경우에도 출항 원료선이 지연 출항하는 경우 동선석에 접안할 입항 원료선은 마찬가지로 제1항로상에서 대기할 수밖에 없게 되고 전술한 바와 같은 사고가 일어날 가능성이 있게 된다.



4. 항로 개선방안 및 Simulation 검증

4.1 Simulation 방법 및 수학적 모델

4.1.1 Simulation 방법

Simulation은 Off Line and Waterway Design Simulation System을 이용하여 실시하였다. 이 System은 실험대상선박이 대상해역의 수심, 조류 및 기상 등 제반 환경조건하에서 항로를 따라 안전하게 항해해 나갈 수 있는 지 여부를 검증할 수 있는 System으로서, 설정된 환경상에서 Pilot Algorithm에 의해 움직이는 선박 운동모델의 궤적을 Plotting할 수 있는 System이며, Pilot Algorithm은 Autopilot Algorithm에 인간의 제어 factor를 가미하는 형태로 되어 있다. 동 Simulation 실험대상 선박으로는 광석선의 경우 광양만 출입항 선박중 최대의 선박인 170,000GRT(250,000DWT)의 광석선을, 컨테이너선의 경우는 50,000GRT의 컨테이너선을 기준으로 선박 수학적 모델을 구축하였으며 대상선박의 제원은 다음 표와 같다.

대상선박명세

명 세	광석선	컨테이너선	명 세	광 석 선	컨테이너선
전장 (LOA)	326 m	275 m	가속시간 (최대선속의 2/3)	882 초	537 초
선폭 (B)	56 m	32 m	감속시간 (최대선속의 1/3)	1240 초	760 초
흘수 (d)	20.45 m	12 m	우현선회권 선회 정상속도	4.0 kts	12.5 kts
총본수 (GRT)	170,000 T	50,000T	최종선회경 (Circle Diameter)	200 m	1250 m
방형비척계수 (Cb)	0.82	0.58	우현선회경 (Circle Diameter)	23 도/min	60 도/min
축수	1	1	우현선회권 선회편각	34 도	16 도
프로펠라형	고정형	고정형	속력 (전진전속)	14.0 kts	24.0 kts
주기관형	저속디젤	저속디젤	속력 (후진전속)	9.0 kts	14.4 kts
풍압면적 (측면)	3,446 m ²	8,728 m ²	전속전진 기관회전수	70 rpm	95 rpm
풍압면적 (정면)	1,351 m ²	1,550 m ²	전속후진 기관회전수	50 rpm	70 rpm

수심, 조류 및 바람 등 환경변수를 정확히 입력하는 것은 Simulation 검증에 있어 매우 중요하며 다음과 같이 환경변수를 입력하였다.

광양만의 탁월풍은 겨울철의 북서풍이므로 풍향은 315도로 입력하고, 풍속은 최악의 경우를 가산하여 27knot를 택하였다. 그리고 선박 진행 방향에 직각인 바람이 선박의 조종성능에 미치는 영향이 크기 때문에 탁월풍은 아니지만 항로에 직각 방향인 252도 방향에서 부는 25 Knot의 바람을 입력한 Simulation도 병행하였다.

수심 및 조류 데이터는 해도 및 조류도에 나와 있는 정보를 이용하였다. 수심은 해도상의 수심을 그대로 입력하였으며 조류는 각 구역마다 달리 입력하되 제 3항로 북단의 경우 창조시에는 132도 방향의 1.3 knot의 조류를, 낙조시에는 322도 방향의 2.2 knot의 조류를 입력하였다.

4. 1. 2 Simulation을 위한 船舶의 數學Model

본 연구에서는 McCallum에 의해 개발된 Heuristic Type Mathematical Model을 이용하여 수 학모델을 구축하였다.

이 모델은 유체동력학적인 도함수를 사용한 모델과는 달리 선박운동 시스템을 블랙 박스 로 가정하여 도출한 간단한 방정식을 이용하여 선박의 동작을 표현하는 모델이다. 이 모델 은 직접적인 접근방법을 사용하기 때문에 상대적으로 실행이 간단하고 사용자의 호응도도 매우 높다. 또한 이 모델은 변환이 간단하고 거의 자동적인 방법으로 새로운 모델 혹은 수 정된 모델을 만드는 것이 가능하다. 이 모델에 대한 정확성과 효용성은 이미 많은 연구에서 입증된 바 있다.

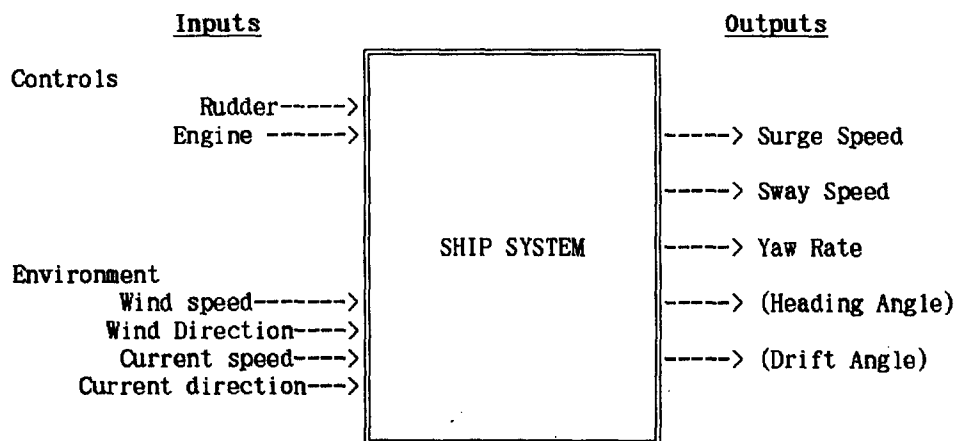
4. 1. 2. 1 방정식의 유도

1) 선박의 입력정보와 출력정보

선박의 운동을 Surge, Sway, Yaw라는 3차원의 자유운동만으로 움직이는 동력학적 System 으로 보면 선박에 대한 입력정보들은 원하는 타각 D_r 와 원하는 기관 즉 N_{sp} (Desired shaft speed, port)와 N_{sb} (Desired shaft speed, starboard)이다.

환경에 대한 입력정보는 바람과 조류로서 바람에 대해서는 진풍향은 WW(Wind direction from)로 나타내고, 상대풍향은 North에 대한 방향을 나타낸다. 또 풍속은 W m/s로 나타낸 다. 조류에 대한 입력정보의 경우 선수미에서의 속도는 C_{sb} (Current speed at bow) , C_{ss} (Current speed at stern)로 그리고 방향은 각각 C_{hb} (Current heading at bow) , C_{hs} (Current heading at stern)로 주어진다.

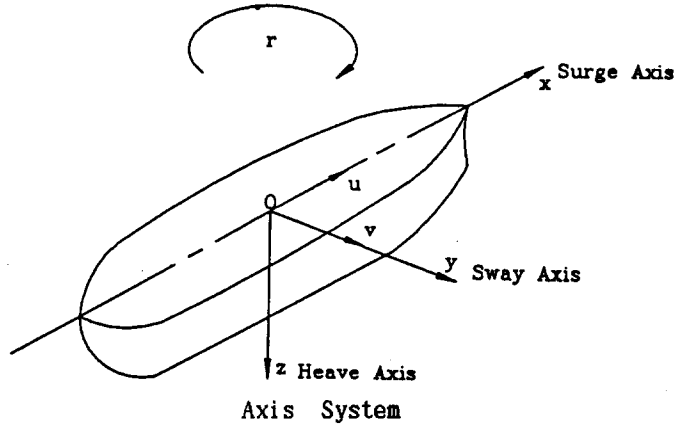
아래에서 보는 것과 같이 이러한 입력정보가 주어질 때 이 모델의 출력정보들은 Surge, Sway, Yaw속도에 대한 상태변수들이 되며, 이들이 적분되어서 이동거리 및 회두각이 되고 이에 따라 선박의 위치와 선수각이 변하게 된다.



Input and Output of the Ship manoeuvring System

2) 선박의 속과 운동속도에 대한 유체동력학적인 표시

아래에서는 선박의 중앙지점으로부터 선수쪽 방향을 X축으로 하여 Ox로, 우현쪽을 Y축으로 하여 Oy로, 선저쪽 방향을 Z축으로 하여 Oz로하는 선박에 고정된 수직 직교축이 사용된다. Surge속도는 u(m/s)로 나타내고, Sway속도는 v(m/s)로, Yaw율은 r(rad/s)로 나타낸다.



4. 1. 2. 2 시스템 입력치 모델링

1) Rudder제어

Rudder제어 시스템에 대한 응답은 실제타각 R_r 과 조타기 타각 D_g 와의 차이에 따라 변한다. 실제타각과 조타기타각의 차이가 3도 이내이면 그 응답은 시간상수 1/K(12)초에 대한 지수형태로 나타나고, 그 밖의 시간대에 대한 응답은 K(14)각도/SEC의 속도를 가진 선형형태로 나타난다.

$$R_r = \delta \times R_{t_{od}}$$

$$\delta = K(14)R_{t_{od}} \quad R_r < D_g \text{ 일 때}$$

$$\delta = -K(14)R_{t_{od}} \quad R_r > D_g \text{ 일 때}$$

$$\delta = K(12)(D_g - R_r)/R_{t_{od}} \quad |(D_g - R_r)| < 3\text{도 일 때}$$

여기서 $R_{t_{od}}$ 는 Rad값을 도(Degree)수로 변환시켜 주는 변환상수를 나타낸다.

2) 엔진

엔진응답은 1/K(13)초라는 시간상수를 가진 단순한 지수응답으로 나타난다고 가정한다.

따라서

$$N_s = K(13)(N_{sd} - N_s) \text{로 표현된다.}$$

여기서 N_{sd} 는 계획속도를 나타내고 N_s 는 실제속도를 나타낸다.

4. 1. 2. 3 유체동력학적 변수들의 정상상태값의 표현

Surge속도 (u), Sway속도 (v) 그리고 회두각속도 (r) 등 주요변수들을 계산하는 방법은 입력 정보 상태에 따른 각각의 정상상태값을 정한 다음, 새로운 값을 얻기 위한 각 변수에 대한 일차미분방정식을 구하는 것이다.

정상상태값들은 다음과 같이 구할 수 있다.

1) 정상상태에서의 Surge속도 (U_{ss})

선박의 정상상태에서의 Surge속도 (U_{ss})는 선박엔진의 실제 Shaft속도에 비례한다. 또 선박이 선회하고 있는 동안에는 회두각속도의 제곱에 비례하는 속력의 손실이 있게 된다. 선박이 후진할 때 Surge속도는 주어진 Shaft속도에 비해 떨어지는데, 그 이유는 선박이 후진하는 경우에는 선체의 끌림이 더 크기 때문이다. 그러나 선회하는 동안의 Surge속력손실은 거의 같은 비율로 나타난다고 가정할 수 있다.

따라서 정상상태에서의 Surge속도 (U_{ss})는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} U_{ss} &= K(4)N_s - K(5)ur^2 & u \geq 0 \text{ 일 때} \\ U_{ss} &= K(8)K(4)N_s - K(5)ur^2 & u < 0 \text{ 일 때} \end{aligned}$$

2) 정상상태에서의 회두각속도 (R_{ss})

정상상태에서의 회두각속도 (R_{ss})는 타각에 직접적인 영향을 받는다. 대부분 선박의 경우 이 부분은 매우 비선형적인 것으로 알려져 있다. 현재의 방정식에서는 각 선박의 비선형에 대한 적절한 값을 주기위해 이를 지수관계로 나타낸다.

따라서 다음과 같이 표현된다.

$$R_{ss} = K(2)\delta^{K(27)} + \beta$$

상선의 경우 멱지수 K(27)은 일반적으로 0.3과 0.7사이의 값을 취하고, 정상상태와 관련된 조타특징은 Fig. 2.7과 같다. 정상상태에서의 회두각속도 (R_{ss})는 선박의 속력에도 영향을 받는다. 선속이 0인 상태에서 타효는 없다. 따라서 저속에서 적절한 타효를 주고, 고속에서는 거기에 상응하는 값으로 증가시켜주기 위한 가중치 W(u)가 사용된다.

그 가중치는 다음과 같다.

$$W(u) = \sqrt{\frac{|U|}{K(9)}}$$

추진기의 회전영향도 정상상태에서의 회두각속도에 영향을 준다. 오른쪽으로 회전하는 단추진기선박의 경우 추진기가 오른쪽으로 회전할 때 추진기의 축력은 선박을 좌편측으로 회전시키는 영향을 준다.

이러한 선회효과는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta = K(3)(u - K(4)N_s)$$

따라서 정상상태의 횡두각속도는 다음과 같이 표현된다.

$$R_{ss} = K(2)\delta^{K(27)}W(u) + K(3)(u - K(4)N_s)$$

3) 정상상태에서의 Sway속도 (V_{ss})

환경조건과 Thruster의 영향이 없을 경우 Sway는 단지 선박의 선회에 의해서만 영향을 받는다. 대수속력이 없는 상태에서 선회를 할 경우에는 Sway현상은 없다.

그래서 정상상태의 Sway속도는 다음과 같이 표현된다.

$$V_{ss} = K(7) \cdot r \cdot W(u)$$

4. 1. 2. 4 기본 선박운동방정식

기본적인 선박운동방정식은 다음과 같이 유도된다.

1) Surge속도

Surge속도에 대한 시간상수는 $K(6)$ 이다. 이 시간상수는 여러가지 경우에 따라 서로 다른 조건으로 수정될 필요가 있다. 선박의 속력이 떨어질 때에는 대부분의 선박의 경우 큰 시간상수를 가진다.

본 운동방정식에서는 감속시의 시간상수변화를 고려하기 위하여 상수 $K(10)$ 을 도입 하였다. 선박이 선회할 때에는 Drift Angle이 증가하면서 저항수면에 접하는 선체의 측면면적이 넓어지고 이에따라 선박의 속력이 빠르게 감소하게 된다. u 에 관한 시간상수를 Drift Angle의 증가에 따라 감소시키기 위하여 변수 T_c 가 도입되었다.

$$T_c = (1 - K(11)|\alpha|)$$

$T_c > 0.4$ 라는 제한조건하에 Surge가속도 $d1$ 을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$d1 = (U_{ss} - Y(1))/(K(6)T_c) \quad Y(1) \leq U_{ss} \text{ 일 때}$$

$$d1 = (U_{ss} - Y(1))/(K(10)K(6)T_c) \quad Y(1) > U_{ss} \text{ 일 때}$$

여기서 $Y(1)$ 은 u 에 해당되는 Surge속도를 나타낸다.

2) Sway속도

Sway가속도 $d2$ 를 정상상태의 Sway값과 실제 Sway값을 사용하여 표현하면 다음과 같이 된다.

$$d2 = (V_{..} - Y(2)) / K(19)$$

여기서 d2는 Sway가속도를,

Y(2)는 v에 해당되는 실제 Sway속도를 각각 나타낸다.

3) 회두각속도(Yaw Rate)

타에 대한 선박의 응답은 선박의 운동방향과 Shaft의 회전방향에 따라 변한다. 이것은 아래 일차방정식의 R_{..}에 대한 승수에 반영된다.

회두각가속도 d3는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} d3 &= (R_{..} - Y(3)) / K(1) && Y(1) \geq 0, N_{..} \geq 0 \text{ 일 때} \\ d3 &= (-R_{..}/2 - Y(3)) / K(1) && Y(1) < 0, N_{..} < 0 \text{ 일 때} \\ d3 &= (R_{..}/2 - Y(3)) / K(1) && \text{그 밖의 조건일 경우} \end{aligned}$$

여기서 Y(3)는 실제 Yaw Rate를 말한다.

4. 1. 2. 5 환경변수를 포함한 최종 선박운동 방정식

최종적인 선박운동방정식은 Surge, Sway가속도 및 회두각 가속도 d1, d2, d3에 바람 및 조류에 의한 영향 UW, UC, VW, VC, RW, RC를 가산하여 구성된다. Surge, Sway속도 및 Yaw Rate d(1), d(2), d(3)는 다음과 같이 표현되며 이들 값을 적분하면 선수 및 횡방향의 이동거리 및 회두각이 계산되어 다음번 위치 및 Heading이 계산되게 된다. 적분은 Euler적분법을 이용한다.

$$d(1) = \int_0^t (d1 + UW/K(23) + UC/K(16))dt$$

$$d(2) = \int_0^t (d2 + VW/K(24) + VC/K(17))dt$$

$$d(3) = \int_0^t (d3 + RW/K(25) + RC/K(18))dt$$

4. 2 항로개선방안 및 Simulation 검증

4. 2. 1 3항로 및 4항로의 개선방안

(1) 개선안

가) 제1안

250, 000DWT급 광석선의 최대흘수는 20.45미터이고, PIANC rule에서 파도로부터 보호된 내항 항로의 경우 최대흘수에 10%를 보탠 값을 수심으로 권하고 있으므로, 4항로를 계획 수심 22.5미터까지 준설한 뒤 4항로를 입항항로로 3항로를 출항항로로 분리하여 운영 하는 방안

나) 제2안

3항로 22번 부이 근처의 암초를 제거하여 항로를 확장한 뒤 3항로를 입항항로와 출항항로로 분리하여 왕복통항이 가능하도록 하는 방안

(2) Simulation 검증

가) 제1안에 대한 Simulation 검증

제1안에 대한 검증을 위해 4항로의 수심을 계획 수심인 22.5미터로 입력한 뒤 창조류 및 낙조류 데이터와 선박 진행방향에 직각방향으로 부는 바람 데이터를 입력하여 9회의 Simulation을 실시하였다. 최악의 환경조건을 입력하여 검증하기 위하여 탁월풍인 북서풍뿐만 아니라 정횡방향의 바람도 데이터로 입력하였다.

선속을 8노트, 조류는 창조류, 바람은 정횡방향의 바람을 입력한 입항 Simulation결과 항로폭이 450미터이기 때문에 전반적으로 여유있게 항해할 수 있는 것을 알 수 있으며, 조류의 방향이 항로방향과 거의 같고 선박의 풍압면적이 선박의 중량에 비해 상대적으로 적기 때문에 조류 및 바람의 영향이 그리 크지 않음을 알 수 있다. 또한 다양한 조건하에서의 입항 Simulation결과 전체 Swept path의 최대폭은 210미터이고 항로 외곽선까지의 최대 근접거리는 130미터나 되므로 충분한 안전이 확보됨을 알 수 있다.

낙조류를 받으며 북서풍하에서 출항하는 출항선의 Simulation결과 바람의 영향보다 조류의 영향이 커서 아래쪽으로 밀리면서 진행함을 알 수 있다. 이 경우에도 Swept path의 폭은 120미터이고 항로 외곽선까지의 최대 접근 거리가 100미터나 되어 안전한 항해가 가능함이 확인된다. 또한 다양한 조건하에서의 출항 Simulation결과 전체 Swept path의 최대폭은 235미터이고 항로 외곽선까지의 최대 근접거리가 70미터나 되어 안전한 항해가 가능함이 확인된다.

따라서 제1안에서 제안된 항로는 대상 선박인 250,000DWT급 대형 풍석선의 항행에 적합한 것으로 판정된다.

나) 제2안에 대한 Simulation 검증

제2안에 대한 적정성을 검증하기 위하여 입출항 Simulation을 각각 9회씩 실시하였다. 조류는 창조류와 낙조류를, 바람은 북서풍과 정횡방향의 바람을 각각 27노트 및 25노트씩 입력하였다.

낙조류와 25노트의 072도 방향 바람하에서의 출항 Simulation결과 항로 중심을 따라 무리없이 항해가 가능함을 알 수 있다. 또한 다양한 외력하에서의 출항 Simulation결과 항로 외곽선까지의 최대 근접거리가 65미터로 안전항해가 가능함을 알 수 있다.

낙조류와 25노트의 072도 방향 바람하에서의 입항 Simulation결과 조류와 바람의 영향이 서로 가세하여 좌측으로 밀리게 되고 따라서 상당한 drift angle을 가지고 항해하게 되나 항로폭이 300미터로 대상 선박 선폭의 약 6배가 되기 때문에 무리없이 항해할 수 있음을 알 수 있다.

또한 다양한 외력하에서의 입항선의 Simulation 결과 최대 항적폭은 170미터이고 항로 외곽선까지의 최대 접근거리가 50미터로서 안전한 항해가 가능함을 알 수 있다

따라서 제2안에서 제안된 항로도 제1안의 경우와 마찬가지로 대상선박의 항해에 적합한 것으로 판정된다.

4. 2. 2 묘도 북방항로 신설방안

(1) 신설항로의 기초설계

평양만 컨테이너 부두건설및 울촌공단 개발에 따른 출입항로를 묘도 북방에 신설하는 방안으로 항로의 폭은 대상선박인 50,000GRT의 컨테이너선의 선폭인 32미터를 기준으로 하여 정하였다. 10개 선석의 컨테이너 부두가 계획되어 있고 울촌공단 개발이 완료될 경우 선박통항이 폭주할 것이 예상되므로 양방통행항로를 설계하여야 한다. 따라서 PIANC rule에 따라 최대 선폭의 10배를 최저 기준으로 하고 만곡부가 1개소 있는 점을 감안하여 선폭의 2배를 추가한 뒤 여기에 여유폭을 추가로 고려하여 항로폭을 400미터로 정하였다. 그리고 평양제철 원료부두앞에 대상 선박의 전장의 2배에 해당하는 직경을 갖는 선회수역(일본의 항로설계지침 근거)을 확보하기 위해서 항로는 수심이 허락하는 한 묘도 쪽으로 붙여서 배치하였다. 항로의 수심은 대상 컨테이너선의 최대흘수(12미터)에 PIANC rule에서 정한 swell로부터 보호된 수역에서의 여유 수심 10%를 더하여 13.2미터로 하였다.

(2) 신설 항로에 대한 Simulation 검증

신설 항로에 대한 검증을 하기위해 입항및 출항 Simulation을 각각 12회씩 실시하였다. 기초 설계시 실시한 예비 Simulation에서 직선 구간에서의 항로폭은 충분한 것으로 확인되었기 때문에 최종검증을 위한 Simulation은 항로의 만곡 구간에 대하여서만 실시하였다.

입항 Simulation의 경우 바람은 탁월풍인 북서풍과 칩로에 직각 방향인 204도의 바람을 각각 27노트및 25노트의 속도로 입력하여 각각 7회및 5회씩 총 12회의 Simulation을 실시하였다. 출항의 경우에도 북서풍을 27노트의 속도로 입력하여 7회의 Simulation을 실시하였으며, 최악의 조건을 가산하여 입항칩로에 직각 방향인 193도의 25노트의 바람을 입력하여 5회의 Simulation을 실시하였다. 조류는 창조류의 경우에는 306도 방향의 1.8노트의 속도를 낙조류의 경우에는 126도 방향의 2.4노트의 속도의 조류를 입력하였다.

창조류와 정횡방향의 바람하에서의 출항 Simulation의 결과 우현측에서 좌현측으로 미치는 조류와 바람의 영향으로 항로의 북측 외곽으로 상당히 밀림을 알 수 있으며 이는 컨테이너선의 경우 풍압면적이 상대적으로 크기 때문이다. 또한 다양한 외력하에서의 출항 선박의 Simulation 결과 최대 Swept path의 폭이 거의 항로폭에 가까운 380미터에 이르고 항적이 항로 외곽선을 거의 스치며 지나가고 있다. 따라서, 만곡부와 만곡부 끝단의 항로폭이 좁다는 것을 알 수 있다.

창조류와 27노트의 북서풍을 받으며 입항하는 입항선의 Simulation결과 및 다양한 외력 조건하에서의 입항 Simulation의 종합적인 결과 입항의 경우에는 항로 외곽선까지의 최대 접근거리가 25미터로서 선폭의 80%가 되어 안전함을 알 수 있다.

그러나 출항의 경우 설계한 항로의 폭이 만곡부 부근에서부터 출구까지의 사이에서 좁아 최악의 외력이 작용하는 경우 항로의 외곽선을 스치며 항행하게 될 가능성이 있으며, 이 경우 항로 외곽의 부표등과 충돌하게 될 위험이 있으므로 만곡부 이후의 항로폭을 설계안보다 증가시켜야만 할 것이다.

따라서, 출항을 기준으로 할 때 항로의 입구 부근에서부터 만곡부까지는 폭을 400미터로 하되, 만곡부를 기점으로하여 출구까지는 항로의 폭을 10%증가시켜 440미터로 하여 항로를 신설할 것을 제안한다.

이와 같이 묘도 북방에 항로를 신설하기 위해서는 25번 부표 근처의 암초를 제거하여야만 한다.

5. 결론

광양항의 입출항 항로에 있어 3항로, 4항로의 문제점, 개선안에 대한 Simulation검증 및 컨테이너선의 입항에 따른 묘도부근 항로의 신설방안에 대해 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다

1) 4항로를 수심 22.5미터까지 준설하여 4항로는 입항항로로, 3항로는 출항항로로 지정하여 운영하고 25번 부표 근처의 암초를 제거한 뒤 묘도 북방에 폭 400미터(만곡부 이후는 440미터) 수심 13.2미터의 왕복 통항 항로를 신설하는 방안

2) 3항로 22번 부표근처의 암초를 제거하여 항로를 확장한 뒤 3항로를 입항항로와 출항항로로 분리하여 왕복통항이 가능하도록 하고, 제1안의 경우와 동일하게 묘도북방에 새 항로를 신설하는 방안

위의 1), 2)의 경우 다같이 대형선의 항행안전 확보측면에서는 똑같이 안전하고 바람직한 방안이므로 두안의 우선순위는 항로준설및 암초제거에 드는 건설비용등을 감안하여 비용이 적게 드는 안을 채택하면 될 것이다. 암초제거 및 준설에 소요되는 비용은 slag처리장을 준설토 무기장으로 활용할 때 제1안의 경우 291억원, 제2안의 경우 306억원의 예산이 소요되므로 제1안을 선택하여야 할 것이다.