

본 학회지는 한국과학기술단체 총연합회의 일부 재정지원에 의해 발간되었습니다.

광양항 항로 개선에 관한 Simulation 연구

홍종해* · 김환수**

A Simulation Study on the Improvement of the Waterway of Kwangyang Harbour

Jong-Hea Hong · Hwan-Soo Kim***

..... <目 次>	
1. 서 론	3.2 항로상의 문제점
2. 광양항의 지리적 여건 및 항행 환경	4. 항로 개선 방안 및 Simulation 검증
2.1 지리적 여건	4.1 Simulation 방법 및 수학 Model
2.2 항행 환경	4.2 항로 개선 방안 및 Simulation 검증
3. 광양항 개발 계획에 따른 항로상 문제점	4.3 항로 개선 권고안
3.1 광양항 항만 개발 계획	5. 결 론

Abstract

Kwangyang harbour has been developed very rapidly and has 20 berths including 2 for 250,000DWT bulk carriers at the terminal of Kwangyang Steel Company only. In addition to this, the port is developing a container terminal with 10 berths for 50,000GRT container ships, the construction of which is scheduled to be finished in the year 2000.

Because of these development, it has been pointed out that the existing waterways are not wide and safe enough for the new large ships to be catered for. This work, therefore, aimed to examine the navigational safety of the waterways of Kwangyang Harbour, and to suggest how to improve the existing waterways for the large ships to be introduced in the near future. In examining the safety of the existing and newly suggested waterways, waterway disign simulation methodology has been applied.

From this study, it has been suggested that the No.4 navigational channel has to be dredged to the depth of 22.5 meters and used as an entrance channel only, while the No.3 channel is used as an exit

* 정회원, 한국해양대학교 대학원 해사수송학과 석사과정
** 정회원, 한국해양대학교 해사대학 해사안전관리학과 부교수

channel. Additionally, a new waterway has been recommended to be established over the Myodo Island for the container ships which will use the new terminal, the width of which has been recommended to be 400 meters with 440 meters from the bend area.

1. 서 론

광양항은 1969년 4월에 개항한 삼일항을 흡수 통합하여 1986년 12월에 1종 지정항만으로 지정된 항으로서 여천항에서는 주로 석유화학원료 및 제품을, 광양항에서는 광양제철소에서 필요한 철광석 원료와 유연탄 및 철강제품을 취급하는 등 공업항으로서의 기능을 함은 물론 최근 우리나라가 겪고 있는 컨테이너 처리 시설의 부족 현상과 컨테이너 물동량의 부산항 집중으로 인한 제반 컨테이너 유통체계상의 문제점 등을 해결하기 위해 부산항과 더불어 컨테이너 중심 항만으로 개발 발전되고 있는 항구이다.

따라서 현재 광양항에는 광양제철의 원료부두에 25만톤급 2개 선석과 15만톤급 2개 선석을 포함하여 총 20개의 선석이 마련되어 있고, 광양제철소 제4기가 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 개발 계획이 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 본 논문에서는 급격한 선박 통항량 증가에 따르는 광양만 출입항로의 전반적인 문제점을 분석하고 이에 대한 입출항 선박의 안전성 확보를 위한 항로 개선방안을 제시한 뒤 Simulation 기법을 이용하여 개선 방안의 적정성을 검증하여 보았다.

2. 광양항의 지리적 여건 및 항행 환경

2.1 지리적 여건

광양항은 여수반도 북동부의 동광양시 및 여천시에 걸쳐 위치한 무역항이다. 여수와 광양항의 진입해역인 여수해만은 동쪽으로 갈수록 수심이 점점 깊어진다. 여수해만에는 남해도의 남쪽 약 6.8마일에서부터 광양항 입구까지 부표가 설치된 특정해역이 설정되어 여수 및 광양항에 출입하는 선박의 주항로로 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 제3항로 서쪽에 수심 약 2M의 암반인 노랑여가 존재한다.

2.2 항행 환경

2.2.1 기상 및 해상

2.2.1.1 기상

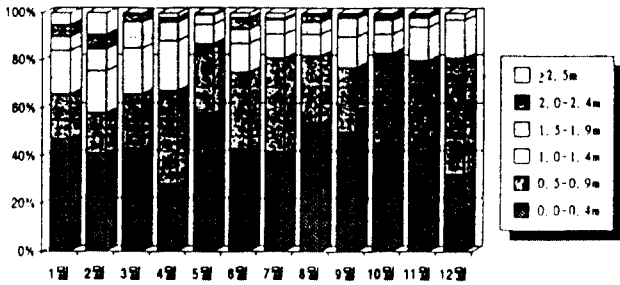
광양항 인근 해역에서는 계절적으로 동계에는 NW풍이, 춘계에는 NW-SW풍이, 추계에는 NE, 하계에는 SW풍이 탁월풍으로 분다. N계열의 바람이 전체 출현율의 45%를 나타내며 주풍향은 NNW이고 최대풍속 또한 NNW풍이다. 연평균 풍속은 3.9m/sec로 전년을 통하여 비교적 고르고 정온한 편이다.

연간 강우량은 1,424.8mm로 전국 평균치보다 높다. 더우기 연강수량의 45%가 7, 8, 9월에 집중되어 호우성 강수를 나타낸다. 연평균 기온도 13.8℃로 전국 평균보다 2℃ 높고 월평균 최고 기온은

8월에 28.9℃를 나타낸다.)¹⁾

2.2.1.2 해상 상태

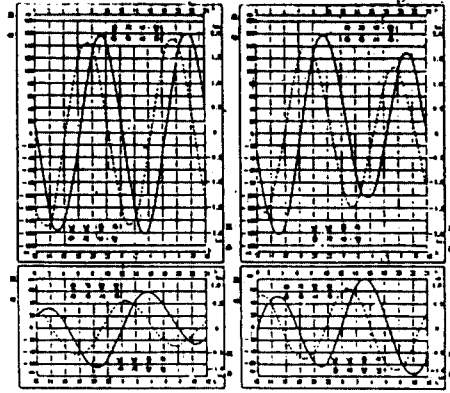
〈표 2-1〉과 〈그림 2-1〉은 4개년(1978-1979, 1988-1989) 동안 관측된 파랑의 월별 파고별 출현빈도 및 월별 평균 파고별 분포도이다. 연간 0.5m 미만의 정온율은 44%이며, 0.5-0.9m는 32%, 1.0-1.4m는 14%, 1.5-1.9m는 6%, 2.0m 이상은 4%이다. 파향은 모두 SE파향만 출현한 것으로 나타났다. 월별 정온율은 4월과 12월이 약 30%로 비교적 낮고, 나머지 달은 대략 45-55%로 비슷한 값을 보이고 있다. 2.0m 이상의 파고는 1, 2월에 가장 많이 출현하며, 6월과 8월에도 4% 이상 출현한 것으로 나타났다.²⁾



〈그림 2-1〉 월 평균 파고별 분포도

2.2.1.3 조석 및 조류

광양항의 조석 및 조류는 〈그림 2-2〉와 같다. 여수해만내에서 일반적으로 창조류는 최강 유속은 1.5kt이며, 낙조류는 남쪽으로 흐르고 최강 유속은 2.5kt에 달한다. 여수해만 입구 남측 부근에서는



〈그림 2-2〉 조석 및 조류 곡선도(수로서지 제1421호 : 1981)

북서-남동류의 창낙조류가 있으며 유속은 1.2kt내외이다.

2.2.2 항로 여건

광양만 출입항로는 돌산도 앞 해역의 북위 34도 50분 32초, 동경 127도 48분 05초 지점에서 시작하여 광양항 항계까지 18.3마일에 걸쳐 지정되어 있는 깊은 수심 항로로 되어 있다. 지정된 항로에서의 항법은 홀수제약선이 광양만 출입항로를 항행하고자 할 때에는 깊은 수심 항로를 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 경계로 한 선에서 광양항 항계까지의 5.7마일의 구간에서는 출입항하는 선박의

〈표 2-1〉 월별 파고별 출현빈도

파고(m)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연평균
0.0-0.4	47	45	43	28	58	43	42	54	50	45	39	32	44
0.5-0.9	19	19	23	40	29	32	39	28	27	38	41	49	32
1.0-1.4	18	19	19	21	8	12	10	9	13	8	14	16	14
1.5-1.9	6	10	11	8	4	6	6	5	8	6	4	3	6
2.0-2.4	5	7	3	2	1	5	1	3	2	3	1	-	2
≥2.5	5	10	1	2	-	2	2	1	-	-	1	-	2

자료 : 해운항만청(1978-1979, 1988-1989)

속력이 12노트로 제한되어 있다.

광양만 내의 항로는 4개 항로로 되어 있으며 제 1항로는 진입항로로 폭이 매우 넓으며 제 2항로는 항로폭이 400m인 소형선박을 위한 항로이다. 제 3항로는 380~500m 사이의 항로폭을 갖는 수회의 변침을 요하는 만곡부로 되어 있으며 제 4항로의 경우 최저 수심 11m로서 흘수가 10~13m 인 5만 톤급 컨테이너선 등은 이용할 수 없는 항로이다.

3. 광양항 개발 계획에 따른 항로상 문제점

3.1 광양항 항만 개발 계획

광양항의 선박입출항 수와 화물취급량은 <표 3-1>에 보이는 바와 같이 1993년을 기준으로 할 때 입출항 선박은 총 28,612척에 총화물 취급량은 92,159천톤이었다.³⁾

<표 3-1> 광양항 입출항 선박 및 화물취급량
(해운항만 통계연보, 해운항만청, 1994)

구분	입항척수	출항척수	입 하 량	출 하 량
외항선	3,109척	3,105척	58,677천톤	8,208천톤
내항선	11,234척	11,164척	7,787천톤	17,487천톤
합 계	14,343척	14,269척	66,464천톤	25,695천톤

현재 광양항은 총 22개 선석(DWT 1,085천톤)을 확보하고 있으며, 대형선 접안시설 현황은 <표 3-2>와 같다.⁴⁾

또한 광양항의 개발 계획 및 선석 소요 전망을 보면, 컨테이너 부두의 경우는 2011년의 컨테이너 화물수요 480만TEU를 처리하기 위해서 20선석이 개발되어야 할 것으로 추정되며, 일반 부두 및 공

공 부두의 경우에는 2011년의 일반화물수요 671만 톤을 처리할 수 있는 선석이 필요할 것으로 전망되고 있다.⁵⁾ 이에 따라 광양제철에 공급되는 원료 탄과 철광석의 수송을 위해 25만톤급 선석 2개를 포함하여 총 20개의 원료 및 제품부두를 새로 건설하였으며 전체 부두의 총처리 물동량은 987,000톤이다. 그리고 우리나라가 겪고 있는 컨테이너 처리 시설 부족 현상과 컨테이너 물동량의 부산항 집중에 따른 제반 컨테이너 유통체계의 문제점을 해결하기 위하여 광양항 컨테이너 부두 개발 계획이 수립되어 현재 1단계 개발사업이 추진중에 있으며 96년도에 1단계 사업이 완료되면 5만DWT급 선석 4개를 갖춘 부두가 완공될 것이며 연간 96만TEU의 컨테이너가 처리될 예정이다. 또한 1996년부터 2000년 사이에 실시될 2단계 개발 계획이 완료되면 총 10개 선석에 240만TEU의 컨테이너를 처리할 수 있는 규모가 될 예정이다.⁶⁾

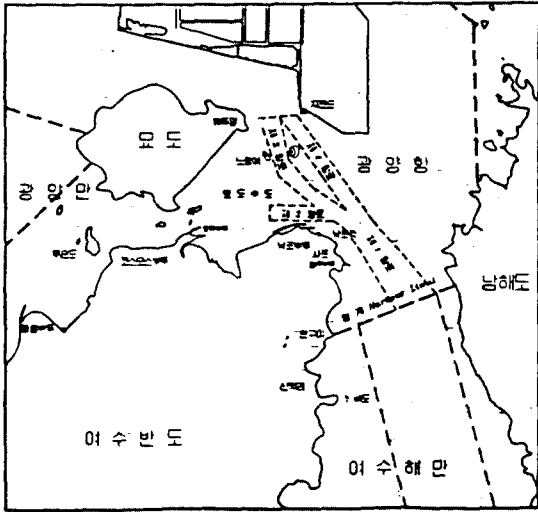
3.2 항로상의 문제점

광양항에는 현재 25만톤급 초대형 광석선이 출입항하고 있고 앞으로 5만톤급 컨테이너선이 빈번하게 출입항할 예정으로 있으나 광양항내 광양제철 부두 및 컨테이너 부두로의 진입 항로인 제3항로와 제4항로의 경우 각각 주위의 암초들과 얕은 수심으로 인하여 향후 항행상의 안전에 있어 문제점들이 많을 것으로 예상된다. <그림 3-1>에 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 수심

<표 3-2> 광양항 대형선 접안시설 현황

(항만시설운영세칙, 여수지방해운항청 : 1994. 2. 19)

부 두 명	연 장	접안선박 및 선석수	취 급 화 물
호유원유부두	886m	285,000DWT-1선석	원 유
L.P.G 부두	돌핀 352m	50,000DWT-1선석	L.P.G
원료 및 CTS부두	2,194m	250,000DWT-2선석 150,000DWT-2선석 30,000DWT-1선석	철 광 석 유 연 탄
컨테이너 부두	280m	50,000DWT-1선석	컨테이너화물



〈그림 3-1〉 광양항 출입항 항로

이 알아서 소형 제품선등만이 통항하며 대형 원료선은 항행하지 못하고 있다.

제3항로의 경우 항로폭이 최소 380미터에서 최대 500미터 사이이며 수심의 변침을 요하는 만곡항로이므로 25만톤급 초대형 원료선이 타선박 통과시 동시 통항하기가 어렵다는 것이 문제점이다. 제4항로의 경우 해도상의 최저수심은 13미터로 되어 있으나 실제 최저 수심이 11미터에 불과한 실정이므로 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 미속진전 또는 표류하면서 대기할 수밖에 없게 된다. 이때 조류 또는 바람으로 인한 압류를 막을 수 없을 것이며 심한 경우 낙조각 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.

그리고 컨테이너 부두가 완공되는 수년 내에 묘

도 북방을 지나 컨테이너 부두로 선박들이 빈번하게 출입항할 예정이므로 묘도 북방에 컨테이너선의 왕래가 가능한 항로의 신설이 요구된다.

4. 항로 개선 방안 및 Simulation 검증

4.1 Simulation 방법 및 수학적 모델

4.1.1 Simulation 방법

Simulation은 Off Line Port and Waterway Design Simulation System을 이용하여 실시하였다. 이 System은 실험대상 선박이 대상 해역의 수심, 조류 및 기상등 제반 환경조건하에서 항로를 따라 안전하게 항해해 나갈 수 있는지 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. 실험대상 선박으로는 광석선의 경우 광양만 출입항 선박중 최대의 선박인 170,000GRT(250,000DWT)의 광석선을, 컨테이너선의 경우는 50,000GRT의 컨테이너선을 선택하여 선박 수학적 모델을 구축하였으며 대상 선박의 제원은 다음 <표 4-1>과 같다.⁷⁾

수심, 조류 및 바람등 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.

〈표 4-1〉 대상 선박 명세

명세	광석선	컨테이너선	명세	광석선	컨테이너선
전장(LOA)	326m	275m	가속시간(최대선속의 2/3)	882초	537초
선폭(B)	56m	32m	감속시간(최대선속의 1/3)	1240초	760초
홀수(d)	20.45m	12m	우현선회권 선회 정상속도	40kts	12.5kts
총톤수(GRT)	170,000T	50,000T	최종선회경(Circle Diameter)	700mm	1250m
방형비척계수(Cb)	0.82	0.58	우현선회권 선회회두각속도	23도/min	60도/min
축수	1	1	우현선회권 선회편각	34도	16도
프로펠라형	고정형	고정형	속력(전진전속)	14.0kts	24.0kts
주기관형	저속디젤	저속디젤	속력(후진전속)	9.0kts	14.4kts
풍압면적(측면)	3,446m ²	8,728m ²	전속전진 기관회전수	70rpm	95rpm
풍압면적(정면)	1,351m ²	1,550m ²	전속후진 기관회전수	50rpm	70rpm

시뮬레이션에 의한 항로 안전성 평가는 항로 경계선까지의 최근접 거리가 0.6B 이상되는지의 여부로 평가하였다.⁹⁾

4. 1. 2 Simulation을 위한 선박의 수학 Model

본 연구에서는 McCallum에 의해 개발된 Heuristic Type Mathematical Model을 이용하여 수학적 모델을 구축하였다.

이 모델은 유체동력학적인 도함수를 사용한 모델과는 달리 선박운동 시스템을 블랙 박스로 가정하여 도출한 간단한 방정식을 이용하여 선박의 동작을 표현하는 모델이다. 이 모델은 직접적인 접근방법을 사용하기 때문에 상대적으로 실행이 간단하고 사용자의 호응도도 매우 높다. 또한 이 모델은 변환이 간단하고 거의 자동적인 방법으로 새로운 모델 혹은 수정된 모델을 만드는 것이 가능하다. 이 모델에 대한 정확성과 효용성은 이미 많은 연구에서 입증된 바 있다.^{9), 10), 11), 12)}

4. 1. 2. 1 방정식의 유도

1) 선박의 입력정보와 출력정보

선박의 운동을 Surge, Sway, Yaw라는 3차원의 자유운동만으로 움직이는 동력학적 System으로 보면 선박에 대한 입력정보들은 원하는 타각 D_r 와 원하는 기관 즉 N_{PD} (Desired Shaft Speed, Port)와 N_{SD} (Desired Shaft Speed, Starboard)이다.

환경에 대한 입력정보는 바람과 조류로서 바람

에 대해서는 진풍향은 WW(Wind Direction From)로 나타내고, 상대풍향은 North에 대한 방향을 나타낸다. 또 풍속은 W m/s로 나타낸다. 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. 〈그림 4-1〉에서 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.

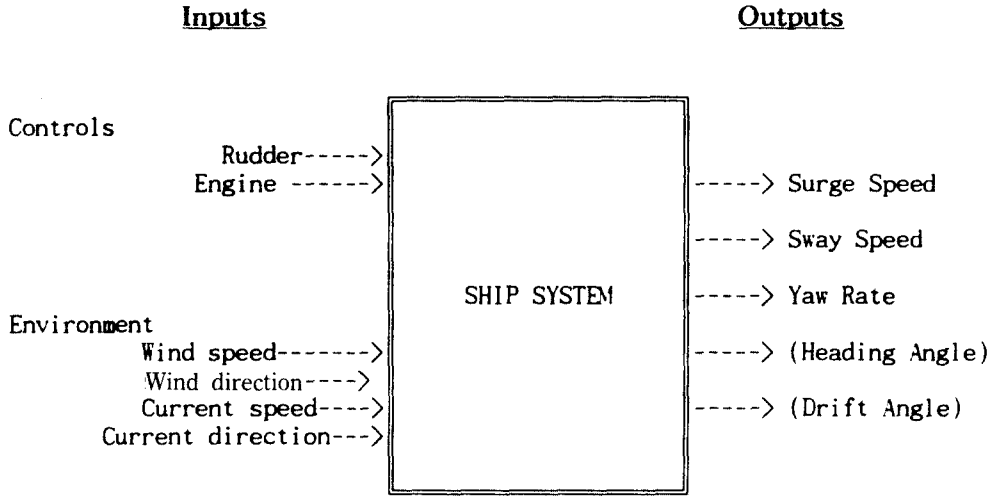
2) 선박의 축과 운동속도에 대한 유체동력학적인 표시

〈그림 4-2〉와 같이 선박의 중앙지점으로부터 선수쪽 방향을 X축으로 하여 O_x 로, 우현쪽을 Y축으로 하여 O_y 로, 선저쪽 방향을 Z축으로 하여 O_z 로 하는 선박에 고정된 수직 직교축을 사용하여 Surge, Sway 속도 및 Yaw율을 표현한다. Surge속도는 u (m/s)로 나타내고, Sway속도는 v (m/s)로, Yaw율은 r (rad/s)로 나타낸다.

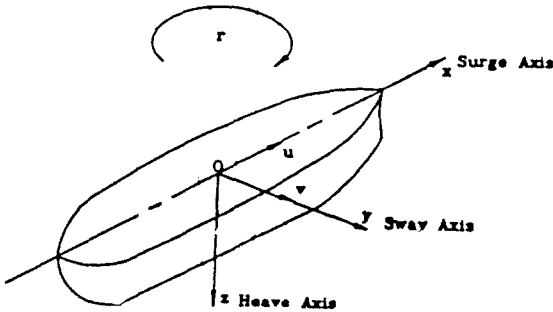
4. 1. 2. 2 시스템 입력치 모델링

1) Rudder제어

Rudder제어 시스템에 대한 응답은 실제 타각 R_r 과 조타기 타각 D_g 와의 차이에 따라 변한다. 실



<그림 4-1> Input and Output of the Ship Manoeuvring System



<그림 4-2> Axis System

제 타각과 조타기 타각의 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.

$$R_r = \delta \times R_{tot} \dots\dots\dots (1)$$

$$\delta = K(14)R_{tot} \quad Rr < Dg \text{ 일 때} \dots\dots\dots (2)$$

$$\delta = -K(14)R_{tot} \quad Rr > Dg \text{ 일 때} \dots\dots\dots (3)$$

$$\delta = K(12)(Dg - Rr) / R_{tot} \quad |(Dg - Rr)| < 3 \text{ 도 일 때} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 R_{tot} 는 Rad값을 도수(Degree)로 변환시켜 주는 변환상수를 나타낸다.

2) 엔진

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

따라서,

$$N_s = K(13)(N_{sd} - N_s) \dots\dots\dots (5)$$

로 표현된다.

여기서 N_{sd} 는 계획속도를 나타내고 N_s 는 실제 속도를 나타낸다.

4. 1. 2. 3 유체동력학적 변수들의 정상상태값의 표현

Surge속도(u), Sway속도(v) 그리고 회두각속도(r)등 주요변수들을 계산하는 방법은 입력정보 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_s)

선박의 정상상태에서의 Surge속도(U_s)는 선박 엔진의 실제 Shaft속도에 비례한다. 또한 선박이 선회하고 있는 동안에는 회두각속도의 제공에 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 Surge 속력손실은 거의 같은 비율로 나타난다고 가정할 수 있다.

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

$$U_{ss} = K(4)N_s - K(5)ur^2 \quad u \geq 0 \text{ 일 때} \dots\dots\dots (6)$$

$$U_{ss} = K(8)K(4)N_s - K(5)ur^2 \quad u < 0 \text{ 일 때} \dots\dots\dots (7)$$

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 주기 위해 이를 지수관계로 나타낸다.

따라서 다음과 같이 표현된다.

$$R_{ss} = K(2)\delta^{K(27)} + \beta \dots\dots\dots (8)$$

상선의 경우 멱지수 $K(27)$ 은 일반적으로 0.3과 0.7사이의 값을 취한다. 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 회전각속도에 영향을 준다. 오른쪽으로 회전하는 단추진기 선박의 경우 추진기가 오른쪽으로 회전할 때 추진기의 축력은 선박을 좌현쪽으로 회전시키는 영향을 준다.

이러한 선회효과는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta = K(3)(u - K(4)N_s) \dots\dots\dots (9)$$

따라서 정상상태의 회두각속도는 다음과 같이 표현된다.

$$R_{ss} = K(2)\delta^{K(27)}W(u) + K(3)(u - K(4)N_s) \dots\dots\dots (10)$$

3) 정상상태에서의 Sway속도(V_{ss})

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

그래서 정상상태의 Sway 속도는 다음과 같이 표현된다.

$$V_{ss} = K(7) \cdot r \cdot W(u) \dots\dots\dots (11)$$

4. 1. 2. 4 기본 선박운동방정식

기본적인 선박운동방정식은 다음과 같이 유도된다.

1) Surge 속도

Surge 속도에 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 시간상수 변화를 고려하기 위하여 상수 $K(10)$ 을 도입하였다. 선박이 선회할 때에는 Drift Angle이 증가하면서 저항수면에 접하는 선체의 측면면적이 넓어지고 이에 따라 선박의 속력이 빠르게 감소하게 된다. u 에 관한 시간상수를 Drift Angle의 증가에 따라 감소시키기 위하여 변수 T_r 가 다음과 같이 도입된다.

$$T_r = (1 - K(11) |a|)$$

$T_r > 0.4$ 라는 제한조건하에 Surge 가속도 $d1$ 을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$d1 = (U_{ss} - Y(1)) / (K(6)T_r) \quad Y(1) \leq U_{ss} \text{ 일 때} \dots (12)$$

$$d1 = (U_{ss} - Y(1)) / (K(10)K(6)T_r) \quad Y(1) > U_{ss} \text{ 일 때} \dots (13)$$

여기서 $Y(1)$ 은 u 에 해당되는 Surge 속도를 나타낸다.

2) Sway 속도

Sway 가속도 $d2$ 를 정상상태의 Sway 값과 실제 Sway 값을 사용하여 표현하면 다음과 같이 된다.

$$d2 = (V_{ss} - Y(2)) / K(19) \dots\dots\dots (14)$$

여기서 $d2$ 는 Sway 가속도를, $Y(2)$ 는 v 에 해당되는 실제 Sway 속도를 각각 나타낸다.

3) 회두각속도(Yaw Rate)

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

회두각속도 $d3$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$d3 = (R_s - Y(3))/K(1) \quad Y(1) \geq 0, N_s \geq 0 \text{ 일 때} \dots (15)$$

$$d3 = (-R_s/2 - Y(3))/K(1) \quad Y(1) < 0, N_s < 0 \text{ 일 때} \dots (16)$$

$$d3 = (R_s/2 - Y(3))/K(1) \quad \text{그 밖의 조건일 경우}$$

여기서 $Y(3)$ 는 실제 Yaw Rate를 말한다.

4. 1. 2. 5 환경변수를 포함한 최종 선박운동 방정식

최종적인 선박운동방정식은 Surge, Sway 가속도 및 회두각가속도 $d1, d2, d3$ 에 바람 및 조류에 의한 영향 UW, UC, VW, VC, RW, RC 를 가산하여 구성된다. Surge, Sway속도 및 Yaw Rate $d(1), d(2), d(3)$ 는 다음과 같이 표현되며 이들 값을 적분하면 선수 및 횡방향의 이동 거리 및 회두각이 계산되어 다음번 위치 및 Heading이 계산되게 된다. 적분은 Euler 적분법을 이용한다.

$$d(1) = \int_0^t (d1 + UW/K(23) + UC/K(16))dt \dots (17)$$

$$d(2) = \int_0^t (d2 + VW/K(24) + VC/K(17))dt \dots (18)$$

$$d(3) = \int_0^t (d3 + RW/K(25) + RC/K(18))dt \dots (19)$$

4. 2 항로 개선 방안 및 Simulation 검증

4. 2. 1 3항로 및 4항로의 개선 방안

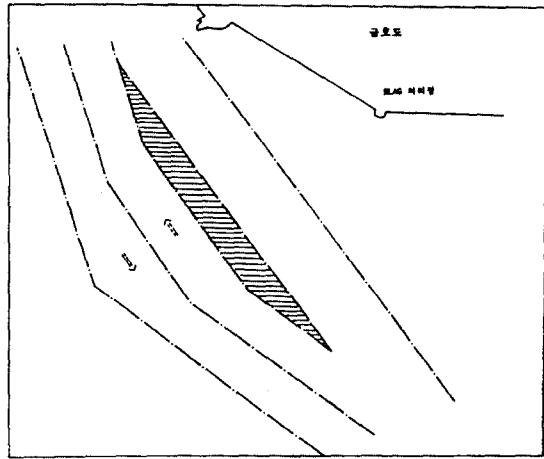
1) 개선 방안

250,000DWT급 광석선 2척이 동시에 교항할 수 있도록 항로를 개선하기 위해서 다음 두가지 방안이 제안된다.

(1) 제1안 : 250,000DWT급 광석선의 최대 흘수는 20.45 미터이고, PIANC rule에서 파도로부터 보호된 내항 항로의 경우 최대 흘수에 10%를 보

탄 값을 수심으로 권고하고 있으므로,¹³⁾ 4항로를 계획 수심 22.5 미터까지 준설한 뒤 4항로를 입항 항로로 3항로를 출항항로로 분리하여 운영하는 방안.

(2) 제2안 : <그림 4-3>과 같이 3항로 22번 부이 근처의 암초를 제거하여 항로를 확장한 뒤 3항로를 입항항로와 출항항로로 분리하여 왕복통항이 가능하도록 하는 방안.



<그림 4-3> 3항로의 암초를 제거하고 항로를 확장하여 왕복통항항로로 하는 방안

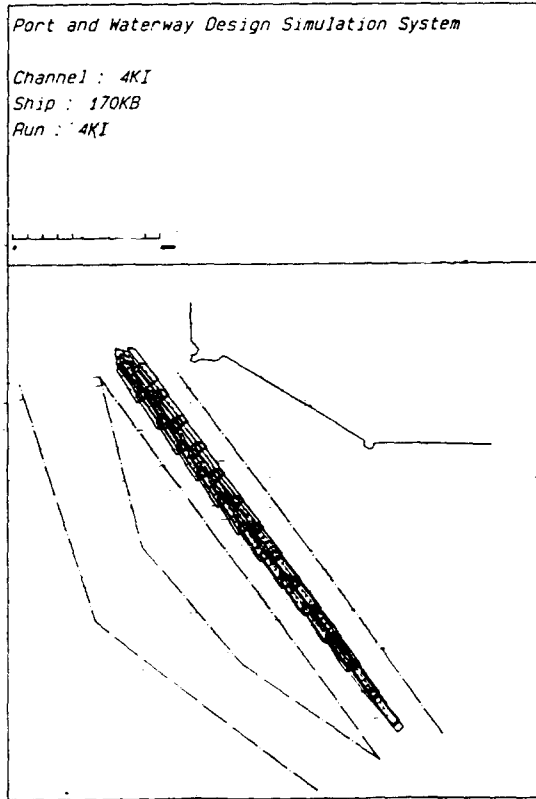
2) 개선방안에 대한 시뮬레이션 검증

(1) 제1안에 대한 시뮬레이션 검증

제1안에 대한 검증을 위해 4항로의 수심을 계획 수심인 22.5 미터로 입력한 뒤 창조류 및 낙조류 데이터와 선박 진행 방향에 직각 방향으로 부는 바람 데이터를 입력하여 9회의 시뮬레이션을 실시하였다. 최악의 환경 조건을 입력하여 검증하기 위하여 탁월풍인 북서풍 뿐만 아니라 정횡 방향의 바람도 데이터로 입력하였다.

조류는 창조류, 바람은 정횡방향의 바람을 입력하고 선속을 8노트로 하여 입항 시뮬레이션을 한 결과, 항로폭이 450 미터이기 때문에 전반적으로 여유있게 항해할 수 있는 것을 알 수 있었으며, 조류의 방향이 항로 방향과 거의 같고 선박의 풍압면적이 선박의 중량에 비해 상대적으로 적기 때

문에 조류 및 바람의 영향이 그리 크지 않음을 알 수 있었다. <그림 4-4>는 다양한 조건하에서의 입항 시뮬레이션의 결과를 종합한 것이며 전체 swept path의 최대폭은 210미터이고 항로 외곽선까지의 최대 근접거리는 130 미터나 되므로 충분한 안전이 확보됨을 알 수 있다.

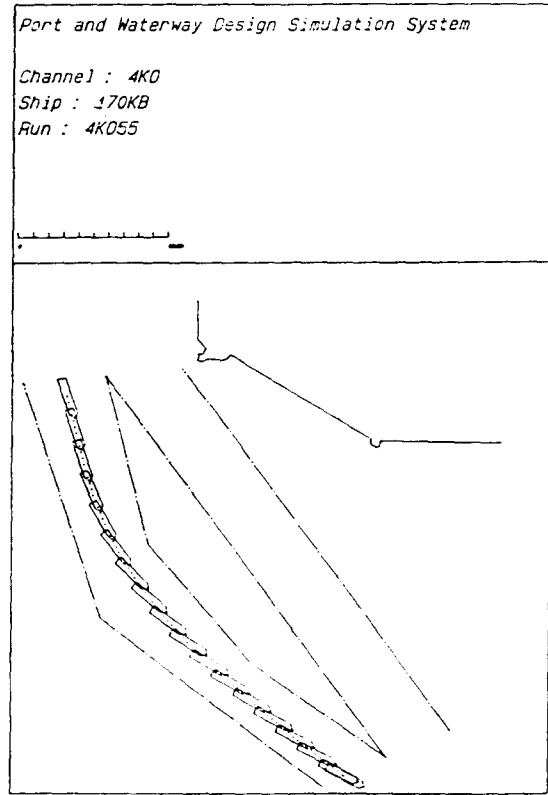


<그림 4-4> 다양한 외력하에서의 입항선 시뮬레이션의 종합 결과(4항로 준설시)

<그림 4-5>는 낙조류를 받으며 북서풍하에서 출항하는 출항선의 시뮬레이션 결과이다. 바람의 영향보다 조류의 영향이 커서 아래쪽으로 밀리면서 진행함을 알 수 있다. 이 경우에도 swept path의 폭은 120미터이고 항로 외곽선까지의 최대 접근 거리가 100 미터나 되어 안전한 항해가 가능함이 확인된다. <그림 4-6>에 다양한 조건하에서의 출항 시뮬레이션의 종합 결과를 보인다. 이 경우

에도 전체 swept path의 최대폭은 235미터이고 항로 외곽선까지의 최대 근접거리가 70 미터나 되어 안전한 항해가 가능함이 확인된다.

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

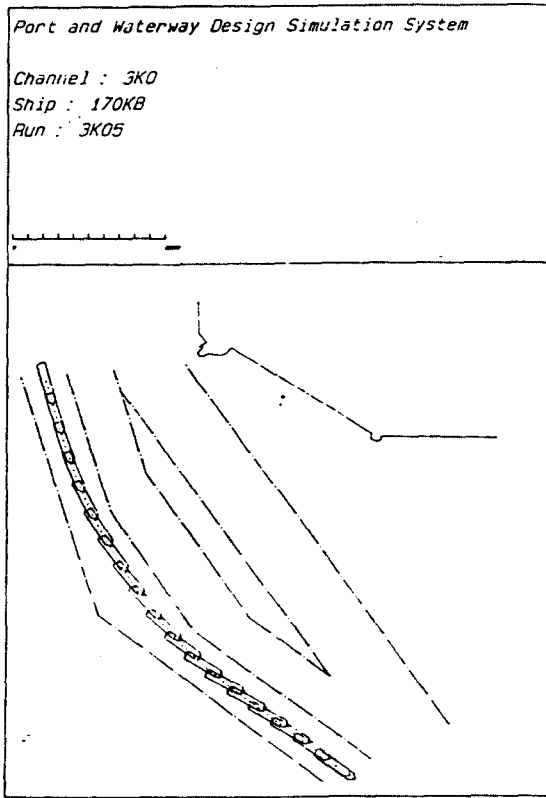


<그림 4-5> 낙조류와 27 노트의 북서풍하에서의 출항 시뮬레이션 결과(4항로 준설시)

(2) 제2안에 대한 시뮬레이션 검증

제2안에 대한 적정성을 검증하기 위해 입출항 시뮬레이션을 각각 9회씩 실시하였다. 조류는 창조류와 낙조류를, 바람은 북서풍과 정황방향의 바람을 각각 27노트 및 25노트씩 입력하였다.

<그림 4-7>은 낙조류와 25노트의 072도 방향 바람하에서의 출항 시뮬레이션 결과이며 항로 중



〈그림 4-6〉 다양한 외력하에서의 출항선 시뮬레이션의 종합 결과(4항로 준설시)

심을 따라 무리없이 항해가 가능함을 알 수 있다. 〈그림 4-8〉은 다양한 외력하에서의 출항 시뮬레이션 종합 결과이다. 이 경우 항로 외곽선까지의 최대 근접 거리가 65 미터로 안전 항해가 가능함을 알 수 있다.

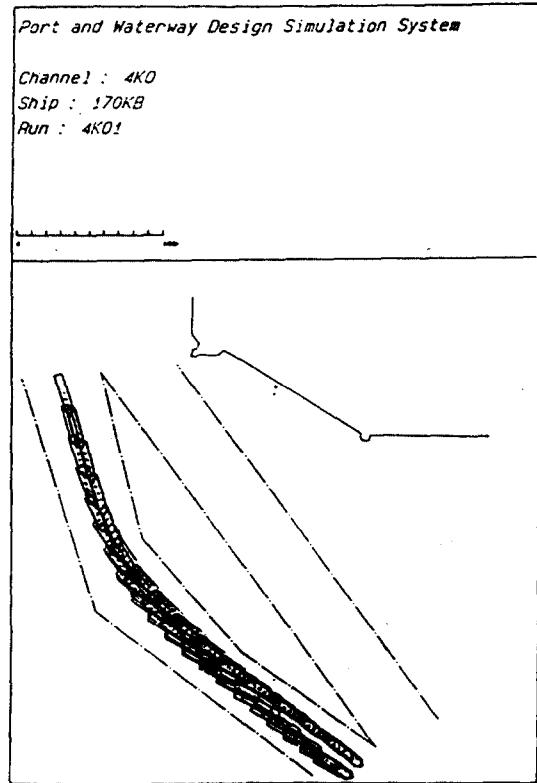
〈그림 4-9〉는 다양한 외력하에서의 입항선의 시뮬레이션 결과를 종합한 것이다. 최대 항적폭은 170 미터이고 항로 외곽선까지의 최대 접근 거리가 50 미터로서 안전한 항파가 가능함을 알 수 있다.

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

4.2.2 묘도 북방 항로 신설 방안

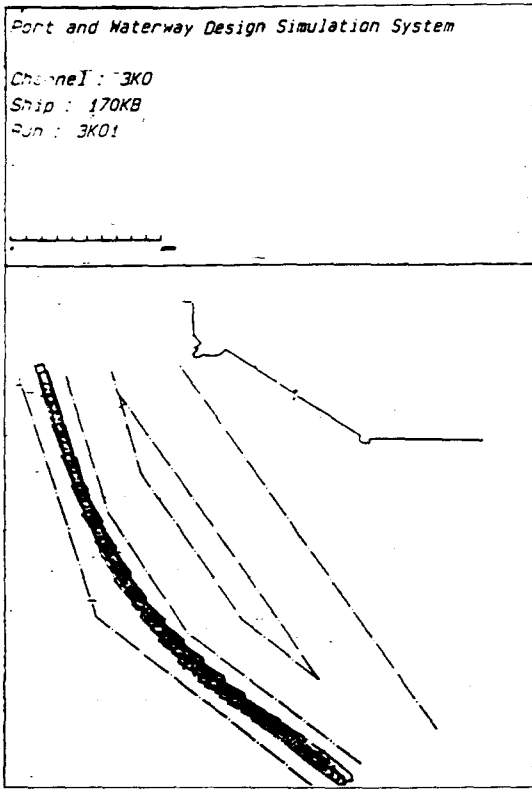
1) 신설 항로의 기초 설계

광양만 컨테이너 부두 건설 및 율촌공단 개발에

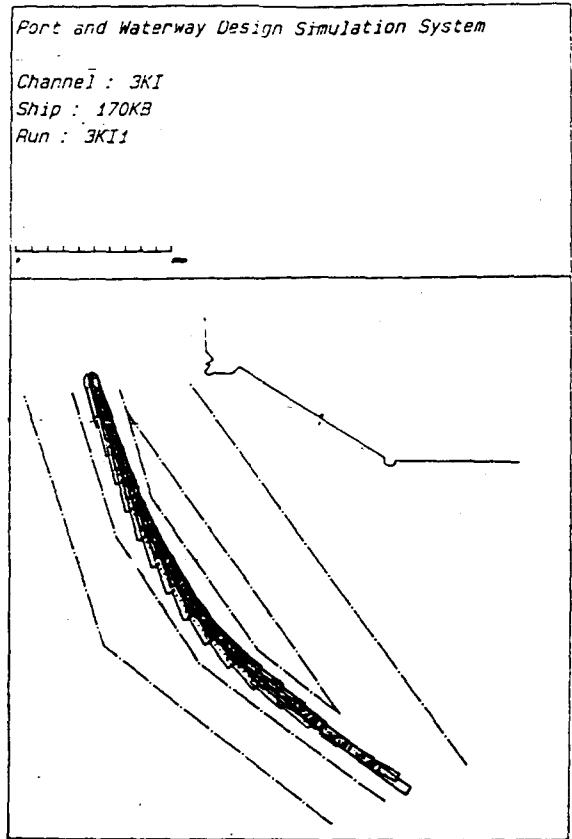


〈그림 4-7〉 낙조류와 25노트의 072도 방향 바람 하에서의 출항 시뮬레이션 결과(3항로 확장시)

따른 출입항로를 묘도 북방에 신설하는 방안을 제안한다. 항로의 폭은 대상 선박인 50,000GRT의 컨테이너선의 선폭인 32미터를 기준으로 하여 정하였다. 10개 선석의 컨테이너 부두가 계획되어 있고 율촌공단 개발이 완료될 경우 선박 통항이 폭주할 것이 예상되므로 양방통행항로를 설계하여야 한다. 따라서 PIANC rule에 따라 최대 선폭의 10배¹³⁾를 최저기준으로 하고 만곡부가 1개소 있는 점을 감안하여 선폭의 2배를 추가한 뒤 여기에 여유폭을 추가로 고려하여 항로폭을 400 미터로 정하였다. 그리고 광양제철 원료 부두 앞에 대상 선박의 전장의 2배에 해당하는 직경을 갖는 선회수역(일본의 항로설계 지침 근거)¹⁴⁾을 확보하기 위해서 항로는 수심이 허락하는 한 묘도 쪽으로 붙여서 〈그림 4-10〉과 같이 배치하였다. 항로의 수심은

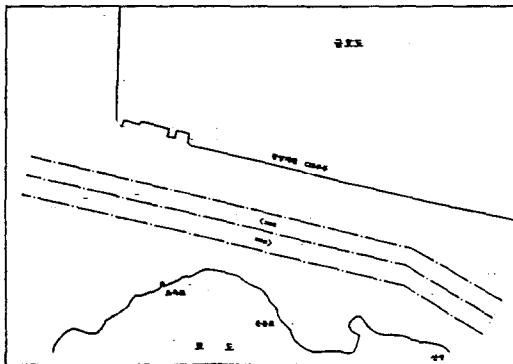


〈그림 4-8〉 다양한 외력하에서의 출항 시뮬레이션의 종합 결과(3항로 확장시)



〈그림 4-9〉 다양한 외력하에서의 입항 시뮬레이션의 종합 결과(3항로 확장시)

대상 컨테이너선의 최대 흘수(12 미터)에 PIANC rule에서 정한 스웰로부터 보호된 구역에서의 여유 수심 10%¹³⁾를 더하여 13.2 미터로 하였다.

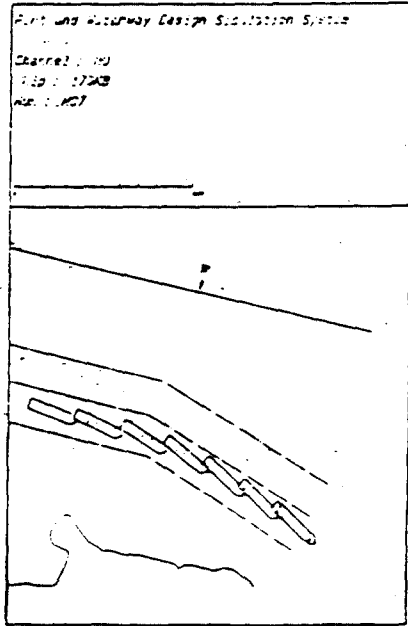


〈그림 4-10〉 묘도 북방 신설 항로의 기초 설계

2) 신설 항로에 대한 시뮬레이션 검증

신설 항로에 대한 검증을 하기 위해 입항 및 출항 시뮬레이션을 각각 12회씩 실시하였다. 기초 설계시 실시한 예비 시뮬레이션에서 직선 구간에서의 항로폭은 충분한 것으로 확인되었기 때문에 최종 검증을 위한 시뮬레이션은 항로의 만곡 구간에 대하여서만 실시하였다.

입항 시뮬레이션의 경우 바람은 탁월풍인 북서풍과 침로에 직각 방향인 204도의 바람을 각각 27 노트 및 25노트의 속도로 입력하여 각각 7회 및 5회씩 총 12회의 시뮬레이션을 실시하였다. 출항의 경우에도 북서풍을 27노트의 속도로 입력하여 7회의 시뮬레이션을 실시하였으며, 최악의 조건을 가

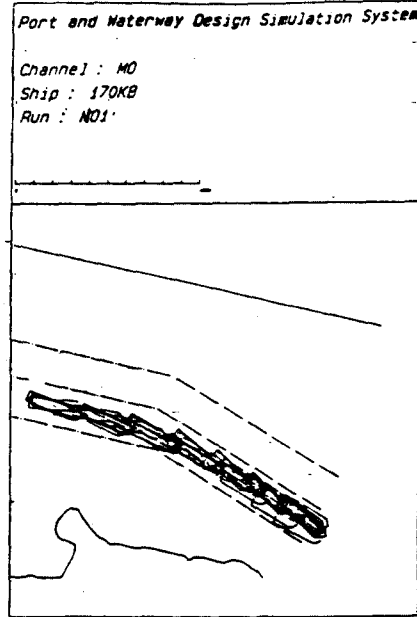


〈그림 4-11〉 창조류와 정횡방향 바람하에서의 출항 시뮬레이션 결과(묘도 북방 신설항로)

상하여 입항 침로에 직각 방향인 193도의 25 노트의 바람을 입력하여 5회의 시뮬레이션을 실시하였다. 조류는 창조류의 경우에는 306도 방향의 1.8 노트의 속도를 낙조류의 경우에는 126도 방향의 2.4 노트의 조류를 입력하였다.

〈그림 4-11〉에 창조류와 정횡방향의 바람하에서의 출항 시뮬레이션의 결과를 보인다. 우현측에서 좌현측으로 미치는 조류와 바람의 영향으로 항로의 북측 외곽으로 상당히 밀림을 알 수 있으며 이는 컨테이너선의 경우 풍압 면적이 상대적으로 크기 때문이다. 〈그림 4-12〉는 다양한 외력하에서의 출항 선박의 시뮬레이션 종합 결과를 보인다. 그림에서 보듯이 최대 swept path의 폭이 거의 항로폭에 가까운 380 미터에 이르고 항적이 항로 외곽선을 거의 스치며 지나가고 있다. 따라서 만곡부와 만곡부 끝단의 항로폭이 좁다는 것을 알 수 있다.

〈그림 4-13〉은 다양한 외력 조건하에서의 입항



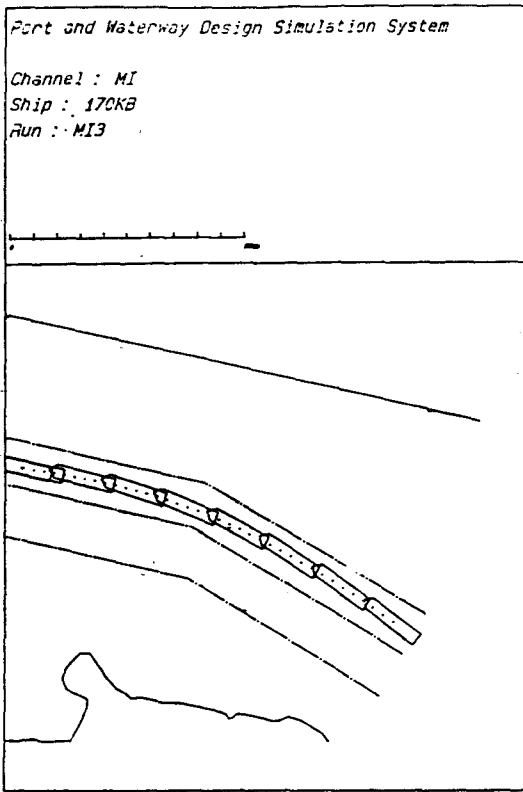
〈그림 4-12〉 다양한 외력하에서의 출항 시뮬레이션의 종합(묘도 북방 신설 항로)

시뮬레이션의 종합적인 결과를 보여 준다. 입항의 경우에는 항로 외곽선까지의 최대 접근 거리가 25 미터로서 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 440미터로하여 항로를 신설할 것을 제안한다.

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



〈그림 4-13〉 다양한 외력하에서의 입항 시뮬레이션의 종합 결과(묘도 북방 신설 항로의 경우)

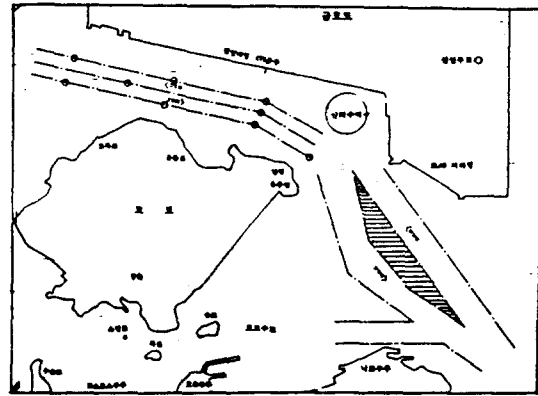
4.3 항로 개선 권고안

광양항 입출항 항로의 문제점을 도출한 뒤 개선 방안을 제시하고 그에 대한 적정성을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 출입항 항로의 종합적인 개선 방안 및 구체적인 권고안은 다음과 같다.

1) 종합적인 항로 개선 방안-제1안

〈그림 4-14〉와 같이 4항로를 수심 22.5미터까지 준설하여 4항로는 입항항로로 3항로는 출항항로로 지정하여 운용하고, 25번 부표 근처의 암초를 제거한 뒤 묘도 북방에 폭 400미터(만곡부 이후는 440미터) 수심 13.2미터의 왕복통항 항로를 신설하는 방안이 제1안으로 제안된다.

묘도 북방 신설 항로의 경우 항로 외곽을 표시하기 위한 부표는 왕복통항로이므로 gated arra-



〈그림 4-14〉 광양만 출입항로 개선안: 제1안
(4항로 준설 및 묘도 북방 항로 신설)

gement 방법을 채택하여 0.9마일의 간격으로 설치하며, 이 항로는 다음과 같이 지정하여야 한다.

신설되는 입항항로는 다음 각호의 기점을 연결한 선안의 해면으로 한다.

- ① 북위 34도 53분 36.0초, 동경 127도 45분 09.0초
- ② 북위 34도 53분 53.5초, 동경 127도 44분 32.0초
- ③ 북위 34도 54분 23.5초, 동경 127도 41분 52.0초
- ④ 북위 34도 54분 17.0초, 동경 127도 41분 50.0초
- ⑤ 북위 34도 53분 48.3초, 동경 127도 44분 24.5초
- ⑥ 북위 34도 53분 29.3초, 동경 127도 45분 05.0초

출항항로는 다음 각호의 기점을 연결한 선안의 해면으로 한다.

- ① 북위 34도 53분 29.3초, 동경 127도 45분 05.0초
- ② 북위 34도 53분 48.3초, 동경 127도 44분 24.5초
- ③ 북위 34도 54분 17.0초, 동경 127도 41분 50.0초
- ④ 북위 34도 54분 10.8초, 동경 127도 41분 48.0초
- ⑤ 북위 34도 53분 42.0초, 동경 127도 44분 20.8초
- ⑥ 북위 34도 53분 23.3초, 동경 127도 45분 01.2초

항로를 표시하기 위한 부표는 기존의 25번, 27번 및 29번 부표는 함께 제거하고 다음 각호의 위치에서 새로운 부표를 설치한다.

- ① 북위 34도 53분 23.3초, 동경 127도 45분 01.2초
- ② 북위 34도 53분 53.5초, 동경 127도 44분 32.0초
- ③ 북위 34도 53분 42.0초, 동경 127도 44분 20.8초
- ④ 북위 34도 54분 06.7초, 동경 127도 43분 21.5초

- ⑤ 북위 34도 53분 54.0초, 동경 127도 43분 18.0초
- ⑥ 북위 34도 54분 18.8초, 동경 127도 42분 17.3초
- ⑦ 북위 34도 54분 06.6초, 동경 127도 42분 14.0초
- ⑧ 북위 34도 53분 43.8초, 동경 127도 44분 24.5초
- ⑨ 북위 34도 54분 06.3초, 동경 127도 42분 48.5초

2) 종합적인 항로 개선 방안-제2안

〈그림 4-15〉와 같이 3항로 22번 부표 근처의 암초를 제거하여 항로를 확장한 뒤 3항로를 입항 항로와 출항항로로 분리하여 왕복통항이 가능하도록 하고, 제1안의 경우와 동일하게 묘도 북방에 새 항로를 신설하는 방안이 제2안으로 제안된다.

3항로를 확장하여 양방향통항항로로 할 경우 항로는 다음과 같이 지정하여야 한다.

3항로 확장 입항항로는 다음 각호의 기점을 연결한 선안의 해면으로 한다.

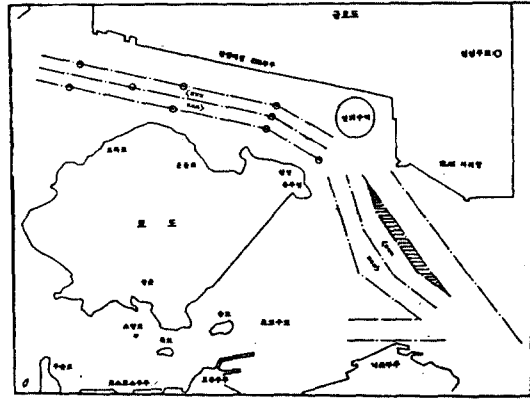
- ① 북위 34도 52분 09.0초, 동경 127도 46분 30.5초
- ② 북위 34도 52분 22.0초, 동경 127도 46분 07.5초
- ③ 북위 34도 52분 53.0초, 동경 127도 45분 40.0초
- ④ 북위 34도 53분 16.0초, 동경 127도 45분 31.0초
- ⑤ 북위 34도 53분 15.5초, 동경 127도 45분 19.0초
- ⑥ 북위 34도 52분 45.5초, 동경 127도 45분 30.5초
- ⑦ 북위 34도 52분 19.5초, 동경 127도 45분 52.0초
- ⑧ 북위 34도 52분 03.0초, 동경 127도 46분 21.0초

출항항로는 다음 각호의 기점을 연결한 선안의 해면으로 한다.

- ① 북위 34도 52분 03.0초, 동경 127도 46분 21.0초
- ② 북위 34도 52분 19.5초, 동경 127도 45분 52.0초
- ③ 북위 34도 52분 45.5초, 동경 127도 45분 30.5초
- ④ 북위 34도 53분 15.5초, 동경 127도 45분 19.0초
- ⑤ 북위 34도 53분 14.5초, 동경 127도 45분 07.0초
- ⑥ 북위 34도 52분 23.0초, 동경 127도 45분 27.5초
- ⑦ 북위 34도 51분 57.0초, 동경 127도 46분 10.9초

항로를 표시하기 위한 부표는 기존의 19번, 21번 및 23번 부표 및 노랑여 부표는 그대로 두되 20번, 22번, 41번 및 43번 부표는 철거하고 다음 각호의 위치에 새로운 부표를 설치한다.

- ① 북위 34도 52분 09.0초, 동경 127도 46분 30.5초
- ② 북위 34도 52분 22.0초, 동경 127도 46분 07.5초
- ③ 북위 34도 52분 53.0초, 동경 127도 45분 40.0초
- ④ 북위 34도 53분 16.0초, 동경 127도 45분 31.0초



〈그림 4-15〉 광양만 출입항로 개선안 : 제2안 (암초 제거 후 3항로 확장 및 묘도 북방 항로 신설)

- ⑤ 북위 34도 53분 15.5초, 동경 127도 45분 19.0초
- ⑥ 북위 34도 52분 45.5초, 동경 127도 45분 30.5초
- ⑦ 북위 34도 52분 19.5초, 동경 127도 45분 52.0초
- ⑧ 북위 34도 52분 03.0초, 동경 127도 46분 21.0초

3) 구체적인 권고안-제1안 및 제2안의 우선 순위

제1안 및 제2안에 동일하게 제안되어 있는 묘도 북방 25번 부표 근처의 암초 제거 및 컨테이너선의 출입을 위한 신항로의 개설은 우선 순위 1위로 시행하여야 할 것이다. 묘도 북방을 통과하여 출항하는 선박들의 안전 항해 뿐만 아니라 원료부두에 이접안 하는 대형선들의 안전한 선회를 위한 선회 구역 확보가 시급하기 때문이다.

제1안 및 제2안에 각각 달리 제안되어 있는 4항로 준설 방안과 3항로 암초제거 및 확장 방안은 둘다 대형선의 항행안전 확보 측면에서는 똑같이 안전하고 바람직한 방안이다. 다만 두 안의 경우 항로 준설 및 암초 제거에 드는 비용이 차이가 날 수 있기 때문에 건설 비용을 계산하여 비용이 적게 드는 안을 채택하여 한다.

항로의 길이가 약 3,080미터, 항로의 폭이 450미터이고 평균 수심이 약 15미터인 4항로를 계획 수심 22.5미터로 준설하는 방안과, 남북으로 260미터 동서로 158미터에 걸쳐있는 수심 2.8 내지 7.5

미터의 암반을 제거하고 주위의 일부 저수심 해역을 준설하는 방안에 대해 준설 비용을 각각 계산해 보면 <표 4-2>와 같다.¹⁵⁾

<표 4-2>의 암반 제거량 및 토사 준설량은 각각 다음과 같이 계산하였다.

① 3항로 암반 제거량

쇄암선 이용 제거량(수심 12m까지)

$$158m \times 260m \times (12.0m - 5.15m) = 281,398m^3$$

(참고 : 5.15m는 암초 평균 수심)

수중발파에 의한 제거량(수심12m에서 22.5m까지) :

$$158m \times 260m \times (22.5m - 12.0m) = 431,340m^3$$

② 3항로 토사 준설량

$$1구역 : 962m \times 198m \times (22.5m - 15.0m) = 1,428,570m^3$$

$$2구역 : 110m \times 105m \times (22.5m - 11.0m) \times 0.5 = 66,413m^3$$

$$3구역 : 60m \times 60m \times (22.5m - 9.1m) \times 0.5 = 24,120m^3$$

$$\text{계 } 1,519,103m^3$$

(참고 : 1구역은 20번 부표에서 22번 부표 사이 구역, 2구역 및 3구역은 암초부근 삼각형 구역)

③ 4항로 토사 준설량

$$3,080m \times 450m \times (22.5m - 15.0m) = 10,395,000m^3$$

(참고 : 15.0m는 4항로 평균 수심)

준설 비용 대비표에서 3항로 암반 제거의 경우 수심 12미터까지는 쇄암선을 이용하여 암초를 제

거하고, 12미터 이하 22.5미터까지는 쇄암선 작업이 어려운 관계로 수중 발파 작업을 하여 제거하는 것으로 하였으며 비용은 각각 평방 미터당 20,000원과 48,000원으로 계산하였다. 그리고 slag 처리장을 준설토 투기장으로 하는 경우를 A안으로, 광양만 안쪽의 컨테이너 부두 개발 지역을 준설토 투기장으로 활용하는 방안을 B안으로 하여 각각 비용 계산을 하였다. A안의 경우 pump를 이용하여 slag 처리장으로 바로 토사를 투기할 수 있으므로 토사 준설 비용이 평방 미터당 2,800원이 드는 반면, B안의 경우에는 토운선을 이용하여 준설할 수밖에 없으므로 비용이 평방 미터당 7,000원이 든다. 따라서 어느 안이던 slag 처리장을 준설토 투기장으로 활용하는 A안이 유리함을 알 수 있다.

위 준설 비용 대비표에서 보듯이 slag 처리장을 준설토 투기장으로 활용하여 pump를 이용하여 4항로를 준설하는 경우 3항로의 암초를 제거하는 경우보다 15억원의 예산이 적게 들음 알 수 있다. 아울러 4항로를 준설하는 1안의 경우 기존의 항로 표지를 거의 그대로 사용할 수 있으므로, 기존 부표 4개를 철거하고 8개의 부표를 새로 설치해야 하는 2안보다 부표 설치 비용도 훨씬 적게 드는 안이다.

예산의 절감과 아울러 1안의 경우 입출항 항로의 폭이 2안보다 더 넓을 뿐만 아니라 입항항로의

<표 4-2> 제1안 및 제2안의 준설 비용 비교표

항로 개선안	준설 방안	준설량 (천 m ³)			준설단가(천원/m ³)			준설비용(억원)			총 준설 비용 (억원)
		토사	암		토사	암		토사	암		
			쇄암선 제거	발파 제거		쇄암선 제거	발파 제거		쇄암선 제거	발파 제거	
제 1 안 (4항로준설)	A안	10,395	0	0	2.8	20	48	291	0	0	291
	B안	10,395	0	0	7.0	20	48	728	0	0	728
제 2 안 (3항로암반제거)	A안	1,519	281	431	2.8	20	48	43	56	207	306
	B안	1,519	281	431	7.0	20	48	106	56	207	396

주) A안 : slag 처리장을 준설토 투기장으로 활용하는 안

(토사는 pump 준설, 암은 slag 처리장 또는 인근 묘도 지역에 투기)

B안 : 컨테이너 부두 개발 지역을 준설토 투기장으로 활용하는 안

(토사는 토운선 이용 준설, 암은 slag 처리장 또는 인근 묘도 지역에 투기)

경우 완전한 직선 항로이기 때문에 선박운항자에게 심리적인 안정감을 줄 수 있어 보다 더 안전하고, 신설될 묘도 북방 항로와도 자연스럽게 연결되는 안이므로 2안보다 유리한 안이다.

제2안의 경우 대형원료선의 부두 진입 각도가 적어 출항에 편리한 방식인 좌현 접안시 다소 유리하나, 1안의 경우에도 진입 각도가 2안에 비해 5내지 10도 정도 밖에 차이가 나지 않을 뿐만 아니라 최대 직경이 850미터나 되는 넓은 수역을 선회수역으로 활용할 수 있으므로(설계상 선회수역 직경 652미터, <그림 4-14> 참조, 일본 항로설계지침 근거) 이접안에도 전혀 문제가 없는 안이다. 그리고 2안의 경우 분리 항로와 기존의 4항로와의 교통흐름 조정이 까다로운 단점도 있다.

따라서 4항로를 수심 22.5 미터로 준설하여 입항항로로 하고, 3항로를 출항항로로 하는 1안을 채택할 것을 제안한다. 이렇게 할 경우 22번 부표는 철거하고 부표 근처의 암초에 Racon 또는 등대를 설치하여 두 항로의 통항 분리대를 표시하는 항로표지로 활용하도록 하는 것이 바람직하다.

5. 결 론

앞으로의 항만개발계획을 근거로 하여 광양항 입출항항로의 문제점을 분석해 본 결과 광양항 입출항 항로인 제 3항로와 제 4항로의 경우 각각 주위의 암초들과 얕은 수심으로 인해 향후 항행상의 안전에 많은 문제점이 있는 것으로 지적되었으며, 또한 광양항 컨테이너 부두 건설 및 울촌공단 개발에 따라 묘도 북방 해역에는 선박통항이 폭주할 것이 예상되므로 묘도 북방에 대형 컨테이너선이 안전하게 항행할 수 있는 양방통항항로의 신설이 필요한 것으로 확인되었다. 이와 같은 광양항내 항로상의 문제점을 해결하기 위하여 기존 입출항항로인 3항로와 4항로의 개선방안을 마련하고, 묘도 북방에는 국제항로설계지침에 의거하여 항로를 신설하는 방안을 마련하였다. 이들 개선 방안들에 대해 항로설계 시뮬레이션 기법을 이용하여 그 적

정성을 검증하였으며, 필요한 경우 개선안에 대해 수정을 하여 최종적으로 다음과 같은 2개의 개선안이 마련되었다.

① 제1안 ; 4항로를 수심 22.5m 까지 준설하여 4항로는 입항항로로, 3항로는 출항항로로 지정하여 운용하고 25번 부표 근처의 암초를 제거한 뒤 묘도 북방에 폭 400m(만곡부 이후는 440m) 수심 13.2m의 왕복 통항 항로를 신설하는 방안.

② 제2안 ; 3항로 22번 부표 근처의 암초를 제거하여 항로를 확장한 뒤 3항로를 입항항로와 출항항로로 분리하여 왕복통항이 가능하도록 하고, 제 1안의 경우와 동일하게 묘도 북방에 새 항로를 신설하는 방안

이들 두 개선안 모두 출입선박의 항행상의 안전이라는 측면에서는 똑같이 안전하고 바람직한 안으로 확인되었으나 항로 준설 및 암초 제거 비용등을 감안하여 소요 예산이 적게 드는 안을 채택하도록 하여야 할 것이다. 이에 따라 비용 분석을 실시하였으며 그 결과 제 1안과 같이 제 4항로를 수심 22.5m로 준설한 뒤 3항로와 4항로로 출입항항로를 분리하고, 묘도 북방에는 4.3절에서 제안된 바와 같이 양방통항항로를 신설하는 방향으로 항로를 개선할 것이 제안되었다.

본 논문에서는 광양항 입출항 항로에 대한 개선방안을 제안하고 시뮬레이션 검증을 통해 최종 권고안을 마련하였다. 앞으로 울산항 및 평택항 등 물동량이 급증하고 있는 우리나라 중요 항만의 입출항 항로에 대한 적정성을 검증함과 동시에 개선방안을 마련하기 위한 연구가 필요하며 이는 앞으로의 과제라 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 해운항만청, 항만적정능력 산정 및 개발기본계획구상 1차 최종보고서, 1992, p. 198.
2. 해운항만청, 연안해역의 항행환경조사 및 항로 개선에 관한 연구(최종보고서), 1993, p. 36
3. 해운항만청, 해운항만통계연보, 1994.
4. 여수지방해운항만청, 항만시설 운영세칙, 1994, p. 15

5. 해운항만청, 항만적정능력 산정 및 개발기본계획구상 1차 최종보고서, 1992, p. 479
6. 해운항만청, 연안해역의 항행환경조사 및 항로 개선에 관한 연구(최종보고서), 1993, p. 304
7. 해운항만청, 연안해역의 항행환경조사 및 항로 개선에 관한 연구(최종보고서), 1993, pp. 361-363
8. Department of the Army Corps of Engineers Office of the Chief of Engineers, *Engineering and Design, Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation Projects*, p. 562
9. Kim, W.S., *Port Design and Simulation : Validity of Microcomputer Aided Port Design and Its Application*, Doctoral Thesis of the University of Wales, Cardiff, June 1990, pp. 194-216
10. Maritime Dynamics, *Port of Sunderland Simulation Study Report*, Publication of Maritime Dynamics Ltd., Llantrisant, U.K., July 1987.
11. Maritime Dynamics, *Second Severn Crossing Ship Simulator Study Report*, Publication of Maritime Dynamics Ltd., Llantrisant, U.K., March 1989.
12. Maritime Dynamics, *Avimar Systems-Mathematical Manoeuvring Models Progress Report No. 4*, Publication of Maritime Dynamics Ltd., Llantrisant, Oct. 1984.
13. Permanent International Association of Navigation Congress, *International Commission for the Reception of Large Ships, Report of Working Group IV*, 1980, p. 530.
14. 全日本 海員組合, 港灣의 安全, 昭和 58年 11月, p. 575
15. 해운항만청, 연안해역의 항행환경조사 및 항로 개선에 관한 연구(최종보고서), 1993, p. 422.